

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760396

研究課題名(和文)アダプティブ有限要素法を採用した高解像度瀬戸内海流動モデルの開発

研究課題名(英文)Development of a high-resolution Seto Inland Sea circulation model with adaptive mesh refinement method

研究代表者

李 漢洙 (Lee, Han Soo)

広島大学・国際協力研究科・助教

研究者番号：10535082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東日本大震災の教訓を活かし、瀬戸内海では南海トラフの巨大地震による津波に対する沿岸域防災対策の再検討が行われている。また、これまでの水質環境問題に加え、陸域負荷の変化、気候変動に起因する台風・高潮の巨大化に対する防災、および異常潮位や温暖化などの外洋域の影響、沿岸環境変化予測などの多様な問題があり、その対応が強く求められている。本研究は、瀬戸内海の多くの島や複雑な海底地形の特異性を十分考慮できる、適合格子細分化を用いた高解像度「瀬戸内海流動モデル」を構築し、その計算結果から、瀬戸内海における防災対策および沿岸環境管理の有意義な資料として提案および発信するものである。

研究成果の概要(英文)：The Tohoku tsunami on 11 March 2011 brought an unprecedented and unexpected level of disasters. Since then, coastal defenses are required to be revised against possible very large earthquakes, tsunamis and storm surges. In the west Japan, the potential earthquake and consequential tsunami expected to occur along the Nankai Trough in the next 30 years is a formidable coastal disaster to be considered.

The Seto Inland Sea (SIS) is the largest enclosed coastal sea in the west Japan including approximately 1000 islands and a number of narrow straits (Seto in Japanese) connecting the basins and bays. The tides are important physical processes in the coastal environment. Therefore, it is critical to take the impacts of tides on extreme tsunami propagation in the SIS into account for coastal protections.

We investigated the impacts of tides on potential tsunami propagation due to the Nankai Trough earthquake in the SIS by numerical experiments using adaptive mesh refinement method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：瀬戸内海 津波 潮汐 南海トラフ 適合格子細分化

1. 研究開始当初の背景

2011年東日本大震災の教訓を活かし、瀬戸内海では南海・日向灘連動地震による巨大津波に対する沿岸域防災対策の再検討の必要がある。また、これまでの水質環境問題に加え、陸域負荷の変化、気候変動に起因する台風・高潮の巨大化に対する防災、および異常潮位や温暖化などの外洋域の影響、沿岸環境変化予測などの多様な問題があり、その対応が強く求められている。しかし、瀬戸内海では、活発な漁業や海運活動のため長期海況観測を行うことが困難であり、数値モデルによる詳細流況情報の獲得は極めて重要である。

2. 研究の目的

瀬戸内海における自然環境の特徴としては、(1)多くの島、および(2)海峡部の速い流れと閉鎖性港湾の停滞性流れのような複雑な流動場、の二つが挙げられる。瀬戸内海の防災(主に、津波および高潮)と環境(主に、流れ、物質移動、および植物プランクトン変化)の数値解析には低い解像度(格子間隔)を持つ静水圧近似の方程式に基づく準3次元海洋モデルがよく使われてきた。しかし、このような従来のモデルでは計算負荷に伴う空間解像度の制限問題のため、小さな島や狭い海峡および水路の3次元地形特性が考慮できず、精密な流れの鉛直成分計算が不十分であり、沿岸域まで正確に考慮した瀬戸内海全域のシミュレーションは極めて困難であった。このため、過去瀬戸内海における数値モデルを用いた研究では、関心地域にフォーカスした制限的領域のモデリング研究が多い。近年報告された、瀬戸内海全海域を対象にした数値モデル研究では、1 kmの空間解像度を持つ静水圧近似に基づいた海洋モデルを用い、全海域での循環特性の把握を行ったが、これは瀬戸内海の島々と狭い海峡や水路を解像するのが困難であり、精密な流況に基づく瀬戸内海環境情報の獲得には数値モデルの空間解像度と物理過程における改善が必要である。

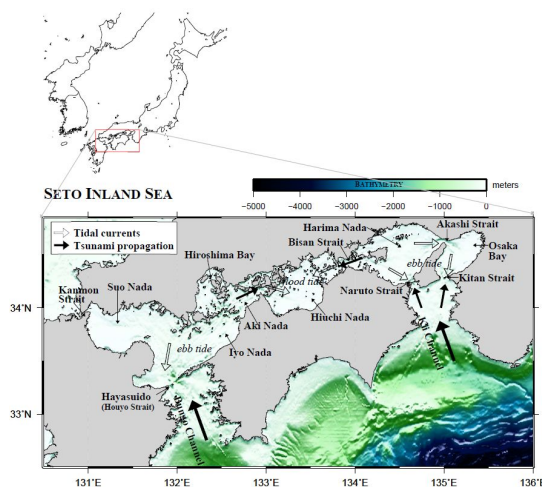


図-1 瀬戸内海地理的特徴と津波・潮汐相互作用の概略図

本研究では、以上のような研究背景や社会的ニーズに対応するため、瀬戸内海における防災と環境両面から、近未来に懸念される巨大津波の襲来、複雑な流れ場、物質移動にたいし、瀬戸内海の複雑な海底地形の特異性を十分考慮できる、適合格子細分化 (adaptive mesh refinement)を用いた高解像度「瀬戸内海流動モデル」を構築し、その計算結果から、瀬戸内海における防災対策および沿岸環境管理の有意義な資料として提案・発信するものである。

3. 研究の方法

本研究の重要な意味として、潮汐との相互作用を考慮した巨大津波伝播シミュレーションと高解像度3次元瀬戸内海流動モデリングのためには、適合格子細分化を利用することにより、今までの有限差分法における空間解像度による脆弱性を克服することができる。さらに、停滞性海域における内部波による垂直混合、流れ特性の再現には非静水圧運動量方程式を解くことで、精密な3次元の流動場の特性が把握できる。

空間を格子分割して行われる数値計算においては、その精度は格子サイズに強く依存しており、格子サイズが小さいほどその精度は向上する。一方で、計算精度を必要とする部分は、計算領域の一部分であることが多く、この一部分のために計算領域全体を細かい格子にすることは数値計算コストの観点から好ましくない。この問題を解決するために開発された手法の一つがアダプティブ法である。

アダプティブ法とは、計算精度を必要とする部分のみの格子を細分化する手法であり、より少ない計算負荷で有効な計算を行うことが可能な手法である。具体的には境界近傍や物理量の変化が激しい領域が、格子が細分化される箇所であると考えられる。計算される物理量は時間に伴って変化するものであり、この非定常の変化に合わせて格子のサイズを追従させることで精度のよい計算を行うとするものである。瀬戸内海のモデリングでは、物理量として自由表面の勾配を考慮することで、精度のよい解析を目指した。

4. 研究成果

本研究の具体的な実施内容は、1)瀬戸内海における想定 Mw9.0 の東海・東南海・南海連動地震による巨大津波の伝播シミュレーションを行った。その際、瀬戸内海の沿岸環境を支配する重要な要素である潮流との相互作用を考慮した津波の伝播挙動を定量的に把握した。さらに、1)に続き、2)瀬戸内海の3次元の高解像度流動場のシミュレーションを行った。その際には、有限要素法による詳細な島々や海岸線の再現、表面からの運動量・熱・淡水フラックスや河川流量、海洋からの流入・流出量などの境界条件を考慮し、精

度向上を図った。

潮汐の影響を考慮した瀬戸内海における津波伝播計算の主な結果は以下である。1) 大阪湾と播磨灘では、最大津波高さは湾の固有周期に強く依存しており、津波発生侵入後から継続的に津波に対する注意が必要である。2) 燧灘より東側では、潮汐を考慮した場合でも最大津波高さ、伝播特性にはあまり影響がない。3) 燧灘では、太平洋からの津波伝播に加えて、潮汐の影響、内部での反射波、副振動の影響が混在する。上げ潮時に外洋から津波が浸入する位相では、その時の波が最大高さとなり津波到達時間が最大4時間も早くなる。4) 燧灘より西側（伊予灘、周防灘）は潮汐の影響が強く、最大津波到達時刻および最大津波高さにおける有意義な差が生じる。5) 潮汐・津波の相互作用により、湾港等の固有周期に対し、より高い周波数で卓越周期が表れる。以上のことより、南海トラフで発生する巨大津波が瀬戸内海に侵入し、内海での伝播・変形特性を再現するためには、潮汐の影響を考慮した津波挙動の解析が重要であることが明確に示された。

この研究成果は、現在国際雑誌に掲載予定である。さらに、この研究成果からは社会貢献のため、潮流位相別津波危険性を表す「潮汐位相別瀬戸内海巨大津波災害マップ」の作成を進めている。

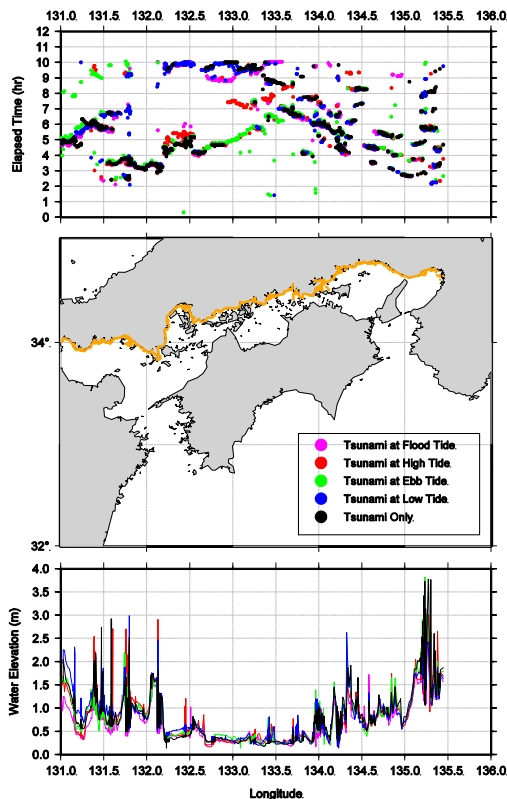


図-2 . 瀬戸内海本州沿岸域における最大津波高さ（下）と到達時間（上）。計算結果は瀬戸内海における潮汐と津波の相互作用を考慮した結果である。用いた津波の初期波形は2012 年中央防災会議に公表した南海トラフに巨大地震による 11 ケースの想定津波初期波形のうち 1 番目である。

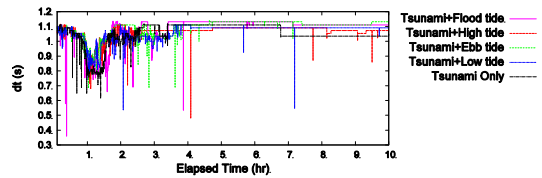


図-3. 津波計算におけるタイムステップ(dt)の時間変化。適合格子細分化により、dt も時間のともに変化する。高精度の計算が要求される場合は dt も小さくなる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. Lee, H.S., 2013. Estimation of extreme sea levels along the Bangladesh coast due to sea level rise and storm surge using EEMD and EVA. *J. Geophys. Res. Oceans*, 118(9), 4273-4285. 査読有, doi:10.1002/jgrc.20310, 2013
2. Lee, H.S., Komaguchi, T., Yamamoto, A., and Masanori, H., 2013. Wintertime extreme storm waves in the East Sea: Estimation of extreme storm waves and wave-structure interaction study in the Fushiki Port, Toyama Bay. *J. Korean Soc. Coastal and Ocean Eng.*, 25(5), 335-347. 査読有, doi: 10.9765/ KSC OE.2013.25.5.335
3. Lee, H.S. and T. Shimoyama, 2013. Impacts of tides on tsunami propagation in the Seto Inland Sea, Japan. *Proc. of the 35th IAHR world congress 2013, Chengdu, China*. 12p. Flash memory. 査読有
4. Lee, H.S., Yamashita, T., Hsu, J.R.C. and Ding, F., (2013). Integrated modeling of the dynamic meteorological and sea surface conditions during the passage of typhoon morakot. *Dyn. Atmos. Oceans*, 59(0), 1-23. 査読有, doi: 10.1016/j.dynatmoce.2012.09.002

〔学会発表〕(計 3 件)

1. Lee, H.S., T. Shimoyama, and T. Yamashita, 2012. Tsunami propagation over the tidal currents in the Seto Inland Sea, Japan, *Proc. of the 18th IAHR-APD congress, 20 Aug. 2012, Jeju, Korea*.
2. Lee, H.S., 2012. Modelling the wave-enhanced storm surge during the passage of Typhoon Morakot, *Proc. of the 33rd ICCE, No.33, 5 July 2012, Santander, Spain*.
3. Shimoyama, T., H.S. Lee, and T. Yamashita, 2012. Numerical experiments of the tsunami propagation over tidal currents in the Seto Inland Sea, Japan, *Proc. of the 33rd ICCE, No.33, 3 July 2012, Santander, Spain*.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://park.saitama-u.ac.jp/~hslee/index.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

李 漢洙 （Han Soo Lee）

広島大学・大学院国際協力研究科・助教

研究者番号：10535082