



# 数値予報の動き

栗原 宜夫

## まえがき

これは去る 10 月の気象学会例会において行った総合報告を要約し又一部つけ加えたもので、大体本年の夏から秋にかけて我々の知り得た範囲で、諸外国における数値予報の様子と我国の状態を粗いフルイにかけてその大きな流れを探ってみようと思う。

### 1. スウェーデンにおける数値予報

まず近頃の大きな話題としてスウェーデンにおける順圧モデルによる数値予報があげられる。(Tellus, 6 (1954) p. 137) 最も簡単な大気モデルである順圧モデルを用いた予報は、数値予報の手はじめとして今までにもアメリカをはじめ各国で行われたのであるが、とかく嵐や旋風に注目する為に、平常の場合の順圧モデルによる一連の予報例が少かったのである。所が、ストックホルム大学気象学教室で行われたものは順圧モデルによる 24 時間数値予報の 24 例を示して、改めてこの最も簡単な予報が注目を浴びることになった。

順圧モデルによる予報は 500 mb 面での絶対温度の保存を示す式で予報される。すなわち、適当な格子点における等圧面高度の値から定差的に求めた 500 mb 面の相対温度に地球自転にもとづく温度を加え、それを地衡風近似をした風の場である時間流してその間の絶対温度の時間変化を求め、これを空間的に積分してラプラスの式を解くと各点での高度変化が得られる。こうして新しく得られた気圧場をもとにして同様の過程を逐次くり返し、予報が出来るわけである。

この例においては、北緯 50 度で 300 km の間隔となる  $20 \times 20$  の格子点を用い、時間々隔を 1 時間にとりて逐次 24 時間予報を行っている。計算は BESK と称する電子計算機によったもので、BESK の容量は語数 512 (1 語は 40 桁) でプリンストンのものの半分で、計算時間は 24 時間予報に 40 分 (内 6 分は印刷のための時間) を要している。これは機械の改善によって 4 分の 1 から 5 分の 1 になる見込みである。実際の予報に要する時間は、計算以外の所要時間も含めて、熟練後は順圧モデルの 24 時間予報が 9 時間 30 分で出来る予定だそうである、(48 時間予報でも 72 時間予報でも順圧モデルで行う限りこの時間はほとんど変わらない。) すなわち

資料の点検と 500 mb 天気図上への書込み (2 人)	.....	1 時間 30 分
500 mb 天気図の予報地域及び隣接地域の解析	.....	1 時間 30 分
440 格子点の高度値の点検 (2 人)	.....	1 時間 20 分
数値のテープへの穿孔	.....	40 分
テープの点検と修正	.....	20 分
機械による計算	.....	40 分
予報結果の書込みと解析	.....	30 分

で、合計 6 時間 30 分となる。

さて、予報結果であるが、1951 年 11 月の 8 例では、再解析した天気図を用い、予報値 (24 時間の高度変化) と実測値の間の相関係数として、最高 0.96、平均 0.90 の極めて優秀な値を得ている。これに、再解析しない日々の天気図を使った 1954 年 1 月の 10 例とその他の日の 6 例を加えた平均の相関係数は 0.77 となり良好な予報が出来た。又高度変化の実測値の平均が 121 m、予報の誤差のそれは 89 m であった。これらのうち、1954 年 3 月の 2 日分は実用の為の試みとして資料入手後直ちに予報して 0.60、0.40 の予報結果を得た。

実用の為の試みとしては、 $\nabla^2 \nabla^2 \phi$  ( $\phi$  は等圧面高度) という量を求めて不当な初期値を見つけたり、計算結果を直接印刷する方法等が考えられている。後者は、200 m 毎の等高線の隙間を一つおきにタイプライターの印字によって機械的に埋めてゆくもので、全く人手をかけずに結果が得られる。

なお、この論文で指摘された問題はイギリスのものと総合して第四節で言及することにして、イギリスの様子を結果丈を簡単に記してみよう。

### 2. イギリスにおける数値予報

イギリスからは、Sawyer-Bushby のモデルを用いた数値予報の例が報告されている、(Quart. J. R. Met. Soc., 80 (1954) p. 165)

このモデルでは、水平方向の風の場は、ある面の地衡風の場と定められた 2 面間の温度風に気圧丈の関数であるパラメーターを乗じたものとの和で示され、又垂直流は等圧面に対する速度が垂直方向に拋物線型の分布をし

ていると仮定されている。そして 500mb と 1000mb 面の高度予報が行われる。

計算は中緯度で 260 km の間隔を有する  $18 \times 14$  点の格子点における値を用い、LEO (an electric computing machine owned by Messrs. J. Lyons & Co. Ltd.) と Ferranti machine at manchester University (共に電子計算機) によって、定差的になされている。所要時間は、時間的に  $n$  回のくり返しをすると  $5 + 9n$  分である。このうち 5 分は初期値と命令の送り込みに、又 9 分は時間間隔各一回毎の操作に費される。又、いわゆる relaxation はヘルムホルツ型の式を解くのに 20 回、ポアソン型の式を解くのに 40 回かかる旨述べられている。

計算結果は、扱った領域から大西洋上にあたる西方の部分を除いて相関係数をみると、500 mb 面は 12 時間予報で 0.8 以上、24 時間予報で 0.8 前後、1000 mb 面はいずれも 0.7 ~ 0.9 を得ている。時間間隔は一応 2 時間として計算し、計算不安定が起るとさかのぼって 1 時間間隔にしている。例えば、ある例では 18 時間後に不安定が表れたが、24 時間後迄その影響はイギリスには及ばなかった。しかし 12 時間以後は 1 時間間隔で計算している。又、他の例では、10 時間で計算不安定が表れ、12 時間で全領域を蔽った為 8 時間以後を 1 時間間隔にして 24 時間迄予報出来た。このような試行を容易に行える状態は我々にとってまことに羨しい限りである。又、境界条件として、境界での高度変化を 0 とするよりも、実際値を用いた方が相関は良く、予報中に低気圧が領域外から入って来る時には相関が悪くなることが示されている。

### 3. アメリカにおける数値予報

さて、アメリカに目を転じてみると、ここでは数値予報の現業化が着々と進められている。(以下述べることは、岸保博士から提供していただいた資料と The meteorological magazine (London) 近着号によったものである。)

アメリカの数値予報は Charney をはじめとする気象学者の精力的な研究によって、1953 年春までに、低気圧の急速な発達を説明するには 3 層モデルが必要であることを明らかにした (プリンストン)。これは 1950 年の有名な Thanksgiving Day Storm を集中的に調べた結果得たもので、豊かな収穫源を得た当日は、気象学にとっては文字通り感謝祭と云えるかもしれない。又 GRD (The Geophysics Research Division of the Air Force Cambridge Research Center) と AWS (Air Weather Service) の合同研究 (1952 年夏に GRD から提案され 1953 年 1 月に確立した) の結果、予報した垂直速度と雲、雨の対応がつかことがわかり、数値予報の現業化にとりかかった。

すなわち、1953 年 5 月に WB (U. S. Weather Bureau) の発議によって、数値予報の見通しを調べる特

別委員会が作られ、9 月にその報告があって、三つの官署で合同して具体的な準備にとりかかり、1954 年 1 月 1 日に計算機械の試験を完了した。なお電子計算機は IBM Model 701 を用いることになっている。又、特別の要員の訓練はプリンストンと GRD-AWS でそれぞれ担当し、本年夏に Joint Numerical Weather Prediction Unit が創設された。所長は Wexler で 32 名の所員 (気象学者、技術者が約半数ずつ) を有しているとのことである。予定としては本年 10 月 1 日に機械を始動させ、来年はじめから 1 日 2 枚の Daily chart を作り、同年中にルーチン化する予定である。なお、三層モデルによる 24 時間予報には大体 45 分かかかるが、これは 15 分になる見込みがあるとのことである。

ところで、この数値予報の現業化に成功した場合、その影響が直接表れるのは数カ所、他の多くの気象官署には間接的に影響が及ぶものとみられる。数値予報によって、一応、気圧、気温、風、垂直流が予報されるが、これを用いて局地予報をする仕事は従来通り残され、この方面では、現在行われている形での数値予報は予報の確かさを増す極めて強力な手段とはなっても充分なものとは云い難い。

一方、更に完全に客観的予報のために、実測された気象要素の値から直ちに各格子点の初期値を出すいわゆる Objective Method についても研究が進められているが、これが完成するまでの天気図解析は、アメリカでは Combined Analysis Centre で行われることになっている。

以上に記したのが数値予報の現業化に努力しているアメリカの様子であるが、The Meteorological Magazine には、1955 年は気象学にとって記念すべき年になるだろうと書かれており、我々もそうなることを期待してやまない。

### 4. 日本における数値予報と数値予報の問題点

我国における数値予報は、東京、新潟等で研究されている。東京では、東京数値予報グループ (N. P. Group in Tokyo) に約 30 名が集り、東大、中央気象台第一、同第二、気象研究所の小グループに分れ、その運営連絡は各小グループより一名ずつと secretary 一名の計 5 名よりなる運営委員会の手で行われ、全員の討議を要するようなことは、一週間か二週間に一度開かれる研究発表や討論の為の総会に持ち出される。東京における今後の研究は、その主要題目を傾圧性を入れた 24 時間予報の完成において、本年五月に北海道を襲った旋風をとり上げてこれを検当することになった。なお、予報の仕方としては、気象研究所が三層モデル、東大が二重フーリエ級数法、予報課大山が 2 パラメーターモデルへの段階としてさし当り傾圧モデルを用いて行うことになっている。この時に当って、富士通信機製造株式会社の継電器

式自動計算機 FACOM 100 (Fuji Automatic Computer) が完成し、我々も同社の好意によって時々使用出来ることになったのはその容量が小さいとは云え、使いこなせば相当の力を発揮するものと思われる。\*) 東京以外では、新潟で、実地に使える形での数値予報の研究が行われ、一部は現業でも使われている。

ここで、数値予報の研究を進めるにあたっての問題点を、外国の論文で指摘された点も含めて、簡単に述べておく。

(a) 時間間隔：これは計算安定の条件（とり扱っている偏微分方程式が双曲線型になるのを避けるためのものから格子点の間隔に応じてその限度がきまるが、これは必要条件であっても充分な条件ではない。気圧場が刻々変ることを考えれば短い方が良いが、色々な仮定や近似及び精度等とにらみ合わせて決めなければならない。

(b) 格子点間隔：計算安定の条件と、小さな大気の乱れの大きな乱れへの影響の度合等をあわせて考えなければならない。

(c) 境界条件：第二節でも述べたように、これは厄介であるが重要な問題である。これは又計算の範囲と予報領域にも関係する。境界条件については Platzman

\*) 気象研究所で容量 200 語の同様の計算機の予算が組まれている。

の研究等もある。

(d) 解析：Objective Method の研究が行われていることは既に述べたが、資料の少い所の解析は特に多くの問題を含んでいる。

(e) 傾圧効果：これは採用する大気モデルの問題と関連するが、ここでは深く立ち入らないことにする。

(f) 計算機械の問題

以上にあげたのは全般的な問題点であるが、その他に各モデルや計算方法に特有の解決しなければならない問題がある。

## 5. むすび

第四節までに記したことの外に、我国では台風の数値予報、汎北半球の諸現象、気圧場に及ぼす地形の影響、数値予報と天気現象の結びつき、特に雨量予報等の研究が、又外国では場の平均の問題、渦度分布と天気の結びつきの研究等がある。

最後にふりかえてみると、順圧モデルによる一連の数値予報が目されたことと数値予報の現実化が着々進められていることが近頃の大きな動きと云えよう。そして、これらはいずれも数値予報への確信と高速度計算機械を背景に展開されているのであり、我国の場合、計算機械の裏付けがないことが大きな障害となっていると云わねばならない。

1954年11月15日

(中央气象台 統計課)

## フロント写真について

pp. 30—31 参照

定点観測部 金水 和夫

海の上で長年生活していると平凡な毎日の中にも、色々な珍しい気象現象にぶつかる事が時々ある。それは現代の一般の気象学で考えられている範囲を越えて出現する事もある。然しながらそれ等を正確にとらえようとする事は種々な条件の下で相当困難である。数年来 35 ミリのカメラをぶら下げて、北方定点や南方定点で甲板の上をうろつき廻っているのであるが、うまく撮影に成功した例は少なかった。今年も 14 号台風の中心から 100 哩の怒濤逆巻く海上でニッコールの F1.4 にべったりと附着した浪の飛沫をガーゼでぬぐいながら 45 度も動揺する傾斜した甲板を危かしい足どりでシャッターを切って歩いたけれども、いざ出来上って見ると、その時の実感の百分の一も表現されていないネガが現象されて来た。せっかく生命がけとび廻ったのにと残念で仕方がない……。そんな或る日の午後、昨夜の勤務でベットにもぐり込んで寝ている処を尾形気象長に呼び起こされて、カメラをかかえて前部甲板にすつとんで行った。台風が

五、六日前に過ぎ去ってしまった南方定点の秋空の夕暮近くの西空に、温暖前線の前面と思われる雲形が、はっきりと逆光を浴びて広がっていた。早速連続でシャッターを切ったのがこの写真である。残念ながらフィルムが無くなってしまったので右方(北西方)が撮れなかった。南方定点に於いて北西方か進行して来る温暖前線——吾々も始めてこんな現象にぶつかった。そしてそれは今後吾々に残された研究テーマでもある。

## 投稿 歡迎

最近、編集委員に数多くの小論文、抄録などが集まってきました。このことは私達としても大変力強く感じています。しかし地方の測候所や本当に天気を讀んでいる方々から御意見や投稿が比較的少ないことは残念に思っています。学会発行誌ですから同人雑誌的な編集は採用しかねますが、いろいろの困難の中で地方で行われている貴重な調査や研究を原稿用紙 15 枚程度以内にまとめて御送り下されば大変有難いと思っています。又今後学会の第一線でご活躍の方々からも優秀な論文をいただきたいと思っております。本文は 25 字詰原稿用紙に清書し図と表を本文と別に提出して下さい。写真も歓迎します。

送り先：東京都杉並区馬橋 4ノ 499

気象研究所 "天気" 編集委員