雲生成時に空間変化する雲粒の粒子数濃度

中央大学大学院	学生員	小田村	寸康幸	
中央大学理工学部	正会員	加藤	拓磨	
中央大学理工学部	フェロー会員	山田	正	

五洋建設株式会社	正会員	笹尾	将登
国土技術政策総合研究所	正会員	土屋	修一

1.はじめに

著者らは雲及び降雨形成の解明を目的とし鉱山内の立坑を利 用し、世界でも類をみない実スケール雲物理実験を行っている. この実験の主な利点は、気温、水蒸気量が一年を通して安定し ている条件下で実現象に近い時間空間スケールで雲の物理現象 を実測ができることである、本雲物理実験は1992年から2006 年までに計17回の実験を行っている.既往の実験では、坑内の 上昇風速、エアロゾル成分の濃度変化によって異なる大気条件 を想定した実験を行い、粒子数濃度と気温の鉛直分布が雲の生 成地点において高度変化することを明らかにしてきた、本研究 では、坑内における粒子数濃度の異なる実験条件が、雲生成時 における雲粒の粒子数の空間変化に与える影響について述べる.

2.実験概要

雲物理実験設備の概要図を図-1 に示す.雲物理実験設備は, 高さ430[m],幅5.5[m],奥行2.5[m]の立坑を用いた.立坑の 上部(立坑の坑底から430[m]地点,以後,坑頂と呼ぶ)に設置 した大型ファンを用い,坑内に上昇風速を発生させ,また立坑 の下部(以後,坑底と呼ぶ)からエアロゾルを噴霧することで, 坑内に人工的に雲を発生させ,実験を行っている.実験概要を 表-1に示す.

3.観測結果

(1)溶液噴霧前後の各高度における粒子数濃度変化 各高度で計測した粒径が 0.3 μm 以上の粒子数濃 度の時系列を図-2 に示す.坑底からの溶液噴霧は午 前10時から開始された.溶液噴霧の開始に伴い, 5m 地点から 77m 地点の計 8 地点において粒子数濃度 は減少し,410m 地点及び坑頂(430m 地点)におけ る粒子数濃度は増加した.また,上昇風速の増加に 伴い 5m地点から77m地点での粒子数濃度は減少し, 坑頂付近においては増加していることがわかる.ま た 噴霧終了時間である 16:00 以降の粒子数濃度は, 坑頂付近で噴霧開始前の粒子数濃度に戻っている一方, 5mから77m地点においては噴霧前に比べ約1/10に減少 している.溶液噴霧により過多になったエアロゾルが 水蒸気を奪い合い成長が抑制され,0.3µm以下のセン サーでは感知できない粒径の粒子数が増大し,0.3µm 以上の粒径の粒子数が減少しているため,総粒子数が 減少しているように表されていると考えられる. (2) 立坑内における粒子数濃度の鉛直分布

図-3は2003年(左側)と2005年(右側)の実験に おいて観測した粒径0.3µm以上の粒子数濃度の鉛直分 布を示す.2003年に着目すると,粒子数濃度は20~60m において増加し始める.粒子数濃度の増加は,小粒径 の粒子が0.3µm以上に凝結成長したためである.2005 年の実験における粒子数濃度の鉛直分布について,60m 付近において粒子数濃度の減少が見られる.2003年の



図-1 実験設備概要図

	2003年	2004年	2005年	2006年
particle counter kc-01d (リオン社製) (粒径0.3 <d<10μmの数濃度を計測)< td=""><td>坑底 , 18m , 32m , 53m , 74m , 坑頂</td><td>30m,45m,60m,75m, 90m,200m,300m, 400m,坑頂</td><td>5m , 15m , 26m , 36m , 46m , 56m , 67m , 77m , 410m , 坑頂</td><td>10m , 40m , 50m , 100m , 150m , 400m , 坑頂</td></d<10μmの数濃度を計測)<>	坑底 , 18m , 32m , 53m , 74m , 坑頂	30m,45m,60m,75m, 90m,200m,300m, 400m,坑頂	5m , 15m , 26m , 36m , 46m , 56m , 67m , 77m , 410m , 坑頂	10m , 40m , 50m , 100m , 150m , 400m , 坑頂
particle counter kc-12(リオン社製) (粒径0.3 <d<10 mの数濃度を計測)<="" td="" µ=""><td></td><td></td><td></td><td>移動観測で0~80m</td></d<10>				移動観測で0~80m
particle counter kc-20(リオン社製) (粒径10 <d<200µmの数濃度を計測)< td=""><td></td><td>400m , 坑頂</td><td></td><td>10m , 40m , 400m</td></d<200µmの数濃度を計測)<>		400m , 坑頂		10m , 40m , 400m
condensation particle counter 3007(TSI社製) (粒径0.01 <d<1.0 mの数濃度を計測)<="" td="" µ=""><td></td><td>30m , 60m</td><td>15m , 36m</td><td>移動観測で0~80m, 固定観測で400m</td></d<1.0>		30m , 60m	15m , 36m	移動観測で0~80m, 固定観測で400m
サーミスタ式温湿度計(ONSET社製)	坑底 , 20m , 40m , 60m , 80m , 坑頂	坑底から200m地点まで の計38地点,300mから 坑頂までの計13地点	坑底から90m地点までの 計25地点,130m地点か ら坑頂までの計31地点	130mから坑頂までの 計16地点
雲水サンブラー	坑頂	坑頂	坑頂	坑頂

表-1 実験概要一覧



実験からは見られない現象であることから、微弱な上昇風速が凝結効率を抑制しているものと考えられる.

キーワード:実スケ ル実験,雲物理,凝結成長

連絡先 〒112 8551 東京都文京区春日 1 13 27 中央大学理工学部 03 3817 1805 E mail:odamura@civil.chuo-u.ac.jp

(3) 雲底付近の粒子数濃度変化

図-4,5 は立坑内における粒子数濃度の鉛直分 布を示している.小型ゴンドラに粒子数濃度計を 設置し立坑内を 1m 間隔で計測した .溶液噴霧前後 共に坑底から15~25mにおいて粒径が0.5µm以上 の粒子数濃度が増加し始め,20~25m において雲 粒の粒径といわれている 5.0μm 以上が増加し始 めている.また粒径が 0.5~5.0µm, 溶液噴霧前 の粒径が 5.0µm 以上の粒子数濃度は高度上昇に 伴いある一定値になる傾向があるのに対し,粒径 が0.3~0.5µm,溶液噴霧後の5.0µm以上の粒子 数濃度は高度上昇に伴い増加している.飽和度付 近に達したエアロゾルが水蒸気と凝結し活性化す る粒子と、急激な水蒸気の相変化に伴う過飽和度 の低下により成長が停止したか,蒸発して小粒径 に戻った粒子が存在すると考えられる.0.01~ 1.0µmの粒子数濃度において,溶液を噴霧するこ とにより粒子数濃度が約10倍に増加している. 溶液噴霧前は坑底から 10m~30m において約 1800count/cm³から約1500count/cm³に減少してい る.粒子が過飽和層に到達し,凝結成長すること により小粒子が減少したものと考えられる.一方 溶液噴霧後は坑底から 20m までに粒子数濃度が約 22000count/cm³から約23000count/cm³に増加して いる.溶液噴霧により十分な粒子数が立坑内に供 給されていることがわかる.

(4)雲底付近の粒径分布

図-6,7は坑底から 60m までの粒径分布を示し ている.坑底から 10m~21m における粒径が 0.5 ~5.0µm の粒子数が高度上昇に伴い急激に増加 し,粒径が5.0µmの粒子数も坑底から 13m から増 加し始めている.高度上昇に伴う粒子数濃度の増 加は,付近に相対湿度が不飽和-飽和-過飽和へ と変化する層が存在し,相変化する水蒸気が小粒 子と凝結し粒径が成長しているものと考えられる. また,坑底から 30~60m では粒径が 0.3~0.7µm と5.0µmが増加し,粒径が 0.7~5.0µmの粒子数 が減少している.Kohlerの理論で示されている様 に粒子の溶質含有率や,過飽和度により活性化し た粒子と活性化せず過飽和度が減少した際に小粒 径に移行していく粒径があることを示している.

4.まとめ

本論文は雲物理現象を目的とし,雲粒数濃度の 鉛直構造特性,雲底付近の粒子数濃度変化の解釈 ついて述べた,雲底付近では雲粒が過飽和層にお



図-6 粒径分布(0m-30m)

図-7 粒径分布(31m-60m)

いて凝結成長・活性化し,大粒径へと成長していく過程を観測した.また生成された雲の粒径分布において,粒径が0.3µm~0.7µmと5.0µm以上に偏ることがわかった.これによりKohlerの理論による雲粒の溶液含有率と 過飽和度変化率が粒径の凝結速度に強く影響するということが証明された.

参考文献

山田正,池永均,松浦正,萬矢敦啓,志村光一: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

H. Kohler: The Nucleus in the Growth of Hygroscopic Droplets