

II-7 回転楕円体近似を用いた変形テンソル法による降雨の短時間予測

山梨大学工学部 学生会員 池本一志
山梨大学工学部 正会員 竹内邦良

1、はじめに

レーダー雨量計により観測された降雨データを基に1978年竹内が提案した変形テンソル法を用いて降雨の短時間予測を行なった。変形テンソル法は降雨強度面の平行移動、伸縮、歪、回転変形を Man-Machine System により予測するものであるが、Manの役割としてある時間隔たった2枚の降雨エコーパターン上に4対以上の対応点を指定する必要がある。従来は図1のように直接人が対応点そのものを指定するという方式をとっていたが、個人差の生じることに問題があった。このため本研究では、人は雨域を指定するだけで、その後はコンピュータが指定された降雨強度面に回転楕円体を近似し、その楕円体から対応点を読み取るという方式をとることとした。このため個人差の入り込む余地は非常に少なくなった。

マン-マシン・システムの具体的な手順は次の通りである。

- (1). 人間がある時間隔たった2枚の降雨エコーパターンの変化を観察し、対応する雨域をそれぞれ1つの領域として囲む。
- (2). 計算機が囲まれた領域における降雨強度面に最小二乗法を用いて回転楕円体を近似する。
- (3). 計算機が近似された2つの楕円体から対応点を求め、速度ベクトル、変形テンソルを同定する。
- (4). 速度ベクトル、変形テンソルが時間的に不変であるとして、予測式に従って予測を行なう。

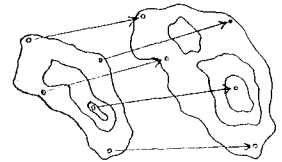


図1 人為的な対応点の指定

2、変形テンソル法

地上の点 (X, Y) における降雨強度を Z とすると降雨強度面は $Z=f(X, Y)$ で表される。いま降雨強度面 $Z=f_1(X, Y)$ 上の点 $P(X, Y, Z)$ が、 δt 時間後には $Z=f_2(X, Y)$ 上の点 $P'(X', Y', Z')$ に移動したとすると、 (X, Y, Z) と (X', Y', Z') の関係は(1)式で表される。これは点 $P(X, Y, Z)$ が δt 時間後に $P'(X', Y', Z')$ に移動する関係を表すものであり、予測式である。

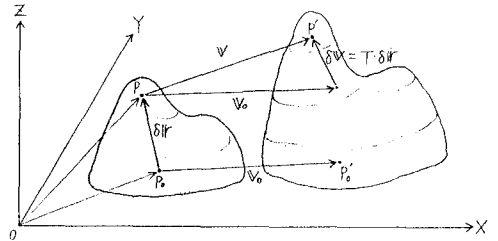


図2 降雨強度面の変化

$$\begin{bmatrix} X' - X_0 \\ Y' - Y_0 \\ Z' - Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_0 \\ V_0 \\ W_0 \end{bmatrix} \cdot \delta t + \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} - \omega_z & \epsilon_{zx} + \omega_y \\ \epsilon_{xy} + \omega_z & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} - \omega_x \\ \epsilon_{zx} - \omega_y & \epsilon_{yz} + \omega_x & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \cdot \delta t + \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{伸縮: } \begin{cases} \epsilon_{xx} = \partial U / \partial X \\ \epsilon_{yy} = \partial V / \partial Y \\ \epsilon_{zz} = \partial W / \partial Z \end{cases} \quad \text{歪: } \begin{cases} \epsilon_{yz} = (\partial W / \partial Y + \partial V / \partial Z) / 2 \\ \epsilon_{zx} = (\partial U / \partial Z + \partial W / \partial X) / 2 \\ \epsilon_{xy} = (\partial V / \partial X + \partial U / \partial Y) / 2 \end{cases} \quad \text{回転: } \begin{cases} \omega_x = (\partial W / \partial Y - \partial V / \partial Z) / 2 \\ \omega_y = (\partial U / \partial Z - \partial W / \partial X) / 2 \\ \omega_z = (\partial V / \partial X - \partial U / \partial Y) / 2 \end{cases} \quad (2)$$

(X_0, Y_0, Z_0) : 基準点 (U, V, W) : 速度ベクトル (U_0, V_0, W_0) : 基準点における速度ベクトル

3、楕円体の近似

降雨強度面にあてはめる楕円体として図3で示されるような楕円体を考える。これは中心が $(X_0, Y_0, 0)$ にあり、3つの軸の長さが $2a, 2b, 2c$ で、 Z 軸に平行な軸まわりに θ だけ回転させた楕円体であり、(3)式で表される。また、対応点を求めるために楕円体には図4のように5個の点を定義した。

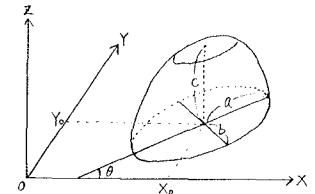


図3 降雨強度面に近似する楕円体

$$\frac{Z^2}{c^2} + \frac{\{\cos \theta \cdot (X - X_0) + \sin \theta \cdot (Y - Y_0)\}^2}{a^2} + \frac{\{-\sin \theta \cdot (X - X_0) + \cos \theta \cdot (Y - Y_0)\}^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

4. 結果と結論

データとして赤城山レーダーにより観測された1982年の台風18号の降雨記録を使用した。予測は現在と15分前のものから予測式を同定し行ったものであり、その結果の1例を図5に示す。またそれに対応した流域における降雨量は図6の通りである。変形テンソル法による予測精度を検討するために、建設省の行っている移動ベクトル法についても予測を行った。図5を見ると、どちらの方法もかなりよい精度で予測できているように見えるが、図6によると、流域2では予測精度はあまり変わらないが、その他の流域では変形テンソル法の方がよいことがわかる。例えば流域1について考えると、図5の実測を見ると発達中の雨域が通過していることがわかる。雨域の移動はどちらの方法も同程度によくとらえているが、変形テンソル法はさらにこの発達も表現しているため結果としてよい予測を行っている。しかし移動ベクトル法は発達や衰弱は表現していないため実測、変形テンソル法による予測に比べ少ない降雨量を予測している。その他多くのケースについて予測シミュレーションを行った結果、変形テンソル法による予測精度は移動ベクトル法に比べ多少よいということはいえるが、まだ問題点が多く、研究の余地を残している。

参考文献

竹内：雨域・雨量強度分布変化の短時間予測、第22回水理講演会論文集、1978年

竹内：降雨の短時間自動予測手法について、山梨大学工学部研究報告、1978年

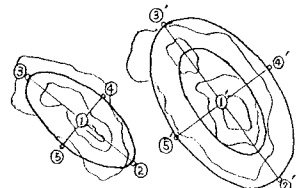


図4 楕円体から求められる対応点

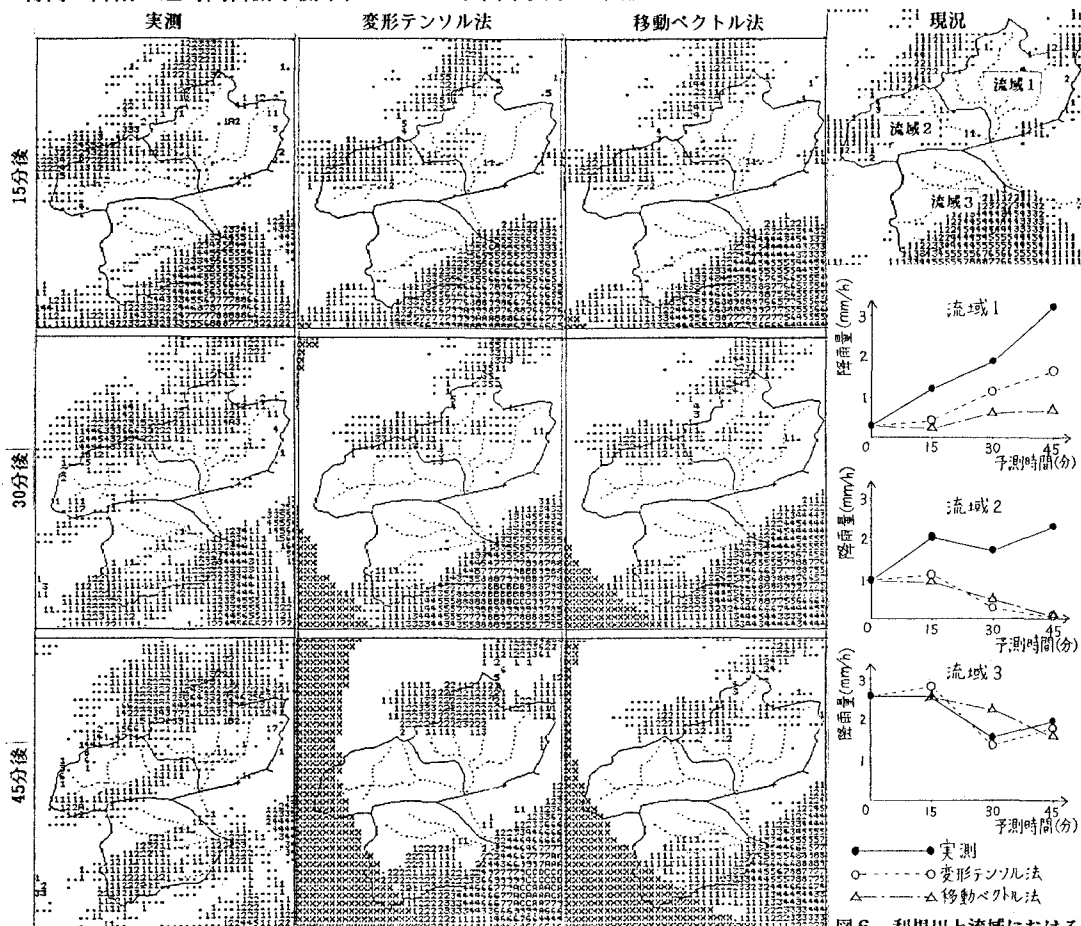


図5 1982年9月10日10時50分に行った15~45分予測結果

図6 利根川上流域における降雨の予測結果