

就学年齢を可変とした小中学校区割当問題

清水 仁¹ 中村 翼² 諏訪 博彦²

概要：日本の戦後の義務教育では、小学校が6年間で中学校が3年間、という学校制度が施行されている。しかし教育制度は国や時代によって異なる。また近年は小中一貫校や中高一貫校など、定型的な期間とは異なる就学年齢も広がっている。本研究ではこの教育制度の就学年齢の決定方法に注目して、低学年ほど児童生徒の通学の負担が大きいために小中学校が分割されているという仮説を、数理モデルを構築して検証する。奈良市のデータセットを用いたシミュレーション実験において、児童生徒の通学コストを変化させたときの最適な就学年齢を求めた。実験結果から、通学コストが一律であれば小中学校を統合する解が最適となるが、通学コストに傾斜があれば小中学校を分離する解が最適となりうることが示唆された。

Elementary and Junior High School District Allocation Problem with Flexible School Age

Hitoshi Shimizu¹ Tsubasa Nakamura² Hirohiko Suwa²

1. はじめに

日本の戦後の義務教育では、小学校が6年間で中学校が3年間、という学校制度が施行されている。この区切り方は本当に適切だろうか？世界を見渡せば、教育制度は国によって異なる。たとえば小学校の期間としては4年から9年までの国が存在する^{*1}。しかし戦後の日本では小学校区^{*2}の統廃合などの変化は生じているものの、就学年齢は全国的に統一されたままで変更されていない。仮に就学年齢が決定された当時においては適切であったとしても、少子化が進む現状においていつまで適切であるか明確ではない。そこで本研究は、就学年齢を変更すべき条件がどのようなものか明らかにすることを目的とする。

表1に示すように、日本では明治維新や第二次世界大戦の後に学制が大きく改革され、その中で就学年齢も変更されてきた。この表では、年代が進むにつれて義務教育の期間が延長されていることがわかる。義務教育の制定前に

は、子供が学校に行くという常識は存在せず、学校という概念が浸透するまで時間がかかったものと思われる。注目したいのは、現在の中学校の年齢に対応する高等小学校は義務教育の対象ではなく、尋常小学校から進学する児童生徒は限定されていた [都筑 13] という点である。通学する児童生徒が異なるのであれば、異なる学校として配置することは合理的と思われる。しかし、1947年以降の中学校は義務教育の対象であり、小学校の卒業生は基本的に中学校に進学する。この場合、なぜ小学校と中学校を異なる学校として配置する必要があるのだろうか？

この疑問への作業仮説はいくつか考えられる。たとえば、戦前まで尋常小学校と高等小学校が別の学校だったため、それらの校舎をそのまま使おうとして別の施設になったのかもしれない。あるいは、戦前の旧制中学校^{*3}が中高一貫校として存続することを考慮して、小学校と中学校の間に区切りを用意する必要があったのかもしれない。過去の意思決定の根拠を究明することは、以上のような歴史的な事情を考慮する必要があるため難しい。そこで本研究では歴史的な事情は一旦考慮の対象外として、単年度のコストを最小化する最適化問題の解として小学校6年中学校3年という制度が意思決定されているという仮定の下に、「低学年ほど児童生徒の通学の負担が大きいため小中学校が分割

¹ NTT コミュニケーション科学基礎研究所

² 奈良先端科学技術大学院大学

^{*1} <https://gooddo.jp/magazine/education/4082/>

^{*2} 公立学校の通学区域を東日本では学区と呼ぶが、本稿では奈良市のデータセットを用いるため西日本で一般的な「校区」の用語を用いる。NHK 放送文化研究所「最近気になる放送用語」<https://www.nhk.or.jp/bunken/summary/kotoba/term/050.html>

^{*3} 旧制中学校は現在の中学校と高等学校の学齢にほぼ対応する。

表 1 義務教育の歴史（出典：文部省「学制 120 年史」「明治以降教育制度発達史」https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/05082301/017.htm）. 青の網掛けは義務教育として規定された年齢を示す.

学齢	階層	年代		
		1900	1907	1947
15	L9			中学校
14	L8	高等小学校	高等小学校	中学校
13	L7	高等小学校	高等小学校	中学校
12	L6	高等小学校	尋常小学校	小学校
11	L5	高等小学校	尋常小学校	小学校
10	L4	尋常小学校	尋常小学校	小学校
9	L3	尋常小学校	尋常小学校	小学校
8	L2	尋常小学校	尋常小学校	小学校
7	L1	尋常小学校	尋常小学校	小学校

されているのではないか」という仮説を立てて、現時点のデータセットに対して数理モデルを用いて検証を進める.

2. 問題設定

問題設定で用いる記号の定義を表 2 に示す. まず, 学齢の単位に対応した階層 (Layer) を $L1, L2, \dots$ とよび, 階層をノードとした無向グラフを考える. そして, 隣接する学齢のうち, 同じ学校に就学する学齢ノードをエッジで接続する. このような無向グラフにより, 任意の教育期間を表現することができる (図 1). この無向グラフで表現されるインスタンスを, 以降で学齢割当とよぶ. 言い方を変えれば, 学齢ノードを要素とする学齢集合 L を考えたとき, L の分割^{*4}のうち, 隣接しない学齢 a_i と a_j が分割の元 A に含まれるとき, それらの間の任意の学齢 a_k が同一の元 A に含まれるものを P とすると, P のインスタンスが学齢割当に相当する.

$$\begin{aligned} a_k \in A & \quad i < \forall k < j \\ \text{if } a_i, a_j \in A & \quad \forall A \in P \end{aligned} \quad (1)$$

P の元 A は L の部分集合であるが, A に含まれる最低学齢 a が階層 l のとき, A を階層 l とよぶ. この呼称は P が所与のとき A を一意に識別可能である. 具体的には, A は小学校や中学校に対応する.

以下で, 現在の日本の義務教育における具体例で示す (図 1). 小学校と中学校を合わせた義務教育の年数は 9 年間である. 学齢の単位を 1 年として, 9 年に対応する $L1$ から $L9$ までのラベルをつけたノードを用意する. そして現状の, 小学校 6 年, および, 中学校 3 年の制度については, $L1$ から $L6$ までの間にリンクを設定することで小学校を表現し, $L7$ から $L9$ までの間にリンクを設定することで中学校を表現できる (図 1 小 6 中 3).

^{*4} L の空でない部分集合からなる集合族で, 元の和集合が L に等しく, 任意の二つの元の共通部分が空集合であるもの

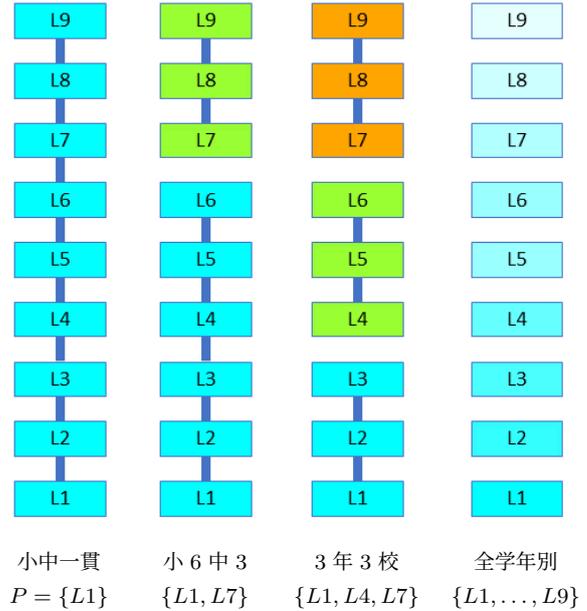


図 1 9 年間の学齢割当の例.

ノードが存在するとき, 8 本のリンクの有無で異なる学齢割当 P が一意に決まるため, $2^8 (= 256)$ 種類の学齢割当が存在する. たとえば, 全てのリンクを接続したとき小中一貫教育に相当する学齢割当 (図 1 小中一貫) となり, 全てのリンクを切断したとき全学年で異なる学校に通う学齢割当 (図 1 全学年別) となる.

学齢割当が与えられたとき, 以下の施設配置問題を解いて, 運営コストと通学コストの和を最小化する $x_{n \rightarrow s}^\ell, y_s^\ell$, および $z_{n \rightarrow n'}^{s\ell}$ を求める.

- 目的関数

$$\sum_{\ell \in P} \sum_{s \in S} \left(F^\ell y_s^\ell + \sum_{n \in N} W_n^\ell D_{n \rightarrow s}^\ell x_{n \rightarrow s}^\ell \right) \quad (2)$$

- 制約条件

$$\sum_{s \in S} x_{n \rightarrow s}^\ell = 1 \quad \forall n, \forall \ell \quad (3)$$

$$x_{n \rightarrow s}^\ell \leq y_s^\ell \quad \forall s, \forall n, \forall \ell \quad (4)$$

$$x_{s \rightarrow s}^\ell = y_s^\ell \quad \forall s, \forall \ell \quad (5)$$

$$\sum_{n \in \text{adj}(s)} z_{s \rightarrow n}^{s\ell} = M \times (1 - y_s^\ell) \quad \forall s, \forall \ell \quad (6)$$

$$\sum_{n' \in \text{adj}(n)} z_{n \rightarrow n'}^{s\ell} - z_{n' \rightarrow n}^{s\ell} = x_{n \rightarrow s}^\ell \quad \forall s, \forall n, \forall \ell \quad (7)$$

$$\sum_{n' \in \text{adj}(n)} z_{n \rightarrow n'}^{s\ell} = M \times x_{n \rightarrow s}^\ell \quad \forall s, \forall n, \forall \ell \quad (8)$$

$$x_{n \rightarrow s}^\ell \in \{0, 1\} \quad \forall s, \forall n, \forall \ell \quad (9)$$

$$y_s^\ell \in \{0, 1\} \quad \forall s, \forall \ell \quad (10)$$

$$z_{n \rightarrow n'}^{s\ell} \geq 0 \quad \forall s, \forall n', \forall n, \forall \ell \quad (11)$$

式 (2) の第一項は運営コストで, 学校の運営するために必要な年間の経費とする. 第二項が通学コストで, 児童

表 2 記号の定義

記号	定義
a	学齢. $a \in L = \{L1, \dots, L9\}$
ℓ	学校の階層. $\ell \subset L$
P	学齢の集合 L の分割のうち式 (1) の条件を満たすもの. 学齢割当.
N	町丁目集合: $n \in N$
$\text{adj}(n)$	町丁目 n に隣接する町丁目の集合. $\text{adj}(n) \subset N$
S	学校を設置できる町丁目集合. $s \in S \subseteq N$
F^ℓ	階層 ℓ の学校を運営する 1 年度分のコスト
W_n^ℓ	階層 ℓ の学校に就学する町丁目 n の児童生徒数
\hat{W}_n^a	町丁目 n の学齢 a の児童生徒数
$D_{n \rightarrow s}^\ell$	階層 ℓ の学校の児童生徒一人が町丁目 n から学校 s まで通学する 1 年度分のコスト
$x_{n \rightarrow s}^\ell$	町丁目 n の児童生徒が学校 s に就学することの指示変数
y_s^ℓ	町丁目 s で階層 ℓ の学校を運営することの指示変数
$z_{n \rightarrow n'}^{s\ell}$	階層 ℓ の学校 s に向かう町丁目 n から n' に向かうフローの量
M	大きな値. 実験では $ N - 1$ を用いる.

生徒の自宅から学校までの通学時間と人数に比例する数値とする. ただし, 町丁目 n から階層 ℓ の学校に就学する人数は, 学齢についての合計とする.

$$W_n^\ell = \sum_{a \in \ell} \hat{W}_n^a \quad (12)$$

ここで, 通学コストの係数 $D_{n \rightarrow s}^\ell$ は児童生徒の学齢ではなく, 学校の階層 ℓ で決まることに留意されたい.

式 (3) は, 全ての住所が全ての階層について, いずれか 1 つの学校に割り当てられる制約である. 式 (4) は, 開校していない学校にはどの町丁目も割り当てられない制約である. 式 (5) は, 町丁目の中で学校が開校している場合はその学校に就学する制約である. 式 (6) (7) (8) は, 校区の飛び地を回避して連続させる制約である [Validi 21]. 式 (2) から式 (11) までの施設配置問題の最適解の目的関数の値を総コストとよぶ. 総コストが最小となる学齢割当 P を求めることが, 本稿での問題設定となる.

3. 解法

前節の最適化問題は, 商用の汎用ソルバーを用いて厳密解を計算できる. 本研究で対象とする学齢は 9 年であるため, $2^8 (= 256)$ 通りの最適解を網羅的に求めることが可能である. そこで 256 通りの最適解のうち, 目的関数が最小値となる学齢割当を求める. もし対象の領域が広大であったり, 学齢の数が多大であったりする場合には, 効率的な計算手法を検討すべきである.

たとえば, 以下の方法が考えられる. 学齢割当の総コストは, 各階層の学校のコストの合計である. そして, 9 年間の学齢を考慮するとき, 各階層の学校のパターンはたかだか 45 種類である (表 3). この 45 種類のコストの組み

表 3 含まれる学齢数による学校のパターンの数

含まれる学齢数	L の部分集合の数
1	9
2	8
3	7
4	6
5	5
6	4
7	3
8	2
9	1
合計	45

合わせて, 256 種類の総コストが決定される. そのため, 45 種類のコストを先に求めておくことで, 冗長な計算を削減することができる.

4. データセット

実験では, 通学コストと運営コストのバランスが, 最適な学齢割当に影響を与えることを示す. また, 戦後の教育制度改革では, この中から小学校 6 年と中学校 3 年が採用されているが, このような学齢割当が最適となるパラメータの条件について検討する.

実験に用いるデータセットは奈良市を対象として, 町丁目を最小単位とする*5. 「令和 2 年国勢調査町丁・字等別境界データ」に基づく, Geoshape リポジトリ国勢調査町丁・字等別境界データセット 2020 年版*6 の TopoJSON ファイルをダウンロードして用いた. 町丁目の数は 638 個である. ただし飛び地が存在する町丁目については, 隣接する町丁目に統合するなどの操作により, なるべく飛び地を解消するように手作業でデータを編集した. 町丁目の隣接関係は PySAL を用いて境界線を共有するペアを抽出した [Rey 07]*7.

4.1 学校

予備実験において, 全ての町丁目に学校を配置可能とすると計算量が多大となり計算不能となることがわかった. そこで, 2023 年度現在で公立の小学校または中学校が設置されている町丁目 (63 箇所) のみに学校を配置可能として, 最適化の際の変数の数を削減した. 参考のため, 現在の奈良市の小中学校の校区を図 2 に示す.

4.2 移動コスト

2024 年に通学することが見込まれる町丁目ごとの住民

*5 現実では単一の町丁目複数の校区に分割されている箇所もあるが, 本研究では統合して扱う.

*6 <https://geoshape.ex.nii.ac.jp/ka/resource/>

*7 点の共有で隣接を判定する Queen 隣接性を用いることも可能であるが, 校区を多角形とするためには境界線の共有で隣接を判定する Rook 隣接性を用いる必要がある.

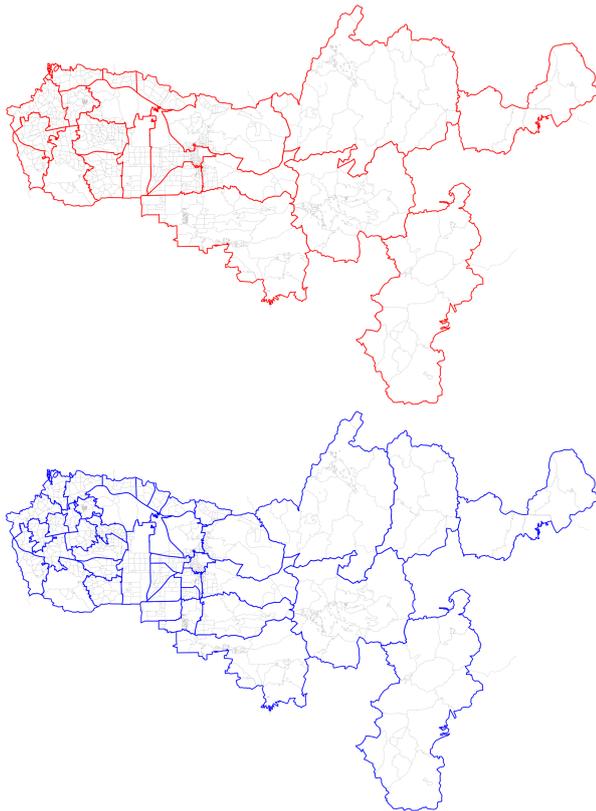


図 2 2023 年度現在の奈良市の実際の中学校区（上）と小学校区（下）。奈良市地図情報公開サイト*⁹ から引用。

表 4 データセットの概要

記号	項目	数値
$ N $	町丁目数	638
$ S $	学校候補地	63
$\sum_a \sum_n \hat{W}_n^a$	児童生徒数	25,486
F^l	運営コストの単価 [千円/年]	10,000

数に基づき、児童生徒数を決定した。L1 から L9 までの合計で 25,486 人となった。徒歩（時速 4km）で年間 200 日往復することを想定し、一般的な時間価値として 40 円/分を用いて [矢部 00]、1km あたり年間 24 万円の通学コストが発生するものとした（表 5 一律）。ただし、低年齢のほうが歩行速度が遅かったり [田中 96]、危険が大きいことを考慮して最低学年で倍額のコストとなるように傾斜したパターンでも実験した（表 5 傾斜）。移動距離は以下の手順で計算した。まず隣接する町丁目の代表点間の距離を緯度経度から、隣接する町丁目間の移動距離を求める。次に町丁目を隣接関係でつないだグラフ上で、各町丁目から学校が設置される町丁目までの最短距離を求める。データセットの概要を表 4 に示す。

4.3 運営コスト

学校については階級に関わらず、1 校につき年間 1000 万円の費用が発生すると仮定して、この値を運営コストとし

表 5 通学コストの設定。単位は [千円/年]

学齢	階層	一律	傾斜
15	L9	240	240
14	L8	240	270
13	L7	240	300
12	L6	240	330
11	L5	240	360
10	L4	240	390
9	L3	240	420
8	L2	240	450
7	L1	240	480

て設定した。実際の学校では児童生徒数の定員を考慮する必要があるが、本実験では問題を簡単にするために定員を無制限とした。

5. 実験結果

提案手法は Python と数理最適化ソルバーの Gurobi Optimizer 10.0.0 [Gurobi Optimization, LLC 22] で実装して、CPU は 10 コア（最大 12 スレッド）の Intel(R) Core(TM) i7-1265U 2.70GHz、メモリは 16GB の計算機で解を求めた。

5.1 学齢割当ての最適解の比較

実験で 256 種類の総コストを比較したところ、図 1 の 4 パターンに最適な学齢割当てが含まれていた。そこで、全てのパターンが現実的に実行可能とは言えないものの、この 4 パターンについて表 6 に最適解の総コストを示す。また、このときの学校数を表 7 に示す。

全学年で通学コストが一律の場合は、小中一貫が最適解となった（表 6 左）。内訳を見ると、通学コストがどの学齢割当てでも差が小さいのに対して、運営コストには大きな差が生じている。そこで、各学齢割当ての学校数を比較すると、学校種別が多いほど学校数の合計が多くなるのがわかる（表 7 左）。

一方、通学コストに傾斜を設定した場合は、3 年 3 校の学齢割当てが最適解となった（表 6 右）。内訳を見ると、運営コストについては一律の場合と同様に、学校種別が増えるほど大きくなるが、通学コストは学校種別の数が増えるほど小さくなる傾向となった。そのため、中間的な設定である「小 6 中 3」と「3 年 3 校」が、「小中一貫」および「全学年別」よりも総コストが小さい。各学齢割当ての学校数について一律の場合と比較すると、高学年では学校数が一律とほとんど差がないが、低学年では傾斜のほうが一律よりも学校数が多い（表 7 右）。通学コストの大きい学齢について、学校数を多く配置することで通学距離を短縮する解が選択されている。

5.2 最適解の分析

傾斜かつ小 6 中 3 の条件の最適解で開設される学校数は、

表 6 学齢割当によるコストの比較. 単位は [千円/年]

	一律				傾斜			
	小中一貫	小 6 中 3	3 年 3 校	全学年別	小中一貫	小 6 中 3	3 年 3 校	全学年別
総コスト	4,752,181	5,159,172	5,546,847	7,291,799	9,074,362	8,354,572	8,229,122	9,707,769
(通学コスト)	4,322,181	4,379,172	4,476,847	5,201,799	8,644,362	7,544,572	7,049,122	7,227,769
(運営コスト)	430,000	780,000	1,070,000	2,090,000	430,000	810,000	1,180,000	2,480,000

表 7 学齢割当による学校数の比較

通学コスト 階層	一律				傾斜				2023 年度 実績	
	小中一貫	小 6 中 3	3 年 3 校	全学年別	小中一貫	小 6 中 3	3 年 3 校	全学年別		
L9				26				26	21	
L8				23				25		
L7		37	37	25		38	38	26		
L6				24				27		
L5				23				27		
L4			37	21			39	28		
L3				24				28		
L2				22				30		
L1	43	41	33	21	43	43	41	31		42

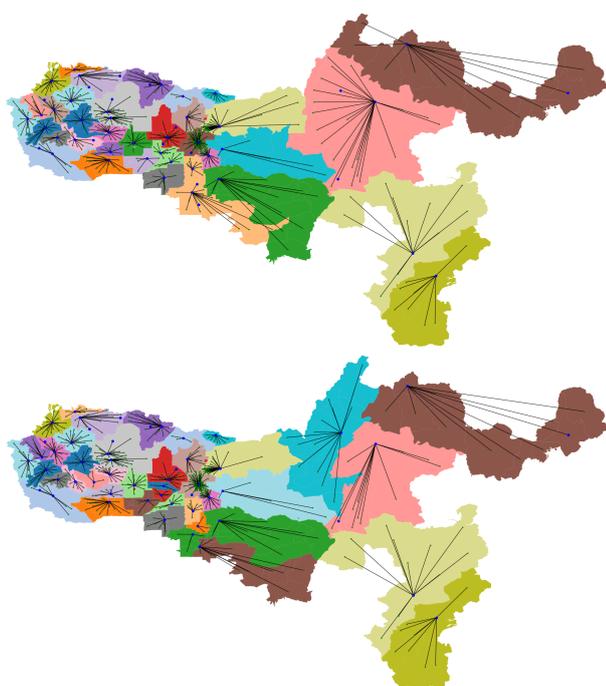


図 3 傾斜かつ小 6 中 3 の条件の最適解の L7 学校区 (上) と L1 学校区 (下). 町丁目と割り合てられた学校を直線で結んだ.

表 7 の右端に示した実績の数に, ある程度に近い値となった. また, 傾斜かつ小 6 中 3 の条件の最適解の校区割当を 図 3 に示す. 図 2 と比較すると, 現実の校区と似たサイズの校区が得られていることがわかる. 以上の類似性から, 現実の学齢割当と校区決定が最適解に近いものであると仮定すると, パラメータもある程度は妥当であると考え.

6. 考察

人口が安定している社会では義務教育において, 学年ご

との児童生徒数がほぼ一定になることが期待される. しかし, 現代の日本ではこの原則が崩れる要因が二つ挙げられる. 一つ目は, 小学校の卒業生が公立中学ではなく私立中学に進学することである. 私立中学への進学によって, 小学校よりも中学校の就学率は低くなる. このことは提案モデルにおいて, 通学コストが高学年ほど小さくすることで表現できる. 二つ目は, 人口が世代間で増減することである. たとえば人口減少によって, 低学年ほど少人数になる. このことは提案モデルにおいて, 通学コストが低学年ほど小さくすることで表現できる.

本稿の実験結果から, 以上のような状況においては, 必ずしも現時点の学齢割当の制度を前提として, 校区の統廃合だけで調整するだけでなく, 学齢割当自体を見直すべき時期を見極める必要が生じることが示唆された. 本稿のアプローチを一般化すると, 現在の制度の意図を数理モデルによって理解して, パラメータの変化で変革の必要性を検証する, ということになる. 同様なアプローチは校区問題以外に対しても有効であることが期待される. システム全体が破綻するまで非効率な制度を維持するのではなく, 柔軟に改善できるような方法論に発展させたい.

7. 関連研究

校区割当問題は, 施設配置問題の一種として研究されてきた [Roodman 75][Diamond 87][November 96][Pizzolato 04]. 特に校区割当では, 校区から飛び地を排除することが重要である. 飛び地がある校区は, 最寄りの学校に割り当てられない住所があることを意味し, より近い学校がある校区割当は, 住民からの不満が発生しやすい. 飛び地の回避は計算量の問題のため, これまで多くのヒューリス

ティック手法が開発されてきた [Biswas 19]. しかし Caro ら [Caro 04] が整数計画問題としての定式化を提案して以降, 近年ではアルゴリズムと計算機の性能のために, 厳密解を求める定式化が実用的になりつつある.

領域分割の問題設定としては, 選挙区の決定問題に関する研究がある [Validi 22]. また, 避難所の割当問題に関する研究がある [Takizawa 13]. どちらも校区割当問題と類似の定式化で解けるため, 多くの新技術が互いの分野に適用可能である.

校区に特徴的な研究としては, 小中学校間の連携のためのスクールファミリーを導入するための研究がある [富永 03]. 中学校の校区が小学校の校区を包含するような制約を導入することで, 厳密解を求めることが可能である [Shimizu 23]. しかし, 本研究のように数理モデルを用いて学齢割当の最適解を求める研究はこれまでになかった.

8. まとめと今後の課題

本稿では, 学齢割当について最適解を求める手法を提案した. また, 評価実験ではこの手法を奈良市のデータセットに適用して, 最適解と現在の小中学校の学齢割当とを比較した. 評価実験の結果, 当初のリサーチクエスト「なぜ小学校と中学校は異なる学校として配置する必要があるか」に対して, 以下の知見が得られた.

- 通学コストが全ての学齢で一律であれば, 義務教育の期間を単一の学校とする学齢割当が最適となる
- 低学年ほど通学コストが高い状況であれば, 義務教育を複数の学校に分割する学齢割当が最適となりうる

今後の課題として2点を挙げる. 一つ目は, パラメータの妥当性である. 本研究では, 学齢を複数の学校に分割する解が最適となるパラメータと, 小中学校を統合する解が最適となるパラメータが存在することを実験で示した. これは, 住民が意思決定する段階で採用する数理モデルについて合意できた場合でも, パラメータによって意思決定の結果が変わってしまうことを意味する. 住民が納得できる妥当なパラメータの決定方法を開発する必要があるだろう.

二つ目は, 対象年齢の拡大である. たとえばアメリカでは K-12 という教育制度で, 日本の高等学校に相当する期間も含めた計 13 学年の義務教育が用意されている. この場合には可能な学齢割当の数は $2^{12} = 4096$ となる. 最適解を求めるための計算量が増加するため, より効率的に計算する必要性が生じるだろう. また, 日本では小中一貫校の整備が進められる^{*10} 一方で, 中高一貫校も増加している^{*11}. 小中一貫と中高一貫を混在させるほうがよいのか, どちらかに揃えるほうがよいのか, 様々な観点からの検討

が必要であるが, 本研究がその検討の一助となれば幸いである.

参考文献

- [Biswas 19] Biswas, S., Chen, F., Chen, Z., Sistrunk, A., Self, N., Lu, C.-T., and Ramakrishnan, N.: REGAL: A Regionalization framework for school boundaries, in *Proceedings of the 27th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 544–547 (2019)
- [Caro 04] Caro, F., Shirabe, T., Guignard, M., and Weintraub, A.: School redistricting: Embedding GIS tools with integer programming, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 55, No. 8, pp. 836–849 (2004)
- [Diamond 87] Diamond, J. T. and Wright, J. R.: Multiobjective analysis of public school consolidation, *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 113, No. 1, pp. 1–18 (1987)
- [Gurobi Optimization, LLC 22] Gurobi Optimization, LLC.: Gurobi Optimizer Reference Manual (2022), <https://www.gurobi.com>
- [November 96] November, S. M., Cromley, R. G., and Cromley, E. K.: Multi-objective analysis of school district regionalization alternatives in Connecticut, *The Professional Geographer*, Vol. 48, No. 1, pp. 1–14 (1996)
- [Pizzolato 04] Pizzolato, N. D., Barcelos, F. B., and Nogueira Lorena, L. A.: School location methodology in urban areas of developing countries, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 11, No. 6, pp. 667–681 (2004)
- [Rey 07] Rey, S. J. and Anselin, L.: PySAL: A Python Library of Spatial Analytical Methods, *The Review of Regional Studies*, Vol. 37, No. 1, pp. 5–27 (2007)
- [Roodman 75] Roodman, G. M. and Schwarz, L. B.: Optimal and heuristic facility phase-out strategies, *AIIE transactions*, Vol. 7, No. 2, pp. 177–184 (1975)
- [Shimizu 23] Shimizu, H., Suwa, H., Iwata, T., Fujino, A., Sawada, H., and Yasumoto, K.: School Families: A New Formulation of School District Planning Problem, in *56th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (2023)
- [Takizawa 13] Takizawa, A., Takechi, Y., Ohta, A., Kato, N., Inoue, T., Horiyama, T., Kawahara, J., and Minato, S.-I.: Enumeration of region partitioning for evacuation planning based on ZDD (2013)
- [Validi 21] Validi, H., Buchanan, A., and Lykhovyd, E.: Imposing contiguity constraints in political districting models, *Operations Research* (2021)
- [Validi 22] Validi, H., Buchanan, A., and Lykhovyd, E.: Imposing contiguity constraints in political districting models, *Operations Research*, Vol. 70, No. 2, pp. 867–892 (2022)
- [田中 96] 田中 敦士, 奥住 秀之: 小児歩行の発達的变化 歩行速度, 歩幅, 歩幅率, 歩調からの検証, *Equilibrium research*, Vol. 55, No. 3, pp. 270–274 (1996)
- [都筑 13] 都筑 学: 今日の学校教育制度と人間観・発達観 (特集: 心理学は教育の目標をどうとらえるか), *心理科学*, Vol. 34, No. 1, pp. 1–10 (2013)
- [富永 03] 富永 隆, 貞広 幸雄: GIS による学区再編の計画立案-スクールファミリー制度の導入可能性の検討, *地理学評論*, Vol. 76, No. 10, pp. 743–758 (2003)
- [矢部 00] 矢部 努, 大蔵 泉, 中村 文彦: リアルタイム情報を用いたバス運行管理の高度化に関する研究, *都市計画論文集*, Vol. 35, pp. 451–456 (2000)

*10 文部科学省「小中一貫教育の推進について」https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/ikkan/1357575.htm

*11 内閣府. 2016 年. 「中高一貫教育校数の推移」<https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/reform/wg4/280826/shiryout2-4.pdf>