

論文内容の要旨

粒子成長に関わる雲微物理過程の数値モデリングに関する研究

(A study on numerical modeling of cloud microphysics
for calculating the particle growth process)

氏名 鈴木健太郎

本研究では、雲の微物理構造の形成メカニズムとその気候影響を理解する目的で、大気大循環モデルを用いた数値実験と雲の微物理的な粒子成長を詳細に表現できる数値モデルの開発およびそれを用いた数値実験を行った。

大気大循環モデル (GCM) を用いた研究では、エアロゾルが雲核となって雲の微物理特性を変化させる効果 (エアロゾル間接効果) をパラメータ化の形でモデルに取り入れて雲の場を計算し、衛星観測と全球規模で比較した。雲粒子半径の全球分布の比較においては、モデルの結果は海上陸上間の粒子サイズの系統的な違いや大陸に隣接した沿岸海域での粒径の縮小といった全球規模での特徴を衛星観測と整合的に再現したが、対流雲が卓越する熱帯域ではモデルと衛星観測の間に不一致が見られた。これは、現行のモデルでは対流雲に対して雲粒径を計算していないことや衛星観測の側にも氷粒子やドリズル粒子の混入に

よる誤差が含まれていることが原因と考えられる。さらに、雲とエアロゾルの相互作用を調べるために、モデルから得られた雲物理量と鉛直積算エアロゾル粒子数の相関を衛星観測と比較した。モデルから得られる相関パターンは計算に採用する降水生成パラメタリゼーションに顕著に依存し、衛星観測で得られた雲場の特徴を再現するためには、エアロゾル増加が雲からの降水生成を抑制する効果を取り入れる必要性が示唆された。

GCMでは簡略なパラメタリゼーションで表現されていた雲の微物理過程をより詳細に表現するために、本研究ではビン型の雲粒子成長モデルと非静力学フレームの各々を独自に開発し、両者を結合して非静力学雲微物理モデルを構築した。ビン型雲モデルでは、固相・液相の計 7 種類の凝結生成物からなる粒子系を考えて、粒子種ごとに定義される粒径分布関数の様々な微物理過程による時空間変化を陽に計算する。これを別途開発した非静力学フレームと結合して理想的な条件下で雲・降水の生成実験を行った。その結果を、気象研究所 / 数値予報課統一非静力学モデルにヘブライ大学雲微物理モデルを結合したモデルによるものと比較したところ、様々な凝結生成物の空間分布は概ね良い一致を示した。ビン型雲モデルの開発では、従来採用されてきた計算スキームの他に、計算コストを減少させるための試みとして、凝結生成物の粒径分布を基底関数で展開して予報する方法を定式化した。その方法による計算結果を従来のスキームによるものと比較したところ、粒径分布関数を離散化する自由度をある程度減らしても、従来のスキームに見られる数値拡散が顕著に抑制された。

雲とエアロゾルの相互作用を詳細に調べるために、開発した非静力学ビン型雲微物理モデルを用いて低層の水雲を生成する数値実験を行った。計算の結果から、雲の有効半径と光学的厚さの相関パターンが雲の成長段階によって系統的に異なることが見出された。すなわち、ドリズル粒子が生成する前の成長段階では有効半径と光学的厚さが正の相関にあるのに対して、ドリズルを伴う成長段階では両者が負の相関にあった。相関パターンのこのような特徴は衛星観測で得られているものと整合的である。また、数値実験で得られる相

関パターンはエアロゾル量を変化させると系統的に変化することもわかった。さらに、モデルの計算結果から雲物理量とエアロゾル鉛直積算粒子数の相関をしらべたところ、エアロゾル粒子数に対して有効半径は負の相関、光学的厚さおよび鉛直積算雲粒数は正の相関となり、雲水総量はエアロゾル数に依存しない傾向が見られた。これは定性的には衛星観測や GCM の結果と整合する。定量的な議論として、これらの相関に線型回帰を当てはめてその傾きを比較した。その結果によると、ビン型雲モデルではエアロゾル粒子数 N_a と雲粒子数 N_c は $N_c \propto N_a^k$ なる関係にあり、指数の値は $k=0.70$ となった。この値は過去の研究で報告されている値 $k=0.70-0.80$ に近いが、全球規模での相関を調べた衛星観測の値 $k=0.50$ に比べると大きい。