

# MAS を用いた津波災害発生時における避難シミュレーション

## ー岩手県大船渡市を対象としてー

田中 優也<sup>†</sup>・白木 洋平<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>立正大学 地球環境科学部 <sup>‡</sup>立正大学 データサイエンス学部

キーワード：東日本大震災，MAS，地理情報システム（GIS），津波避難シミュレーション

### 1 はじめに

2011年3月11日14時46分23秒、宮城県牡鹿半島の東南東沖130kmを震源とする地震（東北地方太平洋沖地震）が発生し、これにより巨大津波や大規模な地盤沈下、液状化現象や原子力発電所の重大な事故などの多発など、いわゆる東日本大震災が引き起こされた<sup>[1]</sup>。特に巨大津波による被害は甚大であり、震災後1ヶ月で収容された遺体にうち、92.3%の死因が水死であるとの報告もなされている<sup>[2]</sup>。

津波による犠牲者を減らすための有効な手段として、まず地域住民の参加による定期的な避難訓練が考えられる。しかしながら、避難訓練は住民の意識や避難行動の効率化だけではなく、問題点の抽出・検討、対策の立案を行うことができるものの、手間やコストの面から頻繁に行えるものではない。そのため、近年ではコンピュータによる避難行動シミュレーションの研究が行われるようになってきた。避難行動シミュレーションは、突発性ゆえ実測が難しく、危険性ゆえ実験が困難な災害現場の観測をコンピュータ上で行うことができるという利点を持っており、より統計的かつ視覚的に被害想定や避難時の問題点を検討することが可能である。さらに、現実世界では難しいとされる再現性を得ることが可能であり、様々な条件下で複数回にわたる観測が必要となる比較分析に適している。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震に伴う津波被害が深刻であった岩手県大船渡市において、マルチエージェントシステムを利用して津波避難シミュレーションを行い、避難に関する課題について検討を行うこととした。なお、研究対象地域は大船渡市大船渡港を中心とした約2.5km<sup>2</sup>である（図1）。



図1. 研究対象地域  
(岩手県大船渡市大船渡港沿岸部)

### 2 研究対象地域の概要

#### 2.1 大船渡市について

大船渡市は岩手県の南東部に位置する。東日本大震災が発生した前年に平成22年には14819世帯、40737人が居住していた<sup>[3]</sup>。

#### 2.2 被災状況

東北地方太平洋沖地震発生時、大船渡市の最大震度は6弱であった。大津波警報が発令されたのは地震発生から3分後の14時49分で予想波高は3mであった。実際に津波が到達したのは地震発生から29分後の15時15分で波高は3.2m以上、32分後の15時18分には9.6m以上になった。大船渡市の東日本大震災における死者数は340人、行方不明者が79人であり、住宅被害は全壊が2791世帯、大規模半壊

430, 半壊 717, 一部損壊 1654 であった<sup>[4]</sup>。

### 3 エージェントシステムを用いた避難シミュレーションモデルの構築

#### 3.1 artisoc4 について

本研究で使用したエージェントシステムは、構造計画研究所の artisoc4 (マルチエージェント・シミュレーション)<sup>[5]</sup> である。

#### 3.2 マルチエージェント・シミュレーションについて

エージェント (Agent) とは自身の周囲の状況を認識し、ある一定のルールで自律的に行動する活動主体のことである。マルチエージェント・シミュレーション (Multi-Agent Simulation, 以下 MAS) は、エージェントの存在する空間や他のエージェントが互いに作用しながら行動するシミュレーションである<sup>[6]</sup>。同じ特徴を持った活動主体によるシミュレーションとは異なり、現代の多様性を持った人間社会など複雑系の予測しづらい事象をモデル化することに長けている。既往研究<sup>[7]</sup>では、広範囲におけるシミュレーションを効率よく実行できるように、ネットワーク型モデルを採用し、エージェントの属性による意思決定や行動の違いを表現できる MAS を適用している。また、埼玉県熊谷市熊谷駅周辺地域の避難シミュレーションでは<sup>[8]</sup>、MAS を採用した通常時と主使用の道路封鎖時との比較研究を行っている。

#### 3.3 最短経路の探索方法

本研究では、目的地までの最短経路の探索アルゴリズムとして A\* (A-star, エースター) 探索アルゴリズムを適用した。一般的に最短経路を求める手法として、スタートノードから全てのノードへの最短経路を求めるダイクストラ法がある。しかし道路網が大きく複雑な場合は膨大な計算量が必要となるため本モデルには適用しなかった。

A\*探索アルゴリズムとはダイクストラ法をベースにより効率的に最短経路を探索できる手法である。スタートノードから経路を探索する際に、ゴールノードまでの推定距離を用いて移動距離が短くなるノードから優先的に探索していく方法である。

#### 3.4 モデルの構築

MAS の計算に必要とされるデータは基盤地図情報<sup>[9]</sup>から道路情報をラインデータでダウンロードし、避難に使用する道路のデジタル化を行った。また、避難場所として大船渡市のホームページの津波災害発生時の第一避難場所とした。

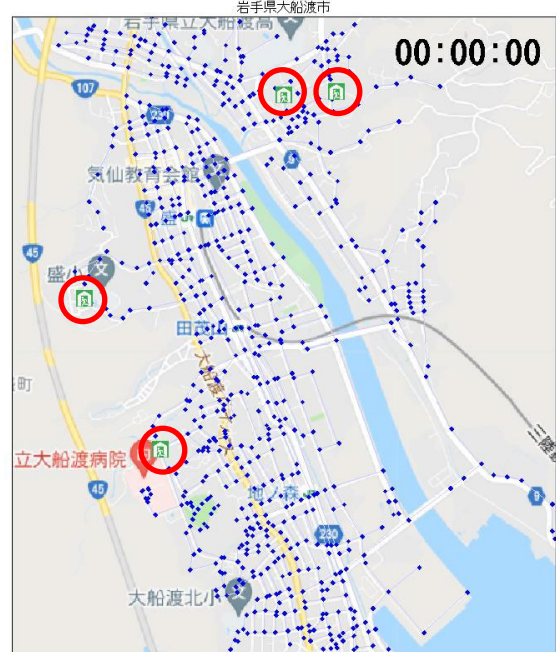


図 1. シミュレーションの様子  
(1step 終了時, 赤丸が避難場所)

シミュレーションでは 1step を 9.78 秒と仮定する。シミュレーション開始時を地震終了時と仮定し、図 2 のように、1step 目にノード (交差点と湾曲した道路の中継地点)・リンク (ノードを繋ぐ経路となる部分)・避難者 (3500 人, 図 2 の青点)・避難場所 (図 2 の赤丸) エージェントを生成し、2step 目から避難を開始する。

2step 以降、避難者は 3.3 で述べた A\*探索アルゴリズムにより求めた最短経路を一斉に移動しながらのゴール地点を目指し避難を行う。Map 上では青点で表示される。歩行速度を 1.2~1.4m/s のランダムな速度とした。これは 1step で 11.7~13.6m 進む計算である。

1step 終了ごとに避難者は自身の周囲の状況を認識し、半径 1.5m 内に他の避難者が 4 人以上いた場合、速度を半分にして避難することとする。これは

避難時の渋滞を想定した。Map 上では図 3 のように赤点で表示される。



図 2. シミュレーションの様子  
(51step = 8 分 18.5 秒経過時, 赤丸が避難場所)

## 4 結果と考察

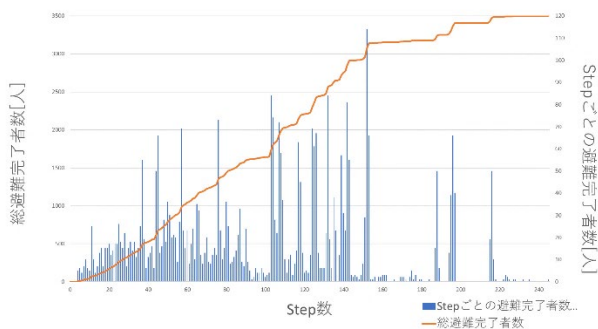


図 4. 避難者完了者数の推移

図 4 に避難完了者数の推移を示す。避難開始から全ての避難者が避難場所に到達するのに 244 step = 39 分 45.3 秒かかった。開始から 153 step = 24 分 45.9 秒までに総避難者の約 90%の避難が完了している。

東日本大震災時の大船渡港では地震発生から 24 分後の 15 時 10 分から潮位が急激に変化し、32 分後

の 15 時 18 分には大船渡港に 9.5m 以上の津波が到達している。シミュレーション上で 32 分経過後の 196step では 3500 人中、約 96%の 3368 人が避難を完了している。この結果から地震発生後に避難場所を認識している状態ですぐに避難行動をとることで、ほとんどの避難者が避難に成功するということが明らかになった。

## 5 結論

### 5.1 まとめ

本研究では岩手県大船渡市大船渡港沿岸部を対象地域とし、MAS を用いて避難シミュレーションを試みた。その結果、東日本大震災時の津波到達時刻までにほとんどの避難者が目的地となる避難場所まで避難することが可能であった。

### 5.2 今後の課題

本モデルのシミュレーション結果は避難者の歩行速度に大きく依存するため、地域の人口属性を考慮した速度の違いについて検討していきたい。また現時点では目標とする津波避難の再現が十分に完成していないため、今後はより多くの条件を考慮し、より詳細なシミュレーションの構築を行う予定である。たとえば、津波の到達による道路封鎖、地震発生から避難開始までの準備時間を考慮した場合、危機的場面で大勢が一斉に避難する場合の同調行動、パニック時の視野や速度の変化、昼夜での比較など必要に応じて修正する必要がある。

さらに実際に住民の使用する避難経路は、シミュレーション時の最短経路とはならない場合が考えられる。これらのケースを考慮したシミュレーションを行うことで、現実に近い避難行動シミュレーションを行うことが可能であると考えている。

## 参考文献

- [1] 内閣府：平成 24 年版防災白書，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/index.htm>（最終閲覧日：2021.10.01）。
- [2] 山田健司（2012）東日本大震災被災死亡者の群像：年齢構成比による死亡要因の類推，社会政策 4（1），19-26。
- [3] 大船渡市統計書：平成 23 年版，

[https://www.city.ofunato.iwate.jp/site/toukeisy  
o/1724.html](https://www.city.ofunato.iwate.jp/site/toukeisy<br/>o/1724.html) (最終閲覧日: 2021.10.01).

- [4] 大船渡市：東日本大震災 被害状況等,  
[https://www.city.ofunato.iwate.jp/site/higasinih  
on/946.html](https://www.city.ofunato.iwate.jp/site/higasinih<br/>on/946.html) (最終閲覧日: 2021.10.01).
- [5] 構造計画研究所：artisoc4,  
<https://mas.kke.co.jp/artisoc4/> (最終閲覧日:  
2021.10.01).
- [6] 和泉潔・斎藤正也・山田健太 (2017) マル  
チエージェントのためのデータ解析, コロ  
ナ社.
- [7] 今村文彦・鈴木介・谷口将彦 (2001) 津波  
避難数値シミュレーション法の開発と北海  
道奥尻島青苗地区への適用, 自然災害科学,  
20 (2), 183-195.
- [8] 小穴拓実 (2020) 地震災害時における避難  
シミュレーション, 立正大学地球環境科学  
部卒業論文.
- [9] 国土交通省：基盤地図情報,  
<https://www.gsi.go.jp/kiban/> (最終閲覧日:  
2021.10.01).