

論文内容の要旨

A numerical study of the cloud microphysical properties in the East China Sea region by a bin-type cloud resolving model

(東シナ海領域を対象としたビン法雲解像モデルによる雲微物理特性に関する数値実験)

氏名 井口 享道

1. 研究目的

大気中において雲を構成する水粒子(雲粒)は雲凝結核(Cloud Condensation Nuclei; CCN)と呼ばれる親水性エアロゾルを核として形成される。このため、卓越している各種エアロゾルの濃度が異なる環境どうしでは、そこでの雲の性質に少なからず違いが生じる。その代表例として、海上対流雲と陸上対流雲の系統的な微物理特性の違いが挙げられる。一般的に海上対流雲の方がその雲粒濃度は小さく、雲粒の平均粒径は大きいことが観測によって示されている。これは雲凝結核濃度と雲粒濃度の間に正の相関があり、海上の方がより雲凝結核濃度が小さいため、その違いが雲の微物理特性の違いに影響を与えていることが過去の研究によって明らかにされている。

このようなエアロゾルと雲の関係により、何らかの要因でエアロゾルの濃度が変化した場合、それを受けて雲の微物理特性は変化する。雲の微物理特性はその雲の光学特性と密接な関係にあり、それを通して地球の放射収支と関係付けられる。従って、エアロゾルは雲を介して間接的に地球大気の放射収支に影響を与え得るとされる。この効果はエアロゾル間接効果と呼ばれる。数値モデルと観測の両面から、このエアロゾル間接効果に対しては数多くの研究が行われている(e.g. IPCC 2001)。

雲やエアロゾルは変化のタイムスケールが短く、空間分布の不均一性が高いために、数値モデル内におけるそれらの解像には高い時空間解像度が要求される。全球を対象とするモデルでは低い空間解像度により、雲やエアロゾルの取り扱いには多くの仮定パラメータを含む不確定性の高い表現法にならざるを得ない。これに対し領域を対象と限定した高空間解像度モデルでは、より詳細な表現法を使うことが可能になる。本研究では後者を選択する形で、領域モデルを使用する。

本研究では以上のことを踏まえて、領域モデル上で雲凝結核の影響を考慮した条件下で雲微物理特性、雲物理量の計算を行うこと、その計算結果に対し観測結果との比較を行い検証すること、モデル内で雲凝結核の量に対する各雲物理量の感度を調べること、モデル内での雲凝結核の分布の再現性について検討することを研究目的とする。そのためのツールとして、既存の数値気象予報モデルに雲に関して詳細な表現法を使用して計算を行うモジュールを組み合わせたものを使用する。前者は雲を含む気象場の4次元分布を正確

に再現するために必要であり、後者は雲凝結核の効果を陽にモデルの中に取り入れ雲の計算を行うために有用であり、その両者の利点を組み合わせる。

2. 数値モデル詳細

本研究で使用した数値モデルは、気象庁非静力学モデル JMA-NHM(Saito et al., 2006) 及び、その旧版にあたる MRI/NPD-NHM(Saito et al., 2001)をメインフレームワークとする。これにヘブライ大学雲モデル HUCM(e.g. Khain et al., 1995) の bin 法雲物理モジュール、全球エアロゾル輸送モデル SPRINTARS (e.g. Takemura et al., 2001) をベースとし開発した bin 法エアロゾルモジュール(Asanuma, 2004)、放射計算モジュール MSTRN-X(Sekiguchi and Nakajima, 2005)をそれぞれ実装したモデルを使用する。現在それらの組み合わせ型により、異なる仕様を持つ 4 つの数値モデルがある。

JMA-NHM では数値実験の実行に際して、客観解析データや広域モデルの結果から初期値・境界外部値を作成し、Nested モデルとして気象場の再現ランが可能となっている。従来の同様の研究に比べ新しい点として、この手法を本研究ではエアロゾルないしは雲凝結核濃度に対しても応用し、その 4 次元分布をモデルの中で再現させる。このネスティングを行うために必要な広域データとして、SPRINTARS の計算結果を利用する。SPRINTARS の bulk エアロゾル濃度から、本モデル bin 法の濃度に変換するにあたっては粒子毎に適切なサイズ分布を仮定している。

3. 数値実験

幾つかの事例に対して、東シナ海領域を計算対象として前述した領域モデルを使用し、雲物理量の計算を行った。そのうちの一事例について数値実験の結果例を示す。Bin法雲微物理スキームを使用することにより、予報された水物質のサイズ分布から、例えば雲の微物理特性を代表する物理量である雲粒子の有効半径を直接に計算することが可能となっている。図 2 はその一例である。図 3 は同事例での衛星センサ Terra/MODIS 画像再解析による雲物理量推定値(e.g. Nakajima et al, 2005)で、モデルの計算結果は前線に伴う雲列の部分に関して各雲物理量を良く再現できている。ただし、図 3 で見られる雲列周辺広範囲に広がる光学的厚さの薄い雲については、モデルの方では再現できていないなどといった観測との不整合が見られた。

図 4 では図 2 と図 3 に表されている値を基とし、雲頂有効半径と光学的厚さ、雲頂温度間の相関関係を示した。モデルより計算された有効半径は観測の値に対し、過大評価の傾向にある。その原因を調べるため、同事例について SPRINTARS の結果から計算した雲凝結核濃度に対し、航空機観測との比較を行った。SPRINTARS から計算された値は観測値に対し 0.5 倍程度の過小評価となっており、これに基づいて CCN の濃度を初期化とネスティングの過程の中で 2 倍にチューニングした条件で同様の実験を行った。その結果、上記の有効半径における過大評価方向のバイアスは改善された(図 5)。従って、モデルにおける雲の微物理特性は雲凝結核濃度に依存し、その再現性については雲凝結核濃度の再現精度に依存することが示唆された。

同事例について、鉛直積算雲水量(LWP)と一時間降水量の分布についてもモデル計算結果と観測(鉛直積算雲水量については Terra/MODIS 画像解析、降水量については Radar-AMeDAS 解析)との比較を行った。モデル計算結果は観測結果に対し、LWP の頻度を過小評価、降水の頻度を過大評価する傾向が見られた。ここでも、前述のように CCN 濃度に対して 2 倍とするチューニングを施した実験を行った。結果、微物理特性の場合とは違い、LWP、降水ともにその頻度についての観測とのバイアスは改善されなかった。bulk 法の雲微物理スキームを用いた場合でも同じ条件での数値実験を行ったが、bin 法の場合と同程度のバイアスが見られた。

CCN 濃度を増減させた条件下での数値実験により、各種雲物理量の雲凝結核濃度に対する応答として、雲の有効半径や雲水量の絶対値は明らかに変動するが、雲域の広がりや降水域の範囲、強度についてはほとんど変動が見られなかった。

4. 結論

本研究では、エアロゾルないしCCN濃度分布の再現を含む現実再現実験可能な3次元非静力学雲モデルを開発した。また数値実験に合わせて、衛星観測、レーダーアメダス解析雨量との比較による結果の検証を行った。これら数値実験の結果とその解析から以下のことが明らかとなった。

- ・ネスティングを使って計算されたエアロゾル濃度分布は衛星観測から得られたエアロゾル光学的厚さやエアロゾル種の分布を再現できていることが確認された。力学変数と同様にネスティングの手法が領域モデル内でエアロゾルないしCCN濃度の4次元分布の再現に有効であると考えられ、それを利用して雲凝結核からの生成を陽に扱う雲物理過程の計算に繋ぐことが可能になる。
- ・本モデルの特徴の一つであるbin法により計算された雲粒の粒径パラメータについて衛星観測による解析値との比較を行った。従来の研究ではこうした比較はなされてこなかったが、分布や雲頂温度との定性的な相関については観測推定値のものを再現することができた。
- ・本研究で扱った事例では雲域の分布や降水量の分布について、bulk法を用いた場合とbin法を用いた場合、ないしはbin法同士でCCN数を変えた感度実験では明確な違いは見られなかった。これは同様のbin法雲物理モジュールを使用した領域モデルによる先行研究(Lynn et al., 2005a, 2005b)のものとは異なる結果である。この点については、本研究で扱った事例では前線活動のような総観場の強制によって雲の発達が起こっているのに対し、Lynn et al.の研究では雲が自身からの降水によるフィードバック効果により組織的に発達する事例を対象としており、両者の事例では雲物理過程の違いが雲の発達に反映される度合いが異なるためと結論付けた。

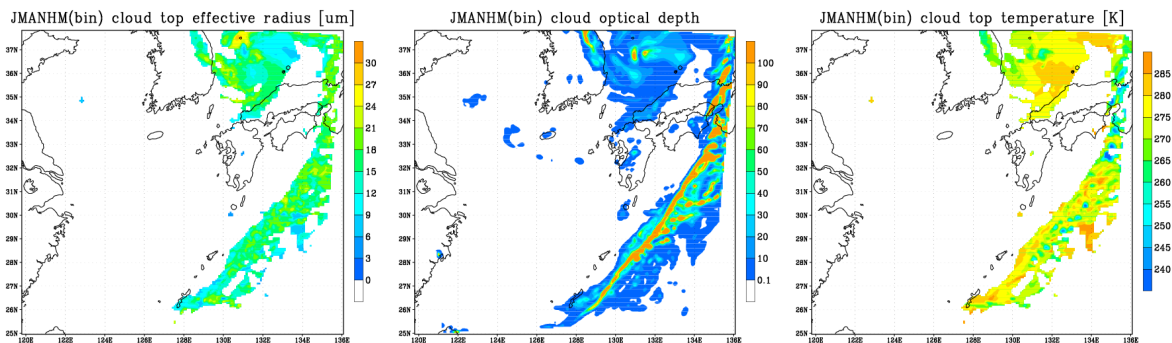


図 2. 0300UTC 8 April 2003 での各種雲物理量(雲頂有効半径、雲光学的厚さ、雲頂温度)分布のモデル計算結果

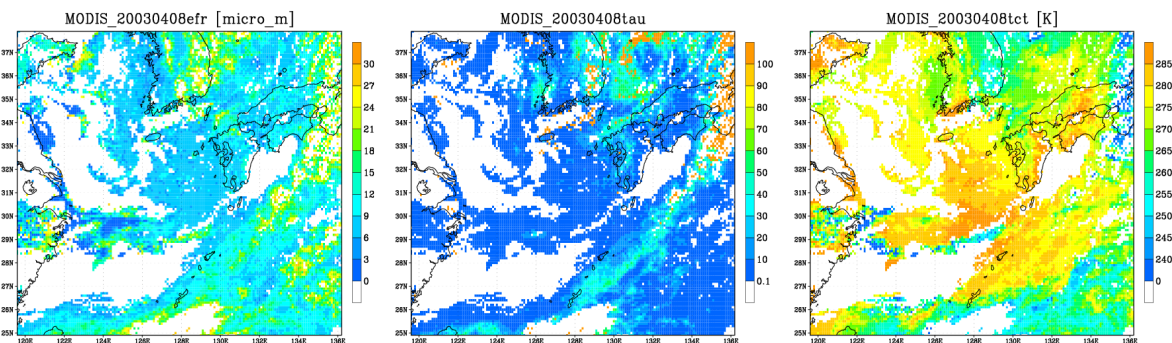


図 3. Terra/MODIS 画像解析による図 2 と同じ雲物理量分布図

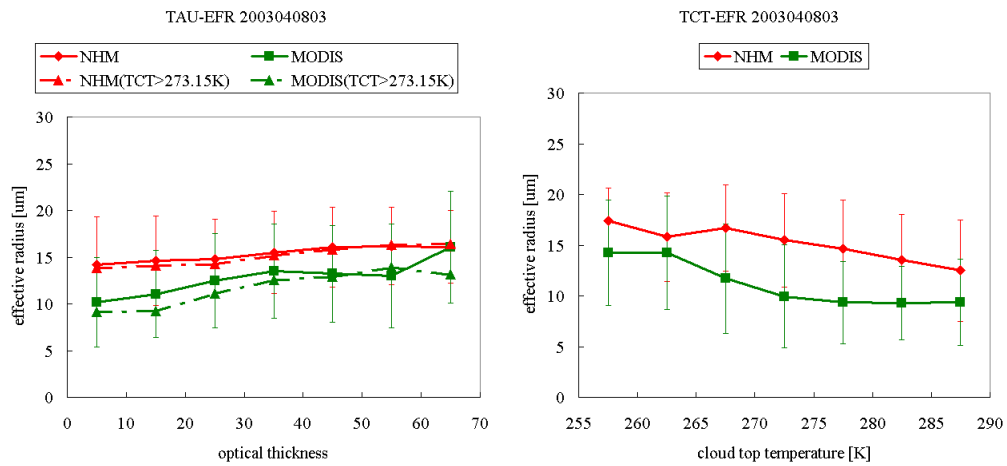


図4. 図2、図3におけるモデル計算、衛星画像解析それぞれの雲頂有効半径と雲光学的厚さ(左図)、雲頂有効半径と雲頂温度(右図)間の相関関係図

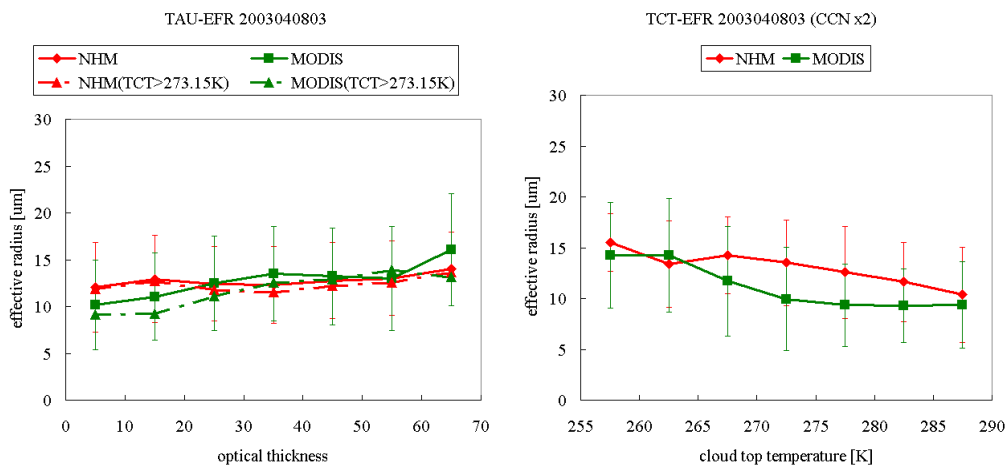


図5. 図4と同じ、ただし雲凝結核数濃度をネスティングと初期化の過程の中で2倍とした条件でのモデル計算結果