

## (Ⅱ-71) エアロゾルが雲粒成長過程に及ぼす影響に関する実験的研究

中央大学大学院  
日本建設コンサルタント(株)  
中央大学理工学部

学生員 山口 将文  
正会員 板谷越 朋樹  
正会員 山田 正

1. はじめに 著者らは鉾山の立坑を利用して世界的に例の無い準実スケールの雲物理実験を過去8回行っている。実験でエアロゾルによって不飽和大気中においても雲が発生し得ることを明らかにした。上昇気流中での気温の高度変化を世界で初めて実験的に検証し、理論と対応可能な雲内外の温度の詳細な分布測定に成功する等、雲生成のメカニズムを明らかにした。<sup>1)2)</sup>本研究は立坑内の上昇風速に変化を与えた場合の実験結果より上昇風速が生成される雲水量に及ぼす影響の解明を目的とする。

2. 実験概要 実験は岩手県釜石鉾山の立坑で行なった。図-1に立坑雲物理実験施設の概略図を示す。立坑は全長約425[m]、立坑の上端に設置している大型ファン2基により速度の異なる3通りの上昇風を発生させ実験を行った。立坑下端では実験中に雲の発生し易い条件を作り出すとともに、立坑に流入するエアロゾルの成分により発生する雲水量を調べるために、人工的に溶液を噴霧し雲粒の核となるエアロゾル濃度を増加させた。表-1は実験で噴霧を行なった5つのcaseの溶質、溶液濃度と噴霧速度の一覧である。Case1, 2, 4は上昇風速を変化させた実験、Case3, 5は上昇風速を2.4[m/s]と一様に与え濃度の異なった溶液を噴霧した実験を行なった。実験では立坑の上端と下端の2地点に観測機材を設置して定点観測を行なった。観測には図-1に記した観測機材を用いた。

3-1. 雲水量の観測結果 図-2は立坑上端で観測した雲水量と上昇風速の時系列である。Case1~5以外の時間帯では溶液噴霧を行っていない背景とする。背景の雲水量は0.0~0.1[mg/m<sup>3</sup>]であったのに対し、溶液噴霧を行なったとき背景に比べてCase1は約80倍、Case2, 4は約200倍の雲水量を観測した。また上昇風速増加後、雲水量が増加している。Case1, 2, 4は上昇風速が一樣な条件では、雲水量はほぼ定常値が計測されたが、Case3, 5は溶液噴霧開始後、雲水量は最大約17.5[mg/m<sup>3</sup>]となった後、減少した。雲水量の減率は時間と共に小さくなり溶液噴霧を開始してから50分経過した時点で雲水量はほぼ定常値になった。

3-2. 立坑内の雲水成分 図-3は1995年度立坑実験において193m, 383m地点と奈良県大台ヶ原山頂付近の高度約1500mで採水した雲水のイオンの当量濃度である。高度193mにおける雲水は陽イオン、陰イオンともに約1800 $\mu$ eq/lであるが、383mで採水した雲水は陽イオン、陰イオンともに約600 $\mu$ eq/lに減少している。立坑下端で噴霧されたエアロゾルは上昇流により上方に運ばれる過程でH<sub>2</sub>O分子である水蒸気が凝結し、雲粒が生成される。水蒸気の凝結に従い雲粒のイオン濃度が減少したためと考えられる。実験中に高度383mで採水した雲水の結果と比較するとイオン当量濃度はどちらも約500 $\mu$ eq/lで、雲水中の成分の比率も似た傾向をしていることが分かる。これより立坑内の大気状態は自然大気の状態に近いといえる。

3-3. 雲水量と上昇風速 図-4は上昇風速と雲水量の関係図である。各Caseにおける上昇風速ごとに計測した雲水量の平均値と変動幅を示した。溶液噴霧を行わない背景においては雲水量は上昇風速の大きさに関わらず0.0~0.1[mg/cm<sup>3</sup>]と一様であった。Case2, 4は17.5[mg/cm<sup>3</sup>]以上の雲水量が発生し、上昇風速が2.4[m/s]のとき約19.5[mg/m<sup>3</sup>]の雲水量が観測された。Case1で発生した雲水量は10[mg/cm<sup>3</sup>]以下であった。しかし上記の3Case(Case1, 2, 3)は共に上昇風速を増加させると発生する雲水量も増加する傾向があることが分かる。亜硫酸水素ナトリウム

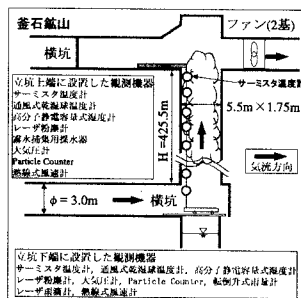


図-1. 釜石鉾山立坑実験施設  
表-1 噴霧溶液一覧

| Case  | 溶質                                              | 溶液濃度      | 噴霧速度         |
|-------|-------------------------------------------------|-----------|--------------|
| Case1 | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 10 [g/L]  | 1.33 [kg/hr] |
| Case2 | NaCl                                            | 10 [g/L]  | 1.07 [kg/hr] |
| Case3 | NaHSO <sub>3</sub>                              | 0.1 [g/L] | 1.08 [kg/hr] |
| Case4 | LiCl                                            | 10 [g/L]  | 0.85 [kg/hr] |
| Case5 | NaHSO <sub>3</sub>                              | 1 [g/L]   | 0.96 [kg/hr] |

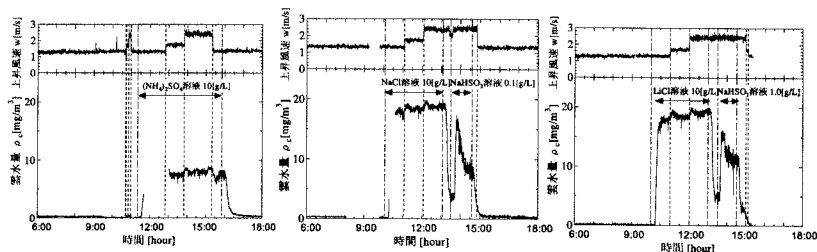


図-2 雲水量と上昇風速の時系列

[溶液噴霧を行わない場合雲水量は0.1[mg/m<sup>3</sup>]と少量であるが、溶液噴霧を行なうと雲水が発生している。]

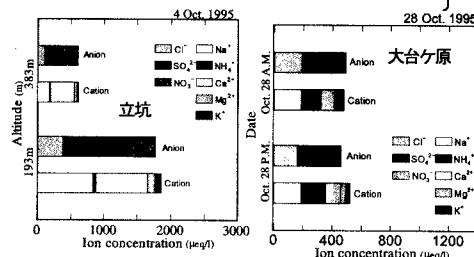


図-3 立坑内の自然大気において採水した雲水のイオンバランス

立坑上端(左)と奈良県大台ヶ原山頂(右)で採水したイオン濃度は自然大気とよく似ている。

キーワード: エアロゾル, 上昇風速, 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

を噴霧した Case3, 5 は発生直後の雲水量と定常値の差が  $10[\text{mg}/\text{m}^3]$  がある。

**3-3. 粒子の観測結果** 図-5 は Case4, 5 上端と下端の粒子数濃度の時系列である。上昇風速が  $1.3[\text{m}/\text{s}]$ ,  $1.7[\text{m}/\text{s}]$ ,  $2.4[\text{m}/\text{s}]$  と増加させると下端のエロゾル数濃度は減少している。上端では粒子数濃度の挙動は  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子、 $1.0[\mu\text{m}]$  以下の粒子の2つに大きく分ける事ができる。 $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子は数濃度が増加し、以下の粒子は減少する。Case5 における下端の粒子数濃度は噴霧開始直後に最大となるが、下端における  $2.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は溶液を噴霧したときも背景との差が見られない。上端で計測した  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒径を持つ粒子数濃度は Case4, 5 共に雲水量と挙動が類似している。

**3-4. 粒子の粒径分布** 図-2, 図-5 より雲水発生量とエアロゾルの挙動が似ていた。図-6 は Case4 における上昇風速別の粒子数濃度の平均値を粒径分布にしたものである。溶液を噴霧したとき下端における  $2.0[\mu\text{m}]$  以下の粒子数濃度は約 100 倍に増加している。上昇風速を増加させると下端のエロゾル数濃度は全粒径において数濃度が減少するのに対し、上端は粒径  $0.71[\mu\text{m}]$  程度の粒子数濃度に極小値、粒径  $3.2[\mu\text{m}]$  程度の数濃度に極大値を示す粒径分布となった。上昇風速が増加するにつれ上端の  $3.2[\mu\text{m}]$  程度の粒子数濃度が増加する。Case4 では上昇風速が  $1.4[\text{m}/\text{s}]$  から  $1.7[\text{m}/\text{s}]$  に増加したとき粒子数濃度は約 1.5 倍に、 $1.4[\text{m}/\text{s}]$  から  $1.7[\text{m}/\text{s}]$  に増加したとき粒子数濃度は約 2 倍に増加した。

から

1.7[m/s]

に増加したとき約

2 倍に増加した。

3-5. 上昇風速と粒子数濃度

図-7 は上昇風速に

変化を与

えた Case1, 2, 4 の上昇風速と上

端の全粒子数濃度の関係を表す。

計測した粒子の全数濃度は Case2, 3

では減少しているが、3Case 全てに

おいて上昇風速が増加するにつれ

$1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は増加

している。これより、上昇風速の増加

によって両粒径の粒子の成長が促

進されたといえる。

4. まとめ

1. 上昇風速が増加させると立坑上端の雲水量は増加する傾向があることが分かった。

2. 上昇風速を増加させたとき立坑上端で観測される粒子数濃度は  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は増加し、 $1.0[\mu\text{m}]$  以下の粒子数濃度は減少する傾向があることが分かった。

3. 人工的に粒子数濃度を増加させ雲が発生したとき、立坑下端の粒径分布は粒径の小さいほど数濃度が大きい傾向があったが、雲の発生が確認された立坑上端においては  $2.0[\mu\text{m}] \sim 5.0[\mu\text{m}]$  の数濃度が極大値を持つ粒径分布となった。また、立坑上端では上昇風速を増加させると全数濃度が減少するが  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は増加しているため小粒径の成長が上昇風速により促進されると考えられる。

謝辞：釜石鉱山様の多大な協力により行なわれた。ここに感謝の意を表します。

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

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, II-46, pp.1-20, 1999.2.

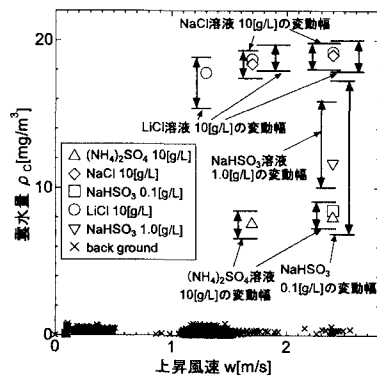


図-4 上昇風速と雲水量の関係

背景では上昇風速に関係なく約  $0.1[\text{g}/\text{L}]$  の雲の発生が観測された。case1, 2, 4 の溶液噴霧の条件下では上昇風速の増加に伴い雲水量が多少増加する結果となった。

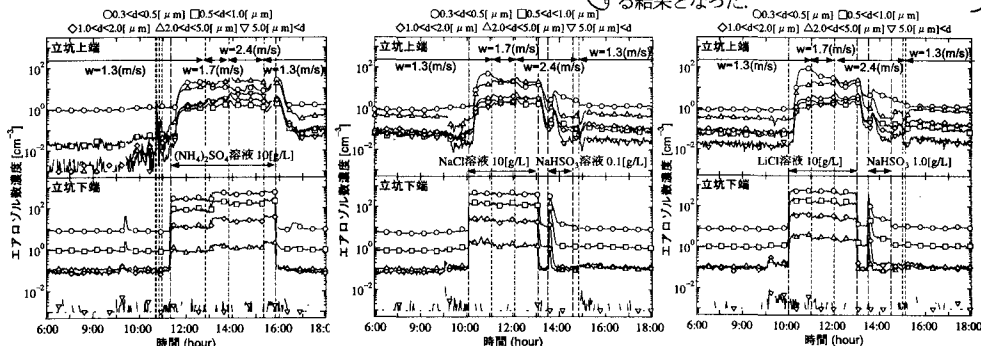


図-5 エアロゾル数濃度の時系列

[上昇風速の増加に伴い粒径  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は増加している。]

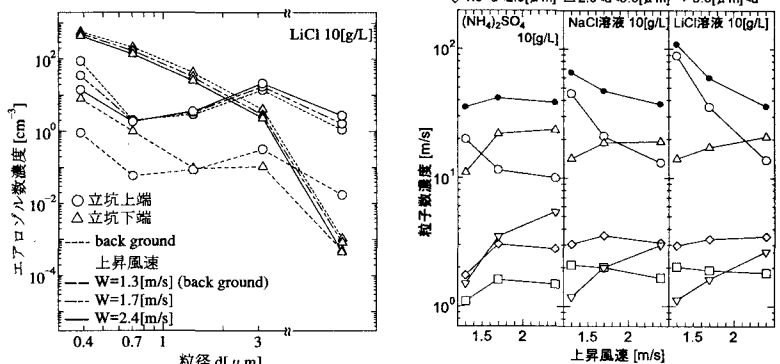


図-6 Case5 のエアロゾルの粒径分布

上昇風速を増加させると下端の数濃度は減少する傾向にあるが、上端では粒径が  $3.2[\mu\text{m}]$  程度の粒子数濃度が極大値を持つ粒径分布となる。

図-7 Case5 のエアロゾルの粒径分布

上端では上昇風速を増加させる case2, 4 において全数濃度が減少する。いずれの 3case においても  $1.0[\mu\text{m}]$  以上の粒子数濃度は増加している。