

京都大学工学部 学生員○北井 剛
 京都大学大学院 正会員 中北 英一
 京都大学防災研究所 正会員 池淵 周一

1. はじめに 現在ではレーダー観測領域を合成して、広範囲を観測したレーダー情報を用いることができる。結果、1つのレーダー観測領域内を対象にする場合に比べ、対象領域内を台風の眼が通過するような極端な場合も増える。この場合、台風自体の挙動が雨域の移流に影響を及ぼすことが十分考えられ、位置の一次式で移流ベクトルを設定した既往の移流モデル¹⁾によって正確に移流ベクトル及び発達衰弱量が算定されるかどうかは疑わしい。そこで本研究では台風の移動と回転といった挙動に加え、台風の位置と速度情報を加味することで移流ベクトルに改良を施した新しい移流モデルを提案する。

2. 移流モデルによる予測手法 移流モデルとは、 $\frac{\partial r(x,y)}{\partial t} + u(x,y)\frac{\partial r(x,y)}{\partial x} + v(x,y)\frac{\partial r(x,y)}{\partial y} = w(x,y)$ なる式によって雨域の移動や変形が表されるとするモデルである。ここで $u(x,y)$ 、 $v(x,y)$ は雨域の移流ベクトル、 $w(x,y)$ は、 $u(x,y)$ 、 $v(x,y)$ に沿った発達衰弱量を表す。 u, v, w を位置座標 (x, y) の一次式と置き、線形最小自乗問題として定式化し、パラメータを推定する。次に、同定されたパラメータが、数時間先まで持続するとして将来の降雨強度を推定する。予測計算は特性曲線の逆追跡によって行う。

3. ランキン渦で移流ベクトルを仮定するモデル 雨域の移動ベクトルは、台風の眼の移動ベクトルと、眼を中心としたレインバンドの回転方向の移動ベクトルの和で表されるとする。これを数式で表すため、3時間毎に発表される台風の進路予測情報のうち、緯度経度に関する情報をデカルト直交座標系に変換したものを線形内挿して、5分毎の台風の眼の位置と速度ベクトルを決定する。なお、本研究では進路予測情報の代わりに、事後的に作成された台風経路図を用いた。次に、台風の雨域の回転にランキン渦を仮定する。ランキン渦とは、中心からの距離 r が一定距離 r_0 までは強制渦（円周方向速度 $v_\theta = \frac{\xi_0}{2}r$ ）、 $r_0 < r$ のときには自由渦（ $v_\theta = \frac{\xi_0 r_0^2}{2r}$ ）として空間的に結合した渦モデルのことである。ここで、様々な事例で見てもほぼ確実に強制渦による回転運動をしているとみなせるだろう半径 r_1 を与え、 $0 < r < r_1$ で強制渦式より渦度 ξ_0 を同定する。次に、ほぼ確実に強制渦とみなせない領域（ $r > r_2$ ）として、 $r_1 < r_2$ なる適当な r_2 を与え、半径 r_2 より外で自由渦式から r_0^2 を同定すれば、強制渦が及ぶ距離 r_0 の値をあらゆる降雨事例で推定できる上、強制渦か自由渦かが曖昧な範囲 $r_1 < r < r_2$ のデータを同定に使用せずにすむ。なお、算定された r_0 が、 $r_1 < r < r_2$ の範囲に収まらない場合は、逐次適当な両半径を設定して繰り返して計算を行い、最適な強制渦半径を推定できる。本研究では、最初に $r_1=100\text{km}$ 、 $r_2=160\text{km}$ として r_0 を同定し、求まる r_0 が $r_0 < r_1$ の場合 r_1 を $r_0 - 30\text{km}$ として、 $r_2 < r_0$ の場合は r_2 を $r_0 + 30\text{km}$ として再計算した。その結果求めた r_0 のグラフを図1に示す。レーダーからの降雨強度分布に正確と思われるデータが含まれていた2時から4時までの間を除くと、ほぼ150kmから200kmの間で安定していることが分かる。

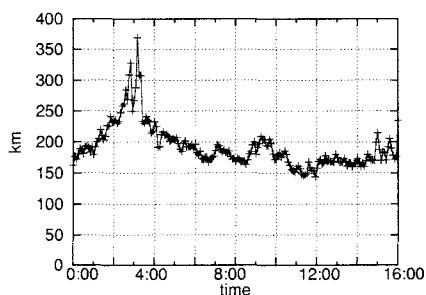


図1: 強制渦半径の推移

繰り返して計算を行い、最適な強制渦半径を推定できる。本研究では、最初に $r_1=100\text{km}$ 、 $r_2=160\text{km}$ として r_0 を同定し、求まる r_0 が $r_0 < r_1$ の場合 r_1 を $r_0 - 30\text{km}$ として、 $r_2 < r_0$ の場合は r_2 を $r_0 + 30\text{km}$ として再計算した。その結果求めた r_0 のグラフを図1に示す。レーダーからの降雨強度分布に正確と思われるデータが含まれていた2時から4時までの間を除くと、ほぼ150kmから200kmの間で安定していることが分かる。

4. 降雨予測手法 ランキン渦で移流ベクトルを仮定すると、自由渦の範囲では u, v が位置座標の一次式で表せないため、特性曲線の逆追跡による降雨予測ができない。そこで、移流方程式を、時間変化項は前進差分、移流項は上流差分で近似（ $\Delta x = \Delta y = 1\text{km}$ 、 $\Delta t = 30$ 秒）し、求めておいた台風の眼の位置、

及び速度ベクトルにより台風の眼を動かしながら、 r_0 と渦度 ζ_0 が数時間先まで持続するとして、予測計算を行った。その際、境界値は時間変化させない。なお、本研究では、算定された移流ベクトルが実際にうまく表現できているかどうかを確認することを重視するため、発達衰弱量 $w = 0$ とした。

5. 予測結果とその検証 まず、2001 年 9 月 11 日 8:00 のレーダ観測による実況降雨を図 2 に示す。次に 1 次式で仮定した場合の移流ベクトルと 3 時間先までの予測降雨を図 3 に示し、ランキン渦で仮定した場合の移流ベクトルと 3 時間先までの予測降雨を図 4 に示す。1 次式ではベクトルの値が全体で小さい上、雨域の回転が表現できていないことがわかる。一方ランキン渦ではおよそ雨域の回転が表現できて

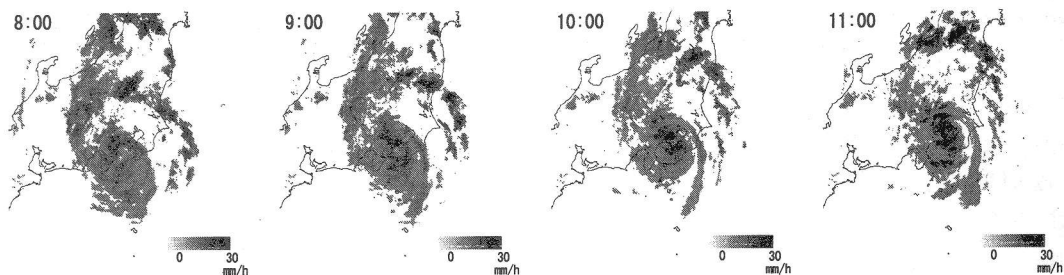


図 2: 実況降雨

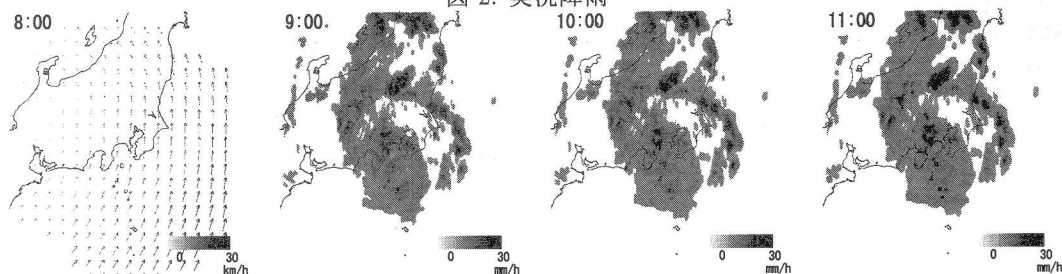


図 3: 1 次式を仮定した場合の移流ベクトルと 3 時間先までの予測降雨

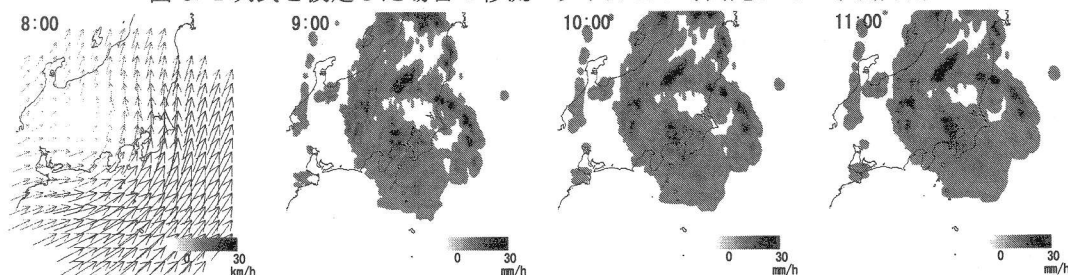


図 4: ランキン渦を仮定した場合の移流ベクトルと 3 時間先までの予測降雨

いると思われる。次に、予測計算は 2001 年 9 月 11 日 8:00 を初期時刻として行った。1 次式で仮定したモデルでは雨域が殆ど移流しておらず、実際の雨域の移動は上手く表現できていない。一方、ランキン渦で移流モデルを仮定したモデルでは、台風の眼付近の雨域の移動が上手く予測されており、眼の南東付近の雨域の回転の動きも上手く表現できているのが分かる。また、初期時刻に台風の眼付近の雨域から北西方向にある雨域は、3 時間先までにやや衰弱はしているものの、同じ場所に停留していることが実況降雨からわかる。この場所の雨域の動きは実際の雨域の動きに近いと言える。また、予測降雨には、差分計算による数値拡散の影響が出ており、特に移流ベクトルが大きいほど、その傾向が顕著である。

参考文献

1) 椎葉充晴・高棹琢馬・中北英一: 1984, 移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討, 第 28 回水理講演会論文集, pp.349-354.