

# マルチエージェントモデルを用いた市街地における有効な津波避難計画の検討

## Multi Agent Simulation Model for Evaluating Evacuation Plan in Urban Area for Protection Against Tsunami Disaster

○池田 浩敬<sup>1</sup>, 柳原 幸子<sup>2</sup>, 馬場拓矢<sup>3</sup>

Hirotaka IKEDA<sup>1</sup>, Sachiko YANAGIHARA<sup>2</sup> and Takuya BABA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 常葉大学大学院環境防災研究科

Department of Environment and Disaster Research, Graduate School of Tokoha University

<sup>2</sup> 株式会社スズキ太陽技術

Suzuki Solar Techno Corp.

<sup>3</sup> 常葉大学社会環境学部

Faculty of Social and Environmental Studies, Tokoha University

This study aims to renovate the actual evacuation plan in an urban area for protection against tsunami disasters into a more effective one. We evaluated the effectiveness of the evacuation plans in an urban area by estimating the evacuation time with a multi agent simulation model, where evacuees with different characters and properties are expressed as a computer module called an Agent. Applying this simulation model to the Numazu portside area, it has been confirmed that officials need to move evacuees to the Tsunami refuge buildings appropriately considering the capacity of these buildings

**Keywords :** Evacuation Plan, Multi Agent Simulation Model, Tsunami Disaster, Numazu-city

### 1. はじめに

東日本大震災では、東北地方沿岸部などで、津波による甚大な被害を受けた。それを教訓とし各地で迅速かつ適切な避難行動が行われるための対策が検討されている。静岡県沼津市では、静岡県の第4次被害想定が発表される平成24年までに、緊急的に行う地震・津波対策として、市民に「少しでも早く、少しでも高い所」へ避難する際に役立てるよう、津波ハザードマップを改訂した。このマップは静岡県第3次地震被害想定及び安政東海地震による推定津波浸水域を基にしており、沼津市でこれまで最も大きな被害を受けた安政東海地震（1854年）の津波浸水域を含む単位自治会の区域を「津波避難訓練対象区域」と定め、第4次地震被害想定が発表されるまでの間、緊急の津波対策や津波避難訓練に取り組むとしている。

しかし、避難ビルの指定は、所有者の承諾が得られた民間施設を一件一件指定していくという方法で積み上げられており、地区の避難人数と避難ビルの配置、容量等を定量的に考慮し、計画化したものではない。

したがって、現状の避難ビルの配置や容量が地区の夜間人口や昼間人口の分布に対応し、適切に配置されているか否かの評価や、地区ごとの避難完了時間や避難ビルの過不足を適切に評価し、当該評価結果に基づき、より効果的な避難計画の立案を図っていく事が必要となる。

そこで本研究では、昼間や夜間、あるいは新たな避難施設を設置した場合、避難先を指定した場合など、様々なケースの避難行動をマルチエージェントモデルを用いてシミュレーションし、避難ビルの新たな立地場所の検討と有効な避難計画策定に活用することを目的とする。

### 2. 研究の方法

本研究では、マルチエージェントモデルを用いて避難シミュレーションを行い、避難行動を可視化するとともに、各避難施設への避難人数、避難完了時間などを計測した。

各エージェントは「最短距離で目的地に行く」という基本ルールに従って動くため、全ての避難施設を目的地とすることで、各避難開始場所から最も近い避難施設に向かって避難していく。また、既往研究にもとづきエージェントは年齢階層別に歩行速度を設定し<sup>(1)(2)</sup>、配置した。

ケーススタディとして、南海トラフの巨大地震津波による浸水被害が懸念されている静岡県沼津市第二地区を対象とした。避難ビルには避難可能なスペースの床面積等の関係から避難可能人数には限界があるため、各避難ビルごとに市が設定している避難容量に基づき、収容可能人数の上限を設定した。避難人数が上限値に達した避難施設は閉鎖し、入りきらなかったエージェントはその時点で次に近い避難施設を目指すようにした。このような設定で、夜間人口と昼間人口の2ケースのシミュレーションを行った。

さらに、その結果よりも避難時間を短縮するためにはどのような方策を行うことが有効であるかを再びシミュレーションモデルを用いて検討し、避難ビルの新規立地や有効な避難計画策定のための考察を行った。

### 3. 既往研究のレビュー

#### ① 災害事例における津波避難行動に関する調査

伊藤ら（2011）<sup>1)</sup>は、東北地方太平洋沖地震に対する岩手県宮古市、釜石市での津波避難行動に関する面接調査

を行った。この調査によると、避難場所については事前に避難場所として指定されていた、学校・公民館等への避難が最も多く、次いで山への避難という結果となっている。避難時間は、男女ともに 7-8 割の被災者が 5 分以内に避難を完了させており、自宅から近距離に避難場所があり、迅速に避難を行えたことが、津波襲来時の生死を分けることが改めて認識された、と結論づけている。

また、村上ら（2011）<sup>2)</sup> は東北地方太平洋沖地震に対する名取市の津波避難行動についてのアンケート調査を行った。この調査によると、避難場所は公民館や小中学校など指定避難場所が過半数と多く、次いで海から十分離れた場所が挙げられる、とされている。

## ② 津波避難モデルの構築・検証に関する調査・研究

齋藤ら（2004）<sup>3)</sup> は、津波避難シミュレーションモデルを構築し、奥尻島青苗地区における 1993 年北海道南西沖地震の場合のケースを再現した。海岸地域に住む人々が安全な高台へ避難するという避難行動を考え、シミュレーションの結果、各区の住民にとって高台への最短経路であるルートをそれぞれ経由して避難していることを明らかにした。

玉川ら（2006）<sup>4)</sup> は釧路市中心市街地を例に、津波避難施設への避難モデルを構築し、現況の指定避難施設を対象としたシミュレーションを行った。3 つのケースを設定し、避難施設を利用せず海岸線からより遠い避難場所を 2 か所指定したケースと、それに避難施設を 6 か所加えた場合では 20 分の差があった。これは海岸平野部で高台の確保が難しい市街地における津波避難施設の果たす役割の重要性を明らかにした。

鈴木ら（2005）<sup>5)</sup> は、実際の避難行動では様々な要因によって避難経路選択が行われるものと推測し、それらの要因を抽出するために現地調査を行った。結果、経路選択理由として「近から（最短経路）」が最も回答数が多く、現存する多くの避難シミュレーションモデルにおいて用いられている経路選択方法である（例えば高橋・他、1995）ことを明らかにした。

## 4. ケーススタディの対象地域

沼津市は、静岡県第 3 次地震被害想定及び安政東海地震による推定津波浸水域を基に津波ハザードマップを改訂した。沼津市で過去に最も大きな被害を受けた安政東海地震（1854 年）の津波浸水域を含む単位自治会の区域を「津波避難訓練対象区域」と定め、静岡県の第 4 次地震被害想定が発表されるまでの間、緊急の津波対策や津波避難訓練に取り組む。

このハザードマップを用い、津波避難訓練対象区域に指定されている第二地区と千本地区の一部を含む約 2.2 km×約 1.6 km の範囲（図 3 の赤枠内）で避難シミュレーションを行った。この地区は 25 町丁目を含み、夜間人口は 9,177 人（平成 24 年 4 月 1 日現在（出典：沼津市））<sup>6)</sup>、昼間人口は、沼津市へのインタビューに基づき、夜間人口×1.1 として推計し、この事業者+住民の昼間人口に加え、沼津市水産海浜課「観光入れ込み客数調査」において、沼津港を訪れる年間総入れ込み客数を交通量調査に基づき推測している値 1,316,950 人/年（平成 21 年）を基に 1 日当たりの平均を取り約 3608 人/日（土日祝日は考慮していない）を沼津港周辺に配置した。

沼津市第二地区への浸水が想定される沼津港及び狩野川河口に 1 m の津波が到達する時間は約 7 分 30 秒であり、最大津波高は 6.9 m と推定されている。また、浸水深は港

周辺の地区では 1～3 m、内陸では 0.01～2 m であるとされている。<sup>6)</sup>（図 1・2 参照）

地区内における津波到達時間では、沼津港内港に約 0.1～1 m の津波が約 7 分で到達しており、約 17 分で港周辺地区が浸水し、約 20 分後に千本中町・下河原町周辺、約 25 分後には第二小学校周辺に到達すると想定されている。

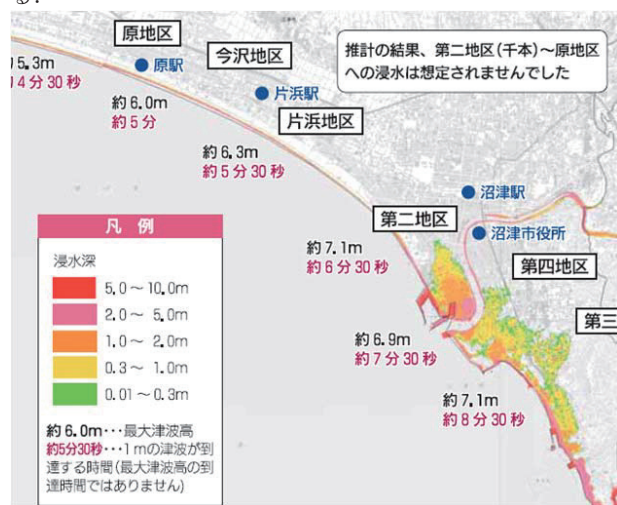


図 1 南海トラフ地震の津波被害想定（津波高・浸水域図）

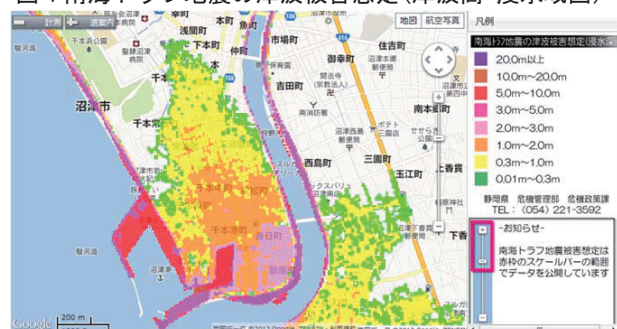


図 2 南海トラフ地震の津波被害想定（浸水深）  
（出典：図 1・2 とともに沼津市 HP より引用）



図 3 第二地区の津波ハザードマップ  
（出典：沼津市危機管理課）

## 5. シミュレーション結果



#### (1) 夜間人口の場合

シミュレーションの結果、夜間人口を前提とした場合は、避難訓練対象地域内の全ての滞業者が避難施設あるいは対象地域外に避難を完了するのにかかる時間は、約22分30秒であった。

#### (2) 昼間人口の場合

同じく昼間人口を前提とした場合は、避難訓練対象地域内の全ての滞業者が避難施設あるいは対象地域外に避難を完了するのにかかる時間は、約27分であった。

#### (3) 避難完了に時間のかかる地区

シミュレーションを行い避難行動を可視化した上で、避難完了時間の遅い避難者がどこから来ているのかを調べることで、どの地区の人が避難に時間が掛かっているのかがわかる。その結果、沼津港の東側（蛇松町、春日町北部）の地区が、避難に時間が掛かる傾向にあるということが明らかとなった。

原因として、①この地区には避難ビル数が少ないこと、②現存する避難ビルは容量が小さいため、最も近い避難ビルの容量が一杯になった時点で別の避難ビルへ避難先を変更せざるを得ず、それを何度か繰り返すことで避難距離が長くなってしまふこと、等が考えられる。

### 6. 明らかとなった問題点とその改善策の提案

沼津市第二地区の現状の避難ビルの配置を前提とし、各々の避難者が最寄の避難ビルへ向かうという避難方法では、南海トラフ沿いの巨大地震による避難は困難であるということが明らかとなった。

- 沼津港の東側（蛇松町、春日町北部）の地区は、地震発生から約20分で浸水すると推定されているが、シミュレーションでは、全員が避難完了するまでに約22分30秒掛かり、地震発生直後に避難を始めても避難途中で津波により浸水してしまう。（図5参照）
- 港周辺は地震発生から約17分で浸水すると推定されているが、港周辺観光客設定地区の全員が避難完了するまでには約21分49秒掛かる。
- 実際の避難では、避難開始までの時間や避難ビルの階段を上がる時間等もさらに加える必要がある。
- 避難ビルには容量の制約があり、必ずしも最寄のビルに避難できるとは限らず、そこからまた別の避難ビルへ回らなければならない避難者が存在し、その迂回行動が避難完了時間を長くする結果となっている。

これらを改善し避難時間を短縮するためには、以下の方策が考えられる。

- ① 避難ビルの少ない地区、避難ビルがあっても容量の小さい地区に新たに避難ビルを配置する。
- ② 各地区毎の避難施設の容量を考慮した上で、適切に避難者の避難先を割り振る。（地区ごとの避難者の避難先を指定する）

しかし、①の方策については、特定の場所に新たにビルを建設することは事実上困難であり、本研究では、②の方策の有効性の検証を行う。

### 7. モデルの前提条件の検討

本研究に用いたシミュレーションモデルでは、避難者の歩行速度は既往の研究成果に基づき、高齢者が0.6m/s、幼児は0.5m/s、それ以外は1.0m/sとしているが、個人が有する運動能力としての歩行速度という要素と、当該避難者が避難先や避難ルートを予め知っているのか、その場で初めて地図などによって示されるのか

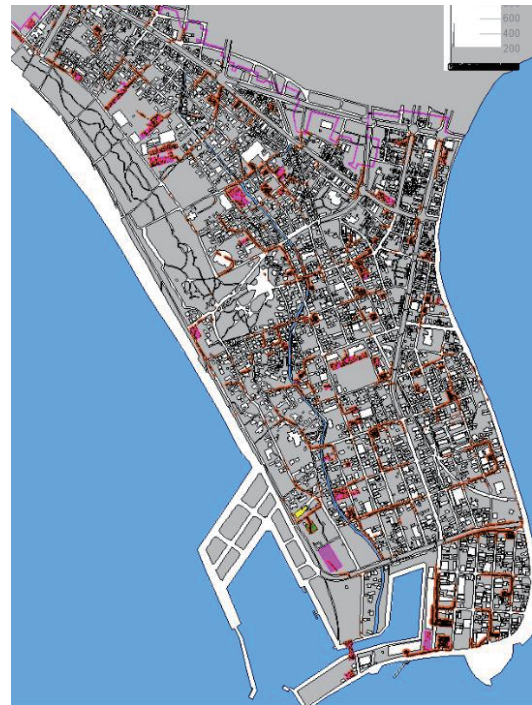


図4 避難行動の可視化（第二地区全体/昼間人口）

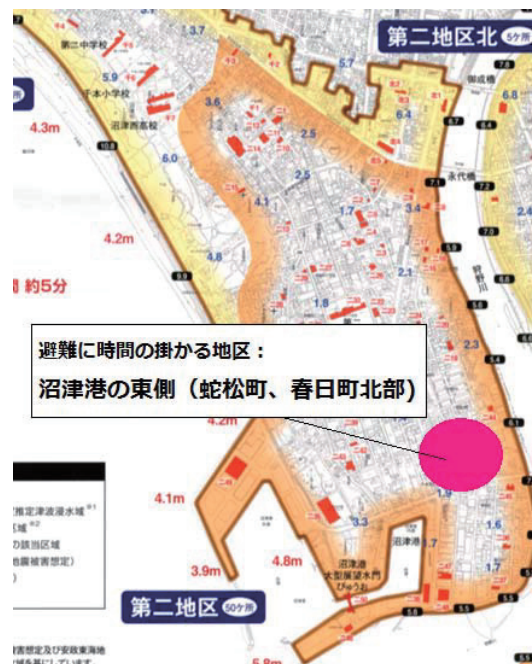


図5 避難完了に時間のかかる地区

によって、避難を開始するという意思決定後、実際に避難が完了するまでの時間が異なることが予想される。そこで、本研究では、対象地区の地理を知らない被験者を、1) 出発前に地図を見せ場所を把握後スタートしてもらう、2) 地図を渡して即座にスタートしてもらう、3) 下見などをしてもらい予め地理を十分把握した後にスタートしてもらう、といった3つのグループに分け、避難の意思決定をしてから避難完了（避難ビルの入口まで避難）までの時間を計測し比較した。その結果、歩行速度そのものには大きな差が見られなかったが、避難開始までにかかる時間が異なり、結果として予め地理を十分に把握しているグループの方が避難の意思決定をしてから避難完了までの時間は短かった。

## 8. 改善策の有効性の検討

夜間人口を前提としたケースにおいて、最も避難完了時間が長くなっている地区（蛇松町・春日町北部）に着目し、6で提案した「各地区毎の避難施設の容量を考慮した上で、適切に避難者の避難先を割り振る。（地区ごとの避難者の避難先を指定する）」という方策について、その有効性の検証を行った。

最も近い避難ビル、次に近い避難ビルの容量が一杯になってしまい、2度も目的地を変更した結果、避難距離が長くなり、避難完了時間が遅くなってしまった。そこで、避難者が集中し、比較的容量が小さい下記の3箇所の避難ビルへの避難者を予め指定しておき、その他の人は容量の大きい別の避難ビルに避難開始時から向かうように設定した。（夜間人口の設定で行う）

シミュレーションの結果、避難者の避難先を指定した場合、当該地区（蛇松町・春日町北部）における避難時間は、22分30秒から約10分22秒と、12分8秒短縮された。

蛇松町・春日町北部においては、避難先を指定した場合、指定しない場合よりも避難完了時間が約12分8秒早くなり、第二地区全体でも約5分7秒早くなった。このことから、避難ビルが少ない地域においても、現存の避難ビルの容量にあった適切な目的地を予め設定することによって、新たに避難ビルを配置しなくても避難完了時間が早くなるということがわかった。今回指定した避難先は3箇所であったが、さらに多くの避難者の避難先を指定すれば、地区全体の避難完了時間はさらに早くなると考えられる。

## 9. まとめ

沼津市第二地区において、各自が最も近い避難ビルに逃げるという条件で津波避難シミュレーションを行った。その結果、地震発生から約20分で浸水すると推定されている沼津港の東側（蛇松町、春日町北部）は、全員が避難完了するまでに約22分30秒掛かるということが明らかとなった。

避難完了時間が遅い原因として、避難ビルには容量の制約があり、必ずしも最寄のビルに避難できるとは限らず、そこからまた別の避難ビルへ回らなければならない避難者も存在する、ということが考えられる。

したがって、避難時間短縮の方策を検討する必要がある。そのためには、予め容量を考慮した上で適切に避難者の避難先を指定する、といった方策が考えられ、再度避難モデルを利用してこれらの対策について検討を行った。その結果、避難先の指定を行った場合は、沼津港の東側では約12分8秒短縮され、避難完了時間が約10分22秒となり、浸水するまで(20分)に約9分38秒の余裕時間が確保できることが明らかとなった。沼津市第二地区では、最も近い避難ビルに避難する場合、容量以上の避難者が見られる避難ビルと、容量に余裕のある避難ビルが各所に混在しているため、避難者の避難先を各避難ビルの容量に考慮し予め最適に振り分けることで、新たに避難ビルを設置しなくても避難完了時間が早くなると考えられる。

しかし、実際の避難では、避難開始までの時間や避難ビルの階段を上がる時間等もさらに加える必要がある。さらに、特に昼間人口のケースにおいては、その場で避難先及び避難ルートに関する情報を得てから避難を開始することになり、その分の避難の遅延についても考慮する必要がある。

## 補注

- (1)岡田ら（1978）の調査によると、老人や小さな子供等は、歩行速度も歩幅も一般に成人のその6～8割であるが、それ以下の値の人も多くいることを考慮しておかなければならないと結論づけている。それに加えて、災害時の避難では様々な障害が生じ、普段より歩行速度が遅くなることが考えられるため、乳幼児（0～5歳）0.5m/秒、高齢者（65歳以上）0.6m/秒、とする。<sup>7)</sup>
- (2)渡辺ら(2009)<sup>8)</sup>は、既往研究(安倍・2002)より、平坦な道路を群衆密度が1[人/㎡]で移動する高齢者以外の歩行速度は、1.00[m/sec]であり、±0.25[m/sec]の個人差を考慮し0.75～1.25[m/sec]と設定した。それを参考に、本研究では高齢者、乳幼児以外の人の歩行速度を1.0m/秒とする。

## 参考文献

- 1)伊藤沙知，生田英輔，土井正，北本裕之，川勝悠介，高橋隆宜，大道美佳，紙田和代，宮野道雄：「東日本大震災における津波避難行動調査—岩手県宮古市での調査報告—」，地域安全学会梗概集 No.29 2011 年
- 2)村上ひとみ，柏原一樹：「2011 年東北地方太平洋沖地震に対する津波避難行動と交通手段の問題—名取市におけるアンケート調査」地域安全学会梗概集 No. 29, 2011 年
- 3)齋藤 崇，鏡味洋史：「津波からの避難シミュレーションへのマルチエージェントシステムの適用—北海道奥尻島青苗地区をモデルとして—」，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），2004 年
- 4)玉川奈都子，大畑大志郎，高井伸雄，鏡味洋史：「マルチエージェントシミュレーションによる釧路市中心部の津波からの避難シミュレーション」，日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 79 2006 年
- 5)鈴木 介，今村文彦「住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル」，自然災害科学 23（4）2005 年
- 6)沼津市公式 web サイト：  
<http://www.city.numazu.shizuoka.jp/index.htm>
- 7)岡田光正，浅野博光，俵 元吉：「自由歩行速度と歩幅に関する調査・研究・：主として老人や子供の場合について（建築計画）」，日本建築学会近畿支部研究報告集，1978 年
- 8)渡辺 公次郎，近藤光男：「津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発」，日本建築学会計画系論文集 第 74 巻 第 637 号 2009 年
- 9)久木留貴裕，森伸一郎：「津波避難訓練時の行動調査事例」，地域安全学会梗概集（20），2007 年
- 10)木村謙，佐野友紀，林田和人，竹市尚広，峰岸良和，吉田克之，渡辺仁史：「マルチエージェントモデルによる群衆歩行性状の表現：歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築」，日本建築学会計画系論文集第 74 巻第 636 号，2009 年