

即時津波浸水予測に向けた高分解能・量的津波シミュレーション

課題責任者

馬場 俊孝 徳島大学 工学部建設工学科

研究分野

地震・津波・固体地球分野

1. 研究の目的と意義

現在、日本では気象庁により津波警報システムが運用され、地震発生後約3分という驚異的な速さで沿岸部の津波高さの予測が完了する。これは、予め多数の震源モデルによる津波計算を実施、結果をデータベース化し、地震発生後に得られる震源情報を基にシナリオを選択することにより、高速処理を実現している。一方、津波発生直後の避難行動は、人が特性として持つ正常化バイアスなどによって阻害されると指摘されており、実際2011年の東日本大震災では、津波警報が3分後に出されたにも関わらず、避難をしなかった人もしくは避難が遅れた人は、犠牲者のうち約半数を占めるといった報告もある。このため、避難行動を促進する情報とその提供の仕方が議論されている。

津波予報として発表される沿岸部の津波高さの情報だけでは、住民が住む住居まで津波が到達するかどうか定かではないから、正常化バイアスの恰好の標的になってしまっているという側面がある。このため、住民の我が事感が増すように、沿岸部の津波高さの予測のみならず、陸上への高分解能な浸水予測を即時に高分解能で提供できれば、避難行動が促進されるものと期待される。ただ、広域・高分解能な津波浸水計算をリアルタイムで完了するのはさすがに難しい。しかし、気象庁が運用する津波

警報システムの方法で、多数のシナリオに基づく津波浸水データベースを予め準備しておけば、地震発生後即時にシナリオ検索で浸水予測を提供することは可能である。この発想はこれまでもあったが、多数のシナリオを浸水が評価できるほどの高分解能、広域に実施するには膨大な計算資源が必要で実現不可能であった。ES2の後継機の登場により、これが実現できる環境になりつつある。

2. 研究内容

本研究では上記の目的のため、高分解能・量的津波シミュレーションを実施する。本研究のオリジナリティは、1) ESを用いて多数のシナリオに対する高分解能な津波浸水データベースを構築することと、2) そのデータベースを利用した災害情報システムを地方自治体（和歌山県）と連携して開発するという2点である。和歌山県とは、平成25年度から地震津波観測監視システム（DONET）のリアルタイム波形表示システムと津波増幅率を用いた津波予測システムの研究開発を実施しており、プロトタイプシステムが完成しつつある。本研究で作成される高分解能・量的津波データベースは、津波予測機能の核として、当該システムに活用される（図1）。

～研究体制図(全体)～

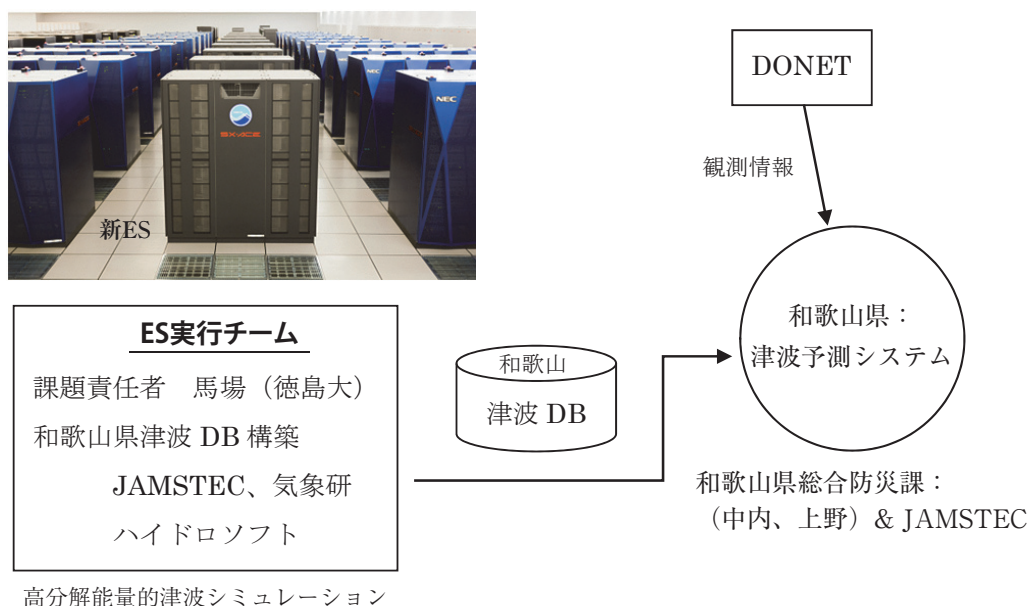


図1 本研究の全体像と体制。

3. 研究成果

津波襲来の危険性のある和歌山県沿岸部全域の約 5m 分解能の地形データを作成し、高分解能な津波シミュレーションを実施した（図 2）。南海トラフで発生する地震群を検討し、Mw7.6～Mw8.5 の 1500 を超える断層シナリオに対して繰り返し津波計算を行った。DONET の海底水圧計の設置位置や検潮所の設置位置での計算波形、最大津波高だけでなく、最大浸水深分布のデータもデータベース化した。

津波データベースの構築においては計算の効率を上げるため、和歌山県沿岸部を 24 の地域に分割して計算を実施した。新 ES の利用前には JAMSTEC の SC-ICE を利用していたが、新 ES では残りの 23 地域のすべての計算を約 2 か月半、特別推進課題の期間中に完了することができた。驚異的な速さである。データベース構築の高速化は、リアルタイム津波予測システムの構築の高速化に直結し、地域の津波防災の高度化に貢献すると期待される。

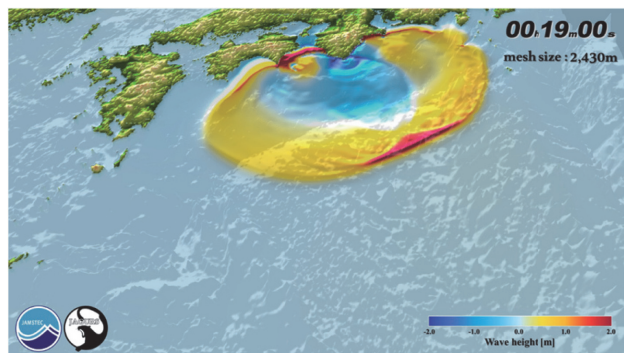


図 2 本研究で実施した津波シミュレーションの例。

4. 想定される波及効果

本研究によって構築される津波データベースは、前述のとおり、すでに津波予測システム（研究開発段階）への取り込みが決定している。特に和歌山県のシステムにおいては、すでに気象庁から津波予報許可を得て、実装へ進んでいる。DB の構築も含めて、津波高さだけでなく津波浸水の即時予測が実現することにより、津波被害の軽減に資すると期待される。

さらに津波 DB は津波危険地帯に住む住民や自治体の事前訓練や対策にも役に立つ。国が公表した最大クラスの津波は重要なハザード情報ではある。しかし、実際に起こる津波は多様であるとともに、地震のマグニチュードと頻度の関係（G-R 則）を考えれば、最大クラスの津波よりも小さな地震（とはいえ、大地震）による津波のほうが確率的には大きい。そのような津波がどこまで浸水するかをきちんと把握し、対策を講じることは、実は最大クラスの津波に備えると同等に重要である。しかし、現在は最大クラスの津波ばかりが注目され、この観点が欠けている。そちらでも本津波 DB を活用する予定である。

また、津波 DB による津波予測をさらなる高度化を目的として、DONET をはじめとするリアルタイム観測情報の利用が促進されると期待される。また、逆に津波 DB の精査からどのような観測をすれば津波予測を高度化できるかなどの提案ができると考えられ、観測システムの高度化にも資する可能性がある。

Simulation Database for Real-time Prediction of Tsunami Inundation

Project Representative

Toshitaka Baba Tokushima University

Author

Toshitaka Baba Tokushima University

While quick prediction of coastal tsunami height along the Tohoku coast, some of coastal residents did not evacuate and lost their lives due to possibly normalization bias or insufficient knowledge of tsunami risk during the 2011 Tohoku earthquake. Accordingly, we investigate a new tsunami prediction scheme that can provide information of not only coastal tsunami height but also tsunami inundation map in real time. We applied a database-driven system because it appears high reliability during even in emergency time, just picking up an appropriate scenario from the database. However, huge computational resources are required for preparation of all tsunamis that could occur in the Nankai trough. We used Earth Simulator to construct a simulation database of tsunami inundation in coastal area of Wakayama prefecture including about 1500 scenario tsunamis with high spatial resolution. It was already embedded in a tsunami prediction system operated by Wakayama prefecture. By using Earth Simulator, creating database was finished by about 25 times faster in comparison with processing on a mid-scale cluster computer.

Keywords: Tsunami, Nankai trough, tsunami early warning, simulation database

1. Introduction

An early tsunami warning is working in Japan operated by Japan Meteorological Agency (JMA). It continuously monitors seismic and tsunami data to choose an appropriate scenario for coastal tsunami heights from pre-computed tsunami database based on result of quick analysis of epicenter and earthquake magnitude. They can provide issues very quick, within 3 minutes after earthquakes occur. It is one of the world-most advanced tsunami warning systems. However, some of coastal residents who needed to evacuate from the 2011 Tohoku tsunami did not follow the evacuation order from JMA. This might be caused by normalization bias or lack of sense of tsunami risk. We accordingly started to investigate how to disseminate tsunami information that enhance tsunami evacuation actions.

Information of the coastal tsunami height may be insufficient for residents living slightly away from the coast, but there is still tsunami risk, because they do not know whether tsunami reach their houses. This fact may be leading to the normalization bias. We therefore propose to predict not only coastal tsunami height but also inundation on land so that the residents could know if tsunami reaches or not to their houses. Database-driven tsunami prediction is a candidate to provide inundation map in real time. However, we ask huge computational resources to prepare inundation maps with high spatial resolution for many earthquake (tsunami) scenarios possibly occur in the Nankai trough. In this study, Earth simulator contributes constructing a simulation database for real-time tsunami inundation prediction in a local government in Japan.

2. Simulation database of tsunami inundation

We used a tsunami calculation code called JAGURS that solves nonlinear long-wave equations with a nested algorithm on a staggered, leap-frog finite differential scheme (Baba et al., 2015[2]). This code was paralleled by using OpenMP and MPI.

In this study, we constructed a simulation database for Wakayama prefecture which is located in facing to the Nankai subduction zones. For earthquakes possibly occur in the Nankai trough subduction zone, at first, we constructed about 1500 earthquake scenarios by referring tectonics and historical subduction zone earthquakes in the Nankai trough. The magnitude of the scenario earthquakes ranged from 7.2 to 8.4. The fault length and width and amount of slip were determined from the magnitude by a scaling law (Utsu 2001[5]). In order to calculate efficiently, the coastal region in Wakayama prefecture was divided to 24 sub-regions, that is 24 sets of nested grids. By using this population of fault models and sub-regions, we repeatedly calculated tsunami inundation by 1500 scenarios x 24 sub-regions times on Earth Simulator. Spatial resolution of topographic data was set to be 5m interval near the coast. All computed inundation maps and tsunami waveforms at the coastal tide gauges and the offshore GPS buoy and bottom pressure gauges (BPGs) in the Nankai trough were stored in a database.

This simulation database have already been embedded in a regional tsunami prediction system operated by Wakayama prefecture. This system uses offshore tsunami data observed by BPGs of DONET (Dense Ocean-floor Network for Earthquakes and Tsunamis, Kaneda et al, 2015[4]) and amplification relationship between coastal and offshore tsunami heights (Baba

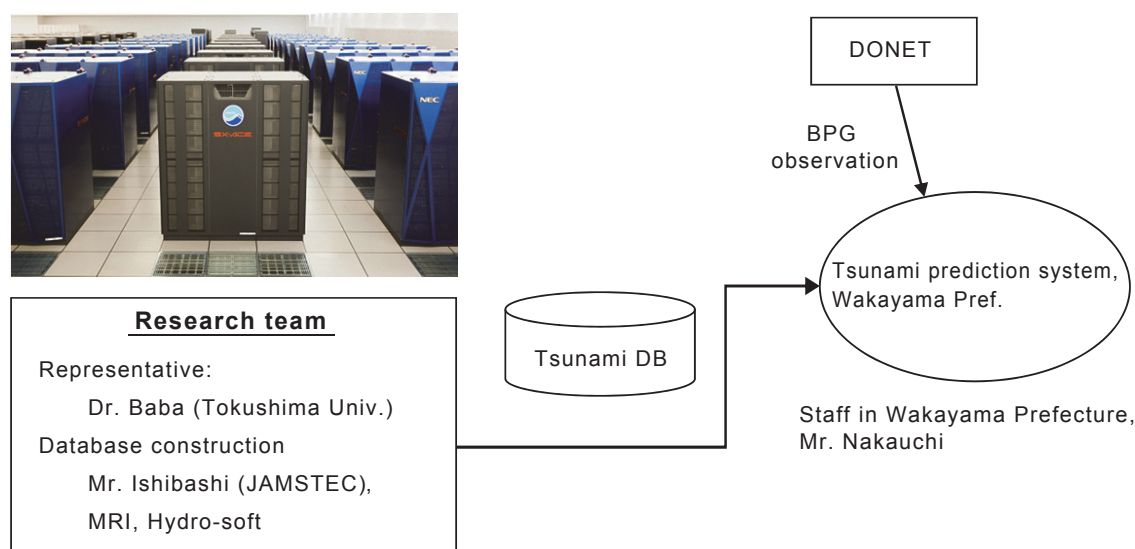


Fig. 1 Research framework

et al., 2014[1]) to select the best scenario from the simulation database (Fig. 1). Because this prediction method depends on tsunami data itself, not seismic data, it has an advantage in case of tsunami earthquakes (Kanamori, 1972[3]) which generate unexpectedly large tsunami with weak seismic shaking. While many tsunami early warnings around the world rely on the seismic data because it travels faster than tsunami, but these systems cannot predict accurately tsunami generated from tsunami earthquakes.

3. Speed-up in constructing database by using Earth Simulator

We have used a cluster computer of JAMSTEC (SC-ICE) to create the database before this study. Wall-clock time was about three months to calculate for 1500 scenarios per one sub-region including data preparations, executions on SC-ICE consist of job waiting time and calculation time, and time for post processing. Calculations remaining 23 regions were finished in only two and half months with Earth Simulator. It was practically fast. Creating simulation database of tsunami inundation for all possible scenarios is key to come true real-time prediction of tsunami inundation area. We hope our achievement will lead tsunami early warning systems to next generation scheme that enhances evacuation actions among residents.

4. Conclusion

We used Earth Simulator for mitigation of tsunami disaster from a point of view of development of advanced tsunami early prediction. Earth Simulator contributed creating pre-computed tsunami database which includes not only coastal tsunami height, but also predicted inundation area. We took into account about 1500 scenario tsunamis and calculated tsunami inundation with high-spatial resolution of 5m interval for all coast of Wakayama prefecture. Huge computational cost was required but we could finish the calculations in two and half

months by using Earth Simulator. It is reasonable wall-clock time. Although we have to still investigate an effective method to choose an appropriate scenario from the database, the tsunami database system created in this study is a basis needed in any selection algorithms.

Acknowledgement

We received kind supports from Center for Earth Information Science and Technology. Especially, we thank Mr. Yoshiyuki Imato and Dr. Hitoshi Uehara for continuous technical supports.

References

- [1] Baba, T., N. Takahashi, and Y. Kaneda, Near-field tsunami amplification factors in the Kii Peninsula, Japan for Dense Oceanfloor Network for Earthquakes and Tsunamis (DONET), *Mar. Geophys. Res.*, 35, pp.319-325, DOI 10.1007/s11001-013-9189-1, 2014.
- [2] Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, and T. Kato, Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, *Pure appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-015-1049-2, 2015.
- [3] Kanamori, H., Mechanism of tsunami earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 6, 346-359, 1972.
- [4] Kaneda Y., N. Takahashi, T. Baba, K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Nakamura, S. Kamiya, K. Ariyoshi, T. Hori, M., Hyodo M. Nakano, J.-K. Choi, S. Nishida, and T. Yokobiki, Advanced Real Time Monitoring System and Simulation Researches for Earthquakes and Tsunamis in Japan, in V. S.-Fandiño et al. (ed.) : *Post-Tsunami Hazard: Restoration and Reconstruction*, SPRINGER, pp. 179-189, doi:10.1007/978-3-319-10202-3_12, 2015.
- [5] Utsu, T., *Seismology*, third edition (in. Japanese), 376 pp., Kyoritsu Pub., Tokyo, 2001.