

エージェント技法を用いた津波避難評価システムの開発

Development of Agent Based Simulation System for Tsunami Evacuation Estimation

畑山満則・中居楓子⁽¹⁾・矢守克也

Michinori HATAYAMA, Fuko NAKAI⁽¹⁾ and Katsuya YAMORI

(1) 京都大学情報学研究科

(1) Graduate School of Informatics, Kyoto University

Synopsis

It is important for each resident lived in coastal area to make a practical individual evacuation plan from the viewpoint of disaster mitigation. However, it is hard to estimate feasibility of his/her plan. In this paper, we develop an agent based simulation system for Tsunami evacuation evaluation in Mangyo area, which located in Kochi Prefecture in Japan and have a huge Tsunami risk with Nankai Trough Quake.

キーワード: 津波避難, エージェントシミュレーション, GIS

Keywords: Tsunami Evacuation, Agent Based Simulation, GIS

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・津波想定において、対象地域内で最大である34.4mの津波に襲われる可能性があることが指摘された高知県黒潮町内の1地区を対象として、住民避難を実現するための防災活動を支援するために開発した津波避難評価システムについて報告する。システムは、全世帯に対して行ったインタビュー形式の社会調査をもとに構築したエージェントベースのシミュレーションシステムである。最後に、地域防災ヘシミュレーションシステムを適応した結果をもとに住民避難に関する評価と考察を行う。

2. 対象地域の概要

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（内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会、2012）。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、津波到達までの時間は約20分程度であり、住民

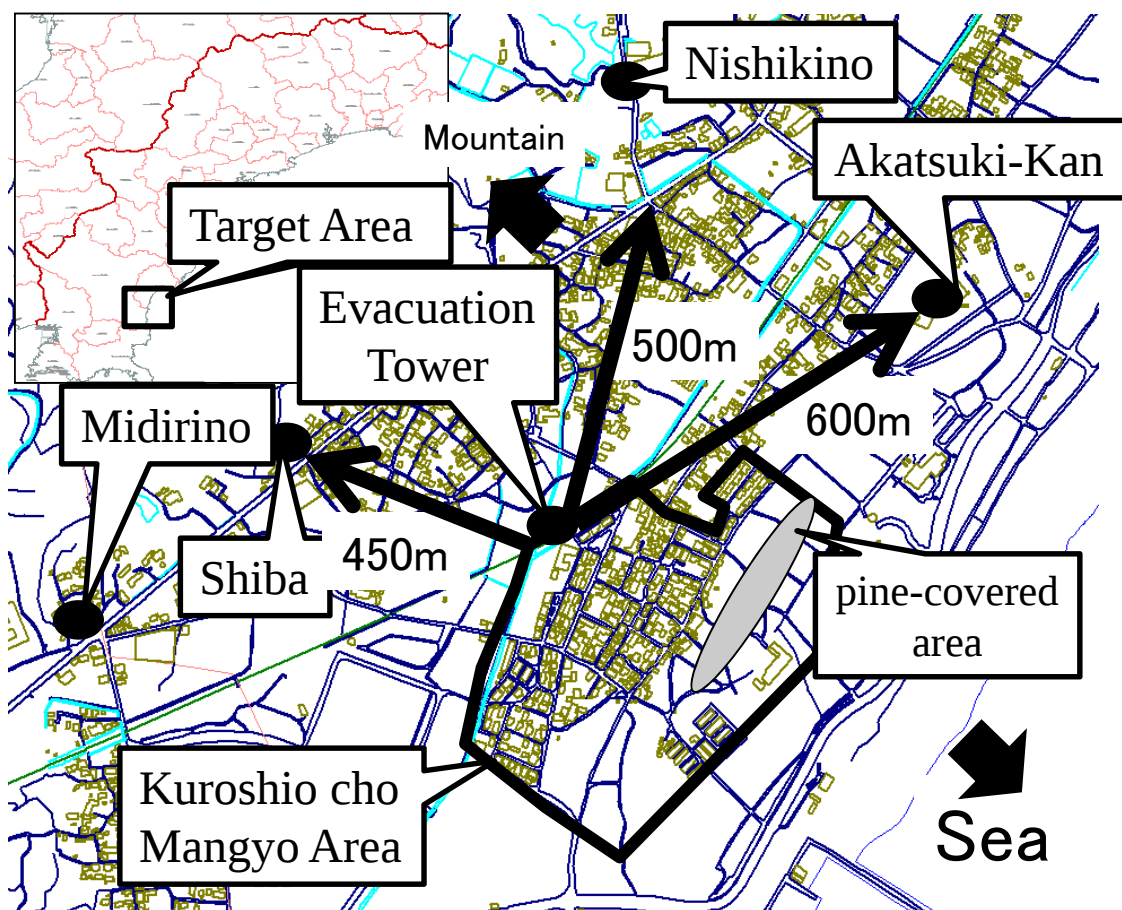


Fig.1 Map of Target Area and Surrounding Evacuation Spaces



Fig 2. Current Tsunami Evacuation Tower

の避難体制の整備が急務である。

万行地区は、人口約600人、約250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（Fig.1）。地区の近傍の高台は、町指定の避難所である入野小学校のある錦野地区、地区からは最も近い芝地区、地区からの高台までの道路が最も

広く、通行の不安が少ない緑野地区などがあるが、最も近い芝までであっても、健常者の歩行速度で20分近くはかかるため、避難困難地域と言われている。

地区の中心には津波避難タワー（Fig. 2）、北東には避難タワーの機能を持ったあかつき館があり、避難の助けとなることが期待されているが、地区の中心の津波避難タワー（200人収容）は高さ12mで、最新の想定ではじき出された14mの津波からの避難には対応できないため、新たにさらに高いタワーの建設が計画されている。あかつき館は、高台同様、地区からの離れており、逃げ始めの場所にもよるが避難時間がかかることが懸念されている。昭和南海地震時には、海と地区を隔てる松原には津波が到達しなかったため、松原に避難することを考えている人もいるが、最新の想定では、ここも津波に襲われる可能性が示唆されており、避難先として適当とは言えない。

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、Fig.3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（兼田，2010）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（畑山ら，1999）上に構築した。

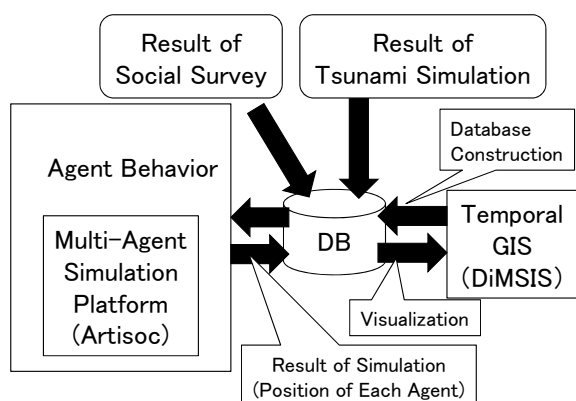


Fig.3 Tsunami Evacuation Estimation System

シミュレーション部分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。各コンポーネントの詳細については、以下の各節で説明する。

3.2 社会調査による基本情報の作成

本研究では、対象地域の全世帯に、インタビュー形式の社会調査を行った（中居・畑山，2013）。調査は、調査者が一定期間地区内に滞在し、対象となる住民にコンタクトを取っていく形ですすめられた。調査の第1段階では、地区の区長、副区長、公民館館長といった地域をよく知る人物から、住民を紹介してもらい調査進めたが、この方法では、全世帯に至ることができなかった。そこで調査者は、地区内に滞在している期間に開催されたイベント（お花見など）に参加したり、学生と触れ合ったりすることで、これらをカバーしていった。この活動を通じて、

地域住民との信頼性を確立し、ばらつきはあるものの各世帯の置かれている状況を詳細に調査することができた。

シミュレーションは、この社会調査に基づいて開発されている。ここでは、シミュレーションに利用した調査項目について示す。

① 津波の際の避難場所について

津波の際にどこに避難するか、その避難場所を選んだ理由、避難する上での不安、新しく建設予定の避難タワー（想定津波以上の高さ）が現在のタワーの隣に完成したら避難するか

② フェイス項目

氏名、住所、電話番号、性別、年齢、職業、主な職場の位置、避難に介助が必要か、地域での役割※、同居する家族構成、家族の性別、年齢、職業、主な職場の位置、避難に介助が必要か、地域での役割※

③ 日常の行動

日中と夜間主にいる場所

④ 避難方法について

避難手段（徒歩、自転車、バイク、車から選択）、その避難手段を選んだ理由、自宅から避難場所までの所要時間、山まで逃げる場合の避難手段

⑤ 避難行動について

地震が起きてから避難を始めるまでにしなければならないこと、避難を始めるまでに何分くらいかかるか、助けに行きたい人がいるか（いる場合氏名、住所を聞く）

⑥ 住宅について

築年数、耐震診断や補強、家具の固定の有無

⑦ 昭和の南海地震について覚えていること

経験者のみ回答

⑧ 防災対策について

命を守るために地域でどのような防災対策をしたら良いか

⑨ 地区の魅力、最近元気がないと感じるところ

⑩ 調査員の所感

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）を利用した。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ピッチで代表点を設けた。交差点部分の代表点には、その交差点を示すノード番号を与えている。移動経路部分は、移動経路領域内を次の交差点に向けて移動できるように代表点に属性情報を与えている。経路を表すリンク番号を与え、経路につながる交差点のうち、小さいノード番号をもつ交差点を始点、大きい番号を持つものを終点として方向をつける。領域を、道路縁を含む三角形に分割し、道路縁を上記でつけた正方向に向かう時の角度を属性とする (Fig.4)。

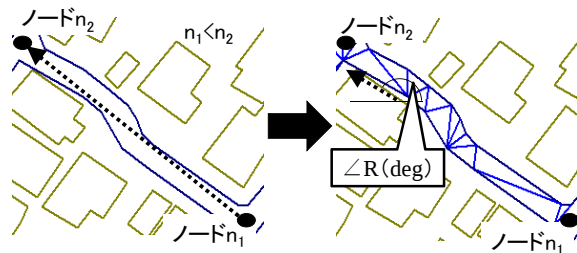


Fig.4 Attribute of Link data

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 (住民が使う経路は、機械的な最短経路とまらない場合もあるが、この地域では最短経路を避難経路としても問題ないことを、住民ヒアリングにより確認している)。

津波情報は、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た。

3.4 エージェントの設計

本シミュレータでは住民、車をエージェントとして設計した。住民は、1 エージェントが一人を示すものとし、以下の属性を持つものとした。

- 位置情報

夜間を想定し、初期位置は住居内とした。

- 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、指定避難所の入野小学校がある)、芝 (地区北部の高台)、自宅の2階 (逃げないも含む)、児童館、松原の中 (地区内で少し高い地域、昭和南海地震時には津波を避けることができた) のどれかが割り振られた。緑野 (地区北西部の高台)、田ノ口 (地区西部の高台) は、津波が遡上してくる

方向となる (つまり、津波に向かって避難していくことになる) ため、逃げていた途中で芝に目標を変えると想定し、芝に設定した。避難タワーは、現在、町が建設を検討している新しいものを想定し、それができたらタワーに逃げたいという意見の人はすべてタワーへの避難するものと設定している。

- 年齢

各人の年齢を調査し、年代別に与えた。

- 家族関係

世帯を構成する住民同士は連動して動くように、関係リンクを設定した。

- 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 (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た。

- 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。耐震性の低い建物 (築30年以上で、耐震補強していない) の近くの道路は、建物倒壊による道路閉塞を考慮した。

- 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。また、耐震性の低い建物に住んでいる人は、建物倒壊の可能性を考慮して、動き出すまでにさらに10分を追加している。

- 住居から出た時の道路上位置 (玄関位置)

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。

- 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。

- 車を利用するか、否か

避難手段として車をあげている人は、近くに車があれば乗り込むようにした。

また、これらの属性を基にして、以下のように振る舞うように設計した。

- i) 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。

- ii) 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。
- iii) 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。
- iv) 車に乗った場合は、車エージェントの動きに従う。

車は、1台を1エージェントとし、以下の属性を持つものとした。

- 位置情報

夜間の路上駐車的位置を観測し、初期位置として与える。

- 形

ドライバー位置を前方真ん中とし、1.5m×3.5mの大きさ（軽トラックのサイズ）とする。

- ドライバー

車に最初に乗った住民をドライバーとする。

- 定員

ドライバーを含めて5人とする。

- 行き先

ドライバーの避難先を行き先とする。

- 速度

健常者の歩行速度の3倍とする。

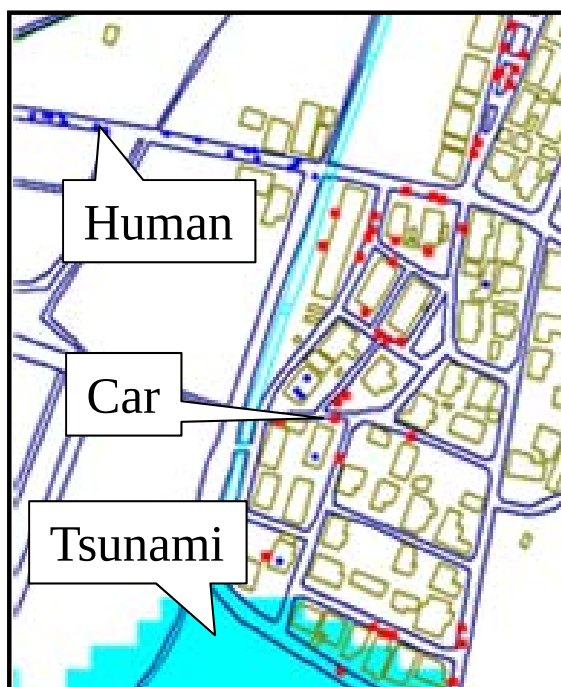


Fig.5 Simulation Image
(Tsunami arrives from south part)

また、これらの属性を基にして、以下のように振る舞うように設計した。

- i) ドライバーが乗り、一定時間待ってから発車
時間はシミュレーションごとに設定する。

- ii) 車は幅が確保されないと通行しない

車の大きさに対し、その幅の中に人や障害物がない場合に進む。

- iii) 動けなくなったら、ドライバーは車を降りる
一定時間車が動けないときは、車を乗り捨て、徒歩で逃げ始める。

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か、津波に追いつかれるまで行うこととした。Fig.5にシミュレーション結果をGIS上に展開したイメージを示す。

4. 地域防災活動でのシミュレーション システムの利用

4.1 避難評価システムの利用

エージェントベースのシミュレーションでは、単独行動では再現しえないエージェント同士のインタラクションが表現できるため、避難シミュレーションに使われることが多い。しかしながら、インタラクションによる影響は再現性がないため、シミュレーション結果は、起こる可能性のある出来事の1つを示したことにしか過ぎない。そこで本研究では、地域住民が判断に困る出来事、地域住民の行動の中で研究者が疑問を抱いた点などを、シミュレーションシステムにのせ、それぞれの行動の引き起こす問題点を探り出すことを試みた。

今回は以下の5つの点について検討した。

- (a) 避難タワー下にたどり着いた人がタワーに上ることができるのか？
- (b) 避難で車を使うことは可能か？
- (c) 地震発生から避難開始までに許される時間はどの程度か？
- (d) 助け合い活動は行ってもよいのか？
- (e) 事前に計画した場所にこだわって避難すべきか？

4.2 シミュレーション結果からの考察

本稿では、上記に示した項目のうち、(a)についての考察結果を以下に記す。

(a)の課題は、調査時に住民同士で交わされた会話から研究者が抱いた疑問に端を発する。会話では、「とにかくタワーまで来れば何とかなる。」という意見が頻繁に交わされていたが、その反面、「足が悪いので一人でタワーには上れない。」「歩くのは問題ないが、階段を上るのはきつい。」といった意

見も多く聞かれた．とすれば，誰かの手助けが必要となるが，その手助けは十分に見込めるのか検証しておく必要がある．また，これに関連する意見として，「自分は若いので，近くのタワーではなく山まで逃げる．」というものもあった．この意見には，タワーのキャパシティを考慮し，近くのタワーは，早く動くことができない高齢者のために空けておきたいからという理由を口にする方もおられた．このような意見が合わさると，一人ではタワーに上れない人を助ける人が不足し，タワーの下で津波に遭遇してしまう人が出る可能性がある．世帯の代表者からの調査結果をみると，タワーに逃げる意向を示している人は，想定するタワーのキャパシティである300人を上回っていないことが確認された．10歳以下と70歳以上の人をタワーに上る際に，援護が必要な人とし，60歳代の方は，自力で上れるものの援護することはできない人，20から50歳代の方が援護可能な人と想定し，1人の要援護者に対し2人の援護者が必要であると仮定すると，人数的にはすべての人が支援を受けられることも分かった．しかしながら，本人の意向を基にしたシミュレーションを行い，タワー下に集まる人々を到着順に整理してみたところ，支援できる人々が全員タワーまでたどり着いた時点からかなり時間が経過した時点で，タワーにたどり着く要援護者が数名存在することがわかった(Fig.6)．しかも，この間に津波到達時間となっていることがわかった．これらの人々を支援するためには，津波到達に備えてタワーに上っていた人が，タワーから降りる必要がある．しかし「命を守る」観点からは，

この行動をとることは難しい．このように，シミュレーションをすることで初めて意識されるシナリオを導出することができた．

4.3 地域活動への適応

4.2で示されたシナリオを，2013年2月23日に行われた住民説明会で説明した(Fig.7)．説明では，時空間地理情報システムを利用して作成したムービーを用いている．また，この模様は，NHK高知放送で後日放送されており，当日，説明会に参加しなかった人にも伝わっていることが，後日の調査で判明している．この結果を見た地域住民，行政職員と話し合い，以下の対策を講じてはどうかという意見を得た．

- 遠くからタワーを目指す人のうち，支援を要する人をあらかじめ特定し，近くからタワーを目指す健常な人が支援しながら避難を行う．
- タワーの上から避難者を引き上げる手法を考える（手動リフトの設置）．
- タワー上に浮き輪を準備する．
- 自力でタワーに上れる人は，できるだけ体力，筋力できるようにする．

これらの意見を受けて，町民館で行われている高齢者のデイサービスの中で，タワーに実際に上ってみるような活動が行われた．また，小学生がタワーを訪れ，タワーに上ってみるような活動も行われた．さらに，四万十市に設置された手動ゴンドラ付き避難タワーの見学会も実施されている．今後は，要支援者と支援者を組みにした防災訓練なども実施の予定である．

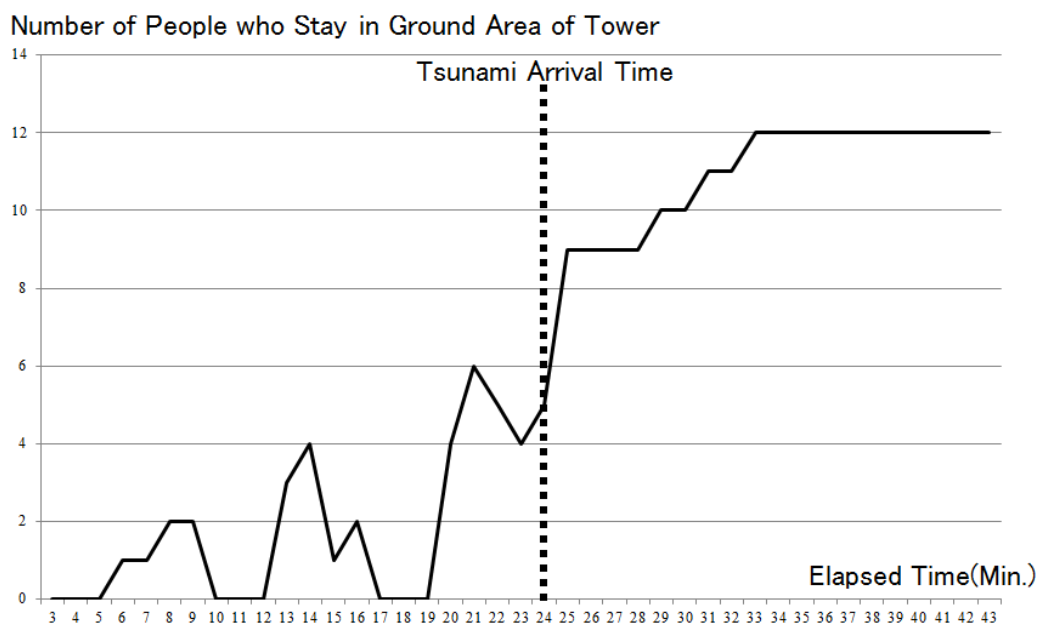


Fig.6 Number of People who stay in ground level of Tower

また、(e)の課題への考察を行った際に、一定時間を過ぎたら目標を山から避難タワーに切り替えるような対策が検討しているが、その場合、この問題にも影響することがわかった。このように、他の問題に対策を打つことで、別の問題にどのような影響があるのかも分析できることを示すことができた。



Fig.7 Workshop of Residents in Target Area

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において、地区全体が津波の被害に及ぶことが指摘された高知県黒潮町万行地区を対象として、開発した津波避難評価システムについて報告した。この研究活動では、対象地区全世帯の避難意向をインタビューし、その結果をもとにエージェントベースの避難シミュレーションを構築した。インタビュー調査を行う中で、地域住民が何気なく話してくれる内容から、憂慮すべき事項をひも解き、それが引き起こすことについてシミュレーションを用いて考察することで、対策案を提案した。この対策案はシミュレーション上では効果を上げることが確認できたが、今後はこれを実現するために、実地の訓練を行っていく必要がある。訓練により新たなパラメータを同定し、シミュレーションにリアリティを持たせることで、新たな課題を見つけていくというステップを積み重ねることができれば、地域の災害対応力はそれに伴い上がっていくはずである。今後は、このようなプロセスの確立するための方策についても研究を進めていきたいと考えている。

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、調査にあたっては、NHK高知局、黒潮町役場と万行地区の方々に多大なご協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を示したい。

参考文献

- 兼田敏之：artisoc 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。
- 国土交通省都市局：東日本大震災からの津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）、2012
- 国土地理院：基盤地図情報サイト、<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>
- 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会、2012。http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html
- 中居楓子、畑山満則：住民の避難行動の分析および地域住民との連携による避難計画の検討と評価：高知県黒潮町における災害リスクコミュニケーションの事例研究、土木計画学研究・講演集、Vol.47、CDROM、2013。
- 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）、2013。http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf
- 畑山満則、松野文俊、角本繁、亀田弘行：時空間地理情報システム DiMSIS の開発、GIS・理論と応用、Vol.7、No.2、pp.25-33、1999。

（論文受理日：2013年6月11日）