

移流拡散モデルによる短時間降雨予測

Short-Term Rainfall Prediction by Use of a Translation-Diffusion Model

九州大学工学部 正員 ○森山 聡之

九州大学工学部 正員 平野 宗夫

九州大学工学部 学生員 河原田寿紀

九州大学工学部 学生員 原 浩

1. はじめに

降雨予測のための、ひいては豪雨災害予測のための情報源としてレーダ雨量計は大きな期待をもって迎えられており、現在その利用方法について活発な研究が行なわれている。例えば変形テンソルによる方法¹⁾、カルマンフィルタによる方法²⁾、線形移流モデルを用いる方法³⁾、関連係数を用いた雨域追跡法⁴⁾、重心の移動を追跡する方法⁵⁾や相互相関関数を用いる方法⁵⁾等が提案されている。しかしレーダ雨量計の情報のみによる予測には、当然のことながらある種の限界があることが明らかになってきた。その理由として以下のようなことが考えられる。

①一つの降雨エコーの寿命自体が数10分程度と短く、そのために降雨エコーのみから2～3時間先の予測を行なうことが困難である。

②高層風の影響や水蒸気量・温度等の物理量と降雨エコーとの関連が考慮されていない。なぜなら現在入手できる高層風のデータは空間的にも時間的にも粗く、それぞれ数100kmのランダムな間隔で6時間毎でしかなく、大気中の水蒸気量や温度についてもレーダ雨量計のような細かいメッシュで数kmの高さまで測定されていない。また気象庁の数値予報も現在のところ6時間毎で時間間隔が粗く、高層風や温度・湿度を予報数値で置き換えるには不適切である。さらに、それらの情報をオンラインで得ることは現時点では困難であり、いきおい降雨予測にはレーダ雨量計情報のみを使用せざるをえない。

以上のようにレーダ雨量計のみによる数時間程度先の予測はかなり難しいことがわかるが、逆に言えば降雨セルの寿命より短い20～30分程度の予測は数時間程度のものに比べれば比較的容易であろう。

数10分程度の予測でも土石流のように現象が短時間に起こる災害の発生予測に対しては効果を発揮させることが可能であると考えられる。本文では従来の移流法に拡散項を加えたモデルを考え検討を試みたものである。

2. 観測された降雨エコーの諸元

降雨エコーのデータは、本大学農学部において観測された100km×100kmの範囲(図1参照)を1kmメッシュに分割した1万個のデータを1分毎に記録したものであり、建設省や気象庁のものに比べ細かいメッシュで詳細な時間変化のデータが収集できることを特色とする。今回使用したデータは1982年7月11日の6時5分から8時18分まで観測されたもので前線性の降雨である。

3. 移流拡散モデル

3・1 基礎式

従来の移流モデルは次式で表わされる。

$$\frac{\partial r}{\partial t} + U \frac{\partial r}{\partial x} + V \frac{\partial r}{\partial y} = Cr \quad (1)$$

ここに、 r ：降雨強度、 t ：時間、 x と y ：水平座標、 U と V ：それぞれ x 及び y 方向の移動速度、 C ：降雨の発達・減衰に関する定数である。

上式には鉛直方向の変化が考慮されていないが、風速等は鉛直方向に変化するので、その効果を分散として考慮する必要がある。

(1) 式においては、分散の効果が C の中に含まれ、それが C の推定値の精度を悪くしている可能性がある。そこで、分散の効果を拡散項で表わした次式を考える。

$$\frac{\partial r}{\partial t} + U \frac{\partial r}{\partial x} + V \frac{\partial r}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 r}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 r}{\partial y^2} + Cr \quad (2)$$

ここに D_x と D_y はそれぞれ x 及び y 方向の拡散係数である。

3・2 パラメータの同定法

(2) 式において、同定すべきパラメータは U 、 V 、 D_x 、 D_y 及び C の5個であるから

$$\frac{\partial r}{\partial t}, \frac{\partial r}{\partial x}, \frac{\partial r}{\partial y}, \frac{\partial^2 r}{\partial x^2} \text{ および } \frac{\partial^2 r}{\partial y^2}$$

について5組の値が必要である。したがって、差分のとり方にもよるが、1組の (U, V, D_x, D_y, C) を定めるために最低14箇所のデータが必要である。ここでは、誤差の拡大を防ぐために多くの箇所のデータを用い、最小二乗法によって同定することにする。

3・3 パラメータの検討

まず拡散項を導入した効果を見るために、観測域全体の同一時刻におけるパラメータの値を一定とした場合、すなわち、1組の U 、

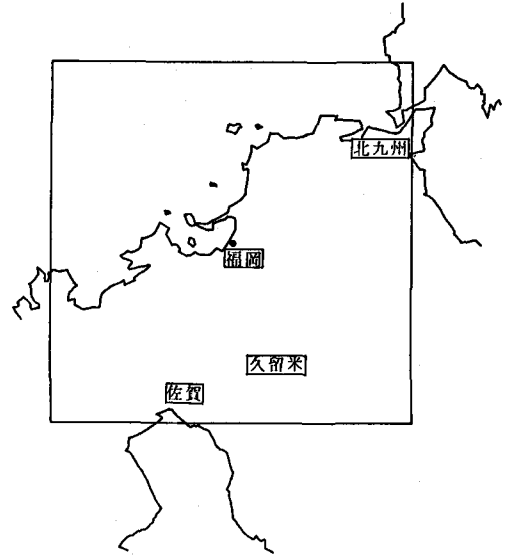


図-1 レーダの観測範囲

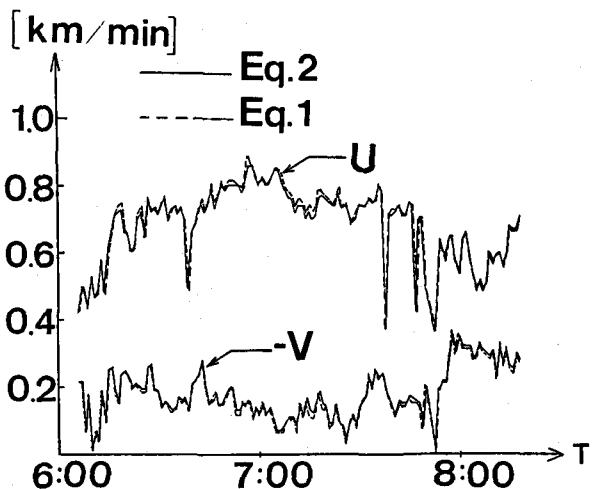


図-2 移流モデルと移流拡散モデルによる移動速度の比較

V , D_x , D_y 及び C を求めるのに全域のデータを使用し、最小二乗法で同定した結果の例を図-2~4に示す。それによると、 U と V について両者はほとんど同じ値を示しているが、 C については移流モデルの方が絶対値がかなり大きく、分散の影響が C の中に含まれていることがわかる。図-4は(2)式において発達・減衰項を無視し $C=0$ とした場合と C を考慮した場合について拡散係数を比較したものであるが、前者の方が若干大きくなっている。これらのことから、拡散項を無視できないこと、発達・減衰の効果は拡散項によってかなりカバーできそうなこと、などがいえそうである。

次に、パラメータの空間的変動特性と計算の安定性を調べるために、パラメータ同定に用いる単位区域の大きさを色々と変えて計算した。図-5~10は単位区域をそれぞれ 5×5 , 7×7 および 15×15 メッシュ (データ個数 25, 49 および 225) として各点のパラメータを同定した例であり、図-5~7に拡散係数 D_x の空間分布を、図-8~10に C の値の空間分布を示している。それによるといずれも単位区域が大きくなると変動がなめらかになっている。また C の値は一部の雨域周辺で極端な値が残っているが、単位区域が大きくなるにつれて絶対値も小さくなっている。これは、単位区域が小さくなるにつれて誤差が増大すること、および誤差の増大が C の値にしわよせされることを示すものと思われる。したがって、パラメータ同定の際には単位区域をある程度大きくとる必要があると考えられる。

4. 降雨エコーの予測

上記により同定したパラメータを時間的に一定として、5分後の降雨の予測計算を行なった。計算の時間

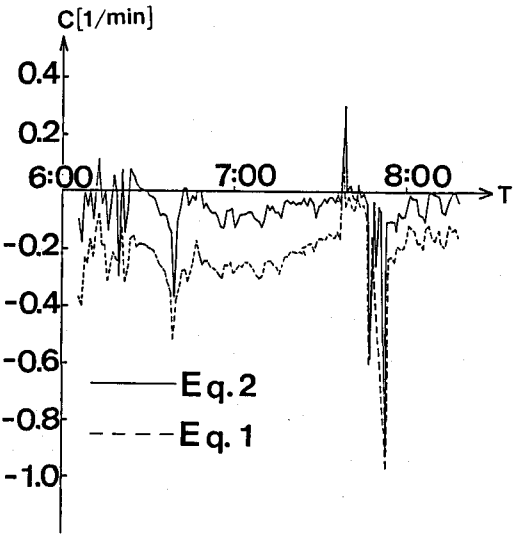


図-3 移流モデルと移流拡散モデルによる C の値の比較

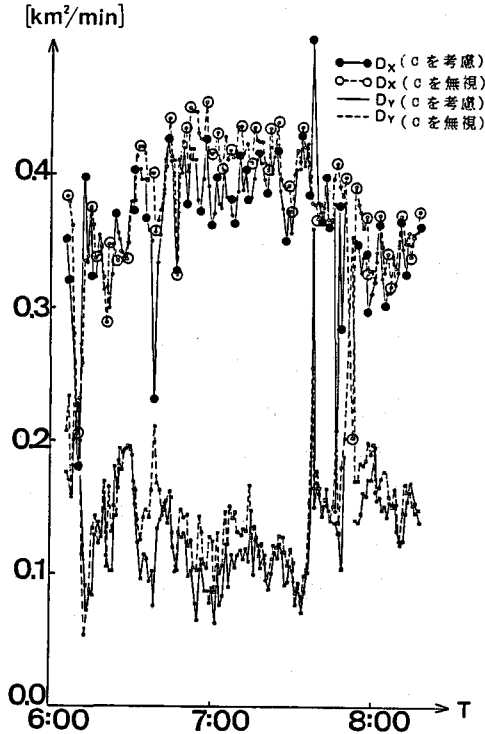


図-4 発達・減衰項を考慮した場合(実線)と無視した場合(点線)の拡散係数の比較

間隔は1分である。図-11は実測の降雨パターン、図-12, 13はそれぞれ単位区域を 15×15 メッシュにした場合と、全域で同一パラメータを用いた場合の予測パターンである。 5×5 及び 7×7 メッシュとした場合についても計算を行なったがいずれも上記二例に比し適合性はよくなかった。また、図-12と図-13を比較すると後者の方がよいようであり、パラメータの空間分布を考慮した方が精度が向上していることがわかる。

5. まとめ

移流式に拡散項を導入したモデルについて検討し以下の結果を得た。

- (1) 拡散項を無視した移流モデルではそれによる誤差が発達・減衰項にしろよせされる。拡散項を考慮する方がより合理的であろう。
- (2) パラメータ同定に使用するデータの範囲(単位区域)はある程度大きくとる方が誤差が少なく安定した結果が得られる。また、誤差が大きいと発達・減衰項にしろよせがいくようである。
- (3) 予測計算においてパラメータの空間分布を考慮した方が精度のよい結果が得られる。

以上の計算は限られたデータのものでありさらに多くのデータについて検討を要すると思われる。また予測計算では、急激な変化に追従できなかったり5分たたないと変化しない例もあった。これは1分間の変化だけで5分の予測を行っているためで時間方向にも何らかのフィルタリングあるいはスムージングが必要であろう。

謝辞

降雨エコーデータは九州大学農学部農業気象研究室より快く提供して頂いた。また本研究は自然災害科学特別研究(1)「降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究」(代表者 名大教授 武田 喬男)の援助を受けた。各位に厚くお礼を述べる次第である。

参考文献

- 1) 竹内：雨域・雨量強度分布変化の短時間予測、第22回水理講演会講演論文集(1978)
- 2) 下垣・室田・江藤：雨量観測レーダーによる降雨量分布の解析とそのオンライン予測、第22回水理講演会講演論文集(1978)
- 3) 高棹・椎葉・宝・中北：移流モデルによる豪雨予測手法の改良とその適用第21回自然災害総合シンポジウム講演要旨集(1984)
- 4) 大倉・石崎・中尾・森本：レーダー雨量計を用いた短時間降雨予測、第27回水理講演会論文集(1984)
- 5) 日本気象学会：気象レーダー特集、気象研究ノート第139号(1980)

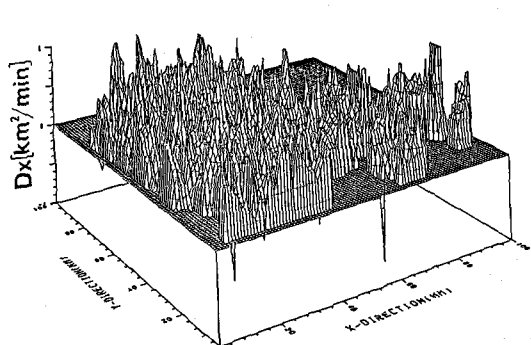


図-5 拡散係数の空間分布 (5×5メッシュ)

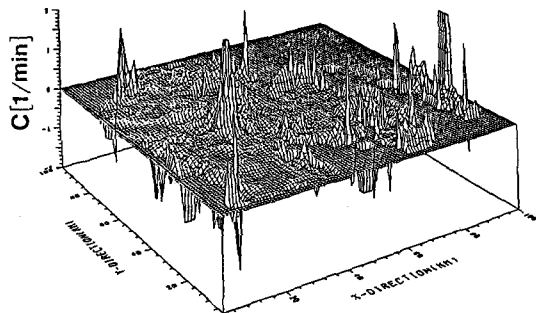


図-8 Cの値の空間分布 (5×5メッシュ)

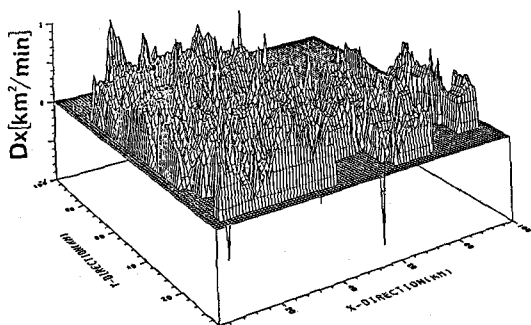


図-6 拡散係数の空間分布 (7×7メッシュ)

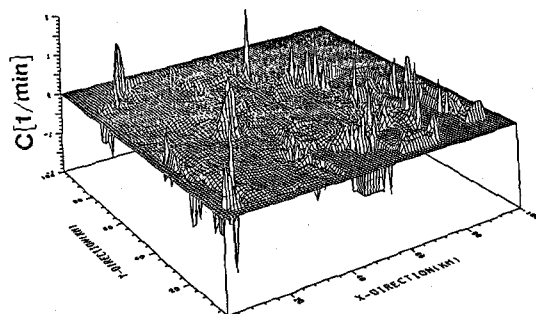


図-9 Cの値の空間分布 (7×7メッシュ)

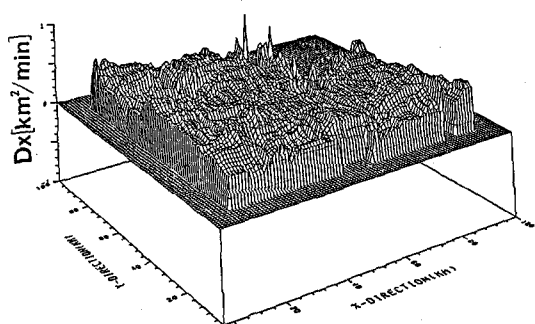


図-7 拡散係数の空間分布 (15×15メッシュ)

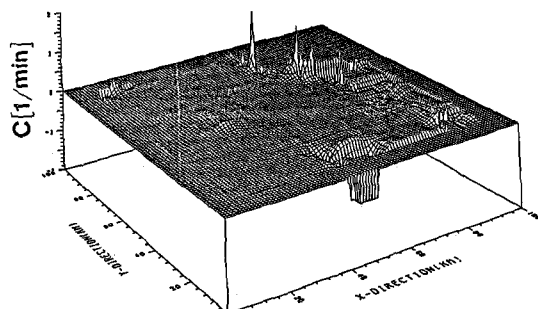
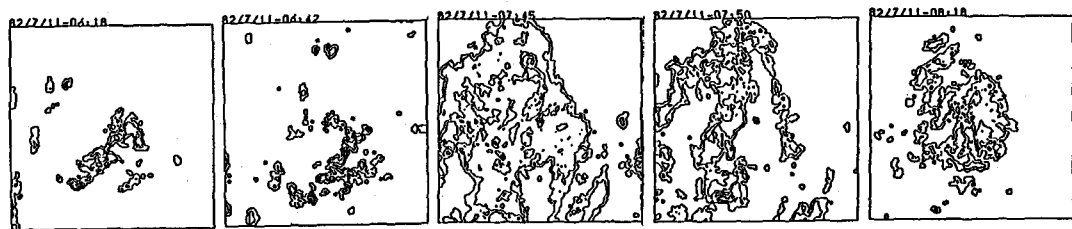
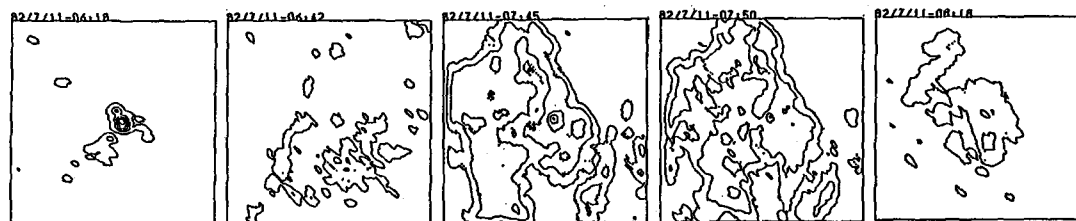


図-10 Cの値の空間分布 (15×15メッシュ)



(a) 6時18分 (b) 6時42分 (c) 7時45分 (d) 7時50分 (e) 8時18分

図-11 実測のエコーパターン



(a) 6時18分 (b) 6時42分 (c) 7時45分 (d) 7時50分 (e) 8時18分

図-12 予測エコーパターン (15×15メッシュ)



(a) 6時18分 (b) 6時42分 (c) 7時45分 (d) 7時50分 (e) 8時18分

図-13 予測エコーパターン (100×100メッシュ)