

降水の予測**

立平良三*

1. 天気予測の基本的な考え方

予測には、一般に誤差がつきものなので、予測結果を決定論的に表現するのは適切でなく、何らかの誤差の表示が必要であろう。このような観点から、最も完全に近いのは、天気要素の値の予測を予測値の出現確率分布で表現することであろう。

いま、予測対象の天気要素を Y 、これを予測するための因子を X とする。予測因子は一般に複数個存在するので、ベクトルで示してある。 X が x という値をとったとき、予測対象 Y が y という値をとる確率密度は、(1) 式のような条件付確率で表わされる。

$$P(y/x) \quad (1)$$

$$\int P(y/x) dy = 1$$

Y の取り得るすべての値 y について、この確率値が与えられれば申し分ないが、少なくとも(2)式のように、 Y の期待値 \bar{y} とそのまわりの分散 σ_y^2 が与えられなければ十分な利用はできないだろう。

$$\left. \begin{aligned} \bar{y} &= \int y \cdot p(y/x) dy \\ \sigma_y^2 &= \int (y - \bar{y})^2 \cdot p(y/x) dy \end{aligned} \right\} (2)$$

気象学的予測の場合、予測対象 Y は、二値的なものと連続量とに大別される。二値的なものの例としては、降水を例にとれば、降水があるかどうか、大雨が降るかどうかなどである。この場合、(1) 式の条件付確率は $y=0$ と $y=1$ に対する値しかない。しかも双方を加えると当然 1 になる。

$$p(y=0/x) + p(y=1/x) = 1 \quad (3)$$

だからこのような二値的な予測対象に対しては、 $p(y=1/x)$ の値だけが求められれば十分で、これを降水確率 (PoP) とか、大雨確率 (PoHP) とか呼んでいる (7.3 節参照)。つまり、PoP と PoHP は気象予測の表

現形式として完全に近いものとみなせる。

予測対象が雨量のように連続的な値をとる場合は、 $p(y/x)$ もいろいろの y に対して存在するので、(2) 式のように簡単な統計的パラメータに集約して表現するのが実用的と考えられる。それにしても、予測因子 X の取り得るすべての値に対して(2)式が決められねばならないので、なかなか大変なことである。

2. 予測対象の時間的・地域的区分

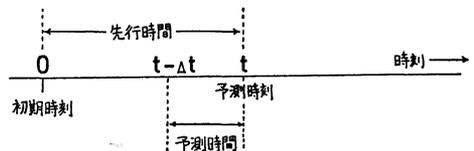
気象学的な予測の対象となるものは、降水以外に、風、気温、雲量などいろいろある。さらに、降水だけを考えても、時間のおよび地域的区分をどう設定するかによって予測技術も精度も大きく変わる。

たとえば、明日の関東地方の日雨量を予測する場合と、目先数時間の神田川集水域の雨量を予測する場合とはかなり異質である。したがってまた「集中豪雨は予測可能か」などという議論も、時間的・地域的区分を明確にしておかなければ全く噛み合わないだろう。

一般に、時間的・地域的区分が細くなるほど、予測が難しくなることはいうまでもない。さらにまた、初期時刻と予測時間との時間間隔 (ここでは仮に先行時間と呼ぶことにする) が大きい程、予測が困難になることも当然であろう (第1図参照)。

現在、気象庁でルーチン的に行なわれている各種の天気予報を見ると、その地域区分と時間区分はおよそ第1表のようである。

短時間予報から3ヶ月予報まで、先行時間が長くなると共に予測が難しくなるので、それを時間および地域的区分を大きくすることで補って、実用的な精度を維持し



第1図

* Prediction of Precipitation.

** R. Tatehira, 気象庁予報部.

第1表

予報種別	地域区分	時間区分
注意報警報	府県単位	目先数時間が主体
短期予報	府県単位	今夜・明日・明後日
週間予報	府県単位	(明日・明後日) 3日目, 4日目, 5日目, 6日目, 7日目.
1ヵ月予報	地方単位	上旬・中旬・下旬
3ヵ月予報	地方単位	1ヵ月目, 2ヵ月目, 3ヵ月目

ているわけである。

ただ、週間予報は、他の予報が予報期間を2～3区分しているのに比べ、7区分(日単位)と細かすぎるのが目立つ。また、地域区分も短期予報と同じく府県単位なもの問題である。細分が過ぎると必然的に精度の低下を招き、かえって利用価値を落とす恐れがある。

一方、注意報・警報(特に降水関係)のような目先数時間の予測を主体とする場合には、府県単位という地域区分はもう少し細分できる可能性がある(気象庁予報部, 1978)。

3. 天気予測に使われる予測因子

各種天気要素の値を予測するのに現在使われている予測因子 X には、次のようなものがある。

- 各種実況値
 - 地点データ
 - 地上観測
 - 高層観測
 - 地域気象観測網 (アメダス)
 - パターンデータ
 - レーダ, 衛星
- 各種解析図
 - 地上天気図
 - 高層天気図
 - 各種断熱図
- 各種数値予報プロダクト
 - 格子点値
 - パターン

これまでの天気予測技術に関連する調査を見ると、予測因子 X のとり方について問題のあるものが含まれている。大雨予測を例にとれば次のようなものがある。

(1) 潜在的な前提条件の存在

大雨に関する予測技術は、大雨の事例解析から導かれることが多い。事例解析から雨量予測のための予測因子 X が見出され、(1)式の条件付確率に類するものが求められても、実際の予測技術にはならない場合がある。つまり、それは「大雨が発生している」という前提条件の下での予測であって、「大雨があるかどうか」が実は極めて難しい予測対象だからである。

(2) 予測因子の入手の可能性

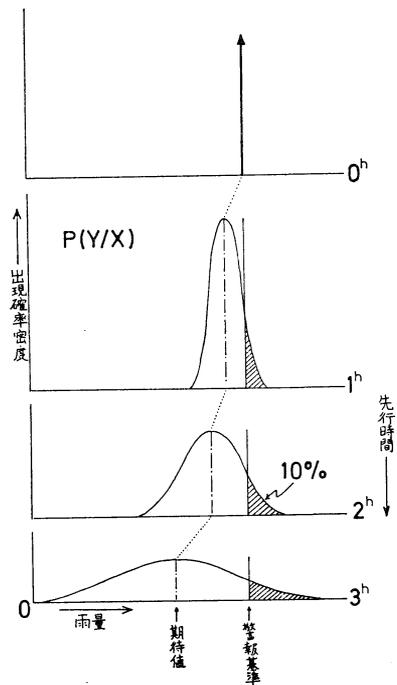
強雨域が小低気圧や前線あるいは局地的な下層ジェッ

トと関連するという事実を予測に使うとしよう。これらのスケールの小さい現象は、現在の数値予報では十分に表現できないものであるから、明日これらの因子がどうなるかは予測困難である。したがってまた、これらの因子を明日の大雨発生の予測には使えない。では目先数時間の大雨予測に有効かという点、これらの現象は大雨と同時現象であることが多く、数時間の予測には、雨域そのものをアメダスとレーダで追跡する方がより直接的で正確であろう。

4. 予測技術の評価

優れた予測技術とは、まず予測精度がよいものであり、一般的には(1)式の $p(y/x)$ の Y の値に対する分布がシャープなことである(第2図参照)。これは、(2)式の σ_y^2 が小さいということとも近似的に対応する。

予測精度は、2節で述べたように、時間および地域区分が細くなるにつれて低下する。雨量を例にとれば、東京都の明日の日中の時間雨量(面積平均または地点最大)の予測は、関東地方の明日の日雨量の予測に比べ著しく難しく、精度が悪い。さらに細かく、明日後楽園球場での巨人中日戦の時間にどれだけ雨が降るかとなると、まず実用的な精度での予測は不可能であろう。



第2図 予測精度と先行時間

しかし、後楽園球場の雨量でも、明日ではなく、目先数時間のことであれば、かなりの精度で予測が可能となる。つまり、予測の先行時間(第1図参照)が予測精度に大きく関係してくるわけである。この状況を雨量を例にとって $p(y/x)$ の分布図で示すと、第2図のようになる。

この図で、先行時間が0ならば、これは予測ではなく実況の確認であるから、確率分布は幅をもたずユニットパルスになる。先行時間が $1h \rightarrow 2h \rightarrow 3h$ と増大するにつれ、確率分布は広がってシャープさを失ってくる。

第2図で、警報基準の雨量を横軸上の矢印の位置とする。3時間前の確率分布によると、期待値はたいして大きくないにも拘らず、予測雨量が警報基準を越える確率が10%ある。したがって、警報の「見逃し」を10%以下に抑える必要があれば、第2図のようになりかなり低い期待値でも発表に踏み切らざるを得ない。このため、当然のことながら「空振り」が増える。

先行時間ももっと短くなると、確率分布はシャープになるので、警報発表に踏み切るべき期待値は、図のように次第に警報基準そのものに近づく。したがってまた、「空振り」も次第に減少するわけで、先行時間が0になれば、これは実況そのものであるから、「空振り」は皆無となる。

つまり、雨量が警報基準に達することを事前に早く予測して、警報を早期に発表しようとするれば、必然的に「空振り」が増えるということで、換言すれば「先行時間」と「空振り率」は並行して増減するわけである。どの程度の「先行時間」と「空振り率」の設定が適当かは、利用者側の事情が関係するので、予測技術の面からだけでは決められない。

「先行時間」の定義については第1図に図示したが、これは実は「名目的」なものである。実際には、初期時刻に観測されたデータを加工して各種予測因子を作り、これに対応する予測値の出現確率を計算するのにかなりの作業時間がかかる。したがって、「実質的」な先行時間は、「名目的」な時間からこの作業時間を差し引かねばならない。

短期予報の場合、数値予報プロダクトが一番有力な予測因子となるが、この場合の作業時間は6時間程度のものである。

短時間予報の場合は、数時間も作業時間をかけていては「実質的先行時間」は0になってしまう。この場合は、予測作業の短縮の意義は大きく、コンピュータ処理の導入が急がれるわけである(6.4節参照)。

5. 降水予測技術の概観

5.1 気象現象のスケールと降水

天気予報の解説では、雨は低気圧や前線によってもたらされるという説明がよく聞かれるが、低気圧や前線のような大規模な現象(1000 km 程度のスケール)に伴う上昇流はせいぜい数 cm/sec 程度で、これでは暖候期の水蒸気の多いときでも 1 mm/hr 以下の弱い雨しか期待できない。

社会生活に影響を及ぼすような雨らしい雨は、もっとスケールの小さい気象現象によって降るものである。このようなスケールの小さい現象は、中規模現象(1000 km 程度のスケール)および対流現象(10 km 程度のスケール)である。

低気圧に伴うレーダエコーは、中規模の帯状エコーの集合によって構成されていることが多く(立平, 1972a)、台風に伴う雨も中規模のスパイラル構造を示すことはよく知られている。また、前線も中規模の細部構造を持つことはむしろ常態である(立平, 1972b)。

中規模現象に伴う上昇流は、数十 cm/sec 程度で、数 mm/hr 程度の降水が期待できる。低気圧や台風のような大規模現象は、このような強い中規模現象の起こりやすい場を提供していると考えられるので、間接的に強い降水の発生を支配しているといえることができる。

個々の雷雲は、対流現象の代表的なもので、その中の上昇流は数 m/sec にも達し、数十 mm/hr 程度の強い雨が期待される。中規模現象は雷雲の集合によって構成されていることがしばしばある。

気象現象はそのスケールによって期待される降水強度が異なるだけではなく、寿命も大きく違っていることに注意しなければならない(第2表参照)。

5.2 降水の短時間予測と短期予測

社会生活に大きく影響するような降水は中規模以下の現象に伴っているが、中規模現象の寿命は、第2表に見られるように数時間程度しかない。したがって、その予報が可能な時間も基本的に寿命と同程度と考えられる。

しかし、5.1節で述べたように、特定の大規模現象の

第2表

	スケール	寿命	上昇流	降水強度
大規模現象	1000 km	数日	数 cm/s	数分の 1mm/hr
中規模現象	100 km	数時間	数十 cm/s	数 mm/hr
対流現象	10 km	数十分	数 m/s	数十 mm/hr

中では、中小規模現象が次々に発生消滅を繰り返す可能性（ポテンシャル）のあることがわかっている。大規模現象は、第2表のように数日の寿命を持ち、数値予報によって2～3日先までの予測が可能である。したがって、明日・明後日の降水予測は、大規模現象の予測を媒介とした間接的なものなら可能で、その予報の性格は必然的にポテンシャル的なものとなる。

このように、予測期間が数時間先までの場合と、明日・明後日までの場合では、予測の対象である気象現象のスケールが異なり、予測の手法や性格にはっきりした違いがある。そこで、前者を短時間予測、後者を短期予測と呼んで、区別することにする。

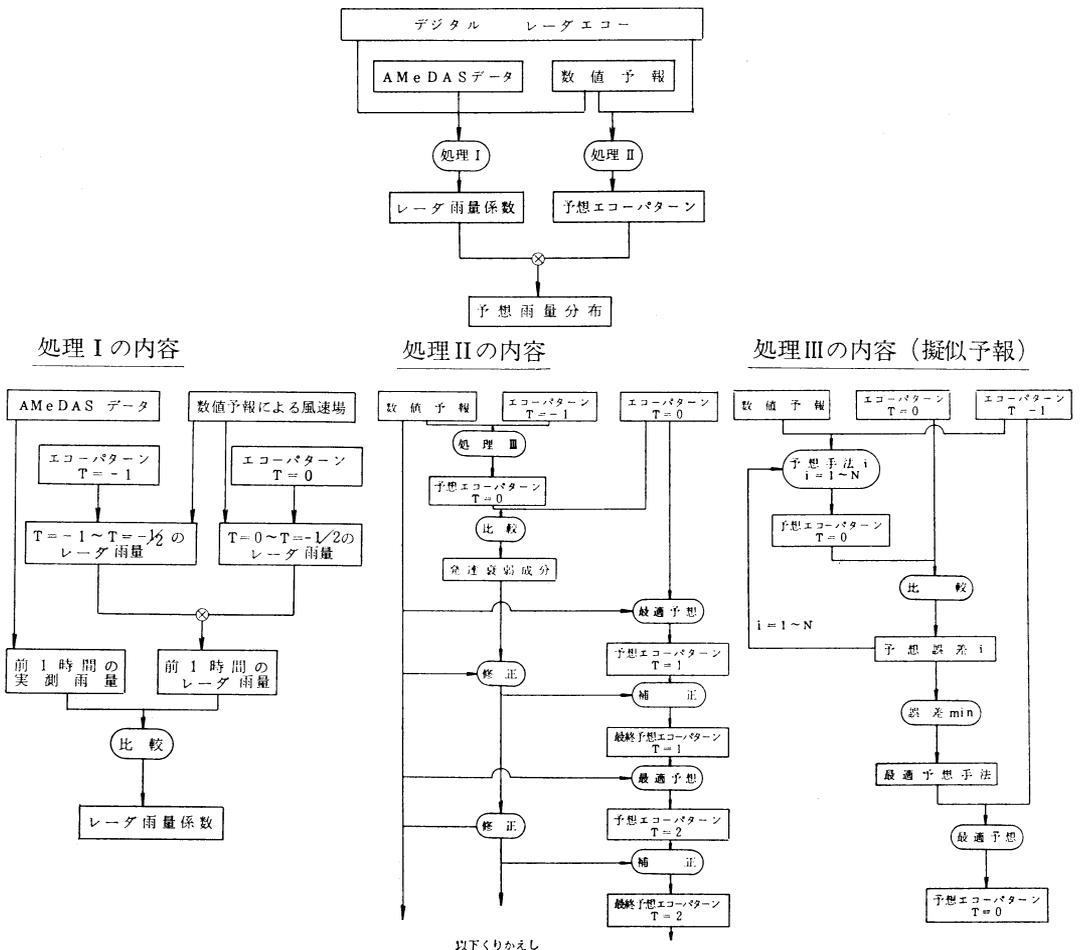
5.3 予測期間と地域区分

降水の短時間予測の場合は、寿命数時間の中規模現象の予想が基本である。中規模現象の中に含まれる個々の雷雲のような対流現象は、寿命が短かく発生消滅を繰り返すので、これを数時間先まで予想することは困難である。したがって、短時間予想の地域区分は、いくら細かくしても中規模の現象のスケールの数分の1に相当する20km程度が実用上の限度と考えられる。

しかし、予想期間がごく短かく、30分程度なら、個々の雷雲の予測も取り扱うことができ、球場とか空港のような地点の予報でも可能になってくる。

明日・明後日の予報の場合は、大規模現象の予想が基

短時間雨量予測の手順



第3図 コンピュータによる短時間雨量予測の手順

本であり、これは数値予報によって計算される。現在の数値予報では約1000 km 以上のスケールの現象しか取り扱えないので、その数分の1の 200 km 程度が妥当な予報地域区分であろう。ただし、大規模現象が地形の影響を受けて変形あるいは強化されるような場合、たとえば、いわゆる地形性降雨のような現象が卓越する場合は、もっと細かい地域分布の予想が可能となる。

6. 短時間予測の技術

6.1 概説

天気予報の手法は大別して次の三つに分類される。

- (1) 力学的手法
- (2) 運動学的手法
- (3) 統計的手法

短時間予測では中規模現象を予測対象にしなければならないが、中規模現象の力学的予測、つまり数値予報は次の点で当分実用化は困難である。

- (1) 中規模現象の力学的メカニズムが十分解明されていないこと。
- (2) 数値予報の初期値として細かい間隔の高層観測が必要であるが、現在の高層観測点は 200~300 km 間隔にしかない。

必要であるが、現在の高層観測点は 200~300 km 間隔にしかない。

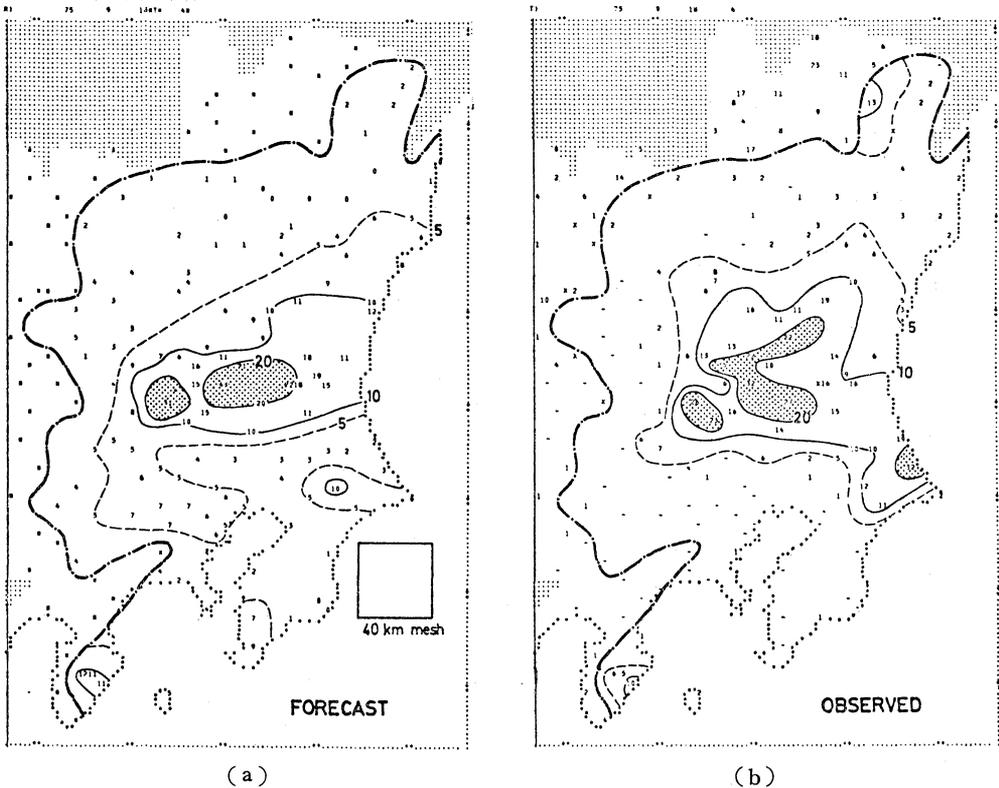
(3) 数値予報の格子点を細かくしなければならないが、このため計算量が増大し超大型の電子計算機が必要になる。

現在日本を含め世界各国で開発中の短時間降水量予測技術は、主として運動学的手法である。これは、簡単にいえば、現在の降水状況の外挿である。外挿による予測の欠点は、降水域の発達衰弱が予想されない所にある。

統計的手法による短時間予測はまだあまり研究されていないが、急激な発達衰弱のある場合や新しく降水域が発生する場合のように、外挿手法が精度の悪いときにその補正手段として効果がある。現在、地形効果や地上風の収束、シャワーなどを利用した統計的手法が調査されている(小楠他, 1978)。

6.2 短時間雨量予測の技術開発の現状

現在気象庁で開発中の短時間雨量予測の技術は、運動学的手法に属するものである。しかし、現在の降雨分布を外挿するのではなく、レーダ観測によるエコーパター



第4図 4時間雨量予測の例 (1975年9月18日22時イニシャル)。

ンを外挿し、数時間先までの予想エコーパターンを計算し、これを雨量に換算するという手法を採用している。このようにエコーパターンを媒介とするのは次の理由による(立平, 1976a)。

(1) 海上から接近する雨域は、レーダでなければ把握できない。

(2) 最近完成した気象庁の雨量観測網(アメダス)でも、雨量計の間隔は平均17kmであって、降雨の現状の正確な把握には、レーダの併用が必要である。

(3) 雨量計の測定値は局地性が大きく、外挿によって他の地域へ移動させるのが不適当な場合が多い。

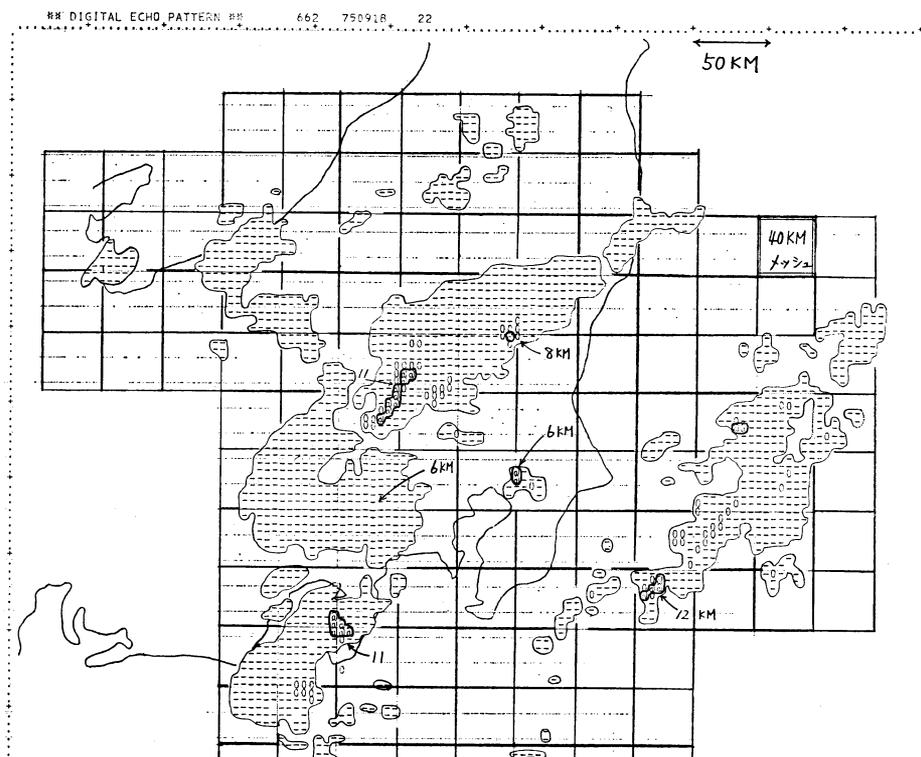
第3図は、エコーパターンを媒介としたコンピュータによる短時間雨量予測の手順である(立平・牧野, 1977)。図の一番上の部分は手順の概略である。予想エコーパターンを雨量に換算する場合に乘ずる「レーダ雨量係数」は、「処理Ⅰ」によって求められる。ここでは、過去1時間のエコーパターンを積分し、これを実測1時間雨量と比較して各雨量観測点ごとにレーダ雨量係数を定めてい

る。

「処理Ⅱ」は、数値予報によって計算された上層風速あるいはエコーパターンの過去の移動速度などで、初期値($T=0$)のエコーパターンを外挿する操作である。この場合、1時間前($T=-1$)のエコーパターンとの比較により、エコーパターンの「発達衰弱成分」を求めて外挿された予想エコーパターンの補正に使うという操作も加えてある。

「処理Ⅲ」は、 $T=-1$ をイニシャルとし $T=0$ までの予測をいろいろの手法で行ない、この結果を $T=0$ の実況と比較して、最も精度のよい最適予測手法を選別する操作である。この最適予測手法を $T=0$ 以後の予測に使うわけである。

外挿速度として利用する上層風に高層観測データを使わず、数値予報による予測値を使う理由は、高層観測データは1日2回しかなく、また入手に観測後2時間くらいかかり、少なくとも3時間毎に行なわれる短時間予報に適しないからである。



第5図 東京レーダのスケッチ図から5kmメッシュでデジタル化されたエコーパターン(第4図の予測のイニシャル)。エコー強度は3段階に表示されている(—:弱, 0:中, @:強)

6.3 短時間雨量予測の実例

第3図の手法に従って、1975年9月18日22時を初期時刻として、4時間後までの関東地方の雨量を予測した例を説明しよう。第4図(a)はその予測結果で、エコースケッチ図から5km格子でデジタル化された東京レーダのエコーパターン(第5図)と雨量観測網(アメダス)の実測雨量データにより電子計算機で計算したものである。第4図(b)は、(a)に対応する実測の4時間雨量で、図中の黒点は雨量観測点を示している。各観測点において実測の4時間雨量と予測値との間の相関係数を計算すると、0.64になる。この場合、初期時刻の前1時間の雨量がそのまま4時間続くとするいわゆる「持続性予報」の相関係数は、0.04にしかならない。つまり、第3図の予測手法によって大幅な精度向上ができたわけである。

第4図を40km格子で区分して、各区分内の観測点の平均雨量で実測と予測の間の相関係数を計算すると、0.77に向上し、十分に実用になる精度である。

一般に、雨量を平均する区分を大きくするほど相関係数が高くなることが期待される(2節参照)。つまり、短時間予測の結果を実用的な精度で表現するためには、その予測技術のレベルに応じて、適当な地域区分を選ぶ必要があるということである。現在の技術開発の状況では、4時間雨量予測で20~40km程度の地域区分が妥当のようである。

この例のほか、散在する対流性エコー、帯状エコー、面状エコーなど各種のエコーパターン24例(東京レーダ)についてコンピュータによる4時間予測のテストを行なったが、その結果をまとめると次のようであった(牧野・俣野・立平, 1978)。

各アメダス点における実測値と予測値の間の相関係数で予測精度を表現すると、24例の平均で0.54であった。比較のために「持続性予報」の相関係数も計算したところ、平均0.35となった。前の例のように、40kmメッシュにまとめて相関係数を計算すると、その平均値は、観測点毎の値(0.54)をかなり上廻って0.65にまで向上する。人手による短時間雨量予測のテストでも、精度はこの程度であった(柴田・伊丹, 1978)。

0.65程度の相関係数は実用にもう一息という感じであるが、当面次のような改善手段が残されている。

(2) レーダビデオを直接デジタル化し、細かい強度レベル(10段階程度)および細かい時間(約10分程度)のデジタルエコーを使用する。

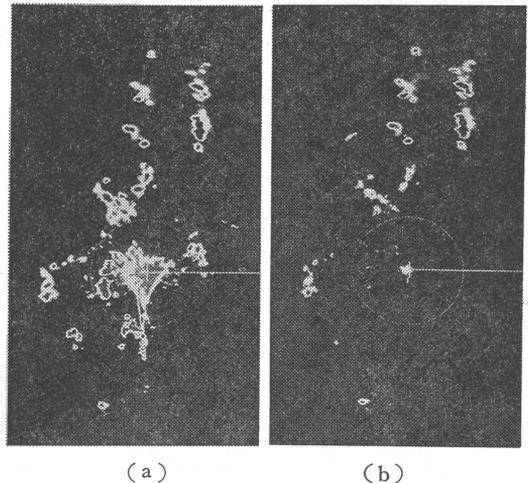
(2) 予想エコーパターンを雨量に換算するための係数「レーダ雨量係数」は、今後各アメダス観測点の統計値とか地形性降雨を考慮するなどの方法で改善が期待できる。

(3) 運動学的予想の精度を上げるには、エコーの発達衰弱による補正を加える必要がある。補正手段として、地形効果およびアメダス(風、気温など)によって検出される地上のメソ系を利用する方法が調査され始めている(上坂・櫃間, 1978)。

6.4 短時間雨量予測とレーダエコーのデジタル化

20~40kmメッシュで短時間雨量予測を行なう場合、各府県の子報担当者は少なくとも数メッシュの予測を担当することになる。しかも、予測作業に時間がかかれば短時間予報の意味がなくなるので、人手ではなかなか処理しきれない。そこで前節の例のようにコンピュータ処理を導入することになるが、エコーをコンピュータで扱うためには、これをデジタル化しなければならない。

しかし、レーダの画面には降水のエコーだけでなく、山などの地形によるエコーが大量に混在しているので、これを除去してからでないとデジタル化しても意味がない。幸い、この問題はエコー強度の時間変動特性が降水と地形で異なることを利用した除去技術の開発によって解決されている(立平他, 1976)。



第6図 仙台レーダのPPI写真(1977年7月5日14時35分、距離円は50km毎)。

(a) 通常のエコーパターン
(b) グランドエコーを除去したエコーパターン。共にグレースケールで表示してある(灰色:1~4mm/hr, 白色:4~16mm/hr, 黒色:16mm/hr以上)。

第6図は、この技術に基づいて製作された降水エコー検出装置を仙台レーダに取り付けて雷雲を観測した例である (Tatehira・Shimizu, 1978)。

7. 短期予測の技術

7.1 概説

短期予測に最も関連の深い気象現象は、低気圧、高気圧、前線などの大規模現象である。大規模現象は、第2表のように数日の寿命を持ち、明日・明後日までの短期予測には、その移動や発達衰弱を予測することが最も基本的な作業となる。

大規模現象の予測作業は、今では殆んど数値予報に依存している。しかし、数値予報で明日・明後日の大規模現象の予想が与えられたとしても、これから直接に天気予報あるいは雨量予報が出せるわけではない。つまり、5.1節で説明したように、降水は直接的には中規模あるいは対流現象に結びついているからである。

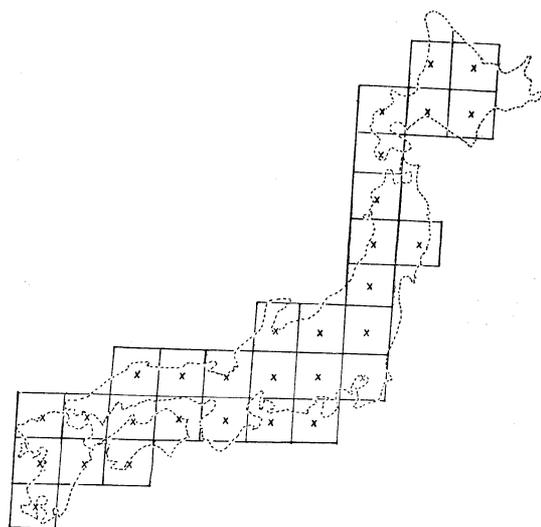
結局、明日・明後日の大規模現象の予想に引き続いて、これを降水などの局地的な天気へ対応づける作業、つまり天気への翻訳が行われなければならない。

7.2 天気(特に降水)への翻訳技術

天気への翻訳に使われる技術は、次の4種類に大別される (立平, 1978)。

(1) 天気分布モデル

低気圧などの顕著な大規模現象に伴う降水域や雲域の分布をモデル化し、これを数値予報で予想された大規模



第7図 気象庁の6層ファインメッシュ・プリミティブモデルの格子点(約150kmメッシュ)。

現象に適用し、天気分布を予想する。類似天気図法もこの一種と考えることができる。

(2) 天気実況の利用

実況の天気分布が大規模現象とどのように関係しているかを解析し、その関係を明日・明後日の予想大規模現象に適用する。

(3) 数値予報結果の統計処理 (MOS)

数値予報の結果は、具体的には約150km間隔の格子点における予測値として出力される。第7図は日本付近の格子点の分布を示したものである。この格子点予測値(地上気圧、上層の気温、湿度、風など)と、格子点のまわりの天気(たとえば降水量)との対応を、過去数年間の資料により調査し、統計的な翻訳式を作成するという方法である。

(4) 中小規模現象のシミュレーション

数値予報で明日・明後日の大規模場が予想されたら、その中でどのような中小規模現象が発生するかを物理的な数値シミュレーションによって計算し、対応する天気を予測しようとする方法である。この手法は、将来性はあるが中小規模現象の物理的機構が十分解明されていないので、まだ実用にはなっていないが、地形性降雨の計算(立平, 1976b)などはその極く簡単な例といえることができる。

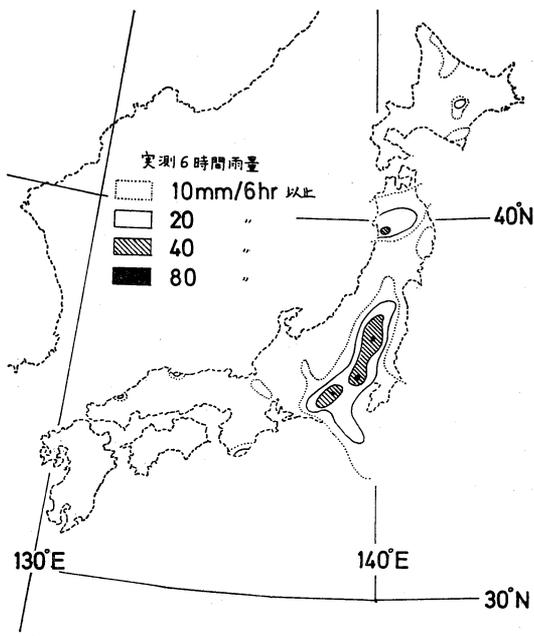
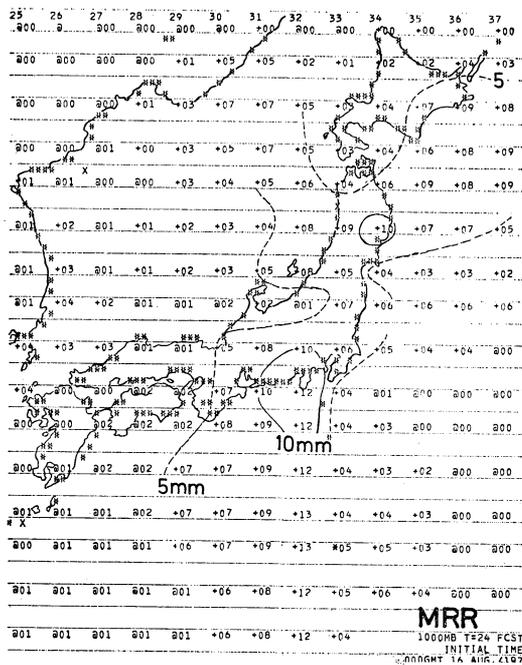
以上に説明した4つの方法のうち、当面もっとも改善が期待できるのは、(3)の統計処理による方法である。米国ではこのような天気への翻訳手法を Model Output Statistics (略称 MOS) と呼んでおり、雨のほか、雲量、気温、風などについて MOS 方式の予測式が作られている (Klein 他, 1974)。予測結果は、図にされ FAX で全国に放送されている。

MOS 方式の天気への翻訳には、次のようなメリットが考えられる。

(1) MOS 方式は数値予報の予測結果を網羅的に活用し、長期間の大量のデータから導かれた統計的予測式を使うので、客観的であり、また予測結果を確率で表現することも容易である(確率表現のメリットについては7.4節参照)。

(2) MOS 方式の統計的予測式を作成する過程で、数値予報モデルの「くせ」による誤差はある程度、自動的に修正されるので、精度が高まる。

(3) 天気分布モデルや天気実況を利用する天気への翻訳とは違って、はっきりした低気圧や前線などのない漠然とした予想大規模場の場合でも適用できる。



第8図 (a)

(b)

(a) 1977年8月16日09時をイニシャルとする18~24時間後の6時間雨量予想(約150km²の領域の平均)。
 (b) 対応する実測の6時間雨量。

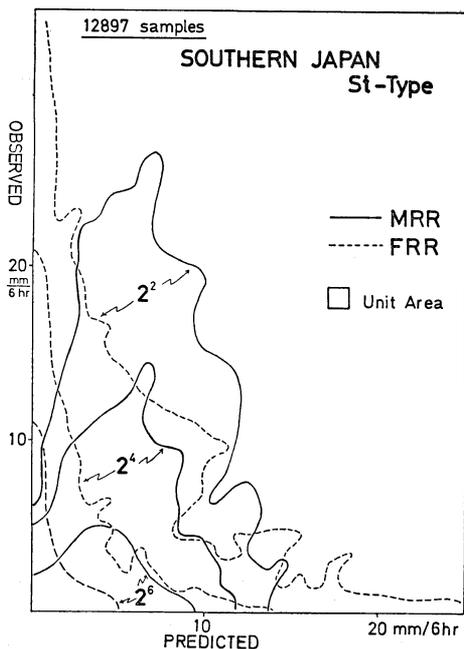
(4) 大量の数値予報からの情報を処理して天気へ翻訳する労力が省け、真に人間でなければ処理できない高度な予報作業に人力を集中できる。

雨量の統計的予測は古くから行なわれていたが、これは、現在の観測値と明日・明後日の雨量との間の統計的関係性による予測である。この両者の間の関係は、MOSのように単に大規模現象の天気への翻訳といったすっきりしたものではなく、時間変化もからんだ複雑なものである。したがって、精度もMOSに比べ一般に劣っている。

7.3 MOS方式の降水量予測

気象庁では、第7図の約150km²の区域内の平均の6時間雨量を予測する式をMOS方式で作成し、1977年の夏から1日2回、ルーチンに計算している。

第8図(a)は、1977年8月16日09時を初期時刻とする18~24時間後の6時間雨量予想である。格子点に記入してある数値は、その周りの約150km²の領域の平均値を示している。これに対応する実測の6時間雨量がどうであったかを、第8図(b)に示す。予想値は、150kmメッシュの平均であるから実測のように集中した強



第9図 MOS方式の6時間雨量予測(MRR)と実測値を比較した散布図。

雨域が表現できないのは当然であるが、150kmメッシュで平均して考えても、実測より少な目に予測されている。

このような6時間雨量の予想は、初期時刻から、6~12時間、12~18時間、18~24時間について計算されているが、将来はさらに、24~30時間、30~36時間の予想雨量も追加される予定である。

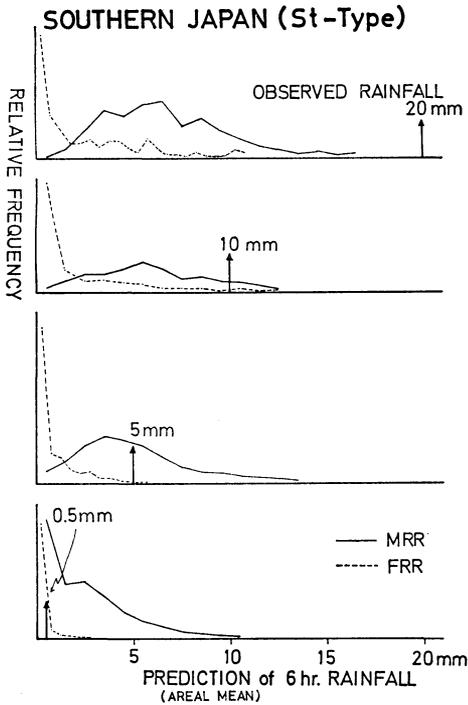
第9図は、MOS方式の6時間雨量予想(図ではMRRと略称)の精度を、関東および中部地方以南の領域について暖候期2年分をまとめて表示したものである(保科・此田・立平, 1977)。この図は、予測(PREDICTED)と実況(OBSERVED)を対比させた散布図であるが、標本数が1万以上もあるため、図中のunit areaで示された面積に入る点の数の等値線(2⁰, 2¹, 2²)で表現してある。実線はMRRの等値線であるが、比較のため破線でFRRの等値線を示してある。

FRRというのは、数値予報で予測された各格子点の水蒸気量が、やはり数値予報で予測された上昇流によって持ち上げられたときに生ずる凝結量である。これは、大規模場の上昇運動によって期待される降水量と考える

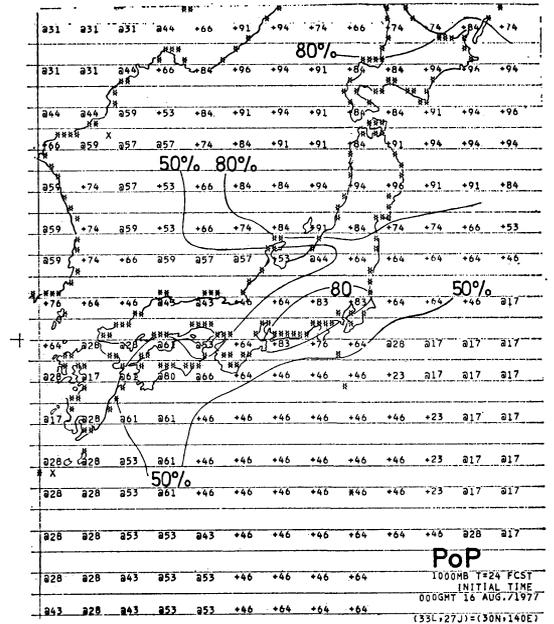
ことができ、1日2回他の数値予報の予想図と共にFAX放送されているものである。

第9図によれば、MRRの分布はFRRに比べればかなり改善されていることがわかる。この様子を詳しく見るために、実測6時間雨量(OBSERVED)が、20mm, 10mm, 5mm, 0.5mmの4つの場合について、それがMRR(実線)およびFRR(破線)でどのような値に予想されていたかを示したのが第10図である。FRRは、どの場合でも0mmと予測する回数が最も多い。MRRは、実測雨量の増大と共に、予測回数のピークの位置も次第に雨量の大きい方へずれてゆく傾向が認められる。しかし、実測雨量20mmの場合でも、ピーク値は7mm程度の過小な予想雨量の位置に現われている。

第10図のMRRに見られるような、実測値と予測値の間の系統的なズレは、MOS方式の統計的予測式を作成する時に適当な操作を加えることによって軽減できる可能性はある(保科・此田・立平, 1978)。しかしそれにしても、予測値の実測値のまわりのバラツキはかなり大きく、実用上問題がある。



第10図 特定の実測6時間雨量値(20mm, 10mm, 5mm, 0.5mm)に対する予測値(MRRおよびFRR)の度数分布。



第11図 1977年8月16日09時をイニシャルとして、18~24時間後の6時間内に約150km平方のメッシュ内で降水がある確率を予測した値(PoP)。ここではメッシュ内の全観測点のうち10%以上の点で1mm以上の雨があれば「降水アリ」と定義している。

(Klein 他, 1974).

気象庁の降水確率予測式は、検証の結果、米国の予測式より精度がよいことが明らかにされている(保科・此田・立平, 1977).

第11図は、降水の有無を予測する確率であったが、任意の量の降水が発生するかどうかの確率についても全く同様の手法で予測式を作ることができる。第12図は、約150 km 平方内の平均の6時間雨量が20 mm 以上の大雨になる確率(Probability of Heavy Precipitation…略称 PoHP)を予測したものである。この予測に対応する実況の6時間雨量は第8図(b)に示されているが、全体として確率の大きい所で強い雨のあることがわかる。

第12図では第11図とは違って、大雨の降っているメッシュでも10~20%程度の小さな確率しか予測されない。これは、このような強い雨が降る気候学的確率が僅か2%程度しかないことによるものである。つまり、10~20%の大雨確率は、平均よりも5~10倍も大雨が降りやすいことを意味しているわけである。

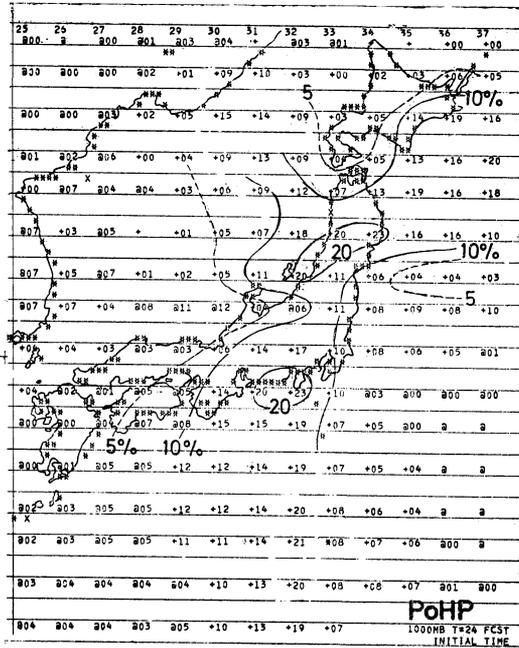
このような確率予報は、次のような利点を持っている。

(1) 数値予報は大規模場を取り扱うものなので、その予測結果からは、大雨のような中小規模現象の発生を決定論的には予測できず、発生の可能性の大小、つまり確率で表現するのが最も適当である。

(2) 一般に予測結果は、その精度を付加することによって利用価値が高められることが知られている。確率予報はそれ自体が精度を表現している。

(3) 確率予報の場合は、各利用者が最適の対応策をとることが容易になる。たとえば、もし大雨が起これば重大な被害を受ける利用者は、僅かの大雨確率でも対策をとらねばならない。逆にたいした被害を受けない利用者は、よほど大きい確率の場合だけ対策をとるようにしないと、対策費がかかりすぎて損をするわけである。決定論的予測では、このような使いわけはできない。

現在の MOS 方式の予測式に使われている予測因子は、殆どが各格子点における数値予報プロダクトの値である。しかし、これをもっと拡張して、3節で述べた各種の予測因子も利用することによって、さらに改善が期待できる。たとえば、各種のパターンの因子(数値予報プロダクトのパターン、解析図のパターン、レーダや衛星の画像など)などについては、これまでに予報官の経験の積み重ねがあるだけに有望である。このように拡張して MOS を考えれば、天気分布モデルや類似天気図



第12図 前図と同じ時間内に、メッシュ内の平均雨量が20mmを超える確率の予測値(PoHP)。

もっとバラツキの少ない、利用しやすい雨量予測にするためには、現在の技術水準では予測期間および予測領域を拡張した表現にせざるを得ない。たとえば、関東、東海、近畿などの地方単位で、しかも12時間雨量を予測する方式を作成すれば、予測値のバラツキは第9図や第10図に比べかなり減少し、使いやすい表現になることは確かである(保科・此田・立平, 1978)。

もう一つの方法として、次節に述べるように、予測結果を確率的に表現することも試みられている。

7.4 MOS 方式の降水確率の予測

第7図の各格子点における数値予報の予測値と、その格子点のまわりの約150 km 平方の領域内の降雨の有無を対応させると、MOS 方式の降雨確率の予測式を作ることができる。第11図はその一例で、6時間内に各メッシュ内で降雨が発生する確率(Probability of Precipitation…略称 PoP)を示している。

米国では10年程前から、MOS 方式の予測式で計算された降水確率予報が全国に FAX 放送され、各地方の予報者は、これを多少修正して天気予報文の中に入れている。しかし検証した結果では、予報者による修正は12時間以上先では殆んど効果がないことが報告されている

法の長所も取り入れた有力な予測手法となろう。

また、MOS 方式のような統計的手法といえども、なるべく天気現象のメカニズムを考えて、それをできるだけうまく表現するよう予測因子を選択したり組み合わせたりする必要がある。ブラックボックス指数や地形性降雨指数などは、降水現象に対するこのような努力の一例である (Tatehira・Nakayama, 1976)。

文 献

保科, 此田, 立平, 1977: 数値予報を利用した雨の統計的予報, 昭和52年度数値予報研修テキスト, 30-41.

——, ——, ——, 1978: 雨の予報, 昭和52年度全国予報検討会資料 (気象庁予報部), 1-6.

気象庁予報部, 1978: 注警報の地域細分発表について, 昭和53年度予報課長会議資料, 77-79.

Klein, W.H. and H.R. Glahn, 1974: Forecasting Local Weather by Means of Model Output Statistics, Bull. Ame. Met. Soc., 55, 1217-1227.

牧野, 俣野, 立平, 1978: 電算機による雨量の短時間予測, 昭和52年度全国予報検討会資料 (気象庁予報部), 100-105.

小楠, 掛橋, 山村, 1978: レーダエコーの発達衰弱の地域特性, 昭和52年度全国予報検討会資料 (名古屋地方気象台), 14-24.

柴田, 伊丹, 1978: 雨の短時間予報についての業務実験と検討, 昭和52年度全国予報検討会資料 (気

象庁予報部), 95-100.

立平, 1972 a: 温帯低気圧のエコーパターン, 気象研究ノート, 112, 361-371.

——, 1972 b: 帯状エコーの形成機構, 気象研究ノート, 112, 346-354.

立平, 清水, 小佐野, 1976: 地形エコーと重畳した降水エコーの強度測定—地形エコー除去の方法, 研究時報, 28, 1-4.

立平, 1976 a: レーダエコーのデジタル化, 天気, 23, 69-74.

——, 1976 b: 雨滴成長を考慮した地形性降雨の計算, 天気, 23, 95-100.

Tatehira, R. and T. Nakayama, 1976: Objective Forecasting of Heavy Precipitation Using Numerical Prediction Model Output, WMO Symposium on the Interpretation of Broad-Scale NWP Products for Local Forecasting Purposes, 121-127.

立平, 牧野, 1977: 短時間雨量予報の技術開発, 昭和51年度全国予報技術検討会資料 (気象庁予報部), 61-68.

Tatehira, R. and T. Shimizu, 1978: Intensity Measurement of Precipitation Echo Superposed on Ground Clutter—A New Automatic Technique for Ground Clutter Rejection, Preprints of 18th Conf. on Radar Met., 364-369.

立平, 1978: 数値予報プロダクトの利用—局地天気予報への利用, 気象研究ノート, 134, 373-383.

上坂, 櫃間, 1978: 寒冷前線に関連した雨について, 昭和52年度全国予報検討会資料 (気象庁予報部), 105-110.