

不安定場モデルと3次元レーダー情報を用いた 短時間降雨予測の精度向上と実用化

電力中央研究所 正員 杉本聡一郎

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 池淵 周一

1 はじめに

本研究は、ルーチ的に得られる3次元レーダー情報やGPVデータ等に気象学的な知見を考慮した既開発の実時間降雨予測手法^{1),2)}を基礎としており、この予測手法の実用化に向けた予測精度の向上を目的としている。

2 Kalman Filter 理論の導入

本予測手法は各単位時間おきに単独で行われる決定論的なものである。そこで、リアルタイムで逐次得られる観測情報を有効に利用するためにKalman Filter理論を導入する。

具体的には、1時間おきに予測が行われていることから、水蒸気相変化量 Q が1時間ごとにレーダー情報から新たに算定される度に、不安定場パラメータ α をフィルタリングする。状態量として不安定場パラメータ α 、水蒸気および水分量の混合比を採用したアルゴリズムは構成できているが、ここでは、予測精度への影響が大きい状態量として α のみを用いる。この時、状態方程式、観測方程式はそれぞれ、

$$\alpha_{k+1}(x, y) = \alpha_k(x - U, y - V) + w, \quad (1)$$

$$y = \frac{\rho}{\Delta t} m_v^* \alpha + v \quad (2)$$

となる。ただし、式(2)の y は、

$$Q \left(1 + \frac{(1-\alpha)m_s^*}{\theta^{*2}} \frac{L^2}{C_p R_v} \left(\frac{p_{00}}{p} \right)^{\frac{2R_d}{C_p}} \right) + \frac{\rho}{\Delta t} (m_v^* - m_s^*) \quad (3)$$

で表される観測値であり、第1項の α の変動に対する感度が小さいことを確認した上で、 Q と α の関係式を線形化することによって得られるものである。上式中、 (U, V) は移流ベクトル、 ρ は乾燥空気密度である。また、 m_v^* は水蒸気量の混合比、 m_s^* は飽和混合比で、*はそれぞれ、熱力学方程式と水蒸気の保存式（差分時間間隔は $\Delta t = 15$ 秒）において、source and sink term項を0とした時に得られる仮の時間更新値を意味する。さらに、 w, v はそれぞれシステムノイズ、観測ノイズと呼ばれ、白色正規過程を仮定するものである。ただし、それらの空間相関は考慮せず、期待値が0で一定の分散（それぞれ、 Q_{noise} 、 R とする）をもつものとする。

以上の手法を1994年7月7日15時～20時の降雨に対して適用する。実時間手法としては、ノイズ統計量は本

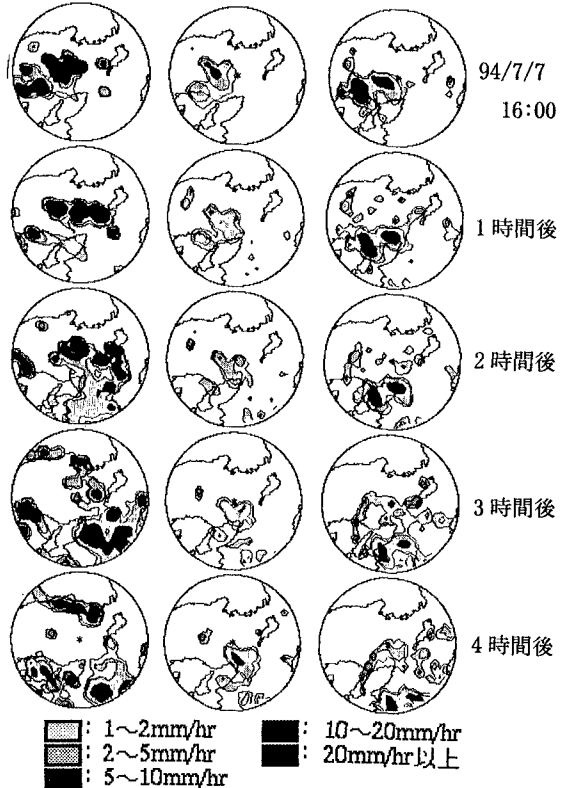


図1: 実況と降雨予測分布図 (3.5km 高度), 左: 実況, 中: 予測 (16 時イニシャル, フィルタリングなし), 右: 予測 (15 時イニシャル, フィルタリングあり)

来、過去の観測値から決定されるべきものであるが、ここでは、16時に Q の観測値が得られた時点での v^2 の空間平均値を観測ノイズ R の初期値 $2.5 \times 10^{-10} (\text{kg/m}^3/\text{sec})^2$ とし、また、システムノイズ Q_{noise} をモデルを信頼する値として0.16とする。予測結果等は図1の通りである。精度の良い15時イニシャルの情報の1時間後の予測値を用いて、モデルの精度を信頼する形でフィルタリングを施すことによって、フィルタリングを施さない時では精度の悪い16時イニシャルの不安定場が改善される。フィルタリングを施した不安定場を初期値とした16時イニシャルの降雨予測結果にその効果が表れている。つまり、精度の

キーワード：短時間降雨予測, 3次元レーダー, Kalman Filter, 移流ベクトル

電力中央研究所 (〒270-11 千葉県我孫子市我孫子1646, TEL 0471-82-1181, FAX 0471-83-2966)

京都大学防災研究所 (〒611 宇治市五ヶ庄, TEL 0774-38-4260, FAX 0774-32-3093)

良い過去の情報を有効に利用したフィルタリングの効果が図1の予測結果に見られる。

3 台風性降雨に対する移流ベクトル算定

これまで、不安定場の移流ベクトル (u, v) は平行移流を仮定した移流モデル（以下、従来手法と呼ぶ）

$$\frac{\partial r}{\partial t} + u \frac{\partial r}{\partial x} + v \frac{\partial r}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$u = C_1 x + C_2 y + C_3 \quad (5)$$

$$v = C_4 x + C_5 y + C_6 \quad (6)$$

を降雨分布に適用することによって算定されてきた。しかし、特に、台風の眼がレーダー観測領域内を通過する極端な場合、台風自体の回転が不安定場の移動に影響を及ぼすことは十分に考えられる。また、例えば、南東方向からの水蒸気流入と地形との影響によって、ある局所的な領域に常に降雨が降り続けた場合、降雨分布の停滞によって不安定場の動きを近似推定すると、降雨分布の停滞に引きずられる形で、不安定場の移流ベクトルの大きさが過小に算定される危険性がある。そこで、レーダー情報と気象庁の台風指示報を用いた新たな移流方法を台風性降雨に対する手法として提案する。

回転方向において、剛体回転を仮定した時、式(5)、(6)中のパラメータは結果的に

$$C_1 = C_5 = 0, C_4 = -C_2 = \omega_e, \quad (7)$$

$$C_3 = u_e - C_2 y_e, C_6 = v_e + C_2 x_e \quad (8)$$

と表される。ここで、添字 e の付く変数は台風の回転角速度、眼の位置、速度に関するものである。このうち、眼の位置と平行移動速度を指示報の緯度・経度の情報から算定すると、未知パラメータは C_2 のみになり、レーダー情報を用いた最小2乗問題として同定することができる。

この手法を1994年9月29日21時～30日1時の降雨に対して適用する。この際、移流ベクトルの同定には過去15分間のレーダー情報の時系列を用いる。また、レーダー情報とGPVデータを併用した不安定場モデル³⁾によって不安定場を推定することにより、レーダー観測域外の雨域を予測できるようにする。

予測結果等は図2の通りである。従来手法により算定されたベクトルは降雨分布の停滞に引きずられるためにその大きさが過小であり、台風の北上による不安定場の移動を表現できていない。それに対して、提案手法により算定された移流ベクトルは実況により近い形である。また、円弧の東側は不安定場をレーダー情報のみを用いて同定した時の予測可能領域であるが、域外の雨域が近畿南東部の雨域の停滞を表現した形で予測されている。

4 おわりに

以上、短時間降雨予測の実用化にむけて種々の検討を行い、以下の結果が得られた。

1. 状態量として不安定場パラメータのみを採用し、確率

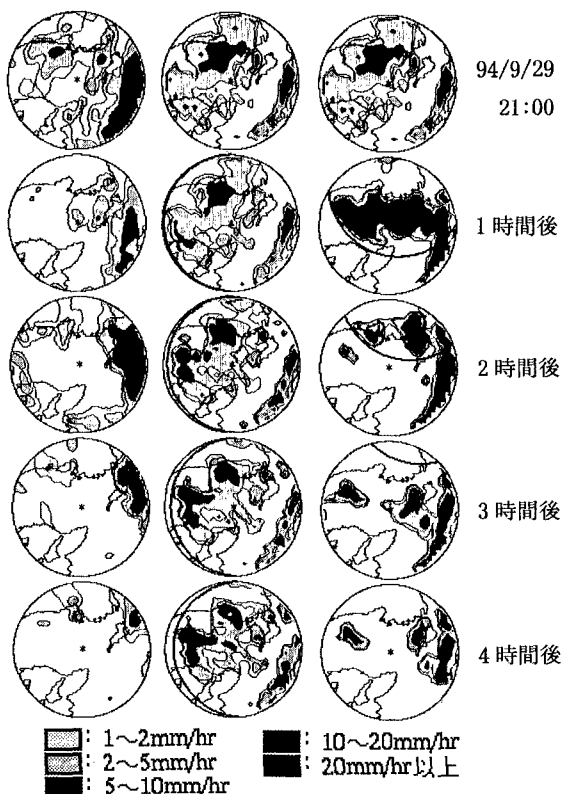


図2: 実況と降雨予測分布図（3.5km 高度），左：実況，中：予測（従来手法），右：予測（提案手法）

的外乱について、その空間相関を考慮せず、試行錯誤的に決定したものの、Kalman Filter 理論を導入した効果が見られた。

2. レーダー情報と台風指示報を併用した移流手法によれば、平行移流を仮定した手法では移流ベクトルが過小に算定されるような場合でも、実現象に近い形で表現できる。しかも、台風の回転を考慮できるため、この手法は台風接近時に効果的である。

3. レーダー情報と GPV データを併用した不安定場モデル³⁾について、本研究で適用した降雨事例においてもその有効性が確認された。

[参考文献]

- 1) Nakakita, E. *et al.* : Short-term rainfall prediction method using a volume scanning radar and grid point value data from numerical weather prediction, *J. Geophys. Res.*, 101, 26181-26197, 1996.
- 2) 中北英一・杉本聡一郎・池淵周一・中村徹立・奥田昌弘・山路昭彦・高塚琢馬：3次元レーダー及びGPVデータを用いた短時間降雨予測手法，水工学論文集，第40巻，pp.303-308，1996.
- 3) 杉本聡一郎・中北英一・池淵周一：3次元レーダー及びGPVデータを併用した不安定場モデルの構築と予測（II），土木学会関西支部年次学術講演会概要，1996.