

日本気象学会誌 気象集誌
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第93A巻 2015年12月 目次と要旨

「インド洋におけるマッデン・ジュリアン振動をターゲットにした協同実験特別号」

論文

- Emily M. RILEY DELLARIPA・Eric D. MALONEY：RAMA ブイデータを用いた
インド洋における MJO による風-フラックス間フィードバックに関する解析
研究1-20
- 増永浩彦：CINDY2011/DYNAMO/AMIE および TOGA COARE 観測データにもとづく
衛星大気収支解析手法の検証21-40
- 竹見哲也：対流解像シミュレーションにより示される CINDY2011/DYNAMO 観測期間
における積雲活動と水蒸気変動との関係性41-58
- 茂木耕作：CINDY2011の10月下旬に観測された Madden-Julian Oscillation の初期過程
における赤道非対称な特徴59-79
- 横井 覚・Adam SOBEL：CINDY2011/DYNAMO 期間中の海洋大陸東部における
湿潤静的エネルギー収支の季節内変動と季節進行81-100
- 久保田尚之・米山邦夫・濱田純一・佐 培明・Agus SUDARYANTO・Ikhsan B. WAHYONO：
CINDY2011/DYNAMO 集中観測期間中に観測されたマッデン・ジュリアン振動の
発生段階での海大陸の対流活動の役割101-114
- 三浦裕亮・末松 環・那須野智江：CINDY2011/DYNAMO 観測期間中のマッデン・
ジュリアン振動のアンサンブルハインドキャスト実験と海面水温季節変化の
影響115-137
- 清木亜矢子・名倉元樹・長谷川拓也・米山邦夫：マッデン・ジュリアン振動の季節的オンセット
と南東インド洋冷却との関係†139-156
- Tommy G. JENSEN・Toshiaki SHINODA・Sue CHEN・Maria FLATAU：大気海洋
結合モデル COAMPS における CINDY/DYNAMO 観測期間中に現れた MJO へ
の海洋応答157-178

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

Emily M. RILEY DELLARIPA・Eric D. MALONEY：RAMA ブイデータを用いたインド洋における MJO
による風-フラックス間フィードバックに関する解析研究

Emily M. RILEY DELLARIPA and Eric D. MALONEY: Analysis of MJO Wind-Flux Feedbacks in the Indian Ocean
Using RAMA Buoy Observations

マッデン・ジュリアン振動 (MJO) にとって風が 引き起こす海面フラックスが重要な働きをしていると

† アジア・オセアニア大気科学に関する特集号

する過去の研究結果を踏まえ、インド洋の赤道上に展開された2つのResearch Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction (RAMA) プイと熱帯降雨観測衛星 (TRMM) によって得られた2004年から2012年までのデータを用いて、季節内スケールの大気対流活動に対する潜熱フラックスの相対的な重要性を調べた。

本研究では季節内変動を、20–100日のバンドパスフィルターとリアルタイム多変量MJO (RMM) 指標の2通りで抽出している。線形回帰分析の結果から、潜熱フラックス偏差と降雨偏差を単位面積当たりの放射量に換算して比較した場合、前者は後者の4–8%に相当した。この結果は湿潤静的エネルギー収支の観点から考えれば、風により引き起こされる潜熱フラックスはMJO対流の不安定化を促す潜在性を持つ

と言える。簡便な季節内振動フィルタリングおよび全球MJO指標のいずれを用いた結果においても、降雨が潜熱フラックスの変化に比べて数日のオーダーで先行していることが示され、海面フラックスはMJO対流を維持する働きがより重要であること、またMJOの伝搬速度の決定にも寄与していることが示唆される。風速または熱力学的物理量(気温、相対湿度、海面水温など)のいずれかのみに平滑化をかける感度実験を行い、風速の変化がもっとも季節内スケールの潜熱フラックス変動に寄与していることが示された。同様の結果は潜熱フラックスの算出式の線形化によっても得られた。さらなる解析から、メソスケールや総観規模の風速変動は、潜熱フラックスの季節内スケールの変動に対して無視できる程度のインパクトであることを見出した。

増永浩彦：CINDY2011/DYNAMO/AMIE および TOGA COARE 観測データにもとづく衛星大気収支解析手法の検証

Hirohiko MASUNAGA: Assessment of a Satellite-Based Atmospheric Budget Analysis Method Using CINDY2011/DYNAMO/AMIE and TOGA COARE Sounding Array Data

CINDY2011 (Cooperative Indian Ocean Experiment on Intraseasonal Variability in the Year 2011), DYNAMO (Dynamics of the Madden-Julian Oscillation), AMIE (Atmospheric Radiation Measurements Madden-Julian Oscillation Investigation Experiment) による合同観測網および TOGA COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment) より得られた地上観測データとの比較から、衛星観測に基づく水蒸気・熱収支解析手法を評価する。衛星データ解析はおおむね、地上観測網から推定された大規模場平均鉛直流・水蒸気収束・MSE (湿潤静的エネルギー) 収束の統計的なふるまいを定量的に再現してい

ることが見出された。一方個々の対流事例ごとに見ると、一般に系統的な時間進化経路をたどらず、コンボジット空間内で水蒸気・MSE 収束の統計平均値の周りに広く分散している。

次に静止衛星赤外観測を用いて、対流事例を「発達」「位置ずれ」「通過」の三群に分類し、対流の力学を代表していない不適合なサンプルの選り分けを試みる。三群いずれにおいても、定性的な時間進化の特徴は同じであったが変動の振幅に差が見られ、発達群で最も振幅が大きく通過群でもっとも弱い。総観場から強い影響を受けない事例を抽出し、かつMSE 収束から水平移流の寄与を除去した場合、事例間の分散は大幅に減少する。

竹見哲也：対流解像シミュレーションにより示される CINDY2011/DYNAMO 観測期間における積雲活動と水蒸気変動との関係性

Tetsuya TAKEMI: Relationship between Cumulus Activity and Environmental Moisture during the CINDY2011/DYNAMO Field Experiment as Revealed from Convection-Resolving Simulations

熱帯海域での積雲対流の活動は大規模大気場によって強くコントロールされている一方、同時に積雲対流

は大規模場に影響を及ぼす。積雲対流が関与する多重スケールの相互作用過程において、水蒸気の時空間変

動が重要な役割を果たしていると考えられる。本研究は、熱帯インド洋での積雲対流と環境場の水蒸気との関係について、対流を陽に解像する数値シミュレーションにより調べた。本数値シミュレーションでは、計算領域をネストして設定することにより、最内領域での格子間隔は100 mである。Cooperative Indian Ocean Experiment on Intraseasonal Variability in the Year 2011 (CINDY2011) / Dynamics of the Madden-Julian Oscillation (MJO) (DYNAMO) 観測実験期間中である2011年10月から11月の期間を対象として調べた。最外領域においてインド洋を東進する擾乱をよく再現できたことに基づき、100 m 格子シミュレーションで得られた結果を解析した。雲頂高度が中層を越える雲量は可降水量がおおよそ55 mm を

超えると急増することが示された。また、下層の相対湿度が増加すると、その湿潤層よりも高い高度を越える雲の量が増大することも分かった。対流を解像した数値シミュレーションを行うことにより、環境の空気塊とあまり混合しない上昇流のコアが積雲内に存在することが示された。この上昇流コアは、環境との混合という負の影響をあまり受けることなく、対流圏上層にまで到達し、これによって環境場が湿潤化される。このように、上昇流コアの存在が、積雲対流とその環境場との間の相互関係において鍵となる役割を果たしていると言える。本研究で示された積雲から環境場への影響は、対流活動による MJO の発生のための前提条件を与えるものと解釈できる。

茂木耕作：CINDY2011の10月下旬に観測された Madden-Julian Oscillation の初期過程における赤道非対称な特徴

Qoosaku MOTOKI: Equatorially Antisymmetric Features in the Initiation Processes of the Madden-Julian Oscillation Observed in Late October during CINDY2011

本論文は、CINDY2011 (Cooperative Indian Ocean Experiment on Intraseasonal Variability in the Year 2011) の10月下旬に観測された MJO (Madden-Julian Oscillation) 事例の初期過程における赤道非対称な特徴を記述する。この MJO は、9月から10月に熱赤道が北半球から赤道に大きく移り変わり、南インド洋上のマスカリン高気圧が衰退し南下する状況下で発達した。MJO 周辺における海面気圧、気温、水蒸気の大規模な場は、赤道非対称な特徴を示していた。インド洋上の MJO 対流は、地表収束、気温、水蒸気の間が異なる特徴を持つ対流要素、s-ITCZ (10°S-0°で海面水温 [SST] の南北傾度に沿った南側の熱帯収束帯 [ITCZ])、n-ITCZ (ベンガル湾上で29°C以上の高い SST の南縁に沿った北側

の ITCZ)、VDAS (アラビア海上で東西方向の SST 傾度を伴う渦擾乱)、WPDS (スマトラ島起源の西進する日変化対流) の4つから構成されていることがわかった。特に、二重 ITCZ と VDAS は、SST に強制された地表の温位傾度に沿った定常的な下層収束によって特徴付けられた。MJO 対流の開始前は、二重 ITCZ が、赤道を越えて北向きに傾く傾圧的な鉛直循環によって特徴付けられており、s-ITCZ の対流が強いマスカリン高気圧によって抑制されていた。MJO 対流の開始後は、二重 ITCZ が赤道向きにずれた結果として、より大規模な単一の上昇域が赤道上で傾圧的に形成された。そうした緯度方向に赤道非対称な循環の変化は、MJO 対流の組織化に適したものである。

横井 寛・Adam SOBEL：CINDY2011/DYNAMO 期間中の海洋大陸東部における湿潤静的エネルギー収支の季節内変動と季節進行

Satoru YOKOI and Adam SOBEL: Intraseasonal Variability and Seasonal March of the Moist Static Energy Budget over the Eastern Maritime Continent during CINDY2011/DYNAMO

近年、マッデン・ジュリアン振動 (MJO) の特性を湿潤静的エネルギー (MSE) 収支の側面から理解

しようという試みが数多くなされている。そこで本研究では、CINDY2011/DYNAMO 期間 (2011年10

月-2012年3月)に海洋大陸東部で見られたMSE収支特性の季節進行と季節内変動について、高層観測データ等の解析を通して調べた。

季節進行としては、12月上旬に見られた夏季モンスーン開始の前後で収支特性が大きく異なっていた。開始前は、鉛直積算MSE収支式を構成する非断熱生成項(地表乱流熱フラックスと大気放射の和)も移流項も絶対値が小さかったが、開始後になると、生成項は大きな正值をとり、移流項は大きな負値をとるようになった。

季節内変動としては、期間中、典型的なMJOの特徴を備えた5つの東進擾乱が海洋大陸東部を通過し、それに伴って生成項、移流項とも大きく変動した。生成項はMJOの対流活発域に伴う正の鉛直積算MSE

偏差を維持するように変化し、一方で移流項はMSE偏差の位相の進行を促すように変化した。これらは、MJOが水蒸気モードの一種であり、生成項により不安定化し移流項により東進が実現されているとする既往研究の解釈と整合的である。

さらに、(1)鉛直積算大気放射量偏差が可降水量偏差と比例する、(2)いわゆるGross Moist Stabilityを一定とする、という2つの仮定をおいた場合にMSE収支特性がどのような影響を受けるのかについても調べた。これらの仮定は、MJOの特性を説明するための力学モデルを構築する際にしばしば用いられるものである。本研究により、仮定(1)はMJOの位相進行を早める方向に働き、逆に(2)は遅らせる方向に働くことがわかった。

久保田尚之・米山邦夫・濱田純一・伍 培明・Agus SUDARYANTO・Ikhsan B. WAHYONO : CINDY 2011/DYNAMO 集中観測期間中に観測されたマッデン・ジュリアン振動の発生段階での海大陸の対流活動の役割

Hisayuki KUBOTA, Kunio YONEYAMA, Jun-Ichi HAMADA, Peiming WU, Agus SUDARYANTO, and Ikhsan B. WAHYONO: Role of Maritime Continent Convection during the Preconditioning Stage of the Madden-Julian Oscillation Observed in CINDY2011/DYNAMO

この論文ではCINDY2011/DYNAMOとHARIMAU2011の集中観測のデータを用いて、マッデン・ジュリアン振動(MJO)の発生段階で海大陸のスマトラ島の対流活動の役割を調べた。CINDY2011/DYNAMOとHARIMAU2011の集中観測は、それぞれ2011年10月から2012年1月にインド洋で、2011年12月にインドネシアのスマトラ島で行われた。いずれの集中観測も2011年12月のMJOの発生段階を含んでいる。南シナ海で発生した熱帯低気圧の水蒸気塊の到来で、スマトラ島での対流活動の日変化が活発化した。その後、スマトラ島で日変化する対流活動は、2日周

期の擾乱と連動して中央インド洋に西進しているのが観測された。2日周期の擾乱は西進慣性重力波の構造と対応していた。西進波が中央インド洋に到達した際、下層水蒸気移流が引き起こされた。中央インド洋のGan島で2日周期の水蒸気の湿潤過程が促進された。大規模対流に好条件の環境場が整ったのち、MJOは中央インド洋で活発化した。2日周期の西進擾乱はスマトラ島で大規模水蒸気収束が正になったときに組織化され、MJO活発期の強い西風が形成されるまで続いた。

三浦裕亮・末松 環・那須野智江 : CINDY2011/DYNAMO 観測期間中のマッデン・ジュリアン振動のアンサンブルハインドキャスト実験と海面水温季節変化の影響

Hiroaki MIURA, Tamaki SUEMATSU, and Tomoe NASUNO: An Ensemble Hindcast of the Madden-Julian Oscillation during the CINDY2011/DYNAMO Field Campaign and Influence of Seasonal Variation of Sea Surface Temperature

水平格子間隔約14 kmの全球雲システム解像モデルを用いて2011年10月12日~16日を初期値としたアンサ

ンブルハインドキャスト実験を行った。アンサンブル数は5でそれぞれのシミュレーション期間は60日であ

る。海面水温の現実的時間変化を与えた場合、アンサンブル平均に CINDY2011/DYNAMO 期間に観測された 2 つのマッデン・ジュリアン振動 (MJO) イベントが現れた。しかしながら、個々のメンバーにおいて、2 番目の MJO イベントの再現は不十分であった。この結果は、2 番目の MJO イベントが与えられた海面水温の季節変化により強く拘束されている、との仮説につながる。観測的データの解析により、11 月後半から 12 月前半にかけて海洋大陸南東部の海面水温がインド洋の海面水温より十分に高く、MJO にとって好ましい環境場となることが示された。その期間に

は海洋大陸南東部で対流圏下層の比湿が大幅に上昇する。全球雲システム解像モデルを用いた一組の感度実験から、2 番目の MJO イベントが少なくとも部分的には海面水温の季節変化に強制されていることが示された。この結果は、この時期には気候的な季節変化の時間スケールが MJO の季節内変動の時間スケールと同程度に短いため、季節変化を MJO の背景場と見なすことが不適切であることを示す。我々は、ある種の MJO は暖かい海面水温に追従する大規模場の正の浮力生成域の東方移動に応答した遷移過程と見なしうる、との視点を提示する。

清木亜矢子・名倉元樹・長谷川拓也・米山邦夫：マッデン・ジュリアン振動の季節的オンセットと南東インド洋冷却との関係

Ayako SEIKI, Motoki NAGURA, Takuya HASEGAWA, and Kunio YONEYAMA: Seasonal Onset of the Madden-Julian Oscillation and its Relation to the Southeastern Indian Ocean Cooling

本研究では、1993年から2012年までのデータを用いて、マッデン・ジュリアン振動 (MJO) の季節的オンセットと南東インド洋冷却、およびその海洋ロスビー波との関係について調査した。南インド洋における downwelling ロスビー波の季節的な西進はほとんどの年でみられたが、その振幅や位相速度には年毎にばらつきがあった。北半球夏から秋にかけて、西進するロスビー波の中心付近では比較的海面水温 (SST) が高かったが、その東方には広い範囲で冷水域が広がっていた。この南東インド洋冷水域は、正のインド洋ダイポール (IOD) とエルニーニョの同時発生年よりも長い期間持続する一方で、その発生の有無は IOD とは無関係であった。各年のインド洋から太平洋へ伝播する MJO 対流が発生するのは、この冷水期間が終了した日以降がほとんどであった。この要因を調査するため、南東インド洋冷水域の指標に対する相関を取った。周囲の SST との高い相関は南半球側に

偏っていたが、対流活動との有意な相関は海大陸付近の北半球側にもみられた。これに関連して、赤道南方の海大陸付近から東部インド洋と西部太平洋へと向かう 2 つの local な循環偏差が形成されていた。この循環に伴う南風が、南半球側の乾いた空気塊を北半球側へ送り、対流を抑制していた可能性がある。このように、南東インド洋冷却は海大陸付近の対流を抑制し、MJO がインド洋から太平洋へ東進するのを阻害する傾向がある。冷水域の形成過程に関する初期解析では、南東インド洋における北半球夏から秋の SST 変動は、東西移流や地表面熱フラックスと高い相関があった。また、その東西移流はロスビー波に伴う西向き流の振幅と関連していた。このように、南東インド洋の海洋上層の変動過程を調べることは、冬季 MJO イベントの季節的なオンセット予測に寄与する可能性がある。

Tommy G. JENSEN・Toshiaki SHINODA・Sue CHEN・Maria FLATAU：大気海洋結合モデル COAMPS における CINDY/DYNAMO 観測期間中に現れた MJO への海洋応答

Tommy G. JENSEN, Toshiaki SHINODA, Sue CHEN, and Maria FLATAU: Ocean Response to CINDY/DYNAMO MJOs in Air-Sea Coupled COAMPS

2011年北半球秋季に3回発生したマッデン・ジュリアン振動 (MJO) による海洋の応答を高解像の大気

海洋結合モデル Coupled Ocean-Atmosphere Meso-scale Prediction System (COAMPS) により再現し

た。モデルは Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction (RAMA) プイで観測された active phase の低い海面水温とその日変化の減少を良く再現した。MJOに伴う西風に対する最も顕著な応答は急速な Yoshida jet の加速でその流速は 1 ms^{-1} を超える。類似した Yoshida jet は RAMA プイでも観測された。これらの Yoshida jet は、深さ 50–150 m に流速の最大値がある Wyrski jet と同時に起こっている。海面高度と

熱容量の変化から赤道ロスビー波と赤道ケルビン波が生成されていることが示唆される。3度目の MJO の後、Yoshida jet はインド洋赤道近くのほぼ全域に見られた。インドネシア西岸でのケルビン波の反射によりロスビー波がさらに生成される。これらの波動に伴う海流で赤道の北側と南側の低塩分水が西向きに輸送され、熱帯海洋循環に影響を与えることが示唆される。