

数値予報の歴史、現状、課題

元気象庁気象研究所 増田善信

1, 正確な天気予報を出すためには

○天気予報とは

- ① 晴れ、曇り、雨、雪、霧などの天気状態と、気温、湿度、風向、風速などを、ある広がりを持った領域で、これらの量や状態の時間経過も含めて予測し、発表すること
- ② 晴れ、曇り、雨、雪、霧などの天気状態は大気の物理量ではなく、気圧、気温、風、水蒸気量など大気の物理量の空間分布と変化、特に水蒸気量の空間分布と、相変化も含めた変化に関係したものである
- ③ 気圧、気温、風、水蒸気量は物理法則によって変化しているので原理的には予測でき、予想天気図をつくることのできる。それを利用すれば予報は可能
- ④ 「気象学は精密科学だ」—V. ビャークネス (1913年)

○正確な予想天気図をつくるための必要十分条件

- ① 大気を変化させる物理法則について正確な知識を持つこと
- ② 正確な初期値 (風向、風速、気圧、気温、水蒸気量) を持つこと

○正確な天気予報を出すための条件

- ① 正確な予想天気図を持つこと
- ② 予想天気図から正確に天気に翻訳すること

○予報時間に間に合うこと—高速電子計算器の出現と高性能化—

2, 正確な予想天気図をつくるたに—数値予報の原理

○空気は流体。従って流体力学の法則で運動している

V. ビャークネス (1904) 「力学的、物理的基礎にたつ天気予報の問題」

例えば、運動の式 (ニュートンの運動法則) : 力は加速度に等しい

$$\Delta V / \Delta T = F$$

F : 空気に働く力 (①気圧傾度力、②コリオリーの力、③摩擦力など)

$$F \text{ が分かれば、} (V)_{t=t+\Delta t} = (V)_{t=t} + (F)_{t=t} \Delta T$$

で、 Δt 時間後の風が求まる。これを繰り返せばよい

○連続の式、熱力学の式、水蒸気変化の式も同じ形式。従って、密度 (気圧)、気温、水蒸気量も同じ方式で求まる

3, リチャードソンの挑戦と失敗

○L. F. リチャードソン (1922) 「数値的手法による天気予報」

- ① V. ビャークネスの考えを具体化—大気を5層に分け、全世界を3200個の格子点で覆い、54000人の人を使えば、24時間予報ができ、しかも予報時間に間に合う—“リチャードソンの夢”
- ② 1910年5月20日の天気図からミュンヘン付近の1点の気圧変化を計算6時間の気圧変化の計算値、145 hPa にもなる。理由分ならず長年放置

○大規模運動の特徴

- ① 空気はほとんど水平運動をしている（準水平運動）
- ② 風は等圧線にほぼ平行に吹いている（準地衡風運動）
- ③ 地衡風からの僅かなずれが、僅かな収斂、発散を生み、それが天気現象（雲や雨や雪）をつくっている

○準地衡風近似の導入とノイズの除去（J. G. チャーニー（1947年））

7, 数値予報の実用化—プリンストン高級研究所のチームワーク

○大気の中層（500hPa付近）は鉛直流が最大→500hPaは非発散高度バロトロピック（順圧）予報が可能

○チャーニー・エリアセン（1949）45N緯度帯に沿った500hPa面の高度の24時間予報に成功

○電子計算機ENIACによる最初の数値予報（チャーニーなど、1950年）24時間予報を4例

$\Delta s = 736 \text{ km}$ 予報領域 15×18 計算機 ENIAC

○November Stormの予報の成功（1953）とJNWPUの設立（1955）

$\Delta s = 300 \text{ km}$ 予報領域 19×19 計算機 I. A. S.

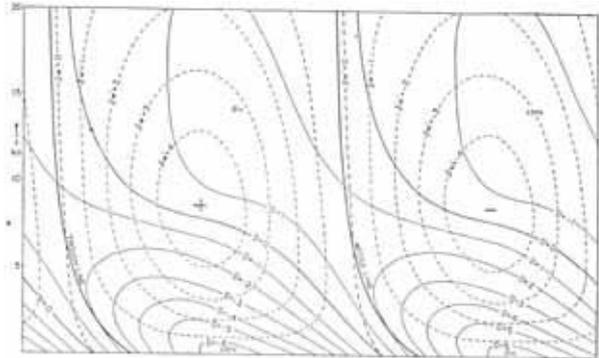
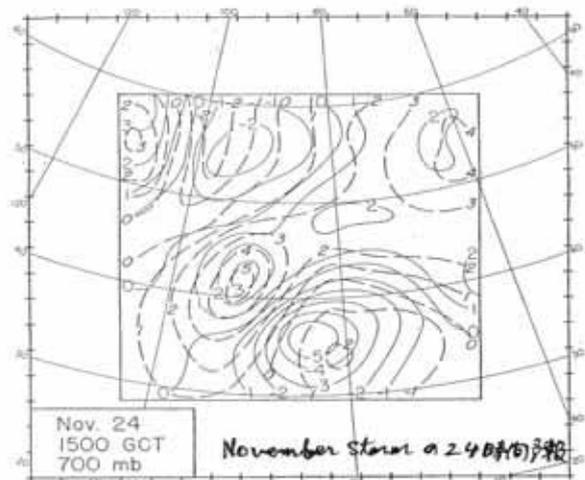


図11 長波の東西断面図、太い実線は1000hPaの線、実線は準地衡風、点線は運動量の南北成分を示したもので、(チャーニー、1947)



ENIACによる最初のバロトロピック予報に用いた格子図



8, わが国の数値予報の始め—当初のモデルを止めアメリカのモデルでルーチン

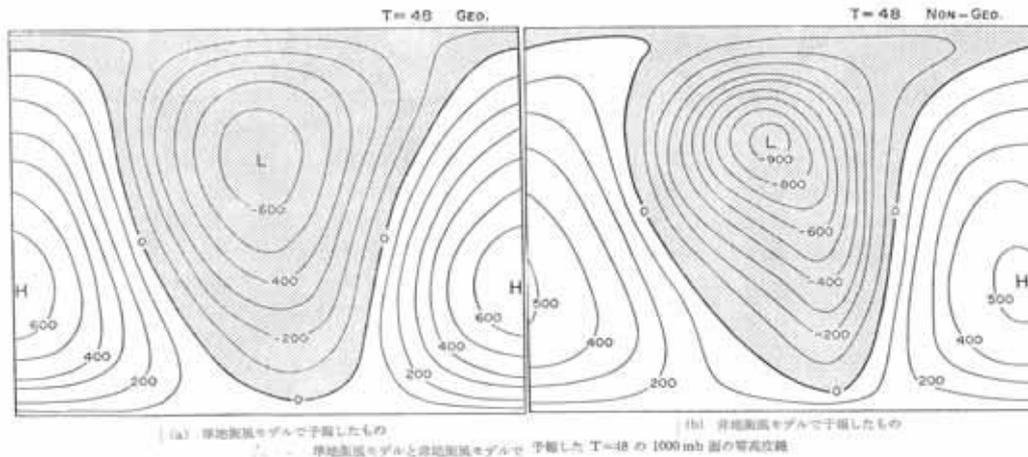
- 数値予報グループの結成（1953）と関式法による実用化
- 富士フィルム（Fujic）、富士通信機（FACOM 100）、電気試験所（MARK II）、IBM650など使える計算機はなんでも利用—朝日新聞の学術奨励金の貢献
- IBM704の導入とルーチン化（1959）
- ① 当初の2層バロクリニックモデルでのルーチンが、500hPa面のバロトロ

- ピックモデルに→発達する低気圧を用いたテストはルーチンには向かない
- ② 5層客観解析と4層バロクリニックモデルのルーチン

9, 準地衡風近似から非地衡風モデルへ

○準地衡風近似の限界

- ① 用いる風は地衡風→実際の風ではないので風の精度を上げる必要がある
- ② 高・低気圧の非対称的発達が予想できない
- ③ 低気圧の閉塞過程が予測できない



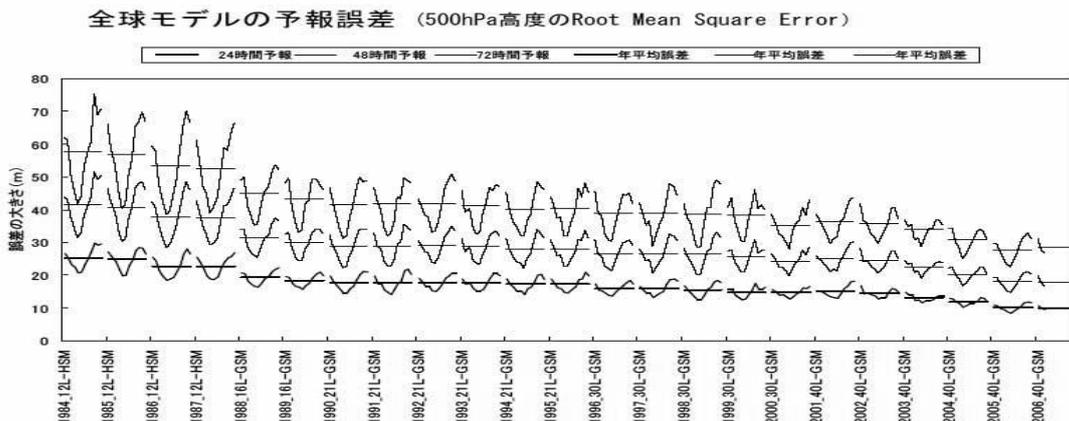
○北半球3層非地衡風バランスモデルから北半球4層プリミティブモデルへ

9, 数値予報の現状

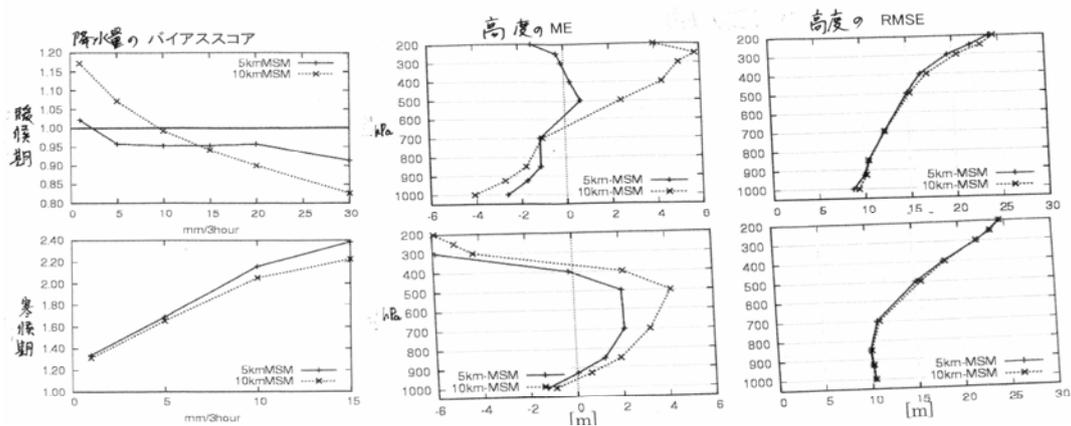
- 全球モデル (GSM) 水平解像度 0.5625° (TL319) 水平格子点数 640×320 40層 (地上~0.4hPa)
- 領域モデル (RSM) 水平解像度 20 km 水平格子点数 325×257 40層 (地上~10hPa)
- メソ数値予報モデル (MSM) 水平解像度 5 km 水平格子点数 721×577 50層 (地上~21800m、約40hPa)

10, 数値予報の精度

○グローバルモデルの精度



○非静力モデルの精度



1 1、 予報可能性とカオス

○アンサンブル予報

1 2、 数値予報の将来

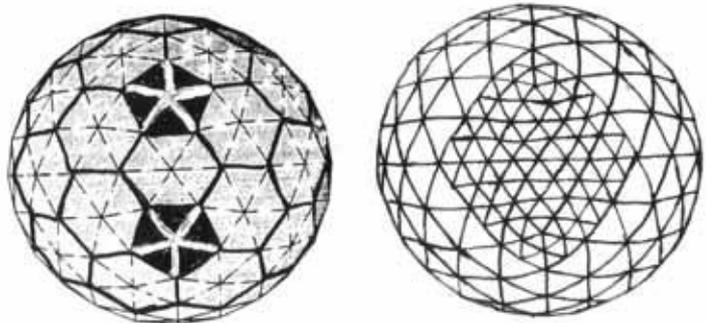
○中・長期予報の確立

- ①ブロッキングの予報精度を高める
- ②エルニーニョの変化の予測

○予報精度を上げるために

- ①スペクトルモデルか格子モデルかー六角メッシュの利点

(ア) スペクトルモデルは空間の誤差がないという利点があるが、たとえ適合ガウス格子を使っても、極地方と赤道地方の格子密度に大きな差がある



(イ) スペクトルモデルでは孤立した山岳などの表現が不十分

- ②準地衡風近似に匹敵するブレイクスルーするような革命的理論よ出でよ

(ア) 格子間隔を小さくしたり、層の数を増やすことで予報精度は上がるか。計算不安定を避けるため、セミラグランジュ法を使っても時間間隔が小さくなる

(イ) 今一度スケール・アナリシスをして、別の予報方式を考える必要はないか
グリッドスケールの現象とサブグリッドスケールの現象、それぞれの変化の式を連立させて解く方法など

○分かりやすい予報解説を求めて

- ①緊急な情報と日常の予報の区別
- ②コンピュータを駆使した分かりやすい解説図
- ③予報の根拠が分かるような解説を

(2006・7・5)