

# 教科教室型校舎における移動時の混雑緩和に関する研究

## A Study on Congestion Mitigation during Moving in a Departmentalized Classroom System

○藤川 滉暉<sup>\*1</sup>, 山邊 友一郎<sup>\*2</sup>, 谷 明勲<sup>\*3</sup>  
Hiroki Fujikawa<sup>\*1</sup>, Yuichiro Yamabe<sup>\*2</sup> and Akinori Tani<sup>\*3</sup>

\*1 神戸大学大学院工学研究科 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kobe University.

\*2 神戸大学大学院工学研究科 准教授, 博士(工学)

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

\*3 神戸大学大学院工学研究科 教授, 博士(工学)

Professor, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

**Summary:** Recently, the number of schools that adopt a departmentalized classroom system is increasing. In the departmentalized classroom system, dedicated subject classes are provided for all the subjects. The subject class type is an active system in which the students themselves go to the subject class, and has the advantage of enhancing the independence of the students in learning. However, there is a demerit that the travel time between classrooms increases and the corridor becomes crowded because classes are conducted in different classrooms every class period.

The purpose of this paper is to obtain a relationship between of appropriate classroom layouts by performing simulations in which the traveling time and the degree of crowding between students in the classroom are compared and verified. At first, based on the class schedule, behavior simulations are performed using MAS and calculate travel time and congestion through simulation. Next, in order to find desirable classroom layouts, optimizations with the corridor congestion reduction and travel time reduction as the objective function are performed using GA. Obtained results clarify that it is able to reduce the congestion at the time of movement between classes by optimal classroom layout using proposed system.

**キーワード:** 遺伝的アルゴリズム; マルチエージェントシステム; 教科教室型; 最適化;

**Keywords:** Genetic algorithm; multi-agent system; departmentalized classroom system; optimization;

### 1. 序

近年, 全ての教科に専用の教科教室を設け, 生徒が毎時間教室移動を行いながら授業を受ける教科教室型<sup>1)4)</sup>を採用する学校が増えている。従来の先生が生徒のいる教室に授業をしに来るといった受動的なシステムから生徒が自ら教室移動を行い先生がいる教室に向かい授業を受けに行くという能動的なシステムにすることで生徒の学びへの主体性を高めるといったメリットがある一方, デメリットとしては, 授業が毎時間異なる教室で行われ全クラスの生徒が一斉に教室移動を行うことによる, 教室移動時間の増加及び廊下や階段の混雑がある。混雑によるストレスや休憩時間の減少によって教科教室制を廃止する学校も少なくない。

教科教室制についての先行研究としては, 神田らによる生徒の行動に関する研究<sup>5)</sup>や, 小森・佐藤らによる校舎平面と教室配置に関する研究<sup>6)</sup>などが行われている。また, 施設配置の最適化については, 職住分布最適配置

形態の検討を宗政ら<sup>8)</sup>が行っている。これらの研究から, 教科教室制において生徒の行動特性や教室形状と教室配置の関係性が示されたが, 生徒の教室移動にかかる時間や混雑を考慮した教室配置は行われていない。

また, 遺伝的アルゴリズム<sup>9)</sup>(以下, GA)とマルチエージェントシステム<sup>10)</sup>(以下, MAS)による行動シミュレーションを融合させて, 空間配置の最適化を行った例として, テナント配置を楠本ら<sup>11)</sup>が, 津波避難シミュレーションを中野<sup>12)</sup>らが行っている。また, 前川ら<sup>13)</sup>は GA と MAS を用いた教室移動時間最適化の検討を行っているが, 教科教室型に関する検討は行われていない。

そこで本研究では, MAS を用いて生徒の教室間移動の行動シミュレーションを行い, 廊下や階段の混雑緩和や移動時間削減を目的関数として GA による最適化を実行し, 望ましい教科教室の配置を求めることを目的とする。尚, 筆者らによる既往研究<sup>14)</sup>があるが, 本研究では階数の拡張, MAS を最適化システムに取り込んで適応度算出

に利用するなどの改善を行った。

## 2. 教室配置最適化システム

### 2.1. 学校の空間設定

図1に示すような縦26.5m×横49.5mの空間に、教科教室型を採用した学校の1学年(12組)のホームベース(6m×6m)(以下、HB)及び教科教室(7m×8m)を2層に配置し、階段を各階両端に配置する問題設定とする。

ここで、HBとは、ホームルームを行ったり、荷物を置いたり昼休みなど休憩時間に利用するための教室であり、各組に1教室ずつ設けられている。授業科目はA~Pで表す16科目を考える。図1中、黒数字で0~15で表される教科教室に、授業科目16科目を重複しないように配置する。時間割は表1の2時限に設定する。

シミュレーションでは対象平面を0.5m×0.5mのセルに分割して考える。廊下幅及び各教室のドアの幅は1セル分とする。階段は両端の突起にあり、端まで進むと次の階の同じセルに移動する設定をしている。階段での速度を考慮するため階段部分の長さを10mとしている。なお、上り下りでの速さの違いは考慮せず、同じ速さとする。

表1 時間割

	1組	2組	3組	4組	5組	6組	7組	8組	9組	10組	11組	12組
1限	N	L	F	D	J	A	K	E	M	I	B	H
2限	D	A	L	P	C	E	G	K	B	O	J	I

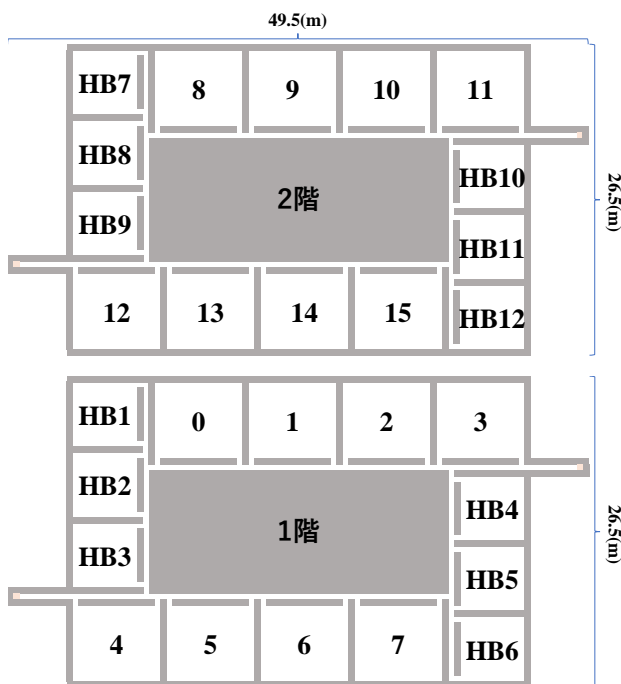


図1 教室配置平面図

### 2.2. 最適化の設定

本システムでは、16個の遺伝子座を有する遺伝子型を設定し、教室配置に対応させる(図2参照)。図2上段は遺伝子座番号を示し、遺伝子の数値は各遺伝子が取り得る値の範囲を示す(例えば、16であれば、0~15の値をとる)。また、遺伝子の値と教室配置の対応を図2下段で示す。遺伝子座番号が小さい順に配置は決定されるが、既に選択された教室配置を抜き取ることによって、重複して選択されることを防いでいる。尚、本研究では最適化に単純GAを用いた。

GAの設定を表2に示す。終了世代数・個体数は、事前の検討結果を参考に、最適化の収束性を考慮して設定した。乱数生成関数のシード値は3つの値を用いて最適化を実行し、得られた中で最も適応度の高い解を採用して議論する。

### 2.3. 教室移動シミュレーションの設定

本研究では、特定の時間割のもとで、MASを用いて教室移動のシミュレーションを行う。生徒は時間割に従って自身のHBから次の授業科目の教科教室まで移動する。移動経路は最短経路探索手法の一つである幅優先探索<sup>15)</sup>に従って最短経路を移動する。幅優先探索は全探索手法であることから時間がかかるため経路探索は生徒1人ごとに教室を出た直後に1回だけ行い、求めた最短経路上を進むものとする。このため、他生徒と次に進むセルが被ってしまった場合でも経路を再探索することはしない。生徒同士の干渉、いわゆる混雑が与える影響を確認するため生徒同士の干渉を考慮しない場合(ケース1)と考慮する場合(ケース2)の2ケースを考える。生徒の行動のフローチャートを図3に示す。

表3に示すように1クラス4人の場合(ケース1-1, 2-1)、16人の場合(ケース1-2, 2-2)、30人の場合(ケース1-3, 2-3)の6通りを考える。このように3パターンの生徒数を考える理由は、生徒数が多すぎるとシミュレーションの実行時間が長くなり、少なすぎるとシミュレーションの精度が落ちる可能性があり、その検証をするためである。



図2 遺伝子の設計

表 2 最適化実行に関する設定

世代数	個体数	シード値	交叉率	突然変異率
1,000	100	1,2,3	0.8	0.1

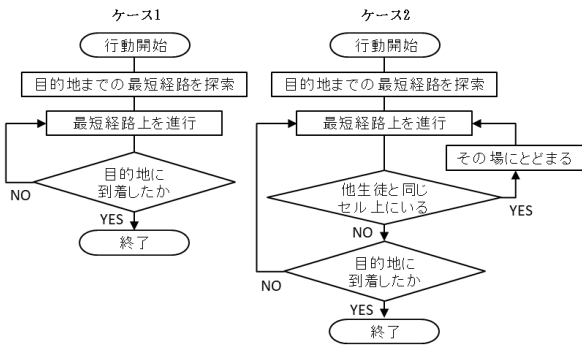


図 3 生徒の行動ルール

表 3 ケーススタディの設定

ケース	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
1クラスの生徒数	4	16	30	4	16	30
生徒同士の干渉の考慮	なし			あり		

図 4 にシミュレーション開始時の状態を示す。生徒は各自の HB に位置し、時間割に従って移動するが、図中、HB の文字色と教室の背景色は、各クラスの生徒が次に向かう教室と対応している。つまり、HB1 のクラスの生徒は右下の同じ色の教室に移動する。

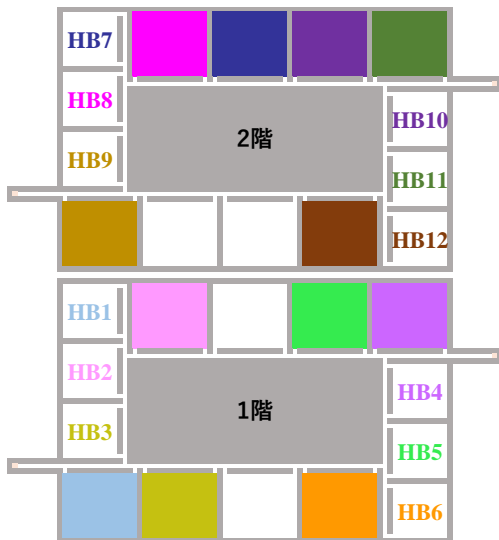


図 4 シミュレーション開始時

生徒の歩行速度は毎秒 1m (2セル) とする。ケース 1 では、他の生徒との干渉を考慮せず、速度を落とさずにすれ違う。ケース 2 では、他の生徒と位置が重なった場合、1ステップ (0.5 秒間) その場に立ち止まる。

このように、本研究ではエージェント同士のすれ違い、停滞、回避行動を単純化して処理している。これは、MAS

のシミュレーション時間を短縮し、GA を実行時間内で終了させるためである。また、ケース 1 と 2 の実行結果を比較することで、行動ルールの単純化が結果に及ぼす影響を検証する。

## 2.4. 目的関数

目的関数は以下の 2 つを考える。

- ① 総移動時間 (T) : 全生徒が移動完了するまでの時間 (秒)
- ② 混雑度 (R) : 式(1)の方法で計算する。

混雑度については、図 5 のように生徒同士のセルが重なった時 2 回カウントする。1 ステップに何回重なったかを数えてそれをそのステップ中に廊下にいる生徒の数で割る。これをすべてのステップで行い、その和を総ステップ数で割ったものを混雑度とする。

$$\text{混雑度} = \sum_t \left\{ \frac{\text{ステップ}t\text{時に生徒同士のセルが重なった回数}}{\text{ステップ}t\text{時に移動中の生徒数}} \right\} \quad (1)$$

ケース 1, 2 の適応度はそれぞれ式(2), (3)に示す方法で計算しその最小化を考える。

$$\text{ケース 1 : 適応度} = T \times R \quad (2)$$

$$\text{ケース 2 : 適応度} = T \quad (3)$$

## 3. 実行結果

表 1 の 1 時限のみを対象として全 6 ケースの最適化を実行して得られた教室配置を図 5~10 に示す。また、全ケースの適応度をまとめた結果を表 4 に示す。

表 4 全ケースの適応度

ケース	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
総移動時間 T	26.0	28.0	39.0	24.5	38.5	45.5
混雑度 R	0.015	0.232	0.341	-	-	-
適応度	0.390	6.50	13.3	24.5	38.5	45.5

## 4. 生徒数を変えた場合の検証結果

各ケースそれぞれ、最適化によって得られた教室配置のもとで生徒数を変えてシミュレーションを行い、生徒数による影響を検証する。その結果を表 5, 6 に示す。

## 5. 複数の時間割での最適化結果

表 1 に示す 2 時限で最適化を行った結果を表 7, 図 11, 12 に示す。なお、1 時限での最適化結果を踏まえて、生徒数 16 人、生徒同士の干渉を考慮する場合で最適化を行い、得られた教室配置のもとで 1 組 30 人のシミュレーションを行った。最適化の有効性を検証するため、目的関数を最大化した場合と最小化した場合の 2 ケースを最適化した。

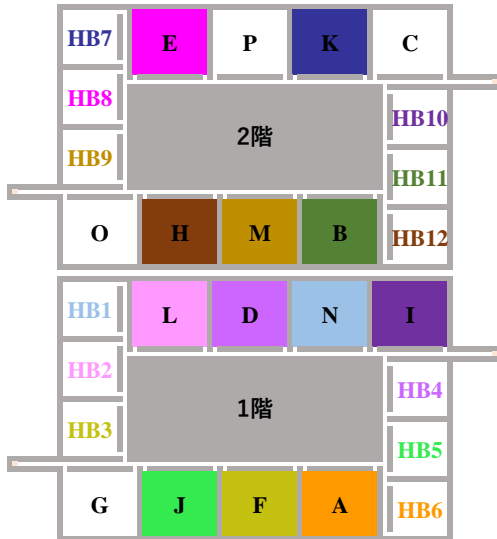


図5 ケース 1-1 の実行結果

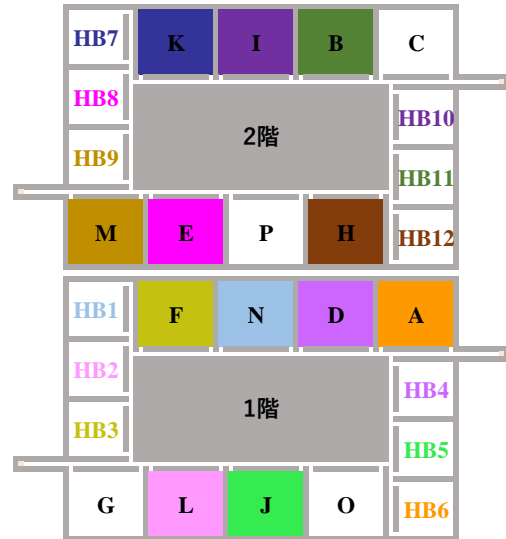


図8 ケース 2-1 の実行結果

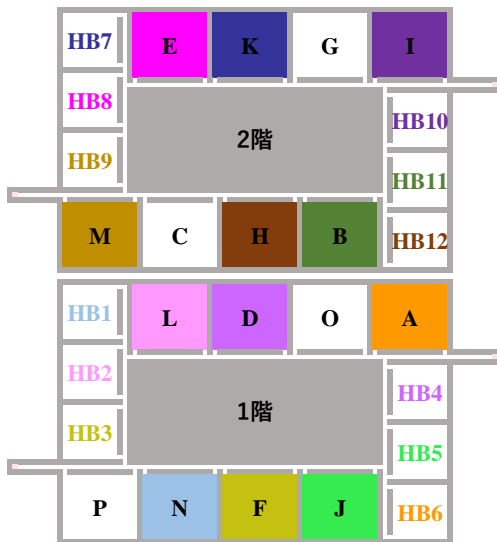


図6 ケース 1-2 の実行結果

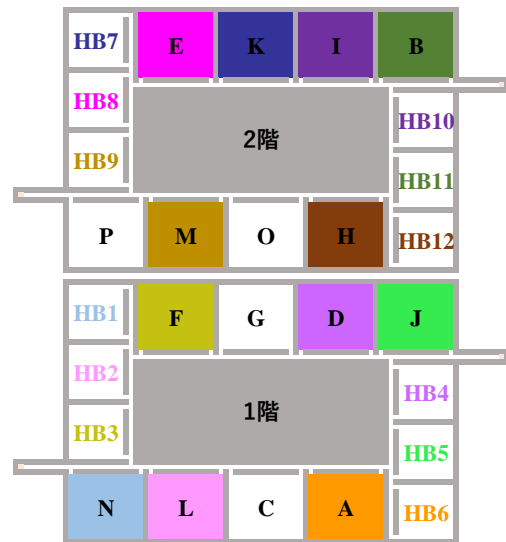


図9 ケース 2-2 の実行結果

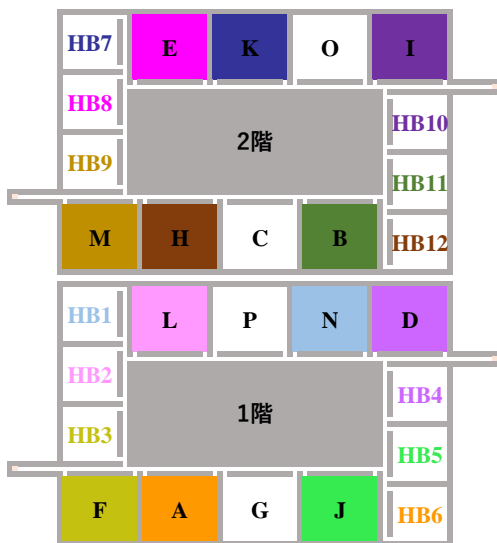


図7 ケース 1-3 の実行結果

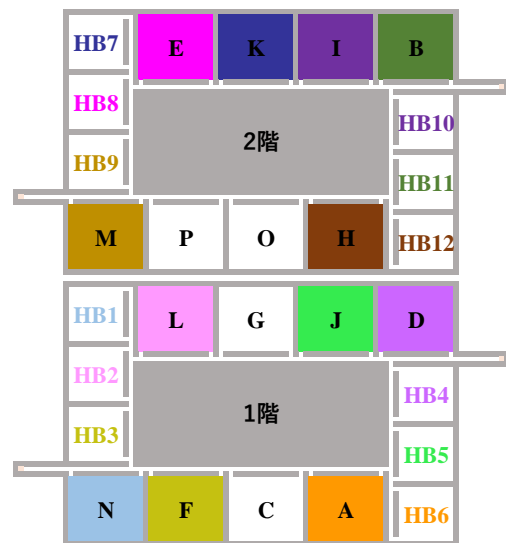


図10 ケース 2-3 の実行結果

表5 ケース1の生徒数による影響の検証結果

ケース	生徒数(人)	総移動時間(s)	混雑度	適応度
1-1	4	26.0	0.015	0.390
	16	32.0	0.233	7.46
	30	39.0	0.370	14.4
1-2	4	22.0	0.024	0.528
	16	28.0	0.232	6.50
	30	37.5	0.408	15.3
1-3	4	26.0	0.020	0.520
	16	32.0	0.218	6.98
	30	39.0	0.341	13.3

表6 ケース2の生徒数による影響の検証結果

ケース	生徒数(人)	総移動時間(s) (適応度)
2-1	4	24.5
	16	37.5
	30	52.5
2-2	4	26.0
	16	38.5
	30	49.0
2-3	4	25.5
	16	36.5
	30	45.5

表7 複数時間割での最適化結果

目的関数	最大化	最小化
適応度	283.5	138

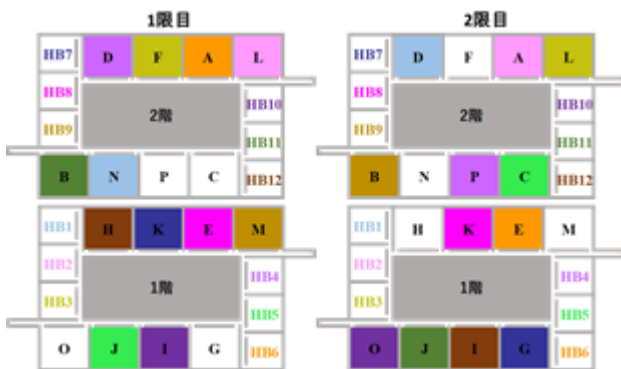


図11 複数時間割での実行結果 (最大化)

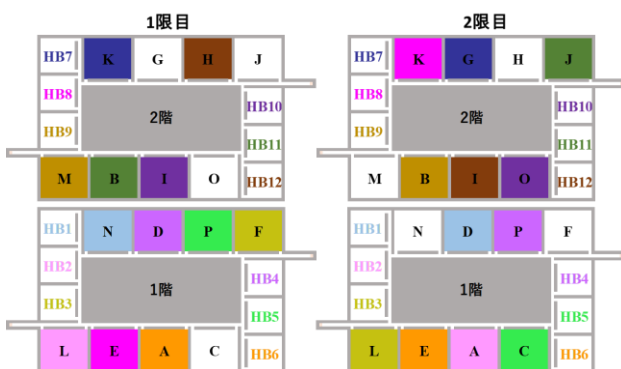


図12 複数時間割での実行結果 (最小化)

## 6. 考察

### 6.1. ケース1 (干渉の考慮なし) について

ケース1-2と1-3の適応度(表4)を比較すると、約2倍の差があった。生徒数も約2倍であることから、生徒数と適応度に比例関係があった。次にケース1-1と1-2の適応度(表4)を比較すると、生徒数の差は4倍であるが、適応度は約16倍であった。これは、表4より生徒数4人の場合の混雑度が低いためであると考えられる。ケース1-1と1-2の教室配置を比較すると、教室番号0,1,6,8,11,15の6教室が同じ教室配置で、ケース1-2と1-3の教室配置を比較すると、教室番号0,7,8,9,11,12,15の7教室が同じ場所にあった。さらに、3ケースとも、教室番号0~3,4~7,8~11,12~15において2教室以上が同じ範囲にあることから、よく似た教室配置になっていることが分かる。これより、生徒数の違いによる最適化された教室配置はよく似ているが、人数による混雑度への影響は大きく、適応度の差となって表れた。

### 6.2. ケース2 (干渉の考慮あり) について

ケース2-1~2-3の適応度(表4)を比較すると、生徒数が4人から16人の4倍になると適応度が1.57倍になり、16人から30人の約2倍になると適応度が1.18倍になっていて、生徒数の増加に伴い適応度も一定の割合で増加していることが分かる。ケース2-2とケース2-3の教室配置を比較すると、教室番号4,7,8,9,10,11,15の7教室が同じ場所にあり、教室番号0と5,2と3,12と13がそれぞれ入れ替わっているというよく似た教室配置になっている。ただし、ケース2-1は特に1階において他のケースと配置が違うことがわかる。これは、例えば4組と6組に注目すると、生徒数が4人なので、移動中の生徒の干渉が発生していないためであると考えられる。

よって、本稿で検証した結果からは、エージェント相互の干渉を適切に考慮した評価を行うためには、16人以上必要であると考えられる。

### 6.3. 生徒数を変えた場合について

ケース1の結果(表4)を比較する。生徒数4人で最適化を行って得られた教室配置(図4)で30人のシミュレーションを行った場合の適応度と生徒数16人で最適化を行って得られた教室配置(図5)で30人のシミュレーションを行った場合の適応度、生徒数30人で最適化を行って得られた適応度を比べると、差が20%以下と小さく生徒数4人で最適化を行った場合でも十分な効果があることがわかった。

ケース2の結果(表4)を比較する。生徒数4人で最適化を行って得られた教室配置(図7)で30人のシミュレーションを行った場合の評価値と生徒数16人で最適化を行って得られた教室配置(図8)で30人のシミュレーションを行った場合の評価値、生徒数30人で最適化を

行って得られた評価値を比べると、生徒数 30 人で最適化を行った場合との差が生徒数 16 人の場合は+3.5 秒、生徒数 4 人の場合は+7 秒である。移動時間が約 50 秒だとすれば生徒数 16 人の場合は約 7%、生徒数 4 人の場合は約 12%の違いがあることがわかる。教室配置の比較と考えても 16 人であれば十分な結果が得られると判断できる。

#### 6.4. 複数の時間割での最適化結果

2 時限分を考慮した時間割で最適化を行った場合、表 7 に示すように目的関数を最小化した結果は最大化した結果に比べて適応度が 2 倍以上小さくなり、教室配置を変えることによって混雑緩和ができていたことが分かった。

また、最大化結果の教室配置を見ると、階をまたぐ移動が 1 時限ごとに 10 組あることがわかり、最小化結果の教室配置を見ると、1 時限ごとに 0 組または 1 組であることがわかる。これより、階の移動による移動距離の増加や階段付近に生徒が集まることによる混雑が移動時間に大きく影響することがわかった。

## 7. 結

本研究を通して以下のことを明らかにした。

- 生徒同士の干渉を考慮しない場合、生徒数の違いが評価に与える影響は、混雑度の方が移動時間に比べて非常に大きかった。
  - 生徒同士の干渉を考慮して混雑度を適切に評価するためには、生徒数が 4 人では不十分であった。
  - 適応度算出で用いる MAS では、生徒数が多いほど結果の信頼性は高まったが、全体の実行時間との兼ね合いが重要な課題である。
  - 階の移動による移動時間や混雑への影響が大きいことがわかった。
  - 教室配置を変えることにより混雑緩和が可能である。
- 今後は、時間割の増加や避難計画への応用などを検討する予定である。

### 【参考文献】

- 1) 長澤悟(coordinator)：中学校計画 2 計画編，文教施設，16，pp.18-49，2004 秋号
- 2) 日立市 HP：教科教室を生かした学校運営 ([https://www.city.hitachi.lg.jp/komaou-j/002/001/p005249\\_d/fil/1429056\\_20110916\\_0001.pdf](https://www.city.hitachi.lg.jp/komaou-j/002/001/p005249_d/fil/1429056_20110916_0001.pdf))(2019/7/12 閲覧)
- 3) ベネッセ教育研究開発センターHP：教科センター方式における生徒の行動の特徴([https://berd.benesse.jp/berd/center/open/chu/view21/2005/04/c01toku\\_20.html](https://berd.benesse.jp/berd/center/open/chu/view21/2005/04/c01toku_20.html))(2019/7/12 閲覧)
- 4) 屋敷和佳：中高一貫教育における教育環境の整備と効果－G 中学校教科教室型校舎の事例分析－，国立教育政策研究所，2013.3.
- 5) 神田結衣，西村伸也，高橋鷹志，棒田恵，長谷川千紘：教科教室型中学校における生徒の行動についての研究－社会の広場とホームベースにおける生徒の行動特性－日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集，論文番号 5022，

- pp.85-86，2012.9.
- 6) 小森廉，宮本文人，佐藤淳水：校舎形状からみた教科教室配置 教科教室型中学校における校舎平面と教室配置その 1，日本建築学会大会(近畿)学術講演梗概集，論文番号 5125，pp.281-282，2014.9.
- 7) 佐藤淳水，宮本文人：教科教室と特別教室の教室配置関係 教科教室型中学校における校舎平面と教室配置 その 2，日本建築学会大会(近畿)学術講演梗概集，論文番号 5125，pp.283-284，2014.9.
- 8) 宗政由桐，本間裕大，今井公太郎：移動コストを最小化する制約付き職住分布最適配置形態，日本建築学会計画系論文集，第 80 巻第 712 号，pp.1373-1380，2015.6.
- 9) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.
- 10) 生天目章：マルチエージェントと複雑系，森北出版，1998
- 11) 楠本達平，谷明勲，山邊友一郎：マルチエージェントと GA を用いた百貨店のテナント配置最適化に関する研究，日本建築学会，第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，論文(論文番号 R21)，pp.103-108，2014.12.
- 12) 中野裕介，山邊友一郎，谷明勲：マルチエージェントシステムを用いた津波シミュレーション－避難意識・避難行動と人的被害の関係－，計算工学講演論文集，Vol.17，F-8-2，CD-ROM，pp.1-4，2012.5.
- 13) 前川廣太郎，澤勢一史，延原肇：教室移動時間最適化のための群集団移動と多重解像ダイクストラ法を取り入れたマルチエージェントシステムと遺伝的アルゴリズムの開発，第 28 回ファジィシステムシンポジウム論文集，pp.275-279，2012.9.
- 14) 藤川暉暉，山邊友一郎，谷明勲：GA と MAS を用いた教科教室型中学校の教室配置最適化に関する研究，日本建築学会，第 42 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(論文)，pp.328-333，2019.12.
- 15) [https://algoful.com/Archive/Algorithm/BFS.\(2020/3/10 閲覧\)](https://algoful.com/Archive/Algorithm/BFS.(2020/3/10 閲覧))