

年間
特集

南海トラフ地震津波に備えるための今後の対策—東日本大震災での津波被害を踏まえて—

高橋 智幸¹

Future disaster management for Nankai Trough earthquake tsunamis – based on tsunami damage due to the 2011 Tohoku earthquake-

Tomoyuki TAKAHASHI¹

Abstract

The tsunami damage due to the 2011 Tohoku earthquake were summarized, and the preparedness for the Nankai Trough earthquake tsunami was discussed. In the disaster, underestimation of the assumed tsunami and tsunami warning, delay in damage evaluation, and tsunami-related phenomena (sediment transport, topographical change, drifting objects, disaster debris, evacuation behavior, etc.) caused to increase the damage. After the disaster, assumption of the maximum class tsunami has been introduced, and numerical analysis and observation system of tsunamis have been developed. They make progress to prevent underestimation of tsunami warning and to grasp the damage promptly. However, there are still some problems to be solved in tsunami warning, such as tsunami earthquake, heterogeneity of tsunami source, and its cancellation. In addition, there are some technologies that have not yet been utilized in the real field of disaster. It is necessary to continue efforts to improve disaster management capabilities.

キーワード：津波警報，砂移動，漂流物，災害がれき，津波レーダ

Key words: tsunami warning, sediment transport, drifting objects, disaster debris, tsunami radar

1. はじめに

日本周辺では太平洋プレート，フィリピン海プレート，ユーラシアプレート及び北米プレートが

会合しているが，このような地域は世界的にみても稀である。複雑な地殻構造は豊かな自然を与えてくれると同時に多くの災害を引き起こす。特に

¹ 関西大学社会安全学部
Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai University

プレートの境界付近や沈み込むプレート内では大地震がしばしば発生する。このような海域で発生した大地震は津波を引き起こし、過去に幾度も大きな被害を我が国に与えてきた。

フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む境界にあたる南海トラフでも、大地震とそれに伴う津波が繰り返し発生し、日本の広い範囲に被害を与えてきた。地震調査研究推進本部(2013)は、マグニチュード8~9クラスの地震が30年以内に発生する確率は70~80%と評価している。また、今後30年以内に南海トラフで大地震が発生し、海岸の津波高が3m以上になる超過確率を図1のように評価しており、広範囲で26%以上となっている(地震調査研究推進本部, 2020)。なお、津波高3mとは住家流出や全壊が生じる目安であり、超過確率6%と26%はそれぞれ再現期間が概ね500年と100年に相当する。

南海トラフで発生が懸念されている地震津波に備え、被害の軽減を図るためには、津波被害の発生メカニズムをよく理解することが必要である。そのためには、2011年東北地方太平洋沖地震による津波被害を教訓とすることが重要であり、また

甚大な被害を目の当たりにした防災研究者に科せられた責務であると考え。本稿では、東日本大震災での津波被害を踏まえて、南海トラフでの大地震に備えるための今後の津波防災について考察する。

2. 東日本大震災で示された津波防災の課題

太平洋プレートが北米プレートの下に沈み込む境界にあたる日本海溝では、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震に伴う津波は北海道から沖縄まで到達し、特に東北地方の太平洋沿岸に甚大かつ様々な人的・経済的被害を与えた(例えば、Mori et al., 2011, 2012; 今村, 2021; 関西大学社会安全学部, 2012)。東日本大震災で示された津波防災の課題については多くの研究者が検討しているが、一例として著者による整理を図2(関西大学社会安全学部, 2016)に示す。図中、点線で囲まれているのが課題、実線で囲まれているのが今後必要な取り組みを示している。

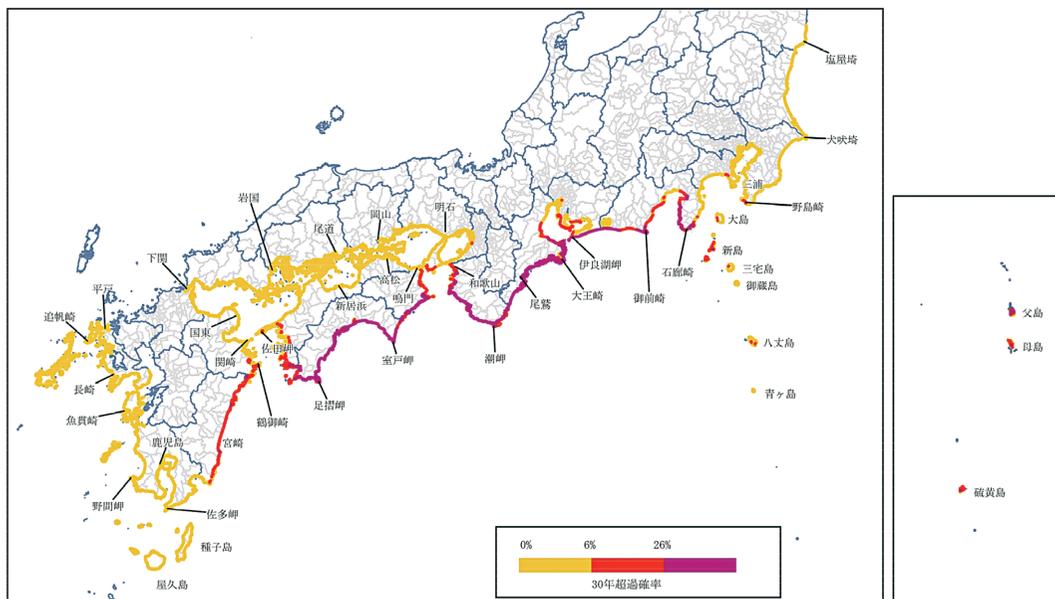


図1 今後30年以内に南海トラフ沿いで大地震が発生し、海岸の津波高が3m以上になる超過確率(地震調査研究推進本部, 2020)

2.1 外力の評価

時間軸で考えると、地震・津波の発生前には外力と被害の想定が重要となる。まず地震を想定し、次にその地震により引き起こされる津波を想定した上で、それらによる被害を予測し、被害を軽減するための対策を考えていく。例えば、防潮堤などの海岸保全施設の高さを決めるために必要な海岸線での津波高、ハザードマップの基礎データとなる市街地での津波浸水分布などはすべて津波の想定から導かれる。しかし、東日本大震災ではそのプロセスの起点となる外力の想定が過小評価になっていた。外力の想定においては既往最大を重視していたが、我々が得ている地震や津波の情報は、最大クラスの地震の繰り返し間隔に比べると短い期間のものであり、既往最大を知るには十分なものではなかったことが一つの原因である。外力の過小評価の結果の一例として宮城県南三陸町志津川地区におけるハザードマップ(図3)を示す。著者の調査では、津波は予想浸水域を大きく超えて、同図の左上の地点Aまで到達していた(写

真1)。

外力の過小評価は津波警報においても発生した。図4に示すように地震発生から3分後には大津波警報が発表されたが、予想された津波の高さは宮城県で6m、岩手県と福島県で3mと過小評価になっていた。この原因は地震マグニチュードを7.9と過小評価したためである。津波警報の第一報は震源の位置と地震マグニチュードから津波予報データベースを検索して決定されるため、地震マグニチュードが過小評価になると津波警報も過小評価になる。数十分後には第二報が発表されているが、その前に大規模な停電が発生していた。津波災害において人的被害を軽減するためには住民の避難行動が極めて重要であり、そのためには適切な防災情報が提供される必要がある。津波警報はまさにその役目を担うものであるから、第一報の重要性は高い。

津波警報の難しさは解除の決定にもある。救助・救援などの災害対応を迅速に行うためにも、また経済的損失を少なくするためにも、適切かつ速や

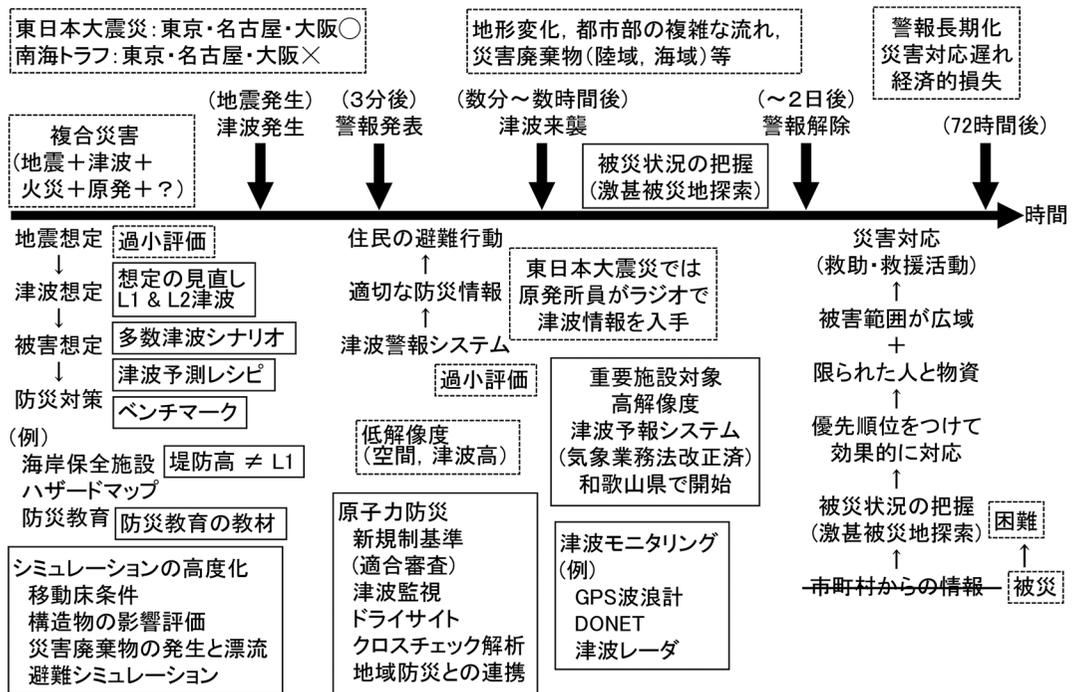


図2 東日本大震災で示された津波防災の課題と新たな取り組み (関西大学社会安全学部, 2016)

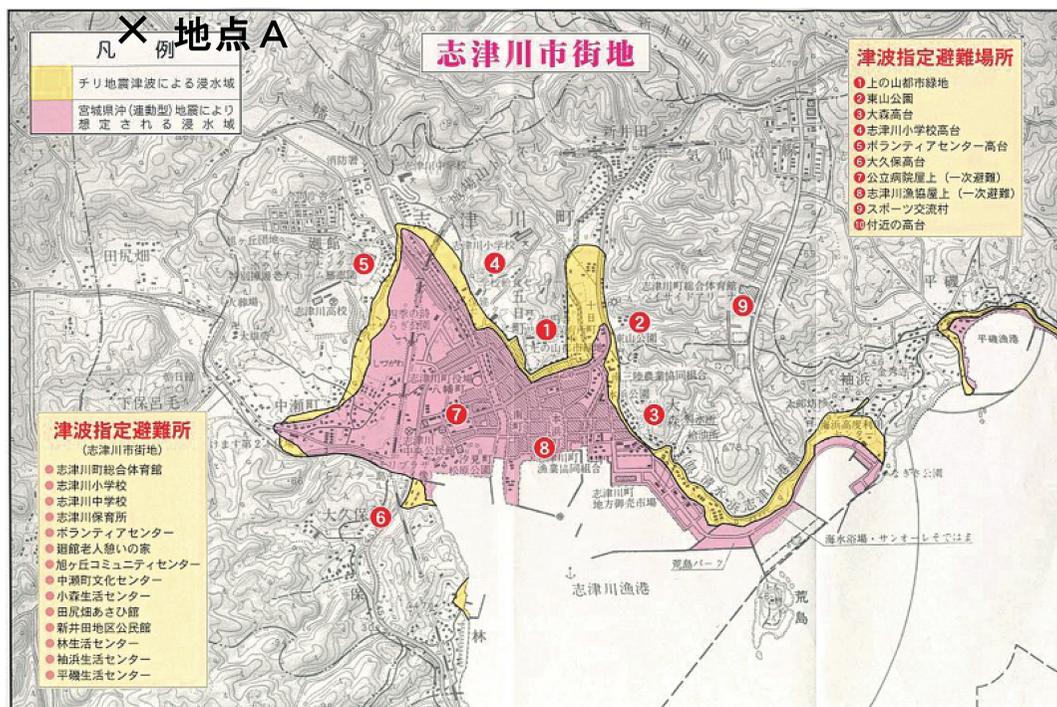


図3 宮城県南三陸町志津川地区における津波ハザードマップと調査地点(宮城県作成ハザードマップに加筆)



写真1 宮城県南三陸町志津川地区における津波被害

かに津波警報を解除することが望ましい。しかし、津波の減衰を高精度で評価することは難しいため、安全を優先して長期化する傾向がある。東日本大震災において津波警報が解除されたのは地震発生から2日後であった。

2.2 被害の評価

災害時に人的被害を減らすためには迅速な救助・救援活動が不可欠である。特に発災後72時間を過ぎると生存率が著しく低下すると言われている。災害が大規模になるほど、発生直後は救助・救援の人や物資が不足するため、被害を的確に評価し、効果的に災害対応を行う必要がある。しかし、東日本大震災では、被害範囲が広域であり、被害を調べる市町村の庁舎や職員も多く被災したため、被災状況の把握、特に激甚被災地の探索が困難となった。

また、被害の形態も複雑であった。東日本大震災では津波による被害が卓越していたが、その原因は高い波高と大きな流速だけではなく、大流速に起因した大きな掃流力は海底の砂を大量に移動させ、大規模な地形変化を発生させた。砂移動自体が防波堤などの海岸構造物の破壊に繋がるが、地形変化も被害拡大の要因になる。一例として、宮城県気仙沼湾の地形変化を示す。同湾は細

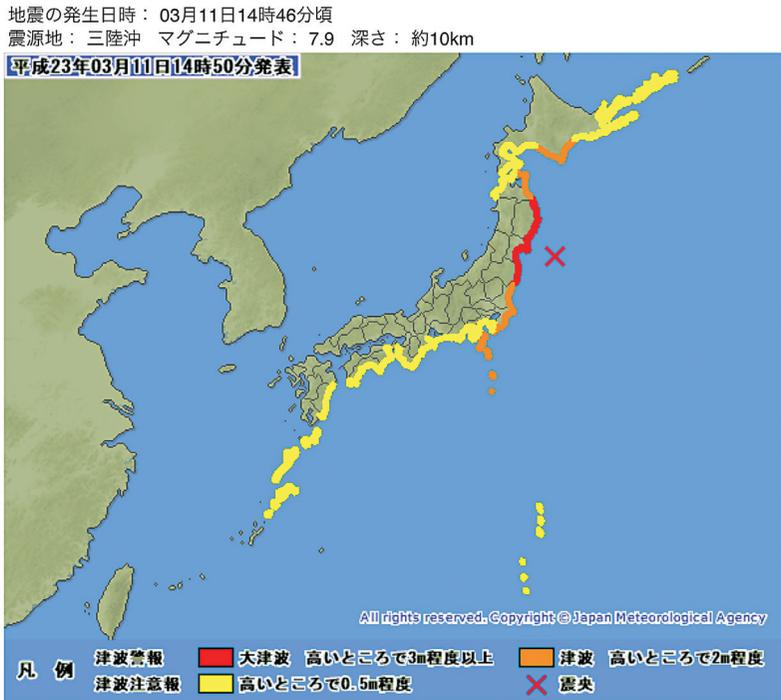


図4 地震発生から3分後に発表された津波警報・注意報(出典：気象庁ウェブサイト)

長い形状をしており、途中に狭窄部を有し、湾奥に市街地が発達している。津波の第1波が狭窄部を通過する際に大量の砂が移動し、最大で約7mの侵食が発生した(原口・他, 2012)。そのため、狭窄部の断面積は拡大し、第2波では大きなエネルギーが狭窄部を通過したと考えられる。山下・他(2017)は津波による砂移動を考慮した移動床モデルと砂移動を考慮しない従来の固定床モデルによる数値計算結果を比較した。その結果の一部を図5に示すが、砂移動による地形変化によって湾奥の市街地では最高水位や最大流速が増大(図中の赤色)していたことを明らかにしている。また、その影響により、被害実績数の5~40%に相当する200~1800棟の木造家屋が流失したと推定している。

海底から移動を開始した大量の砂は、津波に伴う大きな乱れにより浮遊し、遠くまで運搬され、市街地へ到達する。いわゆる黒い津波の発生である(今村, 2020)。物理的には、砂を含んで比重

が大きくなっているため、波力を増大させ、破壊力を増す。さらに、海底の有害物質も含んでいるため、津波肺と呼ばれる肺炎を引き起こす。

津波来襲時の大きな流体力は、船舶や養殖施設などの漂流物も発生させ、それらが市街地に侵入して被害を拡大した。市街地においても、自動車や倒壊建物の残骸などが新たな漂流物となり、結果的に写真1に示されているような大量の災害がれきが市街地に堆積した。災害がれきは津波火災の発生・延焼の危険性を高める上、被災直後の救出・救援の妨げとなる。また、復旧や復興のフェーズにおいても支障をきたす。さらに、津波の引き波により、災害がれきは沿岸に流出し、海底にも堆積するため、海洋環境に悪影響を与える。航路や泊地に沈没した災害がれきは船舶の航行や停泊の妨げとなるため、緊急物資の搬送にも支障をきたす。

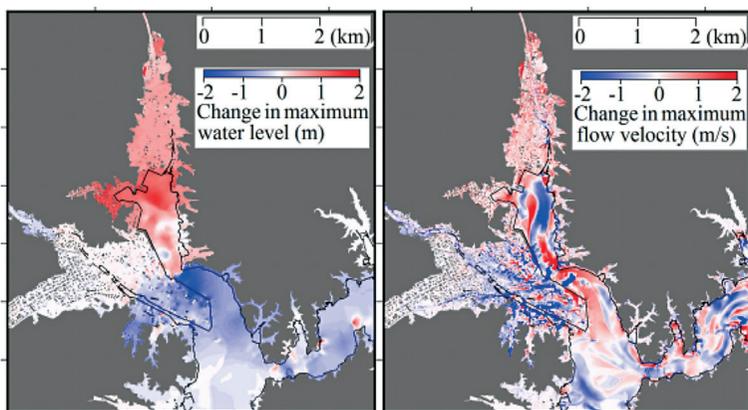


図5 砂移動が発生したことによる最高水位(左図)及び最大流速(右図)の変化量の計算結果(山下・他, 2012)

3. 今後の津波防災

今後予想される南海トラフでの地震津波に備えるため、前章で整理した課題を踏まえて、今後の津波防災について考察する。

3.1 想定津波の改善

東日本大震災を教訓として、想定津波の過小評価を防ぐため、2つのレベルの考え方が導入された。中央防災会議(2011)によると、一つは「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」、もう一つは「最大クラスの津波に比べて発生頻度は低く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」である。一般に、前者はレベル2津波、後者はレベル1津波と言われる。レベル2津波への備えとしては「住民避難を柱とした総合的防災対策」の構築、レベル1津波への備えとしては「防波堤など構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設」が必要とされている。

東北地方太平洋沖地震による津波はレベル2津波に相当すると考えられ、それを踏まえて南海トラフにおいてもレベル2津波が検討された。中央防災会議(2013)が想定した南海トラフでの最大クラスの地震の震源域を図6に示す。東日本大震災以前の想定(黄線)と比較して拡大していることがわかる。特にトラフ軸付近で新たに想定されたすべりは津波を増大させるが、東北地方太平洋沖

地震では海溝軸付近で大きなすべりが発生していたことを考慮したものである。また、すべり量は震源域内で均質ではなく、背景領域に比べてすべり量が大きくなる領域として、大すべり域と超大すべり域を想定している。一例として、四国沖に大すべり域と超大すべり域を設定したケースを図7に示すが、四国の沿岸で津波が20 mを超える。大すべり域と超大すべり域の設定により多数の津波シナリオが考えられるが、設定方法に関する研究としては杉野・他(2014)や門廻・他(2015)などがある。

想定津波が決まると、津波の伝播・浸水計算を実施して、沿岸での津波高や市街地の浸水分布を求めることができる。計算方法については、土木学会(2002)が既往研究をレビューし、体系的にまとめており、研究や実務で参照されてきた。東日本大震災後は土木学会(2016)として改定され、さらに国土交通省・他(2019)や地震調査研究推進本部(2017)も手引きやレシピを公開している。また、数値計算技術の向上や計算結果の精度を確認するためのベンチマーク問題も津波防災研究ポータルサイト(<https://tsunami-portal.bosai.go.jp>)で公開されている。ベンチマーク問題を活用した津波解析ハッカソン(<https://tsnmhack.github.io>)も開催されるなど、信頼性の高い津波数値計算を行う環境は整備されてきている。

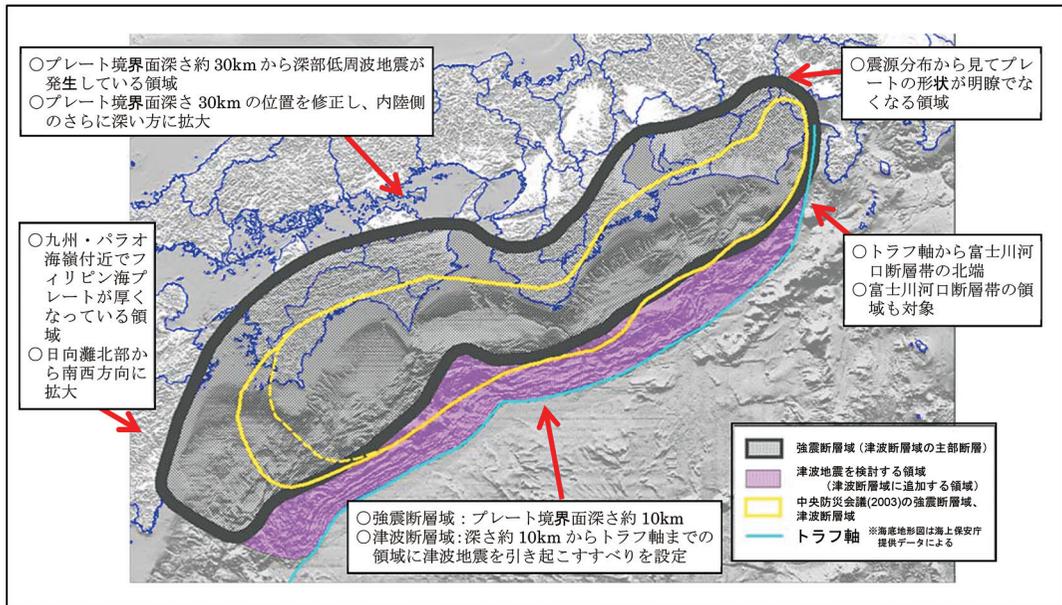


図6 南海トラフの最大クラスの地震の震源域 (中央防災会議, 2013)

3.2 津波警報の改善

津波警報の過小評価も改善されつつある。そのきっかけとなったのは、釜石沖に設置されていたGPS波浪計が東北地方太平洋沖地震津波を観測したことである。この観測データを踏まえて、津波警報の第二報は切り上げられた。津波警報は地震を観測し、そのデータから津波を予測しているが、津波を直接観測することにより、信頼性を向上させ得ることを示した。東日本大震災以降は、防災科学技術研究所が管理・運用しているDONETやS-netなどの沖合いで津波を直接観測する技術の整備が進んでいる。そして、それらの観測データを活用し、沿岸での津波高を精度よく予測して津波警報を更新するtFISHが開発され (Tsushima et al., 2012)、運用が始まっている。

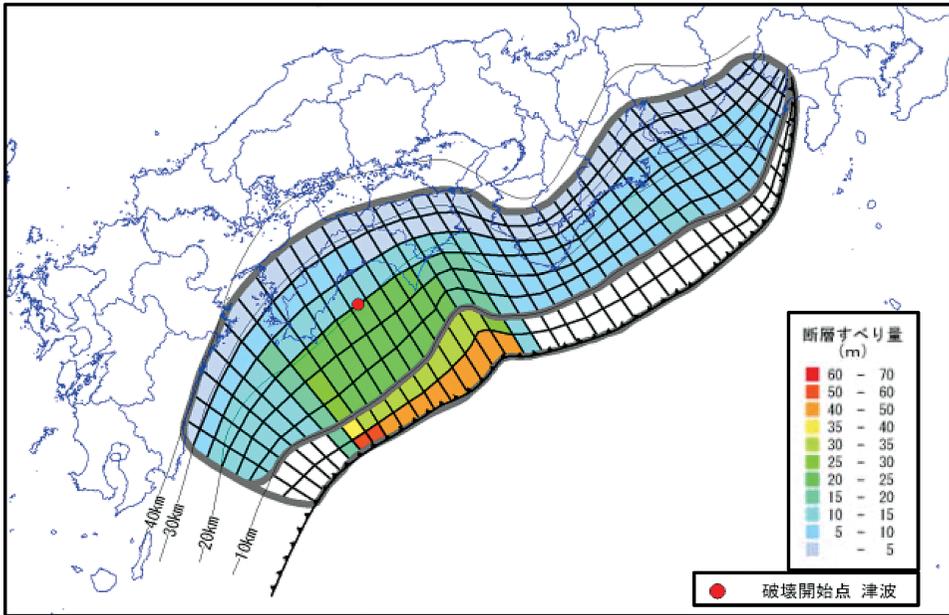
ただし、地震発生直後に発表される第1報は従来通り津波予報データベースが利用されるため、津波の規模に比べて地震マグニチュードが小さい津波地震などは過小評価する危険性が残っている。また、津波予報データベースは矩形断層を仮定した津波伝播計算結果を基に構築されているため、津波波源の不均質性に伴う津波の増幅につい

ては考慮できていない。これらの課題の改善には、津波波源を面的にリアルタイムで観測することが有効であり、今後の研究が期待される。

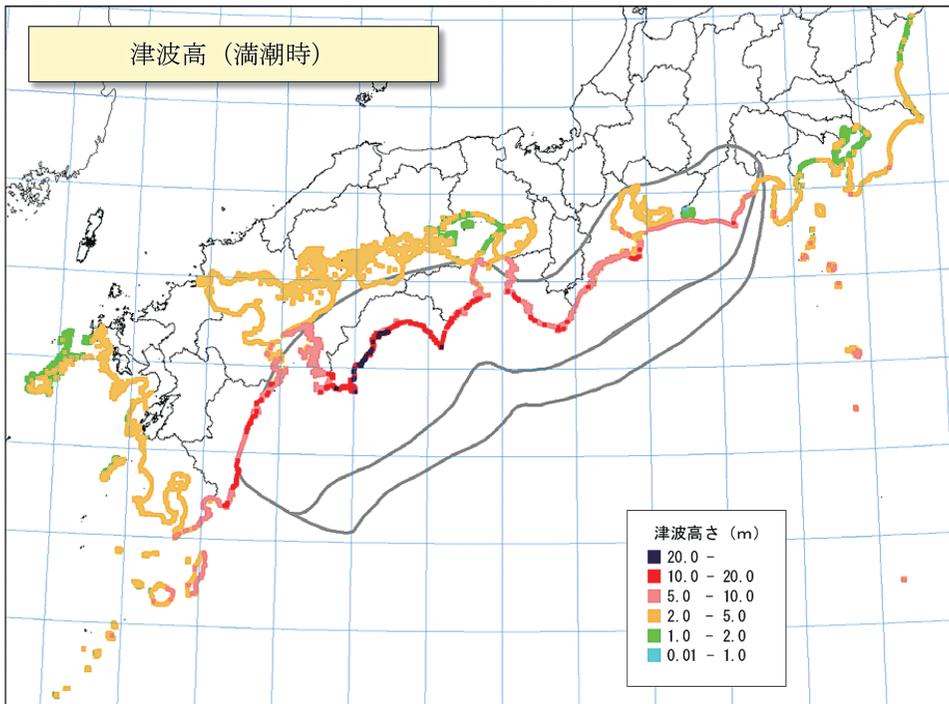
津波警報の解除についてもまだ十分には改善されていない。津波の減衰を高精度で予測する必要があり、林 (2010) などの研究例はあるが、長時間の再現では数値誤差の累積が生じる。また、陸棚にトラップされて遅れて到達するエッジ波 (例えば、河田・他, 2004) や港湾などの閉鎖海域での副振動 (例えば、平石・他, 1997) も発生するため、数値計算だけの予測は難しく、観測との連携が必要である。国土交通省などが運用している全国港湾海洋波浪情報網ナウファス (例えば、河合, 2013) は全国各地の波浪や潮位等を観測しているためこれまでも活用されているが、後述する海洋レーダも有効である (例えば、日向・他, 2012)。

3.3 被災状況把握の改善

津波に関する数値計算と観測は迅速な被災状況把握の改善にも貢献している。南海トラフでの地震津波による被害は極めて広域になり、多くの市



(a) すべり量分布



(b) 沿岸での津波高分布

図7 大すべり域と超大すべり域を四国沖に設定したケース (中央防災会議, 2013)

町村では被災状況の確認に時間を有し、国や都道府県への伝達も混乱することが予想される。よって、被災地での調査だけではなく、観測データと津波数値計算を連携させた被害予測システムが重要になる。越村(2017)が開発した「リアルタイム津波浸水・被害推計システム(RTi-cast)」では、発災後にリアルタイムの津波数値計算により詳細な被害情報を推計して被災地の支援を行うことを目的としている。

東日本大震災以降、津波の観測体制は整備されてきているが、そのほとんどは点での水位観測である。それを補完する技術として、面的に広範囲の流速場をリアルタイムで観測できる海洋レーダが期待されている。東北地方太平洋沖地震津波は広範囲に伝播しているが、紀伊水道に設置されていた海洋レーダで観測され(Hinata, 2011)、海洋レーダによる津波観測に関する研究が進んだ(例えば、岡本・他, 2017)。海洋レーダは陸域に設置されるため、海域での観測機器に比べて費用や保守の面でも優れており、安定した運用が期待できる。

3.4 津波に付随する現象への対策

東日本大震災では、関東、東海、近畿地方の大都市圏の被害は、東北地方に比べて小さかったため、比較的短時間で救出・救援が動き始めた。しかし、南海トラフで大地震とそれに伴う津波が発生すると多くの大都市圏が被災するため、救出・救援に時間がかかることが予想され、被災者が自力で対応しなくてはならない期間が長くなる。そのためには準備が必要であり、適切な準備をするためには被災状況を事前に詳細に予想して周知することが必要である。

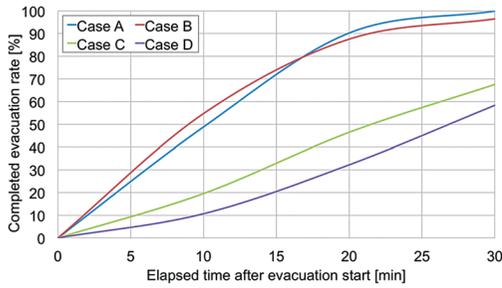
津波災害における主要な被災要因は高い波高と大きな流速、すなわち水の動きであるが、これを事前に再現するための数値計算手法は多く提案されており、防災実務においても活用されている。しかし、実際の津波災害では、水の動きに付随した様々な現象が被害を拡大する。特に、砂移動とそれに伴う地形変化、漂流物とその結果である災害がれきは、東日本大震災では津波外力の増大、

救援・救出や復旧、復興の阻害などの原因になっており、南海トラフでの地震津波においても被害拡大の要因になることが懸念される。

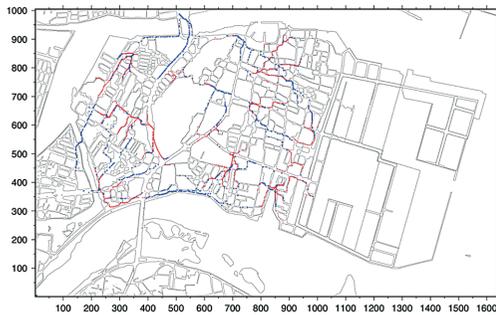
これらの現象を解析する技術についてはすでに多くの研究がなされている。例えば、津波による砂移動とそれに伴う地形変化については高橋(2012)や山下・他(2018)、漂流物や災害がれきについては後藤(1983)や小園・他(2015)などが数値計算手法を提案している。上述の津波解析ハッカソンでも、これらの現象に関して数値解析が実施されており、改善すべき点はあるが防災実務で使用できるレベルに達している。しかし、防災実務での活用は、国土交通省や防衛省などの業務に限られており、自治体が担っている地域防災への導入は進んでいない。

自然現象ではないが、人間の避難行動も津波による人的被害を軽減するために重要な要素である。徒歩での避難が原則ではあるが、やむを得ず自動車を使用しなくてはならない避難者もいる。また、東日本大震災では避難者の57%が自動車を使用していた(中央防災会議, 2011)。歩行者と自動車分離されていない避難路は多くあるため、災害時には複雑な現象が発生することが予想される。各自治体では避難計画を立てているが、発災時に住民や観光客などがどのように行動するのかを避難シミュレーションにより事前に予測しておくことが必要である。一例として、亀田・高橋(2017)による徳島市を対象とした歩行者と自動車が混在した条件での避難シミュレーションを図8に示す。同図(a)は歩行者と自動車の割合を変化させた場合の避難完了率の推移であるが、自動車による避難が50%以上になると途中で被災する人が著しく増えることがわかる。また、歩行者と自動車の割合が同じ場合での避難開始10分後の分布を同図(b)に示すが、両者が混在して滞留している箇所が見られる。このような状況は道路の構造や避難所の配置、津波の浸水状況などにより異なるため、各自治体は避難者が集中する場所や時間帯、危険な経路などをあらかじめ把握し、都市計画に反映させていくことが重要である。

これまで示してきたように、津波に関する数値



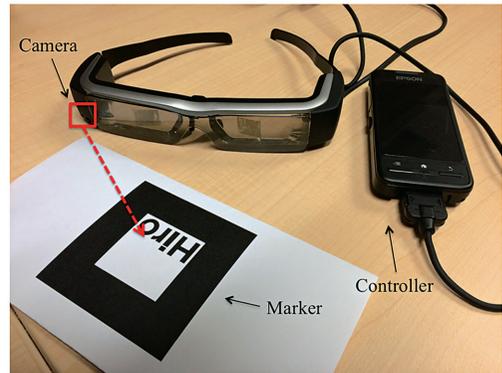
(a) 歩行者と自動車の割合を変化させた場合の避難完了率の推移 (Case Aは歩行者が100%, Case B, C及びDでは自動車が25, 50及び75%と増加)



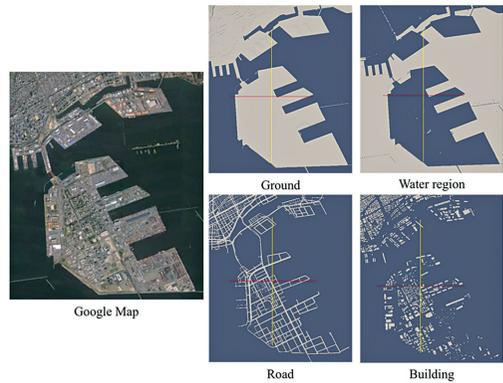
(b) Case Cでの避難開始10分後の避難者の分布 (赤点：歩行者, 青点：自動車)

図8 歩行者と自動車が混在した条件での避難シミュレーション (亀田・高橋, 2017)

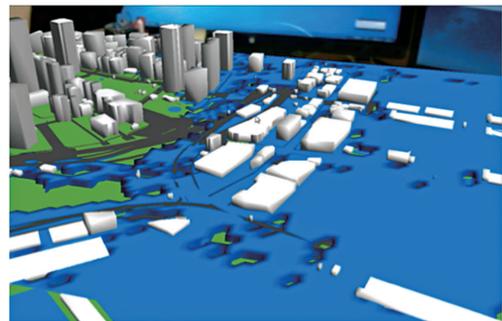
計算や観測はより高度になってきているため、得られるデータもより複雑になってきている。地域防災においては、これらのデータから導かれる津波や避難に関する情報を市民や実務者に伝えることも重要である。そのためにはデータを直感的に把握するための可視化技術が必要となる。一例として、亀田・高橋 (2016) によるAR (Augmented Reality) 技術を使用した津波リスクの可視化を図9に示す。神戸市の市街地の一部を対象として、地盤、水域、道路、構造物、津波の情報をそれぞれのマーカーに関連付けし、メガネデバイスのカメラでマーカーを認識すると各情報が組み合わさって表示される。マーカーを入れ替えることにより条件を変更でき、それぞれの条件による津波の浸水状況を把握することができる。このような可視化技術は防災教育への活用も期待される。



(a) メガネデバイスとマーカー



(b) マーカーに関連づけられる地盤・水域・道路・構造物情報



(c) メガネデバイスに表示される津波の浸水状況

図9 AR技術を使用した津波リスクの可視化 (亀田・高橋, 2016)

4. おわりに

最大クラスの地震とそれに伴う津波が発生した場合の被害の甚大さを東日本大震災はまざまざと見せつけた。そして、残念ながら南海トラフにお

いても最大クラスの災害は今後起こり得る。あの
大震災にしっかりと向き合い、そこから教訓を学
び、次の大震災に備えなくてはならない。

東日本大震災では津波防災の課題が多く示され
た。そのうちのいくつかは、多くの人々の努力に
より着実に改善されてきている。しかし、依然と
して技術的な問題に直面している対策は残ってい
る。研究としては進んでいるが、防災の現場では
まだ活用できていない技術もある。

防災は始めることより、継続していことの方が
難しい。しかし、東日本大震災を経験した我々は
立ち止まることなく、今後も防災力の向上に努め
ていかななくてはならない。本稿が少しでもその手
伝いになれば幸いである。

引用文献

- 地震調査研究推進本部：南海トラフの地震活動の長
期評価（第二版），2013。
- 地震調査研究推進本部：南海トラフ沿いで発生する
大地震の確率論的津波評価，2020。
- Mori, N., T. Takahashi, T. Yasuda and H. Yanagisawa:
Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami
inundation and run-up, *Geophysical Research
Letters*, Vol. 38, L00G14, 2011.
- Mori, N., T. Takahashi and the 2011 Tohoku
Earthquake Tsunami Joint Survey Group:
Nationwide Post Event Survey and Analysis of
the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, *Coastal
Engineering Journal*, Vol. 54, No. 1, 1250001,
2012.
- 今村文彦：東日本大震災での巨大津波の発生・被害
実態と今後の災害対応，*自然災害科学*，2021。
- 関西大学社会安全学部：検証 東日本大震災，ミネル
ヴァ書房，2012。
- 関西大学社会安全学部：東日本大震災 復興5年目の
検証，ミネルヴァ書房，2016。
- 原口 強・高橋智幸・久松力人・森下 祐・佐々木
いたる：2010年チリ中部地震津波および2011年
東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾での
地形変化に関する現地調査，*土木学会論文集 B2
（海岸工学）*，Vol. 68, No. 2, pp.I_231-I_235,
2012。
- 山下 啓・嶋原良典・菅原大助・有川太郎・高橋智
幸・今村文彦：土砂移動が及ぼす津波ハザード
及び建物被害への影響－東日本大震災の宮城県
気仙沼市における津波氾濫・土砂移動・船舶漂
流の統合計算－，*土木学会論文集 B2（海岸工学）*，
Vol. 73, No. 2, pp.I_355-I_360, 2017。
- 今村文彦：逆流する津波－河川津波のメカニズム・
脅威と防災－，成山堂出版，2020。
- 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とし
た地震・津波対策に関する専門調査会報告，
2011。
- 中央防災会議：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の地震像～，
2013。
- 杉野英治・岩渕洋子・橋本紀彦・松末和之・蛇澤勝三・
亀田弘行・今村文彦：プレート間地震による津
波の特性化波源モデルの提案，*日本地震工学会
論文集*，第14巻，第5号，2014。
- 門廻充侍・高橋智幸：地震規模の不確かさを考慮し
た多数津波シナリオ設定モデルとその適用例，
土木学会論文集 B2（海洋開発），Vol. 31, No. 2,
pp.I_545-I_550, 2015。
- 土木学会：原子力発電所の津波評価技術，328p.,
2002。
- 土木学会：原子力発電所の津波評価技術2016，
802p., 2016。
- 国土交通省水管理・国土保全局海岸室・国土技術政
策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水
想定の設定の手引き，Ver.2.10, 75p., 2019。
- 地震調査研究推進本部：波源断層を特性化した津波
の予測手法（津波レシビ），35p., 2017。
- Tsushima, H., R. Hino, Y. Tanioka, F. Imamura,
and H. Fujimoto: Tsunami waveform inversion
incorporating permanent seafloor deformation
and its application to tsunami forecasting, *J.
Geophys. Res.*, Vol. 117, 2012。
- 林 豊・今村文彦・越村俊一：津波減衰過程のト
レンドとばらつきの性質の遠地津波予測への活
用可能性，*土木学会論文集 B2（海岸工学）*，Vol.
66, No. 1, pp.211-215, 2010。
- 河田恵昭・奥村与志弘・越村俊一・藤間功司・永井
紀彦：エッジ波の発生を考慮した津波予警報の
改良に関する研究，*土木学会海岸工学論文集*，
第51巻，pp.261-265, 2004。
- 平石哲也・柴木秀之・原崎恵太郎：想定南海地震津
波における共振周期特性の重要性について，*海
岸工学論文集*，第44巻，pp.286-290, 1997。
- 河合弘泰：NOWPHASが捉えた東北地方太平洋沖地
震津波の諸相別窓，ながれ，第32巻，第1号，
pp.21-26, 2012。

- 日向博文・藤良太郎・藤井智史・藤田裕一・花土 弘・片岡智哉・水谷雅裕・高橋智幸：紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 68, No. 2, pp.I_196-I_200, 2012.
- 越村俊一：リアルタイム津波浸水・被害予測と災害情報の配信：G 空間防災システムと Lアラートの連携による減災力強化，情報管理，Vol. 29, No. 12, pp.822-828, 2016.
- Hinata, H., S. Fujii, K. Furukawa, T. Kataoka, M. Miyata, T. Kobayashi, M. Mizutani, T. Kokai and N. Kanatsu: Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 95, pp. 268-273, 2011.
- 岡本 萌・高橋智幸・日向博文・藤良太郎：チリ沿岸で発生する遠地津波を対象とした海洋レーダの観測性能に関する検討，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 73, No. 2, pp.I_433-I_438, 2017.
- 高橋智幸：津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題，堆積学研究，第71巻，第2号，pp.149-155, 2012.
- 山下 啓・菅原大助・有川太郎・鳴原良典・高橋智幸・今村文彦：強い非定常流れにおける飽和浮遊砂濃度を考慮した津波土砂移動モデルの改善，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 74, No. 2, pp.I_325-I_330, 2018.
- 藤智明：津波による木材の流出に関する計算，海岸工学講演会論文集，第30巻，pp.594-597, 1983.
- 小園裕司・高橋智幸・桜庭雅明・野島和也：複数の移動形態を考慮した災害がれきの発生・移動予測モデルの開発，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.72, No.2, pp.I_439-I_444, 2016.
- 中央防災会議：平成23年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）分析結果，東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第7回），15p., 2011.
- 亀田知沙・高橋智幸：津波避難時における歩車の相互作用を考慮した数値シミュレーションの開発，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 73, No. 2, pp.I_349-I_354, 2017.
- 亀田知沙・高橋智幸：AR 技術を活用した津波リスクの可視化手法の開発，可視化情報学会論文集，Vol. 36, No. 5, pp.32-39, 2016.

(投稿受理：令和3年6月28日)

要 旨

東日本大震災での津波被害を整理し，それらを踏まえて南海トラフの地震津波への備えについて考察した。東日本大震災では想定津波や津波警報の過小評価，被災状況把握の遅れ，津波に付随する現象（砂移動や地形変化，漂流物，災害がれき，避難行動など）が被害を拡大する要因となった。東日本大震災以降は，最大クラスの津波想定，津波の数値解析及び観測体制などの進展により，津波警報の過小評価の防止や迅速な被災状況の把握などが図られている。しかし，津波警報では津波地震や津波波源の不均質性，解除に関しては課題が残っている。また，現場ではまだ活用されていない技術もあり，今後も防災力向上に努める必要がある。