

NTT

正員 ○足立琢也

京都大学防災研究所 正員

中北英一

京都大学防災研究所 正員

岡田憲夫

京都大学防災研究所 正員

池淵周一

1 はじめに 防災および水管理の立場から、水循環をモデル化し、水文素過程間の長期的相互作用のメカニズムを解明することの必要性が提起されている。

中北ら<sup>1),2)</sup>は土壌水分量と降水系とのフィードバック機構の解明という目標に対する第1ステップとして地表面水蒸気フラックスを与件として層状性対流性降雨を大気モデル中で再現する数値実験を行ったが、境界層内での層状性降雨の発生という不自然な結果が算定された。その原因としては(1)湿潤な場に若干非現実的な強い水蒸気フラックスを与えたこと、(2)地表面付近の大気モデルの不備が挙げられる。

そこで、本研究では、上述の中北ら<sup>1),2)</sup>をベースに、その発展精密化という位置付けの下で(1)渦拡散、接地境界層モデルの導入、(2)現実的な地表面条件の導入、(3)都市域の熱環境をも対象とする条件設定、を行うことにより、都市の存在広域場での土壌の湿り具合→メソβ低気圧の発生→豪雨の発生、という流れをモデルによって表現することを試みる。

2 用いるモデルについて モデルは(1)接地境界層より上空の大気状態を表現するためのモデル(大気モデル)、(2)降水過程を表現するためのモデル(降水モデル)、(3)地表面状態の大気への伝播を表現する大気最下層のモデル(接地境界層モデル)の大きく3つにより構成される。さらに、境界層における地表の影響を受けた乱れの効果を表現できるよう大気モデル中の渦拡散係数に関するモデルも用いる。

具体的には、(1)には中北<sup>3)</sup>によって開発された3次元数値モデル、(2)にはKessler<sup>4)</sup>による暖かい雨のモデルおよびFritsch and Chappell<sup>5)</sup>による1次元積雲対流モデル、(3)にはMonin-Obukhovの相似則より導かれる地表面フラックスの算定式を用いる。さらに渦拡散係数の算定にはMellor and Yamada<sup>6)</sup>の乱流クロージャーモデルを用いる。

3 都市を設定したシミュレーション 近畿地方に豪雨がもたらされたときの総観スケールの場を用い、地形の存在しない400km×400kmの領域に関して計算

を行った。水平方向の格子点間隔は東西南北方向ともに20kmとし、鉛直方向には地表面を含めて28の格子点を取り上端は100hPa等圧面とした。

都市は夜間に周辺より高温になるため風速場の収束を引き起こす。それにより鉛直上昇流が発生すれば水蒸気が上空へ持ち上げられ凝結して雲を生成し降水に至るという過程が生じる可能性がある。本節ではこの過程をシミュレートすることを試みる。解析領域中心地点を都心と想定し、都心の地表面温位が2時間で1K上昇し、周辺の地表面温度もそれに準じて上昇する条件として時刻 $t$ の地表面温位 $\theta_S$ を

$$\theta_S(x, y, t) = \theta_{sinit}(x, y) + a(t) \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (1)$$

$$a(t) = 1[K] \frac{t}{120\text{min.}} \quad (2)$$

とした。 $\theta_{sinit}$ は温位の初期値、 $d$ は解析領域中心からの距離である。また、 $\sigma=25\text{km}$ とした。

図1に420分後の高度5000mにおける鉛直風速の水平分布を示す。鉛直上昇流が卓越する領域は暖められた都市上空の大気が上層の北西風によって移流してきた領域であり、周囲より高温となっているためメソβ低気圧となり、結果として風速場がやや収束状態となった領域であると考えられる。図2にその時点における鉛直上昇流が卓越する領域を南北に横切る鉛直断面内の雲粒混合比および降水強度の分布を示す。上層風によってこの領域に移流してきた雲粒が上述した上昇流の発生によりさらに上空に持ち上げられ、数十mm/hrという大きな降水強度を示す結果となっており、都市郊外の狭領域における集中豪雨の発生を示唆するものと考えることができる。

4 土壌水を考慮したシミュレーション 前節のような周辺に比して高温である領域が存在する代わりに地表面が周囲に比して湿った領域が存在する場合に前節と同様な降水過程が生じるかどうかを調査する。接地境界層モデルにおいて水蒸気フラックス算定に用いる蒸発効率 $\beta$ は0~1の値をとり、 $\beta=0$ とは

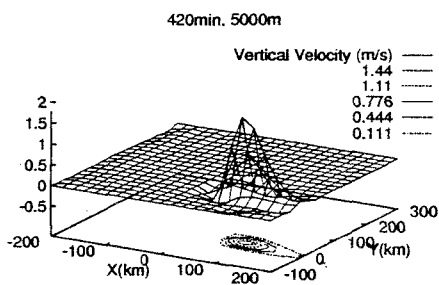


図1 鉛直風速の水平分布（都市の影響）

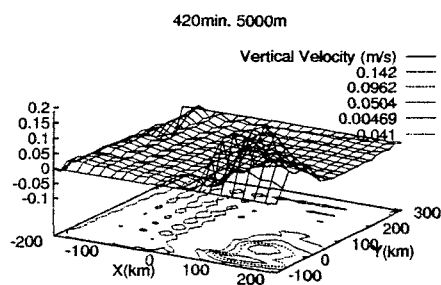


図3 鉛直風速の水平分布（土壌水の影響）

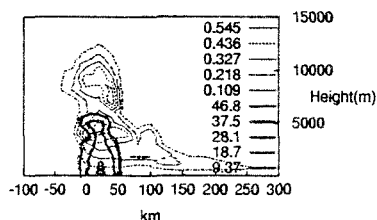


図2 鉛直断面内の雲粒混合比の分布（都市の影響）

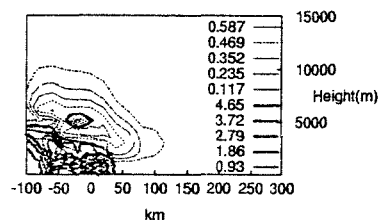


図4 鉛直断面内の雲粒混合比の分布（土壌水の影響）

蒸発量が0,  $\beta = 1$  とは大気が輸送可能なだけの水蒸気が地表から蒸発するという条件にそれぞれ相当する。地表面が湿潤であると想定する解析領域中心地点でこの $\beta$ が2時間で1にまで上昇し、周囲の $\beta$ もそれに準じて上昇する条件として、時刻 $t$ における $\beta$ を

$$\beta(x, y, t) = b(t) \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (3)$$

$$b(t) = \begin{cases} 1 \frac{t}{120 \text{ min.}} & t < 120 \text{ min.} \\ 1 & t \geq 120 \text{ min.} \end{cases} \quad (4)$$

と設定することにより地表面の湿り具合を設定した。

図3に420分後の高度5000mにおける鉛直風速の水平分布を、図4にその時点の解析領域中心より東120kmを通る鉛直断面内の雲粒混合比および降水強度の分布を示す。鉛直風、降水強度ともに前節のものより小さな値を示している。

本章で与えた初期の場が乾燥断熱過程において安定であるため、上層で生じた鉛直上昇流が伝播することによって上空に運ばれる下層大気は相対的に低温であり、結果として上層で生じている鉛直上昇流を打ち消す過程が生じ、雲粒の生成および成長を抑えることになったためであると考えられる。初期の

場が不安定である条件下では、メソ低気圧と不安定による浮力の相乗効果で前節と同様の大きな降水強度を示す結果となる可能性はある。

5 おわりに 以上により、都市および土壌水の影響により降水が十分生じ得ることの確認ができた。また、都市域、高土壌水域上空の昇温によりメソ低気圧が発生し上昇流が生じることをモデルによって表現することができた。さらに、土壌水の影響による降水強度は初期大気の安定度に強く依存することを考察することができた。

#### [参考文献]

- 1) 中北・足立・池淵(1994):京都大学防災研究所年報第37号B-2, pp.235-252.
- 2) 中北・足立・池淵(1994):水工学論文集第38巻,pp.25-32.
- 3) 中北(1990):京都大学博士論文.
- 4) Kessler (1969): *Meteorological Monographs*. Vol.10.
- 5) Fritsch and Chappell (1980): *J. Atmos. Sci.* Vol.37, pp.1722-1733.
- 6) Mellor and Yamada (1974): *J. Atmos. Sci.* Vol.31, pp.1791-1806.