

令和元年6月6日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17757

研究課題名(和文) 全球雲解像モデルが再現するマッデン・ジュリアン振動の時空間構造分析

研究課題名(英文) Analyses of space-time structures of the Madden-Julian oscillation reproduced by a global cloud resolving model

研究代表者

宮川 知己 (Miyakawa, Tomoki)

東京大学・大気海洋研究所・特任助教

研究者番号：80584979

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)：熱帯における主要な大気変動として地球全体の気象・気候に影響を及ぼす、東西約5千キロの雲システムが赤道域を東進するマッデン・ジュリアン振動(MJO)について、その東進メカニズムにおいて本質的に重要なのは雲システムに内包される赤道波ではなく大規模な熱・水蒸気場であることを示す一方で、MJOの開始には赤道波の果たす役割が大きいこと、個別の積雲の性質が大規模気候場を通じてMJO循環の強度に影響することも指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地球全体の気象・気候に大きな影響を及ぼすMJOについて、その東進・発生のメカニズムや強度に関連して大規模の熱・水蒸気場や対流、赤道波の果たす役割を示した。これにより、MJOの科学的な理解が深まるとともに、シミュレーションを用いたMJOの予測技術を一層向上するためのアプローチ、具体的にはモデル解像度・積雲対流・海洋の設定を今後どのように改良していくべきかを検討するための有用な情報が得られた。

研究成果の概要(英文)：We showed that the eastward propagation of the Madden-Julian oscillation (MJO), a huge atmospheric pulse visualized as a ~ 5000 km wide envelope of stormy equatorial convective activity that dominates intraseasonal variation of the tropics and affects the entire globe, is essentially controlled by the large-scale heat/moisture fields rather than equatorial waves embedded in the convectively active area of the MJO. We also showed that the equatorial waves play important roles for the onset of the MJO, and that properties of convective clouds affect the amplitude of the circulation associated with the MJO.

研究分野：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：マッデン・ジュリアン振動 全球雲解像モデル 時空間構造 大気海洋相互作用 熱帯気象 ウェーブレット解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 東西約 5 千キロの雲システムが赤道域を東進するマッデン・ジュリアン振動 (MJO) は熱帯における主要な大気変動として地球全体の気象・気候に影響を及ぼしており、そのメカニズムの理解と予測精度向上は科学的にも社会的にも意義が大きい。MJO は大小様々の時空間スケールを持つ赤道波や雲システムにより構成された多重構造を持つが、構成要素の比率や特徴は多様で、事例・地域・季節間の差異が大きい。このため、主要な要素をメカニズムの理解に必要な理論モデルへ適切に組み込んで統一的に扱うことが難しく、得られる知見が限定的なものとなっていた。

(2) 全球で積雲対流を陽に表現する全球雲解像モデル NICAM が予測可能期間および雲域の再現精度において現在世界最高の性能を有していることが、文科省 HPCI 戦略プログラム分野 3 「防災・減災に資する地球変動予測」(戦略 3) の一環として申請者らが実施した 10 年分の MJO 再現実験において示された。

2. 研究の目的

(1) MJO の対流活発域における構成要素の変動をローカルな背景場との対応のもとに記述するとともに、対流活発域の構成要素の変動や対流の性質がローカルな背景場や大域的なエネルギーバランスに与える影響を調査し、それらの関係性を紐解く手がかりを収集すること。

(2) (1)を活用して、MJO や台風など熱帯対流に関わる様々な現象についての理解を深めること。

3. 研究の方法

(1) 戦略プログラム分野 3 において NICAM が再現した MJO 実験のデータ、および解像度を変更して行った追加実験のデータを解析した。Kikuchi (2010) の提案した、対流の東西時間断面図における任意の地点を起点として時空間 2 次元のウェーブレット展開を適用する手法を用いて対流活動の構成要素を周波数別に定義し、構成要素の特徴と MJO の伝播特性との関係を調査した。

(2) 力学的な海洋を NICAM と相互作用させた場合の影響や、水平解像度の変更や積雲の効果を補う積雲パラメタリゼーションの導入により積雲の性質が変化した場合の影響などについて調べた。

(3) NICAM に水惑星実験設定を適用した理想化実験を用いて対流活動の構成要素の役割を調べる解析を実施した。

< 引用文献 >

Kikuchi, K, 2010: Spatiotemporal wavelet transform and the multiscale behavior of the MJO, *J. Climate*, 23, 3814-3834.

4. 研究成果

(1) NICAM による MJO のシミュレーション結果のうち、2011 年に行われた国際的な MJO 集中観測プロジェクト CINDY2011/DYNAMO で捉えられた事例を再現したものについて、combined-Fourier-wavelet-transform 法を適用して解析した結果、MJO 対流活発域内において水平 14 km 格子シミュレーションでは観測に比べて赤道ケルビン波のシグナルが過少となっていることが明らかになった(図 1a,b)。一方で、MJO の対流活発域自体の東西スケールや東進のタイミングは観測と水平 14 km 格子シミュレーションでとてもよく一致していた。MJO の東進の性質はその内包する赤道波の性質に大きく依存するとする説と、MJO と同等の水平スケールにおける熱や水蒸気の収支が主たる決定要因であり、内部の細かい構造には大きく依存しないとする説があるが、上記の結果は後者の説をサポートするものである。さらに水平格子間隔の異なるシミュレーション(3.5 km, 7 km)との比較を行ったところ、いずれの解像度においても赤道ケルビン波は同程度に過少となっていたが、3.5 km 実験においては MJO の東進が観測とよく一致していた一方で、7 km 実験においては東進が不明瞭であった(図 1c,d)。7 km 実験においては対流活発域西部において海洋からの潜熱供給が過大となっており、大きな水平スケールにおける熱・水蒸気の収支が現実と異なったことによって東進が阻害された可能性が示された。この結果もまた、後者の説をサポートするものとなっている (Miyakawa and Kikuchi 2018)。

OLR anomaly & reconstructed signals

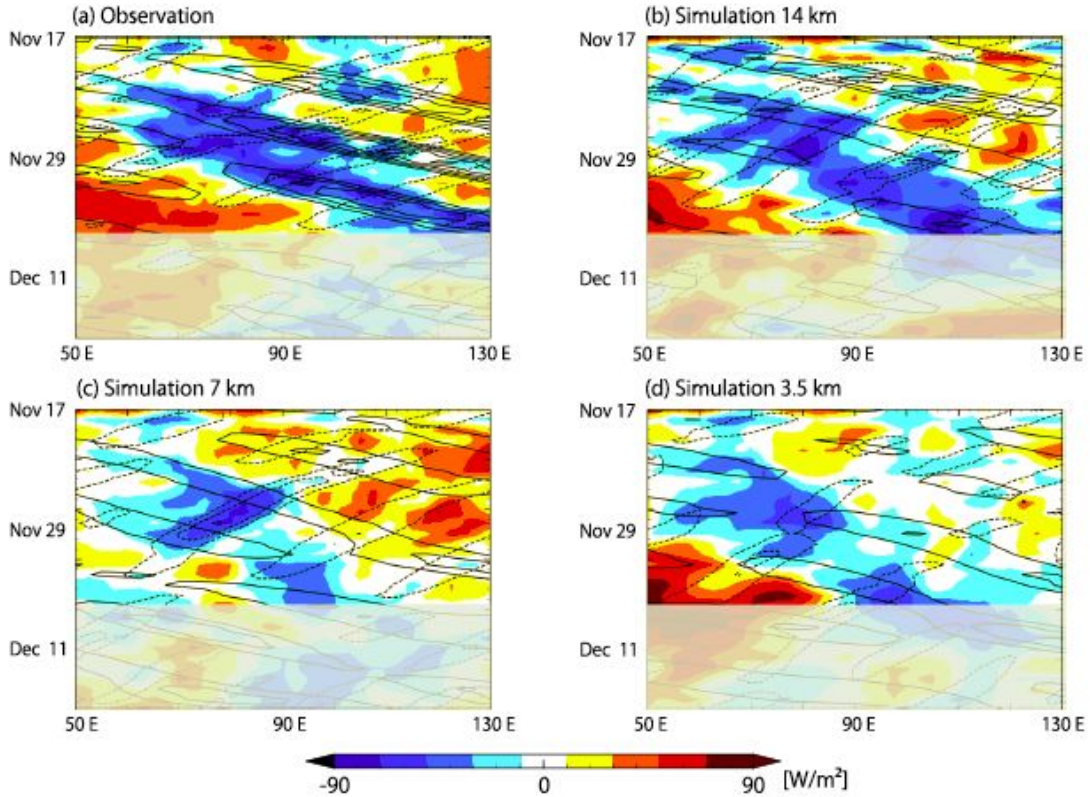


図 1. 赤外放射(カラー: 低い値は対流活発であることを示す)および、Kikuchi et al. (2010) の手法により特定された赤道波成分(コンター)の経度時間断面図。データ端の影響を受けて信頼度が落ちる部分はシェードされている。Miyakawa and Kikuchi (2018) より。

(2) 力学的な海洋を NICAM と相互作用させた場合、海洋の束縛条件が減ることにより系統的なバイアスが生じる一方で、MJO 成分の予測性能は維持できることがわかった (Miyakawa et al. 2017)。Nakano et al. (2015) では、MJO 成分の予報が台風発生の予測に重要であることを現実の台風事例の再現実験と解析により改めて示したが、一方でこれを活かすには海洋のバイアスの低減が必要であることも明らかになった。Satoh et al. (2017) では雲解像モデルとしては低解像度な水平 14 km 格子においても、積雲パラメタリゼーションを適用せずとも気候場等の再現性が良好であることを指摘している。一方で、積雲パラメタリゼーションの導入により熱帯対流圏の水蒸気バイアスを低減できる可能性も指摘した (Miyakawa et al. 2018)。また Miyakawa and Miura (2019) では、14 km, 7 km, 3.5 km それぞれの実験において、積雲対流に伴う上昇流・降水・高層雲を比較した結果、熱帯全体での上昇流は全球の放射バランスにより束縛されているため解像度への感度がほとんどない一方で、個別の上昇域は解像度が高いほど強く狭くなることから上昇気塊の積雲内滞在時間が短くなり、雲粒から雨粒への変換が起こりにくくなって降水が減少・高層雲量が増大することがわかった。この効果は MJO に伴う循環を弱体化させていた (図 2)。

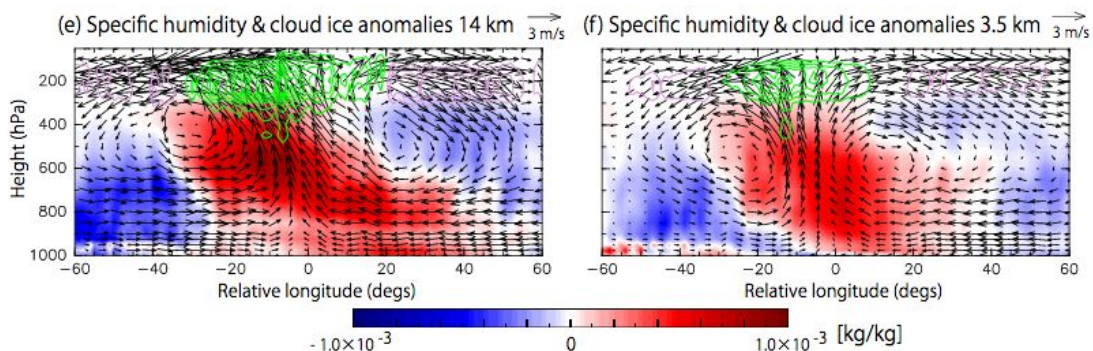


図 2. 水平格子間隔 14 km(左)と 3.5 km(右)について、MJO に水蒸気量偏差(カラー)、雲氷量偏差(コンター)、風偏差(ベクトル)を示したもの。Miyakawa and Miura (2019) より。

(3) Takasuka et al. (2017) では、水惑星を用いた理想実験により、MJO の開始においては赤道反対称な混合ロスビー重力波成分や赤道を周回する対流圏上層のケルビン波が関与していることを指摘した。

上記(1) - (3)の成果は、MJO の東進はその内包する赤道波の性質よりも MJO と同等の大規模な水平スケールにおける熱や水蒸気の収支が主たる決定要因であるという説をサポートしている一方で、大規模な水平スケールの熱・水蒸気場が個別の対流の統計的性質によって左右される結果として MJO に伴う循環も影響を受けること、また MJO の開始においては赤道波の果たす役割が大きいことを指摘している。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

Miyakawa, T., and M. Miura, 2019: Resolution sensitivity of cloud features in organized convection in a global cloud/cloud-system resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, early online release. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-034>. 査読有

Miyakawa, T., A. T. Noda, C. Kodama, 2018: The impact of hybrid usage of a cumulus parameterization scheme on tropical convection and large-scale circulations in a global cloud-system resolving model. *J. Adv. Model. Earth Syst.* 10, 2952-2970. <https://doi.org/10.1029/2018MS001302>. 査読有

Miyakawa, T., and K. Kikuchi, 2018: CINDY2011/DYNAMO Madden-Julian oscillation successfully reproduced in global cloud/cloud-system resolving simulations despite weak tropical wavelet power. *Scientific Reports*, 8, 11664. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29931-4>. 査読有

Miyakawa, T., H. Yashiro, T. Suzuki, H. Tatebe, M. Satoh, 2017: A Madden-Julian Oscillation event remotely accelerates ocean upwelling to abruptly terminate the 1997/1998 super El Nino. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 9489-9495. <https://doi.org/10.1002/2017GL074683>. 査読有

Takasuka, D., M. Satoh, T. Miyakawa, H. Miura 2018: Initiation Processes of the Tropical Intraseasonal Variability Simulated in an Aqua-planet Experiment: What is the Intrinsic Mechanism for MJO Onset? *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 10, 1047-1073. <https://doi.org/10.1002/2017MS001243>. 査読有

Satoh, M., Tomita, H., Yashiro, H., Kajikawa, Y., Miyamoto, Y., Yamaura, T., Miyakawa, T., Nakano, M., Kodama, C., Noda, A. T., Nasuno, T., Yamada, Y., Fukutomi, Y., 2017: Outcomes and challenges of global high-resolution non-hydrostatic atmospheric simulations using the K computer. *Progress in Earth and Planetary Science*, 4, 13. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0127-8>. 査読有

Nakano, M., Kubota, H., Miyakawa, T., Nasuno, T., Satoh, M., 2017: Genesis of super cyclone Pam (2015): Modulation of low-frequency large-scale circulations and the Madden-Julian oscillation by sea surface temperature anomalies. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 3143-3159. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0208.1>. 査読有

[学会発表](計 28 件)

Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M. 2018: Abrupt termination of the 1997/1998 El Nino by an MJO Represented with an Ocean-Coupled NICAM (NICOCO), AOGS Annual Meeting.

Miyakawa, T., Noda, A. T., and Kodama, C., 2018: The impact of hybrid usage of the Chikira-Sugiyama scheme on tropical convection and large-scale circulations in NICAM, 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models.

Miyakawa, T., Yashiro, H., Suzuki, T., Tatebe, H., and Satoh, M. 2018: Ocean-coupled NICAM (NICOCO) and its application on MJO - El Nino interacting events, International Conferences on Subseasonal to Decadal predictions.

Miyakawa, T., 2018: Extended-range prediction trials using NICAM and its ocean-coupled version NICOCO, NICAM group - University of Washinton workshop.

宮川知己, 2018: Chikira スキームを入れた感度実験の報告, NICAM 開発者会議.

Miyakawa, T., NICOCO-team, 2017: The impact of full 3D ocean coupling to MJO simulations using the global cloud/cloud-system resolving model NICAM, JpGU-AGU Joint Meeting 2017.

Miyakawa, T., 2017: Madden-Julian oscillation experiments using a global cloud resolving model NICAM, The Third International Workshop on Extreme Weather in Changing Climate in the Maritime Continent.

- Miyakawa, T., NICOCO-team, 2017: Extended-range prediction trials using the global cloud/cloud-system resolving model NICAM and its new ocean-coupled version NICOCO, Workshop for Typhoon, cloud and climate study.
- Miyakawa, T., NICOCO-team, 2017: Extended-range prediction trials using the global cloud/cloud-system resolving model NICAM and its new ocean-coupled version NICOCO, EGU General Assembly 2017.
- 宮川知己, 八代尚, 鈴木立郎, 建部洋晶, 佐藤正樹 2017: NICAM 海洋結合版(NICOCO)による MJO 予測性能の現状および 1998 年 5 月のエルニーニョの急激な終息イベントにおける MJO の役割, 長期予報研究連絡会「長期予報と大気大循環」.
- 宮川知己, 2017: NICAM 海洋結合実験により確認された 1998 年 5 月のエルニーニョの急激な終息における MJO の役割, 第 19 回非静力学モデルに関するワークショップ.
- 宮川知己, 2017: NICAM 海洋結合実験における MJO, 第 4 回マッデン・ジュリアン振動研究会.
- 宮川知己, 2017: 現在取り組んでいるテーマと今後の展望, 理研シンポジウム「超高解像度大気モデル開発ワークショップ」.
- Miyakawa, T., 2016: Recent NICAM activities on MJOs, WGNE MJO Task-Force meeting.
- Miyakawa, T., 2016: Impacts of dynamical ocean coupling in MJO experiments using NICAM/NICOCO, AGU Fall Meeting.
- Miyakawa, T., 2016: Current status of MJO simulations using NICAM and its 3D-ocean coupled version NICOCO, The 4th International Workshop on Nonhydrostatic Models.
- 宮川知己, NICOCO チーム, 2016: NICOCO+MJO 実験, NICAM 開発者会議.
- Miyakawa, T., 2016: Interaction of the MC and MJOs Produced in the Global Cloud-System resolving Model NICAM and its Full Ocean-Coupled Version NICOCO, International Workshop on the Madden-Julian Oscillation.
- 宮川知己, NICOCO チーム, 2016: NICAM 海洋結合版(NICOCO)を用いた季節内実験の現状, JpGU.Meeting.
- Miyakawa, T., 2016: Current status of the ocean coupled NICAM (NICOCO), Workshop on Intraseasonal Processes and Prediction in the Maritime Continent.
- 21 Miyakawa, T., NICAM-team, 2016: Breaking Down the MJOs Produced by NICAM, AMS Annual Meeting.
- 22 Miyakawa, T., NICAM-team, 2015: Analyses of embedded wave properties in the CINDY2011/DYNAMO MJO case produced by NICAM, AGU Fall Meeting.
- 23 宮川知己, NICAM チーム, 2015: NICAM MJO 実験の解像度依存性, NHM ワークショップ.
- 24 Miyakawa, T., K. Kikuchi, NICAM-team, 2015: Breaking down the CINDY2011/DYNAMO Madden-Julian oscillation event reproduced by NICAM, 熱帯気象研究会.
- 25 Miyakawa, T., NICAM-team, 2015: Breaking down the MJOs produced in NICAM, 熱帯降水研究会.
- 26 Miyakawa, T., NICAM-team, 2015: Breaking down Madden-Julian oscillation events reproduced by NICAM, AOGS 12th Annual Meeting.
- 27 Miyakawa, T., 2015: Updates on MJO convective momentum transport (CMT) analyses, WGNE MJO Task-Force meeting.
- 28 Miyakawa, T., NICAM-team, 2015: Breaking down the CINDY2011/DYNAMO Madden-Julian oscillation event reproduced by NICAM, 26th IUGG General Assembly.

〔図書〕(計 1 件)

Miyakawa, T., and Sato, T., 2017: Global Cloud/Cloud-System Resolving Models and the Madden-Julian Oscillation. Chapter 14 of "In The Global Monsoon System: Research and Forecast, 3rd edition" (Eds. Chang, C.-P., et al.), World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate, Vol. 9, 173-184. https://doi.org/10.1142/9789813200913_0014. 査読有

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：菊池一佳

ローマ字氏名：Kazuyoshi Kikuchi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。