

客觀分析與正壓模式——理論與實作*

劉廣英 鄧施人

Objective Analysis and Barotropic model— Theory and Practice

Koung-ying Liu Shih-jen Teng

ABSTRACT

This is the first report of the two years project "A Study of Numerical Weather Prediction by the use of Electronic Computer". This research includes two parts, the objective analysis and model testing. Due to the lack of experimental study of objective analysis and initialization in Taiwan, more emphasis, in the first year, is on the first part. In this report we present two types, each involves four different kinds, of objective analyses. The experimental result indicates that the best method is

$$\Delta U = \frac{W_{mr} \sum W_i (U_r - U_i)}{\sum W_i}$$

where

ΔU = Correction of first-approximation at grid points.

W_{mr} = Maximum weighting factor.

W_i = Weighting factors.

U_r = Observed values.; U_i = Estimated values of stations.

and

$$W = \exp(-AD^2/R^2); \text{ or } W = (R^2 - D^2)/(R^2 + D^2)$$

where

R = Sean radius.

D = Distance between the grid point and the related stations.

A = An experimental constant.

In the second part of this report the procedues and results of the 500mb prognostic contour charts which prepared by Limited Area Fine Mesh (LFM) model was presented. In order to give a complete discussion a simple theoretical derivation and some numerical experiments of relaxation method are also presented.

本文為「利用電子計算機做數值天氣預備」研究之初步結果，其重點有二，即客觀分析，以求得網格點初值，及模式實驗與數值預報圖之製作。前者又為執行中較偏重者，蓋因國內對數值預報之研究工作，獨缺此項。經一年之努力，已完成實驗兩類八種求網格點初值之方法，而在數值預報圖製作方面亦已完成各種基本實驗及初步之預報圖，正式結果及與現用方法之比較則仍在進行中。

除上述重點工作外，對模式所必須之漸近 (relaxation) 法亦加以研究，並做數值實驗。

*本文之完成得行政院國家科學委員會之獎助。

一、前言

大約在五年前，本軍部份氣象從業人員，即已有了利用電子計算機替代人力，做數值天氣預報之構想，藉以改進預報作業。但因對該項學識未臻成熟，及設備等問題，僅作紙上談兵而已，未能著手行動。六十二年八月經行政院國家科學委員會之資助，及安康電子計算機中心的支援，撥給使用機器時間，得進行此項工作之研究。

在過去一年中，我們採取「一切由根」做起的紮實方法執行研究計劃，也就是說，任何一個問題均以實驗方式解決之，如此雖使困難增多，但所獲者為生根的知識。經一年努力結果，業已完成網格點數值之獲得及數值預測圖之初步製作。由於部份設備欠缺，致自資料輸入迄天氣預測圖之繪製，全部由機器一貫作業之目標尚未完成。但已作朝此一目邁進之準備工作，即①如何利用本軍氣象通信中心每日對國內廣播之印字機紙帶代替卡片做資料輸入；②著手統計各氣壓層24小時高度變差最大值，做為氣象電碼錯誤之鑑定，以替代部份人力改正作業；③電子計算機運算結果，按照網格圖形式排列輸出，省去填圖工作。

二、使用資料

(一)、網格圖採用區域性精密網格模式 (LFM -- The Limited Area Fine Mesh Model)。其範圍北邊起自 48.3°N；39.4°E 至 42.0°N；154.7°W，南邊起自 4.9°N；82.5°E 至 2.2°N；162.2°E。縱軸36個網格點，橫軸57點，共 (36×57) 2052點。標準網格距離為 190.5KM (等於 1.7132個緯度)，其圖上平均距離依下式求得：

$$D_m = \frac{D_{st}}{1.7132} = 12.4mm \dots\dots\dots(1)$$

式中： D_m = 網格點之圖上平均間隔。

D_{st} = 觀測站24944 (60.4°N；120.4°E) 與 98327 (15.2°N；120.6°E) 間的圖上距離 = 330。

D_{st} = 上述兩測站之實地距離45.2緯度。

每一網格間隔恰好相當於印刷機之三列寬，或5位數字 (digits) 長，因此可省去填寫輸出資料於天氣圖上的工作。該圖涵蓋整個東亞及西太平洋區。冬半年，影響本預報區五日天氣之西伯利亞及堪察加區的移動性與阻塞高壓系統，活動於網格圖之靠北面大部份區內；夏半年，颱風發源地，馬紹安羣島洋面及南海亦網在圖之南邊，利於全年運用。

(二)、地圖投影誤差之修正。本研究採用之地圖為一千五百萬分之一，東亞地區藍伯投影法圖。真實比例尺在 30°N 與 60°N，按式(1)求得之 D_m 和圖上之 60°N 比例尺者極接近，但在 30°N 則 D_m 稍大於圖上者。由此可知在其餘各緯度上之誤差必然更大。按藍伯投影法之修正公式(2)：

$$L = L_0 / \delta \dots\dots\dots(2)$$

式中： L = 在任何緯度上之網格間隔實地距離。

L_0 = 在投影標準緯度上 (30°N 或 60°N) 之標準網格間隔，即 190.5km (1.7132緯度)。

$$\delta = (\sin \Psi_0) (\csc \Psi) \left(\tan \frac{\Psi}{2} \right) / \left(\tan \frac{\Psi_0}{2} \right) \cos \Psi_0$$

Ψ_0 = 90° - (投影標準緯度 60° 或 30°)。

Ψ = 90° - (任何點所在之緯度)。

本來照上式(2)修正各網格間隔實地長度即可，但因顧及所採用的地圖乃經一再翻版，其經緯線間隔大小難免失去原版圖的準確程度，自然照此種圖所讀得各網格點的經緯度值亦欠正確；又在數值運算過程中，各點相互連帶影響，故而改按式(3)求某一點與其正交四鄰近點的平均實地距離(1)，作為該點的「 d 」值。

$$D = \sqrt{(\Psi_0 - \Psi_1)^2 + [(\phi_0 - \phi_1) \cos \Psi_0 + \cos \Psi] / 2]^2} \dots\dots\dots(3)$$

式中： D = 網格點平均實地距離。

ϕ_0, Ψ_0 = 某一網格點之經緯度值。

ϕ_1, Ψ_1 = 鄰近點之經緯度值。

D 與實地距離最大誤差之網格點 (4.7°N；160.5°E)，按(2)及(3)式分別修正為 1.5596 與 1.377 (緯度)，其與 1.7132 比較，顯然前者較後者差距較小。此一現象和， D_m 與圖上 60°N 及 30°N 之比例尺比較的結果相同，即 D_m 之實地距離應稍小於比例尺。同時採用(3)式修正之結果，絕大部份網格點「 d 」值正負誤差大小之分佈情形，正如該地圖比例尺誤差所顯示者相符合，此種修訂法正確可用。

三、網格點數值之獲得

網格點之數值，由在一定距離內，環繞其四週之測站觀測值與該測站之估計值較差，按照概率曲線方程換算成網格點之相當變差值，平均各值而得網格點估計值之修正值，亦即網格點之觀測數值。其求作方法如下：

(一)、固定掃描圈 (Scans) (1) 及半固定掃描圈 (3)。前者乃每一網格點均以四個不同長度的半徑，掃描四次，後者則除第一 (外) 圈固定外，其內圈之半徑長度與數量，則視圍繞各該點之測站數量成反比向內收斂，即測站多者半徑較短且內圈數量少，節省計算機作業時間。又前者各圈所得之修正值合併一次平均，後者則各圈所得分次平均與修正。

(二)、概率曲線方程有二，如圖 1 (a) 與 (b) (1) 就東亞區探空觀測站分佈疏密不一，且多數遠距網格點，須使用較長之掃描圈半徑，方能獲得測站報告資料，及梯度 (如高度梯度) 較大時等情形而言，圖 1 (a) 較 (b) 者適用。

在網格涵蓋區內及其邊界上，共有 328 個無線

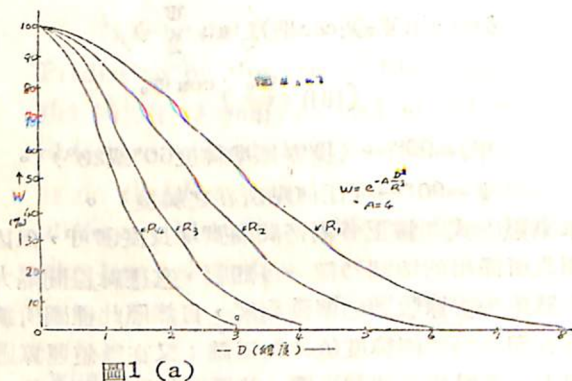


圖 1 (a)

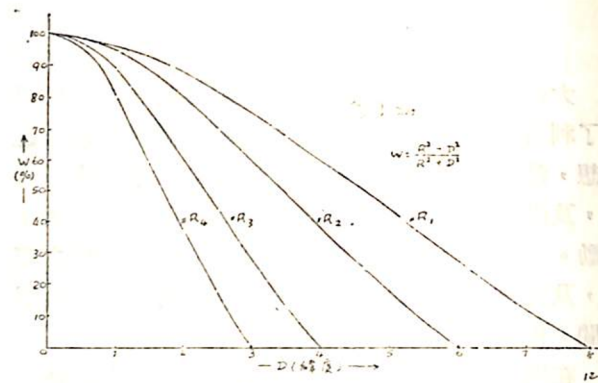


圖 1 (b)

電探空觀測站，以八個緯度長做為第一圈掃描半徑，計有 1866 個網格點，可以獲得一家以上的測站報告資料，佔全數 (2052) 的 90.9%，但區內測站分佈疏密不一，我國大陸東南地區，有些網格點涵蓋四十多個測站，而蒙藏、印巴，及海洋等區內則僅稀疏一、二家測站。又在 328 家中，經常有報告資料者僅二百多家，更使部分網格點無測站資料可用。為令使每一網格點均能獲得測站報告資料，對經常缺報的測站及海洋區，選若干點，補以業經修訂過的前一次預測資料。就圍繞各網格點之測站統計 (如表一) 及圖 1 (a) 之分析，掃描圈之內圈半徑分別訂為 6、4、3 個緯度。

表一圍繞各網格點之測站統計分析表

掃描圈	半徑長度	3 (緯度單位)			4	6		8	
	涵蓋測站比率 (%)	7.4			12.8	28.8		51.0	
距離 (緯度單位)		0 → 1	1 → 2	2 → 3	3 → 4	4 → 5	5 → 6	6 → 7	7 → 8
測站數量		333	984	1681	2295	2977	3587	4270	4855
		2998			5293	11859		20984	

(三)、估計值由十二小時前之觀測值 (佔 90%) 參合氣候值 (佔 10%) 者與不參合者兩種。前者可以消除較小誤差之觀測報告，即發生調和作用。但在連續作業中，如網格點之估計值經一再參入氣候值，其所佔之百分比勢將尤過於十二小時前之觀測資料，故在本研究中，採雙重運用，即同一次作業中，網格點之觀測值作兩種輸出。不參合氣候值者，保留著做第二次作業時之十二小時前的資料，及據以做錯誤改正；參合者供計算預測值之用。

(四)、網格點之各相當變差值的平均方法，採算

術平均與加權平均兩種，後者對 LFM 模式較適用 (詳後)。

上述各項交互配合運用，可分為八種以上模式，但有些配合沒有意義，故未做試驗。本研究採用之模式如下：

$$\Delta U = \frac{W_{mf} \sum W_i (U_i - U_j)}{\sum W_i} \quad (4)$$

式中： ΔU = 網格點估計值之修正值。

W_{mf} = 網格點所屬測站之最大加權因子。

W_i = 觀測報告變差值有效加權因子。

U_i = 測站觀測報告值。

U_j = 測站估計值。

$W = \text{EXP}(-AD^2/R^2)$;

或 $W = (R^2 - D^2)/(R^2 + D^2)$ 。

R = 掃描圈之半徑 = 3, 4, 6 及 8 (緯度單位)。

D = 測站到網格點之距離 (緯度單位)。

A = 經驗常數 = 4.0。

$$\Delta U_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i (U_{i1} - U_{j-1}) \quad (5)$$

式中： ΔU_j = 網格點估計值之第「j」次修正值。

U_{i1} = 測站觀測報告值。

U_{j-1} = 網格點「j-1」次估計值，最後一次估計值即觀測值。

W_i 之 $R=8$ 及 <8 ，……。

經多次用同一時間的資料，試驗 (4)、(5) 式的結果，前式優於後式，主要正負變差接近實際情況，能顯示出氣壓系統之動態，及槽脊線之消長，其原因：(5) 式用算術平均法求各次修正值，在網格點之近距測站稀少情況下，減低了由其獲得的修正值，被較遠測站者所調和，其次半固定掃描圈不適用於測站少且分佈不均勻之東亞區。如表一所示，接近網格點二個緯度以內之測站僅有 1317 家，平均約 40% 之網格點沒有近距測站，況且部份測站密擠在我國大陸東南地區，如此區內之每一網格點佔二、三個近距測站，則上述百分比率勢必增大，即絕大多數之網格點靠中，遠距測站供給資料；加之內圈之半徑不易適度地調整。再就 (5) 式用的是測站觀測值與網格點之估計值較差，非如 (4) 式測站本身較差，在缺少近距測站資料下，較遠距離測站與網格點之較差值欠代表性。

例圖 2 是經人工精密分析，用圖解法作的 500 mb 十二小時高度變差圖。圖 3 是按 (4) 式計算的同



圖 2 500 mb 12hrs ΔH ooz, 25 DEC., 1972

時間 500 mb 十二小時高度變差圖。圖 4 是用 (5) 式所得的同一資料之變差圖。顯然圖 3 與圖 2 極近似，而圖 4 則除了其正負變高區輪廓稍像外，數值差距極大，不能採用。又除小部分網格點，因測站短缺，情形特殊而外，各網格點所涵蓋之測站分佈現況，其加權因子 (比率) 必然偏低，此種差異甚為合理。



圖 3 500 mb 12hrs ΔH ooz, 25 DEC., 1972

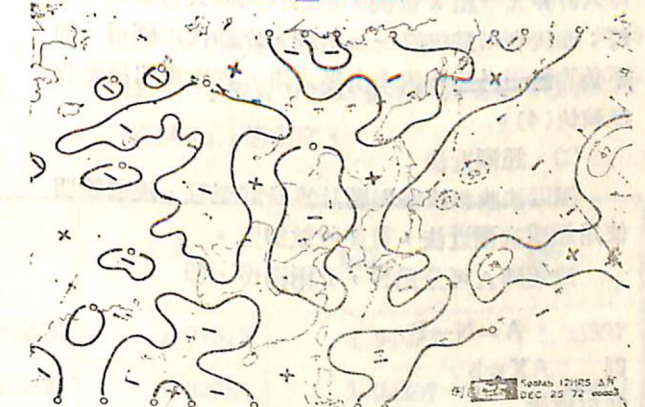


圖 4 500 mb 12hrs ΔH ooz, 25 DEC., 1972

四、超漸近法 (Overrelaxation method) 及其應用

(一)、漸近法簡介：

利用定差法解如 Laplace 或 Poisson 之橢圓偏微分方程式，一般採用漸近 (relaxation) 法，或稱為疊代 (iteration) 法。設 A 為 n 次矩陣， X 及 b 為 n 維 (dimensional) 向量，則一組線型方程式可寫成

$$AX = b \quad (6)$$

之矩陣式。亦即

$$(D - E - F)X = b$$

$$\text{或 } DX = (E + F)X + b \quad (7a)$$

$$\text{或 } (D - E)X = FX + b \quad (7b)$$

式中 D, E, F 分別為 A 之對角線 (包括 a_{ii} 諸元)，下三角形 (包括 $-a_{ij}, i < j$ 諸元) 及上三角形 (包

括 $-a_{ij}, i > j$ 諸元) 矩陣。如其中 $D \neq 0$, 則第 $n+1$ 次之 X 值可用第 n 次之 X 值代入該式求得, 即

$$DX^{n+1} = (E+F)X^n + b \quad (8a)$$

$$\text{或 } (D-E)X^{n+1} = FX^n + b \quad (8b)$$

以上二式分稱為 Jacobi 及 Gauss-Seidal 疊代法。

再令 $L=D^{-1}E, U=D^{-1}F, B=L+U, M=(I-L)^{-1}U, I$ 為單位矩陣, 則由 (8a) 及 (8b) 所得之 $n+1$ 次 X 值分別為:

$$X^{n+1} = BX^n + D^{-1}b$$

$$\text{及 } X^{n+1} = LX^n + UX^n + D^{-1}b$$

$$\text{或 } X^{n+1} = MX^n + (I-L)^{-1}D^{-1}b$$

上述兩種疊代法是否收斂, 端視 B 與 M 是否收斂? 或其最大特徵值 (eigenvalue) 之絕對值是否小於 1; 亦即當一矩陣 T 之特徵值為 λ_i 時, 其收斂之必須條件為其譜半徑 (spectral radius) $\delta(T) = \max |\lambda_i| < 1$ 。至於二者之異, 則在於前者每次計算完一組 x 值後, 方始代入原式計算另一組值; 而後者則為求得一 x 值後, 立即代入應用, 而不必等而全組求出後才用。實用證明後者收斂較快 [4]。

(二)、超漸近法:

漸近法收斂快慢影響計算時間至巨, 經驗證明使用超或次漸近法, 可使收斂加速。

設矩陣 A 可分為 N, P 兩部份, 即

$$A = N - P$$

$$\text{則 } AX = b$$

即可寫成

$$NX^{n+1} = PX^n + b$$

$$\text{或 } X^{n+1} = N^{-1}PX^n + N^{-1}b = MX^n + N^{-1}b \quad (9)$$

之漸近式。式中 $M = N^{-1}P$

所謂超漸近法, 即先由 (9) 式求一組 X^{n+1} 值 (設為 Y), 而後再以

$$X^{n+1} = X^n + \alpha(Y - X^n) \quad (10)$$

求 X^{n+1} 應有之值。式中 α 為一實數; 如其值大於 1 時, 吾人即稱之為過漸近法, 小於 1 時則稱次漸近 (underrelaxation) 法。至於何者收斂較快, 端視漸近餘差 (residual) 之性質而定 [5]。

由式 (10) 知

$$X^{n+1} = X^n + \alpha [MX^n + N^{-1}b - X^n] \\ = M\alpha X^n + \alpha N^{-1}b$$

$$\text{式中 } M\alpha = 1 - \alpha + \alpha M \quad (11)$$

同理, Gauss-Seidal 漸近法改為超漸近法時

, 即為

$$X^{n+1} = X^n + \alpha [LX^{n+1} + UX^n + D^{-1}b - X^n] \\ = M\alpha X^n + \alpha D^{-1}b$$

$$M\alpha = (I - \alpha L)^{-1} [\alpha U + (1 - \alpha)I] \quad (12)$$

此時, 當 $\alpha > 1$ 時, 此法常稱為連續超漸近 (Successive Over Relaxation, 簡稱 SOR) 法。

由式 (11) 或 (12) 可證, 使 $\delta(M\alpha)$ 為最小之 α 值在 0 與 2 之間 [6]。

(三)、超漸近法應用實例及結果:

設 u, g 均為 x, y 之函數, 且

$$\nabla^2 u = g$$

則由定差法可得

$$U_{j,k} - A(U_{j-1,k} + U_{j+1,k}) - B(U_{j,k-1} + U_{j,k+1}) \\ = -D^2 g_{j,k}; \quad 1 \leq j \leq J, 1 \leq k \leq K \quad (13)$$

式中 $\Delta x, \Delta y$ 為網格距

$$A = \Delta y^2 / 2(\Delta x^2 + \Delta y^2)$$

$$B = \Delta x^2 / 2(\Delta x^2 + \Delta y^2)$$

$$D^2 = \Delta x^2 \Delta y^2 / 2(\Delta x^2 + \Delta y^2)$$

j, k 為格點序號; J, K 各為 j, k 之最大值。

$K \Delta Y$

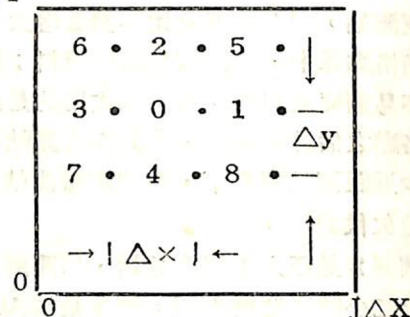


圖 5 實驗用矩形網格場

上述網格場如圖 5 所示。在此網格場中, 使 $\delta(M)$ 最小之 α 值應為 [6],

$$\alpha = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - C^2}} \quad (14)$$

$$\text{式中 } C = 1 - 4A \sin^2 \frac{\pi}{2(J+1)} - 4B \sin^2 \frac{\pi}{2(K+1)}$$

為證明此 α 值正確, 及超漸近法確可節省計算時間, 吾人可選定函數 $g(x, y)$, 而求 $u(x, y)$ 之解以證之。實驗時選用之函數為

$$g(x, y) = x(x-1) + y(y-1)$$

即所選之 $J \Delta x = K \Delta y = 1$ 。在計算中令 $J = K = 41$

, 即 $\Delta x = \Delta y = 1/40$ 。實驗中第一步令 α 由 0.5 起遞增至 1.95, 即以不同之 α 值解式 (13), 所得結果如圖 6 所示。由此實驗可知, 當 $\alpha = 1.75$ 時計算 u 值 (誤差小於 0.01%) 之疊代次數僅為 31 次, 而在同一標準下, 以 $\alpha = 1$ (即普通疊代法) 計算時, 需計算 137 次。由而可知, 使用超漸近法可節省計算時間達 3/4 以上。

實驗第二步則利用式 (14) 計算 α , 吾人求得之值為 1.741, 與實驗所得值極為接近。利用此計算求 u 時, 疊代次數為 32 次。

又由式 (14) 知, α 值由 C 值所決定, 因而不同之網格系統, 具有不同之 C 值, 其 α 值應互異, 故實驗第三步即以不同之 Δx 及 Δy , 亦即不同之 J, K 值計算 α , 所得結果如表 (二) 所示。

由下表可知: (1) α 確在 1 與 2 之間; (2) 其值隨 J, K 增大而增大; (3) 欲達計算時間最短之目的, 吾人應於變更網格距之同時, 重新計算 α 值。同時一如預期, J 與 K 互換時並不影響 α 值, 故表 (二) 中 $\alpha_{x,j}$ 值與 $\alpha_{y,k}$ 值相同。

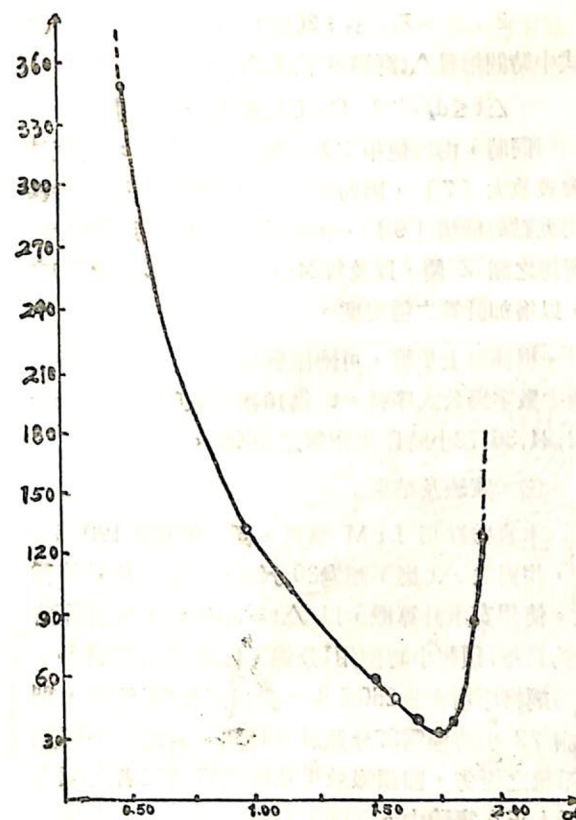


圖 6 α 值與疊代次數關係圖

α J \ K	K				
	20	60	100	140	180
20	1.74058	1.87227	1.91875	1.94072	1.95337
60	1.87227	1.90208	1.92755	1.94397	1.95473
100	1.91885	1.92755	1.93968	1.95008	1.95808
140	1.94072	1.94397	1.95008	1.95641	1.96202
180	1.95337	1.95473	1.95808	1.96202	1.96588

表 (二) 不同網格場之 α 值

五、數值預測圖之製作:

(一)、模式簡介:

本計劃第一步為利用正壓渦度方程 (barotropic vorticity equation), 即利用

$$-\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \nabla_p \eta$$

製作 500mb 預測圖。式中符號為慣用者。

引入地轉風條件後, 上式左側可化為 (g/f)

$$\nabla^2 Q \quad (Q \equiv \partial Z / \partial t), \text{ 而右側則為 } \frac{g}{f} J(Z, \eta)$$

, 即

$$\nabla^2 Q = J(Z, \eta) \quad (15a)$$

式 (15) 用定差法展開 (參閱圖 5) 即得

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - 4Q_0 = \frac{1}{4} AJ \quad (15b)$$

式中 AJ 為 Arakawa Jacobian [7]; 按圖 5 所示, 則對任一點 0 而言

$$3AJ = \frac{1}{4d^2} \{ [(Z_2 - Z_4)(\xi_1 - \xi_3) \\ - (Z_1 - Z_3)(\xi_2 - \xi_4)] + [Z_2$$

$$\begin{aligned} & (\xi_5 - \xi_6) - Z_4 (\xi_6 - \xi_7) - Z_1 \\ & (\xi_5 - \xi_6) + Z_3 (\xi_6 - \xi_7)] \\ & + [\xi_1 (Z_5 - Z_6) - \xi_3 (Z_5 - Z_7) \\ & - \xi_2 (Z_5 - Z_6) + \xi_4 (Z_6 - Z_7)] \end{aligned} \quad (10)$$

此形式之 Jacobian 可消除因積分次數增加而導至之非線性不穩定。

在如圖 5 之網格場中，式 (15b) 為一組 $J \times K$ 個具有 Poisson 性質之聯立方程式，可用超漸近法解之。

(二)、計算步驟：

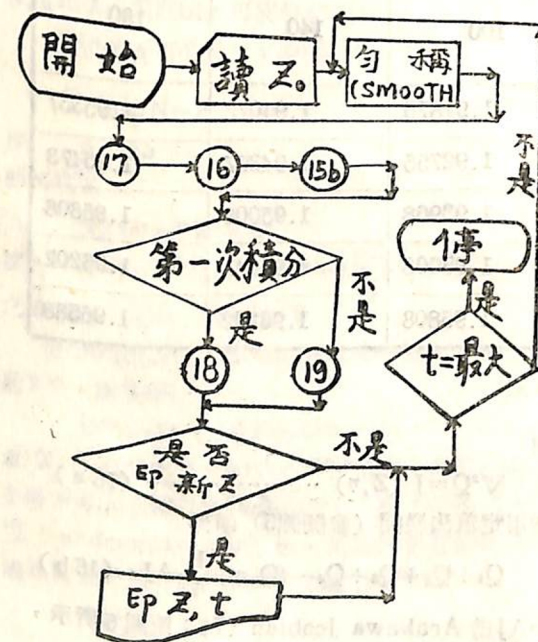
在地轉條件下

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{g}{f} \nabla^2 Z + f \\ &= \frac{g}{fd^2} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 - 4Z_0) + f \quad (17) \end{aligned}$$

故初值場 Z_0 獲得後，由式 (17) 可求得式 (16) 中需要之值；而由式 (16) 求得之 AJ 代入式 (15b) 即可求得 Q ，亦即高度隨時間之變化量。當各網格點上之高度趨勢 Q 求得後， $t_0 + \Delta t$ 時之高度應可由

$$Z \Delta t = Z_0 + Q \Delta t \quad (18)$$

但此種空間用中差法 (式 (15)，(16))，而時間用前推法構成之計算式，永呈不穩定狀態，即計算結果隨



圖：計算流程圖

時間增加而產生巨大計算誤差 [8]，故除第一次積分時採用外，所有 $t + \Delta t$ 之高度值均由中差 (或稱跳蛙) 法求得，即

$$Z_i + \Delta t = Z_i - \Delta t + 2Q \Delta t \quad (19)$$

式中時間增量 Δt 應滿足下述條件，

$$\Delta t \leq d / \sqrt{2} C, C \text{ 為最大地轉風速。}$$

同時，由於使用定差法積分時初值場中的短波會被放大 [7]，因而導致計算不穩定，吾人特採用九點勻稱法 [9]，在正式計算之先將客觀分枝所得之諸 Z 值，以及每 24 小時所得之 Z 值平均之，以增加計算之穩定度。

根據以上步驟，可繪流程圖 7：

圖中數字為公式序號。 t 為預報有效時間。當 $t = 12, 24, 36, 72$ 小時印出預報之新 Z 值。

(三) 實驗及結果：

本實驗採用 LFM 模式，標準網格距 190.5 公里，相對之 Δt 應不超過 30 分鐘，方能維持計算穩定。使用安康計算機，以 $\Delta t = 30$ 分鐘，則計算時間約為每 1 預報小時使用 1 分鐘，似略嫌用時過多。如將網格距增大為 260 公里，在相同 Δt 條件下，則預測 72 小時僅需 37 分鐘計算時間。對此二不同網格系統之優劣，即預報效果及節省時間二者之配合，吾人正在實驗中。

圖 8 及圖 9 分別為民國 62 年 12 月 25 日 0000Z 500mb 主觀分析圖及根據 24 日 1200Z，使用本文中客觀分析及預報模式，所得之預測圖。比較二圖可見預報結果相當良好，唯 (1) 所有氣壓系統均趨於平線，此為勻稱 (Smoothing) 之必然現象。(2) 臺灣海峽之小脊線在預測圖中不存在，致使本區預測高度誤差較大。此一誤差偏大在客觀分析與主觀分析圖中亦存在 (見前文三四)。(3) 預測圖南方邊界處氣壓系統較實際者紊亂，略呈不穩定現象，雖對預報影響不大，但可影響以後預測圖之計算時間。

實驗中求得之 α 值為 1.87，以此值及 (15b) 式可得

$$R = \frac{1}{4} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) - Q_0 - \frac{1}{16} AJ$$

而新 Q 值即為

$$Q = Q + 1.87R$$

實驗中疊代截止標準為 $|R| < 10^{-8}$ 。

在邊界值方面，採半固定方式，即在 Δt 時間內，邊界上的量固定不變，但在計算另一 Δt 前，先以單邊差法求新邊界值，而後再重複 Δt 內之所有計算。

七、結論：

數值天氣預報不但節省人力、時間，合乎客觀

參考資料

- [1] 劉廣英、鄧施人：利用電子計算機做數值天氣預報之研究。民國 62 年 5 月，氣象預報與分析第 55 期。
- [2] Saucier, W. J., 1956: Principles of Meteorological Analysis. The University of Chicago Press.
- [3] Maine, R. and D. J. Gauniert, 1968: Modifications to an Operational Numerical Weather Analysis System and Application to Rainfall. J. of Applied Meteorology. Vol. 7.
- [4] Carnahan, B.; H. A. Luther and J. O. Wilks 1959: Applied Numerical Method. 狀元出版社。
- [5] Thompson, P. D.: Numerical Weather Analysis and Prediction. 民國 58 年狀元出版社印行。
- [6] Gary, J., 1969: Numerical solution of partial differential equations. NCAR Manuscript No. 69-54.
- [7] Haltine, G. J., 1971: Numerical Weather Prediction. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [8] 劉廣英：數值預報計算不穩定之研究與實例。民國 62 年 11 月，氣象預報與分析第五十七期。
- [9] Shumen, F. G., 1957: Numerical method in Weather Prediction. II. Smoothing and Filtering. Monthly Weather Review, Vol. 85, pp. 357-361.

及科學要求，且為當前氣象工作主流，吾人實有急起直追大力發展之必要。一年來，空軍氣象單位幸蒙國家科學委員會支援，始克完成部份基礎工作，在此謹致誠摯謝意，唯就工作成效而言，尚待努力者猶多，望諸先進學者不吝指教。

致謝：本文之完成除獲國科會獎助外，蒙安康計算機中心支援，曲上校克恭、俞上校家忠、王中校時鼎、及胡仲英先生大力協助，謹此致謝。

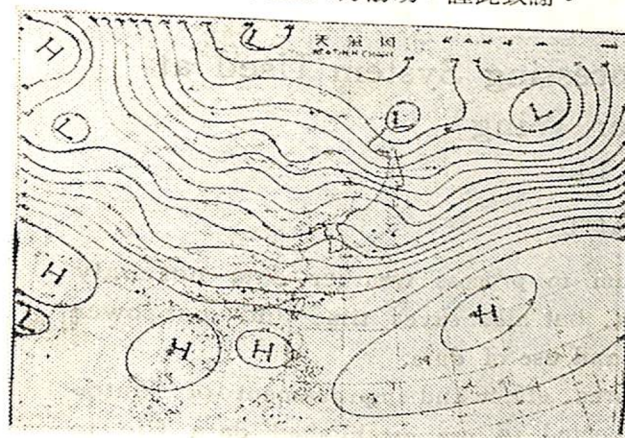


圖 8 61 年 12 月 25 日 0000Z 分析圖
Fig. 8 Subjective analysis 500mb contour chart for 0000Z, Dec. 25 1974

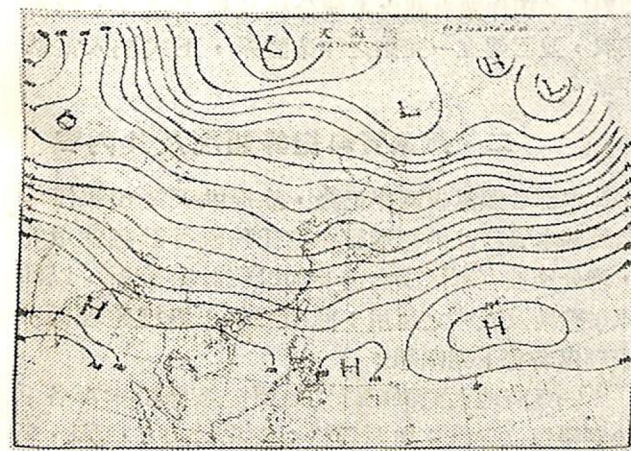


圖 9 61 年 12 月 25 日預測圖
Fig. 9 Forecast 500mb contour chart for 0000Z, Dec. 25 1974.