

中央大学理工学部 学生員 ○坂田 祐介 中央大学大学院 学生員 萬矢 敦啓 黒田 正寿
建設省土木研究所 正 員 松浦 直 中央大学理工学部 正 員 池永 均 山田 正

1.はじめに 大気中のエアロゾルの増加に起因する降水や雲の生成を予測するため、著者らはこれまで長大立坑を用いた雲物理実験や、エアロゾルの存在を考慮した降雨モデルによる数値計算を行ってきた。本研究ではさらに、立坑におけるエアロゾルの種類と濃度を人工的に変化させて雲物理実験を行い、エアロゾルが雲の生成に与える影響を実験的に明らかにした。

2.実験概要 実験項目及び実験施設の概要を図1に示す。本実験では、図に示すように立坑上端に設置したファンにより強制上昇風を発生させている。エアロゾルを含む溶液を下端から噴霧器により散布し、人工的にエアロゾルを増加させ、雲粒の凝結成長を促進させてエアロゾルによる雲水の生成量の変化を測定した。

3.実験結果及び考察 本実験では、立坑下端からエアロゾル数濃度、エアロゾルの種類を変化させた大気を流入させることにより、雲の生成に及ぼすエアロゾルの種類と数濃度の影響を考察する。エアロゾルを散布しない場合、エアロゾル (LiCl) を散布した場合、純水のみを噴霧した場合の3つの条件の下で雲を生成させた。図2は立坑上端において、パーティクルカウンターで測定した雲水量の時系列を示している。下端でエアロゾルを散布しない場合、上端ではパーティクルカウンターで測定した雲水量は約 $2 \times 10^{-12} \text{g/cm}^3$ である。エアロゾルを散布したときには、雲水量の総和が約 $5 \times 10^{-10} \text{g/cm}^3$ まで急増し、エアロゾルを散布しない場合の約250倍の雲水が生成した。純水を噴霧したとき、上端における雲水量の総量はほとんど変化していない。以上のことから、エアロゾルを散布したときに雲水の生成が促進されており、

雲水の生成量は雲粒の核となるエアロゾルの存在の有無に大きく支配されることを確認できた。

即ち、エアロゾルを散布した場合には、自然大気の250倍もの雲が生成されたのに対し、純水を噴霧した場合には、ほとんど雲が生成されないということがわかった。

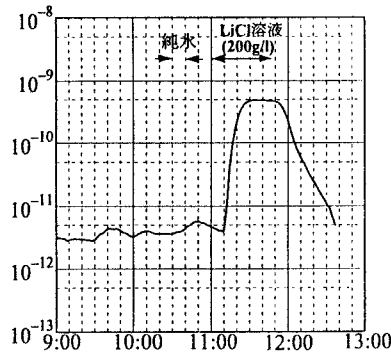


図2

パーティクルカウンターで計測された雲水量の総量の時間変化

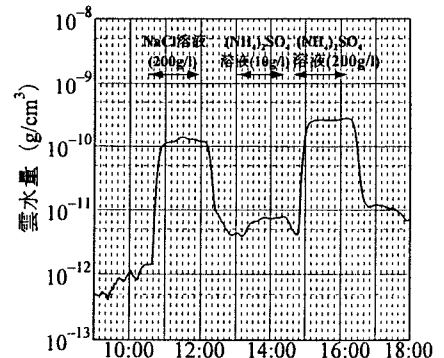


図3

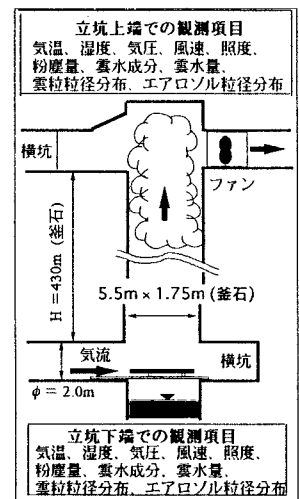


図1 雲物理実験の概念図

キーワード：エアロゾル、長大立坑、雲物理実験、雲水量

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL 03-3817-1805 FAX 03-3817-1803

次に図3は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 200g/l、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10g/l と NaCl 200g/l の3種類の溶液を散布したときの、雲水量の総量の時系列を示す。噴霧するエアロゾルの種類を変化させず、濃度のみを 200g/l と 10g/l に変化させた場合と、噴霧した溶液の濃度は 200g/l で一定だが、溶液の種類を変化させた場合の2つの場合について比較する。まず、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の溶液で濃度が 10g/l の溶液を散布したとき、雲水量はエアロゾルを散布しないときの約 30 倍に増加するが、200g/l の濃度の $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を散布したときは、雲水量は約 1000 倍に増加し、雲水の生成量に大きな差が見られる。さらに、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 200g/l と NaCl 200g/l を散布した時では、雲水の生成量の違いはほとんどなかった。このことからエアロゾルの種類の違いよりも濃度による違いが、雲の生成により大きな影響を与えることがわかった。

4. 数値計算 本実験から得られた結果と、著者らが構築したエアロゾルの粒径分布を考慮した降雨モデルを用いて行った再現計算の結果を比較する。本計算で用いた凝結・蒸発 (PCOND) 項を表1に示す。再現計算は4Case 行った。Case1、Case3、Case4 において、エアロゾル数濃度は観測結果を、エアロゾルの種類についてはそれぞれ NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、LiCl を与えた。Case2 においてエアロゾルの種類は NaCl を、数濃度については全粒径にわたり観測結果を 1/20 に減少させて与えた。図4に計算に用いた立坑下端での粒径分布を示す。また湿度、気温、風速については実験結果を用いた。図5は再現計算による雲水混合比の鉛直分布を示している。この図からエアロゾル数濃度が等しく、エアロゾルの種類を変えた Case1, 3, 4 の雲水混合比の計算結果はほぼ等しいことがわかる。さらに、Case1 に比べエアロゾル数濃度を 1/20 に減少させて与えた Case2 では、雲水の生成量が 0.7 倍になっていることがわかる。これは、本実験で得られた結果と同様の傾向であり、立坑実験と降雨モデルによる数値シミュレーションの両面から、雲水量はエアロゾルの種類よりも数濃度に支配されることが検証された。

5. まとめ 1. 雲の生成量には雲粒の核になるエアロゾルの存在が重要な要因になっており、エアロゾルが存在しないときは、雲の生成量は極端に低くなることが本立坑実験でも検証できた。2. エアロゾルの種類の変化よりも濃度の変化が、雲の生成には重要な要因となることがわかった。3. 著者らが構築したエアロゾルの存在を考慮した降雨モデルを用いた数値計算においても、本実験で得られた結果と同様の結果を得ることができた。

謝辞：本研究は三井石炭工業(株)、釜石鉱山(株)の多大な協力により行われた。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献：1) Steaven A. R. and Hobbs P. V. : Journal. Atmos. Sci., 40, 1185-1206, 1983. 2) Tadashi Yamada, et al: International Conference on Water Resources and Environment Researces, Vol. 1. pp. 197-204, 1996. 3) 山田正ら: 水文・水資源学会 1997 年研究発表会要旨集, pp. 105-106, 1997.

表1 エアロゾルを考慮したモデルの雲水の凝結・蒸発 (PCOND) 項

$$PCOND_i = \frac{dm_i}{dt} = \frac{4\pi N_{0i} \rho_w r_i^2}{r_i A_i} \left\{ \left(\frac{e}{e_0} - 1 \right) - \frac{3.6 \times 10^{-5}}{r_i T} + \frac{8.6 M_i}{r_i^3 M_{N_i}} \right\}$$

$$r_i = \sqrt[3]{\frac{3m_i}{4\pi \rho_w N_{0i}}}, \quad A = \frac{l^2 \rho_i}{R_w T^2 a} + \frac{\rho_i R_w T}{D e_0}$$

N_0 : 代表雲粒個数 (個/cm³), r : 雲粒の半径 (cm), ρ_w : 溶液 (滴) の密度 (g/cm³)
 ρ_a : 乾燥大気密度 (g/cm³), T : 温度 (K), M_N : 溶質の分子量
 e : 気圧 (mb), e_0 : 温度 T (K) における平らな水面に対する飽和蒸気圧 (mb)
 M : 溶質の質量 (g), m : 雲水量 (g/cm³), l : 潜熱量 (J/kg)
 ρ_i : 溶液の密度 (kg/m³), D : 空気中における水蒸気分子拡散係数 (m²/s)
 a : 空気の温度拡散定数 (m²/s), R_w : 気体の状態定数 (J/kg/K)

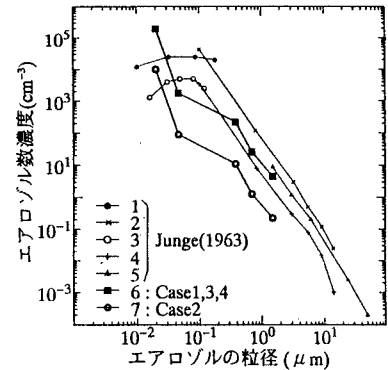


図4 計算に用いた立坑下端の粒径分布

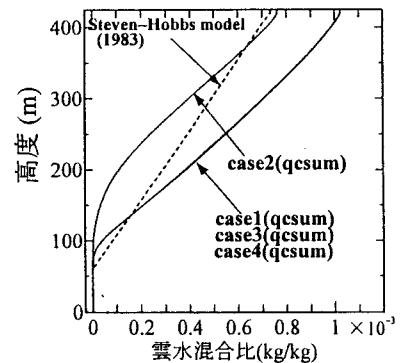


図5 雲水混合比の鉛直分布