

# 情報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 —経路形状に応じた避難性能の評価—

○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 避難経路形状 流量

## 1.序論

規模の大小に関わらず、地震や津波、火事などいかなる災害においても建物から素早く安全な場所へ避難することは非常に重要である。地震発生時に津波に備えて避難所に向かう、もしくは火災発生時に出口へ急ぐなど避難の形態は様々であるが、全ての災害発生時に、安全な場所へ迅速に避難することは全ての建物にとって必須の条件である。また、建物内での避難の難易は建物の経路形状に大きく依存する。このため、経路形状による建物固有の避難性能を容易に把握できれば、設計や避難計画時に有用な指標となると考えられる。避難性能を定量化するためには実験的な物理指標を用いた定式化が必要となるが、避難実験を実際に繰り返し行うことは規模や安全性を考えると現実的ではない。そこで、本研究ではマルチエージェントシステム<sup>1),2)</sup>を用いた仮想空間において基本的な形状の経路の避難シミュレーションを行う。シミュレーション内の避難者の単位時間当たりの流量を測定することで、形状ごとの流量算定、および複数の形状を組み合わせた場合の流量算定が可能であるか、およびその傾向を把握する事をこの研究の目的として、既報<sup>3),4)</sup>では様々な経路形状モデルを用いて流量測定を行い考察した。本報ではそれに加え、より詳細な傾向を調べるために一つの経路形状に着目し、詳細設定の変化の影響を調査する。

## 2.シミュレーションシステム

本研究では、数種の避難経路形状モデルと避難者の数や行動ルールを設定し、避難シミュレーションを行う。

### 2.1 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。

表1 設定した経路形状一覧

|        | 基本経路形状   |         | 複合経路形状       |
|--------|----------|---------|--------------|
| Case 1 | 単純経路     | Case 8  | 昇階段・2.0m変幅経路 |
| Case 2 | 昇階段      | Case 9  | 昇階段・1.5m変幅経路 |
| Case 3 | 降階段      | Case 10 | 昇階段・1.0m変幅経路 |
| Case 4 | クランク     | Case 11 | 降階段・2.0m変幅経路 |
| Case 5 | 2.0m変幅経路 | Case 12 | 降階段・1.5m変幅経路 |
| Case 6 | 1.5m変幅経路 | Case 13 | 降階段・1.0m変幅経路 |
| Case 7 | 1.0m変幅経路 | Case 14 | 昇階段・クランク経路   |
|        |          | Case 15 | 降階段・クランク経路   |

経路全長は45m、基本幅は2.5mとした。なお、本研究

ではCases 1~7、8~15をそれぞれ基本経路形状、複合経路形状と呼ぶ。Cases8~13は階段と変幅経路、Cases14、15は階段とクランク経路を複合した場合を想定している。なお、この場合の複合とは、直列的に別の形状が連なったものではなく、同時に別の形状の性質を持つことを意味している。図1(a)~(e)にCases1~4及びCase6の、図2(a)~(b)にCases9、14のモデルをそれぞれ示す。

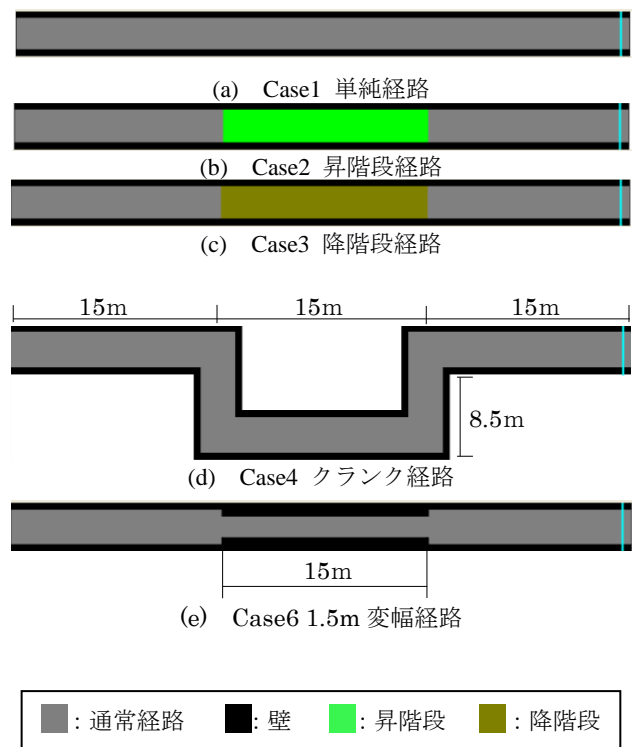


図1 基本経路形状

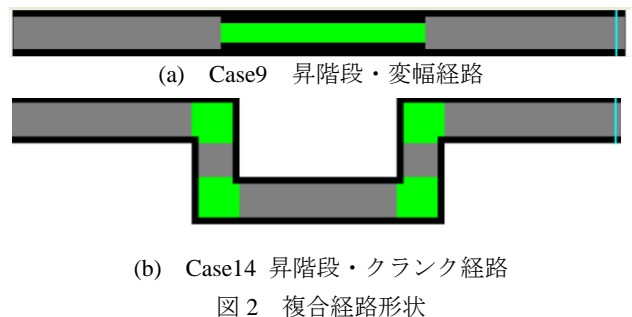


図2 複合経路形状

経路部分は灰色、壁、及び障害物は黒で現している。昇降階段は経路の色を変更することで表現する(昇階段:緑色、降階段:オリーブ色)。階段地点では設定に基づいて避難者の速度を変化させる。

## 2.2 避難者エージェントモデル

実際の避難者は、個々の移動速度が異なる。そこで、本研究では基本的な避難者の個体差を導入するため、普通避難者と低速度避難者の2種類を設定し、シミュレーションではそれぞれ赤色、青色で表示する。本研究では、避難安全検証法<sup>5),6)</sup>で用いられる設定値に基づき、普通避難者の歩行速度を通常 60m/分、昇階段 27m/分、降階段 36m/分とし、低速度避難者の移動速度はそれぞれ普通避難者の値の70%とした。初期位置は経路全体にランダムに配置し、各エージェントは一人につき一辺 0.5m の正方形の範囲を占有するものとする。そのため最大避難者密度は 4 人/m<sup>2</sup>であり、シミュレーションでは密度を 0.4 人/m<sup>2</sup>、0.8 人/m<sup>2</sup>、1.2 人/m<sup>2</sup>(最大密度の 10, 20, 30%)、低速度避難者の割合を 0, 10, 20, 30%と設定する。乱数の影響を考慮して乱数系列を変更してシミュレーションを 10 回行い、それぞれで得た値の平均値を流量として採用する。図3に単純経路(密度 0.4 人/m<sup>2</sup>、低速度避難者率 20%)の避難シミュレーション例を示す。

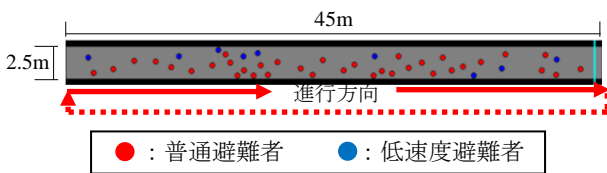


図3 単純経路避難シミュレーション

図3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)と定義して群集避難速度を表す指標とする。

## 2.3 エージェント行動ルール

図4にエージェントの行動のフローチャートを示す。

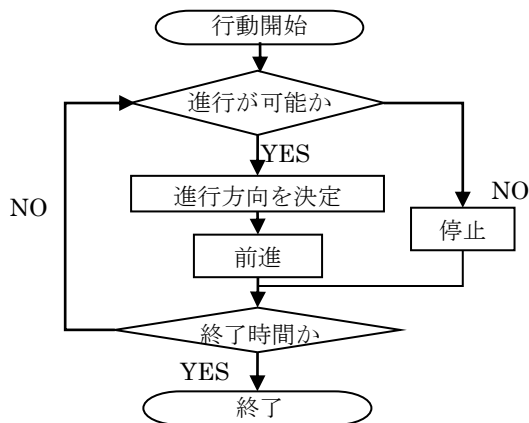


図4 フローチャート

本シミュレーションでは画面右側を建物出口方向(避難方向)とし、エージェントの進行方向は避難方向に固定する。ただし、クランク経路については角を曲がる際に一時的に状況にあった方向に変更する。また、避難方向を前として、進行可能方向を左、左前、前、右前、右、停止の6通りから判断する。経路全長を 900 個、経路幅を 50 個、計 45,000 個のセルに分割し、進行可能方向から実際に進行する方向を確率的に一つ選択して 1 セル(5cm)だけ進む。これを 1 ステップとして実行時間 150 秒の間に 6000 ステップ繰り返す。

## 3.シミュレーション実行結果

### 3.1 各種シミュレーション設定

各避難者は、前方の他避難者や壁を認識し、混雑を避けるように経路左端から右端に移動し、右端に到達すると再び左端に戻るものとする。

各基本経路形状(Cases1~7)の流量への影響を検討するため、式(1)により単純経路に対する流量変化率を定義する。

$$(\text{流量変化率}) = \frac{(\text{Case 1 の流量}) - (\text{各 Case の流量})}{(\text{Case 1 の流量})} \quad (1)$$

この式によって算出された流量変化率は経路形状が変化することで流量が減少する割合を表し、流量変化率は大いことは注目する経路形状の避難性能が悪いことを意味している。

また、複合経路については、複合経路の流量変化率と、各複合経路形状を構成する基本経路形状の流量変化率の合計との差を算出し考察を行う。

さらに、より詳細な経路形状の影響を検討するため、同条件の単純経路モデルから全長を 50m に変更したモデルを用いて、Cases5, 6, 7 の各変幅経路について変幅区間長さを 0m(変幅なし)~50m(経路全体の幅を変更)を 5m 単位で変更し流量変化率を求めた。なお、避難者密度の設定は最大密度の 50%である 2 人/m<sup>2</sup>とした。変幅区間の中心は経路全長の中心に揃える事とする。また、低速度避難者はいないものとする。図5(a)~(c)に今回比較するものの内、経路幅 1.5m、変幅区間 10m, 30m, 50m のものを例として示す。



(a) 変幅区間 10m



(b) 変幅区間 30m

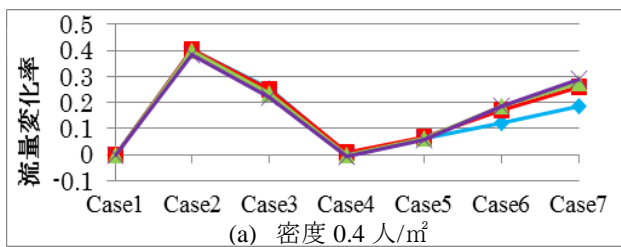


(c) 変幅区間 50m

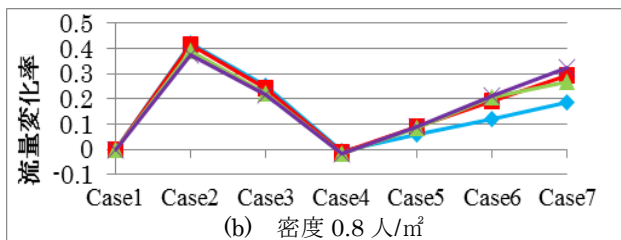
図5 変幅区間別変幅経路非難シミュレーション

### 3.2 シミュレーション実行結果

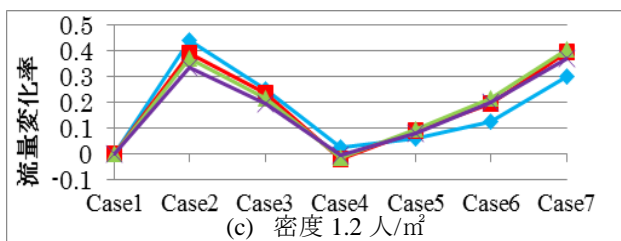
基本経路形状の流量変化率を図6(a)~(c)に、複合経路形状の流量変化率差を図7(a)~(c)に、変幅区間長ごとの変幅経路の流量変化率を図8に示す。



(a) 密度 0.4 人/m<sup>2</sup>



(b) 密度 0.8 人/m<sup>2</sup>



(c) 密度 1.2 人/m<sup>2</sup>

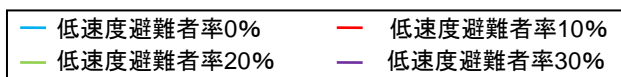
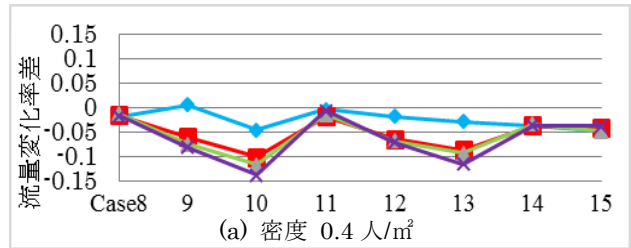
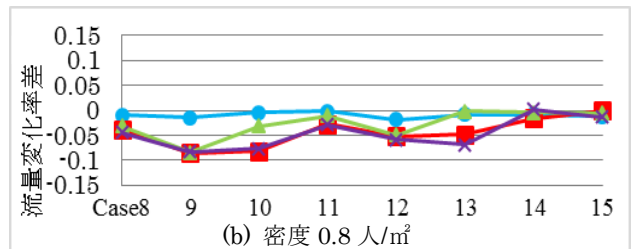


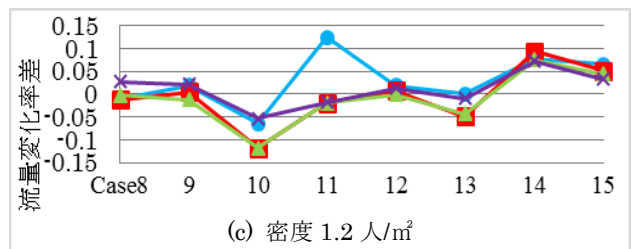
図6 基本経路形状 流量変化率



(a) 密度 0.4 人/m<sup>2</sup>



(b) 密度 0.8 人/m<sup>2</sup>



(c) 密度 1.2 人/m<sup>2</sup>

図7 複合経路形状 流量変化率差

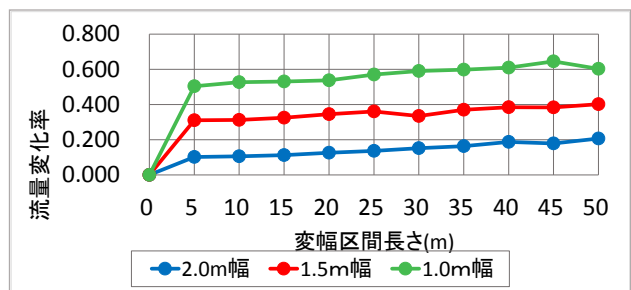


図8 変幅経路 変幅区間別 流量変化率

## 4. 考察

### 4.1 基本経路形状

密度、低速度避難者率に関わらず、Caseごとに流量変化の割合がほぼ一定であることが分かった。すなわち、これらのCaseごとに求められた値は、経路形状に固有であると考えられる。これより、種々のシミュレーションを行い多くのデータを検討すれば、簡単な経路の流量はおおむね算出できると考える。ただし、Cases5~7変幅経路においては低速度避難者率が0%の場合のみ流量変化が少なかったが、これは低速度避難者数の大きさというよりもむしろ低速度避難者が存在するか否か、すなわち速度分布にばらつきがあるかどうかが大きく影響していることを示し

ている。

#### 4.2 複合経路形状

複合経路形状と構成基本経路形状の流量変化率差を見ると、大きくても±0.15の範囲に収まっており、構成基本経路の流量変化率の和は複合経路の流量変化率とほぼ一致、または僅かに大きめの値が算出されている。この結果は、避難計画において安全側の値として算出されているため、複合経路の流量変化率はそれを構成する基本経路の重ね合わせで求めることができると考える。

ただし、わずかではあるが密度増加に伴い、徐々に密度ごとの流量変化率差のばらつきが大きくなっている。また、低速度避難者がいない場合とそれ以外でも値に差異がある。これは、低速度避難者が存在しない場合は避難者間の歩行速度の違いによって引き起こされる進行の妨げがなく、存在する場合は経路形状の変化によって起きる局所的な渋滞が歩行速度の違いという避難者の相互作用を強めているためと考えられる。

この結果も基本経路形状と同様に、人数に関わらず低速度避難者の有無が流量変化に影響していることを示している。

#### 4.3 基本、複合の両経路形状を通しての考察

全 Case において、避難者密度が増えると低速度避難者率の変化に伴い流量変化率のばらつきが大きくなった。これは、流量変化の要因が進行の妨げになる他避難者の増加により渋滞が起るためと考えられるが、その影響を正確に把握するためにはさらに詳細な研究が必要である。

#### 4.4 変幅区間長さ別変幅経路

流量変化率を項目ごとに比べると、変幅区間 0m と 5m の間で値が大きく変わる。これは、経路内に幅の変動地点があるということが流量に大きく影響することを示している。また、変幅区間 5m から 50m まで経路幅に関わらず、ほぼ一定の割合で緩やかに増加していることが分かる。また、変幅区間 50m においては、経路内に幅が変わる地点がないため、Case1 単純経路における同じ避難者数での流量と比べるとほぼ等しい値となっていた。表 2 に各経路幅での単純経路との流量の比較をまとめる。

表 2 単純経路との流量比較(人/秒)

|                | 変幅経路  | 単純経路  |
|----------------|-------|-------|
| 200 人 (2.0m 幅) | 3.978 | 4.001 |
| 150 人 (1.5m 幅) | 3.089 | 2.805 |
| 100 人 (1.0m 幅) | 1.992 | 1.989 |

括弧内は変幅経路の経路幅を表す。

経路幅の変化がある場合には変幅区間の長さで流量変化率が比例することから、変幅経路の流量変化率は考える区間長さが変わるとき、5.3 節に述べた複合経路形状の流量変化量と同様に増えた区間長さ分の流量変化率を足し合わせることで算定可能である。つまり、変幅区間長さ A の流量変化率と区間長さ B の流量変化率を足し合わせることで区間長さ A+B の流量変化率が求められる。また、単純経路との比較により、経路全体道幅が違って同じ形状で避難者密度が同じならば流量がほぼ同じ値であることが分かり、密度をパラメータとして用いることが妥当であることが確認できた。

#### 5. 結論

以上の本シミュレーションでの検証から、避難経路の避難性能は経路形状ごとに傾向が見られ、本研究で設定した流量変化率を指標としておおむねその傾向を把握できると考える。また、シミュレーションから得た基本経路形状の流量変化率から複合経路形状の流量変化率を算定でき、より複雑で現実的な経路に関しても避難性能を把握できると考える。この方法により、設計、計画時に建物の避難性能を容易にかつ正確に数値として捉えることができる。

しかし、避難者密度や低速度避難者率による影響を正確に把握することや、実際の実験等で現実との整合性の検討が今後の課題となる。さらに今回注目した変幅経路のように、一つの Case においても詳細な検討を重ねることでより汎用性を高めることも必要である。その結果、より高い精度で避難性能の把握が可能となると考える。

#### [参考文献]

- 1) 山影 進：人口社会構築指南 artisc 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 早山 隆邦，改訂版第1刷，p36,p56,p68，2010.4
- 2) 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，株式会社構造計画研究所，初版第1刷，pp13~15、2002.8
- 3) 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，2014 年度日本建築学会近畿大会梗概集，2014.9
- 4) 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，日本建築学会近畿支部研究報告集，第 54 号・計画系，2014.6
- 5) 建設省(現国土交通省)告示第 1441 号及び第 144 号，2000.6
- 6) 田中 哮義 監修，九門 宏至，黒木 市五郎：避難安全検証法 設計実務ハンドブック 性能設計で変わる建築設計の実務、株式会社 清文社、第 1 版第 1 刷、pp7~9,pp94~95,p222、2005.12

- \*1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生  
\*2 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 教授  
\*3 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授