

エアロゾルが都市域の降雨に及ぼす影響に関する数値実験的研究

中央大学大学院 学生員○板谷越朋樹 株式会社間組 正会員 坂田 祐介
中央大学理工学部 正会員 志村 光一 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1.はじめに 著者らはこれまでに準実スケールの雲物理実験装置を用いてエアロゾルの成分と濃度を制御した雲の生成実験を行ってきた。本研究は都市域における大気のエアロゾル観測の結果から得た知見を踏まえて降雨の数値解析を行い、降水過程におけるエアロゾルの影響を明らかにすることを目的としている。

2.モデルの概要と計算条件 著者らはこれまでに Rutledge and Hobbs¹⁾の提案した降水モデルを基に、エアロゾルの存在を考慮したモデルへと改良を行い、実験結果との比較によりその妥当性を示してきた²⁾。表-1 に本モデルの基礎式を示す。解析には本モデルを用い、鉛直 2 次元の領域においてヒートアイランドを想定した熱的上昇風を与え、エアロゾルが都市域の降雨に与える影響を考察する。図-1 に示すように、解析領域は水平方向に 128km、鉛直方向に 10km の領域とし、中央部 32km 区間を都市域に見立て Gauss 分布で上昇流を鉛直一様に与えた。領域内には、鉛直一様に 10m/s の水平風を与えた。夏期を想定し、地表面の気温を 30℃、領域内に流入する大気は鉛直一様に相対湿度 100%を与えている。図-2 に Junge³⁾らによる世界各地のエ6アロゾルの粒径分布と著者らが中央大学理工学部屋上にて計測したエアロゾルの粒径分布を示す。本解析では大気中の数濃度が最も高く、雲の生成量を決定するとされる d 0.03 μm の粒子⁴⁾(NaCl)を代表させた。図-2 より都市域における大気中のエアロゾル数濃度(d 0.03 μm)は 100~1000cm⁻³と考えられる。

3.計算結果及び考察 図-3 は大気中に含まれるエアロゾル数濃度を 100~100000cm⁻³で変化させたときの、降雨強度の水平分布の変化を示している。エアロゾル数濃度が増加するに従い降雨強度も増加し、10000cm⁻³程度から降雨強度は一定となる。実大気のエアロゾルを 100~1000cm⁻³とすれば、エアロゾルが現状より増加するとより強い雨が降る可能性を示している。また、エアロゾル数濃度の増加に従い、降雨強度のピーク地点が上昇風の中心地点に近づく傾向にある。図-4 は都市域における上昇風を変化させた場合の降雨強度の水平分布を示す。上昇風が強くなるに従い、降雨強度は強くなる。図-5,6 に、エアロゾルを 100cm⁻³及び 1000cm⁻³、上昇風を 2m/s としたときの各地点における降雨強度の時系列を示す。風が吹き始めて

表-1 本モデルの基礎式

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} &= -w \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{S}{r_d} \\ (q: \text{混合比 } q_v, q_c, q_i, S: \text{発生項 } S_v, S_c, S_i) \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= -u \frac{\partial q}{\partial x} - (w + \bar{v}) \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{S}{r_d} \\ (q: q_s, q_r, S: S_s, S_r) \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= -w \left(\frac{\partial T}{\partial z} - \Gamma_d \right) + \frac{L}{C_p} S_h \\ (T: \text{気温}) \\ v: \text{vapor } c: \text{cloud } r: \text{rain } i: \text{ice} \end{aligned}$$

表-2 計算条件

$\Delta t = 10(\text{sec}), \Delta X = 500(\text{m}), \Delta Z = 100(\text{m})$						
q_v	I.C.	$R.H. = 100\%$	B.C. (上端)	$\frac{\partial q_v}{\partial Z} = 0$	B.C. (下端)	$R.H. = 100\%$
q_c		$0.0(\text{kg/kg})$		$\frac{\partial q_c}{\partial Z} = 0$		$\frac{\partial q_c}{\partial Z} = 0$
$q_{r,i}$		$0.0(\text{kg/kg})$		0.0		$\frac{\partial q_r}{\partial Z} = 0$
T		地表面($Z=0\text{m}$) 303.16(K) 標準大気の 断熱減率 $0.66(\text{K}/100\text{m})$		$\frac{\partial T}{\partial Z} = 0$		$\frac{\partial T}{\partial Z} = 0$
			初期値固定	初期値固定		
エアロゾル(NaCl):分子量(58.44)						

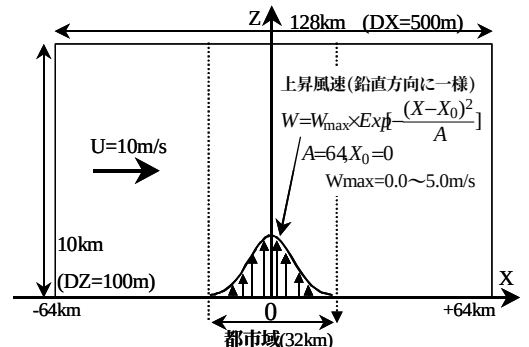


図-1 解析領域

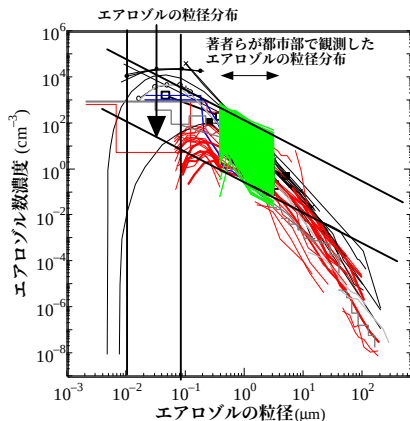


図-2 大気中のエアロゾル粒径分布

(大気中に d=0.03 μm の数濃度が 100~1000cm⁻³)

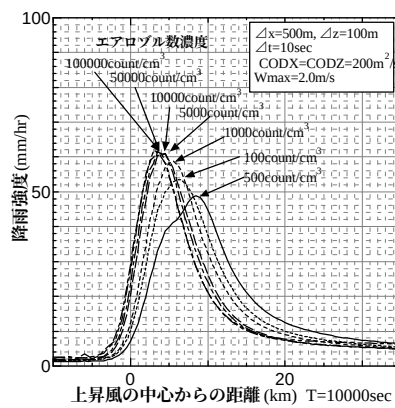


図-3 エアロゾル数の変化と降雨強度

(エアロゾルが増加すると降雨強度は強くなる)

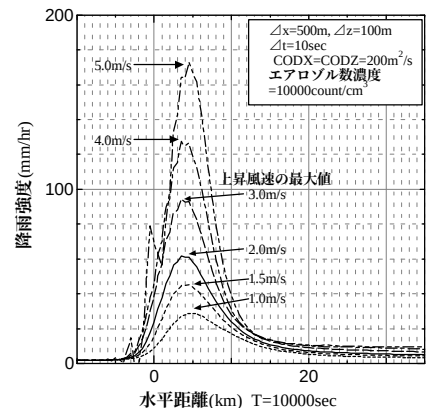


図-4 上昇風速の変化と降雨強度

(上昇風が強くなると降雨強度も強くなる)

キーワード: エアロゾル、降水モデル、雨水混合比、ヒートアイランド

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel.03-3817-1805 Fax.03-3817-1803

から、約 1000sec 後に降雨のオーバーシュートが見られる。約 300sec の周期で減衰振動し、 $t=5000\text{sec}$ で降雨強度はほぼ定常となる。このことより、雨の降り始めには定常的に降る降雨よりも強い降雨強度の雨が降る可能性を示している。図-7 にエアロゾル数濃度 10000cm^{-3} を与えたときの雨水混合比の鉛直分布のコンター図を示す。図-7 より雨粒子は、 $T=800\text{sec}$ 程度から上昇風の中心から 3km 程風下側の上空 4km 付近に生成され、時間の経過とともに上空で発達する。 $T=1000\text{sec}$ を超え

た頃に、この雨域が落下を始め、水平風に流されながら約 400sec 後に $X=7\text{km}$ 付近の地上に落下する。 $t=1800\text{sec}$ では、 $X=5\text{km}$ 地点の上空 2km 付近に強い雨域(以下雨域 A)が存在する。雨域 A は 300sec 後には地上に落下する。同時に $X=2\text{km}$ 地点の上空 3km 付近に次の雨域 (以下雨域 B) が形成される。地上の雨域 A が消滅しつつある $T=2200\text{sec}$ 頃には、上空の雨域 B も強くなり落下を始める。雨域 B も 300sec 後の $T=2400\text{sec}$ には地上に到達する。前述のように、地上降雨強度の振動周期が $T=300\text{sec}$ 程度であったが、図-7 における上空の雨域の形成・落下・消滅機構の周期により説明される。

4.まとめ 本研究による成果の要約を以下に示す。1)大気中のエアロゾル数濃度の増加に伴い、地上の降雨強度は増加するが、現在の東京都市部の濃度より 5~10 倍のエアロゾル数濃度(約 10000cm^{-3})以上になると降雨強度は一定値となる。2)上昇風が増加するにつれ、地上の降雨強度は強くなる。3)定常な風系下で生成される降雨は雨の降り始めにおいて降雨強度の強いピークがオーバーシュートし減衰振動しながら一定値に収束する。4)エアロゾルの増加に伴い、降雨強度の振幅も増加する。5)地上降雨強度は約 300sec の周期で振動する。これは上空に生成される雨域の発生・落下・消滅機構の 1 サイクル周期によるものである。

参考文献:1)Rutledge S.A. and P.V.Hobbs: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. VIII: A model for the “Seeder-Feeder” process in warm-frontal rainbands, Jour. Atmos. Sci., 40, pp.1185-1206, 1983. 2)山田正,池永均,松浦直,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. 3)Junge C.E.: Chemistry and Radioactivity, Academic Press, New York, N.Y. 1963. 4)山田正,池永均,松浦直,黒田正寿,萬矢敦啓: エアロゾルの種類とその粒径分布を考慮した降雨モデルに関する研究,水文水資源学会研究発表会要旨集, pp105-106, 1997.

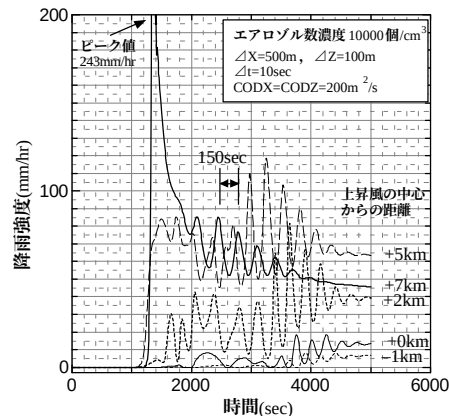


図-5 各地点の降雨強度の時系列
(1000sec で雨がオーバーシュートし、約 300sec の周期で減衰振動している)

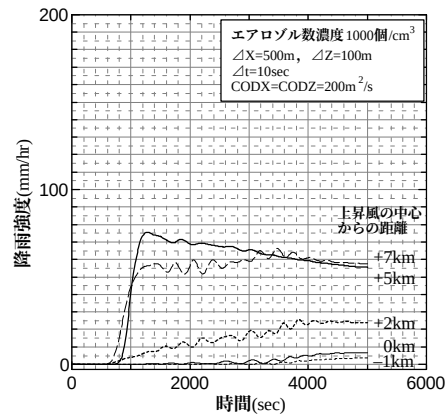


図-6 各地点の降雨強度の時系列
(エアロゾル数濃度が低いほど降雨郷土のピークや振動幅が小さくなる)

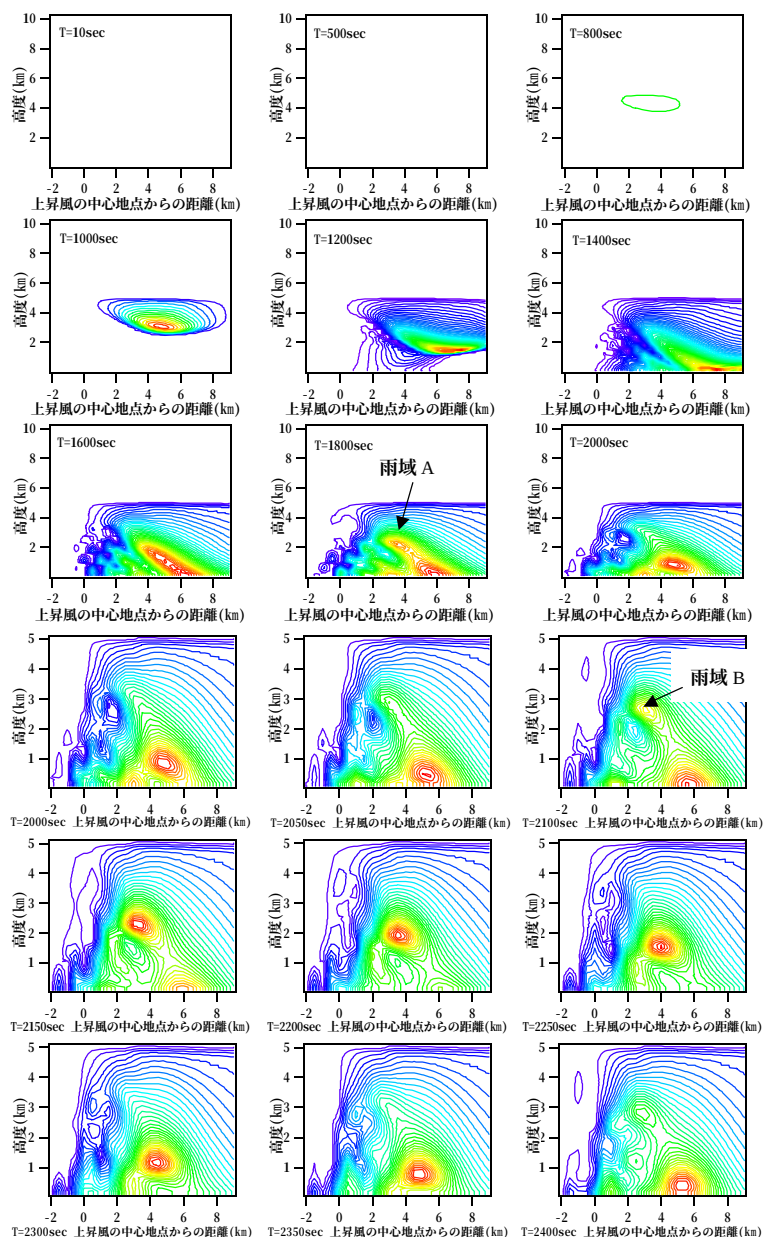


図-7 雨水混合比の空間分布の時間変化

($T=800\text{sec}$ で雨域が形成され始める。その後約 300sec の周期で発生・落下・消滅のサイクルを繰り返し減衰していく。)



を考慮した降雨モデルに関する研究,水文水資源学会研究発表会要旨集, pp105-106, 1997.