

NICAM 海洋結合版 (NICOCO) による MJ0 予測性能の現状および 1998 年 5 月のエルニーニョの急激な終息イベントにおける MJ0 の役割

宮川知己¹・八代尚²・鈴木立郎³・建部洋晶³・佐藤正樹¹

(1: 東大大気海洋研究所, 2: 理研 AICS, 3: JAMSTEC)

1. はじめに

東太平洋の海面温度が通常よりも高くなるエルニーニョ現象には、ときとして極端に強まるものが発生する場合があります、継続的な観測が始まって以来、1981-1982 年, 1997-1998 年, 2015-2016 年の 3 度現れている。特に、1997-1998 年のエルニーニョは 1998 年 5 月に急激に終息し、場所によっては 1 ヶ月に 8°C もの海面温度低下がみられた (McPhaden 1999)。この終息に際して、マッデン・ジュリアン振動 (MJ0, Madden and Julian 1972) とおぼしき明瞭な東進擾乱の通過が観測されたことから、この東進擾乱に伴う東風の役割が指摘されている (Takayabu et al. 1999)。この東進擾乱の発生に先行して東太平洋赤道域の海洋混合層はすでに浅くなっており、その後に強まった東風が赤道湧昇を引き起こして急激な終息をもたらしたと考えられている。東風の強化された理由については、この東進擾乱の他にも、極端なエルニーニョによって歪められた季節進行の影響なども指摘されている (Vecchi and Harrison 2006)。MJ0 とエルニーニョとを同時に精度良く再現することはこれまで難しく、この東進擾乱の果たした役割について結論は出ていなかった。なお、この東進擾乱に伴う降水域は赤道域を 1 ヶ月程度で一周しているが、インド洋から海洋大陸付近に差しかったあたりで MJ0 本体と赤道ケルビン波が分離し、前者は海洋大陸付近に停滞する一方で後

者が赤道域を周回したとする見方が現在では主流となっている。

今回、MJ0 の再現性に定評のある全球雲解像モデル NICAM (Tomita and Satoh 2004; Satoh et al. 2014) に気候モデル MIROC の海洋部分である COCO (Hasumi 2006) を結合させた NICAM-COCO (NICOCO) が使用可能になった (図 1) ことから、NICOCO の MJ0 予測性能の評価を行うとともに、1998 年 5 月事例について MJ0 と海洋の力学的な振る舞いとを同時に再現することを試みた。

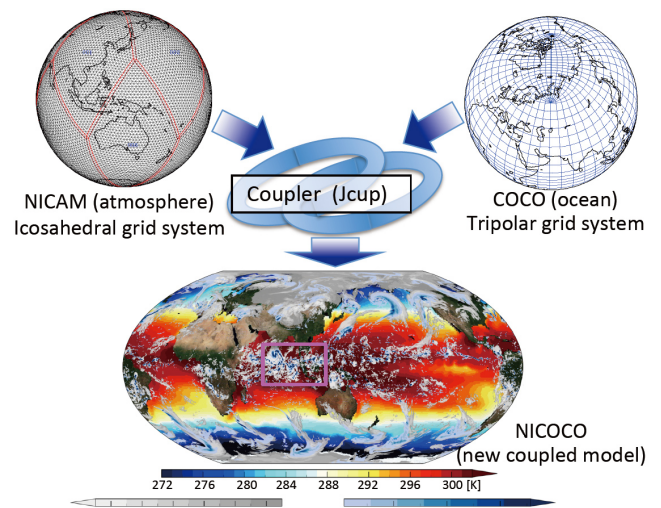


図 1. 新たに開発された NICOCO。20 面体格子系の NICAM と 3 極構造格子の COCO が Jcup (Arakawa 2011) を介して接続されている。下図は NICOCO の再現した 2011 年 11 月 27 日の SST (カラー), OLR (グレー), 降水 (青系) を示したもの。紫の枠に囲まれた領域に MJ0 の雲群が存在している。

2. 実験の概要

NICAM の MJO 予測性能を示した先行研究 (Miyakawa et al. 2014) との比較のため、先行研究と同じく 2003 年–2012 年に検出された 19 の MJO 事例について、MJO 中心の初期位置が異なる 3 つの予測開始日を設定した 54 本の実験を NICOCO で行った (初期位置が 1 つないし 2 つしか決定されない事例をひとつずつ含む)。また、1998 年 5 月に起きた急激なエルニーニョ終息と MJO とを同時に再現することを目的に、実験開始日を 4 月 20 日から 4 月 28 日まで 1 日ずつらした 9 本の実験を NICOCO および NICAM を用いて行った。NICAM の実験では 1 次元の海洋混合層モデルを用い、Miyakawa et al. (2014) 同様に気候値と実験開始前一週間のアノマリとの和として定義した SST へ緩和させている。

3. 結果

3.1. モデル性能

新モデル NICOCO は、従来の NICAM とほぼ同等の MJO 予測性能 (Gottschalck et al. 2010) を維持していることが 2003 年–2012 年の実験データの解析により明らかになった (図 2a)。一方で、海洋の気候平均場には海洋結合した GCM によく見られる冷舌バイアスが生じていた (図 3)。このバイアス分は、図 2 の MJO スコアや NINO3.4 インデックスを計算する際にはあらかじめ差し引いている。海洋の変動が大きい事例での再現性向上と、海洋の気候平均場の誤差が存在することに起因する性能低下とが相殺した結果として NICOCO と NICAM とはほぼ同等の MJO 予測性能となっているものと推察される。

1998 年 5 月事例については、前述の海洋の気候平均場のバイアスを差し引くと、NICOCO はエルニーニョの急激な終息を良く再現していた

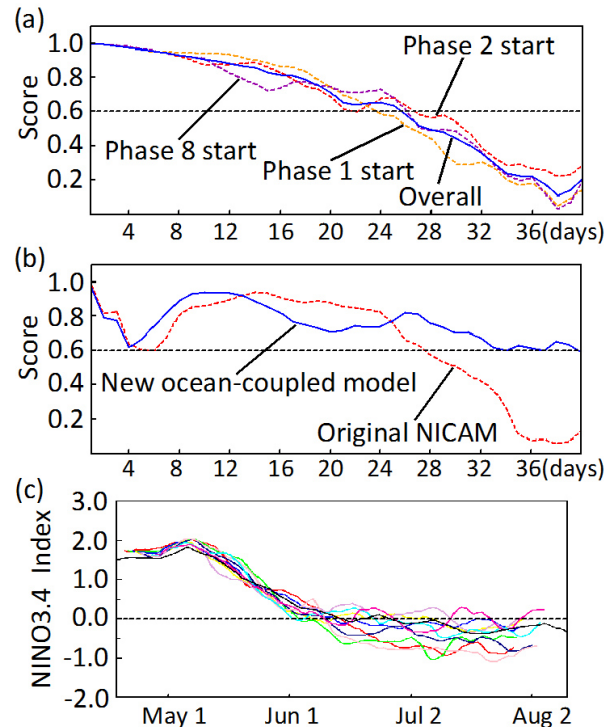


図 2. (a) NICOCO による 2003 年–2012 年の 54 本の MJO 実験から見積もった MJO 予測スコア。青い実線は 54 本全ての実験による結果。破線はそれぞれ MJO の初期位相が Phase 8 (紫: 南アメリカ), Phase 1 (黄: 大西洋–アフリカ), Phase 2 (赤: インド洋西部) の場合の結果。(b) 1998 年 5 月の MJO 事例の 9 本の実験から見積もった NICOCO (青実線) と従来の NICAM による MJO 予測スコア。(c) 1998 年の NINO3.4 インデックス。観測 (黒線) と NICOCO による予測結果 (色線)。

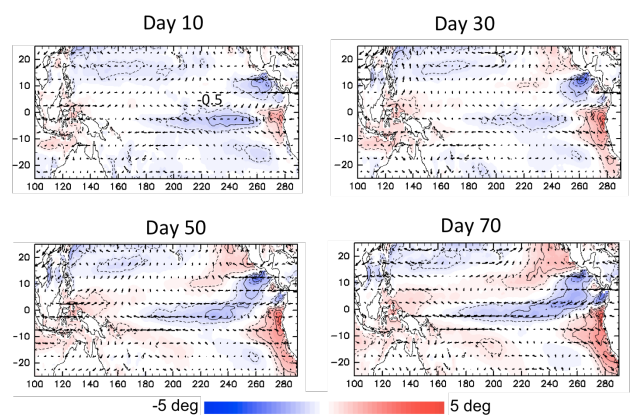


図 3. 2003 年–2012 年の 54 本の MJO 実験における NICOCO の平均ドリフト (カラー: SST, ベクトル 850hPa 水平風)。

(図 2c)。また、本事例の MJ0 について NICOCO と従来の NICAM を比較した結果、両モデルとも実験開始後一週間程度経過した頃に MJ0 が発達する様子が良く再現されていることを反映してスコアが高まる一方で、海洋の変動による影響が大きくなる実験後半では性能差が明確に現れた。NICAM では実験開始後 25 日以降急激に予測スコアが低下しているのに対して、NICOCO は有効な予測の目安となる 0.6 を実験開始後 40 日程度まで維持していた (図 2b)。

3.2. エルニーニョの終息における MJ0 の影響

NICOCO を用いた 1998 年 5 月事例の実験において、MJ0 の雲活動の中心位置が海洋大陸付近にあって勢力の強かった 5 月半ば頃に、東太平洋赤道域で東風の強まりとともに冷たい水が海面へ上昇してくる様子がよく再現されていた (図 4)。

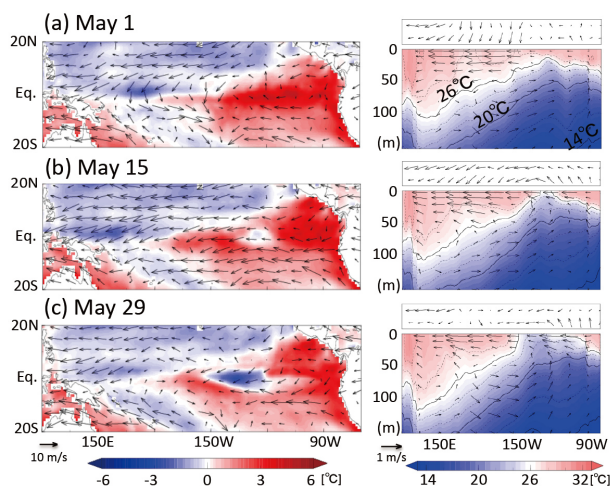


図 4. NICOCO で再現された、1998 年 5 月に海面水温の偏差が現れてエルニーニョが終息する様子 (4 月 20 日初期日)。左は SST 偏差と 975hPa 高度の水平風。右は海水温と流速の東西鉛直断面および、大気下層 (975hPa と 850hPa) の水平風。流速の鉛直成分は 100 倍に拡大して表示している。

また、9 本の実験それぞれにおいて再現された MJ0 は東進などのおおまかな性質は一致している一方で、その振幅には実験間でばらつきが見られた (図 5a)。このことを利用して、エルニーニョ終息の際に冷水塊が現れる東太平洋赤道域の大気下層東風のうち、MJ0 由来の成分 (雲活動の中心に向かって東西から吹き込む) と海面水温の変化との関係を調べた。その結果、MJ0 由来の東風が強いほど海面水温の低下が大きく、エルニーニョの終息が早いことが明らかになった (図 5b, c)。

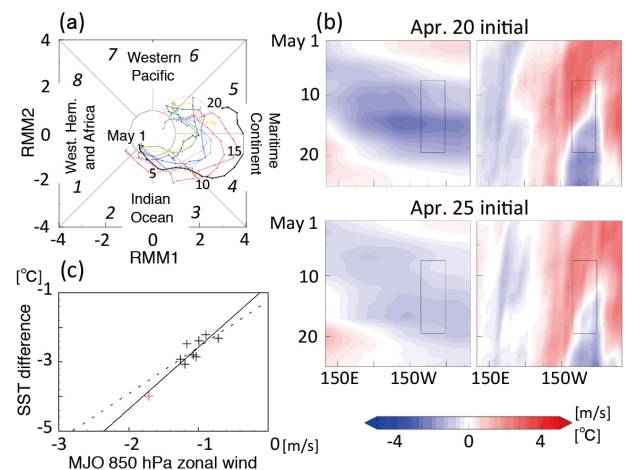


図 5. (a) MJ0 の振幅と位相を示す図 (Wheeler and Hendon 2004)。図の中心から遠いほど MJ0 の振幅が大きく、活発であることを意味し、原点からの方向によって中心位置が表現されている (MJ0 の東進は反時計周りの進行に対応する)。黒線が観測、カラーが 9 本の実験結果。(b) MJ0 の成分として解析される 850hPa 東西風 (左) と海面水温偏差 (右) の東西時間断面。全部で 9 本ある実験結果のうち、上は 4 月 20 日初期日、下は 4 月 25 日初期日のもの。(c) b 図で示している箱の範囲 (東太平洋, 5 月 8 日-19 日) において、9 本の実験における MJ0 由来の東西風と SST の変化量との対応を描いた散布図。やや特異なサンプル (赤マーカー) を含めた場合の相関係数は 0.91 (回帰直線は実線)、除いた場合の相関係数は 0.78 (回帰直線は破線)

4. まとめ

本研究では、新たに開発された海洋結合版 NICAM (NICOCO) の MJO 予測性能を評価するとともに、1998 年 5 月に MJO の存在下でエルニーニョが急激に終息した事例の再現を試みた。

NICOCO は大気版 NICAM とほぼ同等の MJO 予測スキルが維持されていることが確認され、また 1998 年 5 月事例のように海洋に大きな変動がある場合には NICOCO を用いることで有効な予測のリードタイムを伸ばせる可能性があることが示された。さらに、1998 年 5 月事例のエルニーニョ終息は、5 月中旬に海洋大陸付近に対流中心を持っていた MJO に伴う東風が寄与していたことが示された (図 6)。

今後は NICOCO に海洋のドリフトを補正するフラックス修正などを導入することにより、季節内～季節スケールの予測の向上にさらに貢献することが期待される。

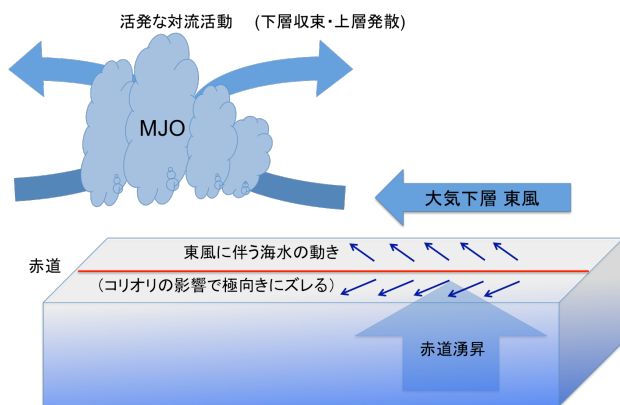


図 6. MJO が遠隔的に冷水を持ち上げる様子の模式図。

* 本研究は、文部科学省によるポスト「京」重点課題 4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境予測の高度化」の一環として実施し、また、科研費若手研究 B「全球雲解像モデルが再現するマッデン・ジュリアン振動の時空間構造分析」(15K17757) の補助を受けて行われた。本研究の内容は、Miyakawa et al. (2017) として発表済みである。

引用文献

- Arakawa, T., H. Yoshimura, F. Saito, and K. Ogochi (2011), Data exchange algorithm and software design of KAKUSHIN coupler Jcup, *Procedia Comput. Sci.*, 4, 1516–1525.
- Hasumi, H. (2006), CCSR ocean component model (COCO) version 4.0. CCSR Rep. 25, 103.
- 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.
- McPhaden, M. J. (1999), Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño, *Science*, 283, 950–954.
- Miyakawa, T., et al. (2014), Madden–Julian oscillation prediction skill of a new-generation global model demonstrated using a supercomputer, *Nat. Commun.*, 5, 3769.
- Miyakawa, T., et al. (2017), A Madden-Julian Oscillation event remotely accelerates ocean upwelling to abruptly terminate the 1997/1998 super El Niño, *Geophys. Res. Lett.*, 44.
- Satoh, M., et al. (2014), The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: Description and development, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 1, 18.
- Takayabu, Y. N., T. Iguchi, M. Kachi, A. Shibata, and H. Kanzawa (1999), Abrupt termination of the 1997–98 El Niño in response to a Madden-Julian oscillation, *Nature*, 402, 279–282.
- Tomita, H., and M. Satoh (2004), A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid, *Fluid Dyn. Res.*, 34, 357–400.
- Vecchi, G. A., and D. E. Harrison (2006), The termination of the 1997–98 El Niño event. Part I: Mechanisms of oceanic change, *J. Clim.*, 19, 2633–2646.

Wheeler, M. C., and H. H. Hendon (2004), An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction, *Mon. Weather Rev.*, 132, 1917–1932.