Sun. Oct 29, 2023

Room A

Organized Session

日本における住所・土地のデータ化を巡る新展開：アドレスベースレジストリと地図 XMLを事例に（自治体分科会・ FOSS4G分科会）

Chair: Kazuto Aoki, Nobusuke Iwasaki, Toshikazu Seto
9:00 AM - 12:40 PM Room A (C-203 2nd floor of New Bldg. C)

[A6-01] 日本における土地のデータ化を巡る新展開 -「法務省地図 XML アダプトプロジェクト」を事例に-

*Toshikazu Seto[1], Nobusuke Iwasaki[2], Hidenori Fujimura[3]（1. Komazawa University, 2. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 3. Geography and Crustal Dynamics Research Center, GSI）

9:00 AM - 9:30 AM

Organized Session

SIG-GISシンポジウム

Chair: Morishige Ota (Kokusai Kogyo)
2:10 PM - 3:50 PM Room A (C-203 2nd floor of New Bldg. C)

Room B

Organized Session

デジタルアース研究の現状と将来展望（2023）

Chair: Hiromichi Fukui
9:00 AM - 10:40 AM Room B (C-303 3rd floor of New Bldg. C)

Organized Session

シビックテックと防災 GIS

Chair:Michinori Hatayama(Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)
11:00 AM - 12:40 PM Room B (C-303 3rd floor of New Bldg. C)

Organized Session

ジオテクノロジーズの提案する地図・人流データ×リサーチ ～予測可能な世界の創出に向けて～

Chair:Yuki Nakano(GeoTechnologies, Inc.)
2:10 PM - 3:50 PM Room B (C-303 3rd floor of New Bldg. C)

Room C

Tutorial Session

データサイエンスのための GIS講座

Chair: Masayo Tsuchida
9:00 AM - 10:40 AM Room C (C-403 4th floor of New Bldg. C)

Tutorial Session

ArcGIS API for Python体験

Chair: Masayo Tsuchida
11:00 AM - 12:40 PM Room C (C-403 4th floor of New Bldg. C)

Room D

Oral Presentation in GISA

防災 2

Chair: Takuya Oki (Tokyo Institute of Technology)
9:00 AM - 10:40 AM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

[D6-01] 世田谷区における水害発生地点の地形的特徴について

*Yili Chan Chan[1], Toshihiro Osaragi[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

9:00 AM - 9:20 AM

[D6-02] 千島海溝沿岸自治体における津波防災対策の現状と課題－北海道釧路市を事例として－

*Yusuke Okuno[1], Yuichi Hashimoto[2]（1. Graduate School of Letters, Hokkaido University, 2. School of Humanities and Human Sciences, Hokkaido University）

9:20 AM - 9:40 AM

[D6-03] グラフニューラルネットワークとデータ同化を用いた避難者分布予測モデルの改良

*Takehiro Kashiyama[1], Takuya Oki[2], Yoshiki Ogawa[3], Masaaki Imaizumi[3], Yuki Oyama[4]（1. Osaka Universitoy of Economics, 2. Tokyo Institute of Technology, 3. The University of Tokyo, 4. Shibaura Institute of Technology）

9:40 AM - 10:00 AM

[D6-04] 低コストで運用可能な地域情報共有 WEBハザードマップシステム作製の試み

*Yoichi Kayama[1]（1. Aero asahi corporation）

10:00 AM - 10:20 AM

[D6-05] アンサンブル学習を加味した高分解能衛星画像による地震被害解析システムの構築

*Tomohiko SAKATA[1]（1. Building Research Institute）

10:20 AM - 10:40 AM

Oral Presentation in GISA

移動・交通

Chair: Takehiro Kashiyama (Osaka University of Economics)
11:00 AM - 12:40 PM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

[D7-01] 滞在系列に基づく地域のベクトル表現を活用した

©Geographic Information System Association

社会経済データの高空間解像度化の試行

*Kakeru Ito[1], Ryo Inoue[1] （1. Tohoku University）

11:00 AM - 11:20 AM

[D7-02] GPSデータから推計した歩行量分布と街路形態指標の関連性評価

*Reo Watanabe[1], Shohei Nagata[2], Tomoki Nakaya[1] （1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University）

11:20 AM - 11:40 AM

[D7-03] 相対速度指数を用いた制限速度の評価方法

*Shion Muramoto[1], Kazunari Tanaka[1] （1. Osaka Institute of Technology）

11:40 AM - 12:00 PM

[D7-04] 鉄道駅が接続する大規模地下街における立ち寄り行動と滞在時間を考慮した歩行者時空間分布の推定

*Kosei Yatabe[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

12:00 PM - 12:20 PM

[D7-05] 航空機搭乗シミュレーションを用いた効率的な搭乗方法に関する基礎的検討

*Ryotaro Kinoshita[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

12:20 PM - 12:40 PM

Oral Presentation in GISA

データ

Chair: Naoko Fujita (University of Tsukuba)
2:10 PM - 3:50 PM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

[D8-01] 編年時間参照系データ登録・編集システムの検討

*Yoshiaki Murao[1], Yoichi Seino[2], Yu Fujimoto[2], Mikio Tamaki[2] （1. Esri Japan Corporation, 2. ABC）

2:10 PM - 2:30 PM

[D8-02] 文章から地理空間を取り出す ー場所を表す言語表現の抽出と地図データベースへの接続ー

*Hiroki Ouchi[1,2,3], Hibiki Nakatani[1], Shohei Higashiyama[4,1], Hiroki Teranishi[2,1], Taro Watanabe[1] （1. Nara Institute of Science and Technology, 2. RIKEN, 3. National Institute for Japanese Language and Linguistics, 4. NICT）

2:30 PM - 2:50 PM

[D8-03] Simple Objects Profile による応用スキーマの設計と実装について

*Yu Fujimoto[1] （1. Professional College of Arts and Tourism）

2:50 PM - 3:10 PM

[D8-04] ITS対応時空間データベース

*Shigeru Kakumoto[1], Michinori Hatayama, Shigehiro Ogasawara （1. DiMSIS Lab. Co.）

3:10 PM - 3:30 PM

[D8-05] GTFSデータの整備及び利活用促進のためのツール群の開発

*Akira Nishizawa[1], Masaki Ito[1], Kohei Ota[2], Hiroyuki Ito[3] （1. The University of Tokyo, 2. Traffic Brain Inc., 3. Network for promoting public transportation）

3:30 PM - 3:50 PM

Other

閉会式

4:00 PM - 4:30 PM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

Room E

Oral Presentation in GISA

経済

Chair: Hiroki Baba (Hitotsubashi University)
9:40 AM - 10:40 AM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E6-03] 空間回帰不連続デザインを用いた危険密集市街地整備の経済効果

*Mizuki Kawabata[1], Michio Naoi[1], Shohei Yasuda[2] （1. Faculty of Economics, Keio University, 2. College of Economics, Nihon University）

9:40 AM - 10:00 AM

[E6-04] 衛星画像と所得に関する統計情報を用いた建物単位の所得水準の推定

*Ryota Yamanotera[1], Yuki Akiyama[2], Hiroyuki Akiyama[3] （1. Architecture and Civil Engineering, Integrative Science and Engineering, Tokyo City University, 2. Department of Urban and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Urban Design, Tokyo City University, 3. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo）

10:00 AM - 10:20 AM

[E6-05] 世帯推計データを用いた大規模災害時における経済的被害評価手法の開発

*Naoya Takeda[1], Yuki Akiyama[2], Takafumi Furuya[3] （1. Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University, 2. Tokyo City University Faculty of Architecture and Urban Design Urban and Civil Engineering, 3. Nippon Koei）

©Geographic Information System Association

10:20 AM - 10:40 AM

Oral Presentation in GISA

居住

Chair: Takashi Kirimura (Kyoto Sangyo University)
11:00 AM - 12:40 PM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E7-01] 建物悉皆調査と住民アンケートに基づく建物単位の空家確率推定

*Takuya Oki[1], Yujia Yao[1], Nanoka Komatsu[1], Naoko Saio[1], Masahiro Fukagawa[2] （1. Tokyo Institute of Technology, 2. Ota Ward）

11:00 AM - 11:20 AM

[E7-02] 居住地別滞在人口の構成に基づく地域メッシュの類型化 ー金沢市周辺を対象にー

*Ginta Iida[1], Wataru Nakanishi[2] （1. Kanazawa University Graduate School of Geosciences and Civil Engineering, 2. Kanazawa University Institute of Science and Engineering School of Geosciences and Civil Engineering）

11:20 AM - 11:40 AM

[E7-03] 世帯単位の将来人口分布を推計する人口分布予測モデルのモデル改善について

*Hiroshi Omata[1], Takashige Nakagawa[2], yoshihide sekimoto[1] （1. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 2. Pacific Spatial Solutions Inc）

11:40 AM - 12:00 PM

[E7-04] 関西圏の土砂災害リスクに暴露される領域の人口変化

*Hajime Kawamukai[1], Masahiro Arima[1] （1. University of Hyogo）

12:00 PM - 12:20 PM

[E7-05] 東京都区部における母親の保育送迎を含んだ通勤行動の解明

*Susumu SATO[1] （1. Kanazawa Seiryo Univ.）

12:20 PM - 12:40 PM

Oral Presentation in GISA

可視化

Chair: Kazunari Tanaka (Osaka Institute of Technology)
2:10 PM - 3:30 PM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E8-01] 2次元での窓設置可能な壁を明確化する建物ポリゴン分割による階段状建物モデルの自動生成

*KENICHI SUGIHARA[1], Zhenjiang Shen[1], Takahiro Murase[2] （1. College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2. Chukyogakuin College）

2:10 PM - 2:30 PM

[E8-02] 多重建物ポリゴンからの高層建物モデルの自動生成

*Takahiro Murase[1], Kenichi Sugihara[2], Zhenjiang Shen[2] （1. ChukyoGakuin University, 2. Kanazawa University）

2:30 PM - 2:50 PM

[E8-03] カメラ映像を用いた室内行動の抽出方法に関する一考察

*Maki Kishimoto[1], Toshihiro Osaragi[1], Mone Kawaji[1], Shoichi Mihara[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

2:50 PM - 3:10 PM

[E8-04] 土木施工現場における雨水の防災管理に向けた3次元点群データの活用

*Ryo Taniguchi[1], Katsuhisa Banjo[1], Masashi Maeda[2], Yuya Yamada[2] （1. EARTHBRAIN Ltd., 2. KAMITAKE）

3:10 PM - 3:30 PM

Room F

Oral Presentation in GISA

景観・観光

Chair: Tatsuya Sekiguchi (Kyoto Prefectural University)
9:40 AM - 10:40 AM Room F (C-401 4th floor of Bldg. C)

[F6-03] 近世絵画史料『百富士（風刊-東海道）』「品川」から「金谷」の視点場推定ー景観視点場推定表示システムを用いた風景モチーフの写実性の検証ー

*Isato Kataoka[1], Atsuhito Sekiguchi[2] （1. Tokai University, 2. Aichi Universityof the Arts）

9:40 AM - 10:00 AM

[F6-04] 観光地へのアプローチに着目した非日常性の評価手法

*Shonosuke Kajita Kajita[1], Kazunari Tanaka[1] （1. Osaka Institute of Technology Graduate School）

10:00 AM - 10:20 AM

[F6-05] VR空間での視線計測実験に基づく歩行特性と座席選択に関する考察

*Takumi Nishikawa[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1], Hiroyuki Kaneko[2], Shokatsu Chen[2], Junichi Makieda[3] （1. Tokyo Institute of Technology, 2. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation, 3. Architectural Design Division, Kajima Corporation）

10:20 AM - 10:40 AM

Oral Presentation in GISA

自然・環境

Chair: Mayuko Yonejima (Kumamoto University)

©Geographic Information System Association

11:00 AM - 12:20 PM Room F (C-401 4th floor of Bldg. C)

[F7-01] 全国の樹木葬墓地分布の地理空間的特徴とマスメディアを対象とした文脈的特徴の併用分析
*Yuko Imaizumi[1], Naoko Fujita[2], Suzu Shimada[2], Suxueer Sun[2], Yang Zhou[2] （1. Ai-Shokubutsu Landscape Planning Office, 2. University of Tsukuba）
11:00 AM - 11:20 AM

[F7-02] ネクサスマトリックスを用いた炭素会計手法の開発
*Shun Nakayama[1], Wanglin Yan[2] （1. Graduate School of Media and Governance, Keio University, 2. Faculty of Environment and Information Studies, Keio University）
11:20 AM - 11:40 AM

[F7-03] オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究
その1.札幌市のエネルギー消費実態の見える化による分析
*Ryuga Izumi[1], Taro Mori[1], Hisato Oosawa[1] （1. Hokkaido Univ.）
11:40 AM - 12:00 PM

[F7-04] オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究 その２.太陽光発電の使用実態の分析
*Hisato Osawa[1], Taro Mori[1], Ryuga Izumi[1] （1. Hokkaido University）
12:00 PM - 12:20 PM

Oral Presentation in GISA

空間解析手法２

Chair: Sunyong Eom (University of Tsukuba)
2:10 PM - 3:30 PM Room F (C-401 4th floor of Bldg. C)

[F8-01] モラン固有ベクトルに基づく空間可変係数モデルによる組成データの空間的異質性分析の提案
Zhan Peng[1], *Ryo Inoue[1] （1. Tohoku University）
2:10 PM - 2:30 PM

[F8-02] 犯罪発生時期はどこまで予測できるか：時空間的犯罪予測の試み
*Tomoya Ohyama[1], Ilgon Kim[2] （1. Tohoku University, 2. Sendai University）
2:30 PM - 2:50 PM

[F8-03] 総合指標作成のための Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)の提案
*Narumasa Tsutsumida[1], Daisuke Murakami[2], Takahiro Yoshida[3], Tomoki Nakaya[4] （1. Saitama University, 2. The Institute of Statistical Mathematics, 3. The University of Tokyo, 4. Tohoku University）
2:50 PM - 3:10 PM

[F8-04] Sub-model aggregationによる地理的加重回帰の安定化・高速化
*Daisuke Murakami[1], Narumasa Tsutsumida[2], Takahiro Yoshida[3], Tomoki Nakaya[4] （1. Institute of Statistical Mathematics, 2. Saitama University, 3. University of Tokyo, 4. Tohoku University）
3:10 PM - 3:30 PM

Venue

Poster Presentation

ポスター発表 #2

1:00 PM - 2:00 PM Venue (Hall, 1st floor of Bldg. C)

[P2-01] 民間大規模調査データを用いた地域満足度と都市施設数の相関分析
*Hayato Nishi[1] （1. Hitotsubashi University）

[P2-02] 旧耐震分譲マンションの管理に関する意向調査とその傾向－首都圏一都三県を対象として－
*Hiroki Baba[1] （1. Hitotsubashi University）

[P2-03] 統計情報と機械学習を活用した日本全土の将来空き家分布マップの開発
*Yuki AKIYAMA[1], Kotaro Mizutani[1] （1. Tokyo City University）

[P2-04] 口コミ情報に基づく街の評価と地価
*Eisuke Koyagi[1], Mizuki Kawabata[1] （1. Keio University）

[P2-05] 茨城県つくば市における2012年以降の人口移動の実態：住民基本台帳データを用いた住居レベルで人口移動の記述
*Seiya Hirokane[1], Mamoru Amemiya[2], Manabu Sawata[3] （1. Master's Program in Policy and Planning Sciences, Degree Programs in Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Department of Policy and Planning Sciences, Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 3. Statistics and Data Utilization Promotion Office, Planning and Management Division, Policy and Innovation Department, Tsukuba City）

[P2-06] 国勢調査基本単位区における建物当たり人口及び世帯数の平均の空間分布とその特徴－千葉県における町丁目及び地域メッシュ単位における建物当たり人口及び世帯数との比較分析－
*Hiroyuki Usui[1] （1. Department of Urban Engineering, The University of Tokyo）

©Geographic Information System Association

[P2-07] 個々の建物の空間分布と将来推計人口を用いた流域下水道の持続可能性に関する研究
*Chiaki Mizutani Akiyama[1], Yuki Akiyama[2]（1. University of Tsukuba, 2. Tokyo City University）

[P2-08] 都道府県別にみた人口増加率の要因分解：2010～20年
*Kenji Kamata[1], Shiro Koike[2], Keita Suga[2], Masakazu Yamauchi[3]（1. Meiji University, 2. National Institute of Population and Social Security Research, 3. Waseda University）

[P2-09] 1kmメッシュ別滞在人口データを用いた時系列パターン分類手法の開発
*Chenan Huang[1], Narumasa Tsutsumida[1]（1. Saitama University）

[P2-10]「あなたの住んでいる地域の大学」に挙げられる大学に関する探索的研究
*Yuuki Terada[1]（1. The University of Tokyo）

[P2-11] デジタル化と立地がコロナ禍における私立中学校選択に与える影響
Yuki Baba, *Iyanagi Hiroyasu[1], Kazushi Matsuo[1], Morito Tsutsumi[2]（1. Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba）

[P2-12] 高等学校地理におけるカードゲーム型 GIS教材の開発－地理的な見方・考え方を育む PBLでの活用－
*Mayuno Saijo[1], Akihiro Tsukamoto[1], Hiroki Shinomiya[2], Masayo Tsuchida[3]（1. Tokushima Univ., 2. Tomiokanishi High School, 3. Esri Japan Corporation）

[P2-13] ランドマークを活用してユーザの新たな発見を支援するシステムの構築
*Taiki Katsuragi[1], Kayoko Yamamoto[1]（1. The University of Electro-Communications）

[P2-14] フィールド調査アプリを活用した「地域らしさ」の構成要素の発掘とその特徴分析
-飛騨古川地域でのまちあるきイベントを事例として-
*Tatsuya Toji[1], Tatsuya Sekiguchi[2], Hiroaki Sugino[3], Shoko Ueda[4]（1. Kyoto Prefectural University, Faculty of Life and Environmental Sciences, 2. Kyoto Prefectural University, Graduate School of Life and Environmental Sciences, 3. The University of Tokyo, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, 4. Hida city, Planning Department）

[P2-15] 奥行きを含めた街路景観評価の機械化
*Shusuke Sakamoto[1], Hiroki Adachi[1], Tomoki Nakaya[1]（1. Tohoku University Graduate School of Environmental Studies）

[P2-16] 保育所内外観画像を用いた印象評価アンケートに基づく保育所印象評価モデルの構築
*Kotaro Masuki[1], Takuya Oki[1]（1. Tokyo Institute of Technology, School of Environment and Society, Department of Architecture and Building Engineering）

[P2-17] 転居先の候補地周辺の下見支援システムの構築
*Ryuya Nishiguchi[1], Kayoko Yamamoto[1]（1. The University of Electro-Communications）

[P2-18] 計測環境の違いが被験者の視線行動に及ぼす影響
―商店街を例とした実空間・スクリーン・VRヘッドマウントディスプレイの比較分析―
*Ryo Takai[1], Takuya Oki[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

[P2-19] 自転車歩行者専用道路での接触事故の危険要因と地理的分析
*Miyano Imoto[1], Naoko Fujita[1], Ding Ma[1]（1. University of Tsukuba）

[P2-20] 交通事故における高齢歩行者事故とその周辺環境との関係についての分析
*Yoshito Amai[1]（1. Kanazawa Institute of Technology）

[P2-21] 高齢者の空間認知能力と手描き地図特徴との関連について
Yoko Yoshimura[1], *Yasuhiro Kawahara[1]（1. The Open University of Japan）

[P2-22] 人と蚊との接触機会における季節消長の空間解析
*Mayuko Yonejima[1], Takashi Kirimura[2], Tomoya Hanibuchi[3], Osamu Komagata[4], Tomoki Nakaya[5]（1. Kumamoto Univ., 2. Kyoto Sangyo Univ., 3. Kyoto Univ., 4. National Institute of Infectious Diseases, 5. Tohoku Univ.）

[P2-23] レセプト情報と地理空間データを利用した疾病集積状況の可視化
*Kikue Sato[1]（1. Nagoya University Hospital）

[P2-24] 診療科目の空間分布とその相互関係 ―東京都南多摩医療圏を対象に―
*Ikuho YAMADA[1]（1. The University of Tokyo）

[P2-25] 南海トラフ地震による東大阪市製造業のリスク分析
*Taishi Tsubokura[1], Go Yonezawa[1], Kenji Sugimoto[1]（1. Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University）

[P2-26] スケートボード遊技・競技施設の GISデータ化とそ

©Geographic Information System Association

の基礎的分析

*KOMATSU HITOMI[1], OKI TAKUYA[2]（1. SEISEN JOGAKUIN COLLEGE, 2. Tokyo Institute of Technology）

[P2-27] オープンソース衛星データへの超解像手法の適用による建物検出

*Koji Ogino[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

[P2-28] 建物主要用途・トリップチェーンに着目した人流データによる街区間トリップ特性

*Ryo Hayasaka[1], Masao Takeuchi[1], Sunyong Eom[1], Tsutomu Suzuki[1]（1. University of Tsukuba）

[P2-29] 組成データ解析手法に基づく地域特化係数

*Takahiro Yoshida[1], Daisuke Murakami[2], Hajime Seya[3]（1. The University of Tokyo, 2. The Institute of Statistical Mathematics, 3. Kobe University）

[P2-30] 東京都23区における企業の空間集積と業績

*Tomonari Kobayashi[1], Mizuki Kawabata[1]（1. Keio University）

[P2-31] スポーツツーリズムに特化した観光計画作成支援システムの構築

*Ryusho Nobeta[1], Kayoko Yamamoto[1]（1. The University of Electro-Communications）

[P2-32] 歴史災害復原へ向けた時空間情報の可視化―発掘調査データベースを用いたデータ駆動型研究の実践―

*Mikiharu Takeuchi[1], Keiji Yano[1]（1. Ritsumeikan University）

[P2-33] オルソ画像を活用した港湾岸壁のひび割れ検知システムと精度検証

*Daiki Komi[1], Tomohito Kameyama[1], Daisuke Yoshida[1]（1. Osaka Metropolitan University）

[P2-34] 機械学習を用いたワイン用ブドウ栽培適地の推定

*Nobusuke Iwasaki[1], Toshihisa Tanaka[2], Ayaka Onohara[3], Kazunori Hayashi[4], Miyuki Katori[5], Takashi Oguchi[6]（1. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 2. Tokyo Univ. of Agriculture and Technology, 3. Rikkyo Univ., 4. Kyoto Univ., 5. Shinshu Univ., 6. Univ. of Tokyo）

©Geographic Information System Association

Organized Session

日本における住所・土地のデータ化を巡る新展開：アドレスベースレジストリと地図 XMLを事例に（自治体分科会・ FOSS4G分科会）

Chair: Kazuto Aoki, Nobusuke Iwasaki, Toshikazu Seto

Sun. Oct 29, 2023 9:00 AM - 12:40 PM Room A (C-203　2nd floor of New Bldg. C)

土地「地番（lot number）」を示すデータは、2023年1月に法務省から登記所備付地図データ（地図XML）が全国分公開され、現在、それを利用したWebサービスが展開されつつある。しかし、本データがどのような目的で整備され、住所とどのように異なるのかは十分に理解されていない。一方、住居表示に代表される「住所（address）」は、我々にとって最も身近に利用されている位置を示す情報であるが、これまで包括的かつ自由に使用できるデータ整備は限定的であったが、デジタル庁にてアドレスベースレジストリが整備された。そんな中、2023年6月にマイナンバーカードの情報登録において、住所情報の表記揺れ問題が社会的に認知された。これは、住所データ活用が容易でないことを示している。これらを踏まえて、本セッションでは土地地番や住所の違いやそれぞれに関わるどのようなデータが存在するのかを整理し、行政における制度的運用や実態を踏まえて、データ活用のための取り組みや技術的留意点について議論する。

[A6-01] 日本における土地のデータ化を巡る新展開 -「法務省地図 XML アダプトプロジェクト」を事例に-

*Toshikazu Seto[1], Nobusuke Iwasaki[2], Hidenori Fujimura[3]（1. Komazawa University, 2. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 3. Geography and Crustal Dynamics Research Center, GSI）

9:00 AM - 9:30 AM

©Geographic Information System Association

日本における土地のデータ化を巡る新展開
-「法務省地図 XML アダプトプロジェクト」を事例に-

瀬戸寿一*・岩崎亘典・藤村英範*****

New Developments in Address and Land Datalization in Japan
- The Case of Adopt Map XML Project (amx-project) for National Land Register XML Data -

Toshikazu SETO*, Nobusuke IWASAKI**, Hidenori FUJIMURA***

Abstract This article examines the activities and developments surrounding the public release of Map XML data in Japan, particularly the voluntary initiative. To address data distribution and file format challenges, the "Adopt Map XML Project (amx-project)" was launched on GitHub in January 2023. Their primary endeavor was to redistribute all data, providing an easier bulk download interface. Many tools and web map viewers emerged in the week following the public release, allowing users to visualize and utilize the data. The amx-project used GitHub's open platform to continuously discuss its direction and technical considerations. While amx-project operates voluntarily without adopting traditional project management, its role in sharing the potential and challenges of spatial data, exploring open-source technologies, and serving as a community hub for digital map developers and users is crucial.

Keywords: 法務省地図 XML アダプトプロジェクト （Adopt Map XML Project），登記所備付地図データ (National land register map data), 住所 (address), FOSS4G (Free and Open Source Software for Geospatial), ベクトルタイル形式 (Vector tile format)

１．はじめに

登記所備付地図とは，不動産登記法（平成 16 年法律第 123 号）第 14 条第 1 項の規定に基づき，全国の法務局（登記所）に備え付けられている，「各土地の区画を明確にすることを目的とした地図」（14 条 1 項地図）を指し，登記記録とともに土地の位置座標や区画（筆界）を公共測量座標系で示すものである。14 条 1 項地図は 2022 年 5 月時点で全国約 427 万枚整備されているが，日本の土地の状況を網羅する上では十分とは言えない。実際その範囲外では，現在でも明治 6 年の地租改正条例等において作成された旧土地台帳附属地図などを含む「地図に準ずる図面」（公図：約 309 万枚）が使われている。この公図は，一般的に公共測量座標系を伴う現地の座標を有していないため，測量精度や正確性は有していない（鮫島，2004；法務省民事局，2022）。

これら 2 つの種類の地図や図面は，法務省において「登記所備付地図データ」（地図 XML）として XML 形式で統一的に整備されている。これまでは，地図証明書・図面証明書として法務局で写しの交付を受ける方法や，インターネットで PDF データ閲覧する「登記情報提供サービス」が提供されてきたものの，いずれも閲覧を目的とした利用に留まっていた。そこで「世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」（令和 3 年 6 月閣議決定）等に基づく検討などを経て，図 1 のスキーマからなる地図 XML を踏襲し，2023 年 1 月 23 日より G 空間情報センターを介して，法務省が加工可能な形式で全国分を無償公開を始めたことを契機に（法務省民事局, 2023），デジタルデータとして広く利用できるようになった。

以上の背景を踏まえて本稿は，地図 XML の公開とほぼ同時期に筆者らを含む有志で始まった「法務省地図 XML アダプトプロジェクト（Adopt Map XML Project）」（以下，amx-project）における活動経緯を中心に，地図 XML データ公開について整理し，日本の土地データ共有を巡る新展開を概観する。

* 正会員　駒澤大学文学部（Komazawa University）
〒154-8525　東京都世田谷区駒沢 1−23−1　E-mail: tosseto@komazawa-u.ac.jp
** 正会員 農研機構農業環境研究部門（Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO）
*** 非会員 国土地理院地理地殻活動研究センター（Geography and Crustal Dynamics Research Center, GSI)

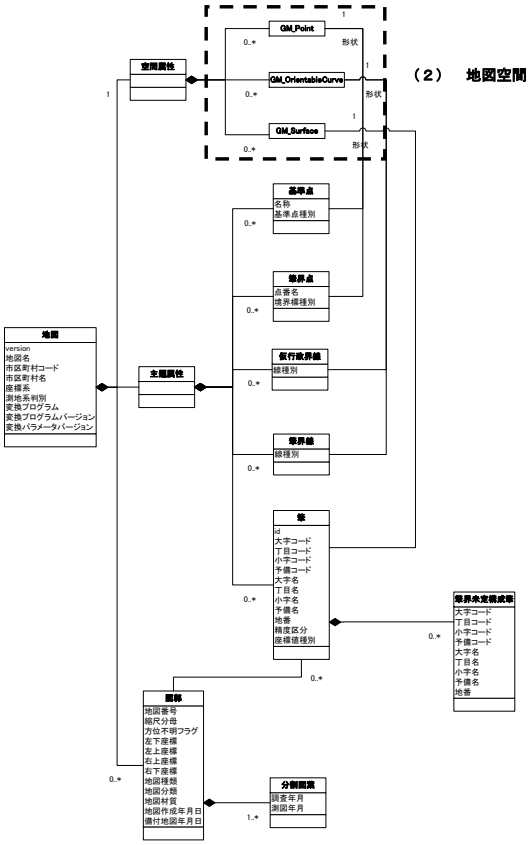


図 1　地図 XML スキーマの静的構成図
（https://www.moj.go.jp/MINJI/minji05_00171.html）

２．地図 XML の仕様と amx-project の発足経緯

2023 年 1 月に G 空間情報センターで公開された地図 XML データは，図郭ごとのファイルを市区町村（法務局出張所）で 1 つの ZIP ファイルとして提供され，展開するとさらに細かいエリアごとの ZIP ファイルが大量に生成される仕様となっている（図 2）。データを取得しても地図 XML のままでは，GIS ソフトウェアで直接的に地図表示を行うことは出来ないため何らか GIS 形式への変換作業が必要となる。



図 2　G 空間情報センターでの地図 XML 提供例

ところで地図 XML は，登記所備付地図の作成経緯から，公共座標系と任意座標系の 2 種類のデータ形式で構成され，共通のスキーマは図 1 の通りである。後者の任意座標系データは，公共座標値を有していないため，図 3 の通り，<zmn: X>や<zmn: Y>の数値は図面の範囲内での座標値を示しているにすぎない。したがって，GIS で他の地図と重ね合わせて利用する上では，地図 XML から GIS 形式へのデータ変換だけでなく，地図上で位置を特定するためにジオリファレンス等の加工が必要である。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<地図 xmlns="http://www.moj.go.jp/MINJI/tizuxml" xmlns:zmn="http://
www.moj.go.jp/MINJI/tizuzumen" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://www.moj.go.jp/MINJI/
tizuxml tizuxml.xsd">
    <version>ver1.0</version>
    <地図名>１番町・２番町・３番町</地図名>
    <市区町村コード>13101</市区町村コード>
    <市区町村名>千代田区</市区町村名>
    <座標系>任意座標系</座標系>
    <空間属性>
        <zmn:GM_Point id="P000000001">
            <zmn:GM_Point.position>
                <zmn:DirectPosition>
                    <zmn:X>-2759.340</zmn:X>
                    <zmn:Y>-2396.752</zmn:Y>
                </zmn:DirectPosition>
            </zmn:GM_Point.position>
        </zmn:GM_Point>
        <zmn:GM_Point id="P000000002">
            <zmn:GM_Point.position>
                <zmn:DirectPosition>
                    <zmn:X>-2763.687</zmn:X>
                    <zmn:Y>-2397.748</zmn:Y>
                </zmn:DirectPosition>
            </zmn:GM_Point.position>
        </zmn:GM_Point>
```

図 3　任意座標系の地図 XML ファイル
（東京都千代田区: 13101-0100-1.xml）の表示例

以上のような，地図 XML データ自体の特徴に加え，全国分のデータが初めて無償で公開された注目度の高さから，公開直後から G 空間情報センターに当初の想定を大幅に上回るアクセスやデータに関する問い合わせが殺到した。その結果，ダウンロードページがつながりにくい状態も発生し，データバックアップや，負荷分散のためのデータ再配信，デジタル地図上での可視化も急務となっていた。

そこで，これら膨大なデータの配布方法やファイルフォーマットの課題に対応するため，地図 XML を従前から利用していた土地・不動産関係の専門家だけでなく，同じ問題意識を持った地理空間情報技術の有志が中心となり，インターネット上での開かれた情報共有と協働作業を行う活動として，amx-

project が 2023 年 1 月 23 日に GitHub organization（https://github.com/amx-project）上で発足した（法務省地図 XML アダプトプロジェクト，2023）。

amx-project において最初に手掛けたプロジェクトが，地図 XML データの全国分の再配布である。G 空間情報センター内のダウンロードページは，公開当初，都道府県ごとかつ複数のエリアに分かれて 1 つずつダウンロードする方式であったため，利用者が特定地域のデータのみを入手する場合は利便性が高いものの，データセット全体を一括取得する方法は一般的ではなかった。そこで GitHub の性質を活かして，地図 XML データを一括取得しやすいアーカイブポータルとなるようリポジトリを用意し，公開直後からデータ整備を始めて順次公開した。

このリポジトリはプロジェクトメンバーの古橋氏により「kuwanauchi」と命名された（https://github.com/amx-project/kuwanauchi）。具体的には G 空間情報センターから取得した全 ZIP ファイルを一度 unzip（フォルダ展開）した上で，欠損等無いか確認し，再度 GitHub 上で公開可能な容量になるよう ZIP 圧縮して都道府県単位で公開する GitHub ページを作成した。また，データの利用規約は，G 空間情報センターの表記を準用し以下の通りとした（https://github.com/amx-project/kuwanauchi01hokkaido/blob/main/LICENSE.md）。

「G 空間情報センターを通じて法務省が提供する登記所備付地図データ（以下「コンテンツ」といいます。）は、どなたでも以下の 1）~6）に従って、複製、公衆送信、翻訳・変形等の翻案等、自由に利用することができます。商用利用も可能です。コンテンツ利用に当たっては、本利用ルールに同意したものとみなします。」

1）～6）の記載内容の詳細は上記 URL に記載されているため本稿では省略するが， 1) 出典の記載について，2) 利用の制限等，3) 禁止行為，4) 準拠法と合意管轄について，5) 免責について，6) その他，となっており，一部を除いて政府標準利用規約（第 2.0 版）に準拠した。

３．地図タイルの配信

次に再配布した地図 XML のうち，公共座標系で地図上に展開可能なデータをウェブブラウザで表示するために，クラウドネイティブなベクトルデータ形式に変換して配信した。ここまでの作業はデータ公開から 7 日ほどで準備し，配信にあたっては多数のベクトルタイルデータを単一ファイルとして扱え，Amazon S3 などのストレージプラットフォームでサーバーレスに配信可能な PMTiles 形式を採用した（https://github.com/protomaps/PMTiles）。この形式は，国土地理院で試験公開中の「最適化ベクトルタイル」でも採用されている。

ベクトルタイル「amx-a」の仕様は，GitHub で公開されているドキュメントに整理した通りである（https://amx-project.github.io/a-spec/）が，ベクトルタイルへの生成・変換のすべての工程をオープンソースソフトウェアで構築した点が大きな特徴で，そのスクリプト等はオープンソースの MIT ライセンス（https://github.com/amx-project/a）で提供している。

ベクトルタイルは，fude（筆界のポリゴンデータ）と daihyo（代表点のポイントデータ）の 2 種類から構成され，fude についてはズームレベル 14–16，後者はズームレベル 2–13 で構成されている。このうち，fude は以下の地図 XML の属性がほぼそのまま付与されているが，筆 ID・version・代表点緯度・代表点経度は便宜上除いている。

- 座標系 （e.g. 公共座標 1 系）
- 測地系判別 （e.g. 変換）
- 地図名
- 地図番号
- 縮尺分母 （e.g. 1000）
- 市区町村コード （e.g. 42212）
- 市区町村名 （e.g. 西海市）
- 大字コード （e.g. 025）
- 丁目コード （e.g. 000）
- 小字コード （e.g. 0000）
- 予備コード （e.g. 00）
- 大字名 （e.g. 西海町太田原郷）
- 地番
- 精度区分 （e.g. 乙一）
- 座標値種別 （e.g 図上測量）

地図タイル配信に伴い，ウェブ地図表示用のデモサイトが有志により製作された（図 4）。全国の 60GB 以上におよぶ地図タイルデータのホスティングに際しては，筆者の藤村が「国連オープン GIS イニシアティブ」（http://unopengis.org/unopengis/main/main.php）の活動として兼ねてから取り組んでいた「国連スマート地図バザール」（https://github.com/unopengis/smb）での技術的知見を援用して，IPFS（InterPlanetary File System：惑星間ファイルシステム）と呼ばれる分散型データ共有のプロトコルで配信を行うこととした（Fujimura and Matsumura，2023）。これは，従来のような URL（Uniform Resource Locator）を指定する方法ではなく，CID（Content ID）と呼ばれるハッシュ値を用いて識別することで，改ざんされていないデータであることを検証可能な方式であり，分散型データ共有に関する技術分野において注目されている。

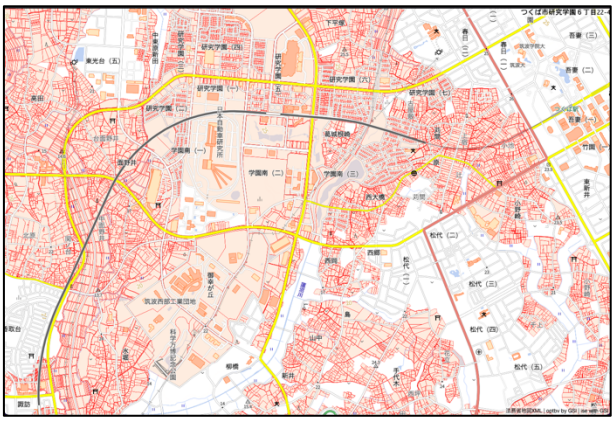


図 4　地図 XML のウェブ表示用デモサイト「a」（https://amx-project.github.io/a/）

4．データ再配布とタイル配信後の波及効果

地図 XML 公開直後より，amx-project に直接関わるツール以外にも様々なサービス等が開発された。ここでは，地図 XML の公開直後にリリースされた主要なツールやサービスでオープンソースを活用したものを中心に幾つか紹介する。その一例が，地図 XML から GIS ソフトウェアでの表示に適したデータ形式への変換ツールの提供である。その代表的なものがデジタル庁による GeoJSON 変換用 Python コンバータ「mojxml2geojson」（https://github.com/JDA-DM/mojxml2geojson）である。これは，農林水産省の eMAFF 地図の取り組み（農林水産省，2023）において，登記所備付地図データを変換して農地台帳や水田台帳と紐づける実証を行った際に，農林水産省職員が自ら作成したプログラムを譲り受け Python で書き直し公開したものである（デジタル庁，2023）。

同コンバータは地図 XML のデータから基準点・筆界点・筆界線を除く属性を抽出し，公共座標系を有するデータは，座標値を経度・緯度（JGD2011）に換算し，属性として代表点座標を追加するものである。他方，任意座標系のデータは座標値の換算を行わないため，全ての地図 XML データが地図上に展開できない。ちなみに，登記所備付地図データ自体は，デジタル庁が推進する住所・所在地のマスターデータを ID 連携する「アドレスベースレジストリ」とも関連している。ここでは，特に住居表示を実施していない地域では「地番」が住所・所在地の表記として用いられることから，すでにアドレスベースレジストリで利用されている国土地理院の電子国土基本図（地名情報）や国土交通省の位置参照情報と併用して，地番単位での ID 連携ができるようになることが期待される（デジタル庁，2023）。

この他，一例をあげると JSON 変換ツール（https://github.com/amx-project/xml2json-js），測量機器や CAD ソフトで使われる SIMA や KML・GeoJSON 形式への変換ツール（https://www.n-survey.com/gis/converttool2/），さらには，公共座標系の地図 XML ファイルの簡易的な地図表示と GeoJSON 変換が可能な「法務省地図 XML Viewer（Geolonia）」（https://geolonia.github.io/chiban-viewer/）などがそれぞれ提供されている。

加えてベクトルタイルを利用した地図閲覧サービスも提供された。オープンソースライブラリ MapLibre.JS による「今ここ何番地？（オフィス白土）」（https://office-shirado.github.io/Moj_Maps/）（図 5）や，「法務省地図 XML（PMTiles） MojMap（shi-works）」（https://shi-works.github.io/MojMap/）が公開開始初期の先例である。また 2 月 14 日には，株式会社マップルから「MAPPLE 法務局地図ビューア」が公開され，無料のアカウント登録を要する代わりに

GeoJSON 形式のダウンロードも可能である。

このように，多くの変換ツールやウェブ地図ビューワーは，G 空間情報センターから地図 XML データ公開後，ほぼ 1 週間以内で相次いで提供され，現在でもビューワーの表示速度や機能などアップデートが続けられている。

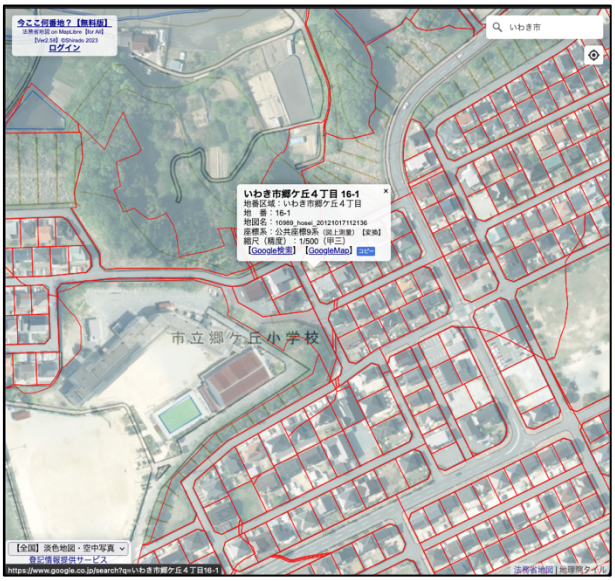


図 5　「今ここ何番地？【無料版】」の表示例（https://office-shirado.com/imakoko/map/）

５．地図 XML データの傾向

5.1. 地図 XML データ全体の特徴

ここでは，G 空間情報センターから公開され，kuwanauchi で再配信された地図 XML データの全体的な傾向を概観する。集計にあたっては，坂井(2023)によって MySQL を用いてデータベース化された「登記所備付地図データダイジェスト」から 47 都道府県ごとの各 XML ファイルの主な記載内容と，図郭情報の集計データを参考にした。

地図 XML の基本となる ZIP ファイルは 314,172 あり，都道府県単位では，愛知県（16,470）・千葉県（16,460）・新潟県（14,240）の順に多く，市単位では，千葉県柏市（2,842）・愛知県豊田市（2,256）・富山県富山市（2,213）の順に多かった。このうち，任意座標系のファイルは 180,142（57.3%）であり，公共座標系を有するものは 134,030 (42.7%) であった。

次に地図 XML ファイルの中に含まれる図郭単位（e.g. 区 C-31）のデータによれば，全国分で 7,494,854 の図郭が確認され，このうち 14 条 1 項地図に該当するものが 4,348,421 (58.0%)，地図に準ずる図面 (公図) に該当するものが 3,146,433 (42.0%) であった。図郭については，平均すると一つのファイルに 23.8 枚が含まれる計算となるが，図 6 にまとめた図郭数の上位 20 地域の ZIP ファイルを集計した結果によると，最も多い広島県江田島市（34215-2401-46.zip）には，962 図郭分のデータが含まれていることがわかった。実際，この地図 XML の ZIP ファイルを展開すると 637MB の巨大な XML データが生成される。このことから，登記所備付地図が作られた地域の特徴など，図郭の区分方法んついて必ずしも統一的ではないことが伺える。

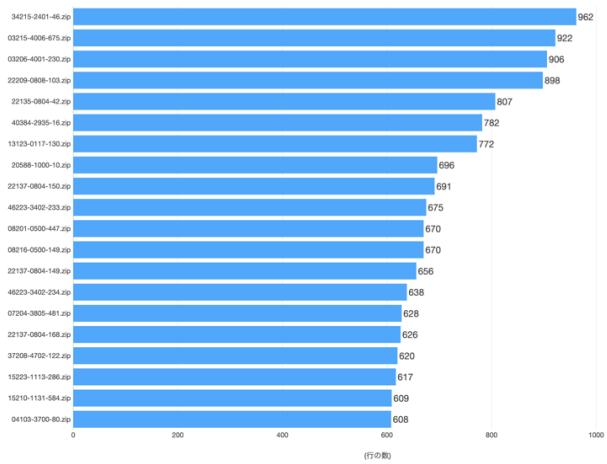


図 6　ZIP ファイル単位での図郭数（上位 20 地域）

5.2. 公共座標系データの特徴

公共座標系データは GIS 上に展開できることから，5.1 で取り上げた「登記所備付地図データダイジェスト」や「登記所備付地図データ・公共座標整理状況マップ（Geolonia 社提供）」により都道府県や市区町村別の概観を確認することができる。さらに 2023 年 8 月には，ウェブ地図上での表示を基本とする PMTiles に加えて，GIS ソフトウェアで解析可能なデータとしてクラウドネイティブで，より軽量に扱える FlatGeobuf（Seto and Nishimura, 2022; 岩崎, 2022）での提供が amx-project において開始された。そこで，公開サイト（https://github.com/amx-project/f）から取

得した，全国分の約 70GB・107,361,007 の筆界（ポリゴン)データを属性ごとに集計した結果を述べる。

分析に用いた属性は 3 節に示す通りで，座標系から座標値種別までの 15 項目であり，市町村コードに基づくディゾルブ処理により市町村ごとに 1 つにまとめた筆界データを基に，市町村面積に対する筆データの占める面積を QGIS 上で算出した（図 6)。

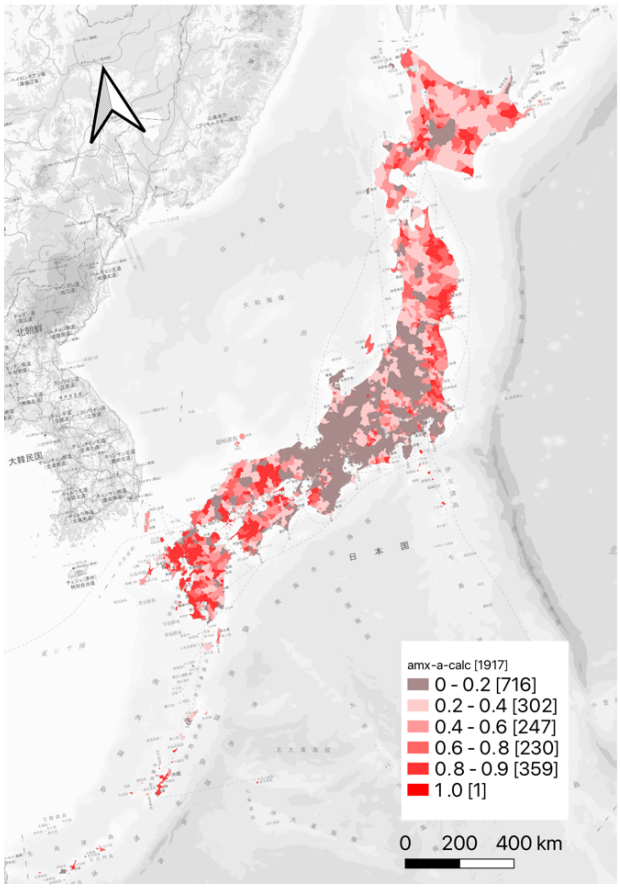


図 6　市町村面積に対する公共座標系データの割合

市町村単位で公共座標系を有する筆界データの総数・面積が多い地域は，東広島市（623,183 筆; 509.34km^2）・一関市（569,011 筆; 1,069km^2）・高松市（545,631 筆; 310.81km^2）の順で，いずれも自治体面積に占める割合が 80%以上を占めた。公共座標系を有する筆界データの面積割合が 8 割以上を占める自治体数は，全国で 360（18.8%）確認され，三大都市圏以外を中心に広く分布している（図 6)。

具体例として，図 7 に示すのは一関市周辺の分布状況である。一関市では，自治体面積の約 85%が網羅され，市街地だけでなく農業地域や林野部などでも広く筆界データを確認することができる。また，隣接する周辺市域でも広く公共座標系データを確認することができ，土地の区画を連続的に捉えることができる。特に，東日本大震災で被災した地域では地籍調査が市町村により実施されたこともあり，これらの地図データが登記所に備え付けられるだけでなく，集団移転の造成地の用地調査など震災復旧・復興の用途にも活用されている（岩手県，2023)。他方，仙台市などの都市部では，必ずしも公共座標系データの割合が高いとはいえず，市町村単位で細かく見ることで，公共座標系を有する筆界データの分布に偏りが生じていることが明らかとなった。

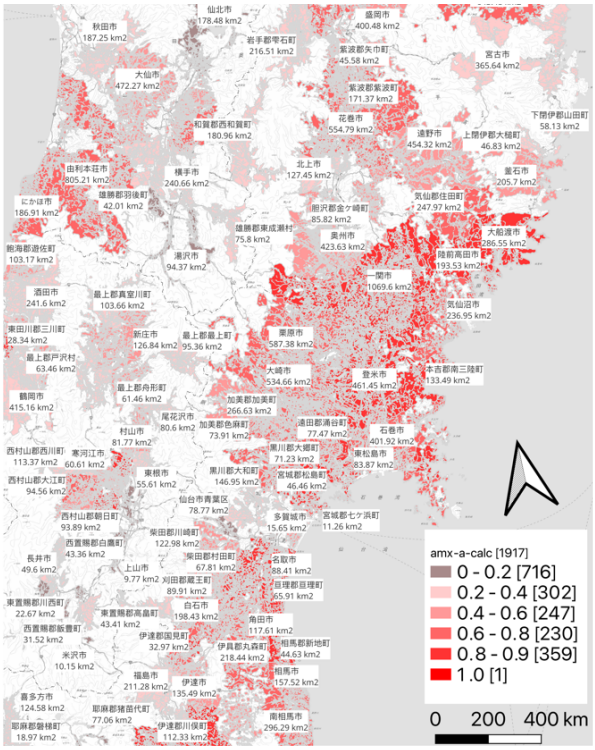


図 7　一関市周辺の公共座標系データの分布

各自治体単位の面積は大きくないものの，沖縄県では県全体で公共座標系データを多く有しており，図 8 のように広範囲でデータが分布する（図 8)。この背景には，鮫島（2004）や宮﨑（2012）が指摘するように，第二次世界大戦の戦災による土地所有権の混乱を解消するための調査実施が大きいと考えられる。鮫島（2004）によれば，昭和 47 年 5 月の本土

復帰までに調査対象面積 1,795km^2 の約 7 割にあたる 1,261km^2 が，当時の琉球政府によって調査され，復帰後も国土調査法に基づき，位置境界不明土地・地図混乱地域などでの調査が継続された結果，現在では，ほぼ全ての筆界が確定している。

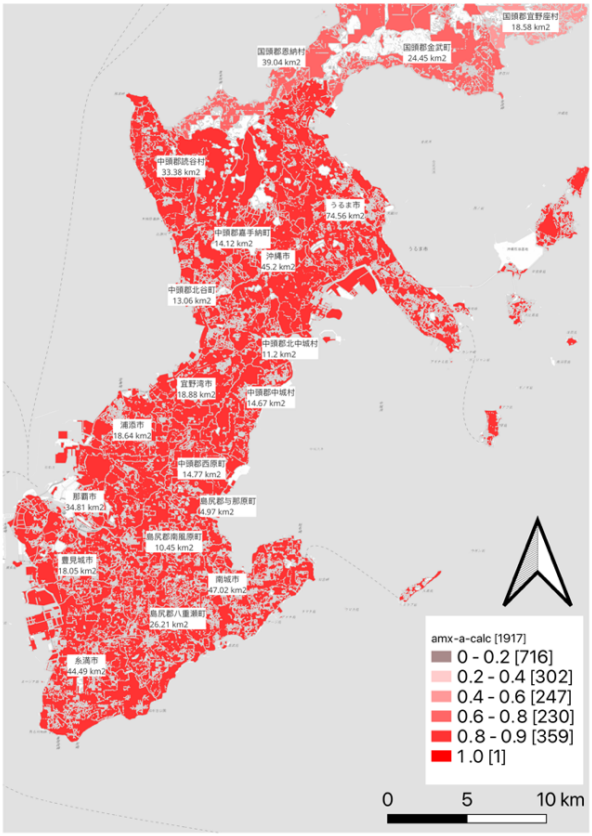


図 8　沖縄市周辺の公共座標系データの分布

次に地図 XML に記載されている精度区分の表記に着目する。精度区分は図 9 に示す通り，甲 1～甲 3 あるいは乙 1～乙 3 が定められており，例えば，市街地地域（甲 2 まで），村落・農耕地域（乙 1 まで），山林・原野地域（乙 3 まで）といった分類に基づき，それぞれ位置誤差が定義されている（表 1）。

これに基づき，公共座標系データを有する全筆界の精度区分を集計したところ（表 2），村落・農耕地域で使われる乙一が最も多く，46,523,913（43.3%）を占め，縮尺分母も平均 1/734 程度であった。市街地地域において 1/500 より大縮尺の精度を示す甲 1～甲 2 のデータは 2,091,257（1.9%）であった。その他，精度区分が未記載のものが 9,086,044（8.5%）あり，縮尺分母の平均値が 700-1000 の中間の値を示すことから，乙一に多くが該当することが予想される。

表 1　筆界点の位置誤差と精度区分

精度区分	筆界点の位置誤差		筆界点間の図上距離又は計算距離と直接測定による距離との差異の公差	地積測定の公差
	平均二乗誤差	公差		
甲1	2 cm	6 cm	$0.020m + 0.003\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.025 + 0.003^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
甲2	7 cm	20 cm	$0.04m + 0.01\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.05 + 0.01^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
甲3	15 cm	45 cm	$0.08m + 0.02\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.10 + 0.02^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙1	25 cm	75 cm	$0.13m + 0.04\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.10 + 0.04^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙2	50 cm	150 cm	$0.25m + 0.07\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.25 + 0.07^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$
乙3	100 cm	300 cm	$0.50m + 0.14\sqrt{S} m + \alpha mm$	$(0.50 + 0.14^4\sqrt{F})\sqrt{Fm^2}$

・S は、筆界点間の距離をメートル単位で示した数
・α は、図解法を用いる場合において、図解作業の級が、A 級であるときは 0.2 に、その他であるときは 0.3 に当該地籍図の縮尺の分母の数を乗じて得た数
・F は、一筆地の地積を平方メートル単位で示した数
（福島市「地籍調査事業について」より引用）

表 2　筆界ごとの精度区分と縮尺分母の平均

精度区分	筆界数	縮尺分母の平均
甲 1	1,545,793	490.35
甲 2	5,454,654	482.34
甲 3	32,778,002	536.00
乙 1	46,523,913	734.79
乙 2	10,973,790	1111.12
乙 3	998,811	1360.45
未記載	9,086,044	868.78
	107,361,007	797.83

このように GIS データ形式で集計可能な公共座標系データは，その属性データと共に空間的な分布を定量的に検討し地域的に比較できるため，さらに詳細な空間分析での活用が期待できる。

6．おわりに

法務省が G 空間情報センターを通じて 2023 年 1 月より一般公開した登記所備付地図データは，そのデータボリュームや詳細度を含めて広く注目され，amx-project に限った取り組みでも，Code for Japan (2023)によるオンラインイベント「緊急企画 : 法務省地図 XML ハックナイト～奥深き公図の世界にようこそ～」や，片岡（2023），法務省地図 XML アダプ

トプロジェクト（2023），瀬戸（2023）などを通じて，地図 XML 自体の普及啓発に努めてきた。また，amx-project はオープンな取り組みとして GitHub の Issues を活用しながら常にプロジェクトの方向性や，検討すべき技術などを公開コンテンツとして発信しながら議論してきた。図 8 はその一例を示したものであり，2023 年 8 月 29 日時点ですでに議論が終了したものを含めて 31 のスレッドが確認され，これ自体も活動の重要な記録となっている。

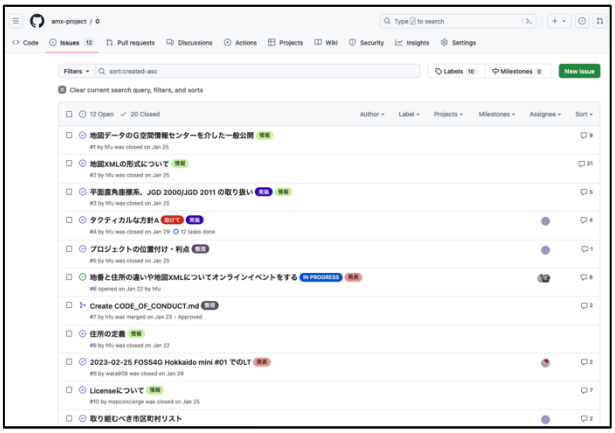


図 8　amx-project の GitHub issues のページ（https://github.com/amx-project/0/issues）

これらの活動は，地図 XML 自体が利用の制限や禁止行為などを定めており，個別の項目について議論の余地もあるものの，政府標準利用規約に準ずる形で公開されたことにより，オープンソース活動の共通理念でもある，いつでも・誰でも・無料でデータを活用することが可能となった点が大きい。これに伴い，従前の使い方である紙や PDF 以外での利用シーンが，短期間ながら様々な形で実現した事実は特筆に値する。

他方，地図 XML データを用いた筆界単位の地理的可視化が多様な主体によって行われたことを背景に，そのデータ検証も広く利用者間で進んだ結果，地図 XML データに関する幾つかの課題も明らかとなった。その例として，公共座標系での位置が正確でないデータや，大字名・小字名など住所の記述エラーなどがあげられる。また，地図 XML から GIS データに変換するツールについても，任意座標系の場合は基本的に GIS データ化をスキップする仕様となっているため，地図 XML 側の定義ミスに起因し，実際には公共座標系のデータになっているものには対応できていない。これらの地図 XML データを巡るバグは，法務省のウェブサイト上でも意見・提案フォームを通して報告できるようになっているものの，迅速なデータ自体のエラー解消や品質改善などには必ずしも至っておらず，土地のデジタルデータをめぐる品質向上の仕組みとして，その方法論を含めて今後議論の余地があると考えられる。

本稿が対象とした amx-project は，ボランタリーかつ従来のトップダウン型によるプロジェクト管理手法を敢えて採用しておらず，プロジェクト自体の進捗管理を要するタスクには向かない。しかし，地図 XML や住所データについて従前から利用されてきた，土地や不動産を専門とする方々に限らず，社会のデータインフラとして，データの有する可能性や課題を GitHub などオープンな場で共有すると同時に，地理空間情報をめぐる大規模データの提供に関わるオープンソース技術の試行や，あらゆる知見を共有するための場（コモンズ）として，今後もデジタル地図の開発者・利用者に向けたコミュニティとして維持することが肝要であると結論づけられる。

謝辞

本稿におけるデータ分析や事例検証にあたっては，G 空間情報センターを通じた法務省のデータ提供関係者の皆様，ならびに amx-project に関わるメンバー有志各位による貢献がなければ成立し得なかった。この場を借りて感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費（20H03121・22H00764・22K18505）の助成を受けた。

参考文献

岩崎亘典（2022）クラウド最適化ファイルを用いた筆ポリゴン公開サイトの構築. 農村計画学会 2022 年度秋期大会学術研究発表会. <https://researchmap.jp/read0059093/misc/42188472>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）
岩手県（2023）国土調査（地籍調査）.

<https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyou/nouson/gaiyou/1008687.html>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

片岡義明（2023）「登記所備付地図」の電子データを法務省が無償公開→有志による「変換ツール」や「地番を調べられる地図サイト」など続々登場. <https://internet.watch.impress.co.jp/docs/column/chizu3/1485850.html>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

坂井恵（2023）登記所備付地図データダイジェスト. <https://github.com/sakaik/kuwanauchi_xml_digest/tree/main>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

鮫島信行（2004）『日本の地籍―その歴史と展望』古今書院.

瀬戸寿一（2023）法務省地図 XML データ公開の経過と有志によるアダプト活動. <https://speakerdeck.com/tosseto/20230212amx-project>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

デジタル庁（2023）登記所備付地図データコンバータを GitHub で公開します. <https://data-gov.note.jp/n/n367f1e368d22>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

農林水産省（2023）農林水産省地理情報共通管理システム（eMAFF 地図）について. <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/dx/emaffmap.html>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

法務省地図 XML アダプトプロジェクト（2023）地図を里親しています（さくらのナレッジ）. <https://knowledge.sakura.ad.jp/35029>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

法務省民事局（2022）法務局の地図作成事業（登記所備付地図作成事業）の概要. <https://www.moj.go.jp/content/001376118.pdf>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

法務省民事局（2023）登記所備付地図データのG空間情報センターを介した一般公開について. <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001590114.pdf>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

宮﨑禎治（2012）沖縄県における地籍調査. <http://okinawa-chousasikai.com/kaihou/ren594/ren_594.html>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

Code for Japan（2023）緊急企画 : 法務省地図 XML ハックナイト―奥深き公図の世界にようこそ. <https://www.youtube.com/watch?v=1_q18JNoURk>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

Fujimura, H. and Matsumura, Y. (2023) Smart Maps for the UN and All – keeping web maps open. <https://talks.osgeo.org/foss4g-2023/talk/DWCZBQ/>（最終閲覧日: 2023 年 8 月 29 日）

Seto, T. and Nishimura, Y. (2022): Analysis of the spatiotemporal accumulation process of Mapillary data and its relationship with OSM road data: A case study in Japan, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLVIII-4/W1-2022, 403-410.

Organized Session

SIG-GISシンポジウム

Chair: Morishige Ota (Kokusai Kogyo)

Sun. Oct 29, 2023 2:10 PM - 3:50 PM Room A (C-203 2nd floor of New Bldg. C)

地理空間情報に関連する標準化は、1990年代から本格化し、それ以来、汎用的かつ基本的な標準、応用分野に特化した標準、そして標準に準拠する各種の仕様などが整備されることにより、地理空間データの交換や活用が促進されつつある。一方、数多くの標準や仕様が生まれることにより、このままでは、それらの関係が複雑化し、フォーマット、データ品質、用語定義の違いなどが原因となって、異なる応用分野で作られたデータの共用や統合を行う際に、障害が起きることが危惧される。そこで、地理空間情報標準調査会（SIG-GIS）は、信頼性の担保されたデータの主権を守りつつ、広く共用するためのルールや仕組みを検討するものである。

　このシンポジウムでは、GIS学会の会員及び関係者の皆様に、会の趣旨をご理解いただき、ご協力いただくことを目指して、SIGのメンバーを中心に、国内外の地理空間情報に関わる標準や仕様の制定の経緯と現状について発表し、今後の発展可能性を議論する。

©Geographic Information System Association

Organized Session

デジタルアース研究の現状と将来展望（2023）

Chair: Hiromichi Fukui

Sun. Oct 29, 2023 9:00 AM - 10:40 AM Room B (C-303 3rd floor of New Bldg. C)

中部大学国際GISセンターは、2014年に文部科学大臣による共同利用・共同研究拠点の認定を受け「問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究拠点」として、GISをはじめ、情報科学、リモートセンシング、社会工学等に関する研究者との共同利用・共同研究を通じて、サイバースペース上に構築される多次元・多解像度の地球（デジタルアース）の研究開発を推進してきました。さらに環境、災害、感染症等の問題複合体の研究者に対し、デジタルアースを提供し、共同利用・ 共同研究により持続可能な社会を構築するため、問題複合体を解題し、合意形成に寄与するとともに関連諸科学の発展に貢献することを目的としています。本セッションでは、2022年度の拠点の共同研究成果の報告と、関連研究者によるパネル・ディスカッションを行い、デジタルアース研究分野と問題複合体への学術によるアプローチについて展望します。

©Geographic Information System Association

Organized Session

シビックテックと防災 GIS

Chair:Michinori Hatayama(Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

Sun. Oct 29, 2023 11:00 AM - 12:40 PM Room B (C-303　3rd floor of New Bldg. C)

新型コロナウイルス感染症化において関連情報の発信において、シビックテックの活躍は記憶に新しいが、防災分野においても、2011年に発生した東日本大震災を機に、地理空間情報を活用したシビックテックが注目されることとなった。また、2011年以降、毎年日本を襲っている水害・土砂災害においても、令和元年東日本大震災時のONE NAGANOや令和3年熱海での土石流災害などでシビックテックの活躍が目立った。気候変動の影響で巨大化・広域化・頻発化する水害・土砂災害、発生が懸念される南海トラフ巨大地震に代表される巨大地震においても、情報系の災害支援は期待されるところである。本企画セッションでは、近年の災害において注目された災害時のシビックテックについて話題提供を行い、今後の地理空間情報を活用したシビックテック活動の在り方を議論するとともに、防災におけるシビックテック学の可能性について議論を行う。

©Geographic Information System Association

Organized Session

ジオテクノロジーズの提案する地図・人流データ×リサーチ ～予測可能な世界の創出に向けて～

Chair:Yuki Nakano(GeoTechnologies, Inc.)

Sun. Oct 29, 2023 2:10 PM - 3:50 PM Room B (C-303　3rd floor of New Bldg. C)

ジオテクノロジーズは日本でも数少ない地図データの調査から、地図の作成・販売までをすべて行っている会社です。近年ではトリマというアプリを用いた人流データの収集により、これまで以上のビッグデータの収集が可能となりました。ジオテクノロジーズの強みである地図・人流データ×リサーチを用いた社会課題解決ツールについて実例を踏まえてご紹介します。また、当社では、それらの強みを活かした産学連携による共同事業開発の取り組みも開始しております。日々研究に携わられている大学関係者や学生の皆さまへのヒアリング結果や他社事例も交え、双方にとってWin-Winな関係を目指した当社の産学連携案についてご紹介いたします。

©Geographic Information System Association

Tutorial Session

データサイエンスのための GIS講座

Chair: Masayo Tsuchida

Sun. Oct 29, 2023 9:00 AM - 10:40 AM Room C (C-403 4th floor of New Bldg. C)

二酸化炭素排出量などのデータの空間パターン、傾向、外れ値、異常値を視覚化し、仮説を立てて解析を進めていくことで新たな気づきを発見することが可能になります。
ArcGIS OnlineのAppsであるArcGIS Dashboardsを使うことで地図表現とグラフが連動し、より視覚的にわかりやすく表現することができます。今回はそのようなデータをどのように可視化するかを議論しながら実際にダッシュボードを作成します。必要なライセンスは、ESRIジャパンにて準備しますので当日は、PC持参をご持参ください。

©Geographic Information System Association

Tutorial Session

ArcGIS API for Python体験

Chair: Masayo Tsuchida

Sun. Oct 29, 2023 11:00 AM - 12:40 PM Room C (C-403　4th floor of New Bldg. C)

Pythonをブラウザ上でインタラクティブ(対話的)に実行できるツールであるJupyter Notebookを利用して
Webマップと地理空間データを扱うためのPythonベースのAPIを体験します。
ArcGIS Onlineのライセンスは、弊社にて準備します。当日はPCをご持参ください。

©Geographic Information System Association

Oral Presentation in GISA

防災２

Chair: Takuya Oki (Tokyo Institute of Technology)
Sun. Oct 29, 2023 9:00 AM - 10:40 AM Room D (C-201　2nd floor of Bldg. C)

[D6-01] 世田谷区における水害発生地点の地形的特徴について

*Yili Chan Chan[1], Toshihiro Osaragi[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

9:00 AM - 9:20 AM

[D6-02] 千島海溝沿岸自治体における津波防災対策の現状と課題－北海道釧路市を事例として－

*Yusuke Okuno[1], Yuichi Hashimoto[2]（1. Graduate School of Letters, Hokkaido University, 2. School of Humanities and Human Sciences, Hokkaido University）

9:20 AM - 9:40 AM

[D6-03] グラフニューラルネットワークとデータ同化を用いた避難者分布予測モデルの改良

*Takehiro Kashiyama[1], Takuya Oki[2], Yoshiki Ogawa[3], Masaaki Imaizumi[3], Yuki Oyama[4]（1. Osaka Universitoy of Economics, 2. Tokyo Institute of Technology, 3. The University of Tokyo, 4. Shibaura Institute of Technology）

9:40 AM - 10:00 AM

[D6-04] 低コストで運用可能な地域情報共有 WEBハザードマップシステム作製の試み

*Yoichi Kayama[1]（1. Aero asahi corporation）

10:00 AM - 10:20 AM

[D6-05] アンサンブル学習を加味した高分解能衛星画像による地震被害解析システムの構築

*Tomohiko SAKATA[1]（1. Building Research Institute）

10:20 AM - 10:40 AM

©Geographic Information System Association

世田谷区における水害発生地点の地形的特徴について

ツアンイリ *・大佛俊泰 **

Topographic Features of Inundation in Setagaya Ward

Yili CHAN, Toshihiro OSARAGI

Abstract: Classification of topographic features was performed for Setagaya Ward, which has the characteristic topography of the Musashino plateau. In this classification, hierarchical cluster analysis was used with five types of landform information as variables. As a result, the topography of this area was classified into six types: plateau flat surface, slight highland, slight depression, upper slope, lower slope and alluvial lowland. Based on these topographies, from the list of flood damage locations in Setagaya ward, it was clarified that flood damage in the Musashino plateau was concentrated on the valley bottom plain and slopes on both banks (from 1989 to 2021). In addition, the inland flooding on the plateau was also examined.

Keywords: 地形分類（Topographic land classification），階層的クラスター分析（Hierarchical cluster analysis），内水氾濫（Inland flooding），集中豪雨（Torrential rain），水害地形（Topography of flooding point）

1．背景および目的

近年，情報処理技術や通信・画像処理技術の発達により，治水地形分類図や土地条件図（国土地理院）など，精緻な地形図が提案されている．水害の分野でも，原因地形の抽出や氾濫地域の予測，ハザードマップの作成が行われている．しかしながら，氾濫地点と類似した地形を検索する手段は，熟練した目視検索の方法となる．そのため高精度の地形情報を持たない広範な流域への適用に関しては，専門技術（GIS など）を持たず迅速な対応に迫られる水害現場の担当者にとっては，簡易な手法開発が喫緊の課題となっている（太田・八戸，2006）．

本研究では、習熟した判読技術を必要としない，簡素な手法による氾濫地形の検索などが可能となる名義尺度で構成された地形図を作成し，その有効性について検討する．

2．50m メッシュ地形分類図

2.1．名義尺度で構成された地形図のイメージ

名義尺度で構成された地形図のイメージ例を図 1 に示す．図 1(a) は，国土地理院の標準地図である．駅の南側における内水氾濫（赤色×印）と類似する地形を検索する想定例である．同地域の土地条件図（図 1(b)）を 50m メッシュに変換したものが図 1 (c) である．被害地点の地形が切土地で隣接地形が台地，切土地および盛土地である．この空間特性（3 × 3 メッシュ）と同一の地形が図 1(c) に 2 地点（青色の×印）として容易に抽出できる．一方，ベクトルタイルを用いた土地条件図（図 1(b)）では検索が

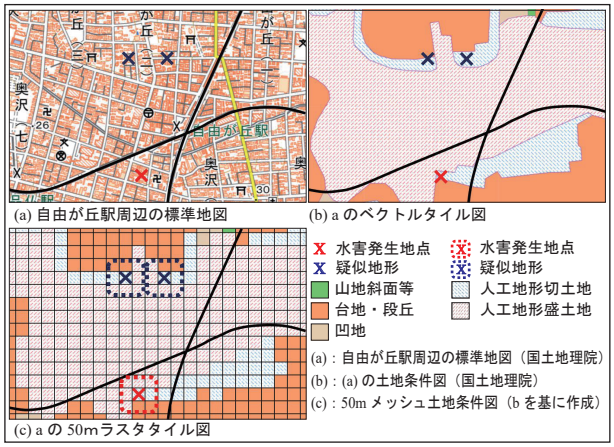


図 1　メッシュ法による地形検索イメージ

*　正会員　東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail:chan.y.aa@m.titech.ac.jp
**　正会員　東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）

困難であることが分かる.

2.2. 地形分類

(1) 対象地域

東京都の地形は東部の東京低地および西部の武蔵野台地に分けられる. 本研究では台地でありながら多くの地形を有している世田谷区を分類対象地域とした.

(2) 地形情報の作成

地形分類には階層的クラスター分析を用いる（上田,2003). 分析に用いるデータは 50m × 50m のメッシュデータとした.

対象地域における総メッシュ数は 29,209 個である. 50m メッシュの標高データは基盤地図情報数値標高モデルの 5m メッシュ DEM の標高データ（国土地理院）を 50m 間隔で分割し, メッシュ毎に平均して求めた.

クラスター分析の変数として用いる地形情報は以下の５種類とした.

まず, 地形情報の第 1 要因として 50m メッシュ標高データを用いた. この地形情報は, 台地あるいは沖積低地など, 面としての類似性を関連付けるために必要である. この 50m メッシュ標高データを用いて, 周辺地形の地形特性を関連付けるためにラプラシアンフィルタ（5 × 5), 隣接メッシュとの地形関係を関連付けるために隣接メッシュの上流側メッシュ数, 上流側平均勾配（以下：上流側勾配）および下流側平均勾配（以下：下流側勾配）の変数を作成した.

(3) 地形分類の結果（世田谷区の地形）

ククラスター分析の結果, 地形は６種類に分類された（表１). 各クラスターの地形情報を考慮して地形名を下記のごとく振り当てた.

第 1 クラスター：斜面上部
第 2 クラスター：微高地および台地端
第 3 クラスター：沖積低地
第 4 クラスター：斜面下部
第 5 クラスター：微凹地および河谷低地
第 6 クラスター：台地平坦面

各地形のイメージについて, 武蔵野台地を想定した断面図を図 2 に示す.

表１　地形分類のクラスター分析結果

クラスター名 番号	地形名称	メッシュ数	標高(m)	ラプラシアンフィルタ	上流側個数(個)	上流側勾配(%)	下流側勾配(%)
第１	斜面上部	1275	34.36± 9.29	71.69±32.13	2.43±1.31	1.70±2.15	5.47±3.87
第２	微高地&台端部	7087	40.29± 5.07	18.72± 9.79	2.93±1.32	0.91±1.10	1.84±1.54
第３	沖積低地	4217	20.46± 7.28	-2.12±11.61	4.04±1.56	1.23±1.59	1.18±1.50
第４	斜面下部	804	26.72± 8.49	-82.73±28.78	5.78±1.46	6.39±3.95	1.78±1.83
第５	微凹地&河谷低地	3330	28.68±10.47	-33.59±10.67	5.29±1.34	2.83±1.93	1.20±1.29
第６	台地平坦面	12496	41.05± 5.55	-2.87± 7.57	4.28±1.40	0.95±1.03	0.85±0.96
	全体	29209	35.80 ±10.20	0.03 ±27.90	4 ±1.63	1.38±1.80	1.41±1.77

※m±sd

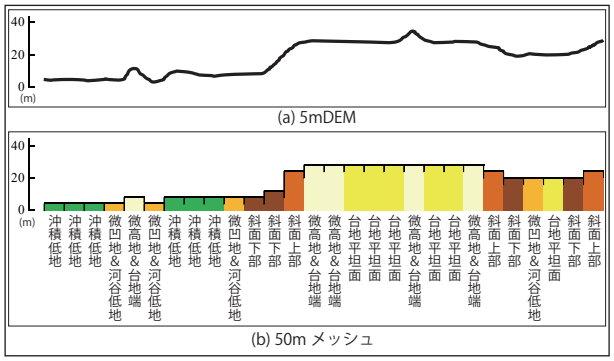


図２　台地断面図と分類地形の対応イメージ

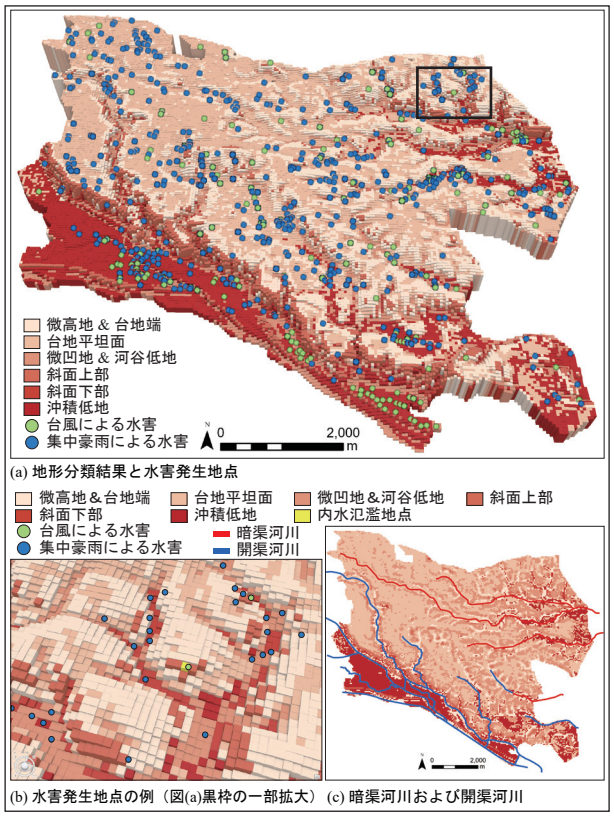


図３　地形分類結果と水害発生地点

対象地域の 50m メッシュに地形名を割当て, 標高データを用いて可視化（3D）したマップを図 3 に示す. 図 3 には, 世田谷区の平成元年（1989/7/31）から令和 3 年（2021/3/13）までの水害記録を重ねて表示している. 水害がすべての河川流域で発生し, 特に, 河谷低地および両岸斜面部に集中していることがわかる. 図 3(b) は世田谷区北部の北沢川支流

で暗渠河川である．河谷低地および両岸斜面に内水氾濫が認められる．図中中央の黄色いメッシュは斜面上部地形で発生した内水氾濫地点を示している．図 3(c) に世田谷区における河川の形態を示す．

2.3．浸水記録データについて

世田谷区の水害は，過去 32 年間で 80 回（台風 23 回および集中豪雨 57 回）が記録され，浸水確認箇所一覧（世田谷区）として報告されている．（表 2 および図 4）

この水害発生地点を 50m メッシュに換算集計したところ，水害発生地点が 664 地点および被害件数が述べ 2,135 件となった．

対象期間を通した気象要因の水害発生頻度は集中豪雨が台風の 2.48 倍（57 回：23 回）であった．

水害が発生したメッシュは集中豪雨の原因のみによる場所が 491 個，台風のみによる場所が 93 個 および集中豪雨でも台風でも発生している場所が 80 個 であった．台風に比べて集中豪雨による被害が広い範囲に及んでいることが分かる（二項検定 $p < 0.05$）．

また，水害原因についてみてみると，集中豪雨における内水氾濫が 464 個（94.5%），台風における内水氾濫が 33 個（35.4%）および集中豪雨でも台風でも氾濫が発生している場所における内水氾濫の発生は 79 個となっている．外水氾濫は，集中豪雨で 4 度および台風で 1 度発生しているが，いずれも，世田谷区南部の多摩川水系の野川，仙川および矢沢川で発生している．

3．水害発生と地形要因

水害発生地点の地形要因について，図 3 に示す．

第 1 クラスターの斜面上部地形（1,275 個）では 0.78%（10 個）の地点で 19 件の水害が発生している．水害が発生していない他の斜面上部の地形に対して，ラプラシアン値の地形要因に有意な差が認められた（$p < 0.05$）．このことから，斜面上部における水害は他の斜面上部地形より緩やかな斜面で発生しているといえる．

第 2 クラスターの微高地および台地端地形(7,087 個）では 0.99%（70 個）の地点で 134 件の水害が発生している．

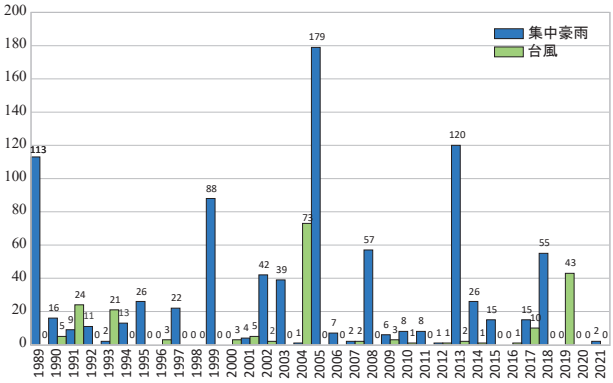


図４　世田谷区浸水記録（平成元年～令和3年）

表２　世田谷区の水害区分

気象原因	内水氾濫		外水氾濫		合計	
集中豪雨	464	*(69.9)*	27	*(4.1)*	491	*(73.9)*
集中豪雨&台風	79	*(11.9)*	1	*(0.2)*	80	*(12.0)*
台風	33	*(5.0)*	60	*(9.0)*	93	*(14.0)*
合計	576	*(86.7)*	88	*(13.3)*	664	*(100.0)*

単位：mesh(%)

表３　同一地形内における水害の有無

地形	項目	標高	ラプラシアンフィルタ	高位メッシュ数	上流側勾配	下流側勾配
斜面上部	非発生	-0.136＋0.906	2.573＋1.154	-0.962＋0.802	0.179＋1.193	2.297＋2.182
	発生	-0.774＋1.193	1.949＋0.261	-1.228＋0.912	0.032＋1.381	1.492＋1.948
	判定	NS	p<0.05	NS	NS	NS
	効果量	0.536	2.233	0.292	0.106	0.413
微高地&台地端	非発生	0.441＋0.497	0.670＋0.351	-0.652＋0.813	-0.258＋0.613	0.242＋0.867
	発生	0.448＋0.468	0.632＋0.312	-0.815＋0.755	-0.252＋0.551	0.325＋0.848
	判定	NS	NS	NS	NS	NS
	効果量	0.015	0.123	0.216	0.011	0.098
沖積低地	非発生	-1.498＋0.712	-0.076＋0.417	0.031＋0.956	-0.073＋0.895	-0.118＋0.851
	発生	-1.631＋0.731	-0.114＋0.401	-0.056＋1.091	-0.309＋0.452	-0.296＋0.681
	判定	p<0.05	NS	NS	p<0.05	p<0.05
	効果量	0.181	0.097	0.081	0.496	0.259
斜面下部	非発生	-0.888＋0.825	-2.972＋1.037	1.098＋0.890	2.799＋2.200	0.224＋1.038
	発生	-0.914＋0.997	-2.819＋0.876	1.068＋1.003	2.330＋1.967	-0.067＋0.833
	判定	NS	NS	NS	NS	NS
	効果量	0.025	0.173	0.031	0.237	0.346
微凹地&河谷低地	非発生	-0.701＋1.029	-1.203＋0.382	0.795＋0.825	0.815＋1.077	-0.112＋0.728
	発生	-0.628＋0.959	-1.247＋0.380	0.797＋0.844	0.588＋0.913	-0.226＋0.736
	判定	NS	NS	NS	p<0.05	NS
	効果量	0.076	0.116	0.002	0.247	0.155
台地平坦面	非発生	0.517＋0.544	-0.101＋0.270	0.176＋0.858	-0.238＋0.575	-0.312＋0.546
	発生	0.432＋0.535	-0.222＋0.288	0.212＋0.887	-0.228＋0.506	-0.338＋0.453
	判定	p<0.05	p<0.05	NS	NS	NS
	効果量	0.158	0.419	0.041	0.020	0.059

単位：標準化m±s.d.，判定：t 検定

表４　水害発生率と地形

地形	比率 (%)	発生数 (mesh)	地形数 (mesh)	斜面上部	微高地&台地端	台地平坦面	斜面下部	沖積低地	微凹地&河谷低地
斜面上部	0.78	10	1275	ー	n.s.	*	*	*	*
微高地&台地端	0.99	70	7087		ー	*	*	*	*
台地平坦面	2.13	266	12496			ー	*	*	*
斜面下部	3.73	30	804				ー	n.s	n.s.
沖積低地	3.75	158	4217					ー	n.s.
微凹地&河谷低地	3.90	130	3330						ー
合計	15.28	664	29209						

*：$p < 0.05$，n.s.：not significant

発生している．

第 3 クラスターの沖積低地地形（4,217 個）では 3.75%（158 個）の地点で 647 件の水害が発生している．水害が発生していない他点の沖積低地の地形については，標高，上流側勾配および下流側勾配の

地形要因に有意な差が認められた（$p < 0.05$）．このことから，沖積低地における水害はより標高が低く，隣接メッシュも含めて勾配のない地形で発生すると考えられる．

第 4 クラスターの斜面下部地形（804 個）では 3.73%（30 個）の地点で 105 件の水害が発生している．

第 5 クラスターの微凹地および河谷低地地形（3,330 個）では 3.90%（130 個）の地点で 511 件の水害が発生している．水害が発生していない他の微凹地および河谷低地の地形に対して，上流側勾配の地形要因に有意な差が認められた（$p < 0.05$）．このことから，微凹地および河谷低地における水害は，微凹地あるいは低地部において，周辺よりさらに低い地点において発生すると考えられる．

第 6 クラスターの台地平坦面地形（12,496 個）では 2.13%（266 個）の地点で 711 件の水害が発生した．水害が発生していない他の台地平坦面の地形に対して，標高およびラプラシアン値の地形要因に有意な差が認められた（$p < 0.05$）．このことから，台地平坦面における水害は台地面において窪地の形状を呈している地点で発生すると考えられる．

地形により水害の発生率に違いがあるかを検討したところ有意な差が認められた（X^2：155.4 ＞ X 20.05：11.1，$p < 0.05$）．さらに，地形間で対比較を行ったところ，ほとんどの地形間で有意差が認められた（表 4；Tukey の多重比較：$p < 0.05$）．地形によって水害発生率に差のあることから，水害へ及ぼす地形的影響は，水害発生率の低い斜面上部，微高地および台地端部，水害発生率が中等度の台地平坦面，および水害発生率の高い斜面下部，沖積低地，微凹地および河谷低地の 3 グループに分けられると考えられる．また，水害が発生した場合における 1 メッシュ当たりの平均被害報告件数は，水害発生率の低い地形群において 1.90 ～ 1.91 件 / 個であったのに対して，水害発生率の高い群では 3.50 ～ 4.09 件 / 個であった．

4．まとめ

世田谷区において 50m メッシュによる地形分類を行い，名義尺度による地形分類図を作成した．対象となった世田谷区の地形は，斜面上部，微高地および台端部，沖積低地，斜面下部，微凹地および河谷低地，および，台地平坦面の 6 種類に分類された．

単一メッシュの地形と水害の有無について検討した結果，水害発生地点の地形では，非発生地点における地形情報との間に有意な差が生じること，水害発生率が 3 グループに分けられること，隣接する地形群が水害発生の有無により異なる可能性のあることなどが明らかとなった．以上により，単一メッシュでの地形による，水害の確率や規模が抽出できることを確認した．

また，同一地形内でも水害発生の有無により，地形要因に有意差が認められるものが出現し，地形情報を基に，氾濫の発生機序を系統立てモデル化できる可能が示唆された．

水害発生と地形との間に有意の関係が認められた．水害の発生率と地形については，多重比較により，地形間の特異性について検討することが可能となった．

本研究の結果から水害地点と隣接地形群についても，水害発生地点と非発生群との間に有意な相違が推測され，単一地形による影響も分離して検討することが可能であると考えられる．

以上のように，50m メッシュの名義尺度による地形図は，地形要因などの情報を付加することにより，水害の解析に関する数的な処理を発展させることが可能であることが想定された．

今後は，隣接地形群，上流域情報，源流関連要因および河川形態などの付加情報を加味して，水害発生の簡易浸水モデルや排水機能などといった地形要因以外の機能を分離抽出する手法を開発していく予定である．

参考文献

太田岳洋，八戸昭一：数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例，応用地質，第 46 巻，第 6 号，pp. 347-360, 2006.

上田尚一:講座情報をよむ統計学 7 クラスター分析，朝倉書店 , 2003.

千島海溝沿岸自治体における津波防災対策の現状と課題
― 北海道釧路市を事例として ―

奥野 祐介*・橋本 雄一**

Situation and Issues in Measures against Tsunami Disasters in the Chishima Trench Coastal Municipality
- A Case Study of the City of Kushiro, Hokkaido, Japan -

Yusuke OKUNO*, Yuichi HASHIMOTO**

Abstract: This study aims to identify the issues in measures against tsunami disasters in the city of Kushiro, Hokkaido, a municipality in the Chishima Trench Coastal area, by analyzing the present situation of the city. In 2012, Kushiro conducted its own tsunami inundation zone simulation for the Pacific coast of Hokkaido. Based on the results and the Act on Development of Areas Resilient to Tsunami Disasters, the Hokkaido government announced estimated tsunami inundation zones in 2021. Based on these data, measures against tsunami disasters have been reviewed. This study analyzed the development process for the city of Kushiro and the present measures against tsunami disasters based on the estimated tsunami inundation zones in 2021. The analysis identified issues of the present measures against tsunami disasters, suggesting the necessity of further study of measures against tsunami disasters here.

Keywords: 津波災害（tsunami disasters），津波浸水想定区域（tsunami inundation zone），北海道釧路市（Kushiro City, Hokkaido）

１．はじめに

2011 年に東日本大震災が発生し，東北地方を中心に甚大な被害が発生した．これに伴い，同年 12 月に津波防災地域づくりに関する法律が成立し，施行され，頻度の高い津波（L1）と最大クラスの津波（L2）の 2 種類の津波を想定することとなった．最大クラスの津波（L2）については，災害時において発生し得る被害を最小化するという「減災」の考え方を基本理念とし，ハード対策，ソフト対策の両方を重視する「多重防御」の発想によって津波防災地域づくりを推進することとなっている（国土交通省，2022）．

北海道においては，2012 年に太平洋沿岸部の津波浸水想定区域の見直しが実施され，津波浸水想定区域（以下「旧想定」という．）が大幅に拡大し（北海道，2012），津波対策の検討が進められてきた．その後，津波防災地域づくりに関する法律に基づき，2021 年に新しい津波浸水想定区域（以下「新想定」という．）が公表された（北海道，2021）．この新想定は，津波災害警戒区域としての指定が順次進められており，北海道の太平洋沿岸部に位置する市町村においては，現行の津波避難計画や津波ハザードマップの見直しを含む津波対策の再検討が進められている段階にあることから，津波対策に関連する現状の把握と課題の抽出が急務となっている．

そこで本研究は，北海道太平洋沿岸自治体における津波対策の現状把握と課題抽出を目的とし，自治体における現在までの発展過程と新想定に基づく現状の津波対策とを組み合わせた分析を行う．これにより，現状の津波対策の課題を明らかにでき，今後の津波対策検討の基礎資料整備に貢献できるものと考えられる．

２．研究方法

本研究では，まず，地域概観を行う．研究対象地域における市街地の形成過程や現在の地形，人口等について整理し，現状把握を実施する．

その後，研究対象地域の防災関連計画等から現在

*　学生会員　北海道大学大学院文学研究科（Graduate School of Letters, Hokkaido University）
〒060-0810　北海道札幌市北区北 10 条西 7 丁目　E-mail：okunoyusuke@eis.hokudai.ac.jp
**　正会員　北海道大学大学院文学研究院（School of Humanities and Human Science, Hokkaido University）

の津波対策を整理する．津波対策は，津波防災教育，津波発生時における通信連絡，他市町村からの応援・受援など，非常に多岐にわたるが，本研究では，津波からの避難対策に焦点を絞ることとする．

そして，地域概観と現状の津波避難対策，2021年に公表された新想定とを組み合わせた分析を行い，研究対象地域の発展が津波対策へ及ぼす影響や現状の津波対策に関わる課題を明らかにする．

３．研究対象地域

本研究では，北海道釧路市（以下，「釧路市」という．）を研究対象地域とする．釧路市は，北海道東部の千島海溝沿岸に位置し，面積が 1,363.29km^2 の沿岸都市である（図-1）．2005 年 10 月に 3 市町が合併し，現在は白糠町を挟んで旧釧路市及び旧阿寒町，旧音別町が東西に分かれている（図-2）．

釧路市は，太平洋沿岸自治体の中でも旧想定の面積が最大であった自治体であり（橋本，2014），釧路市役所や JR 釧路駅が立地する中心市街地でも 4m 以上の浸水が想定されるなど，深刻な被害が発生すると想定されていた．新想定になって浸水面積は小さくなったが（新旧面積比率：0.65（旧音別町も含む．）），津波浸水想定区域内における推定居住人口は北海道太平洋沿岸部では最も多く（橋本，2021），引き続き津波対策の検討が求められている．本研究では，合併前の人口等にも触れることから，合併以前の旧釧路市を研究対象地域とする（図-3）．

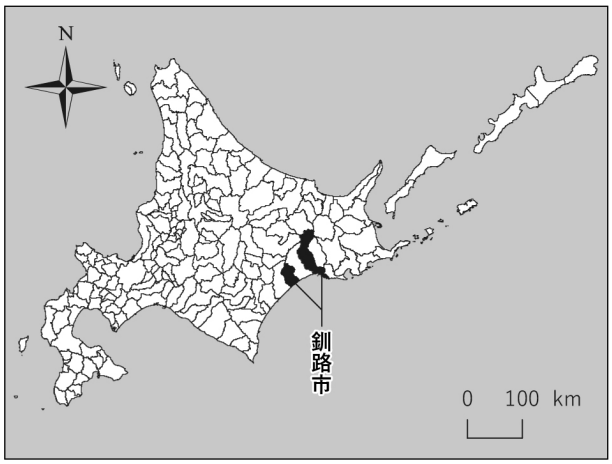


図-1　北海道釧路市の位置

基盤地図情報（国土地理院）を使用して作成．

４．地域概観

4.1. 旧釧路市の地形

図-4 は，基盤地図情報の数値標高モデル（5m メッシュデータ）を使用して作成した陰影起伏図である．旧釧路市の地形は，釧路川を境に大きく異なる．釧路川の右岸側である橋北地区や鉄北地区，愛国地区，鳥取地区，大楽毛地区は，内陸側に釧路湿原があることから低標高で平坦な地形となっており，各地区内には高標高の箇所が見られない地域である．そのため，津波発生時においては，遠方避難又は建築物内での垂直避難が求められる．

釧路川左岸側の橋南地区及び春採地区については，標高20m以上の海岸段丘が見られ，津波災害発生時においては，津波が到達しない想定となっている海

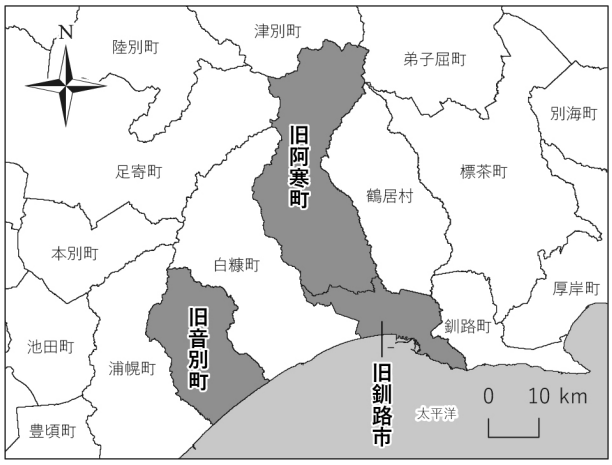


図-2　合併前の 3 市町

基盤地図情報（国土地理院）を使用して作成．

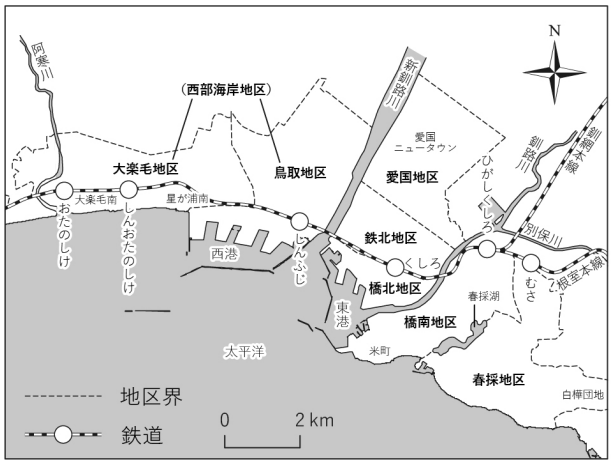


図-3　旧釧路市の概略図

酒井（2011）を参考に作成．

岸段丘上に避難することが可能となっている．

4.2. 旧釧路市の人口

図-5 は，旧釧路市における 1920 年から 2020 年までの国勢調査の結果であり，第 1 軸は旧釧路市の人口，第 2 軸は北海道の人口を表している．国勢調査によると，旧釧路市の人口は，1980 年を境に減少に転じている．その背景には，3 大基幹産業の衰退及び停滞，北海道札幌市への一極集中，隣接する北海道釧路郡釧路町への転出などが挙げられる（酒井，2011）．北海道においては，1995 年にピークを迎え，その後減少に転じており，旧釧路市は，北海道よりも早い段階で人口減少が始まっていた．

図-6 は，旧釧路市における 2020 年の国勢調査結果から作成した人口ピラミッドである．旧釧路市は，2020 年時点における人口は 159,011 人で，その内 65 歳以上の高齢者が約 34%を占め，人口ピラミッドは壺型となっている．

4.3. 釧路市街地の形成過程

釧路市の市街地は，明治期には釧路川河口部左岸から米町にかけての地域に形成された．釧路西部の鳥取地区においては，1884～1885 年にかけて鳥取県からの士族の入植があり，農業集落が形成されたほか，釧路東部の春採地区においては，1887 年に春採炭山が開坑され，坑口周辺には炭鉱集落が形成された．

大正期には，幣舞橋の架橋や釧路駅の移転（現在の JR 釧路駅と同位置に移転）等があり，橋北地区にまで市街地が拡大した．銀行を始めとする事業所や商店が次々と開設され，中心市街地としての機能は次第に釧路川左岸から右岸へと移行していった．

戦後になると，大楽毛地区における製紙工場の設置や新たな炭鉱である桜ヶ丘斜坑の開業，漁港の完成により，漁業，石炭業，製紙業が基幹産業となった．この産業の発展とともに，人口も急増し，鳥取地区の市街地や春採地区の炭住街が中心市街地と連続するようになった．

その後，1961～1970 年にかけて釧路市東部に白樺団地が，1974～1991 年にかけて釧路市北部に愛国ニュータウンが建設された．そのほか，1964～1968 年のデパートの開業，1965 年の市役所や郵便局の移転等，釧路駅周辺における商店街の発展や業

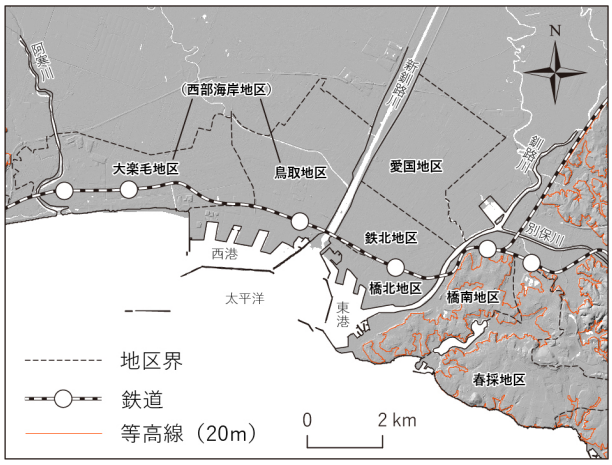


図-4　陰影起伏図

基盤地図情報（国土地理院）を使用して作成．

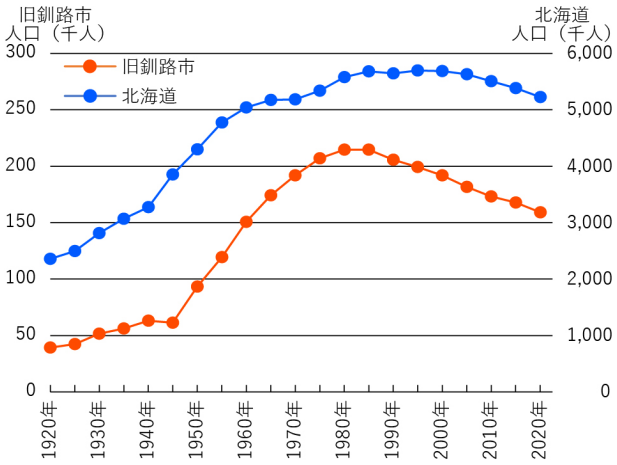


図-5　旧釧路市及び北海道における人口の推移

国勢調査（1920～2020 年）の結果を使用して作成．

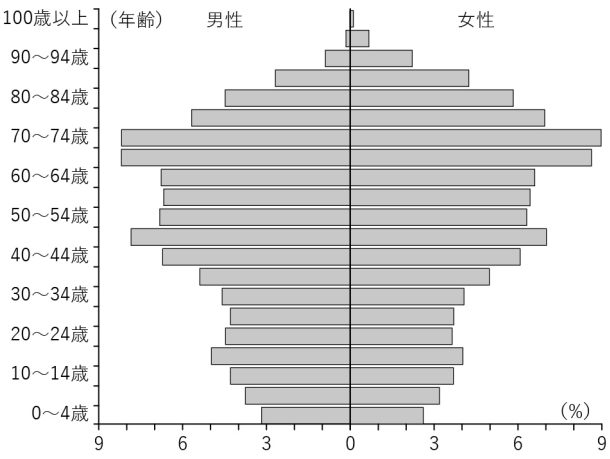


図-6　旧釧路市における人口ピラミッド

国勢調査（2020 年）の結果を使用して作成．

務機能の集積が見られるようになり，現在の釧路市の市街地が形成された（酒井，2011）．

4.4. 旧釧路市における津波浸水想定区域

図-7 は旧想定，図-8 は新想定の津波浸水想定区域である．両図のとおり，新想定（68.05km^2）は旧想定（111.27km^2）よりも面積が小さくなっている（図-9）．また，最大浸水想定深についても 30.50m から 21.31m に引き下がっているほか，津波影響開始時間と第 1 波到達時間については，旧想定はそれぞれ 11 分と 32 分，新想定はそれぞれ 13 分と 33 分とわずかに遅くなっている（どちらも釧路川河口における時間）．

旧想定は，中央防災会議の「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」という考え方に基づき，津波堆積物のデータを重視し，太平洋沿岸の最大クラスの津波の浸水シミュレーションを行った結果である（北海道，2012）．これに対して新想定は，2020 年 4 月に国が「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル」を公表したことを受け，北海道が北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会内に「津波浸水想定設定ワーキンググループ」を設置し，国が示した考え方を基本として太平洋沿岸で最大クラスの津波（L2）が発生した場合の浸水想定を新たに設定したものである（北海道，2021）．なお，新想定は，津波防災地域づくりに関する法律第 53 条第 4 項の規定に基づき，2022 年 3 月 11 日に北海道より「津波災害警戒区域」に指定された（北海道，2023）．

上述のとおり，新旧想定それぞれシミュレーションの前提条件が異なるため，浸水範囲の面積に差異が見られたものと考えられる．また，釧路外環状道路（釧路西 IC～釧路別保 IC）の開通に伴い，市街地を囲む形で盛土されたことも要因の 1 つという指摘も見られる（橋本，2021）．

釧路市において中心市街地が形成されている橋北地区や鉄北地区，郊外の愛国地区，鳥取地区，大楽毛地区といった低標高の地区については，新旧想定ともに広範囲での浸水が想定されている．先述のとおり，釧路市の中心市街地は，明治期においては釧路川河口部左岸～米町（現在の橋南地区）であったが，産業発展や都市機能の集積，鉄道駅の移転，人

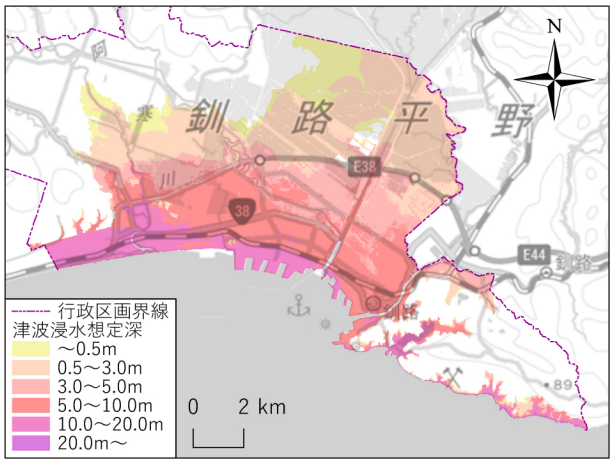


図-7　旧想定の浸水範囲

地理院地図（国土地理院）を使用して作成．

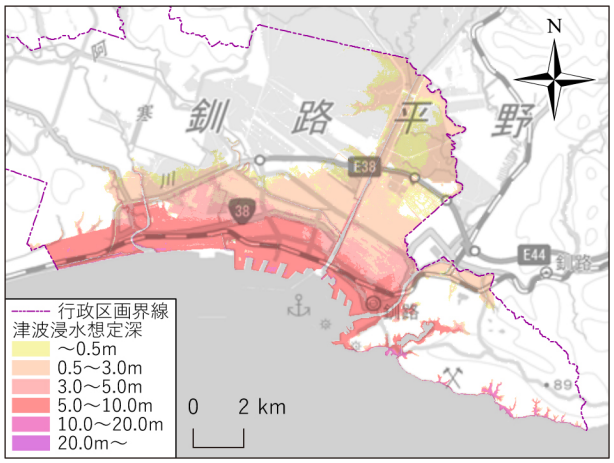


図-8　新想定の浸水範囲

地理院地図（国土地理院）を使用して作成．

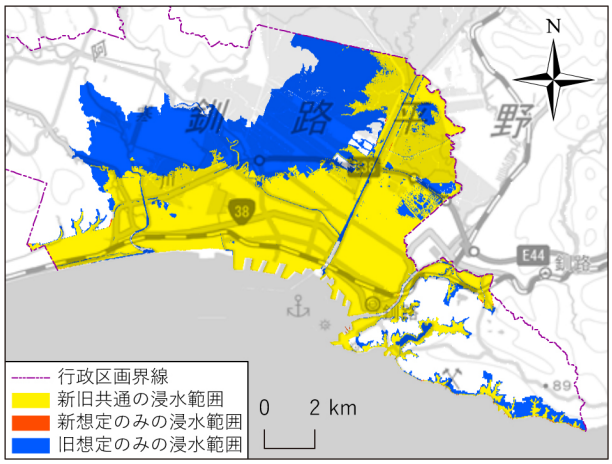


図-9　新旧想定の浸水範囲

地理院地図（国土地理院）を使用して作成．

口増加に伴い，徐々に現在の位置（橋北地区及び鉄北地区）に移動してきた．初期の中心市街地である橋南地区については，地区内に海岸段丘があるため，津波からの避難を迅速に行うことが可能であると考えられる．しかし，現在の中心市街地である橋北地区や鉄北地区は，海岸段丘に向かう途中に釧路川を渡る必要があるなど，橋南地区と比べて避難が困難となっており，釧路市の発展とともに津波災害リスクが高まったものと推察される．

５．釧路市における津波対策

5.1. 釧路市における津波防災関連計画

釧路市における津波防災に関連する主要な計画は，以下のとおりである．

- 釧路市地域防災計画 津波災害対策編（釧路市防災会議，2023a）
- 釧路市水防計画（釧路市，2023a）
- 釧路市津波避難計画（釧路市，2021a）

釧路市地域防災計画は，災害対策基本法第 42 条に基づいて釧路市防災会議が作成する計画であり，釧路市における防災に関連する最上位の計画である．釧路市水防計画や釧路市津波避難計画は，その下位の計画となる．釧路市は，津波発生直後から津波が終息するまでの概ね数時間から 2～3 日間程度，住民の生命及び身体の安全を確保するために地域防災計画に定めているものに加え，住民，自主防災組織及び防災関係機関と協力し，迅速な避難及び避難誘導のための津波避難計画を策定している．

5.2. 釧路市における緊急避難場所等

釧路市においては，津波から生命を守ることを目的とした緊急避難場所，津波緊急避難施設，津波避難ビル（以下，これらを総称して「緊急避難場所等」という．）を指定している．図-10 は大津波警報発表時の，図-11 は津波警報発表時の緊急避難場所等の位置図である．旧釧路市においては，大津波警報発表時は 135 施設，津波警報発表時は 33 施設が緊急避難場所等として指定されている．中心市街地を含む釧路川右岸側の地区については，低標高かつ平坦という地形的特徴もあり，緊急避難場所等の大半が津波浸水想定区域内に立地している．

5.3. 釧路市における津波ハザードマップ

釧路市では，以下の津波ハザードマップを作成している．

- 大津波（巨大）ハザードマップ（釧路市，2021b）
- 津波ハザードマップ（釧路市，2021c）
- 釧路市 Web ハザードマップ（釧路市，2023b）

なお，釧路市（2021b）では旧想定，釧路市（2023b）では新想定の浸水範囲が記載されており，大津波（巨大）ハザードマップは現在改訂作業を進めているものと推察される．

表 1 は，国土交通省（2023）において津波ハザードマップに記載すべき事項と釧路市が作成したハザードマップでの記載の有無をまとめたものである．

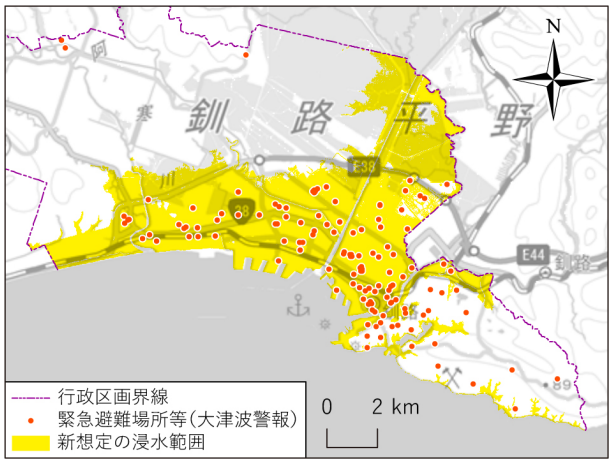


図-10　大津波警報発表時の緊急避難場所等

地理院地図（国土地理院）を使用して作成．

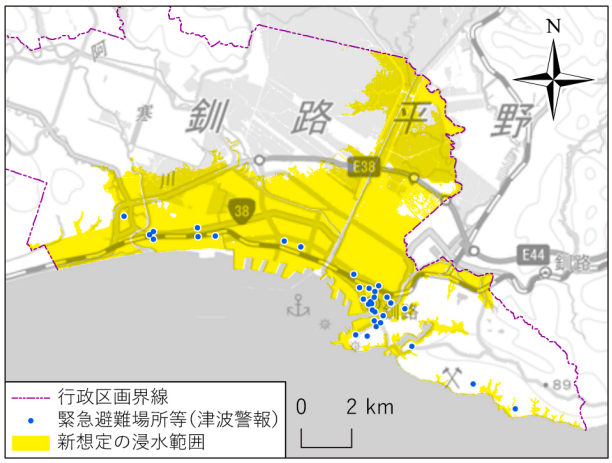


図-11　津波警報発表時の緊急避難場所等

地理院地図（国土地理院）を使用して作成．

表 1　津波ハザードマップに記載すべき事項及び釧路市作成ハザードマップにおける記載の有無

記載レベル	地図上に表示するもの	釧路市（2021b）	釧路市（2023b）
標準	津波災害警戒区域と津波基準水位（※）	記載なし	記載あり
	土砂災害警戒区域	記載なし	記載なし
	避難施設その他の避難場所及び避難路 その他の避難経路に関する事項（※）	記載あり	避難施設の記載あり （避難経路は記載なし）
推奨	海岸線への津波到達時間	記載あり	画面上で海岸線付近を 選択すれば表示可能
	浸水到達時間	記載なし	画面上で任意の地点を 選択すれば表示可能
	地盤高（標高）	緊急避難場所等の海抜表記あり	記載なし
	排水ポンプ場	記載なし	記載なし
	防災関係機関（役場，警察，消防，病院）	記載なし	背景地図に記載あり
	防災備蓄倉庫	記載なし	記載なし

（※）は津波防災地域づくりに関する法律で記載が義務づけられている事項

国土交通省（2023）において標準の記載事項とされているものとして，「津波災害警戒区域と津波基準水位」，「土砂災害警戒区域」，「避難施設その他の避難場所及び避難路その他の避難経路に関する事項」が挙げられている．釧路市（2021b）には旧想定が記載されており，新想定から指定された津波災害警戒区域及び津波基準水位は記載されていなかった．今後，新想定が記載されたハザードマップが作成されるものと考えられる．土砂災害警戒区域については，両地図ともに記載は見られなかった．避難施設については，両地図ともに記載されていたが，避難経路については，釧路市（2023b）での記載は見られなかった．

また，記載が推奨されているものとして，「海岸線への津波到達時間」，「浸水到達時間」，「地盤高（標高）」，「排水ポンプ場」，「防災関係機関（役場，警察，消防，病院）」，「防災備蓄倉庫」が挙げられている．「海岸線への津波到達時間」については，両地図ともに記載されており，浸水到達時間については，釧路市（2021b）では記載されておらず，釧路市（2023b）でも Web 上で操作をしないと表示されない状態であった．地盤高については，釧路市（2021b）では避難場所の海抜が記載されていたが，釧路市（2023b）では記載されていなかった．防災関係機関については，釧路市（2021b）には記載が見られず，釧路市（2023b）には背景地図のみの記載に留まっており，その背景地図をある程度拡大しないと表示されないものとなっていた．排水ポンプ場，防災備蓄倉庫については，両地図ともに記載は見られなかった．

5.4. 釧路市における津波避難対策

釧路市における津波避難対策については，釧路市防災会議（2023a）第 3 章第 6 節「避難計画」及び釧路市（2021a）第 3 章「避難計画」に定められている．それぞれ同一の内容が記載されており，整合性の確保が図られていた．

津波到達予想時間の設定については，釧路市音別町直別から釧路港までの海岸地域は 30 分，弁天ケ浜から三津浦までの東部海岸地域は 25 分と設定されていた．先述のとおり，釧路川河口における第 1 波到達時間は 33 分であり，当該箇所においては想定よりも早く到達するものとして対策を検討している．

避難可能距離の設定については，内閣府（2005）に記載の歩行速度（高齢者の単独歩行：1.0m/s（冬期は 0.86m/s））を採用し，地震発生から避難開始までの準備時間を 10 分として避難可能距離（1,000m）を設定していた．北海道（2012）においては，高齢者の単独歩行を 1.1m/s としており，北海道よりも厳しい基準を採用していた．

緊急避難場所等については，釧路市防災会議（2023a）では施設名称のみの記載であったが，釧路市（2021a）では収容人口も記載されていた．表 2 は大津波警報発表時，表 3 は津波警報発表時における地区別の収容人口と対象となる居住地域の人口

表 2　大津波警報発表時における地区別収容人口及び居住人口

地区名	収容人口	居住人口
春採地区	11,946 人	20,776 人
橋南地区（※）	36,460 人	22,077 人
橋北地区（※）	27,855 人	5,102 人
鉄北地区	5,500 人	19,153 人
愛国地区	30,930 人	35,412 人
鳥取地区	10,350 人	29,775 人
大楽毛地区	10,537 人	19,153 人
合計	133,578 人	161,448 人

※　橋南地区・橋北地区共通の緊急避難場所等の収容人数は等分

表 3　津波警報発表時における地区別収容人口及び居住人口

地区名	収容人口	居住人口
春採地区	1,620 人	13,296 人
橋南地区（※1）	6,210 人	3,495 人
橋北地区（※1）	12,420 人	3,863 人
西部海岸地区（※2）	8,050 人	3,635 人
合計	28,300 人	24,289 人

※1　橋南地区・橋北地区共通の緊急避難場所等の収容人数は等分
※2　鳥取地区と大楽毛地区を合わせた地区

をまとめたものである．大津波警報発表時の収容人口は，原則として避難者の待機場所として想定している階層の面積の 50%を待機スペースとし，避難者 1 人当たり 1m^2 で収容人口を算定し，津波警報発表時は，避難者の待機場所として想定している部屋面積を基準に，避難者 1 人当たり 1m^2 で収容人口を算定している．居住人口については，2020 年の国勢調査結果を使用し，居住人口の集計については，橋本（2021）のような浸水範囲内の推定人口算出ではなく，避難対象となる地域の町名（字名）単位で合算する形で算出した．釧路市（2021a）において避難対象人口が記載されているが，地区別ではなく旧釧路市全体の数値しか記載されていなかったため，国勢調査小地域データ及び釧路市（2021a）に記載の対象地区の町名をもとに新たに集計した数値を用いている．なお，橋南地区及び橋北地区両方で使用する緊急避難場所等があり，この 2 地区共通の緊急避難場所等の収容人口については，橋南地区及び橋北地区で等分している．大津波警報発表時には，橋南地区及び橋北地区以外の地区では収容人口よりも居住人口が多く，旧釧路市全体でも収容人口が不足していた．津波警報発表時においても同様の結果であり，津波災害発生時に緊急避難場所等を利用できない住民が存在する可能性が示唆された．

避難方法については，徒歩避難を原則とするが，避難困難地域からの避難については，自動車の利用を含め，地域の実情に応じた避難方法を検討することとしている．避難行動要支援者の避難については，地域の実情を踏まえ，地域住民と連携し，避難方法を検討するという記述に留まっており，具体的な避難方法の記載は見られなかった．

避難路については，対象となる地区から避難目標地点までの避難路が指定されていた．避難車両の乗り捨て等で避難路が狭くなる可能性があることを考慮し，道路幅員の広い道路を指定していた．

避難困難地域については，徒歩で指定した避難路等を使って避難先まで到達不可能な地域を避難困難地域として指定していた．旧釧路市においては，星が浦地区の一部と大楽毛南地区の一部が避難困難地域として指定されており，当該地域では自動車の利用を含めた避難方法を検討する必要がある．

避難行動要支援者の避難対策については，地域住民や町内会，自主防災組織，民生委員，児童委員，ボランティア等の協力の下，速やかに安否や所在の確認を実施するほか，津波到達時間内の災害対応を厳守しつつ，地域の災害避難支援協働会，町内会，自主防災組織等の協力を得て安全かつ迅速に避難できるよう避難誘導及び救助を実施するという記述に留まっていた．

６．考察

先述のとおり，旧釧路市の中心市街地は，橋南地区から現在の位置へと移動している．釧路市役所庁舎がある橋北地区には高台や丘陵等は見られず，加えて釧路川と新釧路川，高架ではない鉄道に囲まれている．そのため，地区外への避難が困難な地域になっているものと推察され，市街地の発展が津波災害への脆弱性を高める結果となっていた．橋北地区では，地区外への避難が困難であることを受け，緊急避難場所等の充実化が図られ，居住人口に対して十分な収容人口が確保されたものと推察される．しかし，旧釧路市全体としては，大津波警報発表時，津波警報発表時ともに居住人口よりも収容人口が少

ない状況であるため，引き続き収容人口の確保が必要であると考えられる．

津波ハザードマップに関しては，津波防災地域づくりに関する法律で義務付けられている記載事項である避難経路が釧路市（2023b）に記載されていないということが課題として挙げられる．地域住民等が津波からの避難を検討する際の重要な情報であるため，避難路の記載が望まれる．釧路市（2021b）には避難路が記載されているが，旧想定の津波ハザードマップであるため，更新が必要となっている．

釧路市においては，内閣府（2005）に記載の歩行速度（高齢者の単独歩行：1.0m/s（冬期は 0.86m/s））と，避難開始までの準備時間を 10 分と定め，避難可能距離を設定していた．歩行速度については，日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ（2021）において言及されているとおり，避難行動要支援者が同行している場合（複数人で避難している場合）や，避難路における傾斜の有無，に加え，「冬期」をさらに細分化した積雪時，豪雪時，凍結時についても考慮する必要がある．釧路市防災会議（2023ab）及び釧路市（2021a）においては，集団での避難については言及されていないが，観光施設や社会福祉施設では集団での避難を行う状況も想定され（奥野・橋本，2022），集団避難についても対策を検討する必要があるものと推察される．これらを考慮した場合，避難可能距離を算出するための歩行速度が低下し，避難可能距離が現在の 1,000m よりも小さくなる可能性があると考えられる．現在，旧釧路市では，星が浦地区の一部と大楽毛南地区の一部が避難困難地域とされているが，避難可能距離が小さくなることにより，避難困難地域が増加するものと推察される．

避難行動要支援者の避難対策に関しては，北海道防災会議（2023）で「市町村の対策」として記載されている避難行動要支援者名簿及び個別避難計画に関連する内容が釧路市（2021a）及び釧路市防災会議（2023a）においては見られない点が挙げられる．避難行動要支援者名簿及び個別避難計画は，避難行動要支援者に対して平常時及び災害時に行う支援活動で重要な役割を果たすものであり，避難行動要支援者名簿については，2013 年 6 月の災害対策基本法改正で作成が義務付けられている．避難行動要支援者名簿については，釧路市防災会議（2023a）の別編である釧路市防災会議（2023b）第 3 章第 25 節「要配慮者応急対策計画」においては記載されているが，釧路市防災会議（2023a）第 3 章第 24 節「要配慮者応急対策計画」における同様の箇所には記載が見られない．津波災害発生時に「釧路市防災会議（2023a）に避難行動要支援者名簿に関する内容が記載されていないため，活用しない」といった誤解を招くおそれがあるため，避難行動要支援者の迅速かつ確実な避難のためにも記載する必要性があるものと推察される．なお，個別避難計画については，いずれの計画にも記載されておらず，個別避難計画についても記載の検討が必要と考えられる．

7．おわりに

本研究では，北海道太平洋沿岸自治体における津波対策の現状把握と課題抽出を目的に，千島海溝沿岸都市である旧釧路市を研究対象地域とし，現在までの市街地発展過程と新想定の浸水範囲，新想定に基づく現状の津波対策とを重ね合わせた分析を行った．

その結果，旧釧路市においては，産業の発展や人口増加に伴う中心市街地の移動により，津波災害に対する脆弱性の高まりが確認された．また，津波浸水想定区域の更新に伴い，津波防災地域づくりに関する法律において津波ハザードマップへの記載が義務付けられている事項が記載されておらず，記載事項の再検討を行う必要があることや，旧想定のマップも見られ，更新を行う必要性があることが確認された．

加えて，近年公表されている津波対策に関する資料等より，避難時の移動速度について，積雪時，豪雪時，凍結時といった，より細分化されたパターンについても検討する必要性があることが示唆された．再検討の結果によっては，避難困難地域が拡大し，緊急避難場所等の再検討等の大掛かりな見直しに発展する可能性がある．

また，避難行動要支援者の個別避難計画といった

北海道防災会議（2023）には記載されているが，釧路市防災会議（2023ab）には記載されていないといったものも見られた．北海道防災会議（2023）は釧路市防災会議（2023ab）の上位計画であり，釧路市防災会議（2023b）第 1 章第 1 節 6「国・道の防災計画との関係」において「「北海道地域防災計画」（地震防災計画編）との整合性・関連性を有する」との記載があるが，整合性が確保されていない部分も見られ，整合性の確保が課題であると推察される．

上述のとおり，津波ハザードマップの更新や，釧路市防災会議（2023ab）の北海道防災会議（2023）との整合確保など，釧路市が取り組むべき事項がいくつか抽出された．これらを解消することにより，住民の防災意識の向上や災害時における北海道との連携強化が図られる見込みがあるものと考えられ，釧路市における今後の取り組みに期待したい．

謝辞

本研究は，建議研究「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」の課題研究「地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究」（代表者：橋本雄一，課題番号：HKD07）及び JSPS 科研費（基盤研究 C)「ブラックアウト・ホワイトアウトを考慮した千島海溝地震の津波避難モデル構築」（代表者：橋本雄一，課題番号 22K0104002）における成果の一部である．

参考文献

奥野祐介・橋本雄一（2022）日本海溝北部地震による津波を想定した疑似的津波集団避難行動分析ー北海道苫小牧市を事例としてー．地理情報システム学会講演論文集，**31**，B-O2-3（CD-ROM）．

釧路市（2021a）釧路市津波避難計画．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/003/709/000178150.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市（2021b）大津波（巨大）ハザードマップ（釧路地区）．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/006/032/c04-004.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市（2021c）津波ハザードマップ（釧路地区）．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/011/542/000173084.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市（2023a）釧路市水防計画．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/003/708/suiboukeikaku.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市（2023b）釧路市 Web ハザードマップ．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/area/bousai/map/page00015.html（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市防災会議（2023a）釧路市地域防災計画 津波災害対策編．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/093/tunamitaisakuhen.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

釧路市防災会議（2023b）釧路市地域防災計画 地震災害等対策編．＜https://www.city.kushiro.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/093/saigaitaisakuhen.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

国土交通省（2022）津波防災地域づくりに関する法律パンフレット．＜1/2　https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001475754.pdf　2/2　https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001475755.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

国土交通省（2023）水害ハザードマップ作成の手引き．＜https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/hazardmap/pdf/suigai_hazardmap_tebiki_202305.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

酒井多加志（2011）釧路市とその周辺．『日本の地誌 3 北海道』（山下克彦・平川一臣編），朝倉書店，481-487.

地震調査研究推進本部（2023）活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧（2023 年 1 月 1 日での算定）．＜https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

内閣府（2005）津波避難ビル等に係るガイドライン．

日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ（2021）資料 2 被害想定手法につい

て（案）．＜http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/WG/pdf/dai5kai/siryo2.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

橋本雄一（2014）北海道における津波浸水想定域人口の推定．北海道大学文学研究科紀要，**144**，1-35.

橋本雄一（2021）北海道太平洋沿岸における津波浸水想定域の空間分析．北海道大学文学研究院紀要，**165**，129-166.

北海道（2012）津波計画策定指針について．＜https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/hinankeikakunituite.html（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

北海道（2021）北海道太平洋沿岸の津波浸水想定について（解説）．＜https://www.constr-dept-hokkaido.jp/ks/ikb/sbs/tsunami/shinsuisoutei/pdf/taiheiyo/kaisetsusyo/taiheiyou_kaisetsusyo_honpen.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

北海道（2023）津波災害警戒区域の指定について．＜https://www.constr-dept-hokkaido.jp/ks/ikb/sbs/tsunami/saigaikuiki/data_Designation/index2.html（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

北海道総務部危機対策局危機対策課（2012）太平洋沿岸に係る津波浸水予測図作成業務報告書.

北海道防災会議（2023）北海道地域防災計画 地震・津波防災計画編．＜1/2　https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/2/4/2/4/9/9/_/地震津波防災計画 01.pdf
2/2　https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/2/4/2/5/0/0/_/地震津波防災計画 02.pdf（最終アクセス日：2023 年 8 月 30 日）＞

グラフニューラルネットワークとデータ同化を用いた避難者分布予測モデルの改良

樫山 武浩*・沖 拓弥・小川 芳樹***,・今泉 允聡****,・大山 雄己*****

Improving the Evacuee Distribution Prediction Model Using Graph Neural Networks and Data Assimilation

Takehiro KASHIYAMA*, Takuya OKI**, Yoshiki OGAWA***,
Masaaki IMAIZUMI****, Yuki OYAMA*****

Abstract. To plan evacuation assistance and take precautions against secondary hazards, it is critical to understand people's movements in staying and evacuating immediately after major earthquakes. A previous study [Kashiyama 2023] proposed a data-driven evacuee distribution prediction model that integrated a GNN model and a particle filter, and evaluated the model's utility for prediction accuracy. The built model did account for road blockages caused by fire spread and building collapse, which would change over time. However, the model exclusively targeted the initial evacuation behavior from the point of residence to the evacuation point during a disaster. This study improves upon the built model by considering re-evacuation because of the spread of fire or flooding in buildings. Furthermore, the likelihood estimation index for data assimilation was modified to improve the data assimilation process's prediction performance.

Keywords: 避難行動 (evacuation behavior), グラフニューラルネットワーク (graph neural network), データ同化 (data assimilation), シミュレーション (simulation)

1．はじめに

大地震発生直後，人々の滞留や避難状況を把握することは，避難支援の計画や二次被害の対策のために重要である．前稿（樫山 2023）では，グラフニューラルネットワーク（GNN: Graph Neural Network）モデルとデータ同化を統合したデータ駆動型の避難者分布予測モデルを提案し，予測精度の観点から構築モデルの有用性を検証した．

提案モデルでは，時間経過とともに変化する建物の延焼や倒壊による道路閉塞を特徴量として組み込むことで，被災者の周辺状況を考慮した避難行動の予測を可能とした．しかし，提案モデルは避難開始時刻と避難開始直後の数ステップの事前軌跡を入力とするために，適用できる場面に制限があった．

本稿では，前述した入力を必要とすることなく，避難行動を予測できるように提案モデルを改良する．この中では，前稿で述べた誤った避難場所に避難者が集中する課題の解決も図る．また，データ同化における尤度計算方法を変更することで，提案モデルの予測精度への効果を確認する．そして，疑似的に生成した避難行動データを用い，予測精度の観点から改良モデルの有効性を検証する．

2．避難者分布予測モデルの改良

2.1．モデルの構成

提案モデルは，図 1 に示すように，GNN 部とデータ同化部の 2 つの機能から構成される．

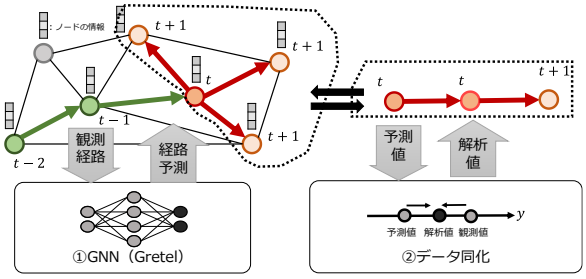
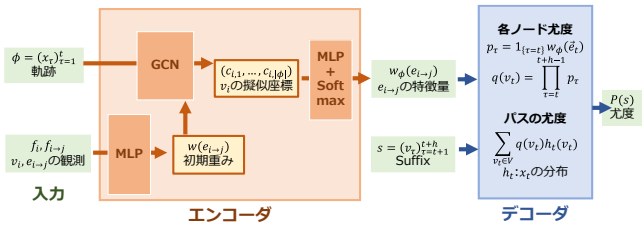


図 1　避難者分布予測モデルの概念図

*　正会員　大阪経済大学経済学部 (Osaka University of Economics), t.kashiama@osaka-ue.ac.jp
**　正会員　東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)
***　正会員　東京大学空間情報科学研究センター (The University of Tokyo)
****　非会員　東京大学総合文化研究科 (The University of Tokyo)
*****　非会員　芝浦工業大学土木工学科 (Shibaura Institute of Technology)



GCN: Graph Convolution Network, MLP: Multi Layer Perceptron

図２　Gretel の構成

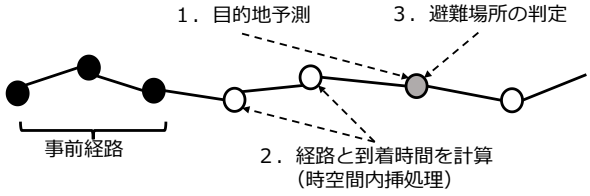


図３　移動経路の予測手順

2.1.1. GNN 部

GNN 部は，被災者の避難行動を予測する．本研究では，Gretel（Cordonnier 2019）と呼ばれるグラフニューラルネットワークを用いることで，被災者の特性と周辺環境との相互作用を加味した避難行動の予測を実現する（図２）．Gretel は，数ステップの事前軌跡と道路ネットワークの特徴量を入力とする GNN であり，将来の移動先ノードの尤度を出力する．LSTM や隠れマルコフモデルに比べ，高い予測精度を達成したと報告されている．前稿（樫山 2023）では，被災者の周辺環境を考慮した避難行動の予測を可能とするために，時間経過とともに変化する特徴量を取り込めるように Gretel の機能を拡張した．

2.1.2. データ同化部

データ同化部では，一定の時間間隔で避難分布が観測される前提において，パーティクルフィルタを用いてデータ同化を行う．本研究では，Gretel を用いシミュレーション環境を個々のパーティクルとして扱う．そして，各パーティクル内で計算される避難者分布と観測された避難者分布の RMSE から計算した尤度を用いてデータ同化を行う．

2.2. 本研究でのモデル拡張

本稿では，GNN 部とデータ同化部に改良を加えることで，提案モデルの予測精度の向上を図る．本節では，改良点の詳細について述べる．

2.2.1. 避難行動の開始判定

前稿では，避難開始の時刻と避難開始直後の数ステップ分の事前軌跡を入力することで，その後の避難行動を予測するモデルを構築した．しかし，被災者の避難開始時刻やその事前軌跡を把握することは現実的ではない．また，この条件で構築したモデルでは，建物の延焼等によって発生する再避難を予測することができない．

本稿では，避難行動の開始を予測できるように GNN 部を改良する．詳細には，GCN と MLP が入力する特徴量として，避難開始や再避難の動機となる延焼状況と時間の情報を特徴量として組み込み，連続した滞在点を事前軌跡として入力した場合に，避難開始時のみに滞在点以外の移動先への移動確率を予測できるように拡張する．

2.2.2. 避難行動の終了判定

前稿における避難行動の予測手順を図３に示す．まず，避難開始後の数ステップを入力として，将来の目的地を予測する．そして，道路閉塞を考慮して時空間内挿により移動経路を決定する．もし，目的地が避難場所と判定される場合は処理を終了する．それ以外は，予測した目的地を事前軌跡に含めて，前述の処理を繰り返す．

上記の処理では，いずれかの避難場所への到着を終了判定とした．そのため，避難場所を経由して別の避難場所に移動するような避難行動を予測できない．この課題の解決のために，避難行動の終了確率を出力するように Gretel の出力層を拡張する．詳細には，疑似座標を入力とする MLP の出力層に対して，終了判定のための次元を追加する．

2.2.3. データ同化部の尤度計算

前稿では，観測データと予測データから集計された人口分布の尤度計算に，RMSE を用いた．本稿では，先行研究（Sudo 2017）を参考に， EMD(Earth Mover's Distance)に変更することで，データ同化精度が向上するかを確認する．

３．実験と考察

改良モデルの有用性を検証するために行った実験の内容と結果の考察について述べる．



図４　実験の対象地域

表１　物的被害の想定

項目	設定値
震度	6 強
表面最大速度	81.0cm/s
地震加速度	828cm/s^2
発災時刻	平日 18 時
季節・風向・風速	冬季・北風 8m/s
物的被害ケース数	100 ケースのうちの 1 ケース

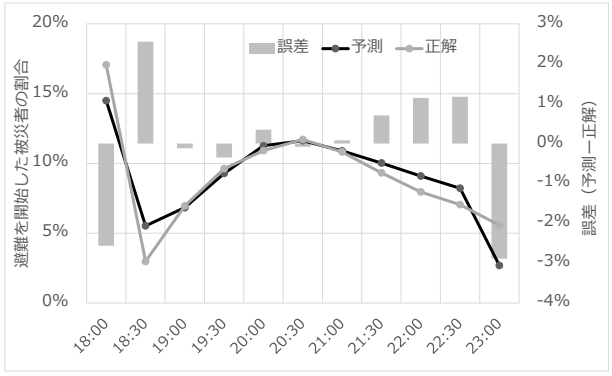


図５　避難開始時刻の予測精度

3.1. 実験の内容

災害避難シミュレーション（Osaragi 2017）を用いて，提案モデルの学習と評価に用いる疑似的な避難行動データを生成する．実験の対象地域（図４）は，木造住宅密集地域である東京都足立区千住とする．また，物的被害の条件は，東京都の首都直下地震時の被害を想定し，表１のように設定する．災害避難シミュレーションにより，100 ケース分の物的被害を想定した避難行動データを出力した．そのうち，提案モデルの検証を容易にするために，再避難が発生しなかった一つのケースを使用した．

避難行動データには11,083 人分の移動データが含まれていたが，GNN 部の学習に適さない移動距離が短いデータを除去し，6,525 人分のデータを用いる．

GNN 部については，12 秒ごとの４ステップの事前軌跡から 12 秒後の次のステップを予測するようにモデルを学習した．なお，本学習には，避難行動データのうち，８割を GNN 部の学習データに，残りの２割を評価データとして用いた．

3.2. 避難行動の開始判定に関する実験

本節では，避難開始直後の避難行動を予測するために改良した GNN 部の効果を検証するための実験について述べる．本実験では，被災者の避難開始時刻の分布について，予測値と正解値の比較（図５）を行った．

図５の結果より，避難開始時刻を高精度に予測できていることがわかる．精度の傾向は，時間帯により変化することなく，すべての時間帯において，正解値と予測値の誤差は，３%以下となっている．また，避難開始直後の移動先の予測精度も 73%（正しい移動先の選択確率の平均値）であった．これらの結果により，事前軌跡を必要とせずに，避難行動の予測を行うことが可能であることを確認した．

3.3. 避難行動の終了判定に関する実験

本節では，避難行動の終了確率を出力するように改良した GNN 部の効果を検証するための実験について述べる．本実験では，125m メッシュの人口分布の予測精度を評価した．図６は，改良前と改良後の RMSE の値の示している．また，避難行動の状況として，被災者全体のうち，各時間帯で避難を開始した割合を棒グラフで示している．図７は，改良前と改良後における被災者の避難経路を可視化したものである．発災時点において，図中で示した白枠のメッシュ内に滞在していた被災者のみを対象としている．

図６の結果から，発災１時間後の 19 時から改良モデルによる効果を確認できる．RMSE の差は時間の経過とともに拡大し，23 時の時点では改良前のモデルの７割以下の値となっている．図７の結果からは，被災者の避難行動の範囲が拡大していることが確認できる．本改良により，最寄りの避難場所で強制的に停止していた被災者が別の避難場所を経由し，正しい避難場所に避難することが可能となった．

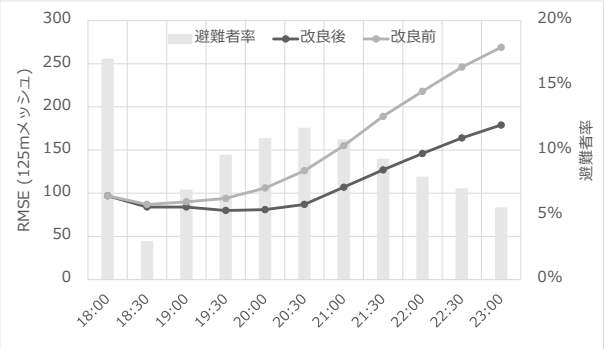


図６　終了判定による RMSE の変化

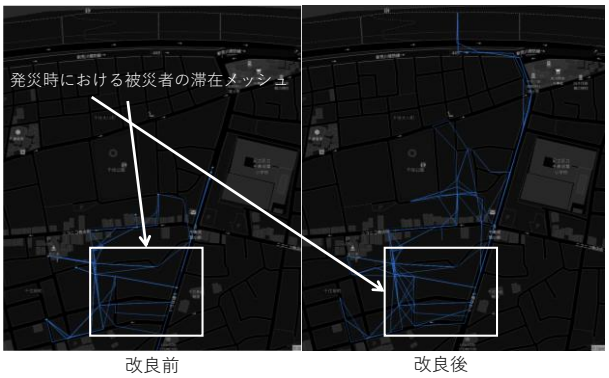


図７　避難者分布の可視化結果

3.4. EMD による尤度計算に関する実験

本節では，データ同化部における尤度計算の指標を RMSE から EMD に変更した効果を検証するための実験について述べる．本検証で用いる観測データは，避難シミュレーションの避難行動データから集計した 125m メッシュ人口分布に対して，メッシュごとに 0.7～1.3 までのスケールを掛けることで疑似的な観測データを生成した．データ同化処理でのパーティクル数は 20 である．データ同化処理を行い，次の観測データが取得される時点（30 分後）における人口分布の予測精度を評価する．図８は，尤度計算方法の変更前と変更後の RMSE の値を示している．

図８の結果から，データ同化による精度の向上を確認できなかった．前稿では，RMSE による尤度計算ではデータ同化による効果が確認できないことを示したが, EMD でも同様の結果になることが分かった．なお，図８のグラフから多少の RMSE の値の違いを確認できるが，これは処理に含まれる乱数を要因とした誤差だと考えている．

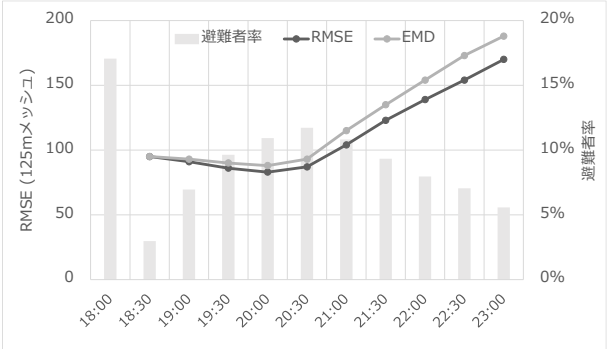


図８　尤度計算の違いによる RMSE の違い

５．おわりに

本稿では，前稿で開発した GNN モデルとパーティクルフィルタを統合したデータ駆動型の避難者分布予測モデルの改良方法を提案し，その有用性を検証した．まず，GNN 部を改良することで，モデルの前提条件をなくし，提案モデルの適用可能性を向上した．また，GNN の出力機能を拡張することで，避難行動の予測精度の向上した．一方で，データ同化部における尤度指標の変更による効果を確認できなかった．

今後は，データ同化部の性能向上のための検討を進めるとともに，提案モデル全体の他地域への転移可能性を評価するとともに，その実現に向けた実装に取り組む予定である．

参考文献

樫山 武浩・沖 拓弥・小川 芳樹・今泉 允聡・大山 雄己 (2023) グラフニューラルネットワークとデータ同化を統合したデータ駆動型避難者分布予測手法の検証．人工知能学会全国大会論文集，**37**.

J. B. Cordonnier, A. Loukas (2019) Extrapolating paths with graph neural networks, *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2187-2194.

T. Osaragi, T. Oki (2017) Wide-area evacuation simulation incorporating rescue and firefighting by local residents, *Journal of Disaster Research (Special Issue on Disaster and Big Data 2)*, 12, 296-310.

A. Sudo, T. Kashiyama, T. Yabe, H. Kanasugi, X. Song, T. Higuchi, S. Nakano, M. Saito and Y. Sekimoto (2016) Particle filter for real-time human mobility prediction following Unprecedented Disaster, *The 24th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 5, 1-10.

低コストで運用可能な地域情報共有 WEB ハザードマップシステム作製の試み-

嘉山陽一*

Creating a Low-Cost and Operationally Viable WEB Hazard Map System for Disaster Information Sharing Among Local Residents

Yoichi Kayama*

In recent years, the increasing frequency of natural disasters has become a serious social problem, emphasizing the critical need for local residents to have accurate and timely access to potential disaster information in their residential areas. This paper focuses on addressing this challenge and reports on efforts to create a low-cost and operational web-based hazard map system for sharing regional information. Compared to conventional expensive systems, our approach combines open-source geographic information system tools and web technology, proposing a cost-effective and user-friendly solution. Introducing features that allow easy updating and editing of disaster preparedness materials and facility information by local residents ensures the accuracy of the shared data. By utilizing this system, we aim to achieve greater convenience in accessing disaster information than traditional paper or PDF-based hazard maps, ultimately enhancing the overall disaster preparedness of the entire region.

Keywords: ハザードマップ（hazard map），オープンソース（Open Source），シビックテック（civic tech），共助（mutual aid）

１．はじめに

近年日本では風水害や土砂災害をはじめとする自然災害が頻発するようになってきた．また本年は関東大震災発生から 100 年たつが周期的に発生するといわれる大地震に対する備えも各所で行われている．国や自治体は災害時にどのような活動をするか基本計画をたてている．また住民に災害が起こる可能性を周知したりするためハザードマップの発行・配布を行い地域単位，地区単位の防災訓練を例年行っている．

どのような災害が起こる可能性があるかは地区ごとに異なるため，災害想定や対応の想定は地区ごとに異なるものになる．そのため地区単位の災害に対する計画が必用になり自治体単位よりも狭い地区単位の防災計画を作成することが推奨されている．地区防災計画を作成するのは町内会や自治会というような地域の住民組織であることが想定されるが近年都市部ではそのような住民組織の組織率低下や高齢化，担い手不足によって災害時の共助担い手の力量が低下している．

自治体は通常住民向けハザードマップとして自治体全域を網羅するものを作成して配布を行っている．このときに自治体によっては全域のハザードマップの他に地区住民にその地域の災害対策機材の状況や危険個所情報を提供してもらい，その地区独自の災害情報が記入された地図を作成しているところもある．このような地域単位の活動は公助主体としての地域コミュニティの能力向上に有用なのではないだろうか．

作成した地域のハザードマップは最初に紙や PDF で配布するが，これを WEB 地図として公開することが共助のためのコミュニティ強化に役立つ可能性がある．町内会等の地域コミュニティの担い手は高齢者が多くなり，若年層・壮年層の参加が少なくなってきて弱体化することが多い．そのため地区防災計画を独自に作成できる自主防災組織の数は多くはないだろう．従来型の自主防災組織では地域の災害発生可能性や災害対策情報を調査して紙の地図

* 正会員 朝日航洋株式会社（Aero Asahi Corporation）
〒350-1165 埼玉県川越市南台南台 3-14-4 E-mail：youichi-kayama@aeroasahi.co.jp

にして配布することが地域ハザードマップ作製の作業目的になる．この作業に WEB で共有可能なデジタル地図の作成と運用を加えることでデータとしての災害情報の入手，メンテナンス，公開システムの運用という作業が追加される．地域コミュニティ弱体化に対する解決策案としてコミュニティ運営に情報通信系ツールを利用することが一つの案として提案されている中で，このような業務を地域コミュニティに持ち込むことが情報化の有効な手段になるかもしれない．

この場合運用主体が地区の自主防災組織となるので運用費用が多大な仕組みや管理がむずかしいシステムを使うことは困難になる．今回そのような地域の自主防災組織のような主体が地域災害情報の共有を行う場合に低コストで運用可能な情報共有プロトタイプを作成してみた．

２．自然災害の頻発と対応

2. 1. 近年の災害対策変化

近年風水害やそれに連動する土砂災害が多発している．従来の想定を上回る単位時間当たりの降雨量が発生することが多くなり様々な場所で住民が被災した．平成 27 年に水防法が改正されハザードマップに利用する浸水想定データについて計画規模降雨で作成したものから想定最大規模降雨で作成したものに切り替えることになった(1)．

また令和 2 年の宅地建物取引業法施行規則の改正において重要事項の説明に水害ハザードマップ中の物件の位置説明が加えられ，不動産取引でその地域の災害発生可能性を説明することが必要になった(2)．これにより不動産取引時にはその地域の災害リスクについて説明されていることが必須となった．

2. 2. 自助・共助・公助による災害対応の仕組み

災害が発生したときの対応活動について自助，共助，公助による対応の分類がある．自助は自分と家族による災害対策活動であり．公助は行政による対応や被災者支援である．これらに対して共助とは隣近所の隣人，近隣コミュニティによる災害対策や被災後の支援活動である．

災害が発生したときに国や自治体が被災者を支援しようとしても場合によっては対応できない部分が発生する可能性はおおきい．そのような場合自助でできない部分は近隣コミュニティによる共助で対応すべきという役割分担である．

関東大震災の事例でいうと熱海で 12m，館山で 9m の津波が発生したが元禄地震や安政元年東海地震の津波災害経験が地域コミュニティに伝承されていたため伊豆の伊東や下田，房総半島南部では適切な避難行動により人的被害が最小限に食い止められた．このように地域で起こる災害の可能性とそれへの対処方法を地域コミュニティで共有して実践できていることは災害に対する共助の有効な例であろう(3)．

また関東大震災では町内会，青年団，在郷軍人会による救護所の運営や炊き出し等のボランティア活動が行われ共助による災害対応が行われた．(4)

また阪神・淡路大震災では倒壊した建物から救出され生き延びることができた人の 8 割が家族や近隣住民によって助け出されており共助による救助割合が高いことを示している(5)．

３．共助の仕組みをどうするか

3. 1. 地区防災計画の構想

国内では公助の防災指針として国レベルの防災基本計画と地方自治体単位の地域防災計画が従来はたてられていた．平成 25 年の災害基本法改正で自助，共助に関する規定がいくつか追加された．ここでは町内会等の地域単位の防災計画として地区防災計画を策定することが推奨されている．これは地域コミュニティで災害可能性情報とそれへの対処想定を共有する試みであり，共助のための事前準備といえよう．(6)

3. 2. 共助の仕組みの課題

共助の担い手として地域の自治会，町内会が想定されている．しかし近年自治会，町内会は地域住民の加入率減少と担い手不足という課題に直面してお

り様々な事業を行う力が低下してきている．とりわけ福祉分野と防災分野で自治会，町内会の活動が期待されているのでこの課題に地域でどう取り組むかが重要になってきている．ここで自治会，町内会の事業実行力低下に対する解決策案として自治会，町内会活動へのデジタル手法の導入が提案されている(7)．ここ数年だとコロナ危機によって対面での活動ができなかった時期もありリモート会議や SNS，メッセンジャー等を自治会活動で利用することが増加はしている．このあたりの仕組みを従来の自治会，町内会の担い手であった高齢者層から地域の若年層，壮年層を巻き込む仕組みに利用できれば従来とは異なる方法で住民と地域コミュニティとの関わりを作成することができるかもしれない．

3. 3. 地域防災マップ作成による共助体制強化

市区町村はその地域のハザードマップを作成し紙で住民に配布している．その他 WEB ページ上で PDF 形式公開を行うこともある．また WEB GIS でハザードマップの公開を行う場合もある．

市町村によってはその自治体全体のハザードマップだけでなく，自治体内の自治会，町内会単位の防災マップを作っているところや，住民に防災マップの作成を勧めている自治体もある．



図 1 自治会防災マップ作製の勧め

また国土地理院の地理院地図の WEB ページでは町内会で利用するための地図の作成ガイドがある(8)．

このような機能とデータを利用して町内会，自治会独自の災害情報地図を紙で作成することは地域コミュニティでの災害情報共有の試みになり地域の災害時共助能力向上に役立つと思われる．

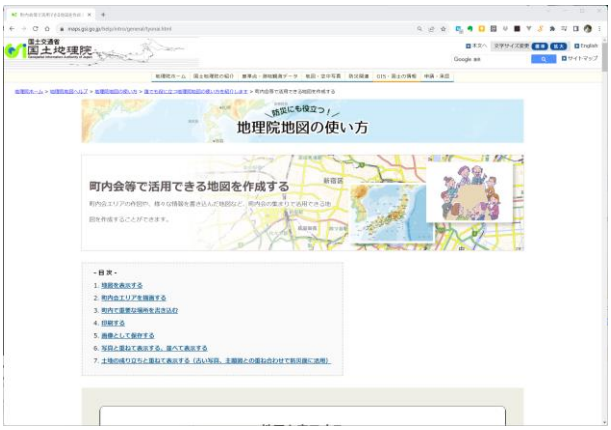


図 2 町内会等で活用できる地図を作成する

立川市では市全域の防災マップ，水害ハザードマップ，土砂災害ハザードマップを作成し住民に配布している上で別途立川市防災マップ（地域編）を町単位と町丁目 1 個か 2 個単位ぐらいで作成している(9)．

防災マップ（地域編）は地域にある災害対策用の施設や設備類の場所が地図上にプロットされている．これらの情報の調査には各地域の町内会が協力している．

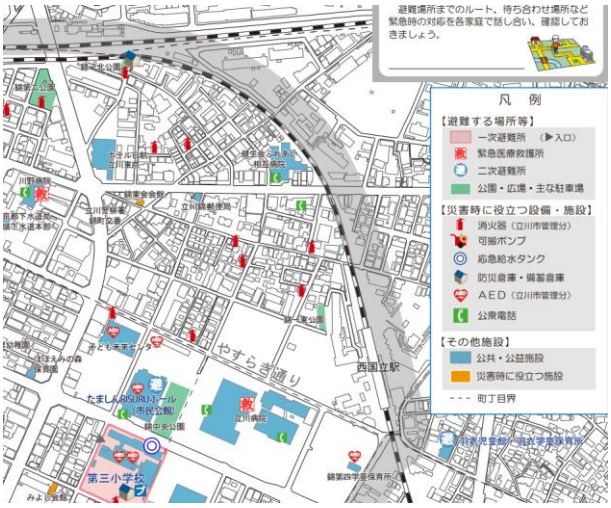


図 3 立川市防災マップ(地域編)

この地図には災害時の避難場所情報，消火器やポ

ンプ，AED 等災害時に利用する機材の位置等が記入されている．このように地域のコミュニティで災害対策に関する情報を収集して地図に集約して共有する作業を行うことは共助に利用できるコミュニティ力を向上させる活動といえよう．

3. 4. 地域防災マップの電子化

3. 2. で記述したように地域コミュニティは組織率低下と担い手不足がおおきな問題であることに対し，コミュニティの運用に情報通信技術を利用することが問題解決の手段ではないかという趣旨の提起がある．地域防災マップ作製にあたって地域住民が集めた情報を利用することは災害対策について地域住民の関心や知見を増加することになるだろうが，その情報を電子的に共有してスマートフォン等で簡単に閲覧できるような仕組みをつくり，そのデータとシステムを更新・保守する仕組みを地域コミュニティで構築しようとすれば地域コミュニティで IT を使った情報共有や組織運営を行うきっかけになると思われる．

そのような活動のための情報通信ツールとしては多大な費用が必用とされるものやシステムの構築・運用が難解なものを採用することはむつかしい．

近年はハザードマップとして利用可能な浸水想定区域や土砂災害警戒区域等のデジタルデータ，基盤的な地図データ等は国土交通省，国土地理院等が公開しているものが多々ある．これらのものを地域防災マップの主題図，背景図として利用することは可能である．

また WEB ブラウザやパーソナルコンピュータのデスクトップで利用できるオープンソースの GIS ソフトウェアは多くのものが存在し利用のための情報も公開されているのでそのようなものを利用すれば電子的に地理空間データを操作する環境をつくることは可能である．

このように電子地図としてハザードマップ情報や地域の災害対策情報を低コストで扱うためのデータとソフトウェアは存在する．これらのものを WEB 公開するためにはインターネットに地図を公開できるサーバが必用である．このサーバでは地域住民によって収集された災害対策情報の加除修正ができなければならない（できるなら簡易な操作で）．

嘉山陽一(2020) [(10)]では Google Spread Sheet を利用した地理空間情報利用フレームワークの提案を行った．当時の提案した仕組みは Google Spread Sheet のシート内データとして空間情報，属性情報を格納，さらに重ね合わせるレイヤ情報を定義して WEBGIS や QGIS から利用できることを示した．Google Spread Sheet は Google 社が提供しているクラウドサービスであり，ブラウザを利用して複数のシートが存在するスプレッドシートを作成して利用できる仕組みである．これの利用は一定のデータ容量以下の場合は無料で利用できる．またシートは複数のユーザに対して公開することができ，個別ユーザに編集権限を与えることもできる上に同時編集やバージョン管理を行うことができる．複数のユーザで情報共有を行いたい場合低コストでしかも高度な諸機能を利用できるツールである．

プログラムからシートを利用したい場合，様々なコンピュータ言語向け API が公開されているため，様々なアクセス方法を利用することができる．(10) の提案では WEB サーバ上の PHP 言語から API を呼び出し Google Spread Sheet 内のデータを読み書きし GIS ソフトウェアから利用する仕組みを提案した．

しかしこの方式の場合仕組みを利用するためには WEB サービス PHP が動作するサーバの利用必要になる．

本プロトタイプ作成にあたり調査を行ったところ Google Spread Sheet のオブジェクトを操作するためのスクリプト言語として Google Apps Script というものがあり Google Spread Sheet に付属する開発環境でコーディング，デバッグを行うことができることがわかった．このスクリプトの中に WEB の HTTP メソッドである GET/POST を解釈できる関数を記述することができ，プロジェクト内にこの関数を記述した上でプロジェクトをデプロイ（公開）し，そこで取得される URL に対してインターネットから POST/GET でリクエストを送ることで指定 Google Spread Sheet のデータを利用した結果を受け取るこ

とができるようになる．この仕組みを採用することによって WEB サーバを別に作成しなくても Google Spread Sheet 内データを外部から WEB で操作することができる．

GET/POST で外部からアクセスを行った場合なんらかの返答が Google Spread Sheet 側から返される．この返答は JSON や XML 形式のデータが返す場合もあれば HTML を返して WEB ページをクライアントに送ることも可能である．その HTML の内部には JavaScript のプログラムを埋め込むことも可能なため WEB サーバを別に立てなくても WEBGIS を利用できる WEB サイトを公開できる．

今回のプロトタイプシステムではデータ登録できる管理者モードの WEB ページを Google Spread Sheet のみのホストで作成した．また一般公開用の閲覧専用 WEB ページを GitHub の WEB ページとして公開し，そこから GET/POST で Google Spread Sheet のデータを利用する形式にした．

3. 5. シビックテックと共助の仕組み

Google Spread Sheet や GitHub で WEB サイトを立ち上げる作業は独自に WEB サービスが稼働するサーバを稼働させて WEB サイトを公開するよりは簡易な作業でサイト公開をすることはできる．しかし作業を行いたい地域コミュニティに情報通信系の知識や作業経験をもつメンバがいないような場合はそのような作業を行うための障壁はおおきい．技術的支援が必要になる．企業による支援を仰ぐことも可能ではあるが費用や継続性をどうするかが地域コミュニティとしては問題になるであろう．

近年シビックテックという市民が技術を利用して課題解決を行う活動があちこちで行われている．米国の Obama 政権時代に[11]が発表され Open Government, Open Data を推進すると同時に様々な仕組みへの市民参加を呼び掛けたことがシビックテックの動きを後押しした．また HealthCare．gov というオンライン医療保険購入サイトの大規模障害対応に開発業者が対応できなかったところに市民スタッフを投入し対応を行ったことがシビックテックの信頼度を高くした．

日本では東京都のコロナウィルス感染者集計サイトを Code for Japan という国内のシビックテック推進団体が開発しオープンソースソフトウェアとして公開した[12]．このソフトウェアを他府県でも活用するコミュニティが各所に登場し，地元の自治体と一緒にデータを更新する仕組みをつくりシステム運用の体制を構築した．日本国内各地域にはその地域でのシビック テックを実践するための独自の団体が存在していて，それらの団体が中心となって地域版集計サイトを構築・運用している例もあれば他所の例を参考にして集計サイトの立ち上げのためにこの時点でメンバが集まったグループもある．いずれにしろ Code for Japan が東京都と連携してサイトを立ち上げ，そのシステムのオープンソース化によってシビックテックの有効性が明らかになり，日本全国にそれを参考にしてテクノロジーを使った課題可決に取り組むグループができ，社会課題への対応を行った．

日本のコロナ対策でシビックテックがはたした役割は災害対策でいうと公助だけでは不足している部分を共助が担うような仕組みに近いかもしれない．または公助のしくみの課題解決方法を改良するような作業に市民が参加できるような例といえるかもしれない．シビックテックのようなテクノロジーを手段とした社会課題への対応というような形だと公助のためのコミュニティをつくることができる可能性があるかもしれない．町内会・自治会のような旧来型地域コミュニティとシビックテック的コミュニティがなんらかの関係をもって課題解決に協調できるような仕組みができるとこれからの共助の仕組み強化の助けになるのではないだろうか．

４．地域版ハザードマップの仕組み

4. 1. システム構成

本システムは住民が集めた危険個所や災害対策機材の情報を位置情報付きで管理し，それを WEB 地図で共有可能とする仕組みを基本機能としている．位置情報は点情報として持ち Google Spread Sheet に

1 行の情報として格納している．

登録するポイント情報にはデータの種類を示すカラムを持たせ，その種類別に異なるアイコンを使って地図上に描画される．そのデータの種類の値とそれを表示するアイコンファイル(SVG 形式)の URL も Google Spread Sheet のシートで管理している．そのため地図に表示するポイントの種別を増減させることができる．

また WEB 地図に公開されているハザードマップを重ねて表示できるようにするため，重ね合わせるハザードマップの URL，名前，凡例画像の URL を 1 行とするシートを Google Spread Sheet 内にもつ．このシートの内容を編集することによって重ね合わせ表示を行う地図情報の管理を行うことができる．

オーバーレイ表示に利用する地図は#rastermap という名前のシートを Google Spread Sheet に作成し，そこに記述を行うことで設定を行うことができる．国土交通省のハザードマップポータルでは浸水想定区域や土砂災害警戒区域等のハザードマップを XYZ 形式のタイルで公開しているので，ここで公開しているタイルの URL を記述することでハザード情報を地図に重ねて表示することが可能である．定義したオーバーレイ地図の情報はシステムからはチェックボックスで表示・非表示を設定できる．

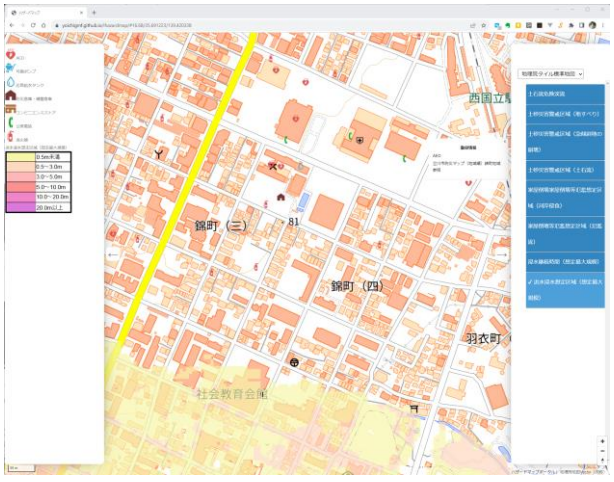


図 3 プロトタイプシステム画面

これら Google Spread Sheet に記述された値は Google Apps Script というスクリプト言語を利用してアクセスすることが可能である．Google Apps Script では doPost， doGet という関数を記述してプロジェクトのデプロイを行うことで作成した URL を利用して HTTP の POST/GET でネット越しのプログラム実行を行うことができる．POST/GET はインターネットにつながっているクライアントからサーバに対するリクエスト処理でいくつかのパラメータを受け取って処理を行い HTTP のプロトコルで結果を返す．本システムではクライアントから GET のプロトコルで要求を出すことでポイントデータやオーバーレイするレイヤ情報を取得できるようにすることで Google Spread Sheet に記述されている情報を外部から利用できるようにしている．Google Spread Sheet 側ではこれらのリクエストを受けて Google Apps Script を使って Spread Sheet 内データにアクセスを行い取得した値をクライアントに返す．位置情報のデータに対するリクエストの場合は GeoJSON，その他のデータリクエストの場合は JSON 形式でデータを作成しクライアントに送信している．

そのためこの Google Spread Sheet に定義されたハザードマップを表示するためには HTTP の GET/POST のリクエストを発行し，返ってきたデータを利用して地図描画を行うことができるプログラムがあれば機能を実現することができる（WEB プログラムでもネイティブプログラムでもよい）．

今回は一般公開用の WEB 地図を Maplibre.js を利用する WEB ページとして作成し，それのソースコードを GitHub に公開した．GitHub には GitHub Pages という WEB ページを公開する機能があるので前記の Google Spread Sheet と Google Apps Script を用意してデプロイして URL を取得し，GitHub Pages で公開したいソースコードでデプロイ URL が記述されている箇所を取得した URL に書き換えて GitHub Pages で公開すれば設定したハザードマップを WEB で利用することが可能になる．



図 4. Apps scripts 編集画面とデプロイボタン

また一般公開用の WEB ページとは別にデータ追加作業を行うことができる管理者用の WEB 地図を用意した．管理者用の WEB 地図は Google Spread Sheet のメニューから起動する．このメニューは用意した Google Apps Script を設定しておくと Spread Sheet 表示時に表示されるようになる．

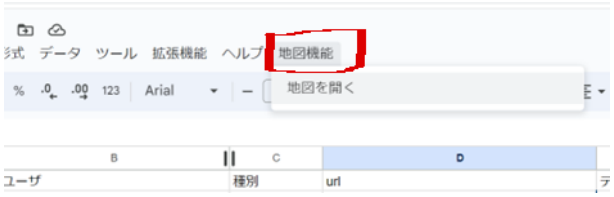


図 5 Spread Sheet に追加された地図機能ボタン

管理者用のシステムでは地図上をクリックして災害対策情報を登録することができる．地図表示画面の左上に「情報入力」というチェックボックスがある．



図 6 情報入力チェックボックス

このチェックボックスがチェックされた状態で地図上をマウス左ボタンでクリックするとその位置に情報を登録できる．地図上をクリックするとダイアログボックスが表示されるので，そこで情報の種別選択を行いコメント入力後に登録ボタンをクリックすると情報の登録を行うことができる．

登録された情報は緯度経度，情報種別，登録ユーザメールアドレス，登録日時，コメント等のデータが記述された Google Spread Sheet の 1 行のレコードとして記録される．現状で登録後の編集や削除は Google Spread Sheet のレコードを直接編集・削除することで可能である．

ここで選択可能な情報の種別は当該 Google Spread Sheet の #symbol という名前のシートで管理している．このシートに情報種別の名前と地図上に表示するシンボルアイコンの URL（SVG 形式ファイルの URL）を登録すると登録情報の種類を増やすことができ，情報登録ダイアログのリストボックスに名前が追加される．



図 7 情報登録ダイアログボックス

管理者用 WEB 地図の WEB ページとデータアクセスや地図描画用のスクリプトはすべて Google Apps Script の仕組みで記述している．よって WEB サーバは Google Spread Sheet が担当していることになる．管理者用 WEB ページを Google Apps Script で提供する WEB ページにすることによって利用者の認証や権限を Google Spread Sheet に対する権限で管理することになる．これにより認証や権限管理の仕組みを別途作成する必要がなくなる．

4. 2. システム運用と共助の仕組み

本システムの利点は運用時のコストが低いため地域の自主防災組織のようなボランティア民間組織での利用がしやすい．Google Spread Sheet は一定の容量以内なら利用のための料金はかからない．GitHub も基本機能は無料で利用できる．またこれらのプラットフォームはネットワークを介して複数メンバで共同作業を行うことができる．システムの運用にしてもサーバをたてる必要が無いため Google Spread Sheet の WEB Deploy の仕組みと GitHub の利用方法がわかれば管理ができる．

地域防災組織で防災マップ WEB サイトを立ち上

げ，運用始めると WEB サイトの運営だけでなく，データ更新のための地域情報のチェックからデータ修正といった活動が必用になる．データの修正についての情報交換を SNS 等のネットを利用して行うことが可能である．コミュニティ内の情報交換に情報通信システムを利用することによって地域の若年層，壮年層が地域コミュニティの活動に参加しやすくなることが考えられる．旧来型の地域コミュニティ活動は対面での会議や回覧板等を利用した情報共有を行うためその時間をあけて出向く必要がある．仕事を持っていることが多い壮年層にとって多くの時間を地域コミュニティのために割くことは困難な場合もあり，そのような年代の人達の地域コミュニティ活動参加の障害のひとつになる．コミュニティ活動の情報共有や意見交換を非同期にできる電子的な会議にすることによってコミュニティ活動参加者の幅を広げる可能性があるのではないだろうか．

5. まとめ

公助，共助，自助と災害への対応が分類される中で公助をになう地域コミュニティが組織率低下と担い手不足という課題に直面している．旧来型地域コミュニティの問題点打開の方法としてコミュニティ運営の手段として情報通信系サービスやツールを使うことが提案されている．それは行政を始めとした諸課題の解決に市民が情報通信技術を利用して参加するようなシビックテックの手法やコミュニティ形成とリンクするような方法が災害時の共助力向上の手法として考えられる．

本プロトタイプシステムは地域コミュニティによる地域の災害対策情報の収集と地図化という旧来コミュニティ方の活動と，その成果を電子化しオープンソースとオープンデータを利用したシビックテックで利用するような手法での応用を想定している．そのため旧来型地域コミュニティとシビックテック地域コミュニティやそれを志向する個人が共同して共助の仕組みを作ろうとする場合のツールや仕組みとして利用可能である．ソフトウェアもオープンソースで公開してあるので利用も修正も可能である．共助の仕組みを改良するための試行として利用例が増え評価のフィードバックがあれば仕組みの改良に利用したい．

本プロトタイプシステムのソースコードは以下の場所で公開している．ライセンスは MIT ライセンスである．

https://github.com/akbousai/lhazardmap

またシステムインストール用の解説は以下の場所にある．

https://github.com/akbousai/lhazardmap/blob/main/install.md

謝辞

本プロトタイプシステムは一般社団法人トヨタ・モビリティ基金様のプロジェクトで作成しました．作成のためのご支援に感謝いたします．

参考文献

(1) 国土交通省 (2015), 「水防法等の一部を改正する法律」が施行されました．
https://www.mlit.go.jp/river/suibou/suibouhou.html
(2) 国土交通省 (2020). 不動産取引時において、水害ハザードマップにおける対象物件の所在地の説明を義務化～宅地建物取引業法施行規則の一部を改正する命令の公布等について～,
https://www.mlit.go.jp/report/press/totikensangyo16_hh_000205.html
(3) 中央防災会議 災害教訓の継承に関する専門調査会 (2006) 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書.『1923 関東大震災（第 1 編）』
https://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1923_kanto_daishinsai/pdf/1923--kantoDAISHINSAI-1_06_chap3.pdf, 内閣府中央防災会議, 93-98.
(4) 中央防災会議 災害教訓の継承に関する専門調査会 (2006) 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書.『1923 関東大震災(第 2 編)』
https://www.bousai.go/jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1923_kanto_daishinsai_2/pdf/12_chap3-1.pdf, 内

閣府中央防災会議，139-140.
（5）内閣府．平成 26 年版防災白書 (2014) 災害教訓の継承に関する専門調査会報告書．共助による地域防災力の強化−地区防災計画制度の施行を受けて−.
https://www.bousai.go.jp/kyoiku/pdf/guidline_separate.pdf，内閣府 web event ，4-5.
（6）内閣府 (2023.8.17 閲覧)，みんなでつくる地区防災計画
https://www.bousai.go.jp/kyoiku/chikubousai/index.html
（7） 地域コミュニティに関する研究会 (2022)．地域コミュニティに関する研究会報告書
https://www.soumu.go.jp/main_content/000819371.pdf，総務省．5-10
（8） 国土地理院 (2023.8.17 閲覧)，町内会等で活用できる地図を作成する，
https://maps.gsi.go.jp/help/intro/general/tyonai.html
（9） 立川市 (2022)． 立川市防災マップ(地域編)錦町地域
https://www.city.tachikawa.lg.jp/bosai/bosai/bosai/hazard-map/bosai/bosai/bosai/hazard-map/nishikicho.html
（10）嘉山陽一 (2020)．Google Spread Sheet を利用した地理空間情報フレームワークの開発，地理情報システム学会　第 29 回学術研究発表大会 (2020 年) 講演論文集
（11）The White House (2009)， Transparency and Open Government，https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/transparency-and-open-government
（12） 高須正和 (2020)，東京都公式の新型コロナ対策サイトはオープンソースで作られた！，日経ビジネス「世界の工場」の明日，
https://business.nikkei.com/atcl/seminar/19/00058/031000042/

アンサンブル学習を加味した高分解能衛星画像による地震被害解析システムの構築

阪田　知彦*

System Construction for Post-Earthquake Damage Analysis using High-Resolution Satellite Images with Ensemble Learning

SAKATA Tomohiko*

As part of the development of technology for grasping and mapping urban damage condition after earthquake, I constructed an earthquake damage analysis system using high-resolution satellite images. This is an analysis system that implements CNN based on satellite images with a ground resolution of 30 cm. Aiming at further improvement of accuracy, I improved the system by adding ensemble learning. In this paper, I report the outline of the system, the introduction of ensemble learning method, the systematization based on web applications, and the effects of introduction in terms of estimation accuracy and computation time.

Keywords:高分解能衛星画像（High-Resolution Satellite Image）,AI（Artificial Intelligence），アンサンブル学習（Ensemble Learning）

１．はじめに

本稿は，大地震後の市街地の被害把握のための技術開発の一環で行っている高分解能衛星画像による地震被害解析システムの構築についての報告である．

この技術開発では，観測衛星データ等を元に，発災後からの時間的経過に応じたデータと手法を最適に組み合わせて，早期に建物の面的な被害把握を行うことを目論んでいる．そのうち，観測衛星データの活用では，これまでに衛星合成開口レーダー（SAR）から 3 時期コヒーレンスにより大まかな建物被害集中地区の把握技術の実用化と，高分解能可視光衛星画像から機械学習（AI）で建物 1 棟毎の被害の有無を判別する解析技術の開発を行ってきた（阪田：2021，2023）．本稿は後者についてのものである．

高分解能可視光衛星画像をはじめとした画像を元にした地震後の建物被害解析は，概ね被災前後の画像を元にした差分解析か，機械学習（AI）による解析に大別できる．データの入手性を考えると，機械学習のアプローチの方がややアドバンテージがあるが，本質的な学習モデルの性能の如何が結果の精度に直結するという意味では，様々な試行錯誤が求められるあたりに難しさがある．AI による建物被害把握を目的とした既往研究としては，建物被災度の検証に AI を用いた石井ら（2018）や建物屋根の損傷率の算出を目的とした藤田・畑山（2022）による研究等があげられる．

この技術開発の課題では，災害後の早期に被害結果を得ることを目的としていることから，先行研究を参考に，第 1 弾として高分解能可視光衛星画像と建物データを入力とし，畳み込みネットワーク（CNN: Convolutional Neural Network）を元にした学習機構と推定機構を持つ要素プログラムの開発を行った．続いて，実用性向上の改良版である第 2 弾として，複数の学習モデルの採用によるアンサンブル学習の導入と，データ取得から結果出力や外部提供までの工程を一貫してほぼ自動で行える仕組みの構築を行った．次章以降では，特に第 2 弾の開発概要とその効果等について述べることにする．

*　正会員　国立研究開発法人建築研究所住宅・都市研究グループ（Building Research Institute）
〒**305-0802**　茨城県つくば市立原 1 番地　E-mail：**sakata@kenken.go.jp**

２．改良版の設計

前述の通り，基本的な仕組みは，発災後の市街地の状況を観測した 1 時点の高分解能衛星画像データと，建物ポリゴンデータを用いて，Convolutional Neural Network(CNN)を用いた機械学習により建物 1 軒毎の被害推定を行うものである．学習・予測に用いるデータは，衛星データから建物ポリゴンの位置情報により建物を 1 軒毎に切り出したカラー画像を用いている．初期版は，1 種類の学習モデルを実装した学習機構と推定機構を持つシンプルなプログラム群であった．

今回のシステム改良の基本的な方針は，

① 学習モデルを追加し，アンサンブル学習や転移学習の導入する．
② データ入手から結果出力までをほぼ自動で行うことができるようにする．
③ WEB ブラウザーから必要な設定を行うことができるようにする

の 3 点である．

2.1　アンサンブル学習の導入

ここで重要なのは CNN として何を用いるかである．CNN の候補としては，例えば石井他（2018）で使用されている LeNet，藤田・畑山（2021）で使用されている AlexNet などが挙げられる．LeNet は 1998 年，AlexNet は 2012 年に提案されたモデルで，どちらも物体認識分野において一定の成果を収めている．一方 ResNet（Residual Networks : He, Kaiming, et al. 2015）は 2015 年に提案されたモデルで，大規模自然画像データセットである ImageNet を用いて学習され，名前の通り，後続の層に対して手前の層との残差を元に学習を進めるといった機構を入れていることから，一般物体認識において高い分類性能を持つモデルである．画像分類においては AlexNet を大きく凌ぐ結果を残している．また，層数も AlexNet が 14 層であるのに対して，提案された ResNet の中で最も層数の少ないものでは 18 層と複雑さは大差がことから，層数の少ないモデルであれば処理時間も大差はないと考えられる. 初期版では，この ResNet18 を用いた学習機構を構築した. 具体的には，ResNet18 を ImageNet データセットに対して学習させた重みは Python の機械学習パッケージ PyTorch で使用可能であるため，初期版では，この重みを利用した転移学習により被害推定モデルを作成することとした.

さらに改良版では，DenseNet（Gao et al. 2016）と MobileNet(Andrew et al. 2017）を追加し，アンサンブル学習が行えるように改良することにした.

以上により，前述の基本的な方針の①を解決した.

2.2　システム化

システム化にあたって，前項での学習機能のほかに実装した機能は次の a.から d.である.

a. AOI（Area of Interest：関心領域）の設定機能

基本的には，SHP 形式もしくは GeoJSON での読み込みにより，関心領域＝解析範囲を設定する．外部のシステムやソフトウェアで作成されたファイルを読み込むことを前提としている.

b.衛星画像取得機能

高分解能可視光衛星画像は様々あるが，ここでは，WorldView の観測画像を提供するアメリカ MAXAR（旧 Digital Globe）社の運用する衛星画像提供サービス「SecureWatch」より，API での画像読み込みに対応する. つまり，前項で取得した AOI のデータと，観測時期や観測衛星，雲量等についての条件に基づいて SecureWatch で画像を検索し，該当する画像があれば，AOI で切り出してダウンロードする．検索の結果，該当する画像がない場合は，その旨を画面上で表示し，一定時間後に再検索するか，検索（解析）を停止するかを決められるようにした.

c.解析結果の外部システムアップロード機能

解析結果の画像を，外部の災害情報の共有システムへのアップロードを行う機能を実装した．ここでは，SIP4D（基盤的防災情報流通ネットワーク）及び防災科研が開発中のワンストップシステムにアップロードする機能を実装した．いずれも，sftp によるアップロードである.

また，アップロードする画像には，著作権表示の文字を埋め込めるようにした.

d.コントロール機能

一連の解析を実行するにあたって，プロジェクト

管理，条件設定や進捗状況の表示を含むコントロール機能を実装した．ここでは，WEB ブラウザーから設定や実行ができるように，簡易的な WEB アプリケーションにした．

これらの機能は Python (version 3)で実装した（図 1）．構築したシステムは，Windows10 が稼働する PC で稼働するほか，AWS（Amazon Web Service）などのクラウド上でも稼働する．現状では，AWS 上（表 1）に実装し，WEB ブラウザーから設定・実行が可能な状態にある．

以上により，前述の方針②及び③を満たすことができた．

３．改良版の性能

3.1 アンサンブル学習導入の効果

検証に用いた画像は，2016 年熊本地震後に撮影された Worldview（地上分解能約 40cm 程度）である．学習には，事後に実施された被災建築物応急危険度判定の結果を利用している．精度検証は図 2 中，オレンジの点線の範囲で実施した．表 2 はアンサンブル学習を導入後の精度検証結果（正解率のみ）である．概ね，アンサンブル学習後の正解率等の数値が単体のモデルを適用した場合よりも 5%～10%程度向上した結果が得られている．

システム上は，多数決の結果が出力されるようにデフォルト値としている．

3.2 計算時間

上記の範囲での計算時間についても検証した．計測環境は前出の表 1 の環境下である．

アンサンブル学習を行った場合でも，行わない場合の計算時間と比較してパラメータの設定により若干の差異はあるものの，約 10%～20%の増加とどまっている．

４．まとめ

以上，大地震後の市街地の被害把握のための技術開発の一環で行っている高分解能衛星画像による地震被害解析システムの構築についての報告として，アンサンブル学習の導入や自動解析や WEB アプリケーション化について述べた．

さらなる性能検証や，学習モデルの改良，自動化にあたってのデフォルト値の取り方の検証等が必要であるが，今回のシステム化により，これまでの解析にかかる多くのプロセスを効率化できた．

さらに，中分解能衛星画像の活用や，衛星 SAR の解析結果とのハイブリッド活用（図 3）などについ

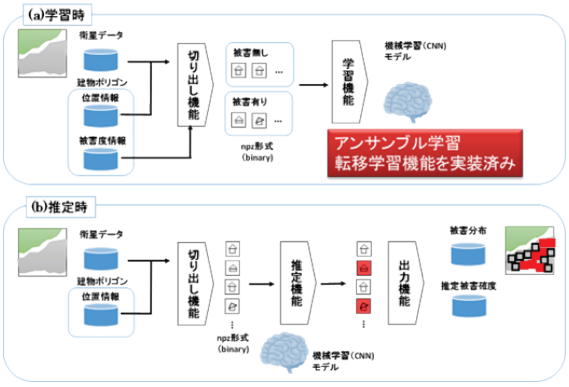


図 1　実装した機能イメージ

表 1　実装した AWS のスペック

No.	項目	システム構成
1	インスタンスタイプ	g4dn.xlarge (Intel Cascade Lake 4 コア NVIDIA T4 Tensor Core GPU メモリ 16GiB)
2	ソフトウェア製品	Windows Server 2022
3	施設・区域	東京リージョン (ap-northeast-1a)
4	公開ドメイン	なし（Elastic IP に直接アクセスする）

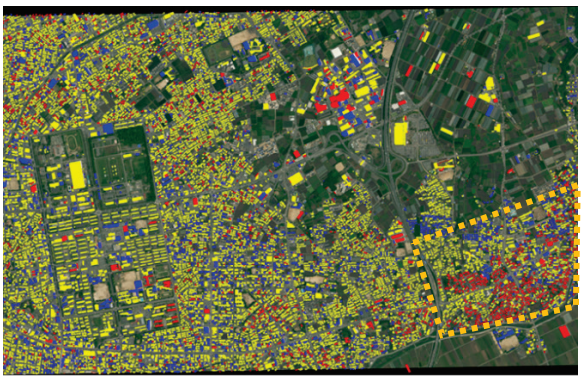


図 2　検証事例
（赤：全壊，黄：半壊，青：無被害，アンサンブル学習の多数決の結果を出力）

表 2　正解率

	ResNet-18	DenseNet-201	MobileNet V3-Large	アンサンブル学習		
				平均値	最大値	多数決
全壊	58.5%	57.5%	55.7%	58.5%	58.9%	57.5%
半壊	73.3%	79.2%	61.8%	79.2%	89.6%	85.1%
無被害	37.4%	39.4%	41.9%	39.4%	41.9%	46.5%
正解率	60.0%	62.8%	55.1%	63.1%	68.4%	67.0%

ても検討を行っている（注釈 1）．これらについては稿を改めたい．

謝辞

本研究は，戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」のうち「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」の建築研究所担当課題「建築物被害状況解析システム開発」(2018～2022 年度）の一環として実施した成果の一部である．

注釈

1. 別途開発中の衛星 SAR による 3 時期コヒーレンス解析を用いた被害解析システムからは，被害度が連続量で出てくることから，その被害区分を決めることが課題であった．同じ地点の衛星 SAR による結果と本稿での結果を突合することで，両者の関係を分析し，それから衛星 SAR の結果を被害区分に変換することが可能になっている．これも現在別途検証中である．

参考文献

石井 友･松岡 昌志･牧 紀男･堀江 啓･田中 聡(2018) 兵庫県南部地震後に撮影された航空写真と現地写真を用いた深層学習による建物被災度判別の試み，日本建築学会構造系論文集，2018，83 巻，751 号，pp. 1391-1400.

阪田知彦 (2021) 市街地の地震被害，横から観るか，上から観るか，令和 2 年度国立研究開発法人建築研究所講演会テキスト，pp57-67，https://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/r02/pdf/T06_Sakata.pdf（2023 年 8 月 31 日確認）.

阪田知彦（2023）市街地被害把握技術の開発事例とその未来，日本建築学会 2023 年度大会情報システム部門研究協議会資料，pp.30-35.

藤田 翔乃・畑山 満則（2022）屋根損傷率自動算出手法を用いた被害認定調査の迅速化と正確化，土木学会論文集 D3（土木計画学），77 巻，5 号，pp. I_57-I_68.

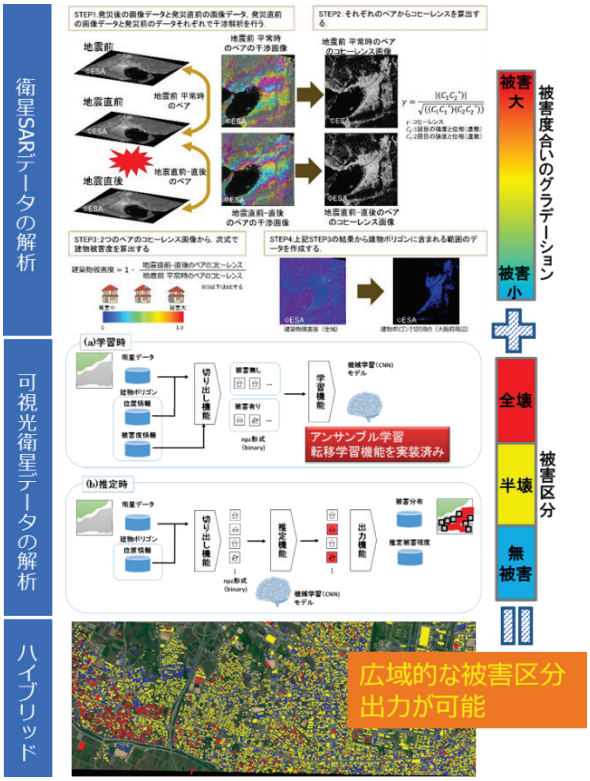


図 3　衛星 SAR 解析結果とのハイブリッド活用イメージ

Andrew G. Howard, Menglong Zhu, Bo Chen, Dmitry Kalenichenko, Weijun Wang, Tobias Weyand, Marco Andreetto, Hartwig Adam（2017）MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications, arXiv 2017, arXiv:1704.04861.

Gao Huang, Zhuang Liu, Laurens van der Maaten, Kilian Q. Weinberger（2016）Densely Connected Convolutional Networks，IEEE Conference on Pattern Recognition and Computer Vision (CVPR), pp. 4700-4708.

Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun(2016)：Deep Residual Learning for Image Recognition, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770-778.

Oral Presentation in GISA

移動・交通

Chair: Takehiro Kashiyama (Osaka University of Economics)
Sun. Oct 29, 2023 11:00 AM - 12:40 PM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

[D7-01] 滞在系列に基づく地域のベクトル表現を活用した社会経済データの高空間解像度化の試行

*Kakeru Ito[1], Ryo Inoue[1] （1. Tohoku University）

11:00 AM - 11:20 AM

[D7-02] GPSデータから推計した歩行量分布と街路形態指標の関連性評価

*Reo Watanabe[1], Shohei Nagata[2], Tomoki Nakaya[1] （1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 2. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University）

11:20 AM - 11:40 AM

[D7-03] 相対速度指数を用いた制限速度の評価方法

*Shion Muramoto[1], Kazunari Tanaka[1] （1. Osaka Institute of Technology）

11:40 AM - 12:00 PM

[D7-04] 鉄道駅が接続する大規模地下街における立ち寄り行動と滞在時間を考慮した歩行者時空間分布の推定

*Kosei Yatabe[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

12:00 PM - 12:20 PM

[D7-05] 航空機搭乗シミュレーションを用いた効率的な搭乗方法に関する基礎的検討

*Ryotaro Kinoshita[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

12:20 PM - 12:40 PM

©Geographic Information System Association

滞在系列に基づく地域のベクトル表現を活用した社会経済データの高空間解像度化の試行

伊藤 翔*　井上 亮**

A trial of spatial upscaling of socioeconomic data by vector representation of regions based on stay location series data.

Kakeru Ito, Ryo Inoue

Vector representations of regions have been attracting attention as a flow data analysis method. Word2Vec, a vector representation learning method, can learn vector representations of regions at different scales and for different purposes. In this study, we proposed to use the vector representation of regions by Word2Vec as spatial information in a method for Spatial upscaling of socioeconomic data. Experimental results in the Tokyo metropolitan area confirmed that vector representations using the proposed method extracted different features for different purposes for the same area and improved the upscaling accuracy. However, it was found that the vector representation cannot correspond to local changes in the data.

Keywords: データの高空間解像度化（spatial upscaling of data）. Word2Vec，滞在系列データ（stay location series data）

１．はじめに

ある地域で営まれる社会経済活動の特徴は，従業者数や総生産量など地域内のデータだけではなく，流出入する人や物資の多寡や移動する目的など地域間の関係を表すデータにも顕れる. この点に着目し，人や物資の流動を記録したデータから地域間の関係の強弱を分析し，圏域を把握する分析などが行われてきた．また近年，流動データから各地域の特徴量を抽出する分析も検討され, 地域の「ベクトル表現」を学習する分析はその一つである．流動データに基づく地域のベクトル表現は，地域間の同質性や連結性に関する地域の特徴をベクトル値の類似で表すよう学習される．得られたベクトル表現は，地域分類（Sun et al., 2018）や回帰分析の説明変数（Liu et al., 2020）としての利用など，幅広い問題に容易に適用できる利点を有する．

ベクトル表現の学習を活用した分析の多くは OD データを対象とするが，滞在地の系列データを対象とした研究（Crivellari & Beinat, 2019）も行われている．自然言語処理において単語のベクトル表現を学習する手法である Word2Vec（Mikolov et al., 2013）を個人の滞在地点系列に適用し，地点ごとの社会経済活動の特徴を表すベクトル表現を獲得できることを示した．滞在地系列に基づく分析を行うと，トリップパターンの多様性や，訪問する人の居住地範囲など，OD データのみの分析からは得られない特徴を抽出することができる．

この Word2Vec を活用し，系列データに追加的な情報を付与して分析すると，より詳細な地域特徴を抽出可能だと期待される．滞在地にその滞在目的を付与した系列データを学習すれば，目的ごとに異なる各地域のベクトル表現を獲得できるであろう．同じ地域でも，目的毎に滞在地系列内の出現方法は異なり，例えば，自宅との往復が多い職場としての地域と，近隣地域の周遊行動の過程で訪れる買い物や食事の目的地としての地域は異なる特徴を有する．滞在目的を付与した滞在系列からは，仕事，私事など目的別の地域特徴が表現できると考えられる．

また，滞在地の設定を行う際に，異なる階層の地域区分を設定し，滞在地系列データを生成すれば，

*　正会員　元　東北大学 大学院情報科学研究科（Tohoku University）
E-mail: kakeru.ito.s1@alumni.tohoku.ac.jp
**　正会員 東北大学 大学院情報科学研究科（Tohoku University）

各区分による異なる階層の地域の特徴や類似性を表すベクトル表現が獲得できる. このベクトル表現を，社会経済現象を表す空間データの高空間解像度化を実施する際の地域属性として活用すれば，推定精度の向上が期待できる．また，労働，商業といった社会経済データの性質に合わせて，滞在目的を付与した滞在地系列に基づくベクトル表現を利用することで，高精度の推定が可能になると考える．

そこで本研究は，滞在地系列に基づくベクトル表現を活用した，社会経済データの高空間解像度化を試行する．まず，滞在目的が付与された滞在地系列に Word2Vec を適用し，学習される目的別のベクトル表現が有している特徴を確認する．さらに，社会経済現象に関する空間データを用いて高空間解像度化を試行し，その適用可能性について議論する．

2．分析プロセス

2.1.で，Word2Vec のアルゴリズムを説明し，得られるベクトル表現の特徴を解説する. 次に, 2.2.では，地域のベクトル表現を目的ごとに学習し，社会経済データとの関連性の強い目的付きベクトル表現を地域属性として採択することを提案する．最後に 2.3.では，本研究で提案する，地域のベクトル表現を活用した社会経済データの高空間解像度化手法について述べる．

2.1. Word2Vec

Word2Vec は，「意味が類似する単語は，文章中の前後に登場する単語が類似する」という自然言語処理の考え方「分布仮説」に基づき，意味が類似する単語について類似のベクトル表現を学習する手法である. 図-1 にその代表的なアルゴリズムである, skip-gram モデルの概略を示す．Skip-gram モデルは，文章中の一単語に対し，設定した前後範囲（ウィンドウサイズ）内の出現単語を予測するニューラルネットワークで，入力される文章を正解データとして重み層を更新する．入力層は注目単語に対応する成分にのみ 1 が与えられた One-Hot ベクトルで，入力層と中間層の間の重み層の各行成分は各単語固有のベクトル値となる．これが Word2Vec で学習する単語のベクトル表現である．このベクトル表現は中間層にもそのまま表れるため，skip-gram の更新過程では，出力層における前後単語の予測結果が類似する単語間では類似のベクトル表現が学習される．なお，ベクトル表現間の類似度評価指標としては，一般に内積に基づく cos 類似度が用いられる．

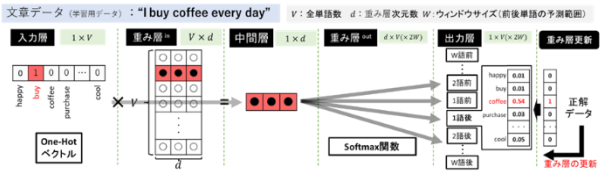


図-1　skip-gram のニューラルネットワーク

2.2. 滞在地系列に基づく地域のベクトル表現

Word2Vec を個人の滞在地系列に応用すると, 前後の滞在地域が類似する地域間で類似のベクトル表現を学習できる．既往研究（Crivellari & Beinat, 2019）では，ベクトル表現が近隣の地点間や，駅，空港といった機能が同じ地点間で類似することが観察され，本手法が地域ごとの社会経済の特徴を抽出できる手法として様々な地理分析問題へ応用できることを示している．

本研究は，滞在目的の情報を付与した滞在地系列（以降，目的付与系列）から，滞在目的ごとの地域のベクトル表現を学習することを提案する．図-2 は本研究で検討する，滞在目的を付与した滞在地系列を示す．目的付与系列では，各地域で目的の数だけベクトル表現が学習され，通勤は自宅と職場の往復が多い，買い物や食事などの私事は周遊行動が多いなどの，目的ごとの前後の滞在の目的や地域の差異を抽出し，同地域でも目的毎に訪問パターンが異なることをベクトルで表現できると期待される．

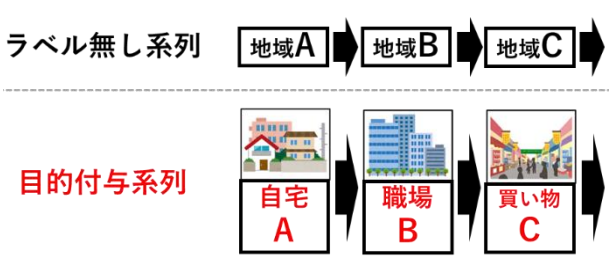


図-2　目的を付与した滞在地系列

社会経済データの高空間解像度化に応用する場合も，そのデータと関連性が強い滞在目的のベクトル表現を使用すると，精度が向上すると期待される．例えば労働に関するデータには仕事関連のベクトル，商業に関するデータには私事関連のベクトルが精度向上に大きく寄与すると考えられる．

2.3. 社会経済データの高空間解像度化

低空間解像度の地域区分（以降，大スケール）のデータから，高空間解像度の地域区分（以降，小スケール）のデータを推定する際に，各地域区分のベクトル表現を活用することを検討する．

提案する高空間解像度化の手順を図-3 に示す．まず，個人の滞在地点情報から，大スケール，小スケールをランダムに選択した滞在地系列データを生成する．これに Word2Vec を適用し，両スケールのベクトル表現を，同一の基準で学習できる．大スケール内に特徴的な小スケール地域が存在する場合，異質なベクトル表現が得られ，高空間解像度化の精度向上に寄与することが期待される．大スケールの地域区分に関するベクトル表現，及び，人口や訪問数などの属性を説明変数，その社会経済データを目的変数としたモデルを推定する．推定されたパラメータ，小スケールの地域区分のベクトル表現や属性を用いて小スケール単位の社会経済データを予測する．

本研究では，目的を付与しない系列（以降，ラベル無し系列）と目的付与系列から得られるベクトル表現それぞれについて，高空間解像度化を試行する．先述の通り，統計データの種類に応じて目的付きベクトルを選択できる，目的付与系列によるベクトル表現の方が，精度が高くなることが予想される．

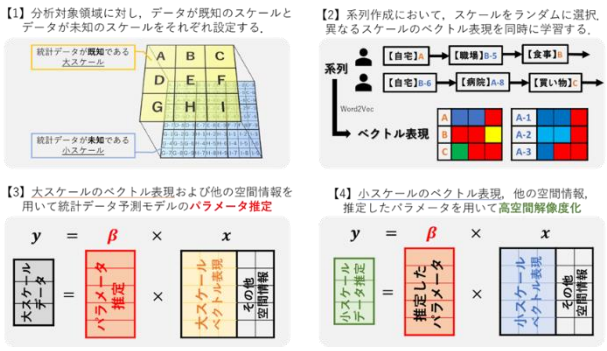


図-3　本研究における高空間解像度化手順

3．東京都を対象とした実験

東京大学空間情報科学研究センター「人の流れプロジェクト」提供の「疑似人流・活動データ」を個人の滞在地系列データとして用いて実験を行った．本データは各個人の一日の移動を疑似的に生成したもので，滞在地点に加え，その目的（自宅，職場，業務，学校，買物，食事，フリー，病院）の情報が付与されている．本研究では第 6 回東京都市圏パーソントリップ調査で定義されている東京都市圏（1 都 3 県および茨城県南部）在住者 28,190,067 人分の活動データを用いて，滞在地系列データの作成，および，ベクトル表現の学習を行い，東京都を対象にその特徴考察と高空間解像度化を試行した．ただし，ベクトル表現学習におけるウィンドウサイズは最大系列長である 16 とし，20 回以上登場しない（目的付与）地域は，学習対象から除外した．

3.1.ではまず目的ごとに学習したベクトル表現の特徴について考察する．そして 3.2.では小売業年間販売額のメッシュデータを用いて，地域のベクトル表現を活用した高空間解像度化を試行する．

3.1. ベクトル表現の特徴考察

東京都市圏パーソントリップ調査における小ゾーン単位をベクトル表現の学習スケールとして設定し，東京都の小ゾーン 416 地域のベクトル表現についてその特徴を考察する．

ラベル無し系列に基づくベクトル表現の，新宿駅西口地域に対する各地域の cos 類似度を図-4 に示す．既往研究（Crivellari & Beinat, 2019）と同様に，近隣の地域間で cos 類似度が高くなる解釈しやすい結果が得られた．これは近隣の地域は前後の滞在地域が類似することを表す．また，同様の距離に対する類似度減衰の傾向は目的付与系列によって得られるベクトル表現でも観察された．

目的付与系列から得られたベクトル表現の大きな特徴として，同種の目的間で特に類似が強くなる傾向が見られた．表-1 は，新宿駅西口地域の 3 目的のベクトルについて，cos 類似度が高い上位 3 ベクトルを示したものである．職場と自宅のベクトルはそれぞれ他地域・同目的のベクトルと強く類似したほか，買物のベクトルは同地域の食事，フリーなどの

私事行動のベクトルと高い類似度を示した．他地域でも同様の傾向がみられ，滞在目的を考慮した滞在地系列から得られるベクトル表現は，仕事，私事などの目的の性質の違いを区別できたことが確認できた．

また，本研究により得られるベクトル表現では，Word2Vec に基づく単語のベクトル表現が有する 2 つの特徴が観察された．1 つはベクトル表現間の解釈しやすい演算（例：「丸の内＜食事＞」—「丸の内＜職場＞」＋「新宿駅西口＜職場＞」＝「新宿駅西口＜食事＞」）が可能であったこと．もう一つは前後滞在地域の多様である地域ではベクトル表現の長さが短くなる傾向を持つことが確認された．

3.2. 小売業売上メッシュデータの高空間解像度化

メッシュデータでモデル推定を行い，都心 6 区の 500m メッシュ単位の販売額を予測し，実データと比較して精度を検証する．本分析ではベクトル表現の学習スケールとして，東京 23 区外では市区町村単位，東京 23 区では 1km メッシュを設定し，都心 6 区（千代田，中央，港，新宿，文京，渋谷）では 500m メッシュのベクトル表現を 1km メッシュと同時に学習した．

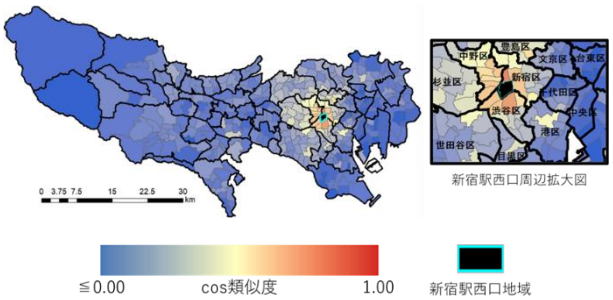


図-4（ラベル無し）新宿駅西口に対する cos 類似度

表-1（目的付与）新宿駅西口に対し類似度が高いベクトル

	＜職場＞	＜買物＞	＜自宅＞
#1	代々木 ＜職場＞	新宿駅西口 ＜食事＞	高井戸 ＜自宅＞
#2	北新宿 ＜職場＞	新宿駅西口 ＜フリー＞	鷺宮・白鷺 ＜自宅＞
#3	幡ヶ谷 等 ＜職場＞	新宿駅西口 ＜病院＞	新宿駅東口 ＜自宅＞

表-2 に本分析で検討した属性を示す．【訪問数】は，すべてのモデルに共通して用いる地域の集客規模を表す指標である．【訪問数】に，ラベル無しベクトル（【ラベル無】）や，私事ベクトル（【私事主成分】）を組み合わせ，モデルの構築，および，500m メッシュ販売額を推定する．

モデルの精度比較指標として，モデルの構築精度（決定係数，AIC）と，販売額の推定精度（RMSE）を用いる．RMSE は，モデルによる予測値（制約無），および，1km メッシュの実データ値とそれに属する 500m メッシュの予測値の総和が等しくなるよう按分した値（制約有）それぞれについて示す．

表-2 検討した地域属性および表-3 での表記

表-3 表記	地域属性
【訪問数】	自宅を除く全データ中の訪問回数
【ラベル無し】	ラベル無しベクトル 100 次元
【私事主成分】	次元圧縮した私事ベクトル（買物/食事/フリー）266 次元
【仕事主成分】	次元圧縮した仕事ベクトル（職場/業務）228 次元
【私事仕事主成分】	次元圧縮した私事および仕事ベクトル 357 次元

検討した 5 つのモデルについてモデル構築精度，および，販売額の推定精度を表-3 に示す．目的付きのベクトル表現を活用したモデルは，ラベル無しのベクトル表現を用いたモデルや，【訪問数】のみを使用したモデルと比較し，精度が高くなった．また，【私事主成分】を用いたモデルの精度が【仕事主成分】を用いたモデルと比較し，モデル構築精度や制約有 RMSE の値が良かったことから，商業データである販売額の推定に対し，私事行動の特徴を表す私事ベクトルが特に有用であったことが考察される．

一方，いずれのモデルでもベクトル表現は 1km メッシュ内で生じている販売額の大きな違いを説明することはできなかった．図-5 に推定した販売額と実データとの誤差分布を示す．東京駅や新宿駅などのターミナル駅周辺の商業施設が集積する 500m メッシュでは販売額が過小に推定され，隣接するメッシュでは過大に推定されている．得られた地域のベクトル表現は，局所的な販売額の違いを表す情報を有していないことが確認された．

表-3 高空間解像度化 精度比較

	モデル構築		推定販売額 RMSE	
	R^2	AIC	制約無	制約有
【訪問数】のみ	0.610	-1224.0	46298.0	34555.4
【訪問数】＆【ラベル無し】	0.677	-1291.1	45575.6	33913.5
【訪問数】＆【私事主成分】	0.763	-1390.0	43480.9	32222.1
【訪問数】＆【仕事主成分】	0.711	-1321.3	**43194.1**	33393.6
【訪問数】＆【私事仕事主成分】	**0.798**	**-1453.3**	45981.1	**32041.2**

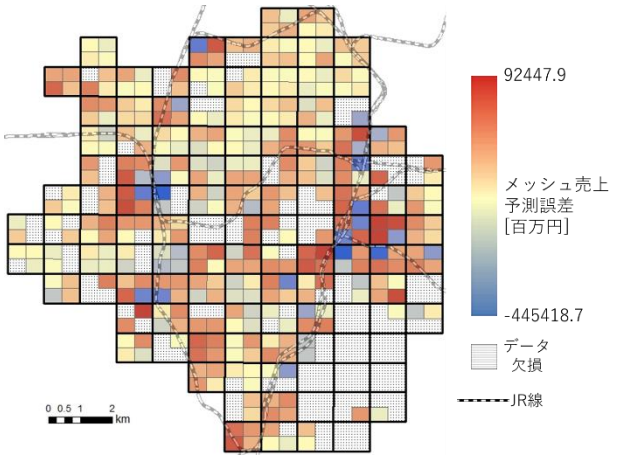


図-5 【訪問数】＆【私事主成分】での推定誤差

4．まとめ

本研究では，自然言語処理における単語のベクトル化手法である Word2Vec を活用し，目的を付与した滞在地系列から，目的ごとの地域のベクトル表現学習を行った．また，学習したベクトル表現についてその特徴を考察するとともに，それを活用した社会経済データの高空間解像度化を試行した．分析の結果，目的の性質の違いを区別したベクトル表現が学習されるとともに，高空間解像度化の精度を向上させる属性情報となった．今後の検討課題としては，局所的な統計量の変化を捉えることができるベクトル表現の学習アルゴリズムを構築することや，高空間解像度化プロセスの改良が挙げられる．

謝辞

本研究は，東京大学 CSIS 共同研究（No.1184）による成果である（利用データ：疑似人流・活動データ　茨城県/埼玉県/千葉県/東京都/神奈川県データセット（CSIS 人の流れプロジェクト事務局提供））．

参考文献

Crivellari, A. and Beinat, E.: From motion activity to geo-embeddings: Generating and exploring vector representations of locations, traces and visitors through large-scale mobility data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **8**(3), 134, 2019.

Liu, K. Zhang, M. Xi, G. Deng, A. Song, T. Li, Q. Kang, M. and Yin, L.: Enhancing fine-grained intra-urban dengue forecasting by integrating spatial interactions of human movements between urban regions. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, **14**(12), e0008924, 2020.

Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G.S., and Dean, J.: Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 26, 2013.

Sun, Y. Deng, H. Zhao, L. Li, S. Zhang, Z. Du, R. and Hou, Z.: Discovering Urban Functional Areas Based on Node2vec-Taking Shanghai as an Example. In *2018 11th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, IEEE, 195-199, 2018.

GPS データから推計した歩行量分布と街路形態指標の関連性評価

渡邉怜央*・永田彰平・中谷友樹*****

Associations of street morphology indicators with on-street pedestrian volumes estimated by GPS data

Reo WATANABE*, Shohei NAGATA** and Tomoki NAKAYA***

The growing interest in walkable cities has led to an increasing number of studies on relationships between distributions of pedestrian volumes on streets and indicators of street network morphology, such as local integration value based on space syntax theory. Despite the diversity of these indicators in terms of local ranges and weights, there have been few studies comparing them. In this study, a comparative evaluation of the association of various street morphological indicators with the citywide distribution of the amount of walking estimated from GPS data of approximately 20,000 people in Sendai City, Japan. The results indicate the superiority of local centrality indices weighted by floor spaces of buildings to predict on-street pedestrian volumes.

Keywords: GPS データ（GPS data），歩行量（pedestrian volume）, Space Syntax 理論（Space Syntax theory），街路形態（street configuration），仙台市（Sendai City）

１．はじめに

近年，walkable な都市デザインへの関心が高まっているが（Ramakreshnan et al., 2021; 中谷・埴淵, 2019），都市計画の領域では，街路のにぎわいに代表される都市の活力の観点から，街路上の歩行量（歩行者数）の分布を規定する都市の物的環境特性が長く議論されてきた．特に，Space Syntax 理論（以下，SS 理論）に基づくローカルな Integration 値（以下，Int.V）を代表とする街路ネットワークの中心性に依拠した街路形態指標は，歩行量の分布をよく予測する指標とされてきた(Sharmin & Kamruzzaman, 2018)．SS 理論とは，ロンドン大学の Bill Hillier 教授らによって確立された，空間のつながり方を，グラフ理論を援用して定量的に評価する手法である(Hillier et al. 1984)．Hillier らによれば，接続性の高い街路は，心理的に歩行者に選ばれやすくなる上に，店舗等の歩行者を誘導する施設の立地が促進され，結果として接続性の高さは，それ単独で街路上の歩行量と強く関連することになると説明する Natural Movement 仮説を提唱している(Hillier et al, 1993)． SS 理論による街路接続性指標と各街路の歩行者数を比較分析した荒屋ほか(2005)などでは，指標値が高い街路で歩行者数が多くなることが示されている．また，Hajrasouliha & Yin (2015)では，歩行者数を目的変数，周辺の土地利用や Int.V，人口密度を説明変数とした構造方程式モデリングを行うことで，街路の接続性が直接歩行者数を増やす直接効果のみならず，高度な土地利用の誘引を介して歩行者数を増やす間接的な効果をもたらすことを推定し，Hillier et al.(1993)の仮説を支持している．

しかし，街路上の歩行量分布を SS 理論に基づく指標と関連づけるにしても，指標を算出する際の解析半径や，接続を判定する街路結節点間の関係，街路への重み付けなど，様々な指標値が計算できるにも関わらず，それらを比較した研究は限られている．特に，接続性が高くても歩行者を吸引する土地利用

* 学生会員 東北大学大学院環境科学研究科（Tohoku University）
〒**980-8572** 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 E-mail：**reo.watanabe.s2@dc.tohoku.ac.jp**
** 正会員 東北大学災害科学国際研究所（Tohoku University）
*** 正会員 東北大学大学院環境科学研究科（Tohoku University）

が成立するかは統計的な関係でしかないとすれば，接続性の評価に歩行者を吸引する土地利用の多寡に相当する重みを街路に適切に加えることで，歩行量の分布をよりよく予測する接続性指標が定義できると期待される．さらに，先行研究のほとんどは，街中の歩行量を実際に現地で調査しているものが多く，その対象範囲は都心の狭い範囲に限定されている．

このように，従来の研究では (1)街路形態指標の解析単位，解析半径，加重方法等の多様性に着目した比較検討に乏しいこと，(2)市街地の狭い範囲を対象とした評価が中心であること，の 2 点に課題がある．そこで本研究では，宮城県仙台市を対象に，約 2 万人の GPS データから推計した歩行量の都市市街化域内全域の分布と，異なる設定で定義した各種の接続性指標群の比較評価を目的とした．

２．方法

2.1. 対象地域と使用データ

本研究では, 宮城県仙台市の人口集中地区(DID)を対象とする．仙台市はおよそ 110 万人の人口を擁する（2020 年国勢調査による）東北地方の中心的都市であり，戦災復興による区画整理の有無や地形との関係で街路網の形態的特徴が異なる市街地が混在していることから，多様な形態の街路と歩行量の分布の関係を評価するには適切だと考えられる．

本研究では街路上の歩行量の推定に，株式会社ブログウォッチャーが提供する，許諾を得たユーザのスマートデバイスから取得され，特定の個人が識別されないための加工が施された GPS データを利用した．街路ネットワークとしては，都心部で歩行者ネットワーク（株式会社マップル）を，その範囲外では ArcGIS Geo Suite2021（ESRI Japan 株式会社）による自動車専用道を除いたデータを利用した．この２つの街路網データを，接続性を維持しながら結合した上で，セグメント（街路の最小分割単位）に分割した．

2.2. 歩行量分布の推定

歩行量の分布には，GPS データより，2021 年 10 月 1 日から 10 月 31 日の期間に，仙台市内に居住が推定される 20 歳代から 60 歳代の 19,249 人の仙台市内における位置情報を利用した．総ポイント数はおよそ 8684 万ポイントである. ただし, 測位精度が 50 m 以上の位置記録は，対象外とした．

このうち，一日の中で各デバイスに対し取得間隔が 5 分以内のログを抽出し，取得されたポイントをさらに街路ネットワークにスナップさせ，さらに当該抽出ログ間は最短経路に沿って移動すると仮定してマップマッチング処理を行い，移動軌跡を作成した．この軌跡のうち，起点と終点の時刻差とライン長をもとに速度を算出し, 秒速 0.1 m 以上, 秒速 1.67 m 以下のラインを歩行軌跡（松本ほか, 2009）とした．本研究では，街路セグメントごとにそのセグメントを通過する歩行軌跡の本数を算出し，各セグメントの歩行量推定値とした．

2.3. 推定歩行量のバリデーション

GPS データから推定した歩行量の妥当性を，2021 年 10 月 7 日（木）, 11 月 24 日（水）, 11 月 25 日（木）の午前 7 時から午後 7 時に仙台都心部の主要道路で行われた自転車歩行者交通量調査の結果と比較して検討した．当該調査日の 3 日間を通して合計 60 本の主要道の各点を通過した歩行者数を記録している（調査日によって調査地点は異なる）. 本研究でも同じ地点にポイントを設定し, 10 月 7 日の調査に対しては, 同じ日に取得された GPS データから推定された歩行軌跡を，11 月 24 日（水）と 25 日（木）の調査に対しては，同じ曜日であることから，それぞれ 10 月 13 日（水）と 10 月 14 日（木）に取得された GPS データから推定された歩行軌跡の数との相関関係を評価した．

2.4. 近接中心性指標の算出

本研究では, SS 理論を用いて算出できる接続性指標のうち，歩行量と関係が強いとされてきた近接中心性指標に着目した．その解析半径と解析単位，距離の定義，加重方法のそれぞれについて複数の状態を設定して, 比較する近接中心性指標群を定義した．利用した指標群とそれぞれの設定の違いについては, 表 1 に整理した．

表 1　本研究で扱う近接中心性指標の概要

解析単位	指標	距離定義	解析半径	重み	計算式	数
セグメント	Int.V	角度	500, 1,000, 2,000 [m]	—	(1a), (1b)	3
	Int.V	メトリック	500, 1,000, 2,000 [m]	—	(1a), (1b)	3
	NInt.V	角度	500, 1,000, 2,000 [m]	—	(2)	3
	NInt.V	メトリック	500, 1,000, 2,000 [m]	—	(2)	3
	WInt.V	角度	500, 1,000, 2,000 [m]	W_F, W_B, W_{NB}, W_S	(4a), (4b)	12
	WInt.V	メトリック	500, 1,000, 2,000 [m]	W_F, W_B, W_{NB}, W_S	(4a), (4b)	12
	WNInt.V	角度	500, 1,000, 2,000 [m]	W_F, W_B, W_{NB}, W_S	(5)	12
	WNInt.V	メトリック	500, 1,000, 2,000 [m]	W_F, W_B, W_{NB}, W_S,	(5)	12
Axial Line	ALInt.V	位相	3 step	—	(3)	1
Natural Road	NRInt.V	位相	3 step	—	(3)	1
					計	62

指標の計算には，GIS 上で様々な街路形態指標を算出できる Spatial Design Network Analysis (sDNA) (Cooper et al., 2020)を，ArcGIS desktop 10.8.1 で使用した．なお，Axial Line(1)，Natural Road(2)の作成および, ALInt.V, NRInt.V の算出には, Axwoman 6.3 (Jiang, 2015)を ArcGIS desktop 10.4.1 で使用した．

まず，sDNA を用いて，セグメントごとに平均深度(Mean Depth, MD)を複数の解析条件で算出した後に，Mean Depth から近接中心性指標の一種である Int.V を計算した（式(1a), (1b)）(Hillier, 2007).

$$MD = \frac{\sum_{y \in R_x} d(x,y)\, P(y)}{\sum_{y \in R_x} P(y)} \qquad (1a)$$

$$Int.V = \frac{\sum_{y \in R_x} P(y)}{MD} \qquad (1b)$$

ここで $d(x,y)$は発地 x から目的地 y までの設定した距離定義における最短距離を表す．$P(y)$は y の中点が x の解析半径 R 内に含まれる場合（Rx はそうした y の集合）に 1 を，含まれない場合は 0 をとる．

距離の定義(3)は，角度距離とメトリック距離および Axial Line に基づく位相距離を比較した．角度距離・メトリック距離を用いる場合の解析半径については 500 m, 1,000 m, 2,000 m を比較した．これは 5 分程度での移動が可能な 400 から 500 m が従来の徒歩圏の最小単位であることを考慮した．

また，インドで歩行者数と複数の接続性指標値および土地利用の関係を検討した Nag et al. (2022)において，歩行量との関連が最も強いことが報告された Normalised Integration Value (NInt.V)を，本研究でも算出した（式(2)）(Hillier et al., 2012)．この値は，解析半径内のノード数に依存しない値になるよう Int.V を標準化した値である．

$$NInt.V = \frac{\sqrt[1.2]{\sum_{y \in R_x} P(y)}}{\left(MD \times \sum_{y \in R_x} P(y)\right) + 2} \qquad (2)$$

続いて，位相距離の場合について Axial Line および Natural Road ごとに解析範囲を接続回数 3 回以内(3step)に設定した ALInt.V，NRInt.V を算出した（式(3)）(van Nes & Yamu, 2020)．この値は，NInt.V と同様に解析半径内のノード数に依存しない値である．ここで，k は解析半径内の Axial Line または Natural Road の本数を示す．ALInt.V に関しては，Axial Line に対し算出される値であるため，歩行量との相関を見る際に適した単位ではない．そこで，各セグメントに最も近い Axial Line の ALInt.V をそのセグメントの値とした．また，NRInt.V は，Natural Road と呼ばれる複数のセグメントを接合した線分に対し算出される値であるため，Natural Road ごとに歩行軌跡の数を計上し，NRInt.V との相関を確認した．

$$NRInt.V, ALInt.V = \frac{k\left\{log_2\left(\frac{k+2}{3}\right) - 1\right\} + 1}{(k-1)(MD-1)} \qquad (3)$$

なお，従来の近接中心性指標は，各セグメントにおける活動機会の多寡が考慮されておらず，目的地としてのポテンシャルが全て均一だと定義した上で計算されてきた. これに対し, 仙台市に居住する人々の歩数と土地利用暴露の関係を検討した Nagata et al.

(2022)では，鉄道駅の周囲や高層化した都心部に滞在する時間が長いほど，1 日の歩行時間が長くなることを明らかにした．そこで本研究では，セグメントに与える重みとして，鉄道駅への近接性に関する重み(W_S)と周囲の建物に関する重み(W_F, W_B ,W_{NB})を評価することにした．

W_Sは, 各セグメントに対して, 最寄りの鉄道駅（地下鉄を含む）の一日の平均乗降客数（国土数値情報，平成 29 年度）を直線距離(m)で除した値を重みとした．ただし，乗降客数の記載がなかった駅に対しては，隣接する駅の平均値とした．

W_F, W_B ,W_{NB}はそれぞれ，各セグメントの両側 30 m 以内に位置する建物の階数の平均値，床面積の合計値，目的地となりうる施設と想定される名称付き建物[4]の床面積の合計値である．

なお, 建物の情報は 2020 年 Zmap-TOWNII （株式会社ゼンリン）を利用したが，階数データが含まれていない場合には，主として一戸建て住宅とみなして一律に 2 階建てとした．床面積の合計値は，各建物の階数に建物ポリゴンの面積(m^2)を乗じた値である．

以上のようにセグメントごとに算出した 4 種類の重みをもとに，重み付き近接中心性指標 Weighted Int.V (Wint.V)を定義した（式(4a), (4b)）．

$$weighted\ MD = \frac{\sum_{y \in R_x} d(x,y)W(y)P(y)}{\sum_{y \in R_x} W(y)P(y)} \qquad (4a)$$

$$WInt.V = \frac{\sum_{y \in R_x} W(y)P(y)}{weighted\ MD} \qquad (4b)$$

さらに，重みを付けない場合と同様に重み付き標準化近接中心性指標（WNInt.V）を定義した（式(5)）．

$$WNInt.V = \frac{\sqrt[1.2]{\sum_{y \in R_x} W(y)P(y)}}{\left(weighted\ MD \times \sum_{y \in R_x} W(y)P(y)\right) + 2} \qquad (5)$$

2.5. 分析方法

以上のように，3 種類の解析半径，2 種類の距離定義，4 種類の重みを設定したセグメントベースの近接中心性指標に加え，Axial Line と Natural Road を解析単位とした近接中心性指標の合計 62 種の指標を算出した．これらの指標と GPS データによる推定歩行量との相関行列を作成し，歩行量分布と最も対応する指標を明らかにする．

３．結果

3.1. 推定歩行量のバリデーション

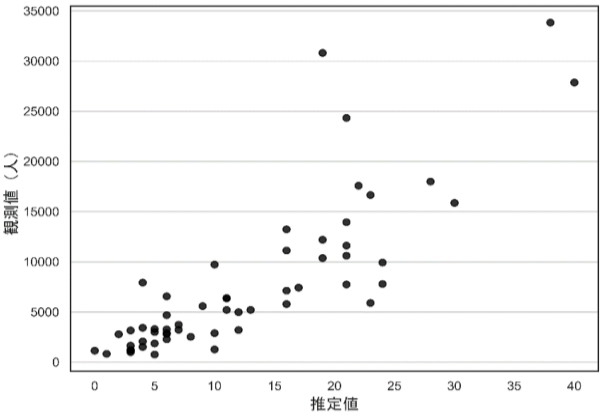


図 1　GPS データによる歩行量推定値と歩行量調査による観測値との散布図

図 1 に, 各セグメントにおける GPS データに基づいた推定歩行量と歩行量調査による観測歩行量との関係を示した．2 値の間には線形な関係が認められ，その強い相関関係（ピアソンの積率相関係数は 0.83）から本調査で利用した歩行量の推定値は街路上の歩行者数分布を適切に捉えていると考えられる．

3.2. 歩行量の基本統計量と分布

歩行量の平均値は 75.6，中央値は 31.0，標準偏差は 154.0 である．なお，歩行量が 0 のセグメントについては分析対象外とした．図 2 に街路上の歩行量のカーネル密度分布を示す．最も高密度な値は，中心商業地のある仙台駅西側に認められる．このエリア以外では，南部の長町駅周辺や北部の泉中央駅周辺といった副都心地区にも歩行の集積が見られる．これら歩行量密度の高い地区は，交通結節点や商業施設の集中する地区に対応する．

3.3. 歩行量と近接中心性指標との相関

表 2 に，重みをつけない従来型の近接中心性指標

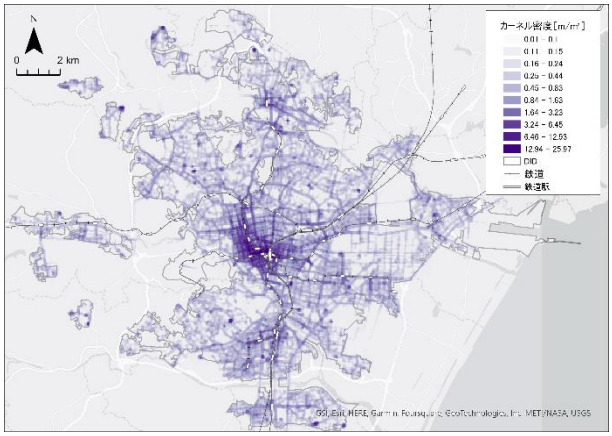


図 2　歩行量のカーネル密度分布図

表 2　近接中心性指標と歩行量の相関

指標	距離	解析半径			
		500 [m]	1,000 [m]	2,000 [m]	3 step
Int.V	角度	0.511	0.497	0.400	—
	メトリック	0.644	0.641	0.513	—
Nint.V	角度	-0.036	0.013	-0.010	—
	メトリック	0.465	0.532	0.490	—
ALInt.V	位相	—	—	—	0.282
NRInt.V	位相	—	—	—	0.382
	平均	0.396	0.421	0.348	0.332

表 3　重み付き近接中心性指標と歩行量の相関

指標	距離	重み	解析半径 [m]		
			500	1,000	2,000
Wint.V	角度	W_S	0.646	0.756	0.736
		W_F	0.639	0.776	0.648
		W_B	0.726	0.803	0.726
		W_{NB}	0.730	0.802	0.727
	メトリック	W_S	0.594	0.693	0.737
		W_F	0.719	0.763	0.680
		W_B	0.655	0.747	0.734
		W_{NB}	0.657	0.748	0.735
WNInt.V	角度	W_S	0.377	0.448	0.443
		W_F	0.094	0.142	0.119
		W_B	-0.001	0.258	0.232
		W_{NB}	-0.001	0.297	0.261
	メトリック	W_S	0.657	0.702	0.728
		W_F	0.617	0.669	0.669
		W_B	0.678	0.734	0.741
		W_{NB}	0.675	0.723	0.727
		平均	0.529	0.629	0.603

について，歩行量分布との相関関係（ピアソンの積率相関係数）を整理した．相関係数の値は角度距離よりもメトリック距離の方が一貫して高く，標準化した指標および位相距離で算出した指標は相対的に低い．最も高い相関係数値はメトリック距離での Int.V(r=500 m)の 0.645 であり，その分布を図 3 に示した. また, 角度距離による NInt.V および ALInt.V, NRInt.V は，歩行量分布との間に強い相関は見られなかった．

図 3 より，仙台駅周辺の密集市街地のうち特に西側のエリアは歩行量の分布と同様に Int.V が顕著に高く，移動効率の良いエリアだと考えられる．一方で，歩行量の分布とは異なり，南光台や桜ケ丘のような郊外住宅地でも値が高くなっている．これらのエリアでは歩行量密度は低いため，街路の情報だけに依拠した近接中心性指標に歩行を促す機会の情報を付与する必要性がうかがえる．

表 3 に，4 種の重み(W_S, W_F, W_B, W_{NB})を反映させた近接中心性指標と歩行量との相関係数を示した．

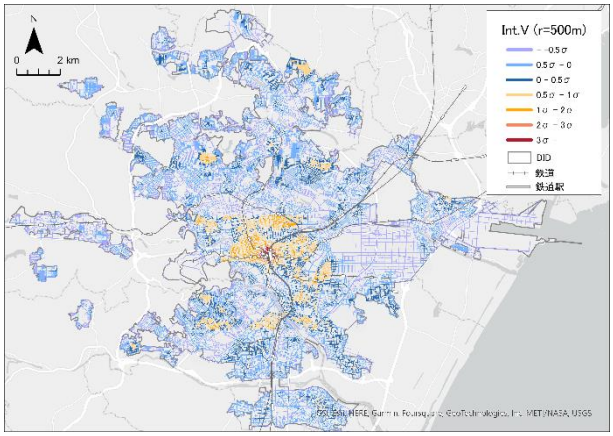


図 3　メトリック距離による Int.V (r=500 m)の分布図

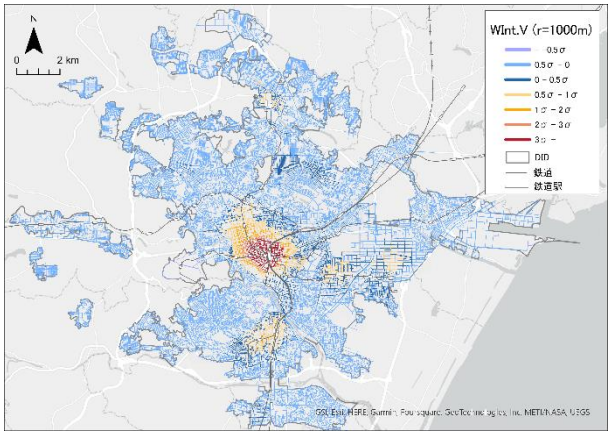


図 4　W_B で重み付けした角度距離による WInt.V (r=1,000 m)の分布

最も高い相関係数値は W_B で重み付けした角度距離での WInt.V(r=1,000 m)で得られる 0.803 である．この指標の分布を示した図 4 を図 3 と比較すると，仙台駅周辺の密集市街地や長町駅周辺の副都心地区で WInt.V が面的に高くなっている一方で，郊外住宅地の値は低くなっており，実際の歩行量により近い分布図になっていることが観察される．

図 5 は，この WInt.V と歩行量分布の関係を示す散布図であり， LOWESS 回帰による傾向曲線を加えてある．原点から離れるほど回帰線周りの散布度が大きくなる傾向が見られるものの，全体としては線形でほぼ近似できる関係を示している．

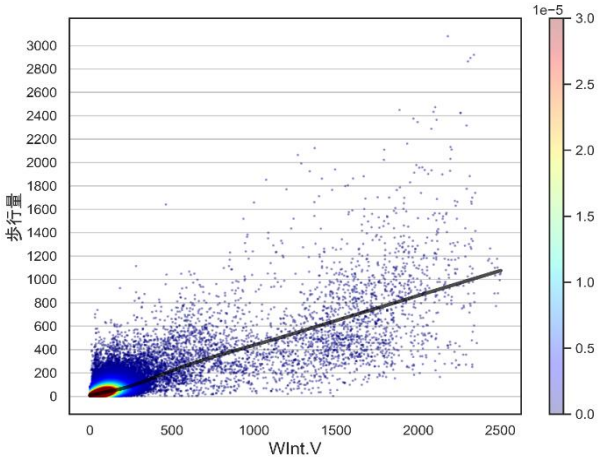


図 5　W_B で重み付けした角度距離による WInt.V（r=1,000 m）と歩行量の散布図

4．考察

本研究の分析結果より，建物床面積で重みを付けた指標(Weighted Int.V)が，街路上の歩行量の分布と強く相関し，従来の重みを付けない近接中心性指標よりも歩行量の分布を適切に反映した指標として利用できることが確認された．

従来の指標と歩行量の分布との相関が低いことは Hillier et al. (1993)の主張する Natural movement 仮説そのものを否定する訳ではないが，街路形態が歩行者にとっての活動機会の分布をどの程度反映するかは，地域的な文脈に依存することを示唆している．欧米社会においては，都心部を特徴づける接続性の高い街路構造は，主として間隔の狭いグリッド状の街路網をその典型例とし，それに対してクルドサックを多用する接続性の低い郊外の街路網が歩行を阻害する街路形態と考えられてきた．しかし，日本では，丘陵地開発を含め郊外の住宅地が面的に開発される際に，グリッド状の区割りをもつ高い接続性をもった街路網が設計されることも多く，区画整理によって整然とした街路網をもった市街地が開発されても，歩行者の回遊機会を高める土地利用が自然と発生しない場合も存在する．

なお，標準化した角度距離による指標群と位相距離による指標群は，歩行量分布との間に強い相関は見られなかった．このことは，標準化によって抽出される街路の形態ばかりでなく，街路網の密度が歩行量の分布とよりよく関係することを示唆する．

最後に歩行者の回遊機会の多寡の指標として床面積で重みづけた指標(Weighted Int.V)が，街路上の歩行量の分布と強く相関することは特筆すべき結果である．これは，街路の周囲にある建物の高層化が歩行者を誘引する機会と密接に関連することを示している．市街地の高層化は垂直的な土地利用分化をもたらすため（戸所, 1975），周囲の建物の高さは歩行者にとっての活動機会の規模と多様度を反映する良い指標となっていることが考えられる．

従来，そうした詳細な建物の情報を網羅的に入手すること自体に多くの費用を要していたが，近年では Plateau や Open Street Map Buildings など建物の形状と高さを有する地理情報のオープンデータ化が急速に普及しつつある．そのため，街路上の歩行量をよりよく予測しうる建物の分布を考慮した街路形態の指標は，walkable な都市空間の評価においてさまざまな活用が今後期待される．

注釈

(1) Axial Line とは，街路の最も長い視線を表す軸線のことである．

(2) Natural Road とは，セグメントの接続角度が 45 度以下の場合にセグメントを接合させ，連続したラインとみなした線分である．Axial Line よりも適切に歩行量や交通量を反映できると指摘されている (Jiang & Liu, 2007).

(3) 角度距離で指標を算出する場合，セグメント間

の移動負荷(depth)をその接続角度を用いて定義し，α 度で交わるセグメントへの移動負荷は depth = α°/180×2 で表される．メトリック距離の場合は，セグメントの中点間の街路ネットワークに沿った距離(m)を移動負荷とし，位相距離の場合は，セグメント間の折れ曲がり回数を移動負荷とする(Hillier & Iida, 2005).

(4) 名称付き建物には，ビル，アパート，マンション，事業所，公共施設，寺社が含まれる．

参考文献

荒屋　亮・竹下輝和・池添昌幸（2005）スペースシンタックス理論に基づく市街地オープンスペースの特性評価．日本建築学会計画系論文集，**70**(589),153-160.

戸所　隆（1975）名古屋市における都心部の立体的機能分化―中高層建造物を中心に―．地理学評論，**48**, 831‐846.

中谷友樹・埴淵知哉（2019）ウォーカビリティと健康な街．日本不動産学会誌, **33**, 73‐78.

松本直司・清田真也・伊藤美穂（2009）街路空間特性と歩行速度の関係．日本建築学会計画系論文集, **74**, 1371‐1377.

Cooper, C.H.V., Chiaradia, A.J.F., (2020) sDNA: 3-d spatial network analysis for GIS, CAD, Command Line & Python. SoftwareX, **12**, 100525.

Hajrasouliha, A., & Yin, L. (2015) The impact of street network connectivity on pedestrian volume. Urban Studies, **52**, 2483–2497.

Hillier B. (2007) Using Depthmap for Urban Analysis: A Simple Guide on What to Do Once You Have an Analyzable Map in the System. The Bartlett School of Graduate Studies, MSc Advanced Architectural Studies 2007-8, University College London.

Hillier, B., & Hanson, J. (1984) *The social logic of space.* Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Hillier, B., & Iida, S. (2005) Network and Psychological Effects in Urban Movement. In: Cohn, A.G., Mark, D.M. eds *Spatial Information Theory*, *COSIT 2005, Lecture Notes in Computer Science, vol 3693*, Berlin, Heidelberg; Springer, 475–490.

Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993) Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. Environment & Planning B: Planning & Design, **20**, 29–66.

Hillier, B., Yang, T., & Turner, A. (2012) Normalising least angle choice in Depthmap and it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space. Journal of Space Syntax, **3**, 155–193.

Jiang B. (2015) Axwoman 6.3: An ArcGIS extension for urban morphological analysis, University of Gävle, Sweden. <http://giscience.hig.se/binjiang/Axwoman/>

Jiang, B., & Liu, C. (2007) Street-Based Topological Representations and Analyses for Predicting Traffic Flow in GIS. International Journal of Geographical Information Science, **23**(9).

Nag, D., Sen, J., & Goswami, A. K. (2022) Measuring Connectivity of Pedestrian Street Networks in the Built Environment for Walking: A Space-Syntax Approach. Transportation in Developing Economies, **8**, Article number: 34.

Nagata, S., Nakaya, T., Hanibuchi, T., Nakaya, N., & Hozawa, A. (2022) Development of a method for walking step observation based on large-scale GPS data. International Journal of Health Geographics, **21**, Article number: 10.

van Nes, A., & Yamu, C. (2021) Introduction to Space Syntax in Urban Studies. Springer: Cham, Switzerland.

Ramakreshnan, L., Aghamohammadi, N., Saun Fong, C., & Meriam Sulaiman, N. (2021) A comprehensive bibliometrics of "walkability" research landscape: visualization of the scientific progress and future prospects. Environmental Science and Pollution Research, **28**, 1357–1369.

Sharmin, S., & Kamruzzaman, M. (2018) Meta-analysis of the relationships between space syntax measures and pedestrian movement. TRANSPORT REVIEWS, **38**, 524–550.

相対速度指数を用いた制限速度の評価方法

村元至穏*・田中一成**

Evaluation Method of Speed Limit Using Relative Velocity Index

Shion Muramoto*, Kazunari Tanaka**

In Japan, we are witnessing a declining population, an aging society with a declining birthrate, the emergence of the sharing economy, the need for people-centered utilization of roads, the need to stay on the road, changes in social and economic conditions as seen in the creation of liveliness, the emergence of new technologies related to roads such as CASE, and new mobility such as electric kickboards. Road utilization needs are becoming more diverse than ever before. Until now, speed limits inside cities have been set at a certain speed. We will attempt to hypothesize the most appropriate speed setting for the speed limit. We believe that road comfort depends on how people use the road (pedestrians, bicyclists). In this study, we quantified comfort by focusing on the speed and width of movement and visualized them using GIS.

Keywords: 道路（road），移動速度（velocity），道路幅員（road width）,相対速度指数（relative velocity index）

１．はじめに

日本における総人口は 2008 年をピークに減少をはじめ，65 歳以上の高齢者の人口の割合は年々増加している．現在の日本は高齢化率が 21%を超える超高齢化社会を迎えており，2050 年には人口の 3 人に 1 人が高齢者になると推測されている．このような少子高齢化を背景に道路が目指すべきサービスとして多様な価値観に基づく個性的で豊かな生活を可能にする「安全・円滑・快適な移動」の確保，地方において経済と生活を支えるサービスや資源の共有を可能にする交通網，高齢者が活動しやすい集約型都市構造の実現・道路の景観や文化的要素への注目といったことが挙げられている．

さらに，国土交通省の「2040 年道路の景色が変わる」では人と車両が空間をシェアしながらも安全で快適に移動や滞在のできるユニーバーサルデザインの道路が，交通事故のない生活道路を形成するという安全性や快適性が確保された道路が挙げられている．こういった歩車共存の道路の一例としては「Shared Space」が挙げられる．これは道路上の信号や標識類をできるだけ撤去し，空間デザインに配慮し最低限の交通ルールと人々のコミュニケーションによって歩車共存道路に再構築するというものである．これは日本の限られた道路空間において利用者の安全性や快適な交通を実現するために有効であると考えられる．しかし，道路の計画をおこなう際に道路の安全性や快適性をどのように評価していくかが課題として挙げられる．

２．研究目的

現代の日本において CASE（コネクティッド，自動運転，シェアリング，電動化）など道路に関する新たな技術の登場，電動キックボードや自動配送ロボットなど新たなモビリティが出現している．こういったなかで現在の道路の移動形態（歩行, 自転車, 車など）だけではなく今後利用頻度が増加すると考えられる新たなモビリティにも対応することができる評価の方法を考えていく必要があると考える．さらに，これに基づいてこれまで一定の速度で決められてきた都市内部の制限速度について最も適切な速

* 学生会員 大阪工業大学 工学研究科 建築・都市デザイン工学専攻 博士前期課程（Osaka Institute of Technology）
〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5 丁目 16－1 E-mail：m1m22109@oit.ac.jp
** 正会員 大阪工業大学 工学部（Osaka Institute of Technology）

度設定を仮説的に試みる．本研究では道路の通りやすさや歩きやすさは道路を利用する方法（歩行者，自転車など）によって異なると仮定し，同一の方法を用いてこれらの可視化をおこなうことを目的とする．

３．研究方法

本研究では予備調査として歩行者の目線で撮影した画像を用いて路側帯や歩道の通行しやすさについてアンケート調査をおこなう．これをもとに，道路の快適性（通行しやすさや歩きやすさ）の可視化をおこない制限速度の評価をおこなうために指標値を作成する．

４．予備調査

歩道幅員が歩行者へ与える快適性への影響を調査することを目的にアンケート調査をおこなった．アンケートは歩道の道路と路側帯の道路それぞれ 5 種類の画像を歩道や路側帯の幅員を変化させ通行しやすさについて 5 段階で評価するものである．加工した画像の一部を図 1 に示す．



図 1　幅を変化させた画像の一部

道路幅員全体に対する道路や歩道の幅員の割合と快適性の関係を図 2 と図 3 に示す．歩道のある道路では 42.9%，路側帯のある道路では 20.8%で通りやすいと思う（5）・やや通りやすいと思う（4）人の合計が最大となっている．これらの結果から歩道や道路の幅員は道路の快適性と比例関係にないと考えられる．

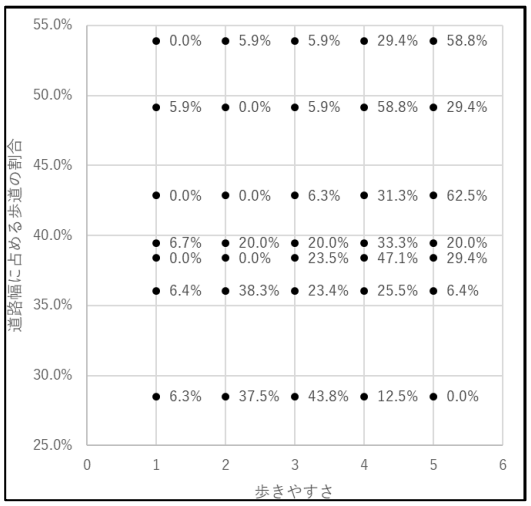


図 2　歩道の結果

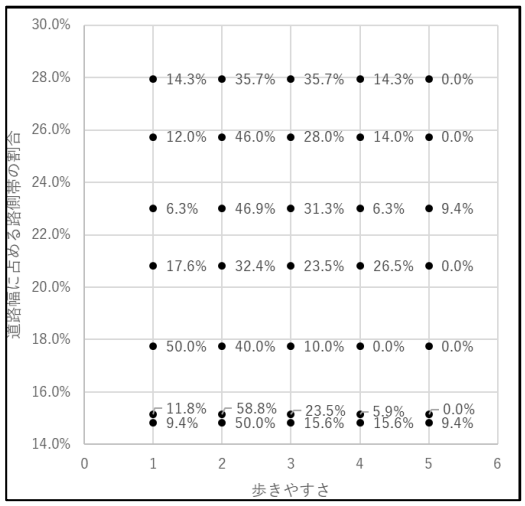


図 3　路側帯の結果

５．指標値

人が生活するうえで速度と心理状態は密接に関係していると考える．これは例えば道路空間において街路樹などの遮る物がなければ速度の速い車が歩いている側方を通過した際には危ないといった嫌悪などを抱くが，遅い車が通過した際には嫌悪感などを抱かず何も気にならない場合もあると考えられる．これは歩車に限らず歩行者対自転車や歩行者同士でも同様であると考える．そのため快適性などの感情を数値化するにあたり速度と占有幅に着目し，指標値として相対速度指数を用いる．占有幅とは，各利用形態の物理的に必要とされる幅員に一定の余裕幅（通行しやすい幅）を加えた幅を占有幅とし道路構造令では規定されていないが歩道などの幅員の根拠

として考えられるものである．例えば，すれ違い等の実際の交通形態を想定して歩行者，自転車，車椅子の占有幅を基礎として歩道などの幅員を規定している．相対速度指数（以下 RVI）は次の式（1）によって算出する．

$$RVIi = \frac{Vi}{Wi} \quad (1)$$

$RVIi$：各移動体の相対速度指数（/s）
Vi：各移動体の移動速度（m/s）
Wi：各移動体の占有幅（m）

各移動形態の占有幅については表 1 と表 2 に示す．特に自動車については速度によって占有幅に差が生まれると考え本研究では道路構造令で定められた移動速度毎の車道幅員を用いることとした．

表 1　自動車以外の各移動方法の占有幅

道路の移動方法（i）	Wi（m）
車椅子	1.00
傘を差した歩行者	1.00
ベビーカーを押す歩行者	0.75
歩行者	0.75
自転車	1.00
バイク	1.30

表 2　自動車の速度毎の占有幅

移動速度（km/h）	Wi（m）
$V \leq 80$	3.50
$60 \leq V < 80$	3.25
$40 \leq V < 60$	3.00
$V < 40$	2.75

６．可視化

斉藤らの研究では心電図計測により得られる心拍数を解析することにより歩行者が自動車や自転車とすれ違う場合に感じるストレス感を調査し，自動車とのすれ違いが示唆されていない場合速度と歩車間距離の影響を受け，特に速度 40km/h，歩車間距離 0.5 mにおいて精神的な負荷が大きいとしている．そのため本研究では歩車間距離が 0.5m，速度 40km/h で移動する自動車に対して歩行者が平均歩行速度（1.3m/s）で移動する場合の RVI の傾きがそれぞれの移動方法の影響範囲と仮定し RVI を用いて可視化をおこなった．今回可視化をおこなうにあたり撮影した道路の幅員構成は路側帯の幅員が左右に 1.5m，車道幅員は 3m の計 6mである．可視化にあたりグリッド上に RVI を計算しその側方から影響範囲をとった方法と移動形態の中心にその移動方法の RVI をとりグラフを作成した方法の 2 種類の方法を使用した．グリッドは 50×50（cm）で作成した．撮影した画角とグラフを作成した際の交通状況とグリッドを図 4 に示す．



図 4　画角とグラフ作成時の状況とグリッド

移動形態をグリッド上に配置し RVI を計算しグラフを作成したものが図 5 である．これをもとに，移動形態の中心からの距離による影響変化を考慮して，移動形態の中心に RVI 値をとったグラフが図 6 である．

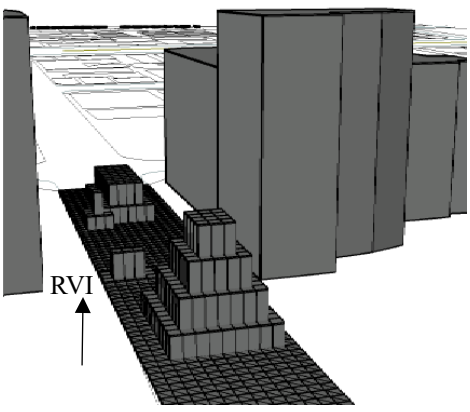


図 5　移動方法が通るグリッドに作成した場合

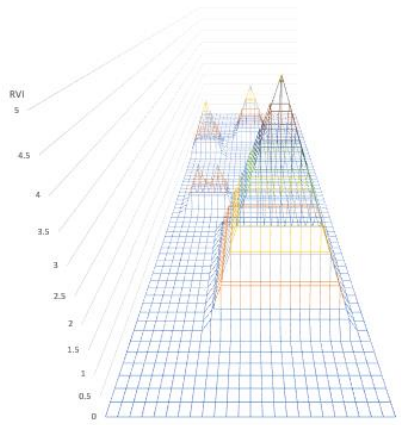


図 6　移動方法の中心からグラフを作成した場合

道路空間において自転車やバイクといった二輪車両は歩行者に対して影響を与えやすい可能性があることは明らかである．さらに道路における制限速度の評価では,移動方法相互のグラフの重なりと傾き（変化）を用いることで，断面上の影響を評価することができる．

7．おわりに

予備調査から道路幅員に占める歩道や路側帯と快適性が比例関係にないことが明らかとなった。そこで速度と占有幅に着目した相対速度指数によって可視化し評価を試みた。本研究で使用した相対速度指数は速度を占有幅で除していることから，今後電動キックボードなどの乗り物についても占有幅について調査をおこなうことで対応することが可能であると考える．実際の道路においては周囲の街路樹などストリートファニチャの影響や道路周辺の店舗など周辺環境の影響を受けていることが想定されるため，補正係数を示す予定である．

参考文献

内閣府，令和 4 年版高齢社会白

国土交通省道路局，多様なニーズに応える道路　ガイドライン，令和 4 年 3 月

国土交通省，2040 年、道路の景色が変わる～人々の幸せにつながる道路 https://www.mlit.go.jp/road/vision/pdf/01.pdf, 2023 年 5 月

豊茂雅也・宮川愛由・田中均・金森敦司・山崎佳太・藤井聡，日本における Shared Space の有効性についての実証実験，土木計画学研究・講演集，2011 43

細谷江梨子・浅野光行，わが国におけるシェアード・スペース導入可能性，土木計画学研究・講演集，44 巻，2011 年 11 月

国土交通省，道路構造令について，https://www.mlit.go.jp/road/sign/pdf/kouzourei_full.pdf，2023 年 5 月

日本道路協会，道路構造令の抜粋，https://www.road.or.jp/event/pdf/07_kouzou22.pdf ，2023 年 5 月

斉藤健治・清田勝，自動車，自転車とのすれ違いにおける歩行者のストレスに関する心拍変動による評価，Reports of the Faculty of Science and Engineering, Saga University， Vol. 34, No.2, 2005

鉄道駅が接続する大規模地下街における 立ち寄り行動と滞在時間を考慮した歩行者時空間分布の推定

矢田部航成 *・大佛俊泰 **・岸本まき **

Estimating Pedestrians' Spatiotemporal Distribution Considering Stopover Behavior and Dwell Time in Massive Underground Space Connected to Railway Stations

Kosei YATABE*, Toshihiro OSARAGI** and Maki KISHIMOTO**

Abstract: In a massive underground space connected to multiple railway stations, where transfer passengers and store visitors coexist, detailed information of pedestrian traffic flow is important not only for managing pedestrian's movements and planning evacuation strategies, but also for evaluating urban redevelopment effects. The authors have previously introduced a method for estimating pedestrian Origin-Destination (OD) flow, considering pedestrians' specific behavior including stopover behavior, using hourly pedestrian cross-sectional flow survey data. This paper aims to refine the temporal analysis by attempting to enhance the temporal resolution of the observed data. Subsequently, we construct a method for estimating pedestrian OD flow, considering dwell times of pedestrians in the underground space.

Keywords: 立ち寄り行動（stopover behavior），地下空間（underground space），エントロピー最大化法（entropy maximization method），時空間分布（spatiotemporal distribution），OD 推定（Origin-Destination matrix estimation）

１． はじめに

複数の鉄道駅が接続する大規模地下街は，鉄道の乗換利用者や周辺施設を繋ぐ通路としての利用者だけでなく，食事・買物を目的とする利用者が混在する．このような地下街における精緻な歩行者交通量の把握は，歩行者流動の制御や避難計画の策定に限らず，都市再開発の効果検証においても重要である．歩行者断面交通量調査（断面調査）を用いたＯＤ交通量の推定手法は提案されているものの，歩行者行動を考慮した分析は十分でない．筆者らは，これまでに，1 時間単位の歩行者断面交通量調査から，立寄りなどの歩行者特有の行動を考慮した歩行者ＯＤ交通量を推定する手法を構築した（矢田部ほか, 2023）．しかし，調査データはある単位時間内での集計量となるため，分析結果はこの制約を受けることになる．

本稿では，調査データの時間分解能を向上させることで，より精緻に歩行者時空間分布を推定する手法を構築する．具体的には，まず，調査データの時間分解能を向上させ，6 分間隔のデータとした上で，移動距離と立寄りに応じて歩行者属性を分類する．その上で，属性ごとの流入出者数を想定することで，OD 交通量を推定し，流入出地点・時刻ごとの歩行者時空間分布

* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 E-mail:yatabe.k.aa@m.titech.ac.jp
** 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）

について考察する．

2． 分析対象地域と調査概要

福岡市天神地下街を分析対象地域に設定する（図 1(a)）．本稿で使用するデータを図 1(c)(d)(e)に示してある．歩行者断面交通量調査（断面調査）は，福岡市が 5 年ごとに実施している調査である．地下街の全出入口（計 36 地点）における 1 時間あたりの移動方向別交通量 ${}_oO_i^h$，${}_oD_j^h$ が得られているものの，通路部における交通量 ${}_oT_l^h$ の観測地点は限られている．また，筆者らは，店舗内の滞留者数を把握するため，滞留者観測調査（滞留調査）実施した．本調査では，断面調査からは得られない，地下街内の全店舗における 1 時間ごとの時間断面滞留者数が得られている．

3． ＯＤ交通量の推定手法

3.1. エントロピー最大化法を用いた OD 交通量推定と流入出者数の制約条件

歩行者時空間分布を得るには，起終点間の交通量を示すＯＤ交通量が有用である．筆者らは，これまで，エントロピー最大化法を用いることで，断面調査データから地点 *i-j* 間のＯＤ交通量 T_{ij} を推定してきた（図 2）．具体的には，歩行者が地点 *i-j* 間の移動に要するコスト c_{ij} とコスト平均 c^*，各地点の流入出者数 o_i，d_j を与えることで，ＯＤ交通量 T_{ij} を推定する．詳細は矢田部ほか（2023）を参照されたい．

なお，ＯＤ交通量 T_{ij} の推定では，「時刻 t [1] における地下街の流入出者数の合計 O^t, D^t が一致する」という制約条件を満たす必要がある．しかし，断面調査による流入出者数 ${}_oO^h$，${}_oD^h$ はこの条件を満たさない（図 1(e)）．そのため，データの前処理を行ない，制約条件を満たす必要がある．

3.2. ＯＤ交通量推定の概要

本稿における，ＯＤ交通量推定の概要を図 3 に示してある．具体的には，まず，調査データの時間分解能を向上させる（4.1 節）．次に，滞在者数と移動距離，立寄り行動に応じて，歩行者属性を分類する（4.2 節）．その上で，属性ごとに算出した流入者数 ${}_sO_i$，${}_lO_i$，流出者数 ${}_sD_j$，${}_lD_j$（5.1 節），移動コスト ${}_sC_{ij}$，${}_lC_{ij}$（5.2 節）を用いて，評価指標 F を最小化するＯＤ交通量 T_{ij} を推定する（5.3 節）．以上のように，調査データの時間分解能を向上させ，歩行者の属性別に流入出者数を想定することで，制約条件を満たすことが可能となる．

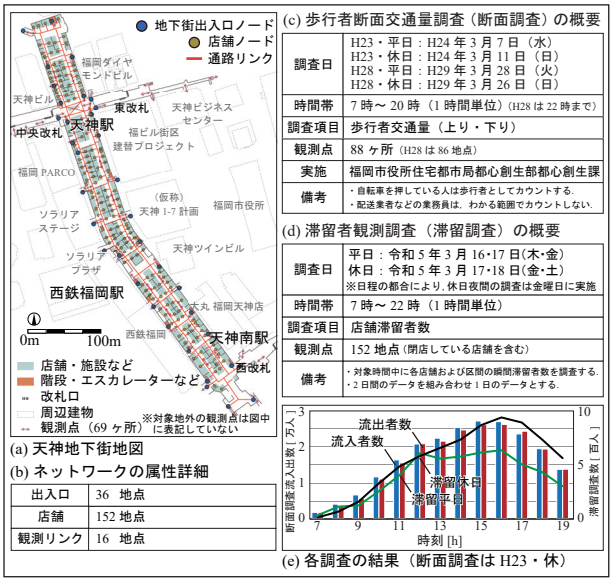


図 1　天神地下街地図および調査の概要

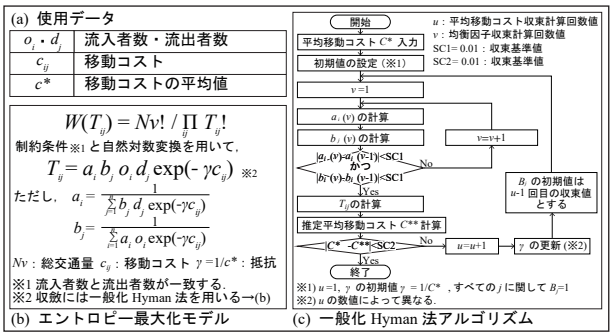


図 2　ＯＤ交通量推定手法

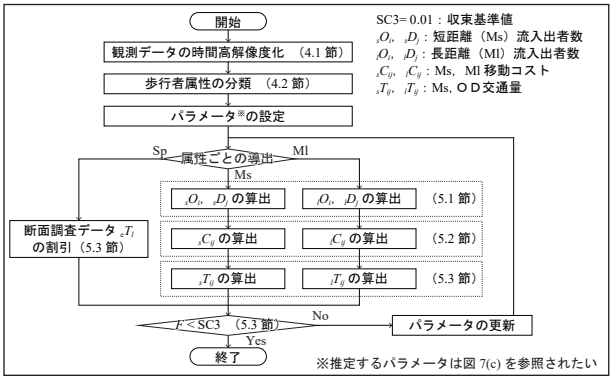


図 3　ＯＤ交通量推定の概要

4．　歩行者属性に応じた流入出者数の定義

4.1. 各調査データの時間分解能向上

本稿では，断面調査データと滞留調査データで得られた 1 時間単位の観測値 Ob^h をスプライン補間することで，調査データの時間分解能を上げる（図 4(a)）．スプライン補間した流入出者数の時刻推移を図 4(b) に，滞留者数の時刻推移を図 4(c) ②（破線）に示してある．

4.2. 滞在者数の調整

時刻 t における，地下街内の滞在者数 V^t は，各時刻までの流入者数 O^t と流出者数 D^t の累積度数の差で求められる（大佛，2002；図 4(c) ①）．調査データごとに算出した滞在者数 V^t の時刻推移を図 4(c) ②に示してある．一部の調査データにおける不自然な時刻推移は，調査者の計測誤差に起因すると考えられる．そこで，本稿では，断面調査データで得た滞在者数を，滞留調査データを用いて正規化する（図 4(d)）．以降の分析では，滞在者数 V^t の時刻推移が自然である平成 23 年の休日の正規化済み断面調査データを用いる．

4.3. 地下街の歩行者 3 属性

地下街に混在する様々な歩行者を，地下街での滞在時間を基準として，3 つの属性へ分類する（図 5(a)）．具体的には，6 分未満（1 単位時間）で移動を完了する短距離移動者（Ms），6 分以上 12 分未満（2 単位時間）で移動を完了する長距離移動者（Ml），店舗への立ち寄り行動を取る立寄者（Sp）とする．

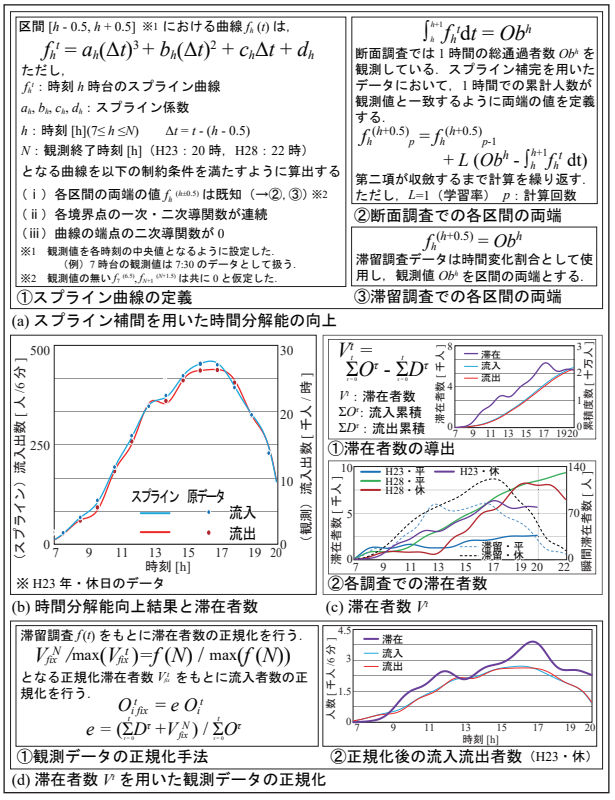


図 4　データの時間分解能向上

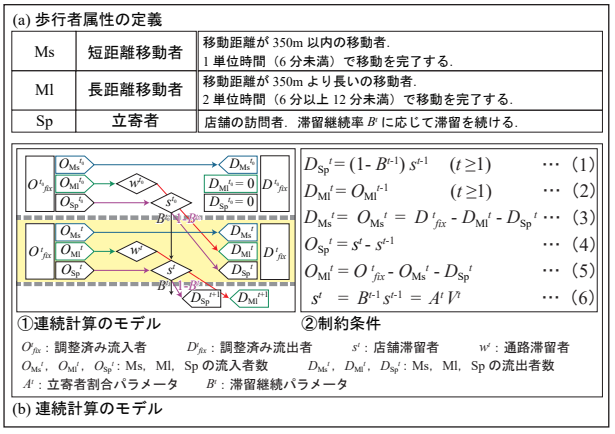


図 5　歩行者の属性分類

5．属性分類による歩行者時空間分布推定手法

5.1. 制約条件に基づいた属性別流入出者数

地下街の歩行者属性分類手法を図 5(b) に示してある．各属性の流入出者数は，パラメータ A^t，B^t および各属性での流入出者数が一致するという制約条件（図 5(b) ②）から，連鎖的に算出される．パラメータは OD 交通量推定結果に依存して変動する．パラメータの推定手法は 5.3 節を参照されたい．

5.2. 属性分類別の移動コスト

移動コストの算出方法を図 6 に示してある．コストの定義においては，地点 i-j 間を結ぶ多様な経路の中から，歩行者が選択しうる経路を推定する必要がある．本稿では，一定の条件を満たす経路を抽出し，移動可能距離（本稿では 350m）を基準として，短距離移動者 Ms 経路群 ${}_sR_{ij}$ と長距離移動者 Ml 経路群 ${}_lR_{ij}$ へ分類する（図 6(b)）．歩行者行動特性（図 6(a)）に応じてコストを算出し，Ms の移動コストを ${}_sC_{ij}$，Ml の移動コストを ${}_lC_{ij}$ とする．

5.3. 属性分類に対応した歩行者時空間分布推定

歩行者属性ごとに，歩行者時空間分布を推定する（図 7）．Ms と Ml については，まず，流入出者数と移動コストからＯＤ交通量 ${}_sT_{ij}$，${}_lT_{ij}$ を推定する．次に，ＯＤ交通量 ${}_sT_{ij}$，${}_lT_{ij}$ から，リンク交通量 ${}_{se}T_l$，${}_{le}T_l$，${}_{le}T_l'$ を算出する．この時，Ml 経路群 ${}_lR_{ij}$ に含まれるリンクの内，流入地点 i からの距離が，移動可能距離（350m）を超えるリンクの経路交通量 ${}^rU_{ij}$ は，次の時刻のリンク交通量へ加算することに注意する．その上で，評価指標 F を最小化するように勾配法を用いてパラメータを推定する（図 7(d)）．本稿では，簡単のため，Sp によって発生するリンク交通量 ${}_{pe}T_l$ の推定は行わず，流入出者数 O_{Sp}, D_{Sp} のみ想定する．その上で，Sp による流入出者数 O_{Sp}，D_{Sp} に応じて通路部における断面調査データ ${}_oT_l$ を割引した（図 7(e)）．

６．　歩行者時空間分布の推定

6.1. 歩行者属性分類による流入出者数推移

歩行者属性ごとの流入・流出者数の時刻推移と各パラメータの推定結果を図 8 に示してある．8 時半以降の午前中や 17 時前後の夕方は，Ml の占める割合が高い．これらの時間帯は，鉄道駅間の乗換を目的とした地下街利用者が多く，移動が長距離となるためだと考えられる．一方で，午後は Ms の人数が大きくなることから，地下街の利用目的が多様化していることが予想できる．Sp は午後にかけて滑らかに増加し，17 時頃を境に減少へ転じている．滞留継続率 B は，夕方に小さな値を示している．これは，営業終了時刻などの影響から，夕方における立寄行動は，短時間で終了する傾向にある為だと考えられる．また，食事時である，12 時台で極大値を示しており，食事の継続率は，買物の継続率より高い可能性が示唆される．

本稿では，9 時台の短距離移動者数が，0 人と推定されている．これは，スプライン補間により，同時刻における流入者数と流出者数の差が広がり，長距離移動者 Ml が過大推定されたことに起因すると考えられる．より正確な時間分解能向上方法と歩行者属性分類方法の検討は今後の課題である．

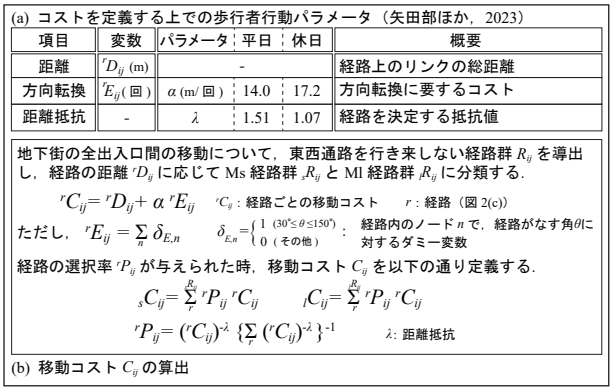


図 6　移動コストの算出

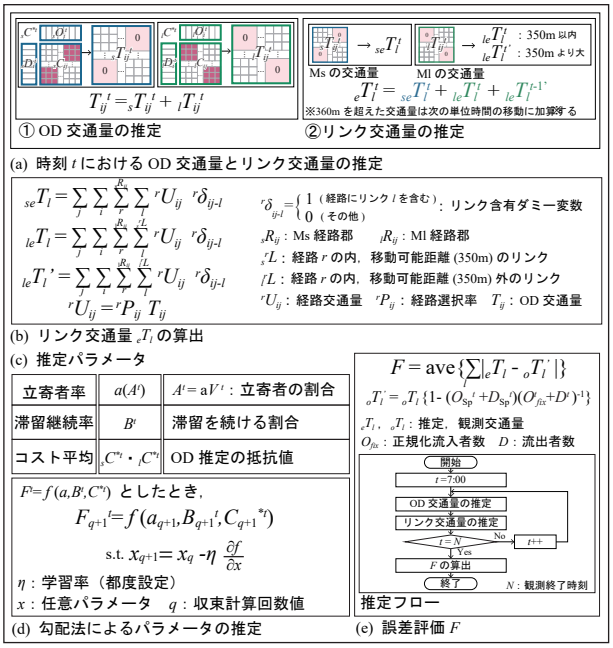


図 7　歩行者時空間分布の推定

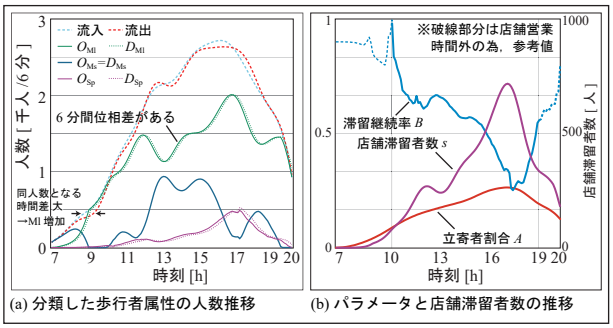


図 8　歩行者属性毎の人数とパラメータの時刻推移

6.2. 歩行者時空間分布推定結果

11:00~11:06 におけるＯＤ交通量 $T_{ij}(={}_sT_{ij}+{}_lT_{ij})$ の一部を図 9(a) に，同時刻におけるリンク交通量を図 9(b) に示してある．断面調査データから直

接得られない地点間の交通量や，断面調査対象外通路における交通量を把握できる．

リンク交通量の推定精度を図 9(c) に示してある．Ms が 0 となる 9 時台以前を除けば，正答率は 70% から 75% を示し，安定的に推定できている．

6.3. 特定地点間移動の時刻推移

特定地点間の移動の時刻推移を図 9(d) に示してある．天神駅中央口（中央口）からの流入者の出口別の交通量時刻推移（①）を見ると，大丸福岡ビル（大丸）や西鉄福岡ビル（西鉄）など，隣接する商業施設への流出者が多い．近隣商業施設での買物を主目的とする地下街利用者が多い様子が分かる．朝や夕方には，中央口から流入して天神南駅へ流出する人も見られ，この時刻における鉄道乗換者の存在が確認できる．天神駅 - 大丸・西鉄間における流入出者数の時刻推移（②）を見ると，移動方向によりピークが異なる様子が分かる．特に，中央口から大丸への移動は，交通量のピークが 12 時頃であるが，大丸から中央口への移動は，交通量のピークが 17 時頃である．このことから，日中に大丸での買物を目的として来訪している利用者が多い可能性が示唆される．また，各ビルから天神駅への交通量を改札口別に確認すると，いずれも中央口の利用者が多いものの，中央口利用者の割合は西鉄が，東口利用者の割合は大丸が多い．これは，ビルの立地の東西が，流出する改札口の違いに現れたものと考えられる．このように，特定地点間移動の時刻推移を比較することで，地下街の利用実態の時刻変動を把握できる．

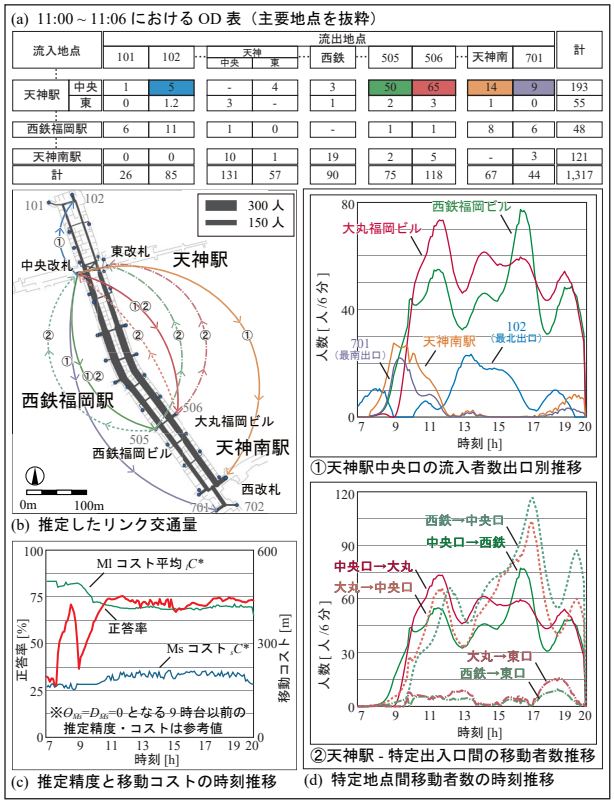


図 9　歩行者時空間分布の推定結果

7．　おわりに

本稿では，歩行者断面交通量調査と滞留者観測調査から得られたデータをスプライン補完した上で，制約条件を満たす流入出者数を想定することで，歩行者時空間を推定する手法を構築した．歩行者を滞在時間に応じて分類することで，地下街利用の時刻変動について把握できることを示した．今後は，より高度な歩行者属性の分類と，立寄者の行動選択モデルの構築に取り組み，地下街店舗の利用状況を含めた歩行者時空間分布の推定を可能とすることが課題である．

謝辞

本研究における歩行者断面交通量調査データは福岡市による．ここに記して関係者各位に謝意を表します．

注

1）時刻 h の単位は時間，時刻 t の単位は分とする．

参考文献

矢田部航成・大佛俊泰・岸本まき（2023）地下街における立ち寄り者数を考慮した歩行者ＯＤ交通量の推定．「日本建築学会大会学術講演梗概集」，(E-1)，1241-1242.

大佛俊泰（2002）公共図書館における利用者の滞留時間分布特性について．「日本建築学会関東支部研究報告集」，**73**，135-138.

航空機搭乗シミュレーションを用いた効率的な搭乗方法の基礎的検討

木下凌太朗 *・大佛俊泰 **・岸本まき **

Analysis of Efficient Boarding Using Airplane Boarding Simulation

Ryotaro KINOSHITA*, Toshihiro OSARAGI** and Maki KISHIMOTO**

Abstract: One of the requirements for the on-time departure of airplanes is to shorten the passengers' boarding time. Some passengers' stopping during boarding, such as to put their baggages on shelves or check their seat positions, obstructs the narrow aisle space and causes delays in boarding time. To shorten the boarding time, there is a need to clarify the locations and factors that cause delays, and to consider a method to eliminate these factors. In this paper, we have developed a simulation model that describes passengers' behavior in an airplane, considering their basic characteristics observed by video camera survey. We then performed simulations assuming various boarding scenarios, and evaluated the passenger distribution and the time required to complete seating, and investigated efficient boarding scenarios to reduce the boarding time.

Keywords: 搭乗方法（boarding method），搭乗者モデル（passenger model），混雑分布（crowding distribution），搭乗所要時間（time required for boarding），シミュレーション（simulation）

１．はじめに

航空機内では一部の搭乗者による座席位置の確認や荷物の上げ下ろし等が後続する搭乗者の移動の妨げとなっている．こうした現象が連鎖することで，搭乗完了時間に遅延が発生している．そのためスムーズな搭乗行動を阻害する要因や場所を特定し，これを解消することで航空機の定時出発の向上を図ることが求められている．

本研究の最終的な目標は，搭乗完了時間を短縮するための合理的な搭乗者誘導方法を求めることにある．本稿では，機内へ進入してから着席するまでの搭乗者の行動をビデオカメラで観測調査し，搭乗者行動に備わる基礎的特性を抽出する．これをもとに搭乗者行動を記述するシミュレーションモデルを構築する．次に，様々な搭乗方法の組み合わせからなる搭乗シナリオを設定し，各シナリオに基づくシミュレーション結果を比較することで合理的な搭乗方法に関する基礎的検討を行う．

２．ビデオ映像から得た搭乗者の基礎的特性

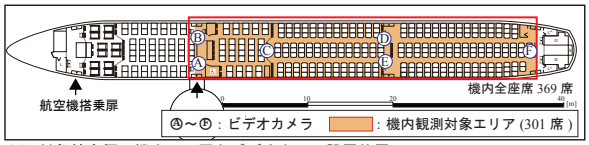
2.1. 観測調査の概要

ビデオ観測調査の概要を図 1 に示してある．本調査では機内における搭乗者の行動を詳細に把握するため，ビデオカメラ（GoPro Max シリーズ）を計 8 台設置した（図 1(b)）．観測調査日は搭乗率の高い夏休み期間（7 月下旬）とした．運航業務への影響を最小限に抑えるため，ビデオ観測調査は搭乗開始（19 時 35 分）から約 15 分間のみとした．

* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 E-mail:kinoshita.r.ae@m.titech.ac.jp
** 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）

対象施設	：羽田空港第 1 ターミナル 2 階 （出発ロビー国内線）
実施日	：2022 年 7 月 22 日（金）
対象便	：羽田発 - 那覇行 (JL925) 19:55-22:25
対象場所	：A350 機内および 11 番搭乗口

（a）対象航空便の概要



（b）対象航空便の機内平面図とビデオカメラ設置位置

図 1　ビデオ観測調査の概要

2.2. 搭乗者データの作成と基礎情報の整理

ビデオ映像をもとに機内における搭乗者の時刻別（搭乗開始からの経過時間別）の位置座標を取得した．この情報に航空会社から借用した搭乗者情報（座席番号，性別，年齢，預け荷物の有無）を搭乗時刻をキーとして紐づけることで搭乗者データを構成した．観測対象エリア内の搭乗者 299 名のうち，214 名の搭乗者データを分析対象とした．搭乗者データをもとに搭乗者モデルを構築するため基礎情報を整理した（図 2）．

3．搭乗者モデルの構築

3.1. モデルの概要

搭乗者の基礎情報を用いて搭乗扉から座席までの行動を記述する搭乗者モデルを構築した（図 3(a)）．具体的には，搭乗者は年齢や属性に応じて異なる歩行速度（図 4(a)）で機内通路を歩行すると考えた．Engelmann et al.（2020）の研究と同様に，歩行速度は前方搭乗者との距離に応じて変化すると仮定したが，前方搭乗者との距離が不自然に短くならないようにするため，前方搭乗者との距離が 0.5m 以内となる場合には歩行速度を一時的に 0m/s として立ち止まるものと考えモデル化した（図 3(b)）．搭乗者が座席付近に到着すると，荷物種別と量に応じた荷物収納行動（図 4(b)）を行う．その際，他の搭乗者が近接している場合には，一時的に座席側に入り，通路に他の搭乗者がいなくなってから，再び通路に出て荷物収納を行うと考えモデル化した．荷物整理は自分の座席において行い，他の搭乗者へは影響しないものと考えた（図 3(c)）．一部の搭乗者（10 名）については歩行速度が極端に早い場合や，荷物収納において長時間を要している場合があり，基礎情報の値

年齢(age)	平均速度 [m/s]	標準偏差 SD	人数
0-9	0.669	0.127	16 人
10-19	0.697	0.007	7 人
20-29	0.700	0.170	28 人
30-39	0.695	0.124	58 人
40-49	0.686	0.161	46 人
50-59	0.781	0.142	33 人
60-69	0.700	0.160	17 人
70-79	0.714	0.353	6 人

(a) 年代別の歩行速度

性別(sex)	平均速度 [m/s]	人数
男性	0.727	125 人
女性	0.674	87 人

(b) 性別毎の歩行速度

属性(attribute)	平均速度 [m/s]	人数
ビジネス	0.779	22 人
子連れ	0.736	9 人
同乗者有	0.664	39 人
優先搭乗	0.705	16 人

(c) 属性別の歩行速度

年齢(age)	荷物収納 平均時間 [s]	荷物整理 平均時間 [s]	人数
0-9	0	0	17 人
10-19	3.571	0.286	7 人
20-29	4.429	4.036	28 人
30-39	9.603	16.21	58 人
40-49	8.674	14.93	46 人
50-59	6.848	8.030	33 人
60-69	6.059	11.824	17 人
70-79	3.500	35.500	6 人

(d) 年代別の荷物収納・整理時間

荷物数	荷物収納 平均時間 [s]	荷物整理 平均時間 [s]	人数
1	5.189	11.377	159 人
2	13.872	13.000	39 人

(e) 荷物数別の荷物収納・整理時間

荷物種別 *1	荷物収納 平均時間 [s]	標準偏差 SD	人数
1	6.963	11.636	82 人
2	7.612	9.893	116 人
3	10.545	10.526	11 人
4	7.578	6.442	19 人
5	15.708	10.382	24 人

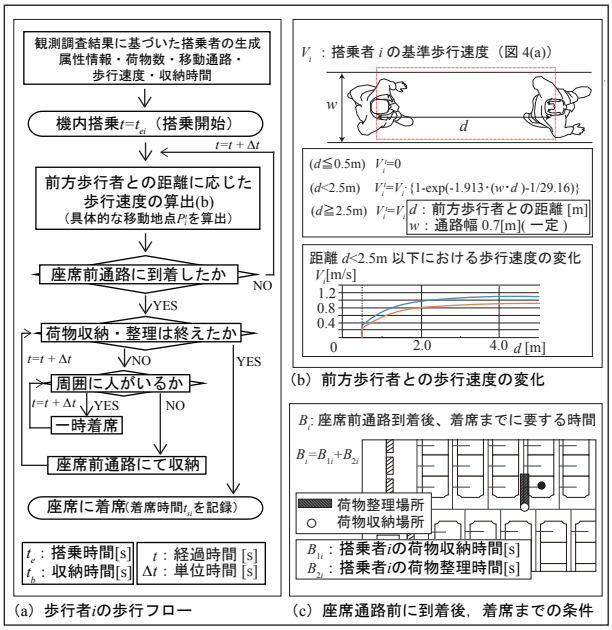
(f) 荷物種別の荷物収納時間

荷物種別 *1	荷物整理 平均時間 [s]	標準偏差 SD	人数
1	11.439	22.636	82 人
2	13.862	22.409	116 人
3	18.727	19.231	11 人
4	10.632	20.810	19 人
5	9.625	13.079	24 人

(g) 荷物種別の整理時間

*1）荷物種別の分類
1: ハンドバック　2: リュックサック　3: ビジネスバッグ　4: バッグパック　5: スーツケース

図 2　観測調査から得た基礎情報



(a) 歩行者iの歩行フロー　(b) 前方歩行者との歩行速度の変化　(c) 座席通路前に到着後，着席までの条件

図 3　搭乗者モデルの概要

$V_i = V_{i(age)} \times \alpha_i \times \beta_i$

性別(sex)	α_i
男性	1.027
女性	0.966

属性別	β_i
ビジネス	1.101
子連れ	1.058
同乗者有	0.986
優先搭乗	1.027

$V_{i(age)}$：搭乗者iでの年齢区分で設定される歩行速度*1

α, β：観測調査から性別・属性別によって歩行速度を設定する定数値

*1 観測調査で得られた年齢別歩行速度の平均値および標準偏差から求めた確率正規分布に基づきランダムに設定する

(a) 搭乗者 i の歩行速度 V_i

B_i=B_{1i}+B_{2i}
$B_{1i}=\sum_{k=0}^{n}\gamma_{k(type)}$
$B_{2i}=\sum_{k=0}^{n}\varepsilon_{k(type)}$

B_i：座席付近で要する時間[s]
B_{1i}：搭乗者iの荷物収納時間[s]
B_{2i}：搭乗者iの荷物整理時間[s]
n：荷物数（0≦n≦2）

γ, ε：観測調査で得られた荷物種別ごとの荷物収納時間，荷物整理時間の平均値および標準偏差から求めた確率正規分布にランダムに基づき設定する．ただし 0 以下の場合については 0 とする

(b) 搭乗者 i の荷物に要する時間 B_i

図 4　搭乗者の歩行速度と荷物収納時間

を直接用いることが困難であった．そのためこれらの搭乗者については観測時の個別値を付与した．

3.2. 搭乗者モデルの精度検証

搭乗者データと搭乗者モデルから推定した各搭乗者の着席時刻と着席までに要する所要時間を図 5(a)(b) に示してある．また搭乗者データと搭乗者モデルのそれぞれについて，歩行速度が低下した地点（歩行速度 0.5m/s 以下）と（歩行速度 0.2m/s 以下）についてカーネル密度分布を求め可視化した（図 5(c)(d)）．搭乗者データと搭乗者モデルの結果は，良好に一致していることが分かる．歩行速度が 0.2m/s 以下（図 5(c)）では，搭乗扉の付近や座席通路の間仕切りなど，分岐点において立ち止まりが発生している様子がわかる．歩行速度が 0.5m/s 以下（図 5(d)）では 0.2m/s 以下（図 5(c)）の時よりも通路上の立ち止まりが発生していることがわかる．

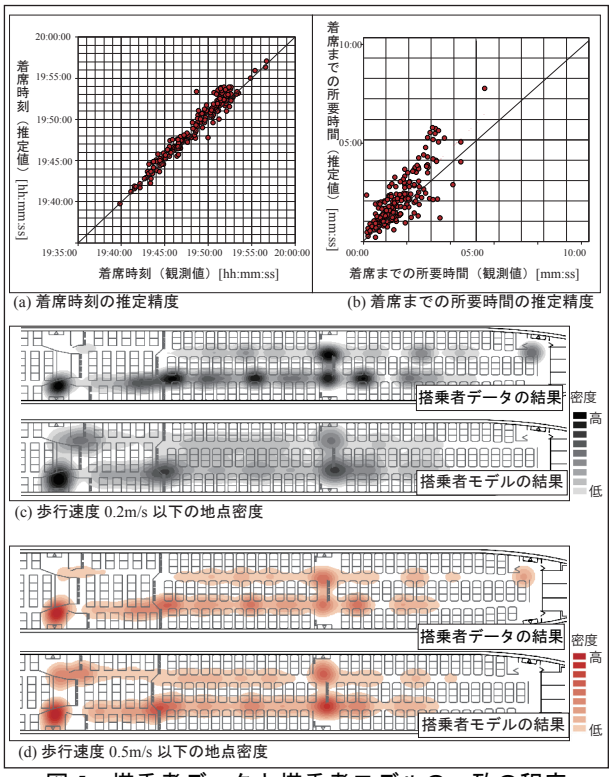


図 5　搭乗者データと搭乗者モデルの一致の程度

4．　搭乗シナリオの評価

4.1. 搭乗シナリオの設定

合理的な搭乗者誘導方法について検討するため，様々な搭乗方法を組み合わせることで搭乗シナリオを設定した．具体的には，(A) 搭乗順序，(B) 事前改札・優先搭乗，(C) 搭乗扉・移動通路の視点から搭乗方法を区別し，(A)(B)(C) の組み合わせで搭乗シナリオを構成することとした．(A) 搭乗順序については，Van Landegem (2002) の研究を参考に，座席位置に基づき搭乗者を複数のグループに分け，グループごとに機内へ搭乗するという方法等（計 8 種）を想定した（図 6(a)）．このとき，同じグループに属する搭乗者の順序にはランダム性を仮定した．(B) 事前改札・優先搭乗については，搭乗者の属性（車いす利用者，2 歳以下の子供連れ，要支援者）に基づき事前改札を設定し，ステイタス保有者には優先搭乗を設定することで，他の搭乗者に先駆けて機内搭乗を開始する方法等（計 3 種）を想定した（図 6(b)）．(C) 搭乗扉・移動通路については，機内右側座席（H,J,K）の搭乗者は航空機前方の搭乗扉から進入

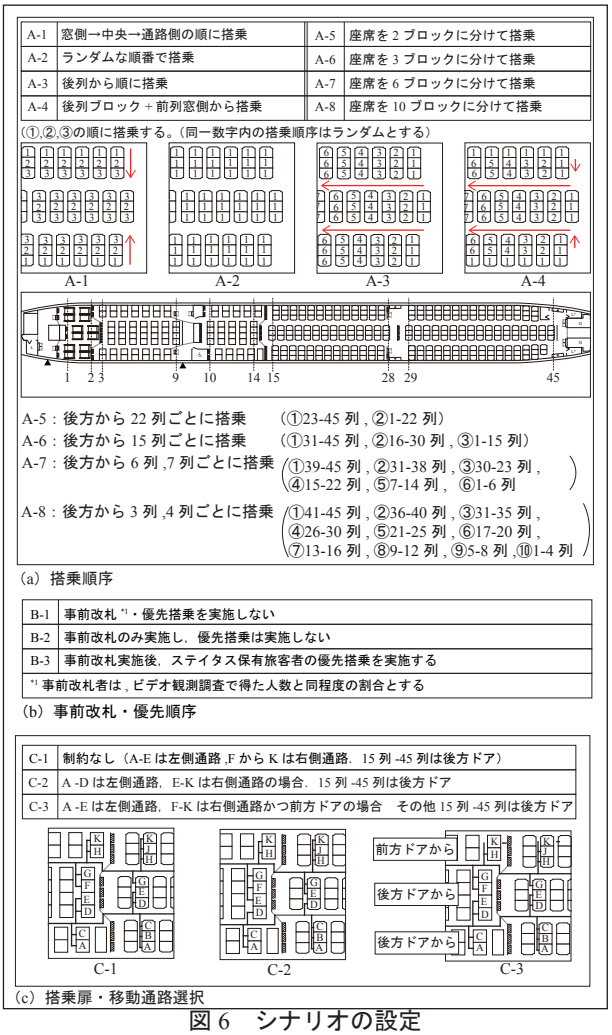


図 6　シナリオの設定

する方法等（計 3 種）を想定した（図 6(c)）.

以上の (A)(B)(C) を組み合わせ，計 72（＝ 8 × 3 × 3）のシナリオを作成してシミュレーションを実行した（図 7）.

4.2. 搭乗シナリオの比較検討

前節で設定した各シナリオについてシミュレーションをそれぞれ 50 回実行し，すべての搭乗者について搭乗開始時刻と着席時刻を求めた．最初の搭乗者が搭乗を開始してから最後の搭乗者が着席するまでの時間（搭乗完了時間）を各シナリオについて求めた．計 50 回のシミュレーションによる平均搭乗完了時間が短いシナリオから順に並べ替え，最大搭乗完了時間，最小搭乗完了時間も合わせて図 8(a) に示してある．平均搭乗完了時間が短いシナリオ群①には方法（C-3）が含まれており，平均搭乗完了時間が長いシナリオ群②には方法（A-3）が含まれていることが判明した．これらふたつのシナリオ群の搭乗完了時間には 10 分程度の差があることが分かる．また，個人別の搭乗所要時間の平均時間と最大時間についても図 8(a) に示してある．個人の搭乗所要時間の平均値を短くする視点からすれば，シナリオ群③の方法 (A-5) や方法 (A-6) も有効である可能性がある．平均搭乗完了時間が最小のシナリオと最大のシナリオについて，各搭乗者が機内に進入した時刻と着席するまでに要した時間（個別所要時間）の関係を図 8(b) に示してある．シナリオ群①については，搭乗者は機内へ進入後，搭乗時刻の早い遅いに関わらず，概ね 2 分以内で着席していることがわかる．すなわち，機内右側通路と左側通路に面した座席の搭乗客は別々の搭乗扉から機内に進入させる方法（C-3）が有効であることがわかる．

一方，シナリオ群②については，シミュレーションを子細に観察すると，方法（A-3）のように後方座席から順に規則的に進入すると，一部の搭乗者による通路閉塞が後続の搭乗者に影響することが判明した．こうした現象が連鎖して発生することで，結果的に平均搭乗完了時間が長くなるものと推察される．

搭乗開始時間から経過時間毎の歩行中の搭乗者数について図 8(c) に示す．最大搭乗完了時刻のシナリオでは搭乗開始から約 10 分後において歩行中の搭乗者が 120 名以上に達している．そのため歩行中の搭乗者全てが着席するまでにかなりの

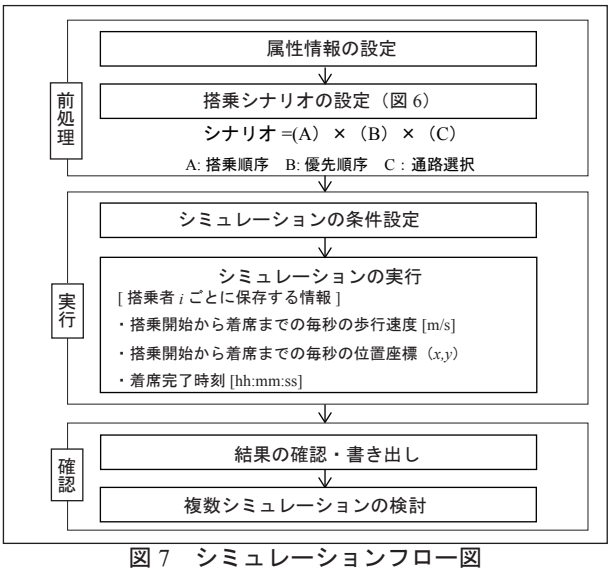


図 7　シミュレーションフロー図

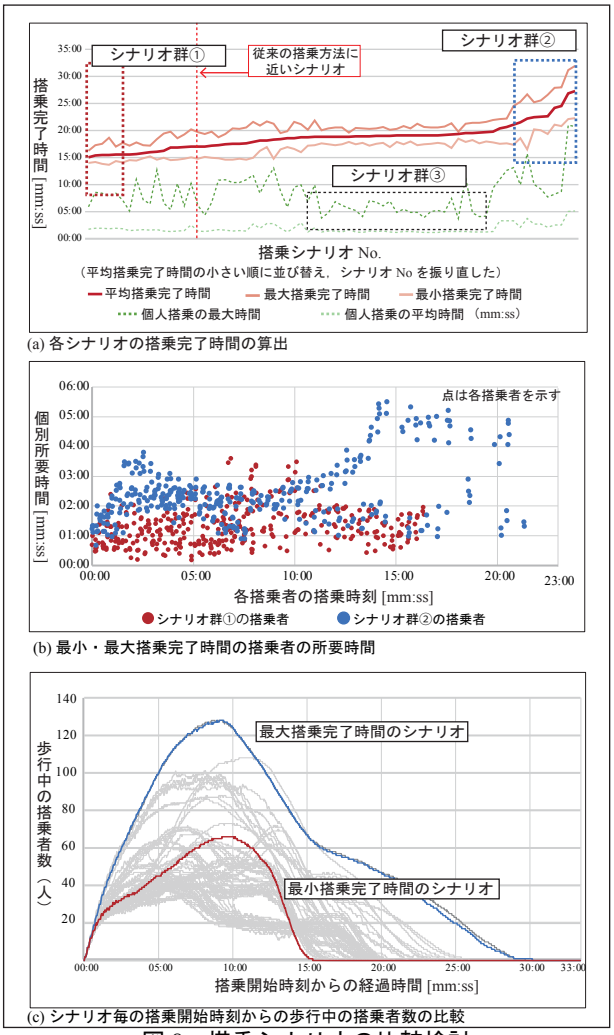


図 8　搭乗シナリオの比較検討

時間を要している．一方で，最小搭乗完了時間のシナリオでは機内歩行中の搭乗者が最大 60 名程度に収まっている．すなわち，以上の分析例は，機内の歩行中の搭乗者数を一定の人数以下を維持しながら，通路閉塞を発生させないようにすることが，搭乗完了時間を短くすることに寄与する可能性を示している．

５．まとめ

航空機搭乗完了時間の短縮を図ることを目的に，ビデオ観測調査から搭乗者行動に関する基礎情報を抽出し，これをもとに搭乗者の行動を記述するシミュレーションモデルを構築した．また，搭乗順序，事前改札・優先搭乗，搭乗扉・移動通路の組み合わせからなる搭乗シナリオを構成し，シミュレーションを通して搭乗シナリオを評価した．その結果，座席位置によって異なる搭乗扉・移動通路を搭乗者に指示することで，搭乗完了時間の短縮が図れる可能性が明らかとなった．

本稿では，限られた数の単純な搭乗方法を組み合わせてシナリオを設定して検討したが，引き続き機内持ち込み手荷物数の種類や量，多様な搭乗者の数や属性など様々な搭乗方法を組み合わせて検討し，合理的な搭乗方法に関する知見について次稿で報告したい．

謝辞

日本航空株式会社カスタマー・エクスペリエンス本部 CX 推進部の関係者の皆様にご協力を賜りました．ここに記して謝意を示します．本研究は東京工業大学研究倫理審査会の承諾（承認番号 2022114）を受けて実施している．

参考文献

木下凌太朗・大佛俊泰・岸本まき（2023）ビデオ観測調査に基づく航空機搭乗者のモデル化について，日本建築学会大会学術講演梗概集，E-1, pp.1227-1228.

Engelmann, M. Kleinheinz, T. and Horning, M. (2020) Advanced Passenger Movement Model Depending On the Aircraft Cabin Geometry, *Aerospace*, **7**(12), 182 . <https://doi.org/10.3390/aerospace7120182>.

Landeghem, H, V. (2002) Reducing passenger boarding time in airplanes:A simulation based approach, *European Journal of Operational Research,* **142**, (2), 294-308.< https:/doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00294-6>.

Oral Presentation in GISA

データ

Chair: Naoko Fujita (University of Tsukuba)
Sun. Oct 29, 2023 2:10 PM - 3:50 PM Room D (C-201 2nd floor of Bldg. C)

[D8-01] 編年時間参照系データ登録・編集システムの検討

*Yoshiaki Murao[1], Yoichi Seino[2], Yu Fujimoto[2], Mikio Tamaki[2] （1. Esri Japan Corporation, 2. ABC）

2:10 PM - 2:30 PM

[D8-02] 文章から地理空間を取り出す ー場所を表す言語表現の抽出と地図データベースへの接続ー

*Hiroki Ouchi[1,2,3], Hibiki Nakatani[1], Shohei Higashiyama[4,1], Hiroki Teranishi[2,1], Taro Watanabe[1] （1. Nara Institute of Science and Technology, 2. RIKEN, 3. National Institute for Japanese Language and Linguistics, 4. NICT）

2:30 PM - 2:50 PM

[D8-03] Simple Objects Profile による応用スキーマの設計と実装について

*Yu Fujimoto[1] （1. Professional College of Arts and Tourism）

2:50 PM - 3:10 PM

[D8-04] ITS対応時空間データベース

*Shigeru Kakumoto[1], Michinori Hatayama, Shigehiro Ogasawara （1. DiMSIS Lab. Co.）

3:10 PM - 3:30 PM

[D8-05] GTFSデータの整備及び利活用促進のためのツール群の開発

*Akira Nishizawa[1], Masaki Ito[1], Kohei Ota[2], Hiroyuki Ito[3] （1. The University of Tokyo, 2. Traffic Brain Inc., 3. Network for promoting public transportation）

3:30 PM - 3:50 PM

©Geographic Information System Association

編年時間参照系データ登録･編集システムの検討

村尾 吉章*･ 清野 陽一 ･ 藤本 悠 ･ 玉置 三紀夫

Study of Registering and Editing system for Chronological Reference System Data

Yoshiaki MURAO*, Yoichi SEINO, Yu FUJIMOTO and Mikio TAMAKI

When setting the temporal attributes of various information in the world, there are not a few items for which the Gregorian calendar year cannot be specified but can be expressed by using a chronological expression such as the name of an era. The authors have studied how to express the temporal attributes of geographic objects using the chronological expression, and have defined the model of Chronological Reference System conformed to ISO 19108 “Temporal Schema". To achieve a situation where this model can be widely used, it is necessary to standardize the definition method, to make the content defined by each researcher publicly available, and to make the content of the definition freely accessible to the general public who use elements of this model. In order to promote this, it is necessary to implement a system that enables the definition, registration, and publication of the Chronological Reference System data, as well as the retrieval system of the already defined Chronological Reference System data. At first, we will discuss the items to be determined for the implementation of a "Registering and Editing System for Chronological Reference System Data“. Through the discussion, we will explain the importance of temporal attributes for the information, and identify ways to standardize the representation of temporal attributes for information to be stored in the near future.

Keywords: 編年（Chronology），編年時間参照系（Chronological Reference System），地理情報標準 (the standards for geographic information)，時間スキーマ(temporal schema)

１．はじめに

世の中にある多くの地物は空間的に存在すると共に時間的に存在している．すなわち，空間属性としてその地物の位置や形状を持つと共に，地物が生起した時点や消滅した時点，あるいはその存在が確認された時点などの時間属性を持つ．現在の情報システムにおいて時間属性は，グレゴリオ暦の年月日によって表現され,時分秒の設定も可能となっている．しかし，記録されないまましばらく時間が経過すると，月日どころか年すら曖昧になってしまい，例えば 1990 年頃とか，バブル期などといった曖昧な表現をせざるを得なくなる．さらに過去の地物に関しては，17 世紀初頭とか，江戸時代前期などといった表現となる．これらの表現による時間属性は，主題属性としてテキスト表現するしか方法が無い，というのが現在の情報システムの状況である．

筆者らはこれまで，多様な時間属性を標準的に取り扱うことを可能にし,時間軸における検索･比較･抽出を可能にするための「編年時間参照系モデル」を ISO 19108（JIS X7108）「時間スキーマ」に準拠した仕様として開発し,その有用性を研究してきた(奈良文化財研究所，2011，村尾ら，2014)．

「編年」とは，時間軸上で区別され順序化されたグループのことであり，「高度成長期」「バブル期」「バブル崩壊後」などと区別すればこれが編年となる．「江戸時代」「明治時代」などの時代区分も編年である．特に，歴史上の地物には，編年が唯一妥当な時間属性となる場合も少なくない．編年時間参照系モデルは，これらの情報を正しく時間属性として取り扱い，表現可能とするものである．

この編年時間参照系モデルの実用性を高めるためには，まず，編年を定義し，地物の時間属性として編年による時間表現を埋め込むことを可能にすること，また，その地物の情報に接した人が編年の定義を参照可能にすることが求められる．そこで，このシステムを「編年時間参照系データ登録・編集システム」と仮称して，本稿において，このシステムを実装するために決定すべき事項について論じて，こ

* 正会員 ESRI ジャパン株式会社（ESRI Japan Corp.）
〒**532-0003** 大阪市淀川区宮原 2-14-14 Tel：**070-2493-2050** E-mail：**yoshiaki_murao@esrij.com**

のシステムの実現が早期に可能となるよう働きかけることとする．

２．編年時間参照系データ登録・編集システムが実現すべきこと

「編年時間参照系データ登録・編集システム」（以降，「本システム」と呼ぶ）は，表 1 に示す機能を提供することが必要である．

表 1 本システムで必要とされる機能

No.	機能
a.	編年を自由に定義できること
b.	編年の定義内容が公開されること
c.	公開された編年の定義内容を自由に変更できること
d.	公開された編年を検索し定義内容を参照できること
e.	公開された編年を参照してデータの時間属性として使用でき、その際に当該の編年に対して参照されたことを登録し管理できること
f.	公開された編年の定義内容の一部を変更することによって新たな編年が作成可能であること
g.	他者によって使用された編年であっても、作者はその後定義内容を変更可能であり、それによって使用者に影響が出ないこと
h.	将来の拡張機能として、複数の編年間の矛盾の有無のチェック、複数の編年を統合した大編年参照系の作成、編年の参照頻度等による評価 などが可能であること

上記の中で e. は，例えば一般に広く利用されている奈良時代，平安時代といった時代区分があらかじめ定義されている時，その定義を利用することなどはその端的な例である．一方で，鎌倉時代の開始年が変更された時，従来の定義に基づいて参照し利用していた利用者には従来の定義を提供したまま，時代定義の更新を可能にする機能が g. にあたる．

表 1 では編年に関して本システムが本質的に提供するべき機能を列挙している．本システムを実装するためには，例えばユーザーグループの定義など，ここでは直接述べていない点についても，本システムの機能要件としてより詳細に定義することが必要となる．

３．システム化の方向性

本システムが広く利用されるためには，アプリケーションが Web ブラウザー上で提供されることにより，マルチプラットフォームで，提供機能がサーバー管理可能であることが望ましい．その前提のもとで，編年を取り扱うための画面構成とその展開，ユーザー管理，登録された編年の管理などの機能を必要とする．それらを Web アプリケーションとして実現するためには，(1) Web カスタムアプリとして開発する，(2) Wiki システムや Blog システムの仕組みを利用してアプリ構築する，(3) GitHub が提供するサービス等の仕組みを利用してアプリ構築するなどの方法が考えられる．画面を操作するインターフェースについて，情報端末の選択の自由度を維持しつつ，一般的な Web アプリとの共通性を図ることも重要であり，どの程度のユーザーアクセスを想定するか，などを含め，いずれの方法でシステム化を行うかを検討することが必要となる．また，いずれの方法でアプリ開発を行うにしても，定義された編年を管理するためのデータベースが必要となることから，Web アプリケーションは図 1 のような構成になると考えられる．

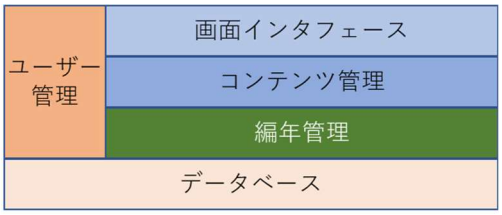


図 1 Web アプリの構成案

４．システムの構成とその概要

4.1 システム構成

本システムとして想定する構成案を図 2 に示す．

図の中央に本システムの Web アプリケーションがあり，画面による会話形式で編年の登録・編集が可能となる．画面から編年を定義する全ての情報を入力することも可能だが，事前に XML 形式の編年時間参照系定義ファイルを作成しておくことによっ

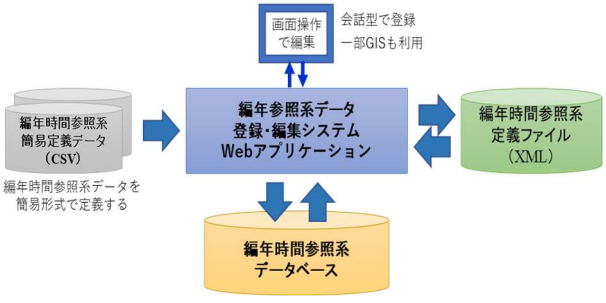


図 2 システム構成案

て画面での操作を簡略化することができる．また，CSV 形式による簡易方式での定義データを作成することも可能であり，編年定義の概略はその入力によって行い，詳細部分は画面操作によって行うことも可能である．本システムに登録された編年は編年時間参照系データベースに保存され管理される．登録された編年の定義情報を XML 形式の編年時間参照系定義ファイルとして出力することも可能である．

4.2 画面構成例

本システムの画面構成はさまざまなパターンが想定できるが，例えば図 3 に示すような構成を考えることができる．

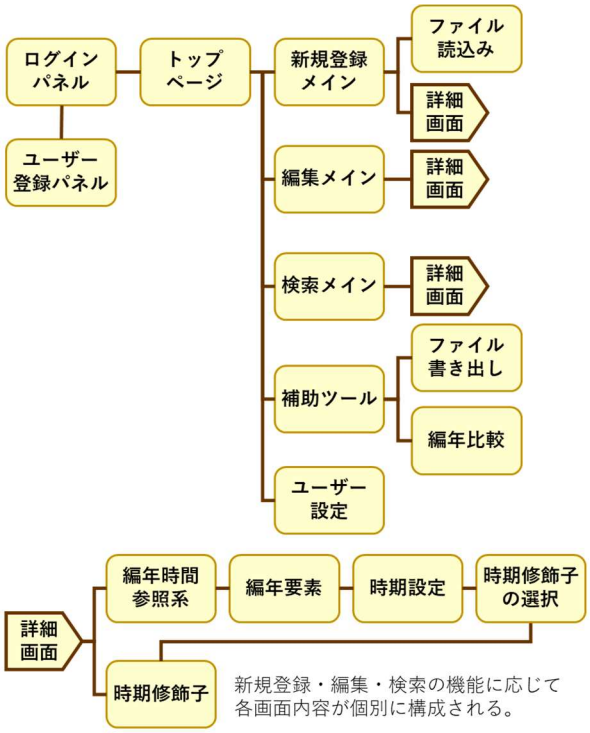


図 3 画面構成例

図 3 で詳細画面とある部分が編年時間参照系モデルに基づいた編年定義情報の登録・編集・参照を行う画面となっている．「時期設定」は，編年要素の開始時期･終了時期などについて，可能であれば世紀，西暦年，他の編年等により，かつ，時期修飾子を付加して表現可能にしている．

将来の拡張機能は補助ツールの画面を拡張することによって実現できる．

4.3 データベース構成例

図 2 の編年時間参照系データベースには編年に関する定義を保管するためのテーブル群が存在する．その基本構成は先行研究（村尾ら，2021）において定義されている．それをさらに進めて図 4 に示す各テーブルを準備する必要がある．

編年集合体	ChronologicalSet
name	name

編年参照系	ChronologicalReferenceSystem
name	name
編年集合体名	chronologicalSetName
domainOfValidity	domainOfValidity
地域	region
備考	remarks
component	component

編年要素	ChronologicalElement
name	name
開始事象	beginEvent
終了事象	endEvent
開始時期	begin
終了時期	end
system	system
上位	upperElement
下位	lowerElement
確定時間位置	definiteTimePosition
編年要素間関係	relatedElement

確定時間位置	DefiniteTimePosition
位置	position
事象	event

編年要素間関係	RelatedElement
時間関係	relatedTime
other	other

推定時期	TimePresumedPosition
時期	timePosition
時期修飾子	modifier
推定確度	probability
時期推定法	estimationMethod

時期修飾子	TimePositionModifier
名詞表現	modifier
関数表現	functionExpression
説明	description

図 4 データベース構成例

4.4 編年のバージョン管理例

表 1 に掲げた要件 e.，f.，g. を満たすためには，編年のバージョン管理が必要となる．図 5 はバージョン管理された編年の状態例を示している．

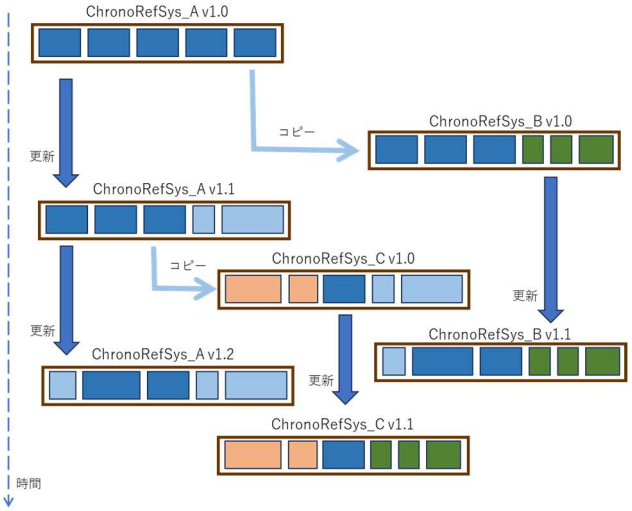


図 5 編年のバージョン管理例

図 5 で，編年時間参照系 ChronoRefSys_A（以下 A）は v1.0 が定義された後，更新されて v1.1，v1.2 とバージョンが変わっている．しかし，v1.0 や v1.1 の編年時間参照系の編年要素を参照したデータが存在する可能性があるため，過去のバージョンも保持されていることが必要である．

編年時間参照系 ChronoRefSys_B は，Av1.0 を基にその一部を変更して v1.0 が作成されているが，定義内容はコピーされており独立したバージョンとして保管される．そしてその後，v1.1 に更新される．また，編年時間参照系 ChronoRefSys_C も同様に Av1.1 をコピーし一部変更して v1.0 が作成され，その後，v1.1 に更新される．それぞれの各バージョンも保管される．

なお，各編年参照系においては，時として，小さな修正ごと保管され，それぞれにバージョン番号が付与される可能性がある．その場合，参照され実際に時間属性値が作成されたバージョンだけを保存して，小さな修正については保存を省略するという実装方法もあり得る．

ここでは，「バージョン」という呼び方だけを用いたが，「バージョン」「リリース」「モディフィケーション」などと呼び分ける場合もある．

4.3 で述べたデータベース構成例には編年のバージョン管理に関する項目は含まれていない．バージョン管理の実装方法に対応して，各テーブル定義の修正が必要となる．

4.5 ユーザーグループ管理例

本システムの利用者を分類した例を表 2 に示す．

表 2 では 5 種類のユーザータイプに分類しているが，システムの管理するユーザータイプは 4 種類である．実装システムにおいてさらに細かくユーザータイプを分類する必要が生じるかもしれないが，ここでは，これ以上詳細には分類していない．

4.6 標準的な編年の事前登録

日本を対象として考えると，日本史時代区分，元号による編年，天皇による編年など一般に用いられることの多い編年が存在する．他国においても同様であると考えられる．これらの，言わば標準的な編年は，本システムを構築した際には，あらかじめ登録して公開しておくことにより，多くの利用者にとって利用しやすいシステムになると想像される．

なお，登録に際しては，根拠とした原典を明記することが重要であり，それ以降の修正についてはユーザーに委ねることが望ましいと考えられる．

５．システム化により期待される効果

5.1 標準化された時間属性の表現

本システムが構築され広く利用可能になった際には，地物に対して空間属性と共に時間属性を標準的な方法で設定可能になる．さらに言うと，空間属性を持たない情報であっても時間属性を持つ可能性は高く，それらについても編年を用いた標準的な形式での時間属性を設定することが可能となる．

現在の情報システムでは，時間属性は年月日でしか表現できず，あいまいな表現は許していない．そのため，月日が不明確なため年だけで表現したくても，月日を設定することが求められ，例えば 1 月 1 日や 12 月 31 日など，データとして正しくない値を設定するという妥協が必要となることもある．

表 2 ユーザータイプ分類例

ユーザータイプ	役割	編年に対する要件
編年定義者 （Creator）	自身の持つデータを整理するために新たな編年を定義する	新たな編年が定義・登録できること。 （既存の編年のコピーも可） 登録した編年を公開できること。 自身が登録した編年を修正・削除できること。 （既に利用者がいたらバージョン管理する）
編年を用いたデータの作成者 （Acceptor）	データの時間属性を設定する際、既に定義された編年を利用する	公開された編年を参照し、内容を確認して自身のデータの時間属性に公開された編年の編年要素を設定する。
編年を用いたデータの利用者 （Viewer1）	データの時間属性を参照する際に編年の定義にアクセスする	データの時間属性として設定された編年要素を参照し、時間属性の内容を確認する。
編年参照者 （Viewer2）	様々な目的で定義された編年を参照する	公開された編年を自由に検索し参照する。
編年管理システムの管理者 （Administrator）	編年を取り扱うためのシステムを維持管理する	システムの運用管理を行うためのすべて作業が行える。

一方，編年時間参照系モデルを利用すれば，時間属性について，年月日による表現，年だけ年月だけという表現，世紀による表現，時代による表現，西暦以外の暦による表現，紀元前 xxx 年という表現，xxx 年前という表現などがすべて可能であり，さらに，17 世紀**前半**，江戸時代**後期**などといった時間修飾子による曖昧な表現も可能である．すなわち，一般的に用いられている時間表現をすべて網羅し，かつ ISO 19108「時間スキーマ」に準拠したモデルであり，しかも，GML による符号化も可能なものとなっている（村尾ら，2022）．

そして，このモデルに基づいた編年を定義・公開し，利用可能とすることによって，あらゆる情報に対して多様な表現方法による時間属性の設定を可能にするのが本システムである．

これまでは，年月日以外の表現はすべて主題属性としてテキスト表現するしか方法がなかった時間属性の情報を，まさに時間属性として取り扱うことを可能にする足がかりが本システムであり，その意義は非常に大きいと言える．

5.2 編年の評価システム

先にも述べたように，編年とは時間軸上で区別され順序化されたグループのことであり，日本史における時代区分など，標準的な編年が一般的に利用されることは少なくないが，他方で，研究者が独自の視点で時代を区分し，例えば「平成第Ⅰ期」「平成第Ⅱ期」などと編年を定義することが可能である．

本システムでは，このように任意に定義した編年を登録し，登録した編年を情報の時間属性値として設定することを可能にする．また，その情報に接した人が時間属性値として指定された編年の定義内容を参照する際に本システムを利用することができる．

さらに編年の利用が進むと，新たな情報の時間属性値として，他者が定義した編年を採用することが可能となる．この場合，新たな情報作成者は編年を独自に定義することなく，定義済みの編年を利用する．このユーザーは表 2 における「編年を用いた地物データの作成者（Acceptor)」にあたる．

定義済みの編年を利用する人が増えると，それはこの編年の定義に賛同している人が増えることを意味することから，その結果は，編年に対する賛成投票を得ることに他ならない．したがって，本システムが本格的に利用されるようになると編年の定義に対する評価システムとしての意味が生じてくる．

5.3 時間修飾子の定型化促進

ウィキペディアで「江戸時代」[1]を参照すると，次のように時期が区分されている．

初期・前期	1603 年－1710 年ごろ
中期	1710 年ごろ－1790 年ごろ
後期	1790 年ごろ－1850 年ごろ
幕末期	1853 年－1868 年

他方，次のように時期を区分している例も見受けられる．（前近代日本史時代区分表 [2]）

江戸前期	1603～1680
江戸中期	1681～1780
江戸後期	1781～1867

時期を区分する視点が違えば，区切る時点も異なるのは当然ではあるが，同じ「前期」「中期」「後期」という時間修飾子を異なった意味で用いるのは情報化の第一歩が踏み出せていないことになる．

説明文などの文章記述における表現はともかくとして，時間属性値を設定するための時間修飾子としては，それぞれの意味の違いを明確にした表現が必要である．本システムでは時間修飾子も管理されることになるので，意味の異なる時間修飾子は用語としてもそれぞれ別の呼び方を設定することが求められる．これにより，時間修飾子の定型化が進むものと期待できる．

６．まとめ

これまでも述べたように，現在の情報システムにおける時間属性への対応は極めて不十分な状況にあ

[1]ウィキペデイア「江戸時代」
https://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=%E6%B1%9F%E6%88%B8%E6%99%82%E4%BB%A3&oldid=96098734（2023 年 8 月 6 日参照）

[2] 「前近代日本史区分表」
https://wwwap.hi.u-tokyo.ac.jp/ ships-web-help/images/periodization.pdf （2023 年 8 月 6 日参照）

る．これを改善するためには，まず，時間属性についての標準的な仕様を決めることが必要である．その点において筆者らが開発した編年時間参照系モデルをたたき台として，仕様の精緻化を図ることが重要であると考える．

次の段階は，その仕様に則って定義された編年を広く周知しつつ利用していく環境を整えることである．本稿における議論は，本システムをその端緒として捉えることができ，実用化に向けての検討を深めていくことを可能にする．

さらに次の段階としては，編年時間参照系モデルに則って作成された時間属性値が，データベースの１つのカラムに収納され，空間属性を含む他の属性値と対等な形でデータベース実装を可能にしていくことである．この点について，ごく単純な形での実装は既に試みた（村尾ら，2021）．今後，さらに本格的な実装に向けて検討を進めることが必要となる．

空間属性についても，これまで標準化が思うように進んだとは言い難いが，それでも，SQL/MM において Spatial が定義されたことによって初めて，ST_Geometry など，標準的な形式でのデータ管理が可能となり，そのデータベースへのアクセスを可能とする GIS ソフトが増えてきた．時間属性についても，同様の歩みを進めていくことが重要である．

これまでの情報システムでは，ともすれば最新情報のみに重きを置いてきた．昨今ようやく履歴データの重要性が訴えられるようになってきた（Sivaraman，2019）が，まだ実際に履歴を含んだ情報を本格的に蓄積する段階には至っていない．履歴データを管理する際にも時間属性は重要な付加属性となるため，付加する際には，主題属性の文字列としてではなく，標準に基づいた形式で設定しておくことが重要となる．

今後，DX が推進されて，多様なデジタル情報が生み出され蓄積されていく現代において，情報にとって最重要な属性の１つである時間属性について，少しでも早く標準化を行い，データ作成・蓄積を進める際に標準化された時間属性を付与することは喫緊の課題である．

世の中の情報の多くは位置と関わりがあると言われている（Grimshaw，2000）のと同様に，多くの情報は時間との関わりがあることから，今後，地物データを作成・蓄積する際に標準化された時間属性を付与する必要に迫られることになる．もし，時間属性の標準化が進められない状態のままだとすれば，将来において，蓄積された情報を時間軸では分析できないこととなり，情報を十分に活用できない状況となりかねない．そのことを防ぐためにも，時間属性の標準化を急ぐ必要があると考える．

参考文献

Grimshaw, David J. (2000) Bringing Geographical Information Systems into Business 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, 1-2.

ISO 19108（2002）“Geographic Information－Temporal Schema”,［JIS X7108（2004）「地理情報－時間スキーマ」が翻訳版として対応］.

Sivaraman, (2019) “Big Data Series - Leveraging Historical Data for Better Decision Making”<https://www.emtec.digital/think-hub/blogs/big-data-for-better-decision-making/>（2023年8月10日参照）

奈良文化財研究所（2011）：『遺構情報モデルに基づく地理空間データ作成のための製品仕様書』，「埋蔵文化財ニュース」, 144，奈良文化財研究所.

村尾吉章，碓井照子，森本晋，清水啓治，藤本悠，清野陽一，玉置三紀夫（2014）：遺構情報モデルに基づいた不確かな時間属性の適用，「地理情報システム学会講演論文集2014」.

村尾吉章，清野陽一，藤本悠，玉置三紀夫（2021）：編年時間参照系データの RDB 実装の試行，「地理情報システム学会講演論文集 2021」.

村尾吉章，清野陽一，藤本悠，玉置三紀夫（2022）：編年時間参照系モデルデータ交換のための符号化規則の検討，「地理情報システム学会講演論文集 2022」.

文章から地理空間を取り出す
－ 場所を表す言語表現の抽出と地図データベースへの接続 －

大内啓樹*・中谷響・東山翔平***・寺西裕紀****・渡辺太郎*****

Geographical Space in Text
- Extraction of Location Reference Expressions and Connection to Map Databases -

Hiroki Ouchi*, Hibiki Nakatani**, Shohei Higashiyama***, Hiroki Teranishi****, Taro Watanabe*****

Abstract: Text contains vast amounts of location information, including descriptions of human experiences and actions at certain places, impressions received from specific locations, and events occurring in specific locations. Enabling the extraction of such unstructured information and its conversion into well-structured data for use in Geographic Information Systems paves the way for realizing various applications related to geographical spaces. As a first step toward this goal, this study aims to improve the technology of "geoparsing," which serves as a bridge between "the world of texts" and "the world of maps." Specifically, we propose a framework for developing geoparsing systems based on state-of-the-art Natural Language Processing technologies. On the basis of the framework, we have built a specific geoparsing system and investigated the performance of the system.

Keywords: ジオパージング (Geoparsing), 自然言語処理 (Natural Language Processing), 地理情報システム (GIS), 場所参照表現 (Location Reference Expressions), 記号接地 (Symbol Grounding)

１．はじめに

文章で書かれた「場所」を，地理情報システム (GIS) は活用できているだろうか？

文章には，場所に関する豊かな情報が含まれる．ある場所での人間の経験や行動，ある場所から受けた印象，ある場所に存在した事物，ある場所で起こった事象．こうした情報を文章から取り出し，GIS での活用を通じて，新たな価値の創出を目指す．

その第一歩として，「文章の世界」と「地図の世界」の架け橋となる技術「**ジオパージング (Geoparsing)**」の高度化に取り組む．この技術は，ふたつのステップから構成される (Leidner, 2006; Gritta et al., 2020).

(1) 場所を表す言語表現（**場所参照表現**）を文章から抽出する
(2) その表現が表す場所の経緯度を推定する



図 1　文章中の人物の地理的な移動を読み解き，その移動軌跡を地図上に描き出すイメージ

* 正会員　奈良先端科学技術大学院大学・先端科学研究科 (Nara Institute of Science and Technology)
〒630-0101 奈良県生駒市高山町８９１６−５ **hiroki.ouchi@is.naist.jp**
** 非会員　奈良先端科学技術大学院大学・先端科学研究科 (Nara Institute of Science and Technology)
*** 非会員　情報通信研究機構 (National Institute of Information and Communications Technology)
**** 非会員　理化学研究所・革新知能統合研究センター (RIKEN AIP)
***** 非会員　奈良先端科学技術大学院大学・先端科学研究科 (Nara Institute of Science and Technology)

この技術によって，たとえば「近鉄奈良駅」という文字列は，地図上における 1 地点（経緯度），あるいは，領域（複数の経緯度を結んでできる面）を獲得する．つまり，場所を表す文字列に「位置情報を吹き込む技術」と言える．本稿では，最先端の自然言語処理技術を考慮したジオパージングシステムの開発フレームワークを提案し，実際にその実装および性能について報告する．本システムの実装は，我々の研究プロジェクトページ[1] にて広く一般公開する．

1.1. 背景

我々の「地理空間情報と自然言語処理」プロジェクト[2] では，文章中の人物の地理的な移動を読み解き，その移動軌跡を地図上に描き出すシステムの開発を目指している．その処理イメージを図 1 に示す．入力文章には，著者が「近鉄奈良駅」に到着した後，「スターバックス奈良公園店（スタバ）」に寄り，最終的に「ホテニューわかさ」に辿り着いたことが書かれている．開発予定のシステムは，この移動軌跡を描画した地図を出力することを目標とする．

こうしたシステムを実現するための根幹となる技術がジオパージングである．ジオパージングの応用先は多様である．Hu et al. (2022) は，ジオパージングの 7 つの応用領域をまとめている．たとえば，災害対応や感染症サーベイランスがある．前述したように，ジオパージングは，「文章の世界」と「地図の世界」をつなぎ，多様な応用を可能にする点で極めて重要な技術であると言える．

1.2. 技術的課題と解決するためのアプローチ

多様な応用を可能にするには，ジオパージングの高度化が必要である．克服すべき重要な技術的課題として，**場所参照表現の網羅性の低さ**が挙げられる．ジオパージングに関する従来研究では，地名のみを対象としたものが多く，施設名など他の言語表現については対象外とする傾向にある．これに対して，本研究では、**場所に関する言語表現全般**を対象とする汎用的なジオパージングシステムをデザインし，より広範な応用を実現するための足がかりをつくる．

2．本研究の独自性と意義

「実世界の場所を指し示すあらゆる言語表現を抽出し，該当する地図上の位置と結びつけるシステムの開発」を目指す．「あらゆる言語表現」に挑むことが本研究の独自性であり，既存研究における技術的な壁でもあった．本章ではその点を掘り下げる．

2.1. 施設名の網羅性

場所参照表現の中でも「地名」のみに対象を絞った既存研究が非常に多く，「施設名」まで含めたジオパージング研究は例外と言ってよいほど少数である．最大の理由は，**地図データベース（地図 DB）における施設名の網羅性の低さ**にある．

場所参照表現を地図上の位置に紐付ける処理（ジオコーディング）のために地図 DB を活用することが多いが，地図 DB に施設名が十分に収録されていなければ位置情報を取得できない．たとえば，「名前=近鉄奈良，緯度=34.6841971，経度=135.8284104」のように，地名/施設名とその位置情報のペア（エントリ）を収録した地図 DB があれば，DB 内を検索し，適切なエントリの位置情報を取得して，地図上に可視化することができる．代表的な地図 DB のひとつに GeoNames[3] があり，ジオパージング研究で最も頻繁に使用されてきた (Lieberman et al., 2010; Kamalloo and Rafiei, 2018; Wallgrun et al., 2018; Gritta et al., 2020)．しかしながら，施設名の網羅性に課題があった．つまり，仮に文章から施設名を抽出できても，位置情報と結び付けるための地図 DB として十分なものが存在しなかったため，はじめから施設名を抽出の対象外とする研究が多かった．

しかし近年，光明が見えつつある．オープンな地図 DB である OpenStreetMap[4] (OSM) が加速度的に充実してきた．施設名の網羅性が飛躍的に向上し，ジオパージングを目的とした使用に耐えうる基盤が整ってきた．本研究では，地図 DB として OSM を採用する．OSM の豊かな情報を活用したジオパージングシステムを構築し，その可能性と技術的課題を明らかにし，後続する研究への知見を提供する．

---

[1] https://sites.google.com/view/geography-and-language/resources
[2] https://sites.google.com/view/geography-and-language
[3] https://www.geonames.org/
[4] https://www.openstreetmap.org

2.2. 固有名以外の場所参照表現の網羅性

場所参照表現は，地名や施設名などの固有名（名前）に限らない．たとえば，「最寄駅」「空港」「バス停」などの一般名詞句，「ここ」「そこ」などの指示語も場所を表す．例として，以下の文章を考える．

「松島に行くには､空港から電車で仙台駅に向かい、小牛田行きの電車に乗り換え、松島駅で降ります。」

観光情報抽出の目的で，観光地「松島」までの経路（あるいは交通アクセス）を文章から自動抽出したい場合，一般名詞句「空港」を対象外としたならば，出発地である「空港」を抽出できない．一方で，仮に「空港」を抽出できても，どの空港かわからないなら，地図上にプロットすることもできないのだから抽出する意味がない，という反論もあり得る．しかしながら，周りの文脈を考えると，この「空港」が「仙台空港」を指すことは，一定の知識を持った人間ならわかる．つまり，文章中に一般名詞句として出現していても，実世界の特定の場所を指すことが文脈上容易にわかる場合も少なくない．「最寄駅」や「バス停」なども同様である．

もうひとつの例として，図 1 の入力文章を考える．5-6 行目の「30 分過ごしてから店を出て、ホテルにチェックインしました。」の「店」は 4 行目の「スタバ」と同じ場所を指し，「ホテル」は 2 行目の「ホテルニューわかさ」と同じ場所を指す．つまり，異なる表記（一般名詞句や指示語）で書かれていても，固有名と同じ場所を指している場合も少なくない．この現象は，まとまった分量の文章に顕著である．図 1 のように，最初は固有名の地名や施設名が書かれ，それ以降は一般名詞句や指示語で同じ場所を指す書き方が多く見られる．したがって，**一般名詞句や指示語をはじめから対象外として貴重な情報を取りこぼすのではなく**，それらも対象に含めた上で，どの程度正確に抽出することが可能か，知見を蓄積することは，学術的にも実応用的にも価値があると考える．このように対象範囲を広げることによって，応用の範囲も広がることが期待できる．

3．提案するフレームワーク

上記の課題に対応するための，汎用的なジオパージング開発フレームワークを提案する．本フレームワークは，次の 3 つのモジュールから構成される．(1) 場所参照表現抽出モジュール，(2) 共参照解析モジュール，(3) ジオコーディングモジュール．本章では，各モジュールについて詳述する．

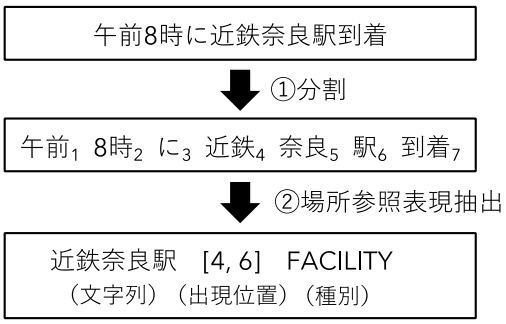


図 2 場所参照表現抽出の例

3.1. 場所参照表現抽出モジュール

本モジュールでは，文章を入力とし，場所を指し示す言語表現（場所参照表現）を抽出する．

3.1.1. 問題設定

図 2 に具体例を示す．入力は文章の文字列である．目標出力として，入力文章中の各場所参照表現の「文字列」「出現位置」「種別」を認識する．まず，入力文章をある単位（単語や文字などの単位）に分割する．次に，場所参照表現として，その「文字列」と文章中での「出現位置」，表現の「種別」を出力する．図 2 の例では，入力文章が単語単位に分割され，「近鉄奈良駅」という文字列が抽出されている．出現位置 [4, 6] は，分割された文章の 4 番目の単語「近鉄」から 6 番目の単語「駅」までが該当文字列であることを意味する．種別「FACILITY」は「施設名」であることを表す．種別は，問題の設計者が任意の種別を設定できる．たとえば，「施設名」の他にも，「LOCATION」（地名；たとえば都道府県・市区町村名）「LINE」（線状の地物；たとえば道路や河川）「TRANSPORTATION」（交通手段；たとえばバスや電車）を設定し，予測対象とすることも可能である．

3.1.2. 主流のアプローチ

これまでの自然言語処理研究を鑑みると，(a)辞書ベースのアプローチと(b)機械学習ベースのアプローチが主流である．辞書ベースのアプローチでは，辞書に含まれている場所参照表現の文字列と，入力

文章中の文字列を照合するのが基本である. 例えば, 辞書に「近鉄奈良駅」という文字列があれば, 同一の文字列が入力文章中に含まれるか探索し, 一致すればその出現位置と種別を出力する. 機械学習ベースのアプローチでは, 文章を機械学習モデルに入力し, モデルが場所参照表現に該当すると判断した文字列の出現位置と種別を列挙する形で出力する.

提案フレームワークでは, 機械学習ベースのアプローチを推奨する. このアプローチの利点は, 辞書に含まれていないような文字列でも場所参照表現として適切に抽出されうる点である. 機械学習モデルは, 学習に使用するデータセット（学習データ）に登場する場所参照表現を丸暗記するのではなく, **学習事例に共通する特徴や傾向を学ぶ**. 言い換えると, 学習データに登場しないような場所参照表現も適切に抽出できるような「汎用性」を獲得する可能性を秘める. この点を重視し, 4 章で説明する我々の実装でも機械学習ベースのアプローチを採用した.

3.2. 共参照解析モジュール s

文章には, 同じ場所を指す異なる複数の言語表現が現れる. 図 3 の例では,「スタバ」と「店」は同じ場所を指す. 同様に,「ホテルニューわかさ」と「ホテル」は同じ場所を指す. このように同じ物や概念を指す異なる言語表現をグルーピングする処理を**共参照解析**という.

3.2.1. 共参照解析を行う利点

この処理を挟むことの利点はなんだろうか？例えば, 一般名詞句「ホテル」を, その文字列情報だけから適切な地図 DB エントリと紐づけるのは難しい. しかしながら,「ホテル」が「ホテルニューわかさ」と同じグループに属する（同じ場所を指す）ことがわかっており, かつ,「ホテルニューわかさ」が適切なエントリと紐づいているなら,「ホテル」も同じエントリと紐づくはずである（同一の場所は同一の地図 DB エントリに対応するため）. 言い換えると, 固有名「ホテルニューわかさ」を介して,「ホテル」も**適切なエントリに間接的に紐付けられる**.

さらに, 共参照解析の副産物として,「ホテルニューわかさ」に関するより詳しい情報を取り出すことも可能になる. 例として,「ホテルニューわかさ」に

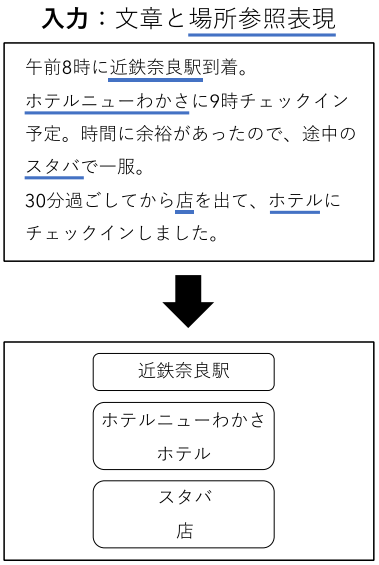


図 3　共参照解析の例

チェックインした事実やタイミングを特定したい場合を考える.「ホテルニューわかさ」が登場する一文を見ただけではわからないが,「ホテル」が登場する文を根拠として特定することが可能になる. 仮に「ホテルニューわかさ」と「ホテル」をグループ化できていない場合,「ホテル」に関する情報を「ホテルニューわかさ」に関する情報として認識することは困難になるだろう. したがって, 同じ場所を指す異なる複数の言語表現がグループ化されることによって, **その場所に関する情報をより広範な文脈から取り出しやすくなる**. このように, 共参照グループ自体を有効に利用することによって, より豊かな情報抽出が可能になる. 本研究の中心課題はジオパージングであるため, この観点を深掘りしないが, 将来的には, 場所に関する豊かな情報を抽出するために共参照グループを利活用する方向性も模索したい.

3.2.2. 主流のアプローチ

近年は機械学習ベースのアプローチが主流である. その中でも Lee et al. (2017) の手法がシンプルかつ強力であるため, 多くの研究者が採用している. 詳しい手法の説明は当該論文に譲り, ここでは手法のエッセンスを直感的に説明する. 例として, 図 3 中の「店」と同じ場所を指す表現を予測する場合を考える. 基本は, 候補の場所参照表現の中から適切な

ものを選択する．まず,「店」より前の文脈に登場した場所参照表現を候補とする. つまり,「近鉄奈良駅」「ホテルニューわかさ」「スタバ」が候補となる．これらに追加で，同じ場所を指す表現がないことを表す特殊な記号「None」も候補となる．次に，これらの中から適切なものを選ぶ．もし適切なものが複数ある場合は，正解のうちどれを選んでも良い．選ぶ際は,「店」の文脈情報を手がかり（特徴量）として，各候補に対して尤もらしさを表すスコアを算出し，最大スコアのものを選ぶ．ここでは，直前に登場している「スタバ」を選べば正解である．選ばれたもの同士を共参照グループとして出力する．同様に，「ホテル」と同じ場所を指す表現を予測する場合は，「近鉄奈良駅」「ホテルニューわかさ」「スタバ」「店」「None」の 5 つ中から選ぶ.「ホテルニューわかさ」を選べば正解である．

3.3. ジオコーディングモジュール

本モジュールでは，文章と共参照グループを入力とし，共参照グループの位置情報を推定する．

3.3.1. 主流のアプローチ

主流のアプローチはふたつある．(a) 位置情報（経緯度）を直接出力するアプローチと，(b) 地図 DB のエントリを介して位置情報を出力するアプローチである．前者のアプローチでは，機械学習モデルに経緯度を直接出力させる方法をとる．後者のアプローチでは，検索モデルに検索クエリを入力して地図 DB 内を検索し, 適切なエントリを突き止め, そのエントリに登録されている経緯度を出力する．

我々の提案フレームワークでは，後者のアプローチを推奨する．その利点として，**システムの保守のしやすさ**がある．なんらかの理由で登録されているエントリの位置情報を変更したい場合でも，その情報を変更するだけで対処でき，検索モデル自体に変更を加えなくて済む. 一方で前者のアプローチだと，機械学習モデルを一から作り直す必要がある．地図 DB の保守としてエントリの修正・追加を含めた更新作業が必要なため，後者のアプローチの方がこの点に柔軟に対応できる．以降，地図 DB に基づくアプローチを前提に種々の説明をする．

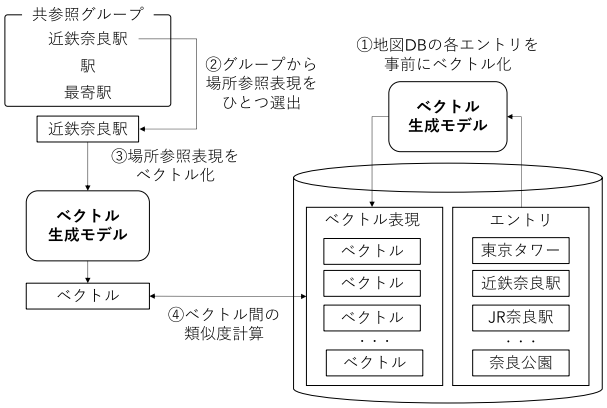


図 4　ジオコーディングの例

3.3.2. 処理の流れ

本モジュールでは, 共参照グループを入力として，地図 DB の適切なエントリに紐づける．例を図 4 に示す．最初のステップでは，事前に地図 DB 内の各エントリをベクトル化する．自然言語処理におけるベクトル化とは，単語や文などの文字列を，事前に決められた次元数（通常，数百〜数千程度）の実数値ベクトルに変換する処理を指す．同様に次のステップでは, 入力の共参照グループをベクトル化する．ここで，各共参照グループは複数の場所参照表現から構成されることも多く，それらからどのように 1 本のベクトルを作るかを考えなければならない．単純には，共参照グループから 1 つの場所参照表現を選び，選んだ表現をベクトル化する方法が考えられる. あるいは, グループに属するN個の場所参照表現をすべてベクトル化してN本のベクトル表現を得て, そのN本のベクトル表現を平均して 1 本のベクトル表現を作るという方法も考えられる．最後のステップでは，地図 DB のエントリのベクトルと共参照グループのベクトルの類似度を計算し，その類似度に基づいてエントリを順位付けする. 最終出力として, 上位ベストk個のエントリを出力してもよいし, 1 位のエントリだけを出力してもよい．想定する応用先を鑑みて任意に決める．

技術的ポイントに挙げられるのは，語句のベクトル表現を用いる点である．この利点はふたつある．ひとつは，曖昧な文字列マッチを実現できることである．つまり，入力の場所参照表現と完全一致しな

い地図 DB のエントリ名であっても，その文字列同士が類似していれば高い検索スコアを与えることができる．ただ，これは曖昧な文字列一致技術でも実現可能であるため，語句のベクトル表現に特有の利点とは言えない．より重要なのはもうひとつの点である．すなわち，**意味的に類似している語句同士に高い検索スコア**を与えることができる．たとえば，「仙台」という語句は，「宮崎」よりも「宮城」のほうが高い検索スコアとなることが期待される．この理由として，現在の自然言語処理におけるベクトル表現の作り方が，登場する文脈が似ている（あるいは共起する）語句同士の類似度が高くなるように学習する場合が多いからである．「宮城」のほうが，登場する文脈が「仙台」と似ているため（あるいは「仙台」と共起するため），「宮崎」よりも高い類似度スコアがつけられる場合が多い．今後は，位置情報や地理的属性情報などをベクトル表現に反映させるような学習を行うことによってさらなる飛躍が期待できるため，将来に渡るポテンシャルが非常に高いアプローチであると考える．

4．開発したシステム

提案フレームワークに基づいてシステムを実装した．本章では，そのシステムについて詳述する．

4.1．場所参照表現抽出モジュールの実装

4.1.1．モデルの構築

入力文章が与えられたとき，場所参照表現の出現位置とその種別ラベルを正確に予測できるモデルを構築したい．そのためには，場所参照表現の出現位置と種別ラベルの情報が付与されたデータセットを用いて「教師あり学習」を行う必要がある．つまり，出現位置と種別ラベルを正確に予測できるようになるまで，モデルに繰り返し教え込む必要がある．

そのために，「地球の歩き方旅行記データセット[5]」(Arukikata. Co. Ltd., 2022; Ouchi et al., 2023) を使用した．同データセットは日本語テキストデータであり，4,500 の国内旅行記と 9,500 の海外旅行記から構成され，全体で 3,100 万単語を超える規模である．このうち，200 の国内旅行記に，場所参照表現の出現位置と種別ラベルの情報を付与したデータを作成し，学習/開発/評価データに分割した．これらの情報を正確に予測できるようにモデルの学習を行った．具体的なモデルとして，multilingual LUKE[6] (mLUKE) (Ri et al., 2022) を採用した．

表 1　提案システムで扱う中心的な種別ラベル

種別ラベル	例
LOC_NAME	奈良県; 生駒山
LOC_NOM	街; 島; 山
FAC_NAME	大神神社; 東京駅
FAC_NOM	駅; 公園; お店
LINE_NAME	近鉄奈良線
LINE_NOM	国道; 川; トンネル
TRANS_NAME	特急ひのとり
TRANS_NOM	バス; フェリー

4.1.2．種別ラベルの設計

各場所参照表現は，その種別を表すラベルの情報を持つ．表 1 に我々のシステムで扱う中心的な種別ラベルを示す．アンダーバー「_」の前半と後半で異なる情報を表し，全体でひとつのラベルを構成する．

前半部分は 4 種類に分かれる．(a) LOC (Location; 地名)，(b) FAC (Facility; 施設名)，(c) LINE (Line; 路線名)，(d) TRANS (Transportation; 乗り物名)．後半部分は次の 2 種類に分かれる．(i) NAME (Name; 固有名)，(ii) NOM (Nominal; 名詞語句)．

さらに，以下の 4 つの種別ラベルも設計した．

- LOC_ORG (Location_Organization)：語句単体だと土地を指しうるが，当該文脈上は組織を指す表現．例えば「広島」は，その語句単体だと土地（行政区）を指す可能性もあるが，「広島はセ・リーグを制覇した」という文脈ではプロ野球のチーム（組織）を指す．純粋に土地を指す表現と区別をするために本ラベルを定義した．
- FAC_ORG (Facility_Organization)：語句単体だと施設を指す可能性もあるが，当該文脈上は組織を指す表現．例えば「奈良先端大」は，その語

[5] https://www.nii.ac.jp/dsc/idr/arukikata/

[6] https://huggingface.co/studio-ousia/mluke-large-lite

句単体だと施設を指す可能性もあるが，「奈良先端大は卒業式を延期した」という文脈では大学組織を指す．純粋に施設を指す表現と区別をするために本ラベルを定義した．

- LOC_OR_FAC：土地と施設の両方を指しうる名詞語句．例えば「観光地」という名詞語句は，土地である可能性と施設である可能性の両方を持つ．このように，土地を指すか，施設を指すか，決められない場合に付与するラベルとして，本ラベルを定義した．
- DEICTIC：指示語．例えば「そこ」「ここ」など．

上記のようなラベル体系を導入することによって，出力結果の中から所望の種類の場所参照表現だけを選択して，応用先に沿った利活用が可能になる．たとえば，施設を指す固有名のみを利用したい場合は，FAC_NAME のラベルが付与された出力結果のみを利用すればよい．土地を指す固有名と名詞語句を利用したい場合は，LOC_NAME と LOC_NOM が付与された出力結果を利用すればよい．

4.1.3. 評価方法

入力文章から所望の言語表現を抽出する問題では，適合率（Precision）と再現率（Recall），それらの調和平均である F 値によって性能を評価することが一般的である．場所参照表現抽出も同様の評価方法を採用する．適合率は，モデルが抽出した言語表現の中で，実際に正解の言語表現だった割合である．再現率は，正解の言語表現の中で，モデルが抽出できた言語表現の割合である．より正確に説明すると，モデルは各場所参照表現の出現位置と種別ラベルを予測するが，両方とも正解である場合のみを正解とした．言い換えると，どちらか片方のみが正解の場合は正解と見なさないこととした．たとえば，出現位置は正解であるが種別ラベルが誤っていた場合は不正解と判定した．

4.1.4. 比較モデル

提案モデルの性能が相対的に高いか，低いかを示すため，既存ツールのモデルと比較する．1 つめの比較モデルは，既存の日本語自然言語処理オープンソースライブラリ GiNZA[7] “ja_ginza” (version 5.1.2) (松田他, 2019) の固有表現抽出モデルである．2 つめの比較モデルは，既存ツール KWJA[8] “base” (version 2.1.1) (Ueda et al., 2023) の固有表現抽出モデルである．これらのモデルは，地名や施設名など場所に関連する固有表現だけでなく，人名などの固有表現も抽出することができる一般的なモデルである．

表 2　場所参照表現抽出の性能比較

モデル	種別ラベル	P	R	F
GiNZA	Overall	.574	.277	.374
	*_NAME	.574	.548	.560
KWJA	Overall	.279	.352	.311
	*_NAME	.279	.695	.398
提案	Overall	.813	.817	.815
	*_NAME	.828	.813	.821
	*_NOM	.832	.826	.829
	LOC_OR_FAC	.731	.711	.721
	DEICTIC	.616	.896	.730

4.1.5. 性能比較結果

表 2 に評価データにおける各モデルの性能を示す．我々のモデルは「地球の歩き方旅行記データセット」の一部にあたる学習データを学習に使用しており，他モデルに比べて有利な状況であるものの，評価データは，全モデルにとって未知の文章である．

まず，各モデルの全体的（Overall）な F 値について議論する．提案モデルは.815 を記録し，GiNZA は.374，KWJA は.311 を記録している．つまり，提案モデルの性能は，2 つの比較モデルを大きく上回っていると解釈できる．この結果は自然であり，実験前からある程度予見できたことだ．なぜなら，提案モデルは場所参照表現の抽出に特化したモデルであり，評価データと同じ傾向を持つ旅行記データで学習しているためである．逆に言えば，比較モデルは人名などを含めた幅広い固有名を抽出するモデルであり，かつ，旅行記データで学習をしていない点が，我々のモデルと比べて不利な条件だと言える．

[7] https://github.com/megagonlabs/ginza
[8] https://github.com/ku-nlp/kwja

また，比較モデルは，名詞語句を抽出の対象外としている．そこで次に，比較モデルも抽出対象としている固有名（*_NAME）のみに対する実験結果（F 値）について議論する．提案モデルは.821 を記録し，GiNZA は.560，KWJA は.398 を記録している．この実験結果においても，提案モデルが比較モデルを大きく上回っている．この理由としても，上述した理由と同じく，我々のモデルが場所参照表現に特化したモデルであることが挙げられる．

4.2. 共参照解析モジュールの実装

4.2.1. モデルの構築

入力文章中の場所参照表現が抽出済みであることを前提とし，同じ場所を指す場所参照表現をグルーピングするためのモデルを構築したい．そのためには，場所参照表現抽出と同様，共参照グループの情報が付与されたデータセットを用いて「教師あり学習」を行う必要がある．そのためのデータセットとして，「地球の歩き方旅行記データセット」のうち，200 の国内旅行記に共参照グループの情報が付与されたデータを用いた．これらの共参照グループを正確に予測できるようにモデルの学習を行った．具体的なモデルとして，multilingual LUKE (mLUKE) (Ri et al.,2022) を採用した．共参照グループの予測方法として，Lee et al. (2017) の手法を採用した．

4.2.2. 比較モデル

比較モデルとして，ふたつのルールベースモデルと，ひとつの既存ツールのモデルを取り上げる．

- Rule-1：場所参照表現をそれぞれ単独のグループとする．つまり，N 個の場所参照表現があった場合，N グループが出来上がる（各グループの構成要員は 1 つの場所参照表現のみ）．
- Rule-2：同一文字列の場所参照表現をグループ化する．
- KWJA：既存ツール KWJA に含まれる共参照解析モデル．

4.2.3. 評価方法

共参照解析で一般的な評価指標である「B^3」(Bagga and Baldwin, 1998) で評価する．図 5 は，正解の共参照グループとモデルが予測した共参照グループを示している．「4: 京都駅」の適合率と再現率を

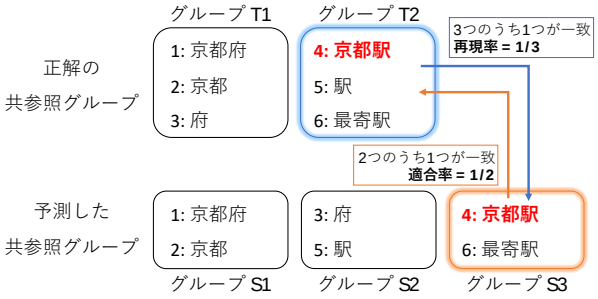


図 5　共参照解析の評価指標 B^3 の算出途中の例

求める場合，正解グループのうち「4: 京都駅」を含むグループ T2 と，予測グループのうち「4: 京都駅」を含むグループ S3 の重なり具合から算出する．まず，適合率を求める．予測グループ S3 は構成員として 2 つの場所参照表現を含み，このうち「4: 京都駅」のみが正解グループ T2 の構成員と重なるため，適合率は 1/2 となる．次に再現率を求める．正解グループ T2 は構成員として 2 つの場所参照表現を含み，その唯一の構成員である「4: 京都駅」が予測グループ S3 の構成員と重なるため，再現率は 1/3 となる．このように，各場所参照表現に対して，適合率と再現率を算出する．最終的に，すべての場所参照表現に対して再現率と適合率を算出し，それらの平均をとって全体の再現率と適合率，さらにはその調和平均である F 値を算出した値が B^3 における再現率，適合率，F 値となる．実験では F 値のみを報告する．

4.2.4. 性能比較結果

表 3 に評価データにおける各モデルの性能を示す．まず，Rule-1 モデルの結果.755 をデータセットの特性に絡めて議論する．本モデルは，各場所参照表現をそれぞれ単独のグループとする．このような単純なルールでも，比較的高い解析結果と言える.755 を記録している．これはデータセットの偏りに由来する．構成員が 1 のグループが評価データに支配的（約 7 割）であるため，単純に各場所参照表現を独立のグループとしただけで評価指標の値が高くなる．

このような状況を踏まえると，より重要なのは構成員が 2 以上（≥2）の共参照グループを適切に予測できるかという点である．この場合も，提案モデルは.733 を記録し，比較モデルを上回る結果となった．この数値は，ある場所参照表現に着目したとき，そ

表 3　共参照解析の性能比較

モデル	サイズ	B^3 (F 値)
Rule-1	≥ 1	.755
	≥ 2	.000
Rule-2	≥ 1	.840
	≥ 2	.613
KWJA	≥ 1	.839
	≥ 2	.661
提案	≥ 1	.875
	≥ 2	.733

の場所参照表現が属する共参照グループの構成員の約 7 割が正解と重なるイメージに近い．つまり，多くの場合は適切にグルーピングされていると言える．

4.3．ジオコーディングモジュールの実装

4.3.1．モデルの構築

入力文章中の場所参照表現が抽出済みで，かつ，共参照グループも予測済みであることを前提とし，各共参照グループに該当する地図 DB のエントリを検索したい. 本研究の実装では, 地図 DB として OSM を用いる．共参照グループをベクトル化するにあたり，共参照グループから場所参照表現を 1 つ選び，その場所参照表現をベクトル化する方法を採用する．場所参照表現の選び方は，グループ内に固有名である場所参照表現（*_NAME）があればそれを選び，なければ最も文字列として長い場所参照表現を選ぶ（長い文字列のほうが情報量が多いと想定できるため）．OSM のエントリと共参照グループの場所参照表現をベクトル化するため，言語モデルの一種である BERT (Devlin et al., 2018) の日本語モデル[9] を用いる．ベクトル間の類似度としてコサイン類似度を使用し，その類似度が高い順に OSM のエントリを順位付けする．なお，本モデルは既存の公開モデルを使用したものであり,「地球の歩き方旅行記データセット」を用いた学習は行っていない．

4.3.2．比較モデル

比較モデルとして，シンプルなルールベースのモデルを実装した．提案モデルと同様，各共参照グループから 1 つ場所参照表現を選び, OSM のエントリと文字列一致検索を行う．もし複数のエントリが完全一致した場合は，それらすべてを出力する．

表 4　ジオコーディングの性能比較

モデル	R@1	R@5	R@10	R@100
ルール	.221	.323	.345	.362
提案	.219	.366	.399	.482

4.3.3．評価方法

検索タスクで一般的な評価指標である Recall@k（R@k）で評価する．これは，モデルにk個のエントリを出力させ，そのk個に正解エントリが含まれていれば正解とする指標である．OSM では，「国道 1 号」のような地物は，部分区間ごとに別々のエントリとして登録されている. このようなエントリでは，旅行記中の場所参照表現に対応づけるには粒度が細かすぎるため，ヒューリスティクスにより，実質的には同一の施設を指すと考えられるエントリ全体を一つのグループにまとめ上げる処理を行った．したがって, 実際にはエントリのグループ単位での予測・評価を行うタスク設定を採用した．

4.3.4．性能比較結果

表 4 に性能評価実験の結果を示す. この実験でも，場所参照表現抽出や共参照解析と同様,「地球の歩き方旅行記データセット」の一部を評価データとして使用している．全体の傾向として，提案モデルがルールベースモデルよりも良い結果を記録している．特に，R@kのkが大きい場合にその差が顕著である．これは，k個のエントリを順位付けして出力する際に，提案モデルの出力したkの中に正解エントリが含まれる場合が相対的に多いことを意味する．言い換えれば，正解のエントリが上位にくるような順位付けになっていることを示している．この理由は，前述したベクトル表現によるマッチングの効果であると推測できる．つまり，曖昧な文字列一致（ファジーマッチ）と意味的な類似性の考慮がある程度実

[9] https://huggingface.co/cl-tohoku/bert-base-japanese-whole-word-masking

現できており，その結果として上位に正解エントリを順位付けることに成功している可能性が高い．

一方で，R@1 の結果は改善の余地が大きい．提案モデルは，文字列の類似度のみから順位付けをしており，「文脈情報」や「地理的な位置関係」を考慮していない．したがって，今後はそれらの点を考慮し，より洗練されたモデルを構築する必要がある．

５．おわりに

本研究は，文章と地図をつなげる技術「ジオパージング」の高度化に取り組んだ．具体的には，最先端の自然言語処理技術を考慮したジオパージングシステムの開発フレームワークの提案と，その実装の性能評価実験を行った．今後の課題として，特にジオコーディングの実装について，地理的な位置関係を考慮したモデルに改善することが挙げられる．

今後の展望を述べる．ひとつは，1 章で述べたように，本研究のジオパージングシステムに基づいて，文章から人間の「地理的移動」を読み取り，地図上に描画するシステムを開発する予定である．もうひとつは，場所参照表現とそれに関連する種々の情報を文章から抽出し，より高度な空間分析へとつなげていきたい．自然言語処理と地理空間情報が交差する領域で，新たな価値を創出することを目指す．

謝辞 Acknowledgement

本研究は JSPS 科研費 JP22H03648 の助成を受けたものです．

参考文献 References

Jochen L Leidner (2006). An evaluation dataset for the toponym resolution task. Computers, Environment and Urban Systems, 30(4):400–417.

Milan Gritta, Mohammad Taher Pilehvar, and Nigel Collier (2020). A pragmatic guide to geoparsing evaluation: Toponyms, named entity recognition and pragmatics. Language Resources and Evaluation, 54:683–712.

Xuke Hu, Zhiyong Zhou, Hao Li, Yingjie Hu, Fuqiang Gu, Jens Kersten, Hongchao Fan, Friederike Klan (2022) Location reference recognition from texts: A survey and comparison. arxiv:2207.01683.

Ehsan Kamalloo and Davood Rafiei (2018). A coherent unsupervised model for toponym resolution. In Proceedings of WWW '18, page 1287–1296.

Kenton Lee, Luheng He, Mike Lewis, and Luke Zettlemoyer (2017). End-to-end neural coreference resolution. In Proceedings of the 2017 Conference on EMNLP, pages 188–197.

Arukikata. Co., Ltd (2022). Arukikata travelogue dataset. Informatics Research Data Repository,National Institute of Informatics. https://doi.org/10.32130/idr.18.1.

Hiroki Ouchi, Hiroyuki Shindo, Shoko Wakamiya, Yuki Matsuda, Naoya Inoue, Shohei Higashiyama, Satoshi Nakamura, and Taro Watanabe (2023) Arukikata travelogue dataset. arXiv:2305.11444.

Ryokan Ri, Ikuya Yamada, and Yoshimasa Tsuruoka (2022). mLUKE: The power of entity representations in multilingual pretrained language models. In Proceedings of the 60th Annual Meeting of the ACL, pages 7316–7330.

松田寛・大村舞・浅原正幸 (2019). 短単位品詞の用法曖昧性解決と依存関係ラベリングの同時学習. 言語処理学会 第 25 回年次大会 発表論文集.

Nobuhiro Ueda, Kazumasa Omura, Takashi Kodama, Hirokazu Kiyomaru, Yugo Murawaki, Daisuke Kawahara, and Sadao Kurohashi (2023). KWJA: A unified japanese analyzer based on foundation models. In Proceedings of the 61st Annual Meeting of the ACL: System Demonstrations.

Amit Bagga and Breck Baldwin (1998). Algorithms for scoring coreference chains. In The first international conference on language resources and evaluation workshop on linguistics coreference, volume 1, pages 563–566.

Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In Proceedings of the 2019 Conference of the NAACL, pages 4171–4186.

Simple Objects Profile による応用スキーマの設計と実装について

藤本　悠*

The Simple Object Profile for Design and Implementation According to ISO 19109

Fujimoto YU*

Abstract: The ISO 191xx series, an international standard, is centered around the concept of object-oriented GIS (OOGIS), which is clearly outlined in ISO 19109. However, its complexity and ambiguity often lead to overlooking this idea. To address this issue, in 2016, the author proposed the Simple Object Profile (SOP), a solution that simplifies the application schema design in accordance with ISO 19109. The SOP has since been employed in various digital archive projects. On the other hand, the SOP required revision as the previous version was unclear in its implementation. To respond to the issue, the author presents version 2.0.0 of the SOP, which consists of three layers of profile and details the process for implementing the application schema. The author also developed a Python program that interprets the application schema in XMI format. By utilizing this program, Python can effectively implement classes, attributes, and associations. Nevertheless, certain elements, such as stereotypes, were not adequately interpreted. As a result, distinguishing between class and enumeration (or code list) automatically is not simple, and additional approaches are necessary to identify these restrictions.

Keywords: オブジェクト指向（Object-Oriented），地理情報標準（ISO 191xx）, UML, XMI, リレーショナル・データベース（Relational Database）

１．はじめに

地理情報システム（GIS: Geographic Information System）に関わる国際的な規格群には国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）の 211 番目の技術委員会（ISO/TC211）で議論された標準規格群がある．この規格群は技術委員会の名前に由来して「ISO/TC211」や，策定後の規格群の名称から「ISO 191xx series」と呼ばれている（ISO19109 2015）．また，国内規格として，日本産業規格（JIS）が JIS X7100 シリーズが策定され（日本測量調査技術協会 2005），さらに，この規格群を実利用に適合するように体系化した「地理情報標準プロファイル（JPGIS）」が国土地理院から公開されている（国土交通省国土地理院 2014）．これらは厳密には異なる部分もあるが，これらを総称して「地理情報標準」と呼んでいる．

同規格群の特徴はオブジェクト指向 GIS（OOGIS: Object Oriented GIS）の考え方に基づいている点である．原規格の「ISO 19109（応用スキーマのための規則）」では現実世界を構成する「認識上」の地理的な事象を「地物（Geographic Feature）」と定義し，GIS におけるデータモデリングは地物を単位として設計することが定められている（ISO 19109 2015）（図 1）．同規格において，地物とは「属性」，

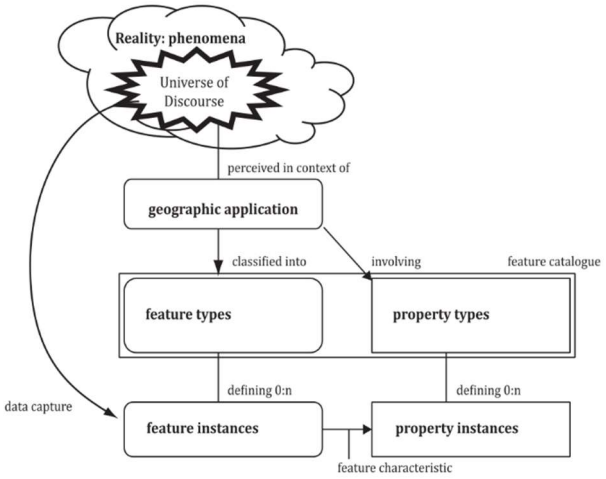


図 1 論議領域（UoD）からデータへの写像
（ISO 19109 より抜粋）

「操作」，「関連」を持ち，「時間」と「空間」に関わる属性については同規格群が別に定めたスキーマ（ISO 19107（時間スキーマ），ISO 19108（空間スキーマ））を利用できる．

ISO 19109 は「地理情報標準」において根幹とも言える役割を担っているが，同規格群が 1994 年に議論され始めてから四半世紀以上の時間が経過し，その意義は形骸化しつつあり（藤本 2019），

* 正会員　芸術文化観光専門職大学　**yu_fujimoto@stdat.at-hyogo.ac.jp**

同規格群に含まれる符号化方式の一つ「ISO 19136（GML: Geography Markup Language）」への準拠が重視される傾向にある．

こうした背景には，同規格が「概念のモデル化」という抽象的な手順が前提とされていたことが大きい．ISO 19109 では「論議領域（UoD: Universe of Discourse）」や「一般地物モデル（GFM: General Feature Model）」といったキーワードを通じて OOGIS の概念を説明しているが，実際に設計するための具体的な方法や技術的な規則などは示されていない．

そもそも，地物の概念は地理学的思考に基づくものであるが，情報工学分野の参入が進む中で，地理学的な思考の重要性は希薄化していったと考えられる．また，概念的であるがゆえに，サービス・プロバイダにとっては設計手順をマニュアル化することが困難であり，結果として，符号化方式を定めた ISO 19136 が規格の中心になっていった．

これらの問題に対して，ISO 19109 に準拠して応用スキーマの設計と実装を行う方法を提案したのが「Simple Object Profile（SOP）」である．SOP は過疎地域における集落アーカイブのために考案したものであったが（藤本 2016），SOP を用いることであらゆる情報を整理し，モデル化し，データベース管理システム（DBMS: Database Management System）に実装することができる（藤本 2017）．また，その汎用性の高さから，植物標本などの自然系のデジタル・アーカイブへの利用なども検討されるようになった（高野ほか 2020）．

SOP は発表して以降，デジタル・アーカイブ・システムの「Survey Data Collector」に実装されるなど，一定の役割を担ってきたが，利用範囲が広がるにつれて，実用レベルでは様々な改善点が出初めているのも事実である．そこで，本稿を通しては，SOP を全面的に改訂し，「SOP ver.2.0.0」を提示するとともに，応用スキーマの実装における課題について技術的な視点で整理する．

2．Simple Object Model の改訂点について

SOP での改訂ではモデルの位置づけと構造に大きな変更を加えたが，基本的な考え方にはない．

メタモデルでは UoD と SOP との関係性を明示し，第 1 階層の「L1 プロファイル」では抽象度の高いモデル，第 2 階層の「L2 プロファイル」では汎用性の高いモデル，第 3 階層の「L3 プロファイル」ではサービス・プロバイダが各々のケースに合わせてモデルを設計する．これら三層階層を順次展開することで，ISO 19109 に準じた地理空間情報モデリングを行うことができる．

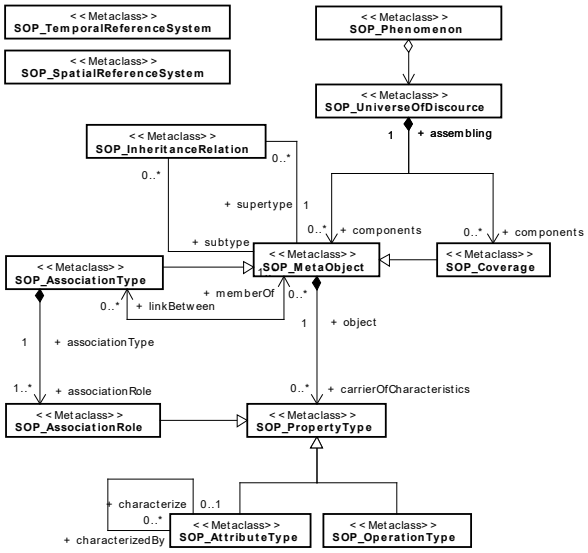


図 2　SOP におけるメタモデル

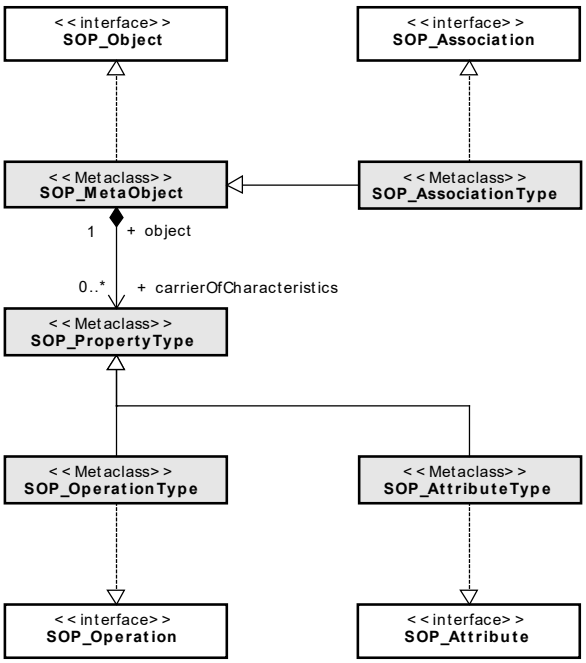


図 3　メタモデルとオブジェクトとの実装関係

SOP ver.2.0.0 における大きな改訂は次の通りである．

1. メタモデルを「地理情報標準」における GFM の構造に近づけたことで，L1 プロファイルの構造が大きく変更された点
2. Survey Data Collector のために設計した L3 プ

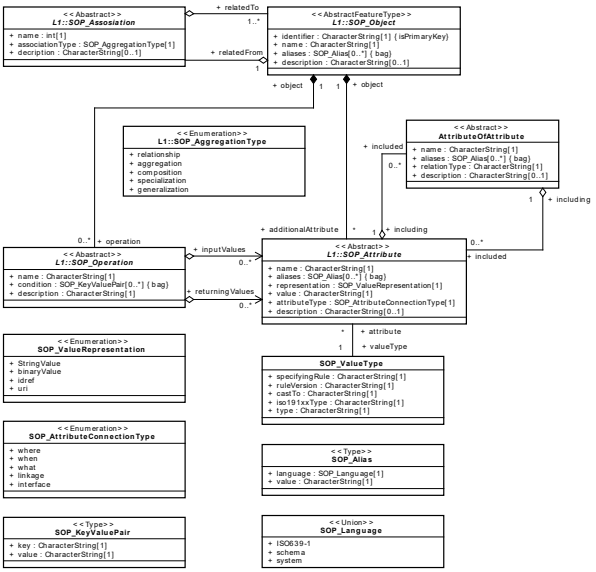


図 4　L1 プロファイル

ロファイルを整理し，L2 プロファイルの設計を見直した点

3. 各階層におけるプロファイルの位置づけを明確にした点

まず，メタモデルについて，当初は現実世界における「現象」をどのように捉えるかについて，独自の設計を行っていたが，今回の改訂では ISO 19109 に合わせ，「現象」が UoD を内包するような構造へと変更し，UoD と GFM の関係を明示的な構造として再定義を行った（図 2，図 3）．

次に，L1 プロファイルについては実装の観点から，その位置づけを大きく変更した．改訂前は単に ISO 19109 との整合性を図るための抽象的なモデルであったが，改訂後の L1 プロファイルは異なるシステム間で地物を交換するための「交換フォーマット」として位置づけている（図 4）．

L2 プロファイルについては，デジタル・アーカイブ・システムとして独自に開発した Survey Data Collector の L3 プロファイルに汎用性があることが分かり，このプロファイルを L2 プロファイルに統合し，汎用的なシステムを実装できるように再設計を行った．改訂後の L2 プロファイルでは，L1 プロファイルにおける「SOP_Object」を継承した，4 段階の入れ子構造（Composition）を実装した構造を提供し，その属性については L3 プロファイルで定義された属性を写像できるようにしている（図 5）．

また，リレーショナル・テーブルへの実装を前提とし，各クラスにおける属性については一つの

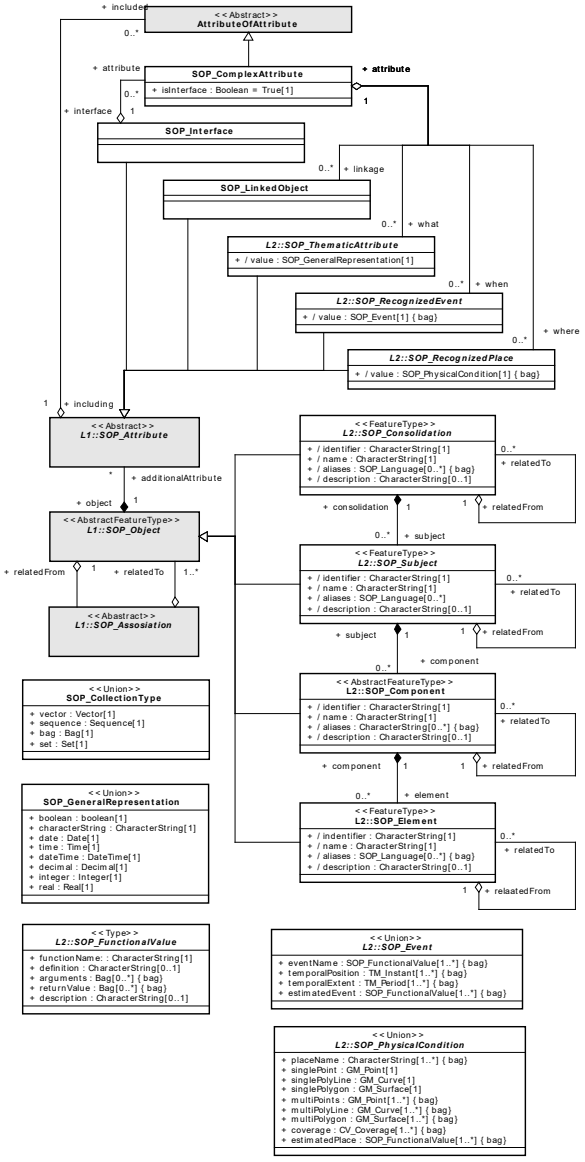


図 5　L2 プロファイルの概略

カラムとして定義できるようにしている．L1 プロファイルから継承された属性には多重度が「0..*」となっている属性型（SOP_Alias など）が含まれるが，これらは ISO 19103 の「Collection 型」であり，リレーショナル・テーブル内部では配列（Array）型として実装する．

これらの変更点に加えて，特に重要な変更点は「SOP_ComplexAttribute」を定義している点である．このクラスは複数の属性を束ねるためのもので，L1 プロファイルの「AttributeOfAttribute」関連クラスを継承する「SOP_Interface」を通して，L3 プロファイルで定義されたユーザー定義型（UDT: User Defined Type）を実装する．また，原規格の「地理情報標準」では定義されていない属性とし

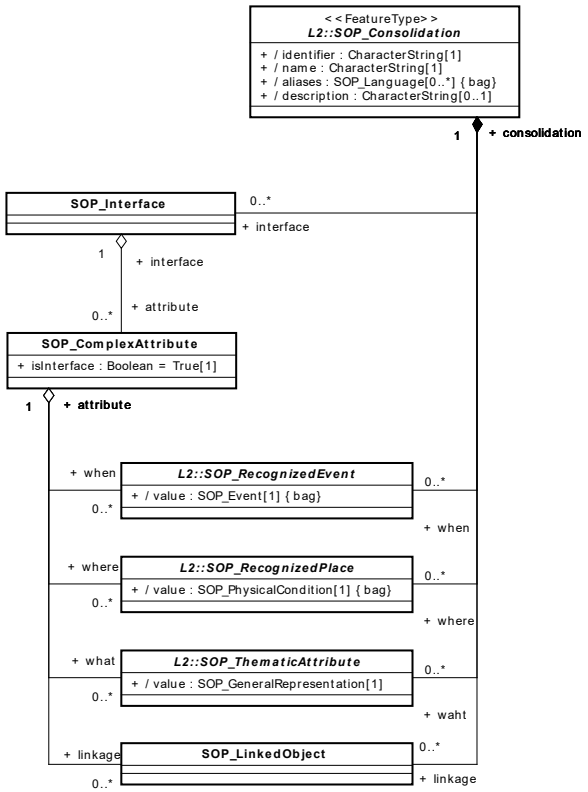


図 6　L2 プロファイルにおける属性の実装

て，画像や音声などの外部ファイルをサポートするための「SOP_LinkedObject」を明示的に定義している点も大きな変更点である．これらを明示的に示したのが図 6 である．この図においては，「SOP_Consolidation」のみを表示しているが，「SOP_Subject」，「SOP_Component」，「SOP_Element」においても同様の構造を持つ．

L3 プロファイルの位置づけそのものについては改訂前から変更はないが, L2 プロファイルとの互換性を確保するために，設計の際にいくつかの規則を必要とする．まず，入れ子構造は L2 プロファイルでの定義に従って 4 段階までとし, L3 プロファイルにおいて実装の主たる対象となる地物は「SOP_Subject」として実装する．「SOP_Consolidation」は「SOP_Subject」を集約（あるいはグルーピング）するための地物である．一方，「SOP_Subject」を継承する地物を細分化する必要な場合には「SOP_Component」を継承して使用することができ，さらに細分化する必要がある場合には「SOP_Element」を定義できる．

L3 プロファイルにおいて，属性は L1 プロファイルから継承された属性に加えて, L2 プロファイルでサポートされている範囲で新たな属性を定義することができる．ただし，UDT として，新たに属性を定義する必要がある場合には「Interface」として実装しなければならない．「Interface」は複数の属性と操作から構成されるオブジェクトであり，その属性型については，L2 プロファイルにおける「SOP_GeneralDataType」，「SOP_CollectionType」，「SOP_Event」，「SOP_PhysicalCondition」のいずれかににによって実現されなければならず，「Interface」の属性を入れ子構造にすることはできない．

L1 プロファイルの「SOP_Object」を継承する地物属性の多重度に制限は無いが，「Interface」として定義する属性については多重度を定義することはできない．この多重度は L2 プロファイルの RDB への実装に起因する制限である．

これらの規則によって, L3 プロファイルによって設計された応用スキーマは L2 プロファイルによって実装されたシステム上で管理できるようになる．

3．応用スキーマのシステムへの実装と課題

応用スキーマをシステムとして実装するには，UML クラス図として設計したモデルを DBMS に実装する方法についても検討する必要がある．UML クラス図はリレーショナル・データベース（RDB: Relational Database）の基本設計にも利用されているため，UML クラス図から DBMS に実装することは可能である．しかしながら, UML クラス図からリレーショナル・テーブルへの写像は単純な構造に限られるため（Demuth & Hussmann 1999），「地理情報標準」に準拠した応用スキーマの実装には適していない部分もある．

そもそも,「地理情報標準」においては異なるシステム間の間で地物に関する情報を交換することが目的とされ，その交換フォーマットとしては XML などの構造化言語を用いることを前提としているため, 応用スキーマを DBMS に展開する方法については厳密な規則が存在しているわけではない.「地理情報標準」がこの領域に深く踏み込まないことによって応用システムの開発時の自由度は高まるが，異なるシステムを開発する際のコストも高くなる．そこで，SOP ではリレーショナル・テーブルへの展開がしやすいように設計し，

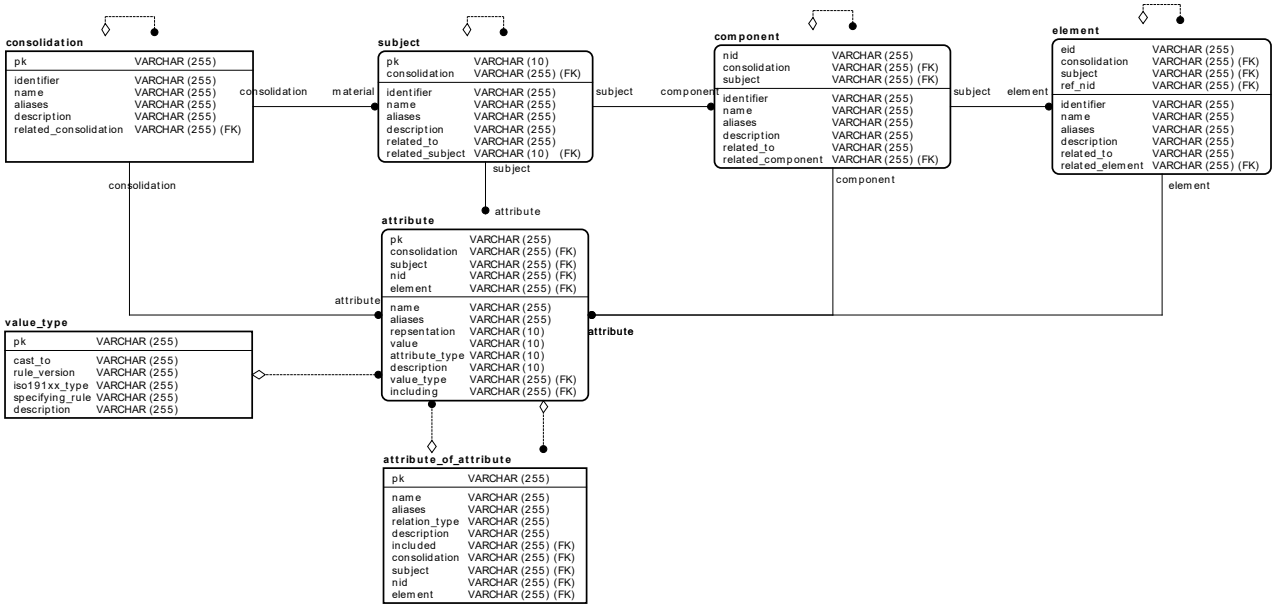


図 7 L2 プロファイルから RDB への写像（列挙型の実装は除く）

汎用的な RDB 構築がしやすいように設計している．

実際に実装するのは, L2 プロファイルで定義されたクラスであり，「SOP_Consolidation」，「SOP_Subject」，「SOP_Component」，「SOP_Element」の 4 つのクラスに加えて，L1 プロファイルで定義されている「SOP_Attribute」，「SOP_ValueType」，「SOP_AttributeOfAttribute」の 3 つのクラスをリレーショナル・テーブルに展開する．また, L1 プロファイルにおいて列挙型として定義されている「SOP_AttributeConnectionType」，「SOP_Language」，「SOP_ValueRepresentation」のそれぞれクラスについてもテーブルとして実装することにする．

L3 プロファイルで拡張された地物の属性型の名称については,「SOP_Attribute」を展開したテーブルの「name」に展開され,「interface」については「SOP_AttributeOfAttribute」テーブルを通じてアクセスされる．

属性のデータ型については DBMS が提供するデータ型を定義する方法もあるが，データ型の取り扱いについては DBMS やシステム開発言語の仕様に依存する部分もあるため，暫定的な対応として，全て文字列型（varchar 型あるいは text 型）で実装するものとし，型変換（キャスト）やデータ型に特有の操作などはシステム開発言語で制御するものとする．

図 7 が実際に RDB に写像した L2 プロファイルの ER（Entity Relationship）図である．この図において，主キーは応用スキーマの定義とは別に，全てのテーブルについて「pk」を付し，外部キーは関連端名としている．テーブル名についてはプリフィックスの「SOP_」を外し，大文字は小文字に，単語の区切りは「-（アンダースコア）」に変換している．なお，主キーには UUID を指定することを前提に文字列型を指定している．

この方法によって汎用的な DBMS を構築することはできるが，実際のシステムに実装するためには UML クラス図で設計されたモデルをシステム開発言語上で扱う必要がある．UML クラス図で設計したオブジェクトをシステム開発言語に実装する方法としては，図 7 に示したように，モデリングソフトを利用する方法もあるが, UML クラス図で設計した応用スキーマから ER 図を再設計するには，少なからず，手作業での操作が必要となる．そこで，今回の試みでは，SOP よりも上位なレベルでの実装について考えることにする．すなわち,「地理情報標準」に基づいてモデルを解

釈するためのプログラムを開発し，XMI（XML Metadata Interchange）で出力された SOP をシステム開発言語で解釈する方法を検討する．

XMI とは OMG（Object Management Group）が策定した標準規格であり，XML によって UML などのオブジェクトの定義情報を記述することができる．XMI は異なるシステム間でオブジェクトの構造を定義することを目的とした規格であり，XMI を利用することで，応用スキーマで定義された地物を自動的に解釈できる．そこで，本研究においては，UML クラス図で定義された SOP を XMI で出力し，Python3 で定義したシステムに読み込む方法を検討した．

まず，XMI の出力については，Astah* Professional ver.9.1（Astah）と Enterprise Architect ver.16（EA）を利用し，それぞれの出力形式の比較を行った．Astah の場合には標準機能に XMI の出力機能があり，XMI 1.1/UML 1.4 の形式で出力される．また，外部プラグインをインストールすると XMI/UML2.4.1 の形式で出力することもできる．一方，EA は様々な形式で出力することが可能であり，Astah と比較して選択肢が多い．

次に，XMI のバージョンの違いについて見てみると，XMI 1.x と XMI 2.x では仕様が大きく異なり，XMI 2.x 系列ではステレオタイプなど，UML で定義した要素の一部が実装されない．また，汎化についても符号化規則が大きく変更されている．ただし，いずれの形式についても，UML クラス図で定義された仕様のすべてがサポートされているわけではなく，各ソフトウェアの独自仕様が含まれるようになっている．なお，Astah と EA との相互入出力では，Astah から EA へのエクスポートは問題なく読み込むことができたが，EA から Astah では読み込み時にエラーが発生することがわかった．

「地理情報標準」との対応関係からは，国内規格の JIS X7100 シリーズの場合には UML 1.4 に準拠しているため，XMI 1.x による符号化が許容されるが，国際規格の ISO 19109 については UML2.4.1 に対応しているため，UML2 系列に対応した XMI が必要となる．

以上のことを踏まえた上で，EA で出力した UML2.4.1/XMI2.4.2 形式の XMI を使用し，SOP を読み込むためのプログラムを Python 3 で作成した．

結果的として，開発したプログラムは GFM によく似た構造を持ち，SOP 以外の一般的な応用スキーマについてもモデルとして実装できることがわかった．また，UML で設計された応用スキーマを Python 上で扱うことができるようになれば，DBMS への実装や，DBMS とシステム開発言語間での処理の幅も広がると考えられる．しかしながら，出力された XMI にはステレオタイプが実装できないという問題があり，列挙型とクラスを判別することができないといった問題があることがわかった．また，UML クラス図上では判断できないような制約が存在することが分った．

この問題に対しては，OCL（Object Constraint Language）によって解決するというアプローチもありえるが（Demuth & Hussmann 1999），OCL ではサポートされていない部分も多くあり，完全に自動化するには技術的な課題が残ることとなった．この対策方法については，XMI の拡張領域を用いる方法や既存の制約要素（Constraint タグ）を用いる方法などがあるが，システムへの依存や独自規則を加えることになるため，慎重な議論が必要になる．

４．おわりに

今回の SOP の改訂によって「地理情報標準」における応用スキーマの設計と実装方法を具体的に示すことができた．また，SOP における 3 層からなるプロファイルの位置づけを明確化することができた点は重要な意味を持つ．L1 プロファイルは個々のインスタンスを交換するためのプロファイルであり，L2 プロファイルは汎用のシステムに実装するためのプロファイルとしての役割を持つ．L3 プロファイルは L2 プロファイルを展開して，サービス提供者が独自に設計し，システ

ム開発言語を通じて必要な処理を提供する．

本研究を通じては，SOP を実装するためのシステム開発言語として Python 3 を使用し，メモリ上で設計したモデルを扱える仕組みについても開発した．このプログラムは特定のソフトウェアに依存しないため，モデリング・ソフトウェアがなくても，モデル情報として XMI ファイルを提供することができれば，設計と開発を分担することも可能になる．

本研究によって「地理情報標準」に準拠した応用スキーマの設計と実装とがシームレスに接続できる方法を示すことができたが，技術的には様々な課題が残っていることも否めない．一つの課題は DBMS 上でのデータ型の取り扱いである．そもそも，ISO 19103 が提供するデータ型は特定のアプリケーション・システムに依存しないように設計されているが，実際にはいずれかの DBMS がサポートするデータ型に実装させる必要がある．しかしながら，DBMS によってデータ型の取り扱いが微妙に異なるほか，ステレオタイプで Union が指定されている場合には個々のデータ型に対応できるようにカラムを定義する必要があり，データ型ごとに異なるカラムを定義するとテーブル構造が冗長化する．

この問題に対して，本研究では文字列型で実装し，システム開発言語上で適宜変換して扱う方法を選んだが DBMS がデータ型ごとに用意している関数を使うことができないという問題がある．

XMI を利用した応用スキーマの実装方法においては XMI が応用スキーマの設計に必要な要素のすべてをサポートしていないため，ステレオタイプによって指定されているオブジェクトを自動的に解釈できないという問題が明らかになった．この問題に対しては OCL を用いる方法も検討し得るが, OCL を用いてもすべてを実現することはできず，何らかの方法を考える必要がある．今後はこれらの課題を踏まえた上で，応用スキーマの設計とシステム開発とを橋渡しするためのモジュール開発にも焦点を当てたい．

参考文献

Demuth, B. & Hussmann, H. (1999) “Using UML/OCL Constraints for Relational Database Design”, In: France, R., Rumpe, B. (eds) *<<UML>>`99 – The Unified Modeling Language*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1723, Springer.

ISO 19109 (2015) *Geographic information — Rules for application schema*.

国土交通省国土地理院（2014）.『地理情報プロファイル（JPGIS 2014）』.

高野温子・堀内保彦・青木滉太・藤本悠・三橋弘宗（2020） 植物標本デジタル画像と OCR によるラベルデータ自動読みとり手法の開発,「日本植物分類学会」，68(2)，103－682.

日本測量調査技術協会 (2005)『地理情報－応用スキーマのための規則』，日本規格協会.

藤本悠（2016）「むらおさめ」とデジタル・アーカイブの意義,「情報処理学会研究報告」，2016(7), 2-7.

藤本悠（2017）移動型簡易 GIS サーバ搭載「調サイクル君」の開発.「奈良大学紀要」，45，75－91.

藤本悠（2019）地理情報標準における「応用スキーマのための規則」の位置づけと準拠について,「地理情報システム学会講演論文集」, 28, PDF.

ITS 対応時空間データベース

*角本 繁[1]、畑山 満則、小笠原 茂宏

Spatial temporal database architecture for Intelligence Transportation System

*Shigeru Kakumoto, Michinori Hatayama, Shigehiro Ogasawara

Abstract カーナビや物流は、道路データベースによって発展してきた。 対象領域を一括してオーサリングした空間データベース（日本では全国）としてきた。人と物の流れ、モビリティが多様化する中で、データベースの複雑化と詳細化している。 そこで、必用な地域、移動媒体、利用目的に応じて構成され、交通事情の変化を随時反映できる時空間データベース記述と利用方法を提案する。 移動媒体の多様化（屋内の徒歩、公共交通、個別交通、鉄道、空路、水路など）に対応するために、それぞれのネットワークを連動する素結合と階層化をすることで、自動運転制御や物流管理への応用を目指す。

Keywors ITS（Intelligence Transportation System）、随時更新データベース（Continuously updated database），時空間データベース（spatiotemporal database）、距離地図（Distant Map）、自動運転（Autonomous driving）

1．はじめに

カーナビは 1980 年代には開発が、1990~2000 年代に実用化が進み、国際標準化(ISO/TC204/WG3)も推進されてきた。この時期は、CD-ROM に道路データを格納したカーナビが主流であった。その後の後、CD-ROM は姿を消し、さらに、通信と融合している。

カーナビでは、運転者が表示された地図と参照して、誘導を参考にしていたが、自動運転では、制御システムが道路情報を参照する。制御システムが必要とするのは、進行方向に沿って走行する時の、アクセル、ブレーキ、ハンドルなどの操作のための制御情報や道路付帯物の位置情報になる。この記述には、リニアリファレンスデータとして、移動距離に対応付ける「距離地図」を提案した（参考１）。運転手が参照してきた（X,Y）地図とは異なる。

カーナビや自動運転は、物流を支援する一機能と見ることができる。人や物の輸送として物流を支えるためには、道路、鉄路、水路、空路など多様な経路を、複数の移動媒体で通行するための分析が必要になる。通行路の変化にも即応でき、必用な地域の選択ができるネットワークデータについて検討してきた。

提案の方式は、ノード点だけを繋いだ単純な地図（リンク地図：時空間データ）だけを記述して、ネットワーク解析用の補助データ（ネットワークデータ）は生成することを、特徴とする。移動制御データや形状データは、リンクの位置に配置される。

角本 繁 (株)DiMSIS 研究所 E-mail：kaku@dimsis.jp

２．物流のための地図データ

物流では、運搬の諸条件に合わせて経費を最小にする分析に、移動経路のネットワークデータが使われる。道路輸送であれば、道路ネットワークが使われ、さらに、鉄道、航空機、船舶のネットワークを併用した、解析が求められる。

人の移動でも、同様で、多様な交通機関を組み合わせた移動計画の検討に、さらに宿泊や観光なども加えた総合的な分析が求められる。乗換えには、屋内の通行路も使うために、屋内データ（Indoor Data）も必要になる。

この要求に応えるためには、「移動」「乗換え」を記述する物流データベースが必要になる。

この物流データベースには、通行の可能性の無いネットワークの記述は不要になる。新設道路や通行不能なネットワークの情報は、通行前に反映されることが期待される。

３．物流の分析で必用な情報

自家用車の移動も、塔乗者を目的地に運ぶという観点から、物流の一つと位置づけることができ、カーナビは、その物流を最適化をする装置と見ることができる。道路案内システムも、公共交通の乗換え案内も、同様の物流（人流）支援とみなせる。

人や物の移動は、移動経路のネットワークデータと乗換え位置データとして記述される。道路、鉄路、空路、水路、徒歩路、などのネットワークデータは、各移動媒体に固有の走行路を表すため、それぞれに独立になる。

ネットワーク間は、「乗換え」位置のノードを介して移動が行われる。経路の評価は、ネットワーク内の探索と、「乗換え」のコストで決まるので、通常のダイキストラ法の処理と類似になると考えられる。移動媒体ごとのネットワークとして、それぞれで「乗換え」位置までのコスト評価をすることで、追跡するリンク数を削減することができるため、ネットワーク解析の処理時間を短縮することが期待できる。また、ネットワーク解析に必用な属性データは、移動体の性質で異なるので、データを削減できる利点も多い。

４．道路地図データベースと階層処理

道路データベースの標準化（ISO/TC204/SWG3.1）では、Enclosed Traffic Area という広場が定義されている。特徴は、広場内の通行は自由で、広場に繋がっている道路からの流入、流出ができるという、ものになる。概念的には、城壁で囲まれた町で、城門を介して城外に繋がっており、内部の道路で、城門を結ぶ状態も同じとなる。ここで、城と城とを結ぶ道路と各城内の道路のネットワークを独立なネットワークとして記述することができる。

城壁などの囲いは無くても、あらかじめ決めた道路で囲まれた領域と見ることができる。

日本の道路地図データベースの多くは、2 次メッシュ、3 次メッシュと元地図の位置精度で、階層化されていた。階層ごとにネットワークデータを生成して階層間の対応付けを行っていた。

５．独立ネットワークの連動

鉄路、空路、海路は、駅、空港、港を結ぶが、移動はそれぞれで、独立のネットワークが構成される。「乗換え」の、駅、空港、港は、ネットワーク間で共有されるが、代表点とする位置や広がりなどの地図データは、それぞれに異なる。

ここで、それぞれのネットワークは、個別に管理され、「乗換え」位置の定義も異なることを考慮すれば、広がりをもった領域の対応関係になる。

広がりを持つノードの記述には、ISO のシェアラブルポイント(補足 1)の記述が有効である。

複数の独立したネットワークで求めた、ノード間の移動性（コスト）は、共通尺度として移動時間などに換算して評価することができる。

6．距離地図との併用

ノードに、代表点の位置情報を定義することで、リンクまたは複合リンク（リンク列）に、形状データを関係付ける。

自動運転では、目的地の指定で、運転者が地図を参照して、ルートを指示する場合はあるが、地図に描かれた道路データを利用するのは、自動運転の制御機構になり、アクセル、ブレーキ、ハンドルなどの制御情報となる。制御では、微係数の連続性が求められるため、折れ線近似の地図とは異なる。また、道路計測では、車の走行履歴が使われる。

進行方向の距離を 1 軸として、他の軸を特徴量

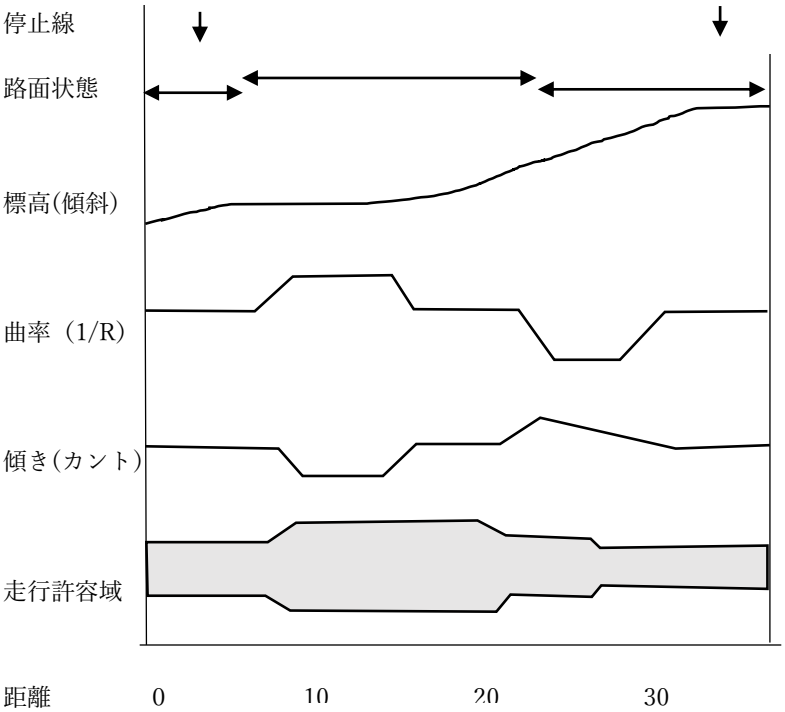


図 1　「距離地図」の一例

とする「距離地図」を提案した。（文献 2）。

この (D,*)表現の「距離地図」は、緩和曲線や円弧で制御情報を、暗に表現しているため、（X,Y）表現に変換することができる（換算方法には非公開情報が多い）。道路や走行軌跡は「距離地図」として表現して、建物等は(X,Y)として表現しても、表示地図にすることができる。

距離地図では、道路に沿った断面を表現することが出来る特徴もある。

7．カスタマイズデータ

車載情報としては、走行の可能性のある地域のデータだけを必要とする。走行条件によっても必要なネットワークデータの絞込みができる。必用なデータだけを集めたカスタマイズデータで「リンク地図」を生成して、ネットワークデータを生成することで、無駄のない物流システムになる。

必用なデータを集めたカスタマイズと、更新データの反映は、同一の処理になる。通信で配信される変更情報で、ネットワークデータも含めた随時更新ができる。

8．まとめ

「リンク地図」には、交差点と端点のノードを結ぶリンク（リンクを統合したマルチリンク）データを記述する。単純な構造になるため、カスタマイズデータの生成や追加・削除の変更は容易である。このリンクは、両端点の座標データを持つが、2 点構成のベクトルとなる。従って、リニアリファレンスデータの対応付けが容易になる。リンクのコストや属性データや距離地図の対応付けも同様になる。

「リンク地図」からネットワーク解析用の補助データの高速生成と、修正で再配置が起こらない処理アルゴリズム（別報告）によって、多様な交通媒体にも、随時更新にも対応できる物流支援が可能になった。

物流はドローンが支え、車は上空も走行する時代も近く、その先に成層圏の移動に繋がるようにも思われる。将来の物流にも対応できる体形化を、視野に入れた検討に発展させたい。

おわりに

1970 年代は、地図データを扱う技術は、紙の地図の電子化が黎明期であり、地図認識技術の開発が進んだ。

その後の地図データの利用が進み、ITS 応用としても、カーナビ、スマホの地図と発展している。一方、駅の路線図（地図、イラスト）は、路線を分かりやすく表現している。計測技術も、平板測量、写真測量から、ドローンや衛星利用、ビッグデータの解析など、多様に発展している。

その中で、まだ紙地図や旧来の測量に縛られている側面もあるように自戒する。

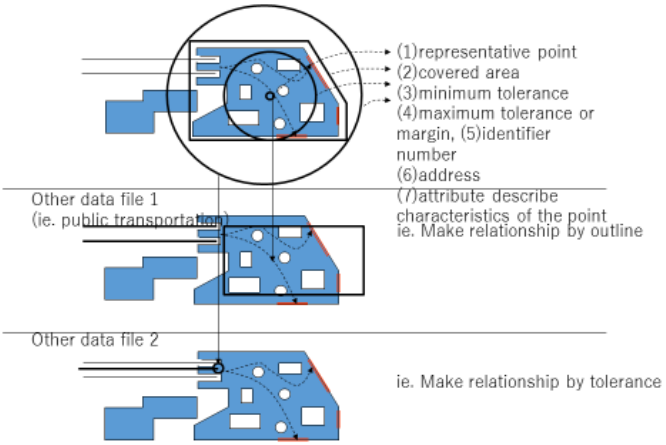
2 次元地図から離れた、時空間情報処理やさらに新しい概念で、機械も容易に利用ができる情報処理になることを期待する。

参考文献：
(1) 平成 31 年地理情報システム学会大会論文
(2) 令和 4 年地理情報システム学会大会論文

補足 1　シェアラブルポイント

点データで、対象要素に包含される円と対象要素を包含する円、または領域を定義している。

指定点が一致しなくても、円や領域の包含関係から、対応関係が容易に検索できる。



GTFS データの整備及び利活用促進のためのツール群の開発

西澤明*・伊藤浩之・太田恒平***・伊藤昌毅*****

Development of tools for generation and promotion of utilization of GTFS data

Akira NISHIZAWA*, Hiroyuki ITO**, Kohei OTA***, Masaki ITO****

Abstract GTFS data is required to be highly accurate because it is used for transit guidance service, and it is important to check the data by the data creator. We have developed and released a tool for checking operation date data and a tool for checking route shape data of GTFS data. In addition, in order to promote the use of GTFS data, we developed and released a tool for creating route maps using multiple GTFS data. Furthermore, the GTFS data repository provides a service that translates the verification results of the GTFS Schedule Validator into Japanese.

Keywords: GTFS (GTFS), 運行日(operation date), 経路形状 (route shape), 路線図（route map）

１．はじめに

GTFS（General Transit Feed Specification）は公共交通のサービス（駅・バス停，路線，時刻表，運賃等）に関する情報を流通させるためのフォーマットである．GTFS データは交通事業者やコミュニティバスを運行する市町村等が作成し，グーグル乗換案内等の経路検索サービス事業者にデータを提供するために利用されるほか，近年では，デジタルサイネージやバス情報を提供するウェブサービスでも利用されている．我が国ではバスの GTFS データが数多く作成されており，2023 年 8 月現在，600 以上のバス業者と市町村等が GTFS データを作成しオープンデータ公開している．

GTFS データは乗換案内等に用いられることから，データの内容には高い正確性が求められる．データ内の時刻や運行日が誤っていれば，バス利用者が乗りたい便に乗り遅れる，その日は運行されない便をバス停で延々と待つといった状況が生じてしまう．このため，データ作成者はデータを作成したときには，データをチェックすることが重要である．GTFS データはテキストファイルであるが，データベース（DB）にそのまま投入できる形式となっており，目視で内容を確認することは困難である．そこで，GTFS データのうち，運行日情報（canlendar.txt, calender_dates.txt）をチェックするツール及び経路形状（shapes.txt）をチェックするツールを開発し公開した．

また，GTFS データは都道府県の公共交通政策担当部局やバス事業を所管する国土交通省の運輸局・運輸支局などが管内のバス路線の状況を把握するため等に活用することが期待される．このとき，複数の GTFS データを用いて，管内の路線を一覧できる路線図を作成したいという要望があることから，GTFS 路線図作成ツールを開発し公開した．

また，GTFS データのオープンデータ公開と利用の円滑化を図るため，GTFS データリポジトリが開発，公開されていることから，併せて紹介する．

なお，GTFS には駅・バス停，時刻表，運賃等のあらかじめ定まっている情報（静的データもしくは GTFS Schedule という）と運行中のバスの位置情報や遅れ情報などのリアルタイム情報（GTFS Realtime）があるが，本稿では静的データを対象とする．

２．GTFS データのチェックポイントとチェックツール

2.1．GTFS データのチェックポイント

GTFS データは事業者（agency），駅・バス停等（stops），路線（routes），時刻表（stop_times），運行

* 正会員 東京大学大学院情報理工学系研究科 (The University of Tokyo) nishizawa@csis.u-tokyo.ac.jp
** 非会員 公共交通利用促進ネットワーク (Network for promoting public transportation)
*** 非会員 株式会社トラフィックブレイン (Traffic Brain Inc.)
**** 非会員 東京大学大学院情報理工学系研究科 (The University of Tokyo)

日（service），運賃（fare），経路形状（shapes）等の情報をそれぞれの CSV 形式のテキストファイルに記述したものであり，駅・バス停，便，運行日，運賃などに ID を付して各ファイル間を関連づけている．ファイル名と各ファイル内のフィールド名は GTFS の仕様が定めている．

GTFS の仕様は MobilityData(1)というう組織が管理しており，リファレンス（reference）(2)として公開されているが，実際の運用にあたっては，ベストプラクティス（GTFS Schedule Best-Practices）(3)という推奨される記述方法が公開されており，この２者に従ってデータを作成することが求められている．

なお，GTFS の仕様ではデータ作成者が独自のファイル及びフィードを追加することを許容している．我が国では国土交通省が「標準的なバス情報フォーマット」（初版は 2017 年 3 月策定，最新は第 3 版）を策定しているが，その中では独自のファイル及びフィールドを追加している．

GTFS データのチェックポイントは次の 4 点に整理できる．

(1) GTFS の仕様，ベストプラクティスとの相違（文法的な誤り）

GTFS の仕様で必須となってファイル，フィードはデータに含まれている必要がある．また，一定の条件下で設定する必要があるものやベストプラクティスで設定が推奨されているファイル，フィールドも設定が必要である．

(2) ベストプラクティスとの相違（データの定義・設定方法の誤り）

ベストプラクティスでは「上り下りに異なる路線 ID（route_id）を設定しない」のようにデータの定義・設定方法が指定されており，これに従ったデータとすることが求められている．

(3) ID などの論理的な不整合（データの論理的誤り）

駅・バス停の ID（stop_id）や路線の ID（route_id）は各ファイル間で整合が必要である．時刻表のファイルに駅・バス停ファイルで定義されていない駅・バス停 ID があったり便のファイルに路線のファイルで定義されていない路線 ID があってはならない．

(4) データ内容の間違い（データ内容の誤り）

当然のことではあるが，GTFS データ内の駅・バス停の名称や位置（座標），時刻表，運賃などに誤りがあってはいけない．

2.2. GTFS データのチェックツール

前節に述べた GTFS データの文法的な誤りとデータの論理的な誤りをチェックするツールとしては，MobiltyData が公開している Canonical GTFS Scheule Validator(4)がある．これはウェブサービスとして提供されており，このサイトに GTFS データをアップロードすると検証結果が英語で表示される．

検証結果では誤りと思われる点が「エラー（error）」，「警告(warning)」，「情報（info）」の 3 段階にランク付けされて表示される．文法的な誤りや ID の不整合は「エラー」とされ，推奨されるフィールドの欠如は「警告」として表示される．また，バス停の距離と比較して所要時間が短すぎる時刻などはデータの誤りの可能性があるものとして「警告」として表示される．標準的なバス情報フォーマットで独自に追加したファイルやフィールドは，仕様に定められていないファイルやフィールドがあるという「情報」として表示される．

文法的な誤りや ID の不整合等のデータの論理的誤りは機械的に判断できるが，データ内容の誤りは目視による確認が必要となる．この確認に利用できるのが，旭川工業高等専門学校の嶋田鉄兵講師が公開している GTFS Test Viewer(5)である．

GTFS Test Viewer では GTFS データをアップロードすると地図上に路線とバス停が表示され，バス停の位置や路線を確認できる．バス停をクリックするとそのバス停を通る便の時刻が表示され，１つの便の時刻をクリックすると始発から終点までの時刻と運賃が表示され確認ができる（図 1）．



図 1　GTFS Test Viewer による GTFS データ表示

3．GTFS 運行日チェッカー

GTFS データの内容は GTFS Test Viewer で確認できるが確認が難しいものが運行日のチェックである．GTFS では運行日の違いを service_id で識別し，便の情報に service_id を含むことによりその便が運行する日を定義する．そして，service_id が運行する日を calender.txt と calendar_dates.txt の 2 つのファイルで定義する. calendar.txt では service_id が運行する曜日を定義し，さらに，calender_dates.txt で日付ごとに定義する．両ファイルの定義が矛盾する場合は calendar_dates.txt の定義が優先される. 例えば平日ダイヤの便に「平日」という service_id を設定し，calender.txt では「月，火，水，木，金」と定義する．しかし月～金でも祝日は平日ダイヤでは運行しないのであれば calendar_dates.txt において祝日の日付を列挙しそれぞれに運行しないを意味するフラグを設定する．

この運行日の情報をカレンダー形式で表示してチェックできるようにするため GTFS 運行日チェッカー[6]をウェブサービスとして開発し公開した．

使い方は簡単で, サイトを開き GTFS データを PC 内の GTFS データを選択すると service_id が表示され，その 1 つを選択するとその service_id の運行する日，運行しない日，service_id の有効期間外の日がカレンダー形式で表示される．また，その service_id の便がある路線が表示される．2020 年～2027 年のカレンダーを表示することができる．

運行日においては，多くの事業者で平日，土曜，日祝日の区分を設定しているが，祝日の日付は毎年変わることから calendar_dates.txt は毎年更新することが必要であり，その更新が正しくおこなわれたかどうかをチェックする必要がある．このほか，お盆期間や年末年始に曜日によらない運行となる事業者が多い．さらに，ゴールデンウイークに臨時路線や臨時バス停を設ける例（図 2 の香取市コミュニティバス), 夏期の土日祝のみ観光地まで運行が延長される例（兵庫県神河町), 沿線の施設の休館日にダイヤが変わる例（宮城県のタケヤ交通）等があり，その他にも学休日にダイヤが変わる例も多い．これらの多種多様なダイヤにおける運行日・運休日が正しく設定されているかどうかをチェックすることが重要である．このツールの提供により，GTFS データ作成者においては，運行日データのチェックが容易になっている．

4．GTFS shapes.txt チェッカー

shapes.txt は GTFS データの中で路線の形状を示すデータである. shapes.txt では経路形状の ID（shape_id）ごとに路線の起点から終点までのバスが走るルート



図 2 GTFS 運行日チェッカーによる運行日の表示

の座標が列挙されている．便情報のファイルには便ごとに shape_id が記述され，その便が走るルートが分かる。shapes.txt ではバスが通る順に座標を並べる（実際には座標の順番を示す sequence をデータに記述する）必要があり，上り下りで走るルートが同じでも shape_id を区別する必要がある．また，途中の経由違いも shape_id を区別する必要がある．

図 1 の GTFS Test Viewer で表示されている路線図はこの shapes.txt の座標データにより路線が描画されている．

GTFS Test Viewer や QGIS のプラグインの GTFS GO を用いれば，shapes.txt の座標データに基づく路線図を作成することができるが，これだけでは座標が正しい順番に設定されているかが確認できない場合がある．

例えば，路線がループ状になっている区間では，座標が左回りに設定されているか右回りに設定されているかは路線図だけでは区別がつかない．また，循環路線で一方通行などのために往路と復路で走行する道路が異なる場合にも座標が正しい順番で設定されているのかが分からない．さらに，同じバス停を複数回経由する場合にも路線図だけでは shapes.txt が正しいかが判断できないことがある．

このため，shapes.txt の座標の並びが正しいかを目視で確認するために開発したのが，GTFS shapes.txt チェッカー(7)である．このツールも一般に公開しており，データ作成者に利用されている．開発には javascript と leaflet を使用した．

このツールの使用方法も簡単であり，ツールのサイトを開いて PC 内の GTFS データを指定し，「shape_id のリストを表示する」をクリックすると shape_id が表示される（併せて，その shape_id を使用している便の路線名，起点バス停，終点バス停が表示される）ので 1 つを選択し「選択した shape_id のルートを確認する」をクリックすると，地図上にその shape_id のルートが線で表示され，起点から終点までバスのアイコンが走る．そのバスアイコンの動きで shapes.txt の座標の順番が正しいか確認できる．データ上の座標の順番が間違っていれば，バスアイコンが逆行したり，逆回りしたりする．

また，チェック作業を効率的に行えるよう，バスアイコンが走るスピードの調整，バスアイコンの走行開始位置の設定（例えば，路線の後半だけチェックしたいときは開始位置を座標の数の半分の位置に設定）ができる．

なお，GTFS はバス，鉄道，路面電車，航路等の各種類の公共交通サービスに使われるものであり，交通機関の種類は routes.txt の route_type フィールドで設定される．このツールではその route_type の値から交通機関の種類を判断して，バス，鉄道，路面電車，船舶のアイコンを表示するようにしている．



図 3　GTFS shapes.txt チェッカーによるルートのチェック

５．GTFS 路線図作成ツール

GTFS データはいわゆる乗換案内やデジタルサイネージなどの情報提供目的の利用のほか，交通政策を行う行政での利用も大きな役割と考えられている．すなわち，公共交通政策を担う都道府県等の交通政策担当部局やバス事業を始めとする各種交通事業を所管する国土交通省の運輸局や運輸支局においては，現状の公共交通サービスの状況を十分に把握しながら交通行政を行う必要がある．

また，GTFS の普及にあたっては，このような交通行政においても活用できることが，データの整備・更新に対する行政の支援を得るために重要である．

すでに県レベルで多くの GTFS データが整備されているところでも，県庁や運輸支局等においてGTFS データを利用して路線網の全体を把握できないでいるという意見があった．既に QGIS とプラグインの GTFS GO を用いて路線図を作成することはできるが，行政の PC において QGIS をインストールできないといった事情もある．そこで，特別なソフトウェアをインストールしなくても GTFS データから路線図を作成できるツールを開発し公開した[8]．（図 4，図 5）開発には javascript と leaflet を使用した．

このツールには路線図の表示方法について次の機能・オプションを設けた．

(1) バス停の表示・非表示選択

(2) バス停名の表示・非表示選択

(3) バス停表示の標柱または代表点の選択

GTFS データではバス停を標柱ごとに設定することが通常である．路線図に標柱をすべて表示すると多くのバス停では標柱マークが重なって表示され，路線図としては見にくくなることから，代表点での表示を求める意見があった．同一事業者内の同名で距離が概ね 1km 以内の標柱を名寄せし座標の平均を算出して代表点とした（図 6）．

(4) バス停表示のアイコンまたは丸印の選択

QGIS の GTFS GO ではバス停をアイコンで表示するが，広い範囲の路線図を表示すると地図上をアイコンが埋めてしまう．このため，バス停を小さな丸印（点）で表示できるようにした（図 5）．

(5) 路線の色の選択

GTFS データは routes.txt で路線の表示色が設定されている場合があり，その色はバス事業者等が作成している路線図の色と同じにすることとされている．

本ツールでは，路線の色を，①GTFS データ内で設定されている色，②事業者ごとの色分け，③単一の色 の３種類から選択できるようにしている．複数事業者の路線を表示する場合には②の事業者ごとの色分けを選択すると各事業者がカバーするエリアが分かりやすくなる．

(6) バス停を丸印で表示する場合の丸の大きさと色，路線の線の太さ，路線を単一色で表示する場合の色の選択

(7) 表示する事業者の選択

画面右側の凡例欄の事業者名をクリックして表示・非表示を選択する．

(8) 表示する路線の選択

凡例欄の路線名のチェックボックスをクリックして表示・非表示を選択する．

なお，現在は PC 内の GTFS データを表示できるが，今後，GTFS データリポジトリの GTFS データを直接読み込んで表示できるようにする予定である．

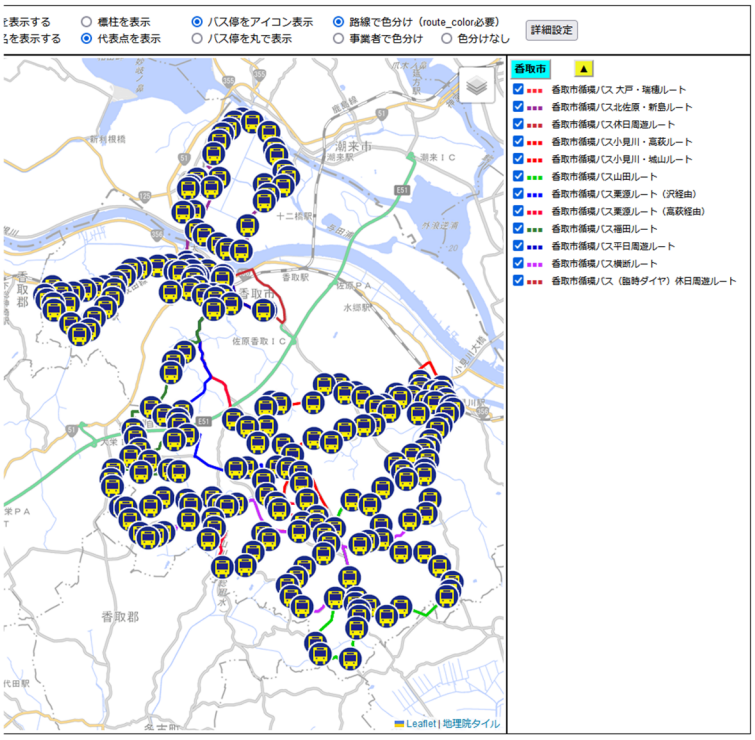


図 4 GTFS 路線図作成ツール（香取市コミュニティバス）

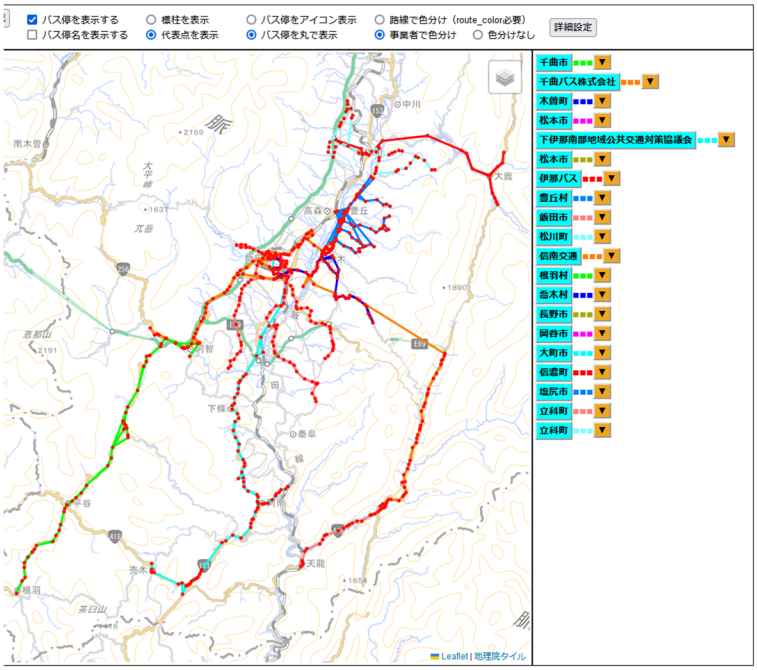


図 5 GTFS 路線図作成ツール
（長野県のオープンデータ公開されている GTFS データを表示し下伊那地域を拡大表示）

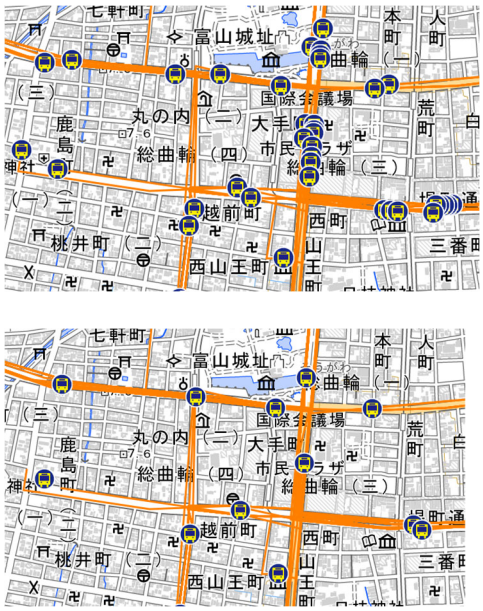


図 6 上図はバス停を標柱単位で表示したもの，下図は代表点で表示したもの（富山地方鉄道バス）

６．GTFS データリポジトリとデータ検証機能

6.1. GTFS データリポジトリの概要

GTFS データのオープンデータ公開と流通を促進するため，（一社）社会基盤情報流通推進協議会（AIGID）が GTFS データリポジトリ[9]（以下，「リポジトリ」という.）を開設している．筆者らはリポジトリの機能及び設計，後述する GTFS データ検証機能の日本語化，データ提供者の登録管理等のリポジトリの開発・運営に協力している．

リポジトリではバス事業者やコミュニティバスを運行する市町村等が GTFS データ（バス以外の GTFS データも可）をアップロードし公開できるウェブサービスである．2022 年 3 月に試験運用が開始され，2023 年 4 月に機能強化した上で本格運用が開始された．リポジトリではバス事業者や市町村を「組織」，１つの GTFS データファイルに収録するバス等の種類の単位を「フィード」と呼び，2023 年 8 月 21 日現在，190 組織，236 フィード，836 ファイルが公開されている．リポジトリでは GTFS データを時系列で管理することができ，既に有効期限が切れている過去データや将来のダイヤ改正データも提供されているため多くのファイルが収録されている．

また，最新の現行データや直近の将来データには自動的に固定 URL が設定されているほか，フィード一覧やファイル一覧及びファイルを取得する API が提供され，データ取得者が容易に必要なデータを取得できるようになっている．グーグル等のデータ利用者に対して固定 URL を通知しておけば，利用者側がリポジトリから自動で更新データを取得する設定とすることも可能である．

6.2. Validator による GTFS データ検証機能

リポジトリでは 2023 年 4 月の本格運用開始に合わせ GTFS データ検証機能を追加した．これは，バス事業者や市町村が GTFS データをアップロードした際に GTFS データを検証するものであり，検証エンジンとして 2.2 で述べた MobilityData が公開している Canonical GTFS Schedule Validator を用いている．リポジトリではこの Validator から出力される検証レポートの英文に日本語対訳を付けて表示している．さらに，表示頻度が高いエラー，警告，情報についてはエラー等の原因や説明，対応方法等を日本語で



エラー: 12件, 警告: 30件, 情報: 0件

This validation report was generated using the Canonical GTFS Schedule validator .

Use this report alongside the RULES.md file to get more details about the validation issues.

通知コード	説明	日本向け注	重要度	件数
+ missing_recommended_field	設定を推奨する列がない	GTFS拡張対応	警告	2
– missing_timepoint_column	発着時刻精度（timepoint）列がない	推奨変更対応	警告	1

missing_timepoint_column

【仕様】
stop_timex.txtのtimepointには、発着時刻が正確(1または空)か概算(0)かを設定します。

【推奨】
2023年4月に、timepointを設定することがBest Practiceで推奨されるようになりました。
Best Practice： https://gtfs.org/schedule/best-practices/#stop_timestxt

【影響】
日本では特に影響は無いと考えられます。

【対策案】
・GTFS生成ツールがtimepointの設定に対応している場合は、設定してください。日本では基本的に正確(1)を設定します。

・GTFS生成ツールがtimepointの設定に非対応の場合は、当面はこのまま公開して構いませんが、ツールの更新・改修を検討してください。

通知コードの詳細(英文)

filename

"stop_times.txt"

図 7 GTFS データリポジトリにおけるデータ検証結果の表示（一部）

表示して，データ作成者に提供している（図 7）．一部の警告については事実上修正の必要がないものもあり，「無視して OK」のような表示をするものもある．

6.3. リポジトリ新着情報ページ

経路検索サービス事業者などのリポジトリから逐次データを取得し，自らが提供する各種サービスに GTFS データを利用している者にとっては，リポジトリにどのようなデータが新規に登録されたか等の情報が有用である．このため，GTFS データリポジトリ新着情報ページ[10]を公開している（図 8）．これは前述のリポジトリの API で得られるフィード一覧やファイル一覧の情報から作成しているものである．



GTFSデータリポジトリ新着情報（逐次作成版）

日付	組織数	フィード数	ファイル数
2023-08-17	186	232	829

新着種類	組織	フィード	GTFSファイル	公表日	開始日	終了日
2023年8月17日						
ファイル	鶴岡市	鶴岡市営バス	ファイル	2023-08-17	2023-08-21	2024-08-20
2023年8月16日						
ファイル	千曲市	千曲市循環バス	ファイル	2023-08-16	2023-09-25	2024-09-24
2023年8月15日						
2023年8月14日						
ファイル	伊賀市	伊賀市行政バス・コミュニティバス	ファイル	2023-08-14	2023-08-28	2024-12-31
2023年8月13日						
2023年8月12日						
2023年8月11日						
2023年8月10日						
組織	館山市					
組織	西濃観光					
フィード	館山市	館山市街地循環バス				
フィード	西濃観光	西濃観光（鳥松空港リムジンバス）				
ファイル	館山市	館山市街地循環バス	ファイル	2023-08-10	2023-08-10	2024-12-31
ファイル	東濃鉄道	東濃鉄道（東鉄バス）恵那営業所管内	ファイル	2023-08-10	2023-08-09	2024-08-08

図 8 GTFS データリポジトリ新着情報ページ

7．まとめとツール類のリンク集

筆者らはこれまで GTFS データの普及を図るため GTFS データ作成ツールとして，見える化共通入力フォーマットや標準的なバス情報フォーマット作成ツール（通称西沢ツール），経路形状作成ツールなど開発・公開してきた．今回，さらに GTFS データのの普及を図るとともに作成される GTFS データの質の向上を促進するため，GTFS 運行日チェッカー，GTFS shapes.txt チェッカー，GTFS 路線図作成ツールを開発・公開したところである．この他の Canonical GTFS Schedule Validator や GTFS Test Viewer，GTFS データリポジトリ等と相まって GTFS データの整備・流通の環境は整ってきており，今後，バス事業者や市町村における GTFS データの整備と一層の利活用が進むことが期待される．

なお，GTFS データ本稿で紹介した GTFS データの整備及び利活用のためのツール類については，(一社) 日本バス情報協会のウェブサイトに一覧ページ[11]を作成しおり，このページからアクセスできる．

謝辞

本論文の成果の一部は情報通信研究機構（NICT）の委託研究（01101）の成果である．また，各ツールの作成に当たっては，GTFS データの普及活動をされている皆様からのアイデア，示唆を参考にさせていただいたことに感謝する．

(1) https://mobilitydata.org/
(2) https://github.com/google/transit/blob/master/gtfs/spec/en/reference.md
(3) https://github.com/MobilityData/GTFS_Schedule_Best-Practices/blob/master/en/best-practices.md
(4) https://gtfs-validator.mobilitydata.org/
(5) https://tshimada291.sakura.ne.jp/transport/gtfs-viewer/test-vw/gtfs-map-localfile.html
(6) https://www.busdata.or.jp/gtfs/calendar.html
(7) https://www.busdata.or.jp/gtfs/shapes.html
(8) https://www.busdata.or.jp/gtfs/rosenzu.html
(9) https://gtfs-data.jp/
(10) https://www.busdata.or.jp/repository/news2.php
(11) https://www.busdata.or.jp/?page_id=589

Other

閉会式

Sun. Oct 29, 2023 4:00 PM - 4:30 PM Room D (C-201　2nd floor of Bldg. C)

©Geographic Information System Association

Oral Presentation in GISA

経済

Chair: Hiroki Baba (Hitotsubashi University)
Sun. Oct 29, 2023 9:40 AM - 10:40 AM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E6-03] 空間回帰不連続デザインを用いた危険密集市街地整備の経済効果

*Mizuki Kawabata[1], Michio Naoi[1], Shohei Yasuda[2] （1. Faculty of Economics, Keio University, 2. College of Economics, Nihon University）

9:40 AM - 10:00 AM

[E6-04] 衛星画像と所得に関する統計情報を用いた建物単位の所得水準の推定

*Ryota Yamanotera[1], Yuki Akiyama[2], Hiroyuki Akiyama[3] （1. Architecture and Civil Engineering, Integrative Science and Engineering, Tokyo City University, 2. Department of Urban and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Urban Design, Tokyo City University, 3. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo）

10:00 AM - 10:20 AM

[E6-05] 世帯推計データを用いた大規模災害時における経済的被害評価手法の開発

*Naoya Takeda[1], Yuki Akiyama[2], Takafumi Furuya[3] （1. Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University, 2. Tokyo City University Faculty of Architecture and Urban Design Urban and Civil Engineering, 3. Nippon Koei）

10:20 AM - 10:40 AM

©Geographic Information System Association

空間回帰不連続デザインを用いた危険密集市街地整備の経済効果

河端瑞貴*・直井道生・安田昌平*****

Abstract We examine the impact of reducing earthquake damage risk on land values along the geographic boundaries of dense urban districts with an extremely high risk of earthquake damage (referred to as high-risk DUDs) in Tokyo. Our analysis employs a spatial regression discontinuity design that takes advantage of the discontinuity in earthquake damage risk at the high-risk DUD boundary. Our conservative estimate indicates that removing high-risk DUDs increases land value by 5.2% in proximity to the boundary. The boundary effect augments as the road width at the boundary widens, suggesting that wider roads help mitigate the spatial spillover of fire risk, providing more reliable estimates. In the sample where road widths are 13.0 m or wider at the boundary, the boundary effect rises to 20.1%. Our findings imply that urban redevelopment projects, such as constructing wide roads that serve as firebreak zones, can offer substantial economic benefits.

Keywords:危険密集市街地 (high-risk dense urban districts), 空間回帰不連続デザイン (spatial regression discontinuity design), 東京 (Tokyo)

１．はじめに

災害に強いまちづくりは，世界各地で重要な政策課題として取り組まれている．首都直下地震の発生が予想される東京においては，建物の耐震化や不燃化，延焼遮断帯や避難経路の整備など，都市防災整備が積極的に進められてきた．2022 年に公表された「首都直下地震等による東京の被害想定」（東京都, 2022）によれば，10 年前（2012 年）の被害想定と比較して, 想定される建物全壊棟数は 12 万棟から 8 万棟へ，揺れによる死者数は 5,100 人から 3,200 人へと減少した．さらに，焼失棟数は 20 万棟から 12 万棟へ，火災による死者数は 4,100 人から 2,500 人へと減少し，顕著な減災効果が確認された．国土交通省が公表する「地震時等に著しく危険な密集市街地」（以下，危険密集市街地）に関しても，東京都の面積は 1,683ha（2012 年）から 103ha（2021 年）へと大幅に縮小した（国土交通省，2022）．

一方，地震リスクの経済分析に関する研究は多くの蓄積があるものの（Brookshire et al., 1985; Beron et al., 1997; Nakagawa et al., 2007, 2009; Naoi et al., 2009; Hidano et al., 2015; Singh, 2019），地震被害リスクを軽減する都市整備の経済効果に焦点を当てた研究は少ない．

そこで本研究では，東京都の危険密集市街地を事例に，地震被害リスクを軽減する都市整備にはどの程度の経済効果があるのか, という問いを分析する．具体的には，危険密集市街地の境界における地震被害リスクの不連続性に着目し，因果推論の手法の一つである空間回帰不連続デザインを用いて，その境界付近の地震被害リスクの軽減が地価に与える影響を分析する．

空間回帰不連続デザインでは,「処置による対照群への二次的影響の不存在性」（SUTVA: Stable Unit Treatment Value Assumption)と呼ばれる条件を満たす必要がある．しかし，Kawabata et al.（2022）が示すように，地震被害リスク（特に延焼の危険性のある火災被害リスク）の軽減には空間スピルオーバー効果がある可能性がある．特に危険密集市街地の境界付近では，空間スピルオーバーによる STUVA 違反が生じ，地震被害リスクの軽減効果を過小評価する可能性がある．そのため，危険密集市街地の境界線となる道路の幅員に応じてサンプルを分けた推定も行い，延焼リスクが低いと考えられる道路幅員の広いサンプルの推定結果を道路幅員の狭いサンプルの結果と比較する．

*　正会員　慶應義塾大学経済学部 (Keio University)　mizuki@econ.keio.ac.jp
**　非会員　慶應義塾大学経済学部 (Keio University)　naoi@econ.keio.ac.jp
**　正会員　日本大学経済学部 (Nihon University)　yasuda.shohei@nihon-u.ac.jp

２．方法

2.1．空間回帰不連続デザイン

本研究の空間回帰不連続デザインでは，既存研究で頻繁に使用される最も近い境界までの距離を一次元の割当変数（forcing variable; running variable）として採用する（Black, 1999; Ambrus et al., 2020）．地震被害リスク軽減の地価への影響は，危険密集市街地境界のバンド幅 h 内のサンプルに基づき、式(1)の局所線形回帰式で推定する．

$$\begin{aligned} lnp_i = {} & \alpha_{b(i)} + \tau Outside\_DUD_i + \beta Dist_i \\ & + \gamma Dist_i \times Outside\_DUD_i + \boldsymbol{X}_i'\delta \\ & + \varepsilon_i \quad \text{for } |Dist_i| < h \end{aligned} \tag{1}$$

ここで，p_iは地点 i の地価，$Outside_DUD_i$は 地点 i が危険密集市街地の外側にある場合は 1，そうでない場合は 0 のダミー変数である．$Dist_i$は地点 i と最寄りの危険密集市街地の境界までの直線距離であり，危険密集市街地の内側では負の値をとる．$\boldsymbol{X}_i$ はコントロール変数を表す．式(1)は，境界の固定効果$\alpha_{b(i)}$を含み，ここで$b(i)$は地点 i の最寄りの危険密集市街地境界のラインセグメントのインデックスを表す．分析に使用したデータでは，危険密集市街地の境界は 1,607 のラインセグメントで構成されており，各セグメントの長さの平均は 24.5 m である．

パラメータτは，危険密集市街地の外側に位置することの境界効果（危険密集市街地境界における地価の不連続な変化），すなわち，境界のすぐ外側での地震被害リスクの軽減による平均処置効果（average treatment effect）を表す．バンド幅 h の選択においては，Calonico et al. (2014)が提案する最適なバンド幅を採用する．比較のために，100 m の固定バンド幅の結果も示し，推定結果がバンド幅の選択に頑健であるかを検証する．

回帰不連続デザインにおいてコントロール変数 $\boldsymbol{X}_i$ の追加は必ずしも必要ではないが，これにより推定の精度が向上する可能性がある（Imbens and Lemieux, 2008; Lee, 2008）．コントロール変数としては，最寄り駅までの距離，土地利用，標高，傾斜角度，および浸水想定区域内の浸水深を用いる．

火災被害リスクの空間スピルオーバーに対処するため，危険密集市街地境界における道路の幅員別のサブサンプルを用いた推定も行い，結果を比較する．

さらに，結果の頑健性を検証するため，バンド幅や多項式の次数の選択に関する感度分析を行うほか，偽の境界を使用した偽証検定（falsification test）を実施する．

2.2．データ

地震被害リスクには，国土交通省の 2017 年危険密集市街地データを用いる．地価には，資産評価システム研究センターの 2018 年固定資産税路線価（以下，路線価）データを用いる．この 2018 年の路線価データには，2017 年 1 月 1 日時点での路線価（円/m^2）が収録されている．式(1)の地点 i は，路線価の各路線（道路）の中間点とする．

図 1 は，東京都の危険密集市街地を地図に示している．図 2 は，品川区を取り上げ，危険密集市街地と路線価データの両方を表示している．2017 年の危険密集市街地は，荒川区，大田区，北区，品川区，墨田区，台東区に存在している．

コントロール変数に用いた駅，土地利用，傾斜角度，浸水深のデータには，それぞれ国土数値情報の鉄道時系列データの駅データ（2017 年），用地地域データ（2019 年），標高・傾斜度 5 次メッシュデータ（2011 年）の平均傾斜角度，浸水想定区域データ（2012 年）を用いた．標高には国土地理院基盤地図情報の 5m メッシュ数値標高モデル（対象範囲に応じて 2014 年と 2017 年），道路幅員には日本デジタル道路地図協会のデジタル道路地図データベース（2017 年）を使用した．

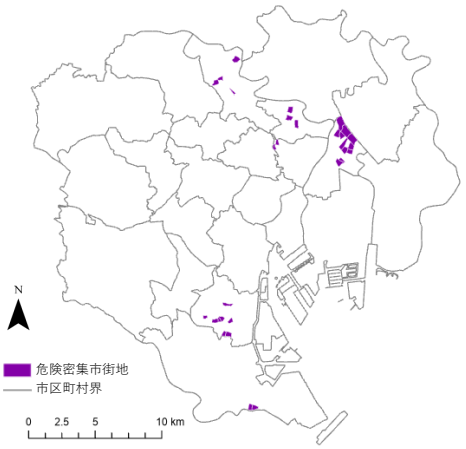


図 1　危険密集市街地

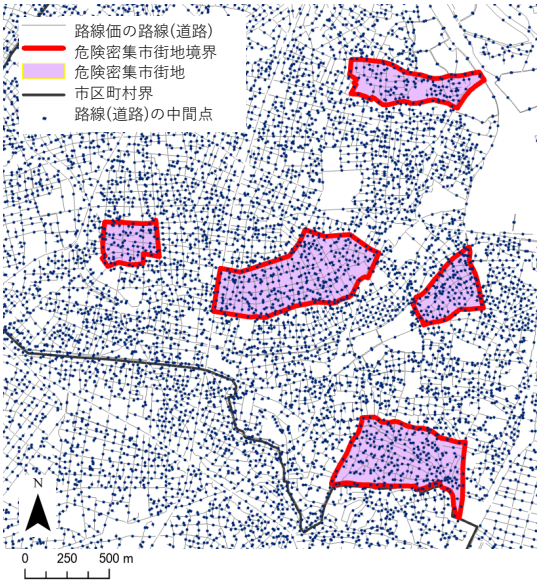


図 2　危険密集市街地と路線価（品川区）

3．結果

3.1．推定結果

図 3 に回帰不連続（RD）プロットを示す．実線の垂直線は危険密集市街地の境界（距離=0）を示す．横軸は危険密集市街地境界までの距離 (m) を示し，危険密集市街地の内側では距離の値がマイナス、外側ではプラスとなる．縦軸は 20m と 50m の距離ビン内の平均地価を表す．危険密集市街地の内側と外側の 4 次多項式の回帰線も描かれている．RD プロットから，危険密集市街地の境界付近（0m付近）では，危険密集市街地の内側（－側）は外側（＋側）よりも地価が不連続に低いことがわかる．

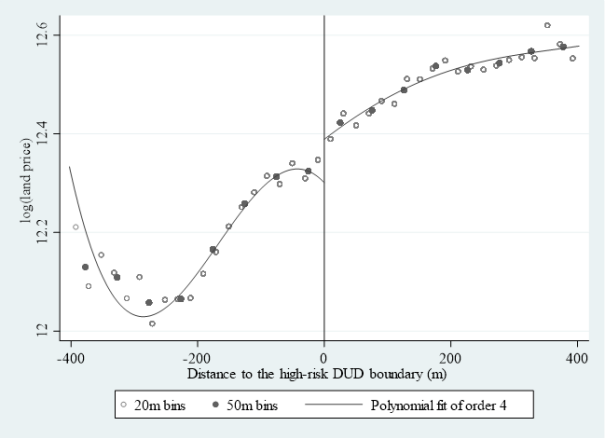


図 3　地価の RD プロット

表 1 は，式(1)を用いて推定した地価に対する境界効果 τ を示す．列 1 と 2 は最適バンド幅を用いた結果，列 3 と 4 は比較のための固定バンド幅（100m）を採用したモデルの結果である．列 1 と 3 はコントロール変数を含まないモデル，列 2 と 4 はコントロール変数を追加したモデルの結果を示している．

いずれのモデルにおいても，境界効果は正の値で統計的に有意であり，コントロール変数の追加による推定結果に大きな差は見られない．最適バンド幅を採用し、コントロール変数を加えたモデル（列 2、以下「ベンチマークモデル」と呼ぶ）の境界効果は，危険密集市街地の直ぐ外側は，直ぐ内側よりも地価が 5.2%高いことを示している．

表 1　境界効果

	最適バンド幅		固定バンド幅 (100m)	
	(1)	(2)	(3)	(4)
危険密集市街地の外側	0.056 ***	0.052 ***	0.061 ***	0.061 ***
	(0.012)	(0.012)	(0.011)	(0.010)
バンド幅 (m)	69.6	66.9	100.0	100.0
コントロール変数		Yes		Yes
N (外側)	1,192	1,126	1,825	1,825
N (内側)	1,066	1,024	1,507	1,507
N (合計)	2,258	2,150	3,332	3,332

注) ***p < 0.01. 括弧内は標準誤差を示す. 全てのモデルは1次多項式（局所的線形回帰）とし，境界の固定効果を含む.

表 2 は，最適バンド幅のベンチマークモデルを用いて，危険密集市街地境界の道路幅員で分けたサンプルに基づく地価に対する境界効果を示す．境界効果は全て正の値で有意である．予想通り，道路幅員の広い危険密集市街地境界付近のサンプルでは，境界効果の度合いが大きく，火災被害リスクの空間スピルオーバーから生じるバイアスが軽減されることが示唆される．特に，道路幅員が 13.5m以上のサンプルにおける限界効果は，危険密集市街地の解消が境界付近の地価を 20.1%上昇させることを示唆している．

表 2　境界道路幅員別の境界効果

	最適バンド幅		
	(1)	(2)	(3)
危険密集市街地の外側	0.201 ***	0.066 ***	0.031 *
	(0.038)	(0.021)	(0.018)
バンド幅 (m)	65.1	86.1	67.9
境界の道路幅員	13.0m+	5.5-13.0m	5.5m-
N (外側)	147	569	523
N (内側)	198	513	413
N (合計)	345	1,082	936

注) ***p < 0.01, *p < 0.1. 括弧内は標準誤差を示す. 全てのモデルは1次多項式(局所的線形回帰)とし, 境界の固定効果とコントロール変数を含む.

3.2. 頑健性の検証

ベンチマークモデルを用いて，バンド幅と多項式の次数の選択に対する感度分析，および偽の境界を使用した偽証検定を行い, 結果の頑健性を確認する.

図 3 は，バンド幅を 25m から 300m まで変化させた場合の境界効果の推定値およびその 95%信頼区間を示している．実線の垂直線は最適バンド幅（66.9m）を, 破線の垂直線は固定バンド幅 (100.0m) を示している．これら近辺の範囲での境界効果は安定していることが観察できる.

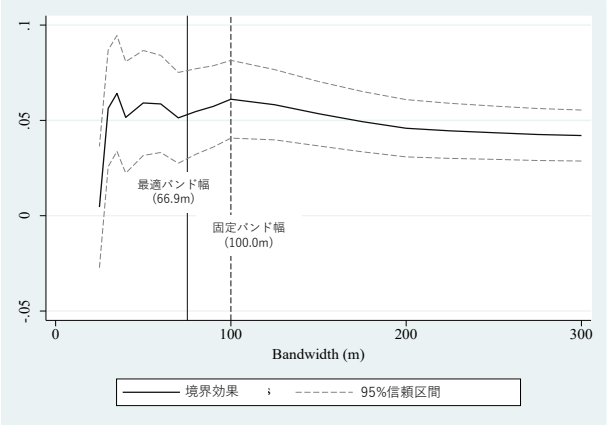


図 3　バンド幅別の境界効果

表 3 は，多項式の次数（0～4）別の境界効果の推定結果を示す．全体的に，多項式の次数の選択によって境界効果の推定値に大きな変化は見られない.

表 3　多項式の次数別の境界効果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
危険密集市街地の外側	0.041 ***	0.052 ***	0.059 **	0.051 **	0.057 **
	(0.005)	(0.012)	(0.024)	(0.025)	(0.027)
バンド幅 (m)	26.0	66.9	75.6	164.6	268.5
多項式の次数	0	1	2	3	4
N (外側)	252	1,126	1,321	3,089	5,234
N (内側)	245	1,024	1,168	2,075	2,310
N (合計)	497	2,150	2,489	5,164	7,544

注) ***p < 0.01, **p < 0.05. 括弧内は標準誤差を示す. 全てのモデルは1次多項式(局所的線形回帰)とし, 境界の固定効果とコントロール変数を含む.

最後に，真の境界からの距離 δm を偽の境界として用いた偽証検定を行う．図 4 は，δが−50 から 50 の範囲でのプラセボ推定値を示している．ここで，正の δ は真の境界の外側を，負の δは真の境界の内側を意味する．特筆すべきは，偽の境界を真の境界から約 8m 内側（δ=−8）に設定した際，顕著に大きい境界効果が得られたことである．この結果は，危険密集市街地境界付近の地域特性が影響していると推測される．危険密集市街地の境界は比較的広い道路に位置しており，沿道には耐火性の高い建物が多いのに対し，境界の直ぐ内側には古い木造住宅が密集している地域が多い傾向が見られる. そのため、境界からすぐ内側での境界効果が真の境界よりも大きくなると考えられる.

したがって，ベンチマークモデルの境界効果は保守的な推定値であり、実際の効果はこれよりも大きい可能性が考えられる.

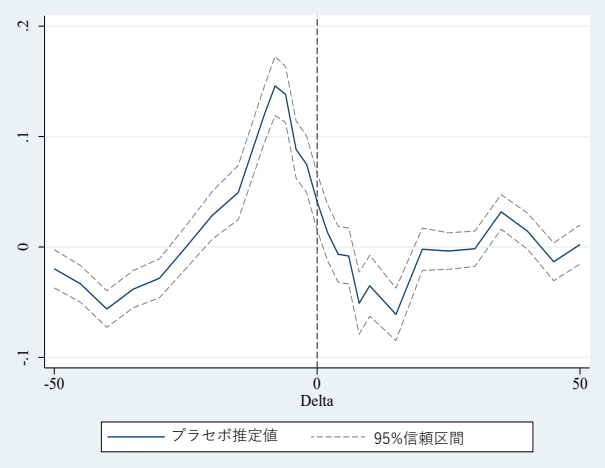


図 4　偽の境界によるプラセボ推定値

４．おわりに

首都直下地震の切迫性に直面している東京では，地震被害リスクを軽減する都市防災整備が進められてきた．本研究におけるベンチマークモデルの結果は，危険密集市街地の解消により，その境界付近の地価が 5.2%上昇することを示している．

境界効果は，境界の道路幅員が拡大するとともに増大することが確認された．この結果は，道路幅員の広いサンプルを用いると，空間スピルオーバー（SUTVA 違反）が低減され，より信頼性の高い推定値を得られることを示唆している．東京都は，「防災都市づくり推進計画」をはじめとして，延焼遮断帯となる特定整備路線等の整備を重点的に進めてきた（東京都，2023）．本研究の結果から，こうした都市防災整備が大きな経済的便益をもたらす可能性が示唆される．

本研究は，危険密集市街地の境界付近における影響に限定して分析している．しかし，危険密集市街地のより内側では、さらに大きな経済効果を得られる可能性がある．現段階ではクロスセクションデータを用いて分析しているが，複数年にわたるデータを基にした空間回帰不連続の差分分析を行う方法も考えられる．これらの点については，今後の課題としたい．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K01617, JP21K01447, JP23K17559，および慶應義塾学事振興資金（共同研究）の助成を受けた．ここに謝意を表する．

参考文献

国土交通省(2022)密集市街地の整備改善について．<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001485928.pdf>.

東京都（2022）首都直下地震等による東京の被害想定（令和 4 年 5 月 25 日公表）．東京都防災ホームページ<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html>.

東京都（2023）防災都市づくり推進計画（令和 5（2023）年 3 月 31 日公表）．<https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/bosai4.htm>.

Ambrus, A., Field, E., Gonzalez, E. (2020), Loss in the time of cholera: long-run impact of a disease epidemic on the urban landscape. *American Economic Review*, **110**(2), 475‑525.

Beron, K. J., Murdoch, J. C., Thayer, M. A., Vijverberg, W. P. M. (1997) An analysis of the housing market before and after the 1989 Loma Prieta Earthquake. *Land Economics*, **73**(1), 101‑113.

Black, S. E. (1999), Do better schools matter? Parental valuation of elementary education. *The Quarterly Journal of Economics*, **114**(2), 577‑599.

Brookshire, D. S., Thayer, M. A., Tschihart, J., Schulze, W. D. (1985) A test of the expected utility model: evidence from earthquake risks. *Journal of Political Economy*, **93**(2), 369‑389.

Calonico, S., Cattaneo, M. D., Titiunik, R. (2014a) Robust nonparametric confidence intervals for regression-discontinuity designs. *Econometrica*, **82**(6), 2295‑2326.

Hidano, N., Hoshino, T., Sugiura, A. (2015) The effect of seismic hazard risk information on property values: evidence from a spatial regression discontinuity design, *Regional Science and Urban Economics*, **53**, 113‑122.

Imbens, G. W., Lemieux, T. (2008), Regression discontinuity designs: A guide to practice. *Journal of Econometrics*, **142**, 615‑635.

Kawabata, M., Naoi, M., Yasuda, S. (2022) Earthquake risk reduction and residential land prices in Tokyo. *Journal of Spatial Econometrics*, **3**(1), 1‑22.

Lee, D. S. (2008), Randomized experiments from non-random selection in U.S. House elections. *Journal of Econometrics*, **142**, 675‑697.

Nakagawa, M., Saito, M., Yamaga, H. (2007) Earthquake risks and housing rents: evidence from the Tokyo metropolitan area. *Regional Science and Urban Economics*, **37**, 87‑99.

Nakagawa, M., Saito, M., Yamaga, H. (2009) Earthquake risks and land prices: evidence from the Tokyo metropolitan area. *Japanese Economic Review*, **60**(2),

208‐222.

Naoi, M., Seko, M., Sumita, K. (2009) Earthquake risk and housing values in Japan: evidence before and after massive earthquakes. *Regional Science and Urban Economics*, **39**(6), 658‐669.

Singh, R. (2019) Seismic risk and house values: evidence from earthquake fault zoning. *Regional Science and Urban Economics*, **75**, 187‐209.

衛星画像と所得に関する統計情報を用いた建物単位の所得水準の推定

山野寺瞭太*・秋山祐樹・宮崎浩之*****

Estimation of Income Levels per Building Unit Using Satellite Image and Income Statistics

Ryota YAMANOTERA, Yuki AKIYAMA, Hiroyuki MIYAZAKI

Many cities in developing countries are currently facing the rapid population growth. However, the lack of comprehensive statistics on current population distribution makes it difficult to devise effective urban planning. In recent years, efforts have been made to understand population distribution by estimating buildings where people reside using satellite images. However, since the number of household members is strongly correlated with household income, there is a demand for methods to estimate the income level of each building. While there are existing studies that attempt to estimate household income using interview survey results as training data, these efforts have not been validated using reliable statistics. Therefore, this study proposes and verifies a method to estimate the income level of individual buildings using satellite images, focusing on Japan where income-related statistics are well-maintenance.

Keywords: 衛星画像（satellite image），深層学習（deep learning），所得水準（income level），建物（building），統計（statistics）

１．はじめに

開発途上国の多くの都市では，近年急激な人口増加という課題に直面している．そのような中で，都市の持続的な開発・発展を続けていくためには，都市の実態を定量的かつ正確に把握する必要がある．そして，それを可能にする情報の一つとして人口統計が挙げられる．しかし，開発途上国の人口統計は地理的にカバーする範囲が限られていたり，更新の頻度が低い，あるいは不定期であったりする場合もある．そのため，現状の人口分布を正確に把握することが困難である．

そこで，これらの国では高い解像度で人口分布を把握する技術が求められている．この問題を解決するために，建物データを用いて建物単位の人口を推定する手法が挙げられる．例えば，Akiyama et al. (2019) は，詳細な建物データと人口統計が整備された先進国で開発した，建物面積と階数に基づく人口推定モデルを途上国に外挿する手法を提案している．しかしこの手法は，対象地域の建物データが十分に整備されていることが前提となる．そのため，建物データが十分に整備されていない都市や地域には，この手法を適用することは困難である．また，衛星画像から人口が分布する建物を推定することで，人口分布を把握する手法の研究が進められている．Kaiser. et al. (2017) は，深層学習を用いて衛星画像から建物の分布を把握する手法を開発しており，同手法により人がどこに集中して住んでいるのかを大まかに把握することができるようになった．

一方, 世帯人数は建物の大きさや分布だけでなく，世帯所得とも大きな関係があることが知られているため，建物ごとの所得水準を推定する手法も求められている．しかし，開発途上国には正確な所得水準に関する統計が存在しない場合が多い．そのため，まずは建物単位の所得水準を把握する手法を開発する必要がある．建物単位の所得水準の把握の取り組みとしては奥田ほか（2019）による，現地での聞き

*　学生会員　東京都市大学総合理工学研究科建築・都市専攻（Tokyo City University）
〒**158-0087**　東京都世田谷区玉堤１丁目２８－１　E-mail：**g2381644@tcu.ac.jp**
**　正会員　東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科（Tokyo City University）
〒**158-0087**　東京都世田谷区玉堤１丁目２８－１　E-mail：**akiyamay@tcu.ac.jp**
***　正会員　東京大学 空間情報科学研究センター（The University of Tokyo）
〒**277-8568**　千葉県柏市柏の葉５－１－５　E-mail：**heromiya@csis.u-tokyo.ac.jp**

取り調査から推定した建物単位の所得水準の情報を用いて教師データを作成し，衛星画像と深層学習を用いて建物単位の所得レベル推定がある．しかし，聞き取り調査はごく限られた地域を対象としており，また所得に関する精緻なデータを用いた検証は行われていない．

1.1．本研究の目的

以上の課題を解決するためには，所得に関する大規模かつ信頼性の高い統計が利用可能な地域において，建物単位の所得水準を推定するモデルを構築し，その信頼性を検証する必要がある．そこで本研究では，所得に関する信頼性の高い統計が全国規模で整備されている日本を対象に，衛星画像を用いて建物単位の所得水準を推定する手法の提案とその検証を行うことを目的とする．

２．研究手法

2.1．概要

まず，住宅土地統計調査と国勢調査を用いて，個々の小地域における世帯の平均所得データ（以下「小地域世帯所得データ」）を作成した．次に，ゼンリンの住宅地図から得られた建物ポリゴンデータと小地域世帯所得データを空間結合することで，個々の建物にその建物が立地する小地域の平均世帯所得を属性として付与した．さらに，家計調査を参考に所得を 3 つのランクに分類し，所得水準ラベルとすることで，教師データのラベルとして使用した．また，それらの建物が中心に来るように衛星画像を切り出し，作成した所得水準ラベルと対となるようにすることで，教師データを作成した．続いて，VGG-16 と呼ばれる学習済み深層学習モデルと教師データを用いて，所得水準レベルの分類モデルを構築した．この時の学習方法としては，転移学習を用いた．最後に，構築したモデルと学習に使用していないデータを用いて精度の検証を行った．

2.2．対象地域

本研究の対象地域は東京都新宿区（以下「新宿区」）とした．理由は，様々な高さの建物が高密度に分布しているという地理的条件が，開発途上国の都市部に見られる条件に類似しているためである．また，日本では信頼性の高い所得に関する統計が利用可能であることも，新宿区を対象地域とした理由である．対象地域全域の衛星画像を図-1 に示す．

３．使用したデータ

3.1．小地域世帯所得データ

小地域世帯所得データは，個々の建物に経済レベルの属性を付与するために使用した．国勢調査（2015 年）と住宅・土地統計調査（2018 年）を用いて作成した．手法の詳細は山中ほか（2021）を参照されたい．なお，山中ほか（2021）では地域メッシュ単位の世帯所得を推定しているが，本研究では山中ほか（2021）の手法を小地域に適用することで，小地域世帯所得データを作成した．図-2 に新宿区における小地域世帯所得データを示す．

3.2．建物ポリゴンデータ

株式会社ゼンリンの住宅地図（Zmap TOWN II：2020 年）に収録された建物レイヤが持つ建物の形状を表現するポリゴンデータを建物ポリゴンデータとして使用した．なお，建物ポリゴンデータは建物用途に関する属性も含まれている．そこで，本研究では居住用の建物を対象とするため，表-1 に示す用途の建物のみを使用した．

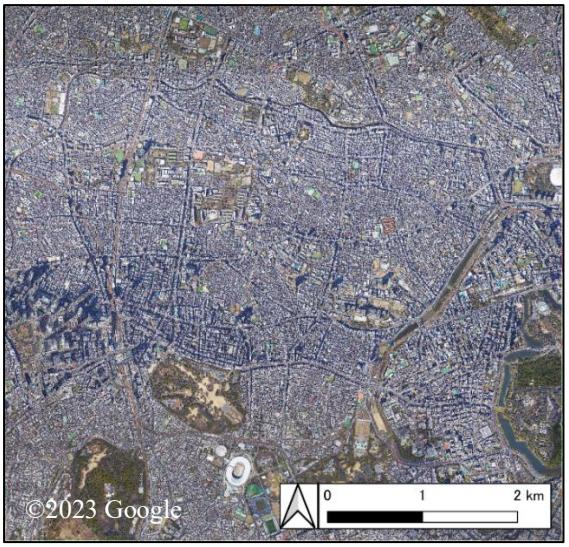


図-1 東京都新宿区の様子

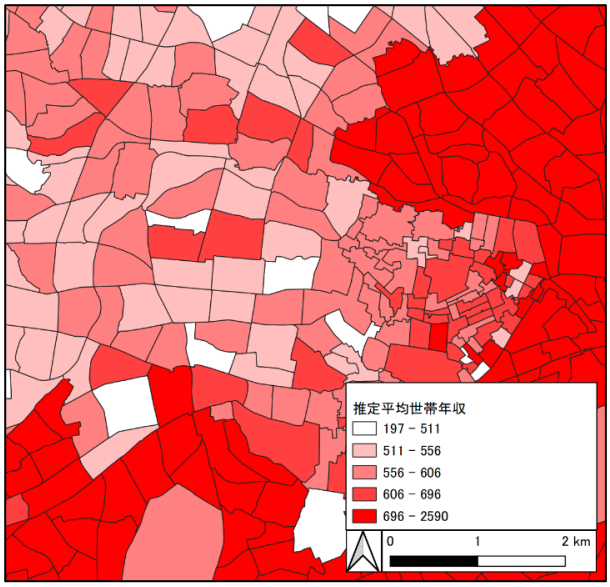


図-2 東京都新宿区の小地域世帯所得データ



図-3 本研究で使用した衛星画像の例

表-1 建物ポリゴンデータの用途別件数

属性種別コード	建物用途	建物数
1363	ビル・アパート等	37,424
1364	戸建て住宅	34,567
1365	事業用建物	14,283

3.3. 衛星画像

GoogleMap の背景画像を使用した．大きさは 256px で，解像度としては 1px あたり 0.3m のものを使用している．図-3 に本研究で使用した衛星画像の例を示す．

4．建物単位の所得水準レベルの分類

4.1. 教師データの作成

まず，深層学習モデルを構築するための教師データを作成した．小地域世帯所得データから得られる世帯所得を 0～2 の所得水準レベルに分類した．本研究ではレベル 0 を 350 万円未満，レベル 1 を 350 万円以上 750 万円未満，レベル 2 を 750 万円以上とした．各レベルに分類された建物数を表-2 に示す．この分類は家計調査の年間収入と世帯人員の関係を参考に設定しており，居住人数に 1 人以上の変化が出る平均収入を閾値として採用した．

表-2 所得水準レベルの内訳と該当する建物数

所得水準レベル	世帯所得帯（万円）	建物数
0	350 未満	37,424
1	350 以上 750 未満	34,567
2	750 以上	14,283

そして，小地域世帯所得データを建物ポリゴンデータに空間結合することで，個々の建物に世帯の平均所得と．所得水準レベルを付与した．なお，複数の小地域に跨って立地する建物の場合，交差している小地域の面積を重みにして平均世帯年収を按分した．以上の処理により，まず正解ラベルを作成した．

次に，正解ラベルと対になる画像データを作成した．各建物の中心座標を 256px 四方の正方形で囲う領域で衛星画像を切り出し，建物と対になるようにすることで，モデル構築用の教師データを作成した．以上の処理により，合計 86,274 件の建物に関する教師データを作成することができた．図-4 に教師データとなる建物ごとの所得水準レベルを示す．

4.2. 深層学習モデルの構築

次に，先程作成した学習データを用いて深層学習モデルの構築を行った．本研究では VGG-16 と呼ば

れる学習済み深層学習モデルを用いて，所得水準レベルの分類モデルを実装した．VGG-16（Simonyan & Zisserman, 2014）は物体検出と分類のアルゴリズムであり，1,000 種類の画像を 92.7%の精度で分類することができ，特に画像分類の分野において非常に優れたパフォーマンスを発揮している．また，アーキテクチャも理解しやすい構造になっているため，モデルの調整がしやすく転移学習にも頻繁に用いられる．そこで，本研究では VGG-16 を転移学習という手法を用いて構築した．モデル構築には，教師データの 8 割となる 69,019 枚の画像を使用し，残りの 2 割となる 17,255 枚を精度検証に使用した．以上の方法で所得水準レベルを分類するモデルを構築した．なお，学習回数は 20 回とした．

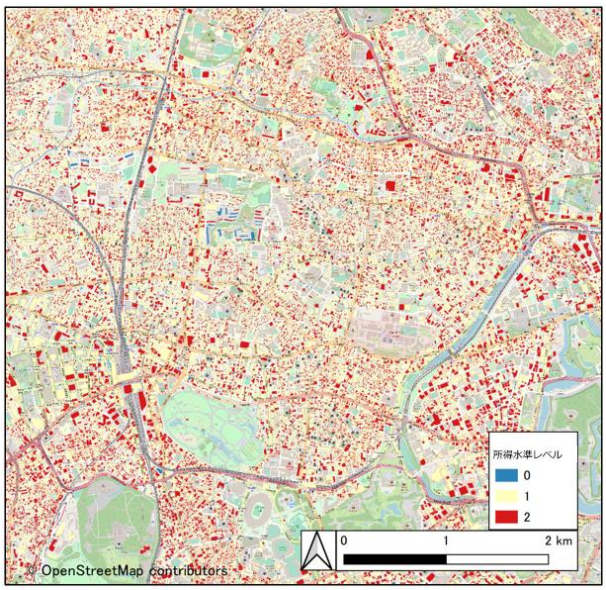


図-4 教師データの所得水準レベル

4.3．分類結果の出力

以上の手法で作成した所得水準レベルの分類モデルを検証用データに適用することで，建物ごとの所得水準レベルを出力した．図-5 に正解データとモデルによる予測結果，また誤分類された建物の分布を可視化した結果を示す．

５．精度の検証

5.1．検証方法

本研究では，それぞれの所得水準レベルに対して，5.1.1～5.1.4 の 4 つの指標を用いて精度の検証を行った．このように多くの指標を用いることで，クラスごとの予測品質を詳細に理解することができ，どの所得水準の地域において分類精度に課題があるのかを明確にできる．また，学習傾向に偏りがないかも確認することが可能になる．

さらに，モデルが学習データに偏っていないかどうかを確認するために，損失曲線と正解率曲線を学習データと検証用データそれぞれを用いて作成した．

5.1.1 正解率（Accuracy）

すべての予測に対する正しい予測の割合．

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

5.1.2 適合率（Precision）

正と予測した中で実際に正だった割合．

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

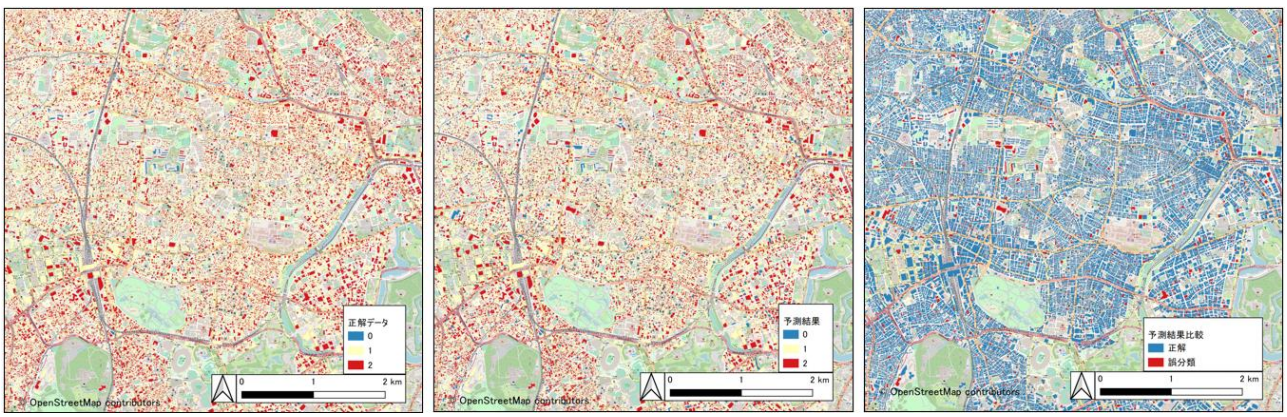


図-5 正解データ（左），予測結果（中央）および誤分類された建物の分布（右）

5.1.3 再現率（Recall）

実際に正の中で正と予測できた割合.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

5.1.4 F 値（F-measure）

適合率と再現率の調和平均.

$$\text{F-measure} = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

5.2. 検証結果

各所得水準レベルの各指標における結果を表-3 に，分類結果の混同行列と，モデル学習時の損失曲線および正解率曲線を図-6 に示す.

正解率曲線から，学習データと検証用データの両方で90%以上の高い正解率で分類できていることが分かる．また，学習データと検証用データの正解率や損失の変化の傾向も類似していることから，汎化性能を保ちながら学習できていることがわかる．各指標の結果を確認すると，所得水準レベル 1 と 2 ではすべての指標で90%以上と非常に高い水準で分類ができていた．一方，所得水準レベル 0 では F 値が74%と，他の所得水準レベルと比べて精度が低いことが確認された．この結果から，中所得や高所得の地域では正確な分類が可能だが，低所得の地域に対しての精度に課題があることが分かった.

６．考察

6.1. 画像の目視確認による考察

5 章で得られた精度によると，衛星画像から経済レベルを分類することは，かなり高い精度で行うことが可能であるということが確認できた．ただし，低所得帯での分類精度に課題があることも確認することができた.

そこでまず，全体としてどのような地域で誤分類が多かったのかを，衛星画像を目視で確認することでその傾向を探った．その結果，複数の機能を有する複合建物のような形状が複雑な建物や，高所得な地域で建物同士の隣棟間隔にゆとりがある地域において誤分類が多くなることが確認された．図-7 に複雑な形状の建物の例を，図-8 に所得が高く隣棟間距離も大きい地域の例を示す．これらの地域で精度が下がった原因は，これらの条件に合致するサンプル数が少なかったため，モデルが正しく判断しきれな

表-3 各所得水準レベルにおける各指標の結果

所得水準レベル	正解率（Accuracy）（%）	適合率（Precision）（%）	再現率（Recall）（%）	F 値 F-measure（%）
0	98.39	92.00	62.16	74.19
1	98.39	99.09	98.48	98.79
2	98.39	97.13	98.45	97.78

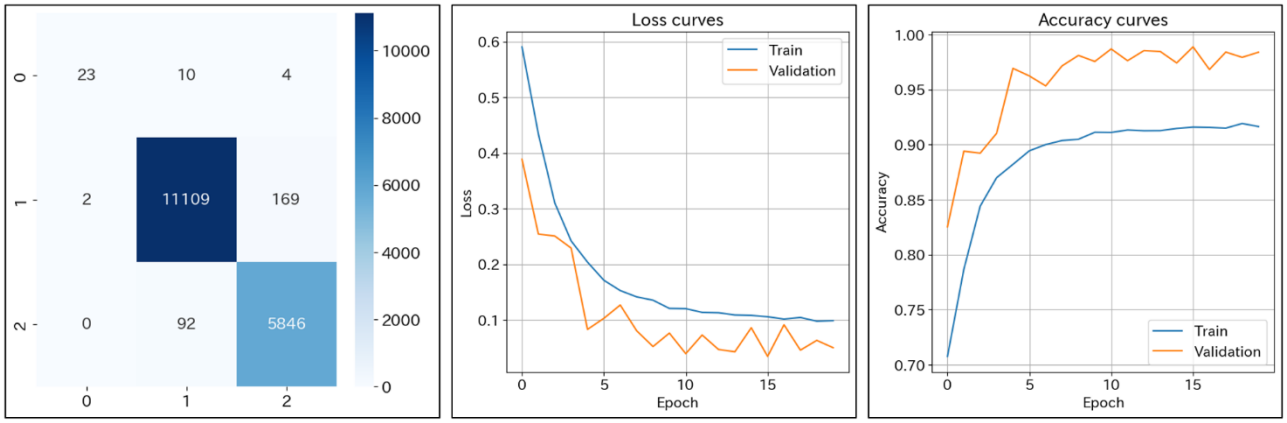


図-6 検証用データにおける混同行列（左）と損失曲線（中央）および正解率曲線（右）

かったことが原因であると考えられる．これは低所得帯における分類精度が低いことにも共通する原因であると考えられる．本研究の対象地域である新宿区は平均世帯所得が 350 万円以上の世帯が 95%以上とデータ自体に偏りが見られた．すなわち，本研究の分類精度はデータの件数にある程度依存する結果になっていることが分かる．

6.2．Grad-CAM を用いた特徴量の可視化による考察

次に，本研究で開発したモデルが建物のどのような特徴を用いて所得水準レベルを判断しているのかを探るために，Grad-CAM（Selvaraju. et al.）と呼ばれる手法を用いて学習の可視化を行った．Grad-CAM とは，畳み込みニューラルネットワーク（CNN）ベースのモデルがクラスを決定する際の視覚的説明を生成するための技術である．最終畳み込み層に流れる任意のターゲット概念の勾配を使用して，概念を予測するために画像内で重要な領域を強調表示するローカリゼーションマップを生成し，判断に使用している領域とその重要度を可視化することができる．この技術を用いて，本研究で作成したモデルが何を重要視してクラス分類を行っているのかを確認した．

図-9 に Grad-CAM を用いて分類を可視化した結果を示す．これらの結果によると，建物自体を根拠に判断しているわけではなく，建物同士の隙間を判断材料にして分類を行っていることが分かった．実際に高所得と呼ばれる地域は日本では建物同士が密集している傾向が強いため，その特徴を十分に捉えられていると考えられる．また，大規模な工場などの面積が非常に大きく形状も複雑な建物の場合，道路と建物の境界を適切に判断することができず，誤分類を引き起こしている可能性があることも確認できた．

6.3．精度改善に向けた取り組みと今後の展開

まず，低所得帯や複雑な建物を含んだ地域での分類精度の改善は，対象地域を拡大することで解決できるものと考えられる．新宿区は日本の中でも所得水準がかなり高く，また様々な高さや形状の建築物が高密度に集積する，日本国内でも特異な地域であると言える．そこで，今後は対象地域を東京都全域、さらには関東全域と拡大していくことで，モデルの分類精度の向上や，都市としての成長の段階を図ることができるモデルになっていくものと考えられる．

また，面積の大きく複雑な形状の建物に対しては，一定以上の面積を閾値にして一旦省いた状態でモデルを構築する方法も考えられる．実際に複合施設や大規模な事業所に人が定住している可能性は小さいため，それらを省いてもモデルの推定精度への影響

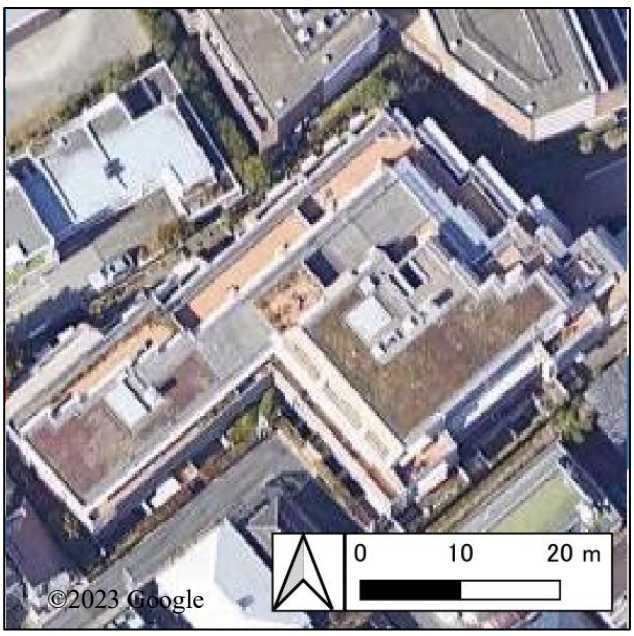


図-7 複雑な形状を有する建物の例



図-8 建物同士の隣棟間距離が大きい地域の例

は小さいものと考えられる.

また, 今後の展開としては以上の改善点のほかに, 海外の開発途上国に展開した際にどのような影響があるのかを確認してみる必要がある. 新宿区では高所得な地域になるほど建物が密集する傾向が見られたが, 海外で実装した際にも正しく分類ができるのか検証する必要がある.

また, 本研究全体の最終目標である衛星画像から人口分布を推定する技術の実現に向けて, 衛星画像からの建物の自動抽出や, 建物用途推定にも取り組んでおり, これらの技術と組み合わせた際に, 全体としてどれほどの精度を発揮することができるのかも, 今度の取り組みに向けて検証していきたい.

7. まとめ

本研究では, 所得に関する統計が整備された日本を対象に, 衛星画像を用いて建物単位の所得水準を推定する手法の提案とその検証を行った. その結果, 高い精度で建物単位の所得水準の分類を行うことができることが確認された. 一方, データの件数が少なかった低所得帯での分類精度や, 複合建物などの件数が全体を通して少ない特徴の建物に対する精度に課題が残った. 今後はこれらの特徴を有する建物に対しても精度が発揮できるよう教師データの充実とモデルの改良を図りつつ, 国内の他の地域や海外などへの対象地域の拡大や, 建物単位の人口推定に向けた取り組みを進めていく.

謝辞

本研究は JSPS 科研費（JP20H01483）の助成を受けて実施しています. また, 本研究は, 東京大学 CSIS 共同研究（No. 1170）による成果の一部です（利用データ: Zmap TOWN II （2020 年度 Shape 版）東京都データセット（株式会社ゼンリン提供）. ここに記して謝意を表します.

参考文献

奥田康平・川崎昭如・濱口竜平（2019）衛星画像と世帯調査データを用いた建物ごとの収入レベルの推定,「GIS－理論と応用」, Vol. 27, No.2, pp.9-18.

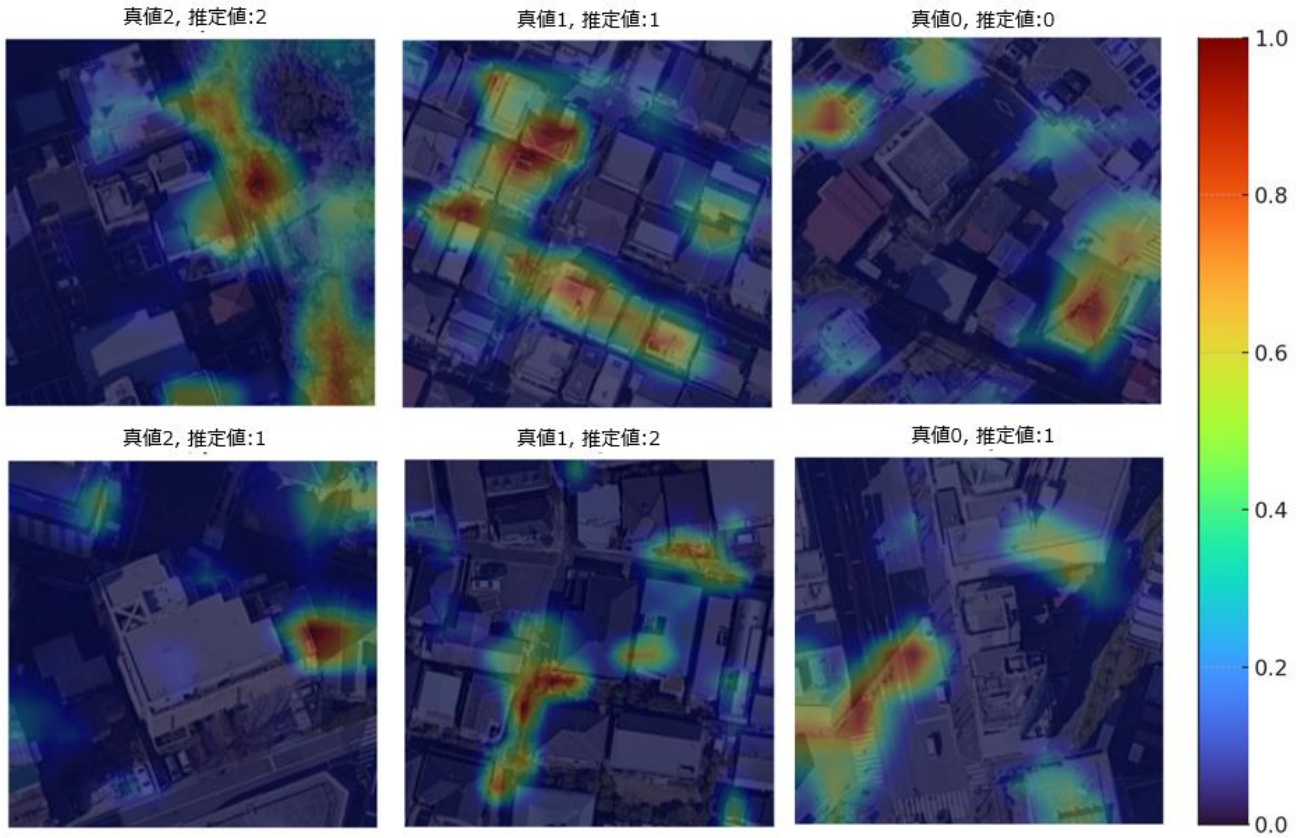


図-10 Grad-CAM を用いた分類時に使用している領域とその重要度を可視化した結果

Akiyama, Y., Miyazaki, H. and Sirikanjanaanan, S., (2019) Development of Micro Population Data for Each Building: Case Study in Tokyo and Bangkok, *2019 First International Conference on Smart Technology and Urban Development (STUD)*, pp.1-6.

Kaiser, P., Wegner, J., Lucchi, A., Jaggi, M., Hofmann, T. and Schindler, K. (2017) Learning Aerial Image Segmentation from Online Maps, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.55, No.11, 201.

Simonyan, K. and Zisserman, A. (2014) Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.

Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017), Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization, *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pp. 618-626.

建物単位の推計人口を用いた大規模災害時における経済的被害評価手法の開発

武田直弥*・秋山祐樹**・古谷貴史***

Development of an Economic Damage Assessment Method for Large-scale Disasters Using Building-based Estimated Population

Naoya TAKEDA*, Yuki AKIYAMA**, Takafumi FURUYA***

Abstract In Japan, frequent occurrences of large-scale natural disasters have consistently resulted in significant economic damage. According to the Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, there is an extensive like large-scale earthquakes directly under the capital city or massive earthquakes along the Nankai Trough fault line, which could lead to widespread and severe devastation. Assessing the economic impact of natural disasters in detail before they strike could drive proactive disaster prevention efforts and potentially mitigate post-disaster population displacement. Therefore, in this study, we estimated the building attributes of each building and estimated the amount of damage per residential in the event of a large-scale earthquake. In addition, by estimating regional savings and household compositions from various statistics, we developed a method to comprehensively evaluate the micro-level economic repercussions on households due to natural disasters while considering the region's economic capacity.
Keywords: 経済的被害 （economic damage），大規模災害（large-scale disaster），建物構造（building structure），建築年代（building age）

１．はじめに

我が国では，これまでに大規模な自然災害が頻繁に発生しており，そのたびに住宅に対して甚大な被害をもたらしてきた．例えば，総務省（2011）によると 2011 年の東日本大震災において，住宅は約 115 万戸が被害を受けており，非住宅を含めた建物の被害総額は約 10 兆 4,000 億円と推計されている．また，内閣府（2016）や熊本県（2016）の報告によると，2016 年の熊本地震おける住宅の被害総額は 2 兆 377 億円と推計された．さらに，内閣府（2019）によると2019年の北海道胆振東部地震では，1 万 4,632 棟の住宅が被害を受けたとされている．

以上のように2000年以降に発生した地震だけでも，住宅に対して物理的および経済的に大きな被害を発生させた例が数多く見られる．また，国土交通省の国土の長期展望専門委員会（2019）は，同様の被害は日本の特定の地域のみで発生するわけではなく，今後も日本全国どこでも発生する可能性があることを指摘している．

また，内閣府（2014）によると，災害発災前に予め経済的なリスクを詳細に把握し，発災前に対策を講じることができれば，経済的被害を大幅に抑制できることが指摘されている．さらに，新たな国土強靭化基本計画（内閣府，2023）では，デジタル等の新技術を活用した事前防災や，地域防災に必要な新たな情報の創出，また地域というミクロなスケールを対象とした防災力の一層の強化などを新たな方針に加えていることからも，大規模災害に対してミクロな空間スケールで発災前の取り組みを行うことが重要になってくるものと考えられる．

以上より，大規模災害時における住宅の経済的被害を広域かつ詳細に評価し，防災および減災の取り組みに反映できる環境を整備することは，我が国の防災政策上，重要な取り組みであると言える．

* 学生会員 東京都市大学大学院総合理工学研究科（Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University）
〒158-0087 東京都世田谷区玉堤１丁目２８－１ Tel：03-5707-0104 E-mail：g2281630@tcu.ac.jp
** 正会員 東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科（Tokyo City University）
*** 非会員 日本工営株式会社 CIM 推進センター (NIPPON KOEI CO.,LTD,CIM Technical Center)

1.1 関連する先行研究

自然災害における経済的被害の評価に関連する先行研究としては，まず穂積ほか（2019）による構造物の地震リスク評価の取り組みがある．建物の被害額を考慮した地震リスクカーブを開発し，都市部と地方における建物の地震被害のリスクを評価している．他にも，豊田ほか（2020）は物的ストック量に応じた地震による被害額を建築物面積で按分することで，直接的な損害額をリアルタイムに推計する手法を提案している．ただし，これらの既存研究は被害額の推計に建物属性を考慮していない点や，地震リスクの評価が都道府県単位や地域メッシュ集計などマクロな単位で評価されている点が課題として挙げられる．他にも Nakashima et al.（2016）は，災害復旧における各世帯の経済的負担は建物の損害額だけで推計することは困難であり，建物に居住する世帯の所得や貯蓄など世帯の経済的な要素によって格差が生じることを指摘している．そこで，古谷ほか（2021）は世帯の経済力に着目し，建物ごとの経済的被害を評価する手法を開発している．しかし，同研究では経済的影響を評価する上で重要な要素になる家族構成や家財の状況を考慮できていないという課題があった．

1.2 本研究の目的

そこで，本研究では以上の既存研究における課題を鑑み，大規模災害時おける住宅 1 棟ごとの損害額を算出し，統計資料をもとに地域の貯蓄高および世帯構成を推計することで，地域の経済力を考慮した世帯ごとの経済的被害を評価する手法を開発することを目的とする．

２．研究方法

本研究では，国立研究開発法人防災科学技術研究所（2020）が公開している地震動予測地図データを用いて，住宅の中でも戸建て住宅を対象に地震災害による経済的被害を推計する．そして，既存統計を組み合わせることで，町丁字単位で世帯の貯蓄高を推計する．さらに，国勢調査を用いて世帯構成推計データを作成する．最後に世帯構成を考慮した上で町丁字ごとに 1 世帯あたりの貯蓄に対する損害額の割合を求めることで, 経済的な影響を明らかにする．

2.1 使用したデータ

本研究では，デジタル住宅地図（Zmap TOWN II：2020 年）の建物レイヤを用いて日本全国の建物情報を取得する．なお，本研究では建物レイヤ内の各建物の重心座標をポイントデータに変換したデータ（以下「建物ポイントデータ」）を作成し，これらに対して，後述する方法で損害額推計に必要な情報を推定・付与した結果に基づき，損害額を推計する．

2.2 機械学習を用いた建物構造の推定

大規模地震による損壊の程度は，建物の構造が大きな影響を与える．そのため，建物の構造を考慮した被害評価が必要となる（岡田・高井，1999）．そこで本研究では，住宅ごとの構造を機械学習により推定した．ただし，公開されている統計情報のみから詳細な建物構造(木造, 防火木造, 軽量鉄骨造, RC 造等)を推定することは困難であるため, 本研究では建物構造を木造および非木造の 2 区分で推定した．

機械学習モデルを学習するための特徴量には，住宅地図から得られる建物の階数や面積等の建物に関する情報と，既に整備・公開されている国勢調査等の統計資料を集計することで得られる様々な地理空間的情報を建物データに空間的に結合することで作成した．表 1 に建物データに付与した特徴量の一覧を示す．これらの特徴量を用いて建物ごとの構造推定を行った．推定には勾配ブースティングアルゴリズムを用いる LightGBM を採用した（Ke et al. 2017）．また，機械学習を行うための教師データは足立区，渋谷区，世田谷区において公開されている建物構造現状図を用いて作成した．具体的には上記の対象地域から 4,500 棟をランダムに抽出し，建物構造現状図を目視で確認することで正解となる建物構造を各建物に付与した．

2.3 建物ごとの建築年代の推定

建物の損壊程度を推定するためには，建物構造に加えて築年代の情報が大きな影響を与える，特に，1981 年に建築基準法施行令改正(新耐震)が実施さ

表 1 建物データに付与した特徴量

作成した特徴量	使用した統計資料
年齢階級別人口割合（3 区分）	国勢調査小地域集計（2020 年）
居住期間別世帯割合（6 区分）	国勢調査小地域集計（2020 年）
年収階級別世帯割合（9 区分）	国勢調査小地域集計（2020 年） 住宅・土地統計調査 (2018 年)
建て方別構造割合（3 区分）	国勢調査小地域集計（2020 年） 住宅・土地統計調査（2018 年)
建て方・構造別建築年割合（7 区分）	住宅・土地統計調査 (2020 年)
用途地域（13 区分）	用途地域ポリゴン（国土数値情報）

れたことで，その前後の年代で地震の損壊に対する耐力が大きく異なる.しかし，築年代に関する情報は住宅・土地統計調査等において市区町村単位で公開されているのみであり，建物単位の築年代データの多くは公開されていない. そこで本研究では, 3.2 節にて推定した建物単位の推定構造と市区町村単位の築年代に関する統計情報を組み合わせることで，確率的に建物 1 棟 1 棟の築年代を推定した.なお同手法では，築年代を 7 区分（～1970 年，1971～1980 年，1981～1990 年，1991～2000 年，2001～2010 年，2010～2015 年，2016 年～現在）で推定した.

まず，住宅・土地統計調査の第 10-2 表 「住宅の構造（2 区分），建築の時期（7 区分, 建て方（4 区分），階数（3 区分）別住宅数」から，戸建て住宅における木造および非木造の築年代別の建物数を市区町村ごとに取得した．次に，構造別・築年代別の建物数を各構造別戸建て住宅の総数で割ることで，市区町村単位の構造別・築年代別の建物棟数割合を算出した.最後に 3.2 節で推定した建物構造が付与された建物データに対して，以上の方法により算出した構造別・築年代別の建物棟数割合に基づき確率的に建物 1 棟 1 棟の築年代を推定した.

2.4. 地震による建物損壊割合の推定

本研究では，前節までに推定した建物属性と国立研究開発法人防災科学技術研究所から 5 次メッシュ単位で公開されている地震動データを用いて大規模地震時における戸建住宅の建物損壊割合を推定した.

本研究では須藤ほか(2019)により提案された 2016 年熊本地震に基づき構築された被害関数に基づいて建物損壊割合を推定した．須藤ほかの被害関数は，益城町の罹災証明に基づいて作成されており，ある建物 j がある計測震度 I のときに被災ランク R 以上の被害が発生する確率 $P_{Rj}(I)$を，標準正規分布の累積確率分布関数 $\varphi(I)$を用いて式(1)で定義している.

$$P_{Rj}(I) = \Phi\left(\frac{I-\lambda}{\zeta}\right) \quad (1)$$

λ，ξ は，それぞれ計測震度の平均値および標準偏差を示しており，建物の構造およびその被害状況に応じて与えられる.

以上の建物被害関数により算出した建物損壊割合の確率に基づき，確率的に建物ごと損壊の程度を確率的に推定した.

2.5. 地震による建物の損害額推計

地震による建物の損害額の推計は，3.4.節で損壊割合が半壊以上と推定された建物を対象に，国税局の被災した場合の住宅損失額計算書（2020）の計算式を参考に，式(2)および式(3)を用いて推計した.

$$M_i = (C_i \times A_i) - \{(C_i \times A_i) \times 0.9 \times D_i \times Y\}_i \quad (2)$$

$$L_i = M_i \times P_i \quad (3)$$

M_i，C_i，A_i，D_i，Y_i はそれぞれ建物 i の被災直前の時価総額（円），1m² あたりの工事費用（円），総床面積（m²），償却率，築年数を示す．また，L_i と P_i はそれぞれ建物 i の損害額（円）と被害割合を示す. このとき耐用年数を超えて資産価値が 0 円と評価された場合には取得時の 5%を現在価値として扱う.

2.6. 地震による家財の損害額推定

地震による建物の損害額は 3.5.節と同様に国税局の住宅損失額計算書（2020）を参考に式(4)を用いて推計した．

$$H_i = F_i + (13 \times A_i + 8 \times C_i) \times 10^5 \times P_i \qquad (4)$$

H_i，F_i，A_i，C_i，P_i はそれぞれ建物 i の家財の損害額（円），家族構成別家財評価額（円），世帯における 18 歳以上の人数，18 歳未満の人数と被害割合を示す．推計に用いる世帯情報は後述する世帯単位の推計データを用いて家財の損害額を算出した．

2.7. 世帯推計データの作成

本研究では，Akiyama et al.（2013）の手法を参考に 2020 年の国勢調査小地域集計を用いて世帯の分布および，各世帯の世帯人員，家族類型，世帯員の年齢，性別の推計データを作成した．

2.8. 地域ごとの貯蓄高推計

本研究では，地域の経済力を考慮した被害の評価を行うため，世帯ごとの貯蓄現在高を推計した．3.2 節で作成した丁町字単位の年収階級別世帯数と，家計調査（2019）における全国集計の年収階級別・貯蓄現在高階級別世帯数を用いることにより，丁町字単位の貯蓄現在高階級区別（18 区分）の世帯数を推計した．ここで得られる貯蓄高は，全国集計の結果における各世帯が占める割合をもとに推計を行っている．そのため，地域差が表れにくく実態と乖離した結果になり得る．そこで，推計で得られた貯蓄階級別世帯数と全国消費実態調査（2014）から得られる都道府県別の 15 万人以上の市区町村および経済圏の貯蓄現在高階級別世帯数を用い，対象の市区町村および経済圏について比較し，全国消費実態調査との誤差が大きい階級同士で世帯を入れ替えることにより，誤差の最小化を図った．

3. 推定結果および信頼性の検証

3.1. 構造推定の結果

本研究では，2.2.節で作成した建物構造の教師データ 4,500 棟のうち 20%の 895 棟をテストデータとして機械学習モデルの性能検証を行った．表 2 にその結果を示す．表 2 より建物構造を約 80%の精度で木造および非木造に分類できていることが分かる．またこの学習モデルを外挿することで図 1 に示すように建物 1 棟ごとの建物構造が推定可能になった．なお，誤判定の原因は推定に用いた特徴量が丁町字単位で公開されている統計に基づいて作成されているため，例えば，統計値からほとんどの建物が戸建てかつ木造とわかっている地域において，統計値からわかる傾向と異なる非木造の建物を誤って木造と推定してしまっていることが原因と考えられる．今後はさらに有効な特徴量を作成することで精度改善を試みる．

3.1. 建築年代推定の結果

本手法による築年代の推定結果の例として，世田谷区における戸建て住宅の築年代の推定結果を図 2 に示す．成城学園前駅付近においては，1991 年以降に建てられた住宅が比較的多く存在するのが確認で

表 2 テストデータに対する構造推定結果

検証データ		推定構造数 非木造 [棟]	木造 [棟]	合計 [棟]
正解値	非木造 [棟]	261	134	395
	木造 [棟]	45	455	500
	合計 [棟]	306	589	895

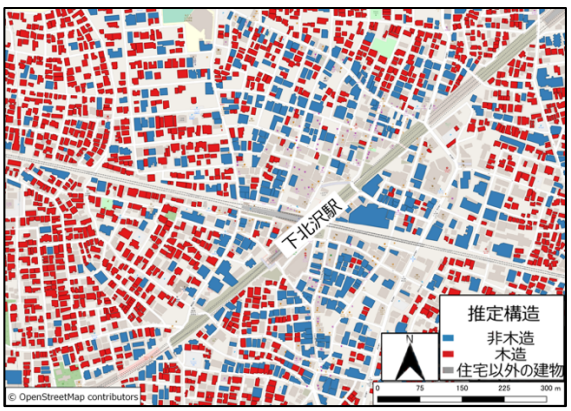


図 1 建物構造の推定結果（下北沢駅周辺の例）

きた．なお，オープンデータには建物ごとの建築年代を公開している情報は存在しないため，本研究では建物毎の精度検証をすることはできなかった．建物ごとの精度検証は今後の課題としたい．

3.2. 地震による損害額の推計結果

本研究では 2.5 節と 2.6 節の手法を用いて地震による建物に対する損害額と家財に関する損害額をそれぞれ算出し，その合計額を地震による損害額として推計を行った．50 年間超過確率 2%となる計測震度の地震動が生じたときの丁町字ごとの平均損害額を図 3 に示す．この図から太平洋側に損害額が 1,000 万円を超える丁町字が広く分布していることがわかり，家財等への損害を含めた世帯が抱える地震に対するリスクが大きい地域を確認することができた．

3.3 世帯推計データの作成結果

本研究では，Akiyama et al.（2013）の手法を参考に国勢調査（2020）を用いて住宅地図の建物データの最小単位である世帯・室に対して居住者の推定属性及び世帯構成を付与した．図 4 に群馬県前橋市において作成した推定世帯人員の空間的分布を示す．このデータには世帯構成人数，家族類型，世帯主の年齢性別，世帯員の年齢性別，世帯員の世帯主との続柄の推定結果が世帯ごとに付与されている．

3.4. 貯蓄高の推計結果

図 5 に 1 世帯あたりの平均貯蓄高の日本全国の分布を示す．この推計データは日本全国ほぼ全ての地域を網羅している．ただし一部山間地域等の人口が極めて少ない地域は，未推計となっている．これは，貯蓄現在高の推計に用いた世帯年収階級別世帯数推計の元となる住宅・土地統計調査において，人口 1 万 5 千人未満の市区町村の集計結果が掲載されていないためである．これらの地域の貯蓄現在高の推計は今後の課題としたい．

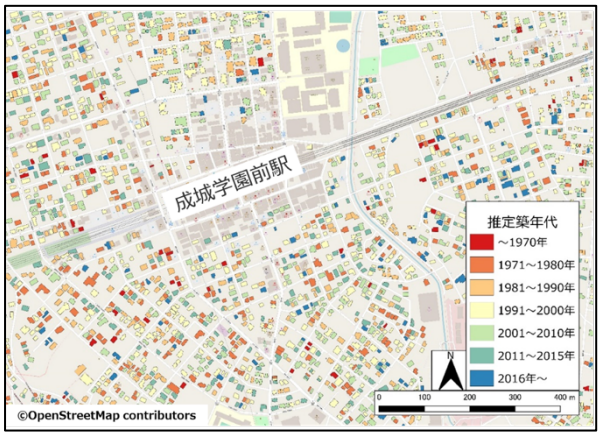


図 2 推定築年代の推定結果
（成城学園前駅周辺の例）

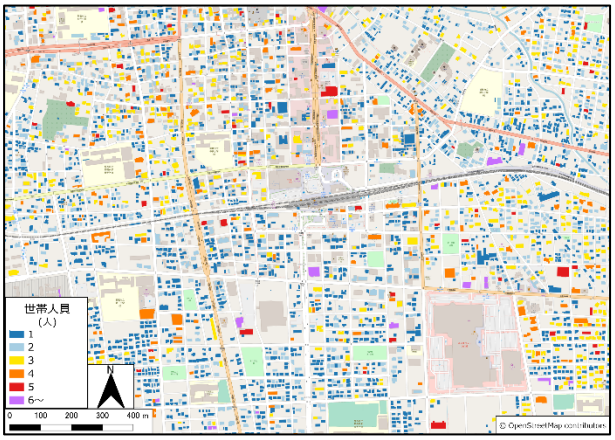


図 4 推定世帯人員の分布（前橋市中心部の例）

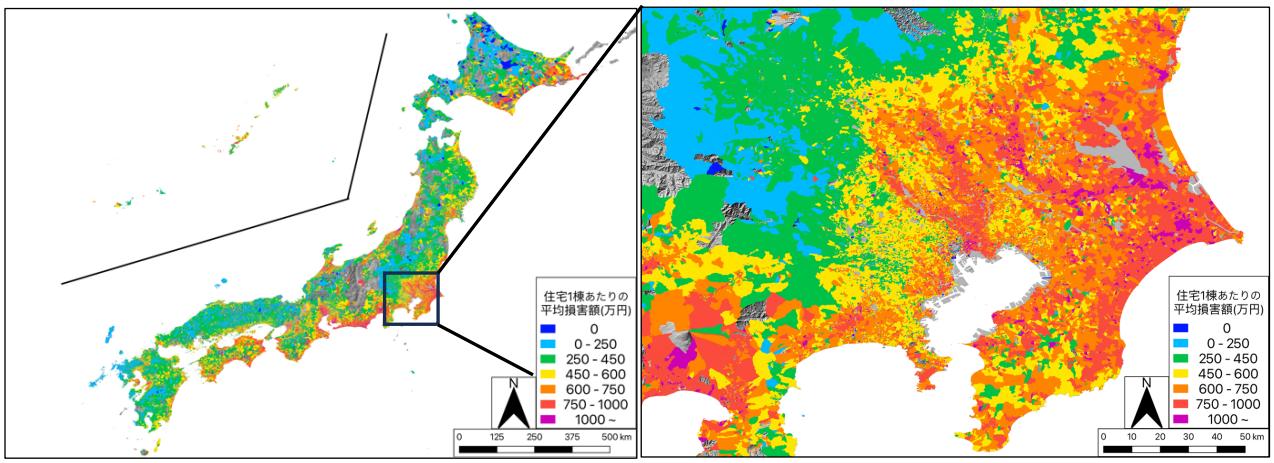


図 3 50 年間超過確率 2%以上のシナリオにおける町丁字別被害住宅 1 棟当たりの平均損害額

4. 地域の経済力を考慮した経済的被害評価

世帯ごとの経済的な負担を定量的に評価するために貯蓄高に対する損害額の比を算出した．この際に世帯人員によって経済的な負担度は世帯構成によって大きく異なると考え，世帯の貯蓄高を世帯人員で除した世帯員 1 人あたりの貯蓄高に対する，地震による損害額の比を世帯の経済的な負担度と定義し地震に対する経済的リスクを評価した．図 6 に町丁字毎の平均負担度を示す．図 6 から地震に対する経済的負担度が地域によって差があることが確認できる．特に首都圏近郊や名古屋市周辺大阪近郊の大都市ベッドタウンで世帯ごとの経済的な負担度が高くなっている地域が広く分布していることが確認できた．これらの地域は作成した建物単位の推計人口データから世帯人員が多い地域であることがわかった．そのため世帯員 1 人あたりの貯蓄に対する経済的な負担度が他の地域より高くなっていると考えられる．

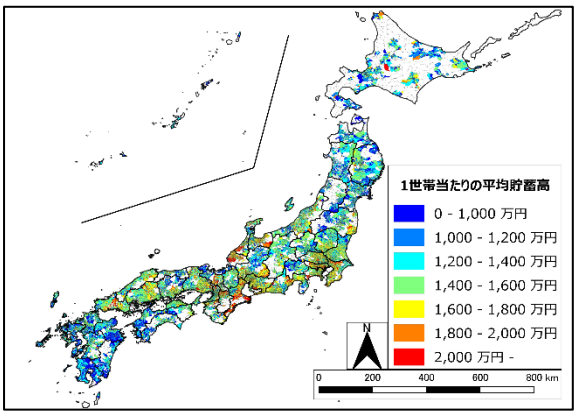


図 5 1 世帯あたりの平均貯蓄高（町丁字単位）

このような，他の地域よりも経済的な負担度の高い地域に対して事前防災を促進する，地震保険の加入を積極的に促すなど災害に強いまちづくりを進めるための取り組みが必要になってくると考えられる．

4. まとめと今後の展望

本研究では，既存統計を活用し建物属性を個々の建物単位で推定する手法を開発した．また，それらの情報を活用し大規模地震災害時における住宅の損害額を建物ごとに推計した．さらに，既存統計を用いて世帯構成と貯蓄現在高を推計することで，地域の経済力を考慮した世帯ごとの大規模地震災害における経済的負担度を評価する手法を開発した．最後に開発した手法を用いて，50 年間超過確率 2%以上の地震動を対象に経済的負担度の評価を行った．その結果，地震に対するリスクが同程度の地域であったとしても，経済的な負担度に差が生じることが確認できた．

本研究は，現時点では損害額の推計結果の信頼性検証が十分に行われていないという課題が挙げられる．過去に発生した大規模地震災害に関する経済的被害を取りまとめた資料は，国や自治体から数多く公開されている．しかし，それらの資料で扱っている損害額は，住宅や事業所など全ての建物における被害を合算した損害額になっていることから，本研究で推計した住宅の損害額の信頼性検証を行うことが難しい状況となっている．今後は住宅の損害額の信頼性検証を行う手法を模索するとともに，本研究

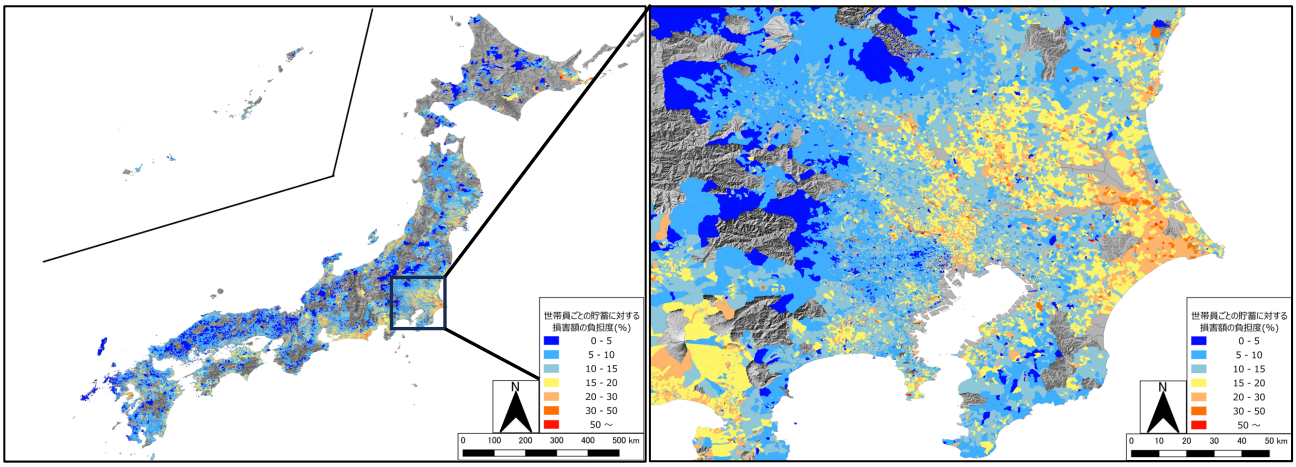


図 6　50 年間超過確率 2%以上のシナリオにおける町丁字別被害住宅 1 棟当たりの平均経済的負担度

で明らかになった経済的な負担度が高い地域に対する事前防災の一助になるような具体的な取り組みを検討していきたいと考えている.

謝辞

本研究は東大 CSIS 共同研究 No.1049 による成果 の一部です(利用データ:Zmap TOWN II(2020 年). ここに記して謝意を表します.

参考文献

岡田成幸・高井伸雄（1999） 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン.「日本建築学会構造系論文集」， **64**，65-72.

熊本県(2016)熊本地震の対応に関する検証報告書. <https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/65435.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

国税庁（2020）被災した住宅，家財等の損失額の計算書. <https://www.nta.go.jp/taxes/shiraberu/saigai/h30/0018008-045/pdf/10_03.pdf>

国立防災科学技術研究所（2020）地震ハザードステーション J-SHIS データ規約. <https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/JSHIS2/data/DOC/DataFileRule/A-RULES.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

国土交通省国土の長期展望専門委員会（2019）国土に係る状況変化（自然災害のリスク増大）について. <https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/content/001373119.pdf>. （最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

豊田利久・崔 青林・池田真幸・佐藤純恵・堀江進也・中村洋光・藤原広行（2020）地震による直接被害額のリアルタイム推計に関する研究.「地域安全学会論文集」，**36**，33-42.

総務省消防庁（2011 年）平成 23 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について（第 161 報）. <https://www.fdma.go.jp/disaster/higashinihon/items/161.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

内閣府（2016 年）平成 28 年熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について，<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_55.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

内閣府（2019）平成 30 年北海道胆振東部地震に係る被害状況等について，<http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_hokkaido/pdf/310128_jishin_hokkaido.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

内閣府中央防災会議（2014）南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～経済的な被害～. <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/2130318_shiryo3.pdf>.（最終閲覧日：2023 年 8 月 31 日）

古谷貴史・秋山祐樹・武田直弥（2021）地域の経済力を考慮した大規模災害時における住宅単位のミクロな経済的被害評価手法の開発.「第 30 回地理情報システム学会講演論文集」， B31-1-2.

穂積真哉・境田彰芳・納庄一希（2019）各地域の地震リスク性状に基づく構造物の地震リスクポテンシャルの評価.「材料」，**68**（3），222-227.

Akiyama ， Y., Takada, H., Shibasaki, R., (2013) Development of micro population census through disaggregation of national population census, *CUPUM 2013 conference*, **110**, 1-33.

Nakashima, T., Okada, S., (2018) Financial Imbalances in Regional Disaster Recovery Following Earthquakes - Case Study Concerning Housing - Cost Expenditures in Japan, *Sustainability*, **10** (9), 1-23.

Ke,G., Meng,Q., Finley,T., Chen,T., Ma,W., Ye,Q. and Tie,Y. (2017) LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3146-3154.

Oral Presentation in GISA

居住

Chair: Takashi Kirimura (Kyoto Sangyo University)
Sun. Oct 29, 2023 11:00 AM - 12:40 PM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E7-01] 建物悉皆調査と住民アンケートに基づく建物単位の空家確率推定

*Takuya Oki[1], Yujia Yao[1], Nanoka Komatsu[1], Naoko Saio[1], Masahiro Fukagawa[2] （1. Tokyo Institute of Technology, 2. Ota Ward）

11:00 AM - 11:20 AM

[E7-02] 居住地別滞在人口の構成に基づく地域メッシュの類型化 ー金沢市周辺を対象にー

*Ginta Iida[1], Wataru Nakanishi[2] （1. Kanazawa University Graduate School of Geosciences and Civil Engineering, 2. Kanazawa University Institute of Science and Engineering School of Geosciences and Civil Engineering）

11:20 AM - 11:40 AM

[E7-03] 世帯単位の将来人口分布を推計する人口分布予測モデルのモデル改善について

*Hiroshi Omata[1], Takashige Nakagawa[2], yoshihide sekimoto[1] （1. Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, 2. Pacific Spatial Solutions Inc）

11:40 AM - 12:00 PM

[E7-04] 関西圏の土砂災害リスクに暴露される領域の人口変化

*Hajime Kawamukai[1], Masahiro Arima[1] （1. University of Hyogo）

12:00 PM - 12:20 PM

[E7-05] 東京都区部における母親の保育送迎を含んだ通勤行動の解明

*Susumu SATO[1] （1. Kanazawa Seiryo Univ.）

12:20 PM - 12:40 PM

©Geographic Information System Association

建物悉皆調査と住民アンケートに基づく建物単位の空家確率推定

沖　拓弥＊・尭　裕佳＊＊・小松　なのか＊＊＊・斎尾　直子＊＊＊・深川　正浩＊＊＊＊

Estimation of Probability that Each Building is Vacant Based on Field Surveys of All Buildings and Questionnaires for Local Residents

Takuya OKI, Yujia YAO, Nanoka KOMATSU, Naoko SAIO and Masahiro FUKAGAWA

Abstract: There is an urgent need to take measures to address the negative impact of vacant houses in poor condition on the landscape, as well as concerns about crime prevention and disaster prevention. However, it is difficult to identify in detail where and to what extent vacant houses in various conditions exist in a community, building by building. In this paper, we construct a model to estimate the probability of each building being vacant based on the results of a complete building survey conducted in three areas (*chomes*) in Ota Ward, Tokyo and a questionnaire survey conducted in one of those areas for residents. Based on the estimation results of the models, we discuss the effects of building attributes and regional characteristics on the probability that a building is vacant.

Keywords: 空家（vacant building），ロジスティック回帰分析（logistic regression analysis），決定木（decision tree），悉皆調査（fieild survey of all buildings），アンケート（questionnaire），建物属性（building attribute）

1. はじめに

全国的に空家が増えている現在，特に状態の悪い空家は，景観への悪影響や防犯・防災面での懸念から早急な対策が求められている．一方，状態の良い空家は，中古住宅流通の活性化に資する可能性があるほか，地域コミュニティの拠点施設として利活用される例も見られる．

空家の空間分布を推定するために，これまでにも様々な研究が試みられている．例えば秋山らの研究グループは，自治体が保有するデータやスマートメータの情報，建物外観画像，あるいはドローンで上空から取得した熱赤外画像・可視画像を用いるなど，幅広いアプローチで広範囲の空家の推定に取り組んでいる（秋山ほか，2021；秋山ほか，2022；馬場ほか，2022；武田・秋山，2022）．また，北島ら（2019）は，公共交通網分布や用途地域分類，住居分布などの情報を深層学習モデルに学習させ，空家発生予測モデルの構築に取り組んでいる．しかし，利用可能なデータの制約がある場合が多く，様々な状態の空家がどこにどの程度存在するかを，建物単位で詳細に把握することは容易ではない．

筆者らは，東京都大田区が把握している，主に状態の悪い空家（2021 年時点で計 724 件）の情報を活用し，地域分析や建物外観分析を行った（尭ほか，2022）．本稿では，大田区内の 3 町丁目を対象に実施した建物悉皆調査結果，および，そのうち 1 町丁目の町会関係者を対象に実施したアンケート結果をもとに，各建物が空家であるかどうかの確率（空家確率）を推定するモデルを構築する．また，モデルの推定結果に基づき，建物属性や地域特性が空家確率に及ぼす影響について考察する．

＊　正会員　東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail: oki.t.ab@m.titech.ac.jp
＊＊　学生会員　東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
＊＊＊　非会員　東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
＊＊＊＊　非会員　大田区 まちづくり推進部（Ota Ward）

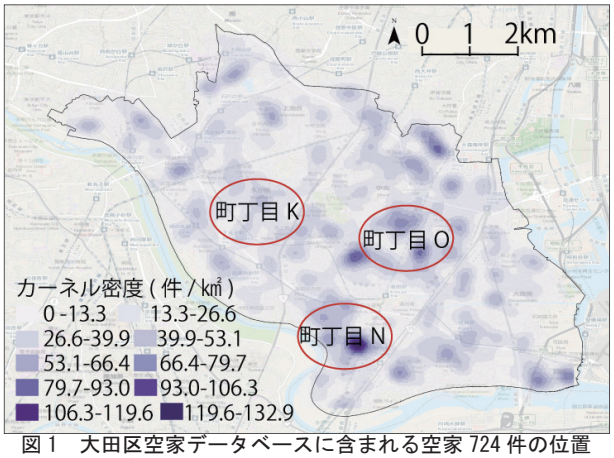


図 1　大田区空家データベースに含まれる空家 724 件の位置情報に基づくカーネル密度分布と建物悉皆調査の対象地区

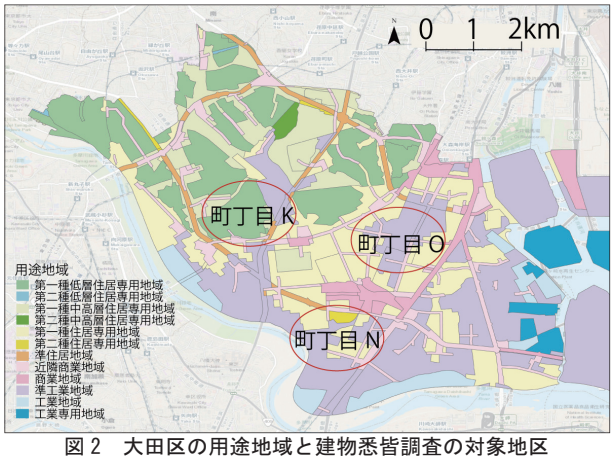


図 2　大田区の用途地域と建物悉皆調査の対象地区

表 1　建物悉皆調査の対象地区（3 町丁目）の概要

	面積[km²]	建物棟数	大田区DBの空家カーネル密度[件/km²]	特徴
町丁目N	0.298	1,453	45.6	木造住宅密集地域，地震に関する総合危険度4
町丁目K	0.278	1,306	25.2	主に第一種低層住居専用地域
町丁目O	0.183	612	34.7	主に準工業地域

表 2　東京 23 区の空家対策計画における調査概要の記載状況

①調査についての記載有無
- なし：千代田区，中央区，台東区，港区，文京区，江東区（6 区）
- あり：（17 区）
  - ②調査方法についての記載有無
    - なし（結果のみ）：新宿区，世田谷区，大田区（特定空家のみ）（3 区）
    - あり：（14 区）　（表 3 の 14 区）
      - ③空家判定項目についての記載有無
        - なし：墨田区，渋谷区（2 区）
        - あり：（12 区）
          - ④調査票の掲載有無
            - なし：板橋区，葛飾区，江戸川区，練馬区，足立区，品川区（6 区）
            - あり：荒川区，北区，豊島区，目黒区，杉並区，中野区（6 区）

表 3　調査方法に関する記載のある都内 14 区と，含まれる調査項目の一覧

		荒川区	品川区	板橋区	北区	豊島区	葛飾区	江戸川区	練馬区	墨田区	目黒区	杉並区	渋谷区	中野区	足立区	頻度
項目の載せ方		詳細	簡略	詳細	詳細	詳細	簡略	簡略	詳細	なし	詳細	詳細	なし	詳細	簡略	
建物外観保有状態	外壁の破損・汚れ	○	○					○								3
	屋根の破損	○						○								2
	階段・バルコニーの破損	○														1
	窓ガラスの損傷	○	○	○			○	○							○	6
	雨戸の破損	○		○	○						○	○				5
居住関連	生活感			○	○	○		○								4
	洗濯物干し							○				○		○		3
	郵便物が溜まっている	○		○		○	○	○			○	○		○		8
	表札がない	○			○	○			○		○	○		○		7
	電気メーター・ガスメーター	○	○	○	○	○	○		○		○	○		○	○	11
	カーテン	○		○	○						○	○		○	○	7
	売り物件看板			○	○	○			○					○	○	6
敷地管理	施錠・門扉	○	○	○				○	○		○	○		○		8
	庭の管理（雑草など）	○		○			○		○		○			○	○	7
	堀・柵	○														1
	車庫・駐車場			○					○		○			○		4
	塀		○													1
	ゴミ・廃棄物の散乱	○	○	○										○		4

＜凡例＞□本稿の悉皆調査に採用した項目　□敷地外からは判断できない項目

2. 建物悉皆調査

2.1. 調査対象地区

大田区全域で建物 1 棟 1 棟を調査することは現実的でない．そこで，大田区のデータベースに登録された計 724 件の空家の位置情報をもとに，尭ほか（2022）が作成したカーネル密度分布（図 1），および，用途地域図（図 2）を参考に，町丁目 N，町丁目 K，町丁目 O の計 3 町丁目を調査対象地区として選定した．

選定した 3 町丁目の特徴を表 1 に示す．町丁目 N は，上述のカーネル密度の値が高く，大田区の中でも比較的空家の数が多いことが予想される地区である．また，木造住宅密集地域でもあり，地震に関する地域危険度測定調査（第 9 回 : 東京都，2023）において，総合危険度ランキングは 4 とされている．町丁目 K は主に第一種低層住居専用地域で敷地の規模は中程度，町丁目 O は主に準工業地域で構成されている．

2.2. 調査票の仕様

悉皆調査における調査票を検討するにあたり，

表 4　建物悉皆調査における空家関連の調査項目

項目	状態				
	空家推定への影響（仮説）[小]←――――――――――→[大]				対象外
表札	表札あり		表札なし	表札が取り外された	
門扉	門扉があり、施錠されていない	門扉があり、施錠された	門扉が外された	門扉が封鎖された	門扉なし
郵便受け	チラシなし	チラシが少しある	チラシが滞留	郵便受けが封鎖された／なし	
窓	窓には損傷がない		窓には軽微な損傷	窓には侵入可能な損傷	
カーテン	全部開いている	一部締め切り	全部締め切り		
シャッター	全部開いている	一部締め切り		全部締め切り	
庭	手入れが十分	植物が少し枯れている	植物が全部枯れている		植物なし
雑草	なし	少しある	多い		

表 5　建物悉皆調査におけるその他の調査項目

①階数（1 階，2 階，3 階，4 階以上）　②構造（木造，非木造）
③「販売中」の看板（有，無）　④住民（存在，不明）
⑤接道長さ（2m 未満，2m 以上 4m 未満，4m 以上）
⑥洗濯物（有，無）　⑦自転車（有，無）　⑧自動車（有，無）

東京 23 区の各区における空家対策計画の報告書を網羅的にレビューし，空家実態調査の調査項目を整理した（表 2）．23 区のうち，調査内容に関する記載が見られる区は 14 区であった（表 3）．ここでは，4 区以上に採用されている項目を絞り込んだ上で，さらに外観からは判断しづらい項目を除外した（例：電気やガスのメーターに関する項目など）．これは，将来的に建物外観画像を用いた空家推定・予測を行うことを見据えての対応でもある．最終的に，計 8 種類の項目（窓，シャッター，郵便受け，表札，カーテン，門，植栽，洗濯物）を選定した．

各項目をどのように評価するかも区によって様々である．例えば，フローチャートに従って段階的に評価項目をチェックし，空家判定を行っているケース（例：荒川区）や，評価項目ごとにその状態に応じた点数を付与し，その合計点数に基づき空家判定を行っているケース（例：目黒区）などが見られる．本稿では表 4 のように，上述の 8 項目の状態を記録するとともに，階数や構造，「販売中」の看板の有無，住民が確認できるか否か，自動車や自転車の有無，および接道長さを記録した（表 5）．

2.3. 調査の方法

調査は 2 ～ 3 人の調査員（教員または学生）を 1 グループとして実施した．各建物の状態は調査員が前面道路から目視で確認し，前節で挙げた調査項目（表 4 および表 5）に基づき，各自のスマートフォンを用いて Google Form 上に記録した．Google Form を用いることで，調査の進捗状況を容易に把握できるとともに，調査後の集計も効率的に行える．図 3 に入力画面の例を，図 4 に Google Form からダウンロードした集計表（Spreadsheet）の例を示す．他に気づいた点等があった場合には，備考欄に記述するようにした．あわせて，各グループの別の調査員が，GoPro

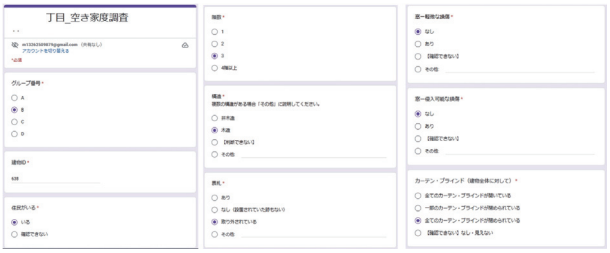
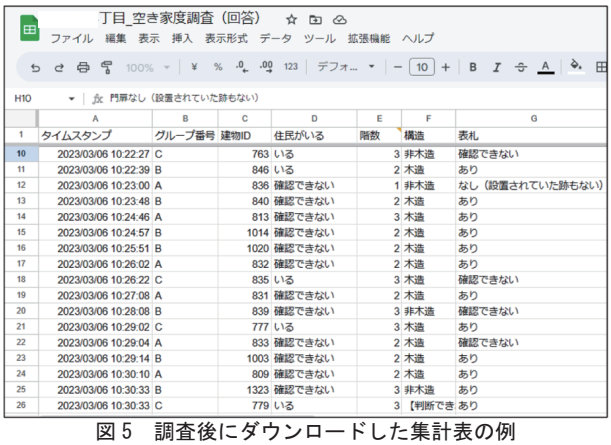


図 4　Google Form 上の入力画面の例



	A	B	C	D	E	F	G
1	タイムスタンプ	グループ番号	建物ID	住民がいる	階数	構造	表札
10	2023/03/06 10:22:27	C	763	いる	3	非木造	確認できない
11	2023/03/06 10:22:39	B	846	いる	2	木造	あり
12	2023/03/06 10:23:00	A	836	確認できない	1	非木造	なし（設置されていた跡もない）
13	2023/03/06 10:23:48	B	840	確認できない	2	木造	あり
14	2023/03/06 10:24:46	A	813	確認できない	3	木造	あり
15	2023/03/06 10:24:57	B	1014	確認できない	2	木造	あり
16	2023/03/06 10:25:51	B	1020	確認できない	2	木造	あり
17	2023/03/06 10:26:02	A	832	確認できない	2	木造	あり
18	2023/03/06 10:26:22	C	835	いる	3	木造	確認できない
19	2023/03/06 10:27:08	A	831	確認できない	2	木造	あり
20	2023/03/06 10:28:08	B	839	確認できない	3	非木造	確認できない
21	2023/03/06 10:29:02	C	777	いる	3	木造	あり
22	2023/03/06 10:29:04	A	833	確認できない	2	木造	確認できない
23	2023/03/06 10:29:14	B	1003	確認できない	2	木造	あり
24	2023/03/06 10:30:10	A	809	確認できない	2	木造	あり
25	2023/03/06 10:30:33	B	1323	確認できない	3	非木造	あり
26	2023/03/06 10:30:33	C	779	いる	3	【判断でき	あり

図 5　調査後にダウンロードした集計表の例

表 6　調査における移動経路・所要時間の検討

	建物総数	うち，公道から見える建物数	通過総延長 [km]	2回通過距離 [km]	想定の調査所要時間[h]
町丁目N	1,475	1,140	13.86	2.925	23.17
町丁目K	1,261	980	14.34	2.275	19.88
町丁目O	626	508	9.37	2.602	10.49

表 7　建物悉皆調査の結果

持ち物	大田区の腕章、Gopro、調査票入力用タブレット、地図（建物ID、ルート付き）				
対象外建物	• 過大な建物（例：十戸以上の集合住宅） • 倉庫、発電所、給水室、ゴミ集積所 • アクセス可能な道路から見えない建物				
調査方法	沖研究室の学生アシスタントが大田区の腕章を着用して調査する。一グループ二人で、一人が広角カメラで建物外観を撮影し、一人が調査票・紙地図への記入と経路案内を担当する。				
調査期間と成果	町丁目N	時間帯	調査人数	調査票数	写真数
	2/24	10:00-16:30	7人	262	977
	2/27	10:00-17:00	8人	532	1648
	3/1	10:00-14:30	6人	417	1372
	3/10	11:20-14:30	2人	16	14
			合計	1227	4011
	町丁目K	時間帯	調査人数	調査票数	写真数
	3/6	10:00-16:30	6人	497	1724
	3/9	10:00-17:00	6人	493	984
	3/10	10:00-12:00	2人	42	78
			合計	1032	2786
	町丁目O	時間帯	調査人数	調査票数	写真数
	3/14	11:00-16:40	4人	258	627
	3/16	13:00-15:40	4人	107	192
			合計	365	819

表 8　空家確率推定モデルで用いた説明変数の一覧（赤字は量的変数，黒字はダミー変数）

外観項目	生活感	車	自転車	洗濯物		
	表札	表札なし	表札が取り外された	表札あり		
	門扉	門扉なし	門扉が外された	門扉が封鎖された	門扉があり、施錠された	門扉があり、施錠されていない
	郵便受け	チラシが滞留	チラシなし	郵便受けなし	郵便受けが封鎖された	チラシが少しある
	窓	窓には損傷ない	窓には侵入可能な損傷	窓には軽微な損傷		
	カーテン	全部締め切り	一部締め切り	全部開いてる		
	シャッター	全部締め切り	一部締め切り	全部開いてる		
	庭	手入れが十分	植物が少し枯れている	植物が全部枯れている		
	雑草	なし	少しある	多い		
周辺100m半径内建物		合計建築面積	建物数	木造建築面積	木造建物数	
建物属性	構造	非木造ー準耐火	木造ー耐火	木造ー非耐火		
	用途	独立住宅	住商併用	アパート	工場	住工併用
	面積					
	階数					
標高						
交差点建物か						
前面道路幅員						
接道長さ		無接道	2m未満	2m以上4m未満	4m以上	

（Hero 7，Hero 8 および Hero 10）の広角モードを用いて建物外観写真を撮影した．

調査は，3 町丁目内の建物のうち，通行が認められていない私道沿いの建物や，建物規模が大きく空家でないことが明らかな建物以外の，全ての（住宅用途以外の建物も含む）建物を対象に実施した．ここでは，各町丁目内の道路ノード・リンクデータ（ゼンリン住宅地図 Zmap Town II から作成）をもとに，グラフ理論における問題の一つである中国人郵便配達問題（Chinese postman problem：Edmonds and Johnson, 1973）[注)] のアルゴリズムを応用し，最適な巡回経路を求めた．

予備実験をもとに，建物 1 棟ごとの平均調査時間を約 1.2 分，移動中の歩行速度を 4km/h と想定し，求めた経路上の調査建物数と巡回経路長をもとに，調査に要する合計時間を見積もった．

2.4. 調査の結果

表 7 に調査結果の概要を示す．複数のグループが分担して調査を行い，1 棟あたり平均 2.37 分の早さで，調査票 2,624 件，建物外観写真 7,616 枚を収集した．旗竿地にあり外観の把握が困難な建物も存在したが，最終的に対象地区全体の約 77%の建物情報を得ることができた．

3. 建物単位の空家確率推定手法

3.1. 概要

前章で述べた 3 町丁目における建物悉皆調査の結果を，各評価項目の重要度分析（要因分析）や他地区での空家分布推定に応用することを考える．具体的には，判別問題の一般的な手法であるロジスティック回帰分析と決定木分析を用いて，建物単位の空家確率を算出する．これらの分析手法を用いることで，2.2 節で述べた他区の空家判定フローや評価項目の点数付けに，根拠を与えることが可能となる．

3.2. 正解データの作成

上述のどちらの分析においても，「空家である」建物（以下，空家建物）と「空家でない」建物（以下，非空家建物）の正解データが必要となる．しかし，建物悉皆調査において，住民が在宅しているなどを根拠に非空家建物は比較的容易に判定できるのに対し，空家建物の判定は容易ではない．そこで，調査において空家の存在が目立った町丁目 N の町会の協力の下，町会に所属する自治会の班長（139 名）に対して，把握している空家の位置を建物単位で回答してもらうアンケート調査を実施した．その結果，63 名から回答が得られ（回収率 45.3%），重複を除き 45 件の空家が判明した．さらに，大田区のデータベースに登録された計 724 件の空家のうち，7 件が町丁目 N に含まれることから，計 52 件が空家建物といえる．これと同数の非空家建物を，建物悉皆調査で「非空家」であることが判明している建物の中から無作為に抽出し，合わせて 104 件を正解データとした．

3.3. 空家確率推定モデル

前節で作成した 104 件の正解データについて，「空家 (1) か非空家 (0) か」を目的変数，建物悉

表 9　ロジスティック回帰分析による標準偏回帰係数

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	Average
車***	−0.97	−1.14	−0.75	−1.13	−0.98	−0.97	−1.09	−1.03	−0.64	−0.97
自転車***	−1.06	−1.5	−1.1	−0.92	−1.41	−1.02	−1.15	−1.29	−0.98	−1.16
洗濯物***	−1.26	−1.36	−1.28	−1.18	−0.93	−1.52	−1.13	−1.29	−1.25	−1.24
表札なし**	0.51	0.3	0.6	0.54	0.75	0.23	−0.26	0.88	0.55	0.45
表札が外された***	0.44	0.22	0.32	0.47	0.25	0.32	0.33	0.12	0.43	0.32
表札あり **	0.16	0.11	−0.44	0.12	−0.32	−0.15	−0.25	0.08	0.06	−0.07
門扉が封鎖された*		0.11	0.06		0.1		0.09			0.09
門扉が開いてる***	−0.25	−0.56	−0.24	−0.25	−0.81	−0.17	−0.28	−0.52	−0.19	−0.36
チラシが滞留 *		0.11	0.06	0.08	0.1		0.09		0.09	0.09
郵便受けない***	0.4	0.38	0.13	0.41	0.26	0.19	0.38	0.24	0.34	0.3
郵便受けが封鎖された***	0.54	0.68	0.18	0.48	0.33	0.68	0.59	0.67	0.6	0.52
窓に侵入可能な損傷**	0.23	0.25		0.1	0.24	0.17	0.2		0.23	0.2
窓に軽微な損傷 ***	0.48	0.47	0.68	0.35	0.89	0.51	0.24	0.8	0.62	0.56
庭木に手入れが十分*	−0.07	0.45	−0.05	0.53	−0.42	0.2	−0.11	−0.17	0.42	0.09
庭木が少し枯れている**		0.22	0.16	0.34		−0.08	−0.15	−0.08	0.56	0.14
面積 **	0.15	−0.2	0.06	−0.14	0.04	0.1		−0.06	0.36	0.04
木造建物面積**	0.15	−0.09	0.16	−0.11	0.04	0.23	0.17	−0.18	0.1	0.05
【構造】準耐火**	−0.22	−0.13	0.22	−0.08		−0.14	−0.11	−0.17		−0.09
【構造】木造耐火**	−0.5		0.14	−0.21	0.48	−0.3	−0.36	0.12		−0.09
【構造】木造非耐火***	0.65	0.69	0.53	0.76	0.91	0.41	0.59	0.74	0.75	0.67
【用途】工場 **	0.39		0.43	0.51		0.34	0.33		0.48	0.42
交差点建物 *	0.2	−0.18		−0.17	−0.36	0.45	0.51	−0.31		0.02
前面道路幅員***	0.35	0.48	0.53	0.5	0.27	0.61	0.12	0.56	0.63	0.45
無接道***		−0.59	−0.5	−0.31	−0.44	−0.65	−0.61	−0.5	−0.25	−0.48
接道間口幅2m以下**	0.41	0.18	0.27	0.31		0.34	0.41	0.03	0.38	0.29
intercept	0.06	−0.37	−0.05	−0.21	−0.13	−0.09	0.03	−0.18	−0.16	−0.12

＜凡例＞ *** 0.1% 有意，** 1% 有意，* 5% 有意



図 6　ロジスティック回帰モデルによる誤判別例
（本梗概ではプライバシー情報を一部秘匿している）

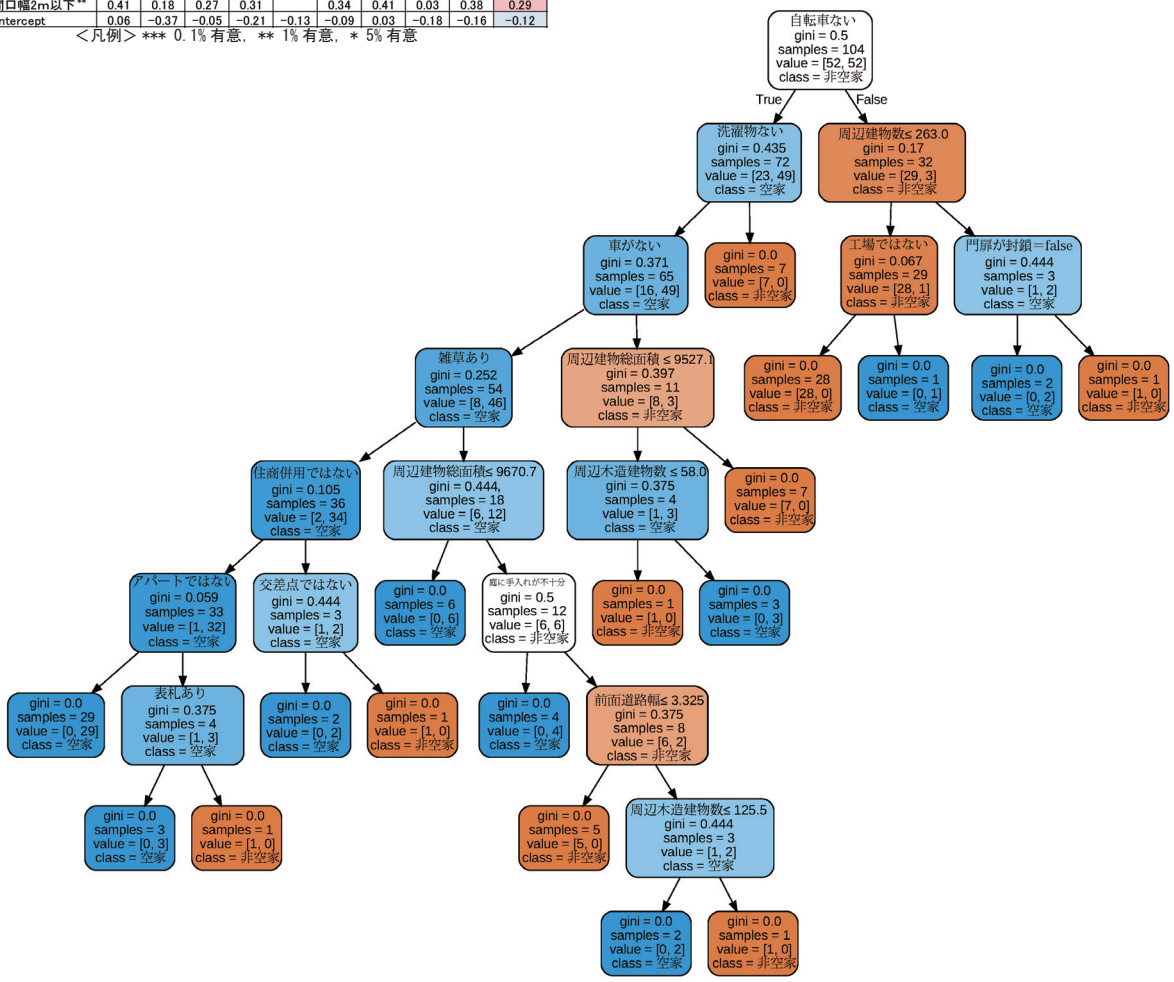


図 7　決定木モデルの推定で得られた空家判別ツリー

皆調査で得た空家関連項目の値，建物属性などを説明変数（表 8）として，ロジスティック回帰モデルおよび決定木モデルを学習させた．ロジスティック回帰モデルでは VIF>10 となる説明変数をあらかじめ除外した上で，ステップワイズ法により最適なモデルを選択し，3-fold クロスバリデーションで精度を検証した．このとき，どのように 3 分割するかが精度に影響する可能性があることから，104 件の正解データを無作為にシャッフルしたデータセットを 3 通り作成し，その各々について 3-fold クロスバリデーションを行った（すなわち，計 9 通りのモデルが得られる）．また，決定木分析では，104 件の正解データを training データ：test データ＝8：2 となるように分割し，学習と精度検証を行った．

3.4. ロジスティック回帰モデルの推定結果

得られた 9 通りのモデル各々の標準偏回帰係数と，その平均値を表 9 に示す．特に，構造（木造非耐火造），窓（軽微な損傷），郵便受け（封鎖），前面道路幅員，表札（無）などは空家確率に及ぼす影響が正に大きく，自動車や自転車，洗濯物の存在（有），無接道（接道）などは空家確率に及ぼす影響が負に大きいことが見てとれる．平均の標準偏回帰係数を用いて，104 件全てを対象に空家確率推定と空家判別を試みたところ，F 値（再現率と適合率の調和平均）は 95.2% に達した．

モデルが誤判別した 5 件の画像と，その際の空家確率を図 6 に示す．人間でも判別が難しいような例に加え，整いすぎて生活感がない非空家が空家と推定される例や，逆に保存状態の良い空家が非空家と推定される例が見られる．また，カーテンや細かい植栽の状態が考慮できていない例もある．これらの問題は，例えば建物外観写真から得られる画像特徴量をモデルの説明変数に加えることで，改善する可能性がある．

3.5. 決定木モデルの推定結果

決定木を用いた空家判別モデルの精度（accuracy）は，test データで 85.7% と良好であった．また，ツリー構造を可視化してみると（図 7），自転車や洗濯物，自動車などはロジスティック回帰モデルと対応するように，判別の早い段階で用いられていることがわかる．一方で，周辺建物の数や総面積，雑草なども判別に比較的影響を及ぼしていることや，前面道路幅員は 3.3m 程度が空家推定における閾値になり得る可能性も読み取れる．

3.6. 対象地区全体での空家推定結果

3.4 節で学習させたロジスティック回帰モデルを用いて，3 町丁目において悉皆調査対象の全建物について空家確率を推定した．図 8 に，建物単位で推定した空家確率を街区単位で平均した結果（町丁目 N の例）を示す．

町丁目 N における建物単位の空家確率の累積頻度分布を見ると（図 9），空家確率が 50% 以上の建物は全体の約 4 割を占めている．したがって現状のモデルでは，50% を閾値に空家推定を行うと，住宅・土地統計調査で公表されている市区町村単位の空家率（住戸ベース：大田区は 2018 年時点で 11.3%）と比較して，過大推計となる可能性が高い．より詳細に見ると，空家確率が 6 割前後の「どちらかというと空家の特徴に近い」建物が一定数を占めていることが読み取れる．図 6 に挙げたように，空家確率が 0（非空家）に近い場合や 1（空家）に近い場合でも，誤判別事例は見られるものの，建物外観画像から得られるより豊富な情報を用いるなどして，上述のような中程度の空家確率の建物に対する判別性能を高めていくことが今後の課題と考えられる．

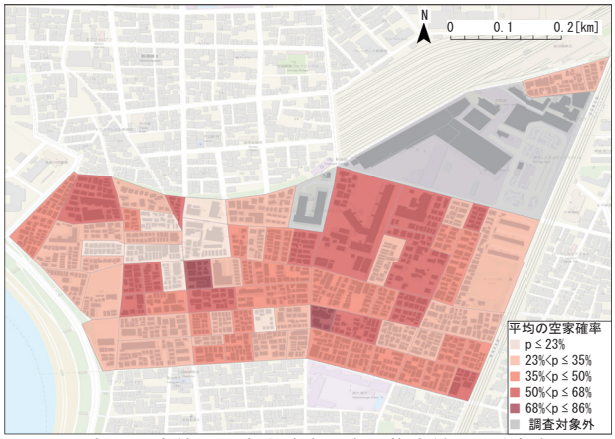


図 8　対象地区全体での空家確率分布の推定結果（本梗概では建物単位の確率を街区単位で平均化して示している）

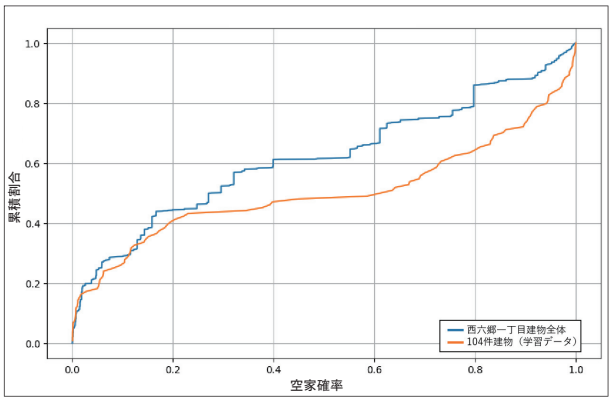


図 9　町丁目 N における空家確率（建物単位）の累積頻度分布

4. まとめ

大田区空家データベースに登録された 724 件の情報をもとに，3 つの対象地区を設定し，空家関連項目や建物外観に関する建物悉皆調査を行った．そして，調査で得られた情報と建物属性情報などを説明変数，住民アンケートと大田区空家

データベースで得た空家情報を目的変数として，2 種類の空家確率推定モデルを構築した．さらに，得られたモデルを対象地区全体の空家確率推定に適用し，今後の課題を明らかにした．

謝辞

本研究は「大田区空家対策事業推進に関する調査研究」の一環として実施した．また，本研究の一部は，JSPS 科研費（22K04490）の助成により行ったものである．最後に，建物悉皆調査に協力いただいた学生各位と，空家調査アンケートに協力いただいた住民の皆様，および，研究の円滑な遂行にあたり尽力いただいた大田区建築調整課の関係各位に，この場を借りて謝意を表する．

注

中国人郵便配達問題（Chinese postman problem）は，G を連結な無向グラフとし，G の各辺には距離が割り当てられているとき，G の辺をすべて通るような閉路のうち，距離の合計が最小になるものを求める問題と定義される．奇数頂点を持つ辺を複製してグラフ全体をオイラー回路とした上で，Fluery アルゴリズムを用いてオイラー回路の解を求める．

参考文献

秋山祐樹・馬塲弘樹・大野佳哉・髙岡英生（2021）機械学習による空き家分布把握手法の更なる高度化　自治体の公共データを活用した空き家の分布把握手法に関する研究（その 3），日本建築学会計画系論文集，86(786)，2136-2146.

秋山祐樹・飯塚浩太郎・小川芳樹・今福信幸・谷内田修・杉田暁（2022）ドローンで収集した熱赤外画像および可視画像から人工知能（AI）により迅速に空き家分布推定を行う手法の検討，地理情報システム学会講演論文集，31.

武田洸明・秋山祐樹（2022）建物外観画像と機械学習を用いた建物単位の空き家判定手法の開発，地理情報システム学会講演論文集，31.

馬塲弘樹・秋山祐樹・清水千弘（2022）スマートメータを利用した空き家期間と地域特性との関係分析，GIS- 理論と応用，30(1)，39-50.

北島紗恵・六本木延浩・冨岡秀虎・森本章倫（2019）画像データを用いた深層学習による空き家の発生予測に関する研究，都市計画論文集，54(3).

尭裕佳・沖拓弥・斎尾直子・深川正浩・丹波奨真（2022）東京都大田区における空家の特徴に関する基礎的分析，地理情報システム学会講演論文集，31.

尭裕佳・沖拓弥・斎尾直子・深川正浩（2023）機械学習を活用した広域かつミクロな空家分布推定手法の構築　その 1：東京都大田区の一部地域を対象とした学習データ作成のための建物悉皆調査，日本建築学会大会学術講演梗概集（都市計画），579-580.

東京都（2023）地震に関する地域危険度測定調査報告書（第 9 回），https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/chousa_6/home.htm（2023.08.31 参照）.

Edmonds, J. and Johnson, E.L. (1973). Matching, Euler tours and the Chinese postman. Mathematical Programming, 5(1), pp.88–124. doi: https://doi.org/10.1007/bf01580113.

居住地別滞在人口の構成に基づく地域メッシュの類型化
－ 金沢市周辺を対象に －

飯田吟太*・中西航**

Classification of High-resolution Staying Population Grid Based on the Composition of Their Residential Area
- Application to Kanazawa region, Japan -

Ginta Iida*, Wataru Nakanishi**

Abstract: With regard to revitalizing city center, the interaction among diverse people is regarded to be important. This interaction is also expected to increase liveliness of city. In fact, many cities in Japan have carried out measures and events to create such interaction. However, their effect to the city is not quantitatively understood. The only way of evaluation so far is counting pedestrian traffic volume, which means the lack of the diversity viewpoint. This study aims to analyze the amount of the staying population in city center with high spatial resolution, such as 500m grid. In addition, we analyze the composition of the staying population's residential area by statistical clustering. The application to Kanazawa region, Japan showed that the staying population in city center and suburban area with a shopping mall are almost the same. The clustering result showed that the composition of residence tends to be more various in commercial areas than that in residential areas.

Keywords: メッシュ人口（population grid），滞在人口（staying population），居住地割合（residence-based composition），k-means 法（k-means clustering）

１．はじめに

1.1．研究背景

近年，多様な人々による交流により，都市の賑わいを創出することの重要性が指摘されている．特に，急速な人口減少や高齢化が進んでいる地方都市では，中心市街地の空洞化や都市の活力の低下が問題になっている（国土交通省 [1)]）．

これらの課題に対処するため，各自治体において都市の賑わい創出を目標にさまざまな施策が実施されてきた．例として，石川県金沢市では金沢市中心市街地活性化計画を策定した（金沢市，2012）．この中で，中心市街地の活性化の基本的な方針の一つとして，多様な人々が集う交流活動の推進が掲げられた．そして，商業集積やオフィス街形成の促進や，地域住民間の交流を促進する施設の整備を行った．また，青森県八戸市では，八戸中心市街地まちなか巡りと会所場づくりによる活性化プロジェクトを実施した．その一環として，様々な人々が立ち寄り交流が生まれる賑わいの核となる場として，中心市街地の低未利用地や空き店舗を活用し，“会所場”の整備を行った（八戸市，2008）．このように，今後も多様な人々による交流を促進する空間整備等の政策実施がなされることが予想される．

1.2．研究目的

以上の背景を踏まえ，本研究では，都市全域における各所の人々の多様さを統一的に把握するために，居住地別構成に着目した滞在人口を空間的に高解像度に分析することを目的とする．具体的には以下の観点に基づき分析を行う．

- 滞在人口総数や居住地別滞在人口の多寡やその空間分布の基礎的な傾向を明らかにする．
- 居住地別滞在人口の構成を，滞在地と居住地間の距離を尺度として把握する．これにクラスタリングを適用し，人口構成のパターンを把握したうえで，それらの空間分布を明らかにする．

1.3．既往研究と本研究の位置付け

都市における多様な人々の交流やそれによる賑わいについての既往研究を，本研究と特に強く関係す

*　学生会員　金沢大学自然科学研究科 (Kanazawa University)　ginty00@stu.kanazawa-u.ac.jp
**　正会員　金沢大学理工研究域 (Kanazawa University)　nakanishi@se.kanazawa-u.ac.jp

るものに絞って整理する．

まず，人々の交流に関する研究について概観する．室田（2019）は，中心市街地の公共空間の一つである広場を対象に，利用者の性年代や交流行動を集計したデータを作成した．データ作成にはビデオ観察調査を用いた．同データを用いて，広場の利用者の年齢層や広場内の場所毎の交流内容を分析した．この結果から，各交流行動の頻度や誘発度を明らかにした．このように人々の交流行動に関する研究は，広場のような局所的な一つの空間を対象とした研究がほとんどである．都市域の様々な場所を対象とした研究は著者の知る限り存在しない．この理由の一つは，交流行動を詳細に把握する調査の困難さであると推察される．すなわち，ビデオ観察調査等を都市全体で行うことが難しいためであると考えられる．

次に，都市の賑わいの評価に関する研究について概観する．これまでに中心市街地や商店街を対象とした研究が多く行われている．平尾ほか（2016）は兵庫県神戸市の中心市街地を対象とし，歩行者密度を賑わいとして捉え，その空間分布から賑わい施策の検討を行った．歩行者密度の算出にあたっては，歩行者通行量をビデオ撮影により記録した．

また，都市全体を対象とした数少ない研究が，稲本ほか（2022）である．そこでも，都市全体を対象とした賑わい評価に関する研究が少ないことが指摘されている．その上で，携帯電話基地局データを用いて市街化区域全域の賑わいの評価を行うことを提案している．同研究では，各時間帯の滞留人口から午前 4 時台の滞留人口を居住人口と位置付け，これを引いたものを交流人口と定義し，賑わいを示す指標として用いた．

以上のように，人々の交流や賑わいに関する研究は中心市街地や商店街を対象としたものが多い．また，その滞在者（歩行者）の量や交流内容を把握する手法として，ビデオカメラによる調査が多用される．しかしながら，これを都市域全体で分析に用いることは難しい．他方で，都市域各所の滞在人口量による賑わい評価のような研究例は少なく，都市全域を同一基準で多面的に捉えられる知見が十分に蓄積されているとはいえない．そのため，滞在人口量による分析手法の深化や，居住地のような属性を加味した分析手法の開発は重要であろう．したがって，本研究の特徴は主に以下の 3 点といえる．

- 滞在者の人数や空間分布を高解像度かつ都市域全体にわたって把握する点
- 多様な人々による交流可能性評価を念頭に，居住地別滞在人口の混在状況を把握・評価する点
- 上記 2 点のための分析手法の開発を試みる点

2. データ

2.1. 分析対象地域

本研究の対象範囲を図 1 に示す．具体的には，石川中央都市圏に属する，金沢市，白山市，かほく市，野々市市，津幡町，内灘町の 4 市 2 町の都市計画区域である．

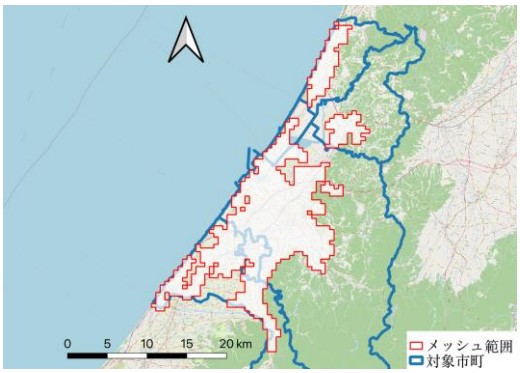


図 1　対象地域

2.2. 居住地情報つき滞在人口データ

分析では，NTT ドコモが提供するモバイル空間統計を使用する．これは，“ドコモの携帯電話ネットワークのしくみを使用して作成される人口の統計情報”（NTT ドコモ [2)]）である．任意範囲の時空間の滞在人口が記録されており，各携帯電話端末の契約情報と紐付けることで性年代や居住地の属性情報も付与されている．本研究の目的は，滞在人口を空間的に高解像度に把握し，その総数と居住地属性に着目した分析を行うことである．そのための適当なデータとして，モバイル空間統計を用いることとした．

本研究で用いるモバイル空間統計の各種諸元を表 1 に示す．なお，都市域における平均的な日の人々の滞在状況を把握するため，平日の午後 1 時台に記

録された 88 日分の滞在人口の総和を使用する．以降では，ここから算出される 1 日あたりの平均人数用いる．また，居住地属性とは，各メッシュにおける滞在人口を居住地別に集計する単位のことである．「なし」は単純な滞在総人口を，「都道府県」は居住地を都道府県ごとに集計した滞在人口を，「500m」は居住地を 500m メッシュ単位で集計した滞在人口をそれぞれ示す．

表 1　モバイル空間統計の各種諸元

対象地域	石川中央都市圏の各市町
メッシュ数	980 メッシュ
取得期間	2022 年 5 月 16 日-2022 年 12 月 10 日（平日：88 日）
推計対象	15-79 歳の男女
時間解像度	午後 1 時台に推計された滞在人口の総和
空間解像度	500m メッシュ
居住地属性	なし，都道府県，500m メッシュの 3 種類

2.3．距離帯別滞在人口データ

本研究では，居住地別滞在人口の構成状況の把握を行うために，居住地の属性として居住地と滞在地間の距離に着目した分析を行う．そこで，上述の滞在人口データから滞在地からの居住地の距離帯に応じてデータを集計する．

まず，各メッシュの滞在人口のうち，石川県内に居住地を有する滞在人口に対しては，居住地と滞在地間の直線距離を付与する．より具体的には，滞在地メッシュと居住地メッシュの中心点間のユークリッド距離である．この距離に応じて，表 2 に示す居住地から長距離の距離帯別に滞在人口を集計する．ここで，居住地属性を 500m メッシュとした場合，モバイル空間統計の仕様により，個人情報保護のための秘匿処理が発生する．秘匿された人数の総和は，居住地属性を都道府県とした場合の値と比較することで想定し，これを県内秘匿という一つの距離帯に集約する．なお，これはあくまでも秘匿されている人口の総量の参考値の計算であり，本来的に秘匿されるべき居住地分布を探るものではない．また，石川県外に居住地を有する滞在人口に対しては，県外という一つの距離帯に集計する．

以上の方法により，各滞在メッシュについて，7 つの距離帯によって構成される滞在人口のデータが作成される．これを，以降では距離帯別滞在人口と称する．また，分析にあたっては，距離帯別の値そのものだけでなく構成比率にも着目したい．そこで，滞在人口の実数を集計したもの（以下，実数データセット）と，滞在人口の総数に対する各距離帯の滞在人口の割合を算出したもの（以下，割合データセット）の 2 種類を作成する．

表 2　各距離帯の居住地・滞在地間距離

距離帯名	居住地・滞在地間距離
居住地	0km
徒歩圏	1km 未満（居住地を除く）
近距離	1km 以上，5km 未満
中距離	5km 以上，10km 未満
長距離	10km 以上
県内秘匿	—
県外	—

3. 基礎分析

3.1．滞在人口総数

対象地域の各メッシュにおける滞在人口の総数を概観する（表 3）．滞在人口の平均値は 548.0 人で，中央値は 336.3 人，分散は 360088.1，標準偏差は 600.4 であった．次に，度数分布を表 4 に示す．約 6 割のメッシュでは滞在人口が 500 人未満であった．一方，2000 人以上の比較的多数の滞在人口を有するメッシュは 25 メッシュであった．

表 3　滞在人口の記述統計

平均値	中央値	分散	標準偏差
548.04	366.26	360088.1	600.4

表 4 滞在人口の度数分布表

階級[人]	メッシュ数	階級[人]	メッシュ数
0-500	588	3000-3500	4
500-1000	245	3500-4000	3
1000-1500	104	4000-4500	2
1500-2000	18	4500-5000	0
2000-2500	10	5000-	2
2500-3000	4		

最後に空間分布を確認する（図 2）．金沢市の中心部である金沢駅や香林坊等が位置するメッシュで滞在人口が約 3500−6500 人と多くなっている．これらのメッシュから地理的に離れるに従い，滞在人口が逓減していることが確認できる．一方で，郊外部でも大型商業施設が立地するメッシュでは滞在人口が周辺と比較して多くなっている．特に，イオンモール白山が立地するメッシュでは滞在人口が約 3200 人と多くなっていた．これは，金沢市中心部の近江町が含まれるメッシュと同等程度である．さらに，金沢大学や金沢工業大学，金沢医科大学のような比較的規模の大きな大学が立地するメッシュも，周辺と比べて滞在人口が多いことが確認された．

金沢市の中心部のような商業施設や業務施設が集積するような場所であれば，滞在人口が多くなると考えられる．また，大規模商業施設や大学のような集客力がある施設が存在することで，周辺地域と比べて際立って多くの滞在人口が存在しうる．そのようなメッシュの滞在者のほとんどが，これらの施設への滞在を目的に訪れていると考えられる．

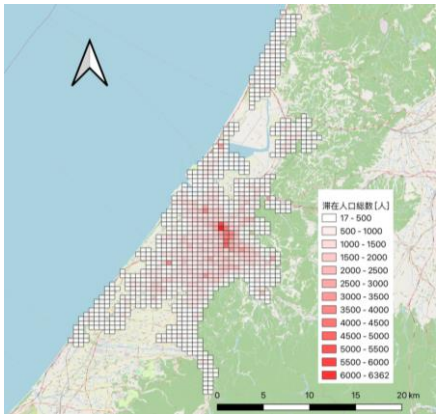


図 2　滞在人口の空間分布

3.2. 距離帯別の滞在人口

続いて，距離帯別の滞在人口を確認する．表 5 に全メッシュの平均と，滞在人口総数の上位・下位 50 メッシュの平均値をそれぞれ示す．これは，滞在人口総数の多寡により傾向が異なると想定したためである．

全メッシュの平均では，居住地に属する滞在人口が最も多く，次いで県内秘匿が多い．上位 50 メッシュでは，近距離帯に属する滞在人口が最も多く，次いで居住地が多い．下位 50 メッシュでは，県内秘匿に属する滞在人口が最も多く，次いで県外が多い．全体的な傾向として，居住地や徒歩圏，近距離などの距離帯に属する滞在者が比較的多いという自然な結果が得られた．一方で，滞在人口総数が上位のメッシュでは，これらに加え中距離以降の比較的離れた距離帯に属する滞在者が多くなることがわかった．

また，全体を通じて県内秘匿に属する滞在人口が比較的大きいことがわかった．そのため，クラスタリング実行時には，この点に留意する必要がある．

表 5　距離帯別滞在人口の平均値

	全メッシュ	上位 50 メッシュ	下位 50 メッシュ
居住地	182.8	506.9	0.715
徒歩圏	64.15	244.8	0.5298
近距離	99.86	696.8	0.8457
中距離	29.45	279.9	0.007273
長距離	7.50	89.51	0.002955
県内秘匿	144.4	376.1	22.82
県外	19.89	197.2	3.401

4. 距離帯別滞在人口によるメッシュ類型化

4.1. 類型化のねらい

本研究で実施するメッシュの類型化は，メッシュの距離帯別滞在人口の構成状況やメッシュ間の類似性を定量的に把握するために行う．距離帯別滞在人口は，7 つの距離帯により構成されており，それらの構成パターンは各メッシュの滞在人口の総数や立地場所により異なると想定される．ここで，対象となるメッシュ数は 980 と膨大である．そのため，個々のメッシュの構成状況を把握し，手動にて類型化を行う事は困難である．そのため，統計的クラスタリング手法を用いた類型化を行う方法を採用する．これにより，距離帯別滞在人口の構成状況の種類や，同一パターンを有するメッシュの空間分布などの把握が可能となることが期待される．

4.2. クラスタリング手法

データセットに対し，定義された類似度に基づき

分類することをクラスタリングという．クラスタリング手法を大別すると，非階層と階層の 2 種類が存在する．本研究で使用するデータセットはサンプル数が多い．そこで計算を容易にするため，非階層クラスタリングの代表的な手法である k-means 法を用いることとする．

k-means 法は任意のk個のクラスタ数を設定し, (1)式の評価関数ϕを最小化するクラスタ中心c_iを算出することにより，サンプルを分割するクラスタリング手法である（小野田ほか，2011）．

$$\phi = \sum_{x_j \in X} \min_{i \in k} \|x_j - c_i\|^2 \quad (1)$$

本研究においては，$j \in J$がメッシュ番号に相当し，具体的には標準 500m メッシュ番号で表されるJ={543653574,543653583,⋯,553615472}である．また$i \in I$はクラスタ番号を意味し，$I = \{0,1,\cdots,k\}$である．さらに，Xは距離帯別滞在人口の集合であり，x_jは各メッシュの距離帯別滞在人口を意味する．上記の最小化問題は次に示す計算手順により解を得ることができる．

1. k個のクラスタ数の中心c_iの初期値をランダムに設定する．
2. 各データx_jを，それと最も近い中心点c_iを有するクラスタiに割り当てる．
3. (2)式により，各クラスタ中心c_iを更新する．

$$c_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in X} x_i \quad (2)$$

ここにC_iは各クラスタiに含まれるデータの集合で，$|C_i|$は各クラスタに属するデータの個数を表す．

4. クラスタを構成するデータに変化がなくなるまで，2.と 3.の手順を繰り返し実行する．

4.3. 秘匿人口の取り扱い

3.2. で示した結果を踏まえると，クラスタリングを行う際には県内秘匿人口の影響に留意する必要がある．当然ながら，秘匿されていない真の距離帯別滞在人口の値を知ることはできない．そこで，まずは分析に県内秘匿を含むか除外するかの 2 通りでクラスタリングを試行し，結果を比較検討する．

k-means 法によるクラスタリングでは，各メッシュの各距離帯の滞在人口とクラスタ中心の滞在人口の差の絶対値の和が最小となるようにクラスタが形成される．そのため，得られたクラスタに所属するメッシュ間の各距離帯の滞在人口のばらつきが小さい場合，類似するメッシュを特定することができたと解釈することが可能である．ここで，実数データセットを使用し，クラスタ数を 8 に設定した時の各距離帯の標準偏差を比較する（図 3）．なお，比較のため, クラスタは標準偏差が小さい順に並べてある．この結果から，県内秘匿人口の有無による大きな差はみられなかった．しかし，図 4 に示すように，県内秘匿人口を含んだ状態でクラスタリングを 9 回試行したところ，各クラスタ中心点c_iの初期値により各クラスタに属するメッシュ数が大きく異なる場合があった．一方で，県内秘匿を除外した場合，クラスタリング結果が比較的安定していた．また，県内秘匿を除外することはただちに結果の解釈が容易になることを意味するため，以降の分析では県内秘匿を除外した場合について詳細に分析することとする．

4.4. 実数データセットの結果

まず，実数データセットに対して実施したクラスタリング結果を示す．クラスタ数の決定に際し，クラスタ数を 4 から 10 まで設定してクラスタリングを実行した．その結果，クラスタ数を 9 以上に設定した際に, 居住地に属する滞在人口が異なるだけで, 他の距離帯に属する滞在人口に大きな違いが見られないクラスタが複数形成された．そのため，今回はクラスタ数 8 の結果を考察する．

各クラスタの平均値と所属メッシュ数を図 5 に示す. 横軸はクラスタ番号を表し, 縦軸は各クラスタ, 各距離帯の滞在人口の平均を表す．また，図中の各クラスタ上部の四角内の数字は，各クラスタに所属するメッシュ数を表す．クラスタ 0 は居住地に属する滞在者は 373.7 人であるが，徒歩圏や近距離帯に属する滞在は 99.0 人と比較的少ない．クラスタ 1 に所属するメッシュは 210 と全体で 2 番目に多くのメッシュが属する．滞在人口の半数に当たる 163.5 人が居住地に属する滞在者によって占められている．

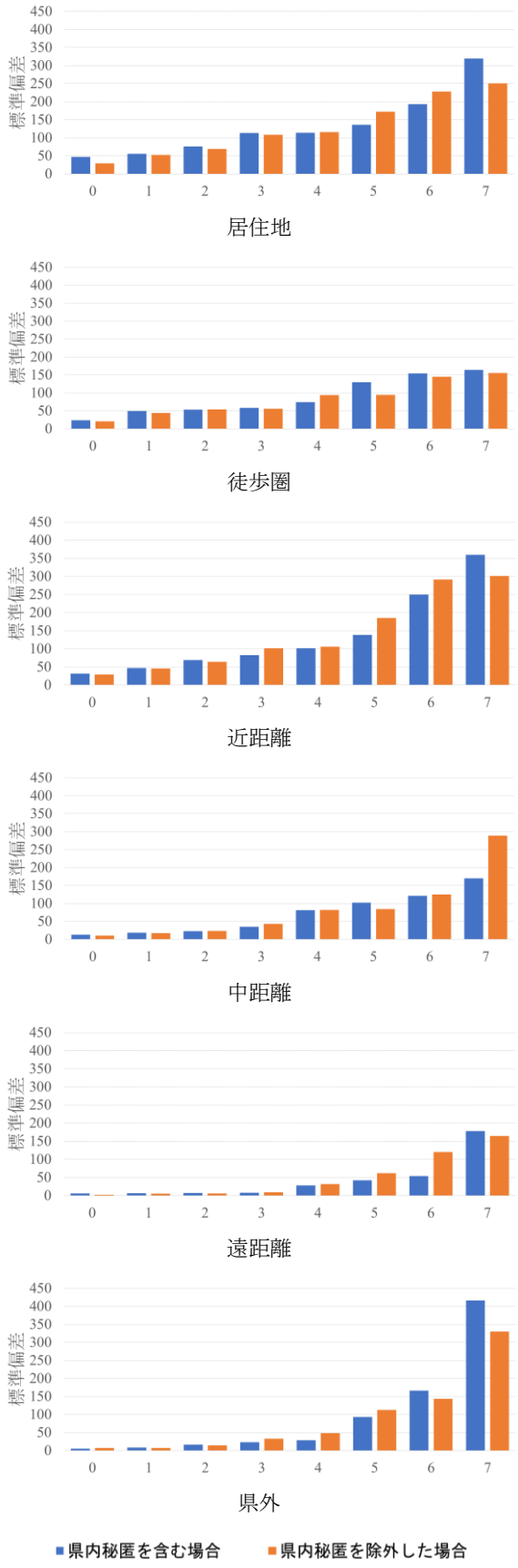


図 3　各変数の標準偏差

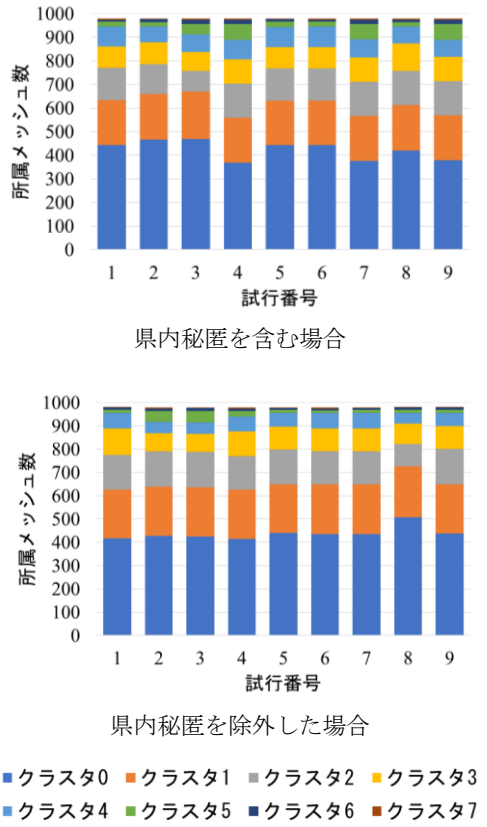


図 4　試行ごとの各クラスタ所属メッシュ数

クラスタ 2 は居住地と徒歩圏に属する滞在人口がそれぞれ，304.7 人と 228.2 人であるのに対し，近距離帯や中距離帯からの滞在者が比較的多く，それぞれ，1403.8 人と 566.9 人となっている．クラスタ 3 は居住地に属する滞在者が 601.3 人となり，クラスタ 4 と同程度である．一方，近距離帯や中距離帯からの滞在者がそれぞれ，268.6 人と 724.4 人と多くなっている．クラスタ 4 は居住地に属する滞在者が 595.5 人と比較的多く，またそれが滞在人口総数に占める割合も高い．クラスタ 5 は他のクラスタと比較し，滞在人口の総数が 61.4 人と極端に少ない．その一方で，所属するメッシュは全体の半数程度の 437 メッシュとなっている．クラスタ 6 は滞在人口の総数は 806.1 人と比較的多い．また，近距離帯に属する滞在者が 315.3 人と全体の 4 割ほどを占めている．クラスタ 7 はどの距離帯からも多くの滞在者を獲得している．特に，近距離や中距離，そして県外に属する滞在者は 1000 人を超えている．しかし，所属するメッシュは 2 つと極端に少ない．

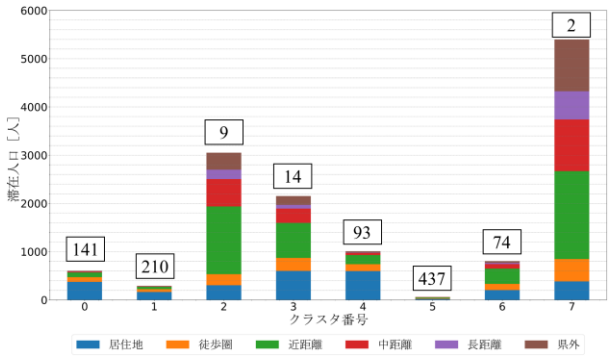


図 5　実数データセット結果:
各クラスタの距離帯別平均人数

次に空間分布を確認する．各クラスタの空間分布を図 6 に示す．金沢市の中心部では，クラスタ 2 や 3 のように，近距離帯や中距離帯に属する滞在者が多いメッシュが確認される．また，郊外部では金沢大学や金沢工業大学，金沢医科大学などの規模の大きな大学が立地するメッシュや，イオンモール白山が立地するメッシュなどがこれらのクラスタに属していた．一方，かほく市や津幡町，白山市などではクラスタ 1 や 5 に属するメッシュが多く確認された．また，これらに囲まれるようにクラスタ 0 に属するメッシュが確認された．このクラスタ 0 に属するメッシュは比較的滞在人口が多い，野々市市や金沢市の郊外においても確認された．

4.5. 割合データセットの結果

次に，割合データセットに対して実施したクラスタリング結果を示す．クラスタ数の決定に際し，前節同様にクラスタ数を 4 から 10 まで設定してクラスタリングを実行した．その結果，クラスタ数を 9 以上に設定した際に，居住地と徒歩圏に属する滞在人口の比率が異なるだけで，他の距離帯に属する滞在人口に大きな違いが見られないクラスタが複数形成された．そのため，今回はクラスタ数 8 の結果を考察する．

各クラスタの平均値と所属メッシュ数を図 7 に示す. 横軸はクラスタ番号を表し, 縦軸は各クラスタ，各距離帯の滞在人口の割合の平均を表す．また，図中の各クラスタ上部の四角内の数字は，各クラスタに所属するメッシュ数を表すクラスタ 0 は居住地や

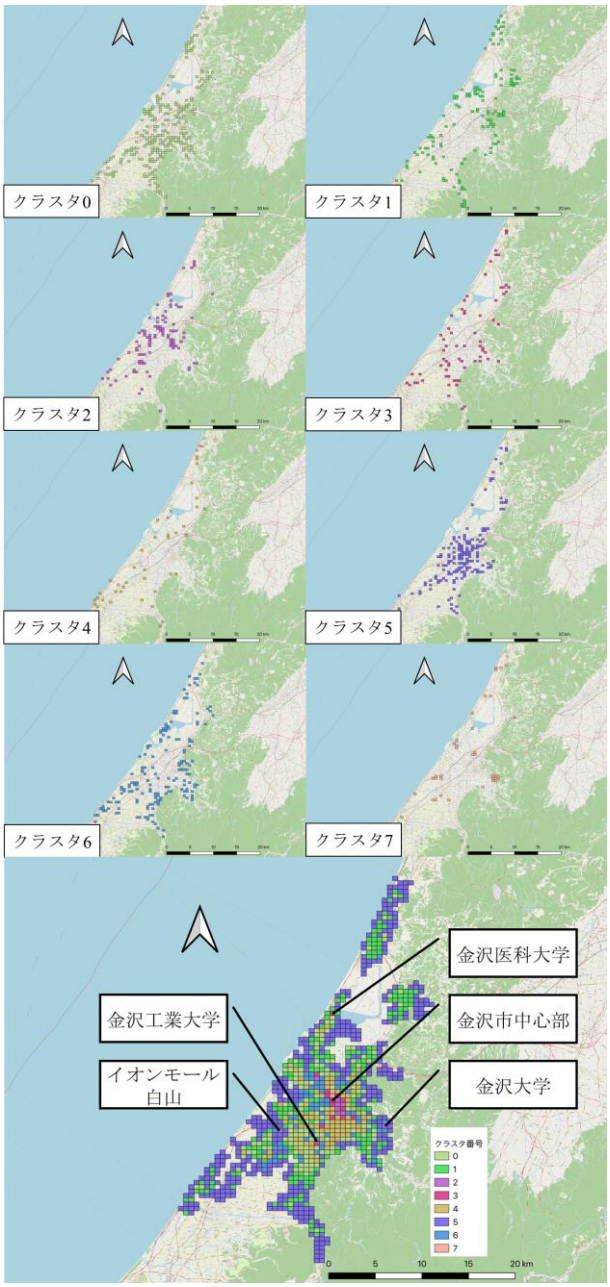


図 6　実数データセット結果：クラスタの空間分布

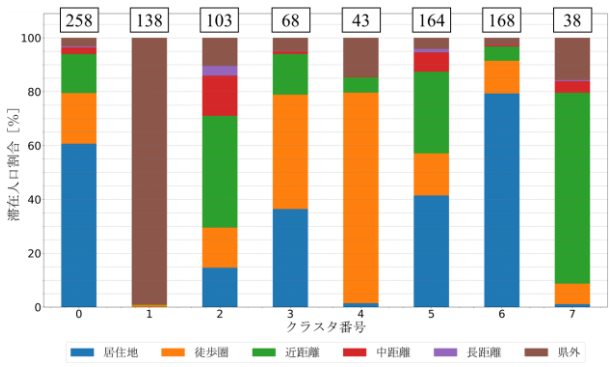


図 7　割合データセット結果:
各クラスタの距離帯別平均割合

徒歩圏に属する滞在者が全体の 60.7%占めている．クラスタ 1 は 98.9%が他県からの滞在者で構成されている．しかし，このクラスタに所属するメッシュを確認すると，県内秘匿に属する滞在者が全体の 8 割以上を占めているものであった．すなわち，県内秘匿を除いて実行したクラスタリング結果の平均に示されたような，県外からの滞在者が大半を占めるようなメッシュではなかった．クラスタ 2 は居住者や徒歩圏に属する滞在者が 14.6%と少ない一方，近距離帯に属する滞在者が 41.5%と比較的多い．クラスタ 3 は居住地や徒歩圏に属する滞在者が全体の 78.9%を占めている．クラスタ 4 は居住地に属する滞在者が 1.5%とほとんど確認されない一方，徒歩圏に属する滞在者が 78.2%と大半を占めている．クラスタ 5 は居住地に属する滞在者が 41.5%を占めている．また，近距離帯に属する滞在者が 30.3%と比較的多い．クラスタ 6 は居住地に属する滞在者の割合が 79.3%と高い．また，徒歩圏まで含めると 9 割を超える．クラスタ 7 は居住地や徒歩圏に属する滞在者がそれぞれ 1.1%と 7.6%と少ない一方，近距離帯に属する滞在者が 70.9%と多くなっている．

次に空間分布を確認する．各クラスタの空間分布を図 8 に示す．金沢市中心部にはクラスタ 2 に属するメッシュが確認される．また，このクラスタに属するメッシュはイオンモール白山やイオンモールかほくなどの郊外型の商業施設や，石川県立中央病院や金沢大学附属病院，公立松任中央病院などの規模の大きな病院が立地するメッシュで確認された．近距離帯に属する滞在人口が比較的多かったクラスタ 5 に属するメッシュは，国道沿いや，金沢市の外縁部に位置することが確認された．またこれらのメッシュの周囲には，居住地に属する滞在者が比較的多かったクラスタ 0 に分類されたメッシュが位置することが多かった．近距離帯に属する滞在者が多かったクラスタ 4 に属するメッシュは郊外の住宅地が存在する場所に位置することが多かった．近距離帯に属する滞在者が多かったクラスタ 7 に属するメッシュは，金沢大学が存在する場所や，アピタ松任店やイオン松任店等の郊外型の商業施設が立地する場所で確認された．

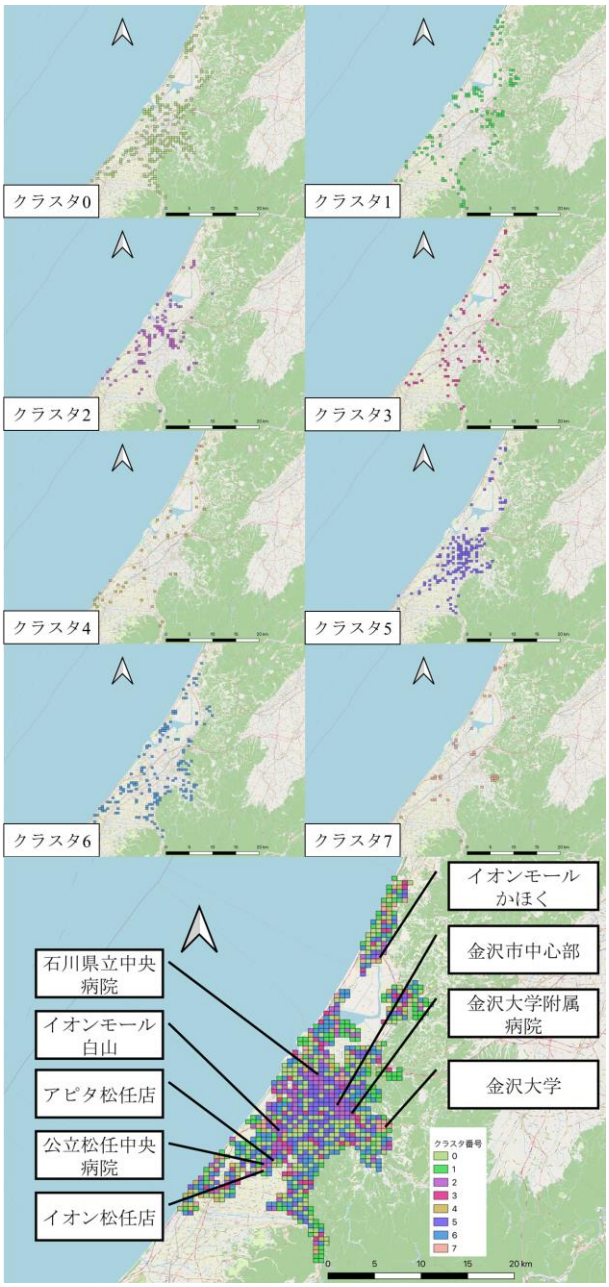


図 8　割合データセット結果：クラスタの空間分布

4.6. 考察

今回実行した実数データセットおよび割合データセットのクラスタリング結果を踏まえた考察を行う．金沢市の中心部は滞在人口が多いメッシュがいくつか確認された．また，クラスタリング結果からは近距離帯や中距離帯に属する滞在者が多いことがわかった．以上のことから，商業施設や業務施設（オフィスや工場等）の集積は外部から多様かつ多数の滞在者を集めることに繋がると考えられる．一方，郊外部であっても大規模な商業施設が立地することで，

中心部と同等の滞在人口の量や構成となり得ると考えられる．さらに，学生数が 1000 人規模の大学の存在も人口構成に大きな影響を与え，金沢市中心部と類似した構成を作り出すことができると考えらえる．この様な集客力の強い施設の立地が滞在者の構成に大きな影響を与えると考えられる．

また，滞在人口の総数がほとんど変わらないメッシュ同士が隣接していても，主となる滞在者の距離帯は居住地と近距離帯とで異なる場合が確認された．これは，そのメッシュ内に立地する施設の影響によるところが大きいと考えられる．商業施設や業務施設といった一次用途となり得る施設の立地の有無や数などが，滞在者の居住地構成に影響を与え得ると考えられる．

5. おわりに

本研究では，都市域内の滞在人口の空間分布やその居住地別の構成状況を高解像度に分析した．また，滞在人口を居住地-滞在地間の距離帯ごとに集約した上で，k-means 法によるクラスタリングを実行した．その結果，次のような成果を得ることができた．

- 金沢市中心部には相対的に多くの滞在人口が存在していた．居住地別滞在人口の観点からは，近接する地域から遠方まで様々な距離帯からの滞在者を獲得していた．これは，商業施設や業務施設の集積が外部からの多様な滞在者の獲得に寄与するからであると考えられる．
- 金沢市中心部と類似する居住地別滞在人口の構成となるのは，学生数が 1000 人規模の大学や，郊外型の商業施設が立地するようなメッシュであった．このような集客力が強い施設の立地が滞在者の構成に大きな影響を与えると考えられる．
- 滞在人口の総数に大差がないメッシュ同士であっても，居住地別滞在人口の観点ではその構成が異なる場合が一般的に存在した．その要因は，立地施設の種類や数であると推察される．

今後の課題は以下である．まず，居住地別滞在人口の扱い方である．今回は居住地と滞在地のメッシュ中心点間のユークリッド距離を用いて，居住地別滞在人口をいくつかの距離帯ごとに集約した上でクラスタリングを行った．このとき，滞在人口に着目するメッシュごとに，陸地，平地や都市計画区域の形状の影響により各距離帯に所属する居住地メッシュの数が異なりうる．そのため，距離帯別の滞在人数や割合の値が同一でも，結果的にその意味合いに差異が生じてしまう可能性がある．今後，距離を尺度に用いた分析手法の検討を深化させるためには，このような課題を解決する必要がある．また，居住地メッシュと滞在地メッシュとの関係を距離という尺度で集約して表現せずに，滞在者の居住地メッシュの数や，そこからの滞在人口が占める割合等を直接的に利用する手法の検討も重要であろう．

さらに，秘匿人口の扱い方にも検討の余地がある．秘匿人口が一定程度の人数や割合を占めるメッシュでは，滞在者が少数ではあるが多様な居住地構成となっている可能性も考えられる．このような場合の評価を行える手法も検討する必要がある．さらに，より多様な滞在者の属性情報の利用可能性も検討したい．本研究では居住地にのみ着目した．これ以外にも性年代や職種といった様々な属性を用いて各メッシュの分析を行うことが重要であると考えられる．そのほかにも，異なるクラスタリング手法を検討し，滞在者の構成状況の把握に適した手法の開発を行うことも提案手法の高度化に寄与するであろう．今後，このような観点に基づいて分析手法を改良していくことが望まれる．

謝辞

本研究の一部は，科学研究費(挑戦的研究(萌芽): 23K17551，基盤研究 B: 23H01521)の助成により行われた．

注

1) 国土交通省．安全で魅力的なまちづくりを進めるための都市再生特別措置法等の改正について概要．<https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/content/001368573.pdf>．（2023 年 1 月 17 日アクセス）
2) NTT ドコモ．モバイル空間統計とは．<https://

mobaku.jp/about/>.（2023 年 2 月 3 日アクセス）

参考文献

稲本隆治・横式玲央・浅野周平・渋川剛史・松本隼宜（2022）携帯電話基地局データを用いた鉄道駅周辺における賑わいの評価に関する研究　-福井市をケーススタディとして-.「都市計画論文集」，**57**（3），1125-1131.

小野田崇・坂井美帆・山田誠二（2011）k-means 法の様々な初期値設定によるクラスタリング結果の実験的比較.「人工知能学会全国大会論文集」，**25**，1-4.

金沢市（2012）金沢市中心市街地活性化基本計画（平成 24 年 4 月−平成 29 年 3 月）<https://www4.city.kanazawa.lg.jp/material/files/group/2/2807.pdf>.（2023 年 1 月 17 日アクセス）

八戸市（2008）第 1 期八戸市中心市街地活性化基本計画（平成 20 年 7 月−平成 25 年 3 月）＜https://www.city.hachinohe.aomori.jp/material/files/group/8/20101126-101111.pdf＞.（2023 年 1 月 17 日アクセス）

平尾彰啓・池永知樹・山口行一（2016）賑わい分布と空間構成の課題に関する一考察-神戸市 三ノ宮・元町・ハーバーランド地区を対象として.「日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集」，**14**，145-148.

室田昌子（2019）市民活動による屋外コミュニティ空間の形成と滞留機能創出に関する研究ヨコハマ市民まち普請事業による港北ニュータウン中川駅周辺商業地区歩専道を対象として.「日本建築学会計画系論文集」，**84**（758），955-963.

世帯単位の将来人口分布を推計する人口分布予測モデルのモデル改善について

小俣 博司*・中川 貴滋・関本 義秀***

Model improvements to population distribution model for estimating future population distribution by household data in japan

Hiroshi Omata*, Takashige Nakagawa**,Yoshihide Sekimoto*

Abstract In population decline and aging infrastructure in terms,
Detailed future projections of population and household distribution are important when considering future urban development policies. We validated the "Development of current estimated household data and agent-based simulation of the future population distribution of households in Japan" constructed by Kajiwara et. al (2022), and improved the estimation results by improving the population distribution projection model for "households in facilities, etc." and "number of households and population" in small areas.

Keywords: 予測モデル(prediction model), 人口分布(population distribution), 地域分析(regional analysis), 世帯(household)

1．はじめに

1.1. 研究の背景

多くの地方自治体では，人口減少,インフラの老朽化を踏まえ,居住地や都市機能の立地誘導を促す政策が各地で検討されている.

都市計画や将来のまちづくり政策を検討する上では,地域の精細な人口・世帯分布の将来予測が今後，益々重要性を増すと考えられる.

国立社会保障・人口問題研究所が全国で整備している将来予測は,性別・5 歳階級別人口で市町村単位,家族類型別世帯数で都道府県単位のみであり,国土交通省の国土政策局総合計画課の国土数値情報では,1km・500m メッシュ単位での将来推計人口とあり,市町村全体同割合で人口が変化すると仮定しており,小地域単位での将来予測となっていない.

近年,地域社会のまちづくりにおいても,市民参加によるまちづくり（輿石ほか,2022; 近藤ほか,2007）が近年に広まりつつある.

行政主導のまちづくりだけではなく,市民参加によるまちづくりを考えるうえで,都市計画の専門家の目線だけではなく,市民目線での分析，シミュレーションは必要になってきている.

1.2. 先行研究

Hasegawa et al.(2019)の都市の将来像シミュレーションシステム MyCityForecast (MCF)では, 500m メッシュ単位で将来人口分布，各地域の公共施設・商業施設へのアクセシビリティや環境指数等の変化を 2015 年から 2040 年まで 5 年単位で推計をしている. MCF の人口推計では,2015 年（平成 27 年)の国勢調査をもとに,コーホート変化率法により人口を推計し,国立社会保障・人口問題研究所の推定結果に基づく補正をしている.

また，Akiyama et al.(2013)のマイクロ人口統計は,市町村毎の国勢調査と建物データと各種統計調査結果に基づき，住宅の戸別に世帯構成や構成員の年齢,性別を推計したデータを作成しているが,性別，年齢

* 正会員 東京大学空間情報科学研究センター（University of Tokyo, Center for Spatial Information Science）
〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所
Ce509 Tel：03-5452-6415 または E-mail：homata@iis.u-tokyo.ac.jp
** 非会員 Pacific Spatial Solutions 株式会社（Pacific Spatial Solutions Inc）

別の人口分布では精度で乖離がある.

さらに，Kajiwara et al.(2022)は, Akiyama et al.(2013)の手法を改良し国勢調査の人口と世帯，人口動態調査から，世帯毎に世帯人員数，家族類型，構成員の世帯主との関係，年齢，性別をパラメータとしている.2015 年版の世帯推計データでは,ゼンリン株式会社の Zmap TOWN Ⅱ(建物データ)から世帯の住居を利用して小地域単位で人口と世帯を推定している.しかし，まだ小地域単位では人口と世帯との推定の精度の乖離がある.

1.3. 本研究の目的

従って,本研究では，地域の精細な人口・世帯分布の将来予測が重要性を増すと考えられことから,人口・世帯分布の精細なシミュレーションである Kajiwara et al.(2022)による市町村毎の世帯推定手法を改良し, 2015 年の世帯推計データの精度向上を目指した.

２．先行研究の課題

Kajiwara et. al (2022)では,国勢調査の一般世帯に関する項目と 2016 年の建物データ(Z-map TOWN Ⅱ,ゼンリン株式会社)から,世帯毎に世帯人員数，家族類型，構成員の世帯主との関係，年齢，性別を推定しているが,集合住宅に対する施設世帯の定義と,住宅種類別世帯数の精度に課題があり,2015 年の国勢調査の小地域内の世帯と人口とに隔たりが発生している.集合住宅に世帯割り当てがなかったり（図 1），戸建て住宅に複数の世帯が割り当てられていることがある（図 2）.



図 1 世帯が割り当てられてない集合住宅（右下）の建物の状況（●は世帯割当有り）

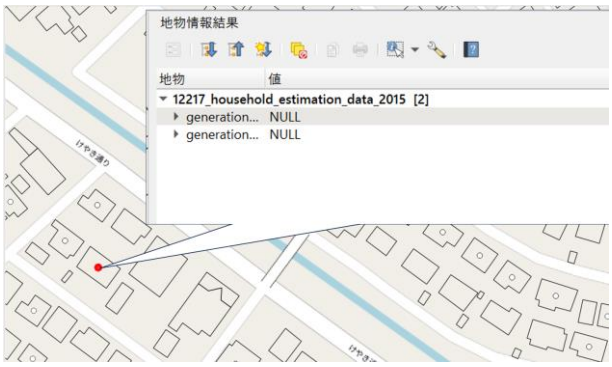


図 2 戸建て住宅の建物に複数の世帯が割り当てられているケース（赤丸の所）

それらを国勢調査 (2015 年)と世帯推計を平均絶対誤差（以下，MAPE）で計測すると,千葉市の人口で 178.6%,世帯数で 33.6%，小地域の人口で 238.8%,世帯数で 61.6%となる.

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{ai - fi}{ai}\right| \quad (1)$$

MAPE（平均絶対誤差率; Mean Absolute Percentage Error）（ai:正解値, fi:推計値）誤差の度合いを計測したものである. 0 に近いほど誤差が少ない

表 1 Kajiwara (2022)における世帯推計（千葉市）人口

	国勢調査	世帯推計(改善前)		
行政名	人口	人口	人口差(人)	MAPE
千葉市 中央区	205,070	201,160	3,910	190.7%
千葉市 花見川区	179,200	177,155	2,045	114.1%
千葉市 稲毛区	160,968	157,853	3,115	193.5%
千葉市 若葉区	151,078	145,987	5,091	337.0%
千葉市 緑区	126,848	124,446	2,402	189.4%
千葉市 美浜区	148,718	148,024	694	46.7%
		平均	2,876	178.6%

表 2 Kajiwara (2022)における世帯推計（千葉市）世帯

	国勢調査	世帯推計(改善前)		
行政名	世帯数	世帯数	世帯数差(数)	MAPE
千葉市 中央区	95,227	94,671	556	58.4%
千葉市 花見川区	77,732	77,594	138	17.8%
千葉市 稲毛区	71,334	71,127	207	29.0%
千葉市 若葉区	62,773	62,408	365	58.1%
千葉市 緑区	46,792	46,651	141	30.1%
千葉市 美浜区	63,999	63,945	54	8.4%
		平均	244	33.6%

表 3 Kajiwara (2022)における世帯推計（千葉市）
小地域の人口

	国勢調査		世帯推計(改善前)	
行政名	小地域数	対象小地域数	決定係数 (R2)	MAPE
千葉市 中央区	161	132	0.9977	211.2%
千葉市 花見川区	103	88	0.9992	224.1%
千葉市 稲毛区	81	67	0.9980	341.9%
千葉市 若葉区	125	108	0.9928	340.5%
千葉市 緑区	76	69	0.9953	222.9%
千葉市 美浜区	64	52	0.9999	92.5%
		平均	0.9971	238.8%

表 4 Kajiwara (2022)における世帯推計（千葉市）
小地域の世帯

	国勢調査		世帯推計(改善前)	
行政名	小地域数	対象小地域	決定係数 (R2)	MAPE
千葉市 中央区	161	132	0.9987	61.3%
千葉市 花見川区	103	88	1.0000	34.3%
千葉市 稲毛区	81	67	0.9999	151.0%
千葉市 若葉区	125	108	0.9996	65.1%
千葉市 緑区	76	69	1.0000	38.2%
千葉市 美浜区	64	52	1.0000	19.4%
		平均	0.9997	61.6%

３．提案手法

Kajiwara et al.(2022)の手法から下記の課題に注目して対応する事とした.

課題 1：建物データの集合住宅の世帯数が大幅に不足している.
課題 2：国勢調査の小地域単位の人口と世帯では精度が低い.
課題 3：国勢調査の一般世帯情報のみを使用して施設世帯情報を使用していない.

3.1. 使用データ

使用したデータは以下のとおりである.

・e-Stat: 独立行政法人統計センター運営
- 国勢調査 (2015 年) 市町村別,総務省
- 人口動態調査 (2015 年) 全国,総務省
- 住宅・土地統計調査 (2018 年)（市町村別,総務省）

・JoRAS:東京大学空間情報科学研究センター運営
-座標付き電話帳データベーステレポイント Pack! (Ver1.11 2008/10/1),ゼンリン株式会社
- Zmap TOWN Ⅱ デジタル住宅地図 (2016 年度 Shape 版),ゼンリン株式会社

3.2. 集合住宅の判定の改善

Zmap TOWNⅡ（株式会社ゼンリン）の建物データの Shapefile から,座標,建築面積,基本項目種別番号(atrcode)の建物種別,階数から世帯の戸数を推計する.建物の種別の判定としては,属性情報(atrcode)の[1200,1363,1364,1365,2090,2091]を使用する.

・1200: 官公署庁,公共施設,仏閣
・1363: 共同住宅. ビル・アパート
・1364: 個人の家屋名, 戸建て住宅
・1365: 事業所名
・2090,2091: 仮属性文字一般建物. 戸建ての空き家

a. 戸建て住宅が不足した場合のみ[1200,1365] から補う
b. 集合住宅は 1363 を使用する. 住宅のみならず事業所をテナントとするビルも含む
c. 仮属性文字一般建物の 2090,2091 は戸建ての空き家として扱う. 表札なし（空き家）掲載拒否の戸建ても含まれている
d. 1363 で建物名が集合住宅らしき名前にマッチする場合は集合住宅とする.

この定義で,Zmap TOWN Ⅱの建物データから「戸建て住宅」と「集合住宅」の建物データを抽出する.
その後,集合住宅の戸数を算出するため,2013 年の住宅・地統計調査の集合住宅総戸数（世帯数＋空き家数）を集合住宅の建物データの建築延べ面積で割ることで集合住宅の戸数を算出する
また, 住宅・土地統計調査はサンプル調査となっているため,必ずしも空き家や世帯の実数を表しているとは言えない.実際に 2018 年の調査では全国約 5600 万世帯中, 約 370 万世帯の調査に留まっている（総務省統計局 2018 年).そこで割り当てる建物データが足りない場合は,小地域の重心に世帯の位置を設定する.

表 5 建物データベース構造(tatemono)
([株式会社ゼンリン 2016]より転載)

No	アイテム名	項目内容	データの型	長さ	内　　容
1	tatemon_id	ユーザID	N	6	
2	kcode	拡張市区町村コード	N	5	
3	acode	大字コード	C	5	
4	ccode	字丁目コード	C	5	
5	gcode	街区コード	N	5	
6	overlap	図跨り符号	L	1	跨るときT､跨らないときF
7	together	同居人符号	L	1	いるときT､いないときF
8	laynum	レイヤ番号	N	3	
9	zmdatr_id	図内属性番号	N	１０	
１０	atrcode	属性種別コード	N	4	
１１	bmap_id	関連図番号	N	6	
１２	bmapname	関連図名称	C	３２	シフトＪＩＳコード
１３	chiban	地番または戸番	C	６４	シフトＪＩＳコード
１４	housename	名称	C	６２	シフトＪＩＳコード
１５	floor	階数	N	2	
１６	bekkire_id	別記番号	N	4	
１７	map_id	図番号	N	6	
１８	hyosatu_id	表札ID	C	２４	

表 6 基本項目種別番号一覧(atrcode)
([株式会社 ゼンリン 2016]より転載)

基本項目種別	分　類	内　容
1200	目標物	官公署庁 各省庁、都道府県庁、警察署、消防署など 公共施設 大学、高校、中学校、小学校、病院、JR・私鉄駅 体育館、博物館、美術館など 神社・仏閣
1363	一般建物	ビル・アパート名
1364		個人の家屋名
1365		事業所名
1369	準目標物	公民館・市民会館など
3111	行政名	都道府県名
3113		市区町村名
3114		大字名
3115		丁目名
3116		街区番号
3117		調整街区番号
3118	別記	階
3119		室番号
0000	その他 基本属性	道路名称・道路施設名称など
2090	仮属性文字 一般建物1	地番を持つ一般建物の仮属性文字
2091	仮属性文字 一般建物2	階数を持ち地番を持たない一般建物の仮属性文字
2092	仮属性文字 一般建物3	地番及び階数を持たない一般建物の仮属性文字
2190	仮属性文字 無壁舎1	地番を持つ無壁舎の仮属性文字
2191	仮属性文字 無壁舎2	階数を持ち地番を持たない無壁舎の仮属性文字
2192	仮属性文字 無壁舎3	地番及び階数を持たない無壁舎の仮属性文字
2290	仮属性文字 目標物1	地番を持つ目標物の仮属性文字
2291	仮属性文字 目標物2	階数を持ち地番を持たない目標物の仮属性文字
2292	仮属性文字 目標物3	地番及び階数を持たない目標物の仮属性文字

集合住宅の戸数の精度を改善するために Zmap TOWN Ⅱ（株式会社ゼンリン）の入居者データベース構造(bekki.dbf)も利用して集合住宅と世帯の判定をすることにした． また，bekki.dbf は,建物データベース構造(tatemono)の建物データにリンクし,tatemono に入居している入居者情報である.

表 7 入居者データベース構造(bekki.dbf)
([株式会社 ゼンリン 2016] より 転載)

No	アイテム名	項目内容	データの型	長さ	内　容
1	bekki_id	ユーザID	N	6	
2	bekkire_id	別記番号	N	4	建物データベースの別記番号に対応する
3	atrcode	属性種別コード	N	4	
4	flrcode	属性種別文字	C	1	
5	floor	階数	N	2	
6	roomname	部屋名称	C	10	シフトＪＩＳコード
7	resident	別記属性名称	C	50	シフトＪＩＳコード
8	map_id	図番号	N	6	
9	tatemon_id	建物ID	N	6	
10	hyosatu_id	表札ID	C	32	

※入居者データベース（bekki.dbf）と建物データベース（tatemono）が tatemon_id でリンクしている。

(1) 集合住宅の判定
tatemono と bekki.dbf から,戸建て住宅と集合住宅を下記にルールで定義する

1. atrcode が 1364（個人の家屋）の場合，戸建て住宅(atrcode=1364)と判定する

2. 建物名に集合住宅らしきキーワード文字列（建物名で判断）を含む 場合，集合住宅 (atrcode=1363) と判定する

3. bekki.dbf のリンクがあり,bekki.dbf に atrcode=1364（個人の家屋名）または resident=null（空き部屋）が 1 件以上ある場合、集合住宅(atrcode=1363)と判定する

4. bekki.dbf がなく,建物名に事業所キーワード（「(株)」,「(有)」,「ビル」）を含まない場合，集合住宅(atrcode=1363)と判定する

5. 集合住宅らしき建物名の文字列
「マンション,アパート,ハウス,ハイツ,ハイム,住宅,ホーム,ホームズ,コート,パーク,ガーデン,テラス,レジデンス,ヒル,ヒルズ,プラザ,ビレッジ,ファミリア,宿舎,ドミトリー,ドミ,荘,団地,UR 都市機構,都営,寮,社宅,宿」が含まれるものを集合住宅とする

(2) 集合住宅の世帯
集合住宅の世帯数は,集合住宅の部屋数=世帯数とし,bekki.dbf の atrcode が住居系の部屋を世帯と定義する. bekki.dbf がなく,部屋数がわからない集合住宅の部屋数を,延べ床面積と世帯数で按分して割り出す.

3.3. 世帯推定の改善
国勢調査の一般世帯情報だけではなく施設世帯情報を使用して世帯推定に使用するようにする

4．精度評価

4.1. 県単位の市町村の人口と世帯の精度評価
2015 年(平成 27 年)の国勢調査を使用して,千葉県下の市区町村(58 自治体)の人口と世帯を評価した. 千葉県下の市区町村で人口・世帯ともに決定係数と MAPE が改善されている（表 8）.

表 8 人口・世帯の決定係数と平均絶対誤差率
（千葉県:市区町村）

	決定係数		MAPE	
	人口	世帯	人口	世帯
改善前	0.999	0.999	164.7%	120.3%
改善後	0.999	0.999	41.8%	3.8%

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(ai - fi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(ai - \bar{f})^2} \quad (2)$$

R^2（決定係数; coefficient of determination）（ai:正解値, fi:推計値）標本値から求めた回帰方程式のあてはまりの良さの尺度としたものである. 1.0 に近いほど精度が良い

4.2. 市町村単位の人口と世帯の精度評価

千葉市で人口と世帯を評価し人口・世帯ともに MAPE が改善されている.世帯では国勢調査との誤差が 0 となった（表 9）.

表 9 人口・世帯の平均絶対誤差率（千葉市）

	MAPE	
	人口	世帯
改善前	178.6%	33.6%
改善後	121.6%	0.0%

4.3. 県単位の小地域の人口と世帯の精度評価

千葉県下の市区町村(58 自治体)の小地域で評価をした.千葉県下の市区町村で小地域において人口・世帯ともに決定係数と MAPE が改善されている（表 10）.

表 9 小地域の人口・世帯の決定係数と平均絶対誤差率（千葉県：市区町村平均）

	決定係数		MAPE	
	人口	世帯	人口	世帯
改善前	0.990	0.992	225.3%	166.0%
改善後	0.999	1.0	55.0%	16.1%

4.4. 市区町村単位の小地域の人口と世帯の精度評価

千葉市の小地域で人口と世帯を評価し人口・世帯ともに決定係数と MAPE が改善されている.世帯は国勢調査との誤差が 0 となった（表 11）.

表 10 小地域の人口・世帯の決定係数と平均絶対誤差率（千葉市）

	決定係数		MAPE	
	人口	世帯	人口	世帯
改善前	0.997	0.999	238.8%	61.6%
改善後	0.998	1.0	159.6%	0.0%

4.5. 建物への世帯の割り当て

図 1 で示していたように，世帯が割り当てられない集合住宅が多数あった事に比べて，今回，図 3 のように集合住宅への世帯割り当てが改善されている.



図 3 改善後: 建物への世帯割り当て
（千葉県柏市松葉町 5 丁目周辺）

5．おわりに

5.1. まとめ

本研究では, 戸建て住宅と集合住宅への人口と世帯の割り振り方法の改善,国勢調査の一般世帯情報だけではなく施設世帯情報を使用した推計をすることで,Kajiwara et al.(2022)の手法より，千葉県下の市区町村平均(58 自治体)を MAPE で計測した場合，市区町村単位の場合で人口 25.4%,世帯 3.2%,小地域単位の場合で人口 24.4%,世帯 9.7%の精度の改善をすることが出来た.

また，市区町村と小地域の人口と世帯については改善したが,小地域別・性別・5 歳階級別での人口,メッシュ別での人口,市町村別・家族類型 16 分類別の検証までは出来ていない. また大規模集合住宅居住者などの大人数が入居している世帯への対応モデルの作成が課題として残っている.

5.2. 今後の予定

今後の予定としては, 2020 年(令和 2 年)の国勢調査をベースに世帯推計データの作成,世帯推移モデルの構築し精度検証する.その後,全国の自治体へ拡張する予定である.

謝辞

東京大学 CSIS 共同研究「世帯類型を考慮した世帯単位の人口分布予測シミュレーションに関する研究」で提供されたデータを利用した成果である.心より感謝の意を表します.

参考文献

梶原健人, 瀬戸寿一, 関本義秀, 小川芳樹, 小俣博司, 2021, 全国規模のエージェントシミュレーションに向けた世帯の現況推計データと将来予測モデルの構築, 都市計画論文集, 2021 年 56 巻 3 号 p. 603-610, [DOI](https://doi.org/10.11361/journalcpij.56.603)

Yoko Hasegawa, Yoshihide Sekimoto, Toshikazu Seto, Yuki Fukushima, Midori Maeda, 2019, My City Forecast: Urban planning communication tool for citizen with national open data, Computers, Environment and Urban Systems, [DOI](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0198971517305689)

Kento Kajiwara,Jue Ma,Toshikazu Seto,Yoshihide Sekimoto,Yoshiki Ogawa,Hiroshi Omata,2022, Development of current estimated household data and agent-based simulation of the future population distribution of households in Japan, [DOI](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101873)

Yuki Akiyama, Hiroyuki Takada and Ryosuke Shibasaki, 2013, Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM 2013 conference, pp. 1-33, https://cupum2013.geo.uu.nl/download/usb/contents/pdf/shortpapers/110_Akiyama.pdf

近藤 雅人, 岡本 誠, 2007, 市民参加型のまちづくりコミュニティシステム, 日本デザイン学会　第 54 回研究発表大会, [DOI](https://doi.org/10.11247/jssd.54.0.F06.0)

輿石 彩花, 後藤 智香子, 新 雄太, 矢吹 剣一, 吉村有司, 小泉 秀樹, 2022, 日本における住民参加型まちづくり手法としてのオンラインプラットフォーム「Decidim」の活用実態, 都市計画論文集, 2022 年 57 巻 3 号 p.1355-1362,[DOI](https://doi.org/10.11361/journalcpij.57.1355)

参考データサイト

e-Stat 政府統計の総合窓口, 独立行政法人統計センター, https://www.e-stat.go.jp,(最終閲覧日 : 2023 年 8 月 29 日)

JoRAS, 東京大学 空間情報科学研究センター, https://joras.csis.u-tokyo.ac.jp,(最終閲覧日 : 2023 年 8 月 29 日)

住宅地図データベース Z-map TOWNII,テレポイント Pack! 株式会社ゼンリン, https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/basemap/zmaptown/index.html,(最終閲覧日 : 2023 年 8 月 29 日)

将来推計人口・世帯数, 国立社会保障・人口問題研究所, https://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp ,(最終閲覧日 : 2023 年 8 月 29 日)

国土数値情報ダウンロードサービス, 国土交通省, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html,(最終閲覧日 : 2023 年 8 月 29 日)

関西圏の土砂災害リスクに曝露される領域の人口変化

川向　肇*・有馬　昌宏**

On the Population Changes for the Sediment Disaster Prone Areas in Kansai Region

Hajime Kawamukai*, Masahiro Arima**

Abstract: We have tried to evaluate the population change, caused by the legal requirement to notify the possible disaster-facing risks in contracting real estate transactions in sediment disaster-prone areas. To confirm the effects on the changes for the newly located population, caused by the legal requirements of notification of the disaster-facing risks on the changes in the land slide disaster-prone areas, we have estimated the numbers of people who started to live in the sediment disaster-prone areas from 2010 to 2015 and those from 2015 to 2020. We found some reductions for the estimation values for the newly located population since 2015 to 2020, compared with those since 2010 to 2015, although we need more detailed research on this population change.

Keywords: 災害リスク領域（Disaster Risk Area），人口変化（Population Changes），政策評価(Policy 政策評価（Policy Evaluation）土砂災害ハザードマップ(Sediment Disaster Map)

１．はじめに

各都道府県による自然災害ハザードの調査とその災害リスク領域の特定が進み，各基礎自治体での洪水や土砂災害等の災害被害が予測される領域について，市民へのハザードマップの印刷物や PDF ファイルでの配布という形式での災害リスクに関する空間的情報の公開が進められてきた．さらに近年，これらの領域と災害様態について，空間的オープンデータとしてのウェブサイト経由での公開が一般的になり，空間的データとしての自然災害のリスク情報については質・量とも充実し，さらに災害リスク情報へのアクセシビリティは格段に向上した．加えて，総務省（2022）によれば，携帯型インターネット接続型端末の普及率は 97.3%，中でもスマートフォンの普及率は 88.6%に達し，日常的に情報を入手するためスマートフォンによりインターネット上のサイトを利用することがすでに一般的になっていることが示唆される．このような状況を受け，災害情報に特化した気象庁の「キキクル」や，国土交通省の「ハザードマップポータルサイト」，有馬（2017），有馬・川向・阿部（2023a, b）などで紹介する筆者らが開発した「ハザードチェッカー」などにみられるような Web ベースで災害ハザード情報へアクセスするための各種アプリが整備され，一般市民にとって災害情報に関する良好なアクセス環境が実現してきた．また，実際の災害発生時や災害発生が予測される状況下では，報道各社がこれらの災害に関する報道の際にも，従来型の単なる避難の呼びかけだけではなく，避難方法の検討にもハザードマップの利用を広く視聴者に推奨するなど，ハザードマップの利用への働きかけがかなり積極的に行われるようになってきた．報道各社を含め，検索エンジンや気象予報などを含めた各種情報アプリの開発なども行う企業体においては，それらのアプリについてより多くの利用者を獲得する目的があるものとは思われるが，ハザードマップの情報や災害リスクに関連する関連情報を幅

*　正会員　兵庫県立大学　大学院　情報科学研究科（University of Hyogo）
〒650-0047　兵庫県神戸市西区学園西町 8－2－1　E-mail：kawamukai**@ai.u-hyogo.ac.jp**
**　正会員　兵庫県立大学　大学院　応用情報科学研究科（University of Hyogo）

広く提供するように改修が進められており，これらを通して災害ハザードに関する情報へのアクセシビリティは相当程度改善した．

ハザードマップそのものが人々の日常生活の場面で災害被害の抑止のために有効に利用されているかどうかは別として，空間に関するリスク情報を提示するハザードマップの存在そのものの認識が広く国民の間に定着し始めていることは，これまでの内閣府による「防災に関する世論調査」（内閣府（2018，2022））や川向・阿部・有馬（2023a，b）のウェブ調査などで示されている結果からも明らかである．特に，内閣府が実施した令和 4 年の「防災に関する世論調査の結果」においては，今後自然災害対策として充実すべき項目として「ハザードマップの充実」を挙げたものが，全国で 51.9%（東京都区部では 65.5%）となっており，ハザードマップの今後一層の充実への期待が国民において広がっていることが指摘されよう．

また，平成 27 年度の土砂災害防止法の改正とそれに伴う宅地建物取引業法ならびに同施行規則の改正に伴い，土砂災害警戒区域内および特別警戒区域内の宅地又は建物の売買等に関して，宅地建物取引業者は当該不動産が警戒区域内に存在する旨を重要事項の一環として説明することが義務づけられた．さらに，令和 2 年の宅地建物取引業法施行規則の一部改正により，水害被害についても水防法の規定に基づき作成された水害（洪水・雨水出水・高潮）ハザードマップを提示して取引物件の所在地を示すことが求められるようになった．このように「場所を選ぶ自然災害」に関するリスク情報（素因情報）の提供については，不動産取引時点での提供が義務付けられるようになった．しかし，その地点について土砂災害被害や水害被害などのリスクに関する素因があるからといって，住居として用いられる建築物の利用が妨げられるわけではない．災害リスクがある地点においても鉄筋コンクリート造などの堅牢な構造物や，法枠工や擁壁工による斜面保護等の土砂災害対策，堤防や宅地等の嵩上げ工事等の浸水対策が十分行われている地点の不動産であれば，被害は比較的軽微なものとなる可能性がある．さらに，土地や建築物が個人資産であることに伴う私権の制限の問題と関係することなどもあり，災害リスクを有する領域内であっても，その領域内の居住が直ちに制限されるわけではない．

そこで，本稿では，土砂災害のリスクがある領域での不動産取引の際に，土砂災害リスク情報等の開示が平成 27 年度（2015 年度）から求められることとなった領域において，土砂災害防止法において指定されている領域（土砂災害警戒区域・同特別警戒区域）での人口の増減に関して，重要事項としての説明の義務化がどのように影響しているのかについて検討することとした．具体的には，近畿圏の府県内にある土砂災害警戒区域等の領域内での居住期間別の人口の推計を行うことで，不動産取引時の災害リスク情報の開示の義務化に関する政策がどの程度有効であったのかを定量的に検討することを試みた．

我々の仮説は，2015 年に施行された政策が有効であったとすれば，土砂災害警戒区域等の領域での居住年数が過去 1 年未満および過去 1 年以上 5 年未満の人口は，2015 年調査と比較して 2020 年調査で新規立地や新規移転をためらうために，減少するはずであるということである．

この仮説検証のために，関西圏の 2 府 4 県を検証対象の領域とし，土砂災害のリスクに直面することになる土砂災害警戒区域および同特別警戒区域内での居住期間別人口の増減について，2015 年と 2020 年の 4 次メッシュを集計単位とする国勢調査の集計結果を利用して推計した．

２．使用したデータと空間データ処理の概要

2.1. 使用したデータ

本研究で使用した土砂災害に関するデータは，国土交通省の国土数値情報ダウンロードサイトで都道府県別に提供されている近畿 2 府 4 県の『土砂災害警戒区域（令和 3 年度)』のデータである．また，総務省統計局の統計地理情報システム内で提供されている近畿地方全域に対応する 4 次メッシュ区画の『境界データ』およびこれらの 4 次メッシュ境界に対応する 2015 年及び 2020 年の国勢調査の『人口移動，就業状態等及び従業地・通学地』のデータをダ

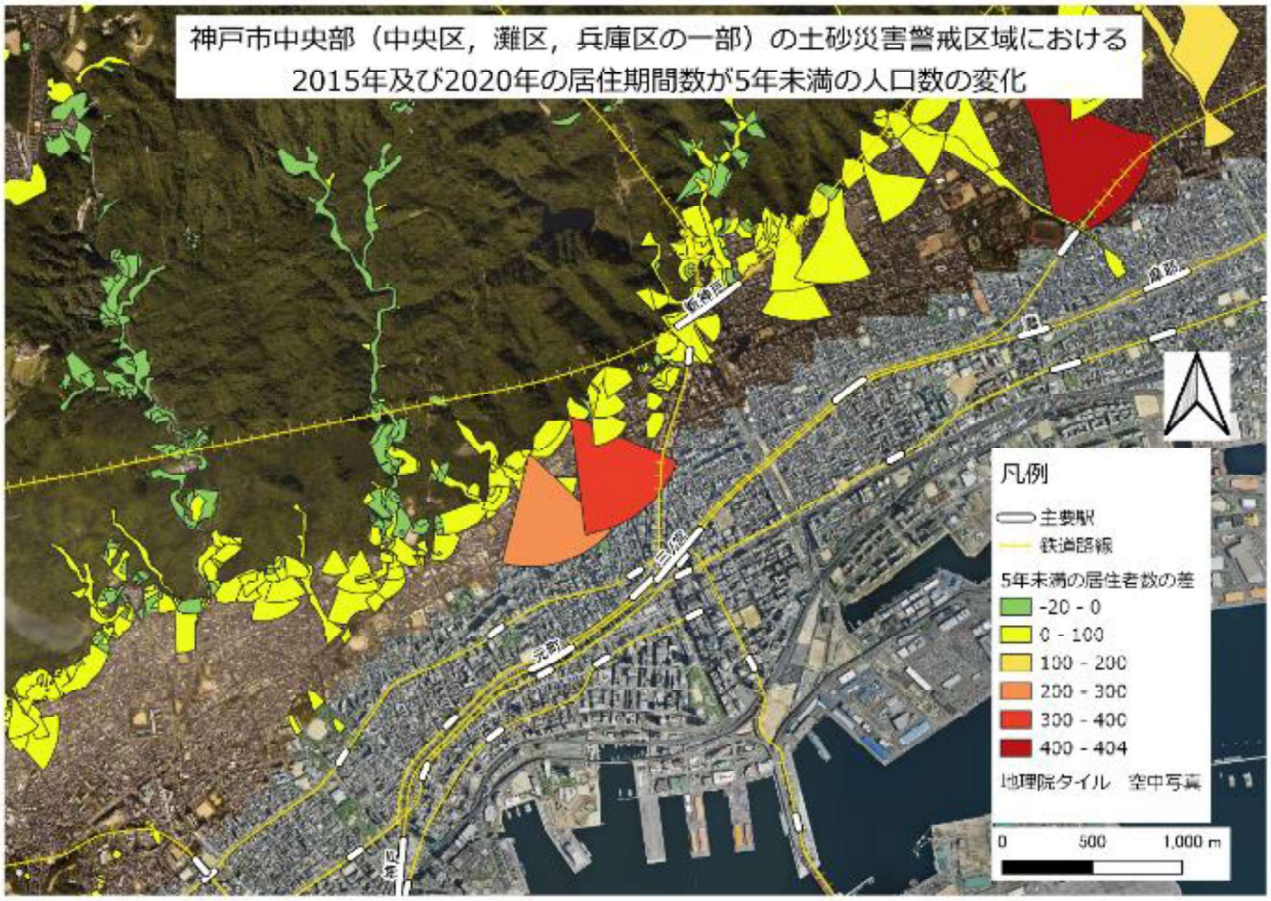


図 1　神戸市中心部の土砂災害警戒区域内の居住期間が 5 年未満の人口数の変化

ウンロードし，統計データを結合した上で利用した．

3．分析結果の概要

上記の空間分析を実施した結果について，以下で紹介する．

3.1　空中写真による確認

まず，個別の土砂災害警戒区域内および特別警戒区域内の居住期間別の人口に関する分析結果の一部を紹介したい．神戸市中心部は，六甲山系における土砂災害にたびたび見舞われてきたこともあり，砂防ダムの整備などを中心とした様々な土砂災害への対策が進められてきた．図 1 はそれらの対策が行われてきた神戸市中心部（神戸市中央区・兵庫区・灘区の一部）における土砂災害警戒区域の一部について，居住期間が 5 年未満である人口が 2015 年から 2020 年の間にどのように変化したのかを示す図である．

この図からは，山麓部の斜面地など，日常の生活における移動の困難が容易に想定される地域において，土砂災害警戒区域や土石流危険渓流の付近で人口減少傾向にある地域の存在が指摘できる．これに対して，三ノ宮駅や新神戸駅付近や，近年中高層集合住宅の開発が散見される阪急電鉄神戸線王子公園駅付近の住宅地では，人口がかなり増えている領域の存在が確認される．

3.2　近畿の各府県別の分析

次に，各府県の土砂災害警戒区域に関する 4 区域区分（A33_002）別に土砂災害警戒区域のポリゴンをディゾルブした上で，府県別にそれらの府県内全体での 4 区域区分ごとの領域全体での 2015 年および 2020 年の居住期間別人口の推計値と 2 時点間の推計値の差を求めた結果を表 1 に示している．

表 1 からは，どの府県においても 20 年未満の居住期間の人口に関して，土砂災害警戒区域の指定済

表 1　近畿圏内 2 府 4 県における土砂災害警戒区域内の居住期間別人口の変化とその変化率

府県名	土砂災害区域別	年次等	出生時から	1年未満	1～5年未満	5～10年未満	10～20年未満	20年以上	総数
京都府	警戒区域（指定済）	2015	23,320	6,143	17,198	14,208	24,021	51,694	136,584
		2020	18,921	5,066	14,846	11,534	19,842	51,287	121,496
		増減数	−4,399	−1,077	−2,352	−2,674	−4,179	−407	−15,088
	特別警戒区域（指定済）	2015	3,148	840	2,570	2,010	3,413	7,648	19,629
		2020	2,465	675	2,155	1,609	2,788	7,533	17,225
		増減数	−683	−165	−415	−401	−625	−115	−2,404
	警戒区域（指定前）	2015	405	26	135	125	259	516	1,466
		2020	322	29	135	108	206	579	1,379
		増減数	−83	3	0	−17	−53	63	−87
	特別警戒区域（指定前）	2015	63	1	17	20	49	87	237
		2020	45	0	20	11	36	94	206
		増減数	−18	−1	3	−9	−13	7	−31
滋賀県	警戒区域（指定済）	2015	9,525	1,251	4,121	3,962	7,015	15,220	41,094
		2020	7,876	1,085	3,771	3,208	6,240	15,539	37,719
		増減数	−1,649	−166	−350	−754	−775	319	−3,375
	特別警戒区域（指定済）	2015	155	25	105	91	178	452	1,006
		2020	114	21	103	59	161	478	936
		増減数	−41	−4	−2	−32	−17	26	−70
	警戒区域（指定前）	2015	2	0	0	0	2	1	1,006
		2020	1	0	1	0	2	2	936
		増減数	1	0	−1	0	0	−1	70
大阪府	警戒区域（指定済）	2015	22,637	6,582	21,508	20,421	34,481	59,779	165,408
		2020	19,007	5,502	17,875	16,077	28,816	61,306	148,583
		増減数	−3,630	−1,080	−3,633	−4,344	−5,665	1,527	−16,825
	特別警戒区域（指定済）	2015	1,624	351	1,523	1,404	2,659	5,352	12,913
		2020	1,318	292	1,286	1,117	2,206	5,537	11,756
		増減数	−306	−59	−237	−287	−453	185	−1,157
奈良県	警戒区域（指定済）	2015	20,197	2,753	8,444	7,806	14,746	37,004	90,950
		2020	16,788	2,674	7,906	6,799	12,260	37,374	83,801
		増減数	−3,409	−79	−538	−1,007	−2,486	370	−7,149
	特別警戒区域（指定済）	2015	1,718	114	498	433	811	3,259	6,833
		2020	1,300	95	444	365	683	3,064	5,951
		増減数	−418	−19	−54	−68	−128	−195	−882
兵庫県	警戒区域（指定済）	2015	54,248	15,377	46,190	39,646	61,802	119,402	336,665
		2020	45,655	12,837	40,601	34,213	54,049	121,052	308,407
		増減数	−8,593	−2,540	−5,589	−5,433	−7,753	1,650	−28,258
	特別警戒区域（指定済）	2015	3,364	587	2,165	1,928	3,153	7,912	19,109
		2020	2,643	476	1,879	1,521	2,732	7,895	17,146
		増減数	−721	−111	−286	−407	−421	−17	−1,963
	警戒区域（指定前）	2015	5	1	8	5	22	13	54
		2020	5	3	7	4	19	14	52
		増減数	0	2	−1	−1	−3	1	−2
和歌山県	警戒区域（指定済）	2015	22,419	4,151	13,159	10,999	19,309	49,070	119,107
		2020	18,097	3,437	11,257	9,864	15,928	48,297	106,880
		増減数	−4,322	−714	−1,902	−1,135	−3,381	−773	−12,227
	特別警戒区域（指定済）	2015	2,734	546	1,959	1,570	2,755	7,821	17,385
		2020	2,124	415	1,669	1,339	2,237	7,601	15,385
		増減数	−610	−131	−290	−231	−518	−220	−2,000
	警戒区域（指定前）	2015	322	80	225	227	213	368	1,435
		2020	321	48	240	208	340	349	1,506
		増減数	−1	−32	15	−19	127	−19	71
	特別警戒区域（指定前）	2015	37	16	56	43	38	34	224
		2020	45	13	55	52	68	31	264
		増減数	8	−3	−1	9	30	−3	40

地区（薄い水色で着色）および特別警戒区域の指定済地区（濃い水色で着色）の人口については，居住期間に関係なく，人口が着実に減少していることが確認された．

京阪神地区を内包し，都市および都市近郊での激しい人口流動を経験している京都府，大阪府，兵庫県での土砂災害リスクがある領域での居住年数 5 年未満である人口，すなわち，土砂災害警戒区域内に新規に居住地を選択したと考えられる人口はかなり減少している．

また，大阪府への通勤圏となる領域も少なくない奈良県および和歌山県では，居住期間が 5 年未満となる人口については一定の減少傾向が確認されるものの，居住期間が 5 年から 10 年未満，10 年から 20 年未満となる人口については，かなり大きな減少傾向が確認された．

これらの結果からは，居住期間が 5 年未満となる人口の近畿 2 府 4 県における減少の大きさは，5 年以上 20 年未満にあたる他の居住期間の人口の変化と比較した場合，必ずしも大きなものとは言えないという結果となった．

3.3　土砂災害警戒区域等指定済の地域の分析

2015 年から土砂災害に関するリスクがあることをハザードマップにより示されても，2020 年国勢調査で居住期間が 5 年未満となる人口の流入がある程度継続しているという結果の背景として，土砂災害リスクがあっても，人家が集中している地域での法枠工や擁壁工およびそれらに付随する地中排水施設の整備，集水桝や砂防ダムなどの設置などによる土砂災害対策についての各種環境の整備が進展していることを指摘することもできよう．これらの土砂災害対策に関するハードウェア的な整備そのものが，それらが整備された領域における災害リスクの存在を反映するものではなく，災害からのリスクが低減しているという印象を潜在的な居住者に与え，その結果として転入に繋がっていることを指摘できるかもしれない．また，都市近郊部では，斜面地において堅牢な集合住宅や高齢者向け住宅・施設などの各種居住系施設による開発を進めることで，土砂災害を防止する方策も進められてきている．これらの堅牢な建築物で斜面が被覆されることにより，土砂災害リスクがある地域でも，日常的には比較的安全に居住することが可能となったことも指摘できよう．加えて社員寮や学生寮，あるいは実家や自宅などが土砂災害警戒区域および特別警戒区域内にすでに存在しており，入学・入社や家族の介護などでそれらの住居に居住することが求められる人々が一定数存在することや，当面の選択とはいえ，家賃や地価の安さから，これらのリスク領域内での居住を選択することになった人口が一定数存在する可能性を反映した結果でもあろう．

3.4　土砂災害警戒区域等指定前の地域の分析

表 1 に示した推計結果のように，指定前の土砂災害警戒区域および特別警戒区域の領域における居住期間別人口については，特段大きな変化は見られなかった．

しかし，京都府と和歌山県における土砂災害警戒区域等の（指定前）の領域における居住期間が 1 年未満となる人口が増加していることは留意すべきかもしれない．もし，これらの地域で指定に関する情報がより早く公開されていたとすれば，土砂災害警戒区域での居住期間が 1 年未満となる人口は減少していた可能性があると思われる．

また，指定前の土砂災害警戒区域において比較的大きな増加傾向が確認されるのは，和歌山県の土砂災害警戒区域における居住期間が 1 年から 5 年未満の人口，および特別警戒区域における居住期間が 10 年以上 20 年未満の人口であった．この結果からは，同県の土砂災害警戒区域の指定に向けて準備されている地域で，より迅速かつ十分な調査が実施され，災害リスク情報がより早期に公開されていれば，比較的居住期間が短く土地が持つ災害リスクを把握しがたい人々が不用意に土砂災害のリスクに直面する可能性を回避できたことを示唆する結果であるように思われる．

3.5　土砂災害ハザードマップによる啓発の必要性

表 1 における特徴的な結果として，土砂災害警戒区域における居住期間が 20 年未満の人口については，減少傾向にあることに比べ，同区域内において居住期間が 20 年以上となる人口については，ほぼ減

少していない，ないしは微増傾向にあるという点がある．さらに言えば，滋賀県，大阪府，兵庫県，奈良県の土砂災害警戒区域内（指定済）において，居住期間が 20 年以上となる長期間居住した人々が土砂災害警戒区域内において増加している傾向が確認される．このような増加が生じた背景として，これらの府県内の土砂災害警戒区域内の居住者そのものの高齢化による人口構造の変化に加え，経済的要因や長年住み慣れた地域から離れ難いなどの心理的な要因，今後の自分の生存期間中に大きな災害には遭遇せず，今後も大きな被害を経験することはないであろうという長期居住者の予測，先にも触れた土砂災害に対する擁壁工などの整備の結果，土砂災害の潜在的なリスクは内包しつつも土砂災害対策工事の完了に伴い居住者が安心感を持つ傾向などの要因により，土砂災害警戒区域内において長期間居住してきた人々がより安全な地域に移転せず，長年住み慣れた地域での継続居住を選択した結果が反映されているものと考えられる．

これらの長期居住している人々に対し，今後より安全な領域への移住を検討するよう，土砂災害に関するハザードマップの利用方法を含め，居住地の危険性の認識を改めることに資する継続的な啓発活動も必要であろう．

４．まとめと今後の展望

以上の分析を振り返るならば，平成 27 年（2015 年）の土砂災害防止法の改正および宅地建物取引業法施行規則の改正に伴う新規の居住者（居住期間 5 年未満の人口）の近畿圏内の 2 府 4 県における流入の抑制について，若干の減少傾向は確認されるものの，さほど大きな変化は確認されないという結果となった．また，近畿圏内の 2 府 4 県での土砂災害警戒区域及び特別警戒区域での居住期間別人口コーホートによる分析結果からは，20 年以上の居住者の同地区内での人口コーホートが相当の割合を占めること，同コーホートの人口の増減に関しては微減ないし維持されていること，居住期間が 20 年未満の人口は着実に減少していることが示された．特に，居住期間が 20 年未満の人口コーホートの人口が，若年及び中年以下の人口を多く含み，災害時に地域での災害リスクに対応することがまだ可能である特性を持つ人口コーホートの人口が災害リスクのある地域から別の地域に移動している可能性があること，さらに，居住期間が 20 年以上となる人口コーホートには，高齢者などが多数含まれており，高齢者が減少していない可能性が高いことを考えると，土砂災害警戒区域・同特別警戒区域内では高齢化が急速に進展しており，災害時における避難行動要支援者の支援の課題が 2015 年から 2020 年の間により大きなものとなった可能性が指摘される．

これらの結果から，土砂災害警戒区域内全体で，居住期間が 20 年以下となる居住者については，災害リスクに直面している人口総数とその被害のポテンシャルは着実に減少してきたことが指摘できる反面，逆に同地域内で居住期間が 20 年以上となる人口については，土砂災害の災害リスクに直面している人口総数とその被害のポテンシャルは大きく変化していないことが指摘できよう．このことは，今後，各自治体がコンパクトシティ化を進める中で，災害の少ない領域での居住誘導区域や都市機能誘導区域の設定，災害リスクのある地域での長期居住者に対してより安全な地域への移転を可能とする様々な対策が検討されるべきであることを示唆していると考えられる．

ただし，本稿で紹介した分析結果は，2015 年 10 月と 2020 年 10 月の 2 時点間のみの居住期間別人口に関する比較にとどまっており，平成 27 年（2015 年）の土砂災害防止法の改正および宅地建物取引業法施行規則の改正に伴う総合的な効果について検討する上では限界がある．今後継続して，土砂災害のリスクおよび各種の災害リスクがある領域での様々な属性別の居住人口等の変化について，より幅広い視点から継続的に検討する必要があるものと考える．

謝辞

本研究の一部は，科学研究費補助金（JP19K04884, JP20K05031)の助成を受けたものである．

参考文献

有馬昌宏(2017), ソフト防災に果たす防災アプリの可能性と課題, 「横幹」, 11(2), 145-155.

有馬昌宏・川向肇(2021), 場所を選ぶ自然災害への防災対策の検討, 「第 12 回横幹連合コンファレンス予稿集」, B-2-1.

有馬昌宏・川向肇・阿部太郎(2023a), 防災アプリ「ハザードチェッカー」の改良と利用者評価,「日本災害情報学会第 26 回学会大会予稿集」, 10-11.

有馬昌宏・川向肇・阿部太郎(2023b), ソフト防災を機能化させるために必要な防災情報とその効果的な提供方法に関する研究, 「2023 年地域安全学会梗概集」, 261-262.

川向肇・阿部太郎・有馬昌宏(2023), 住民ひとりひとりに届ける危機対応避難情報伝達アプリ構築の試み,「安全工学シンポジウム 2023 講演予稿集」, 218-222.

総務省(2022),『情報通信白書　令和 4 年版』, 93-97.

内閣府(2018), 防災に関する世論調査. ＜https://survey.gov-online.go.jp/h29/h29-bousai/index.html>.

内閣府(2022), 防災に関する世論調査, <https://survey.gov-online.go.jp/r04/r04-bousai/index.html>.

東京都区部における母親の保育送迎を含んだ通勤行動の解明

佐藤　将*

Elucidate commuting behaviors that included childcare transportation for mothers in Tokyo Wards

Susumu SATO*

Abstract: New childcare support system enacted in 2015 made it possible to set up small-scale day nurseries, increasing the number of day nurseries. On the other hand, the impact on childcare transportation to and from this enhanced facility was not clear. And it is difficult to determine family structure in detail from previous studies of commuting behavior, as it was impossible to determine whether mothers had children or not. Therefore, this study uses the "Tokyo Metropolitan Area ACT" data, which enables confirmation of the presence of children under 10 years of age, to clarify the actual commuting behavior of mothers, including childcare transportation, in Tokyo Wards area in the latter half of the 2010s.

Keywords: 送迎行動 (childcare transportation), 通勤行動 (commuting behavior), 保育所 (day nurseries), 子育て世帯(child-rearing households)

１．はじめに

夫婦で共働きをしながらフルタイム就業する際の課題として，宮澤（1998）が東京都中野区を対象にして行った時間地理学的シミュレーション手法を用いた手法においても，新宿をはじめとした近隣地域への通勤が可能でも，神田のような交通機関を一定時間利用する通勤先では両立者が減少する点を指摘しているように，子どもの保育所への送迎を含んだ通勤行動において制約があるために，子育てと仕事の両立を困難にしていた．

しかし 2015 年に施行された子ども・子育て支援新制度によって，こうした通勤行動の制約条件が変化することが考えられる．その理由としては小規模保育園の設置が認められたことで，認可保育園の数が増加しているためである．ただしその一方で，母親の子育てと仕事の両立化に対して効果を与えられているのかは明らかにされておらず，生活行動面においてどのような影響を与えているのかを検証する必要がある．

他方で，これまでの母親の保育所への送迎を含んだ通勤行動を分析した研究事例として，1 つは辰巳ほか（2012）が，乳幼児を持つ女性を対象に交通行動特性について分析を行い，他の女性と比較して乳幼児を持つ女性は乗用車の利用が多いことを明らかにしている．ただし，この研究では共働きの子育て世帯を視野に入れた研究ではない．子育て世帯に対象を絞った研究事例である佐藤･後藤 (2019) は 2008 年のパーソントリップ調査データを基にした人と流れデータを用いて，子育て世帯の保育所送迎を含めた日常的な通勤行動の特徴を検証している．この分析では保育所利用世帯が集積する地域の中では自転車利用がメインであることを明らかにしている．しかし，このデータからは子どもの有無が判断できないため，子育て世帯に絞った上で保育所への送迎および通勤行動の実態を把握するのは難しかった．しかし 2018 年のパーソントリップを基に加工された

GISA Members
*　正会員　金沢星稜大学経済学部 (Kanazawa Seiryo University)　**susumu@seiryo-u.ac.jp**

「東京都市圏 ACT」データが登場したことで，子育て世帯をある程度特定できるようになった．その要因として，このデータは 10 歳未満の子どもの有無が確認可能なためである．この点を活かすことで，子育て世帯の日常的な生活行動を垣間見ることが可能となる．

以上を踏まえて，本研究では東京都区部を対象に 2010 年代後半における保育送迎を含んだ母親の通勤行動の実態解明を目指す．

２．分析データの概要

まずは本研究で用いる「東京都市圏 ACT」データの調査対象者について説明する．個人属性については 10 歳未満の子どものいる女性就業者とし，年齢層は 20 歳から 44 歳とした．世帯人員は 3 人以上いる世帯とし，続柄については夫がいることが判断できる世帯主以外に絞った．次に保育所への送迎を行っている母親を抽出するために，以下の時間に関する制約条件を設定した．まず保育所への到着時間であるが，2021 年の社会福祉施設等調査によると，東京都の保育所は 3523 箇所ある中で 6 時 59 分以前から開所している施設数は 7 箇所と，ごく僅かである．一方で 7 時から 8 時までの間に開く施設数は 3510 箇所と，そのほとんどが 7 時以降に開所する．他方で最終登園時間が 9 時半まである保育所がある点を考慮し，朝の見送り時の送迎先の到着時刻が 7 時から 9 時半までの人を対象とした．見送りに加えて，夕方以降にお迎えをする人については､20 時から 20 時半までの間に閉所する施設数が 1072 箇所，それ以降に閉所する施設数が 51 箇所と急激に減る点を踏まえて，20 時半までに到着した人を対象とした．勤務先の時間制約については，10 時までに勤務先に到着し，それに加えて勤務先から出発時間が 16 時以降に出発する人を対象とした．

以上のように，送迎および通勤行動の時間の制約を設定して可能な限りの利用者と想定される人の抽出を行い，これ以降の分析を試みた．

３．移動パターンの類型別特徴

前章において抽出した調査対象者のうち図-1 に示

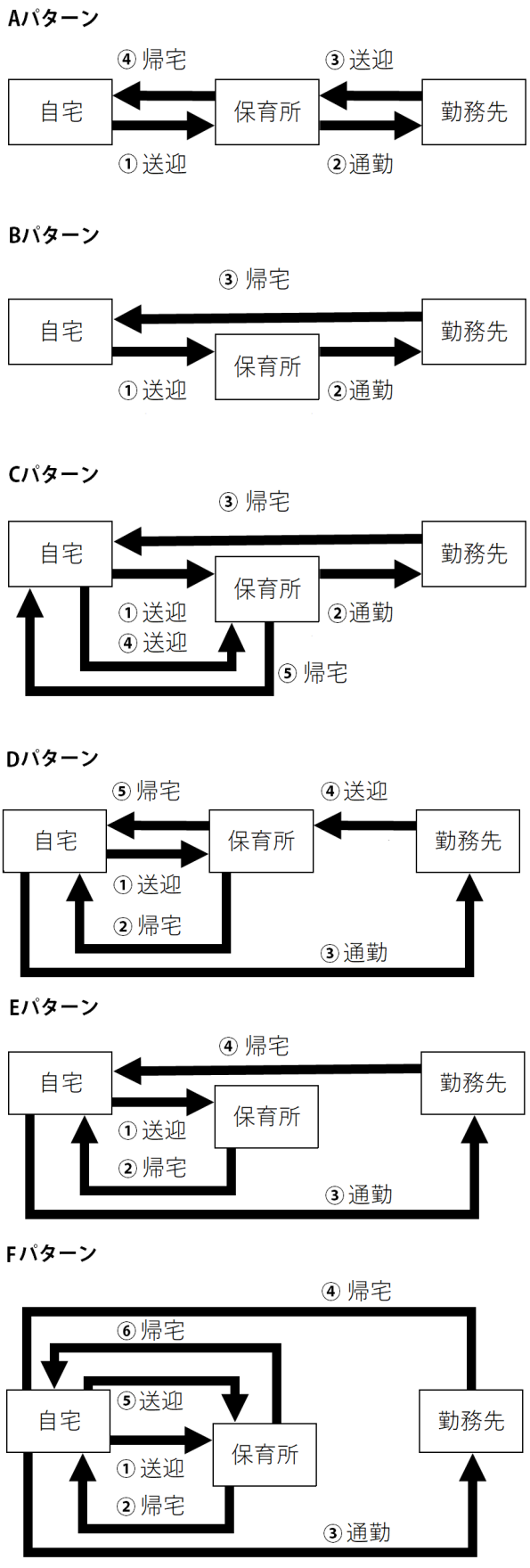


図-1　自宅・保育所・勤務先間の移動パターンの類型

した移動パターンで保育所への送迎および通勤行動を行う者のみに対象を絞って分析を進めていくが，表-1 でそれぞれの対象者数を表したものから，その特徴を見ていく．

1 番多いのが B パターンであるが，お見送り時のみ送迎を行う者が多いことがわかる．都区部という夫婦ともに通勤時間が短いことが想定されるために，送迎に関しては夫婦間での分担がしやすい環境下にあることがいえる．ついで多いのが A パターンのお見送り・お迎え両方を母親が行う行動形態である．このように自宅→保育所→勤務先と，直接向かうパターンが主流であるが，E パターンのように勤務先から自宅に帰宅後に保育所にお迎えに行くパターンも少なからず存在することが確認できた．

4．調査対象者の分布状況

前章において自宅→保育所→勤務先と，直接向かうパターンの行動形態をとる人が多いことが明らかとなった．これを踏まえて，本章では A パターン・B パターン・E パターンの 3 つに対象を絞り，パーソントリップ調査で使われる小ゾーンよりも細かい詳細ゾーン別にコロプレスマップを作成の上，居住地の分布状況について検討する．

図-2 が A パターン，図-3 が B パターンの居住地の分布を示したものである．どちらも都心中心部から 10km 圏外の周辺部に居住者が多いことがわかる．また居住エリアも大田区，杉並区，練馬区，葛飾区と特定エリアにおいて集中していた．この傾向は宮澤（1998）の調査結果とは異なる通勤行動を行っている可能性があることが考えられる結果となった．すなわち，都心 3 区をはじめとした業務機能が集中するエリアへの通勤者が増えている可能性が見出されたということである．他方で，都心中心部からほど近い 10km 圏内に居住が集中するエリアも A パターンでは渋谷区で，B パターンでは豊洲を中心とした江東区で居住傾向が見られた．

一方で図-4 が E パターンの居住地の分布を示したものである．分布状況は A パターン・B パターンに類似しているが，各詳細ゾーンに対象者数が 1 ということと 10km 圏内にもいくつか分布しているとい

表-1　移動パターン別の対象者数

類型	対象者数
A パターン	99
B パターン	273
C パターン	7
D パターン	5
E パターン	33
F パターン	9
総計	426

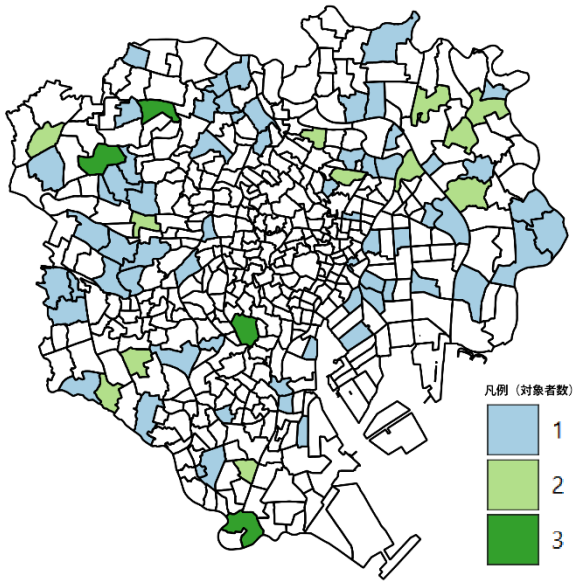


図-2　A パターンの対象者の分布

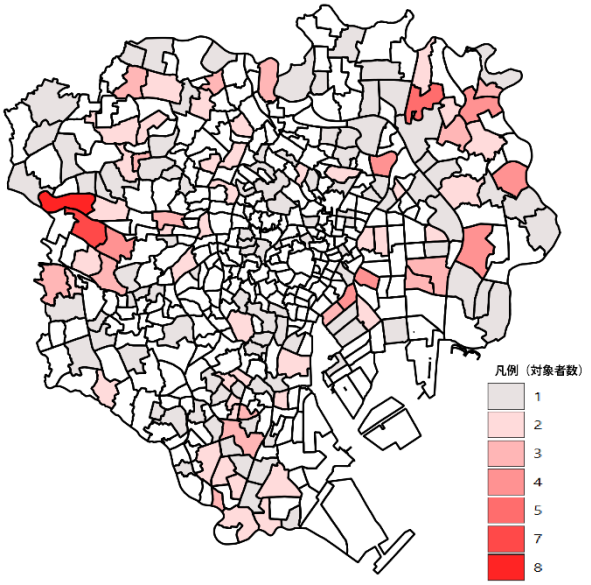


図-3　B パターンの対象者の分布

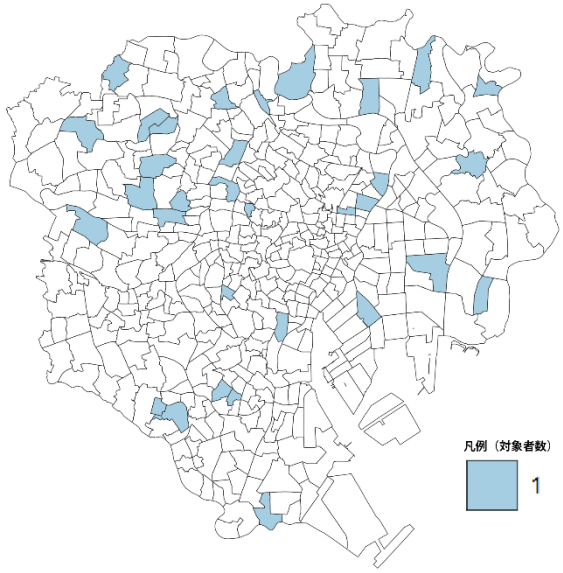


図-4　E パターンの対象者の分布

うことで，モザイク状に居住者が分布していた．

５．送迎および通勤時間の分布状況

最後に表-2 において A パターンの，表-3 において B パターンの全体での送迎時間・送迎を含めた通勤行動（送迎先での待機時間は除いたものを算出した)･勤務時間の平均値からフルタイム就業が行われているのかを確認していきたい．E パターンについては勤務先に向かう前に一旦自宅に帰宅していることとなる．そのため，通勤時間は自宅→勤務先で算出した．

まず送迎時間であるが，E パターンが他と比較して圧倒的に短いことがわかる．対象者数が少ないため，断定できるわけではないが，自宅からの送迎先自体が近いということもあり，勤務前に自宅に戻るという生活行動を行っていることが示唆された．一番送迎時間が長いのが B パターンであり，A パターンと比較すると，5 分弱長い．送迎時間が長い影響から，保育所への送迎の夫婦分担を行っている可能性があることが示唆された．一方で佐藤･後藤(2019)での分析結果と比較すると，A パターン・B パターンにおいて倍の時間を要するようなった．これは都区部において，第二希望以降等の保育所に通っていることで，近隣の保育所に通えていない可能性があることが示唆されたといえる．

表-2　パターン別の 1 日の行動の時間の比較

	送迎時間(分)	通勤時間(分)	勤務時間(分)
A パターン	20.56	42.01	574.80
B パターン	24.58	36.69	581.54
E パターン	9.46	31.63	589.39

次に通勤時間を見ていく．こちらは A パターン以外では佐藤・後藤（2019）と同様の所要時間であった．なお送迎時間とは逆に A パターンにおいて一番通勤時間が長かった．

最後に勤務時間に関しては，佐藤・後藤（2019）で分析した 2008 年時点では 470 分前後であったのに対して，今回の分析ではどのパターンも 580 分前後と，勤務時間がさらに伸びている結果が示された．一方で E パターンが送迎・通勤時間が短い分，勤務時間が一番長い傾向にあった．

６．まとめ

以上のように，東京都区部においてそれぞれ異なる送迎・通勤行動の比較から佐藤・後藤（2019）とは異なる分析結果が示された．この要因について，今回は分析できなかった地域別の検証とあわせて，今後の研究課題としたい．

謝辞

本研究は公益社団法人大林財団の 2022 年度助成によるものであり，また東京都市圏交通計画協議会より「東京都市圏 ACT」の提供を受けた．ここに記して謝意を表します．

参考文献

佐藤　将・後藤　寛（2019）東京大都市圏における共働き子育て世帯の居住形態別にみた送迎および通勤行動.「都市計画論文集」, **54**（3）, 1570-1575.

辰巳　浩・堤香代子・香口恵美（2012）PT 調査データを用いた乳幼児を持つ女性の交通行動特性に関する研究.「土木学会論文集 D3（土木計画学)」**73**（5）, 747-759.

宮澤　仁（1998）東京都中野区における保育所へのアクセス可能性に関する時空間制約の分析.「地理学評論」, **71A**（12）, 859-886.

Oral Presentation in GISA

可視化

Chair: Kazunari Tanaka (Osaka Institute of Technology)
Sun. Oct 29, 2023 2:10 PM - 3:30 PM Room E (C-301 3rd floor of Bldg. C)

[E8-01] 2次元での窓設置可能な壁を明確化する建物ポリゴン分割による階段状建物モデルの自動生成

*KENICHI SUGIHARA[1], Zhenjiang Shen[1], Takahiro Murase[2] （1. College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2. Chukyogakuin College）

2:10 PM - 2:30 PM

[E8-02] 多重建物ポリゴンからの高層建物モデルの自動生成

*Takahiro Murase[1], Kenichi Sugihara[2], Zhenjiang Shen[2] （1. ChukyoGakuin University, 2. Kanazawa University）

2:30 PM - 2:50 PM

[E8-03] カメラ映像を用いた室内行動の抽出方法に関する一考察

*Maki Kishimoto[1], Toshihiro Osaragi[1], Mone Kawaji[1], Shoichi Mihara[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

2:50 PM - 3:10 PM

[E8-04] 土木施工現場における雨水の防災管理に向けた3次元点群データの活用

*Ryo Taniguchi[1], Katsuhisa Banjo[1], Masashi Maeda[2], Yuya Yamada[2] （1. EARTHBRAIN Ltd., 2. KAMITAKE）

3:10 PM - 3:30 PM

©Geographic Information System Association

２次元での窓設置可能な壁を明確化する建物ポリゴン分割による階段状建物モデルの自動生成

杉原　健一*・沈　振江・村瀬　孝宏*****

Automatic Generation of Step-Shaped Building Models using Building Polygon Dividing Method by Clarifying Window Available Wall in 2D

Kenichi Sugihara*, Zhenjiang Shen**, Takahiro Murase***

We aim to automatically generate "Step-Shaped Building Models" by dividing the building polygons on digital maps into a set of divided quadrilaterals (‘quads’ for short) and assigning different story to them. In previous research, we divided and reshaped building polygons into a set of quads and based on the floor numbers associated with the building polygons, we extrude the entire polygon by the number of floors to automatically generate 3D building models. In this paper, a building polygon is considered as a "tree structure" consisting of divided quads. The assigned floor numbers to the divided quads depend on the " layer" (tree depth) of the quad, where a quad with branches can have a child branch, which then can have a grandchild with lower layer. Specifically, the "root" of the tree has the full number of floors, the "leaves" have initial floor numbers, and the quads in intermediate layers are assigned intermediate floor numbers calculated from the full floor and the initial floor number. This allows for the automatic generation of step-shaped buildings.

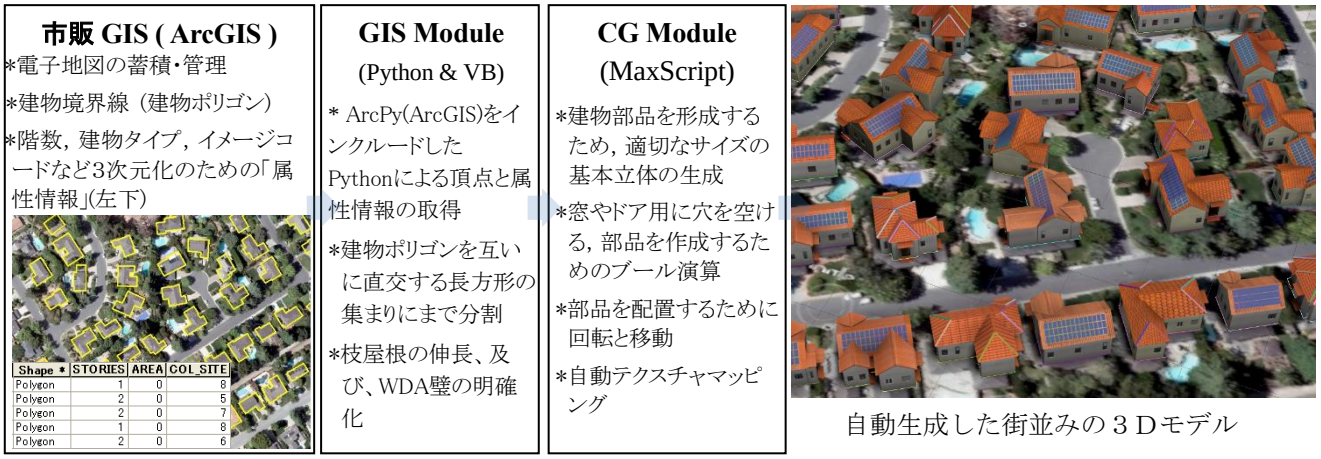
Keywords: 自動生成（automatic generation），３次元建物モデル（3D building model），階段状建物（step-shaped building model）,ポリゴン分割（polygon partitioning），建物境界線（building footprint）

１．はじめに

経済発展と社会的課題の解決を両立する「Society 5.0」の実現には，「IoT」や「責任ある AI」，「ビッグデータ解析」等の情報技術の成果を最大限活用し，現実都市のデジタルレプリカである「スマートシティ/Digital Twin」プロジェクトを強力に推進する必要がある．「Digital Twin」では，「建物の３Ｄモデル群」(図－１右)を効率よく作ることが求められる．Digital Twin の３Ｄモデルは人や車の流れだけでなく，ビルのパイプラインの水や電気等の流れをリアルタイムで把握できるとしている．ここで，持続可能な「スマートビル」とこれらを集合した「スマートシティ/Digital Twin」はどうあるべきかを仮想空間で検討するとき，建物の３Ｄモデルは屋上緑化やソーラーパネルを備え，どれぐらいパネルが太陽光を受け止められるのか．さらに，３Ｄモデル内部，即ち，部屋に入ることができ，建物形状に応じて，冬に太陽光がどのように導かれるのか，あるいは，夏にはどのように遮蔽されるのか等をシミュレーションできれば，よりよいスマートビルの設計につながる．そのため，建物の３Ｄモデルを効率よく作ることが求められる．しかし，現状では，３Ｄモデルを構築するには，３次元ＣＧやＣＡＤソフトを用いて，膨大な手作業にて，建物の３Ｄモデルを製作する．

これまでの研究(2013, 2016, 2020)で，電子地図上の頂角がほぼ直角の建物境界線 (直角建物ポリゴン)を四角形の集まりまで分割し，四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し，各長方形の上に Box 形状の建物本体と屋根を配置して３次元建物モデルを自動生成した．さらに，分割四角形のどの辺に壁を作り，あるいは，「壁のどこからどこまで窓やドアが設置できるか (WDA 壁: Windows and Doors Available wall)」を明らかにする手法も提案した(2020). 本研究では，建物ポリゴンを分割して出来上がった「分割四角の集まり」を，分割された「枝部」を「子」，残った四角を「親」とする「ツリー

*　会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系　研究協力員 (Kanazawa University)　〒920-1192 金沢市角間町 E-mail: mjsbp812@yahoo.co.jp
**　非会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系 (Kanazawa University)　shenzhe@t.kanazawa-u.ac.jp
***　会員　中京学院大学　短期大学部 (Chukyo Gakuin University)　murase@chukyogakuin-u.ac.jp



図−１　自動生成システムの構成と３Ｄモデルの自動生成のプロセス

構造」とみなし，「ルート(root)」には建物ポリゴンに関連付けている「フル階数」，子がない「リーフ」は「スタート階数」，ルートとリーフの間の「層」の四角形には，「ツリー全体の階層」とフル階数，スタート階数から計算される中間の階数を与え，「階段状建物」を自動生成するとした．ここで，「層」は，その四角形が枝部を持ち，その枝部がさらに何層までの子の枝部を持つかの「レベル(ツリー深さ)」とした．

２．既往の研究

街並みの３Ｄモデルは，広範囲に利活用が期待される情報インフラであるため，自動的あるいは半自動的で街並みの３Ｄモデルを構築する研究が盛んである．現存する街並みの３Ｄモデルは，ステレオ画像の航空写真や衛星写真からＣＶ(コンピュータビジョン)や写真測量(Photogrammetry)，リモートセンシングの技術を用いて，建物をふくむ地物の３次元形状を復元する．これらの測量法は，得られた点群に面を割り当て，テクスチャマッピング(模様の貼り付け)を施した表面モデル(Surface Model)であり，正確なサイズの建物概形の３Ｄモデルを提供するが，窓や玄関，柱，壁といった建物の詳細を持たず，力学や建物内の太陽光などのエンジニアリングシミュレーションが困難な，現状把握や景観を重視する３Ｄモデルである．

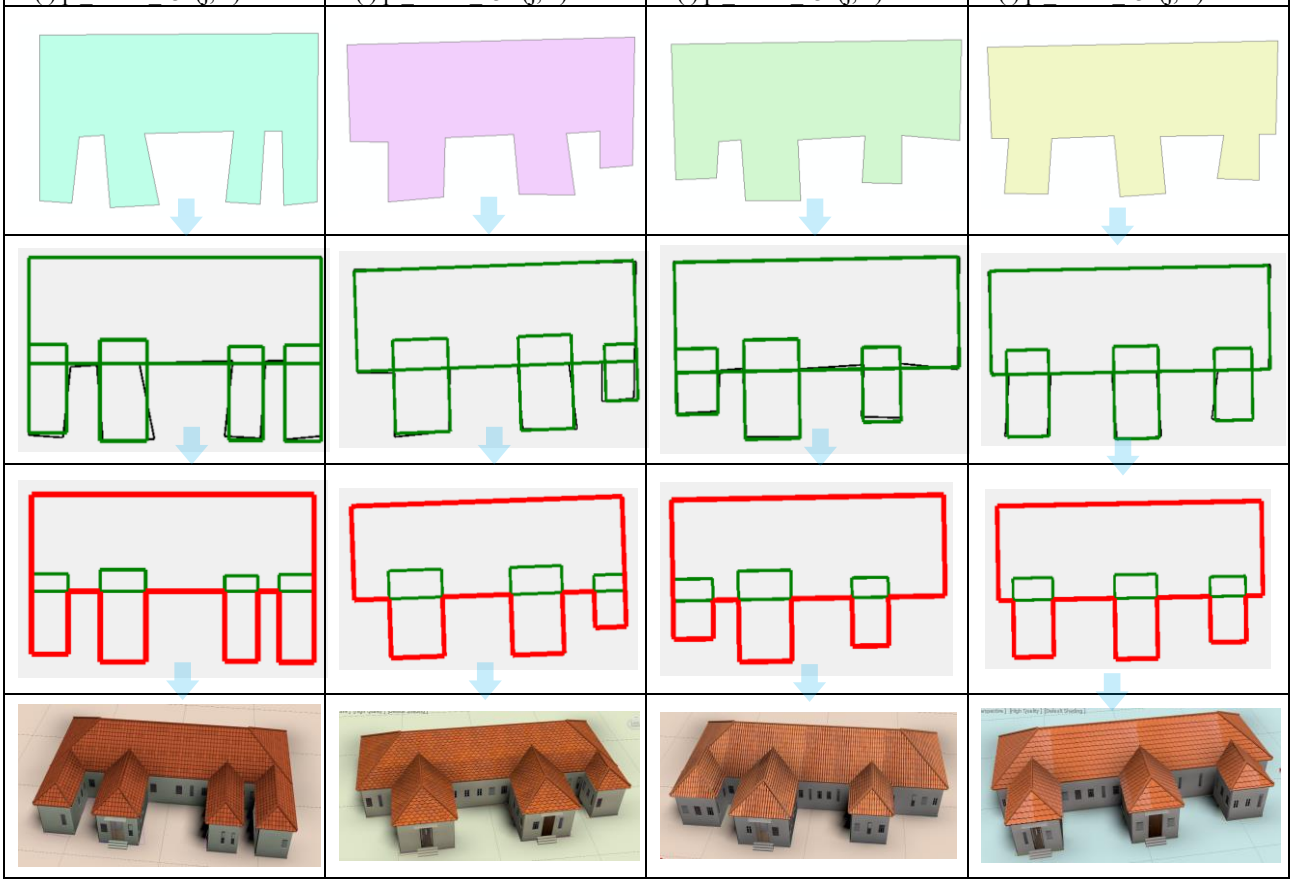
まだ，存在しない，これから作る計画案の街並みの建物の３次元形状をドローン等で取得することはできないが，詳細を有する現状ありうる形状の３次元建物モデルを，製作ルールで自動生成する手続き型モデリング(Procedural Modeling) が研究されている．Wonka ら(2006)は，この手続き型モデリングにおいて，ＧＩＳが蓄積管理する電子地図から「建物境界線」を取り込んで，彼らの形状言語において，基本形に分類する．もし，それができない形状であれば，建物ポリゴンの押し出し処理(Extruded Footprint)と Straight Skeleton 手法(1995)を用いて一般形状の屋根を生成している．しかし，Straight Skeleton 手法による生成される屋根は，Straight Skeleton の縮小処理において，短い辺は消失するので，長い辺が残ることになり，屋根頂線は，建物境界線の「長辺に平行な頂線」を持つ屋根しか生成できない．屋根形状は多種多様に渡り，「長辺に垂直な頂線」となる屋根も存在する．

本研究で提案するシステムでは，電子地図上の建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割･分離して，各四角形の上に独立して建物形状を作成できる．屋根形状は多種多様であり，「四角形の長辺に垂直な頂線」となる屋根も存在する．本システムでは，分割･分離した四角形の長辺に平行な屋根頂線とするか，垂直な頂線とするかをポリゴンに関連付ける属性情報で決め，屋根形状を生成できる．また，本研究の建物の３Ｄモデルは，リモートセンシングや Procedural modeling で得られる表面モデルと異なり，３Ｄモデルの各部材は中身の詰まった CSG のモデルであり，３Ｄモデルの内部に入って，太陽光がどのように差し込むか，あるいは，力学や熱伝導・熱流体解析等のエンジニアリング･シミュレーションに利用できる．

３．端枝部の場合分けによるＷＤＡの明確化

本手法では，建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割し，全ての分割四角形にIDを割り当て，分割四角形の「隣接情報」を調べ，この隣接情報に基づいて，四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで整形し，これら長方形の上に，主に薄いbox形状の壁や板を組み合わせて，建物本体や屋根を自動生成する．この「隣接情報」は，分割処理が全て終了し，全ての四角形にIDが割り当てられたあと，分割した四角形の「切り口の辺」が，どの四角形に含まれ，次に，その四角形のどの辺に含まれるかを順次探索し，隣接情報を取得する．具体的には，四角形頂点の「ラベリング(番号付け)」を行い，辺に辺番号をつけ，「どの四角，次にどの辺に含まれるか」を特定する(2013, 2016).

本手法では，次の図−２に示すように四角形の端に位置する分割四角である「端枝部」の有無に応じて，ＷＤＡ壁(Windows and Doors Available wall)の範囲を場合分けし，明確化を行う．本システムでは，分割四角の各辺を「オブジェクト」として，その辺に接していた「子の分割四角」の隣接辺の２頂点の座標を「足跡(footprint)」として「辺オブジェクト」に保存する．その頂点の座標は「添字 : R(j).i_ed34_last」を割り振り記憶する．ここで，「R(j)」はj番目に分割された「四角形(Rectangle)オブジェクト」，「i_ed34_last」はそのメンバーで「親の四角形の辺34(ed34)に残した子である分割四角の足跡の頂点座標の”添字”」となる．分割は順番に行われるとは限らないので，辺上の足跡である頂点を順に並べる必要がある．これら頂点を辺オブジェクトの「原点」(辺34であれば原

Fw_bra_flag=ON; Bw_bra_flag=ON;	Fw_bra_flag=Off; Bw_bra_flag=ON;	Fw_bra_flag=ON; Bw_bra_flag=Off;	Fw_bra_flag=Off; Bw_bra_flag=Off;
R(i).num_WDA_e34= Int(nv(i_st)/2) For j = 1 To nv(i_st) R(i).ptd_WDA_e34(j,i_st)= R(i).pt_WDA_e34(j, 1)	R(i).num_WDA_e34= Int((nv(i_st)+1)/2) For j = 1 To nv(i_st) - 1 R(i).ptd_WDA_e34(j+1,i_st)= R(i).pt_WDA_e34 (j, 1)	R(i).num_WDA_e34= Int((nv(i_st)+1)/2) For j = 2 To nv(i_st) R(i).ptd_WDA_e34(j+1,i_st)= R(i).pt_WDA_e34(j, 1)	R(i).num_WDA_e34= Int((nv(i_st)+2)/2) For j = 2 To nv(i_st) - 1 R(i).ptd_WDA_e34(j+1,i_st)= R(i).pt_WDA_e34(j, 1)
			

図−２ 建物ポリゴンの端枝部の有無による場合分け、窓やドア設置可能な壁(WDA 壁)の数と座標の導出式、元の建物ポリゴン、ポリゴン分割，四角形整形と直交化，枝屋根延長，WDA 壁の明確化，自動生成された３次元建物モデル

点は頂点３：図5(b)(c)で「pt3」）からの距離に応じて，ソートして，図−２の表、上から２行目の式に示すようにＷＤＡ壁の座標を出力する．

これまでの研究で，四角形の頂点は時計回り（Forward）に番号付けし，反時計回りはBackwardとした．図−２の場合分けでは，その辺にBackwardに分割する枝部がない場合（Bw_bra_flag=Off）は，ＷＤＡはその辺の原点からスタートし，Forwardに分割する枝部がない場合（Fw_bra_flag=Off）は，ＷＤＡはその辺の終点で終了する．Backwardに分割する枝部がある場合（Bw_bra_flag=ON）は，ＷＤＡは端枝部の本体四角と共有する頂点と異なる頂点からスタートするというように場合分けし，ＷＤＡを明確化する．図−２の表の２行目で，「R(i).num_WDA_e34」は「辺34（e34）上のＷＤＡ壁の数（num_WDA）」を表し，４つのケースで表のように計算される．同図左端のケースでInt(nv(i_st)/2)のnv(i_st)はi_st階での「足跡の数」で，その半分がＷＤＡ壁の数となっている．この場合，辺34上の複数のＷＤＡ壁の両端の座標は以下の式；

For j = 1 To nv(i_st)

R(i).ptd_WDA_e34(j,i_st)=R(i).pt_WDA_e34(j,1)

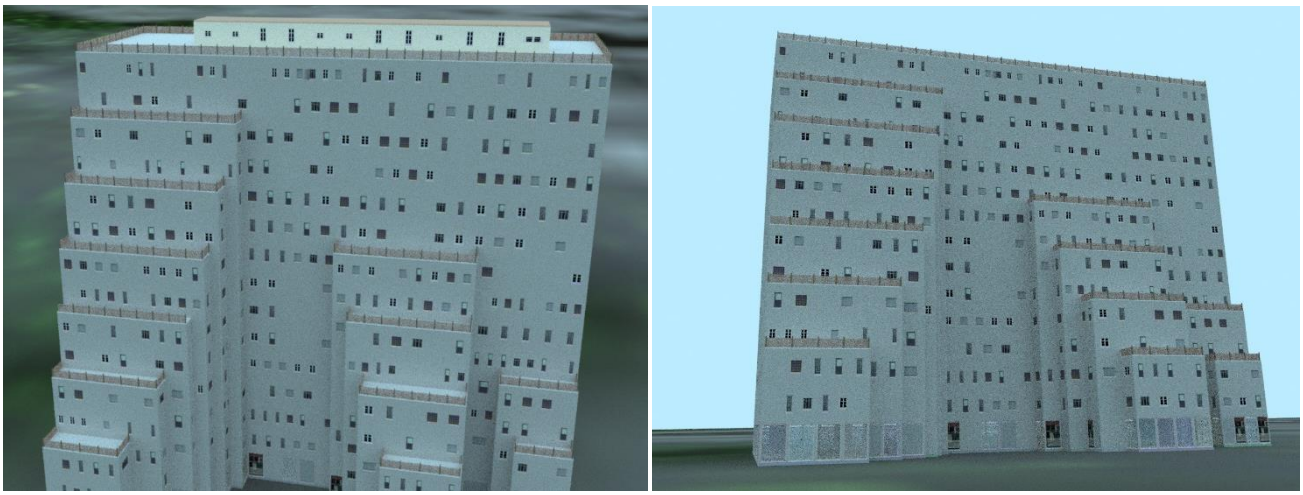
で与えられる．ここで，R(i).pt_WDA_e34(j,1)はソートされた1階のＷＤＡの頂点の座標を表し，R(i).ptd_WDA_e34(j,i_st)は，i_st階の決定されたＷＤＡの頂点の座標を表す．1階のＷＤＡが基本で，上階であるi_st階では，次章で述べる階層レベル(k-th)によって，端枝部はなくなる場合があり，２つの添え字でpt_WDA（ＷＤＡの頂点）を区別する．

４．階数によるＷＤＡの変化

これまでの手法では，建物ポリゴンに関連付けている階数に応じて，建物ポリゴン全体を，その階数分，「押し出し(extrude)」処理するように建物を自動生成してきた．建物の容積は多くとれるものの，階段状建物などの多様性のある建物は自動生成できなかった．階段状建物は，デザイン性が優れているだけでなく，広く屋上緑化やベランダに太陽光パネルを設置し，「スマートビルディング」の有力な候補となりうる．

本手法では，建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割し，分割四角が「隣接四角の属性情報や隣接辺，隣接の仕方である”隣接情報”」を検索・取得し，それらに基づいて，分割四角上に建物を自動生成する．本手法では，この検索する分割四角が上記隣接情報に加え，「階層レベル(ツリーの深さ)」も取得する．即ち，分割四角は接続している「親四角」の「階層レベル(k-th とする)」を取得し，自分より小さいか等しい場合に，その親四角の階層レベルを自分より一つ大きい階層レベルにする．この操作は，次にその親四角を「子四角」として，その子四角が親四角を持つかどうかを調べ，親の階層レベルが自分より小さいか等しい場合，親の階層レベルを自分より一つ大きい階層レベルにする．この操作を親四角が「ルート(ツリーの最上位)」か「吸収型四角」になるまで続ける．

上記操作を行い，全ての分割四角に「k-th (階層レベル)」が与えられ，それに基づいて，「階数」が計算される．この操作の結果を図−３の本研究で自動生成



図−３　本研究で自動生成した階段状ビルディング（１５階建て、階層レベル(k-th)は７層）

した階段状建物で示す．即ち，ルートの四角は建物ポリゴンに関連付けた「フル階数」である１５階，四角形の集まりをツリー構造とみなし，リーフの四角は「k-th」が最小の１で，これには，同様にポリゴンに関連付けられた「スタート階数」より，３階としている．これらの中間の四角には，それらの k-th のレベルに応じて，階数を次の式に基づいて算出する．

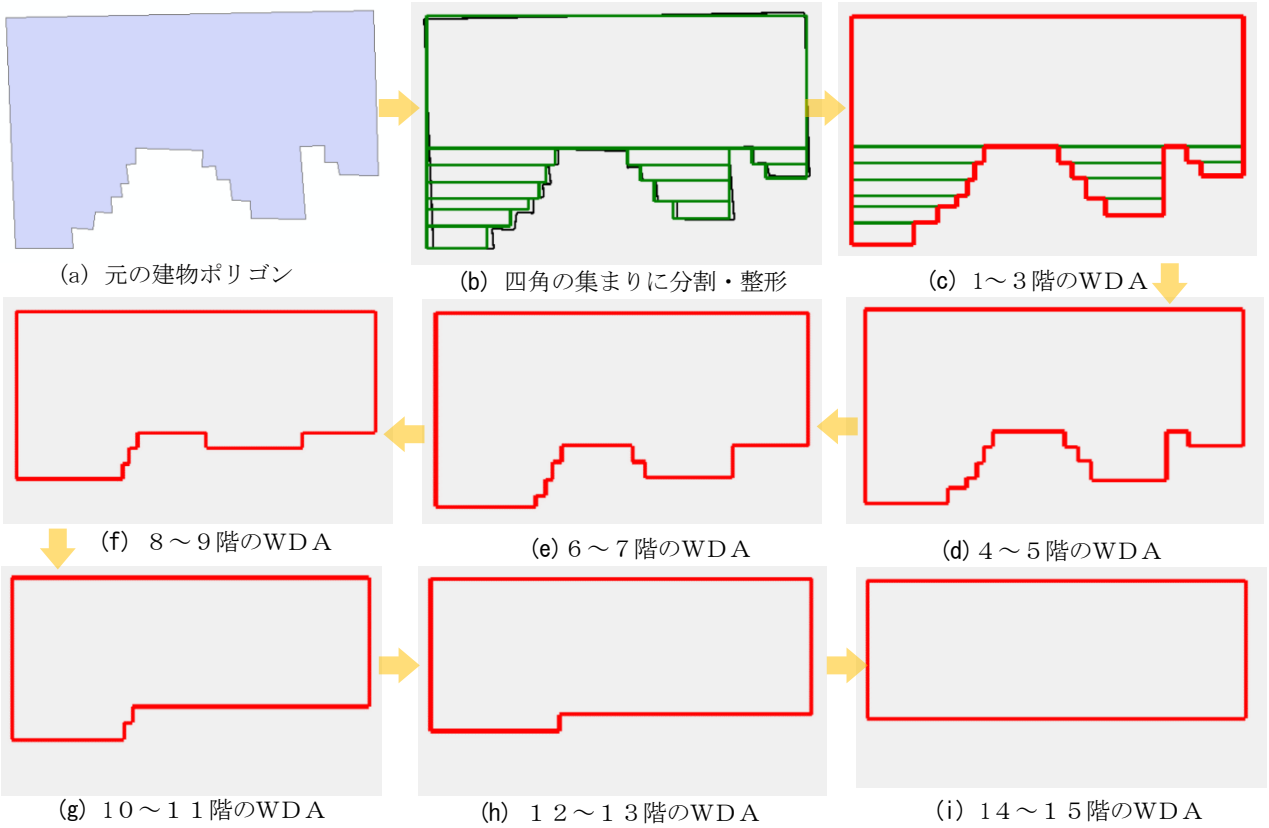
floor_dif = Int((stories - sta_st) / (k-th_max - 1))

Rect(ii).story = sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)

ここで，「sta_st」は「スタート階数」，「stories」は「フル階数」，「Rect(ii)」は ii 番目の分割四角で，「Rect(ii).story」は分割四角の階数，「Rect(ii).k-th」は分割四角の「階層レベル(k-th)」，「Int()」は小数点以下を切り捨て，整数化する関数である．具体的に，図−３の建物の場合，sta_st=3，stories=15, k-th_max=7 となり，floor_dif=2 と算出され，Rect(ii).k-th=1 で Rect(ii).story=3, Rect(ii).k-th=2 で Rect(ii).story=5 となり以下，Rect(ii).k-th より，各分割四角の階数が算出される．

各分割四角の上に，算出された階数分の建物を生成することになるが, 図−４に示すようにＷＤＡ壁の範囲は階数によって異なることになる．例えば，図−４のルートの四角にはフル階数(=15 階)が与えられるが，その３つの「子四角」は，k-th が異なるため子四角の階数が異なる．建物向かって右側の子四角の k-th は２であるので，階数=sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)=5 となり，建物向かって真中の子四角の k-th は４で，階数=9，建物向かって左側の子四角の k-th は６で階数=13 となる．ルートの四角が１階から１５階まで階数を上げていくとき，５階までは隣接する３つの子四角から生成される「枝建物」と接し，６階からは向かって右側の枝建物は消え，９階までは２つの枝建物と接し，１０階からは，１つの枝建物と接し，さらに，１４階と最上階では接する枝建物はなくなり，ルート四角の全ての辺に窓が取り付けられる．

ＷＤＡは２章で述べた４つのケースに場合分けされて, 導き出され, 図−３の建物の１階から５階では，辺両側の端枝部がある場合(Fw_& Bw_bra_flag=ON)，６階から１３階では，片側のみ端枝部で，中間枝部(Fw_& Bw_bra) がある場合 (Fw_bra_flag=ON, Bw_bra_flag=Off)と場合分けして, ＷＤＡを導出する．



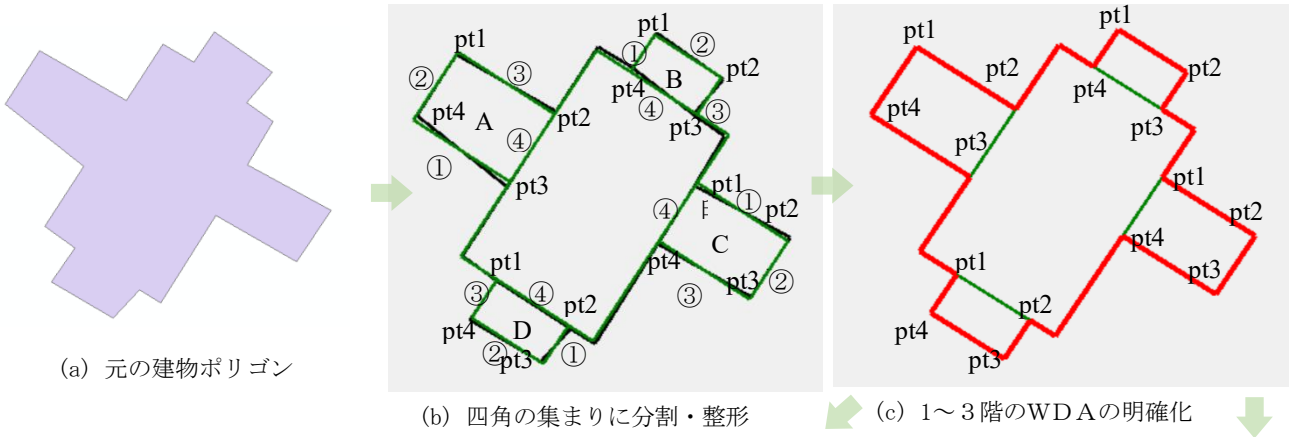
図−４ ポリゴン分割，四角形整形と直交化、各階における WDA(Windows and Doors Available wall)の変化

５．階段状建物モデル用フェンス設置位置明確化

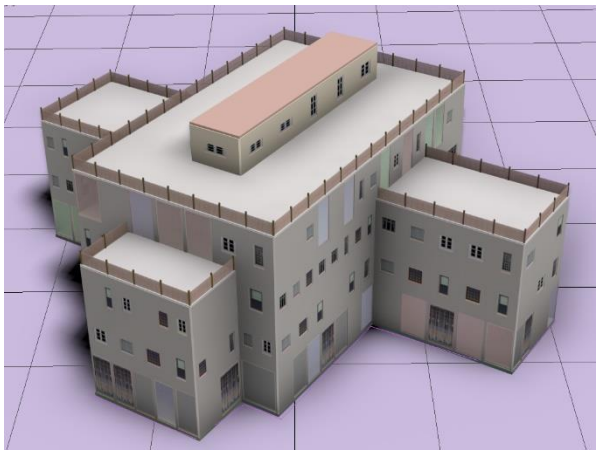
これまでの研究(2013, 2016)で，頂角がほぼ直角の建物ポリゴンを四角形の集まりに分割し，四角形頂点のラベリングを行い，「分割四角」は自分の「切り口」がどの四角形と接続し，その四角のどの辺かを調べ，「隣接四角の属性情報や隣接辺，隣接の仕方などの“隣接情報”」を取得した．階段状建物モデルのバルコニーフェンスの設置位置を明確化する際も，分割四角形の「切り口」が「どの辺か」に基づいて，フェンスの設置位置を明確化する．即ち，「切り口」の辺にはフェンスを設置せず，「切り口」以外の辺で，少しセットバックした位置にフェンスを設置する．分割四角形が自分の「切り口」をどう特定するかを図−５に示す．図−５(b)(c)において，時計回りに四角形の頂点を辿るとき，右に向かう辺が最長のとき，その始点を点１(pt1)，または左に向かう辺が最長のとき，その始点を点３(pt3)とし，残りの頂点を時計回り順に番号付けする．このとき，「切り口の辺」は図−５に示す「頂点の相対添字(①〜④)」に示すように，必ず④番目となる．即ち，図−５(b)の左に向かう辺が最長となり，その始点が点３となる分割四角 A においては相対添字④の辺 23(pt2 と pt3 の間の辺)が「切り口の辺」，分割四角 B においては辺 34，分割四角 C においては辺 41，分割四角 D においては辺 12 がそれぞれ「切り口の辺」となる．このように本システムは分割四角の頂点を時計回りである「相対添字(①〜④)」順に辿り，辺長を計算し，その４つの辺の中で最長の辺の相対添字，その辺の向きから，上記のように「切口辺」を決定する．

6. まとめ

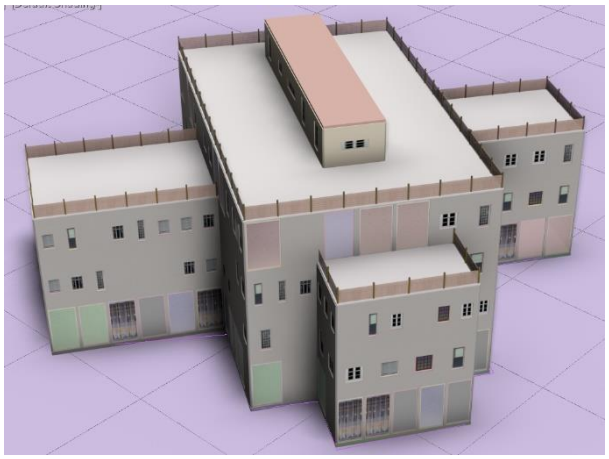
本研究では，建物ポリゴンを四角の集まりまで分割し，四角の集まりをツリー構造とみなし，従来からの「隣接情報(隣接四角の属性情報や隣接辺，隣接の仕方)」に加え，分割四角はツリーのリーフからの階層レベル(k-th)を取得し，それに基づいて，各分割四角に異



(a) 元の建物ポリゴン　(b) 四角の集まりに分割・整形　(c) 1〜３階のWDAの明確化



(d) ベランダにフェンスを設置した建物(1)



(e) ベランダにフェンスを設置した建物(2)

図−５　ポリゴン分割，四角形整形と直交化、WDA とフェンス設置位置の明確化


(a) 階段状建物モデルを正面から見た図


(b) 屋上緑化した階段状建物(17階、17階、19階)


(c) 階段状建物(17階、17階、19階、全てk-th=7)


(d) 側面から見た階段状建物モデル

図-６　自動生成した屋上緑化した階段状建物(１７階、１７階、１９階、全てk-th=7)

なる階数を与え,階段状建物モデルを自動生成した.このとき，分割四角の上にbox形状の建物を組み合わせて建物全体を構築するが，窓やドア，掃き出し窓を設置できる壁(ＷＤＡ壁)を明らかにする必要がある．ＷＤＡ壁は階段状建物モデルでは，隣接している子の分割四角の階数に応じて，即ち，子の分割四角の階数以下では，子の建物によって，ＷＤＡ壁は遮られ，階数以上では，子の建物によって遮られることはない．本研究では，異なる階数となる分割四角上の建物本体の組み合わせで，階数が増すにつれ，ＷＤＡ壁が変化する(遮られることなく広がる)ことを明らかにした．いわば階数という上に向かう軸にも依存する「２次元でのＷＤＡの明確化」を行った.階段状建物は,図-６に示すようにバルコニーに植栽することでの屋上緑化やベランダに太陽光パネルを設置することで,「スマートビルディング」の有力な候補となりうる.

謝辞

本研究は,JSPS科研費の研究課題番号:20K03138と21K04405, 23K04156の助成を受けて遂行された.ここに謝意を表する.

参考文献

Sugihara,K. and Kikata,J. (2013) Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, Journal of Computing in Civil Engineering ASCE (American Society of Civil Engineers), 27, 476-488. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000192.

杉原 健一・村瀬 孝宏 (2016) 3次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形,「土木学会論文集F3（土木情報学)」, 72(2), I_167-I_174.

杉原健一・沈　振江・村瀬 孝宏 (2020) 窓設置可能な壁を明確化する建物ポリゴン分割及び整形による３次元建物モデルの自動生成,「日本建築学会第43回 情報・システム・利用・技術 シンポジウム」, 43(1), 356-359.

Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., and Van Gool, L. (2006) Procedural modeling of buildings, ACM Transactions on Graphics, pp.614-623.

O. Aichholzer, F. Aurenhammer and D. Alberts, B. Gärtner (1995) A novel type of skeleton for polygons, Journal of Universal Computer Science, 1 (12), 752-761.

多重建物ポリゴンからの高層建物モデルの自動生成

村瀬　孝宏*・杉原　健一**・沈　振江***

Automatic Generation of High Rise Building Models from Multiple Building Polygons

Takahiro Murase*, Kenichi Sugihara**, Zhenjiang Shen***

In our previous work, 3D building models have been automatically generated based on the number of floors associated with building polygons on digital maps. This is done by applying an "extrusion" to the entire building polygon, extending it by the corresponding floor number. While the volume of the building model can be substantial, buildings with diverse shapes in the vertical direction could not be generated. In this study, we aim to automatically generate buildings with vertical diversity by including building polygons within other building polygons (Multiple Building Polygons). The inner polygon will obtain attribute such as the number of the floor from the enclosing outer polygon. We start constructing the building model of the inner polygon based on the number of the floor of the outer polygon. In this case, the building polygons can not only consist of orthogonal polygons but also include ‘non-orthogonal’ polygons. For ‘non-orthogonal’ building polygons, the straight skeleton method is employed to partition the polygons into 'monotone polygons'.

Keywords: 自動生成(Automatic generation), 3 次元建物モデル(3D building model), ストレートスケルトン手法(straight skeleton method),多重建物ポリゴン(Multiple building polygon)

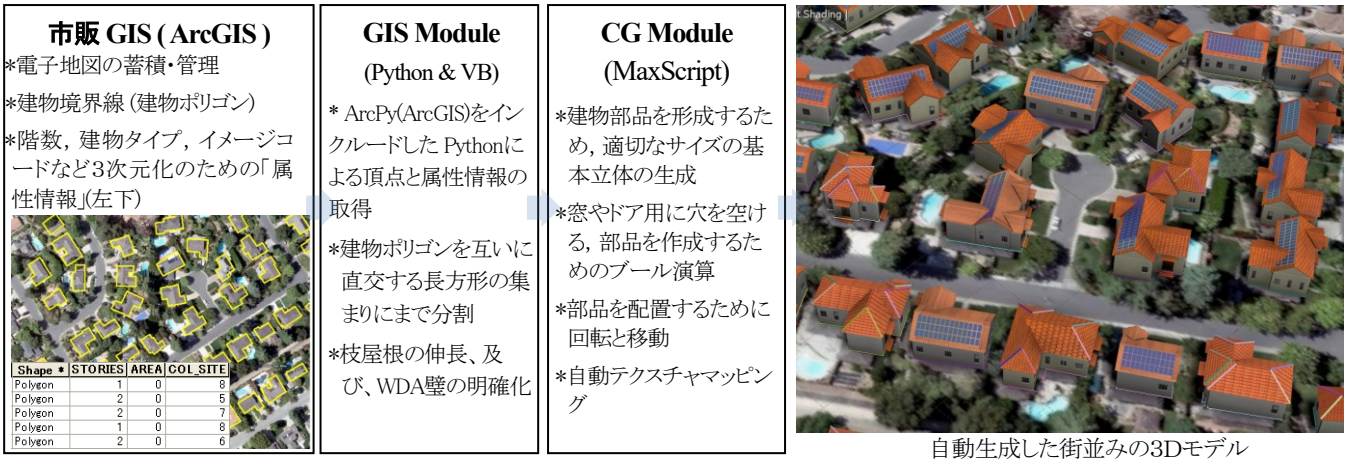
1. はじめに

図-１右に示すような「３次元建物モデル」は，まちづくりの案を検討する際，関係者で計画案の出来上がりのイメージを共有でき，合意形成に役立つ．例えば，持続可能な「スマートハウス」とこれらを集合したスマートタウンはどうあるべきかを仮想空間で検討するとき，建物の３Ｄモデルはソーラーパネルを備え，どれぐらいパネルが太陽光を受け止められるのか．さらに，３Ｄモデル内部，即ち，部屋に入り，建物形状に応じて，冬に太陽光がどのように導かれるのか，あるいは，夏にはどのように遮蔽されるのか等をシミュレーションできれば，よりよいスマートハウスの設計につながる．そのため，建物の３Ｄモデルを効率よく作ることが求められている．しかし，現状では，３Ｄモデルを構築するには，それぞれ，専門家が描く「建物境界線や平面図」に基づき，３次元ＣＧやＣＡＤソフトを用いて，膨大な手作業にて，建物の３Ｄモデルを製作する．

これまでの著者らの研究で，電子地図上の建物境界線 (建物ポリゴン)が，その頂角がほぼ直角である場合(直角建物ポリゴン)，それを四角形の集まりまで分割し，四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し各長方形の上に Box 形状の建物本体と屋根を配置して３次元建物モデルを自動生成した(杉原・沈, 2013; 杉原・村瀬, 2016) .

この分割処理では，ポリゴンの Reflex 頂点(内角が 180 度以上の頂点)から分割線の候補を引き，分割線の優先度の高い順に分割処理を実行した．分割された四角形の集まりを互いに直交する長方形の集まりとして再構築するために，分割四角形は「どの四角形のどの辺にどのように接していたか」という「隣接情報」を分割四角形に保存する．「どのように接していたか」は，分割線がどの様に引かれるかで判明し，「どの四角形のどの辺」かは，分割四角形の隣接辺がどの四角形の，次にその四角形のどの辺に含まれるかを順次探索して調べる．

*　会員　中京学院大学　短期大学部 (Chukyo Gakuin University) murase@chukyogakuin-u.ac.jp
**　会員　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系(Kanazawa University) mjsbp812@yahoo.co.jp
***　非会員　金沢大学　理工研究域　(Kanazawa University) shenzhe@t.kanazawa-u.ac.jp



図－１　自動生成システムの構成と３Ｄモデルの自動生成のプロセス

ここで，分割四角形の形状，即ち，本体ポリゴンの「内角が９０度の頂点」をどれだけ(３頂点以上かそれ未満か)含んだ分割四角形であるかに応じて，分割四角形から枝屋根を延長させるかどうかを決める．これは長方形が，その３頂点（P1,P2,P3）の位置が決まると，第４点(P4)の位置が（P1+P3-P2）で決まり，独立した四角形として，独立した屋根が載ることになるからである．

このように，「頂角」が直角の「直角建物ポリゴン」に対しては，それを長方形の集まりに分割・分離して，３次元建物モデルを自動生成した．しかしながら，地図上の建物境界線はその頂角が直角とは限らず，「非直角ポリゴン」も多数存在する．そこで，ポリゴンの各辺がポリゴン内部方向に，平行に一定速度で縮小するとき，各頂点の軌跡を辿ることで得られる「直線状の骨格(ストレートスケルトン)」を利用するストレートスケルトン手法(Aichholzer et al., 1995) を用いて，非直角建物ポリゴンに対しても，屋根付き３次元建物モデルを自動生成する．図-2 に示すように，頂角が直角でない「非直角ポリゴン形状」の建物ポリゴンに対しても一般的な屋根付き３次元モデルを自動生成するシステムを提案した(杉原・沈, 2013; Sugihara et al., 2013) .

但し，Aichholzer ら(1995)によるストレートスケルトンの論文では，ストレートスケルトンの「数学的な性質，公式」は述べられているが，「構築手法」は述べられておらず，本研究における「スケルトンの構築手法」は独自の手法であり，改良を続けている．例えば，主に建物ポリゴンが直角ポリゴンの場合，想定しなければならない，後述する「同時発生イベント」，及び，縮小プロセスの最後のステージにおいて，考えなければならない「収束の形」があり，これらのイベント及び収束の形を提案した(杉原・沈, 2013; Sugihara et al., 2013).

筆者らの高層ビルを自動生成するこれまでの研究で，電子地図上の建物境界線である建物ポリゴンに関連付けている階数に応じて，建物ポリゴン全体を，その階数分，「押し出し(extrude)」処理し，建物を自動生成してきた．建物の容積は多くとれるものの，建物の垂直方向に多様性のある形状の建物は自動生成できなかった．本研究では建物ポリゴンの中に別の建物ポリゴンを含め，内側のポリゴンは外側の囲むポリゴンの高さデータなどの属性情報を取得し，そこから建物モデルを構築し始めるというように垂直方向にも多様性のあるビルを自動生成することを目指した．このとき，建物ポリゴンはかならずしも，直角建物ポリゴンばかりでなく，非直角建物ポリゴンも配置可能とし，非直角建物ポリゴンの場合は，ＳＳ法(ストレートスケルトン手法)によって，ポリゴンを「単調変化ポリゴン(monotone polygons)」に分割し，屋根など屋上構造物を自動生成する．本建物モデルは，屋上緑化や太陽光パネル設置行うことで「ＺＥＢ(Net Zero Energy Building)」の有力な候補となりうる．

2. 既往の研究

街並みの３Ｄモデルは，広範囲に利活用が期待される情報インフラであるため，自動的あるいは半自動的で街並みの３Ｄモデルを構築する研究が盛んである．現存する街並みの３Ｄモデルは，ステレオ画像の航空写真や衛星写真からＣＶ(コンピュータビジョン)や写

真測量(Photogrammetry)，リモートセンシングの技術を用いて，建物をふくむ地物の３次元形状を復元する．これらの測量法は，得られた点群に面を割り当て，テクスチャマッピング(模様の貼り付け)を施した表面モデル(Surface Model)であり，正確なサイズの建物概形の３Ｄモデルを提供するが，窓や玄関，柱，壁といった建物の部材を持たず，力学や建物内の太陽光などのエンジニアリングシミュレーションが困難な，現状把握や景観を重視する３Ｄモデルである．

これから作る計画案の建物モデルは，まだ，存在しないので，３次元形状をドローン等で取得することはできない．計画案の建物モデルは主に３次元ＣＡＤソフトを用い，伝統的な「平面図，側面図，立面図，断面図」から３Ｄモデルを生成する．詳細を有する現状ありうる形状の３次元建物モデルを，製作ルールで自動生成する「手続き型モデリング(Procedural Modeling)」が研究されている．Wonka ら(2006)は，この手続き型モデリングにおいて，電子地図から「建物境界線」を取り込んで，彼らの形状言語において，基本形に分類する．もし，それができない形状であれば，建物ポリゴンの押し出し処理(Extruded Footprint)と ストレートスケルトン手法(ＳＳ手法)を用いて一般形状の屋根を生成している．しかし，ＳＳ手法により生成される屋根は，縮小処理において，短い辺は消失するので，長い辺が残ることになり，屋根頂線は，建物境界線の「長辺に平行な頂線」を持つ屋根しか生成できない．屋根形状は多種多様に渡り，「長辺に垂直な頂線」となる屋根も存在する．

本研究で提案するシステムでは，電子地図上の建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割･分離して，各四角形の上に独立して様々な建物形状を作成できる．また，本研究の建物の３Ｄモデルは，リモートセンシングや Procedural modeling で得られる「表面モデル」と異なり，「部材を持つ CSG のモデル」であり，３Ｄモデルの内部に入って，太陽光がどのように差し込むか，あるいは，力学や熱伝導・熱流体解析等のエンジニアリング･シミュレーションに利用できる．

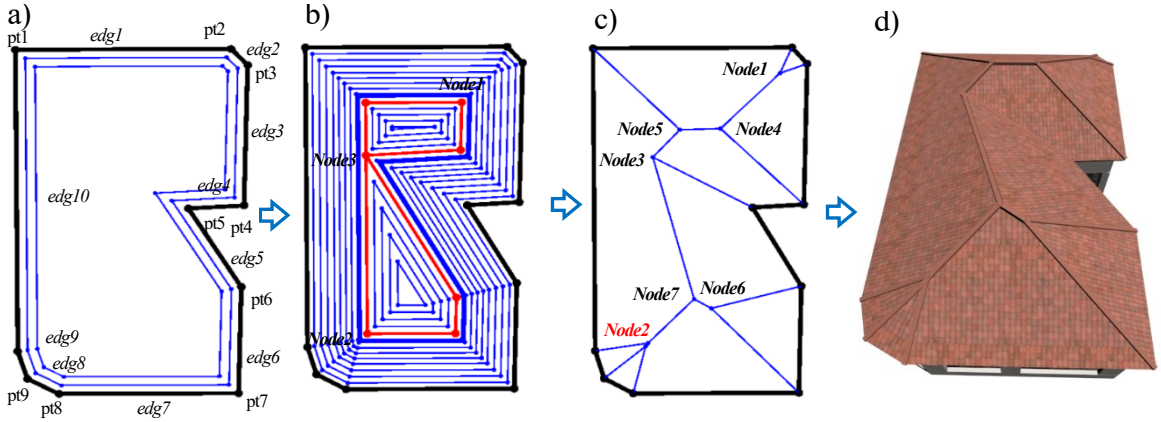
3. ストレートスケルトン手法の概要

Aichholzerら(1995）によると，ストレートスケルトンは，一定速度でのポリゴンの縮小プロセスにおいて各頂点が辿る「頂角の２等分線(angular bisector)」の集まりとして形成される(図-2 c)，図-3 c))．この縮小プロセスは，次のイベントが生じるまで続く．

①辺消失イベント（Edgeイベント）：辺が縮小して消失する．消失辺の両側の辺が，以降は接する．

②分割イベント（Splitイベント）：Reflex頂点（内角が180度以上の頂点）が辺に交差して，ポリゴンを分割する．分割されて２本になった辺とReflex頂点に付随する辺が，以降は接するという新たな隣接関係が生じる．

下の図-2は，本手法をSimpleポリゴンに適用し，ストレートスケルトンの生成プロセス及びmonotone(単調増加)ポリゴンに基づいて屋根板を生成し，屋根を



図−２　ストレートスケルトンの生成プロセス及び monotone(単調増加)ポリゴンに基づいて自動生成した３次元建物モデル **a)** 入力ポリゴン(太線)に対しポリゴン全辺が等速度で自らに平行にポリゴン内部への縮小処理の開始 **b)** 等速度で縮小するイベントが生じていない縮小プロセス下のポリゴン群(青線)と分割イベントが生じたときの縮小ポリゴン(赤線) **c)** ポリゴン各頂点の軌跡を辿ることで得られる「直線状の骨格(ストレートスケルトン)」とイベントで生じるノード群 **d)** ストレートスケルトンによって分割された結果生じた monotone(単調増加)ポリゴンに基づいて自動生成した３次元建物モデル

自動生成した３次元建物モデルを示す．図-2 a)では，入力ポリゴン(太線)に対し，ポリゴン全辺が等速度で自らに平行でポリゴン内部へ後退を開始した「縮小処理」の様子を示し，図-2 b)では，前記イベントが生じていない，等速度で縮小するポリゴン群(青線)と分割イベントが生じたときの縮小ポリゴン(赤線)を示す．図-2 c)では，ポリゴン各頂点の軌跡を辿ることで得られる「直線状の骨格(ストレートスケルトン)」とイベントで生じるノード群を示し，図-2 d)では，ストレートスケルトンによって分割されて結果生じた「monotone(単調増加)ポリゴン」に基づいて自動生成した３次元建物モデルを示す．

4.「第３のイベント」によるＳＳ手法

本研究では，Aichholzerら(1995)のストレートスケルトンの論文で述べられている縮小処理の２つのイベントの他に，第３のイベントが生じることを提案した．これは，主に建物ポリゴンが直角ポリゴンの場合，想定しなければならない，「同時発生イベント」，及び，縮小プロセスの最後のステージにおいて，考えなければならない「収束の形」があり，これらのイベント及び収束の形を提案した(杉原・沈, 2019)．

分割イベントでの，ノードの位置は，図-4(d)で示すように，２つの２等分線の交点で与えられる．その２等分線は，１つはReflex頂点からの２等分線と，２つ目は，それに交差する辺とReflex頂点を端点とする辺が交差する点からの２等分線となる．縮小処理におけるイベントで，特殊なケースとして，前述の２つのイベントが同時に生じる「第３のイベント」を図-3 c) Node2とNode3で示す．この第３イベントは，Reflex頂点からの頂角２等分線が他の辺と交差して分割イベントが起こるが，分割されたポリゴンで，同時に辺消失イベントが生じ，分割されたポリゴンが消失してしまうイベントである．具体的に，図-3においてpt2からの頂角２等分線がedge4と交差，pt5からの頂角２等分線がedge2と交差して，分割イベントが起こるが，分割されたポリゴン(pt3とpt4と交差してできる交点から出来上がる極細の３角形)は，同時にedge3が消失する辺消失イベントが生じ，消失してしまう「第３のイベント(辺消失イベント&分割の同時イベント)」が生じる．縮小処理では，これらいずれかのイベントが生じ，ポリゴンはトポロジー的に変化し，ポリゴンは，個数はそのまま１つ(「辺消失イベント」の時)か，複数のポリゴンに分割(「分割イベント」の時)される．分割されたポリゴンが面積を持つかぎり，縮小処理は続き，その頂点数を減らしていき，「２点」か「１点」のノードに縮小，収束される．全てのポリゴンが２点か１点のノードに縮小，収束されれば，イベント処理は終了する．「２点」のノード，即ち，「線分」に収束する場合を，図-3 b)の赤線部で示す．本研究では，この線分を「収束線分(a line of convergence)」とする．

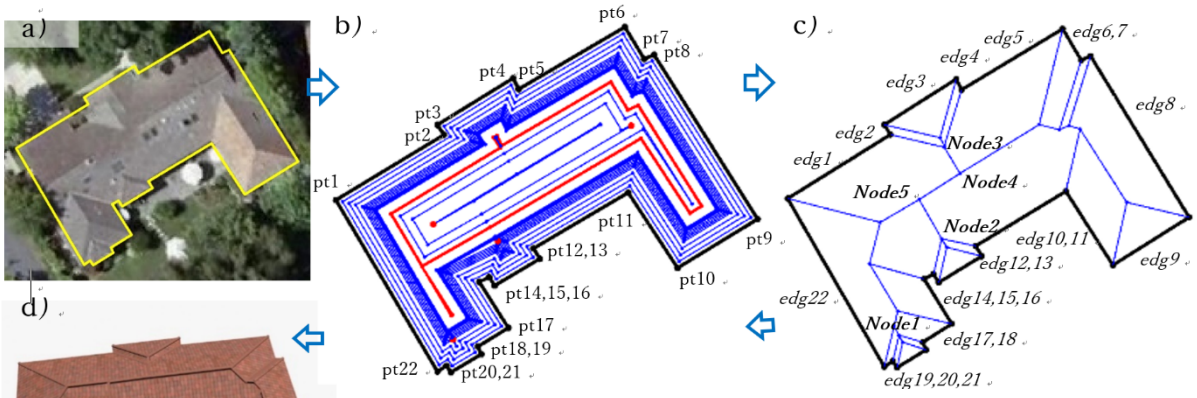


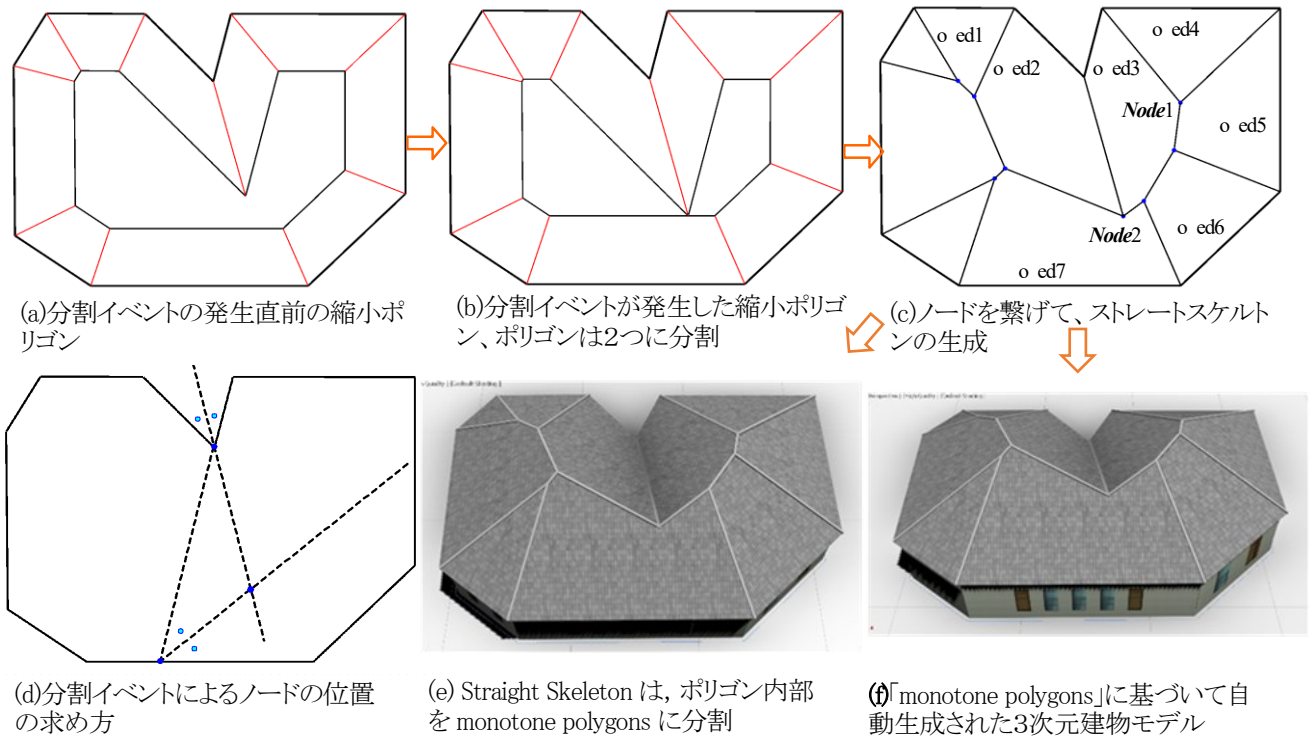
図-3 本手法を電子地図上の建物境界線に対して適用、縮小プロセス下のポリゴン群、ストレートスケルトン、及び、自動生成した3次元建物モデル
a) 3次元建物モデルの元になる直角ポリゴンである建物境界線(建物ポリゴン) b) 等速度でポリゴン内部に後退する縮小プロセス下のポリゴン群(青線)と分割または辺消失イベントが生じたときの縮小ポリゴン(赤線) c) ポリゴン各頂点の軌跡を辿ることで得られる「直線状の骨格(ストレートスケルトン)」 d) ストレートスケルトンによって分割された結果生じたmonotone(単調増加)ポリゴンに基づいて自動生成した3次元建物モデル

5. ＳＳ手法による「monotone polygons」への分割

図-4 は分割イベントの発生前後の縮小処理とノードの位置の求め方，生成された Straight Skeleton は，ポリゴン内部を「monotone(単調増加) polygons」に分割し，その monotone polygons に基づいて自動生成された３次元建物モデルを示す．図-4(a)は，縮小処理が進み，Reflex 頂点からの２等分線が伸びて，分割イベントが発生する直前の縮小ポリゴンを示す．図-4 (b)は，２等分線と対向する辺が交差して，分割イベントが発生した状態を示す．図-4(c)は，イベントで発生したノードを繋げて，生成されたストレートスケルトンを表す．縮小する前のオリジナルの「元ポリゴン」がストレートスケルトンによって分割され，どのように monotone ポリゴンが形成されるかを示す．縮小プロセスが始まると，各辺は，番号付けされた元の辺 (original edge:o_ed) からポリゴン内側へ，長さを変えてスイープ(後退，移動)する．ノードは，前記の辺消失イベントまたは分割イベントが起こって生じる．

例えば，図-4(c)にて，ノードである Node1 は「辺消失イベント」で生じ，元の辺である o_ed3 から o_ed5 までがポリゴン内側をスイープし，その「収束点」である．システムは，Node1に対して，o_ed3からo_ed5までを，「ノードに収束する元辺 (original edge)」として，それらの辺番号をノードに関連付ける．一方，Node2 は「分割イベント」の結果，生じ，２辺 o_ed2とo_ed3の間のReflex頂点からの２等分線とそれに交差する辺 o_ed7 の交点である．同様に，システムは Node2 に対して，Reflex頂点を端点とする２辺(o_ed2とo_ed3) と交差する辺 (o_ed7)を，「ノードを形成する元辺」としてノードに関連付ける．このようにノードは，少なくとも３つの元辺がスイープし，イベントが発生・収束して，形成される．システムは，各ノードについて，どの３つの元辺が収束したかの情報を持たせる必要がある．

そして，monotone ポリゴンを形成するプロセスでは，元辺(o_ed)を順に辿り，各ノードに関連付けられている少なくとも３つの元辺の番号を調べ，自分と同じ番号であれば，その「元辺に対するmonotone ポリゴン」を構成する「ノード」とする．このように，元辺を順番に辿って，元辺の番号と同じ番号を持つノードを調べ集める．例えば，図-4(c)で示すように，元辺 o_ed4 は，その同じ辺番号をもつノードはたった１つ



(a)分割イベントの発生直前の縮小ポリゴン

(b)分割イベントが発生した縮小ポリゴン、ポリゴンは2つに分割

(c)ノードを繋げて、ストレートスケルトンの生成

(d)分割イベントによるノードの位置の求め方

(e) Straight Skeleton は，ポリゴン内部を monotone polygons に分割

(f)「monotone polygons」に基づいて自動生成された3次元建物モデル

図-4 分割イベントの発生前後の縮小処理とノードの位置の求め方，Straight Skeleton は，ポリゴン内部を monotone polygons に分割 monotone polygons」に基づいて自動生成された３次元建物モデル

のみ (Node1) だが，元辺 o_ed3 は，その同じ辺番号をもつノードは４つ(Node1とNode2 も含む)ある．

次に，元辺をベクトルとみなし，また，元辺の起点から，集めた各ノードへの線分もベクトル (ノードベクトル) とみなし，「ノードベクトル」の「元辺ベクトル」への「射影」を求め，その値についてソートし，順番に並べ，「monotone ポリゴンを構成するノード群」とする．それらノードと元辺の頂点は，すべて，同一平面上にあり，屋根板を形成することになる．

分割イベントでの，ノードの位置は，図-4(d)で示すように，２つの２等分線の交点で与えられる．この根拠は，平行でない３辺から等しい距離にある点は，その３辺が作る３角形の「内心」になり，内心は「内角の２等分線の交点」で与えられる．この場合もその２等分線は，１つは Reflex 頂点からの２等分線と，２つ目は，それに交差する辺(o_ed7)と「Reflex 頂点を端点とする辺(o_ed2 と o_ed3)」が交差する点からの２等分線となる．ここで，直角ポリゴンの場合，「交差する辺」と「Reflex 頂点を端点とする辺」が平行する場合が多く，この平行する２辺の交点を求めようとすると，「数値演算エラー」を引き起こす．そこで，「Reflex 頂点を端点とする２辺」の中で，「交差する辺」に垂直な方の辺を選び，その２辺の交点を求める．本システムでは，２辺上の単位ベクトルの内積を求め，垂直な方の辺を選ぶ．図-4(e),(f)では，Straight Skeleton がポリゴン内部を monotone polygons に分割し，これらの monotone polygons に基づいて自動生成された３次元建物モデルを示す．

縮小処理を一意に決めるパラメータは，縮小処理前後の辺間の距離：「後退距離(=$\mathbf{d}_{shri}$)」である．分割イベントが生じないとして，i番目の辺に対して，「辺消失イベント(=Edgeイベント)」が生じる距離(=$\mathbf{e\_d}_{shri}$)は以下の式で与えられる．

$$\mathbf{e\_d}_{shri} = {L_i}/{(\cot(0.5*\theta_i)+\cot(0.5*\theta_{i+1}))} \quad (1)$$

ここで，L_i は辺長，θ_i，θ_{i+1}は辺両端の内角を表す．但し，辺両端の頂点の内角を２等分する線がポリゴン内部で交わるために，$0.5*\theta_i + 0.5*\theta_{i+1} < 180°$ となる必要がある．この条件を満たす全ての辺について，$\mathbf{d}_{shri}$ を式(1)で求める．分割イベントが生じなければ，これらの $\mathbf{d}_{shri}$ の中で最小となる値が，最初に辺消失イベントが生じる後退距離となり，その辺が最初に消失する辺となる．本研究では，「分割イベント」は，縮小処理において最初に「辺消失イベント」が生じるまでの「$\mathbf{e\_d}_{shri}$」の間において，分割イベントが生じるかどうかを調べ，分割イベントが生じた場合，その結果生じるノード(分割ノード)の位置を求め，ポリゴン分割することで分割イベント処理を行うこととする．

6. 多重建物ポリゴンからのビルの生成とまとめ

本研究における多重建物ポリゴンからのビルの生成の事例を図-5 に示す．多重建物ポリゴンは，階数データを与えた「交叉しない建物ポリゴン」の集まりとする．図-5(a)は電子地図上の「直角建物ポリゴン」と「非直角建物ポリゴン」の多重建物ポリゴンで，あるポリゴンの内部にある「内包ポリゴン」から生成される建物は，この内包ポリゴンを囲む「外包ポリゴン」から生成される建物の上に構築される．つまり，外包ポリゴンから出来上がる建物の上に内包ポリゴンの建物が積み上がっていく構造の建物を構築する．これにより，「垂直方向に多様性のある建物」を実現できる．

これを実現するために，全てのポリゴンはどのポリゴンが自分(「自ポリゴン」とする)を囲むかを調べる．ここで，自ポリゴンを囲むポリゴンを「親ポリゴン」，逆に自ポリゴンが囲む，自ポリゴンの中のポリゴンを「子ポリゴン」とする．例えば，図-5(a)のポリゴン B1 の親ポリゴンは「A1」で子ポリゴンは「C1」となる．あるポリゴンが自ポリゴンの親ポリゴンかどうかを調べるには，自ポリゴンの頂点の一つを「標本点」として取り出し，この標本点が，あるポリゴンに含まれるかどうかの「内外判定」の調査を行う．具体的には，「調査ポリゴン」の連続する２頂点を順に取り出し，「標本点」を中心とする，連続２頂点とのなす角を測定し，全頂点の角度の合計を求める．その値が２πなら，「標本点」は「調査ポリゴン」の内側にあり，合計値が０なら「標本点」は「調査ポリゴン」の外側と判定する．

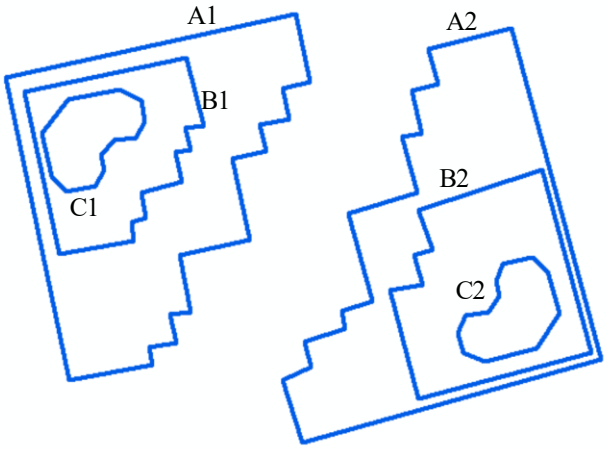
次に，あるポリゴンが自ポリゴンの「子ポリゴン」かどうかを調べるには，逆に，自ポリゴン以外の全てのポリゴンの頂点の一つを「標本点」として取り出し，こ

の標本点が，自ポリゴンに含まれるかどうかの「内外判定」を行う．「自ポリゴン」の連続する２頂点を順に取り出し，「標本点」を中心とする，この連続２頂点とのなす角を測定し，全頂点の角度の合計を求める．その値が２πなら，当該ポリゴンは「自ポリゴン」の内側にあり，「子ポリゴン」として自ポリゴンのメンバーに登録する．合計値が０なら当該ポリゴンは「自ポリゴン」の外側と判定する．

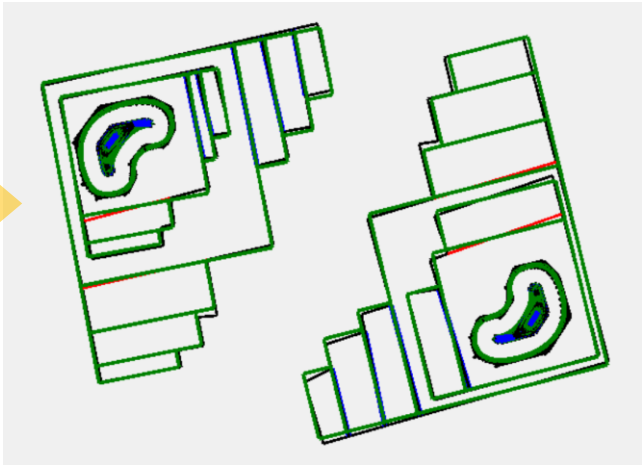
親ポリゴンは，通常，複数存在するが，その中で，自ポリゴンがインタラクトして，属性情報を取得するのは「直近の親ポリゴン」である．ここで，この直近の親ポリゴンを「直親ポリゴン」とする．例えば，図-5(a)のポリゴン C1 は２つの親ポリゴン(A1 と B1)を持つが，直親ポリゴンは「B1」となる．本システムでは，親ポリゴンの中で，最も数多く「親」を持つ親ポリゴンを「直親ポリゴン」と指定し，自ポリゴンのメンバーに登録する．ここで，自ポリゴンが直親ポリゴンとインタラクトする内容を以下に列挙する．

(1) 直親ポリゴンの高さ，建物タイプなどの属性情報を取得する．(2) 直親ポリゴンと自ポリゴンの間の「領域」に対してＳＳ手法を適用し，monotone ポリゴンを生成し，それらに基づいて，屋根などの屋上構造物を生成する．(3)同じく，直親と自ポリゴンの間の「領域」に対してＳＳ手法を適用し，縮小ポリゴンを生成し，縮小ポリゴンの頂点位置に基づいて，植栽を行い，屋上緑化の実現，あるいはソーラーパネルを設置する．

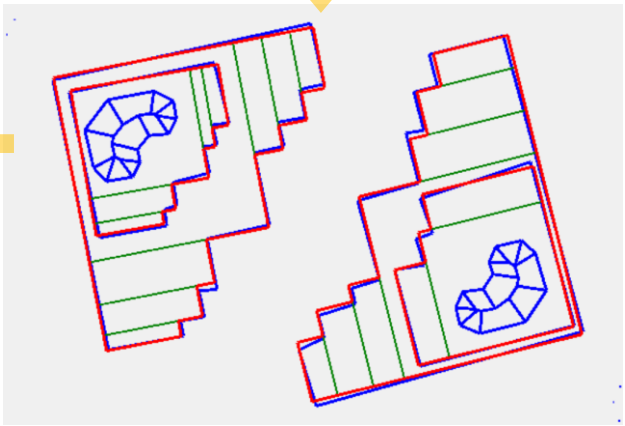
これまでの研究で，建物の垂直方向に多様性のある形状の建物は自動生成ができなかった．本研究では建



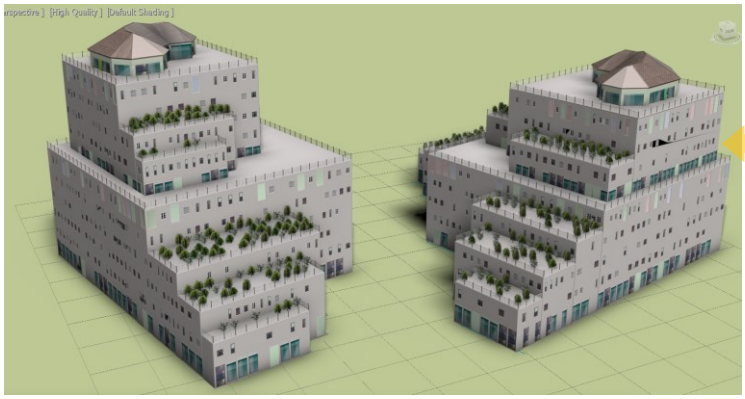
(a)電子地図上の階数データを与えた直角建物ポリゴンと非直角建物ポリゴンの「多重建物ポリゴン」、内側ポリゴンは外包ポリゴンの上に構築



(b) ポリゴン分割，四角形頂点のラベリング，四角形整形と直交化、非直角建物ポリゴンは等速度で縮小するポリゴン群



(c) 窓やドア等設置可能な壁(WDA 壁)の明確化(red line)、非直角建物ポリゴンは直線状の骨格(ストレートスケルトン)生成



(d)「隣接情報(隣接四角の属性情報や隣接辺，隣接の仕方)」に加え，分割四角はツリーのリーフからの階層レベル(k-th)を取得し，それに基づいて，各分割四角に異なる階数を与えた階段状建物モデルと非直角建物ポリゴンをＳＳ手法により自動生成した３次元建物モデル

図-5 直角建物ポリゴンと非直角建物ポリゴンから成り立つ「多重建物ポリゴン」、ポリゴン分割，整形と直交化，分割四角上に階層レベルに基づく階数の建物構築，高さ方向も軸とする２次元での窓やドア等設置可能な壁(WDA 壁)の明確化，非直角建物ポリゴンに対するストレートスケルトン手法の適用で自動生成された３次元建物モデル

物ポリゴンの中に別の建物ポリゴンを含めた多重建物ポリゴン，垂直方向にも多様性のあるビルを自動生成することを目指した．下の図-6 に示すように本建物モデルは，屋上緑化や太陽光パネル設置行うことで「スマートビルディング」の有力な候補となりうる．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費の研究課題番号：20K03138 と 21K04405，23K04156 の助成を受けて遂行された．

参考文献

杉原健一，沈 振江（2013）３次元建物モデルの自動生成システムで用いる Straight Skeleton 手法，「地理情報システム学会 講演論文集」，22.

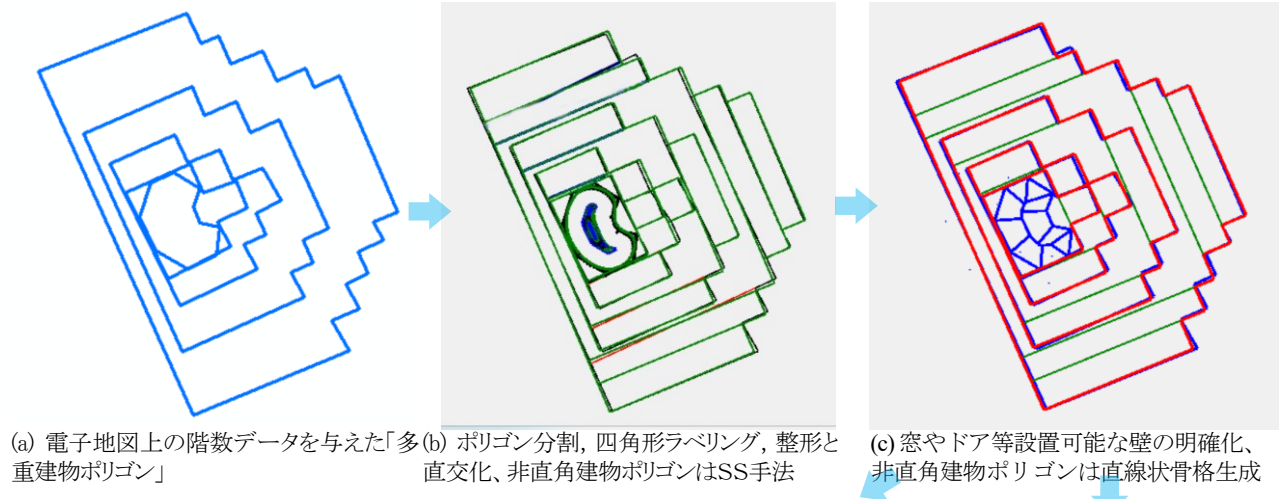
杉原健一，沈 振江（2019）Straight Skeleton Computation Optimized for Automatic Generation of 3D Roof Model，「日本建築学会 第４２回 情報・システム・利用・技術 シンポジウム」，42(1)，196-201.

杉原 健一・村瀬 孝宏（2016）３次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形，「土木学会論文集 F3（土木情報学）」，72(2)，I_167-I_174.

Müller, P., Wonka, P., Haegler, S.,Ulmer, A., and Van Gool, L.（2006）Procedural modeling of buildings, *ACM Transactions on Graphics,* 614-623.

O. Aichholzer, F. Aurenhammer ,and D. Alberts, B. Gärtner,（1995）A novel type of skeleton for polygons, *Journal of Universal Computer Science*, 1(12)，752-761.

Sugihara,K. and Kikata,J.（2013）Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, *Journal of Computing in Civil Engineering ASCE (American Society of Civil Engineers)*, 27，476-488.



(a) 電子地図上の階数データを与えた「多重建物ポリゴン」

(b) ポリゴン分割，四角形ラベリング，整形と直交化、非直角建物ポリゴンはSS手法

(c) 窓やドア等設置可能な壁の明確化、非直角建物ポリゴンは直線状骨格生成

図-6　多重建物ポリゴンからの高層建物モデルの自動生成のプロセス：分割四角はツリーのリーフからの階層レベル(k-th)を取得，各分割四角に異なる階数を与えた階段状建物モデルと非直角建物ポリゴンをSS手法により自動生成した3次元建物モデル

カメラ映像を用いた室内行動の抽出方法に関する一考察

岸本まき*・大佛俊泰**・川路もね***・三原正一***

An Introductory Study on Extracting In-Room Behavior Using Camera Images

Maki KISHIMOTO*, Toshihiro OSARAGI, Mone KAWAJI*** and Shoichi Mihara*****

Abstract: In the architectural planning, many studies have been conducted to analyze spatial characteristics using pedestrian trajectory data obtained from camera images. However, most of these studies only analyze human flow in plaza spaces or commercial facilities and still rely heavily on experience and intuition when it comes to building planning. In this paper, as an introductory study, we examine the important attribute information for quantitative analysis of in-room behavior. Then, each attribute information is manually obtained based on camera images and temporal information such as the amount of activity and interaction between agents is analyzed.

Keywords: 建築計画（architectural planning），行動分析（behavior analysis），カメラ映像（camera image）

1. はじめに

異なる行為が混在する建物においては, 誰が・どこで・何をするかを想定し，それらが円滑に実現される空間を計画・運営することが重要である．建築計画分野では，カメラ映像から取得した歩行軌跡データを用いた分析が古くから行われてきた（中，1977；辻本ほか，1992）．しかし，これらの研究の多くは，広場空間や商業施設における人流分析に留まっており，施設計画は，依然として経験知や勘に依る箇所が大きい．筆者らは，歩行軌跡データに個人属性（性別や職種など）や建物種別に応じた行動情報（行為や交流状態など）を加味することで，より詳細な行動分析が可能になり，ひいては，定量的な根拠に基づく施設計画の一助となると考えた．

本稿では，室内において，どこで・何が発生しているかを定量的に分析するための基礎的な視点を整理する．室内で想定される主要な行動は, 建物種別によって異なるが, 例えば, オフィスにおいては,「作業」「会話」「休憩」などが考えられる．また，同室内に異なる行動をとる人物が混在する場合,「静的・動的な空間を区別して配置するべきか」といった，動線計画およびゾーニング計画が要求される．すなわち,「行動」だけでなく,「交流」の発生状況に関する空間分布にも着目する必要がある．以上を踏まえ，大学研究室を対象に，室内行動の定量分析において着目すべき属性情報について検討する．次に，カメラ映像をもとに各属性情報を取得する．その上で，室内における室内滞留者間の「活動」および「交流」に関する時空間情報

* 正会員・東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Email: kishimoto.m.ac@m.titech.ac.jp
** 正会員・東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
*** 非会員・東京工業大学 環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）

を定量的に分析する．

2. 建築計画におけるカメラ映像の活用

2.1. カメラ映像を用いた行動分析

監視カメラの映像を人間の目で確認すれば，室内滞留者の興味の対象から室内滞留者同士の親密度まで，豊富な情報が取得可能である．しかし，防犯カメラの映像を横断的に確認し，日常パターンの抽出や，異常検知を行うことは，時間的制約からみて困難である．しかし，近年，飛躍的に発達している画像解析技術を用いれば，カメラ映像を機械的に処理し，これまで技術的・時間的な制約から捨象せざるを得なかった多様な情報を自動取得することが可能となる．

2.2 画像解析技術の活用方法の検討

本稿では，姿勢推定（Human Pose Estimation）や物体検出（Object Detection）などの画像解析技術を用いて，「行動」や「交流」を機械的に取得する方法を考える（図 1）．

姿勢推定は，画像中の人物のキーポイント（体の関節の位置座標）を推定することで，人物の姿勢を検出する技術であり，物体検出は，画像や動画内に映っている特定の物体を検出する技術である．いずれも様々な学習済みモデルが存在するが，特定の用途で使用する場合には，別途，学習データの作成が必要となる可能性がある．

これらの技術を併用することで，単独では困難な応用が可能になる．例えば，姿勢推定で取得されたキーポイント座標を用いれば，人物の位置座標だけでなく，身体の向きや姿勢[注 1)]なども推定可能となる．また，物体検出によって取得された「もの」と室内滞留者を紐づければ，より具体的な行動の特定が可能になると考えられる[注 2)]．以上を踏まえ，「行動」「交流」の分析にあたり，画像解析技術を用いてカメラ映像から取得可能と考えられる属性情報を表 1 に示してある．

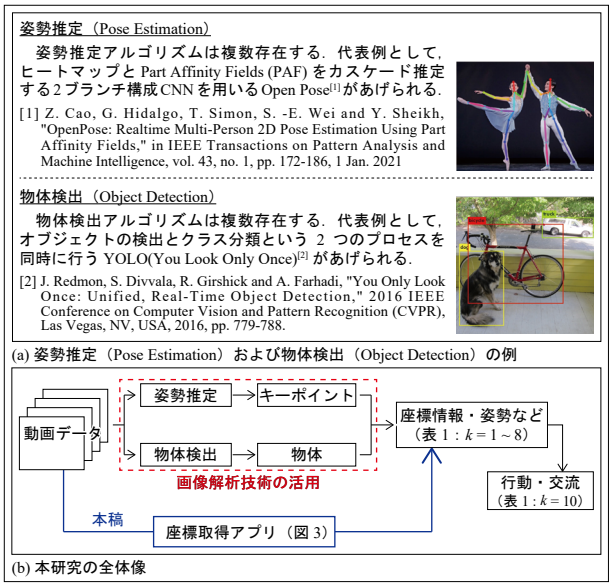


図 1. 画像解析技術について

表 1. 推定可能と考えられる属性情報

列	属性情報	概要
1	個人ID	
2	経過時間	
3	X座標（位置）	平面図上の位置座標（射影変換後）
4	Y座標（位置）	
5	X座標（向き）	身体の二次元回転角度に関する座標（射影変換後）
6	Y座標（向き）	
7	姿勢	姿勢6種 （：臥位，座位，立位，四つ這い，しゃがむ，膝立ち）
8	移動	静止，走る，歩く
9	もの	エージェントと関わりのあるもの（例：PC，スマホ）
10	行動	
11	メモ	

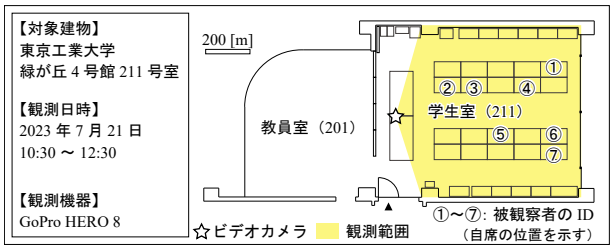


図 2. 観測調査の概要

3. 観測調査データに基づく事前分析

3.1 大学内研究室における観測調査

観測調査の概要を図 2 に示してある．東京工業大学大岡山キャンパスに位置する緑が丘 4 号館 211 号室にビデオカメラ（GoPro HERO8）を設置し，室内の様子を撮影した．

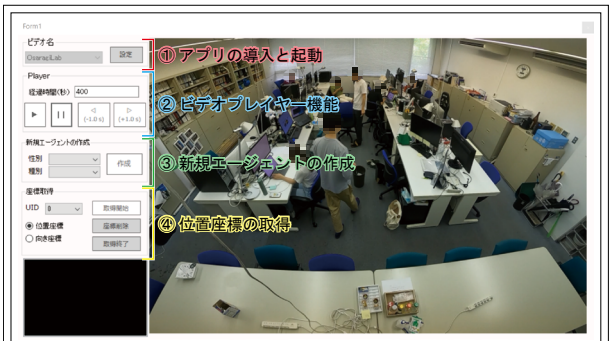
属性情報（表 1）の取得手順を以下に示す[注 2)]．まず，座標取得アプリを用いて，座標データ（位

置座標および向き）を取得する（図 3(a)(b)）．本アプリでは，カメラ映像上で取得した被観測者の座標情報を平面図上へ射影変換した上で，位置座標を出力する（表 1:k = 1 ～ 6, 図 3(b)(c)）．その上で，カメラ映像を目視で確認し，時刻 t における属性情報（表 1 : k = 7 ～ 10）を Excel 上で記録する．ここでは，各属性情報を音声は用いずに判断するため,「行動」の分類において，身体的な動作を伴わない会話などは判断不能であることに注意する．本稿では，被観察者間の交流が多く観察された 5 分間について属性情報を取得した[注 3)]．

3.2 室内滞留者の行動分布

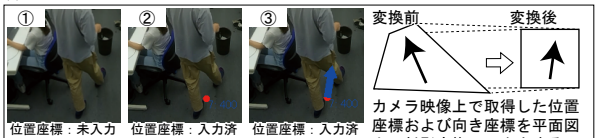
カメラ映像から取得した属性情報の概要を図 4 に示してある．「行動」の構成割合をみると，会話の有無や使用するモノ（PC，スマホなど）に違いはあるものの, 全体の 72.6% の行動が「作業」へ分類されている（図 4(a)）．位置座標の空間分布[注 3)]をみると，多くの被観察者が自席周辺に滞留しており，移動や姿勢の変化（「立ち上がる」,「座る」など）が僅かである様子がわかる（図 4(b)）．また，研究室内中央列において会話が多く発生しており，壁沿いと中央列において被観察者の行動特性が異なることが示唆される（図 4(c)）．他者と会話を行う被観察者（③④⑤⑥）は，他の被観察者と比べ，身体の向きが動的に変化している（図 4(d)）．すなわち，「身体の向き」と「会話」の関連が示唆される．

次に，被観察者間の会話時間を基にネットワーク図を作成し，室内における交流の様子を可視化する（図 5）．ソーシャルグラフから，密に交流している被観察者ペア（③と⑥，④と⑤）や複数人と交流している被観察者（⑤⑥）を視覚的に把握できる（図 5(c)）．つまり，カメラ映像から「交流」を抽出できれば，その空間分布だけでなく，被観察者間の関係についても，定量的に分析可能となる．



① 正解データを作成したいビデオ名を指定した上で「設定」ボタンを押すことで，対象ビデオが読み込まれる．
② ビデオ映像の「再生」「一時停止」「まき戻し」「早送り」が可能．
③ 性別（女性，男性）と種別（学生，教員など）を選択し，「作成」ボタンを押すと，新規エージェントが作成される．
④ 座標を取得したい人物の UID を選択し，「取得開始」ボタンを押した上で，画像上をクリックすることで，各時点における位置座標・向き座標の取得が可能となる．

(a) 座標取得アプリの操作方法

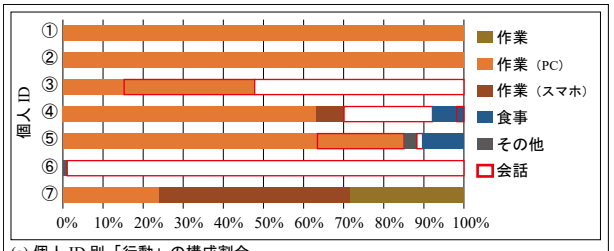


(b) 入力座標の切り替え

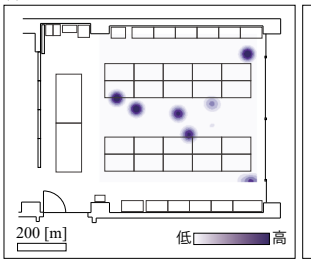
列	属性情報	概要
1	個人ID	
2	経過時間	
3	X座標①	ビデオ映像上の位置座標（射影変換前）
4	Y座標①	
5	X座標②	平面図上の位置座標（射影変換後）
6	Y座標②	
7	X座標（向き）	身体の二次元回転角度に関する座標（射影変換前）
8	Y座標（向き）	
9	X座標（向き）	身体の二次元回転角度に関する座標（射影変換後）
10	Y座標（向き）	
11	画面外フラグ	エージェントが画面内にいるか？（画面内：0，画面外：1）

(c) 座標取得アプリの出力データ

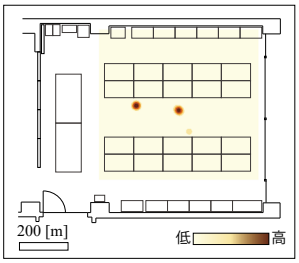
図 3.　座標取得アプリの概要



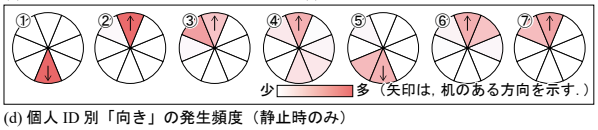
(a) 個人 ID 別「行動」の構成割合



(b) 位置座標の空間分布（全地点）



(c) 位置座標の空間分布（「会話」のみ抽出）



(d) 個人 ID 別「向き」の発生頻度（静止時のみ）

図 4.　取得情報の集計結果

4. まとめ

本稿では，室内行動の定量的分析において着目すべき属性情報を整理した．大学研究室内に設置したカメラ映像をもとに，室内における被験者間の活動や交流に関する時空間情報を定量的に分析した．今後の課題を以下に示す．

① より多様な室内行動の時空間データを取得するため，追加観測調査を実施する．

② 骨格検知や物体検知を用いて属性情報を機械的に取得する（図 6）．

③ ②にて取得した属性情報を基に，室内行動を推定するモデルを構築する．

現在，①②に関する具体的な検討を進めており，次報にて成果を投稿予定である．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H01513 の助成による成果の一部である。研究の遂行にあたり，大谷由紀子教授（摂南大学），高木真人准教授（京都工芸繊維大学），榊愛准教授（摂南大学）から多くの示唆を頂いた．ここに記して謝意を表す．本研究は，東京工業大学研究倫理審査会の承認を受けて実施したものである（承認番号：第 2023086）。

注

1) 本稿では，支持基底面の構成要素に応じて姿勢を分類する（藤澤，2013）．具体的には，足底のみで支持する場合は「立位」，下肢のみで支持する場合は「座位」する．

2) キーポイント座標から姿勢を推定する機械学習モデル（瀧澤ほか，2019）や特定の建物における物体検出モデル（飯田ほか，2020）については，複数の先行研究が存在するものの，室内行動の推定を試みた研究は少ない．

3) 画像解析技術を用いた属性情報の機械取得は，今後の課題である．

3) カメラ映像内において，什器による死角が複数存在したため，射影変換に必要な基準点を十分な精度で作成することが困難であった．射影変換の精度向上のためにも，カメラの設置個所の検討は，今後の課題である．

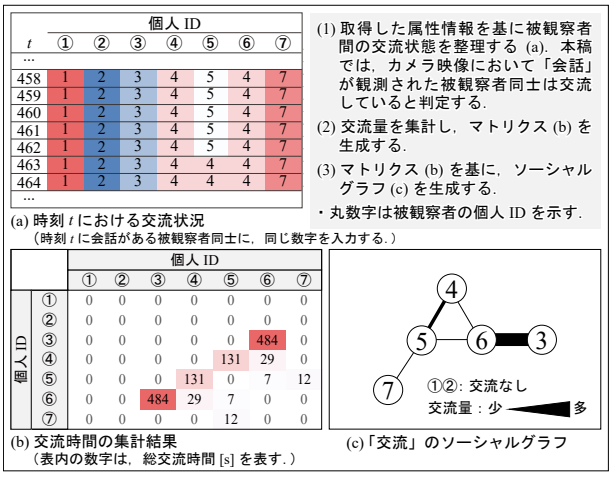


図 5. 交流に関する基礎分析



図 6. カメラ映像を用いた画像解析の例

参考文献

中祐一郎（1977）交差流動の構造：鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究 (1)．日本建築学会論文報告集 , **258**, 93-102.

辻本誠・志田弘二・建部 謙治（1992）歩行解析への画像処理技術の応用に関する研究．日本建築学会計画系論文報告集 , **436**, 41-47.

藤澤宏幸（2013）姿勢の定義と分類の再考．理学療法の歩み , **24** (1), 31-34.

瀧澤重志・川地遼佳・吉田長裕・伊藤慎兵（2019）物体検出手法に基づく動画像からの人物の位置と行動の推定法．日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），**2019**，159-160.

飯田啓太・汪雪婷・山崎俊彦・鳥海哲史・林幹久・野澤祥子・高橋翠・廣戸健悟・遠藤利彦・秋田喜代美（2020）保育施設における行動検出・理解のための映像データセット構築． 人工知能学会全国大会論文集 , 第 34 回 .

土木施工現場における雨水の防災管理に向けた 3 次元点群データの活用

谷口亮*・番上勝久・前田真司***・山田祐也*****

Utilization of 3D Point Cloud Data for Rainwater Disaster Management at Construction Sites

Ryo TANIGUCHI*, Katsuhisa BANJO**, Masashi MAEDA***, Yuya YAMADA***

In the face of challenges posed by a declining population and an aging skilled workers, the construction industry is striving to enhance operational efficiency. Rainwater management holds paramount importance at construction sites; however, decisions largely rely on supervisors' judgment. Hence, we utilized 3D point cloud data which originally obtained for site progress management and Geographic Information Systems (GIS) to visualize rainwater behavior. The results enabled us to understand rainwater pathways, areas susceptible to ponding during rainfall, and pools. Moreover, we applied this methodology in practical construction scenarios, preparing for heavy rainfall events like typhoons. This approach could effectively identify high-risk areas in advance and lead safety decisions.

Keywords: 土木施工現場 (Construction site), 防災管理 (Disaster management), 雨水集水域 (Rainwater catchment), 3 次元点群データ (3D point cloud data) , 数値標高モデル (Digital elevation model)

１．はじめに

人口減少や技能者の高齢化を背景として，建設業の生産性向上が求められている．寿命を迎えつつあるインフラの維持管理や時代に即した新たな都市・地域開発など，建設事業の必要性は依然失われることはない．そこで従来に比して，より少ない人数で効率の良い施工を実施する必要がある．建設業においては国土交通省が推進する i-Construction や BIM/CIM 原則適用といった施策を受けて，3 次元データを活用した取り組みが行われている．

土木工事の中でも多量の土砂の移動を伴う土工事に着目すると，その特徴は地形が日々変化していることである．施工土量の進捗把握に当たっては，UAV を用いた 3 次元測量で取得した 3 次元点群データや，3 次元設計データを使用した土量算出技術が普及しており，3 次元データを利用する環境が広がってきている．そのため，従来は都市や地域といったマクロな範囲を対象とし，建設分野では主に調査や計画，維持管理に使用されている地理情報解析技術が，施工段階にも数々応用できると考えている．

一方，土工事の施工にあたり，雨水の防災管理は事故防止や出来形の品質に関わる重要な取り組みであるが，対策箇所や内容は現場担当者の経験に基づく定性的な判断に拠るところが大きい．想定外の豪雨や長期的な降雨の発生により，排水設備のオーバーフローや施工現場外への雨水流出，完成地形の崩壊につながる可能性がある．

そこで本研究では，主に施工中の進捗把握のために定期的に取得される 3 次元点群データの活用に着目し，GIS による地理情報解析を用いて，雨水の集水状況の可視化を目的とする．実施工で日々使用することを想定し，迅速かつ簡易に処理できる方法とする．本結果を用いた雨水の防災管理における利活用についても言及する．

２．本研究の位置づけ

既往研究において，3 次元点群データや高解像度 DEM を用いてミクロなスケールで集水状況の解析

* 正会員 株式会社 EARTHBRAIN DX センター（EARTHBRAIN Ltd.）
〒106-6029 東京都港区六本木 1-6-1 泉ガーデンタワー 29 階 E-mail : ryo_taniguchi@earthbrain.com
** 非会員 株式会社 EARTHBRAIN DX センター（EARTHBRAIN Ltd.）
*** 非会員 上武建設株式会社

を行った研究については，大窪ほか（2013）の航空レーザー計測から作成した 1m 解像度の DEM を使用し，高速道路の防災管理を目的とした集水域解析や雨水流線解析を実施した研究，横田ほか（2023）の衛星画像から生成された 50cm 解像度の DEM を使用し，街区内の流出抑制効果の把握を目的とした雨水表層流の解析に関する研究などあるが，施工中を対象とした集水状況の可視化手法に関する研究事例は見当たらない．施工における 3 次元点群データの活用について，山口ほか（2022）の施工進捗の可視化やデータ流通を目的とした情報システムの構想に関する研究がみられるが防災管理への言及はない．

流体解析用のソフトウェアは専門的な知見を要するため，操作やカスタマイズの敷居が高い製品が多い．CAD ソフトウェアにも集水域解析の機能を持つものもあるが，主に設計段階での使用を意図した機能であることから，施工中に都度 3 次元点群データを用いて解析するには手間が大きいと思われる．加えて，大規模造成現場や施工現場を含めた周辺地形全体を対象とする場合，GIS が適している．

本研究では，土工事の施工中における雨水の防災管理への活用を念頭におき，3 次元点群データを使用した GIS による地理情報解析により，土木施工管理の実務上必要な情報の可視化を行う点に既往研究との相違がある．

３．土工事の雨水防災管理の課題

土工事では現場担当者が降雨時の流路や流速，集水量を想像し，雨水が適切に集排水されるように日々施工地形をコントロールして工事を進めている．豪雨前には，現場周囲の道路や住宅地への雨水流出を防止する対策も実施する．ダンプトラックの走路や資材置き場に生じる水たまりは工事進捗の阻害要因となるため，不必要な窪地が発生しないように現場を日々確認している．大規模現場の場合，複数箇所に設置した仮設排水管から地下へ雨水を排水する場合があり，集排水状況の把握が複雑となる．

土木施工は単品受注生産であり，現場特性に応じた管理が求められるが，雨水の流れ方の把握や現場外への流出対策，水たまり箇所の予防などはどの現場でも一般的に行われる．しかし，施工途中の地形形状や各種防災対策の判断は担当者の経験に依存しており，地形や集水状況の理解度も人によって差が生じる．また，対策に際して現場を隈なく確認する必要があり手間と時間を要する．



図 1　検証現場

以上の課題を踏まえて，雨水の流路，排水地点の集水域，水たまりが発生しうる箇所の 3 指標の可視化によって，担当者の経験によらず，データと数値に基づいた効率的で必要十分な防災管理が可能となると考えた．

４．集水状況の可視化方法

4.1. 検証現場

図 1 のとおり，千葉県千葉市美浜区に位置する株式会社小松製作所の試験場であるコマツ IoT センターのデモンストレーションヤードで検証を行った．油圧ショベルやブルドーザのための試験用の盛土があるなど起伏に富んだ土地であり，実際の施工現場を模した集水状況の検証が可能である．

4.2. 使用データ

施工現場にて定期的に取得された 3 次元点群データの使用を想定して，EARTHBRAIN 製の Smart Construction Drone による写真撮影を実施し，同社の Smart Construction Edge2 で SfM 処理を行って 3 次元点群データを生成した．構造物や建機の不要物除去は手動で行った．水平，鉛直精度ともに±10cm を担保しており，点群密度は約 25cm 間隔の 16 点/㎡である．

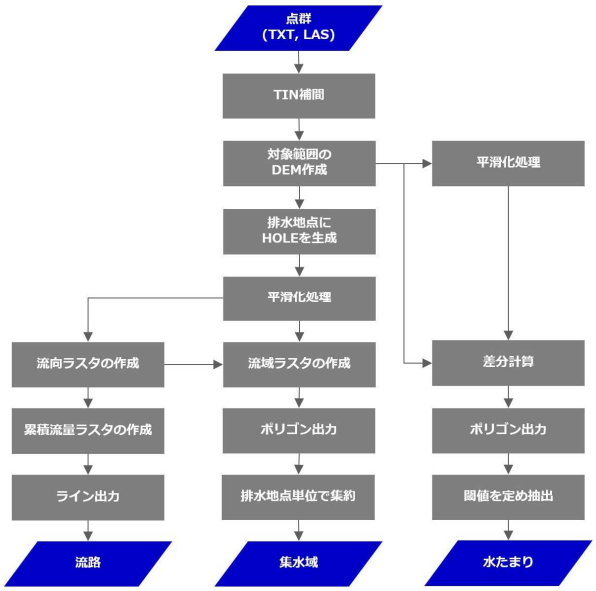


図２　処理フロー

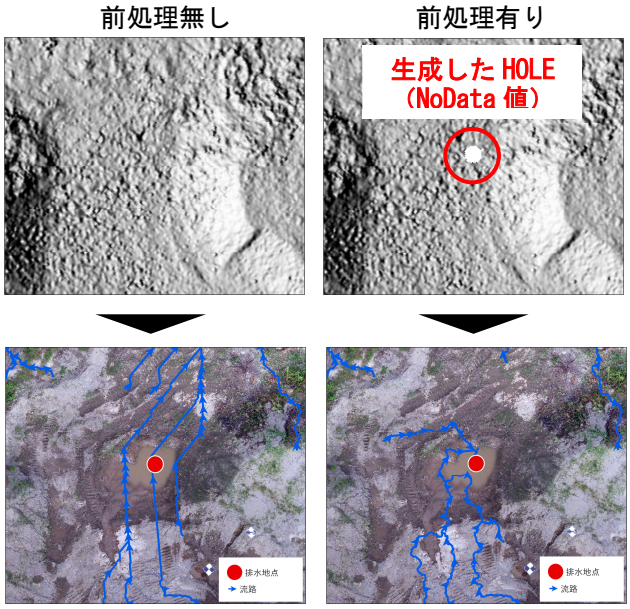


図３　前処理の有無による流路形状の相違

4.3．解析方法

Esri 製の ArcGIS Pro 3.1.2 と 3D Analyst を使用し，取得した 3 次元点群データを TIN データに変換したのち，10cm グリッドの DEM（ラスタ形式）を生成した．続いて，Spatial Analyst を使用し雨水の流路，集水域，水たまり可能性エリアを解析した．処理フローは図 2 に示したとおりである．

一般的な集水域解析による流路は DEM 外への流出経路となるが，土工事では DEM 内部に仮設排水管に起因する流出地点があるケースが想定される．そこで，試験ヤード内の 2 箇所の窪地を場内排水地点と仮定し，場内排水を加味した解析を試みた．

まず，DEM に対して 2 箇所に NoData 値となる HOLE を生成する前処理を実施した．これは解析上，ラスタの NoData 値の部分が流出点と判別され，平滑化処理でも HOLE の窪地が除去されない特性を利用している．その上で，DEM の平滑化を実行し場内排水地点以外の窪地を除去したのち流向解析を行い，累積流量解析で DEM の各セルに上流側から集水される累積セル数を計算して，雨水の流路形状と相対的な流量を算出した．

HOLE 生成の前処理の有無による，流路形状の違いを図 3 に示す．前処理を行わない場合，平滑化処理により場内排水地点の窪地が除去されるため，排水方向の流路は表現できず地点上を通過する．一方で前処理済みの場合は，排水地点への流路が表現できている．なお，平滑化処理で窪地深度の許容値を設定し窪地を残すことも可能であるが，日々の地形変化が大きい土工事で，解析のたびに平滑化深度を吟味することは現実的ではないと考える．

さらに，前処理実施済みの流向ラスタを使用した流域解析を行い，試験ヤード内外の流出点に対応した集水域と面積を算出した．

水たまりは，HOLE 生成前の DEM を対象に，平滑化実施前後の DEM の切盛り差分から，窪地エリアの形状と体積を算出した．

５．結果と活用検討

5.1．可視化結果

2023 年 8 月 1 日に計測した試験ヤード全域の 3 次元点群データを対象に解析を行い，集水状況を可視化した結果を図 4 に示す．

流路は，累積セル数が 100 超のセルを表示し，できる限り詳細を把握できるようにした．セル数に応じた等級色分類により，現場内で相対的に流量が大きいほど赤系統色かつ線幅を大きくし可読性を高めた．この表現によって雨水が仮設排水地点の遠方か

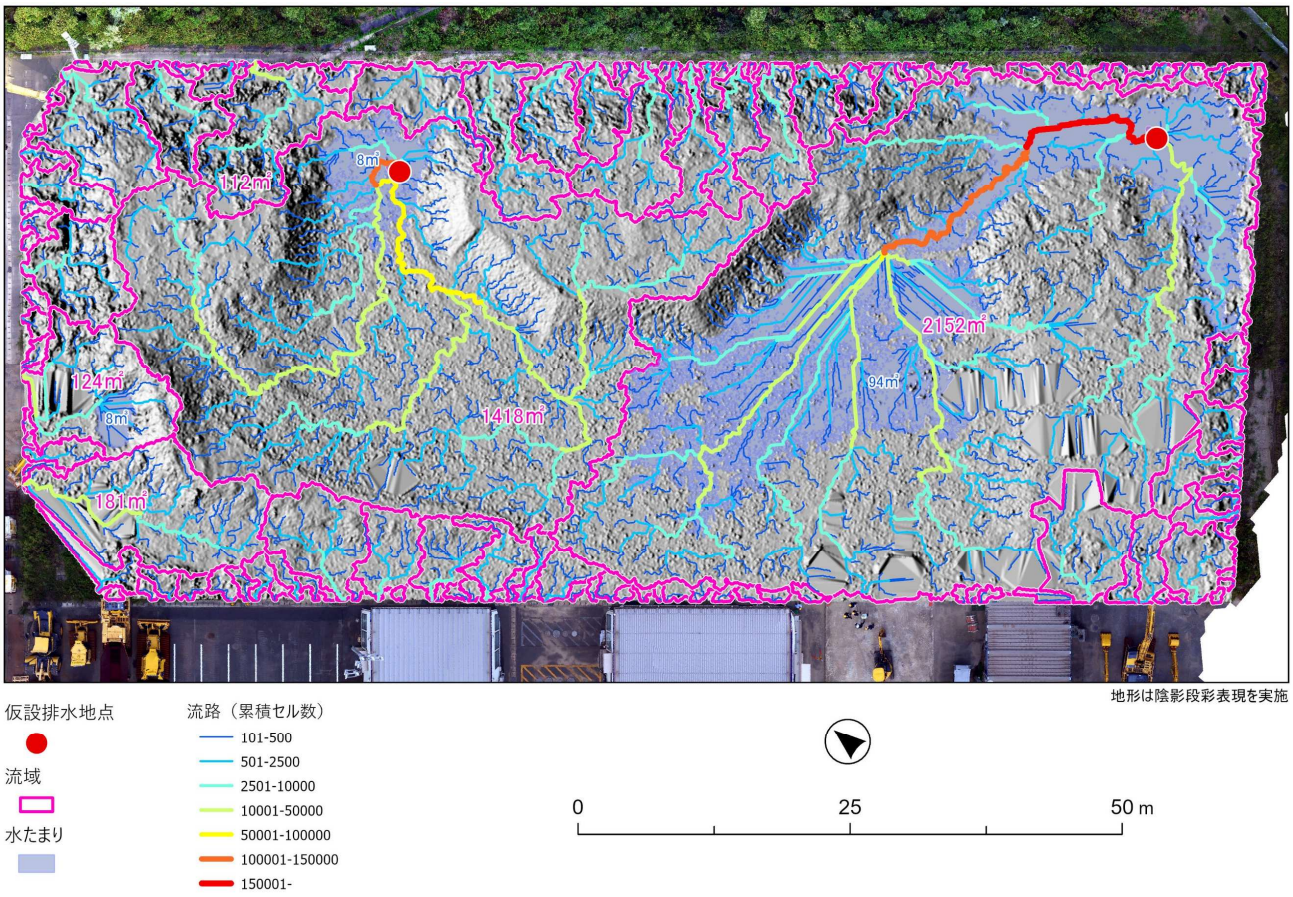


図４　可視化結果

ら徐々に集水され，仮設排水地点へ流入する様子が見てとれる．併せて，試験ヤード外への流出経路も把握できた．ヤード内外の流出点に対応した集水域形状と面積によると，仮設排水管がそれぞれ約 2,152 ㎡と 1,418 ㎡の集水域を抱えていることが明らかになった．これらの結果から，時間あたりの降雨量に応じた流路上の流量や，排水地点への流入量の目安を計算することも可能である．

また，水たまり可能性エリアは 1 ㎥以上の水量で抽出した．仮設排水地点の直下にある水たまりは，排水地点の貯水可能量であると解釈できる．中央約 94 ㎥の水たまりは敷地に対して広大に読み取れるが，周辺地形との関係から窪地と判定されたため，排水能力を超えた豪雨時はこの範囲まで水たまりが生じる可能性がある．水たまり結果は，実際の施工現場ではダンプトラックの走路や資材置き場と重ね合わせることで，水たまりが生じ得る窪地の早期発見に利用できる．

本処理は 1 時間程度あれば実施可能である．施工土量確認による点群計測のたびに併せて実施しても大きな負荷にならず，運用面でも現実的であることが確認できた．

5.2. 防災管理での活用検討

集水状況を一元的に可視化することで，従来は見えづらかった排水設備が抱える負担を把握でき，数字を根拠に雨水の防災対策を検討できるようなる．施工現場の隅から隅まで現場担当者が目視確認し水の流れを把握する必要がなくなり，防災対策のための現場視察時間が従来の 1/3 程度まで削減可能になると思われる．

本処理結果の活用想定例として以下 2 点を挙げる．第一に，調整すべき集水域とその形状変更箇所の把握である．仮設排水地点に対応する集水域の面積を確認し，尾根筋の形状を修正して流路を分散し，排水負荷を均等化するといった対策に活用できる．第二に，越水防止を目的とした堰堤の設置時の利用である．解析結果から，地形勾配と相対的な流量が大

きな流路を同時に読み取り，堰堤の設置場所や高さについての検討に利用できる．

これらは従来から実施される防災対策ではあるが，本処理結果により担当者が集水状況を俯瞰的かつ定量的に理解し対策行動を実施することで，円滑な施工に役立つと考えられる．可視化結果を建設機械の作業者や施工関係者と共有し，合意と理解を得ながら施工を進めることができれば，手戻りの防止も期待できる．

６．おわりに

本研究では，土工事の進捗確認に取得する 3 次元点群データの活用に着目し，雨水の防災管理への活用を想定した集水状況の可視化に取り組んだ．結果として，施工現場を模した試験ヤード内の流路形状や集水域，現場内の水たまり可能性箇所を可視化できた．解析範囲に依存するが，概ね 1 時間程度で実施できる解析であり，進捗把握と併せた施工中の運用も期待できる．本結果を基に，豪雨前の防災対策として仮設排水管が抱える集水域の形状調整や，堰堤設置の判断と根拠に活用できる可能性を示した．

一方で，本手法には下記に示す制約がある．まず，3 次元点群データのみの地形に基づく解析のため，点群密度より詳細な排水溝や，暗渠による集排水は加味できていない．また，水たまりは地形上の窪地に満水となった場合の形状と水量であり，実際の水たまり状況に比べて過大と思われる．さらに，流路は地形の傾斜方向のみから解析しているため，流水の強さによる越水や地形変化は反映していない．

筆者は，GIS を意思決定ツールと位置づけ，解析結果から現実行動を支援する手法を検討しており，その最初の段階として可視化が重要と考えている．今後は，以上の制約を念頭におき実際の施工現場での試行を目指す．加えて，様々な現場に応用することで手法の改良を実施していく．

謝辞

3 次元点群データの計測は株式会社 EARTHBRAIN の Jung Woohyeon 氏に協力いただいた．

参考文献

大窪克己・里優・濱田政則（2013）雨水の流線追跡解析による豪雨時の高速道路への集水状況の可視化に関する研究.「土木学会論文集 F5（土木技術者実践）」，**69**（2），27-35.

横田樹広・渡部陽介（2023）高解像度 DEM を用いた街区内道路空間における雨水流出環境とバイオスウェル導入シナリオの評価.「日本建築学会技術報告集」，**29**（72），904-909.

山口愛加・原田風渚・窪田諭（2022）3 次元点群データを用いた施工進捗の可視化と情報システムの構想.「AI・データサイエンス論文集」，**3**（J2），277-286.

Oral Presentation in GISA

景観・観光

Chair: Tatsuya Sekiguchi (Kyoto Prefectural University)
Sun. Oct 29, 2023 9:40 AM - 10:40 AM Room F (C-401 4th floor of Bldg. C)

[F6-03] 近世絵画史料『百富士（風刊-東海道）』「品川」から「金谷」の視点場推定ー景観視点場推定表示システムを用いた風景モチーフの写実性の検証ー

*Isato Kataoka[1], Atsuhito Sekiguchi[2]（1. Tokai University, 2. Aichi Universityof the Arts）
9:40 AM - 10:00 AM

[F6-04] 観光地へのアプローチに着目した非日常性の評価手法

*Shonosuke Kajita Kajita[1], Kazunari Tanaka[1]（1. Osaka Institute of Technology Graduate School）
10:00 AM - 10:20 AM

[F6-05] VR空間での視線計測実験に基づく歩行特性と座席選択に関する考察

*Takumi Nishikawa[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1], Hiroyuki Kaneko[2], Shokatsu Chen[2], Junichi Makieda[3]（1. Tokyo Institute of Technology, 2. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation, 3. Architectural Design Division, Kajima Corporation）
10:20 AM - 10:40 AM

©Geographic Information System Association

近世絵画史料『百富士（風刊-東海道)』「品川」から「金谷」の視点場推定
－ 景観視点場推定表示システムを用いた風景モチーフの写実性の検証 －

片岡勲人*・関口敦仁**

Viewpoint Fields from 'Shinagawa' to 'Kanaya' in “Hyakufuji (Fu-kan - Tokaido)”
- A Verification of the Realism of Landscape Motifs in Early Modern Paintings -

Isato KATAOKA *, Atsuhito SEKIGUCHI **

Abstract In the development of the "Estimation and Display System for Landscape Viewpoint Fields," the authors have successfully estimated the viewpoint fields from ‘Bushu Kanagawa I’ to ‘Umezawa’ included in "Koyo Tansho Zukan" by TANI Buncho (1793), as detailed in Kataoka and Sekiguchi's works from 2019 to 2022.
In this paper, an attempt is made to estimate the viewpoint fields from ‘Shinagawa’ to ‘Mitsuke’ in "Hyakufuji (Fu-kan - Tokaido)" by KAWAMURA Minsetsu (1767). In the process, a new estimation method is introduced which involves arranging each motif on the DEM. The optimization of the data used in the display system is also discussed.

Keywords: 景観視点場の推定表示システム (Landscape viewpoint estimation display system), 河村岷雪 (Kawamura Minsetsu), 近世絵画の風景モチーフの写実性の検証 (Verification of the realism of landscape motifs in early modern paintings)

１．はじめに

「景観視点場の推定表示システム」を利用して,これまでに谷文晁（1793)『公余探勝図巻』に含まれる「武州神奈川一」から「梅澤」までの視点場を推定してきた.（片岡 関口 2019-2022）

本稿では,河村岷雪（1767 年/明和 4 年）の『百富士（風刊-東海道)』における「品川」から「見附」までの視点場の推定を試みる. その過程で,新たな推定手法として,DEM 上に書割り状の建造物を配置し,近世絵画の風景モチーフの写実性の評価を行う. また,表示システムで利用するデータの最適化についても述べる.

２．河村岷雪『百富士』における 写実的な表現

関口敦仁（2021）によると,河村岷雪の版本『百富士』は明和 4 年（1767）に出版された. 葛飾北斎の「冨嶽三十六景」が文政 6 年（1823）に刊行されたのに対して,「百富士」はその 55 年も前に刊行されていた. 関口は,北斎が「百富士」から画題や構図に大きな影響を受け,同じ構図の作品を多く制作したと指摘している.

55 年の時間を経ても同じ構図を描くことができるという事実は,河村岷雪の『百富士』が実際の風景を写実的に描いていた可能性を示していると言えるだろう.

『百富士』は全 4 巻からなり,花刊 - 江府中,鳥刊 - 裏不二,武州,相州,甲州,駿州,風刊 - 東海道,月刊 - 諸州名勝地の 101 図が収録されている.

本稿では,風刊に収録された全 24 図について視点場の推定を行い,黄瀬川については風景モチーフの特定までを行う.

３．景観視点場の推定表示システムの最適化

富士山の風景視点場の探索をリアルタイムで行え

* 片岡勲人 正会員 東海大学観光学部（Tokai University）
〒151-8677 東京都渋谷区富ヶ谷２丁目２８－４ E-mail：isato@tokai-u.jp
** 関口敦仁 愛知県立芸術大学 美術学部（Aichi University of the Arts）

* Isato Kataoka; Tokai University; isato@tokai-u.jp
** Atsuhito SEKIGUCHI; Aichi University of the Arts;

るようにＣＧ表示方法において最適化を行った．DEM データの表示負荷を軽減するため,富士山,近景の山,視点場の探索付近を区分けし,以下に述べる適切なデータ形式を採用した．さらに QGIS プラグインを活用した読み込み方法の最適化と,Blender での山の稜線の描画を最適化した．

3.1．富士山とその周辺地域の風景 CG 生成における DEM データの最適化

DEM（Digital Elevation Model）から生成された三次元地理空間を活用して絵画の視点を探索している．その表示負荷を軽減する工夫を施し,よりリアルタイムでの視点の探索が可能となった．

これまで広範囲にわたって同一の DEM データを一括表示していたが,富士山,近景の山,視点場の探索付近という 3 つに区分けし,それぞれに適切なデータ形式を採用した. 図 2 に示す A と F は別々の DEM とした．

最も遠い富士山と近景の山には,NASA STRM（EPSG:4326 - WGS 84）を使用した．QGIS 上での計測結果によると,1 ピクセル当たりの幅は約 25m であった. 山ごとに DEM を分けることにより,風景 CG で表示する必要のない山と山の間のデータの読み込みが不要となった．視点場の探索付近は国土地理院（2008）の 5mDEM（EPSG:6668 - JGD2011）を利用した．視点場近くのみ細かい DEM を利用することで, データ量の削減を行いつつ,視点場周辺は細かな地形の表現を両立させた．

3.2．QGIS プラグインを活用した DEM データの読み込み方法の最適化

NASA STRM の読み込みには,Horst Duester（2018）が開発した QGIS プラグインである SRTM-Downloader を利用した．一方，国土地理院の DEM の読み込みについては, 最適化前には minorua（2012）の変換スクリプトを利用していたが，その代わりに MIERUNE Inc.（2021）が開発した QGIS プラグインである QuickDEM4JP を使用した．

3.3．輪郭線描画の最適化

山の稜線表示の最適化前は,Blender のソリッド化モディファイアを利用して,背面法によって稜線を表現していた．一様に同一の線が引かれていたため,

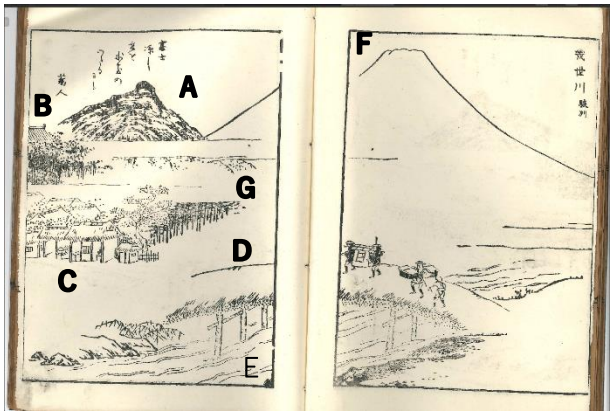


図 1 河村岷雪(1767) 『百富士』黄瀬川

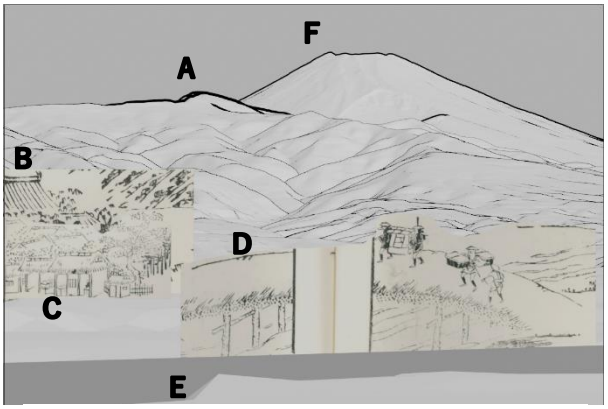


図 2 視点場の確認画面



図 3 旧版地図上でのモチーフの位置確認

近くでは線が太く,遠くでは細く見えにくい状況であった．その解決策として,山の DEM データを分割することで,それぞれの山に最適な太さの輪郭線を設定することが可能となった．さらに,図 2 の A 部部に示すように，３DCG 編集ソフトである Blender のウェイトペイントを設定し,山頂付近のみ線が入

るように調整した．輪郭線の描画には Feline Entity（2021）が開発した「Outline Helper for Blender」を利用した．

４．「黄瀬川」の風景モチーフの特定

これまでの山の重なりに基づく視点場の推定方法に加えて,書割状の建造物を旧版地図上に配置し,標高データを考慮に入れて風景画と同じ構図を持つ視点場を探索した（図 2，図 3）．これにより,描画モチーフの特定が可能になり,視点場の推定がより正確に行えるようになった．

4.1．探索経路の設定

黄瀬川沿い及び東海道沿いに探索経路を QGIS で作成し,次の二つの条件に合致する視点場を探し出した．検索条件の一つ目は黄瀬川の向き,二つ目は図 1 の名称不明の山 A 点及び富士山山頂 F 点山頂の形状である．景観視点場推定表示システムを用いて原画と照らし合わせた結果,図 3 の D 点がこれらの条件に一致することが判明した．

視点場をさらに詳しく推定するために,谷 謙二（2013）が提供する旧版地図のタイルマップサービスを利用した．旧版地図（kanto1894-1915）を景観視点場の推定表示システムに読み込んで周囲を確認した．その結果,約 100 年前，本宿の西側に黄瀬川にかかる橋がひとつ存在することを確認できた．この情報を基に,二つの地点を結ぶ新たな探索経路を作成し,推定を進めた．

4.2．山岳の特定とその地名

片岡 関口（2022）により開発された経度緯度の読み取り機能を備えた景観視点場推定表示システムで計測し,A 点の山の位置は,北緯 35.22218915529023,東経 138.81150778719345 を読み取った．この座標から,A 点の山は「位牌岳」であると特定できた．一方,F 点の富士山頂の座標は,北緯 35.35945585014379,東経 138.72787407279486 であり,「剣ヶ峰」であることが判明した．

4.3．書割図と旧版地図による視点場と建築物の特定

本宿をでて，西に向かって進み,橋の手前で南に約 200m 移動した位置から,絵の構図と同じ視点場が見つかった．富士山,位牌岳,黄瀬川の方向が一致していた．さらに,図 2 の C 点に休憩所を置くことで,絵の構図と一致した．また,図 2 の B 点に位置する大きな屋根については,旧版地図上で位置を変えながら同じ構図を探した結果,光長寺の位置で一致した．光長寺は現在も存在し,屋根の形状も一致した．

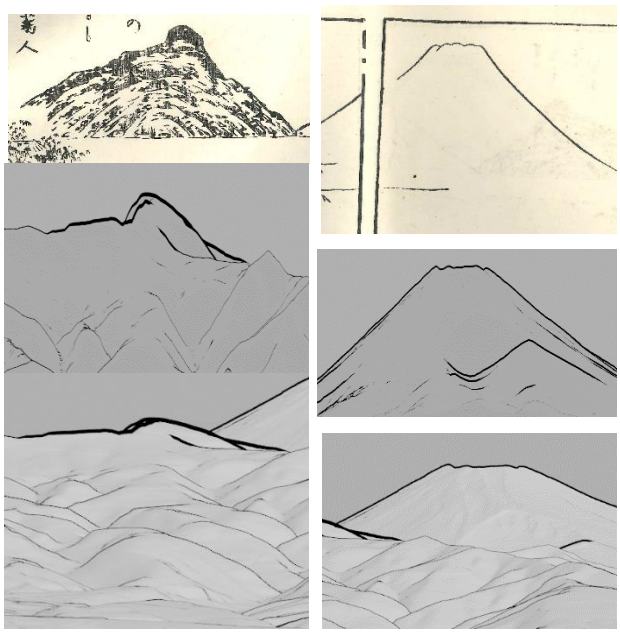


図 4 位牌岳と富士山頂の描写

4.4．「黄瀬川」推定視点場の現在

本手法により推定した「黄瀬川」の視点場候補地「35.11865626694329,138.88738863715」を調査した結果,現在でも「本宿」という地名が存在し,本宿にこにこ公園や諏訪神社が存在する地点であることが確認できた．周囲は 2 階建ての住宅に囲まれており,富士山方向への眺望は制限されるが,旧版地図に示されている橋（壽橋）へ移動すると,富士山と位牌岳を望むことができる．また,壽橋の左岸には長泉本宿南無阿弥陀仏石碑が立っている．図 1 と 2 の C で示した休憩所は住宅になっている．図 1 から 3 の G で示した空白地は,門池と推測される．

５．風景モチーフの写実性の評価

図 4 では，左側に位牌岳，右側に富士山頂の描写を示している．上段は『百富士』の描写で，中段と下段は推定表示システムによるものである．中段では,『百富士』の描写に近づくように，高さ方向に拡大を施した．位牌岳は 3 倍，富士山は 1.9 倍に拡大

した.

以下に示す計測により，河村岷雪『百富士』の作画では,実際の風景モチーフの位置関係の構図，山の形と数を正確に描いていたことを確認することができた.

5.1.『百富士』黄瀬川の富士山頂部の地形計測

剣ヶ峰の右側峰の緯度経度を，本システムを利用して計測した結果，35.35866784718277, 138.73045586952088 であった．この地点を調査したところ，富士山本宮浅間大社奥宮の近くであることが判明した．富士山における適正利用推進協議会（2012）が作成したお鉢巡りマップと照らし合わせた結果,この地点は三島岳であることが確認できた.なお,剣ヶ峰との間は馬の背と呼ばれる地形である.

同様に，描かれている最も右側の峰の手前を計測した結果，その地点は荒巻で，伊豆岳であることが判明した．その左に位置する峰は朝日岳である．また，朝日岳と三島岳の間には駒ヶ岳が存在する.

剣ヶ峰から伊豆岳に至るまでの間には，三島岳，駒ヶ岳，朝日岳が存在し，これらを含めた合計 5 つの峰が確認できる.『百富士』に描かれている峰も同数の 5 つであり，これと一致する.

5.2.『百富士』黄瀬川の愛鷹山位牌岳の地形計測

愛鷹山の中央部に位置する位牌岳について，図 4 の細線で示された愛鷹山部分には 5 つから 6 つの山が存在すると読み取ることができる．これは『百富士』で示されている 5 つから 6 つの山と一致する．また，太線で示された位牌岳については，高さ方向を 3 倍にした図とほぼ形状が一致していることが確認できる.

６.「品川」から「見附」の視点場推定

『百富士』における品川から見附までの 24 区間の視点場の推定結果を表 1 に示す．先述の風景モチーフの書割状の建造物を考慮した検証は,11 番の黄瀬川についてのみ行われ,その他の区間については山の重なりに基づく推定方法が採用されている．今後は,黄瀬川と同様に詳細な視点場の推定や名称が不明なモチーフの特定も目指す.

表１ 『百富士（風刊-東海道)』視点場推定結果

	タイトル	推定視点場の緯度経度
1	品川	35.64968195599527,139.75333528077212
2	神奈川	35.479591394885475,139.63936843314366
3	保土ヶ谷	35.445143885235275,139.590048774756
4	馬入川	35.3319892774392,139.3692414655292
5	平塚	35.3250714085664,139.33584926171557
6	大磯切通	35.3040032535173,139.29051318420986
7	酒匂川	35.26485950713712,139.18563354135213
8	箱根湖水	35.1762174396392,139.0252039621599
9	箱根山中	35.197951619257616,139.02930753891624
10	三島	35.120201313397395,138.91904275444813
11	黄瀬川	35.11865626694329,138.88738863715
12	沼津	35.1007423291181,138.84468561859117
13	千本松	35.07908,138.85803 片岡 関口（2020）
14	原	35.13320081982814,138.7657789725613
15	浮島	35.13499882439881,138.7488408851929
16	吉原	35.14487722575157,138.70407275025644
17	田子浦	35.137398235949455,138.6904808430471
18	富士川	35.154532902944894,138.6200776262493
19	薩埵山	35.066286219418764,138.5391061183218
20	三保崎	34.99330856385208,138.49290985129588
21	駿府	34.97429973467653,138.3832365735033
22	阿部川	34.96773329474023,138.3560467103699
23	金谷	34.815165437486485,138.12106683705798
24	見附	34.72168187449477,137.85133876002914

参考文献 References

片岡勲人 関口敦仁(2019)「近世絵画史料から見る景観視点場の推定表示システムの構築 −マルチ地理情報データの複合連動による３DCG 表示システム−」， 一般社団法人 地理情報システム学会学術研究発表大会 第28回学術研究発表大会 講演論文集 28 1-4

片岡勲人 関口敦仁(2020)「近世絵画史料から見る景観視点場の推定表示システムの構築 ： 谷文晁・公余探勝図巻を事例として」， 東海大学紀要. 観光学部 (10)，pp. 29-38.

片岡勲人 関口敦仁(2020)「近世風景絵画史料の写実

形態比較などの解析システムの構築 −タブレット型風景画検証システム−」， 一般社団法人 地理情報システム学会学術研究発表大会 第 29 回学術研究発表大会 講演論文集 29 1-4

片岡勲人 関口敦仁(2021)「近世風景絵画史料の写実形態比較などの解析システムの構築 −機械学習による風景画の作画方角の推定−」一般社団法人 地理情報システム学会学術研究発表大会 第 30 回学術研究発表大会 講演論文集 30 1-5

片岡勲人 関口敦仁(2022)「近世絵画史料の景観視点場推定表示システムを利用した現代景観の検証 」一般社団法人 地理情報システム学会学術研究発表大会 第 31 回学術研究発表大会 講演論文集 31 1-8

河村岷雪(1767)『百富士』西村源六, 4 冊, 静岡県立中央図書館デジタルライブラリー[Online]. Available at: https://multi.tosyokan.pref.shizuoka.jp/digital-library/detail?tilcod=0000000028-SZK0003020, [参照: 7 月-8 月 2023].

国土地理院(2008)「基盤地図情報ダウンロードサービス - 国土地理院」[Online]. Available at: https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php[参照: 7 月 2019-8 月 2023].

関口敦仁(2009)「地理情報を比較利用した近世絵画での写実性について −葛飾北斎『富嶽三十六景』をめぐる考察−」， 情報科学芸術大学院大学紀要, vol. 1, pp. 39-52.

関口敦仁 片岡勲人(2021)「日本の近世風景画における写実性の検証」， 愛知県立芸術大学紀要(50), pp. 69-80.

谷文晁(1793)『紙本著色公余探勝図』東京国立博物館,[Online]. Available at: https://emuseum.nich.go.jp/detail?langId=&content_base_id=100324&content_part_id=000&content_pict_id=000 [参照: 7 月-8 月 2023]

谷 謙二(2013)「今昔マップ on the web タイルマップサービス」[Online]. Available at: https://ktgis.net/kjmapw/tilemapservice.html [参照:8 月 2022].

富士山における適正利用推進協議会（事務局：環境省富士箱根伊豆国立公園管理事務所、山梨県、静岡県)(2012)「富士登山オフィシャルサイト お鉢巡り」[Online]. Available at: https://www.fujisan-climb.jp/trails/course1.html[参照:8 月 2023]

Blender.org(2002)「blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software」[Online]. Available at: https://www.blender.org/ [参照: 7 月 2019-8 月 2023].

domlysz(2014)「BlenderGIS: Blender addons to make - GitHub」[Online]. Available at: https://github.com/domlysz/BlenderGIS [参照: 7 月 2019-8 月 2023].

Feline Entity(2021)「 Outline Helper for Blender]. Available at: https://gumroad.com/l/ZmTIT [参照: 7 月 2022-8 月 2023].

Horst Duester(2018)「hdus/SRTM-Downloader Public」[Online]. Available at: https://github.com/hdus/SRTM-Downloader [参照: 7 月 2022-8 月 2023].

Jeff Whitaker(2006)「pyproj · PyPI」[Online]. Available at: https://pypi.org/project/pyproj/ [参照: 7 月 2022-8 月 2023].

MIERUNE Inc.(2021)「QuickDEM4JP」[Online]. Available at: https://www.mierune.co.jp/news/posts/1274?lang=ja [参照: 7 月 2022-8 月-2023].

minorua(2012) 「 minorua/fgddem.py · GitHub 」[Online]. Available at: https://github.com/minorua/fgddem.py [参照: 7-8 月-2020].

QGIS(2009)「Download」[Online]. Available at: https://qgis.org/ja/site/forusers/download.html [参照: 7 月 2019-8 月 2023].

観光地へのアプローチに着目した非日常性の評価手法

梶田祥之介*・田中一成**

"Extraordinariness" is one of the elements sought in travel, and it is considered to be higher when the area is psychologically and physically distant from the everyday area. In the current social context, where the impact of pandemics is decreasing and many people travel in their leisure time, it is significant to clarify "extraordinariness" of travel, which is considered to have a substantial impact on travel satisfaction. In this study, we estimated that there are two types of unusualness. It is spot-like unusualness and approach-like unusualness, both of which are caused by the convenience of transportation to the location. We investigated the relationship between the frequency of visits to tourist spots and the distance between the tourist spots and the place of residence through a questionnaire survey. Next, we refined the definition of "unusualness" and investigated the relationship with transportation convenience. These results were visualized by displaying them on a GIS.

Keywords:旅行(travel), 満足度(satisfaction), 交通手段(transportation), 非日常性(extraordinariness)

１．はじめに

旅行は「非日常」という言葉と強い関係がある．既往研究だけでなく旅行会社の CM やポスターにも非日常の言葉が多々利用されている．「非日常空間」とは日常からかけ離れた空間を指し，生活の場から離れて行動する旅行と関係性が高いと考えられる．そうしたことから非日常空間は現在の生活の場から遠く離れた場所にある，非現実的な場所としてとらえられる．しかし，コロナ禍となり旅行制限や県境をまたいでの移動の規制がされたことから，居住地区に近い場所での旅行が注目されている．そのような環境下において非日常空間はどのように考えられているのであろう．

本研究では，まず「非日常空間」とはどのような条件において存在するのであるかに着目した．代表的な非日常空間のひとつとしてよく挙げられるディズニーランドについてその非日常性を調べた研究[1)]では，ディズニーランドは現実世界との遮断や映画の三次元再現など空間から日常性を取り除く手法が用いられていることが分かる．このように非日常とは日常と異なる環境のことを示すことが多く，その場の特質が大きく関係していると考えられる．しかしその場以外にもアプローチの部分などで非日常性を生み出す方法は存在するのではないだろうか．例えば 785 段もの長い階段を登った先に本宮を置く金刀比羅宮について，麓の街との空間の分離，非日常性を感じる人は多い．ここにおける非日常性は神社という歴史的場所が持つ特質も関係するが，この長い階段によって強まっている可能性が大いに考えられる．

旅行という非日常的イベントが変化していく中で，場の特質による非日常性の創出だけでなく，場までの行程など場とは異なる部分での非日常性の創出手法が必要となってくるのではないだろうか．

２．研究目的

金刀比羅宮ように，非日常性とは場特有の性質だけでなくそこまでの行程も関係してくると考えられる．このように空間だけでなくアクセス部分を考慮して観光地評価を試みた研究[3)]では，観光地の魅力を「観光スポットの魅力（スポット評価）＋交通アクセス＋費用」とし，温泉地を対象に交通アクセスと費用を加えた観光地の魅力を分析している．結果として「スポット評価値」が高くても「スポット評価に交通アクセスの影響を考慮した評価値」は，来訪者の居住地からの距離に従って低減することを示している．このことから観光地を考える際，そのスポットの特質だけでなく距離や費用などアプローチ面も重要であることが分かる．そしてこれは，アプローチ面における非日常性は距離や費用と関係する可能性を示唆している．そこで本研究ではアプローチ面における非日常性の定量化を目的とする．

* 学生会員 大阪工業大学大学院工学研究科（Osaka Institute of Technology）m1m22105@oit.ac.jp
** 正会員 大阪工業大学 工学部（Osaka Institute of Technology）kazunari.tanaka@oit.ac.jp

３．研究方法

本研究では，観光地へのアプローチが困難であるほど非日常性を感じやすくなると仮定し研究をおこなった．ここでのアプローチは，観光地への距離，交通利便性，費用を示している．

本研究ではまず調査Ⅰとしてアプローチの中で観光地への距離に着目し調査をおこなった．ここでの距離は居住地からの距離とし，距離が遠いほど非日常性が高くなると仮定した．また，この調査では，非日常性は訪問頻度の低さであるとして調査した．アンケートにより，各観光地への訪問頻度と居住地等のデータを採取し，そのデータを用いて分析をおこなった．

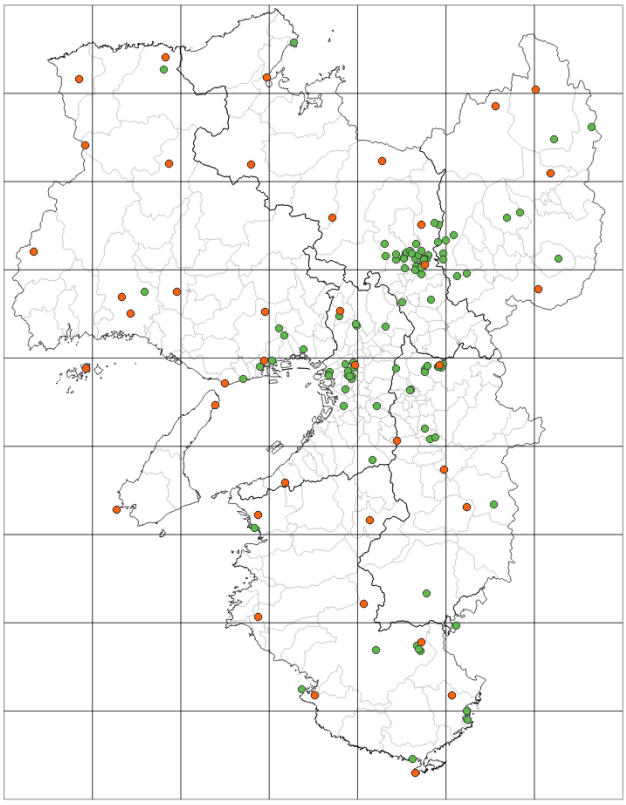
次に調査Ⅱとして，アプローチの中の交通利便性について調査をおこなった．この調査では観光地の非日常性と交通利便性がどのように関係しているかを調査した．本調査では非日常性を期待値と認知距離の和であるとし，アンケートでそれらの情報を採取したのち，交通利便性との関係を可視化した．

3.1. 調査Ⅰ

調査Ⅰでは非日常性と距離との関係を調べた．本調査では非日常性は頻度により非日常と頻度について，ある観光地について訪れる頻度が高くなるほど，その観光地への期待感や探求心は減少し，反対に生活感や安心感が高まると考えられる．言い換えると，これは観光地の「日常化」であり，このことから訪問頻度が低いほど非日常性が高いと考えられる．

よく訪れる観光地と居住地区からそこまでの距離との関係を知るため，まず居住する地域に存在する観光地に訪れる頻度をアンケートにより調査した．この調査では近畿圏を対象とし，近畿圏に居住する人々に近畿圏にある観光地への訪問頻度を尋ねた．次に，これらの観光地への観光頻度について，訪れる頻度が高い観光地と訪れる頻度が低い観光地を居住地区ごとに調べ，それらの関係性を可視化するために GIS 上に示した．

アンケート調査では，近畿圏を対象に観光頻度を尋ねた．本研究では，近畿圏を日本関税協会が指定する 2 府 4 県（大阪，京都，滋賀，和歌山，奈良，兵庫）として定義し，観光地は日本交通公社による「全国観光資源台帳」[4]に記載されている観光地から 125 カ所を選定した．図－1 には調査Ⅰと調査Ⅱの両方で使用した観光地の位置が示されており，緑色は調査Ⅰのみで使用した観光地を，赤色は調査Ⅱでも使用した観光地を表している．これらの観光地について，近畿圏に居住する 85 人に対して訪問頻度と属性を尋ねた．観光頻度は 10 段階評価とし，質問項目は表－1 に示す通りである．



図－1　観光地の位置

またアンケートは居住地域ごとに分類し，分析を行った．頻度は「週 1 回以上」を 9 として頻度が高い順に 9～0 の数値に変換した．次に，これらの値について，個々人の旅行頻度に影響されないようにするため，パーセント表示に変換し，各個人について相対的な頻度とした．その割合を観光地ごとに累計することで，訪れる頻度の高い観光地を抽出した．この訪問頻度割合の累計を「頻度値」とする．

表－１　質問項目（調査Ⅰ）

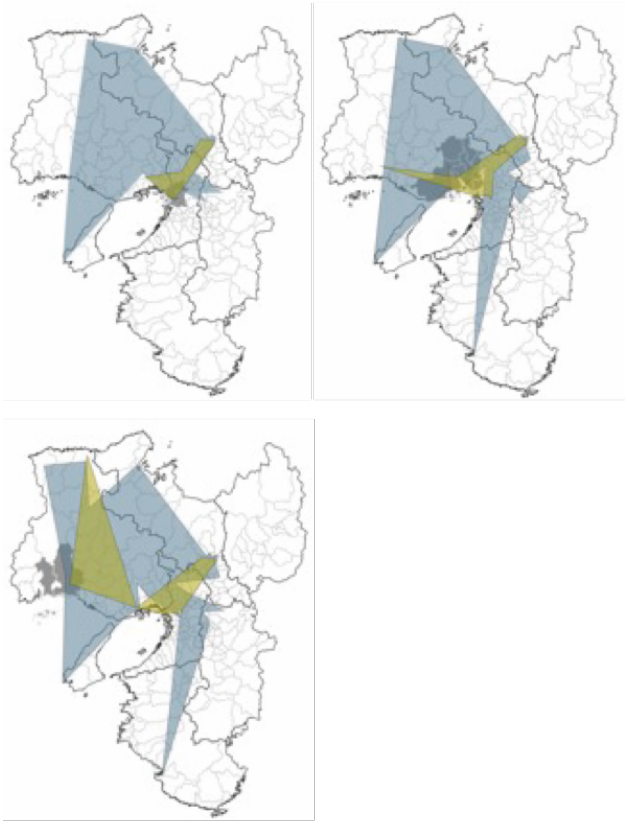
観光頻度	週 1 回以上
	月 2 回以上
	月 1 回以上
	3 ヶ月に 1 回程度
	半年に 1 回程度
	1 年に 1 回程度
	2 年に 1 回程度
	3～5 年に 1 回程度
	今まで 1 回
	行ったことがない
属性	性別，年齢，職業，現在の居住地，居住年数，現在の場所よりも長く住んでいる場所，観光人数，旅行頻度

この結果を用いて，これらの観光地を「日常的観光地」「非日常的観光地」「非訪問観光地」の 3 グループに分類した．分類方法として，頻度値が 2%以上のものを高頻度で訪れる観光地であることから「日常的観光地」，2%未満 1%以上のものを「非日常的観光地」，1%未満のものを大多数が訪れたことのない観光地であると考え，「非訪問観光地」とした．

これらの観光地のうち，「日常的観光地」と「非日常的観光地」を居住地区と共に GIS 上に示した．図－２が GIS の結果であり，それぞれの地域における観光地数を表－２に示す．黄色で色付けたものが「日常的観光地」を繋いだものであり，青色で色付けたものが「非日常的観光地」を繋いだものである．また，居住地域を灰色で示している．

対象地区について，今回はアンケートを集めた中で回答者の割合が比較的高かった大阪市，兵庫県阪神地区，兵庫県播磨地区の 3 つの地区を対象とした．それぞれの有効回答人数は 23 人，18 人，15 人である．

これらのデータより，日常的観光地は居住地区に近い場所に存在することと，非日常的観光地は日常的観光地より遠くに存在し，日常的観光地を囲むように存在することが読み取れる．このことから，居住地からの遠さは非日常性に影響を与えていると言



図－２　観光頻度
（左上より，大阪市，神戸・阪神，播磨）

表－２　各地区における観光地数

	日常的観光地	非日常的観光地	計
大阪市	11 個	19 個	30 個
神戸・阪神	12 個	22 個	34 個
播磨	9 個	25 個	34 個

える．大阪市は特に顕著であり，大阪市内や阪神地区，京都市内などの観光地が日常的観光地となり，それを囲むように京阪神近辺の観光地が非日常的観光地となっている．また，大阪市と阪神地区の観光地の配置は似ている部分が多いことから，都市圏中央部での旅行活動の範囲は似た場所になると予想できる．他にも，3 地区の中で播磨地区が最も日常的観光地が少なく，最も非日常的観光地が多いこと，そして公共交通機関や幹線道路の量が他の 2 地区に

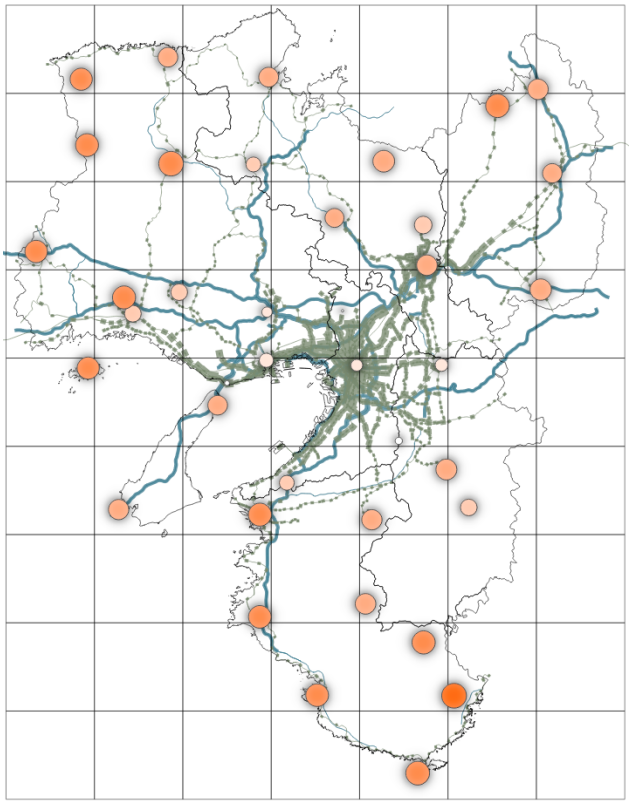
比べて少ないことから，地方都市では日常的に訪れる観光地が少なく，他の地区の観光地に興味を持ちやすい可能性が考えられる．つまり，地方に住む人ほど，観光に対して非日常性を求める傾向にあると考えられる．反対に，大阪市のように日常的に観光地に訪れることができる場所に住んでいる人は，遠くの非日常を求めない可能性も考えられる．

まとめると，本調査では非日常性は実距離に影響していることがわかった．また，都市部と地方部での非日常的観光地の数量に違いがあることから，地方部ほど非日常的観光地を求めやすいことが考察できた．地方部とされる要素の一つに交通利便性の低さが挙げられることから，次に交通利便性と非日常性の関係を明らかにしていく．

3.2. 調査Ⅱ

調査Ⅱでは，非日常性と交通利便性の関係を調べた．この調査では，非日常性をより詳細に定義し，それによって非日常空間と交通アクセスとの関係を可視化した．まず，調査Ⅰから距離と非日常性の相関関係が明らかになったことから，本調査では非日常性を期待値と認知距離の和と定義した．ここでの期待値とは，各観光地に対する観光目的意識の高さを指し，休暇，遊楽，創造という余暇の三機能を用いて目的意識の高さを捉えた．また，距離については，調査Ⅰでは実際の距離を対象に調査したが，心理的な要素である非日常性を考慮し，本調査では認知距離を使用した．

調査Ⅰからわかったように，非日常性は実距離に影響されることがわかったため，使用する観光地はなるべく等間隔で選定した．選定方法としては，30km メッシュを用意し，その交点に存在する観光地を使用した．また，交点に観光地が存在しない場合は交点を挟んで対極に存在する 2 地点を選定した．各観光地は，日本交通公社による「全国観光資源台帳」と朝日新聞出版の「日本の絶景大辞典」から選定した．総観光地数は 39 箇所であり，それぞれについて期待度，認知距離，認知度，頻度，利用交通手段，および属性について調査した．使用観光地は前述の図－１で示した通りである．



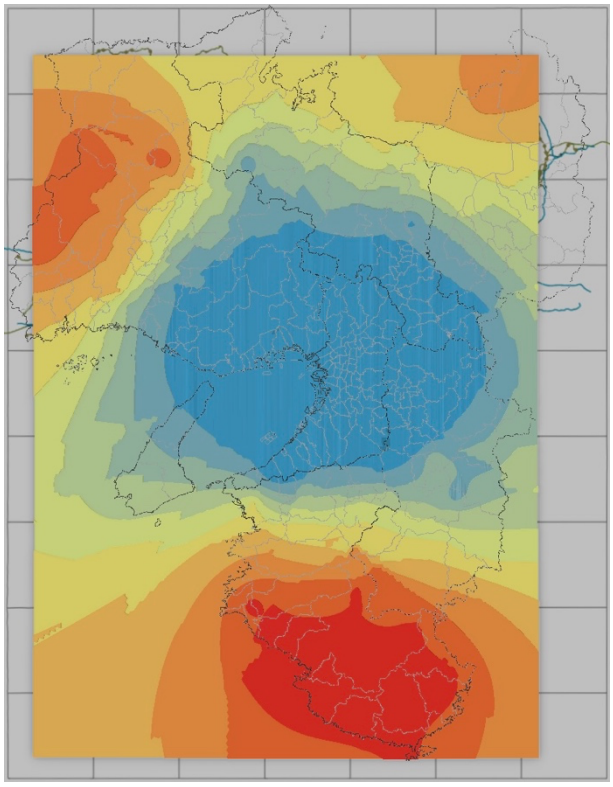
図－３　非日常性と交通利便性の関係

アンケート結果から非日常性を地図上に示した図が図－３である．黄色い丸が非日常性を表し，丸が大きく色が濃くなるほど非日常性が高いことを示している．ラインは交通路線を示しており，緑のラインが鉄道路線網，青のラインが高速道路路線網を表している．鉄道路線のラインの太さは乗降客数によって表示され，高速道路網の太さは車線数を示している．この図から，交通インフラが充実している場所や交通利便性の高い場所では非日常性が低くなる傾向があり，一方，充実していない場所や交通利便性の低い場所では非日常性が高くなることが読み取れる．この結果から，非日常性は交通利便の良さに影響を受けることがわかった．

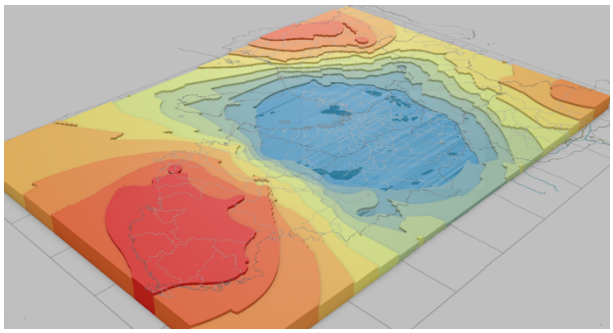
3.3. 分析

調査Ⅱの結果をより詳細に分析するため，ArcGIS を用いてクリギングをおこなった．クリギングとは

計測していない位置の予測値を取得するために，周囲の計測値に重み付けをおこなう内挿法である．分析ではクリギングの中でも EBK (Empirical Bayesian kriging)を用いた． EBK は有効なクリギング・モデルの構築で最も困難な部分を自動化する地理統計的補間法である．



図－４　クリギング補完による非日常性

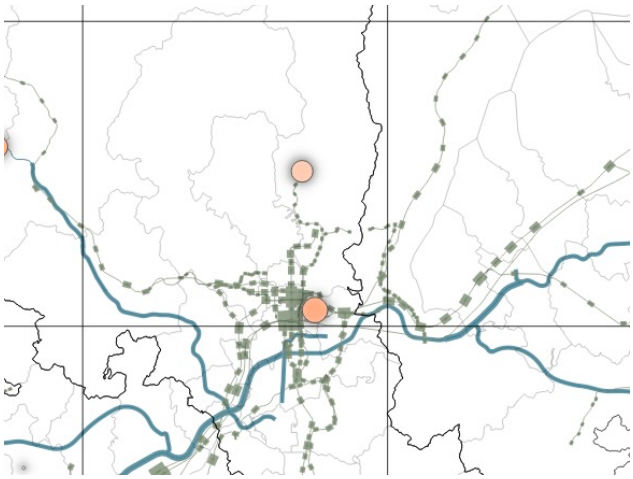


図－５　非日常性の三次元的広がり方

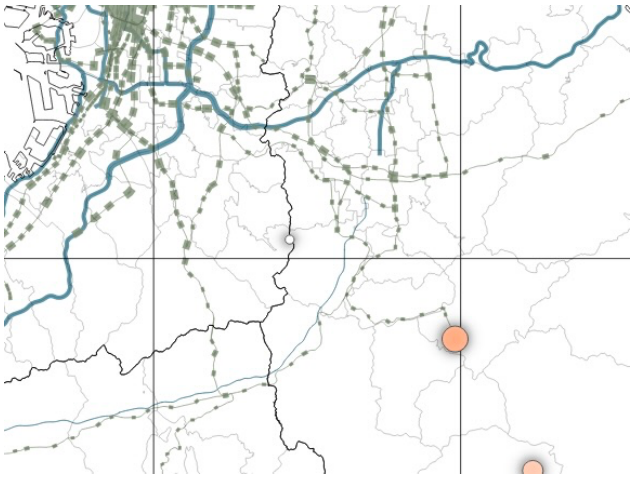
クリギングにより，調査した観光地以外の場所での非日常性の分布を推定した結果が図－４であり，三次元化したものが図－５のようになった．EBK の設定はデフォルトでおこない，Semivariogram model type はパフォーマンスと精度のバランスが良い Power を選択した．この結果より，非日常性は和歌山県南部，兵庫県西部，滋賀県北東部が高く，対して大阪市を中心とした約 50km 圏は非日常性が低いと言える．

3.4. 考察

調査と分析から、非日常性は観光のアプローチ面と関連していることが明らかとなった．具体的には、非日常性は実距離が遠く、交通利便性の悪い場所に存在していることが示された．ただし、全ての観光地においてこのような結果とはならず、距離が近く交通利便性が良い場所でも非日常性が高い場所



図－６　鞍馬寺（上）と清水寺（下）の非日常性



図－７　葛城高原（中央）の非日常性

がある一方、逆に遠く交通利便性も悪い場所でも非日常性が低い場所が存在した. 例えば、調査IIにおいて京都市に存在する清水寺と鞍馬寺は交通利便性が良く、非日常性も高いことが示された. 図－６では、京都市が中心に位置し、その上下にそれぞれ鞍馬寺と清水寺がある．一方、反対の例として、大阪府と奈良県の境目に位置する葛城高原は、鉄道や高速道路が通っておらず、交通利便性が悪いとされる場所にあるが、非日常性は低いことが示された．図－５の中心の白い点が葛城高原である.

この結果から，期待値と認知距離が表す意味には非日常性を表すだけでなく観光地性を表す側面があり，今回の実験時には両者を分割して捉えられておらず，これを分けることで説明可能と考えられる．また，交通手段の表現が，徒歩やレンタサイクルなど現状に対して十分ではないと考えられ，これらによって，多くの対象が説明できると考えられる．今後は，これらの指標をより詳細に表現することで説明力を高める必要がある.

またクリギングによる分析において，非日常性の値が全体の中間となる緑の値を見ると，東側は交通利便性の高い辺りに存在しているのに対し，西側は鉄道の存在していない淡路南部辺りに存在している. これは淡路島への認知距離の近さが関係していることが考えられ, 鉄道が存在するにも関わらず認知距離の遠い兵庫県中央部との比較分析をおこなうことで要因を探る必要がある.

４．まとめ

本研究では，観光における非日常性とアプローチ面との関係を定量化することを目的とし，2 回のアンケート調査を実施し，分析した.

調査 I では，観光頻度に基づいて非日常性と居住地との距離を調査した．アンケートデータを GIS に移し可視化すると，居住地に近い空間では日常的観光地が多く存在し，遠い空間では非日常的観光地が存在していることがわかった．さらに，都市部と地方部での日常・非日常の考え方の違いが存在する可能性が考察された.

調査Ⅱでは，非日常性と交通利便性との関係を調査した．ここでは非日常性を期待値と認知距離の和と定義し，それを基に非日常性と鉄道路線網，高速道路網との関係を GIS 上で可視化した．この結果から，非日常性の高さと交通利便性の低さとの関連性が示唆された.

分析では，クリギングにより非日常性の補完をおこない，より詳細に非日常性を示した.

今後は，非日常性をより詳細に示すことや，まだ明確には示されていない交通手段を明らかにしていく．また既往研究でアプローチ面の一つとして扱われていた費用との関連も調べることで，非日常性とアプローチ面との関係をより詳細に可視化していく.

参考文献

田所瑛梨（2012）ディズニーランドにおける非日常性の変容，p.66-84，コンテンツツーリズム論叢，1
和泉雅人 (2009) Scalalogie(階段学)へのオマージュ．慶応義塾大学日吉紀要，p.19-48，ドイツ語学・文学
鎌田裕美（2006）交通アクセスを考慮した観光地の魅力度評価，p.149-158，日本交通学会第 65 回
日本交通公社，美しき日本 全国観光資源台帳，日本語，https://tabi.jtb.or.jp/，最終閲覧 2023.5
田原万友美，田村俊明（1998）非日常空間における心理的空間特性の研究-02，p.154-155，日本デザイン学会
鈴木秀雄（2004）余暇の機能，p.135-146 人間環境学会『紀要』創刊
田中雅大（2013）日常的移動行動との関連でみた都市空間における認知距離の質的側面-金沢市の大学生の事例，p.47-62，人文地理第 65 巻第 1 号
朝日新聞出版（2019）今、行きたい! 日本の絶景大辞典 1000，p.278-336，朝日新聞出版

VR 空間での視線計測実験に基づく歩行特性と座席選択に関する考察

西川拓海 [*1]・大佛俊泰 [*2]・岸本まき [*2]・金子弘幸 [*3]・陳紹華 [*4]・槇枝潤一 [*5]

Walking Characteristics and Seat-selection Based on Eye-tracking Experiments in VR Space

Takumi NISHIKAWA[*1], Toshihiro OSARAGI[*2], Maki KISHIMOTO[*2],
Hiroyuki KANEKO[*3], Shokatsu CHEN[*4], and Junichi MAKIEDA[*5]

Abstract: We need to understand people's preference in seat selection for evaluating the atrium space used by an unspecified number of persons. Although there are several previous studies on seat selection, there are few studies that consider the visual environment elements. In this paper, we first provide an overview of a seat selection experiment conducted in VR atrium spaces. Next, we classify visual elements in VR atrium spaces and extract what elements the subjects look at during seat selection. Then, we construct a seat selection logit model, in which visual elements extracted in the experiment are used as explanatory variables, and clarify the influence of visual elements looked at during walking on seat selection behavior.

Keywords: 座席選択行動（seat selection behavior），ロジットモデル（logit model），視線計測（eye tracking），注視時間（viewing time），VR 空間（VR space）

１．はじめに

不特定多数の人が利用可能なアトリウム空間におけるベンチの設置方法について検討する上で，利用者の座席選択性向を把握することは重要である．筆者らはこれまで，VR 空間内で取得した視線データを用いて座席選択モデルを構築し，開口部や空間の繋がりなどの視環境が座席選択に及ぼす影響を明らかにした（西川ほか, 2023）．しかし，着座時の視線データに基づいて座席選択行動を記述することに留まっている．本稿では，歩行中における視環境と座席選択行動の関係を明らかにすることを目的とする．具体的には，まず，VR 空間内において座席選択実験を行う．次に，得られた視線データを用いて，被験者が注視した環境要素とその注視時間を説明変数とした座席選択モデルを構築し，歩行中に確認する座席周辺の視環境が座席選択行動に及ぼす影響を分析する．

２．VR 間における座席選択実験

2.1. VR 空間における座席選択実験の概要

アトリウムを模した VR 空間における座席選択実験の概要を図 1(a) に示してある．被験者は，視線の動きを計測可能なヘッドマウントディスプレイ（以下, HMD）を着用し, 格子状のネットワー

*1　学生会員　東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail:nishikawa.t.aj@m.titech.ac.jp
*2　正会員　東京工業大学環境・社会理工学院（Tokyo Institute of Technology）
*3　正会員　鹿島建設　技術研究所（Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation）
*4　非会員　鹿島建設　技術研究所（Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation）
*5　非会員　鹿島建設　建築設計本部（Architectural Disign Division, Kajima Corporation）

クが設定された VR 空間内を，各ノードに設定された全天球画像を確認しながら回遊する．その上で，座席（計 14 ～ 21 個）の中から最も好ましいと判断した座席を選択する．これを計 4 プラン（図 1(b)）について繰り返し，最後に各プランで選んだ計 4 つの座席を順位付けする．この時，VR 空間内での被験者の移動軌跡および視線の動きをシステム上に記録する．

2.2. VR 空間内における座席選択結果

各プランにおける座席の選択結果を図 2 に示してある．プラン A では，開放感が高い（天井が高い，大きな開口に面している，視線が抜ける）座席が選択される傾向にある（図 2(a)）．多種の座席が配置されたプラン B ～ D では，座席種別によって選択結果が大きく異なる（図 2(b)(c)）．プラン D では，8 割の人が円形ソファを選択しており，座席形状（複数人が向かい合えるなど）や座り心地が選択行動に強く影響していることが分かる．

2.3. VR 空間内における歩行経路および滞留地点

プラン A の各ノードにおける滞留時間の空間分布を図 3(a)(b) に示してある．アトリウム空間の入口や中央，主動線の突き当たり周辺に長く滞留する様子が確認できる（図 3(a)）．被験者は，空間を広く見渡すことができるノードで立ち止まり，意思決定を行っていると考えられる．また，平均滞留時間が長いノードの空間分布をみると，空間が見渡せるノードのほか，座席の手前においても立ち止まりが発生している（図 3(b)）．これらの地点でも座席を評価していると考えられる．また，被験者の歩行経路の例を図 3(c) に示してある．座席探索の際に通過する歩行経路と試座座席，試座するタイミングは被験者ごとに異なるものの，「目についた気になる座席に試座を繰り返す（図 3(c) 赤線）」「VR 空間内を偏りなく回遊し，候補座席を特定した上で試座する（図 3(c) 青線）」「VR 空間を概ね把握した上で，試座することなく座席を選択する（図 3(c) 緑線）」という 3 パターンに大別できる．

3．視線計測データの概要

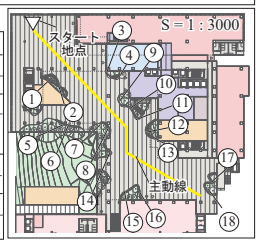
3.1. 視線計測データの処理

実験期間：2022 年 10 月 3 日～10 月 21 日	被験者数：30 人
使用装置装置：VIVE PRO EYE（HTC 社）	1 人あたりの所要時間：1 時間半程度

(1) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を着用し，初期設定を行う．
(2) 友人（2～3 人）と話をする状況を想定し，最も好ましいと感じるベンチを選択するよう，教示を与える．
(3) 以下の手順で被験者にアトリウムを模した VR 空間内を回遊してもらう．手順 (1)～(3) を，計 4 プラン（図 1(b)）について繰り返す（※1）．
① HMD を着用し，VR 空間内に設定されたネットワーク上を自由に移動する（※2）．回遊中，気になる座席があれば着席し，座席の周辺環境を確認する．その上で，最も好ましいと判断した座席を選択する．
② 選択した座席について，インタビュー調査を実施する．
(4) 各プランで選んだ計 4 つの座席の中から最も好ましい座席を回答する．
※1 順序効果を考慮し，被験者ごとに異なる順序でプランを体験する．
※2 平面図上に格子状のネットワークを設定し，各ノードから見た全天球画像を HMD に映し出す．

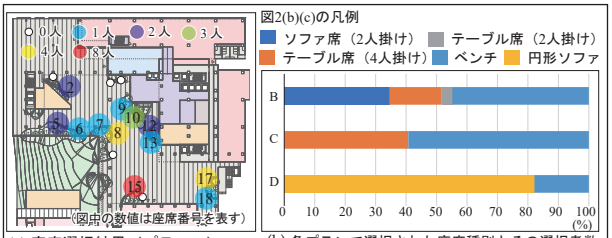
(a) VR 空間における座席選択実験の手順

プラン	説明（特徴／座席種別）
A	最も基本的なプラン（図 1(c)） ベンチ（18）
B	プラン A に複数種別の座席を設置したプラン ベンチ（16），テーブル席（4 人掛け）（2），ソファ席（2 人掛け）（2），テーブル席（2 人掛け）（2）
C	建物の外縁に沿うように回廊を設けたプラン ベンチ（13），テーブル席（4 人掛け）（1）
D	建物の中央に象徴的な植栽を配置したプラン ベンチ（16），円形ソファ（3）



(b) プランの内訳（括弧内の値は座席数を示す）(c) プラン A 平面図と座席番号

図 1　VR 空間における座席選択実験の概要

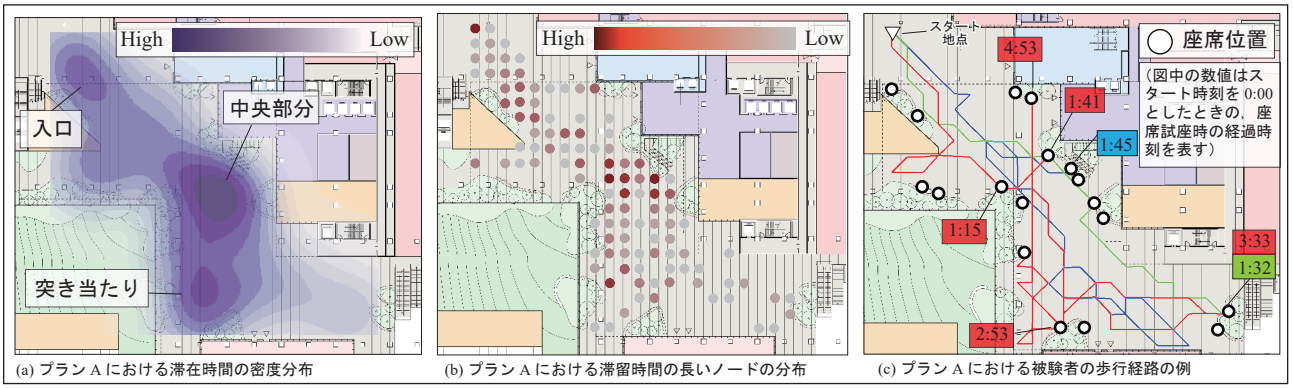


(a) 座席選択結果（プラン A）　(b) 各プランで選択された座席種別とその選択者数

プラン	D	C	B	D	A	A	A	B	B	C	D	D	D	D
座席番号	67	44	25	60	5	8	15	20	26	48	62	64	68	71
座席種別														
選択人数	10	6	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(c) 各プランで選んだ 4 つの座席のうち最も好ましいと感じた座席

図 2　座席選択実験の結果



(a) プラン A における滞在時間の密度分布　(b) プラン A における滞留時間の長いノードの分布　(c) プラン A における被験者の歩行経路の例

図 3　歩行経路と滞在地点の可視化

HMD を用いて計測した視線データを元に，各被験者が「何を」「どの程度」視認していたかを推定する．具体的には，以下の手順に従って，被験者 n の各ノードにおける視線データから，座席周辺を確認している視点座標を抽出する．まず，各ノードと座席の位置関係に基づき，被験者の注視範囲を定義する（図 4(a)）．以降では，注視範囲内の視点座標のみを集計対象とする．次に，各時点の視点座標と視環境要素を対応づける．本稿では，セマンティックセグメンテーションを用いて，各ノードにおける視環境を図 5(f) に示す要素に分類した（図 5）．被験者の視点座標は，恒常的な眼球運動の影響などにより安定しない．そこで，図 4(b) に示す条件の下，データを補間する．その上で，視点座標が同じ要素内に 0.1 秒以上留まっている場合，その要素を注視していたと判定する．

3.2. 視線計測結果の概要

視線計測の結果を図 6 に示してある．歩行中の注視点の密度分布から，座席とその周辺の植栽や開口部などの要素を多く注視していることがわかる（図 6(a)）．注視時間の構成割合を図 6(b)(c) に示してある．プラン別の平均と選択者数の多い座席を比較すると，選択者数の多い座席周辺では植栽や開口部の注視時間が長く，これらの要素を重視して座席選択を行っている可能性がある．

4．座席選択モデルの構築

4.1. 座席選択モデルの概要

要素別の注視時間と座席選択との関係を定量的に評価するため，多項ロジットモデルを用いて座席選択モデルを構築する．本モデルでは，被験者 n は，歩行中に確認できる視環境要素から座席に着座した際に得られる効用を想像し，効用が最大になる座席を選択すると考えモデル化する．具体的には，図 7(b) に示す説明変数を用いて座席選択行動を記述する．この時，要素ごとに算出した注視時間（3 章にて詳述）の合計値を，注視時間変数として採用する．なお，3.1 節で抽出した被験者 n の視線データを確認し，周辺が注視されて

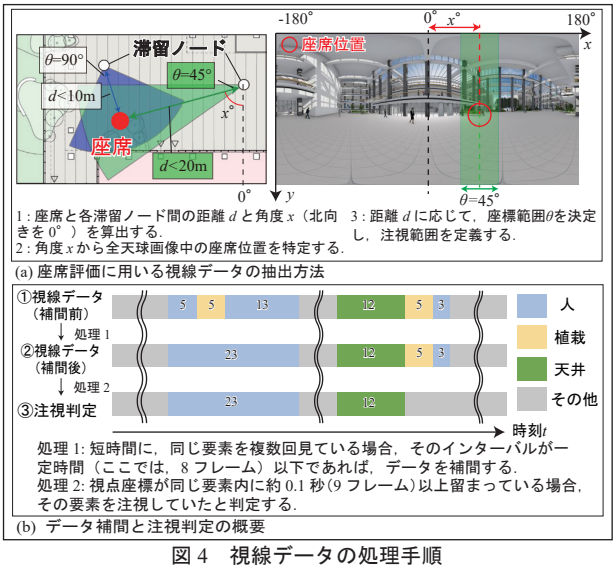


図 4　視線データの処理手順

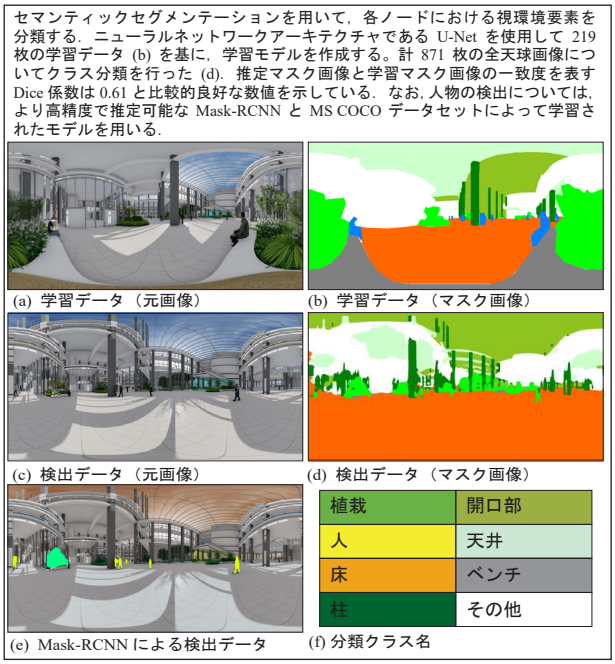


図 5　セマンティックセグメンテーションによる要素分類

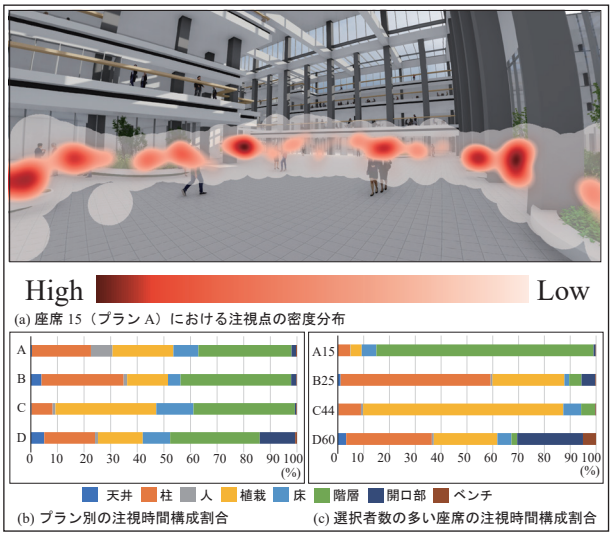


図 6　視線計測の結果

いなかった座席 i は選択肢集合 S_n から除外する[注1)].

4.2. パラメータの推定結果

パラメータの推定結果および推定精度を図 8 に示してある．説明変数は統計的有意性と論理的整合性の観点から選択した．各被験者の選択肢集合に含まれる座席数が多いため，的中率は高くないものの，自由度調整済み尤度比は比較的良好な値を示している（図 8(a)）．モデルの的中率を向上させるためには，被験者が段階的に選択肢を絞り込む様子を記述する階層的ロジットモデルの適用などが必要と考えられる．

推定パラメータをみると，座席付近の人の有無が座席選択行動に大きな影響を及ぼしていることがわかる．植栽や開口部の注視時間変数が有意な値を示しており，明るく開放的で，緑を感じられる座席が好まれる傾向が確認できる．座席ごとの選択者数を確認すると（図 8(b)），特定の座席においてその値が過大推計となった．推定精度の向上は今後の課題である．

プラン A の各座席における効用値の構成（図 8(c)）を見ると，「開口に面しているか否か」「視線が抜ける方向の数」など，開放感に関わる変数が大きな割合を占めている．一方，注視時間変数が占める割合は小さい．これは被験者ごとの注視時間に大きな差があり，適切に基準化されていないためと考えられる．注視時間変数の算出方法の検討も，今後の課題である．

5．おわりに

本稿では，アトリウムを模した VR 空間での座席選択実験で得られた歩行中の視線データを用いて，座席選択モデルを構築した。座席周辺の人の有無や視環境（開口部や植栽など）が利用者の座席選択行動に影響を及ぼすことを明らかにした．

注

注 1) 座席選択実験で得られた全 120 サンプル（30 人×4 プラン）のうち，選択座席が選択肢集合に入った 113 サンプルを分析対象とする．

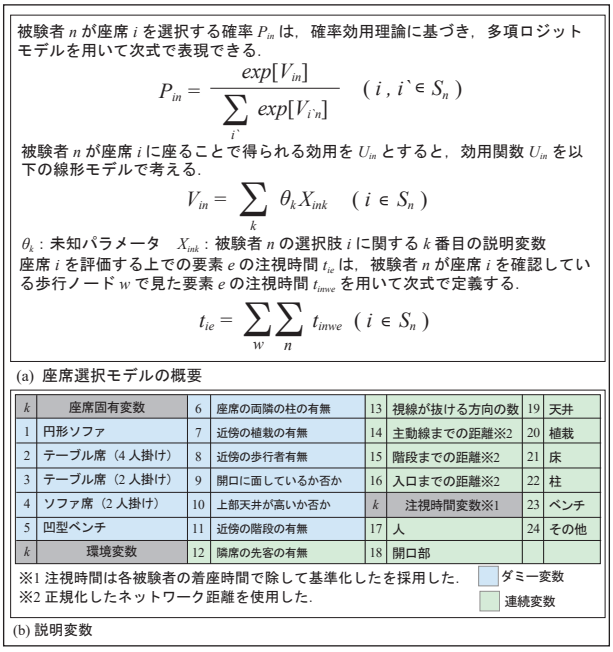


図 7　座席選択モデルの概要

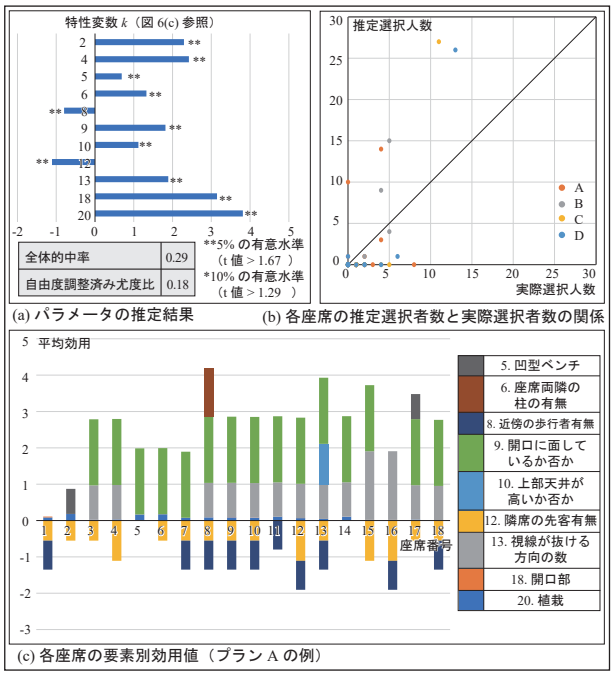


図 8　座席選択モデルの推定結果

本研究は，東京工業大学研究倫理審査会の承認を受けて実施したものである（承認番号：第 2022174 号）．

参考文献

西川拓海・大佛俊泰・岸本まき・金子弘幸・陳紹華・槇枝潤一 (2023)VR 空間での視線計測からみた座席選択特性について．「日本建築学会大会学術講演梗概集」，(E-1)，1263-1264.

Oral Presentation in GISA

自然・環境

Chair: Mayuko Yonejima (Kumamoto University)

Sun. Oct 29, 2023 11:00 AM - 12:20 PM Room F (C-401 4th floor of Bldg. C)

[F7-01] 全国の樹木葬墓地分布の地理空間的特徴とマスメディアを対象とした文脈的特徴の併用分析

*Yuko Imaizumi[1], Naoko Fujita[2], Suzu Shimada[2], Suxueer Sun[2], Yang Zhou[2] （1. Ai-Shokubutsu Landscape Planning Office, 2. University of Tsukuba）

11:00 AM - 11:20 AM

[F7-02] ネクサスマトリックスを用いた炭素会計手法の開発

*Shun Nakayama[1], Wanglin Yan[2] （1. Graduate School of Media and Governance, Keio University, 2. Faculty of Environment and Information Studies, Keio University）

11:20 AM - 11:40 AM

[F7-03] オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究 その1.札幌市のエネルギー消費実態の見える化による分析

*Ryuga Izumi[1], Taro Mori[1], Hisato Oosawa[1] （1. Hokkaido Univ.）

11:40 AM - 12:00 PM

[F7-04] オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究 その２.太陽光発電の使用実態の分析

*Hisato Osawa[1], Taro Mori[1], Ryuga Izumi[1] （1. Hokkaido University）

12:00 PM - 12:20 PM

©Geographic Information System Association

全国の樹木葬墓地分布の地理空間的特徴と マスメディアを対象とした文脈的特徴の併用分析

今泉優子* ・ 藤田直子 ・ 嶋田珠々*** ・ スンスシエア*** ・ 周陽*****

A Combined Analysis of Geospatial and Contextual Characteristics of the Distribution of Tree Burial Cemeteries Across the Nation for Mass Media

Yuko Imaizumi*, Naoko Fujita**, Suzu Shimada***, Suxueer Sun***, Yang Zhou***

Abstract Tree burial is a form of burial in which trees are placed in place of gravestones, and is positioned as a type of permanent memorial service. In Japan, with the declining birthrate, the aging population, and the shift to nuclear families, there is a clear divergence from the traditional idea of a family tomb, which requires continuous management by the heirs. The purpose of this study is to clarify how people's awareness of tree burial and spatial changes have occurred by combining geographical information analysis of the distribution of tree burial sites across Japan and contextual analysis of newspapers (mass media) containing information on tree burials. The period covered is from 1999, when the first tree burial cemetery was established in Japan, to the present. The results of the analysis revealed geographical characteristics by period, and indicated that the number of tree burial sites may have increased in urban areas as a result of the increased attention to the content that does not require management rather than nature-orientation.

Keywords: 樹木葬(Tree burial), マスメディア(Mass media), 時空間分析(Temporal Spatial Analysis)

１．はじめに

1.1. 社会的背景

内閣府（2020）によると，現在日本では，少子高齢化の問題が深刻化している．また，文化庁文化部宗務課（2015）によると，人口統計における死亡者数も増加の一途を辿っている.それに付随して墓地需要も高まっているが，我が国の墓地数自体は減少し続けている．

樺山玄基（2020）によると，遺族の代わりに寺などが供養と管理を長期間にわたり行う永代供養への注目は高まっている．

1.2. 学術的背景

日本の墓地に関する研究から樹木葬墓地に関する研究へと，広い観点から学術的背景を構成した．

1.2.1. 樹木葬墓地の歴史的変遷

金（2019）によると，古代から江戸時代まで，日本では遺体を海や川へ葬ってきたため,「自然に還りたい」という考えは本来の埋葬に戻ることを意味するとも捉えることができる．近世以降，石塔や墓石等を墓に立てる形式が用いられ現代にいたるが，墓石だけでなく自然葬・樹木葬等の埋葬形態の多様化により，元来の「自然に還る」という考え方へと回帰していることが把握された．

1.2.2. 樹木葬墓地を取り巻く法制度

厚生労働省の『墓地・埋葬等に関する法律』によると，樹木葬には「都道府県から許可を得た墓地・霊園内で，樹木葬として指定された場所に埋葬することができる.」「埋葬又焼骨の埋蔵は，墓地以外の区画に，これを行ってはならない.」等の法制度がある．金（2019）によると，対して自然葬には，刑法190 条が係わっている．「死体，遺骨，遺髪又は棺に納めてある物を損壊し, 遺棄し, 又は領得した者は,

GISA Members
* 正会員 愛植物設計事務所(Aishokubutsu Landscape Planning Office)
E-mail： imaizumi@ai-shokubutsu.co.jp
** 正会員 筑波大学芸術系 (Institute of Art and Design, University of Tsukuba)
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail：fujita.naoko.gf@u.tsukuba.ac.jp
*** 学生会員 筑波大学人間総合科学学術院 (Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba)

3 年以下の懲役に処する」という法律に対して，焼骨し粉末状になった遺骨であれば場所の制限なく埋葬（散骨）ができてしまう．現状，樹木葬と自然葬（散骨）の間に埋葬法の差別化がしっかりとなされている状況とは程遠く,「樹木葬は散骨のように遺骨をまく形式」という誤解も生まれていることが把握された．

1.2.3．樹木葬墓地の需要

森ら（2010）によると，新しい葬法である樹木葬等は，先祖の墳墓を子孫が承継するというこれまでの葬送の枠組みを批判し，承継のない遺骨の葬り方を選択したものであると述べていた．

内田ら（2016）によると，死後「自然に還りたい」という希望の背景には，自然への志向性ではなく墓の継承に関する複雑な状況の解決の糸口としての思考があり，その形態として樹木葬が注目されていると述べていた．

槇村ら（2017）によると，樹木葬の選択する市民には，自然に還りたいという自然志向のニーズがあるが，それと同等に継承者がいなくてもよい，というニーズや生前に自分が決めておきたい，という家族関係の変化に対応していると述べていた．

本林ら（2021）によると，現代では自分の死あるいは自己の死後を自分で決めたいという新しい意識のもとで,「家」から解放された人々が死の場面でも個性を主張し始めている，樹木葬もその流れの中で生まれたと述べていた．

1.3．用語の整理

樹木葬を「従来の日本で行われてきた墓石を用いる葬送とは異なり，遺骨を直接自然に還したり，墓標として樹木を植えるもの」とした．また，自然葬（散骨）を「人の手をかけない（放置する）ことが正当化される」葬送形態とし，樹木葬と自然葬（散骨）を異なるものとして扱うこととした．

２．目的

以上の背景から，樹木葬墓地はとりわけ創造性の可能性を有していると考えられる．

そこで本研究の目的を，樹木葬墓地を取り巻く環境を，全国の樹木葬墓地分布を対象とした地理情報分析と，樹木葬に関する内容を含んだ新聞(マスメディア)を対象とした文脈的分析を併用することで明らかにすることとした．具体的には，樹木葬墓地に対して人々が持つ意識と，空間的特徴がどのように変遷してきたかを明らかにすることとした．また，結果を踏まえて，今後求められる樹木葬像に関する考察を行い，論を結ぶこととした．

３．方法

3.1．地理情報分析

国土地理院の国土交通省国土数値情報を使用し収集した樹木葬墓地の情報を基に，全国の樹木葬墓地の地理空間的特徴を明らかにした．

3.1.1．分析対象

「樹木葬」という言葉を含んだ新聞記事 477 件の中で，所在地に関するデータ 325 件を対象とした．

3.1.2．分析方法

対象地における樹木葬墓地の位置を特定するため，データベースやキーワード検索によって所在を見つけたのち，名称・住所・特徴などの情報を収集した．その情報を GIS 上に表示させるため，アドレスマッチング（ジオコーディング）を行い，ベースマップ上に表示させた．

3.2．テキストマイニング分析

3.2.1．分析対象

日本３大新聞である朝日新聞・読売新聞・毎日新聞の記事を収集し,「樹木葬」という言葉を含む 477 件の新聞記事を対象とした．

3.2.2．分析方法

関係する箇所をテキストとして書写したのち，研究内容に応じて，単語出現頻度解析，係り受け頻度解析，言葉ネットワーク等の分析を行った．

3.3．地理情報と文脈との併用分析

3.3.1．分析対象

「樹木葬」という言葉を含んだ新聞記事 477 件の中で，所在地に関するデータ 325 件を対象とした．

3.3.2．分析方法

地理情報的特徴と文脈的特徴の併用分析については，1999~2002 年，2004 年，2005 年，2009 年，2012~2019 年，2020 年の 6 期間について，樹木葬墓

地分布とことばネットワーク，単語頻度・係り受け頻度解析の結果を用いて併用的な分析を行った.

3.4. 樹木葬墓地の空間分析

3.4.1. 分析対象

知勝院・町田いずみ浄苑・メモリアルグリーン・小平霊園・森の墓苑の 5 か所の樹木葬墓地を対象とした.

3.4.2. 分析方法

観察調査とヒアリング調査を行った.

観察調査では，成果として各樹木葬墓地の模式図を作成し，ヒアリング調査では，各樹木葬墓地のコンセプトや利用実態などを明らかにした.

4．結果

4.1. 文脈的特徴と地理空間的特徴

分析の結果，以下のように年代毎の特徴が明らかになった．表 1 に結果の一覧を示した.

1999~2002 年の期間は，岩手県一関市に位置する知勝院に関する記載がみられた．植物に関する内容の他に，葬送の多様化を示唆する内容も含まれていた． 2004 年には，札幌市にて散骨の実施に関する内容がみられた．関連して，墓地埋葬法に関する内容もみられた． 2005 年には，都市部に樹木葬墓地が増加し，墓の管理にかかる負担に関する内容(係り受け語「負担-かけたくない」等)が出現した．2009 年には，樹木葬墓地が全国的に拡大した．同時に，墓の管理継承問題に関する内容もみられた．2012~2019 年の期間は，墓じまいや遺骨を納める方法など，葬送の多様化を示唆させるような内容がみられた．2020 年には，京都府の寺院墓地に関する内容が層化した．また，千葉県に新設された樹木葬墓地に関する内容も増加し，墓の管理に対する問題意識などの内容も引き続きみられた.

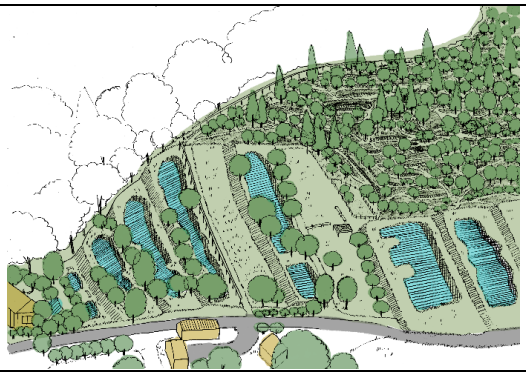
4.2. 樹木葬墓地の空間設計と実態把握

樹木葬墓地ごとの空間設計の調査を行った結果．以下のように墓地ごとの特徴が明らかになった.

表 1 地理的特徴と文脈的特徴の年推移

年	樹木葬墓地分布	ことばネットワーク	単語・係り受け頻度
1999~2002	・岩手県 ・一関市	・知勝院関連 ・植生・植栽関連 ・葬送の多様化関連	・岩手県 ・一関市 ・自然 ・雑木林 ・木-植える ・花-生まれ変わる
2004	・札幌市 ・空知支庁長沼町	・散骨関連	・散骨 ・墓地埋葬法 ・低木-植える
2005	・都市部	・墓の管理にかかる負担関連 ・自然関連 ・墓＞樹木葬	・全国 ・東京 ・負担-かけたくない ・継承者-いない
2009	・全国的に拡大	・新規開設関連 ・墓の管理にかかる負担関連	・代わり-植える ・木-植える ・樹木葬-導入
2012~2019	・都市部	・墓じまい関連 ・遺骨関連	・負担-かけたくない ・墓-管理 ・子ども-いない
2020	・京都府の寺院墓地 ・千葉県	・墓の管理関連 ・寺院墓地関連	・墓-管理 ・管理-難しい ・遺骨/墓-移す

1999 年に開苑した知勝院は，岩手県一関市の山地が連なる森林地域かつ住宅地や田畑など，人々の営みが近い空間に設計された．マスメディアでは 1999 年，2002~2005 年，2007~2010 年の記載が多く，「自然」「雑木林」「花-生まれ変わる」等，自然志向の内容が多い特徴があった(図 1).

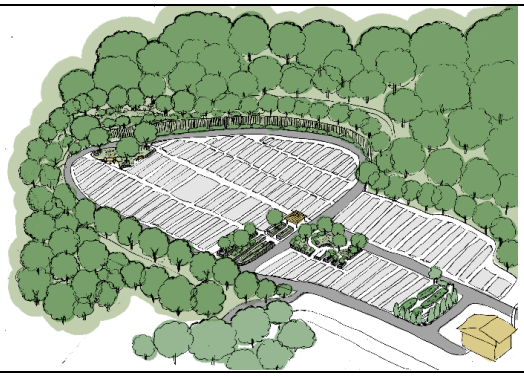


知勝院	
所在地	岩手県一関市
開苑年	1999 年
マスメディアでの記載が特に多かった期間	・1999 年 ・2002~2005 年 ・2007~2010 年
マスメディアで取り上げられた内容	「自然」「雑木林」「木-植える」「花-生まれ変わる」等自然志向な内容
周辺の土地利用	・山地が連なる森林地域 ・住宅地や田畑, 川や溜池等



図 1 知勝院の地理空間・文脈的特徴

2003 年に開苑した町田いずみ浄苑は，東京都町田市の住宅地が立ち並ぶ開発が進んだ空間と自然とが共存する空間に設計された．マスメディアでは 2005~2006 年，2009~2010 年，2012~2013 年，2016~2019 年の記載が多く，「負担-かけたくない」等の墓の管理継承に対する懸念や，「樹木葬-始める」等の新規開設に関する内容が多い特徴があった(図 2).



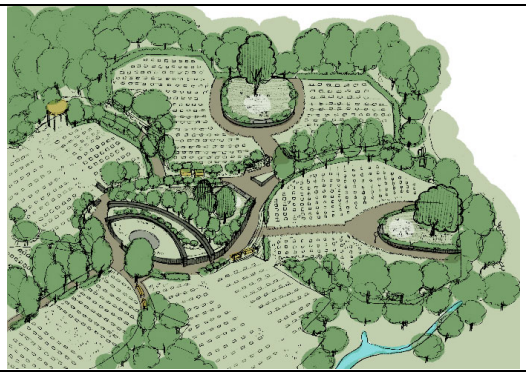
町田いずみ浄苑	
所在地	東京都町田市
開苑年	2003 年
マスメディアでの記載が特に多かった期間	・2005~2006 年 ・2009~2010 年 ・2012~2013 年 ・2016~2019 年
マスメディアで取り上げられた内容	「負担-かけたくない」「子ども-かけたくない」や「樹木葬-始める」等 墓の管理継承懸念や新規開設に関する内容
周辺の土地利用	・住宅地が立ち並ぶ開発が進んだ空間利用 ・自然を有した空間利用



図 2 町田いずみ浄苑の地理空間・文脈的特徴

2006 年に開苑したメモリアルグリーンは，神奈川県横浜市の住宅地が立ち並ぶ開発が進んだ空間と農

業等の営みと自然を有した空間とが共存する空間に設計された．マスメディアでは 2006 年，2009~2010 年，2012~2013 年，2016~2019 年の記載が多く，「負担-かけたくない」等の墓の管理継承に対する懸念や，「樹木葬-始める」等の新規開設に関する内容が多い特徴があった(図 3).

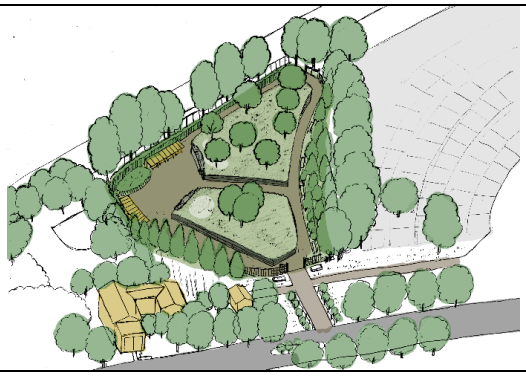


メモリアルグリーン	
所在地	神奈川県横浜市
開苑年	2006 年
マスメディアでの記載が特に多かった期間	・2006 年 ・2009~2010 年 ・2012~2013 年 ・2016~2019 年
マスメディアで取り上げられた内容	「負担-かけたくない」や「樹木葬-始める」等 墓の管理継承懸念や新規開設に関する内容
周辺の土地利用	・住宅が立ち並ぶ開発が進んだ空間利用 ・農業等の営みと自然を有した空間利用



図 3 メモリアルグリーンの地理空間・文脈的特徴

2012 年に開苑した小平霊園は，神奈川県横浜市の住宅地が立ち並ぶ開発が進んだ空間と農業等の営みと自然を有した空間とが共存する空間に設計された．マスメディアでは 2006 年, 2009~2010 年, 2012~2013 年，2016~2019 年の記載が多く，「負担-かけたくない」等の墓の管理継承に対する懸念や，「樹木葬-始める」等の新規開設に関する内容が多い特徴があった(図 4).

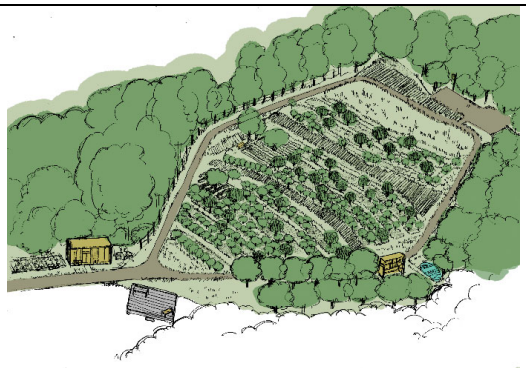


小平霊園	
所在地	東京都東村山市
開苑年	2012 年
マスメディアでの記載が特に多かった期間	・2012 年 ・2014~2016 年 ・2019 年
マスメディアで取り上げられた内容	「子ども-いない」「迷惑-かけたくない」等 墓の管理継承懸念に関する内容
周辺の土地利用	・住宅地が立ち並ぶ開発が進んだ空間利用 ・交通インフラが整った空間



図 4 小平霊園の地理空間・文脈的特徴

2016 年に開苑した森の墓苑は，千葉県長南町の山地が連なる森林地域と採掘場跡地の荒廃した自然空間とが共存する空間に設計された．マスメディアでは 2016 年，　2020~2021 年の記載が多く，「管理-難しい」等の墓の管理継承に対する懸念に関する内容が多い特徴があった(図 5).



森の墓苑	
所在地	千葉県長南町
開苑年	2016 年
マスメディアでの記載が特に多かった期間	・2016 年 ・2020~2021 年
マスメディアで取り上げられた内容	「管理-難しい」等 墓の管理継承懸念に関する内容
周辺の土地利用	・山地が連なる森林地域 ・採掘場跡地の荒廃した自然空間

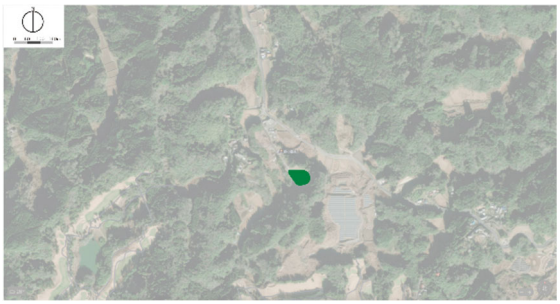


図 5 森の墓苑の地理空間・文脈的特徴

５．考察

1999~2002 年には，キーワードとして「自然」「雑木林」「木-植える」「花-生まれ変わる」などの自然志向の内容が多くみられた．地理空間的には知勝院のみの記載となっており，森林地域に位置するという特徴を有していた．自然志向の文脈的特徴を持ち，森林地域に位置するという点で文脈的特徴と地理空間的特徴とが自然志向という点で合致していることが明らかになった．この時期には，樹木葬墓地という言葉については自然志向性の高い解釈がなされていた可能性が示唆された．

2004 年には，キーワードとして「散骨」「札幌市」「墓地埋葬法-抵触」といった散骨に関する内容が多くみられた．北海道札幌市に位置する長沼町の記載数が増加した．樹木葬≠散骨(自然葬)であるが，ことばネットワークでは間接的に因果関係も持った文脈的特徴が明らかになった．樹木葬と散骨(自然葬)の混同が懸念され，樹木葬そのものの定義の曖昧化を誘発した可能性も示唆された．

2005 年以降，キーワードとして「子ども/家族-負担/迷惑かけたくない」「墓-守る/管理」など，少子高齢化や核家族化に伴う墓の継承者の現象といった社会的背景と関連する言葉が増加した．樹木葬の自然志向的な考え方よりも，管理の不要な「永代供養」の内容やその利便性に関する内容への注目度が高まり，その結果として都市地域の樹木葬墓地が増加し，埋葬・墓地形態が多様化した可能性が示唆された．

６．結論

6.1. 今後求められる樹木葬墓地とは

自然志向主体の内容から墓の管理継承主体の内容へと報道が変化している中で，利用者の関心，需要の変化によって樹木葬墓地の立地や形態が変化していく流れが明らかになった．

樹木葬墓地を新設する際には，土地自体が有しているポテンシャルや運営主体の構成，費用などの様々な要素を考える必要がある．それらの集合体，結果として現代の多様な樹木葬墓地が形作られていた．

そこで，埋葬空間全体へと視野を広げ，「里山再生型墓地」「原生自然再生型墓地」「公園型墓地」「箱庭型墓地」の 4 種類の墓地を提案し，以下をガイドラインとした．

6.2. おわりに

本研究では，樹木葬墓地に対してテキストマイニングによる文脈的分析，GIS による地理空間分析，現地調査による景観・利用実態分析を行った．

現代社会が抱えた課題や新たな価値観・死生観が生まれたことで，樹木葬墓地の注目が高まり，かつ多様に発展した．少子高齢化や核家族化が進行する中で，この傾向は一層強まるものと考えられる．

未だ研究蓄積の少ない樹木葬墓地という対象を扱い，現代の課題と展望を示すことで，今後開園数が増加するであろう樹木葬墓地に対して有効な一助となることを望んでいる．

謝辞

本稿をまとめるにあたり，多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました．知勝院，町田いずみ浄苑，メモリアルグリーン，小平霊園，森の墓苑は，現地調査にて多くのデータを頂きました．厚く御礼申し上げます．

参考文献

内閣府（2020）高齢社会白書〈令和 2 年版〉，1-201.
文化庁文化部宗務課（2015）宗教関連統計に関する資料集，1-107.
樺山玄基（2020）令和時代のお墓入門.『幻冬舎』，1-180.
金セッピョル（2019）樹木葬会員の意識からみた樹木葬墓地の今後の課題.「東京大学農学部演習林報告」，121117-148.
厚生労働省（昭和 23 年 5 月 31 日法律第 48 号）『厚生労働省ホームページ』
森謙二（2010）葬送の個人化のゆくえ-日本型家族の解体と葬送-.「家族社会研究」，22（1），30-42.
内田安紀（2016）樹木葬申込者における自然観あるいは死生観，「宗教研究」，89，336-337.
槇村久子（2017）樹木葬墓地の多様性とその意味と背景 そして共同墓の進展，119-145
本林靖久（2021）日本人と「墓と樹木」の系譜：現代の樹木葬の墓上植樹・弔い上げの民俗との関連をめぐって，「日本語・日本文化」，48，127-145.

ネクサスマトリックスを用いた炭素会計手法の開発

中山俊*，厳網林，藤田周*****

Development of Carbon Accounting Method Using Nexus Matrix

Shun Nakayama, Wanglin Yan, Amane Fujita

As decarbonization progresses, there is a growing demand for carbon accounting methods tailored to various spatial scales. While methods using input-output tables have been established at the national and city levels, these do not capture the nexus effects at the town level where core infrastructure and local resources intricately intertwine. In this study, we developed a carbon accounting method based on a nexus matrix, targeting the neighborhood and block levels. We subdivided urban infrastructure into four functions: production, supply, consumption, and processing, and similarly classified local resources and their services into four categories. Based on this 4x4 matrix, we adapted it to encompass urban necessities such as food, energy, and water. We inputted data related to land, buildings, and objectives and calculated the spatial area occupied by each function, as well as their CO_2 emissions, which we termed as 'nexus footprint'. Using this, it becomes possible to represent the autonomous decentralized coordination relationship between core infrastructure and local resources, enabling the comparison and consideration of various decarbonization measures in urban planning.

Keywords: 炭素会計，ネクサスマトリックス，ネクサスフットプリント，脱炭素型まちづくり，自律分散協調

1．はじめに

地球温暖化の時代は終わり，地球沸騰の時代が到来した(Guterres 2023)．気候変動対応の緊急性がかつてなく高まる中，脱炭素社会への移行は急務となっている．2015 年に第 21 回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)でパリ協定が採択され，2020 年には日本政府も 2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した(菅 2020)．そのための脱炭素化への取り組みは，もはや国レベルに留まらず，都市や地域レベルを含む様々な空間スケールに浸透している．地域脱炭素ロードマップや脱炭素先行地域はその代表例で，日常生活圏や施設群を地域と定義し，各地で多くの取り組みがスタートしている．

このような取り組みの進展をどう定量化するか，社会的にも学術的にも大きな課題となっている．産業連関表は，国や都市レベルなどの広範なスケールで提供され，炭素会計にも応用されてきた(Nansai et al. 2012)．この手法は，特定の空間スケールの資源消費を網羅的に捉えることが可能な非常に優れた方法である．その一方で，地域や建物のようなより小さな空間スケールで観察できる複雑な相互関係をしばしば単純化，あるいは省略化してしまう課題がある(Oviroh et al. 2023)．地域は，食料やエネルギー，水といった市民生活に必須の資源を供給する基幹インフラと場所固有の物理的な土地・建物などの地域資源の相互作用によって特徴付けられ，国や都市スケールでは可視化されない特有の脱炭素機会がある(国・地方脱炭素実現会議 2021; Ma et al. 2023)．この相互作用は「ネクサス」とも呼ばれ，地域レベルでの効果的かつ効率的な脱炭素化を戦略的に目指す場合のカギになると指摘されている(Valencia, Hossain, and Chang 2022)．そのため，地域レベルの炭素会計では，産業連関表から脱却したボトムアップ型の炭素会計が必要となっている．

これまで地域レベルの炭素会計には，(主に住民の最終）消費ベースの CO_2 排出を対象とした炭素会計

* 学生会員 慶應義塾大学政策・メディア研究科（Keio University）
〒**252-0882** 神奈川県藤沢市遠藤 5322 Tel：**0466-49-3453** または E-mail：**shunnkym@sfc.keio.ac.jp**
** 正会員 慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）
*** 学生会員 慶應義塾大学政策・メディア研究科（Keio University）

(以下，CBF)とコミュニティ全体のインフラによるCO_2排出を対象とした炭素会計(以下，CIF)の２つある．このうちCIFは，ネクサスを活用した資源利用効率の改善が必要とされる中で，脱炭素事業の効果をより正確に評価する手法として一層注目を集めている(Seto et al. 2021)．CIFは，建物，交通，食料，水道の各セクターに関して，産業連関表を利用したトップダウン型の方法により確立されている(Chavez and Ramaswami 2013)．国内においても，CIFの考え方を取り入れ，食料品部門のエネルギー消費及び環境負荷を産業連関表により分析している事例が存在する(小田 and 内山 2008)．しかし，CIFはCBFで見られるようなボトムアップ型のアプローチが確立されているわけではない．建物，交通，植生，食料を対象とする炭素会計の研究はあるものの，その分析は居住者に限定され，来街者を対象としていないためCIFとして不十分である(Kellett et al. 2013)．また，CIFをボトムアップ型で実施するために適したデータセットは提案されたものの，異なる規模や解像度を有するデータの統合が技術的な課題となり，実際の炭素会計への応用には至っていない(Chavez and Ramaswami 2013)．

そこで本研究は，このギャップを埋めることを目指す．生産，供給，消費，処理という都市インフラの基本的な４機能を基に，基幹インフラと地域資源のネクサスを考慮して，炭素会計の新しいアプローチを開発する．地域レベルに適用可能な行列でネクサスを捉える手法を確立し，多様なデータソースを統合したボトムアップ型の炭素会計手法としてネクサスフットプリントを提供する．このフレームワークは，炭素排出の複雑な相互依存関係を明らかにするだけでなく，地域脱炭素ロードマップで描かれた脱炭素型まちづくりの進展を測る具体的な炭素会計手法を提案するものである．

２．ネクサスの概念整理とあるべき炭素会計

2.1. ネクサスの概念整理と定義

「ネクサス」はラテン語に由来し，「結びつき」あるいは「連結」を意味する．近年，この学術用語は持続可能性や資源管理の議論において頻繁に用いられるようになった(Chang et al. 2020)．この概念は資源やシステム間の相互作用を強調するものであり，特に食料(F)，エネルギー(E)，水(W)という都市生活に不可欠な資源の間に存在する複雑なトレードオフやシナジーについて議論されてきた(Zhang et al. 2019)．この相互作用を重視した思考は「ネクサス思考」として知られつつあるが，多くの場合FEWはサイロ型に管理されており，ネクサスに対する意識が薄い．各セクターに独自の管理者が存在し，相互の情報共有は限定されているのが現状である．

元々ネクサスは，FEWに代表される資源安全保障の文脈で生まれた概念である(Hoff 2011)．初期は，ある地域が農業に依存していれば，その地域の水資源の管理は食料の供給に深刻な影響を及ぼす可能性がある，というような各々のシステムの脆弱性やリスクを特定するための概念であった．その後，資源安全保障の文脈の中で，トレードオフとシナジーを活用した資源消費量の削減を目的とした方法論へと進化した(Simpson and Jewitt 2019)．

そこから派生して，ネクサスの考え方が脱炭素化への寄与を果たす可能性が指摘されるようになった．FEWが都市のCO_2排出量の約7割を占めていることもあって，脱炭素化にも寄与できると近年では考えられつつある(Ramaswami et al. 2016)．しかし，これまでの議論は産業連関表をベースに主に国や都市スケールで行われ，データの可用性が低い地域スケールにおける議論は不足している(Ma et al. 2023)．

脱炭素化の議論において，地域レベルでのネクサスとは，広義には基幹インフラを地域資源を活用した自律分散の設備でどれだけサポートできるかを意味する(Ramaswami et al. 2016)．つまり，地域外の資源供給に依存するまちが，どれだけ自給できるかである．しかし，このことはより精緻に見れば，建築物や構造物が形成するさまざまなサーフェイス（表面）の利活用に関連する．元々，土地や建物，POIには，FEWの基幹インフラ上の機能があり，生産地，供給地，消費地，処理地のいずれかに属する．一般には，生産地では生産が，供給地では供給が，消費地では消費が，処理地では処理が行われる．しかし，消費地で生産することもできる．例として，屋上に

設置されるソーラーパネルや屋上農園などの取り組みが挙げられる．これが地域の脱炭素化に向けて捉えるべき狭義のネクサスで，土地や建物，POI は基幹インフラと地域資源を繋ぐ結節点となっている．

2.2. ネクサスフットプリントの開発

以上の整理から，本研究で開発する新指標ネクサスフットプリントには，①広義(地域内外の繋がり)と狭義(空間の使い方)のネクサスを考慮し，②ボトムアップ型の CIF が可能なデータモデリングを行うことが求められる．

まず①に関して，空間の使い方を考慮した炭素会計手法として，エコロジカルフットプリント(以下，EF)が挙げられる．EF では，資源需要の充足に係る空間占有面積と炭素排出の吸収に係る森林面積の和で表した指標である．そこで本研究では，ネクサスフットプリントを EF ベースの指標として開発する．つまりネクサスフットプリントは，資源消費に伴って占有される空間面積(LF) とその過程で排出される CO_2 を吸収するために必要な森林面積(CF)を合算した指標として式(1)のように定義する．

$$NF = LF + CF \tag{1}$$

さらに NF，LF，CF は域外依存に伴うものと，域内自給に伴うものに分け，広義のネクサスを定量化する．さらに LF について，EF では資源生産地と供給阻害地に分けている．この分け方は，資源の供給や処理に係る土地を精緻に捉えていない．消費地で生産を行うようなネクサスを捉えたいネクサスフットプリントにとって，このことはネックとなる．そこでネクサスフットプリントでは，都市インフラの基本的な 4 機能に沿って，①生産地，②供給地，③消費地，④処理地という 4 つの空間に分割する．つまり，LF は式(2)のように構成する．

$$LF = (\textit{生産地}) + (\textit{供給地}) + (\textit{消費地}) + (\textit{処理地}) \tag{2}$$

ここで生産とは，都市インフラが生成する資源やサービスを表す．例えば，食料生産や発電，取水などが該当する．供給は，生成された資源やサービスが地域の需要家に届くまでのプロセスを示している．電力網や上下水道ネットワークがそれにあたる．消費は，都市で供給される資源やサービスがどのように利用されるかを意味する．家庭や企業，公共施設などでのエネルギーや水の使用状況がこれに当たる．処理は，資源やサービス消費後の廃棄物処理を表している．廃棄物処理施設や下水処理施設などが該当する．

都市空間は希少であり，既成概念にとらわれない新しい空間の使い方が求められている．しかし，この 4 種類の空間の使い方は，土地の使い方，建築物の立て方，POI の置き方によって，競合または共存が発生しうる．例えば，住宅の屋根に太陽光パネルを設置した場合，住宅と太陽光発電は共存できる．しかし，山に太陽光パネルを設置すれば，森林が持つ CO_2 吸収効果や水源涵養機能と太陽光発電は競合してしまう．このようなネクサスを捉えるために，

表 1　既存の炭素会計手法の比較とネクサスフットプリントの位置づけ

指標名	対象規模	対象資源	地域外		地域内	
			LF(面積)	CF(CO_2)	LF(面積)	CF(CO_2)
CBF	地域	E	-	居住者向け		居住者消費
		?	-	-	-	-
CIF	地域	E	-	来街者向け		来街者消費
		F W	-		-	
EF	国	E	-	-	-	-
		F ?	土地		土地	
NF	地域	E	土地/建物/設備		土地/建物/設備	
		F W	土地/建物/設備		土地/建物/設備	



図 1　ネクサスマトリックスと定式化

設備設置が競合関係をもたらせば新規設備の設置面積を LF に計上し，共存関係にあれば設置面積を LF に計上しないこととする．

このように，ネクサスフットプリント(NF)は他の手法をベースに，ネクサスを定量化できるようにした．他の炭素会計手法との違いと位置づけを表 1 に整理した．

2.3. ネクサスマトリックスの設計

都市の基幹インフラと地域資源が織りなす複雑な相互作用を理解し，具体的に可視化するためのツールとして，図 1 のような行列ネクサスマトリックスを考案する．この行列は，縦軸に基幹インフラの基本的な 4 機能（生産，供給，消費，処理）を，横軸に基幹インフラの 4 機能に資する空間を地域資源として整理している．縦軸の 4 機能はさらに，流通や包装などの「段階」と，対象とする「品目」で細分類している．また地域資源を意味する横軸は，土地，建物，POI で整理する．また，一般に都市インフラは地域内部だけで完結することはなく，地域外部に依存して成立しているため，地域外部の生産地，供給地，処理地に依存して地域内部の消費地は成立している様子を表している．

まず，はじめに需要量のセル DM_i を埋める．特に $DM_{消費}$ は，資源消費量の実データも多く入手しやすく，また統計値から推計することも可能である．後述する CO_2 排出原単位が最終消費量を基点とした原単位が多いことから，これを他の DM_i にも共通の値として入力する．これにより，概念的には行ごとに集計した生産量から処理量は均衡する．

続いて，地域内の取扱量 $V_{in,i,j}$ を用いて，資源の域内自給率 SS_i を求める．これは生産段階のみならず，供給，処理過程にも適用する．例えば食料部門に関して，食料生産は全て地域外に依存していたとしても，地域内にスーパーなどがあれば供給機能のうち小売は域内自給ができていることになる．この資源の域内自給率 SS_i は，次のように整理できる．

$$SS_i = \sum_j V_{in,i,j} \tag{3}$$

この域内自給量と需要量の差から域外依存量を次式のように求めることができる．

$$DP_i = DM_i - SS_i \tag{4}$$

基幹インフラの機能 i の地域資源 j を活用した地域外の総取扱量を $SV_{ex,i,j}$ とするとき，対象地域の需要 DM_i に基づく地域外における資源取扱量 $V_{ex,i,j}$ は次式のように整理できる．

$$V_{ex,i,j} = SV_{ex,i,j} \times \frac{DP_i}{SV_{ex,i}} \tag{4}$$

以上のような，ネクサスマトリックスの定式化からネクサスを定量化できるようにした．

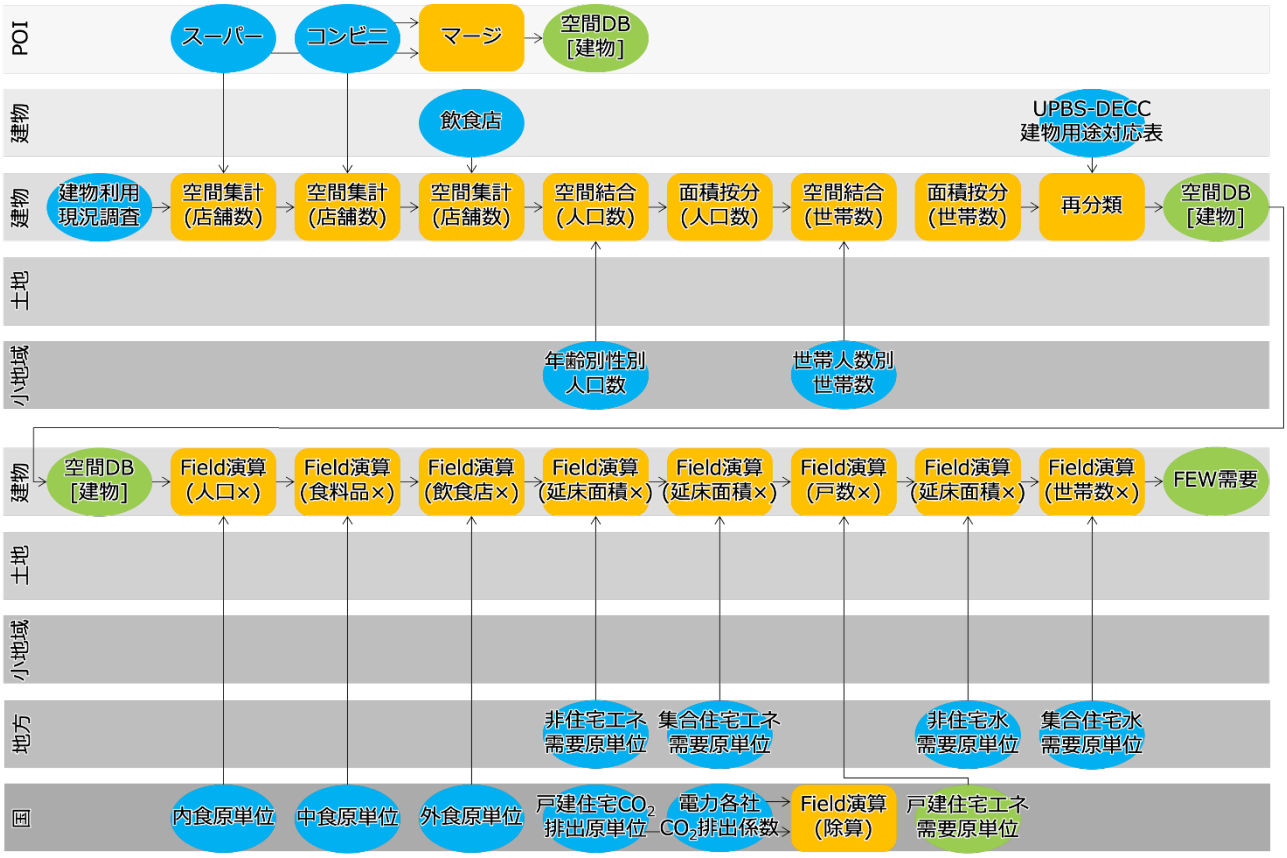


図 2　FEW 需要量の算出プロセス

3．ネクサスマトリックスと炭素会計のプロセス

3.1. データベース構成

ネクサスフットプリントの算出には，機能データベース，空間データベース，ネクサスデータベースの計３種類のデータベースを作成する．

まず機能データベースは図１にもあるように，基幹インフラの各機能を整理したものである．先述のように機能はさらに段階と品目に細分化され，この品目の 1kg，1m^3，1kWh を生産・供給・処理する過程で必要な CO_2 排出量(kg-CO_2)と必要面積(m^2)を整理したデータベースである．表２にこの機能データベースの一部を整理した．

続いて，空間データベースは生産から消費，処理に至るプロセスで必要な空間を整理したもので，土地，建物，POI に分けて作成する．土地は，都市計画基礎調査を用いて，土地 ID と土地機能，土地面積を整理する．建物も土地同様に都市計画基礎調査をベースに，建物 ID，建築面積(m^2)，延床面積(m^2)を整理したものである．建物に関しては，資源需要算出のための図２のようなプロセスを経て，様々なデータが付与される．これについては3.2 で詳述する．また POI に関するデータは，POI 名とその占有面積(m^2)を記載する．

最後にネクサスデータベースは，機能データベースと空間データベースをつなぐことで生成される．つまり，ある空間 ID である機能が行われることをこのネクサスデータベースで記述する．

3.2. データ処理フロー

資源需要の特定は，CIF による炭素会計の基点であり，ネクサスフットプリントでも同様である．図２に示すフローチャートはこの資源需要の算出方法を明確に表現するもので，空間データベースの設計と FEW 需要の主要パッケージから構成されている．

FEW 需要の算出には，特定の需要原単位に対応する社会情報，例えば人口や世帯数，そして建物の用途別の延床面積といった物理情報を整理したものが必要となる．これは，FEW の需給に与える空間的な

表 2　ネクサスフットプリント算出のためのエネルギー・水部門の原単位

機能	段階	品目	CO_2 排出原単位		必要面積原単位	
			値	出典	値	出典
F 生産	farm, animal feed, processing	野菜など 10 種類 (値: 野菜)	0.39 kg-CO_2/kg	(Poore and Nemecek 2018)	0.90 m^2/kg	(Poore and Nemecek 2018)
F 供給	package, transport		0.24 kg-CO_2/kg	(Poore and Nemecek 2018)	0.00 m^2/kg	(Poore and Nemecek 2018)
F 供給	retail		0.02 kg-CO_2/kg	(Poore and Nemecek 2018)	0.00 m^2/kg	(Poore and Nemecek 2018)
F 処理	losses		0.22 kg-CO_2/kg	(Poore and Nemecek 2018)	0.00 m^2/kg	(Poore and Nemecek 2018)
E 生産	発電	電力	0.46 kg-CO_2/kWh	TEPCO	0.00 m^2/kWh	TEPCO
	製油	都市ガス 一般家庭	2.21 t-CO_2/千 m^3	東京ガス	0.00 m^2/m^3	東京ガス
		都市ガス 工場/商業ビル	2.19 t-CO_2/千 m^3	東京ガス	0.00 m^2/m^3	東京ガス
		都市ガス 標準状態	2.29 t-CO_2/千 m^3	東京ガス	0.00 m^2/m^3	東京ガス
		LPG	0.06 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.45 m^2/t	日本 LP ガス協会
		A 重油	0.07 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.15 m^2/kl	日本 LP ガス協会
		B・C 重油	0.07 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.11 m^2/kl	日本 LP ガス協会
		灯油	0.07 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.13 m^2/kl	日本 LP ガス協会
		軽油	0.07 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.04 m^2/kl	日本 LP ガス協会
		揮発油	0.07 t-CO_2/GJ	令和元年 石油統計	0.03 m^2/kl	日本 LP ガス協会
W 生産	取水・送水	上水	0.00 t-CO_2/m^3	横浜市 水道局	0.00 m^2/m^3	横浜市 水道局
W 供給	配水	上水	0.03 kg-CO_2/m^3	横浜市 水道局	0.00 m^2/m^3	横浜市 水道局
W 供給	配水	上水	0.07 kg-CO_2/m^3	横浜市 水道局	0.00 m^2/m^3	横浜市 水道局
W 処理	処理	下水	0.26 kg-CO_2/m^3	横浜市 環境創造局	0.00 m^2/m^3	横浜市 環境創造局

影響を詳細に表現するために極めて重要である．これらの情報を単一の空間精度でそろえることは非常に困難であるが，建物スケールは都市形態を理解するための基礎的な単位としてしばしば位置づけられており，特定の地域における FEW 需給の推計に適した空間最小単位として認知されている．そこで本研究では，都市計画基礎調査の建物利用現況調査から対象地域の建物データを取得する．そこに，スーパー，コンビニ，飲食店の各 POI 数を空間集計で付加する．さらに，国勢調査から取得した世帯人数別世帯数と年齢階級別性別人口数を，空間結合し，延床面積で按分し，建物一棟一棟にそれぞれの期待値を算出する．最後に，エネルギー需要の推計に，一般社団法人日本サステナブル建築協会が発行する DECC を用いることができるよう，都市計画基礎調査と DECC の建物用途の対応表を作成し，これで再分類した．この結果を空間データベース(建物)としてまとめた．

4．ケーススタディ

4.1. 対象地域の設定

本研究では横浜市青葉区美しが丘，元石川，新石川，あざみ野，すすき野から構成される対象地域を設定した．この対象地域は東急田園都市線のたまプラーザ駅とあざみ野駅を含み，両駅の利用者日常生活圏を想定している．両駅とも急行停車駅で，特に

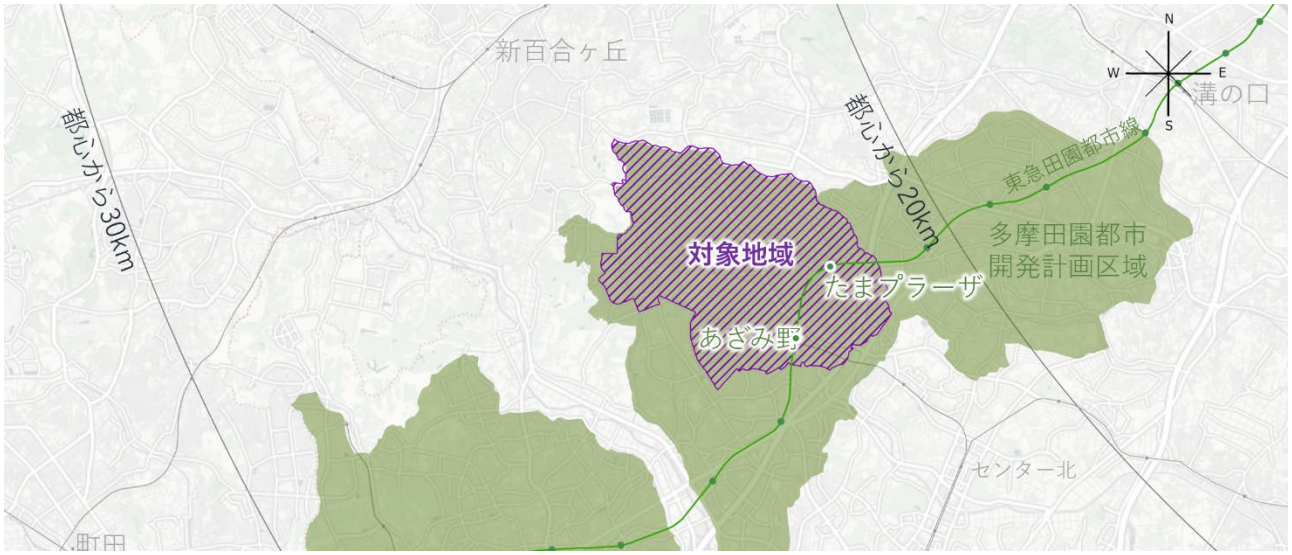


図 3 対象地域の地図

活圏を想定している．両駅とも急行停車駅で，特にたまプラーザ駅には大型商業施設もあることから居住者だけでなく来街者も多い．居住者は 84,850 人，世帯数は 36,055 人，面積 8.32km^2 のまちである．

4.2. 分析結果

図４には FEW の各部門を対象に，ネクサスマトリックスで整理した．

食料部門について，図２のフローチャートに沿って食料需要を算出した結果，33,206t が住宅や飲食店などで需要があることが分かった．これに基づけば，その直前のマーケットでは同量の 33,206t の食料を小売店から入手していることになるため，供給と地域内供給地が交差するセルにこの値を入力した．また地域内には農地が存在しており，表２の原単位から年間 411t の野菜が生産されていると推計された．そのため生産と地域内生産地が交差するセルに 411t を入力した．ここから，地域外にはその差分である 32,795t の食料を依存していることが分かり，地域外の生産と供給に関するセルにこの値を入力した．また処理について，表２では食品需要量に対する食品廃棄に係る CO_2 排出原単位が整備されている．そのため，ここで食品廃棄量を算出する必要はなく，図４上段左の処理の行にはカッコして食品需要量を記載した．そこに表２にまとめた CO_2 排出原単位を乗じたところ図４上段右のようなマトリックスを得た．その結果，食料品部門由来の CO_2 排出量は 206,601t-CO_2 と特定された．同様に，必要面積についても表２に整理した原単位を乗じて，89.1ha 必要であることがわかった．

図４中段にはエネルギー部門を対象に，ネクサスマトリックスで整理した．図２のフローチャートに沿って，400,500MWh の電力需要と 2,592TJ 相当の都市ガスなどへの需要が特定された．また，対象地域内では住宅の屋上などを活用した太陽光発電によって，1,246MWh の発電量が得られていると青葉区の報告書で指摘されている．そのため，地域外にはその差分である 399,254MWh の電力を依存していると推定された．ここに表２にまとめた CO_2 排出原単位を乗じて，408,269t-CO_2 がエネルギー部門から発生していることが分かった．同様に，必要面積についても表 2 に整理した原単位を乗じて，2.5ha 必要であることがわかった．

残る水部門について，図４下段のようにネクサスマトリックスで整理した．図２のフローチャートに沿って水需要を算出した結果，年間 9,999,683m^3 の水道利用が推定された．上水は取水・送水，浄水，配水などのプロセスを経て，需要家のもとに届く．このプロセスと都市インフラの４機能は表２のように対応させた．各プロセスでの実取扱量は需要量と異なるが，表２の原単位は食料部門の処理同様，需要量に対応している．そのため図４下段左のマトリッ



図 4　FEW のネクサスマトリックス

クスの値にはカッコ書きした．これに対し，表２にまとめた CO_2 排出原単位を乗じて，4,346t-CO_2 が水部門から発生していることが分かった．同様に，必要面積についても表２に整理した原単位を乗じて，4.5ha 必要であることがわかった．

５．議論

5.1. システムの捉え方

本研究では自律分散技術として，太陽光発電と都市農業を取り上げた．太陽光パネルを地域の空地や空き屋上，道路脇といった場所に設置することで，基幹電気インフラと連携し，集中分散型エネルギーシステムが構築されている．このようなアイディアや技術は，食料の地産地消や緑のインフラにも適用できる．本研究の対象地域においては，400,500MWh の総電力需要量に対して，その 0.3%に相当する 1,246MWh が太陽光発電によって供給されている．同様に，総食料需要 33,406t の中で，1.2%にあたる 411t が地域の都市農業によって生産されている．確かに，このような一つ一つの取り組みは大規模な都市インフラに比べれば小規模であるものの，取り組みが増えていけば大規模システムの効果的な補完となりうる．

このような基幹インフラと地域資源が形成する自律分散技術を活用した都市インフラは，地域脱炭素ロードマップにも示されるように，今後の脱炭素型

まちづくりの基盤となる．この「脱炭素型まちづくり」という言葉は，都市内のエリア単位の脱炭素化に向けて包括的に取り組むまちづくりのことを意味している．これは，単一のセクターによる取り組みだけではなく，都市全体を一つのシステムとして捉えることが必要であることを示唆している．そして，この際には資源ごとにネクサスマトリックスに整理するのではなく，都市全体としてのネクサスマトリックスを設計する必要がある．

そのための課題は２点ある．一つは，マトリックスの列に整理する地域資源，つまり空間が重複する点である．例えば本稿では，スーパーマーケットやコンビニエンスストアを食料の供給地，エネルギーや水の消費地として取り扱った．しかし，一つのマトリックスに整理する際に，これらの重複をどのように扱うかは大きな課題である．また，森林のような自然的土地利用は，FEW の生産や消費，廃棄の枠組みに常に含まれるわけではない．このような点を踏まえ，都市の空間をどのように捉え，全てを網羅する形で整理するのかは，今後の研究での重要な課題となるである．

5.2. 原単位の収集と設計

本稿では，炭素会計の新しい手法として，従来の課題であったボトムアップ型の CIF を用いたネクサスフットプリントを提案した．この新手法の実現の背景には，従来の定型的な都市計画の GIS データや統計データの活用はもちろんのこと，様々な技術情報や環境情報が大きな助けとなった．近年，これらの情報はインターネット上に散在しており，オープンデータポリシーの普及により容易にアクセス可能となっている．その結果，空間データベース及び原単位データベースの整備の枠組みを提案し，事例ベースでの蓄積を行った．しかし，異なる情報源からのデータ収集と，それを一元的で相互運用可能な形式に整理することは大きな労力がかかる．

このような多大なコストを払って作成したデータベースも多くの課題が残っている．例を挙げると，生産，供給，消費，処理という都市インフラの基本的な 4 つの機能が広く認知されているが，多くの既存の原単位データは，これらの機能と必ずしも一致していない．具体的には，エネルギー部門の炭素会計において，生産から供給までを一つの単位として捉えた CO_2 排出係数を使用した．このことは，一般に FEW の提供が特定企業に一任されており，行政を含め，そのプロセスまで明らかにされてこなかったことが一因と思われる．しかし今後，基幹インフラのあらゆる部分が自律分散技術で代替される中，プロセスに細分化した原単位の整備がなければ，その代替効果を十分明らかにできないことになる．そのような新しい原単位の整備が強く求められる．

６．結論

地域は，従来から膨大な国勢調査，都市計画基礎調査のもとに計画・設計を行い，住み良い生活空間を作ってきた．それを脱炭素というグローバルな目標のもとで計画の目標を再検討し，エビデンスベースで政策効果を測定しなければならない．しかし，そのための手法がこれまで確立されていなかった．

そこで本稿では，ネクサスマトリックスで脱炭素型の集中分散協調型都市システム記述し，ネクサスフットプリントで食料・エネルギー・水(FEW)を基点にした脱炭素型まちづくりの方法を紹介した．この手法によって，まちの住民構成や市街地の形態による環境負荷の違いを視覚的に示すことができる．同ツールを首都圏の郊外住宅地に適用し，居住者と来街者による FEW 需要に伴う環境影響と自律分散技術導入による脱炭素効果を確認した．

謝辞

本研究は，日本科学技術振興機構（JST）/Belmont Forum の「持続可能な都市化に向けた国際イニシアチブ：食料ー水ーエネルギーのネクサス」事業の国際共同研究「可動型ネクサス：デザイン先導型都市食料・水・エネルギー管理のイノベーション」（No.11314551）の一環として行われた．

参考文献

Chang, Ni-Bin, Uzzal Hossain, Andrea Valencia, Jiangxiao Qiu, and Naim Kapucu. 2020. “The Role of

Food-Energy-Water Nexus Analyses in Urban Growth Models for Urban Sustainability: A Review of Synergistic Framework." *Sustainable Cities and Society* 63 (December): 102486.

Chavez, Abel, and Anu Ramaswami. 2013. "Articulating a Trans-Boundary Infrastructure Supply Chain Greenhouse Gas Emission Footprint for Cities: Mathematical Relationships and Policy Relevance." *Energy Policy* 54 (March): 376–84.

Guterres, António. 2023. "GUTERRES CLIMATE REMARKS." https://www.unmultimedia.org/avlibrary/asset/3075/3075580/.

Hoff, Holger. 2011. "Understanding the Nexus."

Kellett, Ronald, Andreas Christen, Nicholas C. Coops, Michael van der Laan, Ben Crawford, Thoreau Rory Tooke, and Inna Olchovski. 2013. "A Systems Approach to Carbon Cycling and Emissions Modeling at an Urban Neighborhood Scale." *Landscape and Urban Planning* 110 (February): 48–58.

Ma, Ning, Yukun Zhang, Rui Zhang, Wen Zhang, and Xiaojiao Li. 2023. "Comprehensive Review of Food-Energy-Water Nexus at the Community Scale." *Journal of Cleaner Production* 420 (September): 138311.

Nansai, Keisuke, Yasushi Kondo, Shigemi Kagawa, Sangwon Suh, Kenichi Nakajima, Rokuta Inaba, and Susumu Tohno. 2012. "Estimates of Embodied Global Energy and Air-Emission Intensities of Japanese Products for Building a Japanese Input-Output Life Cycle Assessment Database with a Global System Boundary." *Environmental Science & Technology* 46 (16): 9146–54.

Oviroh, Peter Ozaveshe, Jesse Austin-Breneman, Cheng-Chun Chien, Praneet Nallan Chakravarthula, Vaishnavi Harikumar, Pranjal Shiva, Alvin Bagetuuma Kimbowa, Jonathan Luntz, Emmanuel W. Miyingo, and Panos Y. Papalambros. 2023. "Micro Water-Energy-Food (MicroWEF) Nexus: A System Design Optimization Framework for Integrated Natural Resource Conservation and Development (INRCD) Projects at Community Scale." *Applied Energy* 333 (March): 120583.

Poore, J., and T. Nemecek. 2018. "Reducing Food's Environmental Impacts through Producers and Consumers." *Science* 360 (6392): 987–92.

Ramaswami, Anu, Armistead G. Russell, Patricia J. Culligan, Karnamadakala Rahul Sharma, and Emani Kumar. 2016. "Meta-Principles for Developing Smart, Sustainable, and Healthy Cities." *Science* 352 (6288): 940–43.

Seto, Karen C., Galina Churkina, Angel Hsu, Meredith Keller, Peter W. G. Newman, Bo Qin, and Anu Ramaswami. 2021. "From Low- to Net-Zero Carbon Cities: The Next Global Agenda." *Annual Review of Environment and Resources* 46 (1): 377–415.

Simpson, Gareth B., and Graham P. W. Jewitt. 2019. "The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review." *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China* 7. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008.

Valencia, Andrea, Md Uzzal Hossain, and Ni-Bin Chang. 2022. "Building Energy Retrofit Simulation for Exploring Decarbonization Pathways in a Community-Scale Food-Energy-Water-Waste Nexus." *Sustainable Cities and Society* 87 (December): 104173.

Zhang, Pengpeng, Lixiao Zhang, Yuan Chang, Ming Xu, Yan Hao, Sai Liang, Gengyuan Liu, Zhifeng Yang, and Can Wang. 2019. "Food-Energy-Water (FEW) Nexus for Urban Sustainability: A Comprehensive Review." *Resources, Conservation and Recycling* 142 (March): 215–24.

国・地方脱炭素実現会議. 2021. "地域脱炭素ロードマップ."

小田秀充, and 内山洋司. 2008. "産業連関表を用いた食料品部門のエネルギー・環境負荷分析." 産業連関 16 (2): 27‐41.

菅義偉. 2020. "第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説." https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html.

オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究 その 1.札幌市のエネルギー消費実態の見える化による分析

泉龍雅*・大沢飛智**・森太郎***

Abstract: More efficient reduction of energy consumption is required in the context of the need for decarbonization and energy independence. In the building sector, energy efficiency of buildings is improving, but the percentage of ZEB in non-residential buildings started in 2021 remains low at about 0.40%, leaving ample room for improvement. Currently, data on building energy consumption has been developed and is readily available as open data. By analyzing these data, the actual status of energy consumption can be clarified. In this study, we analyzed the energy consumption of buildings in Sapporo using data published by the Hokkaido Open Data Portal Site, a total of 227 energy data held by the City of Sapporo, and open data of a 3D city model of Sapporo published by PLATEAU. The objective was to visualize energy characteristics and their factors based on electricity consumption, gas consumption, and building characteristics, and to find issues to be addressed to realize energy conservation.

Keywords: オープンデータ エネルギー　脱炭素化　PLATEAU　札幌市

１．はじめに

脱炭素化やエネルギー自立が求められる中でエネルギー消費量のより効率的な削減が要求されている.建築分野においても建物の省エネ性が向上しているが,2021 年に着工された ZEB(Zero Energy Building：年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物)の割合は約 0.40%と依然低いまま[1)]であり,改善の余地は十分にある.現在,建物のエネルギー消費量の実データが整備され,オープンデータとして容易に利用できる.北海道においても,北海道オープンデータポータルサイト[2)]が,データ利活用のために様々なデータを公開している.

本研究では北海道オープンデータポータルサイトが公開しているデータと札幌市が保有する建物のエネルギー消費量のデータを用いて札幌市の非住宅建物のエネルギー消費量の分析を行った.また,解析の対象とした建物を PLATEAU が公開する札幌市の 3D 都市モデルのオープンデータデータと紐づけし,建物の地理情報や形状特性によるエネルギー消費の影響を可視化し,ZEB 実現のための課題をみつけることを目的とした.

２．研究概要

2.1. データ概要

本研究でエネルギー消費の実態を明らかにするために以下の 5 つのデータを用いた.

1) 北海道有施設エネルギー使用量（知事部局）[3)]（以下:Ed-1）

Ed-1 には 2013 年度から 2021 年度までの CSV データがあり,各年度のデータには 530 件前後の北海道施設のエネルギー消費量のデータがある.本研究では 2021 年度の札幌市のデータ 29 件の月ごとの電力消費量のデータを用いた.

2)札幌市保有データ（以下:Ed-2）

Ed-2 は札幌市から譲り受けたもので,札幌市所有施設 209 件の建物の 2021 年度と 2022 年度の 30 分毎の電力消費量,ピーク電力,負荷率,外気温度,湿度などが含まれている.

3) 北海道有施設一覧（知事部局）[4)]（以下:Bd）

Bd には 1435 件の建物の名称,所在地,建物内の施設のデータがあり,それぞれの建物内の施設には建築面積,延べ床面積,新築年月日,構造,階数の情報が CSV 形式で公開されている.

4) オープンデータ用北海道施設位置情報データベース[5)]（以下:Gd-1）

Gd-1 には 35579 件の北海道の建物の住所や座標などの位置情報が含まれており,CSV 形式で利用することができる.

5) 3D 都市モデル（Project PLATEAU）札幌市（2020

*　学生会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**izumi.ryuga.a6@elms.hokudai.ac.jp**
**　正会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**pgv05772@elms.hokudai.ac.jp**
***　非会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**taro.3tree@gmail.com**

年度）[6]（以下:Gd-2）

Gd-2 は国土交通省が主導して公開している 3D 都市モデルオープンデータで,札幌市の建物のオブジェクトデータに用途,建設年などの都市活動情報が付与されている.

2.2. データ処理

本報告では建物の規模や形状によってエネルギー消費量がどのように変化するか検証を行った.しかし各エネルギーデータには建物の規模や形状のデータが含まれていないため,使用データの 5 つを紐づけする必要がある.その手順は以下のとおりである.

① Ed-1 の建物名をもとに Bd と紐づけし,Bd から建物の規模と建築年を引用した.

② Ed-1 と Ed-2 の建物名をもとに Gd-1 と紐づけし,Gd-1 から位置情報を引用した.

③ CityGML 形式で保存されている Gd-2 をシェイプデータに加工した.Q-GIS を用いて都市モデルとして表示させた.

④ Ed-1 と Ed-2 を Gd-2 で作成した都市モデル上にマッピングし,エネルギーデータと都市モデルの紐づけを行った.

なお,本研究では Ed-1 の 29 件と Ed-2 の 209 件のうち,計測期間が短いものや建物の使われ方が特殊なものを除いた 202 件を用いて分析を行った.建物の種別と件数を表 1 に示す.

表 1 建物の種別と件数

種別	学校	事務所	運動施設	市民施設	文化施設
件数	132	27	15	18	10

3. エネルギー特性

図 2 に延床面積あたりの電力消費量の一次エネルギー変換値(以下：エネルギー消費原単位)を月ごとに示した.なお,電力の一次エネルギー換算係数は 9.97 MJ/kWh を用いた.夏期のエネルギー消費原単位は 20～40MJ/(m²・月)で,6 月と 9 月が一年を通して最も低い 20～30MJ/(m²・月)となっていた.6 月,9 月に比べて 7～8 月の一次エネルギー消費原単位がやや高くなったが,これは冷房によるためだと考えられる.一方で冬期は 40～110 MJ/(m²・月)と高くなっている.これは寒冷地である北海道では暖房電力を使用する建物が多くあるためである.

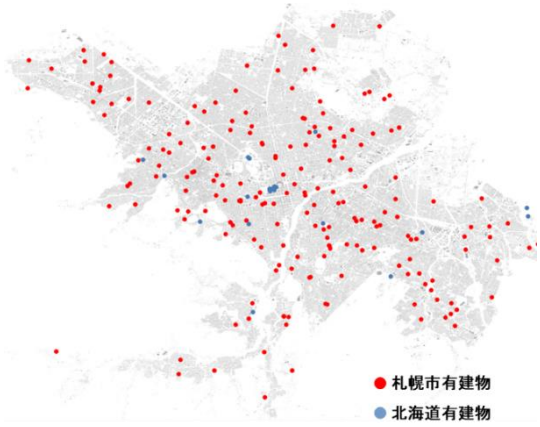


図 1 建物の分布

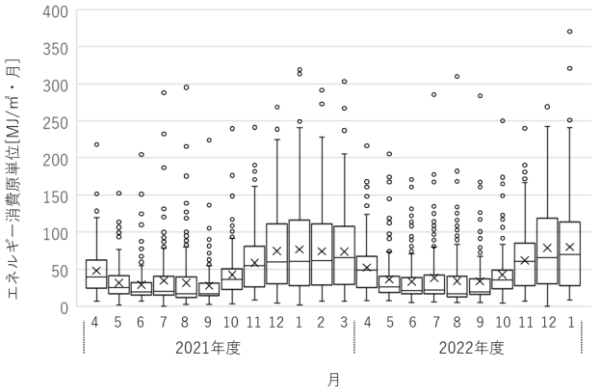


図 2 エネルギー消費原単位

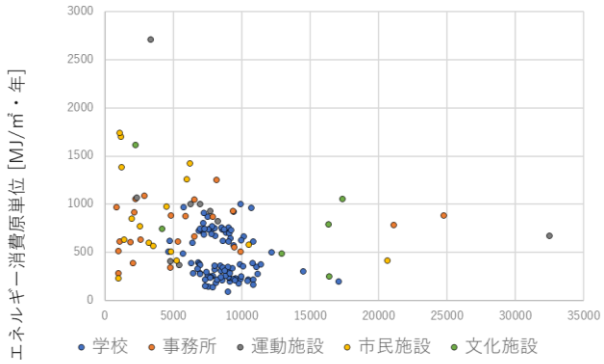


図 3 延床面積とエネルギー消費原単位

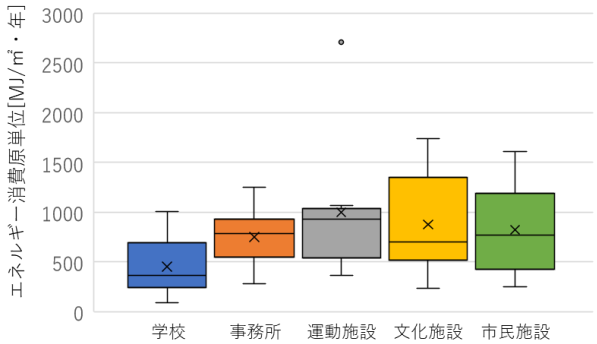


図 4 種別ごとのエネルギー消費原単位

図 3 に 2021 年度の建物種別ごとのエネルギー消費原単位を示す.学校は 300～700 MJ/(m²・年)で集中していた一方で,その他の施設はエネルギー消費原単位,延べ床面積で分散が大きかった.これは学校が類似した規模であることや運営する時間が概ね同じであるのに対し,その他の施設は滞在する人数や運営時間にばらつきがあったためだと考えられる.事務所,市民施設は学校と比較すると比較的小規模のものが多く,エネルギー消費原単位は 500～1000MJ/(m²・年)でやや高かった.

図 4 は,図 3 で示した 2021 年度のエネルギー消費原単位を箱ひげ図で示したものである.学校のエネルギー消費原単位が最も低く,事務所と運動施設が 500～1000MJ/(m²・年)で同程度,文化施設は 500～1300 MJ/(m²・年),市民施設は 450～1300 MJ/(m²・年)で高くなっていた.文化施設は美術館や文化ホール,市民施設は市民センターや図書館などの休日にも運営している場所が多く,多くの人が出入りするためエネルギー消費原単位が高くなったと考えられる.

5. 空調用エネルギー消費量

図 5 のイメージ図で示すように,年間の一次エネルギー消費量のうち,最も少なかった月の一次エネルギー消費量をベースとし,ベースから増加した一次エネルギー量を空調用エネルギーとみなして分析した.建物の空調用エネルギー消費量を分析するにあたり,空調に電力を使用している建物と,それ以外の建物に分類した.分類の方法は以下のとおりである.

① 1 年のうち月のエネルギー消費原単位が最大のものから最小のものを引いた.

② ①で求めた差を,90MJ(m²・月)を閾値として分類し,90MJ/(m²・月)以上のものを空調に電力を用いている建物とした.

分類の結果,空調に電力を使用しているとみられる建物は 38 件(学校：30 件,事務所：1 件,運動施設：3 件,市民施設：4 件) であった.以下,38 件の分析を行った.

図 6 に建物の新築年と 2021 年度のエネルギー消費量のうち空調が占める割合を示す.学校・市民利用施設の空調が占める割合はほとんどが 80%前後で

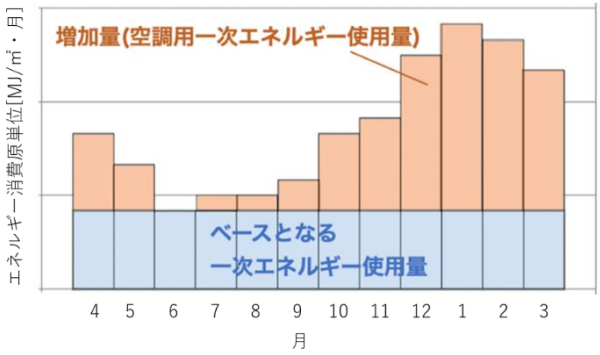


図 5　空調用エネルギー消費量算出のイメージ

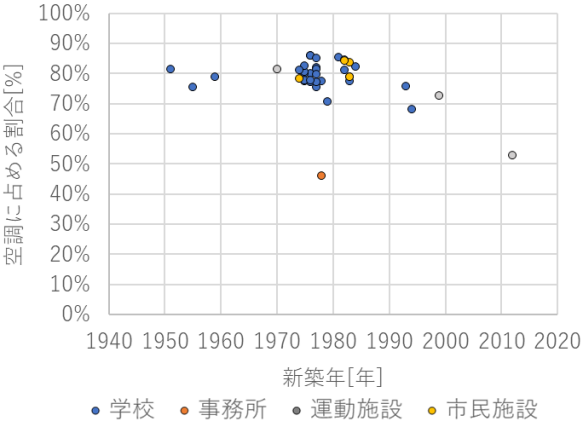


図 6　空調が占めるエネルギーの割合

あった.1970～1980 年代に建てられたものが多く,利用形態が似ているため 80%前後に集中したと考えられる.また,学校のエネルギー消費量のうち空調が占める割合が高くなった原因として,学校は長期休暇があるため,電力を使用しない月と消費する月の差が大きくなったことが考えられる.事務所は 1 件のみであるが,空調の割合は約 46%で低かった.スポーツ施設は建築年が新しくなるほど空調が占める割合が低くなる傾向にあった.

5. 実測 PAL

ペリメータゾーンとは建物の窓際や壁際などで外気の影響を受けやすいゾーンのことで,建物の窓・壁面から 5m 以内の室内空間を指す.外皮性能を評価する指標である PAL*はペリメータゾーンでの熱負荷をその面積で割った値で求められるが,本報告では変則的に空調用エネルギー消費量をペリメータ面積で割った値を PAL*として分析を行った.また,省エネルギー法では建物の用途ごとに PAL*の基準が設けられている.基準値は学校等：320MJ/(m²・年),事務所

等：300 MJ/(m²・年),集会所等：550 MJ/(m²・年)で[7]ある.運動施設は基準がなかったので考慮せず,文化施設,市民施設はともに集会所等の基準を用いた.

図 7 に建物の種別ごとの PAL*を示す.なお,それぞれの基準値を直線で示した.事務所が約 300MJ/(m²・年)で基準に近かった一方で,学校は 500～2000MJ/(m²・年)で基準の約 1.5～6.5 倍の数値となっていた.また,市民利用施設も基準値を大きく超えるものがあった.分析の対象とした建物が電気暖房を行っているとみられることや,建物の新築年が 1970～1980 年代が多く,建物が古くなっていることが PAL*が高くなった原因だと考えられる.

6. 重回帰分析

建物のエネルギー消費量に,どの建物特性が影響しているかを分析するために,空調に電力を用いていると考えられる建物 38 件に対して重回帰分析を行った.目的変数はエネルギー消費量(MJ)とし,説明変数は築年数(年),延床面積(m²),外壁面積(m²),外気温度(℃)とした.22 か月分のデータを用いて,観測数は 835 であった.

分析の結果,R^2 値は 0.697 で有意 F は 3.2×10^{-214} であった.その他の結果を分析の結果を表 2 に示す.

築年数の標準化偏回帰係数が負の値になったのは,対象の建物のほとんどが学校であり,建てられてから改修を行ったものも多くあったことが原因だと考えられる.文部科学省によると,RC 造の学校施設の改築までの平均年数はおおむね 42 年[8]とされている.対象の学校は 42 年前である 1981 年前後の建物が多かったため,改修された建物のエネルギー消費量が少なくなったと考えられる.

標準化編回帰係数をもとに目的変数の寄与率を求めると,築年数 : 6.5%,延床面積 : 26.3%,外壁面積 : 4.1%,外気温度 : 63.1%であった.外気温度が最もエネルギー消費量に影響を与えており,次いで延床面積が大きな影響を与えていることがわかった.

7. まとめ

1)札幌市の学校の電気エネルギー消費量は 300～700 MJ/(m²・年)ほどで,他用途の施設よりも少ないことがわかった.これは長期休暇があるためだと考えられる.一方で PAL*はほとんどが省エネルギー基準を

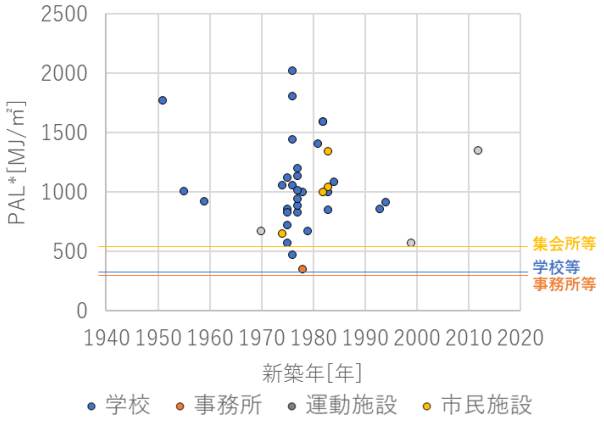


図 7　実測 PAL*

表 2 重回帰分析の結果

	標準化偏回帰係数	標準誤差	t 値	p 値
築年数	-3026.4	805.9	61.2	1.9×10^{-4}
延床面積	12307.8	945.1	-3.7	2.1×10^{-35}
外壁面積	1902.0	863.2	13.0	2.8×10^{-2}
気温	-29536.7	722.5	-40.9	5.0×10^{-201}

超えており,建外皮性能の改善の余地があることがわかった.

2)エネルギー消費量への影響は外気温度や建物の規模が大きいが,建物の形状も影響を与えていることがわかった.

参考文献

1) ZEB・ZEH-M 委員会「ZEB・ZEH-M の普及促進に向けた今後の検討の方向性について」URL:https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/pdf/zeb-zeh-m-2.pdf(参照日：2023 年 7 月 14 日)

2) 北海道電子自治体共同システム「北海道オープンデータポータルサイト」北海道電子自治体共同システム,URL:https://www.harp.lg.jp/opendata/（参照日：2023 年 3 月 31 日）

3) 北海道オープンデータポータルサイト（2023 年 4 月）「北海道有施設エネルギー使用量（知事部局）【北海道」北海道電子自治体共同システム ,URL:https://www.harp.lg.jp/opendata/dataset/1640.html（参照日：2023 年 4 月 12 日）

4) 北海道オープンデータポータルサイト（2023 年 4 月）「北海道有施設一覧（知事部局）【北海道】」北海道電子自治体共同システム ,URL:https://www.harp.lg.jp/opendata/dataset/1641.html（参照日：2023 年 4 月 12 日）
5) 北海道オープンデータポータルサイト（2023 年 4 月）「北海道施設位置情報データベース【北海道】」北海道電子自治体共同システム URL:https://www.harp.lg.jp/opendata/dataset/227.html
6) 国土交通省「PLATEAU[プラトー]」URL:https://www.mlit.go.jp/plateau/（参照日：2023 年 7 月 14 日）
7) 「令和 3 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2022)PDF 版」経済産業省資源エネルギー庁（参照日：2023 年 8 月 26 日）URL:https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/whitepaper2022_all.pdf
8) 文部科学省「学校施設の長寿命化計画策定に係る手引」URL:https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2015/04/08/1356232_3.pdf（参照日：2023 年 8 月 30 日）

オープンデータを活用した積雪寒冷地建物の脱炭素化に関する研究
－ その２.太陽光発電の使用実態の分析 －

大沢 飛智*・森 太郎・泉 龍雅***

Research on Decarbonization of Buildings in Snowy and Cold Regions Using Open Data
- Part 2. Analysis of the Actual Usage of Solar Power Generation -

Hisato Osawa*, Ryuga Izumi**, Taro Mori***

Abstract Aiming for carbon neutrality by 2050, research on solar power generation advances in the field of architecture. However, if predictions of power generation are not based on actual conditions, there is a risk of a significant discrepancy from the expected power generation. In this study, open GIS data and ortho images, based on the names of buildings, were utilized to create GIS data for solar panels, and their actual situation was analyzed. The analysis revealed that the orientation of solar panels primarily aligns with the direction of the buildings, and secondarily, they tend to be installed facing south, which is more efficient for power generation. Additionally, the average area ratio of solar panels installed on rooftops is low at 1.7%, indicating that predicting power generation based solely on the building's shape poses risks.

Keywords: オープンデータ(Open Data), 太陽光発電(Solar Power Generation), 脱炭素化(Decarbonization), Plateau(Plateau), 札幌市(Sapporo)

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、すべての分野で省エネ、創エネによる CO2 排出量の削減が進められている。建築の分野においても同様で、特に太陽光発電を利用した研究や実例が多く存在する。近年では都市の太陽光発電のポテンシャルを検討する研究があり、その結果より地域単位でカーボンニュートラルを達成する計画が立案されている。これらの研究では屋上と壁面の全面、もしくは少し狭めた範囲に太陽電池を設置した想定でシミュレーションされることが多々ある。しかし、太陽電池を設置した実例では屋上の狭い範囲で設置されることが見受けられる。そのため、太陽光発電のシミュレーションとその実態の間に誤差が生じる可能性がある。そこで太陽光発電の実データをもとに太陽電池の使用実態を明らかにする。

本報告では札幌市より入手した太陽光発電の実データがある建物に対し、公開されている GIS データを基に、建物の情報を付与していき、その結果を精査した。

2. 使用するデータ

本報告では表 1 に示したデータを使用する。

表 1　使用データ

凡例	項目	内容	形式	測定年
Ed-1	札幌市私有の提供データ	発電量の実測データ	CSV	2018～2022
Gd-1	オープンデータ用北海道施設位置情報データベース [1)]	建物の位置情報	CSV	2011～2015
Gd_2	3D 都市モデル（Project PLATEAU）札幌市（2020 年度）CtiyGML[2)]	建物のポリゴン情報	GML	2019
Gd-3	OpenStreetMap[3)]	敷地のポリゴン情報	shp	随時更新
Od-1	3D 都市モデル（Project PLATEAU）札幌市（2020 年度）GeoTIFF[2)]	オルソ画像	tiff	2019
Od-2	国土地理院の年度別空中写真 [4)]	オルソ画像	-	2020

*　正会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**pgv05772@elms.hokudai.ac.jp**
**　学生会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**izumi.ryuga.a6@elms.hokudai.ac.jp**
***　非会員　北海道大学工学部 (Hokkaido University)　**taro.3tree@gmail.com**

Ed-1 は太陽光発電による発電量の実測データである。本報告では Ed-1 にある建物について、他の使用データを用いて情報を追加する。Gd-1～3 はオープンソースの GIS データである。Od-1,2 はオープンソースのオルソ画像である。

3. 作業手順

Ed-1 の建物名称を基に GD-1～3, Od-1,2 より建物の GIS データ（以下：Bgis）と、太陽電池の GIS データ（以下：Pgis）を作成する。GIS データの作成には QGIS を用いた。

3.1 建物の GIS データ（Bgis）の作成

以下の手順で Bgis を作成した。

1) Ed-1 の建物の位置情報を付与

Gd-1 は北海道の建物の名称（施設名称）と緯度経度の情報を有しているため、Ed-1 の建物の名称とマッチングさせることにより緯度経度を付与し、ポイントデータを作成した。

2) Gd-2 の LOD2 情報の削除

Gd-2 は建物の属性と 3 次元の形状データを有している。形状は詳細度に応じて LOD1、LOD2 で表現されている。しかし、LOD2 の建物は QGIS に地図データとして表示できないため、LOD2 を示す情報を Gd-2 より削除し、すべての建物の形状を LOD1 で統一したポリゴンデータとした。

3) 建物の情報抽出

Ed-1 と Gd-2、3 を QGIS に表示した。Ed-1 のポイントをポリゴン内に含む敷地を Gd-3 より抽出した。さらに、抽出した敷地内に存在する建物を Gd-2 より抽出し、これらを Bgis とした。Gd-3 より敷地を抽出できなかったポイントも存在した。その場合、それらのポイントをポリゴン内に含む建物を Gd-2 のより抽出し、Bgis に追加した。

4) オルソ画像の目視確認

Bgis のポリゴン情報と Od-1,2 を重ねて、表示された航空写真とポリゴンの形状が一致していることを確認した。図 1 に確認時の QGIS 上の画像を示す。Od-1,2 はともにオルソ画像として補正されているが、航空写真の撮影位置に次第で、図 1 のように屋上がずれている場合がある。そのため、Od-1 の屋上の航空写真が大きく外れている場合は、Od-2 を参考の航空写真とした。

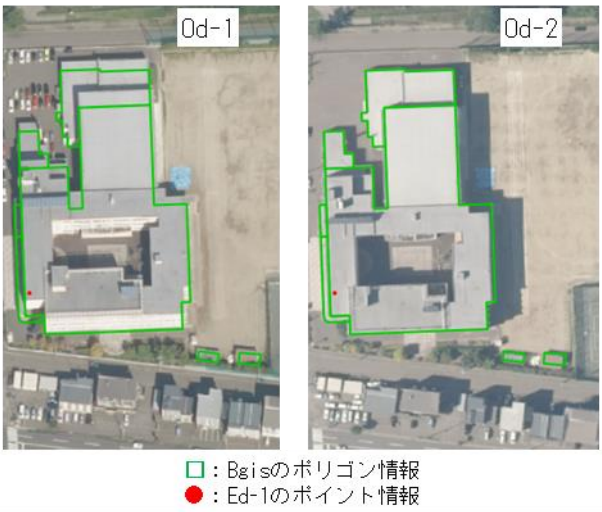


図 1　Bgis のポリゴン情報と Od-1,2 を重ね合わせ
（Od-1 は 2019 年 GeoTIFF を加工して作成、
Od-2 は 2020 年 空中写真を加工して作成）

以上の 1)～4)の工程で Ed-1 にあった建物を抽出した。図 2 に対象範囲を示す。また、表 2 に Ed-1 にある建物の用途を示す。Ed-1 は全件で 133 件あり、用途が NA である建物の内、建物の名称に「学校」とある建物は教育施設とした。最も多い施設用途が教育施設であり、主に小・中学校である。次いで文化施設が多く、主に地区センターである。



図 2　対象範囲

表 2　建物用途

用途基礎	スポーツ施設	文化施設	自治体施設	厚生施設
件数	2	15	4	1
用途基礎	教育施設	社会福祉施設	NA	合計
件数	107	1	3	133

3.2 太陽電池の GIS データ（Pgis）の作成

以下の手順で Pgis を作成した。

1)目視による太陽電池のポリゴン化

QGIS に Bgis と Od-1,2 を表示し、Bgis の建物のポリゴン内にある太陽電池を目視で確認し、ポリゴンを作成した。この時の太陽電池のポリゴンデータを Pgis する。また、図 3 に太陽電池の画像を示す。ただし、画像上に太陽電池が存在しない場合は Bgis から建物を削除した。その結果 Bgis の建物は 121 件となった。

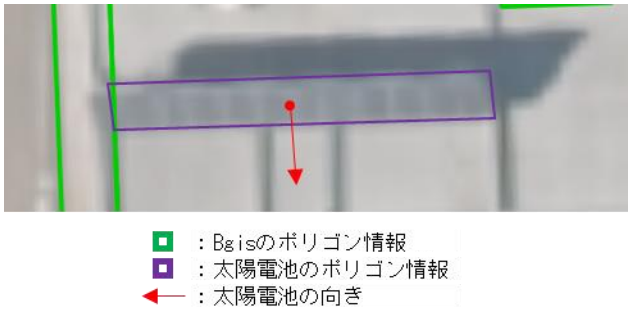


図 3　太陽電池の表示画像

2.太陽電池に属性を付与

太陽電池の向き（方位）と設置された高さを Pgis の属性に追加した。太陽電池の方位は図 3 の赤矢印のようにポリゴンごとに目視で方位を付与した。太陽電池がある建物を Bgis より選択し、その建物の高さを太陽電池の設置高さとした。

以上の手順で太陽電池の Pgis を作成した。太陽電池は全部で 263 セットとなった。

4. 太陽光パネルの設置実態

4.1 パネルの周辺環境

太陽光パネルの天空率を算出した。算出した手順は既報 [5] の応用して、Pgis のポリゴンの重心と設置高さを基に正射影画像を作成し、天空率を算出した。Pgis の全ポリゴンの天空率を算出し、図 4 にその結果を箱ひげ図で示す。天空率の平均は 0.99 で、箱も幅がほとんどなかった。以上より Ed-1 にあった太陽光パネルに関しては障害となるような建物が周辺にほとんど存在しないことが確認できた。よって、太陽電池の向きは南にすることで効率的に発電ができると考えられる。

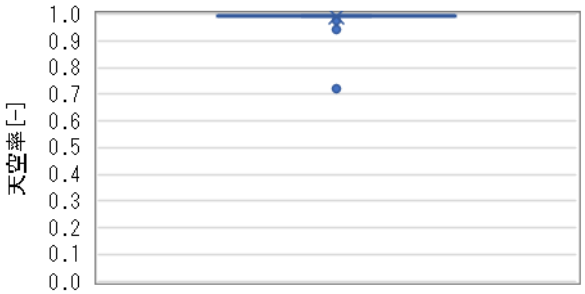


図 4　Pgis の太陽電池の天空率

4.2 太陽電池の向き。

太陽電池の向きより Pgis のポリゴンを 8 方位に仕分けた。また、建物の向きに対し、太陽光パネルの向きが一致しているか集計した。建物の向きとは、建物の外周線より判断した平面上の方向性であり、Pgis のポリゴンの一辺が建物の外周線の一辺とほとんど平行になっている場合、太陽電池の向きと建物の向きが一致したと判断した。図 5 に結果を示す。西、南東、東向きの太陽電池には建物の向きと不一致なものは存在しない。不一致太陽光発電の発電量を最も増やす太陽電池の向きは南である。Pgis の太陽電池の内、南向きのパネルは 135 台、それ以外の方角を向いているパネルが 128 台となった。一方で建物の向きに沿うように設置されている太陽電池は 240 台となった。このことから太陽電池の向きは建物の向きと合わせることが優先され、次点で発電量が多くとれる南向きに近い方向となるように設置されると考えられる。この結果の原因は太陽電池の過重を支えるために建物の向きに合わせることが優先されたためだと考えられる。

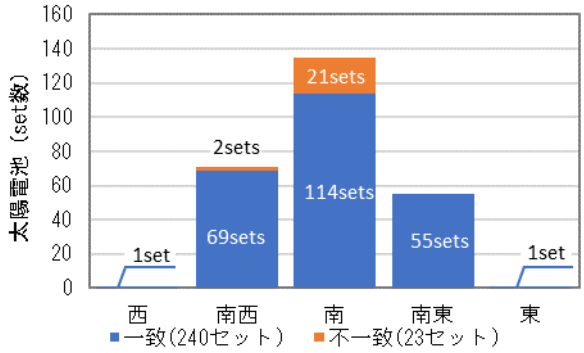


図 5　太陽電池の方位と建物の方向に対する一致／不一致

4.3 太陽光パネルの設置面積

建物の名称により Bgis と Pgis より対象の建物を抽出し、建物と太陽電池ごとにポリゴンの面積の積を算出した。この時、建物の屋上とは敷地内に存在する建物すべてを対象とした。図 6 に結果を示す。設置面積比の平均は 1.7%となり、箱も小さく、最大値も 6.3%となった。以上のことから、GIS データのポリゴン情報より取得した建築面積の全体を使用した場合、太陽発電の予測は現実に対し大きな誤差を招く危険があることが確認できた。このように太陽電池が屋上の面積に対し、狭い範囲で設置されることが確認できた。この原因は太陽電池のコスト面、メンテナンスのしやすい動線の確保、パネルの落下の危険性、屋上における使用エリアの用途の違いなどが検討できる。今後の研究では動線を明らかにする方法、屋上エリア内の使用用途の検討、パネル設置による危険性を考慮する必要がある。

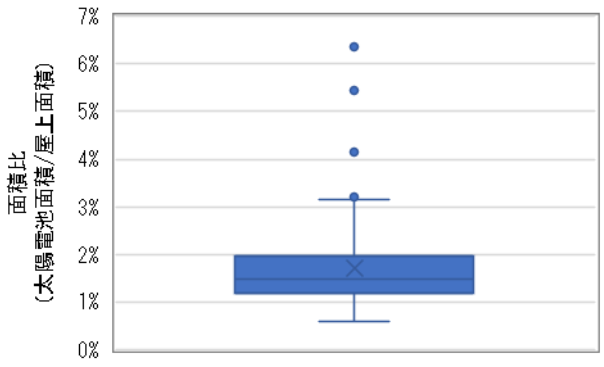


図 6　面積比（太陽電池面積/屋上面積）

5. おわりに

Ed-1 の実データの使用実態を分析するため、建物の名称をもとにオープンデータである GIS データとオルソ画像より太陽電池の GIS データを作成した。以下、GIS データより分析した使用実態の結果である。

①解析対象とした太陽電池の設置場所の天空率は非常に高く、周辺に障害となるものが非常に少ないことが分かった。

②太陽電池の向きは第一に建物の向きに合わせることが優先され、次いで発電量の増加が期待できる南向きに合わせられると考えられる。これは太陽電池の過重に建物が耐えられるようにするために、建物の構造に合わせた設置がされたと考えられる。

③太陽電池の屋上に対する設置面積比の平均は 1.7%と低い数字であり、建物の形状より画一的に発電量の予測シミュレーションをすることが危険であることが分かった。これは太陽電池のコスト、作業動線の確保、設備の落下リスク、屋上の使用用途に沿ったエリア選定が原因だと考えられる。

以上の結果より、以下を今後の課題とする。

①太陽電池の傾斜を追加する方法を検討する。

②GIS データとオルソ画像を併用することで、屋上で太陽電池が設置可能なエリアを判別する方法を検討する。

③Ed-1 の発電量の実データとシミュレーションを実施したときの誤差を明確化し、補正する方法を検討する。

④Ed-1 にないほかの建物の太陽電池の実態調査を実施する。

参考文献

1) 北海道電子自治体共同運営協議会 北海道施設位置情報データベース【北海道】 - 北海道オープンデータポータルサイト (2023 年 8 月 1 日参照): https://www.harp.lg.jp/opendata/dataset/227.html

2) 国土交通省都市局都市政策課 3D 都市モデル（Project PLATEAU）札幌市（2020 年度） - データセット (2023 年 8 月 1 日参照): https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau-01100-sapporo-shi-2020.

3) OpenStreetMap (2023 年 8 月 1 日参照): https://www.openstreetmap.org/copyright.

4) 国土交通省国土地理院 地理院地図 / GSI Maps ｜国土地理院 (2023 年 8 月 1 日参照) https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.097656/&base=std&ls=std%7Cnendophoto2020&disp=11&lcd=nendophoto2020&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m

5) 大沢飛智, 森太郎, 湯澤秀樹, 近藤武士, 羽山広文, 菊田弘輝 :GIS データを用いた都市内における日射量分布解析 その 4 住宅の暖冷房負荷と南側天空率の関係, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(大阪), p101–104, 2015.9,

Oral Presentation in GISA

空間解析手法２

Chair: Sunyong Eom (University of Tsukuba)

Sun. Oct 29, 2023 2:10 PM - 3:30 PM Room F (C-401　4th floor of Bldg. C)

[F8-01] モラン固有ベクトルに基づく空間可変係数モデルによる組成データの空間的異質性分析の提案

Zhan Peng[1], *Ryo Inoue[1] （1. Tohoku University）

2:10 PM - 2:30 PM

[F8-02] 犯罪発生時期はどこまで予測できるか：時空間的犯罪予測の試み

*Tomoya Ohyama[1], IIgon Kim[2] （1. Tohoku University, 2. Sendai University）

2:30 PM - 2:50 PM

[F8-03] 総合指標作成のための Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)の提案

*Narumasa Tsutsumida[1], Daisuke Murakami[2], Takahiro Yoshida[3], Tomoki Nakaya[4] （1. Saitama University, 2. The Institute of Statistical Mathematics, 3. The University of Tokyo, 4. Tohoku University）

2:50 PM - 3:10 PM

[F8-04] Sub-model aggregationによる地理的加重回帰の安定化・高速化

*Daisuke Murakami[1], Narumasa Tsutsumida[2], Takahiro Yoshida[3], Tomoki Nakaya[4] （1. Institute of Statistical Mathematics, 2. Saitama University, 3. University of Tokyo, 4. Tohoku University）

3:10 PM - 3:30 PM

©Geographic Information System Association

モラン固有ベクトルに基づく空間可変係数モデルによる組成データの空間的異質性分析の提案

彭 湛*・井上 亮**

Spatial data that represent parts of a whole and carry only relative information are known as compositional data, such as income structure, land use shares, and voting shares across multiple regions. Spatial analysis of compositional data has gained increasing attention in recent years. However, the discussion on spatial heterogeneity, which refers to the differences in the relationship between compositional ratios and influencing factors in different regions, is still limited. This study developed Moran's eigenvector-based spatial heterogeneity analysis framework to investigate the spatially varying relationships between the compositional dependent variable and real-value covariates. The proposed method was applied to municipal-level household income data in Tokyo, Japan in 2018.

Keywords: 組成データ (Compositional data), 空間的異質性 (spatial heterogeneity), 空間可変係数モデル (Spatially varying coefficients model)

１．はじめに

複数の成分からなる構成要素の相対的な比率を表すデータは，組成データと呼ばれる．その分析方法は，岩石内の化学組成を主な分析対象とする地質学分野でこれまで数多く議論されてきた．また，組成データは, 地域の所得階級や土地利用分類の構成比, 政党得票率，ゾーン間の交通機関分担率など，社会経済データにも数多く存在する．そのため，最近では社会学や経済学などの分野でも，組成データに対する統計モデル開発や実証研究が進んでいる (Yoshida and Tsutsumi, 2018; Nguyen et al., 2022; Xiao and Li, 2022).

地域毎に収集された組成データは，地理空間上の位置と関連しており，空間データの基本的性質である空間的自己相関や空間的異質性を有する. 前者は，「空間上で近いものほど強く関連し合う」という地理学の第一法則 (Tobler, 1970) に従い，近隣の組成が類似することを示す．後者は，地域特性や社会・経済状況の差異により，関連要因が各成分比率に与える影響が地域ごとに異なることを指す．例えば，専門職や技術職が集中する都市では，農村地域よりも，教育水準の上昇が高所得層の拡大に大きな影響を及ぼす可能性がある．空間的異質性を無視して影響が全域で均一と仮定すると，誤った解釈を行う可能性がある．組成データの空間的性質を考慮する既往研究には，空間的自己相関に焦点を当てたものが多く (Gelfand and Vounatsou, 2003; Pawlowsky and Egozcue, 2016; Yoshida and Tsutsumi, 2018; Nguyen et al., 2021)，空間的異質性分析の方法論と応用に関する議論 (Yoshida et al., 2021) は限られている．

さて地理学では, 回帰係数の空間的変動を推定し，空間的異質性を把握するアプローチが数多く検討されてきた．代表例は，係数を座標の関数として推定する Spatial expansion model (Casetti, 1972)，各地点で局地回帰を行う地理的加重回帰 (Geographically weighted regression, GWR) (Brunsdon et al., 1998; Fotheringham et al., 1998, 2002)，階層ベイズの枠組みを利用した空間的可変係数モデル (Bayesian spatially varying coefficients model, BSVC) (Gelfand et al. 2003), Moran's I 統計量に基づく Moran's eigenvector-based SVC (MSVC) モデルが挙げられる (Griffith, 2008)．これらは幅広い分野で応用されてきたが，組成データ分析への応用は容易ではない.

その理由は，組成データは一般的な空間データとは異なり，組成の総和が一定（100%または 1）という定数和制約を持つ．この定数和制約に起因し，変数の独立性という古典的な統計解析の前提が満たされないため，既往の空間的異質性分析手法を直接適

*　学生会員　東北大学大学院情報科学研究科（Tohoku University）
〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06　E-mail：peng.zhan.p3.@dc.tohoku.ac.jp
**　正会員　東北大学大学院情報科学研究科（Tohoku University）

用できない．定数和制約への対処法の一つとして，組成データの成分間の相対的な比率を対数比の形に変換するという対数比変換が挙げられる (Aitchison 1982, 1986). 対数比変換によって定数和制約を解き，組成データの空間的異質性を分析できるようになる.

対数比変換後の組成データを対象とした分析を考えると, 上記の空間的異質性分析アプローチのうち，MSVCモデルは線形回帰のフレームワークに基づいているため容易に適用でき，効率性が良い利点もある．加えて，推定係数の空間変動が，各地点での平均的な変化傾向からの偏差として扱われるため，データの生成過程を考慮でき, モデルの解釈性が高い.

そこで本研究では，MSVC モデルに基づき，組成データの空間的異質性を分析するフレームワークを提案する．さらに，東京都市区町村の家計所得階級別のデータを用いた実証研究を通して提案手法の適用可能性を検証する.

２．組成データ分析

2.1. 組成データの性質

D 個の成分を持つ組成データをベクトル $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_D)'$ で表す. 各成分が全体に占める相対的な比率を表す y_d は，総和が 100%または 1 である制約を有するため，その標本空間はD次元の単体空間 $\mathbb{S}^D$（式(1)）に限定される.

$$\mathbb{S}^D = \left\{ \mathbf{y} \mid y_d > 0, d = 1, \dots, D; \sum_d^D y_d = 1 \right\} \quad (1)$$

定数和制約により, $(D-1)$成分の比率が既知であれば，残り 1 成分の全体に占める割合が一義的に決められてしまう疑似相関が生じる．そのため，変数間の独立性を前提とする，ユークリッド空間で定義された統計解析手法が直接適用することができない.

2.2. 対数比変換に基づく統計解析

定数和制約に対応する手法として，対数比変換が広く用いられている．対数比変換は，各成分間の比の対数をとり組成データを単体空間から実空間に写像する操作である．組成データの成分間の比が対数正規分布によく近似するため，変換後の対数比データは多変量正規分布に従う (Aitchison and Shen, 1980)．そのため，正規分布を仮定する多くの解析手法を適用することが可能である.

Aitchison (1982, 1986) は alr (additive log-ratio) 変換と clr (centered log-ratio) 変換の 2 種類の対数比変換を提案した．alr 変換は，特定の 1 つの成分を基準として，他のすべての成分との比の対数を取る変換である．しかし，alr 変換は等長性を保たないため，相関係数のように変数間の距離を計算する必要がある場合は適切ではない．clr 変換は，各成分とすべての成分の幾何平均との比の対数を取ることで等長性を保つが，変換データの和がゼロとなり，共分散行列が特異となる．これらの問題に対応するため，Egozcue et al. (2003) は等長写像である ilr (isometric log-ratio) 変換を提案した．ilr 変換は，D次元の単体空間$\mathbb{S}^D$を，任意の正規直交基底をもとに$D-1$次元のユークリッド空間$\mathbb{R}^{D-1}$に写像する方法である．ilr 変換とその逆変換は, それぞれ式(2)(3)で定義される.

$$\mathbf{y}^* = \mathrm{ilr}(\mathbf{y}) \coloneqq \mathbf{V}' \ln(\mathbf{y}) \quad (2)$$

$$\mathbf{y} = \mathrm{ilr}^{-1}(\mathbf{y}^*) = \mathcal{C} \exp(\mathbf{V}\mathbf{y}^*) \quad (3)$$

ここで, *は ilr 変換を指し, $\mathcal{C}\mathbf{y} \coloneqq \mathbf{y}/\sum_d y_d$は閉鎖演算, $\mathbf{V}$ は$D \times (D-1)$の変換行列であり, $\mathbf{V}' \cdot \mathbf{V} = \mathbf{I}_{D-1}$ と $\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}' = \mathbf{I}_D - (1/D)\mathbf{1}_{D\times D}$を満たす．列ベクトル$\mathbf{v}_i$と$\mathbf{e}_i = \mathcal{C}\exp(\mathbf{v}_i)$はそれぞれ，$\mathbb{R}^{D-1}$と$\mathbb{S}^D$の正規直行基底を構成する．ilr 変換とその逆変換の変換行列$\mathbf{V}$が共通であれば，$\mathbf{V}$の取り方が結果の解釈に影響を与えないことが知られている (Pawlowsky-Glahn and Egozcue, 2020).

３．研究方法

本章では，MSVC モデルに基づき，ilr 変換後の組成データを目的変数とする空間的異質性分析のフレームワークの構築を説明する.

3.1. MSVC モデル

N個の観測地域（地点）間の空間相関関係は，$N \times N$ の空間重み行列$\mathbf{C}$によって表現される．要素c_{ij}は場所i, j $(i \neq j)$の互いの影響の重みを示し, 隣接の有無または距離減衰で決定される.

Griffith (1998, 2003) により，式(4)に従って中心化した行列$\mathbf{C}$に対する固有値分解を行うことができる.

$$(\mathbf{I} - \mathbf{1}\mathbf{1}'/N)\mathbf{C}(\mathbf{I} - \mathbf{1}\mathbf{1}'/N) = \mathbf{E}\boldsymbol{\Lambda}\mathbf{E}' \quad (4)$$

ここで，$\mathbf{I}$は$N \times N$の単位行列，$\mathbf{1}$は要素が 1 の$N \times 1$のベクトル，$\mathbf{E} = (\mathbf{e}_1, \dots, \mathbf{e}_N)$は固有ベクトルの$N \times N$の行列，$\mathbf{\Lambda}$は対角要素が固有値$\{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}$の$N \times N$の対角行列である．各固有ベクトルは，全体の空間相関関係を構成する基本要素であり，それに対応する固有値は，空間相関を評価する Moran's I 統計量と 1 対 1 の関係がある (Griffith, 1998)．これをもとに，固有ベクトルの異なる線形結合で係数の空間的変動を把握する MSVC モデルが提案されてきた．MSVC モデルは下式で定義される (Griffith, 2008).

$$\mathbf{y} = \sum_{k=0}^{K} \mathbf{x}_k \circ \boldsymbol{\beta}_k^{SVC} + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}) \tag{5}$$

$$\boldsymbol{\beta}_k^{SVC} = \beta_k \mathbf{1} + \mathbf{E}\boldsymbol{\gamma}_k \tag{6}$$

$\mathbf{y}$は目的変数の$N \times 1$のベクトル，$\mathbf{x}_k$はk $(k = 0, \dots, K)$番目の説明変数の$N \times 1$のベクトル（$\mathbf{x}_0$は切片のための定数項 1），"$\circ$"は要素ごとの積である．$\boldsymbol{\beta}_k^{SVC}$は$k$番目の空間的可変係数ベクトル，定数$\beta_k$は平均的な傾向を表し，固有ベクトルの線形結合$\mathbf{E}\boldsymbol{\gamma}_k$は平均から乖離した局地的な空間的変動を表す．パラメータ$\boldsymbol{\gamma}_k$は各固有ベクトルを重み付けて空間的変動のスケールを制御する．次節は，組成データを分析するために，MSVC モデルを拡張する．

3.2. 組成データのための MSVC モデル

N地点で観測されたD成分を持つ組成データを行列 $\mathbf{Y} = (\mathbf{y}_1 \quad \cdots \quad \mathbf{y}_N)' = (\mathbf{y}_{(1)} \quad \cdots \quad \mathbf{y}_{(D)})$ で表し，$\mathbf{y}_i = (y_{i(1)}, \dots, y_{i(D)})'$は$i$ $(i = 1, \dots, N)$番目の観測値ベクトル，$\mathbf{y}_{(d)} = (y_{1(d)}, \dots, y_{N(d)})'$は$d(d = 1, \dots, D)$番目の成分である．組成データ$\mathbf{Y}$の ilr 変換を

$$\mathrm{ilr}(\mathbf{Y}) = (\mathrm{ilr}(\mathbf{y}_1) \quad \cdots \quad \mathrm{ilr}(\mathbf{y}_N))' \tag{7}$$

$$\mathrm{ilr}(\mathbf{y}_i) = \mathbf{y}_i^* = (\mathbf{y}_{i(1)}^* \quad \cdots \quad \mathbf{y}_{i(D-1)}^*)' \tag{8}$$

と表す．正規直交基底による変換で，変換後のデータを目的変数とする多変量線形回帰分析が可能になる．そこで，d $(d = 1, \dots, D-1)$番目の変換データに対する MSVC モデルを式(9)(10)で定義する．

$$\mathbf{y}_{(d)}^* = \sum_{k=0}^{K} \mathbf{x}_k \circ \boldsymbol{\beta}_{k(d)}^{SVC*} + \boldsymbol{\varepsilon}_{(d)}^*, \qquad \boldsymbol{\varepsilon}_{(d)}^* \sim N\left(\mathbf{0}, \sigma_{(d)}^2 \mathbf{I}\right) \tag{9}$$

$$\boldsymbol{\beta}_{k(d)}^{SVC*} = \beta_{k(d)}^* \mathbf{1} + \mathbf{E}\boldsymbol{\gamma}_{k(d)}^* \tag{10}$$

MSVC モデルは，多くの固有ベクトルの導入によって過剰適合が生じる可能性がある．そのため，本研究では，既往研究（Griffith and Chun, 2014; Seya et al., 2015）に基づき，対応する固有値$\lambda_l / \lambda_{max} > 0.25$を満たす固有ベクトルのみを使用し，更に l_1 正則化 (Tibshirani, 1996) で選択した，係数推定値が非ゼロとなる固有ベクトルを使用してモデルを構築する．モデルの係数は式(11)の最小化で推定する．

$$\left\| \mathbf{y}_{(d)}^* - \sum_{k=0}^{K} \mathbf{x}_k \circ \left(\beta_{k(d)}^* \mathbf{1} + \mathbf{E}\boldsymbol{\gamma}_{k(d)}^*\right) \right\|_2^2 + \lambda \left\| \boldsymbol{\gamma}_{k(d)}^* \right\|_1 \tag{11}$$

パラメータλは正則化の強さを調整するハイパーパラメータである．λの値が増加すると，より多くの固有ベクトルがモデルから除外される．各 ilr 変換データに対する最適なλの値は BIC で決定する．

3.3. 係数解釈

ilr 変換のため，推定された空間的可変係数$\boldsymbol{\beta}_{k(j)}^{SVC*}$の値は，元々の組成比に対する説明変数の効果として直接解釈することができない．そのため，本研究は Morias and Thomas (2021) に従い，ilr 逆変換した推定係数を用いて偏弾力性（式(12)(13)）を計算し，説明変数の影響を計測・解釈する．

$$SE(\mathbf{y}, \mathbf{x}_k) = \frac{\partial \log \mathbb{E}^{\oplus} \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_k} \tag{12}$$

$$\mathbb{E}^{\oplus} \mathbf{y} = \mathrm{ilr}^{-1}(\mathbb{E}\mathbf{y}^*) \tag{13}$$

偏弾力性は，ある説明変数の 1 単位の増加がもたらす，目的変数である成分割合の変化の大きさを表す．地域i，d番目成分のk番目の説明変数に対する偏弾力性は式(14)で計算する．

$$SE\left(\mathbf{y}_{(d)}, \mathbf{x}_k\right)_i = \left(\ln \beta_{ik(d)} - \sum_{d=1}^{D} y_{i(d)} \ln \beta_{ik(d)}\right) y_{i(d)} \tag{14}$$

係数解釈は，ilr 逆変換を用いて単体空間に戻した結果に基づいて行うため，ilr 変換行列$\mathbf{V}$の選び方に依存せず，解釈の一致性を担保する．加えて，$\boldsymbol{\beta}_{k(j)}^{SVC*}$が空間的に変化するため，偏弾力性$SE\left(y_{(d)}, \mathbf{x}_k\right)_i$も地域によって異なる値を持ち，説明変数の影響の地域差を反映する．

4．実データ分析

本章では，東京都市区町村単位の所得階層の組成

データを用いて，提案手法と空間的異質性を考慮しない OLS による推定を比較する．

4.1. 使用データとモデル設定

本分析は，2018 年国勢調査の『住宅・土地統計調査』の東京都の市区町村単位の家計所得階層別データを使用する．人口が 15,000 人未満の自治体が調査対象外であるため，それを除いた 51 自治体を分析対象とする．

家計所得を，低所得（200 万円未満），中所得（200 万円以上 700 万円未満），高所得（700 万円以上）の 3 成分の組成データに集計した．図 4.1 は 3 つの所得階層割合の空間分布を示す．Pawlowsky et al. (2015) に従って，式(15)の行列**V**を用いて ilr 変換を行い，2 つの変換データ$\{\mathbf{y}^*_{(1)}, \mathbf{y}^*_{(2)}\}$を目的変数とした．$\mathbf{y}^*_{(1)}$は，中・高所得層のグループに対する低所得層の相対的な重要度を示し，$\mathbf{y}^*_{(2)}$は，高所得層に対する中所得層の相対的重要度を示す．

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 2/\sqrt{6} & 0 \\ 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \tag{15}$$

分析に使用した説明変数は，大卒者割合 (Univ)，失業率 (Unemp)，65 歳以上の人口割合 (Age)，持ち家率 (House) である．以上の数値変数の基本統計量を表 4.1 に示す．空間重み行列は，市区町村の隣接関係に基づいて，2 地域が境界を共有していれば 1，そうでなければ 0 に要素を設定した．この空間重み行列に基づき 51 個の固有ベクトルを抽出し，そのうち $\lambda_l/\lambda_{max} > 0.25$ を満たす 12 個の固有ベクトルを提案手法に使用した．

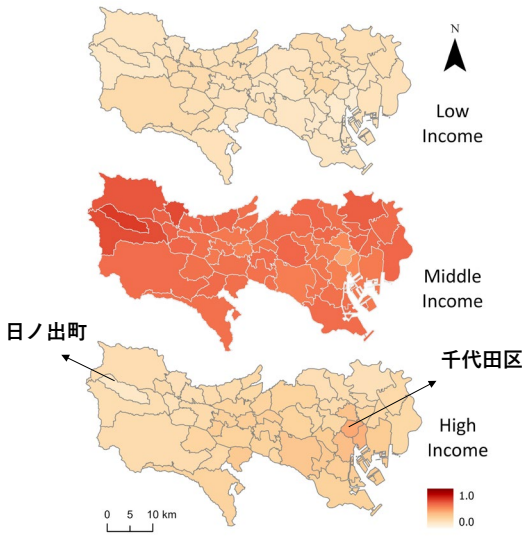


図 4.1 東京都市区町村の家計所得階層の空間分布

表 4.1 数値属性の基本統計量

変数名	最小値	平均値	最大値	標準偏差
低所得の割合	0.092	0.165	0.218	0.029
中所得の割合	0.429	0.593	0.722	0.046
高所得の割合	0.126	0.242	0.425	0.057
Univ	0.149	0.417	0.671	0.125
Unemp	1.800	3.939	5.200	0.690
Age	0.161	0.228	0.354	0.033
House	0.323	0.487	0.761	0.100

4.2. 分析結果の考察

まず，空間効果を考慮しない OLS の推定結果を表 4.2 に示す．失業率を除く説明変数が$\mathbf{y}^*_{(1)}$と$\mathbf{y}^*_{(2)}$の両方に有意に影響を与える．残差の Moran's I は，$\mathbf{y}^*_{(1)}$には有意な空間的自己相関があるが，$\mathbf{y}^*_{(2)}$には有意な空間的自己相関が存在しないことを示唆する．

提案モデルの推定結果を表 4.3 に示す．OLS に比べ，提案モデルでは，$\mathbf{y}^*_{(1)}$の残差の Moran's I と Adjusted R^2 が，それぞれ大幅な減少と増加を示した．これは，固有ベクトルを導入することで，残差の空間的自己相関を軽減し，モデルの解釈力を高めることができることを示唆している．一方，$\mathbf{y}^*_{(2)}$のモデルでは固有ベクトルが選択されず，有意な空間的異質性が存在しないことが明らかになった．これは OLS で推定した$\mathbf{y}^*_{(2)}$の Moran's I が有意ではないことと一

表 4.2 OLS の推定結果

	$\mathbf{y}^*_{(1)}$		$\mathbf{y}^*_{(2)}$	
	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
定数項	-0.798***	0.465	0.673**	0.274
Univ	-0.678*	0.381	-1.159***	0.224
Unemp	0.110**	0.049	0.044	0.029
Age	2.967***	1.065	2.988***	0.626
House	-1.460***	0.351	-0.807***	0.206
残差 Moran's I	0.236***		0.014	
BIC	-42.112		-96.287	
Adjusted R^2	0.568		0.860	

Note : *p < 0.1; **p < 0.05; ***p < 0.01.

表 4.3 提案手法の推定結果

	$\mathbf{y}^*_{(1)}$			$\mathbf{y}^*_{(2)}$
	最小値	平均値	最大値	推定値
定数項	-0.296	-0.239	-0.168	0.673
Univ	-1.285	-1.048	-0.801	1.159
Unemp		0.038		0.044
Age		3.069		2.988
House	-1.969	-1.757	-1.547	-0.807
残差 Moran's I	-0.005**			0.014
BIC	-52.064			-96.287
Adjusted R^2	0.729			0.860

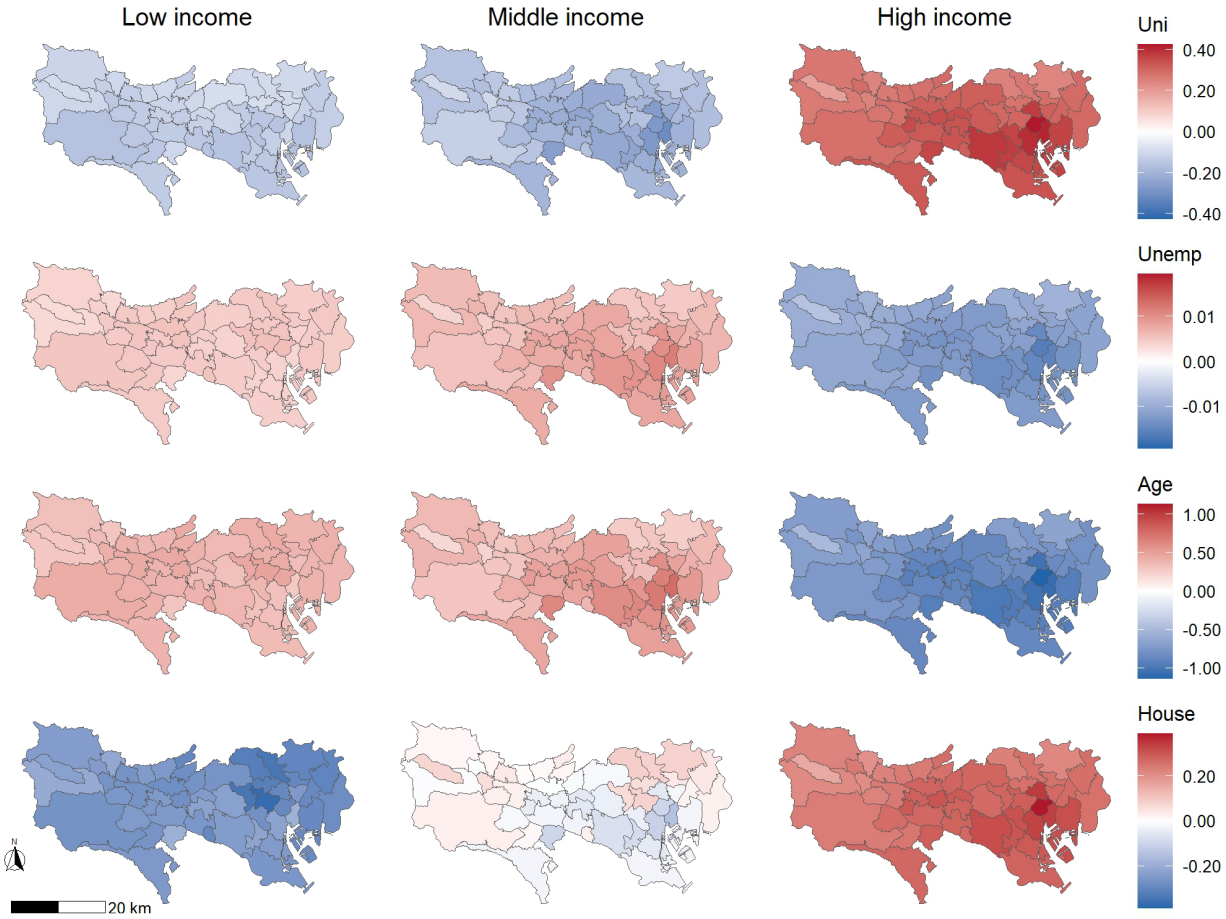


図 4.2 提案手法で推定した偏弾力性の空間分布

致しており，提案モデルは空間的異質性の有無を正しく認識できることを示す．この結果は，説明変数が中所得層と高所得層の間の相対的な比率に与える影響が空間的に一定であることを示している．しかし，各所得層の割合への影響が一定であるとは言えない．そのため，式(3)で推定係数を ilr 逆変換し，単体空間で偏弾力性を考察する必要がある．

提案手法で推定した偏弾力性の空間分布を図 4.2 に示す．各地域において，説明変数毎の偏弾力性の合計がゼロになるため，説明変数の変化による各所得層の相対的な変化を直接的に考察することができる．偏弾力性の空間分布により，地域全体では，大卒者の割合の増加が低・中所得層の減少と高所得層の拡大に寄与している．特に南東部では，高所得層の拡大がより顕著である．これは，この地域が東京のビジネスと文化の中心地であり，知識集約型産業

が集中し，熟練した専門職への需要が高まっているためと考えられる．例えば千代田区では，大卒者割合が 1 単位増加すると，高所得者層割合は 0.426%増加する．この増加率はすべての地域の中で最大である. 同時に, 中･低所得層の割合はそれぞれ 0.153%, 0.273%減少する．一方，林業と農業を主要産業とする日の出町では，高所得層は 0.189%しか増加せず，中･低所得層はそれぞれ 0.096%と 0.094%減少する．また，失業率の上昇は，高所得層が中・低所得層への移行に寄与している．特に，人口と産業が集中している東南部では影響がより強い．同様に，65 歳以上人口の比率は高所得層の割合にマイナスの影響を与え，中・低所得層の拡大にはプラスの影響を与える．高齢者は一般的に所得が低く，より多くの社会福祉支援を必要とする可能性があると考え，この結果は妥当といえる．また，他の要因に比べ，65 歳以上人口の比率に対してより大きい偏弾力性が推定され，所得分析において，この要因の影響により注目する必要があることを示唆している．最後に，東京の西部および東北部地域では，持ち家率の向上は低所得層が中所得層への移行に寄与している．一方，東京の東南部地域では，中所得層がさらに高所得層に移行するパターンが見られる．

５．おわりに

本研究では，組成データの空間的異質性を考察するための MSVC モデルに基づいた分析フレームワークを提案した．ilr 変換と偏弾力性を利用したことで，モデルの推定と解釈を可能にした．東京都の市区町村レベルの家計所得階層別のデータへの適用を通して，提案手法が組成データの空間的異質性を抽出できることを確認し，社会経済的要因が地域によって所得構成に異なる影響を与えることが分かる．

本研究では，組成データが目的変数である場合にのみ焦点を当てたが，今後は，説明変数と目的変数の両方に組成データを含む分析ができるように拡張すると, より幅広い場面で適用できると期待される．また，空間重み行列の定義や固有ベクトルを選択する基準の影響を詳しく検討する必要である．

謝辞

本研究は, JSPS 科研費 JP21H01447 の助成を受けた．

参考文献

Aitchison, J. (1986). *The Statistical Analysis of Compositional Data*. London: Chapman & Hall.

Aitchison, J. (1992). On criteria for measures of compositional difference. *Mathematical Geology*, **24**(4), 365–379.

Aitchison, J. & Shen, S. M. (1980). Logistic-normal distributions: Some properties and uses. *Biometrika*, **67**, 261-272.

Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., & Charlton, M. E. (1996). Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical analysis*, **28**(4), 281-298.

Casetti, E. (1972). Generating models by the expansion method: Applications to geographical research. *Geographical Analysis*, **4**(1), 81–91.

Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G., & Barceló-Vidal, C. (2003). Isometric logratio transformations for compositional data analysis. *Mathematical Geology*, **35**(3), 279–300.

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationship* (1st edition). Wiley.

Fotheringham, A. S., Charlton, M. E., & Brunsdon, C. (1998). Geographically weighted regression: A natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space*, **30**(11), 1905–1927.

Gelfand, A. E., & Vounatsou, P. (2003). Proper multivariate conditional autoregressive models for spatial data analysis. *Biostatistics*, **4**(1), 11–15.

Gelfand, A. E., Kim, H. J., Sirmans, C. F., & Banerjee, S. (2003). Spatial modeling with spatially varying coefficient processes. *Journal of the American Statistical Association*, **98**(462), 387-396.

Griffith, D. A. (1996). Spatial autocorrelation and eigenfunctions of the geographic weights matrix

accompanying geo-referenced data. *Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, **40**(4), 351-367.

Griffith, D. A. (2003). *Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering: Gaining Understanding through Theory and Scientific Visualization.* Springer.

Griffith, D. A. (2008). Spatial-filtering-based contributions to a critique of geographically weighted regression (GWR). *Environment and Planning A*, **40**(11), 2751-2769.

Griffith, D. A. & Chun, Y. (2014). Spatial autocorrelation and eigenvector spatial filtering. *Handbook of Regional Science*, 1477–1507.

Morais, J., & Thomas-Agnan, C. (2021). Impact of covariates in compositional models and simplicial derivatives. *Austrian Journal of Statistics*, **50**(2), 1–15.

Nguyen, T. H. A., Thomas-Agnan, C., Laurent, T., & Ruiz-Gazen, A. (2021). A simultaneous spatial autoregressive model for compositional data. *Spatial Economic Analysis*, **16**(2), 161–175.

Nguyen, T. H. A., Laurent, T., Thomas-Agnan, C., & Ruiz-Gazen, A. (2022). Analyzing the impacts of socio-economic factors on French departmental elections with CoDa methods. *Journal of Applied Statistics*, **49**(5), 1235–1251.

Pawlowsky-Glahn, V., & Egozcue, J. J. (2016). Spatial analysis of compositional data: A historical review. *Journal of Geochemical Exploration*, **164**, 28–32.

Pawlowsky-Glahn, V., & Egozcue, J. J. (2020). Compositional data in geostatistics: A log-ratio based framework to analyze regionalized compositions. *Mathematical Geosciences*, **52**(8), 1067–1084.

Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J. J., & Tolosana-Delgado, R. (2015). *Modelling and Analysis of Compositional Data*. John Wiley & Sons, Ltd.

Seya, H., Murakami, D., Tsutsumi, M., & Yamagata, Y. (2015). Application of LASSO to the eigenvector selection problem in eigenvector-based spatial filtering. *Geographical Analysis*, **47**(3), 284–299.

Tibshirani, R. (1996). Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, **58**(1), 267–288.

Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, **46**, 234.

Xiao, X., & Li, X. (2022). A novel compositional data model for predicting the energy consumption structures of Europe, Japan, and China. *Environment, Development and Sustainability*.

Yoshida, T., & Tsutsumi, M. (2018). On the effects of spatial relationships in spatial compositional multivariate models. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, **11**(1), 57–70.

Yoshida, T., Murakami D., Seya, H., Tsutsumida, N., & Nakaya, T. (2021) Geographically weighted regression for compositional data: An application to the U.S. household income compositions. *GIScience 2021 Short Paper Proceedings. 11th International Conference on Geographic Information Science.* September 27-30, 2021. Poznań:Poland (Online).

犯罪発生時期はどこまで予測できるか
－ 時空間的犯罪予測の試み －

大山智也*・金一坤**

Can we predict the timing of crime?
- An Attempt at Spatio-Temporal Crime Prediction -

Tomoya Ohyama*, Ilgon Kim**

Abstract
Crime prediction, although it is called the prediction of the time/space in which crimes occur, has been biased toward spatial approaches. However, when temporal factors are taken into account, as in the case of day-by-day and time-by-time predictions, it becomes difficult to estimate models for low-frequency events such as crime. This study attempts to address this problem by using clustering of geographic regions with similar socioeconomic and physical environments, while detecting the effects of temporal factors such as seasons, days of the week, and events, as well as the effects of changes in potential offenders/victims/deterrence, and aims to predict crime in detail over time. We combined prediction by regression analysis with prediction by anomaly detection methods and compared its performance with random prediction. We found that our proposed model outperformed it.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)
Keywords: 犯罪予測 (crime prediction)，地理的犯罪分析 (geographical crime analysis)，地理的クラスタリング (spatial clustering)，異常検知 (anomaly detection)

１．はじめに

欧米圏を超えて広がる犯罪予測技術は，不特定多数の人・財物を対象とした犯罪について「犯罪リスクの増大する場所・時を予測するアプローチ」である（Perry et al., 2013）．しかしながら，従来の犯罪予測研究は空間的側面のみに着目し，空間的なリスクの偏りを示す地図を日ごとに作成する，というプロセスを繰り返すことで予測を行ってきた．そして，その日ごとの予測も，直近の犯罪からむこう数週間以内のリスクを高めに設定する，という単純な方法で行われ, 産業的な実装が行われている（たとえば, Mohler et al., 2011; Johnson et al., 2009）．このように，犯罪予測研究は「いつ・どこで」のうち，「どこで」犯罪が起きるかに焦点を当てたものであり，「いつ」起きるかという視点は軽視されてきた．その結果，予測パトロールの現場では，予測された場所は合っていたが，予測された時期がずれていたために犯罪を防げなかった（Ratcliffe et al., 2019）という事態がしばしば起こる．

これを回避するためには，空間ごとのリスクだけでなく，時間ごとのリスクを精緻に予測する必要がある. ただし, マクロなスケール（市全体のような）で，いつ犯罪が発生するかを予測しても，今度はどの地区を警戒すれば良いのかがわからず，有用な予測とはいえない. あくまで, 特定の場所において「いつ」発生するのか，という時間と空間を関連づけた分析が必要となる．

以上の背景から，本研究では，日本のデータを用いながら繁華街，住宅街といった地域特性を考慮した検討を行い，時間的な側面から犯罪予測手法を深化させることを目的とする．具体的には，まず，空間的にある程度詳細な地理的ユニットについて，特定の罪種ごとに，季節，曜日，大規模イベントの有無といった変数を設定し，これらの効果を推定しつつ, これをもとに将来の犯罪発生リスクを予測する．これらは, 前もって情報が確定しており, 時変（time-

*　正会員　東北大学データ駆動科学・AI 教育研究センター（Tohoku University）
〒980-8576　宮城県仙台市青葉区川内 41　E-mail：ohyamaty@gmail.com
**　非会員　仙台大学体育学部（Sendai University）

variant）ではあるものの，静的な要因による予測といえる．次に，こうした静的な要素では捉えきれない，犯行企図者が検挙されず潜伏・犯行を繰り返すことで一時的に増大するリスクを捉えるべく，異常検知の手法を用いる．前段で分析した静的要因による予測よりも高い水準にあるとき，こうした動的要因による犯罪リスク増大があると推測する．この効果は，1 件の犯罪が発生したことにより，犯罪発生リスクが急激かつ一定期間増大する反復被害（Farrell and Pease, 1993）や近接反復被害（Townsley et al., 2003）といった理論の延長にあり，時変かつ動的な要因といえる．これら時変かつ静的・動的な要因を組み合わせることで, 犯罪発生時期を予測する．

なお, 詳細な地理的単位（たとえば町丁目レベル）を分析単位にした場合，季節ごと，曜日ごと…とデータを分割してゆくと，ほとんどが犯罪件数ゼロのレコードからなる不均衡データとなり，パラメータ推定が困難になる可能性が高い．特に，日本の都市のように犯罪発生頻度が低い状況では，その傾向は顕著となる．そこで，本研究では，一つの都市を地域特性に基づいて分割し，共通特徴をもった地理的ユニットの集合ごとに，犯罪発生に対する時間の効果を推定することを試みる．地区の年齢構成，所得水準等の諸変数をもとにクラスター分析で社会地区類型を作成し，これに基づいて隣接ユニットをグルーピングし，時変変数が犯罪に与える効果は，こうした共通特徴をもつ地域内では一様と考える．

このように作成したクラスター内で分析を行うことで，犯罪予測にとってもある程度意味のある地理的単位：町丁目グループで犯罪発生時期を予測することが可能と考えられる．

問題意識やアプローチが類似した既存研究としては，まず， Corcoran et al.（2003）が，都市を 7 つのクラスターに分けて暴力犯罪の日次変動を予測している．初期の犯罪予測研究として注目に値するものだが，この手法では警戒すべき場所を知ることができない. 同じく初期の研究といえる Ivaha et al.（2007）は，犯罪の日次変動と降雨量に着目し，日ごとに犯罪発生クラスターを特定しているが，やはり空間的粒度が低い．最近では Zhu et al.（2019）がシカゴを 6 つの犯罪多発地区に分けて犯罪の日次変動を予測しているが，やはり空間的粒度が低く，犯罪予測には不十分であった． 本研究は，時間的・空間的に高い粒度で曜日, イベント, 天候の犯罪に対する効果, さらに犯行企図者が犯行を継続することで増大するリスクまで推定することを試みるものであり，その点に新規性がある．

２．方法

2.1. データ

研究対象地は，日本の大阪府大阪市であった．大阪市は東京に次ぐ日本の大都市で，人口は 2018 年時点で 2,725,006 人，面積は 225.32km^2 であった．分析の基礎的単位は町丁目であり，1,904 あった．その面積の中央値は 0.091km^2 であった．

分析対象とした犯罪データは，2018，2019 年に発生した車上狙い, および部品狙いを統合した罪種（以下，車上狙い等）とした．分析対象となった認知件数

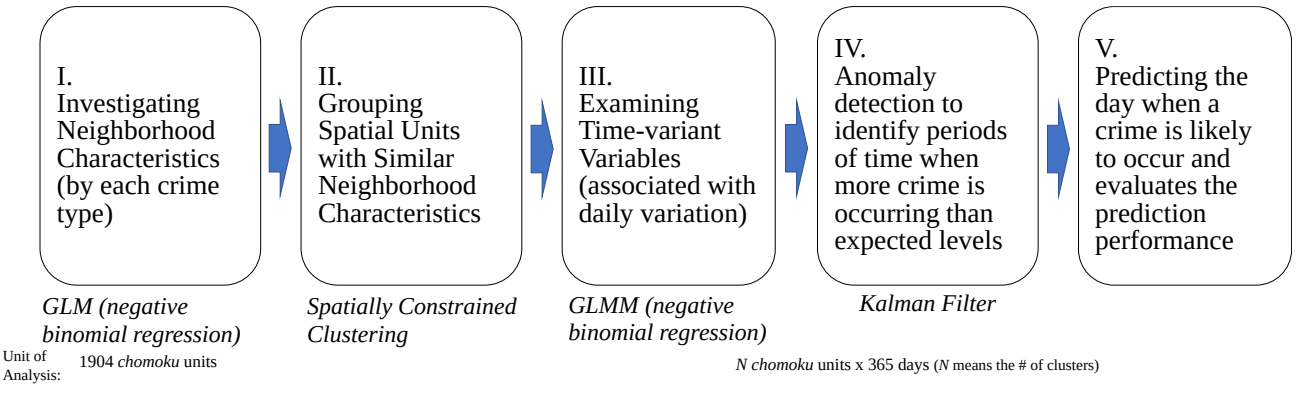


Fig. 1　The structure of current analysis

Table 1. Predictor Variables for the Regression Analysis in Step I

Category	**Variable**
Socioeconomic/Demographic	density_night population *1, density_daytime population *3, rate_elderly male population *1, rate_elderly female population *1, rate_young male population *1, rate_young female population *1, rate_juvenile population *1, rate_white collar population *1, rate_blue collar population *1, rate_population of foreign nationals *1, rate_population living less than 5 years *1, rate_household with single person *1, rate_home-owning households *1, rate_detached households *1, rate_low-rise apartment households *1, rate_households in medium- or high-rise apartment buildings *1, density_wholesale/retail establishments *2, density_hotel/restaurant *2
Physical environment	count_bicycle and motorcycle parking *3count_parking lots *6, distance_stations *2, count_stations *2, distance_bus stops *3, count_bus stops *3, count_medical facilities *3, distance_community centers *3, distance_childcare services/kindergartons *3, distance_elementary, middle and high schools *3, distance_universities/colleges *3, count_public housings *3, distance_government offices *3, distance_police stations/police boxes *3, distance_tourist spots *3, distance_museums/art galleries *3, distance_libraries *3, distance_customer attracting facilities *3, rate_park area ratio *2, rate_vacant lot ratio *2, distance_highways *1, rate_narrow roads *1, density_roads *1

Notes: The data source of each variable are as follows:
*1: Census in 2015; *2: Economic census in 2014; *3: Opendata in Osaka-shi; *4: Japan national land numerical information; *5: Digital Road Map Database extended version 2017; *6: Zenrin's Zmap TOWNII

Table 2. Predictor Variables for the Regression Analysis in Step II

Category	**Variable**
Day of the week	Monday dummy, Tuesday dummy, Wednesday dummy, Thursday dummy, Friday dummy, Saturday dummy, Sunday dummy
Holiday/special day	Christmas dummy (24th and 25th of December), Halloween dummy *1, payday dummy (25th) *2, consecutive holidays dummy
Weather	Maximum temperature (℃), total rain precipitation (mm), maximum wind speed (m/s), average humidity (%)
Other	Number of events with a capacity of 100 people or more *3

Notes *1: If the day is a weekday, the immediately preceding Saturday and Sunday are also included. The dates are the 27th, 28th, and 31st of October in the case of 2018.; *2: The 25th of every month. If the day falls on a holiday, we set it to the immediately preceding weekday. *3: The data are provided from EventBank corp. <https://partners.eventbank.jp/company.do, last viewed on Jan. 25> in Japan. The original data contain when and where various events (e.g., art exhibitions, sports games, flea market, etc.) were held and their event sites' capacity.

は 2018 年で 5,079 件，2019 年で 3,688 件であった．このうち，2018 年のデータを Fig. 1 における I～III における応答変数として，2019 年のデータを IV と V で用いた．

町丁目をグルーピングするために用いた社会経済的，ならびに都市の物理構造的変数を Table 1 に示す．これらは 1 日単位では変動しない，時間的にはある程度固定された環境要因である．また，今回の分析の主目的である時変かつ静的な変数は Table 2 に示す通りである．

2.2. 分析方法

本研究の分析は，Fig. 1 に示す手順で構成される．まず（ステップ I），Table 1 に示す社会経済的，物理構造的変数から 6 罪種の各犯罪に関連する要因を抽出するために回帰分析を行った．従属変数となる刑法犯認知件数は負の値を除いた整数から構成されるカウントデータであり，かつ歪度の高い分布を示すことから，負の二項分布を仮定したモデリングを行った．ここでは全ての町丁目を分析単位として回帰分析を実行し，α=0.05 水準で統計的に有意なパラメータを同定した．

次に（ステップ II），クラスター分析により町丁目グループをグルーピングした．上述の回帰分析に

より抽出した各種の犯罪と関連する変数をもとにクラスター分析を実行した．これにより，町丁目グループは各種の犯罪に関連する社会経済的，または物理構造的特徴が似通った地理的集合に分けられる．ただし，通常のクラスター分析を行った場合，町丁目グループ間の空間的な隣接関係を無視して離れた町丁目グループを同じクラスターに分類することになり，都市をモザイク状に分割してしまうことになる．そのため，ここでは隣接関係を考慮したクラスター分析を行った．これには，Esri 社が提供する標準的な GIS ソフトウェア ArcGIS PRO（ver 2.9.1）の “spatially constrained multivariate cluster analysis”を用いた．このツールは，Assuncao et al. (2006) による Spatial C(K)luster Analysis by Tree Edge Removal (SKATER) アルゴリズム――観測値間の連続性構造を表現した最小スパニング木 (minimum spanning tree) の最適な枝刈り (pruning) を行うことで，選択された変数の値が可能な限り似ている複数のクラスタに木を刈り込む――を利用している．結果的に生成されるクラスターは空間的に隣接するユニットに制限される．クラスターの最大サイズは 20 ㎢ とした．

その後（ステップ III），クラスター分析で見出された空間的なグループごとに，Table 2 に示す時変変数がで日毎の犯罪発生件数を回帰する分析を行った．これには，2019 年の各日の犯罪発生件数を予測する目的だけでなく，犯罪発生と関連する時変・静的な要因を同定する目的もある．分析では，町丁目数×365 日を分析単位として，応答変数である犯罪の認知件数について，誤差項が負の二項分布にしたがうことを仮定した回帰分析を行った．ただし，同一の町丁目内の一日ごとのデータは，必ずしも互いに独立とはいえない．この場合，independent and identically distributed (i.i.d.) の仮定にしたがっておらず，パラメータの有意性を検定する際に Type I error を犯す可能性が高まる．こうした事態に対処するため，本分析では個々の町丁目の切片に変量効果を仮定した generalized linear mixed model（GLMM）を適用し，階層性を考慮した分析を行った．本分析で採用したモデルは以下のように表現できる．

$$logit(P_{ij}) = \beta_{0j} + \sum_{m=1}^{M} \beta_m x_{mij} + r_{ij} \quad (1)$$

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + u_{oj} \quad (2)$$

ここで，添え字 i はある 1 日を，j は町丁目に対応する．P_{ij} は町丁目 j においてある日 i に当該罪種の犯罪が 1 件以上発生する確率を表している．β_{0j} は切片，β_m が m 番目の独立変数 x_m の回帰係数に対応する．r_{ij} は誤差項である．また，町丁目ごとに変動する切片 β_{0j} は，町丁目間で一定の γ_{00} と町丁目間で変動する u_{0j} に分解される．式 (1) は階層性でいうところのレベル 1 の式，式 (2) はレベル 2 の式と表現される．式の通り，予測変数はすべてレベル 1 に投入されており，レベル 2 は予測変数以外の町丁目独自の要因 u_{0j} によって規定される構造となっている．この分析はクラスターの数だけ行われた．なお，曜日ダミーのリファレンス・カテゴリは曜日別に 2018 年の認知件数を集計し，最も少なかった木曜日に設定した．

ステップ IV では，カルマンフィルタを利用した異常検知を行った．カルマンフィルタは，状態空間モデル（観測モデルと，隠れた内部状態を表現したシステムモデルで構成される）の状態を推定するための再帰的アルゴリズムといえ，次の時点での状態の予測分布算出→新たな観測値を得て，観測地と予測値の差から状態の予測を更新することを繰り返す．この更新の際に，補正のための重みとしてカルマンゲインを用いることが特徴である．本分析では，2019 年の観測値を用いて推定された状態（トレンド）に対し，ステップ III で得た静的な時変変数による予測値から推定される状態を比較し，後者が前者の 2 倍以上の水準に達したタイミングを異常な時点とした．こうして検知されたタイミングは，曜日や天候といった予めわかっている要因から予測される水準から逸脱したものであり，犯行企図者のような不確定要素がはたらくことによる状態の変化を示すと考えることができる．カルマンフィルタのための参照期間は過去 2 週間として，2019 年の 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 日ずつ，異常の判定を行った．

最後に（ステップ V），ステップ II で分けられた町丁目グループごとに，2019 年の犯罪発生日を予測し，実際の発生状況との比較を行うことで，予測手法の性能評価を行った．予測にあたっては，まず，ステップ III で得られた時変係数による予測値の高い順に，上位 10%（36 日間）を警戒すべき日としてフラグを立てた（予測 v1）．次に，ステップ IV で異常と判定された日にフラグ立てた（予測 v2）．この v2 では，フラグが立った日数は，異常が検知されたタイミングの多さにより変動するため，クラスタごとに異なる．最後に，ランダムに 36 日を選んでフラグを立てる方法（v0）で予測を行い，評価のベンチマークとした．評価指標は recall: TP/(TP+FN)，precision: TP/(TP+FP)，その調和平均である F1 スコアとした．

本研究における分析は，ステップ II 以外は統計解析環境 R ver 4.0.2 を使用し，ステップ I の回帰分析は MASS パッケージの glm.nb 関数，ステップ III の時変変数による回帰分析は lme4 パッケージの glmer.nb 関数を，ステップ IV の異常検知には KFAS パッケージの SSModel，fitSSM，KFS 関数をそれぞれ用いた．

３．結果および考察

まず，クラスター分析の前段に行った負の二項分布を仮定した回帰分析の結果について取り上げる．ただし，紙幅の関係もあり，本研究の主目的となる分析でもないことから，回帰係数の Wald test において p 値が有意水準 0.05 を下回った予測変数を列挙するにとどめる（Table 3）．

Fig. 2 には，Table 3 で示した変数をもとに，クラスター分析を実行して得られた町丁目グループの空間的集合を示した．これらのクラスター内では，相対的に，各種犯罪に関連する近隣特性が似通っているものと考えられる．クラスターの数は 36 であった．

Table 4 には，ステップ III の結果となる時変変数と犯罪との関連を示す GLMM の結果を示す．ただし，クラスターごとに実行された回帰分析の結果を掲載することは紙幅の関係で難しいため，顕著な結果が見られたクラスターについてのみ紹介している．たとえば，夢洲の東側に位置する埠頭を中心としたクラスター6 ではハロウィンダミー，最高気温，最大瞬間風速といった変数が車上狙い等の発生と関連すると推測される．大阪難波などの繁華街を含むクラスター7 は，給料日ダミー（25 日）が車上狙い等と関連する要因とみなされる．このように，クラスターによって関連する時変変数が異なる様子が見られた．ただし，犯罪が極端に少ないクラスタを中心に，統計的に有意な変数が一つも見られなかったり，パラメータの推定がうまくいかないものも見られた．

Fig. 3 には，Table 4 で示したのと同じ町丁目クラスターについて，観測値（黒）から推定されるトレンド（赤）が，ステップ III で求めた時変変数からの予測値トレンド（青）の 2 倍以上の水準にあると判定された時点を赤丸で示している．クラスター7 などは，観測値から推定されるトレンドの変動が大きいものの，予測値のトレンドも高い水準にあるため，検知されるタイミングは比較的少ない．対して，ク

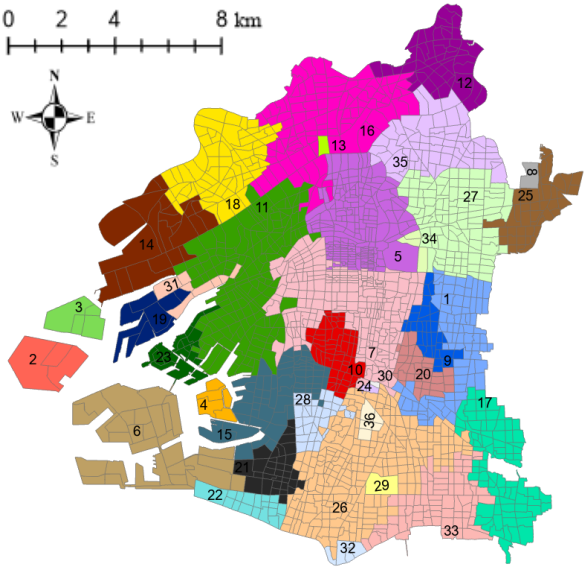


Fig. 1　Spatial Clusters Detected by Step II

Table 3　Statistically Significant Variables (Wald Test, $\alpha = 0.05$) of Regression Analysis in Step I

density_night population (+), rate_young female population (+), rate_juvenile population (+), rate_white collar population (－), rate_population of foreign nationals (+), rate_detached households (－), density_hotel/restaurant (+), count_parking lots (+), count_medical facilities (+), distance_universities/colleges (－), distance_museums/art galleries (－), distance_customer attracting facilities (－), rate_park area ratio (+), density_roads (－)

ラスター28 などは，件数の最大値はクラスター7 の 2 分の 1 程度だが，ステップ III の予測値から推定される水準が低いために，検知されるタイミングが多くなっている．このように，クラスター間での違いが顕著であり，観測値と予測値のバランスで，検知されるタイミングの多寡が異なっていた．

Table 5 には，最終的な予測の評価結果（v2 の F1, recall の高い順にソート）を，Table 6 にはその記述統計を示している．時変変数による予測と，異常検知による予測を組み合わせた v2 でも， recall ではせいぜい 0.5 程度，F1 スコアは 0.3 未満という結果となり，良好なパフォーマンスとはいい難いものであった．ただし，ベンチマークとした v0：ランダム予測でも F1 はせいぜい 0.226 であることは，犯罪発生日を予測することの困難さを表しているともいえる．また，v2 の F1 が上位 3 位までのクラスター7，11，

Table 4　GLMM Result

	C6		C7		C20		C28	
	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.	Estimate	S.E.
(Intercept)	-9.842 ***	1.574	-5.321 ***	0.318	-6.304 ***	0.981	-6.867 ***	0.939
Mon	0.595	0.572	0.152	0.135	1.048 *	0.503	0.189	0.475
Tue	-0.253	0.674	0.066	0.137	0.255	0.563	0.676	0.425
Wed	-0.080	0.642	0.109	0.135	0.341	0.549	0.986 *	0.403
Thu	–	–	–	–	–	–		–
Fri	0.266	0.613	0.147	0.134	0.697	0.509	0.394	0.447
Sat	0.566	0.611	0.137	0.137	1.338 **	0.495	0.702	0.437
Sun	0.418	0.631	0.080	0.139	0.862	0.524	0.578	0.448
Cons	-1.286	0.750	0.204	0.106	-1.383 *	0.599	-0.966 *	0.482
Christ	2.116	1.245	-0.636	0.595	-10.330	40.052	-12.000	685.600
Hallow	1.954 *	0.806	0.457	0.320	-11.173	32.507	1.090	0.635
Payday	1.188	0.610	0.385 *	0.176	0.894	0.500	0.092	0.614
Temp	0.045 *	0.020	0.005	0.004	0.035 *	0.014	0.014	0.012
Rain	-0.055	0.033	-0.005	0.004	0.010	0.009	-0.015	0.013
Wind	0.154 *	0.077	0.010	0.020	0.077	0.044	0.052	0.047
Humid	0.028	0.021	0.001	0.004	-0.013	0.013	0.014	0.012
Ev.≧100	-10.804	161.915	-0.259	0.314	ー	ー	-15.750	12110.000
AIC	555.8		9361.4		913.6		1214.4	
# obs.	11315		86140		12045		12410	
# chomoku units	31		236		33		34	
Variance of Intercept	0.947		0.747		0.325		0.314	

Notes: ***$p < 0.001$; **$p < 0.01$; *$p < 0.05$. Numbers in parentheses below estimated parameters represent standard errors. Cells with a value of "-" are the reference category of day of the week dummy variable. Meanings of the abbreviations in the variable sequence are as follows: Mon: Monday dummy, Tue: Tuesday dummy, Wed: Wednesday dummy, Thu: Thursday dummy, Fri: Friday dummy, Sat: Saturday dummy, Sun: Sunday dummy, Cons: consecutive holidays dummy, Christ: Christmas dummy, Hallow: Halloween dummy, Payday: payday dummy, Temp: maximum temperature, Rain: total rain precipitation, Wind: maximum wind speed, Humid: average humidity, Ev.≧100: number of events with a capacity of 100 people or more.

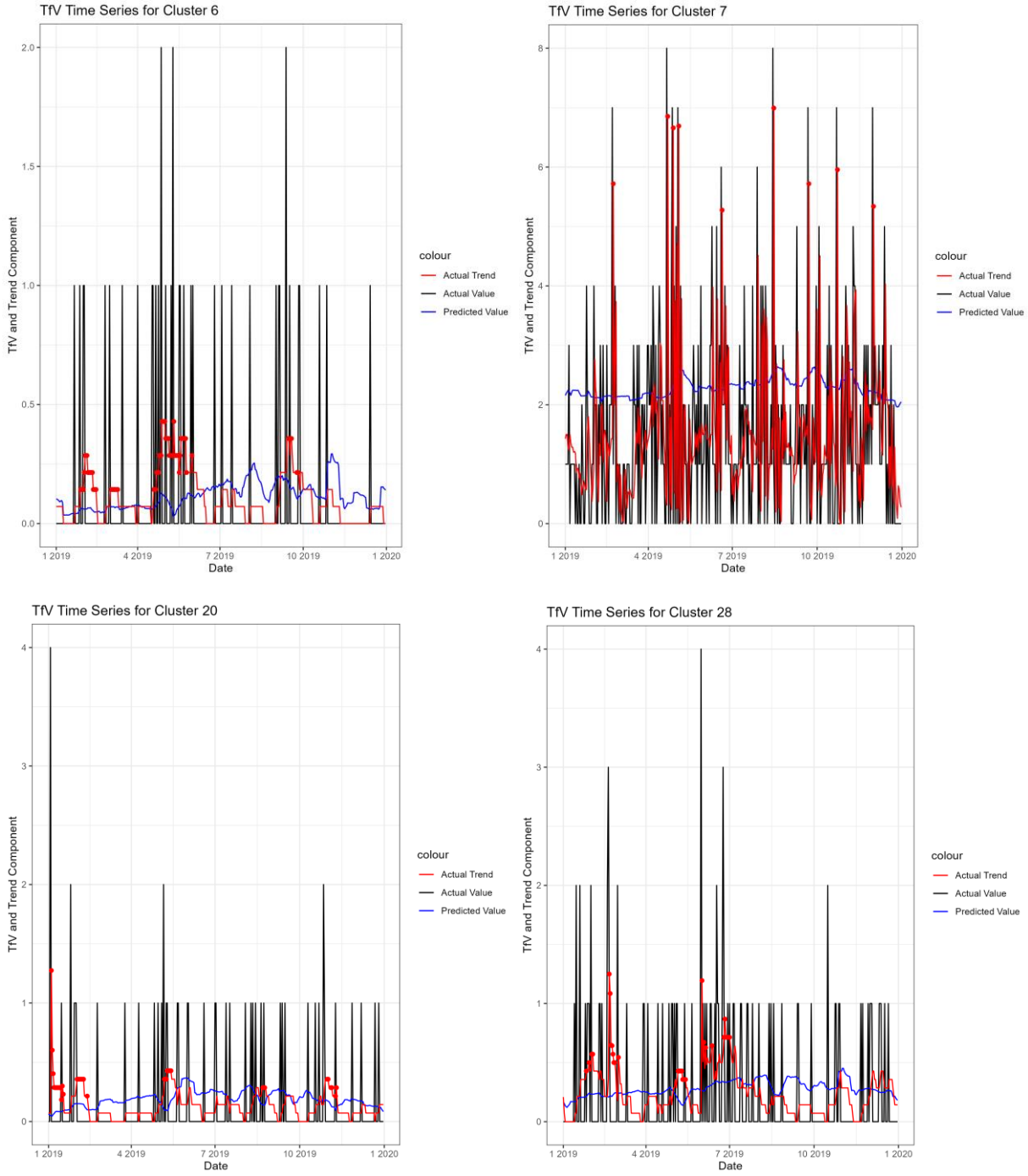


Fig. 3　When the estimated state is determined to be more than twice the predicted level

26 は，recall のわりに precision が高く，保守的な予測（たとえばクラスター7 なら，予測フラグが立った日に警戒をすれば 9 割方，車上狙い等が発生するが，それ以外の日で 8 割以上の犯罪を見逃すことになる）となっていることがうかがえる．陽性が極端に少ない（ここでは犯罪の発生が低頻度な）不均衡データでは，積極的に予測をする場合，recall が高くなる代わりに偽陽性が増え，precision が低くなることが多いが，今回の予測では，recall が 0.1～0.2 程度のものが多く，そのような傾向は見られない．また，低頻度なクラスターほど予測性能が低いということもない．とはいえ，v1，v2 ともに v0 よりも予測性能は高い結果となっており，ランダムに予測するよりもいくぶんは有用なものといえよう．

Table 5 Prediction Performance

cluster	#	#	rate	recall			precision			F1			F1: v1>v0
ID	crime	chomoku		v0	v1	v2	v0	v1	v2	v0	v1	v2	outperform
7	553	236	2.34	0.08	0.15	0.17	0.81	0.92	0.91	0.14	0.26	0.28	1
11	320	157	2.04	0.10	0.10	0.18	0.70	0.65	0.66	0.18	0.18	0.28	1
26	444	243	1.83	0.11	0.12	0.16	0.81	0.84	0.86	0.20	0.21	0.26	1
18	138	68	2.03	0.09	0.08	0.20	0.36	0.30	0.38	0.15	0.13	0.26	1
12	112	49	2.29	0.09	0.13	0.19	0.28	0.37	0.37	0.14	0.19	0.25	1
5	253	198	1.28	0.13	0.08	0.15	0.71	0.51	0.63	0.23	0.14	0.25	1
33	135	73	1.85	0.08	0.16	0.16	0.29	0.49	0.47	0.13	0.24	0.24	1
6	38	31	1.23	0.13	0.11	0.45	0.14	0.11	0.16	0.14	0.11	0.24	1
17	110	80	1.38	0.05	0.09	0.17	0.16	0.27	0.38	0.08	0.14	0.24	1
10	184	58	3.17	0.07	0.10	0.14	0.32	0.43	0.45	0.11	0.17	0.21	1
27	250	104	2.40	0.06	0.08	0.12	0.40	0.45	0.50	0.11	0.13	0.19	1
21	88	33	2.67	0.11	0.09	0.18	0.27	0.22	0.20	0.16	0.13	0.19	1
25	66	43	1.53	0.11	0.12	0.15	0.19	0.21	0.23	0.14	0.15	0.18	1
16	232	111	2.09	0.08	0.08	0.11	0.48	0.49	0.50	0.14	0.14	0.18	1
15	134	63	2.13	0.11	0.07	0.13	0.38	0.25	0.28	0.17	0.11	0.17	1
20	49	33	1.48	0.06	0.08	0.18	0.08	0.11	0.12	0.07	0.09	0.15	1
9	45	34	1.32	0.11	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	0.12	0.14	0.14	1
1	170	82	2.07	0.06	0.08	0.08	0.28	0.36	0.36	0.10	0.13	0.13	1
28	89	34	2.62	0.08	0.06	0.10	0.19	0.14	0.14	0.11	0.08	0.12	1
36	15	5	3.00	0.07	0.13	0.27	0.03	0.06	0.06	0.04	0.08	0.10	1
23	19	20	0.95	0.05	0.05	0.37	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.09	1
31	8	8	1.00	0.00	0.25	0.50	0.00	0.06	0.04	NA	0.09	0.08	1
14	21	23	0.91	0.00	0.14	0.14	0.00	0.08	0.04	NA	0.11	0.06	1
32	4	4	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.03	NA	NA	0.05	1
3	4	4	1.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.01	NA	NA	0.02	1
8	4	1	4.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.01	NA	NA	0.02	1
24	5	2	2.50	0.00	0.20	0.20	0.00	0.03	0.01	NA	0.05	0.02	1
35	130	66	1.97	0.10	0.09	0.10	0.34	0.30	0.28	0.15	0.14	0.15	0
22	42	18	2.33	0.14	0.07	0.12	0.17	0.08	0.07	0.15	0.08	0.09	0
4	13	5	2.60	0.15	0.00	0.46	0.06	0.00	0.04	0.08	NA	0.07	0
13	4	1	4.00	0.25	0.25	0.50	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0
19	3	9	0.33	0.33	0.33	0.33	0.03	0.03	0.01	0.05	0.05	0.03	0
29	5	1	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA
34	1	3	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA
2	0	3	0.00	NA	NA	NA	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA
30	0	1	0.00	NA	NA	NA	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA

Table 6 Descriptive Statistics of Prediction Performance

	recall_v0	recall_v1	recall_v2
Min.	0.000	0.000	0.000
Median	0.080	0.091	0.170
Mean	0.084	0.101	0.210
Max.	0.333	0.333	0.500
NA's	2	2	2
	precision_v0	precision_v1	precision_v2
Min.	0.000	0.000	0.000
Median	0.151	0.125	0.150
Mean	0.213	0.221	0.235
Max.	0.811	0.923	0.911
NA's	0	0	0
	F1_v0	F1_v1	F1_v2
Min.	0.036	0.036	0.022
Median	0.131	0.129	0.148
Mean	0.122	0.126	0.150
Max.	0.226	0.261	0.281
NA's	10	8	4

予測のバージョンで, v1 と v2 の違いを見ると，ほとんどの場合で F1 は後者の方が高く，recall や precision も同様である．ランダムな予測と比べても，v1 は v2 よりもやや劣る結果となり，ステップ IV の異常検知による予測を加えた方が，予測パフォーマンスが高くなると考えられる．これは，時変かつ静的な曜日や休日，季節，気候，催しといった要因のみから犯罪発生時期を予測することは難しいことを示唆している．ただし，それ自体が無用であるわけではなく，そうした要因から予測される水準を犯罪発生の実態が上回っているときに警戒を行うことで，抑止が可能であることも，今回の結果は同時に示唆する．

クラスター間の差を見ると，先にも触れたクラスター7 は v2 の precision が 0.9 程度と高いが，これは Fig. 3 で示したように，異常検知ポイントが少ないことを反映していると考えられる．逆にクラスター6 は，発生水準が低いわりに異常検知ポイントが相対的に多いが，v2 の recall は 0.45 と比較的高めである一方，precision は 0.16 と低く，誤検知が多くなっている．ただし，このような傾向と犯罪発生頻度の間に，一定の傾向があると結論づけることはできない．

最後に，今回は町丁目をまとめたクラスターごとに犯罪発生日の予測が行われたが，クラスターによって広さ・含まれる町丁目数は異なり，実用にあたっては，警察署や交番の配置も考慮しながら警戒すべき日・場所を定めてゆく必要がある．この点は，実装に関連した課題として今後新たに研究を進めてゆく必要があろう．

謝辞

本研究で用いたいくつかのデータは，東京大学空間情報科学研究センターとの共同研究（プロジェクト No. 756）で提供されたものである．また，本研究は科研費 21K14365 の助成を受けて行われた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

Assunção, R. M., Neves, M. C., Câmara, G., and da Costa Freitas, C. (2006) Efficient regionalization techniques for soci-economic geographical units using minimum spanning trees. *International Journal of Geographical Information Science*, **20**(7), 797-811.

Corcoran J., Wilson I., and Ware J. (2003) Predicting the geo-temporal variations of crime and disorder, *International Journal of Forecasting*, **19**(4), 623-634.

Farrell, G., and Pease, K. (1993) *Once bitten, twice bitten: Repeat victimisation and its implications for crime prevention*., London: Home Office.

Ivaha C., Al-Madfai H., Higgs G., and Ware J. (2007) The Dynamic Spatial Disaggregation Approach: A Spatio-Temporal Modelling of Crime, *World Congress on Engineering*, 961-966.

Johnson S., Bowers K., Birks D., and Pease K. (2009) Predictive mapping of crime by ProMap: accuracy, units of analysis, and the environmental backcloth, in *Putting*

crime in its place: units of analysis in spatial crime research, D. Weisburd, W. Bernasco, and G. Bruinsma, Eds. New York: Springer, pp. 171-198.

Mohler G., Short M., Brantingham P., Schoenberg F., and Tita G. (2011) Self-exciting point process modeling of crime, *Journal of the American Statistical Association*, vol. **106**, 100-108.

Perry W., Mclnnis B., Price C., Smith S., and Hollywood J. (2013) *Predictive policing: The role of crime forecasting in law enforcement operations,* Rockville: NCJRS Photocopy Services, xiv pp.

Ratcliffe J., Taylor R., and Fisher R. (2019) Conflicts and congruencies between predictive policing and the patrol officer's craft, *Policing and Society*, **30**(6), 639-655.

Townsley, M., Homel, R., and Chaseling, J. (2003) Infectious burglaries. A test of the near repeat hypothesis. *British Journal of Criminology*, **43**(3), 615-633.

Zhu Q., Zhang F., Liu S., and Li Y. (2019) An anticrime information support system design: Application of K-means-VMD-BiGRU in the city of Chicago, *Information & Management*, **103247**.

総合指標作成のための Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)の提案

堤田成政*，村上大輔，吉田崇紘***，中谷友樹*****

A spatially hierarchical Benefit of the doubt (BoD) for composite indicator

Narumasa Tsutsumida *, Daisuke Murakami**, Takahiro Yoshida***, Tomoki Nakaya****）

Abstract The composite indicator (CI), summarizing multidimensional data, helps understand complex spatial phenomena. Various methods, such as principal components analysis (PCA) and Benefit of the Doubt (BoD), have been applied to create a CI using weighted sums. However, previous studies have reported that changes in the spatial range of interest for spatial data can make the CI and weights calculated by PCA and BoD unstable. Therefore, in this study, we propose a spatially hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD) that incorporates the hierarchical structure for creating a CI in data where spatial hierarchy can be set. Specifically, we define spatial hierarchy and incorporate BoD into a hierarchical Bayesian model. We apply SH-BoD using the development of a comprehensive risk evaluation index for earthquake damage and tidal flood risk by Tokyo's 23 special wards as an example, setting it as a spatial structure with meaning as administrative areas.

Keywords: ベイズ更新 (Bayesian updating), 災害リスク (Disaster risk), 多変量空間データ (Multivariate spatial data), 空間範囲選択（Region of Interest selection）

１．はじめに

総合指標は，多様な指標を一つに集約するための手法として，様々な分野で利用されている．複雑な空間的事象を簡便に把握する事が可能となるため，災害リスク評価など，政策立案や評価のための資料としての役割を果たしている．そのため，空間的な広がりを持つ事象・現象においては，評価地点間の総合評価の差異を明確にし，かつそれを構成する各指標の影響度合い（重み）を適切に把握する必要がある．

総合指標の作成には，主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)や Benefit of the Doubt (BoD)といった複数の入力変数の加重和が多く用いられる．堤田ら（2022）は，PCA，地理的加重主成分分析（Geographically Weighted Principal Components Analysis, GWPCA），BoD による総合指標を比較したところ，総合指標ならびに重みの推定が空間範囲の選択に対して頑健ではないことを明らかにした．領域全体を対象とした場合と，空間範囲をある地域に特定した場合の総合指標から算出された評価地点別ランキングに着目すると，PCA は比較的安定した結果を示したが，GWPCA, BoD は空間範囲の選択によりランキングが大きく変動することが確認された．これは例えば，ある全国の市町村ランキングを算出し，そのうちある県内のランキングに着目したとする．この県内のデータのみを用いて同一の手法を適用し結果を比較してみると，ランキングに違いが生じる場合がある，ということである．このような場合，同じデータを用いたにも関わらず，空間範囲の選択によって総合指標の結果が変わることになり，解釈が難しい．また，重みについては，PCA ではどの評価地点においても重みが一定となるため，各地点の特性を重みに反映することができないこと，GWPCA では，重みの地理的な変動を許すが，空間範囲の境界付近で重みが不安定化すること，BoD においては，総合指標および重みが最大値をとる地点が複数存在し，地点間の差異を明確に表現できない場合があることを示した（堤田ら，2022）．

総合指標作成手法のなかでも，BoD は，各地点で

* 正会員 埼玉大学大学院理工学研究科 (Saitama University) narut@mail.saitama-u.ac.jp
** 正会員 統計数理研究所データ科学研究系 (The Institute of Statistical Mathematics) dmuraka@ism.ac.jp
*** 正会員 東京大学空間情報科学研究センター (The University of Tokyo) yoshida@csis.u-tokyo.ac.jp
**** 正会員 東北大学大学院環境科学研究科 (Tohoku Univerisity) tomoki.nakaya.c8@tohoku.ac.jp

の重みを算出することが可能であり，これにより，地点ごとの特性を反映した指標作成が期待されている．BoD は数理計画法により入力変数の重みを推定し，総合指標を算出する手法であるが，重みが極端な値（0 もしくは 1）をとることもあり，これにより一部の変数のみが総合指標に寄与する結果となるという課題もある．

そこで本研究では，空間的な階層構造を取り入れた BoD の改良手法，Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)を提案する．この手法は，階層的な空間構造を想定し，それに基づく BoD の結果を統合するものである．具体的には，空間範囲の選択に頑健な重みが存在するとし，それに向けて各結果をベイズ更新により統合することを目指す．

２．手法

2.1. Benefit of the Doubt (BoD)

BoD は，総合指標の作成に使用される方法の一つで，データ包絡分析 (Data Envelope Analysis, DEA) に基づいている (Cherchye et al., 2007)． DEA は，特定の意思決定単位が、他の意思決定単位と比較してどれだけ資源（入力データ）を効率的に使用するか，を示す効率スコアを算出する．BoD は、この効率スコアを下記のような形で総合指標として算出する．ここで，ある意思決定単位（以下，評価地点）iの総合指標CI_iを計算するため，BoD では以下の線形計画問題を考える．評価地点の数をn，考慮する指標の数をm，評価地点iのj番目の指標の評価値をx_{ij}とする．各指標は種類や単位が異なっても良いが，値のとる範囲を制限するため， 評価値は指標ごとに最小値 0，最大値 1 で正規化する．ここで，CI_i は，以下の最適化問題によって計算される．

$$\max \quad CI_i = \sum_{j=1}^{m} w_{ij}\, x_{ij}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{m} w_{ij}\, x_{ij} \le 1 \quad \text{for all } i$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_{ij} = 1$$

$$w_{ij} \ge 0 \quad \text{for all } j$$

ここで w_{ij} は評価地点iでの第j指標の重みである．この最適化問題は，各評価地点iは自らに最も有利な重みw_{ij}を選択する特性があり，地点ごとに異なる値をとることができる．BoD は多くの総合指標作成事例で適用されてきた一方，課題もみられる (Sayed et al., 2015)．例えば，重みの非負の制約により，重みがゼロの値を取ることが許されているため，ある指標が全く寄与せず，また，一つの指標の寄与のみで CI が決定される地点が発生する場合がある(Cherchye et al., 2008)．また，複数の評価地点で$CI = 1$となる事例が報告されており，その結果，地点間の差異を明確にできない可能性がある (Zhou, Ang, and Poh 2007)． さらに，評価地点数nが変化した場合，最小値 0，最大値 1 で正規化されるスコアに影響が及ぶため，x_{ij}の値が変化する．そのため，w_{ij}およびCI_iの推定がnに頑健でない．すなわち，分析対象とする空間範囲を変更した場合，推定した重みおよび総合指標の値が変化する可能性がある．

2.2. Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)

ここで，対象とする領域は，複数の地域にグルーピングされているとする．全観測地点の集合をO，O内のグループの集合をGとする．対象領域を地域ごとに分割した空間構造が，BoD で得られる重みに影響を及ぼすと仮定し，その影響を受けない（空間構造に頑健な）重みが存在するとする．まず，評価地点iにおいて，全評価地点を用いて BoD を適用した重み $\boldsymbol{w}_{iO} = (w_{iO,1}, \ldots, w_{iO,m})$ と，グループごとに BoD を適用した重み $\boldsymbol{w}_{iG} = (w_{iG,1}, \ldots, w_{iG,m})$ を算出する．最終的に求める評価地点iの重み $\boldsymbol{\theta_i} = (\theta_{i,1}, \ldots, \theta_{i,m})$は，事前分布を $\boldsymbol{w}_{iG}$に従うディレクレ分布として推定し，さらに$\boldsymbol{w}_{iO}$により$\boldsymbol{\theta_i}$を更新する．

$$\boldsymbol{\theta_i} \sim \text{Dirichlet}(\boldsymbol{w_{iG}})$$
$$\boldsymbol{w_{iO}} \sim \text{Dirichlet}(\boldsymbol{\theta_i})$$

$\boldsymbol{\theta_i}$の事後分布をマルコフ連鎖モンテカルロ法より推定する．最終的に得られた重みを$\boldsymbol{\theta'_i}$とし，SH-BoD による総合指標CI'_iを，

$$CI'_i = \sum_{j=1}^{m} \theta'_{ij}\, x_{ij}$$

として算出する．なお，ここで用いるx_{ij}はグループごと，もしくは全観測地点の集合Oのなかで指標ごとに最小値 0，最大値 1 で正規化されていることに留意する．

３．データ

本研究では，東京都 23 区の地震被害と高潮浸水のリスクを総合的に勘案した総合リスク評価を町丁目単位で実施し，空間範囲の設定によるランキングおよび重みへの影響に着目する．堤田ら(2022)と同様に，地震被害リスクデータは，東京都都市整備局が公開している地震に関する地域危険度測定調査データ (https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/chousa_6/home.htm)と，高潮浸水リスクデータは東京都港湾局が公開している高潮浸水想定区域図 (https://catalog.data.metro.tokyo.lg.jp/dataset/t000015d0000000037) を用いた．地震に関する地域危険度測定調査では，全ての町丁目の直下の地盤で同じ強さの揺れが生じた場合の危険性を想定し，建物崩壊危険度，火災危険度，災害時活動困難度を数値化したも

のである．高潮浸水想定区域図は，既往の最大規模の台風（910 hPa）により東京湾に最大の高潮が発生し，同時に河川洪水が発生したシナリオを想定した町丁目別の想定最大浸水深，および想定最大浸水継続時間である．

４．結果

4.1. Benefit of the Doubt (BoD)

BoD を東京都 23 区全域に適用した際の総合指標を図 1 に示す．本事例では，入力データに各リスク指標を用いているため，ここでの総合指標はそれぞれのリスクを包括的に鑑みた最大の総合リスクを示していると考えることができる．主に，江東区，江戸川区，葛飾区で高リスク地点が集積していることがわかる．総合指標を町丁目ごとに順序化しランキングの分布を示したものが図 2 である．ランキングが低いほど高リスクであることを示している．これによると，もっともリスクの高い同一ランクの地点が多く存在し、これらの差異を示すことができていない．また，重みの分布を確認すると，特に災害時活動困難度，高潮想定最大浸水深の変数において，重みが 1 となる地区が多く存在していることがわかる（図 3）．このように，BoD を 23 区全域に適用すると，地区ごとに総合指標とその重みが算出することができるが，地域によっては，地区ごとの差をうまく表現できていないことがわかる．

続いて，23 区それぞれの範囲において BoD を適用し，総合指標を算出することを考える．23 区全域に BoD を適用した総合指標ランキングと，23 区それぞれで算出した総合指標ランキングのスピアマン相関係数をみると，必ずしも高い相関関係にないことが確認できる（図 4）．例えば江東区では最も高い相関（0.99）であるが，台東区では最も低い相関（0.58）を示した．このことから本事例では，BoD は空間範囲の選択に頑健でないことが確認できる．

4.2. Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)

空間範囲の選択を 23 区全域もしくは区ごととし，それぞれの BoD の結果を統合するために SH-BoD を適用した総合指標を図 5 に示す．ここでx_{ij}は，全観測地点のなかで，指標ごとに最小値 0，最大値 1 で正規化されたものを使用した．分布の傾向は図 1 と類似し，値が全体的に抑えられている．しかし，ランキング化した分布からは，同一ランキングの地区は確認されなかった．また，23 区全域に BoD を適用した総合指標ランキングと，23 区それぞれで算出した総合指標ランキングのスピアマン相関係数はすべての区で 1 となり，区内の順位の変動はみられなかった．重みの分布を確認すると（図 6），こちらも全体的に値が低く抑えられていることがわかる．

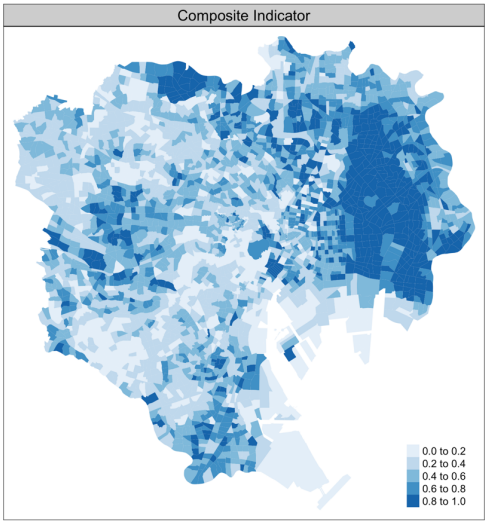


図 1. 東京都 23 区全域に Benefit of the Doubt (BoD)を適用した際の総合指標の分布

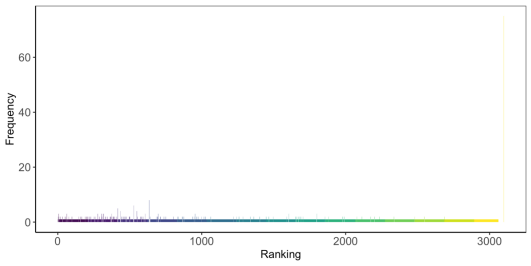


図 2. 東京都 23 区全域に Benefit of the Doubt (BoD)を適用した際の総合指標ランキングのヒストグラム

５．考察

BoD は，評価地点ごとに最も総合指標が高くなるように重みを設定する．しかしながら，BoD の算出結果は，重みが極端な値（0 もしくは 1）となる地点が多くみられ（図 3），一部の変数が過度に大きく（もしくは小さく）総合指標の影響を及ぼすことがことが，本事例では確認された．また，空間範囲の選択に頑健でなく，その点においても更なる改良が必要であるといえる．本研究で提案した SH-BoD は，対象領域を複数の地域に分割し，それぞれで適用した BoD と全体の BoD の結果を統合させた Decision Fusion アプローチである．空間範囲の選択に頑健な重みを算出できたことで，極端な重みが是正されたことが確認できたとともに，同一ランキングが発生する課題も解消された．

本稿では空間階層を 23 区全域および各区，と設定したが，より高階層化した場合や詳細に空間範囲を分割した場合などに，どの程度結果に影響を及ぼすかについては明らかにできておらず，今後の課題である．

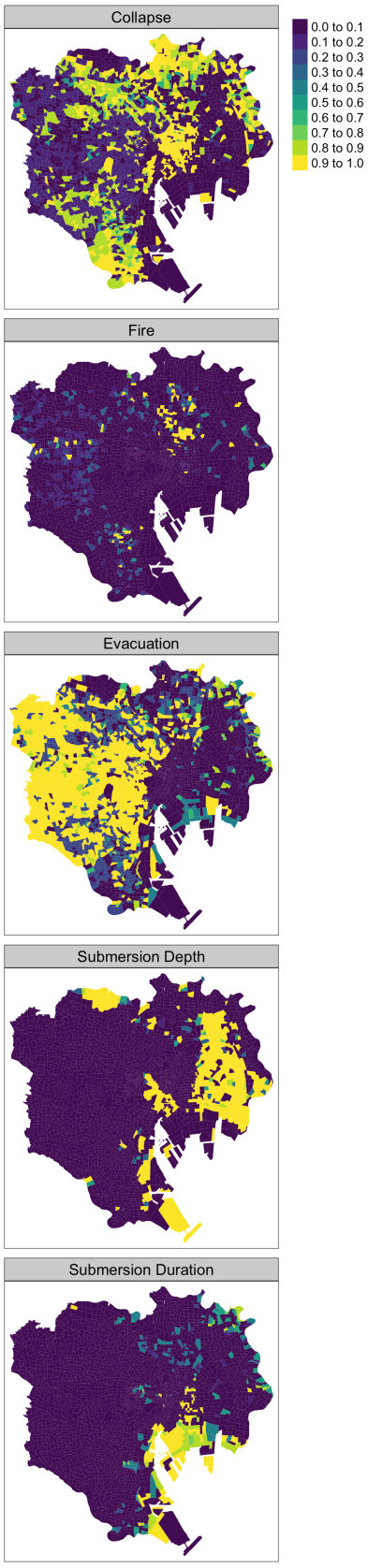


図 3. 東京都 23 区全域に Benefit of the Doubt (BoD)を適用した場合の重みの分布

6. おわりに

本稿では, 空間階層構造を取り入れた BoD の改良手法である Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)を提案した. 従来の BoD での課題であった, 極端な重みの是正が確認できたとともに, 同一ランキングが発生する課題を克服した. 今後は, 複雑な空間階層構造の設定による結果への影響について検討する必要がある.

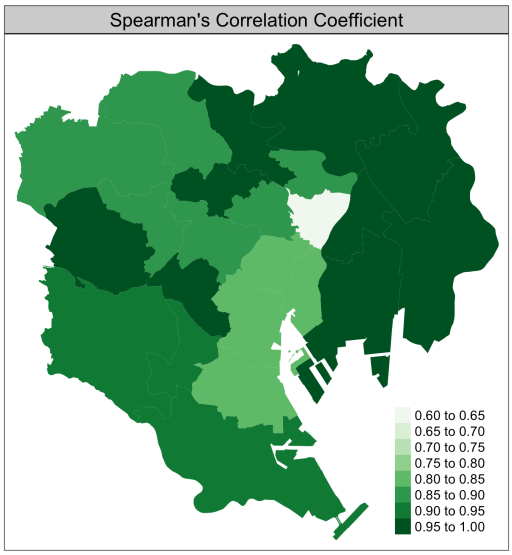


図 4. 各区の総合指標のランキングと 23 区全域に BoD を適用した総合指標のランキングのスピアマン相関係数の分布

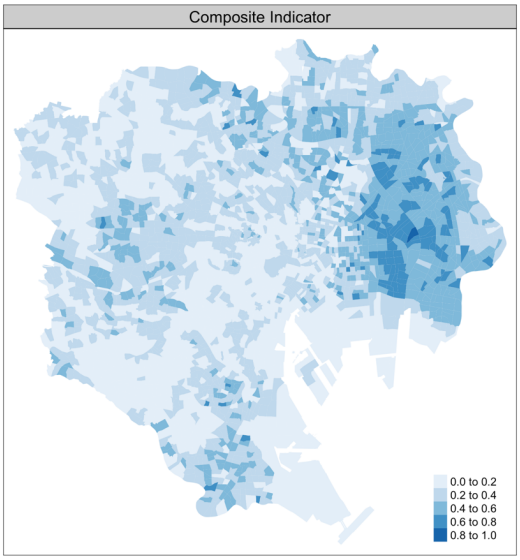


図 5. Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)を適用した際の総合指標の分布

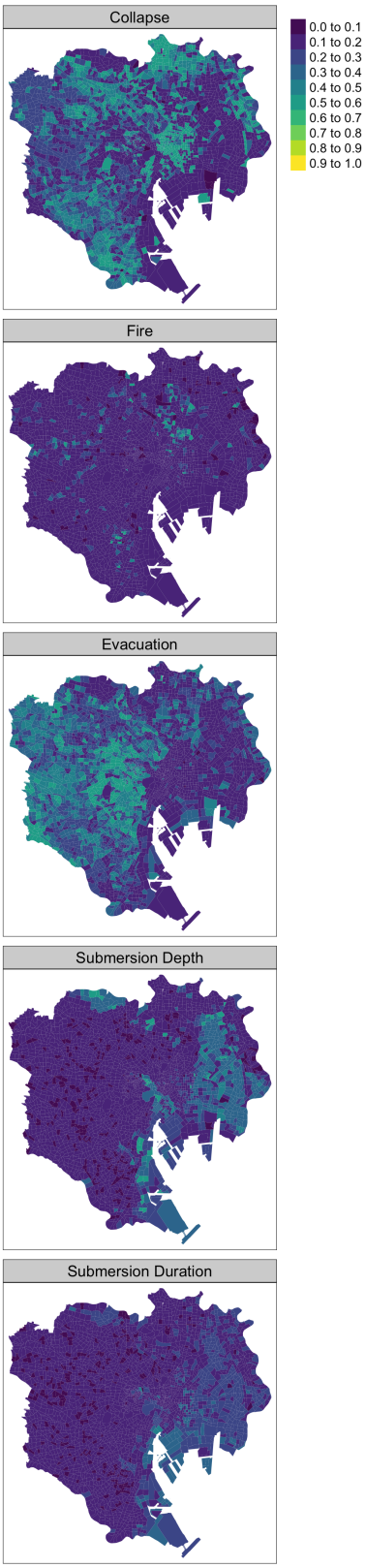


図 7. 東京都 23 区全域に Spatially Hierarchical Benefit of the Doubt (SH-BoD)を適用した場合の重みの分布

Acknowledgement

本研究は，ROIS-DS-JOINT（005RP2021，006RP2022，010RP2023）の支援を受けて実施したものである．また，オープンデータとしてデータを無償公開している東京都都市整備局および東京都港湾局に感謝申し上げる．

参考文献

Cherchye, Laurens, Willem Moesen, Nicky Rogge, and Tom Van Puyenbroeck. 2007. “An Introduction to ‘Benefit of the Doubt’ Composite Indicators.” *Social Indicators Research* 82 (1): 111–45. https://doi.org/10.1007/s11205-006-9029-7.

Cherchye, L, W Moesen, N Rogge, T Van Puyenbroeck, M Saisana, A Saltelli, R Liska, and S Tarantola. 2008. “Creating Composite Indicators with DEA and Robustness Analysis: The Case of the Technology Achievement Index.” *The Journal of the Operational Research Society* 59 (2): 239–51. https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602445.

Sayed, Hussein, Ramadan Hamed, Mohamed Abdel-Ghani Ramadan, and Samaa Hosny. 2015. “Using Meta-Goal Programming for a New Human Development Indicator with Distinguishable Country Ranks.” *Social Indicators Research* 123 (1): 1–27. https://doi.org/10.1007/s11205-014-0723-6.

Zhou, P, B W Ang, and K L Poh. 2007. “A Mathematical Programming Approach to Constructing Composite Indicators.” *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics* 62 (2): 291–97. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.020.

堤田成政，村上大輔，吉田崇紘，中谷友樹．2022. “多変量の地理空間データからの総合指標作成手法の比較.” *地理情報システム学会第３１回講演論文集.*

Sub-model aggregation による地理的加重回帰の安定化・高速化

村上大輔*，堤田成政，吉田崇紘***，中谷友樹*****

Flexible geographically weighted regression through sub-model aggregation

Daisuke Murakami*, Narumasa Tsutsumida**, Takahiro Yoshida***, Tomoki Nakaya*****

Abstract: This study aims to establish a stable geographically weighed regression (GWR) through sub-model aggregation. In this method, local models, which are estimated a priori, are sequentially synthesized/aggregated just like a boosting, to build a flexible GWR-type model. Unlike basic GWR, its bandwidths determining the map pattern of local coefficients can vary according to space and covariates. Besides, the proposed method does not require a matrix inversion of a design matrix that can make usual GWR unstable. The proposed method is expected to be more flexible and table than the conventional one. Performance of the proposed method is examined through a residential land price analysis in Ibaraki.

Keywords: 地理的加重回帰 (geographically weighted regression), Sub-model aggregation, 住宅地価 (residential land price), 混合モデル (mixture model)

１．はじめに

場所毎の回帰係数である局所回帰係数を推定する地理的加重回帰（Geographically weighted regression: GWR；Fotheringham et al., 2003）は環境、生態、犯罪、疾病などを対象とした幅広い空間解析に用いられてきた。GWR 自体の高速化や柔軟化の研究もまた近年まで活発であり，今後より適用事例が増えていくことが期待できる。

GWRモデルの推定には加重最小2乗法（Weighted Least Squares: WLS）が用いられる。WLS を用いることで回帰係数推定量の不偏性や有効性が担保される。その反面、説明変数間に多重共線性がある場合に推定量が不安定になりやすい．特に GWR の場合，各説明変数が同じカーネルで重みづけられるため，基礎的な線形回帰に比べて多重共線性が深刻化しやすい（Wheeler and Tiefelsdorf, 2005）．

より安定的に GWR モデルを推定するために，本研究では sub-model aggregation を応用した，多重共線性の影響を受けにくい新たな局所回帰係数の推定手法を提案する．同手法では，説明変数が 1 つだけの局所モデルを逐次混合していくことで最終的な局所回帰モデルを生成する．通常の GWR とは異なり，説明変数が 1 つのモデルでは多重共線性の問題が発生しづらくなるため，より安定的なモデル推定が期待できる．

以降，2 章では基礎的な GWR，3 章では提案手法，4 章では実データへの応用，5 章では以上の結果のまとめと今後の課題を簡単に説明する．

２．Geographically weighted regression (GWR)

2.1．モデル

地点 i の GWR モデルは下式で定義される．

* 正会員 統計数理研究所 データ科学研究系 (Institute of Statistical Mathematics) dmuraka@ism.ac.jp
** 正会員 埼玉大学 大学院理工学研究科 (Saitama University) narut@mail.saitama-u.ac.jp
** 正会員 東京大学 空間情報科学研究センター (The University of Tokyo) yoshida@csis.u-tokyo.ac.jp
** 正会員 東北大学 大学院環境科学研究科 (Tohoku University) tomoki.nakaya.c8@tohoku.ac.jp

$$y_i = \sum_{k=1}^{K} x_{i,k}\beta_{i,k} + \varepsilon_i \quad E[\varepsilon_i] = 0 \quad Var[\varepsilon_i] = \sigma^2 \qquad (1)$$

ここで y_i は被説明変数，$x_{i,k}$ は k 番目の説明変数，ε_i は撹乱項，σ^2 は分散パラメータである．

GWR は地点 i からの直線距離に応じて各標本を重み付けることで，地点 i 付近のデータにみられる特性を最もよく説明するような回帰係数を推定する．同地点の回帰係数ベクトル $\boldsymbol{\beta}(s_i)=[\beta_{i,1},\ldots\beta_{i,1},\ldots\beta_{i,K}]'$ の推定量は下式となる：

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}(s_i) = [\mathbf{X}'\mathbf{W}(s_i)\mathbf{X}]^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{W}(s_i)\mathbf{y} \qquad (2)$$

$\mathbf{y}$ は被説明変数ベクトル，$\mathbf{X}$ は説明変数行列である．$\mathbf{W}(s_i)$ は地点 j に対する重みを第 j 要素にもつ対角行列である．重みは距離 $d_{i,j}$ の減衰関数で与えられる。例えばガウスカーネル $w(s_i, s_j)=\exp(-(d_{i,j}/b)^2)$ はよく用いられる関数の 1 つである．ここで b はバンド幅と呼ばれるパラメータであり，b が小さい場合に回帰係数は局所的な空間パターンを持ち，大きい場合に大域的なパターンを持つ．

３．提案手法

3.1．モデル

本節では局所モデル L 個（添え字：$l \in \{1,\ldots,L\}$）を混合することで対象地域全域の局所回帰係数を推定する．以降，すべての局所モデルが与えられた下での地点 i の被説明変数の分布は $y_{i|1:L}$，l 番目の局所モデルが与えられた下での同分布は $y_{i|l}$ のように表現する．

以下の混合モデルを考える：

$$y_{i|1:L} \sim \sum_{l}^{L} w_{i|l} N\left(x_{i,k(l)}\beta_{i,k(l)}, \sigma^2_{i|l}\right), \qquad (3)$$

上式は説明変数が 1 つの局所モデル(4)式を L 個混合したものである．

$$y_{i|l} \sim w_{i|l} N\left(x_{i,k(l)}\beta_{i,k(l)}, \sigma^2_{i|l}\right), \qquad (4)$$

$k(l) \in \{1,\ldots,K\}$ は局所モデル l の説明変数を表す．この説明変数は局所モデル毎に異なる点に注意されたい．なお説明変数を局所モデル毎に 1 つとしたのは多重共線性の影響を緩和するためである．

$w_{i|l}$ は局所モデル l の地理的重みであり，本研究では以下のガウスカーネルで与える：

$$w_{i|l} = \exp\left(-\left(\frac{d_{i,c_l}}{b_i}\right)^2\right), \qquad (5)$$

b_i は地点 i のバンド幅、c_l は局所モデル l のカーネルの中心座標、d_{i,c_l} は同中心点から地点 i までの直線距離を表す．(4)式は地点 c_l の周辺で局所モデル l をより強く重みづけるものであり，GWR が標本を地理的に重みづけるのに対し，上式は局所モデル自体を地理的に重みづけるものである．

正規分布の加重和も正規分布という性質を利用すると，(3)式は GWR モデル（1 式）と似た以下の形で書ける：

$$y_{i|1:L} = \sum_{k=1}^{K} x_{i,k}\beta_{i,k|1:L} + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim N\left(0, \sigma^2_{i|1:L}\right), \qquad (6)$$

$$\beta_{i,k|1:L} = \sum_{l}^{L} \delta(k(l) = k) w_{i|l}\beta_{i,k(l)}, \qquad (7)$$

ここで $\delta(k(l) = k)$ は l 番目のサブモデルで k 番目の説明変数が用いられた場合に 1，さもなくば 0 である．$\beta_{i,k|1:L}$ は地点 i における k 番目の局所回帰係数を表す．

3.2．推定

提案手法の主な目的は局所回帰係数 $\beta_{i,k|1:L}$ を推定することである．簡便には，各局所モデル（4 式）から得られる推定量 $\hat{\beta}_{i,k(l)}$ を(7)式に代入することで場所毎の回帰係数 $\hat{\beta}_{i,k|1:L}$ を推定することはできる．しかし，この方法ではバンド幅 b や L の決め方が不明であり，また柔軟性に欠ける．そこで以下では，提案モデル(3)式（=6-7 式）を柔軟に推定するアルゴリズムを別途提案する．

そのために，まずはバンド幅 b_i が既知と仮定する．L - 1 番目までのサブモデルが推定済であるとすると，提案モデルは次の形で表せる：

$$y_{i|1:L} - \hat{y}_{i|1:L-1} \sim w_{i|L} N\left(x_{i,k(L)}\beta_{i,k(L)}, s^2_{i|L}\right) + N\left(0, \hat{\sigma}^2_{i|1:L-1}\right), \qquad (8)$$

上式の右辺は，ガウス尤度（第一項）をガウス事前分布（第二項）で正則化した形となっている．

このことを利用すると，L-1 個目までを考慮した混合モデルの予測値$\hat{y}_{i|1:L-1} = \sum_{k=1}^{K} x_{i,k}\hat{\beta}_{i,k|1:L-1}$が分かっている場合であれば，被説明変数$y_{i|1:L} - \hat{y}_{i|1:L-1}$，説明変数$x_{i,k(L)}$，重み$w_{i|L}$の正則化 WLS により$\beta_{i,k}^{(L)}$は推定可能となる（詳細は割愛）．また，同様の WLS を L を 1 ずつ増やしながら繰り返すことで$\beta_{i,k|1:L}$を逐次推定（更新）していける．

上では地理的に重みづけられた WLS を用いるが，その推定量は正則化ありの場合は geographically weighted ridge regression（Wheeler, 2007）に，正則化なしの場合は通常の GWR に一致する．従って，GWR モデルを L 個足し合わせることでモデルを生成する方法となっている．

以上ではバンド幅b_iを既知と仮定したが，実際にはb_iも推定する必要がある，さらに各局所モデルの説明変数$k(l)$も選定する必要がある．そこで，バンド幅は予め候補$b_1, \dots, b_C$を設定したうえで，バンド幅$b_i \in \{b_1, \dots, b_C\}$と説明変数$k(l) \in \{1, \dots, K\}$のグリッドサーチを行うことで，最良のバンド幅と説明変数を選択する．

以上を元に，本研究では以下の手順で地点 i の回帰係数$\hat{\beta}_{i,1|1:L}, \dots, \hat{\beta}_{i,K|1:L}$を推定することとした：

1 モデルを初期化：
  1.1 $L = 1$
  1.2 通常の線形回帰モデルを推定し、その推定量$\hat{\beta}_k$で局所回帰係数の初期値を与える：$\hat{\beta}_{i,k|1} = \hat{\beta}_k$
2 コスト関数（本研究では Bayesian Information Criterion）が改善しなくなるまで，以下の手順を繰り返す：
  2.1 Lを$L+1$に更新
  2.2 カーネルの中心点c_Lを標本地点の中からランダムに選択
  2.3 バンド幅の候補$\{b_1, \dots, b_C\}$毎、説明変数の候補$\{x_{i,1}, \dots, x_{i,K}\}$毎に上述の(8)式に基づく正則化 WLS 推定を行い，コスト関数を最小化するバンド幅b_L，説明変数$x_{i,k(L)}$，係数推定量$\hat{\beta}_{i,k|L}$を特定
  2.4 全地点の係数の更新：(7)式に$\hat{\beta}_{i,k|L}$を代入→$\hat{\beta}_{i,k|1:L} | i \in \{1, \dots, N\}$
  2.5 全地点の予測値の更新：$\hat{y}_{i|1:L} = \sum_{k=1}^{K} x_{i,k}\hat{\beta}_{i,k|1:L} | i \in \{1, \dots, N\}$
  2.6 予測値$\hat{y}_{i|1:L}$がコスト関数を改善する場合は$\hat{\beta}_{i,k|1:L}$と$\hat{y}_{i|1:L}$を採択．そうでない場合はそれらを棄却して，一回前の状態に戻す（$\hat{\beta}_{i,k|1:L-1} \rightarrow \hat{\beta}_{i,k|1:L}$，　$\hat{y}_{i|1:L-1} \rightarrow \hat{y}_{i|1:L}$）．

以上の手順では，同じ説明変数，同じハンド幅が複数回選択されることもありうる点に注意されたい．以上の手順では，単一のバンド幅を仮定する通常の GWR とは異なり，バンド幅を地点毎・説明変数毎に評価しており，より柔軟な定式化となっている．

手順 2 はブースティングの一種とみなすことができる．手順 2.3 が局所モデル l の推定，手順 2.4 が同推定結果に基づく提案モデルの更新に相当する．手順 2 で評価している BIC は，ガウス混合モデルの既往研究にならい-2(尤度)-2(パラメータ総数)log(N)で評価した．発表までにその妥当性を確認したい．

4．実データへの応用

4.1．概要

提案手法と従来の GWR を茨城県の住宅地公示地価データ（2015；図 1）に適用することで両者を比較する．地理的重みづけにはガウスカーネルを用いた．バンド幅の候補は 5km から 100km を等間隔に 10 分割したもので与えた．

被説明変数は住宅地価（円/m²）の対数値である．説明変数は最寄駅までの距離[最寄駅距離; km]，最寄駅から東京駅までの鉄道距離[東京距離; km]，最寄駅から水戸駅までの鉄道距離[水戸距離; km]，各住宅地価地点を含む 500m メッシュに占める田，その他農地，森林，河川の割合とした（出典：国土数値情報ダウンロードサイト：https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/）．

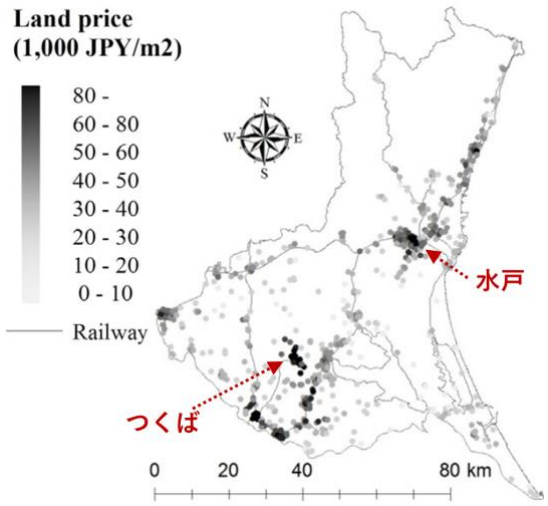


図 1: 住宅地価(2015)年の空間分布

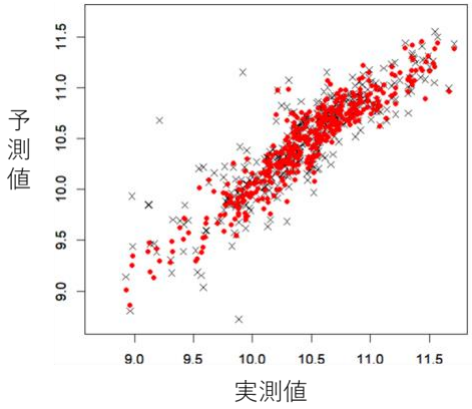


図 2: 観測値と予測値の比較（黒:GWR, 赤:提案）

4.2. 結果

図 2 に住宅地価（対数値）とその予測値をプロットした．この図より，提案手法を用いることで精度よくデータが再現できていることが確認できる．なお，決定係数は通常の GWR が 0.901，提案手法が 0.944 となった．

表 1 は提案手法と GWR によって推定された回帰係数それぞれの要約統計量である． GWR の回帰係数には極端な最大/最小値が定数項，東京距離，水戸距離にみられる．それらのような距離減衰する説明変数を用いた場合に不安定となることは先行研究でも指摘されており，GWR の説明変数としてはあまり推奨されていない．一方，提案手法ではそれらの説明変数についても自然な最大値/最小値となっており，安定性が確認できる．

次に提案手法で推定された回帰係数を図 3-4 にプロットした．東京距離は東京に最も近い南西部で回帰係数の値が負となり，南西から北東に伸びる常磐線に沿って強く影響が残るなど解釈しやすい結果となった．水戸距離の回帰係数からは，水戸までのアクセシビリティは水戸周辺と水戸以北で特に重要という示唆を得た．

最寄駅距離の回帰係数は，図 3 左下で示すように標本の少ない地域で外れ値を示した．標本が少ない地域での不安定性は提案手法の課題と言えよう．参考までに，図 3 右下では外れ値以外の回帰係数をプロットした．外れ値以外については，都心への通勤・通学者が多い東京近郊（対象地域南西部）と水戸周辺への通勤通学者が多い水戸以北で最寄駅距離が特に重視されているという妥当な結果となった．

図 4 からは，田とその他農地の回帰係数はおおむね負であり，周辺に農地が卓越する土地の価格が相対的に安いという結果となった．一方，森林の回帰係数は西部の比較的水田の多い地区で正となった．この地域では森林アメニティへのアクセスが住宅地の価値づけに寄与した可能性がある．

表 1: 回帰係数の要約統計量

通常のGWR								
	定数項	東京距離	水戸距離	駅距離	田	農地	森林	河川
最小値	-1546.4	-0.09	-13.17	-0.24	-1.40	-1.47	-2.25	-9.18
第1四分位	8.6	-0.03	-0.02	-0.07	-0.81	-0.72	-0.50	-0.70
中央値	11.6	-0.01	0.00	-0.05	-0.63	-0.45	-0.12	-0.25
第3四分位	12.5	0.02	0.01	-0.03	-0.47	-0.10	0.16	0.22
最大値	16.3	13.17	0.02	0.03	0.45	0.72	0.95	3.04
提案手法								
	定数項	東京距離	水戸距離	駅距離	田	農地	森林	河川
最小値	9.9	-0.02	-0.01	-0.12	-1.38	-1.82	-2.30	-2.76
第1四分位	10.2	-0.01	-0.01	-0.07	-0.89	-0.92	-0.87	-0.96
中央値	10.3	-0.01	0.00	-0.06	-0.62	-0.64	-0.21	-0.43
第3四分位	10.4	0.00	0.00	-0.02	-0.39	-0.30	0.22	0.16
最大値	10.5	0.01	0.02	0.46	0.58	0.80	3.95	7.16

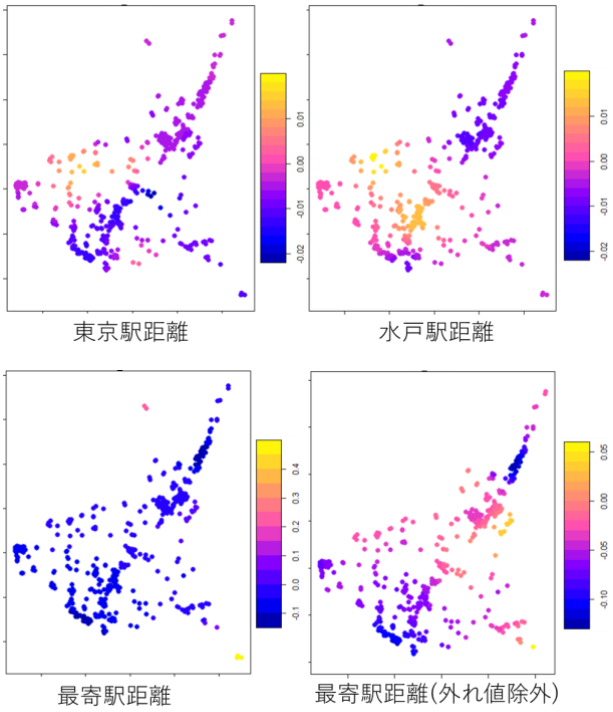


図 3:提案手法による 回帰係数の推定結果（鉄道関連）．東京距離と水戸距離の凡例は共通．

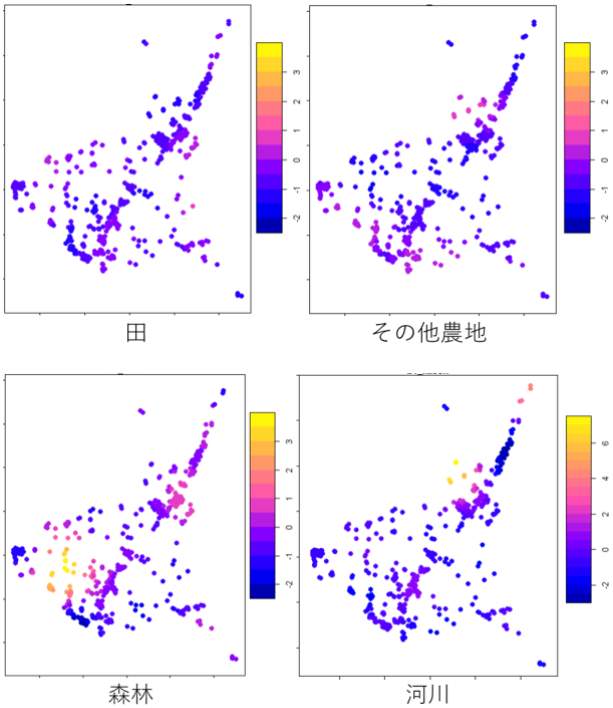


図 4: 提案手法による回帰係数の推定結果（土地利用関連）．田，その他農地，森林の凡例は共通．

５．おわりに

本研究では，地理的に重みづけられたモデルを混合することで場所毎の回帰係数を推定する新たな方法を提案した．説明変数が 1 つの局所モデルを混合するため，通常の GWR で問題となる説明変数間の多重共線性の影響を受けにい可能性があり，バンド幅を地点毎・説明変数毎に設定可能となる．

一方，提案手法のようなモデル混合に基づく局所回帰係数の推定の研究は限定的であり不明な部分が多い．特に BIC の評価では，通常のガウス混合モデルと同様に評価できる仮定してモデル内の総パラメータ数を元に BIC を評価したがその妥当性は確認が必要である．発表までに提案手法の性質をより明確にしていきたい．

謝辞

本研究は，ROIS-DS-JOINT (005RP2021, 006RP2022, 010RP2023)の支援を受けて実施したものである．

参考文献

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2003). Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. John Wiley & Sons.

Wheeler, D., & Tiefelsdorf, M. (2005). Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. *Journal of Geographical Systems*, *7*(2), 161-187.

Wheeler, D. C. (2007). Diagnostic tools and a remedial method for collinearity in geographically weighted regression. *Environment and planning A*, *39*(10), 2464-2481.

Poster Presentation

ポスター発表 #2

Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue (Hall, 1st floor of Bldg. C)

[P2-01] 民間大規模調査データを用いた地域満足度と都市施設数の相関分析

*Hayato Nishi[1]（1. Hitotsubashi University）

[P2-02] 旧耐震分譲マンションの管理に関する意向調査とその傾向－首都圏一都三県を対象として－

*Hiroki Baba[1]（1. Hitotsubashi University）

[P2-03] 統計情報と機械学習を活用した日本全土の将来空き家分布マップの開発

*Yuki AKIYAMA[1], Kotaro Mizutani[1]（1. Tokyo City University）

[P2-04] 口コミ情報に基づく街の評価と地価

*Eisuke Koyagi[1], Mizuki Kawabata[1]（1. Keio University）

[P2-05] 茨城県つくば市における2012年以降の人口移動の実態：住民基本台帳データを用いた住居レベルで人口移動の記述

*Seiya Hirokane[1], Mamoru Amemiya[2], Manabu Sawata[3]（1. Master's Program in Policy and Planning Sciences, Degree Programs in Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Department of Policy and Planning Sciences, Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 3. Statistics and Data Utilization Promotion Office, Planning and Management Division, Policy and Innovation Department, Tsukuba City）

[P2-06] 国勢調査基本単位区における建物当たり人口及び世帯数の平均の空間分布とその特徴－千葉県における町丁目及び地域メッシュ単位における建物当たり人口及び世帯数との比較分析－

*Hiroyuki Usui[1]（1. Department of Urban Engineering, The University of Tokyo）

[P2-07] 個々の建物の空間分布と将来推計人口を用いた流域下水道の持続可能性に関する研究

*Chiaki Mizutani Akiyama[1], Yuki Akiyama[2]（1. University of Tsukuba, 2. Tokyo City University）

[P2-08] 都道府県別にみた人口増加率の要因分解：2010～20年

*Kenji Kamata[1], Shiro Koike[2], Keita Suga[2], Masakazu Yamauchi[3]（1. Meiji University, 2. National Institute of Population and Social Security Research, 3. Waseda University）

[P2-09] 1kmメッシュ別滞在人口データを用いた時系列パターン分類手法の開発

*Chenan Huang[1], Narumasa Tsutsumida[1]（1. Saitama University）

[P2-10]「あなたの住んでいる地域の大学」に挙げられる大学に関する探索的研究

*Yuuki Terada[1]（1. The University of Tokyo）

[P2-11] デジタル化と立地がコロナ禍における私立中学校選択に与える影響

Yuki Baba, *Iyanagi Hiroyasu[1], Kazushi Matsuo[1], Morito Tsutsumi[2]（1. Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba）

[P2-12] 高等学校地理におけるカードゲーム型 GIS教材の開発－地理的な見方・考え方を育む PBLでの活用－

*Mayuno Saijo[1], Akihiro Tsukamoto[1], Hiroki Shinomiya[2], Masayo Tsuchida[3]（1. Tokushima Univ., 2. Tomiokanishi High School, 3. Esri Japan Corporation）

[P2-13] ランドマークを活用してユーザの新たな発見を支援するシステムの構築

*Taiki Katsuragi[1], Kayoko Yamamoto[1]（1. The University of Electro-Communications）

©Geographic Information System Association

[P2-14] フィールド調査アプリを活用した「地域らしさ」の構成要素の発掘とその特徴分析
-飛騨古川地域でのまちあるきイベントを事例として-
*Tatsuya Toji[1], Tatsuya Sekiguchi[2], Hiroaki Sugino[3], Shoko Ueda[4]（1. Kyoto Prefectural University, Faculty of Life and Environmental Sciences, 2. Kyoto Prefectural University, Graduate School of Life and Environmental Sciences, 3. The University of Tokyo, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, 4. Hida city, Planning Department）

[P2-15] 奥行きを含めた街路景観評価の機械化
*Shusuke Sakamoto[1], Hiroki Adachi[1], Tomoki Nakaya[1]（1. Tohoku University Graduate School of Environmental Studies）

[P2-16] 保育所内外観画像を用いた印象評価アンケートに基づく保育所印象評価モデルの構築
*Kotaro Masuki[1], Takuya Oki[1]（1. Tokyo Institute of Technology, School of Environment and Society, Department of Architecture and Building Engineering ）

[P2-17] 転居先の候補地周辺の下見支援システムの構築
*Ryuya Nishiguchi[1], Kayoko Yamamoto[1]（1. The University of Electro-Communications）

[P2-18] 計測環境の違いが被験者の視線行動に及ぼす影響　―商店街を例とした実空間・スクリーン・ VRヘッドマウントディスプレイの比較分析―
*Ryo Takai[1], Takuya Oki[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

[P2-19] 自転車歩行者専用道路での接触事故の危険要因と地理的分析
*Miyano Imoto[1], Naoko Fujita[1], Ding Ma[1]（1. University of Tsukuba）

[P2-20] 交通事故における高齢歩行者事故とその周辺環境との関係についての分析
*Yoshito Amai[1]（1. Kanazawa Institute of Technology）

[P2-21] 高齢者の空間認知能力と手描き地図特徴との関連について
Yoko Yoshimura[1], *Yasuhiro Kawahara[1]（1. The Open University of Japan）

[P2-22] 人と蚊との接触機会における季節消長の空間解析
*Mayuko Yonejima[1], Takashi Kirimura[2], Tomoya Hanibuchi[3], Osamu Komagata[4], Tomoki Nakaya[5]（1. Kumamoto Univ., 2. Kyoto Sangyo Univ., 3. Kyoto Univ., 4. National Institute of Infectious Diseases, 5. Tohoku Univ.）

[P2-23] レセプト情報と地理空間データを利用した疾病集積状況の可視化
*Kikue Sato[1]（1. Nagoya University Hospital）

[P2-24] 診療科目の空間分布とその相互関係 ―東京都南多摩医療圏を対象に―
*Ikuho YAMADA[1]（1. The University of Tokyo）

[P2-25] 南海トラフ地震による東大阪市製造業のリスク分析
*Taishi Tsubokura[1], Go Yonezawa[1], Kenji Sugimoto[1]（1. Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University）

[P2-26] スケートボード遊技・競技施設の GISデータ化とその基礎的分析
*KOMATSU HITOMI[1], OKI TAKUYA[2]（1. SEISEN JOGAKUIN COLLEGE, 2. Tokyo Institute of Technology）

[P2-27] オープンソース衛星データへの超解像手法の適用による建物検出
*Koji Ogino[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1]（1. Tokyo Institute of Technology）

[P2-28] 建物主要用途・トリップチェーンに着目した人流データによる街区間トリップ特性
*Ryo Hayasaka[1], Masao Takeuchi[1], Sunyong Eom[1], Tsutomu Suzuki[1]（1. University of Tsukuba）

©Geographic Information System Association

[P2-29] 組成データ解析手法に基づく地域特化係数

*Takahiro Yoshida[1], Daisuke Murakami[2], Hajime Seya[3] （1. The University of Tokyo, 2. The Institute of Statistical Mathematics, 3. Kobe University）

[P2-30] 東京都23区における企業の空間集積と業績

*Tomonari Kobayashi[1], Mizuki Kawabata[1] （1. Keio University）

[P2-31] スポーツツーリズムに特化した観光計画作成支援システムの構築

*Ryusho Nobeta[1], Kayoko Yamamoto[1] （1. The University of Electro-Communications）

[P2-32] 歴史災害復原へ向けた時空間情報の可視化―発掘調査データベースを用いたデータ駆動型研究の実践―

*Mikiharu Takeuchi[1], Keiji Yano[1] （1. Ritsumeikan University）

[P2-33] オルソ画像を活用した港湾岸壁のひび割れ検知システムと精度検証

*Daiki Komi[1], Tomohito Kameyama[1], Daisuke Yoshida[1] （1. Osaka Metropolitan University）

[P2-34] 機械学習を用いたワイン用ブドウ栽培適地の推定

*Nobusuke Iwasaki[1], Toshihisa Tanaka[2], Ayaka Onohara[3], Kazunori Hayashi[4], Miyuki Katori[5], Takashi Oguchi[6] （1. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 2. Tokyo Univ. of Agriculture and Technology, 3. Rikkyo Univ., 4. Kyoto Univ., 5. Shinshu Univ., 6. Univ. of Tokyo）

©Geographic Information System Association

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-01] 民間大規模調査データを用いた地域満足度と都市施設数の相関分析

*Hayato Nishi[1] （1. Hitotsubashi University）
Keywords: GIS, 居住, 相関, 都市施設

都市内での住生活の主観的な満足度は住民の生活の質に関わるため重要であり、その決定要因を明らかにすることは都市政策を考える上での貢献となる。地域の居住者は日々の生活において都市施設を利用し、その充足度は生活の利便性に関わることから、居住者の地域満足度に影響していると予想される。しかし都市施設は多岐にわたることから、また地域満足度は大規模なアンケート調査を要することから、直接計測するにはそれぞれ多大なコストを要する。そこで本研究では、双方に関する民間調査データをそれぞれ市区町村単位で集計することで、２者を比較可能な形に結合した。さらに地域満足度の決定要因に関する基礎的な分析として、このデータを用いて地域満足度と相関する都市施設を探索的に抽出する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-02] 旧耐震分譲マンションの管理に関する意向調査とその傾向－首都圏一都三県を対象として－

*Hiroki Baba[1] （1. Hitotsubashi University）
Keywords: マンション, 老朽化, アンケート調査, 都市計画, 住宅

分譲マンションの老朽化に伴い、今後の住宅ストックをどのように維持し、更新していくのかは喫緊の課題である。本研究では、旧耐震基準の分譲マンションを対象として、所有者の管理意識や建替え意向を明らかにした。調査はオンラインアンケート形式で行われ、「持ち家の分譲マンションに居住」、「二人以上世帯向けのマンション」、「居住建物は1981年12月以前に竣工」を満たすモニターを対象とした。本報告では分析経過の共有と今後の方針に関する議論を行いたい。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-03] 統計情報と機械学習を活用した日本全土の将来空き家分布マップの開発

*Yuki AKIYAMA[1], Kotaro Mizutani[1] （1. Tokyo City University）
Keywords: 空き家, 機械学習, 将来予測, 外挿, 国勢調査, 住宅・土地統計調査

近年，日本全国で空き家が増加し続けており、全国の自治体は空き家に関する対策を積極化している。また、著者ほかの国・自治体へのヒアリング結果から、中長期的な空き家対策の計画を検討・立案する上で、空き家の将来分布予測に関する情報への需要が高いことが分かっている。しかし、同情報を迅速・安価に整備する手法は確立されていない。そこで本研究では、日本全国を同一の集計単位で時系列的にカバーできる統計情報である、国勢調査と住宅・土地統計調査を用いて、日本全国に適用可能な将来の空き家分布予測手法を開発している。具体的には国勢調査から得られる市区町村ごとの様々な情報を説明変数，住宅・土地統計調査の市区町村ごとの「その他の住宅」の数を住宅総数で除した「空き家率」を目的変数とする機械学習モデルを開発した。その結果、2028年の全自治体の空き家率を予測することが可能になった。さらに、同結果を WebGISで発信する環境を開発した。

©Geographic Information System Association

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-04] 口コミ情報に基づく街の評価と地価

*Eisuke Koyagi[1], Mizuki Kawabata[1]（1. Keio University）

Keywords: テキストマイニング, 口コミ, 地価

インターネット上の口コミ情報は、不動産の売買や賃貸等で参考にされているが、口コミ情報と不動産価格の関係を分析した研究はほとんど見られない。そこで本研究では、口コミ情報に基づく街の評価と地価の関係を分析する。具体的には、アットホーム等の口コミ情報を用いて、街の雰囲気や特徴等の評価を定量的に類型化し、地価との関係を分析する。対象地域は東京23区、分析手法は回帰分析を用いる。分析の結果、口コミによる交通の便や閑静な住宅街、商店の充実といった街の評価が地価と有意に相関していることがわかった。今後は、複数年次のデータを取得してパネルデータを構築し、よい精緻な分析を行うことを予定している。本研究の結果は、地域の居住者の意見を反映したまちづくりの参考になることを期待する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-05] 茨城県つくば市における2012年以降の人口移動の実態：住民基本台帳データを用いた住居レベルで人口移動の記述

*Seiya Hirokane[1], Mamoru Amemiya[2], Manabu Sawata[3]（1. Master's Program in Policy and Planning Sciences, Degree Programs in Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Department of Policy and Planning Sciences, Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 3. Statistics and Data Utilization Promotion Office, Planning and Management Division, Policy and Innovation Department, Tsukuba City）

Keywords: 都市内人口移動, つくば市

茨城県つくば市では，近年，主に社会増に起因する人口増加が続いている．しかし，人口増加は市内で一様に起きているわけではない．市の中心部で，百貨店の撤退や公務員宿舎の廃止などの空洞化が起こり，農村部では若年層の人口流出が起こる一方で，中心部の再開発や，つくばエクスプレス（ TX）沿線の新規住宅地開発，商業施設，市役所，警察署等の郊外への移転等が同時に起きており，市外も含めた人口移動は複雑な様相となっている．本研究は，つくば市より提供を受けた住民基本台帳データを用いて，2012年から2022年のつくば市における人口移動の実態を，住居レベルで詳細に明らかにする．特に，公務員宿舎の廃止や TX沿線開発などのつくば市の人口分布に大きな影響を与えた事象に注目し，対応する人口移動の状況を詳細に記述する．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-06] 国勢調査基本単位区における建物当たり人口及び世帯数の平均の空間分布とその特徴－千葉県における町丁目及び地域メッシュ単位における建物当たり人口及び世帯数との比較分析－

*Hiroyuki Usui[1]（1. Department of Urban Engineering, The University of Tokyo）

Keywords: 国際調査基本単位区, 建物, 世帯数, 人口, 世帯人員, 建物利用強度

©Geographic Information System Association

本稿では，基本単位区，町丁目，250mメッシュ単位（基本単位区等）において，建物当たり平均人口，建物当たり平均世帯数，そして平均世帯人員（各建物利用強度）を推定し，その空間的な分布の特徴を基本単位区等の集計単位の違いに着目して解明した．主な知見はつぎの二点である．第一に，千葉県北東部や南部では，建物当たり平均人口と世帯数は1未満となる基本単位区が連坦する一方，北西部を中心に人口集中地区（ DID）とその周辺では，建物当たり平均人口と世帯数は1以上となる基本単位区が連坦する．第二に，基本単位区における各建物利用強度を町丁目や250mメッシュ単位で推定する際の差分の空間的分布をみると，千葉県北東部や南部では，差分は0近傍となる基本単位区が連坦する一方，北西部を中心に DIDとその周辺では，差分の絶対値は1以上となる基本単位区が連坦する．とくに，同一の町丁目において戸建住宅と高層住宅が立地する場合，戸建住宅で主に構成される基本単位区では，町丁目単位や250mメッシュ単位ですると10以上の過大推定となるおそれがある．逆に，中高層住宅で構成される基本単位区では，10以上の過小推定となるおそれがあることに留意すべきである．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-07] 個々の建物の空間分布と将来推計人口を用いた流域下水道の持続可能性に関する研究

*Chiaki Mizutani Akiyama[1], Yuki Akiyama[2] （1. University of Tsukuba, 2. Tokyo City University）
Keywords: 流域下水道, 浄化槽, 将来推計人口, 建物間距離, 持続可能性

人口減少社会を迎えた我が国では，今後特に地方都市や中山間地域などで現状の各種インフラにより提供されるサービスの維持・管理が重要な課題となっている．本研究で対象とする下水道事業も例外ではない．そこで現在，地方公共団体をはじめ，国土交通省など関連省庁を中心に，将来的に亘って持続可能な汚水処理機能の実現に向けた取り組みとして，下水道事業の「広域化・共同化」の検討がなされている．そこで本研究では，複数の自治体に処理区域が跨る流域下水道を対象に，区域内の建物の分布データと建物単位の将来推計人口データを用いて，現在と将来の居住者が存在する建物を把握した．また，居住者が存在する建物間の距離を考慮し，人口の集住エリアを抽出することで，人口規模に応じた処理方法および処理区域を推定した．その結果，下水処理事業から浄化槽への切り替えが可能な地域を推定するとともに，将来の流域下水道の持続可能性を検討することができた．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-08] 都道府県別にみた人口増加率の要因分解：2010～20年

*Kenji Kamata[1], Shiro Koike[2], Keita Suga[2], Masakazu Yamauchi[3] （1. Meiji University, 2. National Institute of Population and Social Security Research, 3. Waseda University）
Keywords: 地域人口, 人口学的要因分解, 地理的分布

本研究は、2010～20年までの都道府県別にみた総人口の人口増加率を、年齢構造要因、出生要因、死亡要因、移動要因に分解することを目的とする。2020年は新型コロナウイルス感染症の国内での流行が確認され、緊急事態宣言が発出されるなど国際人口移動のみならず国内人口移動にも多大な影響を及ぼした。本研究では、2010～2015年の地域の人口変動と2015～2020年の変動を比較することによって、人口変動要因の変化がどの程度生じているのかを明らかにする。

©Geographic Information System Association

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-09] 1kmメッシュ別滞在人口データを用いた時系列パターン分類手法の開発

*Chenan Huang[1], Narumasa Tsutsumida[1] （1. Saitama University）
Keywords: COVID-19, Dynamic Time Warping, Whale Optimization Algorithm, K-Mediois

感染症と共存するポストコロナ社会の都市利用のあり方を考えるためには、コロナ禍における滞在人口パターンの変化を把握する必要がある。しかし、時系列データに適用される既存のクラスタリングアルゴリズムは、集計量を使用した簡易的な手法、もしくは局所最適解に陥りやすいパターン分類手法が主なため、更なる精度の向上が求められている。そこで本研究では、2019年から2021年における一都三県（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県）の月別の1 kmメッシュ別滞在人口データを対象とし、時系列データの類似度を算出する Dynamic Time Warping（ DTW）と全局最適解を探索する Whale Optimization Algorithm（ WOA）を組み合わせた K-Medoids法を提案する。各年の時系列パターンの特徴から、滞在人口の時空間的パターンの変化を検討する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-10]「あなたの住んでいる地域の大学」に挙げられる大学に関する探索的研究

*Yuuki Terada[1] （1. The University of Tokyo）
Keywords: 大学, 地域, 住民

東京都と石川県に居住する方（ N=2,290）を対象として、ウェブアンケート調査により、各対象者が思う「地域の大学」を具体的に問うた。その結果、必ずしも居住者と物理的ないし地理的な距離が近い大学ではない大学を挙げる回答者が散見された。本研究では、回答者と回答者が挙げた大学名の関係性について、物理的ないし地理的な距離を加味しつつ、その他の個人属性や地域の大学に対する認識も加えた分析を行った。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-11] デジタル化と立地がコロナ禍における私立中学校選択に与える影響

Yuki Baba, *Iyanagi Hiroyasu[1], Kazushi Matsuo[1], Morito Tsutsumi[2] （1. Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2. Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba）
Keywords: 学校選択, 中学受験, COVID-19, デジタル化

COVID-19の感染拡大は，学校選択にも多大な影響を及ぼしたことが考えられる．しかし，それらの実態に関する定量的な知見は限られている．本研究では，コロナ禍において急速に進んだ学校のデジタル化と，通学時の感染リスクと関連する立地に着目し，それらの影響がコロナ禍前後で私立中学校の選択にどの程度変化したのかを明らかにすることを目的としている．受験校選択のデータと，在学生の所在地のデータを用いた分析の結果，2021年はオンライン説明会の有無が，2022年は ICTデバイスの導入有無が受験倍率に有意な影響を及ぼしたことが明らかになった．また，コロナ禍以降に在学生の通学距離が短くなっている傾向が示された．これらの結果は，コロナ禍を契機に学校選択の要因が変化していることを示している．

©Geographic Information System Association

高等学校地理におけるカードゲーム型 GIS 教材の開発
－ 地理的な見方・考え方を育む PBL での活用 －

西條真結乃*・塚本章宏・四宮博樹***・土田雅代*****

Development of Card Game-Style GIS Educational Material for High School Geography
- Application in PBL to Train Geographical Perspectives and Thinking -

Mayuno Saijo*, Akihiro Tsukamoto**, Hiroki Shinomiya***, Masayo Tsuchida*****

Abstract: "Geography" has become a compulsory subject in high schools since 2022 Japanese academic year. This new curriculum requires students to comprehend the mechanisms and utility of GIS. However, problems arise from issues like the delayed implementation of information equipment in schools and the inadequate expertise of teachers instructing GIS. To address these concerns, we decided to develop an educational resource for GIS in the form of a card game. As an initial step, this paper presents findings from experimental lessons employing prototype "GIS cards." During these lessons, students created thematic maps by superimposing "layer cards" and engaged in discussions about regional matters. The outcomes indicate that students can grasp the fundamental concepts of GIS by enjoying and engaging with this material.

Keywords: 地理教育（geography education）, GIS 教材（GIS teaching materials）, カードゲーム（card game）

１．はじめに

1.1. 研究背景

2022 年度に必修化された高等学校の「地理総合」では，全体を通して GIS の仕組みや有用性の理解，GIS の活用による地理的な見方・考え方の育成が求められている．GIS は，位置情報をもとに複数の社会的事象を地図上で重ね合わせて比較・分析することができるため，位置や分布に着目する地理的な見方や，空間的相互依存作用などの地理的な考え方の習得にも役立つとされている．そうしたことから，研究者や中学・高校の地理教員によって GIS を用いた教材や授業が提案され，全国的に広まりつつある．

1.2. 先行研究

谷・斎藤（2019）は高等学校における GIS 利用の現状と課題について，高等学校は小学校・中学校に比べて情報機器の整備が遅れていることや，各自治体によって整備状況が異なっていることを指摘した．また，地理を専門とする教員は若い年齢層ほど少数であることや，地理教員の不足によって GIS に不慣れな歴史や公民を専門とする教員が地理の授業を担当せざるを得ないことなどが挙げられた．

以上のことから，これまで提案されてきた先進的な GIS 活用授業の事例だけではなく，情報機器の整備が不十分な状況下でも，あるいは高齢の教員や地理を専門としない教員でも，GIS の仕組みや有用性を生徒に教えることができる簡易な GIS 教材が必要であるといえる．そこで本研究では，実物のカードで GIS の概念を理解するアナログ型 GIS 教材に注目することとした．

土田ほか（2020）が開発した「GIS カード」は，GIS ソフトウェアを使用することなく，アクティブラーニングを通してゲーム感覚で GIS について学ぶことができるとしている．この時点の「GIS カード」は，中学校・高等学校・大学において実践されたも

* 学生会員 徳島大学大学院創成科学研究科地域創成専攻 （Tokushima University）
〒770-8502 徳島市南常三島町 1 丁目 1 番地 E-mail : ourawagis@gmail.com
** 正会員 徳島大学総合科学部 （Tokushima University）
*** 非会員 徳島県立富岡西高等学校 （Tomiokanishi High School）
****正会員 ESRI ジャパン株式会社 （Esri Japan Corporation）

のの，GIS を用いて主題図を作成する際の思考を整理するための補助教材という要素が強かった.「地理総合」における通常授業で「GIS カード」を活用できるようにするためには，単元や学習内容のまとまりと，それらの相互の関わり合いを意識しつつ，生徒の興味を引くためによりゲーム性を持たせたり，デザインやルールを改良したりする必要があると考える.

1.3. 研究目的

本研究では, 地域課題の解決を題材として, GIS の概念と有用性の理解を促すカードゲーム型教材である「GIS カード」の確立を最終的な目的としている. そのため，本稿では，①普段の授業で活用できるようなカードデザインやゲームルールの検討，②実験ワークショップを通して,「GIS カード」から得られた学習効果と課題を整理して報告する.

2．研究方法

本研究の方法は，次の 3 段階で進める．まず，土田ほかが開発した「GIS カード」をもとに，①カードデザインとゲームルールを設計する．次に，②高校生を対象として，プロトタイプ版「GIS カード」の実験ワークショップと，その前後に質問紙調査を併せて実施する．そして，その結果から，③「GIS カード」が GIS の概念理解に繋がったかの確認や，課題を整理する.

3．「GIS カード」のゲーム設計

3.1. カードのデザイン

本教材は，①ジョブカード，②レイヤーカード，③地域課題カードの 3 種類で構成されている.

① ジョブカード

ジョブカードにはゲーム内における自身の役職が書かれている．役職は全部で 4 種類あり，それらのうち, 3 種類は教科書の単元のまとまり（「自然環境」／「資源と産業」／「人口，村落・都市」）に沿って設定された「専門家」で，残りの 1 種類は「市民」である．ジョブカードにはこれらをイメージしたアイコンがデザインされている.

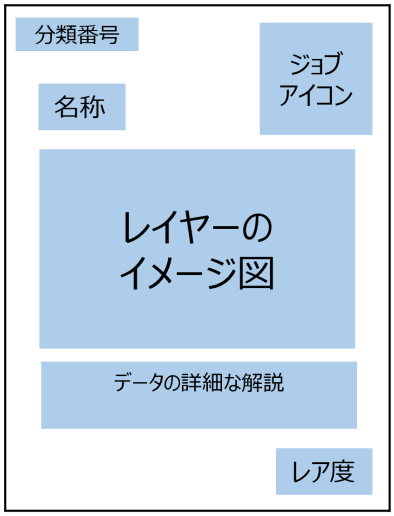


図 1　レイヤーカードの構造

② レイヤーカード

レイヤーカードの構造を図 1 に示す．カードの左上には識別用の分類番号が与えられている．レイヤーカードは全部で 37 種類あり（2023 年 8 月現在），先述したジョブカードの役職にある 3 種の各専門分野にそれぞれジョブ番号があり，さらにレイヤーにもデータ番号を与えて，個々のカードが識別できるようにしている．レイヤーカードの一覧は表 1 に示しており，例えば「河川」のレイヤーカードの分類番号は，自然環境グループの 1 番目であるため「1-1」となる．また，それぞれのレイヤーカードには，条件によってレア度が設定されており，希少なものや特定の条件のものほどレア度が高くなる.

③ 地域課題カード

地域課題カードの構造は図 2 の通りである．表面には，ランク／主題／ミッション／ヒントが書かれている．ランクは初級／中級／上級の 3 種類に分けており，必要になるレイヤーカードのレア度や枚数によってランク付けしている．主題は，帝国書院『新地理総合』で紹介される事例を参考にしながら，GIS を用いた地域課題の解決に適していると考えられるものを設定した．そして，主題図を作成するため，どのようにレイヤーを組み合わせるのかをイメージできるように，主題の下にミッションとして，具体的なシチュエーションや指示を記している．現時点では，地域課題カードのミッションは

表 1　レイヤーカードの一覧

ジョブ番号	専門分野	データ番号	名称
1	自然環境	1	河川
		2	標高
		3	活断層図
		4	治水地形分類図
		5	土地条件図
		6	海岸線から500m
		7	森林地域
		8	活火山分布
		9	火砕流の到達範囲
		10	噴石警戒地域
		11	土砂災害警戒区域
		12	震源地分布
		13	津波浸水想定
		14	洪水浸水想定
		15	避難施設の分布
		16	避難施設から徒歩10分圏内
		17	冬季の気温分布
2	資源と産業	1	用途地域
		2	農業地域
		3	重要物流道路
		4	鉄道
		5	バス停留所・ルート
		6	交通事故発生地点分布
3	人口，村落都市	1	1960年代の空中写真
		2	1970年代の空中写真
		3	道路縁
		4	コンビニエンスストアの分布
		5	市町村役場の分布
		6	医療機関の分布
		7	空き地分布
		8	小学校から1kmバッファ
		9	市街地化した地域
		10	地価公示
		11	総人口メッシュ
		12	若年人口メッシュ
		13	高齢人口メッシュ
		14	土地利用メッシュ

12 種類あり，それら一覧を表 2 に示す．ヒントでは，正しい組み合わせにするために，どのレア度のレイヤーカードが何枚必要となるかを示している．そして，地域課題カードの裏面には答え合わせができるように，正しい組み合わせが記述されている．

3.2．ゲームルール

カードゲーム教材「GIS カード」を概括すると，4 人以上のプレイヤーでチームを組み，協力して主題図を作成しながら，地域課題を解決するゲームである．所要時間は，高等学校の授業時間を想定して 50 分とした．以下では，本教材を用いた授業進行について，順を追って説明していく．

1）自分の役職を選び，チームを結成する．

4 種類のジョブカードのなかから 1 人ずつ選び，

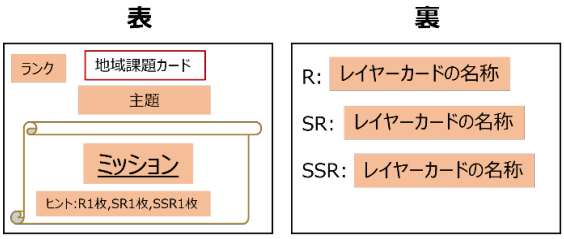


図 2　地域課題カードの構造

表 2　地域課題カードの一覧

	ミッション
1	ヒートアイランド現象が起こる原因を突き止めよう
2	津波ハザードマップをつくろう
3	洪水ハザードマップをつくろう
4	砂防施設を建設しよう
5	新たな避難施設の建設地として最適な場所はどこか探そう
6	大規模な水害の危険性がある地域はどこか探そう
7	高齢者に向けて水害から避難する経路を提案しよう
8	過疎地域の高齢者のために移動支援を考えよう
9	新たなごみ処理施設の建設地として最適な場所はどこか探そう
10	風力発電所の建設地として最適な場所はどこか探そう
11	増加した空き地を利用した市街地活性化の計画を提案しよう
12	新たなコンビニエンスストアの出店地として最適な場所はどこか探そう

ゲーム内における自身の役職を決定する．5 人以上のチームを結成する場合は，市民役を 2 人にするなどジョブカードを増やして進める．

2）ジョブカードに応じたレイヤーカードを，SSR を除いて全種類 1 枚ずつ配布する．

専門分野を持つジョブ（専門家）には，自らのジョブに合わせて，SSR 以外の全種類 1 枚ずつのレイヤーカードが支給され，それらの正しい組み合わせを考える．手持ちのレイヤーカードは他のメンバーに見せることはできない．

一方，市民にはレイヤーカードは配られないが，専門家たちの考えたレイヤーカードの組み合わせが，地域課題カードの答えと合っているかを判断する役割を担っている．市民が合意しなければ答え合わせには進めない．そのため，チームの最終決定権を持つのは市民である．

3）地域課題を決定する．

地域課題カードはランクごとに「山札」としてまとめており，まずは初級の山札の最上段のカードに挑戦する．

4）レイヤーカードの組み合わせを話し合う．

各プレイヤーは地域課題を解決するために必要

なレイヤーカードを組み合わせて，主題図を作成する．また，検討しているレイヤーの詳細確認や，重ね合わせを試行錯誤できるように，本教材と連動したオンラインマップを作成・公開している．

専門家たちはフィールドにカードを出すときに，それを選んだ理由について，市民にプレゼンテーションしなければならない．市民の合意が得られれば答え合わせに進むことができる．

また，最上段にある地域課題カードにまずは挑戦することとしているが，手持ちのレイヤーカードでは解決できないと判断した場合は，「パス」をして新たに地域課題カードを引き直すことができる．地域課題カードの裏面を見て答え合わせをするまではパスが可能であるが，パスをした場合には手札のなかから 1 枚と，レイヤーカードの山から 1 枚を交換しなければならない．

5）答え合わせをする．

必要なレイヤーカードの組み合わせが決まったら，「GIS!」と発声して地域課題カードを裏返して答え合わせをする．

6）ペナルティ／報酬を受け取る．

専門家として自分の選んだカードが正解した場合は，山札から 1 枚を報酬として獲得できる．チーム内の全員が正解しており，答えと完全一致ならば，獲得できるカードが 3 枚になる．反対に，間違っていた場合は，手持ちのレイヤーカードから 1 枚没収される．

なお，一度フィールドに出して答え合わせをしたレイヤーカードは正誤問わず，回収される．

7）3）～6）を繰り返す．

報酬で獲得したレイヤーカード等も使いながら，どのチームが最も多くの得点を獲得できるかを競う．手持ちのレイヤーカードがなくなる，または 50 分経つまで繰り返す．最終的には，正解に辿り着いた地域課題カードの得点を加算していき，最も多く得点を稼いだチームが優勝となる．得点は解決できた地域課題カードのランクによって異なり，初級が 1 点，中級が 3 点，上級が 5 点となっている．

4．プロトタイプ版「GIS カード」の実験ワークショップ

4.1．ワークショップ概要

プロトタイプ版「GIS カード」の実験ワークショップは，徳島県立富岡西高等学校の 1～3 年生の計 12 人を対象に実施した．実施概要は表 3 の通りである．12 人をランダムに 4 人ずつの 3 チームに分けて，取り組んでもらった．ワークショップの前後に質問紙調査を実施し，プロトタイプ版「GIS カード」の課題や感想，また GIS の理解度を調査した．

4.2．結果

調査対象とした 12 人の半数が，高等学校で地理の授業を受けた生徒であり，もう一方の半数は日本史選択の生徒であった．また，「地理が好きか」を尋ねたところ，10 人が「好き」，2 人が「好きでない」と回答した．

ここからは「GIS カード」を実際にプレイした感想を整理していく．ゲームの難易度については，「難しかった」と回答した生徒が 11 人，「普通だった」と回答した生徒が 1 人だった．難しいと感じた理由

表 3　調査概要

方法	ワークショップ前後の質問紙調査
対象校	徳島県立富岡西高等学校
日時	2023 年 8 月 21 日　13:00～15:00
対象者	1 年生 5 人，2 年生 2 人，3 年生 5 人の計 12 人
調査内容	○地理選択の有無 ○GIS に関する知識 ○「GIS カード」に対する意見 ○ワークショップの感想



図 3　富岡西高校でのワークショップ風景

を見てみると，今回設定した組み合わせの正解の他にも正解になり得る組み合わせが存在していることや，分からない言葉があったことなどが挙げられ，デザインやルールのさらなる改良が必要であることがわかった．しかしながら，「頭を使って様々な組み合わせの可能性を考えて提案することが難しかった」という回答も多く，レイヤーカードの取捨選択を通して思考力をしっかりと働かせることができていたと考えられる．普通だったと回答した 1 人は，「ヒントがあったため全く正解が分からないということもなく，ちょうどよい難易度だった」と述べた．

ゲームの面白さについては，「面白かった」と回答した生徒が 11 人，「普通だった」と回答した生徒が 1 人だった．面白いと感じた理由としては，チームで相談・協力しながらプレイできる，といったコミュニケーションを必要とすることを魅力に感じている回答が挙げられた．また，「地域課題を解決するために何が必要か学ぶことができて初めて知ることだらけで面白かった」と知識の習得を面白く感じている回答もみられた．「カードゲームの要素があって勉強をさせられているという感覚がなかった」という回答からは単に主題図作成のための補助ツールとしてのみでなく，カードゲームとして「GIS カード」を実施することで生徒に受け入れやすくなることがわかった．

4.3. 得られた学習効果

本研究では，地域課題の解決をテーマとすることで，シミュレーションを通して GIS の概念理解に繋げることを意図しており，その効果を確認するため，ワークショップの実施前と後に「GIS について説明してください」という質問を設けた．その前後を比較すると，おおよそ表 4-1，4-2 のような傾向が見られた．ワークショップ前は，「GIS について全く分からない」とする回答が最も多かった．なかには，「地理情報システム」という言葉から想像したイメージを述べている回答もいくつかみられる．一方で，ワークショップを経たことで，生徒たちの GIS に対する認識は，「地理情報を地図にまとめたもの」という回答が最も多くなり，「地域課題の解決に役立つツールである」という回答もみられた．ワークショップを通して，GIS については，ほとんど説明していなかったものの，生徒たちはゲームの内容から GIS の概念を大まかに捉えられていることがわかった．

また，「GIS は現代社会においてどのように活用されていると思いますか」という，GIS の有用性を考える設問も用意した．その結果をまとめたものが表 5-1，5-2 である．こちらの設問に関してもワークショップ前は分からないという回答が最も多く，GIS とは何か分からないと回答した者は有用性についても分からないと回答している傾向がみられた．GIS について少し知識を持っている者は，統計情報の地

表 4-1　GIS の概念に対する認識の変化（実施前）

実験ワークショップ前	回答数
分からない	7
地理情報を集めたもの	3
地図や人口密度を調べることができるもの	1
未記入	1
計	12

表 4-2　GIS の概念に対する認識の変化（実施後）

実験ワークショップ後	回答数
地域別の地理情報を地図にまとめたもの	6
地理状況に応じた課題解決に役立つもの	2
レイヤーカードを加える上で元となる地図	2
分けること	1
未記入	1
計	12

表 5-1　GIS の有用性に対する認識の変化（実施前）

実験ワークショップ前	回答数
分からない	6
位置情報アプリ	2
人々の暮らしを支えている	1
地域社会の取り組みをサポートしている	1
統計情報を作るなどこれからの未来を作るために活用されている	1
年齢別人口の予想や津波の予想ができる	1
計	12

表 5-2　GIS の有用性に対する認識の変化（実施後）

実験ワークショップ後	回答数
地域課題の解決に向けてのサポート	3
人々の命を守ったり，より暮らしやすい社会にしたりするために活用されている	2
施設の建設やハザードマップの作成に利用されている	2
今後の人口推移や津波想定ができる	2
位置情報アプリやマップアプリ	2
未記入	1
計	12

図化や，位置情報アプリなどの活用法について述べていた．これまでに授業で得られた知識が反映されていると思われる．そして，実施後のアンケートの回答からは,地域課題の解決に向けてのサポートや,施設の建設やハザードマップの作成に活用されているといった本ワークショップで経験したことがそのまま回答としてみられるようになった．このことから，生徒たちは地域課題を解決するというゲームのテーマを理解して，GIS の具体的な活用法がイメージできるようになったと考えられる．

4.4. 課題

本節では，ワークショップを通して明らかになった教材の課題について述べる．実施のアンケートでは，生徒たちが気づいた改善点や課題についても収集しており，そこでは「一周したら終わりにしないと,一回失敗したものは記憶ゲームになってしまう」という意見が寄せられた．一度，裏返して答え合わせをした地域課題カードは山札に戻すのではなく，区別して別の場所に置いておくなどの改良が必要である．また,「必要なレイヤーカードが手札に無い時の救済措置が欲しい」という意見も複数の生徒から寄せられた．プロトタイプ版「GIS カード」は，時間内なら何回でも失敗した地域課題に挑戦することができるルールになっていたが，救済措置としてパス制度を設け，裏を見ていない地域課題にのみ挑戦し直すことができるようにして，最後まで思考力を働かせて取り組むことができるように改善した．

前節で，教材による学習効果を述べたが，それらは大まかにGISのイメージをつかむことができた程度で,完全にGISについて理解できたとはいえない．カードゲームのみでなく，カードと連動したオンラインマップも併用して，レイヤーの重ね合わせを実感したり，事象同士の関連性を考察したりする学習を設けることで，GIS の概念や有用性の理解，そして地理的な見方・考え方の一層の習得に繋がると考えられる．

５．おわりに

本研究では，GIS の仕組みや有用性の理解を促すカードゲーム教材「GIS カード」を，高等学校の通常授業で活用できるように，カードデザインやゲームルールの確立を目指した．そして，プロトタイプ版「GIS カード」を実際に現役の高校生にプレイしてもらうワークショップを実施し，GIS への理解度や課題・感想について調査した．その結果から，現段階のプロトタイプ版「GIS カード」は，GIS の基本的な概念や活用法をイメージできるようになるという効果がある一方で，記憶ゲームとなってしまう可能性があったり救済措置が必要だったりするなど,未だカードゲームとしての課題が残されていることが明らかになった．

本稿は，カードゲーム型教材「GIS カード」の確立に向けた経過報告である.今後は本稿を踏まえて,通常授業で取り入れられるために，より洗練されたゲームルールを設けたり指導計画を提案したりするなど，一層改善していく予定である．さらに，本教材は地域課題の解決がテーマであるため,「課題解決型学習（PBL)」の実現にも役立てることができると考えられる．生徒自身が考えた地域課題カードやレイヤーカードを用意して，学校付近で実際に発生している地域課題の解決に挑戦するなど，発展的な活用についても検討していきたい．

参考文献

谷謙二・斎藤敦（2019）アンケート調査からみた全国の高等学校における GIS 利用の現状と課題―「地理総合」の実施に向けて―.「地理学評論」,**92**（1），1-22.

土田雅代・黛京子・関根智子（2020）地理総合に向けた GIS 教材の「GIS カード」を使用した日本大学筒が丘高等学校での授業について.「地理誌叢」,**61**（1・2），13-20.

土田雅代（2021）手軽に授業で使える GIS カード.『地理空間情報を活かす授業のための GIS 教材改訂版』(地理情報システム学会教育委員会編)，古今書院，21-27.

戸井田克己ほか 17 名（2022）『高等学校　新地理総合』，帝国書院.

文部科学省（2021）高等学校学習指導要領解説 地理歴史編』，東洋館出版社.

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-13] ランドマークを活用してユーザの新たな発見を支援するシステムの構築

*Taiki Katsuragi[1], Kayoko Yamamoto[1] （1. The University of Electro-Communications）

Keywords: ランドマーク, 散策, Web-GIS, 3D都市モデル, ゲーミフィケーション

近年、ユーザの散策行動を支援し、地域についての新しい発見を促すシステムが開発されている。このようなシステムでは、日常生活で目を向けない場所やものにユーザの意識を向けさせることが重要視されている。そこで、本研究は、現実世界においてすぐに見つけられるような視認性の高いランドマークを活用することで、ユーザが新たな発見をすることを支援するシステムを構築する。本システムでは、高層ビルなどの視認性が高いランドマークを「スポット」として定義し、ユーザがその付近を実際に訪問すると、そのことを記録することができる。加えて、システム内でユーザに与える情報を制限し、ユーザが視覚情報を使ってスポットとなるランドマークを探すことにより、新しい場所やものを発見することができるように誘導する。また、スポットを探す動機を与えるために、ゲーミフィケーションの考えを取り入れ、システムの利用を促す。

©Geographic Information System Association

フィールド調査アプリを活用した「地域らしさ」の構成要素の発掘とその特徴分析
–飛騨古川地域でのまちあるきイベントを事例として–

田路達也*・関口達也・杉野弘明***・上田昌子*****

Discovering components of "regional identity" and analysis of their characteristics by using a field survey application
-A case study in Hida Furukawa area-

Tatsuya TOJI*, Tatsuya SEKIGUCHI**, Hiroaki SUGINO***, Shoko UEDA****

In rural areas, one of the regional problems is the loss of diversity in lifestyles and culture due to a decline in population, low birth rates, and an aging society. Under such circumstances, it is important to confront the "regional identity" and to utilize and preserve it. As a part of such efforts, it is necessary for each regional municipality and citizens to clarify what constitutes those "regional identity" and understand this concept. In this study, we conducted an field work event where those who are closely related to or live in the Hida Furukawa area walks and find elements that embody its "regional identity". Based on the results of the event, we analyzed the characteristics of "regional identity" in the Hida Furukawa area and verified the impacts that experiencing such event has on participants.

Keywords:地域らしさ(regional identity), Epicollect5 (Epicollect5), まちあるき(field survey), アンケート調査(questionnaire Survey)

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

全国的な急激な人口減少 [1], 少子高齢化の進展が影響して，地方部では生活・文化・風土の多様性の喪失 [2]が懸念されている．これは，その地域の「地域らしさ」の喪失にもつながりうるものである．

既存の調査研究 [3]を踏まえ,「地域らしさ」とは地域に固有の個性のことであり，そこには生活に関する風習・文化・風土なども反映される．その構成要素は地域に特有の景色・自然のみならず，建築（様式),特産品等の人工物,地域を象徴する人物や文化・慣習など多岐にわたり，文化・慣習などの無形の「地域らしさ」も関連する有形の事物を通して認識されうる（例：祭りの神輿）ものと本稿ではとらえる．

この「地域らしさ」の喪失は，例えば，人口減少や高齢化による伝統や文化・伝統の担い手の減少やそれによる行事・風習自体の廃止，または老朽化した建物や橋が取り壊されたりする中で，制度・技術的制約により従前のものを再建築できない場合等に起こりうる．また，田畑の市街地化や耕作放棄によって地域らしい景観が失われる例もある．それは，地域の没個性化による魅力低下，住民の愛着等の想いの喪失から地域活力の低下につながりかねない．

このような事態を防ぐためには,「地域らしさ」の保全が重要となるが，そのためには，何がその地域で継承していくべき「地域らしさ」であるのかを把握し，認知・認識を図る必要がある．

ただし,「地域らしさ」の構成要素は多岐にわたり，またその捉え方についても多様である．そのため,「地域らしさ」の具体化・把握を経なければ，具体的な保全・活用方策に結びつけにくい.「地域らしさ」を構成する地域の要素に焦点を当てて，それがなぜ地域らしいと認識されるのか，その理由や背景にある風習・文化などを整理・把握すれば，それらを将来に残すための方策を具体的に考えることができる．さらに，このプロセスにおいて，地域を

* 学生会員 京都府立大学生命環境学部 (Kyoto Prefectural University) E-mails: 820350026@kpu.ac.jp
** 正会員 京都府立大学大学院生命環境科学研究科環境科学専攻 (Kyoto Prefectural University)
*** 非会員 東京大学大学院農学生命科学研究科 (The University of Tokyo)
**** 非会員 飛騨市役所企画部 (Hida city)

支える地域住民や，関係人口[4]と呼ばれる人々が関わり，「地域らしさ」と向き合うことで，地域や地域らしさに対する想いを育める可能性もある．それは，地域に関わる人々が主体的に「地域らしさ」を維持・継承していく際にも重要である．

以上を踏まえて本研究では，地域住民や関係人口として地域に関わる人々が「地域らしさ」を構成するまちの要素の構成要素を発見・評価するための地域イベントを企画・実施し，「地域らしさ」の構成要素に関するデータを収集する．そこから，1)「地域らしい」と捉えられた要素の特徴，2)イベントを通した参加者の地域への想いや認識の変化を分析する．そして，発見された地域らしさを将来へ繋いでいく方法を検討するための知見の獲得を目的とする．

1.2　既存研究と本研究の位置づけ

人々の認識を通した地域らしさに関する研究として，四戸ら(2013)[5]は，地域における，個人意識の「気に入っている場所，風景」と集団意識としての「地域らしい場所，風景」の認識の違いと居住経験の関係に着目し，対象者各自が気に入っている・旭川らしいと感じる場所や風景を示す文章やイラストを分類・分析している．また，有原ら(2023)[6]は，都市空間の「らしさ」を形成するまちの構成要素や印象の傾向把握，および印象評価による滞在者の類型化と比較から地域らしさを分析した．さらに，大石ら(2007)[7]は大学生を被験者として，選好景観を写真で撮影し，撮影対象や写真の撮り方を分析することで，東広島市の景観選好特性を明らかにした．これらはいずれも「景観」という総体的なものに着目しており，地域に存在する様々な事物を対象にしていない．

本研究では，景観に関わらず広く地域にある事物を対象として地域らしさの構成要素に着目する点，住民やその地域に関わる関係人口の人々までを含めて調査をし，地域との関わり方や年齢の異なる属性を持っている人が地域らしさを構成する要素のいかなる点に注目し，それらを選定した理由やその要素の分布までを調査した点に特徴がある．

2.　対象地域と利用データ

2.1　対象地域

対象地域は岐阜県の飛騨市古川町地域である．この地域は人口減少・高齢化が進む地方中小都市である．一方で，中心駅である飛騨古川駅周辺の市街地には多様な街並みや文化が残り，本研究の趣旨にあう多様な地域の魅力が点在するため，調査対象地として適切であると考えた．また，豊かなまちづくりに向けて地域外からの関係人口を積極的に増やしているため，被験者として地域住民のみならず関係人口の人々も集めやすかった．以下，行政区域としての飛騨古川町地域を「古川地域」，イベントの対象地域を「飛騨古川駅エリア」と記す（図 1）．



図 1：飛騨古川地域

2.2　調査概要・利用データ

2023 年 5 月 6 日に飛騨古川駅エリアにおいて，まちあるきイベントを実施した．参加者は地域住民や関係人口にあたる 17 人であった．なお，本イベントの設計に向けて，類似内容のイベントを 2022 年 10 月，2023 年 1 月に予備的に開催しており，一部の参加者（8 人）はリピーターである．表 1 に参加者の基本属性を示す（後述のアンケートにより聴取）．イベントでは，大きく分けて 1)イベント開始前の事前アンケート，2)フィールド調査に活用できるスマートフォンアプリ Epicollect5 による地域らしさ要素の情報の記録・収集，3)イベント後の事後アンケートを行った．下記に各調査内容を詳述する（本稿で使用する項目には下線を付した）．

事前アンケートでは，各自の基本属性に加え，飛騨古川地域との関わり方として，1)飛騨古川を訪れ

表 1：参加者の基本属性

居住地	古川地域内＝5／古川地域外＝12
性別	男性＝6／女性＝7／不明・答えたくない＝4
年齢	20 代=3／30 代=2／40 代=4／50 代=2／60 代=5／70 代以上=0／不明・答えたくない=1

数字は該当者数を表す．

る頻度，2)飛騨古川との関わり方を訊ねた．

また，イベント前後での比較のために，事前・事後アンケートの両方で地域への意識・想い・空間的な理解を訊ねた．具体的には，古川地域に関する 1)愛着項目（9 項目＋総合評価，詳細は 4.1 節），2)自己効力感（8 項目，詳細は 4.1 節），3)飛騨古川に存在する要素（10 項目＋自由記述 2 項目）にどれだけ親しみを感じているか（5 段階）を訊ねた．また，対象エリアについて，4)おおよその街並みの要素が想像できる範囲を示してもらった（図 2）．



図 2：事前・事後アンケートで用いたエリアの地図

まちあるきによる調査では，実施日（21.8 度，くもり）の 10:30～12:30 の間，飛弾市役所を出発地点とし，飛騨古川駅エリアを自由に歩いてい，その過程で，クラウド上にデータ集約ができるスマートフォンアプリ Epicollect5 を用いて，各自が「地域らしい」と感じるまちの要素を記録してもらった．Epicollect5 の利用に際し，事前にクラウド上で調査票を作成した．調査票では，「地域らしい」と感じるまちの要素の写真データ，撮影対象ごとの名称，撮影時間，撮影地点（緯度経度），撮影理由(5 項目，詳細は 3.4 節)，印象の残りやすさ（10 段階），撮影した景観の残し方，撮影した要素を残すためにどの主体の取り組み・活動が重要だと思うか，写真の補足説明について訊ねた．また，参加者の移動経路の記録のため，まち歩き中には GPS（GARMIN eTrex 10J）を携帯してもらい，1 秒間隔で移動軌跡を記録した．

3. 撮影対象からみる地域らしさの特徴分析

本章では，Epicollect5 に記録された地域らしい要素の写真とその撮影地点，撮影対象，撮影理由の分析を通して，飛騨古川らしさの特徴を分析する．

3.1 地域らしさの構成要素の分類

参加者が撮影した地域らしさの構成要素の全写真 204 枚を 13 種類のカテゴリに分類した（図 3）．

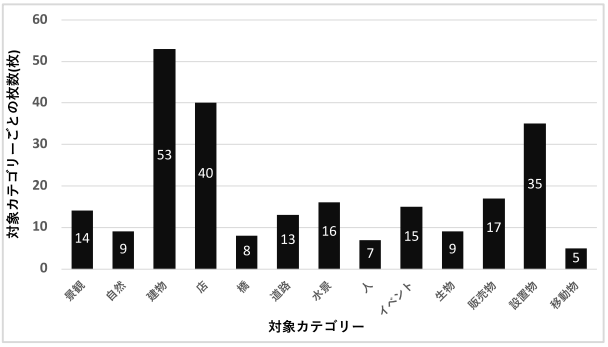


図 3：カテゴリ分類ごとの該当数

分類方法は記録された撮影対象の説明をもとに 70 個の小分類に分け，さらにそれを 13 個のカテゴリにまとめた．撮影対象の説明がなかったもの，写真と撮影対処の説明内容が明らかに一致していないものは，位置情報と撮影写真に写っている事物を参考に分類した．また，撮影対象が複数説明されたものはそれぞれ対象とした．そのため，一つの写真が複数カテゴリに振り分けられる例が存在する．

図 3 より，【建物】が全体の約 22.0%と一番多い．これは飛騨高山地域の家屋建築に見られる雲形肘木や煙出しなどの伝統的建築意匠や寺院・神社・祠が地域に多く立地しており，それらが参加者に地域らしい要素と認識されたものと考えられる．また，商品やサービスを販売・提供する場所である【店】が次に多く全体の約 16.6%であった．これは異なる参加者がそれぞれ特定の店を撮影していたことが影響していると考えられる．特に建物や店舗など，まちの中に多く分布する要素に由来する地域らしさは，参加者にとって見つけやすかったものと考えられる．ただし，どんなものでも対象になるわけではなく，伝統として受け継がれてきた建築的要素や，地域に根付いた店など，ハード・ソフト的に「地域らしい」と思われる特徴を有するものが選ばれていた．地域に古くからあるもの以外にも，歴史が浅いが地域の人に愛される店舗なども含まれる．

【イベント】カテゴリでは，地域の祭りに関する

ものが大半を占めており，形のない伝統・文化的な要素が，形のある事物に投影されて，地域らしい要素として多く発見されていた．古川まつり会館や屋台蔵など地域の伝統的な「古川祭り」に関する事物が多く撮影されており目に見えない文化・伝統に関する地域らしさを要素としてくみ取ることができた．

その一方で，自然や【橋】，【人】，【移動物】等のカテゴリは，それぞれ 5%未満に留まる．本イベントにおいては，地域らしさを感じられにくい，もしくは見つけにくい地域らしさであったといえる．

以上の結果より，飛騨古川における地域らしさとは，伝統的な建築意匠や寺社仏閣など歴史の古いものも多いが，比較的新しいものも地域らしい要素として選ばれている．また，建物や街並みなどの目に見えるハード的な要素だけでなく，形のない人々の愛着や，伝統・文化的といった想いが形のある事物に投影されて捉えられてもいた．これらは，保全や活用に向けて地域らしさを体系化・具体化していく際に押さえておくべき重要な発見であるといえる．

また，地域との関わり方による地域らしさの感じ方の違いを分析するために，対象地域における地域らしさの要素と向き合う経験が相対的に豊富と考えられる，「古川地域の住民，もしくは過去の本イベントのリピーターの参加者（住民・リピーター群）」と，相対的に経験の少ないといえる非住民かつイベントに初参加の参加者を(非住民・非リピーター群)に分けた．非住民・非リピーター群の参加者は古川地域への来訪経験はあるものの年数回以下の頻度で訪れる人々であり，(後述の分析にも示すように) 地域への想いや理解度も，地域住民や関係人口として積極的に地域に関わっている人が多い住民・リピーター群の人々と比べて相対的に弱いと判断した．図 4 に各群のカテゴリ別の平均撮影枚数を示す．平均撮影枚数は住民・リピーター群で 17.2 枚，非住民・非リピーター群で 9.86 枚と，前者の方が多く地域らしさの要素を発見していた．これはカテゴリごとにみても，同様の傾向がある．過去のイベントで地域らしさを探したことがあったり，地域らしさの構成要素を普段から見慣れて認識しているために，地域らしい要素をすぐに探し当てられたためと考えられる．

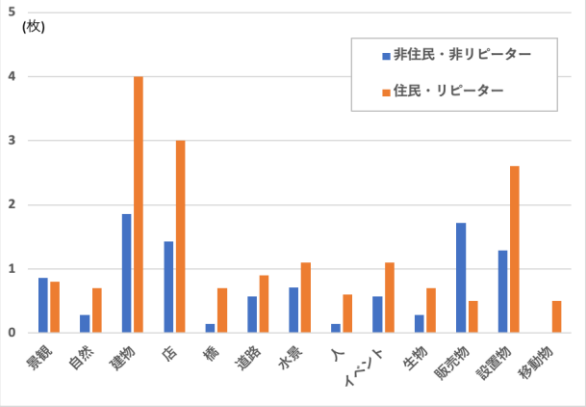


図 4：参加者グループごとの撮影枚数の比較

特に，【自然】，【橋】，【人】，【生物】，【移動物】は非住民・非リピーター群の撮影枚数が少なく，地域をよく知る人には見つけやすいが，そうでないと見つけにくいカテゴリであると考えられる．その一方で,【販売物】は非住民･非リピーター群の方が多い．地域のことをあまり知らない人にとっては，明確に名産・特産と銘打たれているものは見つけやすい反面，地域をよく知る人にとって普段見慣れたもので地域らしさをあまり感じなかった可能性がある．

よって，地域らしい要素を発見し保全・活用するために様々な属性を持つ人から意見を集める必要があることが示唆される．また，地域に居住していない関係人口など地域住民以外の人々の立場から，その地域の地域らしさの要素を発掘してもらう場合，本イベントのような体験を複数回重ねていく事で新たな要素や観点の発見につながると考えられる．

3.2　撮影地点と撮影写真の分布

イベント内で撮影された対象のうち，位置情報が取得できた 203 枚の位置の分布と代表的な撮影対象を図 5 にまとめた．その際，撮影位置の情報を参考に，撮影対象の緯度経度を Google Maps より取得した．なお，景観カテゴリの様に対象の位置を定められないもの，対象の詳細な位置が不明なものは，撮影地点の緯度経度をそのままプロットした．

各自が発見した地域らしさの構成要素は，駅南側の飛騨古川市街地内に広く分布している．撮影された対象を概観してみると，例えば，人工物であれば，建物（本光寺，町家など），店（ベルギーワッフルの店など），橋（古川まつりの装飾が使われる霞橋），道路にある融雪口，設置物（町の雰囲気に合わせた



図 5：撮影された地域らしさ要素の分布

消化栓など），販売物（お土産など），移動物（電車やバスなど）が見つかり，自然であれば，景観（街の中央を流れる瀬戸川とその町並みなど），植物（街のシンボルとなるような大きなイチョウなど），水景（城の堀や瀬戸川など），生物（瀬戸川の鯉など），その他にも，人（観光客や店の店員など），イベント（まつり会館）など先のカテゴリ別の集計結果にも表れるように，様々な地域らしさが発見された．カテゴリ内の構成要素も多様であり，自治体が地域資源として挙げているもの以外の事物も，地域らしさの要素として取り上げられる．図 5 より，撮影された地域らしさは白壁土蔵街や壱之町通りなどの通りやまつり会館や駅周辺などの地点に地位域らしさが集まっており，地域を代表し人が地域資源の集まる場所で地域らしさが多く見つかっているといえる．

また，建物とそれらが作り出す街並み，店とその看板など，複数の対象が同じ位置に重なる場合や，周囲に密集する場合には，単なる点分布では適切に状況を表現しづらい．そこで，カーネル密度推定法を用いて，撮影対象の分布のヒートマップを作成した（図 6）．以降の図 7〜9 も含め，検索範囲 15m，メッシュサイズ 1m とした．

図を見ると，いくつかの場所は他の場所に比べて，地域らしさの分布密度が高いことがわかる．さらに，カテゴリ分類ごとのヒートマップを作成してみたところ，記録された対象が古川のまち全体で見て，集中していると考えられるカテゴリと，対象が分散していると考えられるカテゴリに分けられた．撮影位置が集中しているカテゴリには【橋】，【イベント】，

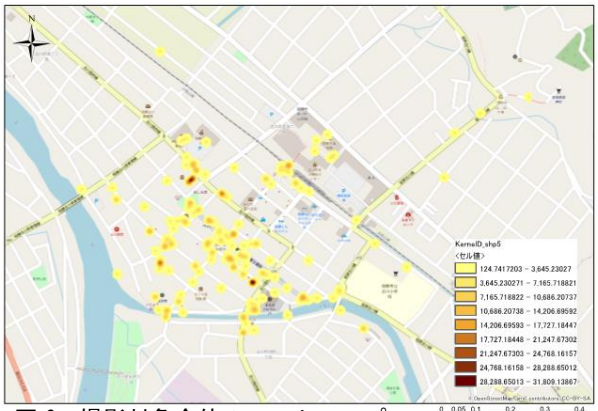


図 6：撮影対象全体のヒートマップ

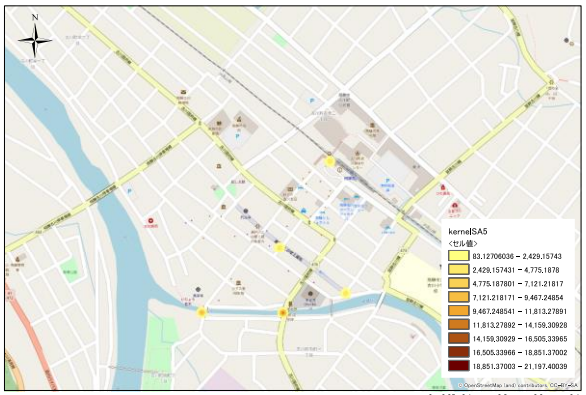


図 7：橋カテゴリのヒートマップ

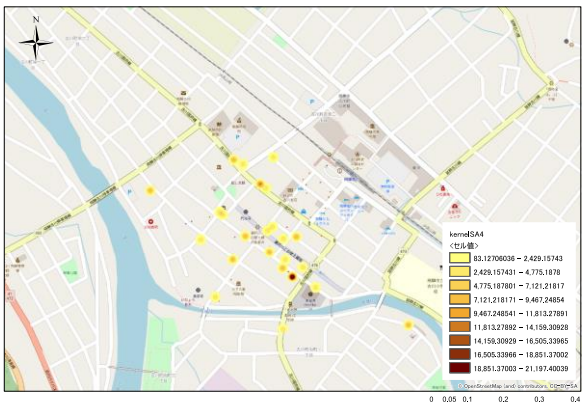


図 8：店カテゴリのヒートマップ

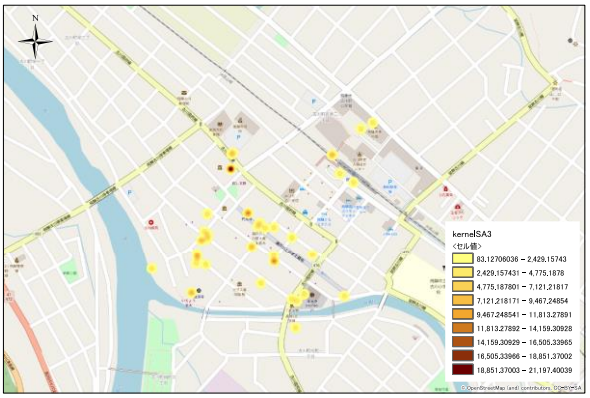


図 9：建物カテゴリのヒートマップ

【店】,【生物】,【水景】,【設置物】がある.【橋】(図7),【イベント】は関連する地域らしい要素が地域内でみられる場所が限定されており，地域らしさが発見された場所が集中している要素であるといえる.また,【イベント】に関連する撮影枚数は対象の分布が限られる中で複数の人に着目されていたことも集中した理由であると考えられる.

一方で,【店】(図 8),【生物】は複数の通りに線的に集中しており,図は掲載できていないが,【設置物】,【水景】は市役所付近などに点的に集中していた.

この様に，撮影位置が集中しているものにも地域らしい要素のある場所によって二種類に分けることができる．このようなカテゴリごとの分布の特徴を把握することは,本研究のような探索を介さずとも,地域らしさの要素の検討をつける際の参考となる.

一方，撮影位置が分散していると考えられるカテゴリは【景観】,【自然】,【建物】,【道路】,【人】,【販売物】,【移動物】があると考えられる（図 9 は建物の例).これらのカテゴリは街中の様々な場所にあったり，特定の場所に同じカテゴリの対象が集まっていたりするカテゴリであり，実際に撮影された場所も街中にあった．建物に関しては，特に撮影枚数や撮影対象の局所的な重複・集中も多い．新旧様々なものが地域内に立地しており，歴史的な建物を撮った人もいれば特徴的な建築様式を撮った人もいるなど，人により着眼点が異なる場合や，例えば地域の多くの建物に見られる同様の建築要素をどの建物から地域らしさとして発見したかが異なることで，広い範囲にみられた可能性がある．また,【人】,【移動物】については，各人によって地域らしい要素ととらえるか否かがわかれやすいカテゴリでもあり，撮影地点がまばらになった可能性もある.これらより,景観や建物，人など位置が分散している地域らしさはより詳細な分析を行い，撮影者ごとの分布の特徴を把握する必要があるが,これは今後の課題とする.

3.3　地域らしい要素の撮影理由

人々がある要素を「地域らしい」と捉える観点・理由は多様であると考えられる．それが，なぜ「地域らしさ」として認識されたのかを把握することで,その地域らしさが地域に根付いてきた背景としての事実と,人々の認識の整合性を検討することもでき,地域資源としての保全・活用政策の際の方向性を定める参考になる．そこで，本節では，各要素が地域らしさとして参加者に選ばれた理由を明らかにする.各要素を地域らしい要素として撮影した理由を集計した結果を示す（図 10）．また表 2 には，その理由の偏りが特に大きいカテゴリを示した（特定の理由が 30%以上および，30%未満 25%以上）.

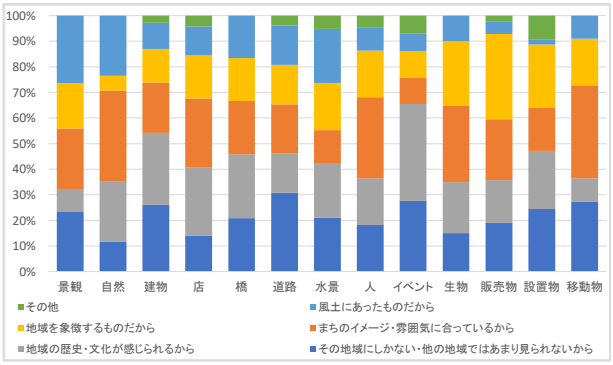


図 10：地域らしさの撮影理由

表 2：撮影理由の偏りが大きいカテゴリ

理由	30%以上	30%未満 25%以上
その地域にしかない・他の地域ではあまりみられない	道路	建物，イベント，移動物
地域の歴史・文化が感じられる	イベント	建物，店，橋
まちのイメージ・雰囲気に合っている	自然，人，生物，移動物	店
地域を象徴するものだから	販売物	生物
風土にあったものだから	該当なし	該当なし

まず，理由の偏りが 30%以上と特に大きいカテゴリに着目する.【道路】は「他の地域ではあまりみられない」が多い．これは融雪設備などの多雪地域以外ではあまり見られないものが多く撮られたことが影響したといえる.【イベント】は「地域の歴史・文化が感じられる」が理由として多く，これは飛騨古川の歴史や文化に深く関わっている古川まつりに関するものが多く撮られていることが影響している.【自然】,【人】,【生物】,【移動物】は「まちのイメージ・雰囲気に合っている」が理由として多い．これは飛騨古川のイメージとして田んぼや春に関連した桜並木，活発でやさしい人（自由記述より），瀬戸川の鯉，特急ひだ，などが思い浮かびやすいことが影響している.【販売物】は「地域を象徴するもの」という理由が多く，味噌せんべい，お酒などが地域を象徴する名産品と認識されたためと考えられる.

次に，ある理由が選ばれた割合が 25%以上 30%

未満と，理由の偏りが比較的大きいカテゴリに着目する.【建物】は「その地域にしかない・他の地域ではあまりみられない」と「地域の歴史・文化」が感じられるが理由として多く，これは他の地域ではあまり見られない雲形の模様があしらわれた肘木やお寺，飛騨の歴史や文化に大きく関わりのある古川まつりが多く撮られていることが影響したと考えられる.【店】は「地域の歴史・文化が感じられる」と「まちのイメージ・雰囲気に合っている」が理由として多い．これはベルギーワッフルや酒を売る店がまちのイメージ形成の一端を担っていることや，歴史のある店の外観が歴史的な魅力を感じさせたものと考えられる.【橋】は「地域の歴史・文化が感じられる」が多く，これは橋の意匠に歴史的な要素を踏襲していることが影響したと考えられる.【景観】は「風土にあったものだから」が多く，これは川や山，田畑が撮影されており，気候や地形などに関するものが多く撮影されたことが影響していると考えられる．一方,【水景】,【設置物】に関してはどの理由も 25%未満で撮影理由の偏りが比較的少なく，このカテゴリの地域らしさは人によって撮影理由が異なる．カテゴリ内でも撮影対象が異なっている、または同じ要素を撮影していても、人により理由が異なりやすい要素である。これらの要素を地域らしさとして保全・活用の政策を講じる際には，要素ごとに地域らしさと感じられる理由を考察しなければならない．

この様に，ひとえに地域らしさと言っても，各自がそれを地域らしいと認識する観点や理由はさまざまである．それぞれの地域らしさが適切な方向性で認識されているのかを踏まえて傾向に合わせた保全の仕方を考える必要があるといえる．

4. イベントを通した地域への認識・意識の変化

本章では，今回の地域らしさの要素を各自でまちあるきをしながら発掘するというイベント体験が，地域に対する愛着・自己効力感や地域に対する空間的な理解へ及ぼす影響を分析する．地域に対する愛着や自己効力感が高まることは，地域や地域における活動への関与意識が強まることが知られている [7]．この様な関与意識の高まりは地域の住民・関係人口に限らず地域を支えていく一員としての意識に繋がり，たとえ移住人口が順調に増加しなくとも，地域を支える担い手が増加したり，地域活動が盛んに行われることで，地域活性化にもつながりうるものであり，地域らしさを保全・活用する政策・地域活動の推進においても大きな貢献をすると考えられる．

4.1 地域に対する愛着や自己効力感の変化

まず，地域に対する愛着・自己効力感の変化を分析する．事前・事後の各アンケートで訊ねた愛着項目と自己効力感項目の回答をスコア化し (5 : とてもあてはまる～1:あてはまらない)，各項目のスコアをもとに因子分析を行った（プロマックス回転，最尤法，表 3・表 4)．両項目は，因子数は回転前の累積寄与率が 75%以上を超える 2 に設定した．因子負荷量が高い項目を踏まえ，愛着項目では「選好因子」と「かけがえなさ因子」，自己効力感項目では「挑戦因子」と「地域貢献因子」と命名した．各表では，3.1 節でも用いた住民・リピーター群と非住民・非リピーター群に分けてスコアの平均値も計算した．
まず，全体的な値を見ると，地域住民・リピーター群の方が，そうでない群と比べて，もともとの愛着・自己効力感ともに高く，地域に対する想いや地域に関わろうとする意志が強い．これは，前者の群の人々が，日ごろから地域で生活したり，関係人口として地域のイベントなどに積極的に関わる中でこのような想いを培っていたためと考えられる．

次に，図 11 に示したイベント前後での各因子の得点の平均値の変化に着目する．やはり相対的にみて両群には得点の差がある．地域住民・リピーター群では，イベントを経て因子得点がそれぞれ減少傾向にあるのに対し，非地域住民・非リピーター群では，因子得点が大きく増加している．これは，地域に対する想いがもともと総体的に弱かった後者の群に対しては，本イベントを通して，地域を実際に歩き回り，地域らしさを象徴するものを見つけようとしながら地域と向き合うこと中で，地域が好き・かけがえのないものと思う愛着が高まったこと，地域らしさを発見するというイベントの経験を通して，自分が地域に対して新しい挑戦・貢献ができるという自己効力感が高まったものと考えられる．

表 3：愛着項目に関する集計・因子分析の結果（累積寄与率：77.4%）

調査項目	居住・リピーター：スコア平均		非居住・非リピーター：スコア平均		因子負荷量	
	事前	事後	事前	事後	選好因子 寄与率 63.7%	かけがえなさ因子 寄与率 13.6 %
（飛騨古川の）雰囲気や土地柄が気に入っている	4.70	4.70	4.43	4.57	1.026	-0.060
好きだ	4.80	4.70	4.57	4.57	0.890	0.083
リラックスできる	4.70	4.70	4.29	4.57	0.838	0.115
大切だと思う	4.80	4.80	4.29	4.43	0.435	0.559
いつまでも変わって欲しくないモノやコトがある	4.90	4.60	3.71	4.14	-0.073	1.041
無くなってしまうと悲しいモノやコトがある	4.70	4.60	4.00	4.29	0.268	0.708
ずっと住み続けたい	4.30	4.00	3.00	3.43	-0.005	0.552
住みやすいと思う	4.60	4.40	3.43	3.86	0.228	0.509
自分の居場所がある気がする	4.40	4.50	3.29	3.71	0.269	0.285

表 4：自己肯定感項目に関する集計・因子分析の結果（累積寄与率：80.6%）

調査項目	居住・リピーター：スコア平均		非居住・非リピーター：スコア平均		因子負荷量	
	事前	事後	事前	事後	挑戦因子 寄与率 72.6%	貢献因子 寄与率 7.9%
（飛騨古川の）将来のためにできることがある	4.40	4.30	3.86	4.00	0.905	0.102
失敗しても良いので何かしら関わってみようと思う	4.50	4.40	4.14	4.00	0.855	0.101
これまで取り組まれてこなかったことを始めてみようと思う	4.30	4.30	3.43	4.14	0.742	0.073
関連する活動を行う上で起こる問題の多くは対応できる	3.80	4.40	3.29	3.43	0.517	0.285
積極的に知らないことを学んでみようと思う	4.40	4.70	3.86	4.14	0.478	0.278
現地の方と協働して，飛騨古川のためになることができる	4.40	4.40	3.57	3.86	-0.019	1.013
関連する活動にどんな形であっても良いので関わっていける	4.70	4.50	4.00	4.14	0.363	0.626
少しでも力添えや役に立つことができる	4.40	4.40	3.57	4.00	0.391	0.558

一方，住民・リピーター群でこれらの評価が減少傾向にある点について考察する．表 3 より，イベント前・後で評価が下がった項目は，愛着では「住みやすい」や「住み続けたい」という居住に関する項目，「いつまでも変わってほしくない」モノやコトに関する項目であった．本イベントが，これらの項目に関する想いを見直す機会になったと考えられる．まち歩きを通して新しい期待の想いが膨らみやすい非地域住民・非リピーター群に比べて，歩きなれているまちの中の利便性などに課題を見つけてしまい，居住に関する評価が下がりやすかったと考えられる．また，「いつまでも変わってほしくないモノやコト」への想いに関しては，イベントの中で「地域らしさ」は古く・昔から変わらないもののみならず，近年の新しい要素にも宿ることに気づき，変化を許容した可能性があり，ポジティブに評価できる点であろう．

自己効力感項目では，「将来のためにできることがある」，「失敗しても良いので何かしら関わってみようと思う」，「関連する活動に，どんな形であっても良いので関わっていける」といった項目の評価がイベント前後で下がっている．これは，住民・リピーター群は，今回のイベントを通してまちと向き合う中で，地域に対する責任感が強まり，自分たちは地域を支える立場であり，その関わりの中では失敗は望ましくない，ある程度明確な立ち位置でかかわっていくべきである，と地域との関わり方の認識が深まった可能性が考えられる．その様な点で，こちらも今回の調査がもたらした変化は決してネガティブなものではない．そのような人々が適切な立場・責任

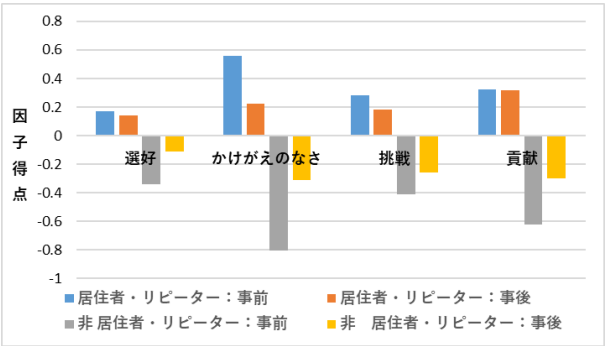


図 11：イベント前後での各因子得点の変化

感で関わる活動の場が用意できれば，その想いを地域にとって良い方向に昇華させていけるからである．

4.2　地域に対する空間的な理解の変化

イベント前後のアンケートでは,「地域の中で頭の中でおおよその街並みの要素が想像できる範囲」を記入してもらっている．本稿では，これを「各自の地域に対する空間的な理解の及ぶ範囲」と考え，ここでも，住民・リピーター群と非住民・非リピーター群に分けて，その変化を分析した．

まず，住民・リピーター群の方が平均的に理解の及ぶ空間的な範囲が広い傾向が見られた．さらに，イベント前後の変化をみると，住民・リピーター群（10 人）では範囲が広がった（図 12 は広がった例）: 3 人，狭まった：4 人，変化なし:2 人，移動した：1 人，一報の非住民・リピーター群（7 人）では範囲が広がった：5 人，狭まった：1 人，変化なし:0 人，移動した：1 人であった．非住民・リピーター群ではイベントを通して空間的な理解の範囲が広がった人が多い. 地域らしさを探しながらまちを歩くことで，空間的な理解の及ぶ範囲が単純に拡大するという効果が考えられる．住民・リピーター群で理解の範囲が広がった 3 人のうち 2 人は地域に通いだして日が浅い人であることも，その結果を支持している．

一方で住民・リピーター群では，理解の範囲が逆に狭まった参加者が 4 名いたが，そのうち 2 名は図 13 に示すように，イベント前の書き込み方が曖昧であったところから，イベント後には道路に沿った，より明確な範囲の書き方になっていた．ここから，ある程度地域に対して空間的な理解が高かった人々に対しては, 今回のイベントにおけるまちあるきが，おぼろげに広がっていた理解をより鮮明化・明確化する効果があったことが予想される．

このような地域に対する空間的な理解の変化の特徴も，今後の地域づくりに活用できる．空間的な理解が狭かった人の理解の範囲が広がることは, 今後，地域でのその人の活動範囲の拡大につながりうる．今回のような各自がまちを歩き回るイベントによりいわゆる「まちのビギナー」の人々の地域の理解の範囲を広げていく事で，例えば，地域内に点在する様々な地域資源を利用してもらいやすくなる．一方



図 12：地域の空間的理解が広がった例



図 13：地域の空間的理解が具体化された例

で，既にある程度地域に理解がある人が，自身が自信を持って理解している範囲の理解の解像度を鮮明・明確にしていき，さらにそれを広げていくプロセスが繰り返されれば，地域の広い範囲に渡って高い空間解像度での理解が進む．その人自身がビギナーへ案内や説明できるところまで達することで，地域住民や関係人口である人々が，地域の資源やその魅力を伝える伝道師となれる．実際に飛騨市では，関係人口の人々に向けて，まち歩きを行う活動（飛騨市ファンクラブまちあるき部）が行われている．地域住民や関係人口の人々が責任感を持ってその運営を担っていくことは，地域の活性化や関係人口の拡大・関わり方の深化に繋がるものと考えられる．

5.　おわりに

5.1　本研究の成果のまとめ

本研究では，飛騨古川地域を対象にまちあるきイベントを通して収集したデータを使って，この方法で抽出される参加者が「地域らしい」と考える要素の特徴を分析するとともに，イベントを通して，参

加者の地域に対する意識・認識の変化を分析した.

前半の分析では, 寺社仏閣などの古いものから新しくできた店まで，時代を問わず，地域らしさとして挙げられていた．さらに，古川まつりなどの無形の要素についても，関係する建物や屋台蔵など有形のものに投影されて捉えられていた．そして撮影場所の分布から，見つけられた地域らしさの分布は，その分類カテゴリにより異なることも明らかになった．さらに，ひとえに地域らしさといっても，それらが選ばれる理由は一様でなく，対象のカテゴリによって地域らしいと感じる理由が異なることも明らかになった. 地域らしさという捉えどころのないものの体系化を示すことができたといえる.

さらに後半の分析として，今回実施したイベントの効果を評価した．まず，参加者の地域への関わり方・立場に応じて，地域への想いや理解の初期値が異なっていた．今回のイベントを経ることで，非住民・リピーターの人は，実際のまちに出て地域と向き合う中で，新しく愛着や自己効力感が醸成されたり，地域の空間的な理解が広がる傾向が見られた．もともとの想いや理解が弱かった所から，今回のイベントが深化･拡大をもたらしたためと考えられる．一方で，地域住民や（イベントの）リピーターとして既にある程度愛着や自己効力感が醸成されていたり，地域の空間的な理解が進んでいる人々に対しては，地域への想いや関わり方のスタンス，空間的な理解を捉えなおして，より鮮明・明確化する契機として本イベントが機能したと推察される．今回のイベントがもたらす影響が，地域との関わりの深さや理解の程度により異なるということは新たな発見である．いずれも，人々の地域に対する想いや理解の度合い・段階を踏まえ，今後の地域づくりを行ううえで有用な基礎資料となるだろう.

5.2 今後の課題

今後の課題としては，まず，撮影対象のより詳細な分析がある．例えば，3 章では参加者全員のデータから読み取れることを分析したが，撮影対象や撮影理由などを関係人口など個人属性に応じて比較することで，地域らしさの認識の違いを明らかにできるだろう. また, 特定の店やイベントに関する建物・物など複数人が同じ対象を撮影している．これらの対象にどのような歴史や文化があり，なぜ地域らしさとして選ばれたのかについて考察する必要がある.

謝辞

本研究内のイベントの実施にあたり，会場提供・イベントの運営サポートをいただいた飛弾市役所の職員の方々，参加者の皆様にお礼申し上げます.

参考文献

1) 国土交通省(2017)「居住機能・都市機能の誘導と連携した景観施策検討調査 平成 28 年度調査の検討結果 第 3 章景観施策と居住機能都市機能の誘致施策の関係性の分析」, https://www.mlit.go.jp/common/001270413.pdf, 最終閲覧日：2023 年 8 月 15 日

2) 国土交通省(2014)「国土政策局：個性ある地方の創生」, https://www.mlit.go.jp/common/001058646.pdf, 最終閲覧日：2023 年 8 月 15 日

3) 国土交通省(2009)「平成 21 年度 国土交通白書」 https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h21/index.html, 最終閲覧日：2023 年 8 月 28 日

4)内閣官房デジタル田園都市国家構想実現会議事務局内閣府地方創生推進事務局「関係人口の創出・拡大，内閣官房・内閣府総合サイト地方創生」 https://www.chisou.go.jp/sousei/about/kankei/index.html , 最終閲覧日：2023 年 8 月 15 日

5) 四戸秀和・上田裕(2013)「個人意識としての気に入っている風景と集団意識としての地域らしい風景の関係」, ランドスケープ研究, **76**(5), pp. 575-578

6) 有原千尋・藪谷祐介・阿久井康平・沼俊之(2023)「まちの構成要素と印象に着目した都市空間の「らしさ」の分析手法−富山市大手モールをケーススタディとして−」, 日本建築学会技術報告集, **29**(71), pp.400-405

7) 大石洋之・村川三郎・西名大作(2007)「被験者の撮影写真における選好景観特性の分析」, 日本建築学会環境系論文集, **72**(611), pp.75-82

8) 片岡亜紀子・石山恒貴(2018)「サードプレイス志向と地域自己効力感が地域コミットメントに与える影響」, 地域活性研究, **9**, pp.15-24

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-15] 奥行きを含めた街路景観評価の機械化

*Shusuke Sakamoto[1], Hiroki Adachi[1], Tomoki Nakaya[1] （1. Tohoku University Graduate School of Environmental Studies）

Keywords: 街路景観, 街路景観画像, セマンティックセグメンテーション, 深度推定

街路景観を評価する際に，景観画像を用いることで歩行者の知覚に近い評価を行うことが可能となる．そこでは景観の構成要素の構成比や，緑などの特定の要素が占める割合が特徴量として扱われることが主で，構成要素が観測者の位置から近くにあるのか，遠くにあるのかといった配置については十分検討されていない．本研究では，街路景観画像に対してセマンティックセグメンテーションや深度推定を行い，そこから得られた各画像についての構成要素，観測者からみた構成要素の方向・深度をもとに特徴量を作成する手法を提案する．さらに各街路景観画像について景観の評価値を作成し，それらをもとに街路景観の評価と特徴量との関連を分析する．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-16] 保育所内外観画像を用いた印象評価アンケートに基づく保育所印象評価モデルの構築

*Kotaro Masuki[1], Takuya Oki[1] （1. Tokyo Institute of Technology, School of Environment and Society, Department of Architecture and Building Engineering ）

Keywords: 保育所, 内外観画像, 印象評価, Webアンケート, 深層学習

世帯の保育所選択行動について，その要因を多角的に検討することは，保育施設計画において重要である．筆者らは，保育所の入所状況や施設属性，アクセシビリティなどを説明変数として，世帯の保育所選択行動を記述するモデルの構築に取り組んでいる．しかし，実際の保育所選択においては，施設内外から受ける印象も大きく影響しているものと推察されるが，上述のモデルではそうした情報は考慮できていない．そこで本研究では，まず，各保育所の Webサイトに掲載されている画像をスクレイピングにより収集し，目視によるフィルタリングを通して、保育所の内外観画像を抽出する．次に，収集した画像を用いた大規模な印象評価 Webアンケートを実施し，この結果を学習データとして，保育所の内外観に対する印象評価スコアを予測可能な深層学習モデルを構築する．さらに，モデルで算出した印象評価スコアに基づく基礎的分析を行う．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-17] 転居先の候補地周辺の下見支援システムの構築

*Ryuya Nishiguchi[1], Kayoko Yamamoto[1] （1. The University of Electro-Communications）

Keywords: Web-GIS, 下見支援, 転居, 内見, システム

新型コロナウイルスの流行に伴い、転居時の内見活動がオンライン上で増加した一方で、周辺施設までの徒歩時間や周囲の騒音等、実際に現地に足を運ばなければ得られない、転居先を決定する上で重要な情報が多く存在する。本研究では、転居を検討しているユーザを対象として、転居先の候補地周辺地域の下見の支援を行うシステムの構築を目的とする。具体的には、 Web-GISを用いた周辺地域の下見ルートを表示する機能、下見により得られた情報を整理する機能、システムのユーザ間での下見記録を共有する機能、さらには、避難場所等への下見を促すためのユーザインターフェース（ UI）の設計と構築を行う。これらにより、本システムのユーザに対し、転居先の周辺地域の下見の情報収集にかかる負担を軽減するとともに、周辺地域の理解の向上を目指す。

©Geographic Information System Association

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-18] 計測環境の違いが被験者の視線行動に及ぼす影響　―商店街を例とした実空間・スクリーン・ VRヘッドマウントディスプレイの比較分析―

*Ryo Takai[1], Takuya Oki[1] （1. Tokyo Institute of Technology）
Keywords: VR, 視線計測, 視線行動, 商店街

近年，視線計測は様々な場面で活用されており，建築・都市計画研究でも，人々が空間をどのように捉えているかを計測・可視化し，施策検討に応用することが試みられている。実験は必ずしも実空間で行われるとは限らず，スクリーンに街路画像を提示する例や，昨今では VR（仮想現実）技術を用いて仮想空間上で行われる例も増えている。こうした技術の活用は，被験者の負担軽減や，多くの改善案を仮想的に検証できるなどの利点があるが，計測環境の違いが視線行動に及ぼす影響は十分に検証されていない。 そこで本研究では，多様な構成要素を有する商店街を例に，(A)実空間，(B)スクリーンに動画を提示，(C)VRヘッドマウントディスプレイに動画を提示，の3ケースで視線計測実験を行い，被験者の視線行動の違いを分析する。さらに，(B)や(C)のケースで得た視線行動データから，(A)のケースにおける視線行動を推定する方法について，基礎的な検討を試みる。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-19] 自転車歩行者専用道路での接触事故の危険要因と地理的分析

*Miyano Imoto[1], Naoko Fujita[1], Ding Ma[1] （1. University of Tsukuba）
Keywords: 自転車, 歩行者, サイクリングロード, 交通安全, 共存道路

自転車歩行者専用道路は一般的にはサイクリングロードと呼ばれ、自転車専用道と認識されていたり、自転車に主眼を置いた整備が行われることが多い。歩行者との接触事故防止のための工夫が施されている事例もあるが、その工夫が却って危険要因となりうる場合もある。 本研究の目的は、自転車歩行者専用道路での自転車と歩行者の接触事故の危険な要因を、現地での調査と GIS分析を踏まえて明らかにすることである。 具体的には、茨城県にあるつくば霞ヶ浦りんりんロード旧筑波鉄道コースを対象に歩行者へ自転車と接触しそうになったかアンケートを実施し、その結果と現地での危険要因を踏まえて地理情報分析を行い、接触の危険性が高いと特定できた場所での危険要因を明らかにする。分析項目は、りんりんロードの道幅との関係、道の曲がり具合、フェンスゲートの場所との関係、土地利用、周辺住民の分布、周辺住民の年齢層、交通インフラ、高低差等とする。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-20] 交通事故における高齢歩行者事故とその周辺環境との関係についての分析

*Yoshito Amai[1] （1. Kanazawa Institute of Technology）
Keywords: 交通事故, 人体車両, 高齢者, 車道幅員, 横断歩道

2019~2020年における日本での交通事故死者数の約40%は歩行者であり、死亡した歩行者の約70%を65歳以上の高齢者が占める。我が国では今後高齢者数が増加することから、高齢歩行者が被害に合う事故への予防対策が

©Geographic Information System Association

重要な課題である。そこで高齢者の歩行者事故と死亡者数低減に向け、警察庁が公開している2019~2020年に起こった交通事故の位置データを含むオープンデータを利用し、高齢歩行者に致命的な被害を与える交通事故を誘発する、危険な周辺環境を検討した。具体的には、交通事故が多発する東京都区内に着目し、高齢歩行者の死亡事故と関連する周辺環境候補を仮説的に導出し、オープンデータでその関係を検証した。その結果、高齢歩行者の死亡事故は、幅員が狭い単路で事故が多発していることに加えて、横断歩道間の距離が長いと道路にて起きやすい傾向にあることを見出した。これらの結果を踏まえて、高齢歩行者の交通事故の特性について考察する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-21] 高齢者の空間認知能力と手描き地図特徴との関連について

Yoko Yoshimura[1], *Yasuhiro Kawahara[1] （1. The Open University of Japan）
Keywords: 認知機能, 手書き地図, 高齢者

手描き地図は、地理空間に対する認識を視覚化する方法の一つである。描かれた地図の特徴差は個人や環境の要因によるものとされてきた。近年、脳神経科学分野でのナヴィゲーション行動の研究によって、人が空間を移動する際に手がかりとする空間知識や空間参照枠、関与する脳部位、加齢により衰えやすい機能も解明されてきている。本研究では、高齢者31名の手描き地図を、①2次元回帰分析による正確性、②多重バッファによる経路密度の増減傾向、③描画特徴指標（ Route-likeness, Survey-likeness)によって評価した。この評価値と、仮想環境下のナヴィゲーション能力評価テスト及び空間認知機能評価の結果とを比較することにより、加齢の影響を受けやすいとされる空間知識能力と手描き地図の特徴との関連について、明らかにし、手書き地図の描画による空間認知機能評価の可能性について、考察した。

©Geographic Information System Association

人と蚊との接触機会における季節消長の空間解析

米島万有子*・桐村 喬・埴淵知哉***・駒形 修****・中谷友樹*****

Spatial Analysis of Seasonal Changes in Opportunities of Mosquito Bites

Mayuko Yonejima*, Takashi Kirimura**, Tomoya Hanibuchi***, Osamu Komagata****, Tomoki Nakaya*****

Abstract. This study examined seasonal changes in opportunities of mosquito bites and opportunities of mosquito bites in living residential environments by using the data of online research conducted in 2022 in Japan. The seasonal changes in opportunities of mosquito bites reaches a peak in early to late August and converges from early October to late November in Japan. The results of ordinal logit regression analysis show that opportunities of mosquito bites were associated with housing forms, ventilation, exposure to the sun, garden, breeding sites, adjacency to main street, and respondent's ages. These results indicate that physical residential environments composing of house and its surrounding neighborhood conditions determine the opportunity of mosquito bites for residential people.

Keywords: 蚊 (Mosquito), 蚊との接触機会 (Opportunities of Mosquito Bites), 季節消長 (Seasonal Changes), インターネット調査 (Online survey)

1．はじめに

2022年8月に発生したパキスタン大洪水によってマラリアやデング熱が蔓延し，2023年6月には熱波や暴風雨が相次いだアメリカ南部においてマラリアの発生が確認されている．これらの発生は人為的な気候変動の影響によって猛暑や大雨が生じ，蚊が繁殖しやすい環境条件ができたことが関係していると考えられている．マラリアやデング熱といった蚊媒介性感染症は，都市化，人の国際的な移動，気候変動といった要因が重なることで感染拡大につながる可能性がある（Dye-Braumuller and Kanyangarara, 2021; ナショナル ジオグラフィック, 2023）．日本における蚊媒介性感染症への注目度は, 2014年8月末, 約 70 年ぶりに代々木公園など首都圏を中心にデング熱の国内感染が確認されたことや, 2016年リオデジャネイロオリンピック時，ブラジルを中心に発生したジカ熱流行を契機に高まり，蚊媒介性感染症の侵入・定着への対策が喫緊の課題となっている．

蚊の発生や病原体の保有状況の調査は日本各地で行われているが，日本全域をカバーすることは難しい．そこで，気候条件をもとに蚊の生息分布を推定する研究が進められてきた（Kobayashi et al, 2002；Komagata et al, 2017；米島ほか，2015）．また，日本のような感染症の継続的な流行がみられない地域では，前述した研究のほかに，流行地の患者数を気候と社会経済指標から分析し，構築したモデルを非流行地に当てはめて流行リスクを評価する研究が行われている（Bouzid et al, 2014）．しかし，流行地と非流行地の地理的条件や媒介蚊の種の違いが考慮されていないなど課題も多い．

他方，感染症の発生や流行を考える上で重要となる蚊の吸血被害の情報は，質問紙調査によって実態

*　正会員　熊本大学大学院人文社会科学研究部(Kumamoto University)　**yonejima@kumamoto-u.ac.jp**
**　正会員　京都産業大学文化学部 (Kyoto Sangyo University)
***　非会員　京都大学大学院文学研究科(Kyoto University)
****　非会員　国立感染症研究所昆虫医科学部(National Institute of Infectious Diseases)
*****正会員　東北大学大学院環境科学研究科(Tohoku University)

が把握可能である（Morris and Clanton，1988；Morris and Clanton，1992；本村，1995；米島，2012）．ただし，蚊の吸血被害の頻度や人と蚊が接触する機会の場面状況に関する情報を全国的に調査し，その地域差を検討した事例は乏しい状況にある．

そこで，本研究ではインターネット調査を用いて日本全域を対象に，疾病の感染機会となる蚊の吸血被害が，日常生活の中で「いつ」，「どこで」，「どのくらいの頻度」で起こっているのかを把握し，本調査から得られた蚊の吸血被害の季節消長を明らかにするとともに，居住環境の特性から人と蚊との接触機会を規定する要因を検討した．

２．研究の方法

2.1．インターネット調査の概要

全国を対象とした蚊の吸血被害の季節消長および，人と蚊との接触機会と住環境との関連性について明らかにするために，2022 年 10 月 31 日～11 月 7 日の期間にわたり，インターネット調査を実施した．調査対象は，調査委託した楽天インサイト株式会社が保有するパネル（登録モニター集団）から，日本全国に居住する 18～69 歳とした．回収数は各都道府県 50 人とし，年齢階級・性別ごとの回収数を 2020 年国勢調査の構成比に基づいて比例割付した．結果として 2350 人の回答を得た．なお，本調査は熊本大学大学院人文社会科学研究部倫理委員会の承認（第 67 号）を受けて実施した．

2.2．調査項目

人と蚊との接触機会として，自宅における蚊の多さ（以下，蚊の出現頻度とする），居住地域（自宅以外の除く日常生活圏内）における蚊の出現頻度，蚊の吸血被害の頻度に加え，蚊の吸血被害を受けた時間帯，蚊の吸血被害を受ける期間についてそれぞれの質問を設定した．ただし，吸血被害の受けやすさの個人差を踏まえると（池庄司，1993），蚊の吸血被害そのものは，生活圏内の蚊の出現の多さとは必ずしも対応しない可能性がある．本研究では自宅における蚊の出現頻度を主に分析で取り扱うが，蚊の出現頻度と吸血被害の頻度の関係を考慮しながら吸血被害をもたらす人と蚊との接触機会を検討する．

居住環境の指標としては，蚊の屋内への侵入しやすさなどと関係した家屋の特性に関する指標と，蚊の生息と関係する自宅周囲の土地利用など日常生活圏内の環境条件に関する指標群を設定した．これらの具体的な質問項目は，先行研究の知見を参考に設定し（本村ほか, 1995；二瓶ほか, 2005；米島, 2012），家屋形態，網戸の設置，空調設備（エアコン）の使用，ペット（犬・猫）の有無，風通し，日当たり，庭の有無，蚊の発生源となる場所の有無，近隣の土地利用，都市規模を質問に設定した．

2.2．分析手法

まず，「あなたのお住まいでは，何月から何月までの間に蚊に刺されますか」の設問に対する回答を用いて，蚊の吸血被害の季節消長を把握した．都道府県ごとに各月上旬・中旬・下旬の 3 つの期間に区分し，それぞれの期間に蚊の吸血被害を受けたと回答した割合を算出し，蚊の吸血被害の消長を視覚化したヒートマップを作成した．

次に，人と蚊との接触機会の要因を分析するにあたり，蚊の出現頻度をはかる指標として「あなたのご自宅は，蚊が多いと思いますか」の設問に対する回答 4 段階の順序カテゴリ（値が大きいほど蚊が多いと回答）を従属変数とし，蚊の吸血被害の頻度と居住環境に関する指標群を説明変数とする順序回帰分析を行った．なお，回答者の属性による回答傾向の違いを考慮するために，性別，年齢階級，日常の活動頻度の変数を説明変数に加えた．分析に用いた説明変数とコーディングの内容は表 1 に示した．

順序回帰分析では，変数減少法を用いた変数選択を行い，すべての説明変数の有意確率が 5%未満になるまで，最も有意確率の大きい説明変数を順次取り除く作業を繰り返し，最終的なモデルを得た．なお，分析には統計解析ソフトウェア IBM SPSS Statistics 24 を用いた．

３．蚊の吸血被害の季節消長

都道府県別に蚊の吸血被害の季節消長を表したヒートマップ（図 1）は，濃い緑色を示すほど蚊の吸

表 1　順序回帰分析に用いた変数

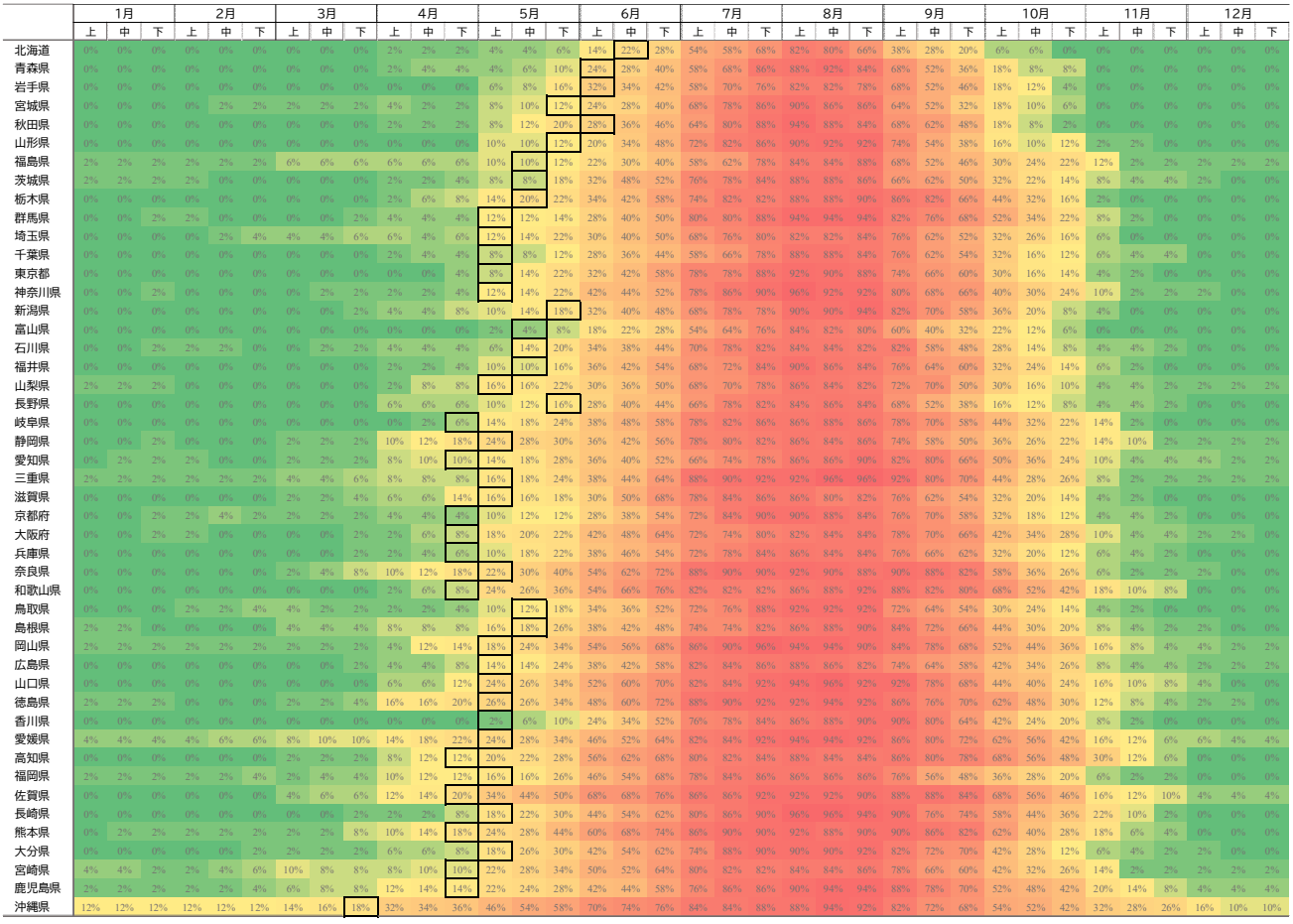
	変数の内容・コーディング	モデル
蚊との接触機会	**自宅における蚊の出現頻度** 非常に少ない＝1，少ない＝2，多い＝3，非常に多い＝4	従属変数
	蚊の吸血被害の頻度 それ以下の頻度（ほとんど刺されない）＝1，1か月に1回＝2 2週間に1回＝3，1週間に1回＝4，2･3日に1回＝5，毎日=6	○
居住環境	**家屋形態** その他の住宅=1，4階以上の集合住宅=2 3階以下の集合住宅=3，戸建て住宅=4	○
	網戸の設置 全く設置していない=1 窓・玄関の一部に設置している=2 窓のみすべてに設置している=3 窓・玄関すべてに設置している=4	○
	空調設備（エアコン）の使用 全く使用していない＝1 時々使用している＝2 ほぼ毎日使用している＝3	○
	ペット（犬・猫）を飼っているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	風通し 非常に悪い＝1，悪い＝2，良い＝3，非常によい＝4	○
	日当たり 非常に悪い＝1，悪い＝2，良い＝3，非常によい＝4	○
	庭があるか　はい＝1，いいえ＝0	○
	公園・緑地・寺社・墓地が隣接しているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	田畑が隣接しているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	大通りが隣接しているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	水域が隣接しているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	蚊の発生源となる場所が隣接しているか　はい＝1，いいえ＝0	○
	都市規模 10万人以上の都市＝1，10万未満の都市＝0	○
個人属性・活動頻度	**性別**　男性＝1，女性＝0	○
	年齢階級 10・20代＝1，30代＝2，40代＝3，50代＝4，60代＝5	○
	自宅の屋外で過ごす しない＝1，月に1回程度＝2 週に1回程度＝3，週に2･3回＝4，ほぼ毎日＝5	○
	近所で散歩やジョギングをする しない＝1，月に1回程度＝2 週に1回程度＝3，週に2･3回＝4，ほぼ毎日＝5	○
	近所の公園・山・河川敷などの緑地で過ごす しない＝1，月に1回程度＝2 週に1回程度＝3，週に2･3回＝4，ほぼ毎日＝5	○

表中の丸印（○）は，順序回帰分析の説明変数として用いたことを示す．

血被害が少なく，濃い赤色になるにつれて蚊の吸血被害が多いことを意味する．全国的に 5 月上旬頃から蚊の吸血被害が増加しはじめ，8 月上旬・中旬には蚊の吸血被害を受けた回答者が 80～90%に達している．最も蚊が多い時期をたずねた設問においても，8 月上旬・中旬が最も蚊が多い時期であることがわかった．他方，蚊の吸血被害が収束する時期に着目すると，10 月上旬あたりから 11 月下旬にかけて北から順番に収束する傾向が見られる．蚊の吸血被害を受ける期間は，東日本に比べ，西日本の方が蚊の吸血被害を受ける時期が長い傾向がある．とりわけ西日本では奈良県，愛媛県，佐賀県，鹿児島県，沖縄県，東日本では福島県や埼玉県において蚊の吸血被害の期間の長さが目立つ．その中でも沖縄県は，冬期においても回答者の 10%以上が蚊の吸血被害を受けており，年間を通じて蚊の吸血被害に遭っていることがわかる．

高い頻度で吸血被害を受ける蚊の種類について，住宅地で主に発生するアカイエカ群，ヒトスジシマカの写真を提示して認知度を本研究のインターネット調査で問うた．その結果，吸血被害を受ける蚊として，アカエイカ群は 34.7%，ヒトスジシマカは 46.6%の割合で認知されており，蚊の種類がわからないとの回答は 32.5%であった（表 2）．人の体に飛来したことに気づかずに吸血被害に遭うケースや，蚊としては認知されるものの種類までは気に留めないケースも考慮したとしても，日本の住宅地においてヒトスジシマカが主な吸血被害を与える蚊の種類と考えられる．

そこで，Komagata et al.(2017)に基づいて県庁所在地を各都道府県の代表点とし，気象庁の気象データから入手した 2022 年 4 月の平均気温をもとにヒト



*太枠は 4 月の日平均気温から算出したヒトスジシマカの活動開始予測日を示す

図 1　蚊の吸血被害の季節消長

表 2　吸血被害を受ける蚊の種類の認知

蚊の種類	回答数	%
アカイエカ群	798	34.7%
ヒトスジシマカ	1073	46.6%
その他	8	0.3%
わからない	749	32.5%

スジシマカの活動開始（吸血飛来の初見）予測日を求め，このヒートマップに重ね合わせた．気温から予測されるヒトスジシマカ活動開始日は，沖縄県が 3 月 27 日と最も早く，4 月下旬から 5 月上旬に活動開始する都府県が多い．本研究のインターネット調査の結果と照らし合わせると，予測されるヒトスジシマカの活動開始時期は回答者の 6〜28%が蚊の吸血被害を受けたとする時期にあたることがわかった．しかし，ヒトスジシマカは，年平均気温が 11℃以上の地域に定着すると考えられ，北海道や本州の山間部の一部はヒトスジシマカの生息には適していないとされている（Kobayashi et al, 2002）．しかし，気候条件から予測したヒトスジシマカの生息適地を示した地図（米島ほか，2015）上に，本研究のインターネット調査において，高い頻度で吸血被害を受ける蚊の種類としてヒトスジシマカと回答したデータを重ね合わせたところ，北海道や本州の山間部の一部でみられるヒトスジシマカの生息には適さない地域においてもヒトスジシマカによる吸血被害の回答が多くみられた（図 2）．これらは本研究のインターネット調査による回答者の認識違いの可能性もあるが，ヒトスジシマカの発生を確認する蚊の捕集調査は日本全国を網羅して行われておらず，ヒトスジシマカの生息が適さないと予測された地域にヒトスジシマカが生息していないとも断定できない．今後の蚊の捕集調査などによって補強する必要はあるが，本調査の結果からは気候条件のみではヒトスジシマカの生息の有無の確認や吸血被害の地理的範囲を特定しえないことが示唆される．

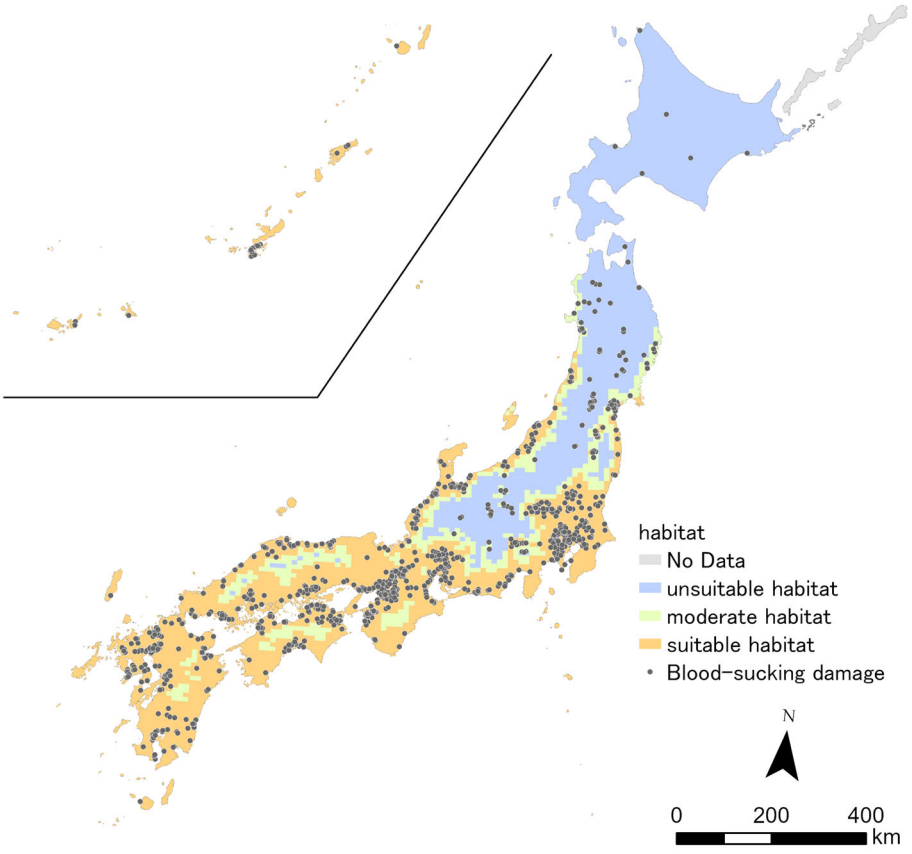


図 2　ヒトスジシマカの生息適地と吸血被害

４．蚊との接触機会と居住環境との関連性

蚊との接触機会を規定する居住環境の要因を分析するために，自宅における蚊の出現頻度を従属変数とする順序回帰分析を行った（表 3）．蚊の出現頻度と蚊の吸血被害の頻度との関連性をみるために，蚊の吸血被害の頻度を説明変数に投入した結果，蚊の出現頻度は蚊の吸血被害の頻度と強く相関していることが認められた．蚊の吸血頻度が高いほど，自宅において蚊が多いと感じている傾向が明瞭に確認できる．

居住環境に着目すると，説明変数のうち家屋形態，風通し，日当たり，庭の有無，大通りとの隣接，蚊の発生源となる場所との隣接と蚊の出現頻度との関連性が認められた．家屋形態では，戸建て住宅において蚊の出現頻度が高く，とりわけ 4 階以上の集合住宅で蚊の出現頻度が低いことがわかる．蚊は 3 階以下の住居であれば窓等から屋内へ侵入できるが，4 階以上の集合住宅では人と一緒に屋外から入り込むほかは，窓等から自宅内への蚊の侵入機会は少なく，屋内での蚊の出現頻度は低いため，妥当な結果

表 3　蚊との接触機会の順序回帰分析の結果

説明変数		B	標準誤差	Wald	有意確率	95% 信頼区間 下限	95% 信頼区間 上限
蚊の吸血被害の頻度							
それ以下の頻度(ほとんど刺されない)		-3.38	0.21	267.03	0.00 **	-3.78	-2.97
1か月に1回		-3.14	0.20	259.89	0.00 **	-3.52	-2.76
2週間に1回		-2.47	0.18	185.05	0.00 **	-2.83	-2.12
1週間に1回		-1.98	0.16	149.81	0.00 **	-2.29	-1.66
2･3日に1回		-1.24	0.15	65.03	0.00 **	-1.55	-0.94
毎日	(ref)	0.00					
家屋形態							
その他の住宅		-0.07	0.22	0.10	0.75	-0.51	0.37
4階以上の集合住宅		-1.17	0.18	41.48	0.00 **	-1.53	-0.81
3階以下の集合住宅		-0.55	0.14	16.14	0.00 **	-0.82	-0.28
戸建て住宅	(ref)	0.00					
風通し							
非常に悪い		0.95	0.53	3.30	0.07 *	-0.08	1.98
悪い		0.46	0.17	7.13	0.01 **	0.12	0.79
良い		0.29	0.13	5.35	0.02 **	0.04	0.54
非常によい	(ref)	0.00					
日当たり							
非常に悪い		1.01	0.50	4.05	0.04 **	0.03	1.99
悪い		0.13	0.17	0.55	0.46	-0.21	0.47
良い		-0.06	0.12	0.26	0.61	-0.30	0.18
非常によい	(ref)	0.00					
庭があるか							
いいえ		-0.72	0.12	34.24	0.00 **	-0.96	-0.48
はい	(ref)	0.00					
大通りが隣接しているか							
いいえ		0.34	0.14	6.16	0.01 **	0.07	0.61
はい	(ref)	0.00					
蚊の発生源となる場所が隣接しているか							
いいえ		-0.45	0.09	25.74	0.00 **	-0.63	-0.28
はい	(ref)	0.00					
年齢階級							
10・20代		0.73	0.14	26.66	0.00 **	0.45	1.01
30代		0.65	0.14	22.21	0.00 **	0.38	0.93
40代		0.50	0.13	15.23	0.00 **	0.25	0.75
50代		0.28	0.13	4.61	0.03 **	0.02	0.54
60代	(ref)	0.00					

**= $p < 0.05$　*= $p < 0.1$

-2対数尤度: 2866.68　Cox and Snell R^2 : 0.32　Nagelkerkel R^2: 0.36　McFadden R^2: 0.17　n= 2350

と考えられる．戸建て住宅は，他の家屋形態に比べて庭を所有しているケースが多く，庭で蚊と遭遇する頻度が高くなると考えられる．風通しの悪さや日当たりの悪さ，蚊の発生源となる場所が隣接していることは，蚊の出現頻度の多さと関連していた．住宅地で発生する主な蚊であるアカイエカ群は雨水桝や比較的大きな水域，ヒトスジシマカは人工容器などの小さな水たまりや雨水桝を発生源とし，発生源近くにある湿度が高くて暗い場所や植物を潜伏場所とする（ウエストナイル熱媒介蚊対策委員会，2003; 小林，2015）．特に，ヒトスジシマカは人への吸血嗜好性が強く，行動範囲は 50～100m 程度と狭いという特質をもっており，植物の葉裏などに潜んで，吸血対象である人が現れるのを待つ潜伏型の蚊である（国立感染症研究所，2014）．したがって，自宅の庭や自宅の隣接した場所に蚊の発生源や繁茂している植物，風通しが悪く，日陰になっているような暗所に蚊が潜んでいる可能性が高い．一方，大通りが隣接している場合は，蚊の出現頻度が低くなることが示された．大通りは交通量が多く，開かれた空間でアスファルトに覆われているため乾燥し，蚊の飛来や生息を抑制する条件となっていることが考えられる．

個人属性に関わる変数では，回答者の年齢階級が選択された．若年層ほど蚊の出現頻度が高いと感じている傾向を示し，性別や日常の行動活動頻度との関連性は認められなかった．蚊の吸血被害は青年（11~20 歳未満）よりも成人（20 歳以上）に多く，60 歳以上の高齢者にはあまり蚊が誘引されない傾向が報告されており（池庄司，1993），本研究の結果は既往研究の知見と符合する．

本研究で行った蚊の出現頻度の順序回帰分析の結果は，過去に京都市で実施した質問紙調査の結果（米島，2012）と概ね同様の結果が得られた．しかし，先行研究において蚊との接触機会と統計学的に有意な関連性が認められた空調設備（エアコン）の使用頻度は，本研究では有意な関連性がみられなかった．近年は猛暑が続き，熱中症対策のために適切な空調設備（エアコン）の使用を促す報道や取り組みがなされている影響もあり，空調設備（エアコン）を「ほぼ毎日使用している」あるいは「時々使用している」という回答は 96%にのぼる．すなわち，回答者のほぼ全員が空調設備（エアコン）を利用していたため有意な差が認められなかったと考えられる．また，空調設備（エアコン）や網戸の使用によって屋内の気密性が高まり，人と蚊との接触機会を減少させることが報告されているが（上村，1998），本研究のインターネット調査は，新型コロナウイルス感染症の流行下で換気が推奨されていた時期に実施したため，空調設備（エアコン）を使用しながら換気で窓やドアを開放し，気密性が低下していた可能性もある．

以上のように本研究の分析を通して，蚊との接触機会のリスクは，家屋形態や，風通し，日当たり，隣接する土地利用といった居住環境によって規定されていることが明らかになった．

５．おわりに

本研究では，日本全国を対象に実施したインターネット調査によって，自宅および居住地域の日常生活の中での蚊の出現頻度と蚊の吸血被害の実態を把握し，蚊の吸血被害の季節消長を示すヒートマップを作成した．これまで蚊の活動開始時期やピークに比べ，蚊の吸血活動が収束する時期や蚊の吸血被害が観測される期間への関心は高いとはいえなかった．本研究において全国の蚊との接触機会の季節消長について，以下のような地理学的な特徴を把握することができた．

- 蚊の吸血被害を受ける期間は，東日本に比べて西日本の方が長く，沖縄県では冬期においても蚊の吸血被害を受けていることが確認された．
- 蚊の吸血被害を受け始める時期については，Komagata et al.(2017)に基づくと，ヒトスジシマカの活動開始日は，3 月下旬から 6 月中旬と予測され，活動予測日には，本インターネット調査の回答者のうち 6～28%が蚊の吸血被害に遭っていた．ヒトスジシマカの活動開始予測日以前にも蚊の吸血被害を受けていることがヒートマップから確認され，蚊の活動期間は既存の知見よりも長い可能性が示

された.

- ヒトスジシマカの生息には適していないと推定されている地域においてもヒトスジシマカの吸血被害を受けていることが確認できた.
- 蚊の吸血被害は，全国的に 8 月上旬から下旬にピークに達し，10 月上旬から 11 月下旬にかけて北から順に蚊の吸血活動が収束する傾向がみられた.

さらに，本研究では人と蚊との接触機会を規定する要因を明らかにするために，居住環境に着目して順序回帰分析を行った．蚊との接触機会は，家屋形態，風通し，日当たり，庭の有無，大通りとの隣接，蚊の発生源となる場所との隣接と関連していることが明らかになった．ここで得られた分析結果は，米島（2012）と概ね一致した．以上により，家屋形態と，蚊の発生源となる場所や蚊が休息・潜伏できる湿潤で暗所が自宅の敷地内や近隣にあるかどうかが，蚊との接触機会に規定していることが示された.

本研究では，蚊との接触機会が最も多いとされる自宅やその周辺の日常圏内を対象に，居住環境に着目して分析した．居住環境については本研究のインターネット調査の設問に基づく，回答者の主観的評価を指標として用いたが，既存の統計データや土地利用などの環境データに基づく客観的な指標の使用も今後必要と考えられる．客観的な居住環境を評価した指標から蚊との接触機会の要因を明らかにできれば，これまで気候条件のみで予測されてきた蚊の生息地や蚊の活動開始日の予測においても，より多様な環境指標を考慮することで，自然と人間とのより詳細な関係に踏み込んだ分析が可能となる．客観的な居住環境の指標作成と分析を今後検討し，その結果については稿を改めて論じたい.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K13435 の助成を受けて実施した.

参考文献

池庄司敏明（1993）『蚊』，東京大学出版会.
ウエストナイル熱媒介蚊対策研究会（2003）『ウエストナイル熱媒介蚊対策に関するガイドライン』，日本環境衛生センター.
上村 清（1998）日本脳炎媒介蚊の発生動態に関する研究．「衛生動物」，49（3），1998，181-185.
国立感染症研究所（2014）平成 26 年度厚生労働科学特別研究事業 感染症媒介蚊対策に関する実技検討会資料．<https://www.niid.go.jp/niid/images/ent/PDF/dengue2014.pdf>.
小林睦生（2015）蚊媒介性感染症―デング熱を中心に.「Dokkyo Journal of Medical Sciences」, 42（3），179-185.
ナショナル ジオグラフィック（2023）マラリアの国内感染が 20 年ぶりに発生、今後のリスクは？米国．<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/072000377/>
二瓶直子・津田良夫・小林睦生（2005）空中写真で衛生環境をどこまで読み取れるか.「生活と環境」，50（9），48-53.
本村 信・大串賢一・曽田貞滋・茂木幹義（1995）佐賀市における蚊吸血被害に関するアンケート調査.「衛生動物」，46（4），331-338.
米島万有子（2012）蚊との接触機会を規定する住環境要因―京都市鴨川・疏水周辺地域を事例として―.「環境情報科学学術研究論文集」，26，363-368.
米島万有子・中谷友樹・詹 大千・二瓶直子・小林睦生（2015）日本におけるデング熱の流行リスクマップ.「地理情報システム学会講演論文集」，24，(CD-ROM).
Bouzid, M., Colon-Gonzalez, F.J., Lake, L.R., Hunter, P.R. (2014) Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever. *BMC Public Health*, **14**, 781.
Dye-Braumuller, K. C., Kanyangarara, M. (2021) Malaria in the USA: How vulnerable are we to future outbreaks?. *Current Tropical Medicine Reports*, **8**, 43-51.
Kobayashi, M., Nihei, N., Kurihara, T. (2002) Analysis of northern distribution of *Aedes albopicus* (Diptera: Culicidae) in Japan by Geographical Information System. *Journal of Medical Entomology*, **30**(1), 4-11.
Komagata, O,. Higa, Y., Muto, A., Hirabayashi, K., Yoshida, M., Sato, T., Nihei, N., Sawabe, K., Kobayashi, M. (2017) Predicting the start of the *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) female adult biting season using the spring temperature in Japan. *Journal of Medical Entomology*, **54**(6), 1519-1524.
Morris, C.D., Clanton, K. B. (1988) Quantification of a nuisance mosquito problem in Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*, **4**, 377-379.
Morris, C. D., Clanton, K.B. (1992) Comparison of people who request mosquito control services and their non-requesting neighbors. *Journal of the American Mosquito Control Association*, **8**, 65-68.

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-23] レセプト情報と地理空間データを利用した疾病集積状況の可視化

*Kikue Sato[1] （1. Nagoya University Hospital）

Keywords: 時空間パターン分析, モラン統計量, DPC

背景：地域の医療提供体制の状況把握には二次医療圏ごと又は都道府県単位での集計が主分析となるが、疾病の発生状況を捉えるには、これら行政区域の範囲内で一様ではないと考えられる。日常生活圏として機能する道路交通網や地理的な情報を空間的な分布に関して解析を行うことで実質地域での検討が可能となる。そこで、レセプト情報である DPCデータを利用して、東海地域における主な疾患の受療状況を地図化するとともに，その分布特性や集積状況を定量的に把握・分析することを目的とする。 方法： DPCデータ提供の承諾を得られた愛知県・岐阜県内の医療機関を受療した対象患者の住所地から疾患情報を取得、 GISを利用して地理情報にプロットし、空間統計量によるモデル化解析をする。 結果：地理空間データから疾病集積状況を可視化することができた。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-24] 診療科目の空間分布とその相互関係 ―東京都南多摩医療圏を対象に―

*Ikuho YAMADA[1] （1. The University of Tokyo）

Keywords: 診療所, 診療科目, 空間分布, 相互立地関係

本研究は、東京都南多摩医療圏に立地する一般診療所を対象として、診療科目ごとの空間分布の特性と診療科目間の相互立地関係を明らかにすることを目的とする。 超高齢社会を迎えた我が国では、外来診療による日常的な健康管理の重要性が高まっており、またコンパクトなまちづくりを掲げる昨今の都市計画においては、医療は拠点地域に誘導すべき機能と位置付けられている。そのため医療施設の立地の特性を理解することは、医療へのアクセスのしやすさの地域差や効果的な立地誘導策を検討する上で重要である。本研究では、外来医療の大部分を担う一般診療所に着目して、人口や都市機能の分布と照らし合わせた診療科目ごとの空間分布の特性を分析する。また空間分布の類似性や近接性から診療科目間の立地の関係性についても分析を行う。

©Geographic Information System Association

南海トラフ地震による東大阪市製造業のリスク分析

坪倉大侍*・米澤剛**・杉本賢二**

Risk Analysis of Higashi-Osaka City Manufacturing Industry by the Anticipated Nankai Trough Earthquake

Taishi TSUBOKURA*, Go YONEZAWA**, Kenji SUGIMOTO**

Abstract: The aim of this study is to assess the potential damage that each company might incur by conducting a comprehensive analysis of earthquake-related damage risks, with an emphasis on the manufacturing industry in Higashi-Osaka City. The research methodology comprises the following steps: (1) Utilizing telepoint data of corporation to identify the location and industry of each company. (2) Acquiring open data related to earthquake damage risks. (3) Evaluating the earthquake damage each company incurs using ArcGIS Pro. The results indicate that the predominant risks are fire spread attributed to building density and significant shaking arising from the soft ground.

Keywords: 南海トラフ地震(Nankai Trough Earthquake), 東大阪市(Higashi-Osaka City), 製造業(Manufacturing industry), リスク分析(Risk analysis), オーバーレイ解析(Overlay analysis)

1. はじめに

製造業は，大阪府の産業別総生産で，卸売・小売業とほぼ同額で, 長く府の主な産業となっている. 大阪府内で, 東大阪市は中小企業の集まる「モノづくりのまち」として，全国的に知名度のある市である．実際に事業所数は全国 5 位，事業所密度は全国 1 位である. また, 製造業中分類に定められている 24 種の内, 23 種の業種が東大阪市には存在しており，大企業の企業城下町や地場産業の産地のような特定業種への特化はみられず，多種多様な業種が集積している．

以前日本では, 阪神・淡路大震災や東日本大震災, 熊本大震災といった大地震から, 多くの中小企業が倒産や廃業に追い込まれた. それにより，この 30 年以内の発生が 70%~80%と予想されている南海トラフ地震などによる大地震の被害により，東大阪市の中小企業が多大な被害を受けることが予想される. この地震では, 最大級の予想で市のほぼ全域で震度 6 弱の揺れが起きるとされている．

*　学生会員　大阪公立大学大学院工学研究科都市系専攻（Osaka Metropolitan University）
〒558-8585　大阪市住吉区杉本 3-3-138　Email：sh23798l@st.omu.ac.jp
**　正会員　大阪公立大学大学院　工学研究科

2. 研究目的

内閣府や各自治体, 民間企業は, 地震被害への対策として，ハザードマップなどで住民への注意喚起を行っている. また, 既往の取り組みとして，株式会社イグアスの提供している企業向けハザードマップ作成サービス「Hazard Master」がある．ここでは企業の拠点となる場所が抱えるリスクを分析している. しかしこれらは, 住民・企業へ向けた取り組みであり,「東大阪市の製造業」のように，地域の特性を産んでいる特定産業に向けた防災計画を支援する活動はあまり見られない. そこで, 本研究では「南海トラフ地震による東大阪市製造業のリスク分析」を目的として, 東大阪市が受ける地震被害を，(1) 製造業業種別分布 ，(2) 揺れやすさ, (3) 土砂災害, (4) 密集危険性の 4 項目に分けて分析した.

3. 研究方法

3.1 使用データ

本研究では, 東大阪市の建物データ, 事業所の位置データや地盤データなどの，様々なデータを収集・加工・可視化を行うので, 主にソフトウェアは ArcGIS Pro(ESRI 社) を使用する.利用するメリットとして，本ソフトは情報の可視化, 情報の関係性の把握, 情報の統合と分析が可能であることである. また，オープンデータのデータフォーマットにも対応しており，必要なデータの収集もしやすいことがあげられる.

空間分析は, 製造業業種別分布・揺れやすさ・土砂災害・密集危険性の 4 項目で行い, 使用データは表 1 にまとめている.

表 1：分析項目と使用データ

分析項目	使用データ
製造業 業種別分布	基盤地図情報 基本項目*1 （2022 年 10 月 1 日） 座標付き電話帳 DB テレポイント 法人版*2 （2021 年 8 月） e-Stat 国勢調査 小地域(町丁・字等)*3 （2020 年）
揺れやすさ	J-SHIS 表面地盤データ*4 （微地形分類:2013 年 増幅率:2006 年）
土砂災害	国土数値情報 土砂災害危険箇所*5 （2010 年） 基盤地図情報 数値標高モデル*1 （2016 年 10 月 1 日）
密集危険性	基盤地図情報 基本項目*1 （2022 年 10 月 1 日） e-Stat 国勢調査 小地域(町丁・字等)*3 （2020 年）

3.2 各分析方法

（1）製造業業種別分布

座標付き電話帳 DB テレポイント 法人版データ内の事業所から，製造業のみを抽出する．その後，基盤地図情報 基本項目内の建物ポリゴンデータのうち，製造業テレポイントデータと重なるもののみを抽出する．最後に e-Stat 国勢調査 小地域(町丁・字等)内の地区情報の合計三つのデータを結合し，事業所名・業種・所属地区（町・町丁名）情報を持った製造業事業所の建物ポリゴンデータを作成した.

（2）揺れやすさ

本項目は入手データをそのまま使用した.

（3）土砂災害

本分析項目において，土砂災害危険箇所データはそのまま使用した． 基盤地図情報数値標高モデルデータは, ソフト機能の「基盤地図情報のインポート」を用い, 標高データと傾斜度データに変換した.

（4）密集危険性

不燃領域率の算出方法

不燃領域率の算出方法は国土交通省では, 以下のように求められている.

$$F = k + (1 - k/100) \times r$$

$$k = ((Ms + Ls)/Ts) \times 100(\%)$$

r=Rs/As×100(%)

F：不燃領域率 k：空地率 r：不燃化率

Ms：短辺または直径が 40m 以上で，かつ面積が，1,500m²以上の水面・公園，運動場・学校・一団の施設等の面積

Ls：幅員 6m 以上の道路面積 Ts：地区面積

Rs：耐火造等建物建築面積

As：全建物建築面積

本研究では，Ls のデータの入手，作成が困難であったため，以下の式で代用した．

F＝k+(1-k/100)×r

k=((Ts-As)/Ts)×100(%)

r=((Rs+R's)/As)×100(%)

F：不燃領域率 k：空地率 r：不燃化率

Ts：地区（各町・町丁目）面積

Rs：堅ろう建物建築面積

R's：堅ろう無壁舎

As：全建物建築面積

本式では，国方式の式と比べ以下の特徴がある．

k：小さな空き地と幅員 4m 未満の道路面積が追加されているため，国指定の値より大きくなることが予想される．

r：堅ろう建物は，地上 3 階相当以上 60m 未満の非木造建物を示しており，堅ろう無壁舎の記号は，飛行機の格納庫，市場，動物園の檻，温室，畜舎，立体駐車場等，側壁のない非木造建物を示している．よって，地上二階以下の耐火造等建物が考慮されていないため，国指定の値より小さくなることが予想される．

本研究では，東大阪市の密集危険地域を分析するにあたり，特に危険な地域を推定できると考え，上記式を使用した．

各町・町丁目ごとに地区（町・町丁目）ポリゴンデータと，建物ポリゴンデータを用い不燃領域率を算出し，これにより不燃領域率情報をもった地区（町・町丁目）ポリゴンデータを作成した．

4. 結果

（1）製造業業種別分布

製造業事業所数が 100 を超える町は 7 地区あり，製造業の中分類 24 項目の内，23 項目の業種が存在していることが分かった．

（2）揺れやすさ

東大阪市の中央から西の広範囲で地震の揺れによる被害が大きいことが分かった．（1）での結果と合わせ，全製造業のうち，90%近くの製造業事業所が揺れによる被害を受けることが分かった．



図 1：製造業事業所分布データと危険密集地域分布データのオーバーレイ解析

（3）土砂災害

東大阪市の東側，生駒山地とそのふもとでの被害が大きいことが分かった．（1）での結果と合わせ， 17 種，49 件の事業所が土砂災害による被害を受けることが分かった．

（4）密集危険性

不燃領域率 60%以下を危険地区としてみると，東大阪市の東側を中心に 24 町で被害が大きいことが分かった．（1）での結果と合わせ，全製造業のうち，15%近くではあるが，23 の業種すべてが被害を受けることが分かった．

5. 考察

分析結果から，各リスクケースに該当する製造業事業所数を表 2，各リスクケースに対する業種別製造業事業所数を表 3 にまとめた．以下より，考えられることについて考察を行う．

i. 東大阪市の最も多くの製造業事業所が受ける被害は，表面地盤増幅率が 1.5 以上の軟弱地盤による強い揺れである．また，増幅率が 2.0 以上の地域から製造業事業所データを抽出すると，その総数は 3,191 件とそのほとんどが極めて弱い地盤の上にあることが分かった．

これにより，強い揺れによる工場備品の破損などの物品被害，移動する棚・機械等の下敷きなどによる人的被害，構造上の安全性が損なわれる建物被害が起きる可能性が高いと考えられる．

ii. 表 2 より，リスクの複合ケースにおいて，揺れやすさと密集危険性がほとんどを占めている．表 3 から東大阪市に存在する多くの業種の事業所が該当しており，その中には可燃性の物質を扱うことが予想される業種も含まれる．

これにより，強い揺れにより普段は密閉されている可燃性物質貯蔵庫が破損し，大きな火災につながる危険性などが考えられる．

iii. 表 3 より，取り扱い物の漏洩が特に懸念される化学物質を取り扱うと予想される業種（化学工業，石油製品・石炭製品製造業など）がほぼすべてのケースに該当していることが分かった．

本研究ではどの事業所がどのよう

表 2：東大阪市の各リスクケースに該当する製造業事業所数

リスク種類	該当製造業事業所数（件）
揺れやすさ	3,494
土砂災害	49
密集危険性	571
揺れやすさ＋密集危険性	551
揺れやすさ＋土砂災害	0
土砂災害＋密集危険性	1
揺れやすさ＋土砂災害＋密集危険性	0

表 3：各リスクケースに対する業種別製造業事業所数

リスク種別	飲食物	繊維・衣類	木材・紙・印刷	化学物質	金属・機械系	その他	総数
製造業事業所数	134	146	428	525	2,461	196	3,890
揺れやすさリスク該当事業所	115	121	406	490	2,185	177	3,494
土砂災害リスク該当事業所	4	2	2	7	31	3	49
密集危険リスク該当事業所	20	24	78	85	337	27	571
揺れやすさ＋密集危険	20	20	77	83	324	27	551

な物質を使用しているかの詳しいデータは入手できなかったが，化学汚染物質を使用している可能性は大いにあるので，化学物質貯蔵庫の破損による大気，土壌への漏洩，可燃性物質による火災被害の拡大が考えられる．

iv. 表２より，揺れやすさ，土砂災害のリスクケースに該当する製造業事業所は，その大多数が単体のリスクであることが分かった． 土砂災害のケースにおいては，該当地域の山地又はその麓であるため，地盤が比較的固く，建物数が少なく密集危険性が低いことが理由として考えられる．これにより，その両方は単体のリスク対策でも効果的であると考えられる．

v. 次に密集危険性のリスクに該当する製造業事業所は，そのほとんどが揺れやすさとの複合リスクがあることが分かった．これは東大阪市における製造業が，東側の山地又はその麓ではなく，傾斜が少なく大阪市に隣接する西側に集中したが，その地盤が軟弱であったことが原因であると考えられる．そのため，該当事業所は密集の対策のみでは不十分であり，揺れに対する対策も必要であることが考えられる．

6. おわりに

本研究では，製造業の重要度が高い東大阪市を対象に，製造業業種別分布・揺れやすさ・土砂災害・密集危険性の 4 項目でオーバーレイ解析を行った．そこで判明したことを以下にまとめる．

1． 東大阪の製造業が受ける最も大きな被害は軟弱地盤による強い揺れである．
2．地震被害時，ほぼすべてのリスクケースに，取り扱い物の漏洩が特に懸念される業種（化学工業，石油製品・石炭製品製造業など）が該当している．
3． 多くの揺れやすさ，ほぼすべての土砂災害のリスクケースに該当する製造業事業所は，複合リスクに該当しない．
4． 製造業に対するリスクケースにおいて，揺れやすさと密集危険性の複合ケースついて考える必要性が高い．

上記のように本研究で東大阪市の製造業が抱える地震被害のリスクが明らかになった．これより各事業所が防災計画を立てる際，自身の抱えるリスクを基準に，より効果的なものを取捨選択などが行えるようになったと考えられる．

本研究の課題としては，企業データが法人版であり法人ではない企業が含まれていないこと，業種コードに総務省の定める日本標準産業分類と若干の異なりと座標データに誤りがあったため，筆者の手で抽出・修正を行ったことがある．これにより，抽出・修正後のデータに誤りがある可能性があり，分析結果の精度が下がってしまっている可能性に留意が必要である．また，使用した建物ポリゴンデータと，実際の建物との差異が一部見られたため，分析結果の精度が下がってしまっている可能性に留意が必要である．

参考文献

東大阪市ホームページ「モノづくりのまち東大阪」<https://www.city.higashiosaka.lg.jp/category/21-13-0-0-0-0-0-0-0-0.html>（参照 2023-01-26）

株式会社イグアス「日本初の企業向けハザードマップ作成サービス　～Hazard Master」<https://www.imagazine.co.jp>（参照 2023-01-26）

経済産業省「経済センサス活動調査」<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/census/index.html>（参照 2023-01-26）

東大阪市「東大阪市経済の概況」<https://www.city.higashiosaka.lg.jp/cmsfiles/contents/0000012/12026/08siryou3-1.pdf>（参照 2023-01-26）

東大阪市「東大阪市地域防災計画」<https://www.city.higashiosaka.lg.jp/0000033225.html（参照 2023-01-26）

東大阪市「地域版ハザードマップ」<https://www.city.higashiosaka.lg.jp/kikikanri/0000020994.html（参照 2023-01-26）

国土交通省「住宅の密集度 延焼危険性 避難、消火等の困難性」<https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/07/070711/sankou.pdf>（参照 2023-01-26）

大阪府「震度分布・液状化可能性（平成 25 年 8 月算出）」<https://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/keikaku_higaisoutei/sindobunpu_etc.html>（参照 2023-01-26）

松岡昌志、翠川三郎(1993)：国土数値情報を利用した広域震度分布予測、日本建築学会構造系論文報告集、第 447 号、pp.51-56

データダウンロード先

*1, 基盤地図情報ダウンロードサービス <https://www.gsi.go.jp>（参照 2023-01-26）

*2, Csis 東京大学 空間情報科学研究センター<https://joras.csis.u-tokyo.ac.jp>（参照 2023-01-26）

*3, e-Stat 政府統計の総合窓口<https://www.e-stat.go.jp/>（参照 2023-01-26）

*4, J-SHIS 地震ハザードステーション <https://www.j-shis.bosai.go.jp/>（参照 2023-01-26）

*5, 国土数値情報ダウンロードサービス <https://nlftp.mlit.go.jp>（参照 2023-01-26）

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-26] スケートボード遊技・競技施設の GISデータ化とその基礎的分析

*KOMATSU HITOMI[1], OKI TAKUYA[2] （1. SEISEN JOGAKUIN COLLEGE, 2. Tokyo Institute of Technology）
Keywords: スケートボード, 施設配置, ジオコーディング, アクセシビリティ, GIS

東京2020オリンピック競技大会（ TOKYO2020）を一つの契機として，スケートボード遊技・競技の人気が高まりつつある。しかし，これまで規制が先行し，ストリートカルチャーと融合して発展してきた歴史的経緯もあり，スケートボード遊技・競技場（以下，施設）の数は Tokyo2020以降倍増したものの，それでも日本全国に約700か所と限られている。また，施設不足が一要因となり，市中滑走に伴う事故や騒音などが社会問題となっている。
こうした問題の解消に資するべく，本研究では，各施設のホームページ情報や Googleマップの情報，関係者へのヒアリングなどをもとに，日本全国の施設を GISデータ化した上で，施設の空間的偏在や需要と供給のバランス，アクセシビリティなどに関する基礎的分析を試みる。そして，女性や子ども，高齢者も含む多様な利用者層を念頭に置いた環境整備や，施設の建設や運営とスポーツ振興を通した都市空間の再利用などにも資する，基礎的知見を得る。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-27] オープンソース衛星データへの超解像手法の適用による建物検出

*Koji Ogino[1], Toshihiro Osaragi[1], Maki Kishimoto[1] （1. Tokyo Institute of Technology）
Keywords: オープンソース, リモートセンシング, 衛星画像, Sentinel-2, 建物検出, 超解像

都市計画・防災計画において， GISデータなどを用いた定量的な根拠に基づく政策立案は重要である．一方で，日本の地方自治体や多くの開発途上国では， GISデータが整備されていない，定期的な更新がされていない，あるいは一般に公開されていないなどの現状がある．筆者らは，オープンソース衛星データを活用し，任意地域の GISデータを整備することで，大地震時における物的被害推定や避難シミュレーションをデータ整備状況によらず，どの地域でも実行可能とすることを最終的な目的としている．本稿では，オープンソースである Sentinel-2の衛星画像を超解像処理したデータと，既に整備されている建物現況データを教師データとして機械学習させることにより，任意地域の衛星データから建物を検出する手法を構成する．検出精度に関する検証においては，全体としての精度だけでなく，地域特性との空間的関係性も併せて考察する．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-28] 建物主要用途・トリップチェーンに着目した人流データによる街区間トリップ特性

*Ryo Hayasaka[1], Masao Takeuchi[1], Sunyong Eom[1], Tsutomu Suzuki[1] （1. University of Tsukuba）
Keywords: トリップチェーン, 流動人口, 建物用途

携帯電話位置情報から一定時間一定の場所に留まったと考えられる滞在点を抽出し，それらをつなぐことにより，人々のトリップチェーンを把握することができる．本研究では，東京区部の街区間にどのようなトリップの連鎖が見られるかを把握した．その結果，一人当たりの平均滞在点数はおよそ4点であり，平均トリップ長は平日2.2kmに対し，土休日は2.0kmとやや短いこと，特定の街区において訪問者のトリップ長の長短に顕著な特徴が見られること，建物主要用途間では，事務所建築物と集合住宅，独立住宅と集合住宅，事務所建築物と専用商業施設の間のトリップが多いことなどが明らかとなった．

©Geographic Information System Association

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-29] 組成データ解析手法に基づく地域特化係数

*Takahiro Yoshida[1], Daisuke Murakami[2], Hajime Seya[3] （1. The University of Tokyo, 2. The Institute of Statistical Mathematics, 3. Kobe University）
Keywords: 特化係数, 組成データ解析

地域特化係数は産業集積の代表的な指標であり、各産業の就業者数の地域シェアと全国シェアの比率から算出される。その計算は単一の産業部門に焦点を当てているため、他産業部門との関係が捨象されている。本研究では、地球科学分野で広く用いられ発展してきた組成データ分析を援用し、他産業部門との関係を考慮した地域特化係数を提案する。提案指標は、以下のような特性を持つ：(1) Aitchisonのベクトル空間構造におけるpowering演算子から導かれる；(2) 組成のバランスを考慮する；(3) 符号を持つ。この提案指標を自治体別の産業・エネルギー消費データに適用し、どのように解釈されるかを数値分布と地理的特性から考察する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-30] 東京都23区における企業の空間集積と業績

*Tomonari Kobayashi[1], Mizuki Kawabata[1] （1. Keio University）
Keywords: 企業, 集積, 空間クラスター, 東京都23区

全国の IT企業は半数近くが東京に集積し、企業クラスターを形成している。こうした企業間の近接性は、企業の業績に正の外部性をもたらすと予想される。そこで本研究では、東京都23区の ITやその他の業種の企業の集積地を特定し、企業の空間集積と業績の関連性を分析する。企業の立地や業績情報は企業情報データベース eolより取得した。まず、空間統計およびプロット・クラスターマップ等を用いて業種別に企業の集積地を特定した。その結果、 ITや特定の業種の企業は都心等の特定の地域に集積していることが分かった。次に、企業の空間集積と利益・売上のクロスセクションおよびパネルデータ分析を行い、企業の空間集積と業績の関連性を分析した。しかし、有意な相関関係が見られない等、予想に反する結果が見られた。 eolデータは企業の売上規模に偏りがあることから、今後は他のデータを用いた分析も行うことを検討している。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-31] スポーツツーリズムに特化した観光計画作成支援システムの構築

*Ryusho Nobeta[1], Kayoko Yamamoto[1] （1. The University of Electro-Communications）
Keywords: スポーツツーリズム, 観光支援, Web-GIS

近年，スポーツ資源とツーリズムを融合させた「スポーツツーリズム」が観光・地域振興の手段として推進されている．特にスポーツ観戦では，アウェイチームの街を訪れて試合を観戦するとともに，その周辺地域を観光することがある．しかし，土地勘のない観光客には，試合時間に合わせて適切な観光計画を立てることは困難である．そこで本研究は，スポーツ観戦客を対象に，試合前後の時間を観光に有効活用した計画の作成を支援するシステムの構築を目的とする．本システムには観光スポット提供機能，観光計画作成機能を実装し，これらによりWeb-GISを用いてスタジアム周辺の観光スポットをデジタル地図上で提供し，これらを効率的に回る観光計画を作成できる．また，観光スポット投稿機能，応援度メーター機能も実装し，運用対象地域の利用者は新規観光ス

©Geographic Information System Association

ポットを投稿でき，その数に応じて各利用者の貢献度を表示することで，利用者からの積極的な情報収集を図る．

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-32] 歴史災害復原へ向けた時空間情報の可視化―発掘調査データベースを用いたデータ駆動型研究の実践―

*Mikiharu Takeuchi[1], Keiji Yano[1] （1. Ritsumeikan University）
Keywords: デジタル・ヒューマニティーズ, データ駆動型研究, 時空間情報, 歴史災害, 発掘調査

本研究は、発掘調査や考古学による成果や情報が整備・公開されることによって可能となる、または促進される研究について実践を行い考察するものである。ここでは、特に発掘調査成果に関する地理空間情報を備えた情報を想定し、デジタル・ヒューマニティーズにおける GISを用いたデータ駆動型研究を実践する。これまで対象地域である平安京跡では、歴史災害の復原について、古典籍や古地図などの史料を用いて行われており、 GISを用いた空間的な広がりについても可視化されてきた。平安京跡における発掘調査成果のデータベースの整備・公開を受け、本研究では、古典籍から読み取れる歴史災害情報と、発掘調査成果から読み取れる歴史災害情報を、地図上で組み合わせて時空間上で可視化を行い、史料批判や歴史災害の復原を行う。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-33] オルソ画像を活用した港湾岸壁のひび割れ検知システムと精度検証

*Daiki Komi[1], Tomohito Kameyama[1], Daisuke Yoshida[1] （1. Osaka Metropolitan University）
Keywords: 汎用小型ドローン, オルソ画像, 深層学習, ひび割れ検知

国土交通省によると、社会インフラの寿命は約50年とされている。近年、建設後50年以上経過したインフラが増加している。その一方で、点検は未だに目視で行われており、技術者不足が原因で点検が追いつかないことが社会課題となっている。本研究では、点検項目の1つであるひび割れを深層学習により自動検知するシステムを開発し、点検を効率化することで前述の課題解決に取り組む。具体的には、港湾施設の1つである岸壁のエプロン上部のひび割れを点検対象とした。点検作業では、最初に小型汎用ドローンを用いて点検対象を自動撮影し、オルソ画像を作成する。その後、作成したオルソ画像を地上解像度に基づいて最適化したサイズに分割し、深層学習を用いたひび割れ検知システムに入力する。ひび割れ検知システムの性能評価には正解率と検知率を用いる。ひび割れ検知システムに最適な深層学習モデルを選択し、その結果をオルソ画像上で GISを用いて管理する。

(Sun. Oct 29, 2023 1:00 PM - 2:00 PM Venue)

[P2-34] 機械学習を用いたワイン用ブドウ栽培適地の推定

*Nobusuke Iwasaki[1], Toshihisa Tanaka[2], Ayaka Onohara[3], Kazunori Hayashi[4], Miyuki Katori[5], Takashi Oguchi[6] （1. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO, 2. Tokyo Univ. of Agriculture and Technology, 3. Rikkyo Univ., 4. Kyoto Univ., 5. Shinshu Univ., 6. Univ. of Tokyo）
Keywords: ワイン用ブドウ, 栽培適地, 機械学習, データPNG

©Geographic Information System Association

ワイン用ブドウの品質は、地質、土壌等の環境条件の影響を大きく受けるため、栽培地や品種の選定にはこれらの条件を考慮する事が必要である。しかしそれらの選定は、営農者の経験等に基づいて行われるため、新規参入者にとっての障壁であり、かつ不適切な栽培地や品種の選択による経済的損失も危惧される。本発表では、ワイン用ブドウ栽培地の立地と各種の環境条件を用いて、機械学習によるワイン用ブドウの栽培適地の推定を試みる。評価対象は、長野県上田市、東御市、佐久市周辺とした。ワイン用ブドウの栽培地の立地は、現地調査とヒアリング調査により把握し、3次メッシュ単位で集計した。評価に用いる環境因子は、地質、傾斜角度、傾斜方位、年平均気温、年最低気温、年最高気温とした。これらの環境因子はデータ PNGとして公開されているため、これらのデータを3次メッシュ単位で集計する Pythonスクリプトを作成し、分析を行う。

©Geographic Information System Association