

自己 CCN の同化による新しく誕生した雲粒の先天的汚染

芝 定孝* (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)

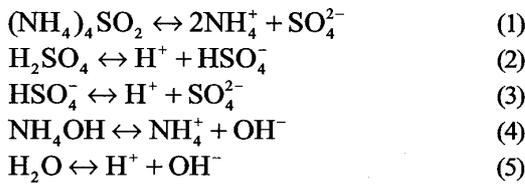
1. はじめに

雲粒は、通常、大気中に存在する硫酸アンモニウムの様な吸湿性粒子である雲粒凝結核 (CCN) に大気中の水蒸気を凝結して生成する。その場合、胚芽的な CCN は水蒸気の凝結と同時に自身を凝結水に溶解 (雲粒による CCN の同化) し、雲粒の成長能力を高める。したがって、水蒸気が凝結するだけならば、雲粒は純粋の水のままであるが、溶解 (同化) した CCN 自身を不純物とする水で出来ている事になる。すなわち、例えば、雲粒生成後に (あるいは生成過程で) 大気汚染物質を取り込む事による後天的な雲粒の汚染が無くても、生まれながらにして、雲粒は CCN で汚染されていると言える。その先天的な汚染の内容は CCN の種類によって変化する。

本研究は大気中に最も多く存在する CCN である硫酸アンモニウムの同化によって生じる新生雲粒の先天的汚染について化学平衡反応を用いて検討している。

2. 雲粒による CCN 同化のモデル

硫酸アンモニウムがその周囲の凝結水に溶解すると、次の様な化学平衡反応が成立するものと仮定する。



ただし、式(1)~(5)の平衡定数は、それぞれ、 K_{SP} 、 K_{S1} 、 K_{S2} 、 K_A 、 K_W である。さらに、雲粒に対する電気的中性条件より、雲粒内の各イオンの間には次式が成立する。

$$[\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] - 2[\text{SO}_4^{2-}] - [\text{HSO}_4^-] - [\text{OH}^-] = 0 \quad (6)$$

したがって、 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (平衡雲粒サイズを基準とした CCN の初期濃度)、 $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ 、 $[\text{HSO}_4^-]$ 、 $[\text{NH}_4\text{OH}]$ 、 $[\text{H}^+]$ を、それぞれ、 C_{AS} 、 x_0 、 x 、 y 、 z と表すと次式を得る。

$$x_0 = C_{AS} z^2 / [K_{S1} K_{S2} + (K_{S1} + K_{S2}) z] \quad (7)$$

$$x = C_{AS} z (K_{S1} + z) / [K_{S1} K_{S2} + (K_{S1} + K_{S2}) z] \quad (8)$$

$$y = 2K_W C_{AS} / (K_A z + K_W) \quad (9)$$

$$z - K_W / z - 2K_W C_{AS} / (K_A z + K_W) + C_{AS} K_{S1} z / [K_{S1} K_{S2} + (K_{S1} + K_{S2}) z] = 0 \quad (10)$$

式(10)から数値計算により z ($[\text{H}^+]$) を求めると、 x_0 、 x 、 y が上式より順次求まる。ただし、 $K_{S1} \gg K_{S2}$ 、 $K_A \gg K_W$ 、 $K_{S2} \gg z$ などを考慮すると、 z は近似的に次の様になる。

$$z = \sqrt{K_W K_{S2} (2C_{AS} + K_A) / [K_A (C_{AS} + K_{S2})]} \quad (11)$$

上式のチェックの為に、 $C_{AS} = 0$ (CCN 汚染が無い場合) とすると、 $z = \sqrt{K_W}$ となり、雲粒は確かに中性となる。

3. 競合的成長による雲粒半径

雲粒の平衡半径の評価に伝統的に用いられるケーラーモデルは非現実的な仮定に基づいている。そこで、水分の保存および熱エネルギーの保存を考慮して、多数の CCN が存在し雲粒が競合的に成長する場合に対応出来る新しいモデル (Shiba et al., 2003) を用いて雲粒サイズを評価し、 C_{AS} を求めた。その結果の一部を表-1 に示す。

表-1 CCN 個数密度に対する雲粒半径と CCN 濃度の変化

CCN Number density N [cc ⁻¹]	Cloud droplet radius a [μm]	CCN Concentration C _{AS} [mol/L]
1	8.81E-04	1.96E-02
10	6.07E-04	5.98E-02
100	4.16E-04	1.86E-01

4. CCN 同化と競合的成長とから評価した先天的汚染

数値計算では、CCN 初期半径を 1μm、水蒸気飽和比を 1.0 とした。[H⁺] の pH 変換した結果を、図-1 に示す。

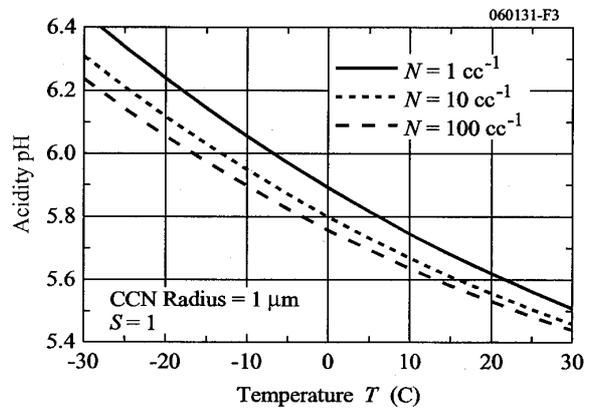


図-1 温度に対する CCN による新生雲粒の pH の変化

pH は代表的な汚染指標であり、CO₂ 汚染の場合は、25 C において pH5.6 となる (中性は pH7.0)。CCN 汚染では何れの個数密度についても 5.6 よりも低く、CO₂ 汚染よりもさらに酸性側となり、汚染の程度は高いと言える。ただし、-30、0、30 C の各温度での中性に対する pH は 8.23、7.47、6.92 である。いずれの温度でも酸性となる。

Shiba, S., Hirata, Y., and Yagi, S. (2003). Effect of CCN Number Density on Radius and Temperature of Cloud Droplet Grown up Competitively, *Journal of Global Environment Engineering, JSCE*, 9, 65-73.