

# 論文審査の結果の要旨

氏名 井口 享道

大気中の雲粒の生成には、雲凝結核(CCN)という親水性エアロゾルが重要な役割を演ずる。近年人為起源のエアロゾルの影響が注目されているが、一般に、他の条件が同じならば、CCN濃度が高い場合には、形成される雲粒の濃度は高く、平均粒径は小さくなる。雲粒の濃度や平均粒径は雲の放射特性に密接に関わっており、同じ雲水量のもとで雲粒濃度が増えると光学的に薄い雲のアルベードは増加すると共に、衝突併合の非効率化による雲の延命効果が起こり、放射収支に影響を及ぼすことが指摘されている。地球温暖化の研究には、複雑な大気・海洋の数値モデルの長期時間積分結果が使われるが、最先端のモデルでもその水平解像度は数10km程度しかなく、時間スケールが短く、空間分布が不均一な雲やエアロゾルの挙動を適切に表現することは難しい。

本研究は、高解像度のメソスケール大気モデルに、ビン法と呼ばれる高度なエアロゾル・雲物理モジュール及び精巧な放射モジュールを組み込むことにより、温暖化予測の大きな不確定性要因の一つであるエアロゾルと雲の相互作用を数値天気予報と同レベルの現実的な場で再現するモデル開発を行うと共に、東シナ海領域を対象としてモデルの再現結果を観測に照らして検証したものである。従来、この種のモデル研究は理想化した場については行なわれているが、現実的な場に対してはほとんどなされていない。

本論文は7章から構成される。過去の研究と問題点を総括する第1章に続き、第2章では本研究で開発した数値モデルが記述される。申請者は気象庁非静力学モデル(NHM)にビン法エアロゾル、ヘブライ大学雲モデルのビン法雲物理(ビン法 MM)及び放射計算(MSTRN-X)の各モジュールを組み込んだ。上記2つのビン法モジュールは多様な降水粒子とエアロゾルを、それぞれ粒径の異なる33のカテゴリー(ビンと呼ぶ)毎に予報するもので従来から使われているバルク法雲物理モジュール(バルク法 MM)と違い、雲の放射特性に重要な雲粒の粒径分布や有効半径を陽に記述できる。NHMは気象庁領域モデルの予報結果などに、CCN濃度は全球エアロゾル輸送モデル(SPRINTARS)の予報結果にネストしている。

第3章では、寒冷前線が計算領域を東進した事例（以下事例1）について、水平解像度7kmのモデル結果とSPRINTARSによる再現結果、Terra/MODIS衛星の観測による雲物理量推定値を比較している。開発したモデルはSPRINTARSに比して、前線付近の雲列を含む各雲物理量の観測結果をはるかに良く再現することがわかった。

第4章では、異なる気象条件の3事例について、ビン法MMを組み込んだモデルの結果がTerra/MODISの観測と比較され、モデルは有効半径を過大評価することがわかった。SPRINTARSの与えるCCN濃度は航空機観測と比べて約50%過小評価であったので、CCN濃度を2倍にした実験を行なったところ有効半径の過大評価は改善された。これからモデルの雲再現性はCCN濃度の再現精度に強く依存することがわかった。

第5章では、事例1について鉛直積算雲水量(LWP)と時間降水量の再現結果をTerra/MODIS画像解析のLWP・Radar-AMeDASの降水量と比較しており、モデルは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、CCN濃度を2倍にする実験を行ったが、LWP、降水共に改善されなかった。比較のために、数値天気予報で用いているバルク法MMを用いた実験も行ったが、事例1のように、雲の生成に大規模場の強制が主導的な役割を演ずる場合には、ビン法とバルク法の違いは降水に関しては小さいという、数値天気予報にとって有用な情報が得られた。ただし、雲の微物理特性には明瞭なCCN濃度依存性が見られたことから、雲の放射特性が重要となる気候予測などでは、ビン法MMを用いることが不可欠であることが示唆された。

第6章では結果の議論と、水平解像度2kmのモデルの補足的な実験結果が示されている。水平解像度2kmでは小規模の厚い雲と強い降水が良く表現される傾向や雲粒の粒径分布の変化が見られたことから、モデルの高解像度化が図れば更に信頼できる雲・エアロゾルの相互作用が再現できることが示唆された。第7章では全体の結論が述べられている。

以上のように、本論文は現実場での雲・エアロゾル相互作用の解明と予測に利用できる高解像度数値モデルの開発に成功し、モデル再現結果を衛星観測・航空機観測と比較することにより、モデルの抱える課題と問題点を明らかにすると共に、温暖化予測における大きな不確定性要因の一つである雲・エアロゾルの相互作用の理解に対する今後の道筋を示したもので高く評価できる。

従って、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。