

論文審査の結果の要旨

氏名 盧 孟燮

本論文は、気象モデルや気候モデルにおいて雲水・雨・雲氷・雪・霰の相互変化を表現する雲微物理スキームについて、人工衛星シミュレーターを利用してその精度を検証し、物理的根拠に基づいて改良を行った研究について、その考察の過程と改良の結果を記述している。序章において熱帯の組織化した対流現象と雲解像モデルについて概観し、雲微物理スキームの種類と改良の必要性について述べた。第二章では、計算領域を集中化した熱帯雲システムの領域計算を利用し、人工衛星シミュレーターを利用したモデル出力と人工衛星の観測データの比較によって雲微物理スキームを検証し、改良を行った。第三章では、改良した雲微物理スキームを用いた全球計算を実施し、改良の一般性を確認するとともに、雲システムの下部境界条件への依存性についても解析した。第四章では、別の衛星データを用いた更なる検証を行い、見出された課題についてまとめた。終章において全体を総括するとともに、本研究で確立した雲微物理スキームの改良手順をより複雑な雲微物理スキームに適用するための方法とその課題について議論した。

第二章で検証と改良を行った雲微物理スキームは、水の相変化と雲物理量間の相互変化を記述するもので、集中豪雨や台風のシミュレーションに重要なだけでなく、大気境界層と自由対流圏の間の水の輸送効率を決定する主要な物理過程であるため、気候シミュレーションにも大きな影響を与えうる。雲微物理スキームには、凝結物質の混合比のみを予報するシングルモーメント法、混合比と数濃度を予報するダブルモーメント法の他、それらの量の連続的な分布を直接計算するビン法が提案されているが、本研究では制御パラメータの少ないシングルモーメント法を検証と改良の対象とした。雲微物理スキームは過去にも観測結果との比較に基づいて検証が行われてきたが、個別の観測事例との比較だけでは観測時期・場所に特有な条件からの影響を排除できず、人工衛星を利用した広領域でほぼ均質な長期間の観測データとの比較が有効と考えられてきた。本研究では、計算負荷を軽減するために高解像度計算領域を絞った雲解像計算について、人工衛星シミュレーターを利用してモデル出力を人工衛星観測と等価なシグナルに変換し、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダーによる観測シグナルなどと直接比較を試みた。その結果、雲と降水の頻度分布に特徴的なバイアスが見出され、降水性の凝結物のサイズ分布についての仮定がそのバイアスの主要因であることを見出した。そこで、複数の既存研究で個別に提案されていた雪・霰・雨のサイズ分布の改良手法を逐一検証し、複合的に取り入れることでバイアスの大幅な軽減に成功した。

第三章では、改良した雲微物理スキームを全球雲システム解像計算に適用し、領域計算に基づいた雲微物理スキームの改良について、TRMM の観測領域である南緯三六度—北緯三十六度における有効性の検証を行った。その結果、本研究で行った改良が熱帯・亜熱帯の広い領域において同様な効果を有することが確認された。その一方で、海上と陸上における雲システムの特徴の違いについては、雲微物理スキームの改良によりシミュレーション結果が改善されるものの、さらなる検証と改良が必要な事が示唆された。

本研究は、人工衛星シミュレーターを利用した全球雲解像モデルによる高解像度シミュレーションの改良のための一連の手続きを確立した点に大きな意義がある。計算負荷を軽減するための領域計算を利用した限定的な改良が全球規模で有効であると実証したことで、今後の雲微物理スキームの改良が迅速に進むと期待される。また、本研究の主要部分を為す TRMM の複数のセンサーだけでなく、MODIS や CloudSat/CALIPSO など様々な人工衛星観測のレベル 1、レベル 2 データを使いこなした研究となっている。雲微物理過程についてだけでなく人工衛星観測についての深い理解がなければ実現できなかった重要な成果であり、今後、全球降雨観測衛星 (GPM/DPR) から得られる新規データを有効に活用した更なる発展が期待できる。

尚、本論文第二章は佐藤正樹教授の指導の下に行われた研究をまとめたもので、共同研究として公表されているが、研究の主要部分は論文提出者自身の発想に基づいて実施されており、数値計算とデータ解析も論文提出者自身が主体的に行ったものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。