

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22710139

研究課題名（和文） 時空間領域における最適化手法の開発と都市・地域分析への応用

研究課題名（英文） Optimal facility operations models in the spatial-temporal dimension and its applications to urban analysis

研究代表者

田中 健一（TANAKA KEN-ICHI）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：90408724

研究成果の概要（和文）：施設配置問題は、都市における様々な施設を対象空間にどのように配置すれば利用者や施設経営者にとって望ましいかを追求する問題であり、これまでに様々な研究がなされてきた。本研究では、施設配置問題に時間軸を導入し、時空間的な人の流れを所与とし、施設の配置の決定と同時に望ましいサービス提供時間帯も決定する新しいモデルを開発した。また、基本モデルのいくつかの拡張モデルを考案した。さらに、首都圏鉄道網を対象とし、実流動データを用いて、多くの人がアクセスし易いサービス提供方法の分析を行った。

研究成果の概要（英文）：Facility location problems seek optimal locations of service facilities for facility users or facility owners. We extend facility location problems by incorporating the temporal dimension. The basic problem is to determine locations and opening hours of facilities so as to maximize the number of potential facility users which is defined as the number of commuters who can stop over at one of the facilities during service hours. Several extensions of the basic model were also explored. We applied the model to Tokyo metropolitan railway network and analyzed desirable locations and opening hours of several facilities using the commuter traffic flow data in Tokyo metropolitan area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：最適化、数理計画、時空間領域、施設配置問題、都市計画

1. 研究開始当初の背景

オペレーションズ・リサーチや経営工学の分野では、都市における望ましい施設の配置を求める問題が古くから研究されてきた。例えば、利用者の最寄り施設までの距離の合計を最小化する配置や、施設から一定距離以内に居住する人数を最大化する配置を求める

問題などが存在する。施設配置問題は、学校、郵便局、消防署や各種の店舗の配置など、対象に応じた様々なモデルが存在し、現実の意思決定の場面にも重要な役割を果たしてきた。

都市に施設を配置し、それを運営していく上で、様々な時間的な要因が重要であるが、

これまでのところ、空間配置のみを求める既存の配置問題と比較し、時間軸を明示した研究には十分な蓄積が存在しない。特に、施設利用者一日単位の行動に着目し、施設におけるサービス提供時間帯を考察するためのモデル開発が未着手のまま残されている。

このような背景から、都市空間に時間軸を導入した時空間領域における人の流れを所与とし、施設の配置の決定と同時に、施設における望ましいサービス提供時間帯を決定する枠組みを構成することが重要である。また、提案モデルに対する解法を設計し、実流動データを用い、モデルを実際の都市分析へ応用することで、新しい研究を展開することを目指す。

2. 研究の目的

都市における人の流れを時空間領域で表現し、望ましい施設サービスの提供方法を決定するためのモデルを提案する。時空間領域における最大カバー型のモデルを基本とし、これを様々な方向へと拡張する。基本モデルとして、就業者が帰宅途中に施設に立ち寄り一定時間サービスを受け、ある時刻までに帰宅可能であるときサービスを利用可能であると考える。この人数を最大化する施設の立地場所とサービス開始時刻を求める問題を考える。さらに、提案モデルに対する解法を開発し、実際の交通流動データへ応用することを目的とする。また、都市のインフラストラクチャーの運営を時空間領域で決定するためのモデルとして幅広い展開を目指す。

3. 研究の方法

提案モデルを実流動データに適用することを念頭に、組合せ最適化問題として定式化した。図1に示すようなネットワーク空間(鉄道網や道路網)に時間軸を導入し、時空間領域を離散的に捉える。

時空間領域内での移動者(フロー)の情報を、移動の起点と終点、および起点を出発可能な時刻で表現した。図1のように、決められた時間サービスを提供する施設を時空間領域内の複数箇所に配置する状況を考える。各フローは起点を出発して施設サービスの開始までに施設に立ち寄り、サービス終了時まで施設に滞在したのち、決められた時刻(帰宅限度時刻)までに終点に到着可能な場合、サービスを利用可能と定義した。

各施設の立地場所とサービス開始時刻を表す変数と、各フローが少なくとも一つの施設を利用可能かどうかを表す変数を導入し、整数計画問題として定式化した。

小さな問題例に対し、厳密な最適解を数理論計画ソルバーを用いて求め、様々な状況設定で解の持つ性質を分析した。提案モデルは、中規模程度の問題例でも変数の数が膨大に

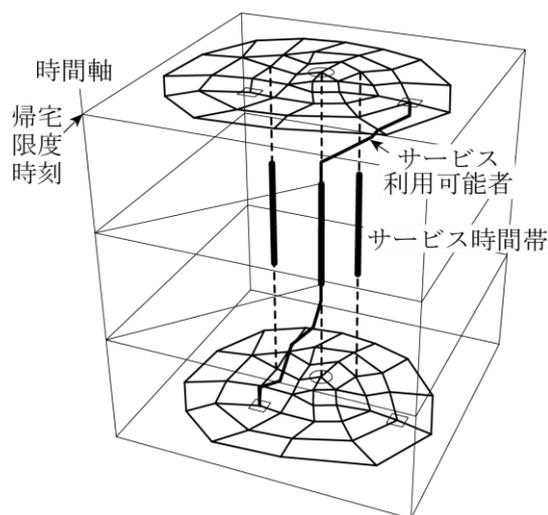


図1: 時空間領域

なるため、一定規模以上の問題を扱うための発見的解法を作成した。それを用いて、首都圏の大都市交通センサスのカバー範囲の鉄道網を対象とした配置分析を行った。センサスに記載されている通勤流動データを用いて、鉄道網上の施設サービスの望ましい提供方法を分析し、得られた知見を整理した。

さらに、提案モデルの拡張の可能性を、様々な角度から検討し、今後の研究の方向性を整理するとともに、いくつかの具体的な拡張モデルを作成し分析を行った。

4. 研究成果

これまでにも、空間的な意思決定モデルである施設配置問題に、時間軸を導入して拡張する試みはいくつか行われている。なかでも、長期的な視点で時間軸を捉え、施設の立地場所に加え、立地のタイミングに着目した研究は、比較的多く行われている。

本研究は、このような既存研究とは異なる視点で時間軸を捉えており、人の時空間的な流れに着目し、施設サービスの望ましい提供方法を時空間領域で決定するところに大きな特徴がある。

以下では、まず(1)において、本課題の主要な業績である雑誌論文②の内容を比較的詳しく説明する。続いて(2)において、雑誌論文②の拡張モデルについて触れる。

(1) 対象領域において、複数箇所に同時に施設を配置する状況を考える。各施設は、定められた時間サービスを提供する状況を考える。このようなサービスは、社会人大学院での講義や、映画やコンサートなど、様々な例が存在する。これを、ネットワークに垂直な方向に時間軸を導入し、図1のような時空間領域を用いて表現した。

就業者が帰宅途中に施設に立ち寄る状況

を想定する。このとき、退社後に施設サービスの開始までに施設に到着し、一定時間（サービス終了時まで）サービスを受け、ある時刻までに帰宅可能であるとき、サービスを利用可能であると定義した。そして、この人数（サービス利用可能者数）を最大化する施設の立地場所とサービス開始時刻を求める問題を提案した。

このモデルをもとに、首都圏の通勤・通学の鉄道利用状況の調査データである、大都市交通センサスを用いて分析を行った。約1800の駅を対象とした首都圏の鉄道網データを作成し、いくつかの状況設定のもとで分析を行った。施設の配置候補場所を駅に設定し、施設を一つだけ配置する場合と、複数個所に同時に配置する場合について分析を行った。以下に具体的な結果の例を示すが、詳細は雑誌論文②に記載されている。

配置する施設が一か所の場合は、すべての解についてサービス利用可能者数を計算した。具体的には、各駅において各時刻でサービスを開始した場合のサービス利用可能者をすべての組み合わせについて算出した。図2は、3時間のサービスを想定した場合の各駅における最も望ましい開始時刻におけるサービス利用可能者数を示している。ここでは、各ODペアについて、5時から9時までの間に、10分刻みで様なる頻度で退社が起ると仮定した。また、帰宅限度時刻は11時とした。サービス利用可能者数は、施設をいくつでも配置可能な場合の値との割合で表示している。

最大値が最も大きいのは、新宿駅で午後7:10にサービスを開始する場合である。他の有利な駅は、新宿駅や東京駅周辺に集中しており、特に両駅を結ぶ区間上に分布していることが分かる。このような分析結果は、例えば、社会人大学院の場所と講義の開始時刻を決定する際に重要な基礎となると考えられる。

次に、複数個所でサービスを同時に提供する場合の分析結果を紹介する。サービス開始時刻の設定に関して二つのモデルを考えた。一つは、各施設のサービス開始時刻を独立に設定可能な場合（モデル1）であり、もう一つはすべての施設において同一の開始時刻を設定しなければならない場合（モデル2）である。後者は、一か所で行われる講義などをリアルタイムで複数個所において提供する場合などに現れる。また、すべての施設におけるサービス提供時間帯が共通であるため、施設運用上のメリットが存在すると考えられる。このメリットと、開始時刻の設定の自由度が高い独立開始によって得られるサービス利用可能者数の増分を比較することは興味深い視点である。

複数施設を同時に配置する場合、すべての

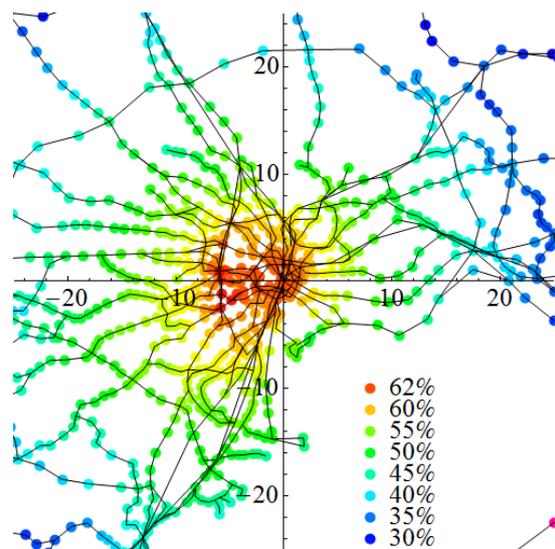


図2: サービス利用可能者数の最大値の分布

解におけるサービス利用可能者数を計算することは事実上不可能である。そこで、提案モデルに対する局所探索に基づく発見的解法を設計した。これは、与えられた解（各施設の配置場所と開始時刻）を、サービス利用可能者数が増大するように、少しずつ変更していき、局所最適解を得るものである。ここでは、ランダムな初期解から局所最適解を得る作業を多数回行い、その中で最良の解を出力する、他スタート局所探索法を採用した。

図3に、施設を二か所に配置する場合の最良解を示す。図3(a)は、各施設のサービス開始時刻を独立に設定できる場合（モデル1）であり、図3(b)は、同時刻に設定する場合（モデル2）の最良解である。他の設定は、施設を一つ配置する場合と同一である。

モデル1では、新宿と青山一丁目に施設が配置され、それぞれのサービス開始時刻は、7時30分と7時となっている。非常に近接した都心の二駅において、開始時刻を30分離してサービスを提供するという結果が得られた。これは、サービスの時間軸上の差別化を図ることで、都心付近を通過する多くのフローにサービスを提供できることを意味しており、本アプローチにより得られた新しい知見である。

一方のモデル2では、サービス開始時刻が同じため、近接した二か所に施設を設定するメリットは存在しない。これは、都心の神保町と横浜に近い菊名に配置された。空間的に施設をある程度分離して配置することで、異なる地点を通過するフローを捉えてサービスを提供することが分かる。

施設を三か所から七か所に設ける場合も同様の分析を行い、モデル1とモデル2の解の比較を行った。結果から二か所の場合と同様の知見を得ることができた。モデル1の場合には、いくつかの施設を開始時刻を離して都

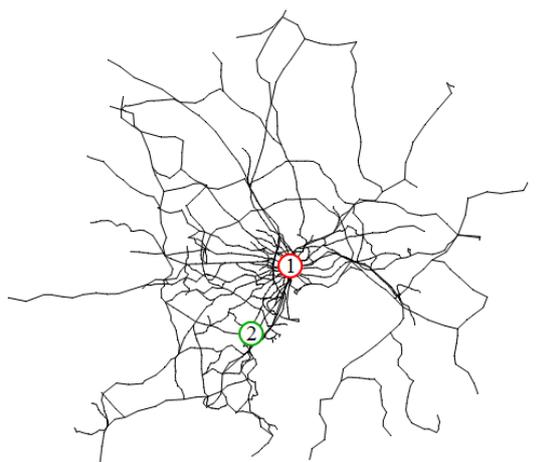
心に配置し、その他の施設を都心からやや離れた大規模駅に配置する結果が得られた。モデル1の場合は、都心に一つ配置し、残りの施設は互いに距離を離して、大規模駅に配置する結果が得られた。どちらも、時間軸を考慮して初めて分かる知見であり、本課題の重要な成果である。

最後に、施設数を一か所から七か所に設ける場合の最良解の目的関数値を、モデル1とモデル2で比較した結果を図4に示す。この図より、開始時刻を各施設で自由に設定可能なモデル1では、モデル2と比較して、数%程度サービス利用可能者数の値が大きくなっていることが分かる。三か所施設を配置する場合が最も差が大きく、モデル1での配置結果はモデル2の場合よりも4%以上大きいことが確かめられた。



①新宿 7時30分 ②青山一丁目 7時
サービス利用可能者数：72.318%

(a) モデル1の最良解



①神保町 7時10分 ②菊名 7時10分
サービス利用可能者数：69.054%

(b) モデル2の最良解

図3: モデル1とモデル2の最良解の比較

サービス利用可能者数[%]

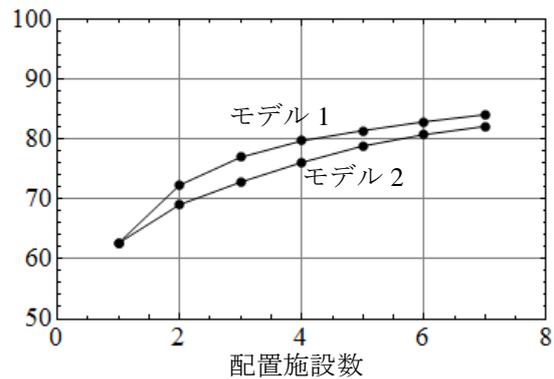


図4: 最良解の目的関数値の比較

(2) 拡張モデル

提案モデルは、時空間領域における望ましいサービス決定を議論するための基本モデルであり、様々な新しい展開が可能である。それらのうちいくつかを述べる。

① サービス利用可能者の定義の拡張

施設におけるサービス利用可能者の定義には、問題設定に応じて様々なものが考えられる。先は、最初から最後まで消費して初めて意味をなすようなサービスを取り上げたが、スポーツクラブやレストランといった施設では、施設が開いている時間帯に、一定時間以上アクセスできれば施設サービスを利用することができる。また、異なる定義として、実際の利用者数により近い指標も考えられる。例えば、施設が開くまでに大きな待ち時間が発生する場合には、サービスを実際に消費する可能性は低いと考えられる。このように、対象とする施設のサービスや状況設定に応じた問題のバリエーションや一般化には様々なものが考えられる。それらのうちいくつかは、すでに発表を行っている(学会発表①)。

② サービス改善モデル

新しいサービスを複数地点でゼロから同時に導入する状況に加えて、既存のサービスを時空間領域で改善する(見直す)状況も現実には多い。例えば、デパートの閉店時間の見直しや公共図書館の夜間運営などがあげられる。こうした状況に対して、サービスの延長時間の総和や削減時間の総和が与えられた際に、各施設の時間帯をどのように変更すべきかを決定する問題を考案し、いくつかの状況設定で計算を行った。

以上の成果を含め、本課題を追求する過程で、さらなる具体的な展開を見つけることができた。時空間領域において、都市のインフ

ラストラクチャーの管理・運営の適切な方法を考えるためのモデルとして幅広い展開を検討していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① K. Tanaka and T. Furuta: A hierarchical flow capturing location problem with demand attraction based on facility size, and its Lagrangian relaxation solution method, *Geographical Analysis*, Vol. 44, 2012, pp. 15-28. (査読有) DOI: 10.1111/j.1538-4632.2011.00837.x
- ② K. Tanaka: Maximum flow-covering location and service start time problem and its application to Tokyo metropolitan railway network, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 54-4, 2011, pp. 237-258. (査読有) URL: http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/Vol.54_4_237.pdf
- ③ 田中健一・古田壮宏: 複数回の捕捉を考慮したフロー捕捉型配置問題と鉄道流動データへの適用—京王線と山手線を事例として—, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 55, No. 3, 2011, pp. 166-174. (査読有)
- ④ 田中健一・古田壮宏: 鉄道利用者に着目した捕捉フロー最大化問題—JR 山手線を事例として—, *都市計画論文集*, No. 45-3, 2010, pp. 145-150. (査読有)

[学会発表] (計6件)

- ① K. Tanaka: Maximum flow-covering location and service-start-time problem and some variants, *19th EURO Working Group on Locational Analysis*, Nantes, France, October 14, 2011.
- ② K. Tanaka and T. Furuta: Evaluating locations of flow-capturing facilities on a railway network from multiple objectives, *OR 2011*, Zurich, Switzerland, August 31, 2011.
- ③ 田中健一: 施設サービスへのアクセスを時空間領域で評価する—首都圏鉄道駅を事例として—, 第306回新宿OR研究会, 2011年6月21日.
- ④ K. Tanaka and T. Furuta: Locating flow capturing facilities on a railway network with two levels of coverage, *Lecture Notes in Operations Research* 12, pp. 332-339, 2010, presented at *The Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications*, Chengdu-Jiuzhaigou, China,

August 20, 2010.

- ⑤ 田中健一: 鉄道利用者に着目したフロー捕捉型配置問題と鉄道流動データへの適用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「防衛と安全」, 「政治と社会と行政のOR」合同研究会, 2010年7月23日.
- ⑥ K. Tanaka and T. Furuta: Locating flow-capturing facilities of different sizes on a railway network, *18th EURO Working Group on Locational Analysis*, Naples, Italy, April 29, 2010.

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 健一 (TANAKA KEN-ICHI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号 : 90408724

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし