

動的避難誘導における同調行動と危険回避行動の影響 Effects of Herd Behavior and Risk Avoidance Behavior in Dynamic Evacuation Guidance

鶴島 彰

Akira Tsurushima

セコム株式会社 IS 研究所

SECOM CO., LTD., Intelligent Systems Laboratory

a-tsurushima@secom.co.jp

概要

危険回避行動と同調行動が、火災時の建物内避難における動的避難誘導システムの性能に与える影響について、マルチエージェントシミュレーションを用いて評価する。先行研究において、同調行動が動的避難誘導に否定的に影響することは知られていたが、実際の火災避難においては、平均避難時間の延長と火災被害の分散の拡大という形で現れることが分かった。

キーワード：動的避難誘導、同調行動、危険回避行動、マルチエージェント・シミュレーション

1. はじめに

現在、建物内から群衆を効率的かつ安全に避難させることを目的とした、動的避難誘導システムの研究が世界中で行われている。動的避難誘導システムは、避難環境の情報を収集するセンサーと、避難者に適切な避難方向を示す避難標識とからなり、避難標識は、センサーがもたらす情報に応じて避難方向を変化させて表示できるため、状況によって異なる避難経路を生成できるところが特徴である。通常建物内で使用されている静的な避難標識による避難誘導手法では、避難中に刻々と変化する避難環境に対処できず、場合によっては避難者を危険な場所に導いてしまうという問題に対する、これはひとつの解答である。

図1は、現在我々がマルチエージェント・シミュレーションを使って研究している動的避難誘導システムの画面である。図は建物の一フロアの平面図を示したものであり、周囲の空間（薄茶色の部分）にいる800体のエージェントを、複雑な通路を通して中央にある二つの避難口に誘導している様子を示している。右上の黒い領域が動的に広がっていく火災を示しており、その周囲の白い領域は火災により発生した煙を表している。通路上のコーナーと周囲の空間と通路を結ぶ扉（黄色い部分）には、避難標識（緑の三角形）が設置さ

れており避難方向を示しているが、状況に応じてこの避難標識は誘導方向を変化させる。動的避難誘導システムは、エージェントをなるべく火災領域から遠ざけつつ、かつできるだけ短時間で避難を終了させるようにアルゴリズムにより制御されている。

避難中の人間行動についてこれまで多くの研究 [3] が行われてきたが、人間の避難行動は複雑で予想が難しく、これらの研究においても多くの対立する結果が発表されている [4]。また、エージェントと違い、現実の人間は避難標識に従うとは限らない。過去の記憶や他の避難者の行動による影響（同調行動）などの、避難標識と矛盾する情報が与えられた場合、人間の避難者が避難標識に従う効果が低減されることが実験により示されている [1]。これ以外にも、避難中の他の避難者との同調行動が、避難結果に大きな影響を及ぼすことが多くの研究で示されてきた [5, 7]。しかし、避難行動に与える避難標識の効果の研究のほとんどは、静的な避難標識を対象として行われてきた。

一方、動的避難誘導システムの効果に関する研究は、人間を使った実験 [2] やバーチャル・リアリティを利用した実験 [9] により行われ、いずれも有効な効果が認められた。しかし、動的な避難標識に対する人間の反応という意味の研究はほとんど行われて来なかった。我々は先行研究 [10] において、バーチャル・リアリティを使った、31人の被験者による実験を行い、避難中の動的避難標識に対する人間の反応について調査を行った。その結果、動的避難標識は避難誘導効果はあるが、他の避難者による対立した情報が与えられる条件では、その効果が著しく低下する事が分かった。特に、避難標識が指示方向を変える回数が増えるほど避難標識の効果の低減は激しくなり、避難中に三回方向が変わるとほぼチャンスレベルまで下がる事が分かった。

以上から、動的避難誘導システムの研究においても、必ず避難標識に従うエージェントを使ったシミュレー

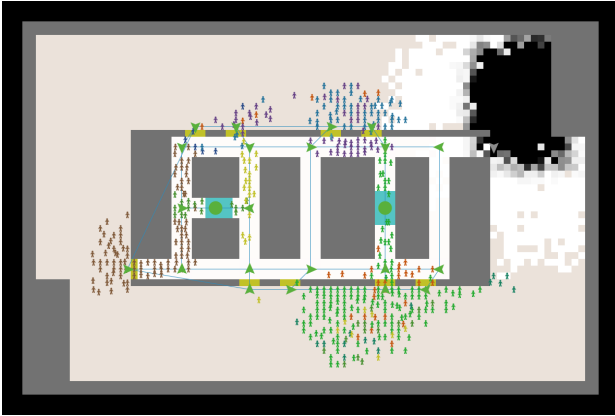


図1 火災延焼時の動的避難誘導システム

ションのみでは十分でなく、エージェントに上記のような人間的要素を組み込んだ確認が必要である。本稿では、火災避難時に見られる代表的な人間行動である、同調行動と危険回避行動の二つをエージェントに組み込んで実験を行うことで、動的避難誘導システムに対する人間行動の影響について確認した。

2. 方法

避難誘導システムの評価基盤として、火災延焼モデル、避難エージェントモデル、動的避難誘導システムモデルからなる統合モデルを用意する。動的避難誘導システムモデルは本研究における評価対象であり、避難エージェントモデルはこのモデルの性能を表す評価関数である。これを基に、エージェントの避難時間(指標1)と、避難中にエージェントが暴露する火災被害の総量(指標2)の二つが評価値として計算される。動的避難誘導システムに組み込まれたアルゴリズムは、最適な避難誘導ができるよう、パラメータが調整されている[8]。

基本的な避難エージェントモデルは以下の二種類の意思決定のみが組み込まれた単純なモデルであり、人間の避難行動とは大きく異なったものであった。

1. 視界内に避難標識が入った場合はその指示に従った選択をする
2. 選択肢間でランダム選択を行う

このような基本的な避難エージェントモデル(基本モデルとよぶ)に対し、新たに二つの意思決定ルールである危険回避行動と同調行動を導入する。

危険回避行動

危険回避行動は、エージェントがいる場所の火災危険度(火災延焼モデルにより計算される実数)により

確率的に起動する。このルールでは、現在のエージェントの可能な選択肢(扉またはコーナー)それぞれに対して、エージェントが移動しようとした場合、直近で通らなければならないグリッドのうち最も火災危険度が小さいグリッドを有する選択肢が選ばれる。つまり、周囲で最も危険が少なそうな方向にある選択肢を選ぶという行動を模したものである。この行動を組み込むことにより指標2が向上することが期待される。

同調行動

同調行動は、避難中の意思決定が周囲の人々の行動に影響される状況を表したもので、この行動は避難意思決定モデル[6]により確率的に起動する。同調行動が起動した時、エージェントは周囲のエージェントの選択のうち、最大多数の選択を選ぶことになる。この行動が、避難に対してポジティブな変化をもたらすか、ネガティブな変化をもたらすかは自明ではない。

3. 実験

次の四つの避難エージェントモデルを作成し、それぞれについて1000回のシミュレーションを行った。

1. 基本モデル(基本モデル)
2. 基本モデルに同調行動を加えたモデル(同調モデル)
3. 基本モデルに危険回避行動を加えたモデル(回避モデル)
4. 基本モデルに同調行動と危険回避行動を加えたモデル(同調&回避モデル)

シミュレーション結果を図2に示す。

さらに、上記の2と4に関しては、同調行動の強さが最終的な結果に与える影響についても分析した。今回導入した避難意思決定モデル¹は以下のようなものである。

$$P(X=0 \rightarrow X=1) = \frac{s^2}{s^2 + \theta^2} \quad (1)$$

$$P(X=1 \rightarrow X=0) = \varepsilon \quad (2)$$

$X=0$ は同調行動を表し、 $X=1$ は自律的な行動(今回の研究ではランダム選択)を表す。避難意思決定モデルは二つの行動の間の遷移確率を表現したものである。このモデルにおける ε は同調行動へ遷移する確率

¹真社会性生物の分業を表現した、生物学の反応閾値モデルをベースにしたモデル。エージェントに式(1)と(2)、さらに乱数である θ が組み込まれている。時間とともに変化する環境刺激 s により、各エージェントは確率的に X の値を変化させ、その値により自律行動と同調行動が切り替わる。 $0 \leq \varepsilon \leq 1$ の値が大きいほど、同調行動を行う時間が長くなる。[6]

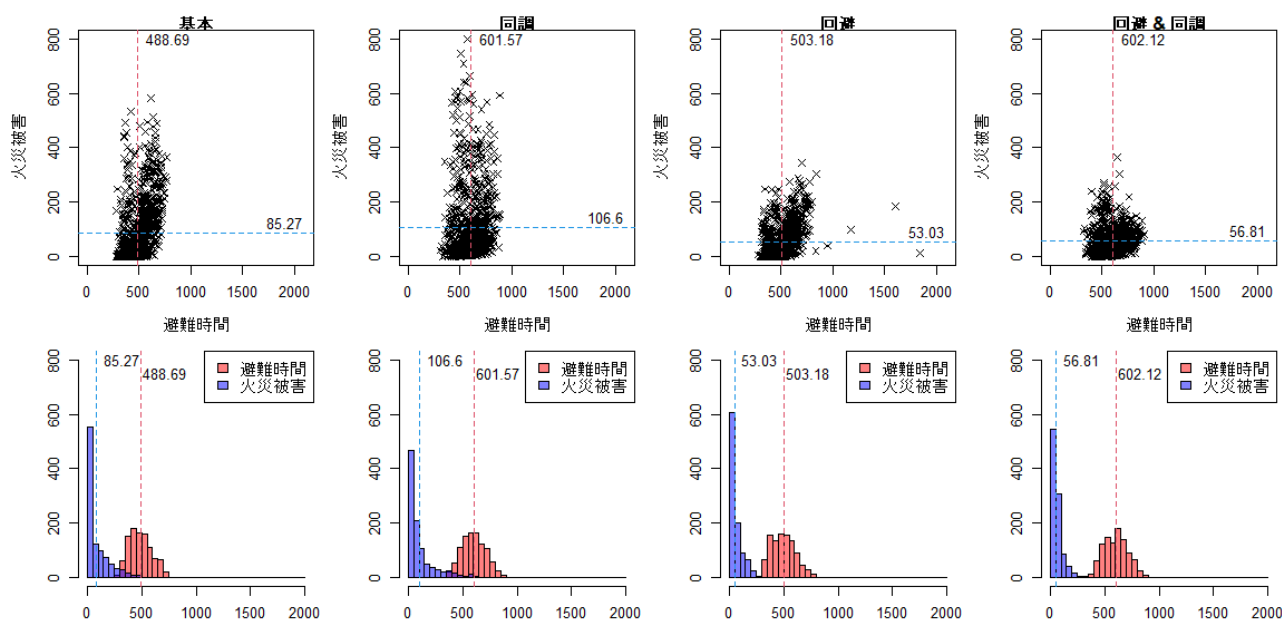


図2 基本, 同調, 回避, 回避&同調モデルのシミュレーション結果. 上段に散布図, 下段に対応するヒストグラム

を表しており, この値が1に近いほど同調行動の期間が長いことを意味する. 上記2と4のモデルについては, ϵ を変化させたシミュレーションを別途行い, その結果を図3と図4に示した.

4. 実験結果と考察

図2に, 上記1~4の避難エージェントモデルを使ったシミュレーションの結果を示す. 図のX軸は避難時間を, Y軸は火災による被害を表している. また赤と青の破線により両者の平均値を示す. また, 下段にはそれぞれに対応するヒストグラムを示した.

基本モデルをみると, 両者の分布の違いが分かる. 避難時間については, 平均値を中心に広がった分布であるが, 火災被害については0の場合がもっとも多い裾の重い分布である. これは火災被害に関しては, 多くの場合被害は小さいが, 小さい確率で非常に大きい被害が発生することを意味する.

同調モデルをみると, 分布の特徴は基本モデルと同じだが, 平均値は避難時間, 火災被害ともに悪化しており, 特に避難時間についてその度合いが大きく, 火災被害に関しては分散が大きくなっている. これは同調行動が避難誘導にネガティブな影響をあたえる事を示している. 実験[10]において, 周囲のエージェントの行動が動的な避難誘導にネガティブな影響を与えた事と整合的である. 同調行動の影響が避難時間の延長と火災被害の分散の拡大という形で現れることが分

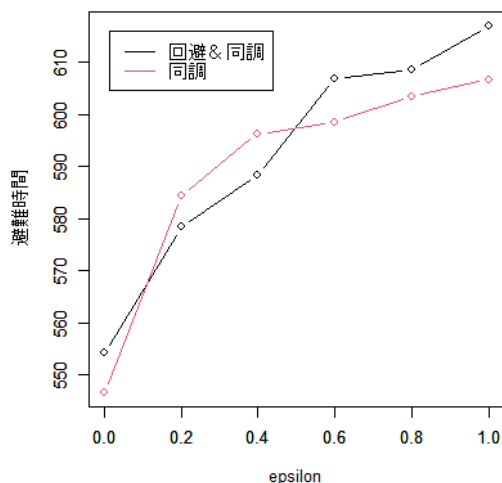
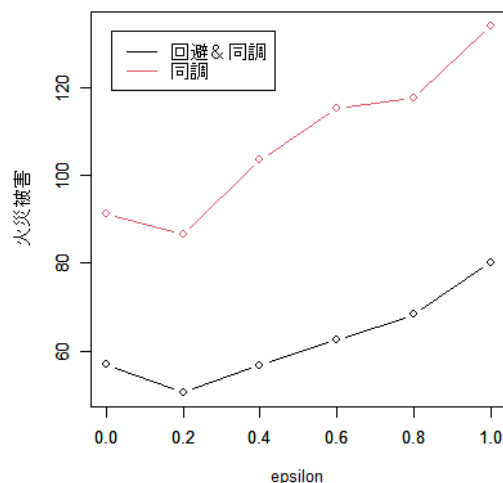
かった.

回避モデルでは, 避難時間の平均は基本モデルと同程度だが, 火災被害については大きく改善している. このモデルで特徴的なのは, 火災被害について分散が縮小していることで, 少ない確率で発生する甚大な被害が抑制された事が分かる. また, 避難時間に関して少数の外れ値の存在が見られる.

回避&同調モデルについては, 回避モデルと同様, 火災被害は大きく抑えられ分散も小さくなっている. 一方, 避難時間については同調モデルと同程度に悪くなっている.

以上を整理すると, 回避行動の導入は火災被害の平均と分散の縮小につながり, 同調行動の導入は避難時間の延長に繋がる事が分かる.

図3は同調行動の強さと避難時間の関係を, 図4は同調行動の強さと火災被害の関係を, ϵ の変化により示したものである. 図の赤の実線は同調モデル, 黒の実線は回避&同調モデルの結果を示している. どちらの図も, 基本的には右上がり, 同調行動が強いほど避難時間も火災被害も大きくなることが示された. 図3では, 同調モデルと回避&同調モデルの結果はほぼ重なっており, 避難時間については同調行動を導入した場合, 回避行動の影響はほぼ無視できる事が分かる. しかし, 同調行動が避難時間に与える影響は強く, $\epsilon = 0.2$ のような小さい場合であっても, 避難時間が大きく延びることが分かる.

図3 ϵ と避難時間の関係図4 ϵ と火災被害の関係

一方、図4では、赤と黒の線の間隔が大きいことから、回避行動の有無が火災被害に大きい影響を与えていることが分かる。また、線が基本的に右上がりであることから、同調行動の強さが負の影響を与えることが分かる。間隔は大きいものの、 ϵ に対する赤と黒の線の上昇の傾向はほとんど同じであるため、同調行動が火災被害に及ぼす影響に対して、回避行動による影響は大きくないと思われる。

同調行動がこのような悪影響を与える理由は、基本モデルではエージェントの行動が独立なため、動的な標識変化に素早く反応できるのに対し、同調行動を入れたエージェントは避難標識が変化しても、他のエージェントの影響によりすぐには反応できないからだと考えられる。

5. 結論

シミュレーション実験の結果から、回避行動は火災被害を抑制し、同調行動は避難時間を延長する事が分かった。同調行動が、動的に変化する避難標識に人間が従う行動を邪魔することは以前の実験から知られていたが、これが避難時間の延長と火災被害の分散の拡大という形になって現れることが明らかになった。

文献

- [1] Bode, N.W.F., Wagoum, A.U.K., Codling, E.A.: Human responses to multiple sources of directional information in virtual crowd evacuations. *Journal of The Royal Society Interface* **11**(91), 20130904 (2014)
- [2] Galea, E., Xie, H., Deere, S., Cooney, D., Philippidis, L.: Evaluating the effectiveness of an improved active dynamic signage system using full scale evacuation trials. *Fire Safety Journal* **91** (04 2017). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.022>
- [3] Haghani, M.: Empirical methods in pedestrian, crowd and evacuation dynamics: Part i. experimental methods and emerging topics. *Safety Science* **129**, 104743 (2020)
- [4] Haghani, M.: Empirical methods in pedestrian, crowd and evacuation dynamics: Part ii. field methods and controversial topics. *Safety Science* **129**, 104760 (2020)
- [5] Ji, Q., Xin, C., Tang, S., Huang, J.: Symmetry associated with symmetry break: revisiting ants and humans escaping from multiple-exit rooms. *Physica A* **492**(15), 941–947 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.024>
- [6] Tsurushima, A.: Modeling herd behavior caused by evacuation decision making using response threshold. In: Davidsson, P., Verhagen, H. (eds.) *Multi-Agent-Based Simulation XIX. MABS2018. LNAI 11463*, pp. 138–152. Springer (2019)
- [7] Tsurushima, A.: Reproducing symmetry breaking in exit choice under emergency evacuation situation using response threshold model. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence - Volume 1: ICAART*, pp. 31–41. INSTICC, SciTePress (2019). <https://doi.org/10.5220/0007256000310041>
- [8] Tsurushima, A.: Integrated simulation approach for dynamic distributed evacuation guidance under fire spread and rare but catastrophic events. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2024)* (2024)
- [9] Zhao, H., Schwabe, A., Schfli, F., Thrash, T., Aguilar, L., Dubey, R., Karjalainen, J., Hlscher, C., Helbing, D., Schinazi, V.: Fire evacuation supported by centralized and decentralized virtual guidance systems. *Safety Science* **145** (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105451>
- [10] 鶴島彰, 宮野修平: 動的に変化する避難情報が避難者の意思決定にあたる影響について. In: 2023年度日本認知科学会第40回大会論文集 (2023)