

マルチエージェントシミュレーションを利用した 大規模ナビゲーション

椎名宏徳 中島悠 八槇博史 石田亨
京都大学情報学研究科社会情報学専攻

携帯電話の普及・高機能化に伴い、大都市における避難訓練や交通制御など、100万人の大群衆を誘導するようなシステムが実現できる環境が整いつつある。本研究では、群衆一人一人の判断・行動に着目したマイクロシミュレーションにより、群衆行動を解析し、大規模ナビゲーションシステムの実現を目指す。そのためには、100万体のエージェントを動作させる環境と、100万体のエージェントのモデリングが必要になる。そこで、大規模エージェントサーバ Caribbean とシナリオ記述言語 Q を利用して、大規模シミュレーション環境を構築する。個々のエージェントのモデル化は、参加型シミュレーションによって行う。

Development of Mega-Scale Navigation Based on Multiagent Simulation

Hironori Shiina, Yuu Nakajima, Hirofumi Yamaki and Toru Ishida
Department of Social Informatics, Kyoto University

Systems to navigate a crowd of million people will realize by popularization and improvement of mobile phones. The purpose of this research is to develop the mega-scale navigation system. For this purpose, we analyze decision and action of each of the crowds by the micro-simulation. We need the platform where million agents act and the method to model agents. We combine the Caribbean which is the mega-scale agent server and the scenario description language Q to develop the platform. We model agents by referring to action of humans in the participatory simulation.

1 はじめに

ユビキタス環境において、携帯端末を利用して、誰もがあらゆる場所から情報サービスを利用するようになりつつある。特に、携帯電話は高機能化が進んでおり、ユビキタス社会の身近な端末として、広く利用されると考えられる。携帯電話からの 110 番、119 番通報の増加を受け、携帯電話に GPS 機能が標準的に搭載されることが検討されており、位置情報を利用したサービスが盛んになると予想される。特に、大群衆を適切に誘導するようなサービスは有用であると考えられる。たとえば、テーマパークにおける訪問希望調査や交通の移動経路調査について、ユーザ間の社会的調整を

行い、全体の効率化を図る群ユーザ支援[1]のための解析が行われており、この解析結果をサービスとして提供するためのアーキテクチャとして CONSORTS の開発が行われている[2].

本研究では、位置情報を利用して、100万人規模の大群衆を誘導するようなシステムの構築を目指す。このような大規模ナビゲーションの例としては、大都市における避難訓練や交通制御といったサービスが挙げられる。大群衆の誘導方法は、誘導者が、群衆の位置と環境の常識を把握して、群衆に指示を送るという形式を考える。ここで、100万人規模の人間に個別に指示を与えることは不可能である。指示誘導の方法は、一定範囲の群衆に対して、同一の指示を送るものにな

る。

大規模ナビゲーションシステムを構築するためには、誘導により群衆がどのような行動をとるのかを分析する必要がある。しかし、実際に 100 万人の大群衆を用意して実験を行うことは不可能である。そこで、シミュレーションにより、大規模ナビゲーションにおける群衆の行動を解析する。群衆行動を解析するためのシミュレーション技術には、群衆全体をモデル化し、解析を行うマクロシミュレーションと、群衆の中の各個体の判断・認識をモデル化することで群衆全体を解析するマイクロシミュレーションの二種類がある。大規模ナビゲーションにおいて、すべての人が同一の指示に対して、同一の行動をとるわけではない。年齢などの属性などにより、行動は異なる。そこで、100 万人の群衆の一人一人をエージェントとしてモデル化し、マイクロシミュレーションを行う。

このようなシミュレーションを行うためには、100 万体のエージェントを処理できるようなシステムが必要である。まず、一つ一つのエージェントをシナリオによって並列制御するために、シナリオ記述言語 Q を利用する。 Q のシナリオには、各エージェントの判断・行動を状態遷移モデルで記述する。しかし、従来の Q の処理系では、一体のエージェントごとにスレッドを占有するため、100 万体のエージェントを制御することは不可能である。そこで、大規模エージェントサーバ Caribbean を利用して、多数のエージェントを制御する。Caribbean では、スレッドの割り当てをイベントドリブンで行うことで、多数のエージェントを動作させることができる。また、エージェントを主記憶上で管理することにより、高速で処理を行うことが可能である。我々は Q 言語を用いて、Caribbean 上のエージェントを制御するシステムを開発している。この Caribbean/ Q を活用して、100 万体のエージェントを処理するシステムを構築する。

個々のエージェントは、年齢などの属性を設定し、それに基づいた判断・行動をモデル化する。モデル化された判断・行動は、 Q 言語のシナリオとして記述する。しかし、100 万体のエージェントのシナリオを個別に設計することは不可能である。そこで、群衆を数種類に分類し、シナリオを設計する。エージェントのシナリオ設計は、文献等を調査することで、ある程度は設計できる。本研究では、エージェントのシナリオ設計にマルチエージェントシミュレーションを利用する。通常マルチエージェントシミュレーションを、エージェントの一部を人間に置き換えて行う、参加型

シミュレーションを実施する。マルチエージェントシミュレーションを利用した、社会システムの開発手法として、社会中心設計が考案されている[4]。参加型シミュレーションは、社会中心設計における手法の一つである。エージェントを利用することで、参加する人間に対して、群衆の中で行動している状況を仮想的に作り出す。これにより、参加者は、実際に群衆の中で振舞うように行動する。参加型シミュレーションにおける人間の行動と同様の行動をとるようにエージェントのシナリオ設計を行う。

以下、2 章では、本研究で大規模ナビゲーションシステムについて説明し、構築のために必要な要件について述べる。3 章では、100 万体のエージェントを処理する環境構築について述べ、4 章では、エージェントのモデリングについて考察する。5 章では、3、4 章に基づいて実装した避難訓練システムを紹介し、6 章にて、今後の課題を挙げる。

2 目的

この章では、大規模ナビゲーションシステムの機能について説明し、システム構築のために必要なシミュレーション環境について述べる。

2.1 大規模ナビゲーションの方法

100 万人の群衆を誘導するためのシステムとして、誘導者が、地図インタフェースを用いて、群衆に指示を出すというシステムを考える。画面には、広域の地図が表示されており、利用者の GPS 端末から測位・発信された位置情報が表示される。

誘導者は、群衆の位置と周囲の状況を把握し、ポインティングデバイスを用いて、群衆に移動方向などの指示を与える。このとき、100 万人の利用者に対して、個別に指示を与えることは困難である。

また、GPS の精度の面でも、詳細な指示を送ることは難しい。GPS は、複数の衛星から電波を受信することで測位を行うため、衛星の電波を捕捉できない屋内や高い建物に囲まれた場所では、誤差が生じたり、利用できなかったりする。よって、GPS による測位結果を過信してはならない[8]。

そこで、地図上のある程度の範囲の利用者をまとめて選択して、同一の指示を一斉に与えるという誘導方法をとる。指示の内容は大まかに方向を示す程度のものになる。

```

(defscenario evacuation ()
  (offline ((?see :type "danger") (!avoid) (go offline))
    ((?see :type "shelter") (!evacuate) (go offline))
    ((?informed "warning") (go online))
    (otherwise (!wander) (go offline)))
  (online ((?see :type "danger") (!avoid) (go online))
    ((?see :type "shelter") (!evacuate) (go online))
    ((?informed :type "danger") (go dangerous))
    ((?informed :type "shelter") (go safe))
    ((?informed :type "direction") (!head) (go navigated))
    ((?arrive) (!end))
    (otherwise (!wander) (go online)))
  (dangerous ((?see "lost") (!navigate) (!avoid) (go online))
    (otherwise (!avoid) (go online)))
  (safe ((?see "lost") (!navigate) (!evacuate) (go online))
    (otherwise (!evacuate) (go online)))
  (navigated ((?see "lost") (!navigate) (!head) (go online))
    (otherwise (!head) (go online))))

```

図 1: 避難訓練の Q シナリオ

2.2 システム開発のためのシミュレーション環境

大規模ナビゲーションシステムを構築するためには、指示によって、群衆がどのように行動するかを解析する必要がある。しかし、実際に大群衆を使って実験を行うことは不可能である。このような、実際に実験を行うことが困難な状況を解析するためには、シミュレーションが広く用いられている。そこで、シミュレーションを行い、大規模ナビゲーションにおける群衆の行動を解析する。大群衆の行動をシミュレーションする方法には、マクロシミュレーションとマイクロシミュレーションの二種類が存在する。

マクロシミュレーションは群衆全体を一つにまとめてモデル化し、シミュレーションを行う手法である。たとえば、交通に関するシミュレーションでは、車両の流れを流体としてモデル化し、道路容量を調整することで渋滞を発生させるようなシミュレーションが行われている。

マイクロシミュレーションは、社会を構成する個体の一つ一つをモデル化し、個体同士のインタラクションの結果から集団全体の動きを予測するシミュレーションである[3]。代表的なマイクロシミュレーション手法にマルチエージェントシミュレーションがある。

大規模ナビゲーションでは、群衆が自分の置かれて

| キュー | |
|-----------|--|
| ?see | 周囲にある危険領域(danger), 避難場所(shelter), 迷っている人(lost)を観測する. |
| ?informed | 携帯端末により, ?see よりも広範囲の危険地帯, 避難場所の情報や, 避難すべき方向を知る. |
| ?arrive | 避難場所に到達したかどうか. |
| アクション | |
| !avoid | 危険領域を避けるように一定距離移動する. |
| !evacuate | 避難場所を目指して一定距離移動する. |
| !wander | 適当な方向へ一定距離避難する. |
| !head | 誘導された方向へ一定距離移動する. |
| !navigate | 周囲の人間を誘導する. |
| !end | 避難を終了する. |

表 1: 避難訓練のためのキュー・アクション定義

いる状況と、誘導者によって出された指示の両方の情報から判断して行動を行う。自身の身体的属性や目的に応じて、判断の基準も異なるため、同一の指示を受けても同じように行動するとは限らない。また、群衆間でのインタラクションも生じる。そのように、群衆一人一人の判断・行動や、群衆同士のインタラクションをモデル化する必要があるため、マイクロシミュレーションを実施する。すなわち、100 万体のエージェントを使ったマルチエージェントシミュレーションを実施する。

シミュレーションの解析結果をもとに、誘導インタフェースの評価や、誘導方法の改善、誘導のための戦略の構築などを行うことができる。シミュレーションとシステムの改善を繰り返すことで、ナビゲーションシステムを構築する。

通常、マイクロシミュレーションは比較的小さな領域内での分析を行うために用いられているので、大都市の群衆を扱うようなマイクロシミュレーションを実行する場合、新たな環境を構築しなくてはならない。そのため、100 万体のエージェントを制御できるシミュレーション環境を構築する。また、100 万体のエージェントの行動モデルを適切に設計しなくてはならない。

3 エージェントの動作環境

本章では、マルチエージェントシミュレーションを実施するために、100 万体のエージェントを処理する環境を構築する。環境構築には、大規模エージェントサーバ Caribbean と、シナリオ記述言語 Q を利用する。

3.1 Q 言語

大規模ナビゲーションのためのシミュレーションでは、エージェントを一つずつシナリオに沿って行動さ

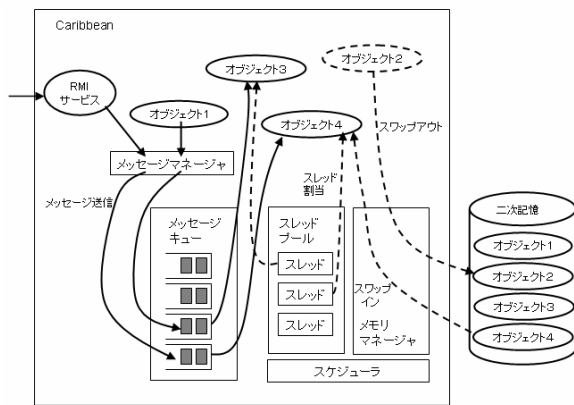


図 2 : Caribbean

せなくてはならない。そのためにシナリオ記述言語 Q を利用する。 Q 言語は、各エージェントにシナリオに沿った依頼を送り、多数のエージェントを並列に制御するための言語である[7]。 Q のコマンドはキューとアクションから成る。キューはエージェントに対して、アクションのきっかけとなるイベントの観測を依頼する。アクションは、行動の実行を依頼する。 Q のシナリオは、キューによる観測を並列に実行し（ガード付コマンド）、観測されたイベントに応じてアクションを実行し、次の並行観測を行うという、状態遷移モデルで記述される。

エージェントは、周囲の状況および誘導者からの指示を観測し、観測した内容に基づいて行動を起こす。たとえば避難訓練のためのエージェントのシナリオは次のように記述できる。初期状態のエージェントは、携帯端末の誘導アプリケーションを実行していないため、自分の目に入るイベントを観測し、行動する。たとえば、火災などの危険区域があれば避けて避難をするし、避難場所が見えればそこへ向かって避難する。誘導者側から警報が通知されるとアプリケーションを起動する。この状態では、視覚による観測に加えて携帯端末に通知される情報を観測して行動することになる。避難する方向が指示されれば、その方向へ非難する。このようなシナリオを Q 言語で記述すると図 1 のようになる。ここで、キュー・アクションは表 1 のように定義されている。

3.2 Caribbean

大規模なマルチエージェントシミュレーションを実施するためには、100 万体のエージェントのデータを管理するための環境も必要である。近年、大規模なエージェント処理環境の研究が進められている[5]。本研

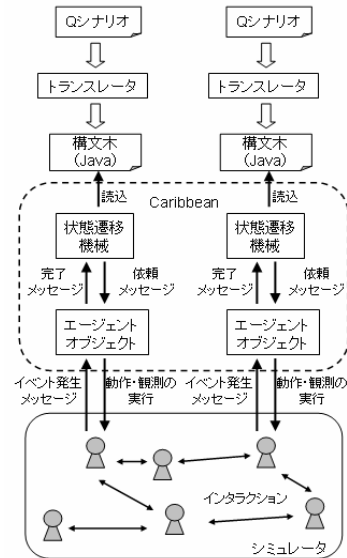


図 3 : Caribbean/Q によるエージェント制御

究では、エージェントサーバ Caribbean を利用する。

Caribbean は、IBM によって開発された、Java で動作する大規模エージェントサーバである[6]。Caribbean では、大量のエージェントを管理することが可能である。

図 2 に Caribbean の概観を示す。エージェントは Caribbean オブジェクトとして実装される。100 万体のエージェントを処理する際に、すべてのエージェントを並列に動作させることは、現実的でない。Caribbean では、すべてのオブジェクトが並列に動作するのではなく、イベントドリブンによりスレッドを割り当てられたオブジェクトのみが動作する。エージェントはメッセージを受け取ることで、Caribbean 内のスケジューラからスレッドを割り当てられメソッドを実行する。多数のオブジェクトが一斉にメッセージを送信しようと、処理が間に合わなくなってしまう。そこで、Caribbean は、同時実行できるスレッドを制限し、スケジューラにより効率的な割り当てを行っている。

多数のエージェントを管理するためには、Caribbean を利用する以外に、DBMS を利用する手法も考えられる。Caribbean は、DBMS のような汎用性はないものの、エージェントモデルに特化した設計になっているため、直観的にエージェントシステムを構築することが可能である。また、Caribbean では、オブジェクトをできる限り主記憶上に配置する（配置しきれないオブジェクトは二次記憶へ移される）ため、DBMS に比べて高速にエージェントのデータにアクセスすることができる。

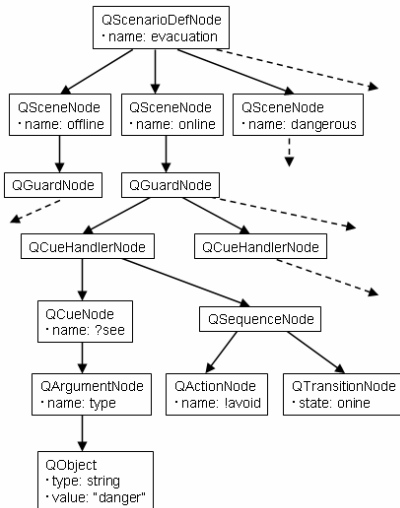


図 4：避難訓練シナリオの構文木

3.3 Caribbean/Q

Caribbean 上のエージェントを, *Q* 言語を利用して制御するために Caribbean/Q が開発されている[9].

従来の *Q* の処理系では, 一体のエージェントを制御するために一つのスレッドを占有してしまい, 100 万体的エージェントを制御することはできない. そこで, *Q* の処理系を Caribbean 上に構築することで, イベントドリブンの *Q* 処理系を作成する. これにより, *Q* 言語のシナリオによって Caribbean 上のエージェントを制御する. Caribbean/Q におけるエージェント制御の概観を図 3 に示す. まず, *Q* 言語で記述されたシナリオ (*Q* シナリオ) を, Java のオブジェクトで構成された構文木へとトランスレータにより変換する. たとえば, 図 1 で示したシナリオは図 4 のような Java による構文木に変換される. この構文木を読んで, 状態遷移する状態遷移機械を Caribbean オブジェクトとして作成する. 状態遷移機械は, シナリオに沿って, エージェントに対して観測や動作の依頼メッセージを送信する. 状態遷移機械から依頼メッセージを受けることでエージェントはキューやアクションを実行し, 実行終了後に完了メッセージを状態遷移機械に返す. 完了メッセージを受けた状態遷移機械が次の依頼メッセージを送り, その繰り返しにより, エージェントをシナリオに沿って制御している.

また, エージェントが他のエージェントや環境とインタラクションを行う場として, シミュレータを実装する. エージェントの行動はシミュレータに反映され, 他のエージェントに影響を与える. シミュレータ内でイベントが発生した場合, エージェントにメッセージ

が送信され, 観測を行っているエージェントはイベントの発生を知ることになる.

大規模ナビゲーションのためのシミュレーションでは, エージェントはシミュレータ上の仮想空間を移動する. 誘導者は, 仮想空間を鳥瞰し, エージェントに対して指示を行う. 指示を受けたエージェントは, 指示を観測し, シナリオに記述された行動をとる.

3.4 大規模シミュレーションの実現

Caribbean/Q では, スケジューラのスレッド割り当てにより, 動作させるエージェントを切り替えることで, 多数のエージェントを制御している. しかし, 1 秒間に処理できるプロセス数は数千程度であり, 100 万体的エージェントをすべて同時に動作させることは難しい. よって, Caribbean/Q をさらに応用して, 大規模なマルチエージェントシミュレーションを行う方法を検討しなくてはならない.

大規模ナビゲーションのシミュレーションは, 高速演算によりデータを計算するというものではない. 誘導によって, エージェントがどういった行動をとるかを予測するためのものである. よって, シミュレーションの実行中に誘導者がエージェントに対して誘導を行うため, シミュレーションはリアルタイムで進行する. また, 誘導者が同時に 100 万体的エージェント全てを把握して, 誘導を行うことは困難である. そこで, シミュレーションは, ある一定領域ごとに行えればよい. よって, 一度に誘導できる領域内のエージェントのみを Caribbean/Q によって動作させ, その繰り返しによって, 100 万体的エージェントを用いたシミュレーションを実現するといった方法が考えられる. もしくは, 誘導を行っている範囲外のエージェントを簡略化して処理する方法なども考えられる. このような Caribbean/Q の局所的利用を行うためのアーキテクチャを設計しなくてはならない.

4 エージェントのモデル化

マルチエージェントシミュレーションにおいて, エージェントのモデル化は重要な課題である. 実際の人間とまったく異なる行動をするエージェントを使っている, シミュレーションの予測結果が無意味なものになってしまう. 本章では, エージェントをいかに人間に似せてモデル化するかという点について考察する.

4.1 初期設計

先に述べたように, 人間の行動は個々の身体的属性

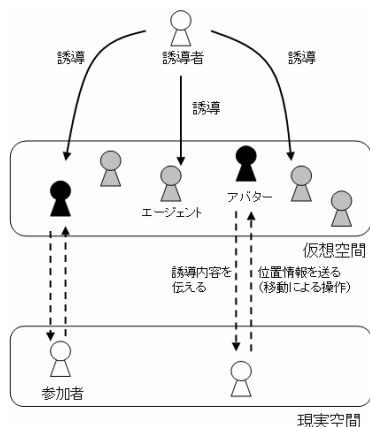


図 5：参加型シミュレーション

や環境によって異なる。群衆それぞれに、役割を設定し、それに応じたモデル化が必要である。本研究では、*Q* 言語によってシナリオを記述することでエージェントのモデル化を行う。しかし、100 万体のエージェントに対して、個別にシナリオを用意することは不可能である。よって、群衆を数種類の役割に大別して、シナリオを設計することになる。たとえば、京都市における交通シミュレーションを考える場合、観光客、通勤者、住人といった役割を群衆に割り当てることになる。

まず、文献による調査や、誘導を行う分野の専門家に尋ねることで、シナリオを設計する。こうして作成されたシナリオを使って、実際にマルチエージェントシミュレーションを実行する。その結果、エージェントが不自然な行動をするようであれば、シナリオの再設計を行う。このように、マルチエージェントシミュレーションを繰り返すことで、シナリオの設計を行うことができる。

4.2 参加型シミュレーションの利用

実際にナビゲーションを行う中で、人間がどう行動するかを参考にしてシナリオを設計するほうがより正確なシナリオを作成できると考えられる。しかし、人間を利用して大群衆の実験を行うことは非常に困難である。そこで、マルチエージェントシミュレーションを応用した参加型シミュレーションを利用して、シナリオの改良を行う。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において、エージェントの一部を人間が操作するアバターに置き換えて行うシミュレーションである。

本研究では、参加者は GPS を搭載した携帯端末を所持して、現実空間で行動する。このような参加型シ

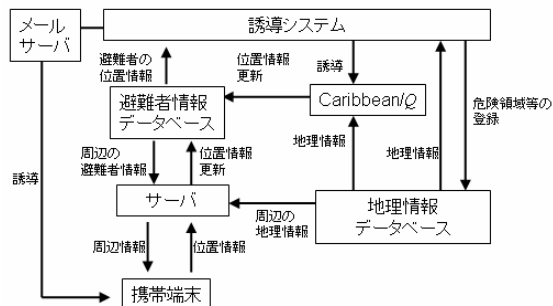


図 6：避難訓練システムの構成

ミュレーションは図 5 のようになる。仮想空間のアバターの位置は、参加者の端末から送信される位置情報を反映して決まる。すなわち、参加者は現実空間で移動することで、アバターを操作する。参加者には、自分がどういった立場で行動するかのみを指示し、シミュレーションの中では自分の判断で行動してもらう。仮想空間では、Caribbean/Q によって制御されるエージェントと、ユーザによって操作されるアバターが同時に行動する。参加者には、携帯端末を通じて、仮想空間内の情報が提供される。誘導者は、アバターとエージェントを合わせた大群衆へ向かって誘導を行う。アバターに対する指示は、現実空間の参加者へと伝えられ、参加者は、指示をもとに行動する。

実際に参加者に現実空間で行動してもらうことで、利用者のインタフェースの評価実験を行うことができる。しかし、参加型シミュレーションの最も大きな目的は、シミュレーションにおける参加者の行動を解析し、シナリオ設計に利用することである。参加者の行動とエージェントの行動が異なる場合、エージェントのシナリオを参加者の行動に近づくように修正することで、エージェントを洗練することが可能である。そのためには、参加者の行動をどのように記録・分析するかといった点について、考慮しなくてはならない。

5 実装

我々は、避難訓練を題材に、参加型シミュレーションを行うための小規模なシステムを実装している。人間を参加させなければ、通常マルチエージェントシミュレーションを行うことができる。

5.1 システム構成

システムの構成は図 6 のようになっている。人間の参加者は、GPS 付きの携帯端末を持って、現実空間で避難訓練を行う。ここでは、携帯電話ではなく、ノー

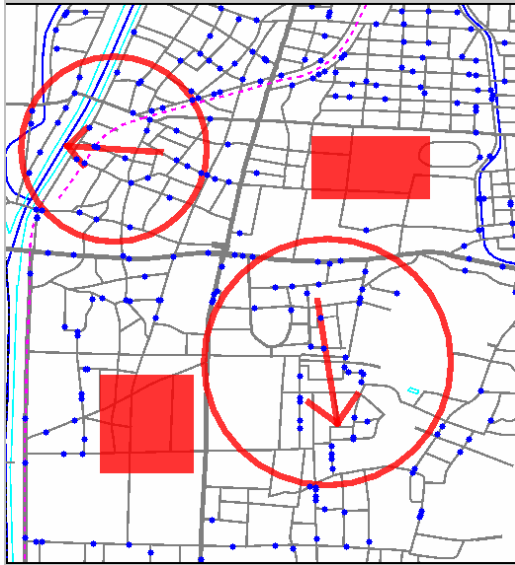


図 7: 誘導インタフェース

トパソコンを利用する。参加者の持つ携帯端末からは、定期的に位置情報が送信される。位置情報を受信したサーバはデータベース上の参加者の位置情報を更新し、参加者に対して、周囲の地図画像を送信する。シミュレーションの舞台となる仮想空間は地理情報データベースをもとに構築されている。アバターは、データベース上の参加者の位置情報に応じて、仮想空間上を移動する。エージェントは Caribbean/Q によって制御され、仮想空間上で行動する。エージェントの位置情報も定期的にデータベースに送られる。誘導者のシステムでは、アバターとエージェントの位置情報が地図上¹に表示され、ポインティングデバイスを用いて、指示を送る。

5.2 誘導者の環境

誘導者のシステムでは、広域の地図が表示され、アバターとエージェントの位置を鳥瞰できるようになっている (図 7)。

誘導者は、ポインティングデバイスを利用して、アバターとエージェントに対して指示を出す。大規模ナビゲーションにおいては、個別に指示を出すことは不可能であるため、複数の利用者に同一の指示を送ることになる。このような指示方法を効率的に行うためのインタフェースを設計しなくてはならない。このシステムでは、誘導者は複数のアバターを選択して、メールを送信することで、指示を送ることができるようになっている。メールは実際に参加者の携帯端末へと送

信される。エージェントに対しては、地図上に矢印を描くことで、避難方向を指示する。これが、参加者に対してメールを送る行為に該当する。

また、火災など危険な地域に関する情報を地図上に矩形を描いて記録することや、避難場所を地図上に指定することが可能である。これらの情報は参加者に送信される地図画像にも反映される。

5.3 参加者の環境

参加者は、GPS を搭載した携帯端末を持って、現実空間で避難訓練を行う。携帯端末は、定期的に GPS による測位を行い、位置情報をサーバへ送信する。サーバからは、周辺の状況が送信される。携帯端末には、現在地の周辺の地図が表示され、周囲にいるエージェントの位置や、危険領域、避難場所などの情報が地図上に載せられている。また、誘導者からの指示がメールによって配信される。参加者は、地図に記載された情報と、誘導者からの指示をもとに判断を行い、避難する。

5.4 エージェントの環境

シミュレータでは、Caribbean/Q に制御されたエージェントが避難行動を行う。現在のシステムでは、数千体のエージェントを限られた領域内で動作させているのみである。

エージェントは、携帯端末を所持しており、自分の周辺の情報や、誘導者からの指示を受信できるようになっている。よって、地図上に描画された危険領域を避けるように移動したり、近くにある避難場所を目指して移動したりする。また、誘導者による指示を受けた場合 (地図上に矢印を描かれた場合)、その方向へと移動する。

5.5 シミュレーションの実施方法

このシステムを使った参加型シミュレーションの実施方法を示す。

1. シミュレーションの実施前に、どのような災害が発生するかを想定し、火災などによる危険領域が発生するタイムテーブルを作成する。また、参加者に対して、携帯端末の使い方や、実験の内容について説明する。エージェントと参加者の初期配置を決定し、参加者にその位置で待機してもらう。
2. シミュレーションが開始すると、災害が発生したことを通知するメールが一斉に送信される。メールを受け取った参加者は、携帯端末からアプリケ

¹ 国土地理院発行の数値地図 25000 (空間データ基盤) 利用。

ーションを起動して位置情報の送信を開始する。携帯端末には、周辺の情報が表示され、これを見ながら参加者は避難を開始する。エージェントもシナリオに沿って行動を開始する。

3. あらかじめ作成しておいたタイムテーブルに沿って、誘導者は地図上に危険領域を描画する。また、誘導者は避難場所を設定し、危険領域を避け、避難場所に到達するようアバター、エージェントに指示を出す。参加者とエージェントは情報をもとに避難場所を目指す。避難場所に到達した参加者、エージェントは避難終了となる。
4. 訓練終了後、シミュレーションの分析を行う。分析をもとにエージェントのシナリオを改良する。

6 おわりに

本稿では、100万人規模の大規模ナビゲーションシステムを、マルチエージェントシミュレーションを利用して開発する方法について述べた。100万体のエージェントを用いたシミュレーション環境は大規模エージェントサーバ Caribbean とシナリオ記述言語 Q を利用することで構築できる。また、個々のエージェントのモデル化は、参加型シミュレーションの結果を解析することで行うことができる。こうして精錬されたマルチエージェントシミュレーションを利用して、群衆の行動を解析しながら、大規模ナビゲーションシステムの開発を行う。

今後は、3章で述べた Caribbean/ Q を応用した100万人体規模のエージェント制御と、4章で述べたエージェントのシナリオを設計する手順の開発が大きな課題となる。

また、ナビゲーションシステムについて、大群衆の状況を把握するための可視化技術や、効率のよい誘導のためのインタフェースに関しても、研究を行う。

現在、参加型シミュレーションを試験的に行うための避難訓練システムを実装している。このシステムによって、小規模な実験を行い、その結果を大規模化のために利用する予定である。

参考文献

- [1] 車谷浩一. 群ユーザ支援 - ユビキタス情報環境を用いた社会的調整サービス. 情報処理学会研究報告, Vol.2004, No.29, 2004-ICS-135, pp.65-70, 2004.
- [2] 車谷浩一. ユビキタスエージェントのためのア

ーキテクチャ CONSORTS - 群ユーザ支援に向けて, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 603, pp.13-17, KBSE2002-36, 2003.

- [3] P. Waddell, A. Borning, M. Noth, N. Freier, M. Becke and G. Ulfarsson. Microsimulation of urban development and location choices: Design and implementation of UrbanSim. *Networks and Spatial Economics*, 3(1):43-67, 2003.
- [4] Toru Ishida. Society-Centered Design for Socially Embedded Multiagent Systems. *International Workshop on Cooperative Information Agents (CIA-04)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3191, pp. 16-29, 2004.
- [5] L. Gasser and K. Kakugawa. MACE3J: Fast Flexible Distributed Simulation of Large, Large-Grain Multi-Agent Systems. *International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-02)*, pp. 745-752, 2002.
- [6] H. Tai and G. Yamamoto, An Agent Server for the Next Generation of Web Applications, *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, pp. 717-721, 2000.
- [7] Toru Ishida. Q : A Scenario Description Language for Interactive Agents. *IEEE Computer*, Vol.35, No. 11, pp. 42-47, 2002.
- [8] M. Flintham, R. Anastasi, S. Benford, T. Hemmings, A. Crabtree, C. Greenalgh, T. Rodden, N. Tandavanitj, M. Adams And J. Row-Farr. Where on-line meets on-the-streets: experiences with mobile mixed reality games. In *Proceedings of the 2003 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 596-576, 2003.
- [9] 中島 悠, 椎名宏徳, 山根昇平, 山本晃成, 石田 亨. 大規模マルチエージェントシミュレーションのためのプラットフォーム構築. 合同エージェントワークショップ & シンポジウム (JAWS2004), pp. 59-65, 2004.