

圖解天氣預報法 (Graphical Weather Forecast) 之介紹 徐應璩

一、緒 言

一、旋轉率 (Vorticity) 一詞，在流體力學中原指微量流體分子之旋轉運動，應用之於天氣圖學中時，則指等壓面圖上各類氣流型式方圓于百哩區域內之平均旋轉率而言。

相對旋轉率 (Relative Vorticity) 發生之原因有二：一為流體在平面上速度差異而起之切變力 (Shear)，一為流線之曲度。

地球表面各點之絕對旋轉率 (Absolute Vorticity) 即該地點之相對旋轉率與其地球偏向因子之和，後者之量為 $2\omega \sin\phi$ ， ω 為地球自轉速度， ϕ 為緯度。

過去數年中，歐美氣象學者，在試驗數量的天氣預報方法的過程中，發現對流層中部大氣中，規模略小之氣流型式之變化，係因等壓面上絕對旋轉率場向下游平流之結果；同時認為短時間內，小規模氣流系統之相對旋轉率，頗具保守性質。因之愈信根據500mb等壓面圖，所繪成之相對旋轉率圖，對於對流層中部氣流型式變化之預報，具有特殊價值。

本篇對於 Fjórtoft 氏所創之圖解天氣預報法簡略介紹如下。

二、理 論

$$1. \xi_R = \frac{4g}{fd_2} (\bar{Z} - Z) \quad 2. \Delta H_{500} = \Delta \xi_R + 2\Delta \bar{\xi}$$

第一式左側 ξ_R 為相對旋轉率；右側 g 為地心引力常數； f 為地球偏向因子 ($2\omega \sin\phi$)； d 為 500mb 等壓面中計算相對旋轉率時所用之單位距離，歐美氣象學者咸認緯度 6 度為適當距離； \bar{Z} 為區域高度平均值； Z 為原 500mb 等壓面圖中之高度值。

第二式左側 ΔH_{500} 為預報有效時間內，500mb 等壓面圖上之高度變化值；式右之 $\Delta \xi_R$ 為相對旋轉率之變化值； $\Delta \bar{\xi}$ 為 500mb 天氣圖上之區域相對旋轉率平均值。

茲將第一式之演證，詳列於下：

假定大氣中：①流體之間無摩擦力。②垂直運動之量微小，略而不計。③空氣屬一致性，密度為常數。

自牛頓第二運動定律，可證得大氣運動時旋轉率方程式為 $\frac{d}{dt}(f+\xi) = -(f+\xi) \text{div}_2 S \dots\dots\dots (2)$

式中“ $\text{div}_2 S$ ”為氣流線之水平輻散，在無輻散現象時，式右之值為零，則得

$$\frac{d}{dt}(f+\xi) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

積分後得 $f+\xi = K \dots\dots\dots (4)$

④式即為今日預報長波運動之洛司貝方程式 $C = U - \frac{\beta L^2}{4\pi^2}$ 之基礎

今以 ξ_A 代表流體之絕對旋轉率，並將其對時間之全變率展開為部份微分形式，假定垂直方向之運動微小可予以忽略，則有

$$\frac{d}{dt} \xi_A = \frac{\partial}{\partial t} \xi_A + \mu \frac{\partial}{\partial x} \xi_A + \nu \frac{\partial}{\partial y} \xi_A \dots\dots\dots (5)$$

若擇定之等壓面，氣流無輻散現象， $\frac{d}{dt}(f+\xi) = 0$ ，則有

$$\frac{\partial}{\partial t} \xi_A = -(\mu \frac{\partial}{\partial x} \xi_A + \nu \frac{\partial}{\partial y} \xi_A) \dots\dots\dots (6)$$

上式之物理意義：各地區絕對旋轉率之變化，等於絕對旋轉率梯度，乘以風之向量之負值。

已知 $\xi_A = f + \xi_R \dots\dots\dots (7)$

在方程式 (7) 中，若“ f ”變化之量微小，則式左 ξ_A 之值，約略可以式右 ξ_R 一項代表之。

依照定義，各地相對旋轉率之垂直方向分量，為

$$\xi_R = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (8)$$

又等壓面圖上之地轉風方程式為：

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x} \\ \mu &= -\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial y} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

將(9)式代入(8)，可得等壓面圖上之相對旋轉率為

$$\xi_R = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(10)$$

假定下圖為所繪500mb等壓面圖之一部份，A為圖上任何一點，該處之高度值為 Z_A ；今經過A點繪座標軸X及Y分別指向正東及正北，並就東、北、西、南、方向，距離各為“d”處，分別讀出其相應高度值為 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 ，則“ ∂x ”及“ ∂y ”均可以“d”表示

$(Z_1 - Z_A); (Z_2 - Z_A); (Z_3 - Z_A); (Z_4 - Z_A)$ ，可視為“ ∂Z ”

則 $\{(Z_1 - Z_A) - (Z_3 - Z_A)\}$ 及 $\{(Z_2 - Z_A) - (Z_4 - Z_A)\}$ ，可視為“ $\partial(\partial Z)$ ”

再假定f近於常數，以之代入方程式(10)，則得

$$\begin{aligned} \xi_R &= \frac{g}{f} \frac{1}{d^2} \{ (Z_1 - Z_A) - (Z_3 - Z_A) \} + \frac{g}{f} \frac{1}{d^2} \{ (Z_2 - Z_A) - (Z_4 - Z_A) \} \\ &= \frac{g}{f} \frac{1}{d^2} \{ Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 - 4Z_A \} \\ &= \frac{g}{f} \frac{4}{d^2} \left\{ \frac{1}{4} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) - Z_A \right\} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

茲令 $\bar{Z} = \frac{1}{4} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)$ 代入方程式(11)，則得 $\xi_R = \frac{g}{f} \frac{4}{d^2} \{ \bar{Z} - Z_A \} \dots\dots\dots(12)$

因A為500mb等壓面圖上任何一點，故A之標註可從式中取消，上式可重書為 $\xi_R = \frac{g}{f} \frac{4}{d^2} \{ \bar{Z} - Z \}$

三、圖解天氣預報法之步驟及方法

步驟一、用差異分析方法繪製Z圖：

應用已分析完畢之最近500mb等壓面圖一張，與上圖大小相同之空白天氣圖紙一張，透明膠紙六張，各色描磁鉛筆。繪製方法：

甲、將六張透明膠紙分別就空白天氣圖上相同位置造定兩點，當做參考點。

乙、用不同顏色之畫磁鉛筆，將500mb等壓面圖上之等高線全部分別描於透明膠紙A及B上。

丙、將A、B覆於空白天氣圖上，A圖之位置與下方空白圖完全對正，將上方之B圖向正東方移出二倍“d”之距離即720哩。(緯度 12°)

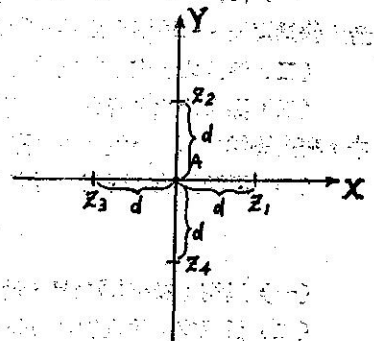
丁、將透明膠紙C覆於B上，此圖之參考點向東方移出一個單位距離，即360哩(緯6度)。依照差異分析之加法，將A、B兩組等高線相加並除以“2”，注意相加以後等高線之數值仍須為百呎數，間距仍為200呎，間點相加，如下圖二所示，則圖C上之等高線，代表 $\frac{1}{2} (Z_1 + Z_2)$ ，今稱之為‘X’圖。

戊、重復上述丙、丁、手續此次B向北移出720哩，D向北移出360哩，加得之值繪於D上代表 $\frac{1}{2} (Z_2 + Z_4)$ ，稱為‘Y’圖。

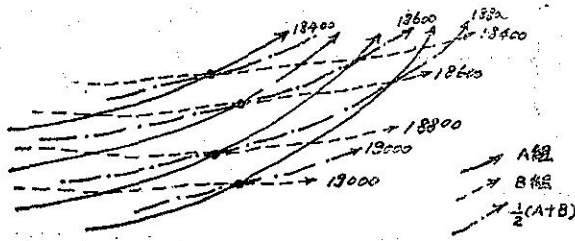
己將‘X’圖與‘Y’圖相加，並除以“2”，繪於E上，則E上之等高線，即為 \bar{Z} ，即 $\frac{1}{4} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)$

步驟二、用差異分析法，求 ξ_R 圖，直接自 \bar{Z} 圖中減去Z圖，將所得之 $(\bar{Z} - Z)$ 圖，繪於透明紙F上。

步驟三、根據Z氣流速度之80%，使 $(Z - \bar{Z})$ 向下游平流，應注意事項為甲、將 $(Z - \bar{Z})$ 圖重合於Z圖上，以



(圖一)



(圖二)

80%地轉風標量出之 Z 圖上之氣流速度，向下游移動 (Z-Z) 線，無須顧慮 Z 線之曲度。

乙、移動 (Z-Z) 各封閉曲線

丙、移動各 (Z-Z) 封閉曲線上若干顯著點。

丁、(Z-Z) 封閉曲線間之面積，移動後仍與移動前相等，形狀可以變更。

此移動後變形之 (Z-Z) 繪於透明膠紙 G 上，稱為預測之相對於轉率圖 (Prognostic ξ_R Chart)

步驟四、自預測之相對旋轉率圖中，減去實際之相對旋轉率圖，將之繪於透明膠紙 H 上，稱為相對旋轉率之變化圖 ($\Delta\xi_R$) 式稱為 “h” 圖。

步驟五、依照步驟一中方法丁，求出 $\frac{1}{2}(h_1+h_3)$ 圖，此次所用之單位距離 “d” 為緯度 45° 處之 5.6° 緯度。

步驟六、依照步驟一中方法戊，求出 $\frac{1}{2}(h_2+h_4)$ 圖

步驟七、將 $\frac{1}{2}(h_1+h_3)$ 與 $\frac{1}{2}(h_2+h_4)$ 相加，稱之為 2h 圖

步驟八、將 $\Delta\xi_R$ 圖即 h 圖與 2h 圖相加，則得 ΔH_{500} 圖。

步驟九、將 ΔH_{500} 加於已分析之 500mb 上，即得最後之 500mb 預測圖。

四、圖解天氣預報方法之評價

自第三節中，可見福氏預報方法非常客觀，除上述步驟三外，其餘均非常刻板，絕對不致因預報員之主觀而影響預測圖之準確程度，是其特點。是項方法僅依據一張已分析之 500mb 天氣圖為出發點，該圖之分析必須異常精確為先決條件。此法創始未久，其效果如何尚待證明。

接轉第 69 頁 (日本氣象研究所概況)

(二) 微震學之研究：①研究微震及海水波浪之關係，(時間及波幅)。②調查中央氣象臺所屬各臺站微震活動性之記錄，以研究各地地面之不穩定程度。

(三) 地震力結構之理論研究：①對各震源地帶各種不同力量所生之彈性波，作理論上之調查及研究。②對地球核心空隙處週圍岩石應力分佈之不同係數，作理論上之調查及研究。

九、海洋學研究室

(一) 海洋測量儀器之研究：①研究改進海洋測量儀器，如深水溫度計、複式探水器，流速自記儀、水中浮游生物捕捉網、及波浪自記儀。②對海洋學上各種自記儀器，作基本實驗。

(二) 海浪之研究：①風浪及長浪之研究及預報。②地震海浪及暴風浪潮之研究。③各種氣象潮汐之預報。

(三) 海象變化之研究：①研究海岸狀況之變化。②從北太平洋、東京灣、及相見灣等地海洋觀測船之報告中，研究海洋內部之波浪，③自海面泡沫研究其生成之原理。

(四) 浮游生物之研究：研究各種浮游生物指示器，對海象之關係。

特別設備

(一) 風洞：喉徑 1.5 公尺，最大風速 60 每秒公尺，最小風速 0.2 每秒公尺，動力 125 匹馬力。

(二) 低溫室：前室 (2×4) 公尺，主室 (4×4) 公尺，最低溫度零下 33 度及零下 55 度攝氏。

(三) 低溫垂直風洞：喉徑 625 平方呎，最大風速 8 每秒公尺，最低溫度零下 30 度攝氏，馬力 7.5 匹馬力 (壓縮器) 0.5 匹馬力 (風扇)。