



2026年2月17日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学  
国立研究開発法人理化学研究所  
国立大学法人東京大学  
国立研究開発法人海洋研究開発機構

日本の天候を揺さぶる熱帯の巨大雲群  
マッデン・ジュリアン振動の移動を左右する鍵を解明  
—数週間先の天候予測の精度向上に資する着眼点を提示—

【発表のポイント】

- 日本の天候を左右する熱帯の巨大雲群「マッデン・ジュリアン振動（Madden-Julian Oscillation：以下、MJO）<sup>（注1）</sup>」が太平洋に移動するメカニズムを、全球高解像度気象モデルによる精緻かつ膨大な数のアンサンブルシミュレーション<sup>（注2）</sup>で明らかにしました。
- 急激な季節進行後の12月は、同一の環境下でもMJOの移動シナリオが複数存在するという混沌さを持つ一方、その選択はMJO発生時の風の強さに左右され、熱帯-中緯度相互作用の僅かな差を通じて決まることも示しました。
- 上記過程の監視は、MJOに伴う数週間先の天候予測の精度向上に繋がります。MJOの複雑さを捉えた膨大な計算結果は、AI天気予報の改良にも有望です。

【概要】

熱帯域には、東西数千 km にも及ぶ巨大な積乱雲群がインド洋から太平洋に移動するマッデン・ジュリアン振動（MJO）という顕著な気象現象があります。MJO は世界各地に異常天候を導くテレコネクション<sup>（注3）</sup>の源であり、その移動がいつどのように起きるかの解明は、熱帯気象学の最重要課題の1つでした。

東北大学大学院理学研究科の高須賀大補助教らの研究チームは、全球の雲の動態を精緻に計算する気象モデルを用いて、2つのMJOを対象に計4,000個の膨大な「パラレルワールド」を生成し、外的条件が同じ中でのMJOの移動の決まり方を解明しました。冬への季節進行後の12月はMJOの移動シナリオが複数存在して予測が混沌とする一方、シナリオ選択の鍵は、MJO発生時の風の強さに端を発する熱帯-中緯度相互作用の些細な違いにあることを突き止めました。この結果とアプローチは季節予報やAI天気予報の精度向上に繋がります。

本成果は科学誌 Science Advances に日本時間 2026年2月19日午前4時付で掲載されます。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

マッデン・ジュリアン振動（MJO）は、もともと熱帯域での 30～60 日周期の気圧振動として発見され、その実態は、背の高い積乱雲群が数千 km 規模にわたってインド洋で集団化し、太平洋に向かって時速 10～30 km 程度の遅さで移動する現象です（図 1）。MJO の巨大な雲群に伴う多量の雨は、インド-太平洋域の脅威であり、例えば 2025 年 11 月の東南アジア各地での記録的豪雨の際には、活発な MJO がインドネシア～太平洋西部に到来していました。また、MJO は熱帯の大気循環を広く変えることで、台風の発生やエルニーニョ現象の発達・衰弱を促したり、中高緯度へのテレコネクションを引き起こしたりするなど、世界の気象・気候に影響する要因にもなっています。

このため、MJO が発生したのち、その雲群がいつどのように移動するのかを明らかにすることは、世界各地の天候予測のリードタイムを延ばす上で重要です。一説では、MJO に対して背景となる状態（季節や数年で変化する大気場）が決まれば、MJO の移動の性質（移動速度・太平洋への移動の有無）も決まるとする理論が主流です。一方、その見方では説明しえないカオス<sup>(注4)</sup>的な振る舞いも観測データから示唆されています。しかし、カオスの直接的実証や要因の特定は、観測データの解析だけでは困難です。この解決には数値シミュレーションが有効な手段ですが、雲を半経験的に表現している多くの大気モデルは、そもそも MJO の移動を満足に表現できないというジレンマを抱えてきました。

### 今回の取り組み

そこで今回は、全球で雲の動態を直接計算する高解像度大気モデル NICAM<sup>(注5)</sup>を用いることで MJO のシミュレーションに関する課題を克服し、さらにアンサンブル実験という手法で MJO の移動のタイミングや有無がどう決まるかを調査しました。2018 年 11 月と 12 月に発生した 2 つの MJO 事例を対象に、わずかに異なる初期状態を持つ「パラレルワールド」を生成し、MJO に対する背景の状態は揃えてある中で、MJO の移動がどれだけばらつくか（カオス的か）を直接示すことを目指しました。起こりうる状況を可能な限り網羅するべく、パラレルワールドの生成数は、2 つの各 MJO に対して 1,000 個という膨大な規模としました。全球の雲を陽に計算するほどの高解像度でこの規模のアンサンブル実験を行うには莫大な計算量が必要ですが、理化学研究所のスーパーコンピュータ「富岳」<sup>(注6)</sup>の圧倒的な計算性能がそれを可能にしました。

解析の結果、11 月の MJO は太平洋への移動の有無が確率的で、移動できた場合は観測されたタイミングに一意に定まるのに対し、12 月の MJO は太平洋へ移動しやすいものの、そのタイミングが一意に定まらず、観測された状況とは異なるもう 1 つのシナリオが存在していたことを明らかにしました（図 2）。つまり、MJO に対する背景の状態だけでは MJO の移動タイミングは決まらず、

状況によっては 1 つの背景に対して複数の移動タイミングの候補が出現するという、カオス的な振る舞いを実証しました。

取りうる MJO の移動タイミングの数が変わる原因が分かれば、複数の予測シナリオの用意に備えられます。この観点で 11 月と 12 月の違いを調べると、わずか 1 ヶ月の間に進行する日射の季節変化で、南半球側の海水温が一気に暖まるのが、MJO の移動を促す別プロセスを 12 月に出現させていたことが分かりました (図 3)。MJO の移動タイミングの予測の確度は、急激な季節進行の前後で変わること留意すべきことを意味します。

予測の観点でより重要なのは、12 月の MJO で取りうる 2 つの移動タイミングのうち、どちらが実現するかを決める選択律です (図 3)。直接の決め手は、太平洋西部に効率的に水蒸気を供給する熱帯域特有の大気波動が発達するか否かでしたが、それを裏で司っていたのは、中緯度の気圧の谷が熱帯に侵入できるか否かでした。さらにこの分別の原因は、MJO の雲群がまだインド洋にある段階 (つまり移動前) に伴って形成される、太平洋西部上空の西風のわずかな強弱にまで遡ることを示しました。すなわち、MJO 発生時の循環強度の差異が、中緯度からの力学的影響のポテンシャルを変え、MJO 自身の移動タイミングを左右するという、中緯度を巻き込んだ相互作用が選択律の鍵を握っていました。

## 今後の展開

本研究は、MJO の移動のカオス性を初めて明らかにしました。学術的には、マッデン・ジュリアン「振動」という名から暗に想定されてきた、単一のバネのようにシンプルな振動を示す MJO 理論の正当性を疑問視し、MJO とは時間・空間的に異なる変動との相互作用に踏み込む必要性を主張するものです。

一方、この複雑さの要因も特定したことで、季節予報で着目すべき実用的な手がかりを提供しました。例えば、急激な季節進行後の 12 月以降の冬は、MJO 発生時の強度に注意し、中緯度から熱帯に影響する MJO よりも速いスケールの変動も随時監視することが、リードタイムを確保した MJO の移動予測に肝要です。これは、MJO の影響を大きく受ける日本を含め、世界各地の数週間先の天候予測の信頼度の向上に繋がります。

さらに、近年脚光を浴びている人工知能 (AI) による天気予報は、主に観測データを学習材料としていますが、そのデータ量では今回示されたような、同一の環境下でも複数の移動シナリオを取りうる MJO のカオスな振る舞いを網羅できていないかもしれません。全球高解像度モデルが生成する膨大なアンサンブル実験データは、この学習不足を補完し、AI 天気予報の性能を向上させる発展性も秘めています。

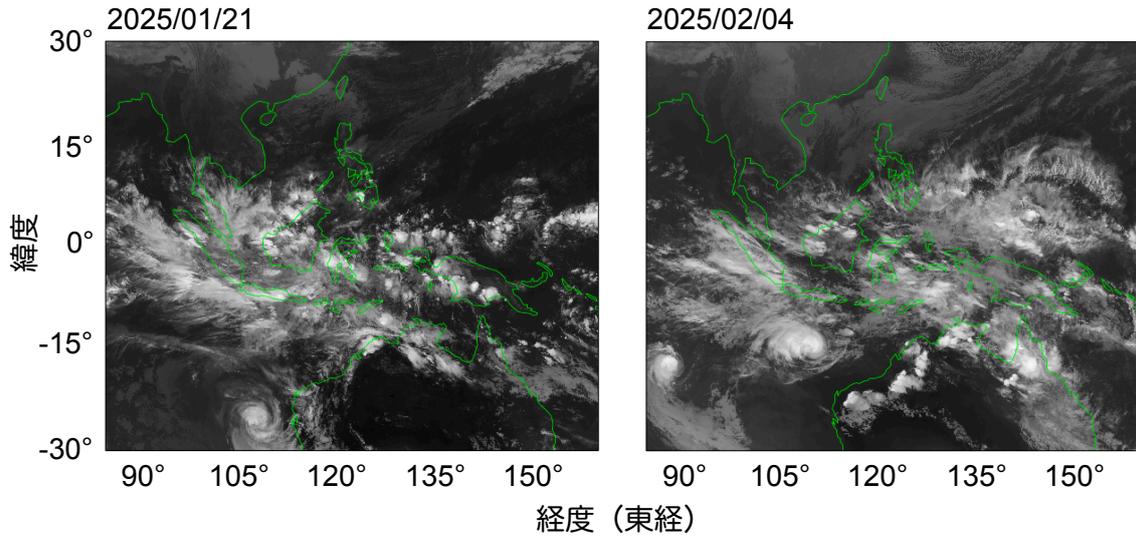


図 1. 2025 年 1 月 21 日 (左) と 2 月 4 日 (右) の 21 時 (日本時間) における気象衛星ひまわり 8 号の雲画像 (千葉大学環境リモートセンシング研究センターの公開データを用いて作成)。インドネシア島嶼部を覆う巨大な雲の群れが MJO に伴うもの。この 2 週間の間、雲の群れの中心は東に移動しており、この群れから渦巻いた熱帯低気圧が発生している。

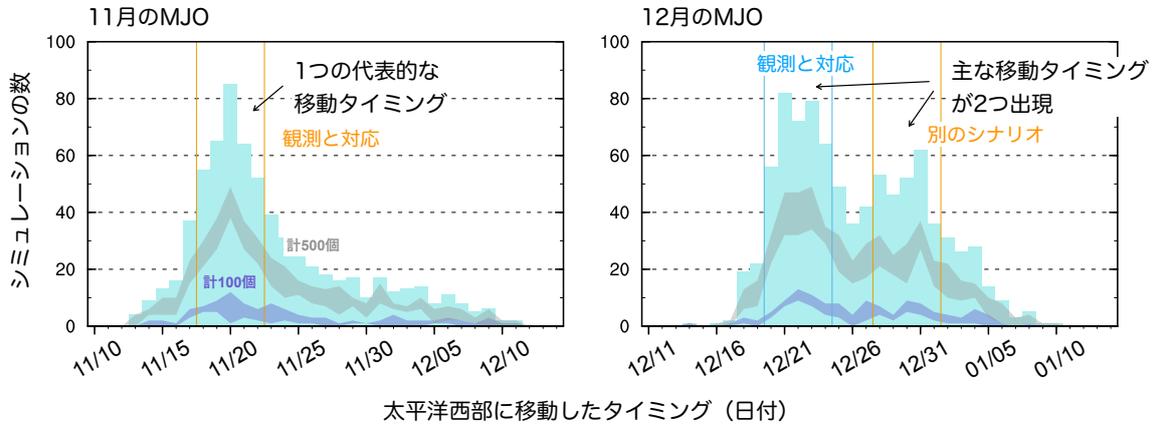
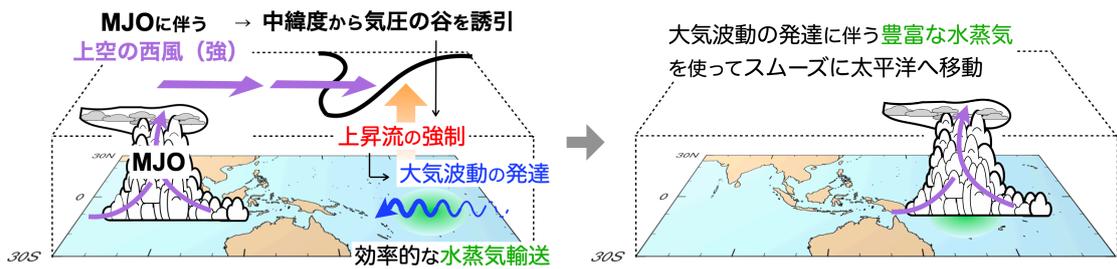


図 2. 11 月 (左) と 12 月 (右) の MJO それぞれを対象とした 1,000 個のアンサンブル実験について、シミュレーションされた MJO が太平洋西部に移動したタイミングで区分した「パラレルワールド」の数の頻度分布。11 月にはピークが 1 つしか存在しないが、12 月には観測に対応するものとは別のピークが出現している。群青色と灰色の陰影は、1,000 個のシミュレーション結果からそれぞれ 100 個または 500 個のランダム抽出を繰り返して作成した頻度分布の幅。12 月の 2 つのピークは、ランダム抽出の組み合わせによっては 500 個の結果でも見て取れるが、1,000 個の結果を用いることでより明瞭となっている。

(1) 早めに移動するシナリオ (観測と整合)



(2) 遅めに移動するシナリオ (観測では今回選択されなかった)

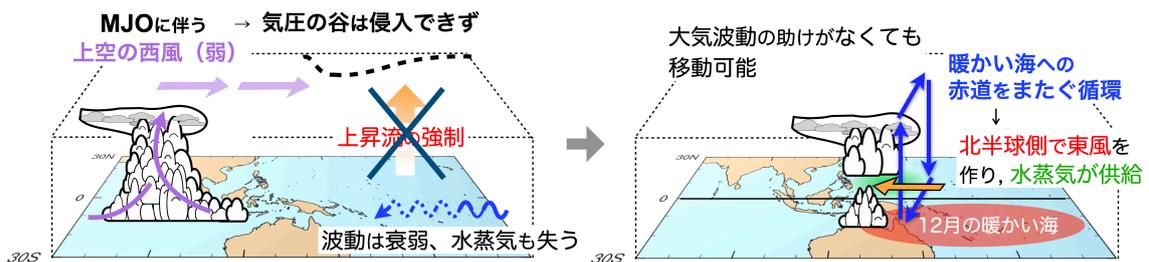


図 3. 12 月の MJO を対象とした膨大なアンサンブル実験が明らかにした、同一の背景状態の中で生じた 2 つの MJO の移動シナリオのメカニズムの模式図。

【謝辞】

本研究は、文部科学省の「富岳」成果創出加速プログラム『防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測』（JPMXP1020200305）の支援を受け、当該プログラムによって提供されたスーパーコンピュータ「富岳」の計算資源で実施されました（課題番号：hp210166、hp220167）。また、日本学術振興会の科学研究費助成事業（科研費）（JP20H05728、JP24K22893、JP21K13991、JP23H01243、JP23K25939）、および理化学研究所の「富岳」高度化・利用拡大枠利用課題（ra000005）の支援を受けました。さらに本論文は、「東北大学 2025 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」により、オープンアクセスとなっています。

【用語説明】

- 注1. マッデン・ジュリアン振動 (Madden-Julian Oscillation : MJO) : 主に熱帯のインド洋で東西数千 km にも及ぶ巨大な積乱雲の群れが発生し、太平洋へ移動する現象として観測される。1972 年にこの現象を発見したアメリカの気象学者、マッデンとジュリアンの名にちなんで名付けられた。
- 注2. アンサンブルシミュレーション (実験) : 少しずつ異なる初期条件等を複数用意し、それぞれに対して数値実験を行う手法。週間天気予報や台風の進路予報にも用いられている。
- 注3. テレコネクション : ある地域で大気循環が揺らぐことで、その地域か

らは遠く離れた地域でも気圧パターンが変わり、異常天候がもたらされること。例えば、MJO に伴う雲活動がインドネシアから太平洋西部に移動した際に、東北地方の日本海側や北陸地方で大雪となる傾向があることを示した研究もある。

注4. カオス：初めの状態がわずかに異なるだけで、そのわずかな差が急激に成長し、その後の時間変化に大きな違いがもたらされる振る舞いのこと。

注5. NICAM：日本で開発されてきた、地球全体で雲の生成・消滅を直接計算することで精緻なシミュレーションを実現した高解像度の全球大気モデル。従来の全球モデルは、雲を直接計算できるほど細かい解像度を持たないため、特に雲や雨に関わる気象現象の表現に対して不確実性をもたらしていた。主に水平解像度 220 m から 14 km の範囲で運用されている。Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model の略称。

注6. スーパーコンピュータ「富岳」：

スーパーコンピュータ「京」の後継機。2020 年代に、社会的・科学的課題の解決で日本の成長に貢献し、世界をリードする成果を生み出すことを目的とし、電力性能、計算性能、ユーザーの利便性の良さ、画期的な成果創出、ビッグデータや AI の加速機能の総合力において世界最高レベルのスーパーコンピュータとして 2021 年 3 月に共用が開始された。現在「富岳」は日本が目指す Society 5.0 を実現するために不可欠な高性能計算インフラとして活用されている。

#### 【論文情報】

タイトル：Propagation of the Madden-Julian Oscillation as a Deterministic Chaotic Phenomenon

著者：Daisuke Takasuka\*, Tamaki Suematsu, Hiroaki Miura, Masuo Nakano

\*責任著者 東北大学大学院理学研究科 助教 高須賀 大輔

掲載誌：Science Advances

DOI：10.1126/sciadv.adz1916

URL：https://doi.org/10.1126/sciadv.adz1916

**【問い合わせ先】**

(研究に関すること)

東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

助教 高須賀 大輔 (たかすか だいすけ)

TEL : 022-795-5783

Email : takasuka@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院理学研究科

広報・アウトリーチ支援室

TEL : 022-795-6708

Email : sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

理化学研究所

広報部報道担当

TEL : 050-3495-0247

Email : ex-press@ml.riken.jp

東京大学大学院理学系研究科・理学部

広報室

TEL : 03-5841-8856

Email : media.s@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

海洋研究開発機構

海洋科学技術戦略部報道室

TEL : 045-778-5690

Email : press@jamstec.go.jp