

AR 端末を持つ群集の避難誘導を行うシミュレーションモデル

Agent-Based Simulation Model for People Evacuation Support with Artificial Reality Facilitated Mobile Devices

坂田顕庸¹ 末永昂平¹ 高橋聡⁴ 國上真章² 吉川厚³ 寺野隆雄²

Akinobu Sakata¹, Kohei Suenaga¹, Satoshi Takahashi¹, Masaaki Kunigami¹, Atsushi Yoshikawa¹, and Takao Terano²

¹ 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻

¹Department of Computational Intelligence and System Science, Tokyo Institute of Technology.

² 東京工業大学 大学院情報理工学研究科 情報工学コース

²Department of Artificial Intelligence, School of Computing, Tokyo Institute of Technology.

³ 東京工業大学 大学院情報理工学研究科 知能情報コース

³Department of Computer Science, School of Computing, Tokyo Institute of Technology.

⁴ 東京理科大学 経営学部 経営学科

⁴Tokyo University of Science, School of Management.

Abstract: 本研究では、閉鎖空間における視界が悪化した状況下における群集の避難という問題に対して、避難者の持つ AR 端末を利用した誘導に関して仮説を立て、検証した。検証にはエージェントベースシミュレーション (ABS) を採用し、1) 全避難者に対する AR 端末利用者の割合が大きくなると、AR 端末利用者以外の歩行者エージェントの避難を促す傾向と、2) 群集密度の高い状態になっても、滞留を起こさずに流率を維持するケースがあることを発見した。

はじめに

閉鎖空間において、煙や停電等で視界が悪化した状況では、避難誘導の重要性が指摘されている[1]。

既存の誘導員による直接的な誘導や、誘導灯や従来のモバイル端末による避難情報の提供は、上記状況では意図・情報の伝達が困難である。

これに対して、実世界文脈に則ったリアルタイムの情報提示が可能な AR を利用したモバイル端末 (AR 端末) の利用者に対して誘導を行うことで、AR 端末の利用者だけでなく、それらに追従するその他の避難者の連鎖的な避難に波及する可能性がある。

一方、避難者を多数誘導した結果、群集密度の悪化が発生し、滞留となって避難が滞る可能性がある。

本研究の目的は、上記の状況における AR 端末による避難誘導のモデルを構築し、コンピュータシミュレーションを行い、仮説の検証を行うことである。

シミュレーションモデル

シミュレーション手法

本研究で使用するシミュレーション手法は、災害等の緊急時の避難者の複雑な行動の表現に適したエ

ージェントベースシミュレーション (Agent Based Simulation: ABS) [6] である。

なお、現実の避難者に相当する歩行者エージェントの歩行ルールは佐藤[2]が提案したものを採用した。歩行者エージェントの性格・行動規則・フィールドは、佐藤[3]のモデルを一部採用した。

想定する避難の状況

シミュレーションは、「閉鎖空間において視界が確保できない状況」のフィールドにおける避難を扱う。

避難者は拡張現実 (Augmented Reality: AR) によって提供される避難情報を獲得可能なモバイル機器 (AR 端末) を所有する。

誘導者は、避難者の AR 端末に対してリアルタイムで適切な避難情報を提供する。

避難者は視界が悪化した状況でも、AR 端末を利用することで避難に適した出入口の場所を把握できる。

環境要素

シミュレーションでは、1セルを 0.6[m] x 0.6[m] とし、実在する駅を再現したフィールドのモデルを使用する。

セルには、階段・壁・出入口が存在し、壁は駅構

内を構成する。

出入口には単位時間あたりで通過できる人数の制限を表す流動係数を持つ。

状況区分

シミュレーションには3つの状況がある。

- ・ 平常フェーズ： 災害発生前
歩行者エージェントは、出入口・階段の片方で出現し、もう片方に向けて移動する。
- ・ 視界悪化フェーズ： 災害発生後
歩行者エージェントは、視界が悪化し、移動目標を見失い、出入口を探す。
- ・ AR 情報提供フェーズ： 災害発生後
誘導者側が AR 端末を所持する避難者に対して避難情報の提供を行う。避難者はその情報を元に、適切な出入口へ移動する。

歩行者エージェントの性格

佐藤[2]は災害時の駅構内における避難シミュレーションのモデル定義の際、緊急時における歩行者の行動傾向[6]から、歩行者の特徴区分とそれに対応した行動規則を定義した。本研究ではこれらを参考に、歩行者エージェントの特徴として、「AR 端末利用型」「迷走型」「追従型」を定義する。

表 1：歩行者エージェントの避難時の特徴

特徴区分	説明
AR 端末利用型	AR 端末で示された場所に向かう。
迷走型	視界の確保ができず、パニックになり、フィールドを彷徨う。
追従型	視界の確保ができず、パニックになり、周囲の歩行者エージェントに同調して同じ方向に移動する。

歩行者エージェントの行動規則

佐藤が定義した歩行者エージェントの行動規則[3]を参考に、次のように定義した。

- ・ 通常時と視界悪化時で行動が異なる。
- ・ 通常時、歩行者エージェントは、各々が選択した目的地に向けて固有速で移動する。
- ・ 煙充満時直後、歩行者エージェントは特徴区分に従って、行動規則を決定する。

視界悪化時は、性格で行動規則が異なる（表 1）

AR 端末利用型の移動目的地の選定

本節では、AR 端末利用型の歩行者エージェントの、移動目的地を決定方式について説明する。

AR 端末利用型の歩行者エージェント i は、1 ステップ毎に移動目的地 j の引力値 F_{ij} を重力モデ

ルに基づいて計算し、 F_{ij} が最大値の移動目的地を目指して移動する。

$$F_{ij} = \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2} \cdots (1)$$

M_i は、AR 端末利用型の歩行者エージェント i の移動目的地（出入口と）に対する感度を表す 2 次元のベクトルである。要素は 0 以上 1 以下の実数値であり、乱数である。

M_j は、移動目的地 j の特徴を表す 2 次元のベクトルである。要素には、出入口と AR 端末の有無を示すため、0 と 1 のいずれかがセットされている。

D_j は、AR 端末利用型の歩行者エージェント i と、移動目的地 j の間のユークリッド距離を表すスカラー値である。

実験と結果

実在する構造物（図 1）における、突然の視界悪化状況の発生に対する避難のシミュレーションを行った。シミュレーションは各シナリオにつき、それぞれ 10 回試行した。

避難の中で、AR 端末を利用した避難誘導が、避難者数、避難時間の短縮に有効であるかを検証した。

表 2 歩行者エージェントの行動規則

特徴	行動規則
AR 端末利用型	1 ステップ毎に、全ての AR マーカと出入口の引力値を計算・比較し、最も引力値の大きなものを目的地に設定して移動する。
迷走型	自分の場所から半径 R1[steps] 以内に存在する場所に向けて s1[steps] 移動する。 自分の場所から半径 R2[steps] 以内に他の歩行者エージェントが進入すると、確率 p1 で追従型に移行する。
追従型	自分の場所から半径 R2[steps] 以内に存在する歩行者エージェントのうち、共通の目的地の数が最も多い歩行者エージェントの内のひとりについて移動する。 自分が行動を合わせていた歩行者エージェントが、自分の場所から半径 R2 の範囲から外れた場合は、迷走型に移行する。

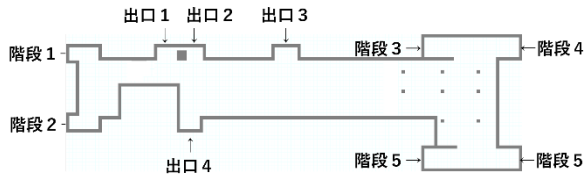


図 1 閉鎖空間の構図

避難の基本シナリオ

- S1. 視界悪化フェーズにおいて、歩行者エージェントは、迷走型・追従型のいずれかに別れて避難のために出入口を探索する。
- S2. AR 情報提供フェーズにおいて、歩行者エージェントが出現し、出入口 1 に向けて移動する。
- S3. AR 情報提供フェーズにおいて、歩行者エージェントが出現し、出入口 3 に向けて移動する。

シミュレーション設定

実在する地下室(図 1) をシミュレーション上に構築し、避難シミュレーションを行った。

通常時、歩行者エージェントは、出入口からいずれかの階段に向かうタイプと、階段からいずれかの出入口に向かうタイプの 2 種類が存在する。

表 3 シミュレーションに使用するパラメタ

パラメタ	設定値
歩行者エージェント数[人]	800
時間[sec/step]	0.25
発煙時刻[step]	300
AR 端末への避難情報提供のタイミング[step]	300
AR 端末利用型の割合	0~1
迷走型の割合 (視界悪化時)	0.5
追従型の割合 (視界悪化時)	0.5
歩行速度の倍率[倍]	1~2
流動係数[人/step・sec]	1.5[4]
R1[セル]	40
R2[セル]	4~8
s1[step]	30
p1	1
総ステップ数[step]	1500
歩行者エージェント出現確率 [人/step]	
出入口 1	0.1
出入口 2・3	0.2
出入口 4	0.25
階段 1・2・3・4	0.1
階段 5	0.15
階段 6	0.2

実験

閉鎖空間で視界の確保が困難な状況下で、複数の AR 端末を使用する避難者が共通の目的地へ向かう行動は、他の避難者の注意を引きつけ、2 次的な誘導効果が生まれるものと想像される。

すなわち、AR 端末を利用した避難者の数が多いほど、より短時間で多数の避難者が避難を完了できるはずである。

一方で、AR 端末を利用した避難者に追従した群集が出入口付近に殺到し、滞留が発生して避難の効率を悪化させる懸念がある。

本実験では、避難時に特定出口以外を使用することができないという、混雑が発生し易い、或いは発生し難いと考えられる 2 つの状況を想定した。

使用した出入口は、出入口 1 と出入口 3 である。出入口 1 は左側の狭い通路と右側の広い通路の接合ポイントであり、避難の際に人の流れが合流する位置にある。出入口 3 は、広い通路の中央に位置した場所にあり、比較的安定した人流のある場所にある出口である。前者は滞留が発生し易く、後者は混雑が発生し難い状況である。

結果と考察

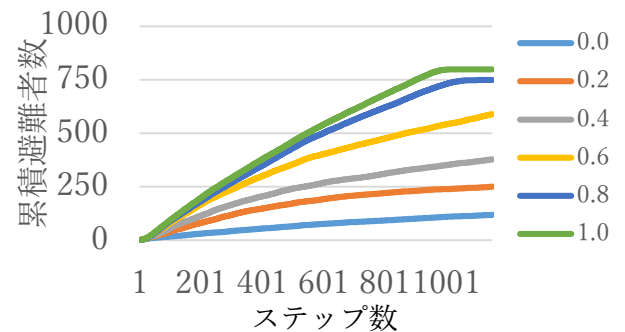


図 2 AR 端末利用型の割合を変えたときの出入口 1 における避難者数の比較

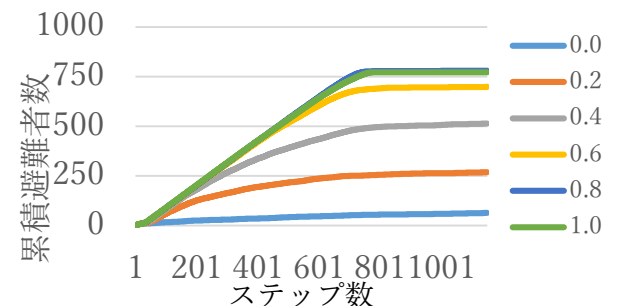


図 3 AR 端末利用型の割合を変えたときの出入口 3 における避難者数の比較

出入口 1, 出入口 3 への避難シナリオでは, 避難者全体における AR 端末利用型の割合が高いほど, 避難者数は多くなる傾向が表れた (図 2・図 3).

AR 端末利用型の歩行者エージェントの有無で, 避難者数に著しい差があった. AR 端末利用型への避難誘導による 2 次的な誘導効果が確認できた.

追従型の歩行者エージェントは, 周囲の歩行者エージェントに合わせるかたちで移動する. AR 端末利用型の歩行者エージェントの数が少ない場合, 追従型の歩行者エージェントの追従対象とみなされる確率は低くなる. よって, AR 端末利用型の歩行者エージェントの割合の違いが, 避難者数の総数に表れる.

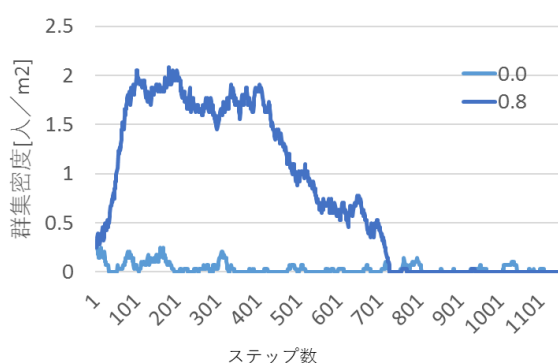


図 4 出口 3 付近の群集密度の遷移
(AR 端末者割合: 0.8/0.0, R1:4)

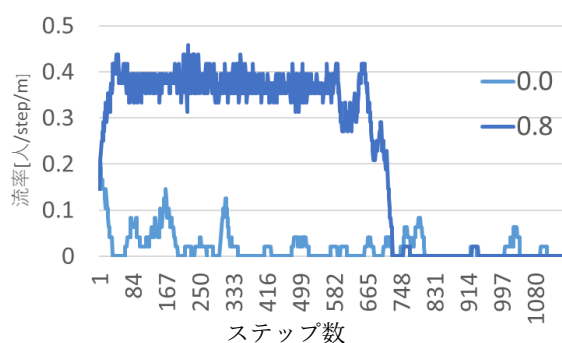


図 5 出口 3 への避難者の流率の変化
(AR 端末者割合: 0.8/0.0, R1:4)

出入口 3 への避難時において, 出入口 3 付近での混雑が見られたが, 流率は基準値ぎりぎりを維持し続けた (図 4, 図 5). 一般には, 人流を円滑にするために, 高密度化を防止し, 滞留を回避するが, 今回はその逆の現象が見られた. 今後, 継続して解析する.

おわりに

本研究では, 閉鎖空間における視界確保が困難な状況における避難誘導という課題に対して, AR 端末使用者が混じった群集の避難誘導シミュレーショ

ンを行った. その結果, AR 端末利用者への避難誘導の影響が他の歩行者エージェントの追従を促進させ, 避難者全体の避難に貢献する可能性を示唆する結果を得た.

さらに, 従来, 群集密度の高密度化が滞留を生み出すとされてきたが, 今回の結果では高密度状態になっても出口への流率は衰えなかった. 現象の説明づけが今後の課題である.

謝辞

本研究を進めるにあたり, 数々の貴重なご意見を頂戴した北澤正樹氏, シミュレータ構築に多くの工数を割いて頂いた財津駿平氏に対し, 深く御礼を申し上げます.

参考文献

- [1] 神: 生死を分ける避難の知恵—その 1 火災避難時の基礎知識—, 日本照明工業会報, No.8, pp.65-69, 2014.
- [2] 佐藤和希, 高橋徹, 山田隆志, 寺野隆雄: 群歩行シミュレーションにおける一般化歩行ルールの検討, JAWS2008.
- [3] 佐藤和希, 高橋徹, 山田隆志, 寺野隆雄: エージェント技術に基づく駅構内の群歩行シミュレーション, IEICE Technical Report AI2008-78(2009-03).
- [4] 兼田敏之, ほか artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション, 書籍工房早山, 2010.
- [5] Sutherland I.E.: A head-mounted three dimensional display, Proceeding AFIPS '68(Fall, part I) {proceedings of the December 9-11, joint computer conference, pp. 757-764, (1968)}
- [6] 寺野隆雄: エージェントベースモデリング: その楽しさと難しさ, 計測と制御, 第 43 巻, 第 12 号, 2004.