

# 津波に関わる危機管理と防災教育のための 津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発

片田 敏孝<sup>1</sup>・桑沢 敬行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

E-mail:t-katada@ce.gunma-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 群馬大学大学院 工学研究科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

E-mail:kuwasawa@ce.gunma-u.ac.jp

津波災害による人的被害の発生は、その時の住民の避難状況により非常に大きな差が生じる。したがって、津波対策として従来の防災施設の整備に加えて、的確な災害情報の伝達や避難誘導、そして防災教育の実施により、迅速な住民避難を実現することが非常に重要となる。この問題に対し筆者らは、津波の襲来状況のみならず災害情報伝達から住民避難の意思決定、そして避難行動までを一括して考慮し人的被害の発生を表現するシミュレータを開発した。このシミュレータは、任意のシナリオによる人的被害の推計が可能であり、津波防災の戦略検討ツールや防災教育ツールとしての利用が可能である。本研究では、三重県尾鷲市を対象にシステムを適用しその有効性を示した。

**Key Words:** tsunami, scenario simulator, risk management, disaster education

## 1. はじめに

2004年12月26日にインドネシアのスマトラ島沖で発生した巨大地震による津波は、インド洋沿岸の多くの地域に対して甚大な被害をもたらし、約23万人にも及ぶ死者・行方不明者を出す今世紀最大の津波災害となった。このような大規模な人的被害が発生した原因には、津波発生の早期探知や地域住民への警報の伝達を行う体制が整備されていなかったことが挙げられ、早期警戒システムの整備が急がれている。また、異常に引いた潮を海岸で呆然と眺めている人々の映像も多く公開されており、地震の後の引き潮が津波を予兆するものであるというわが国では良く聞かれる知識さえも持っていなかった問題点が明らかとなった。このような問題に対して日本では、過去の被災経験から津波に対する早期警戒システムや防潮堤等の防災施設の整備が進んでおり、住民も津波災害に関する一般的な知識を有しているといえるだろう。しかし、このように津波防災に対して先進的な取り組みが行われているわが国であったとしても津波発生時の住民の行動如何によっては、今回のインド洋沿岸での津波災害と同じような被害が発生する可能性を否定することはできない。

2003年5月26日に宮城県沖を震源とした三陸南地震が

発生した。幸いにもこの地震による津波は発生しなかったものの、気象庁から津波による被害の心配が無い旨が発表されたのは、地震発生から12分経った後のことであった。この間、行政やマスメディアからは、津波に対する注意を喚起する呼びかけが繰り返し行われ、住民は緊迫した時間を過ごすこととなった。しかし、この時震度5強の地震を観測した宮城県気仙沼市の住民を対象として実施した調査によると、津波による被害を避けるために避難した住民の割合は、僅か1.7%と低いものであった<sup>1)</sup>。この結果に基づくならば、仮にこの地震の数分後に津波が襲来していた場合、人的被害の発生は必至であったことは想像に難くない。津波災害による人的被害の発生は、津波の規模や防災施設の整備状況に加えて、その時点での住民の避難状況により非常に大きな差が生じる。したがって、津波を対象とした防災対策では、防潮堤等の防災施設や的確な防災情報の収集や住民への伝達体制の整備に加えて、災害に対する正しい知識を持ち有事に的確な行動を取ることができる住民を育てることが非常に重要となる。

このような問題に対応するため、筆者らは、行政による住民への災害情報の伝達から、住民の避難に関する意思決定と避難行動、そして、津波氾濫による人的被害の発生という津波災害時に見られる一連の社会状況を単一

のシステムにより表現する津波災害総合シナリオ・シミュレータを開発した。このシミュレータは、計算条件として住民や情報伝達施設、避難施設に関わる位置やその特性を表現する各種属性を設定することで、災害時における行政や地域住民の対応状況について空間的、時系列的なシナリオを表現することが可能である。また、津波氾濫に関する情報を導入することで、津波の襲来状況と地域住民の対応との関係に基づく人的被害の発生規模を推計することが可能である。このような機能を持つことから、本シミュレータは、津波災害への対策を検討する危機管理ツールとして利用できるのに加えて、種々のシナリオ想定に基づく津波災害時の地域状況を視覚的に分かり易く表現する効果的な防災教育ツールとしても活用できると考えている。

本研究では、三重県尾鷲市を対象として、本シミュレータによる津波災害のシナリオ分析を実施することにより、災害情報の伝達状況や人的被害の発生状況について検討した。また、行政からの情報伝達タイミングや住民の避難タイミングが津波により発生する人的被害の規模に与える影響の分析や情報伝達施設の整備効果の検証を実施することにより、災害時における様々なシナリオを表現し、その特徴や問題点を犠牲者数などの具体的な指標により把握することが可能であるという本システムの危機管理ツールとしての有効性を示した。

## 2. 津波災害総合シナリオ・シミュレータの必要性

### (1) 津波防災に関する問題点

中央防災会議の東南海・南海地震等に関する専門調査会では、津波災害による物的被害や人的被害の発生規模は、堤防や水門等の防災施設の状態や住民の避難意識の高さにより2倍程度の差が生じるとの予測結果を公開している<sup>2)</sup>。このように津波災害による被害の規模は、発生する災害の規模に加えて、防災施設の整備状況や住民の避難状況に大きく影響される。したがって、津波災害の防災対策を検討する際には、固定した単一的なシナリオに基づく津波規模や被害想定の結果を把握するに留まらず、水門等の設備が正常に機能しない場合や住民への津波警報の伝達が遅れた場合、住民の避難が遅れた場合等々、様々な状況想定を総合的に考慮した判断が必要とされる。また、状況想定に基づく具体的な対応策を検討する段階では、防潮堤や防波堤の整備、地震や津波に関する情報収集システムの整備、住民への情報伝達体制の整備や避難施設の整備、更に、住民への防災教育の実施等々、数多く存在する対策の中から、限られた予算と時間の中で人的被害の削減に最も効果を期待することができる対策を選定する必要がある。このような問題は、津

波災害についての対応を迫られている多くの自治体が抱えている共通の問題点の一つといえよう。

また、住民への防災教育に着目すると、近年、ハザードマップを利用した防災教育が各地で推進されている。住民は、ハザードマップを閲覧することにより、災害時の危険箇所を視覚的に分かり易く把握できるようになる。但し、ハザードマップに記されている危険箇所は、行政が想定したシナリオに基づいて計算された災害の影響範囲が示されているに過ぎず、実際に災害が発生する際の被害範囲を保証するものではない。このような前提条件がハザードマップの利用者となる地域住民に対して十分に説明されないことによって、ハザードマップに示されている状況を実際に起こり得る災害の最大値のように誤認してしまう問題<sup>3)</sup>や、自宅が危険地域から外れている場合には、安全を保証されたかのごとく誤認し、災害時の自発的な避難を妨げる要因となる危険性<sup>3)</sup>を持つ。また、過去に災害の経験の有無により、災害に関する伝承を聞いていたりすることによって、今後発生する災害の挙動や被害を過去の災害に依存して想定してしまうという問題<sup>3)</sup>もある。これらの問題は、不完全な知識によって将来に発生する災害のイメージを固定化してしまうことが要因として考えられ、この対策としてイメージの固定化を打破する効果的な防災教育の実施などが求められる。

### (2) 総合的なシナリオ・シミュレータを用いた津波防災

筆者らは、このような問題への対策として、これまで著者らが開発を進めてきた災害情報伝達シミュレーション技術<sup>4)</sup>をベースとして、災害時における行政から住民への災害情報の伝達状況から、住民による避難行動、そして、地震の発生から刻々と変化する津波の状況を総合的に表現することができるシナリオ・シミュレータを開発した。このように複数の事象を統合的にシミュレートすることにより、各事象を個別に検討するだけでは表現することのできない、事象間の相互関係によって発生する問題に及んだ検討を行うことが可能となる。津波災害による人的被害の最小化という目的に関して言えば、避難路の選択や道路の混雑度の検討など避難に関連した個別事象を検討することも重要であるが、津波の襲来状況に対する行政や住民の対応の遅れといった事象間の関係が与える影響の方がより支配的であると考えられる。

本シミュレータを利用することにより、各事象に対して想定したシナリオの下で津波災害が発生した場合の人的な被災状況を定量的に把握することが可能となる。これにより、既存防災施設を反映したシナリオにより現状の防災対策分析を行うことや、情報伝達施設や避難施設を増設した場合の複数のシナリオによるシミュレーション結果を人的被害量といった単一の尺度の下で比較する

ことで、具体的な判断基準を用いた施設整備計画を検討することができる。更には、住民の避難意思決定に関わる条件を操作することで、住民の防災意識にまで及んだシナリオを想定した総合的な津波防災対策の検討を支援するためのツールとして活用することが可能となる。

また、先に挙げたハザードマップや過去の災害経験による災害イメージの固定化の問題に関して言うならば、地震発生のシナリオや社会の対応シナリオにより、発生する被害の規模や範囲に大きな差が生じることを住民に対して十分に認識させることが効果的と考える。ここで、津波災害時の状況を表現することができるシナリオ・シミュレータは、静的で限られた情報しか提供することができないこれまでのハザードマップが抱える問題を解決する動的なハザードマップとしても有用である。動的なハザードマップでは、利用者が自由に住民や行政の対応に加えて、地震の発生シナリオを選択可能とする。そして、シミュレータにより、設定されたシナリオの計算過程やその結末をアニメーションとして表示することで、各種シナリオや時間の経過により変化する災害時の状況を視覚的に分かり易く表現することができる。地域住民は、このシステムを通じて種々の津波災害シナリオを仮想的に体感することで、発生する地震により津波被害の規模や範囲が大きく変化することや、地域住民の対応によって人的被害の発生を大きく軽減することが可能であること、更には、津波災害時における自らの意思決定による行動がどのような帰結をもたらすのかを効果的に学ぶことができるようになる。

### (3) シミュレーションを用いた既存の防災研究

これまでに、シミュレーション技術を用いて災害時における住民避難の問題を検討している研究は、竹内・近藤<sup>5)</sup>による道路閉塞を考慮した避難モデルや、避難者が内生的に避難路を選択する高埴<sup>6)</sup>、瀧本<sup>7)</sup>の研究、また、津波災害を対象とした避難モデルには、鈴木・今村<sup>8)</sup>や藤岡<sup>9)</sup>による研究があるなど多数挙げられるが、住民が避難行動を開始する大きな要因と考えられる災害情報の取得状況については表現されていない。また、洪水に伴う災害情報の伝達と住民避難を対象としているものには、西原<sup>10)</sup>による洪水氾濫解析に基づく避難システムや西原の研究を発展させた高橋<sup>11)</sup>による研究、そして館<sup>12)</sup>によるGISを用いた避難解析システムや矢部<sup>13)</sup>による情報伝達媒体を考慮した研究がある。しかし、いずれも災害情報の伝達状況については、情報の発信源から同心円状に広がるという仮定を置いた簡易的なモデルを利用しており、個人による情報伝達行動まで考慮されていない。今村<sup>14)</sup>は、奥尻島青内地区での津波災害をシミュレーションにより再現しているが、対象としている事例では、情報伝達が行われる前に津波が発生している

ため、災害情報の伝達状況までを表現するシミュレーションとはなっていない。また、計算に用いている津波現象については、津波の発生時刻と最終的な氾濫範囲のみを考慮し、時系列的な氾濫域の変化までは表現されていない。また、海外においては、米国の連邦危機管理庁(FEMA)が提供しているHAZUS<sup>15)</sup>など各種自然災害による被害想定を行うためのシステムが開発されているが、広域的な防災対策をマクロな視点から評価しようとするものであり、本研究のように個々の住民の動きや被害を詳細に表現するものは国の内外を問わず見当たらない。

これらの研究に対して、本研究で開発しているシミュレータは、災害情報が各種メディアや住民間の情報伝達行動を介して住民個人に伝達されていく過程を表現することが可能であることに加えて、その後に生じる住民の避難状況と地震発生から刻々と変化する津波の氾濫状況の時間的、空間的な関係から、人的被害を推計することができるなどの特徴を有している。

## 3. 津波災害総合シナリオ・シミュレータ

本研究で開発している津波災害総合シナリオ・シミュレータは、行政から地域住民への災害情報の伝達状況を表現する情報伝達シミュレーション、情報を受けた住民が避難の意思決定を行い、避難行動を開始して避難する状況を表現する避難行動シミュレーション、そして、外力の状況を表現する津波氾濫シミュレーションという三つの要素技術により構成される。また、本シミュレータは、ベースシステムとしてGIS(Geographic Information System)を採用しており、地震発生からの経過時間毎に計算される避難住民の分布と津波の氾濫状況をGISに取り込み、空間解析を行うことにより人的被害の予測を行うことが可能となっている。

以下では、本シミュレータの構成要素である各シミュレーション技術と、要素技術の統合化により実現している機能、そして、本シミュレータを用いた津波防災対策の検討フローについての詳細を示す。

### (1) 情報伝達シミュレーション

情報伝達シミュレーションは、津波警報や避難勧告等の災害情報がマスメディアや防災行政無線の屋外拡声器、そして、広報車といった情報伝達メディアにより住民に対して発信される様子、また情報を受けた住民が口頭や電話による伝達行動を行うことにより災害情報が地域全体に広まって行く様子を表現するシミュレーションモデルである。情報が住民へ広まっていく様子は、ネットワークの形成過程として捉えられる。そこで本モデルでは、ネットワークを構成するノードとして住民を表現し、

表-1 情報伝達シミュレーションの条件項目

| 対象     | 設定項目                                 |
|--------|--------------------------------------|
| 住民     | 世帯位置、道路網、歩行速度、社会状態、情報歪み率、電話利用の有無、輻輳率 |
| 屋外拡声器  | 位置、聴取範囲、聴取率、放送回数、放送時刻                |
| 広報車    | 移動ルート、聴取範囲、聴取率、出発時刻、放送間隔             |
| マスメディア | 視聴率、放送回数、放送時刻                        |

ノード間にリンクを張ることによって情報伝達の有無を表している。ここで情報伝達メディアは、ネットワーク形成のスターターの役割を果たす特別なノードとして位置づけられる。また、住民による情報伝達は、人間関係を反映した偏ったネットワークを形成すると考えられることから、本モデルでは、偏ネットモデル(Biased Net Model)<sup>16)</sup>と呼ばれるネットワーク形成モデルを基本構造に採用している。偏ネットモデルは、神経細胞間の情報伝達構造に倣って開発された確率論的なネットワーク生成モデルであり、社会構造研究においては、友人選択問題を対象とした研究に適用されている<sup>17), 18)</sup>。しかし、この偏ネットモデルを情報伝達に適用するに当たっては、情報伝達の空間的な拡がりや情報伝達タイミングなど時空間を表現するための機能拡張が必要であり、そのための機能追加を行っている<sup>4)</sup>。

情報伝達シミュレーションでは、表-1に示す項目を計算条件として設定することが可能であり、災害情報の伝達に関して想定される様々な地域の地理的な特性や社会状況、そして、情報伝達施設の整備状況を考慮した災害情報の伝達状況を表現することができる。本シミュレーションでは、計算結果として情報の悉皆性を示す情報取得率、情報伝達の速達性の指標である情報取得時間、情報の多重性の指標となる情報取得回数、そして、情報伝達メディアから発信された情報が何回の住民間の伝達を通して伝えられたかを示すステップ数を算出する。ステップ数は、増加するほど情報に歪みが生じると考えられるため、情報の正確性の代理指標として用いられる。

## (2) 避難行動シミュレーション

避難行動シミュレーションは、災害時において住民が自宅から避難場所まで避難する様子を表現するシミュレーションモデルである。また、このモデルでは、避難の有無や避難準備時間など、避難行動以前の意思決定に関するシナリオについても表現することができる。

このモデルでは、表現する要素の最小単位となる世帯毎に避難速度、避難開始時刻、避難先を設定することが可能であり、各世帯が指定した時刻になると自宅から避難先に向けて一定の速度で避難する状況が表現される。自宅から避難場所までの避難経路は、道路網を表すネッ

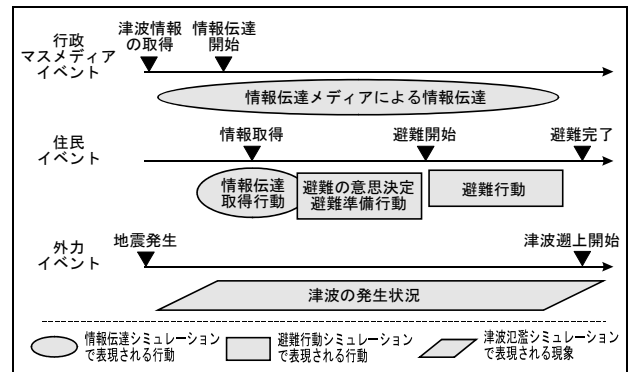


図-1 各シミュレーションの役割

トワークデータから求めた最短経路が利用される。利用するネットワークデータは、リンク毎に通行禁止や通行方向の制限をかけることが可能であり、一部の道路に通行規制がかけられた場合や、家屋や電柱等の倒壊により通行不能となった状況を表現することができる。

避難行動シミュレーションでは、結果として世帯毎の避難所要時間が計算されるのに加えて、任意のタイミングでの避難世帯の位置を求めることができ、移動する避難者の空間分布を視覚的に表示することが可能である。

## (3) 津波氾濫シミュレーション

津波氾濫シミュレーションは、人的被害の発生状況を求めるために用いられる。本システムにおいて津波氾濫は、行政や住民による社会的な対応から影響を受けない現象として、情報伝達シミュレーションや避難行動シミュレーションとは、独立して計算する構成を採っている。津波氾濫を表現するシミュレーションモデルから得るべき情報は、氾濫域や域内の波高や流速であり、地震発生から津波が沈静するまでの間、経過時間毎にこれらの情報を蓄積したものを一つの外力シナリオとして取り扱う。地震の規模や震源、そして、堤防等の施設の状況により異なる津波氾濫解析の結果をデータベース化しておき、想定するシナリオに応じて選択して利用することとなる。

## (4) 総合シナリオ・シミュレータとしての機能

本シミュレータの最大の特徴は、情報伝達シミュレーション、避難行動シミュレーション、津波氾濫シミュレーションの各要素技術の結果を統合して取り扱うことにより、災害情報伝達から住民避難、そして津波の状況までを考慮して人的被害の発生を推計し、その結果をもとにシナリオ分析を実施することが可能な点にある。

図-1は、本シミュレータを構成する三つの要素技術の役割を示したものである。情報伝達シミュレーションは、行政やその他情報伝達メディアによる情報伝達状況を表現するとともに、情報の受け手である住民の情報取得状

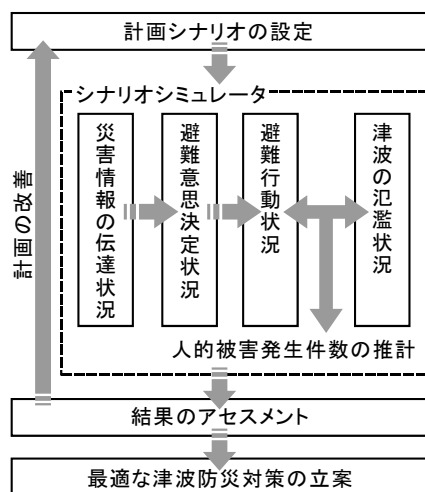


図-2 シミュレータによる対策の検討フロー

況や住民間での情報伝達状況の表現を行う。

情報伝達シミュレーションにより計算された情報取得時刻以降、住民は避難の意思決定を行うとともに、避難の準備行動へと状態を変化させる。そして、避難開始時刻となった段階で避難行動を開始する。この部分は、避難行動シミュレーションが担う部分である。本シミュレータでは、情報を得た住民が実際に避難を実施するかどうか、また、避難を実施する場合、その準備にどれぐらいの時間を要するかについて任意にシナリオ設定することが可能である。実際に避難行動が開始されると、一定時間毎に避難者の分布と津波の氾濫範囲を空間解析し、津波の氾濫域内に避難者が存在していた場合、人的被害の発生としてカウントする仕組みとなっている。

図-2は、本シミュレータを利用した防災対策の検討フローを示している。利用者は、最初の試みとして対象地域の地形的な条件や、現状の防災計画を反映したシナリオをシミュレータの入力条件として設定する。次に、シミュレータにより、各シミュレーションを実施し、災害情報の伝達状況、住民の避難状況、そして、津波氾濫による人的被害の発生状況に関する結果を算出する。利用者は、ここでシミュレータから得られた結果を評価することによって、シナリオとして設定した現状の防災対策の問題点を抽出することができる。そして、次の段階として、抽出した現状のシナリオによる問題点を改善するための対策を検討し、その対策を考慮したシナリオに沿って再度シミュレーションを実施することとなる。

以上のような流れを住民と行政の対応行動や津波の発生規模に関わるシナリオを変化させながら繰り返し実施することによって、災害時に発生する可能性のある種々の問題点の把握やその効果的な対応策の検討を効率的に実施することが可能となる。

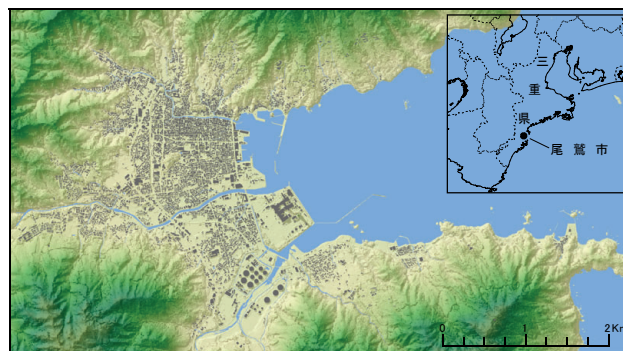


図-3 対象地域

#### 4. シミュレータを用いたシナリオ分析

本章では、三重県尾鷲市において開発したシナリオ・シミュレータを用いて、災害情報の伝達状況や人的被害の発生状況について分析した事例を示す。

##### (1) 尾鷲市の概要

三重県尾鷲市は、人口約2万3千人で面積は193.14km<sup>2</sup>を有するが、その約90%が山地で覆われており、尾鷲港沿岸の周辺8km<sup>2</sup>程の地域に人口の約80%が集中している。尾鷲港は、熊野灘に面したリアス式海岸の湾に位置し、昭和以降だけでも昭和19年の東南海地震津波や昭和21年の南海道沖地震津波、そして、昭和35年のチリ沖地震津波等、複数回に渡り津波が発生している。この中でも昭和19年の東南海地震津波では、市内で65人もの死者を出す大惨事となった。本研究では、この尾鷲港を含む南北に4km、東西7kmの地域をシナリオ分析の対象地域として選定した(図-3参照)。

東南海・南海地震に関する中央防災会議の発表では、南海トラフと対面していることや地形的特長から、当地域には地震発生後短時間で7m近い高さの津波が襲来することが予測され、その全域が東南海・南海地震防災対策推進地域に指定されている三重県の中でも、特に甚大な被害の発生が危惧されている地域の一つとなっている。

##### (2) シミュレーション基本条件設定

###### a) 情報伝達シミュレーション

情報伝達シミュレーションでは、市やマスメディアにより伝達される津波警報や津波注意報が地域住民に伝達される様子を表現する。尾鷲市には、これらの警報が、津波地方気象台からの情報を受けた三重県より津波一斉伝達装置や県防災行政無線等の複数の手段によって連絡される仕組みとなっている。また、住民への情報伝達については、市防災行政無線に加えて、車両等による広報が行われることとなっている<sup>19)</sup>。

シミュレーション対象地域には、防災行政無線の屋外



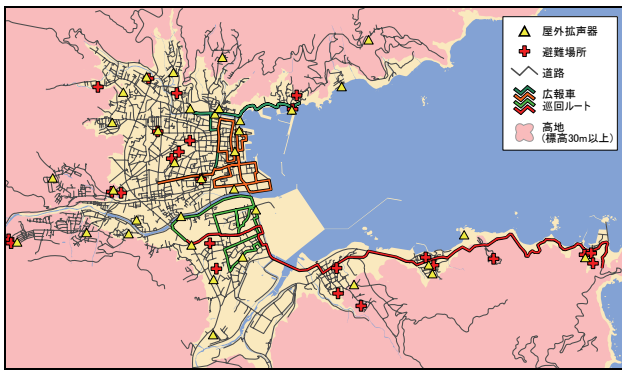


図-4 既存施設配置

表-2 情報伝達設定パラメーター一覧

| 設定項目   |        | 設定値     |
|--------|--------|---------|
| 住民     | 世帯数    | 6,651世帯 |
|        | 社会状況   | 災害時     |
|        | 歩行速度   | 80m/分   |
|        | 情報歪み率  | 30%     |
|        | 電話の利用  | 利用する    |
| 屋外拡声器  | 音声到達範囲 | 250m    |
|        | 聴取率    | 30%     |
| 広報車    | 音声到達範囲 | 250m    |
|        | 聴取率    | 30%     |
|        | 移動速度   | 20km/h  |
| マスメディア | 視聴率    | 30%     |

拡声器が35基設置されている。また、市の防災担当者へのヒアリング結果によると、災害時住民への情報伝達を行う際には、市役所と消防署から2台ずつの計4台の広報車による情報伝達が行われる計画となっている。図-4は、対象地の屋外拡声器の配置と広報車の巡回経路を示したものである。情報伝達シミュレーションでは、この図に示した情報伝達施設の配置を計算条件として入力したほか、各情報伝達メディアに関するパラメータを表-2に示すように設定した。また、対象地域の世帯の分布については、住宅地図から住居と判別される6,651戸の建物を抽出し、その中心点を世帯位置として入力した。世帯間の距離の算出に必要な道路データについては、住宅地図の道路形状から道路中心線を作成し利用することとした。また、本シミュレーションは、モンテカルロ手法を用いていることから、結果の安定性を求めるため、同条件で100回計算した結果の平均値を求めることとした。

#### b) 避難行動シミュレーション

尾鷲市では、過去の津波災害や建物の構造、収容人数等を考慮し、津波災害時の避難先として、対象地域内に25箇所の避難場所を整備している(図-4参照)。今回の計算では、これらの避難場所に加えて、別途筆者らが実施したスマトラ沖地震級の津波遡上計算により、十分な安全が確保できると見込まれた標高30m以上の地域についても津波から安全であると仮定し、避難場所として設定することとした。これに伴い、標高30m以上に位置する1,201世帯については避難対象外とした。各世帯の避難

表-3 シミュレーション結果の概要

| 情報伝達結果(試行回数100回) |       |          |         |
|------------------|-------|----------|---------|
| 情報取得率            | 98.5% | 平均取得時間   | 4分58秒   |
| 平均取得回数           | 3.5回  | 平均ステップ数  | 0.6step |
| 避難結果             |       |          |         |
| 平均避難所要時間         | 3分29秒 | 最大避難所要時間 | 12分23秒  |

先については、自宅から道路を通り避難する場合に最も短い時間で避難することができる避難場所に設定した。したがって、自宅付近に避難場所がある場合はその場所に、また、避難場所よりも近くに高台がある場合は、高台に向かって避難することとなる。なお、今回の分析では、行政からの情報取得状況やタイミング、住民の避難準備時間による人的被害規模への影響を把握することに焦点を絞るため、情報を取得した世帯は避難準備後必ず避難行動を開始することとし、避難路は全て利用できる状態とした。また、全世帯が徒歩による避難を実施することを想定し、避難速度を分速80mに設定した。

#### c) 津波氾濫シミュレーション

津波氾濫シミュレーションとして、中央防災会議が想定している東南海・南海連動型地震を初期条件とした津波氾濫解析の計算結果を用いた。氾濫解析は、50mメッシュの精度により地震発生から90分後まで10秒間隔で計算が行われている。この計算によると、地震発生後、約20分で尾鷲市に6mから7mの高さの津波が到達する状況が示されている。

### (3) 既存施設を反映した災害時の状況分析

#### a) 住民への災害情報の伝達状況

現状の施設により正常に情報伝達が行われた場合を想定し、屋外拡声器、広報車、マスメディアの全てのメディアにより地震発生から3分後に情報伝達を開始した場合のシミュレーションを試行回数100回で実施した。シミュレーション結果を表-3に示す。まず、情報伝達結果を見ると、情報取得率は、98.5%と殆どの世帯に対して情報伝達が行われており、平均取得時間は地震の発生から4分58秒後と情報伝達の開始から平均して2分程度で情報を取得している結果となった。なお、以降で示す情報取得時間は、地震の発生時刻を基準とした経過時間を示している。その他の結果を見ると、平均取得回数は、3.5回、平均ステップ数は、0.6ステップという結果となった。ステップ数は、住民間の情報伝達のみをカウントした数であるため、1未満の場合は、多くの住民が各種メディアから直接情報を受けていることを示している。

次に、表-4に示した値は、町ごとに各世帯の情報取得時間の平均値を集計した結果である。この中で平均取得時間が5分より遅い地域をみると、その多くが沿岸から離れた場所であるが、天満浦(表-4のNo.23)、向井(No.36)といった沿岸に位置する地域や栄町(No.17)、宮ノ上町

表-4 平均情報取得時間

| No. | 町名     | 取得時間<br>(分) | データ数<br>(世帯) | No. | 町名     | 取得時間<br>(分) | データ数<br>(世帯) |
|-----|--------|-------------|--------------|-----|--------|-------------|--------------|
| 1   | 港町     | 3.57        | 137          | 22  | 末広町    | 5.26        | 37           |
| 2   | 北浦町    | 3.90        | 177          | 23  | 大字天満浦  | 5.26        | 146          |
| 3   | 中井町    | 3.99        | 117          | 24  | 北浦 東町  | 5.27        | 146          |
| 4   | 中央町    | 4.07        | 193          | 25  | 大字行野浦  | 5.28        | 50           |
| 5   | 林町     | 4.10        | 268          | 26  | 座ノ下町   | 5.28        | 59           |
| 6   | 瀬木山町   | 4.29        | 26           | 27  | 桂ヶ丘    | 5.29        | 118          |
| 7   | 大字大曽根浦 | 4.30        | 106          | 28  | 大字南浦   | 5.47        | 93           |
| 8   | 朝日町    | 4.31        | 191          | 29  | 古戸野町   | 5.51        | 5            |
| 9   | 中川     | 4.39        | 201          | 30  | 坂場 西町  | 5.53        | 296          |
| 10  | 小川 東町  | 4.44        | 332          | 31  | 坂場町    | 5.58        | 89           |
| 11  | 南陽町    | 4.47        | 236          | 32  | 大滝町    | 5.62        | 115          |
| 12  | 矢浜 1丁目 | 4.55        | 243          | 33  | 光ヶ丘    | 5.63        | 355          |
| 13  | 矢浜 2丁目 | 4.81        | 160          | 34  | 矢浜 岡崎町 | 5.68        | 13           |
| 14  | 北浦 西町  | 4.82        | 100          | 35  | 泉町     | 5.69        | 335          |
| 15  | 小川 西町  | 4.89        | 133          | 36  | 大字向井   | 5.70        | 212          |
| 16  | 中村町    | 4.96        | 201          | 37  | 上野町    | 5.74        | 112          |
| 17  | 栄町     | 5.02        | 213          | 38  | 馬越町    | 5.83        | 33           |
| 18  | 倉ノ谷町   | 5.04        | 316          | 39  | 大字中井浦  | 5.96        | 41           |
| 19  | 宮ノ上町   | 5.05        | 306          | 40  | 矢浜 4丁目 | 5.98        | 4            |
| 20  | 新田町    | 5.06        | 323          | 41  | 古戸町    | 6.25        | 199          |
| 21  | 野地町    | 5.23        | 214          |     | 合計     | 4.97        | 6651         |

(No. 19)といった比較的沿岸に近い地域も含まれていることが分かる。図-5は、各世帯の取得時間をIDW法による補間を行い取得時間の面的な分布として示したものである。この中で、表-4の結果において沿岸付近で情報取得時間が遅い地域を見てみると、天満浦(No. 23)は二基の屋外拡声器の間に位置する地域、向井(No. 36)は沿岸の地域、栄町(No. 17)は南部が特に伝達時刻が遅い地域であることが分かる。また、情報伝達施設との関係を見ると、これらの地域はいずれも屋外拡声器から離れていること、また、向井以外は広報車の巡回ルートから外れている地域である事を確認できる。なお、平均情報取得時間が空白となっている場所は、付近に世帯が存在していない地域である。

#### b) 住民の避難状況

住民の避難行動について、今回設定したシナリオでは、避難開始から避難場所に到着するまでに要する時間の平均は3分29秒で、最も避難に時間がかかる世帯の所要時間は12分23秒という結果となった(表-3参照)。

図-6は、各世帯が情報取得した直後に避難を開始すると想定した場合の地震発生後から避難が完了するまでの所要時間の分布を前項と同様な方法により示したものである。この所要時間は、地震発生時刻を基準として、情報を取得し、避難が完了するまでの時間を示している。この図と情報取得時間の分布図を合わせて見ると、情報伝達時間が遅いことに加えて、川により遠回りして避難しなくてはならない小川西町(No. 15)の南部や小川東町(No. 10)の西部が避難完了までに12分以上かかっている。また、情報伝達時間は比較的早い、避難場所までの距離が遠い港町(No. 1)、朝日町(No. 8)、林町(No. 5)、瀬木山町(No. 6)、中川(No. 9)、矢浜1丁目(No. 12)といった沿岸部の地域において避難完了時間が遅い状況が目立っている。

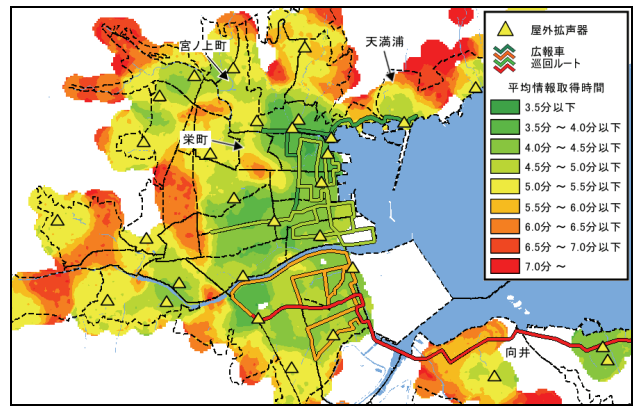


図-5 情報取得時間分布

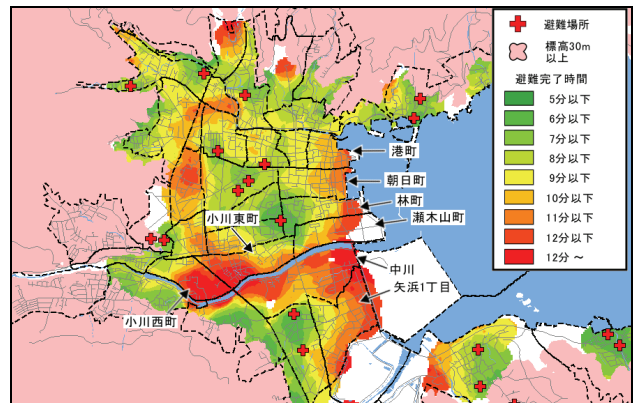


図-6 避難完了時間分布



図-7 人的被害発生箇所

#### c) 人的被害の発生状況

次に、時間経過毎に変化する津波氾濫解析の結果と住民の避難状況から求める人的被害の状況について見る。ここでは、避難開始前、または避難中の世帯が津波氾濫域と重なった場合に何らかの人的な被害が発生するものと想定し、その件数に対象地域の平均世帯人数である2.33人を掛け合わせた数を被害者数と定義している。

情報取得してから10分後に避難を開始する条件の場合、避難完了時間の遅い沿岸部に人的被害の発生が多く見られた。図-7は、その典型的な事例について人的被害が発生した箇所の一部を地図上にプロットしたものである。この図によると、77人程度の人的被害が港町、朝日町、林町において発生しており、その全てが地震発生後20分までに生じていることが分かる。また、その半数以上が避難行動を開始する前の段階で被害を受けていることが分かる。

表-5 想定シナリオパターン

| 想定項目                      | タイミング(分)                          |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 行政からの情報伝達<br>(防災行政無線・広報車) | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, なし |
| マスメディアからの情報伝達             | 1, 2, 3, 4, 5, 10, なし             |
| 避難開始タイミング                 | 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10  |

#### d) 状況分析のまとめ

以上の既存施設を反映した状況分析から、今回想定した津波シナリオでは、住民が迅速な避難を実施しなかった場合、港町や朝日町、林町、瀬木山町などの地域において、地震後約17分で人的被害が発生するという結果を得た。また、被害が発生するこれらの地域は、沿岸に面した津波の遡上タイミングの早い地域であることに加えて、避難所までの移動に10分以上時間を要するという問題を持った地域であることが明らかとなった。

このように、本シミュレータを用いることにより、設定したシナリオに基づき情報伝達の開始から住民の避難行動、そして、津波の氾濫状況との関係から見た人的被害の発生状況を地域の地図上に視覚的に表現し、津波防災に関する問題を具体的に把握することが可能となる。

### (4) シナリオ分析

#### a) 想定シナリオ

シナリオ分析事例として、屋外拡声器と広報車を利用して行われる行政からの情報伝達とマスメディアからの情報伝達が行われるタイミングが、各結果に与える影響を把握するためのシナリオパターンを設定した。このシナリオパターンは、表-5に示すように行政からの情報伝達が地震の発生1分後から10分後まで1分ずつ変化させた場合と全く行われなかった場合、また、マスメディアの情報伝達として、地震発生1分後から5分後まで1分ずつ遅れた場合と10分後に行われた場合、そして、全く行われないパターンを設定した。また、避難行動シナリオについては、避難の遅れによる被害への影響を把握するため、情報を取得してから避難行動を開始するタイミングを0分(情報取得直後)から10分後まで1分ずつ変化させた11パターンを設定することとした。なお、以降の計算結果については、情報伝達シミュレーション、避難行動シミュレーション、そして、人的被害の発生計算までを1セットとして、50セット試行した結果の平均値を用いている。

#### b) シナリオによる災害情報の伝達状況への影響

はじめに情報伝達シミュレーションにより得られる結果についてみる。図-8は、情報伝達タイミングの各パターンを設定した場合の計算結果から、情報取得率と平均情報取得時間について示したものである。

この結果によると、情報取得率は、行政やマスメディアからの伝達タイミングに関わらずに約98.5%となって

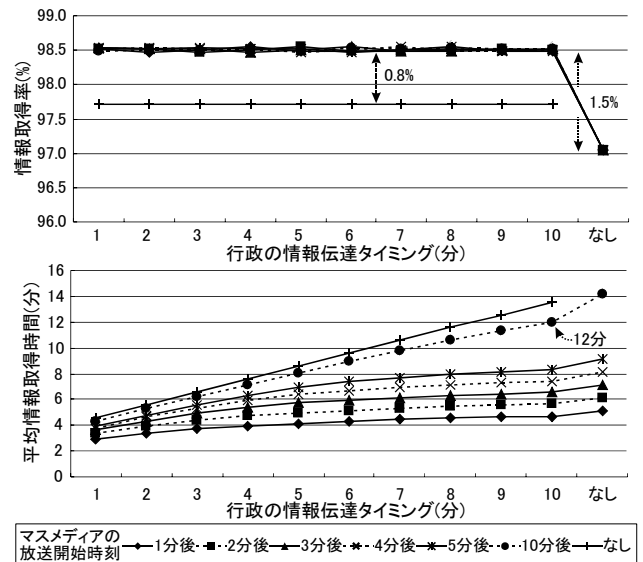


図-8 情報伝達結果

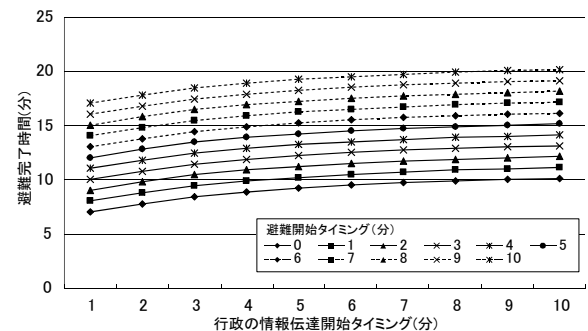


図-9 避難完了時間結果

いる。但し、マスメディアからの伝達が行われない場合は、0.8%程度低い結果となった。また、行政による情報伝達が行われない場合は、1.5%程低い結果となった。

次に、平均情報伝達時間については、行政からの情報伝達が遅れるほど、また、マスメディアからの伝達が遅れるほど遅い結果となっており、行政からの伝達が10分後、マスメディアからの伝達が10分後のパターンでは、平均情報取得時間が約12分という結果となった。また、マスメディアからの伝達が行われない場合、情報取得時間は行政の伝達開始時間の遅れに比例して増加する結果となった。

#### c) シナリオによる人的被害発生規模への影響

マスメディアからの伝達タイミングを3分後に固定し、行政の情報伝達タイミングと住民の避難開始タイミングを変化させた各パターンの避難完了時間の変化を図-9に示す。避難行動シミュレーションは、自宅から避難場所までの最短経路を一定速度で避難する単純なモデルを利用しているため、情報取得時間の結果と設定した避難開始タイミングを足し合わせた値がそのまま結果に現れ、避難タイミング毎の各ラインの間隔は一定となった。

次に表-6は、同様にマスメディアからの伝達タイミングを3分後に固定し、行政による情報伝達タイミングと



表-6 シナリオ毎の人的被害発生件数

|                 |    | 行政の情報伝達タイミング(分) |       |       |        |       |     |     |     |     |     |
|-----------------|----|-----------------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 住民の避難開始タイミング(分) |    | 1               | 2     | 3     | 4      | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|                 | 0  | 14              | 14    | 14    | 15     | 16    | 16  | 18  | 19  | 21  | 24  |
|                 | 1  | 15              | 15    | 15    | 16     | 18    | 18  | 21  | 22  | 25  | 29  |
|                 | 2  | 16              | 17    | 17    | 18     | 20    | 21  | 24  | 26  | 30  | 34  |
|                 | 3  | 17              | 18    | 19    | 21     | 24    | 25  | 29  | 32  | 36  | 42  |
|                 | 4  | 19              | 20    | 22    | 25     | 29    | 32  | 36  | 39  | 47  | 55  |
|                 | 5  | 21              | 24    | 26    | 30     | 36    | 39  | 44  | 50  | 61  | 77  |
|                 | 6  | 24              | 28    | 31    | 39     | 46    | 49  | 59  | 68  | 86  | 104 |
|                 | 7  | 28              | 34    | 41    | 50     | 57    | 66  | 80  | 100 | 120 | 152 |
|                 | 8  | 35              | 44    | 53    | 61     | 75    | 90  | 116 | 139 | 175 | 203 |
|                 | 9  | 45              | 57    | 66    | 81     | 102   | 134 | 163 | 205 | 237 | 254 |
|                 | 10 | 59              | 72    | 91    | 114    | 155   | 195 | 246 | 285 | 304 | 321 |
| 被害者(人):         |    | 1~30            | 31~60 | 61~90 | 91~120 | 121以上 |     |     |     |     |     |

住民の避難開始タイミングを変化させた各パターンの人的被害の発生件数を示したものである。この結果によると、行政による情報伝達が3分後に行われた場合は、住民が情報を聞いてから5分後までに避難を開始すれば人的被害の発生を30人以下に抑えることができるが、10分後に避難を開始した場合は、91人の被害者が発生してしまうことが分かる。一方、行政からの情報伝達が10分後に行われた場合は、住民は1分後までに避難を開始すると29人の被害者となるが、10分後に避難を開始した場合は、321人も人的被害が発生してしまう結果となっている。この結果は、行政からの伝達が遅れた場合、住民が避難を開始するまでの余裕がなくなってしまうこと、そして、被害が生じた場合には、その規模が大きくなることを明確に示している。

この表から、行政の伝達タイミングと住民の避難開始タイミングそれぞれが人的被害発生に与える影響のウェイトを見ると、住民の避難開始タイミングが人的被害の発生に与える影響の方が大きいことが分かる。この結果は、行政からの情報伝達の遅れが、マスメディアによる情報伝達により補われている状況を示している。また、仮に地震の1分後に情報が伝達され、情報を聞いた住民がその直後に避難を開始したとしても犠牲者を無くす事はできていない。このことから、当地域における人的被害の削減には、情報伝達の速達性の確保に加えて、防災教育等により行政からの情報に依存せず自主的な避難を実施することができる住民を育成することが特に重要な課題となるといえる。

#### (5) 情報伝達施設整備による効果の検証

ここでは、シミュレータを用いた施設整備による効果検証の事例として、防災行政無線の屋外拡声器の増設による効果を検証する。増設する屋外拡声器の設置箇所としては、想定されている津波氾濫域の中から、図-5において検討した情報伝達に最も遅延が生じる地域(シナリオA)と図-7により示した人的被害の発生が確認された地

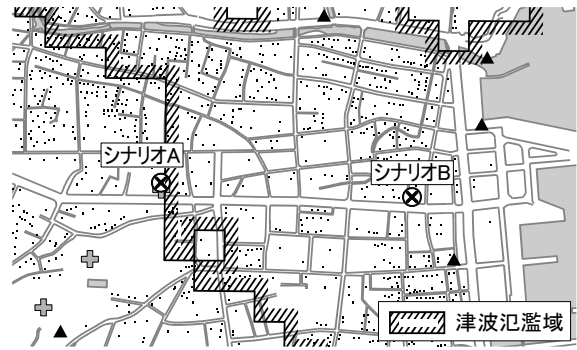


図-10 屋外拡声器配置候補地

表-7 情報伝達結果

|         | シナリオA     | シナリオB     |
|---------|-----------|-----------|
| 情報取得率   | 98.57 %   | 98.53 %   |
| 平均取得時間  | 4分35秒     | 4分55秒     |
| 平均ステップ数 | 0.58 step | 0.59 step |
| 平均取得回数  | 3.50 回    | 3.49 回    |

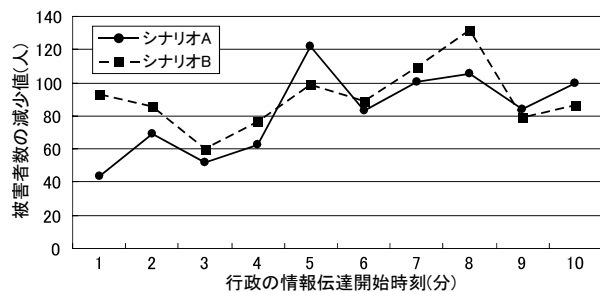


図-11 人的被害発生件数の変化

域(シナリオB)という二つの地域を候補地として選定した。候補地を図-10に示す。

表-7は、行政とマスメディアからの情報伝達が3分後に行われた場合の両シナリオによる情報伝達シミュレーションの結果を示したものである。これによると、僅かにシナリオAの方が良い結果が現れているものの殆ど差がないことが分かる。次に図-11は、屋外拡声器を増設する前の結果と比較して、各シナリオにより屋外拡声器を増設した場合に被害者数が減少した値を示したものである。この値は、住民の避難タイミングによる影響も含めて総合的に判断するため、住民の避難タイミングが0分後のパターンから10分後のパターンまで全ての結果を合計した値を表示している。この結果を見ると、行政からの情報伝達開始時刻が5分後、9分後、10分後以外については、シナリオAの方が数人から50人程度、被害者数が多く減少する結果となっている。以上のように、情報伝達シミュレーションで得られる集計結果だけの判断では大きな相違が見られないシナリオであっても、人的被害まで考慮したシミュレーションを実施することにより、設定したシナリオの特徴を把握することが可能となる。

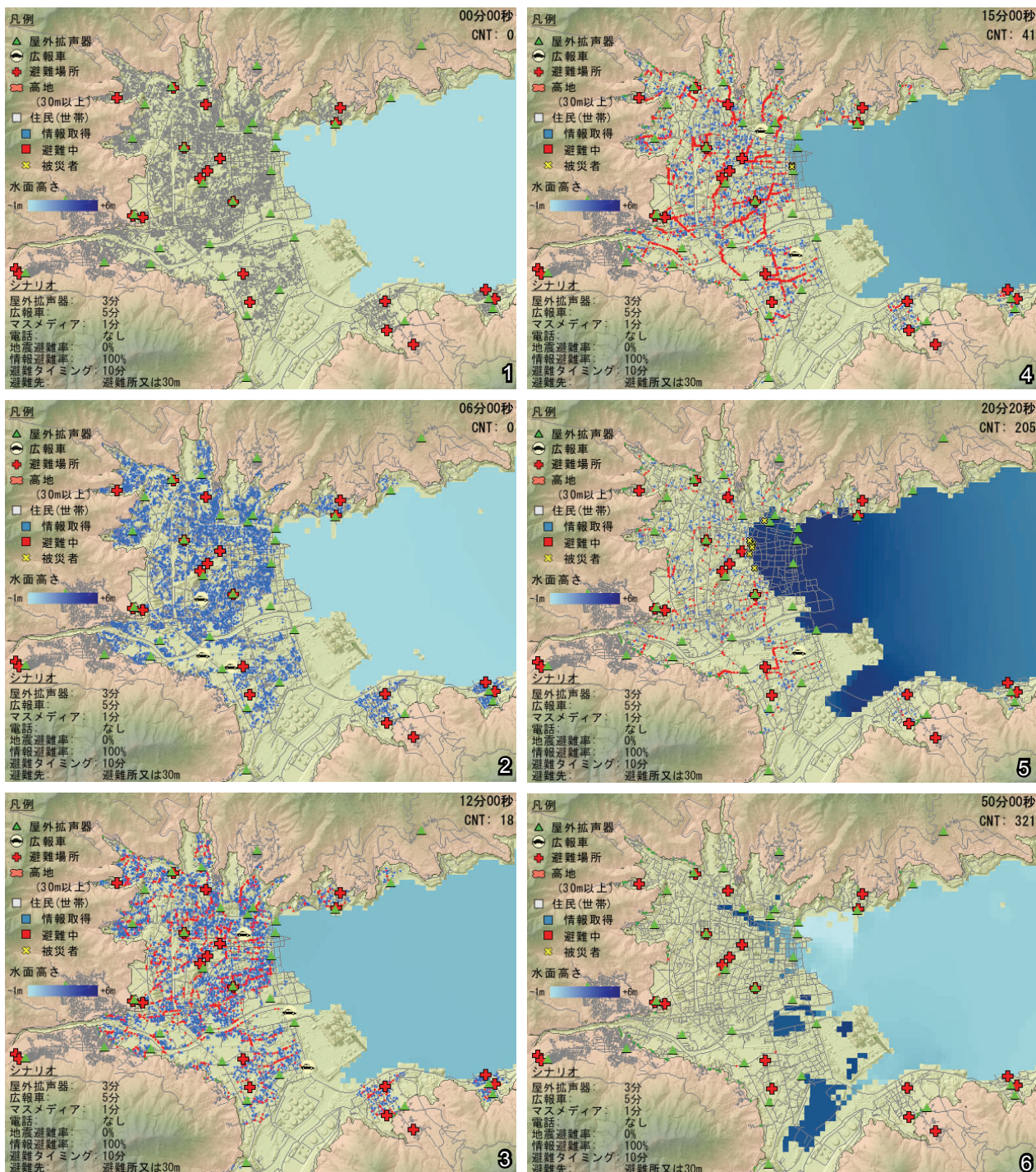


図-12 計算結果のアニメーション例<sup>20)</sup>

## 5. 防災教育ツールとしての活用

本シミュレータを利用することにより、時系列的に変化する各シミュレーションの計算結果を表現するアニメーションを作成することもできる。図-12は、シミュレータにより作成したアニメーションから表-8の内容を示す場面を抽出したものである。このアニメーションは、各シミュレーションにより計算された住民や津波の挙動に合わせて人的被害の発生が表示され、その被害者数がリアルタイムにカウントされる仕組みとなっている(各

図中右上のCNT)。このようなアニメーションを閲覧することで、設定したシナリオによる災害情報の伝達や住民の避難状況、そして、人的被害の発生状況が、どのタイミングで、またどの範囲で発生するのかといったことが視覚的に分かり易く把握することが可能となる。また、対象地域の住民として見た場合は、自らが被害者になる可能性を概ね推測することができる。

本アニメーションは、以上のような機能を持つことから、検討シナリオの結果を簡便に把握するためのコンテンツとして利用できる。また、一般の住民に対しても

表-8 アニメーションの表現内容

| No. | 経過時間   | 状況                                                       |
|-----|--------|----------------------------------------------------------|
| 1   | 0分     | 地震発生                                                     |
| 2   | 6分     | 情報伝達メディアにより情報伝達が行われている(情報取得世帯を青で表示)                      |
| 3   | 12分    | 情報を取得した一部の世帯が避難行動を開始(避難世帯を赤で表示)<br>※この時点での被害者数：18人       |
| 4   | 15分    | 海面の上昇とともに河川の遡上が確認される ※この時点での被害者数：41人                     |
| 5   | 20分20秒 | 津波の襲来により多くの人的被害が発生(人的被害の発生の瞬間を黄色の×印で表示) ※この時点での被害者数：205人 |
| 6   | 50分    | 津波襲来後<br>※この時点での被害者数：321人                                |

(設定シナリオ) 防災行政無線：3分後、広報車：5分後、マスメディア：1分後、電話の利用：なし、避難タイミング：情報取得後10分、避難先：避難場所又は標高30m以上

種々のシナリオ想定に基づく津波災害時の状況を具体的にイメージさせることが可能となり、防災教育のコンテンツとしても利用できる。このようなアニメーションは、インターネットを通して配信することが可能であり、筆者らは、地域住民がインターネットを通じてシミュレータにアクセスし、対話的に設定したシナリオによる計算結果をアニメーションとして閲覧することができるシステムを構築し公開している(<http://dse1.ce.gunma-u.ac.jp/simulator/owase/>)。このシステムを通じて、津波災害時に地域に発生する可能性がある様々なリスクを自由に閲覧できるようにすることで、津波災害に対する正しい知識と認識を広めることができると考えている。

## 6. おわりに

効果的な津波防災を実施するためには、単一のシナリオに捕らわれることの無い柔軟な対策が必須である。この様な中、本研究では、開発した津波災害総合シナリオ・シミュレータについて、任意のシナリオに基づく津波災害時の地域状況を具体的に表現し、その対策を効率的に検討することが可能な津波災害の危機管理ツールとして有効に利用できることを示した。また、任意のシナリオにより動的に変化するハザードマップとして、住民の防災教育に活用する方法について検討した。

本システムの実用化に向けた今後の課題としては、まず人的被害の判定方法が挙げられる。現状では、津波の氾濫域と避難者の重なりのみで人的被害を判定しているが、実際には津波の流速や浮遊物の考慮、そして、自動車による移動時の場合などを検討する必要がある。次に、本システムにより防災教育による効果を詳細に検討する場合には、シナリオとして避難の有無やタイミングを任

意に設定するのではなく、避難者の各種属性による避難行動の変化を考慮した意思決定モデルを導入する必要があると考えている。最後に、情報伝達と避難シミュレーションにおいて前提としている世帯毎の情報伝達や避難行動、そして、自宅からの避難という条件は、昼間の状況としては現実的ではなく、家族全員がそろっている夜間などの状況しか表現することができない。この問題に関しては、個人の一日の行動を考慮したシミュレーションモデルを開発中であり、機会を改めて報告したい。

**謝辞：**本研究の一部は、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト、科学技術振興機構社会技術研究システム ミッション・プログラム I による研究助成を受けた。また、オレゴン州立大学のHarry Yeh教授から有益な助言を受けた。そして、本研究で利用した津波氾濫解析結果は、東北大学の越村俊一助教授によるものを利用させていただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 片田敏孝, 児玉真, 桑沢敬行, 越村俊一: 住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題 -2003年宮城県沖の地震・気仙沼市民意識調査から-, 土木学会論文集, No.789/II-71, pp. 93-104, 2005.
- 2) 中央防災会議: 東南海, 南海地震の被害想定について, 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 第14回資料2, p. 4, 2003.
- 3) 片田敏孝: 洪水ハザードマップの効果と今後の課題, 消防科学と情報, 財団法人 消防科学総合センター, pp. 9-14, 2002.
- 4) 片田敏孝, 及川康, 田中隆司: 災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発, 土木学会論文集, No.625/IV-44, pp. 1-13, 1999.
- 5) 竹内光生, 近藤光男: 地震による道路区間閉塞を考慮した避難経路の分析-須崎市を事例として-, 第26回土木計画学研究発表会講演集, 講演番号332, 2002.
- 6) 高埴琢磨, 椎葉充晴, 堀智晴: 水害避難行動のミクロモデルシミュレーションと制御に関する研究, 土木学会論文集, No.509/II-30, pp. 15-25, 1995.
- 7) 瀧本浩一, 三浦房紀, 清野純史: 防災要員と避難者の間の情報の伝達を考慮に入れた避難行動シミュレーション, 土木学会論文集, No.537/I-35, pp. 257-266, 1996.
- 8) 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, 平成12年度東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 524-525, 2001.
- 9) 藤岡正樹, 石橋健一, 梶秀樹, 塚越功: 津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価, 日本建築学会計画系論文集, No.562, pp. 231-236, 2002.
- 10) 西原巧: 氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究,



- 京都大学学位論文, 1983.
- 11) 高橋保, 中川一, 東山基: 洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第32号 B-2, pp. 757-778, 1989.
  - 12) 館健一郎, 武富一秀, 古谷純一, 金木誠: GISを用いた洪水時避難行動解析システムの開発, 土木技術資料, Vol. 43, No. 8, pp. 44-49, 2001.
  - 13) 矢部浩規: 氾濫特性に応じた避難情報提供に関する研究, 自然災害科学, Vol. 19, No. 1, pp. 111-120, 2000.
  - 14) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用, 自然災害科学, Vol. 20, No. 2, pp. 183-195, 2001.
  - 15) FEMA: HAZUS: Hazard Loss Estimation Methodology, <http://www.fema.gov/hazus/>, 2005.
  - 16) Rapoport, A.: A Probabilistic Approach to Networks, *Social Networks*, No.2, pp. 1-18, 1979.
  - 17) Fararo, T.J.: Biased Networks and Social Structure Theorems, *Social Networks*, No.3, pp. 137-159, 1981.
  - 18) Skvoretz, J.: Random and Biased Networks : Simulations and Approximations, *Social Networks*, No.7, pp. 225-261, 1985.
  - 19) 尾鷲市: 津波避難計画, pp.5-8, 2003.
  - 20) 群馬大学災害社会工学研究室: 三重県尾鷲市を対象としたシミュレーション計算例, <http://www.ce.gunma-u.ac.jp/regpln/>, 2004.
- (2005. 4. 5 受付)

## DEVELOPMENT OF TSUNAMI COMPREHENSIVE SCENARIO SIMULATOR FOR RISK MANAGEMENT AND DISASTER EDUCATION

Toshitaka KATADA and Noriyuki KUWASAWA

The primary mitigation measure for tsunamis is to develop effective warning system and evacuation strategies. As for a tool to optimize the warning system and evacuation, an integrated simulator was developed; the simulator combines hydrodynamic simulation of tsunami with warning and human-response simulations for evacuation. Furthermore, because of its visual GIS presentation, the simulator is used to educate the general public; in some sense, the simulator can be considered as a dynamic hazard map. As for test case, we applied the simulator to Owase City. Effectiveness of the existing warning system and the resulting residents' evacuation were examined by running the simulator with several possible scenarios.