

海洋の渦・前線とそれらが生み出す大気海洋現象の解明

課題責任者

野中 正見

海洋研究開発機構付加価値情報創生部門アプリケーションラボ

著者

馬場 雄也^{*1}, 平田 英隆^{*2}, 野中 正見^{*1}

^{*1} 海洋研究開発機構付加価値情報創生部門アプリケーションラボ, ^{*2} 立正大学データサイエンス学部

キーワード：赤道準2年振動, 積雲対流スキーム, 黒潮続流, 海洋熱波, 豪雨

1. 本課題の概要

本課題では、高解像度の海洋・大気シミュレーションにより、黒潮等の西岸境界流に伴う海面水温前線や中規模渦などの海洋局所構造の変動が海洋や大気の大規模な循環の形成・変動に果たす役割、台風や爆弾低気圧と海洋との相互作用によって生じる影響、また、海洋の微細構造が大規模な海洋循環や生態系に与える影響等々を明らかにすることを目的とする。これらの研究を通じて、気候変動予測や地球温暖化予測では従来ほとんど考慮されてきていない、海洋局所構造の変動とそれらが引き起こす大気海洋現象に対する知見を深めるとともに、地球気候の理解と予測の発展に貢献することを目指している。

本稿では、大気シミュレーションにおいて大気大循環の形成の鍵となる積雲対流スキームが赤道準2年振動に及ぼす影響と、日本東方の黒潮続流の北向きの大きな蛇行が千葉県豪雨に及ぼした影響に関する研究成果を紹介する。

2. QBO バイアスと積雲対流スキームの関係

赤道準2年振動(Quasi-Biennial Oscillation, QBO)は地球規模の大気大循環において重要な役割を果たし、その正確なシミュレーションは季節予測や気候予測の精度向上に寄与するものと考えられる[1]。しかし、現在多くの気候モデルは西風が強く、下部成層圏における QBO 振幅が観測値よりも弱いという共通バイアスを抱えている[2]。モデルが違って同じバイアスを持つということは、多くのモデルで採用されているパラメタリゼーションに、共通の問題があることを意味している。

QBO は対流圏から射出される重力波によって発達することから、重力波に関連したパラメタリゼーションで、不確実性が高いものに原因があると推定される。これらは重力波スキームと積雲対流スキームに絞ることができるが、相互比較を行った先行研究から、重力波スキームが違ってバイアスは改善しておらず、重力波スキームが主な原因とは考えにくい[2]。一方、積雲対流スキームは大気(気候)モデル中で最も大きな不確実性を持つが、現在の気候モデルでも古いスキームをベースとしており、スキームの構造が大きく変わっておらず、モデルバイアスの大きな原因の一つとなっている。

著者らは近年新しい積雲対流スキーム(以下スペクトルスキーム)を開発し[3]、いくつかの実証実験によって、気候モデルの多くが抱える複数のバイアスを開発したス

キームが解決することを示した[4, 5]。このスペクトルスキームを用いることで、重力波が射出される対流圏の循環が改善し、QBO バイアスが解消する可能性がある。また、同じ気候モデルでも積雲対流スキームを切り替えることで、スキームに対する QBO の応答を解析すれば、QBO バイアスと積雲対流スキームの関係が明らかになると期待できる。この研究では以上の点に着目して気候シミュレーション(AMIP 実験)を実施し、解析を行った。

実験に使用したのは大気大循環モデルの AFES ver. 4[6]で水平解像度はT42、鉛直解像度は108層である。重力波スキームには対流活動から直接重力波をモデル化する Beres スキームを用いた[7]。積雲対流スキームに対する QBO 応答を見るために、積雲対流スキームとしてエマニエルスキームとスペクトルスキームを用いた。またコントロール実験をベースに、スペクトルスキームにチューニングを加えたケースも実施した。図1に実験から得られた成層圏における QBO 振幅と平均東西風の比較を示す。エマニエルスキームは成層圏下部でも大きな振幅を示すが、振幅は過剰となっており平均的な西風も強い。スペクトルスキームは先行研究同様に成層圏下部で小さな振幅を示しているが、チューニング次第ではこの過小評価傾向は改善し西風も弱まる。対流圏から射出される重力波を解析したところ、赤道波による影響は限定的で、各ケースの違いを生み出していないことがわかった。従って、これらの QBO 特性の違いは積雲対流スキームによってほぼ決まっている。

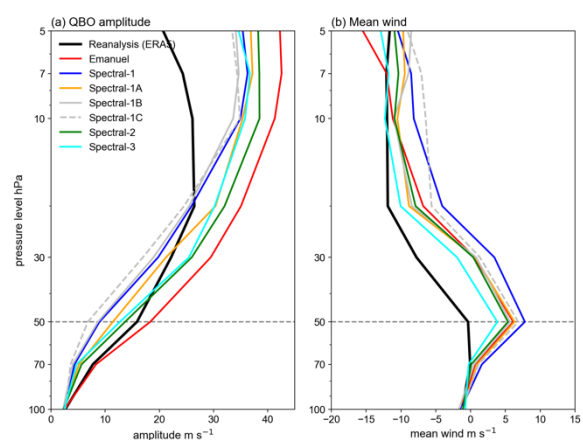


図1：成層圏における(左)QBO 振幅と(右)平均東西風の比較。Emanuel:エマニエルスキーム、Spectral:スペクトルスキームを示し、複数のスペクトルスキームの線はそ

れぞれスキームに対する修正(チューニング)が違うことを意味している。

積雲対流スキームはモデルバイアスに大きな影響をもたらすように、対流圏での平均風形成に大きな影響をもたらす。そして平均風が違えば積雲対流によって生じる重力波の特性にも大きな影響をもたらす。例えば重力波が射出される高度で東風が強ければ、位相速度は東風側にシフトし、崩壊したときに東風を強める重力波が多く射出されることとなる。各ケースを比較した結果、QB0の成層圏下部振幅が小さい(大きい)ケースは東風を強める重力波の射出が少ない(多い)ことが分かった。このことはQB0振幅に崩壊時に東風を強める重力波が大きな影響を持つことを意味する。また、この違いは重力波崩壊プロセスを通じて、成層圏の東西風バイアスに大きな影響を持っていた。すなわち、積雲対流スキームによって対流圏、重力波射出高度の東西風バイアスが低減されれば(特に西風バイアスが解消されれば)、問題となっていた共通のQB0バイアスは低減できる可能性があることを意味する。このメカニズム自体は特定の気候モデルに依存しないので、同様の仕組みを持つ重力波スキームを用いて、積雲対流スキームを調整すればバイアス低減が可能となることを示唆している[8]。

3. 黒潮続流の大蛇行に伴う海洋熱波が豪雨へ与える影響の評価

2022年秋ごろから2025年初冬まで、離岸直後の黒潮続流が北方向へ大きく蛇行した状態が持続していた(図2)。この続流の大蛇行に伴い日本の東方海上では海面水温が通常時よりも非常に高くなり、いわゆる海洋熱波[9]が観測された。このような続流の大蛇行は、海面高度の衛星観測開始以来、初めて生じた現象であり、そのメカニズムや気象/気候・水産資源などへの影響に注目が集まっている。

上述の黒潮続流の大蛇行が発生していた2023年9月8日に、千葉県東部で豪雨が発生し、特に茂原では観測史上1位の日降水量(391 mm/day)を記録した。この豪雨に起因して、千葉県では洪水や土砂崩れが発生し、様々な被害が生じた。豪雨が発生したとき、地上付近では黒潮続流大蛇行域から千葉県へ流れ込む東寄りの風が卓越していた(図2)。このような大気循環場は、続流大蛇行に伴う海洋熱波が千葉県東部における記録的な豪雨の発生へ関与したことを示唆する。

本研究では、領域雲解像モデルCloud Resolving Storm Simulator (CReSS; [10])による数値実験を通じて、続流の大蛇行に伴う海洋熱波が2023年9月に千葉県東部で発生した豪雨へ与える影響の評価を行った。水平解像度を約2 kmに設定したCReSSを用いて現実的な海面水温分布を与えた再現実験(CNTL実験)と続流大蛇行域の海面水温を気候値に置き換えた分布を与えた実験(CLM実験)を実施し、これらの実験の比較から、海洋熱波が豪雨へ与える影響を調査した([11])。

CNTL実験は、豪雨が千葉県東部で局所的に生じる様子を再現した。一方で、CLM実験では、その降水が約300 mm(CNTL実験の積算値の約70%)抑制された(図3)。さらに、CNTL実験とCLM実験との比較から、どのように海洋熱波が豪雨へ影響するのかについても調査した。海洋熱波は、海面熱フラックスを増加させることで、地表付近の熱力学場を変化させる。豪雨の前半期間については、この変化は前線の形成および大気的不安定性を高めることで降水の増加に関与した。豪雨の後半期間については、それは降水の発生と関連した前線の陸側の寒気を弱体化させることで前線の位置に影響し、千葉県東部における降水の発生に寄与した。ゆえに、黒潮続流の大蛇行に伴う海洋熱波は、大気的不安定性の強化、前線の形成や位置へ影響することで、2023年9月の千葉県における記録的豪雨の発生に貢献したと考えられる。このように、本研究は領域雲解像モデルによる高解像度数値実験を活用することで、近年発生した黒潮続流大蛇行に伴う海洋熱波が日本における豪雨の発生へ影響することを、そのプロセスも含めて明らかにした。

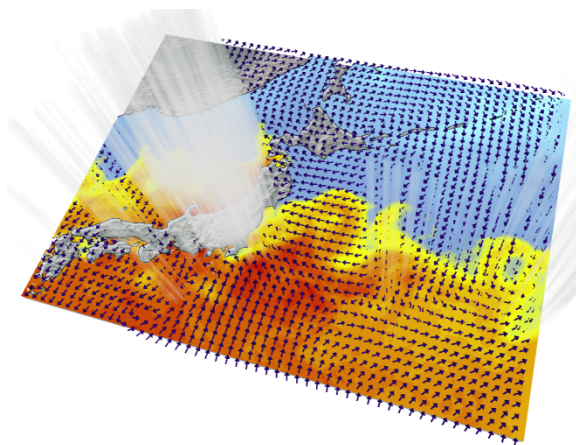


図2. Met. 3D [12] によるCNTL実験の結果の可視化。白～灰色の領域は雲・降水物質の混合比の3次元分布、矢印は地上付近の水平風ベクトル、陰影は海面水温を示す。混合比は豪雨が観測された2023年9月8日00～13JSTの期間の積算値、水平風と海面水温はその期間の平均値を示す。

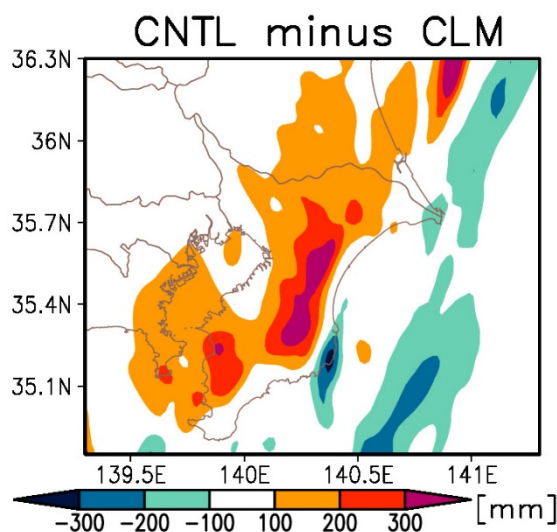


図3. 豪雨が観測された2023年9月8日00~13JSTの期間で積算した地上降水量のCNTL実験とCLM実験との差の水平分布。

謝辞

第3章の研究は科研費新学術領域研究「日本周辺の急速な海面水温・気温上昇が温帯低気圧に伴う顕著現象へ与える影響の評価」、科研費学術変革領域研究(A)「急速に温暖化する日本近海の海洋前線と豪雨・豪雪」・「頻発する大気・海洋の熱波となくならない寒波」、科研費基盤研究A「メガストームと梅雨がもたらす極端気象・海象災害ハザードの近未来予測研究」の支援を受けています。

文献

- [1] Anstey, J. A., et al., “Impacts, processes and projections of the quasi-biennial oscillation”, *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 3, 588-603, 2022.
- [2] Bushell, A. C., et al., “Evaluation of the Quasi-Biennial Oscillation in global climate models for the SPARC QBO-initiative”, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, vol. 744, 1459-1489, 2020.
- [3] Baba, Y., “Spectral cumulus parameterization based on cloud-resolving model”, *Climate Dyn.*, vol. 52, 309-334, 2019.
- [4] Baba, Y., “Shallow convective closure in a spectral cumulus parameterization”, *Atmos. Res.*, vol. 233, 104707, 2020.
- [5] Baba, Y., “Influence of a spectral cumulus parameterization on simulating tropical cyclone activity in an AGCM”, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, vol. 147, 1170-1188, 2021.
- [6] AFES team, “Atmospheric general circulation model for the Earth Simulator”, https://gitlab.com/aosg_public/afes 2024.
- [7] Beres, J. H., et al., “Implementation of a gravity wave source spectrum parameterization dependent on the properties of convection in the Whole Atmosphere Community Climate Model (WACCM)”, *J. Geophys. Res.*, vol. 110, D10108, 2005.
- [8] Baba, Y., Watanabe, S., “Response of QBO bias to convection scheme in an AGCM”, *J. Geophys. Res.: Atmos.*, in revision, 2025.

2025.

- [9] Hobday, A. J. et al., “A hierarchical approach to defining marine heatwaves”, *Prog. Oceanogr.* vol. 141, 227-238, 2016.
- [10] Tsuboki, K., “High-Resolution Simulations of Tropical Cyclones and Mesoscale Convective Systems Using the CReSS Model”, *Numerical Weather Prediction: East Asian Perspectives* (ed. Park, S. K.), 483-534, 2023.
- [11] Hirata, H., et al., “Effects of a marine heatwave associated with the Kuroshio Extension large meander on extreme precipitation in September 2023”, *Sci. Rep.*, vol. 15, 5332, 2025.
- [12] Rautenhaus, M., Kern, M., Schäfler, A., and Westermann, R., “Three-dimensional visualization of ensemble weather forecasts – Part 1: The visualization tool Met.3D (version 1.0)”, *Geosci. Model Dev.*, vol. 8, 2329-2353, 2015.