

## 令和 7 年度 あらゆる津波過程の解明に資する数値的研究

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<sup>\*1</sup>, 大林 涼子<sup>\*1</sup>, 王 宇晨<sup>\*1</sup>, 高橋 成実<sup>\*1</sup>, 徳田 達彦<sup>\*1, \*2</sup> 栗原 朋也<sup>\*1, \*2</sup>, 染矢 真好<sup>\*3</sup>, 岡田 泰典<sup>\*4</sup>, 有川 太郎<sup>\*2</sup><sup>\*1</sup> 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, <sup>\*2</sup> 中央大学, <sup>\*3</sup> 東京大学地震研究所<sup>\*4</sup> 防災科学技術研究所

キーワード: 津波数値解析, 非地震性津波, 津波データ同化, 波源推定

## 1. はじめに

地震火山研究部門地球モニタリングセンターでは、巨大地震発生域である南海トラフ等のプレート沈み込み帯や伊豆諸島等の海域火山に対して、海底や海底下で何が起きているか、プレート境界やマグマだまりがどのような状態であるかをリアルタイムで把握することを目指している。そのために、観測技術並びに地下構造モデルを踏まえた解析手法開発を進め、地震や火山、またはそれらに励起される津波に対して、発生から終息までの全過程を予測するための手法を高度化する。

本課題では、海底地すべりや火山噴火によって駆動されるような非地震性津波の発生過程の検討、津波伝播モデルの高度化、津波データ同化や高精細な津波浸水解析を活用した津波過程予測手法の検討、歴史津波研究に資する数値解析を ES4 の計算資源を利用して実施した。

## 2. 主な成果の概要

(1) 2023 年 10 月 8 日鳥島津波の励起過程に関する数値的検討

2023 年 10 月に伊豆・小笠原島弧の孺婦海山周辺で発生した津波は、地震規模に比して大きな振幅を示し、その波源過程について複数の仮説が提案されている。本研究では、孺婦海山カルデラ内部における海底沈降が津波励起に寄与した可能性の一つとして、沈降過程の時間特性が津波波形に及ぼす影響を数値的に検討した。

波源域の流体応答を表現するため、三次元非圧縮性流体モデル CADMAS-SURF/3D (Arikawa et al., 2019) を用いて海底沈降に伴う津波初期波源を計算し、得られた水位変動を長波近似に基づく STOC モデルに接続することで、外洋から八丈島沿岸に至る津波伝播を計算した。海底沈降は単一イベントとして仮定し、沈降完了時間を 1～13 分の範囲で変化させた数値実験を実施した。

計算領域を図 1(a)に示す。孺婦海山の火口を波源とし、八丈島の八重根と神湊における観測波形との比較を行った。孺婦海山の周辺地形は 1987 年と 2023 年に詳細な地形計測 (Fujiwara et al., 2024) が実施されており、火口周辺では、鉛直方向に 400m の陥没が確認された。本研究ではこの陥没形成速度を変数とし、陥没完了時間を 1 から 13 分で完了すると仮定した数値実験を実施した。

その結果、沈降完了時間の違いに応じて津波波形の振幅および周期特性が系統的に変化することが示された。

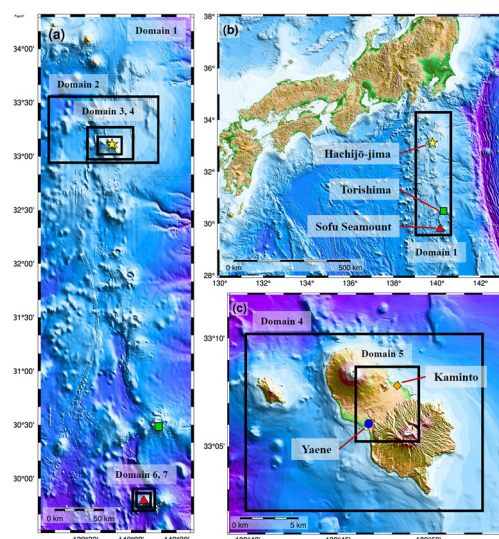


図 1 数値計算領域 (左) と観測と計算の比較 (右)。

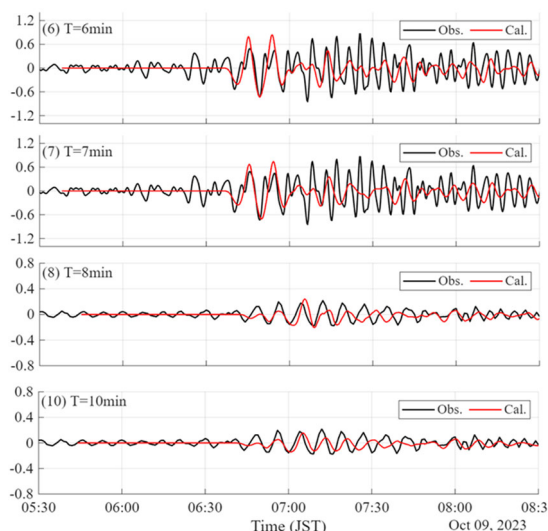


図 2 数値計算領域 (左) と観測と計算の比較 (右)。

短時間の沈降では高振幅・短周期の津波が形成される一方、沈降が長時間にわたる場合には振幅が抑制され、周期が長くなる傾向が確認された。八丈島の観測津波波形との比較からは、8 分程度の沈降完了時間を仮定したケースにおいて、振幅および周期の両面で比較的良好な整合が得られた。本研究の結果は、孺婦海山における海底地形変化が津波発生に関与した可能性の一つを、沈降過程の

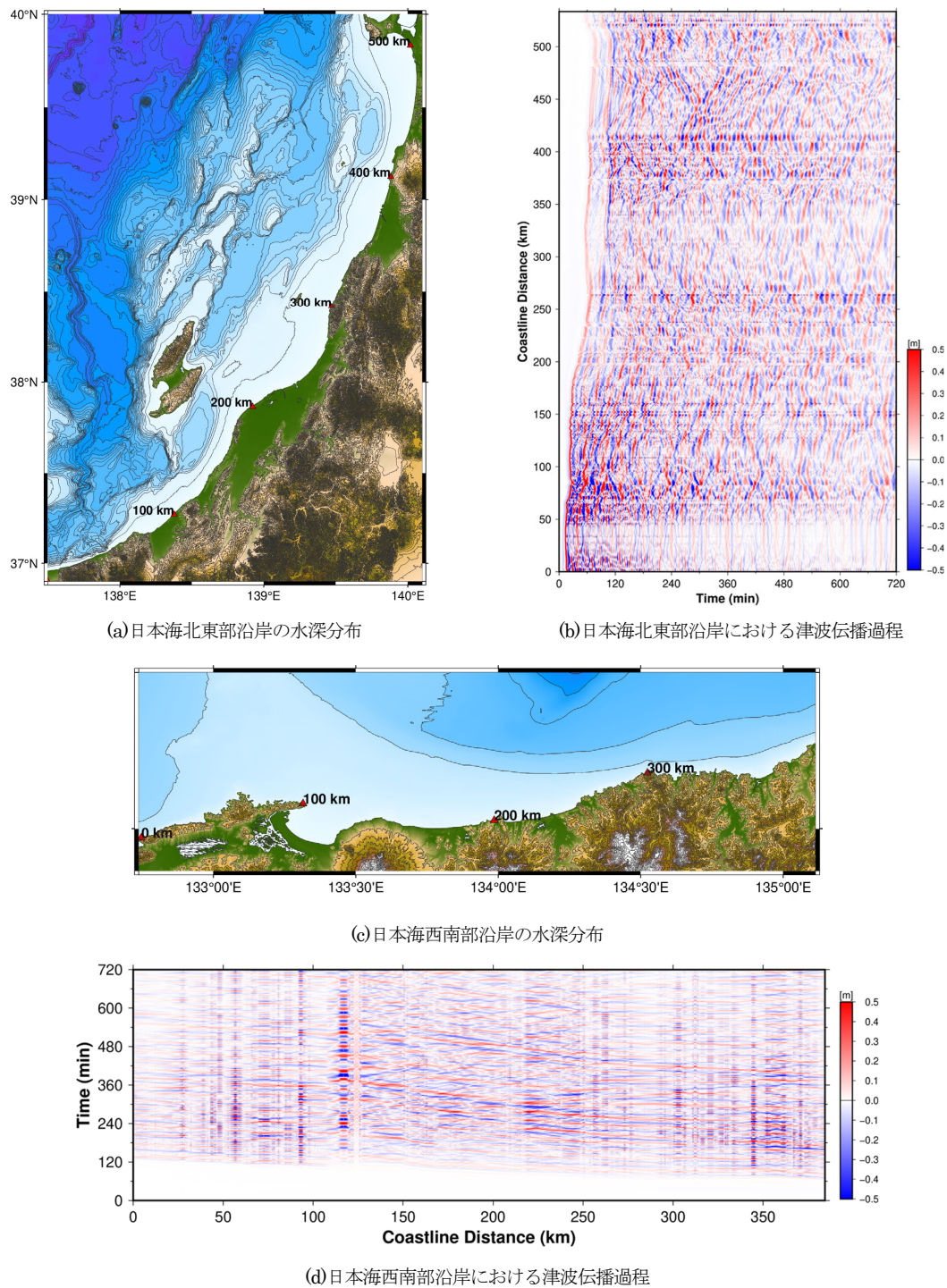


図3 2024年能登半島地震津波による沿岸での津波伝播過程.

時間特性という観点から示すものであり、火山性津波における波源時間スケールの重要性を示唆している。本研究で用いた数値実験の枠組みは、将来的な火山性津波ハザード評価やシナリオ検討において有用な基礎情報を提供するものと考えられる。

## (2) 2024年能登半島地震津波の広域伝播特性

2024年1月1日に能登半島でMw7.5の地震が発生した。この地震に伴い日本海側の広範囲で津波が観測された。その中でも、東北日本海沿岸や山陰沿岸においては、

地震発生から3時間以降で最大波が観測されており、この要因については明らかにされていない。これらの要因を探るために、秋田県から鳥取県までを含む広域での津波数値解析を実施し、波源遠方における後続相の最大波の発生過程について検討を行った。

津波解析は統合数値解析コード JAGURS (Baba et al., 2015) を利用し、非線形長波理論に基づいている。利用した地形モデルは、地震探査時に取得された海底地形データを加えた日本海全域及びその周辺の地形データを用い

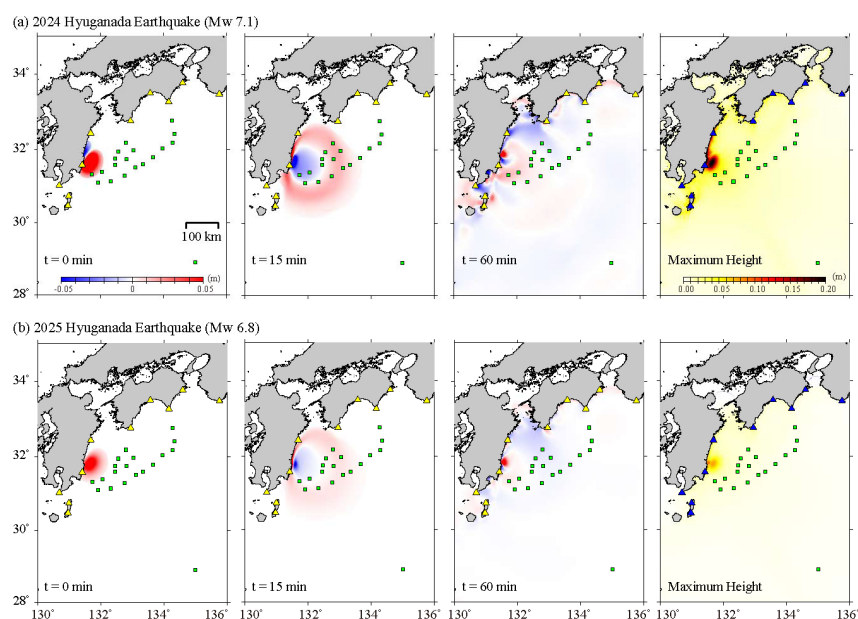


図4 波源断層モデルによる2024年および2025年イベントによる津波伝播特性.

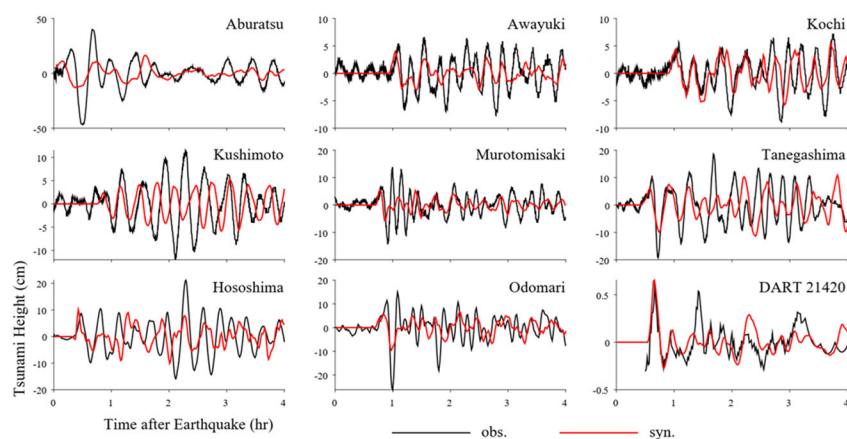


図5 2024年イベントの観測と計算波形の比較.

て統合された全域1.8秒格子角の海底地形モデル(野・他, 2016)である。波源断層モデルは、Fujii & Satake (2024)を用いた。

日本海側の広域での計算結果から、秋田と鳥取の第2, 3波は、能登半島北側に位置する舢倉島の散乱による影響が大きいくことを確認できた。また、3~5時間後の最大振幅については、エッジ波が励起され、男鹿半島などの湾曲した海岸線形状により反射波が生じ、それらが重なり合い、津波高が増大したと考えられる(図3)。

### (3) 2024年日向灘地震による津波の特徴

日本南西沖の日向灘は、南海トラフ沈み込み帯の南西端に位置し、M7クラスのプレート境界地震が繰り返し発生してきた地域である。2024年8月8日、日向灘でMw 7.1の地震が発生し、中規模の津波を引き起こした。さらにその5か月後の2025年1月13日には、同じ地域でMw 6.8の地震が発生し、この地震でも津波を伴った。本研究では、観測波形解析・スペクトル解析・数値解析を組

み合わせることで、これら2つの事象に伴う津波の波動伝播特性(図4)を調査した。

津波観測波形においては、最大津波高は油津検潮所で観測され、2024年のイベントでは0.40 m、2025年の意念とでは0.15 mであった。沖合の圧力計では、最大1~2 cmの津波高が観測された。両事象ともに、振幅が急速に減衰する特性を示した。

スペクトル解析の結果、両津波は類似した周波数特性を示し、2024年のイベントでは24.4分および11.6分となった。2025年のイベントでは9.8分、28.4分、6.2分にピークが認められた。ほとんどの観測点では顕著な共振現象は確認されなかったが、2025年事象において室戸岬では弱い共振効果が観測された。このことは数値解析でも検証を行い、観測と同様の傾向を得ることができた(図5)。

### 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）に最適化された解析コード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。

## 謝辞

本研究は KAKENHI（基盤研究（B）：24K01140）、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] Arikawa, T., Y. Chida, K. Seki, T. Takagawa, K. Shimosako, Development and applicability of multiscale multiphysics integrated simulator for tsunami. Journal of Disaster Research 14(2):225–234. 2019.
- [2] Fujiwara et al., 2024
- [3] Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, T. Kato, Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, Pure Appl. Geophys., 172, 3455–3472, 2015.
- [4] 野 徹雄, 平松 孝晋, 佐藤 壮, 三浦 誠一, 千葉 達朗, 上山 沙恵子, 壺岐 信二, 小平 秀一, 日本海及びその周辺の地形データの統合と赤色立体地図, JAMSTEC Report of Research and Development, 22, 13-29, 2016.
- [5] Fujii, Y., K. Satake, Slip distribution of the 2024 Noto Peninsula earthquake (MJMA 7.6) estimated from tsunami waveforms and GNSS data. Earth Planets Space 76, 44, 2024.