

II-13 雲の生成に与えるエアロゾルの種類と粒径分布の効果に関する考察

中央大学大学院 学生員 坂田 祐介 萬矢 敦啓 建設省土木研究所 正員 松浦 直
中央大学理工学部 正員 志村 光一 山田 正 東海旅客鉄道株式会社 正員 黒田 正寿

はじめに 著者らはこれまでに、長大立坑を用いた実スケールの雲物理実験及び、エアロゾルの効果を考慮した降雨モデルによる数値実験を行い、雲や降雨の生成機構の解明とより詳細な降雨予測モデルの開発を行ってきた。この結果、特定粒径のエアロゾル数濃度が雲の生成の大きな要因となることが分かった。本研究では、立坑内に種類と濃度を変えたエアロゾルを人工的に散布し、大気中含まれるエアロゾルの種類と濃度の違いが雲の生成に与える影響の違いを明らかにした。

実験概要 本実験施設の概要を図1に示す。本実験では、立坑上端に設置したファンにより強制上昇流を発生させている。これにより雲粒の凝結成長を促進させ人工的に雲を生成させている。さらに立坑下端からエアロゾルを含む溶液を噴霧し、立坑内に流入する大気中のエアロゾルを人工的に操作することで、雲の核となるエアロゾルの種類や濃度の違いに起因する雲の生成量の違いを測定した。本実験では、立坑内の自然大気の場合、人工的にエアロゾル (NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, LiCl) を散布した場合、エアロゾルを含まない純水を散布した場合の3通りの条件下で実験を行った。表1のように噴霧したエアロゾル溶液の濃度は、それぞれ10g/l、200g/lである。生成された雲の測定は、立坑上端においてパーティクルカウンター及び霧水サンプラーを用いたの2つ方法により行った。パーティクルカウンターは、光の後方散乱により0.3~5 μm の雲粒の粒径分布を測定するものである。生成された雲の雲水量に着目するため、パーティクルカウンターで得た雲粒の粒径分布から各粒径の雲の雲水量を次のように算出する。生成された雲粒を球と仮定し、この雲の径から算出した体積に純水の密度及びこの粒径の雲粒の数濃度を乗じたものを雲水量としている。霧水サンプラーは、ファンにより雲粒を含む空気を吸引させ採取ネットにより雲粒を捕捉・収集する装置である。図2、3、4の下図では、それぞれ破線間(30分間)に霧水サンプラーから採取された水分量を大きな雲粒の雲水量としている。上記の2つの測定から、生成される雲の粒径と生成量の違いを計測した。

実験結果及び考察 図2、3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小さな雲粒の雲水量(上図)及び霧水サンプラーで採取した大きな雲粒の雲水量(下図)の時系列を示している。図2は、人工的なエアロゾルの散布を行わず、立坑内の自然大気のエアロゾルを核として生成された雲水量の時系列を示している。図3、4は人工的にエアロゾルを散布した場合の雲水生成量の時系列を示している。これらの実験結果からエアロゾルが雲の生成に及ぼす影響について以下に考察する。1. 図3から、純水を散布した場合

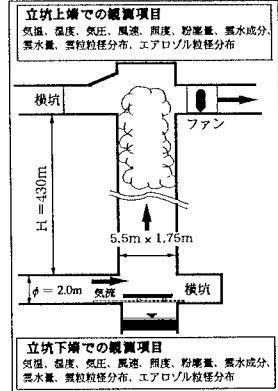


図1 立坑実験概念図

表1 散布溶液一覧

散布溶液	溶液濃度 (g/l)	散布時間 (分)
NaCl	200	20
	200	90
	10	85
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	200	90
	200	10
	10	80
LiCl	200	47
純水	—	10

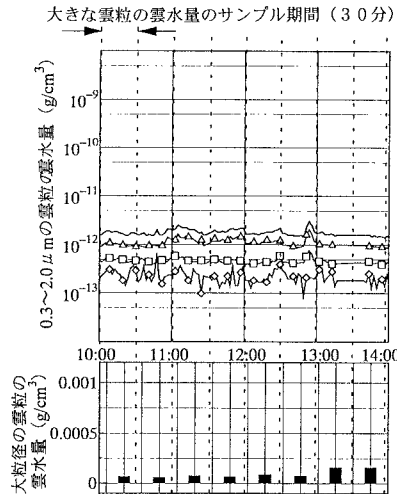


図2 小さな雲粒(上図)、大きな雲粒(下図)
雲水生成量(自然大気の場合)

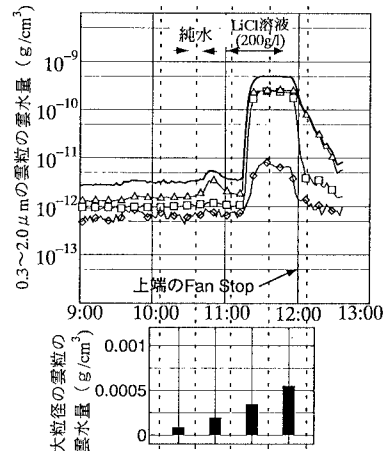


図3 小さな雲粒(上図) 大きな雲粒(下図)、
雲水生成量(純水及びLiClを散布した場合)

キーワード：雲物理実験、エアロゾル、雲粒、雲水量

連絡先：東京都文京区春日1-13-27 Tel 03(3817)1805 Fax 03(3817)1803

の雲水生成量は、人工的にエアロゾルを増加させていない場合（図2）とほぼ同様な値となっている。これに対し、エアロゾル（LiCl）を散布した場合には、人工的にエアロゾルを増加させていない場合（図2）と比較して、小さな雲の生成では約150～250倍の雲が生成されており、大きな雲の生成でも約3～5倍の雲が生成されている。これより雲核となるエアロゾルを増加させた場合には、雲水の生成量が大幅に増加しており、エアロゾルの存在が雲の生成に大きな影響を及ぼすことが実験的に検証された。2. エアロゾルの種類や濃度を人工的に変えた場合の雲水生成量の違いについて考察する。図4は2種類のエアロゾル溶液（NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ）を薄い溶液（10g/l）、濃い溶液（200g/l）で散布した場合に生成された雲水量の時系列を示している。まず、異なる種類（NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ）の溶液を同じ濃度（200g/l）で散布した場合を考察する。この場合に生成された雲水量の差は、小さな雲粒で約2倍であった。次に、同じ種類の溶液（ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ）を異なる濃度（10g/l、200g/l）で散布した場合の雲水量に着目する。

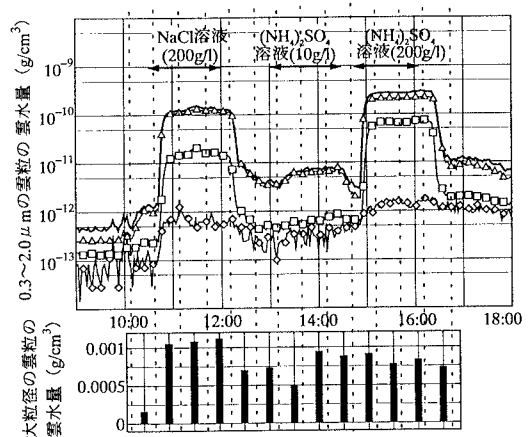


図4 小さな雲粒（上図）、大きな雲粒（下図）の雲水生成量
（NaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液を散布した場合）

溶液の濃度を20倍（10g/lから200g/l）にした場合の生成雲水量は、小さな雲粒で約30倍に増加する結果となった。これに対し大きな雲粒の生成では、溶液の種類と濃度を変えた場合による生成量の顕著な差は見られなかった。以上より、小さな雲粒の生成では、エアロゾルの種類の違いよりも濃度の違いが雲の生成量に大きく関与するが、大きな雲粒の生成ではエアロゾルの種類や濃度の違いが雲の生成に大きな影響を与えないことが実験的に検証された。

数値モデルによる検証 著者らがこれまでに構築してきたエアロゾルの粒径分布を考慮した降雨モデル⁹⁾を用いて再現計算を行い、その計算結果と本立坑実験の結果を比較する。本再現計算では、エアロゾルの種類と濃度を変えた4Caseを行った。計算に用いたエアロゾルの種類は、立坑実験と同様のNaCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、LiClを与えている。散布溶液の濃度の違いは、図5のように立坑内の初期エアロゾル数濃度の違いとして与えており、濃い溶液に対しては実観測結果を、薄い溶液に対しては濃い溶液の1/20の数濃度を与えている。また、気温、相対湿度、風速については実験結果を用いた。図6は再現計算による雲水混合比の鉛直分布を示している。この図から同じエアロゾル数濃度で、エアロゾルの種類を変えたCase3、Case4の雲水混合比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に減少させたCase2では、立坑上端において雲水の生成量が約0.7倍になっていることが分かる。これは、本立坑実験で得られた小さな雲粒の生成の結果と同様な傾向である。以上より、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、小さな雲の生成にはエアロゾルの種類よりも数濃度が支配的要因であることが検証された。

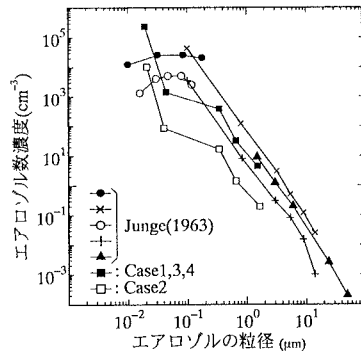


図5 計算に用いた立坑下端の粒径分布

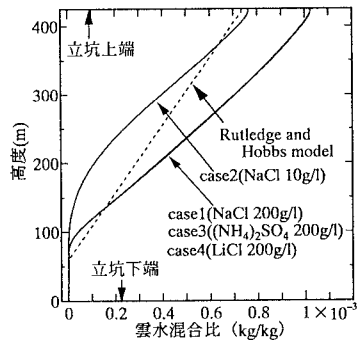


図6 雲水混合比の鉛直分布

は濃い溶液の1/20の数濃度を与えている。また、気温、相対湿度、風速については実験結果を用いた。図6は再現計算による雲水混合比の鉛直分布を示している。この図から同じエアロゾル数濃度で、エアロゾルの種類を変えたCase3、Case4の雲水混合比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に減少させたCase2では、立坑上端において雲水の生成量が約0.7倍になっていることが分かる。これは、本立坑実験で得られた小さな雲粒の生成の結果と同様な傾向である。以上より、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、小さな雲の生成にはエアロゾルの種類よりも数濃度が支配的要因であることが検証された。

まとめ 1. 雲の生成には雲粒の核となるエアロゾルの存在が重要な要因であり、エアロゾルが存在しないときは、雲の生成量は極端に小さくなることが本立坑実験にて検証された。2. 小粒径の雲粒（粒径：0.3～0.5 μm）の生成にはエアロゾルの種類の違いよりも濃度の違いが重要な要因となることがわかった。3. 大粒径の雲の生成においてエアロゾルの存在は雲の生成を促進させる要因であるが、エアロゾルの種類や濃度の違いは重要な要因ではないことがわかった。4. 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、本立坑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㈱、釜石鉱山㈱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) S. A. Rutledge and P. V. Hobbs: Journal of Atmos. Sci., 40, 1185-1206, 1983. 2) Tadashi Yamada, et al.: International Conference on Water Resources and Environment Researches, Vol. 1, pp. 197-204, 1996.

3) 山田正ら：エアロゾルの種類とその粒径分布を考慮した降雨モデルに関する研究、水文・水資源学 1997 年研究発表会要旨集, pp. 105-106, 1997.