

卒業研究

地域のつながりを考慮した投票区割モデルの提案と評価

文教大学

情報学部経営情報学科

根本研究室 17 期生

B1P21096 中根 大貴

概要

総人口の減少や都市部への人口集中，地方での過疎化進行など人口分布の変化に伴い自治体では投票所および投票区割の再編が検討されている．その再編では有権者の利便性，運営者の効率性，地域のつながりが主な基準と設定されることが多い．しかしながら，投票所配置や投票区割に対する既存の数理モデルは有権者の移動距離や投票区数などの有権者の利便性と運営者の効率性を重視した評価観点から設計されており，地域のつながりへの考慮が欠落しているとの課題がある．そこで本論文では地域のつながりの表現のひとつである小学校区と投票区との持つ類似性に着目し，小学校区を考慮した投票区割モデル（学区ベースモデル）を既存の数理モデルの拡張として設計し，それを有権者の利便性，運営者の効率性，そして，地域のつながりへの考慮との3つの評価軸でバランスを取れた投票区数，投票区割，そして，投票所の配置を提案する数理的なアプローチを提案する．さらに，三重県四日市市を題材に提案した数理的アプローチを実装し，その有効性を示す．

目次

1章	はじめに	1
2章	投票区割と投票所	2
3章	地域のつながりを考慮した投票区割モデルの提案	3
3.1章	投票区割モデルへの地域のつながりの導入	3
3.2章	学区ベースモデル	4
3.3章	学区ベースモデルを用いたバランスの良い投票区割の提示	6
4章	学区ベースモデルの実装と考察	7
4.1章	現状分析	7
4.2章	現状区割の定量分析	8
4.3章	バランスの取れた投票区割の提示	10
4.4章	受入有権者数制約付き学区ベースモデル	13
5章	まとめ	18

謝辞

参考文献

付録

付表1：各自治体における投票区割の特徴的な基準と学区への考慮の要望

付表2：地域のつながりの表現

付表3：四日市市での学区ベースモデル(p, α)実験結果(1)

付表4：四日市市での学区ベースモデル(p, α)実験結果(2)

付表5：各自治体における投票所の受入有権者数の基準

地域のつながりを考慮した投票区割モデルの提案と評価¹

中根大貴

1章 はじめに

国政選挙や地方選挙など様々な選挙は自治体の選挙管理委員会が投票所やその投票所を利用する地域である投票区を設けて実施される。有権者の利便性を考慮し投票所や投票区は設定されるが、その有権者の居住分布が人口減少や都市への人口集中、地方での過疎化進行などにより変化し、それに合わせた投票区や投票所の再編を検討せざるを得ない自治体が増えている。たとえば、平成13年参議院選挙では53,439箇所あった投票所数が、平成26年衆議院選挙時には48,620箇所へと13年間で約9%減少している²。自治体の選挙運営費用に対する効率化も求められる中で投票所数の減少はやむをえないであろう。投票所数が減少する一方で、有権者が居住する地域範囲に大きな変化がないので、結果的に有権者が投票のために移動する距離の増加が起きている。特に地方過疎地域における投票所までの遠距離化は投票機会の保証の面から問題になっている。

この投票所までの遠距離化の問題は一部の自治体のみの問題ではない。例えば、投票所への移動は必ずしも徒歩だけではなく、実際には多少遠い場合は自転車や自動車等の利用もあることを考慮すると投票所までの距離の増加に対する考慮の優先度は低いと考えられるかもしれない。しかしながら、Haspel・Knotts[7]の実証研究によると、車を利用できる場合を想定しても投票所までの距離と投票率の間には有意な相関があることが確認されている。また、坂口・和田[4]によると投票所までの徒歩圏率が高いほど投票率が高くなる関係が報告されている。つまり、投票率の向上などを期待し有権者の投票行動をできる限り促すためには有権者の移動距離を短縮する投票所と投票区割の設計がいずれの自治体においても重要といえる。

選挙参加を促すために重要な投票区や投票所の設計・再編に関する法的な制約は特に存在せず、選挙管理委員会の専権事項となっている。専権事項といっても、地域住民の理解を得るためにも投票区再編を検討する際には、地域の状況に合わせた再編の基準を独自に定めスムーズな議決に向け手続きを踏むケースがほとんどである。その基準検討の中では「投票区の地形及び交通の利便等地域の特性を考慮の下で、(1)投票所から選挙人の住所までの道程は3km以内、(2)投票区内の有権者数は3000人程度とする」などが示されている投票区割の増設についての通知（昭和44年5月15日付の自治省選挙部長通知）が参照されることが多い。有権者の利便性や運営者の効率性が投票区割での評価軸として扱われていると考えられる。

ところで、投票区割再編の検討の様子を文書等で公開している自治体の議論を眺めると、有権者の利便性や運営者の効率性に加えて地域のつながりの考慮を含める選挙管理委員会が多く観察される。たとえば、大阪府箕面市、島根県松江市、兵庫県姫路市など25自治体の選挙管理委員会での基準には地域のつながり(地域コミュニティ、地理的な条件など)の記述が見られ、投票区再編に対する住民からのパブリックコメントでも同様に住民からの地域のつながりへの要望がある(付表1参照)。また地域のつながりの強さが投票率と相関関係があるとの森岡[6]の結果に鑑みると、投票区再編に地域のつながりへの考慮を求める要望は投票行動を促す策としても妥

¹ 本卒業研究論文は中根・根本「小学校区を考慮した投票区割を導く数理的アプローチ」経営論集 Vol.1(2015)を基に作成された。

² 読売新聞 2014年12月6日夕刊1ページ。

当といえる。投票区割においては、有権者の利便性と運営者の効率性に加え、地域のつながりへの考慮との3つの観点からのバランスが求められていると捉えられる。

地域のつながりへの考慮とはあいまいで投票区割の良し悪しの評価を定量的に行うのは難しい。しかし、その一方で有権者の利便性と運営者の効率性は定量的に扱いやすい指標で評価できる。そこで、有権者の利便性と運営者の効率性の観点を扱った投票区割や投票所の配置に対してオペレーションズ・リサーチでの施設配置問題を応用した既存モデルが存在する。例えば、ある地域の有権者分布、投票所候補施設、投票所数(p 箇所)を所与とし、有権者と投票所の距離の評価の観点により以下の2種が良く利用される[2]。

- p メディアンモデル (平均移動距離最小型) : 有権者が投票所に向かう平均移動距離を最小化する投票所配置を求める。
- p センターモデル (最遠移動距離最小型) : 有権者が投票所に向かう最遠距離を最小化する投票所配置を求める。

ここで、投票所は投票区に1箇所なので、 p は投票区数でもある。これらの数理モデルを実装し投票区数(p)を適切な範囲で変化させながら最適値の変化を観察することで、有権者の利便性と運営者の効率性のバランスが取れた投票区数と投票所の配置を検討することが可能である。

これらの基本的モデルをさらに工夫し投票区割や投票所配置の評価や再編に対する数理的アプローチの研究がいくつか提案されてきた。例えば、鈴木[5]は施設の増設と廃止を同時に扱う数理モデルを提案する中で投票所の統廃合への適用を通じてその有効性を提示した。久保田・根本[1]は期日前投票所を対象に有権者の利便性と運営者の効率性の定量分析を三重県四日市市に対して試みた。また、小西・村田・名取[3]は施設配置とシミュレーションを通じて有効な投票所数とその配置の導出法を提案している。しかしながら既存研究では、投票区の再編議論の中で要求されている地域のつながりへの考慮について扱ってはいない。そこで本論文では地域のつながりの考慮を含めた投票区割そして投票所配置を導く数理的な手法の提案を目指したい。

本論文の構成は次の通りであり。まず、2章では投票区割や投票所配置のモデル化に必要な情報を整理する。3章では、投票区割における地域のつながりの扱い方を検討し、既存モデルに地域のつながりを小学校区への考慮という形式で導入し、地域のつながりを考慮した投票区割モデルを提案する。その後、4章では三重県四日市を題材に提案手法を実装しその有効性を示す。さいごに5章でまとめと今後の課題について触れたい。

2章 投票区割と投票所

ここでははじめに国政・地方選挙が実施される際に市区町村内にて設定される投票区割と投票所配置のモデル化に必要な主な情報を整理したい。

まず、1名または複数の議員を選出する選挙を行う基盤となる区域を選挙区と呼ぶ。単独または複数の自治体で選挙区を構成することが多い。その選挙区では複数の投票所が設けられるが、各投票所を利用する有権者の区域を投票区と呼ぶ。公職選挙法17条により投票区は市区町村内で設定されるとされ、市区町村を跨ぐ投票区の設定を考慮する必要はないので投票区の設定は市区町村内の区域分割と捉えて良い。

公職選挙法により投票区割や投票所配置は市区町村の選挙管理委員会が定める事項とされる。

その設定に対する法的な制約や基準は特にないため、市区町村の選挙管理委員会が判断し設定している。投票所については安全な投票が保証できる場所を選定することが望まれており、学校や地域コミュニティセンターなどの公的な施設が使用されることが多い。投票所として施設を建設することは現実的ではなく、投票所として利用可能な既存施設を投票所候補施設とし、その中からどこを選択し投票所と定めるかが投票所配置の問題と捉えられる。また、投票区割についても運営上の都合から、行政上の小地域とされる町丁目をさらに細分化することは避け、いくつかの町丁目が集まりひとつの投票区を構成することが多い。つまり、投票区割と投票所配置の問題は次の2つの制約にまとめられる。

【制約 1】 町丁目を地域単位の最小要素とし、いくつかの町丁目で投票区を構成する。

【制約 2】 投票所は投票所候補施設の中から選ぶ。

もちろん、ひとつの投票区に割り当てられる有権者数の過多・過少や、有権者数と投票所施設の収容人数や駐輪・駐車場スペースとの関係など他にも現実には制約としてさらに考慮すべき点はあるだろう。ただし今回は地域のつながりの考慮の導入が主題であり、この点に注視した単純な設定での数理的なアプローチを試みたい。

3章 地域のつながりを考慮した投票区割モデルの提案

投票区割の導出において、有権者の利便性と運営者の効率性を定量的に分析するには、オペレーションズ・リサーチにて用いられている既存の施設配置モデルの応用が有効である。ここではこの既存モデルに地域のつながりを考慮する枠組みを導入したい。そのためにまず、投票区割において地域のつながりの考慮の扱い方を検討する。次に、既存の施設配置モデルに地域のつながりの表現のひとつである小学校区の情報を導入し、地域のつながりを考慮した投票区割モデルを提案する。さいごにその投票区割モデルが導く最適解を利用し、適切な投票区数、そして、投票区割と投票所配置を導く数理的アプローチの枠組みを提案する。

3.1 投票区割モデルへの地域のつながりの導入

投票区割の検討においては、1章で述べたように、有権者も選挙管理委員会も地域のつながりを考慮することを望んでいる。しかし地域のつながりとは何であるか。内閣府発行平成19年度国民生活白書³が取り上げた「第2章 地域のつながり」の分析を参考にすると地域のつながりの姿が見えてくる。白書によると地域のつながりは、「人々に安心感や充実感を与えるとともに、地域力の向上を通じて地域住民の生活の質を高めるもの」とされている。また地域のつながりとして表現される現象としては第一に「居住し生活することで生まれるつながり」である近隣をつながり、第二に町内会・自治会・学区といった「地縁組織への参加」、第三にボランティア団体やNPOなど「特定の目的を果たすために設立された組織に参加」の大きく3区分に整理し分析を試みている。その中で具体的な地域のつながりの表現として近所付き合いやPTA活動、老人クラブ、ボランティア活動などをいくつか明示している。いずれも、地域のつながりへの考慮に資するつながりの表現であった。これらすべてを何らかの方法で数値化し、町丁目間のつながりを定量化する方法でのアプローチが考えられる。しかし、市区町村間の地域構造分析などある程

³ 内閣府 <http://www5.cao.go.jp/seikatsu/whitepaper/>

度大きな地域間のつながりを示す手法はあるが、小地域である町丁目間で同様の構造分析を行うのはデータ収集の困難性が壁になると考える。またもし理論的に可能になったとしても、その実行は費用面から容易ではないだろう。

そこで次に、投票区割で地域のつながりを考慮する簡易的に実現可能な方法を検討したい。まず素朴な投票区割における簡易的な地域のつながりの表現のひとつは、飛び地が生じない区割が挙げられる。しかし、投票区割での地域つながりへの考慮は地勢的な連結性より人的なつながりを求めていると考えられる。そこで、いくつかの町丁目を集めて構成する際に有用であり、かつ、市区町村を網羅している表現を平成 19 年度国民生活白書で探してみたところ、学区との表現が残った（付表 2 参照）。学区とは公立学校への通学を目的とした教育上の地域区割である。学区でも、小学校区や中学校区などが存在するが、文科省が示す各学校の設置基準⁴を確認したところ、前述した投票区設置の基準と親和性が高いのは許容する最遠距離の点で小学校区であることが確認できた（表 1 参照）。しかし施設の容量の観点では投票区割が有権者を対象としているのに対し、小学校では児童、中学校では生徒を対象としており、また容量にも差があることから、投票区割への対応には少し疑問が残るだろう。しかし総務省統計局の平成 25 年 10 月 1 日時点での人口推計では小学生や中学生を含む未成年は約 18%⁵と示しており、これは有権者と児童及び生徒はおおよそ 6 : 1 の関係であり、有権者 3000 人の地域では児童及び生徒 500 人と簡易的に読み取ることができる。

このように投票区割と小学校区は設定の基準面で類似性が高く、投票区割に対応させる「地域のつながり」を示す基準として適切であるといえる。また、その小学校区とのズレの具合で地域のつながりの考慮の度合いも簡易的に計測可能であり、技術面の上でも適切な表現と判断した。また現実問題として学区を投票区割に対応させてほしいとの地域住民からの要望の声が挙げられていることや、地域のつながりの強さと選挙における投票率に相関関係があることを示した森岡 [6]でも学区を地域のつながりのかたまりと見て調査をおこなっており、学区を投票区割に対応させることは妥当であると判断できる。

表 1: 投票区設置と小学校及び中学校設置の主な基準の比較

	投票区増設の基準	小学校設置の基準	中学校設置の基準
最小単位	町丁目原則	町丁目原則	町丁目原則
区割域	市区町村内全域	市区町村内全域	市区町村内全域
最遠距離	3 km以内	4 km以内	6 km以内
施設の容量	有権者 3000 人を 目安	児童 480~960 人を 目安	生徒 480~960 人を 目安

3.2 学区ベースモデル

ここでは投票区割に求められている「地域のつながりへの考慮」を「小学校区への考慮」で簡

⁴ 学校設置基準 http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kijyun/index.htm

⁵ 総務省統計局人口推計 <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2013np/>

易的に代替し、小学校区への考慮度合いを既存の投票区割モデルに導入し拡張した最適化モデルを提案する。ここではこの既存モデルを拡張した投票区割モデルを学区ベースモデルと呼ぶこととする。

まず、小学校区の考慮度合いを示す数値として0~1の数値を持つ学区考慮度 α を導入する。この学区考慮度は、 $\alpha=0$ が学区を考慮しない投票区割（既存モデル）、一方、 $\alpha=1$ が学区内で投票区割をおこなう（学区をまたぐ投票区は設定しない）。その間の数値の大小により学区への考慮の度合いを示す。既存モデルにこの学区考慮度 α を以下のように導入し学区ベースモデルとする。なお、ここでは小学校学区数以上の投票区を設定すると仮定する。

学区ベースモデル(p, α) ※ p -メディアンモデルを基盤

■ 入力

K : 小学校区の集合.

$I_k (k \in K)$: 学区に属する町丁目の集合, $I = \bigcup_{k \in K} I_k$.

$J_k (k \in K)$: 学区に属する投票所候補点の集合, $J = \bigcup_{k \in K} J_k$.

w_i : 町丁目 i の有権者数.

d_{ij} : 町丁目 i の代表点と投票所候補点 j 間の直線距離.

■ 変数

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{(町丁目 } i \text{ は投票所候補点 } j \text{ を利用する)} \\ 0 & \text{(町丁目 } i \text{ は投票所候補点 } j \text{ を利用しない)} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{(投票所候補点 } j \text{ を設置する)} \\ 0 & \text{(投票所候補点 } j \text{ を設置しない)} \end{cases}$$

■ パラメータ

$\alpha \in [0,1]$: 学区考慮度.

p : 投票区数, $p \geq |K|$ と仮定する.

■ 定式化

$$\text{Minimize } \frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \left\{ \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I_k} \sum_{j \in J_k} w_i d_{ij} x_{ij} + (1 + \alpha M_1) \sum_{i \in I_k} \sum_{j \notin J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \right) \right\}$$

$$\text{subject to } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad (i \in I),$$

$$\sum_{i \in I} y_j = p,$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq M_2 y_j \quad (j \in J),$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i \in I, j \in J),$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (j \in J).$$

ここで M_1 は $\alpha=1$ と設定した上の定式化で、小学校区をまたぐ投票区が出現しない最適解を導く最小の正の数とする。また M_2 は $|I|$ より大きい数とする。 M_2 が用いられた制約式については、 $x_{ij} \leq y_j (i \in I, j \in J)$ と置き換え M_2 を用いずに表現することも可能である。

ところで目的関数は学区外の投票所候補点に割当てられた場合は、

$\frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \{ \alpha M_1 \sum_{i \in I_k} \sum_{j \notin J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \}$ だけ目的関数値が増加されるペナルティが追加されていると解釈できる。そこで、ここでは $\frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \{ \alpha M_1 \sum_{i \in I_k} \sum_{j \notin J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \}$ をペナルティ値として以後呼ぶこととする。

一般的に M_1 の設定は容易ではない。ここでは要件を満たす整数を発見的に探索し、それを簡易的に用いることで困難性を回避した。なお、ここでは p -メディアンを基盤として定式化を示したが、 p -センターモデルを基盤とした定式化や、他の既存の定式化に学区考慮度を目的関数のペナルティとして導入することで同様に定式化が可能である。

3.3 学区ベースモデルを用いたバランスの良い投票区割の提示

ここでは学区ベースモデルを用いて有権者の利便性、運営者の効率性、地域のつながりへの考慮の3つの観点からバランスの良い投票区割の提示法を提案する。

まず、区割の評価軸について明らかにしたい。既存モデルでは有権者の利便性は主に有権者の平均移動距離で、運営者の効率性は投票区数から評価していた。ここでもそれらを用いる。地域のつながりへの考慮は、ここでは小学校区への考慮に代替しており、次の学区内割当率が適切と考える。

$$\text{学区内割当率} = \frac{\text{学区内投票所を利用する町丁目数}}{\text{全町丁目数}}$$

この学区内割当率は、すべての投票区が小学校区内にて区割された場合に100%となる。

つぎに、現状の投票区割再編を目的としたバランスの良い投票区割を導出する4段階の手順を示す。

<1> 準備

[現状区割の確認] 現状の投票区割での平均移動距離、学区内割当率を計測する。

[現投票区数 U での限界確認] 現状の投票区数 U 、 $\alpha=0$ で、学区ベースモデル($U,0$)の最適解と、そのときの平均移動距離 DL を導出する。

<2> 区割候補の列挙

[学区ベースモデル(p,α)の実行] 投票区数 p と学区考慮度 α を適当に複数定め、各学区ベースモデル(p,α)の最適解とその時の平均移動距離 d 、学区内割当率 r を求める。(ここで、 p は小学校数 L と現投票区数 U の間で検討したい投票区数の候補を何通りか、 α は $0.1 \sim 0.2$ 刻み程度で何通りか設定する。)

<3> 投票区割の絞り込み

投票区割として許容する平均移動距離の上限値 DU を現状区割の平均移動距離以下の値で、同様に、学区内割当率の下限値 RL を現状区割での学区内割当率以上の値で適切に設定する。各投票区割候補の平均移動距離 d と学区内割当率 r を参照し、 $d \leq DU$ 、 $r \geq RL$ を満たす投票区割を候補として絞り込む。(DU と RL の設定が難しい場合は、現状区割での平均移動距離を上限値 DU 、学区内割当率を下限値 RL と設定する。)

<4> 提案区割の選択

[数値の正規化] 絞り込んだ投票区割の区数 p と平均移動距離 d を次の式で 0 以上 1 以下の値である p^* , d^* に変換する.

$$p^* = (\text{区数 } p - \text{小学校数 } L) / (\text{現投票区数 } U - \text{小学校数 } L)$$

$$d^* = (\text{平均移動距離 } d - DL) / (DU - DL)$$

[評価指標] 絞り込んだ投票区割ごとに評価指標 $(p^*)^2 + (d^*)^2$ を計算し, その値が最小の投票区割を提示する.

ここで示した手順で得られる提案区割は, 平均移動距離, 投票区数, 学区内割当率のいずれの面からも現状より良いかまたは同等の投票区割を提示する.

手順<4>では修正された原点からの距離を計測し, もっとも距離が小さい区割案を選択しているが他の指針も考えられる. たとえば, 現区割数 U と現区割での平均移動距離を修正された原点と定め, そこからの距離が大きい (現状より改善幅が大きい) 区割案選択も可能だろう. また, 意思決定手法における AHP などを利用し選択方針を検討することも可能であろう.

4章 学区ベースモデルの実装と考察

ここでは 3 章にて提案した学区ベースモデルと投票区再編案を提示する数理的アプローチを三重県四日市市の投票区に実装し, その結果を元に提案モデルの有効性を考察したい.

4.1 現状分析

まずは実装の対象とした三重県四日市市の投票区割の現状を確認する. 四日市市の投票区割及び投票所に関する基本データは以下の通りである.

- 有権者数 247,199 人 (平成 22 年国勢調査時)
- 投票区・投票所数 61 箇所 (平成 24 年第 46 回衆院議員総選挙時)
- 町丁目数 545 箇所 (図 1)
- 投票所候補点数 141 点 (図 2)

ここで町丁目は平成 22 年国勢調査にて用いられた小地域を基に, 飛び地が存在する場合はそれらを各小地域に再設定し使用した. 投票所候補点は平成 24 年 8 月に四日市市選挙管理委員会から提供された投票所候補施設に現在使用されている施設を加えて設定した. 学区ベースモデルの実装では有権者の居住地から投票所までの距離の入力が必要である. ここでは, 町丁目の代表点にその町丁目の有権者は居住すると仮定し, 有権者の移動距離は町丁目の代表点座標から投票所候補点座標への直線距離をヒュベニの公式⁶を用いて算出した.

次に現在の投票区割と投票所の配置を図 3 で示す. 現在の投票区割での有権者 1 人あたりの平均移動距離は 677.5m, 最遠距離は 3897m と観察できた. また, 現状の投票区割で学区外の投票所に割り当てられている町丁目は 545 町丁目中 49 町丁目で, 学区内割当率は 91.0% と計測できた.

次に, 四日市市の小学校区を図 4 に示す. 学区の一覧は各自治体教育委員会の WEB ページま

⁶カシミール 3D ヒュベニの公式 http://www.kashmir3d.com/kash/manual/std_siki.htm

たは、国土交通省国土政策局国土情報課のWEB ページ国土数値情報ダウンロードサービス⁷が提供している小学校区・中学校区のGIS データから入手できる。四日市市では公立小学校 40 校設置し、それぞれ学区を設定している⁸。この小学校区を投票区、小学校を投票所と仮定した場合、有権者 1 人あたりの平均移動距離は 856.5m、最遠距離は 3897m であった。ここで小学校区の区数は 40、現状の投票区割は 61 と数に差がある点に留意したい。また投票所と仮定した小学校のうち 10 校は投票所候補点には含まれていなかった。



図 1: 四日市市の町丁目

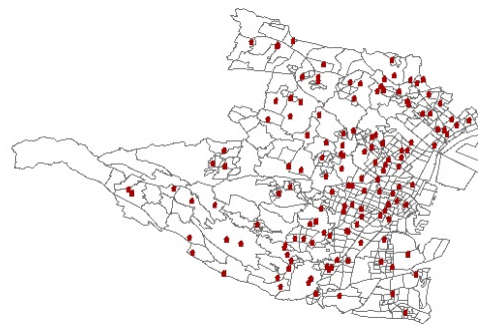


図 2: 四日市市の投票所候補点

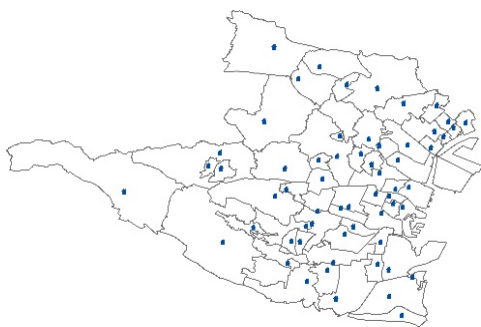


図 3: 四日市市の現状区割

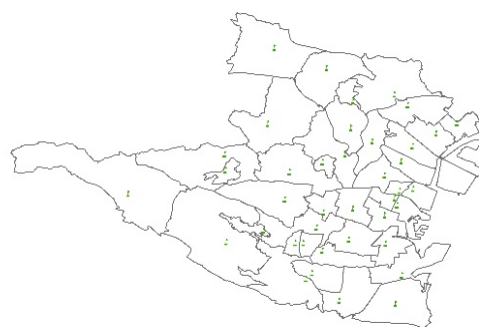


図 4: 四日市市の小学校と学区

4.2 現状区割の定量分析

ここでは 3.3 章での手順<1>として、投票区数 61 で学区ベースモデルを実装する。学区ベースモデルの最適解導出は PC (CPU : AMD Phenom II X6 1065T, メモリ : 8GB) 上で最適化ソルバー IBM CPLEX12.6 を使用した。

まず現状の 61 投票区数で学区を考慮しない状態での平均移動距離の最小化 (p メディアンモデル) の最適解を導出した。その時の有権者 1 人あたりの平均移動距離 532.3m と現状より約 145m 短縮し投票区再編が可能であり、現状の投票区割が有権者の移動距離の点からは改善の余地があることを示している。また最遠距離の最小化 (p センターモデル) も試みた。その結果、図 5 の通り西南端の水沢地区には投票所候補点が少ないことから最遠距離短縮にはボトルネックが存在することが確認できた。そのため四日市市においては、平均移動距離の最小化 (p メディアンモデル) のみを扱うこととする。

⁷国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

⁸四日市市教育委員会 http://www.city.yokkaichi.mie.jp/kyouiku/joho/tsugaku_kuiki.html

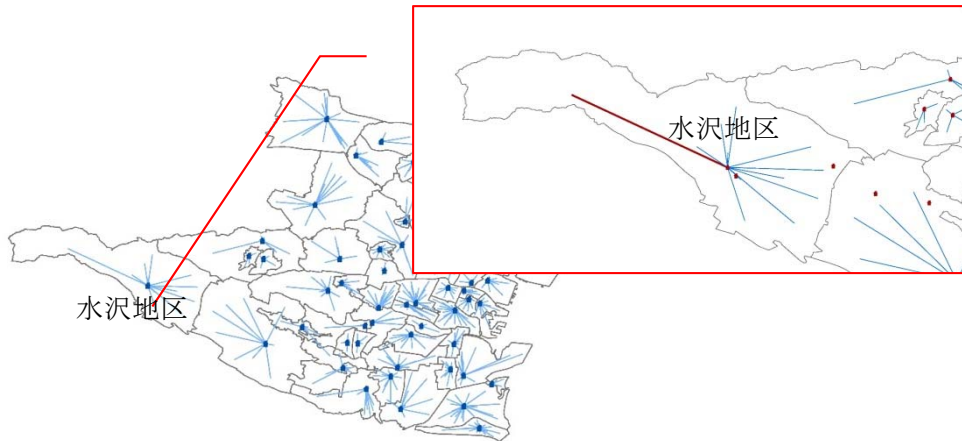


図 5: 水沢地区と最近隣投票所候補点

次に、投票区数(p)を現区数 61 から変化させ、投票区数と有権者 1 人あたりの平均移動距離の関係を概観したい。図 6 はその結果と現状区割、そして小学校区を投票区として設定した場合の投票区数と有権者 1 人あたりの平均移動距離を示している。

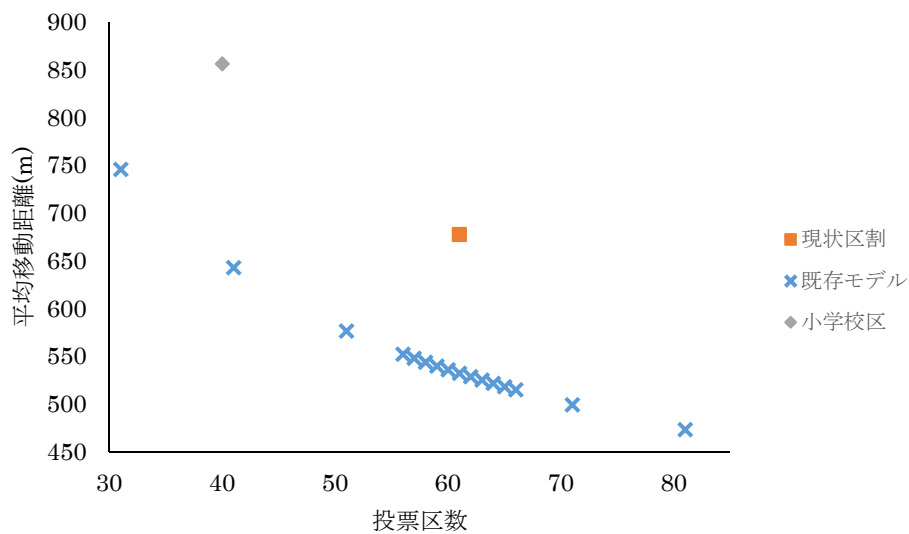


図 6: 投票区数と平均移動距離

図 6 から、まず現在の有権者 1 人あたりの平均移動距離 677.5m を許容するのであれば、投票区数は 40 程度まで削減可能であることがわかる。また、現状の投票区数をさらに増やしても平均移動距離の改善効率は少ないこともわかる。一方で、小学校数である $p=40$ の時の最適区割での平均移動距離は 642.8m だが、小学校区でのそれは 856.5m で約 214m の差があり、小学校区も有権者の利便性の観点からは効率的とは言えないこともわかる。これは小学校区が距離という観点より歴史的な要素や地域のつながりから形成されたことが要因と推測できる。

4.3 バランスの取れた投票区割の提示

4.2 章にて 3.3 章の手順<1>を終えたので、ここでは手順<2>に取り組む。まず、学区ベースモデルの実装には M_1 の値の設定が必要である。探索的に M_1 の値の設定を変え、四日市市の場合は $M_1=10$ と設定した。次に、投票区数(p)を 40, 50, 55, 60, 70 とし、学区考慮度(α)を 0~0.15 までは 0.01 刻みで、それ以降から 0.5 までは 0.05 刻みで、最後に 1 と 24 種を設定した。学区内考慮度を 0.15 以下の値での刻みを細分化したのは実装の結果、平均移動距離や学区内割当率の大きな変動が見られた部分であったためである。逆に 0.5 を超えると各値の変動は少なかった。実験の結果を図 7 にて示す。その詳細な数値は付表 3 及び付表 4 を参照してほしい。

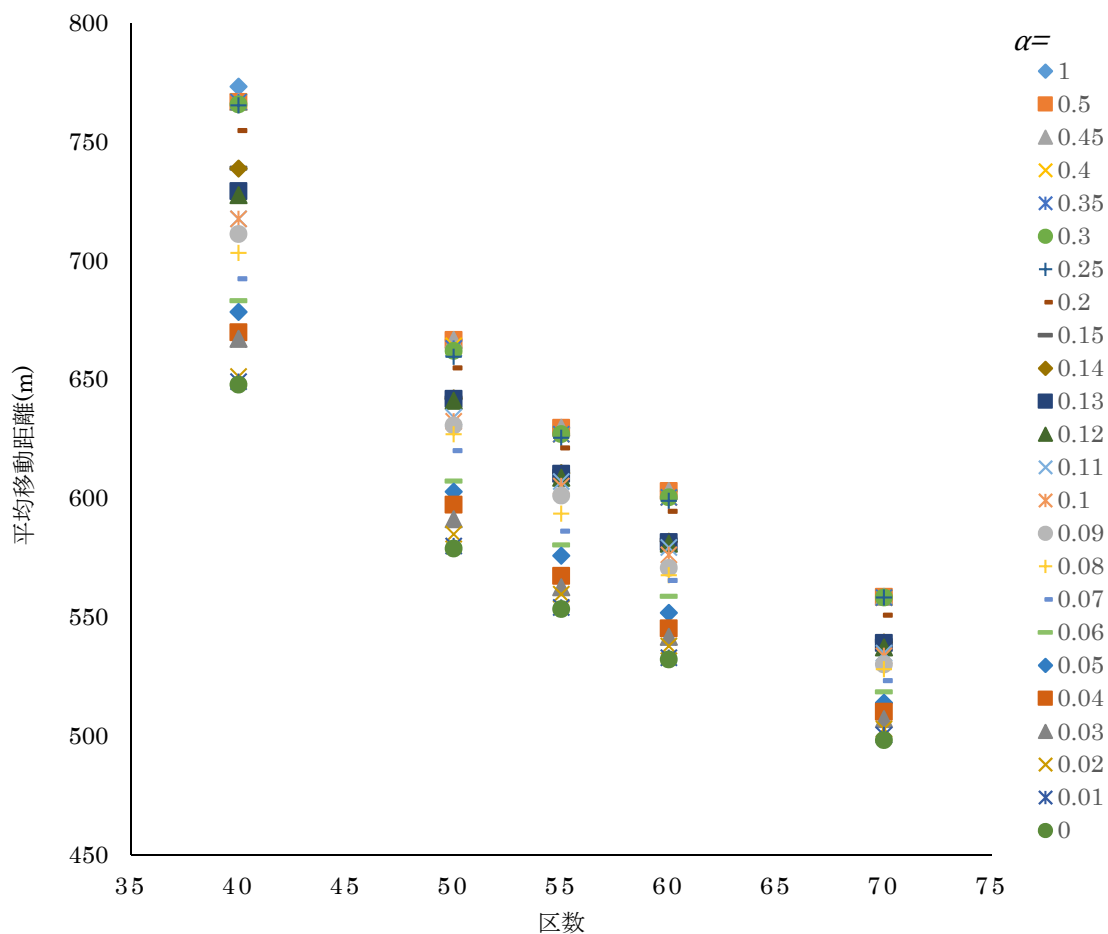


図 7: 学区ベースモデル(p, α)の実験結果

図 7 を見ると、各投票区数(p)に対して学区考慮度が 0 から増加するのに合わせ平均移動距離が増えていく様子が観察できる。増加の度合いを見ると、投票区数が多い($p=70$)ときより、投票区数が少ない($p=40$)ときの方が変化の幅が大きくなっている。投票区数が少なくなると学区へのこだわりが有権者の利便性に影響を与えやすくなることがわかる。一方、学区考慮度(α)が増えると平均移動距離も増加する。例えば学区数である $p=40$ のとき、 $\alpha=0$ では平均移動距離 647.8m であったが、 $\alpha=1$ では平均移動距離 773.2m となり約 126m 大きい。これは学区ベースモデルで小

学区の再現度合いを強くすると有権者の利便性の観点から非効率になっていることを示している。

次に、実験結果を元に手順<3>の有権者の利便性、運営者の効率性、地域のつながりの3つのバランスのとれた投票区割への絞り込みを実行したい。まず、小学校区数 $p=40$ と、現区割数 $p=61$ の時の学区ベースモデル(61,0)の最適値 532.3m を修正した原点とした。次に、平均移動距離の上界 DU は現状区割での平均移動距離である 677.5m と設定し、各候補点を 0 以上 1 以下の数値に正規化し、その評価指標を算出した。

ここまでの準備の下で学区内割当率の下限 RL を設定することで投票区割の絞り込みができる。そこでまずは、学区内割当率の下限 RL=91%と設定してみる。その結果を図 8 に、各区数で評価指標が小さい候補を表 2 に、それらの投票区割の様子を図 9～図 11 に整理した。表 2 に示した区割候補はいずれも平均移動距離、投票区数、学区内割当率がバランスよく現状より改善できる案になっていることが観察できる。評価指数で最小値を得た区割は $p=50, \alpha=0.08$ と設定された場合の学区ベースモデル(50, 0.08)の最適解から導かれる投票区割（以下、区割候補(50, 0.08)などと表記）であった。

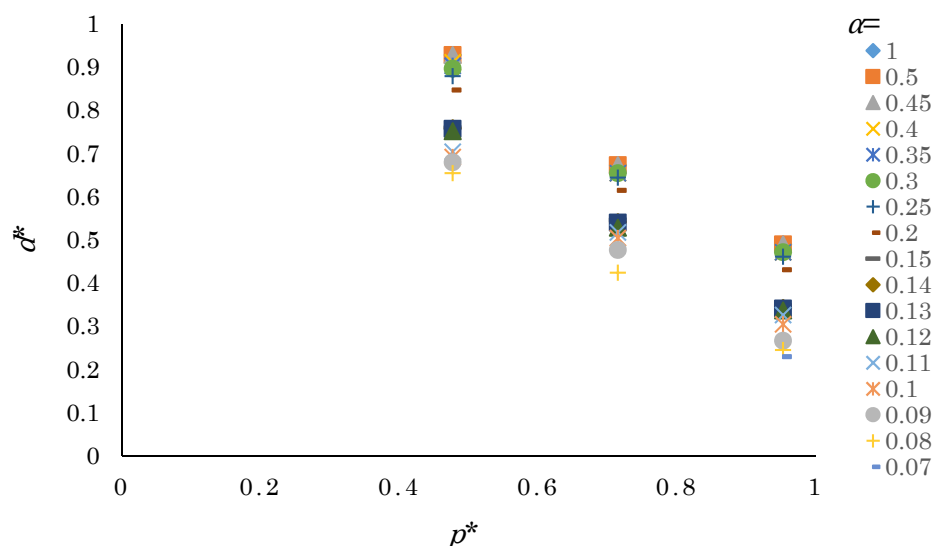


図 8: RL=91%と設定した時の区割候補

表 2: RL=91%の時に絞り込まれた主な候補と評価指標

(p, α)	(50, 0.08)	(55, 0.08)	(60, 0.07)
評価指標	0.655	0.690	0.960
区数 p	50	55	60
平均移動距離 d	626.9m	593.5m	565.3m
学区内割当率 r	92.8%	92.1%	93.4%

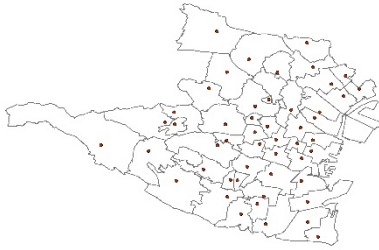


図 9: 区割候補 (50, 0.08)

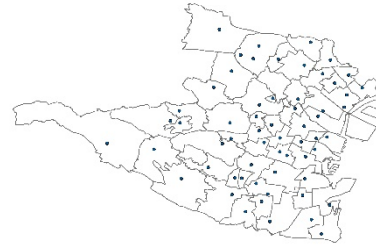


図 10: 区割候補 (55, 0.08)

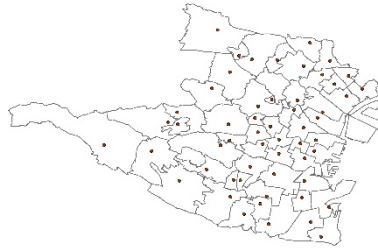


図 11: 区割候補 (60, 0.07)

次に、地域のつながりへの考慮の度合いを上げ、学区内割当率の下限 $RL=95\%$ と設定した場合を検討したい。この時の候補区割を図 12 に示し、各区数で評価指標が小さい区割候補を表 3 に、その概観を図 13 から図 15 に整理した。いずれの区割数でも $RL=91\%$ 設定時から平均移動距離が 11~14m 伸びている。評価指標では区割候補(55, 0.1)が選択され、 $RL=91\%$ 設定時とは異なり、地域のつながりへの考慮の度合いを上げた結果、投票区数を 50 から 55 に増やす区割が採用されている。区割候補(55, 0.1)は、現状の区割より投票区が 6 つ少なく、平均移動距離は約 72m 短縮でき、学区内割当率も 4.4% 上昇しており、有権者の利便性、運営者の効率性、そして、地域のつながりへの考慮との 3 つの評価軸でバランスを取れた現状より良い投票区を導いていることが分かる。

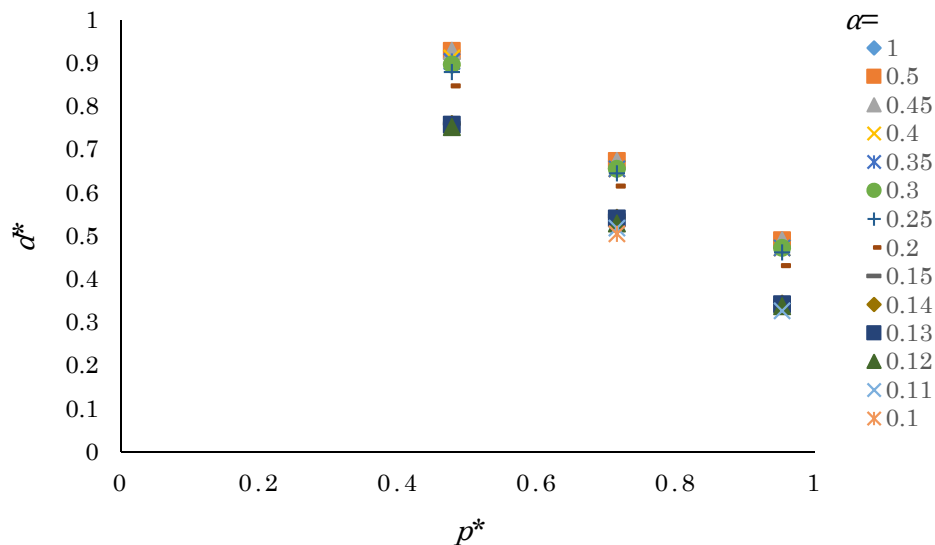


図 12: $RL=95\%$ と設定した時の区割候補

表 3: RL=95%の時に絞り込まれた主な区割候補と評価指標

(p, α)	(50, 0.12)	(55, 0.1)	(60, 0.11)
評価指標	0.792	0.765	1.013
区数 p	50	55	60
平均移動距離 d	641.0m	605.2m	579.3m
学区内割当率 r	96.0%	95.4%	95.6%

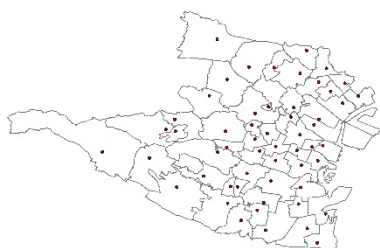


図 13: 区割候補 (50, 0.12)

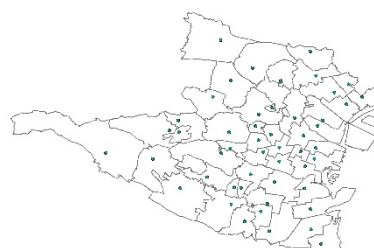


図 14: 区割候補 (55, 0.1)

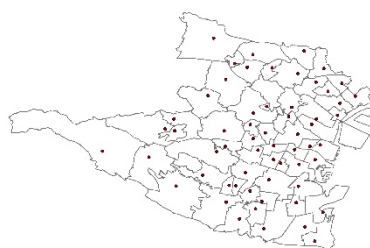


図 15: 区割候補 (60, 0.11)

4.4 投票所の受入有権者数制約付き学区ベースモデル

今まで運営者の効率性を区数と考え、有権者の利便性、運営者の効率性、地域のつながりを考慮した投票区割の導出を試みた。しかし実際には運営者の効率性の評価軸はひとつではない。選挙管理委員会では有権者がスムーズに投票をおこなえるように、また運営が滞りなく進むように、ひとつの投票所に有権者を最大何人まで受け入れるかということも考慮する必要がある。例えば投票区割作成時のひとつの基準である昭和 44 年自治省選挙部長通知によれば、1 投票所あたり 3000 人を目安にすることとしている。各自治体でもこの数値をひとつの目安として投票区内の有権者数の上限下限を設定し、投票所の受入人数の平準化をおこなっていることが多く観察できる(付表 5 参照)。しかし学区ベースモデルでは受入有権者数の平準化は考慮していない。そこで、ここでは学区ベースモデルに投票区内の有権者数の平準化をモデルに導入し、学区を考慮した上で有権者の利便性と運営者の効率性が既存の学区ベースモデルより高まる投票区割の導出を試みる。

まず学区ベースモデルにより導出された区割の有権者数のばらつきを分析する。図 16 は 4.3 章において導出した RL91%時の各投票所の受入人数の分布である。

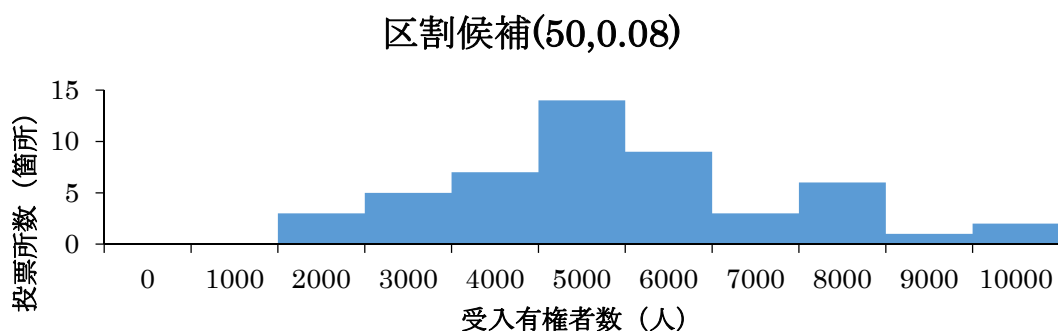


図 17: 区割候補 (50, 0.08) での各投票所の受入有権者数の分布

この図 17 を見ると, 1 投票所あたりの受入有権者数は 2000 人台から 10000 人以上までと幅があり, 投票所ごとに求められる運営力にムラがあり運営者にとって非効率であることが見て取れる. これは運営者の効率性を区数という評価値でのみ評価したためであり, 新たな評価値を導入することで改善可能である. 仮に学区ベースモデルにより導出された投票区割を採用すると, 有権者の利便性と地域のつながりが考慮できたとしても, 運営者の効率性が低下し, スムーズな選挙運営に支障をきたす可能性もある. そこで学区ベースモデルを拡張し, 1 投票所あたりの受入有権者数の制約を導入したモデルを提案し, 以下のように定式化をおこなった.

投票所の受入有権者数制約付き学区ベースモデル(p, α) ※ p -メディアンモデルを基盤

■ 入力

K : 小学校区の集合.

$I_k (k \in K)$: 学区に属する町丁目の集合, $I = \cup_{k \in K} I_k$.

$J_k (k \in K)$: 学区に属する投票所候補点の集合, $J = \cup_{k \in K} J_k$.

w_i : 町丁目 i の有権者数.

d_{ij} : 町丁目 i の代表点と投票所候補点 j 間の直線距離.

■ 変数

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{町丁目 } i \text{ は投票所候補点 } j \text{ を利用する}) \\ 0 & (\text{町丁目 } i \text{ は投票所候補点 } j \text{ を利用しない}) \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & (\text{投票所候補点 } j \text{ を設置する}) \\ 0 & (\text{投票所候補点 } j \text{ を設置しない}) \end{cases}$$

■ パラメータ

$\alpha \in [0, 1]$: 学区考慮度.

p : 投票区数, $p \geq |K|$ と仮定する.

LW: 投票所の受入人数の下限

UW: 投票所の受入人数の上限

■ 定式化

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \left\{ \sum_{k \in K} \left(\sum_{i \in I_k} \sum_{j \in J_k} w_i d_{ij} x_{ij} + (1 + \alpha M_1) \sum_{i \in I_k} \sum_{j \notin J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \right) \right\} \\ & \text{subject to } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad (i \in I), \\ & \quad \sum_{i \in I} y_j = p, \\ & \quad \sum_{i \in I} x_{ij} \leq M_2 y_j \quad (j \in J), \\ & \quad LW y_j \leq \sum_{i \in I} w_i x_{ij} \leq UW y_j, \\ & \quad x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i \in I, j \in J), \\ & \quad y_j \in \{0,1\} \quad (j \in J). \end{aligned}$$

ここで LW および UW は各自治体の実情にあわせて設定する必要があるが、四日市市においては有権者数 247,199 人を投票所数 50 で割った 4943 人をひとつの目安とし、 LW は 4000 人以下、 UW は 5000 人以上現状の最大受入人数以下と設定することができる。

さいごに容量制約付き学区ベースモデルを四日市市に適用し、区割の導出を試みたい。ここでは上下限を実際に設定し平均移動距離の変化をしてみる。投票区割の設定は学区ベースモデル RL91%の最適区割(50, 0.08)とし、 $0 \leq LW \leq 4000$ 人、 $5000 \leq UW \leq 9000$ 人として 1000 人刻みでパラメータを設定した。そのときの計算結果の最適値は表 4 のとおりである。なお問題によって解の導出に長時間要する場合が出てきたため、ソルバーによる計算は CPU 時間 3600 秒で計算打ち切りとし、その時点での暫定解を参考値として用いることとした。

表 4: 受入有権者数の上下限制約と最適値

LW \ UW	5000 人	6000 人	7000 人	8000 人	9000 人
0 人	1034.0m	683.5m	663.4m	652.8m	649.7m
1000 人	<u>872.6m</u>	683.5m	663.4m	652.8m	649.7m
2000 人	<u>2954.1m</u>	683.8m	664.0m	654.9m	652.0m
3000 人	<u>1374.5m</u>	693.9m	677.7m	668.7m	667.5m
4000 人	<u>939.0m</u>	717.0m	705.0m	702.8m	702.8m

※下線部数値は計算打ち切りによる参考値とする。

受入有権者数制約のない学区ベースモデルの最適区割(50,0.08)での最適値は 648.2m であったが、表 4 を見るといずれも最適値は増加しているのがわかる。次にこのときの学区内割当率を表 5 に示す。

表 5: 受入有権者数の上下制限約と学区内割当率

LW\UW	5000 人	6000 人	7000 人	8000 人	9000 人
0 人	73.4%	83.3%	90.3%	91.4%	88.1%
1000 人	77.6%	83.3%	90.3%	91.4%	88.1%
2000 人	47.5%	88.1%	90.3%	91.4%	92.7%
3000 人	62.2%	83.9%	86.2%	91.2%	91.7%
4000 人	75.4%	82.9%	85.0%	84.8%	84.8%

※下線部数値は計算打切による参考値とする。

表 5 を見ると、最適値の結果と異なり、受入有権者制約の上限が 5000 人から 7000 人までは学区内割当率は上昇傾向にあるが、8000 人以降では下降する様子が観察できる。このことから上下制限約を厳しくしても必ずしも学区内割当率が高くなるとはいえないことがわかる。また過度の受入有権者数制約は学区内割当率を減少させるため、バランスよく設定する必要があるといえる。

次に表 4 に示した学区外割当に伴うペナルティ値を含む最適値ではなく、学区外割当に伴うペナルティ値を含まない実際の 1 人あたりの平均移動距離を表 6 に示す。ここでペナルティ値とは

$$\frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \{ \alpha M_1 \sum_{i \in I_k} \sum_{j \notin J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \}$$

を指す。

表 6: 受入有権者数の上下制限約と平均移動距離

LW\UW	5000 人	6000 人	7000 人	8000 人	9000 人
0 人	796.2m	624.6m	625.0m	623.7m	620.5m
1000 人	717.4m	624.6m	625.0m	623.7m	620.5m
2000 人	1806.7m	633.6m	625.5m	625.8m	629.7m
3000 人	957.1m	643.9m	633.5m	634.1m	636.4m
4000 人	748.0m	655.9m	658.2m	652.0m	652.0m

※下線部数値は計算打切による参考値とする。

表 6 の個々の数値を見ると、一部の組合せにおいて制約が緩くなっているにも関わらず平均移動距離が増加する投票区割を導出する結果も見られた。例えば上下制限約 0-6000 人と 0-7000 人の組合せを見ると、上限 6000 人から上限 7000 人に制約を緩めているにもかかわらず、平均移動距離が 624.6m から 625.0m と微小ながらも増加していることがわかる。通常制約を緩めれば最小化モデルの最適値は元の制約のない場合と同値かそれよりも小さい数値を導出することより、最適値から導かれる平均移動距離も同様の動きをすると予測される。しかし、そのようにならないことは、この最適値と平均移動距離の間では逆転現象を起こす構造があることを示している。この最適値と平均移動距離の逆転現象の原因を考えたい。まず計算結果の確認をする。ソルバーによる計算が失敗している可能性も否めない。しかしログを見ると両設定時においては CPU 時間 3600 秒以内で計算を終えており計算打切の弊害はなく、また最適値が正しく算出できているため、計算においては問題があったとは考えられない。では投票所の割当に原因があるのだろうか。次にそれぞれの投票所を割当てた結果の受入有権者数の分布を図 18 と図 19 に示す。

上下限制約0-6000人

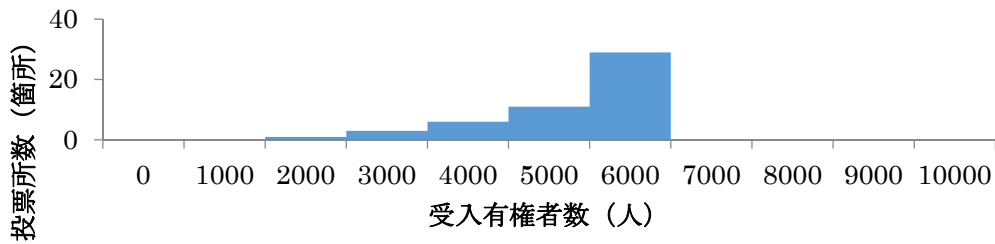


図 18: 上下限制約 0-6000 人時での各投票所の受入有権者数の分布

上下限制約0-7000人

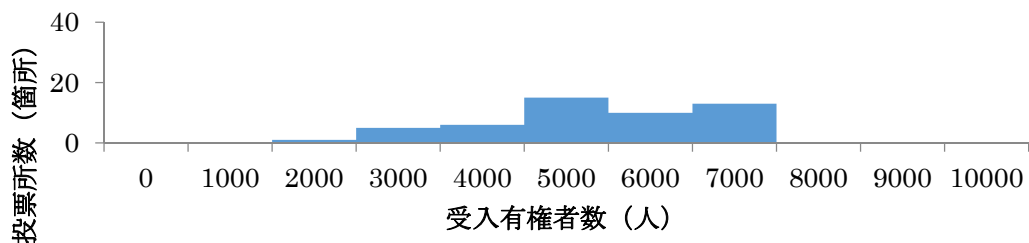


図 19: 上下限制約 0-7000 人時での各投票所の受入有権者数の分布

図 18・19 を見ると、それぞれ設定した上限と下限内で有権者数を受け入れるように投票区割が導出されていることがわかる。つまり投票所の割当自体にも原因はなく、受入有権者数制約を守った上で投票区割を導出しているといえる。ではどこに原因があるのだろうか。さいごに 0-6000 人と 0-7000 人の設定時における投票区割の差異について詳しく観察してみたい。

まず上下限制約 0-6000 人と 0-7000 人の投票区割では 545 町丁目中 153 町丁目への投票所候補点の割当に差異が認められる。ここでは、この差異の中での最適値と平均移動距離の逆転現象について考えていきたい。まず両設定の差異を整理し表 7 に示す。

表 7: 上下限制約 0-6000 人と 0-7000 人の差異

	0-6000 人	0-7000 人	差異
最適値	203.2m	183.0m	-20.2m
平均移動距離	168.2m	168.6m	+0.4m
学区内割当率(153 町丁目中)	65.4%	90.2%	+24.8%
ペナルティ値	34.9m	14.4m	-20.5m

2 つを比べて見ると最適値では 0-7000 人時が約 20.2m 短縮できているが、実際の平均移動距離では約 0.4m 長いことが観察できる。さらに表 7 を見ると 0-6000 人時では学区内割当率が約 24.8% 低く、その分ペナルティ値を増加した上で目的関数の最小化に取り組んでいることがわか

る. このことから学区外割当に伴うペナルティが最適値を増加させ, 実際の平均移動距離では縮小できなかったのではないかと推察した. そこでペナルティ値の差異を見ると, 0-6000 人時においては 0-7000 人時より約 20.5m も距離が増加していることがわかる. もともと両設定間には平均移動距離に約 0.4m の差異があったことを考慮すると差異 $20.5-0.4=20.1$ となり, これは両設定の最適値の差異と近似する. つまり最適値と平均移動距離における逆転現象は学区外割当に伴うペナルティ $\frac{1}{\sum_{i \in I} w_i} \{ \alpha M_1 \sum_{i \in I_k} \sum_{j \in J_k} w_i d_{ij} x_{ij} \}$ の影響だったということがいえる. このモデルを活用する際はこのような逆転現象が発生する可能性があることに留意する必要があるだろう. だがこのようにして受入有権者数制約という運営者の効率性を新たな値で評価することによって, 既存の学区ベースモデルよりも有権者の利便性や運営者の効率性を考慮した投票区割の導出できることを確認した.

5章 まとめ

ここでは投票区割の再編の検討の中で考慮が望まれている地域のつながりを小学校区の考慮という形で取り入れた投票区割モデル (学区ベースモデル) を示した. そして, それを活用し実際に有権者の利便性, 運営者の効率性, そして, 地域のつながりへの考慮との3つの評価軸でバランスを取れた投票区数, 投票区割, そして, 投票所の配置を提案する数理的なアプローチを提案した. さいごに, それらを三重県四日市市の投票区割を対象に実装し, その有効性を示した. 既存の手法では対応していなかった地域のつながりへの考慮を投票区再編の中で有効に活用できる手法であると考え. また学区ベースモデルを拡張し受入有権者数制約付き学区ベースモデルの提案をし, 投票所の受入有権者数の平準化に取り組んだ.

しかし, いくつかの課題も残った. まず, 地域のつながりの表現として小学校区を簡易的に選択したが, モデル実装の手間を増大させることがなく追加できる町丁目といった小地域のつながりの度合いを評価する手法の検討は課題であろう. 次に, ここで提案した投票区割の提案手法では投票区数(p)と学区考慮度(α)の刻み方によっては数多くの最適化問題を解く必要がある. ソルバーが高性能化してきた段階で時間的な困難性は薄れてきてはいるが, それでも p メディアン型の問題を数多く解くアプローチは時間的な負担が大きく, より効果的に適切な投票区数(p)と学区考慮度(α)の絞り込みの方法を工夫が必要である. また受入有権者数制約付き学区ベースモデルでは既存の学区ベースモデルよりも有権者の利便性と運営者の効率性を考慮した投票区割の導出には成功したが, 上下制限約の2設定間において最適値と平均移動距離の逆転現象が発生することがあり, ペナルティ値と関連のある学区考慮度の設定には工夫が必要であるといえる. さいごに, 今回は投票所候補施設の駐車場の大きさと投票区有権者数の関係などの考慮がモデルに入っていないが, 実際には必要な設定であろう. 実際に適用するための設定項目の追加選択についても今後の課題としたい. また, モデルの実装を三重県四日市市の投票区割にのみおこなったが, 四日市市とは異なる特徴を持った都市への適用も今後の課題といえるだろう.

謝辞

学区ベースモデルの実装にあたり基礎となるデータ提供にご協力いただいた三重県四日市市選挙管理委員会に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 久保田敬介, 根本俊男: 三重県四日市市における期日前投票所配置への定量分析とその考察, 情報学ジャーナル vol.7 (2014) pp.1-14.
- [2] 栗田治: 都市と地域の数理モデル —都市解析における数学的方法—, 共立出版(2013).
- [3] 小西健太, 村田忠彦, 名取良太: 投票率上昇と投票所数削減のための投票シミュレーション, 知能と情報 vol.22 (2010) pp.203-210.
- [4] 坂口利裕, 和田淳一郎: GIS を活用した投票率の分析, 公共選択の研究 vol.48(2007) pp.18-35.
- [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.
- [6] 森岡清志: 住民力と地域特性 —世田谷区における調査結果から—, 都市社会研究 第2巻 (2010).
- [7] Moshe Haspel and H. Gibbs Knotts : Location, Location, Location: Precinct Placement and the Costs of Voting, The Journal of Politics Vol.67 No.2 (2005) pp.560-573.

付録

付表 1：各自治体における投票区割の特徴的な基準と学区への考慮の要望

市町村名	発表	投票区割の特徴的な基準	投票所の特徴的な基準
松江市	H23	学区，地理的条件，有権者数，地域性	-
瀬戸市	H25	学区	バリアフリー，駐車場
赤磐市	H24	学区，距離	バリアフリー，駐車場，公的施設
美濃加茂市	H23	-	駐車場，公的施設
田原市	H18	学区	バリアフリー，駐車場，公的施設
八幡平市	H25	学区，地域性	バリアフリー
三浦市	H25	-	駐車場，公的施設，認知性
大町市	H24	地域性，交通網	-
時津町	S62	-	バリアフリー，駐車場
庄内町	H23	学区	バリアフリー，駐車場，公的施設
下野市	-	学区	バリアフリー，駐車場，公的施設
北栄町	H24	期日前投票	バリアフリー，駐車場，公的施設
新城市	H19	学区	バリアフリー，駐車場，公的施設
上牧町	H25	地理的条件	バリアフリー，駐車場
姫路市	H22	学区	バリアフリー，駐車場，認知性
出雲市	H26	地域性	-
栗原市	H22	地域性，距離	バリアフリー，駐車場，公的施設，空調
箕面市	-	学区，地域性	バリアフリー，駐車場，公的施設
雲仙市	-	学区，地理的条件，距離，交通網	-
南あわじ市	H23	-	-
登米市	H20	地域性	-
筑後市	H25	学区	バリアフリー，駐車場，広さ
摂津市	-	学区，地域性	バリアフリー，駐車場，公的施設
栃木市	H26	-	-
南房総市	H21	-	-

※昭和 45 年 5 月 15 日付自治省選挙部長通知に類似する距離と有権者数の基準は省略
ただし強く考慮する場合は基準として表内に記載

付表2：地域のつながりの表現

地域のつながりの表現	最小要素	区割域
近所付き合い	家	-
町内会・自治会	町丁目	市区町村内
地域コミュニティ活動	家	-
ボランティア団体	個人	-
NPO 団体	個人	-
小学校区	町丁目	市区町村内
中学校区	町丁目	市区町村内
高等学校区	町丁目	-
スポーツクラブ	個人	-
青少年団体	個人	-
PTA 活動	家	学区内
老人クラブ	個人	-
商店街	家	商店街内
こども会	個人	-
まちづくり団体	個人	-
病院ボランティア	個人	病院内
環境美化活動	個人	-
リサイクル活動	個人	-
安全監視活動	個人	-
チャリティー活動	個人	-
ボーイスカウト・ガールスカウト活動	個人	-
国際交流活動	個人	-
自主防災活動	個人	-

付表3：四日市市での学区ベースモデル(p, α)実装結果(1)

有権者1人当たりの平均移動距離(m)					
	$p=40$	50	55	60	70
$\alpha=0.00$	647.8	578.8	553.4	532.2	498.2
0.01	649.0	579.9	554.0	532.9	500.4
0.02	651.2	584.9	559.6	537.8	502.9
0.03	667.1	591.1	562.5	541.7	507.2
0.04	669.8	597.3	567.3	543.2	510.1
0.05	678.3	602.7	575.7	551.7	513.9
0.06	683.1	607.1	580.3	558.7	518.5
0.07	692.3	621.8	586.1	565.3	523.2
0.08	703.2	627.1	593.5	567.6	528.0
0.09	711.1	630.6	601.1	570.7	530.1
0.10	717.5	632.3	605.2	576.2	533.7
0.11	717.5	634.1	607.1	579.3	534.8
0.12	727.5	641.0	608.6	580.8	537.2
0.13	729.2	641.8	610.3	581.5	539.1
0.14	738.7	639.9	610.5	583.6	539.3
0.15	738.8	642.2	611.2	582.4	540.0
0.20	754.6	654.8	621.1	594.5	550.7
0.25	765.3	659.5	625.4	598.9	549.8
0.30	765.7	662.0	626.9	600.4	559.0
0.35	766.7	663.0	626.9	600.4	558.2
0.40	766.7	664.2	626.9	600.4	558.2
0.45	766.7	666.6	629.6	603.0	558.5
0.50	766.7	666.6	629.6	603.0	558.5
1.00	773.2	666.6	629.6	603.0	558.5

付表 4：四日市市での学区ベースモデル(p, α)実装結果(2)

学区内割当率						
	$p=40$	50	55	60	70	
$\alpha=0.00$	62.2%	69.5%	72.7%	72.8%	73.9%	
0.01	70.1%	73.2%	75.4%	76.7%	78.5%	
0.02	71.7%	77.8%	79.4%	80.0%	80.0%	
0.03	78.9%	78.9%	80.6%	81.5%	82.8%	
0.04	79.8%	82.8%	82.9%	83.9%	87.9%	
0.05	82.2%	84.4%	85.3%	86.4%	89.4%	
0.06	83.5%	85.7%	86.8%	90.8%	91.0%	RL=
0.07	85.1%	88.1%	88.1%	92.7%	92.5%	91%
0.08	88.3%	92.7%	92.1%	93.4%	93.8%	
0.09	89.4%	93.4%	94.7%	93.9%	94.1%	
0.10	90.3%	93.8%	95.4%	94.9%	94.9%	RL=
0.11	90.3%	94.1%	96.0%	95.6%	95.2%	95%
0.12	91.2%	96.0%	96.1%	95.8%	96.1%	
0.13	91.6%	96.3%	96.5%	96.0%	96.5%	
0.14	95.8%	96.9%	96.7%	96.1%	96.7%	
0.15	96.0%	96.9%	97.1%	96.5%	97.1%	
0.20	97.8%	97.8%	98.2%	98.0%	98.3%	
0.25	99.4%	98.7%	99.3%	99.3%	99.6%	
0.30	99.6%	99.3%	99.4%	99.4%	99.8%	
0.35	99.8%	99.4%	99.4%	99.4%	99.8%	
0.40	99.8%	99.6%	99.4%	99.4%	99.8%	
0.45	99.8%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	
0.50	99.8%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	
1.00	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

付表5：各自治体における投票所の受入有権者

市町村名	発表	有権者数	過小	最小	最大	過大
松江市	H23	158,340	-	-	-	-
瀬戸市	H25	107,569	-	2000	5000	-
赤磐市	H24	35,229	-	-	5000	-
美濃加茂市	H23	43,362	○	2000	3500	○
田原市	H18	52,144	-	1000	3000	○
八幡平市	H25	24,349	-	1000	3000	-
三浦市	H25	40,973	-	-	3000	-
大町市	H24	24,800	-	500	3000	-
時津町	S62	23,047	-	5000	-	○
庄内町	H23	19,164	-	-	3500	-
下野市	-	47,535	-	1000	4000	-
北栄町	H24	12,688	-	500	1000	-
新城市	H19	41,109	-	1500	3000	-
上牧町	H25	19,233	○	2000	4000	-
姫路市	H22	428,595	○	3000	5000	-
出雲市	H26	116,681	-	500	5000	-
栗原市	H22	63,490	-	1000	3000	-
箕面市	-	105,822	-	-	3500	○
雲仙市	-	38,583	-	300	3000	○
南あわじ市	H23	41,341	○	200	6000	-
登米市	H20	69,758	-	1000	3000	-
筑後市	H25	38,807	-	-	6000	-
摂津市	-	67,922	-	-	6000	○
栃木市	H26	114,941	-	1000	4000	-
南房総市	H21	36,497	-	-	3000	-

(著者調べ, 2014年7月. 有権者数は平成22年度国勢調査より)

ここで、過小とは最小人数以下の投票所の存在を許容するかどうかで、また過大とは最大人数以上の投票所の存在を許容するかどうかを示している。