

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

慶應義塾大学大学院 慶應義塾大学 01308990 *鳴原 有美 SHIGIHARA Yumi
田中 健一 TANAKA Ken-ichi

1. はじめに

p -メディアン問題などの代表的な施設配置問題では、指定された数の施設を対象領域に新規に同時配置する状況が想定されている。しかし実際の都市計画においては施設を一度に配置するよりも、既存施設の配置に基づいて廃止や新設を逐次的に行なっていくのが一般的である。鈴木 [5] は既存施設を活用しながら施設の廃止・新設の両方に対応することのできる施設再配置モデルを提案しているが、その廃止・新設順序やタイミングといった途中プロセスについては言及していない。

例えば、年少人口の減少や施設の老朽化などによる小・中学校の統廃合は、既存の学校を元に数十年に及ぶ期間での再配置計画を考えなければならない。そこで本研究では鈴木モデルを拡張し、多期間での施設の廃止と新設において途中プロセスを含めた結果を求めることに加え、より現実的な事例に着目したモデルを提案する。多期間での意思決定を考慮した施設配置問題については多くの研究があるが（例えば [1] など）、本研究の特徴は既存施設を活用した施設の再配置を行っている点や現実的な事例に現れる具体的な制約式を考慮している点にある。

2. 提案モデル

具体的に以下のようなモデルを考える。

- p 個の既存施設を所与として、最終期までに施設を a^c 個廃止して a^o 個新設するように、各期において既存施設の廃止と新規施設の配置の意思決定を行う。
- 各期における、利用者の総移動距離、施設の維持コスト、施設容量の過不足の加重和を、全ての期について合計したものを最小化することを目的とする。
- 需要の割り当てが川などを横断することのないように対象地域をブロックで区切り、需要は決められたブロックの中で施設に割り当てる。

- 施設の築年数などに基づき、施設の廃止の優先順位を決定する。

- 新設した施設はその後廃止されない。

定式化のための入力定数を以下で与える。

I : 需要点の集合

J : 施設配置候補点の集合

L : ブロック名の集合

I_l, J_l : ブロック $l \in L$ に含まれる需要点および施設配置候補点の集合

U : 優先して廃止する既存施設のある候補地集合

T : 施設の新設および廃止を決定する時期の集合

d_{ij} : 需要点 $i \in I$ から配置候補点 $j \in J$ までの距離

w_{ti} : 時期 $t \in T$ における需要点 $i \in I$ の需要量

C_{\min}, C_{\max} : 施設容量の下限値および上限値

p : 既存の施設数

a^c, a^o : 全期間での廃止施設数および新設施設数

y_j^* : 初期状態における施設配置候補点 $j \in J$ での既存施設の配置（1 ならば配置されていて 0 ならば配置されていない）

α^d : 移動距離に対する重み

α^m : 施設維持にかかる費用に対する重み

α^c : 容量超過・不足に対する重み

変数を以下のようにおく。

$x_{tij} \in \{0, 1\}$: 時期 $t \in T$ における需要点 $i \in I$ の施設配置候補点 $j \in J$ の施設への割り当てを表す 0-1 変数

$y_{tj} \in \{0, 1\}$: 時期 $t \in T$ における施設配置候補点 $j \in J$ での施設の有無を表す 0-1 変数

$z_{tj}^c, z_{tj}^o \in \{0, 1\}$: 時期 $t \in T$ に配置候補点 $j \in J$ の施設を廃止または新設するか否かを表す 0-1 変数

v_{tj}^+, v_{tj}^- : 時期 $t \in T$ における施設 $j \in J$ の容量超過分および不足分を表す連続変数

s_t : 時期 $t \in T$ における施設配置コストを表す連続変数

紙面の都合上詳しい記述は省略するが、先述の状況設定を表現した整数計画問題を定式化した。

3. モデルの適用例

このモデルを、例として江戸川区の公立中学校に適用してその配置場所について検討する（実際の将来配置計画は [3] を参照）。2021 年から 2025 年を $t = 1$ とし、その後 5 年単位で 2050 年までの $t = 1, \dots, 6$ の 6 期間を対象とする。 $t = 1$ の需要量は町丁目別・年齢別人口 [2] の 2021 年 5 月 1 日時点の実績データから 13 歳から 15 歳までの男女数を合計した値とする。 $t = 2$ 以降の需要量は $t = 1$ の値を基準とし、期間ごとに 2% ずつ減少するよう設定した値とする。 需要点と施設配置候補点は各町丁目の代表点 196 箇所、既存施設は執筆時点で実在する公立中学校 33 箇所とする。 町丁目代表点の座標は、国土交通省の位置参照情報ダウンロードサイトから入手した。 また、区が考える平均学校規模が 500 人であることから、容量の上限を 650 人、下限を 400 人とする。 移動距離は直線距離で計測した。 優先して廃止する施設は全 33 校のうち学校改築事業に未着手かつ築年数が 50 年以上の 11 校とする。 パラメータは需要点と施設間の距離、施設維持費用、施設容量のどれを重視するかに左右されるが、今回は $\alpha^d = 5 \times 10^{-6}$, $\alpha^m = 1$, $\alpha^c = 0.5$ とする。 今回用いた需要量データでは $t = 1$ の合計人口が 18,082 人、 $t = 6$ に 16,365 人となり約 1,700 人減少するため、全 33 校を 30 校に再編成することを想定する。 $p = 33$, $p - a^c + a^o = 30$ として、 a^c, a^o を設定する。 求解には数理最適化ソルバーの Gurobi Optimizer 9.5.0 を用い、Intel Core i7(2.8GHz), 16GB メモリの PC を用いた。 求解時間は例題にもよるが数分程度であった。

既存施設の 33 箇所での一人当たりの平均移動距離は約 584 m, $a^c = 3, a^o = 0$ のときは約 588 m となり距離は増加するが、新設を許し $a^c = 4, a^o = 1$ とすると約 578 m, $a^c = 5, a^o = 2$ とすると約 563 m となった。 図 1 は $a^c = 5, a^o = 2$ のときの結果である。 地図のタイルは [4] を使用した。 施設配置点の円の半径はその施設に割り当てられる需要量に比例させている。 これを見ると円の大きさにばらつきが少なく比較的均等に容量が配分できていることがわかる。 このように、施設数を減らしてもその廃止・新設場所を正しく選定することにより、総移動距離を短く容量の過不足を小さくするといった目的に沿った配置ができると言える。

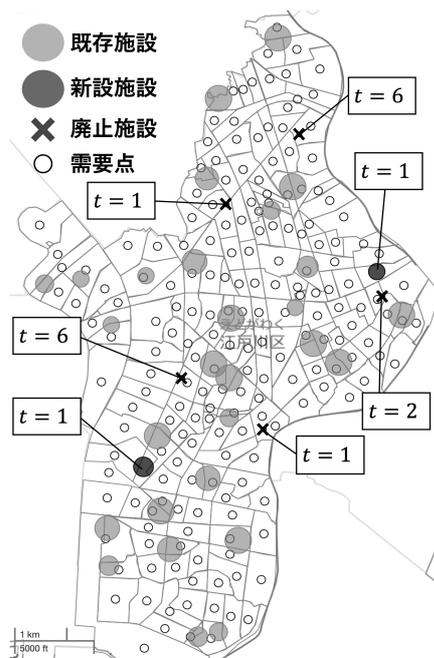


図 1: $a^c = 5, a^o = 2$ の結果

参考文献

- [1] M. Albareda-Sambola, E. Fernández, Y. Hinojosa and J. Puerto: The multi-period incremental service facility location problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 36, Issue 5, 2009, pp. 1356–1375.
- [2] 江戸川区ホームページ, 町丁目別世帯と人口・年齢別人口報告〈2021 年度〉, URL: <https://www.city.edogawa.tokyo.jp/e004/kuseijoho/gaiyo/tokei/jinko/jinko2021.html> (2022 年 1 月 11 日アクセス)
- [3] 江戸川区ホームページ, 令和 2 年度版学校適正配置の考え方, URL: <https://www.city.edogawa.tokyo.jp/documents/8888/r2gakkoutekiseihaitinokanngaekata.pdf> (2022 年 1 月 11 日アクセス)
- [4] 国土地理院, URL: <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (2022 年 1 月 11 日アクセス)
- [5] 鈴木勉: 既存施設を活用した都市施設の再配置モデル — メディアン型およびカバリング型条件付き施設配置モデルの一般化と統廃合への応用. *都市計画論文集*, Vol. 46, No. 3, 2011, pp. 421–426.