

不均質核形成による氷晶生成モデルの高度化

*橋本明弘¹・村上正隆²・久芳奈遠美³・三隅良平⁴・折笠成宏²・圓山憲一⁴・斎藤篤思²・Jen-Ping Chen⁵

¹ 地球科学技術総合推進機構, ² 気象研究所, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 地球環境フロンティア研究センター, ⁵ 国立台湾大学

1. はじめに

メソスケールモデルの雲物理過程改良、および、エーロゾル・雲・降水相互作用に関する研究のために、詳細な微物理過程を取り扱えるパーセルモデルを開発中であるが、この中の、不均質昇華核形成と不均質凍結核形成過程を高度化するために検討中の新しい定式化について報告する。

2. 詳細雲物理モデル

詳細雲物理モデルは、Chen and Lamb (1994, JAS) のモデルをベースにしており、水滴と氷粒子を多次元ビンに分割して取り扱う。ここでは、水滴を、純水・水溶性物質に加え、非水溶性物質(氷晶核)も含んだ混合粒子と仮定している(3次元ビン)。純水の含有量が極めて小さい場合は、水溶性と非水溶性の物質の混合した乾燥粒子とみなせる。また、氷粒子については、純水・水溶性物質・アスペクト比・体積(三隅他, 2005 年秋季大会, P168)に加え、非水溶性物質をその特性要素として仮定した(5次元ビン)。

a. 昇華核形成と凍結核形成の定式化

昇華核による核形成数 (m^{-3}) は、氷晶核表面が部分的に水溶液で覆われていると仮定し(図1)、氷晶核表面積に対する依存性を表す関数 $F(R)$ と水溶液による核表面被覆率に対する依存性を表す関数 $G(X)$ を、氷過飽和度の関数に乗ずる形にした。

$$N_{dep} = 4 \times 10^5 \left(\frac{s_i}{0.474} \right)^{4.5} \times F(R) \times G(X) \quad (1)$$

$$F(R) = 1 - \exp \left(- \frac{R^2}{R_n^2} \right), \quad R_n = 1 \times 10^{-7} \text{ m} \quad (2)$$

$$G(X) = \frac{1}{2} (1 - \cos(\pi X)), \quad X = \frac{A_{nw}}{A_n} \quad (3)$$

ここで、 s_i は氷過飽和度、 R は氷晶核半径、 A_n は氷晶核の表面積、 A_{nw} は氷晶核表面で水溶液キャップに覆われていない開表面の面積であり、その比 X のとり得る値の範囲は $0 < X < 1$ である。

凍結核による核形成数(水滴1個当たり)は、氷晶核表面積に対する依存性を表す関数 $F(R)$ ($R_n = 3 \times 10^{-8}$ m) を、温度関数に乗ずる形にした。

$$N_{im} = m(R_d) \exp[-0.68(7 + T_c)] \times F(R) \quad (4)$$

ここで、 $m(R_d)$ は半径 R_d の水滴質量、 T_c は摂氏温度、 R は氷晶核半径である。

b. 数値実験

エーロゾル内の不溶性物質(氷晶核)サイズに対するモデル結果の依存性を調べるために、水溶性物質の質量相当モード半径を $0.01 \mu\text{m}$ 、不溶性物質の質量相当モード半径を $0.01 \mu\text{m}$ (実験 I) と $0.1 \mu\text{m}$ (実験 II) とする2通りの2次元対数正規初期エーロゾル分布を与えて実験を行った。上昇速度は 2 m s^{-1} とした。

3. 結果とまとめ

実験 I (図2) に比べて初期の氷晶核サイズの大きい実験 II (図3) では、昇華核による氷晶生成率(図3b;

実線) が大きく、氷晶開始のタイミングが早まっていた(図3a; Nice)。その後、凍結核形成に移行しても、実験 IIの方が氷晶生成率(図3b; 破線)が大きく、高度6km付近の氷晶数はより多かった(図3a; Nice)。これによって、実験 II では水蒸気消費が促進され、水飽和を維持する時間(高度差)が短くなった(図3a; T, T_d)。水飽和を長く維持できた実験 I では、より高い核形成率の見込める低温域まで水滴を温存し核形成するため、最終的な氷晶数は実験 II より多かった(図2a; Nice)。

このように、詳細雲物理モデルに新しい不均質氷晶核形成モデルを組み込んだ結果、氷晶核サイズの違いが、氷晶開始のタイミングや、氷晶数濃度、水蒸気量に影響を与えることが認められた。

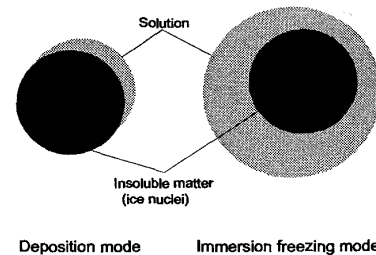


図1 昇華核形成と凍結核形成における氷晶核表面の仮定。

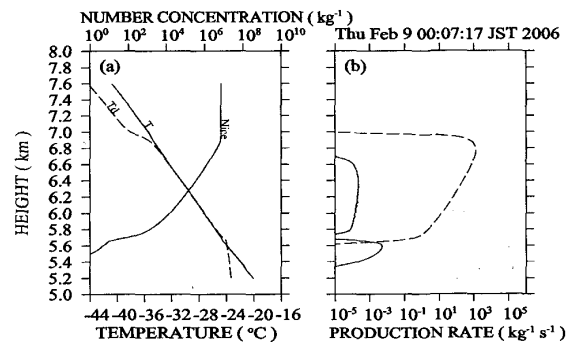


図2 実験 I から得られた (a) 温度(実線), 露点温度(破線), 氷晶数濃度(実線, Nice), (b) 昇華核(実線)と凍結核(破線)による氷晶生成率。

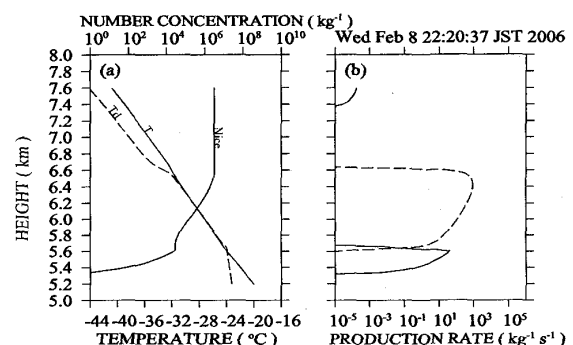


図3 図2と同じ。ただし、実験 II の結果。