

第15回 熱帯気象研究会

2024年9月17日(火)～18日(水)

東京都立大学 南大沢キャンパス

講演要旨集

MJOの水蒸気場発達において卓越する効果の季節的な違い

Seasonal variations in the dominant effects on the evolution of the MJO moisture field

○杉浦冬悟・高橋 洋

東京都立大学

マッデン・ジュリアン振動 (Madden-Julian Oscillation: MJO) は、インド洋から中部太平洋までの赤道域を数千kmスケールの雲群が数十日かけて東進する現象である。MJOには対流が海洋大陸 (MC) を超えて太平洋まで持続するタイプ (持続型) と、MCを超えられずに衰退するタイプ (衰退型) が存在する。MJOがMCを超えようとするときにそのテレコネクション応答が最大となるため、この違いを詳しく理解することが重要である。

MJOが水蒸気場の発達によって支配されていることを多くの先行研究が示唆しており、その診断には湿潤静的エネルギー (MSE) の収支解析が有効な手法である。本研究では、MJOの持続/衰退型のそれぞれについて月ごとにMSEの収支解析を行い、水蒸気場の発達がそれぞれの型で異なるかを確認した。先行研究では、MSE収支式の東西移流項 ($\langle u\partial h/\partial x \rangle'$) について、平均場の水蒸気を平均場からの偏差の東西風が移流する効果 ($\langle u'\partial \bar{h}/\partial x \rangle$) が最も支配的であると指摘されてきた。1, 2月には持続・衰退型ともに先行研究と整合的な結果が得られたが、11月では両事例ともその項は支配的でなかった。具体的には、持続型において偏差の水蒸気を平均場の東西風が移流する項 ($\langle \bar{u}\partial h'/\partial x \rangle$)、衰退型において偏差の水蒸気を偏差の東西風が移流する項 ($\langle u'\partial h'/\partial x \rangle$) がそれぞれ卓越していた。この他、南北移流など、MSE収支式の他の項についても議論する。

ブラインドゾーン軽減による衛星搭載降水レーダの 浅い海上降水検出及び推定の改善

Narrowing the blind zone of spaceborne precipitation radar to improve shallow precipitation
detection and estimation over ocean

清水陸・重尚一（京都大学）・井口俊夫（大阪大学）

GPM 主衛星搭載二周波降水レーダ(GPM DPR)は地表面クラッターを受信する地表面付近の領域（ブラインドゾーン）の降水を観測できず、浅い降水の検出や推定に課題がある。DPR はブラインドゾーンに含まれない最低高度である Clutter Free Bottom(CFB)を推定しているが、現行の CFB 推定アルゴリズムは前世代の TRMM PR のものから大きく変わっておらず改善の余地がある。Shimizu et al. (2023) では DPR を構成する二周波レーダの Ku バンドレーダ (KuPR)と Ka バンドレーダ (KaPR)の受信電力の差に注目し CFB 推定アルゴリズムを改良することで台湾山岳域での浅い降水の検出と推定の過小評価を改善した。本研究では海上での KuPR の CFB 推定アルゴリズムを改良しより低い高度までの観測を可能にすることで浅い降水の検出・推定の改善を行った。

ブラインドゾーンは主に地形と観測する走査角に依存するが、海上では地形の影響は無視できるため同じアングルビンであれば CFB はほぼ一定となる。2015 年 1 年間の海上の footprint を対象に、KuPR の受信電力が閾値を超えている割合を各アングル、高度（レンジビン）毎に算出した。閾値を超える割合が 90%を超えるレンジビンはブラインドゾーンであると考え、アングルビン毎に 90%を下回る最低のレンジビンの一つ上のレンジビンを CFB として推定した。この計算を $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ の緯度経度グリッド毎に行い LUT を作成して全 footprint に適用を行った。この手法で新たに標準アルゴリズムより低く CFB を推定することで亜熱帯のペルー沖やアフリカ東海岸沖では標準アルゴリズムが見逃していた浅い降水の検出が改善され最大約 50%降水頻度が増加した。

参考文献

Shimizu, R., S. Shige, T. Iguchi, C.-K. Yu, and L.-W. Cheng, 2023: Narrowing the blind zone of the GPM dual-frequency precipitation radar to improve shallow precipitation detection in mountainous areas. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 62, 1437–1450.

Seasonal and Regional Differences in the Maintenance Mechanisms of Short-Term and Intraseasonal Precipitation Variations in the Tropics

Navarro, Sheila Marie; Yasunaga Kazuaki; and Atsushi Hamada

University of Toyama, Toyama, Japan

In this study, we investigated the seasonal and regional differences in short-term (2–10 days) and intraseasonal (20–60 days) variations of column-integrated moist static energy (CMSE) and their associated precipitation anomalies. Assuming a weak temperature gradient, the evolution of CMSE is considered analogous to the evolution of column-integrated moisture (CWV), given the monotonic relationship between CWV and precipitation. Therefore, precipitation variability can be effectively understood through the CMSE budget, as demonstrated by prior studies.

Our results indicate that diabatic sources primarily contribute to the maintenance of precipitation, while horizontal and vertical advection serve as damping mechanisms for both short-term and intraseasonal precipitation variations, consistent with previous findings. However, these effects show significant variation depending on season and location. For instance, horizontal advection acts as a consistent damping force over the equatorial region across all seasons, with a particularly strong impact over the Indian Ocean (IO) during intraseasonal variations. In contrast, during JJA, horizontal advection sustains precipitation over the Bay of Bengal and the Philippine Sea in the short-term. Vertical advection, on the other hand, consistently damps precipitation in the tropics, especially along the equator and over the IO, showing little seasonal variation. Similarly, radiative feedback follows the same regional patterns but generally aids in precipitation maintenance, while sensible heat flux signals exhibit a clear seasonal migration in line with the latitude of maximum insolation. The results suggest that tropical disturbances are influenced by different mechanisms depending on the region and season.

深層学習による北半球夏季季節内振動（BSISO）の予測と要因分析

Deep Learning for the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO) Prediction and Exploration of Predictability Sources

*前田優樹, 佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所）

BSISO（北半球夏期季節内振動）は夏季の熱帯において最も顕著な季節内振動のひとつである。冬季に卓越するマッデン・ジュリアン振動（MJO）と比べてより複雑な構造をもって、インド洋北部から西太平洋にかけて北東進し、回帰線内、回帰線外の様々な時空間スケールの現象に多大な影響を与える。しかし、既存の数値モデルでは、その予測スキルと潜在的な予測可能性との間に大きなギャップがあるうえ、北西太平洋高気圧をはじめとした中緯度の循環場への影響は十分明らかでない。本研究では、深層学習のひとつである畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いて向こう1ヶ月先までのBSISOの予測可能性を調べ、どのような要因が予測可能性の向上に寄与するかを解析した。その結果、CNNモデルによる予測精度は、既存の数値モデルと比べより高い結果を示し、予測スキルはおおよそ30日に達した。CNNモデルの解釈可能な予測情報を抽出するために、「説明可能なAI（XAI）」による解析をおこなった。ヒートマップ解析の結果から、初期時刻から10日程度先までの予測にはOLRや東西風が主に寄与する一方、10日を超える予測ではSSTや可降水量などの貢献度が相対的に大きく、月スケールにおける潜在的な予測可能性への寄与を示唆する結果となった。

赤道大気レーダーと境界層レーダーを用いた降水雲内の 大気鉛直流の推定

Estimation of Vertical Air Motion within Precipitating Clouds Using the Equatorial
Atmosphere Radar in Combination with a Boundary Layer Radar

*戸田望(京都大学大学院理学研究科), 重尚一(京都大学大学院理学研究科),
Christopher R. Williams (University of Colorado Boulder), 西憲敬(福岡大学理学部), 橋
口浩之(京都大学生存圏研究所)

大気鉛直流は降水の性質を理解する上で重要なパラメーターである。インドネシアに設置されている赤道大気レーダー (EAR) は、鉛直方向の観測を約 1 分の時間分解能で行っており、これを利用して大気鉛直流の推定が可能である。EAR は、降水時には大気乱流に由来する Bragg 散乱と降水粒子に由来する Rayleigh 散乱を同時に観測する。従って、大気鉛直速度を推定する際には、下降流バイアスを防ぐためにレイリー散乱信号を除去する必要がある。EAR で推定した大気鉛直流を用いる先行研究においては、鉛直速度を手動で推定していた。すなわち、目視でスペクトル図を確認して 2 つのピークを同定するという方法であり、長期間の解析には適さないものである。そこで、本研究では、大気鉛直流を機械的に推定する手法の開発を行った。

アルゴリズムの開発においては、降水時に Rayleigh 散乱のみを観測する境界層レーダーを併用することを考え、Williams (2012) および Williams et al. (2018) に記載されている方法を参照した。どちらの方法にも推定に失敗する場合があるが、多くの場合、一方における「誤差ケース」は、他方では正確に推定可能なものであった。そこで、W12 と W18 を組み合わせたアルゴリズムを作成することでより正確な推定を行うことができると考えた。新しいアルゴリズムによる鉛直速度の推定値は、先行研究で得られた手動の推定値とよく一致し、W12 を用いた推定値よりも正確であった。本研究では、さらに、推定の不確実や欠損の程度について検討を行った。

リファレンス

Williams, C. R., 2012, J. Atmos. Oceanic Technol, 29(10).

Williams, C. R., et al., 2018, Atmos. Meas. Tech., 11(9).

YMC 集中観測期間(2015/2017)におけるスマトラ島南西沿岸域の雷活動の季節内変動

Intraseasonal variations of lightning activities over the south-western coastal region of Sumatra during the YMC campaign observation periods (2015/2017)

○浜田純一(東京都立大学・海洋研究開発機構)・森修一(海洋研究開発機構)

海大陸域は世界でも有数の対流及び雷活動の活発域であることが知られている(Christian et al. 2003)。近年、ワシントン大学による全球地上電磁界計測網(WWLLN)雷観測データより、海大陸域の雷活動の日変化、季節内変動の地域性について、詳細な記述が行われてきている(Virts et al. 2013ab)。

本研究においては、YMC 集中観測期間(Pre-YMC2015 及び YMC-Sumatra2017)におけるスマトラ島沿岸対雨域の雷雨の出現状況について、現地観測結果をもとに、その日変化を含めた、季節内変動の特徴を示すこと、また、特に Pre-YMC2015 における雷雨発生環境について、MJO など季節内変動との関連を示すことを目的とする。

解析結果から、エルニーニョ年(2015年)及びラニーニャ年(2017年)に相当する両観測期間の期間降水量(日平均)に大差ないものの、降水日変化や発雷頻度は顕著に異なる特徴を持ち(2015年に雷活動活発で2017年には不活発)、MJO 活発/非活発期に対する応答にも差異がみられることを確認した。特に、Pre-YMC2015 の MJO 不活発期において、雷活動が顕著に活発となり、レーダー観測から、日中帯に高度 10-15km に達するエコー領域が多くみられること、また、強い沖向き鉛直シア環境となっていることが示された。

参考文献:

Christian et al., 2003, JGR, **108**, D1, 4005.

Virts et al., 2013a: BAMS, **94**, 1381-1391.

Virts et al., 2013b: JAS, **70**, 3128-3146.

全球水惑星実験における MJO の水平スケールと東進速度の選択

Horizontal scale and propagation speed selection of the Madden-Julian oscillation in global aqua-planet experiments

○高須賀大輔（東北大学大学院理学研究科），三浦裕亮（東京大学大学院理学系研究科）

マッデン・ジュリアン振動（MJO）は、水平数千 km スケールで組織化した雲群が暖水プール上を約 5 m/s で東進する現象として観測される。MJO の水平スケールと東進速度の選択要因について、水蒸気の時間変動や赤道波力学に基づいた様々な線形理論が提案されてきたが、いずれも観測から完全に支持されるに至っていない。本研究では、湿潤過程や波動力学の複雑さは失わずにシンプルな議論を可能にする全球水惑星実験を通じて、MJO の性質の選択に重要な物理的観点を再考・提示することを目的とした。

熱帯域に波数 1 の東西非一様成分を持つ海面水温分布のもと、水平解像度 ($dx=$) 110, 56, 28, 14 km の全球非静力学モデル NICAM を用いて約 5 年間の積分を行ったところ、いずれの解像度でも MJO-like な擾乱は再現されたが、 $dx=28, 14$ km では MJO-like な擾乱の水平スケールと東進速度が不連続的に増大した。この解像度依存性から MJO の水平スケールは、①対流に伴う対流圏上層の発散流が収束高度まで下降する時間スケールに対応した東西移流スケール (L_{adv}) と、②対流起源の浅い重力波（その温度偏差に伴って上層／下層で雲形成／対流励起に寄与）が熱的に減衰する時間スケールに対応した東西伝播スケール (L_{wave}) の競合で決定されることを見出した。実際、 $dx=28, 14$ km での MJO-like な擾乱の水平スケールの拡大は、放射冷却の弱化に伴う $L_{wave} (>L_{adv})$ の増大でよく説明された。また、雲放射効果は放射冷却の弱化を通じて波動減衰の時間スケールを伸ばすことで、MJO の大きなスケールの選択に寄与することもわかった。さらに、東進速度と総観規模擾乱の東進／西進比の解像度依存性には正相関が見られ、MJO の東進に対して MJO に内包された波活動の様態が重要な役割を持つことが示された。

加えて発表では、なぜ $dx=28$ km で MJO-like な擾乱の性質が変わったのかという点についても、水蒸気-対流フィードバックが支配的な空間スケールに着目して考察する。

ひまわりの高頻度観測を活かした台風の診断と研究について

Diagnosis and study of typhoons with high-frequency observation by Himawari

堀之内 武 (北大地球環境)

本発表では、標記のテーマに関する、発表者のグループの近年の研究を紹介する。2015年に運用を開始したひまわり 8, 9号は2.5分間隔という高頻度で台風を追尾して観測する機動観測を実施している。さらに、実験的に30秒間隔での観測も行われることがある。我々はこれをもとに風速を推定する手法を開発している[1,2,3]。得られた風速分布やひまわり画像をもとに、台風の内部コアの構造とその時間発展の理解を深める研究を行い、目の中のメソ渦とその役割、代数的に成長する波数1の不安定とそれによる角運動量輸送などを明らかにした[1,2,3]。また、台風の強度・構造推定と予測の改善を目的に、データ同化の研究を行っている[4]。

1. Tsukada & Horinouchi, 2020, <https://doi.org/10.1029/2020GL087637>
2. Horinouchi et al., 2023, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-22-0179.1>
3. Tsukada et al., 2024, <https://doi.org/10.1029/2023JD040585>
4. Tsujino & Horinouchi, IWTRC 2023 発表, 幾田ら, 気象学会 2024 春季大会など

地上観測データをもとにした降水量的推定データを用いたヴェトナムにおける熱帯低気圧の関わる降水に対する GSMaP データの検証

Evaluation of the GSMaP data for tropical cyclone precipitation over Vietnam with quantitative precipitation estimation data with ground observation

野津雅人, Khanh-Hoa Bui-Thi, Vinh Nguyen-Quang, Thanh-Hoa Pham-Thi, Thanh Ngo-Duc, 松本淳, Thu Nguyen-Vinh

本研究では、東方海上から西向きに進んで接近・上陸する熱帯低気圧（以下、TC）を対象に、ベトナムにおける GSMaP_Gauge Version 8 データ（以下、GSMaP）とレーダー及び雨量計による地上観測に基づく降水量推定データ（QPE）の比較解析を行った。2020 年にベトナムに上陸した TC のうち、5 事例を解析対象として選定した。

解析の結果、TC 中心からのすべての距離帯において、GSMaP は QPE に対して降水量を過大評価した。この傾向は TC 中心から 300 km 以遠で顕著であり、QPE に対する GSMaP の比（以下、GSMaP/QPE 比）は 2 倍を超えた。ここで、GSMaP を含む衛星観測に基づく降水推定が強雨時に過小評価、弱雨時に過大評価となることを考慮する。GSMaP/QPE 比が地上降水強度の関数になると仮定し、TC を含むすべての領域を対象とした地上降水量強度に対する GSMaP/QPE 比の平均値を全領域 GSMaP/QPE 比として定義した。TC 中心からのすべての距離帯において、GSMaP/QPE 比は全領域のそれに比べて小さく、過小評価の程度が小さいことが分かった。この傾向は台風の周縁部で顕著であった。同様の解析を平方根平均二乗誤差についても行い、同様の傾向が確認された。

今後は、より多くの TC 事例を解析し、TC 中心からの方位別解析を行うことで、GSMaP の改善に貢献することを目指す。また、解析結果を用いて、TC に関連する GSMaP を基礎とした降水推定の高度化を行う予定である。