

地域防災力向上支援ツールとしてのMASを活用した警戒・避難シミュレーションの提案

神戸市立工業高等専門学校 ○鳥居宣之, 光同寺太朗, 中山優衣, 野並賢

1 はじめに

日本における災害対策では、ハード対策とソフト対策を組み合わせることで防災・減災が進められている。豪雨に伴う土砂災害時の人的被害を軽減するためには、事前の避難計画の立案とともに、住民に適切な避難情報を発信し、迅速な避難行動を促すことが重要である。しかし、土砂災害は発生場所や時期、規模の予測が困難であり、避難対象者が事前に定められた経路で円滑に避難できるとは限らない。この要因として、避難開始場所や危険箇所の認知度、歩行速度など、人の属性の違いが影響すると考えられる。鳥居ら¹⁾は、土砂災害の発生が想定される地域における避難計画を検討するため、マルチエージェントシミュレーション(以下MASと称す)を用いた避難シミュレーションモデルの構築を行った。

本研究では、鳥居ら¹⁾のエージェントの行動ルールに対して、新たにいくつかの行動ルールを組み込んだMASを構築し、鳥居らの研究および本研究で追加した手法が避難行動に与える影響を分析することで、地域防災力向上のための支援ツールとしての本シミュレーションの有用性を検討する。

2 エージェントの設定

本研究では、構造計画研究所が提案するMASプラットフォームである「artisocCloud」²⁾を用いる。以下では、鳥居ら¹⁾の研究で定義されたエージェントの行動ルールを本研究の目的に合わせて再定義するとともに、本研究で新たに追加した要素について説明する。

(1) 居住者・非居住者の定義

地域における人口構成を表現するため、地域住民を「居住者」(A)、地域外から訪れる人々を「非居住者」(B)と定義した。本分類は構成比設定を目的とし、行動ルールに差異はないものとする。

(2) 歩行速度の設定と傾斜に応じた速度補正

平均歩行速度を1.4 m/sとし、ハンディキャップを有するエージェントは0.7 m/sとした。さらに、傾斜地による歩行速度を考慮するため、Toblerのハイキング関数³⁾をm/sに換算した式(1)を用い、傾斜角 θ に応じた歩行速度補正を行った。

$$W_{m/s}(\theta) = \frac{v_0}{\exp\{3.5|\tan(\theta) + 0.05|\}} \quad (1)$$

ここで、 $W_{m/s}$: 補正後の歩行速度、 v_0 : 平均歩行速度

(3) 渋滞要素の導入

狭い路地が多い地域を対象とする場合を考慮するため、道路の通行可能容量を「1人/step」に設定した。具体的には、複数のエージェントが同一地点へ同時に進入しようとした

場合、ランダムに選出された1体のみが移動し、他のエージェントはその場で待機する排他的な移動ルールを適用した。先行するエージェントが移動してから追従して動き出す挙動を実装することで、ボトルネック箇所における物理的な滞留現象を再現可能とした。

(4) 出発時刻の変更

実際の避難における判断のばらつきを再現するため、避難経路を把握し即座に行動する「早期避難エージェント」と、判断に時間を要する「出発遅延エージェント」を設定した。待機時間を設けることで、逃げ遅れが避難完了率へ与える影響を評価可能とした。

(5) 行動ルールの定義

エージェントの行動を4種類に分類し(表-1参照)、避難場所に対する認知の違いを「学習度」として定義した(表-2参照)。また、学習度IIIのエージェントが他エージェントと遭遇した際の情報伝達をモデル化し、自律的に避難可能な学習度I・II・II'へ変化する設定を導入した。さらに、他者支援の度合いを表す指標として「やさしさ度」を導入した(表-3参照)。徘徊行動には、低標高を選択しやすいモデルを用い、土砂災害時に想定される低地への回避行動を表現した。加えて、避難場所に隣接するノードへ到達した場合は、必ず避難場所へ向かうものとした。

(6) 案内板の設定

避難完了率向上を目的として、避難場所と最短時間経路を示す「案内板」を新たに導入した。エージェントが案内板に接触した場合、学習度Iへ変化し、正しい避難経路を把握するものとした。なお、案内板の読み取り時間や誤認は考慮していない。

(7) エージェント属性の整理

定義した各種エージェント属性の組み合わせによる命名規則を採用した。居住者区分、歩行速度、学習度、やさしさ

表-1 各エージェントの行動ルール

| 行動ルール | 経路選択 |
|----------------------|---------|
| 避難場所へ最短経路で移動 | ダイクストラ法 |
| 徘徊する(うろうろする) | ランダム行動 |
| その場に留まる | — |
| 来たところへ引き返す(駅や宿泊施設など) | ダイクストラ法 |

表-2 学習度の定義

| エージェント記号 | I | II | II' | III | III' | III'' |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 動き | 全て知っている、移動時間が最短の避難場所へ行く | 一か所しか知らない、その避難場所へ最短時間で移動 | 一か所しか知らない、その避難場所へ最短距離で移動 | 一か所も知らない、うろうろする | 一か所も知らない、来たところへ戻る | 一か所も知らない、その場にどまる |

表-3 やさしさ度の定義

| エージェント番号 | 0 | 50 | 100 |
|----------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 動き | 学習度III, III', III''のことも無視 | 学習度III, III', III''に対して情報のみを与える | 学習度III, III', III''と一緒に避難場所へ最短経路で移動 |

度を組み合わせてエージェント名を表記する。例えば A-1-I-100 は、居住者(A)、歩行速度 1.4m/s(I)、学習度I、やさしさ度 100 を有する。

3 地域防災力向上支援ツールとしての適用事例

対象地は神戸市北野周辺とした。本地域は手法検証を目的とした仮想空間であり、具体的な避難計画の提示を目的とするものではない。シミュレーションは領域内のみを対象とし、2か所の避難場所を配置した。また、「早期避難エージェント」のみとした。エージェントの初期位置および徘徊行動は乱数であるため、同一条件で 100 回試行した結果の平均値を用いた。1 ステップを 1 秒、上限時間を 2000 秒とした。避難完了率は、全エージェント数に対する避難場所到達者の割合として定義した。

(1) 避難完了率向上に寄与する要因による影響の検討

初期状態では、全エージェントを学習度IIIとし、やさしさ度を 100 に固定した条件を基準とした(表-4 参照)。検討したケースは、①学習度の高いエージェントを段階的に増加させた場合、②避難場所を追加した場合、③案内板を設置した場合の3種類である。

3つのケースについて、避難完了率への影響を比較した結果を図-1に示す。図-1より、本条件下では、学習度の高いエージェントを増加させる施策が、最も避難完了率の向上に寄与することが確認された。これは、防災教育等により避難場所への認知を高めることが、施設の追加に比べて効果的である可能性を示唆している。

次に効果が大きかったのは案内板1の設置である。人の通行頻度が高い位置に案内板を配置することで、避難完了率を効率的に向上させられることが示された。また、避難場所5の追加も一定の効果を示し、案内板1と同様に通行経路上の配置の重要性が確認された。

(2) やさしさ度の違いによる影響

本節では、エージェント間の「やさしさ度」の違いが避難完了率に与える影響を検討した。学習度の高いエージェントが存在する条件下で、学習度IIIのエージェントに対してやさしさ度 0, 50, 100 がそれぞれ存在している3ケースを比較した結果を図-2に示す。

図-2より、やさしさ度 0 は避難場所に関する情報を共有しないため、最終的な避難完了率は最も低くなった。一方、やさしさ度 50 と 100 では最終的な避難完了率に大きな差は見られなかったが、途中段階ではやさしさ度 50 の条件下において、避難完了率の立ち上がりが最も早く、迅速な避難が進行する傾向が確認された。これは、やさしさ度 50 は避難場所の情報のみを伝達し、歩行速度の遅いエージェントに速度を合わせないため、全体の移動が遅延しにくいことによると考えられる。

以上より、本条件下では、必ずしも最大限の支援行動が最適とは限らず、状況に応じた避難支援が必要であることが示された。

4 まとめ

本研究では、土砂災害時の事前避難において、エージェントの「学習度」や「やさしさ度」ならびに歩行速度補正、渋滞要素、出発時刻の差異などを組み込んだ MAS を構築した。これらの多様な属性を導入することで、現実の避難行動に生じるばらつきを的確に表現し、本シミュレーションが地域の避難計画策定を支援するツールとしての有用性を持つことを示した。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 20K12420 の助成を受けた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 鳥居宣ら：土砂災害避難計画立案のための MAS のエージェント行動ルールの高度化，令和 7 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.267~268, 2025
- 2) 構造計画研究所：artisoc Cloud，<https://mas.kke.co.jp/artisoccloud/>, 2024.12.18 参照。
- 3) 平田萌瑛ら：ハイキング関数を用いたマルチエージェントシステムによる避難シミュレーション，第 36 回日本情報地球学会講演会 講演要旨集, pp.69-70, 2025

表-4 初期状態のエージェント数

| A-1-I-100 | A-1-II-100 | A-1-III-100 | A-1-III | 合計 |
|-----------|------------|-------------|---------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 200 | 200 |

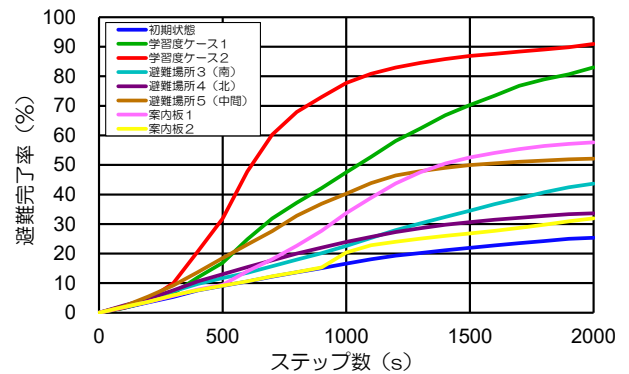


図-1 学習度・避難場所追加・案内板による避難完了率

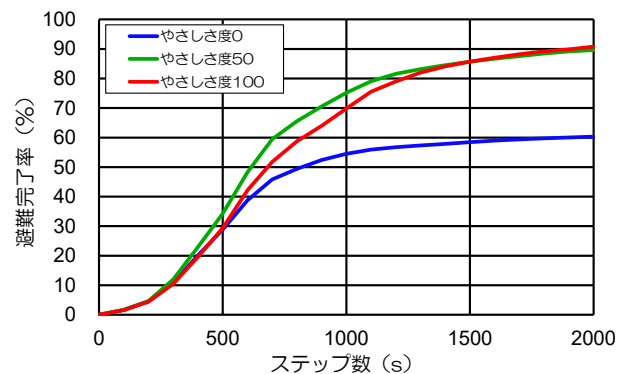


図-2 やさしさ度の違いによる避難完了率