

## 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

神戸市立工業高等専門学校 ○鳥居宣之, 光同寺太朗, 松本一真, 野並賢

## 1 はじめに

日本における災害対策では、ハード対策に加えてソフト対策を組み合わせることで防災・減災に努めてきている。梅雨期や台風期の豪雨に伴う土砂災害発生時の人的被害を軽減するためには、対象地域において事前の避難計画を立案するとともに災害発生時に被災しうるすべての人々に適切な避難情報を発信し、迅速かつ安全な避難行動を促すことが重要であるといえる。しかし、土砂災害は発生場所や時期、規模などの予想が困難であるなどの問題があり、ある地域で土砂災害が発生した場合、避難対象者がスムーズに事前に決められた経路で避難場所にたどり着けるとは限らない。これは、人の属性（避難開始時の場所、危険箇所や避難場所の認知度、歩行速度、心理的状況など）による違いが影響すると考えられる。そのため、マルチエージェントシミュレーション（以後、MAS と称する）を利用して、コンピュータ上で仮想的に避難の状況を作り出すことで、適切な避難情報の発信方法や、迅速かつ安全な避難行動の提案などが津波や地震を対象とした研究<sup>1)2)</sup>で行われてきており、土砂災害の避難計画立案にも有効な方法であるといえる。

本研究では、土砂災害が発生する恐れのある地域における避難計画を立案するための避難シミュレーションモデルをMASで構築するため、鳥居ら<sup>3)</sup>が提案したエージェント行動ルールをさらに高度化することを目的として、避難経路における階段や道路の傾斜による避難者の移動速度の変化、1ステップにおけるノード間の移動補正、最短時間による経路選択などのエージェント行動ルールの実装を目的とする。

## 2 エージェント行動ルールの実装

本研究では、構造計画研究所が提供するMASプラットフォームである「artisoc Cloud」<sup>4)</sup>を用いる。シミュレーションの構築にあたって、鳥居ら<sup>3)</sup>が提案したエージェントのうち、避難所までの最短経路を選択し移動する「自律型」、周囲に「自律型」がいれば追従し、いなければランダムに移動する「追従型」の2種のエージェント（表-1参照）をベースに以下の機能を実装する。

## (1)地形に応じた速度変化

移動速度の計算では、鳥居ら<sup>3)</sup>と同様に1.4 m/sを基本の速度とし、階段や傾斜路における速度は歩行速度に関する研究<sup>5)</sup>を参考に速度の補正係数を求めることで算出する。

表-1 各エージェントの行動ルール

エージェント	行動ルール	速度 (m/s)	型	経路選択
A	目的地へ最短経路で移動	1.4	自立型	ダイクストラ法
B-1	うろろする	1.4	追従型	ランダム行動
B-2	その場にとどまる	1.4	追従型	—

## (2)ノードを跨ぐ移動補正

ノード間の移動では次のノードの更新や移動方向、速度の計算などのためノードに到達させる処理を行う必要がある。そのため1ステップに移動できる距離に余剰が生じ、シミュレーションの精度に影響する。そこで移動距離に余剰が生じている場合の条件分岐を定義し、ノードの更新→速度変化の計算→余剰分の移動の処理を入れ子構造で記述することで、ノードをまたぐ処理を実装した。

## (3)時間を最短とする避難経路の選択

避難経路は避難時間を最短とする経路を選択するようにした。経路の割り出しでは、ノード間の距離を速度の補正係数で除し、時間距離に換算した値に重みづけしたダイクストラ法より算出した。

## (4)複数の避難場所が存在するときの経路選択

避難場所が複数ある場合、「自立型」エージェントがすべての避難場所の位置を把握しているとは限らない。そこで、学習度という概念を導入し、すべての避難場所を把握し、より短い時間で到達する避難場所を目的地とするエージェントを「学習度：高」とし、1か所の避難所しか把握していないエージェントである「学習度：低」として実装した。

## (5)シミュレーションの繰り返し実行

エージェントの生成位置や観光客の目的地のランダム性からシミュレーションは複数回の実行が必要となる。しかし、「artisoc Cloud」にはシミュレーションの実行回数を設定する機能が未実装であったため、既定の実行時間によりエージェントの削除と再生成を行うことでシミュレーションの繰り返し実行を実現した。

## 3 エージェント行動ルールの検証

実地形でのエージェント行動ルールの検証を行うため、対象地として兵庫県神戸市北野地区周辺の道路情報をOpenStreetMapより取得し、道路ネットワークとして反映した（図-1参照、ノード数：476、リンク数：1300）。

## (1)シミュレーションの必要実行回数の検証

避難開始時の各避難者エージェント（AとB-1を100ず



図-1 対象地域の道路ネットワーク

つ)の初期位置をランダムに生成させるため、避難シミュレーション結果(避難時間や避難完了率)もシミュレーションごとにランダムとなる(図-2参照)。そこで、避難シミュレーションの実行回数を10回、25回、50回、100回とし、各実行回数における経過時間ごとの避難完了率の平均、最大、最小ならびに標準偏差の推移を求めた(図-3参照)。図-3より、実行回数の違いにより、各パラメータの値が異なっていることがわかる。そこで、シミュレーションの結果は、正規分布に従うものと想定し、信頼度95%の信頼区間が経過時間ごとの避難完了率の平均±1%程度となるときの実行回数をシミュレーション結果の収束に要する実行回数とするとして、各時間における避難完了率の平均をエージェント毎に求めた結果、表-2に示す結果となった。表-2より、「自律型」、「追従型」エージェントともに実行回数100回程度で95%信頼区間が各時間における避難完了率の平均±1%程度に収束していることが確認された。したがって、これ以降の検証ではシミュレーションの実行回数は100回として検討を行うこととした。

(2)学習度の影響の検証

対象地域内に避難場所が複数存在するときの学習度の影響を検証するため「学習度：高」の割合を0.0, 0.5, 1.0とする場合の3パターンについて検討した。

図-4に示す実行結果より、「自律型」の視点における避難行動は「自律型」の「学習度：高」の割合が1.0と0.0では避難に要する時間に倍近くの違いが生じていることから防災学習の重要性がより強調される結果となっている。一方で「自律型」エージェントと、「追従型」エージェントが互いに作用しあう避難シミュレーションにおいては、「自律型」エージェントにとって最適な避難行動をとることが必ずしも地域全体として最善の結果をもたらす結果とはなっていない。

4 まとめ

本研究では、MASを用いた土砂災害に対する避難シミュレーションの構築及び、実地形での検証として神戸市北野周辺を対象にシミュレーションを実行した。MASを用いた避難シミュレーションに関する既往の研究に対し、避難経路の傾斜や階段といった地形による移動速度の変化や、それに伴う避難にかかる時間を最短とする経路選択、複数の避難所が存在する際、避難の目的地となる避難所の選択の仕方などの行動ルールを実装することで、より実環境に近い形での避難シミュレーションが行えると考えている。

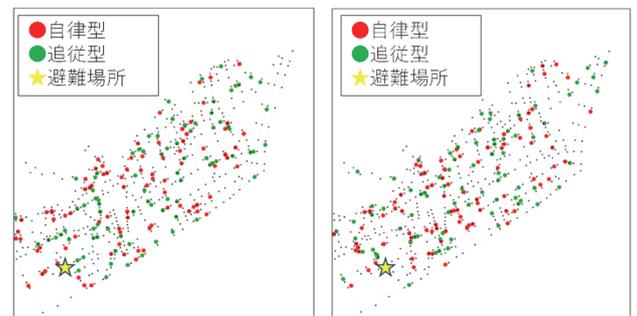
今後の展望として、土砂災害が発生する恐れのある地域における避難計画の立案を目標に据え、対象とする災害の発生時期や規模、対象とする地域の人口や年齢などの属性、地形条件などを考慮した災害シナリオを避難シミュレーションに組み込むことで、適切な避難情報の発信方法ならびに避難場所の配置ならびに迅速かつ安全な避難行動の提案などを行っていきたい。

謝辞

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

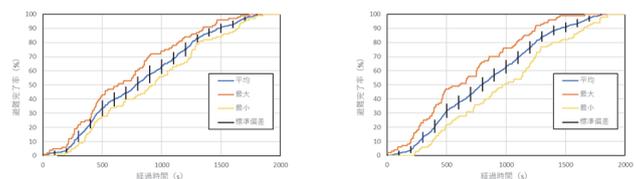
参考文献

- 1) 高山恵里花：金沢市野町地区における災害時の避難路を考慮した減災案に関する検討～避難指示灯の効果に関するシミュレーション～，金沢大学理工学域環境デザイン学類令和2年度学位論文，43p，2021。
- 2) Zhenqiang Wang and Gaofeng Jia：A novel agent-based model for tsunami evacuation simulation and risk assessment，*Natural Hazards*, Vol.105, pp.2045–2071, 2021。
- 3) 鳥居宣之，光同寺太朗，野並賢：観光地における避難計画の提案のためのマルチエージェントシミュレーションの行動ルールのモデル化に関する基礎的研究，建設工学研究所論文報告集，65，pp.41-54，2023。
- 4) 構造計画研究所：artisoc Cloud，<https://mas.kke.co.jp/artisoccloud/>，2024.12.18 参照。



a) 実行回：1回目 b) 実行回：2回目

図-2 異なる実行回におけるエージェントの初期配置の相違

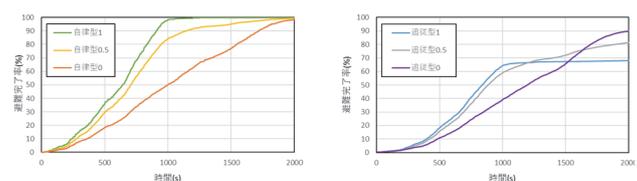


a) 自立型(実行回数：50回) b) 自立型(実行回数：100回)

図-3 避難完了率の平均、最大、最小ならびに標準偏差の推移の一例

表-2 各経過時間における避難完了率の平均(%)

エージェント	10回	25回	50回	100回
A	±3.86	±1.97	±1.24	±0.98
B-1	±4.59	±1.96	±1.75	±1.19



a) 自立型

b) 追従型

図-4 学習度の割合によるエージェントごとの避難完了率の推移