

# マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーション における情報伝達の有効性

村木 雄二<sup>†</sup> 狩野 均<sup>‡</sup>

マルチエージェントモデルを用いて、災害避難シミュレーションを行った。道路をセルの列で表し、エージェントの群集密度をセルの状態として表現することで、広域シミュレーションを可能とした。また、カーナビで用いられているデジタル地図を利用することで、日本全国の任意の地域に対してシミュレーションを行うことができる。神戸市とつくば市を対象に、エージェントへの避難誘導が避難結果に与える影響について考察した結果、エージェント間の情報伝達は、エージェントの知識所持率、伝達率、避難者数が大きい場合、特に有効であるという結果を得た。

## The Effectiveness of Communication on Wide Area Simulation of Disaster Evacuation Using Multiagent Model

Yuji Muraki Hitoshi Kanoh

We simulated the disaster evacuation using multiagent model. The broad simulation was made possible by describing the line of the cells as roads and using the state of each cell as the density of the agents. Also, by using the data of the digital map that is widely used for car navigation systems enabled the simulation to be done in any region in Japan. In this research, the subject of the simulation was Kobe and Tsukuba and considered how the evacuation guide to the agents would effect the result of evacuation. From the result, communication among agents was effective, especially when the percentage of the number of refugees that know the location of refuges, percentage of transmission, the number of refugees were large.

### 1. はじめに

震災や火災、水害などの大規模な災害における防災の分野では、現実実験を行うことが困難であり、被害の規模の推定や防災計画の策定を行う際には、シミュレーションによってこれら进行评估・検討することが重要となっている。そこで近年、マルチエージェントモデルを用いて、災害時の住民の避難行動を分析する研究が広くなされている。

従来の研究では、室内など狭い空間を対象とするものや、特定の地域を対象とした汎用性の低いモデルを用いる場合が多い[1]。これに対して、本研究では、カーナビで用いられているデジタル地図データを利用したモデルを提案

し、日本全国の任意の地域に対してシミュレーションを行うことができるようにした。

本稿では、まず、災害避難の現状とエージェントのモデル化について述べ、最後に、神戸市とつくば市を対象とした実験結果について考察する。

### 2. 災害避難シミュレーション

#### 2.1 災害避難

##### 2.1.1 避難行動

住民の避難行動を、マルチエージェントモデルを用いて分析する場合には、避難住民をどのようにモデル化するかが重要となる。災害時の住民の行動特性は、以下のものであるといわれている[2]。

- ・大規模災害時には、大量の避難者が発生し、群集避難となる。
- ・災害時における避難は、家族を単位として行われる場合が圧倒的に多い。
- ・地域の間人間関係が緊密な地域では、近隣集団

<sup>†</sup>筑波大学大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup>筑波大学大学院 システム情報工学研究科  
コンピュータサイエンス専攻

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering, University of Tsukuba

<sup>‡</sup>Department of Computer Science, Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba

でまとまって避難する場合もある。

- ・歩行速度に影響を及ぼす要因として、避難者の群集密度、歩行目的、グループの人数、年齢などがある。
- ・他者の行動が避難行動に影響を与える。

### 2.1.2 避難誘導

大規模災害の発生時には、避難情報などを迅速に住民に伝えることが重要な課題である[3]。阪神・淡路大震災の被災地を対象に行ったアンケートによると、避難する際に役立つ情報、不足した情報という質問に対して、ともに最も多かった回答は「どこに避難したら安全か」という情報であったと報告されている[4]。

また、避難誘導の現状として以下のようなものが挙げられる[2,5]。

- ・避難誘導標識：各地域で指定された避難場所の位置や方向を示す。
- ・住民間の口頭による情報伝達：避難場所の情報をもっている避難者が、他の避難者に対して、口頭で情報を伝達する。
- ・誘導員による誘導：派遣された行政職員、消防職員などが避難者に対し、誘導を行う。

## 2.2 従来研究の問題点と本モデルの特徴

従来の研究では、広域のマップを用いて避難者が指定の避難場所へ避難するようなモデルや、実際の人口に即した数のエージェント数を伴うシミュレーションはあまり行われていない[6]。また、上記のような複数の避難誘導方式を導入した研究もほとんど見られない。

本モデルでは、以下のような特徴をもつ[8]。

- ・カーナビで用いられているデジタル地図(ナビ研S規格[7])を使用。
- ・避難者の群集密度をセルの状態として表現。

以上から、次のことが可能となった。

- ・日本全国の任意の地域に対する広域シミュレーション。
- ・対象地域の人口やその分布、避難場所の位置を現実 に即したシミュレーション。

また、2.1.1節で述べた事実に基づいて避難住民のモデル化を行い、2.1.2節で挙げた避難誘導方式をモデルに導入した。

## 3. 提案するモデル

### 3.1 セル

各道路を図1のように分割し、固有のIDをもったセルの列として表現する。各セルは、隣接するセルのIDや、現在そのセルに存在している避難者数などの情報をもっている。また、各セルの状態はそのセルの群集密度(人/m<sup>2</sup>)によって6段階で表される。

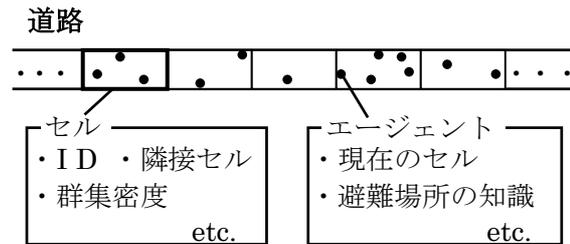


図1 セルとエージェント

### 3.2 エージェント

#### 3.2.1 避難者と誘導員のモデル化

本モデルでは、避難者と避難者に対して誘導を行う誘導員をエージェントとしてモデル化する。エージェントはセル上をルールに従って移動する(図1)。誘導員を表す誘導エージェントは、1エージェントが1人の誘導員を表す。また、2.1.1節で述べた避難住民の特性より、避難者の集団を1つの避難エージェントとして表現する。このため、エージェントには構成人数を表す1~5の値を与えた。

#### 3.2.2 避難エージェント

##### (1) 初期配置と避難開始

対象地域の人口分布を反映させて初期配置を行う。対象地域のマップを格子状に16分割し、分割された各地域内の人口から分布を決定する。また、災害発生直後から、4時間後までに全エージェントが避難を開始する。

##### (2) 保持する情報

避難場所の位置などの情報(知識)に関して、知識をもっていない状態を0、最寄りの避難場所の知識をもっている状態を1として、0、1のいずれかの値をもたせる。また、この他に、現在いるセルや次に進むセルのID、子供・老人を含むかなどの情報をもっている。

##### (3) 行動ルール

2.1.1節で述べた特性から、避難エージェントの行動ルールを以下のように定めた。エー

エージェントの歩行速度は、以下のような要因で決定され、1ステップで最大2セル進む。

- ・次に進むセルの群集密度
- ・避難場所の情報の有無
- ・エージェントの構成人数
- ・子供・老人を含むか

ただし、交差点を表すセルに差し掛かったときは、移動する速度を下げ、知識の有無に従って以下のように進行方向の選択を行う。

知識 0：ランダム，1：RTA\*アルゴリズム

また、避難エージェントは他のエージェントへの同調を行う。知識のないエージェントが、交差点に着いたとき、他のエージェントの半数以上が、自分の向かう方向以外の一方向（多数派の方向）へ向かっている場合、同調が行われる。同調を行うと、多数派の方向へ進行方向を変更するという処理を行う。

### 3.2.3 誘導エージェント

#### (1) 初期配置と誘導開始

各避難場所にランダムに初期配置を行う。災害発生後の30分後に、一斉に誘導を開始する。

#### (2) 保持する情報

現在いるセルのIDや、誘導を開始した避難場所のIDなどを情報としてもつ。

#### (3) 行動ルール

避難先を指示しながら移動することを考え、毎ステップ1セル移動する。誘導エージェントが交差点のセルに差し掛かったときは、基本的には隣接するセルのうち、エージェントの多い方を選択して進む。しかし、その交差点が、最初に配置された避難場所から2km以上の距離があり、かつ、他の避難場所へ避難する地域だった場合は、来た道を引き返す。

## 3.3 避難誘導方式

### (1) 避難誘導標識（以下、標識）

標識は以下のいずれかの条件を満たす交差点に設置される。

- ・避難場所から2つ先までの交差点
- ・避難場所から約1km以内の交差点

知識のない避難エージェントが標識のあるセルに着いた場合、そのセルに最寄りの避難場所の情報を得る。

### (2) エージェント間の情報伝達（以下、伝達）

同じセル内の知識所持率（知識をもっている避難者の割合）が高いほど、高確率で伝達が行

われる。知識をもっていないエージェントは、伝達が行われると、そのセルに最寄りの避難場所の情報を得る。（伝達率：同じセル内で自分以外の全てのエージェントが知識をもっている場合に伝達が行われる確率）

### (3) 誘導エージェント（以下、誘導員）

知識をもっていない避難エージェントは、同じセル内に誘導エージェントが存在する場合、一定の確率で最寄りの避難場所の情報を得る。また、まだ避難を開始していない避難エージェントは、同じセル内に誘導エージェントが存在する場合、一定の確率で避難を開始する。

## 4. 実験

### 4.1 実験条件

対象地域、範囲：神戸市、つくば市

約11,000(m)×9,000(m)

避難エージェント数（避難者数）：

神戸市…126,000（約378,000人）

つくば市…24,000（約72,000人）

誘導エージェント数：避難者数の1%

セルの基本長：20m 1ステップ：30秒

シミュレーションの終了：10時間後

### 4.2 実験結果と考察

#### (1) 避難誘導方式の比較

神戸市を対象に、知識所持率25%、50%、75%の3つの場合で、各避難誘導方式による誘導を行ったときの実験結果を表1に示す。数字は、各場合での平均避難時間(分)を示している。表1から次のことがわかる。

- ① 誘導を行わない場合と比較すると、避難誘導を行ったすべての場合において、平均避難時間が短縮されている。
- ② 3つの知識所持率に共通して、伝達率80%の情報伝達による誘導を行った場合が、最も平均避難時間を短縮している。
- ③ 知識所持率50%、75%のとき、標識による誘導より、情報伝達による誘導を行った場合の方が、平均避難時間が短くなっている。

また、知識所持率75%で実験を行った場合の、知識所持率の推移を図2に示す。図2のグラフで、横軸は経過時間(分)、縦軸は知識所持率(%)を表している。このグラフから、標識、誘導員による誘導より、伝達による誘導を行った場合

の方が、早い時間で知識をもつ避難者数が増加していることがわかる。これが③の原因の1つであると考えられる。

以上から、伝達率および知識所持率が高い場合には、エージェント間の情報伝達が有効な避難誘導方法であるとわかる。

表1 平均避難時間の比較（神戸市）

	誘導なし	標識	伝達20%	伝達80%	誘導員
25%	118	76	79	66	67
50%	68	50	45	41	45
75%	42	37	33	32	35

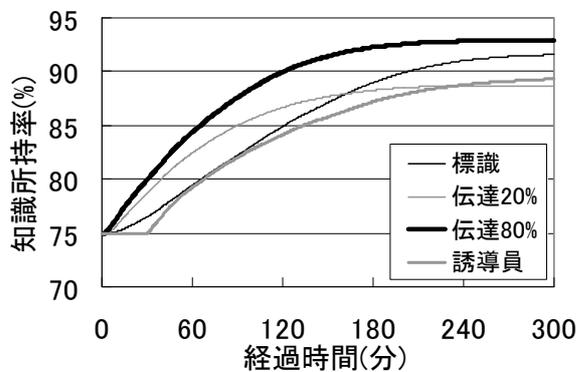


図2 知識所持率の推移

## (2) 神戸市とつくば市の比較

次に、つくば市を対象に同様の実験を行った場合の実験結果を表2に示す。数字は、各場合での平均避難時間(分)を示している。表2から、次のことがわかる。

- ④ 3つの知識所持率に共通して、伝達率80%の情報伝達による誘導を行った場合が、最も避難時間が短い。
- ⑤ 知識所持率50%のとき、伝達率20%の情報伝達より、標識による誘導を行った場合の方が、平均避難時間が短くなっている。

②、④から、つくば市でも神戸市と同様に、情報伝達による避難誘導の有効性が見られる。しかしながら、③、⑤より、つくば市は、神戸市と比較すると、情報伝達の影響が小さいことがわかる。この原因の一つとして、二つの都市の避難者数の差が考えられる。つまり、避難者数の多い神戸市の方が、避難エージェントどうしの接触の機会が多くなり、情報伝達が行われる可能性が高くなったものと考えられる。

表2 平均避難時間の比較（つくば市）

	誘導なし	標識	伝達20%	伝達80%	誘導員
25%	84	43	53	43	50
50%	53	35	37	33	38
75%	38	30	30	29	32

## 5. おわりに

神戸市とつくば市を対象にマルチエージェントモデルを用いた災害避難シミュレーションを行った。実験の結果から、知識所持率や伝達率が高い場合、および避難者数が多い場合に、特にエージェント間の情報伝達が有効であるという結果を得た。

今後は、倒壊家屋等による道路の寸断などを考慮したモデルの拡張を行う予定である。また、現実の避難の定性的性質を参考に、本モデルの妥当性を検証することが重要な課題となる。

最後に、ナビ研S規格フォーマットについてご教示いただいた、ITナビゲーションシステム研究会殿に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1]村上洋平,石田亨,河添智幸,菱山玲子.インタラクティブ設計に基づくマルチエージェントシミュレーション.人工知能学会論文誌,18巻,5号,pp.1-8,2002.
- [2]財団法人 消防科学総合センター.地域防災データ総覧 地域避難編.1987.
- [3]片田敏孝,及川康,田中隆司.災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発.土木学会論文集,No.625,IV-44,pp.1-13,1999.
- [4]財団法人 消防科学総合センター.地域防災データ総覧 阪神・淡路大震災基礎データ編.1997.
- [5]片田敏孝,浅田純作,桑沢敬行.GISを用いた災害情報伝達のシミュレーション分析.土木情報システム論文集,Vol.9,pp.49-58,2000.
- [6]松原仁,田中久美子,Ian Frank,田所諭.大規模災害救助シミュレータを対象としたリアルタイム実況の自動生成.人工知能学会論文誌,17巻,2号,pp.177-180,2002.
- [7]ITナビゲーションシステム研究会.Farmat Guide Book S規格(Version2.2),1997.
- [8]村木雄二,狩野均.マルチエージェントシステムを用いた広域災害避難シミュレーション,第66回情報処理学会全国大会,3M-6,2004.