

# Cross-scale Interaction in the Realization Processes of the Madden-Julian Oscillation

マッデン・ジュリアン振動の顕在化過程におけるスケール間相互作用に関する研究  
高須賀 大輔 (大気海洋研究所 海洋物理学部門 佐藤研究室)

## 1. はじめに

マッデン・ジュリアン振動 (MJO) は熱帯域で支配的な季節内擾乱であり、典型的には数千 km スケールで組織化した雲群がインド洋-西太平洋を約  $5 \text{ m s}^{-1}$  で東進する現象である。MJO の影響は様々な気象・気候場に及ぶため、その顕在化過程の解明の重要性が認識されている。実際に多くの先行研究により、主に大規模/季節内の力学・水蒸気変動に着目して MJO の発生・東進機構の理解が進められてきた (Lau & Waliser, 2012)。

一方で、MJO に伴う対流システムの階層構造の存在 (Nakazawa, 1988) を踏まえ、総観規模擾乱との相互作用に立脚した議論も存在する。例えば、MJO 発生前の湿潤化に対する混合ロスビー重力波 (MRG) の寄与の報告 (e.g., Yasunaga et al., 2010; Takasuka et al., 2018) や、近年支持されている MJO スケールの力学応答下での水蒸気変動に着目した理論に対する疑義 (Pritchard & Yang, 2016) は、総観規模擾乱の考慮の重要性を示唆している。しかし、そうした擾乱が MJO 対流の発生や東進を駆動する具体的過程に関しては未だに不明確な点が多い。

また、MJO より長周期の変動も、MJO の顕在化に好都合な状況を変化させる要因 (e.g., Hendon et al., 1999; Suematsu & Miura, 2018) という点で、MJO 発生の包括的理解に重要である。一例として、MJO の発生領域の変調は現状で提唱されている発生機構では説明できない事象であり、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) の影響が指摘されている (Bellenger & Duvel, 2012)。しかし、発生領域の決定に至るメカニズムまでは明らかでない。

そこで本研究では、1) MRG との相互作用に着目したインド洋での MJO の発生・東進の新機構の提唱、2) 季節内-長周期変動から見た MJO の発生領域変調の要因理解を通じて、多重スケールの相互関係の観点から MJO の発生・東進開始の決定プロセスを明らかにすることを目的とする。

## 2. MJO の発生・東進の駆動力としての MRG の役割: 事例解析によるメカニズム提唱

第 2 章では、2017 年冬季にスマトラ島沿岸域で行われた集中観測 “YMC-Sumatra 2017” 期間中に顕在化した MJO の発生・東進過程に着目し、「インド洋での MRG が MJO の発生・東進の駆動力として有効である」という観点を提示することを目的として、現場観測データ等を用いた事例解析を行った (Takasuka et al., 2019)。

## 2.1 使用データ

2017 年 11 月-2018 年 1 月に実施された “YMC-Sumatra 2017” における研究船「みらい」でのラジオゾンデ観測 (12/5-31; 3 時間毎)、同期間の ERA-Interim や黒体輝度温度 (GridSat-B1)、降水データ (GSMaP) を用いた。

## 2.2 結果

「みらい」での 27 日間のラジオゾンデ観測の南北・東西風のスペクトル解析の結果、対流圏中下層で 4-6 日周期にピークが見られ、対応する擾乱は MRG の性質と整合した。降水量 (水蒸気量) と周期 3.5-7 日成分の中層 (下層) 南北風の時間経度断面 (図 1a, b) を見ると、MRG に伴う中層南北風シグナルの西進速度が西インド洋で低下して振幅が増大するタイミングと MJO の発生が対応し、下層北風偏差の形成とも一致している。

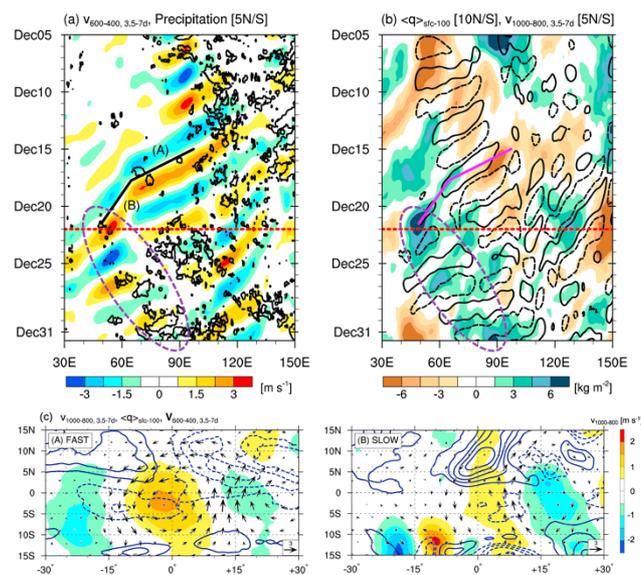


図 1 (a) 5S-5N 降水 (0.8 mm/hr; 太線), 3.5-7 日周期の 600-400 hPa 南北風偏差 (陰影), (b) 1000-800 hPa 南北風偏差 ( $\pm 0.75 \text{ m s}^{-1}$ ; 太線), 10S-10N 水蒸気量偏差 (陰影) の時間経度断面。紫楕円は MJO。 (c) (a) の (A), (B) に沿った中層水平風 (矢印), 下層南北風 (陰影), 水蒸気量偏差 (等値線) の水平構造。

これらの過程を理解するため、MRG の位相速度の変調前後の構造を比較すると (図 1c)、位相速度低下時に東西波長の短化と湿潤偏差の増大が見られ、波長短化と対応した MRG に伴う力学と対流活動との結合の強化が反映されていた。MRG の波長短化は中層での弱い収束域に侵入した際に生じており、日付変更線付近での MRG-TD 遷移と同様のアナロジーが働いていたと考えられる。結果、下層の波束形成が促進され MJO の対

流を励起したことがEKE収支解析から分かった。また、インド洋ではMJO発生前にMRGに伴う浅い循環によって中層の赤道域が広く湿潤化傾向となり、対流組織化に好都合な場が形成されていた。

その後、MJOの対流域は東進を開始し、下層のMRGの東向き波束伝播 ( $\sim 5 \text{ m s}^{-1}$ ) と良く対応している (図1b)。湿潤偏差の極大に先行して波束が形成されており、MRGに伴う力学場が東側に順次対流を励起することがMJOの東進を駆動していることが明らかとなった。

上記と類似したプロセスは1982-2012年の北半球冬季にインド洋で発生したMJO (47事例) の約6割 (26事例) と整合し、普遍性を有することを第3章で示した。

### 3. 長周期変動に伴うMJO発生領域の変調要因

第4章では、MJO発生に好都合な環境の包括的解釈に有用な知見を与えることを目的とし、MJOの発生領域に多様性が見られる要因について、主に季節内プロセスとその背景場の相互関係に着目して明らかにする。

#### 3.1 アプローチ

まず、観測に基づくデータ (CMAP, OLR, ERA-Interim, OISST2) を用いた統計解析により、1982-2012年の北半球冬季にインド洋 (IO)・海大陸域 (MC)・西太平洋 (WP) で発生したMJOの発生前の状況を把握する。MJOはZhang & Ling (2017) やTakasuka et al. (2018) の方法を援用して抽出し、発生日をDay 0としたラグコンポジット解析等を行った。続いて、全球大気モデルNICAMを用いて統計解析による仮説を検証するための季節・SST固定実験を行い、その結果を解析した。

#### 3.2 観測に基づく統計解析の結果

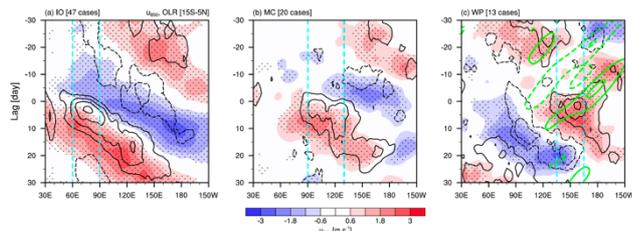


図2 850 hPa 東西風 (陰影) と OLR (等値線) 偏差の時間経度断面。(a) IO [47 事例], (b) MC [20 事例], (c) WP [13 事例]。

各海盆で発生したMJOは適切に抽出されており、発生前の循環場は相異なっていた (図2)。MC発生ではIO発生と比べて、Day -30 から見られる対流活発域と対応する西風域が東方へシフトしており、それに伴って発生直前の対流抑制域と東風偏差の位置も東にずれている (図2a, b)。一方でWP発生は、赤道ロスビー波に対応する西進擾乱がWPに貫入した時点と対応していた (図2c)。各発生領域での湿潤静的エネルギーの収支解析により、どの領域のMJO発生前でも主に季節内の流れによる水平移流の寄与が支配的であったことから、

前述の季節内での赤道域での東西循環場の変化が湿潤化しやすい領域を変調させたことが、MJOの発生領域の変調の直接的な要因であると考えられる。

以上の各状況を実現しやすい背景場があるとの仮説下で、発生前における周期100日以上の変調偏差を調べた (図3)。IO発生では気候値的な分布を示す一方 (図略)、MC発生では120-150Eで対流不活発傾向にあった (図3a)。IO発生よりも上記領域で対流が組織化しづらい状況は、図2bでの季節内循環の東方シフトと整合的である。WP発生では、140-170Eで対流活発、その東西で不活発傾向を示し (図3b)、発生領域付近での擾乱の活発化に好都合であった。これらの循環場の変調はSSTの長周期変動とも対応し、MC発生時では東太平洋の昇温、WP発生では西-中央太平洋の昇温とインド洋南東 (南西) 部の降温 (昇温) 傾向が見られた。

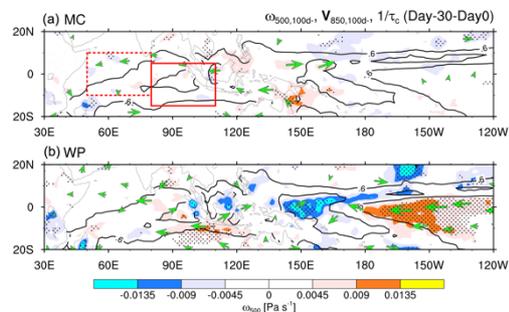


図3 周期100日以上の変調偏差の500 hPa鉛直流 (陰影), 850 hPa水平風偏差の水平図 (Day -30-Day 0 平均)

#### 3.3 季節・SST固定実験による仮説検証

季節を北半球冬季に固定し、SST分布として冬季気候値を与えた実験 (CTL) と、MC, WP発生に対応するSST偏差を模したものをCTLに加えた感度実験 (EP, CP\_IO) を行った (各15年,  $\Delta x = 28 \text{ km}$ )。EP (CP\_IO) 実験におけるMJO発生経度の確率分布 (図4a) は、CTLと比較してMC (WP) で明瞭なピークを有し、実際にその領域で最も確率が增大していた (図4b)。これは観測で見られた傾向と対応している。また、MJOの季節内スケールでの発生過程も観測と整合的であった。

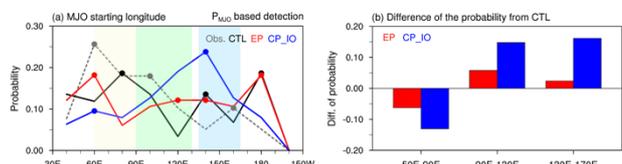


図4 (a) MJO発生経度の確率分布, (b) 各海盆でのMJO発生確率のCTLとの差

### 4. まとめ

インド洋でのMJOの発生・東進過程では、MRG波束の発達に伴う対流励起や水蒸気蓄積がある程度普遍的に重要であることを初めて指摘した。また、長周期のSST変動に伴う背景東西循環の変化が季節内循環に影響してMJO発生領域を変調させることを示した。