

令和 5 年度津波解析手法及び予測に関する統合的研究

課題責任者

今井 健太郎 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター

著者

今井 健太郎^{*1}, 大林 涼子^{*1}, 楠本 聡^{*1}, 王 宇晨^{*1}, 村上 雅亮^{*1}, 高橋 成実^{*1}, 徳田 達彦^{*1, *2}, 栗原 朋也^{*1, *2}, 有川 太郎^{*2}

^{*1} 海洋研究開発機構海域地震火山部門地震津波予測研究開発センター, ^{*2} 中央大学

キーワード: 海底地すべり, 津波堆積物, 津波データ同化, 津波予測データベース

1. はじめに

本課題では、あらゆる津波ハザードに関する数値解析を地球シミュレータ (ES4) の計算資源を利用し、非地震性津波シナリオの検討、浸水解析の高精細化や津波データ同化手法の確立を含めた即時津波予測システムの高度化、津波土砂移動解析を利用した歴史時代の津波波源の推定精度向上に資する数値解析などを実施する。

2. 主な成果の概要

(1) 非地震性津波シナリオの検討

2023 年 10 月から断続的に鳥島近海で発生した地震は、その地震規模に比して大きい津波が日本列島太平洋沿岸に到達した。この現象解明のために、津波逆伝播解析を実施して、おおよその波源域を推定した (図 1)。さらに、地震直後海底地形観測により得られた鳥島近海の隆起地形に基づく数値解析を行った。カルデラの直径はおおよそ 5 km 程度、その水深は 2 km 程度であるため、地震性津波で通常用いられる沖合 (あるいは波源域) で粗く、沿岸で密となるグリッドシステムを組むことができない。そこで、本地震による津波解析では、カルデラ近傍で 2 arcsec (おおよそ 50 m) から段階的に 18 arcsec のグリッドシステムを用いた JAGUIRS[1] (Baba et al., 2017) による津波解析を実施した (図 2)。津波生成の詳細な過程を踏まえていないにも関わらず、DONET や S-net 観測点の津波波形の概形を再現することができた。

(2) AI 技術を利用した津波予測の可能性に関する検討

ディープラーニングアルゴリズムの一つであるノイズ除去オートエンコーダ (DAE) モデルを利用した沿岸津波予測のための新しい手法を検討した。本研究では、沖合観測網 S-net における海底水圧計 (OBPG) が敷設されている日本列島東北太平洋沿岸を検討地域とした。モデルを訓練するために、断層破壊の不均質性を確率モデルで表現する波源断層モデル (M7.0-8.8) を用いて 800 の仮想津波シナリオを生成し、JAGURS[1]を用いて OBPG44 地点 (入力データ) と沿岸潮位観測所 4 地点 (出力データ) の津波波形を計算した。予測性能評価は、200 シナリオの仮想波源断層モデルと 2 つの実際の津波イベント (2016 年福島地震と 2022 年トンガ火山津波) を用いて実施した。本研究による DAE モデルは仮想の波源断層モデルにおいては、沿岸津波波形予測において高い精度を示し、約 90% の再現性を有していることがわかった。さらに、2016 年

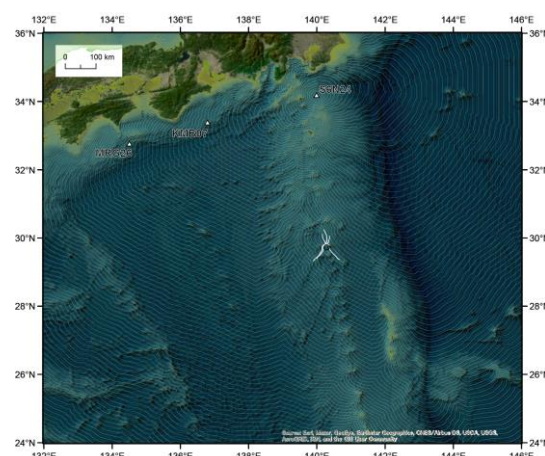


図 1 DONET および S-net の観測点による逆伝播解析により得られた 2023 年鳥島沖地震の推定波源域。図中の白実線が波源域の北限を示している。

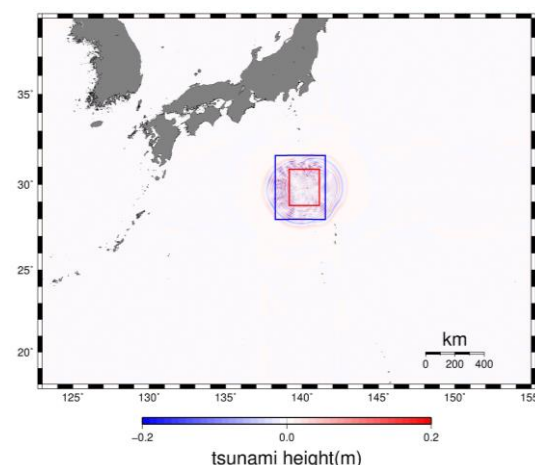
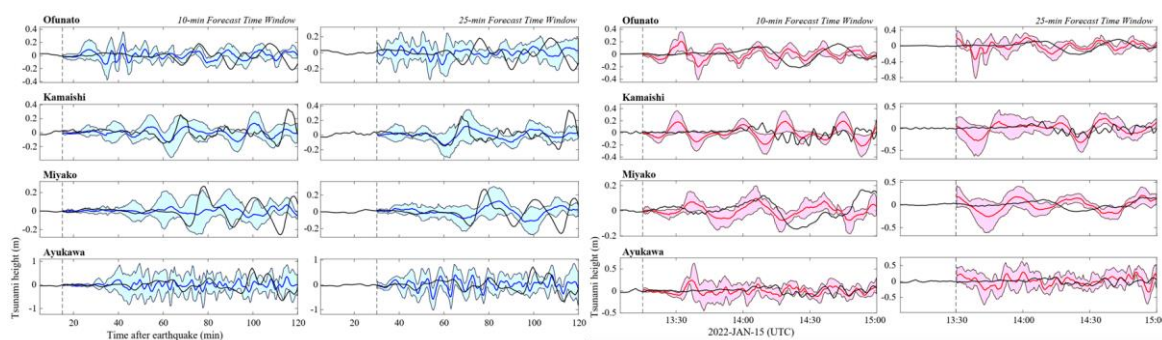


図 2 2023 年鳥島沖地震による津波解析のグリッドシステム。全体は 18 秒角、青線内は 6 秒角、赤線内は 2 秒角の計算格子領域を示している。

の福島津波の最大振幅を正確に予測し、地震発生 15 分後に 91.4% の良好な再現性能であった (図 3a)。一方、2022 年のトンガ火山津波の沿岸波形予測は満足のいくものではなかった (図 3b)。この原因は、より複雑なメカニズムを持つ津波に対しては、さらなる検討の余地があることを示している。予測時間窓の影響については、予測精度への影響は限定的であることがわかった。このことは、本手



(a) 2016 年福島沖地震津波

(b) 2022 年トンガ噴火津波

図3 DAE モデルによる2つの実際の津波イベントの観測と予測値の比較。実線は各イベントにおける観測波形、青線（2016年福島沖地震）および赤線（2022年トンガ噴火津波）の予測波形、青および赤ハッチはその誤差範囲を示している。

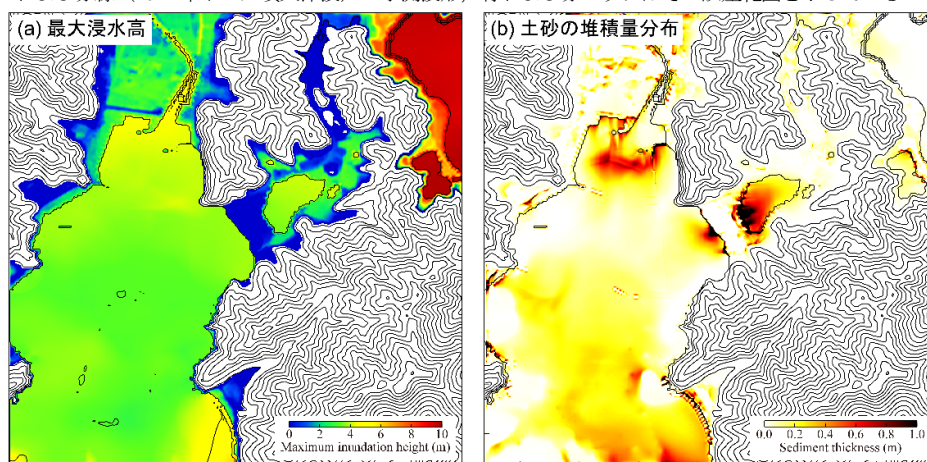


図4 最大浸水高分布と土砂の堆積量分布。

法が地震発生直後の迅速な予測に適していることを示唆している。将来的には、より多様なメカニズムを持つ津波シナリオをモデル学習に使用し、異なるタイプの津波に対する頑健性を高める予定である。

(3) 歴史津波の波源モデル推定精度向上に関する検討

南海トラフ沈み込み帯で発生した明応東海地震に伴う津波は和歌山県から千葉県の太平洋沿岸部の広範囲にわたって被害を及ぼした（津波痕跡データベース；東北大学・原子力規制庁）。本研究では津波痕跡高分布に基づいて推定した津波波源モデルと津波土砂移動解析モデル（TUNAMI-STM；Sugawara et al., 2019）を用いて、三重県南伊勢町こがれ池の津波堆積物の数値再現および観測事実との比較に基づいた検証を行った。

地震発生から3時間後までに最大4.6 mの津波が来襲し、およそ40 cmの土砂が池内部に堆積した（図4）。一方、堆積物コアの明応東海地震に相当する津波堆積物の堆積層厚は1 cm未満であった（Shimada et al. 2023）と報告されており、計算結果と大きな差異があった。これは地震当時の浜提高さが不確かであるため、数値計算では現実よりも大きな津波が侵入して過剰な土砂の堆積が生じたためだと推測される。

3. まとめ

本課題では、あらゆる津波ハザードに関する数値解析

を地球シミュレータ（ES4）を活用して実施した。ES4を利用することで、大規模かつ膨大な津波解析を高速に解析することができ、その多くは研究成果に結びついている。今後も、ES4の性能を最大限活かし、津波研究を実施していく計画である。

謝辞

本研究はR2-6年度文部科学省「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」（研究代表者：海洋研究開発機構 小平秀一）の一環として行われました。

参考文献

- [1] Baba, T., S. Allgeyer, J. Hossen, P. R. Cummins, H. Tsushima, K. Imai, K. Yamashita, T. Kato. Accurate numerical simulation of the far-field tsunami caused by the 2011 Tohoku earthquake, including the effects of Boussinesq dispersion, seawater density stratification, elastic loading, and gravitational potential change. *Ocean Modeling*, 111, 46-54, 2017.
- [2] Sugawara, D., Yu, N. T., Yen, J. Y., Estimating a Tsunami Source by Sediment Transport Modeling: A Primary Attempt on a Historical/1867 Normal - Faulting Tsunami in Northern Taiwan, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124, 1675-1700, 2019,