

中央大学理工学部 学生員 萬矢 敦啓

中央大学理工学部 正員 池永 均 山田 正

中央大学大学院 学生員 松浦 直

北海道開発局 正員 斉藤 大作 坂 憲浩

1. はじめに 著者らは代表的な降雨モデルの一つであるSteven-Hobbsモデル¹⁾をエアロゾルの存在を考慮した降雨モデルに改良し、エアロゾルの種類と量が地上での降雨強度に与える影響を解明してきた²⁾。本研究は上述のモデルに対してエアロゾルの粒径分布をも考慮した降雨モデルに改良することにより、エアロゾルの粒径分布の違いが雲や降雨の形成に及ぼす効果を明らかにすることを目的としている。また著者らによる実スケールの雲物理実験の結果と本論文に示す改良降雨モデルの計算結果とを比較し本降雨モデルの精度を検討している。

2. エアロゾルの粒径分布 Fig. 1はJunge(1963)によるエアロゾルの典型的な粒径分布と、著者らが上砂川と釜石両立坑内で測定したエアロゾルの粒径分布を示したものである。釜石、上砂川、両立坑内のエアロゾルはJunge分布に近い分布を持つことがわかる。雲や降雨の形成には $d=10^{-2} \mu\text{m} \sim 10^1 \mu\text{m}$ の粒径範囲のエアロゾルが関与する³⁾ことから本研究では $d \geq 10^1 \mu\text{m}$ と $d \leq 10^{-1} \mu\text{m}$ の分布を補い、粒径分布を5つの離散値に代表させた計算を行った。

3. モデルの概要と計算条件 本モデルの雲物理過程を表1に、ケルビン効果(溶質効果)とラウール効果(曲率効果)を考慮した水蒸気の凝結項(PCOND)を表2に示す。表3は立坑内に発生する雲の再現計算に用いた境界条件、初期条件である。各条件には両立坑で実際に観測された値を用いている。エアロゾルの粒径分布としては、Case1~7(Fig. 2, 3)の分布を与えて計算を行った。

4. 実験立坑内における雲の再現計算の結果と考察 (1) 上砂川立坑: Fig. 4はエアロゾルの粒径分布をCase1~3まで変化させたときの気温の計算値と観測値の比較を示したものである。Case1, 2, 3と粒径 $d=0.02 \mu\text{m}$ のエアロゾルの数濃度が大きくなるほど雲の存在する高度490m以上での気温減率が減少し、Case3($N_0=2 \times 10^5$ 個(cm^{-3}))の計算結果は観測値とよく一致する。またSteven-Hobbsモデルの直線的な高度変化に対し、本改良モデルを用いた計算結果は曲線的に変化しており観測値の高度変化を適確に表現している。Fig. 5はこの時の雲水混合比の鉛直分布である。エアロゾル数濃度の高いCase3の雲水混合比はCase1, 2と比べて高く、この図より $d=0.02 \mu\text{m}$ の大きさのエアロゾル(イトケン粒子)の個数は雲水量の増加に有効に効くことがわかる。

(2) 釜石立坑: Fig. 6は釜石立坑の観測に対して同様の計算を行った結果である。エアロゾルの粒径分布はCase4~6(Fig. 2)を与えた。上砂川立坑におけるCase1~3の計算結果同様、粒径 $d=0.02 \mu\text{m}$ のエアロゾルの個数が多いほど高度100m以上における気温の減率は低下し、観測値に近くなることがわかる。Case6($N_0=2 \times 10^5$ 個(cm^{-3}))の計算値と観測値(●印)は等し

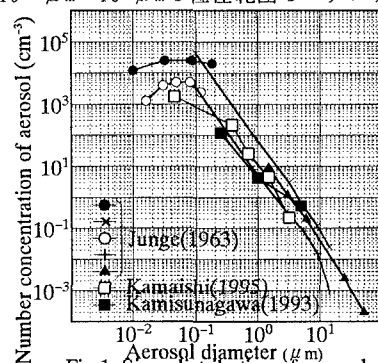


Fig.1 Size-distribution of aerosols

表1. 本改良モデルの雲物理過程図

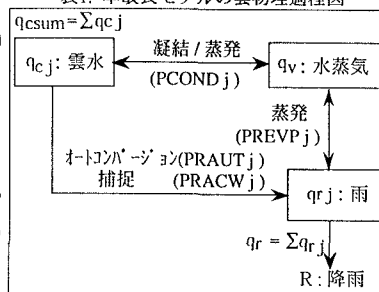


表2. エアロゾルを考慮したモデルの雲水の凝結・蒸発 (PCOND) 項

$$PCOND = \frac{dm}{dt} = \frac{4\pi N_0 \rho_w r^2}{rA} \left\{ \left(\frac{e}{e_0} - 1 \right) - \frac{3.6 \times 10^{-5}}{rT} + \frac{8.6M'}{r^3 M_N} \right\}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi \rho_w N_0}} \quad A = \frac{l^2 \rho_s}{R_w T^2 a} + \frac{\rho_s R_w T}{D e_0}$$

N_0 : 代表雲粒個数 (個/ cm^3), r : 雲粒の半径 (cm), ρ_w : 溶液 (滴) の密度 (g/cm^3)
 ρ_d : 乾燥大気密度 (g/cm^3), T : 温度 (K), M_N : 溶質の分子量
 e : 気圧 (mb), e_0 : 温度 T (K) における平らな水面に対する飽和蒸気圧 (mb)
 M' : 溶質の質量 (g), m : 雲水量 (g/cm^3), l : 潜熱量 (J/kg)
 ρ_s : 溶液の密度 (kg/m^3), D : 空気中における水蒸気の分子拡散係数 (m^2/s)
 a : 空気の温度拡散定数 (m^2/s), R_w : 気体の状態定数 (J/kg/K)

くならないものの、計算結果の気温の高度変化は全高度にわたり観測値の高度変化をよく表現しており、Fig. 4, 6より本モデルの妥当性が確認された。(3)エアロゾル数濃度が全粒径にわたり増加した場合：Fig. 7は

釜石立坑においてエアロゾルの数濃度を全粒径にわたり増加させた場合(Fig. 3, Case7)の立坑内に発生する雲水混合比の鉛直分布である。この図よりエアロゾルの数濃度が全粒径にわたって全体的に増加しても(Case. 7)雲水混合比の総和(qcsum)の鉛直分布はCase 4とほとんど変わらない。しかしCase4は粒径のいちばん小さいエアロゾル($d=0.02\mu\text{m}$)を核とする雲粒の雲水混合比(qc1)が雲水混合比の総和(qcsum)のほとんどを占めるのに対して、Case7はqc1がqcsumの2/3の量、2番目に粒径の小さいエアロゾル($d=0.045\mu\text{m}$)を核とする雲粒の雲水混合比(qc2)がqcsumのほぼ1/3を占める。Case 4, 7とともにそれ以外の粒径のエアロゾルを核とする雲粒の雲水混合比はほぼ零である。以上の結果とFig. 5の結果より雲水量を決定する大きな要因は大気中の全粒径のエアロゾル数濃度の総数ではなく、 $d=0.02\mu\text{m}$ 程度の粒径を持つエアロゾルの数濃度であることがわかる。

5. まとめ 1) エアロゾルの粒径分布を考慮することにより立坑内の雲物理現象を適確に再現できる。2) 雲の生成量を決定する大きな要因は大気中の全粒径にわたるエアロゾルの総数ではなく、 $d=0.02\mu\text{m}$ 程度の粒径を持つエアロゾルの個数である。

謝辞:本研究は三井石炭工業(株)釜石鉱山(株)の多大な協力より行われた。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献:1) Steven A. R. and Hobbs P. V. : Journal. Atmos. Sci., 40, 1185-1206, 1983.

2) Tadashi Yamada, et al, International Conference on Water Resources and Environment Research, Vol. 1. p. 197-204, 1996.

3) 磯野謙治 編著:大気汚染物質の動態, 東京大学出版会, 1979.

表3 計算条件

上砂川立坑 (700m) / 釜石立坑(427m)			
$\Delta t=0.005\text{s}, \Delta z=7\text{m}, k=5.0\text{m}^2/\text{s}$ (上砂)			
$\Delta t=0.005\text{s}, \Delta z=5\text{m}, k=5.0\text{m}^2/\text{s}$ (釜石)			
q_i	R.H.82.0%(上) R.H.97.0%(釜)	$\frac{\partial q_i}{\partial z}=0$	R.H.82.0%(上) R.H.97.0%(釜)
q_i	0.0(kg/kg)	$\frac{\partial q_i}{\partial z}=0$	$\frac{\partial q_i}{\partial z}=0$
q_i	0.0(kg/kg)	$\frac{\partial q_i}{\partial z}=0$	$\frac{\partial q_i}{\partial z}=0$
T	下端296.0K(上) 下端287.0K(釜)	$\frac{\partial T}{\partial z}=0$	初期値固定 R.H.82.0%(上) T.287.0K(釜)
標準大気の状態 0.66(K/100m)			

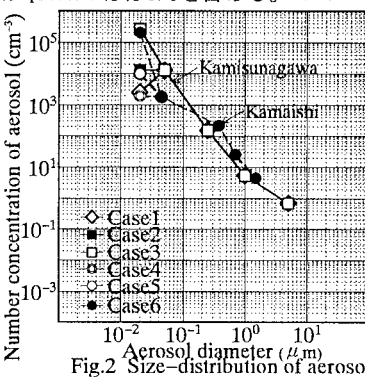


Fig.2 Size-distribution of aerosols

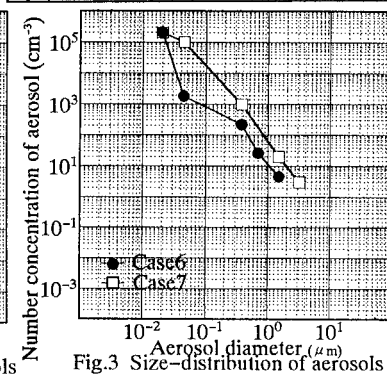


Fig.3 Size-distribution of aerosols

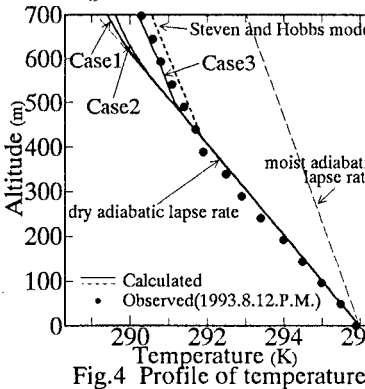


Fig.4 Profile of temperature

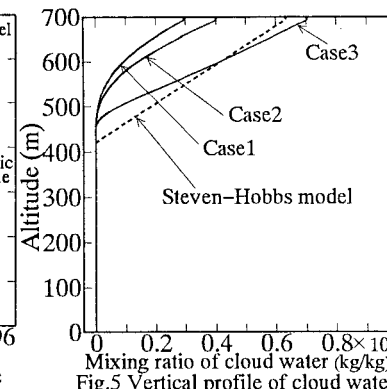


Fig.5 Vertical profile of cloud water

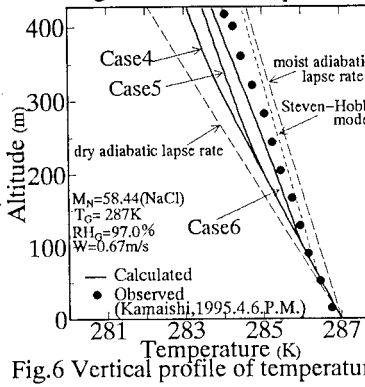


Fig.6 Vertical profile of temperature

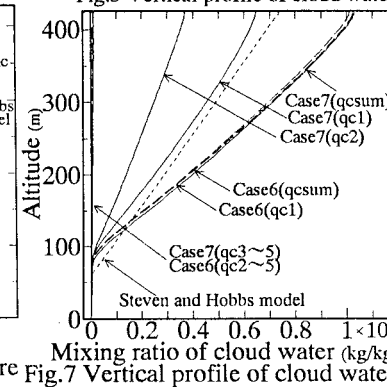


Fig.7 Vertical profile of cloud water