

# 避難者救助・誘導員を考慮したシミュレーションモデルの開発

東京理科大学 理工学部 経営工学科 金栗遼太郎, 増田浩通, 新井健

## 1 研究の背景と目的

これまで防災の分野で開発されてきた避難シミュレーションモデルは、建物設計者や、災害・防災に関連した研究者などが主な利用対象であり、そこでの避難シミュレーションモデルは、避難者はただ単純に避難する、救助者はただ単純に避難者を誘導する、というものが多かった。しかし、避難時での人間の行動は単純には計り知れないものと考えられるので、様々なシチュエーションに分けその状況下でどのような避難を行い避難者間でどのようなコミュニケーションがとられ、その結果が避難の成功または失敗につながるのかを予めシミュレーション上で想定実験し、大きな被害を避けることは重要である。

以上のような背景を踏まえて、本研究では二次元モデルを採用し、避難行動の多様性を表現するため状況によって変化する行動アルゴリズムを考慮に入れたシミュレーションモデルを開発する。

## 2 方法論

本研究の先行研究として、火災、浸水を考慮に入れた避難行動シミュレーション[1]、マルチエージェントシステムによる避難シミュレーション[2]、火災知識・行動判断の避難経路選択への影響[3]、建物内通路における経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究[4]、災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル[5]、マルチエージェントシミュレーターによる避難時安全性検証[6]等が挙げられるが、これら先行研究は、いずれも避難者、誘導員に対して差異が認められない。そこで本研究で用いるシミュレーションでは、避難者と誘導員の属性を以下のように表現する。(図1 参照)

### (1) 避難者

他の避難者に影響を受けることなく自分で出口を見つけ避難する自律型避難者(リーダー)と、他者の行動を判断のよりどころとする追従型避難者の二通りに分類する。初期の段階では避難者は全員自律型避難者だが、避難者同士が会うと、その集団の中からリーダーを選び自分は追従型避難者となる。

### (2) 誘導員

多数の避難者を確認すると「出口はあちらです。あちらに逃げてください。」と大声で叫ぶと共に立ち止まって出口方向を指し示す指差誘導員と自分のごく近辺にいる少数の避難者に対して「自分についてきてください。」と働きかけ、自分が働きかけた少数の避難者を実際に引き連れて避難する吸着誘導員の2通りに分類する。初期の段階に人数が決定される。

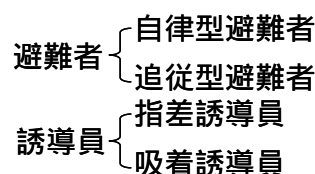


図1 避難者と誘導員のタイプ別

## 3 避難行動シミュレーションモデル

### 3.1 空間のモデル化

シミュレーションモデルを構築するにあたり対象とする空間をモデル化する必要がある。本研究では、空間格子として最も代表的である図2のような平面二次元空間格子を取るものとした。

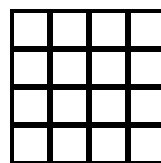


図2 採用する空間格子

### 3.2 避難行動モデルの基本的構造

#### (1) 避難者アルゴリズム

多くのシミュレータでは、避難開始と同時に一斉に最短距離で出口へ向かうといった物理的な人の動きだけを考慮しており、避難者と誘導員間のコミュニケーションをあまり考えていなかったため、より現実に近い行動を付け加えた避難者のアルゴリズムを想定し以下に記述する。

吸着誘導員がいた場合、その追従型避難者となる。

人が密集するとその中からリーダーを選び出し、そのリーダーの追従型避難者となる。

リーダーの時もしくは周りに人がいない時は、自律型避難者のままである。

指差誘導員がいたら、指示された方向へ向かう。  
開けた空間へ向かう、狭い空間から抜け出す。  
以上よりまとめると図3となる。

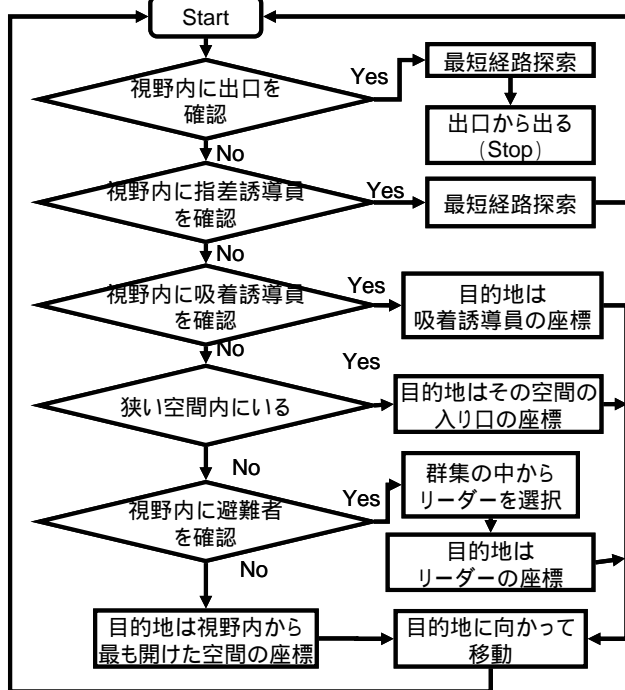


図3 避難者行動アルゴリズム

## (2) 誘導員アルゴリズム

安全にかつ迅速に避難者を誘導するために2通りの誘導員の行動アルゴリズムを考える。

指差誘導員は避難者を見たら、立ち止まる。

吸着誘導員は避難者を見たら、誘導する。

以上よりまとめると図4のようになる。

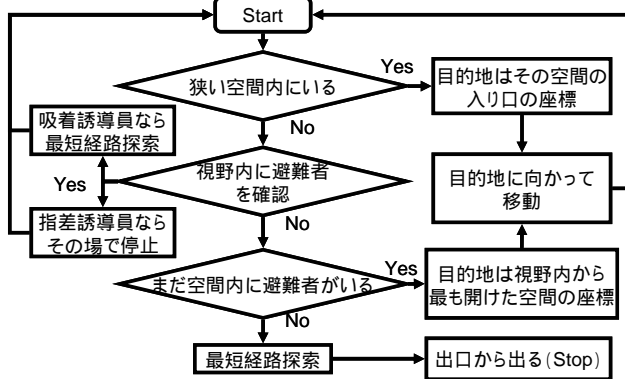


図4 誘導員行動アルゴリズム

## 4 シナリオ 1 (避難者密集モデル)

ある空間内に集団が密集している場合を考える。これは、多数の集団がいる空間、デパートや大学、オフィスなどを想定する。避難者が多く通路が狭くなっている状況では、混雑、混乱が予想される。シナリオ1では、大学をモデルとする。

空間範囲

大学内の授業時で空間範囲 100×80 (図5 参照)

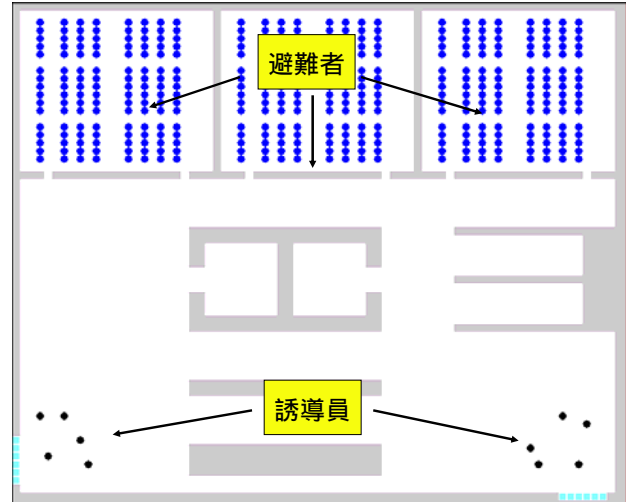


図5 避難者密集モデルの空間表現

避難者人数 (最大 384 人)

3つの教室に避難者が各 128 人

以上のシナリオから、個々の避難者の能力や空間構成による影響について誘導方法、誘導員数、誘導員の配置を分析する。

### 4.1. 実験1 誘導方法による効果

指差誘導員と吸着誘導員の人数を決める。指差誘導員数：吸着誘導員数を1人：9人から9人：1人までのステップ数を求める。

それぞれ10回ずつシミュレーションを行い、ステップ数を求めその結果をグラフに示した。

### 4.2. 実験1の結果

図6により避難者人数が多い場合では吸着誘導員数より、指差誘導員数を多くしたほうが、早く避難できることがわかった。どちらの場合も終了ステップ数の変動が大きかったが、吸着誘導員数と指差誘導員数を半々のときは、変動が小さく安定し、かつステップ数も少なく終了した。

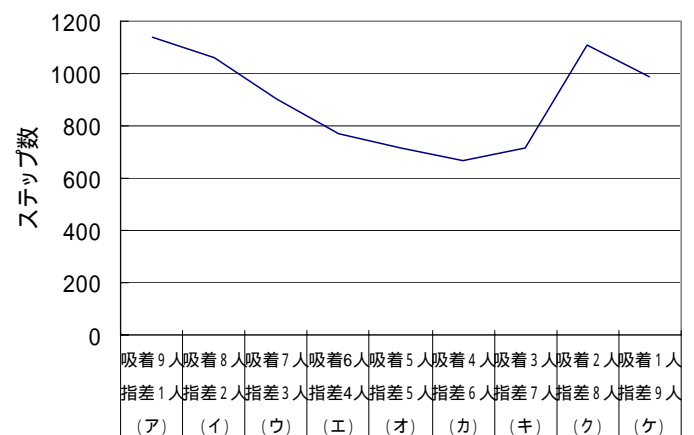


図6 実験1 誘導方法による効果

#### 4.3. 実験2 誘導員の配置による効果

誘導員の配置を次の3つの場合に分けて考える。

- 2つの出口付近に各5人ずつ配置する場合
- 教室の入り口付近に分配して配置する場合
- 教室の入り口付近から出口まで列が出来るように等間隔に配置する場合

それぞれ10回ずつシミュレーションを行い、ステップ数を求める。

#### 4.4. 実験2の結果

図7.1より明らかに、教室の入り口付近から出口まで列が出来るように等間隔に配置(図7.2)するほうが、避難しやすいことがわかった。また、教室の入り口付近に配置してしまうと、指差誘導員も多くの避難者に巻き込まれ、効率よく誘導できなかった。しかし、吸着誘導員は混乱した集団の中にいようと、一部の避難者を引き連れ、確実に誘導していた。このことから、指差誘導員は混乱した避難者の集団を誘導してはならず、避難者数が多くても、一列または二列になった集団を誘導すべきである。また、吸着誘導員は、避難者の集団を誘導したほうがよいことがわかった。

- ◆ 二つの出口付近に各5人ずつまとまって配置。
- 教室の入り口付近に分配して配置。
- ▲ 教室の入り口付近から出口まで列が出来るように等間隔に配置。

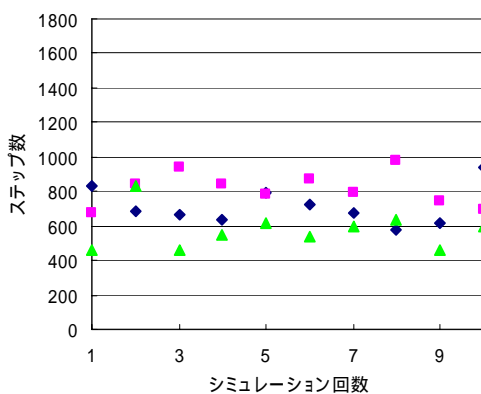


図7.1 実験2 誘導員の配置による効果

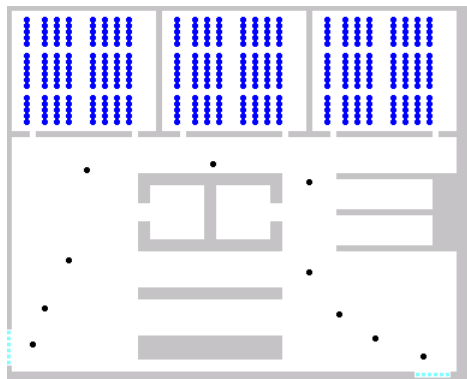


図7.2 教室の入り口付近から出口まで列が出来るように等間隔に配置。

#### 4.5. 実験3 誘導員数による効果

指差誘導員、吸着誘導員数を各5人から各13人までをそれぞれ3回ずつシミュレーションを行いステップ数の平均を求める。また、誘導員が一人もいない場合も考える。

#### 4.6. 実験3 結果

図8より誘導員が全くいない時を最大に誘導員数が増えれば多いほどステップ数は減る傾向にあるが、いかに人数を増やそうと、500ステップ以上となった。また、各誘導員数を6人から7人にした時がこの空間では、最もステップ数が少なくなった。

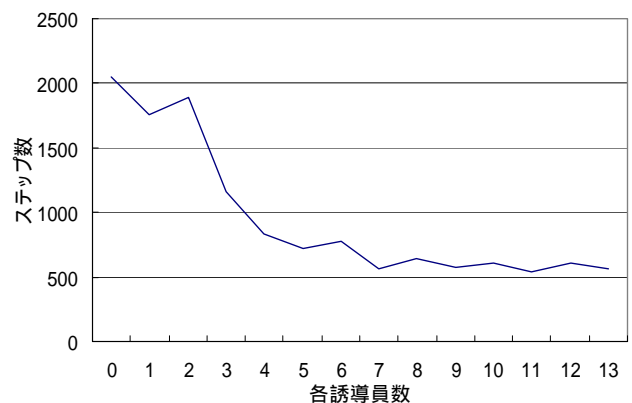


図8 実験3 誘導員数による効果

以上からシナリオ1の避難モデルでは、誘導員総数14人中、指差誘導員、吸着誘導員を6:4の割合で指差誘導員9人(14人×60%)、吸着誘導員5人(14人×40%)、誘導員の配置は教室の入り口から出口まで誘導員の道が出来るように配置することが最も短いステップ数のはずである。以下がその結果である。平均ステップ数が450以内と短時間に避難ができ、またステップ数の変動(即ち分散)も低いという結果が出た。(図9.1 参照)

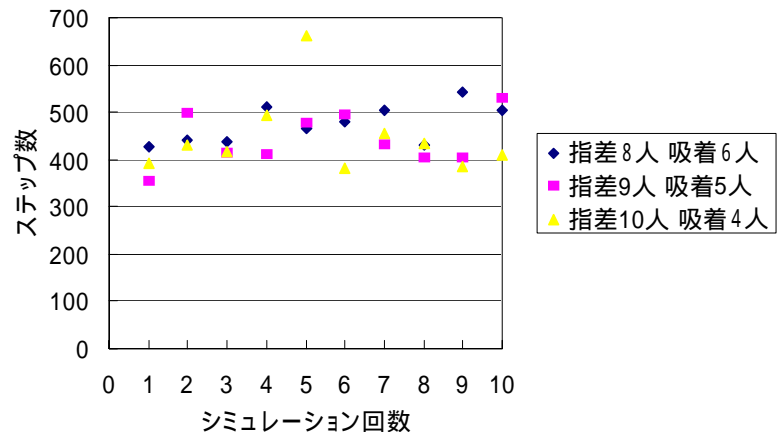


図9.1 実験1,2,3の結果からの考察

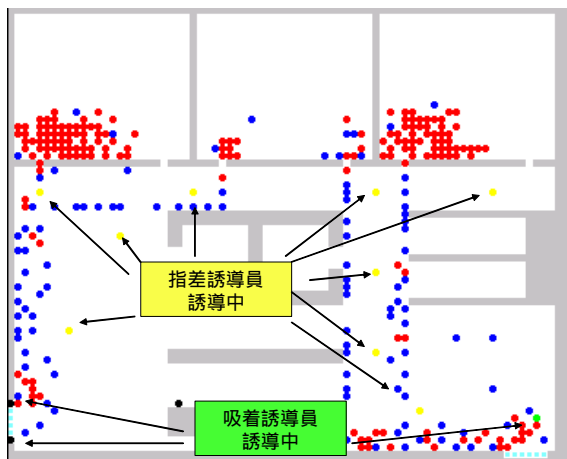


図 9.2 図 9.1 のシミュレーション経過のスナップ図

## 5 シナリオ 2 (避難者探索型モデル)

身体能力が低く状況に対する行動判断が低い可能性がある子供や老人などが避難者となりうる学校や病院での誘導時を想定する。シナリオでは学校内に取り残された生徒児童を教師が探し出し避難させることを考察する。

### 空間範囲

小学校の空間範囲は  $120 \times 120$  (図 10 参照)

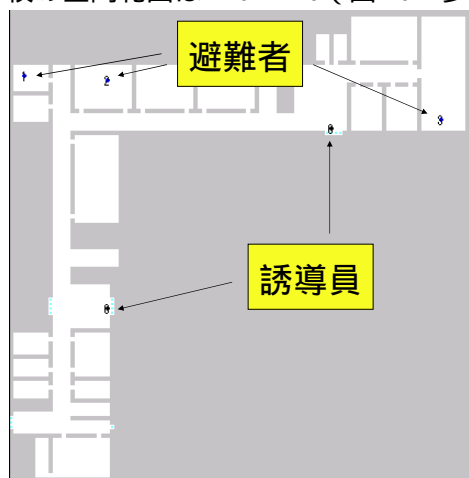


図 10 避難者探索モデルの空間表現

### 避難者定義

避難者数は生徒児童 3 名。歩行速度を大人の 0.75 倍の速さと設定し、判断力が低下するとその場に留まってしまう。

### 誘導員定義

吸着誘導員、指差誘導員は教師各 2 名。自分が避難させた児童数を情報として残すことができる。他の教師との情報共有が重要となる。教師は「全ての生徒が避難できた」ことを確認できた場合、自分も避難する。

## 5.1. 実験 4 情報共有の有無による効果

誘導員同士が情報共有する場合としない場合を考える。設定したステップ時の残り人数（空間内の誘導員と避難者の合計）と避難率（シミュレーションを 10 回行ううち、何回避難者が全員避難成功したか）を調べる。情報共有しない場合、誘導員一人に対し、自分が避難者を何人救出したら自分も避難するかをシミュレートする。

## 5.2. 実験 4 結果

情報共有しない場合のシミュレーション結果が図 11 である。三人救出の結果からどんなに誘導員が完璧に空間内を探し回っても 300 ステップはかかることが分かる（誘導員 4 人の場合）。また、300 ステップ以内では二人救出よりも一人救出のほうが避難率が高くなることがわかった。

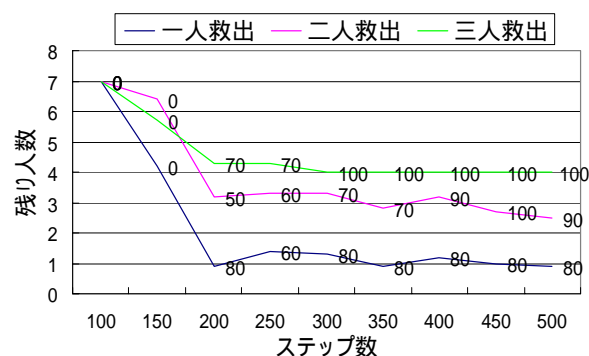


図 11 情報共有なし（線上の数字は避難率）

つぎに情報共有ありの場合を図 12 に示す。情報共有なしと情報共有ありを比べてみると、避難率が情報共有なしの二人救出、三人救出間の精度を保ちながら、残り人数は、一人救出、二人救出間の人数となっている。

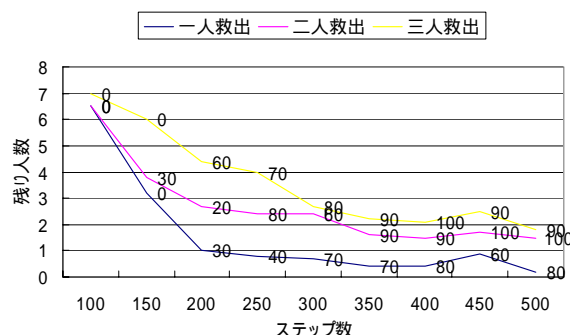


図 12 情報共有あり（線上の数字は避難率）

図 11、図 12 から 300 ステップ以上では、情報共有なし・三人救出する方針で探索すると避難率が最もよい。300 ステップ未満では、150 ステップまでは情報共有あり・二人救出が避難率がよく、200 ステップでは情報共有なし・一人救出が避難率、残り人数共によい。

以上から誘導員の取るべき行動は、長時間（300ステップ以上）探索の場合、情報共有なし・三人救出する方針で探索し300ステップ後には自分も避難する。激しい災害で誘導員の命も考えなければならぬ（300ステップ未満）探索の場合、150ステップまでは情報共有あり・二人救出、150ステップからは情報共有なし・一人救出する方針で探索、250ステップ後には自分も避難するべきである。以下がそのシミュレーション結果である。

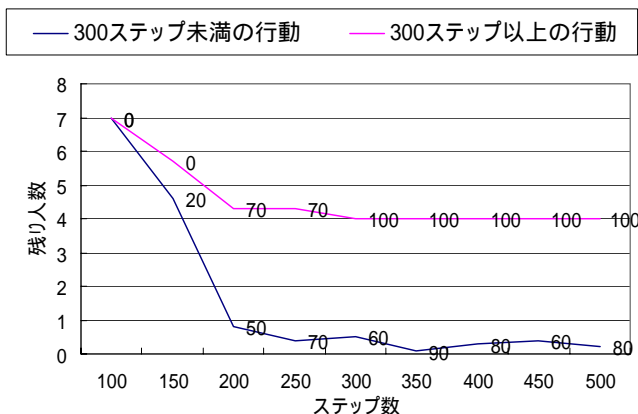


図 13 実験 4 の結果からの考察

### 5.3. 実験 5 情報更新率による効果

情報共有がある場合、誘導員同士が出会った時にどれくらいの割合で情報を更新するのかという「情報更新率」を分析してみる。誘導員一人が他の誘導員と遭遇した数を遭遇数、自分が知らない情報が得られた時に数える数を更新数と呼ぶことにする。終了ステップ 400 と設定した時の情報更新率を次のように設定する。

$$\text{情報更新率} = \frac{\text{更新数}}{\text{遭遇数}}$$

図 14 情報更新率の定義

以上より、情報共有あり・三人救出の場合で誘導員数を 2 人から 7 人までをシミュレーションする。

### 5.4. 実験 5 結果

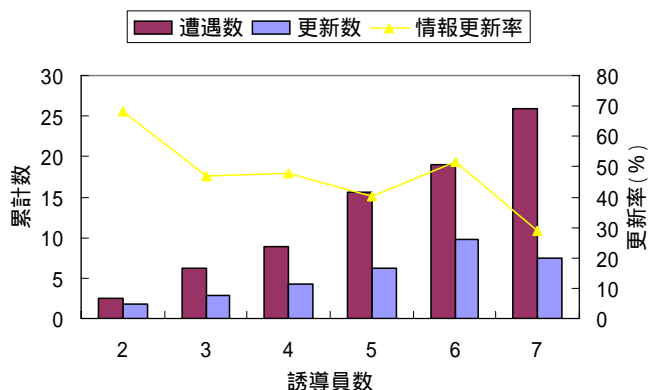


図 15 情報更新率の推移

更新率が 70% 以下と低いのは、もともとの避難者の人数が少ないため更新数はあまり増えないから、また終了ステップを 400 と設定したため、今までの実験結果から 300 ステップにはほとんど避難者が救出され取り残された誘導員が無駄に探索することになってしまうので遭遇数が増えるからである。よって情報更新率という側面から見れば、今回の実験では、誘導員数はあまり増やさなくてもよいという結果が出た。

## 6 シナリオ 3 (避難者救助型モデル)

どんな時でも避難者は完璧な状態で動けるとは限らない。災害時に偶発的な事故が起こり体に怪我を負ったもの、寝たきりの高齢者、火災の煙により気を失っている者などなんらかの原因により誘導員が付き添わなければ、動けない場合があることも十分にあり得る。ある空間内に移動できない避難者がいる場合を想定する。

### 空間範囲

病院の空間範囲は 80 × 60 (図 16 参照)

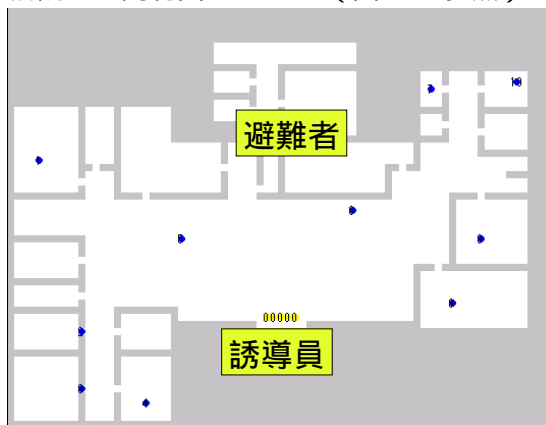


図 16 避難者救助型モデルの空間表現

### 避難者人数

自分で動けない避難者 10 人。

### 誘導員人数

出口付近に 5 人配置。

### 歩行速度

誘導員の歩行速度は 1.3m/秒だが避難者を救出する時は、0.5m/秒になる。避難者は 0m/秒、つまり動かないものとする。また当然のことながら、避難者一人に対して多数の誘導員がいれば、避難者の発見される確率は高くなる。

### 6.1. 実験 6 誘導員の行動の表現化

誘導員がどのように、避難者を救助しているのか、どのような探索方法を用いているのか、出口に近い部屋から探索する方法、一番遠い部屋から探索する方法、一人の避難者に対して一人の誘導員が担当す



るのか、一人の避難者に対して数人の誘導員が担当するのか。このような情報を一つのグラフだけで表現したい。この表現を出口からどのくらい離れているかを調べることで評価し、分析・考察する。5人の誘導員に1から5までの番号をつけ、400ステップ後に誘導員は出口に向かう。そして、誘導員が全て出口から出ればシミュレーションは終了である。シミュレーション例を以下に示す。

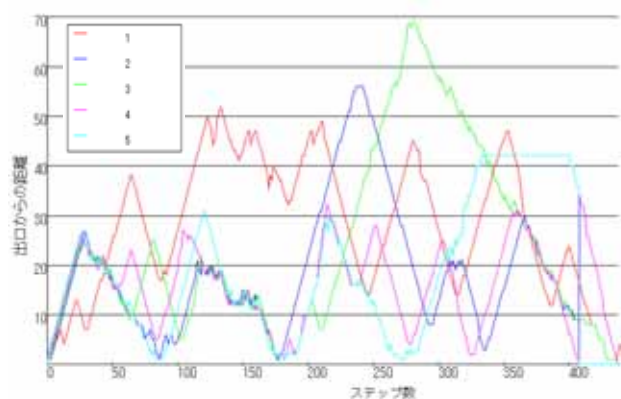


図 17.1 表現化のグラフ

## 6.2.実験 6 誘導員の行動の表現化の結果

図 17.1 のグラフの結果より、次のような情報を得ることが出来る。

### (1) 探索規模と往復数

出口から 20 マス目を基準にどれだけ往復したかを考える。そこで出口からの距離が 20 マス以上の山を往復数として数えることにする。図 17.2 より、5 番の誘導員（水色表示）の山は全部で 4 つあり、最大距離は 43 である。また 4 番の誘導員（ピンク表示）の山は全部で 7 つあり、最大距離は 32 である。このことから、5 番の誘導員は中規模の探索型であり、4 番の誘導員は小規模の探索型ということが分かる。小規模探索では何度も往復することが出来るが、出口からの距離が短くなってしまふ。規模が大きくなるにつれ、出口からの距離が遠くなるが、往復数は少なくなる。

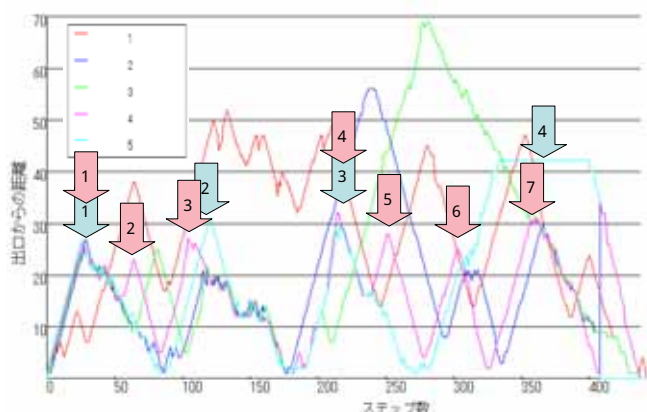


図 17.2 探索規模と往復数の表示

### (2) 探索した部屋数と探索ステップ数

グラフの山の形をみると、鋭く尖っている山と小刻みな山の 2 種類あることが分かる。これは、反転進行しているのか部屋内を探索しているのかということである。さらに、大きな山の刻みは、比較的広い部屋の探索を表し、小さな山の刻みは、狭い部屋の探索を表している。また、その刻みのかかっているステップ数が部屋内の探索にかけた時間であり、山の形から、部屋の探索数、探索した部屋の大きさ、部屋にいたステップ数が分かる。

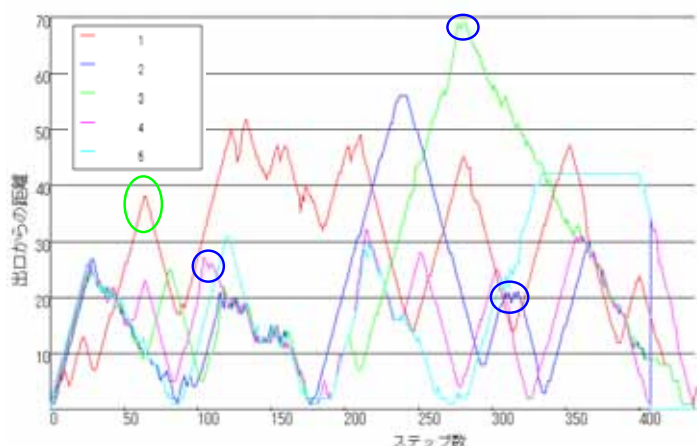


図 17.2 探索した部屋数と探索ステップ数

### (3) 救出した避難者数とそれに要した誘導員数

空間内を探索している時は、一定した歩行速度のため、グラフ上では傾きが急な直線を描くが、避難者を救出する時は歩行速度が遅くなるため、グラフ上では直線ではなく微動している。部屋内を探索している時の山の頂点で刻む形とは違い、出口に近づきながら刻んでいる。図 41 では、このような微動している線が 4 つあることから、救出した避難者は、4 人と分かる。さらにその避難者に手がけた誘導員数も重なった線を数えることで、人数が分かる。

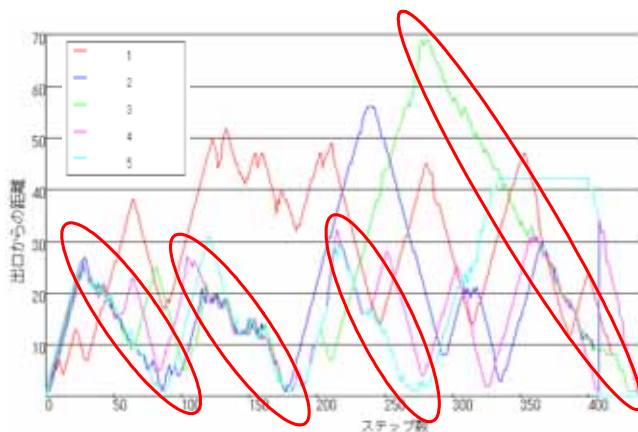


図 17.3 救出した避難者数と要した誘導員数

## 7 結論

避難者密集型のシミュレーションモデルから次のことに利用できる。

- (1) 密集時での混雑した人の流れを確認できる。  
(各避難者・誘導員の実際の行動をアルゴリズム化したため)
  - (2) より素早く安全に誘導するための対策が行える。  
(適確な誘導員の数、配置、誘導方法が分かるため)
- 避難者探索型のシミュレーションモデルから次のことに利用できる。
- (3) 長時間で少数の避難者を救うか、又は短時間で多くの命を救うか等、様々な状況に対してシミュレートできる。(情報共有の有無と救出人数の設定によりどれだけ誘導員を空間内に残すかが出来るため)
- 一方、避難者救助型のシミュレーションモデルからは次のことに利用できる。
- (4) シミュレーションや数値を見せることなく、視覚的にさまざまな情報を得ることが出来る。

## 8 今後の課題

本研究では避難者と誘導員に多様性を持たせ、その結果がどのように反映し、いかによりよい誘導方法を見つけるかというシミュレーションモデルの開発を行うことができた。また、情報共有という新たな考え方から、より現実に近いモデルが開発できたと考える。今後の課題としてシミュレーション結果から導き出された方法が本当に役立つのかを、実際の調査の裏付けにより評価をする必要がある。

### 参考文献

- [1] 松藤賢治, 「火災・浸水を考慮に入れた避難行動シミュレーションソフトウェアの開発」平成14年度 山口大学大学院 知能情報システム工学科 修士論文公聴会予稿
- [2] 南一久他3名 「マルチエージェントシステムによる避難シミュレーション」 the 16<sup>th</sup> annual conference of Japanese society for artificial intelligence, 2002
- [3] 建部謙治他一名 「火災知識・行動判断の避難経路選択への影響」日本建築学会計画系論文集 第556号、2002/6
- [4] 舟橋國男 「建物内通路における経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究」日本建築学会計画系論文集 第556号、1991/11
- [5] 落合哲郎 「災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル」 東京理科大学 修士論文 2003

- [6] 吉松慶 「マルチエージェントシミュレーターによる避難時安全性検証」構造計画研究所 防災セミナー2003 10月