

# 避難シミュレーションによる地区ごとの避難計画策定の検討

畑山満則・中居楓子・矢守克也

## Development of Community based Tsunami Evacuation Plan Using Agent Based Evacuation Simulation System

Michonori HATAYAMA, Fuko NAKAI and Katsuya YAMORI

**Abstract:** It is important for each resident lived in coastal area to make a community based evacuation plan from the viewpoint of disaster mitigation. However, it is hard to estimate feasibility of his/her plan. We have been developing an agent based simulation system for Tsunami evacuation. In this paper, we explain 3 applications for huge tsunami risk areas with Nankai Trough Quake.

**Keywords:** 津波避難 (Tsunami Evacuation), エージェントシミュレーション (Agent Based Simulation), 地域ごとの避難計画 (Community Based Evacuation Plan)

### 1. はじめに

東日本大震災の発生を受けて、南海トラフ沿いで発生する大規模地震の対策を検討するに当たっては、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの地震・津波」を想定することが必要とされ、この考えに基づく災害想定が中央防災会議内に設置されたワーキンググループでなされてきた。2012年3月末には震度分布及び津波高（最小 50m メッシュ）、同年8月末には最小 10m メッシュの津波高及び浸水域等、2013年3月には施設等の被害及び経済的な被害が公表されており、同年5月には南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）（南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、2013）が公表された。

これらの一連の報告において、最大クラスの巨大地震・津波（以下、レベル2の地震・津波）への対応は、「命を守る」ことを目標として、住民避難を軸に、情報伝達、避難施設、避難路、土地利用等のハード対策とソフト対策を総動員し、それらを組み合わせた総合的な対策を推進することが求められている。

本研究では、最大クラスの地震・津波想定に対応するために、作成を推奨されている「地区ごとの避難計画」の検討を支援する避難シミュレーションシステムの構築と地域への適応について3つの事例を用いて考察する。

### 2. 地域ごとの津波避難計画

津波避難計画は、避難勧告等を発する権限をもつ市町村が策定すべきものである。しかし、実際に避難行動をとるのは地域住民等であるため、各々の地域の状況に応じた具体的な地域ごとの津波避難計画も策定する必要がある。東日本大震災の経験を経て改定された報告書（消防庁国民保護・防災部防災課、2013）では、特に地域ごとの津波避難計画策定による住民等一人ひとりの迅速かつ主体的な避難行動の重要性が強調されている。地域ごとの津波避難計画策定は、①津波の危険性の理解を深める、②津波からいかに避難するかを考える、③避難訓練で検証する、④今後の津波対策のアクションプランを検討するという流れで避難計画策定が行われるが、とりわけ②の

---

畑山満則 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

京都大学 防災研究所

Phone: 0774-38-4333

E-mail: hatayama@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

段階において、避難のイメージを膨らませることが難しく、その後のステップに進んでいくことが困難になるケースがみられる。特に、南海トラフ巨大地震に関する新想定では、古文書などこれまでは対象としなかった資料までも対象とした分析がなされたため、これまでに経験したことのない津波高が報告された地域が多く存在する。これらの地域では、津波高の数値に圧倒され、あきらめの感情が地域住民に広がってしまい、避難への関心が失われてしまう場合が多くみられる。このような場合には、当事者である住民個人の憂慮すべき事項を丁寧に拾い上げ、それらに対する対策とその効果を、当事者自身が想像できるように工夫する必要がある。

### 3. エージェント技法を用いた

#### 津波避難評価システムの構築

##### 3.1 システムの概要

開発したシステムは、図1のような構成となる。本システムは、エージェントベースのシミュレータ部分（以下、シミュレータ）と時空間地理情報システム（以下、時空間 GIS）がデータベースを共有する形で構成される。前者は構造計画研究所の提供するマルチエージェントシミュレーションプラットフォーム Artisoc 上に、後者は、京都大学防災研究所がライセンスする時空間地理情報システム DiMSIS 上に構築した(畑山ら, 2014)。

シミュレーションで扱うエージェントは、住民と車であり、その基本となるデータは DB から供給される。この基本データは、社会調査の結果と対象地区の地理特性からなる。この地理特性については、公開されているデータをベースとして、時空間地理情報システム上でデータの整備を行い、DB に蓄積される。シミュレーション結果であるシミュレーションステップごとエージェントの位置や方向は、DB を通して時空間 GIS に取り込まれ、津波シミュレーション結果と重畳される。エージェントの動きによる集計や評価はここで

なされ、最後に時空間情報として可視化される。

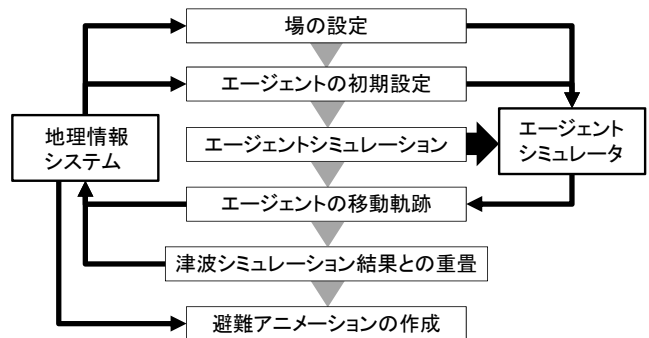


図1 システム構成

##### 3.2 社会調査による基本情報の作成

本研究では、地域住民の災害行動を明らかにするため、全世帯に対して、インタビュー形式の社会調査を行った(中居・畑山, 2013)。下記に、開発システムで利用した調査項目について示す。

- ① 津波の際の避難場所
- ② 個人属性（年齢、同居する家族構成）
- ③ 地震から避難開始までにすること
- ④ 築年数、耐震診断や補強、家具の固定の有無

##### 3.3 ベースとなる地理空間情報

ベースマップとして、国土地理院が提供する1:2500の基盤地図情報(国土地理院)を利用する。この基盤地図情報は、境界を示す「行政区画界線」、「町字界線」、道路関連の情報である「道路縁」、「道路構成線」、鉄道関連の情報である「軌道の中心線」、建物関連の情報である「建築物」、「建築物の外周線」、水に関連する情報である「海岸線」、「水域」、「水涯線」、「水部構造物線」から構成されているが、このうち避難経路領域の作成のため「道路縁」、住居領域として「建物」を用いた(その他の情報は時空間GISの背景として利用)。

避難経路は、交差点部分と交差点間を結ぶ移動経路部分に分割される。領域は50cmピッチでラスタ化し、移動経路部分は、次の交差点に向けて移動できるように方向情報を与えている。また、各ノードで最終目的地となるノードを指定すると、次に目指すべきノードを教示出来るようにデ

ータを整備した。この際には経路は最短経路探索アルゴリズムによってもたらされるものとした。また、時系列の津波予測情報は、京都大学の鈴木助教より、中央防災会議の想定に基づいたシミュレーション結果を提供いただいている。

### 3.4 エージェントの設計

本シミュレータでは住民、自動車をエージェントとして設計した。自動車エージェントは自動車利用の可能性を示すためにモデル化しているが、津波避難は基本的には徒歩避難が想定されているため、ここでは住民エージェントのみを説明する。住民エージェントは、1 エージェントが一人を示すものとし、GIS から提供された経路上のみを移動し、経路上に障害物（倒壊物や車など）や別のエージェントが存在すれば回避するという単純なルールで振る舞うようにモデリングされている。避難行動は、避難開始場所、避難開始時間、避難先、避難経路、移動速度によりモデル化できるとして、以下のような属性を設定し、これらを、初期設定で与えることでシミュレーションを行っていく。

避難開始場所：想定する時間帯によって変化するが、避難計画策定を見据え、自宅を基本とする。  
避難開始時間：地震の揺れにより動けない時間( $T_s$ )、避難のための準備に要する時間( $T_p$ )、家から道路にでるまでの時間( $T_r$ )の合計値とし、 $T_r$ は耐震化や家具固定の状況をもとに割り付ける。  
避難先：調査により、個人の意向が把握できた場合は、個人の意向に沿うように設定する。把握できなかった場合は、想定される避難所から、移動距離、地区割りなどを考慮して割り付ける。途中1か所の経由ノードを設けることが可能。

避難経路：避難開始場所と避難先を繋ぐ最短経路。  
移動速度：国土交通省が東日本大震災における津波避難者からの聞き取り調査によって判明した速度をベースとして用いた（国土交通省都市局、2012）。具体的には、10 歳以上 70 歳未満の人の平均速度を時速 2.65km、10 歳未満や 70 歳以上の人

は時速 1.88km、子どもや高齢者と一緒に逃げる場合は時速 1.96km となるように設定している。

## 4. 地域防災活動での利用

### 4.1 高知県黒潮町万行地区のケース

高知県黒潮町は、南海トラフ巨大地震による最大クラスの津波の被害において、34.4m という最も高い津波高で注目されている場所である。最新の想定では、万行地区は 14m の津波高が想定されているが、津波到達までの時間は約 20 分程度であり、住民の避難体制の整備が急務である。地区には、約 600 人、約 250 世帯の人々が暮らしており、中心部から海までは 500m 程度の海沿いの地区である。避難場所となる地区の近傍の高台は数か所あるが、最も近い高台までであっても、健常者の歩行速度で 20 分近くはかかるため、避難が困難な地域であるといえる。地区の中心にはこれに対応するため津波避難タワー（300 人収容）が建設されている。

システム開発にあたっては、全世帯悉皆調査を行い、全世帯の行動について属性を決めている。住民の意向を反映させた避難を実装し、このときに津波に追いつかれる人の行動を分析することで、早期の避難行動の開始、乗り合いバス・自動車、避難場所の中途変更などの行動計画案を地域住民や行政とともに提案した。これらの行動の効果をシミュレーションで検証したのち、その実行可能性について、住民 WS での説明と防災訓練により確認している。

### 4.2 和歌山県田辺市沿岸部のケース

和歌山県田辺市の沿岸部に位置し、人口約 1250 人、641 世帯が生活する上屋敷 1、2、3 丁目、片町を含む地域を対象とし、システム構築を行った。この地区には、南海トラフ巨大地震時の予測最大震度は 7、地震発生後最短 15 分で、12m の津波が到達すると予測されている地域である。地域の中には NTT ビルと田辺市立第一小学校が津波避難ビルとして指定されており、近傍の高台にあ

る闘鶏神社も避難場所に指定されている。しかしながら、闘鶏神社は対象地域から最短で約 620m の場所に位置しており、徒歩で 14～15 分を要する距離であることから、高齢者が避難するには厳しい距離となっている。

システム開発にあたっては、個別世帯への社会調査は行わず、行政から公開されている統計情報をもとにエージェントの属性を割り付けた。但し、現地調査をもとに建物倒壊に関するシミュレーションを行い、倒壊の危険性がある家屋の倒壊時の避難路への影響を考慮している。シミュレーションでは、建物が倒壊し、道路を閉塞した場合と、そうでない場合の避難について実装し、建築年代の古い建物を耐震化することの意義について分析を行った。

#### 4.3 神戸市長田区真陽小学校区のケース

神戸市長田区真陽小学校区にある二葉小3丁目を対象とした。この地域には、約 450 人、200 世帯あまりが住んでいるが、このうち、津波による被害を受ける可能性が少ない高層住宅住民を除く約 200 名を対象とした。南海トラフ地震による津波は、地震発生から約 100 分後に神戸市の沿岸部に到達するが、近くを流れる川への遡上を考慮しても、この地域に津波の予測高は 50cm 以下である。避難行動をきめる属性は、個別アンケート調査より割り振っている。

神戸市消防局は、津波の到達時間を考慮して災害時のレスキュー活動を地震発生から 60 分に限定し、その後は、津波の危険のない国道 2 号線まで一旦引き上げることを明言しているため、地震発生から 60 分間のシミュレーションを行った。津波に追いつかれる心配がないことを考慮して、単なる避難だけではなく、倒壊の可能性が高い市場で地域の方々が限定された時間で、どのような救助活動ができるかを検討した点が、他のケースとの相違点である。時間制限のある中での救助活動は、早くに駆け付けた人が対象地域を調査し、情報を集約したうえで、後から訪れる支援者と要

救護者をマッチングしていくことが示された。これらの情報は、住民を対象にした防災勉強会で地域にフィードバックされている。

#### 5. おわりに

本稿では、南海トラフ巨大地震における最大クラスの津波想定を念頭に、3つの地区で構築した津波避難計画を支援するシミュレーションシステムについて報告した。システムを用いていくつかの対策を評価し、効果的な対策を具体化できているが、住民との対話を介して、計画をまとめていく段階は、これからである。今後は、実効性のある計画策定に本システムがどのように寄与できるかについて、さらに検討を進めていく予定である。

#### 謝辞

本研究は、文部科学省からの支援を受けた「巨大地震津波災害に備える次世代型防災・減災社会形成のための研究事業－先端的防災研究と地域防災活動との相互参画型実践を通して－」の成果の一部である。

#### 参考文献

- 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2013) 南海トラフ巨大地震対策について(最終報告) , [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/20130528\\_honbun.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf) (最終確認 2014-8-30).
- 消防庁国民保護・防災部防災課 (2013) 津波避難対策推進マニュアル検討会報告書 , [http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi\\_kento/h24/tsunami\\_hinan/houkokusho/p00.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p00.pdf) (最終確認 2014-8-30) .
- 畑山満則, 中居楓子, 矢守克也 (2014) 地域ごとの津波避難計画策定を支援する津波避難評価システムの開発, 情報処理学会論文誌, 55 巻, 5 号, 1498～1508.