

上昇風速及びエアロゾルが雲粒の成長に与える影響

中央大学大学院 学生員 笹尾将登  
 中央大学大学院 学生員 土屋修一  
 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

著者らは従来から鉱山内にある長大立坑を用いた実スケール雲物理実験を行い、降雨現象の解明及び予測モデルの構築をする上で重要となる雲物理過程の詳細な現象を解明することを目的として実験を行っている。本研究でこれまでに得られた知見をふまえ、雲粒の成長過程の解明及び上昇風速・エアロゾルが雲粒子の成長過程に与える影響を検討する。

2. 実験方法

2.1. 雲物理実験施設の概要 図-1 は釜石立坑の概略図である。坑頂に設置した大型ファン2基により3通りの上昇風速を与え実験を行う。さらに坑底で溶液噴霧を行い、立坑内に流入する空気中のエアロゾル数濃度を増加させた。表-1 に 2003年、2004年に観測した高度と機材を示す。

2.2. 実験項目 2003年、2004年に行った実験条件の一覧をそれぞれ表-2、表-3に示す。溶液噴霧を行わない状態を Back Ground とする。

3. 粒子数濃度観測結果

3.1. 高度に伴う雲粒の成長過程 2004年に観測した粒径別の粒子数濃度の高度分布を図-2へ示す。d<5.0µmの粒子が上昇する過程で水蒸気を凝結し、d>5.0µmの粒子へ成長していく立坑内の空間的变化が観測された。図-2を高度別の粒子数濃度粒径分布として整理したものを図-3に示す。高度が高くなるに伴い大きい粒径の数濃度が増加していることが観測された。粒子が上昇する過程で大きく成長したといえる。

3.2 エアロゾル・上昇風速と粒子数濃度高度分布の関係 エアロゾル噴霧開始後、上昇風速増加後の粒径別の粒子数濃度高度変化(2004年)を図-4へ示す。エアロゾル噴霧開始後粒子数濃度は増加するが、d>0.5µmの粒子数濃度は減少する。90m地点では0.3<d<5.0µmの粒子数濃度が増加し、d>5.0µmの粒子数濃度は減少する。300m地点になるとd>1.0µmの粒子数濃度が増加し、0.3<d<1.0µmの粒子数濃度は減少する。特にd>5.0µmの粒子数濃度の増加は著しく、10倍以上になる。0.3<d<0.5µmの粒子数濃度は減少する。水滴が溶解性のエアロゾルを含むことで水蒸気圧が減少するラウール効果により、d>5.0µmの粒子への凝結成長を促進したと考えられる。上昇風速増加後、300m地点の0.5<d<2.0µmの粒子数濃度は減少し、d>2.0µmの粒子数濃度は上昇風速増加前の2倍以上に増加している。上昇風速を増加することで雲粒子の凝結成長をさらに促進したと考えられる。

3.3 上昇風速増加及びエアロゾル噴霧による高高度の粒子数濃度粒径分布への影響 坑底から400mの粒子数濃度の各粒径の時系列を図-5に示す。エアロゾル噴霧開始約10分後に粒子数濃度の変化が見られる。0.3<d<20µmの粒子は増加し、d>20µmの粒径は減少している。図-5を粒子数濃度粒径分布として整理したものを図-6に示す。d>20µm以上の粒子数濃度はエアロゾル噴霧により減少した。これは、エアロゾル噴霧により立坑内に供給された多量の小粒径の凝結成長に水蒸気が使われることによりd>20µmの大粒径への成長効率が低下したためだと考えられる。

4. 雲水量計測結果

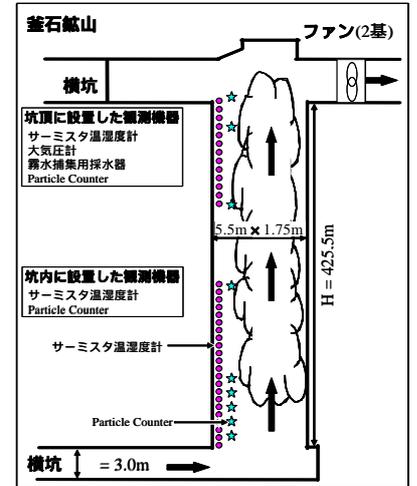


図-1 釜石鉱山立坑実験施設

表-1 観測機材一覧

|   | 2003年設置高度                  | 2004年設置高度                                     |
|---|----------------------------|---|
| Particle Counter kc-01 (0.3<d<10µmの粒子を観測) | 坑底, 18m, 32m, 53m, 74m, 坑頂 | 30m, 45m, 60m, 75m, 90m, 200m, 300m, 400m, 坑頂 |
| Particle Counter kc-20 (10<d<200µmの粒子を観測) | -                          | 400m, 坑頂                                      |
| サーミスタ温湿度計                                 | 坑底, 20m, 40m, 60m, 80m, 坑頂 | 坑底から200mまでの計38地点<br>300mから坑頂までの計13地点          |
| 霧水捕集用採水器                                  | 坑頂                         | 坑頂  |

表-3 実験条件一覧(2004年)

| EVENT | 噴霧溶質<br>エアロゾル数濃度 [ /cm³ ]                                     | 上昇風速<br>[m/s] |
|-------|---|---------------|
| 01    |   | 0.5           |
| 02    | Back Ground   | 0.7           |
| 03    |   | 1.1           |
| 04    |   | 0.5           |
| 05    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1200 [ /cm³ ] | 0.7           |
| 06    |   | 1.1           |
| 07    |   | 0.5           |
| 08    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2400 [ /cm³ ] | 0.7           |
| 09    |   | 1.1           |
| 10    |   | 0.5           |
| 11    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3000 [ /cm³ ] | 0.7           |
| 12    |   | 1.1           |
| 13    |   | 0.5           |
| 14    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4200 [ /cm³ ] | 0.7           |
| 15    |   | 1.1           |
| 16    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2400 [ /cm³ ] | 0.5           |
| 17    | NaCl 2400 [ /cm³ ]  | 0.7           |
| 18    |   | 1.1           |

表-2 実験条件一覧(2003年)

| EVENT | 噴霧溶質<br>エアロゾル数濃度 [ /cm³ ]                                     | 上昇風速<br>[m/s] |
|-------|---|---------------|
| 01    |   | 0.8           |
| 02    | Back Ground   | 1.0           |
| 03    |   | 1.5           |
| 04    |   | 0.8           |
| 05    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 [ /cm³ ]   | 1.0           |
| 06    |   | 1.5           |
| 07    |   | 0.8           |
| 08    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 90 [ /cm³ ]   | 1.0           |
| 09    |   | 1.5           |
| 10    |   | 0.8           |
| 11    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 200 [ /cm³ ]  | 1.0           |
| 12    |   | 1.5           |
| 13    |   | 0.8           |
| 14    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 600 [ /cm³ ]  | 1.0           |
| 15    |   | 1.5           |
| 16    |   | 0.8           |
| 17    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1200 [ /cm³ ] | 1.0           |
| 18    |   | 1.5           |
| 19    |   | 0.8           |
| 20    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2400 [ /cm³ ] | 1.0           |
| 21    |   | 1.5           |
| 22    | NaCl 2400 [ /cm³ ]  | 0.8           |
| 23    |   | 1.5           |
| 24    |   | 0.8           |
| 25    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3600 [ /cm³ ] | 1.0           |
| 26    |   | 1.5           |

キーワード：エアロゾル，降雨，雲物理

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

エアロゾル・上昇風速と坑頂で観測した雲水量の関係を図-8に示す。Back Ground のとき，上昇風速の増加とともに生成される雲水量は増加している。上昇風速の増加により上昇する空気塊の冷却効率が大きくなることで雲水量が増加したと考えられる。またエアロゾル噴霧時においても上昇風速の増加とともに雲水量も増加し，Back Ground よりも多量に雲水が生成されている。噴霧エアロゾル数がある値を超えると雲水量に大きく影響はない。エアロゾル数濃度の過多によって大気中の水蒸気が不足し，雲粒子が十分に凝結成長できないためと考えられる。この図においてそ図-2 粒子数濃度高度分布（2004）

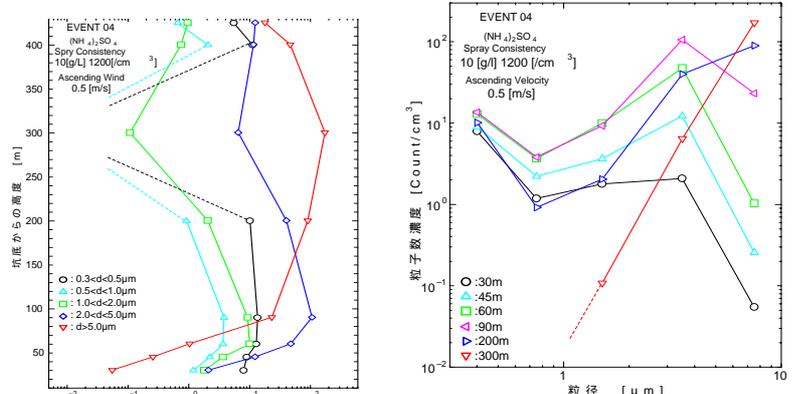


図-3 粒子数濃度粒径分布（2004）

それぞれの上昇風速で得られた雲水量は (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> のみを噴霧したときに比べ (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NaCl を混合し噴霧したときの方が多量である。またそれぞれの上昇風速で得られた雲水量は，(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を噴霧したときと分子量のより小さい NaCl を噴霧したときで大きな違いは見られない。エアロゾル数濃度はある値を超えると，分子量が小さいエアロゾルほど凝結量が大きいう過去の研究で得られた知見とは違い，(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NaCl が混合されたことによる溶液効果と考えられる。言い換えれば，人為起源のエアロゾルと海洋起源のエアロゾルが混合されることで起こる雲物理過程への影響といえる。

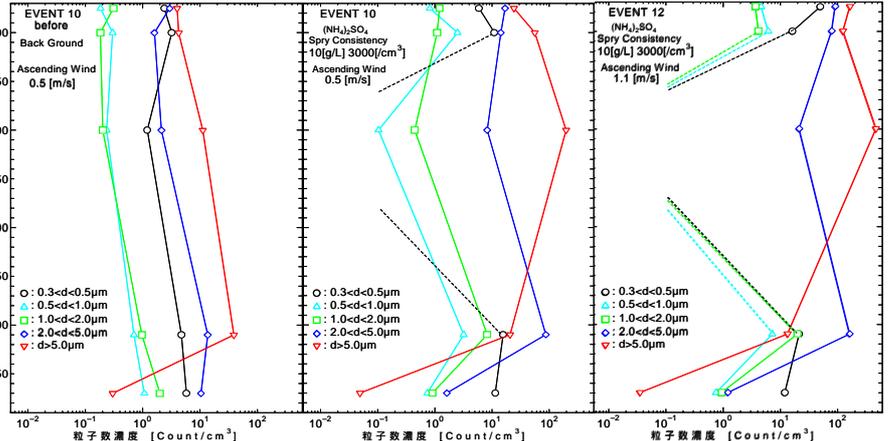


図-4 エアロゾル・上昇風速と粒子数濃度高度分布の関係（2004）

5. まとめ

- (1) 高度が高くなるに伴い大粒径の数濃度が増加する。
- (2) 高高度では，エアロゾル噴霧により  $d > 20\mu\text{m}$  以上の粒子数濃度は減少し，上昇風速の影響は粒径分布の極値より小粒径の粒子で顕著である。
- (3) 上昇風速増加，噴霧エアロゾル数増加により雲水量は増加するが，噴霧エアロゾル数が過多になると更に噴霧エアロゾル数を増加させたとしても雲水量は著しい増加はしない。
- (4) 噴霧エアロゾル溶質を (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NaCl を混合させることで雲水量は増加する。

参考文献: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, -30, pp.1-13, 1995.2.; 山田正ら: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, -46, pp.1-20, 1999.2.

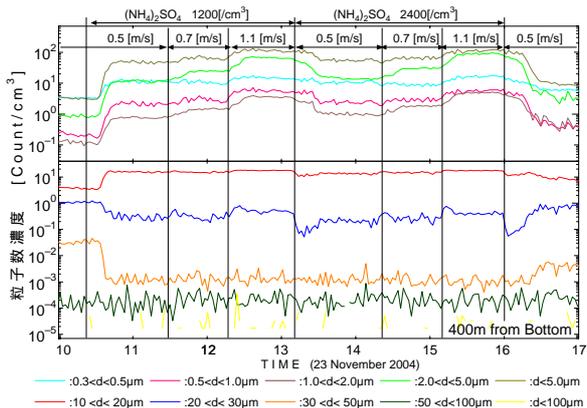


図-5 粒子数濃度の時系列（2004年，400m）

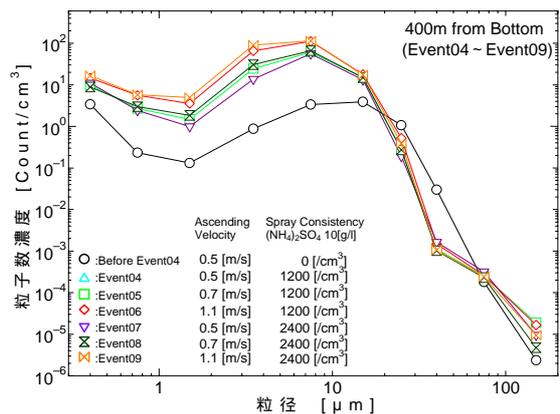


図-6 粒子数濃度粒径分布（2004年，400m）

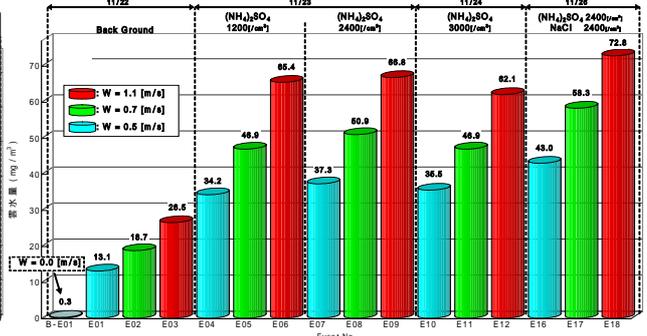
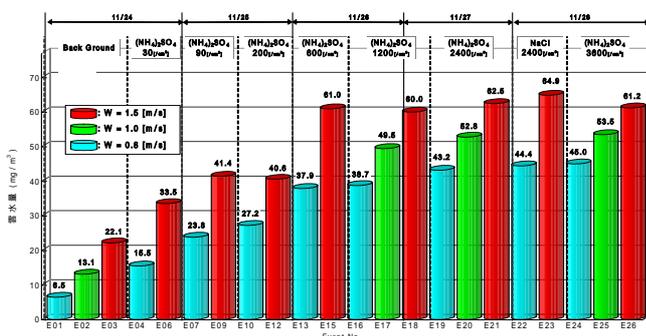


図-8 エアロゾル・上昇風速と雲水量の関係（ : 2003年, : 2004年）