

2層モデルを用いた 1000mb 面高度予報の試み*

加藤 仁 史**

1. まえがき

現在ルーチンワークとして4層バロクリニクモデルを用いて計算された900mbの36時間予報から1000mbの高度分布を求めてFAXで送っているが、これまでの経験から予報領域の一部分で下層のじょう乱が系統的に遅れぎみという結果が出ている。一方、500mb以上の層では顕著な遅れはみられない。この下層のじょう乱の遅れは、谷の鉛直方向の軸が500mb以下の層で実況よりも早く立つためだと考えられる。

この欠点をなくしたバロクリニクモデルはいまのところ、つくり上げられていないが、少なくとも初期の軸の傾きをそのまま保たせれば、下層のじょう乱の遅れという点ではある程度修正できるかもしれないと考えられる。

このような考えに似た試みとして、Estoqueの方法もその一つである¹⁾²⁾。彼の方法は図式に行なう簡便法であり、また長井氏³⁾の試みも行なわれているが、ここでは正式な手続きを行なって数値計算を試みた。

さて、500mbと1000mbからなる簡単な2層モデルを考え、500mbの予数値としては、4層モデルの500mbの予報結果を利用し、1000mbの予報は500mbと1000mbの2層のthickness advectionを計算して500mb予報値から推算するという予報方法を試みた。

1961年12月と1962年1月、2月の3カ月についてテストした結果は、4層モデルと大差なく、下層の遅れについては多少修正されている。

JNWP(アメリカ気象局)では、バロトロピックモデルによる500mb予報を用いて1000mbを予報する方法が行なわれているが(1962年5月現在)⁴⁾、ここではバロクリニク500mb予報値を出発点とした点を強調しておきたい。

2. 予報方法

今、静的安定度をS、500mb面高度 Z_{500} と1000mb面

高度 Z_{1000} との間のthicknessを h としたとき、中間層(750mb)の鉛直 P -速度を ω_{750} とすれば、thickness Advectionの関係式は、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + V \cdot \nabla h - \frac{S \Delta P}{g} \omega_{750} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

但し $\Delta P=500\text{mb}$, g : 重力加速度

従って初期の $h=Z_{500}-Z_{1000}$ が判れば、 ω_{750} を求めることによって、 Δt 時間後の h が判る。4層バロクリニクモデル予報で $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ 、時間後の Z_{500} が求まっているので、 ω_{750} さえ判れば、 $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ 、時間後の h が求まり、この h と Z_{500} より、 $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ 、時間後の Z_{1000} が容易に求まる。

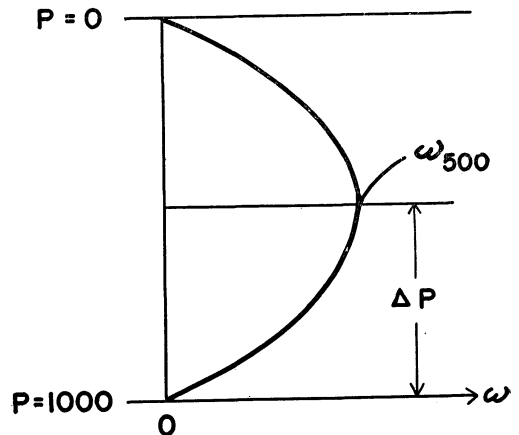
次に ω_{750} の求め方を書いてみる。一般に地衡風近似の ω -方程式は、

$$f^2 \omega + \frac{f^2}{S} \frac{\partial^2 \omega}{\partial P^2} = \frac{f}{S} \frac{\partial}{\partial P} (V \cdot \nabla \eta) - \frac{g}{S} f^2 \left[V \cdot \nabla \left(\frac{\partial Z}{\partial P} \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

但し f : コリオリ因子, η : 絶対渦度

今 ω の鉛直分布をパラボラ型の分布(第1図)と仮定すれば、

$$\omega = 4 \omega_{500} \left(1 - \frac{1}{P_{1000}} \right) \left(\frac{P}{P_{1000}} \right)$$



第1図 上昇流の鉛直構造

* Numerical Prediction of the Height on the 1000 mb Surface by the 2-level Model.

** Hitoshi Kato, 気象庁電子計算室
—1962年6月5日受理—

従って

$$\omega_{750} = \frac{3}{4} \omega_{500}$$

鉛直方向に差分近似を用いて

$$\left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial P^2}\right)_{750} \doteq \frac{4}{\Delta P^2} (\omega_{500} - 2\omega_{750})$$

又は

$$\left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial P^2}\right)_{750} \doteq -\frac{1}{\Delta P^2} \left(\frac{8}{3}\right) \omega_{750}$$

上述の関係式を式(2)の左辺に適用すれば、

$$\Delta^2 \omega_{750} + \frac{f^2}{S} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial P^2}\right)_{750} = \left[\nabla^2 - \frac{f^2}{S \Delta P^2} \left(\frac{8}{3}\right) \right] \omega_{750}$$

よって式(2)は鉛直方向に差分近似を用いて

$$\begin{aligned} \left[\nabla^2 - \frac{f^2}{S \Delta P^2} \left(\frac{8}{3}\right) \right] \omega_{750} &= \frac{f}{S \Delta P} (V_{1000} \cdot \nabla \eta_{1000} \\ &\quad - V_{500} \cdot \nabla \eta_{500}) \\ &\quad + \frac{g}{S \Delta P} \nabla^2 (V_{500} \cdot \nabla h) \dots\dots(3) \end{aligned}$$

ある時刻において Z_{500} , Z_{1000} が判っているから (3) の右辺は容易に求める事が出来る。従って ω_{750} について (3) はヘルムホルツの方程式となるから relaxation 法で解くことができる。


計算順序としては、



1. $T = 0$ の Z_{500} , Z_{1000} およびその差 h より ω_{750} を求める。
2. h の予報式(1)により $\frac{\partial h}{\partial t}$ を求める。
3. $h_{t+\Delta t} = h_{t-\Delta t} + \left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)_t \cdot 2\Delta t$ により Δt 時間後の h を求める。但し $T = 0$ のみ時間について uncentered の外挿 ($h_1 = h_0 + \left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)_0 \cdot \Delta t$) を行なう。
4. 4層バロクリニック予報から 500mb の毎時間 ($\Delta t = 1 \text{ hr}$) の高度 Z_{500} が判っているので、 Δt 時間後の Z_{1000} が $Z_{1000}(\Delta t) = Z_{500}(\Delta t) - h(\Delta t)$ で求まる。
5. 以下、繰返し計算で 24hr, 36hr 後の Z_{1000} が求まる。

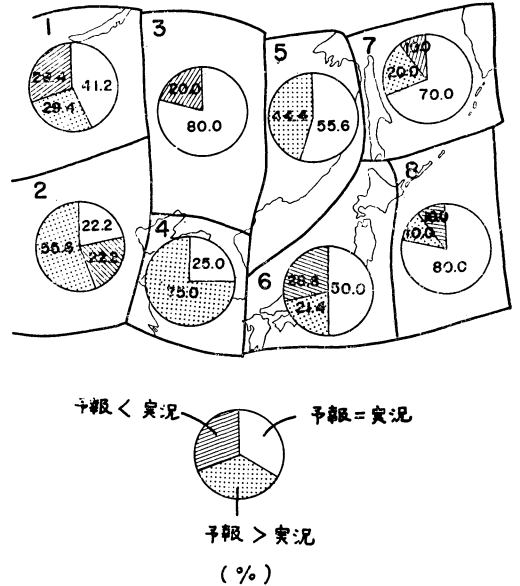
3. 結果の検討

まづ全体を概観するために、数種目に分けて統計をとった。ここにあげた統計結果は、いずれも24時間予報についての結果である。

第2図はこの2層モデルで予報された1000mbの24時間予報のじょう乱の動きと実況の動きのくい違いがどうゆう地理的分布をしているかを示している。(この図の範囲は適当に区切った)

ここに  は予報が実況の動きより遅い場合

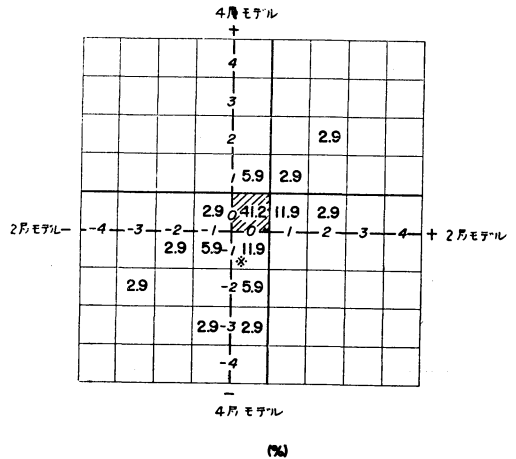
-  は予報と実況の動きがほぼ同じ場合
-  は予報が実況の動きよりはやい場合



第2図 じょう乱の移動速度の地理的分布

を示す。この図からわかるように、大陸では、遅れ進みが比較的大きい(1, 2, 4の地区)が、日本付近ではその差は小さい。特に7, 8の地区では低気圧が閉塞する 경우가多くその動きが小さいのではが実況と同じである。また、3, 5の地区については統計をとった期間において例が少ないのではつきりしたことは判らない。

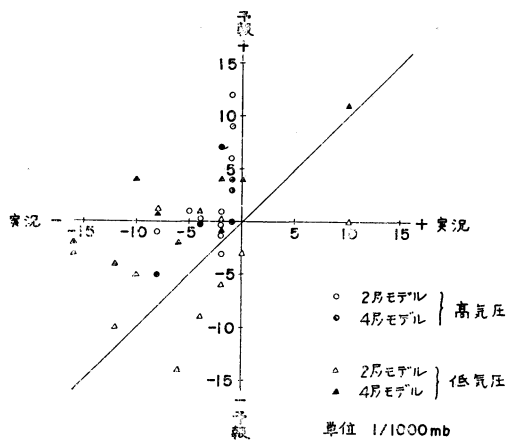
第3図は予報されたじょう乱の動きの実況からのズレ



第3図 じょう乱の移動のズレ

を4層バロクリニックモデルと比較して示したものである。たて軸に4層バロクリニックモデルの結果，よこ軸

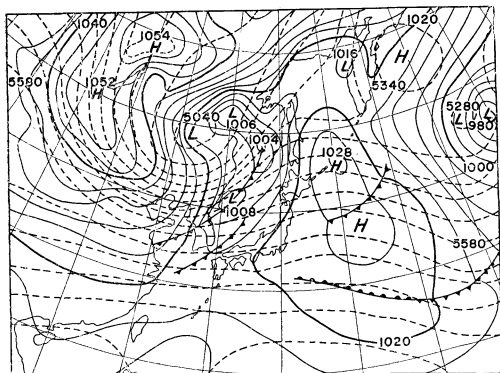
に2層モデルの結果を示してある。この図で//の部分
は4層バロクリニックモデルでも2層モデルでも，じょう乱の動きは実況にはほぼ同じであり，*印の部分では，
2層モデルのじょう乱の動きは実況と同じであるが，4層バロクリニックモデルのじょう乱の動きは，実況よりも1 mesh(=300km)遅れているということを示している。この結果からじょう乱の動きに関して2層モデルの方が，4層モデルよりも実況の動きにやゝ近い事を表わしている。



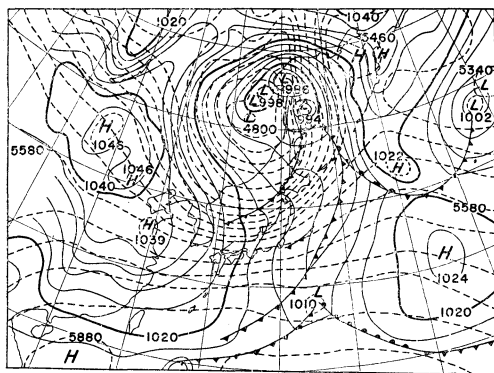
第4図 中心示度の変化

第4図は中心示度の変化を示す。

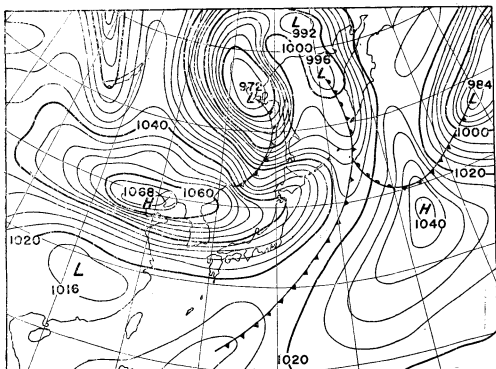
ここでは2層モデルと4層モデルについて夫々高気圧と低気圧に分けて統計をとった。よこ軸は実況の変化量を，たて軸は予報の変化量を表わし，+は示度が増加したとき（すなわち高気圧が発達し，低気圧が衰弱したとき），-は示度が減少したとき（すなわち高気圧が衰弱し，低気圧が発達したとき）を示している。



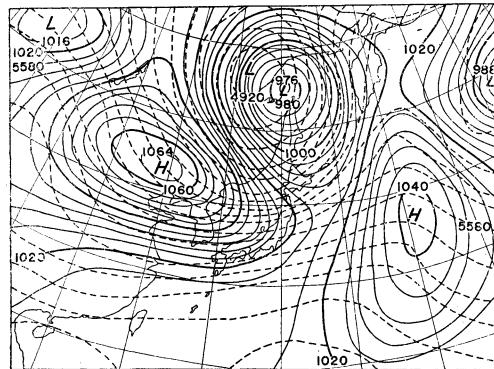
第5図 地上天気図 1961年12月12日21時
点線：500mb 等高度線



第6図 地上天気図 1961年12月14日09時
点線：500mb 等高度線



第7図 2層モデルによる36時間予想図
(1961年12月14日09時に相当)



第8図 4層モデルによる36時間予想図
点線：500mb 等高度線 (1961年12月14日09時に相当)

斜め45°の線に近い程、予報値が実況に近いことを表わす。この図からわかるように特に今回の2層モデルの予報結果では、高、低気圧ともに予想変化量が over estimation になっていることがわかる。

次に実際の予報例の中から参考までに二つの例をとりあげてみる。

はじめの例は(第5図から第8図まで)1961年12月12日21時に関する天気図で、あとの例は(第9図から第12図まで)1962年1月18日21時に関する天気図である。

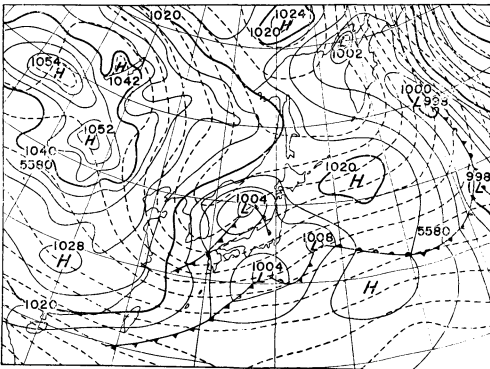
まづはじめの例について述べる。

第5図は1961年12月12日21時の地上天気図と500mb等高度線(点線)の実況図である。以下500mb等高度線は60m間隔に描いてある。第6図は1961年12月14日09時の地上天気図と500mb等高度線(点線)の実況図であり、これは第5図から36時間後の天気図である。モンゴリアと太平洋との高気圧の間に低圧部があり、それぞれ

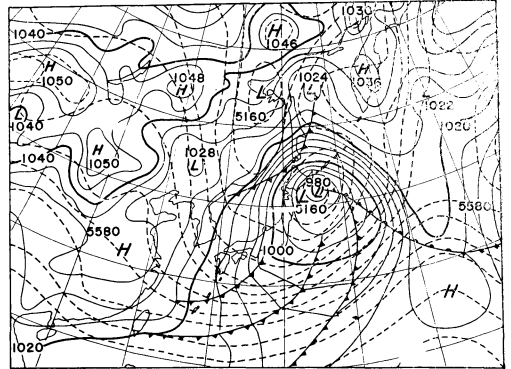
の高気圧が少し勢力を弱め、樺太西部の低気圧が発達しながらオホーツク海へ抜ける例である。第7図は2層モデルによる36時間予想図であるが、ここでフロントは contour から判断して描いてある。第8図は4層モデルによる36時間の地上予想図と500mb等高度線(点線)の予想図である。第7図、第8図とも地上気圧は1000mb高度から換算したものである。4層モデル、2層モデルの予報ともそれぞれの高気圧は強くなりすぎている。しかし低気圧の発達とフロントも含めたパターンは大体良く予想されている。

次にあとの例について述べる。

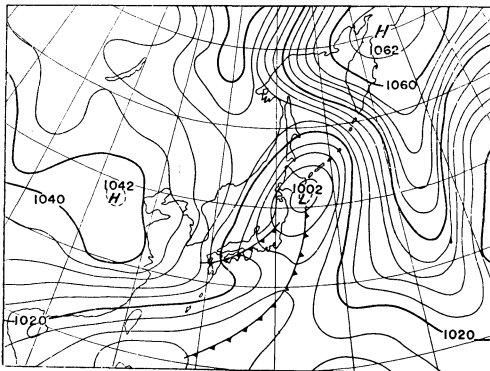
第9図は1962年1月18日21時の地上天気図と500mb等高度線(点線)の実況図である。第10図は1962年1月20日09時の地上天気図と500mb等高度線(点線)の実況図であり、これは第9図から36時間後の天気図である。モンゴリアと太平洋との高圧部の間の日本海の低気



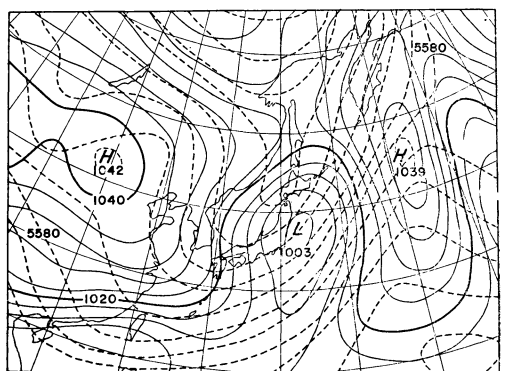
第9図 地上天気図 1962年1月18日21時
点線: 500mb 等高度線



第10図 地上天気図 1962年1月20日09時
点線: 500mb 等高度線



第11図 2層モデルによる36時間予想図
(1962年1月20日09時に相当)



第12図 4層モデルによる36時間予想図
点線: 500mb 等高度線 (1962年1月20日09時に相当)

庄に注目してみる。第11図は2層モデルによる36時間予想図であるがここでフロントはやはり contour から判断して描いてある。第12図は4層モデルによる36時間の地上予想図と500mb等高度線(点線)の予想図である。実況で日本海の低気圧は急速に発達しながら東北東に動いて36時間後には北海道の東に位置される。第11図の2層モデル予報では、その動きは実況に同じである。また4層モデル予報では遅れて位置されている。それぞれのモデルでこの低気圧の急速な発達は表わされていない。第10図の500mb等高度線を見るとこのトラフは実況で発達しているが、第12図の500mb等高度線の予想図を見るとこのトラフは発達していない事がわかる。

4. むすび

以上統計結果を中心にしてこのモデルの性能について述べてきたが、今回の2層モデルでも上層の予報結果(このモデルの場合500mb)が良ければ、かなりのところまで予報される。また、ここではあげてないが、鉛直構造も高度と上昇流について調べたが、4層バロクリックの結果とそれほど大きい違いはない。

予報された中心示度については不正確ではあったが、

今回の2層モデルを使ったテストの第1目的であるところの「4層バロクリックモデルでの地上のじょう乱の遅れはこの2層モデルではどうなるか」という点については多少修正されていることがわかった。このように、長所および欠点のあることがわかったけれども、この物理的原因については、いまのところははっきりしていない。読者のご批判をまちたい。

終りにこのモデルを直接指導して下さった岸保博士ならびに operate して下さった電子計算室計算係の方々へ深く感謝をします。

参考文献

- 1) Estoque, M.A.: Tech. Rept. 5, 1955.
- 2) Petterssen, S.: Weather Analysis and Forecasting. 1.
- 3) 長井達夫: 1959年6月9日, 10日における低気圧の移動について天気, 8. 415~419
- 4) Quarterly Reports of JNWP, First quarter of 1962.

メルボルン大学で講師募集

The University of Melbourne

Carlton, N. 3, 17th January, 1963

VICTORIA. AUSTRALIA

Dear Sir

Lectureship in Meteorology

I enclose a copy of an advertisement for the above position and I should be pleased if you would arrange for an insertion in the next edition of your journal. The advertisement should be printed in the English language.

Yours faithfully,

F.H. JOHNSTON,

Registrar.

The Editor,

Journal of the Meteorological Society of Japan,

c/o Japan Meteorological Agency,

Otemachi, Chiyodaku, Tokyo, Japan.

University of Melbourne

Lectureship in Meteorology

Applications are invited for the position of Lecturer in Meteorology.

The appointee must have a good command of the English language and will be expected to share in both the undergraduate and post-graduate teaching of the Department and its research on the Southern Hemisphere circulation and aeronautical meteorology.

The salary range for a Lecturer is £1,650 to £2,450 per annum and annual increments of £105 are payable. Initial salary will be determined according to qualifications and experience. Superannuation Similar to F.S.S.U. in Great Britain will be provided.

Further information and the conditions of appointment may be obtained from the Registrar, University of Melbourne, Parkville, N.2, Victoria, and applications should reach him as soon as possible but not later than 31st March, 1963.

F.H. JOHNSTON,

Registrar.