

# 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

## Evacuation Simulation by using Multi-agent System

南一久<sup>\*1</sup> 村上陽平<sup>\*1</sup> 河添智幸<sup>\*1</sup> 石田亨<sup>\*1</sup>  
Kazuhisa Minami, Yohei Murakami, Tomoyuki Kawasoe, Toru Ishida

<sup>\*1</sup> 京都大学 大学院 情報学研究科 社会情報学専攻  
Department of Social Informatics, Kyoto University

**Abstract:** The traditional simulators adopted numerical analysis, such as objective information based on human positions, and did not consider social interactions. Then, we introduce social interactions with the platform software using as the evacuation simulator, and try to make an evacuation simulator closer to human evacuation action in real spaces. The described model is based on the evacuation experiment in the real space. In this experiment, effects of two evacuation methods were compared. And, we simulate evacuation based on this interaction description. Consequently, we can show the result of this simulation like as the experiment in the real spaces.

### 1. はじめに

近年、マルチエージェントシステムを用いた研究が経済現象や交通流のシミュレーションなどで行われている。従来のような全体をモデル化して行ったシミュレーションを用いれば、実際の結果と同様な振る舞いを視覚的に表示することが出来る。しかし、これは客観的に見た実際の振る舞いをコンピュータ上で表現しただけに過ぎず、このようなシミュレーションから得られるものは、どのような建物の構造が群集の動線の流れをスムーズにするのかといった建築空間の安全性の点検など、群集に与える建物の影響だけであった。つまり、このような従来のシミュレーションでは、実際には起こっているであろう群集内での知的な社会的インタラクションを無視し、群衆という一つの単位で個々の振る舞いを覆い隠していた。

このため各避難者が他の避難者や誘導者といった周囲の状況と、どのような方針でどのようにインタラクションを行い避難しているのか、またどのインタラクションが避難行動の速さに最も影響を与えているのかという人間集団の行動を知ることは出来ない。しかしながら、本来であれば建物の構造による避難行動への影響だけでなく、避難者への誘導といった、群集内の個々の間で発生するインタラクションをも考慮し避難行動の改善を行わなければならないはずである。

そこで本稿では従来の手法とは異なり、マルチエージェントシステムを用いることで、各避難者と誘導者の振る舞いを記述し、1988年に行なわれた避難誘導に関する統制実験のシミュレーションを行い比較する。実際にはインタラクション記述言語  $Q$  [石田 2002]により避難行動の際に人がとりうるであろう行動を記述し、 $Q$  言語を実装したマルチエージェントシミュレータ上で、実際の実験との比較を行った。そして、その避難行動中に行われるインタラクションの解明を目指した。

我々はこのシミュレーションの結果により、

1. 多数のエージェントを含む効率よいシミュレータの構築
2. 行動主体の何をどこまで記述すべきかを明らかにすること
3. シミュレーション結果から何が学べるのかを示すこと

という三つの研究目的を明らかにする。今後はエージェントだけではなく人もアバターとして三次元仮想空間に登場させることで、実際に避難訓練を行うことを目標としている。仮想空間内で避

難訓練を行うことは、訓練を行う空間や設備を用意するためのコストを低減し、その上、阪神大震災に挙げられるような過去の災害状況を再現することも可能とする。また、同時にインターネットも用いることで、多くの人の参加も可能となる。

最終的には、京都駅の仮想空間モデルを利用し、100人のアバターと1000体のエージェントによる避難訓練を行う予定である。

### 2. 避難シミュレータ

#### 2.1 マルチエージェントシミュレータ

従来のシミュレータでは、各行動主体に意思はなく、系全体の振る舞いを記述することで、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いた。その人の動きは位置情報による数値計算から求められており、避難者の発話や誘導者の指示といった、実際の避難時に起こり各人に影響を与えるインタラクションを無視し、人間同士の相互作用はあくまで物理的な相互作用のみを取り扱っていた [Okazaki 1993]。

しかし、実際の避難状況においては、誰かの叫び声が聞こえれば、声の聞こえる方には避難しなくなり、声やジェスチャーによる指示があれば、避難経路を変更することも考えられる。つまり、従来のシミュレーションでは無視していた社会的インタラクションが、実際には避難行動の決定に重要な影響を与えている。実際に我々は、磁気モデルを利用した従来のシミュレーションにより研究をすすめていた京都大学建築科の岡崎研究室と1998年から共同研究を始め、三次元仮想空間における社会的インタラクションが与える影響を現在も引き続き調査している [中西 2001]。

そこで我々は、避難行動とは個々の人間がそれぞれ自分の意志に基づいてとりうる行動であると考え、エージェントの動きを一元的に扱う従来のシミュレータではなく、個々のエージェントが個々の状況に応じて、環境とインタラクションをとることができるマルチエージェントシステムを利用し、FlatWalk や FreeWalkV4 といったツールを開発した。またこれらのツールでは、個々のエージェントの振る舞いを、インタラクション設計言語  $Q$  を用いて記述し、個々を集合させることでエージェント群全体の振る舞いをシミュレートしている。以下では開発したツールの説明とインタラクション設計言語  $Q$  について説明を行う。

連絡先: 情報学研究科 社会情報学専攻 石田研究室 〒606-0801 京都市左京区吉田本町 工学部 10 号館, Tel: 075-753-4820, yohei@lab7.kuis.kyoto-u.ac.jp



### 3.2 シナリオ作成プロセス

#### 1) 論文からのルール抽出

避難誘導シミュレーションを行うに際し、各誘導員エージェント、避難者エージェントに与えるべきシナリオを[杉万 1988]による記述からルールの抽出を行い作成した。

ここで抽出された、各誘導員と避難者エージェントにおける主なインタラクション記述を以下に示す。指差誘導による各誘導員シナリオは約 200 行、10 ルール、吸着誘導による各誘導員シナリオは約 300 行、11 ルール、避難者は約 600 行、18 ルールから成り立っている。

##### a) 指差誘導員シナリオ

- 誰かを見かければ、大声を出しつつ、出口を指差す
- 違う方向にいる人を見れば、正しい出口に誘導する
- 近くの避難者が移動すれば、自身も避難を開始する
- 動かない人がいれば、呼びかける

##### b) 吸着誘導員シナリオ

- 避難開始と同時に、誘導者に一番近い避難者を探し出し、その避難者を出口まで連れて行く
- 誘導している人が離れれば、その人が近づくまで待つ
- 誘導している人が近づいてくると、誘導を再開する
- 誘導している人を見失えば、周りを見渡し、新たに誘導すべき避難者を見つける
- 誘導者自身が出口に着くまで、上記の作業を繰り返す

##### c) 避難者シナリオ

- 近くの出口を目指して移動する
- 誘導員の指示に従い、避難する
  - 指差誘導では、誘導員が指差した方向へ移動する
  - 吸着誘導では、誘導員の後ろに付いていく
- 誘導員の指示がない場合、避難者自身が判断し避難

#### 2) インタビューとビデオ解析からのルール抽出

しかしこのシナリオでは、吸着誘導と指差誘導に差異がみられなかった。本来実世界においては、「火災などの危険の知覚から脱出行動の開始までに脱出所要時間の 3 分の 2 が消費され、残りが脱出行動に費やされる傾向がある」[釘原 1995]とされているのに対し、今回のシナリオでは全くそのような状況が反映されず、誘導員の発話がきっかけとなって、避難訓練開始直後から避難者は行動を行っていた。これは[杉万 1988]による記述に基づいて、誘導員の指示に従うことを主体としたインタラクション記述を行っていたためである。



図 5：誘導実験の様子  
奥の出口へと指差し誘導が実行されており、手前では吸着誘導が実行されている

そこで、我々は集団行動時のインタラクション記述が不足していると考え、吸着誘導法と指差誘導法を用いた誘導実験のビデオ解析を行った(図 5 参照)。その中では誘導員の指示を優先し、それに従い避難する人は存在したが、同時に誘導員の存在に気付いても、誘導員の指示に従わず、群衆の動きに注意を払う避難者も存在した。これは全くの予想外の行動であり、避難者によって、避難を行うための優先順位が異なることが判明した。つまり、避難者に応じて、異なるシナリオを用いる必要があり、また集団行動において周囲の群衆との社会的インタラクションを追加する必要があることが分かった。特に、周囲の人に付いていくことが重要と考え、誘導員でなくても近くにいる避難者にも着目することで一種の同調行動を記述した[Milgram 1969]。具体的には

- 多くの人がいるところへ、移動する
- 周りが動いていなければ、動かない
- 近くの人が動き出したら、付いていく

などというインタラクションを取り入れ、避難者のシナリオを重点的に修正した。また、誘導員に積極的に従うタイプと周囲の避難者の動きと同調するタイプと、避難時の優先順位が異なる 2 つのシナリオを用意し、避難者エージェントにランダムに半数ずつ適用した。

さらに、避難誘導実験を行った杉万氏へのインタビューにより、論文には記述されていない実際の実験現場における視界の悪さ、群衆の過密度、音の反響といった知見を得た。我々は以上の実験現場の環境にも着目し、

- ある一定距離以内で誘導員の指差が見えれば、その指差に従う  
(人の過密により誘導員の指差を確認できないため)
- 同時に複数の発話による指示を聞いたときは、その指示を無視する  
(音の反響により正確に指示を理解できないため)

などというインタラクションを避難者エージェントのシナリオに追加した。

これらの修正を施したシナリオを用いて、再度行ったシミュレーションの結果を次節で説明する。

### 3.3 2002 年:マルチエージェントシミュレーション

再度行ったシミュレーションの実行結果は図 6 に示した通りである。このグラフは、避難開始から時間の経過と共に、出口 B に脱出した避難者の推移を示したものである。

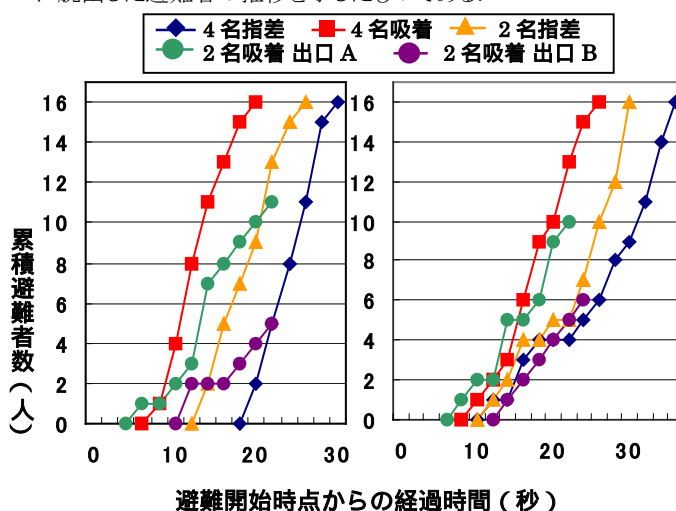


図 6：杉万実験(左)と避難誘導シミュレーション(右)における避難開始時点からの時間経過ともなう累積避難者数の推移の比較

実際の実験結果の解析から得た、空間状況による影響や避難者間の集団行動を考慮したシナリオを用いることで、今回のシミュレーションでは各誘導法別に以下のような避難行動の変化が観測された。

- 4名指差誘導法  
同時に指示を聞いたときはその指示を無視するといった、音の反響を考慮したルールにより、修正前と比べて、誘導開始直後 4 秒ほどは複数の発声によりどの避難者も動くことができなくなった。
- 2名指差誘導法  
4名指差誘導法の時と同様に、音の反響を考慮したルールが避難者の行動に影響を与えたが、誘導者が4名いる時と比べて、誘導者の数が少ないため発声が同時に行われることが少なく、初期動作の開始が4名指差誘導よりも早くなった。
- 4名吸着誘導法  
周囲の人の移動に付いていくといった集団行動における同調行動を表すルールにより、誘導員の指示を受けなかった避難者の初期動作も早くなった。
- 2名吸着誘導法  
4名吸着誘導法の時と同様に、集団行動における同調行動を表すルールが避難者の行動に影響を与えたが、4名吸着誘導の場合と異なり誘導者の数が少なかったため、誘導員の存在に気づかず間違った出口の方から脱出を試みた避難者に、他の複数の避難者が追従した。

結果として2名吸着の場合のみ誘導すべき出口からの誘導に失敗したが、その他の誘導方法では目的の出口から誘導させることに成功し、また、避難の完了順も4名吸着、2名指差、4名指差の順であった。これは先述した誘導実験と同様の結果であり、実際の実験を再現することができた。

#### 4. 考察

今回の避難シミュレーションでは、系全体の挙動をモデル化しシミュレーションを行うのではなく、個々のエージェントの振る舞いを記述する、マルチエージェントシステムを用いてシミュレーションを行ったため、我々は当初[杉万 1988]による記述から推測される避難者、誘導者の振る舞いをシナリオとして記述することで、杉万実験を再現することが可能であると考えていた。

しかし、実際に記述から抽出したインタラクションを利用しシナリオを作成しても、実世界における実験結果とは異なる結果となり、実験者へのインタビューやビデオ解析といった実世界における実験結果を解析することで再現することが可能となった。

上記のことから我々は以下の三点について考察を行った。

- 実世界からのフィードバック  
実世界における実験結果をシミュレーションにより再現するには、実世界における実験結果からのフィードバックが必要不可欠である。今回用いたマルチエージェントシステムによるシミュレータでは、系全体ではなく該当する箇所のシナリオを書き換えることで、実験結果の解析から得られた知見をシミュレーションに容易に反映することができる。
- 実世界へのフィードバック  
実世界からのフィードバックを受け、実世界の実験結果をシミュレーションにより再現するだけでは、シミュレーションを行う意義が薄れていく。そこで我々は、実世界から得た知見をシナリオにフィードバックし洗練することで、実世界で実験されていない環境もしくは実験できない状況設定でそのシナリオを利用し、その結果を実世界にフィードバックすることができる。

- シナリオ記述の可読性  
実世界で実験されていない環境でシミュレーションを行うために、洗練されたシナリオを利用したとしても、防災研究者や社会心理学者といったエンドユーザがシナリオを理解することができなければ、人間集団の行動を解析することができず、シナリオの正当性を確認できない。そこでどのようなシナリオが利用されているのかが分かりやすく表示される必要がある。我々は現在、シナリオから抽出されたパターンをカード化し、そのカードの空欄への入力や複数のカードを組み合わせることで、エンドユーザにとって理解しやすい表示もしくはシナリオ作成ツールを開発中である。

#### 5. おわりに

本稿では、当初掲げた研究目的を以下のようなアプローチで達成することができた。

1. 多数のエージェントを並列に制御実行できるシミュレータ FlatWalk の構築
  2. 実際に行われた杉万実験の FlatWalk 上での再現
  3. 実際の結果の解析によるフィードバックの重要性
- このような研究目的の達成に伴い、FlatWalk の新たな位置付けとして、以下の二点を考えている。
- 実験結果の解析から得られた知見の検証ツール
  - 防災研究者や社会心理学者といったエンドユーザとのメディア

前者は、知見を検証しながら、作成したシナリオを洗練していくという側面を持ち、後者は洗練されたシナリオの記述をわかりやすく表示するとともに、実際にそのシナリオ記述を視覚化することで、議論の活性化を促すものと考えている。

今後は、FlatWalk と実社会の相互間のフィードバックにより洗練されたシナリオが、避難行動時のモデルとみなされ、どれだけ避難時の人の行動を解明することに貢献できるのかを検討していきたい。

#### 参考文献

- [石田 2002] 石田 亨, 福本 理人: インタラクション設計言語  $Q$  の提案, 人工知能学会論文誌, 17 巻 2 号, pp166-169, 2002.
- [Okazaki 1993] Okazaki, S. and Matsushita, S.: A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing, Proceeding of the International Conference on Engineering for Crowd Safety, pp.271-280, 1993.
- [中西 2001] 中西英之, 石田 亨, 鈴木利友, 岡崎甚幸: 3D 都市シミュレーション環境 FreeWalk, 情報処理学会シンポジウムシリーズ データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム(DBWeb2001), Vol.2001, No.17, pp.313-322, 2001.
- [Nakanishi 1996] Hideyuki Nakanishi, Chikara Yoshida, T. N. and Ishida, T.: FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network, International Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW-96), pp.308-314, 1996.
- [杉万 1988] 杉万俊夫: 避難誘導法のアクションリサーチ, 応用心理学講座第 3 巻「自然災害の行動科学」第 8 章, 福村出版, pp.110-122, 1988.
- [釘原 1995] 釘原 直樹(編): パニック実験—危機事態の社会心理学, ナカニシヤ出版, 1995.
- [Milgram 1969] Milgram, S., Bickman, L. and Berkowitz, L.: Note on Drawing Power of Crowds of Different Size, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.13, No.2, pp.79-82, 1969.