

## 数値的中期予報の最近の話題\*

新 田 尚\*\*

## 1. はじめに

数値的中期予報などというといかにも改まった感じがするが、要するに、旬日子報・週間予報・10日子報という感じの期間の延長予報を意味する。日本語としてまだ充分熟していない中期予報 (medium range forecast) という言葉を、あえて本文で使用するのには、だいたい2週間程度までの予報を総称するのに便利だからである。

最近、実測データを用いて数値予報モデルによる中期予報の試みが盛んとなり、ヨーロッパ共同体ではヨーロッパ中期予報センター (European Centre for Medium Range Weather Forecasts, 以下 ECMWF と略称) を設立し、現業体制を確立しようとしている。もし数値的中期予報の精度が、現在の短期数値予報の域まで達すれば、それは明らかに新しい時期を画することになるだろう。言い換えれば、それは気象力学・熱力学の最近の成果を部品として組み立てられた、総合的な技術の新しい成功を意味することになる。

ここで取り上げる数値的中期予報は、すべて決定論的 (deterministic) な考えに基づくものである。決定論的というのは、初期状態が与えられればそれ以後の大気の変動は一意的に決まり、したがって最終状態も一意的に決まることをさす。それに対して非決定論的 (indeterministic) な考えでは、ある初期状態から出発しても、それ以後の大気の変動は必ずしも一意的に決まらず、ただ初期状態の集合に対応した最終状態の集合が存在するとする (第1図)。したがって、後者の場合、取扱いは統計的ないし確率的となる。最近、そうした方向の研究もなされているが、具体的な結果は出ていない。今回は

対象から外すことにする。

ここで決定論的中期数値予報の歴史を簡単に振り返ってみよう。

実況資料を用いたルーチンの短期数値予報が進展し、予報作業の現業の中で数値予報プログラムの次第に重要視されるにつれて、予報期間の延長が当然話題にのぼってきた。一方、大気大循環の数値シミュレーションに代表される、数値モデルを用いた長期時間積分の成功も、数値予報による延長予報への要望に拍車をかけた。

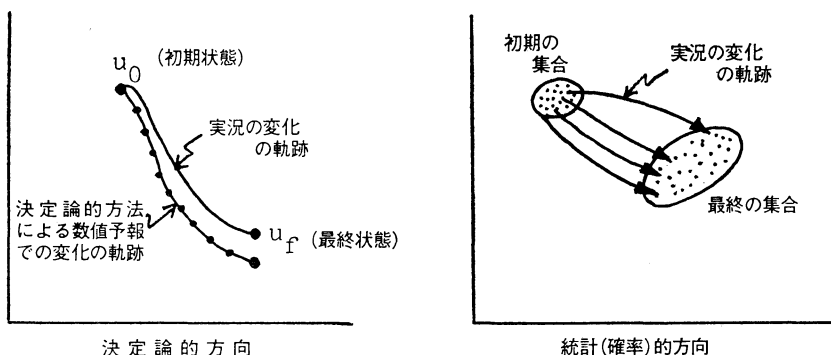
こうした動きが表面化してきたのは、1960年代の半ば頃のことである。ちょうどその頃、これと期を一にして、国連決議に端を発した GARP と WWW の両方の巨大な計画がかためられはじめた。GARP や WWW の詳しい説明は省略するので、たとえば新田 (1973; 1977) を参照されたい。わけでも FGGE (第1回全球実験, Global Weather Experiment とよぶ) は、可能な限り予報期間を延長するための努力を集結しようとする願いの現われであるともいえる。

FGGE の計画を進めていく段階で学問的立場から提出された大きい問題が、予測可能性 (predictability) の問題である。つまり、決定論的な方法でいったい何日先までの予報が可能か、そこには限界があるのではないかという論議である。数値計算法の進歩によって、時間積分そのものは何日でも安定にモデルを走らせるようになったが、そのことと計算結果が正確かどうかということとは全く別の事柄である。

ロレンツ (Lorenz, 1963) は、単純化した非線形の力学系 (大気を支配する力学方程式系) を用いて、初めて本格的に予測可能性の問題を論じた。そして、彼は少なくとも次の三つの予測可能性の観点があるといった。すなわち、

\* Current topics on the development of numerical medium range weather forecasting.

\*\* Ta. Nitta, 気象庁電子計算室.



第1図 決定論的ないき方と統計(確率)的ないき方の比較。

(1) 内在的予測可能性 考えている流体が本来所持している性質によるもの。すなわち、仮に完全な観測値と完全なモデルおよびその解法が与えられたとしても、なお存在する予測限界。

(2) 到達可能な予測可能性 われわれのもつ測定手段の技術的な限界のため、どうしても避けたい観測値に含まれる誤差。すなわち、仮に考えている流体が本質的にどこまでも予測可能な物理系であり、われわれが完全なモデルおよびその解法を知っていたとしても、時間積分のための初期値に含まれた測定誤差によってもたらされる予測限界。

(3) 実用的予測可能性 われわれが、考えている流体を支配する最適の方程式を定式化できないための誤差。すなわち、われわれが完全なモデルとその解法をもち得ないための予測限界。実際問題としては、仮に考えている流体が、元来は本質的にどこまでも予測可能な物理系であったとしても、初期値に含まれる誤差と理論的手段の限界のため、予測可能性に限度が生じる。

このロレンツの指摘は、問題点を整理する上で非常に役立つ。(1)の点に関して、ロレンツ自身はその後も多くの論文において論じているが、要するに非線型の力学系で、かつ、考えている流体運動に各種のスケールのじょう乱が含まれている場合には、その流体が原理的に決定論的な系であっても、実質的には非決定論的な系との区別がつかないといっている。つまり、内在的予測可能性には限界がある、という結論である。その論拠をなすものは、さまざまなスケールの運動が含まれていて、そのうち限りなく小さいスケールのものに関しては、われわれが測定し得ないものがある。したがって、もしそのスケールに関して誤差が存在すると、仮に大きい方のスケールの観測値が完全であっても、非線形作用によって

その誤差が急速に拡大し、逐には最大のスケールの運動にまで影響し、真の状態から大きくずれた状態を予測してしまう、というわけである。彼の試算によれば、対流規模で1時間、総観規模で数日、超長波規模で数週間が、予測の限界になっている。

このロレンツの議論は、しかしながら、非常に単純化した力学系に基づく理論的なものであることに注意したい。そのままのみにはできないと思う。とはいえ、非線形力学系の本質をついた議論であることはいうまでもない。したがって、以上の3点を総合して考えるならば、数値予報による延長予報には、どこかに実用的予測可能性の限界が存在するといえよう。

ロレンツのやや観念的な議論に対して、チャーニー(Charney)はGARPの全球実験の気象学的根拠を論じた米国科学アカデミーの報告書(1966)で、もっとも具体的な議論を展開した。すなわち彼は、当時としては最も進んだモデルであるミンツ-荒川(Mintz-Arakawa)の大気大循環数値シミュレーション・モデルを用いて、2通りの時間積分を行なった。一方の時間積分には、適当な初期条件から出発した長時間の大循環シミュレーションの結果をもってくる(普通、これをコントロール・ランと呼んでいる)。もう一方の時間積分は、コントロール・ランのある日付のモデル大気の状態に人為的な誤差を加えて、それ以後は前者と同時に時間積分を繰り返すものとする。つまりここで行なっていることは、真の状態と、測定誤差あるいは予期しない外力(極端に言えば蝶の羽ばたき)のためにそれより僅かにずれた状態、この二つの非常に近いがほんの少し違った初期値から出発して、モデル大気の状態は時間と共にどの程度開いていくかということのみようとしている。

ロレンツの力学系に比べて、ミンツ-荒川の方がはる

かに実際の気象に近いと考えられるので、このチャーニーの実験は現実気象の予測可能性についてのひとつの示唆を与えてくれる。チャーニーはその結果として、典型的な観測誤差に対する予測可能性の限界は約2週間であると報告している。それ以来、チャーニーに対する世間の絶大な信用の故か、巷間でひろく「気象の予測可能性の限界は2週間である」といわれるようになった。しかしこの問題は、もっと深く検討される必要があると筆者は考える。

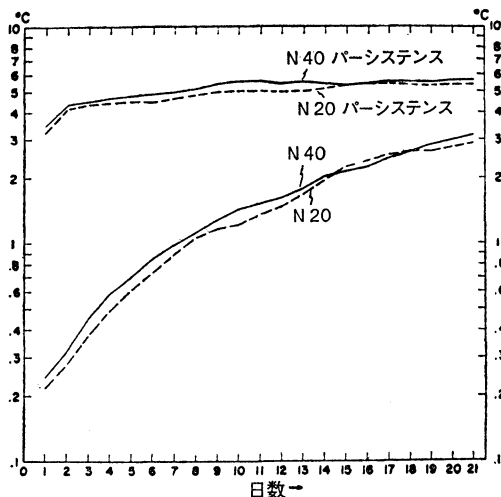
さて、このようにして1960年後半には、予測可能性についての議論がにぎやかに行なわれたが、概して机上の議論に終始していた。その中にあって、米国のNOAA-プリンストン大学のGFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 地球流体力学研究所)の都田らのグループ(1969)は、ミンツ-荒川モデルよりもさらに精巧な気象の数値モデルを用いて、実況データによる数値的中期予報を実施し、より現実的なアプローチによる予測可能性の研究を行なった。この辺のいきさつについては、スマゴリンスキー (Smagorinsky)の講演(1969)に詳しい。

都田らは、実験予報の結果の標準偏差がパーシステンス(初期の状態がそのまま続くとした“予測”)の標準偏差に次第に近ずき、遂に両者が実質的に一致する時点をもって予測可能性の限界とみなしている。その結果によれば、限界は約3週間となっている(第2図)。

チャーニーや都田らの実験では、バロクリニック(傾圧)不安定波を中心としたじょう乱の予測可能性が対象となっているので、ロレンツよりも長い予測可能期間を示していることになる。その後、あまり正面から予測可能性が論ぜられなくなったが(人々はもうこの問題には片が付いたと考えたのだろうか)、われわれ実際に数値予報業務に携わっているグループは、国際的にも2~3週間を予測可能性の限界の一応の目安とするようになった。

予測可能性を実用的な見地から考える場合、筆者は次のように問題点を整理しておきたいと思う。

- (1) 実際に中期数値予報を利用する立場からみた、予測可能性とは何か。
- (2) モデルが改良され、観測網が整備されれば、実用的予測可能性は現在の水準からさらに先まで延長できるか。
- (3) 今後ある種の平均状態の予測を行なう場合、予測可能性はどうか。
- (4) ロレンツの主張するように、極言すれば蝶の羽ばたきのような不可測なショックが、めぐりめぐってバロ



第2図 水平解像度(N:極と赤道間の格子点数)がN=20(極で640km,赤道で320kmの格子間隔に相当)と40(極で320km,赤道で160km)の場合について、気温誤差(°C)の鉛直積分標準偏差。上の2本の曲線はパーシステンス予報、下の2本の曲線はコントロール・ランと初期気温場におよぼす乱れを与えた場合との差(都田ら,1969による)。

クリニック不安定性の解放に影響して、ショックのない場合と全く異なる大規模気象場の展開をもたらす、という議論は果して全面的に信用してよいのか。

都田ら(1969)の中期数値予報の結果をみてみると、初期図にみられなかった第2世代の低気圧の発生が予測されていたことから、個々のじょう乱の移動の誤差の時間的累積などによる検証結果の劣化はあっても、予報情報の定性的価値という目でみればはるかに多くの利用価値があるのではないかという考えが、実務に携わるグループから出てきたのも決して不思議ではない。それ以後、都田らはさらに数値的1ヶ月予報のテストに向かっていたが、それについては別の機会にゆずりたい。

もう一方では、各国の数値予報開発グループが、上述の実務的な見地から、現業の数値予報としての中期予報に本格的に取り組みだした。本文では、そうした状況について現状を報告し、今後を展望してみたいと思う。

## 2. 世界的にみた開発の情况

現在、具体的に中期数値予報に取り組んでいる機関は、ECMWF, GFDL, カナダの予報センター (Division de Recherche en Prevision Numerique, DRPN), 米国

の国立気象センター (National Meteorological Center, NMC), オーストラリアの数値的気象研究センター (Australian Numerical Meteorology Research Center, ANMRC), 日本の気象庁電子計算室と気象研究所予報研究部などである。いずれも, 半球ないし全球領域の多層モデルを開発し, 実測値を用いて10日から2週間ぐらい先の気象場の予測を行なっている。

開発のポイントは,

(a) 格子法とスペクトル法の比較

(b) 低解像度と高解像度の比較 (格子間隔や層の数の影響)

(c) 物理過程の表現法 (定式化の仕方) の比較

(d) 時間積分方式の比較 (たとえばイクスプリシット (explicit) 法とセミ・イムプリシット (semi-implicit) 法の比較)

といった点にあり, 技術的側面と理論的側面の両面から進められている。

数値モデルの計算では, これまでは格子法を用いたものが圧倒的に多かったが, 最近の新しい技術開発の結果, スペクトル法が見直されてきた。特に半球モデルや全球モデルの場合, スペクトル法のメリットがいかされ, 今やスペクトル・モデルの方が優勢の感がある。けわしい山の急斜面, 急変する海面水温の分布, 水蒸気の分布といった例にみるような, 不連続性のつよい量の表現にはスペクトル法は向いていないが, それも程度問題で波の数をある程度多くとることによってその欠点を補えるわけである。さらに, 後述のセミ・イムプリシット法が使いやすいという利点のため, スペクトル法による時間積分がたいへん早くできるようになった。総合的にみて, 格子法とスペクトル法のどちらがよいか, を見きわめるテストが世界各国で行なわれている。

水平・鉛直解像度の問題は短期数値予報でも重要だが, 予報期間を延長するには精度の高い計算が必要であることは言うまでもない。たとえば, 超長波の予報をよくするには, そのエネルギー源のひとつである長波の予報がよくなる必要がある。一方, 解像度を高めることは, 非常な計算時間の増加を要し, ここにこの相反する要請に対する現実的に最適の解像度の決定が問題となる。

物理過程に関しては, 進歩の程度は遅々としたものである。いろいろとかげ声だけは賑やかにきこえてくるが, 実質的な改良となると最近あまりみるべき成果があがっていない。性急に結果のみを求める態度は厳に慎し

むべきだとしても, 問題意識がどのくらい明確にされているか, 今一度問われるべきではないだろうか。われわれモデルづくりに携わる側からみた場合, 境界層内の乱流過程のパラメタリゼーションと積雲対流群の集団効果のパラメタリゼーションは, 引き続いて重要なテーマである。

現在, 時間積分方式で最も注目されているのがセミ・イムプリシット法である。要するに, 位相速度の大きい重力波に関する項だけを安定なイムプリシット方式で扱おうとするもので, その結果, プリミティブ方程式を用いた時間積分でも, 30分ぐらいの時間間隔をとることができる。したがって, 時間積分に要する繰り返し計算 (タイム・ステップ) の数が少なくてすみ, 全計算時間を短縮し得る。セミ・イムプリシット方式のことは, これまで充分わかっていたが, 最近いろいろな性質が明らかとなってきた。たとえば, シモンズ-ホスキンス-バーリッジ (S-H-B) の不安定が理論的に示され, また実際にも経験されている。さらに, 最近スプリット・イクスプリシット (split-explicit) 法が提案され, 一部のテスト結果では好成績を得ているので, 今後の発展が期待されている。また, 山や台風などを含めた数値モデルの取扱いでは, 不規則な形の格子系が扱える技術として有限要素法 (ファイナイト・エレメント finite element 法) が注目されている。

### 3. 最近の中期数値予報テスト

次に, 具体的なテストの結果をいくつか紹介しよう。

#### (1) 日本の気象庁

気象庁電子計算室では, 近年中期数値予報にも力を注いでいるが, 現在は4層北半球モデル (4 L-NHM-2) で96時間 (4日) 予報を行ない, 500 mb 面高度に関してさらに1層発散パロトロピック・モデル (DB モデル) で96時間延長して合計192時間 (8日) の予測を行なっているが, これは毎週2回現業化している。その結果について一口でいうと, 超長波の将来の配置については有用な情報を提供してくれるが, パターン全体がフラットになりすぎて使いづらいといわれている。

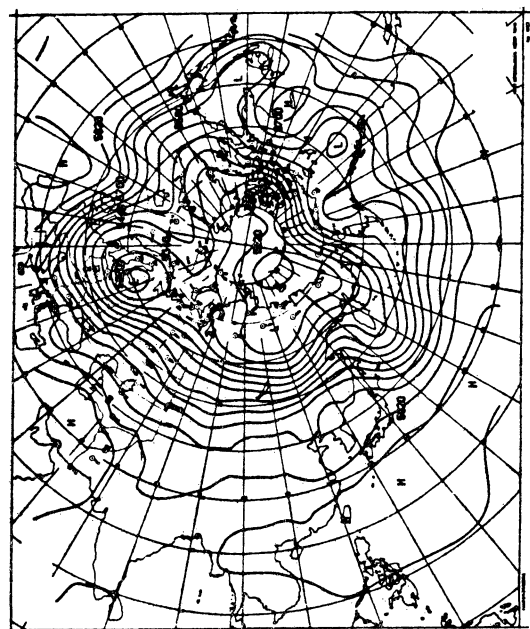
ところで, こういうつぎたしの8日子報を行なう主な理由は, 計算時間の制約によるものである。そこで, 現在セミ・イムプリシット法を用いた4 L-NHM-2 による192時間 (8日) 予報のテストを行ない, 同じくらいの計算時間を使って単一モデルでストレートに予測することを試みている。

第3~6図は, 4 L-NHM-2 による8日子報の一例で

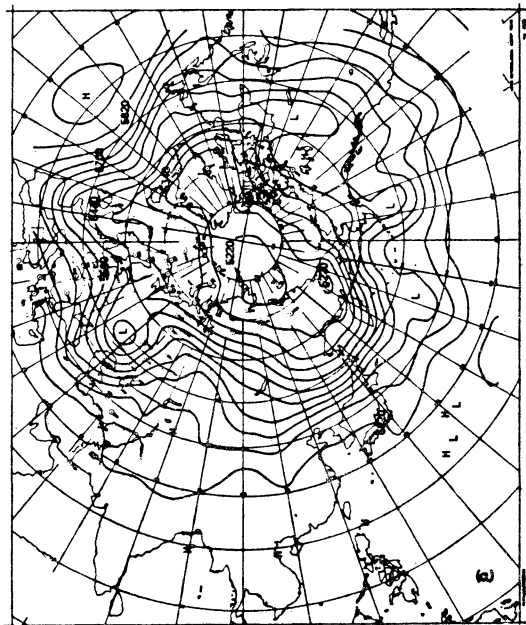
ある。500 mb 面高度について、初期図（第3図）、96時間（4日）予想図と実況（検証）図（第4図）、144時間（6日）予想図と実況（検証）図（第5図）、192時間（8日）予想図と実況（検証）図（第6図）が、それぞれ示してある。じょう乱の振幅が弱かったり、移動が遅れがあったり、極付近で高度が高まったりする欠点が目につくが、全体的にみて4日後のパターンの大きい特徴がよく再現されている。初期図と4日後の実況図を比べてみれば、その大きい変化に気付かれることであろう。

ここで述べたことは、6日後、8日後についても該当する。欠点も目立つが、人間の経験や直感では想像もつかない、基本的な場の変化がよく予想図に表現されている。ここに掲げた例は、多くの例のうちの平均的なものであり、これよりやや劣るもの、もっと優れたものもある。

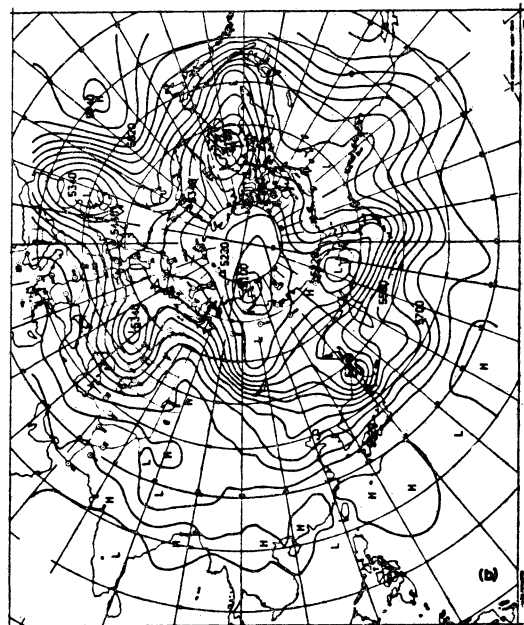
こうしてみると、実用的予測可能性のもつ意味がおわかり頂けるかと思う。上述の欠点は、確かに実況図とのへだたり、誤差の標準偏差の増大といった量的な劣化を意味し、その点で予測可能性の限界への接近を示しているが、質的な有用性は依然高い。そのことは、第6図をじっくり眺めて頂けば納得されると思う。予想図の質の改良のために、これからの課題のひとつとして、じ



第3図 500 mb 面高度の初期図 (1977年10月2日 12 GMT).

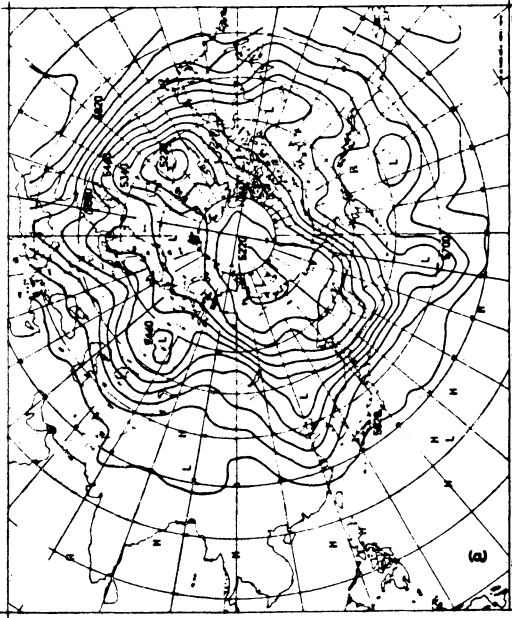


(a)

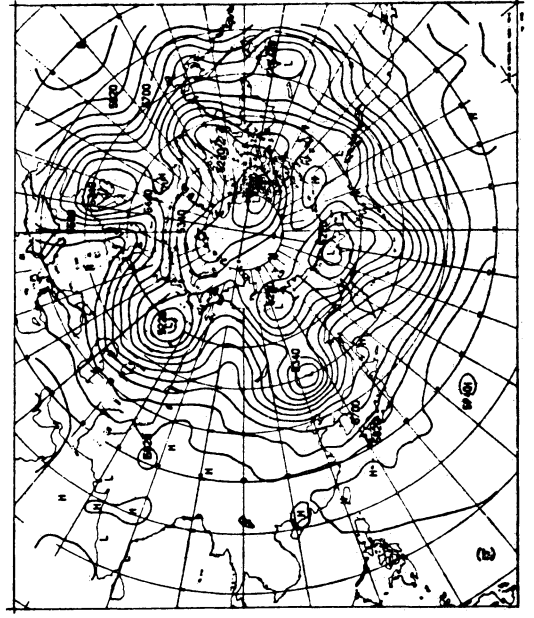


(b)

第4図 (a) 気象庁 4L-NHM-2 による 500 mb 面高度の96時間 (4日) 予想図, (b) 実況 (検証) 図 (1977年10月6日 12 GMT).

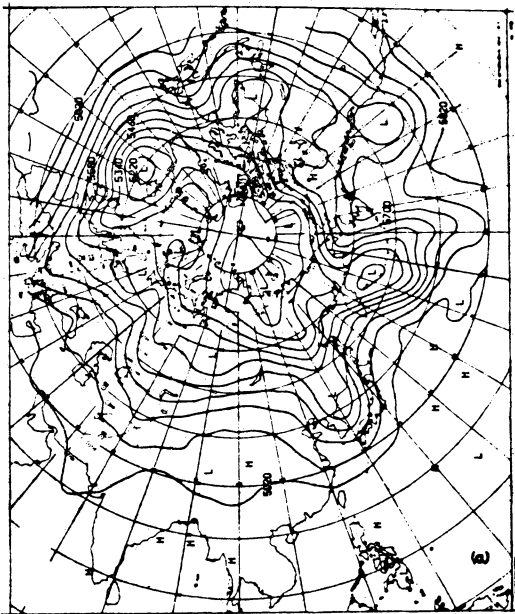


(a)

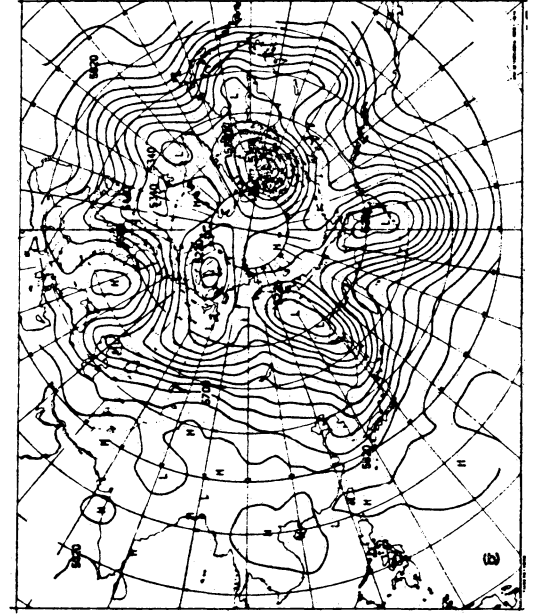


(b)

第5図 (a) 気象庁 4L-NHM-2 による 500 mb 面高度の144時間 (6日) 予想図, (b) 実況 (検証) 図 (1977年10月8日 12 GMT).

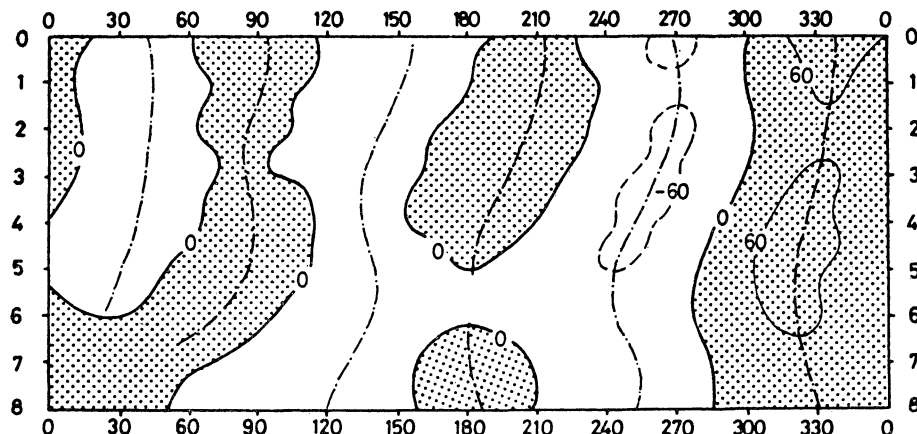


(a)

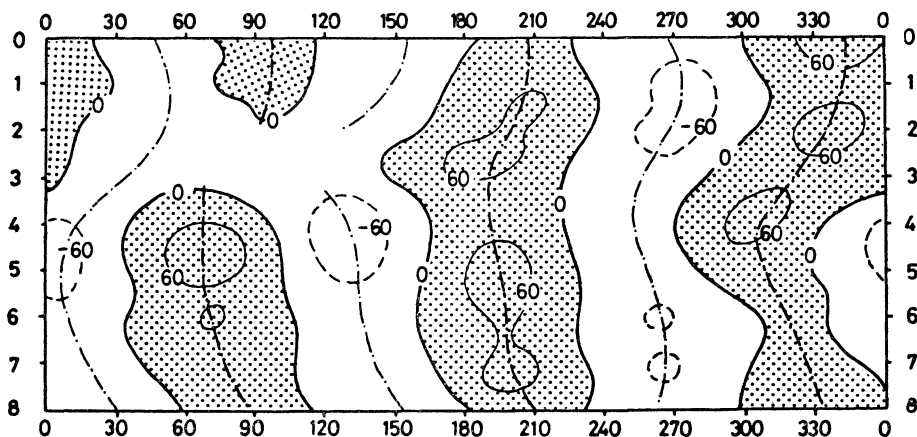


(b)

第6図 (a) 気象庁 4L-NHM-2 による 500 mb 面高度の192時間 (8日) 予想図, (b) 実況 (検証) 図 (1977年10月10日 12 GMT).



(a) 予想



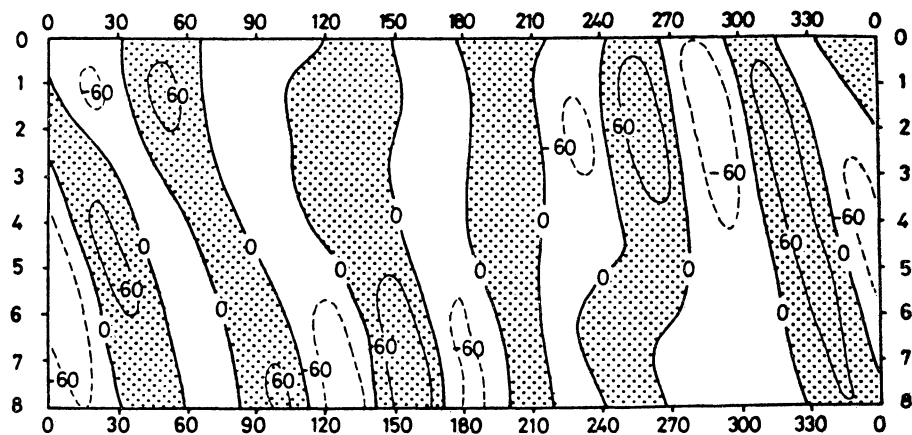
(b) 実況

第7図 500 mb 面高度の緯度平均からの偏差の、 $40^{\circ}\text{N}$  に沿うトラフ・リッジ・ダイアグラム。波数1~3について合成したもの。横軸は経度、縦軸は日数を現わす。  
(a) 予想, (b) 実況。

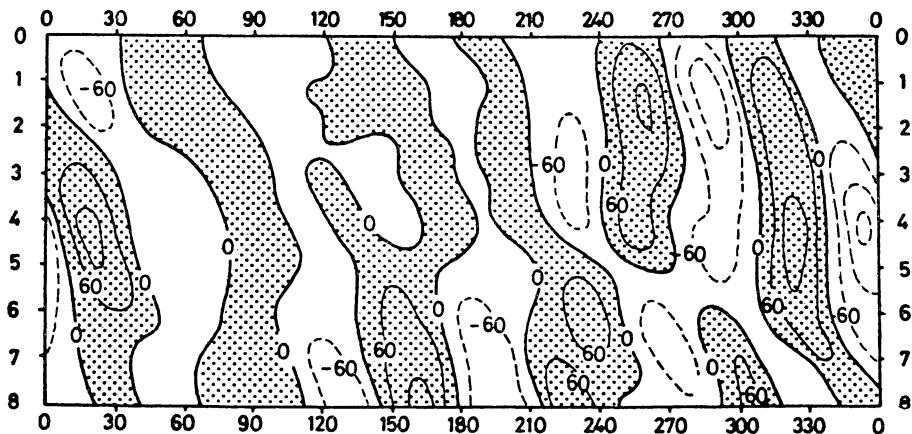
よう乱の維持, 中でも振幅の衰弱を防ぎ, 発達・中立・減衰がもっと定量的に正しく予測される必要がある。

次に, じょう乱の移動についてみてみよう。第7, 8図には, 12時間毎の実況値と予想値から作成した  $40^{\circ}\text{N}$  に沿った 500 mb 高度のトラフ・リッジ・ダイアグラムを示してある。第7図は波数1から3までの波を合成したもの, 第8図は波数4から9までの波を合成したものである。予想値の方が平滑化されて単純な動きを示しているが, 大勢としては実況値をよく再現している。しかし, ここに図示していないが, 波数10から20について合

成した短波の場合は, 予想と実況の対応は悪くなる。また, 同じく図示していないが,  $30^{\circ}\text{N}$  やそれより低い緯度では, 波数1~3の超長波の部分で実況がほぼ定常なのに比べて, 予想のトラフやリッジの西進が目立つ。これは, 数値予報の初期から課題になっている超長波の偽の西進の問題が, かなり進展したとはいえ 4 L-NHM-2 ではまだ完全に解決していないことを意味する。後述のもっと解像度の高いモデルによるテストを行なっている外国の場合, 普通この問題が取り上げられていないので, あるいは解像度が低い場合だけのこともかもしれない。今



(a) 予想



(b) 実況

第8図 第7図と同様だが、波数4～9について合成したもの、(a) 予想、(b) 実況。

後充分注意して調べていく予定である。

## (2) ECMWF

ECMWF では、10日予報をめざして活発な開発努力を続けているが、今秋から準ルーチン・テスト、来夏からルーチン化を予定している。

予測モデルは基本的には、全球領域・多層・プリミティブ方程式系・ひと通りの物理過程を備えているが、いろいろな組合せでテストしている。さらに、数値計算法に関してスペクトル法と球面格子法とがあるが、まだ最終的な選択は行なわれていないようである。これまでの各種比較テストでわかったことをまとめると、

- (i) 解像度に関しては、明らかに高解像度が良い
- (ii) 500 mb 面の予想図に関する限り、スペクトル・モデルと格子モデルの間には、特にとりたてて大きい差はない
- (iii) 予想図の違いは、水平微分項に対する水平差分方式のとり方によっても現われる可能性があるということになる。

第9～11図には、最近の ECMWF の10日予報の一例を示した。数値モデルは15層全球プリミティブ・モデルで、 $1.5^\circ$  の緯度・経度格子間隔を用いている。物理過程は、今日最も進んだ方式が取り入れられている。例の



日付は1975年8月18日 00 GMT をイニシャルとするもので、500 mb 面高度（太実線、80 m 毎）と温度（細実線、2°C 毎）が示されている。第9図は初期図、第10、11図はそれぞれ120時間（5日）、240時間（10日）予報の予想図と実況図である。

上述の電算室の場合と同様、じょう乱の減衰と位相の遅れが目立つが、基本場の大きい特徴はよく再現されている。細かくみると、予想図の質的劣化が5日目ぐらいを境にして急速に進んでいることがわかる（ここに図示しなかった1日毎の予想図による）。

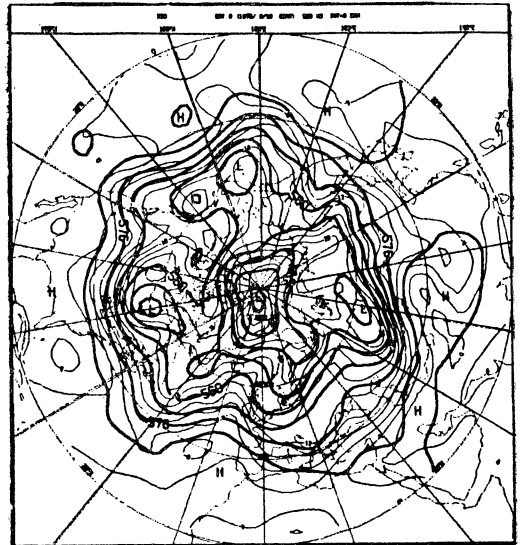
ECMWF の数値モデルは、現在世界的に使用されているものの中でも最も進んだ全球モデルと考えられる。その数値モデルと電計室の北半球モデルを比較すると、モデル設計上の差異が予想図にどう現われるかについての、ひとつの判断材料になると考えられる。電計室の正村・古賀らのグループは、ECMWF と同じ例について、4L-NHM-2 を10日間走らせて比較した。その結果は目下分析・検討中であるが、予備的結論ながら、北半球モデルの方が劣化が1日ぐらい早くはじまる、極付近の高度が高くなるなどのことがわかった。今後例数をふやし、もっと詳しい比較を続ける予定である。

(3) その他

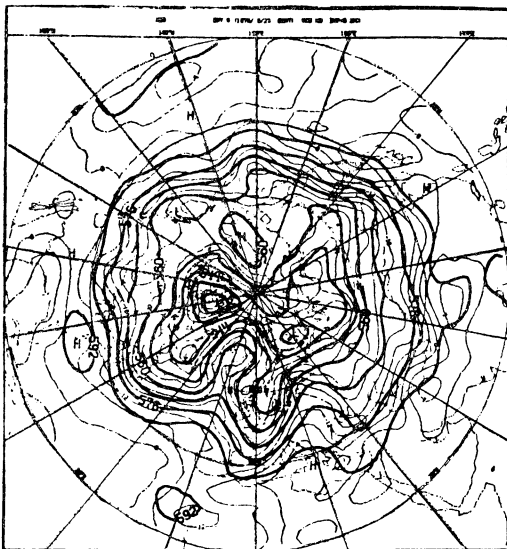
GFDL の都田らのグループは、30日（1ヶ月）予報の研究に標的を合わせて、その予備段階としての2週間

予報を実験的に繰り返し行なってきた。彼らは、物理過程の表現、数値計算法等々をいろいろ変えて、最も好成績をあげる予報モデルの特定に努めている。

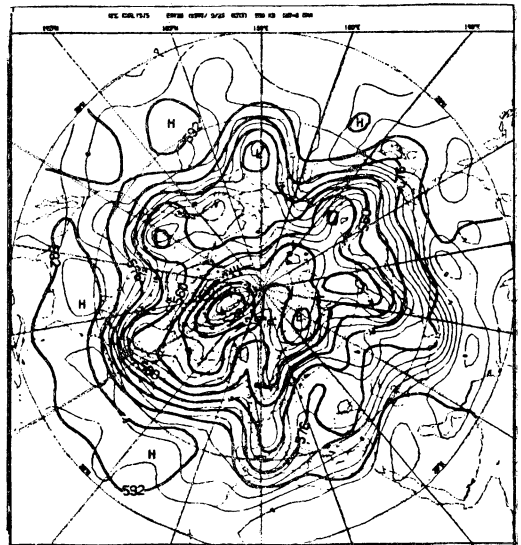
一方、米国の NMC でも実用的中期数値予報のテストを繰り返しているが、詳しいことはわかっていない。



第9図 500 mb 面高度の初期図 (1975年8月18日 00 GMT)。

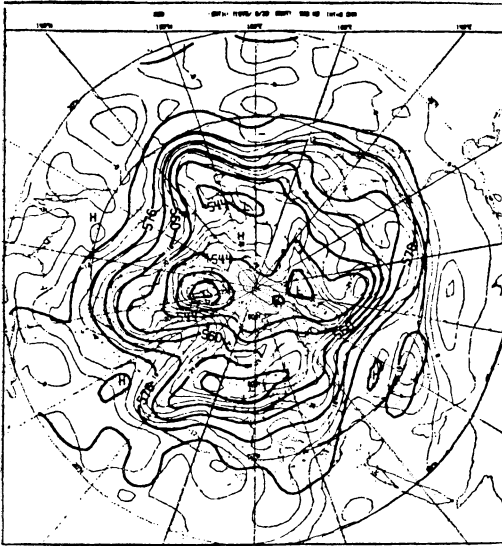


(a)

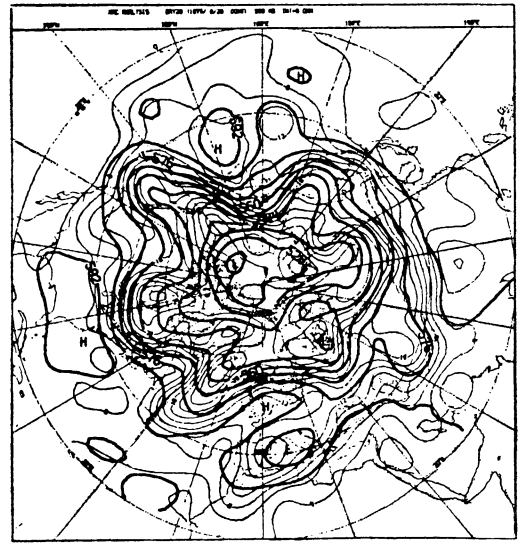


(b)

第10図 (a) ECMWF の全球モデルによる 500 mb 面高度と気温の 120 時間 (5日) 予想図, (b) 実況 (検証) 図 (1975年8月23日 00 GMT)。



(a)



(b)

第11図 (a) ECMWF の全球モデルによる 500 mb 面高度と気温の 240 時間 (10日) 予想図, (b) 実況 (検証) 図 (1975年 8月28日 00 GMT).

#### 4. 初期データの問題

いうまでもなく、数値予報の逐行にとって初期データの充実是不可欠の条件である。特に延長予報にとっては、広範囲の領域にわたって均等に密なデータが分布していることが理想の状態である。さらに、それらのデータが高精度であることが望ましい。

それでは現実はどうであろうか。不幸にして理想の状態に遙かに及ばないことは周知の通りだし、データの偏在によって、われわれが「認識」する大気大循環の物理像が歪められる模様は、たとえばオールト (1978) の論じる所である。

こうした欠点を少しでも改めたい、せめてある期間だけでも理想に近づけたいという願望の下に、WWW 計画や FGGE 計画が実施に移され、現在本番が進行中である。FGGE のデータ・セットがきちんと整えられるまでには、まだしばらくの時間が必要であるが、WWW の全球通信網を通じて現在集められつつあり、FGGE 以後にも引き続いて入電しそうなデータを中心に少し眺めてみよう。地上観測網に関しては、北半球では陸上はもとより海上も比較的好く入電し、北半球全域で約 2,000 ぐらいのデータ数となっている (先進国では実際には、もっと多量に観測している)。しかし、南半球に入るとデータ数はぐんと少なくなり、アフリカ大陸や海

上で空白域が目立つ。したがって、FGGE 期間中の浮遊型ブイの観測網をその後も引き続いて維持したいという希望は強いが、6ヶ月ぐらいの寿命しかない浮遊型ブイを長期間にわたって補充しながら軌道衛星で受信し、地上施設でデータ処理していくのは極めて重い財政的負担となることが予想される。

高層観測網の問題になると事態はたいへん深刻となる。まず、現在のところ最も精度が良いとされているレーウィン・ゾンデについては増加の望みは少なく、FGGE 期間中も特別強化観測期間を除いては殆んどふえなかった。逆に、各国の財政状態の悪化に伴って、定点観測をはじめとしてむしろ減少の恐れさえある。その代役を果すべく登場したものに ASDAR (Aircraft to Satellite Data Relay)(注)、静止気象衛星、極軌道気象衛星などであるが、それぞれ一長一短がある。しかし、これまで殆んど空白に近かった海洋上の高層観測が、一応埋められ

(注) ASDAR: B747 や DC-10 といったジャンボ・ジェットに設置した自動観測装置からの気温・風向・風速・高度のデータを、静止気象衛星が集信して地上局に送信するシステム。従来の航空機観測 (AIREP) を強化するものとして最近注目されており、ロッカー程度の装置をおくスペースと自動アンテナさえあれば一切人手を要しないので、世界の主要国際線での実施のために各国航空会社の協力が求められている。

る点は画期的である。気象衛星の場合、計画自体の恒久性、データの精度、飛躍的に高まった水平解像度に比べて少ない鉛直解像度など、問題も多いが、WMO を中心にして各種観測系の最適総合化 (optimum integrated system または best mix の立案) が検討されはじめた。

### 5. これからの展望

こうしてみると、数値的中期予報の前途にはさまざまな困難が横たわっていることがわかる。一方では、言うまでもないことであるが、強い社会的要望がある。こうした事情をしっかりと把握した上で、一步一步前進するほかないように思う。

まず、理論的に予測可能性の問題をしっかりと理解し、あまり短絡的にならないでいろいろな面から攻めていく必要がある。

次に、実測データを用いて中期数値予報を実施する問題がある。これには初期データも深くかかわっているが、数値モデルの開発・改善も大事な事柄である。現在、二つの国際的な数値モデル比較の努力がなされている。ひとつは、GARP の JOC (合同組織委員会) の数値実験作業委員会 (Working Group on Numerical Experimentation, WGNE) が主催した試みで、GARP Basic Data Set を用いて各国の数値モデルによる72時間 (3日) 予報の比較テストを行なっている。予備的な結果では、どの数値モデルの予想図も多かれ少なかれ似ており、予想図同志の差は予想図と実況の差に比べてはるかに小さい、というものであった。

もうひとつの努力は、WMO の CAS (大気科学委員会) の予報研究作業委員会 (Working Group on Weather Prediction Research) が提案して現在実施中のもので、FGGE の本番と期を一にして1979年の1年間の毎日の現業的予想図を比較しようというものである。例数の多い点で画期的な試みといえるが、この比較の世話をする機関として、フィンランド気象局がその任に当たってくれている。

気象庁電子計算室では、今後の数値的中期予報にそなえて、現在、全球モデルを開発中である。スペクトル・モデルと球面格子モデルの両方を併行して開発しており、当面比較して優劣を評価する方針である。物理過程に関しては、放射の扱いが不充分なをはじめ今後の改良点が多い。結局ひとつずつきちんとさせていくのが、一番近道だと思ふ。

### 文 献

Carson, D.J., 1978: First results from the GARP Basic Data Set Project, GARP, JOC, WGNE Report No. 17, 38 pp.

Lorenz, E.N., 1963: The predictability of hydrodynamic flow, *Trans. New York Acad. Sci.*, Ser. II, 25, 409-433.

———, 1969: The predictability of a flow which possesses many scales of motion, *Tellus*, **XXI**, 289-307.

Miyakoda, K., J. Smagorinsky, R.F. Strickler and G.D. Hembree, 1969: Experimental extended predictions with a nine-level hemispheric model, *Mon. Wea. Rev.*, 97, 1-76.

新田 尚, 1973: GARP の全地球実験計画——主として FGGE を中心に——, *天気*, 20, 622-652.

———, 1977: FGGE 観測体系と研究計画の現状, *天気*, 24, 751-768.

National Academy of Sciences, 1966: The Feasibility of a Global Observation and Analysis Experiment, Publication 1290, Washington, D. C., 172 pp. (これに Charney の報告が掲載されている)。

Oort, H., 1978: Adequacy of the rawinsonde network for global circulation studies tested through numerical model output, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 174-195.

Smagorinsky, J., 1969: Problems and promises of deterministic extended range forecasting, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 50, 286-311.

(追記) 最近、GFDL の都田のグループは、10年間にわたる夏・冬両季の9層北半球270km格子間隔モデルによる2週間予報の計算を一応完結した (Miyakoda *et al.*, 1972; 79)。そこでは、大循環の特性や移動性じょう乱がどれだけ再現されているかの解析的検討、波数空間でみた各種統計量による検証を行なっている。対流圏下層の予測可能性は冬の方が夏より良く、一方、中・上層では夏の方が冬より良い。超長波領域の予測も夏の方がよかったが、夏の成層圏の予測は悪かった。

Miyakoda, K., G.D. Hembree, R.F. Strickler and I. Shulman, 1972: Cumulative results of extended forecast experiments, I: Model performance for winter cases, *Mon. Wea. Rev.*, 100, 836-855.

———, G.D. Hembree and R.F. Strickler, 1979: 同上, II: Model performance for summer cases, *ibid.*, 107, 395-420.