

# 遺伝的アルゴリズムを用いた投票区割りの最適化

小西健太, 村田忠彦, 名取良太



文部科学大臣認定 共同利用・共同研究拠点  
関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構  
関西大学政策グリッドコンピューティング実験センター  
(文部科学省私立大学社会連携研究推進拠点)

Policy Grid Computing Laboratory,  
The Research Institute for Socionetwork Strategies,  
Joint Usage / Research Center, MEXT, Japan  
Kansai University  
Suita, Osaka 564-8680, Japan  
URL: <https://www.pglab.kansai-u.ac.jp/>  
<http://www.kansai-u.ac.jp/riss/>  
e-mail: [pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)  
tel. 06-6368-1228  
fax. 06-6330-3304

## **関西大学政策グリッドコンピューティング実験センターからのお願い**

本ディスカッションペーパーシリーズを転載、引用、参照されたい場合には、ご面倒ですが、弊センター（[pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)）宛にご連絡いただきますようお願い申し上げます。

## **Attention from Policy Grid Computing Laboratory, Kansai University**

Please reprint, cite or quote WITH consulting Kansai University Policy Grid Computing Laboratory ([pglab@jm.kansai-u.ac.jp](mailto:pglab@jm.kansai-u.ac.jp)).

# 遺伝的アルゴリズムを用いた投票区割りの最適化

小西健太<sup>1</sup>, 村田忠彦<sup>1,2,3</sup>, 名取良太<sup>1,2,3</sup>

## Polling Place Optimization Using Genetic Algorithms

Kenta Konishi<sup>1</sup>, Tadahiko Murata<sup>1,2,3</sup>, Ryota Natori<sup>1,2,3</sup>

### 概要

本稿では、国勢調査や実際に行われた選挙後の調査のデータを用いて、投票行動モデルを作成し、投票シミュレーションを行い、投票率向上と投票所数削減を目的として、遺伝的アルゴリズムによる投票区割りの最適化を行う。本稿で用いる投票行動モデルは、同一投票所に割り当てられた地域を投票区として、投票区単位で、過去の選挙データに基づいてパラメータを調整する。その後、各地域で指定されている投票所を変更し、投票行動モデルに基づいて投票率を算出する。この投票所の変更で遺伝的アルゴリズムを用いて、投票率最大化を目指した投票区割り問題の最適化を行う。また、投票率を上げるだけでなく、投票所を削減（行政コストを削減）しながらも、投票率を低下させないような投票区割りに関する検討を行う。

### Abstract

In this paper, we employ a genetic algorithm to increase the vote turnout rates and to reduce the number of polling places by reallocating polling places. We develop a voting model for each region that is assigned to a certain polling place. In order to estimate the decision making process of each voter, we adjust the parameters of voters in each area of the city. Through computer simulation, we could minimize the difference between the estimated voter turnout rates and the actual rates. Using the estimated parameters in each area, we increase the rates using a genetic algorithm. The simulation result shows that we can increase the voter turnout rates and reduce the number of polling places.

キーワード：投票シミュレーション, 遺伝的アルゴリズム

Keywords: Vote Simulation, Genetic Algorithm

---

1 関西大学総合情報学部 Faculty of Informatics, Kansai University

2 関西大学政策グリッドコンピューティング実験センター Policy Grid Computing Laboratory, Kansai University

3 関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構 Institute of Socionetwork Strategies, Kansai University

## 1. はじめに

投票率の低下は、長く指摘され続けている問題である。とくに地方選挙における投票率の下降トレンドは転換していない。図1と図2に国政選挙と地方選挙の投票率の推移を示す。国政選挙は緩やかな下降傾向であるのに対して、図2に示すように、2007年統一地方選では、知事・都道府県議会議員・市区町村長・市区町村議会議員のいずれの種類の選挙においても平均が55%を割り込んでいる。

こうした長期下降傾向に対して、総務省・各自治体選挙管理委員会は投票率向上のための対策をとってきた。とくに近年では、従来から行われている啓発活動に加え、投票時間の延長や期日前投票制度の改正といった投票制度そのものに対する施策が講じられている。

その一方で、厳しい財政環境に直面している各自治体は、財政再建策の一つとして投票所の統廃合を進めている。この施策は、とくに市町村合併を行った自治体で顕著に見られ、たとえば岡山県高梁市では73から44に、愛媛県今治市では106から71に投票所が削減されている[11]。こうした統廃合の財政的効果は、必ずしも小さくない。表1は大阪府高槻市の2005年総選挙実施にかかる費用（概算）である。

その総額は、じつに8500万円を超えている。投票所一ヶ所あたりの費用は、高槻市に66の投票所があることから、単純計算で65万円程度の支出になる。こうした支出は4年間で4回から6回必要とされるため、一自治体のデータを基にした一般化には注意しなければならないが、自治体にとって選挙にかかる費用は無視できないものであり、投票所の統廃合は財政再建に一定の効果をもたらすといえる。

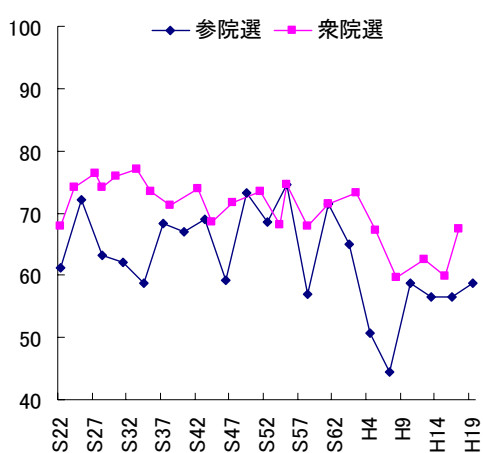


図1 投票率の推移 (国政)

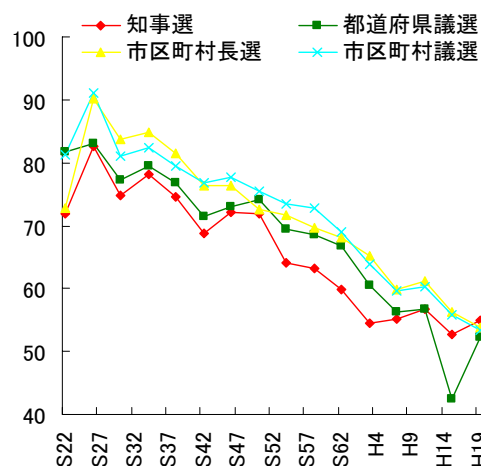


図2 投票率の推移 (地方)

表 1 大阪府高槻市における選挙実施費用（2005 年）

単位: 万円	
投票所経費	4,217
期日前投票所経費	46
開票所経費	1,188
選挙公報発行費	409
ポスター掲示場費	521
事務費	2,166
その他	16
合計	8,563

ところで、投票時間の延長、期日前投票の改革、投票所の統廃合は、いずれも投票所へのアクセスに関わる施策である。投票時間と期日前投票の改革はアクセスを向上させ、投票所の統廃合はアクセスを悪化させるのである。そして、アクセスが投票率に影響を及ぼすと仮定するならば、前者は投票率にプラスの働き、後者はマイナスに働く。すなわち、投票所へのアクセスに関する諸施策にかかる費用は、ある種の民主主義のコストと密接なかわりを持つものであり、この点に我々の問題意識がある。

投票所設置にかかる費用を民主主義のコストとするならば、そこに費用対効果を考えなければならぬ。期日前投票所は、最大の効果をもたらす場所に設置しなければならないし、投票所を統廃合する際には、投票率の低下を最小限にとどめるような配置を目指さなければならないのである。したがって投票所に関する諸施策は、投票区割り問題の最適化と捉えることが可能となる。

本稿の構成を述べる。2. で我々が着目する投票所へのアクセスと投票参加の関係について議論する。3. で明るい選挙推進協会（明推協）による2003年衆議院議員選挙後の調査データを用いた、投票区ごとの有権者の性格づけのモデルについて説明する。このモデルに基づき、2003年衆議院議員選挙における大阪府高槻市の投票所別投票率と等しくなるようにパラメータを調整する。4. で、各投票区の投票所の割当てアルゴリズムとして用いた遺伝的アルゴリズム（GA : Genetic Algorithm）について説明する。ここでは、3. において調整したパラメータに基づくシミュレーションにより、指定された投票所数ごとに投票率最大化を目指した投票区割り問題の最適化を行う。5. でシミュレーション結果を示すとともに、投票率を上げるだけでなく、投票所を統廃合（行政コストを削減）しながらも、投票率を低下させないような投票区割りについても検討を加えていく。

## 2. 投票率と投票所へのアクセス

本稿の議論は、投票所へのアクセスが投票率に影響を及ぼすことを前提に展開する。したがって、この前提が一定の蓋然性を持つことを示す。

この前提は、Downs[2]が提起し、Riker & Ordeshook[8]によって定式化された投票に関する期待効用モデルに基礎づけられる。彼らは、有権者の合理性を前提とした投票参加モデルを  $R = P \cdot B - C + D$  の式で表現した。有権者の投票/棄権 ( $R$ ) は、結果に対する影響の主観的確率 ( $P$ )、候補者間の期待効用差 ( $B$ )、市民的義務感などに基づく長期的利益 ( $D$ ) と、投票にかかるコスト ( $C$ ) の計算によって選択されるという議論である。そして、投票所へのアクセスは、有権者の経済的・心理的コストに影響を及ぼすと考えられる[10]。アクセスが良くなればコストは軽減され、投票を選択する確率が高まる。また、アクセスが悪化すればコストが高まり、棄権確率が高まる。

ところが、これまでの実証研究において、投票コストの問題には余り焦点が当てられてこなかった。その理由は、多くの研究者が、情報コストや意思決定コストを低いものとみなしていたり、有権者が投票を他の行為に比べてコストが高いものと捉えていないと考えていたりするためとされる[5, 7]。また、コストの問題が軽視されていたのは、その測定が困難であることが要因であるとしている[1]。

しかし、近年のコンピュータ技術の発展は、投票コスト、とりわけ投票所までのアクセスと投票率の関係の実証研究を可能にさせた。Haspel & Knotts[5]は、2001年アトランタ市長選における投票参加行動と投票所までのアクセスの関係を、GISを利用して分析した。彼らは、投票所までの距離と投票コストを線型的に仮定せず、距離が遠い場合には車を利用することを考慮したモデルを構築し、投票所までの距離は投票参加に有意な影響を及ぼすことを検証した。とくに、車を利用しないという仮定をおいた場合には、投票所へのアクセスは投票参加に大きな影響を及ぼすことが明らかにされた。

また2004年参院選における横浜市の投票所別投票率を、同じくGISを利用して分析した坂口・和田[10]でも、投票区の空間特性と地形が投票率に影響していることを実証している。具体的には、投票所を中心とした徒歩圏カバー率が高いほど投票率が高く、投票区内の起伏が大きいほど投票率は低いことが検証されており、投票所へのアクセスが投票率に影響することを明らかにしている。

さらに、これらの研究とは趣を異にするが、三船の投票時間延長に関する研究[12]と、和田・坂口の期日前投票制度の改革に関する研究[15]も、投票コストに関する重要な知見を与えてくれる。三船は、投票時間の延長や不在者投票事由の緩和といった制度改革に、投票率を上昇させる効果があったことを明らかにした。そこでは、「有権者は投票コストを軽減させるべく、18時から20時での投票もしくは不在者投票を行う傾向があること」が検証されている。また、和田・坂口は、期日前投票所を利便性の高い場所に増設すれば、

投票率が上昇することを明らかにした。すなわち、これらの研究は、投票所へのアクセスを容易にすることが、投票コストを下げ、投票参加の効用を高めることを示したのである。

以上のように、近年の研究成果は、投票所へのアクセスが有権者の投票コストに影響を及ぼし、ひいては投票参加／棄権の選択に関連付けられることを明らかにしている。このことから、投票所へのアクセスという観点から投票区割り問題の最適化を図り、投票率の問題を検討しようとする我々の試みに蓋然性があるといえる。

### 3. 有権者の性格付け

本稿では、投票区ごとの有権者の性格付けを、Ito & Natori[6]で提案された投票／棄権モデルを改良することにより行った。図3に示されるように、我々のシミュレーションには、丁目単位の投票区と、学校などの投票所の候補施設が存在し、丁目ごとに投票所が指定されている。各区域の有権者は、以下に定義する投票／棄権に関する効用関数に基づいて、割り当てられた投票所で投票を行う。

有権者は投票するか棄権するか意思決定を行う。投票の効用を $U_{vij}$ 、棄権の効用を $U_{aij}$ とし、丁目 $i$ に住む有権者 $j$ の投票／棄権に関する効用 $D_{vij}$ を $U_{vij}$ と $U_{aij}$ を用いた式(1)により定式化した。

$$D_{vij} = \alpha_i \cdot U_{vij} - (1 - \alpha_i) \cdot U_{aij} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ は、 $0 \leq \alpha_i \leq 1$ の重みである。 $D_{vij} \geq 0$ のときに投票し、 $D_{vij} < 0$ のときは棄権すると考える。

投票の効用 $U_{vij}$ は、日本の投票参加研究の知見を基に、明るい選挙推進協会による第43回(2003年)衆議院選挙後調査データを利用して決定する。先行研究では、投票参加の規定要因として、年齢・職業・組織加入などの社会経済要因、政治的有効性感覚・政党支持・候補者評価などの心理的要因、動員の有無などの政治的要因が指摘されている[9, 13, 14]。

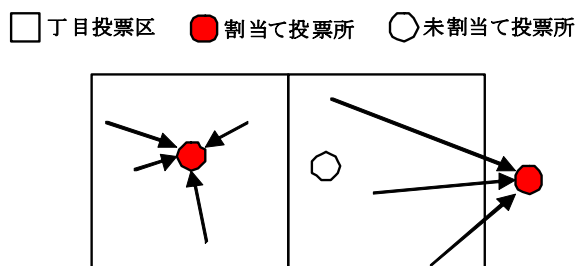


図3 丁目区域と投票所

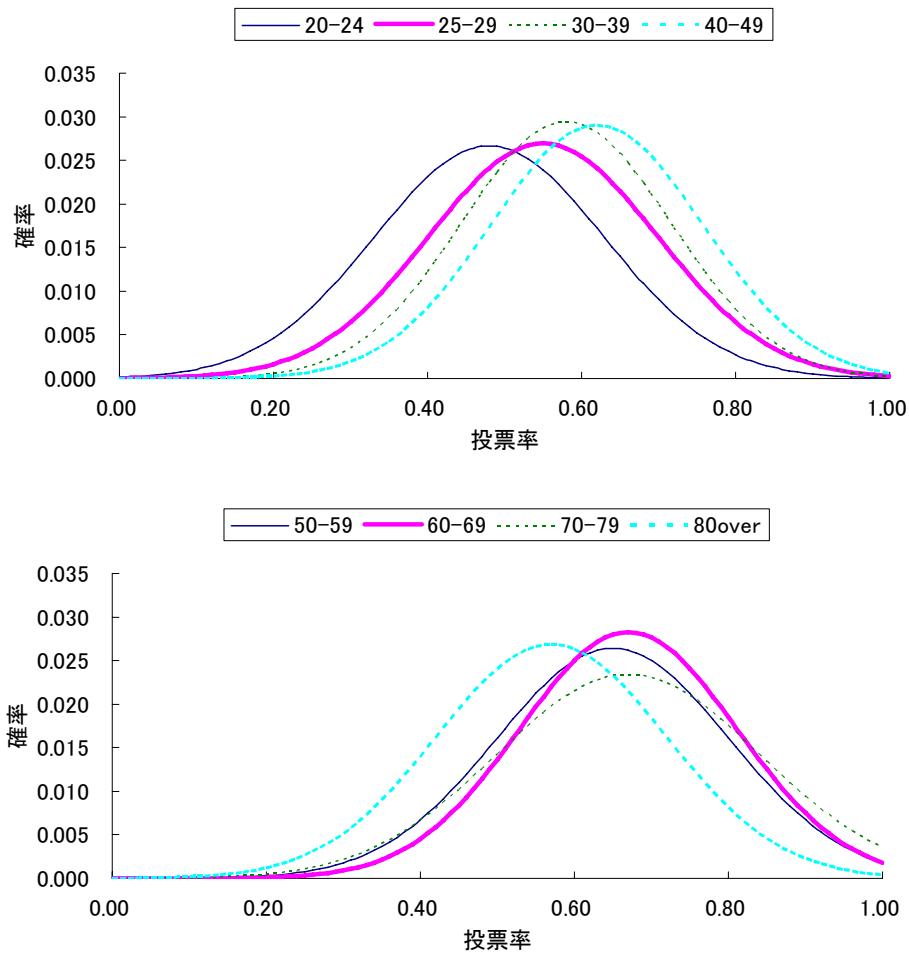


図4 選挙に対する関心度に基づく効用の分布（年齢別）

本稿ではこれらの諸要因のうち、年齢と選挙への関心を用いて決定する。これは、年齢別に定義した満足感と地域別の持ち家比率に基づいて  $U_{vij}$  を決定した Ito & Natori [6] の手法とは異なるものである。

投票参加の効用を決定する変数として用いた選挙への関心について説明する。社会経済要因を除けば、投票参加を規定するものとしては政党支持や組織的動員といった要因の方が有力かもしれない。しかし、効用関数の決定にあたり、二値・三値回答変数を用いることはあまり適切ではないため、政党支持や組織的動員に関わる変数の利用は避けた。また投票義務感や有効性感覚、あるいは候補者評価など明推協データにない変数を用いることができなかった。そこで、明推協データを用いた山田[14]の分析において、2000年衆院選における棄権を説明する有力な変数であり、かつ四値回答変数である「選挙への関心」を用いたのである。

具体的な定義の方法は次のとおりである。選挙に対する関心度について、「とても関心がある」を投票の効用が0.7以上、「少し関心がある」を0.5から0.7、「あまり関心がな



表 2 予測投票率と実投票率の差

実投票率 63.83%	従来手法	提案手法
予測投票率	64.70%	63.86%
予測投票率と実投票率の差の平均	0.1194	0.0010
標準偏差	0.1483	0.0386

い」を 0.3 から 0.5, 「まったく関心がない」を 0.3 以下と定義した。そして年齢別の回答の分布に近似するように正規分布の平均と分散を同定した。図 4 に同定した年齢別の効用の確率分布を示している。なお年齢は、調査データにしたがって 20 歳～24 歳, 25 歳～29 歳, 30 歳～39 歳, 40 歳～49 歳, 50 歳～59 歳, 60 歳～69 歳, 70 歳～79 歳, 80 歳以上の 8 つに区分した。

一方, 棄権することにより得られる効用  $U_{aj}$  は, 投票する際に強いられる負担を解消することで得られる満足感である。そして投票の際に強いられる負担を, 投票行為に必要な時間や労力, すなわち投票所へのアクセスとした。有権者の位置は有権者が住む区域内に乱数によって決定し, 有権者  $j$  の位置から有権者が割り当てられた投票所  $h$  までの距離を  $d_{jh}$  とする。市内の最長距離を  $d_{max}$  とし, 有権者  $j$  の負担を以下の式で表す。

$$U_{aj} = d_{jh} / d_{max} \quad (2)$$

この投票／棄権モデルを用いて, 全有権者の投票／棄権の意思決定を行い, 予測投票率を求める。Ito & Natori[6]では, 式中のパラメータ(年齢別効用, 持ち家率に基づく効用, 距離に基づく効用に関するパラメータ)を著者らと与えることにより, 実投票率 63.8%に対して, 予測投票率 64.7%, 平均二乗誤差 0.1194 を得た。ただし, パラメータの値は, 全ての区域で共通の値を用いていた。一方, 本報告では投票区ごとに式(1)の  $\alpha_i$  を調整し, パラメータ  $\alpha_i$  により投票区ごとの地域性を表現する。

まず, 各有権者の投票／棄権効用  $D_{vij}$  を式(1)を用いて決定し, 投票区ごとの投票率を計算する。投票区  $i$  の予測投票率を  $\hat{V}_i$ , 実際の投票率を  $V_i$  とすると,  $\hat{V}_i \geq V_i$  のとき  $\alpha_i$  の値を増加し,  $\hat{V}_i < V_i$  のとき  $\alpha_i$  の値を減少する。このとき, パラメータの調整をより詳細にするため,  $\hat{V}_i$  と  $V_i$  の大小関係が変わるたびに,  $\alpha_i$  の調整量を 1/10 にして増減の調整を行う。これを繰り返すことにより,  $\hat{V}_i$  と  $V_i$  の差を最小化する。

この手法を用いて, 2003 年衆院選における大阪府高槻市の投票所別投票率をもとにパラメータの最適化を行った。各丁目の位置座標, 投票所の候補施設の位置座標, 各丁目の年齢層別有権者数は, 国勢調査データなど実データに基づいて設定した。表 2 に従来手法[6]

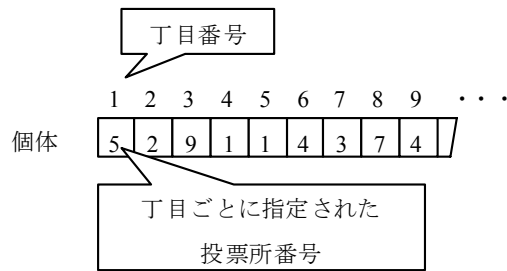


図5 GAにおける個体表現

と本報告の手法により得られた予測投票率の平均値と標準偏差を示す。平均と標準偏差は、各丁目の有権者の分布を異ならせた 10 試行に対して求めた。実投票率 63.83%に対して、本報告の手法により予測投票率との誤差が最小化されたことがわかる。

#### 4. 投票所再配置アルゴリズム

前節で最適化した投票所ごとのパラメータ  $\alpha_i$  を用いて、投票所を再配置することによる投票率の最大化を行う。本報告では、区域と投票所の膨大な組み合わせから投票所の最適配置を見つけるために遺伝的アルゴリズム (GA) [3, 4] を用いる。

図 5 に GA で用いる個体表現を示す。個体の遺伝子の数を市内の丁目の数 339 とし、遺伝子の値を該当する丁目に対する投票所の ID 番号とする。したがって、個体は、各丁目が割り当てられる投票所を示している。割り当てられた投票所に対して、各丁目の有権者が投票/棄権を決定し、全区域の投票率が算出される。そして、得られた投票率を適応度とし、投票率最大化を目的として、最適な投票所配置を探索する。

GA においては以下のような遺伝的操作を用いた。  $N$  個の個体の中から  $L$  個の個体をエリート個体とする。次に、  $L$  個のエリート個体の中から 1 個と  $N$  個の個体の中から 1 個の個体の重複を許して選択し、一様交叉を行って、2 個の子個体を生成する。そして、交叉によってできた子の遺伝子を突然変異率にしたがって、突然変異させる。このとき、変異する値については、各区域からの距離が  $M$  番目までに近い投票所のうちのいずれかに設定する。また、  $L$  個のエリート個体を、次世代の適応度の低いものから  $L$  個の個体と入れ替えた。なお、本報告の実験では、投票所数を固定して、シミュレーションを行っており、交叉と突然変異により、個体内で使用される投票所数が変化するとき、投票所数をランダムに調整する機能を入れている。本報告の実験では、  $N=100$ ,  $L=10$ ,  $M=3$  とした。

このようにして、個体の遺伝子（各丁目に割り当てる投票所）を変更することにより、

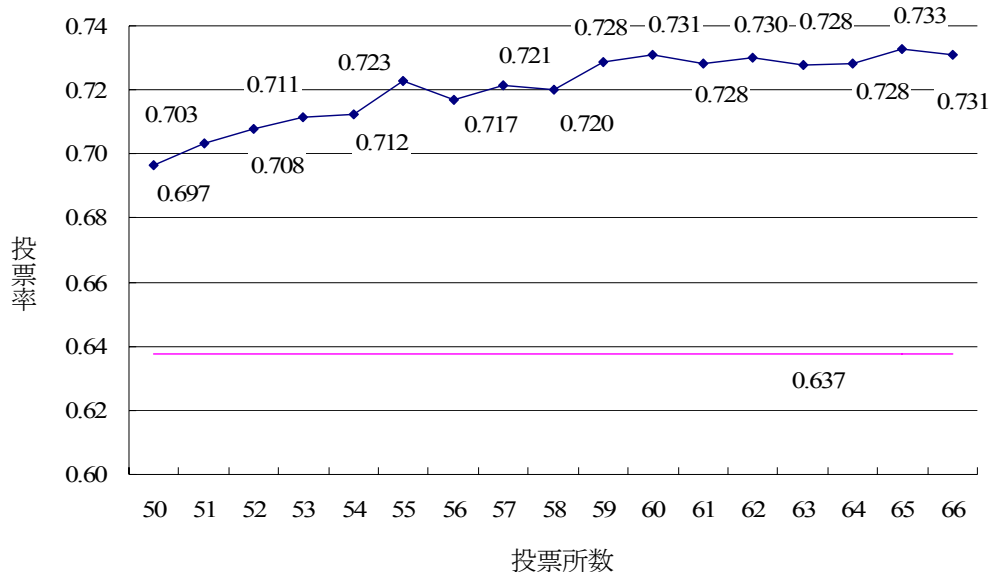


図6 GAにより得られた投票率の推移

投票率を最大にする投票所配置問題の最適化を行う。なお、2003年衆院選における投票所は63箇所であったが、高槻市では66箇所の投票所が候補としてあげられている。GAにおける突然変異では、66箇所全ての投票所を変異可能な値として最適化を行い、投票所数を50から66に固定して、同じ投票所数のもとで最適化を行った。

## 5. 実験結果

図6に4. で示した投票所再配置アルゴリズムにより得られた結果を示す。図6は、横軸に投票所数、縦軸に予測投票率を示している。4. の投票所再配置アルゴリズムにおいて、投票所数を固定して探索を行い、各投票所数において、最大の予測投票率を与える投票所配置を探索した。図の63.8%は、投票所数63で実施された高槻市全体の実投票率である。図6より、投票所の再配置を行うことにより、同じ投票所数でも63.8%から72.8%に投票率を上昇できる可能性があることがわかる。さらに、投票所数を少なくしたとしても、投票所数50で70%近い投票率を実現していることから、投票所数の削減と投票率の維持が両立可能であることが示されたのである。

また、投票区割りを変更することにより、投票所が変更になる丁目の数を調べた。具体的には、高槻市の339の丁目に割り当てる投票所について、シミュレーションにより得られた割当ての実際の割当てに対する変更箇所数について調べた。表3に63箇所の投票所を用いた場合のシミュレーション結果との差異を示す。表中の「最近隣の投票所」とは、丁

表3 実際の割当て投票所とシミュレーションにおける割当て投票所の差異  
(63 箇所の場合)

GAにより得られた投票所	丁目数	割合%
実際の投票所のまま (最近隣でない投票所)	9	2.7
実際の投票所のまま (最近隣の投票所)	146	43.1
実際より近い最近隣の投票所	63	18.6
実際より近い投票所 (ただし, 最近隣ではない)	4	1.2
実際より遠い投票所 (既存は最近隣)	56	16.5
実際より遠い投票所 (既存は最近隣ではない)	9	2.7
距離が変化しない投票所	52	15.3
合計	339	100

目に最も近い投票所を表し, シミュレーションにより割り当てられた投票所までの距離と実際に割り当てられていた投票所までの距離で調べた. 表より, シミュレーションにおいても, 45.8%の丁目で実際の投票所がそのまま使われていることがわかる. また, 実際の投票所が, 丁目から最近隣でない場合もあり, 19.8%の丁目に対して, より近い投票所が割り当てられることがわかる. なお, 本シミュレーションでは, 丁目と投票所との距離を240m×240m 四方の単位で計測しており, 同一グリッド内に丁目と投票所がある場合は, 距離0としている. したがって, 丁目と同一グリッド内に複数の投票所がある場合や, 隣接するグリッドの投票所に割り当てられた場合, 距離が変化しないことが起こりうる.

## 6. 結論と展望

政治参加は民主主義の根幹である. そして, 投票は大部分の有権者にとって唯一の政治参加の形態である. したがって, 選挙にかかる費用は民主主義のコストとみなすことができる.

しかし, 長引く不況と財政環境の悪化は, 民主主義のコストすら削減せざるをえない状況をもたらし, 多くの自治体で投票所の統廃合が進められるようになった. 一方, 選挙の実施にかかるコストパフォーマンスについては, これまであまり研究の対象とされず, 現状の投票所の配置がコストに見合った効果をもたらせているのか, あるいは合理的な統廃合が進められているのかについて十分に検討されてこなかった.

本稿では, 投票所の(再)配置は最大のコストパフォーマンスを得られるように進められ

るべきであるという問題意識に立ち、シミュレーションを行った。そして、投票参加に関する実証研究の成果を用いながら進めたシミュレーションでは、既存の投票所配置よりも適切な配置がありうることで、合理的な統廃合によってコストの削減と投票率の維持が両立可能であるという結果を得た。すなわち、投票所の配置という行政施策については、コストパフォーマンスの観点から、改善の余地があることが示されたのである。

ただし、本稿におけるシミュレーション結果を読み取る際に注意しなければならない点をいくつか指摘したい。第一に、採用したモデルでは、各丁目において実際に割り当てられた投票所に対して最適化されたパラメータを用いている点である。すなわち、シミュレーションにおいて各丁目の投票所が変更された場合にも、実際の投票所に対して最適化されたパラメータ $\alpha$ を用いているため、本シミュレーション結果ほど、投票率が上がらない可能性も考えられる。Haspel & Knotts[5]の分析では、投票所の変更が有権者に混乱を与え、投票参加確率が低下することが示されている。したがって今後は、有権者の投票・棄権モデルに、この点を付け加えた上でのシミュレーションが必要とされよう。第二に、本報告が対象としたのは中核市に指定されている大阪府高槻市であるため、このモデルが全国の市区町村に適用できない可能性がある。農村部の市町村では投票所までの距離が遠く、さまざまな投票所までの移動手段（自転車、自動車、公共バスなど）が用いられている。この点を考慮したシミュレーションも必要である。第三に、本シミュレーションは、1回の国政選挙データを基に行われている。国政選挙の投票率が、ときどきの政治・選挙状況に依存して変化することを考慮するならば、複数回のデータや、地方選挙データを用いて行うことも課題となろう。さらに付け加えるならば、GISを用いて、より詳細なシミュレーションを行うことも可能である。

こうした課題は残されているものの、本報告が重視する民主主義のコストの最適配分は、政治参加研究においても、現実の民主主義社会においても、重要なテーマとなるはずである。したがって、こうした観点からの研究を、シミュレーションの技法も含めて、質量ともに発展させ、実際の行政施策に活用していくことが求められる。

## 参考文献

- [1] John H. Aldrich, “Rational Choice and Turnout.” *American Journal of Political Science*, Vol. 37, No. 1, pp. 246-278, 1993.
- [2] Anthony Downs, *An Economic Theory of Democracy*. Harper, New York, 1957.
- [3] David E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Longman Publishing, Boston, MA, 1989.
- [4] John H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge, MA, 1975.
- [5] Moshe Haspel, H. Gibbs Knotts, “Location, Location, Location: Precinct Placement and the Costs of

- Voting,” *The Journal of Politics*, Vol. 67, No.2, pp.560-573, May, 2005.
- [6] Toshihide Ito, Ryota Natori, “Trial Simulation to Solve the Optimum Combination of Polls for the Highest Voter Turnout Rates,” *Proc. of World Forum on Information Society*, Tunis, Tunisia, Nov. 14-16, 2005.
- [7] Richard Niemi, “Costs of voting and nonvoting,” *Public Choice*, Vol. 27, No. 1, pp. 115-119, 1976.
- [8] Riker, William and Peter Ordeshook, “A Theory of the Calculus of Voting.” *American Political Science Review* Vol.62, No.1, pp.25-42, 1968.
- [9] 蒲島郁夫, 『政治参加』, 東京大学出版会, 1987.
- [10] 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』 48 号, pp.18-33, 2007.
- [11] 葉上太郎, 「一票」の公平とは何か」, 『ガバナンス』 3 月号, pp.78-81, 2007.
- [12] 三船毅, 「有権者の投票時間帯の変化——1998 年の制度改正の与えた影響」『都市問題』 93 巻 9 号, pp.69-83, 2002.
- [13] 三宅一郎・西澤由隆, 「日本の投票参加モデル」, 綿貫讓治・三宅一郎 『環境変動と態度変容』 木鐸社, 第七章所収, 1997.
- [14] 山田真裕, 「2000 年総選挙における棄権と政治不信」『選挙研究』 17 号, pp.45-57, 2002.
- [15] 和田淳一郎, 坂口利裕, 「横浜市における期日前投票所増設の効果」『選挙学会紀要』 7 号, 2006.