

避難者認識による建物からの救助行動の効率化

尾崎昭剛¹ 安本幸太郎¹

概要: 建築物内で火災などの災害が発生した際には、誘導灯の設置や誘導員による避難誘導が法令で定められており、これまでも、誘導方法や誘導灯の配置による避難効率への検証が行われているが、避難者の能力の差異は考慮されていないものが多く、病院や老人ホームのように要介護者への支援の必要性が指摘されている。

そこで本研究では、避難者の能力のばらつきを再現する状況をモデル化し、誘導灯に周囲の避難者の認識機能の付加とネットワーク化を行い、全体の避難者の救助優先度を決定することで、効率的な避難を行う手法を提案する。提案するモデルはマルチエージェントシミュレーションとして実装し、避難効率の検証を行う。

キーワード: 避難, マルチエージェントシミュレーション

Improving the Efficiency of Rescuing Evacuees from Buildings based on Evacuee Recognition

SHOGO OZAKI^{†1} KOHTARO YASUMOTO^{†1}

Abstract: When a disaster such as a fire occurs in a building, laws and regulations require the installation of guide lights and evacuation guidance by guide personnel, and although the evacuation efficiency of guidance methods and the placement of guide lights has been verified, the differences in the abilities of evacuees are often not taken into account, and it has been pointed out that there is a need for support for people in need of care, such as in hospitals and nursing homes. Therefore, in this study, we propose a method for efficient evacuation by modeling a situation that reproduces the disparity in evacuees' abilities, adding a function to recognize surrounding evacuees to guide lights and networking them, and determining the rescue priority of all evacuees. The proposed model will be implemented as a multi-agent simulation and the evacuation efficiency will be verified.

Keywords: Evacuation, Multi Agent Simulation

1. はじめに

建築物内で火災などの災害が発生した際には、誘導灯の設置や誘導員による避難誘導が法令[1]で定められており、これまでも、誘導方法や誘導灯の配置による避難効率への検証が行われている[2][3]。

しかし、これらの事例は避難者の能力の差異は考慮されておらず、病院やグループホームでの災害時に被害[4]が出ていることから、要介護者への支援の必要性が指摘されている[5][6]。森下らの研究[6]では、要介護者の避難行動について調査を行い、要介護者、介護スタッフの行動をシミュレーション上で避難効率の検証を行っている。また、森下らは実際のグループホームの職員の行動についても調査を行い、部屋の見回りやスタッフ間の情報交換に時間を要していることが報告されている。

そこで、本研究では、誘導灯に避難者認識機能を持たせてネットワーク化し、避難者の現在位置、歩行速度から救助優先度を決定することで、避難効率を向上させる手法を提案する。提案手法では、各誘導灯が周囲の避難者を認識して、歩行速度から避難に要する時間を推定し、最も時間のかかる避難者から優先的に救助することで、効率化を図

る。

また、避難者の移動速度のばらつきを再現する避難状況をモデル化してマルチエージェントシミュレーションとして実装し、提案手法の有用性の検証を行う。

2. 避難現象のモデル化

本研究では、病院やグループホーム等の建物内からの避難現象を再現するため、二次元連続空間上のマルチエージェントシステムとして、以下の要素を定義する。

- ・壁：避難者/救助者の視界・移動を妨げる
- ・出口：避難者が目標とする建物からの出口
- ・誘導灯：避難者/救助者に避難経路を示す
- ・避難者：建物からの避難を行う人
- ・救助者：避難者の救助を行う人

2.1 誘導灯エージェント

誘導灯エージェントは建物内の避難誘導灯を再現するもので、以下の性質を持つ。

- ・次の目標（誘導灯/出口）の座標を保持し、誘導灯から次の目標を辿っていくことで、必ず出口へたどり着く

¹ 崇城大学情報学部情報学科
Sojo University Faculty of Computer and Information Sciences Department of

ものとする

- 1つの誘導灯が持つ目標は1つのみとし、 \leftrightarrow のような複数方向を示す誘導灯は用いないものとする
- ・ 出口までの距離を保持する

以下の図1の例では、出口が1つ、誘導灯が2つ配置されている。誘導灯1は目標として出口の座標、誘導灯2は目標として誘導灯1の座標を保持する。また、誘導灯1は直接出口が目標であるため、出口までの距離10を、誘導灯2は誘導灯1を経た出口までの距離20を保持している。

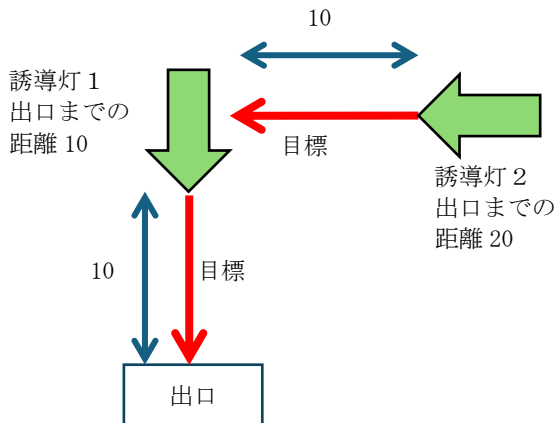


図1 誘導灯の例

2.2 避難者エージェント

避難者エージェントは、建物内から避難する人を再現するものであり、出口への到達を目的としている。本研究では病院やグループホームなど、管理者が利用者を管理できる施設を対象とするため、避難者は不特定多数ではなく、IDタグなどを身につけている状況を想定し、救助者、誘導灯から一意に識別できるものとする。避難者エージェントは、情報として周囲の視覚情報を得ることができるが、壁によって視界が妨げられる(図2)。

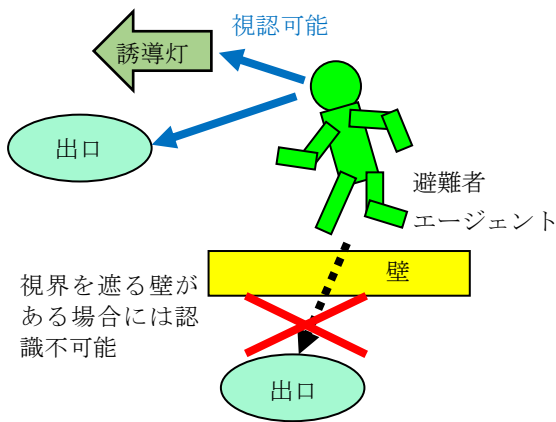


図2 避難者の視覚情報

避難者エージェントは自分の視覚情報から得た誘導灯、

出口の中から、最も自分の現在位置に近いもの为目标として移動する。ただし、誘導灯、出口の両方が視認できる場合には、出口を優先する。

図3の例の場合には、避難者エージェントが誘導灯、出口1、出口2が視認できているが、出口1が目標として選択される。

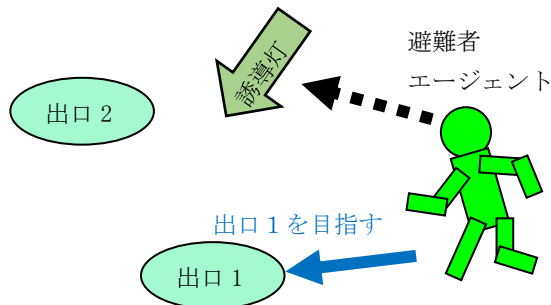


図3 避難者エージェントの目標選択

多様な避難者を再現するため、避難者エージェントの移動速度はランダムに決定する。要介助者の避難行動時の移動速度については、森下らの調査[6]で、平均 0.43 ± 0.19 m/sec という結果が報告されているため、避難者エージェントの移動速度は最大で 0.5 m/sec とする。なお、本研究では基本的な救助者エージェントの行動の検証を目的とするため、今回は車いすなどの移動できる地形に制限のある避難者は再現しないものとする。

エージェントが移動しようとする際には、自分以外の他者(避難者、救助者、壁)は障害物として認識し、回避して移動する。認識範囲としては

- ・ r : 移動しようとする距離
- ・ w : 移動に必要な幅(本研究では 0.6 m としている)

とすると、距離 $r + w$ の範囲内で、進行方向に対して幅 w の範囲とする(図4)。

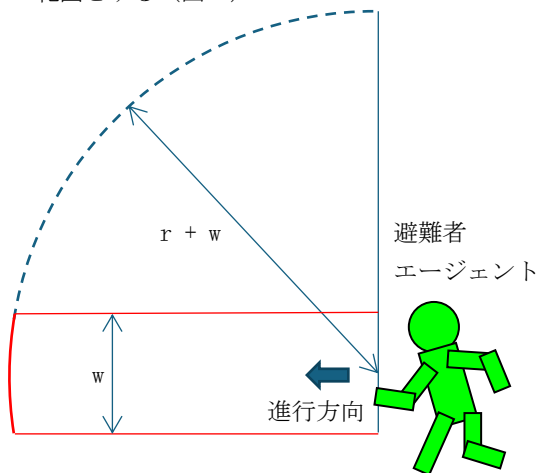


図4 移動時の障害物確認範囲

認識範囲内に障害物となる他者、壁がある場合には、左右 30° 認識範囲を変更し、障害物の無いもっとも角度の小さい方向へ移動する(図5)。同じ角度の左右に同時に障害物が無い場合には、同確率でランダムに方向を決定する。

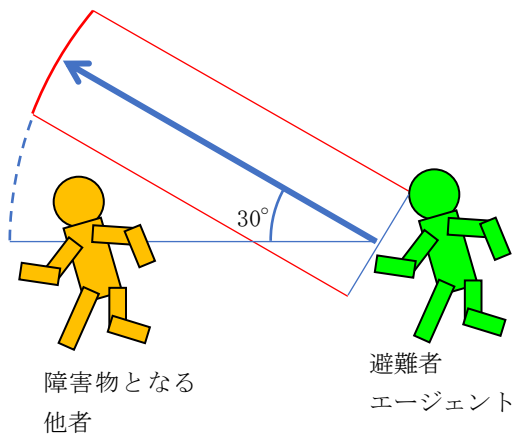


図5 障害物がある場合の認識範囲の例

2.3 救助者エージェント

救助者エージェントは、グループホームの職員など、避難者の避難の介助を目的とするエージェントである。

情報の取得として、避難者エージェントと同様に周囲からの視覚情報を得る。また、建物内の構造は知っているものとし、誘導灯をノードとして利用して任意の地点へ移動することが可能とする。

行動として、以下の2つを定義する。

- ・避難者探索中：救助対象となる避難者を探索し、救助対象へ移動する
- ・救助中：救助対象者を連れて出口へ移動する

救助者の移動速度については、森下らの調査[6]では 1.32 ± 0.10 m/sec と報告されている。本モデルではこれを参考にして、実装の簡単化のため移動速度を 1 m/sec とする。また、避難者とは異なり、各救助者の移動速度は一律同じ速度とする。また、避難者を救助中の最大移動速度は、避難者の個別に設定された速度に関係なく、避難者の最大速度(最大 0.5 m/sec)で避難者と一緒に移動することができるものとする。

3. 誘導灯ネットワーク

3.1 誘導灯ネットワーク

これまでにも、誘導灯にセンサー、通信機能を付加してネットワーク化することで、全体の避難現象を把握することで避難効率を向上させる手法が提案されている[7]。本研究でもこの考え方を基に誘導灯が

- ・避難者の人数
- ・個々の避難者の避難予想時間(個々の移動速度と誘導灯から出口までの距離から推定)

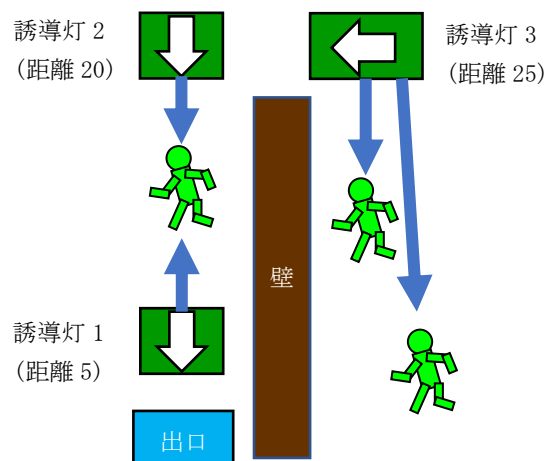
を認識し、救助者エージェント全員が共有できるようにする。救助者エージェントは誘導灯ネットワークから得られる避難者リストから、最も避難予想時間が遅い避難者から優先的に救助することで、全体の避難完了時間を効率化を図る。

3.2 避難者リストに基づく目標避難者決定と移動

誘導灯ネットワークより得られる避難者リストから、救助者エージェントが救助目標を選択して移動を行う手順を以下に示す。

(1) 各誘導灯による避難者認識

各誘導灯が周囲の避難者を探索する(図6)。前述の通り、避難者は ID タグ等を身につけているという想定のため、誘導灯は個別の避難者を正確に識別できるものとする。



※誘導灯番号の後の()内は出口までの距離

図6 誘導灯による避難者認識

(2) 避難時間の推定

各誘導灯が認識した周囲の避難者の移動速度、誘導灯から出口までの距離、誘導灯から対象避難者の距離の情報から、その避難者が出口へ到達するのに必要な時間を推定する。図7の例の場合、右下の ID:1 の避難者は、速度 0.5m/sec で距離 17+25 = 42m の距離を移動するため、推定避難時間は 84 秒となる。次に、図8のように ID:3 の避難者の推定比何時間を計算したとすると、 $30 / 0.1 = 300$ 秒となり、ID:1 の避難者より遅いことがわかる。この場合、避難者リストは推定避難時間で降順にソートされ、ID:3 の避難者が先頭となる。

次に、図9のように ID:3 の避難者の避難時間を推定する場合には、誘導灯1、誘導灯2の2つから同時に認識されている。このように複数の誘導灯から1人の避難者が認識できる場合には、出口に近いほう(推定避難時間が短くなる方)を優先して、避難者リストに登録する。

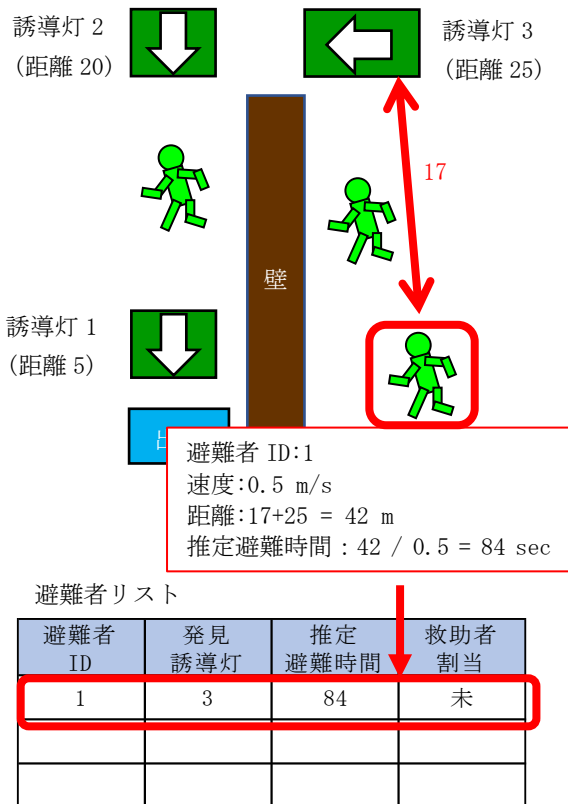


図 7 誘導灯による避難者の避難時間推定

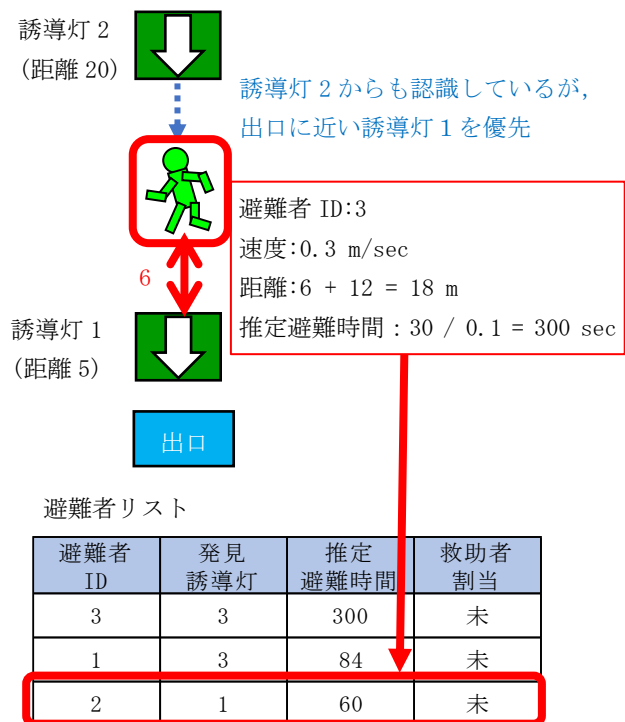


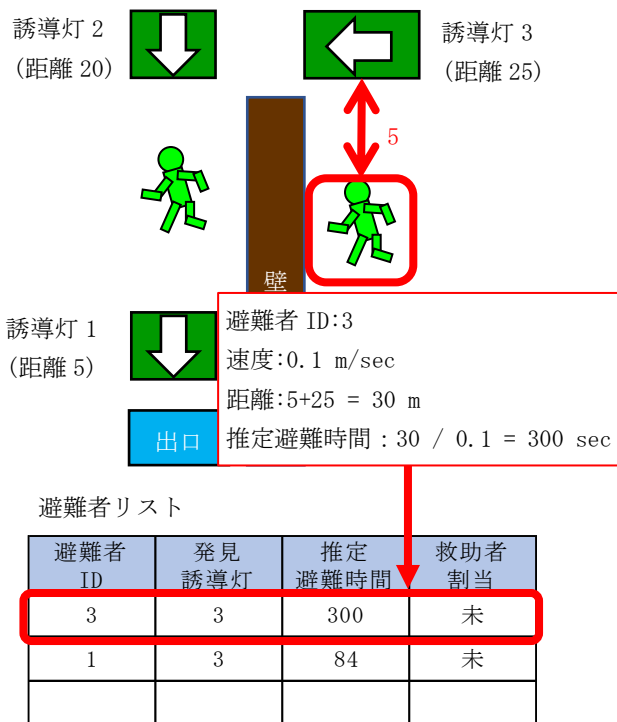
図 9 複数の誘導灯から視認できる場合の避難時間推定

(3) 救助者エージェントの目標選択

救助者エージェントは避難者リストを参照し、救助者がまだ割り当てられておらず、最も推定避難時間が長い避難者を目標とする。例えば、図 9 の避難者リストの場合、ID:3 の避難者が目標として選択される。この行動は、救助者がタブレット端末等で情報を確認している状況を想定している。そのため、救助者エージェントは目標選択時には、より確実に通信ができるよう、最も近くの誘導灯へ移動し、情報取得には 20 秒かかるものとする。

(4) 救助者エージェントの移動

救助者が選択した救助者へ移動する際には、直接視認可能な場合には、直接移動を行う。壁によって視認できない場合には、まず避難者リストの発見誘導灯へ向かい、そこから救助者へ向けて移動する(図 10)。



リストは推定避難時間でソートされる

図 8 避難時間推定の追加と避難者リストのソート

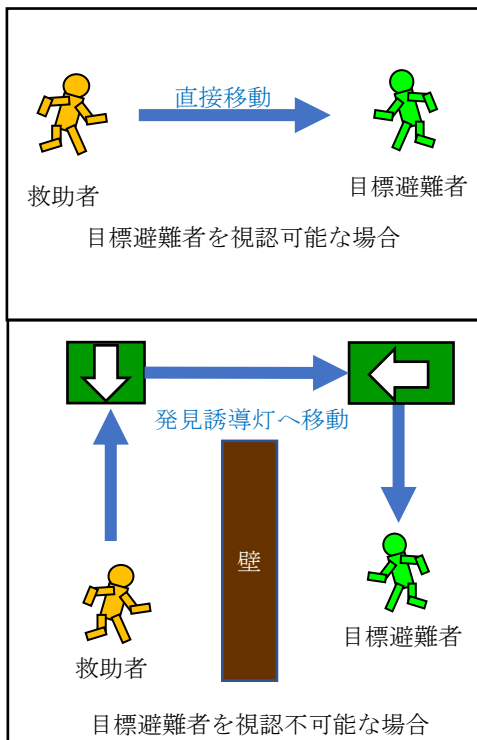


図 1 0 救助者の目標避難者への移動

4. 実装と実験

4.1 実装

本研究では、モデル化した避難現象とネットワーク化された誘導灯、提案する救助者を *artisoc 4.2.1*[8]を用いてマルチエージェントシミュレーションとして実装した。実装したシステムの実行画面を図 1 1 に示す。

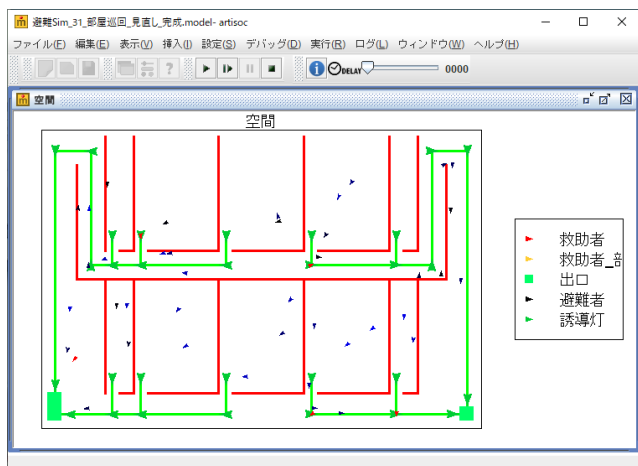


図 1 1 実装したシステムの実行画面

4.2 実験と実験結果

提案した手法の避難効率を検証するために、グループホームを模した構造(図 1 2)を用いて実験を行う。この構造は、平面上で疑似的に2階建てを表現するため、左上、右上部分に階段を想定した構造で2階部分と接続している。

全ての通路の幅は2m, ドアの幅は1mとし, 出口, 各部屋の内外, 曲がり角に誘導灯を設置している。また, シミュレーション内の1ステップは2秒とする。

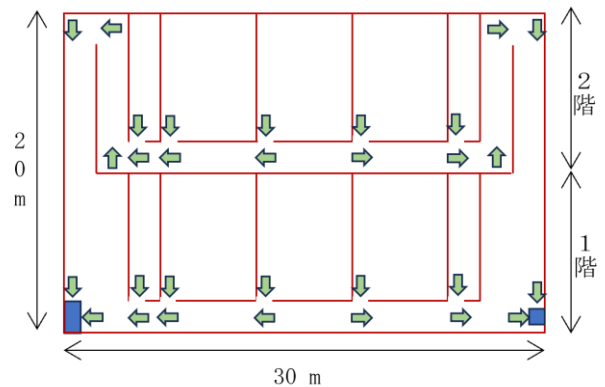


図 1 2 実験で用いた建物内構造

実験の条件は以下の通りとする。

- 配置避難者数: 10~40人(10人刻み)
- 配置救助者数: 1~5人(2人刻み)
- 評価基準(1): 避難完了時間(全避難者が出口に到達するまでの時間)
- 評価基準(2): 救助者移動距離(各救助者が避難完了までに移動した距離)
- 試行回数: 各条件1000回

提案する手法と比較するために, 各部屋を巡回していく救助者エージェント(以下巡回エージェント)も実装している。巡回エージェントは, 各部屋を右回り/左回りで巡回し, 部屋内に避難者がいた場合にはその避難者を出口まで連れて移動する。移動速度は通常の救助者と同じとし, 避難者リストは使用しないものの, 救助者をノードとする建物内構造の情報は使用できるものとする。

上記の条件で実施した実験結果を図 1 3, 図 1 4 に示す。なお, グラフ中の「救助者」が提案手法である。

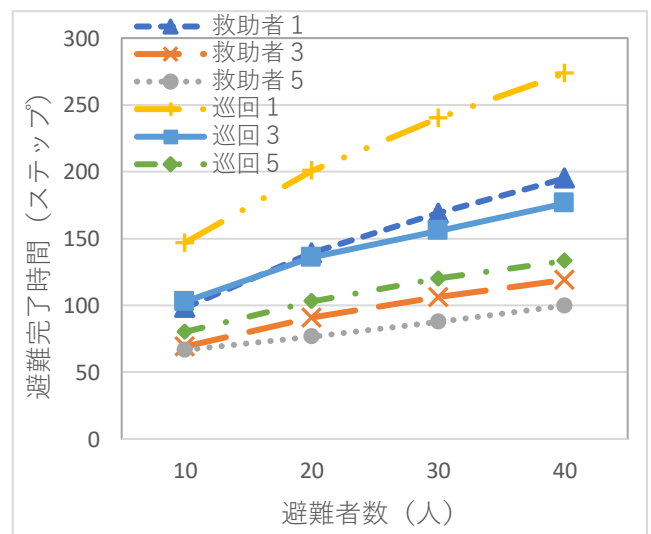


図 1 3 実験結果 避難完了ステップ数

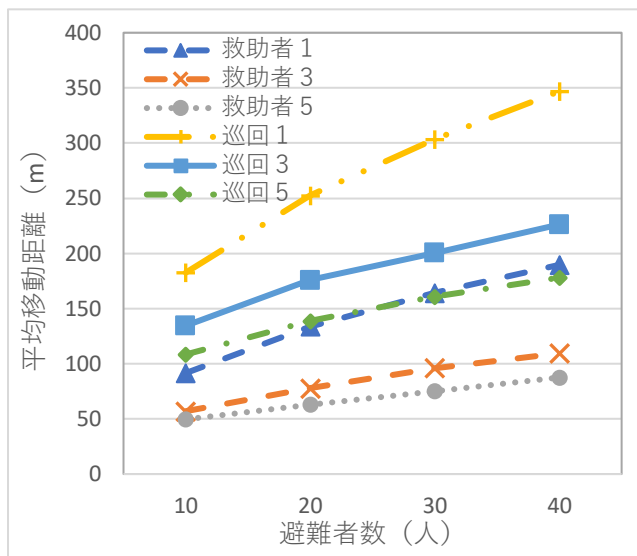


図 1 4 実験結果 救助者移動距離

4.3 考察

図 1 3 より、本研究で提案する救助者エージェントの避難完了時間が、同数の巡回エージェントより短い時間となっており、避難の効率化ができていていることが分かる。また、提案救助者 1 人で巡回 3 名とほぼ同程度の避難完了時間となっているため、救助活動時の省力化にも有効と考えられる。

図 1 4 より、提案救助者は巡回エージェントに比べて、より短距離の移動で全員の避難を完了できていることが分かる。これは、巡回エージェントの場合には、避難者リストを利用できないため、どこに避難者が残っているかわからず、全員の避難が確認できるまでは巡回を続けているためである。それに対し、提案救助者は誘導灯による認識で、避難者が残っている場所のみ移動すればよいため、同じ条件であれば半分程度の移動距離となっている。実際の救助現場では、救助する人員の体力にも限りがあるため、移動の効率化ができる提案手法は有用であると考えられる。

提案手法では、誘導灯ネットワークは避難者リストを示すのみで、実際の目標選択は救助者側が行っているため、複数の救助者がいる場合の割り振りの最適化は行われていない。そのため、複数の救助者がいる場合に、避難者から最も近い救助者が割り振られる保証は無く、先に行動順が回ってきて救助者リストの参照を行った救助者が救助を始めてしまう状況が見られたため、全体の最適化を行うことで、さらに効率化が可能であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、避難者を認識する誘導灯のネットワーク化による避難者リストを作成することで、効率的な救助を行う手法について提案し、MAS 上で有用性の検証を行い、避

難完了時間、移動距離を短縮できることを示した。

今回は救助者への情報提供による行動の効率化の基本的な検証として、比較的単純な条件でモデル化を行っているため、車いすによる移動や階段、段差など、移動に制限のある避難者については再現できていない。また、救助の際には、避難者 1 人で救助者 1 人を移動可能としているが、実際には複数の救助者が必要となる場合もあるため、救助者の割り当て手法などに考慮が必要と考えられる。

避難者の能力差は移動速度の差という形で表現しているが、救助者については一律の能力となっている。しかし、年齢別に最大歩行速度が異なる[9]ことが知られており、今後はより実際の状況に近づけるための詳細なモデル化が必要と思われる。

参考文献

- [1] 総務省：消防法施行規則, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=336M50000008006>, (2025/2/13 閲覧)
- [2] 辻優介, 尾崎昭剛, 原尾政輝：MAS 手法を用いた屋内避難誘導灯の最適配置法に関する研究, 第 11 回 MAS コンペティション, (2011).
- [3] 渡邊卓也, 大上俊之, 小山茂：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, 計算数理工学論文集 Vol.7, pp. 7-12, (2007).
- [4] 消防庁：長崎市認知症高齢者グループホーム火災の概要, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento133_05_shiryo4.pdf, (2025/02/13 閲覧)
- [5] 消防庁:消防予第 661 号 有料老人ホーム等に係る防火対策の更なる徹底について, <https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/items/e50aa68adf5618621c87ed758cb43bc7cf19ebfe.pdf>, (2023)(2025/2/13 閲覧)
- [6] 森下朔, 水口竜一, 金井純子, 馬場俊孝：要介護者の避難行動速度, 自然災害科学 J. JSNDS 37 -4 397 -406 (2019)
- [7] 尾崎昭剛：誘導灯ネットワークに基づく動的避難誘導, 火の国情報シンポジウム, (2021)
- [8] 構造計画研究所：artisoc, <http://mas.kke.co.jp>, (2009)
- [9] 伊東 元, 長崎 浩, 丸山 仁司, 橋詰 謙, 中村 隆一, 健常男子の最大速度歩行時における歩行周期の加齢変化, 日本老年医学会雑誌, 1989 年 26 巻 4 号 p. 347-352, (1989)