

MRI-ESM2 における南大洋の短波放射バイアスと

ダブル ITCZ 問題の関係

川合秀明、神代剛、行本誠史

a). はじめに

熱帯降水帯（ITCZ）は北半球側にピークを持つが、多くの気候モデルでは、現実の ITCZ よりも南半球側の降水が強くなり、太平洋においては北半球側の降水帯と平行な降水帯が南半球側にも現れてしまうことがよく知られている。これはダブル ITCZ 問題と呼ばれている。一方、気候モデルでは、南大洋において雲の放射効果が不十分であることから生じる短波放射バイアスがあることも知られている。近年、エネルギー輸送の観点から、南大洋の短波放射の入射過剰バイアスがダブル ITCZ を悪化させるのではないかという議論が行われている。

CMIP6 の参加モデルである気候モデル MRI-ESM2 (Yukimoto et al. 2019) は、南大洋などの下層雲の表現も現実的なものとなっており、南大洋などの放射バイアスはかなり小さくなっている (Kawai et al. 2019)。放射収支のスコアは、CMIP5 参加モデルの MRI-CGCM3 (Yukimoto et al. 2012) では CMIP5 の 48 モデル中第 27 位だったものが、MRI-ESM2 では CMIP6 の 47 モデル中第 7 位となっている。また、MRI-ESM2 では、ダブル ITCZ も MRI-CGCM3 に比べて改善している。ダブル ITCZ の深刻さの指標では、MRI-CGCM3 は CMIP5 の 25 モデル中最下位だったものが、MRI-ESM2 では CMIP6 の 26 モデル中第 8 位となっている (Tian and Dong 2020)。本研究では、それらの改善の間に関係があるか否かを明らかにした (Kawai et al. 2021)。

	CNTL	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4
層積雲スキーム	new	old	old	old	old
浅い対流を層積雲条件でoff	yes	yes	no	no	no
WBF 効果の取り扱い	new	new	new	old	old
微小な海洋性エアロゾルの考慮（海塩2倍）	yes	yes	yes	yes	no

表 1 実験リスト

b). 実験

MRI-ESM2 での南大洋の放射バイアスの改善に寄与したスキームの変更を、一つずつ、累積的に MRI-CGCM3 での扱いに戻していくことにより、意図的に南大洋などの放射バイアスを悪化させていく実験を行う。その際、ダブル ITCZ の表現がどのように変わっていくのかを調べる。(i). 層積雲スキーム (Kawai et al. 2017, 2019) を古いバージョン (Kawai and Inoue 2006) に戻す、(ii). 層積雲が発生する場所で浅い積雲を抑制する措置をやめる、(iii). 雲微物理過程における WBF 効果の扱いを以前のものに戻す、(iv). 微小な海洋性エアロゾルを考慮するため、雲凝結核数密度を 2 倍する扱いをやめる、の各措置を一つずつ加えていく実験を行う (表 1)。これらの変更はいずれも、基本的に深い積雲対流に直接影響を及ぼすものではなく、主として層状雲への影響を通じて主に放射収支に影響を及ぼすものである。

大気海洋結合モデルを用いた historical タイプの実験設定で、1979 年から 2014 年まで 36 年積分を行い、1984 年から 2014 年までの 31 年分のデータを解析に使用した。

c).結果

実験の結果、南大洋などの放射バイアスが、CNTL から EXP4 まで増加していくにつれ、南半球熱帯の降水が増加していき、ダブル ITCZ 問題が悪化していくことが示された（図1、図2）。図3に、Hwang and Frierson（2013）らによる放射収支等の南北非対称指標と熱帯降水南北非対称指標の関係を示すが、この傾向は極めて明瞭である。一方、南北エネルギー輸送の変化については、2/3 は海洋が担っているが、1/3 は大気が担っていることが示された（図略）。後者はハドレー循環による北向きのエネルギー輸送が強まっている（図略）ことを示しており、これが南半

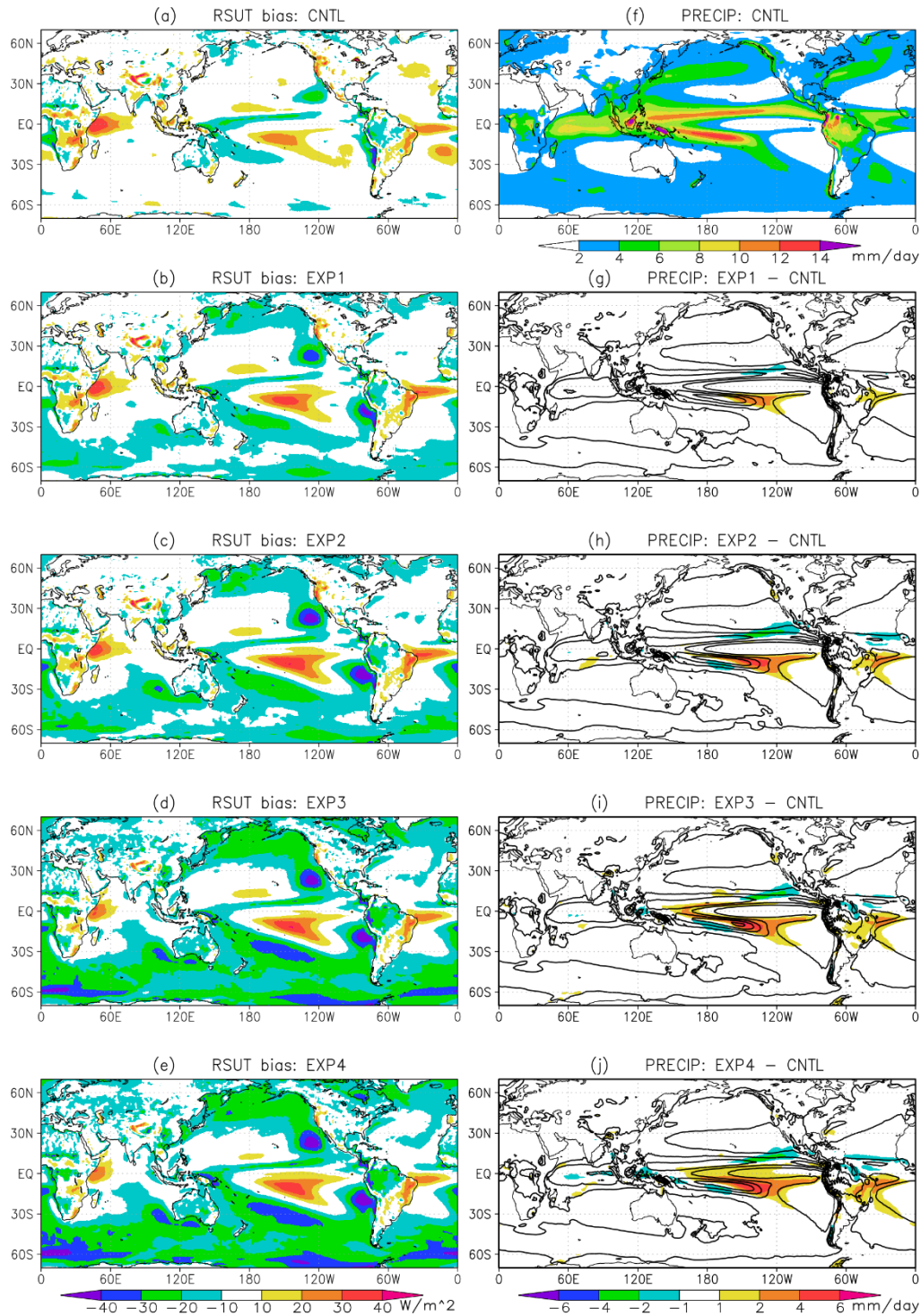


図1 (左列) 大気上端上向き短波放射バイアス。放射観測値は CERES (2001-2010) を使用。上から CNTL、EXP1、EXP2、EXP3、EXP4 実験の結果。(右列) 降水量。上から CNTL の気候値、EXP1、EXP2、EXP3、EXP4 実験の CNTL 実験からの差。historical 実験 (1984-2014 年) の結果。

球熱帯の降水の強まりに対応している。なお、図 3 は、南大洋などの放射バイアスを適切に改善したのみではダブル ITCZ 問題は完全に解消するわけではないことも示唆している。

d). 結論

本研究の結果から、MRI-ESM2 のダブル ITCZ 問題の大幅な緩和は、南大洋などの放射バイアスの顕著な改善の結果であることが示された。MRI-ESM2 において、ダブル ITCZ を直そうと意図したのではなく、南大洋の放射バイアスを軽減しようとなされた雲に関する様々な改良が、結果的にダブル ITCZ をかなり改善したのはたいへん興味深い。

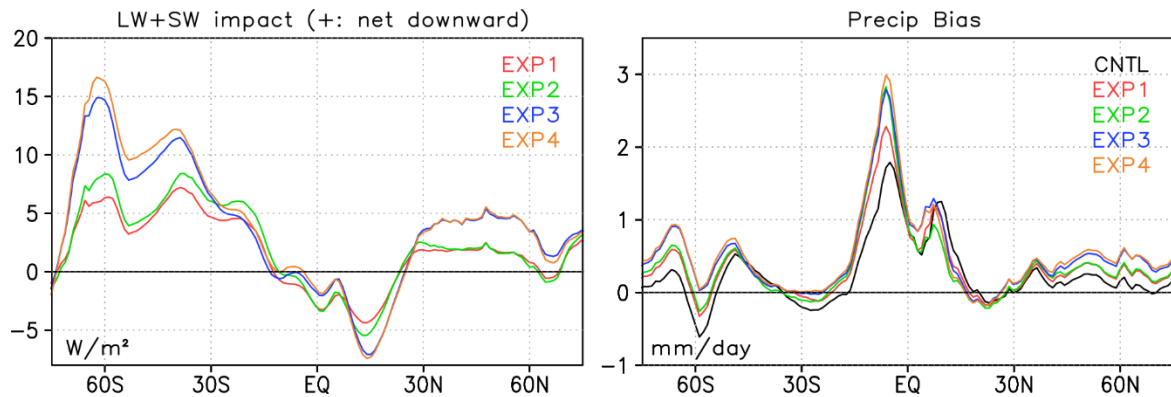


図 2 (左図) 大気上端の正味の放射フラックス（短波と長波を合わせたもの）の CNTL 実験からの差（正味下向きが正）。(右図) 降水バイアス。historical 実験（1984-2014 年）の帯状平均を図示。降水観測値は GPCP (1979-2013)。

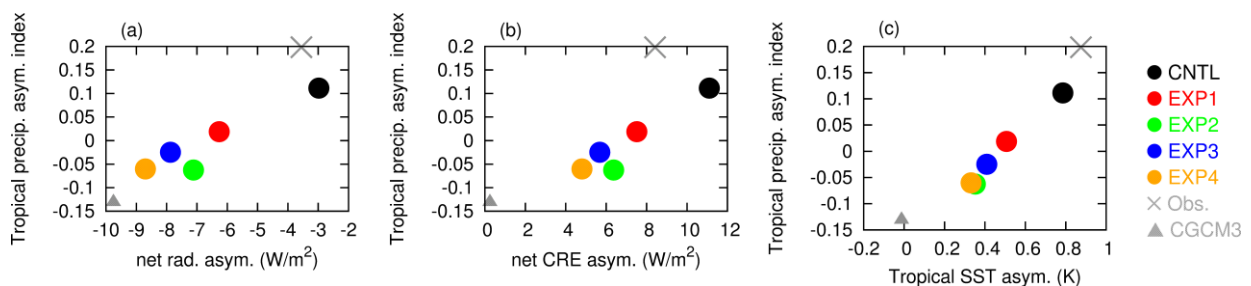


図 3 (a) 放射収支南北非対称指標（非熱帯）、(b) 雲放射効果南北非対称指標（非熱帯）、(c) 熱帯 SST 南北非対称指標と熱帯降水南北非対称指標の関係。丸は MRI-ESM2 を用いた historical 実験（1984-2014 年）データ。放射観測値は CERES (2001-2010)、降水観測値は GPCP (1979-2013)、SST 観測値は AMIP SST (1984-2014)。MRI-CGCM3 historical 実験データ(1984-2005)も参考にプロットされている。

参考文献

- Hwang, Y.-T., Frierson, D.M.W., 2013. Link between the double-Intertropical Convergence Zone problem and cloud biases over the Southern Ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110**, 4935–4940.
- Kawai, H., and T. Inoue, 2006: A Simple Parameterization Scheme for Subtropical Marine Stratocumulus. *SOLA*, **2**, 17-20.
- Kawai, H., T. Koshiro, and M. J. Webb, 2017: Interpretation of Factors Controlling Low Cloud

- Cover and Low Cloud Feedback Using a Unified Predictive Index. *J. Climate*, **30**, 9119-9131.
- Kawai, H., S. Yukimoto, T. Koshiro, N. Oshima, T. Tanaka, H. Yoshimura, and R. Nagasawa, 2019: Significant Improvement of Cloud Representation in Global Climate Model MRI-ESM2. *Geosci. Model Dev.*, **12**, 2875-2897.
- Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto, 2021: Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the double-intertropical convergence zone problem in MRI-ESM2. *Atmos. Sci. Let.*, **22**, e1064.
- Tian, B. and X. Dong, 2020: The double-ITCZ bias in CMIP3, CMIP5, and CMIP6 models based on annual mean precipitation. *Geophysical Research Letters*, **47**, 1– 11.
- Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 –Model description and basic performance–. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 23-64.
- Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii, 2019: The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, 931-965.