

GCMによる巻雲のシミュレーション

*清木 達也¹、小玉 知央¹、佐藤 正樹^{1,2}、端野典平³、萩原雄一朗³、岡本創³

1. 海洋研究開発機構、2. 東京大学 大気海洋研究所 3. 九州大学 応用力学研究所

1. はじめに

巻雲のシミュレーションはモデルの鉛直解像度に強く依存する事が考えられる。CALIPSO と CloudSat の衛星観測データが利用可能になって以来、全球の巻雲の鉛直構造の解析が進められてきた。Haladay and Stephens (2009)の解析によると、熱帯域の巻雲は幾何学的厚さ 1.6km 程度、光学的厚さは 0.1 以下と非常に薄い事が分かった。一方で、IPCC-AR5 参加 GCM のほとんどが鉛直層数 20~40 層程度であり、圏界面付近は 1000mを越えるものが多い。この為、GCM では巻雲の鉛直構造を表現する事が困難であり、巻雲の雲放射効果および、関連した雲フィードバックのシミュレーションに大きなバイアスが生じている事が予期される(e.g., Li et al., 2012; 2013)。本研究では、非静力 GCM である NICAM(Satoh et al., 2014)を用いた高解像実験を行い、巻雲分布の鉛直解像度依存性を調査した。本研究成果は雑誌 GRL に Seiki et al. (2015)としてまとめられている。

2. 実験設定

本研究では Hashino et al. (2013)の実験設定を基に、水平解像度 Δz 、鉛直解像度 Δx 、雲微物理の設定を変更した。NICAM を用いた標準的な実験設定では大気上端を高度 40000mとし、鉛直層数を 40 層とっている。 Δz は高度と共に線形に増加するよう設定されており、大気境界層内では 100m 前後と細かい値を取るが、圏界面付近(高度 16km 程度)では $\Delta z \sim 1350m$ と非常に粗くなっている。そこで、本研究では高度 20000m 以下の鉛直解像度を最大で 400m、200m、100m に固定する実験を行った(それぞれ鉛直層数は 74, 128, 236 層)。水平解像度は 28km, 14km の二通りで実験を行い、鉛直解像度依存性の妥当性をチェックした。雲微物理モデルには 2 モーメントバルク法モデル NDW6(Seiki and Nakajima, 2014; Seiki et al., 2014)を用い、サブグリッドの雲モデリングは用いていない(積雲パラメタリゼーションや水蒸気・温度のサブグリッド PDF など)。計算事例は 2008 年 6 月 15 日 00:00UTC を計算初期値とした 10 日間とし、後半 5 日間を解析に用いた。衛星データとモデルの比較には Joint-Simulator (Hashino et al., 2013)を使った。

3. 計算結果

巻雲の雲物理特性・光学特性を表現するには少なくとも 400mの鉛直解像度が必要である事が

分かった。鉛直解像度が 1000m程度の場合、薄い雲氷が圏界面付近に長くとどまり、熱帯から亜熱帯にかけて強い正の雲放射強制力を示すことが分かった。鉛直解像度を 400m, 200m, 100m と細かくするにつれて、巻雲の雲量は半分程度になり、雲頂高度は下がり、巻雲の層厚は薄くなり、結果として雲放射強制力が小さくなった(30S-30N 平均値で約 $7Wm^{-2}$)。NICAM の標準実験において亜熱帯に見られた OLR の負バイアスは鉛直解像度を高める事で解消され、CERES 衛星観測データに近づいた。

雲氷量、雲氷有効半径の鉛直分布を CALIPSO、CloudSat 衛星のリトリーバルデータ(Hagihara et al., 2010; Okamoto et al., 2010; Yoshida et al., 2010)と比較したところ、標準実験は雲氷量(IWC)・雲氷有効半径(REI)ともに過小評価している事が分かった(図1左)。そして、鉛直解像度を高めるにつれ、シミュレーション結果は衛星データに近づいた。

鉛直解像度が粗い場合、雲頂付近の放射冷却が著しく小さい値を取る事が分かった(図1右)。鉛直解像度を高める事によって雲放射相互作用が強まり、巻雲の成長が強まる事が指摘された。

上記結果の鉛直解像度依存性は $\Delta z=400m$ でほぼ収束しており、GCM の鉛直解像度には少なくとも $\Delta z=400m$ が必要である事を結論付ける。計算コストは鉛直層数にほぼ比例する為、他の GCM にとっても鉛直 74 層は受け入れ可能であると考えられる。

4. 謝辞

本研究は気候変動リスク情報創生プログラムの支援によって行われています。共著者の一部は文部科学省科学研究費助成事業基盤研究 A (25247078) の助成を受けました。シミュレーションには地球シミュレータを用いました。

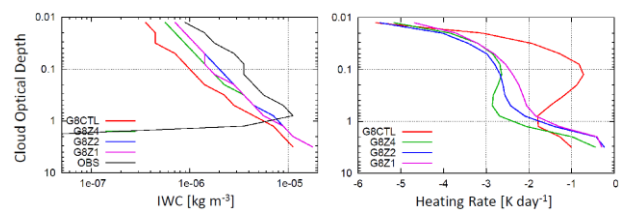


図1. IWC [$kg m^{-3}$] (左) および巻雲内の放射加熱率 [$K day^{-1}$] (右) の鉛直分布。2008 年 6 月 20 日から 25 日までの熱帯平均値。黒線が観測(左図のみ)で色線が各数値実験の結果。