

公立図書館の最適立地分析 階層的p?メディアン 問題から考える公立図書館の再編

著者	齊藤 裕志
著者別名	Hiroshi Saito
雑誌名	経済論集
巻	45
号	2
ページ	101-126
発行年	2020-03
URL	http://doi.org/10.34428/00011496

公立図書館の最適立地分析

— 階層的 p-メディアン問題から考える公立図書館の再編 —

齊 藤 裕 志

1. はじめに
 2. 背景
 - 2-1 再編の背景と最適立地分析の意義
 - 2-2 分析対象となる公共施設：公共図書館
 - 2-3 分析対象地域：荒川区
 3. 計算モデル
 - 3-1 p-メディアン問題とその定式化
 - 3-2 階層的 p-メディアン問題とその定式化
 - 3-3 計算データ
 4. 計算結果
 - 4-1 p-メディアン問題による最適立地の導出
 - 4-2 階層的 p-メディアン問題による最適立地の導出
 - 4-2-a 施設数を固定させた場合の最適立地
 - 4-2-b 施設数を増加させた場合の最適立地
 - 4-3 計算結果の現実的展開
 5. 結語
- 参考文献

1. はじめに

21世紀の日本社会を方向付けるものといえば、多くの人々は人口減少と少子高齢化を脳裏に浮かべるかもしれない。実際、2015年に1億2700万人を超えていた人口が50年後の2065年になると9000万人を割り込み、その一方で、人口に占める高齢者の比率が27%から38%へと上昇する社会の到来

が高い精度で予見されている。¹⁾

このような人口構造の激変が起これば、社会の仕組みは必然的に変わらざるを得ない。複雑な現代社会は、もはや民間企業の活動のみでは成り立たず、公的な部門の活動も負けず劣らず重要な役割を担っている。人口減や高齢化によって社会を支える人材が減り、経済活動の停滞・縮小が財源に厳しい制約を課すことになれば、公的部門のあり方、特にそれが提供するサービスの量と質も必然的に変わらざるを得ない。

しかし公的部門が提供するサービスを改革しようとするれば、住民の理解と合意を欠かすことはできない。そしてこの理解と合意を得るには、その方向性を指し示す客観的な論拠が必要となってくる。

そこで本論文では荒川区の区立図書館を取り上げ、以下の2つの観点から公共施設の再編に関する客観的な論拠を求めた：

- ・プロセス全体ではなく、その一部分である施設配置の空間的最適性に焦点を絞った再編を考察
- ・荒川区独特の将来人口予測を踏まえ、再編は施設の削減のみならず拡張についても考察

分析には、ORにおける施設配置問題の一技法である「p-メディアン問題」とその発展型である「階層的p-メディアン問題」を用いた。その結果、

- ・モデルから計算された最適な施設配置を既存の施設配置と比較した場合、重み付き総費用で測った効率性は10%以上改善される。しかし既存の施設の一部を活用するならば、効率性の改善は一桁台に落ち込む
- ・現在の人口分布（登録者人口）を前提とした上で施設を削減したならば、既存の施設配置と比べ立地ネットワークの効率性は10%~90%も悪化する
- ・施設の階層性を考慮したもとその数を増加させた場合、重み付き総費用で測った効率性は20%以上改善される。しかし既存の施設の一部を活用すれば、効率性の改善は10%前後に止まる

といった点が明らかとなった。

1) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来人口推計（平成29年推計）「結果の概要」掲載表」より。人口は、中位推計をもとにした出生率と死亡率からの予測値を採用した。

2. 背景

2-1 再編の背景と最適立地分析の意義

これまでにないスピードで進行する人口減少と少子高齢化によって、日本社会の仕組みは大きな変更を迫られている。人口の絶対数が低下し、加えて人口の構成も変化するとすれば、これまで機能してきた社会や経済の運営方法が通用しなくなることは容易に想像できる。こうしたとき、競争下にある民間の営利企業ならば、市場からの淘汰を避けるために組織構造やメンバーの行動様式を自主的に変更して生き残ろうとする。これに対し競争を通じた市場からの淘汰圧力にさらされにくい公共部門の場合、対策は後手へ後手へと回り、最悪の場合破局を迎えることもあり得る。そうなればその「ツケ」を国民全体が負うということになってしまう。その様な事態を回避するためには、むしろ公共部門こそ積極的に政策や事業の再編に取り組む必要があるといえる。

公共部門が直面せざるを得ない問題に関しては、既に学術および現場双方の立場から様々な指摘がなされている。²⁾ その問題の1つに公共施設の再編がある。人口減少と少子高齢化は以下の2つの点から公共施設の再編を迫っている。

第1の点は公共サービスに対する需要の変化である。人口構成の変化や、時代の変化によって、公共部門に対する住民の要望は当然変わってくる。そうであれば、公共施設に対する需要構造も変化せざるを得ない。³⁾

第2の点は公共施設の管理・修繕・更新に関する財源負担の増大である。生産年齢人口（15歳～64歳）の縮小によって、税収の確保がこれまで以上に困難となる一方、高齢者人口（65歳以上）の増加によって、医療・介護・福祉関連への需要が大幅に伸びると予想されている。このため経済が低成長のままであれば、医療・介護・福祉といった義務的経費が増加する反面、公共施設の建設などに回される投資的経費はジリ貧となる可能性が高くなる。^{4) 5)}

こういった状況で公共施設を再編するには、限られた予算のもとでいかに将来必要となるサービスを提供できるかという視点が重要となってくる。残念ながら公共施設はその種類が多く役割もそ

2) 宮脇 [2009], 日本建築学会 [2016], 足立区「足立区公共施設等総合管理計画」, 荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」。

3) 宮脇 [2009], pp.13-14, 日本建築学会 [2016], 第1章, 足立区「足立区公共施設等総合管理計画」, p.6, 荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」, p.24。

4) 宮脇 [2009], p.7, 日本建築学会 [2016], 第1章, 足立区「足立区公共施設等総合管理計画」, pp.9-10。

5) 財源負担の増大に関しては、大量の公共施設の更新時期が迫っているという別の要因もある。日本の多くの地域は、昭和30年代から40年代の高度成長期に大量の施設を建設した。60年以上経過した現在、これらの施設の多くが老朽化し、各自治体は修繕・改修・改築への多額の支出に直面している（宮脇 [2009], pp.6-7, 足立区「足立区公共施設等総合管理計画」, p.12, 荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」, p.22）。

それぞれ異なっており、また同時に再編の舞台となる各地域もそれぞれ異なった事情を抱えているため、「定番」といえる確固とした再編の手法や具体的な手順は未だ確立されていない。確かに国は平成26年4月の総務大臣通知によって、老朽化した公共施設等の更新や統廃合に関する指針を公にしている。ただしこれはあくまで枠組みを提示したに過ぎず、再編への具体的な手法や手順の詳細は各自治体が試行錯誤で生み出さざるを得ない状況にある。⁶⁾

そのような中でいくつかの先駆的な研究や各地方自治体の実践的な取り組みが報告されている。⁷⁾ それらの研究や報告によれば公共施設再編は、①既存施設の評価、②再編計画の策定、③再編の実施、という3つの基本的な段階を踏んで進められることが明らかにされている。⁸⁾

まず既存施設の評価という段階では、個別の施設ごとに耐震性能や老朽化などの建物評価、および管理・運営費、修繕費、減価償却費などのコスト評価を行う。これに加えて現在の施設利用者数および将来の利用需要の推計、提供サービスの種類や地域間での重複性などの評価がなされる。

続く再編計画の策定段階では、上記の現状把握をもとに対象地域内における施設全体の再編策定と個別施設の再編策定を実行する。まず全体の再編策定では、将来的な財務状況をもとに施設の規模を決定する。その枠組みのもとで、施設の有用性を建物の資産価値（建物によっては文化的・象徴的価値）とサービスに対する住民の需要や自治体の上位計画との整合性などから検討する。同時に地理的な利用状況も踏まえ、施設の空間的な再配置も考慮する。次にこの全体的な視点での再編計画を用いて個別施設の再編を策定する。ここではサービスとそれを提供する建物を分離した上で、前者に関しては拡充・現状維持・縮小・休止・廃止を、後者に関しては新築・改築・改修・現状維持・処分などを検討していく。

以上の計画をもとにして各施設の再編が実施の運びとなる。具体的には、運営の効率化と建物の長寿命化を念頭に置き、既存の施設を引き続いて利用・活用する場合には用途変更・跡地利用・民間活用を、従来型施設を再編する場合には複合化・集約化・分散化といった手法が用いられる。

本論文は上記の再編プロセス（②再編計画の策定）の一部分である施設配置、特にその空間的最適性に焦点を絞った分析を行う。上述のように、再編のプロセスは多くの「パーツ」から構成されており、

6) 総務省が発表した「公共施設等総合管理計画の策定にあたっての指針」に関しては、「全体の検討手順」、「行政サービス水準の評価と検討の方法」、「数値目標の設定方法」などが明示されておらず、加えて「都市計画政策との連関」を欠いているといった問題点が指摘されている（西野 [2015], p.1777）。

7) 公共施設再編の総合的解説に関しては西野 [2015] や日本建築学会 [2016] がある。一方各自治体による具体的な取り組みの報告に関しては数多くあるが、本論文では足立区および荒川区の取り組みを参照した（足立区「足立区公共施設等総合管理計画」、荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」）。その他の自治体による具体的な取り組みについては、日本建築学会 [2016] に複数の事例紹介がある。

8) 日本建築学会 [2016], 第2章。

その一つ一つが有機的につながっている。したがってもし公共施設再編を最適性の観点から分析するならば、当然その全体を対象とせねばならない。しかし全体をそのまま対象とすることはあまりにも複雑であるため、現段階ではその遂行は容易でない。一方で、公共施設の再編に関する既存の研究では、施設の配置に関しその空間的最適性という観点からの分析があまりない。⁹⁾ 本論文ではこの点を重視し、再編プロセスの一部を構成する施設配置の空間的な最適性を取り上げ分析を行った。¹⁰⁾

2-2 分析対象となる公共施設：公共図書館

公共施設の再編を考えるために、本論文は分析対象として公共図書館を取り上げる。公共施設といえば、小中学校といった学校施設を思い浮かべる人が多いかもしれない。実際、公共施設に占める比率で見た場合、小中学校は最も大きいシェアを誇っている。¹¹⁾

しかし以下の2つの理由から、本論文では図書館を分析対象として選択した。第一に、日本において学校の立地的再編を分析した研究にはそれなりの蓄積があるのに対し、公共図書館の立地的再編、特に立地の空間的最適性に着目した分析がないこと。¹²⁾ 第二に公共施設に占める比率は小中学校ほどではないにしても、地域の人々が利用する公共施設として、図書館の存在感が高い点である。¹³⁾

ただし後者の点に関しては、その重要性を疑問視する声があるかもしれない。図書館の役割を「本の貸出しを通じて人々に知を獲得する環境を整備すること」と考えるならば、2000年代以降の情報通信技術の発展を柱とした技術の進歩（インターネットや電子書籍の利用）によって、この役

9) 時任・西野 [2018] は、児童数の将来推計をもとにしたシミュレーションによって小学校の統廃合を分析している。しかし本論文で展開するような空間的な最適性を前面に押し出した施設配置分析とはなっていない。

10) 全体の一部に着目した分析に説得力を持たせるため、分析対象として将来における人口変動が小さい地域・荒川区をあえて選択した。こうすることで空間的最適性以外の要因を極力排除することに努めた（2-3節参照）。

11) 本論文が取り上げる荒川区の場合、施設数（全382施設）のうち小中学校の占める比率は22.7%、図書館・文化施設のそれは6.3%となっている。また延床面積（約45万㎡）で見れば小中学校の占める比率は47.8%、図書館・文化施設のそれは13.8%となっている（「荒川区公共施設等総合管理計画」, p.4）。

12) 日本における学校の立地的再編を扱った分析としては、例えば貞広・岩本 [2011]、時任・西野 [2018] などがある。前者が再編プロセスの一部分である空間的最適性に焦点を絞って小学校の統廃合を論じているのに対し、後者は2-1節で触れた再編全体の枠組みの中で小学校の統廃合を論じている。本論文は対象を公立図書館とし、前者の立場で分析を行う。

13) 足立区では公共施設再編に関する詳細な報告書を公表している。同区における年代別の公共施設利用頻度のアンケート調査によると、10代~20代、30代~40代、50代~60代といった世代の利用者が最も頻繁に利用する区の施設は、児童館、区民事務所、住区センター等を抑えて地域図書館が第1位となっている。70代~80代の利用者でも住区センター等に続いて2番目に高い利用頻度を見せている（「足立区公共施設等総合管理計画・資料編」, p.24）。

割が急速に消えつつあるからだ。¹⁴⁾ この事態を素直に受けとめれば、公共図書館の再編とは、単なる施設の縮小という問題に還元されることになる。

しかし図書の貸出しを通じた「知識へのアクセス」というサービスは、公共図書館が果たし得る役割の一端に過ぎないことが明らかになりつつある。実際、世界の公立図書館は、「人々が集い賑わう場所」、「地域コミュニティの拠点」といった新しい役割を担う動きを見せ始めている。

2018年に開館したフィンランド・ヘルシンキの中央図書館「Oodi」は、その代表例といえる。¹⁵⁾ 3階建てで延床面積18万5000平方フィートを誇る同図書館では、図書の閲覧といった従来のサービスは最上階の3階部分に限定されている。そして建物の残りのうち、2階部分は3Dプリンターやレーザーカッターなどの最新工具が備え付けられた作業場、およびビジネス用の会議室や商談の場として、1階部分はレストランや映画館として利用できる構造となっている。このように図書館の2/3のスペースをこれまでにない新しいサービスに活用することで、同図書館は2019年3月に100万人の来館者を達成し、世界各国からの視察団を受け入れるほどの賑わいを見せている。¹⁶⁾

以上のように、いま図書館は従来のような図書の貸し出しを通じた知識へのアクセスのみならず、人々が集い憩う空間として地域住民の支持を集める方向に変貌を遂げつつある。こうした点を踏まえ、本論文では公共施設として図書館を取り上げることとした。¹⁷⁾

14) 人的資本の育成という意味で公共図書館以上に「知識へのアクセス」を重視する大学図書館において、いま紙の本の役割が急速に低下しつつある。20年前から図書の閲覧データを公表している米国のバージニア大学（University of Virginia）では、学生への図書貸出しが10年前の年23万8000冊から2018年の年6万冊へと大幅な減少を見せている。この傾向は大学院生や教員でも同様であり、同大学全体では、2007年～2008年度に52万5000冊もあった貸出しが、2017年～2018年度には18万8000冊へと減少してしまった。その一方で電子書籍（e-books）や電子ジャーナル（digital articles）の利用は急増しており、バージニア大学では、2016年における電子書籍のダウンロードが総計170万に達し、10年前と比べ桁多い利用回数となっている。こうした状況を受けて、イェール大学（Yale University）では、学部学生向け図書館の学習スペースを確保するため、図書の3/4を他の場所に移転する計画を公表している（Cohen [2019]）。

15) Rogers [2018], Krueger [2019]。

16) 新たな機能を付け加えることで図書館を再生しようとする動きは、他の国でも起こり始めている。その1つ、カタールの“Qatar National Library”では、オーケストラをはじめとして月に80～90ものイベントが開催されている。なかでも人気の高いイベントの1つに女性向けの編み物教室がある。参加者は毎週木曜日に図書館に集い、4時間もの間、熱心に編み物に取り組んでいる。同図書館のExecutive DirectorであるS. Wastaway氏は、「この図書館ができる以前は人々が集うスペースなどなく、せいぜいカフェや店先で顔を合わせるのがせいぜいでした。しかし今では、休日に家族全員が退屈せず過ごすことができる場所ができたのです」とその盛況ぶりを語っている（Krueger [2019]）。

17) 大学図書館も、「紙の本」の利用というこれまでの役割から、学際研究やグループワークといったより広範な知的生産活動の場所を提供するという役割へと転換しつつある（Cohen [2019]）。

2-3 分析対象地域：荒川区

公立図書館の立地を分析するにあたって、今回その舞台として東京都の荒川区を選んだ。理由は、同区の人口動向、および図書館・読書活動に対する同区の取り組みという2つの点が今回の立地分析に適合していると判断したためである。

まず人口動向という点で見ると、荒川区は東京23区の中で、人口総数や年齢別の人口構成比が安定的に推移する点に特徴がある。人口減少と少子高齢化という社会変動は日本全体を覆うものであるが、その実態は地域ごとに異なる。国立社会保障・人口問題研究所の推計によれば、日本の総人口は2015年から2045年の間に1億2700万人から1億642万人へと年率0.59%で減少していくと予測されている(表1、表2)。しかし東京23区に焦点を絞れば、同期間での総人口は年率0.15%とプラスの推移となっている。また23区内部の人口変化も一様に推移するわけではなく、地域ごとの人口推移は様々な様相を呈すると予測されている。

表1は2015年から2045年にかけての東京23区における人口変化を年率換算した数値である。トップの中央区では同期間に年率1%で人口が増加すると予測されているのに対し、最下位の足立区では年率0.45%で人口が減少する見通しとなっている。このように同じ23区内でも人口変動に幅があることが見てとれる。

そのような中、2015年から2045年における荒川区の人口推移は、順位で見て23区内でちょうど中間の年率0.25%と予測されている。つまり30年間で人口水準が大きく変化しないため、少なくとも公共施設の10年後、15年後のあり方を論じるには好ましいサンプルと考えることができる。

また荒川区の場合、人口総数の水準ばかりでなく、年齢別の人口構成に関しても安定的に推移することが予測されている。表2は年齢別人口の割合に関する推移を示したものである。総人口が減少する日本全体、総人口が微増の東京23区、ともに15歳～64歳の生産年齢人口が減り、65歳以上の高齢者人口が増加することが見てとれる。この傾向は総人口が2万人増加する中央区、総人口が8万人以上減少する足立区においても同様である。一方荒川区でも、2015年から2045年にかけて15歳～64歳の人口割合が減少し、65歳以上のそれが増加するものの、その程度は他の地区と比べて小さい。

このように荒川区では、人口の総数、および年齢別の人口構成比の何れについても、東京23区の中で安定的に推移することが予測されている。このため2-1節で触れた再編プロセスにおける利用者需要の推計という作業を回避でき、立地の最適性に分析を集中することが可能となる。したがって10年後から15年後という短期から中期における公共施設の立地再編を分析するには格好のサンプルと考えることができる。

また荒川区が区内の図書館および区民の読書活動の推進に積極的に取り組んでいる点も重視し

表1 東京23区人口成長率：2015年～2045年（単位：年率％）

順位	区	成長率	順位	区	成長率
1	中央区	1.00	14	杉並区	0.15
2	港区	0.99	15	大田区	0.15
3	千代田区	0.95	16	新宿区	0.04
4	江東区	0.52	17	世田谷区	0.04
5	台東区	0.51	18	豊島区	0.03
6	品川区	0.44	19	中野区	-0.03
7	文京区	0.42	20	北区	-0.05
8	練馬区	0.32	21	江戸川区	-0.31
9	板橋区	0.28	22	葛飾区	-0.32
10	渋谷区	0.27	23	足立区	-0.45
11	目黒区	0.26			
12	荒川区	0.25		東京23区	0.15
13	墨田区	0.17		日本	-0.59

データ出典：国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来人口推計（平成30（2018）年推計）」および「日本の将来人口推計（平成29年推計）
「結果の概要」掲載表」より筆者作成。

表2 人口水準および年齢別人口割合の推移

		人口水準（単位：1000人）				年齢別人口割合（単位：％）		
		総数	0～14歳	15～64歳	65歳以上	0～14歳	15～64歳	65歳以上
日本	2015年	127,095	15,945	77,282	33,868	12.5	60.8	26.6
	2045年	106,421	11,384	55,845	39,192	10.7	52.5	36.8
東京23区	2015年	9,273	1,004	6,230	2,038	10.8	67.2	22.0
	2045年	9,702	995	5,905	2,802	10.3	60.9	28.9
千代田区	2015年	58	7	41	11	11.5	70.3	18.1
	2045年	78	9	49	20	11.9	62.8	25.3
荒川区	2015年	212	24	139	50	11.1	65.5	23.4
	2045年	229	26	144	60	11.2	62.8	26.0
足立区	2015年	670	79	422	168	11.8	63.0	25.1
	2045年	586	63	339	184	10.8	57.8	31.4

データ出典：国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来人口推計（平成30（2018）年推計）」
および「日本の将来人口推計（平成29年推計）「結果の概要」掲載表」より筆者作成。

た。¹⁸⁾ 同区はこれまで3回にわたって読書推進計画の立案と実践を行ってきている。¹⁹⁾ 特に第三次の推進計画では、重点事業として「新たな滞在型図書館の整備」を掲げ、図書サービスが十分行

18) 荒川区「荒川区子ども読書活動推進計画（第三次）」。

19) 第一次（平成18年4月）、第二次（平成23年10月）、第三次（平成28年4月）（「荒川区子ども読書活動推進計画（第三次）」、pp.4-5）。

き届かない場所に図書館の分室である「図書サービス・ステーション (SS)」を設けるとともにその拡充を図ってきた。また図書資料の返却を容易にするために駅前などの交通の要所に「図書サービス・スポット」を新設するなど、区民の図書利用環境の向上にも積極的に取り組んでいる。²⁰⁾ さらにビジネス支援サービスの実施や子供と大人それぞれに向けた各種のイベントを開催することを通じて、区民同士のつながりや賑わいをもたらす場所を提供しようという試みも実践している。²¹⁾

以上、人口の動向および図書館・読書活動への取り組みを重視し、本論文では分析対象を荒川区の区立図書館とした。

3. 計算モデル

本章では、荒川区における区立図書館の最適立地を導出する手法と計算に使用するデータの説明を行う。手法として施設配置問題 (facility location problem) に属する「 p -メディアン問題 (p -median problem)」とその発展型である「階層的 p -メディアン問題 (hierarchical p -median problem)」を取り上げ、併せてその概要について述べた。また利用データに関しては、分析対象である荒川区の区立図書館の仕組みと関連づけながらその内容に触れた。

3-1 p -メディアン問題とその定式化²²⁾

本論文で用いる施設配置問題では、分析対象である立地を「点と線」で構成されるネットワークと見なす。点によって対象となる地域内の施設点 (施設の配置場所) と需要点 (利用者の立地場所) を表現し、線によって立地点間の距離を表す。このタイプの施設配置問題は、このようなネットワーク上で複数の施設をいかに配置するかを考える問題と定義できる。

この種の施設配置問題に関する手法として、本論文ではまず p -メディアン問題を取り上げる。この手法では、各立地点における需要の大きさと最寄りの施設との距離を掛け合わせ、それを立地点全体で足し上げたものを総費用と見なす。そしてこの費用を最小化するように p 個の施設立地点を捜し求めていく。

数式による定式化は以下の通りとなる：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3-1)$$

20) 「荒川区子ども読書活動推進計画 (第三次)」, p.33, p.60.

21) 「荒川区子ども読書活動推進計画 (第三次)」, pp.53-56.

22) 立地分析全般に関しては Farahani and Hekmatfar [2009], Daskin [2013] を、施設配置問題、特に p -メディアン問題については、欧文では Jamshidi [2009] および Daskin [2013], ch.6, 邦文では加藤 [2007], 第6章を参照した。

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3-2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3-3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_j = p \quad (3-4)$$

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (3-5)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (3-6)$$

モデルの変数および投入データの内容は以下の通りとなる：

変数

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{立地点 } j \text{ に施設がある場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{立地点 } i \text{ の利用者が立地点 } j \text{ の施設を利用する場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

投入データ

n = 立地点の総数

h_i = 立地点 i における需要量

d_{ij} = 立地点 i と立地点 j 間の距離

p = 設置される施設の総数

変数 X_j は、総数 p の施設が利用者の居住する立地点にどのように配置されるかを表したものである。また変数 Y_{ij} は、立地点 i の利用者が立地点 j の施設を利用するか否かを表したものである。ゆえにこれら 2 つの変数はともに 0 か 1 の値のみをとる 0-1 型の変数となる。

目的関数 (3-1) は需要量 h_i で重み付けた総距離である。利用者のいる立地点 i と施設のある立地点 j の距離 d_{ij} に変数 Y_{ij} を掛け合わせることで、両地点間における実際の利用状況のみを取り出すようにしている。これに各立地点での需要量 h_i を掛け合わせることで、その立地点における施設への需要量を考慮した利用者の全体的な移動距離を把握できる形をとっている。こうすることで、目的関数を分析対象地域の人々が施設を利用する際の移動費用の総計と見なすことができる。そこで以後この目的関数を「重み付け総費用」と呼ぶことにする。

制約式 (3-2) は、各立地点の利用者が必ずどこか 1 つの施設を利用すること要求するものである。

制約式 (3-3) は、施設が配置されていない立地点に利用者が流れることを防ぐための措置を意味している。²³⁾ 制約式 (3-4) は配置される施設の総数が p であることを表している。制約式 (3-5) および (3-6) は、変数 X_j と Y_{ij} が0と1の何れかの値のみをとることをそれぞれ表したものである。

3-2 階層的 p-メディアン問題とその定式化²⁴⁾

前節の p-メディアン問題は、各施設点が提供するサービス内容をすべて同一と考えてモデルを組み立てたものである。しかし現実の世界では、あるカテゴリーのサービスの提供を受けるために特定の施設に赴いたとしても、望むサービスのすべてを享受できない事態も起こり得る。

例えば学校（教育）サービスの場合、初等教育を受けるとすれば小学校に通えばよいが、より高度な教育を受けるためには中学・高校に通わねばならない。また郵便サービスの場合も同様である。ハガキや封書の投函であれば無人の郵便ポストで済むが、貯金や保険の購入、さらには物品の宅配サービスを受けるには職員が常勤する郵便局にまで足を運ばねばならない。

これは各立地点ですべての種類 서비스가必ずしもフルセットの形で提供されず、サービスが機能的・地理的に分割され、その各部分が階層的なつながりをもって提供されるためである。

こういった階層性は以下のように表現できる。まずあるカテゴリーのサービスを1から m の水準に分割し、水準1の方向には身近で基本的なサービスを、水準 m の方向にはより高次で高度なサービスを割り振る。

次に機能性に関するつながりによって階層性を2つのタイプに分ける。第1のタイプは水準 k のサービスを提供する施設が、そのみならずその水準よりも下層の水準のサービス ($i = 1, 2, 3, \dots, k-1$) をも提供できると想定するものである。郵便サービスはこのタイプに相当し、最下層の基本サービス（ハガキ、封書の投函）は郵便ポストが担い、この基本サービスを含めた高次のサービスを郵便局が担当する。いわば異なる階層がサービスに関し「入れ子」の状態にあると表現できる。

第2のタイプは、水準 k のサービスを提供する施設がこの水準のサービスを提供するのみで、それ以外の水準のサービスを提供できないと想定するものである。学校（教育）サービスはこのタイプに相当し、最下層の初等教育は小学校が担当する一方、それ以降のより進んだ教育は中学・高校が担当する。この場合、異なる階層はサービスに関し「相互に排他的」となる。

また地理的なつながりによっても階層性を2つのタイプに分けることができる。第1のタイプ

23) 立地点 j に施設がなければ ($X_j = 0$)、立地点 i から施設のある立地点 j への利用者の流れは存在しない ($Y_{ij} \neq 1$)。ゆえに $Y_{ij} \leq X_j$ となる。

24) 階層的 p-メディアン問題については、Bastani and Kazemzadeh [2009]、およびDaskin [2013]、pp.375-383、を参照した。

表3 階層的p-メディアン問題の分類

		地理性	
		地域内のすべての立地にサービスを提供	サービスの提供範囲は限定的
機能性	入れ子	(A)	(C)
	相互に排他的	(B)	(D)

注) Daskin [2012], pp.375-379より筆者作成。

は、立地点*i*に立地して水準*k*のサービスを提供できる施設が、そのサービスを立地点*i*以外のすべての立地点にいる利用者に提供できるとするものである。第2のタイプは、立地点*i*に立地して水準*k*のサービスを提供できる施設が、そのサービスを立地点*i*以外に提供するのに際し、地理的な制限がかかるとするものである。

以上の話をまとめたものが表3である。この分割表に則れば、先ほどの学校（教育）サービスは表中の(B)のタイプとなり、郵便サービスは(A)に当てはまる。また、本論文が対象とする図書館サービスも(A)に属するといえる。特に荒川区の区立図書館の場合、まず機能的に図書の閲覧と貸出しといったサービスのみを享受できる「図書サービス・ステーション」と、それらの基本サービスに加え、学術・ビジネス向けのレファレンス業務や幼児向けのお話会といったサービスを提供できる図書館という「入れ子」型の階層性を持っている。加えて地理性という点では、図書サービス・ステーションと図書館ともに区内に住む住民ならば誰でも利用可能という意味で「地域内のすべての立地に向けてサービスを提供」しているからだ。そこで以下ではタイプ(A)に限定して議論を進める。

タイプ(A)に関する階層的p-メディアン問題の定式化は以下の通りとなる：

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m h_{ik} d_{ij} Y_{ijk} \quad (3-7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n Y_{ijk} = 1 \quad \forall i, k \quad (3-8)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{jk} = p_k \quad \forall k \quad (3-9)$$

$$Y_{ijk} \leq \sum_{g=k}^m X_{jg} \quad \forall i, j, k \quad (3-10)$$

$$X_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad (3-11)$$

$$Y_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (3-12)$$

モデルの変数および投入データの内容は以下の通りとなる：

変数

$$X_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{タイプ}k\text{の施設が立地点}j\text{に配置される場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{立地点}i\text{の利用者が立地点}j\text{でタイプ}k\text{の施設を利用する場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

投入データ

m =サービスの階層数

n =需要点の総数

h_{ik} =立地点 i におけるタイプ k の施設に対する需要量

d_{ij} =立地点 i と立地点 j 間の距離

p_k =タイプ k の施設の設置総数

モデルに階層性が加わった点を除けば、モデルの式が意味する内容は前節の p -メディア問題と基本的に変わらない。制約式 (3-10) は p -メディア問題の制約式 (3-3) に相当し、立地点 i の利用者が立地点 j でタイプ k の施設を利用するためには、立地点 j においてタイプ k か、それ以上の階層のサービスが提供されていないなければならないという条件を課したものである。²⁵⁾

3-3 計算データ

2つのモデルから最適立地を導出するためには、いくつかの情報をデータとしてモデルに取り込まねばならない。まず目的関数である重み付き総費用（(3-1)式および(3-7)式）に現れる立地点間の距離 d_{ij} のデータが必要となる。距離データについては、各立地点の位置データから計算できる測地線の長さを用いた。²⁶⁾

さらに目的関数である重み付き総費用に現れる需要量 h_i のデータも必要となってくる。この需要量データについては、荒川区における区立図書館の登録人口を採用した。

ただし階層的 p -メディア問題による定式化では、階層ごとの需要量データ h_{ik} が必要となる。前節の説明および表4にあるように、荒川区の図書館システムは2つの階層から成り立つ。1つは図書の閲覧と貸出しのみが利用可能な2ヶ所の図書サービス・ステーション（「汐入SS」, 「冠新道SS」）、いま1つはこの機能に加え各種の催し物やレファレンスサービスも享受できる5ヶ所の図書館（「南千住」, 「ゆいの森あらかわ」, 「町屋」, 「尾久」, 「日暮里」）である。したがって、分析に

25) Bastani and Kazemzadeh [2009], p.226, およびDaskin [2013], p.380.

26) 各立地点の位置データは国土交通省国土政策局国土情報課の「位置参照情報ダウンロードサービス」より取得した。また2つの立地点間における測地線の長さに関しては、国土交通省国土地理院の「距離と方位角の計算」によって求めた。

表 4 荒川区の区立図書館情報

開設年月日	平成10年5月1日	平成29年3月26日	昭和51年10月1日	令和2年開館予定	昭和46年9月23日	昭和54年6月11日	平成19年9月8日	平成21年11月14日
名称	南千住図書館	ゆいの森あらかわ	町屋図書館	新尾久図書館	尾久図書館	日暮里図書館	汐入図書館SS (南千住図書館の分室)	冠新道図書館SS (日暮里図書館の分室)
所在地	荒川区南千住 6-63-1	荒川区荒川 2-50-1	荒川区町屋 5-11-18 都営住宅敷地内	荒川区東尾久8	荒川区西尾久 3-12-12	荒川区東日暮里 6-38-4	荒川区南千住 8-12-5-114 べるぼーと汐入東館内	荒川区西日暮里 6-25-14 マンション兼店舗ビル内
敷地面積 (m ²)	2,724	4,111	NA	1,100	1,329	894	NA	NA
延床面積 (m ²)	2,686	10,944	1,045	1,800	1,202	1,370	124	181
座席数	146	902	95	NA	135	131	8	11
蔵書冊数 (冊)	140,584	363,231	118,983	NA	112,749	86,336	14,205	11,563
視聴覚資料計	18,980	12,160	7,627	NA	7,637	5,995	0	0
平成29年度個人登録者数 (人)	21,573	20,422	8,599	NA	10,106	12,345	5,010	2,440
平成29年度入館者数 (人)	257,578	690,094	108,001	NA	141,480	133,330	165,892	63,006
平成29年度個人貸出者数 (人)	99,641	198,222	47,671	NA	58,254	63,395	59,223	32,714
平成29年度個人貸出点数	386,224	764,205	184,200	NA	234,213	204,940	176,552	104,366

注) 荒川区HP上にある各区立図書館のサイトより筆者作成。ただし新尾久図書館の情報については、「尾久地区公共施設の更新に伴う新保育園及び新図書館の建設に関する説明会」を参照した。またデータが不明な箇所はNAと表記した。

あたってはこの2つの階層ごとに需要量を割り当てねばならない。

ここではすべてのサービスを包括的に提供できる図書館を上位階層と見なし、一部サービスのみを享受できる図書サービス・ステーションを下位階層とした。まず前者に対する需要量として図書館への登録人口（総数）を割り当てた。一方後者の需要量に対してはその簡易なサービスの主な利用者と想定できる幼児や児童（0歳～12歳）および高齢者（65歳以上）の登録人口の合計を割り当てることにした。²⁷⁾

最後に5つの図書館のうちの1つである「尾久図書館（西尾久3丁目）」の取り扱いについて述べておく。同図書館は昭和46年開館と荒川区内で最も築年数の古い図書館であるため、すでに東尾久8丁目に「新尾久図書館」としてリニューアルされることが決まっている（令和2年開館予定）。そこ本論文の分析では「尾久図書館」の代わりに、この新しい「新尾久図書館」を用いることにした。確かに「尾久図書館」を使用すれば、現在の最適立地を導くことができる。しかし、本論文は現在のみならず将来の施設配置をも分析対象としている。また新たな「新尾久図書館」が今後何十年にわたって使用されるだろうことを考慮し、本分析では「新尾久図書館」を5つの図書館の一角として用いることにした。²⁸⁾

4. 計算結果

本章では前章で説明した2つの手法（p-メディアン問題、階層的p-メディアン問題）とデータを用い、様々な状況における区立図書館の最適立地を導出した。その際、最適な立地場所を求めのみならず、導出した計算結果の最適性に関する評価も実施した。そのために、あらかじめ既存の施設配置から計算される重み付き総費用の値を求めておき、この値と様々な状況で導出した最適立地から計算される重み付き総費用の値との比較を行った。この比較を通じて最適性の基準から判明した施設立地が現状のそれと比べてどの程度の改善を示すのかを明らかにした。²⁹⁾

4-1 p-メディアン問題による最適立地の導出

表5はp-メディアン問題による計算結果をまとめたものである。第2列・(1)は既存の5つの図書館と2つの図書サービス・ステーションの立地点、およびそこから導出された重み付き総費用の値（32,994）である。この数値が表の右側にあるこの後の分析（(2)～(8)）の基準となる。

第3列・(2)は、全施設数を7つとする枠組みのみを継承し、それ以外は一切の制約を設けずに最

27) 図書館の登録者人口に関するデータは「荒川区の図書館 令和元年（平成30年度事業概要）」より取得した。

28) 新尾久図書館に関しては、「尾久地区公共施設の更新に伴う新保育園及び新図書館の建設に関する説明会」を参照した。

29) 計算には、株式会社NTTデータ数理システムの「Numerical Optimizer」を使用した。

表5 p-メデイアン問題の計算結果

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	a	a	a	a	a	a	a
南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住7丁目 *
南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目 荒川1丁目 *	南千住8丁目	南千住8丁目		
荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目		荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川3丁目 *
	荒川4丁目 *						
町屋5丁目	町屋3丁目 *	町屋3丁目 *	町屋3丁目 *	町屋5丁目	町屋2丁目		
	東尾久3丁目 *	東尾久2丁目	東尾久3丁目 *				
東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目		東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久6丁目 *
	西尾久5丁目				西尾久2丁目 *		
東日暮里6丁目	東日暮里6丁目	東日暮里6丁目	東日暮里6丁目 西日暮里1丁目	東日暮里6丁目	東日暮里6丁目		
西日暮里6丁目							
重み付き 総費用	32,994	29,085	31,148	47,213	36,428	62,259	52,993
(1)の総費用から の変化率(%)		-11.8	-5.60	43.1	9.43	88.7	37.7

注) (1)既存の7つの施設配置

(2)7つの施設の最適な配置 (制約なし)

(3)7つの施設を配置 (7つのうち3つの施設を既存の「南千住」(南千住6丁目)、「ゆいの森あらかわ」(荒川2丁目)、「新尾久」(東尾久8丁目)に固定)

(4)7つの施設を7つの地区 (南千住、荒川、町屋、東尾久、西尾久、東日暮里、西日暮里)に平等に配置

(5)既存の5つの施設配置 (2つの図書館サービス・ステーションを削減)

(6)施設数を5つに削減した場合の最適な配置 (制約なし)

(7)既存の3つの施設配置 (町屋) (町屋5丁目)、「日暮里」(東日暮里6丁目)の2つの図書館と2つの図書館サービス・ステーションを削減)

(8)施設数を3つに削減した場合の最適な配置 (制約なし)

a : 既存施設の立地する立地点と境界を接する立地点 (*)

最適地を求めたものである。選ばれた立地点を見ると、3つの施設場所が既存のそれと一致しており、既存の立地点と境界を接する立地点も考慮すれば、全部で6つの施設が既存の施設と地理的に関連が深い立地点となった。一方で既存の立地点と比べた重み付き総費用は11.8%の低下を見せている（重み付き総費用で計った効率性が改善している）。以上から、施設数以外の制約を課さない条件で最適な立地場所を求めた場合、施設ネットワーク全体の立地効率性は二桁の向上を示すことがわかった。ただし隣接関係で見た既存施設の立地点との整合性も高いことから、既存の施設立地はそれなりの最適性を持っていることも明らかとなった。

この傾向は、5つの図書館のうち3つを既存のもの（「南千住」（南千住6丁目）、「ゆいの森あらかわ」（荒川2丁目）、「新尾久」（東尾久8丁目））とする制約を置いた場合、一層強くなる（第5列・(3)）。選ばれた立地点のうち既存のそれと一致するものは5つに増加し、重み付き総費用の低下は5.6%と半分以下の水準となる。³⁰⁾

次に施設数を現状から削減させた場合、最適立地がどのようになるかを見てみよう。表5の第9列・(5)～第13列・(8)がその結果である。まず第9列・(5)の最下部は既存の7施設から後発でかつ規模の小さい2つの図書サービス・ステーション（汐入、冠新道）を削減した場合の重み付き総費用の値（47,213）である。最適性を考慮せず単純に2つの施設を削減すると、重み付き総費用は43.1%も増加する（効率性が悪化する）。続いて最適性を考慮して施設の数をも5つに減少させた場合でも、重み付き総費用は既存の7施設のネットワークに比べ9.4%高まる（第10列・(6)）。さらに施設数を3つに削減した場合も同様の傾向を見て取ることができ、最適性を考慮せず単純に規模の大きな3つの図書館に削減した場合、重み付き総費用は88.7%（第12列・(7)）、最適性を考慮した場合でも37.7%（第13列・(8)）も上昇してしまうことがわかった。

以上の分析から次の結果が明らかとなった：

- ・ p-メディアン問題によって最適立地を求めた場合、既存の施設配置と比べ、重み付き総費用は12%程度改善する
- ・ 既存の施設配置とのつながりを前提とした場合、重み付き総費用の改善は6%程度に止まる（既存の施設配置には、ある程度の最適性がある）
- ・ 現在の人口分布（登録者人口）を前提とした上で施設を削減した場合、既存の施設配置と比べ、重み付き総費用は10%～90%も悪化する

30) 表5・第7列・(4)は荒川区の各地区（南千住、荒川、町屋、東尾久、西尾久、東日暮里、西日暮里）ごとに施設を設けるという制約のもとで最適な立地を求めた結果である。こういった「公平性」を織り込んだにもかかわらず、既存の施設配置と比べて重み付き総費用が低くなるという事実は、効率性と公平性の両立という点で興味深い。しかし重み付き総費用の低下は4.4%と一桁の水準に止まっている。

4-2 階層的p-メディアン問題による最適立地の導出

本節では、p-メディアン問題に階層性を導入したもとの施設の最適な立地点を導出する。前節では施設数を減少させた場合の分析を行い、重み付き総費用で計った立地ネットワークの効率性が大幅に悪化することを見た。これに対し本節では、階層性という枠組みの下で施設数を増やした場合に最適な立地がどうなるかを分析する。よって分析は、階層性の下で施設数を固定させた場合の最適立地と増加させた場合の最適立地という2つの部分から成る。

4-2-a 施設数を固定させた場合の最適立地

表6・第2列・(9)の最下部は、既存の5つの図書館を上位階層とし、同じく既存の2つの図書サービス・ステーションを下位階層として算出した重み付き総費用の値(64,016)である。前節と同様、この数値を以後の分析(10)~(12)の基準として用いる。

第4列・(10)は5つの図書館を上位階層とし2つの図書サービス・ステーションを下位階層とする構造のもとで最適立地を導出した結果である。最適な立地点は既存の7施設のうち1ヶ所のみとしか一致せず³¹⁾、重み付き総費用の低下も17.2%とp-メディアン問題のケースと比べ施設ネットワークの改善がより高くなっている。階層性という現実の構造を考慮すれば、現行の施設配置ネットワークの最適性は、前節で明らかになったほど高くないことが判明した。

しかしp-メディアン問題の場合と同様、既存の施設とのつながりを織り込むと、現行の施設配置ネットワークと最適な配置との乖離は縮小してしまう。第6列・(11)は5つの上位階層を既存の図書館に固定したもとの最適立地を導出したものである。下位階層を構成する2つの図書サービス・ステーションのうち1つが既存のそれと一致しており、重み付き総費用も既存の施設配置の値とほぼ同じ水準となっている。上位階層で固定する図書館の数を3つに絞った場合(第8列・(12))でも同様の傾向が見られ、重み付き総費用の低下も6%程度に止まっている。このように階層性を導入しても、いまある施設の一部を利用し続けたとすれば、最適性追求の効果は低下し、現行の立地ネットワークの効率性の高さが浮き彫りとなる。

次に、施設全体の数は固定させたまま、上位階層と下位階層の構成を変えた場合に結果がどう影響されるかを分析した。第10列・(13)から第13列・(15)は施設全体の数を7つと固定しながら、上位階層である図書館の数を3つに減らし、その一方で下位階層である図書サービス・ステーションの数を4つに増加させたもとの最適な立地を求めたものである。変更は、上位階層の図書館を建設時期が新しく、規模も大きいことから地域の拠点となり得る「南千住図書館」(南千住6丁目)、「ゆいの森あらかわ」(荒川2丁目)、「新尾久図書館」(東尾久8丁目)に限定し、残りの「町屋図書館」(町

31) 南千住8丁目。ただしサービス・ステーションであるはずの同地点が図書館として選択されている。

表6 階層的p-メディアン問題の計算結果(全施設数が7つのケース)

(9)	ふれあい館		(10)		(11)		(12)		(13)		(14)		(15)	
	a	b	b	*	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
南千住6丁目c	○	南千住1丁目	南千住6丁目	*	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	南千住6丁目	
南千住8丁目	○	南千住4丁目	南千住7丁目	*	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	南千住7丁目	
荒川2丁目	○	南千住8丁目	南千住8丁目	*	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	南千住8丁目	
町屋5丁目	○	町屋3丁目	荒川2丁目	*	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	荒川2丁目	
東尾久8丁目	○	東尾久2丁目	町屋5丁目	*	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	町屋5丁目	
東日暮里6丁目	○	西尾久2丁目	東尾久2丁目	*	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	東尾久2丁目	
西日暮里6丁目	○	西日暮里1丁目	東尾久8丁目	*	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	東尾久8丁目	
重み付き 総費用	64,010	52,969	63,640		60,066	77,605	66,846	76,798						
(9)または(3)の 総費用からの 変化率(%)		-17.2	-0.58		-6.16		-13.9	-1.04						

注) (9)階層性を織り込んだ既存の7つの施設配置(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)
 (10)7つの施設(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(階層性以外の制約なし)
 (11)7つの施設(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(5つの図書館すべてを既存の図書館に固定)
 (12)7つの施設(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(5つの図書館のうち、3つの図書館を「南千住」(南千住6丁目)、「ゆいの森あらかわ」(荒川2丁目)、「新尾久」(東尾久8丁目)に固定)
 (13)7つの施設配置(既存の図書館のうち3つを固定し、「町屋」(町屋5丁目)と「日暮里」(東日暮里6丁目)の2つの図書館を図書サービス・ステーションに転用して図書サービス・ステーションを合計4つとする)
 (14)7つの施設(3つの図書館と4つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(階層性以外の制約なし)
 (15)7つの施設(3つの図書館と4つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(3つの図書館を「南千住」(南千住6丁目)、「ゆいの森あらかわ」(荒川2丁目)、「新尾久」(東尾久8丁目)に固定)
 a:「ふれあい館」が設置されている立地点(○)
 b:既存施設の立地する立地点と境界を接する立地点(*)
 c:下線部のある立地点は図書館(上位階層)を、下線部なしの立地点は図書サービス・ステーション(下位階層)を意味する

屋5丁目)と「日暮里図書館」(東日暮里6丁目)を下位階層の図書サービス・ステーションに転用させるという方式をとった。

表6・第10列・(13)の最下部はこの新たな構成のもとで計算した重み付き総費用の値(77,605)である。最適性を織り込まず既存の施設の構成のみを変えたもとで算出したこの値が、続く第11列・(14)と第13列・(15)の分析基準となる。

第11列・(14)は3つの上位階層と4つの下位階層という枠組みのみで最適化を図った結果である。図書館を減らし図書サービス・ステーションを増やした場合、階層性を導入することで重み付き総費用の値は13.9%低下する。しかし第13列・(15)にあるように、上位階層を3つの既存の図書館に固定し4つの図書サービス・ステーションのみの最適化を図った場合、重み付き総費用の低下は1%程度とほぼ無くなってしまう。このように全体の施設数を変更しない条件のもとで上位階層と下位階層の数を変えたとしても、分析結果は先程と同じ傾向を示すことがわかった。

以上の分析から次の結果が明らかとなった：

- ・階層性を導入して最適な立地点を求めた場合、重み付き総費用は14~18%低下する(前節のp-メディアン問題よりも効率性の改善は大きくなる)
- ・しかし既存施設とのつながりを意識し、上位階層の施設を既存のそれに関連付けた場合、重み付き総費用の低下は1%~6%程度に止まる(階層性を導入しても、規模の大きな施設の使用を前提とすれば、既存施設の配置にはある程度の最適性がある)

4-2-b 施設数を増加させた場合の最適立地

本節では施設全体の数を増加させた場合の最適立地を導出する。ただし増加させる施設は下位階層の図書サービス・ステーションのみとし、施設数を従来の全7施設から10施設、13施設という2つのケースに分けた分析を行う。

表7の第4列・(16)は、下位階層に3つの図書サービス・ステーションを追加し施設数を10とした場合の最適立地である。施設数が増えたことで既存の5図書館・2図書サービス・ステーションの体制(第2列・(9))と比べ重み付き総費用は23.1%も低下する。ただし立地点と機能(図書館か図書サービス・ステーションか)に関し既存施設と一致するものは全くないため、このような施設の拡張を実施しようとするれば、既存の施設をすべて廃棄せざるを得ないことになってしまう。廃棄および建設の費用を考えればこのような拡張は甚だ現実的ではない。

そこで前節と同様、既存の施設を活用しながら施設を拡張させた分析を行ったものが表の第6列・(17)と第8列・(18)である。前者は既存の7施設(図書館5つ、図書サービス・ステーション2つ)を固定し、これに下位階層として3つの図書サービス・ステーションを新たに追加したものである。

表7 階層的p-メディアン問題の計算結果 (全施設数が10および13のケース)

(9)	ふれあい館		(16)		(17)		(18)		(19)		(20)		(21)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
		南千住1丁目	*		南千住1丁目		南千住1丁目		南千住1丁目		南千住1丁目		南千住1丁目	
		南千住4丁目	*		南千住4丁目		南千住4丁目		南千住4丁目		南千住4丁目		南千住4丁目	
南千住6丁目c	○	南千住6丁目	*	南千住6丁目	南千住6丁目		南千住6丁目		南千住6丁目		南千住6丁目		南千住6丁目	*
	○	南千住7丁目	*	南千住7丁目	南千住7丁目	*	南千住7丁目		南千住7丁目		南千住7丁目		南千住7丁目	*
南千住8丁目	○	南千住8丁目	*	南千住8丁目	南千住8丁目	*	南千住8丁目		南千住8丁目		南千住8丁目		南千住8丁目	*
荒川2丁目	○	荒川2丁目	*	荒川2丁目	荒川2丁目		荒川2丁目		荒川2丁目		荒川2丁目		荒川2丁目	*
		荒川7丁目	*	荒川7丁目	荒川7丁目		荒川7丁目		荒川7丁目		荒川7丁目		荒川7丁目	*
		町屋3丁目	*	町屋3丁目	町屋3丁目		町屋3丁目		町屋3丁目		町屋3丁目		町屋3丁目	*
町屋5丁目	○	町屋5丁目	*	町屋5丁目	町屋5丁目		町屋5丁目		町屋5丁目		町屋5丁目		町屋5丁目	*
		東尾久3丁目	*	東尾久3丁目	東尾久3丁目		東尾久3丁目		東尾久3丁目		東尾久3丁目		東尾久3丁目	*
		東尾久6丁目	*	東尾久6丁目	東尾久6丁目	*	東尾久6丁目		東尾久6丁目		東尾久6丁目		東尾久6丁目	*
東尾久8丁目		東尾久8丁目	*	東尾久8丁目	東尾久8丁目		東尾久8丁目		東尾久8丁目		東尾久8丁目		東尾久8丁目	*
		西尾久2丁目	*	西尾久2丁目	西尾久2丁目		西尾久2丁目		西尾久2丁目		西尾久2丁目		西尾久2丁目	*
		西尾久5丁目	*	西尾久5丁目	西尾久5丁目		西尾久5丁目		西尾久5丁目		西尾久5丁目		西尾久5丁目	*
東日暮里6丁目	○	東日暮里6丁目	*	東日暮里6丁目	東日暮里6丁目		東日暮里6丁目		東日暮里6丁目		東日暮里6丁目		東日暮里6丁目	*
		西日暮里1丁目	*	西日暮里1丁目	西日暮里1丁目	*	西日暮里1丁目		西日暮里1丁目		西日暮里1丁目		西日暮里1丁目	*
西日暮里6丁目	○	西日暮里6丁目	*	西日暮里6丁目	西日暮里6丁目		西日暮里6丁目		西日暮里6丁目		西日暮里6丁目		西日暮里6丁目	*
重み付き 総費用	64,010	49,216		59,989	59,700		47,196		57,244		57,244		57,244	
(9)の総費用から の変化率 (%)		-23.1		-6.28	-6.73		-26.3		-10.6		-10.6		-10.6	

注) (16)施設数を10に拡大した場合(5つの図書館と5つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(階層性以外の制約なし)
 (17)施設数を10に拡大した場合(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)を固定し、これに下位階層として新たに3つの図書サービス・ステーションを最適に配置)
 (18)施設数を10に拡大した場合(5つの図書館を固定し、これに下位階層として新たに5つの図書サービス・ステーションを最適に配置)
 (19)施設数を13に拡大した場合(5つの図書館と8つの図書サービス・ステーション)の最適な配置(階層性以外の制約なし)
 (20)施設数を13に拡大した場合(5つの図書館と2つの図書サービス・ステーション)を固定し、これに下位階層として新たに6つの図書サービス・ステーションを最適に配置)
 (21)施設数を13に拡大した場合(5つの図書館を固定し、これに下位階層として新たに8つの図書サービス・ステーションを最適に配置)

a : 「ふれあい館」が設置されている立地点 (○)
 b : 既存施設の立地する立地点と境界を接する立地点 (*)
 c : 下線部のある立地点は図書館(上位階層)を、下線部なしの立地点はサービス・ステーション(下位階層)を意味する

一方後者は5つの上位階層のみを固定し、残りの5つの下位階層に関し最適な立地を求めたものである。既存の施設を前提とした拡張であるため、第5列・(16)と比べれば重み付き総費用の値の低下(効率性の改善)は小さく、それぞれ6%台に止まっている。

この傾向は、上位階層を5つにとどめる一方、下位階層の数をさらに3つ追加し、施設数を全部で13にまで拡張させた場合でも変わらない。既存施設とのつながりを考慮せず最適立地を求めた場合、重み付き総費用は26.3%も低下する(第10列・(19))。しかしここでも既存の施設と立地点および機能に関し一致するものが皆無であるため、施設を拡張するならば、既存の施設を活用するのが現実的な選択となる。既存の7施設を前提とする場合と、上位階層の5施設のみを前提とする場合、それぞれの結果が第12列・(20)と第14列・(21)にある。両者は偶然にも一致し、既存の施設配置(第2列・(9))と比べ重み付き総費用の値は10.6%の低下を示すに止まっている。

以上の分析から次の結果が明らかとなった：

- ・階層性のもとで既存の施設とのつながりを考慮せず、施設数を現状の7から10、さらに13にまで拡張させた場合、重み付き総費用は23%～26%低下する(施設数の増加は、効率性の大幅な改善をもたらす)
- ・しかし既存施設とのつながりを意識し、上位階層や下位階層の一部の施設を既存のそれに関連付けた場合、重み付き総費用の低下は7%～11%程度に止まる(施設数を増加させたとしても、既存施設の活用を前提とすれば、効率性の改善は鈍化する)

4-3 計算結果の現実的展開

4-1節と4-2節では、荒川区の区立図書館に関する最適立地を導出した。その結果、既存施設の活用を考慮すれば、現行の施設配置ネットワークにそれなりの最適性があることがわかった。したがって今後の荒川区における区立図書館ネットワークの方向性を考えるならば、既存の施設活用という意味での現状維持が最善の選択肢であり、その一方施設の単純な削減は最悪の選択肢となることがわかった。しかし2-2節で述べた公共図書館の新たな役割を重視するのであれば、施設の拡張という方向も最善ではないものの、それなりの意義があると考えられる。そこで本節では、施設を拡張させるとした場合に直面する問題点とその解決策について言及した。

施設の数を経験の7施設の体制から10施設、13施設へ拡張しようとするれば、現実的に1つの困難に直面する。用地の確保という問題がそれである。荒川区は23区内で、中央区(10.08km²)、台東区(10.18km²)に続く面積の小さい区(10.20km²)であるため、施設の新設や建替えの用地を見つけるのが容易でない。このため施設の拡張を図ろうとするれば、否が応でも限られた土地の有効活用

が必要となってくる。³²⁾

ではそれをどのように実行すればよいのか？ 1つの方法としては、既存の施設を複合的・多機能的に使用するやり方が考えられる。³³⁾ 1つの建物に複数の施設を設置したり、複数の機能を持たせることによって、少ない土地を有効に活用しようとするものである。

幸い荒川区には、施設の複合的・多機能的利用を実現できる基盤がある。同区には、子供・高齢者・社会教育といった様々な目的に利用可能で、一種の公民館として機能する「ふれあい館」と呼ばれる施設が既に稼働している。³⁴⁾ このような施設を拡張し、図書サービス・ステーションの機能を付け加えれば、図書館施設の拡張は困難ではない。またこのような複合的・多機能的な拡張は、2-2節で取り上げた「人々が集い賑わう場所」、「地域コミュニティの拠点」という図書館の将来像に沿う展開となり得る。

こういった展開の可能性を示したものが、表6・表7の第3列に記されている。同列は各分析で最適立地として選ばれた立地点に上記の「ふれあい館」が有るか否かを示したものである。最適立地に選ばれた立地点のうち、既存の立地以外で選ばれ、かつ「ふれあい館」がある場所は全部で6つあり、そのうち4つが図書サービス・ステーションの立地点として選出されている（南千住7丁目、荒川7丁目、町屋6丁目、東日暮里3丁目）。この結果を踏まえれば、「ふれあい館」を舞台にした複合化・多機能化による拡張は十分に実行可能といえる。

5. 結語

本論文は荒川区の区立図書館を取り上げ、人口減少・少子高齢化社会における公共施設再編のあり方を施設配置の空間的最適性に注目して分析を行った。東京都23区において、荒川区が2045年までに人口総数および年齢別の人口構成に大きな変化がない点に着目し、現状の施設配置の最適性のみならず、施設数を削減・増加させた場合についても考察した。その結果、以下のような結果が明らかとなった：

- ・モデルから計算された最適な施設配置を既存のそれと比較した場合、重み付き総費用で測った効率性は10%以上改善される一方、既存の施設の一部を活用した場合、効率性の改善は一桁台に落ち込む
- ・現在の人口分布（登録者人口）を前提とした上で施設を削減したならば、現行の施設配置と比

32) 荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」, pp.22-23.

33) 足立区「足立区公共施設等総合管理計画」, p.23.

34) 現在13館、将来的には20館の整備が目標となっている（荒川区「荒川区公共施設等総合管理計画」, p.21）.

べ立地ネットワークの効率性は10%~90%と大幅に悪化する

- ・施設の階層性を考慮したもとその数を増加させた場合、重み付き総費用で測った効率性は20%以上改善される一方、既存の施設の一部を活用した場合、効率性の改善は10%前後に落ち込む
- ・図書館の数を現行の水準とする一方、図書サービス・ステーションの数を増やすことを通じて住民の利便性を図るならば、「ふれあい館」などの他の公共施設の活用が有望である

しかし本論文の分析には以下のような改善すべき点もある。まず分析対象を拡大せねばならない点だ。本論文は公共施設の再編プロセスの一部分である立地の最適化に焦点を絞って分析を行った。結果に説得力を持たせるため、今回、分析対象として将来の人口構造に大きな変動のない荒川区を選んだ。しかし日本社会全体の趨勢は人口の大幅な減少と急激な少子高齢化である。この点を重視すれば、人口構造が大きく変わる地域、例えば足立区や中央区などを対象とした分析が必要となつてこよう。³⁵⁾

さらに分析対象のみならず立地分析という観点や図書館という施設に関してもその拡大が求められる。立地分析を再編プロセスの他の段階と関連付けることができれば、再編全体から見た最適性の精度は向上するであろう。また図書館という1種類の施設のみならず他の異なる機能を持った施設と組み合わせて最適化を図ることで、同じように再編全体から見た最適性の精度の向上が期待できよう。³⁶⁾

一方、分析の頑健性に関しても改善の余地がある。今回は施設配置モデルの1つである「p-メディアン問題」を用いた分析を行った。しかし同じ対象を異なる最適性の基準から分析することで結果の頑健性を確認するという点を重視するのであれば、その他のモデル（「被覆問題」, 「最大被覆問題」, 「p-センター問題」）による分析も必要となつてこよう。³⁷⁾

以上の改善点が今後の課題であるといえる。

35) この分析を実行するには、人口が将来大きく変動するような地域の需要量データ（例 人口）の作成が重要となってくる。例えば足立区や中央区といった地域を分析対象とするのであれば、区のレベルのみならず、区内のさらに細かい地区ごとの需要量データ（例 人口）が必要となつてこよう。

36) ただし2-1節でも言及したように、こういった方向での分析の拡大は容易ではない。しかし「多目的最適化（Multiobjective Problems）」の活用が解決の糸口となるかもしれない。多目的最適化に関しては、短いDaskin [2013], pp.362-375に有益な情報がある。

37) 被覆問題, 最大被覆問題, およびp-センター問題の階層化については, Bastani and Kazemzadeh [2009]が参考になる。

参考文献

邦文文献

加藤直樹 [2007], 『数理計画法』, コロナ社.

貞広幸雄・岩本晃一 [2011], “配置規定要因分析に基づく施設配置計画立案支援”, GIS-理論と応用, vol.19 (1), pp.37-46.

時任美月・西野辰哉 [2018], “中長期的な児童数の将来推計に基づく小学校の統廃合シミュレーション”, 日本建築学会技術報告集, vol.24 (57), pp.763-768.

西野辰哉 [2015], “先行自治体による公共施設再編計画の構成と内容に関する考察”, 日本建築学会計画系論文集, vol.80 (714), pp.1775-1785.

日本建築学会編 [2016], 『公共施設の再編』, 森北出版株式会社.

宮脇淳 [2009], 『自治体戦略の思考と財政健全化』, ぎょうせい.

欧文文献

Bastani, S., and N. Kazemzadeh. [2009], “ Hierarchical Location Problem”, in Farahani, R. Z., and M. Hekmatfar (eds), *Facility Location*, Dordrecht, Heidelberg, London and New York : Physica - Verlag, pp.219-241.

Daskin, M. S. [2013], *Network and Discrete Location : Models, Algorithms, and Applications*, second edition, New York : Wiley Interscience.

Farahani, R. Z., and M. Hekmatfar (eds). [2009], *Facility Location*, Dordrecht, Heidelberg, London and New York : Physica - Verlag.

Jamshidi, M. [2009], “ Median Location Problem”, in Farahani, R. Z. , and M. Hekmatfar (eds), *Facility Location*, Dordrecht, Heidelberg, London and New York : Physica - Verlag, pp.177-191.

e-references

邦文

足立区, 「足立区公共施設等総合管理計画」(2018年12月6日訂正) :

<https://www.city.adachi.tokyo.jp/zaisan/documents/kannrikeikaku.pdf> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「荒川区子ども読書活動推進計画(第三次)」(2016年10月1日更新) :

<https://www.city.arakawa.tokyo.jp/kusei/kouso/keikaku/dokusho3rd.files/keikaku3rd.pdf> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「尾久地区公共施設の更新に伴う新保育園及び新図書館の建設に関する説明会」(2017年2月21日) :

<https://www.city.arakawa.tokyo.jp/kusei/kouso/keikaku/miyamaetamatuki.files/290221siryou.pdf> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「荒川区公共施設等総合管理計画」(2017年3月31日更新) :

<https://www.city.arakawa.tokyo.jp/kusei/kouso/keikaku/sougoukanri.files/sougoukannrikeikaku.pdf> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「荒川区の図書館 令和元年(平成30年度事業概要)」(2019年9月更新) :

<https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?idSubTop=1&id=1529> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「南千住図書館」:<https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1237&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「ゆいの森あらかわ」:<https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1248&idSubTop=1> /

(2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「町屋図書館」: <https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1243&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「尾久図書館」: <https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1242&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「日暮里図書館」: <https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1244&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「汐入図書SS (南千住図書館の分室)」: <https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1245&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

荒川区, 「冠新道図書SS (日暮里図書館の分室)」: <https://www.library.city.arakawa.tokyo.jp/viewer/info.html?id=1246&idSubTop=1> / (2019年10月25日閲覧)

国土交通省国土政策局国土情報課, 「位置参照情報ダウンロードサービス」:

http://nlftp.mlit.go.jp/cgi-bin/isj/dls/_choose_method.cgi / (2019年10月25日閲覧)

国土交通省国土地理院, 「距離と方位角の計算」: <https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.ht> / (2019年10月25日閲覧)

国立社会保障・人口問題研究所, 「日本の将来人口推計 (平成29年推計) 「結果の概要」掲載表」:

http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/db_zenkoku2017/db_zenkoku2017gaiyo.html / (2019年10月25日閲覧)

国立社会保障・人口問題研究所, 「日本の地域別将来人口推計 (平成30 (2018) 年推計)」:

<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/t-page.asp> / (2019年10月25日閲覧)

総務省, 「公共施設等総合管理計画の策定にあたっての指針 (平成26年4月22日)」:

http://www.soumu.go.jp/main_content/000287574.pdf / (2019年10月25日閲覧)

欧文

D. Cohen. [2019], “The Books of College Libraries are Turning into Wallpaper”, *The Atlantic*: <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2019/05/college-students-arent-checking-out-books/590305/> (2019年11月29日閲覧)

A. Krueger. [2019], “Where Libraries are the Tourist Attractions”, *The New York Times*: <https://www.nytimes.com/2019/08/10/travel/libraries-are-the-tourist-attractions.html/> (2019年11月29日閲覧)

T. Rogers. [2018], “Helsinki’s New Library Has 3-D Printers and Power Tools. (And Some Books, Too.)”, *The New York Times*: <https://www.nytimes.com/2018/12/06/arts/design/helsinki-library-oodi.html/> (2019年11月29日閲覧)