

仙台高等専門学校校舎を対象とした人工社会モデルによる 災害時の避難行動に関する検討

仙台高等専門学校 飯藤将之
 仙台高等専門学校 本郷 哲
 仙台高等専門学校本科学生 黒田瑛里佳

1. はじめに

仙台高等専門学校・名取キャンパス（以下、仙台高専と略す）では、1年に一度、地震や火災を想定した避難訓練を実施している。残念ながら、訓練の状況はあまりよいものとは言えず、訓練のための訓練となっていることが否定できない。学校では、災害時の避難経路を設定しているものの、訓練を実施している状況からは、その経路が推奨されるべきものかどうかを言及することが難しい。本論では、仙台高専で最も多くの学生が生活している3号棟（総合科学教育棟）を対象として、複数のシナリオを設定した避難行動のシミュレーションを行い、上下避難の特色について検討した結果についてまとめる。

2. 3号棟の概要

仙台高専3号棟は、鉄筋コンクリート造5階建てで、東西に50m、南北に最大25.3mとなっている。図1に1階、2階、3～4層のキープランを示す。1階は、学生系の事務と保健室、実験室がある。1学年の人数は約168人であり、2階、3階、4階に、1～3年生の学生のための教室が配置されている。各階とも教室が5つ配置されているが、旧宮城高専から仙台高専への移行時に学科減があったため、西端の教室は教室以外の用途となっている。2階には、4教室の他、180名を収容できる大教室もある。5階には、端末室や教員談話室があり、日中の滞在者は少ない。上下階をつなぐ階段が東西に一つずつある。西側は屋外の階段で最小幅員が900mmのため、学生の多くは東側の室内階段を使う。

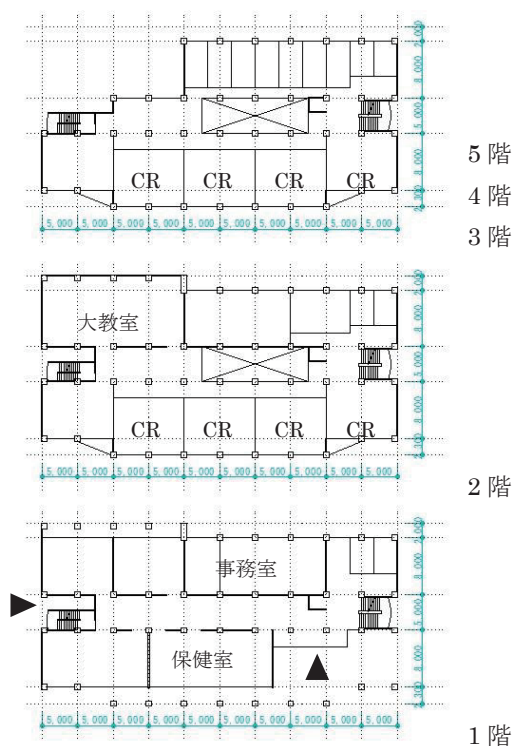


図1 3号棟 キープラン

3.3 モデル作成とルール記述

シミュレーションの対象は、5階建ての建物全体であるが、日中5階にはほとんど人間がいないことから、本シミュレーションでは、空間を1～4階に対応する4層分準備して、4層とも格子モデルで表現する。全層とも、一つのセルを500mm×500mmとして、x方向に0～99、y方向に0～99の座標をもった格子を設定する。エージェントが必ずどこかのセルに存在することができるようにセルの寸法を決定した。尚、z方向は座標0だけとした。非自律的な要素としての障害物（壁、机）ドア、階段、そしてエージェントがフリーに移動できる領域については、それぞれにRBG値を定めて、格子モデルで平面図を表現できるようにした。

エージェントがフリーに移動できる領域のセルの一つひとつに、避難方向を規定するためのセル高さをもたせた。図4にセル高さの概念を示す。出口のセル高さを1000に設定し、その前後左右のセル高さを一つずつ減らして行くように設定した。

996	997	998	999	
997	998	999	1000	←出口
996	997	998	999	
995	996	997	998	

図4 セル高さの概念

Universeのルールにおいて、格子の確保、セル高さの設定、残留エージェントのカウンートを記述し、セルのRGB値については、ファイル入力できる環境を準備した。

エージェントの初期状態に関しては、画像データをもとに、各層の空間における座標で位置を与えた。エージェントのルールにおいては、エージェントの存在するセルのまわりの状況を確認して移動可能なセルを見つけ、現在いるセルのセル高さと移動可能なセルのセル高さを比べて、1ステップずつ移動させて行くように記述した。上階で出口に達したエージェントは一つ下の階の空間で定義される(x,y-2,0)座標に移動するものとする。

シミュレーションの初期段階において移動可能なセルは複数存在することから、乱数を用いて移動先を決めるものとする。逆に、シミュレーションが進んで、移動可能なセルがなくなった場合には、その計算ステップでエージェントは移動することができないため、滞留が起きることになる。

図4にシミュレーションの過程を示す。ルールを記述して、出力項目の設定がすんだら、各エージェントがルールに基づいて、セルを移動する状況を確認しながらシミュレーションを進める。

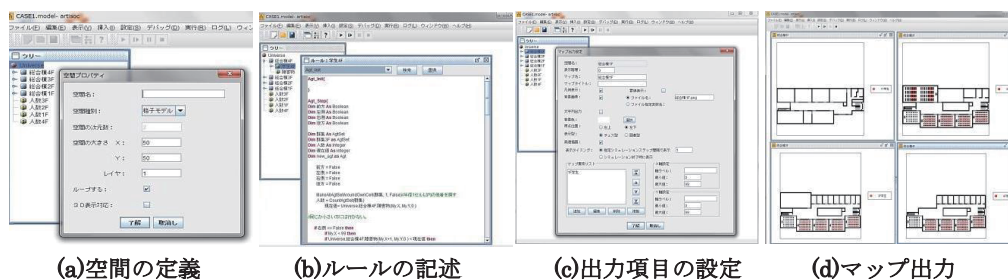


図4 シミュレーションの過程

避難計画における避難者の避難速度については、文献によると、急いではいるが障害物がある場合に 1.2m/s (4.3km/h) という結果が報告されており、これを用いることとする。従って、エージェントは 1 秒間で 0.833m 移動できるため、0.417 秒/500mm をもとに計算ステップから避難時間を推定することとする。

4. 3号棟の避難シミュレーション^{[3],[4]}

前述のとおり 3 号棟では、2～4 階の $4 \times 3 = 12$ 教室に多くの学生が生活している。授業で教室が満員になっていると仮定して、4 階には 4×42 名=168 名の学生と教員 4 名の合計 172 名がいると仮定し、同様に 3 階も 172 名、2 階には、172 名に加えて大教室に学生 72 名と教員 1 名がいるものとして避難シミュレーションを行う。対象エージェントの数は、172 名+172 名+245 名の 589 名である。

表 1 にシミュレーションのケースを示す。変数の一つを階段の選択に基づく避難経路とし、もう一つを階段の通行量とする。各階に 4 教室があるため、東階段を選択するクラス数を 4 クラス、3 クラス、2.5 クラス、そして 2 クラスの 4 ケースとする。表中には西側を選択するクラス数と一緒に、ケースを 04, 13, 13', 22 と表記する。表中の数字は、各フロアで、東西に分かれる人数を示している。学校で規定している避難計画では、西側は屋外の階段で幅員が狭いため、災害時の避難に関しては 4 クラスのうち 3 クラスが東側の階段を利用することを前提としている。もう一つの変数である、階段通行量に関しては、西：東が 1:2 の場合と西：東が 2:2 の場合の 2 ケースとし、前者を A、後者を B と表記する。上記の数字と A,B を組み合わせて合計 8 ケースのシミュレーションを行い、上下避難の特徴について検討する。

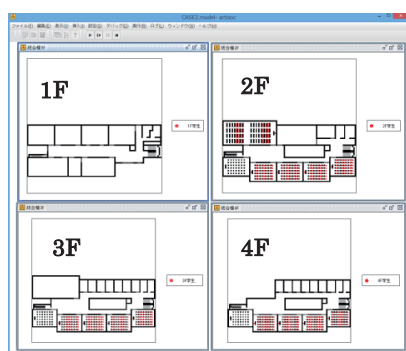
表 1 シミュレーションのケース

階段比 \ 避難人数	4 階 0 : 172	4 階 43 : 129	4 階 65 : 107	4 階 86 : 86
	3 階 0 : 172	3 階 43 : 129	3 階 65 : 107	3 階 86 : 86
	2 階 73 : 172	2 階 116 : 129	2 階 138 : 107	2 階 159 : 86
西：東 = 1 : 2	Case-04A	Case-13A *	Case-13'A	Case-22A
西：東 = 2 : 2	Case-04B	Case-13B *	Case-13'B	Case-22B

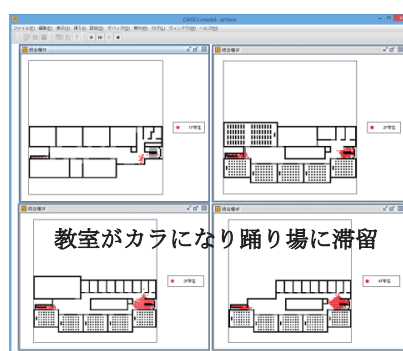
*は、学校で規定している避難経路

図 5 に Case-13A におけるエージェントの動きを示す。(a)が初期状態で、(b)が各階でエージェントが階段に滞留し始めた状態、(c)が 4 階にエージェントがいなくなった状態、(d)が 4 階と 3 階にエージェントがいなくなった状態を示している。これらの図から、エージェントがルールに従って各階の出口（2～4 階では踊り場になる）に向かって移動して行く様子が確認できる。

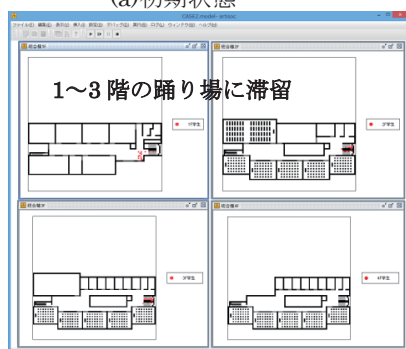
図 6 に Case-13A における計算ステップごとの各階での残留人数の推移を示す。4 階のエージェントは、始まりから約 40 秒までに 30 名ほど階下に避難することができるが、その後は 3 階で滞留が起きて約 170 秒まで降りることができない状況が続く。約 170 秒から約



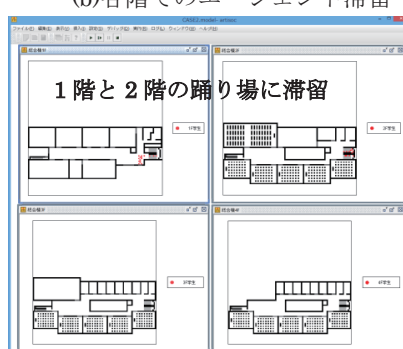
(a)初期状態



(b)各階でのエージェント滞留



(c)4階にエージェントなし



(d)4階と3階にエージェントなし

図5 シミュレーションにおけるエージェントの振る舞い (Case-13A)

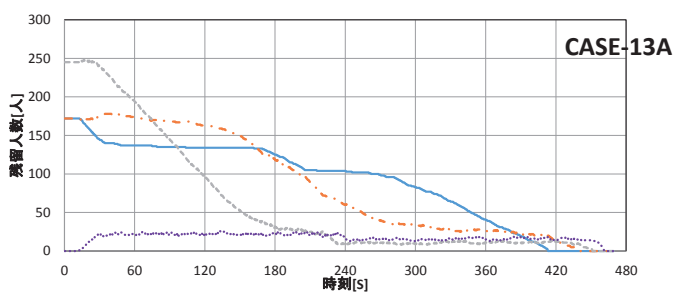


図6 各階の残留人数 (Case-13A)

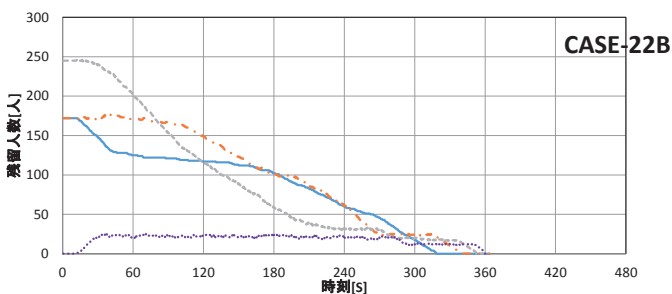


図7 各階の残留人数 (Case-22B)

220 秒の間に 30 名ほど降りることができるものの、3 階のエージェントが 40 名ほどに減る約 280 秒まではやはり避難を待たなければいけない状況が続く。4 階のエージェントの半数以上が約 280 秒間階下への避難を待つことになり、階下避難できたのも約 410 秒となっている。3 階の残留数には、4 階から降りたエージェントが加算されるため、グラフがフラットになる約 300 秒付近でもともと 3 階にいたエージェントが階下避難できている。

図 7 に Case-22B における計算ステップごとの各階での残留人数の推移を示す。2 階の残留者の低下傾向は図 6 と同様であるが、図 6 に比べて 3 階と 4 階の残留者が減るスピードが速い。3 階から 2 階への階下避難がスムーズに流れると 3 階での滞留が起きにくく、結果として 4 階のエージェントは少しでも動くことができ、全体の避難時間が速くなる。

全 8 ケースの避難完了時間を表 2 に示す。当然のことながら、4 教室のエージェントを東西に分散させて避難させた場合に避難時間が短くなる結果が得られた。学校では、4 つの教室の避難経路を、1 教室が西側、3 教室が東側と設定している。この場合には、図 6 から上階において避難開始ができずに待たなければいけないエージェントが半数以上になることが明らかとなった。

階段の通行量に関しては、西：東=2:2 の場合の方が、西：東=1:2 の場合よりも避難完了時間が速くなる傾向がある。全体的な通行量が多くなるためであるが、Case-13'A と Case-13'B のように逆転するケースもある。

表 2 避難完了時間

階段比	避難人数	4 階 0 : 172	4 階 43 : 129	4 階 65 : 107	4 階 86 : 86
		3 階 0 : 172	3 階 43 : 129	3 階 65 : 107	3 階 86 : 86
		2 階 73 : 172	2 階 116 : 129	2 階 138 : 107	2 階 159 : 86
西：東 = 1 : 2		10 分 05 秒	7 分 41 秒	6 分 16 秒	6 分 15 秒
西：東 = 2 : 2		10 分 07 秒	7 分 26 秒	6 分 21 秒	6 分 00 秒

5. まとめ

仙台高専 3 号棟を人工社会である Universe としてモデル化し、授業時間を模擬したエージェントを配置して避難シミュレーションを行った。その結果、1)階下避難を待つエージェントの存在を減すことが重要であること、2)エージェントの適切な分散により避難時間を短縮できること、3)踊り場の通行量が避難時間に影響を与えるものの一部例外があること、が明らかとなった。

参考文献

- [1]山影進：人工社会構築指南，構造計画研究所，2013.12. [2]兼田敏之他：artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション，構造計画研究所，2010.4. [3]城明秀他：“マルチエージェントモデルと群集実験との比較”，日本建築学会大会学術講演梗概，A-2, pp.205-206, 2011.8, [4]金秀蘭：“地震直後の全館避難に関するシミュレーション実験”，日本建築学会大会学術講演梗概，A-2, pp.231-232, 2011.8