

## 亞洲地區氣象資料之蒐集檢定與 分析及程式處理系統之研究 (二)

*Study on the Collection, Evaluation and Objective  
Analysis of the Meteorological Data from Asia  
Area with a Design of Computer System (II)*

吳宗堯 曾忠一 梁文傑

Tsung-Yao Wu, Chung-Yi Tseng, Wen-Jey Liang

### ABSTRACT

In recent years, the meteorological research activities in Taiwan were eagerly propelled, especially the studies in the fields of numerical prediction, numerical simulation and individual case diagnostic study revealed a fast and significant progress. But in all respects of these studies, the fundamental problem unsolved is the lack of the accurate and complete initial meteorological data.

This project is aimed to solve the said problem by establishing a data bank which will be able to provide the researchers with the satisfactory data needed in their studies.

In processing the data from all the stations in Asia and in a period of one year, this project is divided into three phases, namely: (1) data collection, (2) data evaluation and (3) objective analysis.

The result of this project will be the blue print for the Central Weather Bureau to establish a data bank of Asia, therefore, it must be very valuable and helpful to the meteorological studies in the future.

### 肆、客觀分析

#### (二)、客觀分析法對垂直速度計算的影響

##### 摘要

本研究從事氣象場的三種客觀分析，並計算其垂直速度場，以與主觀分析比較。本研究利用梅雨天氣資料來探討客觀分析程序對垂直速度計算的影

響。研究結果顯示，客觀分析場能充分表現出主要的上升或下降運動系統，也能反映出實際的天氣情況。但是上升氣流和下降氣流中心的位置和強度仍和主觀分析場的垂直速度有顯著的差異。因此垂直速度計算對不同分析場的反應相當敏感。

## 一、研究目的與有關文獻的檢討

近年來不論氣象作業單位或是研究機構均使用客觀分析法來從事氣象場的分析，把分佈不規則的測站上所測得的氣象資料內插到規則的網格點上，以作為例行數值天氣預報的值或作為例行天氣分析之用。客觀分析法大約在一九五〇年代逐漸發展出來。Cressman (1959) 設計一種分析法，先把網格點周圍測站上的氣象變數値做加權平均以求得該變數在網格點上位值。Cressman 的權重是與測站到網格點間的距離有關。Inman (1970) 修改 Cressman 的權重，加重網格點上下風處的測站的影響力。Barnes (1973) 利用指數形式的權重來分析中幅度的大氣現象，並指出指數形式權重的優點。McFarland (1975) 合併了 Inman 權重和 Barnes 權重的優點，設計一種非均質、非等向性的權重來分析暴風環流。我國氣象單位為了將數值天氣預報作業納入預報作業內，近年來也積極研究客觀分析法。例如胡氏 (1977) 從事高空天氣圖客觀分析的研究，此項分析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。曾氏 (1978a) 進行三種客觀分析程式的試驗，並與主觀分析比較。一般說來，在測站密集地區，客觀分析能準確定出高低壓中心及冷區和暖區。在測站稀少，天氣資料缺乏地區，如西太平洋海面以及東南地區，很難得到正確的客觀分析場。

有時幾個主觀或客觀分析場之間看起來非常相似，由這些分析場計算出來的渦度，輻散或垂直速度是否也相似呢？這的確是值得研究的問題。客觀分析場的用途在於天氣分析與天氣預報，若某一客觀分析場得到的渦度，輻散或垂直速度與實際的天氣系統的環流型式不符合，則此客觀分析程式當然有嚴重的缺點。垂直速度在大氣大幅度運動中數值很小，不易由現有的觀測儀器直接求得，必須由其他觀測的氣象變數間接計算得到。而且垂直速度對不同的分析場的反應比較敏感，因此本研究探討不同的客觀分析程式對垂直速度計算的影響。垂直速度計算法大致說有三種。第一種是運動學法，就是利用連續方程式由風的觀測值得到。第二種是絕熱法，就是利用熱力學方程式由風和溫度的觀測值求得垂直速度。第三種是動力學法，利用準地轉模式

和平衡模式，只由等壓面上的高度求得垂直速度。最近幾年還發展出利用變分最佳化法的原理求得垂直速度的方法(見 McGinley 1973, McFarland 1975, Liang 1976, Liang 1977, 曾氏 1978b)，在垂直速度計算法的比較研究方面，Vincent 及其他人(1976)比較利用運動學法和準地轉模式求垂直速度的結果。他發現用運動學來求垂直速度的結果較佳，用準地轉模式所得到的垂直速度場的分布並不與實際的天氣系統相符合，而且垂直運動相當微弱，僅及運動學法求得的垂直速度的五分之一。曾氏 (1978b) 對五種垂直速度進行比較研究，並且設計一種新的垂直速度計算法，利用 1975 年 6 月 10 日的梅雨資料探討這種方法的適用性。研究結果顯示，準地轉模式和平衡式所求得的垂直速度在梅雨鋒面處非常微弱。可是在求中緯度天氣系統的垂直速度時，若不考慮潛熱的釋出只用絕熱的準地轉模式，仍然得到令人滿意的結果。Stuart (1974) 利用四種不同的主觀分析和客觀分析的高度場輸入準地轉模式，以計算各個分析場的垂直速度，並做比較研究。他的研究結果指出，四個分析場的垂直速度均能與實際天氣系統的上升或下降運動符合。Smith Lin (1978) 對運動學法，準地轉模式和平衡模式所得的垂直速度進行比較研究。他們的研究結果顯示，比較垂直運動和降水量的相關係數，運動學法的結果較佳。此外準地轉模式所得的垂直速度比平衡模式的結果較佳。

本研究從事三種客觀分析，並計算其垂直速度場，以與主觀分析的結果互相比較。本研究利用 1975 年 6 月 10 日的梅雨天氣資料來探討客觀分析程式對垂直速度計算的影響。

## 二、研究方法

本研究首先利用三種客觀分析法，把測站上的天氣資料內插到網格點上，然後利用三種垂直速度計算法，以計算各個分析場的垂直速度。本研究使用的三種客觀分析程式均屬逐次校正法，分析的步驟大致相似，只是權重函數有所不同。氣象單位進行的客觀分析時，必須先對測站上的天氣資料，諸如高度、溫度和風等，進行統計檢定，靜水檢定以及靜力穩定度檢定，改正各種由於電訊傳遞，探空儀器結冰或人為因素造成的錯誤，並且利用靜水關係式補充漏失的資料。本研究所使用的資料並未經過這些自動的檢定處理，而是利用人工的方式仔細的

改正各種錯誤。得到分析場以後，本研究亦會進行靜水檢定和靜力穩定度檢定，以探討分析場在垂直方向是否維持內部一致。本研究使用的逐次校正法，其內容如下：

#### (一) 基本分析法

假設  $D_k^{\mu-1}$  是測站上觀測值與第  $\mu-1$  次分析值之差，即

$$D_k^{\mu-1} = Z_k - Z_s^{\mu-1}$$

其中  $Z_k$  是測站  $k$  上的某氣象變數的觀測值，其值為一定， $Z_s^{\mu-1}$  是測站  $k$  上第  $\mu-1$  次掃描時的分析，其值隨掃描次數而變動。某一網格點的校正值可由影響半徑內的  $D_k^{\mu-1}$  值加權平均得到，

$$C_{ij}^{\mu} = \frac{\sum_{k=1}^N W_k D_k^{\mu-1}}{\sum_{k=1}^N W_k}$$

其中  $C_{ij}^{\mu}$  是校正值，足號  $ij$  表示某一網格點， $W_k$  是測站  $k$  的權重函數，與該測站至某一網格點有關， $N$  是使用的測站的數目。因此網格點上的新分析值為

$$Z_{ij}^{\mu} = Z_{ij}^{\mu-1} + C_{ij}^{\mu}$$

得到新的分析值以後，可以照上述的方法重覆對所有的網格點進行掃描三次，就可以得到分析結果。

在進行下一次掃描之前，測站上的分析值必先加估計。網格範圍內的每個測站一定會落在四個網格點所包含的正方形中，因此測站上的分析值可由周圍四個網格點的分析值作線性內插得到（圖 1）

$$\begin{aligned} Z_s &= Z_1 + (Z_4 - Z_1) \frac{\Delta x}{\Delta} + (Z_2 - Z_1) \frac{\Delta y}{\Delta} \\ &\quad - (Z_2 - Z_3 + Z_4 - Z_1) \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta^2} \end{aligned}$$

其中各符號的定義見圖 1， $\Delta$  是網格長度。觀測值的錯誤可以比較測站上觀測值和分析值之差而檢查出來。假如兩者之差的絕對值大於某一最大容許值，則我們可以判斷這測站上的觀測值有錯誤，也就是說當

$$|D_k^{\mu-1}| > \epsilon$$

時，則測站  $k$  上的觀測值有錯。分析高度時， $\epsilon$  可用  $30m$ ；分析溫度和露點溫度時， $\epsilon$  可定為  $3^\circ$ ；分析風速分量  $u$  和  $v$  時， $\epsilon$  可定為  $.5 m/sec$ 。在進行下一次掃描時，觀測值錯誤的測站資料原

則上可以不再使用。在測站密集地區如發現觀測值和分析值相差太多，當然可以不再使用這個觀測值，不會影響分析結果。但是在測站稀少地區每個測站資料很重要，只好再重新檢查測站資料，改正錯誤，然後再繼續從事分析。一般主觀分析也常用這種方法除錯，假如發現某一測站資料與周圍測站的資料相差過大或不一致時，改正此測站的資料。

#### (二) 權重函數

Cressman (1959) 使用的權重函數形式比較簡單，只與測站到某一網格點的距離有關，即

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{R^2 - d_k^2}{R^2 + d_k^2} & d_k < R \\ &= 0 & d_k > R \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $R$  是影響半徑，是事先給定的，每次掃描都把  $R$  減小，以便較短波能重現在分析場上。 $d_k$  是測站  $k$  至某一網格點的距離。由(1)式可知，距某一網格點愈遠的測站的資料對此一網格點的影響愈小。

Inman (1970) 修改 Cressman 的權重函數，加重網格點上風處和下風處測站資料的影響力，因此他的權重是

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{R^{*2} - d_k^2}{R^{*2} + d_k^2} & \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中

$$R^{*2} = R^2 (1 + \beta \cos^2 \theta)$$

$\theta$  是風向與網格點和測站方向角間的夾角（見圖 2）。 $\beta$  可以控制  $\theta$  對權重的影響，其值可由下式得到

$$\beta = \frac{bC}{C^*}$$

其中  $C$  是風速， $C^*$  是一種最大風速， $b$  是常數，通常定為 1。由(2)式看來，在網格點上下風處的測站資料權重較大，因此實際的影響區域是橢圓形的，而不是圓形的。在使用 Inman 權重時，第一次掃描時並無網格點上的風向與風速，因此在進行第一次掃描時，先使用 Cressman 權重進行風的分析，以得到網格點上的風向與風速，第二次掃描以後就可以使用 Inman 權重來進行客觀分析了。

Barnes (1973) 使用指數型式的權重，即

$$W_k = \exp\left(-\frac{d_k^2}{K}\right)$$

其中  $K$  是濾波參數， $d_k$  是測站至某一個網格的距離。Barnes 指出，這種指數形式的權重具有下列優點：

1. 因為濾波參數可以事先決定，因此反應函數亦可事先知道。

2. 由於指數形式的權重函數隨着測站至網格點間距離的增加而漸近於零，因此測站上的資料可以影響到各處的網格點。

3. 這種權重函數本身可以濾除雜波，而不需再使用濾波器。

4. 用指數形式的權重在進行分析時只要掃描一次即可，可以節省許多計算時間。

McFarland (1975) 合併了 Inman 權重和 Barnes 權重的優點，設計一種非均質非等向性的權重函數

$$W_k = \frac{V}{V^*} \exp\left(-\frac{d^2 *}{K(1 + \beta \cos^2 \theta)}\right) \quad (3)$$

其中

$V$  測站上的風速

$V^*$  一種最大風速

$K$  濾波參數

$\beta$  非等向性參數

非等向性參數  $\beta$  的決定比較容易， $\beta$  越大則上下風處測站資料的影響愈大。濾波參數  $K$  的值可以由數值實驗決定，本研究中選擇  $K=0.8m^2$ ，這是以地圖上的距離來定的。若以地球上的距離來表示，則  $K=1200 km^2$ ，也就是我們假設測站資料的影響幅度為  $\sqrt{1200}=346 km$ 。假如  $K$  值選擇過大，則會發生過度修勻的現象。假如  $K$  值定得過小，則  $W_k$  值可能會小於  $10^{-99}$ ，超出計算機所能處理的範圍。本研究中除了使用 Inman 權重(2)式和 Mc Farland 權重(3)式之外，也利用下列權重

$$W_k = \exp\left(-\frac{d_k^2}{K(1 + \beta \cos^2 \Phi)}\right) \quad (4)$$

這種權重的性質處於 Barnes 權重 (1) 式和 Mc Farland 權重之間，以下本文中稱為改良式 Barnes 權重。

(2) 初次估計值

初次估計即  $Z_{ij}^{(0)}$  與  $Z_s^{(0)}$ ，必須事先加以決定，才能進行分析。初次估計值可用氣候值，十二

小時前的分析，或者是預報值。McDonell (1967) 曾對各種客觀分析的初次估計值加以比較。在某些情形下，初次估計值會嚴重影響客觀分析的品質，有時客觀分析場甚至不會收斂。本研究為方便起見，各種氣象場分析時使用的初次估計值均為零。

本研究利用三種方法來求主觀分析場和客觀分析場的垂直速度，即運動學法，準地轉模式以及線性平衡模式。運動學法是利用連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (5)$$

由風的觀測值  $u, v$  求得垂直速度  $\omega$ 。這種等壓坐標面上的連續方程式所作的唯一的假設是靜水平衡。每一定壓層的  $u, v$  若已知，則可由底層往上積分，得到  $\omega$  值。本研究的底層邊界定在 850mb，此處我們以 Chen and Tsay (1977) 梅雨報告中由摩擦和地形效應所求得的 850 mb 處的垂直速度為邊界條件 (圖 6)，因此這層的垂直速度是本研究中三種垂直速度計算法所使用的底層邊界條件。運動學法的頂層邊界定在 10 mb，該處的垂直速度為零。(5)式中對  $\omega$  而言是一階微分方程式，却有兩個邊界條件，因此由底層往上積分時，10 mb 處的垂直速度不一定為零，必須再加線性調整。運動學法的垂直網格結構如圖 3。所求得的垂直速度均位於兩定壓層的中間，然後再線性內插到定壓層上。由運動學法得到的各層垂直速度均輸入準地轉模式和線性平衡模式中，以做為邊界條件和初次估計值。

準地轉模式的垂直速度方程式如下 (Haltiner, 1971)

$$\sigma_s \nabla^2 w + f_0^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} - \frac{\partial}{\partial p} J(\psi, f + \zeta) - \frac{1}{f_0} \nabla^2 \left( \varphi, \frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) \quad (6)$$

其中

$f_0$  平均科氏參數

$\sigma_s$  各層的平均靜力穩定度

$\varphi$  重力位

$\zeta$  地轉渦度

其他符號與一般使用的相同。本研究中準地轉模式並未考慮摩擦和加熱的效應。(6)式中當  $\sigma_s > 0$  時為橢圓型偏微分方程式，可用緩和法求解。再進行緩和法求解前，我們把運動學法求得的垂直速度當

作準地轉垂直速度的初次估計值和邊界條件，如此可以減少計算時間。準地轉的垂直速度也是先在兩定壓層的中間層求得的，然後再內插到定壓層上。準地轉模式所使用的垂直網格結構如圖 4。

線性平衡模式的基本方程如下 (Haltiner 1971)

$$\nabla f \nabla \psi = \nabla^2 \varphi \quad (7a)$$

$$\nabla^2 \sigma \omega + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = f \frac{\partial}{\partial p} [J(\psi, \zeta)]$$

$$+ f + \nabla f \cdot \nabla \chi] - \nabla^2 [J(\psi, \frac{\partial \varphi}{\partial p})]$$

$$+ \nabla \chi \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial p} + \nabla f \cdot \nabla \frac{\partial^2 \psi}{\partial p \partial t} \quad (7b)$$

$$\nabla^2 \frac{\partial \psi}{\partial t} + J(\psi, f + \zeta) + \nabla \chi \cdot \nabla f$$

$$= f \frac{\partial \omega}{\partial p} \quad (7c)$$

$$\nabla^2 \chi + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (7d)$$

其中

$f$  科氏參數

$\sigma$  靜力穩定度

$\psi$  流線函數

$\varphi$  重力位

$\zeta$  涡度

$\chi$  速度勢函數

其他符號一般使用的相同。用 (7a) 可以由高度求得流線函數  $\psi$ 。(7b)(7c)(7d) 是  $\omega$ ,  $\frac{\partial \psi}{\partial p}$  和  $\chi$  的聯立方程式，必須用緩和法複作數次才能解出。平衡模式的垂直網格結構和準地轉模式一樣，所用的  $\omega$  初次估計值和準地轉模式也一樣。線性平衡模式的解法詳見 Haltiner 1971。

### 三、研究結果

於研究使用的資料取自 1975 年 6 月 10 日格林尼治時間零時的東亞地區各測站的天氣資料。此時天氣概況如圖 5, 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a。圖 5 是海平面氣壓，圖 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a 分別為 850mb, 700mb, 500mb, 300mb, 200mb 和 100mb 的高度的主觀分析。當時副熱帶太平洋高壓與鄂霍次克高壓間的梅雨鋒面自日本向西南延伸，經過臺灣、琉球到達華南，蒙古高壓位於中國大陸北部。本研究考察的範圍大致包括以臺灣為中

心的東亞地區。本研究使用  $20 \times 19$  個網格點，網格間距在一千五百萬分之一的地圖上為 1.6 公分，也就是說在北緯  $30^\circ$  處的網格間距為 240 公里。在考察範圍測站的分布並不平均，東南亞地區以及琉球、臺灣、和菲律賓以東的西太平洋海面測站稀少，資料缺乏。其他如日本海和東海處測站也少，因此在這些地區比較不能得到正確的分析場。

本研究對高度、溫度、風速分量以及露點溫度均作三種客觀分析。此外高度場和溫度場分析完畢以後，亦曾進行靜水檢定和靜力穩定度檢定，以考察分析場在垂直方向是否保持內部一致。檢定結果顯示高度場和溫度場只有百分之五的網格點不能通過靜水檢定，溫度場也只有百分之六不能通過靜力穩定度檢定。所得到的結果比主觀分析場更令人滿意。Inman 權重客觀分析的高度場分別在圖 8b (850mb), 9b (700mb), 10b (500mb), 11b (300mb), 12b (200mb), 13b (100mb)。改良式 Barnes 權重客觀分析高度場分別在圖 8c (850mb), 9c (700mb), 10c (500mb), 11c (300mb), 12c (200mb), 13c (100mb)。McFarland 權重客觀分析高度場分別在圖 8d (850mb), 9d (700mb), 10d (500mb), 11d (300mb), 12d (200mb), 13d (100mb)。此外 500mb 以下各層的高度場圖中均有等混合比線，300mb 以上各層的高度場圖中均有等風速線。比較以上各圖我們可以發現，主觀分析與各種客觀分析的高低壓中心的位置均能互相符合，但客觀分析場的高低壓強度比較微弱，例如 500mb 的高度場中（圖 10）位於中國東北的高壓和日本海的低壓在客觀分析場中就比主觀分析場微弱。中緯度地區的高低壓大致均能在客觀分析場中顯現出來，副熱帶高壓在客觀分析場中均較為微弱，且向東退縮。在測站稀少，資料缺乏的東南亞地區和西太平洋海面，比較不易得到正確的客觀分析場。此外，三種客觀分析得到的結果非常相似，相互間的差異很少超過 20 公尺。客觀分析場和主觀分析場之間差異也不大，大致在 30 公尺以內，相差最大的地方是在邊界附近，也就是測站稀少的地方。風速的分析場，客觀分析和主觀分析也很相近，強風地區和風速地區的位置也能互相符合。

表一列出主觀分析和三種客觀分析的分析場和觀測值的根均方差。由此表中可以看出，主觀分析場和測站觀測值的根均方差比客觀分析場的大。這可能是主觀分析時對測站原始資料修正過多，也可

能是客觀分析使用的測站資料未能修正所有的錯誤所致。本研究亦曾對主觀分析進行靜水檢定和靜力穩定度檢定，發現主觀分析並不完全滿足靜水檢定和靜力穩定度檢定，尤其在高度和溫度為然，不能通過這兩種檢定的網格點超過百分之七。

計算出客觀分析場以後，接着進行主觀分析場和客觀分析的垂直速度計算。由於大氣大幅度運動中垂直速度是根據某些物理或數學的假設由其他的氣象變數得來。驗證各種垂直速度計算程式的優劣或正確性必須依靠它和其他氣象變數的相關以及天氣系統的環流型式來決定。本研究以主觀分析的垂直速度場為基準，探討垂直速度對不同的客觀分析場的反應以及研究不同的客觀分析程式對垂直速度計算的影響。

通常上升運動大部分分布在槽線的東方或南方，而下降運動通常在脊線的東南方，換句話說上升運動在槽線的前方，而下降運動分布在槽線的後方。本研究使用的天氣資料顯示，在中緯度槽線和梅雨槽線前後方共有四個主要的上升下降系統。主觀分析的垂直速度用三種計算法得到的結果大致合乎這個原理。由主觀分析計算的結果顯示（圖 14a 至 26a），上升運動主要分布在梅雨鋒面上，即由日本向西延伸，經過琉球、臺灣以至於長江中下游。此外在中國大陸黃土高原以北，亦即在中緯度槽線的前方，也有強烈的上升氣流。海南島附近和日本海北部則有微弱的上升運動。下降運動主要分布在黃海及山東半島一帶，亦即梅雨槽線的後方，中國大陸西北地區也有強烈的下降氣流，這屬於中緯度槽線後方的下降運動系統。臺灣和呂宋島以東海面以及南海北部有微弱的下降運動。另一個微弱的下降氣流區域在雲貴高原。由三種垂直速度計算法得到的主觀分析場垂直速度顯示，各個主要的上升氣流和下降氣流的分佈型態相似。唯一不同的地方是由準地轉模式和線性平衡模式計算出來的垂直速度比較微弱，尤其是梅雨鋒面處以及長江中下游的上升氣流非常微弱，僅及運動學法所得到的垂直速度的四分之一。這一點和實際的天氣狀況並不符合。由圖 7 的衛星照片得知，在梅雨鋒面處，即由日本琉球至臺灣和長江下游一帶，雲層很厚，此處應有強烈的上升運動。用運動學法求得的垂直速度場充分反應出這個事實。Danard (1964) 指出，若不考慮潛熱的釋出，在 600mb 以下各層，由準地轉模式所得到的垂直速度只有運動學法的  $\frac{1}{4}$ 。由於在梅

雨鋒面處降水很多，潛熱的釋出的物理過程變得非常重要，假如不考慮這一事實，則無法得到正確的垂直速度值。本研究所使用的準地轉和線性平衡模式並未考慮潛熱的釋出，因此在降水豐富的梅雨鋒面處所得的垂直速度未能反映出實際的天氣情況。可是在求中緯度天氣系統的垂直速度時，本研究的結果顯示，若不考慮潛熱釋出的物理過程，只用絕熱的準地轉和線性平衡模式，仍能得到滿意的結果。此外比較準地轉模式和平衡模式的垂直速度時，我們也可以發現，雖然平衡模式的物理假設比較嚴密，可是所得到的垂直速度場反而比準地轉模式得到的更不優良，而且上升運動和下降運動更加微弱，這點和 Smith 和 Lin (1978) 的結論一樣。

用運動學法計算出來的主觀分析和三種客觀分析的垂直速度場在圖 14 (700 mb)，圖 15 (500 mb)，圖 16 (300mb)，圖 17 (200 mb) 和圖 18 (100 mb)。每一張圖中均有四個分析場的垂直速度，即主觀分析，Inman 客觀分析 改良式權重 Barnes 客觀分析，以及 McFarland 權重客觀分析。比較這些圖我們可以發現，客觀分析場的垂直速度相互間的差異較小，四個主要的上升氣流系統的中心位置相差均在兩個網格長度之內，零線的圖形和走向也很相似。若與主觀分析的垂直速度場比較，則有顯著的差異。在邊界上差異更大，例如各客觀分析的垂直速度圖中，在雲貴高原，菲律賓附近海面以及在日本南方海面上均出現相當大的垂直速度值；可是在主觀分析的垂直速度圖上並未出現。這個原因很明顯，由於這些地區測站比較稀少，風的分析非常不良，因此利用連續方程式由風計算出來的垂直速度誤差也就很大，而且這些地區又是在邊界附近，因此更不易計算出合理的風場和垂直速度場了。此外在北緯二十度線附近的下降運動也未充份表現出來。至於中緯度地區的四個上升下降運動，亦即中緯度槽線和梅雨槽線前後方的上升運動和下降運動，在三個客觀分析的垂直速度場中均能表現出來，但是上升或下降氣流中心的位置和強度與主觀分析的垂直速度場有少許的差異。不過在梅雨鋒面處的下降運動，若不考慮邊界上的誤差，客觀分析的垂直速度場和主觀分析之間差異仍很明顯，例如 700 mb (圖 14)，500 mb (圖 15) 的主觀分析垂直速度圖中，長江中下游處有兩個上升氣流中心，而且梯度很大，可是在客觀分析的垂直速度圖中均未能顯示出來。此外在改良式

Barnes 權重客觀分析的垂直速度圖中，200 mb 處在黃土高原以北的垂直速度太大，也是不合理的現象。若要由於判斷何種客觀分析程式能得到較佳的垂直速度場誠屬不易。若仔細比較各圖，我們發現 McFarland 權重的客觀分析較優。我們可以發現，雖然主觀分析場和客觀分析場就其圖形比較起來非常相似，可是計算出來的垂直速度仍有很大的差異，尤其是在測站稀少，資料缺乏的地區為然。客觀分析的垂直速度場大致仍能充分表現出中緯度地區的四個上升下降運動系統。一般說明，不論是主觀分析或是客觀分析，風的分析比高度場或溫度場的分析更難處理，觀測風若有錯誤也較難查出。因此各個分析場的垂直速度就會有顯著的差異。我們也可以發現，垂直速度對不同的分析場的反應相當敏感。

準地轉模式計算出來的垂直速度場在圖 19 (700 mb)，圖 20 (500 mb)，圖 21 (300 mb)，圖 22 (200 mb)。同樣的，每張圖中均有四個分析場的垂直速度。準地轉模式的客觀分析垂直速度場在雲貴高原、日本南方太平洋海面以及菲律賓附近海面有不正常的上升或下降運動，這是因為我們使用運動學法所得到的垂直速度當作邊界條件。中緯度槽線和梅雨槽線前後方的上升運動和下降運動均能充分表現出來。圖 19b, 20b, 21b, 22b 的我們可以發現，Inman 客觀分析垂直速度場在黃土高原以北地區的上升運動過於強烈，幾乎比同地區主觀分析垂直速度大兩三倍，此外在中國大陸西北地區的下降運動也太強烈，因此 Inman 客觀分析場對垂直速度計算的影響十分不良。不談邊界附近不正常的上升或下降運動，則 Barnes 權重和 McFarland 權重客觀分析所得的垂直速度場比較合理。各客觀分析場之間的差異比較小，而且零線的圖形也比較相似。當然若比較地轉模式和運動學法所得到的垂直速度兩者也有差異，這是因為兩者的物理的假設完全不同。

線性平衡模式的垂直速度場在圖 23 (700 mb)，圖 24 (500 mb)，圖 25 (300 mb) 和圖 26 (200 mb)。線性平衡模式的垂直速度場中，我們仍可以發現四個主要的上升和下降運動均能表現出來。雲貴高原，菲律賓以東海面以及日本南方海面仍有不正常的上升和下降運動。這也是因為我們使用運動學法得到的垂直速度當作邊界條件。由圖 23 可知，Inman 權重客觀分析的垂直速度場在黃土高

原以北處過大，而且一直發展到 300 mb，然後才逐漸減弱。在圖 25c, d 和 26c, d 中南方的邊界上出現很強烈的上升或下降運動，由此點看來改良式 Barnes 和 McFarland 的客觀分析場不及 Inman 權重的客觀分析場。此外在主觀分析垂直速度場中，北緯二十度線附近處有下降氣流，可是在客觀分析垂直速度場中不能表現出來。三種客觀分析場的垂直速度的零線和上升下降運動中心位置比較相近，尤其是改良式 Barnes 權重客觀分析和 McFarland 權重客觀分析的垂直速度場更為接近。這是因為兩者都屬於指數型式的權重。在琉球羣島的上升運動，由圖 23 至圖 26 看來，Inman 權重客觀分析場的垂直速度比其他兩種更能充分表現出來。因此在用線性平衡模式來計算垂直速度時，Inman 權重客觀分析場的結果較優。

#### 四、結語

本研究從事三種客觀分析，並計算其垂直速度場，以與主觀分析比較。本研究利用 1975 年 6 月 10 日的梅雨天氣資料來探討客觀分析程式對垂直速度計算的影響。研究結果顯示，雖然客觀分析相互間或客觀分析與主觀分析之間，就一般型態來看非常相似，可是對垂直速度場的計算有不同的影響。這是因為垂直速度計算法對分析場的細微差異具有相當敏感的反應。由表一可知主觀分析場的根均方差比較大，這表示在進行主觀分析時，對原有測站資料已做相當的修正，而客觀分析除了明顯的錯誤之外，均直接利用原始的測站資料內插到網格點上。儘管主觀分析和客觀分析的手法完全不同，但研究結果顯示，客觀分析場的垂直速度仍能充分表現出四個主要的上升或下降系統，即中緯度槽線和梅雨槽線前後方的上升和下降運動。三種客觀分析的垂直速度場中，在網格範圍的邊界處，出現反常的上升或下降運動，這是因為這些地區測站稀少，資料缺乏，不易得到合理的客觀分析高度場和風場。若略去邊界附近的垂直速度場，客觀分析的垂直速度大致仍能反映出實際的天氣情況。三種客觀分析程式中，McFarland 權重客觀分析在用運動學法計算垂直速度時比較能得到合理的結果。用準地轉模式計算垂直速度時，改良式 Barnes 和 McFarland 權重客觀分析的結果較優良，此外垂直速度場若用線性平衡模式計算時用 Inman 權重客觀分析場比較能得到合理的結果。

## 參 考 文 獻

- 胡仲英，1977：高空天氣圖客觀分析之研究。大氣科學，第四期，1-10，中華民國氣象學會。
- 曾惠一，1978a：三種客觀分析程式之比較研究，中央研究院物理研究所集刊，第8卷。
- 曾惠一，1978b：大氣垂直速度計算之研究，中央研究院物理研究所集刊，第8卷。
- Barnes, S. L., 1973: Mesoscale objective map analysis using weighted time series observations. NOAA-TM-ERL-NSSL-62, 60 pp.
- Chen, T. J. and C. Y. Tsay, 1977: A detailed analysis of a case of Mei-Yu system in the vicinity of Taiwan Tech. Rept. No. Mei-Yu-001, Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei, 249 pp.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis systems. Mon. Wea. Rev., 87, 367-374.
- Danard, M. B., 1964: On the influence of released latent heat on cyclone development. J. Appl. Meteor., 3, 27-37.
- Haltiner, G. J., 1971: Numerical Weather Prediction. Wiley, New York, 317 pp.
- Inman, R. L., 1970: Papers on operational objective analysis schemes used at NSSFC. NOAA-TM-ERL-NSSL-51, 91 pp.
- Liang, W. J., 1976: The variational optimization of wind field for the estimation of vertical velocity. Ann. Rept. Inst. Phys. Acad. Sin., 6, 179-198.
- Liang, W. J., 1977: Comparison of Mc Ginley's and O'Bnen's variational optimization formulation for the computation of vernal velocity. Atmospheric Science, 4, 73-76.
- McDonell, J. E., 1967: A summary of the first guess field used for operational analysis. ESSA-TM-WBTM-NMC-38, 17 pp.
- McFarland, M. J., 1975: Variational optimization analysis of temperature and moisture advection in a severe storm environment. WEAT Rept. No. 14, Univ. of Oklahoma, Norman, Oklahoma, 86 pp.
- McGinley, J. H., 1975: Environmental energy fields associated with severe storms M. S. Thesis, University of Oklahoma, Norman, 129 pp.
- Smith, P. J. and C. P. Lin, 1978: A comparison of synoptic scale vertical motions computed by the kinematic method and two forms of the omega equation. Mon. Wea. Rev., 106, 1687-1694.
- Stuart, D. W., 1974: A comparison of quasi-geostrophic vertical motion using various analyses. Mon. Wea. Rev., 102, 363-374.
- Vincent, D. G., K. E. Bossingham and H. J. Edmon, 1979: Comparison of large scale vertical motions computed by the kinematic method and quasi-geostrophic omega equation. Preprints of Papers, Sixth Conference on Weather Forecasting and Analysis, Albany, N. Y., 357-364.

## 五、總結論

由於電子計算機技術不斷進步，許多資訊、設計、分析與決策均大量利用電子計算機執行。國外氣象先進國家早在1960年初期，即開始利用電子計算機協助氣象資料之處理。國內氣象界在民國六十五年十二月間國科會舉行全國大氣科學研討會時，一致認為須積極進行建立氣象資料庫之研究，提供正確而完整之原始氣象資料，以推動氣象研究工作之發展與應用。

本研究計畫經過二年半之時間，進行研究氣象資料之蒐集、處理、存檔、查詢與應用以及客觀分析之研究兩大部分。在第一部分中完成氣象資料自動蒐集與處理系統 (Automatic Data Acquisition and Processing System簡稱ADAPS) 之設計，可利用中央氣象局現有之小型電子計算機每天廿四小時自動直接蒐集國內外所有印字電路的氣象電報，存放於磁碟混合電報檔，經過第一級分類處理將混合電報檔依印字電路編號存放於電報檔(Line file)，為便於查詢作業及有限磁碟空間作最有效的利用，電報檔採用相關資料模型，日後須要原始電報時，均可自電報檔內取用。ADAPS系統於每天固定時間進行解碼、檢定處理，檢定處理期使氣象資料達到垂直、水平與時序等四度空間的合理性，檢定後的資料再經過第二級分類處理，寫到即時氣象資料檔，為達成即時資料的最佳應用，資料檔(Data file)的設計採用水平資料結構及固定劃分磁碟空間。最後，存檔作業中的所有原始氣象電報及資料檔均分別存錄於磁帶，供研究者日後研究與分析應用。

ADAPS 系統可大幅度提高即時氣象觀測資料使用的時效性、正確性與完整性。在極有限經費下達到即時氣象資料自動蒐集處理一貫作業的目的。積極地提高預報作業績效。再者，存檔作業所建立的氣象資料庫，更為全國所有氣象研究人員提供最佳的資料。本研計畫所完成之 ADAPS 系統已由中央氣象局正式採用，使我國氣象事業進入新境界。

本計畫之第二部分是客觀分析，第一年對 Cressman, Inman 和 Barnes 三種權重進行數值試驗，以期了解這三種權重的特性。第二年對上述三種客觀分析進行驗證，並以主觀分析作為比較之標準。綜觀三客觀分析程式之分析場，可發現在分析場之中央部份，其資訊轉換之能力較佳，在低緯區及西太平洋區，由於資訊不足之影響，分析結果不佳，因此如何改進資訊不足之問題，有待更深入之研究。同時，並利用三種客觀分析計算其垂直速度場，以與主觀分析比較，利用 1975 年 6 月 10 日的梅雨天氣資料對客觀分析程式對垂直速度計算的影響，結果顯示客觀分析與主觀分析間型態相似，客觀分析場能充分表現出主要的上升或下降運動系統，可是對垂直速度場的計算有不同影響，亦即其中心位置和強度仍和主觀分析場有明顯差異。因此垂直速度計算對不同分析場的反應相當敏感。

### 致謝

本研究在行政院國家科學委員會支援下完成，殊深感激。本計畫歷經二年半，由於工作繁雜，動員人力財力亦多，在執行階段中承中央研究院中央氣象局及空軍氣象中心支持以及諸同仁熱心鼎力協助，使研究工作得以順利完成。參與本計畫資料蒐集部份計有魏伯騏、王博義、李富誠、蔡盛域、李玉泉、房開化、孟昭坤、江昌明諸君；資料檢定部分計有徐月娟、許萬德、王忠山、蕭長庚、陳熙揚、劉文俊諸君；客觀分析部分計有蕭錫璋、吳清吉、謝金生、劉玉龍諸君，對上述參與計畫之諸君謹致最誠摯謝意。中央氣象局電腦中心諸同仁，貢獻良多，一並致謝。中央研究院物理研究所隋中興先生協助客觀分析程式上機工作，亦深表謝意。此外，資料蒐集部分電子計算機系統硬體部分係由代理美國 GA 型電子計算機的泰誼公司協助，軟體部份則由該公司邱吉雄先生協助，又承美國 IBM 公司研究員謝鎧焯博士於返國期間提供寶貴意見，謹此一併致謝。

	850mb	700mb	500mb	300mb	200mb	100mb
Z 高度 m	9.1	7.9	15.9	24.2	36.2	44.9
T 溫度 °C	1.5	1.2	1.1	1.2	1.6	1.7
T <sub>d</sub> 露點溫度 °C	1.6	2.5	2.7			
u 風速分量 m/sec	3.2	3.2	3.5	5.1	6.6	8.3
v 風速分量 m/sec	3.8	2.9	3.1	5.8	4.5	3.1

	850mb	700mb	500mb	300mb	200mb	100mb
Z 高度 m	4.8	5.2	8.0	12.7	16.8	21.6
T 溫度 °C	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	1.0
T <sub>d</sub> 露點溫度 °C	1.0	1.6	2.1			
u 風速分量 m/sec	1.7	1.9	1.9	2.0	2.5	1.5
v 風速分量 m/sec	1.8	2.0	1.6	2.8	1.9	1.8

	850mb	700mb	500mb	300mb	200mb	100mb
Z 高度 m	7.1	8.0	12.1	19.3	24.4	31.7
T 溫度 °C	1.2	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4
T <sub>d</sub> 露點溫度 °C	1.6	2.7	3.2			
u 風速分量 m/sec	2.5	3.0	3.1	3.3	3.9	2.6
v 風速分量 m/sec	2.9	2.9	2.7	4.2	3.6	2.8

	850mb	700mb	500mb	300mb	200mb	100mb
Z 高度 m	5.6	6.6	10.7	18.1	23.6	28.2
T 溫度 °C	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.3
T <sub>d</sub> 露點溫度 °C	1.3	2.3	2.8			
u 風速分量 m/sec	1.4	1.6	2.0	2.3	2.9	2.0
v 風速分量 m/sec	2.2	2.4	2.2	3.6	3.2	2.2

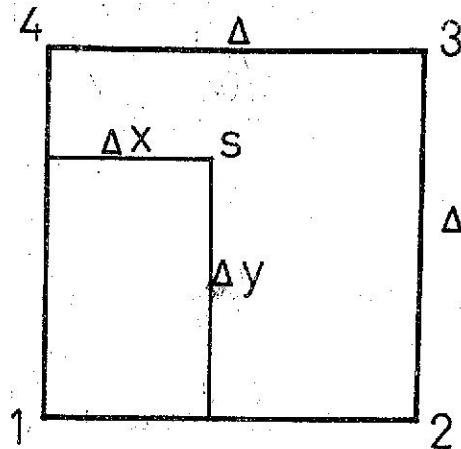


圖 1 本圖說明測站上分析值的求法

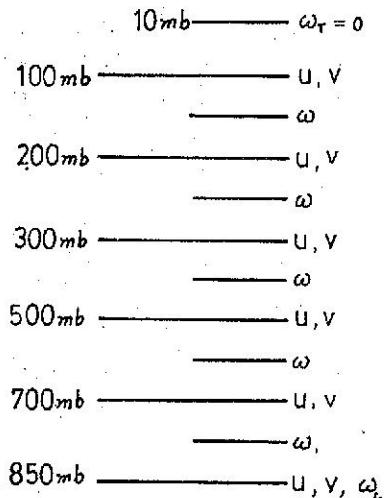


圖 3. 用運動學法求垂直速度時使用的垂直網格結構

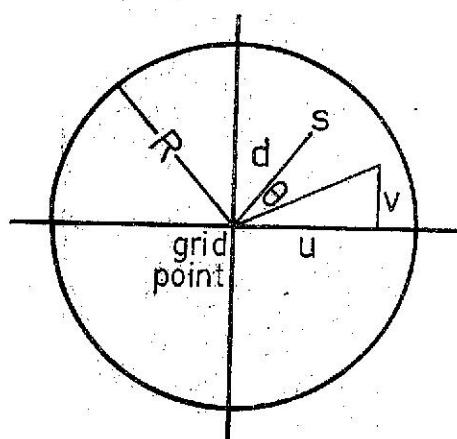


圖 2. 本圖說明各符號的定義

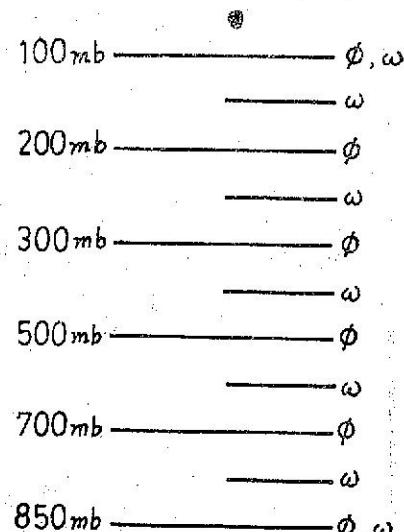


圖 4. 用準地轉和平衡模式求垂直速度時使用的垂直網格結構

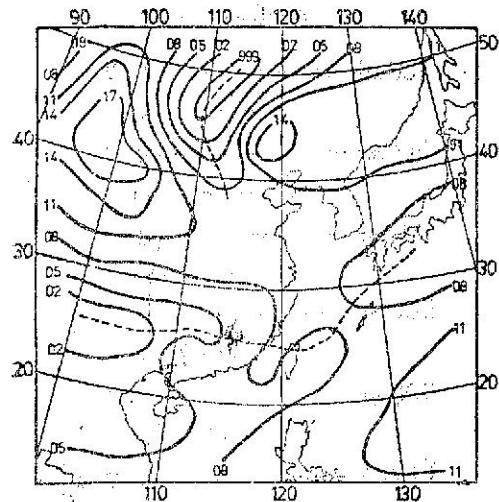


圖 5. 海平面氣壓，單位為 mb，  
與鋒面(虛線)

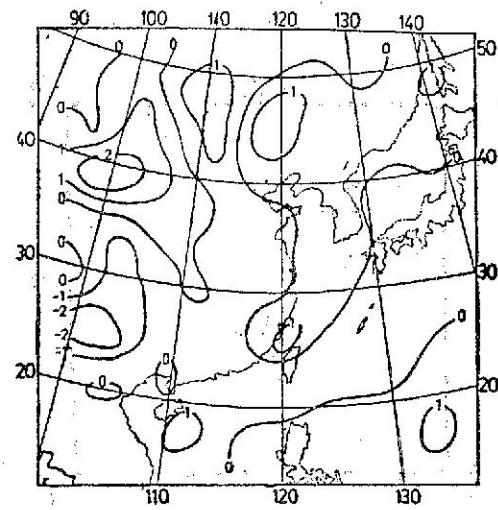


圖 6. 850mb 垂直速度場，單位為  $\mu\text{b/sec}$

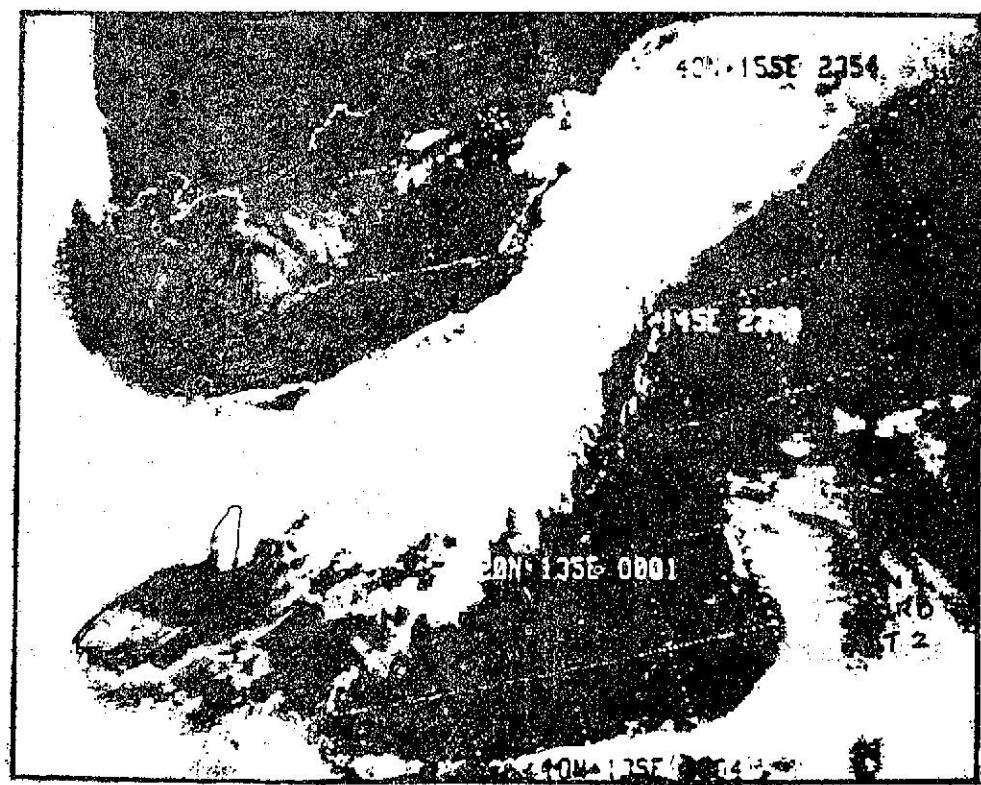
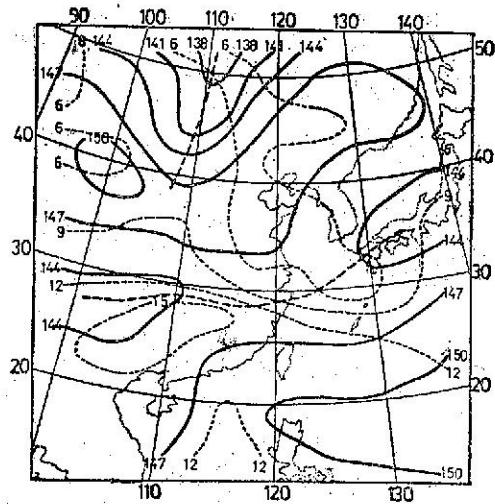
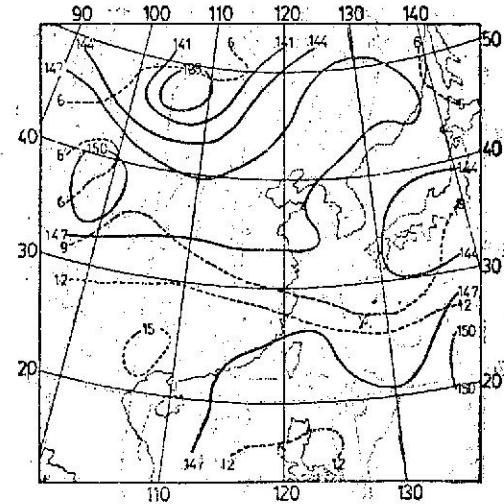


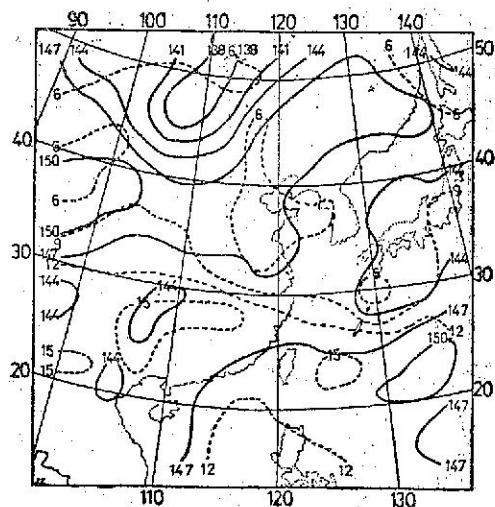
圖 7. NOAA-4 紅外光衛星照片，白色虛線表示經緯度以及海岸線，臺灣的位置用實線表示



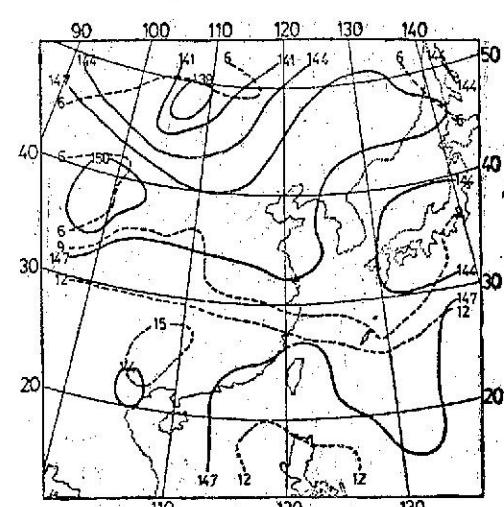
(a)



(c)

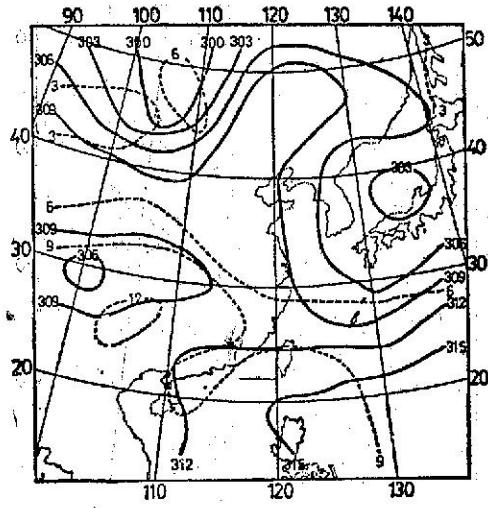


(b)

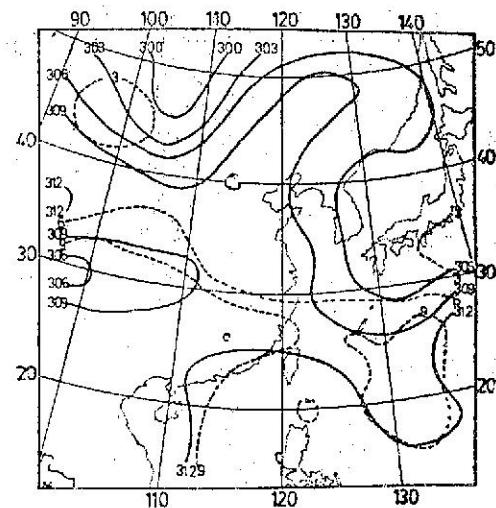


(d)

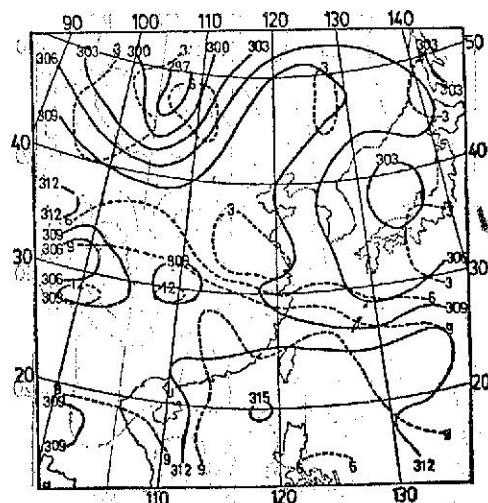
圖 8. 850mb 高度場（實線）與混合比（虛線，單位為 g/kg）(a) 主觀分析  
(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) McFarland  
客觀分析



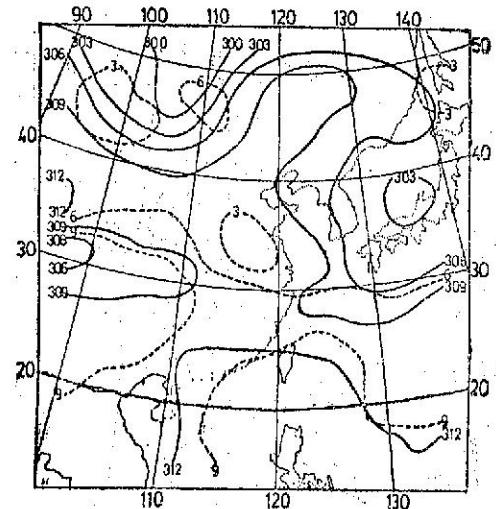
(a)



(c)



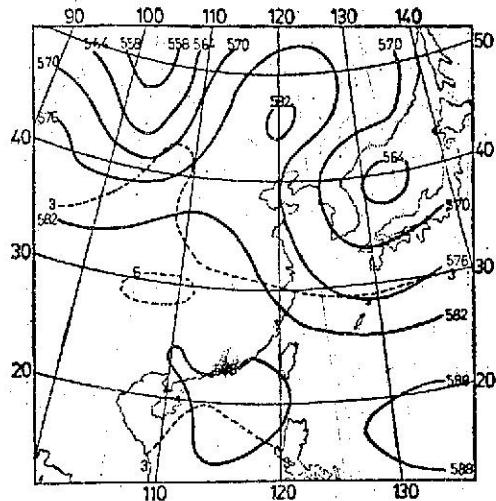
(b)



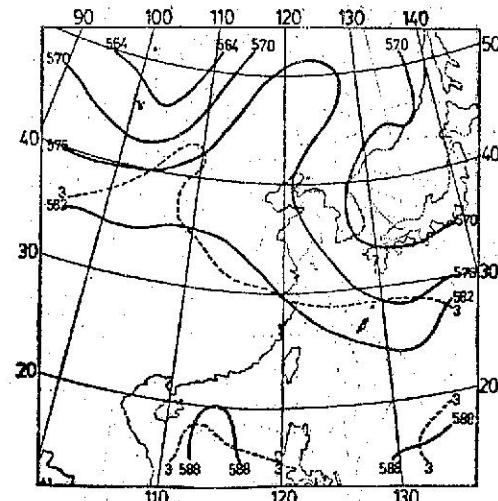
(d)

圖 9. 700 mb 高度場 (實線, 單位為公尺) 與混合比 (虛線, 單位為 g/kg)

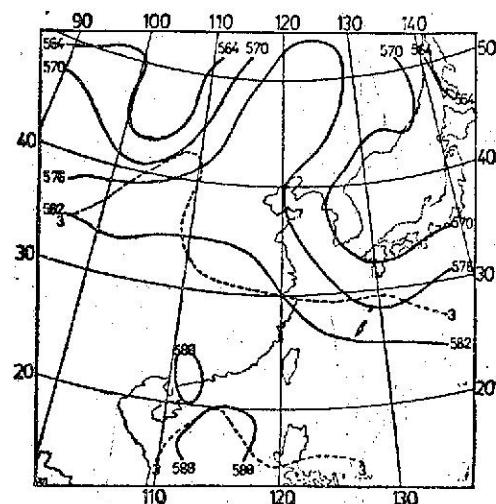
(a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



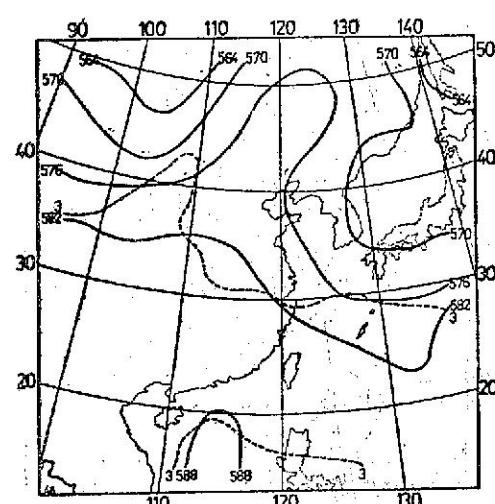
(a)



(c)



(b)



(d)

圖 10. 500mb 高度場（實線，單位為公尺）與混合比（虛線，單位為 g/kg）

(a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析

(d) McFarland 客觀分析

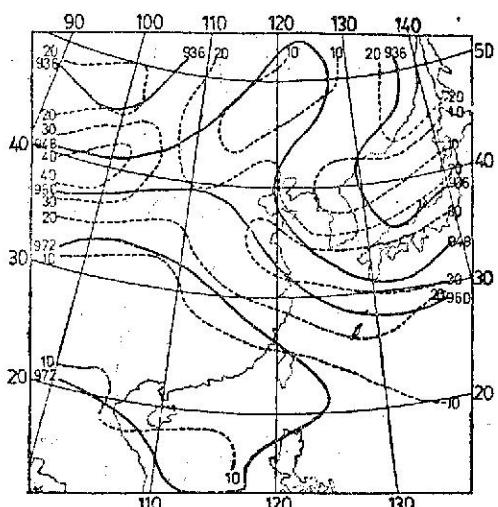
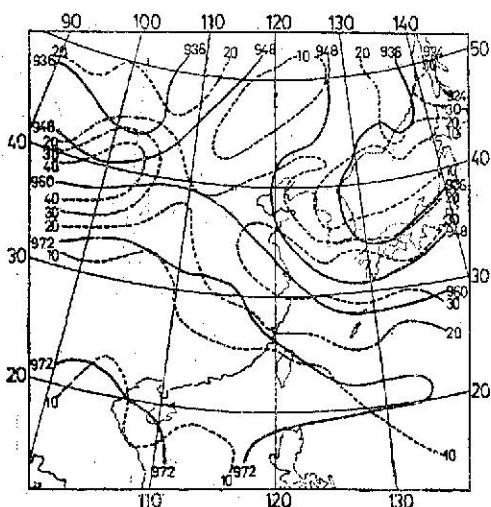
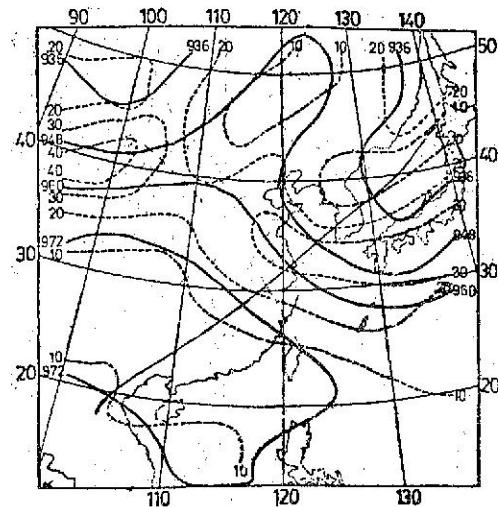
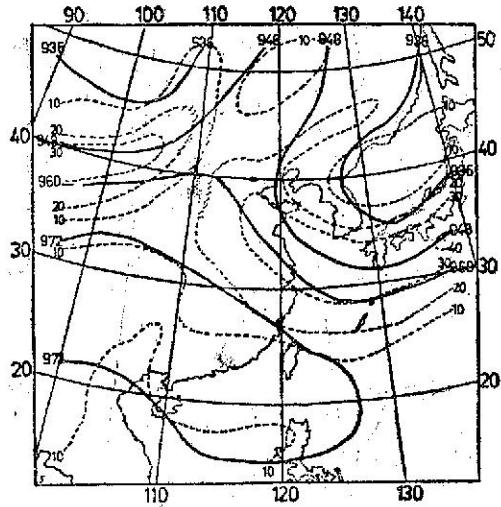
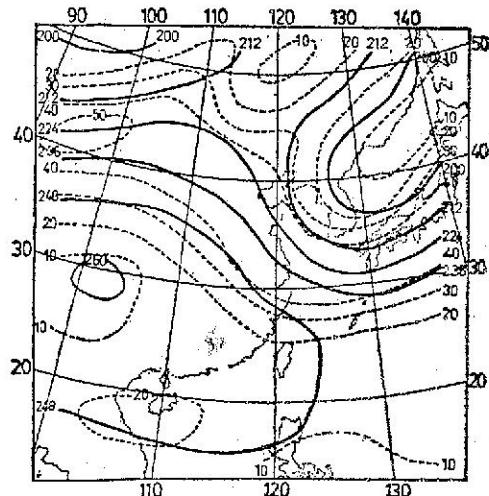
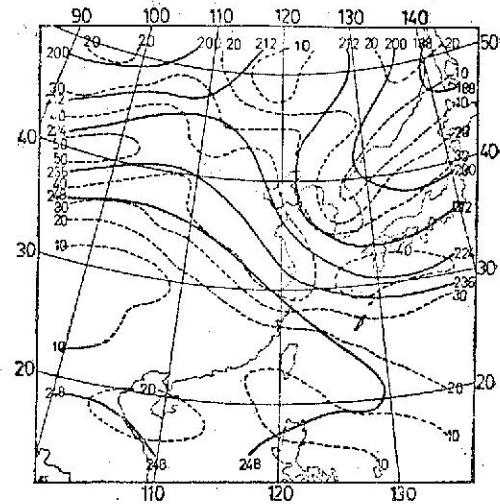


圖 11. 300mb 高度場（實線，單位為公尺）與風速（虛線，單位為 m/sec）

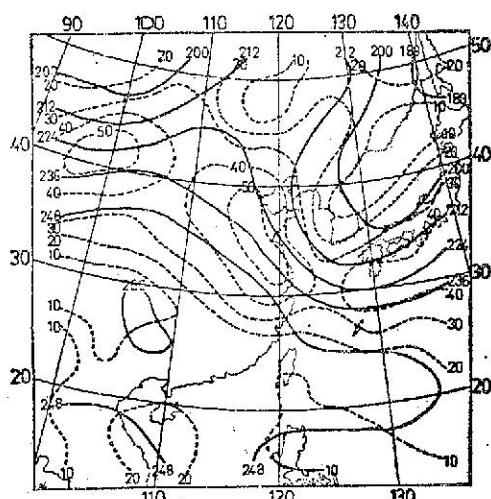
(a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



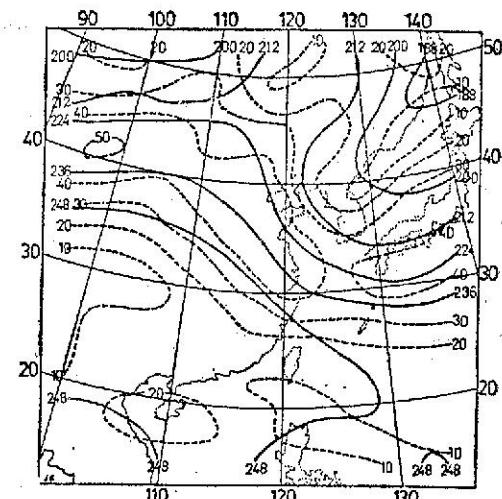
(a)



(c)



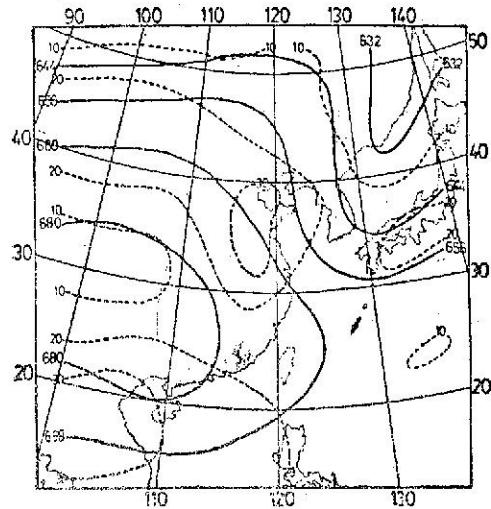
(b)



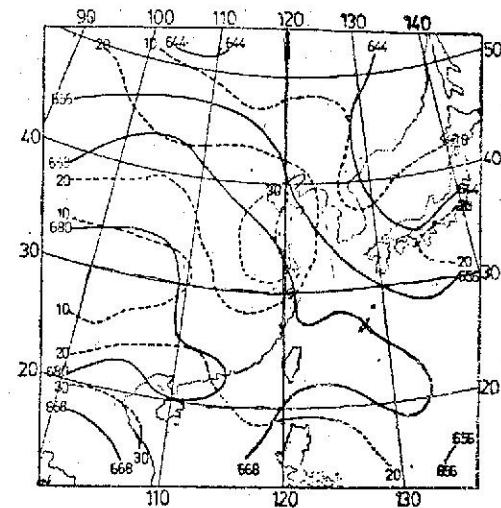
(d)

圖 12. 200mb 高度場 (實線, 單位為公尺) 與風速 (單位為 m/sec)

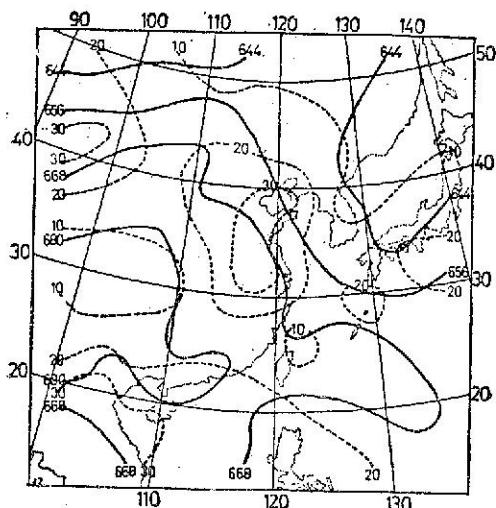
(a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes  
客觀分析 (d) McFerland 客觀分析



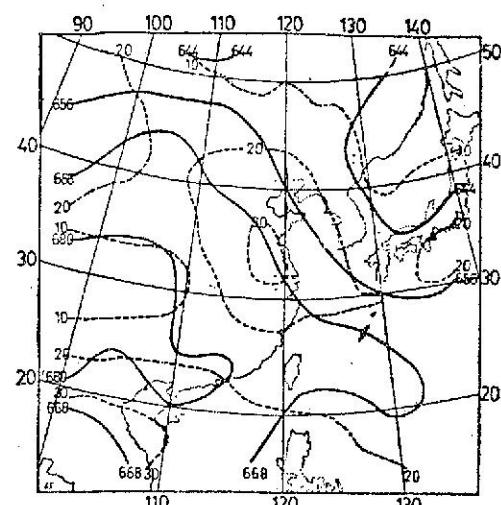
(a)



(c)



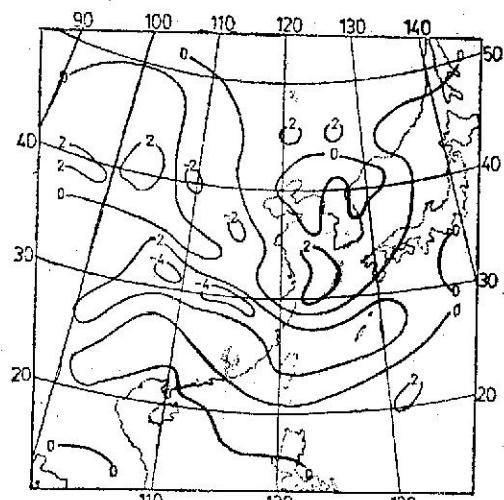
(b)



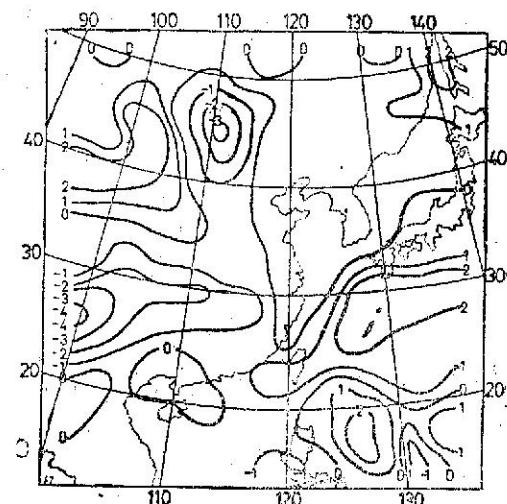
(d)

圖 13. 100mb 高度場(實線，單位為公尺) 與風速(單位為 m/sec)

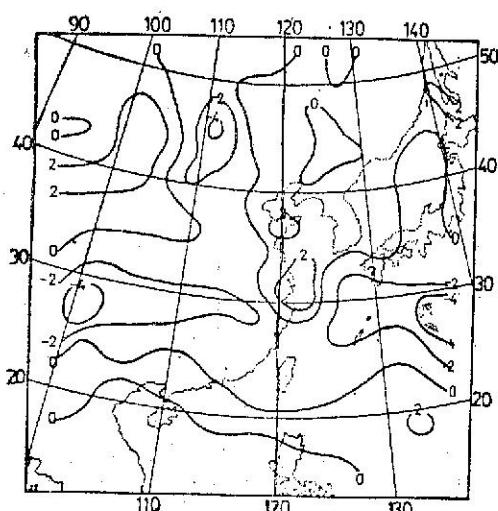
(a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes  
客觀分析 (d) McFarland 客觀分析



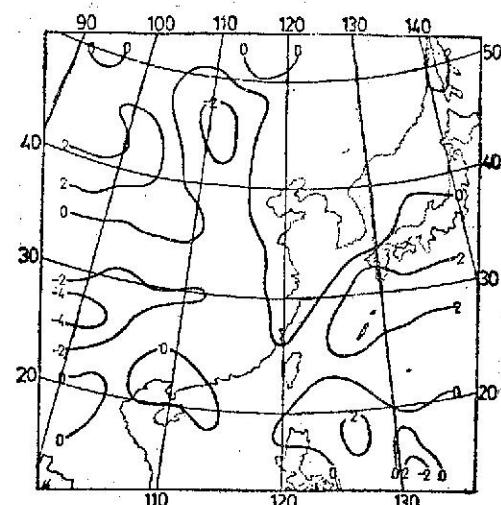
(a)



(c)

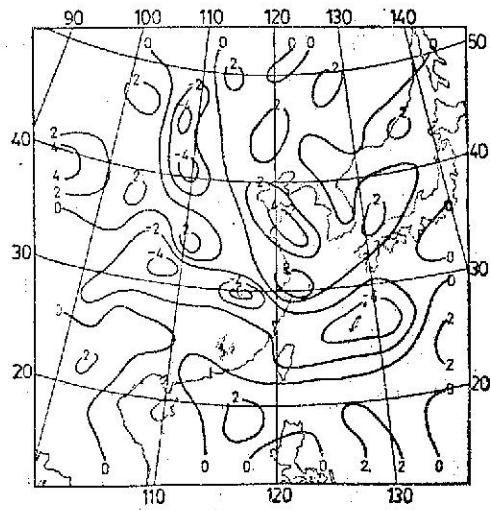


(b)

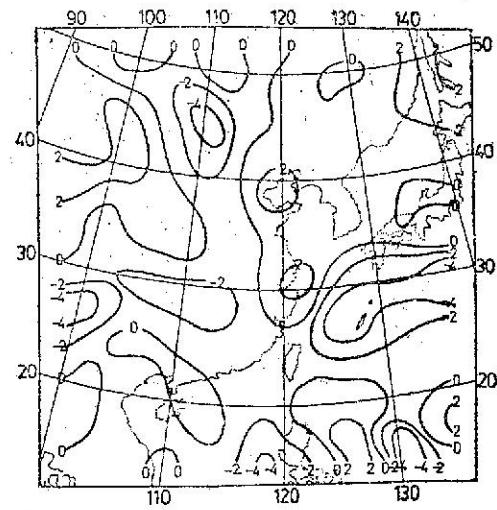


(d)

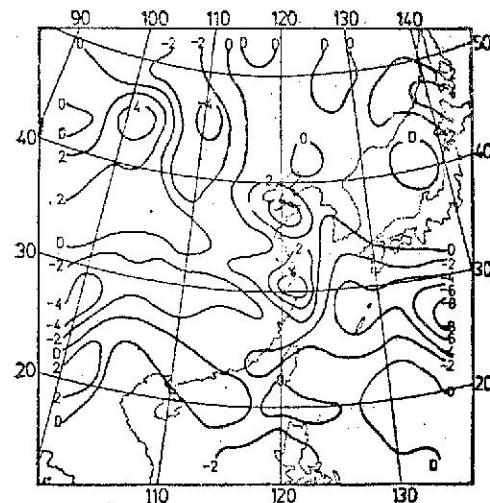
圖 14. 用運動學法求得的 700mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析  
(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) Mc-Farland 客觀分析



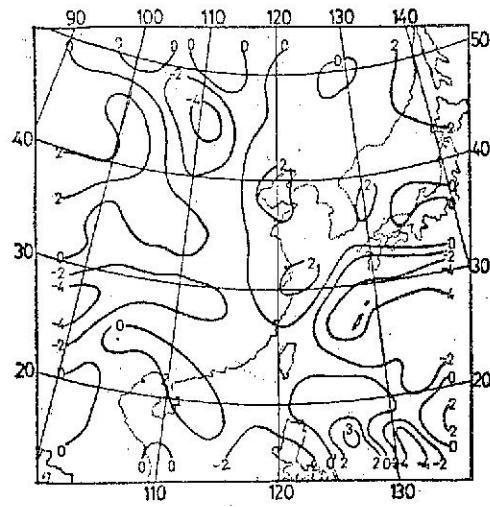
(a)



(c)



(b)

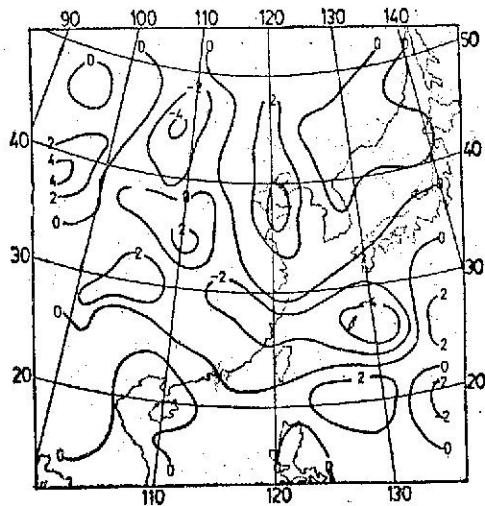


(d)

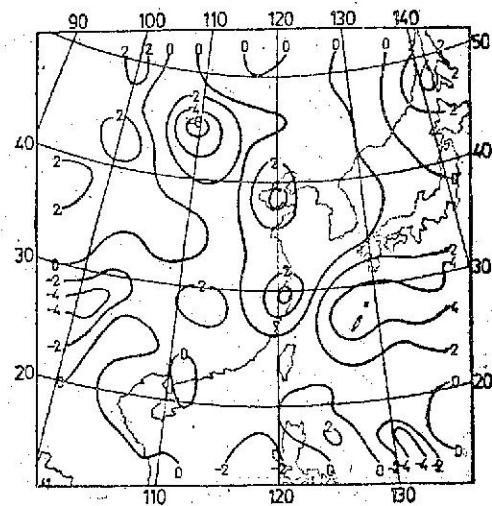
圖 15. 用運動學法求得的 500mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析

(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析

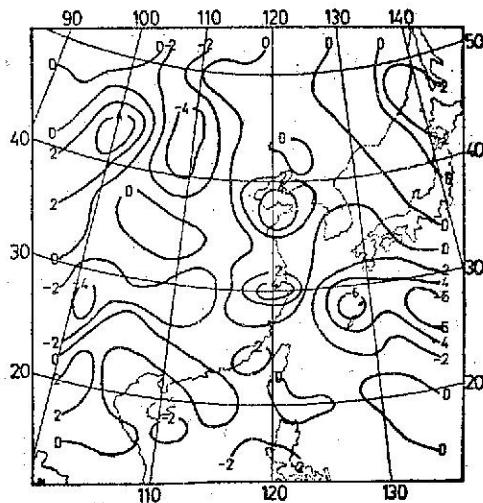
(d) McFarland 客觀分析



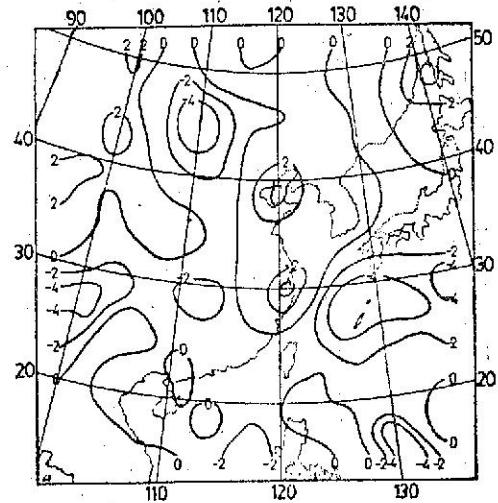
(a)



(c)



(b)

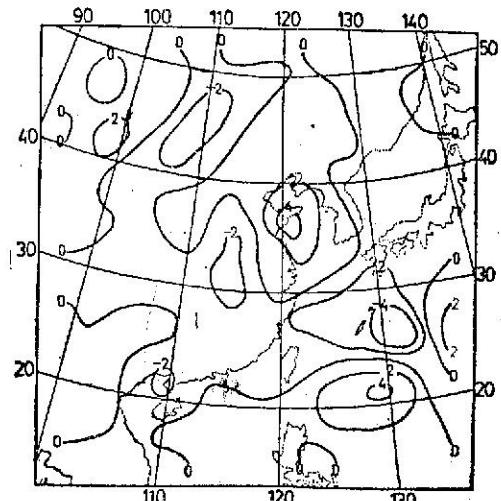


(d)

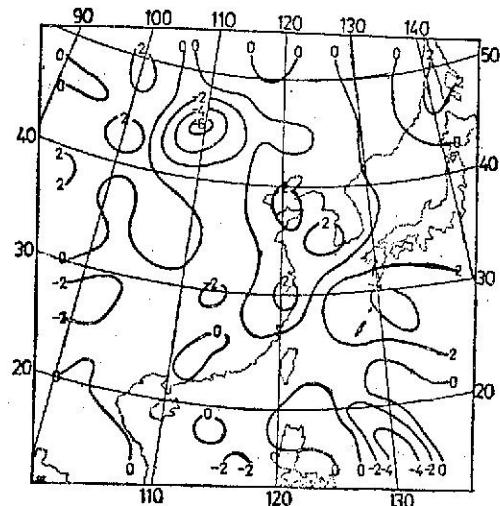
圖 16. 用運動學法求得的 300mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$ . (a) 主觀分析

(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析

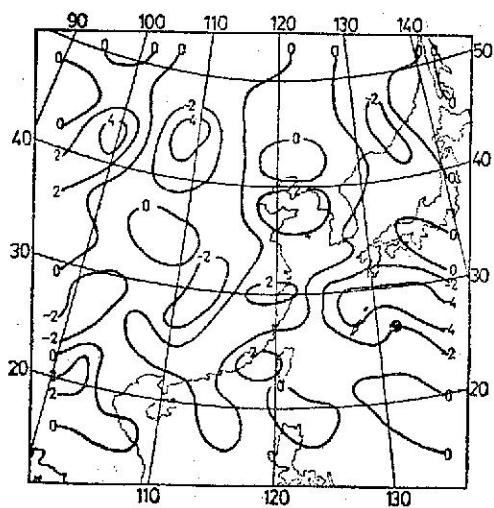
(d) MaFarland 客觀分析



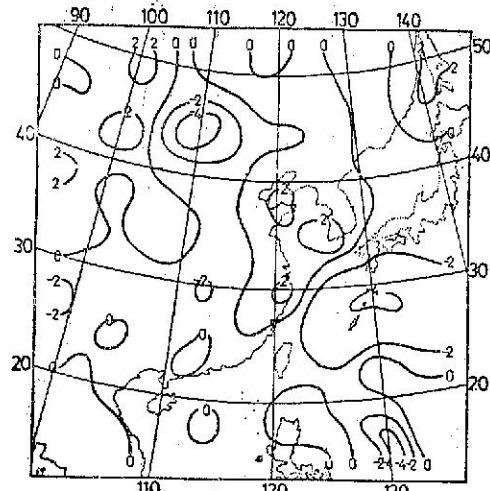
(a)



(c)

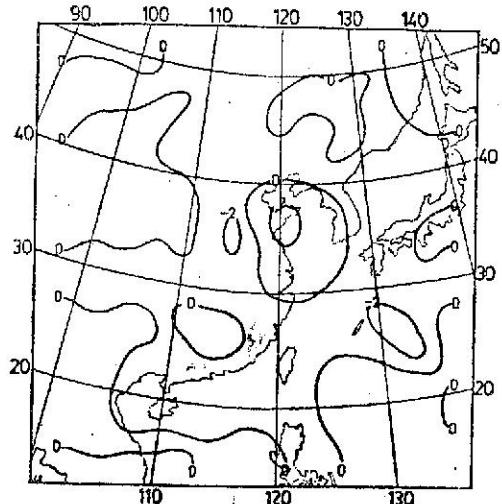


(b)

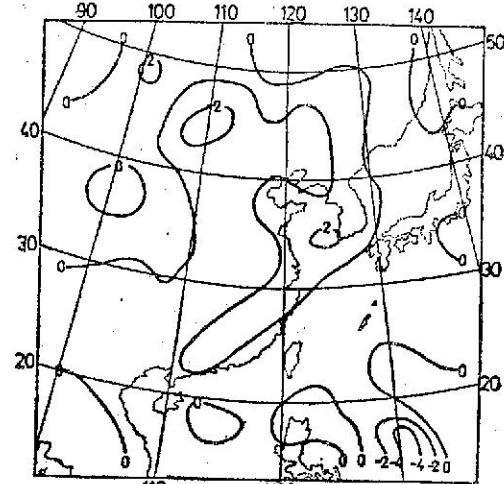


(d)

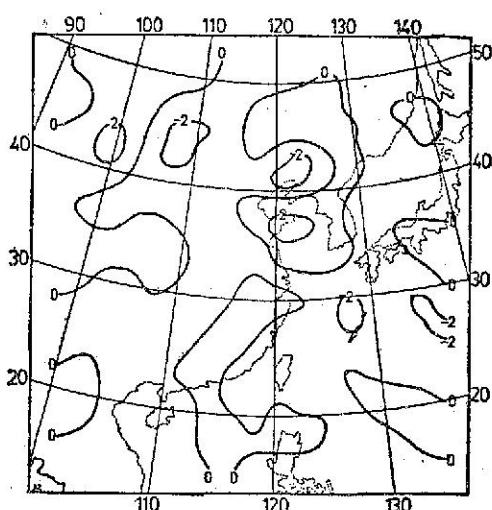
圖 17. 用運動學法求得的 200mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析  
(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



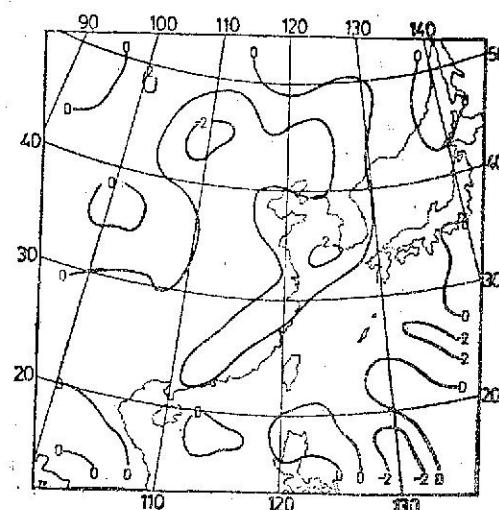
(a)



(c)

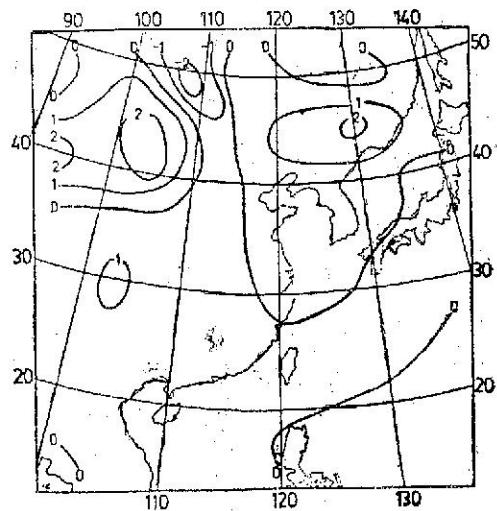


(b)

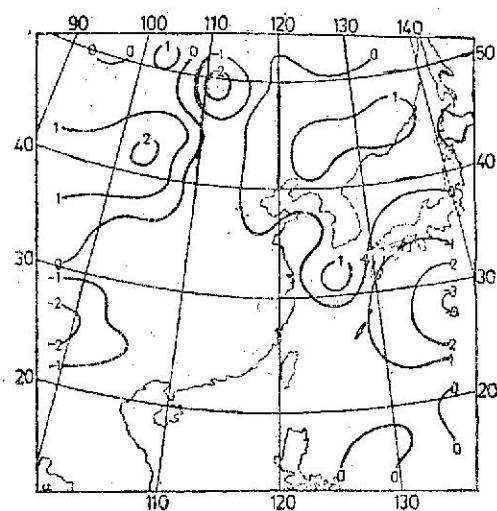


(d)

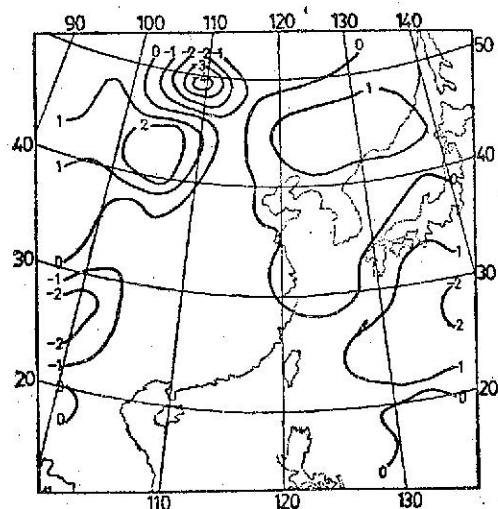
圖 18. 用運動學法求得的 100 mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$   
(a) 主觀分析  
(b) Inman 改良式客  
(c) 觀分析 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



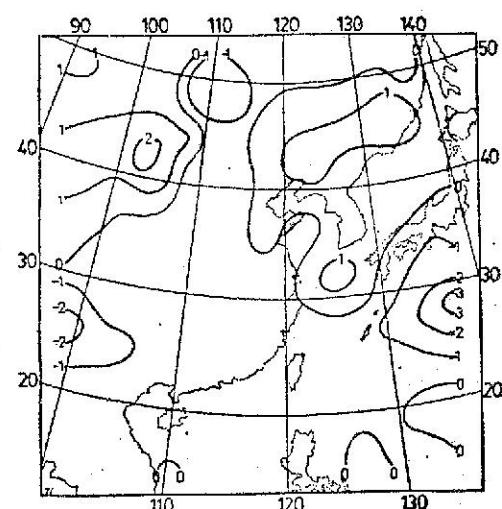
(a)



(c)

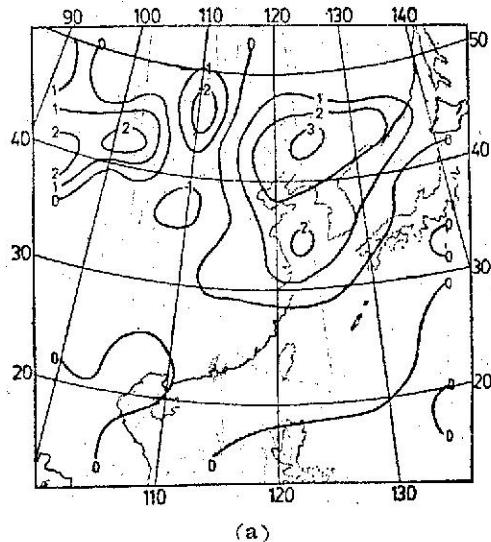


(b)

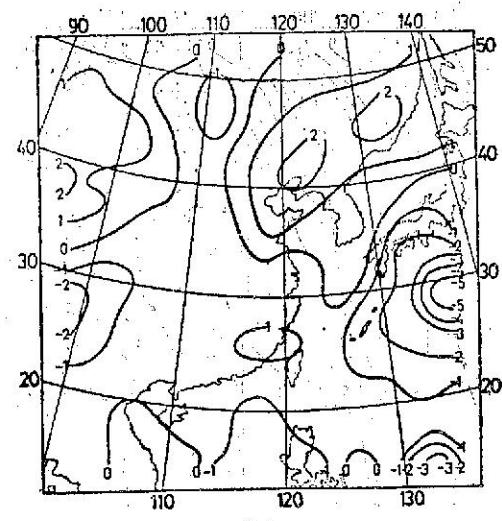


(d)

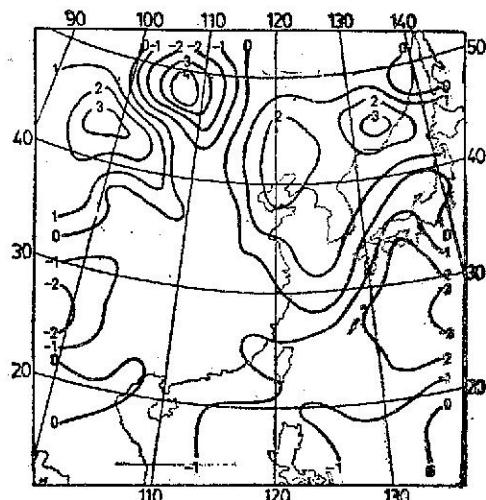
圖 19. 用準地轉模式求得的 700mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析  
(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



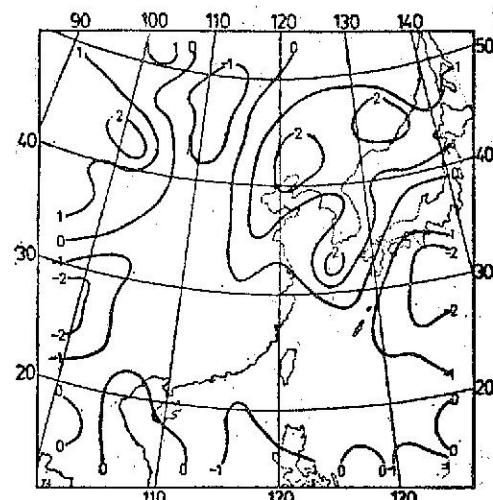
(a)



(c)

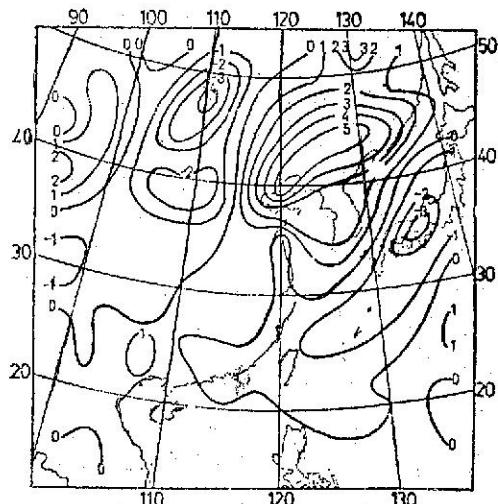


(b)

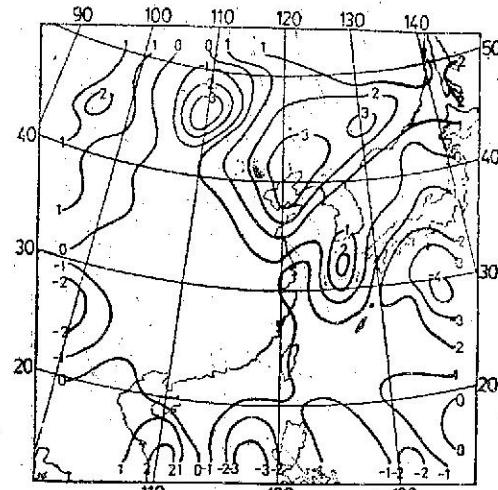


(d)

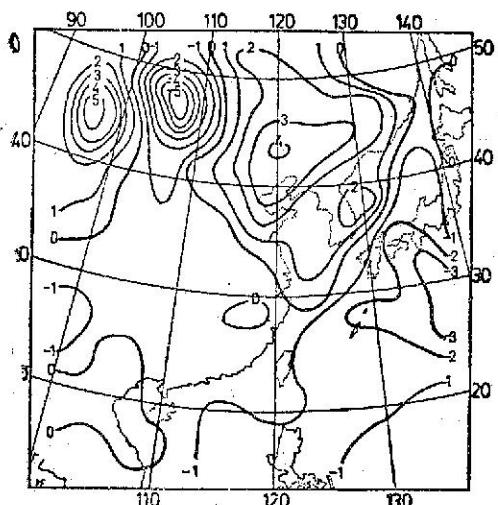
圖 20. 用準地轉模式求得的 500mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析  
(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 分析  
(d) McFarland 客觀分析



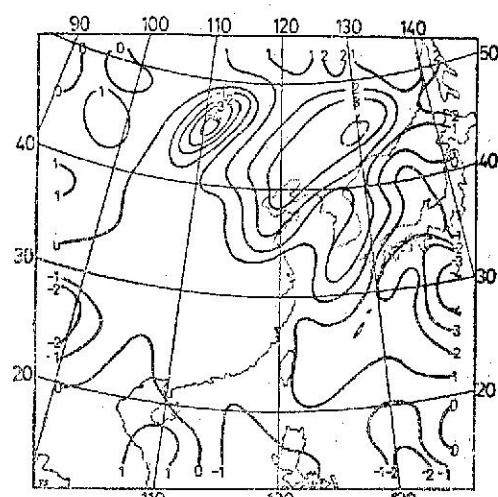
(a)



(c)



(b)

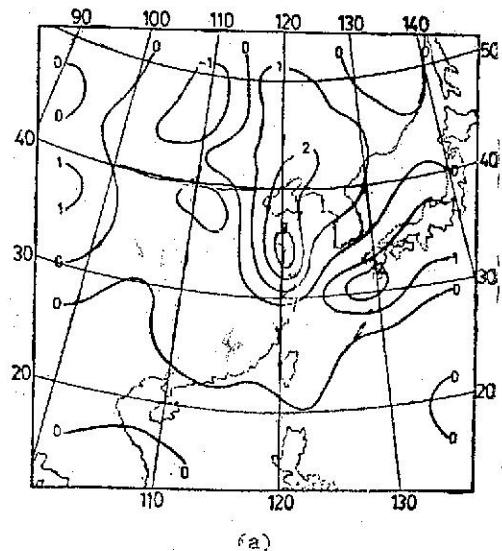


(d)

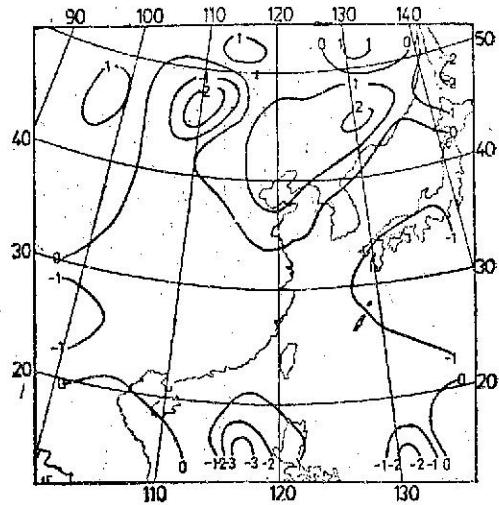
圖 21. 用準地轉模式求得的 300mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析

(b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析

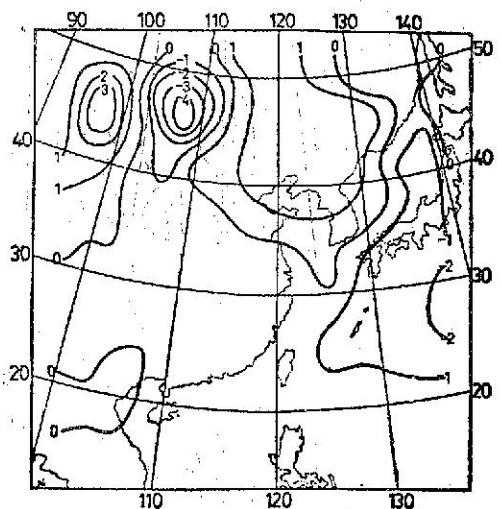
(d) McFarland 客觀分析



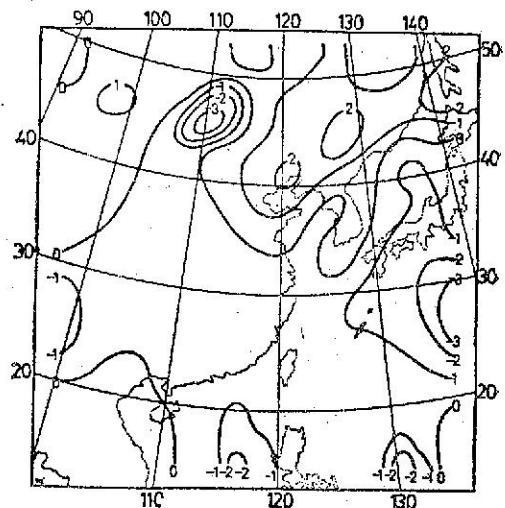
(a)



(c)

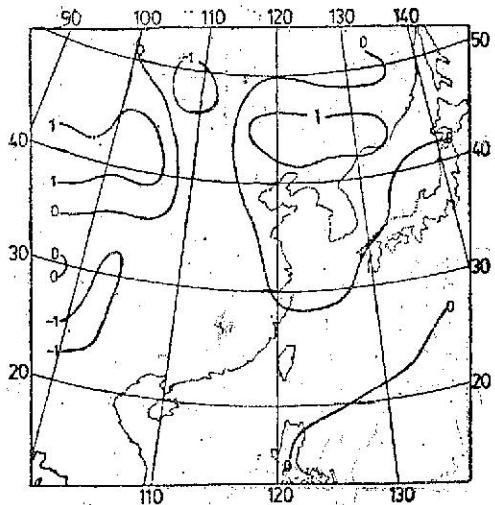


(b)

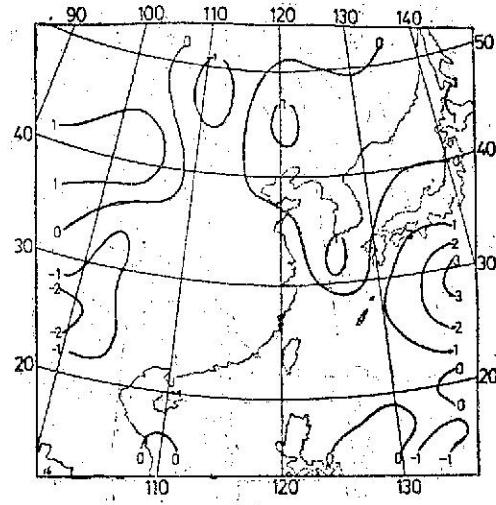


(d)

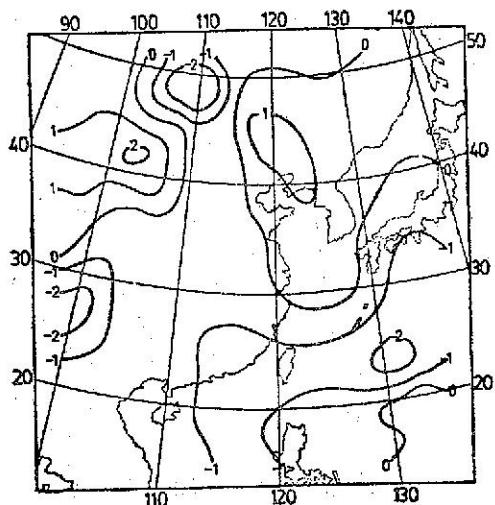
圖 22. 用準地轉模式求得的 200 mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析  
(b) Inmān 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析  
(d) McFarland 客觀分析



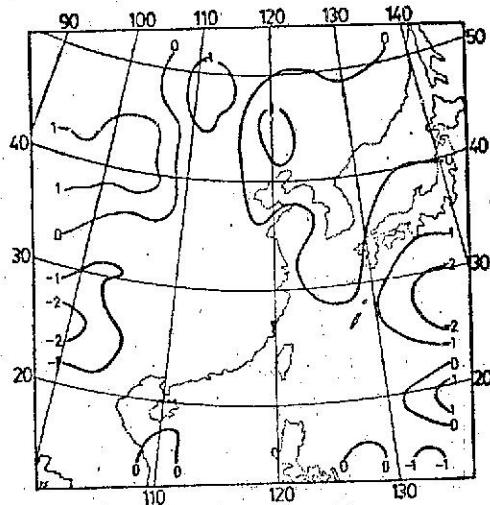
(a)



(c)

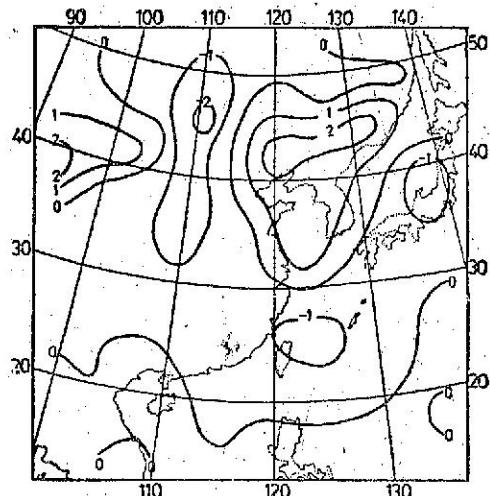


(b)

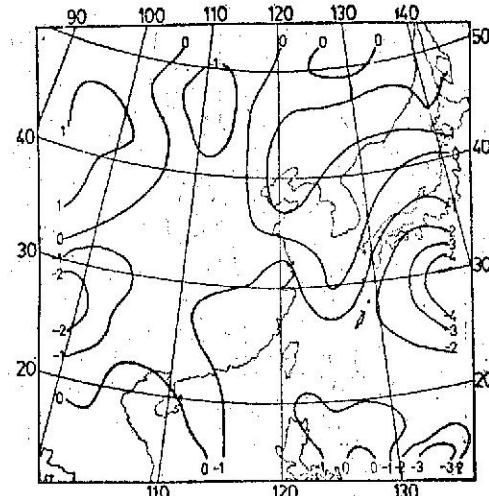


(d)

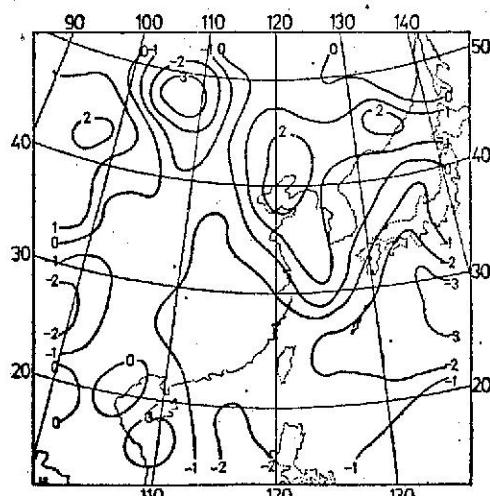
圖 23. 用線性平衡模式求得的 700mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) Mc Farland 客觀分析



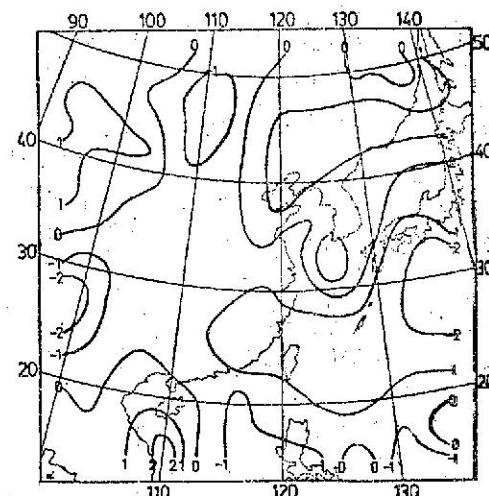
(a)



(c)

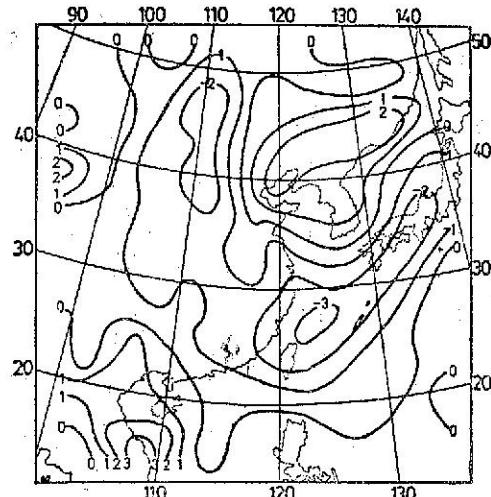


(b)

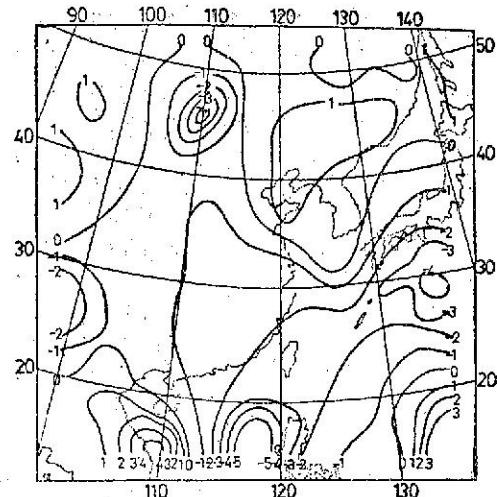


(d)

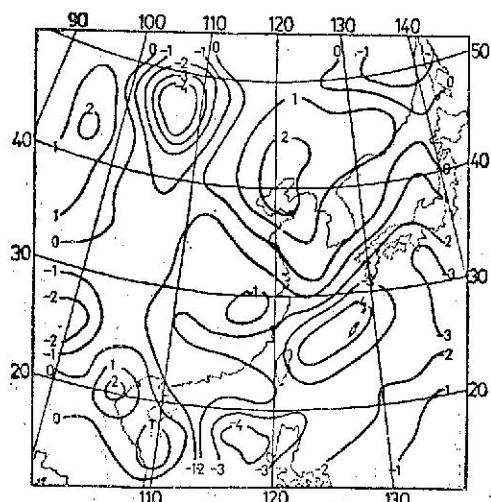
圖 24. 用線性平衡模式得到的 500 mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) Mc Farland 客觀分析



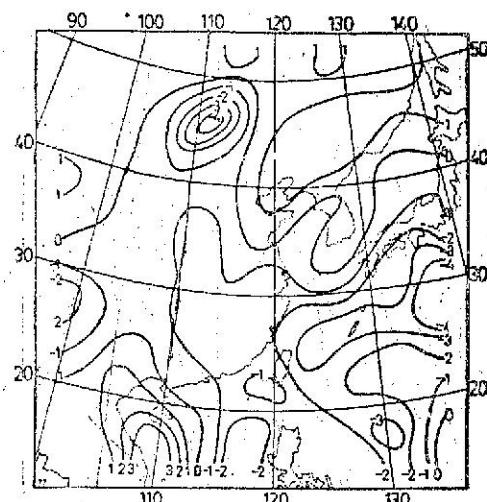
(a)



(c)



(b)



(d)

圖 25. 用線性平衡模式得到的 300mb 垂直速度，單位為  $\mu\text{b/sec}$  (a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) Mc Farland 客觀分析

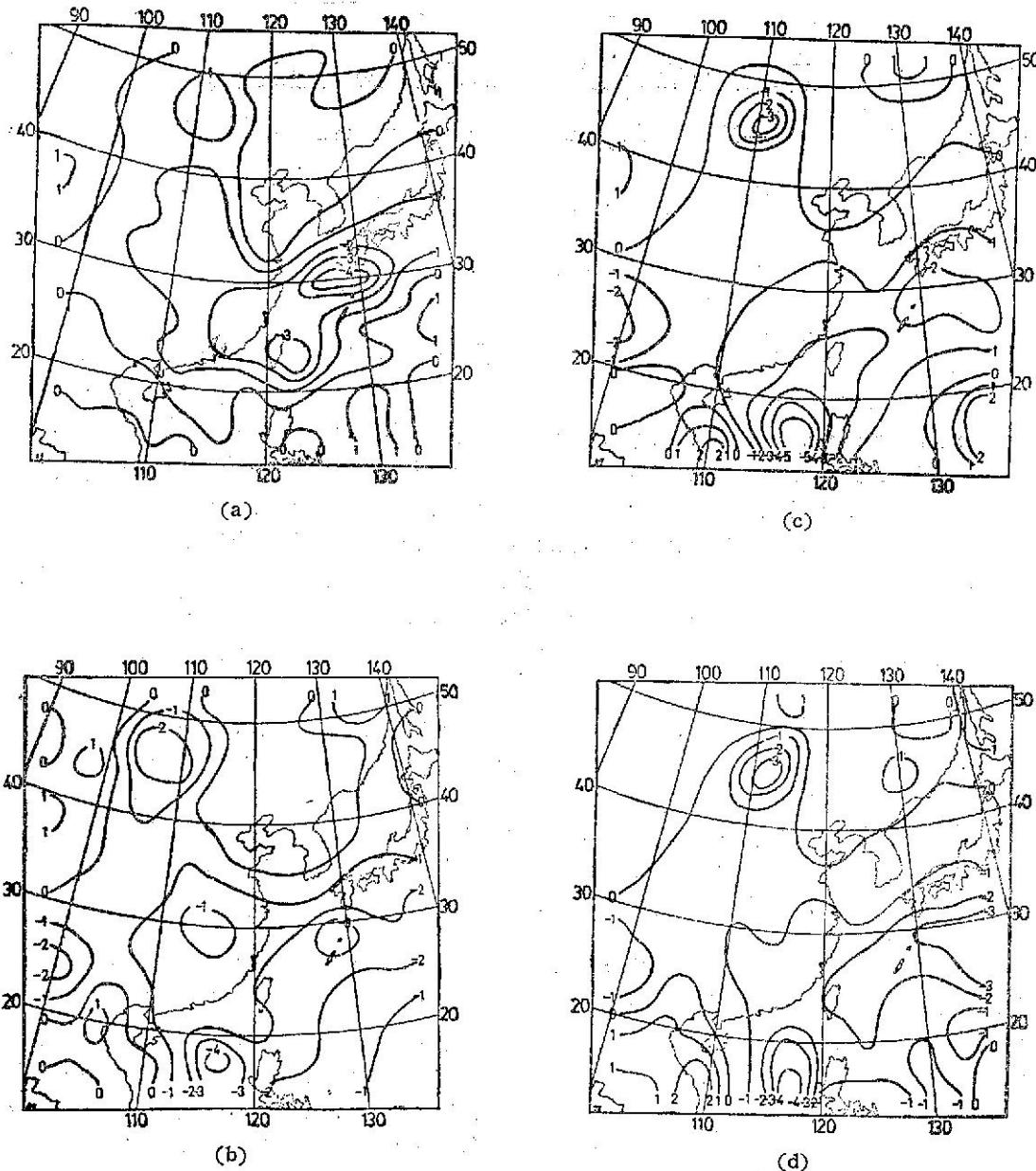


圖 26. 用線性平衡模式得到的 200mb 垂直速度，單位為  $\text{mb/sec}$  (a) 主觀分析 (b) Inman 客觀分析 (c) 改良式 Barnes 客觀分析 (d) McFarland 客觀分析