II－2

レーダー雨量計による雨量の短時間予測

九州大学　工学部　　森山　聡之
九州大学　工学部　　平野　宗夫
九州大学　工学部　〇陣内　久雄

1.　まえがき

レーダ雨量計を用いた短時間降雨予測は、降雨の最小単位である降雨セルの寿命時間が20～40分程度であること，レーダ雨量計の観測範囲外からの移流予測ができないことから、数十分程度の予測が実用的であると思われる。しかし、災害をもたらす降雨は同一地域で数時間は継続することが多いので、場合によってはかなり長時間の予測も可能になると思われる。本論は、移流拡散モデルにカルマンフィルターを適用して、パラメータの同定と短時間降雨予測を試みたものである。

2.　移流拡散モデル

一般にレーダー反射強度$Z\,(mm^6/m^6)$，雨量強度$R\,(mm/hr)$及び雨滴濃度$C\,(mg/m^3)$の関係式は、Marshall-Palmer[1) によると　$Z=190R^{1.72}, C=80R^{0.83}$ で与えられる。雨滴濃度Cに関する物質保存の式は３次元空間において

$$\frac{\partial C}{\partial t}+U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}+W\frac{\partial C}{\partial z}=\lambda_0+\frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_z\frac{\partial C}{\partial z}\right) \tag{1}$$

ここにU,V,Wは、x,y及びz方向の平均速度、D_x,D_y,D_zは、x,y及びz方向の拡散係数、λ_0は雨滴の凝結・蒸発を表わす項である。上式は３次元モデルであるのでこれをレーダー雨量計情報に適用するため２次元モデルに変換し、次のようにおく。

$$\frac{\partial C}{\partial t}+U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}=\lambda_1C+\lambda_2+\frac{\partial D_x}{\partial x}\frac{\partial C}{\partial x}+D_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{\partial D_y}{\partial y}\frac{\partial C}{\partial y}+D_y\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \tag{2}$$

ここに、

$$\lambda_1C+\lambda_2=\lambda_0+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)-W\frac{\partial C}{\partial z}$$

拡散を無視し、$D_x=D_y=0$ とすれば、（2）式は（3）式のように移流モデルになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t}+U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}=\lambda_1C+\lambda_2 \tag{3}$$

また、$\partial D_x/\partial x=0, \partial D_y/\partial y=0$とすれば、（2）式は（4）式のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t}+U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}=\lambda_1C+\lambda_2+D_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+D_y\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \tag{4}$$

以上の（2）式～（4）式にカルマンフィルターを適用する。以下、観測方程式が（3）式の場合をモデル１，観測方程式が（4）式の場合をモデル２，観測方程式が（2）式の場合をモデル３と称する。モデル３のパラメータは、$U,V,\lambda_1,\lambda_2,D_x,D_y,\partial D_x/\partial x,\partial D_y/\partial y$ の８個である。

3.　パラメータの同定結果

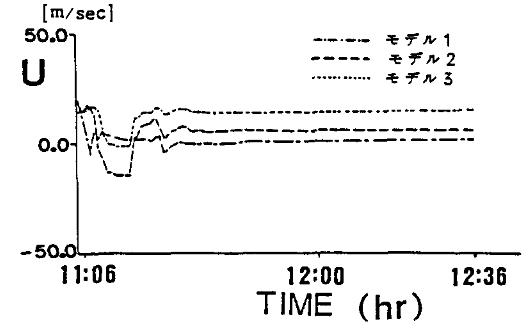
九大レーダで観測された、1982年7月20日午前10時37分から午後12時36分までの雨滴濃度

$C(mg/m^3)$を入力とし、tの分割幅$\Delta t=1$分，xびyの分割幅$\Delta x=\Delta y=1km$として最適パラメータを同定した。$U, \partial D_x/\partial x$の同定結果を図1，図2に示す。各パラメータとも降雨の急激な増加期を除けば安定しているようである。図1において、モデル2によるパラメータUの値とモデル3によるパラメータUの値を比較すると、Uの値はモデル2による場合よりもモデル3による場合の方が増加している。その増加分が図2におけるパラメータ$\partial D_x/\partial x$になっている。Vと$\partial D_y/\partial y$も同様であった。つまり（2）式は

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\left(U-\frac{\partial D_x}{\partial x}\right)\frac{\partial C}{\partial x}+\left(V-\frac{\partial D_y}{\partial y}\right)\frac{\partial C}{\partial y}=\lambda_1 C+\lambda_2+D_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+D_y\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

と考えれば（4）式と等価である。

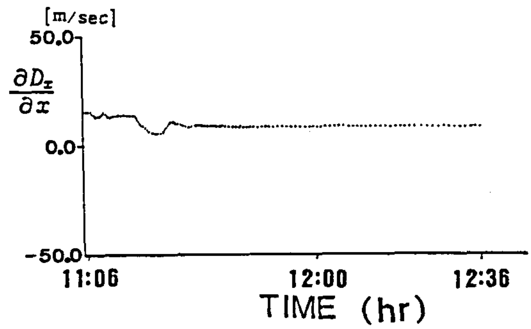
これは、物理情報を正確に把握するには拡散係数や拡散係数の空間変動を考慮に入れる必要があることを示している。つまり、拡散係数や拡散係数の空間変動を考慮に入れなければ、その分がU, Vなどの他のパラメータに皺寄せされてしまうことがわかる。



図－1　最適推定値U

4．　雨滴濃度Cの予測結果

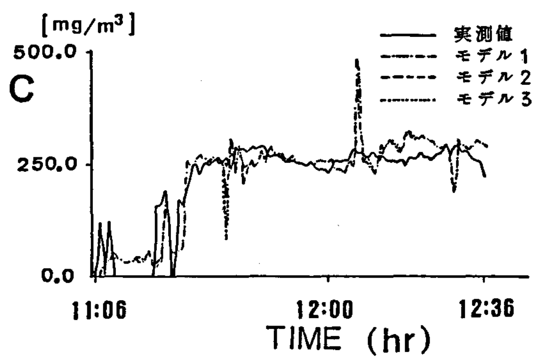
予測時間$\Delta t=30$分、空間方向の分割幅$\Delta x=\Delta y=30Km$としたときの、30分先の各モデルによる予測結果を図3に示す。図からも明らかなようにモデル1よりはモデル2，モデル3の方が予測精度は向上している。しかし、モデル2とモデル3の予測結果にはほとんど差異が見られない。これは3．で示したようにモデル2とモデル3は全体として等価なモデルであることを考えれば妥当な結果であるといえる。



図－2　最適推定値$\frac{\partial D_x}{\partial x}$

6．結論

レーダー雨量計情報により数十分先の降雨予測が可能であり、予測精度は拡散成分を導入した方が向上することが分かった。また、物理現象を正確に把握するには移流成分だけでは不十分であり、拡散項を考慮することが必要である。



図－3　雨滴濃度C（30分予測）

謝辞

降雨エコーデータは九州大学農学部農業気象研究室より快く提供して頂いた。厚くお礼を述べる次第である。

参考文献

1）J.S.Marshall, W.M.Palmer:The distribution of raindrops with size: The Journal of Meteology（1948）