

ビン法雲微物理モデルによる粒子成長過程の数値計算

鈴木健太郎・中島映至（東京大学気候システム研究センター）

1. 序

雲の気候影響を知る上で、雲の光学特性・降水特性を決定づけている微物理構造の形成機構を理解することは重要である。特に、エアロゾルが雲核となって雲の微物理構造を変化させること（エアロゾル間接効果）は近年の気候研究の重要なトピックのひとつでもある。最近では、衛星観測技術の進歩によってエアロゾル・雲の相互作用の実態がさまざまなスケールで明らかになりつつあり、このような観測事実を理解・解釈するためには、数値モデルの利用が有効である。

そこで、本研究では、雲の微物理過程を詳細に取り扱うことのできる非静力学ビン法雲モデルを開発し、それを用いた数値実験を行った。

2. モデルと数値実験の概要

本研究で開発したモデルは、非静力学フレームと雲微物理モジュールが結合したものである。雲微物理モデルでは、エアロゾルおよび凝結生成物の粒径分布関数がさまざまな微物理過程によって変化する様子を陽に計算するために、ビン法のスキームを用いた。この計算では、エアロゾルの粒径分布から Kohler 曲線の理論によって雲核として活性化する粒子数を求めて雲の最小粒径ビンに加えることで核形成過程を表現する。また、雲粒とエアロゾル粒子の衝突断面積を考慮して雲・雨によるエアロゾルの

wet-scavenging を計算する。このようにして、雲とエアロゾルの相互作用を詳細に考慮した計算が行われ、その結果得られた粒径分布 $n(r)$ の情報から雲の有効半径 r_e や光学的厚さ t_c といった物理量を定義にしたがって次のように求めることができる。

$$r_e = \frac{\int n(r)r^3 dr}{\int n(r)r^2 dr}, \quad t_c = 2 \int dz \int n(r)r^2 dr$$

このようなモデルを用いて、エアロゾルの影響を顕著に受けることが知られている低層の水雲を生成する数値実験を行った。計算領域は水平 20km、鉛直 4km の二次元領域とし、解像度は水平 500m、鉛直 200m とした。初期条件として、下層(0-2km)に条件付不安定な気温・湿度場、上層(2-4km)に逆転層を持つような分布を用意して、warm bubble を与えて対流を励起した。このような計算によって、雲頂高度が 2km 程度の低層の水雲が生成される。凝結で生成される液滴粒子の粒径分布関数は、 $3\mu\text{m}$ から $3000\mu\text{m}$ までの粒子を 30 個のビンに離散化表現した。また、雲粒の生成に必要なエアロゾルとしては硫酸塩を仮定し、 $0.01\mu\text{m}$ から $1\mu\text{m}$ の粒径範囲を 10 個のビンに離散化した。

3. 結果と考察

前節で概要を述べた計算の結果を、雲の有効半径や光学的厚さといった光学特性の観点から解析した。有効半径と光学的厚さ

はリモートセンシングから得られる基本的な物理量であり、Nakajima et al. (1991) や Nakajima and Nakajima (1995) によって導出されている。これらの研究では、有効半径と光学的厚さの相関パターンが雲の発達段階によって顕著に異なっていることが報告されている。すなわち、粒径 $100\mu\text{m}$ 程度のドリズル粒子が生成する前の発達段階では、両者が正の相関、ドリズル粒子を伴う発達段階では両者が負の相関にある。

相関パターンのこのような系統的な違いをもたらす原因を調べるために、モデルを用いた計算結果から同様のプロットをつくった(図)。図によると、ドリズル生成前の発達段階では正の相関、ドリズルを伴う発達段階では負の相関が見られ、両者を合わせて全体として三角形のパターンが形成された(上段)。水雲の粒子成長をもたらす過程は凝結成長過程と衝突・併合過程であるが、衝突・併合過程を除いた数値実験を行ったところ、ドリズルはほとんど生成されず、有効半径と光学的厚さの散布図には正の相関のみが現れた(下段)。このことから、ドリズル生成前の発達段階では凝結成長過程によって正の相関パターンが形成されるのに対し、ドリズルを伴う発達段階では衝突・併合過程によって負の相関パターンが形成されることが示唆される。

4. 結論

本研究では、雲の微物理的な粒子成長過程を詳細に計算できるピン法雲モデルを用いた数値実験を行い、雲の光学特性の観点から解析した。その結果、雲の発達段階によって光学特性が系統的に異なるという実験結果が得られ、その違いは粒子成長を支

配する物理プロセスの違いに関係づけられることが示唆された。すなわち、ドリズル生成前の発達段階では凝結成長過程によって有効半径と光学的厚さの間に正の相関パターンが形成されるのに対し、ドリズルを伴う発達段階では衝突・併合過程によって両者の間に負の相関パターンが形成される。

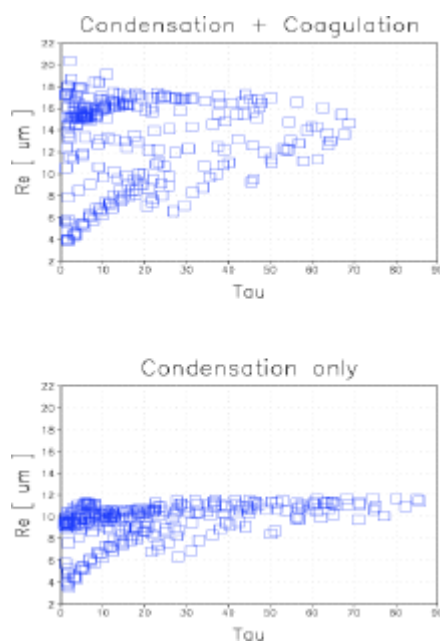


図. ピン法モデルの計算で得られた雲の有効半径と光学的厚さの相関プロット。凝結成長と衝突・併合の両過程を考慮した結果(上段)と、凝結成長のみ考慮した結果(下段)を示す。