研究課題名：NICAM による雲降水システムの研究

課題代表者：東京大学大気海洋研究所　佐藤正樹
共同研究者：東京大学大気海洋研究所　端野典平・沢田雅洋・Woosub Roh

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

温暖化問題において、エアロゾルや雲降水システムの不確定性が大きく、温暖化ガスによる放射強制力に匹敵する強制力を生み出す可能性が指摘されている。また、近年、放射雲エアロゾル観測衛星（EarthCARE 衛星：計画中）を含む様々な衛星がエアロゾルと雲システムを観測し、その不確定性を減らす努力がなされている。気候予測精度を向上させるには、エアロゾル含む雲降水システムの再現性を向上させる必要がある。また衛星データの同化の観点からも、再現性向上が必要である。本研究では、全球非静力学モデル NICAM にて再現される雲降水システムの検証を、衛星観測を包括的に用いて行うとともに、雲降水システムの物理・力学過程の理解を深めることを目的とする。

2. 研究計画

昨年に引き続き、熱帯の雲降水システム・積雲クラスターのライフサイクルの再現性の改善を図り、物理過程の解析を行う。NICAM の雲微物理量の出力から、衛星データシミュレータを用いて、衛星で観測される物理量を再現し、実際の観測値と直接比較検証する。衛星としては、降雨レーダーを搭載した TRMM、A-train に含まれる雲レーダーを搭載した CloudSAT やライダー搭載の CALIPSO などを利用する。また、熱帯域での改善が見られた場合、北極層雲の再現性の評価を、観測船みらいの観測を用いて行う。大気場の初期値に由来する不確定性を評価するため、データ同化システムの構築に、スーパーコンピュータへの実装に着手する。その後、同化システムの動作確認のため、観測システムシミュレーション実験（OSSE）を行う。

3. 進捗状況

昨年度に行った雲微物理スキームに関する感度実験結果を使って、TRMM の PR と VIRS で観測される物理量を再現し、実際の観測と比較した。NICAM による数値実験は、水平格子をターゲット領域に集中させる手法を用い、解析領域内(170E-170W、10S-10N)での水平解像度は約 5 ㎞とした。使用する雲微物理スキームは、雲水、雨、雲氷、雪、霰の 5 種類の水粒子の質量を予測する。標準実験を CON と記述する。これに加えて、雪の粒径分布に関する感度実験を行った。Field et al. (2005) の観測結果に基づいた定式化を用いた感度実験で、FS05 と記述する。

図 1 に TRMM PR/VIRS による Joint histogram を示す。図 1 の頻度を、赤外輝度温度（縦軸）で分けることにより、推測される雲頂温度とエコー頂高度から雲降水システムを定義することができる。どの実験においても、エコー頂高度 7-15 ㎞、輝度温度 200K 付近にピークがあり、対流雲と層状雲を含む deep clouds を過大評価傾向であることがわかる。CON では高度 13 ㎞付近にピークが現れ、detrainment された Anvil cirrus 内の降水粒子の出現頻度が過大評価されていることが示唆される。FS05 は 8.5 ㎞付近にピークが現れ、CON の過大評価を改善している。FS05 では、雪カテゴリの粒径の大きい粒子が減少したためである。Shallow clouds（エコー頂高度 5 ㎞以下、赤外輝度温度 280K 以上）も観

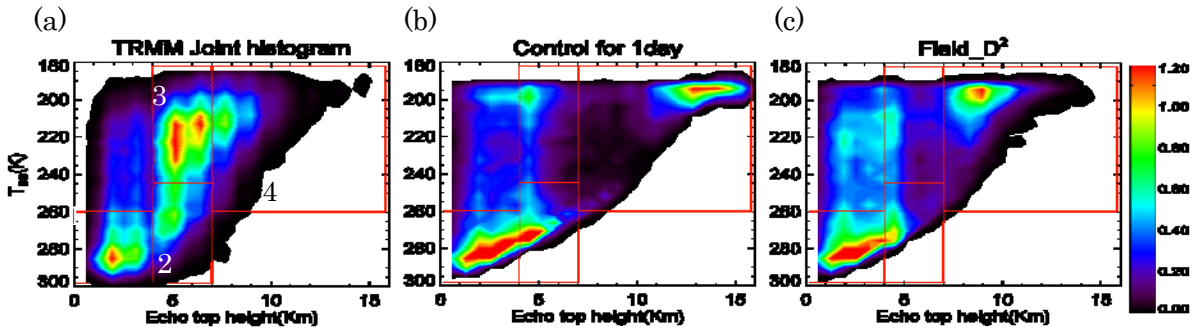

図 1 TRMM (PR, VIRS) joint histogram での比較。横軸はエコー頂高度、縦軸は赤外輝度温度。 (a) Observation, (b) CON, (c) FS05. 各赤枠は雲タイプの違いを表し、shallow(1), congestus(2), mid-cold(3), deep(4)となる。

測に比べて過大評価である。一方、観測で見られる congestus と mid-cold clouds（エコー頂高度 4-7 ㎞、赤外輝度温度 200-280K）の顕著なシグナルはどの実験においても見られず、過小評価である。CON において、エコー頂高度 5km 以下について、小さい輝度温度(<220K)の頻度が過大評価されている。これは cirrus と shallow clouds の overlap が多すぎることを示唆する。FS05 では輝度温度が大きい方に改善されている。これは、雪の平均粒径が小さくなり粒子数が増え、雲氷を併合する過程が促進され、雲氷の減少とともに雲頂高度が減少したと考えられる。

東大大気海洋研究所で構築した NICAM-LETKF をスーパーコンピュータに実装し、OSSE を行った。LETKF 本体は Miyoshi and Kunii (2011) とほぼ同様のものである。水平解像度は約 112 ㎞と全球一様とした。アンサンブルメンバー数は 20 である。初めの 2 日間は同化せず、スピンアップとする。2011 年 11 月 1 日から 7 日積分を行い、これを真値とした。図 2 は、真値に対する u と T の RMSE の時系列を示す。初めの 2 日間は同化していないため、大きな RMSE であるが、同化開始直後に、RMSE が減少する。その後、5 日積分で同化システムは安定に動作することが確認できた。

4. 今後の計画

以上の結果、上層で見られた氷雲の過大頻度バイアスが存在し、雪の粒径分布のパラメタリゼーションを修正することで改善することが確認できた。これは、全球高解像度実験においても見られるバイアスであり、領域版 NICAM でバイアスを改善することで、全球実験でのバイアスの改善が予期される。今後は、霰や雨に関しても、観測に基づく改良を試みる予定である。

雲微物理量の再現性だけではなく、力学過程の再現性向上を目的として、LETKF を用いたデータ同化システム(NICAM-LETKF)を構築し、動作確認をした。今後は、積分時間を延ばし、長期積分で安定に動作するか調べる予定である。

5. 計算機資源の利用状況（2013 年 6 月～11 月）

実行ユーザ数: 4　CPU 時間 v_deb: 0.682 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 26.489 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 27.171 hours

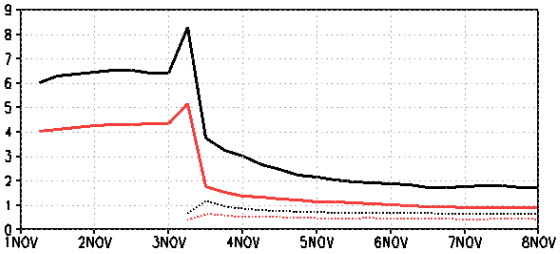

図 2　高度約 1570m の u(黒), T(赤)の誤差の時間変化。横軸は時間、縦軸は RMSE (m/s か K)。

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

NICAM による雲降水システムの研究

6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

昨年度は、衛星観測と衛星データシミュレータを用いることにより、全球非静力学モデル NICAM にて再現された雲降雨システムを評価し、雲微物理スキームの改善を探ることができた。スーパーコンピュータを利用して、2008 年 6 月に発生した台風 Fengshen の領域に絞った再現実験を数多く行った。CloudSat と CALIPSO による観測値を、Joint-Simulator を用いて再現し、雲頻度、レーダー反射因子と気温の頻度解析、そしてライダーとレーダーの両方用いた粒径と質量の診断を行った。新しい雪と霰のパラメタリゼーションにより、高層での大きい雪の頻度を減少させることができた。ただ、高層雲の頻度の過大評価、粒径を過大、質量を過少評価するバイアスは依然残ることがわかった。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 3　CPU 時間　1 ノード未満：16.312 hours, 1 ノード：1407.846 hours, 2 ノード：0 hour, 計：1424.158 hours