

レーダー雨量情報を用いた短時間降雨予測について(第二報)

九州大学工学部 森 山 聡 之
九州大学大学院○原 浩
九州大学大学院 山 下 三 平

1. まえがき

降雨予測が、集中豪雨による災害を防止・軽減する上で重要なファクターであることは言うまでもない。広い範囲にわたって連続的に降雨現象を捉えることが出来るレーダー雨量計の導入により数十分程度先の降雨予測が可能であり、レーダー雨量計は現象が短時間に起こる土石流等の災害発生の予測には利用できるとであろう。

前報では、物流拡散モデルに最小自乗法を適用し、物理量を表わすパラメタを得ることができた。しかし、時系列に対して1ステップ毎にパラメタを求めなおしたため、時間方向にパラメタが敏感になり、予測計算においては発散の原因になっていた。本報ではカルマンフィルターを用いて時間方向にフィルタリングを行ない15分先の降雨予測を行なった。なお、今回使用したデータは、本大学農学部において1982年7月20日午前10時37分から午後12時32分まで観測されたものである。図1はレーダーの観測範囲を示したものである。

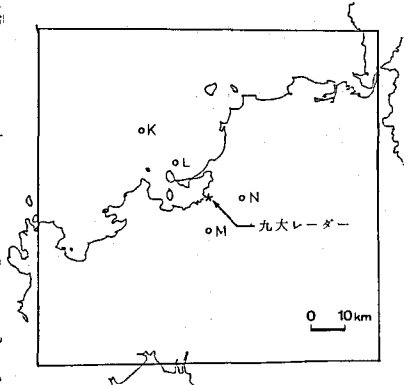


図1 レーダー観測範囲

2. 計算式

一般にレーダー反射因子 Z (mm^6/m^3), 雨量強度 R (mm/h) 及び雨滴濃度 C (mg/m^3) の関係式は、Marshall-Palmer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、2次元空間において

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \lambda C \quad (1)$$

ここに、 U , V は x , y 方向の平均流速であり、 D_x , D_y は x , y 方向の拡散係数である。 λ は、雨滴の凝結を表わす係数である。

各パラメタの同定及び降雨予測にはカルマンフィルターを用いる。

カルマンフィルターの計算式

$$\text{システム方程式} \quad x(k+1) = \Phi \cdot x(k) + u(k+1)$$

$$\text{観測方程式} \quad y(k+1) = H \cdot x(k+1) + w(k+1)$$

ここに、 x は状態量ベクトル、 Φ は時間ステップ k から $k+1$ ステップへの遷移時の遷移行列、 y は観測量ベクトル、 H は状態の変化を表わす観測行列、 u , w は誤差ベクトルである。

ある点ある時刻における雨滴濃度 C と $C(x, y, k)$ として(1)式の各項の差分をとり離散表示すると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{C(x, y, k+\Delta t) - C(x, y, k)}{\Delta t}, & \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} &= \frac{C(x+\Delta x, y, k) - 2C(x, y, k) + C(x-\Delta x, y, k)}{(\Delta x)^2} \\ \frac{\partial C}{\partial x} &= \frac{C(x+\Delta x, y, k) - C(x-\Delta x, y, k)}{2\Delta x}, & \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} &= \frac{C(x, y+\Delta y, k) - 2C(x, y, k) + C(x, y-\Delta y, k)}{(\Delta y)^2} \\ \frac{\partial C}{\partial y} &= \frac{C(x, y+\Delta y, k) - C(x, y-\Delta y, k)}{2\Delta y} \end{aligned}$$

これらを(1)式に代入して整理すれば次式のようになる。

$$C(x, y, k+\Delta t) = C(x, y, k) \cdot \lambda + \left\{ [C(x+\Delta x, y, k) - 2C(x, y, k) + C(x-\Delta x, y, k)] \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \right\} \cdot D_x$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ \{ C(x, y + \Delta y, k) - 2C(x, y, k) + C(x, y - \Delta y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta y)^2} \right\} \cdot D_y \\
& + \left\{ \{ -C(x + \Delta x, y, k) + C(x - \Delta x, y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{2\Delta x} \right\} \cdot U \\
& + \left\{ \{ -C(x, y + \Delta y, k) + C(x, y - \Delta y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{2\Delta y} \right\} \cdot V
\end{aligned} \quad (2)$$

ここに Δx (km), Δy (km), Δt (分) は, x , y 及び t の分割幅であり, $\lambda' = \lambda \cdot \Delta t + 1$ である。

(2) 式を観測方程式としてカルマンフィルタ理論を適用する。即ち、観測方程式を (2) 式とすれば、

$$X = [\lambda', D_x, D_y, U, V]^T, \quad y = C$$

$$H = \begin{bmatrix} C(x, y, k) \\ \{ C(x + \Delta x, y, k) - 2C(x, y, k) + C(x - \Delta x, y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \\ \{ C(x, y + \Delta y, k) - 2C(x, y, k) + C(x, y - \Delta y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta y)^2} \\ \{ -C(x + \Delta x, y, k) + C(x - \Delta x, y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{2\Delta x} \\ \{ -C(x, y + \Delta y, k) + C(x, y - \Delta y, k) \} \cdot \frac{\Delta t}{2\Delta y} \end{bmatrix}$$

3. 雨滴濃度 C の予測結果

10時37分から12時32分までの雨滴濃度 C (mg/m³) を入力として、最適パラメータを状態変数として同定した。(2) 式において $\Delta x = 10$ km, $\Delta y = 10$ km, $\Delta t = 10$ 分として10分先, $\Delta x = 15$ km, $\Delta y = 15$ km, $\Delta t = 15$ 分として15分先の雨滴濃度 C を予測した。図2～図5は、図1に示す K, L, M, N の四地点の雨滴濃度 C の予測結果である。いずれの例とも予測時間が長くなるにつれて誤差が大きくなるものの予測結果は良好な様である。

~~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。又、カルマンフィルタによる計算に際しては九州大学工学部上水研河村明氏に有益な助言を受けた。各位に厚く御礼を述べる次第である。

(参考文献) 森小ら：土木学会西部支部研究発表会講演概要集 p.264～p.265 (1985・2)

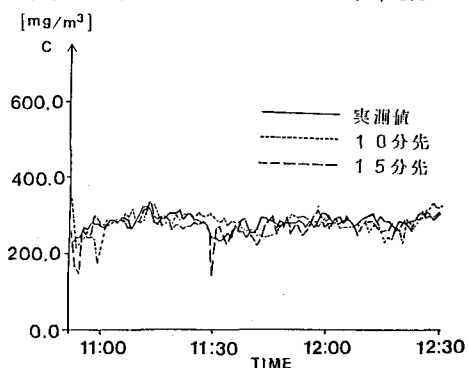


図2 雨滴濃度 C の実測値と予測値

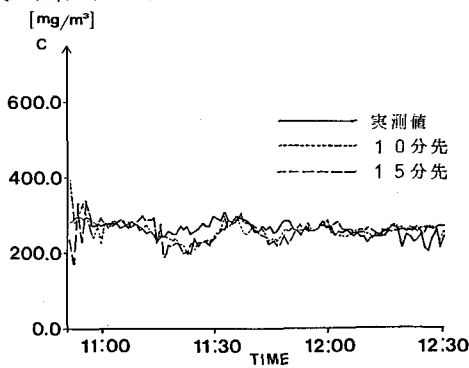


図3 雨滴濃度 C の実測値と予測値

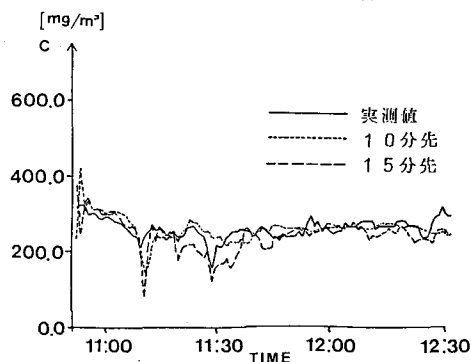


図4 雨滴濃度 C の実測値と予測値

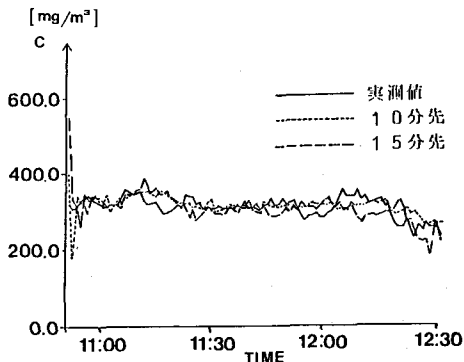


図5 雨滴濃度 C の実測値と予測値