

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15099

研究課題名（和文）波浪を気候要素とした全球気候モデル開発と気候変動による沿岸災害評価

研究課題名（英文）Development of Wave Coupled Global Climate Model and Estimation of Climate Change Impacts on Coastal Disaster

研究代表者

志村 智也（Tomoya, Shimura）

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、波浪を考慮した全球気候モデルを開発し、気候システムへの波浪の働き・波及効果について評価した。全球気候モデルと波浪モデルを結合し波浪依存の大気海洋運動量フラックスを導入した結果、波浪効果を考慮することにより、海面上昇や全球気温上昇を左右する海洋貯熱量の過去上昇トレンドの再現性が向上することを示した。さらに日本付近の中緯度において、台風経路に波浪結合の有意な影響があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動が顕在化し台風や豪雨などの極端な気象現象による災害の深刻さが増大するなか、適応策としてのインフラ整備計画・防災対策のために将来気候変動予測の重要性が増している。そのため気候変動予測研究の核である全球気候モデルの高度化・高精度化が必要である。本研究は、全球気候モデルによる気候モデリングにおける波浪要素の重要性を示すものであり、今後の気候変動予測の高精度化に寄与する成果である。

研究成果の概要（英文）：The core of climate change research is Global Climate Model (GCM) and its improvement is important. This study developed the ocean wave coupled GCM and estimated the contribution of waves to global climate system. Implementing the wave dependent air-sea momentum flux into the wave coupled GCM, we showed that the wave coupling can improve the reproducibility of historical ocean heat content which control the sea level rise and atmospheric temperature increase. And, the ocean wave coupling can influence the typhoon track in mid-latitudes. These results indicate the importance considering wave effects in climate modeling.

研究分野：海岸工学

キーワード：気候変動 全球気候モデル 大気海洋相互作用 波浪

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う気候変動の将来予測や特性の解明、気候変動による影響評価が盛んに行われている。土木・水工学分野において気候変動に関する影響評価研究は、全球気候モデルの気候計算結果に多くを依っている。海岸工学分野においては、我々を筆頭に全球気候モデル計算結果にもとづき、海面上昇や高潮波浪への影響評価がなされている。影響評価研究としては、全球気候モデルの結果を効率的・高精度に将来予測につなげることが求められる。

波浪は大気から海上風を通して一方向の影響を受けるだけでなく、大気海洋に対するフィードバックが観測されている。このため、モデル開発の難易度は非常に高いものの、波浪を全球気候モデルに双方向で結合する重要性は高い。我々(Shimura et al., 2017, JGR-Oceans)は、気象研究所の大気全球気候モデルとスペクトル型波浪モデルを用い、波浪依存の海面粗度を導入した波浪結合全球気候シミュレーションを実施した。結果、うねりの卓越度合や波齢といった波浪気候値の空間分布に対応したかたちで海上風速気候値が 15%程度波浪の影響を受けることがわかった。海面粗度は大気境界層の重要なパラメーターであるが、波浪と海洋の相互作用は様々な形で海洋の状態に影響する。海洋の上層約 100m 程度を占める海洋境界層の乱流は、大気との運動量・熱・ガス交換を支配する。全球気候モデルによる気候予測計算において、大気の温室効果ガス濃度や全球平均気温は、この大気・海洋間の交換過程に非常に多くを依るため、海洋境界層の乱流のパラメタリゼーションの精緻化が必須である。気候モデリングにおいて波浪要素の重要性が指摘され始めているが、気候システム内での役割は解明されておらず、気候変動予測にどの程度のインパクトがあるか分からない。

2. 研究の目的

本研究は、気候変動予測の核を担う全球気候モデルの高度化を推し進めるため、気候システム内での大気海洋相互作用を通じた波浪の役割を解明し、これまで開発を進めてきた波浪—大気全球気候モデルに海洋物理過程を導入するものである。既往の研究が全球気候モデルへの数値的な波浪効果の導入に留まるなかで、気候学的解析にもとづき波浪の気候システムへの寄与を解明したうえで、影響評価研究に重要な台風等の極端現象の再現精度向上まで見込んだ革新的な全球気候モデル開発を進める。

3. 研究の方法

(1) 波浪の全球海洋気候への影響を評価することを目的として研究を実施した。現行の全球海洋モデルの大気海洋間運動量フラックスは単純に風速で表現されることが一般的であるが、正確には波浪を介して運動量フラックスが決定される。本研究では、全球海洋気候モデル(MOM5)に波浪依存の大気海洋運動量フラックスを導入した。大気再解析値および波浪長期追算データをもとに過去 60 年の全球海洋数値計算を実施し、全球海洋気候における波浪の役割を評価した。

(2) 波浪の熱帯的低気圧特性に与える影響について評価することを目的に研究を実施した。全球大気気候モデルと波浪モデルを双方向結合し、波齢および波向と風向のずれを考慮した海面抵抗係数を導入し台風計算を実施した。過去、北西太平洋で発生した強い台風 100 個を対象として実験を行い、その平均的な性質を解析することにより系統的な台風への影響を評価した。

(3) 波浪に加え簡易な海洋モデルを結合した大気気候・波浪・海洋結合モデルを開発した。これを用いて気候計算を実施し、短期間の大気海洋相互作用を考慮に入れることによる台風強度の気候スケールでの特性変化について評価した。海洋モデルとしてスラブ海洋モデルおよび 1 次元混合層モデルを海洋モデルとして導入した。さらに波浪モデルにより大気最下層の海面粗度に波浪の効果を与えた。

4. 研究成果

(1) 過去 60 年間の海洋表層流速および海面水温の計算結果を波浪結合の有無で比較した結果、波浪依存の大気海洋間運動量フラックスを導入した全海洋計算で再現精度が向上した。この海面表層の状態の違いにより、海面熱流束および海洋貯熱量に有意な違いが生じる。過去 30 年の海洋貯熱量のトレンドは、波浪結合計算では非結合計算より 16%大きくなり、これは観測値に近づく結果となった。この海洋貯熱量トレンドの違いの原因は南大洋での熱流束の増加率の違いによって説明される。一方で、波浪結合計算での非結合計算と比較して大きな北半球における海洋貯熱量のトレンドは、Meridional Ocean Circulation の違いに起因する。本研究は、過去の気候トレンドの評価を行ったが、波浪結合のトレンドへの有意な影響から、将来予測に関しても波浪を考慮することの重要性が示唆される結果である。この成果は、以下の論文で発表している。Shimura T., M. Hemer, A. Lenton, M.A. Chamberlain and D. Monselesan (2020) Impacts of Ocean Wave-Dependent Momentum Flux on Global Ocean Climate, *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL089296.

(2) 波浪依存の運動量フラックスとして、波齢および波向風向のずれを考慮した海面抵抗係数を用いた。波齢が大きいほど、また風向と波向のずれが大きいほど海面抵抗係数が増幅される。台風進行方向の左側では、海面抵抗係数の波浪による増幅率は右側と比較して大きくなる。台風強度に対する波浪結合の影響はほとんどなく、最低中心気圧の結合・非結合の差は平均で 1hPa となる。ただし、個々の台風に着目すると、差の標準偏差は 7hPa、最大 20hPa の違いがある。台風強度における系統的な差はみられなかったが、台風経路に対して系統的な差がみられた。波浪結合計算では、非結合計算と比較して、日本付近の中緯度では、台風経路が平均的に 1 度(100 km)程度、東側にずれることがわかった。台風経路は指向流(大気上層の風)で決定されることが知られているが、海面の影響で系統的な差が生じるという結果は、台風モデリングに新しい視点をもたらす。長期的な評価を行う気候モデルにおいて台風経路の系統的な誤差は気候変動影響評価に決定的な差異をもたらすため本研究結果は重要な知見である。この成果は、以下の論文で発表している。

Shimura, T., N. Mori, D. Urano, T. Takemi, R. Mizuta (2022) Tropical Cyclone Characteristics Represented by the Ocean Wave Coupled Atmospheric Global Climate Model Incorporating Wave-Dependent Momentum Flux, *Journal of Climate*, 35, 499–515.

(3) 大気気候・波浪・海洋結合モデルを用いて台風再現実験及び気候計算の 2 つのタイムスケールで大気海洋相互作用の台風強度特性に対する影響を評価した。海洋モデルの導入により、台風周辺の高風速域における海洋内部の鉛直混合及び海水温低下を表現した。また、時系列変化から、海水温低下に伴う大気側への熱供給の減少と台風強度の低下が確認された。1 次元混合層モデルによる影響はスラブ海洋モデルによる影響より大きく、台風強度の低下幅に 5~10 倍程度の差がある。スラブ海洋モデルは高強度の台風にのみ影響を与えるのに対し、1 次元混合層モデルではより広範囲の強度幅に影響を与えた。どちらのモデル結合においても、観測と比較して高強度の台風を多く出力する大気気候モデルの系統的誤差が低減された。波浪モデルでは、台風中心構造の細部に影響が生じ、気候値及び海岸工学の分野としては重要な影響が確認された。この成果は、以下の論文で発表している。

浦野 大介・森 信人・志村 智也・水田 亮 (2020) 海洋表層混合を考慮した全球大気・波浪・海洋結合モデルによる台風強度特性の評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 76, pp. I_1117-I_1122.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoya Shimura, Mark Hemer, Andrew Lenton, Matthew A. Chamberlain, Didier Monselesan	4. 巻 47
2. 論文標題 Impacts of Ocean Wave Dependent Momentum Flux on Global Ocean Climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2020GL089296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GL089296	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, 森 信人, 浦野 大介, 水田 亮	4. 巻 76
2. 論文標題 波浪結合全球大気気候モデルによる波向 - 風向のずれを考慮した海面抵抗係数の台風統計量への系統的影響評価	5. 発行年 2020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_151-I_156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.76.2_I_151	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 浦野 大介, 森 信人, 志村 智也, 水田 亮	4. 巻 76
2. 論文標題 海洋表層混合を考慮した全球大気・波浪・海洋結合モデルによる台風強度特性の評価	5. 発行年 2020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_1117-I_1122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.76.2_I_1117	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 志村智也, 森信人	4. 巻 72
2. 論文標題 気候変動による日本周辺の波候スペクトルの将来変化予測	5. 発行年 2019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_1177-I_1182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.75.I_1177	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 Shimura Tomoya, Mori Nobuhito, Urano Daisuke, Takemi Tetsuya, Mizuta Ryo	4. 巻 35
2. 論文標題 Tropical Cyclone Characteristics Represented by the Ocean Wave-Coupled Atmospheric Global Climate Model Incorporating Wave-Dependent Momentum Flux	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 499 ~ 515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-21-0362.1	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 Shimura T., Pringle W. J., Mori N., Miyashita T., Yoshida K.	4. 巻 49
2. 論文標題 Seamless Projections of Global Storm Surge and Ocean Waves Under a Warming Climate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL097427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL097427	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, PRINGLE William J., 森信人, 宮下卓也, 吉田康平	4. 巻 77
2. 論文標題 過去から温暖化条件下の将来へのシームレスな全球高潮・高波評価	5. 発行年 2021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_949 ~ I_954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_949	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, Adrean WEBB, 宮下 卓也, 森 信人, 水田 亮	4. 巻 77
2. 論文標題 CMIP6実験にもとづくスラブ海洋結合全球大気気候モデルを用いた気候変動の台風への影響評価	5. 発行年 2021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_961 ~ I_966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_961	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 2件）

1. 発表者名 志村智也
2. 発表標題 波浪結合全球大気気候モデルによる波向 - 風向のずれを考慮した海面抵抗係数の台風統計量への系統的影響評価
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Shimura
2. 発表標題 FUTURE CHANGES IN SPECTRAL WAVE CLIMATE AROUND JAPAN UNDER GLOBAL WARMING
3. 学会等名 International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Shimura
2. 発表標題 Exploring the sensitivity of global ocean to surface wave dependent processes
3. 学会等名 AMOS-ICTMO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村智也
2. 発表標題 気候変動による日本周辺の波候スペクトルの将来変化予測
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村智也
2. 発表標題 過去から温暖化条件下の将来へのシームレスな全球高潮・高波評価
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2021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