

気象庁全球アンサンブル予報システムによる MJO の予測精度と再現性

久保勇太郎(気象庁気候情報課)

1. はじめに

マッデン・ジュリアン振動(MJO: Madden-Julian Oscillation, Madden and Julian, 1971,1972)は熱帯域を約30~60日周期で数1000kmスケールの対流活発・不活発域が東進する季節内時間スケールの現象である。MJOは熱帯から中・高緯度の循環場の変動を介して、日本付近の天候にも影響を与えることが知られており(遠藤と原田, 2008)、その予測は季節予報作業を行う上で大変重要である。しかしながら、予測の時間スケールとして2週間から2か月程度先を対象とした「季節内から季節予報(S2S)プロジェクト」(Vitart et al., 2016)で世界の現業機関から集められた予測データを用いてMJOを検証した調査(Vitart et al., 2015)では、V1403¹のMJOの振幅が解析に比べて小さいことが指摘されている。また、V1403のMJOの予測初期の位相速度は解析に比べて速い傾向にあることがわかっている(佐藤ほか, 2015)。したがって、MJOの再現性の向上はモデルを開発する上での課題の一つとなっている。

2017年1月より運用を開始した全球アンサンブル予報システム(GEPS; 新保, 2017)では予報モデルの物理過程の改良がなされており、熱帯における積雲の予測特性がV1403のものとは異なることから、MJOの予測精度や再現性も異なっていると考えられる。本稿では、U.S. Climate Variability and Predictability (CLIVAR) MJOワーキンググループによって開発されたMJO診断ツール(Kim et al., 2009)

を使用して、MJOの予測精度の統計的な検証を行った。また、実際のMJO事例の再現性を確認するため、GEPS更新後、かつ直近で検証可能な2017年7~8月の事例について、S2Sプロジェクト参加機関の予測結果とも比較しつつ検証を行った。

2. データと解析手法

検証は1981~2010年の期間で行った。また、本稿の統計的な検証で使用した初期日は10/31~4/20の冬の期間である²。検証用の解析値のデータセットとして、気象庁55年長期再解析(JRA-55; 古林ほか, 2015; Kobayashi et al., 2015)及びアメリカ海洋大気庁(NOAA)の極軌道衛星搭載の可視赤外放射計AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)に基づく外向き長波放射(OLR)データ(Liebmann and Smith, 1996)を使用した。予測値はV1403及びGEPSの再予報データを使用した。MJOの定義、MJO指数の求め方やMJO指数の予測精度の評価手法は久保(2017)と同様である。

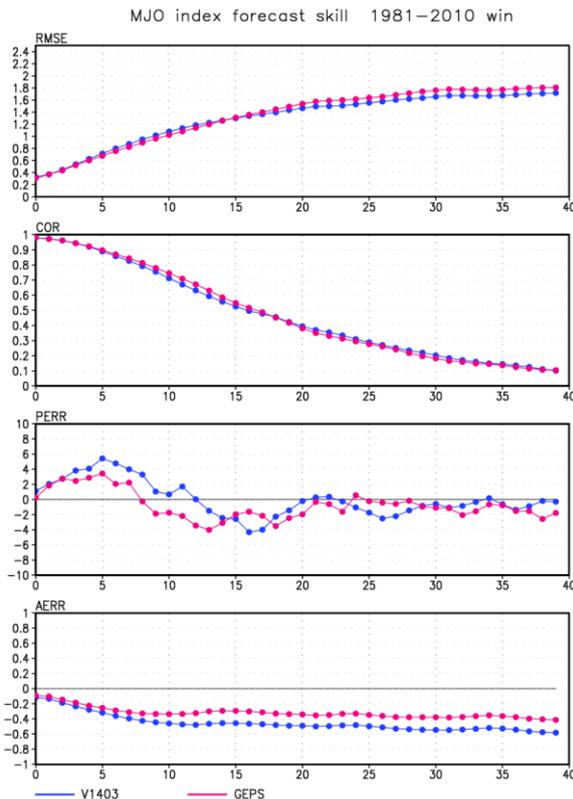
3. MJO指数の予測精度

新旧システムのMJO指数の予測精度を第1図に示す。GEPSの平方根平均二乗誤差(RMSE)は予測2週目まで改善した。相関係数(COR)が決定論的な予測精度の目安である0.6を下回るのは、GEPSでは予測14日目であり、V1403の予測13日目よりも改善した。位相誤差(PERR)を見ると、GEPSではV1403で見られた、解析よりも速く東進する予測初期の誤差が改善した。振幅誤差(AERR)を見る

¹ 1か月予報・異常天候早期警戒情報を支援するために、2014年3月5日~2017年3月15日まで現業運用したモデル名。モデルの仕様は平井ほか(2015)、佐藤ほか(2015)を参照。

² 夏の期間でも検証を行ったが、冬の期間の検証結果と大きな違いはなかった。

と、予測期間内を通して V1403、GEPS ともに解析よりも小さい傾向にあるが、GEPS は V1403 よりも改善した。しかし、依然として他の現業センターに比べて振幅過小傾向である (Vitart, 2017)。



第 1 図 MJO 指数の予測精度
V1403 (青)と GEPS (赤)の予測精度。上から RMSE、COR、PERR (単位は度)、AERR。横軸は予測日数。

4. MJO の位相毎の評価

初期値に対流活発な MJO が存在する場合の、対流活発域、及び不活発域の東進の再現性を見るため、第 2 図に、予測で MJO の位相が 3 (インド洋で対流活発) であり、かつ MJO の振幅が 1 より大きい事例について、赤道域 (15°S~15°N) で緯度平均した OLR 平年偏差の経度時間断面 Lag composite 図を示す。解析では、インド洋で OLR 負偏差になった約 8 日後に、負偏差域の中心が海洋大陸付近に達し、更にその約 6 日後には西太平洋に達している。予測を見ると、V1403 では OLR 偏差

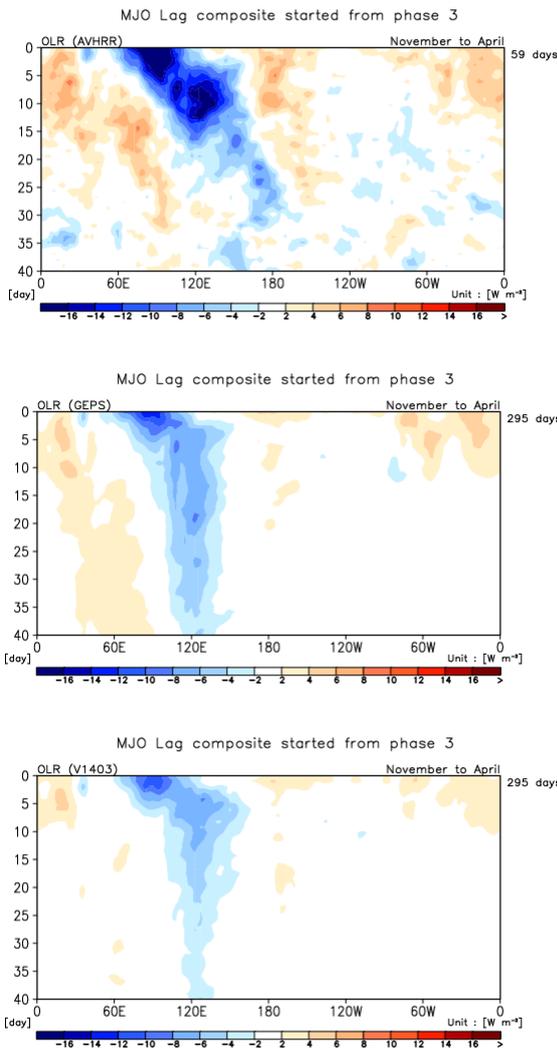
域の中心が解析よりも早く海洋大陸に達し、その後解析よりも速く西太平洋に東進する成分と、解析では明瞭でない海洋大陸にとどまる成分がある。GEPS では OLR 負偏差域の予測初期の海洋大陸への位相速度が改善し、その後の西太平洋へ東進する成分の位相速度も改善した。また、解析で見られる対流活発域後面の不活発域の東進が V1403 では不明瞭であったが、GEPS ではより明瞭となり改善した。一方、OLR 負偏差域が海洋大陸にとどまる成分が GEPS でも見られる。これらの結果は MJO 指数の検証結果 (第 1 図)とも整合している。

MJO に伴う中・高緯度への応答の再現性を見るため、第 3 図に、予測で MJO の位相が 3 (インド洋で対流活発) 及び 7 (インド洋で対流負活発) であり、かつ MJO の振幅が 1 より大きい事例について、予測 2 週目 (予測 10~16 日) の 200hP 流線関数偏差の composite 図を示す。解析ではインド洋での対流活発 (不活発) に対応した赤道対称の高気圧 (低気圧) 性循環偏差が明瞭に見られる。V1403 でも解析に類似したパターンが再現されていたが、GEPS ではより類似したパターンが再現されている。これは MJO の振幅過小傾向が V1403 よりも GEPS で改善したことと整合的である。

5. 2017 年 7~8 月の MJO 事例の、他のセンターとの比較

ここまで、再予報に基づく MJO の統計的な検証結果及び再現性について述べてきた。ここでは実際の MJO 事例について、GEPS 現業運用後、かつ直近で検証可能な 2017 年 7~8 月の事例について、S2S プロジェクト参加機関の予測³とも比較しつつ述べる。

³ ECMWF の Product Page (<https://www.ecmwf.int/en/research/projects/s2s/charts/s2s/>)にて、リアルタイムから3週間遅れで公開されている。



第2図 MJOの初期位相が3(インド洋)、かつ振幅が1よりも大きい事例について、赤道域(15°S-15°N)で緯度平均した OLR 偏差の経度時間断面 Lag composite 図上から解析、GEPS、V1403。縦軸は対象となる事例を 0 とした時の日(予測の場合は予測日)。単位は $W m^{-2}$ 。右側の値は初期位相が 3、かつ振幅が 1 より大きい日数。

はじめに、この事例の概要について、解析値に基づき述べる。7月に対流活発域がインド洋から西太平洋へ東進した(第4図左)。また、7月中旬～8月上旬に不活発域が東進し、その後不明瞭となった(第4図左)。それぞれに対応して、上層・下層の東西風も東進していた(第4図中・右)。

MJOに伴う対流活発域の各センターの予測を2017年7月6日初期値⁴と比較する。第5図に NCEP、ECMWF、JMA の予測、及び OLR の解析を示す。ECMWF は予測 1～2 週目のインド洋から西太平洋への対流活発位相の北東進を概ね再現している。一方、NCEP 及び JMA とともに、海洋大陸での対流活発域の予測が解析に比べて不明瞭となっている。

第6図は、MJO 活発域に伴う上層の風パターンの各センターの予測である。ECMWF は、解析で見られるような、予測 1 週目のインド洋、2 週目の海洋大陸付近の東風・西風偏差の東進が予測されている。一方、JMA、及び NCEP は、解析で見られるような東風・西風偏差は不明瞭であり、JMA は予測 1 週目以降、西太平洋で東風・西風偏差が持続している。この傾向は統計検証の結果(第2図)と整合的である。

次に、7月中旬から8月上旬にかけて、インド洋を MJO に伴う対流不活発域が東進した事例について、各センターの予測を2017年7月27日初期値⁵と比較する。第7図に NCEP、ECMWF、JMA の予測、及び OLR の解析を示す。JMA は予測期間中同じ場所で対流活発・不活発域が持続している。ECMWF は 2 週間程度持続後不明瞭、NCEP は 2 週目に不明瞭となる。どのセンターの予測においても解析で見られるような対流不活発域の東進は再現されていない。

第8図は MJO 不活発域に伴う上層の風パターンの各センターの予測である。NCEP、

⁴ JMA のみ 2017 年 7 月 5 日であるが、本文では読みやすさのため、2017 年 7 月 6 日で統一する。なお、初期時刻だけでなく、メンバー数や時間ずらし法(LAF)など各センターでシステムが異なるため、厳密に対等な比較はできないことに留意する必要がある。各センターの詳細については <https://software.ecmwf.int/wiki/display/S2S/Models> を参照。

⁵ JMA のみ 2017 年 7 月 26 日であるが、脚注 2 と同様の理由により、本文では 2017 年 7 月 27 日で統一する。

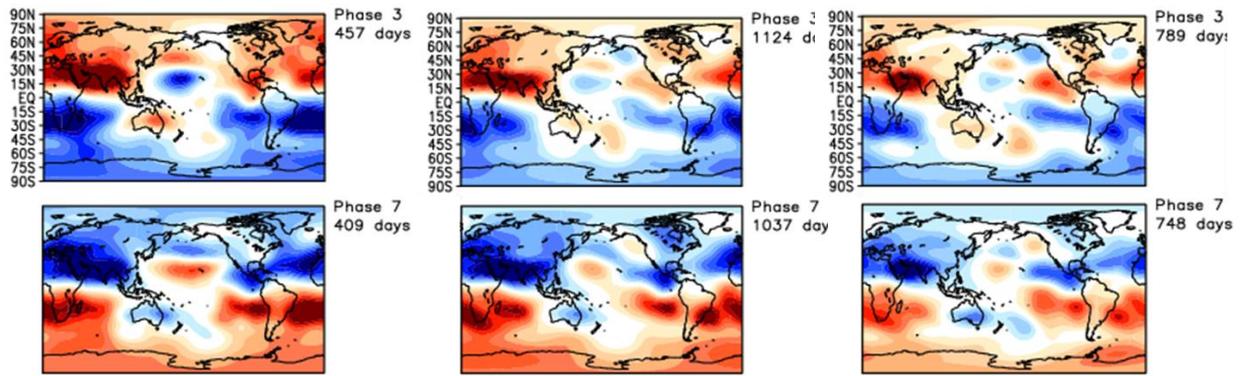
ECMWF、JMA とともに、解析で見られるような、不活発位相に対応したインド洋から西太平洋への東風・西風偏差の東進は見られない。JMA は予測 2 週目以降も西太平洋で東風偏差が持続している。この MJO 不活発位相の東進事例の予測は、JMA を含め他のセンターも課題があったといえる。

6. まとめ

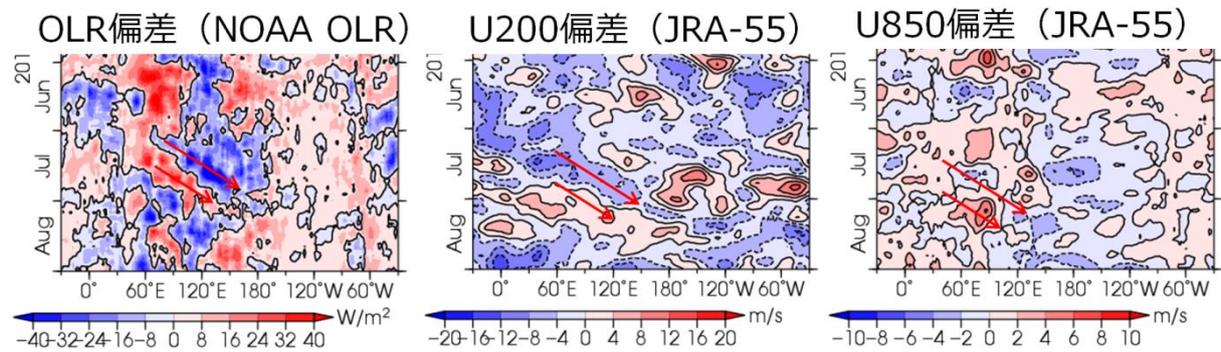
MJO 指数の予測精度と MJO の再現性の検証を、GEPS と V1403 の再予報データを基に行った。GEPS の RMSE、COR は V1403 に比べて予測前半で改善していた。V1403 では予測前半で解析に比べて速く東進する誤差があったが、GEPS では改善した。インド洋に MJO の対流活発域がある場合から予測を行った場合、V1403 では予測数日後に解析には見られない停滞する成分が見られる傾向にあるが、GEPS でも同様の傾向であった。V1403 では

予測初期から振幅が小さい誤差があったが、GEPS では改善した。MJO に対応した熱源応答による中・高緯度への応答について、GEPS では V1403 よりも解析に近い傾向であった。

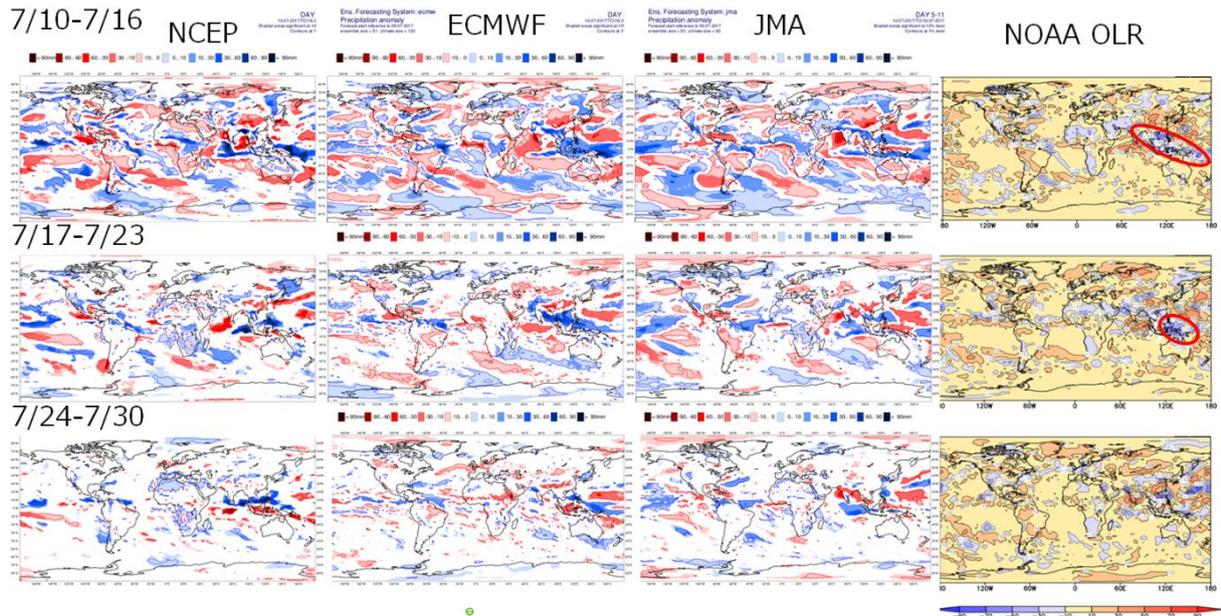
2017 年 7～8 月の MJO 事例について、S2S プロジェクト参加機関の他センターと比較した。解析では 7 月に対流活発位相がインド洋～西太平洋を東進後、8 月に不活発位相が東進した事例である。予測 1～2 週目のインド洋～西太平洋の対流不活発域、及びこれに対応する風パターンの東進が、今回比較対象としたいずれのセンターでも予測されていなかった。この事例の予測は JMA を含めた他のセンターも課題があることを示している。MJO の不活発域の予測は熱帯の対流活動を通して日本を含む中緯度にも影響することから、今後も MJO の予測精度向上につながる調査・研究が必要である。



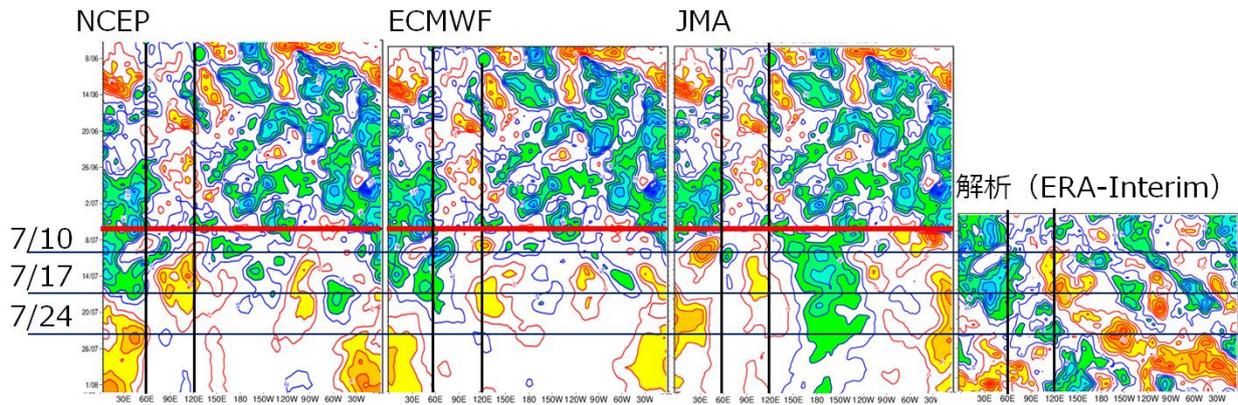
第3図 MJOの初期位相が3(上段)及び7(下段)、かつ振幅が1よりも大きい事例について、予測2週目(予測10~16日)で平均した200hPa流線関数偏差のcomposite図(左)解析、(中)GEPS、(右)V1403。単位は W/m^2 。予測は18初期日(10/31~4/20)を対象としている。右側の値は予測2週目の振幅が1より大きい、かつ位相が3(上段)及び7(下段)となる日数。



第4図 2017年7~8月のMJO事例の経度時間断面図(左)OLR偏差(単位は W/m^2)、(中)200hPa東西風(単位は m/s)、(右)850hPa東西風(単位は m/s)。いずれも $5^{\circ}S-5^{\circ}N$ 、7日移動平均を施している。赤い矢印はMJO活発・不活発位相のおおまかな伝播を示す。

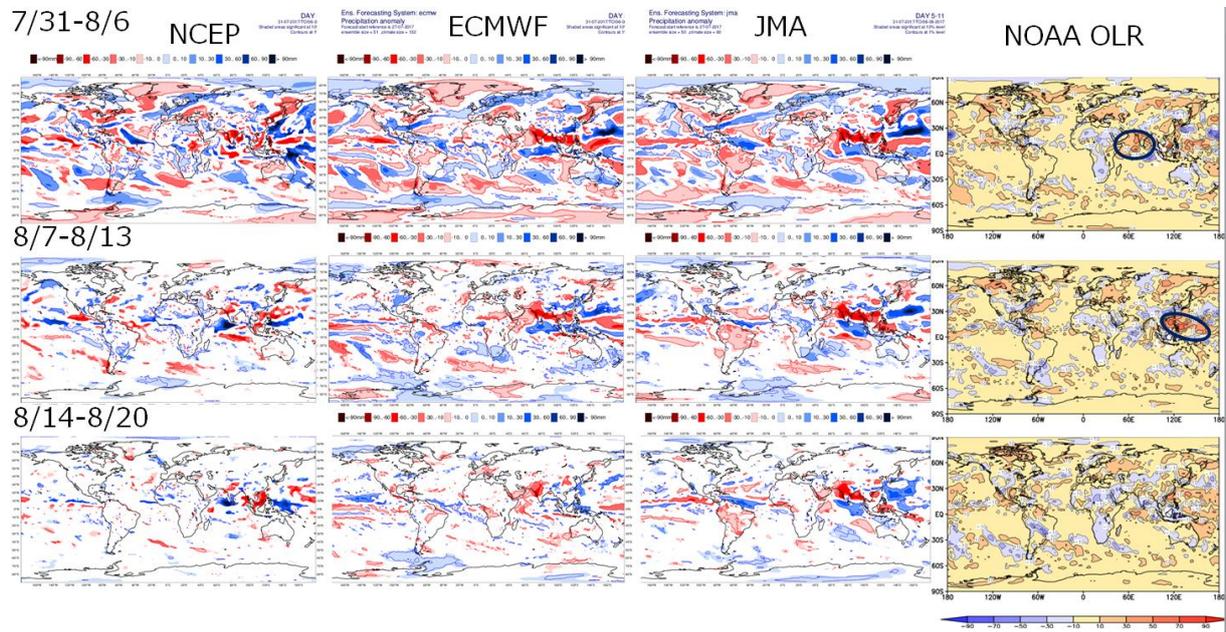


第5図 2017年7月6日初期値のMJO事例の降水(解析のみOLR)平面図。赤が降水負(OLR正)偏差、青が降水正(OLR負)偏差。左からNCEP、ECMWF、JMA、解析(OLR)。上段は7/10~7/16(予測1週目)、中段は7/17~7/23(予測2週目)、7/24~7/30(予測3週目)。降水量の単位は mm 、OLRは W/m^2 。

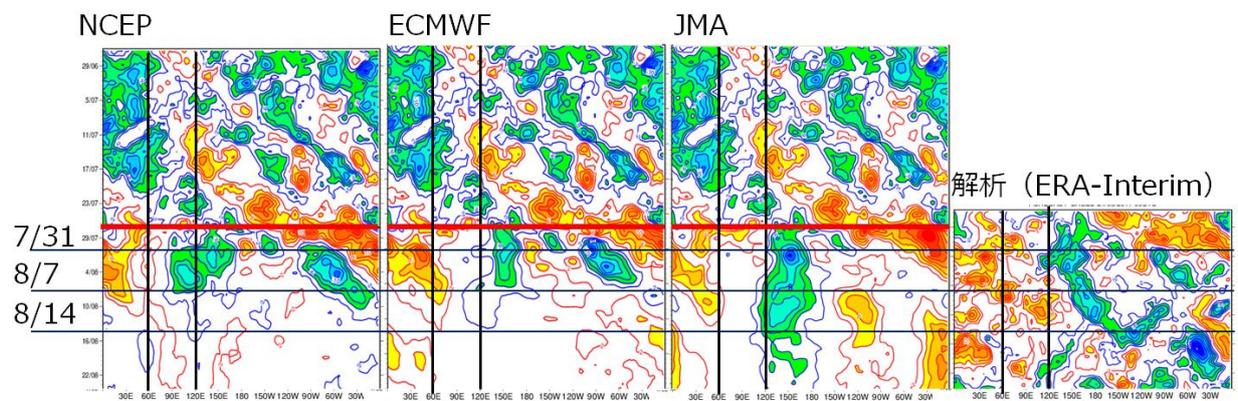


第6図 2017年7月6日初期値のMJO事例の、200hPa 東西風偏差を赤道域(15°S-15°N)で緯度平均した経度時間断面図

左からNCEP、ECMWF、JMA、解析(ERA-Interim)。赤線は初期日。黄～赤が西風偏差、緑～青が東風偏差。



第7図 第5図と同じ。ただし、2017年7月27日初期値のMJO事例。



第8図 第6図と同じ。ただし、2017年7月27日初期値のMJO事例。

参考文献

- 遠藤洋一, 原田やよい, 2008: マッデン・ジュリアン振動と冬季の日本の天候及び循環場との関係, 天気, **55**, 159-171.
- 平井雅之, 宮岡健吾, 佐藤均, 杉本裕之, 南敦, 松川知紘, 高谷祐平, 新保明彦, 2015: 1か月予報システムの変更の概要. 平成 26 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1-5.
- 古林慎哉, 太田行哉, 原田やよい, 海老田綾貴, 守谷昌巳, 小野田浩克, 大野木和敏, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 宮岡健吾, 高橋清利, 2015: 気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) の概要. 平成 26 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 66-115.
- 久保勇太郎, 2017: MJO. 平成 28 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 33-37.
- 佐藤均, 宮岡健吾, 長澤亮二, 新保明彦, 高谷祐平, 松枝聡子, 杉本裕之, 2015: ハインドキャストによる検証. 平成 26 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 22-45.
- 新保明彦, 2017: 全球アンサンブル予報システムの概要. 平成 28 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1-8.
- Kim, D., K. Sperber, W. Stern, D. Waliser, I.-S. Kang, E. Maloney, W. Wang, K. Weickmann, J. Benedict, M. Khairoutdinov, M.-I. Lee, R. Neale, M. Suarez, K. Thayer-Calder, and G. Zhang, 2009: Application of MJO simulation diagnostics to climate models. *J. Climate*, **22**, 6413-6436.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- Liebmann, B., and C.A. Smith, 1996: Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1275-1277.
- Madden, R., and P. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 702-708.
- Madden, R., and P. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1109-1123.
- Vitart, F., 2017: Madden-Julian Oscillation prediction and teleconnections in the S2S database. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **143**, 2210-2220.
- Vitart, F., C. Ardilouze, A. Bonet, A. Brookshaw, M. Chen, C. Codorean, M. Deque, L. Ferranti, E. Fucile, M. Fuentes, H. Hendon, J. Hodgson, H.S. Kang, A. Kumar, H. Lin, G. Liu, X. Liu, P. Malguzzi, I. Mallas, M. Manoussakis, D. Mastrangelo, C. MacLachlan, P. McLean, A. Minami, R. Mladek, T. Nakazawa, S. Najm, Y. Nie, M. Rixen, A. W. Robertson, P. Ruti, C. Sun, Y. Takaya, M. Tolstykh, F. Venuti, D. Waliser, S. Woolnough, T. Wu, D.-J. Won, H. Xiao, R. Zaripov, and L. Zhang, 2017: The Sub-seasonal to Seasonal Prediction (S2S) Project Database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 163-173.
- Vitart, F., M. Fuentes, and L. Ferranti, 2015: New S2S database complements TIGGE archive. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Newsletter*, **144**, 11-12.