

歩行者流動シミュレーションによる避難方法の評価に関する研究

小嶋 晃平* 勝野 幸司**

Study on Evaluation of Evacuation Method with the Use of Pedestrian Flow Simulation

Kohei Kojima*, Koji Katsuno**

For evacuation drills, 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.

As a result of the study, the conclusions 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.

キーワード：避難訓練，校舎，シミュレーション

Keywords : Evacuation drill, School Building, Simulation

1. はじめに

1.1 背景と目的

学校などで行われる避難訓練は、避難開始から完了までのルートが事前に決められており、あらかじめ設定された避難経路を辿るのが一般的であるが、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が複雑化する。しかし、様々な事態が積み重なり危険となる複数の状況を訓練で再現することは難しい。

また、災害時の避難行動では、予想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も考えられる。学校では、避難元となる場所ごとに、避難経路上の危険箇所などを予め把握しておくことが管理者には求められる。

本研究では、避難行動の中で複数の事象が発生し、状況

が変化する避難についてのシミュレーションを行い、避難時間、滞留箇所から、避難経路の安全性の評価を行うことを目的とする。

1.2 研究の方法

1) 研究対象

本研究では、研究対象を熊本高専八代キャンパス共通教育科棟・管理棟とした(図1参照)。共通教育科棟(3階建)は低学年(1~3年)教室や実験室、教員室などがあり、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(MI:機械知能システム工学科, AC:建築社会デザイン工学科, BC:生物科学システム工学科)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。共通教育科棟は、1~3階の各階中廊下の北側に3クラスずつ教室があり、教室の前後出入り口の有効幅は900mmである。校舎外への出口(1階)は西側玄関(有効幅1890mm)および東側玄関(有効幅1800mm)の2箇所である。また、階段の有効幅(内法幅)は共通教育科棟が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科棟階段では1500mm、管理棟階段は1200mmである。また、2棟とも階高は3600mmである。

* 生産システム工学科専攻
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627
Production Systems Engineering Course Systems Engineering,
2627Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, 866-8501,
Japan

** 豊橋技術科学大学 准教授・博士(工学)
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
Toyohashi University of Technology,
Hibarigaoka 1-1, Tempaku-cho, Toyohashi, Aichi,
441-8580, Japan

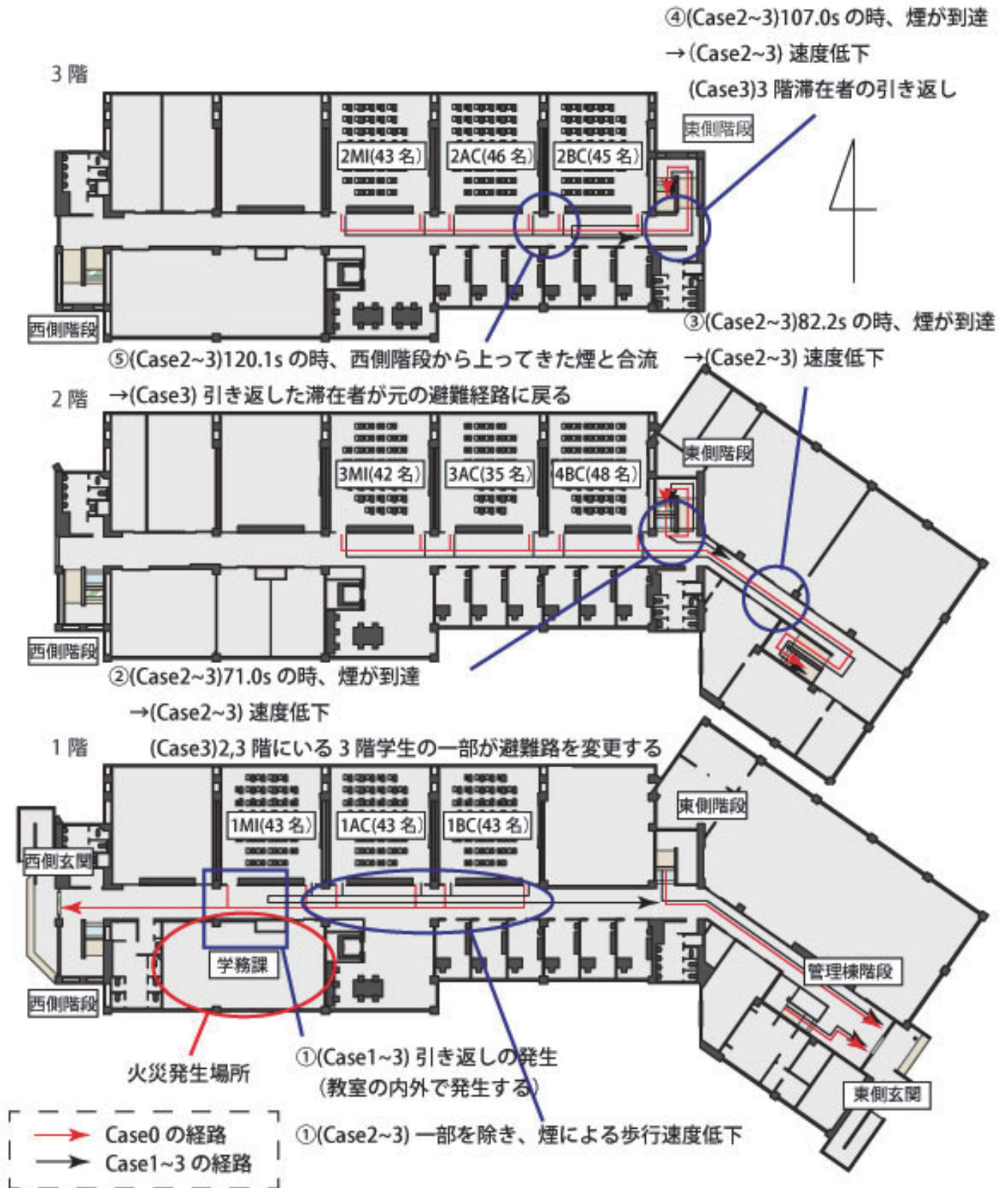


図1 Caseごとの避難経路と発生する事象・行動

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、群集の歩行状態を CAD 図面

上で視覚的に確認できること、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。

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

既発表論文および報告書などから収集した事例（避難時の行動パターンなど）から、研究対象とした校舎で火災が発生し、これによって起こる事象を仮定し、事象の組み合わせより Case0~3 の4つのシナリオを得た（図2）。

それぞれ事象が発生する箇所を図1に示す。

Case0（通常の避難訓練）では、1階の学生は西側玄関，2階の学生は東側玄関より東側玄関に，3階の学生は1階東側階段まで降下し，東側玄関へ避難を行う。

Case1 では，Case0 通りの避難開始直後に学務課（図1：1階西側）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階各クラスが東側玄関へと避難経路を変更し，その後，煙の影響を受けずに（歩行速度の変化は無く）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，東側玄関から校舎の外へ出て避難を完了する。尚，煙の伝播速度は文献(4)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。

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3の通りとした。歩行速度は通常避難時の廊下などの水平部では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(4)。

2.3 各Caseシミュレーション上の再現方法

避難行動が複雑化する各Caseについて，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が出来ないため，行動の再現のための設定を以下に示す。

(1) Case1

- ・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1.0秒停止した後，1MI全員が東側玄関へ向かう（postEventコマンドを使用）。

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1.0秒停止した後，各教室全員が引き返す。

(2) Case2

- ・煙の影響による歩行速度の低下

全教室：煙の到達時間にその場にいた避難者をCase1の歩行

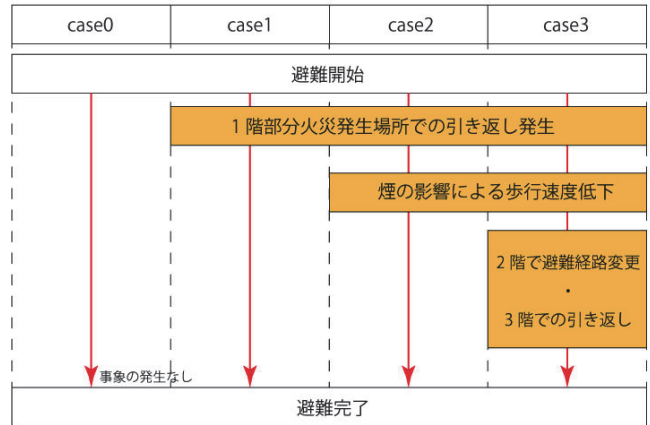


図2 Caseごとに発生する事象・行動

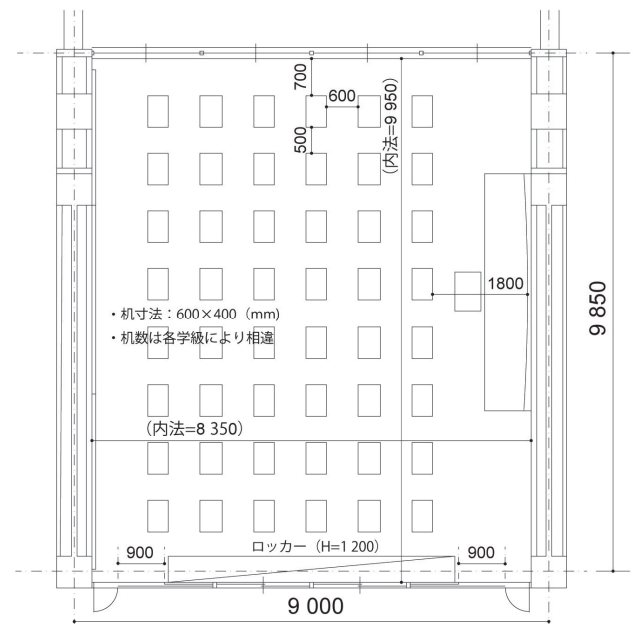


図3 教室内各寸法

表1 Caseごとの平均避難完了時間

| 階 | クラス | Case毎・平均避難完了時間(s) | | | |
|---|-----|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2MI | 125.9 | 137.4 | 151.4 | 172.9 |
| | 2AC | 127.3 | 129.8 | 145.2 | 164.9 |
| | 2BC | 124.7 | 126.1 | 139.2 | 158.2 |
| 2 | 3MI | 129.5 | 130.5 | 150.9 | 167.0 |
| | 3AC | 100.0 | 102.1 | 109.3 | 117.9 |
| | 4BC | 78.8 | 79.9 | 85.0 | 89.2 |
| 1 | 1MI | 34.8 | 113.1 | 126.8 | 122.9 |
| | 1AC | 46.6 | 89.2 | 106.2 | 101.4 |
| | 1BC | 55.2 | 76.8 | 98.5 | 94.7 |

者ごとに位置情報，歩行速度，時間のデータなどからなるログデータから導き，変速領域の設定，煙の伝播速度と距離から地点毎の煙の到達時刻を読み取り，煙が到達する時刻に煙を回避できない箇所滞滞している避難者に対しsetSpeedコマンドを用いて，煙に巻かれ始める箇所を目的地領域として，目的地領域を通過したら（煙に巻かれたら）

速度が変化するように設定を行う。

(3) Case3

・2階での避難路変更

2, 3階教室：煙の到達時刻に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階まで降下する経路と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階での引き換えし

3階教室：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。

3. 結果と考察

Caseごとに避難完了時間（避難開始から全員が校舎を出るまでの時間）を表1に示す。全体としてCaseが進むことで避難完了時間は増加する傾向にあった。しかし、避難完了時間のみでは校舎内のどの部分の影響で避難時間が増加したのかが不明であるため、出力されたログデータから全避難者の歩行データ（時間ごとの速度、位置座標、方向の遷移など）を集計し、これより避難時間（避難開始から校舎外まで出る時間）およびその内訳としての歩行時間と停滞時間（避難者の歩行速度が0m/sとなっていた時間の集計）、映像データより滞留箇所などの読み取りを行う。

3.1 滞留箇所からみた避難経路の安全性評価

図4に見られる避難者のうち、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。

図3にSimTreadによるシミュレーション結果から得られた各Caseの避難開始から1分15秒後における滞留箇所を示す。

Case0では2階管理棟廊下, 3階東側階段において滞留が見られた。これは階段入り口付近での方向転換や共通教育科棟から管理棟廊下に進むときに廊下幅が狭隘化することを主因として発生したためと考えられる。

Case1では2階管理棟廊下, 3階東側階段での滞留に加え1階東側階段での滞留も見られた。この1階東側階段での滞留は、Case1で発生した西側（火災発生箇所）を回避して校舎東側玄関を目指す1階の避難者と3階からの避難者が衝突することで発生したものである。

Case2ではCase1と比較して1階東側階段での滞留が大きくなっていることが分かる。これは煙による歩行速度の低下が1階避難者の中で最も早く発生し、避難が遅れているところに3階避難者が1階東側階段に侵入したことによって衝突時間が増加し発生したものと考えられる。

Case3ではCase2と比較して2階管理棟廊下での滞留の拡大と1階東側階段での滞留の縮小が見られた。これは3階の避難者の一部が本来の避難経路ではない2階管理棟廊下へ流入したため発生したものである。また、2階管理棟廊下に3階避難者の一部が流入したことで1階東側階段での滞留は小さくなっている。

これらのことより、いずれの場合においても転倒や避難者同士での圧迫を生じる危険性があり、避難状況が複雑になるほど滞留状況が悪化する傾向にある。

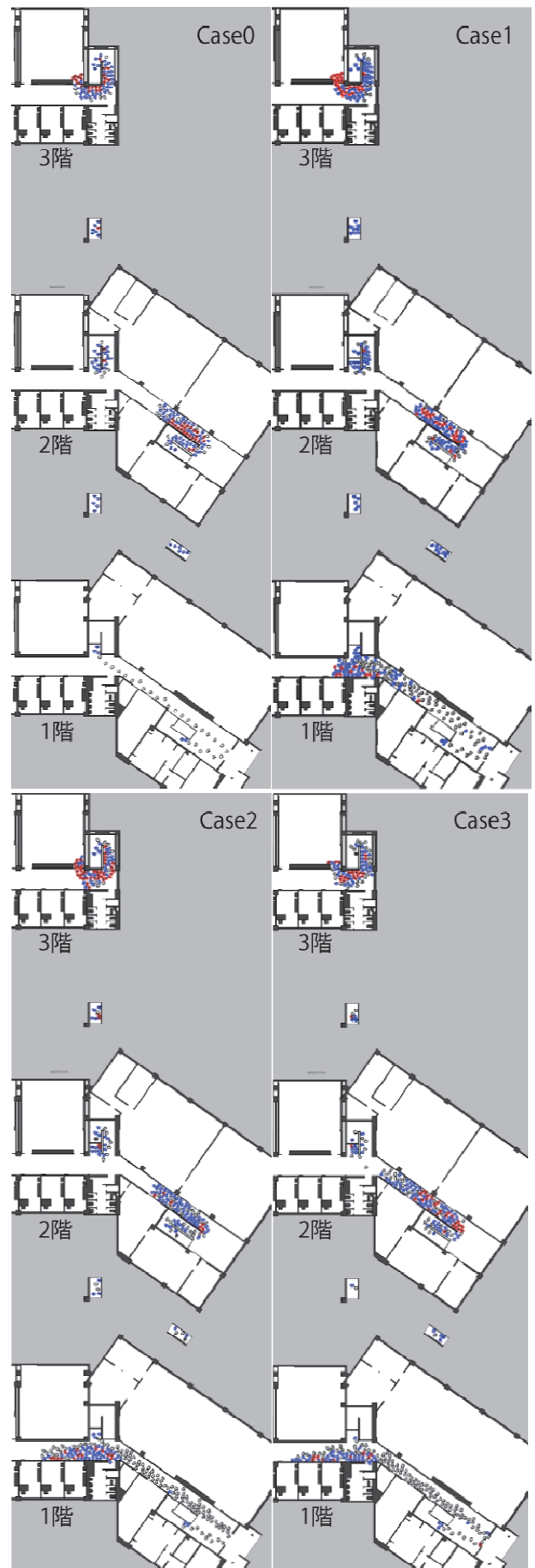


図4 Caseごとの滞留状況

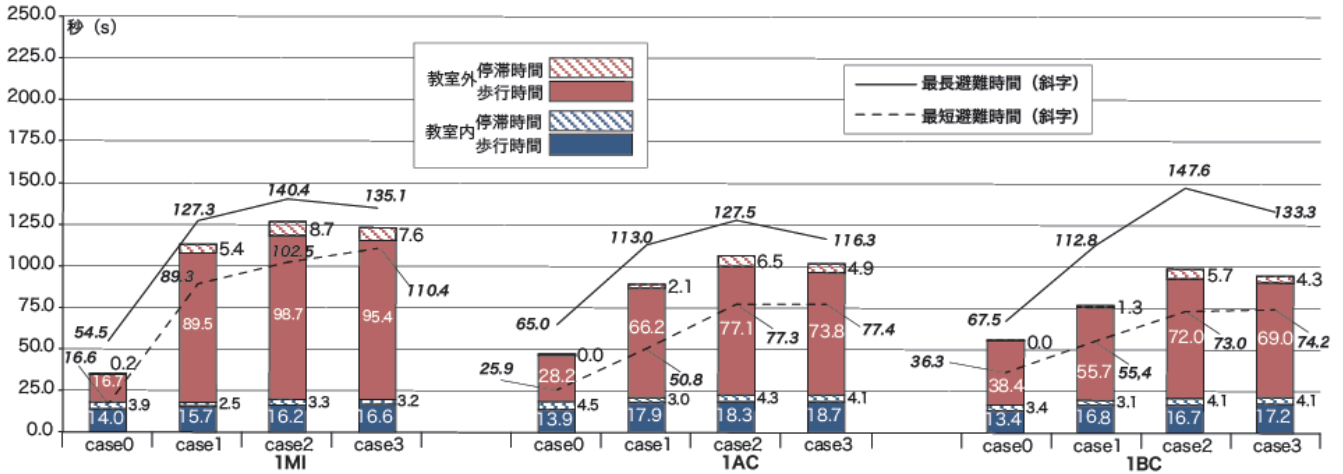


図5 各クラスの平均避難完了時間の内訳および最長・最短避難時間 (1階)

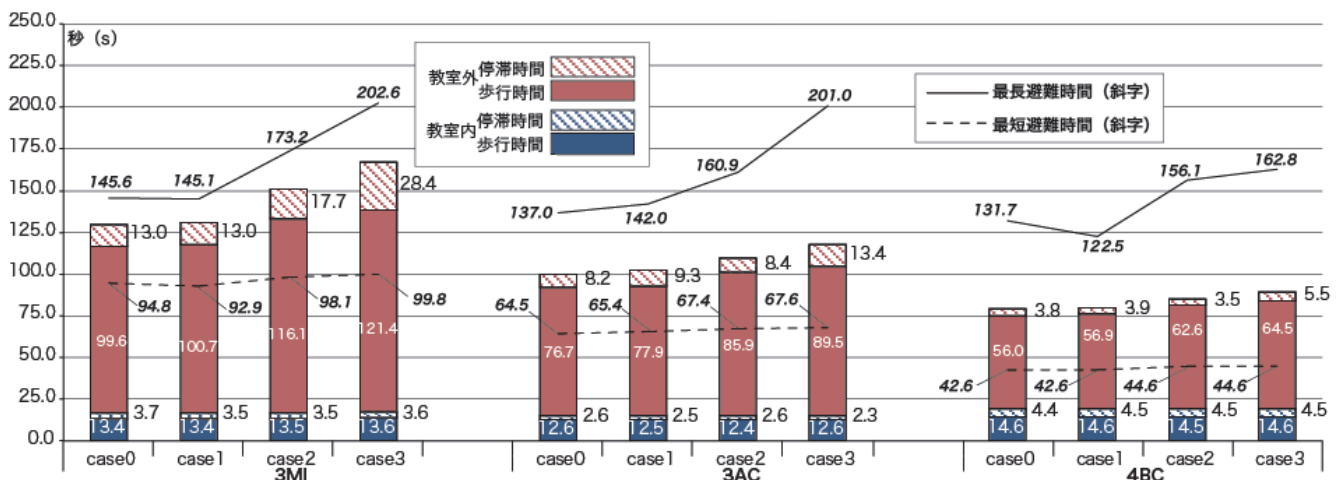


図6 各クラスの平均避難完了時間の内訳および最長・最短避難時間 (2階)

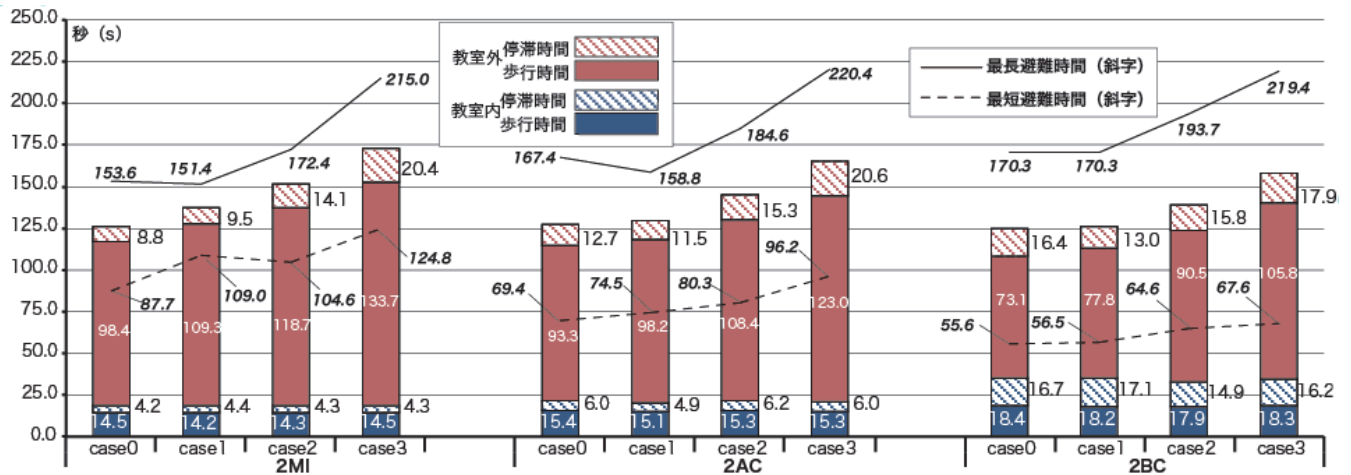


図7 各クラスの平均避難完了時間の内訳および最長・最短避難時間 (3階)

3.2 Caseによる避難に係る歩行時間の相違

教室ごとの一人あたりの平均避難時間 (教室内外の歩行時間と停滞時間の合計) と最長および最短避難時間の Case による比較を行い, 以下の知見を得た.

1) 校舎全体での傾向

当然ながら, 事象の複雑化によりほぼ全ての項目で時間は増加している. 増加の内訳として教室外歩行時間の増加

が最も多く, 教室内歩行時間の変化はほとんど見られない (図5~7).

2) 教室位置による避難時間の相違

主に同階内別教室での避難時間の考察を行う.

(1階) 各教室を比較すると, Case1以降IMIでの教室外歩行時間が他教室と比較して, 増加していることが分かる. これは発災場所前での引き返し行動とその後の1階東側階

段での上階からの避難者との衝突による影響を大きく受けているためと考えられる。また、各教室 Case2 の教室外停滞時間の増加は3階避難者が東側階段を1階まで降下してきた時間と煙による歩行速度低下の影響を受けた1階の避難者との衝突する時間がCase1より長期化したために発生したものと考えられる。Case3での全体としての減少傾向は3階避難者の一部が2階管理棟廊下側に避難経路を変更したことで1階東側階に流れ込む避難者数が減少し滞留が小さくなったためと考えられる(図5)。

(2階)2階は全てのCaseにおいて東側階段から離れるにつれて、平均避難完了時間が長くなり、その差も大きくなる。各教室、Caseによる最短避難時間の変化は見られないが、複雑化することで最長避難時間の増加が大きく変化しており、避難者にばらつきがあることが分かる。また、東側階段と隣接している4BCと比較して3MIの教室外停滞時間、教室外歩行時間の増加が目立ち、教室外での滞留の影響を大きく受けていると考えられる(図6)。

(3階)2BCの教室内停滞時間はCaseに関わらず他階を含めた全教室で最も多い。これは3階東側階段に隣接した位置に教室があり、滞留箇所と教室出入り口とが近いことで教室外に出られずに発生したものである。各階教室で最短避難時間は避難方向側の階段に近い教室ほど短くなるが、最長避難時間は3階各教室において大きな差は見られない。これは、2BCが東側階段に隣接していることから、この3階東側階段での滞留の影響を受けずに早い段階で避難を完了する避難者と影響を受けた避難者とで受けた影響の差が避難者の避難時間の差として出たものと言える(図7)。

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、滞留箇所とその時間による変化を考察し、教室単位の避難時間や、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、その程度は教室によって異なるが、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、同教室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。

このことから、避難方法や避難経路の検討は、各教室位置を考慮して検討する必要があるが、これに関係なく避難方法を決定することは避難の安全性の面で問題があると言える。

(平成28年9月26日受付)
(平成28年12月7日受理)

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衆歩行性状の表現 - 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ステムによる予測」, 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, pp.155-157, pp.336(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」, 日本建築学会計画系論文集, 第712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, (2016.8)