

マルチエージェントモデルを用いた建物火災の 避難行動シミュレーション

EVACUATION BEHAVIOR SIMULATION FOR A FIRE DISASTER USING MULTI-AGENT MODEL

渡邊 卓也¹⁾, 大上 俊之²⁾, 小山 茂³⁾

Takuya WATANABE, Toshiyuki OHKAMI and Shigeru KOYAMA

- 1) 信州大学大学院工学系研究科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: t07a351@shinshu-u.ac.jp)
 2) 信州大学工学部社会開発工学科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: tohkami@shinshu-u.ac.jp)
 3) 信州大学工学部社会開発工学科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: koyama@shinshu-u.ac.jp)

This paper treats an evacuation behavior simulation for a fire disaster by using Multi-agent model. Multi-agent modeling is a computational method that allows building an artificial environment populated with agents which are capable of interacting with each other. In this paper, we simulate an emergency evacuation behavior from a food store and investigate the influence of the physical environment and the properties of evacuees on the evacuation results. Through the simulation, it is shown that the guides who lead the evacuees to the exits are effective for decreasing time needed to evacuate and the number of guide board which indicates the emergency escape routes gives the influence of the number of the residual evacuee.

Key Words: Evacuation simulation, Multi-agent model, Fire disaster

1. はじめに

建物火災における人的災害の防止策を考える際、火災発生時における建物の内部状況・内部空間の変化が避難行動に与える影響を検討しておくことが重要である。内部の状況は構成要因同士の様々な相互作用によって変化し、その結果として人的災害が引き起こされたり、災害の規模にも大きく影響を与える。このように様々な要因から情報がボトムアップされて、1つの全体系の動きが決定される現象を解析する手法としてマルチエージェントシミュレーションがある⁽¹⁾。

本研究は、スーパーマーケットにおける火災時の避難行動について、マルチエージェントシミュレーションを行うもので、避難者の行動特性と建物の内部の要因が避難完了時間と被害者の数に与える影響を数値的に評価する。避難者エージェントを若年者、高齢者の2種類に分け、高齢者には視野範囲、移動速度、移動方法に制限を設けた。建物内部の構成要素として障害物、カウンター、出口、火、標識、誘導員を配置し、標識の数、誘導員の数を変化させてシミュレーションを行い、その結果を回帰分析して避難が完了する時間と逃げ遅れる被害者数への影響を検討する。

避難行動に関する研究は、横山ら⁽²⁾の避難経路を状況に

応じて提案できるモデルや、香川ら⁽³⁾の誘導員による避難誘導を行うものなど様々な研究が行われている。既往の避難モデルでは誘導員のみ効果、標識の重要性などは述べられているものの、どの要素が避難行動により大きな影響を与えるかは記述されていないようである。

本研究では、新井ら⁽⁴⁾によるモデルを参考に標識の種類、誘導員、火に対する回避行動を新たに取り入れたシミュレーションモデルを構築し、どの要素が避難行動に大きな影響を与えるかを検討できるようにした。シミュレーションの実行には、構造計画研究所のKK-MAS⁽⁵⁾を用いる。

2. 避難行動シミュレーションモデル

2.1. 空間モデルと環境設定

本研究では2次元格子で空間をモデル化し、1つのセルに1人の人間が存在するようにセルの1辺を50cmと設定した。建物モデル図をFig.1に示す。長野市内にあるスーパーマーケットを参考にして建物および店内の構成要素の配置をモデル化したもので、空間の大きさを30m×33mとし、空間内に障害物、避難者、出口、標識、火、誘導員およびカウンターの各エージェントを配置する。

避難者（若年者・高齢者）、火、誘導員エージェントが一定の行動ルールを持ち、1ステップごとに1回の行動を行う。若年者エージェントと高齢者エージェントはシミュレーション開始直後から避難行動を開始することとし、火エージェントは空間上部より発火・延焼するように設定している。誘導員エージェントは火を視野内に認知する、もしくは近くに高齢者が存在する時に行動を開始する設定とした。シミュレーション上の1ステップを1秒とモデル化し、空間内の残留避難者数が0になる時にシミュレーションを終了する。

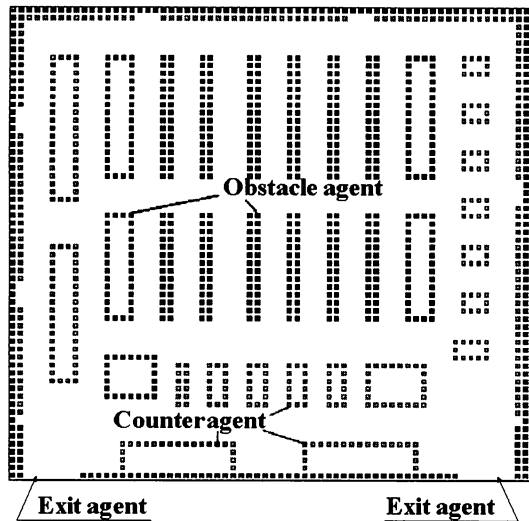


Fig. 1 Layout of simulation model

2.2. エージェントの設定

2.2.1 避難者（若年者）

避難者は出口を最終目的地として避難行動するものとする。避難者エージェントは、まず、自分の現在位置における視野範囲内から移動先の設定を行い、それに向かう経路を選択して移動を開始する。移動先の設定は次に示す手順で行った。

1. 視野範囲内において自分の周りのすべての方向について標識1、出口、誘導員が存在するか探索し、発見した場合は移動先を出口に設定する
2. 標識2を発見したら標識2に示す矢印の方向を移動先に設定する
3. すべての方向について障害物までの距離を計算し、最も長い視野線（最大視野線）を示す方向を移動先に設定する同じ長さの最大視野線が複数ある場合には、その中からランダムに選択した1つの視野線方向を移動方向とする

移動の際に移動方向に障害物がある場合や、移動方向に災害を確認した場合には回避行動に入る。移動先に到着したら、その場所が出口かどうか判断し、出口ならば避難者エージェ

ントの行動は終了する。もし到着地が出口でない場合は、再度、移動先設定を行う。本研究での避難者の行動アルゴリズムおよび移動先設定アルゴリズムをFig.2, Fig.3に示す。避難者の移動速度は、新井ら⁽⁴⁾の値に群衆密度の影響⁽⁶⁾を考慮して決定し、群衆密度は避難者エージェントの現在位置から半径2セル内の面積にいる避難者の数から算出した。

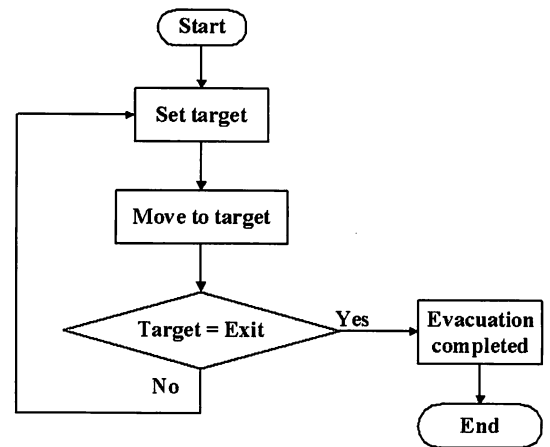


Fig. 2 Behavior algorithm

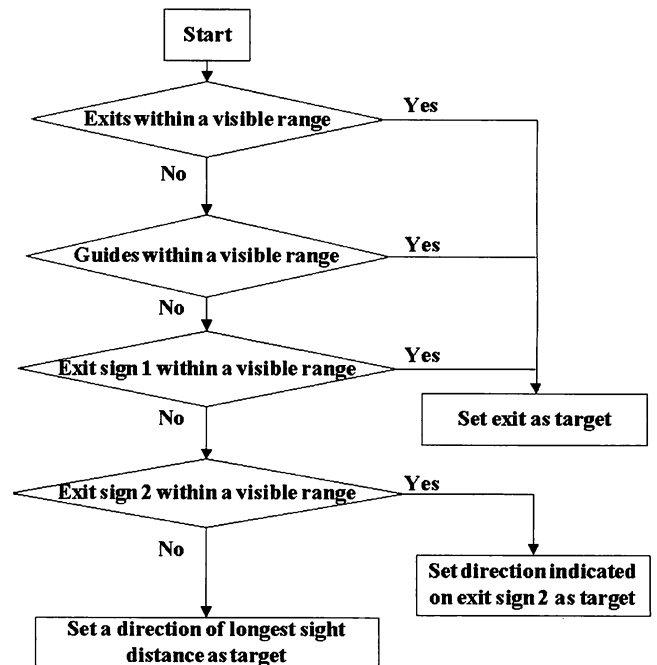


Fig. 3 Algorithm of setting target

2.2.2 避難者（高齢者）

行動アルゴリズムは若年者エージェントと同じであるが、視野範囲と移動速度に制限を設け身体的不利な状態であることを表し、行動パターンを自ら移動する自律型と、若年者の後を追うように移動する追従型の2種類に分けた⁽⁴⁾。追従型では、自分の視野内に若年者エージェントが存在する場

合、エージェントの移動先を若年者の現在位置に設定し、若年者を追従して行動するよう表現した。若年者と高齢者の行動設定の比較を Table1 に示す。

Table 1 Behavior setting of adult and elder

	Elder	Adult
Visible range(m)	5	Whole area
Moving velocity(m/s)	$0.8-0.395 \times \rho$	$1.4-0.395 \times \rho$
Behavior type	Autonomous or following	Autonomous

ρ :Crowd density(people/m²)

2.2.3 誘導員

避難者を出口へと誘導する人で、避難者は自身の視野範囲内に誘導員を発見した場合、出口の位置を知ることができる。本研究で設定した誘導員エージェントは、基本的に初期の配置位置を動かさないが、次の条件を満たすと誘導員自身も移動を開始するとした。

条件1 高齢者が近く(周り2セル内)にいる場合:高齢者を連れて一緒に避難する

条件2 周り15セル内に避難者がいなくなった場合:誘導終了と見なし、避難を開始する

条件3 周り5セル以内に火を確認した場合:誘導を行うには危険な状況であるとみなし一人で避難する

2.2.4 標識

非常口を示す表示灯で、本研究では、Fig.4のように標識1として出口の場所(方向と距離)を示すもの、標識2として標識1の存在する方向を示すものの2種類の標識エージェントを配置した。標識2は、障害物により出口の場所を直接表示できず避難経路の方向を示すもので、避難者は標識2を発見した場合、標識2に示す矢印の方向へ移動し、標識1を発見した時点で出口へ避難するように設定した。

2.3. 出口

避難者は出口に到達することを最終目的とし、出口に到達した時点で避難が完了したと見なす。

2.4. 障害物・カウンター

障害物は高い棚や壁を表現し、避難者は通行できず、障害物の向こう側を見ることができない。一方、カウンターは低い棚や机を表し、避難者はカウンターを超えて通行できないが、カウンターの存在を視野内に発見しても視野範囲には影響を受けないものとする。

2.5. 火

火が燃え広がる様子を表すために、火エージェントはステップ毎に5%の確率で隣のセルに新たな火エージェントを

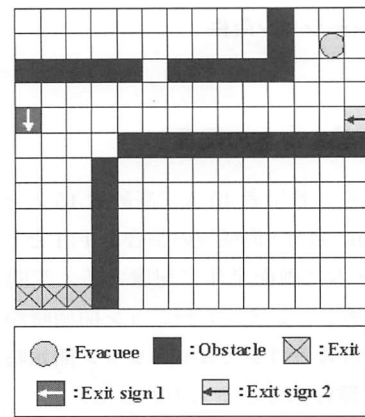


Fig. 4 Two kinds of exit signs

作成することとした(Fig.5)。ただし、隣のセルが壁や空間の端である場合、火は燃え移らないと設定している。避難者エージェントが火エージェントと同じセルにある場合、避難者は火災に巻き込まれたものとし、被害者数としてカウントする。また、Fig.6に示すように、避難者エージェントの視野範囲内に火エージェントがある場合、避難者エージェントは、火が存在する象限を除いた灰色の部分から2.2.1節で示した方法によって移動先を設定するようにし、火に対する回避行動を表現した。

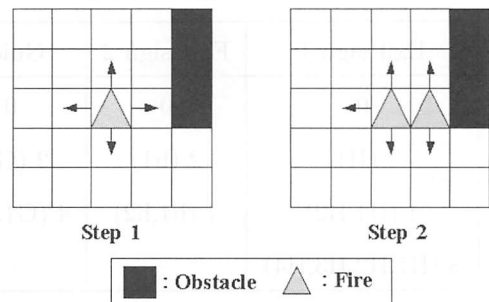


Fig. 5 Spreading of fire⁽⁷⁾

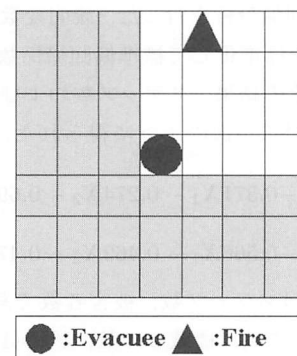


Fig. 6 Avoidance behavior against fire

3. 避難シミュレーション

3.1. シミュレーション条件

3.1.1 エージェントの配置

避難者の数を、若年者 40 人、高齢者 15 人とし、高齢者の視野範囲を 5m、自立・追従型の割合を 1:1 として総避難者数 55 名をランダムに画面全体に配置する。空間上部に火エージェントを配置し、シミュレーション開始時から炎上し始めるものとし、避難者はシミュレーション開始時から一斉に出口を探して避難行動をとるものとした。

3.1.2 シミュレーションの評価項目と実行条件

標識 1 の数、標識 2 の数、誘導員の数を変化させ、

- 避難完了時間（空間内の残留避難者数が 0 になるステップ数）
- 被害者数（避難完了時間までに火に巻き込まれた避難者エージェントの数）

に与える影響を評価した。標識と誘導員の配置図を Fig.7 に示す。Table2 の条件 1~4 を組み合わせた全 36 通りのパターンをシミュレータ上で実行する。各パターンにつき 5 回のシミュレーションを行い、その平均値を評価値とした。

Table 2 Simulation conditions

	Exit sign 1	Exit sign 2	Guide
Set 1	0	0	0
Set 2	2 (H1)	2 (h1)	2 (G1)
Set 3	4 (H1,H2)	4 (h1,h2)	4 (G1,G2)
Set 4	8 (H1,H2,H3,H4)	-	-

3.2. シミュレーション結果

標識 1、標識 2、誘導員の各要素がステップ数、被害者数にどのように影響を与えているかを見るために、各要素を説明変数とする重回帰分析を行った。説明変数間で単位が異なるので、データを標準化して標準偏回帰係数を求め、影響の強さを調べた。その結果、ステップ数および被害者数を目的関数とする重回帰式が次のように得られた。

$$Y_1 = -0.571X_1 - 0.274X_2 - 0.699X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.566X_1 - 0.462X_2 - 0.472X_3 \quad (2)$$

ここに、 Y_1 、 Y_2 はステップ数、被害者数であり、 X_1 、 X_2 および X_3 は標識 1 の数、標識 2 の数、誘導員数である。これより、避難完了時間に与える影響が最も大きいのは誘導員の数であり、被害者数では標識 1 の数が大きな影響を与える結果となった。

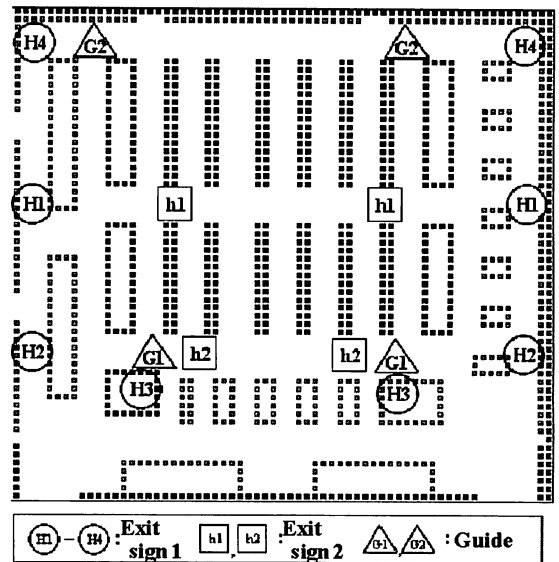


Fig. 7 Exit signs and guides

誘導員がいる場合といない場合について、シミュレーション開始時、50 ステップ、100 ステップ経過後における様子を Fig.8 から Fig.12 に示す。

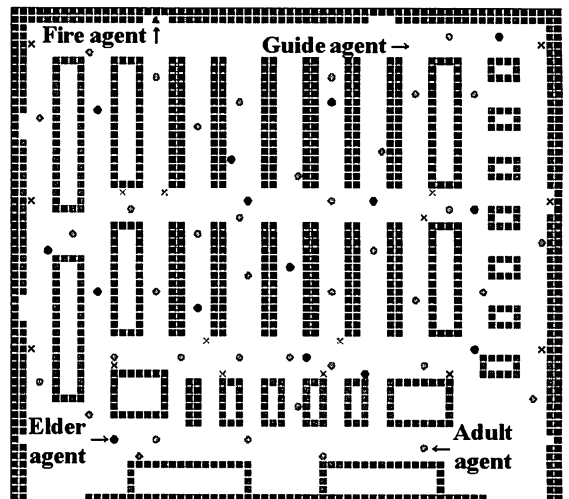


Fig. 8 Initial stage

Fig.12 に示すように、誘導員がいる場合は、100 ステップの段階でほぼ全員が避難完了しているが、誘導員を配置しない場合、100 ステップ経過後 (Fig.10) でも、まだ多数の避難者が残留しており、出口から離れた場所に残っている避難者や若年者エージェントも残留している。

説明変数と目的関数との相関係数を求めたところ、Table3、4 に示すように重回帰式の係数による判定と同様の結果が得られた。

Fig.13 は、誘導員の数に対して避難が完了するまでのステップ数の違いをみるために、誘導員の数別の平均ステップ数を示したものである。誘導員数が 4 人の場合は誘導員が

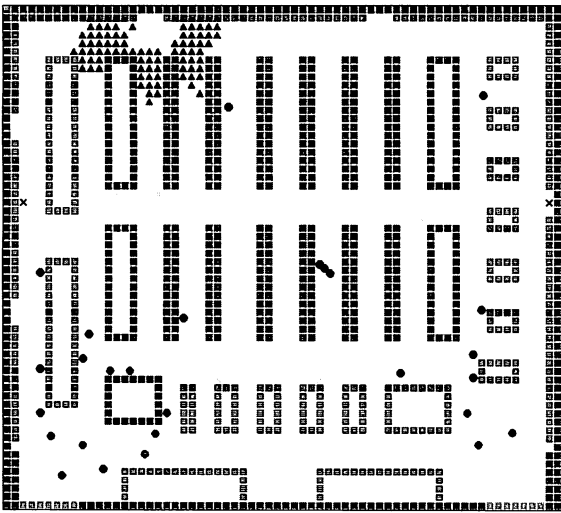


Fig. 9 Step 50 (No guide)

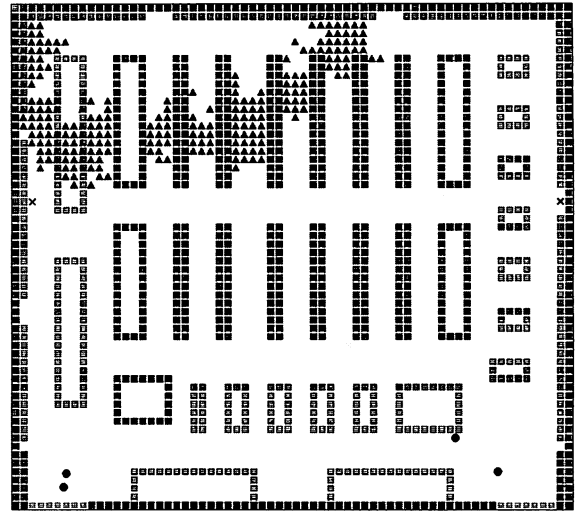


Fig. 12 Step 100 (Four guides)

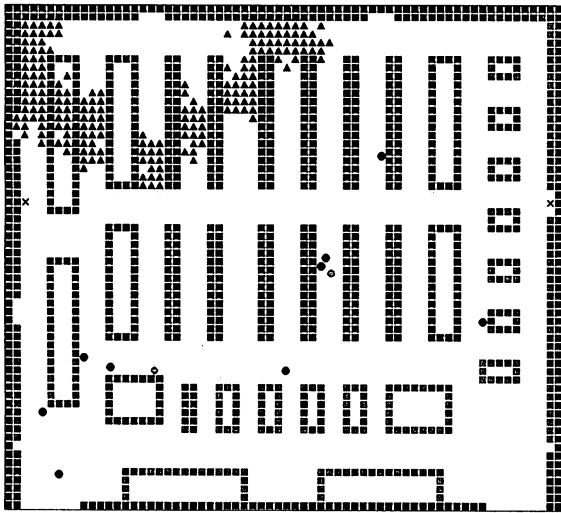


Fig. 10 Step 100 (No guide)

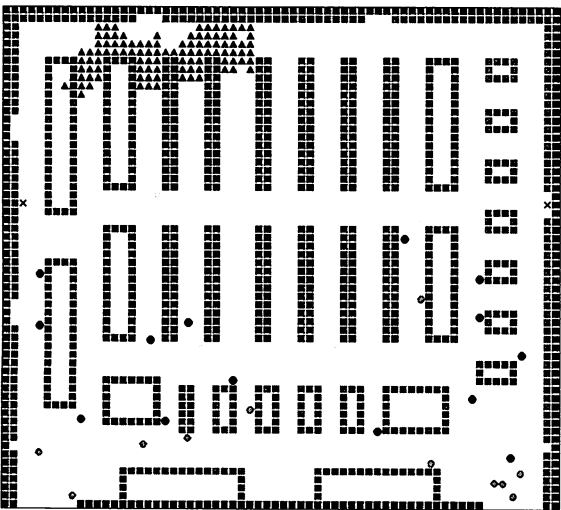


Fig. 11 Step 50 (Four guides)

Table 3 Coefficient of partial correlation between evacuation time and variables

	Evacuation steps
Exit sign 1	-0.865
Exit sign 2	-0.639
Guide	-0.904

Table 4 Coefficient of partial correlation between casualties and variables

	Casualties
Exit sign 1	-0.754
Exit sign 2	-0.684
Guide	-0.692

いない場合に比べて60%以下の時間で避難が完了しており、誘導員の効果が大きいことがわかる。Fig.14は、すべてのパターンの平均被害者数を標識1の数別に示したもので、標識1の効果を見ることができる。なお、36通りのすべてのパターンにおいて、高齢者エージェントが被害者の数の大半を占める結果となった。

標識1の配置場所の違いによる避難時間への効果を見るために、Fig.7に示すいくつかの配置場所で標識1の数が2個と4個のケースについてそれぞれ5回のシミュレーションを行い、避難完了に要する平均ステップ数を調べた。ただし、ここでは、誘導員は配置せず、避難者エージェントは若年者だけとしている。結果をTable5, 6に示すが、表より配置場所H3を含む場合にステップ数が減少している傾向がある。これは標識を壁際だけでなく内部に設置することが避難完了時間の減少に効果的であることを示している。

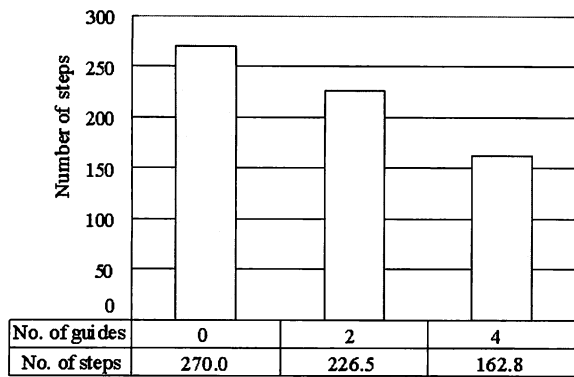


Fig. 13 Relation between guides and evacuation time

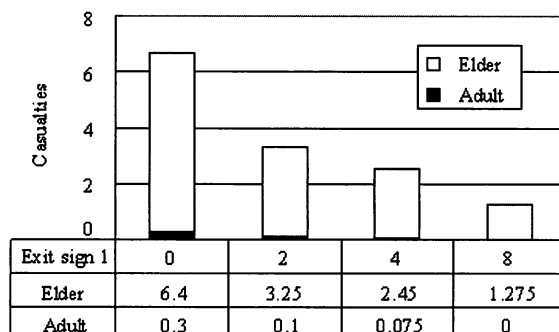


Fig. 14 Relation between exit sign 1 and casualties

Table 5 Influence of the location of exit sign 1 (Two signs)

Location	H4,H4	H4,H1	H4,H2	H4,H3
No. of steps	235.2	214.0	221.4	114.2
Location	H1,H1	H1,H2	H1,H3	H2,H2
No. of steps	231.4	128.4	98.4	229.6
Location	H2,H3	H3,H3		
No. of steps	143.8	117.4		

4. 結論および考察

本研究では、建物内で火災が発生した場合の避難行動についてマルチエージェントシミュレーションを行い、避難者の行動特性と建物内部の要因が避難完了時間と被害者の数に与える影響を検討した。作成した避難行動モデルを用いてシミュレーションを行った結果、以下の結論が得られた。

1. 避難完了時間に最も影響を与えるのは誘導員の存在であった。誘導員によって空間内部で出口の情報を知ることができる事と、移動しながらの誘導が避難時間に

Table 6 Influence of the location of exit sign 1 (Four signs)

Location	H4,H1	H4,H2	H4,H3
No. of steps	223.2	143.2	107.2
Location	H1,H2	H1,H3	H2,H3
No. of steps	104.6	74.6	116.8

大きな影響を与えることが分かった。次いで影響力が高いのは標識1の数であり、影響力の高さは誘導員と比べ近い値を示す。これらのことから、出口の位置を正確に把握できることは非常に重要であるという事が分る。避難完了時間を短縮するためには突然の災害時を想定し、誘導員としての役割を果たす人員を事前に決めておく必要がある。

2. 火に巻き込まれる被害者の数を少なくするには出口の位置を示す標識の数が多いほど有効であること、壁際だけでなく内部にも設置することが避難行動に効果的であることが分かった。店内のどの位置にいても出口の位置が分かるように標識を設置することが重要である。
3. 被害者の大半は高齢者エージェントであった。行動に制限がある弱者に対する対応策が重要である。

参考文献

- (1) 山影進, 服部正太編: コンピュータの中の人工社会, 共立出版, (2002)
- (2) 横山秀史, 目黒公朗, 片山恒雄: 人間行動シミュレーションによる地下街の安全性評価に関する研究, 地域安全学会論文報告集, **3**(1993) pp. 161-164.
- (3) 香川秀樹, 萩原将文: 人工生命的手法とファジィ推論を用いた避難行動に関する研究, 日本ファジィ学会誌, **13**, No.6(2001) pp. 643-651.
- (4) 新井健, 増田浩道, 落合哲郎: 災害弱者を考慮したマルチエージェントシミュレーションモデル, 第3回 MAS コンペティション論文集, (2003) pp. 117-125.
- (5) 構造計画研究所: Multi Agent Simulator ユーザマニュアル, (2002) http://mas.kke.co.jp/cabinet/KK-MAS_manual-ja.pdf
- (6) 高平雅義, 八戸英夫: ヒューマンファクターを考慮したトンネル火災時におけるマルチエージェントシミュレーションモデルの開発, MAS コミュニティ研究報告書, (2006) pp. 1-7.
- (7) (株) 構造計画研究所: 森林火災モデル, MAS コミュニティサンプルモデル, (2006) <http://www.i-learn.jp/eduwoods/abs/index.html>