

日立市における買い物弱者支援のための移動販売サービスに関する分析

Analysis of mobile supermarket for people in food desert area in Hitachi city

鳥海 重喜*・大森 紘**
Shigeki Toriumi, Hiroki Omori

In recent years, the number of vulnerable shopping people who have difficulty accessing fresh food stores has increased. This problem is called the food desert problem. Mobile supermarkets are one of the ways to solve the food desert problem. In this study, we investigate mobile supermarkets in Hitachi City, Ibaraki Prefecture. Next, we analyze the food desert area using metabolic equivalent distance considering road gradient. Then, we find the efficient traveling route of the mobile supermarket using a mathematical model. As a result, it became clear that the total travel distance can be reduced by about 30 km in one week. The results of this research will greatly contribute to evaluate for sustainability of the mobile supermarket business.

Keywords: food desert problem, people in food desert area, mobile supermarket, vehicle routing problem, Hitachi city
フードデザート問題, 買い物弱者, 移動スーパー, 配送計画問題, 日立市

1. はじめに

近年、満足に買い物に行けず、日々の生鮮食料品を確保することが難しい買い物弱者が増えている。この問題は**フードデザート問題**と呼ばれ、2014 年の経済産業省の調査によると買い物弱者は全国に約 700 万人いると報告されている¹⁾。特に、身体的能力が低下し、移動手段が限定されてしまう高齢者がその大部分を占めている。地方都市では商店街の過疎化や店舗の撤退も伴い、深刻な社会問題となっている²⁾。

フードデザート問題に関する先行研究は数多く存在する。三浦ほか³⁾では、高齢者人口のメッシュデータと事務所・企業統計調査（現、経済センサス）のメッシュデータを用いてそれぞれのメッシュ代表点間の大圏距離を計測し、基準距離と比較することでフードデザート地域の高齢者の人口を推計している。岩間²⁾は、国内外におけるフードデザート問題に関する研究を概観し、大都市郊外におけるフードデザート問題の事例研究を紹介している。鳥海⁴⁾では福岡市を対象に自宅から店舗までの総移動距離によって生鮮食料品店を評価しており、現状よりも悪化させないことを念頭に置いているのが特徴である。

フードデザート問題の解決、すなわち多大な移動負担を強いられることなく日々の生鮮食料品を確保できるという状況を実現するには、(1)買い物弱者側からのアプローチと、(2)生鮮食料品店側からのアプローチの 2 通りが考えられる。前者であれば、

- A) 離れた店舗までの移動手段を店舗事業者あるいは行政などが提供する（**送迎**），
 - B) 自宅にいる買い物弱者がオンラインで注文し、商品を自宅まで配送する（**ネットスーパー**），
- ということが考えられる。一方、後者であれば、

C) フードデザート地域に店舗を出店する（**新規出店**），
D) 移動型店舗により巡回する（**移動スーパー**），
などが考えられる。**送迎**は品揃えのよい店舗を利用できるというメリットがあるが、多くの買い物弱者に対してきめ細やかな送迎を行う必要があるというデメリットがある。**ネットスーパー**は移動しなくてすむというメリットがあるが、オンラインによる注文操作の習熟が必要になることがデメリットである。また移動しなくてすむというのはメリットである一方で、高齢者の運動不足やコミュニケーション不足に繋がるということがデメリットにもなる。**新規出店**は買い物弱者にとって理想的な解決法であるが、フードデザート問題の成り立ちを考えると、店舗事業者にとって採算性が取れない可能性が高く、現実的には難しい。**移動スーパー**は店舗と比べて品揃えが悪い、移動費用がかかるというデメリットがあるが、ネットスーパーのメリットと対照的に、買い物行動や人との交流があることで高齢者の健康維持や生活自立に非常に有効であるというメリットがある。

本研究では、**移動スーパー**に着目し、実際に移動スーパーが実施されている茨城県日立市を対象としてフードデザート問題を分析する。茨城県日立市は、企業城下町として昭和 40 年代から 60 年代にかけて宅地開発され、同時期に同世代の住民が移り住んだことにより高齢化率が 40%を超える住宅団地が多く存在する。急な斜面の中に団地があり、車で移動しなければ買い物に行くことができず、高齢者は日々の生活に不安を抱えている。移動スーパーは、車で移動することができない高齢者にとって、生鮮食料品を入手する大切な手段となっている。一方で、移動スーパーは民間企業によって運営されているため、事業を継続するには運営の効率化が重要である。

*正会員 中央大学理工学部情報工学科 (Chuo University)

**非会員 中央大学理工学部情報工学科 (Chuo University)

これらを踏まえ、本研究では茨城県日立市で実施されている移動スーパーの実態を調査し、移動スーパー事業の効率化に繋がる要素を考察する(2章)。次に、同地域においてフードデザート問題がどの程度進展しているのか把握するために、鳥海⁴⁾に従ってフードデザートマップを作成し(3章)、移動スーパーがフードデザート問題の解決にどの程度役立っているのか評価する。ところで、鳥海⁴⁾では地域の標高差が考慮されていないため、茨城県日立市のような標高差のある地域の実情と乖離している可能性がある。そこで、標高差(勾配)を考慮した移動負担によるフードデザートマップを作成し、3章のそれと比較することで勾配の影響を明らかにする(4章)。そして、2章での考察を踏まえ、数理計画モデルによって移動スーパー事業の効率化を図る(5章)、というのが本研究の流れである。

2. 移動スーパー実地調査

経済産業省「買物弱者応援マニュアル」⁵⁾では、買い物弱者問題に対する取組みの一つとして移動販売サービスを掲げている。移動販売サービスは一般に移動スーパーと呼ばれることが多い。現在、取り組みとしての移動スーパーは広がりを見せており、株式会社とくし丸は全国の地域スーパーと提携して全国的に事業を展開している。全国で移動スーパーを運営しているスーパーマーケットも24%にのぼっている⁶⁾。

研究対象の茨城県日立市は2013年に買い物支援の取り組みとして移動スーパーの事業者を公募し、株式会社カスミと日和サービス株式会社が2013年11月から2015年9月まで実証実験を行った。当時、巡回場所は2事業者合わせて計47箇所としており、高齢化率が市内平均の26%を超え、スーパーや商店などが撤退した地域を中心に巡回を行っていた⁷⁾。実験終了後に本営業を開始したが、2018年には日和サービス株式会社が事業を撤退し、その営業場所をスーパーカスミが引き継いだ。

現在は、北エリア25箇所(拠点店舗はフードスクエアカスミ日立神峰店)、南エリア20箇所(拠点店舗はカスミ鮎川店)を月曜日から金曜日にかけて巡回している⁸⁾。

(1) 調査結果の概要

表-1に示す日時、場所にて実地調査を行った。調査場所である青葉台団地は山側住宅団地に指定されている急な斜面にある団地で、総人口2,395人、65歳以上の人口は1,037人であり、高齢化率が42.9%の団地である。運行表では10時40分に到着の予定となっているが、その約15分前より公園に近隣の方々が集まり始め、集会のように会話を弾ませていた。移動スーパーは音楽を鳴らしながら近隣を走り、周辺の家に営業開始を知らせながら到着する(図-1)。

表-1: 調査日時と場所

日時	2019年6月5日(水) 午前
場所	青葉台団地第4児童公園(茨城県日立市)
天候	くもり

買い物に来ていたのは大半が高齢の女性で、買い物の間も他の客や販売員と会話が途切れず、他者とのコミュニケーションの場にもなっていた。

移動スーパーは小型2tトラック改造車で運行されている。中には幅が一人分の通路があり、両側の棚に野菜・魚・肉等の生鮮食品、豆腐・牛乳・パン等の日配品、調味料・菓子等の加工食品、おにぎり・弁当、日用品等約400品目が陳列されている。15分間の営業中に9名の来客があった。

(2) 顧客へのヒアリング結果

移動スーパーの顧客に対し、顧客にとっての利点や要望を把握するためにヒアリング調査を行った。収集したコメントの一部を以下に示す。

- ・ 毎週欠かさず移動スーパーで買い物をし、主な買い物先が移動スーパーである。
- ・ 商品を販売員にリクエストでき、拠点店舗にある商品を持ってきてもらえるところが大変便利である。
- ・ 拠点店舗と値段が変わらないところが良い。

(3) 販売員へのヒアリング結果

次に、移動スーパーの販売員に対し、現場の実状や巡回経路の制約等についてヒアリングした。収集したコメントの一部を以下に示す。

- ・ 1日の客数は多い日で約50人から60人である。
- ・ 売れ筋商品は野菜や果物の生鮮食品である。
- ・ 営業場所は市からの要請で決められており、変更する場合は、市や地区長との協議が必要である。
- ・ 毎日昼に拠点店舗に戻り、休憩時間と共に商品の補充をしている。
- ・ 生鮮食品は毎日、賞味期限が少し長いものも週に2回(週中と週末に)積み下ろしを行っており、大きな負担である。
- ・ 補充の手間がかかるためもっと大きなトラックにすることや、要望のある場所や家の前まで行って営業したいが、停車スペースや道幅の問題で難しい。

(4) 考察

販売員へのヒアリング結果からステークホルダーをまとめると、市民は移動販売に関する要望を区長などから市の商工振興課へ伝える。それを受けて市は移動スーパーを要



図-1: 移動スーパーの風景

請し、駐車場を無償で使えるように等、営業場所の調整を行う。そして移動スーパー事業者は市民に直面販売を行うという関係になっている。

日立市商工振興課は2015年に「移動スーパーがコミュニティ構築の場にもなっており、住民のニーズは高い。採算面で課題があるが、事業の継続を検討している」と言っている⁹⁾。しかしその後、前述したように2018年に1社が撤退となり、継続事業者の負担が大きくなっている。移動スーパーが過疎化の進む地域を巡回することは社会貢献的な要素が強く、採算を取ることが難しいという課題を抱えている。

3. フードデザート問題の分析

3-1. 使用データ

(1) 人口

本研究では人口データとして、平成27年国勢調査に関する地域メッシュ統計8分の1メッシュデータを使用する。8分の1メッシュデータは一般に入手可能な地域メッシュ統計で最も小さな集計単位のデータであり、メッシュの1辺の長さは約125mとなっている。国勢調査では、年齢別の人口に加え、家族類型別の人口も集計されており、先行研究と同様に**高齢者世帯人口**を以下の式で算出する。

$$\text{高齢者世帯人口} = \text{高齢者単身世帯数} + \text{高齢者夫婦世帯数} \times 2$$

この高齢者世帯人口は、65歳以上の成人だけで生活している世帯の人数を表しており、これらの人々を買い物弱者として考える。

対象地域である日立市に含まれるメッシュ数は3,759である。このうち、718メッシュは秘匿メッシュとなっており、これらの人口は近隣の493メッシュに合算されている。秘匿の影響を受けないメッシュ数の割合は67.8%であるが、高齢者数の割合でみると89.6%（全体は31,634人、合算先の合計は3,286人）であることから、本研究では秘匿メッシュに対する特別な前処理は行わずに分析を行う。

(2) 生鮮食料品店

本研究では生鮮食料品店を「一つの店舗で野菜、精肉、鮮魚等の生鮮食料品を販売している店舗」と定義し、その立地をNTTタウンページ株式会社が提供しているiタウンページから取得する¹⁰⁾。2019年7月にサイトにアクセスしたところ、日立市内に立地している生鮮食料品店は32店舗であった。

(3) 道路ネットワーク

居住地から生鮮食料品店までの移動経路並びに、後述する移動スーパーの巡回経路を表すための道路ネットワークデータとして、拡張全国デジタル道路地図データベース標準（2015年度）を利用する（高速道路を除く）。

(4) 標高

徒歩による移動では水平方向の移動距離とともに高低差も影響を与える。そこで道路ネットワークにおけるノード（交差点、行き止まり点）に対して標高を与え、リンクの

勾配を計算する。標高データとして、国土地理院が提供している基盤地図情報ダウンロードサービスから5mメッシュ標高データ（一部地域は、10mメッシュ標高データ）を利用する。このデータはそれぞれのメッシュの代表点（中心）の標高を表している。道路ネットワークの各ノードに対し、直線距離で最寄りとなるメッシュの代表点を求め、その標高をノードの標高として与える。さらに、リンクに対して標高差を水平方向の距離で除して勾配[%]を求める。当然、勾配はリンクを移動する向きによって異なる。

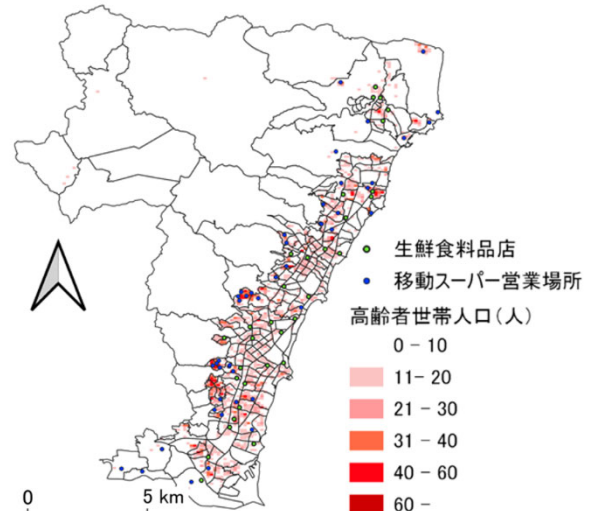


図-2：高齢者世帯人口の分布

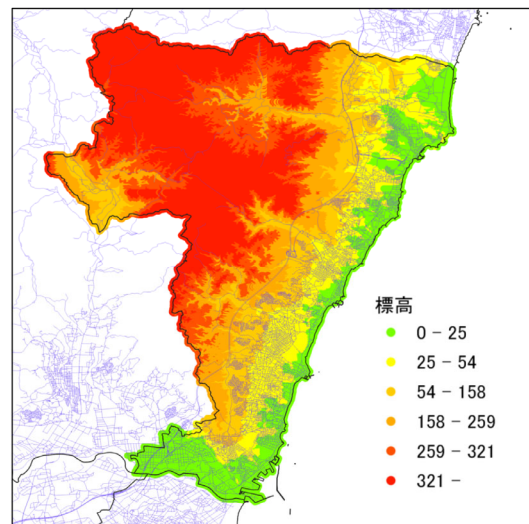


図-3：道路ネットワークと標高

高齢者世帯人口と生鮮食料品店および2章の移動スーパーの営業場所を図-2に示す。また、道路ネットワークと標高を重ね合わせた図を図-3に示す。日立市では、図-3における緑色、黄色の標高の低い地域に人口が多い。また、橙色の比較的高い地域にも丘陵部を切り開いて造られた団地が多く存在している。

3-2. フードデザート地域の定義

経済産業省が平成23年5月に公表した買い物弱者応援マ

ニューアルver.2.0における**買い物弱者マップ**の作成方法では、生鮮食料品店を中心とした半径 500m から 1km の円外に居住する単身又は二人暮らしの 65 歳以上の者を**買い物弱者**としており、この距離は高齢者の平均的な徒歩移動可能距離から定められている。本研究では、買い物弱者が居住している地域を**フードデザート地域**と呼ぶ。また、丁ほか¹²⁾による買い物距離調査では、徒歩で買い物する高齢者の食料品に関する買い物満足度がゼロになる距離がおよそ 1,500m であることが明らかにされている。これらを踏まえ、本研究では居住地から生鮮食料品店までの移動距離（基準距離と呼ぶ）が 500m, 1,000m, 1,500m 以上である地域をフードデザート地域と定義し、それらを比較する。

3-3. 生鮮食料品店までの道路最近隣距離の分布

高齢者の居住地から生鮮食料品店までの移動距離を以下の手順によって算出する。

1. メッシュ I の中心を人口代表点 i とし、人口代表点 i から直線距離で最も短い道路ネットワーク上のノード i' を見つける
2. 生鮮食料品店 j から直線距離で最も短い道路ネットワーク上のノード j' を見つける。
3. ノード i' からノード j' までの最小コスト経路を、最短経路を求める手法である Dijkstra 法により求める
4. メッシュ I から生鮮食料品店 j までの移動距離を「 i から i' までの直線距離 + i' から j' までの最小コスト + j' から j までの直線距離」と定義し、全ての生鮮食料品店の中から最も移動距離が短い店舗までの距離をメッシュ I に対する生鮮食料品店までの**道路最近隣距離**とする。

道路ネットワーク上の移動負担（コスト）を平面的な移動距離のみによって定め、交通規制（例えば、右折禁止）等を考慮しないのであれば、最小コスト経路は最短経路となる。この場合、以下の手順によって、1 度だけ Dijkstra 法を解けば、全てのメッシュに対する道路最近隣距離を計算することができる。

1. 仮想的な流入点 s をノードに追加する
2. ノード s から全ての生鮮食料品店の最寄りノードまでコスト 0 のリンクを追加する
3. ノード s から全ての人口代表点の最寄りノードまでの最小コスト経路を Dijkstra 法により求める

上記の手順により求めた生鮮食料品店までの道路最近隣距離の分布を図-4 に示す。生鮮食料品店から自宅までの距離が 500m 以上 1,000m 未満に住んでいる人口が最も多くなっている。1,000m 未満の人口は 16,377 人で高齢者全体の約 52%、1,500m 未満の人口は 24,078 人で約 76% となっている。つまり 4 人に 1 人は片道 1,500m 以上移動する必要がある、楽観的に考えてもこれらの人々は**買い物弱者**と考えられる。なお、道路最近隣距離の最大値は約 17km であり、徒歩での移動が実質的に不可能な地域も存在している。

3-4. フードデザートマップ

前節の道路最近隣距離を用いてフードデザート地域を可視化する。基準距離を 1,000m としたフードデザートマッ

プを図-5 に示す。図-5 では居住者がいるメッシュのみ着色しており、赤色の地域がフードデザート地域である。フードデザート地域に居住している高齢者を**フードデザート人口**とすると、その人数は 15,309 人（全体の 48%）である。内陸部だけでなく、標高の低い沿岸地域にもフードデザート地域が広がっていることがわかる。

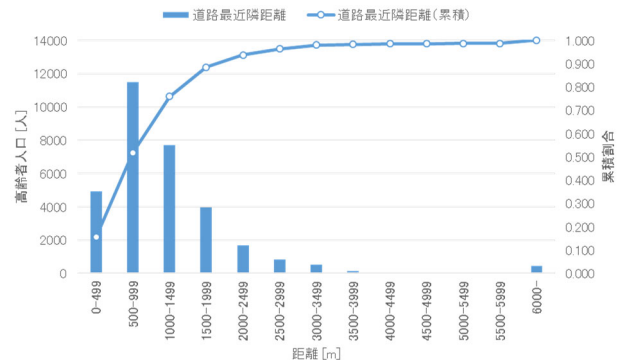


図4：最近隣距離分布

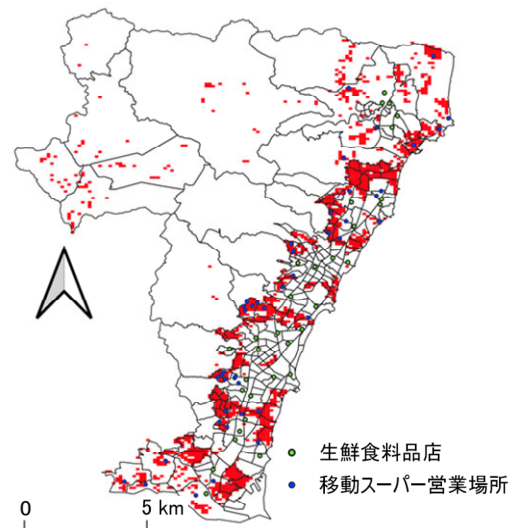


図5：フードデザートマップ

3-5. 移動スーパーによるフードデザート地域の縮小効果

2 章でみたように、茨城県日立市では北エリア 25 箇所、南エリア 20 箇所移動スーパーが営業している。この営業場所を生鮮食料品店とみなしてフードデザート地域を求め直す。その結果、基準距離を 1,000m とした場合のフードデザート人口 15,309 人に対して、8,054 人（約 53%）がフードデザート人口から除外された。つまり、移動スーパーはこの地域のフードデザート人口を半分以下にしていることが明らかになった。

4. 勾配を考慮したフードデザート問題の分析

図-3 で示したように、対象地域である日立市は沿岸から内陸に向けて標高が高くなっている。そのため、沿岸部と内陸部を結ぶ道路には坂道が多く、徒歩で移動する際には大きな負担となる。ここでは、坂の勾配を考慮した距離を、消費エネルギーの観点から導出した**代謝的換算距離**¹³⁾によ

って定義し、改めて居住地から最寄り店舗までの最近隣距離を求める。

4-1. 消費エネルギーを使用した代謝的換算距離の定義

まず、人間工学の分野で代表的に用いられている消費エネルギー E [kcal]を以下の式で定義する¹⁴⁾。

$$E = (RMR + 1.2) \times BMR \times W \times T \quad (1)$$

ここで、 RMR はエネルギー代謝率であり、様々な動作における消費エネルギーの基礎代謝に対する比率を表している。 RMR は以下の式で定義される。

$$RMR = ((活動時総代謝量 - 安静時代謝量) / 基礎代謝量)$$

また、 BMR は基礎代謝率[kcal/kg/日]、 W は体重[kg]、 T は時間[日]である。基礎代謝率 BMR と体重 W との積は基礎代謝量を表しており、厳密には個人(年齢、性別)によって異なる値となるが、ここでは一律に65歳の男性の基礎代謝量である1,400[kcal/日]とする。時間 T はリンクの長さを歩行速度(80m/分)で除することで算出する。

さて、勾配 x の坂道を歩行する際のエネルギー代謝率 RMR は佐藤ら¹³⁾によれば以下の式で与えられる。

$$RMR = 3.113e^{4.614x} \quad (2)$$

例えば、勾配10%であれば RMR は4.938となる。従って、勾配0%の RMR は3.113なので、同じ距離を歩行した場合、消費エネルギーは勾配10%のほうが大きいことがわかる。この関係を利用すると、ある勾配 x' の坂道を時間 t' だけ歩行した場合の消費エネルギー E を算出すれば、同じエネルギーを消費する勾配0の平坦な道を歩く時間 t'' を求めることができる。さらに、この歩行時間 t'' に歩行速度を乗ずれば距離に換算することができる。そこで、勾配 x' の坂道に対して、その坂道を歩行した際の消費エネルギーが同じになる勾配0の平坦路を歩行する距離を代謝的換算距離と定義する。当然、勾配が0でない限り、リンクを通る向きによって代謝的換算距離は異なる。

ところで、一般に上り坂を歩行するよりも下り坂を歩行する方が楽に感じられるだろう。実際、式(2)では勾配が小さいほど RMR は小さくなる。しかし、高橋ら¹⁵⁾の高齢者を対象とした実験では、勾配が-11%以下となる下り坂では意識的に歩行速度を落とす必要が生じ、平坦路よりも抵抗を感じることが明らかにされている。そこで、本研究では勾配が-11%以下となる下り坂には同じ勾配の上り坂のエネルギー代謝率を与えることとする。20m歩行した場合の

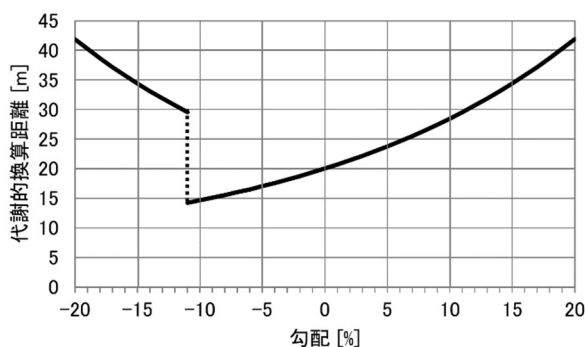


図6: 勾配と代謝的換算距離の関係 (20mの場合)

勾配と代謝的換算距離との関係を図-6 に示す。勾配が5%であれば約24m、10%であれば約28mになる

4-2. 代謝的換算距離による往復最近隣距離

前節で定義した代謝的換算距離はリンクを通る向きによって異なるため、居住地からみたときの最寄りの生鮮食料品店が必ずしも往復距離が最小の店舗になるとは限らない。そこで、居住地(代表点)から生鮮食料品店までの代謝的換算距離と、生鮮食料品店から居住地までの代謝的換算距離との和を全てのペアについて求め、距離の合計が最も小さい店舗を代謝的換算距離による最近隣店舗とする。そして、居住地から生鮮食料品店までの距離を代謝的換算距離による往路最近隣距離、その帰りを代謝的換算距離による復路最近隣距離、往復距離を代謝的換算距離による往復最近隣距離と定義する。

代謝的換算距離による往路最近隣距離並びに復路最近隣距離の分布を図-7に示す。往路の分布では、勾配を考慮しない場合との差はほとんど見られない。一方、復路の分布では、勾配を考慮した場合の分布が右にシフトしている。内陸の標高の高い地域に居住している高齢者にとって、往路は下り坂(負の勾配)になるのに対し、復路は上り坂(正の勾配)となるということがその要因として考えられる。

勾配の考慮の有無による最近隣距離の違いをみるために、各居住地に対する道路最近隣距離と、往路最近隣距離並びに復路最近隣距離の散布図を図-8に示す。往路、復路のいずれにおいても、斜め45度線の左上にプロットされている居住地が多く、代謝的換算距離のほうが長くなっていることがわかる。このことは標高差が大きい地域を対象としてフードデザート問題を考える場合に、勾配を考慮しないとフードデザート人口を過少評価する可能性があることを示唆している。

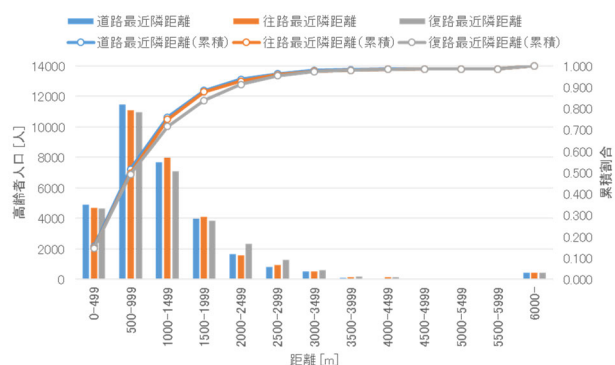


図7: 往路最近隣距離と復路最近隣距離の分布

4-3. 坂の負荷を考慮したフードデザートマップ

3.4節と同様に、代謝的換算距離によるフードデザートマップを作成する。ここでは、道路最近隣距離(図-5)と比較できるように、代謝的換算距離による復路最近隣距離によるフードデザートマップを図-9に示す。青色は図-5でもフードデザート地域であったメッシュ、赤色は新たにフー

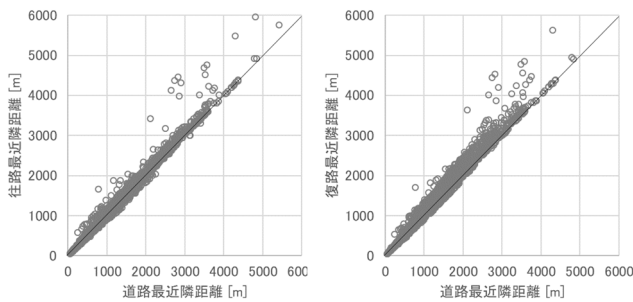


図-8：往路最近隣距離(左)と復路最近隣距離(右)の散布図

ドデザート地域になったメッシュを表している。図-5と比較すると、新たに 89 メッシュがフードデザート地域となり、9 メッシュがフードデザート地域から除外された。これらのメッシュの多くはフードデザート地域の縁に位置している。フードデザート人口は 16,076 人(全体の 51%)である。

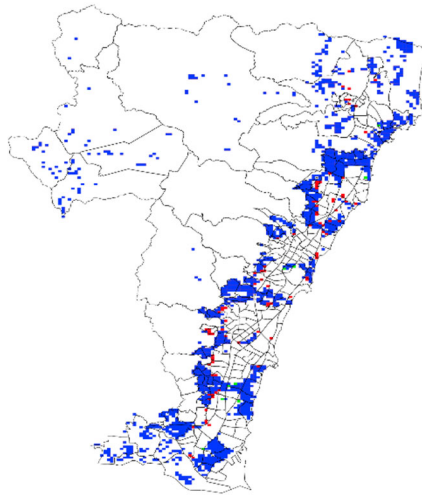


図-9：復路最近隣距離によるフードデザートマップ

5. 移動スーパーの巡回経路

2 章の実地調査でみたように、移動スーパーの営業場所は市からの要請で決められているため、移動スーパーの事業者が勝手に変更することはできない。そのため、営業場所や訪問頻度を変更することなく、事業の採算性を向上させるには巡回経路を効率化する、つまり運行コストの削減が重要になる。

5-1. 現行の巡回経路と経費の積算

現在の北エリアには 25 箇所の営業場所があり、そのうち 8 箇所は週に 2 度巡回している(残りの 17 箇所は週に 1 度の巡回)。曜日別に色分けした営業場所を図-10 に示す(丸囲みの数字は営業場所番号)。図-10 をみてわかる通り、曜日毎の営業場所がまとまっていない。これは元々 2 つの事業者が運行していた営業場所を一方の事業者がそのまま引き継いだことが原因であり、現在の巡回経路は効率が悪く考えられる。平日の午前、午後で巡回しているので巡回経路数は 10 となり、全体の総移動距離は約 132km である。

次に 1 日の売り上げと経費を推計する。2 章のヒアリング結果をもとに 1 日の客数を 50 人と仮定する。日本スーパーマーケット協会の年次統計調査⁹⁾によると、売り場面積 800 m²未満の平均客単価は 1,585 円であるため、1,585 円×50 人で一日の売り上げは約 79,250 円と推計できる。移動スーパーとくし丸¹⁶⁾に掲載されている、日販毎の収支シミュレーションに準じて粗利 30%とすると、月 21 日稼働した場合の月間の粗利は 499,275 円となる。一方、経費として燃料費、人件費、車両保険料、車両償却費を考える。小型トラックの燃費は 4.5~6.5km であり平均をとって 5.5km とし、ガソリンはリッターあたり 134 円+消費税とすると、燃料費は月あたり 14,857 円となる。厚生労働省の平成 30 年賃金構造基本統計調査¹⁷⁾による職種別平均賃金より時給を 1,195 円とすると、人件費は時給×1.75 倍(福利厚生費などを考慮)として月あたり 351,330 円となる。車両保険料を 15,000 円、車両償却費を月あたり 50,000 円とすると、月の利益は 68,088 円の黒字となる。この試算は売り上げの多い日を想定したものであり、1 日の客数が 40 人になると月の利益は 31,767 円の赤字となる。

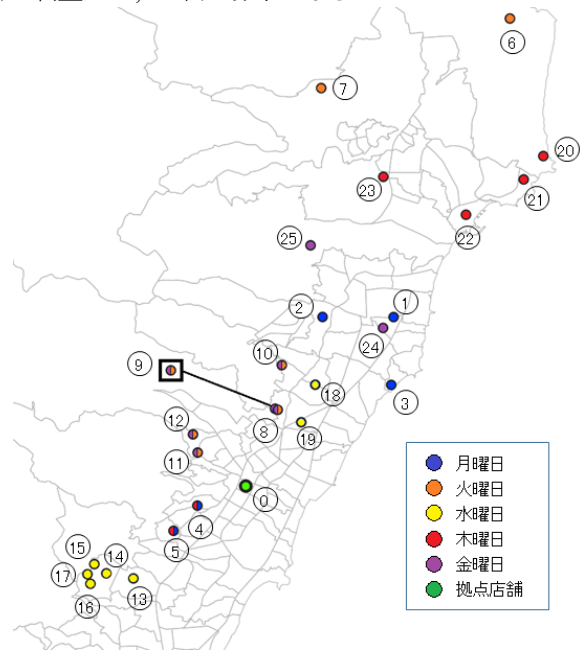


図-10：北エリアの曜日別営業場所

5-2. 配送計画問題の定式化

営業場所を巡回するためのコストの削減を図るために、移動スーパーの配送計画問題をモデル化する。モデル化にあたっての仮定は以下の通りである。

1. 移動販売車は拠点店舗を出発し、与えられた上限時間(180 分)以内に 1 箇所以上の営業場所を巡回して再び拠点店舗に戻る。
2. 営業場所は所与とし、営業場所間、営業場所と拠点店舗の間は最短経路を一定の速度(時速 30km)で移動する。
3. 営業場所では現在と同様に 15 分間営業する。

4. 現在の巡回経路と同様に 10 巡回経路（平日 5 日間×午前・午後）で、各営業場所を現在と同じ頻度で訪れる。

次に記号を定義する。まず、地点（営業場所および拠点店舗）集合を N とし（ただし、拠点店舗を地点 0 とする）、巡回経路の集合を K とする。そして、パラメータとして、「地点 i と地点 j との間の移動時間」と「地点 j での営業時間」の和を c_{ij} とし、1 巡回経路の上限時間を T とする。最後に、決定変数 x_{kij} を「地点 i から j に行く枝が巡回経路 k に含まれるとき 1、そうでなければ 0」と定める。

数理計画法による定式化は以下の通りである。

$$\min. \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} c_{ij} x_{kij} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in N: j \neq 0} x_{k0j}, (\forall k \in K) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} x_{ki0}, (\forall k \in K) \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{kij} = 1, (\forall i \in N \setminus \{0\}) \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N \setminus \{j\}} x_{kij} = 1, (\forall j \in N \setminus \{0\}) \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{kij} = \sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{kji}, (\forall k \in K, \forall i \in N) \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} c_{ij} x_{kij} \leq T, (\forall k \in K) \quad (9)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S \setminus \{i\}} x_{kij} \leq |S| - 1, (\forall k \in K) \quad (10)$$

$$\forall S \subset N \setminus \{0\}$$

目的関数(3)では、一週間の総所要時間を最小化している。本モデルでは、営業場所の数は所与であり、またそれぞれの場所での営業時間も一定であることから、実質的には総移動時間の最小化を行っていることになる。地点間の移動時間は最短経路を一定速度で移動するという仮定で計算しているので、これは総移動距離の最小化と同じである。

式(4)は、1 巡回経路に対して、拠点店舗から 1 回のみ出ていくという制約であり、式(5)は、1 巡回経路に対して、拠点店舗に 1 回のみ帰って来るという制約である。式(6)は、全巡回経路に対して、1 つの営業場所から出ていくのは 1 回のみであり、式(7)は、全巡回経路に対して、1 つの営業場所に帰って来るのも 1 回のみという制約である。式(8)は、1 巡回経路に対して、1 つの営業場所から出ていく回数と帰って来る回数が等しいという制約である。式(9)は、1 巡回経路に対する時間の上限制約であり、式(10)は、少なくとも 1 度部分集合 S の外に出ていくという部分巡回経路除去制

約である。

5-3. 巡回経路の改善案

数理計画ソルバー Gurobi Optimizer 8.1.1 を用いて、前節のモデルに対する数値計算を行う。実行環境は Core i5 CPU 2.5GHz、メモリ 8GB、Windows10 のノートパソコンである。

北エリアの営業場所は 25 箇所であるが、同じ曜日に 2 度続けて巡回している営業場所（地点 2）が 1 箇所あるの、それぞれを別の営業場所と考え、26 の営業場所を 1 回の配送計画問題として計算する。次に、週に 2 度巡回している 7 箇所の営業場所に対し、先程とは別の配送計画問題として計算する。このように 2 つの配送計画問題に分けることで、現実に行われているような訪問間隔を開けた（例えば、月曜と木曜）全体計画を立案することができる。

一週間の巡回経路数は 10 なので、表-2 に示す 3 パターンで計算する。結果は、現在の総移動距離 132km に対して、パターン 1 で 115km、パターン 2 で 104km、パターン 3 で 103km となり、いずれのパターンでも現在より改善される結果となった。総移動距離の観点ではパターン 3 が最も良い結果となったが、最適解として得られた巡回経路を平日 5 日間の午前・午後に割り当てると、週に 2 度巡回する営業場所に対して中 1 日となってしまう、現在のように中 2 日を開けることができなかった。

総移動距離で 1km の差があったパターン 2 で同様に、最適解として得られた巡回経路を平日 5 日間の午前・午後に割り当てると、現在と同様に中 2 日を開けた巡回ができることがわかったので、バランスを考慮するとパターン 2 が

表-2：巡回パターン

	パターン 1	パターン 2	パターン 3
週 1 回の 26 営業場所	9 巡回経路 (A1-A9)	8 巡回経路 (A1-A8)	7 巡回経路 (A1-A7)
週 2 回の 7 営業場所	1 巡回経路 (B1)	2 巡回経路 (B1-B2)	3 巡回経路 (B1-B3)

表-3：パターン 2 の最適解

経路 番号	巡回経路	移動距 離[m]	移動時 間+停 車時間 [分]
A1	0→9→8→0	5,212	40
A2	0→19→18→0	6,965	44
A3	0→13→14→15→17→16→0	11,222	97
A4	0→10→0	7,204	29
A5	0→2→2→24→1→3→0	14,019	103
A6	0→25→7→6→20→21→22→23→0	35,103	175
A7	0→12→11→0	4,352	38
A8	0→4→5→0	4,449	39
B1	0→5→4→0	4,449	39
B2	0→12→11→10→9→8→0	11,204	96

良いと言える。表-3 にパターン 2 で得られた結果を示す。また、巡回経路ごとに色分けした営業場所を図-11 に示す。巡回経路毎に訪問する営業場所がまとまっている様子がわかる。

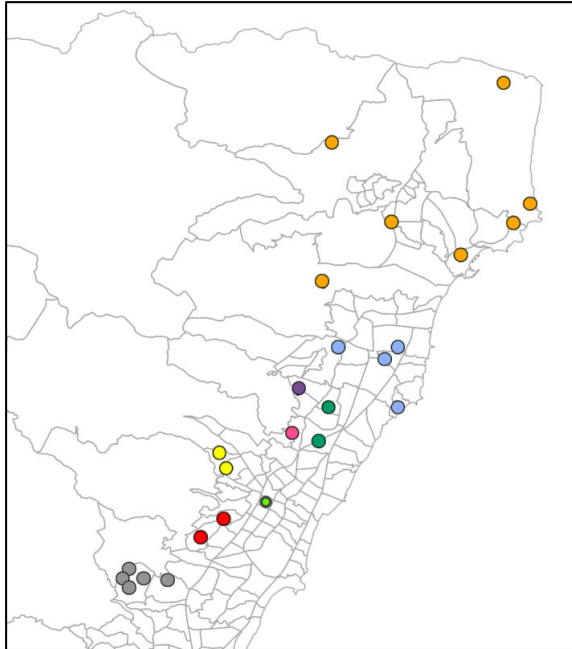


図-11：パターン 2 における巡回経路別の営業場所

6. おわりに

本研究では、茨城県日立市で実施されている移動スーパーの実態を調査し、移動スーパーがフードデザート問題の解決にどの程度役立っているのか評価した。また、対象地域には大きな標高差があることを考慮して、道路勾配による代謝的換算距離を用いたフードデザートマップを作成し、単純な道路距離を用いた場合との比較を行った。その結果、推計されたフードデザート人口は 5%程度多くなり、標高差を考慮しないと過小評価に繋がる可能性があることが示唆された。さらに、実態調査によって、移動スーパーの現在の巡回経路に効率化の余地があるとみられたので、1 週間の巡回経路における総移動距離を最小化する数理モデルを提案した。最適な巡回経路を求めた結果、1 週間の総移動距離を 28~29km 程度短縮できることが明らかになった。これにより燃料費を削減できるためでなく、移動時間の短縮により営業場所を増やすことも可能になり、売り上げの増加も期待できる。本研究で示した分析の枠組みは、標高差の大きい他の都市へも適用することが可能である。特に、利用しているデータは入手が容易なデータのみであり、汎用性が高いことは本研究の強みである。

移動スーパーは、高齢者の栄養面、認知症の予防といった健康的な生活の支えとなるだけでなく、高齢者の自動車事故が増えている今、免許返納の促進にも繋がると期待できる重要な役割を担っている。

本研究の成果は、移動スーパー事業継続への施策や、営業場所を検討する際に活用することができ、高齢者にとつ

ての豊かな生活環境の構築に貢献できると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18H01661 の支援を受けました。

参考文献

- 1) 経済産業省 (2014): 買物弱者・フードデザート問題等の現状及び今後の対策のあり方に関する調査報告書,
https://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/150427_report_2.pdf, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 2) 岩間信之 (2012): 大都市郊外におけるフードデザート問題の現状と課題, オペレーションズ・リサーチ, 57-3, 112-118.
- 3) 三浦英俊, 古藤浩 (2010): メッシュデータを用いた人口減少地域における買い物距離の分析—山形県における食料品店を事例として—, 都市計画論文集, 45-3, 643-648.
- 4) 鳥海重喜 (2014): 福岡市におけるフードデザート問題の分析, 都市計画論文集, 49-3, 993-998.
- 5) 経済産業省: 買物弱者対策支援について,
https://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/kaimonojakusya_shien.html, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 6) 一般社団法人日本スーパーマーケット協会 (2018): 平成 30 年スーパーマーケット年次統計調査,
<http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2018/08/H30nenji-tokei.pdf>, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 7) 茨城新聞 (2013): 買い物弱者支援の移動スーパー実証実験 日立市,
https://ibarakinews.jp/news/newsdetail.php?f_jun=13859810874045, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 8) 株式会社カスミ: 移動スーパー,
<https://www.kasumi.co.jp/shopping/idosuper.html>, (アクセス日: 2019 年 6 月 30 日)。
- 9) 産経新聞 (2015): 広がる買い物支援の移動販売 コミュニティー構築の役割にも期待,
<https://www.sankei.com/life/news/150619/lif1506190016-n1.html>, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 10) NTT タウンページ株式会社 i タウンページ, <https://itp.ne.jp/>, (アクセス日: 2019 年 6 月 30 日)。
- 11) 総務省 (2017): 買物弱者対策に関する実態調査,
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/107317_0719.html, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 12) 丁育華, 近藤光男, 渡辺公次郎 (2009): 地方都市における消費者の買い物意識と行動の分析, 日本建築学会計画系論文集, 74(636), 417-422.
- 13) 佐藤栄治, 吉川徹, 山田あすか (2006): 地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討, 日本建築学会計画系論文集, 610, 133-129.
- 14) 佐藤方彦 (1992): 人間工学基準数値式便覧, 技法堂.
- 15) 高橋徹, 林玉子 (1990): 屋外における高齢者の歩行特性に関して, 総合都市研究, 39, 21-37.
- 16) 株式会社とくし丸: 収支,
<https://www.tokushimaru.jp/oubo/balance-of-payments/>, (アクセス日: 2019 年 12 月 21 日)。
- 17) 厚生労働省: 平成 30 年賃金構造基本統計調査による職種別平均賃金, <https://www.mhlw.go.jp/content/000526706.pdf>, (アクセス日: 2019 年 12 月 26 日)。