

リアルタイム津波浸水被害予測システムの開発と運用

鈴木 崇之・田野邊 睦・村嶋 陽一

リアルタイム津波浸水被害予測システムは、スーパーコンピュータを活用し、地震発生から20分以内を目安に津波浸水予測・被害推計情報を地図情報として配信するシステムで、被災地支援、災害に対するレジリエンスの向上とわが国の国土強靱化に資するべく、産学連携、理学・工学・情報科学の学際連携で開発したものである。

本稿では、東北地方太平洋沖地震津波後の新たな防災・減災の取り組みとして、研究開発・運用されているフォワード型リアルタイム津波浸水被害予測システム（以下「本システム」という）について紹介する。
キーワード：津波、減災、フォワード型、リアルタイム津波浸水被害予測、被害推計

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う津波では、死者行方不明者が1万人以上におよぶ未曾有の大災害となり、被害の大きかった岩手県から福島県の沿岸では海岸線から数kmまで浸水域が広がり人命のみならず多くの建物が流出した。その全容の把握には津波被害が広範囲にわたったこともあり、日中の発生にもかかわらず直後の被害把握が困難となり、すべての対応が遅れ数日を要した。このように広域巨大災害の発生直後は、激甚な被害を受けた地域からの情報が断片的となり、被害の全容把握が極めて困難になるとともに、被災地の救援、復旧活動が難航する。被災地では震災から8年が経過した現在も、津波災害に強い安心安全なまちづくりに向けた復興への取り組みが行われている。

本稿では、震災後の新たな防災・減災の取り組みとして産学連携で研究開発を進め、最先端技術により実現したフォワード型リアルタイム津波浸水被害予測システムについて紹介する。

2. 開発・運用までの取り組み

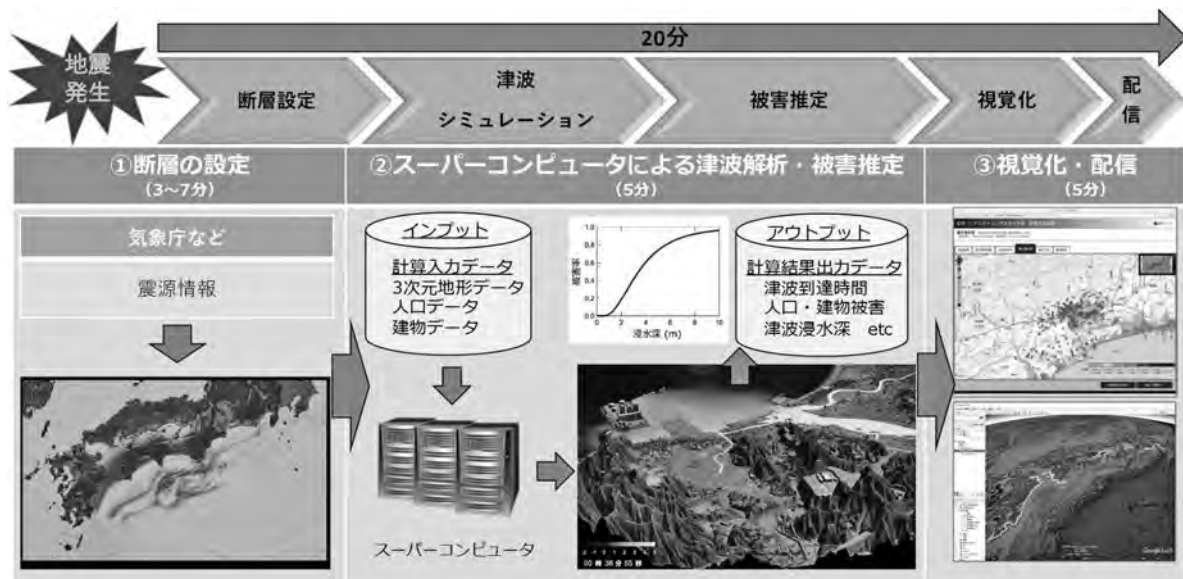
リアルタイム津波浸水被害予測システムは、気象庁の緊急地震速報或は津波注意報をトリガーにシステムが起動し、地震発生直後に断層推定、スーパーコンピュータを用いた津波浸水予測・被害推計計算、情報配信までを20分以内を目安に全自動で行うシステム

(図-1)で、産学連携、理学・工学・情報科学の学際連携で開発したものである^{1)~3)}。

本システムは災害に対するレジリエンスの向上とわが国の国土強靱化に資するべく、二回の社会実証実験を通じて即時性・有効性・実用性を高めていった。平成26年度のG空間シティ構築事業⁴⁾ではスーパーコンピュータを用い空間解像度10mの対象エリアにおける津波浸水予測・被害推計を10分以内に行い、その計算結果を自治体システムへの発信を実証した。また、平成27年度のG空間防災システムとLアラートの連携推進事業⁵⁾では異なる利用状況である複数のスーパーコンピュータサイトで並列にシステムの実行制御を行う技術を開発しシステムの冗長性を確保する仕組みを実証した。このような取り組みを続けてきた結果、本システムは、巨大地震の発生が懸念されている南海トラフ域（静岡県～鹿児島県の沿岸域約6000km）における津波による浸水被害状況を早期に把握・迅速かつ的確な意思決定・初動対応に利用する内閣府総合防災情報システムの一機能として導入され、平成30年4月より運用が開始されている。

3. 本システムの優位性

リアルタイムで津波を予測するシステムは、事前に大量のシナリオを計算しておく「データベース型」と、地震発生後に即時解析を行う「フォワード型」の2種類に大別される。前者としては、気象庁の量的津波予測や防災科学技術研究所のS-net、DONETといった



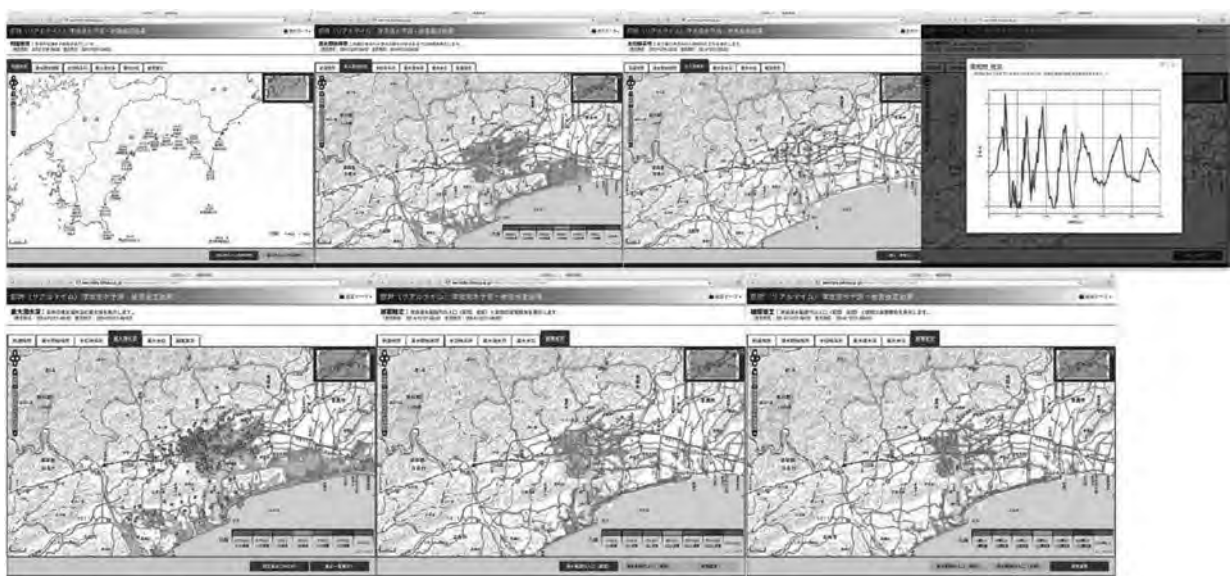
図一 リアルタイム津波浸水被害予測システムの概要

沖合観測データに対応する浸水予測データベース（シナリオバンク）などが挙げられる。データベース型では、事前に仮定した津波断層モデル・地形・潮位等の条件下において津波浸水計算を実施しその計算結果に基づきデータベースを構築する。大量のシナリオを計算しデータベースを構築するという仕組み上、組み合わせ数の劇的な増加を回避しつつ細かな条件設定に対応することは非常に困難である。更には、データベースの構築・保守には膨大な費用と時間が必要なうえ、構築後の地形改変などの土地利用状況の変化に対して経年的な精度低下を免れないといった課題がある。現在運用されている気象庁の量的津波予測は、地震発生から3分程度で情報が配信される即時性の非常に高いものだが、予測情報は、全国を66の予報区に分割し、

予報区ごとの海岸線での津波の高さ及び到達時間であり、陸域の浸水被害情報は得られないのが実情である。

一方、本システムは、地震発生後にスーパーコンピュータを用いて解析を行うフォワード型の津波浸水予測であり、海岸線における津波の高さだけでなく、詳細な陸域の浸水範囲と被害を予測し配信するシステムである（図一2）。本システムはフォワード型の予測であるため、地震発生時の潮位条件の取り込みが可能であり、データベースを構築しないため定期的なデータ更新が容易であり、浸水・被害予測の精度向上に重要となる地形・土地利用・海岸施設の変化に柔軟に対応できるメリットがある。

津波予測を行う上で重要となるのが、津波解析の初期条件となる津波断層モデルである。本システムで



図二 リアルタイム津波浸水被害予測システムの配信情報（例）

は、主に以下の二つの方法を採用している。一つは、地震波の初動に基づく気象庁の緊急地震速報等の情報に、経験的なスケーリング則を併用して断層の広がりやすべりの大きさを仮定し、1枚の矩形断層として断層モデルを推定する方法である。もう一つは、人工衛星による全地球測位システム（GNSS）を利用した地殻変動のリアルタイム連続観測データに基づき、地震による永久変位を算出し即時的に断層モデルを推定する方法である^{6), 7)}（図—3）。

一つ目の経験的なスケーリング則に基づく方法では、地震規模を適切に把握することが肝要であるが、2011年東北地方太平洋沖地震のように緊急地震速報のマグニチュードが過小評価されてしまう可能性があることに加え、1枚の矩形断層では波源断層の空間的な特徴を表現しにくいといった課題もある。一方で二つ目のGNSS測位による方法は、地震波だけではなく永久変位も直接的に測定できるため、推定マグニチュードが飽和することはなく、巨大地震に対しても

地震発生後数分という短時間でマグニチュードや断層の広がり等を推定可能となる。また、プレート境界型の巨大地震の場合は断層面上でのすべり不均質等を考慮することで、より実際の現象に近い初期水位変動量を推定することも可能である（図—4）。

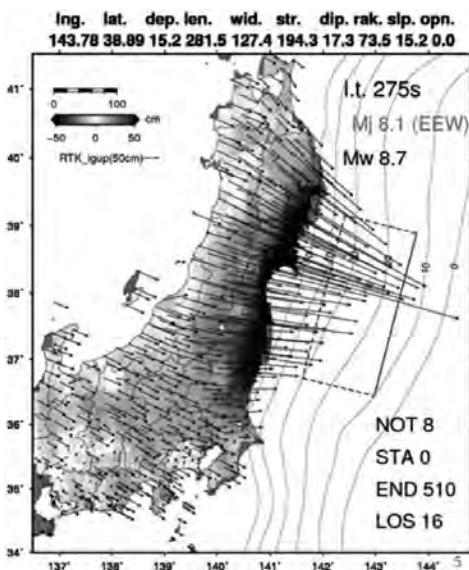
このように、フォワード型のため津波予測は津波解析の初期条件となる波源モデル選択の自由度が高く、将来的にはGPS波浪計等の沖合観測情報に基づいた、より高精度で複雑な波源モデルも利用できるなど、現状が完成形ではなく、さらなる精度向上・機能拡張が可能である。

なお、本システムの津波浸水・被害予測は、2次元非線形長波理論による津波解析を1:3接続による領域結合を実施しているため、ユーザニーズ及び目的に応じた空間解像度の選択が可能であり、解析領域間のネスティング形状についても従来の矩形から多角形に拡張し、効率的な多角形領域接続・MPI並列モデルを構築・最適化している^{8), 9)}。

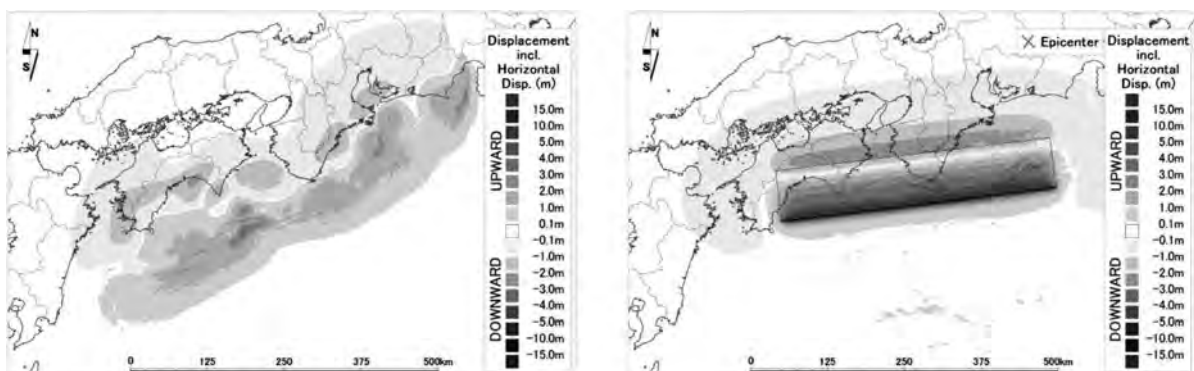
被害予測は、解析格子ごとに統計情報に基づく昼間・夜間の浸水域内人口および木造・非木造別を考慮した被害率曲線に基づく建物被害を予測している。本システムで利用している被害曲線は、2011年東北地方太平洋沖地震における石巻市の被害調査結果によるものを採用し、流失或は全壊被害に関する被害率を用いている¹⁰⁾。

4. リアルタイム津波浸水被害予測システムの運用

本システムは、スーパーコンピュータを利用することで実現したシステムであるが、スーパーコンピュータは、平時の稼働率が非常に高く利用されているため、通常利用する場合ではシステムの混雑状況・利用状況によっては計算資源が空いておらず実行待ちが発生するのが実情である。一方で実行待ちをしない専用シス



図—3 GNSS測位による断層モデルの推定 (G空間シティ構築事業成果報告書より抜粋, http://www.soumu.go.jp/main_content/000352866.pdf)



図—4 プレート境界型の巨大地震による地殻変動量, 左: GNSS測位による手法, 右: 経験則

テムの構築には専用のスーパーコンピュータの導入が必要であり、莫大な費用がかかるため非現実的である。そこで本システムの開発・運用にあたっては、緊急時のみスーパーコンピュータの運用を切り替え、稼働中のジョブをサスペンドし、防災上重要なプログラムを緊急ジョブとして実行する仕組みを構築している。なお、サスペンドされたジョブは緊急ジョブ完了後に再開されるため、一般利用者へ与える影響は極めて小さい。前述の仕組みにより、本システムは研究等で平時利用されているスーパーコンピュータを利用することが可能となり、スーパーコンピュータを利用しながらもシステムの構築費用を抑え導入することが可能となっている。

また本システムは、災害時における迅速な情報配信により、的確な意思決定・初動対応を支援することを目的としているため、24時間365日確実に稼働する必要がある。そのため本システムは、断層設定・津波解析被害推計・計算結果の可視化配信といった各処理階層を多重化し、さらにシステムそのものも二重化・分散させることで冗長性を確保し、激甚災害により片系統のシステムが被害を受け停止した場合や保守点検により片系統を停止した場合でもユーザーへの情報配信を行えるよう設計がされている。

5. おわりに

本稿では、東日本大震災後の防災・減災の取り組みとして新たに開発した、フォワード型のリアルタイム津波浸水・被害予測システムについて紹介した。

広域巨大津波災害時には広域にわたる浸水被害を早期に把握することが減災の鍵であり、このシステムが普及すれば、災害発生時の限られた情報の中での救援や救護活動、人的リソースの振り分け判断といった災害対応だけでなく、企業のBCP対策、ライフラインやインフラ系企業の復旧対応等の効率化、意思決定などの一助となると考える。

今後の展開としては、日本海溝・千島海溝や相模トラフへシステムを拡張することで日本全国の防災・減災に資すること、自治体の防災情報システムと連携することでより高度な即時予測情報の利活用を行うことがあげられる。この目的において、計算リソースや精度といった技術的な課題、情報利活用に関する法制度上の課題を解決しつつ、Society 5.0で実現する社会の実現に向けてユーザーニーズの多様性を踏まえたシステムの高度化、継続的な技術開発を進めているところである。また、本技術は、わが国同様に津波災害のリスクを抱えている米州・アジア諸国でも適用可能であ

り、国際展開することで世界的な貢献を果たすことも視野に活動を進めていく予定である。

謝辞

最後になりますが本稿作成にあたり、ご協力及びご助言をいただきました、(株)RTi-castの皆様には、感謝申し上げます。

JCMA

《参考文献》

- 1) 津波浸水予測システム, 制御装置, 津波浸水予測の提供方法及びプログラム, 特許第6161130号, June 23, 2017.
- 2) 津波浸水予測システム, データ処理サーバー, 津波浸水予測の依頼方法及びプログラム, 特許第6323880号, April 20, 2018.
- 3) 津波浸水予測システム, 制御装置, 並列計算機システムの制御方法及びプログラム, 特許第6362178号, July 6, 2018.
- 4) “G空間シティ構築事業”. 総務省. http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/top/local_support/02ryutsu06_03000054.html, (accessed 2019-7-12).
- 5) “G空間防災システムとLアラートの連携推進事業”. 総務省. http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/top/local_support/95151.html, (accessed 2019-7-12).
- 6) Ohta Y., T. Inoue, S. Koshimura, S. Kawamoto, and R. Hino, Role of real-time GNSS in near-field tsunami forecasting, J. Disaster Res., 2018.
- 7) Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, and N. Umino: Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), J. Geophys. Res., 117, B02311, 2012.
- 8) 井上拓也, 阿部孝志, 越村俊一, 撫佐昭裕, 村嶋陽一, 小林広明: 多角形領域接続・MPI並列による広域津波解析の効率化, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_373-I_378, 2016.
- 9) Musa, A., H. Matsuoka, Y. Murashima, S. Koshimura, R. Hino, Y. Ohta, and H. Kobayashi: A Real-Time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation, SC15 Extended Abstract, 2015.
- 10) 越村・郷右近(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震津波災害における建物脆弱性と津波被害関数, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp.I_336-I_340.

【筆者紹介】

鈴木 崇之(すずき たかゆき)
国際航業(株)
防災環境事業部 防災ソリューション部
災害解析ソリューショングループ



田野邊 睦(たのべ あつし)
国際航業(株)
防災環境事業部 防災ソリューション部
災害解析ソリューショングループ



村嶋 陽一(むらしま よういち)
国際航業(株)
防災環境事業部
事業部長

