

ナノサイズ厚の水溶性物質が表面に沈着した非水溶性ダストの雲粒凝結特性

芝 定孝*・平田雄志 (大阪大学大学院基礎工学研究科)、八木俊策 (摂南大学工学部)

1. はじめに

大気水蒸気凝結による雲粒の生成は、通常、雲粒凝結核(CCN)の存在下で進行する。CCN は雲粒表面上の平衡水蒸気圧を低下させ凝結を促進するが、これは CCN が水溶性物質である事により可能となる。一方、大気中には硫酸アンモニウムの様な水溶性粒子の他に、黄砂の様な非水溶性粒子も存在する。ただし、黄砂発生時には、CCN の構造的及び化学的特性も変化し得る。そこで、土壌の主成分が SiO_2 である事より、黄砂を非水溶性ダストと見なし、その表面に水溶性の物質(硫酸アンモニウム)が沈着した複合体としての CCN を考えた。黄砂時の大気の乾性沈着物質中のイオン成分の測定によると、硫酸イオンや硝酸イオンが多くなる。これらのイオンの増加は、黄砂が我が国に輸送される間に、(1) 黄砂表面での黄砂成分と汚染ガスとの化学反応、(2) 黄砂表面を反応場とする汚染ガス同士の化学反応沈着、等により水溶性物質が生成された事を示唆する。ここでは、(2) の黄砂表面へ化学反応沈着した水溶性物質によるイオン増加であるとみなし、図-1 に模式的に示す複合体 CCN の生成を考えた。芯となる非水溶性ダストの表面を水溶性の硫酸アンモニウムが被覆する様な構造である。

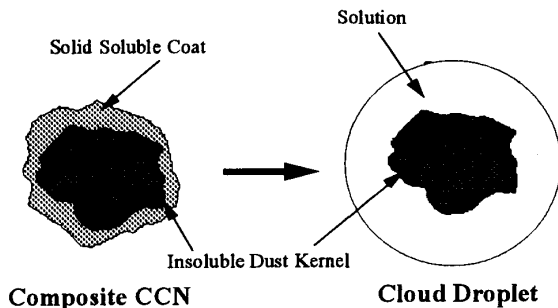


図-1 複合体 CCN の構造と雲粒の構造

2. 複合体 CCN による雲粒の平衡半径評価モデル

複合体 CCN に対する物理化学的モデルの支配方程式は、次式で与えられる様に、気塊内水分に対する質量保存則、熱エネルギー保存則、雲粒大気間の化学ポテンシャルの平衡より導かれる。

$$d(m_w + m_v + m_a + m_d) = 0 \quad (1)$$

$$d(m_w h_w + m_v h_v + m_a h_a + m_d h_d) = 0 \quad (2)$$

$$\mu_w(S, T, a_w) = \mu_v(S, T, a_v) \quad (3)$$

ただし、 m_x 、 h_x 、 μ_x 、 S 、 T 、 a_x はそれぞれ質量、エンタルピー、化学ポテンシャル、飽和比、温度、活量である。x に対応する添字 w、v、a、d はそれぞれ液体の水、水蒸気、空気、ダストを示す。Köhler モデルで

は雲粒の凝結成長による水蒸気消費と水蒸気消費に伴う凝結潜熱発生とを無視し、 S 、 T を一定と仮定するので、式(3)のみとなる。本モデルでは、飽和比 S 、温度 T 、雲粒半径 a が未知変数となり次式で求められる。

$$S = S_0 \{1 - A_3(a^3 - r^3)N\} A_4 \quad (4)$$

$$T = T_0 + \frac{L_c(T_0)m_w}{\Delta C_p m_w + C_{pv} m_{v0} + C_{pa} m_a + C_{pd} m_d} \quad (5)$$

$$\ln(S) = \frac{A_1}{a} - \frac{A_2}{a^3 - r^3} \quad (6)$$

S_0 、 T_0 は、飽和比、温度の初期値であり、 L_c は水蒸気の凝縮潜熱、 $\Delta C_p = C_{pw} - C_{pv}$ 、 C_{px} は x 相の定圧比熱、 m_x は平衡状態での気塊中の x 相の質量である。また、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 は物性値で定まる係数である。

3. 雲粒平衡半径の数値計算

一定の水溶性沈着物量(ダスト無しの単一体 CCN との比較の便宜上、 $0.1 \mu\text{m}$ 半径の球相当体積)に対し、ダストの大きさを変化させた。初期飽和比は 1.0、気塊の初期温度は 0°C で、非水溶性ダスト半径の $0.2 \mu\text{m}$ から $1.0 \mu\text{m}$ の変化に対する水溶性沈着物の厚さの変化は約 8nm から約 0.3nm である。これはダストサイズと比べて非常に薄く、黄砂が中国砂漠地帯から我が国へ飛来する間に黄砂上に十分形成され得る被覆厚と考えられる。

図-2 にダスト無しの場合の凝結水量で無次元化した無次元雲粒凝結水増加量を、CCN 個数密度 N をパラメータとして、ダストサイズに対し図示した。曲線は右上がりであり、ダストが大きくなればなる程、雲粒一個当たりの凝結水増加量が多くなる。また、ダストが大きくなると曲線は発散し、競合的成長の影響は大きくなる。

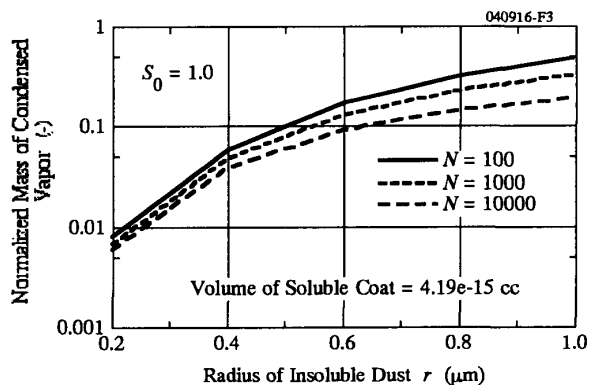


図-2 ダストサイズに対する雲粒凝結水増加量の変化