

「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

地球大気における熱帯では積雲が組織化した積雲クラスターが盛衰を繰り返しており、これらの挙動は直接・間接的に日本に影響を及ぼしている。従来の粗い分解能の大気モデルでは、このような熱帯の雲降水システムを表現するためにパラメタリゼーションを導入せざるをえず、モデルの予測精度向上の障害になっていた。大気モデルによる気象予測の信頼性を高めるためには、熱帯の雲降水システムのシミュレーションを改善することが必要である。我々のグループは、地球シミュレータを最大限活用することによって全球数 km メッシュで対流雲を直接計算する「全球雲解像モデル」による大気循環のシミュレーションに世界で初めて成功した。長い間大気モデリングの難関であった積雲対流のパラメタリゼーションを解消したこの新しいモデルを用い、従来の観測研究、モデル研究両グループの枠を超えた多くの研究者の協力のもと次世代の気象・気候予測モデルとしての実利用化を目指し、特に熱帯・アジアモンスーン域における気象予測における課題を解決することにより、世界の気候モデリング研究に新しい時代を開こうとするのが本研究の構想である。

今年度は、はじめて現実的な地表面条件・初期条件のもとで3.5kmメッシュ全球雲解像実験を実施した。1週間の数値実験を実施し、熱帯の積雲クラスターの組織化、台風の発達をシミュレートすることができた。また、より積分時間の長い全球雲解像実験を平行して行ない、衛星データにみられるような詳細な降水分布の構造をとらえることができた。一方、雲物理過程、境界層過程によって雲の広がりなど結果が依存することも明らかになった。今後、物理過程の改良を進めるとともに、季節内変動、台風の発生に焦点をしばり、これらの現象のシミュレーション精度の向上をはかる。

## 2. 研究実施内容

本研究では、この全球雲解像モデル NICAM による熱帯気象予測の精度を向上させ、気象予測モデルとして実際に利用するための諸課題を解決することが目的である。本計画では、NICAM の開発を進め、海陸分布のある現実的な条件下で実験を行い、そこでシミュレートされる熱帯域の雲降水システムの予測性能の向上をはかる。そのためには、現実データや、既存の大気モデルによる結果などと比較することが必要である。

当該年度は、NICAM を現実的な海陸分布のある条件で実験するための開発を行い、次の三つの実験に取り組んでいる：

1. 2004年4月実験：昨年度に引き続き、特別観測が組まれた2004年4月に事例を定め、現実データを初期値、境界値として与えた全球雲解像実験を行った。最高解像度3.5kmメッシュ実験を実施した。
2. 7月条件実験：昨年度に引き続き、NICAMによる気候値的な特性を調べるために、7月条件に固定した長期積分を行い、全球雲解像モデルによる気候値を得る。より低解像度の14kmメッシュで200日のスピニアップを行い、感度実験を行った。
3. MJO実験：現状の大気モデルで再現することが難しい熱帯の雲降水システムの変動マッデンジュリアン振動(MJO)をターゲットとした実験。顕著なMJOが生じた2006年12月中旬を初期場として、1ヶ月程度の積分を実施。今年度後半より新たにとり組みはじめた実験であり、最初の結果が出始めた段階である。

実験1, 2は、昨年度から継続して行っている実験である。実験3は今年度新たにはじめた実験である。従来の気象モデルのウィークポイントである①MJOの再現性と②台風の発生を主要課題と考えており、今年度は実験3によって、これらの課題に取り組むことができる。

図1には3.5kmメッシュ全球雲解像モデルの雲画像と、同時刻の静止気象衛星の画像を示す。数値計算は、2004年4月1日00UTCを初期値とし、6日00UTCにおける状態を示した。衛星画像にみられるように、赤道上に積雲クラスターが形成され、その中から北半球に台風が現れているようすがシミュレートされている。図2には3つの異なる解像度の結果を比較する。メッシュの大きさによらずに大規模な積雲クラスターの組織化が同じように表現されている。従来は14kmメッシュでは不十分であると考えられていたが、積雲の大規模な組織化について有用な情報が得られることを示唆するものである。もちろん、降水が強いなど、定量的には異なる部分があることに留意する必要があるが、計算資源を効率化するために14kmメッシュモデルの利用は有効である。

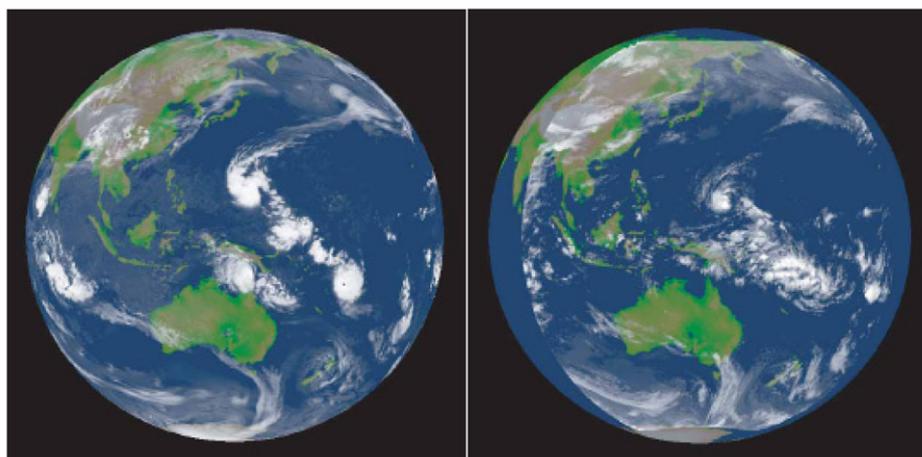


図1. (左) 3.5kmメッシュ全球雲解像モデルによるシミュレーション結果。外向き赤外放射量を示し、色が白いほど雲の背が高い。(右) 静止気象衛星GOES9による赤外面像。2004年4月6日00UTC。数値計算は4月1日00UTCを初期条件として5日目の状態。

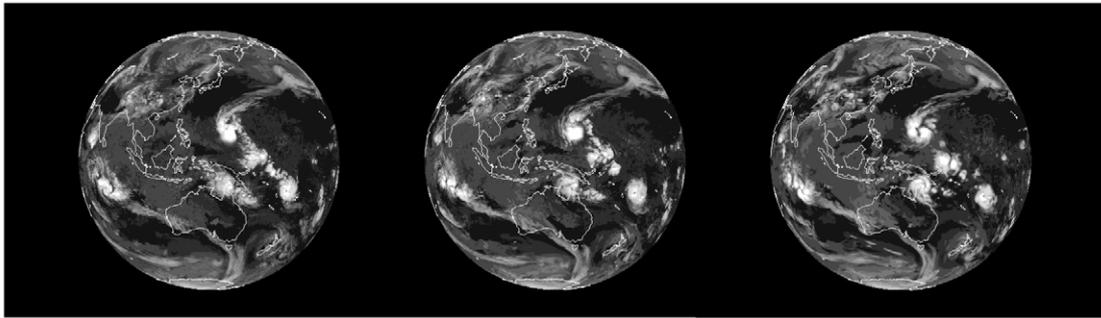


図2. 全球雲解像モデルの解像度依存性。(左) 3.5km メッシュ、(中) 7km メッシュ、(右) 14km メッシュ。図1と同じ実験、2004年4月6日00UTCにおける外向き赤外放射。

2番目の7月条件実験は、気候値を得るために、より長期積分を要する。ほぼ平衡な状態を得るために、200日程度の積分が必要であることがわかった。図3は、14kmメッシュ実験による30日平均した降水分布である。熱帯降雨衛星 TRMM 他による月平均降水量を比較のために示す。特定の年を念頭においた実験ではないため直接的な比較はできないが、太平洋上の降水の詳細な分布など、観測とよい対応を示している。一方で、フィリピンからインド洋にかけて晴天域が広がるといった点に差異がみられる。この実験シリーズは昨年度から取り組み始めたもので、さまざまなモデルの改良によって結果を改善してきた。特に、境界層過程を見直すことで、昨年報告した強い降水の問題が改善され。この点において、アメリカで進められているマルチスケールモデリング(MMF)で見られるような強い降水の問題(Red Spot)は我々のモデルにはなく、我々のアプローチの優位性が示されていると考えられる。

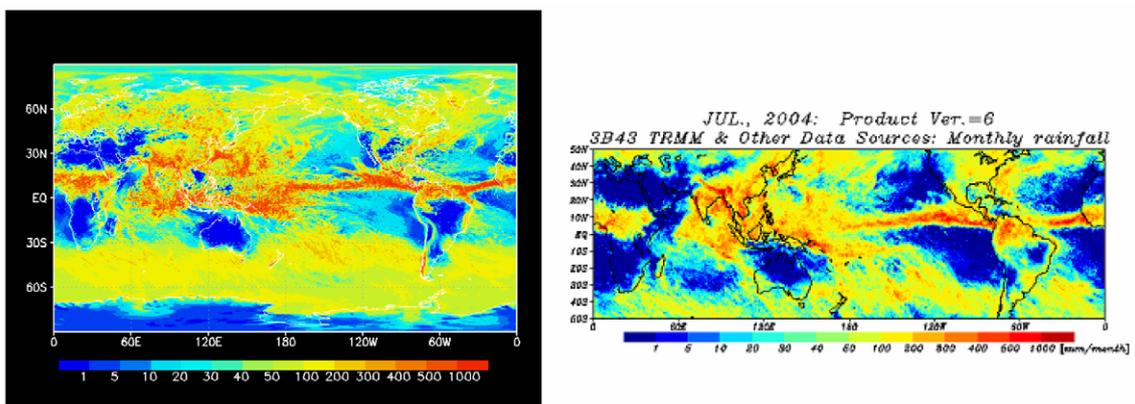


図3. 7月条件実験における1月平均降水量(左)、TRMM(3B43)による2004年7月月平均降水量(右、JAXA提供)。14kmメッシュ実験。

3番目のMJO実験は、本研究課題でチャレンジングなテーマの一つである。2006年12月に発生したMJOを対象に、14kmメッシュの予備的実験を行ったところ、組織化した東進する構造をシミュレートすることができた。今後に期待のもてる結果である。この現象は、ごく最近の事例であり、イン

ド洋で集中観測が行われた時期とも重なる。今後、観測とモデルの連携を念頭に、モデルの改良をすすめていく。

今年度は、現実条件下での最初の3.5kmメッシュ全球実験を行った。今までは、モデルの開発フェーズであるが、今後は検証・改良フェーズに移ると考えている。衛星や現地観測などによる詳細な検証が必要になりとともに、雲物理過程や境界層過程の物理過程の改良によってモデルをよりよくする必要がある。MJO や台風の発生、モンスーンの季節進行を念頭に、これらの改良・検証により、熱帯の気象予測実験の準備を進めたい。

### 3. 研究実施体制

#### (1) A 雲解像モデリング・データ解析グループ

① 研究分担グループ長：佐藤 正樹((独)海洋研究開発機構 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) 大気大循環モデリング・データ解析グループ

① 研究分担グループ長：中島 映至(東京大学 教授)

#### ② 研究項目

- ・ 大気大循環モデリング
- ・ データ解析

#### (3) データ解析グループ

① 研究分担グループ長：中澤 哲夫(気象庁気象研究所 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)

- Satoh, M., T. Matsuno, T., H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S. Iga, (2007), Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations. Journal of Computational Physics, doi:10.1016/j.jcp.2007.02.006, the special issue on Predicting Weather, Climate and Extreme events.

- Satoh, M., T. Nasuno, H. Miura, H. Tomita, S. Iga, Y. Takayabu (2006) 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. In press.
- Miura, H., M. Satoh, H. Tomita, A. Noda, T. Nasuno, and S. Iga, : 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.
- Miura, H.: A fourth-order centered finite volume scheme for regular hexagonal grids. Mon. Wea. Rev., accepted.
- Miura, H.: An upwind biased conservative advection scheme for spherical hexagonal-pentagonal grids. Mon. Wea. Rev., accepted.
- Nasuno, T., H. Tomita, S. Iga, H. Miura, and M. Satoh, 2006: Multiscale organization of convection simulated with explicit cloud processes on an aquaplanet. J. Atmos. Sci., in press.
- Tsuneaki Suzuki, Yukari N. Takayabu, and Seita Emori, 2006: Coupling mechanisms between equatorial waves and cumulus convection in an AGCM. Dyn. Atmos. Oceans, 42, 81-106.
- Matsueda, M., M. Kyoda, and H.L. Tanaka 2006: Multi-center grand ensemble using three operational ensemble forecasts. SOLA, 2, 33-36.
- Watarai, Y. and H.L. Tanaka 2006: Comparison among JRA-25, ERA-40 and NCEP/NCAR reanalysis datasets from the viewpoint of global energetics. SOLA, 3, 9-12.
- Matsueda, M., M. Kyoda, H.L. Tanaka, and T. Tsuyuki 2006: Daily forecast skill of multi-center grand ensemble. SOLA, 3,29-32.