

## 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年の熊本地震に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、新たな国土強靱化基本計画（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、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2-8-1 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）による建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、大規模災害時における住宅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 $\phi(I)$ を用いて式(1)で定義している。

$$P_{Rj}(I) = \Phi\left(\frac{I - \lambda}{\xi}\right) \quad (1)$$

$\lambda$ ,  $\xi$ 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),  $1\text{m}^2$ あたりの工事費用(円), 総床面積( $\text{m}^2$ ), 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。

$$H_i = F_i + (13 \times A_i + 8 \times C_i) \times 10^5 \times P_i \quad (4)$$

$H_i$ ,  $F_i$ ,  $A_i$ ,  $C_i$ ,  $P_i$  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

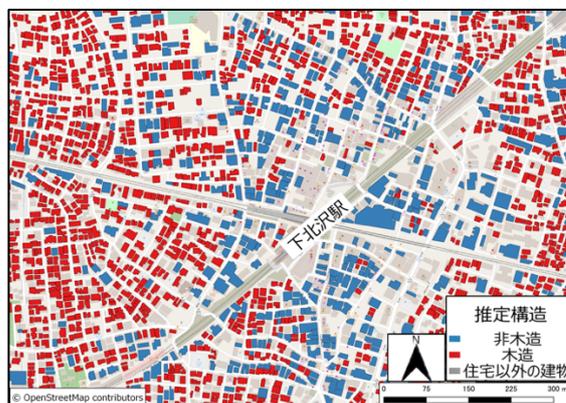


図 1 建物構造の推定結果（下北沢駅周辺の場合）

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。

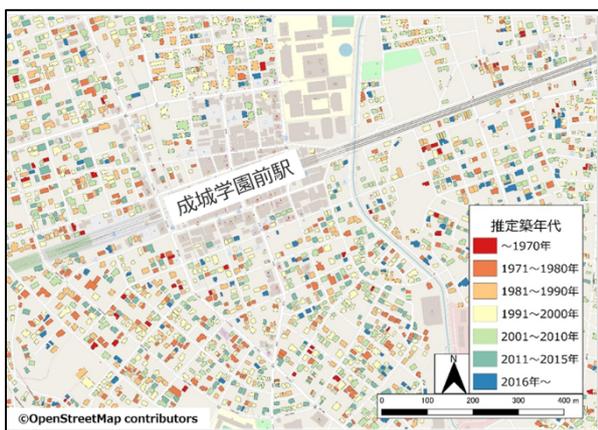


図2 推定築年代の推定結果  
(成城学園前駅周辺の例)

### 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)を用いて住宅地区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。

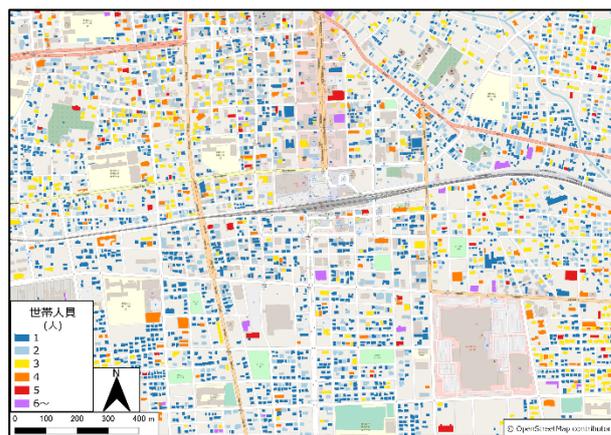


図4 推定世帯人員の分布(前橋市中心部の例)

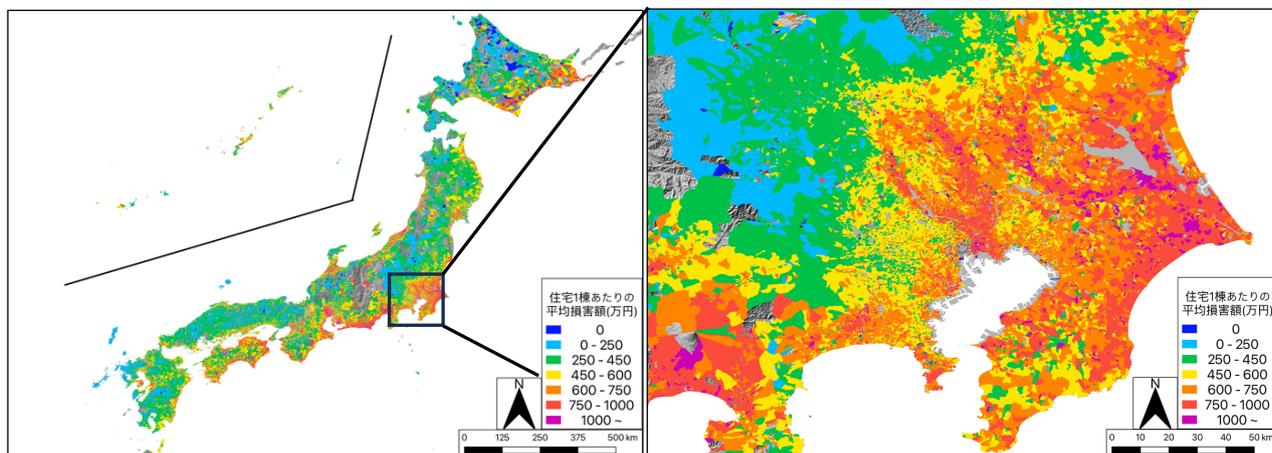


図3 50年間超過確率2%以上のシナリオにおける町丁字別被害住宅1棟当たりの平均損害額

#### 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。

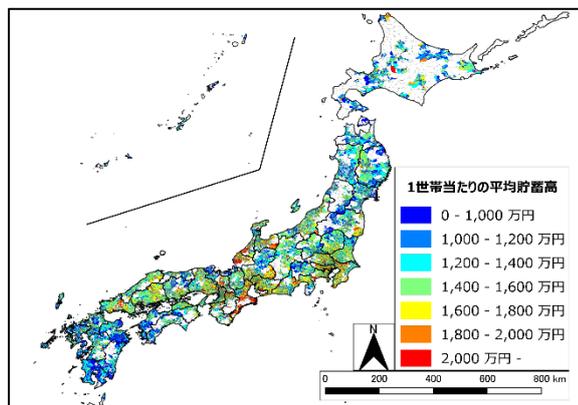


図5 1世帯あたりの平均貯蓄高 (町丁字単位)

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

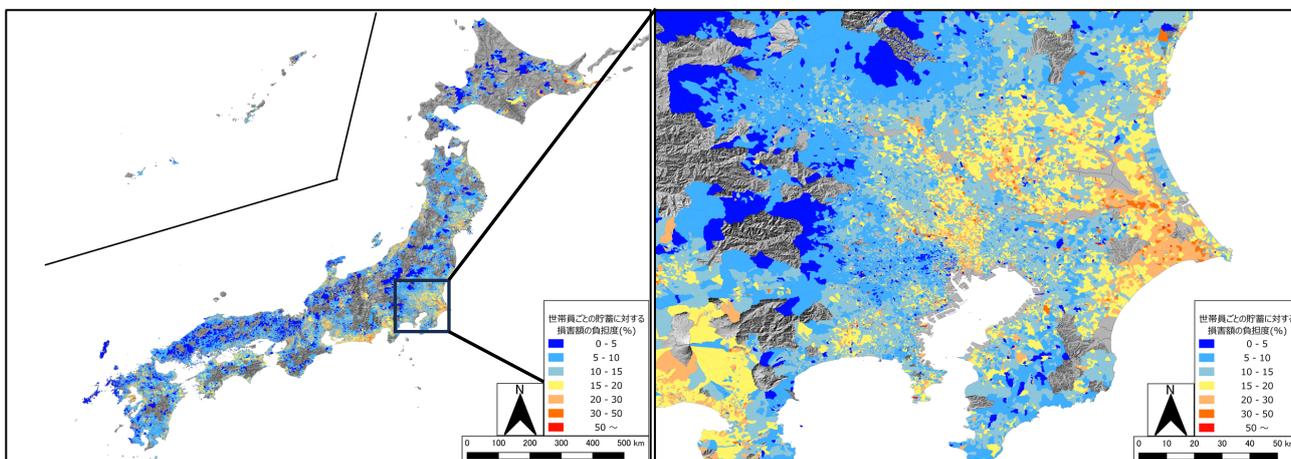


図6 50年間超過確率2%以上のシナリオにおける町丁字別被害住宅1棟当たりの平均経済的負担度

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](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/higashinohon/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](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](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\\_shiry03.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/2130318_shiry03.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 Tio, Y. (2017) LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3146-3154.