

気象庁非静力学モデル計算結果と みらい搭載レーダー観測による雲の鉛直微物理構造の比較

* 井口 享道¹・中島 映至¹・斉藤 和雄²・竹村 俊彦³・岡本 創⁴・西澤 智明⁵

(1:東京大学気候システム研究センター 2:気象研究所 3:九州大学応用力学研究所 4:東北大学大気海洋変動観測研究センター 5:国立環境研究所)

1. 序論

レーダーライダーによるリモートセンシングは雲の微物理構造の鉛直分布を調べるのに有用な観測手法である。2006年よりCloudSat・CALIPSO衛星搭載のレーダーライダーによる観測が始まり、その種の観測データを利用する研究の機運が高まっている。その研究の一つの形として、数値モデルの計算結果の検証が挙げられる。雲の鉛直分布を観測できるという点から、雲が鉛直に多重構造を形成している事例の解析や、鉛直方向に大きく発達した雲システムの解明などに役立つと考えられる。また雲微物理の観点では、例えば氷雲過程で一般的に氷晶、雪、霰などとして区分される粒子種間の偏り方など、雲微物理モデリングがどれだけ現実に即したものになっているのか検証できる可能性がある。

今回、2001年5月に日本近海で行われたみらいMR01/K02観測航海の期間について、搭載レーダーライダーによる観測結果と、ピン法雲微物理を組み込んだ気象庁非静力学モデルによる計算結果との比較を行った。先行研究として、同航海の観測に対しOkamoto *et al.* [2007]では、全球エアロゾル輸送モデルSPRINT-ARS[e.g. Takemura *et al.*, 2000]の結果から計算した雲のレーダー反射因子強度との比較を行っている。SPRINT-ARSとの比較では、航海期間全体を対象として高度別の雲の出現頻度や雲量の検証を行っているが、本研究では予報時間の都合上、時間帯を絞って比較をし、微物理構造に着目して解析・検証を行う。

2. 手法

使用する数値モデルは、気象庁非静力学モデルJMA-NHM[Saito *et al.*, 2006]をメインフレームワークとし、bulk法雲物理の代わりに雲解像モデルHebrew University Cloud Model[e.g. Khain *et al.*, 2000]のbin法雲物理を実装したモデルである。また放射過程計算のスキームとしてMSTRN-X[Seiguchi and Nakajima]を使用する。それ以外の物理過程や、力学過程、格子系などの設定はJMA-NHMに組み込まれているものに準拠する。雲物理の計算では、水物質は水、氷晶(plate, column, dendrite)、雪、雹、霰の7種に区分され、離散化された水物質サイズ毎の数濃度を予報する。雲物理過程として、雲凝結核からの雲粒形成過程、氷晶生成過程、凝結成長・衝突併合・凍結融解過程を計算する。

比較物理量の計算はOkamoto *et al.* [2007]に記述されているアルゴリズムに基づいて、モデル中で予報した各水物質の粒径分布関数から計算を行う。例として、レーダー反射因子強度 Z_e は以下の式から求められる

[Okamoto *et al.*, 2007, equation 1].

$$Z_e(R) = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K|^2} \left[\int \frac{dn(r, R)}{dr} C_{bk,ra}(r, R) dr \right] \quad (1)$$

λ は波長、 r は粒子半径、 R は高度、 $C_{bk,ra}$ は $\lambda = 3.16mm$ での粒子の後方散乱面積、 n は粒子の数濃度である。

主にライダー側の信号では、粒径の小さいエアロゾルの影響を無視できない。エアロゾル濃度は現在のモデルの予報変数として取り扱っていないため、同時刻のSPRINTARSの計算結果を代用している。

3. 数値実験

比較のための数値実験として、対象期間のみらいの位置に合わせた1,000km四方の領域を計算領域として設定し、気象庁メソ客観解析データ(JMA-MANAL)を元データとしてネスティングランを行った。海面温度については、NCEP/NCARの全球再解析データを使用した。領域モデルの解像度は水平5km、鉛直40層(最下層は40m、最上層は1,120mでモデル上端は約20km)、時間間隔は20秒となっている。ライダーレーダーによる鉛直方向の観測との比較にあたっては、みらいの位置の最近接格子点の値を使用し、一分毎に出力を行う。

図1はみらい搭載レーダーの観測と、モデル計算結果によるレーダー反射因子強度の鉛直時系列分布(6時間)を示している。観測では層雲の上空通過による一定の鉛直構造が連続的に得られているが、モデル計算では反射因子は断続的になっており、また雲がより高高度に予報されている。GMS赤外画像とモデル計算OLRの比較では、一定の列状構造を取る層雲が再現されるべきであるのに対し、モデルでは雲が塊状に形成されていた。このために、時系列で見た場合に、通過する雲の鉛直構造が一定ではなくなってしまうと考えられる。雲底高度が合わない点については、雲物理の過程よりも、モデル内での水蒸気場の予報精度に原因があると考えている。

図2は粒子のドップラー速度の鉛直時系列分布の比較を示している。観測ではドップラー速度がほぼ0で浮かんでいる雲が見えているのに対し、モデルの方では降水に相当すると考えられる粒子への地表への到達が見られる。またモデルでは現実に比べて、雲内の粒子ドップラー速度が下向きで全体的に大きく、現実よりも全体的に粒径が大きいか、もしくは衝突併合によって成長した大粒子が混在している。現在使っているモデルではこの事例に限らず、降水を伴わない雲の再現性が悪く、雲微物理モデリングの問題として終端落

下速度が小さい粒子が成長せずに滞留しにくくなっている可能性が考えられる。

現在のモデル結果は、短時間積分での予報結果であるため初期場への依存が大きい。そのため、比較から如何にモデルの雲物理過程の仕様に關わる情報を取り出して、その検証に繋げるかが問題となる。現在、アンサンブル予報の適用やナudgingによる気象場の補正を検討している。

参考文献

- Khain et al. (2000), *Atmos. Res.*, 43, 159-224
 Okamoto et al. (2007), *J. Geophys. Res.*, 112, D08216, doi:10.1029/2006JD007628
 Saito et al. (2006), *Mon. Wea. Rev.*, 134(4), 1266, doi:10.1175/MWR3120.1
 Sekiguchi and Nakajima, *J. Geophys. Res.*, submitted.
 Takemura et al. (2000), *J. Geophys. Res.*, 105(D14), 17853, doi:10.1029/2000JD900265

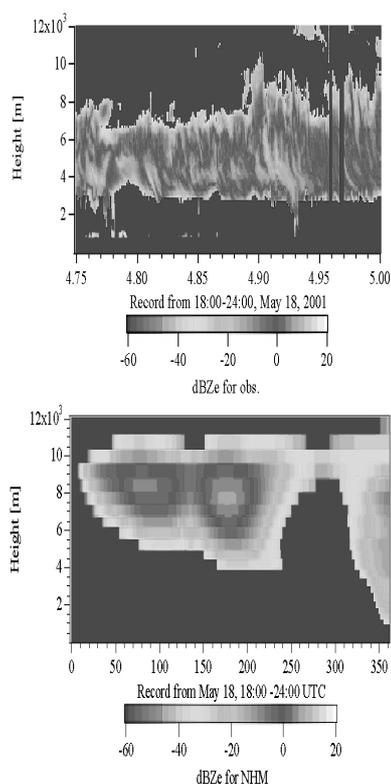


図 1: みらい搭載レーダー観測 (上図) と領域モデル計算 (下図) による雲レーダー反射因子の鉛直時系列分布

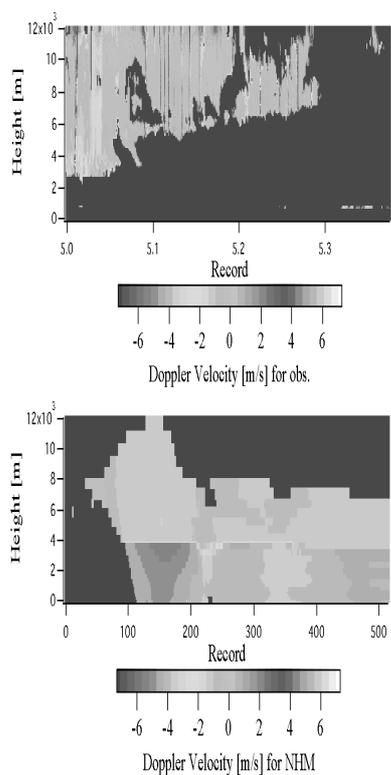


図 2: みらい搭載レーダー観測 (上図) と領域モデル計算 (下図) による粒子ドップラー速度の鉛直時系列分布