

高空天氣圖客觀分析之研究

胡 仲 英

中華民國中央氣象局

(中華民國六十五年十二月十五日收件，六十六年四月九日修正)

摘 要

本文討論高空定壓面天氣圖客觀分析法，作者係改進 Cressman (1959) 的距離權重修正法，用距離權重內插當作初始估計場，溫度的修正量由測站內插值與觀測溫度差值代入距離權重公式求得，高度場的修正量則由觀測風場與高度場的地轉平衡假設求出。

資料係由臺北-東京點間通信電路直接輸入電子計算機，並由即時處理系統解譯電碼，為提高輸入資料的正確性，作者並設計嚴密的檢定程式，俾使輸入資料具有垂直一致性。

本文討論之高空天氣圖客觀分析法係由電子計算機一貫作業，業經中央氣象局採用，並納入電子計算機例行作業。

一、簡 介

客觀天氣分析係利用高速電子計算機，將分佈不規則的測站觀測值換算 (Fit) 到等間距的網格點 (Grid points) 上，所得到的網格點值可供繪圖機繪製實際天氣圖，且可作數值模式初始值。由於客觀天氣分析結果嚴重影響預報的精確度，所以自 1955 年以來許多氣象學者即致力於客觀天氣圖分析方法之研究。Johnson (1957) 與 Cressman (1957) 兩氏取一組測站觀測值，用最小平方差法 (Least-square method) 找到最適合的多次項來作 Curve fitting，但該法只適用於測站密集區，在東亞天氣圖上，西太平洋地區及蒙藏山區測站非常稀少，無法應用該法。而且該法耗費計算機時間長，無法供實際作業有效應用。Cressman (1959) 提出距離權重修正法 (Distant-weighting correction method)，係利用測站觀測高度，風向及風速值，代入測站與網格距離權重公式，得到網格點修正量 (Correction value)，將此修正量加至初始估計值 (Initial guess)，即可得到網格點客觀分析值。Cressman 係採用前 12 或 24 小時資料所得的預報值當作初始估計值。惟因目前國內多層斜壓模式 (Multi-layer baroclinic model) 尚在研究段，無法得到理想的預測場當作初始估計場，所以作者採用距離權重內插場當作初始估計場，再由觀測風場依地轉風假設 (Geostrophic assumption) 來修正初始估計場。

至於高空定壓面溫度場的客觀分析，改用測站內插值與觀測溫度差值代入距離權重公式，修正初始估計場。

在客觀分析時，作者發現由日本氣象廳資料自動編輯切換系統 (Automatic data editing and switching system) 轉發的臺北-東京點間通信氣象電碼，其中約有 10% 至 15% 的高空測站資料錯誤或漏失，嚴重地影響客觀分析結果。所以吾人對氣象資料的輸入作嚴密的檢定 (Checking)，除濾掉各種可能的錯誤資料，並補充漏失的資料，使所選用的測站資料有較高的準確度。

二、資料的輸入及檢定

中央氣象局現有的電子計算機 GA-SPC 16/45 直接接收日本氣象廳透過人造衛星發送的氣象電碼，利用即時處理系統 (Real time operation system) 將所有 Baudot code 的氣象電碼轉成機器語言 (Machine language) 存在磁碟上 (郭及胡，1975)。在客觀分析開始作業時，由磁碟中提取六小時收到的所有氣象電碼* 至中央處理機 (Central processing unit)，僅需兩分鐘即可將全部電碼解譯 (Decoding) 為氣象資料。作者考慮氣象資料可能由於觀測偏差、通訊不穩定或編譯電碼不慎造成

* 註：每日 00Z 的高空氣象電碼約在 06Z 時接收齊全。

錯誤，特別設計嚴密的氣象資料檢定程式，其檢定程序如下：

1. 統計檢定 (Statistical check) :

各定壓面高度應在表一範圍內，若出此範圍則捨棄不用，任何層的溫度應在 -95°C 至 45°C 範圍內，超出此範圍則予捨棄。

表一 各層定壓面高度範圍

Table 1. The range of height on each of the constant pressure levels

層次 (i)	壓 (毫巴)	力	高度範圍 (重力公尺)
1	1000		-650~ 650
2	850		500~ 1800
3	700		2150~ 3450
4	500		4700~ 6000
5	400		6100~ 7700
6	300		8000~ 9900
7	250		9150~11350
8	200		10550~13050
9	150		12150~14950
10	100		13950~17050

2. 儀器結冰檢定 (Instrument-icing check) :

探空儀器的溫度感應部份如遇到結冰層，或感應部分為積冰所覆蓋，則無法繼續測出正確的溫度，所以溫度觀測值作下述檢定：(1)由底層至頂層尋找溫度在 0°C 至 -10°C 間第 i 層等壓面 T_i ，(2)由 T_{i+1} 及 T_{i+2} 分別計算 $\Delta T_1 = |T_i - T_{i+1}|$ ， $\Delta T_2 = |T_i - T_{i+2}|$ ，(3)若 $\Delta T_1, \Delta T_2$ 均小於 1.5°C ，則可判定結冰層位於第 i 層定壓面，於是在 i 層以上的各層溫度均須修正。若 $\Delta T_1, \Delta T_2$ 兩者中有一值大於 1.5°C ，則認為儀器未受結冰影響，其溫度觀測值可被採用。

3. 流體靜力檢定 (Hydrostatic check) :

吾人假設實際大氣係滿足流體靜力平衡(Inman, 1968)，在 i 及 $i+1$ 層定壓面應滿足下述關係式：

$$\begin{aligned} \Delta H_i &= H_{i+1} - H_i \\ &= -\frac{R}{2g} (T_i + T_{i+1} + 546.32) \ln \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad (2.1) \end{aligned}$$

P_i, T_i 分別為 i 層的壓力及溫度值， ΔH_i 為

依流體靜力平衡計算的理論厚度值，另定義 δ 為實際厚度與理論厚度的差值，即：

$$\delta_i = h_{i+1} - h_i - \Delta H_i \quad (2.2)$$

h_i, h_{i+1} 分別為 i 及 $i+1$ 層的實際觀測高度， δ_i 的絕對值若小於最大容許差異 (定義為 Δ_i)，則 i 層被認為滿足流體靜力平衡。各標準層厚度的最大容許差異見表二。

表二 各標準層厚度最大容許差異

Table 2. Absolute value of allowable discrepancies for each mandatory layer

層次 (i)	定壓層 (毫巴)	最大容許差異 (重力公尺)
1	1000~850	$\Delta = 30$
2	850~700	30
3	700~500	35
4	500~400	30
5	400~300	30
6	300~250	30
7	250~200	30
8	200~150	50
9	150~100	50

若 $|\delta_i| > \Delta_i$ ，則判定第 i 層不滿足流體靜力平衡，此時作下述檢定：(1)計算 δ_{i+1} ，若 $|\delta_{i+1}| < \Delta_{i+1}$ ，即 $i+1$ 層滿足流體靜力平衡，此時判別 $i-1$ 與 $i+1$ 層何者較滿足該平衡，如 $i+1$ 層較滿足則將 $\Delta_{i+1}-5$ 取代 Δ_{i+1} (即將最大容許差異降低)，再作 $i+1$ 層檢定，反之如 $i-1$ 層較滿足，則將 $\Delta_{i-1}-5$ 取代 Δ_{i-1} ，再作 $i-1$ 層檢定；若 $i+1$ 或 $i-1$ 層的 Δ 值取代後的檢定仍為滿足，則可判定係因 $i+1$ 層的高度錯誤致使以上各層高度均偏高，所以自 $i+1$ 層以上各高度值均減去 δ_i 值，若 $i+1$ 或 $i-1$ 層的 Δ 值取代後的檢定變成不滿足靜力平衡，則再檢定兩相鄰不滿足層厚度是否同時偏高或偏低，若是則判定中間層溫度為錯誤，反之相鄰兩層厚度一偏高另一偏低，則顯示中間層高度為錯誤，(2)若 $|\delta_{i+1}| > \Delta_{i+1}$ ，即 $i+1$ 層同時不滿足靜力平衡，則檢定 i 與 $i+1$ 層厚度是否同時偏高或偏低，若是則 T_{i+1} 為錯誤，反之 h_{i+1} 為錯誤。流體靜力檢定流程圖見圖 1。

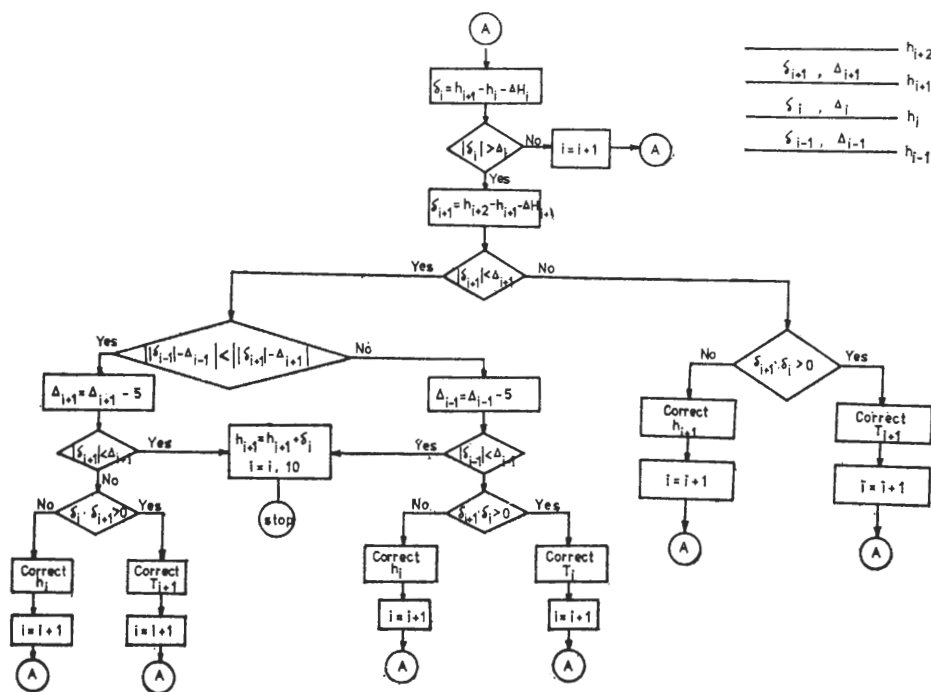


圖 1 流體靜力檢定流程圖

Fig. 1. The flow diagram of hydrostatic check.

4. 靜力穩定度檢定 (Static stability check):

靜力穩定度檢定實際上就是乾對流調節 (Smagorinsky, Monabe and Hollowag, 1965), 其主要內容如下: (一)若大氣某層的遞減率大於乾絕熱遞減率, 則對流作用會使位溫保持中立遞減率。(二)由對流產生的動能會消散轉換為熱能, 因此總位能不變, 用方程式表示則為:

$$\text{若 } T_i \left(\frac{1000}{P_i} \right)^{R/C_p} > T_{i+1} \left(\frac{1000}{P_{i+1}} \right)^{R/C_p}$$

則調節後, 由(一)得:

$$(T_i + \delta T_i) \left(\frac{1000}{P_i} \right)^{R/C_p} = (T_{i+1} + \delta T_{i+1}) \left(\frac{1000}{P_{i+1}} \right)^{R/C_p} \quad (2.3a)$$

($T_i + \delta T_i, T_{i+1} + \delta T_{i+1}$ 為調節後之溫度)

由(二)得:

$$\frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} C_p T dP = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} C_p (T + \delta T) dP$$

或寫成:

$$\delta T_i + \delta T_{i+1} = 0 \quad (2.3b)$$

在靜力穩定度檢定時, 吾人假設實際大氣為垂

直靜力穩定狀況, 並計算各層的靜力穩定度:

$$\sigma_i = -\frac{g^2}{RT_i^2} \left(kT_i - \frac{\partial T_i}{\partial \ln P_i} \right) \quad (2.4)$$

如當第 i 層靜力穩定度出現負值時, 則依 (2.3) 式作乾對流溫度調整, 本來應由 (2.3ab) 之聯立方程式解出 δT_1 和 δT_2 , 但為方便起見, 逐次將第 $i+1$ 層溫度值加 0.5°C , 第 i 層溫度值減 0.5°C , 重複檢定直到靜力穩定度均為正值為止。如 i 及 $i+1$ 層作溫度修正, 則 i 及 $i+1$ 層的高度值需依流體靜力公式重新計算。

5. 漏失資料的補充 (Missing data supplement):

在陸上或船舶高空溫壓報告中經常有某層的高度或溫度漏失, 或某層資料由上述 1 至 4 的檢定判定為錯誤, 吾人將該錯誤資料視為漏失, 定壓面漏失的氣象報告往往為數值模式預報或垂直剖面分析不可或缺的參考資料, 此時吾人依流體靜力公式補充第 i 層的漏失高度值:

$$h_i = \frac{1}{2} (h_i^{(1)} + h_i^{(2)}) \quad (2.5)$$

$$h_i^{(1)} = h_{i-1} + \frac{g}{2R}(T_{i-1} + T_i + 546.32) \ln \frac{P_{i-1}}{P_i} \quad (2.5a)$$

$$h_i^{(2)} = h_{i+1} - \frac{g}{2R}(T_i + T_{i+1} + 546.32) \ln \frac{P_i}{P_{i+1}} \quad (2.5b)$$

如果為頂層 (100 毫巴) 高度漏失則用 (2.5a) 式, 底層 (1000 毫巴) 高度漏失則用 (2.5b) 式即可。

如果第 i 層的溫度資料漏失, 吾人可假設有限氣層內垂直溫度分佈為 $\ln P$ 的二次函數 (Itou and Isono, 1971) 則由:

$$\begin{aligned} T_{i-2} &= a + b \ln P_{i-2} + c(\ln P_{i-2})^2 \\ T_{i-1} &= a + b \ln P_{i-1} + c(\ln P_{i-1})^2 \\ T_{i+1} &= a + b \ln P_{i+1} + c(\ln P_{i+1})^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

三式聯立, 可求出 a, b, c 值, 再代入

$$T_i = a + b \ln P_i + c(\ln P_i)^2 \quad (2.7)$$

即可得第 i 層的溫度值。

經過上述嚴密的檢定處理, 吾人得到垂直一致性 (Vertical consistency) 的氣象資料, 再經過分

類處理 (Sorting), 即可輸入客觀天氣分析應用。全部氣象資料的檢定處理只需中央處理機約兩分鐘時間。

在測站極端稀少的西太平洋地區及孟加拉灣, 作者謹慎地採用每隔經緯度 10 度的前 24 小時預測值 (讀自日本氣象廳預報傳真圖) 或氣候平均值當作假想觀測值 (Bogus data) 輸入。

資料輸入及檢定流程圖見圖 2。

三、高度場客觀分析

輸入由分類處理所得到的陸上定壓面資料, 每組資料排列順序依次為測站號碼、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速。由測站號碼在磁碟中預存的測站表 (Station table) 作二分尋找 (Binary search), 立刻可將測站的經緯度 (λ_k, ϕ_k) 找出, 代入蘭勃特角錐投影公式 (Lambert conic conformal projection) 可得到該測站在網格系統的位置 (X_k, Y_k), (Saucier, 1955)

$$\gamma_k = \left(\frac{a}{n} \right) \sin \phi_o \left[\frac{\tan(\phi_k/2)}{\tan(\phi_o/2)} \right]^n, \quad \phi_k = 90^\circ - \phi_k \quad (3.1)$$

$$X_k = \gamma_k \sin(\lambda_k - 120^\circ)/D + I_o \quad (3.2)$$

$$Y_k = [\gamma_o - \gamma_k \cos(\lambda_k - 120^\circ)]/D + J_o \quad (3.3)$$

上式中 a 為地球平均半徑, $n=0.715567$, $\phi_o=60^\circ$, $\gamma_o=7710.8583$ 公里, $I_o=20$, $J_o=11$, D 為網格間距取 240 公里。

海上高空溫壓報告已有船舶位置的經緯度, 不需作二分尋找, 直接由上式可求該船舶在網格系統的位置。網格點 (i, j) 與測站或船舶 (X_k, Y_k) 間距離 $d = \sqrt{(X_k - I)^2 + (Y_k - J)^2}$ 。

作者先討論高度初始估計場的計算過程: 以網格點為圓心, 兩個網格距離為掃描半徑 ($R=2D$), 首先選取在掃描圈內的所有測站, 其次吾人為避免因測站分佈不均勻對初始估計場造成的影響, 特別取該網格點為座標原點, 如圖 3, 畫分四個象限, 如掃描圈內某象限沒有測站 (如 I, IV 象限) 則在該象限內找到最接近網格點的測站來作內插 (如 5, 6 號測站), 反之掃描圈內已有測站 (如 II, III 象限) 則不再該象限繼續尋找; 掃描圈內測站高度值 ZO_k 對網格點 (i, j) 的權重為:

$$C_1 = ZO_k W_1 \quad d \leq R \quad (3.4)$$

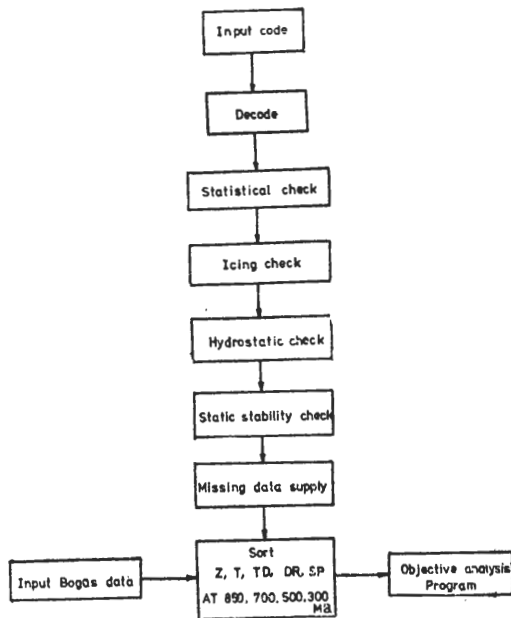


圖 2 資料輸入及檢定流程圖

Fig. 2. Data-input and checking flow chart.

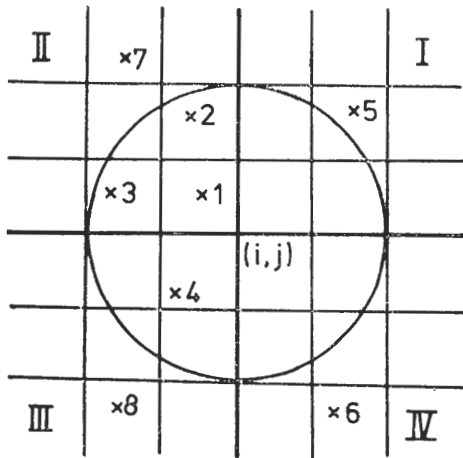


圖 3
Fig. 3

權重因子 $W_1 = \frac{1}{\left(\frac{d}{D}\right)^2 + \left(\frac{d}{D}\right) + 0.25}$ ，取此式可
避免當測站位於網格點上 ($d=0$)， W 等於無窮大
之誤。

掃描圈內某象限如無測站，則最近測站對網格
點 (i, j) 的權重為：

$$C_2 = ZO_k W_2 \quad d > R \quad (3.5)$$

$$W_2 = \frac{1}{\left(\frac{d}{D}\right)^2}。$$

由所選測站權重總和即得高度初始估計場：

$$ZG_{i,j}^{(0)} = \frac{\sum C_1 + \sum C_2}{\left(\sum W_1 + \sum W_2\right)} \quad (3.6)$$

n_1 為掃描圈內的測站總數， n_2 為掃描圈內沒
有測站的象限數目。

由高度初始估計場利用十六點非線性內插法，
求出測站的內插值 ZI_k ，見圖 4。

$$ZI_k = A_2 + (A_3 - A_2)\Delta X + (A_1 + A_4 - A_2 - A_3)B \quad (3.7)$$

其中

$$A_1 = ZG_2 + (ZG_3 - ZG_2)\Delta Y + (ZG_1 + ZG_4 - ZG_3 - ZG_2)C$$

$$A_2 = ZG_6 + (ZG_7 - ZG_6)\Delta Y + (ZG_5 + ZG_8 - ZG_7 - ZG_6)C$$

$$A_3 = ZG_{10} + (ZG_{11} - ZG_{10})\Delta Y + (ZG_9 + ZG_{12} - ZG_{11} - ZG_{10})C$$

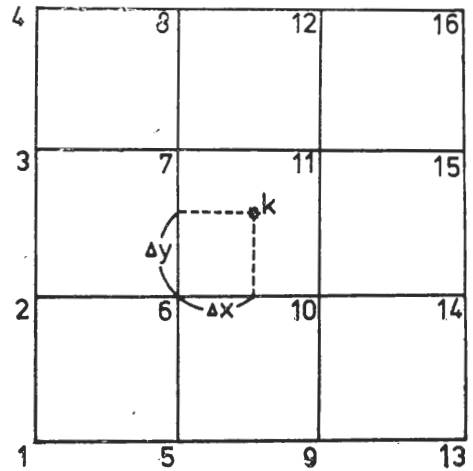


圖 4
Fig. 4

$$A_4 = ZG_{14} + (ZG_{15} - ZG_{14})\Delta Y + (ZG_{13} + ZG_{16} - ZG_{15} - ZG_{14})C$$

$$B = (\Delta X^2 - \Delta X)/4$$

$$C = (\Delta Y^2 - \Delta Y)/4$$

其次，以網格點 (i, j) 為圓心，由外而內作四
次掃描(掃描半徑 R 分別為 $4.75 D$ ， $3.60 D$ ， $2.20 D$
及 $1.00 D$)，找到每個掃描半徑內的測站，該測
站觀測值有下述三種可能情形：(1) 只有高度觀測
值，則該高度值對 (i, j) 的修正量為 (Cressman,
1959)：

$$C_z = \sum W(ZO_k - ZI_k)/N_z \quad (3.8)$$

N_z 為只有高度觀測的測站數目，權重因子 W
為：

$$W = \frac{R^2 - d^2}{R^2 + d^2} \quad \text{當 } d \leq R \quad (3.9)$$

$$W = 0 \quad \text{當 } d > R$$

(2) 有高度觀測值也有風向、風速觀測值，則由地轉
平衡假設計算高度梯度而求得網格點高度的修正值
(Haltiner, 1971；蔡, 1975)：

$$C_v = \sum W \left[ZO_k + \frac{kf}{mg} (v\Delta x - u\Delta y) - ZG_{i,j}^{(0)} \right] / N_v \quad (3.10)$$

其中 f 為科氏參數， g 為重力加速度， m 為天
氣圖投影變形因子 (Mapping factor)， k 為地轉

風與實際風平均比值， $\Delta x, \Delta y$ 分別為測站與網格式間水平距離的分量， N_v 為有高度也有風向、風速觀測的測站數目。(3)如果只有風向、風速觀測值，仍利用 (3.10) 式，惟用 ZI_k 取代 ZO_k 。逐步求出所有在四個掃描半徑內的測站對網格式點 (i, j) 的高度修正量 C_v 及 C_z 值，然後再由下述權重公式求出最佳修正量 $C_{i,j}$ 。

$$C_{i,j} = \frac{A \sum C_z + \sum C_v}{An_z + n_v} \quad (3.11)$$

式中 n_z, n_v 分別為 C_z 及 C_v 的個數，當 $R=4.75 D$ 時只求 C_z (即 $n_z=4, n_v=3$)。A 由初始估計場的側向梯度 ($ZG_{i,j}^{(0)} - ZI_k$) 與觀測風場 $\frac{kf}{mg}(v\Delta x - u\Delta y)$ 的權重決定，若觀測風場的權重為 1，則初始場的側向梯度權重為 A，本文取 $A=0.25$ 。

求出最佳修正量 $C_{i,j}$ 後，將其加至初始估計場，即得到客觀分析場 $ZG_{i,j}$ ：

$$ZG_{i,j} = ZG_{i,j}^{(0)} + C_{i,j} \quad (3.12)$$

由於在慣性座標 (Inertia frame) 中，大氣運動垂直方向的絕對高度 (η) 需保持正值，以避免慣性不穩定 (Inertia instability)，所以在客觀分析場吾人逐步檢定每一網格式點的 η 值，如果 $\eta_{i,j} < 0$ ，則作下述切割 (Cutting) 處理：(Haltiner, 1971)

$$ZG'_{i,j} = ZG_{i,j} + 0.25 \nabla^2 ZG_{i,j} \quad (3.13)$$

直到每一網格式點的 η 值均為正值。其次，吾人認為定壓面高度場應滿足流體平滑性質，故取五點平滑處理 (Smoothing)，俾濾掉客觀分析場中波長小於兩個網格式間距的短波擾動，而保持波長大於或等於五個網格式間距的長波，(Shuman, 1957)，亦即：

$$ZG''_{i,j} = (4 ZG'_{i,j} + ZG'_{i-1,j} + ZG'_{i+1,j} + ZG'_{i,j-1} + ZG'_{i,j+1}) / 8 \quad (3.14)$$

ZG'' 即為客觀分析的最後結果，將此結果輸入繪等值線程式 (Contouring program)，應用 DT-3454 型平板式繪圖機，即可繪出定壓面高度場客觀分析圖，供實際預報作業使用，同時 ZG'' 可直接輸入數值預報模式當作初始值。最後，將網格式點的客觀分析結果 ZG'' 用非線性內插法，求出

每個測站的內插值 ZI'_k ，俾計算此客觀分析法的均方根誤差 (Root-Mean-Square Error)：

$$RMSE = \sqrt{\sum (ZI'_k - ZO_k)^2 / N} \quad (3.15)$$

N 為所選用的測站總數。

四、溫度場客觀分析

由於高空溫度場與風場關係較不明顯，吾人無法用風場觀測來修正溫度初始估計場，故改用內插值與觀測溫度之差值來作溫度的修正。首先由與高度場客觀分析相同方法求得溫度場初始估計值：

$$T_{i,j}^{(0)} = (\sum C_1 + \sum C_2) / (\sum W_1 + \sum W_2) \quad (4.1)$$

其中 $C_1 = TO_k W_1$ 當 $d \leq R$

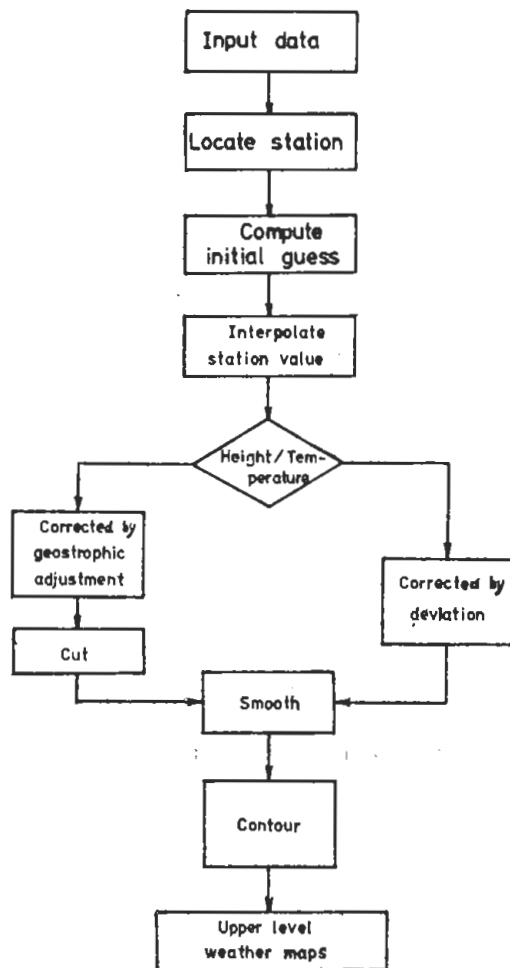


圖5 高空天氣圖客觀分析流程圖

Fig. 5. Flow diagram of the objective analysis for upper level maps.

$$C_2 = TO_k W_2 \quad \text{當 } d > R$$

n_1, n_2, W_1, W_2 均與 (3.6) 式定義相同。

再利用雙線性內插公式 (Bi-linear interpolation) 由 $T_i^{(0)}$ 求出測站的內插溫度 TI_k , 令 $\Delta T_k = TO_k - TI_k$ 代入下式求出溫度修正量 $C_{i,j}$

$$C_{i,j} = (\sum_1^{n_1} C_3 + \sum_2^{n_2} C_4) / (\sum_1^{n_1} W_1 + \sum_2^{n_2} W_2) \quad (4.2)$$

其中

$$C_3 = \Delta T_k W_1 \quad \text{當 } d \leq R$$

$$C_4 = \Delta T_k W_2 \quad \text{當 } d > R$$

最後, 將溫度修正量加至初始估計場, 即得到溫度客觀分析場:

$$T_{i,j} = T_{i,j}^{(0)} + C_{i,j} \quad (4.3)$$

同樣地溫度場作五點平滑處理, 再輸入繪等值線程式, 利用繪圖機即可繪製定壓面溫度客觀分析圖。

高空天氣圖客觀分析流程圖參見圖 5。

五、實例討論

作者選擇中央氣象局現用的東亞高空天氣圖作為研究對象。該圖為切割於北緯 30 度及 60 度的蘭勃特角錐投影。網格系統是由等距離平行線組成, 網格間距為 240 公里, 其東西方向 38 個格點, 南北方向 28 個格點, 約為中央氣象局高空天氣圖大小。

作者取民國 65 年 10 月 5 日 00Z 的高空天氣圖作為實例討論: 電子計算機直接接收臺北-東京間通信電路的氣象電碼, 經過譯碼及檢定處理, 有 245 個測站的高空資料輸入客觀天氣圖分析程式, 其中 28 個測站的高空資料至少有一層經過檢定處理的修正或補充, 檢定錯誤統計見表三。由表三可知

表三 檢定錯誤統計表

Table 3. Number and ratio of error reports by checking

檢定項目	錯誤觀測數目	錯誤觀測百分率
統計檢定	4	1.6
儀器結水檢定	1	0.4
流體懸力檢定	12	4.8
靜力穩定度檢定	2	0.8
漏失資料補充	28	11.2

流體靜力檢定及漏失資料補充在檢定過程扮演重要的角色。另根據前 24 小時預測圖, 在資料缺乏區加入 8 個假想觀測值。

利用這些測站值, 作 850、700、500、300 毫巴的高度場及溫度場客觀分析, 為節省篇幅, 作者僅取代表低層及中層大氣的 850 及 500 毫巴來作實例討論。

圖 6(a) 為 850 毫巴高度場客觀分析圖, 每線間隔為 30 重力公尺, 等高線的梯度與觀測風速接近地轉平衡, 且等高線與風向交角大致在 10 度至 20 度間。圖 6(b) 為 850 毫巴主觀分析圖, 將圖 6(a) 與圖 6(b) 比較, 吾人發現位在 (78°E, 54°N), (130°E, 54°N) 及 (158°E, 55°N) 的三個低壓中心位置非常符合, 僅後二者低壓強度較主觀分析略強。位於 (110°E, 48°N)、(120°E, 34°N) 及太平洋高壓位置及強度均類似, 由 (130°E, 54°N) 低壓中

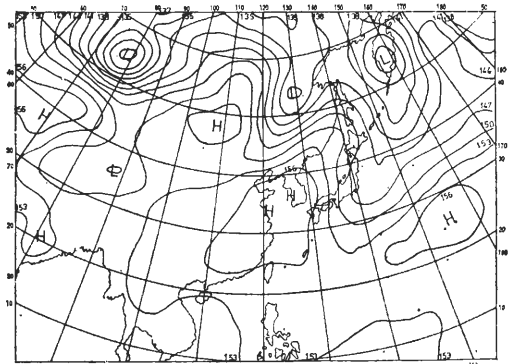


圖 6(a) 850 毫巴高度場客觀分析圖

Fig. 6(a). Objective analysis of 850 mb Height at 00Z, on 5 Oct., 1976.

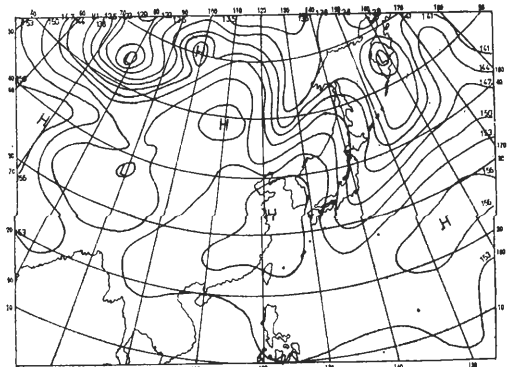


圖 6(b) 850 毫巴高度場主觀分析圖

Fig. 6(b). Subjective analysis of 850 mb Height at 00Z, on 5 Oct., 1976.

心向西南延伸的槽區（曲率最大者）也非常吻合，日本東方主槽位置正確，惟曲率略顯不平滑，此乃由於太平洋地區資料缺乏造成。

圖 7(a)、7(b) 分別為 850 毫巴溫度場客觀及主觀分析圖，溫度線間隔為 3°C ，在青康藏高原及 (120°E , 42°N) 的暖區位置均符合，惟後者溫度值略低，由日本海向西南延伸及由 (121°E , 61°N) 向西南延伸的冷舌 (Cold tongue) 位置均正確。

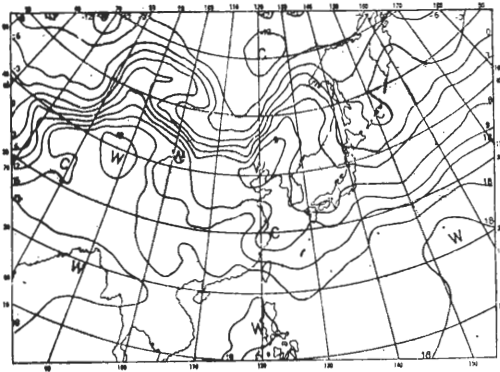


圖 7(a) 850 毫巴溫度場客觀分析圖

Fig. 7(a). Objective analysis of 850 mb Temperature at 00Z, on 5 Oct., 1976.

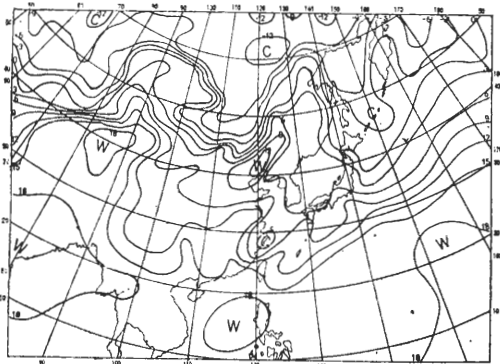


圖 7(b) 850 毫巴溫度場主觀分析圖

Fig. 7(b). Subjective analysis of 850 mb Temperature at 00Z, on 5 Oct., 1976.

圖 8(a) 及 8(b) 分別為 500 毫巴高度場客觀及主觀分析圖，等高線間隔為 60 重力公尺，其梯度與走向均接近地轉假設，位於 (70°E , 54°N) 及 (153°E , 61°N) 的低壓中心位置相同，前者範圍略大，日本主槽及 120°E 槽線均甚符合，短波槽位置也均正確。太平洋高壓位置相同惟其範圍略為減

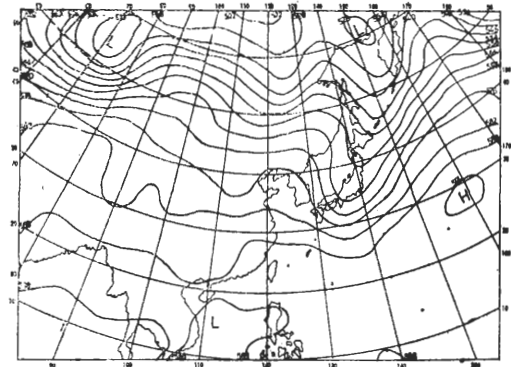


圖 8(a) 500 毫巴高度場客觀分析圖

Fig. 8(a). Objective analysis of 500 mb Height at 00Z, on 5 Oct., 1976.

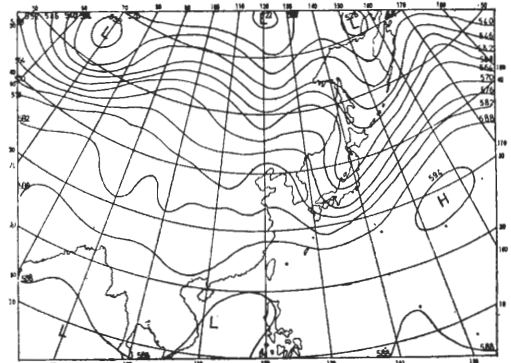


圖 8(b) 500 毫巴高度場主觀分析圖

Fig. 8(b). Subjective analysis of 500 mb Height at 00Z, on 5 Oct., 1976.

小。圖 9(a) 及 9(b) 分別為 500 毫巴溫度客觀及主觀分析圖，兩者冷舌的位置及等溫線走向大致相同。

除作上述綜合討論，作者並計算各定壓面高度及溫度客觀分析的均方根誤差 (RMSE)，並將高度分析的均方根誤差與 McDonell (1962) 所作北半球高度場客觀分析結果比較，溫度分析的均方根誤差與 Masuda 及 Arakawa (1960) 所作東亞區溫度場客觀分析結果比較，參見表四。由此表可知高度客觀分析均方根誤差在 850、700、500 毫巴約為 10 重力公尺，300 毫巴為 22 重力公尺，這些值均接近觀測隨機誤差 (Observation random error)*，溫度客觀分析的均方根誤差在 0.6 至 1.2°C 間亦

* 註：高度觀測隨機誤差在 850, 700, 500, 300 毫巴分別為 5, 9, 11 及 22 重力公尺 (Kurihara, 1961)。

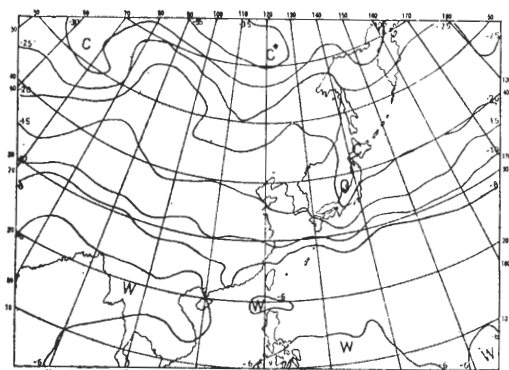


圖 9(a) 500 毫巴溫度場客觀分析圖

Fig. 9(a). Objective analysis of 500 mb Temperature at 00Z, on 5 Oct., 1976.

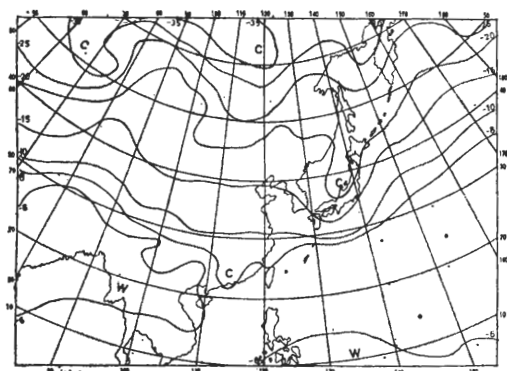


圖 9(b) 500 毫巴溫度場主觀分析圖

Fig. 9(b). Subjective analysis of 500 mb Temperature at 00Z, on 5 Oct., 1976.

表四 客觀天氣分析均方根誤差比較

Table 4. The comparison of RMSE

定 壓 面 (毫 巴)	高 度 (重 力 公 尺)		溫 度 (攝 氏 度)	
	By C. Y. Hu	By McDonell	By C. Y. Hu	By Masuda & Arakawa
850	8.4	9.7	1.15	0.98
700	8.5	8.5	0.68	0.96
500	11.8	12.5	0.61	0.91
300	22.1	19.8	0.75	1.16

在觀測誤差範圍內。高度場客觀分析與 McDonell 比較，850、500毫巴本文方法的均差方根誤差均較小，700毫巴兩者相同，300毫巴的均方誤差則略大。溫度客觀分析與 Masuda 及 Arakawa 比較，

除 850 毫巴本文方法的均方根誤差略大，其餘各層均較小。

六、結 論

本文所討論的高空客觀天氣圖分析法，自氣象電碼的接收，到客觀天氣圖的繪製均係電子計算機一貫自動作業，甚具實際應用價值。一般而言，臺北-東京點間通信電路的氣象電碼約有 10% 至 15% 的高空測站報告為錯誤或漏失，經過嚴密的檢定處理，其中 80% 至 90% 的錯誤或漏失資料得以修正或補充，其餘因漏失報告層太多以致無法補充，在檢定項目中，則以流體靜力檢定具有較高的靈敏度。輸入的高空觀測資料經過檢定處理，均具有垂直一致性而有較高的信賴度。

作者採用的權因子具有合理的物理意義且僅係距離的簡單函數，所以計算非常迅速，每層定壓面高度場客觀分析，以目前中央氣象局現有的 GA-SPC 16/45 型電子計算機計算僅需約 8 分鐘，溫度場客觀分析則僅需 6 分鐘。

作者曾嘗試用相當正壓模式 24 小時前的預測場當作 500 毫巴高度客觀分析的初始估計場，結果發現預報精確度嚴重影響客觀分析的結果，致無法探討客觀分析的實際精確度。同時，多層斜壓大氣模式國內尚在研究階段，目前無法得到理想的 850、700 及 300 毫巴的預測場，所以作者不採用預測場而用距離權重內插場當作初始估計值。

由計算結果顯示高度客觀分析能夠相當準確地定出高、低壓中心位置，且因地轉平衡的修正使得等高線的梯度與實際觀測風速有密切的吻合，等高線走向與風向一致，其交角大致在 10 度至 20 度間，甚少超過 30 度。在槽線區等高線受風向的影響而有明顯的曲率。溫度客觀分析可正確地定出冷、暖區位置，等溫線大致與主觀分析相同。均方根誤差計算顯示高度及溫度客觀分析的均方根誤差均接近觀測隨機誤差。

西太平洋測站稀少，影響客觀天氣分析的正確，如何改進該地區因資料不足造成的誤差，仍待進一步的努力。

誌謝：作者特別感謝中央氣象局研究發展科同仁徐月娟小姐、沈皓先生協助編寫程式，陳熙揚先生協助繪圖，使本研究順利完成。同時感謝吳副局長宗堯、郭組長文鏞的鼓勵與支持。此外，臺灣大學蔡清彥博士及林永哲博士的先後指導，中央研究

院蕭錫璋小姐細心校稿、陳鈞珍小姐協助繪製流程圖，作者特此敬致誠摯謝意。

REFERENCES

- 郭文鏞、胡仲英，1975：中央氣象局預報電腦化之研究與設計，*氣象學報*，21(2)，18-25。
- 蔡清彥，1975：數值天氣預報在臺灣地區的應用，研究報告 NWPO 1號，NSC-64M-0202-01。
- CRESSMAN, G. P., 1957: An objective analysis study. Tech. Memo. No. 12, Joint Numerical Weather Prediction Unit. 12pp.
- _____, 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- HALTNER, G. J., 1971: *Numerical Weather Prediction*. Wiley, New York, 317pp.
- ITOO, H., and Y. ISONO, 1971: Hemispheric forecast with primitive equation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **49**, 613-627.
- INMAN, R. L., 1968: Objective detection and correction of errors in radiosonde data, Tech. Memo. ERLTM-NSSL **40**, 48pp.
- JOHNSON, D. H., 1957: Preliminary research in objective analysis. *Tellus*, **9**, 316-322.
- KURIHARA, Y., 1961: Accuracy of winds aloft data and estimation of error in numerical analysis of atmospheric motions. *J. Meteor. Soc. Japan*, **39**, 331-345.
- MASUDA, Y., and A. ARAKAWA, 1960: On the objective analysis for surface and upper level maps. *Proc. Symp. International Numerical Weather Prediction*, Tokyo. 55-66.
- MCDONELL, J. E., 1962: On the objective analysis system used at the National Meteorological Center. NMC Tech. Memo. No. 23, 31pp.
- SAUCIER, W. J., 1955: *Principles of Meteorological Analysis*, University of Chicago Press, 29-38.
- SHUMAN, F. G., 1957: Numerical methods in weather prediction II. Smoothing and filtering. *Mon. Wea. Rev.*, **85**, 357-361.
- SMAGORINSKY, J. S., S. MONABE and J. L. HOLLOWAG, 1965: Numerical results from a 9-level general circulation model of the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 727-798.

On the Objective Analysis for Upper Level Maps

CHUNG-YING HU

Central Weather Bureau, Taipei, ROC.

ABSTRACT

The method of objective analysis for upper level weather maps currently used at the Central Weather Bureau is described. It is essentially the so-called "correction method". The aim is to apply correction to a first guess field and based on the method of Cressman (1959). The distance-weighting interpolated field is used as the first guess field and corrections are computed from a comparison of the observation data with the interpolated value of the guess field at those stations. For the height-field analysis the reported wind is taken into account in order to fulfill the internal consistency between the height and the winds.

The input data are directly received via Taipei-Tokyo point-to-point communication line and are decoded by the Real Time Operation System (RTOS). To improve the reliability of the data, we design a complete checking program in which all soundings are checked for vertical consistency with erroneous parts of the reports being deleted, and missing parts are supplied by hydrostatic assumption.