

マルチエージェント避難シミュレータを用いた 最適誘導灯配置法の検討

A Study on Optimal Placement Method of Exit Signs using Multi-Agent Evacuation Simulator

辻 優介† 尾崎 昭剛‡ 原尾 政輝‡
Yuusuke Tsuji Shogo Ozaki Masateru Harao

1 はじめに

災害時における迅速な避難は重要な問題である。1973年11月、熊本県の太洋デパート火災にて死者103名という犠牲者が出た。被災者へのアンケート調査[1]より、避難した人166人のうち誘導を受けたのは39人であり、そのうち非常口標識を発見して避難したのは2人だけであった。この火災時は人が少なかったこともあるが、それでも標識による避難誘導効果は薄かったと考えられる。現在は消防法の改正等により防災設備の充実、防災意識の強化が図られてきたが、その効果や有用性については検証が必要である。検証には、避難訓練や災害の実例が必要であるが、コストがかかり、人間に危険が及ぶ場合もあるため、計算機上でのシミュレーション手法が用いられている。

シミュレーションを用いた例として、岡田らによる避難時における指差誘導法及び吸着誘導法に対するシミュレーション[2]、近田らのセルオートマトンによる避難行動シミュレーション[3]等が挙げられる。しかし、これらの誘導要素を加えた避難シミュレーションでは個別の問題を解消するために誘導を取り入れた分析になっており、誘導による一般的かつ詳細な避難への効果の検証は行われていない。そこで、筆者らは誘導情報の提供手法に着目した避難シミュレータの開発を行い、誘導効果についての検証を行った[4]。その結果、場合によっては誘導により避難効率が悪化する可能性が示され、特に通路幅員のような建物の構造に大きく影響を受けることが分かった。

本研究では、前回構築したシミュレータ(以下、前システムとする)に対して「避難行動の問題点改良」と「災害時避難行動の再現性検証」を行う。実験より、「健常であり、正常な判断を持つ避難者」が「広範囲の情報を取得でき、移動できるスペースが広い」という状態ならば、災害時の避難行動を再現できることが分かった。また、

改良したシステムを用いて避難者を効率的に誘導するための最適な誘導灯の配置法について検証する。評価法として、いくつかの配置法において避難者の平均避難時間と全ての避難者が非常口に到達するまでに要した時間を比較する。実験より、誘導灯を避難者が発見しやすい通路に複数個配置することは避難目標決定を遅らせる場合があることと、全ての誘導灯が1つの非常口を指し示すように配置することが非常口の広さや場所によっては有効であることが分かった。

2 避難行動シミュレータの構成

2.1 マルチエージェントモデル

自律的に意思決定・行動する主体をエージェントという。マルチエージェントモデルは、多数のエージェントからなるシステムである。マルチエージェントモデルでは、セル空間のような単純なものでも、多数のエージェント同士の相互作用による創発現象を検証することができる。つまり、マルチエージェントモデルを用いると、局所的にルールを構築することだけで、社会現象のような複雑な現象を創発させることができる[5]。本研究では多数の避難者が避難を行い、あたかも一つの固まりとなって行動するような集団避難現象を模倣するため、マルチエージェントモデルを用いることが適している。

2.2 システムの概要

前システム[4]では避難者をエージェントとし、集団避難行動を模倣する。そのために、前システム[4]で構築した群集密度による移動速度の低下や誘導を考慮した避難行動を取るエージェントを用いる。前システム[4]の概要を次に示す。

- 避難空間を二次元格子状セル空間上に構築
- 1つのセルは1辺500mmの正方形
- 避難空間の要素は「避難者エージェント」「壁」「非常口」「誘導灯」の4つ
- 「壁」は避難者エージェントの進行・認識を阻み、「非常口」は避難目標

†崇城大学 大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻
Division of Electricity and Electronics, Graduate
School of Engineering Mater Course, Sojo University
‡崇城大学 情報学部 情報学科
Department of Computer and Information Science,
Faculty of Computer and Information Sciences, Sojo
University

- 「誘導灯」は避難方向を指し示すもの
- シミュレータの実行単位時間は step

避難者エージェントについては次の項にて示す。

2.3 避難者エージェントの特徴

前システム [4] では、避難者エージェントは健康な平均一般男性をモデルとし、建築設計資料集成-人間 [6] (以下、資料集とする) に基づいて、1セル内には避難者エージェントは1体のみ存在可能としている。本研究では避難行動を忠実にシミュレートするため、このモデルにさらに次の「認識機能」と「移動」を取り入れた避難者エージェントを用いる。

2.3.1 認識機能

避難者エージェントは「非常口」「他の避難者エージェント」「誘導灯」「壁」の4種類を認識することができる。認識できる範囲は、エージェントからの距離を「視野」、角度を「視角」として定義する。視野は個人ごとや環境(照度や煙など)の影響により異なる。視角は資料集 [6] より前方の水平90°とする。ただし、壁に阻まれた先を認識することはできない。

2.3.2 移動速度

避難者エージェントの移動速度は、資料集 [6] より男性の平均歩行速度1.24m/sと想定する。これより、空間上では0.4秒に1セルずつムーア近傍に基づいて移動するものとして再現できる。また、森田ら [7] は群集密度と歩行特性に関する研究により、群集密度は移動速度に強く影響することを示している。そこで、本研究でもこれらの要素を取り入れ、認識範囲内の群集密度による移動速度の低下を再現する。

2.4 避難行動アルゴリズム

避難者エージェントは避難空間から出ることを目標として、非常口への移動を行う。非常口への移動は避難空間の「部屋の出入り口」「誘導灯」「非常口」などに配置したチェックポイントを経由することで再現する。避難者エージェントの避難行動の概要を次に示す。

1. (初めて誘導灯を発見した場合^{注1)})20%の確率で誘導灯が示すチェックポイントを目標に→6
2. (初めて非常口を発見した場合)非常口を目標に^{注2)}→6
3. (部屋内にいる場合)部屋の出入り口へ移動
4. 視界内のいずれかのセルへ移動
5. 1へ戻る
6. 目標へ向かって移動。チェックポイントの場合は指定された次のチェックポイントへ移動

非常口へ向かうための目標探索フローを図1に示す。

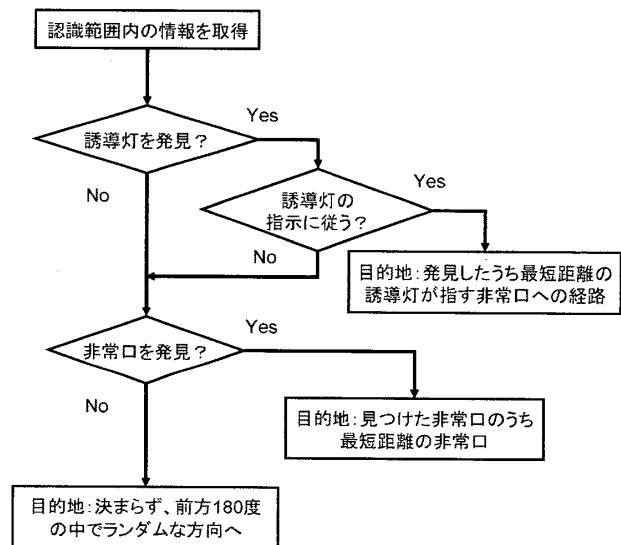


図1: 目標探索

3 システムの問題点と改良

前システム [4] は以下の特徴を持つ。

- 群集密度による移動速度の低下を考慮した避難者の行動
- 誘導灯による避難誘導の実装

以上の2点より、災害時に避難者エージェントが非常口へ押し寄せることによって、混雑する現象を再現できた。しかし、以下の問題点が挙げられる。

1. 誘導灯を発見した避難者エージェントは、通るべきチェックポイントを全て得てしまう
2. 1つの誘導灯を発見した後は他の誘導灯の影響を受けない

注1) 複数の誘導灯を同時に発見した場合、発見した避難者エージェントから最も近くにある誘導灯を対象とする。

注2) 非常口を目標にし、誘導灯未発見の場合は、後に発見した誘導灯が示すチェックポイントへ20%の確率で向かう。

3.1 目標探索の改良

前システム [4] で用いた探索アルゴリズムでは、図 2 のような空間において、避難者エージェントは A の誘導灯を発見した場合、1 → 4 → 3 → 非常口 M と移動する。

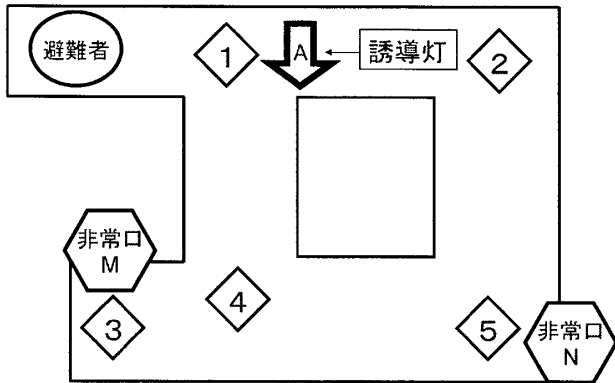


図 2: 目標探索の例

しかし、現実の誘導灯を考えた場合、1つの誘導灯を発見しただけで非常口までの全ての経路を取得できるとは考えにくい。そこで、誘導灯を発見した場合、避難者エージェントは誘導灯が示す座標 (チェックポイント) 情報のみを取得するように変更する。これにより、誘導灯を発見した避難者エージェントは図 2 の場合、1 → 4 と移動した後、非常口を求めて再度探索を行うような現実的な行動を再現できる。

また、一度誘導灯を発見した後は他の誘導灯による影響を受けない問題については、誘導灯 1 つずつに対して発見済みであるかどうかの判断を加えた。これによって元来た経路を辿ることの無く、図 3 のように誘導灯による自然な避難誘導の再現ができた。なお、本研究では誘導灯による避難行動への影響を確認するため、前システム [4] で用いていた指示に従う確率 20% を 100% に変更する。

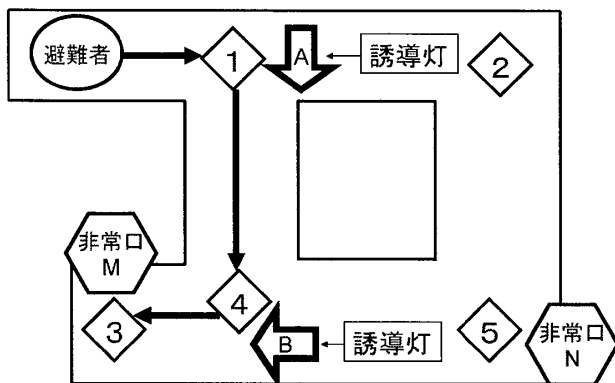


図 3: 目標探索の改良例

図 4 に改良後の目標探索フローを示す。

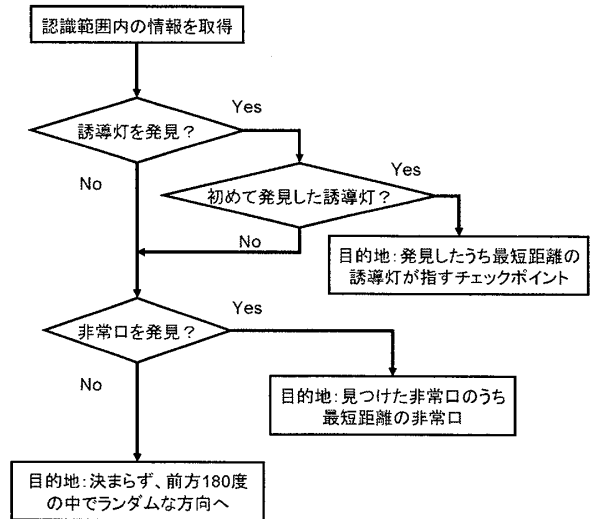


図 4: 改良後の目標探索

3.2 非常口使用不可を考慮した避難行動

前システム [4] では、全ての非常口が常時使用可能 (避難に用いることができる) 状態であった。しかし炎や煙などで避難状況が変化する場合是非常口が使用不可になる可能性があり、それを本シミュレータでは再現する。そこで、一部の非常口が使用不可である場合の避難行動を再現するために、避難者エージェントは目標の非常口に対して使用可否の情報を持つ。情報取得の方法は、対象となる非常口の付近に到達する方法と、他の避難者エージェントから得る方法がある。後者の実現方法として、ある主体が非常口へ向かっている際に、認識範囲内にいる他の避難者エージェントのうち、2人以上非常口が使用不可という情報を持っている場合、主体も同様に非常口が使用不可であるという情報を得る。

4 実装と実験

前システム [4] は株式会社構造計画研究所のマルチエージェント・シミュレータ「artisoc2.6」[8] を用いて構築した。図 5 にシミュレーション実行画面を示す。

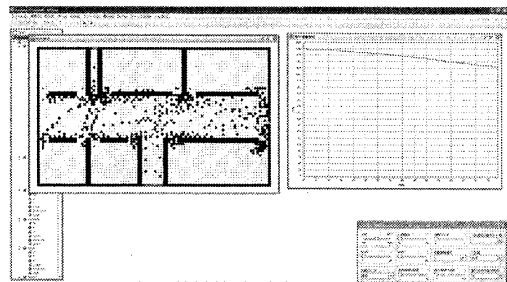


図 5: シミュレーション実行画面

本論文では実験として次の2種類を行う。

1. 実際に起こった建物内災害モデルを用いて、構築した避難者エージェントが災害時の避難行動を模倣できているかを検証
2. 誘導灯の配置数と配置場所を変更し、効率的な避難誘導を行うための条件を求める

4.1 避難行動の検証実験

実験では、熊本の太洋デパート火災における7階の避難状況を再現する(以下、実験1とする)。7階の概略図を図6を示す。

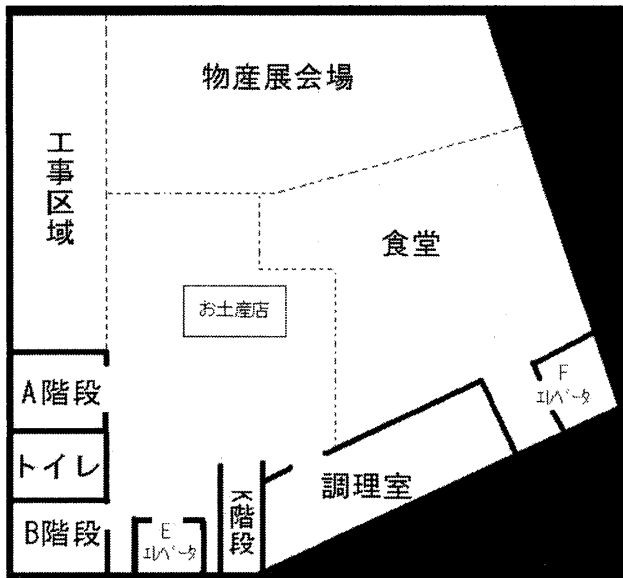


図6: 太洋デパート概略図

火災時、7階には257名がいたが、そのうちの何名が利用客であるかは判明していない[9]。堀内らの報告[1]によると、7階部分での利用客、および従業員は以下のような行動を取ったとされている。

利用客 Eエレベータへ向かい、その後K階段より8階へ
 従業員1 B階段へ向かい、その後は利用客と同じ行動
 従業員2 K階段へ向かい、8階へ

本モデルではこれらの情報に基づいて、災害時に7階にいた人々は初めはEエレベータへ向かい、使用不可能であることを知った後にK階段へ向かって移動したと仮定する。そこで、災害時の行動を再現する避難者エージェントとして、避難経路を「Eエレベータ→K階段」と固定したものを構築する。この避難経路を固定したもの(以下、固定エージェントとする)と、本研究で用いている避難者エージェント(以下、通常エージェント)をそれぞれ用いて実験を行った。なお、固定エージェン

トは探索を行わないこと以外は全て通常エージェントと同一条件とする。また、通常エージェントは、全ての非常口が使用可能状態であると考えて行動し、初期目標をEエレベータとする。実験条件を以下に示す。

1. 全ての避難者エージェントは一齐に避難行動開始
2. 全ての避難者エージェントは、空間上に他のエージェントと重ならないように一様分布配置
3. 全ての避難者エージェントが脱出した時点でシミュレーション終了
4. 避難者エージェントの視野は建物の端から端が見える長さ
5. 認識範囲や移動速度などは全ての避難者エージェントが同一
6. 求める値は20回シミュレーションを行った結果の平均
7. 避難者エージェントは257名配置
8. 誘導灯は、非常口付近のものは直近の非常口を、それ以外はEエレベータ方面を指し示す
9. 非常口は、K階段のみ使用可能

評価方法として、固定エージェントと通常エージェントの避難行動経路の類似度を求める。特に、Eエレベータが使用不可であることを認識した後の行動に着目した。図7に避難者エージェントの避難行動経路を大別して示す。

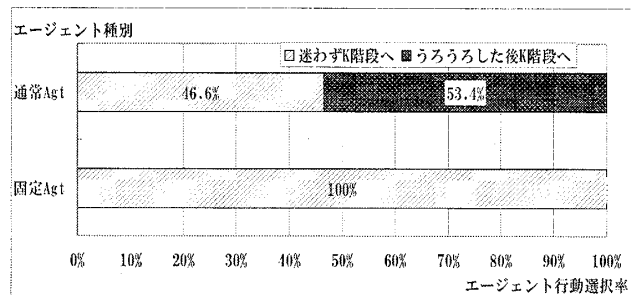


図7: Eエレベータが使用不可であることを知った後の避難者エージェントの行動区分

4.2 避難行動の検証実験についての考察

図8に固定・通常エージェントのEエレベータ付近での行動を示す。

通常エージェントはEエレベータ付近に到達後、エレベータが使用不可であることを認識する。その後周囲を探索し、A・B・Kのそれぞれの階段のいずれかを発見した場合は、それを目標として移動する。ここで図7より、通常エージェントの中で固定エージェントと同じように直接K階段へ向かった(図8(a))ののは全体の46%ほどであった。その他の通常エージェントはEエレベータ

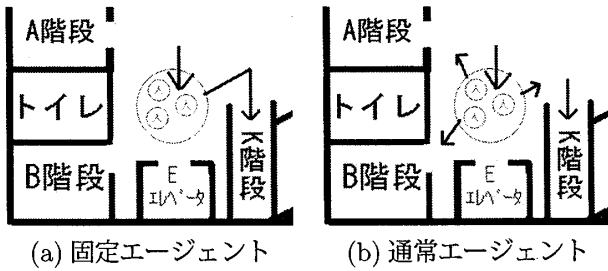


図 8: 固定・通常エージェントの行動

付近で非常口を求めてうろうろする様子が見られた(図8(b)). 火災時の詳細な避難行動情報は判明していないが、おそらく実験1で見られたように避難者は非常口を求めて付近をうろうろしたと考える。その後、A・Bの階段はそれぞれ使用不可であるため、結果として全ての避難者エージェントはK階段へ向かう。また、この際に最初にEエレベータ、およびA・B階段へ向かった避難者エージェントは近くまで行かなければ使用可否の情報を得られない。一方、後続の避難者エージェントは離れた場所から対象の非常口が使用不可であるという情報を他の避難者エージェントより得ることができる。そのため、時間がある程度経過することで直接K階段へ向かう通常エージェントの割合が増した。これらのことから、構築した避難者エージェントは、周囲の情報を得ながら安全な方向へ向かおうとする避難行動を、より忠実に再現するモデルとなったと考える。

4.3 誘導灯配置変更実験

前回構築した建物モデルを用いて、誘導灯の最適配置を求める実験を行う(以下、実験2とする)。実験に用いる空間の概要を図9に示す。図中の矢印は誘導灯の配置場所であり、矢印の方向は誘導灯の指示方向とする。

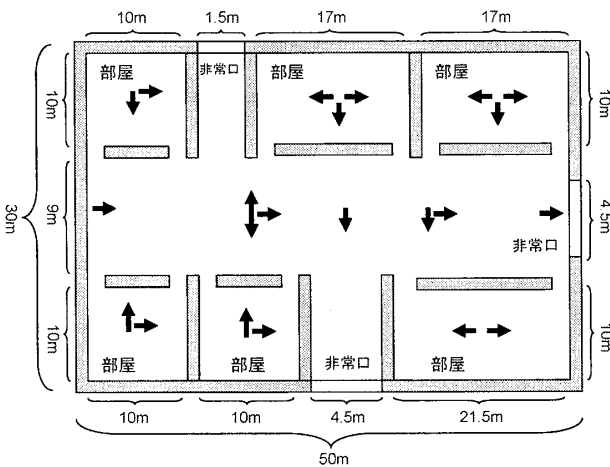


図 9: 実験2の空間の概要と誘導灯配置場所

実験条件として実験1の実験条件1~6を共通に用い、その他の条件を次に示す。

1. 避難者エージェントは500名配置
2. 全ての避難者エージェントの初期目標は初期位置から最も近くにある非常口

誘導灯の配置を表1に示す条件に従って行い、それぞれの条件の下で避難者エージェントの平均避難時間と全ての避難者エージェントが非常口に到達するまでに要した時間(以下、避難完了時間とする)を求める。

表 1: 誘導灯の配置条件

配置名	配置法
全部	全ての誘導灯を配置する
部屋のみ	部屋の誘導灯を全て配置
通路のみ	通路の誘導灯を全て配置
中央	中央の非常口へ誘導する誘導灯を配置
右	右の非常口へ誘導する誘導灯を配置
端と中央	空間の両端部分と中央に誘導灯を配置
無し	全ての誘導灯配置しない

グラフ(図10)に表1に示す各条件下での避難者エージェントの平均避難時間と避難完了時間を示す。

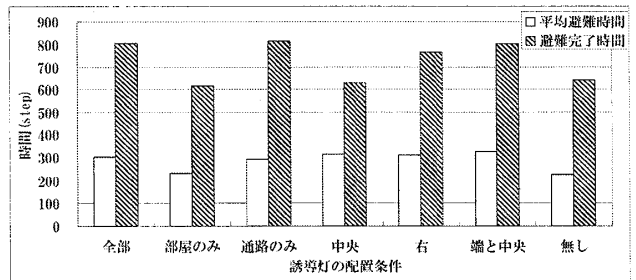


図 10: 避難者エージェントの平均避難時間と避難完了時間

4.4 誘導灯配置変更実験についての考察

図11に実験2において避難者エージェントが避難に用いた非常口の使用率を示す。

グラフ(図10)より、誘導灯を配置することで避難完了時間が短縮された条件は、「全ての誘導灯が中央の非常口を指し示す場合」と、「部屋の誘導灯を全て配置する場合」の2つであった。「中央の非常口を指し示す場合」は、グラフ(図11)にあるように上の非常口へ誘導された避難者エージェントがほとんどいない。そのため、前回[4]の実験で示された滞留が発生しやすい上の非常口へ誘導された避難者エージェントがほとんどおらず、移動速度の遅延が発生することなく避難ができたからであると考

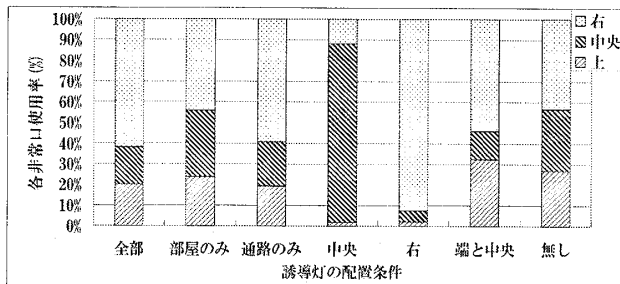


図 11: 各非常口の使用率

える。「部屋の誘導灯を全て配置する場合」は、誘導がない場合とほぼ同一の結果となった。つまり、付近の非常口の位置を部屋内で提示することは、全ての非常口が使用可能ならば有効であると考えられる。「全ての誘導灯を配置した場合」と「通路の全てに誘導灯配置した場合」では避難完了時間が著しく遅くなっている。これは、誘導灯から情報を得て、目標を定めて移動を開始した後、別の誘導灯によって元の方向へ戻ることがあったためである。このように、複数の方向を指示する誘導灯をいくつも配置することにより、避難者エージェントが困惑したような動きが見られた。「端と中央に配置した場合」では、複数の誘導灯により困惑することは無いが、一度発見するとその後目標を変更することが無く、遠くの非常口へ向かってしまう避難者エージェントが見られた。

また、誘導灯を配置しない場合に比べて、配置することによって平均避難時間が全ての場合において悪化しているのは、誘導灯の指示に従うことにより移動距離が増加したことが原因であると考えられる。

5 まとめと今後の課題

前システム [4] に改良を加えたマルチエージェント避難行動シミュレータを用いて、「災害時避難行動の再現性検証」と「避難者を効率的に誘導するための最適な誘導灯の配置法検証」を行った。実験 1 より、「健全であり、正常な判断を持つ避難者」が「広範囲の情報を取得でき、移動できるスペースが広い」という条件の下での、災害時の避難行動をある程度忠実に再現することができた。実験 2 より、誘導灯を避難者が発見しやすい通路に複数個配置することは避難目標決定を遅らせる場合があることが分かった。また、全ての誘導灯が 1 つの非常口を指し示す場合は、非常口の広さや場所によっては有効であることが分かった。

本研究では誘導灯の配置法検証をいくつかの組み合わせ

せにより行ったが、今後は誘導灯 1 つ 1 つの避難行動への影響を検証する必要がある。さらに、非常口の位置や広さによって誘導すべき避難者の数が変わるため、この点についても検証を行う。また、通路や非常口での混雑具合によって目標を再検討する行動を取る避難者エージェントの導入も考慮する必要がある。

参考文献

- [1] 堀内三郎, 室崎益輝, 関沢愛, 日野宗門, 淀野誠三: 大洋デパート火災における避難行動について (その 1, その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概, pp.575-576, (1974)
- [2] 岡田裕作, 竹内則雄: 避難時における指差誘導法及び吸着誘導法に対するシミュレーション, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告, pp.55-62, (2007)
- [3] 近田康夫, 廣岡淳: CA による避難行動シミュレーション, 第 9 回設計工学に関するシンポジウム講演論文集, (2005)
- [4] 辻優介, 尾崎昭剛, 原尾政輝: 誘導情報提供手法に着目したマルチエージェント避難行動シミュレータの作成, 人工知能学会基本問題研究会第 76 回, (2010)
- [5] 大内東, 川村秀憲, 山本雅人: マルチエージェントシステムの基礎と応用-複雑系工学の計算パラダイム, コロナ社, (2002)
- [6] 日本建築学会 (編): 建築設計資料集成-人間, 丸善, (2003)
- [7] 森田孝夫, 阪田弘一, 高木真人, 山本宗: 祝祭街路における群集密度と歩行特性に関する研究-神戸ルミナリエを中心として-, 日本建築学会技術報告集, 第 20 号, pp.307-312, (2004)
- [8] MAS コミュニティ: <http://mas.kke.co.jp/>
- [9] 建設庁: 建設庁大洋デパート火災事故調査委員会調査報告書, (1974)