

予報の限界と統計気象力学*

高橋 浩一郎**

はじめに

今度、藤原賞を頂くようになりましたことは、私としては大変光栄であるとともに、大変うれしく思っております。それは私が気象界に入り、どうやら一人前の仕事が出来ようになりましたことは、全く藤原先生のおかげであるからであります。

私事にわたりますので恐縮ですが、私が総観気象学の研究に手をつけるようになりましたのは、昭和11年、中央気象台に入り、天気予報の仕事に関係するようになったからであります。

当時の天気予報は今からみれば実に幼稚なものであります。実際の天気予報をまかされても、まず等圧線を引く練習をするくらいのもので、予報を出す原理を勉強したくも見る本がなく、特別な技術を教わるわけでもありませんでした。それで、必要にせまられ、いやがおうでも総観気象学の研究をしなければならなかったわけであります。もちろん、私の先輩の方々も同じ道をあゆんでこられたわけですが、その研究はただ自分の頭の中にあるだけで、後人のためになるようにと、記述したものはあまりありませんでした。そこで、いろいろ調べた結果を気象集誌に投稿させて頂きました。これは、個人としては頭におさめておくだけでも宜しいでしょうけれど、日本全体の技術水準をあげるには、研究成果を公開することが重要であると思ったからであります。

さて、藤原先生は直接私が気象界に入る動機を与えて下さった方ですが、私の研究態度に大きな影響を与えて下さったのは寺田寅彦先生です。私が大学を卒業する前年の暮なくなりましたが、身の科学ということを提唱されました。正統派の研究者たちからは落穂拾いなど

の批評もあったようですが、私には大いに感ずるところがありました。もちろん、正統的な行き方はその字のごとく正しいのでありますが、地球物理学の研究対象である自然現象はきわめて複雑でありまして、必ずしも正統的な方法で片づくわけではありません。とくに、開拓的な研究には荒けずりな方法が重要であります。これを裏書きするといってもよいと思うのですが、日本の地球物理学が世界的なものになったのは寺田寅彦先生の門下のお弟子さん方々の力が大きく、先生は日本の地球物理学の創業者といってもよいのではないかと思います。

私の恩師として、もう一人あげておきたいのは岡田武松先生であります。先生は学者であり、また日本の気象事業を今日の姿になる基礎をきずいた事業家でもありました。ところで、日本気象学会も今日のように隆盛な姿になりましたことは、私としても大変うれしいことです。学会はひとつの事業でもあります。日本の気象学の発展につくすための学会は、もちろん理想をもち、学問を中心とすべきですが、学会の運営、庶務、会計、機関誌の編集、講演会の企画などの実務的なことの重要性を忘れてはならないと思います。

予報の限界

すこし話がそれましたが、私が気象台に入り、ずっと予報関係の仕事にたずさわっておりましたが、いろいろの点から予報の限界を感じておりました。そして、今日この問題は Predictability の問題として世界的に関心が持たれ、予報に限界があることが一般的に認められるようになったことは、御承知のとおりであります。ただし、これは決定論的な予報であって、確率論的な予報は別であります。たとえば、特異日の現象を利用すれば、ある意味では一年先でも二年先でも予報が可能であります。

このような予報の限界のできる原因は、気象観測の精度の限界によるものでありますが、それをさかのぼれ

* Predictability and Statistical Mechanics of Meteorology. (昭和44年度藤原賞受賞記念講演)

** K. Takahashi, 札幌管区気象台
—1969年4月10日受理—

ば、気象現象の本質からくるものであると思います。気象観測の精度を上げることは可能ですが、観測値が統計量であるということから絶対正しい観測値はえられない。そして大気物理学で将来を数値的に予想する場合、運動方程式の性質上初期の観測誤差は急速に拡大していく性質をもっています。このため予報の限界がでてきます。しかし、平均量である気候的な量は、境界条件と大気の力学的、熱学的性質によってきまるものでありまして、境界条件の変化によって気候状態は変化してまいります。いわゆる季節予報はこのような考えで解くことが可能であると思います。

ところで、予報には限界がありますが、確率的な予報は可能であります。毎日の予報でも、絶体正しい予報は出せず、大なり小なりの確率性があります。われわれが予報を日常生活に用いる場合にはこのことを十分認識しておく必要があると思います。これは気象学の本論とは違う問題であります。応用気象の領域の問題であり、予報の利用という点ではきわめて重要であります。

また、予報を用いる場合、いろいろな経済条件を考慮に入れる必要があります。予報の価値というものはずしも適中率だけで定まるものではありません。場合によると、予報よりは気候学的知識を用いて行動をした方がはるかに有利な場合もあります。戦後この方面の研究も若干行われるようになりましたが、気象学が日常生活に大きく貢献をするためには、この方面の研究も重要でありましょう。

統計気象力学

以上述べました問題をすこし別の方面から眺めてみたいと思います。乱流論などでよく知られておりますように、現実の気象現象はいろいろのスケールの現象の集りです。そして、一般的に言って、大スケールの現象は寿命が長く、小スケールの現象は寿命が短いことは御承知のとおりであります。したがって、大規模な現象はかなり先まで予報できるが、竜巻のような小規模な現象ではせいぜい1時間程度の予報しかできません。

また、大スケールの現象はかなり保存性があるとはいえるものの、小スケールの現象の影響を受けるし、また反対に、小スケールの現象は個々についてはほとんど大スケールの現象の直接の影響をうけないが、その統計的な性質は大スケールによってきまるのがふつうであります。すなわち、お互いのカップリングがあるわけです。

たとえば、大循環の理論を考えてみましょう。時間ス

ケールが短いときは、小スケールの現象はあまりきいてまいりません。しかし、すこしく長くなって参りますと小スケールの現象がものをいって参ります。ふつうは、これをうず交換というような統計量に直して取扱うわけですが、これでよいか否かは大いに問題があるところでもあります。

このカップリングは決定論的に扱うことは不可能なことは明らかであります。なんらかの統計的扱いが必要と思われれます。物理学で統計力学があるように、統計気象力学というものがあるように思われれます。この方面の研究は現在まとまったものはありませんが、古く研究されたベナール・セルに関連したものはいくつかあり、また最近では熱対流を論じた浅井博士の研究がこの類に入るかと思われれます。

私はこの数年来気候変動に興味を持っており、その原因を少しく考えておりますが、この場合にも時間スケールがものをいうようです。気候変動にもいろいろのスケールがあり、時間スケールによって気候変動の一義的な原因は違って参ります。地質的時間スケールの気候変動では、太陽活動の変化、大気成分の変化、大陸の移動などが一義的な原因になりうるように思われれます。

これに対し、数十年程度の短い周期の気候変動では、海洋または地殻の熱容量がものをいっているように思われれます。もちろん、熱容量そのものは直接気候変動を起こす原因とはなりません。地表に入ってくる日射量と出ていく熱放射の差が実質的に地表にたまる熱量ですが、それが気温に現れる場合、大気および海洋の熱容量が関係してきます。熱容量が大きいと、地殻への熱の出入の変化が大きくとも、温度の変化としては小さくなります。また、その変化は実質的に変化する熱エネルギーの変化の速さにも関係し、変化の周期が短いと気温の変化は小さくなります。このため、長周期の変化の振幅が卓越することになり、これが気候変動であります。しかし一方熱の出入の変動の周期が非常に長くなると放射平衡になり、気温の変動は熱の出入の変化の振幅に比例することになります。このため、気候変動のタイム・スケールがきまり、大体数十年ということになります。

すなわち、この程度の時間スケールの気候変動では地表への熱の出入の変動によって起るものでありますが、その周期、振幅をきめるものは大気および海洋の熱容量であるといえるように思われれます。すなわち、ひと口に気候変動の原因といっても、その解釈はなかなか難かしく、簡単にはいえません。いろいろここに述べたよう

に、モデルを設定し、一義的な因子を明らかにすることが重要でありましょう。なお、ここでは熱の出入と熱容量という簡単なモデルをとりましたが、現実の熱の出入には雲という厄介なものが介在して参ります。雲は大気中の水蒸気量および大気の小スケールの運動で定まりますが、これは統計的には大循環にはねかえるはずで、これを議論するにはどうしても統計的な取扱いをしなければなりません。この問題は、大気大循環を論ずる場合のひとつの基礎であり、パラメタリーゼーションのひとつの問題であろうかと思えます。そして、このためには統計気象力学といった種類の研究が必要ではなからうかと思うのであります。

おわりに

以上最近私の考えておりますことを二・三述べてみましたが、終りにいまいしくふれさせて頂きたいことがあ

ります。第2次世界戦争が終ったとき、将来の日本の気象界の前途に思いをはせ、われわれの年代ではどうにもならないのではないだろうかという暗たんたる気持をどうすることもできませんでした。そして、これを取り戻すためには、どうしても若い人たちのエネルギーに頼らなければならない。このためには、若い人たちの教育および研究心を鼓舞することがもっとも重要だと考えました。そして現在をみると、私の考えは間違っていないかと思っている次第です。

しかしながら、当時からすでに20年以上たっており、気象学も新しい革命期に入ってきているように思われます。今後の若い研究者の進出に大いに期待するとともに、日本の気象学会の発展を望んで、私の講演を終らして頂きたいと思えます。

〔新刊紹介〕

「雪華図説覆刻版・小林禎作——雪華図説考」

築地書館刊、土井利位記、小林禎作解説

普及版 980円

科学史の研究は従来とかく学者のサイドワークと言われていたり、年老いた者の仕事のように思われたりしていた。また科学史専門の学者がいたとしても、たとえば論じている一分野においては、その分野の学会でトップレベルの前進的、開拓的研究を発表してはいないという批判もあった。しかし私自身は歴史家には歴史家の見方もあるし使命もあると思っていたが、余りにも専門分野の研究者が歴史に無関心なのを淋しく思っていた。だからこの種の本がその道のトップレベルの研究者より大胆に提出されたことは非常に意義があると思う。又長年の著者の雪結晶に関する研究からにじみ出た実感的強みと、著者らしい綿密さと観察眼が躍如としてあらわれ独特の香りをはなっている。

この著書は雪華図説と続雪華図説の覆刻版をまぎれずに掲げ、その後全体の大半の頁をさいて雪華図説考として著者の解説を載せている。特に初版本と異本、刊行の年代、著述の背景、及び蘭鏡についていねいに解説し、西欧における雪結晶の観察と記録をうまくまとめ、中谷先生もかなりふれたことのある「現代の顕微鏡写真と利位の雪華図との比較」を著者らしいタッチで述

べ、勢い余ってわざわざ利位にゆかりのある古河にまで赴いて、資料をさがした記事をあとがきとして述べている。第一に本の印刷、紙質、デザインがきれいで正に異色である。

ただ少々注文をつけ加えさせていただくと、気象庁の根本順吉氏も指摘されるように、考証としては殆ど満点であるけれども、中国における資料の不足などがあげられる。これは中国語の難かしい文献をあたらなければならないので著者としては避けたのかも知れないが、鎖国中の日本にも中国科学の影響はかなりあったようである。また私も実のところケプラーあたりより歴史哲学的にこの雪結晶の問題を扱ってみようかと2~3論文をあたり出した折であるので、もし著者がなおもこの種の研究を進められるならケプラーあたりの文献を綿密に当たって、特に、当時まだまだはなやかだったギリシャ時代の新プラトン主義の影響に関する事情あたりより説きおこしたら、(これは又一冊の本になるかも知れないが)、歴史も大変ダイナミックになり、科学思想史的な味も出てくるようになるかも知れない。

何れにしても足で文献をかきまわり、頭で考えたものであるのに加えて、手によってきれいな写真を多く掲載しているので、興味あること正に絶大であると感じる。

(気象研究所 内田 英治)