

京都大学大学院 学生員 中北 英一  
 京都大学工学部 正 員 高 棹 琢馬  
 京都大学工学部 正 員 椎 葉 充晴

### 1. 概要

本研究では、レーダー雨量計により得られた降雨データを用いて降雨パターンの特性を把握し、それを基礎にしてレーダー雨量計のデータのみに基づく短時間降雨予測（3時間程度まで）の手法を提案し、その適用例を示す。

### 2. 降雨予測手法の整理

水平面上に設定された直交座標系を  $x, y$  とし、地点  $(x, y)$  の時刻  $t$  での降雨強度を  $z(x, y, t)$  とする。 $x, y$  軸に垂直に  $z$  軸をとったとき、 $z = z(x, y, t)$  は時刻を固定すれば一つの曲面を表わす。この曲面を降雨強度面とよぶ。短時間降雨予測においては、この降雨強度面の動きとその発達・減衰を量的かつ迅速に予測することが課題となる。

降雨強度の変化は一般に移流を伴うものと考えられ、その最も簡単なモデルは (1) 式で与えられる。ただし、 $U, V, W$  は一般に  $x, y, z, t$  の関数と考える。(1) 式の解は、(2) 式の特性基礎曲線上で (3) 式を満たす。この形で、 $U, V, W$  に特別な条件を課すことにより種々の予測手法が考えられる。(4) 式は平行移動法に対応し、この条件のもとで、(5) 式は発達・減衰を考えない場合、(6) 式は地形による発達・減衰を考える場合、(7) 式はエコー自身の発達減衰を考える場合にそれぞれ相当する。また、(8) 式には変形テンソル法が対応する。本研究で提案する“重みつき相関法”は (9) 式で表わされる。

### 3. 重みつき相関法

(9) 式を (1) 式に代入し、さらに時刻について離散化して考えると (10) 式が得られる。以下、 $u^*, v^*, a, b$  の決定法を述べる。

$(u^*, v^*)$  を移流ベクトルとよび、次のように決定する。本手法では対象領域を図 1 のようなメッシュに区切り、左端から数えて  $i$  列目、下端から数えて  $j$  行目のメッシュを  $(i, j)$  と表わす。さらに、 $(u^*, v^*)$  を求めたいメッシュを  $(i_p, j_p)$  とし、 $z(i, j, 0), z(i, j, -1)$  を各々メッシュ  $(i, j)$  の時刻 0 と -1 での降雨強度とする。そこで、時刻 -1 の降雨強度面を  $x$  方向に  $u$  列、 $y$  方向に  $v$  行移動させ、時刻 0 の降雨強度面との対応関係を (12) 式で定義する重みつき相関係数  $R(u, v)$  で評価し、最大の  $R(u, v)$  を与える  $(u, v)$  を移流ベクトル  $(u^*, v^*)$  とする。ここでは、 $(u, v)$  だけ平行移動したときに重なるメッシュについてのみ降雨強度の対応を考えるので、はこの重なるメッシュに関する和である。また、 $(i_p, j_p)$  付近での降雨強度面の対応を重視することから (11) 式のような  $(i_p, j_p)$  中心の重みを用いることにする。 $a, b$  としては (15) 式を最小にする  $a^*, b^*$  を用いる。これは (15) 式を  $a, b$  で偏微分し 0 と等値して (16) 式で与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial t} + U \frac{\partial z}{\partial x} + V \frac{\partial z}{\partial y} &= W \quad (1) \\ \frac{dx}{dt} = U, \quad \frac{dy}{dt} = V, \quad \frac{dz}{dt} = W \quad (2) \\ U = U_0(\text{const.}), \quad V = V_0(\text{const.}) \quad (4) \\ W &= 0 \quad (5) \\ W &= W(x, y) \quad (6) \\ W &= W(x - U_0 t, y - V_0 t) \quad (7) \\ U, V, W &: \text{linear function of } x, y, z \quad (8) \\ U &= U(x, y), \quad V = V(x, y), \quad W = A(x, y)z + B(x, y) \quad (9) \\ z(x, y, k) &= a(x, y)z(x - u^*(x, y), y - v^*(x, y), k-1) + b(x, y) \quad (10) \\ W_{ij}^* &= \exp(-\lambda((i-i_p)^2 + (j-j_p)^2)) \quad (11) \\ W_{ij} &= W_{ij}^* / \sum_{i,j} W_{ij}^* \\ R(u, v) &= \frac{\sum_{i,j} W_{ij} z(i+ku, j+kv, k)}{\sum_{i,j} W_{ij} z(i, j, k)} \quad (k=0, 1) \quad (12) \\ z_k &= \sum_{i,j} W_{ij} z(i+ku, j+kv, k) \quad (k=0, 1) \quad (13) \\ S_{k,m} &= \sum_{i,j} W_{ij} (z(i+ku, j+kv, k) - \bar{z}_k) \times (z(i+mu, j+mv, m) - \bar{z}_m) \quad (k, m=0, -1) \quad (14) \\ J &= \sum_{i,j} W_{ij} (z(i, j, 0) - az(i - u^*, j - v^*, -1) - b)^2 \quad (15) \\ a^* &= \frac{S_{-1,0}}{S_{-1,-1}}, \quad b^* = \frac{z_{0,-1} - \bar{z}_{-1,0}}{S_{-1,-1}} \quad (16) \end{aligned}$$

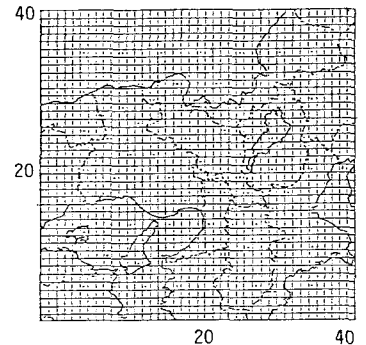


図 1 正方形メッシュ

( $\hat{u}^*$ ,  $\hat{v}^*$ ),  $a$ ,  $b$  はあらかじめ設定しておいた基準点だけについて求め、その他のメッシュについては基準点を頂点とした三角形の3つの頂点の値より位置の一次関数として求める。ところで、(10)式では、移流ベクトルは降雨強度面がどこから移って来たのかを表わすもので、どこへ移って行くのかを表わすものではないことになり、地形重視の考え方となる。

#### 4. 適用結果

重みつき相関法により予測を行なったケースと、その時の予測降雨と観測降雨との間の決定係数と有効係数を表1に示す。さらにケース4の移流ベクトルを図2に、ケース1とケース4の3時間後の予測降雨と観測降雨の降雨分布図を図3に、その両者のスキッタグラムを図4に示す。 $\hat{u}^*$ ,  $\hat{v}^*$ ,  $a$ ,  $b$  を求めた時間間隔はすべて30分であり、(11)式の重み係数  $\lambda$  も常に0.03とした。また、1メッシュは7km 四方とした。

移流ベクトルが抽出されたのはケース4だけであった。別に降雨パターンの特性を調べてみると、降雨強度面の  $x$  軸方向の移動はよく見られるが、水平方向の移動は数時間という時間スケールであってもほとんど見られない。これらにより、発達・減衰の評価が重要となることがわかる。

各ケースの決定係数は1に近く、有効係数との差も小さい。流域平均雨量の増加・減少の傾向もよくとらえている。実際(10)式は、1)降雨強度の大きい所程増加量が大、2)全体的に一樣に増大、3)降雨強度の小さい所程増加量が大、4)降雨強度の大きい所程減少量が大、5)全体的に一樣に減少、6)降雨強度の小さい所程減少量が大、の6つの場合に対応できる。ケース2では、今述べた1)の場合をうまくとらえていたが、 $a$ ,  $b$  を求めた際の降雨強度の変化傾向が持続しなかったために、他のケースに比べ決定係数は小さく、有効係数との差も大きい。

#### 5. 今後の課題

本手法を実用化するためには、さらに、基準点の個数・メッシュの大きさが予測精度に及ぼす影響や、リードタイムと予測誤差の統計的関係を明らかにする必要がある。

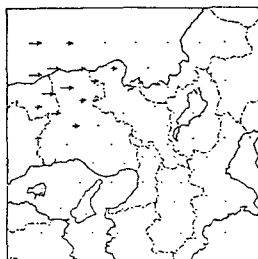


図2 移流ベクトル  
(ケース4)

表1 予測降雨と観測降雨の決定係数および有効係数

|   | 予測時点        | 原因 | 上: 決定係数 下: 有効係数 |              |              |              |              |              |
|---|-------------|----|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|   |             |    | 30分後            | 60分後         | 90分後         | 120分後        | 150分後        | 180分後        |
| 1 | 82. 8. 1. 4 | 台風 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>.999 | .999<br>.999 | .999<br>.998 | .999<br>.997 |
| 2 | 81.10. 8.19 | 寒冷 | .986<br>.981    | .954<br>.919 | .986<br>.775 | .854<br>.512 | .797<br>.077 | .752<br>-0.6 |
| 3 | 82.11.22.23 | 寒冷 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>.999 | 1.00<br>.999 | 1.00<br>.998 |
| 4 | 82. 7.24. 4 | 停滞 | .972<br>.971    | .948<br>.940 | .925<br>.983 | .887<br>.823 | .831<br>.736 | .776<br>.623 |
| 5 | 82. 8. 1.17 | 台風 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>.999 |
| 6 | 82. 8. 1.20 | 台風 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>.999 | 1.00<br>.999 |
| 7 | 82. 8. 2. 0 | 台風 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>.999 | .999<br>.998 |
| 8 | 82. 8. 2. 9 | 台風 | 1.00<br>1.00    | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 | 1.00<br>1.00 |

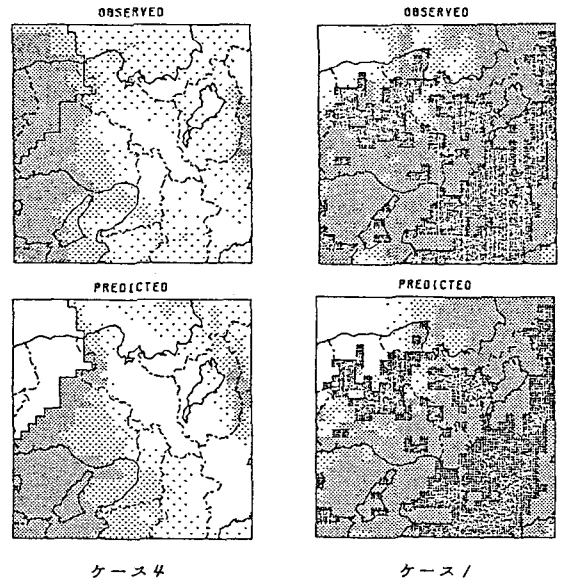


図3 予測降雨と観測降雨の分布図

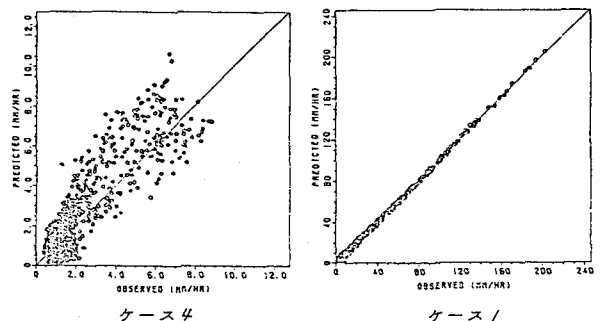


図4 予測降雨と観測降雨のスキッタグラム