

正壓颱風路徑預報之資料客觀分析

蔡 清 彥

國立台灣大學 大氣科學系

(中華民國六十九年三月二十二日收件，同年四月五日修正)

摘 要

本文主要目的在於研究正壓颱風路徑預報之資料客觀分析。相當正壓颱風預報模式所需的初始資料是網格點上的垂直平均流線函數值。我們分別採用 Gressman 及 Eddy 客觀分析方法求取網格點資料。兩種方法的主要差異在於前者指定內插公式中的加權因子，而後者利用資料本身的自相關來決定加權曲線。我們發現 Eddy 客觀分析方法能夠正確的分析各天氣系統的位置分佈及其強度。採用 Eddy 客觀分析資料所作颱風路徑預報的誤差與主觀分析者相接近。至於 Cressman 客觀方法對於天氣系統強度的分析及颱風路徑的預報效果均較差。因此以 Eddy 客觀方法分析垂直平均流線函數，再將資料代入採用準拉格蘭吉數值方法(四點內插)的相當正壓模式乃是簡單而效果良好的颱風路徑預報方法。這種颱風路徑預報方法的十八個個案平均位置誤差 24 小時為 159 公里，48 小時為 287 公里。直角誤差則 24 小時為 85 公里，48 小時為 204 公里。

另外，本文亦嘗試修改邊界條件以探討改進颱風路徑預報的可能性。

一、前 言

正壓颱風路徑預報方面，Sanders and Burpee(1968)及 Sanders et.al.(1975)以相當正壓模式預報十層平均流線函數的方法預報颱風中心的位移。此種模式稱為 SANBAR 模式，已經從 1970 年開始被列入美國國家颱風中心(National Hurricane Center)的預報作業中(Jarvinen, 1977)，並經數度改進，其預報成效已略優於各種統計客觀預報方法了(Sanders et.al., 1977)。在國內，作者(1976, 1977)首先以類似 SANBAR 的方法預報颱風侵襲台灣的路徑，並發現採用四點內插的準拉格蘭吉平流法(quasi-Lagrangian advective scheme)是相當正壓模式預報颱風路徑的最佳數值方法(蔡, 1978)。採用這種方法的平均預報位置誤差 24 小時約為 157

公里，48 小時約為 308 公里。其平均直角誤差 24 小時約為 74 公里，48 小時約為 175 公里。採用這種方法似能大幅改進中央氣象局及關島颱風警報中心的颱風路徑預報。

本文乃研究初始風場的客觀分析，以期將颱風路徑之數值預報可以早日納入作業中，在資料客觀分析方面，Cressman(1959)採用連續修正初次估計值的方法，對無向量變數做客觀分析。對於高度場的客觀分析，他則進一步利用地轉關係，同時採用高度場及風場資料(參考蔡, 1975)。Cressman 指定在內插公式中的加權因子，而 Eddy(1964, 1967 a 及 1967 b)則進一步利用資料本身的自相關來決定加權曲線。另外 Flattery(1971)則用一組數學上的 Hough 函數來描述全球大氣的狀態。Flattery 波譜分析方法的主要優點是能過濾原始公式中的雜波並求取各變數間的平衡

，以增長原始公式模式的預報時距。美國從聯合數值天氣預報單位 (Joint Numerical Weather Prediction Unit) 開始到後來的國家氣象中心 (National Meteorological Center) 一直採用 Cressman 的客觀資料分析方法，共二十餘年，到 1974 年才改用 Flattery 的全球性 Hough 函數分析方法 (Bergman et.al., 1974)。而美國國家颶風中心則一直採用 Eddy 的統計分析法求取 SANBAR 模式的初始資料值。Jarvinen (1977) 曾經比較 Eddy 及 Flattery 初始資料分析對 SANBAR 模式預報結果的影響，他發現兩種方法預報結果十分接近。一般對於簡化模式而言，Cressman 及 Eddy 兩種方法已足夠提供令人滿意的客觀資料，對於原始公式模式而言，則因要求各種資料的一致性，故需要較複雜的客觀分析方法 (參考 Haltiner, 1971)。本文主要探討 Cressman 及 Eddy 資料客觀分析方法在正壓颶風路徑預報上的可行性。

在改進颶風預報誤差方面，由以前報告 (蔡，1978) 得知，雖然採用準拉格蘭吉平流法的正壓數值模式能夠大幅改進目前作業中的颶風路徑預報，但是這種方法的預報結果仍有兩種規則誤差。其一是，若面對颶風移動方向，預報位置偏向左方。另外是，24-48 小時颶風平均速度太快。本研究曾經嘗試改進邊界條件，期望改進預報誤差，但結果並不理想。另外，本文曾繼續分析 1978 年侵襲台灣的颶風，檢驗數值預報路徑的準確度。

二、資料客觀分析方法

本文重點是在研究初始風場的客觀分析，探討 Cressman 及 Eddy 資料客觀分析方法在正壓颶風路徑預報上的可行性。因此本文所採用的預報公式，網格點結構，預報範圍，數值方法 (採用四點內插的準拉格蘭吉平流法)，資料來源等均與前文 (蔡，1978) 者相同。在綜觀尺度資料分析方面，我們亦同樣的採用 700，500 及 300 mb 三層資料以求取平均風。首先分析各層等壓面上的高度值，利用地轉關係檢查中緯度各測站風向和風速的可靠性，並在海洋及西藏高原資料缺乏的區域加虛擬風 (bogus wind)。然後求取各測站以及各虛擬測站的三層平均風。另外在颶風影響範圍內以颶風過去 6 小時位移速度取代由上述步驟所得的風速。Pike (1972) 發現採用颶風位移速度來修正資料可以減小颶風移動方向的誤差，有了各測站及虛擬

測站的平均東西及南北風速，前文先主觀分析各風速等直線，再求得各網格點之東西及南北風速。本文唯一不同的地方在於利用客觀分析方法直接從實際及虛擬測站的平均風速分別求取網格點數值。獲得各網格點的東西及南北風速之後，本文亦採用與前文完全相同的步驟完成綜觀尺度資料分析工作。本節將分別討論 Cressman 和 Eddy 的客觀分析方法。

(一) Cressman 客觀分析方法

若以 Z_i 表示東西或南北風速之測站觀測值，Cressman (1959) 方法首先利用 Z_i 計算網格點估計值 Z'_j ，即

$$Z'_j = \frac{1}{N} \sum W Z_i \dots\dots\dots (2.1)$$

其中 N 為在半徑 n 內之測站個數，加權因子 W 為

$$W = \begin{cases} \frac{n^2 - r^2}{n^2 + r^2} & r \leq n \\ 0 & r > n \end{cases}$$

其中 r 為網格點與測站間的距離， n 為事先指定的半徑。隨 n 的改變，可以得到不同的 Z'_j 值。我們採用 $n = 4.75 d, 3.60 d, 2.20 d$ 和 $1.00 d$ ($d = 240$ 公里為網格點間距) 等四次掃描，可以得到四個 Z'_j 值。然後利用這些 Z'_j 值求取網格點分析值 Z''_j ，即

$$Z''_j = \frac{1}{4} \sum Z'_j \dots\dots\dots (2.2)$$

(二) Eddy 客觀分析方法

Cressman 及其他許多資料客觀分析方法都需要在內插公式中事先指定主觀的加權因子。Eddy (1967 a, 1967 b) 客觀分析方法則利用資料本身的相關係數來決定加權曲線。茲討論 Eddy 方法的進行步驟如下：

步驟一：減除平均值 (mean value)

設若 \bar{Z}^o 為所有測站資料平均值，即

$$\bar{Z}^o = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Z_k \dots\dots\dots (2.3)$$

此時 N 為所有測站個數，此步驟將 \bar{Z}^o 從測站資料中減去，即

$$D_k = Z_k - \bar{Z}^o \dots\dots\dots (2.4)$$

並放在每一網格點上，即

$$Z_{ij}^0 = \bar{Z}^0 \dots \dots \dots (2.5)$$

步驟二：減除緯度趨勢 (latitude trend)

以兩個緯度為一區間，求出各區間內之測站資料偏差之平均值，即

$$D_{ij}^0 = \frac{1}{N_q} \sum_{k=1}^{N_q} D_{ik} \dots \dots \dots (2.6)$$

其中 N_q 為一區間內之測站個數，然後修勻緯度趨勢

$$\bar{D}_{ij}^0 = \frac{1}{4} \bar{D}_{ij}^0{}_{-1} + \frac{1}{2} \bar{D}_{ij}^0 + \frac{1}{4} \bar{D}_{ij}^0{}_{+1} \dots \dots (2.7)$$

並從 D_{ik} 中減去 \bar{D}_{ij}^0 ，而且將 \bar{D}_{ij}^0 加入 Z_{ij}^0 中。此步驟完成後， D_{ik} 及 Z_{ij}^0 的值分別為

$$D_{ik} = Z_{ik} - \bar{Z}^0 - \bar{D}_{ij}^0 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Z_{ij}^0 = \bar{Z}^0 + \bar{Z}_{ij}^0 \dots \dots \dots (2.9)$$

其中 \bar{Z}_{ij}^0 為利用 \bar{D}_{ij}^0 求得網格點上之緯度趨勢值。

步驟三：分析資料自相關

以 40 公里將測站間距分成許多區間，即 0-40 km, 40-80 km, 80-120 km, ……等。然後求取各空間間距 (space lag)， d ，的自相關係數， $r(d)$ 。若 $\sum D_{ik} D_{ij}$ 為所有相距 d 兩測站值乘積之和， $\sum (D_{ik})^2$ 為相距 d 之所有測站值之平方和，則

$$r(d) = \frac{2 \sum D_{ik} D_{ij}}{\sum (D_{ik})^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

然後求取平滑的自相關係數曲線。Eddy (1967a, 1967b) 乃利用能量波譜分析 (power spectrum analysis) 除去短波的方式求取平滑自相關係數曲線。為了計算方便，我們重覆採用 (1/4, 1/2, 1/4) 修勻加權因子直到自相關係數為嚴格遞減函數 (strictly decreasing function) 為止。一般，修勻工作大約需重覆七次左右。

步驟四：分析擾動分量 (eddy components)

此步驟將擾動分量從測站值， D_{ik} 中減去，並加入網格點分析值， Z_{ij}^0 中。若以 Z_{ij}^E 代表由網格點附近 D_{ik} 值求得並將加入 Z_{ij}^0 的擾動分量數值，則

$$Z_{ij}^E = \sum_{k=1}^n a_k D_{ik} \dots \dots \dots (2.11)$$

其中 n 為在影響半徑範圍內之測站個數，而影響半徑為自相關係數首次等於零的空間間距。此式中加權因子， a_k 則為自相關係數的函數。Eddy (1967 a, 1967 b) 以逐步迴歸方法求取 a_k 。為了計算方便，我們直接由自相係數， $r_k(d)$ 求取 a_k ，即令 $a_k = r_k(d) / \sum r_k(d)$ ，亦即

$$Z_{ij}^E = \frac{\sum r_k(d) D_{ik}}{\sum r_k(d)} \dots \dots \dots (2.12)$$

此式中， d 為網格點與測站間之距離。為了避免受到測站分佈不均的影響，在計算公式 (2.12) 時我們先分別求取分子及分母在各距離區間 (包括 0-40 km, 40-80 km, ……等) 內之平均值，然後再以所求得每區間的代表值求取 Z_{ij}^E 值。亦即將公式 (2.12) 改寫為

$$Z_{ij}^E = \frac{\sum_{l=1}^L \left(\frac{1}{m_l} \sum_{k=1}^{m_l} r_k D_{ik} \right)}{\sum_{l=1}^L \left(\frac{1}{m_l} \sum_{k=1}^{m_l} r_k \right)} \dots \dots \dots (2.13)$$

其中 m_l 為第 l 個區間內之測站個數，而 L 則為所有區間之個數。

我們利用公式 (2.13) 求取網格點之擾動分量， Z_{ij}^E 後，則將之加入網格點分析值中。因此，客觀分析所完成之最後網格點分析值為

$$Z_{ij}^A = \bar{Z}^0 + \bar{Z}_{ij}^0 + Z_{ij}^E \dots \dots \dots (2.14)$$

在整個客觀分析中，我們未將虛擬風加入計算平均值，緯度趨勢，及自相關係數等三個運算步驟中，而僅利用虛擬風求取附近網格點之擾動分量。我們事先在預報範圍內選定 300 個常用測站，並將所需資料存入磁帶中，包括測站號碼，經緯度，測站與測站間之距離，網格點經緯度以及網格點與測站間之距離等。整個客觀分析的運算，包括從讀入測站之三層 (700, 500, 300 mb) 觀測值及虛擬風開始到完成求取網格點分析值為止，所需計算約為 CDC CYBER - 74 之 CPU 二十秒時間。

三、資料客觀分析結果

本節將討論 Eddy 及 Cressman 客觀分析圖與

主觀分析圖之比較，並將比較這三種資料分析方法對颱風路徑預報結果的影響，以作為探討 Eddy 及 Cressman 資料客觀分析方法在正壓颱風路徑預報上可行性的依據。

(一) Eddy 及 Cressman 客觀分析圖與主觀分析圖之比較

在前文(蔡, 1978) 的十四個個案中, 我們將選擇比較四個颱風, 包括 Elsie 颱風在 1975 年 10 月 10 日 12 GMT (圖 1a - c), Thelma 颱風在 1977 年 7 月 24 日 00 GMT (圖 2a - c), Vera 颱風在 1977 年 7 月 29 日 12 GMT (圖 3a - c) 及 Babe 颱風在 1977 年 9 月 7 日 12 GMT (圖 4a - c) 等初始資料圖。在此 12 圖中, a 圖均表示主觀分析圖, b 圖表示 Eddy 客觀分析圖, c 圖則表示 Cressman 客觀分析圖。

由圖 1 a 得知 1975 年 10 月 10 日 12 GMT 的垂直平均流線函數分佈主要有兩個特徵包括 30° - 50°N 的西風帶和太平洋副熱帶高壓 (10° - 30°N) 往西伸展至 90°E 附近。此時 Elsie 颱風位於此副熱帶高壓南緣並將往西北西進行。圖 1b 為 Eddy 客觀分析圖。此圖與主觀分析圖很接近, 能夠十分成功的表現出 30° - 50°N 西風帶和副熱帶高壓西伸的特徵。圖 1c 為 Cressman 客觀分析圖。此圖在 30° - 50°N 亦為西風帶, 但風速稍嫌太弱 (約小 15 - 25%)。更嚴重的差異是 Cressman 方法沒有分析出太平洋副熱帶高壓的西伸現象。由此圖上可以發現在 10° - 30°N 區域之風速亦偏低, 此誤差可能是造成無法分析副熱帶高壓西伸的主要原因。

圖 2a 為 1977 年 7 月 24 日 00 GMT 由主觀分析所得的垂直平均流線函數及渦旋度分佈圖。在此圖中西風帶北移, 大致位於 40° - 60°N。太平洋副熱帶高壓大致涵蓋 10° - 40°N, 125°E 以東地區。另外在我國雲貴高原附近 (20° - 30°N, 97° - 112°E) 有較弱的高壓存在。Thelma 颱風此時位於兩高壓之間, 其位移將視兩高壓的相對強弱而定。實際颱風路徑在此時之後將由西北轉往北進行。圖 2b 為 Eddy 客觀分析圖。此圖能大致把握住西風帶位置和強度以及太平洋副熱帶高壓所涵蓋範圍和強度。但位於雲貴高原的高壓則較主觀分析圖弱些。圖 2c 為 Cressman 客觀分析圖。此圖也能大致把握住西風帶位置及副熱帶高壓所涵蓋範圍, 但其強度均較主觀分析者為弱。而位於雲貴高

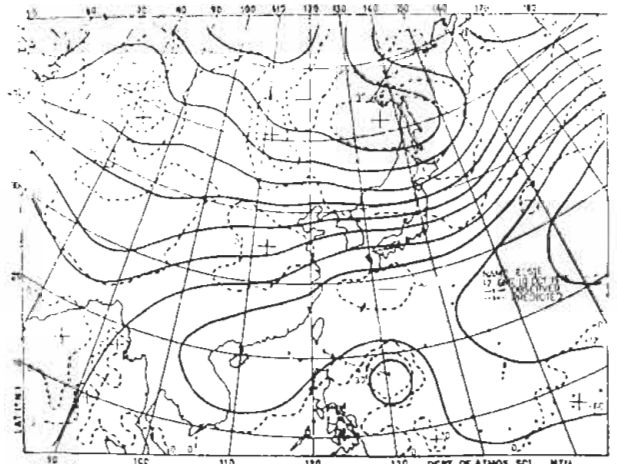


圖 1a 1975 年 10 月 10 日 12 GMT Elsie 颱風初始資料主觀分析圖。實線為流線函數值, 單位為 $10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, 虛線為渦旋度值, 單位為 10^{-5} s^{-1} 。觀測及預報路徑則分別以短實線與虛線表示。

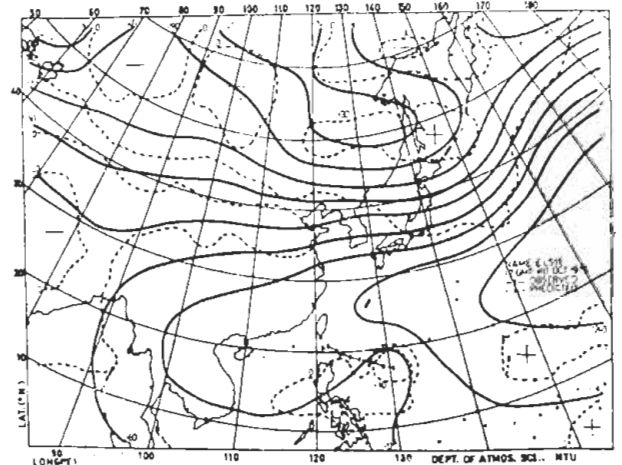


圖 1b 同圖 1a, 但為 Eddy 客觀分析資料。

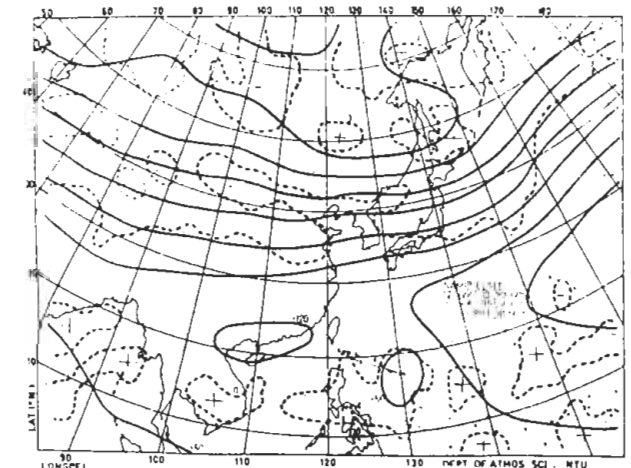


圖 1c 同圖 1a, 但為 Cressman 客觀分析資料。

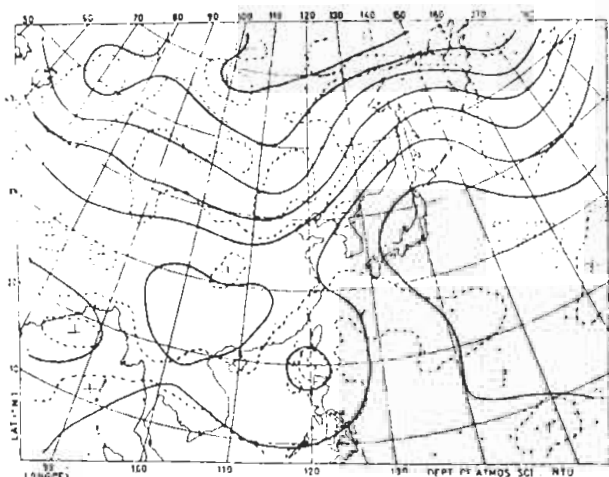


圖 2a 1977 年 7 月 24 日 00 GMT Theima 颱風初始資料主觀分析圖。等值線單位同圖 1a。

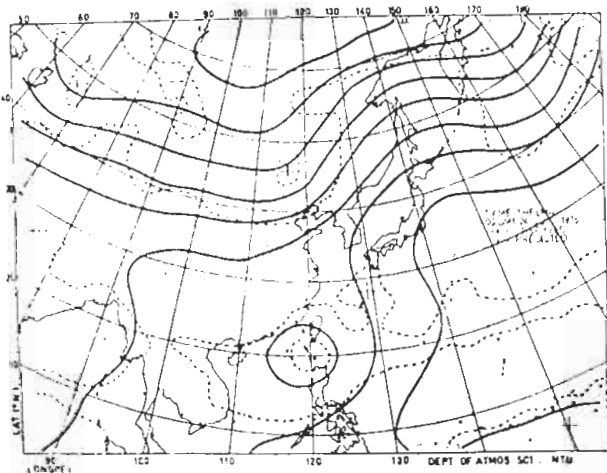


圖 2b 同圖 2a，但為 Eddy 客觀分析資料。

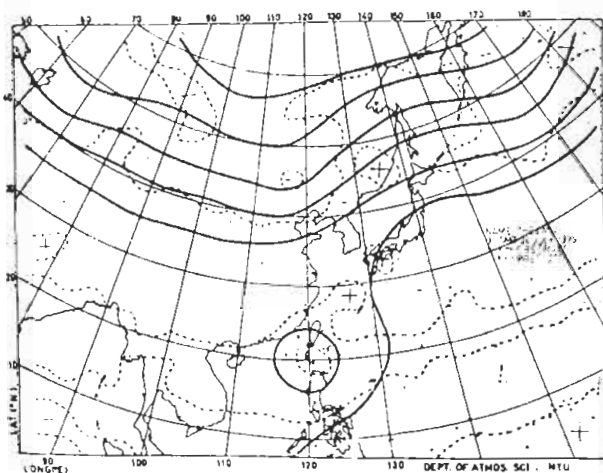


圖 2c 同圖 2a，但為 Cressman 客觀分析資料。

原的高壓則更不明顯。

圖 3a 為 1977 年 7 月 29 日 12 GMT 由主觀分析所得的垂直平均流線函數及渦旋度分佈圖。在此圖中西風帶所佔區域較窄，大致位於 $40^{\circ}-50^{\circ}N$ 。太平洋副熱帶高壓大致涵蓋 $10^{\circ}-40^{\circ}N$ ， $140^{\circ}-150^{\circ}E$ 以東地區。而韓國附近 ($30^{\circ}-48^{\circ}N$ ， $120^{\circ}-140^{\circ}E$) 區域則在另一高壓系統籠罩下，Vera 颱風此時位於此高壓南緣，此後並大致往西北西進行。圖 3b 為 Eddy 客觀分析圖。此圖中西風帶、太平洋副熱帶高壓以及韓國附近高壓的涵蓋範圍及強度均與主觀分析圖很接近。圖 3c 為 Cressman 客觀分析圖。此圖中西風帶、太平洋高壓及韓國附近高壓的位置大致與主觀分析圖一致，但韓國高壓所涵蓋範圍及太平洋高壓強度均較主觀分析圖為小。

圖 4a 為 1977 年 9 月 7 日 12 GMT 由主觀分析所得的垂直平均流線函數及渦旋度分佈圖。在此圖中西風帶大致位於 $40^{\circ}-60^{\circ}N$ 。太平洋副熱帶高壓大致涵蓋 $10^{\circ}-40^{\circ}N$ ， $133^{\circ}E$ 以東地區。另外在四川盆地附近 ($23^{\circ}-35^{\circ}N$ ， $100^{\circ}-112^{\circ}E$) 有較弱的高壓存在。Babe 颱風此時位於此兩高壓之間，但其位置較靠近太平洋副熱帶高壓邊緣，其位移將視兩高壓的相對影響力而定。實際颱風路徑在此時之後將轉往北北西再往北北東移動。圖 4b 為 Eddy 客觀分析圖。此圖的天氣系統位置和強度大致與主觀分析圖一致，但此客觀分析圖的太平洋高壓較強，而四川盆地附近高壓較弱。圖 4c 為 Cressman 客觀分析圖。此圖中西風帶及太平洋高壓所涵蓋位置大致與主觀分析圖一致，但其強度均較弱。而四川盆地附近高壓在此圖中則很微弱，已不顯著。

綜合言之，夏季環流特徵為中緯度之西風帶，太平洋副熱帶高壓以及華中、華南或韓國附近的小型高壓。在此季節，西風帶位置偏北，因此在 $30^{\circ}N$ 以南地區颱風之位移主要受到太平洋副熱帶高壓和另一小型高壓環流的影響。若太平洋副熱帶高壓向西延伸而與華南高壓合而為一，則颱風路徑以西北西方向為主。不然的話，颱風之位移則視兩高壓環流的相對影響力而定。一般而言，Eddy 及 Cressman 客觀分析方法均能把握住各天氣系統的位置。而 Eddy 方法也能正確分析各天氣系統的強度，但 Cressman 方法所分析的天氣系統強度均較弱。

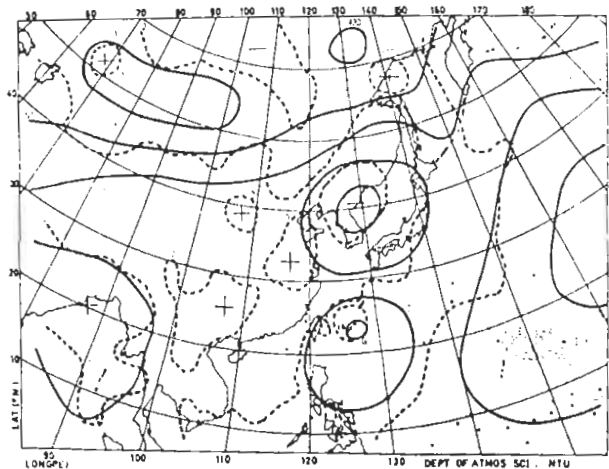


圖 3a 1977 年 7 月 29 日 12 GMT Vera 颱風初始資料主觀分析圖。等值線單位同圖 1 a。

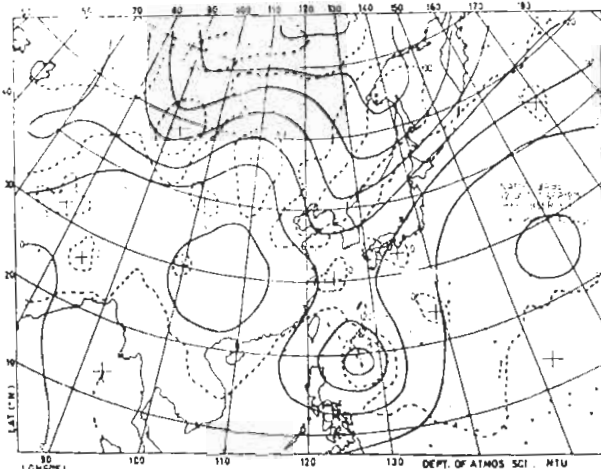


圖 4a 1977 年 9 月 7 日 12 GMT Babe 颱風初始資料主觀分析圖。等值線單位同圖 1 a。

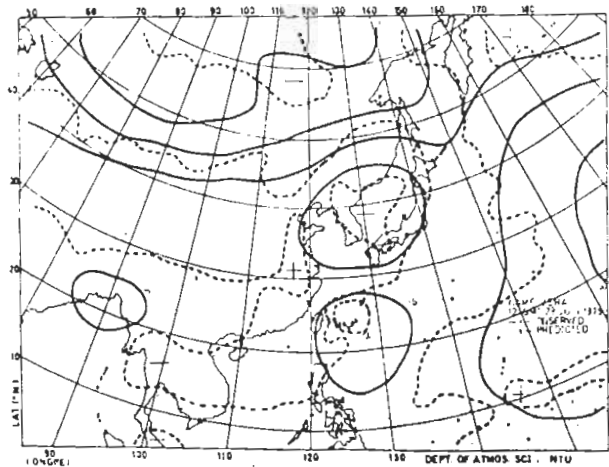


圖 3b 同圖 3 a，但為 Eddy 客觀分析資料。

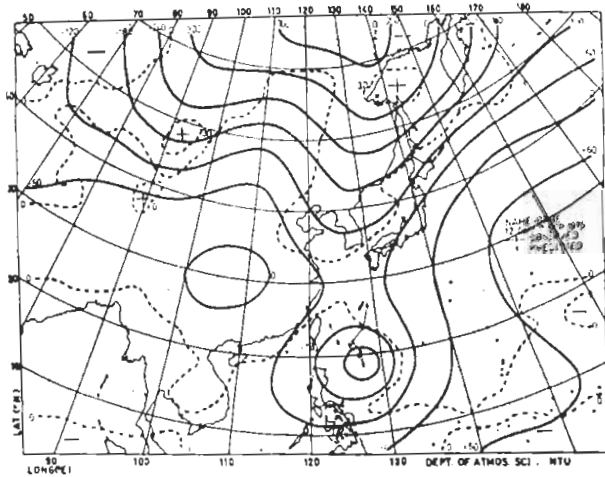


圖 4b 同圖 4 a，但為 Eddy 客觀分析資料。

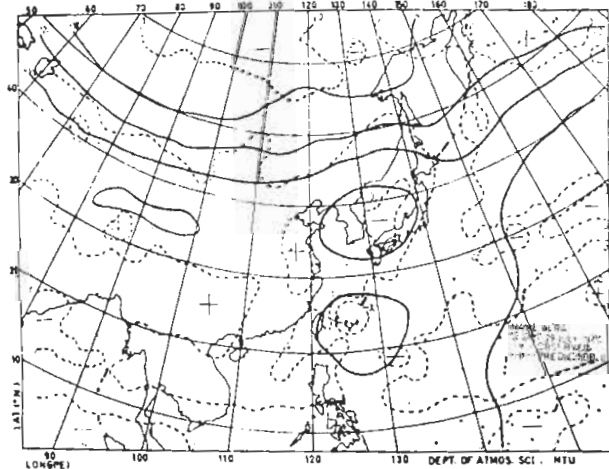


圖 3c 同圖 3 a，但為 Cressman 客觀分析資料。

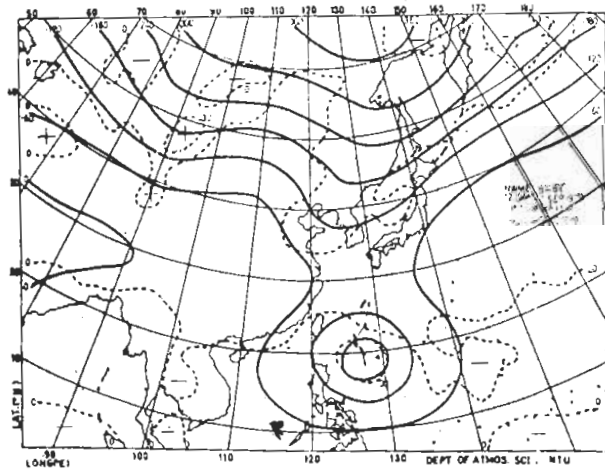


圖 4c 同圖 4 a，但為 Cressman 客觀分析資料。

(二) 以 Eddy 及 Cressman 客觀分析資料所作之颱風路徑預報

我們採用 Eddy 及 Cressman 方法分別對前文(蔡, 1978)的十四個個案資料作客觀分析, 獲得二十八張客觀分析資料圖。然後以相當正壓模式對此二十八張資料圖作颱風路徑預報。數值方法則採用以四點內插的準拉格蘭吉平流法(參考前文)。在此十四個個案中, 前節所討論的四個颱風實際及預報路徑分別標示在圖 1—4 中。而所有十四個個案的位置誤差及直角誤差則分別以表 1 a 及表 1 b 表示之。

由表 1 a 顯示, 以 Eddy 客觀分析資料所作颱風路徑預報之平均位置誤差 24 小時為 149 公里, 48 小時為 275 公里, 此值與主觀分析資料者(平均位置誤差 24 小時為 157 公里, 48 小時為 308 公里)相接近。而以 Cressman 客觀分析資料所作之平均預報誤差 24 小時為 249 公里, 48 小時為 404 公里, 此值則較主觀分析資料者為大。比較實際及預報颱風路徑圖得知, 以 Cressman 客觀分析資料所作之預報誤差主要來自颱風位移速度較慢的結果。此結果與前節討論 Cressman 方法得到較弱的大尺度天氣系統的結論一致。另外由表 1 b 得知, 以 Eddy 客觀分析資料所作之平均直角誤差 24 小時為 84 公里, 48 小時為 202 公里, 此值亦與主觀分析資料者(24 小時為 74 公里, 48 小時為 175 公里)相接近。而以 Cressman 客觀分析資料所作預報之平均直角誤差均較小, 此乃因為 Cressman 資料所作之颱風位移預報速度較慢, 並非因其預報較準確的結果。

四、颱風預報誤差之改進

在此節, 我們首先將討論 1978 年四個影響台灣地區的颱風個案, 檢驗數值預報路徑的準確度並比較 Eddy 及 Cressman 客觀分析方法的效果, 然後從 1975 至 1978 年十八個颱風個案中選擇五個個案研究改進邊界條件, 檢討減小颱風路徑預報誤差的可能性。

(一) 1978 年影響台灣地區颱風的路徑預報

在 1978 年中, 我們選擇四個初始資料時間, 以研究其颱風路徑之數值預報。此四個個案包括以 7 月 27 日 00 GMT 為初始時間的 Virginia 颱風, 以 8 月 13 日 00 GMT 及 8 月 14 日 00 GMT 為初

始時間的 Carmen 颱風, 9 月 28 日 00 GMT 的 Wendy 颱風。我們以圖 5 a 及 5 b 分別表示 Eddy 及 Cressman 方法分析 8 月 13 日 00 GMT 的垂直平均流線函數圖, 表 2 a 及 2 b 分別表示此四個個案的預報位置誤差及直角誤差。

從第三節的討論得知, 在分析垂直平均流線函數時 Eddy 客觀分析結果與主觀分析結果十分接近。而 Cressman 客觀方法則僅能正確分析天氣系統的分佈位置, 而會減弱天氣系統之強度。這種結論亦可從分析 1978 年資料中得到驗證。以 1978 年 8 月 13 日 00 GMT 資料為例(圖 5 a 及 5 b), 主要天氣系統為 $40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$ 的西風帶及 $20^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$ 的高壓帶(可區分為 125°E 以東的太平洋高壓

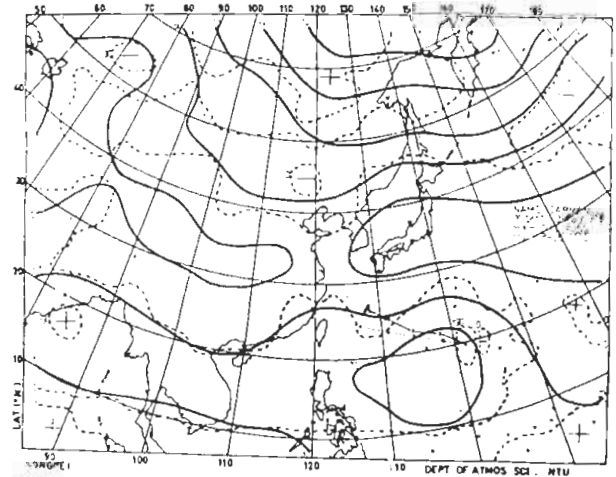


圖 5a 1978 年 8 月 13 日 00 GMT Carmen 颱風初始資料 Eddy 客觀分析圖。等值線單位同圖 1 a。

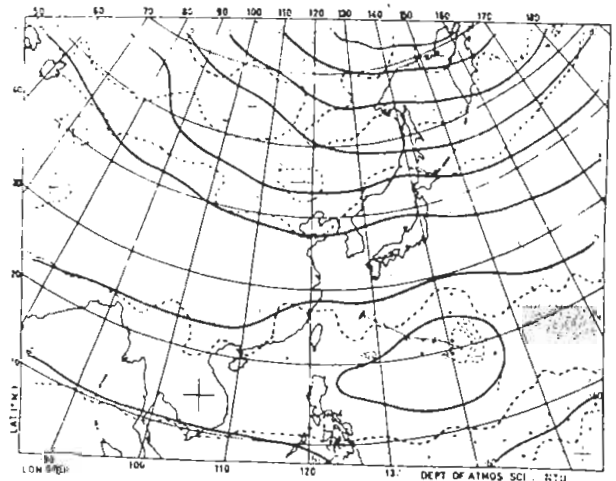


圖 5b 同圖 5a, 但為 Cressman 客觀分析資料。

表 1a 利用三種資料所作颱風路徑預報之位置誤差，單位為公里

個 案	資料分析 方法		主觀分析	EDDY	CRESSMAN
	預報 時間				
Nina 7/31	(1975, 12Z)	24	76	129	259
		48	113	240	683
Nina 8/01	(1975, 00Z)	24	113	129	369
		48	189	295	222
Betty 9/21	(1975, 00Z)	24	132	259	295
		48	123	277	394
Elsie 10/10	(1975, 00Z)	24	303	332	351
		48	447	425	535
Elsie 10/10	(1975, 12Z)	24	208	144	461
		48	387	86	288
Billie 8/07	(1975, 00Z)	24	242	259	295
		48	378	240	351
Billie 8/07	(1975, 12Z)	24	95	77	185
		48	85	259	222
Billie 8/08	(1975, 00Z)	24	53	148	74
		48	178	77	406
Thelma 7/23	(1975, 00Z)	24	217	55	295
		48	397	369	406
Thelma 7/24	(1975, 00Z)	24	227	134	19
		48			
Vera 7/29	(1975, 12Z)	24	66	86	115
		48	189	144	259
Vera 7/30	(1975, 12Z)	24	236	166	240
		48			
Babe 9/06	(1975, 12Z)	24	113	92	259
		48	567	240	535
Babe 9/07	(1975, 12Z)	24	113	77	269
		48	642	653	547
平 均		24	157	149	249
		48	308	275	404

表 1 b 同表 1 a , 但為直角誤差

個 案	資料 預報 時間		分析 方法	主 觀 分 析	EDDY	CRESSMAN
Nina 7/31	(1975, 12Z)	24 48		13 104	- 86 - 192	0 - 19
Nina 8/01	(1975, 00Z)	24 48		- 74 - 105	- 106 202	- 85 - 96
Betty 9/21	(1975, 00Z)	24 48		7 - 23	- 125 67	- 100 19
Elsie 10/10	(1975, 00Z)	24 48		- 28 - 66	- 77 - 106	- 29 - 125
Elsie 10/10	(1975, 12Z)	24 48		- 99 - 215	0 - 67	- 29 58
Billie 8/07	(1975, 00Z)	24 48		- 167 57	- 230 - 77	0 38
Billie 8/07	(1975, 12Z)	24 48		- 68 19	- 77 278	- 106 0
Billie 8/08	(1975, 00Z)	24 48		41 174	67 269	25 109
Thelma 7/23	(1975, 00Z)	24 48		- 28 - 232	- 19 - 202	96 - 25
Thelma 7/24	(1975, 00Z)	24 48		- 193	- 58	- 10
Vera 7/29	(1975, 12Z)	24 48		- 5 - 132	- 38 - 134	0 73
Vera 7/30	(1975, 12Z)	24 48		- 95	- 163	- 23
Babe 9/06	(1975, 12Z)	24 48		- 132 - 576	- 48 - 250	- 29 19
Babe 9/07	(1975, 12Z)	24 48		- 89 - 397	- 77 - 576	10 - 19
代 數 值 平 均		24		- 66	- 74	- 20
		48		- 116	- 66	3
絕 對 值 平 均		24		74	84	39
		48		175	202	50

表 2a 利用兩種客觀分析資料對 1978 年颱風所作之預報位置誤差，單位為公里

個 案	資料分析時間		方法	EDDY	CRESSMAN
	預報	時間			
Virginia 7/27	(1978,	24	00Z)	277	277
	48	480		628	
Wendy 9/28	(1978,	24	00Z)	55	185
	48	240		277	
Carmen 8/13	(1978,	24	00Z)	77	403
	48	288		749	
Carmen 8/14	(1978,	24	00Z)	369	730
	48	199		1139	
平 均		24		195	399
		48		302	698

表 2b 同表 2a，但為直角誤差

個 案	資料分析時間		方法	EDDY	CRESSMAN
	預報	時間			
Virginia 7/27	(1978,	24	00Z)	19	- 29
	48	58		58	
Wendy 9/28	(1978,	24	00Z)	- 29	- 58
	48	- 240		- 278	
Carmen 8/13	(1978,	24	00Z)	- 58	- 35
	48	- 288		- 38	
Carmen 8/14	(1978,	24	00Z)	- 259	- 221
	48	- 259		- 326	
代 數 值 平 均		24		- 82	- 86
		48		- 182	- 146
絕 對 值 平 均		24		91	86
		48		211	175

帶和 115°E 以西的中國大陸高壓帶)。在 Eddy 及 Cressman 分析圖中，這些天氣系統的位置分佈十分一致而 Cressman 方法分析的各天氣系統強度均較弱。

對於 1978 年颱風路徑預報而言，以 Eddy 方法分析資料作預報的位置誤差 24 小時為 195 公里，48 小時為 302 公里。而平均直角誤差 24 小時為 91 公里，48 小時為 211 公里 (表 2a 及 2b)。這些數值與第 3.2 節所討論 Eddy 及主觀資料的預報誤差值十分接近。而以 Cressman 方法分析資料所作預報的位置誤差值，24 小時為 399 公里，48 小時為 698 公里 (表 2a 及 2b)，較 Eddy 及主觀資料的預報誤差值大甚多。由此證實以 Eddy 客觀方法分析垂直平均流線函數資料，代入採用準拉格蘭吉數值方法 (四點內插) 的相當正壓模式乃是簡單而效果良好的颱風路徑預報方法。這種預報方法的預報誤差值最小，十八個個案的平均位置誤差 24 小時為 159 公里、48 小時為 287 公里，直角誤差 24 小時為 85 公里、48 小時為 204 公里。

(二) 改進相當正壓模式的邊界條件

由前文 (蔡, 1978) 的結論得知，採用準拉格蘭吉數值方法的相當正壓模式是效果良好的颱風路徑預報方法。但是這種方法的預報結果仍具有規則的誤差，其中較嚴重的就是預報位置偏向左邊 (面對颱風移往方向)。而採用 Eddy 客觀方法分析資料所作的預報結果仍不能免除此誤差 (表 1b)，十四個個案平均左偏誤差值 24 小時為 74 公里，48 小時為 66 公里。對於 1978 年四個颱風的預報路徑也都具有相同的誤差 (表 2b)。綜合十八個個案的平均左偏誤差 24 小時為 76 公里，48 小時為 84 公里。

為探討改進預報誤差的可能性，我們嘗試修改模式的邊界條件。在前文 (蔡, 1978) 我們乃是利用觀測渦旋度求取流線函數。若以 ξ^1 代表基本氣流的渦旋度，以 ξ^2 代表颱風渦旋度。則採用下式求取流線函數， ψ

$$\nabla^2 \psi = \xi^1 + \xi^2 \dots\dots\dots (4.1)$$

在解公式 (4.1) 求取流線函數時需要流線函數的邊界值。若 v_n 為垂直於邊界往外的風速， \bar{v}_n 為所有 v_n 的平均值， s 為沿著邊界的距離，反鐘向為正，則流線函數邊界值可由下式得

$$\frac{\partial \psi}{\partial s} = -v_n + \bar{v}_n \dots\dots\dots (4.2)$$

在前文求取流線函數時，不管在公式 (4.1) 中有沒有加颱風渦旋度 ξ^2 ，我們均以公式 (4.2) 求得的值為邊界條件。事實上在基本氣流上加了虛擬颱風渦旋度後，邊界上的流線函數值是會改變的。因為網格點上的渦旋度值可用流線函數值表示，即

$$\xi_{i,j} = \frac{1}{d^2} \{ \psi_{i+1,j} + \psi_{i-1,j} + \psi_{i,j+1} + \psi_{i,j-1} - 4\psi_{i,j} \} \dots\dots\dots (4.3)$$

故預報區域內的基本氣流總渦旋度值為

$$\sum_{j=2}^{27} \sum_{i=2}^{37} \xi_{i,j}^1 = \frac{1}{d^2} \left\{ \sum_{i=2}^{37} [\psi_{i,1} - \psi_{i,2} + \psi_{i,28} - \psi_{i,27}] + \sum_{j=2}^{27} [\psi_{1,j} - \psi_{2,j} + \psi_{38,j} - \psi_{37,j}] \right\} \dots\dots\dots (4.4)$$

其中 d 為網格距離，預報範圍包括 $i = 1$ 至 38， $j = 1$ 至 28。若在基本氣流上加虛擬颱風渦旋度 ξ^2 ，而不擬改變邊界內的流線函數值，則邊界上的流線函數修正值， $\Delta \psi$ ，可用下式表示

$$\sum_{j=2}^{27} \sum_{i=2}^{37} \xi_{i,j}^2 = \frac{1}{d^2} \left\{ \sum_{i=2}^{37} [\Delta \psi_{i,1} + \Delta \psi_{i,28}] + \sum_{j=2}^{27} [\Delta \psi_{1,j} + \Delta \psi_{38,j}] \right\} \dots\dots\dots (4.5)$$

令邊界上的流線函數修正值均相等，則公式 (4.5) 可簡化為

$$\Delta \psi = \frac{d^2}{124} \sum_{j=2}^{27} \sum_{i=2}^{37} \xi_{i,j}^2 \dots\dots\dots (4.6)$$

我們乃將公式 (4.6) 求得的值加在邊界流線函數上，然後採取與前文相同的方法作颱風路徑預報。

我們選擇五個個案，包括以 1975 年 10 月 10 日 12 GMT 為初始資料時間的 Elsie 颱風，1977 年 7 月 24 日 00 GMT 的 Thelma 颱風，1977 年 7 月 29 日 12 GMT 的 Vera 颱風，1977 年 9 月 7 日

表 3a 修改及未修改邊界條件所作颱風路徑預報之位置誤差，單位為公里

個 案	預 報 時 間	邊 界 條 件		未 修 改	修 改
		24	48		
Elsie 10/10	(1975, 12Z)	24	48	144 86	86 127
Thelma 7/24	(1975, 12Z)	24	48	134 374	115 374
Vera 7/29	(1975, 12Z)	24	48	86 144	86 182
Babe 9/07	(1975, 12Z)	24	48	77 653	77 672
Carmen 8/13	(1975, 00Z)	24	48	77 288	33 307
平 均		24		104	79
		48		309	332

表 3b 同表 3a，但為直角誤差

個 案	預 報 時 間	邊 界 條 件		未 修 改	修 改
		24	48		
Elsie 10/10	(1975, 12Z)	24	48	0 -67	10 -77
Thelma 7/24	(1975, 00Z)	24	48	-58 -202	-67 -240
Vera 7/29	(1975, 12Z)	24	48	-38 -134	15 -154
Babe 9/07	(1975, 12Z)	24	48	-77 -576	-77 -509
Carmen 8/13	(1978, 00Z)	24	48	-58 -288	-29 -307
代 數 值 平 均		24		-46	-30
		48		-253	-257
絕 對 值 平 均		24		46	40
		48		253	257

12 GMT 的 Babe 颱風以及 1978 年 8 月 13 日 00 GMT 的 Carmen 颱風。對這五個個案，我們均以 Eddy 客觀方法分析的資料為基礎修正其邊界條件，然後比較颱風路徑之數值預報。表 3a 比較修改與未修改邊界條件的預報位置誤差，表 3b 則比較其預報直角誤差。由表 3a 得知，修改邊界條件後的平均預報位置誤差 24 小時為 79 公里，48 小時為 332 公里。修改邊界條件似能改進 24 小時的預報誤差，而 48 小時的預報則稍差（未修改邊界條件的 24 小時誤差為 104 公里，48 小時為 309 公里）。又由表 3b 得知，修改邊界條件亦似能改進 24 小時的垂角誤差，而 48 小時的預報則稍差。

五、結 論

本文主要探討 Eddy 及 Cressman 客觀分析方法在正壓颱風路徑預報上的可行性。經過比較流線函數圖後，我們發現 Eddy 客觀分析方法能夠正確的分析各天氣系統的位置分佈及其強度。採用 Eddy 客觀分析資料所作颱風路徑預報的誤差與主觀分析資料者相接近。至於 Cressman 客觀分析方法則僅能把握住天氣系統的分佈位置，而會減弱天氣系統之強度，採用 Cressman 客觀分析資料所作颱風路徑預報的誤差亦顯著地比較主觀分析及 Eddy 客觀分析者為大。這種結論亦可從分析 1978 年資料中得到驗證。綜合言之，先以 Eddy 客觀方法分析垂直平均流線函數，再將資料代入採用準拉格蘭吉數值方法（四點內插）的相當正壓模式乃是簡單而效果良好的颱風路徑預報方法。這種預報方法的預報誤差值最小，十八個個案的平均位置誤差 24 小時為 159 公里，48 小時為 287 公里，直角誤差 24 小時為 85 公里，48 小時為 204 公里。

本文另外嘗試修改邊界條件，以探討進一步改進颱風路徑預報的可能性。我們主要增加邊界上之流線函數值，使之與模式中加入虛擬颱風渦旋度值的效果一致。修改邊界條件似能改進 24 小時的颱風路徑預報，48 小時的預報則稍差。

六、後 記

本研究是在國科會研究計劃 NSC-68M-0202-01(01) 補助下完成的。本計劃之計算機程式 Eddy 及 Cressman 客觀分析部份都是由李聖偉負責設計，修改邊界條件部份則由陳建民設計的，而最後的上機及分析部份乃是鄭明典負責完成的。

七、參考資料

- Bergman, K., R. McPherson and I. Newell, 1974: A description of the Flattery global analysis method, Tech. Proc. Bull., No. 105, 9pp.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system, Mon. Wea. Rev., 87, 367-374.
- Eddy, A., 1964: The objective analysis of horizontal wind divergence fields, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 90, 424-440.
- Eddy, A., 1967 a: Two dimensional statistical objective analysis of isotropic scalar data fields, Univ. of Texas Atmos. Sci. Group, Publ. No. 5, 100 pp.
- Eddy, A., 1967 b: The statistical objective analysis of scalar data fields, J. Appl. Meteor., 6, 597-609.
- Flattery, T. W., 1971: Spectral models for global analysis and forecasting: Proc. Sixth AWS Tech. Exchange Conf., U. S. Naval Academy, AWS Tech. Rep. 242, 42-53.
- Haltiner, G. J., 1971: Numerical weather prediction, Wiley, New York, 317 pp.
- Jarvinen, B. R., 1977: Comparison of initial analysis schemes on the barotropic hurricane model (SANBAR). Proc. Eleventh Tech. Conf. on Hurricane and Tropical Meteor., AMS, 397-400
- Pike, A. C., 1972: Improved barotropic hurricane track prediction by adjustment the initial Wind field. NOAA Tech. Memo., SR-62.
- Sanders, F., A. L. Adams, N. J. B. Gordon and W. B. Jensen. 1977: A study of forecast errors in a barotropic operational model for predicting paths of tropical storms, Proc. Eleventh Tech. Conf. on hurricane and Tropical Meteor., AMS, 389-396.

- Sanders, F. and R. W. Burpee, 1968 : Experiments in barotropic hurricane tracks forecasting, J. Appl. Meteor., 7, 313-323
- Sanders, F., A. C. Pike and J. P. Gaertner, 1975: A barotropic model for operational prediction of tracks of tropical storms, J. Appl. Meteor., 14, 265-280.
- 蔡清彥, 1975 : 數值預報在台灣地區的應用, 國立台灣大學大氣科學系, 研究報告 NWP-01 號, 43 pp.
- 蔡清彥, 1976 : 颱風路徑之數值預報, 國立台灣大學大氣科學系, 研究報告 NWP-02 號, 12 pp.
- 蔡清彥, 1977 : 颱風路徑之數值預報實驗, 國立台灣大學大氣科學系, 研究報告 NWP-04 號, 20 pp.
- 蔡清彥, 1978 : 正壓颱風路徑預報之數值方法比較, 國立台灣大學大氣科學系, 研究報告 NWP-08 號, 14 pp.

Objective Analysis for the Barotropic Typhoon Track Forecasting

Ching Yen Tsay

Dept of Atmos Sci. National Taiwan University. Taipei. Taiwan

ABSTRACT

Objective analysis methods for the barotropic typhoon tracks forecasting have been studied. The equivalent barotropic typhoon track prediction model needs the initial data of the vertically averaged stream function on grid points. We have tried both Cressman's and Eddy's objective analysis methods to obtain the grid point data. The main difference is that the former assigns the weighting factor in the interpolating formula, while the latter uses the autocorrelation of the data themselves to determine the weighting curve. It is found that Eddy's objective analysis method is able to correctly analyze the positions and intensities of synoptic systems. Meanwhile, the typhoon track prediction errors by using Eddy's data are comparable to those of the subjective analysis. However, Cressman's objective analysis method is not as good in analyzing intensities of synoptic systems and in typhoon track forecasting. Therefore, we conclude that using Eddy's data objective analysis method and the quasi Lagrangian advective numerical scheme (4-point interpolation) in the vertically averaged barotropic model is a simple and appropriate typhoon track forecasting method.

To find the possibility of further improvement in typhoon track forecasting, we also studied the effect of modifying the boundary condition.