

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287119

研究課題名(和文) CINDY2011観測データと最先端気象・気候モデルによるMJO発生機構の解明

研究課題名(英文) Study on MJO initiation processes using CINDY2011/DYNAMO data and high resolution atmospheric models

研究代表者

三浦 裕亮 (Miura, Hiroaki)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70415991

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：マッデン・ジュリアン振動(MJO)は、赤道付近の東西幅数1000kmの大規模に組織化した雲群により特徴づけられる。強い西風とまとまった降水が当該地域に影響するだけでなく、テレコネクションパターンの形成により日本などにも気象の変調をもたらす。本研究では、MJOの発生と東進の物理機構を、最新の観測データと高解像度大気モデルを用いて調べた。東西海面温度差が原因となった赤道波の収縮がMJOの発生要因であることを示した。また、海面温度の季節変化がMJOを励起する可能性を明らかにした。湿潤静的エネルギーの収支解析によりMJOの不安定化には海面フラックスと放射過程が寄与することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：One obvious feature of the Madden-Julian Oscillation (MJO) is a large-scale packet of convective clouds near the equator with a horizontal width of more than 1,000 km. The MJO not only directly influences equatorial regions through strong westerly and a large amount of precipitation but also indirectly modulates mid-latitude weather patterns by teleconnections. This study investigates the initiation and eastward movement mechanisms of the MJO by using the new observational data and a global cloud-system-resolving model. It is found that a zonal contraction of the equatorial mixed-Rossby-gravity waves due to the low-level westerly forced by a zonal sea surface temperature (SST) difference possibly induces the initiation of the MJO. It is also found that the seasonal SST change is fast enough to force the eastward movement of precipitating region, which can constitute a reason for the eastward shift of the MJO.

研究分野：大気科学

キーワード：マッデン・ジュリアン振動 全球雲解像モデル CINDY2011 大気海洋相互作用 熱帯気象

1. 研究開始当初の背景

(1) マッデン・ジュリアン振動(MJO)は熱帯対流圏における最も顕著な大気現象である。東西空間スケール数 1000km にもなる大規模に組織化した積乱雲群により特徴づけられ、活発な上下混合と潜熱放出による水平循環強化の結果、対流圏下層に強い西風を伴う。組織化した雲群は 30~90 日程の間隔でインド洋上に準周期的に発生し、平均約 5 m/s の速さでゆっくりと東進し、日付変更線付近に至って衰弱する。インド洋・東南アジア・オーストラリア北部に降水や強風による直接の影響を与えるだけでなく、日本などの中緯度の気象にもテレコネクションパターンの形成により変調をもたらす。

(2) MJO はその広範な影響ゆえに、1971 年の発見以降活発に研究され、観測事実に基づく知見が蓄積されてきた。その一方で、気象・気候モデルやシンプルな数理モデルを用いた MJO の物理機構に関する研究は多くの困難に直面しており、発生・東進・周期の何れの問題も解明に至っていない。気候変動予測研究に利用されている気候モデルについても、IPCC AR4 (気候変動に関する政府間パネル第 4 次報告書)において、依然として MJO の再現は不十分であると指摘されている。各国の気象予報センターにおいて、より正確な中長期予報を実現のために、気象モデルの MJO の再現性向上が課題とされており、2008 年には国際的プロジェクト Year of Tropical Convection が行われた。

(3) 東京大学・海洋研究開発機構・理化学研究所は、従来の気象・気候モデルとは一線を画し、個々の積乱雲を直接計算できる全球雲解像モデル NICAM を開発しており、地球シミュレータを利用することで MJO の再現性に革新的な進歩をもたらした。一方で、海洋研究開発機構は、2011 年 10 月から 2012 年 1 月にかけて実施された約 20 年ぶりとなる大規模国際観測プロジェクト CINDY2011/DYNAMO で主要な役割を果たした。CINDY2011/DYNAMO プロジェクトはインド洋上における MJO の発生過程の解明を目標としており、国際的な研究コミュニティで MJO が活発に研究されるきっかけとなった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、CINDY2011/DYNAMO で取得された最新の観測データと MJO の再現性に優れた最先端の全球雲解像モデル NICAM を複合的に活用することで、理論・データ解析・シミュレーションの 3 つの側面から MJO に伴う大規模雲群発生時の物理機構の解明を目指した。また、既存の数理モデルを再検討し、MJO の東進速度を統一的に説明し得る新しい数理モデル構築の鍵を見極めることも目的とした。

3. 研究の方法

(1) 気象モデルによる数値シミュレーションは、限られた観測地点間を補うデータを生成できるだけでなく、現象の再現性の初期値・境界値・パラメータに対する感度を調べることで主要な物理機構に対する洞察を得ることを可能とする。気象モデル NICAM により CINDY2011 期間の MJO 発生過程を再現し、感度実験により季節的な東西 SST 傾度形成の影響を確かめる。

(2) MJO を水蒸気モードとみなし、湿潤静的エネルギー収支の観点から物理機構を議論する試みが精力的になされているが、観測データをもとにした湿潤静的エネルギー変動の知見は、特に MJO の挙動が複雑化する海洋大陸上ではほとんど得られていなかった。CINDY2011/DYNAMO で収集された各国の現業ラジオゾンデ観測 8 地点の生データを解析して海洋大陸東部における湿潤静的エネルギーとその収支式の各項の変動を調べることで、どのような物理過程が変動に寄与するか調べる。海面からの湿潤静的エネルギーフラックス推定には OAFIux プロダクトを、放射加熱推定には CERES プロダクトを用いる。

4. 研究成果

(1) 研究当初に利用を検討した NICAM は CINDY2011/DYNAMO の場合に限らず MJO の再現ができなかった。MJO 再現性を喪失した原因が、対流圏上層の雲量を人工的に増やすように設定された雲微物理パラメータにあることを突き止めた。雲微物理パラメータ(特に雨と雪の落下速度)を適切に設定し直し、NICAM による MJO の再現性を回復した(図 1)。改良した雲微物理パラメータは HPCI 戦略プログラム分野 3 の MJO 予測可能性検証実験でも利用され、MJO の 1 ヶ月予測が実現可能なことを実証する上で必要不可欠な基礎となった。

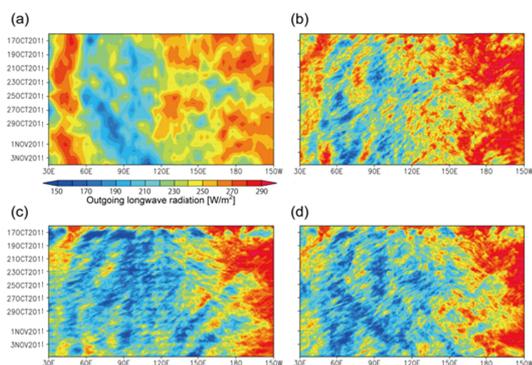


図 1: 南緯 10 度-北緯 10 度で平均した外向き長波放射の時間-経度断面図。(a) NOAA 観測データ、(b-d) NICAM シミュレーション。(b) Miura et al. (2007)と同様の設定、(c) 雲微物理パラメータが不適切だった場合、(d) 雲微物理パラメータを調整し直した場合。

(2) NICAM を利用し、水平格子間隔約 14 km の設定で、2011 年 10 月 12 日から 10 月 16 日の 1 日おきの 00 標準時を初期値とする 5 メンバーのアンサンブルハンドキャスト実験を実施した。積分期間は 60 日である。現実的な海面水温変化を下部境界条件として与えたところ、初期時刻から 30 日以上経過した後もかわらず 11 月中旬に現実的な MJO イベントが発生した (図 2c, d)。

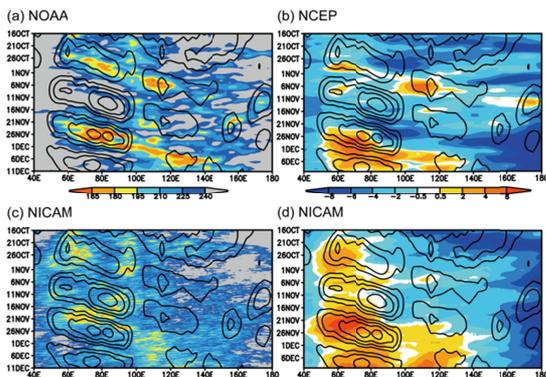


図 2: 南緯 10 度-北緯 10 度で平均した (a, c) 外向き長波放射と (b, d) 下層東西風の時間-経度断面図。 (a) NOAA 観測データ、(b) NCEP 解析データ、(c, d) NICAM シミュレーション。

(3) 大気熱容量を考慮すると初期条件にこの MJO イベントの情報が含まれていたと考えることは難しいため、外部要因により強制された現象であるとの仮説を立て、条件を変更したアンサンブルハンドキャストを実施した。海面水温の季節変化を取り除いた実験では、対流活発域はインド洋上に定在し海洋大陸や西太平洋域への顕著な移動が見られなかった。一方で、気候値的な海面水温の季節変化を与えた実験では、インド洋東部の対流活動は不活発であったものの、11 月後半から 12 月前半にかけてインド洋上から海洋大陸や西太平洋域へと対流活発域が移動した。

(4) この結果は、11 月後半から 12 月前半にかけては、海面水温の季節変化が十分に早く、対流活発域の連続的な東進を励起しうることを示す。従来、MJO は大気単独、あるいは、大気海洋結合系の内部変動として理解可能であろうと考えられてきた。しかしながら、本研究の結果からは、1 年を通じて MJO の物理機構は単一とは限らないこと、また、MJO の中には外部強制により励起された強制応答と解釈される場合があることが結論される。

(5) NICAM を利用し、水平格子間隔約 7 km の設定で、2011 年 10 月 16 日 00 標準時を初期値とする 60 日実験を実施した。下部境界条件として現実的な海面水温分布を与えた。シミュレーションと解析データの比較から、MJO の発生時には顕著な赤道反対称性が見られることが分かった。特に、赤道波の一つである混合ロスビー重力波の東西方向の収縮

がきっかけとなって、東向き群速度が生じ、対流活動の活発化を含む波束の形成に繋がる可能性が強く示唆された。先行研究では下層西風背景場が MJO の発生に寄与するとの指摘があったが、その具体的役割は知られていなかった。本研究では、下層西風領域が混合ロスビー重力波の東西方向の収縮を引き起こす役割を担うことを示した。

(6) 観測データを利用した湿潤静的エネルギー変動と収支式の各項の相関解析により、MJO の不安定化に寄与しているのは海面フラックスと放射加熱であることが分かった。一方で、これらの要素は MJO の位相進行を阻害しており、位相進行を促進する役割を果たすのは水平移流と鉛直移流であった。また、MJO の理論的考察で重要となる規格化湿潤安定度を一様とした場合の影響を検証したところ、規格化湿潤安定度が一様な場合には位相進行が遅くなることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

- Kikuchi, K., C. Kodama, T. Nasuno, M. Nakano, H. Miura, M. Satoh, A. T. Noda, and Y. Yamada, 2017: Tropical intraseasonal oscillation simulated in an AMIP-type experiment by NICAM. *Clim. Dyn.*, 48, doi:10.1007/s00382-016-3219-z. (査読有)
- Miura, H., 2017: Coupling the Hexagonal B1-grid and B2-grid to Avoid a Computational Mode Problem of the Hexagonal ZM-grid. *SOLA*, 13, 69-73, doi:10.2151/sola.2017-013. (査読有)
- Sato, Y., H. Miura, H. Yashiro, D. Goto, T. Takemura, H. Tomita, and T. Nakajima, 2016: Unrealistically pristine air in the Arctic produced by current global scale models. *Sci. Rep.*, 6, doi:10.1038/srep26561. (査読有)
- Shibuya, R., H. Miura, and K. Sato, 2016: A Grid Transformation Method for a Quasi-Uniform, Circular Fine Region Using the Spring Dynamics. *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II*, 94, 443-452, doi:10.2151/jmsj.2016-022. (査読有)
- Miura, H., T. Suematsu, and T. Nasuno, 2015: An Ensemble Hindcast of the Madden-Julian Oscillation during the CINDY2011/DYNAMO Field Campaign and Influence of Seasonal Variation of Sea Surface Temperature. *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II*, 93A, 115-137, doi:10.2151/jmsj.2015-055. (査読有)
- Yokoi, S., 2015: Multireanalysis

Comparison of Variability in Column Water Vapor and Its Analysis Increment Associated with the Madden-Julian Oscillation. *J. Clim.*, 28, 793-808, doi:10.1175/JCLI-D-14-00465.1. (査読有)

Yokoi, S., and A. H. Sobel, 2015: Intraseasonal Variability and Seasonal March of the Moist Static Energy Budget over the Eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO. *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II*, 93A, 81-100, doi:10.2151/jmsj.2015-041. (査読有)

Takasuka, D., T. Miyakawa, M. Satoh, and H. Miura, 2015: Topographical Effects on Internally Produced MJO-Like Disturbances in an Aqua-Planet Version of NICAM. *SOLA*, 11, 170-176, doi:10.2151/sola.2015-038. (査読有)

Yokoi, S., M. Katsumata, and K. Yoneyama, 2014: Variability in surface meteorology and air-sea fluxes due to cumulus convective systems observed during CINDY/DYNAMO. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 2064-2078. (査読有)

Miyakawa, T., M. Satoh, H. Miura, and Coauthors, 2014: Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer. *Nat. Commun.*, 5, doi:10.1038/ncomms4769. (査読有)

Satoh, M., H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, and Coauthors, 2014: The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development. *Prog. Earth Planet. Sci.*, 1, 18, doi:10.1186/s40645-014-0018-1. (査読有)

Miura, H., 2013: An Upwind-Biased Conservative Transport Scheme for Multistage Temporal Integrations on Spherical Icosahedral Grids. *Mon. Weather Rev.*, 141, 4049-4068, doi:10.1175/MWR-D-13-00083.1. (査読有)

Miura, H., and W. C. Skamarock, 2013: An Upwind-Biased Transport Scheme Using a Quadratic Reconstruction on Spherical Icosahedral Grids. *Mon. Weather Rev.*, 141, 832-847, doi:10.1175/MWR-D-11-00355.1. (査読有)

Yasunaga, K., T. Nasuno, H. Miura, Y. N. Takayabu, and M. Yoshizaki, 2013: Afternoon Precipitation Peak Simulated in an Aqua-Planet Global Non-hydrostatic Model (Aqua-Planet-NICAM). *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II*, 91A, 217-229,

doi:10.2151/jmsj.2013-A07. (査読有)

[学会発表](計 25 件)

1. Miura, H.: A global cloud-system-resolving model for studies of tropical meteorology and climate, International Workshop on Parameterization of Physical Processes (INTROSPECT 2017), 2017-02-13, IITM, Pune, India.
2. Yokoi, S., et al.: Diurnal cycle and its modulation by Madden-Julian oscillation observed around western coast of Sumatra Island: preconditioning for offshore convection by gravity waves, 2016 AGU Fall Meeting, 2016-12-12, San Francisco, California, USA.
3. Yokoi, S.: Diurnal cycle of precipitation in western coastal area of Sumatra Island observed during Pre-YMC field campaign, Workshop on global precipitation systems, 2016-11-28, JAMSTEC, Yokohama, Kanagawa, Japan.
4. Miura, H., Ryuji Yoshida, and T. Ohno: NICAM: A global cloud-system-resolving model, The 2016 Dynamical Core Model Intercomparison Project, 2016-06-07, Boulder, Colorado, USA.
5. Yokoi, S., et al.: Modulation of diurnal cycle by Madden-Julian Oscillation observed during Pre-YMC2015 field campaign, Workshop on Intraseasonal Processes and Prediction in the Maritime Continent, 2016-04-11, Singapore, Singapore.
6. Miura, H.: Equatorial asymmetry of a CINDY/DYNAMO MJO event and influence of the seasonal change, CMMAP 20th Team Meeting, 2016-01-06, Boulder, Colorado, USA.
7. Miura, H.: Initiation and eastward-moving processes of an Madden-Julian oscillation event suggested from a global high-resolution simulations by NICAM, 2015 American Geophysical Union Fall Meeting, 2015-12-15, San Francisco, California, USA.
8. Yokoi, S.: Variability in moist static energy budget associated with the Madden-Julian Oscillation over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO extended observing period, 2015 AGU Fall Meeting, 2015-12-15, San Francisco, USA.
9. 横井 覚: インドシナ半島における季節内変動の地理的分布. 日本気象学会秋季大会, 2015-10-28, 京都テルサ, 京都市, 京都

- 府.
10. Yokoi, S.: Variability in moist static energy budget associated with Madden-Julian oscillation over the Maritime Continent, MJO Workshop 2015, 2015-10-15, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.
 11. 三浦裕亮: 多角形格子を用いた全球雲解像気象モデルと離散化手法の課題, 日本応用数理学会 2015 年度年会, 2015-09-10, 金沢大学角間キャンパス, 金沢市, 石川県.
 12. Yokoi, S.: Multi-reanalysis comparison of variability in analysis increment of column water vapor associated with Madden-Julian Oscillation. AOGS 2015, 2015-08-03, Singapore, Singapore.
 13. Yokoi, S., and A. H. Sobel: Seasonal march and intraseasonal variability of the moist static energy budget over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO, AOGS 2015, 2015-08-03, Singapore, Singapore.
 14. Yokoi, S., and A. H. Sobel: Intraseasonal variability of the moist static energy budget over the eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO field campaign, 26th IUGG General Assembly, 2015-06-22, Prague, Czech Republic.
 15. 三浦裕亮: 全球雲解像デモンストラーションを越えて, 2015 年度気象学会春季大会, 2015-05-24, つくば国際会議場, つくば市, 茨城県.
 16. Miura, H.: Recent progress in the icosahedral dynamical core development in Japan, CMMAP 18th Team Meeting, 2015-01-14, La Jolla, California, USA.
 17. 三浦裕亮: 正 20 面体力学コアの高精度化について, 「グローバルスケールとメソスケールを貫く気象学」研究集会, 2014-12-26, 名古屋大学環境総合館, 名古屋市, 愛知県.
 18. Yokoi, S.: Multi-reanalysis comparison of variability in analysis increment of column water vapor associated with Madden-Julian Oscillation, 2014 AGU Fall Meeting, 2014-12-19, San Francisco, USA.
 19. Miura, H.: Updates of the upwind-biased conservative transport schemes on the icosahedral grids, 2014 American Geophysical Union Fall Meeting, 2014-12-16, San Francisco, California, USA.
 20. Miura, H.: Recent studies using a global cloud-system-resolving model NICAM, 2014-11-11, 3rd CCIICS Workshop

- on Climate System Modeling, Academia Sinica, Taipei, Taiwan.
21. Miura, H., T. Miyakawa, and M. Satoh: Extended Madden-Julian Oscillation simulations for the CINDY/DYNAMO period, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, 2014-07-31, Royton Sapporo, Sapporo, Hokkaido, Japan.
 22. Yokoi, S.: Water vapor tendency associated with MJO represented in global reanalysis products, AMS 31st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 2014-04-02, San Diego, USA.
 23. Miura, H., T. Miyakawa, and M. Satoh: Extended Madden-Julian Oscillation simulations by NICAM for CINDY/DYNAMO period, Workshop on Tropical Dynamics and the MJO, 2014-01-16, East-West center, Univ. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.
 24. 横井 覚, 2013: JRA-55 再解析を用いた熱帯季節内変動の水蒸気収支解析. 日本気象学会秋季大会, 2013-11-19, 仙台国際センター, 仙台市, 宮城県.
 25. 三浦裕亮: 全球雲解像気候計算に向けて, 2013 年度気象学会春季大会, 2013-05-18, 代々木オリンピックセンター, 渋谷区, 東京都.

〔その他〕

ホームページ等

http://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~miura/MJO/mjo_ws2014.html

http://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~miura/MJO/mjo_ws2015.html

http://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~miura/MJO/mjo_ws2016.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 裕亮 (MIURA, Hiroaki)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号: 70415991

(2) 研究分担者

横井 覚 (YOKOI, Satoru)

海洋研究開発機構・大気海洋相互作用研究分野・主任研究員
研究者番号: 40431902

佐藤 薫 (SATO, Kaoru)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 90251496