

実スケール雲物理実験によるエアロゾルが雲形成に与える影響

研究代表者 研 究 員 山 田 正 (中央大学土木工学科)

1 はじめに

近年、集中豪雨といった局所的な規模の気象現象から、酸性雨、地球温暖化といった地球規模の現象までの様々なスケールの気象に関する問題が指摘される。しかし、それらの現象の詳細な発生メカニズムや進行過程に未だ多くの未知の部分が存在する。これらの問題に対し大気中に浮遊するエアロゾル粒子の存在は、微物理過程として雲及び降雨形成に深く起因しており大気環境、降雨現象に大きな影響を及ぼす。著者らはこれまでに雲及び降雨形成の微物理過程の解明を目的として、鉱山の立坑を用いて世界でも類を見ない実スケールの雲物理実験を行っている。本研究では、上昇風速、エアロゾル粒子を制御し、降雨形成、大気環境に及ぼす影響について述べる。

2 雲物理実験施設概要

釜石鉱山雲物理実験施設の概略図を図1に示す。雲物理実験施設は高さ425m、幅5.5m、奥行き2.8mの鉱山内の立坑を用い、立坑坑底の横穴から流入した空気を立坑坑頂に設置した大型ファンにより吸い上げ、立坑内の上昇流内で雲水を生成させる実験施設である。この雲物理実験施設には坑頂に2基のファンが設置してあり立坑内の上昇流速を3段階に制御することができる。また、坑底で溶液噴霧装置を使用することにより立坑内に流入するエアロゾルの化学組成、溶質濃度、数濃度を制御し立坑内へ供給することができる。坑頂では気温、湿度、雲水量、エアロゾル数濃度、坑底では気温、湿度、エアロゾル数濃度の観測を行っている。また、立坑内の各高度で気温、エアロゾル数濃度の観測をしている。

3 気温の鉛直分布

著者らは温湿度計を立坑坑頂、坑底及び坑底より高度10～100[m]までに10m間隔で、高度150、200、270、340、410[m]の計15個を設置し、気温の鉛直分布を観測している。立坑坑頂、坑内、坑底の相対湿度は約100%で一定である。溶液の噴霧を行わないBackgroundで上昇風速1.0[m/s]を与え、噴霧溶液 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の噴霧において上昇風速を1.0[m/s]、1.5[m/s]の上昇風速を与えた条件の実験により得られた気温の鉛直分布を図2に示す。いずれの条件において高度80m以上では気温変化の傾向は同様で

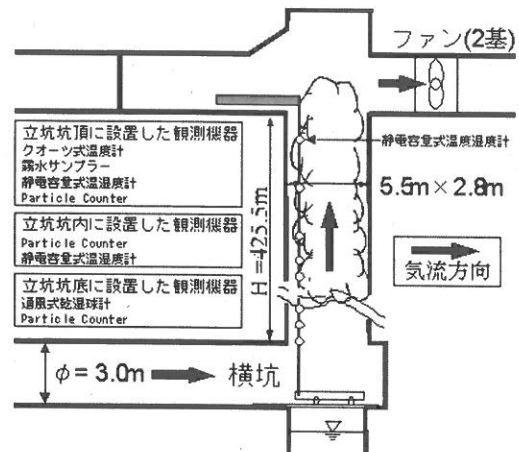


図1 釜石鉱山雲物理実験施設概要図

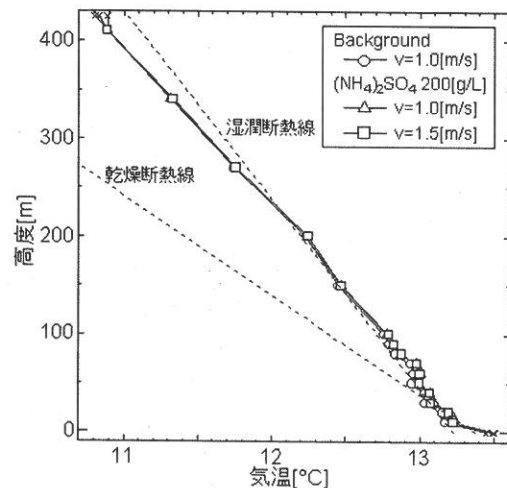


図2 気温の鉛直分布

あることがわかる。また、高度80～200[m]は湿潤断熱減率に従い、200[m]以上では、湿潤断熱減率より乾燥断熱減率に傾いた減率となっている。図2における坑底から高度100[m]までを拡大した気温の鉛直分布を図3に示す。溶液の噴霧より凝結成長が促進されBackgroundの気温減率よりも約0.04[°C] 緩い気温減率となっていることがわかる。

4 エアロゾル計測

エアロゾル数濃度の計測を坑底、坑頂及び坑内の高度18、32、53、74[m]地点の計6地点で行っている。溶液濃度10[g/L]と300[g/L]の2パターンの $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の

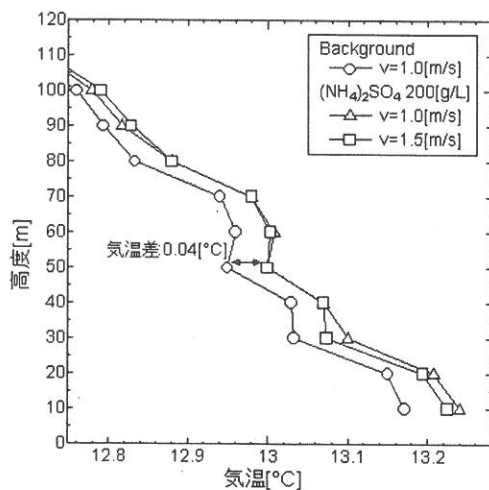


図3 気温の鉛直分布の拡大図
(坑底より高度 100m までの気温の鉛直分布)

噴霧エアロゾル数濃度 (乾燥粒径 $0.05[\mu\text{m}]$ 以上) を $30 \sim 3600[\text{Count}/\text{cm}^3]$ までの7段階の変化を与えて噴霧している。また、各噴霧条件で上昇風速を3段階に変化させている。

5 上昇流によるエアロゾル数濃度の変化

各上昇流におけるエアロゾル数濃度 ($d > 0.3\mu\text{m}$) の鉛直分布の変化を図4に示す。高度80mまでに注目すると、各上昇風速でそれぞれの高度のエアロゾル数濃度を比較すると上昇風速を増加させると数濃度が増加しており、上昇流が凝結成長を促進させていることがわかる。すべての条件で、高度18～53mで急激に数濃度が増加し凝結成長が激しく行われていることがわかる。また、高度とともにエアロゾル数濃度が増加しエアロゾル粒子が凝結成長していることがわかる。噴霧エアロゾル数濃度が $30[\text{Count}/\text{cm}^3]$ では、高度32m以上では数濃度の増加が見られない。これは噴霧エアロゾル中の $d < 0.3\mu\text{m}$ のエアロゾル粒子が、すべて $d > 0.3\mu\text{m}$ に成長したためだと考えられる。

6 粒径別エアロゾル数濃度の鉛直分布

粒径別エアロゾル数濃度の鉛直分布を図5に示す。すべての噴霧条件において小粒径の $0.3 < d < 0.5\mu\text{m}$ のエアロゾル数濃度は高度とともに減少し $0.5 < d < 2.0\mu\text{m}$ の粒径のエアロゾル数濃度は高度32～53m付近まで増加し、それより上の高度で減少する。大粒径の $d > 2.0\mu\text{m}$ 以上も高度とともに増加してから減少をする。これらの一連の挙動よりエアロゾル粒子が小粒径から大粒径へ高度とともに凝結成長する様子がわかる。

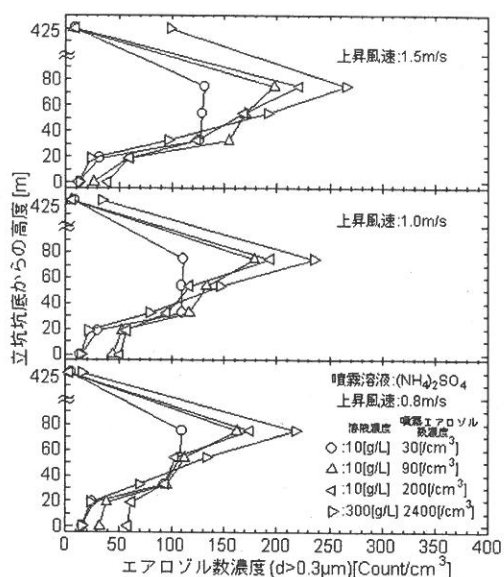


図4 上昇流によるエアロゾル数濃度 ($d > 0.3\mu\text{m}$) の鉛直分布の変化

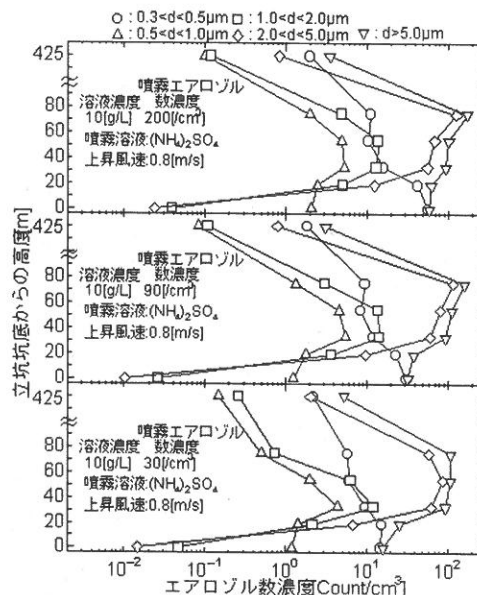


図5 粒径別エアロゾル数濃度の鉛直分布

7 上昇風速と雲水量の関係

上昇風速と坑頂における雲水量の関係を図6に示す。雲水量は上昇風速に対してほぼ線形の関係があり上昇風速の増加とともに雲水量は増加することがわかる。立坑内へ供給するエアロゾル数濃度が多いほど雲水量も多くなる。しかし、供給するエアロゾル数濃度、上昇流を増加させて雲水発生量が多くなる条件としても雲水量は約 $65\text{mg}/\text{m}^3$ 以上に増加しないことがわかる。これは水蒸気が凝結し雲水が発生する量と発生した雲水から蒸発する量が平衡状態に

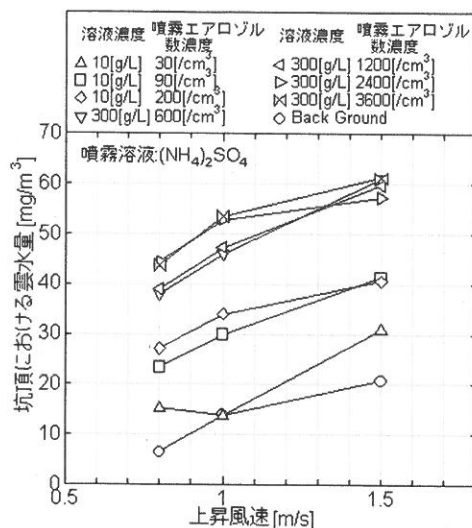


図6 上昇風速と雲水量の関係

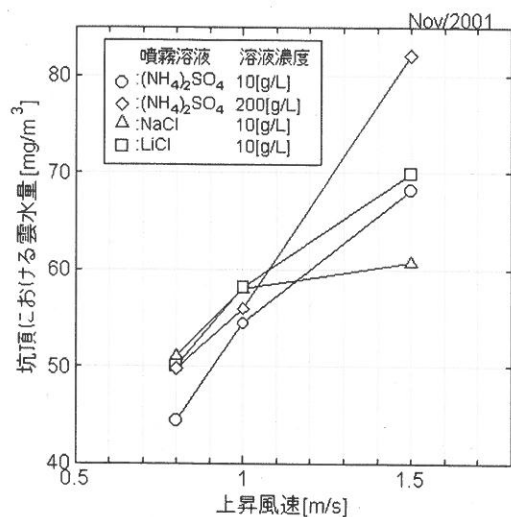


図7 雲水量と上昇風速の関係

なっているため増加しないと考えられる。

2001年に行われた観測より得られた立坑坑頂でサンプリングした雲水量と上昇風速の関係を図7に示す。2001年の観測では噴霧機材にはアキミストを使い液体を霧状にして噴霧し、立坑内へエアロゾルを供給している。噴霧する溶液の濃度により発生する雲水量が異なり、濃い溶液濃度ほど発生量が多いことがわかる。また、発生する雲水量と上昇風速はほぼ直線関係にあるが、噴霧溶液がNaClの場合では上昇風速1m/s以上では、ほとんど雲水量は増加せず他の溶液と異なる傾向を示している。上昇風速を大きくし凝結成長がより促進される条件としても、エアロゾル粒子の組成によって発生する雲水量の最大値が存在するということが考えられる。

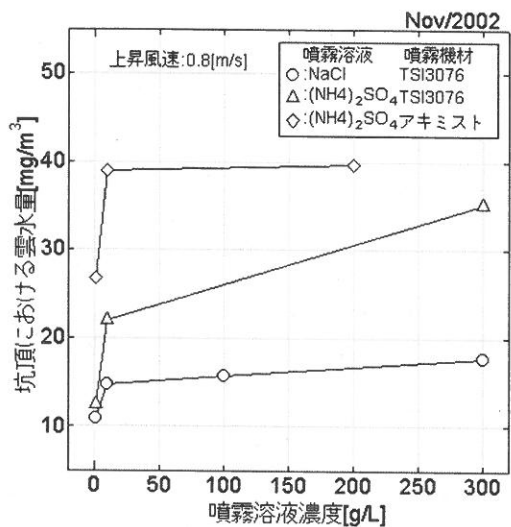


図8 雲水量と噴霧溶液濃度の関係

8 雲水量と噴霧溶液濃度の関係

2002年に行われた観測より得られた立坑坑頂でサンプリングした雲水量と坑底より噴霧した溶液濃度の関係を図8に示す。噴霧溶液が高濃度であるほど発生する雲水量も増加するがその関係は対数関数的であり、噴霧溶液の濃度を高くしていても発生する雲水量の増加率は低くなる。2002年の観測では噴霧機材にTSI3076(TSI社)とアキミストを使用している。立坑坑頂及び坑底で観測した噴霧機材別のエアロゾル数濃度の粒径分布図9に示す。坑底と坑頂を比較すると、坑底では $d > 2.0[\mu\text{m}]$ の小粒径のエアロゾル数濃度が高く、坑頂では、 $d < 2.0[\mu\text{m}]$ の大粒径の数濃度が高くなっており、坑内を上昇する間に小粒径から大粒径へ成長していることがわかる。大粒径多く、立坑坑頂流の増加による影響を大きく受け凝結成長が促進されること

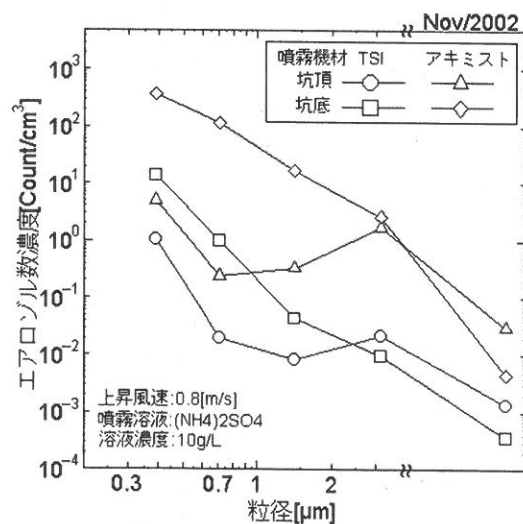


図9 立坑坑頂及び坑底の粒径分布

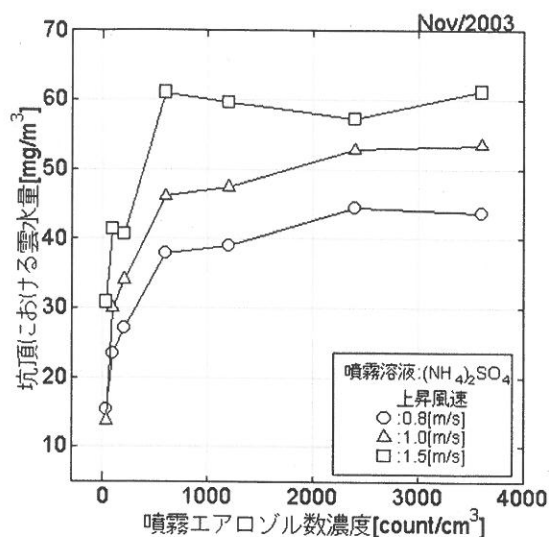


図 10 噴霧エアロゾル数濃度と雲水量の関係

がわかる。TSI3076 では噴霧時にインパクトを使用し大粒径のエアロゾル粒子を除去している。そのため、図 9 から明らかなように TSI3076 使用時には噴霧エアロゾル数濃度は少なく、アキミスト使用時のほうが発生する雲水量が多くなっている。

9 雲水量と噴霧エアロゾル数濃度の関係

2003 年に行われた観測より得られた立坑坑頂における雲水量と坑底より噴霧したエアロゾル数濃度の関係を図 10 に示す。2003 年の観測では、噴霧機材にジェットアトマイザ (TSI 社) を使用し、噴霧するエアロゾルの数濃度を制御しシリカゲル管を経由させ乾燥粒径 $0.05[\mu\text{m}]$ 以上の粒子を噴霧している。雲水量は噴霧したエアロゾル数濃度に対して溶液濃度と同様に対数関数的な傾向を示し、高濃度の噴霧エアロゾル数濃度になるにつれて雲水量の増加率は低くなる。これは、エアロゾル数濃度が高濃度になることでエアロゾル粒子一つあたりに凝結する水蒸気量が少なくなるためであると考えられる。

10 まとめ

本研究より得られた知見を示す。1) 上昇風速と発生する雲水量はほぼ直線関係にあるが、上昇風速を増加させ凝結成長がより促進される条件としても、エアロゾル粒子の組成によって発生する雲水量の最大値が存在する。2) 噴霧する溶液の濃度により発生する雲水量が異なり、溶液濃度が高いほど雲水の発生量が多くなる。3) 噴霧溶液が高濃度であるほど発生する雲水量も増加するがその関係は対数関数的であり、噴霧溶液を高濃度としても発生する雲水量の増

加率は低くなる。4) 雲水量は噴霧したエアロゾル数濃度に対して溶液濃度と同様に対数関数的な傾向を示す。エアロゾル数濃度が高濃度になることでエアロゾル粒子一つあたりに凝結する水蒸気量が少なくなり雲水となる大粒径への成長効率が低くなるためであると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 山田正：実スケールの雲物理実験と降雨モデルによる雲物理過程の考察，土木学会論文集，No.509，II-30，pp.1-13，1995.2.
- [2] 山田正：大気中のエアロゾルが降雨現象に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集，No.614，II-46，pp.1-20，1999.2.
- [3] Steven A. R. and Hobbs P. V. : The Mesoscale and Microscale and Microscale Structure and Organization of Clouds and Precipitation in Midlatitude Cyclones. VIII : A Model for the "Seeder-Feeder" Process in Warm-Frontal Rainbands , J. of Atmos. Sci., vol. 40, pp.1185-1206, 1983.
- [4] Kessler E. : On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulations, Meteorological Monographs, vol.10, No.32, 1969.
- [5] 松浦 正典，深和 岳人，稲毛 正昭，播磨屋敏夫，藤吉 康志，日比野 忠史，山田 正：長大立坑を利用した準実スケールでの雲物理実験（その 1），水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp.76-79，1992.
- [6] 杉山 知，松浦 正典，深和 岳人，稲毛 正昭，播磨屋敏夫，日比野 忠史，山田 正：長大立坑を利用した準実スケールでの雲物理実験（その 2），水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp.210-211，1993.
- [7] 松浦 正典，日比野 忠史，山田 正：雲物理実験と降雨の 1 次元および 2 次元数値計算，水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp.208-209，1993.