

投票区割り最適化のための 多目的進化計算アルゴリズムにおける 局所探索法の有効性

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
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）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).

投票区割り最適化のための多目的進化計算アルゴリズムにおける 局所探索法の有効性

小西健太¹, 村田忠彦^{1,2,3}, 名取良太^{1,2,3}

Effectiveness of Local Search Algorithms in Evolutionary Multi-Optimization Algorithms for Polling Place Optimization

Kenta Konishi¹, Tadahiko Murata^{1,2,3}, Ryota Natori^{1,2,3}

概要

本稿では、投票区割り最適化問題のための多目的進化計算（EMO）アルゴリズムの性能を改善する局所探索法を提案する。本稿の投票区割り最適化問題は、投票率向上と投票所数削減を目的とする。特に、従来の研究で困難であった投票所数最小化のための局所探索法を提案し、その有効性を示す。実験結果から、既存の投票区割りよりも高い投票率が得られる投票区割りや投票率を維持したまま投票所数を削減することができる投票区割りを見つけることができた。

Abstract

In this paper, we examine the effectiveness of local search algorithms in evolutionary multi-objective optimization algorithms for polling place optimization problems where increasing the voter turnout and reducing the number of polling places in an election. We develop a memetic EMO algorithm which is the EMO algorithm with a local search algorithm. From our simulation results, we can find a fine polling place assignment with higher voter turnout and a small number of polling places keeping the actual voter turnout.

キーワード：選挙, EMO アルゴリズム, 局所探索法

Keywords: Election, EMO Algorithm, Local Search 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。特に図1に示すように、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。平成19年統一地方選挙では、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。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などの投票制度そのものに対する施策が講じられている。

一方、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[1]。こうした統廃合の財政的効果は、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。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。全国の自治体において、こうした支出が4年間で4回から6回必要とされるため、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。

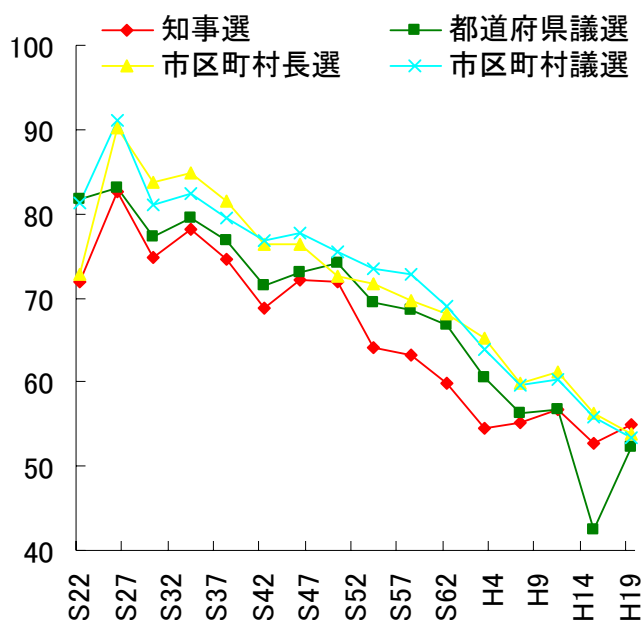


図1 投票率の推移 (地方)

表 1 大阪府高槻市における選挙実施費用（平成 17 年）

単位：万円	
投票所経費	4,217
期日前投票諸経費	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

上記にあげた投票時間の延長，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時間的または空間的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，主として時間的アクセスを向上させる．また，投票所の統廃合は空間的アクセスを悪化させる．アクセスが投票率に影響を及ぼすと仮定すると，前者は投票率にプラスに働き，後者はマイナスに働く．

期日前投票の投票所を含めて，投票所設置にかかる費用を民主主義のコストとすると，そこに費用対効果を考える必要がある．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．また，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ねばならない．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．

本稿では，投票区割り最適化問題[2]に対して，多目的最適化手法の一つである EMO アルゴリズムを適用し，その有効性を検討する．投票区割り最適化問題では，上述したように投票率最大化と投票所数最小化の 2 つの目的が取り扱われる．文献[2]では，単一目的の遺伝的アルゴリズムを用いて，投票区割り最適化問題における投票率最大化と投票所数最小化のトレードオフが得られている．具体的には，投票所数を固定化した上で，投票率を最大化する投票区割りを最適化している．したがって，投票所数を異ならせた探索を複数回実行する必要がある，改善の余地がある．本稿では，EMO アルゴリズムを適用することにより，一回の探索で 2 つの目的のトレードオフを求めることを可能にし，さらに局所探索を適用することにより，EMO アルゴリズムの探索性能を向上できることを示す．

2. 投票参加モデル

本稿では、投票区割り最適化問題に、EMO アルゴリズムを適用する。投票区割り最適化問題は、自治体内の各住所を投票所に割り当てる問題である。この最適化問題では、投票率向上と投票所数削減の2目的が扱われるため、投票所に割り当てられた有権者の投票参加行動をモデル化しなければならない。本節では、政治学の選挙研究における投票所へのアクセスに関する過去の研究と、有権者の選挙への関心のアンケート結果をもとに構築した投票参加モデルを示す。

2.1 投票参加モデルに関する関連研究

本稿では、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投票モデルを構築する。この前提は、Downs [3]が提起し、Riker & Ordeshook [4]によって定式化された投票に関する期待効用モデルを基礎とする。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。また、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[5]。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り、悪化すればコストが高まり、棄権確率が高まることになる。

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るためとされる[6,7]。またAldrich [8]は、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。

しかし、近年の情報技術の発展により、投票コスト、とりわけ投票所までの空間的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 [6]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。特に、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[5]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、投票所への空間的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、時間的アクセスに関する研究として、三船の投票時間延長に関する研究[9]と、和田・坂口の期日前投票制度の改革に関する研究[10]も、投票コストに関する重要な知見を与えている。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、期日前投票において、さらに空間的アクセスを考慮し、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。

これらの研究は、投票所への空間的また時間的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ている。

2.2 有権者の投票参加モデル

前節に示したように、提案されている投票参加モデルでは、選出される候補者によりもたらされる効用と有権者自身のもつ効用が、投票／棄権モデルにおける正の要因となっている。候補者のもたらす効用と有権者のもつ効用に関して計測することが困難であるため、本稿では、投票区ごとの有権者の投票参加モデルを、Ito & Natori [11]で提案された投票／棄権モデルを改良することにより正の要因を同定した。

我々のシミュレーションでは、学校や公民館などの候補施設とする投票所が存在している。有権者が投票する投票所は丁目単位で割り当てられている。各丁目の有権者は、以下に定義する投票／棄権に関する効用関数 D_{vij} に基づいて、割り当てられた投票所で投票を行う。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、 α_i は、 $0 \leq \alpha_i \leq 1$ の重みである。有権者は $D_{vij} \geq 0$ 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（明推協）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[12-14]。本稿ではこれらの諸要因のうち、Ito & Natori [11]が、 U_{vij} を、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決定していたのに対し、年齢別の選挙への関心を用いる。

投票参加の効用を決定する変数として、選挙への関心を用いる点について説明する。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。

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2に、同定した年齢別の効

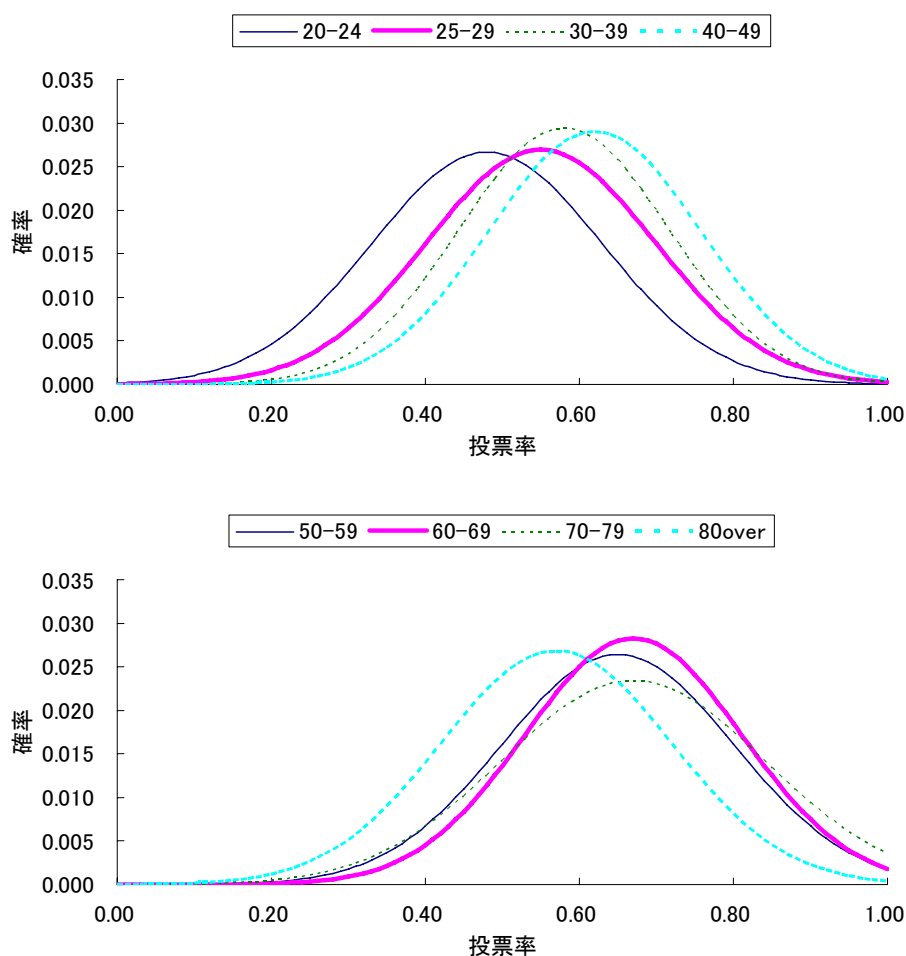


図2 選挙に対する関心度に基づく効用分布（年齢別）

用の確率分布を示す。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_{aij} 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 j の位置は有権者が住む丁目 i の中心座標であるとし、有権者 j の位置から有権者が割り当てられた投票所までの距離を d_{ij} 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。

$$U_{aij} = (d_{ij} / d_{max})^2 \quad (2)$$

なお、実際のシミュレーションでは、同じ丁目 i に住む有権者は全て同じ位置に所在することになっているため、丁目 i が定まれば、全ての有権者が同じ負担を持つことを意味する。

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 [11]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）を著者らが与えることにより、実投票率 63.8%に対して、予測投票率 64.7%を得た。ただし、パラメータの値は、全ての丁目で共通の値を用いていた。一方、本稿では丁目ごとに式(1)の α_i を調整し、パラメータ α_i により丁目ごとの地域性を表現する。

まず、式(1)を用いて各有権者の投票／棄権効用 D_{ij} を決定し、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 α_i の値を減少し、 $\hat{V}_i < V_i$ のとき α_i の値を増加する。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、 α_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[11]

表 2 実投票率と予測投票率

実投票率	従来手法	提案手法
63.83%	64.70%	64.10%

と本稿の手法により得られた予測投票率の平均値を示す。平均は、各丁目の有権者の効用分布を異ならせた 10 試行に対して求めた。本稿の手法により、実投票率 63.83% に対して、予測投票率との差が改善されたことがわかる。

3. 適用事例

本節では、まず、単一目的 GA により得られた探索結果を示す。次に、EMO アルゴリズムを用いた投票区割り最適化結果を示す。EMO アルゴリズムの直接的な適用では、単一目的 GA の結果を上回る結果を得られないため、EMO アルゴリズムの性能を向上させるため、局所探索アルゴリズムを導入した Memetic EMO アルゴリズムを提案し、その有効性を示す。

3.1 単一目的遺伝的アルゴリズム

前節で調整した丁目ごとのパラメータ α_i を用いて、投票区割りを、投票率最大化を目的として行う。本節では、投票所数を固定化して、制約条件として扱い、それぞれの投票所数を実現し、かつ投票率を最大にする投票所と投票区割りを決定するため、遺伝的アルゴリズム (GA) [15, 16] を用いる。

図 3 に GA で用いる個体表現を示す。個体の染色体の長さを市内の丁目の数とし、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、全丁目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

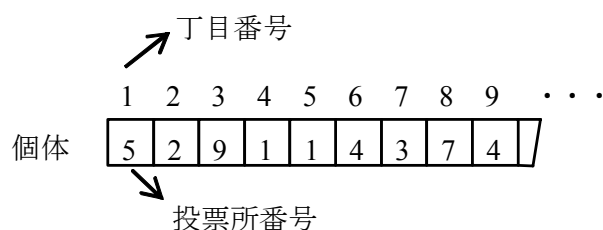


図 3 GA における個体表現

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、各丁目からの距離が 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、本節の単一目的 GA による実験では、投票所数を固定して、シミュレーションを行っているため、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、投票所数の制約を満たすように調整する機能を入れている。本稿の実験では、 $N=200$ 、 $L=10$ 、 $M=5$ 、また GA における世代数を 1000 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、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、高槻市では 66 箇所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 30 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。さらに、投票所数が K 箇所するときの最適解を投票所数が $K+1$ 箇所ときの初期解として、実験を行った。

図 4 に単一目的 GA により得られた結果を示す。横軸は投票所数、縦軸は予測投票率を示している。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 66 で実施された高槻市全体の実投票率である。図 4 より、投票区割りを最適化することにより、同じ投票所数 66 でも 63.8% から 77.0% 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 34 で投票率が 63.9% になることから、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わかる。しかし、投票所数 64 までは投票率が上昇しているが、投票所数 65、66 のときに投票率が下降している。今回、各丁目から投票所が最も近くなる時の投票所数は 64 であったため、投票所数 64 のとき投票率が最も上昇する結果になった。

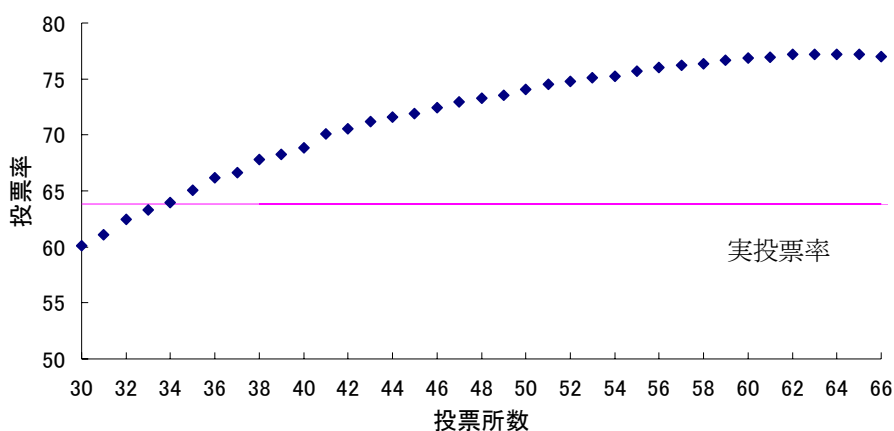


図 4 単一目的 GA (複数回実行) による解集合

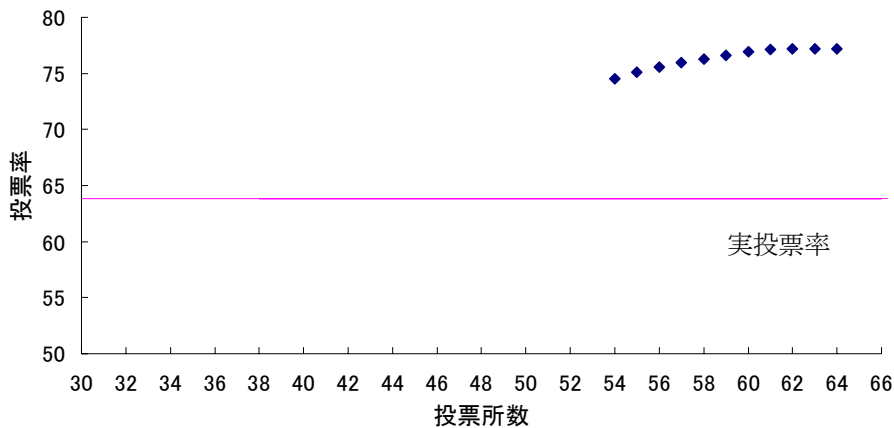


図5 NSGA-IIによる解集合

これは、シミュレーション上で住民の所在地を各丁目の中心にしていることや、同じ丁目の中に複数の投票所が存在する場合があることなどが原因であると考えられる。

3.2 EMO アルゴリズム

高性能な EMO アルゴリズムとして知られている NSGA-II[17]を用いて得られた 2 目的投票区割り最適化問題におけるトレードオフを示す。遺伝的操作は、前節の単一目的と同様のものを用い、NSGA-II で提案されている世代交代を行うことにより非劣解集合を探索した。図5に得られた非劣解集合を示す。図より、NSGA-II では、投票所数が 54 から 61 の解のみが得られ、解の多様性が低いことがわかる。

3.3 Memetic EMO アルゴリズム

NSGA-II の直接的な適用では多様な解が得られなかったため、2 つの局所探索手法を提案し、NSGA-II に導入する。1 つ目の局所探索は投票率を向上させ、2 つ目の局所探索は投票所数を最小化する目的で導入する。

まず、投票率向上のための局所探索では、図3のように表現される個体の遺伝子をランダムに選択する。この遺伝子は、該当する丁目が割り当てられる投票所 ID を表すが、該当する丁目には他に $M - 1$ 個の投票所の候補があるため、それらの投票所に変更したときに、投票率が向上する可能性があるかどうかを確認する。投票率が向上するときには、投票所を変更し、さらに他の遺伝子に関しても、同様に投票所の変更が可能かどうかを探索する。ある丁目に対して、投票率を改善する投票所がない場合（現在、割り当てられてい

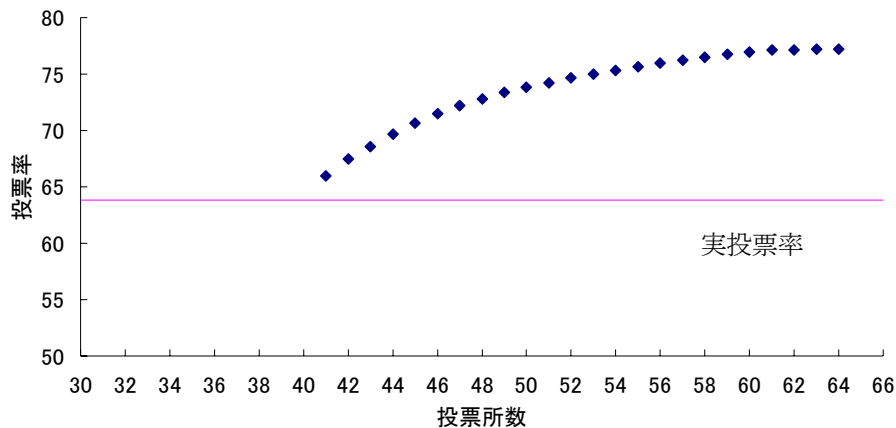


図 6 Memetic NSGA-II による解集合

る投票所が投票率を最大にする投票所である場合), 局所探索を終了する.

また, 投票所数を最小化する局所探索では, 投票所ごとに, 割り当てられている丁目数をカウントし, カウント数が 1 のものを削減対象の投票所として選択する. 選択された投票所に割り当てられている丁目の他の $M - 1$ 個投票所の中から, 既に他の丁目割り当てられている投票所を割り当てることで, 投票所数の削減を実現する. 投票所の削減が行える場合は, 他のカウント数が 1 の投票所を選択し, 同様の局所探索を行う. 削減が行えない投票所が見つかった場合には, 局所探索を終了する.

NSGA-II においては, 遺伝的操作により生成された個体群に対して, それぞれ独立に上記の 2 つの局所探索を行い, 局所探索の結果得られた 2 つの個体群とアーカイブを比較して, 次世代の個体群を生成する.

図 6 に局所探索を導入した NSGA-II (Memetic NSGA-II) により得られた非劣解集合を示す. 図 5 と図 6 の比較からより多様性の高い解集合が得られたことがわかる. 一方, 図 4 と図 6 の比較から, 投票率最大化に関しては, 単一目的 GA を複数回用いて得られた解集合と同様の高い投票率を実現する投票区割りを探索できていることがわかるが, 投票所数最小化に関しては, 依然として探索能力が低いことがわかる.

そこで, 投票所数最小化に関する局所探索に関して, 削減する投票所の候補を拡大した. 具体的には, 投票所 h に割り当てられた丁目数を s_h とするとき, $1 \leq s_h \leq S$ となるような投票所を削減対象とした. ここで, S は削減対象を決定するパラメータである. 図 6 の実験では, $S = 1$ の投票所を対象とした. ここで, 削減対象を決定するパラメータを $S = 2, 3, 4$ として実験を行った. なお, 局所探索においては, 割り当てられた丁目数が少ない投票所からランダムに削減対象として探索を行う.

図 7 に投票所数最小化を強化した局所探索を導入して得られた非劣解集合と単一目的

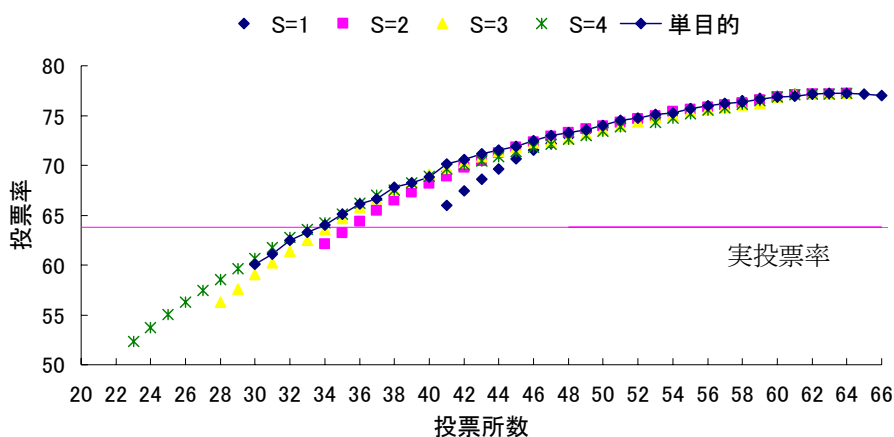


図7 削減数を考慮した Memetic NSGA-II による解集合

GA を複数回実行して得られた解集合（図4と同一）を示す．図7の結果から投票所数最小化を強化した局所探索の導入により，単一目的GAを複数回実行して得られた解集合より多様な解集合が得られたことがわかる．単一目的GAの複数回実行では，制約条件とした投票所数の初期値を30としたため，30未満の投票所数の解が得られないが，Memetic NSGA-IIにより，投票所数23を実現する解が得られている．

4. おわりに

本稿では，社会科学分野における多目的最適化問題として，投票区割り最適化問題を取り上げ，望ましい解集合を探索する Memetic EMO アルゴリズムの提案を行った．技術的には，既存の EMO アルゴリズムと問題に関する知見を生かした局所探索法を組み合わせることで，多様な解集合を探索可能であることを示した．

しかし，本稿で用いた投票参加モデルの頑健性を示すためには，多くの課題が残っている．例えば，有権者の投票参加に関する効用関数の設計において，4値の結果をもつ実アンケート結果を用いたが，アンケートの設問が，本シミュレーションで用いる選挙への関心として適切であったかどうかを検討することが必要である．また，本稿では，1回の選挙結果の投票率のみを用いて，モデルにおけるパラメータを同定したが，選挙ごとにどのようなパラメータの違いがあるかを検討しなければならない．このようにモデルの頑健性という意味では，多くの課題を残すが，政治，行政の現場に対しては，これらのシミュレーション結果を用いて，施策を改善する余地があることを示すことができる．今後はモデルの精度を議論すると共に，これらの実験結果を政策や施策の立案現場にフィードバックする枠組みについても考察する必要がある．

参考文献

- [1] 葉上太郎, 「一票」の公平とは何か, *ガバナンス*, Vol.3, pp.78-81, 2007.
- [2] 小西健太, 村田忠彦, 名取良太, 投票率向上と投票所数削減のための投票シミュレーション, *フ
ァジィシステムシンポジウム講演論文集*, 4 pages, 2008.
- [3] Anthony Downs, *An Economic Theory of Democracy*. Harper, New York, 1957.
- [4] William Riker, Peter Ordeshook, “A Theory of the Calculus of Voting.” *American Political Science
Review*, Vol.62, No.1, pp.25-42, 1968.
- [5] 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, pp.18-33, 2007.
- [6] 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, 2005.
- [7] Richard Niemi, “Costs of voting and nonvoting,” *Public Choice*, Vol.27, No.1, pp.115-119, 1976.
- [8] John H. Aldrich, “Rational Choice and Turnout,” *American Journal of Political Science*, Vol.37 No.1,
pp.246-278, 1993.
- [9] 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*, Vol.93 No.9,
pp.69-83, 2002.
- [10] 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*, Vol.7, 2006.
- [11] 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.),
pp.14-16, 2005.
- [12] 蒲島郁夫, 『政治参加』, 東京大学出版会, 1987.
- [13] 三宅一郎・西澤由隆, 日本の投票参加モデル, 環境変動と態度変容 (綿貫譲治・三宅一郎, 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*, Vol.17, pp.45-57, 2002.
- [15] David E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley
Longman Publishing, Boston, MA, 1989.
- [16] John H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge, MA, 1975.
- [17] K. Deb, S. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm:
NSGA-II.” *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol.6, No.2, pp.182-197, 2002.