[共同研究成果]

スーパーコンピュータによるリアルタイム津波浸水被害予測

越村俊一・阿部孝志:東北大学災害科学国際研究所

撫佐昭裕:東北大学サイバーサイエンスセンター、NEC

村嶋陽一・鈴木崇之・井上拓也:東北大学災害科学国際研究所、国際航業株式会社

太田雄策・日野亮太:東北大学大学院理学研究科 佐藤佳彦: NEC ソリューションイノベータ株式会社

加地正明:株式会社エイツー

小林広明:東北大学大学院情報科学研究科

巨大津波発生直後のきめ細かな津波情報や、迅速な被害情報の推計・把握と配信を通じて被災地を支援し、災害に対するレジリエンス(回復力)の向上と我が国の国土強靱化に資する、リアルタイム津波浸水被害予測システムを構築した。スーパーコンピュータ SX-ACE の活用により、沿岸部 10mメッシュ分解能でのリアルタイム津波浸水予測(浸水する範囲と深さの予測)を可能とし、浸水域内人口および建物被害予測を、地震発生から 20 分以内を目安に完了することに成功した。本システムは、内閣府の津波浸水被害予測システムとして採用され、2017 年 11 月より運用を開始した。

1. はじめに

巨大災害後の災害対応や救援活動において最も重要なことの一つは被害の全容把握である。地震や津波災害といった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、被害全容の把握がきわめて困難になるとともに、被災地の救援活動や復旧活動も難航する。2011年東北地方太平洋沖地震津波の被災地は広大であり、発災直後には、激甚な被災地がどこにあるかを把握することさえ困難であると同時に、現地調査期間や人的資源の制約により被害全容を把握するにはきわめて長い時間を要した[1]。この教訓を踏まえ、効果的な災害対応、被災地の救援のためには、津波高さの予測だけでなく浸水範囲・被害の迅速かつきめ細かな予測が必要である。

本研究は、最先端のシミュレーション・センシング・ICT を統合し、津波発生直後のきめ細かな津波情報や、迅速な被害情報の推計・把握と配信を通じて被災地を支援し、災害に対するレジリエンス(回復力)の向上とわが国の国土強靱化に資する、リアルタイム津波浸水被害予測システムを構築することを目標とした。本稿では、災害科学国際研究所、サイバーサイエンスセンター、理学研究科との共同および産学連携により、この課題の解決にむけて構築したリアルタイム津波浸水被害予測システムについて報告する。

2. リアルタイム津波浸水被害予測

津波の伝播・陸上遡上の予測には、その領域(沖合・沿岸および浅海域の伝播、陸上での遡上)と分解能(空間・時間)に応じて数値モデルを使い分ける必要がある。いずれにせよ、支配方程式を差分法により離散化する方法が一般的である。長波理論の差分法に基づく津波数値計算の場合、座標系と支配方程式を、再現する津波の対象(遠地/近地、外洋伝播/遡上)に応じて適切に選択する必要がある。2011年東北地方太平洋沖地震津波の場合、日本近海の津波の再現には直交座標系による非線形長波理論式を、太平洋全体への外洋伝播を含めた津波を再現する場合には球面座標系による分散波理論式および線形長波理論式が必要である。いずれにせよ、正確な津波の予測・再現には、方程式系の適切な選択、津波初期水位分布(断層運動による海底地盤変動)、詳細な海底・陸上地形の情報と計算の分解能、土地利用状況等による陸上の津波抵抗則の適切なモデル化等が重要な要件となる。

津波浸水被害の予測をリアルタイムで行うための課題は3つに大別される[2]。

1点目は、津波の発生予測である。津波数値計算の初期条件には、断層破壊の具合的なメカニズムに関連した断層モデルや津波発生時の初期水位分布の情報が必要で、特に地震学・測地学の研究者との連携が必要になる。近年、GEONET をはじめとする衛星測位(GNSS)技術の発展を背景とした新しい地震・地殻変動観測が普及しており、津波発生モデルの精度向上に期待が持てる。また、特に我が国太平洋側には、日本海溝海底地震津波観測網(S-net)や地震・津波観測監視システム(DONET)をはじめとして、非常に高密度な津波観測網が整備されつつある。また、これらの観測網の充実を背景として、全く新しい津波発生予測構築手法が提案されており、我が国の津波予測技術の革新が進みつつある。本システムでは、地震情報の取得に、気象庁の緊急地震速報と GEONET の地殻変動観測情報を用いたリアルタイム断層モデル推定法 RAPiD[3]および国土地理院の REGARD[4]による解を即時に取得し、津波波源モデルの計算過程を自動化した。

2点目は、津波の浸水予測である。一般的な非線形長波理論に基づく数値モデルでは従来のワークステーションで計算できるが、リアルタイムでの予測は技術的に困難であったが、High Performance Computing Infrastructure(HPCI)の普及が課題解決の追い風になっている。例えば、京コンピュータを利用した大規模高速計算の技術による津波計算の実績も蓄積されている[5]。一方、ほとんどのスパコンの運用体制では災害時の即時的な予測を行うための運用を行うことは難しい。筆者らの研究グループは、津波の予測計算の高速化を、東北大学サイバーサイエンスセンターのベクトル型スーパーコンピュータ SX-ACE の独自運用(ディザスターモード:地震発生時に所要の計算リソースを即座にアサインする)により実現し、いつ地震が発生してもスパコンのパフォーマンスを確保している。図1のように、10分以内に津波の発生(断層モデル)を予測、10mメッシュという高分解能の浸水計算を、10分以内に完了することを具体的な目標として実証に成功している[6]。また、東北大学の津波解析プログラムは、SX-ACE の高いメモリバンド幅およびベクトル化効率の恩恵により、計算効率が非常に高いことも確認することができた。

上記の成果を踏まえ、本システムは、南海トラフ地震の発生を想定して、鹿児島県から静岡県までの 6,000km の海岸線を予測対象領域として(図2)、内閣府の津波浸水被害予測システムの構築・運用を開始した。計算領域が広大であることから、内閣府システムとしては津波被害の概略を迅速に把握することを最優先事項として、沿岸部 30m メッシュの分解能で運用を行う。

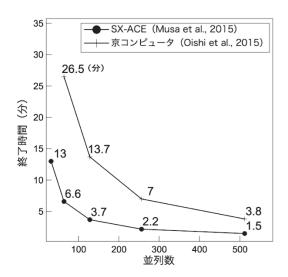


図1東北大のスパコン SX-ACE による 3 時間分の浸水予測計算 (10m メッシュ) のパフォーマンス (高知市で実施) [6]。システムの運用には、東北大・大阪大のスパコンを用いて冗長性を確保する。比較しているのは京コンピュータによるパフォーマンス[5]。

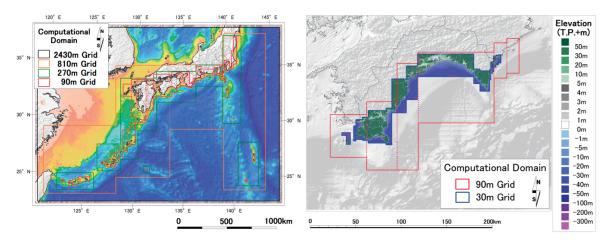


図2リアルタイム津波浸水被害システムの予測領域。(左:予測領域 (90mメッシュまで表示)、右:浸水予測を行う30mメッシュの領域構成(高知県の例)。

3 点目は、被害の予測である。津波の浸水域は、湾の構造や建物の密度などによって左右される。量的な被害予測を行うためには、木造建築物と鉄筋コンクリート造などの建物がどれくらいの津波で破壊されるのか量的に解析する必要がある。そのために、東日本大震災での被害調査データから津波被害関数を構築した(図 3)。

図4に高知県で実証した津波浸水被害予測結果(南海トラフ想定地震 Mw8.7の例)を示す。国勢調査が綿密に行われている日本では、人口分布および建物の位置と場所を正確に把握できるため、これらの情報を組み込むことで10m 区画まで細分化した浸水予測結果から建物被害地図の作成が可能になった。建物の位置と場所を正確に把握し、津波被害関数から得られる流失率を求めることで、細分化した浸水予測結果から建物被害の量的な予測が可能になった。

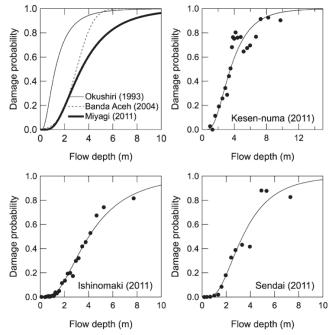


図32011年東日本大震災における被害データから得られた津波被害関数の例[1]。浸水域内建物被害(流失)棟数の推定に利用する。

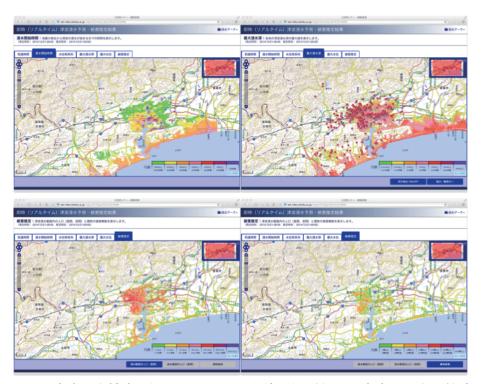


図4リアルタイム津波浸水被害予測システムの出力結果例(左上:津波の浸水開始時間、右上: 浸水深分布、左下:浸水域内人口分布、右下:建物被害(流失)棟数分布)

3. おわりに

東日本大震災の教訓を踏まえ、スーパーコンピュータ SX-ACE を利用したリアルタイム津波浸水被害予測システムを構築した。本研究は、本学災害科学国際研究所、サイバーサイエンスセンター、理学研究科との共同、大阪大学サイバーメディアセンターおよび産学連携により、取り組んだ研究成果であり、地震情報自動取得と津波の発生予測(10分以内)、津波伝播・浸水・被害予測(10分以内)、結果の図化・配信を 10m メッシュで行うという目標をたて、現在では、さらに改良を進め、地震発生から 3 時間分の津波浸水予測を 5 分程度で行うことが可能になり、東北大学・大阪大学の SX-ACE で 30分以内の全国津波浸水予測が可能となった。東北大学の津波浸水予測プログラムを SX-ACE に最適化し、京コンピュータよりも優れた計算性能を達成した。この成果が高く評価され、平成 29年3月に内閣府津波浸水被害推計システムとして採用され、平成29年11月から運用が開始されることとなった。今後は、日本全体での予測領域の拡大や、様々な主体・ユーザのニーズに対応した予測情報・活用技術の研究を進めていく。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータを利用することで実現することができた。また、研究にあたっては同センター関係各位に有益な指導と協力をいただいた。基礎研究に際しては、JSTのCREST(グラントナンバーJPMJCR1411)の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] Koshimura, S. and N. Shuto, Response to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami disaster, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2015a. doi:10.1098/rsta.2014.0373
- [2] Koshimura, S., R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, A. Musa, Y. Murashima, Real-time tsunami inundation forecasting and damage estimation method by fusion of real-time crustal deformation monitoring and

- high-performance computing, IUGG General Assembly, 2015.
- [3] Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, 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. doi:10.1029/2011JB008750.
- [4] Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, K. Miyagawa, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res., 2017. DOI:10.1002/2016JB013485.
- [5] Oishi, Y., F. Imamura, and D. Sugawara. "Near-field tsunami inundation forecast using the parallel TUNAMI-N2 model: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake combined with source inversions". Geophysical Research Letters, 42, doi:10.1002/2014GL062577, 2015.
- [6] Musa, A., H. Matsuoka, O. Watanabe, Y. Murashima, S. Koshimura, R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, A Real-Time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Strage and Analysis (SC15), Austin, Texas, Nov. 2015.