

図式法による 500mb 面の 3 日予報について

増 田 善 信*

1. は し が き

予報期間を延長する問題は現在数値予報の研究者にとっても大きな課題の一つになりつつある。しかし、まだ卓抜した概念が生れていないという現状である。今の所、予報期間を伸ばす方法には次の二つの行き方が考えられている。第1の方法はある種の時間的な平均量に着目し、その平均量の変化を支配する微分方程式を数値的に解いて将来の平均的な状態を予想する方法であり、第2の方法は12時間あるいは24時間予報に使われている現在の数値予報方式をそのまま使い、タイム・ステップを何回も踏むことによって予報期間を伸ばそうとするものである。

500mb 面の 5 日平均天気図を用いて平均高度の高度変化を数値的に予報しようとしたものには、Berson¹⁾ (1953), Clapp²⁾ (1953) などの研究がある。しかし、これらの方法では、村上、増田³⁾ (1954) が指摘したように平均場の高度変化を与える予報方程式の処理の仕方そのものにあいまいな点があると共に、平均天気図と個々の日の天気図ないしは個々の日の天気状態との関連が明らかでないため Clapp がやったような 5 日平均天気図の 2 ないし 3 日予報がどの程度意味があるのか不明である。

第二の方法を用いて予報期間を延長したものには University of Stockholm⁴⁾ (1955), 窪田、栗原⁵⁾ (1956) の研究がある。Stockholm では 12 時間予報の方法をそのまま使い、72 時間まで予報期間を延長した計算例を多数発表し、平均の相関係数 0.61 を得、この方法がかなり実用になり得ることを示した。窪田、栗原は準 2 重フーリエ級数の方法を用いてさらに 6 日予報を行い、3 日後の相関係数 0.67 を得ている。

このようにこれらの方法は 72 時間程度の予報にはかなり有効であることが示されたが、予報期間を延長すると共に境界の誤差が大きく影響してくるようになる。従って境界の影響をさけるためには予報領域をかなり広くとらねばならず、計算量が著しく大きくなるという欠点がある。

前の報告⁶⁾ (1955) で著者は図式によるパロトロビック渦度方程式の解法を提出し、その応用として 12 時間、24 時間及び 48 時間の予報を行いかなりの成果を得た。しかし、この方法による 48 時間予報では渦度を流す場

だかなりな凹凸があり、そのため渦度の集積が不自然な形で起り、その結果予報精度を悪くするという欠点があった。ここではこの欠点を取り除くと共に予報期間を伸ばすために出来るだけ安定な場で渦度を流すように予報方程式を改良し、それを用いて 24, 48, 及び 72 時間予報を行った結果を示す。この方法では面倒な relaxation を行うことなしに解が得られると共に、全ての操作が図式で、しかも比較的容易に行えるので、予報に要する時間が比較的短かくて済むという利点がある。

2. 基礎方程式

前の報告でパロトロビック渦度方程式を用い、 d なる格子間隔で平均した場にもパロトロビック渦度方程式が成りたつと仮定すると、500mb 面の高度 Z の時間変化 $\partial Z/\partial t$ は

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -(\bar{V} + C_D) \nabla_s \bar{\xi} - (\bar{V} + C_d) \nabla_s \xi \quad (1)$$

で与えられることを示した。ここで

$$\left. \begin{aligned} \xi &= Z - \bar{Z} - J_d(\varphi) \\ \bar{Z} &= \frac{1}{4} \{ Z(x, y+d) + Z(x, y-d) \\ &\quad + Z(x+d, y) + Z(x-d, y) \} \\ J_d(\varphi) &= \int \frac{f d^2}{m^2 4g} \frac{df}{d\varphi} d\varphi \\ C_d &= \frac{g}{f} K \times \nabla_s J_d(\varphi) \end{aligned} \right\} (2)$$

及び

$$\left. \begin{aligned} \bar{\xi} &= \bar{Z} - \bar{\bar{Z}} - J_D(\varphi) \\ \bar{\bar{Z}} &= \frac{1}{4} \{ \bar{Z}(x, y+D) + \bar{Z}(x, y-D) \\ &\quad + \bar{Z}(x+D, y) + \bar{Z}(x-D, y) \} \\ J_D(\varphi) &= \int \frac{f D^2}{m^2 4g} \frac{df}{d\varphi} d\varphi \\ \dot{C}_D &= \frac{g}{f} K \times \nabla_s J_D(\varphi) \end{aligned} \right\} (3)$$

で d, D はそれぞれ渦度を差分で表現する際に用いた格子間隔、 m は天気図の射影の倍率、 f はコリオリーの因数、 g は重力の加速度、 φ は緯度である。

(1) 式を出来るだけ安定な \bar{V} で外挿出来るように地衡風の関係を用いて変形すると、

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -(\bar{V} + C_D + C_d) \nabla_s (Z - \bar{Z} - J_D - J_d) - (\bar{V} - \bar{V}) \nabla_s (Z - \bar{Z}) + C_D \nabla_s (Z - \bar{Z}) \quad (4)$$

となる。(4) 式の右辺第 2 項は Z の場の相対渦度を \bar{Z} の場

* 気象研究所 — 1956年 9 月 5 日受理—

の相対湿度の場で流す項である。所でZの場の相対湿度とZの場の相対湿度の分布は一般に極めてよく類似しており、特に単一な波の場合は完全な同心円になっている。従ってこの項は一般に小さいので、(4)式は近似的に

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -(\bar{V} + C_D + C_d) \nabla_s(Z - \bar{Z} - J_D - J_d) + C_D \nabla_s(Z - \bar{Z}) \quad (5)$$

となる。あるいは $\bar{V} + C_D + C_d$ と $\bar{Z} + J_D + J_d$ は平行しているので、

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -(\bar{V} + C_D + C_d) \nabla_s Z + C_D \nabla_s(Z - \bar{Z}) \quad (6)$$

となる。これがここで用いる基本の式である。この式によると、500mb面の等高線Zを $\bar{V} + C_D + C_d$ なる風で適当な予報期間だけ流し、(6)式の第二項で与えられた高度変化を補正すると直ちに将来の予想天気図が得られることがわかる。前の報告で示したように \bar{V} の場は時間的にかなり安定であるから、この方法によると予報期間がかなり延長出来る可能性がある。また(6)式の右辺第2

項で与えられる補正項は格子間隔さえ決っておれば、 C_D は一定であるので、補正項の計算も容易であり、従って予報に要する時間がかなり短くなるという利点がある。

3. 予報の手順

予報式(6)を用いて予報を行う手順を示すと次のようになる。

(i) 格子間隔dで高度ZをFjφrtoft⁷⁾(1952)の方法で図式に平均して \bar{Z} を作る。

(ii) さらに格子間隔Dで \bar{Z} を図式に平均して $\bar{\bar{Z}}$ を作る。

(iii) あらかじめ作っておいた $J_D + J_d$ と $\bar{\bar{Z}}$ を用いて図式に $\bar{\bar{Z}} + J_D + J_d$ を作る。 $J_D + J_d$ は60°Nでd=600km, D=1200kmとし、60°を標準緯度とするステレオ投影法で $m = \frac{1 + \sin 60^\circ}{1 + \sin \phi}$ とすると、フィート単位で示すと次の表のようになる。

緯度(N°)	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
$J_D + J_d$ (フィート)	530	515	465	380	275	145	0	-155	-305	-455	-595	-720	-825	-910	-980

従って、この表から100フィート毎の緯度を求め、緯度圏に平行な100フィート毎の等高線を描いた図をあらかじめ作っておき、これと \bar{Z} との和を作る。

(iv) あらかじめ作っておいた地衡風尺を用いて、 $\bar{\bar{Z}} + J_D + J_d$ の場でもとの高度Zを適当な予報期間だけ流し、第一近似の予想天気図を作る。

(v) (ii)で作った $\bar{\bar{Z}}$ ともとの高度Zとの差を図式にとり $(Z - \bar{\bar{Z}})$ を作る。

(vi) あらかじめ作っておいた C_D に相当する目盛りを地図上に刻んでおきその目盛りを用いて $(Z - \bar{\bar{Z}})$ の等値線を流す。通常用いられている3000万分の1の北半球天気図で C_D に相当する24時間の距離をcmで表わすと次の表のようになる。

緯度(°N)	90	80	70	60	50	40	30	20
24時間の距離(天気図上の長さcm)	0	0.47	0.88	1.19	1.36	1.42	1.33	1.15

従ってこの長さで北半球天気図の各緯度圏を区切った目盛りを作っておきこの天気図上に $(Z - \bar{\bar{Z}})$ の図をかきながら $(Z - \bar{\bar{Z}})$ を予報期間だけ流す。

(vii) 流した後の $(Z - \bar{\bar{Z}})$ の図ともとの $(Z - \bar{\bar{Z}})$ の差をとり補正項 ΔZ を求める。

(viii) (iv)で得た第一近似の予想天気図に(vii)で得た補正項 ΔZ を加えて予想天気図を求める。

4. 予報の実測

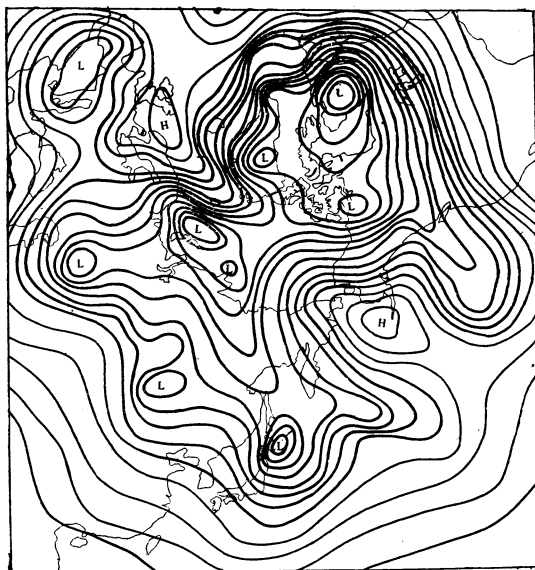
a) 用いた資料

半月程度の子報にはイソプレットなどを用いた単純外

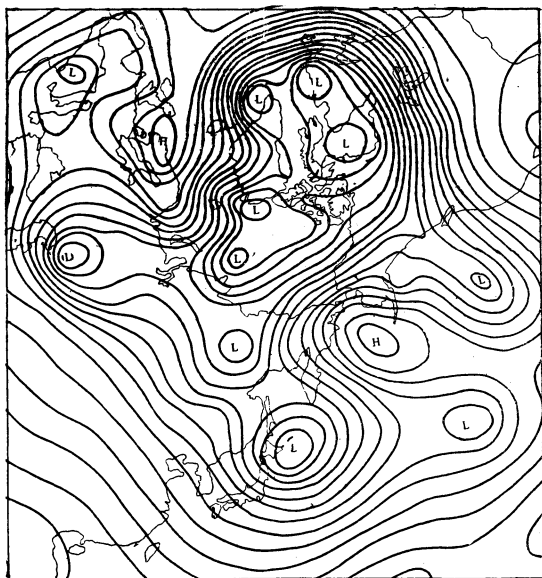
挿の方法がとられている。しかし、プロッキング現象の卓越しているような場合にはこのような単純な外挿が出来ないと考えられる。そのような場合にもここで示した方法が有効であるか否かを確かめるために、プロッキング現象の卓越していた1950年1月19、20日の両日の資料を用いて1ないし3日の予報を行った。天気図はsynoptic weather mapを用い北半球全体の予報を行った。



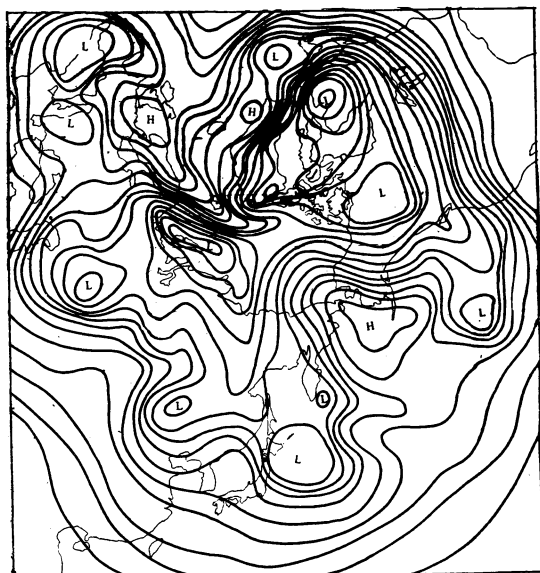
第1図 予報に用いた500mb天気図 (1950年1月19日観測値)



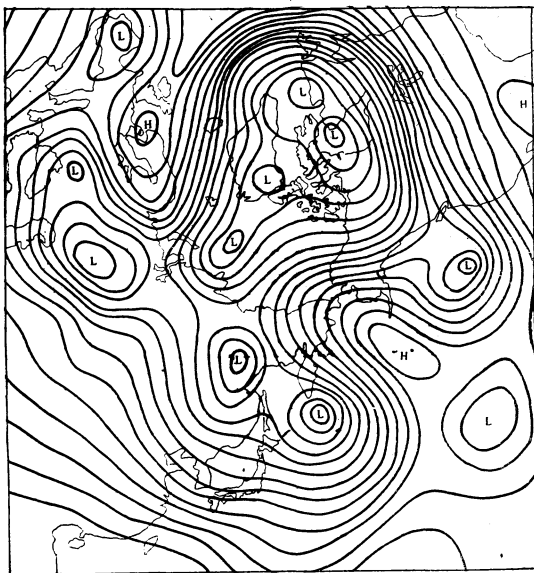
第2図 (a) 24時間後の予想天気図



第2図 (b) 24時間後の実測天気図
(500 mb 1950年1月20日)



第3図 (a) 48時間後の予想天気図



第3図 (b) 48時間後の実測天気図
(500 mb 1950年1月21日)

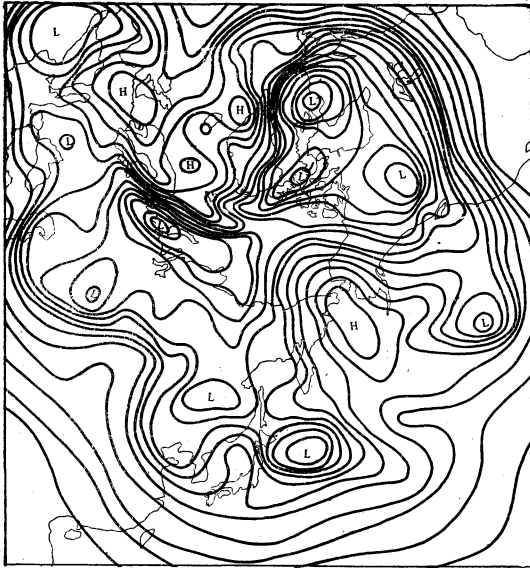
第1図は予報に用いた1950年1月19日の500mb面の天気図で、アリューシャン列島及び大西洋東部、イギリス附近に大きなブロック高気圧がある。アメリカ大陸では偏西風ジェットは極めて強くなっており、それに反し、ユーラシア大陸では比較的弱くなっている。

b) 北半球の予想天気図

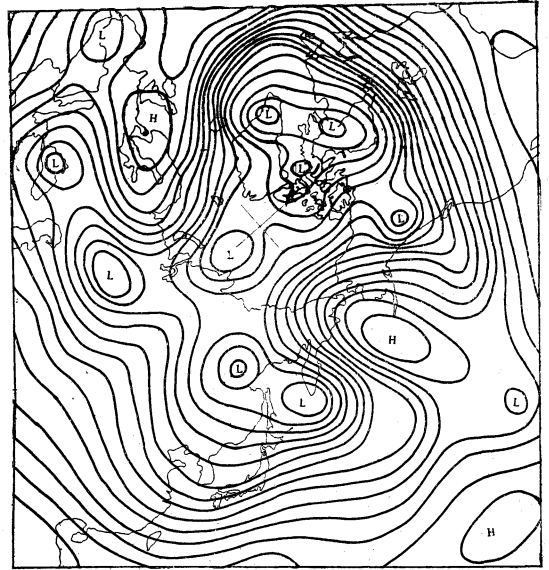
第1図をもとにした3日間の予想天気図及びそれに対

応した実測の天気図を示すと第2～4図 (a, b) となる。24時間予報では西ヨーロッパ及び太平洋のブロック高気圧の動き及び地中海の低気圧、日本附近の低気圧などの動きがかなりよく予想されている。しかし偏西風ジェットの強いアメリカ大陸東岸附近及びスカンジナビヤ北部ではかなり実際と違っていることがわかる。48時間、72時間と時間が進むにつれて、予想された等高度線

“天気”



第 4 図 (a) 72 時間後の予想天気図



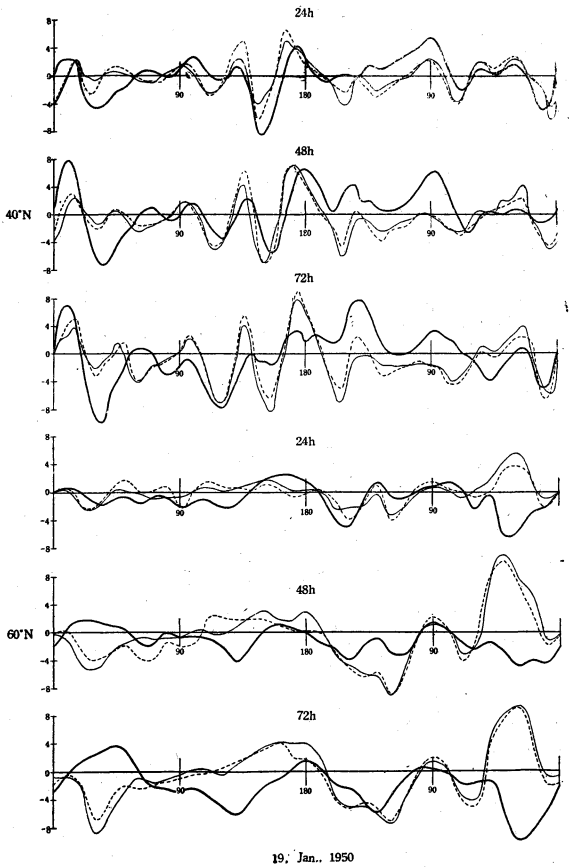
第 4 図 (b) 72 時間後の実測天気図
(500 mb 1950 年 1 月 22 日)

の形は不規則になってくるが、西ヨーロッパ及び太平洋のブロッキング高気圧や地中海の低気圧等の特徴的な形はかなりよく予想されている。しかしアメリカ東海岸、および、スカンジナビヤ北部の不一致は益々大きくなってきている。このような不一致は(4)式の第 2 項を無視したために生じたものかどうかを調べるため、完全な(4)式を用いて予想天気図を作ってみたが、この不一致は改善されなかった。従ってこの不一致はおそらく大気のパロクリニシティのために生じたものであろう。

c) 40°N, 60°N の緯度圏に沿った高度変化の分布

予想天気図と実測の天気図を比較しただけでは予報の精度を確かめることが出来ないで、40°N, 60°N の緯度圏に沿った高度変化の分布を作り、予想値と実測値の比較を行った。第 5 図は 1 月 19 日の資料をもとにして計算した 24 時間ないし 72 時間後の等圧面高度の高度変化の分布を示したものである。

この図で実線は実測の高度変化を、点線は計算した高度変化を示したもので、特に完全な(4)式を用いて計算した予報値が細い実線で示してある。これらの図をみると 40°N に沿った緯度圏では 30~60° E 附近を除いて計算値と実測値がかなりよく一致していることがわかる。それに反し、60°N に沿った緯度圏では 24 時間予報からすでにかかなりな不一致が現われ、特に西経 40° 附近で著しく大きな計算値が生じている。



19. Jan., 1950

第 5 図 40°N および 60°N の緯度圏に沿った高度変化の分布、太い実線は実測の高度変化、点線は予報された高度変化、細い実線は(4)式を用いて予報された高度変化を示す。

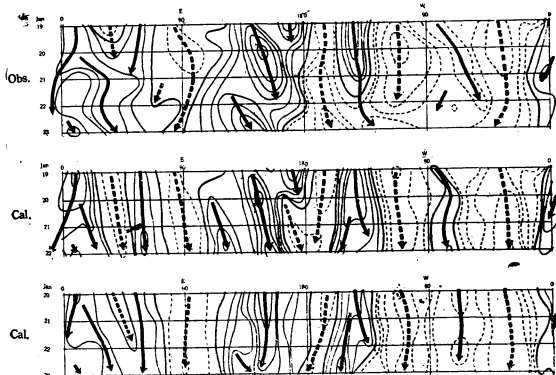
d) 40°N, 60°Nの緯度圏に沿ったトラフーリッジ・ダイアグラム

旬日予報にはある緯度圏に沿ったトラフーリッジ・ダイアグラムがよく用いられる従って、ここでも予報されたトラフーリッジ・ダイアグラムと実際のトラフーリッジ・ダイアグラムとを比較して予報の精度をしらべた。第6図は40°Nに沿ったトラフーリッジ・ダイアグラムで第7図は60°Nに沿ったものである。これらの図では何れも最上段はこの期間の実測のトラフーリッジ・ダイアグラムで中段は1月19日の資料を用いて計算したトラフーリッジ・ダイアグラム、下段は1月20日の資料から予報したものである。何れもトラフ・ラインは太い実線で、リッジ・ラインは太い点線で示してある。

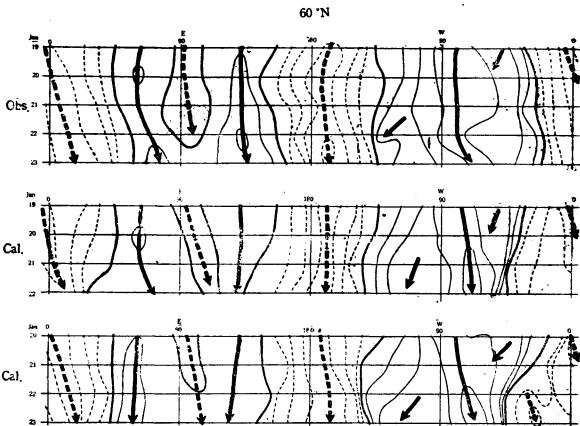
これらの図を比較すると、40°N, 60°Nを通じいずれもトラフーリッジ・ダイアグラムはかなりよく予想されており、かなり実用になり得る見通しがあることがわかる。

5. 結 び

予報期間を伸ばす一つの試みとして出来るだけ安定な場で渦度を流す方法を提出し、その実例として1ないし3日の予報を行った。予報結果はまだまだ満足出来ない状態であるが、操作が全て図式であり、かつ比較的短時間に予報結果が得られるという利点があるので地方の測候所でも容易に実用化出来るものと思う。



第6図 40°Nの緯度圏に沿ったトラフーリッジ・ダイアグラム、上段は実測、中段は1月19日の天気図をもとにして予報したもので下段は1月20日の天気図をもとにしたものである太い実線はトラフ・ラインを太い点線はリッジ・ラインを示す



第7図 60°Nの緯度圏に沿ったトラフーリッジ・ダイアグラム図の説明は第6図に同じ

終りに平素絶えず御援助御助力下さる東京数值予報グループ及び予報研究室の方、及び図の整理に御尽力下さった常岡好枝氏に厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) Berson, F. A., 1953 : A quantitative analysis of large-scale flow patterns with special regard to the effect of eddy motion. Q. J. R. M. S.
- 2) Clapp, P. H., 1953 : Application of Barotropic Tendency Equation to Medium-Range Forecasting. Tellus, 5, 80~94.
- 3) 村上多喜雄, 増田善信, 1954 : 中間予報について (序報) 予報研究ノート, 5, 233~236.
- 4) Bergthorsson, P., Döös, B. R., Fryklund, S., Haug, O. and Lindquist, R., 1955 : Routine Forecasting with the Barotropic Model. Tellus, 7, 272~274.
- 5) Kubota, S. and Kurihara, Y., 1956 : A Study of the Extended Forecasting with a Barotropic Model. Journ. Met. Soc. Japan, 34, 147~157.
- 6) 増田善信, 1955 : パロトロピック渦度方程式の図式解法とその予報への応用. 気象集誌, 33, 280~290.
- 7) Fjørtoft, R., 1952 : On a Numerical Method of Integrating the Barotropic Vorticity Equation. Tellus, 4, 179~194.