

歩行者と自動二輪車の連携を考慮したマルチエージェント避難シミュレーション

鳥取大学 学生会員 ○前田 裕紀
鳥取大学 正会員 小野 祐輔
鳥取大学 正会員 河野 勝宣

1. はじめに

津波による被害を最小化するためには、事前の津波対策が必要である。事前の津波対策は、ハード的なものとソフト的なものに分けられる。ハード的な対策として防波堤などの沿岸構造物や避難タワーといった避難施設の建設が挙げられる。これらの対策にはコストの問題や想定以上の高さの津波が発生した場合には十分に機能しない等の限界がある。ハード的な対策の不足を補うためにソフト的な対策が必要になる。ソフト的な対策には、避難計画の作成、防災教育による避難意識の向上、避難訓練の実施、事前に避難時の問題点を抽出する等が挙げられる。しかし、全住民を対象とした防災教育や避難訓練を行うことは現実の災害と同じ時間スケールと多大な労力を要することや全住民がハザードマップや避難計画を理解することは困難である。これらの問題の解決には、避難行動シミュレーションが活用できる。

本研究では、インドネシア共和国ムンタワイ諸島の1つであるシボラ島の海岸沿いに位置する村を対象に、マルチエージェントシステムを用いて歩行者が後方から来た自動二輪車に同乗することで、避難時間にどのような影響を及ぼすかを検討した。対象地域であるシボラ島には四輪車が普及しておらず、住民の主な移動手段は徒歩あるいは自動二輪車である。

2. シミュレーションモデル

2.1 マルチエージェントシミュレーションモデル

マルチエージェントシミュレーションとは、複数の「エージェント」に同時進行的に各々のルールのもとお互いに干渉を受けながら実行させるシミュレーションのことである。ここで、エージェントとは、実世界における人間や生物に相当し、自らの周囲の状

況を認識し、一定のルールのもとで自律的に行動する主体のことである。本研究では、避難者をエージェントとし、徒歩で避難するエージェントを「徒歩エージェント」、自動二輪車を用いて避難するエージェントを「バイクエージェント」と定義する。なお、シミュレーションモデルの開発ツールとして GAMA³⁾を使用した。

近年、津波避難シミュレーションに関する様々な研究が行われている。北原ら¹⁾は、各避難者の避難経路選択に関して、高低差の考慮が避難状況にどのような影響を及ぼすのかについて検討を行った。また、亀田ら²⁾は車両の使用が避難行動に与える影響について検討を行った。しかし、歩行者が後方から来た自動二輪車者に同乗し避難を行う研究はされていない。

2.2 エージェントの移動速度

2.2.1 徒歩エージェント

徒歩エージェントの移動速度は、既往の研究の年齢と自由歩行速度の関係の資料⁴⁾より、年齢層と性別ごとに表-1のように設定した。また、対象地域の人口データを得られなかったため、性別と年齢は一律な確率でランダムに割り当てられるようにした。

表-1 年齢と性別の移動速度

年齢	移動速度(男性)	移動速度(女性)
10~19歳	1.32m/s	1.27m/s
20~29歳	1.43m/s	1.25m/s
30~39歳	1.5m/s	1.18m/s
40~49歳	1.38m/s	1.24m/s
50~59歳	1.26m/s	1.11m/s
60歳~	1.04m/s	0.94m/s

キーワード 津波, マルチエージェントシステム, 避難シミュレーション, 自動二輪車

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学大学院 TEL: 0857-31-5291

また、本研究では勾配による歩行速度の低減を考慮するため、山田ら⁵⁾によって提案された評価式を用いた。

2.2.2 バイクエージェント

バイクエージェントの移動速度は、日本と比較して道路はあまり整備がされていないことを現地調査から、あまりスピードは出せないと判断し、30 km/hと仮定した。また、斜面勾配による加速及び減速、人を乗せることによる減速についても考慮しない。

2.3 エージェントの移動ルール

徒歩エージェントとバイクエージェントはあらかじめ設定した避難場所へ向かって道路ネットワーク上を移動する。また、道路ネットワーク上を離れての移動は出来ないものとした。ただし、初期配置は建物位置に配置され、最も近い道路ネットワーク上へと移動する。各エージェントは、地震発生と同時に一斉に避難を開始するものとした。

避難を開始した各エージェントは、設定した移動速度で避難場所へ最短ルートで移動する。避難場所へ到着した時点で移動を終了する。バイクエージェントは避難場所へ移動しながら、自身から 5m 以内に存在する徒歩エージェントを 2 人まで乗せ、避難場所まで移動を行う。

2.4 避難場所の設定

避難場所は、インドネシアの研究機関が作成した波浸水域予測図と ALOS 全球数値地表モデル⁶⁾よりダウンロードした標高データを用いて設定した。津波浸水域予測図によると、標高 20m までも浸水するとされている。そこで、GIS を用いて 20m 未満の場所を抽出した。図-1 において赤枠で囲った場所は、想定以上の高さの津波が襲来した場合に避難することが不可能であると予想されることから、避難場所の候補から除外した。結果として、標高 20m 以上かつ内陸へ住民が避難できる赤矢印の方向へ避難することとした。シミュレーション上では、図-2 の赤矢印方向へ避難させるために、図-3 に示した場所を避難場所としてエージェントが避難するようにした。

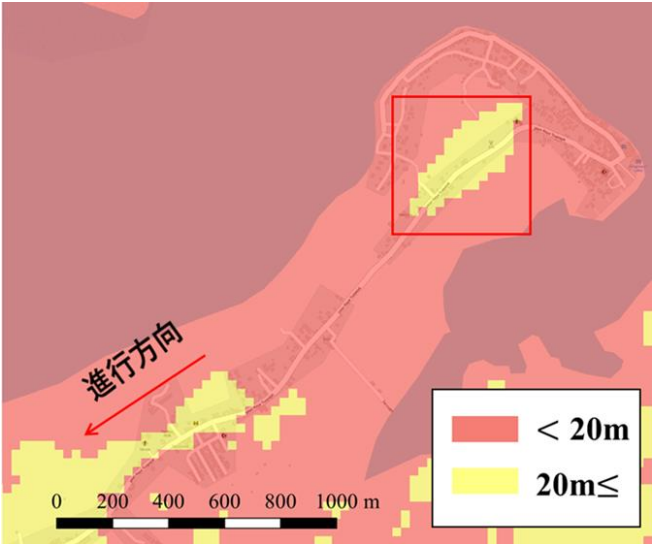


図-1 標高 20m 未満の場所

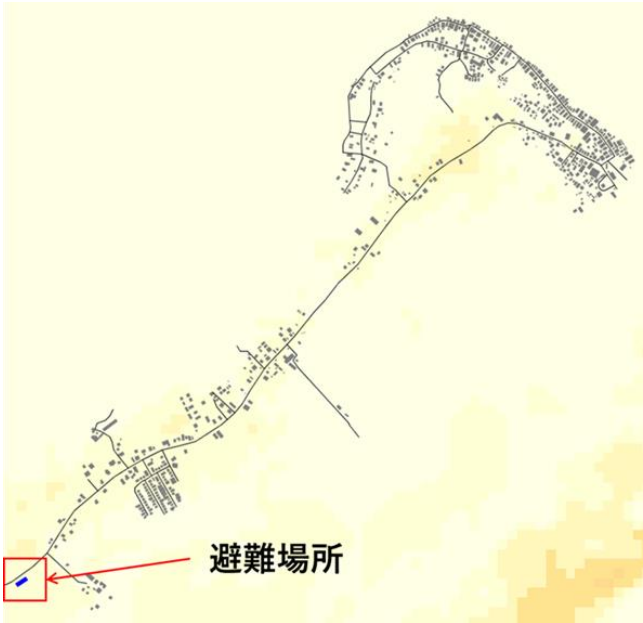


図-2 対象エリアの建物分布と指定した避難場所

表-2 シミュレーションケースの概要

ケース1	徒歩による避難
ケース2	徒歩+バイクによる避難
ケース3	徒歩+バイクによる避難(※歩行者がバイクに同乗)

3. 対象地域への適用

3.1 ケース

本研究では、表-2 のように 3 つのケースに対してシミュレーションを行った。まず、ケース 1 では、すべての避難者が徒歩で避難することとした。次にケース 2 では、ケース 1 において徒歩で避難する徒歩エージェントの 42%がバイクを用いて避難する。

最後にケース 3 では、バイクエージェントが自身から 5m 以内に存在する徒歩エージェントを 2 人まで乗せることができるとし、避難場所まで避難を行うこととした。ここで、バイクの定員を 3 人とした理由は、現地調査より、インドネシアでは 1 台のバイクに 3 人～4 人乗って移動する姿が多くみられたことである。

3.2 避難者の人数設定

まず、徒歩エージェントの人数は、対象地域の人口データを得られなかったため、現地での聞き取りにより得た 1 世帯当たり 5 人という情報と OpenStreetMap から入手したデータから抽出した建物の数との積により、3910 人とした。ただし、道路ネットワークから離れた位置の建物は住居ではないとみなし、シミュレーション時にエージェントが配置されないように、あらかじめ削除しておいた。

次に、バイクエージェントの数は、総務省統計局の「世界の統計 2019」⁷⁾より得たインドネシアの自動二輪車保有台数とセンサス人口の商をインドネシアの自動二輪車保有率とし、次式により算出した。

$$(98,881,000 \div 237,641,000) \times 100 = 42\%$$

徒歩エージェントの 42%が自動二輪車を用いて避難すると、バイクエージェントの数は 1642 台となった。表-3 に各ケースにおけるそれぞれの避難エージェントの数を示す。

3.3 避難エージェントの初期配置

図-3 に避難エージェントの初期配置を示す。図-3 はケース 2 とケース 3 の場合の初期配置図であり、徒歩エージェントとバイクエージェントがそれぞれ建物内に配置されている状態である。一つの建物に割当てる避難者の人数はランダムとした。建物の面積や高さは考慮していない。また、徒歩エージェントについては年齢と性別ごとに色分けを行ったので表-4 に示す。

表-3 各ケースの人数設定

	徒歩エージェント(人)	バイクエージェント(台)
ケース1	3910	
ケース2	2268	1642
ケース3	2268	1642

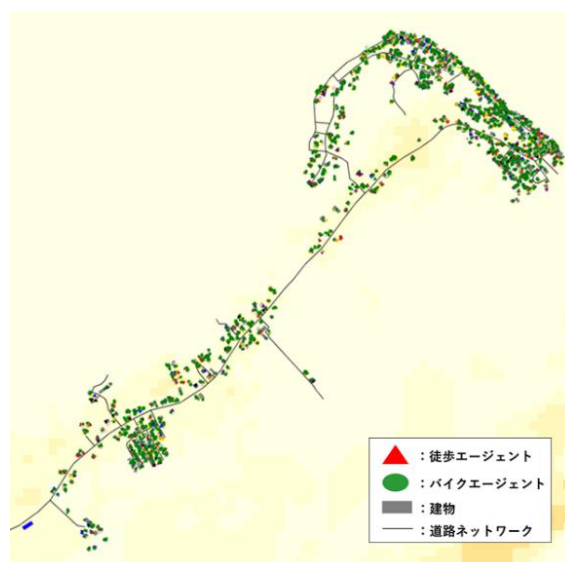


図-3 避難エージェントの初期配置

表-4 年齢と性別による色分け

年齢	男性	女性
10～19歳	赤色	水色
20～29歳	青色	紫色
30～39歳	緑色	茶色
40～49歳	黄色	オレンジ色
50～59歳	黒色	ピンク
60歳～	灰色	黄緑色

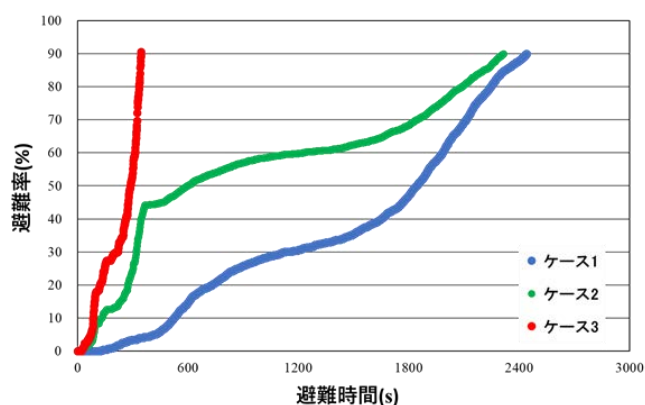


図-4 避難完了率の時間変化図

3.5 シミュレーションの結果

シミュレーションから得られた避難完了人数が 90%までの避難完了率の時間変化図を図-4 に示す。ここで、90%までの避難完了率で結果を見た理由は、避難完了率 100%では一番避難が遅い避難者に結果が大きく依存するためである。まず、ケース 1 の避難完了率 90%で要した時間(以下、90%避難時間と呼ぶ)は 2440 秒となった。次に、ケース 2 では 2303 秒

となった。ケース 2 においては、避難開始から 350 秒あたりまで急激に避難率が増加している。これはバイクエージェントによるものである。その後は緩やかに避難率が増加し、ケース 1 と比べて 90%避難時間は 137 秒短縮された。バイクエージェントの避難が完了した後も、まだ多くの徒歩エージェントが残っていることから、90%避難時間は大きく短縮されなかった。ケース 3 では、避難開始から避難率は急激に増加し、90%避難時間は 344 秒となった。ケース 2 と比べて 90%避難時間は 1959 秒短縮され、多くの避難者が短時間で避難できている。このように、本研究で構築したシミュレーションモデルにより、自動二輪車に歩行者を同乗させる避難方法による人的被害を低減する効果を検証できる。また、ケース 3 のシミュレーションの様子を図-5 に示す。まず、図中の青枠で囲った場所においてバイクエージェントの長蛇の列ができていることがわかる。このことから、自動二輪車が渋滞する可能性があり、人や車両間の相互作用について検討する必要がある。また、図中の赤枠で囲った場所には、自動二輪車に乗ることができなかった徒歩エージェントが残っている。乗り遅れの発生状況は徒歩エージェントとバイクエージェントの初期配置に強く影響される。今後は両エージェントの配置のばらつきにより、90%避難時間がどのように変化するかを検証したい。

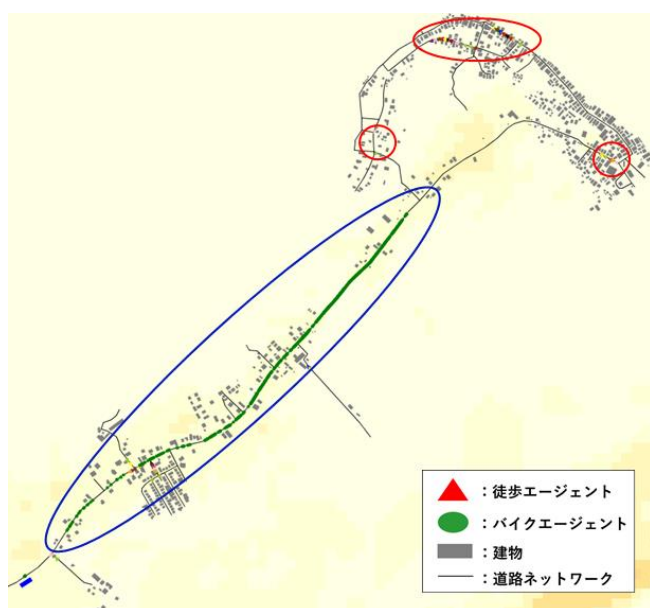


図-5 ケース 3 のシミュレーションの様子

4. まとめ

本研究では、歩行者が後方から来た自動二輪車に同乗し、避難をする避難シミュレーションモデルを構築した。このシミュレーションモデルを利用することで、自動二輪車を活用することで津波からの人的被害をいかに低減するかを定量的に検討することができる。また、歩行者が車両に同乗する避難方法は、自力での避難が難しい災害弱者の避難に役立てられることや自動車社会である日本においても応用できる。

参考文献

- 1) 北原武嗣, 岸祐介, 久保幸奨: 高低差を考慮した津波災害時の群衆避難における経路選択に関する一検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第 32 巻), I_1067-I_1075, 2013.
- 2) 亀田知沙, 高橋智幸: 津波避難時における歩車の相互作用を考慮した数値シミュレーションの開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, I_349-I_354, 2017.
- 3) A. Grignard · P. Taillandier · B. Gaudou · Huynh · A. Drogoul: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation. In, Principles and Practice of Multi-Agent Systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8291, pp.117-131. 2013.
- 4) 斎藤崇, 鏡味洋史: マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーションー奥尻島青苗地区を例としてー, 日本建築学会計画系論文集, 第 597 号, 229-234, 2005 年 11 月
- 5) 山田容三: 心拍数からみた山林労働者の歩行負担 (2), 京都大学農学部演習林報告, 59:207-216, 1987.
- 6) ALOS 全球数値地表モデル(DSM) “ALOS World 3D-30m(AW3D30)” URL : https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d30/index_j.html (閲覧日: 2019年12月26日)
- 7) 出典 総務省統計局「世界の統計 2019」, URL : <https://www.stat.go.jp/data/sekai/index.html> (閲覧日: 2019 年 12 月 26 日)