

論文審査の結果の要旨

氏名 清木 達也

本研究の目的は、地球大気を構成する雲の気候影響を正確に評価することができる雲モデルの開発である。雲は水蒸気が凝結して生成され、降雨を引き起こす。また、太陽放射を反射するとともに、上層雲は地球表層から射出される熱赤外放射を遮蔽することによって著しい温室効果を引き起こす。このように、雲は地球気候系の水循環過程と放射過程において重要な役割を果たしており、地球温暖化現象の解明などの地球気候の変動過程を解明するためには、そのモデル化が非常に重要である。しかし、現在、気候研究で主に使用されている数値気候モデルは、格子サイズが百キロメートル級の静力学近似を用いた大気大循環モデルが基本になっており、その粗いモデル格子系では雲は十分に再現できない。そのために、様々な近似を行うパラメタリゼーションが使用されており、気候モデリングにおける大きな不確定要因になっている。例えば、二酸化炭素の倍增実験において、全球平均地表面気温上昇は世界のモデルによって3倍近くばらついている。このような問題を改善するためには、格子サイズが数キロメートル級の非静力学全球大気モデルの開発が必要である。また、このような高分解能モデルで再現された個々の雲の力学特性が、その放射特性と整合的になるように雲微物理過程をモデル化しなければならない。そのような研究は世界的にも始まったばかりである。

このような背景のもとに本研究では、すでに海洋研究開発機構と大気海洋研究所で開発された非静力学 20 面体全球大気モデル NICAM に組み込む事のできる、ダブルモーメントバルク型雲微物理モデルの開発を目指した。

第1章と第2章では、研究の背景と開発したモデルについて記述している。ここでは、粒子数濃度と体積濃度を予報変数とするダブルモーメント法を利用したバルク型雲微物理モデルを NICAM モデルに組み込む形で定式化した。特に、雲粒子と氷晶粒子の想定される様々な粒径分布から得られる2つのモーメント(数濃度と体積濃度)によって、雲粒子の動力学と放射特性に関する諸物理量が整合的に決定されるようにモデル化した点が重要な成果である。研究では、強い降雨が卓越する場合には、3次のモーメントも診断的に利用する必要があることを示している。

第3章では、モデルによって生成される雲粒子と氷晶粒子の成長が雲核濃度によってどのように影響されるかについて詳細な数値実験をおこなっている。本研究では、雲核の増加が、雲粒子の増加のみではなく、その凍結による氷晶粒子の生成などにも寄与しており、最終的に雲を含む対流システムの活性化に寄与することが示された。これは、大気汚染によって生成される大気エアロゾルが雲核になって下層雲の寿命を増加させるエアロゾルの間接気候影響を引き起こすだけでなく、深い対流雲にも影響を与えることを示唆している。また、これまでの多くのモデルが利用してきた、飽和と同時に雲核から雲粒子が生成される飽和調整の仮定が必ずしも正確ではなく、過飽和状態においてゆっくりと起こる粒子成長過程も雲と降水の形成にとって重要であることを示し、そのモデル化を行った。

第4章と第5章では、実際の地上観測、船舶観測、衛星観測による雲特性を開発したモデルによって再現し、詳細な比較を行っている。その結果、1995年6月の梅雨前線に伴う雲について、雲粒子ビデオゾンデと放射ゾンデが観測した氷晶粒子濃度と放射エネルギーフラックスの鉛直分布を良く再現することができた。特に、今回取り入れた非球形の氷晶粒子による散乱・吸収の効果の重要性が示された。2006年10月から12月に行われたインド洋におけるMISMO実験で得られた様々なデータとの比較も行った。モデル結果は、放射輝度温度、雲の光学的厚さ、外向き短波および長波放射エネルギーフラックスについて、その水平分布の特徴をほぼ再現することができることを示した。数値計算によって得られた雲が観測よりも光学的に厚く、特に巻雲が多くなりすぎる傾向が見られたが、このような再現には、数値計算に必要な気候場の初期値の不確実性の影響が大きいことを示した。第6章では、全体の結論を述べている。

以上の研究により、開発したモデルが雲場、特にその放射場について、観測結果をよく再現できるものであることを示した。本研究によって得られたこのような知見は、雲のモデリングと地球気候の研究にとって重要な貢献である。また、開発されたモデルは十分に実用的であり、今後、様々な利用研究へ応用される可能性を持っている。以上の貢献は博士論文に値すると考えられ、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。