

授業時間外を想定した避難方法の検討

校舎内の避難方法の評価に関する事例的研究 その2

○勝野 幸司*¹ 小嶋 晃平*²

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

学校で実施される避難訓練は、学級など集団による一斉避難で実施され、その避難経路は事前に設定されているのが一般的である。実際は、災害発生時に全ての学級が一斉避難を即座に取れる体制であるとは限らず、その場合の避難方法を検討しておくことは、災害時の「想定外の範囲外」の状況による被害の増大を防ぐ一助となる。

訓練通りの避難を行なっている途中で想定外の事象が発生し、避難方法に混乱が生ずる複数のシナリオによる避難様態を歩行者シミュレーションを用いて再現し、避難方法の問題点を抽出した既報¹⁾に続き、本研究では、集団による一斉避難が取りにくい状況下での避難について、避難開始時の状況と避難経路の選択行動パターンか

ら作成した複数のシナリオに基づくシミュレーションを行い、避難方法の課題を抽出し、避難方法およびその誘導方針など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科棟・管理棟とした(図1および図2)。共通教育科棟(3階建)は教室や実験室、教員室等があり、本研究で対象とするのは、この教室を使用する計9クラスおよび別棟(専門科目棟:図2)にホームルーム教室がある1クラスである。教室の寸法等を図3に示す。研究対象とする2棟は1、2階の廊下で接続されており、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。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。

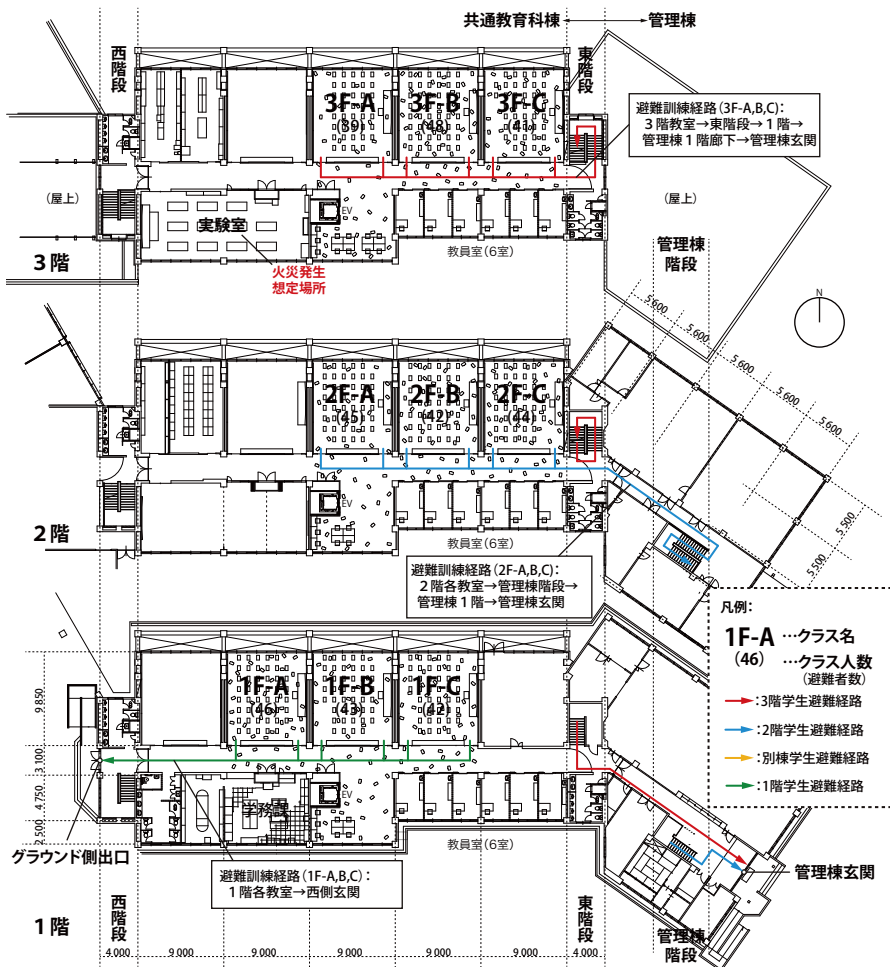


図1 校舎各階平面図と避難訓練時(Sc4)の経路

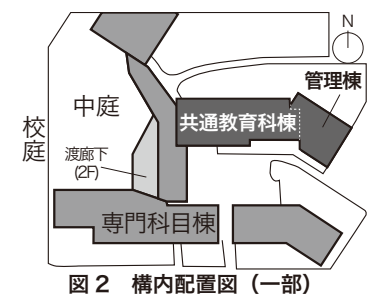


図2 構内配置図(一部)

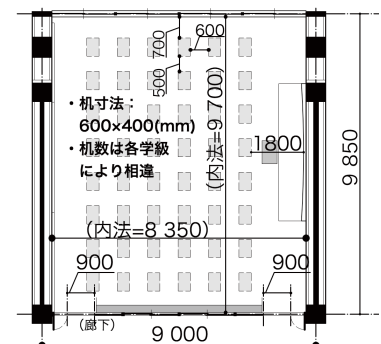


図3 教室平面図

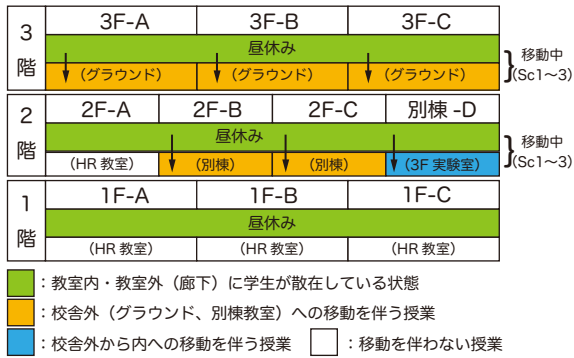


図4 時間割と避難想定時間帯

表1 設定した避難シナリオ

①時間帯(初期状態)	②避難経路選択の単位	③避難方向(使用する階段)	シナリオ番号
移動中: 授業開始前の移動中で、避難者は教室内外に分散した状態	個人: 避難開始場所により個別に避難方向(階段)を選択する	最短: 避難開始時に近い側の階段を使用する	Sc1
	単一: 避難開始場所に関係なく学級単位で避難方向(階段)を選択する	西側: 2,3F 共に西階段 東側: 3F: 共通教育棟東階段 2F: 管理棟階段	Sc2 Sc3 Sc4
授業中: 避難訓練開始時と同様の状態(教室内で全員着席)			

※1階(1F-A,B,C)はSc4を除き管理棟玄関(校舎東側)への避難とした

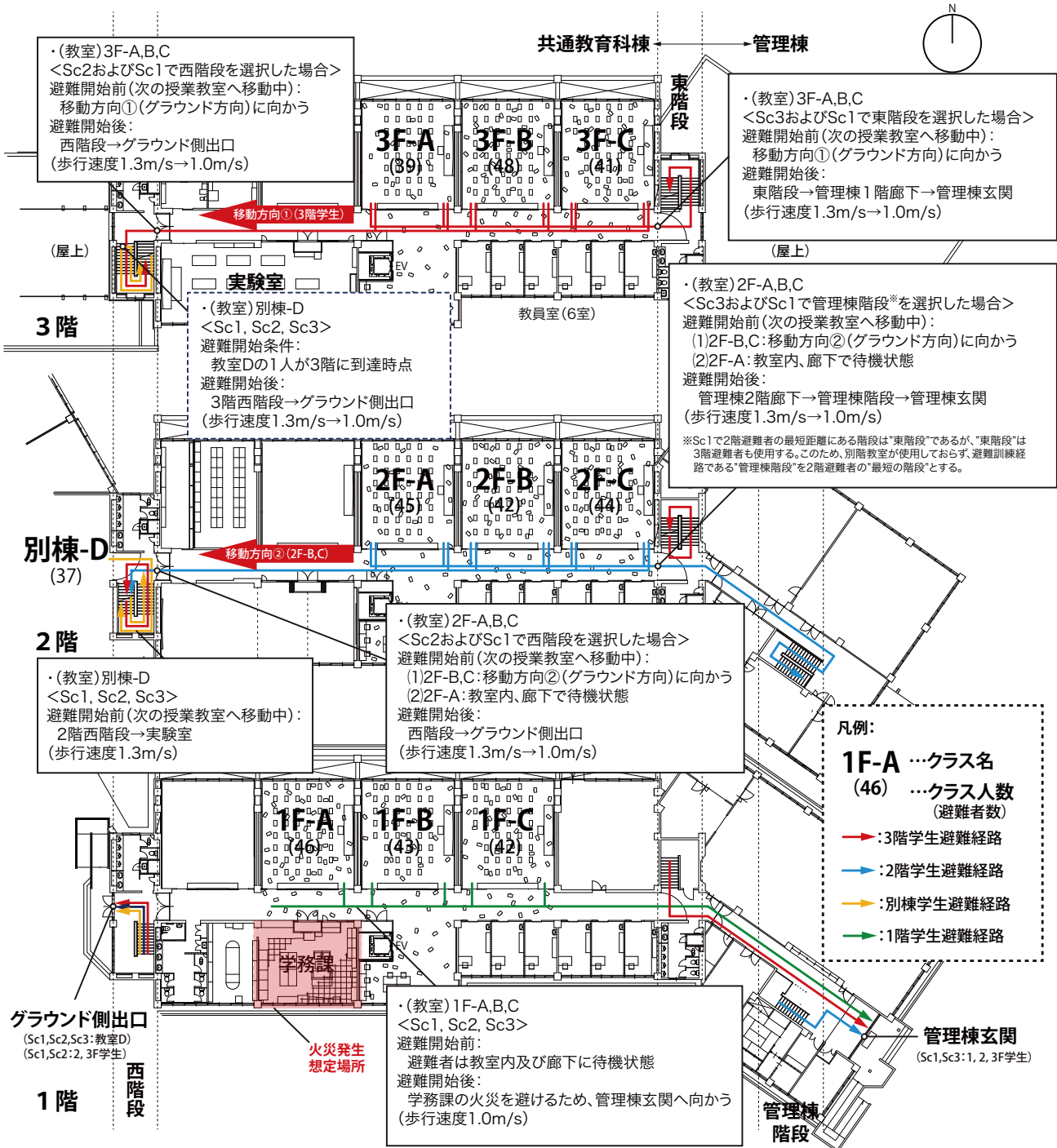


図5 各避難シナリオの避難経路等の設定

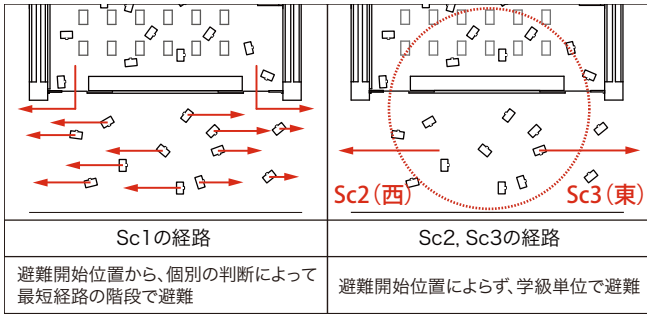


図6 Sc1 (個別避難) と Sc2,3 (学級単位避難) の避難方向

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^{注1)}。尚、筆者らは既往研究²⁾で今回の研究対象とする校舎で行われた避難訓練を SimTread 上で再現し、避難時間や避難者の流動状況が近似することを確認しており、SimTread が本研究目的のために有効であると判断した。

2. シナリオとシミュレーションの設定

2-1. シナリオの設定

避難という性格上、避難状況はなるべく校舎内に滞在する学生が多く、その流動状態が複雑な場合を想定することを前提とし、4つのシナリオの設定を行った。

1) 避難状況の設定 (表1)

①避難時間帯 (表1①):平成28年度時間割から、教室間の移動がもっとも多く行われる時間帯 (金曜昼休み～3限目:図3)に1階学務課で火災が発生 (図4:1階)したと想定した。比較のため、3限開始前の学生の移動中の状態 (以下「移動中」と)全ての学級が授業中で全員が着席した状態 (以下「授業中」)の2つを主要なシナリオとした。尚、3限は研究対象とする校舎外 (専門科目棟:図2)のクラス「別棟-D」が3階実験室を使用するために避難時間帯に共通教育棟西階段付近に滞在していると想定した。

②避難経路選択の単位 (表1②):上述①の「移動中」では、集団避難とは異なり統率者 (学級担任等) が居ない場合とし、避難開始時点で各避難者にとって近い方の階段へと避難する「個人」と、各学級の避難者は同じ方向へ避難する「単一」に分けた。「授業中」は統率者がいる状態 (避難訓練と同様の状態) と想定し、「単一」とした。

③避難方向 (使用する階段:表1③):①「移動中」-②「個人」 (以下シナリオ番号 Sc1 とする) は各避難者からもっとも近い階段 (3階は共通教育棟の西側または東側階段/2階は共通教育棟の西側または管理棟階段) を使用する。①「移動中」-②「単一」は、2、3階の避難者が全て西側階段から避難するシナリオ (Sc2) と、避難訓練時と同

様の経路 (図1) である2階の避難者は校舎東側の管理棟階段から1階へ避難し、3階の避難者は共通教育棟東側階段で1階へ避難するシナリオ (Sc3) とした。「授業中」は避難訓練と同様の経路 (Sc4:図1) とした。

Sc4以外のシナリオによる避難経路を図5に示す。シミュレーション時の最大歩行速度は、文献⁴⁾を参考にいずれのシナリオにおいても廊下や教室など水平面では1.3m/s (滞留の多く発生する階段付近 (図5中に示す) は1.0m/s)、階段は0.5m/sとした^{注2)}。Sc1～3の避難者の初期位置は、各教室に面する廊下やエレベータホールの範囲内に、各学級の人数を均等に配置した。

3. 結果と考察

各シナリオを元に SimTread 上でシミュレーションを行い、時間毎の避難状態を表す動画 (.mov) と避難者の歩行データを表すログ (.txt) から、考察を行う。

3-1. 避難に伴う校舎内の滞留状況

避難開始時に近い階段や建物出口へ避難する Sc1 に対して、Sc2～4の滞留状況を比較し考察を行う。避難開始後60秒時点での校舎内の各箇所の避難者の滞留状況を図7 (校舎西側)、図8 (校舎東側) に示す。

1) 校舎西側の滞留状況 (図7)

Sc1では、2階西階段付近で滞留がみられる (図7内a)。1階階段から西側玄関付近に滞留がみられないことから、2階西階段の滞留は2階避難者が3階から階段を降下してきた避難者と合流することにより生じたものといえる。

Sc2 (図7-右) をみると、避難開始後に階段付近で避難者の滞留がみられた。Sc1と同様、1階に滞留がないことから、2階階段付近の滞留 (図7内b) は2、3階避難者の合流によるもので、かつ滞留の範囲が Sc1 に比べ大きい。3階の滞留の範囲は更に大きく、階段入口から廊下まで到達している (図7内c)。

2) 校舎東側の滞留状況 (図8)

Sc1 (図8-左) では、各階段付近や廊下等での滞留は3階階段と1階の廊下屈折部で若干見られる (図8内d) 程度である。

Sc4 (図8-右) と、Sc4と同様に2,3階の全避難者が校舎東側へ避難する Sc3 (図8-中央) で滞留が目立つ。3階階段の滞留はいずれも Sc1 に比べ大きく (図8内e)、また Sc1 にはなかった管理棟階段での滞留もみられる (図8内f)。Sc3は Sc4 と異なり1階避難者も管理棟玄関へ避難するため、1階廊下屈折部での混雑がみられ、Sc1 と比べ3階避難者と1階避難者が合流する1階階段付近の滞留範囲も大きい (図8内g)。

3) 滞留状況からみた個別避難の効果

避難開始時に個別に近い階段または玄関へ避難を行う Sc1 が、集団避難を行う Sc2、3、4に比べ、滞留が比較的少ないことが確認された。60秒時点においては、学級単位で単一の方向へ避難するよりも、個別に避難方向を選択する方が校舎内の滞留は少なくなるといえる。



図7 校舎西側の滞留状況
(避難開始60(s)後)

図8 校舎東側の滞留状況
(避難開始60(s)後)

表2 平均避難完了時間
(学級/シナリオ別)

階	学級	位置	避難シナリオ			
			Sc1	Sc2	Sc3	Sc4
3	3F-A	内	69.0	231.2	155.8	125.9
		外	57.6	186.3	149.3	-
	3F-B	内	114.7	242.5	150.3	127.3
		外	71.8	220.2	148.9	-
	3F-C	内	98.3	248.0	104.1	124.7
		外	95.7	231.6	131.1	-
3階平均	内	94.0	240.5	136.7	126.0	
	外	75.0	212.7	143.1	-	
2	2F-A	内	101.6	108.4	140.1	129.5
		外	115.2	140.9	143.0	-
	2F-B	内	101.0	128.3	105.0	100.0
		外	57.8	55.4	138.4	-
	2F-C	内	80.2	139.8	76.3	78.8
		外	78.1	96.7	126.2	-
2階平均	内	94.3	125.5	107.1	102.8	
	外	83.7	97.7	135.9	-	
1	1F-A	内	111.3	99.9	110.6	34.8
		外	106.1	94.4	105.1	-
	1F-B	内	87.0	80.6	87.3	46.6
		外	82.2	78.9	82.8	-
	1F-C	内	65.5	64.4	66.3	55.2
		外	53.8	53.1	53.3	-
1階平均	内	87.9	81.6	88.1	45.5	
	外	80.7	75.5	80.4	-	
別棟D	外	34.4	34.7	34.4	-	

*表中の灰色部分は各教室(内外)で最も時間の長いシナリオ(Sc)を表す

3-2. 滞留避難完了時間に与える影響の考察

各学級の避難者の平均避難完了時間(避難開始から玄関までの避難時間)を表2に示し、シナリオが学級ごとの避難完了時間に与える影響について考察を行う。

1) シナリオによる比較(表2横方向)

一部例外はあるが2、3階の各学級はSc1の避難完了時間が、他のシナリオに比べて短い。階段付近等での滞留が他のシナリオに比べ少なかったことによると考えられる。1階はSc4を除いてはほぼ差はみられない。避難完了時間が比較的長いのはSc2,3であるが、西側へ避難するSc2と東側へ避難するSc3の差が特に3階で大きい。これは東側避難は3階避難者と2階避難者が別の階段を利用するために階段及びその付近での滞留が少なくなったことによるものといえる。なお、別棟Dは滞留の影響を受けにくかったため、シナリオによる避難完了時間の差はほとんどなかった。

2) 避難開始位置による比較(表2縦方向)

① 避難開始階による比較

表2の各階平均(階毎の各学級の平均)をみると、Sc1では1~3階の差が教室内外で6(s)程度である一方、Sc2から4ではその差は大きくなる。Sc2は図6右に示した通り2、3階の滞留が大きいことから、上下階の差が大きくなったといえる。Sc3,4も50~80(s)の差があり、上階の学級ほど平均避難完了時間は長い。

② 避難者の初期位置(教室内外)の比較

目的地までの距離が相対的に短い「教室外」の方が平均

均避難完了時間が短くなる傾向にあるが、一部該当しない学級もあり、明確な傾向は得られない。

3) 滞留を与える避難完了時間への影響

各学級の避難完了時間は滞留状況の影響を受け、上階ほどその影響は大きく、避難完了時間の上下階の差が確認された。教室内外から避難した場合と教室外から避難した場合には、概ね教室外の方が避難完了時間は短くなる傾向が確認された。個別に避難するSc1は避難訓練通りの避難(Sc4)よりも避難完了時間が短くなった。

3-3. 避難時間の内訳からみた避難様態

避難者の避難時間の内訳を避難開始位置が教室内外の場合(図9)と教室外の場合(図10)に分け、学級およびシナリオ毎に示す(Sc4は略)。

1) 滞留の影響による停滞時間の増加

教室外の停滞時間(廊下や階段で停止している時間)をみると、上階ほど大きい。3階各学級のSc2では、避難開始位置(教室内外)に関わらず、避難時間のうちの半分程度が教室外の停滞時間であり、西側階段付近の滞留(図7-右)の影響が大きいことが確認できる。教室外停滞時間が大きい学級とシナリオでは、最長避難時間と最短避難時間の差も他のシナリオに比べ大きく、滞留は避難完了時間の増加だけでなく、同学級内での避難時間の差を生じさせているといえる。

2) 避難開始位置(教室内外)による避難様態の相違

前節でも述べた通り、避難開始位置が教室内外である場合と教室外である場合で、さほど大きな避難時間の差は

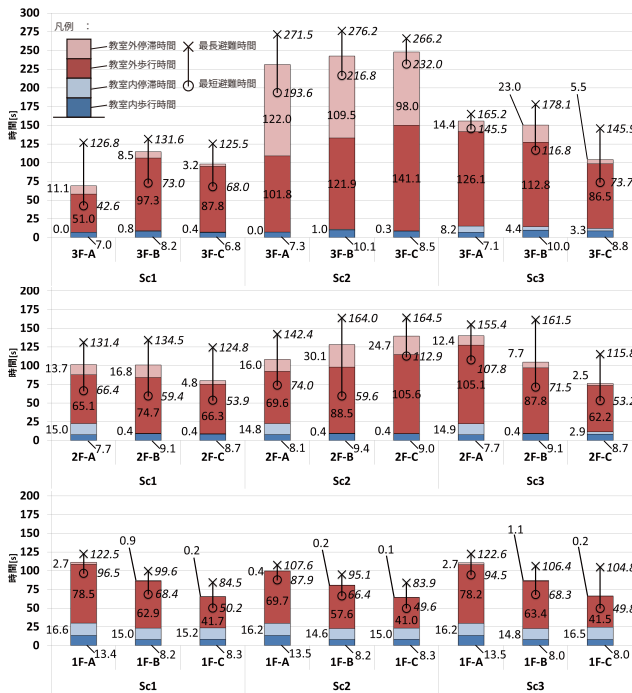


図9 シナリオ別に見た避難時間の内訳 (教室内からの避難)

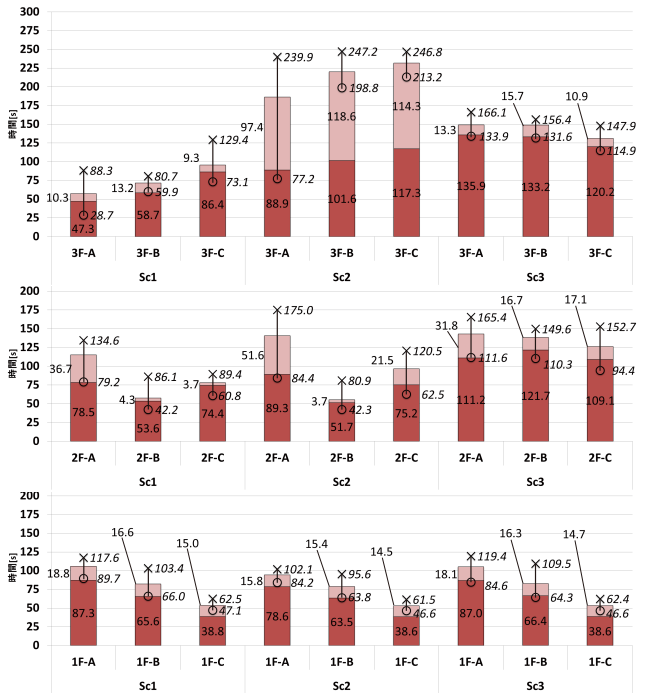


図10 シナリオ別に見た避難時間の内訳 (教室外からの避難)

見られなかったが、避難時間の内訳を図9,10でもその割合に明確な差はみられない。今回のシナリオ設定では、教室外からの避難者の避難位置が教室付近であり、教室内避難者と比べ、避難目的地への相対的な距離差が少なかったことによるものと推察される。

4. まとめ

1) 考察の結果と得られた知見

授業時間外の異なる避難状況を想定した避難シナリオ複数作成し、SimTreadによるシミュレーションを用いて比較考察を行い、以下の知見を得た。

①授業時間外における避難の危険性

学級ごとなどによる一斉避難ができない教室内外に避難者が分散しているような状況においては、避難訓練などで予め指定された階段で避難階まで降下するのは、主に階段付近の滞留の増大、ひいては避難時間の増大を招き、かえって危険である。この傾向は特に3階で強く見られる。

②避難方法の改善ポイント

火災の発生場所などの状況によるが、授業時間外では同学級、同階でも異なる避難方向を選択することが避難完了を早めるために効果的であり、従来の集団による一斉避難だけでなく、個別避難の訓練も検討すべきである。

避難方法の改善ポイントについて述べる。上階の避難者(特に3階)は、本研究のSc1のように避難開始時に避難者にとって近い階段を使って避難することが校舎内の滞留を抑制し、全体の避難完了時間の短縮にも寄与すると考えられる。この場合、①でも述べた通り、同学級でも異なる出口から校舎外へ出るため、避難後の安否確認の方法について熟慮しておかなければならない。

2) 課題と展開

紙面の都合もあり、滞留状況について、図7,8以外の時間帯の考察や、場所ごとの詳細な考察ができていない。特に、混雑しやすい階段内における滞留の発生は転倒などの危険を招くため、階段内の滞留状況の詳細な考察ができていないことは今後の大きな課題といえる。この他に、異なる場所からの出火の際に上述の改善案が適切に機能するか検証することや、本研究方法を他施設へ適用することなども課題として、研究の展開を図りたい。

[注釈]

- [1]SimTread上での群集歩行様態は、個々のエージェントについての計算結果による動作により得られる。エージェントの動作は一定時間ごとに目的地に対する最短経路を取るために大まかに「仮移動位置」、「衝突回避」、「移動位置の確定」の計算を繰り返すが、「衝突回避」を再計算しても移動位置が確保できない場合は減速を繰り返して適切な位置を確保する(それでも確保できない場合は歩行速度が0m/sとなる)。群集の滞留はこれらの結果発生する(参考文献3より引用)。
- [2]SimTreadのエージェントは周囲の状況(障害物、他のエージェント)に応じて歩行速度を減速させるが、今回のシミュレーションでは実際の避難状況において、階段や滞留を確認した場合に避難者が自主的に歩行速度を減速させることを想定し、階段付近の歩行速度を1.0m/sとした。

[参考文献]

- 1) 勝野幸司, 小嶋晃平: 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-, 第39回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.61-66, 2016.12
- 2) 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集, pp.85-88, 2014.3
- 3) 木村謙, 佐野友紀, 林田和人, 竹市尚広, 岸原良和, 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
- 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

* 1 熊本高等専門学校 准教授・博士 (工学)
* 2 熊本高等専門学校 専攻科

Examination of Evacuation Method to be Applied in the Case of Out-of-Class Hours

Case Study for Evaluation of Evacuation Method in School Building Part 2

○Koji KATSUNO *¹ Kohei KOJIMA *²

Keywords : Evacuation, School Building, Simulation

In school evacuation drill, it is basic method that evacuees acts in group. But disasters can possibly happen during time slots such as out of class hours, that evacuees are incapable of evacuating in group.

From the above, this study aims to examine an effective evacuation method in school building under several situations that evacuees are incapable of evacuating in group.

In this study, multi-agent pedestrian simulation application –SimTread- is applied to predict multiple different evacuation conditions. It is 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 are established by a combination of several assumed preconditions, such as a time of fire occurrence, a unit of evacuation action, and a selection of an evacuation route.

Among these scenarios, scenario 1 to 3 deal with the situation a fire occurs at out of school hours. Of these scenarios, scenario 1 deals with the situation that evacuees upper floors go toward to evacuation destination by way of the nearest staircase at each evacuee's discretion. On the other hand, in scenario 2 and 3, evacuees select their designated evacuation route as a class unit. Scenario 4 replicates evacuees' action of evacuation drill of this school building.

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 the situation that evacuees are scattered in and out of classroom at the beginning of evacuation, it is effective that evacuees select their route by individuals in comparison with according to preauthorized route, for reduction of evacuation time and evacuees' overcrowding.
- 2) To avoid human suffering at the time of disaster, it is necessary to make an evacuation drill that evacuees' on upper floors should evacuate not in group but with choosing route to destinations according to individuals' appreciation of situation.

* 1 Associate Professor, National Institute of Technology, Kumamoto College, Dr.Eng.

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