

メタリゼーションのことを避けて通るわけにはゆかないのでその影響についても考えてみたということである。

松本：学会なのでちょっと妥当でないかもしれないが、参加している人が現場の人が多いのでお聞きしたい。モデルについて不備を指摘されたのだと思うので、こんな不備があるのだけれどこういう風にみていただきたいというような事をまとめてコメントして欲しい。

山岸：量的対応は非常に悪く利用がむづかしい。定性的対応さえも非常に悪かった冬の季節風降雪に対しては、今年の冬からは、モデルでもかなり降水を予想しうると思う。ただそれが大雪のポテンシャル予報にも利用できるかという点については自信がない。チェックをお願いしたい。暖候期についても雨域の広がりとか、全体としての移動とか云った定性的な事には利用できる。しかし量的対応を考えると、大雨のポテンシャル予報に用いようとするには無理があるようだ。特にははっきりしたじょう乱にともなわずモデル大気の安定性を解消する結果生ずるような降水については、注意が必要と思う。地域的には日本の南部特に沖縄方面で一番問題になりそうに思う。改善のメドについては次の暖候期までにと云うのを目標にせざるを得ない。ただ対流のパラメタリゼーションは雨の予報だけを目的にしているものではないので、雨ということからみれば実況ではあまり降水のない所に予想で多く出てしまうケースが多いというのが一番問題と思われる。

駒林：今の話にコメントしたい。もともと対流調節という思想を真鍋さんが導入した最初の理由は、水蒸気や気温その他の高層のデータが豊富にあるアメリカ大陸で雨量の数値予報をやって見たところ、今でいえば対流調整を入れない一番単純な数値予報だが、雨の降る、降らないの範囲は合う。けれどもフロリダやミシシッピ河口のような南部の所で、雨量が非常に降り足りないという欠陥がでた。

それでフロリダやミシシッピ河口のような比較的熱帯的な所で雨量を増すために対流調節というものがあった。

そうすると、先ほど山岸さんがいわれたが、低い所のじょう乱が無い所でも降ってしまう。たしかそういう欠陥があったと思われる。

一たん降ることがわかっていけば、その量は合う、けれども降ることがわかっていない時には、簡単に対流調節をさせると、降らない所に降ることにしてしまつて、沖縄などで迷惑をかける。そういう事があるので下層のじょう乱と対流調節を結びつけるものが必要な気がする。

そのために観測が必要だと思うが、現在のバイメタル方式のラジオゾンデでなくて、サーミスターのようなレスポンスの早いもので小さな温度構造を解明できる観測が必要だと思う。

551. 57

#### 4. レーダー情報の利用\*

立 平 良 三\*\*

雨量予報の技術は、その予報時間の長さによってかなり違っている。24時間程度の子報の場合は、数値予報による予想総観場が主な拠りどころとなる。しかし注意報・警報に密接に関連する数時間先の子報の場合は、数値予報は大きな役割をもたなくなる。レーダー情報が利用されるのは、主に数時間先の子報の分野なので、こちらをまず取上げてみよう。

##### 1. レーダーを利用した短時間雨量予報

###### 1-1. 降雨実況の把握

何の子報でも、まず初期値解析が正確でないことには始まらない。雨量予報の場合は、これは実況の即時把握ということで、その重要性は以前から強調されていた。

短時間予報の場合は、初期値としてきめの細かいいわゆるメソスケールの構造が必要とされ、通常の総観場予想のための初期値とは違っている。

现阶段で考えられる最善の方法は、AMeDAS とレーダーの組合せであろう。AMeDAS のデータは値は正確だが、どの程度の領域の雨量を代表しているかにあまい点があり、一方レーダーは雨量分布を連続的に表現

\* Utilization of weather radar for rainfall forecasting

\*\* R. Tatehira, 気象庁電計室

するが、その値は絶体的な意味では信頼度が低い（相対的な変動は十分よく表現される）という相補性を示しているからである。また海上から擾乱が接近する場合は、海上の初期値は非常に重要であるが、これはほぼ全面的にレーダーに頼らざるを得ない。

1-2. 短時間予想の技術

最も簡単な予想技術は、初期値がそのまま持続すると仮定することである。つまりレーダ反射因子を  $Z$  (AMeDAS のデータで補正したものとす)、雨量を  $R$  で表わすと、

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \rightarrow R \propto \int_0^t Z dt = Z_0 t \dots\dots\dots(1)$$

となり、初期値における  $Z$  (エコー強度) や、これと関係の深いエコー頂高度が雨量予測上重要な意味を持つことになる。

数年前にまとめられた集中豪雨の予・警報についての総合報告 (予報課, 1969; 齊藤, 1972) を見ると、エコー強度やエコー頂高度の利用を強調しているが、エコーパターンについては言及されていない。つまり予報技術としては初期値の持続を基本にしたものと受け取れる。また、報告の中でも、このようなレーダーの利用の仕方では、注意報・警報の出遅れが多くならざるを得ないことが指摘されている (予報課, 1969)。

次の予想技術として単純補外を考えてみよう。これは気象系の life time や growth rate に依存するが、メソスケールで考える場合でも数時間の補外はかなり危険かも知れない。

単純補外は式で表わすと、

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -C \cdot \Delta Z \quad C: \text{エコー系の移動速度} \dots(2)$$

$\Delta Z$  はエコーパターンと AMeDAS のデータから決められるものであり、特に沿岸部での  $\Delta Z$  は全面的にエコーパターンに依存する。予報技術として補外を使う段階で始めて、エコーパターンが重要な因子となってくるわけである。

$C$  として、実測のエコー系の移動速度を使う方法 (Wilk and Gray, 1970) もあるが、エコー系の identification が困難な場合がある。一方、小エコー域が対流圏の平均風速で動くという事実を利用する方法もあり、これは広範囲のエコーパターンをまとめて扱うときに便利である (立平・牧野, 1974)。

(2) 式によれば、 $C$  と  $\Delta Z$  が直交するときは  $\partial Z/\partial t$

= 0 になることがわかる。このときは初期値がこのまま持続するのと同じになる。例えば線状エコーの中のエコー要素が線状エコーの走向に沿って動く場合はこの条件が満たされるが、実際このようなときに大雨の降ることがよく経験されている。

もう一段予報精度を高めるためには、単純補外でなく、エコーパターンの発達衰弱も考慮しなければならない。この場合、(2) 式にはエコーの発達衰弱を表す項  $Q$  がつけ加わる。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -C \cdot \Delta Z + Q \dots\dots\dots(3)$$

$Q$  を見つめる方法として、すぐ実行できるのは、ある時刻のエコーパターンを単純補外し、このときの実際のエコーパターンと比較して差をとるという手法であろう (立平・牧野, 1974)。しかしこれはこの二枚のエコーパターンの時刻間における  $Q$  の値であって、この  $Q$  をそのまま補外に使うのは問題がある。

そこで第一近似として  $Q$  のパターンがメソ系 (現実的には総観系) と共に移動するものと仮定してみよう。以上のような考え方を台風7125号のエコーパターン (10 km×10km メッシュでデジタル化) に適用し、コンピュータで短時間予想を試みた結果は、4時間程度までは現場の予報作業に使えそうな精度であった (立平・牧野, 1974)。もちろん人間が手作業で外挿したものよりも正確なパターンが得られる。

エコーパターンの発達衰弱の効果をもっと物理的に導入するには、メソ系の機構についての十分な智識が必要である。メソ系の行動を支配する因子は次の二つに大別できる。

- (1) メソ系のイニシャルにおける構造 (初期値)
- (2) メソ系の周辺一般場 (総観場) の構造

メソ系の初期値の把握は、地上では辛うじて可能であるが、地上だけではメソ系の行動を力学的に予測するには不十分である。レーダーもメソ系の初期値についての情報を与えることができるが、これは三次元的であるという利点はあるものの、主として降水粒子の分布しかわからないという欠点がある。しかしレーダーはメソ系のスケール、移動、烈しさの程度について、殆んど即時的に情報を提供してくれる。この点は、手間のかかる地上メソ解析に比べ遙かに現業作業向きである。

とにかく、今のところメソ系の初期値の把握とその予測への利用については現在実施されている以上の大きな飛躍は望み薄である。従って当面の課題は(2)項の、総

観場の構造がここで発生するメソ系の性質や行動をどのように規定するかを明かにすることと考える。幸い総観場については、三次元的構造の詳細が入手できるので、この種の研究が進めばメソ系の行動の予測精度を現業的にも高めることが可能になろう。

地上メソ解析やレーダー観測は、前述のように、力学の予報の初期値としては不十分であるが、それでもメソ系の今後の発達衰弱について何かの情報が得られる可能性はある。つまり、短時間予報的な立場からすれば、大雨域に伴ってどのような地上メソ構造があるかということではなく、どのような地上メソ構造のときに大雨域が発達（あるいは衰弱）するかを解明することが重要である。またレーダー観測の場合も、エコー域がどのような特長を示すとき、その後の発達（あるいは衰弱）が起るかを見出すことが望まれる。

2. レーダーの短期予報への利用

24時間程度の短期予報の技術は次の2つの段階にわけ考えられる。

(1) 一般場（総観場）の予想

この段階は主に数値予報と総観的手法によって行われ、レーダーは、単にデータ不足域の初期値解析に利用される可能性があるだけであろう。

(2) 天気（特に降雨分布）への翻訳

天気（特に降雨）に直接的に結びついているのは総観系ではなく中小規模系であることが多い。天気の予想には、予想総観場の中でどのような中小規模系が発生するかを推定する必要があるわけである。

後者の問題については次の2つのアプローチが考えられる。

(1) 各種総観系（高低気圧、前線、谷、ジェットなど）の中における中小規模系の分布のモデル

この種の調査としては、大雨発現時の総観場のモデル（気象庁予報部、1973）、地上低気圧に伴うエコーパターンのモデル（立平、1972）などがあり、また古典的なビヤークネスの低気圧モデルもこれに属するものと考えられる。富士山レーダーあるいは幾つかのレーダーの合成図がこの種の調査に大きな役割を果そう。しかしこのアプローチは、ややもすれば主観的になりがちであり、また2次元の考察に止まりがちである。さらに、そのモデルがどの程度の精度を持つかを検証することも容易でない。

(2) 各地点における各種総観因子（三次元）から、そこで発生する中小規模系の性質を推定すること。

前項のように総観場を総観系として把握するのは、現業的に便利な方法であるが、場合によっては既製の総観系の枠に収まらない総観場も現れる。だから、総観場を、例えば数値予報の各格子点（3次元）に与えられた各種総観因子の集合として把握した方がより包括的かつ客観的であり、また精度の検証も容易である。

以前からよく行われてきた雨量の統計的予報は(2)のアプローチに類するものも考えられる。最近気象庁予報部で開発中のブラックボックス法（立平、斉藤、1973）を主体とする大雨ポテンシャル予報もこのカテゴリーに属するが、次の点で従来の統計的予報の手法と異なっている。

まず、数値予報によって得られた12時間あるいは24時間後の予想総観因子を用いて、その時刻の雨を予報しようとしている（従来は予測因子はイニシャルの実測値が主体であった）。

次に、通常総観因子（風、水蒸気量、気温、 $\zeta$ ,  $\omega$ など）をそのまま予測因子とせず、中小規模系の簡単なモデルを想定し、このモデルが予想総観場の各格子点に発生した場合に期待される雨量強度を計算し、これを予測因子としている。

一般に統計的雨量予報で精度を上げるためには、単に予測因子の数を増加するだけでは限度がある。いま雨量  $R$  が二つの総観因子  $V$  および  $Q$  のある関数であるとしよう。 $R$  をテーラー展開すると、

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial R}{\partial Q} \Delta Q + \dots + \frac{1}{n!} \left( \frac{\partial}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial}{\partial Q} \Delta Q \right)^n R \dots \dots (4)$$

一方、統計的予報に使われる重相関回帰式は、

$$\Delta R = a_1 \Delta V + a_2 \Delta Q \dots \dots \dots (5)$$

つまり総観因子をそのまま予測因子にした統計的予報は(4)式の二次以上の項を無視しているわけである。精度を上げるには、 $V$  や  $Q$  をそのままではなく、できるだけ真の関数形に近い形に組合せて予測因子に使うべきである。ブラックボックス法は風速  $V$  と比湿  $Q$  を中小規模系の雨量強度を近似するよう組合せて、これを予測因子としているわけである。今後さらに近似度の高い組合せの出現が期待されるが、レーダー解析によって明かにされる中小規模系の諸性質は、その開発のための重要な基礎となろう。

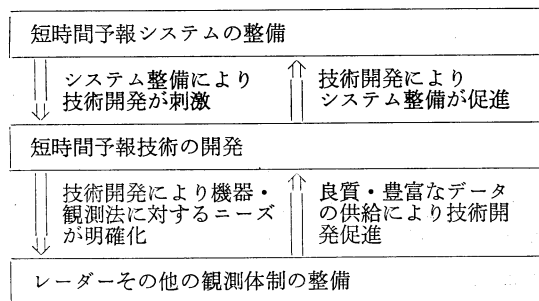
なお、現在気象庁から流されている24時間雨量予想図は、総観規模の上昇流と水蒸気分布から計算される水蒸

気凝結量を示したものであって、これが中小規模系による雨量に比例するものであるという一種のモデルを想定していると考えられる(気象庁予報部, 1973)。

最後に地形の影響についてふれておこう。雨量が地形によって大きく左右されることは明白な事実である。しかし従来の、斜面上の空気の滑昇で起る水蒸気凝結量で、地形による雨量増加を見積るのは雲物理学的に不合理であるし、また実際の降雨分布とも必ずしも一致を示さない。もっと力学的にも雲物理学的にも無理のない見積り法が開発されねばならない。

3. レーダーを組込んだ短時間雨量予報システム

前節までに述べたレーダーの利用法にもとづいて、どのような短時間雨量予報システムが期待できるかを考えてみた。しかしこのシステムは、短時間予報技術の開発およびレーダーその他の観測体制の整備と不可分の関係にある。これを図解すると次のようなことになる。



現状では上の3つの柱はどれも不完全で、短時間雨量予報作業は十分組織的に行われているとはいえない。次の2点が充足されれば一応まとまりのある短時間雨量予報システムが構成できよう。

(1) 地方予報中核で、常時3時間毎、異常気象時は毎時の短時間予報の発表。

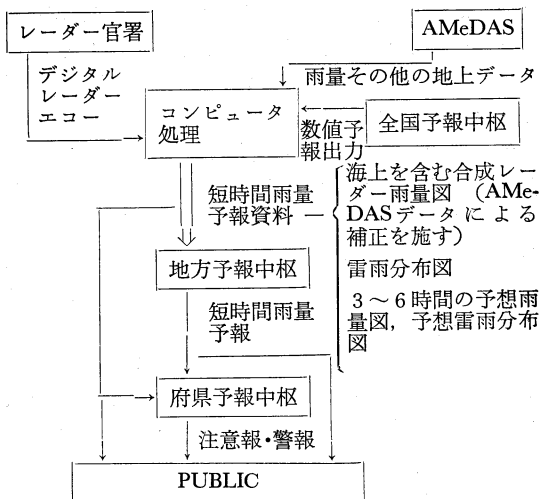
(2) AMeDASの完成に加えて、レーダー観測の自動化およびデータのコンピュータ処理(レーダーエコーのデジタル化が前提)。

短時間予報に関する情報は、伝達に時間がかかると急速にその価値を失うので、上図のように直接に末端利用者(PUBLIC)が受信できるルートを作っておかねばならない。

文 献

気象予報課, 1969: 集中豪雨の予・警報の実情とその問題点. 研究時報, 21, 535-563.  
 気象庁予報部, 1973: 予報作業指針(雨量予報)  
 斉藤鍊一ほか(1972): 集中豪雨に関する注意報・警

可能なシステムの一例を示せば次のとおり。



報作業上の問題点の調査報告. 測候時報, 39, 172-203.

立平良三, 1972: 温帯低気圧のエコーパターン. 気象研究ノート, 112, 361-367.

立平・斉藤, 1973: 豪雨予想の一方. 研究時報, 25, 31-42.

立平・牧野, 1974: デジタル化されたエコーパターンの予報への利用. 研究時報, 26, 188-199.

Wilk, E. and K. Gray, 1970; Processing and Analysis techniques used with the NSSL weather radar system, Proc. 14th Radar Meteorology Conference, 369-374.

討論

駒林: レーダーエコーパターンを単純外挿したのを補正するとかかなり良くなるという話だが、この補正項Qの予想はどうか。

立平: Q決定は初期の1時間間隔のエコーパターンから決定する。

このように決定されたQを、この例では台風の移動速度で外挿している。

松本: 将来の予報ということで気象衛星について何かのべられる点はないか。

立平: 気象衛星も予報システムの中に総合的に組入るべきだろう。ただ短時間予報という事になると、それほど大きなウェイトは占めないのではないかという気がする。

松本: 特にIRの資料なんかとかの組み合わせといった所をもう一度。

立平: レーダーで把握できるものは雨粒であり、一方

気象衛星資料は雲粒の情報を与えてくれるので、将来こういうものを総合した短時間予報技術が生まれてくるはずだと思う。

松本：シノプチックスケールとメソスケールのリンクの話をして、その追求を強調しているが誠にそのとおりのことだと思う。

現在 GARP ではメソシステムを飛び越して、シノプチックスケールとコンベクションとの結び付きを調べようとしている。グローバルのモデルを考える場合、このようなアプローチは実際の問題として第1ステップとしては容認するが、不安も感じている。というのは、スケールはたくさんあるが、主要なものはシノプチック、メソ、コンベクションである。私はコンベクションとメソの間のリンクが一番強いのではないかという気がする。

コンベクションはシノプチックスケールにはねかえるし、もちろんメソスケールにもはねかえる。そこで将来三つのリンクをどのようなふうに入れていくか、あるいは段階的に、どこまでどのようなふうに入れていくかという問題があるのではないか。

立平：私も今の意見に賛成である。山岸さんの話でも、現在の対流調整は本来ラージスケールの場をうまく予想するために導入されたテクニックであるとの説明があった。

対流調整により雨量予報を良くするためには、従来のやり方を変えなければならないのではないかという意見を持っているが、その一つの方向としては、いま松本さんがいわれたように間に一つメソスケールを介在させるという考え方がある。

不安定の解消は、現実には集中され、オルガナイズされたメソスケールで起ることが多い。どういう場所であるかということは今何んにもアイデアがないが、その辺をきちんとやれば、対流調整というものが雨量予報とよく結びつくのではないかという考えはある。

立平：午前中の話で府県中枢に対して、注意報・警報を出すために必要な資料をもっと提供すべきだという話があった。これについての私の考えを第3節に述べたが、その他こんなものがあれば助かる、あるいは他の形のこんなものが欲しいというような要望はないか。

酒井：考えていた以上の資料で、これだけいただければ現業的には当面は十分のように思う。しかし、雨量予報だけでなく、ローカル予報技術の確立が目的であるし、もっとローカル予報をシステムチックにやりたいので、単に予報を出す手段としてだけの資料でなく、これらの種になる資料という面で、もう少しなんとかならないかという希望も持っている。

551. 57

## 5. 雲物理と雨量予報\*

駒 林 誠\*\*

### 1. 昔の雲物理

雲物理学が始まった時代には、なぜか海上の雲や霧が熱心に議論されている。地中海の出口にあたるジブラルタル海峡に現れる黒い雲が、今にも降りそうで決して降らないのはなぜか（たとえば今井一郎、1956 参照）。ノルウェーの西海岸地方へ海からやって来る雲では小さい雲からも降ることがあるのはなぜか。さらにさかのぼれば、大陸移動説を唱えたウェーゲナーが北極探検をしたときに、北氷洋の海上の霧が $-35^{\circ}\text{C}$ の低温であるにもかかわらず凍結しないで過冷却のままであることを観察して、空気がきれいに過ぎて氷晶を形成するための核が欠

如しているからこおれないのではないか (Wegener 1911) と唱えるなど、海の上の話が多い。

航海中に、見えるものと言え果しない海と空だけのとき、神経がひとりでの雲の振まいに着目して知らず知らずのうちに注意深く観察を重ねるからであろうか。あるいは、よくわからない不思議な現象の原因を、気象観測網の粗い未知な海に求めようとする気持の現れであろうか。

ウェーゲナーと同じ頃、凝結核について、スコットランドのエイトケンは大気中の核数を測定した。彼は潮の引いたあとの海岸で凝結核の数が多くなると報告し、その原因として波に打上げられた海藻から蒸気が発生して核をつくるのではないかと考えた (Aitken, 1911)。もっとも、その考えは今では否定されているが、海に要因を求

\* Cloud Physics and Forecasting of Precipitation

\*\* M. Komabayasi, 気象大学校