

# 群衆避難時の避難経路形状による避難速度の変化に関する研究 経路構成要素の避難性能への影響

○兼原 一\*<sup>1</sup> 谷 明勲\*<sup>2</sup>  
山邊 友一郎\*<sup>3</sup>

キーワード：マルチエージェントシステム、群衆避難、避難経路形状、流量

## 1. 序

災害時には必ず迅速な避難が要求される。発生災害の種類によって避難の形態は様々であるが、建物から外部へすばやく避難することは必ず満たすべき条件である。設計時に、経路形状により固有の避難性能を容易に把握できれば、建物の設計や避難計画の際に有効な指標となる。

そこで、本研究では、避難経路形状及び避難者密度と低速避難者の存在率が避難速度に及ぼす影響を、シミュレーションで検証し定量的に表現することを目的とする。

筆者らは、これまでに避難性能を定量化することを目的とし、経路形状、避難者密度、低速避難者存在率の変化に伴う避難流量の変化の傾向<sup>1)</sup>や、階段などの経路構成要素の配置量の差による避難流量変化についても考察<sup>2)</sup>を行った。

本研究ではシミュレーションの改良を図るために歩行実験を行い、実験結果を反映したシミュレーションシステムを構築した。さらに、このシステムを用いたシミュレーションを実施し、経路ごとの避難性能を定量化することを目的とする。

## 2. 歩行実験

本研究におけるシミュレーションは、実際の避難を模したマルチエージェントシステム<sup>3),4)</sup>を用いており、現実の避難行動との整合性の確認は必要不可欠で、特に、避難者の行動特性の把握は最も重要であると考え。ここでは、実際の行動特性に基づいたエージェントの行動特性の設定を目的とした、基本的な群衆歩行実験を実施した。

### 2.1 実験概要

今回の実験は、神戸大学六甲台第2キャンパス自然科学総合研究棟3号館7階東部廊下で行った。被験者を、低速避難者(避難を意識していない歩行者)と普通避難者(避難を意識した歩行者)に分類し、各々の速度や他歩行者の回避の様子を観察する。10人(内、低速避難者4人)の場合と、5人(内、低速避難者2人)の場合について実験を行った。

図1に実験を行った建物の平面図を示す。実際に歩行実験を行った場所は図1の赤枠部分である。また、図2に示

すように、避難経路と撮影機器の設置場所を設定した。歩行開始地点から順に①~③のカメラで歩行の様子を観察し、歩行開始地点付近に2m間隔で引いた線を用いて被験者の歩行速度を測定する。

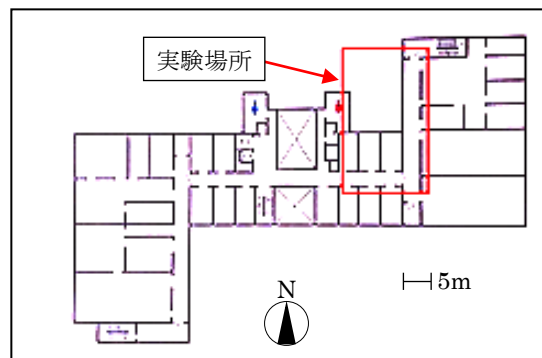


図1 自然科学総合研究棟3号館7階 実験実施場所

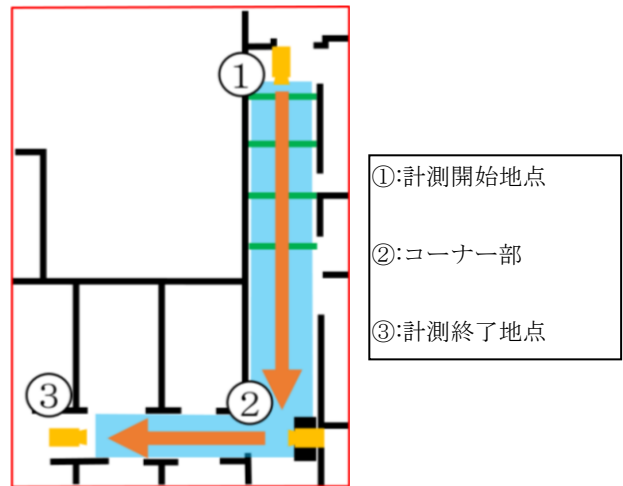


図2 実験の設定

### 2.2 実験結果とシミュレーションへの反映

写真1~3に実験の様子を示す。カメラ①で歩行速度を計測し、普通避難者と低速避難者についてそれぞれ被験者の歩行速度の平均を計測した結果、普通避難者が約97m/分、低速避難者が約65m/分で歩行していた。また、カメラ②の観測から、歩行者がコーナー部で方向転換を行うときには、右壁に沿った最短経路をとらないことが分かった。これは、クランクの先の様子を把握する時間が必要である

ためと考えられる。さらに、カメラ①~③の観測から、歩行者が他歩行者を追い抜く際には、周囲の混雑状況から密度の低い経路を選択することも確認できた。ただし、低速避難者についてはその傾向は普通避難者ほど顕著ではなかった。この実験で得られた上記の歩行者行動特性を、エージェントの行動ルールとしてシミュレーションに取り入れて流量の測定を行う。



写真1 カメラ①による撮影の様子(被験者5人)



写真2 カメラ②による撮影の様子(被験者10人)



写真3 カメラ③による撮影の様子(被験者10人)

### 3. 避難シミュレーションシステム

本研究では、複数の経路形状と避難者の行動ルールを設定し、避難シミュレーションを行う。

#### 3.1 避難経路形状モデル

設定した各種経路形状を表1に示す。なお、昇降階段経路では、避難者の速度変化を変化させることにより経路形状を考慮する。

表1 設定した経路形状一覧

Case 1	単純経路	Case 5	変幅経路(1.5m幅)
Case 2	昇階段経路	Case 6	変幅経路(1.0m幅)
Case 3	降階段経路	Case 7	2クランク経路
Case 4	変幅経路(2.0m幅)	Case 8	4クランク経路

#### 3.2 避難者エージェントモデル

避難者は、個々の年齢や健康状態、避難意識等によって避難能力が異なる。そこで、基本的な避難者の個体差を考慮するために、普通避難者と低速避難者の2種類を設定した。本研究では、2章で述べた歩行実験に基づいて避難速度を設定した。避難者の密度は、0.2人/m<sup>2</sup>、0.4人/m<sup>2</sup>、0.6人/m<sup>2</sup> (最大密度の5%、10%、15%)から、低速避難者の割合は0、10、20%から選択する。初期配置はランダムに決定し、各エージェントは一人につき一辺0.5mの正方形の範囲を専有するものとする。よって、最大密度は4人/m<sup>2</sup>となる。図6に、単純経路(密度0.4人/m<sup>2</sup>、低速避難者率20%)の避難シミュレーションの場合のエージェント配置例を示す。

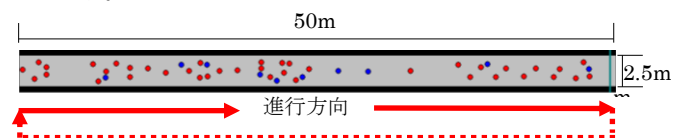


図3 Case1 単純経路の避難シミュレーション

シミュレーションでは、普通・低速避難者を各々赤・青で示す。図6中の右端に示す青線部の通過者数を計測し、実行時間(150秒)で除した値を流量(単位:人/秒)と呼び、群衆避難速度を表す指標とする。異なる配置20回分の流量を平均したものをを用いる値とする。

#### 3.3 エージェント行動ルール

避難に際して、避難者は周囲の情報を認識・判断し取るべき行動を決定する。判断に用いられる情報の種類は、地図や周囲の環境など様々であるが、周囲の情報は避難者が視覚的、聴覚的に認識する際の範囲に応じて3つ<sup>5)</sup>に分類することが出来る。

- ① グローバル情報: グローバル情報とは、空間のレイアウトや出口の方向など、避難者があらかじめ持っている全体的な知識のことである。
- ② セミローカル情報: セミローカル情報とは、避難者の視野の範囲にあり、現状から次の行動を判断する際に大きく影響する情報である。
- ③ ローカル情報: ローカル情報とは、他避難者や障害物との接触といったごく狭い範囲の情報である。

グローバル情報として出口に向かうために進むべき方向(避難方向)を決定し、ローカル情報から進行可能方向(避

難方向を前としたとき、左、左前、前、右前、右、停止の6通りから選択)を決定する。本シミュレーションでは実行画面右側を出口方向とするため、クランク経路以外では避難方向を画面右方向に固定し、クランク経路では経路に沿って避難方向を変更する。次に、セミローカル情報をもとに、設定した確率を用いて進行方向を進行可能方向から選択する。左右の混雑状況に応じて選択確率の設定を変更し、セミローカル情報をエージェントの行動に反映させる。

また、人間が状況を認識してから行動に移すまでの反応時間<sup>6)</sup>は、実行と非実行を選択する場合(単純反応時間)でおよそ150ミリ秒~300ミリ秒であるといわれている。これは2章の歩行実験の項で述べたクランクにおける被験者の行動特性と合致する。シミュレーションでもクランクの方向転換時にこの反応時間を考慮する。

### 3.4 フローチャート

エージェントの行動ルールを図7に示す。

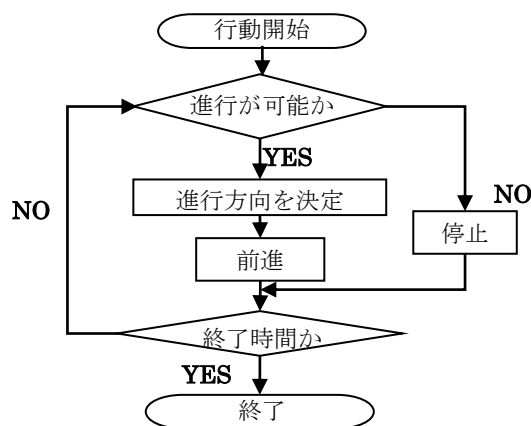


図4 行動ルールのフローチャート

進行可能方向の選定から終了時間の確認までを1stepとし、シミュレーションの設定時間150秒の間に各エージェントは60,000step行動する。また、エージェントが移動する場合、1step(2.5ミリ秒)につき5cm移動する。

## 4. シミュレーション実行結果

### 4.1 シミュレーションの概要

本研究では、表1で設定したCases1~8の経路形状に避難者エージェントを配置し、各Caseの流量を測定する。図5(a)~(g)に単純経路を除く各経路のシミュレーション実行画面(密度0.4人/m<sup>2</sup>、低速避難者10%)を示す。なお、昇階段・降階段経路では、階段部の色を変えて表現している。

階段部のエージェント歩行速度は、建設省(現国土交通省)告示第1441号及び第1442号<sup>7)</sup>の避難安全検証法<sup>8)</sup>で用いられる値から階段での速度減少率を求め、それを実験

で得られた歩行速度に乗じた値を採用している。昇階段で43.5m/分、降階段で58m/分となる。

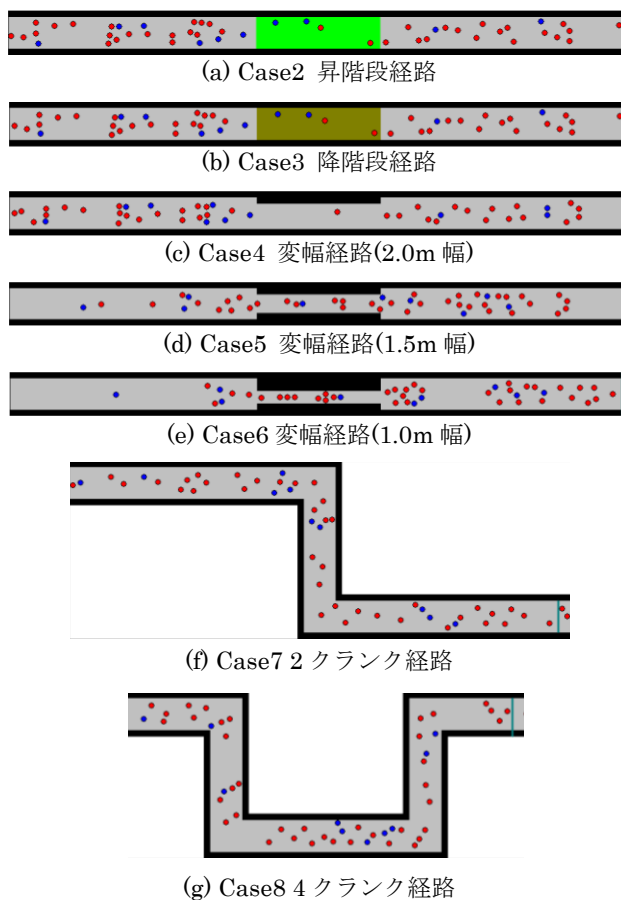


図5 各Caseのシミュレーション実行画面

ここで、各Caseで測定した流量より、それぞれの流量比を式(1)で定義する。

$$(\text{流量比}) = \frac{(\text{各Caseの流量})}{(\text{Case1の流量})} \quad (1)$$

式(1)より、この流量比は、Case1単純経路と各経路の流量の比を表している。

### 4.2 各Caseの流量比

各Caseにおける流量比を避難者密度ごとにグラフにまとめて、図6(a)~(c)に示す。

図6より、Case6変幅経路(1.0m幅)以外の経路では、避難者密度、低速避難者率に関係なく流量比がほぼ一定の値をとることが分かる。

## 5. 考察

得られた結果から、Case6の変幅経路(1.0m)以外は、設定した避難者密度、低速避難者率の範囲内では低速避難者率と避難者密度が流量比に影響しないことが分かる。

### 5.1 昇降階段経路に対する考察(Cases2,3)

図9より、昇降階段経路(Case2)では、低速避難者率、

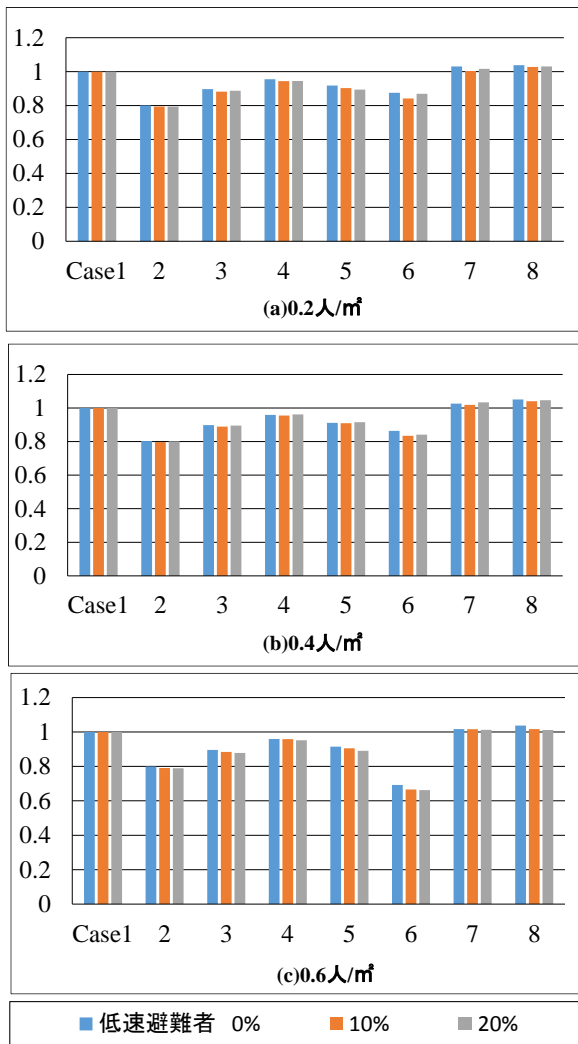


図9 流量比

避難者密度にかかわらず流量比がほぼ一定の値となった。また、降階段経路(Case3)の方が昇階段経路よりも流量比が大きくなった。これは、それぞれの歩行速度の違いによるものと考えられ、歩行速度が小さくなるほど避難性が低下することを示している。

### 5.2 変幅経路に対する考察(Cases4~6)

図9よりCase6の1.0m幅の場合は、低速避難者率による差は見られないが、避難者密度が0.4人/m<sup>2</sup>を超えると線形的に流量比の低下が見られた。Case6の場合の流量比は避難者密度に依存すると考えられるこれより、2m幅(Case4)、1.5m幅(Case5)もCase6と同様に、今回設定した密度より高い避難者密度では、流量比の低下する可能性があると考えられる。

### 5.3 クランク経路に対する考察(Cases7, 8)

図9より、クランク経路では、流量比の値が1.0よりもわずかに大きくなっている。これは、クランク経路の流量が単純経路の流量よりも多いことを意味しており、クランクの内側から次のクランクの内側へ経路を斜めに移動することで歩行距離を短縮していることが原因として考えられる。また、2クランク(Case7)と4クランク(Case8)

の結果を比較すると、Case1単純経路の流量比1.0からの増加量がクランクの数に比例して大きくなっていることが分かる。これより、今回用いた設定では、クランク経路の流量比はクランク1箇所につきその増加量がほぼ一定となると考えられる。

## 6. 結

本研究では、避難経路ごとに避難性能を定量化すること指標として、実験から得た結果を考慮したシミュレーションを用いて避難性能の検証を行うことで、経路の避難者流量から算出した流量比の計測を行った。

変幅経路の流量比と避難者密度の相関関係については、さらに詳細な検討が必要となり、また、他の経路においても、エージェントの行動ルール、設定の更なる検討など改善の余地があるが、経路形状ごとに流量変化の傾向が把握できたと考える。以上より、本研究で導入した流量比(流量増減の割合を表す指標)は経路形状が持つ避難性能を定量的に表現する指標になると考える。

本研究では、歩行実験に基づくシミュレーションを行ったが、より実情に近い避難特性を得るためには、今後、シミュレーションシステムの改善と多数回のシミュレーションを実施するとともに、さらなる歩行実験や過去の避難の記録との比較検討を行うことが、今後の課題である。

## [参考文献]

- 1) 兼原 一、谷 明勲、山邊 友一郎：群衆避難時の避難経路形状による避難速度の変化に関する研究、情報・システム・利用・技術シンポジウム(報告)、2014.10
- 2) 兼原 一、谷 明勲、山邊 友一郎：群衆避難時の避難経路形状による避難速度の変化に関する研究、近畿支部、2015.6
- 3) 山影進：人口社会構築指南 *artisoc* によるマルチエージェントシミュレーション入門、書籍工房早山、改訂版第1刷、p36、p56、p68、2010.4.
- 4) 山影進、服部正太：コンピュータのなかの人口社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系、(構構造計画研究所、初版第1刷、pp13~15、2002.8.
- 5) 西成活裕：クルマの渋滞アリの行列：渋滞学が教える「混雑」の真相、技術評論社、初1版第1刷、2007.7
- 6) 新美亮輔、横澤一彦：「反応時間」、脳科学辞典 URL(<http://bsd.neuroinf.jp/wiki/>)。 (2015/05/25 閲覧)
- 7) 建設省(現国土交通省)告示第1441号及び第1442号、2000.6.

- \*1 神戸大学大学院工学研究科 大学院生
- \*2 神戸大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)
- \*3 神戸大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)