

中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻
修士論文

選挙区割問題に対するヒューリスティクスを用いた
ZDD 構築の効率化

Efficient ZDD Construction Using Heuristics
for the Electoral Districting Problem

千原 良太
Ryota CHIHARA
学籍番号 21N8100011I

指導教員 今堀 慎治 教授

2023年3月

概 要

衆議院議員選挙小選挙区制における選挙区割問題とは、各都道府県ごとに議席数(区割数)が定められており、市区町村からなる小地域を組合せて区割を構成し、その中から最も良い区割を見つける離散最適化問題の一種である。実際の選挙区割では、人口の偏りによる「一票の格差」が問題提起されており、人口の格差を最小にした区割の導出が求められている。

この問題の解法として、ゼロサプレス型二分決定グラフ(ZDD)を用いた区割列挙が知られている。区割数や各区割の人口の上限・下限などを制約として与え、その制約から枝刈りを行うことで、解候補を列挙することができる。ただし、区割人口の上下限制約は、平均人口から一律に定められた許容誤差を用いて計算し、メモリ不足等で解が導出できない場合のみ値を変更する手法が多く取られていた。

本論文では、ヒューリスティクスを用いて人口の上下限制約を定め、それを基にZDDを構築することで、従来よりも効率的に解候補を得る手法を提案する。また、計算機実験を行い、従来手法よりもZDD構築における計算時間とメモリ消費量が削減できることを確認する。

キーワード: 離散最適化, 選挙区割問題, ZDD, ヒューリスティクス.

目次

第1章	はじめに	1
第2章	選挙区割問題	3
2.1	概要	3
2.2	モデル表現	3
2.2.1	集合分割型モデル	3
2.2.2	グラフ分割型モデル	3
第3章	ZDDを用いた区割列挙手法	4
3.1	概要	4
3.2	ゼロサプレス型二分決定グラフ	4
3.3	フロンティア法	4
3.4	区割列挙アルゴリズム	4
3.4.1	人口制約なしの場合	4
3.4.2	人口制約ありの場合	4
第4章	ヒューリスティクスを用いた手法	5
4.1	概要	5
4.2	初期解生成	5
4.3	局所探索法	5
4.4	焼きなまし法	5
第5章	計算機実験	6
5.1	概要	6
5.2	実験環境	6
5.3	入力データ	6
5.4	実験結果	6
5.4.1	人口制約なし	6

5.4.2	人口制約あり：格差許容定数を用いる場合	6
5.4.3	人口制約あり：ヒューリスティクスの結果を用いる場合	6
5.5	考察	6
第 6 章 おわりに		7
謝辞		8
参考文献		9

第1章 はじめに

日本の衆議院議員選挙における小選挙区制の区割は、総定数から各都道府県に何議席を割り当てるかを定める定数配分問題と都道府県内で、割り当てられた議席数分の選挙区を市区町村を組合せて構築する区割画定問題を解くことによって、定めることができる。

定数配分問題は、法学、公共政策学、数理情報学などの様々な観点から取り組まれており、過去 200 年以上にわたり多くの手法が提案されている。2022 年 12 月 28 日には、公職選挙法の一部を改正する法律（区割り改定法）が施行され、衆議院小選挙区選出議員の選挙区について「アダムズ方式」を用いた議席の配分が行われた。アダムズ方式はアメリカ 6 代目大統領ジョン・アダムズ氏が考案したとされており、簡単に説明すると「各都道府県の人口をある自然数で割った商の小数点以下を切り上げた数を、その都道府県の議席数とする」手法である。この手法は、一票の格差の是正には効果的とされているが、「アラバマ・パラドックス」と呼ばれる改訂時に議席総数が増加した際に、ある地区では配分される議席数が改訂前より減る現象が起こる場合がある。また、過去に提案された手法を比較したときに、一票の格差がほぼ等しい場合でも、各都道府県の人口が多い方が有利な手法、少ない方が有利な手法といった差が現れ、どの手法も一長一短であることから、選挙制度の意義等も踏まえつつ議論する必要がある。本稿では、定数配分問題については主に扱わず、2021 年に行われた第 49 回衆議院議員選挙の定数配分をそのまま利用する。

区割画定問題は、都道府県内の選挙区の組合せが市区町村数の指数通り存在し、NP 困難であるとして、20 世紀末までは最適性の保障のない解の導出の研究が主であった。しかし、2003 年に根本氏・堀田氏が数理モデルによる定式化を提案して以降、数理的な観点から多くの研究が取り組まれており、厳密解を導出するための手法がいくつか提案されている。その中の手法の一つとして、ゼロサプレス型二分決定木（ZDD）を用いた区割列挙があり、フロンティア法によってトップダウンに ZDD を構築することで、高速に選挙区割を求めることが可能となっている。ただし、いくつかの都道府県においては計算機のメモリ不足により解を導出することが困難である。

本研究では、区割画定問題（以下「選挙区割問題」と称する）における ZDD を用いた区割列挙について扱い、ヒューリスティクスを用いて効率的に区割列挙を行う手法を提案する。本稿の第 2 章では選挙区割問題について定義し、数理モデルによる定式化を説明す

る．第3章ではZDDとフロンティア法，それを用いた区割列挙アルゴリズムについて詳しく述べる．第4章では，第3章で説明したアルゴリズムとヒューリスティクスを組み合わせることでZDD構築を効率化する手法を提案する．そして，第6章で計算機実験の結果とその考察を示し，第7章で結論と今後の課題について述べる．

第2章 選挙区割問題

2.1 概要

2.2 モデル表現

2.2.1 集合分割型モデル

2.2.2 グラフ分割型モデル

第3章 ZDDを用いた区割列挙手法

3.1 概要

3.2 ゼロサプレス型二分決定グラフ

3.3 フロンティア法

3.4 区割列挙アルゴリズム

3.4.1 人口制約なしの場合

3.4.2 人口制約ありの場合

第4章 ヒューリスティクスを用いた手法

4.1 概要

4.2 初期解生成

4.3 局所探索法

4.4 焼きなまし法

第5章 計算機実験

5.1 概要

5.2 実験環境

5.3 入力データ

5.4 実験結果

5.4.1 人口制約なし

5.4.2 人口制約あり：格差許容定数を用いる場合

5.4.3 人口制約あり：ヒューリスティクスの結果を用いる場合

5.5 考察

第6章 おわりに

謝辞

本研究を進めるにあたり，大変多くのご指導，ご助言を頂いた中央大学理工学部情報工学科の中央太郎教授に深く感謝いたします。また，多大なるご助言，ご協力を頂いた〇〇研究室の皆様には大変お世話になりました。心から感謝いたします。

参考文献

- [1] 末武国弘, 科学論文をどう書くか, 講談社ブルーバックス, 講談社, 東京, 1981.
- [2] 草野花子, 中大太郎, パラメトリック増幅器, 電子情報通信学会論文誌, vol. J62-B, no. 1, pp. 20–27, 1979.
- [3] M. G. F. Fuortes, ed., *Handbook of Sensory Physiology*, Springer-Verlag, Berlin, 1972.
- [4] W. Rice, A. C. Wine, and B. D. Grain, Diffusion of impurities during epitaxy, *Proc. IEEE*, vol. 52, no. 3, pp. 284–290, 1964.
- [5] L. J. Guibas and R. Sedgewick, A dichromatic framework for balanced trees, *Proc. 19th IEEE Sympos. Found. Comput. Sci.*, Ann Arbor, pp. 8–21, 1978.
- [6] 中大次郎, マルチメディアと数理工学, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士論文, 1998.
- [7] K. Iwama, A. Kawachi, and S. Yamashita, Quantum biased oracles, *IPSJ Digital Courier*, vol. 1, pp. 461–469 (online), DOI: 10.2197/ipsjdc.1.461, 2005.
- [8] 情報処理学会, 論文誌ジャーナル (IPSJ Journal) 原稿執筆案内, 情報処理学会 (オンライン), 入手先 <https://www.ipsj.or.jp/journal/submit/ronbun_j_prms.html> (参照 2022-04-25).