

レーダ雨量計を用いた短時間降雨予測 Short-Term Precipitation Forecasting by Radar Raingauge

建設省 土木研究所	正員 大倉 博
建設省 木曽川下流工事事務所	正員 石崎 勝義
建設省 淀川ダム統合管理事務所	正員 中尾 宏臣
(財) 気象協会研究所	正員 森本 陸世

1. まえがき

昭和57年12月現在、建設省において4台のレーダ雨量計が稼動中であり、2台が建設または調節中である。従来の地上雨量計に比較するとレーダ雨量計は非常に多くの降雨情報を得ることが出来る。すなわち、レーダ雨量計は降雨の空間分布を連続して定量的に観測出来るとともに、降雨セルの移動方向からその規模の盛衰までも把握することが出来る。このように今までの雨量計とまったく異なった雨量観測手段であるレーダ雨量計は、その利用においても異なった扱いをする必要がある。

従来、流出予流に用いていた流域平均雨量は数100 km²に数台の雨量計によってティーセン法、あるいは等雨量線法等によって求めた推定値であり、降雨の面分布に大きく影響される。これに対してレーダ雨量計では降雨を面的に把握するため流域平均雨量推定に対する降雨の面分布の影響が小さい。レーダ雨量計は観測領域を平均9 km²の観測メッシュで分割しており、局地性降雨に対しても十分対処しうるのである。

本報告は、レーダ雨量計の特徴を生かした利用技術の1つとしてレーダ雨量計を用いた降雨予測手法を述べる。なお、本報告に用いたレーダ観測資料は建設省赤城山レーダ雨量計の資料である。

2. 降雨予測モデル

レーダ雨量計を用いた降雨予測は降雨エコーの外挿を基本としており、もっとも重要な要素は外挿に用いる移動ベクトルである。従来から、外挿法による降雨予測法がいくつか提案され検討されている。これらの手法は、各々移動ベクトルの設定方法が異なる。(1)運動学的方法(高層風による移流)¹⁾、(2)変形テンソルによる方法²⁾、(3)カルマンフィルターによる方法³⁾、(4)相互相関関数による方法⁴⁾、(5)重心の移動に着目する方法⁵⁾などである。

筆者等は、流域平均雨量の自動的な予測を目的とし、(2)~(5)の手法と同じくレーダーエコーのみから移動ベクトルを推定する方法を用い、オンライン予測に適した客観的なベクトル推定法を開発した。^{6), 7)}

雨域の移動ベクトルを適正に推定することは、降雨予測精度を向上させる大きなポイントとなる。移動ベクトルの推定を検討するにあたって次のような条件を設定した。

- ① 移動ベクトルの検出等は全て自動的に行う。
- ② 演算が容易で簡明なこと。
- ③ 様々なタイプのエコーについても推定が可能なこと。
- ④ 移動ベクトルが一意的に定まること。
- ⑤ 発達・衰弱項の導入が容易であること。

また、エコーの動きに関しては次の仮定をした。「 δt 時間内のエコーの変形はあまり大きくない。また移動の主たる要素は平行移動である(すなわち回転は考えない)。」

そこで、 δt 時間へだたったエコー図から移動ベクトルを推定するための着目点として、エコー形状の類似度をとった。これは、先にのべた相互相関関数による方法と同じである。さらに、本手法においてはエコー図そのものの類似度を比較するのではなく、適当な降雨強度を設定し、それ以上の値をもつメッシュを1、そうでないメッシュを0とするパターンの2値化を行って類似度を検討する。こうすることにより、雨量強度の発達・衰弱による見かけ上のエコーの移動にまどわされることが少なくなり、エコーの追跡が容易になる。

開発した予測モデルのプロチャートを図-1に示す。手順は次の通りである。

- ① 時刻 t と δt 時間 (15分～30分) 前のエコーをレーダ観測から用意し、各々、ECHO(Ⅱ)、ECHO(Ⅰ)とする。
- ② レーダ雨量計の原始データは極座標データであり、これを直交座標系のデータに変換する。直交座標変換されたメッシュの最少単位は $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ である。
- ③ 追跡エコーの雨量強度の最小閾値 $= C$ を設定し、ECHO(Ⅰ)、ECHO(Ⅱ)を②で定めたメッシュごとに0, 1の2値パターンにおきかえる。即ち、各メッシュの雨量強度が C より大きい場合を1, C より小さい場合を0として2値パターンに作りかえる(図-2)。 C の値は 2 mm/H 、または、2値化以前の各メッシュの雨量強度を大きい順に並べ、メッシュの個数で強い方から $1/4$ 番目にあたる降雨強度とした。この C の値の2つの設定法による降雨予測精度は大差なかった。
- ④ ECHO(Ⅰ)とECHO(Ⅱ)を互いに平行移動し、両者の交りの領域において類似度を関連係数を用いて算出し、関連係数マップ(図-3)を作成する。

ここで関連係数は、図-3のような2値化された2枚のエコーパターン(黒ぬりが雨(値:1))を平行移動してかさね、両者の交りの領域において2枚のパターンメッシュのそれぞれ雨の有無による交叉メッシュに対する個数 n を表-1のマトリックスで表示する。これに

Ⅱ \ Ⅰ	雨 あり	雨 なし	
雨 あり	n_1	n_2	n_{12}
雨 なし	n_3	n_4	n_{34}
	n_{13}	n_{24}	N

表-1 関連係数算出のためのマトリックス

より関連係数 CA は

$$CA = \frac{(n_1 \cdot n_4 - n_2 \cdot n_3)}{\sqrt{n_{12} \cdot n_{34} \cdot n_{13} \cdot n_{24}}} \dots (1)$$

で定義する。

- ⑤ 関連係数マップ(図-3)の中央を始点、ピークを終点とする移動ベクトルを求める。
- ⑥ このようにして定まった移動ベクトルを用いて、時刻 t の2値化前の実測エコーパターン E_0 (イニシャルエコー) を移流して任意場所の雨量を5分毎に計算する。これを「単純移流」と呼ぶことにする。

3. 発達衰弱項の降雨予測への導入

検出された移動ベクトルによってイニシャルエコーを単純に移流するとイニシャルエコーの雨量

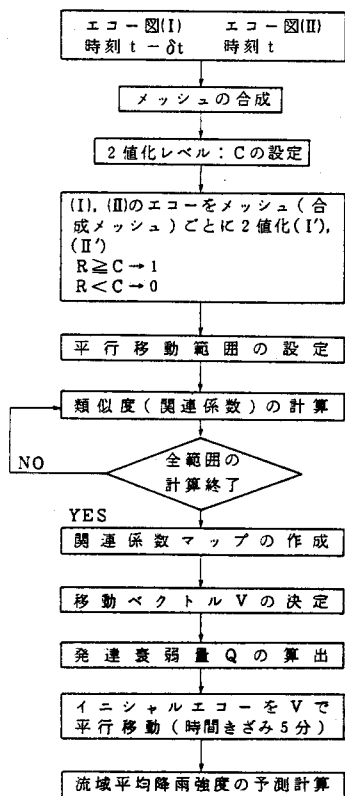


図-1 雨域追跡法による降雨予測の方法

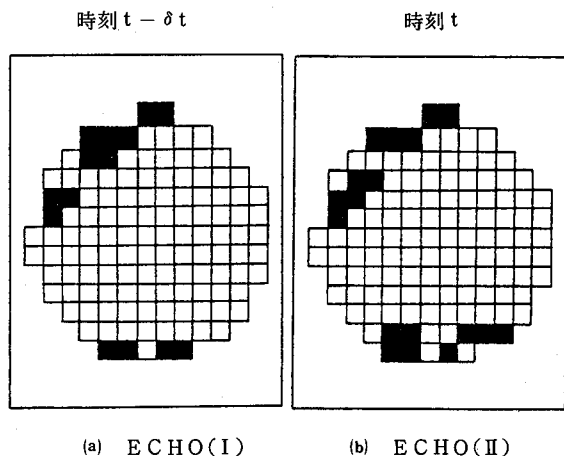
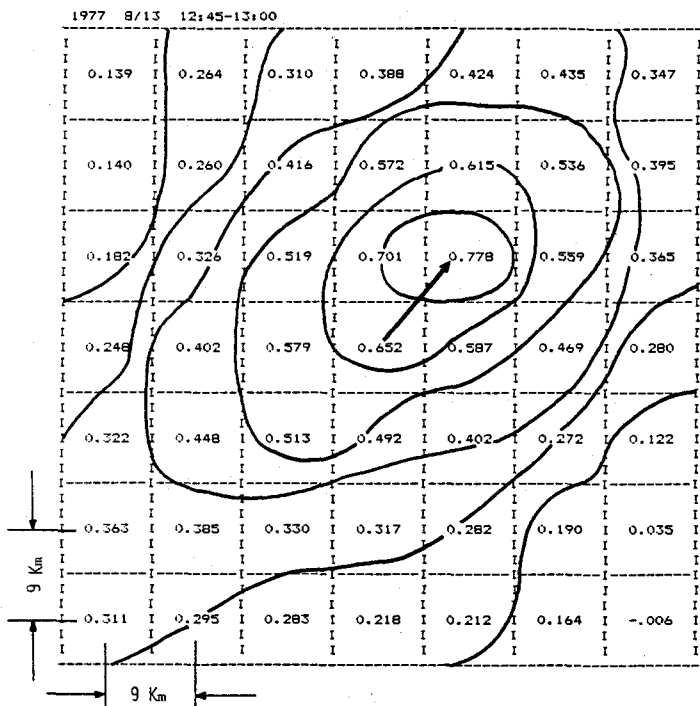


図-2 平行移動するメッシュ



CORRELATION COEFFICIENT MAP AND VECTORS FOR 9Km x 9Km MESH

C.A.	V(M/S)	DIRECTION
0.778	14.14	225.0
0.701	10.00	180.0
0.652	0.0	999.0
0.615	22.36	206.6
0.587	10.00	270.0
0.579	10.00	90.0
0.572	20.00	180.0
0.559	22.36	243.4
0.536	28.28	225.0
0.519	14.14	135.0
0.513	14.14	45.0
0.492	10.00	0.0
0.469	20.00	270.0
0.448	22.36	63.4
0.435	36.06	213.7
0.424	31.62	198.4
0.416	22.36	153.4
0.402	14.14	315.0
0.402	20.00	90.0
0.395	36.06	236.3
0.388	30.00	180.0
0.385	28.28	45.0
0.365	31.62	251.6
0.363	36.06	56.3
0.347	42.43	225.0
0.330	22.36	26.6
0.326	22.36	116.6
0.322	31.62	71.6
0.317	20.00	0.0
0.311	42.43	45.0
0.310	31.62	161.6
0.295	36.06	33.7
0.283	31.62	18.4
0.282	22.36	333.4
0.280	30.00	270.0

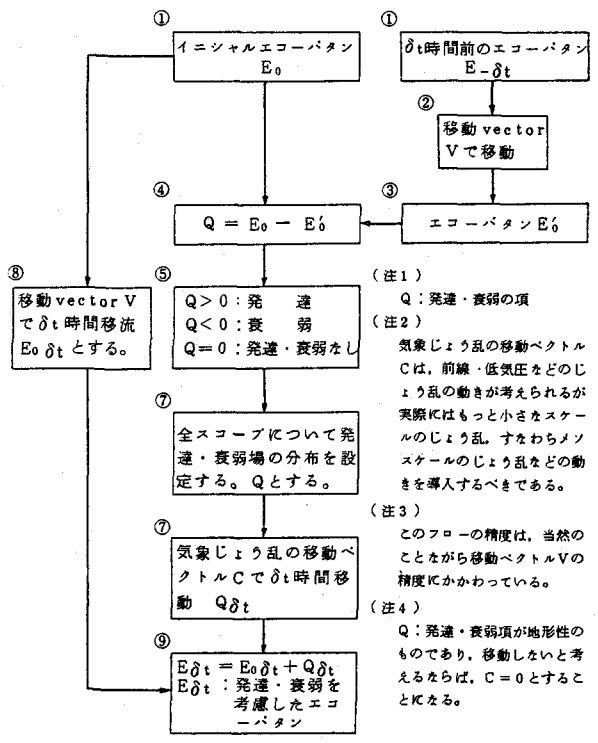
図-3 関連係数のマップと推定移動ベクトル

強度はこの値のままで外挿される。このため雨域の雨量強度の変化の激しい降雨に対しては予測精度が大きく低下することが予想される。従って、予測精度を向上させるためには、降雨の発達・衰弱を予測モデルに組込む必要がある。

降雨域の発達・衰弱は気象現象と密接な関係があり、レーダ以外の気象観測データとの関連からも論じられることは明らかである。しかし、データ入手の速応性を考え、レーダ雨量計で観測されたエコーからの情報のみによって変化量を予測す手法(以下、「発達・衰弱」と云う)を開発した。図-4に降雨エコーの発達・衰弱を考慮したエコーパターンの予測フローを示す。全メッシュについて、現時点tの実測エコーE₀と30分前のエコーを移流ベクトルVで移流して得られたエコーE_{-δt}とを比較(雨量強度の差をとる)する。

$$Q_0 = E_0 - E_{-\delta t} \dots\dots\dots (2)$$

同様に、25分前のエコーを25分間移流して、E_{-s}を求めE₀と比較する。このようにして、Q₅、Q₄、Q₃、……Q₁まで求める。これに平均して発達・衰弱量Qを得る。



- (注1) Q : 発達・衰弱の項
- (注2) 気象じょう乱の移動ベクトルCは、前線・低気圧などのじょう乱の動きが考えられるが実際にはもっと小さなスケールのじょう乱、すなわちメソスケールのじょう乱などの動きを導入するべきである。
- (注3) このフローの精度は、当然のことながら移動ベクトルVの精度にかかわっている。
- (注4) Q : 発達・衰弱項が地形性のものであり、移動しないと考えるならば、C=0とすることになる。

図-4 発達・衰弱を考慮したエコーパターンの予測を行う手法

$$Q = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (Q_i / (i \cdot \delta t)) \cdot W \dots\dots\dots (3)$$

但し、Wは重み (W=1/6), $\delta t = 5$ 分とする。

4. モデルの適用結果

モデルの適用限界は予測雨量の利用目的により異なる。このため、予測降雨を統計処理し、信頼性限界を判定するための図を示した。

発達・衰弱の補正項Qの導入効果を評価するため、Qを考慮しないで単純移流により予測したものとQによる補正をしたものとを比較した。

3 km × 3 km メッシュで予測雨量が得られるが評価地域を任意の 18 km × 18 km (324 km²) における 1, 2, 及び 3 時間の面積平均雨量の予測量と実測値について検討した。

1977年8月18日, 1978年7月8日, 1978年7月11日, 1978年9月4日の降雨を用い予測雨量と実測雨量とを統計処理し、予測雨量の信頼限界を算出した。結果を図-5に示す。

図-5において1時間及び2時間雨量の予測に対しては発達・衰弱項の導入効果は顕著でない。「単純移流」の予測1時間雨量20mmに対する実測雨量の平均と実効誤差はそれぞれ15.6mmと4.2mmであり、予測2時間雨量20mmに対し実測雨量の平均と実効誤差はそれぞれ16.4mmと4.3mmである。一方、「発達・衰弱」の予測1時間雨量20mmに対し実測雨量の平均と実効誤差はそれぞれ16.5mmと3.5mm、2時間雨量20mmに対し実測雨量はそれぞれ17.8mm

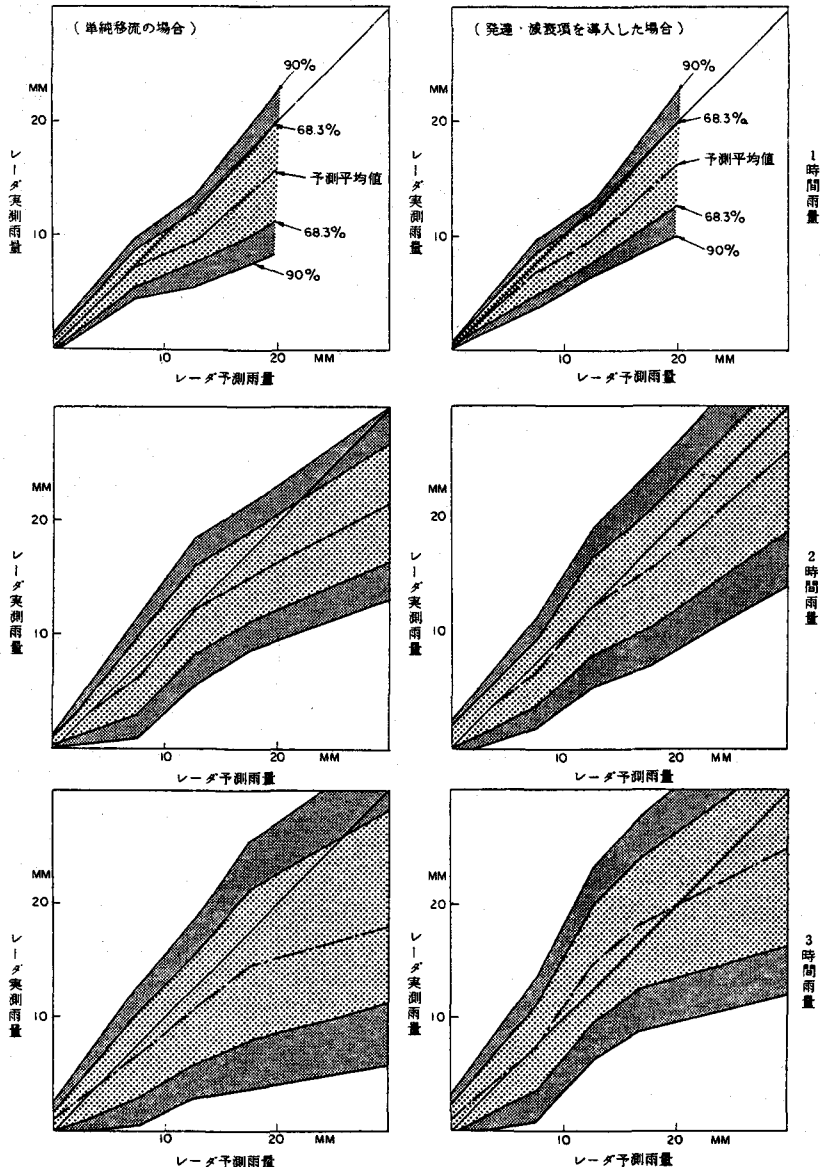


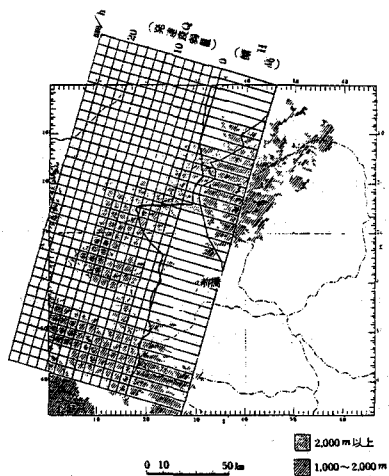
図-5 予測結果の信頼限界

と 5.6 mm である。

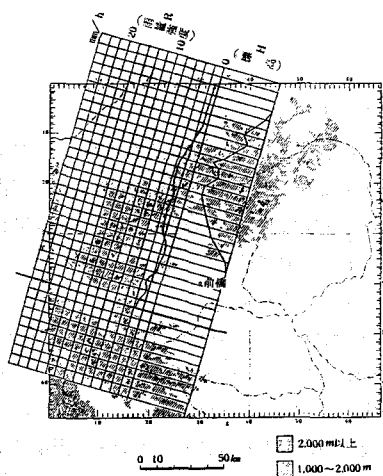
3 時間雨量の予測では発達衰弱項の導入効果を若干認めることができる。「単純移流」の予測 3 時間雨量 20mm に
 対し実測雨量の平均と実効誤差はそれぞれ 15.2 mm と 6.9 mm であるが、「発達・衰弱」の平均と実効誤差はそれぞれ
 20.1 mm と 6.6 mm である。

これは、1 時間程度先の降雨予測に対しては、降雨域の変化の程度は平野など場所によってあまり大きくなく Q の
 導入の必要性も高くないためである。

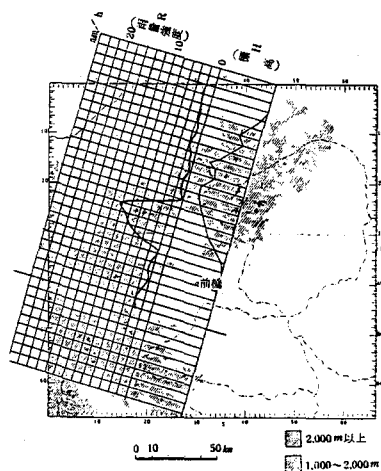
しかし、図-6 (a) のエコーの移動方向の断面沿に抽出した Q 値が示すように、Q は明らかに標高の変化に大きな相
 関がある。図-6 (b), (c), (d) は (a) と同一断面沿における降雨予測量 (1 時間雨量) または実測雨量を示す。(b) は「単
 純移流」、(c) は「発達・衰弱」、(d) は実測値である。実測値に対し、「発達・衰弱」の再現性は非常によいが、単純



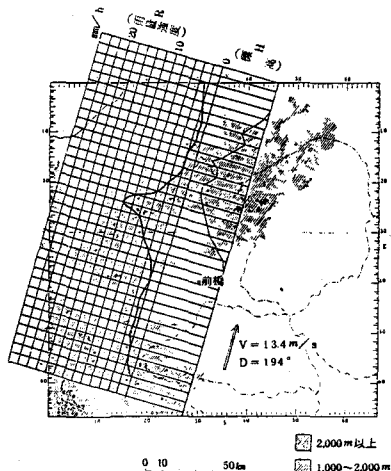
(a) 発達衰弱量(Q). 1978. 8. 17. 02 : 45 ~ 3 : 00



(b) レーダ雨量(予測…単純移流) 1977. 8. 17. 3 : 00 ~ 4 : 00



(c) レーダ雨量(予測…発達・衰弱項導入)
 1977. 8. 17. 3 : 00 ~ 4 : 00



(d) レーダ雨量(雨量) 1977. 8. 17. 3 : 00 ~ 4 : 00

図-6 地形特性と発達・衰弱項の導入効果

移流したものは非常に異なっている。

5. まとめ

レーダ雨量計の観測データを用いて自動的に降雨予測する手法を述べた。この手法は関連係数法を用いて検出した移流ベクトルに従って予測開始時刻の降雨エコーを外挿することを基本としている。移流にあたり雨域の発達・衰弱項の導入を検討した。発達・衰弱項導入の評価は面積 342 km^2 の面積平均雨量を予測し、この予測値を統計処理して行った。この結果、3 時間雨量に対しては若干の効果が認められたが、1, 2 時間雨量に対しては有為な効果は得られなかった。しかし、統計処理を行う前の 1 時間予測雨量の山岳部において発達・衰弱項導入の効果の著しい例が認められた。モデルの適用限界は利用目的により異なる。このため、信頼性限界を判定する図を示した。

参考文献

- 1) たとえば、立平良三・牧野義久(1974) : デジタル化されたエコーパターンの予報への利用, 研究事報26巻.
- 2) 竹内邦良 (1978) : 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.
- 3) 下垣久・室田明・江藤剛治 (1978) : 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回水理講演会論文集.
- 4) たとえば, Bellon, A. and G. L. Austin (1978) : The evaluation of two years of real-time operation of a short-term precipitation forecasting procedure (SHARP). J. Appl. Meteor., 17, 1778—1787.
- 5) Wilk, K. E. and K. C. Gray (1970) : Processing and analysis techniques used with the NSSL weather radar system. Proc. 14th Radar Met. Conf., 369—374.
- 6) 石崎・中尾・森本 (1980) : レーダ雨量計による短時間降雨予測. 第35回年講.
- 7) 石崎・中尾・森本 (1981) : レーダ雨量計による短時間降雨予測 (発達・衰弱項の導入). 第36回年講.