

# 複数の事象を想定した避難状況の予測 校舎内の避難方法の評価に関する事例的研究

○勝野 幸司\*<sup>1</sup> 小嶋 晃平\*<sup>2</sup>

キーワード： 避難 校舎 シミュレーション

## 1. はじめに

### 1-1. 背景と目的

学校で行われる避難訓練は、避難開始から完了までの経路が事前に決められた上で、この経路を辿るものが一般的である。一方で、実際の災害時の避難ではその場の危機感や想定外の事態により、訓練時よりも避難行動は複雑化し、例えば全員が避難を完了する時間は、避難行動によって大きく異なる。また、避難中に様々な事態が発生すると考えると、避難行動には複数のケースが想定されるが、全てを訓練することは難しく、個々のケースの避難行動について評価を行うことは難しい。

また、実災害時の避難行動では、予測していない事態に対して、避難訓練で行っていた集団・組織単位での行動が出来なくなることと考えられる。学校では、避難元となる場所毎に、避難経路上の危険箇所などを予め把握しておくこと等が管理者には求められる。コンピュータによるシミュレーションはその一助になると考えられる。

以上の2つの視点から、本研究では、避難行動の中で複数の事象が生じ、避難行動が複雑化することを想定し、設定された複数の避難パターンについてシミュレーションを行い、教室位置が避難行動に与える影響について考察を行った上で、避難方法の検討、改善について示唆を得ることを目的とする。

### 1-2. 研究の方法

#### 1) 研究対象

研究対象を熊本高専八代キャンパス共通教育棟・管理棟とした(図1)。共通教育棟(3階建)は低学年(1～3年)教室や実験室、教員室等があり、本研究で対象とするのは、この低学年教室を使用する3学科3学年の計9クラスである。管理棟(2階建)には事務関係諸室と会議室などがある。2棟は1,2階の廊下で接続されている。共通教育棟は、1～3階の各階中廊下の北側に3クラスずつ教室があり、教室の前後出入口有効幅は900mmである(図2)。校舎外への出口(1階)は西側玄関(有効幅1890mm)および管理棟玄関(同1800mm)の2箇所である。廊下の有効幅(内法幅)は共通教育棟が2745mm(柱突出部は2500mm)、管理棟は1950～2150mmである。また、階段の有効幅は共通教育棟(西側・東側)階段は1500mm、管理棟階段は1200mmである。また、2棟とも階高は3600mmである。

#### 2) 使用するシミュレーションツール

本研究では、歩行者シミュレーションソフト SimTread を用いる。SimTread はマルチエージェントモデルに基づくシミュレーションソフトであり、群衆の歩行状態を CAD 図面上で視覚的に確認できることと、個々のエージェントの歩行データ(時間毎の歩行速度、座標位置など)を抽出できる点などが特徴である<sup>注[1]</sup>。

## 2. シナリオとシミュレーションの設定

### 2-1. シナリオの作成

研究対象とした校舎1階(学務課:図1)で火災が発生し、これによって起こると仮定した複数の事象を積み増しさせることで、以下の通り、case0～3の4つのシナリオを設定した(図3)。

case0 は、研究対象の校舎で実際に行われている避難訓練のために予め設定されている経路を再現した(図1中に示す)。各クラスの経路は、1階(1MI～1BC)の各クラスは教室を出た後、西方向へ向かい、西側玄関から校舎外へ避難する。2階(3MI～4BC)の各クラスは教室を出た後、東方向に向かい、管理棟階段より1階へ降下し、東側玄関から校舎外へ避難する。3階の各クラスは教室を出た後、東方向へ向かい、東側階段を1階まで降下し、東側玄関から校舎外へ避難する。2階各クラスが東階段を使用しないのは、3階からの避難者と階段を共用することで生じると考えられる混雑を避ける意図がある。

case1 では、case0 通りの避難開始直後に学務課(1階)で火災に伴う煙が発生し、これと共に西側玄関へ向かって避難を開始していた1階各クラスが管理棟玄関へと避難経路を変更し、その後、煙の影響を受けずに(歩行速度が変化することなく)避難を完了する。

case2 では、case1 の通りに避難する途中で、一部の避難者に煙が到達して屈むなどして歩行するようになることを想定し、歩行速度を低下させる。その後、歩行速度が低下したまま、管理棟玄関から校舎の外へ出て避難は完了する。尚、煙の伝播速度は文献<sup>4)</sup>を参考に、簡易的に水平方向を1.0m/s、垂直方向(階段部)を0.1m/sとした(case3も同様)。

case3 では、case2 の避難中に東側階段を通じて3階まで煙が到達し、これを見た3階の一部の避難者が3階西側階段へと避難経路を変更するも、西側階段からも煙が到達し、再び東側階段へ引き返す。これに加え、2階ま

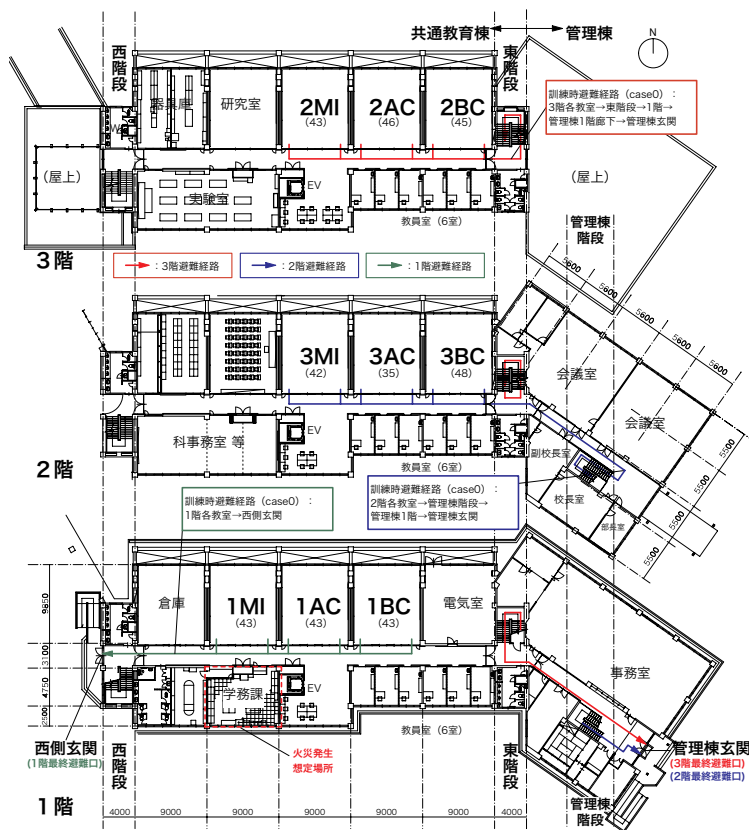


図1 校舎各階平面図と避難訓練時の経路

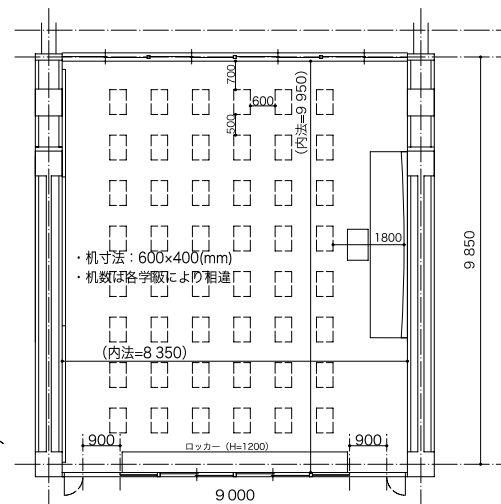


図2 教室平面図と机の基本レイアウト

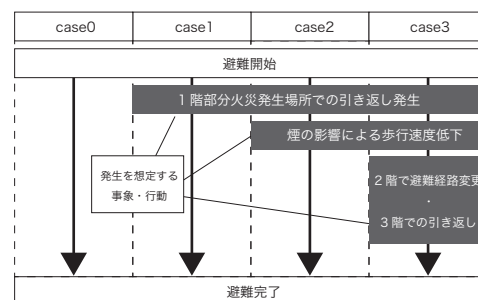


図3 シミュレーション case の内容

で降りた3階からの一部の避難者がそのまま東側階段を降りずに管理棟階段へと避難経路を変更する。

図4に case3 における避難者の動線、煙が到達する時間と位置などを示す。

## 2-2. シミュレーションの設定

各クラスともに平成27年度の学生数(図1中各クラス名下に記載)とし、全員が教室内で着席した状態を始点として一斉に避難を開始するシミュレーションを行った。着席(机)レイアウトは各クラスとも現況通りとし、机間寸法は図2の通りとした。歩行速度は通常避難時は廊下など水平部は1.0m/s、階段部は0.5m/sとし、煙到達時の水平部は0.7m/s(階段部は0.5m/s)とした<sup>注[2]</sup>。

## 3. 結果と考察

シミュレーションにより出力される、時間毎の全階の避難状態を表す動画(.mov)データおよび全エージェントの時間毎の歩行データを表すログ(.txt)データから、避難状況を考察する。

### 3-1. 混雑箇所の把握と避難上の注意点

避難開始から60秒後と120秒後の避難状況がそれぞれ、図5と図6である(case0は省略)。図中の避難者のうち、赤くなっているものは停止状態(歩行速度0m/s)、青くなっているものは設定された歩行速度の50%以下の状態であることを示す。

60(s)時点(図5)では、case1~3で混雑箇所はほぼ同じである。混雑箇所としては、1階東階段付近、2

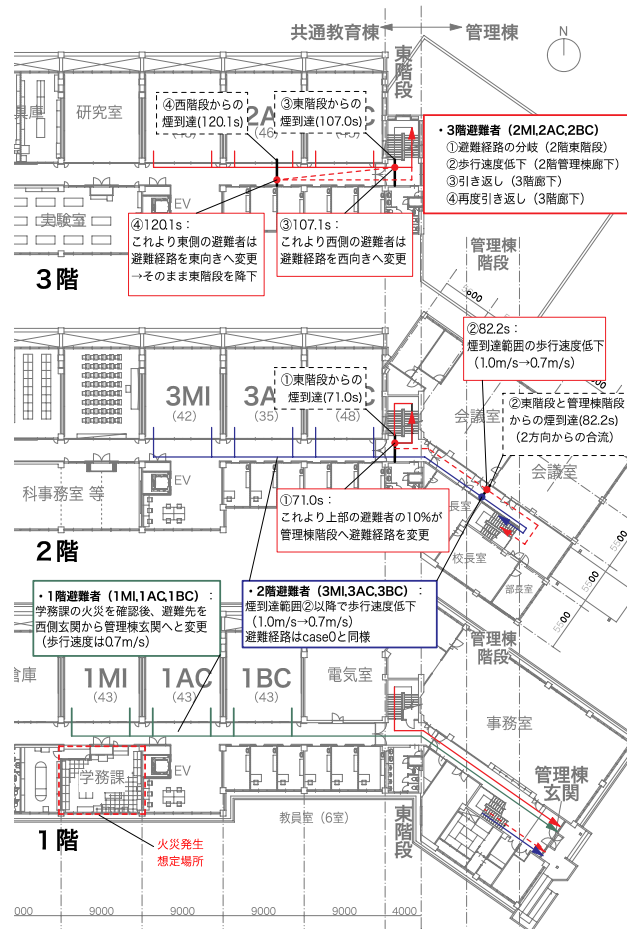


図4 case3の避難経路と歩行速度の設定

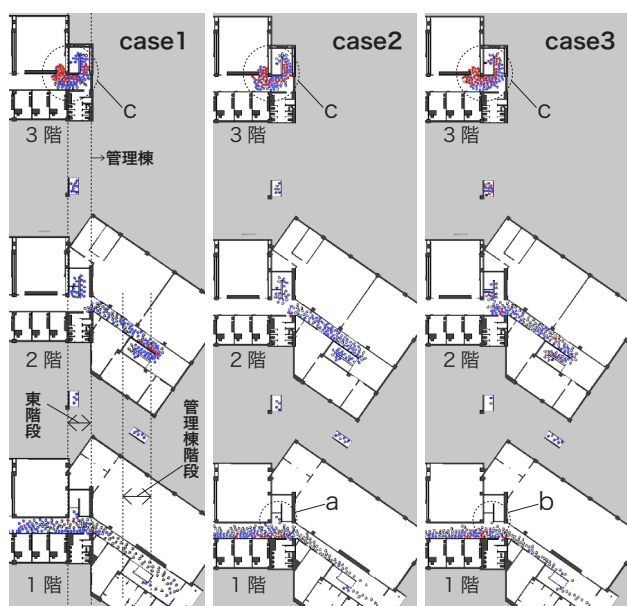


図5 避難と混雑の状況（避難開始から60(s)時点）

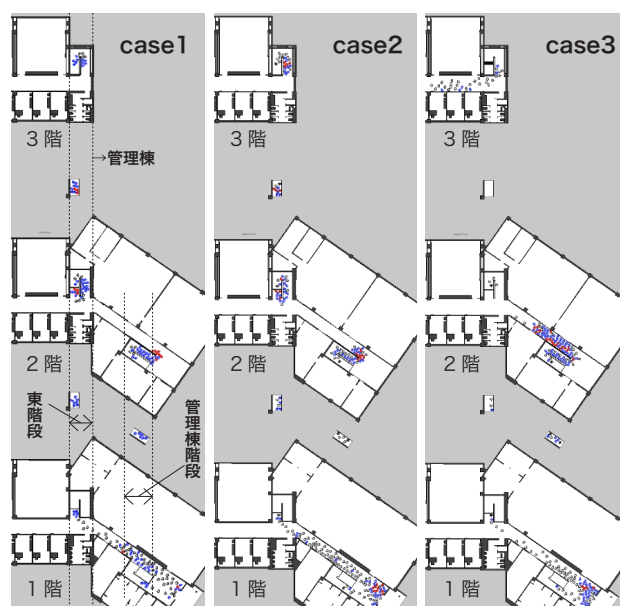


図6 避難と混雑の状況（避難開始から120(s)時点）

階管理棟廊下、3階東階段が目立つ。1階東階段の混雑は、3階からの避難者と、西側玄関への避難を回避して管理棟玄関への避難を目指す1階の避難者との衝突による。2階管理棟廊下の混雑は、共通教育科棟廊下（有効幅2745mm）から管理棟廊下（西端部有効幅1950mm）へ進み際に廊下幅が狭くなり、その後の進路で管理棟階段へ進む際に階段（有効幅1200mm）がその手前の廊下（有効幅2150mm）に比べ狭く、また、180度の方向転換が必要であることも影響しているものと思われる。3階東階段は、歩行速度0m/sの避難者が多く、他の箇所に比べさらに混雑していることがわかる。その原因としては、3階廊下（有効幅2745mm）に比べて東階段（有効幅1500mm）の幅が半分近くまで狭くなること、階段入り口で90度の方向転換が必要であること、下階の混雑の影響を受けることがあげられる。また、この混雑により2BC教室内部に避難者が残存していることがわかる。

120(s)時点（図6）では、60(s)時点でみられた各部の混雑は緩和され、1階東階段付近では混雑は無くなっている。2階管理棟はcase3では階段および廊下に混雑がまだ見られる。3階東階段の混雑はほぼ無くなっている。一方で、60(s)では見られなかった管理棟玄関（校舎外＝避難完了場所の手前）での混雑がみられる。玄関の通行可能な部分（有効幅1800mm）がその手前の玄関に比べて狭くなっていることによるためと考えられる。

以上より、避難の際に発生する混雑による危険箇所を時間別に概ね特定できた。以下では、想定した事象が混雑にどのような影響を与えているかや、教室位置が避難に与える影響を避難時間の観点からより詳細に考察する。

### 3-2.caseの相違が避難時間に与える影響の考察

シミュレーションにより得られた、各クラスの避難者の平均避難完了時間（避難開始から西側玄関または管理棟玄関までの時間）およびcaseNのcaseN-1に対する（例

表1 クラス別の平均避難完了時間及び前caseに対する増減

| 階 | クラス | case 毎・平均避難完了時間 (s) |       |       |       | caseN-1 に対する増減 (%) |      |      |
|---|-----|---------------------|-------|-------|-------|--------------------|------|------|
|   |     | 0                   | 1     | 2     | 3     | 1                  | 2    | 3    |
| 3 | 2MI | 125.9               | 137.4 | 151.4 | 172.9 | 9.1                | 10.2 | 14.2 |
|   | 2AC | 127.3               | 129.8 | 145.2 | 164.9 | 1.9                | 11.9 | 13.6 |
|   | 2BC | 124.7               | 126.1 | 139.2 | 158.2 | 1.1                | 10.4 | 13.6 |
| 2 | 3MI | 129.5               | 130.5 | 150.9 | 167.0 | 0.8                | 15.6 | 10.7 |
|   | 3AC | 100.0               | 102.1 | 109.3 | 117.9 | 2.1                | 7.0  | 7.8  |
|   | 3BC | 78.8                | 79.9  | 85.0  | 89.2  | 1.4                | 6.4  | 4.9  |
| 1 | 1MI | 34.8                | 113.1 | 126.8 | 122.9 | 224.8              | 12.1 | -3.1 |
|   | 1AC | 46.6                | 89.2  | 106.2 | 101.4 | 91.3               | 19.1 | -4.5 |
|   | 1BC | 55.2                | 76.8  | 98.5  | 94.7  | 39.2               | 28.3 | -3.9 |

例えばcase1のcase0に対する）平均避難完了時間の増減率を表1に示す。以下、階別に考察する。

1階はcase0を除いて、避難先である管理棟玄関から離れるにつれ、平均避難完了時間は長くなる。caseによる増減の傾向をみると、case0→1の増加が顕著であるが、これは避難訓練経路（case0）とは正反対方向への方向転換（case1）を行うためと考えられる。case1→2の増加は、2,3階の避難者が東階段を1階まで降下してきたことにより混雑（図5中のa）が発生してその影響を受けたものであると推察される。case2→3の減少傾向は、case3では3階の避難者のうち、一部が2階で避難経路を変更して管理棟階段へ向かうことにより、東階段の混雑が緩和（図5中のb）されたためと考えられる。

2階は全てのcaseにおいて東階段から（2BC→2MIと）離れるほど、平均避難完了時間が長くなり、その差も大きくなる。case別でみると、case0→1は殆ど増減がないものの、case1→2,3は増加し、特に玄関から遠い3MIは2階他クラスに比べ増加する傾向にある。これは3階から降下してきた避難者による混雑の影響を、東階段に近い他クラスに比べ受けやすいためと推察される。

3階は、当然のことながら下階に比べて平均避難完了時間は長くなるが、全てのcaseでクラスによる差が小さい。これは、3階がcase1～3で共通して生じる東階段の滞



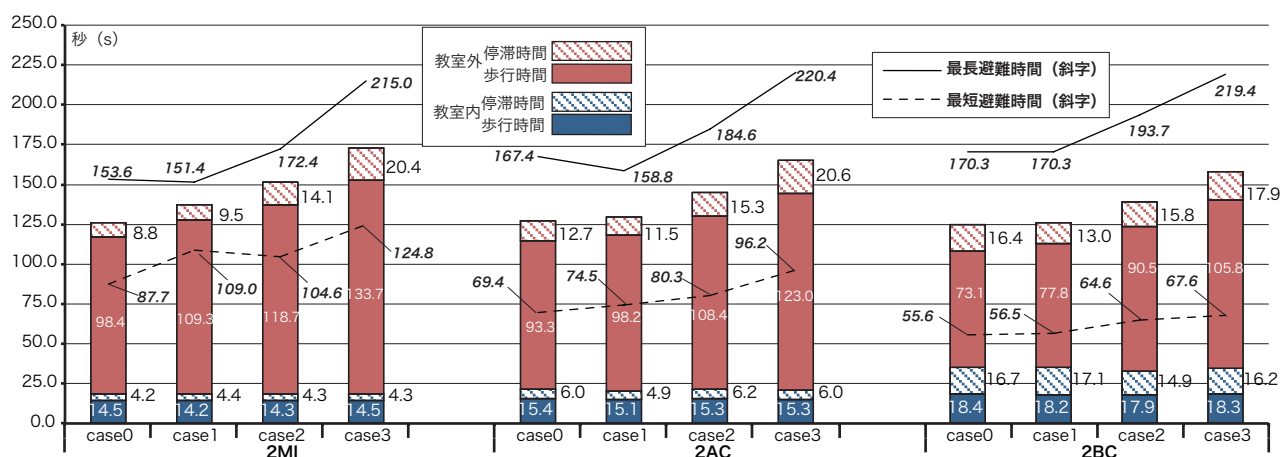


図7 各クラス平均避難完了時間の内訳及び各クラスの最長・最短避難時間（3階）

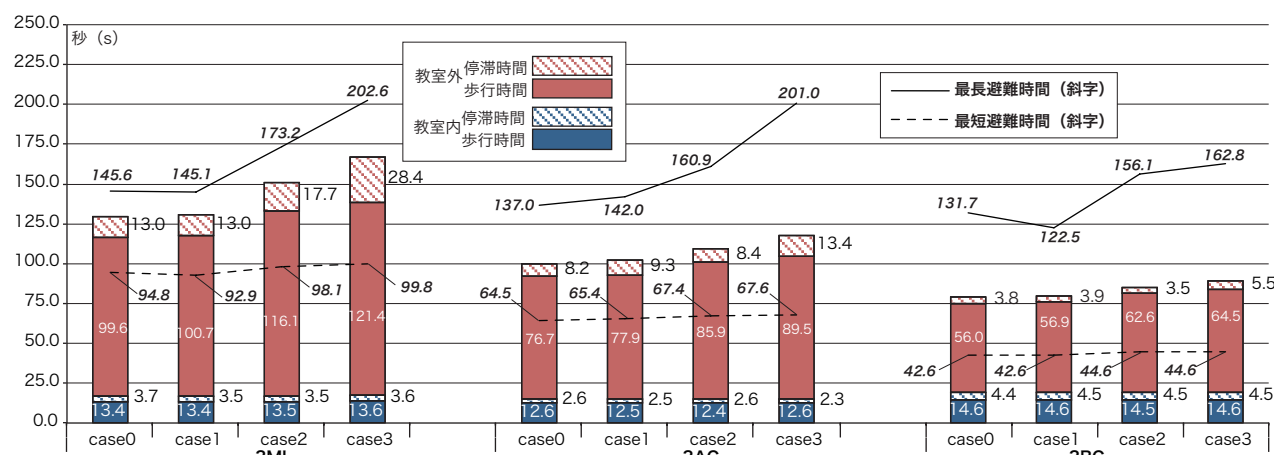


図8 各クラス平均避難完了時間の内訳及び各クラスの最長・最短避難時間（2階）

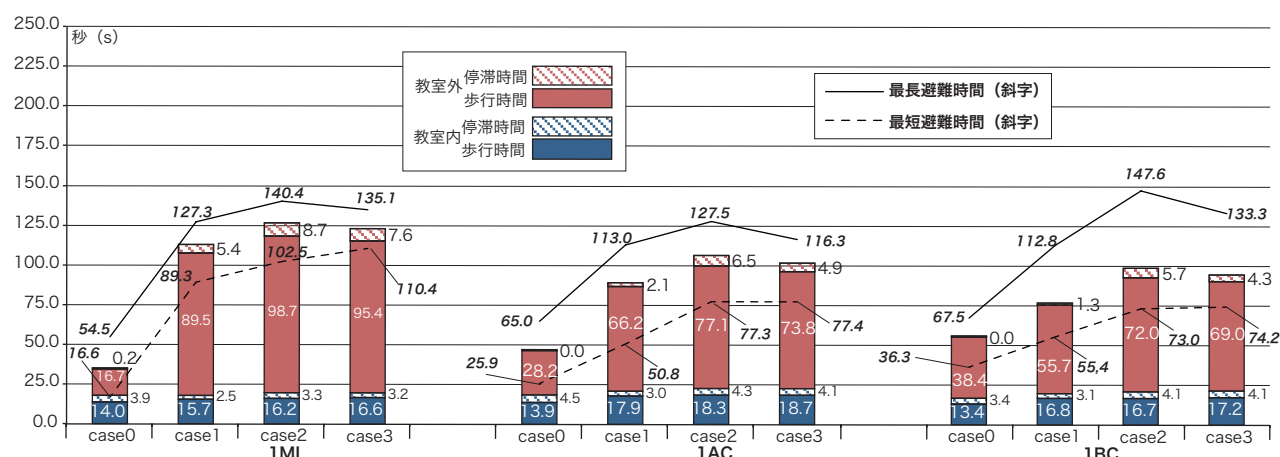


図9 各クラス平均避難完了時間の内訳及び各クラスの最長・最短避難時間（1階）

留（図5中のc）の影響を直接受けることで、caseや教室位置の影響が相対的に小さくなるためと推察される。

事象が重なる、つまり避難状況が複雑になるに従って、クラス毎の避難時間は増加することを把握した。以下ではクラス毎に、より詳細な避難状況を把握することで、教室位置が避難状況に与える影響について考察する。

### 3-3. 教室位置が避難時間に与える影響の考察

一人当たりの平均避難時間の内訳として、教室内外の歩行時間と停滞時間（歩行速度＝0m/sの状態）を算出した。各クラスの最長・最短避難時間を比較と共に階別に

図7～9に示す。この図を元に、教室位置毎の避難開始から完了までの歩行状況の特徴を把握する。

#### 1) 校舎全体での傾向

1階のcase2→3を除いて、caseの変化は避難時間の増加をもたらすが、内訳をみると、教室外歩行時間はほぼ一貫して増加する。教室外停滞時間、教室内避難時間（歩行＋停滞）、は各階、各クラスで傾向が異なるので、以下ではこの点を中心に考察を進める。

#### 2) 教室位置による避難時間の相違

階別に避難時間の内訳と最長・最短避難時間の比較を

行い考察とする。

1 階の各教室を比較すると、全ての case、クラスで教室内停滞時間は少ないが、特に 1MI で case2,3 の教室外停滞時間がやや長くなる。他 2 クラスに比べ、廊下や階段の滞留の影響を受けていると考えられる。

2 階は、1 階と同様に全てのクラスと case で教室内停滞時間は平均 2.3 ～ 4.5(s) と少ない。一方で、教室外停滞時間は全ての case でクラスによる差が顕著で、東階段に隣接する 3BC に比べ 2 教室分遠い 3MI では 3 ～ 5 倍の時間を示す。階段から遠い 3MI が教室外での滞留の影響を直接受けることに起因するものと考えられる。最長・最短避難時間の差は case0 → 3 となるにつれ大きくなり、避難完了時点で各クラスがばらけた状態になっているといえる。1 階と比べるとこの傾向はより顕著である。

3 階の教室外停滞時間は case0 → 3 となるにつれ増加する。2BC は他階を含めて教室内停滞時間が case に関係なく長い。これは、全ての case で 2BC 教室に隣接する東階段が、避難開始後の早い時点で混雑することで、避難者が教室外へと出ることができなくなるためである。各クラスの最短避難時間は階段に近いクラス（2BC）ほど短い、最長避難時間はクラスによる差は case を通じてさほどみられない。2BC 教室が東階段に隣接しているため、この混雑の影響を受けずに早い段階で避難を完了する避難者と、混雑の影響を教室内外で受け、結果的に避難が遅れる避難者の差が非常に結果といえる。

#### 4. まとめ

避難訓練計画に基づく避難（case0）と複数の事象や回避行動を伴う避難（case1 ～ 3）をシミュレーションし、混雑箇所とその時間による変化を考察し、クラス単位の避難時間や、個人の避難時間の内訳（教室内外の歩行・滞留時間）に与える教室位置の影響を考察することで、教室位置や発生する事象が避難行動に与える影響を詳細に把握し、以下の知見を得た。

- ・全ての避難状況下において、複数の避難者が交錯する廊下と階段の接続部、廊下に比べ幅の狭くなる階段、廊下幅が変化する部分、建物出口となる玄関で混雑が発生しやすい。
- ・避難状況の複雑化に従って、避難時間は長くなり、その程度は教室位置により異なるが、下階より上階の方が影響を受けやすい。
- ・教室位置によっては、同クラスの避難者でも混雑の影響の程度が異なり、個人の避難完了時間に大きな差が生まれる。特に上階においては、下階に降りるための階段と教室の位置関係が、この時間に大きな影響を与える。

本研究におけるシミュレーションは、あくまで特定の施設での限られた避難状況を想定したものに過ぎないが、シミュレーションの結果から得られた知見は、避難状況の変化や教室位置を考慮して避難方法を策定する有効性を示すものであるといえる。

[注]

[1] SimTread 内のエージェントの動作規則等については、紙面の都合上、参考文献 1) を参照されたい。

[2] SimTread では各エージェントが事象に応じて独自に経路を選択することは出来ないため、付表の通りに各シナリオ毎にエージェントの動きを設定した上で、シミュレーションを行った。

付表 想定事象とシミュレーション上の再現方法

| case  | 想定事象             | 再現方法（SimTread での設定）                                                                                                                        |
|-------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,2,3 | 1 階火災発生場所での避難先変更 | 1MI：先頭の避難者が教室から出ると同時に 1 秒停止した後、1MI 全員が管理棟玄関へ向かう（postEvent コマンドを使用）。<br>1AC,1BC：西側への避難が最も早い避難者が、1MI 教室手前に到達し 1 秒停止した後、各クラス全員が引き返す。          |
| 2,3   | 煙の影響による歩行速度の低下   | 煙の到達時間にその場にいた避難者をケース 1 の歩行者ごとの位置情報、歩行速度、時間のデータなどからなる log データから導き、変速領域の設定、または setSpeed コマンドを用いて、煙の到達時刻となる場所を目的地として、目的地を通過したら速度が変化するように設定する。 |
| 3     | 2 階での避難経路変更      | 煙の到達時間に 2 階、3 階に滞在している 3 階教室の避難者に rand コマンドを使用し、東側階段を 1 階まで降りる経路と 2 階管理棟階段から避難する経路を用意しそれぞれに向かう割合を 9：1 に設定した。                               |
|       | 3 階での引き返し        | 階段の目的地領域に設定時間で出現・消失する障害物領域を使用する                                                                                                            |

[参考文献]

- 1) 木村謙，佐野友紀，林田和人，竹市尚広，峯岸良和，吉田克之，渡辺仁史：マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現－歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築－，日本建築学会計画系論文集，第 636 号，pp.371-377，2009.2
- 2) 峯岸良和，竹市尚広，吉田克之：マルチエージェントモデルによる大規模ホールにおける避難性状の予測－歩行者シミュレーションシステム SimTread の実務的利用可能性の検証－，日本建築学会技術報告集，第 29 号，pp.227-232，2009.2
- 3) 峯岸良和，竹市尚広：スタジアム・劇場等における避難性状のマルチエージェントシミュレーションによる予測，日本建築学会計画系論文集，第 712 号，pp.1233-1241，2015.6
- 4) 建築学大系編集委員会編：建築学大系 21 建築防火論，彰国社，1978
- 5) 中山綾子，勝野幸司：歩行者シミュレーションソフトを用いた避難訓練の評価と改善に関する研究，日本建築学会九州支部研究報告，第 53 号，pp.85-88，2014.3
- 6) 小嶋晃平，勝野幸司：避難時間と滞留箇所の予測に基づく避難方法の安全性の評価－熊本高専八代キャンパスを例として－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.697-698，2016.8

\* 1 豊橋技術科学大学 准教授・博士（工学）

\* 2 熊本高等専門学校 専攻科

# Prediction of Evacuation Situation Considering Multiple Events

## Case Study for Evaluation of Evacuation Method in School Building

○Koji KATSUNO \*<sup>1</sup> Kohei KOJIMA \*<sup>2</sup>

Keywords : Evacuation, School Building, Simulation

In general, there is only one predetermined evacuation route in a school evacuation drill. However, evacuation routes and evacuees' action become increasingly complex, depending on actual disaster conditions which become complicated because of some unexpected events.

For evacuation drills, therefore, multiple events should also be considered as well as an evacuation route out of the school building, because many complex evacuation situations can possibly happen.

This study aims to examine the consequences for remediation of school evacuation drill by predicting some different situations of evacuation, which have become more complicated than situations commonly used in evacuation drill.

In this study, multi-agent pedestrian simulation application –SimTread- is applied to predict multiple different evacuation conditions. It is quite usable application because it could indicate flow conditions of pedestrians on screen by providing motion picture information and log data.

As a case study, a simulation run is performed in one of the buildings at National Institute of Technology, Kumamoto College, Yatsushiro campus. This building consists of three floors, and it contains three classrooms in each floor. Each class has about 40 students (evacuees).

As a preparatory to the computer simulation, four different evacuation scenarios - Case 0 to 3- are established by a combination of several assumed events, such as smoke drift from fire disaster, changing of evacuation destination, and branching of an evacuation route.

In these scenarios, an evacuation situation becomes more complicated and critical as the case number increases. Whereas the case 0 is just a reproduction scenario of an actual evacuation drill, the case 3 is the most critical scenario because it contains all assumed events.

From the simulation results, we obtained transitions of overcrowding spots and evacuation time. Evacuation time is examined in further detail: time required for the entire route, time taken from evacuee's starting points, breakdown of time by walking speed (walk or stop), and the maximum and minimum evacuation time in each class.

As a result of the above analysis, the conclusions of this study are as follows:

- 1) Under all evacuation situations, overcrowding tends to arise since many evacuees cross at connections between corridors and staircases, at downstairs narrower than adjacent corridors, and around the exit from the building.
- 2) Arrival time at the evacuation destination from each classroom increases due to complexity of evacuation situations. This tendency becomes clearer on the upper floors.
- 3) Even with students in the same class, their arrival time at the evacuation destination greatly differs depending on the classroom location. Particularly on the upper floors, the positional relationship between a classroom and downstairs affects significantly on the evacuation time.

---

\* 1 Associate Professor, Toyohashi University of Technology, Dr.Eng.

\* 2 Advanced Course, National Institute of Technology, Kumamoto College