

「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」
平成 17 年度採択研究代表者

佐藤 正樹

(独) 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター サブリーダー

全球雲解像大気モデルの熱帯気象予測への実利用化に関する研究

1. 研究実施の概要

本研究では、「全球雲解像モデル」NICAMを気象予測に実利用化するための問題点を明らかにし、その課題の解決を目的とする。特に、熱帯・モンスーン域の積雲が活発な領域の気象予測の妥当性を調べる。そのために、全球雲解像モデルによる実験の他に、領域雲解像モデル、従来型大気大循環モデルを補完的に用いる。また、シミュレーション結果の検証のために観測データとの比較を行う。昨年度は、世界ではじめて現実的な海陸条件下での全球雲解像実験を実施した。平成19年度は、昨年度までの結果をベースに、熱帯の季節内変動 (Madden Julian Oscillation : MJO)、台風の発生など具体的ターゲットに向けた全球雲解像実験を行う。熱帯の気象予測の観点からは、MJOと台風の発生過程の予測は、従来のモデルにおける弱い点であり、全球雲解像モデルによる再現精度の向上が大いに期待される点である。さらに、全球雲解像実験の結果を衛星データ等と比較し、物理過程の改良に取り組む。また、NICAMを領域モデルとしてより現実的な条件下で利用するための開発に着手した。

今年度は、現実的な海陸分布条件のもとでの全球雲解像モデルを用いて、実際に生じたMJOを念頭においた数値実験を行った。その結果、MJOの構造、伝播、内部構造について、現実的によく似た特徴を再現することができた。

全球雲解像モデルのさらなる向上のために、雲物理過程、境界層過程などのさらなる改良に取り組んだ。このために、領域版NICAMを利用した。また、低解像度の大気大循環モデルを用いて、全球雲解像モデルとのMJO再現性などについて比較した。全球雲解像実験のデータを実際の観測データによる検証をおこなった。特に、静止気象衛星MTSAT-1R、TRMM、CloudSatなどの衛星観測データとの比較を行い、モデルと現実との差異について明らかにした。

2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は4.(1)に対応する)

平成19年度は、全球雲解像モデルの実用性を検証するために、特に、現実には発生した熱帯の顕著現象であるマッデン・ジュリアン振動の再現実験にとりくみ、その結果を論文[1]として発表した。マッデン・ジュリアン振動は、熱帯域での(周期40～50日の)気圧振動として発見され名付けられているが、その実態は高度15kmに及ぶ発達した積乱雲群が東西スケール数千キロの大規模な集合体となり、平均約5m/sの速度でインド洋上から太平洋上へとゆっくり移動する現象である。組織化した雲群は局地的に強い降水を伴い、熱帯における豪雨災害の原因となる。また、雲の集合体は赤道をまたぐ大規模な低気圧となっているが、それと共に赤道沿いに吹く強い西風など独特の大気循環を伴い、熱帯低気圧の発生やモンスーンの活動、エルニーニョ現象など、世界の気象・気候にも多大な影響を及ぼすことが明らかになってきた。このようなことから、熱帯域のみならず世界的な週間予報から季節予報の精度向上のため、マッデン・ジュリアン振動の適切な予測が期待されていた。しかし、従来の大気モデル(大気海洋結合モデルを含む)ではマッデン・ジュリアン振動を十分に再現することができなかった。

そこで、本研究では、全球雲解像モデルNICAMを用いて、平成18年12月にインド洋上で発生し、平成19年1月にかけて太平洋上へ移動したマッデン・ジュリアン振動に伴う大規模雲活動の再現実験を行った。再現実験では、詳細な雲分布の再現を目指し、水平メッシュ3.5kmで、平成18年12月25日0時(協定世界時)を計算開始時刻とした7日実験を、また、大規模雲活動のインド洋上から太平洋上への移動を再現するため、水平メッシュ7kmで、平成18年12月15日0時(協定世界時)を計算開始時刻とした30日実験を行なった。水平メッシュ3.5kmの実験により、マッデン・ジュリアン振動に伴う広域雲分布を現実的に再現することができた(図1)。水平スケール数百キロの組織化した雲群がいくつも存在し、全体として東南アジア島嶼部を広く覆っていることがわかる。また、水平メッシュ7kmの実験では、大規模雲活動のインド洋上から太平洋上への移動を時間的・空間的に精度良く再現することができた(図2)。平成18年12月23日にインド洋上に存在した雲活動の中心は、平成18年12月31日には東南アジア島嶼部上、平成19年1月8日には太平洋上へとその位置を移した。さらに、マッデン・ジュリアン振動に伴いジャワ島の南に発生した熱帯低気圧について、計算開始から2週間以上を経た平成19年1月2日に、現実的な発生予測に成功している(図3)。以上の結果を、論文[1]として発表した。

全球雲解像モデル実験の結果と現実と比べるために、多角的な検証を行った。全球雲解像モデルでは全球にわたって数km間隔のデータが得られるため、衛星データとの直接的な比較が可能である。降水の特性について熱帯降雨衛星との比較[2]、雲の面積について静止気象衛星との比較[3]を行い、さらに新しい衛星Calipso, CloudSatとの比較に着手した。熱帯等の対流の日変化は従来型の大気大循環モデルでは再現性が悪いことが知られているが、

解像度の高い雲解像モデルを用いると再現性が向上し、現実とよく対応するということがわかった[4-5]。マッデン・ジュリアン振動の理解を深めるために、理想化された実験（水惑星実験）との比較を行い、対流の組織化とその構造について詳細に調べた[6-7]。

2006年12月に生じたマッデン・ジュリアン振動に伴い、マレーシアやインドネシアで豪雨が発生し、大きな被害が生じた。本実験ではこの豪雨についてもよくとらえており、全球雲解像モデルを実際に熱帯の豪雨予測に利用する可能性を示すことができたといえる[8-9]。

本年度の研究により、全球雲解像モデルを用いることで、マッデン・ジュリアン振動に伴う雲集団の動きが1カ月先まで予測できる可能性を示すことができた。計算機能力が向上し、気象予報モデルの高解像度化が進めば、マッデン・ジュリアン振動がより長期にわたり適切に予測され、熱帯域の天気予報が初めて可能になるばかりでなく世界全体の週間予報から季節予報の精度向上につながり、さらには地球温暖化予測のネックである熱帯域の雨量変化予想が可能になると期待される。今回の研究成果は全球雲解像モデルの利点を明確に示したことで、世界的な大気モデル開発の潮流にも大きな影響を及ぼすと考えられる。このような全球雲解像モデルの現状と将来的な可能性について、論文[10]にまとめた。

本年度は、全球雲解像モデルを、熱帯の短期気象予測や中高緯度の月から季節予報といった実際の天気予測への利用可能性を示したことで大きな成果を得たといえる。しかし、全球雲解像モデルはまだまだ発展途上であり、さまざまな改良を進めていく必要がある。雲物理や境界層過程の物理過程依存性[11]、移流スキームの開発[12-13]、並列化効率の向上[14]など、基礎的な研究も進めていく必要がある。

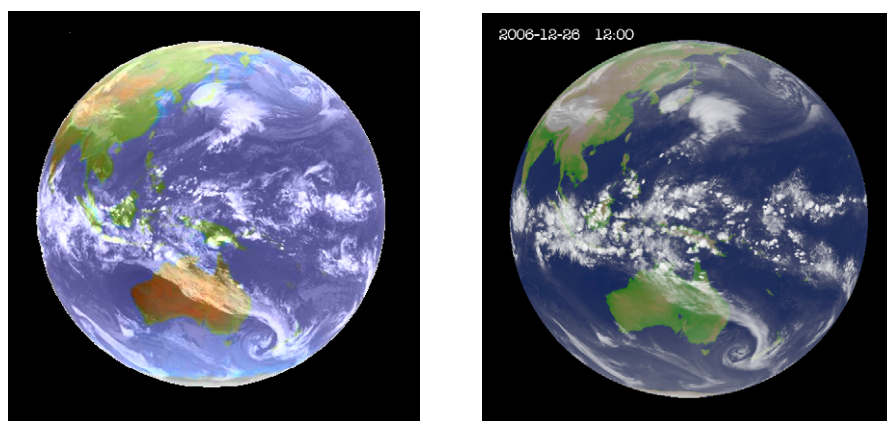


図 1. 左: 静止気象衛星 MTSAT-1R による雲画像(赤外 TBB)。右: NICAM3.5km メッシュ実験によりシミュレートされた雲画像(赤外放射)。2006年12月26日 00UTC。

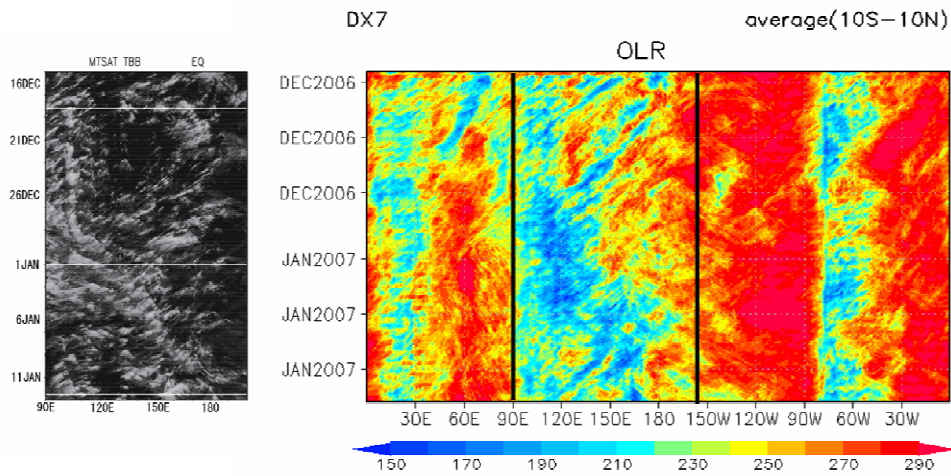


図 2. NICAM により再現された MJO に伴う東進する雲集団 (右)。7km メッシュ実験での 10N-10S で平均した赤外放射。左は静止気象衛星 MTSAT-1R による雲画像(赤外 TBB)の赤道に沿った変動。

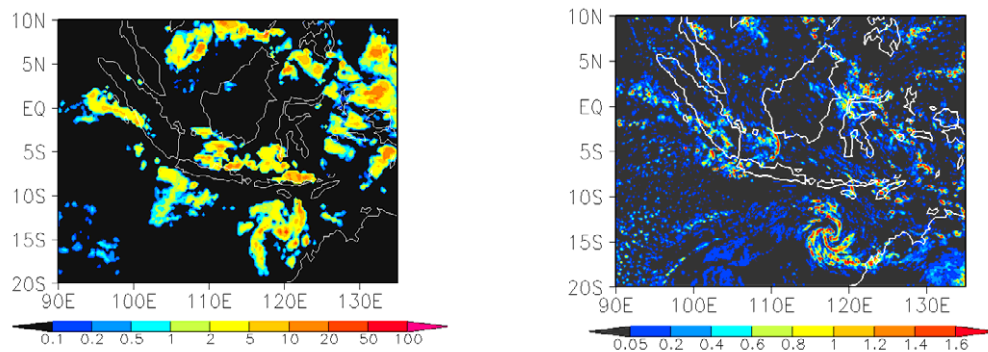


図 3: 平成 19 年 1 月 2 日 00:00 における (左) 観測された熱帯低気圧 (推定降水量[mm/hr]) と (右) 水平メッシュ 7km 実験で発生が再現された熱帯低気圧計算開始から 18 日後の状態。(雲水総量[kg/m²])。熱帯低気圧が東経 120 度、南緯 15 度付近に位置している。

3. 研究実施体制

(1)「佐藤」グループ

- ① 研究分担グループ長:佐藤 正樹(独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター 地球環境モデリング研究プログラム サブリーダー)

② 研究項目

- 総括
- 全球雲解像モデリング
- 領域雲解像モデリング
- 大気大循環モデリング
- データ解析

(2)「中島」グループ

① 研究分担グループ長:中島 映至(東京大学気候システム研究センター センター長教授)

② 研究項目

- 大気大循環モデリング
- データ解析

(3)「中澤」グループ

① 研究分担グループ長:中澤 哲夫(気象庁気象研究所台風研究部第二研究室 室長)

② 研究項目

- データ解析

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- [1] Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, A. Noda, T. Nasuno, and S. Iga, 2007: A short-duration global cloud resolving simulation with a realistic land and sea distribution. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 34, No. 2, L02804.10.1029/2006GL027448.
- [2] Satoh, M., T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita, S. Iga, Y. Takayabu, 2008: Precipitation statistics comparison between global cloud resolving simulation with NICAM and TRMM PR data. *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, edited by Wataru Ohfuchi and Kevin Hamilton, 99-112, ISBN-13: 978-0387366715, 293pp.
- [3] Inoue, T., M. Satoh, H. Miura, B. Mapes, 2008: Characteristics of cloud size of deep convection simulated by a global cloud resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, accepted.
- [4] Sato, T., H. Miura, and M. Satoh, 2007: Spring diurnal cycle of clouds over Tibetan Plateau: global cloud-resolving simulations and satellite observations. *Geophysical Research Letters*, 34, L18816, doi:10.1029/2007GL030782.

- [5] Sato, T., T. Yoshikane, M. Satoh, H. Miura, and H. Fujinami, 2008: Resolution dependency of the diurnal cycle of convective clouds over the Tibetan Plateau in a mesoscale model. *J. Meteor. Soc. Japan*, accepted.
- [6] Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, and M. Satoh, 2007: Multiscale organization of convection simulated with explicit cloud processes on an aquaplanet. *J. Atmos. Sci.* 64, 1902-1921.
- [7] Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, and M. Satoh, 2008: Convectively coupled equatorial waves simulated on an aquaplanet in a global nonhydrostatic experiment. *J. Atmos. Sci.*, 65, 1246-1265.
- [8] Wu, P., Hara, M., Fudeyasu, H., Yamanaka, M. D., Matsumoto, J., 2007: The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java island, *SOLA*, 3, 93-96, doi:10.2151/sola.2007-024.
- [9] Satoh, M., 2008: Numerical simulations of heavy rainfalls by a global cloud-resolving model. *J. Disaster Research*, 3, 33-38.
- [10] Satoh, M., T. Matsuno, T., H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S. Iga, 2008: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *Journal of Computational Physics*, 227, 3486-3514, doi:10.1016/j.jcp.2007.02.006.
- [11] Iga, S., H. Tomita, Y. Tsushima, M. Satoh, 2007: Climatology of a nonhydrostatic global model with explicit cloud processes, *Geophysical Research Letter*, 34, L22814, doi:10.1029/2007GL031048.
- [12] Miura, H., 2007: A fourth-order centered finite volume scheme for regular hexagonal grids. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 4030-4037.
- [13] Miura, H., 2007: An upwind biased conservative advection scheme for spherical hexagonal-pentagonal grids. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 4038-4044.
- [14] H. Tomita, K. Goto, M. Satoh, 2008: A new approach of atmospheric general circulation model --- Global cloud resolving model NICAM and its computational performance --- accepted, *SIAM Journal of science computing*.