

CReSS と NHM を用いた積雲境界層の数値実験

*中村晃三 (RIGC,JAMSTEC)、藤吉康志 (RIGC,JAMSTEC/北大低温研)、
坪木和久 (RIGC,JAMSTEC/名大地球水循環)、久芳奈遠美 (RIGC,JAMSTEC)

1. はじめに

気候に大きな影響を与える雲に関して、その物理過程の理解を深め、モデルを改良することを目指して GCSS (GEWEX Cloud System Study) では、いくつかの WG が比較実験など様々な活動に取り組んでいる。

そのうちの1つに大西洋の貿易風帯で行われた RICO (Rain in Cumulus over the Ocean Experiment 2004-2005) がある。地球環境変動領域 (RIGC)・次世代モデル研究プログラムの雲・降水・放射過程研究チームでは、坪木らが開発してきた CReSS に、久芳らが開発したビン法モデル (詳しくは、Kuba and Fujiyoshi 2006 を参照) を組み込み、この観測実験で観測された積雲についての再現実験を行い、その結果を使ったバルク法のパラメタリゼーションの改良に取り組んでいる。

ところが、CReSS-Bin モデルの結果は、他の観測やモデルの結果に比べ、雲層上部で、雲粒子数が少ないという特徴を示した。その原因を調べるため、気象研で開発されつつある NHM-Bin モデルとの比較実験を計画している。今回は、その準備段階として、バルク法の NHM と CReSS を比較した結果を示す。

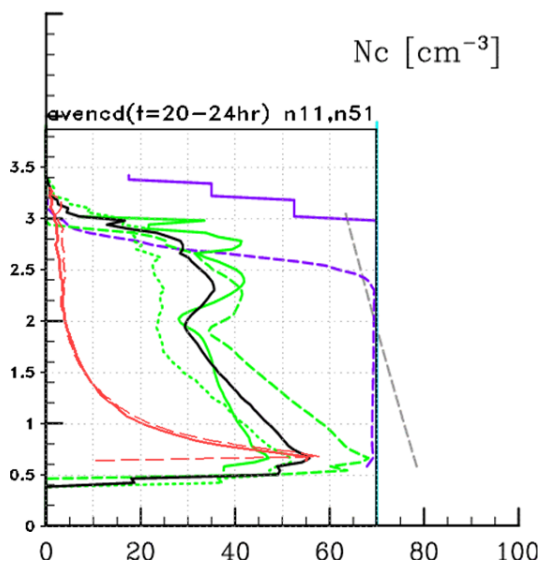


図1 RICO の再現実験で得られた雲内の平均雲粒子数密度の鉛直分布。ここで、雲は雲水混合比 $> 0.01\text{g/kg}$ の格子で定義した。ほぼ定常的になった 20 時から 24 時の時間平均値。赤は CReSS-Bin モデルの結果 (実線と波線は移流スキームの違い)、緑と紫は GCSS 比較実験に参加したビンモデル (緑) と 2 モーメントバルクモデル (紫) の結果、黒は 3 つのビンモデルの平均。RICO の比較実験の web-site の図に CReSS-Bin の結果を挿入した。

2. モデルと数値実験の設定

モデルの詳細、および、実験の設定などについては、これまでの発表 (気象学会 2008 年秋季大会 B362 や、昨年までの非静力 WS) や、GCSS (GEWEX Cloud System Study) 境界層雲 WG のホームページ <http://www.convection.info/blclouds/> を参照していただきたい。基本的には、水平方向に cyclic だが、平均下降流があって、雲層の鉛直方向の発達を抑えられる一方、海面からの熱と水蒸気の補給があり、水平移流と放射冷却、雨水の落下で平均的にはほぼ定常的な状態が維持されているという条件の下での再現実験である。

3. 結果

解析は、平均的にほぼ定常状態になった $t=20$ 時~24 時のデータを使って行う。高度 0.6km 付近から 3.0km 付近に雲ができ、雲量は 10% 未満の積雲である。図は省略するが、温位や水蒸気混合比は、典型的な積雲型の境界層を示している。

図1は、RICO の再現実験で得られた雲内の平均雲粒子数密度の鉛直分布を示している。CReSS-Bin モデルの結果 (赤線) は、雲底付近では、活性化するエアロゾルの個数密度が $60[\text{cm}^{-3}]$ 程度で他のモデルの結果と良く合っているが、上部では、非常に小さな値を示している。図は省略するが、この結果は、基本場の鉛直シアをなくした実験でも大きく変わらなかった。

この原因を調べるために、暖気塊でのテストを以下のようにして行った。成層は、RICO のケースに合わせた。水平風はなく、初期に暖かく湿ったバブルにおいて、それが上昇していくときの雲粒子数密度、液水混合比の変化を示したのが図2で、単純なバブルの場合、液水生成後、雲粒子数をほぼ保存して上昇していくことがわかり、雲粒生成過程、移流過程などには基本的に問題はなさそうだと推測された。(雲消滅過程は問題がある可能性がある。)

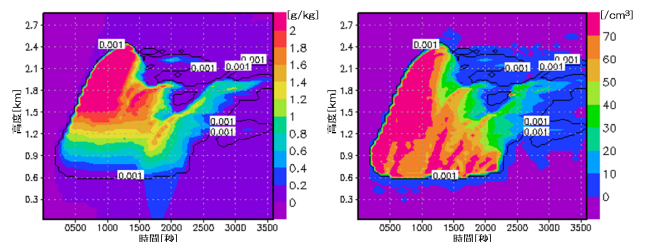


図2 バブルの中央での、液水混合比 (左) $[\text{g/kg}]$ 、雲粒子数密度 (右) $[\text{cm}^{-3}]$ の時間-高度変化。

4. NHMでの実験

CReSS-Bin モデルで得られた雲層上部で雲粒数密度が小さくなる原因を求めて、詳細な比較を行うために、気象研究所で開発されつつある NHM-Bin モデルとの比較実験を計画している。NHM には様々な移流スキームが組み込まれており、それらの影響なども調べながら、2つのビンモデル間の詳細な比較によって、それぞれのモデルの特徴や問題点を調べることができると考えた。

RICO での再現実験に使えるように、NHM に

- 外力（平均鉛直流による加熱と乾燥化、平均水平流による冷却と乾燥化、そして放射冷却）
- 海面からの熱・水蒸気の補給、
- 海面での運動量交換と、気圧傾度力（地衡風）による平均風の維持、
- 周期境界条件、
- いろいろな移流スキーム（鉛直移流項）、

などを組み込んだ。ここで、周期境界条件は元の NHM でも使われているものだが、移流スキームを変えようとすると動かないものもあり、そのうちいくつかの修正を行った。また、従来の NHM では鉛直移流項は2次もしくは4次のフラックス型もしくは移流型の中央差分が選択されたが、水平方向と同じスキームが使えるように修正した。3次5次のフラックス型の一部は結果がもっともらしくないので、鉛直は2次中央差分の結果を示す。

図3がCReSSとNHMの結果で、各物理量の水平平均値の20:10~24:00の10分ごとの値を平均した鉛直分布を示している。雲物理は共通にケスラー型の式を用いた。結果から、CReSS（スカラーも風も移流型）で雲層の発達が高く、雨への変換も少ないことが分かる。一方、NHMでも（スカラーのみだが）移流型を使った場合に雲層の発達が低いことが示されている。これらの傾向が、移流型を使っているためかどうかは今後調べてみたいと考えている。一方、フラックス型の場合では、3次、5次の上流差分を用いた場合に、雲層の発達が顕著で、雲水混合比や雨水混合比も大きくなる傾向がある。

5. まとめ

CReSSとNHMを使って、貿易風帯積雲境界層の再現実験を行った。簡単なバルク法での結果だが、移流スキームによって結果がかなり変わることが示された。これらの結果について、どのスキームが適当かをどのように判断すべきか、そのためには、どのようなデータを得ることが重要か（例えば、GCSSでは、全体としては、降水量と積分凝結水量を観測と比較した議論が、また、雲粒粒径分布がわかるモデルの場合には航空機観測と比較した議論が行われている）、また、雲微物理過程との関係はどのように考えるべきか、など、多くのことを考える必要がある。今後、ビン法での比較を行う予定である。

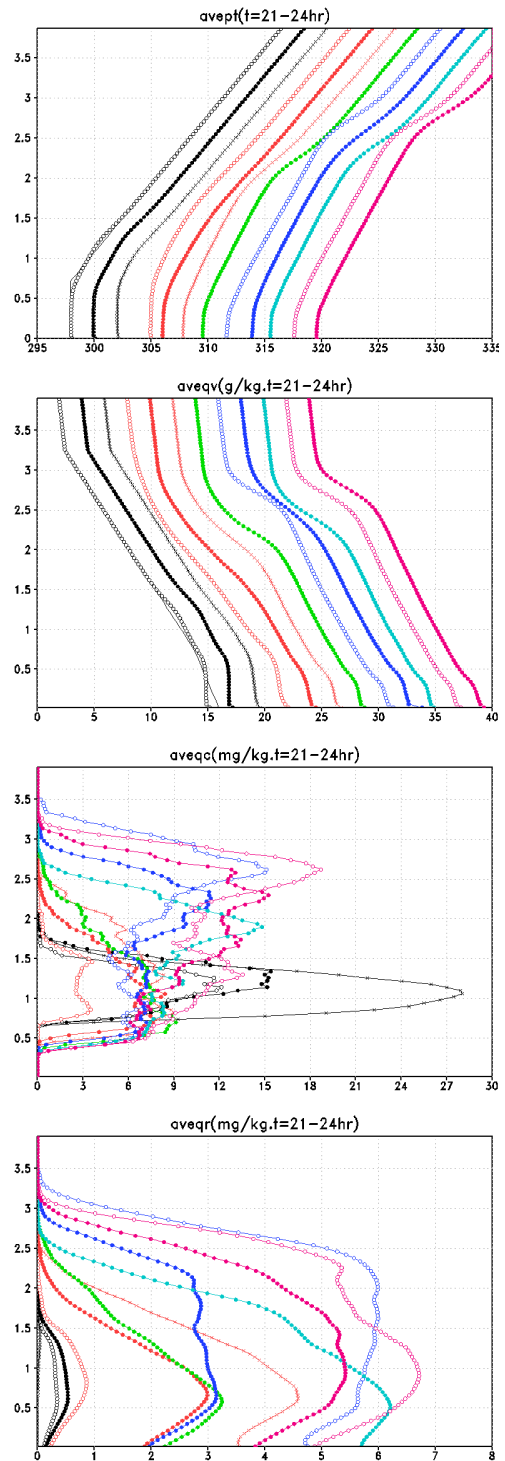


図3 様々なスキームでの各物理量の水平平均値の鉛直分布、上から順に、温位、水蒸気混合比、雲水混合比、雨水混合比で、 $t=20:10\sim24:00$ の10分ごとの値の平均値。但し、温位と水蒸気混合比は、それぞれ2度、2[g/kg]ずつずらしながら示した。各線の意味は以下のとおり。但しCReSSと書いた以外は、NHMで、その記述はスカラー量に関するもので、特に記述がなければ風は2次もしくは4次のフラックス型（F型と記す）中央差分。黒細線：初期値、黒○：CReSS 2次移流型中央差分、黒●：CReSS 4次移流型中央差分、黒×：CReSS 3次移流型上流差分、赤○：1次移流型上流差分、赤●：2次移流型中央差分、赤×：3次移流型上流差分、緑●：2次F型上流差分、青○：3次F型上流差分、含む風。青●：3次F型上流差分、シアン●：4次F型中央差分、マゼンタ○：5次F型上流差分、含む風。マゼンタ●：5次F型上流差分。