

ビン法雲物理モデルを使った暖かい雨のバルク法モデルの改良 (RICOで観測された境界層雲の数値実験と関連して)

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

1. はじめに

境界層上部にできる雲は、広い領域を覆い、また、大きな反射率をもつため、熱収支に大きな影響を与えるが、数値モデルによるその再現は、十分うまく行なわれているとはいえない。そこで、観測及び数値モデル相互の比較を通じて、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) 境界層雲 Working Group が活動している。現在、比較実験が行われているのは、大西洋の貿易風帯で行われた RICO(Rain in Cumulus over the Ocean Experiment 2004-2005) で観測された積雲である。

地球環境フロンティア (FRCGC)・水循環変動予測研究プログラムの雲・降水グループでは、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、この再現実験に取り組んでいる。ここでは、その結果とそれを使ったバルク法のパラメタリゼーションの改良について報告する。

2. モデルと数値実験の設定

このモデルでは、水滴を半径 $1 \mu\text{m}$ から 3.25mm までの 71 のビンに分け、それぞれの凝結水量と水滴個数を予測変数とする。考慮している雲微物理過程は、凝結・蒸発、衝突併合で、1 time-step(1秒)の間の多重衝突も考慮する。初期雲粒密度分布は、凝結核の数密度分布と鉛直速度を使った Kuba and Fujiyoshi のパラメタリゼーションの方法で決めた。

設定は、比較実験のものと同じで、平均的な下降流と乾冷気の水平移流の下で、海面からの熱と水蒸気の補給および放射冷却によって平均的な定常状態が保たれる状況である。初期条件は観測期間中の大きな擾乱がないときの平均場で、図1の細い破線で示されている。外力の与え方など詳しくは (<http://sky.arc.nasa.gov:6996/ack/gcss9/overview.html>) を参照してください。

格子間隔は、水平 100m、鉛直 40m で、格子数は、 $128 \times 128 \times 100$ 、水平方向は周期境界条件を使う。比較実験では、24時間計算するが、ここでは、ビン法の結果が、現在、18時間までしか進んでいないので、この予稿集の図は $t=18$ 時の値などを使っている。

3. 結果

ここでは、これまでのバルク法と比較して結果を示す。バルク法では、凝結水を落下が無視できる雲粒と落下する雨粒に分けて考えるが、雨粒と関係なく雲粒から雨粒へ変換する過程を autoconversion とよび、そのスキームによって大きく結果が変わる。ここでは、Kessler, Berry, 改良 Berry の3つの結果と比較する (それぞれのスキームに関しては、昨年春の大会予稿集 B458 を参照のこと)。図1の細実線、太点線、太破線が3つのバルク法を使った結果の液水温度 (左) と全水混合比 (右) の鉛直分布である。今回のビン法の結果 (太実線) は、バルク法の結果に比べ鉛直方向の雲層の発達を押さえられ、下層に非常に湿った冷気が作られている。比較実験の他のモデルや、航空機観測の結果 (Abel and Shipway, 2007) と比較しても発達はやや弱いようなので、原因を調査する必要がある。

このビンモデルでは、雲微物理過程を、図2で示すように、各ビンの水滴の凝結・蒸発、分配、衝突併合、分配の順に計算している。この過程で、autoconversion に相当する過程が2つ (1:凝結成長によって大きな雲粒が雨粒になる過程、2:雲粒同士が衝突して雨粒になる過程) あり、雲粒と雨粒の境を半径 $50 \mu\text{m}$ とすると、今回の設定では2つの過程が同じ程度に効いていることがわかった。

各物理過程の項を、Lee(1989) や、Chen and Liu(2004) のように、過飽和度、雲水混合比、雲粒数、雨水混合比、雨粒数などの関数として表し、なるべく少ない変数でよりよい近似を与える適当な表現を探し、その表現法をバルク法に使うことを目指している。

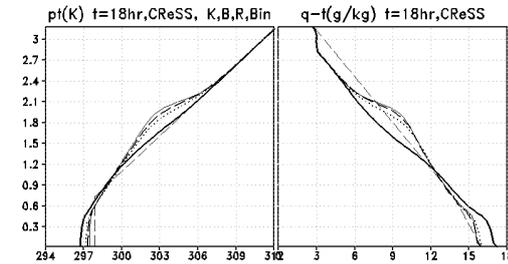


図1 液水温度と全水混合比の鉛直分布。t=18時

ビンモデルでの雲粒・雨粒の雲物理過程での変化

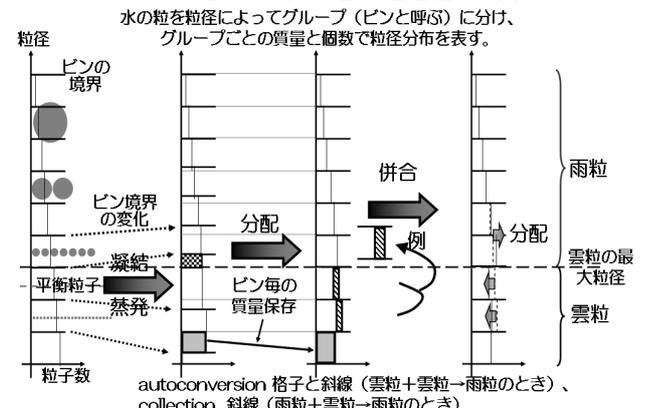


図2 ビンモデルでの雲微物理過程の計算方法

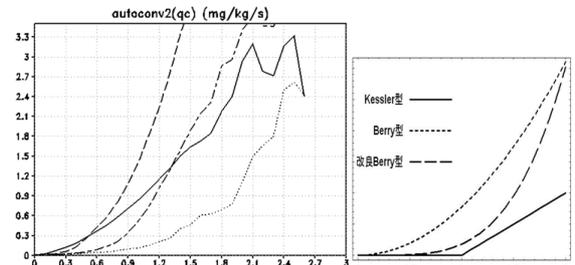


図3 左: autoconversion-2 による雲水から雨水への変換率 (mg/kg/s) の雲水混合比 (g/kg) 依存性。実線: 全体の平均、破線: 雲粒数が中間のときの平均、鎖線: 雲粒数がやや多いときの平均、点線: 雲粒数が多いときの平均。右: バルク法で使った変換率

例えば、autoconversion-1 は、雲水凝結成長と同じように、過飽和度 (もしくは、水蒸気混合比-飽和水蒸気混合比) と雲粒数の関数として表すと相関が高くなる。一方、autoconversion-2 は、過飽和度への依存性は小さく、雲水混合比と雲粒数の関数として表すことが適当である。

図3は、autoconversion-2 による雲水から雨水への変換率をバルク法のスキームと同じように、雲水混合比の関数として表した図である。平均的な値は3つの中では Berry 法の値との一致がよいが、ビン法の結果での変換率は、雲粒数に大きく依存し、同じ雲水混合比の場合、雲粒数が大きなほど小さな変換率になっている。このような、雲粒数依存性をとり入れるためには、雲水量と雲粒数を予測変数とする2モーメントバルク法が適当である。今後、前述したこのビン法モデルの問題点を調べ、もっともらしい結果を得るようにしたのち、その結果を使って2モーメントバルク法を開発していく予定である。