

シンポジウム「天気予報の現状と将来」*

まえがき

シンポジウム「天気予報の現状と将来」は、1977年12月1日、気象庁講堂において、朝倉正が総司会を、能登正之、滝川雄壮が司会を担当して開催された。シンポジウムにおける講演、討論の概要を、講演者の了承を得て、講演企画委員会が録音テープをもとに作製した抄録によって報告する。
(講演企画委員会)

朝倉 気象学会でこのシンポジウムを開いた動機としては、気象学会の会員の大半は気象庁の職員でしめられているが、現場の気象庁職員に対するサービスが学会として不足しているのではないかという反省と、天気予報が学会の討論の対象となり得る科学的基盤を持ったものになってきたということがあります。国際的に見ましても、米国の NCAR で天気予報のセミナーがもたれましたし、学会として天気予報の現状と将来について討論することは意義あるものと考え、この会を

開催しました。

御存知のように、長波の力学が数値予報として天気予報に応用されて、現業に活用され定着してきているといえますが、同時に、いろいろな問題点がはっきりしてきて、数値予報による天気予報の評価、将来の発展の方向について、現在いろいろな見方がでてきています。予報というのは、業務に密接な関わり合いを持っていますが、このシンポジウムでは科学としての予報の面に焦点をあてて討論されるようお願いいたします。

1. 総論——長波の力学と天気予報

菊池 幸雄**

私に与えられた課題は総論ということなので、まず最初に、現在天気予報がどのように出されているか、また、それに関してどのような問題があるかを述べてみたい。それから、長波の力学と天気予報については、数値予報を主にした話になると思いますが、数値予報に関しては、新田さんも触れられますし、周知のことですので、ごく簡単に触れることにし、このシンポジウムでは、メソ・モデルの話も必要だと思いますので、私の話の後半ではメソ・モデルについて少し詳しく触れたいと思います。

天気予報が出されている手順を簡単に言いますと、最初に、大気の状態、すなわち、気温とか風とか気圧とか温度とかの大気の物理量が、将来3次元的にどのように分布するかをまず予報し、次に、その予報された大気の状態に対応してどのような天気現象が起こるかを判断する、すなわち、天気への翻訳を行なうということになり

ます。

大気の状態の予報は、現在、数値予報によってなされておりますが、数値予報が現業に用いられるようになったのは、およそ20年ほど前です。それ以前は、大気状態の予測から天気への翻訳まで予報官が行なっており、大気状態の予測もどちらかという、主観的・総観的な方法で行なわれていました。ところが、二十数年前、数値予報が現業に導入されて、大気状態の予想のほうは数値予報でやる、というように変わって来たわけでありませう。

導入された当時は、まだ数値予報の精度が良くなくて、いろいろ問題もあったようですが、最近は精度も上がり、大気状態の予測は数値予報にまかせて、それ以降の天気翻訳を予報官が行なうというような方法が定着してきたように思います。

数値予報のことを振り返ってみますと、一番最初に、力学の方程式を解いて大気の予報をすることというのを Richardson がやったわけですが、その時は、いわゆる気象学的ノイズについての概念がはっきりしておらず、気象学的ノイズを予報してしまっ、予報は失敗に終わ

* Symposium on Weather Forecasting.

** Y. Kikuchi, 気象研究所.

りました。その後、気象学的なノイズを取り除かなければいけないということで、地衝風近似の渦度方程式が提案され（いわゆるフィルタード・モデル）、ノイズを除いた方程式系を用いて予報するということが始まり、数値予報が成功して、現業に取り入れられるようになったわけです。

それ以後、予報精度を向上させる、予報領域を拡大する、あるいは、予報期間を延長する、ということが問題になってきて、どうしてもスケールの小さい擾乱を予報しなければならない、あるいは、領域の拡大・予報期間の延長に関連して低緯度大気の運動を予報しなければならない、ということになり、フィルタード・モデルでは不十分だということで、最近では、プリミティブ方程式モデルが用いられるようになってきました。もちろん、プリミティブ方程式を使って予報できるようになった背景には、ノイズを抑えるための計算上のテクニックの発達があります。

このようにモデルが改良されて来ていますし、これからもどんどんモデルは改良されていくとは思いますが、複雑な大気のふるまいを数値モデルで十分表わすということには、まだまだギャップがあるというのが現状です。さらに、数値計算をする時には、計算の中に近似が入って来るということもあって、数値予報で計算されたプログラムには誤差が入って来ます。たとえば、トラフとか低気圧の移動を予報してみますと、実際よりは予報が遅れてしまう、また、低気圧の示度も非常に低気圧が発達する時などは、十分な発達が出ないというような欠点があります。

このような欠点の修正に対しては、現在では、誤差を統計的に調べてその結果を利用するか、新しいデータを利用するというようなことを行なっています。新しいデータを使って修正するというのは、ある initial から出発して数値予報を行なうわけですが、その予報結果が手元に届くころには、initial よりも新しいデータが入って来ており、このデータを予報と比較して修正するという方法です。

それから、数値予報では、グリッドを用いて計算するわけで、その場合格子間隔は数百 km ですから、それより細かい現象は分解不可能となります。その結果、たとえば、前線や、前線上にできる小低気圧（中間規模じょう乱とも呼ばれる）などは、数値予報のプログラムでは十分良く表現されません。したがって、そのようなものに対しては予想されたプログラムの中に書き入れてやるとい

ような情報の付加（これも広い意味では修正といっても良いかと思いますが）も必要で、このような修正を施して最終的な大気状態の予測ができ上がることになります。

次に、このようにしてでき上がったプログラムをもとにして、天気への翻訳を行ないます。天気への翻訳には三つの方法があると思います。一つは総観的な方法、二つめは統計的な方法、三つめは力学的な方法です。現在行われている主な方法は総観的な方法ですが、統計的な方法もだんだん開発されてきています。たとえば、実際の大気の状態を表わすパラメータと、それに対応する天気現象との統計的関係を求めておき、予想された大気状況のパラメータから、その統計的関係を使って天気へ翻訳する方法もありますし、プログラムで予想された大気のパラメータを直ちにそれに対応する天気と統計的に関係づけて天気翻訳をする、いわゆる MOS という方法もあります。現在では、MOS といわれる方法が多く用いられているように思われますが、いずれの方法にも一長一短があります。たとえば、MOS などでは、予想された大気状態のパラメータと天気現象とを結びつけるので、いわば、プログラムの修正がその中に入っているという利点がありますが、統計的な関係を得るためには、データがたくさん要るわけで、そのために、モデルを変更した時にはそのようなデータが入らず困ってしまう、という欠点もあります。それから、MOS に限らず統計的方法全般に言えることなのでしょうが、統計的な方法では、severe な天気が出にくいという欠点があります。

天気翻訳の場合注意すべきことは、予測された大気状態のパラメータは、格子間隔から考えて数百 km 平方の平均状態を表わしているわけですが、翻訳すべき天気は、局地的なスケールの小さいものであるということです。スケールの大きいものからスケールの小さいものを引き出そうとしているわけで、ここに問題の難しさがあります。

三番目の力学的な方法といいますのは、考え方としては、同じスケールのもので天気翻訳を考えよう、すなわち、天気翻訳で要求されるスケールは非常に小さいわけで、それに対応する大気状態を予測し、天気へ翻訳しようというものです。これはいわゆるメソ・モデルを使った方法ということになります。

現在、場の子測までは機械で行なわれており、プログラムの修正、天気への翻訳は人が行なっております。しかしながら、今後は、プログラムの修正、天気への翻訳も機

械で行なうように自動化が進んでいくであろうと思われます。

たとえば、アメリカなどでは、天気への翻訳を統計的に行なうとか、予報文まで機械に作らせるというような開発が行なわれています。

この際問題になるのは、予報官の役割はどうなるのか、ということです。実際に自動化が進められる場合、現在人手で行なわれている部分がどのような形で自動化されるのか、また、依然として人手をかけなければならない部分がどの程度残るのが問題になります。そのようなことによって、自動化のシステム、あるいは、人間と機械の *interaction* というようなものが定まって来まして、それに応じて、予報官の役割も決まって来るように思われます。

この問題については、各国でも考えられています。

たとえば、予報官は、現在は *weather forecaster* の役割を果たしていますけれども、将来は *operational meteorologist* に変わるのではないかと、という意見もあります。つまり、自動化された作業の流れを見ていて、高度な気象学的判断をして、ところどころに介入してゆくというような役割に変わるという見方です。それから、もう一つは、12時間以上の予報(つまり、明日・明後日の予報)はほしい機械にまかせておき、人間は短時間予報(12時間程度)に専念すれば良いという考え方も出されています。これは、アメリカなどの考え方ですけれども、12時間以上の場合には機械で天気翻訳した方が精度が良く、12時間以内では、人間の方が精度が良いとの経験によるものと言われています。

いずれにしても、明日・明後日の予報の自動化が実現する、しないに拘らず、短時間予報がクローズアップされて来ているのは、周知の事実で、今後の重要な問題だと思います。

次に、メソ・モデルについて少し詳しく話してみたいと思います。

日本で考えますと、格子間隔 5 km 程度のメソ・モデルを組むことになると思います。メソ・モデルを大別しますと、境界層モデルと対流圏モデルの二つに分けることができます。境界層モデルの方は、静力学近似が成り立つモデルであり、対流圏モデルは、静力学近似が成立しないモデルです。境界層モデルは、海陸風とか、境界層内で起きる現象を表現するわけですが、境界層から上の現象が、境界層内部の天気現象に影響を及ぼしていないようなときの天気状況は、この境界層モデル

を用いて予測し、一方、降水を伴う現象とか、山岳波に伴うような天気が問題になる場合の予測には、対流圏全層を扱わなければならないので、対流圏モデルを使うようになると思います。実際にどちらのモデルを走らせるかは、レンジ・スケールの場合を予報した上で見当をつけて走らせることになると思います。

メソ・モデルを走らせる場合には、境界条件と初期条件が必要ですが、境界条件は大規模な大気状態の予想値、すなわち、現在の数値モデルで得られた物理量を内挿して用いれば良いわけですが、問題は初期条件です。将来にわたっても、たとえば、5 km メッシュの観測が可能になるとは考えられず、適当な初期状態から走らせることになると思われます。そうしますと、メソ・スケールの場合、大規模な場と局地的な地形に伴う力学的・熱的效果との関係のみで決まるのなら、そして、その *adjust* が早いものならば、メソ・モデルを用いて予報することが可能であると思いますが、そうでなければ、問題が起こって来ます。

たとえば、海陸風の場合ですと、今までの経験からそのようなことが可能の様気がします。一方、大雨を降らすようなメソ・システムが低気圧の中にありますが、そういうメソ・システムを予報しようとするとは、それではまず、やはり、かなり正確な初期条件を与えてやらねばならないと思います。

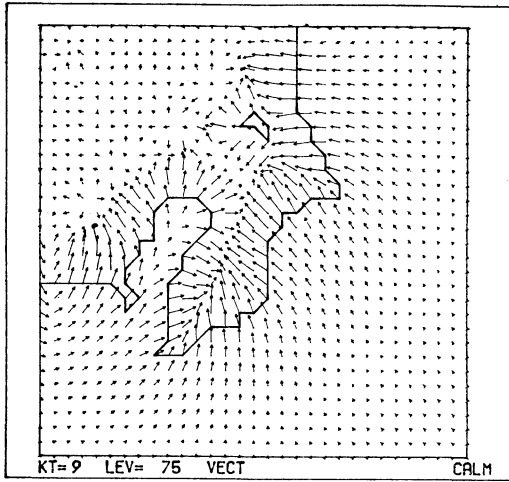
いずれにしても、初期条件に関してメソ・モデルの予測可能性の問題が解決されないうちは、*real time* にメソ・モデルを用いて予報できるかどうかは、今すぐに結論が出せないであろうと思います。

現在、天気翻訳に、非常に簡単化されたメソ・モデルを診断的あるいは調整的に用いる方法が二、三行なわれています。しかしながら、まず、きちんとしたメソ・モデルを作り現象をシミュレートしてみる、そういう所からスタートするのがこれからの行き方ではないかと考えています。

そこで、参考までに、関東地方の海陸風についてシミュレーションをしてみましたので、結果を示してみたいと思います。

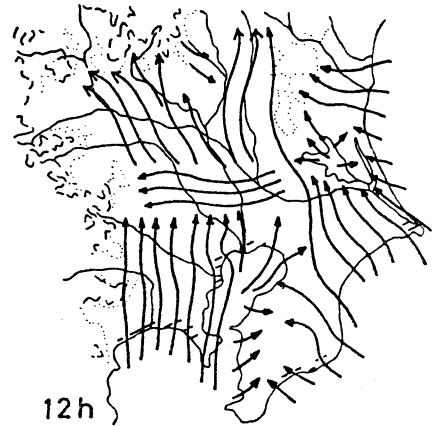
関東地方を 31×31 の格子に分け(格子間隔 7.5 km)、海面温度一定、陸地温度は 5°C の振幅で日変化する(正弦波)と仮定した時の海陸風をシミュレートしたものです。ですから、山の起伏、都市の影響などは全く含まれておりません。初期条件は、等温静止の状態です。

積分を始めますと、陸地の温度が上昇するにつれて、



第1図 一般風が無風の場合の9時間目の最下層の風系(菊池, 荒川, 白崎, 長野, 1977).

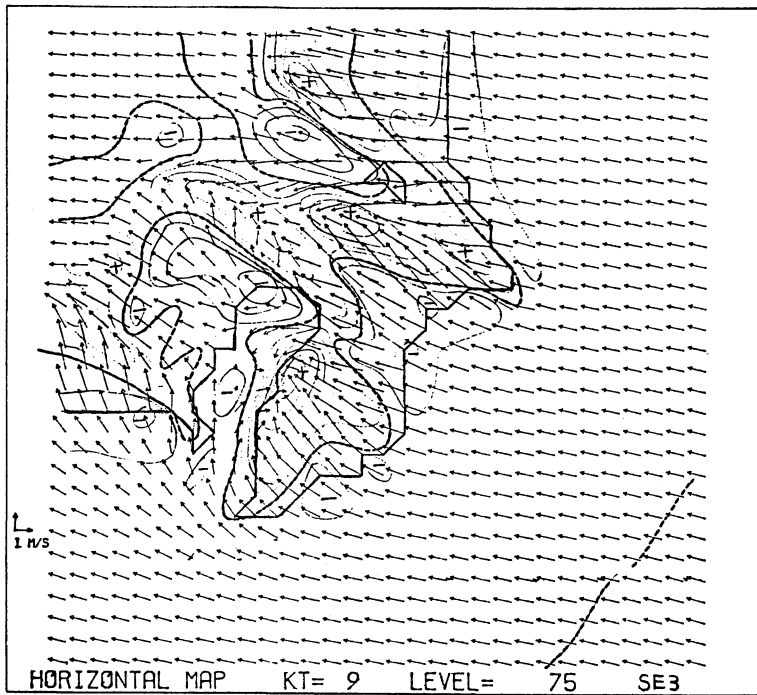
海から陸へと風が吹き始め、陸が収束域で、東京湾や霞が浦は発散域になります。9時間目には、モデルでは海風が最盛期に達しますが、第1図に示すように、房総半島の内部と、銚子から成田にかけて収束域ができ、ま



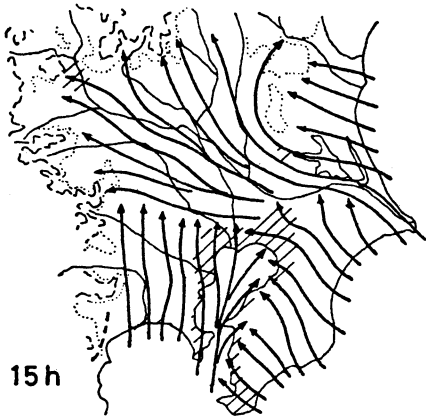
第2図 一般風が弱い場合の12時における平均地上風系(河村, 1977).

た、いわゆる海風前線が、相模灘、東京湾の北を通過して霞が浦の西から鹿島灘の海岸に平行に形成されています。もちろん、これは、一般風がない場合の結果です。

実際にどうなっているかを見てみます。第2図がそれで、内陸部の山岳の影響を大きく受けていると思われる地域を除けば、定性的には良くあっていると思われま



第3図 一般風が南東風(3m/sec)の場合の9時間目の最下層の風系(菊池, 荒川, 白崎, 長野, 1977).



第4図 一般風が南東風の場合の15時における平均地上風系(河村, 1977).

す。

海風循環の最盛期をすぎますと、海風前線は急速に弱まり、これに伴って、風は海から内陸奥深くへ吹き込みます。時間がたつにつれて、その流れも弱まり、積分開始後21時間目には、そろそろ陸風が吹き始めます。これらの情況も実際の場合とよく似ています。

次に、一般風が南東の風3m/sの場合にどうなるかを見てみます。第3図は、最盛期の状態を示していますが、房総半島上の収東域が東京湾岸にずれていること、また、強い海風前線が銚子から大きく東西に延びていることが、この場合の大きな特徴です。この様に、一般風により、かなりドラスティックに流れの様子が変わることがわかります。第4図は、第3図に対応する実際の情況で、上述の特徴が実際に起こっていることを示しています。

この様なシミュレーションから言えることは、仮り

に、real time でメソ・モデルを用いて予報することができないとしても、いろいろな一般風の場合にどのような海陸風循環が起きるかをシミュレートしてファイルしておきますと、数値予報により一般風が予報された場合、そのファイルから一般的にどのような海陸風が起きるかを見ることができますので、予報にも役立つことになります。したがって、メソ・モデルは、real time の予報に用いるほかに、このように使うこともできるのではないかと思います。(文責 住 明正)

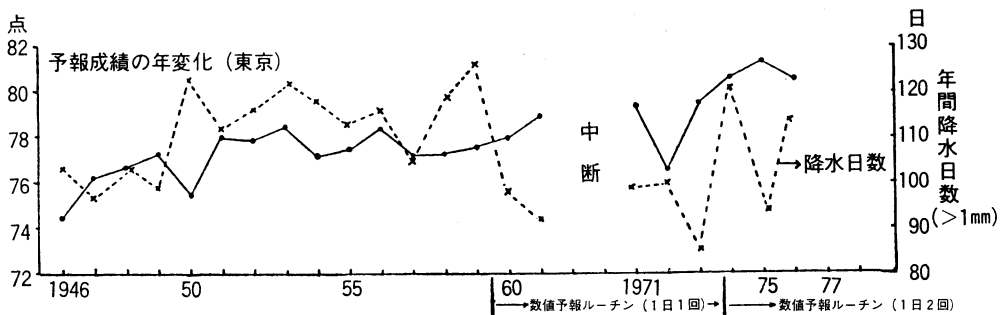
討論

渡辺(気象庁電計) メソ・モデルで予報可能である根拠は何か。

菊池 メソ・モデルで予報をする場合、境界条件と初期条件が必要であるが、実際には、これらの条件の設定にかなりの不正確さが入ってくるわけで、この不正確さがどの程度予報結果に影響を与えるかが、予報可能性を左右するであろう。

朝倉 数値予報モデルを予報現業に取り入れて以来予報の成績がどのように変わってきたか、菊地さんに用意してもらってきているので報告して頂きたい。

菊地(気象庁長期) 天気予報の適中率と数値予報の変遷について報告したい。1959年に、はじめて気象庁に電子計算機(IBM 704)が導入され、同年6月から数値予報のルーチンが開始された。その後、1967年には、HITAC 5020F/5020 に更新され、1973年には、HITAC 8800/8700に更新された。また、1973年10月からは、数値予報が1日2回実施されるようになった。このことが、予報の成績にどう反映しているかを調べたのが第5図である。数値予報が始まる前と、始まってから、1日1回の時と、1日2回になってからを比較するため、次の4つの各3年間について比較してみると、次のようになる。



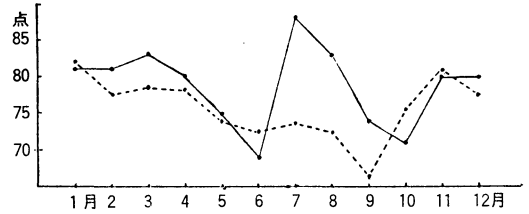
第5図 東京における予報成績の年変化。

期間	予報成績(点)	数値予報
1965年～1958年	77.6	数値予報なし
1959 ～1961	78.4	北半球バランス・バロトロピック・モデル (1日1回)
1971 ～1973	78.6	北半球3層非地衝風バランス・モデル (1日1回)
1974 ～1976	80.9	6層プリミティブ・モデル (1日2回)

これでわかるように、予報の成績が向上してきているが、特に、成績が大きく向上したのは、1973年10月からである。この時から、数値予報が1日2回になると同時に、モデルもプリミティブ・モデルに変わっている。このことを示すために、東京および福岡の朝予報と午後予報について、1973年10月を境にして前後1年間の予報の成績を調べてみると、次のようになる(図省略)。

	1972.9～1973.9	1973.10～1974.10
東京 朝 予報	74.9	→ 79.4
午後予報	78.4	→ 81.1
福岡 朝 予報	73.2	→ 74.7
午後予報	74.8	→ 76.3

さて、最近、明治時代の天気予報と現在の天気予報の



第6図 明治22年～23年の平均成績(実線)と現行採点基準による成績(点線)との比較。実線の年平均は78.4、点線の年平均は75.8。

成績が、殆んど同じであるとの記事が新聞に出た。明治時代は、現在とは採点の基準が違っていたので、現在の基準で採点し直して比較したのが第6図である。第6図の実線は明治22～23年の平均成績であり、現行の基準で計算し直したのが点線である。現行の基準でみると、明治時代の成績は75.8である。1971年～1975年の5年間の平均成績は、79.6、また、1975年、1976年の成績は各々81.4と80.6である。明治時代に比較すると、予報の成績は5～6点向上しているとみられる。

(文責 山岸米二郎)

2. 大規模な場から天気への翻訳

黒 沢 真 喜 人*

ここでは、天気予報という命題、大規模な場という対象から考えて、翻訳は、明日・明後日の予報を行なう場合のことを念頭におく。予報すべき天気は、大規模な場に伴うものに限る訳にはいかないで、府県程度の区域を対象にするのが現実的であろう。また、天気にも種々の要素があるのが、ここでは簡単のために、晴・曇・雨といった主な現象に限定して考える。

このテーマは、過去10年あるいは20年という長い間にわたり関心が持たれ、すでに、論じ尽されている思う。したがって、ここでは、数値予報と人間の行なう予報作業のかかわりという観点から、このテーマに関連する問題点を整理してみたい。その中には、天気とパターン、大規模場の予測、天気への翻訳という三つの問題がある。この後で、天気予報、あるいは、天気予報に要する経費という面からの社会の要請と、それに対する対応と

いう点について考えてみたい。

天気分布とパターン

いうまでもなく、天気はいろいろなスケールの現象にかかわっている。大気中のじょう乱に伴い、特徴的な天気分布が生ずる。中緯度帯の日常の天気変化は、大部分、大規模なじょう乱にかかわって生起する。このじょう乱は、従来は、地上天気図の低気圧や高気圧、高層天気図ではトラフ、リッジで表現されてきた。また、数値予報では、垂直流や渦度分布およびその移流等で表現される。これらの場が与えられた時、天気が一義的に確定されるであろうか。殆んど類似した場から異なる天気分布が生ずることがある。この理由は、より小さなスケールの現象によって天気分布が決まることがあるということ、場の表現の範囲が限られている為に、たとえば、水蒸気の詳細な場とかその時間変化等がつかみ得ないという事情、天気分布あるいは天気の変化が、地理的条件により変形されること(下層の地理的条件により、小規模

* M. Kurosawa, 仙台管区気象台。

の現象が誘発されるというような場合もここに含んで考える)などのためである。したがって、現実の天気分布が与えられた時、各地域の天気がどのスケールの現象により生起しているのかという判別は、往々にして困難であり、定性的にしか理解できない部分がある。

大規模場の予測

数値予後の出現により、パターンの外挿が主体であった場の予測は、数値予報が肩代わりした。また、物理的な背景の把握(場と天気現象との関係の把握)の面でも、数値予報は垂直流の分布や比湿の分布等を提供することにより、精度向上に寄与している。数値予報の成績は、たとえば、500 mb 高度の24時間予想の相関係数で見れば、20年前の0.7…から現在では0.8…に向上したといわれる。しかし、府県単位で発表する天気予報という観点からみれば、まだ問題が残っている。昭和49年に行なわれた「大規模気象現象の予測について」というシンポジウム(1974, 天気, 21, 435~453)で指摘された点のなかからいくつか拾ってみる。初期値の解析では、高層観測の誤まりや各国の測器や観測法の差異がもとで、にせのじょう乱が表現される恐れや、等値線のシャープな曲率などが表現され得ないことが指摘されている。予想資料では、じょう乱の移動の遅れ、発達の場合の不十分さ、中層に比して下層の場の予想が不十分であることが指摘されている。前述のシンポジウムでは、1972年~1973年の2年間に、東京で予想が大きく外れた80余例についての調査で、その4割はパターン予想の外れ、6割は翻訳の誤まりと報告されている。

大規模場の予測は、数値予報で相当な精度まで達していることは事実である。しかし、府県という広がりでの天気予報を出すという立場で見れば、大規模な場の予測そのものも、常にそのまま翻訳の原文としうるまでには至っていない。人間による修正の余地があり、一方では、より小さなスケールの内部構造(等温線の集中域、風のシャープの強さなど)を、人間により付加する余地が残されている。ただし、この事は、改善と同時に改悪をも犯しかねないことを意味する。予報の外れという形で現われる結果の中には、予測場設定の段階での判断の適否がかなりの部分を占めている。

天気への翻訳

場から天気への翻訳は、じょう乱の場をいかに予測したかということおよび予報者が有している(または直面している場の考察から把握した)翻訳モデルという、2重の枠内で行なわれる。

府県の天気を対象とする現場の作業は、ひと口に表現すれば、第1段階では、数値予報に出力される諸要素から大規模な場に伴う天気およびその推移の診断を行ない、第2段階では、対象地域の天気の状態を数値予報の出力に付加した条件および大規模な場との関係(局地モデル——その多くはパターンを介しての翻訳)で定性的に決める、という手順になる。

この一連の作業のベースとなる大規模な場の予測がかなりの精度で行なわれる現状においては、第2段階の作業が人手によることの大部分と考えられる。

前項に述べた事情により、予測大規模場の修正を要する場面においては、上述の作業過程に、主として大規模なじょう乱の位相や強さについての見通しを立てる作業が加わる。しかし、この修正に伴う諸々の物理量の見積もりまでは定性的にしかできない。選択の自由度は大きくなり、第1・第2段階を通して部分的な素材からの判断が必要になってくる。

この様にして大規模な場から天気への翻訳には多くの定性的な部分があり人間の応用動作を必要としている。

社会的要請への対応

先ほど、予報の成績が70点台から80点台まで向上したという報告があった。しかし、社会の評価は60点台に止まっているという報告もある。このような天気予報に対する社会の要請を、どのように受け止め、どう調整してゆくかということについて、数年先までを念頭において少し考えてみたい。

天気予報の精度向上への社会の要請は、常に技術レベルに先行する。明日・明後日の天気予報が、今の基準で100%近く適中するようになったとしても、さらに、時間的・空間的・量的に細かい要求が出てくるであろうから、要求は常に先行する。

ところで、100%適中する予報はあり得ないとは言っても、社会の要請に応える為に改善が必要である。第一は、場の予測の改善であり、数値予報モデルの改良、精密化により徐々に改善されるであろう。しかし、翻訳モデルも相当精密化されない限り、天気予報の精度向上は早急には望めない。

社会の要請に応えるもう一つの方策として、予報精度の改善は無理でも、予報の発表を確率的な表現に変えるという方向がある。たとえば、“明日は雨であるが、その確率は50%である”という予報を発表すれば、天気予報の外れはなくなる。しかし、このような表現が、日本の社会に受け入れられるか否かという問題がある。

社会のもう一つの要求は、低コスト（省力化）ということである。大規模場から翻訳される明日・明後日の予報は、集中豪雨が今後数時間以内に起こるか否かというような短時間の問題とは別の面をもっている。つまり、緊急性あるいは防災上の重要性という点で、ウェイトが軽い。また、大規模場の予測を対象とする数値予報の精度が向上するにつれて、明日・明後日の天気予報は向上してきたし、今後も向上することが期待される。さらに、現在と同じように人手をかけて大規模場の天気翻訳をしてゆくには、相当な経費がかかる。これらの事情から、天気予報の集約化・機械化を考えるとすれば、最初に対象になるのは、明日・明後日の天気予報であろう（現にこの方向での構想が示されている）。この場合、天気翻訳を100%機械化するのか、あるいは、人間がかかわってゆくのかは、社会の要請（予報精度や経費）と技術レベルとの兼ね合いで決まってくる問題である。いずれにしても、天気直結した、雲量・雨・風等の要素を数値予報に結びつけて出力するということが、今後大いに進められるべきである。すでに、数年の実績があるものの例としては、数値予報による凝結量の予測、航空用の悪天予想図等がある。数値予報の2次製品とか、最終製品型予測資料と呼ばれるものの一部である。出力された数値予報の場から、人間が経験を加味して天気を診断（特定）するという作業形態を続けるとすれば、人間の診断の範囲を極力狭めてゆく努力が必要である。このためには、数値予報の出力は、物理的な解釈では、天気予報に対しこれこれしかじかのことを言っているということをも示すようにする必要があろう。この行き方に対しては、次のような批判もある。まだシミュレーションモデルが不十分な段階でこういうことをすると、現場に混乱を持ち込む恐れがあるというものである。しかし、一方では、数値予報が2回ルーチンになったこともあるが、凝結量の予測も出力されるようになって、天気予報の適中率が段階的に向上したという評価もある。

MOS で代表される確率表現の予測資料が、翻訳モデルの一部としてすでに実用化されており、さらに、多方面にわたる開発が進められようとしている。今後の問題として、確率表示の資料を、現在行なわれている断定型の予報文に利用する場合の取り扱いをつめておく必要がある。発表される予報文が現在と同じで、しかも、翻訳モデルが確率表現であるとする、現場では別種の翻訳作業が必要となる。確率表現の予測資料がうまくつくられていて、たとえば、ある現象の生起確率が80%以上、

あるいは、20%以下というようなところにサンプルが集中すれば問題はない。しかし、50%前後のところに集中するような時は、どのような表現で断定型予報文に使っていくべきかということである。

社会の要請と技術レベルには、相当のギャップがある。そこで、いろいろな要因（予報に対する仕様、許容誤差、学問・技術のレベル等）のどこに重点を置いて選択するかという、対応の仕方によって、予報への翻訳のあり方が定まってくると考えられる。

討論

杉本（気象庁予報）今の議論は、明日・明後日の予報に限られていた。しかし、最近では、視程・シーリング・風・気温等を量的に予想する事を要請されている。数値予報の出力を用いて大規模場の天気を予測する場合、適中率は80%程度である。しかし、視程やシーリングではそうはいかない。たとえば、視程について、数値予報から出る要素を用いて重相関係数を計算してみると、0.5以上にならない。天気翻訳を議論する時には、スケールの小さいものも含めた議論が必要である。

次に、翻訳ということについて申し上げたい。たとえば、明日は晴れとか曇りであるというような翻訳は、かなり長い経験もあり、数値予報からの翻訳も精度が良い。したがって、本庁にしろ地方にしろ、これに精力を注ぐのは無駄である。計算機から直接答を出させればよい。そして、スモール・スケールの現象を通じて大規模場とかかわり合っていて、直接答の出せないものは統計処理をしなければならぬ。このようにしても、なおかつ残差がある。たとえば、地形、海水温、前線に関連するもの等である。上に述べたように、省力化した余力をもって、これらの予想に力を注ぐべきであると考えている。以上コメントしたい。

黒沢 機械化ないし集約化によって現場に生じた人的余力を、中規模、あるいは、小規模現象の予想に注ぐとしても、それによって、明日の視程予想が現状より大幅に改善されるという期待が持てるだろうか。数値予報で出力された場から、それに関連して生起するであろうより小規模な現象の診断は、重要と考えて現在もやっている。このような作業は、数値予報の改良に伴い、逐次機械化され得るものもあろう。しかし、視程・シーリング等はメソ・モデルのようなものが実現されない限り難しく、当面は統計的・確率的な翻訳モデルを開発してゆく

という方向になるのではないか。

増田(気象庁電計) 天気翻訳ということについて考えてみたい。今までの話でも、府県予報というものがどれほど機械化できるのかということに疑問が提出されている。数値予報の値は、 d^2 (d : 格子間隔) の面積の平均状態を表わしている。その結果から、それ以下のスケールの現象をどの程度検出できるのか、ということを実論的につめておくべきである。たとえば、明日・明後日の予報は機械的に翻訳可能で、それ以下の現象は翻訳不可能であるから人間がやるというように、形式的に分離できるのであろうか。ここのところは、現象のスケールと予報の可能性ということとも関連して、理論的にもつめておかねばならないだろう。その点を掘り下げずに、形

式的に議論が展開されているように思う。明日・明後日の予報でも、府県のある特定の地点の予報をすることになれば、シーリングの予報と同じような問題点が生ずる。この意味で、明日・明後日の予報と短時間の問題を分けられないのではないか。

黒沢 発生メカニズムという点からみれば、おっしゃる通り分離できない。明日・明後日の予報を機械化しようというのは、明日・明後日の予報は、切実性・緊急性がないから定性的に述べておくだけで社会が納得するという段階を前提にしている。もし、明日・明後日の予報でも、局地的なこと、量的なことを正確に述べることを要求されるのであれば、大規模場だけからは翻訳不可能であろう。(文責 山岸米二郎)

3. 将来の数値予報

新 田 尚*

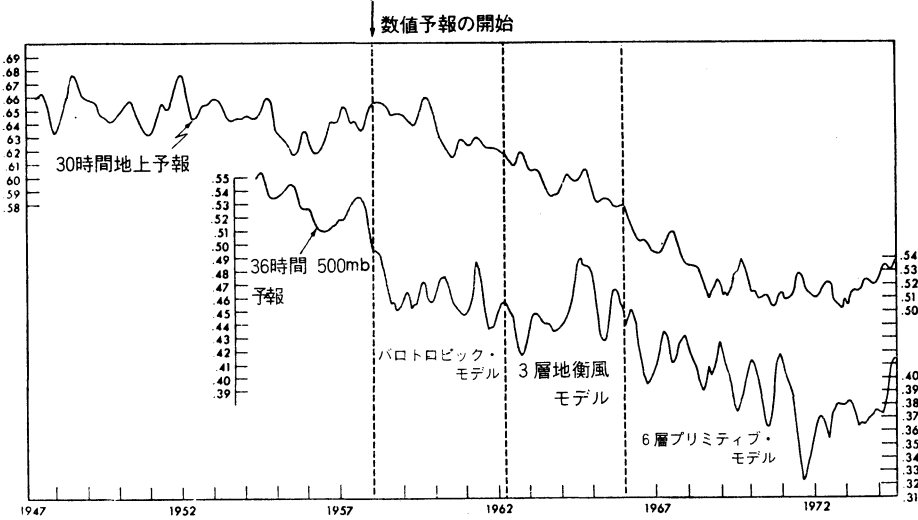
数値予報が始まって約20年たちますが、その間振り返って見ると、ずい分進歩したとも考えられると同時に、理想的な状態を想い描くと、まだ不十分だと思われることも多くあります。しかしながら、数値予報の将来は、発展性があると考えています。ここでは、将来というのは、10年～15年先のことと考えて話を進めたいと思います。と申しましても、10年～15年先には、このようになるだろうという事を話すのではなく、現在において解決すべき問題点についてお話ししたいと思います。これらの問題点については皆さんに討論して頂き、それらの問題が解決される時には、自ずと、将来の数値予報ができ上がるという事になるのではないかと思います。

将来の数値予報を考えるに当たって、大きく分けると二つの方向が考えられると思います。一つは、より細かいスケールの現象を対象にできるようなモデルを作り、その情報を提供する。もう一つは、予報期間を延長する事を考え、延長予報のための数値予報モデルを作り、できれば、1ヶ月先くらいの子報を行なう。この二つの方向が考えられますが、一口に数値予報といっても、いろいろの分野の技術がからんでいます。まず、数値予報のバックグラウンドになっているのは、気象力学です。各種スケールの気象現象の気象力学的解釈、各種物理過程

の表現、大気構造など、気象力学の背景のもとに数値予報モデルの骨格を作ります。数値予報モデルは、この基盤の上に、予報領域、格子間隔、予報モデルの層などをどのようにするか、初期値をどのように与えるか、どのような物理過程を入れるか、どのような方程式系を使うか、など、モデルを組み立てる技術が要求されます。また、数値計算法に関しては、数学の数値解析の手法を使うし、また、4次元データ同化などの客観解析においては、情報処理の技術とかかわりを持ってきます。このように、一口に数値予報といっても、学問的・技術的背景と深くかかわってきています。数値予報は、これらの学問的・技術的分野の発展に伴って発展していくものと考えられます。また、この他にも、計算機能力、入手できるデータの量も考えなければなりません。予報期間がのびるに従って、必要とされるデータは、水平方向にも垂直方向にも広い範囲のものが要求されます。これらのデータを、どのように集めるかということも問題になります。

いろいろの問題点はありますが、これまでの数値予報がどの位の成績になっているか見てみたいと思います。第7図には、NMC(アメリカ気象センター)の例があげてあります。予報の成績が、S1・スキル・スコア(小さくなるほど良い)で示されていますが、モデルが、プロトピック・モデルから、3層地衝風モデル、6層プ

* T. Nitta, 気象庁電計室。



第7図 NMC の S1 スキル・スコアの改良.

$$S1 = \frac{\sum[|A_x Z_p - A_x Z_0| + |A_y Z_p - A_y Z_0|]}{\sum[|A_x Z| + |A_y Z|]}$$

ここに、 $Z = Z_p$ または Z_0 、どちらか大きい方。
 Z_p : 予測高度, Z_0 : 実況高度。
 $A_{x,y}$: x または y 方向の、隣りあった点の差。

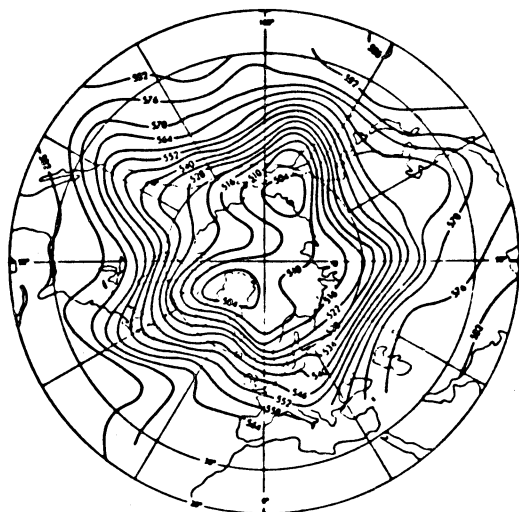
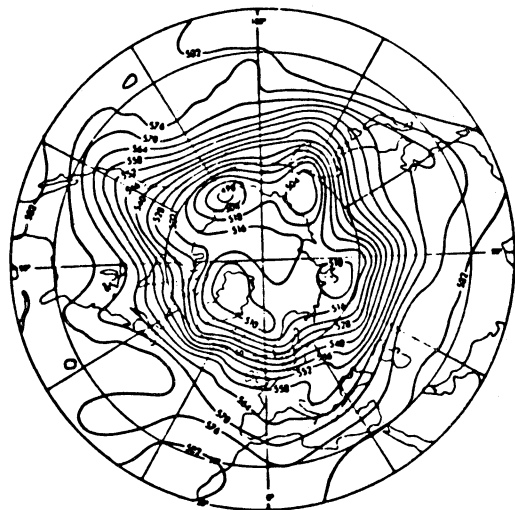
リミティブ・モデルにモデルが改良されるに従い、予報精度は改善されていることがはっきりと分かります。同様のことが、日本の場合でもたしかめられています。

今、見たのは、統計的な量で見たものですが、たまたま、数年前に GARP の指導で Basic Data Set が作られ (カナダが解析を担当した)、このデータは、世界中の24機関に配られました。このデータを使って、各国で予報を行ない、その結果を比較しようという試みがなされました。第8図には、初期値と3日後の実況値、第9図には、英国および日本の3日予報の500mb 高度が示されています。このほか、アメリカでもいくつかのモデルを使って予報がおこなわれました。ここでは、ほんの一部の結果しか示しませんでした。各国の予報の結果を比較してみると、予報モデルは各国でいろいろ違っていますが、予報結果は非常によく似ていたと言えます。モデルの解像力、モデルの中での物理過程の取り扱いなど、国によってモデルの差はありますが、この予報結果の比較から見ると、各国ともほぼ似たような水準にあると言って良いかと思われま

す。今後、どのように数値予報を発展させていくかということを考える時、数値予報そのものの技術と、気象力学との二つの面から考察していく必要があると思われま

す。数値予報の技術の面から見ると、まず、気象データの処理については、気象衛星のデータなど全球的データを客観解析に取り入れていく問題、異質のデータを同化する4次元解析の問題、さらには、それらのデータから初期値をどのように作るかといった問題があります。数値解析の面では、全球モデルを作る際はどのようなスキームが良いのか、モデルで発生するノイズ、特に低周波の重力波をどのように制御するか、差分の精度の向上、大きな格子網の中に細かい格子網をはめこむネスティング・グリッドなど、開発すべき技術があります。また、モデルに取り入れる物理過程として、境界層、山の効果、対流雲、放射などをどのように取り扱うか、さらに、モデルを組み立てる際の領域とか、垂直構造とか工学的要素も考えねばなりませんし、ここに述べた各部品をよくするだけでなく、全体として効率よく働くように、また、計算時間も短くなるように考慮しなければなりません。

気象力学のバックアップということを見ると、物理過程の個々の素過程の改良、気象力学の成果をモデル作成の工学にフィードバックさせる事、予報期間を延ばす点からみた予報可能性の限界、また、気象現象のスケールの点からみた予報可能性の問題、など解決すべき問題



第8図 GARP ベーシック・データ・セットの500 mb 高度の実況図。上図は、1969年11月4日00Z、初期図。下図は、3日後の11月7日00Z、検証図。

第9図 各国の3日予想図の比較例(500 mb)高度。上図は、イギリス気象局、下図は、日本の気象庁。いずれも、1969年11月4日00Zを初期値とする3日予報の結果。

があります。

次に、もう少し具体的に、現在数値予報を行なっている問題となっている点について述べてみたいと思います。

現在、気象庁では、毎日1日、2日予報を行なっている他に、週2回4日予報をプリミティブ・モデルで行な

っています。モデルの中で、長波はかなり実況に近いふるまいをしています。超長波は実況とは大きく違った動き方をしています。現在のモデルよりもうんと簡単なモデルを使っていた時代に問題となった、超長波のにせの西進の問題は、現在でもまだ解決されていません。

次には、台風の進路予報の問題があります。台風の子

報には、プリミティブ・モデルだけでなく、バランス・バロトロピック・モデルも使っていますが、いずれのモデルでも、進路予報が大きくずれる事があります。根本的な原因としては、台風の3次元的構造、および、それを維持・発達させる機構が、モデルにちゃんと入っていない事があげられますが、進路予報が大きく外れたケースを調べてみると、太平洋高気圧の変動の予報がうまくいかなかった事が多いようです。太平洋高気圧の動静も、現在のモデルでうまく表現できないものの一つです。

次に、対流雲の集団効果を取り入れるものとして、対流調節のスキームを採用していますが、予報された上昇流のパターンをみると、大きなスケールの現象の中に、細かいスケールの現象がかなりランダムに混ざっていて、自然現象をうまく表現しているとは言えないようです。

この他に、ブロッキング現象の開始の予報、ブロッキングと超長波の関係、低緯度における初期値作成、4次元解析の際の風と気温場のバランスの問題など、いろいろの問題点が考えられますが、これらの問題点が一つずつ解決されていった時、将来の数値予報ができ上がると考えられます。

討論

高橋（気象大） 数値予報のバックグラウンドとして、大気力学の事を話されたが、大気力学というよりは、大気物理学といった方がよいのではないか、というのは、数値予報精度向上の問題点としては、パラメタリゼーションの問題があると思われる。その中でも、放射、水蒸気の蒸発は重要なものと考えられるが、それらの基礎的知識がまだ十分でないように思われる。普通にいう力学よりは、むしろ、こういった面に問題があるように思えるがどうだろうか。

新田 私も全く同意見です。しかし、それが全部解決するまで待つべき問題か、あるいは、現在持っている知識で、モデルの物理過程として使えるものを開発していく問題かということではありますが、根本的にはおっしゃる通りだと思います。なお、先ほど力学といったのは、熱力学などを含めた広い意味で使ったものです。

青木（気象庁予報） スケールの小さい現象の予報について質問したい。初期値の解析にあらわれないようなスケールの小さい現象が、どこに、いつごろ起こるかということが、どの程度予報できるかお伺いしたい。次に、少し技術的な問題になると思うが、台風予報と太平洋高気圧の予報に関連して客観解析の問題について質問したい。太平洋高気圧の解析について、人間が主観的に解析したものに比べて、客観解析が不自然だと思われる事がある。この点について、ボーガス・データを増やすなどして客観解析の精度をあげれば、高気圧の予報ももっとうまくいくのではないか。これは、データが少ない場所の解析の問題であるが、データの多いところでも、高度500mbで見た場合、観測誤差と考えられるほんの数10mのデータのバラツキが、客観解析にそのまま表現されて不自然なうず度を解析することがある。このようなものは、予報すると消えると言われているが、現実には、24時間予報でも残っている事がある。より小さなスケールの現象を予報する事が手がけるようになると、このような問題も影響が大きくなると思われるので、客観解析の見直しについてもお聞かせ願いたい。

新田 最初の問題については、メソ・スケールの現象と、我々が普通観測しているシノプティック・スケールの現象の相互作用の問題と考えられる。これらの現象の間に密接な関係があれば、たとえば、大規模な場の不安定性によってメソ現象が大部分決定されるのであれば、大規模場の予報の精度がよくなるに従い、メソ現象のポテンシャル予報はできるのではないかと想像される。

二番目の問題について、太平洋高気圧の問題については、指摘されたような可能性もあるとしか言えない。客観解析については、これからは性質の異なるデータがいろいろ入ってくると思われるので、それらを含めて、データをどのように扱うかは、今後解決すべき問題と考えられる。4次元データ同化は、そのうちの一例に過ぎないが、スケールの大きな現象についてもまだ問題があるし、スケールの小さい現象に対するデータの扱いは、さらに複雑になると思われる。方法としては、客観解析の手法は今後も有力な方法として開発されていくものと考えています。

(文責 滝川雄壮)

4. 予報に必要な観測

立 平 良 三*

1. 目的

予報と言っても、ここでは、短期(明日・明後日)、あるいは、短時間の予報に限定する。観測というタイトルではあるが、測定値の解析に関しても考察を行なう。

予報のためになぜ観測が必要か、言うまでもなく、予報のための初期状態の把握のためである。そのほか、最新実況によって数値予報を補正するという使い方もあり、予報した結果を検証するという使い方も副次的にはあるけれども、これらも広い意味で初期状態の把握と考えることができる。

2. 観測点間隔と観測時間間隔

観測の空間的密度として、観測点間隔 D 、時間的密度として観測時間間隔 T を考える。まず、 D について考える。現象の波長が、観測点間隔の2倍以上であれば検出できる可能性がある。この D の例をいろいろな観測に当てはめてみると、圧倒的に細かい D を持つのが、レーダ ($D=2\text{ km}$) と衛星 ($D=2\text{ km}\sim 7\text{ km}$ (赤外)) である。この両者は、ともに、間接測定であり、また、パターン的な、空間的に連続したデータでもある。アメダスは、 $D=17\text{ km}$ (雨) $\sim 21\text{ km}$ (4要素)、高層観測は $D=200\sim 300\text{ km}$ (国内) である。

観測時間間隔についても、観測点間隔と同様、時間間隔の2倍以上の周期の現象が検出できる可能性がある。主な例をあげると、レーダが $T=(1\text{ 分})\sim 1\sim 3\text{ 時間}$ 、衛星が $T=(30\text{ 分})\sim 1\sim 3\text{ 時間}$ 、アメダスが $T=(10\text{ 分})\sim 1\sim 3\text{ 時間}$ 、高層観測が $T=6\sim 12\text{ 時間}$ となる。

波長と周期は、本来ある関係を持っており、波長が長ければ周期が長いのが普通である。したがって、観測点間隔 D と時間間隔 T との間にも妥当な関係があるはずである。しかし、常識的に見て、それらがアンバランスになっている観測もある。観測点間隔が時間間隔に比べて非常に大きい例 ($D\gg T$) が、自記紙、ドップラーレーダ、RASS (Radar Acoustic Sounding System) 等であり、逆に、 $D\leq T$ の例が、衛星である。

一見無駄に見える、これらのアンバランスなデータには、次に述べるような使い方があろう。その一つは、ノ

イズフィルターとしての使い方である。また別の使い方として、実況を即時に詳細に把握するためには、空間的にも時間的にも細かい方がよいであろう。この目的のためには、これらのデータは当然役に立つ。三番目として強調したいのが、パラメータ化をして利用する方法である。衛星を例にとると、空間的に非常に細かく観測されている。これを、そのまま目で見ると利用するには人間の能力からいって限界があろう。むしろ、たとえば、雲の強度や高さのパリアンスや相関を取る、等のパラメータ化を行なって、雲型判定を客観的に行なう等、いろいろな情報を得るのに利用するという方法である。

3. 対象とするスケール以外の現象(ノイズ)のフィルター

観測値にはいろいろなスケールの現象が重なっているので、予報しようとする現象によって、対象とするスケール以外のものをノイズとしてできるだけ落としたいという要望がある。その対策として、まず第一に、ノイズの入らない観測技術の開発があげられる。たとえば、メソ系の風に対してはドップラーレーダが適当であると思われる。

観測技術でフィルターできないものについては、解析過程でフィルターする方法が考えられる。簡単なフィルターの例として、平均操作がある。これは、low pass フィルターに相当し、これによって大きいスケールの現象だけがピックアップできる。これには、空間平均と時間平均がある。観測点間隔 D が現象のスケール L に比べて十分細かい場合には、空間平均によるフィルターが可能である。しかし、普通はこうはならなくて、 L と D が同程度ということが多い。この場合でも、自記紙のように、時間間隔 T が細かければ、時間平均によって low pass フィルターがかけられる。しかし、一般にはこれも満足されなくて、 L, D, T が同じオーダーになることがある。この場合は、決め手になるような方法はないが、一つには、“現象の同定”(仮に名前を付けるとすれば)ということでフィルターする方法が考えられる。すなわち、日時の異なったいろいろなケースを集めたとき、それらがすべて同種の現象であると認定できれば、それらを平均することによって、大規模場を描き出すこ

* R. Tatchira, 気象庁予報課。

とが可能となる。では、現象の同定をどうしてやるか。それには、後で述べる衛星、レーダ等のパターンデータを利用することによってできると考える。

一方、平均操作の中には、移動平均からの偏差を取る方法がある。これは、high pass フィルターとして、スモール・スケールをピックアップするのに良く使う手である。

以上のような平均操作が、ノイズのフィルターとして利用できない場合はどうすれば良いだろうか。それには、気象要素の特性、特に、スケールに対する感度を利用する方法が考えられる。スケールに対する感度という観点から見ると、気象要素は二つに分類できる。その一つは、大規模現象に鋭敏に反応するもの (large scale sensitive) で、その代表例が気圧である。これは、大規模現象に対して非常に大きな変動を示す反面、それに重なっている中・小規模現象にはあまり大きな変動を示さない。したがって、フィルターをかけなくても、大規模現象を表わすと考えられる。

一方、これとは反対に、大規模現象に対しては小さな変動しかないが、中・小規模現象に対して大きな変動をするもの (small scale sensitive) がある。その代表例が、上昇流であり、これに関連して、湿度や雨量も中・小規模現象に対して大きな変動を持つ。風、気温は、これらの中間的な性格を持つと考えられる。風が、気圧に比べてややスモール・スケールに敏感であることから、気圧の解析が割合客観的に行なえるのに対し、流線解析には主観的要素が入りやすい傾向を持つことにも、ある程度理由があると思われる。

一方、ノイズのオーダについては、パターンデータを利用することによって、おおよその見積もりが得られると考える。すなわち、ある観測がパターンデータから見て、スモール・スケールが卓越する地域から得られたものか、あるいは、レンジ・スケールで大体代表される値であるかの、おおよその判定が付けられるということである。

4. 小規模現象の検出

次に、観測点間隔 D よりも小さな現象の検出のやり方について考えてみる。これは、前節のフィルターとは異なる問題である。

まず、第一に、パターンデータの利用があげられる。数値予報で得られる各種物理量の場等も通常パターンと呼ばれる (厳密にはグリッドデータである) が、ここで言うパターンデータとは、各種レーダや衛星写真で代表

される、いわゆる狭義のパターンデータを指す。パターンデータには、二つの性格のものがある。一次的気象要素 (大気の物理的状态を記述する要素。たとえば、気圧、気温、風等) を観測するものと、二次的気象要素を観測するものである。

ドップラーレーダやドップラーソーダは、風を直接測定するものとみなせるので前者の例と考えられる。しかし、普通のレーダや衛星は、雨粒のレーダ反射因子や放射を測定して一次的気象要素を測定しているわけではない。このように、二次的気象要素を測定するものが、パターンデータの主流をなしている。これを気象に利用するには、一次的気象要素への翻訳が必要となる。衛星から風、レーダから雨を求めるのがこれに当たる。しかし、精度の点に若干問題があるため、小規模現象の検出にこのようなデータを直接利用するには問題が残る。むしろ、一次的気象要素 (たとえば風や雨) の観測点間隔が粗い場合に、これを補間するのに利用するという考えが適当であろう。

次に、時間-空間変換を利用する方法がある。この方法は、メソ解析で常用的に使われている。ある観測点での時間変化を空間変化に置き換えて、空間的な粗さを補なうという方法である。この方法を適用するには、定常性の仮定が必要である。つまり、あるシステムが、ほぼ定常的な構造を保って移動していったという仮定である。その仮定のチェックはどうすれば良いか。後述するように、これには、パターンデータの利用が考えられる。4次元解析も、一種の時間-空間変換とみなせる。この場合は、定常性を仮定しないで、そのかわりに力学で継いでいくという意味でやはり時間-空間変換の一つである。

第三に、地形を考慮した補間ということが考えられる。中小規模現象には、地形がからんでくるものと、全然からまないものがある。地形がからんだ中小規模現象に対しては、地形を考慮した補間でかなり細かい構造がつかめるものと考えられる。

5. パターンデータの利用手法

以上述べて来た中で、パターンデータの利用の可能性について、いくつか指摘した。これらは、以下の三点にまとめることができる。第一に、ある場所 で得られたデータが、どのスケールのノイズをどの程度含むかということが、定性的ではあるが、パターンデータを見ることによってかなり見当がつく。また、どのスケールが卓越しているかも見当がつけられる。

二番目として、時間-空間変換によって小規模現象を検出しようとする場合、定常性の仮定が満たされているかどうか、また、異なる日のデータを平均して現象の構造を得ようとする場合、現象が同一であると認められるか(現象の同定)、といった定常性・類似性の仮定のチェックがパターンデータで行なえると考える。

三番目は補間に関係することで、たとえば、レーダーエコーは雨量そのものではないが、雨量と良く比例するので、観測点間の補間に利用できる。一般に、補間は観測点からの距離に関して重みをかけて行なう。しかし、レーダー、衛星等を見て帯状構造あるいは方向性が明らかであれば、方向に応じて重みを変えることもできる。

6. 当面必要とされる観測

大規模な場に関しては、湿度の観測が一番問題であろう。湿度は、先に述べたように、small scale sensitiveの代表的なものである。したがって、スモール・スケールに敏感に反応する測定値からスモール・スケールをフィルターして、大規模場を代表するものにするには、どうすれば良いかが問題である。

中小規模現象については、観測点密度を細かくすれば良いだろうが、これには大変な投資が必要で、非現実的である。中小規模場の観測は、天気予報から言えば、短時間予報に関係している。したがって、どのような観測が必要かということについては、短時間予報(技術)と関連して考える必要がある。雨予報に関して言えば、ト

ップラーレーダが最も効果的であろう。現在の雨予報技術は、力学的というより補外という運動学的面に頼ることが大きい。そのため、毎時の上層風が重要な意味をもつ。毎時の上層風観測は、高層観測よりドップラーレーダの方がいろいろな面から適していると思われる。

航空気象予報については、低層シャワーや乱流が問題となる。この場合、音波を用いる測器、なかでも、ドップラー機能を持つソーダが有望と思われる。ソーダは、いろいろな面白い能力を持つが、探知範囲が2~3 kmに限定される。したがって、全国ネットを張るのは不可能であるが、空港のような重要な観測ポイントでは非常にフィットした測器と考えられる。

大気汚染気象予報は、空港より広い範囲を問題にしなければならない。したがって、ドップラーソーダや RASS は有望ではあるが、探知範囲が狭いので疑問が残る。

中小規模観測に何を導入することが効果的であるかということに関しては、予測技術の進歩とともに、要求される観測が変わるという事情がある。たとえば、雨量予報については、現在のところはドップラーレーダが良さそうである。しかし、メソ・モデルによって力学的に短時間予報ができるようになれば、それに必要な中小規模場の観測は大きく変わるであろう。とりあえず、今の予測技術を前提とすれば、以上に述べたようなことであるということである。

(文責 巽 保夫)

5. 天気予報への助言と批判

廣 田 勇*

天気予報と気象学の接点に宿命的にひそむ問題点を、二つの視点から考察してみたい。その一つは、予報(予測の表現)における言語の論理性と、自然科学の認識方法との差異に関する問題である。数年前、筆者は、予報技術検討会に臨席した感想を記した“藪尻み天気予報論”(1973, OMEGA, 10-2)の中で、この問題を提起した。今もその考えは変わっていない。そこで、表現を変えてこの問題について述べたいと思う。

新編、テレビ等で報ぜられる天気予報およびその解説に、“低気圧が来たから雨が降った”“前線が近づくので

…”とか“北海道も雪になります…”といった表現が良く使われる。これは、日本語として非常に悪文である。特に、接続詞と副助詞の使い方が良くない。なぜ“低気圧が来たから雨が降った”という表現がまずいのか。そこには、意識するか否かにかかわらず因果関係一原因と結果一が含まれているからである。これは、言葉使いだけのことでなく、ものをそう考えてしまっている点に問題がある。

外国滞在中の苦い経験談であるが、好天が続いた秋の日、突如として大雨が降った時のこと、直訳的な英語で“本日の大雨の原因は何であるか”と友人に質問した。聞かれた相手はグラグラ笑い出し、ややあって“Nobody

* I. Hirota, 京都大学理学部

knows.”と言いながらも、“カナダの北部から寒気が来て…、メキシコ湾の暖流が…”と、聞いたかったことをまさに言っている。しかし、彼は大雨の原因が南下したトラフだというような言い方は決してしなかった。

気圧と雨とは確かに関係がある。しかし、単に言葉のあやとしてではなく、気圧が原因で雨が結果だという考え方を予報技術の中にまで持ちこみ、たとえば、気圧を追跡することを至上命令とするとすれば、それは反省すべき問題であろう。

同じことを数値予報を例にとりて考えてみよう。予報モデルの一つに、準地衡風モデルがある。このモデルでは、高度場が唯一の変数であって、これを与えれば、渦度、風が計算され、渦度が流され、それに応じて上昇流が計算され、それ以後の大気の状態は決まってしまう。あたかも、高度場（気圧場）が唯一の原因で、その結果起る風や気温のパターンが結果であるように見える。これに対して、プリミティブ方程式系では、いろいろなものが変数になる。予報モデルではなく、本当の意味でプリミティブに考えると、水蒸気であれ、風であれ、連立方程式としては同格であり、もはや原因結果という問題から離れていく。準地衡風モデルからプリミティブモデルに移る理由として、教科書、解説書には、精度の問題、低緯度の問題、地衡風調整の問題等々、テクニカルなことは書かれている。しかし、因果律の見地に立った両者の考え方の相違についてほとんど触れられていないのは遺憾である。準地衡風モデルがすぐれているのは、高度場という一つの変数で物事が決まるように見える、その見えるところが非常にわかり良いからであって、精度が悪い云々というのは二の次である。これに対し、プリミティブモデルは、精度の点で良いかも知れないが、物の捉え方としては、かえって混乱を招きやすい。この区別をはっきりさせておきたい。数値予報の問題だけでなく、天気へ翻訳するとか、予報を作るという場合においても、何がもとで何が結果だという単純な見方、また、それを根拠に予測を行なった時に、何を主に見たのかの違いによって、予測技術が妙な方向へ行っているのは困るのである。したがって、そうならないためにも、自然現象のエッセンスをいかに認識するかという点に立ち帰って、ものを考え、話し、文章にするということがぜひ必要であろう。

天気予報と気象学の関連において述べたい第二の問題点は、数値予報の限界に対する認識の問題である。いわゆる

る、predictabilityの問題である。単純に、これを2週間などという言い方は不適當で、スケールに応じ、現象の内容に応じて、可能な予測の範囲、あるいは分解能に限界がある。したがって、統計のプロセスを導入しなければならない。いわゆるパラメタリゼーションである。ところが、統計という意味—数値モデルにおける統計的性質の導入—は、簡単に見えるがそうではない。もともと物理現象が決定論的(deterministic)であったとしても、現実のプロセスの中に不確定(undeterministic)な問題があるために、統計として扱うという場合、果たして統計自体が統計力学のような完全なルールとみなし得るかが問題である。たとえば、Boltzmanの気体運動論からの帰結として、部屋の空気分子が突然一カ所に集まることがあって良い。しかし、その確率は現実にはゼロとみなせるので、Boltzman 確率のゆらぎで人が窒息死することはないのである。このような意味の確率的な理解の仕方と、パラメタリゼーションと呼ばれる場合の統計的性質を、同じ統計と考えて良いかは疑問である。

マクロな場とミクロな現象を結びつけようとする努力は、的を得ている。しかし、それを単純に、ミクロプロセスを大規模な場で表現するためのformulationを作ることにとこだわるとすれば、それができたとして、それは一種の決定論的(deterministic)なものとして扱われてしまう。つまり、その考え方の中に、ゆらぎという要素が消えてしまっている。ある状況の時には合うが、ある状況では合わないということが現に生じている。ある統計的性質と言っても、収束と渦度、渦度と上昇流を結びつける式をいったん使ってしまうと、そこで、我々は一つのものしか決められなくなる。そのゆらぎをどう考えれば良いか。Boltzman 分布によって絶対真空ができないという意味とは非常に異なるであろう。

つまり、我々が観測不可能な量、あるいは、スケールの小さい量に対して、パラメタリゼーションを技術の一つとして考える時に、本来どれくらいの確率分布、ゆらぎを持っているかの見極めが大切である。けっして、[小規模物理量=大規模物理量の函数]という一義的な式を作るということだけではないはずである。単一のformulationを用いて予測を行なった場合は、ある意味での平均的状態を言うのであって、実際には、over estimateにもなりunder estimateにもなる。

予報に点を付ける場合、0~100点とせず、0点が正解でマイナスの点(under estimate)とプラスの点(over estimate)という付け方をしたとする。単一のformula-

tion をしていれば、長年やっている平均点は 0 点になるだろう。そういう意味では当たっている。しかし、個々の日には、プラスの点、マイナスの点が現われる。問題は、我々がパラメタリゼーションをするという努力を行なう場合に、0 点という平均的な状態を想定しながら、なおかつゆらぎの幅を見極め、それがまた予測というものにどれだけ関与しているか、あるいは、その formulation 自身、ゆらぎの幅が少ないようなものにする、そういう努力がぜひ必要であろう。今までこれこれの物理プロセスが入っていなかったから精度が悪いのだ、したがって、これを入れれば良くなる、と言うのは、一方的なズレに対する修正の努力である。それはそれで予報精度を上げるということで意味がある。しかし、現象としてある幅を持ったものを扱わざるを得ない場合、そこにおける技術的な取り組み方というのは、あるプロセスが入っていないために、それを入れてズレを直していくという考え方で、本質的に異なるはずである。そのことが、予測というものの持つ難しさであり、また、エッセンスであると思う。そのゆらぎは、単に明日の雨の降る確率が何パーセントということ—それも一部に含むだろうが—、それだけではない。

要するに言いたいことは、我々が、雨・風・寒暖という諸々のものを含めて、大気現象、あるいは、気象現象を認識し、理解しようとする場合に、ある状態が与えられた時に物が決まるという考え方には、何が原因で何が結果という単純な考え方ができる場合とできない場合があるということ、そして、その中にミクロな現象に対する確率過程という認識がぜひ必要であること、それを取り入れてはじめて物を予測していくということの意味が出てくるのではないか、ということである。その認識が深まった結果、技術的に一歩でも二歩でも進むということになれば、冒頭に述べたような、比類稀なる悪文の予報文はなくなるものと信ずるところである。

討論

増田 (気象庁電計室) 言葉の問題が間違いを犯しやすいという点で同感である。かつて、マスコミ関係者が低気圧を虎、高気圧を象というように擬人化することによって、天気現象を説明した例がある。わかり易い表現を使うことは大切だが、それで、あたかも原因がわかったかのような印象を与える点に問題がある。

パラメタリゼーションにおけるゆらぎの問題が話され

たが、予報（たとえば、数値予報で得られた予想場）を統計的に修正する場合にも、同種の問題があると思う。統計的修正には、ある種の分散（ゆらぎ）が含まれることを理解する必要がある。平均的修正は大切だが、それをどちらに片寄せるかに予報技術の予報技術たる所以がある。また、ゆらぎを小さくするため層別化をすることも必要であろう。しかし、その場合でも必ずゆらぎが残ることを認識する必要がある。

小沢 (気象研究所) アブストラクトで述べてある“パラメタリゼーションなる手法の天気現象予測における認識論的意義づけが未だ明確に与えられていないこと”に関連して、ゆらぎの現象があることは理解できるが、それをどうしようと言われるのか、パラメタリゼーションを進めていこうとするのか、それに替わるべき何かの問題を提起されるのか。

廣田 パラメタリゼーションが決定論的なものでないということ認識する必要があるというだけで、具体的にどんな式を作れば良いかは、私には答える資格がないし、必要もないと考える。これからの問題である。

古橋 (大阪管区気象台) 現在、一般大衆に気象情報を提供する場合、大気状態の代表として気圧を使っている。気圧と天気を因果関係として捉えるのは問題があるという点は理解できるが、一般大衆が雨だけの表示で満足するだろうか。また、これからの天気予報を新しい形態として発表するのに何を表示すべきか。

廣田 何十年に亘る気象庁の伝統で、気圧図を見ないと天気状態がわからないという印象が強まりすぎたせいだと思う。通常の市民生活では、雨は認識できても気圧は認識できない。因襲を取り払えば気圧は必要がない。

高橋 (気象大) 講演者の意図は了解できる。普通の雨の場合は良いが、台風による暴風雨の場合、台風（低気圧）の動きに注意してやっていくのが一番わかりやすいし、実用的でもある。その意味で、従来からそういう表現が取られて来たと思う。それをどう直すかについては、名案がちょっと思い浮かばない。講演者に何か考えはあるか。

廣田 漁船や登山者の場合のように、確かにある種の要求に関しては気圧を知っていた方が良い場合がある。しかし、そのことと新聞、テレビの話とは違うと思う。それに取って替わるべき表示は、表現の技術開発として専門家にお願いしたい。

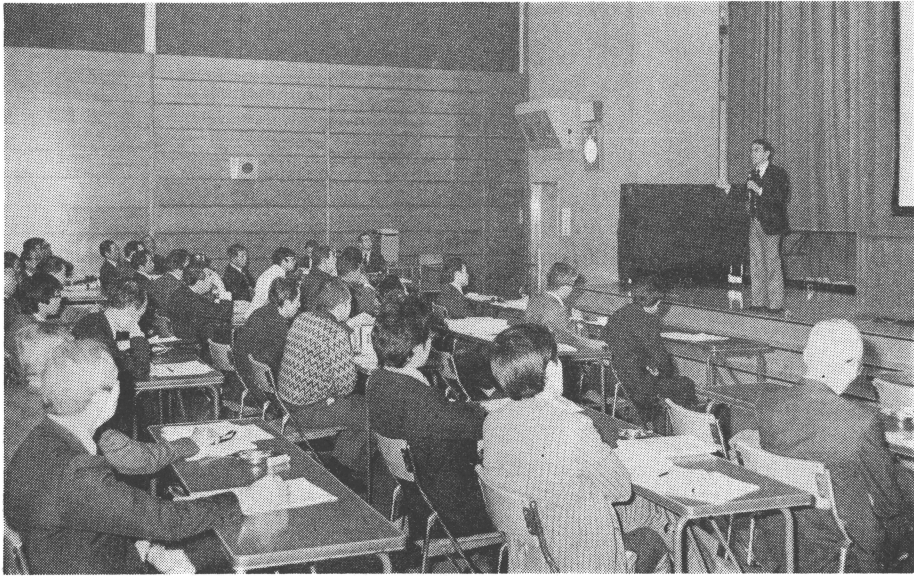
増田 講演者も、地衡風モデルのプリミティブモデルへの発展の問題の中で述べているように、第一次近似的

あるいは大規模現象については、高度あるいは気圧が第一義的なものになっているということは明らかであろう。その意味で、気圧を一つの尺度にして解説するのは悪いこととは思わない。問題はそれで因果関係がわかったかのような説明をするところにある。むしろ、現象を正しく説明するような資料を使うのが望ましい。その意味では、地上の天気図に500mb面の天気図を重ねるようなやり方も考える必要がある。

大塚（気象協会）十数年来、NHKのテレビの解説をしているが、説明の材料として画面に示すものが、単なる絵で良いかどうかは疑問に思う。少しでも科学的な根

拠を与えるとするれば、現時点では天気図以外にない。これをどう表現するかは問題である。低気圧は見えないという先の議論、実際にそのような質問を受けた。その場合、目に見えないが天気図を画けばどこに来たかはわかる、としか答えられなかった。けれども、やはり解説の立場に立つと天気図を基礎にせざるを得ない。言葉の問題であるが、たしかに接続詞、助詞の使い方は難しい。我々も、NHKの放送文化研究所で一緒に用語の検討を行なっている。たしかに、原因結果を相手に強制する表現はまずいと思う。

（文責 巽 保夫）



シンポジウム スナップ

6. 将来の予報官像

この演題については、宮沢清治（気象庁予報）、門脇俊一郎（気象大学校）、足立崇（気象庁予報）の各氏が話題提供を行ない、山岸米二郎が司会を担当して、パネル討論形式がとられた。なお、最後の討論では、この演題に関する討論だけでなく、全体の総合的討論も含んでいる。

山岸 それでは、将来の予報官像について、パネルディスカッションを始めます。討論の前提として、将来という事については、今後10年位という先を見通して考えます。3日先・4日先という予報は、どうしても数値予報のプロダクトが主体になると考えられますので、討論

の対象にせず、明後日予報より短い予報を念頭におきます。予報官につきましては、現状に固定するわけではありませんが、第一線で社会と接触している府県区の子報官をイメージに浮かべる事とします。まず、各パネリストに基本的主張を述べてもらいます。

宮沢 天気予報の実務をずっと長くやってきまして、現在までの歩みを振り返ってみますと、戦中から昭和30年頃までは、割合に天気図を図形本位に考えていましたが、29年から30年頃になりますと、天気現象を物理的に考えるという芽が、地方から出てきました。高度場を図式計算で出すとか、ソウヤー・マッシュマンの格子を用いて、

力学的に渦度などを求めだしたのは、昭和30年頃です。数値予報が始まりましたのは34年ですから、新しい試みは、やはり、地方から出て来たという事です。昭和40年前後になりますと、電計室の解説書を中心に、地方の指導講習が非常に活発に行なわれまして、大気像を物理的につかむという事になって、現在に至ったわけです。今、現場で使われているいろいろな補助図のなかで、数値予報の製品が、主力製品になってきたのは事実ですが、あくまでも主力製品であって、予報を出すための主力判断材料というのとは、ちょっと違うと思います。予報を出す段階になりますと、数値予報を主にするか、総観的といっていますが、そういうものを主にするかは、予報官によってかなり差があると思います。それで、将来像をえがくという事ですが、天気予報を国の業務として出していく以上、国の政策やそういったものに、左右されるべき立場にあると思います。10年位という事で申しますと、世の中の流れとして、省力化・機械化、あるいは、ローコストという事が言われますが、気象庁の業務も、やはりそういうふうになっていくと思います。機械化が進んでいきますと、ここ10年位のうちに、天気図の解析作業は、機械に変わって行くと思います。ところが、天気予報を組み立てるという事は、非常に難しく、客観化がどの程度できていくか、これを基にした予報に世の中の人々が満足できるかどうかについて若干の不安もあります。私は、天気予報を35年やっていますが、その間、すべて、客観的予報との戦いでした。予報を客観的にしろ、客観的にしろという事は、昭和30年頃からいわれているわけです。ところが、これは非常に難しく、物理的な量ですと容易で、可降水量や輸送水蒸気量を計算して、雨のワークシートを作るという様な事もやりましたが、パターン予測の客観化になりますと、やはり、定性的あるいは主観的なものが、かなり入ってきます。これからは、数値予報プロダクトもでてくる。コンピュータも優秀になりましたから、開発いかんで、客観的予報は、どんどん進歩していくと思います。また、品質管理の面からも、客観的にならざるをえないと思います。主観的だと実際の程度精度が上がってきているか、どこに欠点があるのか、改善しようにもわからないからです。しかし、開発が進み、客観化ができたとしても、ノイズとかメソ・スケールの現象があるので限界があるわけです。限界があるから予報が出せませんと言って、世の中とおっていけるかという、世の中なかなか厳しゅうございます。ですから、その限界を少し

でも上げる事に、経験とか学識というものが入っていくのではないかと思います。まとめますと、10年位の間は、ある物は機械化されますが、予報の組み立て方自体は、数値予報の製品の利用と、総観的、これは学識とか経験というようなものも含まれますが、これら両者が、はりあってといえますか、競合してといえますか、あい補っていかなければだめなような気がします。

門脇 過去に予報官をやった経験と、現在は比較的自由にものを言える予報の利用者ですから、その二つを利用して、技術的な問題よりは、もう少し別な側面から考えてみたいと思います。一つは、天気予報の将来像と、予報官の将来像は、同じ次元では論じられないだろうという事です。天気予報の将来像については、それに要する経費といった問題もありますが、主として、それに必要な理論と情報処理の技術の問題を考えれば済む事です。一方、将来の予報官はいかにあるべきかを考えるには、将来の需要内容がどうなるか、それをどうシステムで実現するのが最も効果的か、という事を考えるのが、一番必要だと思います。それからもう一つは、仮に、同じ適中率あるいは信頼度の予報があったとしても、利用者がどういう形式で要求するかによって、それを提供するシステムは異なるであろうという事があります。また、予報内容もより定量的に、しかも、質の等しい情報が、ますます要求されるようになるでしょう。これからの天気予報の利用者は、単に明日は晴とか雨という定性的な予想より、実際の天気状態の予測を数値的に使いたいという方がはるかに多くなると思われますし、その方がはるかに経済的な価値があるはずで、それから、現在は単に、ある一定時間後の平均的状态という予想ですが、そういう数値的な利用者に対しては、初期値とその後の時間的経過の予測をきちんと与える事が、どうしても必要になるのではないかと思います。要するに、気象要素、時間スケール、表現内容、いずれを考えましても、需要者の要求は非常に多様化する。それに対して、いろいろな情報処理手段を使いましても、現在のシステムでやっているように、一人でそれにすべて応答する事ができるかという問題があります。もう一つの問題として、予報結果の検証とか品質管理が極めて重要ですが、ただ、それをもっとルーチンベースで行ない、そこから得られた情報を毎日の予報に、フィードバックさせる必要があると思います。そういった前提条件から、将来のシステムはどうあるべきかを考えてみたいと思いますが、その場合、二つの大きな分岐点があります。一つは、現

在のように、一人の予報官が、天気図解析からスタートして、ローカルの気象要素の予測まで、すべて一人でやる。次に、それが、それぞれの地方に並列している。そういう並列的なシステムが効果的であるのか、それとも、現象のスケールとかそれを支配する法則によって、それぞれの専門を分化させた機能分化のシステムの方がより効果的なのか、という事が問題になると考えられます。機能分化していく方が良いのではないかと、というのが私の考えですが、それは、たとえば、我々が他の技術や学問をどういうふう利用しているかという事をみれば、一目瞭然です。比較的天気予報と似た思考過程をたどると考えられるものをあげてみますと、たとえば、医者があります。医者というものは、大昔は、すべての問題について診断を下すし、新しい分野の研究もやる。要するに、一般医がその最初の姿であったわけです。それが現在は、一般医もありますが、個々の患者に密接した全人的な情報を得る必要があるという事で、ホームドクターという考えもでてきていますし、スペシャリストが必要であるという事で、専門医ができています。また、薬学的な問題については別の専門家を、理学検査には専門の技術者を必要とするというふうに、機能分化しているわけです。もっと別な問題を考えてみますと、教師があります。教育の最初の段階の小学校では、人間として基本的な知識や生活態度をバランス良く身につけるためには、一人の人間が児童の多方面の活動をみる必要があるという事で、オールマイティ的な教師による教育が行なわれているわけです。それが、だんだん年がたち、情報の質が高くなってくると、非常に狭い分野に、専門分化するわけです。要するに、現在のような形態の予報官というのは、おそらく残りえず、それぞれの持っている機能が分化した状態になっていくのではないかとというのが、私の結論です。

足立 現在、本庁で主観解析を行なっていて、これから問題になってくるのは、客観解析を含めた客観予報と、それに対して、人間がどのように介入すべきかという事かと思われまます。これから10年ないし15年たちますと、現在の気象庁の人的構成から考えて、現在の業務的・技術的な形態を取る事が、非常に難しくなってくるであろうという事は、外的環境として間違いのない事ではないかと思われまます。そういう事を頭におき、現在の予報の客観化への歩みから将来の事を想像し、いったいどのような事が、人間としての予報官がなすべき仕事であろうかという事を考えてみました。まず、私が客観予報と

申しています内容としては、現在では電計による数値予報のプロダクトが主体ですが、数値予報のプロダクトには、スケール・アナリシスを経た長波から、最近では中間規模擾乱まで含めているようですが、そういったスケールを非常に明確にした狭義の数値予報、それから、いろいろ問題があるようですが、各スケール間のインタラクションを記述しますパラメタリゼーションを含めた意味での広義の数値予報、それから、特に最近、MOSなどで非常に盛んになっております天気翻訳における統計予報、そういったものをすべて含めまして、客観予報と解釈しているわけです。そういう客観予報の現状を考えてみますと、客観予報そのものには、計算方式による原理的なものから統計的ゆらぎまで、完全になくす事のできない、いろいろな不確定性があります。なくす事のできない不確定性をもったデータから、現在の予報表現のような、断定的結論を出さざるをえない状態で考えてみますと、何を選択するかという所に、人間としての予報官のなすべき役割があると考えられます。と申しますのは、計算機そのものは、デジタルデータを処理するのが目的で、これを層別化したり分析する事にかけては、人間以上の働きをするわけですし、さまざまなデジタルデータを総合し、その中から、二次的プロダクトを引き出すという事にかけては結構ですが、レーダ、あるいは、衛星などのアナログデータを含めて、さまざまな種類のデータを総合し、一つの子報表現を行なう事に、人間の介入する余地があるのではないかと思われまます。本庁予報課の現業室で眺めた所では、予報に使いますデータとしては70種以上にも及んでいるわけです。もちろん、これにいろいろなファクターをかけて、どれを選別するかは、予報官の考えに任されているわけで、その場その場に応じて適当に取捨選択を行なっているわけです。そういう、その場の状況に対して、あるファクターをかけて、一つの結論を導き出すという事にかけては、将来とも予報官としての役割があるのではないかと思われまます。これからの人的構成を考えますと、とても、現状の機構や人員構成を維持して行く事は困難であろうと思われまます。学会のシンポジウムですから、余り業務的な事に立ち入るべきではないかと思いますが、技術的にも、将来を見通した際には、そういう事を避けて通るわけにはいきません。そこで客観予報によって労力の軽減が行なわれた場合、その労力をどこに振り向けるかという問題に対し、異常現象、特に、シビア・ウェザーの子報に向けるべきではないかと思われまます。最後に、社会的

ニーズに対応した情報という事につきましては、今、門脇さんの言われた事に私の内容も入っていますので、論点はないわけですが、廣田さんの言われましたような、現在の予報表現のあり方に対して、もっと論理性をもった表現、あるいは、実際に確率を付加したうえでの表現が、はたして、受け入れられないものかという事も含めて考えるべきではないかと思えます。

山岸 これで、各パネリストの基本的な主張をお聞かせいただいたわけです。一つには、数値予報が主力になった事は認めるけれどもいろいろな問題点があり、最終的には、予報官がいろいろな資料を総合して判断している。そういう予報官の基本的なパターンは、今後もしばらくは続くのではなからうか。客観予報の実現性に、かなり困難があるのではなからうか、という意見が述べられました。今一つには、客観予報の定着を見通した上で、時間的・空間的な社会の利用の多様化、あるいは、利用者の情報処理技術を考えた、適当な所へ適当な情報を伝達するシステムの必要性と、異常現象への対応というものが主張されたと思えます。もう一度討論していただくわけですが、こちらからお願いしたいのは、たとえば、菊池さんの今日のお話ですと、将来は、大規模場の予想から予報文の作成まで機械化され、どうしても人間でなければならない所に人間が介在するような、マン・マシン・ミックス的な事がいわれました。そういうものだとすると、どういう所に、本当に人間が介入しなければいけないのかという点について、討論されるようなところがありましたらお願いします。それからもう一つ、今、特別には述べられなかったのですが、地方における調査・研究が非常に重要であるという事を指摘された方もあります。必ずしも、予報官が調査の主体ではないわけですが、天気予報で局地的なものが大切だとしたら、いったい、地方としてはどういう調査をするのが望ましいのかというような事とか、あるいは、短時間予報に集中するというような場合、たとえば、黒沢さんからは、予報のはずれの4割はラージ・スケールのパターンの予想の違いによるという指摘がありました。大規模場はほとんど客観化して短時間予報を行なう場合、どういうふうを考えればよいかという事もありましたら、問題提起でも結構ですから、もう少し補足をお願いします。

宮沢 最初の、将来は予報文の作成まで自動化されるのではないかと、いう事に対しては、すべて開発のいかんによるのですが、私は、10年位は並行してゆくと

思えます。けれども、だんだん人間の果たす部分が小さくなっていくのではないかと、いう事は、私の持論なんです。ですから、当面はやはり今のままでゆきまして、それが何年かかるかはよくわかりませんが、将来、開発の度合いいかんによりまして、人間の部分のウェイトがだんだん小さくなって収束していくと思えます。二番目の問題について、今までの天気予報の歴史を考えてみますと、メソ現象の実態把握という事が、昭和30年から40年にかけて行なわれました。これも、やはり地方から出てきたものです。特に、メソ現象がうんぬんされるようになりましたのは、例の北陸豪雪、それから、九州の集中豪雨観測あたりではないかと思えます。そういう意味で、ゆらぎとかノイズというメソ現象の与える深刻さは、地方でないとはわからないのではないかと、いう感じがします。そういう意味で、地方における調査研究というものを、学会としてもよく考えて、将来さかんになるようにお願いしたいと思います。特に、府県中心位です。最近、若手の人が地方の研究会で非常に活発に発表されているという事をみまして、非常に嬉しく思っているのですが、まず、ゆらぎとかそういう現象の実態把握、それから、マシンで出てくるのは150kmメッシュの値ですから、それを自分の地域にいかにか配分するかという事について、地方の調査研究がさかんになる事を願っています。

門脇 マン・マシン・ミックスのどこに人間が介在すべきかという問題については、現在から、たとえば、半日位の状態、そこには、人間の介在する部分がかかなり多いのではないのでしょうか。それは、それぞれのローカルの予報官に任される。それ以外の問題、特に、客観的な数値の予想を必要とする需要者に対するサービス、そういった問題については、それぞれの末端という事ではなくて、大きな計算機を動かして数値予報のプロダクトを作っているところで、人間がそのプロダクトについて、いろいろなインタラクションをやるという事になるのではないかと思えます。次に、地方の調査の問題ですが、具体的な問題はともかくとしまして、予報官は、現在起こっている天気変化を自分の予報区について十分効果的に把握しているかどうか、という事からスタートすべきではないのでしょうか。それは、先程宮沢さんが言われました、ローカルな天気特性を十分に把握するという事であろうと思えますが、現実には、自分の頭の上のことしかわかっていないのではなからうかという事が一つ。もう一つは、品質管理と申しまして、実際は、ある広か

りに対して出された予報に対してそのチェックはあるポイントの値でやられている、というところも改善する必要があるでしょう。それから、レンジ・スケールの子報の精度は、いったいどの程度のものが期待でき、仮にその予報が最良の状態にいったとして、それに対応した天気現象は、どの程度のバラツキをもって起こりうるのかという事を、もう少し調べてみる必要があるのではないかと気がします。

足立 私は、この三つそれぞれ関連があると思います。現在私がやっています主観解析の方で、電計のアウトプットについて、いろいろチェックしているわけですが、ある地域については、系統的といわないまでも、特定の高度が高くなったり低くなったりしています。現状では、客観解析がそういった誤差を完全には除去しえてないという問題があります。そういうものを除去するために、特定の地点を指定してボーガスを入れているわけですが、今後、マン・マシン・ミックスの機能が果たされた段階におきましても、そういった形で実況を把握しながら、総合的なパターンとして見た時に、電計のアウトプットはどうかといったところをチェックする意味で、人間の介入するところはあるだろうと思います。それから、ある特定の府県に対する予報を出す場合、はたして、府県あるいは特定の地方だけの状態をみていて予報できるのか、という問題があります。たとえば、明日・明後日の予報では、アジア地区全体についての総観天気図をみて、電計の表現したものが実況で忠実に出ていかどうかチェックしながら予報を出しているのが現状ですが、今後もそういったパターンはなくすわけにはいかないのではないかと思います。大規模場から直接、非常に狭い範囲の府県予報単位の天気翻訳ができるのであれば、それは当然、客観化して、統計予報としても表現できるわけです。ところが、現在はそういう状態ではありませんし、また、そのような客観解析のチェックを行なわない時点で、マシンだけにたよって、たとえば、12時間以内の予報に予報官は専念すれば良いのだといわれましても、これは技術的にできないのではないかと思います。そういう事も含めて、地方での調査は、けっして、地方だけの問題ではなくもっと大規模な場全体から見た、その地方の天気の流れ方の特性を研究する事が必要ではないかと思います。

山岸 どうもありがとうございます。ここで会場の方との討論に入りたいと思います。

討論

渡辺 (気象庁電計) ユーザーを考えない予報はない。その意味で、ユーザーの理解する言葉で予報を出す必要がある。天気予報を完全であると見せかける必要はない。わからないことは、わからないと表現すべきではないか。

宮沢 マシンによる予報限界は、総観的な方法で補う必要がある。予報の平均点が上がっても、世間の満足は得られない。平均から離れた異常現象をあてることが、気象庁の悲願である。技術がないからわからないでは済まない場合もある。あてる努力が必要である。

渡辺 モデルはマシンだけで成り立っているものでなく、モデルの改善などマンのなすべきことが山積している。モデルを大学とか研究機関だけに依存しても良いか。

宮沢 研究機関と現場とは、常にタイアップしていかなければならない。

増田 (気象庁電計) これまでの気象学会の集まりで、これだけ多くの参加者のあった会はなかった。この原因は、数値予報が実用化され、20年を経過し業務上不可欠のものとなり、そういう事実をもとに、気象庁でも天気予報の将来のあり方に、ある人は不安をもち、ある人は模索しているところにある。そこで、このマン・マシン・ミックスの問題を学会サイドからみて、その学問的根拠を明らかにするというところに、討論の中心をおくべきである。

“あす、あさって”の予報は客観予報になり、“半日”程度の予報は主観的なものになっていくという考えが出され、また、業務的にもそのような方向が打ち出されているが、そのように割り切っているものかどうか問題である。数値予報の話をするときに、“できる”予報と“できない予報”という言葉が使われるが、この“できる”予報が本当にできるかという、あくまで平均的に予測可能ということで、個々の日で大きく違う。ところが、“できる”予報というと100%できるというような錯覚にとらわれているのではないか。この、できない点を補うことが予報官の役割であり、“あす、あさって”の予報でも人間と機械とのインターフェイスが重要になることを強調したい。

岸保 (東大理学部) アブストラクトを読んで、機械に追まわられているという印象をうけた。予報官は現場に3年いたら、半年位“充電”するくらいのゆとりがほしい。司会者は、2~3日予報に限定されたが、数値予

報の一つの道具であるコンピュータが道具として生きるのは、もっと長い予報である。なぜかという、数値予報はラージ・スケールの問題を扱っているが、ラージ・スケール間の干渉、予報時間が長くなると、まさつによる dissipation, heat source のからみあいが起こる。このようなものは、マシンで追跡していくべきものである。そこで、そのような長い予報の原則的問題についての議論があってもよい。平均値、その偏差、分散を予報する問題、スケールによる予報の限界の研究もやってもらいたい。短期予報の問題では、スケールが小さくなると、数値予報で扱っている準二次元的な運動に三次元的運動を加味した方法論を、ゆっくりと冷静に議論した方がよい。

山岸 人間の介入するのが大きいのは、短期予報で“あさって”より短いところだろうという意味で限定した。

古橋（大阪管区） 三人の主張のうち、大阪では宮沢さんの意見に賛成の人が多かった。これは、将来にわたって100%客観的に予報することは不可能で、必ず誤差を含んだものであり、現在の客観製品というのは、大気状態とかパターンで表現されており、天気予報に直接関係する雲量、日射、雨量のような最終製品になっていない。また、明治以来の予報成績の向上が5%というように、今後10年たっても大きく変化することはないという意見が大勢を占めた。予報官が、異常現象だけに焦点があてられるようになるという足立さんの意見に対し、現状では無理で、日常の予報の中に予報官を必要とするパターンがまだまだ存在するという意見が多い。府県区に中心が移るといふ門脇さんの意見に対しては、予報の系列化が進み、上級官署の指示にしばられ、独自の予報が出しにくい現状を考えると、府県区の方に優秀な予報官が必要だということには懸念がある。

新田（気象庁電計） 予報官の必要性、予報官の判断の重要性は分かるが、予報官の判断の基準を客観的に検証し、判断のプロセスをシステム化することが必要ではないか。

門脇 私の意見に対し、大阪の方に誤解がある。府県区に重点が移るといふ意味ではない。アブストラクトは、府県区を例にとって書いたものにすぎない。府県区、予報中枢、本庁で、同じ材料を使い、同じ思考過程を経て、同様の予報を出しているという現状に疑問をもつ。

山岸 増田さんが、予報官の役割は“あす、あさって”

の予報と“半日”位の予報とで単純に分離すべきでない、前者の予報に対する予報官の役割も、重要視すべきだという判断が出されたが、それに対するパネリストの意見をききたい。

宮沢 増田さんの意見と同じである。“あす、あさって”の予報をどこかで集約的に出すことはあっても、マン・マシンでやらねばならない。

足立 数値予報の結果を全面的に念頭におき、実況、主観解析、スケールを考慮したマンの介入は必要である。

門脇 意見というより、二、三疑問を提出したい。天気予報の価値は、絶対精度にあるのか利用価値にあるのか伺いたい。

また、ラージ・スケールの予報を客観的に行なうということは、人間の介入する余地の全くないシステムが考えられているということをも前提に話が進んでいるようだが、そうだろうか。

情報の利用価値を高めるためには、いろいろなレベルの予報官の分業化を図ることが効果的である。ラージ・スケールの問題に人間が介入する場合、現在のように、いわば恣意的とも見える介入、修正の仕方では、情報価値を低下させる面があるのではないか。

増田 定量化・客観化できるものを、主観的なものに置き換えると主張しているわけではない。どうしても、精度を高めることが要求されるので、定量化・客観化できないものはできるように努力し、どうしてもできないものは、長年の経験、理論で定性化し補う必要がある。定性的だからといって、非科学的だとはいえない。

これからの予報官は、気象学はもちろん、モデルについても熟知することが任務となる。

小沢（気象研予報） “できる”予報の中にもわからない点が多くあり、それは、“できない”予報とも関連していることを認識する必要がある。予報官は、作業に追いまわられていては駄目で、余裕の中に転機や新たな発見があり、これが、天気予報発展の基礎になり精度向上の土台となる。

近藤（気象庁電計） 天気予報に利用される数値予報、レーダ、人工衛星等多くの資料の総合的判断をすることに対して、人間は秀れた能力をもっている。

数値予報を例にとると、自動的に出てきた結果は、高い確率で信頼できるものからそうでないものもある。また、モデルの特性やくせのため、本来の性質がマスクされて判別できない場合もある。その評価は、モデルのく

せを熟知した予報官が判断しなければならない。この点は、短期予報であれ長期予報であれ、必ず人間の介入を必要とするところであり、モデルを理解することがますます重要になる。

吉田（気象庁予報） 一口に天気予報といっても、ある地域の天気、ある地点の天気、さらに細かい資料を要求される場合などいろいろである。気象学を理解し、細かいデータを要求する人に対しては、そのような資料を直送するシステムを開発し、テレビ、ラジオの天気予報を利用している一般人に対しては、予報官が精度のよい予報を出すことと異常現象の予報に責任をもつべきである。

また、数値予報では異常現象がよくでないので、平常と分離して考える必要がある。

高橋（気象大） 門脇さんの質問に対して一言。天気予報は、ただ出すというだけでなく、使う人にとって効果的でなくてはならない。たとえば、警報はタイミングよく出すことが大切で、このような事が予報官の大切な任務といえる。また、予報は正確に出すことと効果的に使うことの二つの面がある。学会では、正確に予報を出す事を考えるだけでよいのであろうが、実際には、台風で通信が途絶した場合などの緊急時の事も考慮しなければならない。

予報官の処理能力を越すような資料数の問題も考え

て、マン・マシン・ミックスの総合的効果を見直す必要がある。

山岸 マン・マシン・ミックスが絶対必要であり、予報官は将来なくなるといわれながらも、まだまだ、現状では現場の予報官は確信がもてず、いろいろ問題があるように思う。ここで、結論を出す必要はないと思うが、今日の討論の中から何かを学び、自分の考えを発展させる基礎にしていきたい。

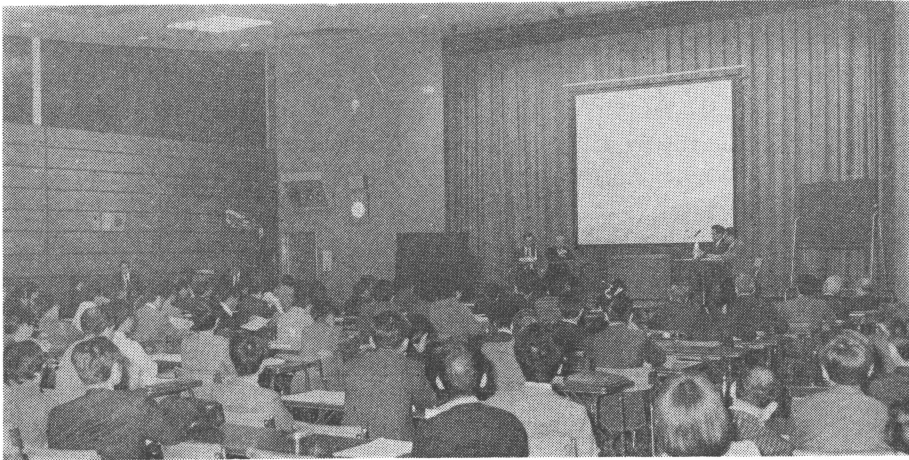
最後に、パネリストの方々へ一言ずつ発言していただいて終わりにしたい。

宮沢 マンを必要だとするうらづけ資料がほしい。人間がやってどれだけ当たった、こういう点で人間が良いというものを数字的に出していく必要がある。

門脇 システムがどうあるべきか。その中で、どのように予報官が変わっていくかということを主張したつもりだが、討論がかみ合わなかったように思う。

足立 予報の表現のあり方についての討議を予想した。

現在の、“あすは晴れのちくもり”式の予報がどれだけ必要なのか、考え直す必要がある。一般予報は、客観予報に任せ、行政機関としての気象庁の任務は、財産、生命に関すること、すなわち、異常現象の予測に重点をおくべきである。（文責 柏木啓一、古賀晴成）



パネルディスカッション風景