

GA と MAS を用いた教科教室型中学校の 時間割及び教室配置最適化に関する研究

The Study of Optimization of Timetable and Classroom Layout in Junior High School with Departmentalized Classroom System using GA and MAS

○藤川 晃暉^{*1}, 山邊 友一郎^{*2}, 谷 明勲^{*3}

Hiroki Fujikawa^{*1}, Yuichiro Yamabe^{*2} and Akinori Tani^{*3}

*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 junior high 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 timetable and 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, in order to find desirable class schedules and classroom layouts, optimizations with the corridor congestion reduction and travel time reduction as the objective function are performed using GA. Next, based on the optimal results by GA, behavior simulations are performed using MAS. Obtained results clarify that it is able to reduce the congestion at the time of movement between classes by optimal class schedule and 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¹⁾³⁾を採用する中学校が増えている。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の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ることによる, 教室移動時間の増加及び廊下の混雑がある。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。そこで, 時間割や教室配置を改善することで教科教室制の課題である混雑緩和が可能であると考え, 最適化を行った。

教科教室型中学校については, 神田らによる生徒の行動に関する研究⁴⁾や, 小森・佐藤らによる校舎平面と教

室配置に関する研究⁵⁾⁶⁾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⁷⁾が行っている。さらに, 解の組合せ数が膨大で総当りによる最適解の探索が困難な問題に有効な遺伝的アルゴリズム⁸⁾(以下, GA)と人間行動のシミュレーション等に有効なマルチエージェントシステム⁹⁾(以下, MAS)を用いたテナント配置を楠本ら¹⁰⁾が, 津波避難シミュレーションを中野¹¹⁾らが行っている。また, 前川ら¹²⁾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, 時間割と教室配置の組み合わせが膨大な数になるため, このような問題の最適解の探索に有効なGAを用いて教科教室型中学校の廊下の混雑緩和や移動時間削減を目的関数として最適化を実行し, 望ましい時間割や教室の配置を求める。さらに, 得られた最適な時間割及び教室配置のもとで, 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、移動時間や混雑度合いを比較検証することで、適切な時間割・教室配置の方針を得ることを目的とする。なお、GA で得た結果を MAS で検証する理由は、GA による最適化では実際の歩行状況を考慮していないため、MAS を用いた検証を行うことで、動的に変化する混雑度合い等を検証可能になると考えたからである。

2. 実験方法

2.1. 時間割・教室配置最適化

図 1 に示すような縦 46m×横 55m の空間に、教科教室型を採用した中学校の 1 学年(6 クラス)のホームベース(以下、HB)及び教科教室を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, B, C, D, E, F の 6 科目を考える。図 1 中、黒数字で 1~8 で表される教科教室(8m×8m)に、授業科目 A(以下 A と表記)の教室を 3 つ、その他の科目の教室をそれぞれ 1 つずつ、計 8 科目を重複しないように配置する。ただし、A の教室は隣り合わせて 3 つ並べて配置するものとする。時間割は表 1 のように、月~金曜日の 1 週間、月・火・水曜日が 2 コマ、火・木曜日が 3 コマの計 12 コマとする。授業科目は各クラス、A を 4 コマ、B, C, D を 2 コマ、E, F を 1 コマずつとし、A は時間割の同じ時間帯で 2 クラスまで重複可能とする。時間割に従って HB から各教室へ移動する際のクラスごとの移動経路(青色マスの番号)を把握し、その重複回数により授業間の生徒の移動による廊下の混雑度合いを評価する。GA による最適化では、重複回数を最大化あるいは最小化するような目的関数を定義して、設計変数として教室配置のみを対象とするもの(ケース 1)、時間割のみを対象とするもの(ケース 2)、時間割及び教室配置の両方を同時に対象とするもの(ケース 3)の 3 ケースを実行する。各ケースの内容のまとめを表 1 に示す。目的関数を最大化及び最小化で実行する理由は、最適化とシミュレーションを用いて比較することによってこの研究の有効性を検討するためである。

2.2. 問題設定

本システムでは、ケース 1 が 7 個、ケース 2 が 66 個、ケース 3 が 73 個の遺伝子座を有する遺伝子をそれぞれ準備する。ケース 1 は遺伝子を教室配置に対応させ、ケース 2 は時間割に対応させ、ケース 3 は時間割と教室配置両方に対応させ、最適化を行う。遺伝子の設計との対応を図 2 に示す。図中、遺伝子座の横の数字は遺伝子座の番号を示し、枠中の数字は遺伝子座において各遺伝子が取り得る値の範囲を示す(12 であれば、1~12 の値をとる)。遺伝子の値と科目・教室の対応を表 2 に示す。

表 1 各ケースの内容のまとめ

ケース	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
教室	設計変数		固定		設計変数	
時間割	固定		設計変数		設計変数	
目的関数	Max	Min	Max	Min	Max	Min

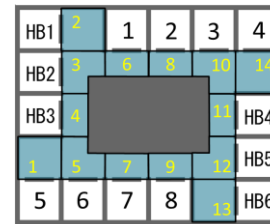


図 1 教室配置平面図

表 2 時間割例

	1 組	2 組	3 組	4 組	5 組	6 組
月 1	A	E	D	C	B	A
月 2	A	F	D	C	B	A
火 1	A	A	E	D	C	B
火 2	A	A	F	D	C	B
火 3	B	A	A	E	D	C
水 1	B	A	A	F	D	C
水 2	C	B	A	A	E	D
木 1	C	B	A	A	F	D
木 2	D	C	B	A	A	E
木 3	D	C	B	A	A	F
金 1	E	D	C	B	A	A
金 2	F	D	C	B	A	A

ケース 1

遺伝子座 0 1 2 3 4 5 6

遺伝子

8	7	6	5	4	3	2
---	---	---	---	---	---	---

教室

ケース 2

遺伝子座 0 1 2 3 4 65

遺伝子

12	11	10	9	8	...	2
----	----	----	---	---	-----	---

時間割

ケース 3

遺伝子座 0 1 2 3 4 65 66 72

遺伝子

12	11	10	9	8	...	2	8	...	2
----	----	----	---	---	-----	---	---	-----	---

時間割

教室

図 2 遺伝子の設定

表 3 遺伝子の値と科目・教室の対応表

遺伝子の値	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
科目	A		B		C		D		E		F	
教室	A	B	C	D	E	F						

2.3. 行動シミュレーション

GA で求めたケース 1 の最大化・最小化を各々ケース 1-1, 1-2 とし, 同様にケース 2-1~3.2 を考え, 6 ケースでそれぞれシミュレーションを行う。本研究では, MAS の実行環境として *artiso*¹³⁾⁻¹⁵⁾を用いた。生徒数は 1 クラス 36 人, 6 クラスで計 216 人とし, 生徒の歩行速度は毎秒 1m, 廊下幅は 5m とする。生徒は自身の時間割に従って, 自分の HB から次の教科教室を目指す。また, 時間割で同じ科目が連続する場合も, 常に 1 時限毎に HB と教室を往復する設定とする。ここで, 混雑度が高くなると移動時間は長く, 混雑度が低くなると移動時間は短くなるので, 混雑度を測る指標として生徒の教室移動開始から終了までの時間(シミュレーション内では 1 ステップを 1 秒と設定)を考える。生徒は, 最短経路探索の一つの手法であるポテンシャル法¹⁶⁾に従って目的となる教科教室までの最短経路を通して移動する。HB と教科教室への出入り口は 1 マスとする。移動経路が重なった場合はその場にとどまるか直交方向に 1 ステップ進むように設定する。

図 3 にシミュレーション実行前の図を示す。

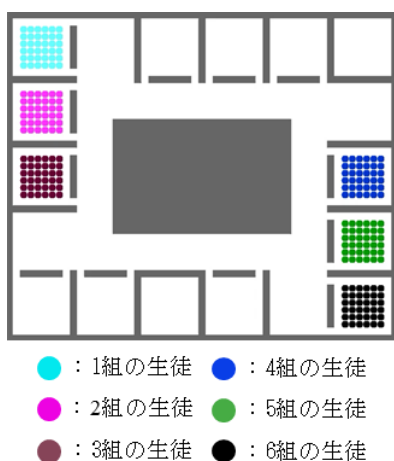


図 3 シミュレーション実行前

3. 最適化の実行結果

最適化実行に関する GA の設定を表 4 に示す。世代数・家族数は, 予備検討の収束状況から設定し, 乱数生成ルーチンのシード値は 3 種類で最適化を実行し, 得られた中で最も適応度の高い解を採用した。なお, 最適化には PfGA¹⁷⁾を用いた。全 6 ケースの最適化を実行して得られた時間割表と教室配置を表 5~9 と図 4~8 に示し, 全ケースの結果(評価値)のまとめを表 10 に示す。

表 4 最適化実行に関する設定

世代数	家族数	シード値
10,000	1,000	1, 2, 3

表 5 ケース 1 で用いた時間割表(固定)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組
月 1	A	E	D	C	B	A
月 2	A	F	D	C	B	A
火 1	A	A	E	D	C	B
火 2	A	A	F	D	C	B
火 3	B	A	A	E	D	C
水 1	B	A	A	F	D	C
水 2	C	B	A	A	E	D
木 1	C	B	A	A	F	D
木 2	D	C	B	A	A	E
木 3	D	C	B	A	A	F
金 1	E	D	C	B	A	A
金 2	F	D	C	B	A	A

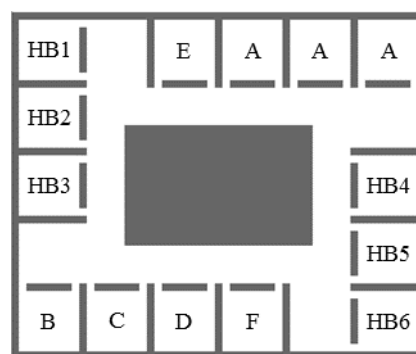


図 4 ケース 1-1 の実行結果(最大化)

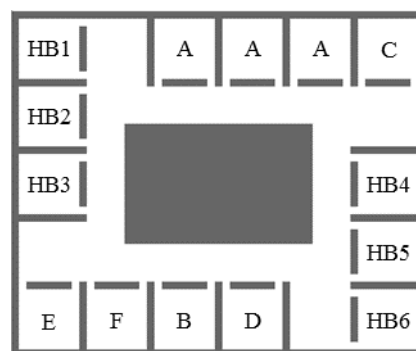


図 5 ケース 1-2 の実行結果(最小化)

表 6 ケース 2-1 の実行結果(最大化)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組
月 1	A	B	A	D	C	F
月 2	B	A	A	F	C	D
火 1	D	E	C	A	A	B
火 2	C	D	E	B	A	A
火 3	B	A	A	C	F	D
水 1	A	A	B	D	E	C
水 2	A	A	B	D	D	C
木 1	A	B	A	C	D	E
木 2	E	D	C	A	A	B
木 3	D	C	F	B	A	A
金 1	C	F	D	A	B	A
金 2	F	C	D	A	B	A

4.MAS の実行結果

全ケースの総移動時間を図 9 に示し, 総移動時間が最も長かったケース 1-1 と最も少なかったケース 3-2 の各

表7 ケース 2-2 の実行結果(最小化)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組
月1	C	A	A	D	E	B
月2	D	B	A	A	F	C
火1	D	A	B	C	A	E
火2	B	C	A	F	A	D
火3	A	C	E	A	D	B
水1	A	D	B	C	A	F
水2	C	B	F	A	D	A
木1	A	E	D	B	A	C
木2	F	A	C	A	B	D
木3	A	F	C	D	B	A
金1	B	D	A	E	C	A
金2	E	A	D	B	C	A

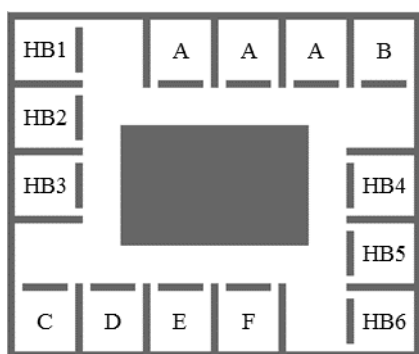


図6 ケース 2 で用いた教室配置(固定)

表9 ケース 3-2 の実行結果(最小化)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組
月1	D	C	A	B	A	E
月2	C	D	A	E	B	A
火1	C	B	D	A	F	A
火2	D	A	F	A	C	B
火3	A	E	B	A	D	C
水1	A	D	A	B	E	C
水2	A	F	C	D	A	B
木1	B	C	A	D	A	F
木2	B	A	C	F	A	D
木3	F	A	D	C	B	A
金1	A	B	E	C	C	A
金2	E	A	B	A	C	D

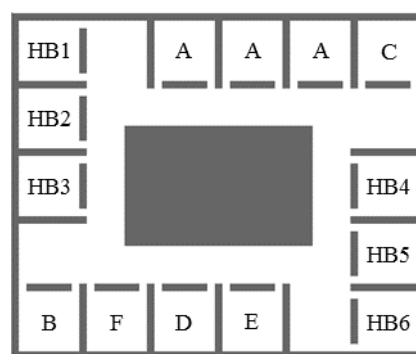


図8 ケース 3-2 の実行結果(最小化)

表8 ケース 3-1 の実行結果(最大化)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組
月1	E	A	A	D	B	C
月2	C	D	B	A	E	A
火1	D	C	B	F	A	A
火2	F	A	A	C	D	B
火3	C	B	D	A	A	F
水1	B	C	D	E	A	A
水2	B	D	C	A	A	E
木1	A	F	A	B	C	D
木2	D	B	C	A	F	A
木3	A	A	F	C	B	D
金1	A	A	E	D	C	B
金2	A	E	A	B	D	C

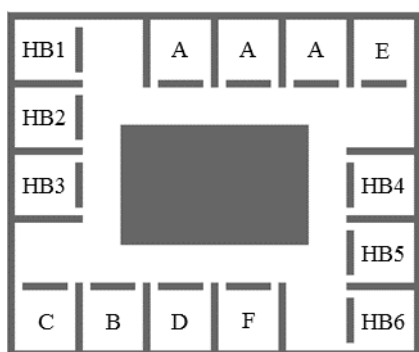


図7 ケース 3-1 の実行結果(最大化)

表10 全ケースの移動経路の重なり回数

ケース	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
重なり回数	190	162	198	158	208	154

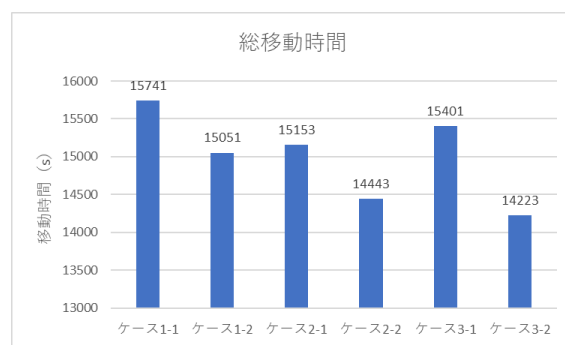


図9 各ケースの総移動時間

あったケース 1-1 金曜 2 限の移動経路を図 10 に、シミュレーション実行画面を図 11 に、最小(1,062 秒)であったケース 3-2 金曜 1 限の移動経路を図 12 に、シミュレーション実行画面を図 13 に示す。なお、表 11 中の移動時間は、教室出入り時の混雑や同じクラスの生徒同士の干渉で最短経路の移動に要する時間よりも長くなっている。

5. 考察

5.1. 各ケースの最適化について

時間割、教室配置を固定あるいは設計変数として、3 ケースの最適化を実施したが、表 10 より、目的変数を最

クラス各時限、またその合計の移動時間をそれぞれ表 11、12 に示す。各ケースにおいて、授業間の移動時間の平均値を表 13 に示す。また、移動時間が最大(1,496 秒)で

大化する場合、最小化する場合共通で、最も適応度が高い解が得られたのはケース 3(時間割・教室配置を設計変数)であった。また、最も適応度が低い解が得られたのはケース 1(時間割固定、教室を設計変数)であり、ケース 2(教室固定、時間割を設計変数)は両者の中間であった。ケース 3 は教室配置・時間割配置の両方を設

計変数としたため、最も自由度が高く、十分な最適化が行われたためと考える。一方、ケース 1, 2 は時間割あるいは教室配置の片方を固定したため、最適化の出発点から自由度が低く、つまり解空間が狭いため、与条件のもとでは最適化は機能したが、ケース 3 には及ばなかったと考える。

表 11 移動時間(ケース 1-1: 最大)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組	計
月1	188	155	174	236	213	279	1245
月2	173	255	213	269	219	279	1408
火1	225	207	192	218	187	187	1216
火2	214	207	248	260	230	231	1390
火3	240	228	264	211	164	168	1275
水1	239	213	255	193	170	171	1241
水2	286	258	273	177	231	134	1359
木1	271	231	252	184	152	157	1247
木2	259	210	171	207	255	266	1368
木3	239	211	164	203	232	130	1179
金1	124	207	179	249	257	301	1317
金2	272	216	179	260	277	292	1496
計	2730	2598	2564	2667	2587	2595	15741

表 12 移動時間(ケース 3-2: 最小)

	1組	2組	3組	4組	5組	6組	計
月1	248	200	254	200	230	130	1262
月2	164	196	211	226	189	274	1260
火1	174	189	182	200	168	270	1183
火2	231	195	180	203	190	176	1175
火3	194	208	152	199	164	213	1130
水1	181	190	217	224	160	232	1204
水2	176	227	200	201	223	165	1192
木1	240	184	240	189	225	162	1240
木2	234	196	240	204	226	144	1244
木3	234	191	177	158	168	221	1149
金1	159	182	186	158	154	223	1062
金2	226	209	156	197	194	140	1122
計	2461	2367	2395	2359	2291	2350	14223

表 13 各ケースの平均移動時間

ケース	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
平均移動時間	219	209	210	201	214	197

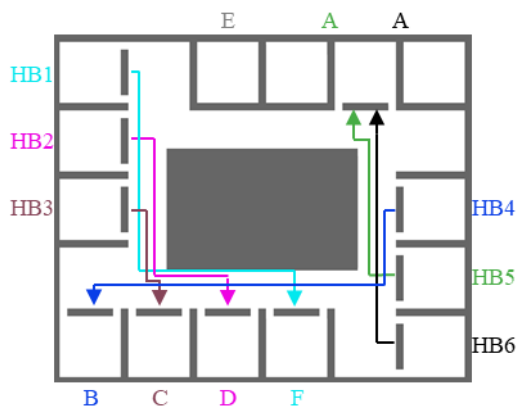


図 10 移動経路図(ケース 1-2 金曜 2 限)

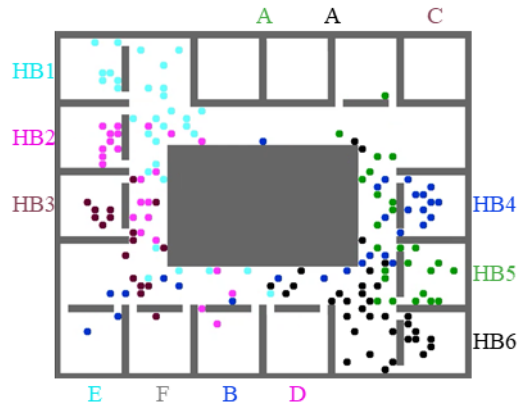


図 11 シミュレーション実行画面(ケース 1-2 金曜 2 限)

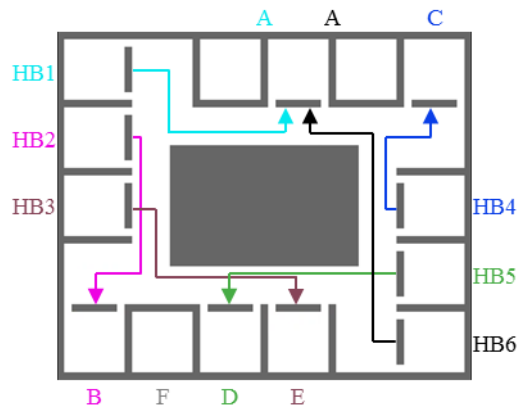


図 12 移動経路図(ケース 3-2 金曜 2 限)

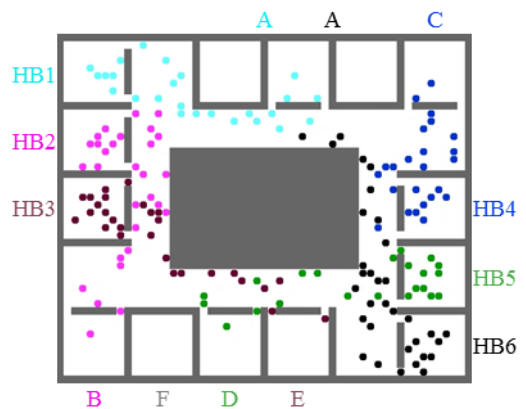


図 13 シミュレーション実行画面(ケース 3-2 金曜 2 限)

5.2. 教室配置最適化について

ケース 1-2, 3-2 の結果より, 重なり回数を最小化するためには, A の教室に向かう 2 クラス以外の 4 クラスの移動経路ができるだけ重ならないような教室配置が効果的であった。逆に, ケース 1-1, 3-1 の結果より, 重なり回数を最大化する教室配置では, A の教室に向かう 2 クラス以外の 4 クラスの移動経路ができるだけ重なるような特徴が観察された。また, 上記の点は MAS の実験結果からも, その重なりが多いときに移動時間が長くなり少ないときに短くなるような観察結果が得られ, 確認することができた。

5.3. 時間割最適化について

ケース 2-2, 3-2 の結果より, 重なり回数を最小化するためには, 1, 2, 3 組と 4, 5, 6 組から 1 クラスずつが A の教室に向かうような時間割配置が効果的であった。逆に, ケース 2-1, 3-1 の結果より, 重なり回数を最大化する時間割配置では, 1, 2, 3 組のうちから 2 クラスもしくは 4, 5, 6 組のうちから 2 クラスが常に A の教室に向かうような特徴が観察された。また, 上記の点は MAS の実験結果からも, A の教室に向かう 2 クラスの組み合わせによって混雑状況が大きく変わるような観察結果が得られ, 確認することができた。

5.4. 最適化結果と MAS の比較

図 10 と図 12 を比較すると, 図 10 の方が移動経路の重なりが多く, 図 12 と比べて 3 組以上が重なっている場所が多い。図 11 を見てみると, 図 10 の移動経路図で重なり回数が多い 2, 3, 4, 5 組の HB 前廊下で混雑していることが分かる。図 13 ではこの混雑は緩いことが分かる。移動経路の重なり回数が多いからといって混雑するとは限らないが, 図 10~13 を見比べることによって移動経路の重なり回数が移動時間, つまり混雑に大きく関わっていることが分かった。また, 生徒同士の移動経路の重なり方(互いに反対方向に動いている場合, 同じ方向に動いている場合, 直行方向に動いている場合)によって移動時間が変わることが分かった。

6. 結

本研究を通して以下のことを明らかにした。

- 本研究で定義した問題設定(難易度)では, 自由度の最も高いケース 3 でも十分な最適化を実行することができ, 適応度の高い解を得ることができた。
- 教室配置については, コマ数の少ない科目の教室に向かうクラスの移動経路の重なりを減らす配置が効果的である。
- 時間割配置については, コマ数の多い科目の教室に向かう 2 クラスの移動経路ができるだけ重ならないよう

な時間割が効果的であり, それが多く重なる時間割は避けるべきであることがわかった。

- MAS を実行することにより, GA で目的関数として設定した移動経路の重なり回数が多いと移動時間は長くなり, 少ないと短くなることがわかった。
 - GA で得られた最適化結果を MAS で検証したことで, 移動時間から混雑度が計測でき, 教科教室制の課題である混雑を緩和できる時間割・教室配置を求める指針を求めることができた。
- 今後は, 他の教科の導入, 複数階モデルでの階の移動の検討, 防災・避難計画への適用等を行う予定である。

【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)(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)(2019/7/12 閲覧)
- 4) 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ページ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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993.
- 9) 生天目章: マルチエージェントと複雑系, 森北出版, 1998
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) MAS コミュニティ HP: <http://mas.kke.co.jp>.(2018/12/16 閲覧)
- 14) 山影進, 服部正太: コンピュータのなかの人工社会, 共立出版株式会社, 株式会社構造計画研究所, 2002.
- 15) 山影進: 人工社会構築指南, 有限会社書籍工房早山, 2007.
- 16) モデルの作り方—アーカイブ—MAS コミュニティ HP: <https://mas.kke.co.jp/howto/#recipe>.(2019/10/4 閲覧)
- 17) 木津左千夫, 澤井秀文, 足立進: 可変な局所集団の適応的探索を用いたパラメータフリー—遺伝的アルゴリズムとその並列分散処理への拡張, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.3, pp.512-521, 1999.3