

# 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と社会実装

中居楓子<sup>†1</sup> 畑山満則<sup>†2</sup>

東日本大震災発生以降、減災の観点から巨大地震に伴う津波を想定した避難計画の策定が注目されている。本発表では、南海トラフ地震の最新の被害想定において、最大の34.4mの津波が襲う可能性が指摘された高知県黒潮町内にある万行地区を対象として、津波避難評価システムの構築と避難計画策定の作業への適応について報告する。

## Development of Tsunami Evacuation Evaluation System Using the Agent Technique and its Social Implementation

FUKO NAKAI<sup>†1</sup> MICHINORI HATAYAMA<sup>†2</sup>

After Great East Japan Earthquake, the importance of effective evacuation plan is pointed out from the viewpoint of disaster mitigation. In this paper, we develop agent based Tsunami evacuation evaluation system and report a result to apply in Mangyo area, which located in Kochi Prefecture in Japan and have a huge Tsunami risk with Nankai Trough Quake

### 1. はじめに

リスクは災害原因事象である「ハザード」、災害との接触面を示す曝露度の「エクスポージャ」、社会の脆弱性を表す「バルナラビリティ」という3つの要素によって定義されるが、ハザードに対して適切な予防を行い、エクスポージャやバルナラビリティなどの社会的要素を変えることで上記の3つによって定義されるリスクは低減させることが可能である。

地域防災におけるリスクコミュニケーションは、まちと住民を災害から守るために、住民の災害リスクへの理解や事前の避難計画策定などにより社会的要素を強化する方法として用いられる。一般的な定義のひとつとして、National Research Council(NRC)による「個人、機関、集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」というものがある。また、Rowanが提案したCAUSEモデルでは、リスクコミュニケーションの到達目標を、①関係者間の信頼形成(Credibility)、②リスクの存在の気付き(Awareness)、③リスクの理解(Understanding)④対処方法の理解(Solution)、⑤対処行動の実行(Enactment)という5段階に分類している。

本調査では、高知県黒潮町万行地区の住民に対する面接調査を通して、地域社会が抱える社会的リスクの実態把握と、避難行動をモデル化するためのパラメータの収集をおこなった。本稿では、その結果と津波避難シミュレーション

ンについて述べる。

### 2. 高知県黒潮町万行地区でのアンケート調査

#### 2.1 高知県黒潮町万行地区について

高知県黒潮町は2012年8月29日に内閣府が発表した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。その後12月10日に想定が改められ、万行地区は現在14mの津波高が想定されているが、到達時間は約20分程度であり、依然として厳しい状況と言える。

万行地区は、人口約650人、約300世帯が暮らしており、中心部から海までは500m程度の海沿いの地区である。地区の近傍に高台がなく、最も近い高台までは、健常者の歩行速度であっても20分近くはかかるため、避難困難地域と言われている。地区の中心に数年前に建てられた津波避難タワーは高さ12mで、200人が収容できるが、新しい避難想定では浸水の可能性もあることから、新たにさらに高いタワーの建設が計画されている最中である。

また、高齢化による避難困難者の増加や、車避難による混雑の問題などのソフト面の課題、既存の建造物の未耐震なども深刻であり、今後確実に起こるであろうと言われている地震・津波の被害をソフト・ハード共にとりうる手段を尽くした総合的な津波対策は急務である。

#### 2.2 アンケート調査の概要

調査は2012年11月5日から12月21日までの期間に実施した。地域の方の同行のもと、各戸を訪問し、20歳以上の方を対象にインタビューをし、調査票に記入するという方法で行った。設問は22問あり、一人あたり10から30

<sup>†1</sup> 京都大学情報学研究科  
Kyoto University, Graduate School of Informatics  
<sup>†2</sup> 京都大学防災研究所  
Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute

分程度の時間を要する。内容は、過去の南海地震の経験、避難の際に不安を感じる点などの地区の社会的な脆弱性に関連する項目と、避難行動シミュレーションをおこなうために必要な住民の属性や、日常の行動パターン、津波が来る場合にどこに逃げるか、また、その避難手段に関する情報を収集した。

アンケートの協力者の数は653人の人口のうち181人で27.7%。世帯数は全世帯の49.3%である。

### 2.3 調査票の内容およびその集計

本研究の津波避難シミュレーションはエージェントベースで行われるため、調査から得られたデータをもとにエージェントに属性を与え、ボトムアップ型で全体の挙動を評価する必要がある。アンケートに回答していない人に関しては、データを統計処理した結果をもとに属性を与える。本章では、アンケートの一次集計結果を通して得られた万行地区の住民の特徴について述べる。

#### (1) 対象者の属性

個人の属性に関しては、名前、年齢、性別、職業に関する情報を得ている。それらの集計結果を以下図1に示す。

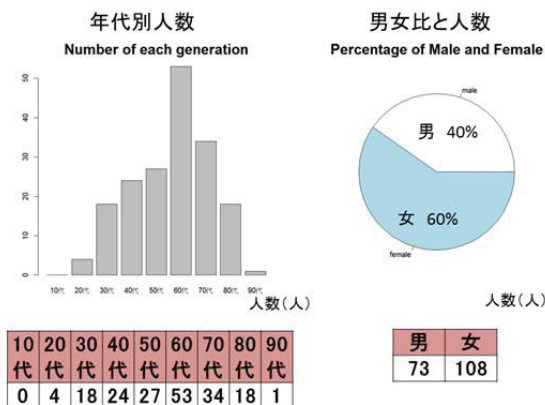


図1 年代別人数 (N=179) と男女比 (N=181)

以上の集計結果はアンケート対象者から得られたものであり、日中に家にいることが多かった住民の標本数が多く、比較的高齢の女性の回答が多い。

事前に地域の方が調査した結果によると、高齢者の数は154人、そのうち独居老人は56人で高齢化率は23.6%と、黒潮町全体の高齢化率32.4%に比べるとやや低い傾向にある。

この地域では漁業・農業(らっきょう)などの第1次産業に従事している人の割合が多く、今回の調査では17%が漁業、13%がらっきょう農業をしているという結果が出ている。また第1次産業の人を含め、地区全体として周辺に職場があるという人が多く、昼食は家に帰ってきて取る

という人が70%と非常に多い。これは避難の問題を考える際に重要な示唆を与えるデータである。調査の職業に関する調査項目から、住宅地の昼間人口は基本的には全人口の約40%となるが、昼間12時から13時ごろの間には70%の人が地区内に戻っていることになる。

#### (2) 避難行動に関する意向

避難行動に関する項目では、以下の点について質問した。

- ① 津波の際に逃げようと思っている場所
- ② ①の避難場所を選んだ理由
- ③ 避難する際に心配なこと
- ④ 新しい避難タワーができれば避難するかしらないか
- ⑤ 避難する際の交通手段(徒歩、自転車、バイク、車のどれを使うか)

この地区の住民が避難意向を示した場所は、主に以下の13か所であった(図2)。

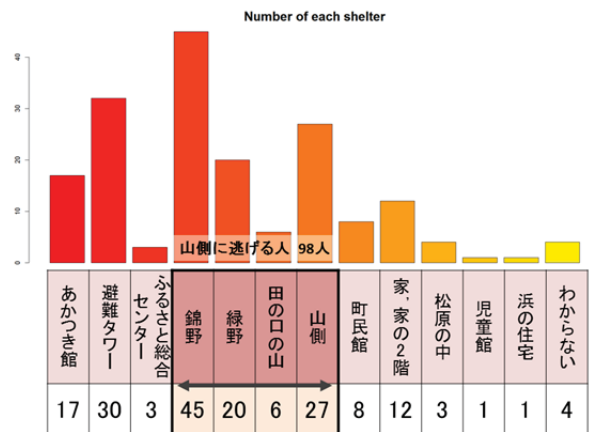


図2 各避難所に逃げる人の人数 (N=148)

津波の際に逃げる場所として、半数以上に及ぶ98人が山側を選択した。山側に逃げる人と言った人の多くは健康者であり、山側に走って逃げられるという自信のある人といえる。一方で多くの人が援護を必要とする70代の避難先の意向は地区内の避難タワーが最も多く、山への避難は間に合わないのではないかという不安から選ぶケースが見られた。さらに80代になると、避難タワーへの避難すら厳しいという人が多く、家の2階に逃げると答えた人が最も多かった。また、90代を含め、動けない高齢者を家族が助けに行き、山側まで逃げるというケースもある。

14mの避難想定を前提とすれば、家の2階にとどまるという選択肢をした場合、助からないという結果になるため、調査から明らかになった家族もしくは近隣住民の間での助け合いによって全員が無事に避難できる方法を模索する必要がある。

避難する際に不安なこととして最も多く挙げられたの

は、地震動による建物や道路の損壊、避難道の寸断である。また、車避難による道路の混雑なども挙げられた。それに関連して、避難の際の交通手段として車を使うことをためらう住民が多かった。調査の集計によると、多くの住民が徒歩を選択しているが、積極的に徒歩で行きたいというよりも、「車を使いたいけれど、たぶん無理だと思うから、徒歩で逃げるしかない」という人が多い。

この結果から、現在は徒歩と答える人が多くても、地震動による被害が少なく道路が使えるような状況であった場合は車避難に移行する人が出てくる可能性があるといえる。

したがって、高齢者や子供がいる家庭などで潜在的に車避難の可能性を秘めている住民についても検討する必要があると考えられる。

最初に聞いた避難場所で避難タワーを選ばなかった人に対して、新しい避難タワーへの避難意向を聞いたところ、74人の人が新たにタワーへの避難意向を示した。もともと避難タワーに「避難する」と答えていた人と数を合わせると、104人で、約59%の人が避難したいと考えていることが分かった。

各々の避難場所を選んだ理由を聞いた際に、避難タワー避難において高さの不足の問題や、収容人数への不安から、逃げたくないという意見が挙げられたが、新しい避難タワーは高さが現在の想定津波よりも高く、収容人数の規模が大きくなるため、避難タワーに避難することをためらう多くの住民の不安を解消すると考えられる。

一方で、依然として避難したくないと答えた人には、二度逃げできない不安と、タワーのあった場所がもともと砂地であったことなどが挙げられた。

### (3) 要援護者の実態

図3は、避難の際に介助が必要と答えた人（要援護者）を年代別にしたものである。

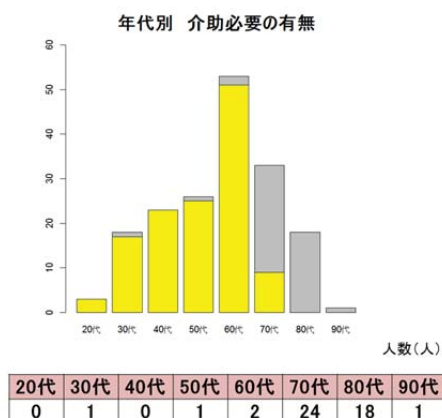


図3 年代別 介助が必要な人 (N=177)

援護の必要性がある人の多くは70代以上であり、60代で援護が必要な人は障害がある人のみであった。高齢者で元気な人が多いことはこの地区の特徴であり、防災の観点

からは、強みであると言える。しかし、アンケート回答者だけでも47人が援護を必要としており、仮に昼間に津波が来る場合には、助けに行く人が相対的に足りないという状況になることが考えられる。また、逆に昼間であっても、地区外から戻ってきて家族を助ける場合、外周道路で行き交う車の混乱が想定されるため、地区内で効率的に要援護者を避難させる必要がある。

### (4) 助け合い避難の意向

「家の近くに助けに行ったり、様子を見に行かなければならないお年寄りや障害者があるか」という問いに対して、74人が「いる」と回答した。その中で特定の人を挙げた人に関して、助けに行く対象となる人を以下図4のグラフにまとめた。質問において、「近所」という意味で「近くに」ということばが含まれているため、同居の家族を助けに行くというケースは含まれていない。

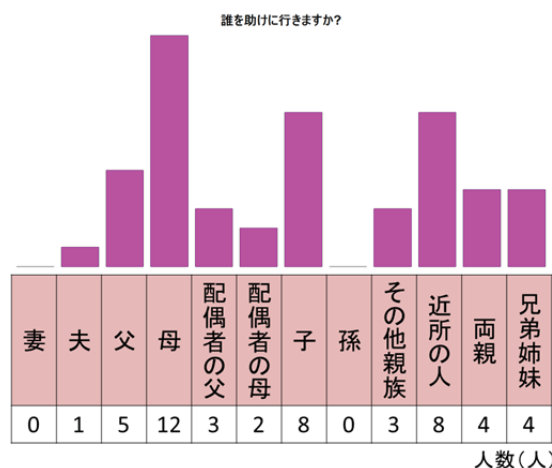


図4 助けに行く対象となる人 (N=51)

この結果から、「母」を助けに行くというケースが最も多く、次いで「子」、「近所の人」、「父」となっており、親子関係の間で助けに行きたいと考える人が多いということがわかる。

しかし、この助け合い関係を地図上で見てみると、地区内の移動距離が各々で長く、南端から西端へ、北端から中心部へ、というような交錯した移動が行われ、地区内の道路が混乱する可能性があることが明らかになった。

このことから、地区内で効率的に避難を行うためには助け合いの関係について家族関係ではなく近所同士で行うなど、極力移動距離を短くする必要があるという示唆が得られる。

### (5) 家の耐震診断・家具の固定について

家の耐震診断および耐震化、家具の固定の実施状況を調査した結果を図5に示す。

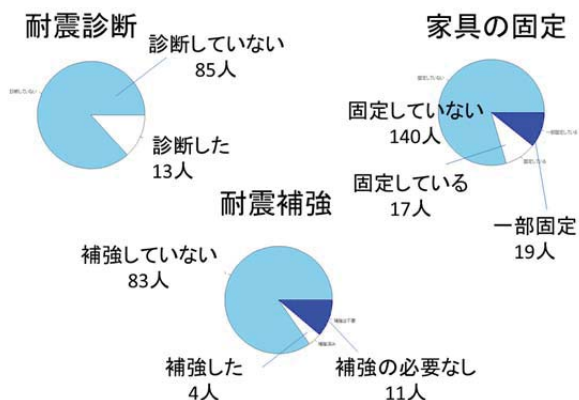


図 5 家の耐震診断・耐震補強・家具の固定の実施状況

この結果はシミュレーション中で、避難を始めるまでの時間を決めるパラメータとして用いられる。耐震補強をしていない家に住んでいる人や、家具の固定をしていない人は、少なからず地震動による建物の損壊の影響を受けるものとし、避難開始時刻が遅れるように設定される。

図 5 の結果から、家の耐震診断・耐震補強・家具の固定の実施状況はあまり進んでいないことがわかる。

### 3. エージェント技法を用いた避難シミュレーションの構築

上記の調査結果から、住民をエージェントとした津波避難シミュレーションを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である「artiso」2)の上に構築した。まず、対象地域の地理情報をシミュレーション環境として準備する。

ベースマップとして、国土地理院 3)が提供する 1:2500 の基盤地図情報を利用した。具体的には避難経路となる領域には道路縁情報を、住民の住居領域として建物情報を用いた。避難経路となる領域を限定して、道路交差点にノード番号を、ノード間をつなぐ経路にはリンク番号と小さいノード番号から大きいノード番号に向かう向きを正とする基本方向、進むべき角度を 50cm ピッチで与えた。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。

1 エージェントは住民一人とし、以下の属性を持つものとした。

#### (1)位置情報

夜間を想定し、初期位置は住居内とした。

#### (2)避難先

ヒアリング調査において回答のあった避難先のうち、避

難タワー（地区内）、あかつき館（地区外、避難タワーの機能を持つ）、町民館（地区内）、錦野（地区北部の高台）、緑野（地区北西部の高台）のどれかを割り振った。それ以外の避難先は、津波による被害の危険性が高いため、避難先として適当でないと判断し、選択肢としなかった。

#### (3)年齢

各人の年齢を調査し、年代別に与えた。

#### (4)家族関係

世帯を構成するエージェント同士は連動して動けるように、関係リンクを設定した。

#### (4)避難速度

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 4)。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た。

#### (4)住居の耐震性

南海トラフ巨大地震の想定では、対象地域は震度 7 が想定されており、耐震性の低い建物では倒壊の危険性が高い。

#### (5)避難開始までにかかる時間

耐震性の低い建物にいる人には建物倒壊を想定し、一律で待ち時間を設定した。耐震性の高い建物に住んでいる人は、地震の揺れにより動作ができない時間を 3 分（揺れが収まるまで 2 分と体制を整えるのに 1 分と想定）とし、さらに世帯によっては、プラス 10 分までの時間をランダムに割り振った。

#### (6)住居から出たときの道路上の位置（玄関位置に相当）

避難開始の際に住居から出る位置。玄関の場所によりどの経路上もしくは交差点上に出るかが変わる。

#### (7)初期の方向

経路に最初に出た際に向かうべきノードの方向。避難先に応じて決定される。

また、これらの属性を基にして、以下のようにふるまうように設計した。

#### (1)経路上のみを移動する

経路以外にも通過できる可能性がある場所（公園等）は存在するが、今回は経路上のみを移動する。

#### (2)経路上でも障害物があれば回避する

路上駐車などの障害物が存在すれば、回避行動をとる。

#### (1)進行方向にエージェントが存在すれば回避する

進行方向に移動速度の遅いエージェントがいたり、別の避難先に向かうエージェントとすれ違う場合には回避行動をとる。

シミュレーションは、1step を 0.5 秒とし、すべてのエージェントが避難先に到達するまで行うこととした。図 6 にシミュレーション結果を GIS 上に展開したシミュレーションイメージを示す。



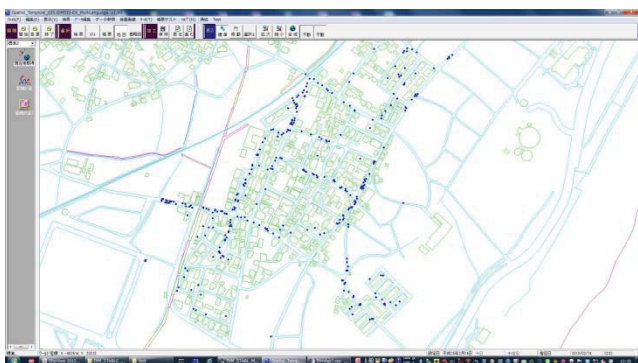


図 6 シミュレーションのイメージ

#### 4. シミュレーション結果からの考察

考察のポイントは、いくつかあるが、ここでは避難タワーへの避難に関して考察を行う。図7はシミュレーション結果から、避難タワーへの到達者を年代別に示したものである。このシミュレーションでは簡単のため、路上駐車などの障害物はなく、家屋倒壊や道路閉塞ない状態で、すべての人が地震発生後、3分から8分で避難を開始するものとした。避難シミュレーションの開始時刻は地震直後の動けない時間を過ぎた時点（3分後を最低限の目安と考えている）である。



図 7 避難タワーへの避難者の時間推移（年代別）  
（縦軸：年代別累積数、横軸は時間で10秒を1としている）

グラフからは15.5分（750秒）後には全避難者が到達することがわかる。これは津波到達の目安である地震発生から20分に対して、地震直後の動けない時間（最低でも3分と想定）を考慮すればぎりぎりのタイミングである。グラフから60代、70代の人が多く避難しているのがわかるが、避難タワーに到達することが安全を確保することではなく、タワーの上まで上って初めて安全となる。避難タワーは、現状で12m、新想定に伴う新設タワーは14m以上の高さとなる。つまり、一般建築物で3階以上の高さまで登らなければならない。ヒアリング時には、避難タワーのまでたどり着ければ、集まった人同士での助け合いで避難できるのではないかと意見も聞かれたが、一方で自力の

みでは上がれない人、自分だけなら上がるが、誰かを手伝うほどの余裕はないという意見も多く聞いた。仮に、70歳以上の人が必要とし、60代の方は、自力で上るのみで、助け合いには加われないとしても、20代から50代の人を結集すれば何とか全員をあげる事が可能であるが、ここでは考慮していない建物の倒壊や、道路の閉塞があり、70歳以上の高齢者の足が遅く到達するのがぎりぎりになれば、助ける側も大きな危険を冒さなければならなくなることが読み取れる。

#### 5. おわりに

本稿では、エージェント技法を用いたシミュレーターを津波避難に応用し、避難計画作成時に考慮しておくべき項目について考察した。まず、対象地域の住民に対し、津波避難に関してインタビュー調査を行い、地域の人々の津波避難に対する意識について考察した。このデータを基に住民エージェントを構築し、避難シミュレーションを実装した。シミュレーション結果からタワーへの到達者数と到達時刻をもとに避難計画策定の際に考慮しておく必要がある点について考察した。本研究内容については2013年2月23日に住民説明会を行い、対象地区に還元することになっている。シミュレーション結果についてはアニメーションとして可視化提示することで、災害時を想定した思考を高める効果があると考えている。今後の課題としては、今回、考慮しなかった路上駐車、家屋倒壊と道路閉塞といった地震の影響を考慮に入れたシミュレーションを行う必要がある。さらに、車を利用した避難の可能性についても、シミュレーターを利用して検討していく予定である。

#### 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。

また、本研究のアンケート調査は、地域内での信頼を得ている高知県黒潮町の職員の方々、万行地区の方々へ同行いただいたことで、多くの人に快く調査に応じていただくことができた。また、共に調査を行ったNHK高知局の方々には調査票の作成、調査、また集計・分析の段階で大変お世話になった。本研究はこれらの協力なしには成しえなかったものである。ここに、深く感謝申し上げたい。

#### 参考文献

- 1) 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会、  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai\\_trough/nankai\\_trough\\_top.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html)
- 2) 兼田敏之：artiso で始める歩行者エージェントシミュ

レーション 原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで，構造計画研究所，書籍工房早山，2010.

- 3) 国土地理院，基盤地図情報サイト，  
<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>
- 4) 朝日新聞デジタル（2012年4月24日2）記事，  
[http://digital.asahi.com/articles/TKY201204240569.html?ref=comkiji\\_txt\\_end](http://digital.asahi.com/articles/TKY201204240569.html?ref=comkiji_txt_end)