

避難者の情報伝達能力を考慮した広域災害避難シミュレーション

松島弘^{†1} アランニャ・クラウス^{†2} 狩野均^{†2}

本論文では、マルチエージェントモデルを用いた、避難者の情報伝達能力を考慮した広域災害避難シミュレーションモデル（以下、本モデル）を提案する。災害避難シミュレーションに関する従来研究の問題点として、避難者間の相互作用の内容、および導入可能な防災施策の内容が限定的であった。本モデルでは、避難者エージェントが避難経路情報に関する発言を周囲のエージェントへ伝達しながら避難を行う行動を導入している。また避難誘導員や拡声器型防災無線の配置を行うことができる。本モデルを用いて神戸市、仙台市、つくば市の3地域に対して情報伝達行動や防災施策の条件を変更して実験を行った。実験の結果から避難者の音声による情報伝達行動の重要性を確認した。また各地域に特に有効な防災施策を示すことができた。

Wide Area Simulation of Disaster Evacuation Considering Information-Carrying Capacity of Evacuee

HIROMU MATSUSHIMA^{†1} CLAUDIUS ARANHA^{†2}
HITOSHI KANO^{†2}

In This paper, we propose a multi-agent model for wide-area disaster-evacuation simulations. In our model, evacuee's communication behavior is considered. Conventional multi-agent models for evacuation simulations limit the range of interaction between agents. In the proposed model, each agent is able to inform other agents of the evacuation route by sound. This makes it possible to consider the arrangement of speakers of a community wireless system. As evaluation experiments, we simulated the current situations of three cities, Kobe, Sendai, and Tsukuba. We considered the effects of the agent's behavior and disaster damage prevention plans of the evacuation. From these experimental results, we confirmed that evacuee's communication behavior was effective in wide-area disaster-evacuation. These results indicate effective disaster prevention plans for each city.

1. はじめに

日本では幾度となく大規模な震災にあい、そのたびに避難者への避難誘導などの対応が問題となっている。そのため、適切な防災計画が要求されているが、現状防災計画の評価は災害時でないと困難である。よって自治体が大地震後の避難状況をシミュレートして防災計画の検討を容易に行えるシミュレータの開発が必要であると考えられる。

災害発生後の避難状況を再現するシミュレーションモデルに関する従来研究として、局所的な空間で群衆が雑然と避難する状況を想定したモデル[1][2]や、避難者の多様な状態および建物の物的被害を考慮したモデル[3]、任意の広範囲の地域を対象にできるモデル[4]がある。しかし従来の研究では、広範囲な避難状況を容易に再現でき、かつ避難者や誘導員の情報伝達を十分に考慮したモデルの研究はあまり見当たらない。

そこで本研究ではマルチエージェントモデルを用いて避難者などの情報伝達能力を考慮した大地震後の広域避難シミュレーションモデル（以下、本モデル）を提案する[5]。本モデルでは、避難者や誘導員を模したエージェントが周囲に広く情報を伝達する行動を追加している。また本モデル

は防災行政無線同報系（以下、行政無線）や誘導員の配置および効果の検討が可能である。

以下では、まず研究分野の概要としてマルチエージェントシミュレーションの概要および従来の研究の概要について述べる。次に提案するモデルについて述べる。最後に実験として、神戸市、仙台市、つくば市の3地域に対して導入する情報伝達行動を変化させたときのシミュレーション結果の比較実験、および各地域での防災計画の導入したときのシミュレーション結果の比較実験についてそれぞれ述べ、避難時における避難者の音声による情報共有行動の重要性、および各地域に特に有効な防災施策を示す。

2. 研究分野の概要

2.1 マルチエージェントシミュレーション (MAS)

マルチエージェントシミュレーション (MAS) とは、世界における個々の行為者をエージェントとし、エージェントの行動ルールと相互作用をモデルとして記述するものである[6]。多くの社会現象など、トップダウンに挙動を記述することが困難な複雑系のシステムを理解しようとするには、システムにおいてマイクロなレベルであるエージェントを記述のベースとして用いる MAS が適している。本研究では MAS を事象の予測のために用いる。

2.2 従来研究

災害発生後の避難行動を再現する MAS モデルの従来研究として、屋内などの局所的な空間を対象とした MAS

^{†1} 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
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and
Information Engineering, University of Tsukuba
^{†2} 筑波大学システム情報系情報工学域
Division of Information Engineering, Faculty of Engineering, Information and
Systems, University of Tsukuba

モデルの研究が広く行われている。山田らは地下空間での群集の避難行動を再現するモデルを開発し、避難空間確保対策の検討を行っている[1]。また、堀らは GIS や CAD を用いて作成した空間に対して、群集が雑然と避難を行うモデルの開発を行っている[2]。ただし、これらのモデルは避難者を表すエージェントの行動ルールに他エージェントとの衝突判定を含むため、避難者の数が多い広範囲の避難シミュレーションに適用すると計算量が膨大となる。また、これらのモデルは GIS や CAD を用いて専用のマップを作成する必要があり、対象地域の変更も困難である。

一方で、広範囲な地域を対象とした MAS モデルの研究も行われている。大佛らは東京都世田谷区を対象とし、避難者の多様な状態と建物の物的被害を考慮に入れたモデルの開発を行っている[3]。また、村木らは任意の地域を対象地域に容易に設定でき、一般の PC 上でも実行可能なモデルの開発を行っている[4]。しかし、これらのモデルにおける避難者を表すエージェントの行動ルールは大佛らのモデルでは移動のみ、村木らのモデルでは移動と 20m 程度の範囲での他エージェントとの情報共有で構成されており、避難者が遠くのエージェントに避難所を尋ねるといった行動は考慮されていない。また拡声器を所持した誘導員や行政無線などはモデルに含まれていないため、これらの防災施策の導入が困難である。

3. 提案する手法

3.1 基本方針

従来研究の問題点を踏まえ、本研究ではマルチエージェントモデルを用いて避難者間の情報伝達行動を考慮した広域避難シミュレーションモデル（以下、本モデル）を提案する。本モデルは村木らのモデル[4]をもとに、避難者などの避難経路に関する情報の共有行動、および移動行動に改良を加えたモデルとなっている。本モデルは一般の PC 上で容易にシミュレーションが実行可能であるという村木らのモデルの特徴に加え、以下の特徴を持つ。

- ・ 避難者などが広い範囲で他の避難者に呼びかけを行うことによって避難場所、特定の場所への避難経路の情報を共有する行動が考慮されている。
- ・ 拡声器を所持した誘導員や行政無線の導入が可能である。
- ・ 情報に新しさの概念が導入されており、利用可能な避難所などの時刻によって変化する環境に避難者などが対応する行動が考慮されている。

3.2 モデルの概要

本モデルは、避難者や誘導員を表すエージェントと、道路を一定間隔で区切った空間情報セルによって構成される。また本モデルはナビ研 S 規格フォーマット Version2.2 規格[7]のカーナビゲーション用の地図データベース、および対象地域の地域データファイル群を入力とする。地域データファイル群とは、地域住民の特性や防災施策、人口や建物

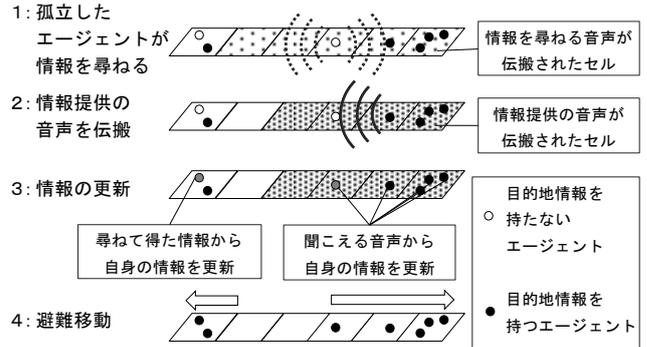


図 1 本モデルにおける避難者の避難行動の流れ

表 1 避難者エージェントの居住地による分類

| 自宅の位置 | 分類 | 目的地 |
|-----------|-------|----------------------------|
| マップ内 | 住民 | 避難所が存在するセル |
| マップ外 (県内) | 近隣流入者 | マップの端に位置し、 特定の方角に位置するセル |
| マップ外 (県外) | 遠方流入者 | 上記の両方 |

の分布を表すメッシュ (3.3 節を参照) に関するデータがそれぞれ記録されたファイルの集合である。

本モデルにおける避難シミュレーションの流れを説明する。避難者を表すエージェントはそれぞれの目的とするセルに向かって避難移動を行う。このとき、セルを通して避難経路情報を受け取り、または伝達することによって他エージェントとの情報共有を行う。避難者エージェントの避難行動の流れを図 1 に示す。避難経路情報は、避難場所の位置と情報の新しさによって構成される。すべてのエージェントおよびセルは避難所と特定の方角の 2 種類の避難経路情報をそれぞれ内部状態として持つことができる。

本モデルでは 1 ステップという離散的な間隔でセル、エージェントの順に場の更新を行う。また本研究では 1 ステップはシミュレーション時刻での 30 秒に対応している。

3.3 空間表現

本モデルでは、地図データベース中の任意の領域をシミュレーションの対象マップとして定義する。

本モデルの空間情報としてセルおよびメッシュと呼ぶ概念を定義し、それらを利用している。セルは、地図データベースに記録された国道、県道、および市町村道を 20m ごとに区切り、属性および内部状態を追加したものである。メッシュとはマップを $n \times m$ (n, m は共に任意の整数) の格子で分割したものであり、各メッシュには人口密度と建物密度を入力データより設定することができる。

3.4 エージェント

3.4.1 エージェントの種類

本モデルでは避難者エージェント、誘導員エージェント、行政無線エージェントがそれぞれ存在する。

(1) 避難者エージェント

避難者エージェントは避難所、もしくは自宅へと避難移動を行う 1~5 人の避難者の集団を表すエージェントである。

表 2 エージェントの属性

| 属性 | 変数型 | 説明 |
|--------------|-------|---------|
| ID | int | 識別番号 |
| HomePlace | int | 居住地の種類 |
| Peoplenum | float | 集団の構成人数 |
| IncludesWeak | float | 弱者を含むか |
| KnowsPlace | float | 土地勘があるか |
| EffPower | float | 発声能力 |

```

Procedure RefugeAgent_Update()
if ( Time ≥ RefugeStartTime ){
    避難完了判定;
    if ( SpeechWaitSteps < 0 ){
        避難経路情報の取得;
    }
    SpeechWaitSteps ← SpeechWaitSteps - 1;
    移動;
}
    
```

図 2 避難者エージェントの状態遷移アルゴリズム

表 3 エージェントの内部状態

| 内部状態 | 変数型 | 説明 |
|-------------------|-------------|----------------------------|
| CurrentCell | Cell | 現在地のセル |
| HasInfo_Refuge | bool | 避難所への避難経路情報を持っているか |
| HasInfo_Direction | bool[8] | 特定方角への避難経路情報を持っているか |
| Info_Refuge | Information | 所持する避難所への避難経路情報 |
| Info_Direction | Information | 所持する特定方角への避難経路情報 |
| RefugeStartTime | int | 避難を開始するシミュレーション時刻 |
| SpeechWaitSteps | int | 避難開始から避難経路情報を聞き始めるまでのステップ数 |

ここで、自宅への避難移動は 8 方角の中から特定の方角へと移動することで再現する。本モデルでは、避難者エージェントを表 1 に示すような居住地による分類を行い、それぞれに目的地を設定している。

(2) 誘導員エージェント

誘導員エージェントは、5~30 分の移動と 0~20 分の待機を繰り返しながら避難者を探し、50m 以内の範囲で避難者を発見したら拡声器で避難所に誘導するエージェントである。無線端末を所持していると仮定し、誘導員エージェントは常に最新の利用可能な避難所への避難経路情報を持つ。

(3) 行政無線エージェント

行政無線エージェントは 30 分ごとに避難所の情報を知らせる行政無線を表すエージェントである。誘導員エージェントと同様に常に最新の避難所への避難経路情報を持つ。

3.4.2 属性と内部状態

全てのエージェントは構成人数、避難開始時刻、発声能力などを属性として持つ。また、現在いるセル、所持している避難経路情報などを内部状態として持つ。エージェントの属性を表 2 に、内部状態を表 3 にそれぞれ示す。ただし、Cell, Information はそれぞれセル、避難経路情報を表す変数型である。

3.4.3 状態遷移

単一の避難者エージェントの状態遷移アルゴリズムを図 2 に示す。ただし、Time はシミュレーション時刻を表す変数である。そのほかのエージェントの状態遷移ルールについては、誘導員エージェントはランダムな移動と Info_Refuge の更新、行政無線エージェントは Info_Refuge の更新のみとなっている。図 2 に示すアルゴリズム中の各処理の説明を以下に記す。

(1) 避難完了判定

表 1 に示す目的地に到着したかどうかの判定を行う。目

的に到着したならば、そのエージェントの避難は完了したものと見なし、それ以降の状態の更新は行わない。ただし、避難所が収容不可なときは避難行動を継続する。

(2) 避難経路情報の取得

現在地セルにて避難経路情報取得を試みる。ただし、「そのセルまで伝搬された情報が得られる場合」と「セル上の他のエージェントに尋ねて得る場合」とでそれぞれ情報取得の成功確率および得られる情報が異なる。いずれかの手段で自身の目的地に適するより新しい避難経路情報の取得に成功した場合は、自身の Info_Refuge または Info_Direction の更新を行う。このとき、使用しない避難経路情報（住民は Info_Direction, 近隣流入者は Info_Refuge）についても可能であれば情報の更新を行う。また、案内標識の存在する(3.6.2 節参照)セル上では Info_Direction の更新を行う。

(3) 移動

1 ステップでの移動速度を計算した後に移動先のセルを決定、CurrentCell の更新を行うことにより移動を行う。移動速度は周辺セルの群集密度、自身の属性からフルーイン式[8]および集団の歩行速度[9]に基づいて 0~81m/分の範囲で決定する。この値より、1 ステップで何セル進めるかを決定する。交差点での進行方向は、避難経路情報の有無、ほかのエージェントの進行方向などからダイクストラ法、RTA*, 他エージェントへの同調、ランダムのいずれかの方法で選択する。ただし、避難者の普段よく通る道のほうに移動する行動を再現するため、自身が建物密度の低いメッシュに存在しており、かつ避難経路情報を持たない場合は建物密度の値が高いメッシュの方へ優先的に移動する。

3.5 セル

3.5.1 属性と内部状態

セルは位置情報や面積、避難場所であるかといった情報を属性として持つ。またセル上に存在するエージェントの

表 4 セルの属性

| 属性 | 変数型 | 説明 |
|---------------|--------|-------------|
| ID | int | 識別番号 |
| X | float | マップ上の経度方向座標 |
| Y | float | マップ上の緯度方向座標 |
| Length | float | セルの長さ |
| Area | float | セルの面積 |
| NeighborCells | Cell[] | 隣接するセルの集合 |
| IsRefuge | bool | 避難所が存在するか |
| IsOnEdge | bool | マップ端に位置するか |

```

Procedure UpdateAllCells()
for (すべてのセル){
    避難経路情報を尋ねる音声の伝搬;
}
for (すべてのセル){
    避難経路情報を提供する音声の伝搬;
}
for (すべてのセル){
    セルの状態の更新;
}
    
```

図 3 全てのセルの状態遷移アルゴリズム

表 5 セルの内部状態

| 内部状態 | 変数型 | 説明 |
|----------------------|-------------|-----------------------------|
| Number | uint | セル上の人の数 |
| Density | float | 人口密度 |
| FollowDirection | Cell | 半数以上のエージェントが移動する対象セル |
| IsAsked_Refuge | bool | 避難所への避難経路情報を尋ねる声が伝搬されたか |
| IsAsked_Direction | bool[8] | 特定方角への避難経路情報を尋ねる声が伝搬されたか |
| EffectuatedInfoLevel | float | 何らかの避難経路情報を聞いて得られる確率 |
| LocalInfoLevel | float | セル上の他人に尋ねて何らかの避難経路情報を得られる確率 |
| EffectuatedInfo | Information | 聞いて得られる避難経路情報 |
| LocalInfo | Information | 他人に尋ねて得られる避難経路情報 |
| CanSeat | bool | (避難所のあるセルにおいて) 避難者を収容可能か |

内部状態をまとめたものや、そのセルで得られる避難経路情報などを自身の内部状態として持つ。セルの属性を表 4 に、内部状態を表 5 にそれぞれ示す。

3.5.2 状態遷移

全てのセルの状態遷移アルゴリズムを図 3 に示す。図 3 に示すアルゴリズム中の各処理の説明を以下に記す。

(1) 避難経路情報を尋ねる音声の伝搬

自身のセル上にあり、避難経路情報を持たず、目的地を尋ねようとしている (SpeechWaitSteps<0 である) 避難者エージェントが避難経路情報を尋ねる音声を伝搬する処理を行う。音声が伝搬される確率は対象セルとエージェントとの距離、エージェントの EffPower, 対象セルの群集密度から求める。音声が伝搬されたとするセルは IsAsked_Refuge または IsAsked_Direction の値を true にする。

(2) 避難経路情報を提供する音声の伝搬

IsAsked_Refuge または IsAsked_Direction の値が true であるセルについて、そのセル上に存在しかつ対応する避難経路情報を持つエージェントが周囲に避難経路情報を提供する音声を伝搬する処理を行う。音声が伝搬される確率は(1)と同様に求める。音声が伝搬されたセルの EffectuatedInfoList または LocalInfoList にエージェントの持つ避難経路情報を記録する。

(3) セルの状態の更新

セル上のエージェントの内部状態から、Number, Density, FollowDirection, CanSeat を更新する。また EffectuatedInfoList や LocalInfoList から避難経路情報を各 1 つランダムに選び EffectuatedInfo, LocalInfo として更新する。さらに各リストからこれらが選ばれる確率をそれぞれ EffectuatedInfoLevel,

表 6 本モデルで設定可能なパラメータ

| 反映対象 | 設定可能なパラメータ |
|--------|---|
| 避難者 | 総数 |
| エージェント | 住民の割合 非住民の近隣流入者の割合 住民の土地勘のある割合 歩行弱者を含む割合 初めから避難所への避難経路情報を持つ割合 初めから特定方角への避難経路情報を持つ割合 近隣・遠方流入者の各方角を目的地とする割合 |
| 誘導員 | 総数 |
| エージェント | 行動を開始するまでの待機時間 |
| 行政無線 | 総数 |
| エージェント | 配置する位置 |
| 避難所 | 避難所に位置するセル 避難所の収容上限 |
| メッシュ | 人口密度 (エージェントの配置される割合) 建物密度 |

LocalInfoLevel とする。EffectuatedInfo などは 3.4.3 節 (2) に示す避難者エージェントの情報取得行動に利用する。

3.6 地域性の反映

3.6.1 地域条件パラメータ

本モデルでは入力データ群から値域条件パラメータを設定し、シミュレーションに反映させることができる。設定可能な地域条件パラメータを表 6 に示す。

3.6.2 案内標識

シミュレーションの対象マップには、案内標識の概念を導入することができる。案内標識をエージェントが見る(案内標識のあるセルを通過する)ことによって特定の方角への避難経路情報を取得することができる。

3.6.3 システムの開発

本研究では、本モデルの開発に加えシミュレーションシ

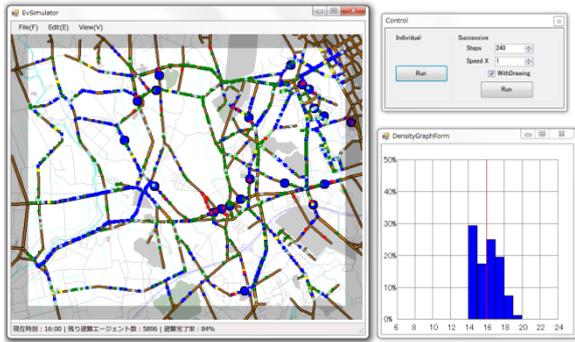


図 4 本システムの GUI 部

システム（以下、本システム）を開発した。本システムはシミュレータ部と GUI 部により構成される。シミュレータ部は本モデルをもとに構成され、GUI 部はシミュレータ部のシミュレーション時刻の制御を行うコントローラと、避難状況図を表示する表示部より構成される。GUI 部の外観を図 4 に示す。

シミュレーションの結果は各時刻（ステップ）での避難者の避難完了率、平均避難時間が記録された CSV ファイルとして出力される。

4. 実験

4.1 評価指標

本論文に示す実験では、シミュレーション完了時の避難者の避難完了率、および平均避難時間を実験の評価指標として用い、それぞれが上昇、短縮されたときに良い結果になったものとして扱う。

4.2 実験条件

本論文では、地域性の異なる神戸市中央区、仙台市青葉区、つくば市谷田部地区の 3 地域をシミュレーション実験の対象地域とした。対象地域のマップを図 5 に示す。ここで、図中の点は避難所を表す。マップ外側の暗く示された領域は境界を表し、この領域内でのエージェントの行動はシミュレーション結果の計測対象外とした。各地域の地域条件パラメータは国勢調査[10]および都市計画情報サービス[11][12][13]より設定を行った。ただし、暫定として誘導員エージェントの総数は各地域の消防員の半数、初期位置はランダムな避難所とした。また行政無線の配置も各避難所に 1 基ずつ配置した。案内標識は主要な道路（2 車線以上の国道、県道）の交差点にそれぞれ配置した。

シミュレーション対象時刻は 14:00 に地震が発生したと仮定して、14:00～24:00 までの時間帯とした。また、避難者エージェントの避難開始時期は現実の震災のデータ[14]をもとに図 6 に示すヒストグラムのように設定した。

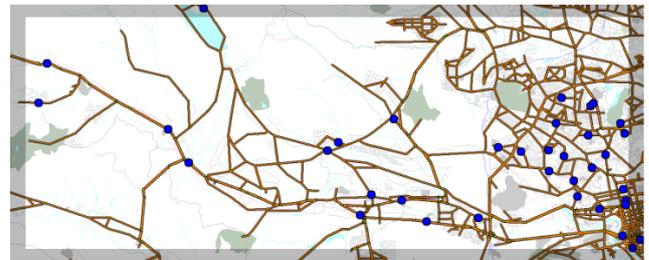
エージェントによる音声の伝搬が行える範囲は、避難者は最長 40m 程度、誘導員は最長 180m 程度とした。

4.3 情報伝達行動の効果検証

まず、避難者間の情報伝達行動が避難結果に与える影響



(a) 神戸市中央区（範囲：縦約 9km×横約 11km）



(b) 仙台市青葉区（範囲：縦約 9km×横約 22km）



(c) つくば市谷田部地区（範囲：縦約 9km×横約 11km）

図 5 実験対象地域のマップ

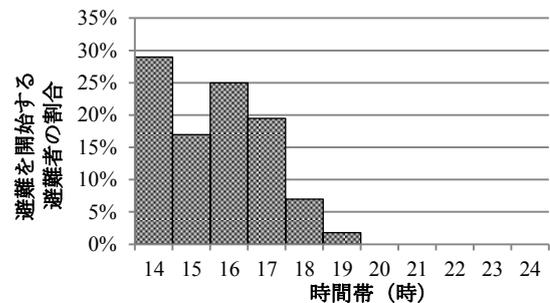


図 6 避難者の避難開始時期

を調べるための実験を行った。4.1 節に示す 3 地域に対して、エージェントの避難経路情報の共有方法に関する以下の 3 つの条件でそれぞれシミュレーションを 30 回実行した。また、誘導員および行政無線は導入せずに実験を行った。

- ・共有なし… 同調および避難経路情報の共有を行わない。
- ・共有あり… 同一セル内で避難経路情報の共有を行う。
- ・共有あり+音声… 「共有あり」に加え、音声伝搬による避難経路情報の共有も行う。

各条件でシミュレーションを実行したときの 24:00 における平均避難完了率・平均避難時間を表 7 に示す。表 7 より、神戸およびつくばの地域では情報伝達行動の影響が

表 7 情報伝達行動を導入した時の避難結果 (括弧内は標準偏差を表す)

| 実験条件 | 避難完了率 (%) | | | 平均避難時間 (分) | | |
|---------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | 神戸 | つくば | 仙台 | 神戸 | つくば | 仙台 |
| 共有なし | 80.4 (1.23) | 96.7 (0.06) | 71.8 (0.61) | 147.2 (4.82) | 85.2 (0.60) | 168 (2.52) |
| 共有あり | 87.3 (1.24) | 98.4 (0.05) | 68.4 (0.78) | 110.8 (4.20) | 74.5 (0.40) | 180.3 (3.14) |
| 共有あり+音声 | 88.7 (1.38) | 98.5 (0.05) | 67.4 (1.12) | 102.0 (4.36) | 72.9 (0.37) | 183.5 (3.36) |

表 8 防災施策を導入したときの避難結果 (括弧内は標準偏差を表す)

| 実験条件 | 防災施策 | 避難完了率 (%) | | | 平均避難時間 (分) | | |
|---------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | 神戸 | つくば | 仙台 | 神戸 | つくば | 仙台 |
| 共有あり | 誘導員 | 87.2 (1.13) | 98.4 (0.05) | 68.2 (0.81) | 111 (3.78) | 74.5 (0.38) | 180.7 (3.15) |
| 共有あり+音声 | 誘導員 | 89.5 (1.63) | 98.6 (0.33) | 67.8 (1.15) | 95.7 (5.35) | 66.0 (1.76) | 180.2 (3.57) |
| 共有あり+音声 | 行政無線 | 89.3 (1.55) | 98.7 (0.06) | 68.4 (0.90) | 97.0 (5.01) | 64.5 (0.38) | 178.4 (2.82) |
| 共有あり+音声 | 誘導員+行政無線 | 89.8 (1.29) | 98.7 (0.05) | 68.5 (0.86) | 94.1 (3.90) | 62.8 (0.36) | 177.2 (2.67) |

大きくなるにしたがって避難結果が改善された。一方、仙台については避難結果が悪化している。この原因としては、仙台は建物密度の高い地域が点在しているためであると考えられる。このような地域で避難誘導を促すと周囲にほかのエージェントが存在しなくなり、後から避難を開始した避難者エージェントが周囲に情報を尋ねる行動が困難になるためであると考えられる。

以上の結果は、避難行動での避難者同士の音声による情報共有を考慮することが重要であることを示唆している。

4.4 防災施策の評価

次に、自治体による防災施策の効果の評価として、避難誘導員および防災行政無線の有無が避難結果に与える影響を調べるための実験を行った。行政無線を導入することができるのは 4.3 節での「共有あり+音声」の条件のみであるため、「共有あり」の条件では誘導員を、「共有あり+音声」の条件ではおよび防災行政無線の片方、または両方を導入した状態でそれぞれシミュレーションを 30 回実行した。このときの 24:00 における平均避難完了率・平均避難時間を表 8 に示す。

表 8 より、「共有あり」の条件では誘導員を導入しても避難結果の改善は見られなかったが、「共有あり+音声」の条件ではいずれかの防災施策を導入することによって全ての地域で避難時間が短縮され、複数の防災施策を導入することでさらに短縮されることがわかった。また今回の実験条件ではつくばや仙台的地域では行政無線が、神戸的地域では誘導員が特に有効な防災施策であることがわかった。

5. おわりに

MAS モデルを用いて避難者間の情報伝達行動を考慮した広域避難シミュレーションモデルを開発した。本モデルは避難者の音声による避難経路情報の共有行動を考慮した避難シミュレーションの実行が可能である。本モデルを用いて神戸市、仙台市、つくば市の 3 地域に対する実験の結果から、避難時での避難者同士の音声による情報共有行動に重要性があることを確認した。またつくば市や仙台市で

は行政無線が、神戸市では誘導員が特に有効な防災施策であることが示された。

今後は、本モデルに対し一時避難行動の概念や誘避難者の危険回避行動の導入する予定である。また本モデルに対し、津波や洪水などの他の災害避難にも適用可能となるような拡張を行う予定である。

参考文献

- 1) 山田武志, 大森高樹, 廣井悠, 福井潔: 群集シミュレーションを用いたターミナル駅地下空間における避難安全確保対策の検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, No.18, pp.137-144 (2013).
- 2) 掘, 宮嶋, 犬飼, 小国: 地震時避難行動予測のためのエージェントシミュレーション, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.1017-1036, (2008).
- 3) 大佛俊泰, 守澤貴幸: 都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震時における広域避難行動シミュレーションモデル, 日本建築学会計画系論文集, Vol.76, No.660, pp.389-396 (2011).
- 4) 村木, 狩野: 地域性を考慮した広域災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル, 人工知能学会論文誌, Vol.22, No.4, pp.416-424 (2007).
- 5) 松島弘, 狩野均: 避難者の情報伝達能力を考慮した広域災害避難シミュレーション, 情報処理学会 第 76 回全国大会 4J-5 (2014).
- 6) 鳥海不二夫, 山本仁志: マルチエージェントシミュレーション:1.マルチエージェントシミュレーションの基本設計, 情報処理, Vol.55, No.6, pp.530-538 (2014).
- 7) ナビゲーションシステム研究会: ナビ研ソフト作成ガイドブック S 規格 (Version 2.2), ナビゲーションシステム研究会 (1997).
- 8) ジョン・J・フルーイン: 歩行者の空間=理論とデザイン=, 鹿島出版会 (1974).
- 9) 堀内俊幸, 卜部舜一: 遊園地における集団歩行速度, 日本経営工学会誌, Vol. 37, No.5, pp.283-288 (1986).
- 10) 総務省統計局: 国勢調査 (2010).
- 11) つくば市都市建設部都市計画課: つくば市都市計画マップ, <http://www2.wagamachi-guide.com/tsukuba/>
- 12) 神戸市都市計画総局計画部計画課: 神戸市用途地域検索, <http://www.city.kobe.lg.jp/business/plan/search/>
- 13) 仙台市都市整備局計画部都市計画課: 仙台市都市計画情報インターネット提供サービス, http://www2.wagamachi-guide.com/sendai_tokei/
- 14) 柏原士郎, 上野淳, 森田孝夫: 阪神・淡路大震災における避難所の研究, 大阪大学出版会 (1998).