

論文審査の結果の要旨

氏名 佐藤陽祐

本論文はエアロゾルと暖かい雲(氷晶を含まない雲)の雲物理量を詳細に表現する3次元の領域スケールのビン型雲モデルを開発・改良し、そのモデルを用いてカリフォルニア沖で発生する暖かい雲を対象とした数値計算を実施することにより、エアロゾルや大気境界層の各種パラメータが雲物理におよぼす影響を評価するとともに、人工衛星で観測されている雲のパラメータの変動を雲の発達の観点から解釈したものである。

本論文ではまず、雲の粒径分布に対して従来広く行われているような特定の形の関数を仮定することなく、任意の形を表現できるビン型雲物理モデルの開発と改良について述べられている。改良点としては、雲粒の蒸発に伴うエアロゾルの再放出過程を既存のビン型モデル(JMA - NHM + HUCM)に導入したこと。また詳細な雲物理を表現するモデル計算の計算コスト削減のために、モンテカルロ法に基づいた計算スキームを雲粒成長過程における衝突併合成長過程の計算スキームに組み込んだことがあげられる。

本論文では次に、このモデルを使った数値計算に基づき、暖かい雲の雲粒有効半径(RE)と光学的厚さ(COT)の関係を雲の発達段階の観点から研究を行った。衛星観測などのリモートセンシングによる先行研究においてRE-COT 相関パターンが時空間変化を持つことが発見され、そのパターンが雲の成長過程に対応すると示唆されていた。さらに近年、鉛直積分量である RE と COT に加え、雲の鉛直方向の情報(光学的厚み)を加えた Contoured Frequency Optical Depth Diagram (CFODD)と呼ばれるダイアグラムにより雲の鉛直構造まで考慮した雲の成長過程の研究がなされている。本論文では理想化実験および現実大気を想定した数値モデル計算結果に基づき、衛星観測と同様なRE-COT 相関パターンとCFODDを組み合わせた解析を行い、雲の鉛直構造まで踏み込んで雲の成長過程について考察を行った。

理想化実験においては第 1 に、3次元領域スケールのビン型雲モデルを用いて、初めてCFODD の特徴を再現することに成功した。

第2にモデルの空間解像度が暖かい雲の微物理特性に与える影響を調べ、雲の微物理特性はモデルの空間解像度に影響を受けるが、エアロゾルや境界層の高度といった外的な要因に対する応答は空間解像度によっては、大きな違いが生じないことが示された。この結果より、水平解像度 500m 程度の実験結果を用いた場合、RE-COT 相関パターンや、CFODD に関して、その絶対値については議論する事は困難なもの、外的要因(エアロゾルや力学場)によって、相対的にその特徴がどう変化するかに関しては、考察することが可能である事が初めて示された。

この結果を元に、カリフォルニア沖で発生した現実場の暖かい雲(FIRE 観測キャンペーン)を対象とした数値実験を 500m の空間解像度にて行った。この数値計算結果は、AVHRR 衛星から観測された可視光の放射輝度を良く再現しており、モデルが暖かい雲の微物理特性を再現できている事が示された。このモデルの結果を解析した結果、第一に、衛星から観測される RE-COT 相関パターンは先行研究で言われていたような雲の成長過程を必ずしも表現していない事が示された。第二に、しかしこれは計算領域中に異なった発達段階の雲が共存している結果であり、計算量域内の個々の雲に着目した場合には、雲は成長に伴って RE-COT 平面上を正の相関と負の相関を取りながら成長していくという先行研究と総合的な結果が得られた。

最後に RE-COT 相関パターンの特徴(位置や大きさ)を決める物理量に関して考察を行った。解析の結果から、RE-COT 相関パターンの COT の上限値や RE の下限値はそれぞれ境界層の高度とエアロゾルの量によって主に決まっていることが示唆された。また RE-COT 相関パターンの幾何学的中心の位置はドリズル量と対応していることが示された。

以上のように本論文は、最先端の衛星観測による雲物理パラメータを初めて再現するとともに、その特徴を雲の発達段階の観点から解釈を与えた研究として高く評価できる。これらの結果は Himawari-8, 9 や EarthCARE 衛星等の次世代衛星群による雲の観測に対しても有益であり、今後これらの観測と組み合わせたさらなる研究の発展が期待される。

なお、本論文の内容は共同研究に基づいたものであり、学術論文誌 Journal of Geophysical Research および Journal of the Atmospheric Science に発表済み、あるいは発表予定であるが、いずれの論文も論文提出者が第一著者であり、主体となって解析・解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。