

将来人口を考慮した高齢者向け施設の最適配置：小金井市の場合

朱, 一葦 / ZHU, Yiwei

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

25

(終了ページ / End Page)

30

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030785>

将来人口を考慮した高齢者向け施設の最適配置 ～小金井市の場合～

OPTIMAL PLACEMENT OF FACILITIES FOR THE ELDERLY CONSIDERING FUTURE POPULATION DYNAMICS - THE CASE OF KOGANEI CITY -

朱一葦

Yiwei ZHU

指導教員 五島洋行

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

This study addresses the Japan's aging population challenge by focusing on elderly facility placement in Koganei City, using the Location Set Covering Problem (LSCP) to find optimal locations for elderly care. Analyzing demographic trends allowed us to forecast future population and identify the necessary minimum number of facilities. The goal is to meet the growing demand for elderly care efficiently. Experimental verification assessed facility placement adaptability to demographic changes, suggesting adjustments for sustainability. This research offers insights into elderly care infrastructure planning in urban settings amidst demographic shifts.

Key Words: Location set covering problem, aging population, elderly care facilities, demographic forecasting

1. はじめに

近年、日本における高齢化が進行し、将来的に高齢者の数はさらに増加すると見込まれる。この人口動態の変化は、地域社会における高齢者施設需要に深刻な影響を及ぼし、高齢者施設の計画と配置の適切性が問われる事態となる。しかし、医療施設の過剰な建設は膨大なコストを伴うため、施設の配置は効率的かつ経済的である必要がある。本研究では、人口分布の特性を踏まえ、将来の人口数を予測し、そのデータに基づいて Location Set Covering Problem（以下は LSCP）[1]を活用し、最適な高齢者施設の配置と数量を決定する。

まず現行の人口統計データと高齢化の動向から、地域の人口動態が将来的にどのように変化するかを分析する。次にその予測結果を基に LSCP を適用し、最も効率的な高齢者施設の配置を提案する。このアプローチは、インフラの効果的な利用を促進し、必要な地域に適切な福祉サービスを提供することを目指す。

本研究の目的は、人口の高齢化という社会的課題に対応し、資源の有効活用を目指すことにある。地域社会の持続可能な発展のためには、高齢者施設の適切な配置が不可欠である。本研究により、未来の高齢者施設計画に関する重要な参考情報となることが期待される。

2. 関連知識

施設配置問題は施設の最適な位置を決定する問題であり、p-メディアン問題、p-センター問題、LSCP (Location Set Covering Problem)、MCLP (Maximal Covering Location Problem) [2], [3]などが特に有名である。LSCP は各施設が特定のサービス範囲を持ち、全ての需要点が少なくとも一つの施設の範囲内に含まれるような最小の施設数を決定する問題である。一方、MCLP は特定の数の施設を開設する際に最も多くの需要点をサービス範囲内に収める施設の位置を決定する問題である。これらの問題は数理最適化の分野で研究され、都市計画や病院、消防署、警察署の配置といった実世界の応用分野で使用される。

(1) 集合被覆問題

集合被覆問題は組合せ最適化問題の一種であり、需要者の集合 I と、施設設置可能な集合 J が与えられるとき、すべての需要点がカバーされるように、コストと施設数が最も少なくなる組合せを求める問題である。

定数・変数と決定変数をそれぞれ表 1、表 2 のとおり定め、以下のように定式化される。

Minimize

$$Z = \sum_{j \in J} c_j x_j, \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i (\in I), \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j (\in J). \quad (3)$$

(1)は目的関数で、設置コストの最小化を示す。(2)は制約条件で、各要素 i をカバーする要素 j を少なくとも一つ設置することを表す。(3)は、施設を選ぶ／選ばないを表すバイナリ制約である。

(2) LSCP

LSCP は、各需要点が少なくとも一つの施設に対応できる潜在的な施設の位置集合 N_i を持ち、各需要点が最低一つの施設によってサービスされるように施設を配置される。そして、全ての需要点をカバー可能な施設の中から、最も少ない数の施設で構成される解を特定する。

定数・変数と決定変数をそれぞれ表 3 と表 4 のとおり定め、以下のように定式化される。

Minimize

$$Z = \sum_j x_j, \quad (4)$$

subject to:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \quad \forall i (\in I), \quad (5)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j (\in J). \quad (6)$$

(4)は目的関数で、設置する施設の数をもっと少なくすることを示している。(5)は制約条件で、各需要に対応できる施設を少なくとも一つ設置すること、つまりカバーすることを求めている。(6)は、施設を選ぶ／選ばないを表すバイナリ制約である。

表 1. 集合被覆問題の定数の定義

i	需要点
I	需要点の集合
j	施設設置可能な地点
J	施設設置可能な地点の集合
c_j	施設 j を設置するために必要なコスト

表 2. 集合被覆問題の決定変数の定義

x_j	1: 施設 j が選択される場合 0: 施設 j が選択されない場合
a_{ij}	1: 需要点 i が施設 j でカバーされる場合 0: 需要点 i が施設 j でカバーされない場合

表 3. LSCP の定数の定義

i	利用者地点 (需要)
I	利用者地点の集合
j	施設設置可能な地点
J	施設設置可能な地点の集合
N_i	需要 i をカバーできる施設 j の集合
d_{ij}	需要 i と施設 j との距離

表 4. LSCP の決定変数の定義

x_j	1: 施設 j が選択される場合 0: 施設 j が選択されない場合
-------	---

(3) コーホート分析法

コーホート分析法 (Cohort Component Method) は、特定の年齢層 (コーホート) の出生率、死亡率、および移動率を基に、未来の人口を予測するための一般的な方法である [4], [5]。

人間の集団には様々な年齢の個体が存在する。図 1 を見ると、若年齢個体が多数の集団と、老年齢個体が多数を占める集団とでは、人口動態が異なる。

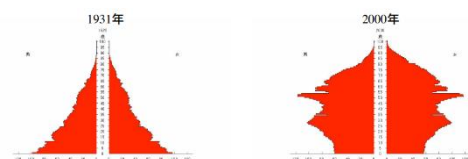


図 1. 1931 年から 2000 年の日本人口の年齢構造変化
(国立社会保障・人口問題研究所)

年齢構造とは、集団を年齢により分割し、各集団に属する個体数の時間変化をモデルである。

$N_x(t)$:時刻 t における x 歳の個体数

時刻 t での年齢別人口は、ベクトル

$$N(t) = \begin{pmatrix} N_1(t) \\ N_2(t) \\ N_3(t) \\ \vdots \\ N_m(t) \end{pmatrix}$$

で表せる。ここで m は最高年齢を表し、 $k \geq m+1$ では $N_k(t) = 0$ とする。

時刻 t における i 年齢人口の時刻 $t+1$ における生存率を S_i とおくと、

$$N_{i+1}(t+1) = S_i N_i(t)$$

人口モデルは各年齢層の人口に出生率をかけたものを足し上げて計算できる。

$$\begin{bmatrix} N_1(t+1) \\ N_2(t+1) \\ \vdots \\ N_{n-1}(t+1) \\ N_n(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1(t) \\ N_2(t) \\ \vdots \\ N_{n-1}(t) \\ n(t) \end{bmatrix}$$

となる。ここで、

$$L = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{bmatrix}$$

をレスリー行列(Leslie matrix)と呼ぶ。 $\omega \times \omega$ の行列は一般に ω 個の固有値を持つ。レスリー行列は実数で正の固有値 λ_1 が必ず存在する。

固有ベクトルの一次独立性から、解は

$$N(t) = L^t N(0) = c_1 \lambda_1^t e_1 + c_2 \lambda_2^t e_2 + \cdots + c_\omega \lambda_\omega^t e_\omega$$

ここで、 c_i は定数、 e_i は固有値 λ_i に対応する固有ベクトル。行列の定理より、各年齢層は毎年 λ_1 倍、年齢分布は固有ベクトルに比例する

$$N(t) \propto c_1 \lambda_1^t e_1$$

3. 将来人口の予測

本研究における人口予測モデルの要点は図2に示されている。本研究は市町村別の死亡数を求める「自然減ブロック」、市町村別の出生数を求める「自然増ブロック」、市町村別の人口転入・転出数を求める「人口移動ブロック」からなる。

自然減ブロックでは、市町村別の男女別・年齢別人口に外生的に与えた生存率を乗じることによって、死亡数が求められる。自然増ブロックでは、市町村別の女性の年齢別人口に出生率を乗じる新出生児の数が求められる。人口移

動ブロックでは、所得の格差と男女別・年齢別の転出率を外生的に与え、市町村間の出発地と到着地のペアに対して男女別・年齢別の移動人数を推計し、転入者数と転出者数が求められる。予測にあたっては、令和2年(2020年)の国勢調査データを基準人口として使用する。

(1) 生存率

小金井市の各年齢層における生存率は、総務省の推計人口データと厚生労働省の人口動態統計に基づいて、2010年から2020年までの期間に推計される。

(2) 出生率

年齢層別の出生率は、人口動態統計における小金井市の年齢層別出生数と推計人口データを基に、2010年から2020年にかけての出生率を算出する。この期間の平均出生率に、国立社会保障・人口問題研究所(以下、社人研)による全国の予測値を適用し、市町村別、年齢別の出生率予測を行う。出生率の全国予測値には、社人研の中位ケースが用いられ、このケースでは合計特殊出生率が2020年の1.33から2065年にかけて1.44まで上昇し、2070年には1.36に収束すると予測されている。

(3) 転入・転出率

地域間の人口移動分析においては、小金井市から提供された住民基本台帳の人口移動データを基に使用する。2020年における性別及び年齢別の転出者数をこのデータから抽出し、転出率を算出した。また、2020年の移動傾向を分析し、この結果をモデルの初期条件として設定する。

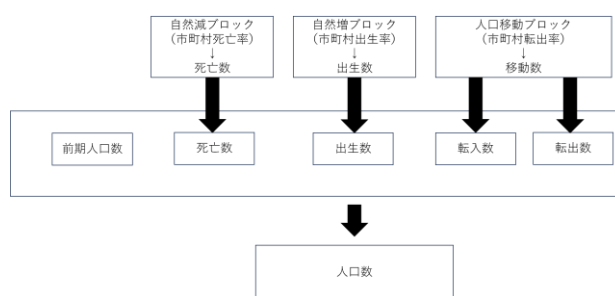


図2. コーホート分析法の概略

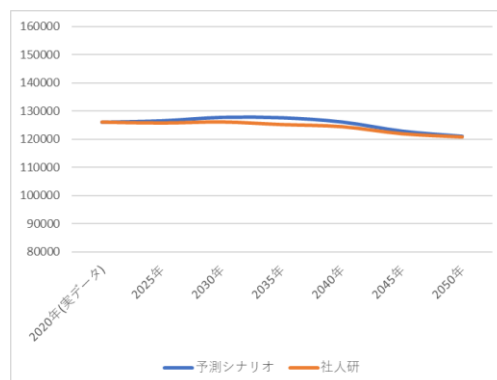


図3. 小金井市の人口予測結果

2021 年以後の転出率については、2020 年のデータを基準として変わらないという前提で計算を行う。2021 年以降の人口移動傾向に関しては、2020 年のデータを基にし、変化する外部経済シナリオを考慮に入れて推定する。本研究では、各県の所得差に関しては、2010 年から 2020 年までの期間に見られた平均的な水準が今後も継続すると仮定している。これは、各県で 2010 年から 2020 年までの期間の一人当たり県内総生産(GDP)の平均値を算出し、その比率を 2020 年以降も保持するという方法で行われる。このような前提に基づき行われた予測を、以下では「予測シナリオ」と呼ぶ。

図 3 は小金井市の 2020 年から 2050 年までの人口予測結果である。青色は予測シナリオの結果であり、オレンジ色は社人研の予測データである。図 5 は小金井市の高齢層人口の予測データである。図 6 は小金井市の人口構造推移である。社人研との誤差は最大 0.247 万人となる。表 5 は予測シナリオと社人研データとの誤差である。

結果をみると、2020 年からの 30 年間で、2030 年時点で人口数がピークとなる。2020 年から、生産年齢層が高齢者層の予備軍となって、今後の 30 年間に高齢層人口が増加していくことが予想される。

4. 数 値 実 験

実験に用いた計算機環境は表 1 のとおりである。

本研究では、コーホート分析法を使用して人口の将来的な変動を分析し、それに伴う都市の需給バランスの変化を予測する。人口データをもとにコーホート分析法を用いて各年齢層の人口変動を計算し、その結果から人口増加の比率を導き出す。そして、この人口増加比率に基づき、都市の需要点の密度を調整し、新たな需要点の分布を設定する。

予備実験では、需要点 70、施設候補点 30 として LSCP 実験を行う。使用するデータは図 3 に示す。被覆できる距離を半径 15、需要点を予測した 2020 年から 2025 年の老年層人口増加率に基づいて増加させ、LSCP 実験を行う。被覆できる距離を半径 15、需要点を予測した 2020 年から 2020 年の老年層人口増加率に基づいて増加させ、LSCP 実験を行う。

図 4 より、LSCP で解いた結果、施設配置数は 16 となった。図 5 と図 6 より、人口数を考慮した LSCP で解いた施設数は 17 となった、前より増加している。よって、需要点が増加することにより、それをカバーするための施設の数も増加する必要があることが確認された。図 7 は小金井市の実データから平面直角座標系に変換したデータである。図 8 は現時点での LSCP 解いた配置状況であり、

最小施設数は 15 となる。5 年後の最小施設数は同様に 15 となる。結果は図 9 に示す。30 年後の最小施設数は 17 となる。予測結果は図 10 に示す。

表 1. 実験環境

プロセッサ	11th Gen Intel(R) Core(TM) i3-1115G4 @ 3.00GHz 3.00 GHz
実装RAM	8.00 GB
使用言語	Python
ソルバー	Gurobi Optimizer version 10.0.2 build v10.0.2rc0 (win64)

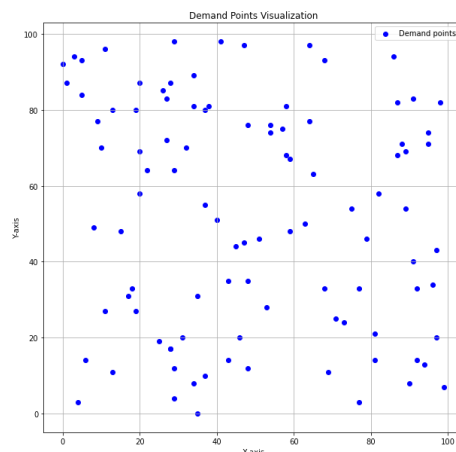


図 3. 実験用データ

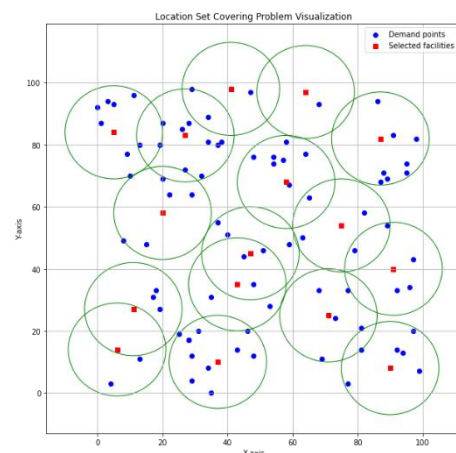


図 4. 需要点 100 としての LSCP

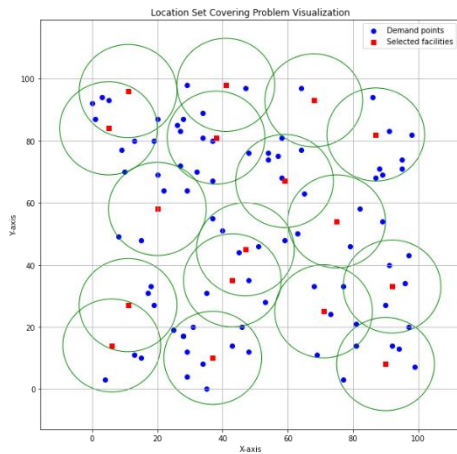


図 5. 5 年後の予測 LSCP

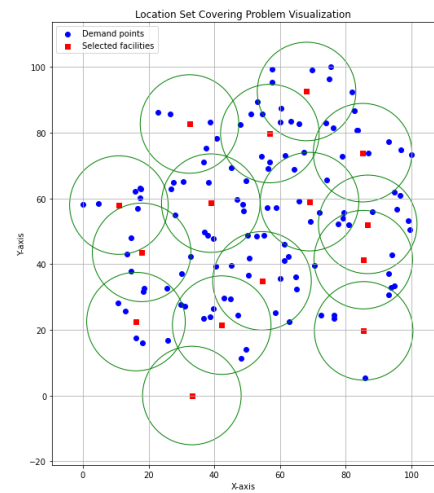


図 8. LSCP で解いた配置

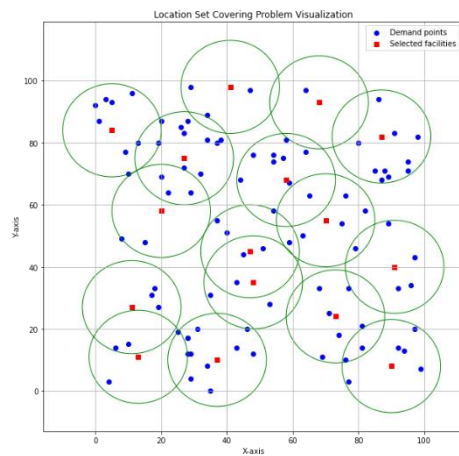


図 6. 30 年後の予測 LSCP

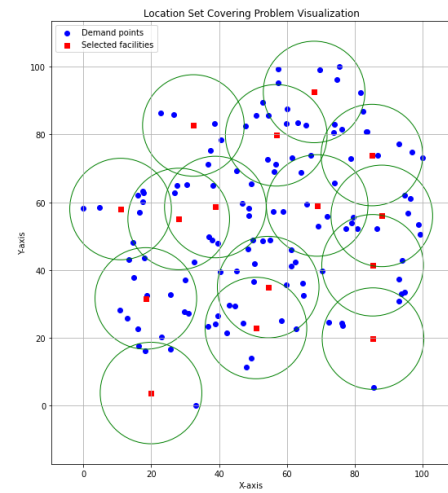


図 9. 5 年後の予測 LSCP (実データ)

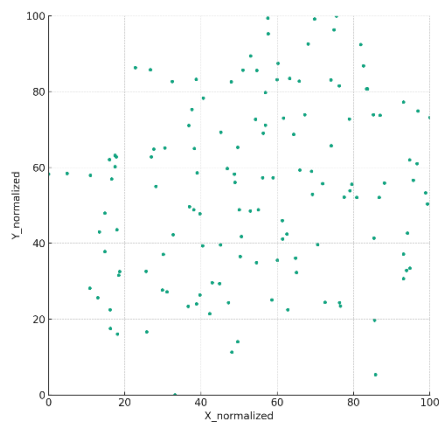


図 7. 小金井市の実データ

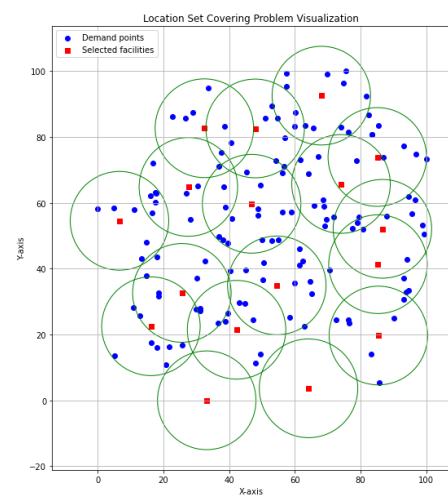


図 10. 30 年後の予測 LSCP (実データ)

5. おわりに

本研究では、小金井市における 2020 年からの 30 年間の人口予測と、その結果に基づく高齢者施設の配置分析を行った。2030 年時点で人口がピークに達し、2020 年から生産年齢層が高齢者層へ移行し、今後 30 年間で高齢者人口が増加することが予測された。増加する人口を需要点として行った高齢者施設の配置分析では、現時点での最小施設数が 15 であり、5 年後も施設数は 15 で変わらないが、人口の変動により 5 年後には 5 つの施設の位置が変更されることが確認された。また 30 年後には 8 つの施設の位置が変更され、施設数の増加だけでなく、既存の施設の廃止と新たな施設の設立も必要とされることが示された。本実験は小金井市を対象として行われ、施設の配置変化は特に市の中央部へ移動する傾向が見られた。これは中央線の影響によるものと考えられ、人口、すなわち需要点は交通の便が良い地域へ増加する傾向にある。したがって、施設点も中央地区に集中して配置されるべきであるとの結論に至った。

以上の分析から、高齢化社会における医療施設の適切な配置と数量についての重要な課題に焦点を当てた。将来の人口動態の変化を予測し、LSCP を用いて最適な医療施設の配置を提案した結果、高齢化社会への対応では、高齢者人口の増加が高齢者施設への需要増大を意味することが明らかになった。本研究は、都市計画や社会福祉政策の立案において、人口動態の変化を的確に把握し、それに応じた施設配置を行うための重要な指標を提供するものである。

参考文献

- [1] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle, and L. Bergman : The location of emergency service facilities, *Oper. Res.*, Vol. 19, No. 6, pp. 1363–1373, 1971
- [2] R. L. Church, D. M. Stoms, and F. W. Davis : Reserve selection as a maximal covering location problem, *Biol. Conserv.*, Vol. 76, No. 2, pp. 105–112, 1996
- [3] R. L. Church and C. ReVelle : The maximal covering location problem, *Paper. Region. Sci.*, Vol. 32, No. 1, pp. 101–118, 1974
- [4] 岸本達也：小地域将来人口推計による地域施設の需給不均衡に関する研究 幼稚園・保育所・小学校についてのケーススタディ，日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1 分冊，pp. 105–106, 2008
- [5] 古藤浩：人口予測における誤差から考察する予測方法・地域の影響，東北芸術工科大学紀要，Vol. 28, 2021