

雲の微物理パラメタリゼーション

陶山徹

5 雲の微物理パラメタリゼーション

5.1 雲の微物理過程の意義

水蒸気が、雲の微物理を通して、水粒子、氷粒子となる。

- ⇒ 降水形成速度、降水効率を支配
- ⇒ 降水のタイミング・場所・強さに影響
- ⇒ **時空間的に小さなスケール**の予報に重要

雲・降水過程で水物質が相変化しながら輸送される。物質とエネルギーが空間的に再分配される。また、散乱・吸収を通して、太陽放射や赤外放射の収支を決定。

- ⇒ 全球的なエネルギー・水循環
- ⇒ **時空間的に大きな気候変動**

小さいスケールでも大きいスケールでも雲・降水過程は重要！

5.2 雲・降水の微物理素過程と水物質の分類

雲粒子・降水粒子の生成・発達過程

1. 核形成：雲の中で最初に起こる。エアロゾルの存在が核形成を容易にする。
2. 拡散成長：ゆっくり進行。
3. 粒子間衝突：割と速く進行。
4. その他：凍結、融解、氷晶自己増殖、降水粒子の分裂

大気中の水物質を、その相と落下速度に着目して分類。

1. 水蒸気（気体の水）：その運動は空気の運動と一致。混合比は q_v 。
2. 雲粒（液体の微粒子）：直径 $100 \mu\text{m}$ 以下の微水滴。混合比は q_c 。

3. 雨粒（液体の降水粒子）：直径 $100\ \mu\text{m}$ 以上の微水滴。直径 $0.1\ \text{mm}$ - $0.5\ \text{mm}$ の水滴を霧雨とよんで区別することもある。混合比は q_r 。
4. 雲氷（固体の雲粒子）：直径 $100\ \mu\text{m}$ 以下の氷粒子。昇華凝結によって成長した氷晶。混合比は q_i 。
5. 固体の降水粒子：有意な落下速度（ 0.1m/s ）を持ち、雲粒捕獲成長も無視できなくなった氷粒子。
 - 雪：落下速度が 0.1 - $1.5\ \text{m/s}$ 。混合比は q_s 。
 - 霰：落下速度が 1 - $4\ \text{m/s}$ 。混合比は q_g 。
 - 雹：落下速度が $10\ \text{m/s}$ 以上。混合比は q_h 。

※混合比：水物質の質量と湿潤空気の質量の比。湿潤空気：大気。乾燥空気＋水蒸気。

液体粒子は粒径のみで粒子の諸特性（質量・落下速度等）を記述できるが、固体の微粒子においては形状や密度が必要。これは複雑過ぎてほとんど不可能。雲粒子・降水粒子の数値モデルの取り扱いが大きく2つに分けられる。

- バルク法：雲粒子、降水粒子をいくつかのカテゴリーに分けて、できるだけ少ない変数（例：それぞれのカテゴリーの粒子の質量混合比）で、表現。
- ビン法（粒子スペクトル法）：それぞれのカテゴリーの粒子をいくつかの粒径に分ける。

この2つはオイラー的な取り扱いをしているが、雲のモデルの中で粒子を発生させ、個々の粒子をラグランジュ的に追いかけて、大きさ・形状・密度の変化を計算する方法もある（Matsuo et al. 1994）。これは厳密な取り扱いであるが、莫大な粒子数が必要になる。

5.3 バルク法

- Kessler (1969)：初めてのバルク法。雲水と雨水の混合比を変数とした簡単なもの。逆指数関数による雨滴粒系分布や雲粒から雨滴への変換、雨滴による雲粒捕獲成長の取扱いは多くのバルク法の基礎。
- Lin et al. (1983)：Kessler (1969)に雲氷・雪・霰の混合比を加えたパラメタリゼーション。欠点：成長過程にかかわらず雪水量が増加すると、自動的に霰に変換してしまう。この欠点を改良したものが現在用いられている。

上の2つのように、混合比のみを変数とすると、混合比によって一義的に平均粒径が決まってしまう、高混合比＝大粒径となる。実際の雲の中ではこの関係は成立していない。この欠点を克服するため、混合比と数濃度を予報変数とするパラメタリゼーションが用いられるようになってきた（Ziegler 1985, Murakami 1990, Ferrier 1994, Meyers et al. 1997）。

5.3.1 雲粒子・降水粒子の取り扱い

- 5.3.1.1 粒径分布

雲粒子・降水粒子の粒径分布は単分散、逆指数関数あるいはガンマ関数で表現されることが多い。カテゴリ x に属する粒子の粒径分布を表すガンマ関数分布は

$$f_x(D_x) = \frac{1}{\Gamma(\nu_x)} \left[\frac{D_x}{D_{nx}} \right]^{\nu_x-1} \frac{1}{D_{nx}} \exp \left[-\frac{D_x}{D_{nx}} \right] \quad (5.1)$$

と書かれる。

- 5.3.1.2 質量・落下速度

カテゴリ x に属する雲・降水粒子の質量と落下速度は、一般に粒径のべき乗の形の実験式

$$m_x(D_x) = \alpha_{mx} D_x^{\beta_{mx}} \quad (5.2)$$

$$U_x(D_x) = \alpha_{ux} D_x^{\beta_{ux}} \quad (5.3)$$

で表される。