

青島地区における避難者の歩行速度を考慮した避難所決定手法の提案

本田 佳鈴^{a)}・岡崎 直宣^{b)}・山場 久昭^{c)}・油田 健太郎^{d)}

A Proposal of a Shelter Determination Method Considering Walking Speed of Evacuees in Aoshima Area

Karin HONDA, Naonobu OKAZAKI, Hisaaki YAMABA, Kentaro ABURADA

Abstract

Japan is one of the world's leading natural disasters countries. In the earthquake that happened so far in Japan, many evacuees evacuated for the tsunami were being sacrificed. If a tsunami warning is issued, evacuation behavior can be carried out more safely if all evacuees are grasping information to facilitate evacuation. In this research, we proposed information combining "full shelter information" and "shelter information considering walking speed". By grasping full shelter information, we consider that the travel distance and the time required to complete the evacuation will be shortened. Also, grasping shelter information considering walking speed into account allows for consideration for children with slow walking speed and elderly people. Combining these two pieces of information will further shorten the evacuation time. In this study, in order to investigate the importance of grasping the proposed method, we perform the simulation assuming evacuation behavior at the time of disaster. Then, we compare evacuation completion rate and evacuation completion time of the the case where information is not grasped and the proposed method. As a result of the comparison, when grasping the proposed method, the total evacuation completion time was shortened by about 350s. In addition, it was possible to shorten the evacuation completion time for children, young people, and the elderly.

Keywords: evacuation behavior, simulation, scenarie, tsunami, earthquake

1. はじめに

日本は世界有数の自然災害大国である。台風、地震、津波、火山噴火などそのリスクは数えきれない程で、毎年多くの被害が発生している。中でも、日本は北米プレート、ユーラシアプレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートの4つのプレートの上に位置するため非常に地震が発生しやすく、世界で発生する地震の10%、マグニチュード6以上の地震に限定すると20%以上が日本で起きているとされている¹⁾。

駿河湾から遠州灘、熊野灘、紀伊半島の南側の海域及び土佐湾を経て日向灘沖までのフィリピン海プレート及びユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形を形成する区域を南海トラフといい、この南海トラフ沿いのプレート境界を震源とする大規模な地震が南海トラフ地震である。南海トラフ地震が30年以内に発生する確率は70~80%と予測されており、マグニチュード8~9級と想定されている。九州の中でも、宮崎県は震度、津波ともに予測されている最大値が高く、地震による多大な影響が想定されている²⁾³⁾。

日本は世界でもトップの高齢化社会であり、平成29年時点での日本での高齢化率は27.7%、宮崎県での高齢化率は31.1%

となっており、高齢化率は今後増加すると予測されている⁴⁾。また、大規模自然災害による犠牲者のうち高齢者の占める割合は、およそ60%以上⁵⁾となっていることから、高齢者の犠牲者数を抑えるような対策をする必要がある。

これまで日本で起きた地震では、津波により避難途中の避難者の多くが犠牲となっている。津波警報が発令された場合、どのような方法で、どこに避難をすべきか、などの情報を把握できれば、より安全に避難行動を行うことができると考えられる。

災害時における避難行動を行う上での情報を把握しておくことの重要性を調べるため、本研究では災害時の避難行動を想定したシミュレーションを行う。ここでの情報は2つある。1つ目の情報は、本研究室の先行研究⁶⁾で扱っていた「避難所の満員情報」である。この情報を把握することで、先行研究では避難完了までにかかる移動距離と時間の短縮ができることを確認した。2つ目の情報は、提案手法の「歩行速度を考慮した避難所情報」である。この情報を把握することで、歩行速度の遅い高齢者や子供にも配慮できる。

避難行動のシナリオは、宮崎県の青島地区を対象とした。青島地区は周囲を海岸線に囲まれ、夏には海水浴客でにぎわっていることから、南海トラフ地震などの大規模災害の際には、増水などによって避難経路を見失う可能性も高いと考えられるため、適切な避難所への避難経路の誘導方法が必要な地域であると言える。

本研究では、避難者に見立てたエージェントモデルが通信

^{a)}工学専攻機械・情報系コース大学院生

^{b)}情報システム工学科教授

^{c)}情報システム工学科助教

^{d)}情報システム工学科准教授

によって情報の共有を行う場合と行わない場合を比較し、情報を共有することによる避難完了者の増加率や避難完了までの時間の変化を調べる。

2. 先行研究

本研究の先行研究⁶⁾では、災害時における避難行動を行う上での情報として「避難所の満員情報」を提案している。この情報は、避難者が目的地としている避難所が満員であるとき、それを知らずに満員である避難所に到達し、またほかの避難所に行くとなると遠回りになってしまい避難完了までにかかる移動距離と時間が増加してしまう問題を解決するための情報である。

この問題を解決するため、エージェント全員に通信機を持たせ、満員により目的地に到達できなかったエージェントの通信機から、周囲の通信機に満員である避難所の情報が送信され、情報を受け取ったエージェントはその避難所を目的地から除外する。除外された目的地に向かっていたエージェントは、他の目的地へ移動先を変更することで、避難完了までにかかる移動距離と時間の短縮ができると考え、青島地区の詳細な地図を利用してシミュレーションを行った。エージェント設定は、対象人数が1000人、初期位置は観光地中心、目的地は18ヶ所の避難所、歩行速度は3~5m/s、シミュレーション時間は600sとしている。

シミュレーションの結果、避難所の満員情報を把握させた場合、把握していない場合よりも70~100sほど早く全員が避難を完了できた。また、シミュレーション時間中に避難を完了することができなかった避難者は、避難所の満員情報を把握させた場合では平均で約4人、避難所の満員情報を把握させなかった場合は平均で約77人のエージェントが避難を完了することができなかった。これらの結果から、避難所の満員情報を避難者に把握させることで、避難完了までにかかる移動距離と時間の短縮に有効であることがわかる。

しかし、この先行研究ではエージェント全員の歩行速度が3~5[m/s]となっており、歩行速度の速い若者と、歩行速度の遅い子供や高齢者の区別がされていない。よって本研究では、若者・子供・高齢者それぞれに適切な歩行速度を設定し、より現実的なシミュレーションを行う。また、避難所の満員情報に加えて、第3章で述べる提案手法により子供や高齢者に考慮することで、さらなる避難完了までの移動距離と時間の短縮を目指す。

3. 提案手法

本研究では、災害時における避難行動を行う上での情報として「歩行速度を考慮した避難所情報」を提案し、先行研究で提案した「避難所の満員情報」と組み合わせることでさらなる避難完了までにかかる移動距離と時間の短縮を目指す。歩行速度を考慮した避難所情報は、歩行速度の遅い子供や高齢者の移動距離が、歩行速度の速い若者よりも増え、避難時間が増加する問題を解決するための情報である。例えば、避難者全員が一斉に非難を開始した場合、若者が1番近い避難所に先に到着する。そして1番近い避難所が満員になると、あとから到着する子供や高齢者は1番近い避難所に避難できず次

に近い避難所に避難することになる。同じ距離を移動したとしても、若者よりも子供や高齢者のほうが移動時間がかかってしまうことから、子供や高齢者の移動距離が増えるとともに時間がかかってしまう。よって歩行速度の遅い子供や高齢者の移動距離はなるべく小さくしたほうが良い。

この問題を解決するため、歩行速度の遅い子供や高齢者は1番近い避難所に、歩行速度の速い若者は2番目に近い避難所に避難させることで、子供や高齢者の移動距離と時間が短縮できるのではないかと考えた。

本研究では、歩行速度を考慮した避難所情報と避難所の満員情報の2つの情報を把握させた時の有効性を調べるため、シミュレーションを行う。また、提案手法の有効性を確認するため、歩行速度を考慮した避難所情報のみを避難者に把握させた時のシミュレーションを行う。

4. シミュレーション

本研究ではScenargieを用いてシミュレーションを行った。Scenargieは、Space-Time Engineering社で開発された離散事象シミュレータである。現実世界での無線通信や人の行動の流れをソフトウェア上でシミュレーションし、通信品質や人の振る舞いをコンピュータ上で評価することが可能である⁸⁾。

避難所の満員情報と歩行速度を考慮した避難所情報を把握しておくことで、避難完了までにかかる移動距離と時間が短縮されるという仮説の下、避難者の避難完了の増加率や避難完了までの時間の変化を調べるため、災害時の避難行動を想定したシミュレーションを行う。避難完了者の増加率や避難完了までの時間の変化から、避難行動を行う上での情報を把握しておくことの重要性を調べる。

本研究では、歩行速度を考慮した避難所情報と避難所の満員情報の2つを把握させた場合(歩行満員情報)、提案手法の有効性を調べるため歩行速度を考慮した避難所情報のみを把握させた場合(歩行情報)のシミュレーションを行う。また、比較のため通信機を持たせない場合(通信機無)、避難所の満員情報だけを適用した場合(満員情報)のシミュレーションを行う。

情報の共有は、スマートフォンのような携帯端末を用いることを想定し、シミュレーション上では通信規格IEEE802.11acの通信機を用いて行う。通信機には、通信結果とエージェントの行動を連携するためのアプリケーションを実装する。

今回のシミュレーションでは、青島地区を対象にして、避難行動のシナリオを作成する。青島地区は、周囲を海岸線に囲まれ、夏には海水浴客でにぎわっている。また、河川も多く、津波や、それに伴った増水の影響を受けやすいと考えられる。そのため、避難経路を知らず避難が遅れる可能性や避難経路を見失う可能性も高いと考えられるため、適切な避難所への誘導標識の設定や、避難経路の設定、誘導方法が必要な地域である。

4.1 実装

今回シミュレーションを行うにあたって、Scenargieはデフォルトでは通信とユーザ行動の連携を行うことができない

ため、通信結果に応じてエージェントの行動を指定する実装を行った。

歩行情報を実装するため、GetLocationId 関数を変更した。そして、満員情報に関しては先行研究⁶⁾で実装した、UnreachableDestinationNotification 関数、ReceivePacket 関数を使用している。また、ArrivedAtDestinationNotification 関数は先行研究⁶⁾で実装したものに変更を加えた。

処理の流れとしては、歩行情報の場合、GetLocationId 関数を使い目的地を決定し、エージェントは移動を開始する。満員情報の場合、現在位置から 1 番近い避難所を目的地として設定し移動を始め、目的地が到達不可であった場合、UnreachableDestinationNotification 関数を呼び出し、到達不可であった避難所の情報を保存しパケットを送信する。パケットを受信したエージェントは ReceivePacket 関数を呼び出し、到達不可な避難所の情報を保存し設定を行う。歩行情報と満員情報は、避難が完了すると、ArrivedAtDestinationNotification 関数を呼び出し、目的地到達の通知を行う。歩行満員情報は歩行情報と満員情報を組み合わせたものである。歩行満員情報を把握させた場合の送信側と受信側での大まかな処理の流れを、図 1、図 2 に示す。以下に関数の詳細を記述する。

GetLocationId は、エージェントが次に移動する目的地を決定する関数である。1 番近い避難所に目的地を設定している部分を歩行速度が 3.0m/s 未満の場合 1 番近い避難所へ目的地を設定し、歩行速度が 3.0m/s 以上の場合 2 番目に近い避難所へ目的地を設定するよう変更した。

UnreachableDestinationNotification は、目的地に到達不可の通知を行う関数である。目的地に到達できなかった際に呼び出される関数であり、到達不可であった目的地の位置情報を保存し、パケットのペイロードとして送信する。

ReceivePacket は、送信されたパケットを受信する関数である。UnreachableDestinationNotification 関数によって送信された到達不可な場所の情報を受信、保存し到達不可であると設定を行う。

ArrivedAtDestinationNotification は、目的地に到達の通知を行う関数である。目的地に到達した際に呼び出される関数であり、目的地に到達したエージェントの ID と到達時間をメッセージログに表示する。また、シミュレーションが終了すると、全員・子供・若者・高齢者それぞれ、時間ごとの避難完了人数を出力するように変更した。

4.2 実地図に基づくシミュレーション

4.2.1 シナリオ

今回のシミュレーションでは、観光シーズンを想定したシナリオを用意した。対象人数を、⁹⁾を基に、宮崎市全体の宿泊者数の内、青島地区に宿泊した人数の割合である 15%を宮崎市全体の月別観光入込客数に掛けたものを、青島地区における月別観光入込客数と仮定し、客数最多である 8 月のものを参考に設定した。そして、歩行速度ごとに避難者を示すエージェントを子供、若者、高齢者の 3 つのグループに分類した。それぞれの人数を宮崎市の年齢別人口⁷⁾の割合から設定した。また、¹⁰⁾と¹¹⁾を基に、青島地区の道路情報に建物の情報や指定避難所の情報を加え、複数の避難所を目的地として設定した。シミュレーションは、シナリオに歩行満員情報、歩行情

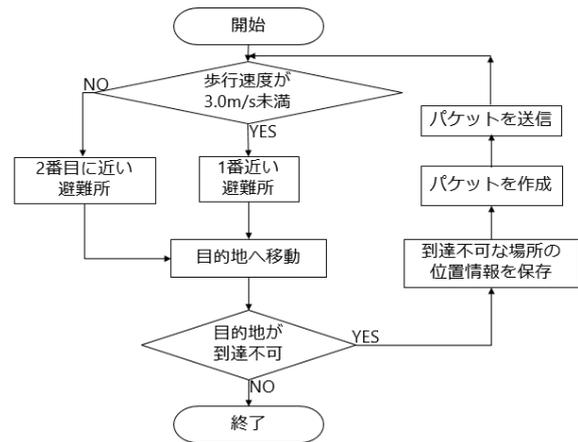


図 1. 送信側の処理の流れ

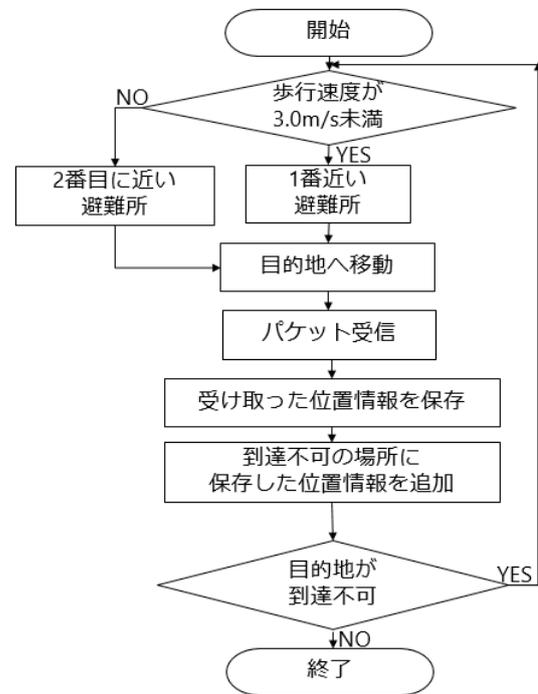


図 2. 受信側の処理の流れ

報、通信機無、満員情報を適用した場合で 5 回ずつ行い、時間毎の避難完了人数の平均値を求めた。情報の共有を行う際は、通信機を通じてエージェント同士で行われる。

エージェント設定を表 1 に、シミュレーションの様子を図 3 に示す。

表 1. エージェント設定

対象人数 [人]	1000		
グループ	子供	若者	高齢者
色	黄	水	黒
人数 [人]	110	611	279
歩行速度 [m/s]	1.0~3.0	4.0~5.0	0.5~2.0
年齢	4~14	15~64	65~100
初期配置	観光地中心		
目的地	複数設定された避難所		



図3. 実地図に基づくシミュレーション

4.2.2 結果

時間毎の避難完了人数の平均値のシミュレーション結果を図4に示す。縦軸と横軸はそれぞれ避難が完了した人数とシミュレーション時間の経過時間、赤線は歩行満員情報、黒線は歩行情報、青線は通信機無、緑線は満員情報を示す。また、エージェントグループそれぞれの避難完了人数の時間毎の割合の結果を図5に示す。縦軸と横軸はそれぞれ避難が完了した人数の割合とシミュレーション時間の経過時間、緑線は子供、青線は若者、黒線は高齢者、実線は歩行満員情報、破線は通信機無、点線は満員情報を示す。

図4において、歩行情報と通信機無を比較すると、250sあたりから歩行情報が避難完了人数が上回るが、450sあたりになると通信機無のほうが避難完了人数が上回る。満員情報と歩行満員情報を比較すると、150s~450sの間、歩行満員情報のほうが避難完了人数の増加率が大きい。歩行情報だけではあまり良い結果が出ていないが、歩行満員情報は満員情報よりも避難完了人数の増加率が大きくなることから、満員情報や歩行情報単体を把握させるよりも、2つの情報を合わせて把握させたほうがより良い結果が得られる。歩行満員情報と通信機無を比べると、歩行満員情報のほうが170sあたりから避難完了人数が上回りはじめ、380s時点では149人多く避難完了することができ、最大で174人多く避難することができたケースもあった。また、全員が避難を完了した平均時間は、歩行満員情報が1450s、通信機無が1800s以上かかった。

図5において、歩行満員情報の避難完了人数の割合が100%になるのは、子供が1040s、高齢者が1470sとなっていた。また、満員情報では、子供が1090s、高齢者が1470sとなっており、歩行満員情報とほぼ等しい。しかし、グラフを見てわかる通り子供と高齢者の避難完了人数の割合の増加率は歩行満員情報のほうが上回っている。若者に関して、歩行満員情報では、2番目に近い避難所に避難するようにしていることから、200sまで通信機無のほうが避難完了人数の割合が大きい、200sを超えたあたりからは歩行満員情報のほうが上回る。また、若者の避難完了人数の割合が100%となるのは、歩行満員情報が650s、満員情報が510sとなっている。満員情報のほうが、避難完了人数の割合が100%となる時間が速いが、200s~450sまでは歩行満員情報のほうが避難完了人数の割合を上回っている。歩行満員情報と通信機無の避難完了人数の割合が100%となる時間を比べると、歩行満員情報のほうが子供が460s、若者が110s、高齢者が330s短縮されていた。

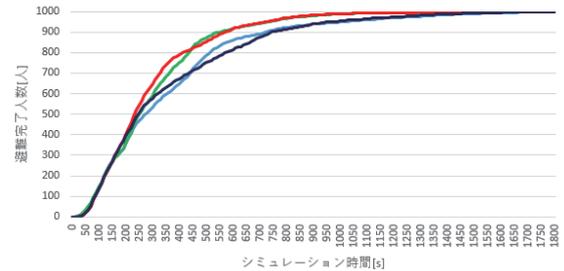


図4. 避難完了人数の変化（横軸はシミュレーション時間、縦軸は避難完了人数、赤線は歩行満員情報、黒線は歩行情報、青線は通信機無、緑線は満員情報）

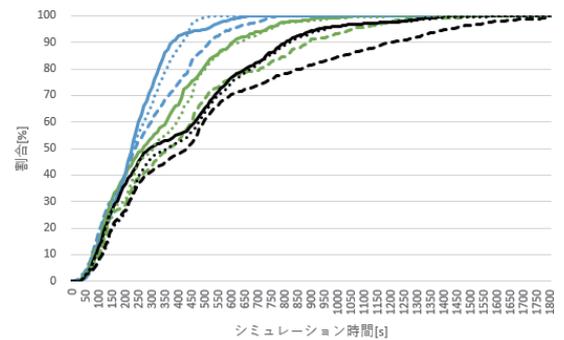


図5. グループそれぞれの避難完了人数の割合（横軸はシミュレーション時間、縦軸は避難完了人数の割合、緑線は子供、青線は若者、黒線は高齢者、実線は歩行満員情報、破線は通信機無、点線は満員情報）

5. まとめ

本論文では、災害時の避難行動を行う上で、「歩行速度を考慮した避難所情報」と「避難所の満員情報」を把握しておくことで避難完了までにかかる移動距離と時間が短縮されるのではないかと考え、青島地区の地図とマルチエージェントモデルを用いて、シミュレーションを行った。災害時の避難行動をシミュレートするにあたって、本研究ではScenargieを用いた。また、通信結果に応じてエージェントの行動を指定する実装を行い、目的地が到達不可である情報を共有し避難者の歩行速度によって決定した避難所の情報を把握できるようにした。

シミュレーションの結果、全員の避難が完了する時間が、歩行満員情報を把握させた場合、通信機無よりも約350s短縮された。また、歩行速度によって分けられたグループの避難完了までの時間は子供が460s、若者が110s、高齢者が330s短縮された。

今回のシミュレーションでは、全体の避難完了時間の短縮と歩行速度の遅い子供や高齢者の避難完了時間を短縮できたため、避難所の満員情報の共有と歩行速度を考慮した避難所情報を把握しておくことは避難者の避難に役立つと言える。また、子供や高齢者よりも遠くに避難するようにした若者の避難完了時間も短縮できたことから、若者にとっても有効であると言える。

今後の課題として、サーバとの通信を行い避難者全員に情報がいきわたるようにすることや、特定の道が通行不可になってしまった場合を考慮したシミュレーションを行うことが挙

げられる。

参考文献

- 1) <http://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary12>, (2020/2/12 閲覧).
- 2) https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/bousai-kikikanri/nankaitorafu_miwomamorou.html, (2020/2/12 閲覧).
- 3) http://www.asahi.com/special/nankai_trough/, (2020/2/12 閲覧).
- 4) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/30pdf_index.html, (2020/2/12 閲覧).
- 5) http://www.soumu.go.jp/main_content/000217421.pdf, (2020/2/12 閲覧).
- 6) 藤井 貴大：青島地区における災害時の避難行動に関するシミュレーション，宮崎大学卒業論文，2017.
- 7) <http://www.pref.miyazaki.lg.jp/tokeichosa/kense/toke/kako2.html>, (2020/2/12 閲覧).
- 8) <https://www.spacetime-eng.com/jp/>, (2020/2/12 閲覧).
- 9) <http://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/city/statistics/results/12183.html>, (2020/2/12 閲覧).
- 10) ひなた GIS at:<https://hgis.pref.miyazaki.lg.jp/hinata/>, (2020/2/12 閲覧).
- 11) http://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/life/fire_department/hazard_map/803.html, (2020/2/12 閲覧).