

令和 3 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13933

研究課題名(和文) 日本南岸流速極値推定のための高解像度海洋ダウンスケーリング

研究課題名(英文) Dynamical downscaling of ocean conditions south of Japan toward predicting extreme current

研究代表者

小平 翼 (Kodaira, Tsubasa)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：60795459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本南岸域には黒潮、潮流、台風等による吹送流といった海洋に強い流れを引き起こす因子が複数存在する。海洋再生可能エネルギーや海洋資源の利用を行うにあたり、このような強い流れを精度良く把握することは重要である。そこで、本研究では既存の海洋情報からさらに詳細な情報を得ることのできる力学的ダウンスケーリングに関して日本南岸域特に潮流が強いことで知られる伊豆諸島地域を対象としてその有用性を検証し、課題を抽出した。また、潮汐の再現性向上に資するスペクトルナッジングの手法の適用例や、伊豆諸島付近での潮流による表層水温低下機構に関して新たな知見を得ることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

黒潮と潮流が混在し、加えて複雑な改訂地形を有する伊豆諸島地域を対象として力学的海洋ダウンスケーリングを実施した。黒潮の再現性ならびに潮流の再現性双方について観測結果との比較を交えて定量的に示すことができ、今後のモデル改善に必要な課題を抽出することができたと考えられ、今後の海洋予報の精度向上につながる社会的意義のあるものだと考えられる。また、潮流の再現性についてはスペクトルナッジングという手法の適用を行い、その潜在性について指摘することができたのも学術的に意義のある研究成果だと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Part of the Northwestern Pacific, south of Japan, is characterized by a distinctive surrounding physical oceanographic feature known as the Kuroshio current. Some regions have relatively strong tidal currents due to the local topography. Besides, typhoon could cause relatively strong currents in the upper ocean. Towards the utilization of the marine renewable energy and marine resources, prediction of the strong currents are of importance for safe operation. We conducted dynamical downscaling of the ocean conditions south of Japan using numerical ocean model. Based on the comparisons with in-situ and satellite observations, we found the downscaling is effective to some extent. We specified several factors for the improvements.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋ダウンスケーリング 黒潮 潮流 伊豆諸島 スペクトルナッジング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋資源、エネルギーの開発を担う海洋構造物は風、波、流れ、すべての存在する海上の過酷な環境を耐え抜く必要がある。特に、日本南岸には黒潮という世界有数の海流が存在する。一般に沿岸部では潮流が卓越するが、日本南岸に対して黒潮の流路によって流れの特性が大きく変化する。加えて、日本は台風の影響にもさらされる。台風下では猛烈な風や波浪に加え、強い吹送流が生じる。このように成因の異なる流れが日本南岸域には存在し、それらを詳細に把握することは今後の海洋開発や航行船舶の安全確保を考える上で必要不可欠と考えられる。

海洋学分野では数値モデルと観測データを融合させるデータ同化技術が活用され、海洋の三次元的な構造を予測あるいは再現する試みが多く行われてきた。日本周辺を対象とした海洋再解析プロダクトは、研究開始当初、過去 20 年以上の水温や流速の日平均値が約 10km の解像度で公開されている。これらを初期・境界条件としてより詳細な海洋状態をより高解像度の数値モデルで再現する手法は力学的ダウンスケーリングと呼ばれ、特定領域における海洋構造の再現に特に威力を発揮する。本研究では、このダウンスケーリングを実施し、日本南岸の表層海流として特徴的な海流・潮流の混在する条件における有効性を検証する。

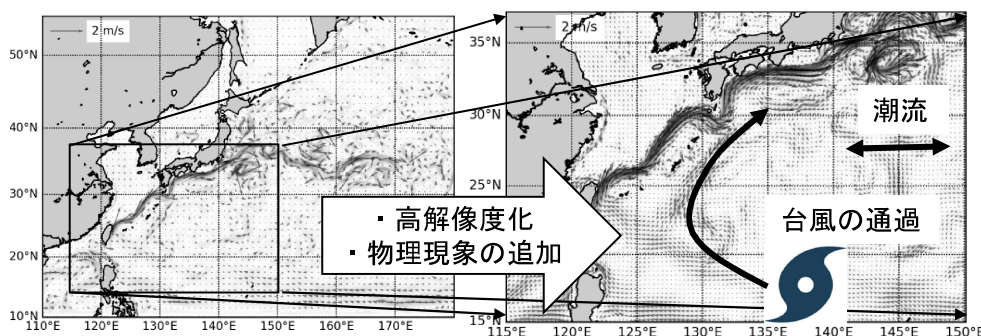


図 1 本研究で実施する海洋ダウンスケーリングの模式図

2. 研究の目的

本研究の目的は日本南岸域の特徴的な条件である比較的強い海流と潮流混在する条件や台風の通過に伴う強い吹送流が混在する条件を再現する手法を構築し、検証を行うことである。特に、向上的に存在し、計測データもより多い海流と潮流に焦点をあててその再現性の向上を主目的とする。

3. 研究の方法

本研究では既存の汎用海洋モデルデータセットを基により精緻な海洋情報を生み出す海洋ダウンスケーリングを行った。力学的ダウンスケーリングの海洋数値モデルには有限体積法を用い、非静水圧計算も実施できるため、沿岸域の高解像度計算に適するものとして利用した。必要な領域海洋モデルの初期条件と、境界条件には三次元変分法を用いた海洋再解析プロダクトである JCOPE2 を線形内挿して用いた。また、高解像度の風データ MSM と潮汐 TPX08 を与え、領域海洋モデルを駆動した。日本南岸域のなかでも黒潮と潮流が双方存在し、相互作用も検討できると考えられる伊豆諸島周辺を試験領域として計算を実施した。研究初年度に超音波ドップラー流速計(ADCP)により伊豆諸島神津島沖で計測された流速プロファイルデータを用いて、モデル検証を行った。そして次年度にはより広域ならびに長期の計算を実施し、潮位計データや海面高度計のデータ、そして衛星海面水温データを用いてモデルの検証を行った。

また、研究開始後に国際交流をする中でカナダ Dalhousie 大学ならびに Environmental and Climate Change Canada とが潮汐の再現手法の高度化としてスペクトルナッジングの導入の検討をしていることが明らかとなった。スペクトルナッジングはこれまで季節変動の再現性の向上などを念頭にして導入された試みがあるが、潮汐に対して活用した例は無かった。そこで、領域モデルへの適用を念頭において、これまで実施されてきていないスペクトルナッジングの導入効果の検証を共同で行った。なお、このスペクトルナッジングの導入に関しては研究代表者と共同研究先の双方が扱える NEMO という海洋数値モデルを用いた。

4. 研究成果

(1) 神津島沖における ADCP 観測に基づくモデル検証

ダウンスケーリングの試験領域として伊豆諸島を対象とし、神津島沖で計測された 2017 年 1 月から 1 ヶ月に及ぶ流速プロファイルデータを用いてモデルで再現された流速の精度検証を行った。また、神津島の潮位計データを用いて潮位変動に関しても検証を行った。検証では、観測結果を黒潮等に由来すると考えられる低周波変動成分と潮汐に起因する高周波変動成分との 2 つに分けて比較を行った。

流速観測データによれば、潮流は頻繁に 1m/s を超えていた。また、水温が上昇しているため黒潮の流入が発生したと考えられる期間には 2m/s を超える強い流れが発生していた。潮汐に起因する高周波変動成分の検証から、次のことが明らかとなった。また、流速のプロファイルは表層付近をのぞいて概ね対数則に沿うものであった。

数値計算結果は、周期的な潮位の変動は概ね精度良く再現できていたが、黒潮通過に伴うと考えられる数日程度の潮位の変動は再現できていなかった。これはモデルの設定あるいは境界条件によるものと考えられる。また流速については、潮流の周期は概ねよく再現できていたが、観測された流速のピークの値は過小評価されており時系列の形状も観測の方がより尖ったものであった。これらはモデル解像度が不足することや、鉛直拡散スキームに不十分な点があり、観測された現象を十分に再現できていないことを示唆していると考えられる。以上の結果は 37th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering にて発表された。

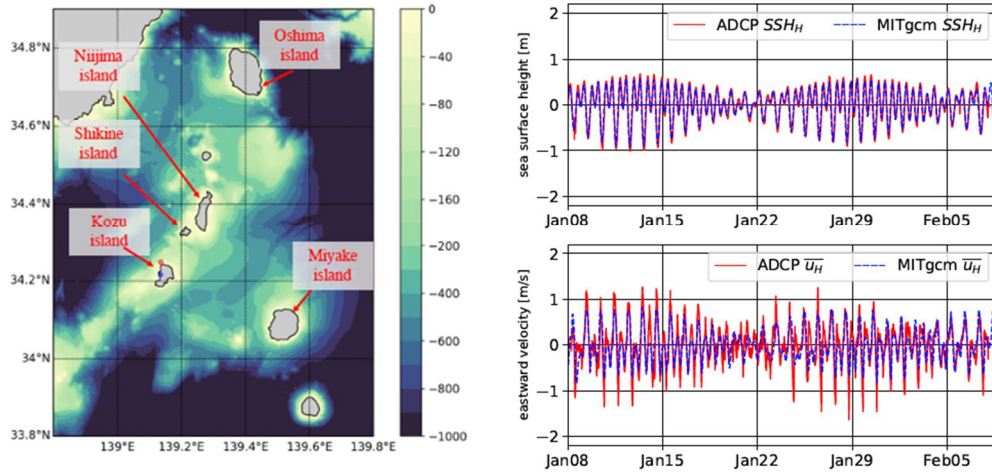


図 2 伊豆諸島北部の地形と神津島沖 ADCP 設置地点（赤丸）と潮位計（青丸）と潮位と潮流に関する観測結果とモデルの比較。

(2) 伊豆諸島付近の潮汐流に起因する表層水温低下

日本南岸の特徴的な流速条件として黒潮と潮流が混在する状況であることが挙げられる。また、上述した(1)より、海洋の成層構造の再現が流れを再現するに必要であることが示唆された。そこで、伊豆諸島付近を対象として、親モデルの表層水温分布と衛星海面水温計測結果の比較を行ったところ、夏季を中心として伊豆諸島付近では島付近で局所的に水温が低下していることが確認された。黒潮が通過することにより冷水渦が発生することは既存研究(e.g., Hasegawa et al., 2004, Isoguchi et al., 2011)で指摘されていたが、水温低下は黒潮が通過していない状況でも確認された。そこで、数値計算を用いて水温低下の力学的機構の解明を試みた。

数値計算の結果、まず冷水渦は潮流を計算に含めることで再現されることが確認できた。そして、水温が低下する原因は周期的な湧昇と鉛直混合にあることが明らかとなった。水温低下は渦の発生と同時に起きており、その渦は定性的に島の直径、地形、そして周囲を流れる潮流に影響されていることが示され、流れを分類する無次元数を提案するに至った。以上の結果は論文として Ocean Dynamics にて発表された。

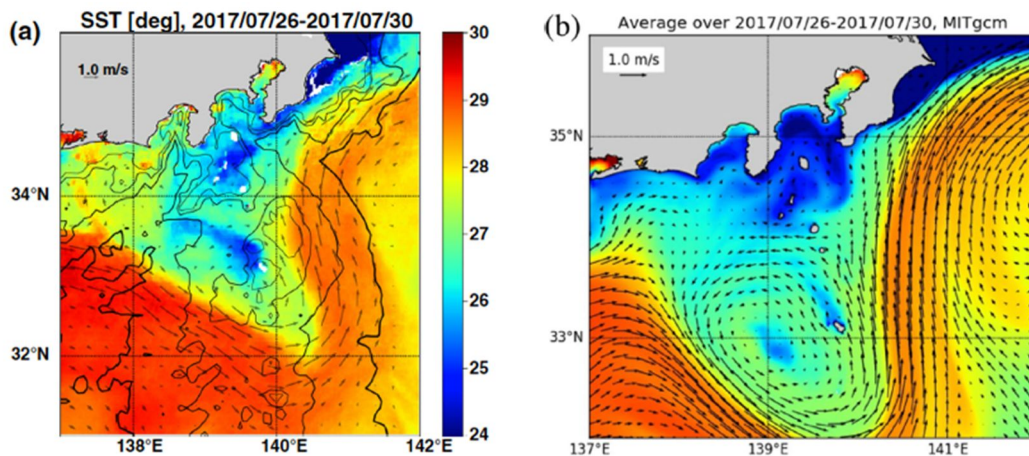


図 3 伊豆諸島の海面水温に関する衛星観測結果(左)とモデル(右)の比較。

(3) 潮汐の再現性向上に向けたスペクトルナッジング手法の適用

潮汐ならびに潮流の再現性を向上させる手法として、スペクトルナッジングの導入効果の検討を行った。スペクトルナッジングはこれまで季節変動の再現性の向上などを念頭にして導入された試みがあるが、潮汐に対して活用した例は無かった。そこで、領域モデルへの適用を念頭におきつつ、海洋数値モデル NEMO を用いて全球での潮汐の再現性向上の検証を行った。全球で実施した理由は多様な条件が検証できること、そして境界条件の影響を受けず、潮汐ポテンシャルによって生成された潮汐に対してのスペクトルナッジングの適用効果を検証可能なためである。

先行研究(Thompson et al., 2006)を参考に再帰型のフィルタを潮汐を対象に構築し、統合水位のモデルから想定したとおり潮汐信号が抽出できることを確認した。次に、全球モデルにスペクトルナッジングを導入し、潮汐ポテンシャルによって駆動された潮汐に対してスペクトルナッジングの効果を検証した。その結果、衛星観測結果との誤差指標(RMSE や σ^2)が低下し、スペクトルナッジングによる効果が期待できることが示された。以上の結果は 38th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering にて発表された。

しかし、海面水位を恣意的に変化させることになり、それは質量保存則を満たさないことに繋がる。そこで、海面水位ではなく、流速の潮流成分を補正することにより、結果として潮位変動を改善する試みを続けて実施し、結果をまとめた論文を Ocean Modeling に投稿し、2021年3月現在査読中である。

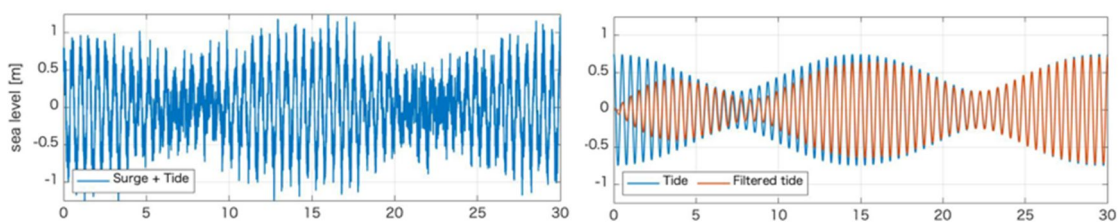


図4 スペクトルナッジング適用の概念図。気象要因と潮汐要因を含めた統合水位のモデル(左)と潮汐成分(右、青線)とスペクトルナッジングを用いて統合水位から抽出した潮汐成分(右、赤線)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsubasa Kodaira and Takuji Waseda	4. 巻 69
2. 論文標題 Tidally generated island wakes and surface water cooling over Izu Ridge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ocean Dynamics	6. 最初と最後の頁 1373,1385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10236-019-01302-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsubasa Kodaira, Natacha Bernier, Keith R. Thompson	4. 巻 9
2. 論文標題 Application of the Spectral Nudging on Global Tides Towards a Global Total Water Level Prediction System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Conference on Ocean, Offshore, and Arctic Engineering (OMAE)	6. 最初と最後の頁 1,6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/OMAE2019-95842	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsubasa Kodaira and Takuji Waseda	4. 巻 10
2. 論文標題 ADCP Observation and Numerical Model Prediction of Tidal Currents Near Kozu Island	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	6. 最初と最後の頁 1,10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/OMAE2018-78220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tsubasa Kodaira, Natacha Bernier, Keith R. Thompson
2. 発表標題 Application of the Spectral Nudging on Global Tides Towards a Global Total Water Level Prediction System
3. 学会等名 ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Kodaira, Natacha Bernier, Keith R. Thompson
2. 発表標題 Spectral nudging of tides in the development of a global total water level prediction system
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Modeling the Ocean (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Kodaira and Takuji Waseda
2. 発表標題 ADCP Observation and Numerical Model Prediction of Tidal Currents Near Kozu Island
3. 学会等名 ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsubasa Kodaira and Takuji Waseda
2. 発表標題 Submesoscale eddies generated by tidal currents around Izu islands south of Japan
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Modeling the Ocean (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小平翼、早稲田卓爾
2. 発表標題 伊豆諸島周辺海域における内部潮汐の発生と表層水温の低下について
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------