

## マルチエージェントシミュレーションを用いた 避難誘導実験の拡張

中島 悠<sup>†1</sup> 椎名 宏徳<sup>†1,\*1</sup> 服部 宏充<sup>†1</sup>  
八槇 博史<sup>†2</sup> 石田 亨<sup>†1</sup>

避難誘導システムやカーナビゲーションシステムに代表される大規模な社会情報システムを開発する場合、利用者全体の移動効率のような群集視点の分析と群衆中の利用者の振舞いのような個人視点の分析が求められる。しかし、これらの調査のために、大量の被験者を用いた実験をすることは困難である。本研究では、大規模な社会情報システムの開発支援を目標として、大規模社会情報システムを分析する環境の設計と実問題への適用を行った。大規模マルチエージェントシミュレーション技術とGPS携帯電話を利用することで、小規模な被験者実験を拡張する環境を設計した。さらに、避難誘導システムを題材に選び、分析環境の実装と被験者実験を行った。実験後のインタビューにより、避難中の経路選択という問題において、仮想的な群衆を被験者に見せることで被験者の意志決定に影響を与えられることを確認した。

### Augmentation of Experiment in Evacuation Navigation with Multiagent Simulation

YUU NAKAJIMA,<sup>†1</sup> HIRONORI SHIINA,<sup>†1,\*1</sup>  
HIROMITSU HATTORI,<sup>†1</sup> HIROFUMI YAMAKI<sup>†2</sup>  
and TORU ISHIDA<sup>†1</sup>

The ubiquitous environment enables us to build socially embedded systems such as evacuation guidance system and car navigation system. In developing such a system, it is necessary to estimate the user behavior in a crowd and the crowd behavior. However, it is difficult to perform tests on such a system given the large number of human subjects. In this research, we built a framework of augmented experiment in evacuation navigation system and we execute a practical experiment. We built the environment that show a virtual crowd to human subjects based on GPS-capable mobile phones and agent technology. We carry out an augmented experiment using the system and let participants of a small experiment feel in a crowd. The interview of experiment shows that the

augmented experiment successfully affects route selection of the participants.

#### 1. はじめに

現在の日本では、GPSやRFIDのような測位デバイス、WLANやBluetoothといったネットワーク機器が普及し、ユビキタスな情報環境が進展してきている。この環境を利用することで、現在位置や周辺環境などの個人がおかれた状況、年齢や職業などの個人が有する属性に合わせたサービスを提供する社会情報システムの実現が可能になる。たとえば、経路情報共有に基づくナビゲーションシステム<sup>1)</sup>やオンデマンドバスシステム<sup>2)</sup>などの研究がされている。その流れの中で、新しい社会情報システムを分析、評価するための環境に対するニーズは高まっている。

社会情報システムの特徴は、広範囲に存在する利用者が、情報や資源を共有することで互いに影響を及ぼしながらシステムを利用する点にある。大規模な社会情報システムを評価する場合、利用者全体の移動効率のような群集視点の分析と群衆中の利用者の振舞いのような個人視点の分析の両方が求められる。どちらの分析においても、大人数がシステムを利用している状況が必要となる。

社会情報システムは人を含むシステムであるため、そのテストでは大規模な被験者実験を行うことが望ましい。しかし、都市という広大な空間で、大量の被験者を用いた実験を行うことはコストが大きい。また一方で、大量の被験者を用意する代わりに、利用者をモデル化したエージェントを用いたシミュレーションにより分析する方法もある。しかし、利用者の完全なモデルを実装することは非常に困難である。本研究において、我々は、大規模な社会情報システムの開発支援を目標として、以下の2つの課題に取り組んだ。

- 大規模社会情報システムを分析する環境の設計  
大規模社会情報システムの分析には、少数の被験者に対して、群衆中におけるシステム利用の体験を与える環境が求められる。我々はその環境を拡張実験のアプローチに基づ

<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

<sup>†2</sup> 名古屋大学情報連携基盤センター  
Information Technology Center, Nagoya University

\*1 現在、富士通株式会社  
Presently with Fujitsu Limited

## 2 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

いて設計する。

### ● 実問題への適用

大規模社会情報システムを分析するための環境を実問題に適用する。避難誘導システムを分析する環境を実装し、その環境を用いて少人数の被験者による実験を拡張する。

以下、2章、3章では、大規模社会情報システムを分析する手法とその環境の設計について説明する。4章では、分析する対象として取り上げた大規模避難誘導システムについて述べる。5章では、GPS 携帯電話とマルチエージェントシミュレーションを組み合わせた分析環境の実装について説明する。6章では、大規模誘導システムの実験に適用した例を示す。

## 2. 大規模社会情報システムの分析手法

大規模社会情報システムの分析において、大量の被験者を用いた実験の実施は非常に困難である。我々はこの問題に対して、拡張実験と名付けた新しいシステムの分析手法を提案している<sup>3)</sup>。

拡張実験とは、利用者をエージェントによって代替することで、実験に参加する人間の被験者の数を抑えたうえで、多数の利用者が当該システムを使用する状況を擬似的に再現するアプローチである。

拡張実験では、現実空間の被験者実験と並行して仮想空間でマルチエージェントシミュレーションが実施される。並行してシミュレーションを行う目的は、現実空間の実験だけでは不足する被験者数を補うことである。被験者は、所有する端末に仮想空間の状況を受け取ることで、あたかも多数の人間と同時にシステムを利用しているかのように実験に参加する。一方で、実験実施者は、現実空間と仮想空間が統合された状況を観測することで、群衆全体の動きを分析する。そうすることで、大量の被験者による実証実験を行うことなく、システムの問題点を洗い出す。

シミュレーションを利用してある仮想的な状況における人間の振舞いを調べる他の手法として、参加型シミュレーションがあげられる<sup>4),5)</sup>。参加型シミュレーションとは、マルチエージェントシミュレーション上の一部のエージェントを人間の操作するアバタと置きかえ、シミュレーション上に実際の人間の行動を取り込むものである。人間はテレビゲームをするように、ジョイスティックやキーボードなどの入力機器でエージェントを操作する。

参加型シミュレーションでは、被験者は人工的に作られた仮想空間で観測および行動をする。それに対し、拡張実験では、被験者は現実空間で観測および行動をする。この対象空間の違いが2つの手法の大きな相違点である。拡張実験の利点は、実際のシステムの利用者

が、人工的な空間ではなく実世界において、分析対象となるシステムを実際に使用する実験を行えることである。

## 3. 大規模社会情報システムの分析環境の設計

我々の考える大規模社会情報システムとは、屋外の広範囲に存在する利用者が互いに影響を及ぼしながらサービスを利用するシステムである。ここでは大規模社会情報システムの代表例として、都市における歩行者誘導システムを考える。

大規模な社会情報システムに拡張実験のアプローチを適用する際の課題は、現実空間の情報を仮想空間へ取り込む方法と、仮想空間の情報を現実空間へ取り込む方法である。拡張実験のコンセプトに基づいて設計された、大規模社会情報システムを分析する環境の構成を図1に示す。

### 3.1 仮想空間への情報の取り込み

仮想空間では、大規模エージェントプラットフォーム上で、システムの仮想的なユーザを再現するシミュレーションが実施される。このシミュレーション上のエージェントには、分析対象のシステムのユーザの振舞いをモデル化したものが実装される。

仮想空間で行われるシミュレーションに被験者の振舞いを取り込むため、センサにより取り込んだ位置情報に基づきアバタを生成する。屋内の限られた範囲における実験<sup>6)</sup>では、センサとしてカメラを使用できる。しかし、屋外の広域な範囲における実験では、実験領域すべてをカバーするだけのカメラを設置することはできない。そこで、測位センサとしてGPSを用いることとした。

実験実施者は、群衆視点からの分析をするために、利用者全体の行動を観測したい。そのためには、実世界の少数の被験者の行動と仮想空間のエージェント群の行動を同時に扱える必要がある。そこで、現実空間の情報と仮想空間の情報を重畳し、超越的な視点から観測を行うインタフェースを用いた<sup>7)</sup>。図2に示すような超越型のインタフェースを用いることで、実験実施者は現実空間の情報を取り込んだ仮想空間を俯瞰しながら、被験者とユーザエージェントを区別することなく扱うことができる。

### 3.2 現実空間への情報の取り込み

拡張実験を実施するには、仮想の公共空間の中で活動するエージェントの振舞いを現実空間にいる被験者に伝えなければならない。そこで問題となるのは、仮想空間の情報を適切なリアリティと速度をもって現実空間の被験者に伝える方法である。

たとえば、透過型ヘッドマウントディスプレイに仮想空間の状況を表示する方法が考えら

### 3 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

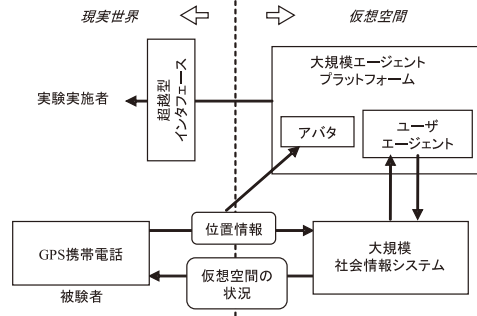


図 1 大規模社会情報システムの分析環境の構成  
Fig.1 Environment for analyzing large-scale socially embedded system.



図 2 現実空間の情報と仮想空間の情報を重畳する  
インタフェース  
Fig.2 Interface layering information of  
real world and virtual space.

れる。しかし、街中を移動する被験者にそれを装着させるのは危険であるし、費用の面でも手間の面でも高いコストがかかる。これは、開発段階において小規模な実験でシステムの問題点を探すという目的にはそぐわない。そこで、我々は、仮想空間情報の伝達手段として携帯電話を選択した。

#### 4. 大規模避難誘導システム

本研究の分析対象として、都市災害時に用いる GPS 携帯電話を利用した大規模避難誘導システムを選んだ。都市規模の大規模な誘導となると同じ情報をブロードキャストするだけでは、すべての利用者にとって有用な情報を配信することはできない。そこで、個々の利用者に対して誘導エージェントを割り当てることで、システムに集約されている情報を個別化して利用者へ配信するシステムを想定した。実装した大規模避難誘導システムの構成を図 3 に示す。

環境データベースに蓄積される情報は、指定避難場所を含む地図情報、都市内に設置されたセンサなどで収集される被害情報、避難者の位置情報である。地図情報は、国土地理院発行の空間データ基盤数値地図 (1/25000) を用いた。

誘導エージェントは、利用者ごとに 1 体ずつ作成され、対応する利用者に対して誘導情報の配信を行う。はじめに誘導エージェントは、GPS 経路で利用者の位置情報を取得する。続いて、誘導エージェントは、指定避難所の情報を環境データベースから取り出し、最寄り

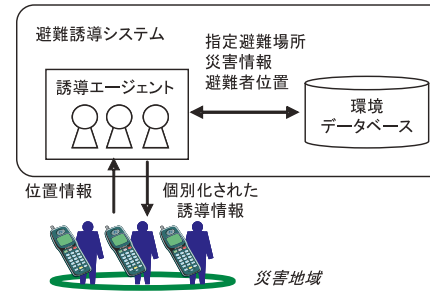


図 3 大規模避難誘導システムの概観  
Fig.3 Overview of large-scale evacuation  
guidance system.

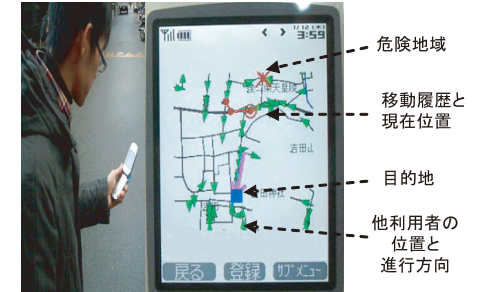


図 4 避難誘導システムで配信される誘導情報  
Fig.4 Navigation information provided  
by evacuation guidance system.

の避難所を検索する。誘導エージェントは、利用者の現在地付近の誘導地図を作成し、それを利用者へ配信する。誘導地図には、目的とする避難場所の位置、避難場所への進行方向、火災などの危険地域、自分の現在位置、移動履歴、他者の位置と進行方向が表示される (図 4)。

#### 5. 避難誘導システムの分析環境

大規模避難誘導システムを対象として、少人数の被験者実験をマルチエージェントシミュレーションにより拡張するためのシステムを構築した。その構成を図 5 に示す。

現実空間の被験者を仮想空間にアバタとして再現するために、GPS により位置情報を取得した。仮想空間の状況を伝達するために、それぞれの被験者が持つ携帯電話のブラウザ機能を用いた。誘導エージェントが、周囲の避難者エージェントの状況を表示することで、避難者に対して仮想的な群衆の状況を伝える。これにより、避難者は大群衆と同時にシステムを利用するような環境で実験に参加する。また、実験実施者は、仮想空間と現実空間を重ね合わせた情報を提供する観測モニタを通じて、拡張された実験環境を観測する。以下では、図 5 の内容を詳細に説明する。

##### 5.1 避難者エージェントのプラットフォーム

誘導システムの仮想的なユーザを生成するために、大規模マルチエージェントプラットフォーム上に、避難者をモデル化したエージェントが動作するシミュレータを実装する。このプラットフォームとして Caribbean/Q を用いた<sup>8)</sup>。このプラットフォームは、シナリオ

#### 4 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

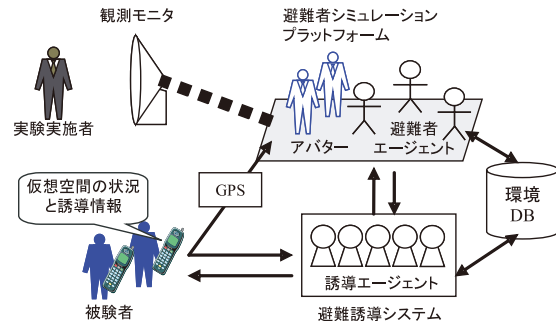


図5 大規模避難誘導システムの分析環境  
Fig. 5 Environment for analyzing large-scale evacuation guidance system.

記述言語  $Q$  と大規模エージェントサーバ Caribbean を組み合わせたものである。

$Q$  は、エージェントの内部メカニズムには言及せず、エージェントと外界とのインタラクションプロトコルを、シナリオとして記述するための言語である<sup>9)</sup>。現実空間での実験と並行して行われるシミュレーションでは、エージェントに適切な人間行動のモデルを与えることが重要となる。そのモデル化において、人間行動の中身を記述する旧来のエージェント記述方式ではなく、 $Q$  のように人間と外部世界とのインタラクションプロトコルの様態を、そのままシナリオとして記述する方式が効果的であることが示されている<sup>10)</sup>。

Caribbean は、イベント駆動オブジェクトとしてエージェントを管理し、数十万のエージェントを制御する能力を持つ大規模エージェントサーバである<sup>11)</sup>。都市上の市民のシミュレーションを行うためには、その規模に十分なスケーラビリティの確保が必要である。

Caribbean/ $Q$  の特長は、シナリオ記述によりエージェントを制御できること、数十万のエージェントを管理できるスケーラビリティを備えていることである。この特長のため、仮想群衆を再現するマルチエージェントシミュレーションのプラットフォームに Caribbean/ $Q$  を選択した。

##### 5.2 避難者エージェントの生成

大規模エージェントプラットフォーム上に実装される避難者エージェントは、 $Q$  により記述されたシナリオに基づいて、避難誘導システムの仮想的なユーザとして振る舞う。避難者エージェントに与えたシナリオを図6に示す。

避難者エージェントは、定期的に位置情報を誘導エージェントに送信する。誘導エージェントは、受け取った位置情報に応じて誘導地図を作成し、それを避難者エージェントに送信

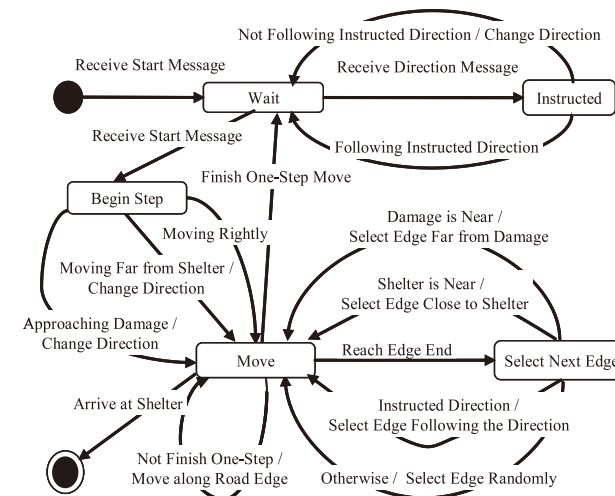


図6 避難者エージェントのシナリオ  
Fig. 6 Scenario of evacuation agent.

する。避難者エージェントは、その誘導地図を見ながら仮想空間を移動する。

避難者エージェントは、環境データベースから道路データを読み出し、その上を移動する。道路のデータは道路節点と節点どうしをつなぐ道路区間から構成される。避難者エージェントは、誘導地図に記された目的地、危険地域を考慮して、道路に沿って避難を行う。避難者エージェントは、1回の移動ステップで以下のように行動する。

- (1) 避難者エージェントは目的地を決定する。前回の行動が終了してから追加された被害情報によって、現在の目的地が不適切なものになっていないかを確認する。「危険地域を通過せずに到達できる避難場所の中で、現在地から一番近いものを選ぶ」というルールに基づいて目的地の選択を行う。
- (2) 避難者エージェントは次の道路節点を決定する。「危険地域に近づかず、目的地に近づける道路節点を選ぶ」というルールに基づいて道路節点の選択を行う。
- (3) 避難者エージェントは移動を行う。1回の移動ステップにおける避難者エージェントの移動距離は前回移動してから経過した時間によって決定する。

今回実装したシミュレーションでは、避難者エージェント群に単純な単一のシナリオを与えた。消防士や警察などの個人の社会的な役割を反映したシナリオや、怪我の有無などの個

## 5 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

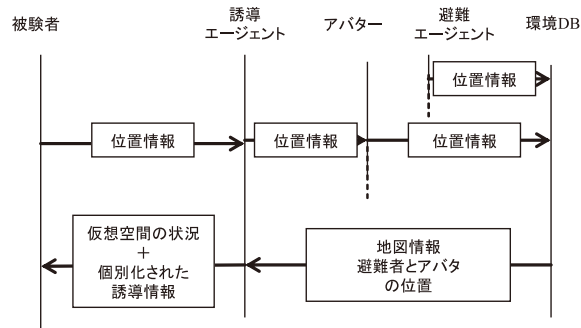


図 7 現実空間情報の仮想空間への取り込みと仮想空間情報の現実空間への伝達の流れ  
Fig. 7 Sequence diagram: connecting real world and virtual space.

人のおかれている状況を反映したシナリオを適宜用意することで、より多様な人間が存在する状況のシミュレーションが可能となる。

### 5.3 実験環境の観測モニタ

3.1 節で述べたように、実験実施者に現実空間の情報と仮想空間の情報を提供するために、図 2 に示される超越型インタフェースを用いた。その観測モニタ上では、実際の被験者と避難者エージェントを区別することなく扱うことができる。つまり、少数の被験者実験であっても、避難者エージェントを多数用意することで、実験実施者に対して多数の避難者がいるのと類似した状況を提供できる。この環境を用いることで、大人数が誘導システムを使用するとき都市で起こることを分析できる。

### 5.4 現実空間と仮想空間の接続

現実空間の被験者の振る舞いを仮想空間に取り込むために、GPS を使用した。GPS を経由して獲得された現実空間の被験者の位置は、仮想空間上にアバタとして再現される。本システムでは、KDDI が提供する GPS サービスを使用した。

我々は、仮想空間情報の伝達手段として携帯電話を用いた(図 4)。携帯電話は仮想空間の情報を伝達する手段としては非常に簡素なものである。携帯電話の小さな画面に一人称視点のリアルな 3 次元映像を表示したところで没入感は得られないうえに、画像作成や通信のコストが大きくなり仮想空間の情報の伝達速度が遅くなる。そこで、実験課題の遂行に必要な仮想空間の状況のみを被験者に配信することにした。

本実験環境では、誘導情報とともに仮想空間上の避難者エージェントの位置が記された地

図が被験者の携帯電話に伝達される。現実空間の情報と仮想空間の情報の伝達経路を図 7 に示す。

はじめに、被験者の位置情報が誘導エージェントに送信される。つづいて、誘導エージェントはアバタの位置情報を更新する。仮想空間にはアバタの位置情報と避難者エージェントの位置情報が集約される。誘導エージェントは、環境データベースから地図情報と群衆の情報を取得し、その地点に応じた誘導情報と仮想空間の環境情報を被験者に伝える。被験者はその情報を考慮して、意志決定を行う。このようにして、避難者は群衆と同時にシステムを利用するような環境で実験に参加することができる。

## 6. 実 験

5 章の分析環境を用いて、大規模避難誘導システムの被験者実験を拡張実験のコンセプトに基づいて実施した。この実験の目的は、仮想群衆の提示が被験者に与える影響を調べることである。

### 6.1 実験設定

本実験で想定したシナリオは、都市に地震が発生し断続的に火災などの二次災害が発生する状況で、市民が誘導システムを使いながら指定の避難所まで移動するというものである。これは、刻々と変わる環境下で、避難者が素早く安全な場所への移動を目指す状況を想定したものである。

実験では、京都大学周辺の 1 辺が 4 km の矩形領域を対象領域とした。対象領域中に、5 カ所の避難所を設定した。現実空間の実験には 10 人程度(1 回目 13 人, 2 回目 10 人)の人間の被験者が参加した。現実空間の被験者実験と並行して実行されるシミュレーションでは、3,000 体の避難者エージェントからなる仮想群衆を生成した。

被験者に配信する地図には、誘導情報とともに仮想空間上の避難者エージェントの位置を描画した。二次災害は、あらかじめ定められた位置に定められたタイミングで発生し、環境データベースに随時書き込まれた。

実験開始から終了までの流れは以下のとおりであった。実験開始とともに初期災害の発生が被験者に通知される。被験者は各々の初期位置から避難を開始する。誘導エージェントは、避難者の位置情報を受け取ると、環境データベースより情報を取得し、避難者に与える誘導地図を作成して送信する。被験者はその情報を参照しながら、避難場所へ向かう。すべての被験者が広域指定避難所に到達したときを実験の終了とした。実験後には、被験者の主観的な評価を得るためにアンケートとインタビューを行った。

### 6.2 実験参加者のタスク

被験者に与えたタスクは、各自が持つ GPS 携帯電話により避難誘導システムを利用して避難所に向かうことである。避難者は、それぞれの避難開始位置からシステムに指示される避難所まで移動した。この実験において、被験者は、1 分間隔の自動更新と手動による地図情報の更新ができた。

事前説明において、被験者に実験シナリオを伝えた。また、被害の発生地点を避けて移動するように教示した。避難者エージェントは「仮定の避難者である」とだけ説明し、避難者エージェントについていたり、避けたりするような特別な説明は与えなかった。実験の前には、システムの使い方の説明をし、数分の練習をさせた。

実験実施者は、超越型のモニタを通じて、被験者と避難者エージェントが混在した仮想空間を観察した。被験者が実験区域から外れるなどのトラブルがあったとき、実験実施者は、そのモニタを通じてメールにより被験者の支援をした。また、実験実施者は、モニタ上で被験者や避難者エージェントを選択することで、それぞれが参照している誘導地図を確認することができた。

### 6.3 アンケート結果

アンケートは、避難誘導システムに関する 6 問（信頼性に関する 2 問、有用性に関する 2 問、簡便性に関する 2 問）と拡張実験に関する 6 問（仮想群衆の影響に関する 3 問、実験全体に関する 3 問）、実験意図の察知を防ぐための 5 問の計 17 問で構成した。実験トラブルによりアンケートに答えられなかった 1 人を除く、22 人の被験者から回答を集めることができた。以下では、拡張実験に関する 6 問について説明する。

仮想群衆が被験者に与えた影響を調べるために、避難行動の「巧拙」、避難行動時の「冷静さ」、実験状況の「臨場感」について、仮想群衆が表示されていた場合と非表示であった場合とで比較する質問をした。集計結果を表 1 に示す。仮想群衆の有無により評価が違った人の割合をみると、仮想群衆の提示は、「巧拙」「冷静さ」に関しては 6 割以下、「臨場感」に関しては 4 割以下の人にしか影響を与えることができなかつたことが分かる。

また、実験全体における行動と状況を調べるために、避難行動の「巧拙」と「冷静さ」、実験状況の「臨場感」に関する質問をした。各質問は、1 点から 9 点までのリカート尺度である。「巧拙」を尋ねた「うまく避難できましたか?」という質問の得点は平均 6.0、標準偏差 2.3 であった。「冷静さ」を尋ねた「落ち着いて行動できましたか?」という質問の得点は平均 7.0、標準偏差 1.8 であった。「臨場感」を尋ねた「避難状況に臨場感が出ていましたか?」という質問の得点は平均 3.3、標準偏差 1.7 であった。

表 1 仮想群衆の表示が被験者に与える影響の調査

Table 1 Questionnaire about effect of evacuee agent.

	仮想群衆 表示	仮想群衆 非表示	特に 違いなし	影響を 受けた割合
どちらがうまく 避難できたか	9 人	4 人	9 人	13/22= 59%
どちらが冷静に 避難できたか	4 人	9 人	9 人	13/22= 59%
どちらの避難に 臨場感があったか	7 人	1 人	14 人	8/22= 36%

表 2 避難時の経路選択の基準に関するインタビュー（A, B が 1 組目のインタビュー, C, D, E が 2 組目のインタビュー）

Table 2 Interview about factors of route selection.

インタビュアー：目的地に向かう際に、何を基準に通る道を選びましたか？  
 被験者 A：わかりやすい道と、なるべく最短経路を選ぶようにしました。あと、1 回目は、仮想群衆ですか？あれが歩いていないところを選ぶようにしました。（インタビュアー：わかりやすい道とは具体的にどのような道ですか？）大きい道ですね、基本的には。  
 被験者 B：僕は、最短経路と、さっきの方とは逆なんですけど、群衆がいる方がいい道なのかなと思ってそっちを選ぶようにしました。  
 被験者 C：えっと、一番は最短経路らしい道ということと、あとは通れない道、赤いパターンですね。それと 1 回目は人の多さです。ごちゃごちゃしている方は面倒くさそうだから少ない方を通ってみようという感じで道を選びました。  
 被験者 D：私も前の方とほとんど同じなんですけど、あと、道の中で自分が通ったことのある道があればそこを通るようにしました。  
 被験者 E：私も最短経路に近いようにということと、あと曲がる角が少ないように、なるべく直線が多くて迷わないようにということと、あとその人の多さというのが気になったんで、本当に、実際に人がいたらただその後を付いていったと思うんですけど、そういうわけじゃなくて単にああ、人がいるという感じだったんで、なるべくそういう人の行けそうな太い道を選ばず、さっさと逃げられそうな細い道で行きました。

### 6.4 インタビュー結果

実験後のインタビューでは、「システムを用いてスムーズに避難できたか」、「配信した情報は見やすかったか」、「経路選択の際にどのような情報を参考にしていたか」について尋ねた。以下では、仮想群衆の影響がみられた経路選択に関するインタビューについて説明する（表 2）。

インタビューを受けたすべての被験者は、経路選択に際して、他の避難者の動きを意識したと回答した。被験者 A, C, D は、避難者が少なく表示された経路を選び、被験者 B は

## 7 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

まったく逆に、避難者が多く表示された経路を避けたと回答した。被験者 E は、実際に人が見えている場合と仮想群衆が見えている場合で違う行動をとったと発言している。

被験者 E の発言は、本実験における経路選択は、実際の大規模な被験者実験における経路選択とは異なる方針であったことを意味している。しかし、このインタビュー結果は、提案する実験環境を用いることで、少人数の被験者らに大群衆の中でのシステム利用を体験させ、その状況下における意志決定を分析できることを示している。

### 6.5 考 察

拡張実験の 1 つの目的は、被験者に群衆中のシステムの体験を想起させることである。6.3 節のアンケートは、仮想群衆の提示は、避難行動の「巧拙」や「冷静さ」、実験状況の「臨場感」に関しては、3 分の 1 から 3 分の 2 程度の人にしか影響を与えられなかったという結果だった。それに対して、6.4 節のインタビュー結果は、仮想群衆の提示が被験者の経路選択に影響を与えていることを示すものだった。つまり、避難中の経路選択という問題において、仮想群衆を被験者に見せることにより、実験の臨場感を増加させることはできなかったが、被験者の意志決定には影響を与えられたといえる。

拡張実験のもう 1 つの目的は、超越型インタフェースを用いて、群衆全体を分析する視点から実験を観測することである。このとき、仮想空間上を行動する 1 体 1 体のエージェントが被験者の代理としての性質を十分に備えていなければ、仮想群衆の全体の行動結果を解析する意味は乏しい。

インタビュー結果で得られたように避難者は周辺の人間の動きを意識して行動するはずであるが、今回実装したエージェントは周辺の人間の振舞いを考慮して経路を選択する能力を備えていなかった。そのため、群衆の全体の振舞いは、実際の大規模実験とはかけ離れたものとなっていると予想される。しかし、群衆中でどう振る舞うか分からないユーザのモデルを事前に準備することは困難である。そこで、拡張実験により得られた行動ログやインタビュー結果を用いることで、順次、エージェントモデルを精練していくプロセスが考えられる<sup>3)</sup>。

通常の狭い範囲の被験者実験ではカメラにより実験の一部始終を記録可能である。また、仮想空間で行われるシミュレーションではアバタの操作系列を詳細に記録可能である。それに対して、屋外の社会情報システムの実験では、その規模の大きさのため被験者の行動を記録するコストが高くなるという問題が起こる。今後は、限られたログを用いて、エージェントモデルを精練する方法を検討する必要がある。

## 7. おわりに

人を含んだ大規模な社会情報システムを開発する際には、利用者全体の移動効率のような群集視点の分析と群衆中の利用者の振舞いのような個人視点の分析が必要である。しかし、大人数による被験者実験のコストは非常に大きい。我々は、少人数の被験者により大規模な社会情報システムの分析をすることを目標として、以下の 2 つの課題に取り組んだ。

### ● 大規模社会情報システムを分析する環境の設計

大規模社会情報システムを分析する環境として、現在広く普及している GPS 携帯端末とエージェント技術を用いることで、仮想空間のマルチエージェントシミュレーションと現実空間の実験を結びつける環境を設計した。

### ● 実問題への適用

大規模避難誘導システムの実験を拡張できる環境を実装した。その環境を使って実験を行い、仮想群衆の提示により被験者の経路選択に影響を与えられることを確認した。大規模な社会実験を、多数の人を動員することなく実現するためには、群衆全体の行動分析ができること、実験参加者に群衆中の行動を想起させることの 2 つが必要である。

群衆全体の行動の分析には、より再現性の高いシミュレーションが必要である。そのため、群衆中で行動するエージェントのモデルをより正確にする必要がある。拡張実験で得られる結果を利用してエージェントモデルを精練することで、より効果的な拡張実験の環境を作り出すことができる。

避難誘導の実験において、少数の被験者実験にもかかわらず、被験者に群衆が存在する状況下における意志決定を想起させることができた。今後の課題は、実験に参加する被験者とエージェントの割合を変えた実験を行うことで、人間の群衆とエージェントからなる仮想群衆の差を明確にすることである。人間の被験者だけが参加する統制実験の結果とエージェントを加えた拡張実験の結果を比較することで、拡張実験の効果を定量的に評価したい。

謝辞 KDDI 研究所森川大輔氏の実験協力に感謝する。本研究は、日本学術振興会科学研究費基盤研究 (A) (18200009, 2006-2008)、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (2005-2007) の補助を受けた。

## 参 考 文 献

- 1) Yamashita, T., Izumi, K., Kurumatani, K. and Nakashima, H.: Smooth traffic flow with a cooperative car navigation system, *AAMAS-05*, pp.478-485 (2005).

8 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難誘導実験の拡張

- 2) Noda, I., Ohta, M., Shinoda, K., Kumada, Y. and Nakashima, H.: Evaluation of Usability of Dial-a-Ride Systems by Social Simulation, Vol.2927, pp.167–181 (2004).
- 3) Ishida, T., Nakajima, Y., Murakami, Y. and Nakanishi, H.: Augmented Experiment: Participatory Design with Multiagent Simulation, *IJCAI-07*, pp.1341–1346 (2007).
- 4) Guyot, P., Drogoul, A. and Lemaitre, C.: Using emergence in participatory simulations to design multi-agent systems, *AAMAS-05*, pp.199–203 (2005).
- 5) Drogoul, A., Vanbergue, D. and Meurisse, T.: Multi-agent Based Simulation: Where Are the Agents?, *MABS-02*, pp.1–15 (2002).
- 6) Ito, H., Nakanishi, H. and Ishida, T.: An Analysis of Location-based Remote Instructions by Transcendent Communication, *IPSI Journal*, Vol.48, No.3, pp.125–132 (2007).
- 7) Nakanishi, H., Koizumi, S., Ishida, T. and Ito, H.: Transcendent communication: Location-based guidance for large-scale public spaces, *CHI-04*, pp.655–662 (2004).
- 8) Nakajima, Y., Shiina, H., Yamane, S., Yamaki, H. and Ishida, T.: Caribbean/Q: A Massively Multi-Agent Platform with Scenario Description Language, *SKG-06*, p.26 (2006).
- 9) Ishida, T.: Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents, *IEEE Computer*, Vol.35, No.11, pp.42–47 (2002).
- 10) Murakami, Y., Ishida, T., Kawasoe, T., et al.: Scenario Description for Multi-Agent Simulation, *AAMAS-03*, pp.369–376 (2003).
- 11) Yamamoto, G. and Tai, H.: Performance evaluation of an agent server capable of hosting large numbers of agents, *AGENTS-01*, pp.363–369 (2001).

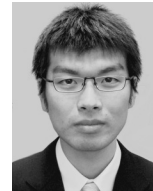
(平成 19 年 9 月 7 日受付)

(平成 20 年 2 月 5 日採録)



中島 悠

平成 18 年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了。現在，同博士課程在学中。平成 18 年日本学術振興会特別研究員 (DC1)。大規模マルチエージェントシステム，マルチエージェントシミュレーションに関心を持つ。



椎名 宏徳

平成 18 年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年富士通株式会社入社。大規模ナビゲーションシステムに興味を持つ。



服部 宏充 (正会員)

平成 16 年名古屋工業大学大学院博士課程修了。博士 (工学)。平成 16 年日本学術振興会特別研究員 (PD)。リバプール大学，マサチューセッツ工科大学客員研究員を経て，平成 19 年京都大学大学院情報学研究科助教。マルチエージェントシステム，意思決定支援に興味を持つ。



八橋 博史 (正会員)

平成 11 年京都大学大学院情報学研究科博士課程修了。博士 (情報学)。京都大学大学院情報学研究科助手，同講師を経て，現在，名古屋大学情報連携基盤センター准教授。マルチエージェントシステムおよびネットワーク応用に興味を持つ。



石田 亨 (フェロー)

昭和 53 年京都大学大学院情報工学専攻修士課程修了，日本電信電話公社電気通信研究所入所。工学博士。IEEE フェロー。情報処理学会フェロー。現在，京都大学大学院情報学研究科教授。マルチエージェントシステム，Semantic Web 技術に関心。デジタルシティ，異文化コラボレーションプロジェクトを推進。