

シンポジウム「天気予報の現状と将来」に参加して

昨年12月に開催された「天気予報の現状と将来」についてのシンポジウムには、多くの会員の参加があり、天気予報に対する関心の深さが示された。天気予報をささえる気象学、さらに、気象学の成果を天気予報に応用する技術は多方面にわたっているため、シンポジウムの限られた時間では十分に討論が尽されなかったと思われるので、シンポジウムで出された問題点のいくつかについて、さらに議論を深めるため標記座談会を開いた。座談会の記録は、能登正之、山岸米二郎、滝川雄壮が担当した。（講演企画委員会）

出席者（発言順）

増田 善信（気象庁・電子計算室）
杉本 豊（気象庁・予報課）
青木 孝（気象庁・予報課）
荒川 正一（気象大学校）
二宮 洸三（気象研究所）
中山 嵩（気象庁・電子計算室）

司会 朝倉 正（気象庁・長期予報課）

朝倉 先日、「天気予報の現状と将来」というシンポジウムを行ないました。開催に当たっては、各方面からいろいろなご意見がございましたが、多数の方が非常に大事な問題だと認識されていることが分かりました。しかし、この前のシンポジウムでは、意見が各方面にわたって十分に議論が交されないうままに終わった感じがございます。シンポジウムの内容については、「天気」3月号に掲載されていますが、今日は結論を出すということではなくて、前回の議論の中で出されたことについて、それぞれの立場からの考え方を明確にして、この問題についての理解を会員の方々に広めるということに重点を置いてお話し合いをしていただきたいと思います。

最初は、「天気予報における数値予報の位置づけ」という点からお話し願います。これは、この前のシンポジウムでも極端な意見として2つほど出ておりました。ひとつは、数値予報のプロダクトがあればあとは予報を出すところまで一貫して機械でやるという考えです。このように、予報作業が客観化され完全に機械化できるなら

ば、それは一つの理想かと思います。もう一つの意見は、予報というのはサイエンスとは違って、社会の要求がまずあってそれに答えるのが職業としての予報（官）の立場だけれども、社会の要求と科学として認められている数値予報との間にはギャップがある。予報官は、いわゆるシノプティックな経験の積み重ねによってそのギャップを埋める仕事をしているのだということです。さらに、社会の多様な要求に応ずるためには、一人の予報官がすべてのプロダクトに目を通して対応することができる時代は終わってしまって、分業化によってプロダクトを処理するようになるということで、予報官は従来とは違った専門的知識を要求され、その意味で予報官の存在価値がより強く認められる時代だという意見がありました。このほかいろいろありましたが、いわゆる、シビア・ウェザーだけを予報すれば予報官の存在価値は十分であるという人もありました。

このような意見の根源を詰めていきますと、現在の天気予報の中において、数値予報というものをどのように位置づけて考えるべきなのか、あるいは、立場によってどのような位置づけがあり得るのか、まずその辺をはっきりさせていく必要があるのではないかと思います。この点から議論を始めていただきたいと思います。まず、増田さんから数値予報の歴史的な発展の跡を振り返って、数値予報の功罪といった点から口火を切っていただきたいと思います。

増田 難しいテーマですが、ただいまのお話の中で、予報はサイエンスではないという意見の紹介がありました。私は、予報はサイエンスであることに変わりはないけれども、今のサイエンスの段階では社会の要求に十分応えられないものがあるということだと思えます。こういう言い方をしないと、何かこう、サイエンス

はもう駄目なんだ、サイエンスはもうそちらに置いて……というような考えになってまずいんじゃないかと私は思う。私は、大気科学の応用分野としての予報ということでなければならぬと思います。同時に、現在のサイエンスの段階で要求に応えられない部分をどう埋めていくかということも重要だと思ふんです。

そこで、「歴史的な発展の中での数値予報の功罪」ということですが、歴史的にはやはり、客観的な方法で予報をしたいという人間の願望としての科学の発展であったわけで、その中でリチャードソンの失敗を踏まえて、1940年代になって、いわゆるスケール・アナリシスが導入され、これをもとにして数値予報が発展してきたのです。最初の頃の予報精度は現場の予報官の予報に比べると非常に悪かったのですが、しかし、客観的な方法で予報ができるようになるという意味では、非常に発展性のある、誰もがその発展を期待し、多くの人達が努力をしてきたのです。日本で初めて数値予報が実際の予報作業の中に導入されたのは1959年だったと思いますが、その予報精度は悪く、現場の予報官達の中には、これだけ高値な、科学の粋を集めた電子計算機を使ってこの程度のものしかできないのかという気持を持った人も多かった。あるいは、大気というものはそんなに簡単なものではなく、一層のパロトロピック予報などのように500mb付近だけで代表されるものではなく、そのような数値モデルで予報ができるはずがないという意見もありました。

しかし、そういう批判にもかかわらず、現在のような数値予報に発展してきたのはなぜかという、そのような準地衡風の仮定が一番の原動力であったということです。そして、岸保さんと斎藤さん、荒川(昭)さんなど多くの人達の努力があって、単純な一層の準地衡風モデルから多層モデルへ、そして、大規模な山の影響や非断熱の効果を加えとか、いろいろの改良が加えられて、今日、現場の予報官からみてもある程度満足できるような予想図が出せるようになったのです。とくに、数値予報が利用されるようになってきたということには、1日1回、しかも、前日夜の観測値を使って翌日朝予報をするという数値予報のルーチンが1日2回になったことの影響も大きいと思います。しかし、いろいろな点で、今なお不十分どころがたくさんありますけれども、予報を考える基本として、そこからスタートすべきであるということをはっきりしていると思います。したがって、すべての予報官が数値予報について理解するようにする

ということは当然のことであるし、現在そうなってきたと思います。

問題は、現在あるいは将来の数値予報でいままでの全部の種類の子報、あるいは、多様な社会の要求に応えられるかどうかという点ですが、それは十分 応えられない。要求の面から見れば数値予報そのものが不十分だということです。したがって、現在の数値予報を基礎として、それから後どれだけのことができるかということに予報の精度を上げる非常に大きなポイントがあると思うのです。ところで、「予報とはいったい何ぞや」ということを初めに明確しておかないと本当の議論にはならないのではないかと思うのですが。

杉本 話が少し飛躍するんですが、われわれは現場で数値予報を使っていますけど、数値予報の結果の検証は気象庁でもやっていますけれど、アメリカの例をみても確かにモデルの改善とともに成績がはっきりと良くなっています。しかし、500mbの成績がもっとも良くて、天気翻訳に直接関係の深い地上付近になるとあまりかんばしくない。6層ファインメッシュ・モデルを参考にして予報官がマニュアルで作ったもののスキルスコアを計算すると、地上付近で50%、500mb面では70%くらいの成績になっている。しかし、われわれが欲しいのは地上あるいは500mbのプログノ(予想図)そのものではなくて、さらにそれらを翻訳して得られる、いろいろな気象現象や気象要素の量的予報です。気温や風などの基本的な量をどう予報するか。最近では、いろいろな分野からの要求が出てきて、視程や雲量など非常に複雑な予報対象もあるわけです。一方、最近、明日・明後日の予報などは数値予報に頼ってやるべきだ。それを人間が修正して使うなどと言っても、まず修正の方法がないという極端な意見もあります。明日・明後日の予報をするに当たり、数値予報を全面的に利用することは将来の目標ですが、現在の時点では、数値予報と実況の間にはまだかなり大きなギャップがあります。このため、当分の間は現場で実際の問題に直面しながらその修正法を見出していくことが必要で、それが予報精度の改善につながっていくもともと考えます。最近の動きの中には、そのようなことは無駄であるというような考えが見受けられるが、それは誤りだと思ふ。

朝倉 ただいまのお話では、プログノを作ることは「予報」ではなくて、さらにプログノから天気への翻訳が予報の難しさということですが、プログノの修正については、シンポジウムの際に、24時間以上48時間のプロ

グノでは現場の予報官が経験を入れて修正しても無駄ではないかという意見もかなりありました。それに対して、いや、現在のプログノをそこまで信頼されるのは非常に困る。あれはまだ改善の余地があるんだというご意見もありました。先ほど、天気予報をやる場合、大筋としては数値予報の、いわゆる長波の力学から作られているプログノからスタートした方がよいというお話がございましたけれども……。

増田 いや、それは考える基本を数値予報に置くべきだということで、数値予報によるプログノをそのまま使えろと言っているのではないのです。今ちょうど気象大学校の予報部研修というのがあって演習をやっていますが、電計から出たプログノは、はっきり言って非常にラフなんで、研修生の方にどういう使い方をしていますかと質問したところ、上昇流の分布は割合よく見ることが地上のプログノは見にくいせいもあるけれどもほとんど見ませんという答が返ってきました。私はこれが現状だと思うんです。でも地上のプログノは本当に使いものにはならないかという、われわれがプログノ修正の演習を皆さんにやってもらった結果は、全く同じということにはならないまでも、高・低気圧や前線の位置などについてはほとんど同じものが得られ、修正が実際には可能だということが分かります。このように、プログノの修正においても、「予報」を考える場合にも、まず基礎となるのは（気象力学など）数値予報の考え方から出発して、地上のプログノだけでなく、上層のうず度、上昇流、等温線などによって大気立体構造と気象変化のプロセスを解釈することが基礎だと思うのです。ですから、数値予報の結果が使えるとあって、明日・明後日の予報は電計室からのプログノをそのまま使えろというのは極端な言い方だと思います。

なぜ修正が必要になるか、その理由をはっきりしています。まず、格子点を使った差分を用いている以上、波の位相が必ず遅れる。そのほか、対流調節などの物理過程が十分でない。また、北半球モデルではヒマラヤの山の影響が非常に大きく予報図を乱しています。しかし、これらの誤まりの一部は過度の追跡などによって、かなり合理的に修正ができるのです。

杉本 修正できるものとできないものがあると思いますが、われわれは両者を分離して考える必要があるんじゃないでしょうか。

青木 予報官の間では数値予報の評判が必ずしもよくない面が今でもあります。というのは、いろいろ事情も

あるのですが、たとえば、いままでバランス・パロクリニック・モデルが走っている程度で成績を挙げているところへ、プリミティブ・モデルができるというところへ、いままでのモデルは止めてしまって新しいモデルに切り換えてしまう。また、もう少しこうやったら良くなるだろうというようなことで、車でいうとマイナー・チェンジのようなこともちょくちょくやる。数値予報を利用する側からみると、試作品の段階で商品を提供されているようなところがあるわけです。予報官はモデルの結果を検証しながら使うわけですが、やがて、新しいモデルの習性を理解できるようになった頃、またモデル・チェンジがある。事前に十分な検証があって、モデルの性質のよく分かったものが提供されるならば、現場でも受け入れやすいだろうと思います。モデルの性質について十分知らされないで、十分に検証されていない数値予報の結果を使って予報を出さねばならないのは、予報官にとって困ることです。もっとも、これは学問の問題ではないですけど……。

杉本 数値予報の結果を使う側についても考えなければならぬことがあると思います。利用者の研修という問題はきわめて重要なことで、物理学に基礎を置いてものをみることでできる人が、とくに、地方において必要です。

荒川 私は、数値予報を出すという経験はないのですが、気象大学校で、とくに地方の予報官の方々と接してきて、地方の予報官の役割りということについて関心もっています。私は、局地循環とか局地風とかいう項目を担当することが多いのですが、地方の予報官には局地循環の気候学をしっかり身につけて欲しいと思います。数値予報から現在得られるものは、風や安定度に関する一般場で、それらが正しく与えられれば、まず定性的な予報ができるし、また、その一般場に関する情報を局地風の項を含む中・小規模循環の数値モデルに入れてやれば、局地循環を量的に予報することが可能になると思います。

増田 話が元に戻るかも知れないが、天気予報をどう考えるかはっきりさせておきたい。風、雨といったものを予報する際、どのくらいのスケールの現象を、どのくらいの精度であるかを、まずはっきりさせておく事が必要である。また、天気予報は、数値予報で出される高度、気温などをパラメータにして、雲、視程、最高・最低気温などを予報しなければならない。大規模場のプログノができたからといって、天気予報ができたとは言えない

い。天気予報を出すためには、まず、正確なプログノを作る必要があるが、現在の数値予報によるプログノは精度が悪いので、修正しなければ十分使えない。次に、このプログノから天気翻訳することが必要である。この2つのプロセスを経なければ天気予報はできない。プログノから天気翻訳するには、先ほど荒川さんも話されたが、3つの方法が考えられる。まず、メソ・モデルを使う方法があるが、これは、予報された大規模場を一般場として与えて、メソ・モデルを使って平均場からずれた小さな現象を力学的に予報する方法であるが、力学的方法を使わなくても、大規模場とメソ・スケール現象の対応を統計的に分類しておいて、テーブル・ルック・アップにより予報する方法がある。もう一つは、MOSの手法がある。これは、プログノ修正を行なわないで直接天気予報を行なう方法である。さらに長い歴史を持つものとして、シノプティックの知識をもとにして、プログノからの翻訳をやる方法がある。重要なことは、これらの方法はいずれも競合するものではないということだ。機械的にできるものは、そうすべきであると考えが、それでもなお限界がある。限界の中で何をするかということが、先ほど話されたプログノの修正ということである。

二宮 人間ができる修正を、なぜ、あちこちで個々の人がやらねばならないのか。

増田 修正は、おおまかなところは誰がやっても同じようなものになるが、予報官は自分の対象にしている地域に特別な注意を払うという事と、スケールの小さい現象とか、計算機にデータを入れた後新たに発生した現象をつけ加える必要があるためである。数時間のスケールのものについては、数値予報モデルは日単位の変化を考えているので、レーダ、アメダスを使ってつけ加えてやらねばならない。明日・明後日の予報についても、大規模場のものだけでなく、地域性を加味して各地域に合うようにしなければならない。また、修正するという作業の中に大気の構造を把握するという思考の過程が入ってくる。したがって、一般場を修正するのは中央でもできるだろうが、予報を出す思考過程には物理的解釈が重要になるので、個々のところで修正する必要があると思う。

二宮 それについて多少違った感じがする。24時間プログノで、最初になかったがその後発生したものをつけ加えると言われたが、元来そのようなものは24時間のライフ・タイムの中の現象としては小さな現象ではないか。大規模場で押してきたのなら大規模場で押し通せば

よいのではないか。どうして大規模場の予報の中に小さいものを押し込めなければならないのか。大規模場で出発したものは、大規模場だけで考えればよいのではないか。

増田 天気予報は、大規模場だけでなく小さいスケールのもも含まれる。大規模場を修正するのがプログノ修正であるが、天気予報をするのには、大規模場で予想される天気に対して、さらに小さいスケールの現象を加味して考えねばならない。

二宮 数値予報は天気予報そのものではなく、力学的予報に力点があり、そこから出てくるものは大規模場である。修正すべき小さなものはプログノ修正として見るのか、MOS的なものあるいは地域気候的なものとして見るのか、自明ではないと思う。数値予報は大規模場を表現するもので、それはそれとして把握すれば良いし、元来その中に含まれていないものがうまく表現できないのは当然である。当然表現され得ないものをなぜプログノの段階で修正しなくてはならないか、疑問である。

青木 修正を行なうのは、小さいスケールの現象をプログノの上で表わすために修正するのではない。小さい現象を考慮するのは、その小さいものが大きな流れを修正するための手がかりになるのではないかと考えるためである。

増田 大規模場は予報可能として話が進められているようだが、原理的にはそうだが、天気図に現われているものが大規模場のものかというところとそうでなく、数値予報で取り上げているスケールはもっと大きいものだ。数値予報モデルでは、天気図に表現されている普通の高・低気圧でもまだ十分に表現できていない。

青木 地上の気圧の場としてはたしかに十分に出ていないと言えるが……。

増田 だから、そういうものをつけ加えないと天気予報を出すためのプログノにはならない。数値予報のプログノだけでは、シノプティック・スケールの天気図に現われているものの表現は不十分である。そこを修正しなければ予報に使えない。同時に、小さいスケールのものは、ライフ・タイムは数時間であるが、明日・明後日の予報でも、そういうものが発達するポテンシャルがある時にはそのようなものをつけ加えなければ本当の天気予報はできない。

二宮 大規模場を表わしたのが数値予報であって、高度場、温度場、うず度など、数値予報の産物でそのまま使えるものがあるのではないか。数値予報は、力学的に

出された予報で、それは大きな成果であるのに、それをより小さな現象を含めてまで修正するのがなぜ大事であるのか分からない。

青木 小さいスケールの予報を数値予報で試みるのも良いが、大規模場の予報はまだ不十分なので、ちゃんとやって欲しいという意見が現場では多い。

増田 どういう現象を大規模場とっているのか。

二宮 低気圧の予報を考える時、それがどこまで移動し発達するかという事は考えても、副低気圧ができるかどうかなど微細な構造まで議論する必要があるのだろうか。数値予報はマクロな場の動向の良い情報を与えていると思う。予報官は不十分と思っているかも知れないが、私は十分よい情報を提供していると評価している。基本的な場の予報として数値予報以外に考えられないのではないか。

杉本 プログノを見る時、等圧線の形をみてそれを天気翻译成語するという長年の習慣ができていて、二宮さんはプログノはそのままとして、天気への翻訳のところで修正すれば良いと言われるのか。

二宮 可能ならばその方がよい。できないとすれば話は別だ。また、地上天気図を通さねば天気予報はできないということはないと思う。

増田 そのために MOS ができたのだと思う。MOS は、統計的なものであるから平均的な値しか出ないし、分散をもっているので使う時は何らかの形で MOS を修正することが必要である。そのまま使うこともできるのであろうが、それでは要求に合うとは言えない。すべての方法の限界を知って、それにどれだけ情報をつけ加えるかに予報官の存在価値があるし、必要性がある。先ほど荒川さんも言われたが、一般場が与えられた時、それに対応するメソの状態を力学モデルで効果的に引き出せば良いし、それができなくても、局地的な気候を考慮することで予報ができる場合もある。何についても、生のまま使うのは危険であると言えよう。MOS についても同じで、MOS にはモデルのくせが織り込まれていて、モデルの修正を含んでいる点については評価するが、平均的なものしか出せないし、統計のゆらぎもある。極値が出ないのでそれを出すためにいろいろ工夫されているが、必ず限界がある。それらのことを考えて、さらに精度を上げるためには、先のプログノと同じように修正する必要がある。

荒川 数値予報モデルが開発されてそれが現場で使えるように実用化された時、そのモデルのくせが分かるま

ではどのくらいの期間が必要なのか。

中山 それは、MOS の問題とも関連しているがサンプル数の問題ということになるのではないかと思う。普通、くせが分かるには1年が必要と言われていたが、ある年が前の年と同じくせを持っているとは必ずしも言えず、年毎に変わっていると考えた方が良いのではないか。結局、統計のとり方に工夫をこらすか、見切り発車かだと思う。

荒川 関東地方 250 km 平方を 7.5 km の格子間隔でおおって、海陸風の数値シミュレーションを3~4日分やってみたが、それらの格子点のうち、ある特定の1地点で、実際の風の日変化などよく実況に合っている事もあるが、不連続線の動きなど、250 km 平方の範囲での大まかな動きしか言及できない事もある。海陸風前線の位置の動きなど、今のモデルではうまく予報できない。このような事が数値予報モデルでもあるのではないかと思う。細かいところが合うこともあろうが、全部の要素について、すべての格子点で合うということはないであろう。

中山 年毎の月平均の天気図をみると、ある部分は同じようだが、全然違っている部分もある。同じ月のものが年によって同じとは言えず、母集団としては違うと考えられる状況があり、統計のとり方が難しい。

二宮 MOS の話が出たが、MOS の材料は数値予報であって、これは大規模場を対象としている。したがって、MOS で表現されるものは、時間的にも空間的にも平均的なもので、分散も大きいものでしかあり得ないのは当然である。逆に言うと、現在の気象学のレベルはその程度ということで、これは認識してもらい必要がある。それ以上の事はできないのではないか。それでは役に立たないかということとそうではなく、その中に危険率を加味すれば使えるのであって、限界を知って使ってもらえばよいのではないか。現時点でできる事は、数値予報モデルへの熱の入れ方、山の入れ方など、基本的な事をたんにやっていく事だと思う。

増田 しかし、天気予報に対するニーズはあるし、ある気象現象を、府県単位などのある拡がりをもった領域で予報する事は現段階ではできないものと言い切れるだろうか。予報に誤差はつきものだが、できるだけ精度の良い予報を出す事は、気象学をやった人の当然の務めだと思う。具体的には、梅雨前線の動き、台風の進路など、100 km あるいは 10 km の精度で予報できなければ、天気予報あるいは防災の面で十分とは言えないが、このよ

うな予報は現時点では学問的に不可能と言える。それではそのような予報は全然出せないのかというと、ある程度の確かさでは出せるのではないか。予報を発表する際、そのものずばりとは出せない場合もあり、その時は起こり得る現象を併記するということも考えられる。そのような事で学問の難しさをみんなに知ってもらふ事も大切であると思う。と同時に、現在考えられる最大の確信をもって予報を出す事も大切だと思う。

荒川 数値予報の産物はすべてのものに対してオールマイティではない。できる事とできない事がある。どんなモデルでもそのモデルの特性があるので、数値予報モデルの特性を早くつかんで、モデルで表現できないところは人間が修正しなければならぬのではないかと。いくら開発が進んでも、数値予報モデルはオールマイティではないと言って良いと思う。

増田、二宮 そうだと思う。

青木 数値予報のプロダクトにしても MOS にしてもそれらを材料にして予報官が判断を加えることによって、最終的な情報価値を高める事ができると思う。その際予報官の主観が入るが、主観といっても、1人にしかできないというのではなく各人共通的なものであれば、客観的な予報をそれによって高めることができると思う。

二宮 大勢の人に共通する客観的なものであれば、客観化すれば良いのではないかと。

増田 それはそうで、客観的なものは計算機に組み込めばよい。

中山 ものによるのではないかと。

増田 そうだ。たとえば、雲などはそのままの形で計算機に入れることはできない。定量的なもの以外は科学ではないと思われているのであれば、それは違うと思う。

二宮 定量化されるもの以外は科学的ではないと思っている人は多いと思う。

増田 定性的なものでも立派な科学であるということ認識することが大切だ。現時点ではまだ定量化されていないので、すぐに計算機に入れられないということだ。

数値予報モデルはまだ不十分なものであるし、改良する努力は続けられている。改良されるまで何もしないでそのまま使うというのではなく、現時点では経験を生かしてうまく使う事はできる。

二宮 お互いにそれ程くい違っているとは思えない。いかなる方法であっても、天気予報は、現代の知識では

確率的なものであるのは避けたい。それを、各予報官が数値予報のプログノを苦心して修正するのがよいであろうか。客観的にできるものなら、できるだけセンターで修正すればよいのではないかと。情報の少ない地方気象台で修正するのは不可能に近いのではないかと。

青木 そういう意味での修正はセンターでやればよい。しかし、修正したものを現場に流した後も同じ思考方法を現場でやらねば予報官は安易に流れるし予報精度も上がらなくなるのではないかと。

増田 修正について、できるところはセンターでやるということについては、そうだと思う。

荒川 一つのモデルにすべてのものを含むことは無理だろう。数値予報モデルでも、ある現象には効果的でもある現象にはだめだということがあるだろう。だめなものについては、別のそれ専用のモデルが必要ではないかと。

増田 プログノに不十分さがあり、それを修正する必要があることは皆さん認めておられる。したがって、地方での修正がどうかということに問題がしばられてきていると思う。

二宮 プログノに不十分さがあり修正の必要があるとする。その場合、万人に共通してできるものと、かなりバラエティのあるものと、誰がやっても現時点では無理なものがあるだろう。万人に共通してできるものは、どこでやるかは問題でない。特殊な人しかできないものがあるとすれば、それはもはや修正ということではないと思う。そのようなものは、修正ということをあきらめて別の途を探すのが実際的ではないかと。

仮定の話だが、次のようなことを考えてみたい。今、地方気象台で警報を出し遅れたとする。こういう時、中央から事前に指示があり指示通りにしていれば、外れても（中央から）おしかりを受けないのか、あるいは指示通りにしても外れればおしかりを受けるのか。もし、いろいろの資料が中央から流れればとは適当にやれというのでは、前線部隊は大変だ。天気予報を論ずる際、気象学（技術）と業務の2つの側面を切り離しては議論できない。

増田 前線部隊が種々の資料を見て右往左往するように言われるけれども、それはどういう理由か。

二宮 人間の判断には間違いがあり得る。したがって、中央から種々の資料が流れる時、使い方についての指示があり指示通りにしていればよいのか、指示以外にプラスするものがありそのプラスするものに全責任があるのかで、ずい分話が違う。

増田 今問題になっているのはまさにその点なのだ。指示が確実なものであれば指示通りやればよい。問題は、指示が確実なものであると言う保障が学問の立場で言えるか否かなのだ。

ある程度確実に言える部分については、定量化し客観化するのには当然である。しかし、定量化、客観化のできない部分の判断をまかされるのは誰かということが、今問題にされている。中央から地方に指示ができるということは客観化できるということだ。

したがって、大気についてのスケールの概念から見て、客観化できない部分が残ることを認めるか認めないかということになる。

二宮 客観化できない部分があることは、たいていの人が認めるだろう。しかし、客観化できないということは、誰にもできないということだと思ふ。

増田 そんなことはない。客観化できないということは、数量化できないということである。定性的な判断はいくらでもあり得る。

二宮 定性的なものは客観化できないということではない。判別解析というのは、いわば定性的なものの客観化だ。

中山 定性的なものでも判別で現わせるものはおそらく定量化できるだろう。

増田 私としては、判別できればそれを定量化できると呼んでいるのだ。

二宮 それでは、定量化できない定性的なものにはどんなものがあり、それを誰がどのように判断できるのか。

中山 渦度と上昇流それに地上の低気圧の関係について調査されているが、機械でやると座標の移動などを考へなければならぬので、かなり難しいのではないか。

増田 統計的にやればある程度はできる。しかし、統計的方法は標本数にも問題があり、年によって大きな差が出たりして、必ずしもうまくいかない。

二宮 統計的に処理しても、処理し切れないものがあるということではないのか。

増田 たとえば、数値予報での低気圧の発達予想という問題を取り上げてみたい。モデルは発達の効果を取り入れて計算しているけれども、発達の予想は不十分である。しかし、不十分だからといって、統計的補正を機械的にやると非常におかしな結果になる。私は、機械的に補正するのではなく、統計的な結果もふまえたうえで $\omega\alpha$ のような定性的なものの効果をも加味することを主

張している。定性的なものの効果をどの程度評価するかは、各人により違いがあるが、ある程度のところまでは収斂するという事は、先ほどの研修での演習の結果でも明らかだ。

二宮 収斂するということは、もっと具体的に言えば、定量化が進んだということではないか。

増田 違う。定量化できなくとも、定性的な判断において収斂する可能性があるということだ。

青木 低気圧の発達というような問題ならば地方でやる必要はない。府県により発達の見積もりが違うようでは困るから。

増田 そういう時、どちらの判断が正しいかを誰が決めるのか。

青木 中央だ。

増田 中央できて地方でできないのはなぜか。学問の立場で言えば、あくまで定性的なものが残る。しかも、ある程度収斂する可能性があって、時に発散もする。しかし主として収斂する。この場合、最終的に決めるのが中央であるべきであって地方であるべきでないというのは、いかなる根拠に基づくのか。

青木 役割りの違いである。

増田 中央の人が経験豊富だからか。

中山 経験豊富な人が中央でプログノ修正をしているのではないか。

増田 中央の人でも判断が発散することはある。定性的なものなので、ある程度科学的ではあるけれど、不確定性があるということなのだ。

青木 一つに決められないから勝手にやれというのはおかしい。

朝倉 定量化され得ない面があり、最終的には人間の必要性が残る部分があるということのように思われる。そして、その部分をどうすればよいということまで議論が進んできているのではないかと思う。ところで、いわゆるベテラン予報官とはどういうことかということについて少し討論していただきたい。つまり、いままでのおおまかな結論としては、人間の介在する余地がどうしてもあり得るということ、その場合、いろいろな方法をとってもどうしても個人差が残り得るということのようである。

いわゆるベテラン予報官というのは、はっきりとは表現し得ないけれども結果として正しい解答を数多く出しているのではないか。そうだとすると、自然現象にひそんでいる（われわれが表現し得ていない）何物かを体得

しているのではないか。そういう点について、ベテラン予報官とは何かということ科学的見地から掘り下げていただきたい。

荒川 現在では、数値予報を軸にして、地方の天気予報をも、すべてそれで律してゆくという体制がめざされているようだ。しかし、数値予報も一つの道具に過ぎない。医学でも、たとえば、レントゲン写真があってもそれですべてを律するのではなく最終的には医師の総合判断が必要である。天気予報でも、気象学や気候学を学んだ予報官がいて、初めて総合判断ができる。数値予報はオールマイティではない。県あるいはその半分くらいの地域を対象とした天気予報では、どうしても技術者の判断を必要とする。その意味で、ベテランであればあるほど良いのではないか。

青木 ベテランというのは、過去の事例の索引が上手な人ではないか。もちろんこれだけではないが、これが非常に大きな部分を占める。だから、経験としては3年くらいで十分ではないか。

中山 索引ならば人間でなくとも機械でできるのではないか。だから、もっと違う要素があるように思う。

増田 荒川さんが先に言われた事、つまり、総合判断ということが非常に重要だと思う。部分部分は機械でも相当やれる。しかし、総合判断のできるのは気象学を学んだ人間である。中央か地方かということについては、中央の判断は中央の判断として、同時に地方の判断もあってしかるべきだと思う。予報官は裁判官と同じようなもので、最終的な判断はその人個人の責任として出すべきだ。多くの場合同じような判断が出るであろうが、異なる判断が出てくるのも避けられない性質のものである。最終的な総合判断が重視されるので、個々人の絶えざる勉強(努力)と教育が大切となる。ベテランというのは、結局、総合判断のできる人ということだ。その養成には教育が大切だと思う。

杉本 台風の子報を例にしてみよう。普通、台風が転向点に近づくと速度を減じるが、なかには、今年の台風9号のように非常に早い速度のまま大きく向きを変える台風もある。このような時に、即時に場の変化を読み取り、防災面も考慮に入れて対処できる人がベテラン予報官と言えよう。

二宮 ここまでは計算機でできるというミニマムのレベルをできるだけ高くしておき、もし可能なら、その上にプラス・アルファするものとして人間の判断が必要とされる。

増田 最近予報部内で行なわれた討論会で、「短期予報、短時間予報はガイダンスや地方監視報により、ほとんど補正することなく発表する」という意見もあったと聞く。アメリカはこの方向を数年間追求してきた。その結果、いかなる事が起こったかということについて一つの論文*がある。著者は、アメリカに“Meteorological cancer”が発生したとし、次のように述べている。“予報官は中央からのガイダンス(数値予報や MOS のプロダクト)に言葉をあてはめるだけで、気象学的知識や経験を發揮する場所はほとんどない。予報官は気象屋というより通信屋になり、仕事に対する情熱や満足感がなくなってきた。そして、ガイダンスに盲目的に従う予報官が増えている。というのは、ガイダンスから離れて予報を出した時、間違えば批判されるが、適中してもほめられることがないからだ。”また、MOS 方式が導入された時初めは予報精度が向上したが、(予報官が盲目的にガイダンスに従うようになった結果)やがて下がり出してきたと分析している。“Meteorological cancer”をなくすための著者の提案は、中央のコンピュータだけでなく、予報官自身もコンピュータを用いて予報を修正するようにすべきであるというものである。

コンピュータで処理できるものは、できるだけそのように処理すべきである。しかし、定性的段階のものもあり、また、コンピュータでは総合判断はできない。この意味で、予報官の果たすべき役割りは増えこそすれ、減ることはないと思う。

青木 学問が進めば客観化は進むし、それ自体は良いことだ。ただ、客観化した部分は研修等で十分に理解し、身につけておかなければならない。現在は、客観化した部分は理解しなくともよいという空気になっているようだ。この点の配慮を欠くと、“cancer”が発生する原因になるのではないか。

朝倉 どうもありがとうございました。この討論を聞いていて意を強くしたのは、気象学の教育を十分やっておけば、数年の経験でベテランと言われる予報官の域に達し得るのではないかとということでした。

杉本 適性ということも大切ではないか。

朝倉 適性、不適性ということも大切ですね。

荒川 数年では不十分なのは、医師はあれだけの資格を得るために、相当な教育と訓練を受けている。そこ

* Snellman, L.W., 1977: Operational forecasting using automated guidance, Bull. Amer. Met. Soc., 58, 1036~1044.

まで社会的地位を高めるためにはかなりの年月（たとえば10年）が必要ではないか。

朝倉 いわゆるベテラン予報官といわれるものを科学的に評価してみると、一朝にして育成できるものではなく、気象学を幅広く理解できかつ幅の広い教養のある人ということになるのでしょうか。

二宮 予報官というのは、単に気象学のみでなく、防災的な面も含めて広い意味の社会的常識がぜひ必要だと思う。そういうものを含めて、幅広い教養を身につけている人が要求されているのではないか。

朝倉 議論がなかなか尽きないようですが、一応この辺で終わりにしたいと思います。熱心な討論ありがとうございました。

* * *

「天気予報の現状と将来」は多くの会員が関心を持って考えている問題です。2回にわたる報告を読まれて、いろいろな御意見があるかと思われませんが、“論壇”あるいは“会員の広場”に、感想、批判など御意見をお寄せ下さることを期待します。（講演企画委員会）

日本気象学会誌 気象集誌

第II輯 第56巻 第2号 1978年4月

木村竜治・江口恒夫：海陸風循環の力学過程について

宮原三郎：下部熱圏における垂直伝播する大気潮汐波によって誘導される平均流

時岡達志：垂直差分法に関する考察

青木忠生：透過率計算における半直接的統計模型

W.H. Chaplin・J.F. Kimpel: AMTEX 期間中における対流圏放射収支に及ぼす雲の影響

小林俊一：東南極みずはキャンプ付近においてカタバ風によって輸送される飛雪量

[ノート]

千葉 修：接地層の風速鉛直成分の歪度の安定度依存について

海陸風循環の力学過程について

木村 竜治 (東京大学海洋研究所)

江口 恒夫 (株式会社ケー・シー・エス)

周期的に変化する非一様加熱に対する安定な密度成層流体の応答を、線形化された渦度方程式および熱力学方程式を用いて調べた。

適当なスケールリングを導入すると、現象が、

$$\Omega = \frac{\omega_*}{N^{\frac{1}{2}}(\nu/l^2)^{\frac{1}{2}}}$$

で定義される無次元パラメータのみによって支配される事を示す。但し、 ω_* は地表温度変動の角振動数、 N は浮力振動数、 ν は熱および運動量の拡散係数、 l は加熱冷

却の行なわれる水平スケールである。

生じる流れは、内部重力波、熱伝導波（復元力によって生じる波動ではないが、熱伝導方程式から得られる伝播する性質を示す温度擾乱）、定常的なヒートアイランドによる対流の構造が混合したものと考えるられる。 Ω が1.3より小さい時は、流れは ω_* にそれ程敏感ではなく、定常対流の構造に近い。一方、 Ω が1.3より大きいと、擾乱の鉛直スケールは熱伝導波によって、水平スケールは内部重力波の性質で決定され、共に、 ω_* に敏感である。大気中の Ω は、 $l=100$ km の時、 $\Omega=1.3$ に近く、海陸風循環では、上記の3つの基礎物理過程が同じ程度の重要性をもつと考えられる。