

令和元年6月3日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01212

研究課題名(和文) 持続可能性を考慮した包括的な輸送・交通ネットワーク設計のための数理モデルの開発

研究課題名(英文) Studies on mathematical models in designing a sustainable transportation network

研究代表者

佐々木 美裕 (Sasaki, Mihiro)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：20319297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：長距離輸送の代表的なものとして航空ネットワークを対象とし、路線の開設と廃止によるネットワーク設計モデル(PPANP)の提案、および、既存の空港配置問題に対するロバスト最適化の適用を行った。その結果、サービス提供者(航空会社等)の費用最小化や利益最大化を実現しつつ利用者にとって利便性の高いネットワークの構築が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空港配置モデルや航空ネットワーク設計モデルの既存研究では、主にサービスを提供する航空会社の視点に立った費用最小化モデルが研究の対象であり、利用者側の視点は考慮されないことが多い。輸送・交通ネットワークは、社会基盤システムの根幹をなすものであり、高い持続可能性を有することが求められる。そのためには、サービスを提供する側にも利用する側にも利益をもたらすことが必要であり、それを実現した本研究の学術的・社会的意義は大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：We proposed a new airline network design model called PPANP in which a route connecting two nodes is set-up or deleted without assuming a priori hub facilities. The proposed model takes into account perspectives both from service providers (airline carriers) and passengers. In addition, we considered a robust p-hub median problem in which p hubs are located with an objective of minimizing the total travel cost under the assumption that passenger demand is uncertain. We observed that the proposed models enable us to design a sustainable transportation model.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：航空ネットワーク ハブ・アンド・スポークモデル ネットワーク設計 輸送・交通ネットワーク 配置スケジューリング EV充電設備配置

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

輸送・交通ネットワークの最適化、特に航空ネットワークに関連する研究が始まって四半世紀以上が経過したが、これまで研究対象となったモデルは、主に米国の国内需要を想定しており、ヒトやモノが地球規模で大量に移動する現代には適用が困難である。近年の社会の激変により、グローバル社会における輸送・交通ネットワーク構築に必要な要素は、「競争」と「共存」そして「国際需要の考慮」、さらに「持続可能性」であると考えられる。これまでの研究では、サービスを提供する航空会社等の視点に立って利益最大化を目的としたものが多い。しかしながら、持続可能性を維持するためには、利用者にとって利便性の高いサービスを提供することも重要である。一方で、利便性のみを追求して効率性が下がることになれば、持続可能性を脅かすことになる。すなわち、サービスを提供する側が継続的に利益を出しつつ、利用者にとって利便性の高いサービスを提供できる仕組みを作ることが必要である。さらに、環境への配慮も重要となる。そこで、本研究では、以上で述べたことを考慮し、長距離輸送(航空輸送など)、中距離輸送(鉄道輸送など)、短距離輸送(陸上輸送など)の輸送手段に関して、持続可能なネットワークを構築する手法を提案しようと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、持続可能な輸送・交通ネットワーク設計手法を提案するためには、環境に配慮し、利用者の視点から見た最適なネットワークを構築すること、さらにそのネットワークの運用によって継続的に利益を生み出すことができることが重要であると考え、これらを実現するネットワーク設計手法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」で述べたことを実現するために、主として次の3つの研究を実施した。

(1) 電気自動車用急速充電設備最適配置スケジューリング

充電設備を多期間にわたって順に設置する際の最適な設置順を求めるモデルを提案した。充電のために遠回りをするのは電気自動車利用者の利便性を著しく低下させるため、従来型自動車で移動する場合と比較して移動距離が一定以上長くなる場合は、電気自動車は利用されないと仮定し、近距離移動に対する需要のみを対象としたモデルとすべての移動に対する需要を対象としたモデルを提案した。また、大規模な問題の解を求めるために貪欲算法を提案した。

(2) 路線の開設と廃止を考慮した航空ネットワーク設計モデル(PPANP: Point-to-point based airline network problems)

拠点空港の配置を前提とせず、路線開設を行うことによってネットワークを設計するモデルとして、同時に所定数の路線を開設するモデル、多期間に渡って逐次路線を開設するモデルの2つを提案した。いずれにおいても、利用者の乗り換えに対する抵抗を考慮するため、乗り換えコストを導入した。また、すべての潜在需要に対してサービスを提供するのではなく、利用者が少なく採算の合わない路線は開設しないことを仮定し、現実的なネットワーク設計を行う。については、出発地から目的地に到着するまでの経由地は2か所までと限定して定式化を行い、最適化ソフトウェアを用いて解を求めた。については、各期において開設する路線数を所与とし、貪欲算法を用いて開設すべき路線を求めた。さらに、路線開設時の利用者数と比較して、利用者数が一定の割合以下になった場合は、その路線を廃止する規則を設け、廃止規則がある場合とない場合の比較を行った。

(3) ロバスト p -ハブメディアンモデル

既存の p -ハブメディアン問題において、OD需要に不確実性を含むと仮定し、ロバスト最適化を適用した。不確実性集合を矩形および楕円で定義し、ベンチマークデータである CAB データ(1970年の米国内25空港間のOD需要データ)を用いた計算を行った。さらに、2006年と2016年の米国内の空港利用者数トップ25空港のデータをもとにOD需要データを新たに作成した。OD需要の不確実さについては、2006年から2016年の10年間の変化をもとに、ODペアごとに不確実性の大きさを3段階に分けて設定し、いくつかの状況を想定して計算実験を行った。

4. 研究成果

「3. 研究の方法」で述べた3つの研究テーマそれぞれについて、計算実験から得られた結果の概要を紹介し、それを踏まえた主要な研究成果を報告する。

(1) 電気自動車用急速充電設備最適配置スケジューリング

東海地方の道路データを用い、既存のガソリンスタンドを充電設備の設置候補場所としてデータを作成し、計算実験を行った。電気自動車は短距離移動に利用されることが多いことを考え、短距離移動(充電回数2回以内で可能な移動)に対する需要のみを対象にした場合とすべての移動に対する需要を対象とした場合の結果を比較した。図1と図2に結果を示す。緑色の四角で示す場所が設置された場所であり、四角内の数が設置順を表す。

環境に配慮した移動手段として注目されている電気自動車の普及のためには、充電設備の計画的な整備が必要であるが、電気自動車を従来型自動車の代替移動手段として移動距離に制限なく利用促進するのか、あるいは、短距離移動のみに限定的に普及を目指すのか、その違いによって、充電設備整備計画を大きな違いがあることを示し、政策や方針に合わせて具体的な計画を検討する必要があることを明らかにした。

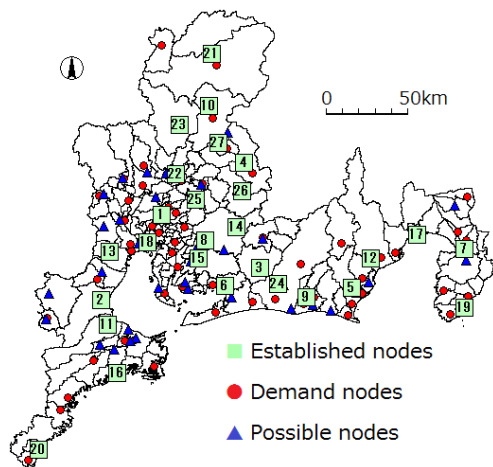


図 1: 短距離移動のみを考慮した場合

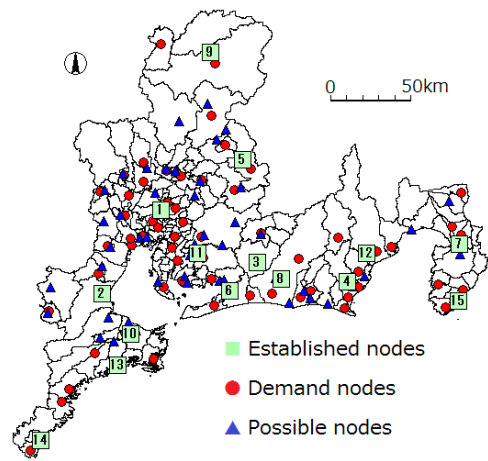


図 2: 移動距離に制約のない場合

(2) 路線の開設と廃止を考慮した航空ネットワーク設計モデル (PPANP: Point-to-point based airline network problems)

従来のモデルでは、ハブ空港の設置を前提とし、ハブ空港間はずべて直行便が開設されて大量輸送によるコスト削減ができることを仮定したものが多く、これに対し、提案するモデルでは、ハブ空港の設置は前提とせず、需要の見込める路線を順次開設することによってネットワークを拡張する手法を基礎とする。乗り換えにかかるコストを導入し、乗り換えによって移動距離が極端に長くなるような場合は、利用者が減少するという現実的な仮定を設け、利用者の利便性を考慮した。比較実験の結果、同じ規模 (路線数が等しい) のネットワークにおいて、提案するモデルによって得られたネットワークの方が、移動距離が短く乗り換え回数も少ないサービスを多くの利用者に提供できることが確認できた。一部の利用者にはサービスが提供されない結果となったが、これはサービスを提供する側である航空会社の採算を考慮した結果である (図 3)。路線の廃止については、利用者数が開設当時と比較して一定の割合以下になった路線を廃止する規則などを設けて計算を行ったところ、一度廃止された路線が再度開設されることが多く、路線の廃止については長期的に計画することが必要であることを示唆している。乗り換えコストが最適なネットワークに与える影響が大きいことも確認した (図 4)。図 4 の線の太さは乗客の流量の大きさを表す。

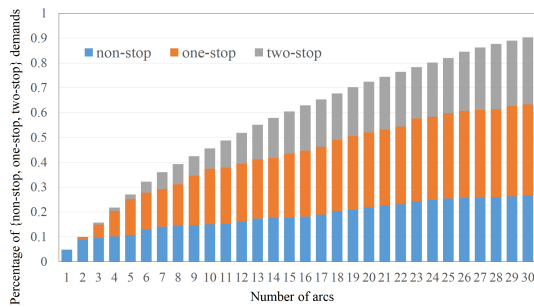


図 3(a): 乗り換えコスト=0

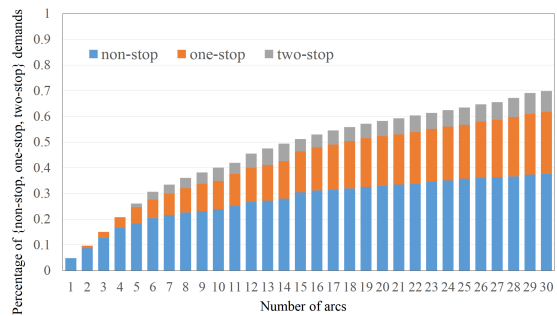


図 3(b): 乗り換えコスト=400

図 3: 乗り換え回数の変化

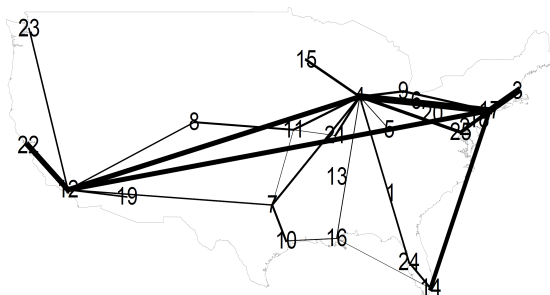


図 4(a): 乗り換えコスト=0

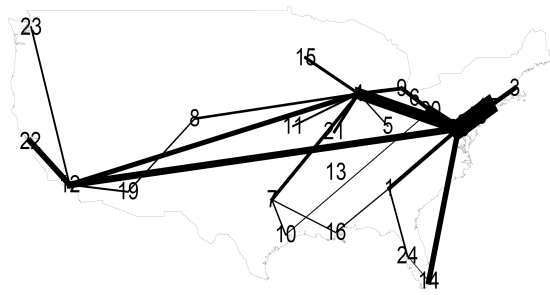


図 4(b): 乗り換えコスト=400

図 4: 最適ネットワーク (路線数=30)

航空ネットワークに関する研究でこれまでに考慮されていない利用者の乗り換えに伴う負担を考慮することによって、利用者の利便性の高いサービスを提供しつつ、サービス提供者の利益最大化や費用最小化を実現するネットワーク構築手法を提案した。提案する手法を用いることによって、逐次的にネットワークを拡張する場合も含め、現実的で持続可能性の高いネットワーク構築が可能となった。

(3) ロバスト p-ハブメディアンモデル

すべての OD ペアの不確実性の大きさが同じであると仮定、各 OD 需要の不確実性の大きさを3つのレベルに分けて設定、利用者数の多い3空港を発着地とする OD ペアのみ不確実性を含むと仮定、の3つのシナリオを考えて計算実験を行ったが、OD 需要が10年で数倍以上増加するなどの極端な状況が発生しない限り、いずれの場合も最適なハブ空港の配置に影響は出ないという結果となった。この結果は、計算実験に用いたデータに含まれる空港の配置が疎であることが影響していると考えられる。

航空ネットワークをはじめとする長距離輸送において、需要の不確実性を考慮した持続可能なネットワークの構築方法を試みた。提案した構築方法については、さらなる検討と改善が必要であるが、一度設置すると変更に大きなコストのかかるハブをどのように設定するかについて、長期的な需要の変化を考慮した計画の検討が必要であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Mihiro Sasaki, Takehiro Furuta, Point-to-point based airline network design problems, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017, 査読有, 2017, pp. 174-179.

Takamori Ukai, Mihiro Sasaki, A mathematical model for vehicle movements scheduling in a large parking lot, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017, 査読有, 2017, pp. 174-179.

古田 壮宏, 田中 健一, 総移動距離制約を考慮した Quantiles Share Ratio 最小化型の複数施設配置問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 査読有, 60 巻, 2017, pp. 36-49.

古田 壮宏, 田中 健一, ローレンツ曲線に着目した公平な施設配置のための最適化モデル, 都市計画論文集, 査読有, 52 巻, 2017, pp. 1349-1355.

Mihiro Sasaki, Takehiro Furuta, Takamori Ukai, Fumio Ishizaki, TDMA scheduling problem avoiding interference in multi-hop wireless sensor networks, 査読有, Vol. 10, No. 3, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2016, pp. 1-8.

Mihiro Sasaki, Kazuya Matsui, Ken-ichi Tanaka, A scheduling problem for locating EV battery charging stations, Proceedings of International symposium on Scheduling 2015, 査読有, 2015, pp. 132-135.

〔学会発表〕(計7件)

Mihiro Sasaki and Akihiro Hattori, A robust optimization approach to p-hub median problems, INFORMS 2018 International Meeting, 2018.

Ken-ichi Tanaka and Takehiro Furuta, Flow-capturing location problem with capture level based on detour distances, INFORMS Annual Meeting 2018, 2018.

古田 壮宏, 田中 健一, 迂回距離に応じた施設利用確率を考慮したフロー捕捉型配置問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2018 年周期研究発表会, 2018.

Mihiro Sasaki, Takehiro Furuta, A mathematical model for point-to-point based airline network design problems, INFORMS Annual Meeting 2017, 2017.

Mihiro Sasaki, Takehiro Furuta, Airline network design with opening/closing point-to-point services, International Symposium on Locational Decisions XIV, 2017.

Mihiro Sasaki, Takehiro Furuta, Takamori Ukai, Fumio Ishizaki, TDMA scheduling problem avoiding interference in multi-hop wireless sensor networks, INFORMS Annual Meeting 2016, 2016.

Mihiro Sasaki, Taiki Oba, Airline network design model based on point-to-point services, 2016 INFORMS International Conference - Hawaii, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：古田 壮宏

ローマ字氏名：Takehiro Furuta

所属研究機関名：奈良教育大学

部局名：教育連携講座

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60453825

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、研究者個人に帰属されます。