

合成レーダー情報を用いた日本全土における汎用短時間降雨予測手法の基礎的検討

Fundamental study of the general-purpose short-time rainfall prediction technique in the Japanese whole country using synthetic radar information

中北英一¹・北井剛²

Eiichi NAKAKITA and Takeshi KITAI

¹正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

²学生員 工学士 京都大学修士課程 都市環境工学専攻 (〒606-8509 京都市左京区吉田本町)

1. はじめに

現在のスーパーコンピューティングの発達に伴い、コンピュータリソースを気にすることなく気象予測は数値計算により行えるようになってきた。実際、地球を3次元メッシュに細分化してシミュレーションを行うことは、以前の技術では100km四方のグリッドが限界であったが、現在は10km四方のグリッドで算定できるようになりつつある。

しかし、このように予測領域を空間分割して、その一単位ごとに大気の数値計算により積分を行い、計算単位ごとの物理量を算定する気象学的手法においても初期値問題やスケールによる支配方程式の問題等により降雨予測精度はまだ十分と呼べるものではない。特に台風や局地的な豪雨などの現象スケールであるメソスケールにおいてはその問題は顕著である。そこで、本研究は、現在でも実践的な手法として引き続き利用されている運動学的手法(降雨分布のパターンにより線形的に外挿する手法)によって降雨予測精度の向上を目指すものである。また、運動学的手法において重要な情報であるレーダー情報は現在、国土交通省のレーダ雨量計を全国で合成処理することによって、日本全国でリアルタイムに降雨強度分布を知ることが出来るようになり、降雨予測において有用な情報となっている。それに伴い、従来の運動学的手法の一つ、移流モデル¹⁾での予測が困難な事例が散見されるようになってきた。とくに台風のように複雑に雨域が移流することが予想される事例においては、従来の移流モデルにおける1次式でのベクトル仮定では雨域の移流を正確に捉えきれず、降雨予測精度は極めて低い事が分かっている。そこで本研究では、全

国合成レーダー情報を用いて、台風性降雨に対応できる日本全域での統一移流ベクトル場を提案する。

2. 合成レーダー情報

(1)日本でのレーダー運用

現在、わが国では、気象庁による22基のレーダーから成るレーダーネットワークと、国土交通省による26基のレーダーから成るレーダーネットワークが稼働している。前者のレーダーは殆どが平野部に設置されており、海岸から離れた海上の降雨分布を捉えるのに適するのに対し、後者のレーダーは全てが山頂に設置されており、河川流域が存在する山岳域での降雨分布を捉えるのに適している。本研究では国土交通省のレーダ雨量計によるレーダーデータを使用した。

現在運用されている標準的な現業レーダーは、Cバンド(中心波長5.7cm)の電波を用いており、観測半径は約120kmであるため、単独のレーダーでは観測範囲が狭い。そこで現在では、国土交通省各地方整備局が所有する26基のレーダー雨量計を合成することで、広域での観測降雨量が(財)河川情報センターから提供されており、広域での降雨予測のための有用な情報となっている。

(2)レーダ雨量の全国合成処理

日本全国に配置された26基のレーダ雨量計が観測する5分ごとのレーダ雨量を、10分ないしは60分ごとに得られる地上雨量計を用いてオンラインで補正を行い、5分間隔で全国の雨量分布を表す3次元メッシュ(第3次地域区画 緯度間隔30秒 経度間隔45秒で、約1km×1km)ごと

の連続的な合成レーダ雨量が作成される。本研究ではこの3次メッシュのデータを、ガウス・クリューゲル投影法にて1km×1kmメッシュに変換して使用した。

地上雨量を基準とした定量的補正はレーダ雨量を地上雨量値に地点ごとに直接整合させるのではなく、個々のレーダ雨量計の観測範囲内にある地上雨量を用いて全体の観測レベルを調整するために均質化補正を行う。均質補正は、遮蔽補正、距離補正、一樣補正により構成される。

3. 移流モデル

椎葉らによる移流モデルは単位時間当りで降雨強度分布 $r(x,y)$ を移流ベクトル $u(x,y)$, $v(x,y)$ に沿って移流させながら $w(x,y)$ で発達・衰弱させるモデルで、メソスケールの降雨予測や、1時間後などのごく短いスパンでの予測に適しており、

$$\frac{\partial r(x,y)}{\partial t} + u(x,y) \frac{\partial r(x,y)}{\partial x} + v(x,y) \frac{\partial r(x,y)}{\partial y} = w(x,y), \quad (1)$$

のような基礎式からなる。

降雨予測は降雨強度分布 $r(x,y)$ から $u(x,y)$, $v(x,y)$, $w(x,y)$ を

$$\begin{aligned} u(x,y) &= c_1x + c_2y + c_3, \\ v(x,y) &= c_4x + c_5y + c_6, \\ w(x,y) &= c_7x + c_8y + c_9, \end{aligned} \quad (2)$$

のように仮定し、式(1)と合わせて線形最小自乗法問題に定式化して $c_1 \sim c_9$ を推定する。予測の際には、算定された移流ベクトルに沿って、解析的な逆追跡をすることにより、予測時刻の降雨を算定する。また移流ベクトルに沿って移動した際の発達・衰弱の積分値を解析的に算定し、移動元の降雨量を修正する。

4. 新しい移流モデル

(1) 日本全域におけるベクトル場の表現

台風性降雨の場合の日本全域におけるベクトル表現の基本的な考え方として、雨域の移動ベクトルは、台風性降雨の回転ベクトルをランキン渦によって仮定したベクトル・台風の移動ベクトル・一次式による移動ベクトルの和で表されるとする。すなわち、台風中心付近ではランキン渦による回転と台風自身の移動ベクトルの和で表され、離れた地域の雨域の移動ベクトルは、位置の一次式によるベクトルで表されるとするものである。

(2) ランキン渦

ランキン渦とは、強制渦と自由渦で結合した渦モデル

であり、動径方向速度 v_r 、円周方向速度 v_θ 、円周方向速度とすると、以下の様に表される。(rは中心からの距離)

$$\begin{aligned} v_r &= 0 \\ v_\theta &= \begin{cases} \omega r \\ \omega \frac{r_0^2}{r} \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

(3) 新しい移流モデル

本研究で提案する新たな移流ベクトルを以下のように表現する。

$$\vec{u} = \vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{u}_e \quad (r < r_0) \quad (4)$$

$$\vec{u} = \frac{r_0^2}{r^2} \vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{u}_e \left(\frac{r_0}{r} \right) + \vec{u}_0 \left(1 - \frac{r_0}{r} \right) \quad (r > r_0) \quad (5)$$

ここで、 \vec{r} は台風の目からの雨域のベクトル、rは台風の目からの雨域の距離を表す。第一項はそれぞれ、rが一定距離 r_0 より内側では強制渦回転、外側では自由渦回転による回転を表している(ランキン渦)。 ω は回転角速度、 u_e は台風の移動ベクトル、 u_0 は位置の一次式で移流ベクトルを仮定して算定したベクトルである。すなわち、台風の目から離れるに従い、台風の移動ベクトルの影響は減衰していき、台風の遠方で求めた移流ベクトルに近づくと考え、台風の目周辺のランキン渦による回転ベクトルから遠方で徐々に漸近するものである。具体的な計算手法としては、まず適当な r_0 を設定して、(4)式より回転角速度を算出する。次にその回転角速度を(5)式に適用して(5)式から u_0 を同定する。この際、 r_0^2 の値も同定されるため、最初に設定した r_0 の値と比較するものとする。そこで、2003年8月8日の台風を対象にして、初期値と算定された r_0 の比較を行ったが、 r_0 を算定しようとしても値が安定せず、うまく r_0 の値が同定できないものと思われる。

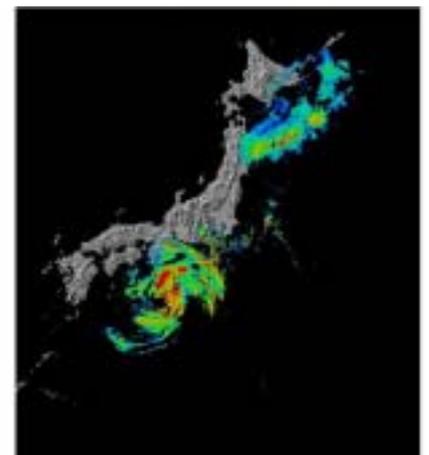


図1 8月8日15:00の降雨分布図

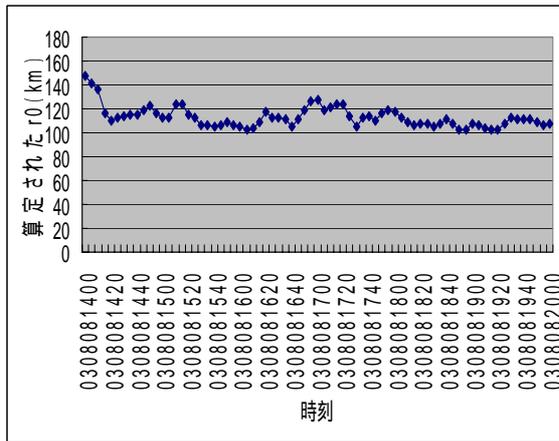
(4) パラメータ同定手法

これは、台風性降雨のパラメーターである r_0 を、日本全域という広域において求めようとしていることに問題があり、台風性降雨の範囲のデータのみを用いてパラメーター r_0 を計算したほうが、正確に r_0 を算定できると考えた。そこで、まず適当な r_0

を設定して(4)式より回転角速度 を算出した後、一定半径A(km)を設定して、台風中心から半径A(km)内において、 r_0 を算定した。しかし、この際、用いた式は(5)式ではなく、自由渦式に台風移動速度を足した式である。

$$\bar{u} = \frac{r^2}{r_0^2} \bar{\omega} \times \bar{r} + \bar{u}_e \quad (r > r_0) \quad (6)$$

これは、中心から半径A(km)内においては台風性降雨のみと考えられ r_0 を決定する限りにおいては遠方の1次式を考慮に入れなくても良いと考えたからである。半径A(km)の値に関しては、およそ台風性降雨をその範囲に含む値として300kmとしている。この方法では、比較的安定して r_0 を算出できることがわかった。次に、Aを300km、初期推定値 r_0 を100kmと設定し、パラメータを計算した結果を下に示す(算定値が初期推定値 $r_0 \pm 20$ kmであれば計算終了。 $r_0 \pm 20$ kmでなければ初期推定値を、算定値と初期推定値の中間値として計算をやりなおしている)。2003年8月8日14:00から20:00まで計算した結果、ほぼ安定して r_0 が算定されている。



5. 予測検証

(1) 算定された移流ベクトル

前述の方法により、2003年8月8日15:00において、移流ベクトルを算出した。図2にベクトル図を示す。参考までに同時刻での実況降雨図を図1に、旧来の、位置の一次式でベクトルを仮定するモデルで算定したベクトルを図3に示す。旧モデルでは全域で小さなベクトルが算出されてしまっているが、新モデルでは、台風付近で台風の回転ベクトルを表せている。また、旧モデルでは東北地方の雨域のベクトルが極めて小さく、動きが殆ど表せていないのに対し、新モデルでは、ベクトルがある程度算定されている。

(2) 降雨予測結果

2003年8月8日15:00を初期時刻として、3時間先まで降雨予測計算を行った。なお、新モデルは、ベクトルが位

置の一次式で表すことが出来ないため、解析的に解く方法が使用できない。よって差分法を用いて予測計算を行った。時間差分スキームには陽解法、空間差分スキームには一次風上差分法を用いた。差分間隔は $\Delta t=30$ 秒、

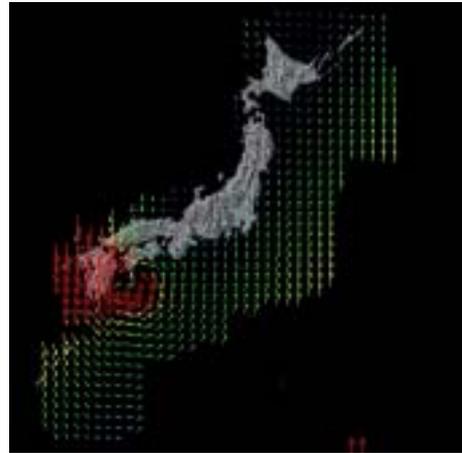


図 2 新モデルで算定された移流ベクトル



図 3 旧モデルで算定された移流ベクトル

$\Delta x = \Delta y = 1$ kmとして計算を行った。また、比較のために、ここでは旧モデルにおいても差分計算している。

旧モデルでは、台風付近の降雨があまり移流せず、回転も表現できていない上、台風より遠方での東北地方の雨域が殆ど移流していない。新モデルでは台風付近の回転ベクトルにより上手く降雨の動きを予測できており、東北地方の雨域も、現実の実況降雨ほどの速度ではないものの比較的正確な方向に移流したといえる。

6. 今後の課題

(1) パラメータ同定手法の改良

4章でも述べたように、ランキン渦において強制渦の及ぶ半径 r_0 というパラメータを求める際、台風中心より一定半径A(km)を区切り、(6)式において r_0 を同定した。これによって計算は安定して r_0 は同定出来たものの、最

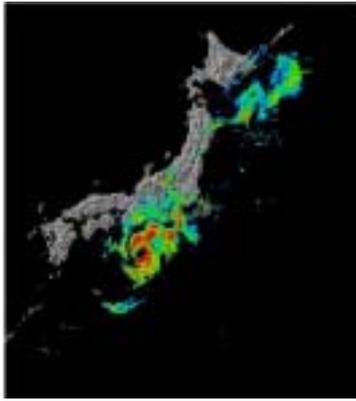


図 4 8月8日18:00の実況降雨

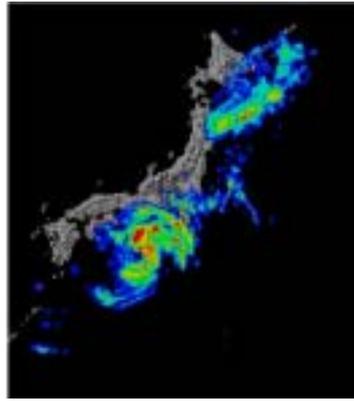


図 5 新モデルでの予測降雨

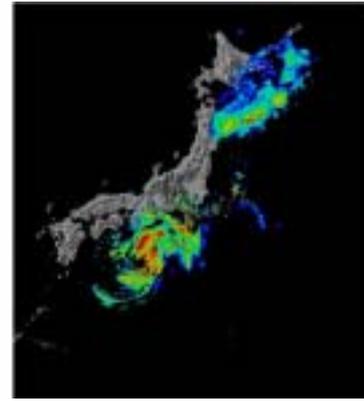


図 6 旧モデルでの予測降雨

最終的にベクトル場は(4)式と(5)式で表されることを考えるとこれは少々矛盾しているといえる。よってこの一定半径 A (km)以内において、現実を使用しているモデル(5)式からパラメータ r_0 を求められるように改良したい。方法としては今 r_0 のみに着目しているが、回転角速度にも着目してパラメータ同定がスムーズに行くよう研究したい。

(2) 今年のデータで予測検証

2004年は計10個もの台風が日本に上陸した。これらのデータを収集し、モデルを改良しながら予測検証を行う。パラメータ r_0 の変化は台風規模の変化を表しているのか、台風性降雨域の形が潰れた場合予測計算はうまくいくのかなど検証する

(3) 差分計算における数値拡散の除去

本研究では、予測において差分計算を行っており、空間差分スキームには一次風上差分法を用いている。この手法は、差分式に拡散項が含まれていることに起因した

数値拡散の影響を大きく受け、移流させればさせるほど波形がなまるという特徴がある。図5ではそれが顕著に現れているのがわかる。この数値拡散の影響を排するため、CIP法²⁾の導入を予定している。

CIP法とは、各格子点上で、その格子点で保持している値と、勾配の2つの情報を利用して、格子点間のプロファイルを3次関数として保持する方法であり、非常に安定して精度がよい。

参考文献

- 1) 椎葉充晴,高棹琢馬,中北英一: 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.
- 2) Takeshi Yabe ,Feng Xiao ,Takayuki Utsumi : The Constrained Interpolation Profile Method for Multiphase Analysis ,Journal of Computational Physics 169, pp. 556-593.

(2004.11月31日執筆)