

平成22年5月31日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20710121
 研究課題名（和文） 時間軸を考慮した最適配置問題に関する理論的ならびに実証的研究
 研究課題名（英文） A theoretical and applied study of facility location models with temporal dimension
 研究代表者
 田中 健一（TANAKA KEN-ICHI）
 電気通信大学・電気通信学部・助教
 研究者番号：90408724

研究成果の概要（和文）：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、施設サービスを利用可能な人数が最大になるような、立地場所とサービス開始時刻を同時に決定する新しいモデルを構成した。サービス利用可能者数を、就業後の帰宅途中に一定時間施設に立ち寄ってサービスを受け、かつ決められた時刻までに帰宅可能な人数と定義した。さらに、首都圏鉄道網の実流動データを用いた分析を行った。

研究成果の概要（英文）：We developed location models which determine locations and opening hours of facilities so as to maximally cover flows in a network. The number of potential customers is defined as the number of commuters who can stop over at one of the facilities during service hours and can go back home by the given time. We applied our model to the analysis of optimal 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 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2009年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |

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：施設配置問題，都市計画，最適化，数理計画，時間軸

1. 研究開始当初の背景

都市工学やオペレーションズ・リサーチの分野では、都市施設の最適配置に関するモデル分析が数多く行われてきた。施設運営を行う上で、様々な意味での時間的な要因が重要であるが、これまでの既存研究は、時間軸を長期的に捉えて施設配置問題を扱ったモデ

ルが中心であった。このような背景から、一日の人々の時間軸上の利用者行動に着目し、施設の配置場所とサービス提供時間帯を同時に決定するモデルを開発することは重要な課題である。また、近年、(1)人々の時空間的な行動履歴データや電子地図データの整備、(2)最適化問題に対するメタヒューリ

スティクス手法の進展，(3)コンピュータの高性能化，などにより本格的な実データに基づく大規模な問題を扱える環境が整備されてきた．このような背景から施設配置問題に時間軸を導入したモデルを提案し，様々な展開が可能となる基礎を整備することは重要な課題である．

2. 研究の目的

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た新しいモデルを展開することを目標とする．人々の一日の時間軸上の行動に着目し，サービス利用者数を最大化する施設の配置場所とサービス提供時間帯を同時に決定するモデルを提案する．また，提案モデルの解法の開発し，交通流動データを用いてモデルを応用することを目的とする．

3. 研究の方法

単一施設の配置とサービス開始時刻を同時に決定する問題を連続空間で定式化し，数式処理ソフトの最適化ツールを用いて最適解を算出し，得られた知見を整理した．

複数施設の配置とサービス開始時刻を同時に決定するモデルを離散空間で構成し，0-1 整数計画問題として定式化を行った．さらに，この問題に対する発見的解法を構成し，プログラムとして実装した．数値地図データと大都市交通センサスデータを利用し，首都圏鉄道網データと駅間流動データを作成し，提案モデルに適用した．

4. 研究成果

対象地域における施設の望ましい配置場所を求める施設配置問題には数多くの研究が存在するが，時間的要因を考慮したモデルは十分な蓄積が存在しない．時間軸を明示的に考慮したいくつかの既存モデルでは，将来需要の不確実性に着目し施設を設置するタイミングなどを扱った研究などが存在する．これらは時間軸を長期的な視点で捉えているが，本研究は人々の一日の時間軸上の行動パターンをモデルに組み込み，施設のサービス時間帯の決定も含めたモデルを提案した．具体的には，就業者が仕事を終え会社から帰宅する途中に施設に立ち寄って一定時間サービスを受ける場面を想定し，施設サービスを受けられる人数を最大化する問題を扱った．就業者の時間軸上の行動を記述するために，仕事を終えて退社が可能な時刻の分布を導入した点も本研究の特徴である．

(1) 単一施設の配置問題について，サービス利用可能者数を最大化するように，配置場所とサービス開始時刻を同時に決定する問題を連続空間において構成した．ここで，サー

ビス利用可能者数の定義を，退社後に施設に立ち寄り一定時間サービスを受け，決められた時刻までに帰宅可能な人数とした．このように定義される利用可能者数は，退社後に社会人大学院や英会話スクールなどに立ち寄ってサービスを受ける場合やコンサートを聴きに行く場合など様々な具体的応用例が存在する．モデル分析の対象として円盤状の都市を想定し，サービス利用者数最大化問題を非線形最適化問題として定式化した．就業地の分布や居住地の分布を円盤上の連続関数で与え，就業地と居住地の間は，直線での移動が可能な状況を想定した．最適解は，数式処理ソフトの最適化ツールを利用して算出した．就業地の分布と居住地の分布の形状の違いやサービス時間帯の設定などが，最適な立地とサービス開始時刻に与える影響を分析し得られた知見を整理した．立地場所としては都市中心が最適地として得られる場合が多いが，居住地分布が郊外でピークを持つような形状の場合には，都心から少し離れた地点にサービス提供場所を設ける最適案が得られる場合があった．本分析は，時空間領域を連続的にモデル化した空間での新しい成果と考えられ，異なる状況設定のもとでモデル分析を行う際の基礎と位置付けられる．地域科学の分野では，都市を無限領域で与え，数理的に扱いやすい状況で明示的な結果を導くことを重視する研究も多い．都市空間を無限領域で与えることで，時空間領域における施設立地分析の新しい展開が可能であると考えられる．なお，この成果は雑誌論文③で発表済みである．

(2) 単一施設の配置問題を首都圏鉄道網データと駅間流動データを用いて分析を行った．大都市交通センサスデータの首都圏版に記載されている約 1800 駅を対象とし数値地図データからネットワークデータを構成した．駅間流動データは，平成 12 年の定期券利用者データを用いて作成した．駅間移動経路は最短所要時間経路として設定し，退社時刻分布については仮想的な分布を設定した．施設を各駅に置き，開始時刻ごとにサービス利用可能者数を計算した．分析結果から，各駅における最適な開始時刻時において，JR 山手線の各駅は極めて立ち寄り可能者が多いことが判明した．このようなアプローチが有効な対象は身の回りに散見される．例えば，社会人大学院は，退社後に大学院に立ち寄り一定時間授業を受け，ある程度の時刻までに帰宅したいという利用者を対象としている．大学院を運営する側にとって，立地に加え授業時間帯をどのように設定すべきか，という問題は潜在的な顧客を多く獲得するという意味で極めて重要な問題である．また，本アプローチは，新しく施設を設ける場合に限ら

ず、既存施設の時間帯の見直しを考える際にも応用可能である。例えば、都心部における公立図書館の夜間開館の事例やデパートの閉店時間の見直しなどがこれに当たる。本研究を土台として、このような事例を具体的に分析することは今後なすべき課題である。なお、この成果は雑誌論文②で発表済みである。

(3) 時空間領域におけるサービス利用可能者数最大化問題を複数施設の場合に拡張した。複数施設のモデルでは、ネットワーク空間において離散的な枠組みで問題を扱った。図1にネットワーク空間に対して垂直方向に時間軸を導入した時空間領域を示す。施設サービスは時間軸に垂直な一定長さの線分として表現される。利用可能者数の定義として、少なくとも一つの施設に立ち寄りサービスを最初から最後まで受けることができ、かつ決められた時刻までに帰宅可能な人数とした。図1の中に、立ち寄り可能者が実際に施設にアクセスする様子を示す。このような行動をとることができる人は施設サービスの潜在的な顧客と見なすことができる。立ち寄り可能者数を最大化する各施設の立地場所とサービス開始時刻を同時に決定する問題を整数計画問題として定式化した。この問題は極めて大規模になり、厳密な最適解を求めることは現実的ではないため、発見的解法を開発した。解法の基本は、与えられた施設配置（各施設の立地場所と開始時刻）を少しずつ変更しより良い解へと順次変更していくアプローチである。具体的には、各施設の立地を固定した上で開始時刻に関する最適化を行う部分問題と、開始時刻を固定した上で立地を最適化する部分問題を交互に解きながら探索を進める解法を設計した。この解法をC++言語で実装し、首都圏鉄道網と駅間移動データを用いた分析を行った。分析結果から山手線上の駅に配置される場合が多いことが分かった。さらに、空間的に近接した駅において開始時刻を分離してサービスを提供することで、多くのサービス利用可能者が得られることが判明した。このような解は、多くの流動が見られる都心部の駅において異なる退社時刻をもつ就業者をうまく捉えることができる。ところで、状況によってはサービス開始時刻が同一でなければならない場合もあり得る。このような場合の解法を設計し得られた結果を分析した結果、同時開始の制約がある場合には施設は空間的に分散して配置される結果が得られた。以上の知見は、時間軸を導入して初めて得られるものであり本研究の新しい成果である。また、解の精度向上のためのメタヒューリスティクス手法の開発と解法の高速化に関する今後の展開について検討を行った。なお、この成果は主に学会発表⑦で発表済みである。

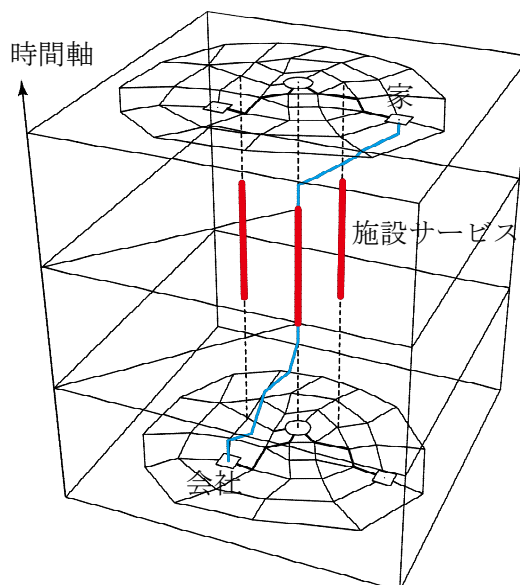


図1：時空間領域における施設サービス

(4) さらに、立ち寄り型の施設利用を想定し、需要獲得力の大きな大施設と需要獲得力の小さな小施設が混在する際に、資金制約下で大施設と小施設の組合せと配置を同時に決定する問題を提案した。この問題の発見的解法と道路網を用いた最適配置結果の分析を行い、時間軸を導入した拡張モデルについての検討を行った。なお、この成果は主に学会発表①および⑥で発表済みである。

以上の成果を土台として今後の展開について検討を行った。その結果、(1) 利用者ごとにサービスの利用時間が異なる場合、(2) サービスの提供時間が変動する場合、(3) 同一地点で複数種類・複数回のサービスを行う場合、などの新しい発展が可能であることを確認し、具体的な方向性の検討を行った。

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 田中健一・古田壮宏 (2010): 移動経路上での施設選択行動に着目した施設規模と配置の同時決定モデル, 都市計画論文集, No. 45, pp. 72-78. (査読有)
- ② 田中健一 (2010): 首都圏鉄道駅の時空間的な立ち寄り易さを測る, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 55, No. 3, pp. 164-169. (査読なし)
- ③ K. TANAKA (2008): Optimal location and opening hours of a single facility

which maximally cover flows in a circular city, *FORMA*, Vol. 23, pp. 43-50. (査読有)

- ④ 田中健一 (2008): ネットワーク空間におけるコンサート問題と東京鉄道網への適用, 都市計画報告集, Vol. 6, No. 4, pp. 117-122. (査読なし)

[学会発表] (計10件)

- ① K. Tanaka and T. Furuta: Locating flow-capturing facilities of different sizes on a railway network, *18th EURO Working Group on Locational Analysis*, Naples, April 29, 2010.
- ② 本田 薫・栗田 治・田中健一: 個人の時空間上の行動パターンを考慮したサービス集客数の最大化問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 212-213, 首都大学東京, 2010年3月5日.
- ③ 八木恭子・高嶋隆太・田中健一: 競合施設の存在下での施設の立地場所と立地タイミングの同時決定モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 92-93, 首都大学東京, 2010年3月5日.
- ④ K. Yagi, R. Takashima and K. Tanaka: Facility location problem with optimal construction timing under uncertainty, *APORS 2009*, Jaipur, December 7, 2009.
- ⑤ K. Yagi, R. Takashima and K. Tanaka: Single facility location problem with optimal construction timing under uncertainty, *INFORMS Annual Meeting 2009*, San Diego, October 11, 2009.
- ⑥ 田中健一・古田壮宏: 規模を考慮した捕捉フロー最大化問題とLagrange緩和法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 130-131, 長崎大学, 2009年9月10日.
- ⑦ 田中健一: 複数施設コンサート問題とその解法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 154-155, 筑波大学, 2009年3月18日.
- ⑧ K. Tanaka: Locations and opening hours of facilities which maximally cover flows in a network, *17th EURO Working Group on Locational Analysis*, Elche, September 17, 2008.
- ⑨ 高嶋隆太・田中健一: 施設の立地場所と立地タイミング: リアルオプション・アプローチ, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 156-157, 札幌コンベンションセンター, 2008年9月11日.

- ⑩ 田中健一・高嶋隆太: 施設の立地場所と立地タイミング: 正味現在価値による評価, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 74-75, 札幌コンベンションセンター, 2008年9月10日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 健一 (TANAKA KEN-ICHI)
電気通信大学・電気通信学部・助教

研究者番号: 90408724

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし