

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14329

研究課題名（和文）全球 - 沿岸シームレス極端海面水位モデルの開発と気候変動沿岸リスク評価

研究課題名（英文）Model development of global-coastal seamless extreme sea level and estimation on coastal climate change risk

研究代表者

志村 智也 (Shimura, Tomoya)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：70789792

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：気候変動下の高潮および波浪特性変化に伴う全球極端海面水位変化評価を目的に研究を実施した。全球の高潮および波浪について、外洋域から沿岸域まで高精度な長期気候計算を実施可能とする全球非構造格子モデルを開発した。このモデルにより構築した高潮および波浪全球長期データを用いて、一部地域では平均海面上昇+潮汐+高潮+波浪を考慮した極端海面水位の長期経年変化を評価した。また、全球の過去および温暖化条件下の将来の波浪長期変化特性を明らかにした。日本付近の極端海面水位変化に重要な台風特性については、全球大気気候モデルを用いた独自実験により、自然変動による不確実性を含めて台風強度の強化傾向を予測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動研究の最新の知見を取りまとめる気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書において、2013年発表の第5次報告書までは、沿岸域の脅威として平均海面上昇に焦点を当てていたが、2021年発表の第6次報告書では、高潮や波浪を含む極端海面水位変化を考慮することの重要性が指摘された。本研究は、全球における沿岸域の高潮および波浪を評価可能なモデルを開発し、これまで考慮されてこなかった高潮および波浪特性変化に伴う海面水位変化を考慮した気候変動下における全球の極端海面水位の変化予測につながる知見を得た。今後の気候変動下の沿岸域の適応策策定にとって重要な貢献となる。

研究成果の概要（英文）：The study aimed to evaluate global extreme sea level changes associated with storm surges and wave characteristics under climate change. To achieve this, a global unstructured grid model was developed, enabling high-precision long-term climate simulations from the open ocean to coastal areas. Using the long-term global data on storm surges and waves constructed with this model, the long-term changes in extreme sea levels, considering mean sea level rise, tides, storm surges, and waves, were assessed in certain regions. Additionally, the study elucidated the long-term wave characteristic changes globally, both in the past and under future warming scenarios. Concerning the changes in extreme sea levels near Japan, particularly influenced by typhoon characteristics, original climate experiments were conducted using a global atmospheric climate model. These experiments projected an intensification trend of typhoons with showing uncertainties due to natural variability.

研究分野：海岸工学

キーワード：気候変動 極端海面水位 高潮 波浪 台風

1. 研究開始当初の背景

気候変動は持続可能な社会発展のための喫緊の課題である。沿岸域において構造物の設計や沿岸利用計画などの気候変動に対する適応策を決定するために気候変動下の沿岸外力の変化についての研究がなされている。特に、海水の熱膨張や氷河や氷床の融解などにより駆動される平均海面上昇の研究が行われてきた。沿岸域の気候変動適応策のためには、こうした常時の海面上昇に加えて、気象擾乱によって発生する高潮および波浪による短時間の海面上昇を考慮した極端海面水位の評価が重要となる。気候変動研究の最新の知見を取りまとめる気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の報告書において、2013 年発表の第 5 次報告書までは、沿岸域の脅威として平均海面上昇に焦点を当てていたが、2021 年発表の第 6 次報告書では、極端海面水位変化を考慮することの重要性が指摘され、温暖化した将来では沿岸域の極端海面水位が上昇することを高い確度で予測している。ここでの極端海面水位予測の問題点は、現状の高潮レベルが将来も変わらないとして、そのレベルに海面上昇分を上乘せして評価していることである。しかしながら、気候変動下において、台風や低気圧の個数や強度変化が指摘されており、それに伴う高潮レベルも変化することが考えられ、高潮を現状のレベルで固定するのは妥当な想定ではない。極端海面水位は、海面上昇と高潮に加えて波浪の影響によって左右される。しかしながら、現状の極端海面水位の予測には、その評価が難しいため波浪による海面上昇効果は考慮されていない。

2. 研究の目的

温暖化は全球一様でなく空間的に不均一な昇温パターンを示し、これに伴い降雨や低気圧などの気候変動パターンも同様に不均一となる。つまり局所的な地域の気候変動について評価する場合でも、全球的な気候変動の関係の中で局所的な変動について議論することがその気候学的な理解を深め、気候変動予測の信頼性向上につながる。一方で、沿岸域の適応策に対する工学的なアプローチをとる場合、広い範囲の気候変化傾向より非常に限られた領域の定量的な気候変化情報が必要となる。高潮の気候変動予測については、工学的なアプローチがとられて気候学的なアプローチが不足し予測の因子解析および不確実性評価がなされていない。波浪については、気候学的なアプローチによる進展がみられるが、工学的なアプローチによる沿岸域の定量的評価が不足している。本研究は、全球の沿岸域の高潮および波浪を評価可能なモデルを開発し、これまで考慮されてこなかった高潮および波浪特性変化に伴う海面水位変化を考慮したうえで、気候変動下における全球の極端海面水位の変化予測を定量的に実施することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 全球の高潮および波浪について、外洋域から沿岸域までのシームレスな長期気候計算を実施可能とするモデル開発を行った。このモデルにおいて外洋域を低解像度に沿岸域を高解像度に計算する非構造格子を導入した。過去長期再解析値 JRA-55 を外力として、高潮および波浪の長期計算を実施しその精度検証を行った。

(2) 複数の研究グループが参加する国際波浪気候研究コミュニティ内で、上記の過去長期全球波浪計算を含めた過去全球波浪マルチプロダクトアンサンブルを作成した。このマルチプロダクトアンサンブルを用いて全球波浪場における過去の変化傾向の不確実性を定量化した。また、(1) の全球高潮・波浪モデル結果に基づいて、南アメリカ太平洋沿岸を対象として、平均海面上昇＋潮汐＋高潮＋波浪遡上を考慮した極端沿岸水位の長期経年変化を評価した。

(3) 全球気候モデルによって再現した過去と、温暖化を想定した将来の気候シナリオにもとづき、波浪モデルを用いて地球全体の波浪を計算した。動的クラスタリング法を用いて、世界の代表的な波浪条件を表す波浪気候タイプを分類し、それぞれの波浪気候タイプ毎に気候変動に伴う将来変化を評価した。この方法により、気候変動に伴う大気場と変化と波浪場の変化の物理的な関係を詳細に解析することが可能となる。

(4) 極端海面水位の評価に重要な台風の将来変化について全球大気気候モデルを用いて検討した。短期的な海洋の影響を考慮しつつ計算コストを抑えるため、台風と海面での 1 週間程度の相互作用を簡易に考慮できるスラブ海洋モデルを全球大気気候モデルと結合させ気候実験を実施した。過去の海面水温条件のクラスター分析をもとに、海面水温条件を特定の月に固定した全球大気気候モデルによる新しい気候実験を提案し、通常気候実験では難しい台風特性の確率的な評価を試みた。

4. 研究成果

(1) 非構造格子を導入することにより外洋で粗い解像度、沿岸域で詳細な解像度で計算することができ、効率的な高潮計算が実現した。潮汐データと合わせて、1958 年から 2019 年にわたる全球の高潮データセットを構築した。観測値との比較を実施し良好な計算精度があることが分か

った。さらに、極値統計解析により全球沿岸の極端海面水位を評価した。さらに、全球気象データでは不十分な台風外力精度について、パラメトリック台風を全球気象データに埋め込むことで高精度化し、台風による高潮の計算精度を向上させた。高潮モデルと同様に波浪モデルに関しても、全球非構造格子化を実施し、過去の全球波浪データセットを構築した。波浪観測値との比較により、外洋で構造格子モデルと同程度の精度があることが分かり、沿岸域ではより効率的に詳細な波浪データを得た。

(2) 本研究で構築した過去の全球波浪マルチプロダクトアンサンブルは、さまざまな大気強制力と数値波動モデリングアプローチ間でサンプリングされ、不確実性評価に有用であることを示した。1980年から2014年の間に、波高、周期、波向および季節間のすべての組み合わせで、全球海洋の15~40%にわたって有意な変化傾向があることが分かった。波高および周期の正の変化傾向を持つ地域は、世界の海洋の大部分で負の傾向を持つ地域よりも大きい。南半球のほとんどで波高および周期が上昇傾向にあり、波高のトレンドは最大1-2cm/年に達する。このマルチプロダクトアンサンブルデータは一般に公開しており、広く利用されることが期待できる。また、南アメリカ太平洋沿岸を対象とした平均海面上昇+潮汐+高潮+波浪遡上を考慮した極端沿岸水位の過去長期経年変化を評価では、波浪遡上が支配的な要素であることを示した。また、極端沿岸水位の長期トレンドは、地殻変動による海面水位変化の幅と比肩するため、地殻変動を考慮することが重要であることが分かった。

(3) 今世紀末に波浪パワーは極地と南半球で最も顕著に増加することが予測された。温帯低気圧の強化と極方向へのシフトのため、西から伝搬する波浪気候タイプの波力は高緯度で増加し、中緯度で減少すると予測される。また、全体として大洋の東側の沿岸では南から伝搬する波浪気候タイプが気候変動の影響をより受けやすく、西側の沿岸では東から伝搬する波浪気候タイプが影響を受けやすいことがわかり、それらの波浪気候タイプの発生頻度が増加することが予測される。これまで温暖化に伴う平均海面上昇による沿岸域の脆弱性評価が行われてきた。本研究成果では、波浪の変化は地球全体で一様な変化ではなく、地域および波浪気候タイプによって、気候変動への影響の受けやすさの違いを明らかにした。これは、対象沿岸域の特性に沿った気候変動に対する適応策を検討していくにあたって重要な情報となる。

(4) 2018年の顕著台風を対象に行った海面水温固定気候実験の結果、2018年における日本への接近及び上陸が想定される台風の割合は30-50 m/sで高く、自然変動の範囲内で考えても、2018年は中高強度の台風が去来しやすい環境であったと考えられる。さらに、温暖化条件下の将来気候実験の結果と比較すると、いずれのケースでも台風の平均強度は増加し、また日本に高強度の台風が去来する頻度も上昇することが分かった。特に高強度の台風については、その風速が約1.1倍高まる可能性が考えられる。さらに台風特性の自然変動を捉える海面水温ベースの指標を提案し、平均最大風速の変動の約80%を説明できるとわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Oderiz I., Mori N., Shimura T., Webb A., Silva R., Mortlock T. R.	4. 巻 12
2. 論文標題 Transitional wave climate regions on continental and polar coasts in a warming world	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Climate Change	6. 最初と最後の頁 662 ~ 671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41558-022-01389-3	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 志村智也	4. 巻 48
2. 論文標題 気候変動による全球波浪・高潮特性の将来変化予測研究の進展	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本風工学会誌	6. 最初と最後の頁 253 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5359/jawe.48.253	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 山崎 豪太, 志村 智也, 森 信人, 宮下 卓也	4. 巻 79
2. 論文標題 タイフーンウェーブを対象とした漂流ブイ観測データ同化波浪再解析システムの開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 23-17021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-17021	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 岡田 智晴, 志村 智也, 森 信人, 宮下 卓也, 水田 亮	4. 巻 79
2. 論文標題 スラブ海洋結合全球大気気候モデルを用いた月固定EA実験による顕著台風発生条件における台風特性評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 23-17168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-17168	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 Mori Nobuhito, Shimura Tomoya	4. 巻 1
2. 論文標題 Tropical cyclone-induced coastal sea level projection and the adaptation to a changing climate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cambridge Prisms: Coastal Futures	6. 最初と最後の頁 e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/cft.2022.6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大畑 翔平, 志村 智也, William PRINGLE, 宮下 卓也, 森 信人	4. 巻 78
2. 論文標題 全球非構造格子モデルを用いた過去極端水位の長期評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_943 ~ I_948
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_I_943	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 岡田 智晴, 志村 智也, 森 信人, 宮下 卓也, Adrean WEBB, 水田 亮	4. 巻 78
2. 論文標題 スラブ海洋結合全球大気大循環モデルを用いた月固定EA実験による気候変動の台風への影響評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_955 ~ I_960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_I_955	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 Erikson L., Morim J., Hemer M., Young I., Wang X. L., Mentaschi L., Mori N., Semedo A., Stopa J., Grigorieva V., Gulev S., Aarnes O., Bidlot J.-R., Breivik ?, Bricheno L., Shimura T., Menendez M., Markina M., Sharmar V., Trenham C., Wolf J., Appendini C., Cairns S., Groll N., Webb A.	4. 巻 3
2. 論文標題 Global ocean wave fields show consistent regional trends between 1980 and 2014 in a multi-product ensemble	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-022-00654-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Casas-Prat Merce, Wang Xiaolan L., Mori Nobuhito, Feng Yang, Chan Rodney, Shimura Tomoya	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of Internal Climate Variability on Historical Ocean Wave Height Trend Assessment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 9:847017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.847017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimura Tomoya, Mori Nobuhito, Baba Yasuyuki, Miyashita Takuya	4. 巻 127
2. 論文標題 Ocean Surface Wind Estimation From Waves Based on Small GPS Buoy Observations in a Bay and the Open Ocean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 e2022JC018786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JC018786	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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Shohei Ohata
2. 発表標題 Validation of Long-term Historical Sea Levels Using Reanalysis and Best Track TC Data
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Francisco MOLTENI-PEREZ
2. 発表標題 Long-term Assessment of Relative Sea Level Variability Considering Tectonic Deformations, Sea-level Rise, Storm Surge and Ocean Waves: The Case Study of Chilean Coast
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Gota Yamasaki
2. 発表標題 Typhoon-generated Extreme Wave Reanalysis with Data Assimilation of Drifting Buoy Observations
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shohei Ohata
2. 発表標題 Long-term hindcasts and evaluations of global extreme sea levels using unstructured grid models
3. 学会等名 International Conference on Asian and Pacific Coasts (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Francisco MOLteni-PEREZ
2. 発表標題 International Conference on Asian and Pacific Coasts
3. 学会等名 International Conference on Asian and Pacific Coasts (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚原瑞葵
2. 発表標題 2021年夏季台風を対象とした非構造格子波浪モデルによる高波推算精度の検証
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎豪太
2. 発表標題 タイフーンウェーブを対象とした漂流ブイ観測データ同化波浪再解析システムの開発
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田智晴
2. 発表標題 スラブ海洋結合全球大気気候モデルを用いた月固定EA実験による顕著台風発生条件における台風特性評価
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 志村智也
2. 発表標題 GLOBAL OCEAN WAVES AND STORM SURGE CHANGES UNDER A WARMING CLIMATE
3. 学会等名 37th International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大畑翔平
2. 発表標題 全球非構造格子モデルを用いた過去極端水位の長期評価
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田智晴
2. 発表標題 スラブ海洋結合全球大気大循環モデルを用いた月固定EA実験による気候変動の台風への影響評価
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2022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
---------	---------