

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02389

研究課題名（和文）公共施設の統廃合において公平性の高いアクセスを実現する数理モデルの開発とその応用

研究課題名（英文）Developing and utilizing mathematical models for equitable accessibility in the integration of public facilities

研究代表者

古田 壮宏（FURUTA, Takehiro）

奈良教育大学・教育連携講座・教授

研究者番号：60453825

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、将来の需要の変化を踏まえて、公共施設へのアクセシビリティという観点から、公平性を長期的に維持できる統廃合計画立案のための数理モデルを開発した。具体的には、病院や学校の実際の統廃合事例を分析し、それに基づいた施設の利用者の移動距離やコストを考慮した公平性指標を提案した。また、この指標に基づいた統廃合のための数理計画モデルを開発し、実際のデータを用いて現状とのアクセシビリティに関する比較分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人口減少社会において公共施設は、今後減少を余儀なくされる可能性が高いと考えられる。本研究では、病院や学校などの公共施設を対象として、統廃合の影響をアクセシビリティの観点から分析することに着目した。これまでに必ずしも十分に扱われていない公共施設に求められる公平性に基づく数理モデルを提案した。さらに、現実の地理空間データを用いた計算結果と実際の統廃合事例とを比較し、統廃合のアクセシビリティの観点からの影響に関する定量的な分析の可能性を示した点で意義があったと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a mathematical model for formulating integration plans that can maintain equity in terms of accessibility to public facilities over the long-term, taking into account future changes in demand. Specifically, by analyzing actual cases of consolidation of hospitals and schools, we proposed equity indices that consider the travel distances and costs for facility users. We then developed a mathematical programming model for consolidation based on these indices, and conducted a comparative analysis of accessibility between the current situation and the proposed plans using real data.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：オペレーションズ・リサーチ 都市計画 公共施設・サービス 数理計画モデル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

公共施設の統廃合は、病院や学校などの住民の生命や生活と直結するものであることが多い。さらに、統廃合前に利用できていたサービスが利用しにくくなったり、できなくなったりする住民が発生する可能性が高い。そのため、そのような住民が可能な限り発生しないように、公平性の高いサービス提供を考慮した統廃合の実現が求められる。

公共施設の統廃合は、病院や学校などの住民の生命や生活と直結するものであることが多い。さらに、統廃合前に利用できていたサービスが利用しにくくなったり、できなくなったりする住民が発生する可能性が高い。そのため、そのような住民が可能な限り発生しないように、公平性の高いサービス提供を考慮した統廃合の実現が求められる。また、施設の統廃合は多額の費用を要するため、長期的な需要の変化を想定した計画が不可欠である。例えば、へき地の学校などの急激に需要の減少が見込まれるもの、高層密集市街地の学校など一時的に需要の増加が見込まれるが長期的には減少が予想されるものなど、その地域やサービスの特性に合わせた計画の立案が必要となる。

オペレーションズ・リサーチは、このような様々な条件を伴う政策立案や意思決定において、数理的なアプローチにより最適な行動・戦略を探究する学問である。その中でも、輸送・交通のための最適ネットワーク設計や様々な施設の最適な配置場所を求める施設配置問題は、特に活発に研究されている。これらの研究は、効率性を追求するものと公平性を追求するものの2つに大別することが可能である。前者は、移動時間・距離・費用などを最小にしたり、獲得できる需要を最大にしたりすることで、システム全体として効率的な運用となるように、ネットワークの構成や施設の配置を求めるものである。このような問題は、様々な派生問題の開発や、企業などによる実際の課題・データへの適用など、活発に数多くの研究が進められている。しかしながら、これらの問題から得られる解は、システム全体としての効率性を追求するあまり、地域全体としてみたときに不公平を助長する結果となることが多い。例えば、限られた数の施設を配置する問題では、人口の多い地域に集中して施設を配置し、少ない地域に配置しないことで、結果として住民全体の移動コストを小さくするということがある。

一方で、公平性を追求する問題は、利用者間のサービスを受ける機会や負担が公平であることを追求するものである。公共サービスや施設を設計するために研究されているが、効率性を追求したものと比べて、十分な研究蓄積があるとはいえない。さらに考慮すべき要素が多くなり解くことが困難なことが多いため、国内外の既存研究の多くは、基礎的なモデルの開発やそのモデルの仮想的な小規模データへの適用にとどまっている。そのため、現実の公共施設の統廃合において、既存モデルをそのまま適用することは困難である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の需要の変化を踏まえて、公共施設へのアクセシビリティという観点から、公平性を長期的に維持できる統廃合計画立案のための数理モデルを開発することである。具体的には、以下の3点を開発することで目的の達成を図った。

- 病院や学校などの統廃合事例に基づいて、施設の利用者の移動距離やコストなどの様々な要素を踏まえつつ、公平性を考慮した新しい評価指標
- 開発する評価指標に基づいた統廃合および将来の転用のための統廃合計画モデルおよびその解法
- 具体的な応用を想定し、鉄道網や航空ネットワークなどの具体的な対象を想定したモデルの開発

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の研究方法を用いた。まず、第1に、現状調査として、公共施設等の統廃合事例など学校や病院、買い物支援サービスなどの具体的な地域の情報収集と調査を行った。つぎに、第2に、1で挙げた調査結果を活かしつつ、既存の公平性指標および施設配置問題の特徴分析と整理したうえで、具体的な施設配置のための数理モデルおよびそのための解法の開発し、地理情報データに適用した。あわせて、具体的ないくつかの応用例を想定し、鉄道網や航空ネットワークなどを対象とした数理モデルを開発することによって研究を進めた。なお、公平性指標の検討にあたっては、議席配分問題からのアプローチも試みた。

4. 研究成果

現状調査にあたっては、各自治体の「公共施設等総合管理計画」等から、現在予定・計画されている統廃合等に関する現状調査し、整理・比較分析を行い、以降の指標開発のための基礎材料を収集した。それらの結果を活用しつつ、学校や病院、買い物支援サービスに焦点化し、様々な地域の情報を収集し、公平性の観点から比較・整理した。加えて、数理計画モデルを作成し、そ

の数値例として、奈良県奈良市の建物データおよび奈良県の学校区データを用いた分析を行い、現状とのアクセシビリティに関する比較を行った。

例えば、これまでに行われた学校の統廃合について調査し、その結果、各地域のアクセシビリティがどのように変化したかを分析した。結果として、極端に悪化している地域の存在を定量的に確認できた。次に、調査結果に基づいて、学校等施設サービス全体としての効率性などを考慮しつつ、公平性の高い統廃合のための最適配置モデルを開発した。人口が多く需要が多い地域の存在を踏まえつつ、そうでない地域のアクセシビリティの悪化が一定程度に収まるように新たな統廃合施設の立地場所を求める数理モデルである。開発したモデルを利用して、事前調査に利用した地域での実際の統廃合結果とモデルで求めた結果との比較により、アクセシビリティの違いから、改善が期待できることを確認した。

公平性指標の開発ためのアプローチのひとつとして、議席配分問題から検討を行った。対数 Gini 係数を提案し、議席配分問題を例に過去のデータを用いた数値実験を行い、その有用性を示した。また、代表的な 5 つの配分方法を用いた場合にどのようなシミュレーションを行い、その影響を分析した。さらに、ジニ係数を最小化する問題として定式化、過去の参議院および衆議院のデータを用いて、数値実験を行った。この数値実験では、議席配分問題を従来の 2 次ナップサック問題としての定式化と線形整数計画問題としての定式化と比較し、分析した。マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて、選挙区への議会議席の配分問題に関するいくつかの公平性指標を計算する方法が考案した。議席バイアスと平均絶対差に着目し、提案アルゴリズムにより、統計量の平均値といくつかの分位数を推定するのに役立つことを示した。

次に、施設配置に関する研究として、以下のような様々なアプローチを試みた。

- 公共サービスの 1 つである救急システムについて、サービスの不確実性を考慮して、システムを取り扱うための救急車配置モデルやシミュレーションについて、これまでの研究成果を整理し、まとめた。
- 公共施設へのアクセスのしやすさを検討するために、道路などのネットワーク上の移動者（通勤通学者など）がその途中で施設に立ち寄る行動において、施設を利用できる人を最大となるように施設を配置する問題を取り扱った。そのひとつとして、施設利用者が増加することによる施設の混雑を考慮するという、より現実的な状況を想定したモデルおよび、その解法を開発した。他に、与えられた領域を複数の区画に分割する問題において、各区画内の移動と区画間の移動を同時に考慮した問題および、その解法を開発した。
- 長期にわたる施設の配置計画を考えるための基礎モデルとして、連続空間を対象として各施設の受け持ち需要の偏りを減らす施設配置及び閉鎖順序を求めるものや、離散空間を対象として多期間での施設の廃止と新設を求めるものを開発した。実際の地域のデータを用いた数値実験等を行い、モデルの効果を分析した。
- 施設へのアクセスのしやすさを検討するために、道路などのネットワーク上の移動者（通勤通学者など）がその途中で施設に立ち寄る行動において、移動者が確率的に施設を利用するときに、利用できる人を最大となるように施設を配置する問題などを取り扱った。
- 公共交通サービスの一つである鉄道網（中京圏）を対象に、通勤・通学フローを利用して、立ち寄り需要を数多く捕捉する鉄道駅の特徴を分析した。さらに、途中通過する鉄道駅のどこかに施設が存在するようなフローの流量に着目し、流量を最大化し、指定の個数の施設を配置する問題を解いた。公共施設等の配置を検討する上での基礎資料として利用できると考えている。また、道路網状の固定施設に対する需要割当問題の定式化および数値実験を行った。
- 需要と施設配置候補が非凸な多角形にある環境での 2 種類の総移動距離最小化問題を扱った。発見的な解法として、ポロノイ図を用いて、需要の割り当てと施設の配置場所を交互に求める方法を開発し、実際の日本の島々を多角形の集合として用いた数値例を示した。
- 公共交通機関としての航空ネットワーク設計を考えるために、どのように路線を整備していくかについて取り扱うモデルにおいて、既存研究と比較して旅客の流れを自然に表現したモデルを構築し、より現実的な状況を想定した拡張を行い、ベンチマークデータを用いた数値実験およびその結果の分析をすすめた。さらに、より現実的な状況を想定した拡張を行い、ベンチマークデータを用いた数値実験およびその結果の分析をすすめた。前述のモデルを拡張し、従来のモデルにおけるすべての利用者が最小コスト経路で移動するという仮定に対して、利用者が最小コスト経路以外の経路も利用することを想定し、経路の利便性によって利用者を比例配分するモデルを構築した。航空ネットワーク設計を考えるために、2 つのモデル PPANP-CC-SP と PPANP-CC-MP を提案した。前者は、出発地と目的地が同じである乗客は、もっとも迂回率の小さい経路を利用することを仮定しており、後者は、乗客が利用する路線を複数の選択肢から選択することを想定したモデルである。規模の小さい問題例を用いて計算実験を行い、新規参入会社が開設する路線数が大きくなると、PPANP-CC-SP では獲得需要が変化し、PPANP-CC-MP では最適なネットワークに変化が出ることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Jinha Hibino, Shungo Koichi, Mihiro Sasaki	4. 巻 なし
2. 論文標題 Passengers' multiple choices on OD paths in a point-to-point airline network design	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Scheduling 2023	6. 最初と最後の頁 42-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HIBINO Jinha, KOICHI Shungo, FURUTA Takehiro, SASAKI Mihiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Cooperation and competition to design a point-to-point airline network under regulation for a new entry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2022jamdsm0044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 田中健一	4. 巻 57
2. 論文標題 中京都市圏における通勤・通学フローに着目した最適な立寄り型施設の配置駅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 1010-1017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11361/journalcpj.57.1010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ken-ichi Tanaka, Kazuki Tanno	4. 巻 16
2. 論文標題 Analytical method for deriving distance distributions in continuous networks in which travelers visit exactly one facility between origin and destination	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 谷口 航一, 田中 健一	4. 巻 56(3)
2. 論文標題 競合環境下における介在機会モデルを用いたフロー捕捉型配置問題	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 539 ~ 546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.56.539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Morimoto Keitaro, Tanaka Ken ichi	4. 巻 28
2. 論文標題 A continuous districting model focusing on intra and inter zonal squared distances and its Voronoi based heuristic	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Transactions in Operational Research	6. 最初と最後の頁 1109 ~ 1134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/itor.12893	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 丹野 一輝, 田中 健一	4. 巻 55
2. 論文標題 施設利用者数に依存する混雑コストを考慮したフロー捕捉型配置問題とその解法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 467 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.55.467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Morohosi Hozumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Logarithmic Gini mean difference measure for apportionment problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 69 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.12.69	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古田 壮宏 , 諸星 穂積	4. 巻 65
2. 論文標題 救急車配置のためのシミュレーションと最適化モデル	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ	6. 最初と最後の頁 484 ~ 490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 諸星穂積
2. 発表標題 ジニ係数を最小化する議席配分を求める2つの割当法の比較
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中健一
2. 発表標題 中京都市圏の鉄道利用者を対象とした駅への立寄り易さ
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中健一・柳浦睦憲
2. 発表標題 道路網上の固定施設に対する需要割当問題
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平岡佑樹・田中健一・栗田治・成島康史
2. 発表標題 配置候補点および需要点が多角形に限定されたミニサム型の複数施設配置問題とその解法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日比野尋伯・小市俊悟・佐々木美裕
2. 発表標題 ポイント・トゥ・ポイント型航空ネットワーク設計に対する利用者配分の導入
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jinha Hibino, Shungo Koichi, Takehiro Furuta, Mihiro Sasaki
2. 発表標題 Point-to-point airline network design under cooperation and competition
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken-ichi Tanaka, Kazuki Tanno
2. 発表標題 Trip length distribution of shortest travel path that includes a visit to a facility on a continuous network
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松浦慶太, 田中健一
2. 発表標題 確率的に閉鎖が生じる施設を想定した施設の受け持ち需要均等化のための数理モデル
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日比野尋伯, 小市 俊悟, 古田 壮宏, 佐々木 美裕
2. 発表標題 新規参入制約下における協力と競争を考慮した航空ネットワーク設計モデル
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦慶太, 田中健一
2. 発表標題 各期における施設の受け持ち需要の均等化を目的とした施設の配置および閉鎖順序決定モデルと2次元平面における数値例
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶋原有美, 田中健一
2. 発表標題 多期間の意思決定を考慮した施設の新設・廃止計画のための数理モデル
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 諸星穂積 (編 大山達雄)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 21
3. 書名 「第5章 議席配分における最低議席数の影響に関するシミュレーション分析」：選挙・投票・公共選択の数理	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	諸星 穂積 (MOROHOSI Hozumi) (10272387)	政策研究大学院大学・政策研究科・教授 (12703)	
研究分担者	佐々木 美裕 (SASAKI Mihiro) (20319297)	南山大学・理工学部・教授 (33917)	
研究分担者	田中 健一 (TANAKA Ken-ichi) (90408724)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授 (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------