

# 雷達資料在降水預報上的應用研究(I)

## 以個人電腦系統分析傳統雷達回波的內部運動場

陳台琦 林沛練

國立中央大學大氣物理研究所

鄭邦傑 徐岳五

中央氣象局

### 摘要

中尺度對流系統常伴隨劇烈的降水，對生命財產造成很大的損害，假使能對中尺度降水系統的運動結構有所了解，對即時預報將有很大的幫助。傳統雷達雖可提供時間及空間解析度相當高的降水胞結構圖，讓我們了解降水系統回波強度的三度空間結構，但無法提供運動參數。因此必須與其他觀測資料配合，經過主觀分析、推理才可能揣測降水系統的運動結構。然而若有數值化的雷達回波資料，應用“雷達回波相關追蹤”(TREC)的技術，即可間接的求得降水系統內部的風場，以了解其運動結構。

“雷達回波相關追蹤”(TREC)技術是Rinehart(1979)所提出的一種客觀分析法，即利用兩連續時間雷達降水回波圖形的相關分析作圖形之辨識以求得位移向量，決定回波內部的風場。本研究即在個人電腦上建立“雷達回波相關追蹤”(TREC)之軟體，並且選取一些個案做測試，希望在精確度以及即時要求的考慮之下重新設計傳統雷達最有效率的觀測規範，期望利用可攜性高並且非常方便使用的個人電腦系統，在雷達站上或作業單位可即時求得降水系統的內部運動場以提供即時天氣預報的參考。

### 一、前言

中尺度天氣系統是目前大氣科學研究的重要主題之一，因中尺度天氣系統時常伴隨強風、豪雨、冰雹或雷電，對農業、漁業、民生、經濟有重大的影響。雷達是研究中尺度天氣系統常用的觀測工具，因雷達對其觀測範圍內的降水系統，可提供近似瞬間定性及定量的訊息，能即時展現 (real display) 解析度相當高的降水胞結構圖，得知降水胞內的三度空間結構。又其觀測沒有受到時間及空間間隔的限制，正可彌補傳統觀測網時間及空間解析度不足的缺點，所以，分析雷達資料可幫助我們對中尺度天氣系統的了解。

雷達資料的應用，最初僅能由回波形狀與天氣狀況的關連，配合其它資料，主觀分析而建立觀念模式 (conceptual model)，揣測降水系統內部的可能運動結構。而後雷達有了數值化的設備，提供解

析度更好的資料，能知道降水系統內部細微的運動結構。如今，隨著雷達的發展，已可直接測得降水系統內部的風場。

國外對風暴 (storm) 的運動學有許多研究，其進展是由測量整個風暴的速度，推展至間接地決定風暴內部的運動，而至直接測量其內部運動。最初，只能在水平顯示器 (Plan Position Indicator) 上，用筆簡單地追蹤風暴作短期預報，如 Brooks (1946)。雖傳統雷達只能提供降水強度，無法顯示運動參數，但若雷達資料配合其它氣象觀測資料，則可提供因果關係的線索。所以在1950年代和1960年代，已有許多研究人員利用雷達資料，探空資料、地面資料及其它資料，主觀分析、推理，而建立觀念模式，揣測風暴內部的運動結構。如Byers and Brahman (1949) 用雷達資料配合其它觀測資料，對雷雨 (thunderstorm) 的結構作分析，並提出雷雨生成

、成熟與消散各階段的面單結構。Browning(1964)透過雷達資料對單胞式風暴 ( supercell storm) 作分析，建立觀念模式。而後許多研究都是利用雷達資料與其他觀測資料，對風暴作分析，來印證或修改模式，使模式更趨完善。如 Browning (1965)，Browning and Donaldson(1963)，Newton (1960)，Harwitz(1972)，Newton and Fankhanser(1975)，Browning and Foote (1976)。

至1970年代，雷達逐漸有數值化的設備，利用高解析度的數值化資料，可間接求得回波內部風場。如Browning and Foote(1976)追蹤風暴內部“hot spots”，而來探討風暴內部風場與環境風場的關係。

隨著計算機技術和圖形辨識法 ( pattern recognition) 的發展，客觀分析法被引進對雷達回波作追蹤。如Hilst and Russo (1969)用相關分析法對整個風暴作追蹤，定出風暴整體移動速度。Kessler and Russo(1963)，Wilk(1966)，Wilson(1966)都曾利用相關分析法，定出風暴的移動速度。Blackner et al.(1973)對個別回波 (individual echoes) 作分析，而得個別回波的移動速度。Austin and Bellon(1973)追蹤整個風暴內部的回波胞 (cell)，而得個別回波胞的移動速度。Rinehart and Garvey(1978)利用相關分析法對風暴內部的各小部分作圖形辨識，而得風暴內部的運動，稱此法為TREC (是 Tracking Radar Echo by Correlation\* 的縮寫)。Rinehart(1979)對TREC技術的可行性作評估。他利用模擬出的風暴，作TREC分析得風暴內部風場，與模式風場比較；另對真實風暴作分析得內部風場，與三部普勒雷達所得的風場作比較，由這二種比較得知TREC是可行的。Synthe and Zrnac(1983)以及 Tuttle and Foote(1989)即先後應用這種雷達回波相關分析的圖形辨識技術於晴空回波風場的求取，都得到相當好的結果。

近年來，都普勒雷達的發展已可藉由發射波與接收波的頻率差，而直接求得降水系統的徑向速度 (radial velocity)。應用雙都普勒雷達作特殊觀測 (Lhermitte and Miller, 1970)，加終端速度與雷達反射率的關係式 ( terminal velocity-radar reflectivity relationship) 及連續方程式 (equation of continuity)，可得降水系統的三維風場，如 Lhermitte and Gilet(1975)，Lhermitte et al. (1977)，Ray et al. (1975, 1978, 1980)，Brandes (1977)，Kropfli and Miller (1976)，

Parsons and Hobbs(1983)，Locatelli and Hobbs (1987)，Hertzman & Hobbs (1988) 等。

影響台灣地區的中尺度天氣系統如冷鋒、梅雨鋒、颱風、氣團性雷雨、海陸風鋒面及風暴等，常伴隨劇烈降水，對生命、財產有很大的損害。廖等 (1983, 1984, 1985, 1986)曾利用台中清泉崗以及綠島雷達資料配合地面資料、探空資料、衛星資料，對發生於台灣地區的此類天氣系統作研究並分類。曲(1974)曾利用WSR-74C雷達分析雲頂高和細胞壁及暴雨發生的關係。Liao and Chen (1984)，陳與林(1986)分析鋒面與夏季組織性之雷達回波特性。丘與劉(1985)以每小時雷達資料及三小時衛星資料研究1984年6月3日台北地區引起豪雨的對流系統。Chen et al.(1987)以每小時雷達資料及探空資料研究1985年導致高屏地區暴雨對流系統的特性。Chen(1984)研究地形對夏季對流系統移動的影響。

由於早期台灣地區的傳統氣象雷達或未配有數值化的回波資料記錄設備或因站上電腦系統只能應付作業之例行工作，因此有關降水回波的研究只利用PPI或RHI的照片或描圖資料來做分析，相當不方便。近年來幾個雷達先後換裝或加裝了數值化資料的記錄設備，對於降水系統回波結構的分析已可得十分詳細，如Wang et al.(1988)利用高雄雷達的數值化回波強度資料探討了台灣地區雷達回波強度與降雨率之關係，張等(1988)則利用花蓮雷達資料分析亞力士颱風之結構。但是傳統雷達之數值化資料仍無法提供運動參數以了解降水系統的運動結構。目前雖然中正機場已有一部都普勒雷達，而氣象局也正在籌建另一部都普勒氣象雷達，但是這兩部雷達都在北部而都普勒之觀測距離只有120公里左右。對台灣地區而言將來即使完成北部雙都普勒的即時合成風場分析，幾部傳統雷達數值化資料的有效使用對即時預報而語仍是非常重要的。因此若能利用“雷達回波相關追蹤”的技術，即時求取降水系統回波區的內部運動狀態，對研究或預報作業都有很大幫助。在這一方面，李與陳(1988)，Wang (1988)，Wang et al. (1988)曾利用高雄雷達資料以“雷達回波相關追蹤”技術分析TAMEX Phase I的兩個降水系統之特性及內部運動場。本計畫之目的即欲將“雷達回波相關追蹤”的技術在個人電腦上建立一套完整的應用軟體程式，並以氣象局高雄雷達以及中大數值化雷達的資料做測試，希望在空間解析度以及即時要求的考慮之下重新設計傳統雷達最有

效率的觀測規範或法則，期望從雷達掃描資料收集、除錯、球面坐標資料轉換內挿成三度空間直角坐標資料的客觀分析到三度空間回波內部運動場之分析能在最短的時間內於個人電腦上完成，並即時提供給預報人員使用。

## 二、研究方法

自然界中充滿了移動型式(moving pattern)，這些移動型式大約可分為兩類，一是頻散的 (dispersive)，就是由各種不同速度的波所組成。另一是整個型式以一平均速度移動，但其內部伴隨著隨機變化(random variation)。Briggs(1968)對此兩種不同的移動型式，分別提出不同的客觀分析法，來決定它們的移動速度；對前者採用頻散分析法 (dispersion analysis)，對後者採用相關分析法 (correlation analysis)。由雷達所觀測到的回波，大都是以一平均速度移動，且內部帶有隨機變化，所以利用相關分析法來作分析最為恰當。rinehart (1979) 所提出的TREC技術，就是利用相關分析法對回波作圖形辨識，而求出移動速度。以下就對所採用的相關分析法、TREC技術分別作簡單地描述。

### (一) 相關分析法 (Briggs, 1968a)

設考慮一個二維型式  $F(x, y, t)$  是空間變數  $x, y$  及時間變數  $t$  的函數； $F(x, y, t)$  以一速度  $V$  移動， $\theta$  是  $V$  與  $x$  軸方向的夾角，則三維的相關函數  $\rho(\xi, \eta, \tau)$  定義如下：

$$\rho(\xi, \eta, \tau) =$$

$$\frac{\langle (F(x, y, t) - \langle F \rangle) (F(x + \xi, y + \eta, t + \tau) - \langle F \rangle) \rangle}{\langle (F(x, y, t) - \langle F \rangle)^2 \rangle}$$

在此， $\xi, \eta$ ，分別是  $X, Y$  方向的位移， $\tau$  是時間間隔，符號  $\langle \rangle$  是表示對時間、空間平均。 $\rho(\xi, \eta, 0)$  是二維空間相關函數，其是描述型的空間性質。假設二維空間相關函數  $\rho(\xi, \eta, 0) = \text{constant}$  的等值線是一同心橢圓族，由時間間隔  $\tau_0$  的兩不同時間的資料，可計算出二維空間相關函數  $\rho(\xi, \eta, \tau_0)$ ， $\rho(\xi, \eta, \tau_0) = \text{constant}$  的等值線也是一同心橢圓族，假若此型式有作移動，則此數在原點以外的點必有極限值  $\rho_{\max}$  存在，假設極大值發生在  $(\xi', \eta')$  上，其位移向量為  $r = (\xi', \eta')$ ，則速

度向量  $v$

$$\text{可由下式求得 } v = \frac{r}{\tau_0}$$

由上可知，對於時間間隔為  $\tau_0$  的兩型式，只要計算其二維空間相關函數  $\rho(\xi, \eta, \tau_0)$ ，找到最大相關的所在，就可得其移動速度。兩矩陣的相關係數的求法，可改由下式求出

$$R_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i) / n}{\{(\sum x_i^2 - nx^2)(\sum y_i^2 - ny^2)\}^{1/2}}$$

$x_i$  表時間一所選定矩陣的值， $y_i$  表時間二所選定矩陣的值， $i$  是網格點的足標 (index)， $x^2 = (\sum x_i / n)^2$ 。

### (二) TREC技術 (Rinehart(1979))

Rinehart(1979)提出的TREC技術，是一種客觀分析法，乃利用相關分析法對雷達回波作圖形辨識，求出移動速度。其分析步驟是 (a) 先收集兩連續時間 (時間間隔不可太大，等於  $\tau$ ) 的觀測資料。(b) 在時間一中選定一個九點矩陣。(c) 預定其最大可能運動速度  $V$ ，在時間二中設定計算範圍，此計算範圍是以 (b) 中所選定的九點矩陣的中心為圓心， $(V \times \tau)$  為半徑的圓，如此可節省計算時間。計算此範圍中的每一九點矩陣與時間一中的九點矩陣的相關係數。(d) 找出最大相關係數所在之點，由時間一的九點矩陣中心至此點定出位移向量  $r$ ，視為時間一的九點矩陣經時間  $\tau$  後的位移，由  $r$  與  $\tau$  可得此九點矩陣的移動速度。(e) 對時間一回波裡的每九點矩陣做 (c)、(d) 兩步驟，如此，可得回波內每點的移動速度，而知波回內部運動情形。

Rinehart所採用的資料儲存方式是沿著雷達波發射方向的等距離點上，所以，其九點矩陣的大小是輻散的；也就是距雷達愈遠處，其矩陣愈大。此問題在我們的分析中不會發生，因我們所分析的資料已轉換成直角座標。所以，不管在何處九點矩陣的大小都一樣。另時間間隔大小的選取也很重要，因若太小，則所得的速度很小或等於零；若太大，則所求得的速度可能已不具任何意義了，如時間間隔比生命期長，則所得的速度

已沒意義。

Rinehart提出TREC技術的可行性，討論回波內部的特異性 (distinctness)，回波特性的維持 (persistence) 的影響，也就是說太均質或變化很小 (指空間上) 的回波或生命期很短的回波，都無法使用TREC技術。他認為對風暴來說TREC是可行的。

#### 回分析方法

我們將TREC技術應用到高雄以及中大雷達所收集的直角座標資料，計算的步驟與Rinehart所用的步驟相似，其詳細過程如下：

(a) 選定時間間隔為  $\tau$  的兩組資料如圖 1 所示。

設定分析範圍，以能將所要分析的回波涵蓋為原則。

(b) 由綜觀尺度風場或回波整體移動速度來估計最大可能移動速度。

(c) 在時間一，分析範圍中選定一個  $n$  點矩陣，在時間二中設定計算範圍，以最大可能移動速度為最低限，由時間一的  $n$  點矩陣中心向外擴大  $M$  點，則計算範圍為  $(2M \times 2M)$  見方的正方形。對時間二中計算範圍內的每個  $n$  點矩陣，與時間一中所選定的  $n$  點矩陣作計算，而得其相關係數。

(d) 找出最大相關係數的所在，定出位移向量  $r$ ，則移動速度

$$v = r / \tau$$

(e) 對每一移動速度做偵錯的工作，用客觀判斷將不合理的速度去除或重新找。判斷速度是否合理，是將此點速度向量與周圍的速度向量作比較，若兩向量角度差超過一數值 (如  $90^\circ$ )，則捨棄此速度；再取相關係數次大的點，得移動速度，再做如上的客觀判斷；得移動速度，再做如上的客觀判斷；若合理則取此速度；若不合理，則再取相關係數次大者，如此重覆之。一般，相關係數設定最低限為 0.5，低於 0.5，則捨棄此點。

(f) 對時間一中回波裡的每一個  $n$  點矩陣做 (c) ~ (e) 三個步驟則可得回波裡每點的移動速度。

### 三個案分析與討論

(一) 3月1日至3月4日春季鋒面雨帶之個案

(a) 天氣概況 (圖 3 至圖 7)

此鋒面雨帶個案發展之整個過程中，地面鋒面已通過台灣，地面都在大陸性高壓籠罩中，溫度變化很小，由天氣圖看來，3月3日至3月4日，台灣北部海域都吹微弱的東北風。4日太平洋高壓增強，溫度也增高一些。由圖 3 可以看到台灣南部有一道滯留鋒面的形成，850mb的圖在 3月12z 有很明顯風切線，由溫度露點差看來，在北緯  $27^\circ$  北方來的空氣，十分乾冷 ( $T-Td$  15 度)。而在台灣附近則非常潮濕高溫，這些有利的條件，在台灣北部海域開始形成多重雨帶。台灣附近探空的熱力垂直分佈以及地面氣象要素逐時之變化，可參考圖 5, 6, 7。

(b) 暫帶雷達回波特性 (圖 8 至圖 12)

這次個案雷達觀測十分完整，自3月3日下午初生至3月4日下午兩帶完全消失為止，都做了完整的紀錄。這次雨帶的特性是在台灣島西北方向的80公里處，重複有兩帶生成後向東移入台灣，先後一共有五道雨帶，此消彼長，接續而來，造成北部測站的降水。

3日下午本地時間1300時起在北緯  $26^\circ$  度，東經  $119^\circ$  度附近開始有零星的回波生成，至 16 時已有明顯的帶狀回波自北緯  $26.4^\circ$  度，東經  $121^\circ$  度，延伸至北緯  $25.6^\circ$  度，東經  $119^\circ$  度，呈東北東與西南西走向，總長度約 200 公里。這個位置，在整個個案中，一再有兩帶在這附近生成。為何在這個位置生成，物理機制尚不明白，此兩帶我們命名為 L1，這道雨帶在向東移動時，前緣形成一較深之窄雨帶 (35dbz 以上區域的 5 公里寬)。窄雨帶後方有相當寬的層狀區約 70 至 80 公里寬，L1 在 2300 左右在台灣北部登陸後消失，整個生命期約十小時左右 (圖 8)。

4日凌晨在 L1 生成位置附近 L2 形成，此時此兩帶長約 250 公里 (圖 9)，已分出強對流窄雨帶及層狀寬雨帶，此窄雨帶迅速加強，在 0130 已達 45dbz 強度，並迅速向東南行進，在 0200 之間移動速度約每小時 20 公里，0200 以後移速較慢約每小時 15 公里，此道雨帶後方發展成大片

層狀雨區，最寬處可達 100 公里以上。0500 左右，窄雨帶已靠在地形上，此新竹台中外海有另一組回波逐漸向東北移動，在 0530 左右，兩個系統相遇，0600 在中壢附近，形成很強的回波（見圖 10）。同時 0500 又有 L3 在 L1, L2 初生位置附近生成，此道雨帶最初並不十分強。當 L2 在陸地上及台灣北海岸降水時 L3 也逐漸加強，但雨帶走向為東北西南向，在 0830 左右登陸台灣西北角。L3 在台灣陸地上消散時，L4 又在初生地生成，L4 西北方向同時有 L5 生成（圖 11），並一同移向台灣，此兩道雨帶十分長，長度約為 400 公里，但組織較弱，並無窄雨帶在前緣。在中午 1200 左右登陸，於 1500 左右在宜蘭外海消散（圖 12）。

這組雨帶走向大致呈東北東，西南西走向，只有 L3 發展出較圓形的回波，L3 發展同時，滯留鋒面在台灣中部附近形成。降水系統與鋒面形成似乎有關係。

#### C) 探空之綜合討論

本個案是多重雨帶十分清楚的一個個案，且雨帶中窄細強對流也很明顯，從台北探空隨時間之變化圖（圖 13），出雲帶發展於地面冷空氣層上方，地面至 900 mb 完全為東北方來之冷空氣所籠罩，850 mb 東南風所帶來之暖溼空氣，仍是雨帶水氣供應之主要來源，850 mb 為東南風而非西南風，而雨帶系統均向東南方向移動。因此，本個案應有較強之進入氣流 (inflow)，可能因此有明顯窄雨帶生成。

#### (D) TREC 所得之降水回波內部運動場

為了試用 TREC 的方法來進行降水系統內部運動場之分析，我們選取上述個案 1988 年 3 月 4 日，中大雷達 1 時 6 分，12 分以及 18 分三個資料時間來進行測試。

首先我們將極座標的雷達回波強度數據化資料轉換為直角座標，然後進行前述 TREC 之計算。

圖 14(a)、(b)、(c) 分別為 1 時 6 分，1 時 12 分以及 1 時 18 分的回波強度分佈情形，圖中座標原點即中大雷達之位置。由此三圖，可清楚看出細長窄雨帶之結構，兩整個雨帶往東南移動。但雨帶中的回波

則往東北移動。

因我們是用此個案來測試 TREC 技術之可行性以及各種不同因子對結果之影響，因此後面我們就取一些不同之結果來加以比較。圖 15(a)(b) 分別為 1 點 6 分至 1 點 12 分以及 1 點 12 分至 1 點 18 分，利用最大速度 20 m/s 所及為計算範圍的 TREC 結果，矩陣大小為 5x5，解析度為 2.0 公里，系統速度 U、V 分別取 4.7 m/s 及 -7.0 m/s 結果顯示窄雨帶中的內部運動主要為西南至東北的移動，此與回波胞之移動相當一致，雨帶後緣有些輻合運動存在，但前緣東南風內流只有在 12 分至 18 分的結果較明顯。再仔細檢查系統之速度，發現  $U=6.0$  m/s,  $v=-7.0$  m/s 較合實際情形，因此我們改變系統速度，重新求 TREC 之風場，結果如圖 16(a)(b) 所示，雨帶前緣之東南風內流清楚多了，窄雨帶中存在多處較明顯之輻合。注意圖 16 之向量大小比圖 15 放大了一倍。可見系統速度是很重要的影響因子。

圖 17(a)(b)(c) 為 6 分至 18 分，12 分鐘間格分別取不同計算範圍的結果，圖 17(a)(b)(c) 計算範圍之最大速度分別取 15 m/s, 20 m/s, 25 m/s 且都採用 6x6 之矩陣。相關係數只取大於 0.8 以上之資料來計算。

結果顯示前緣的東南風都很明顯，窄雨帶內部雖有多處之輻合存在，整體而言仍是向東北之移動分量較清楚。如果不考慮系統之移動速度，則雨帶內部之運動西北來之分量或北來之分量加強許多（圖 18）。當然，誤差擾動都較大。

綜合以上之討論，我們知道可能影響 TREC 技術之因素，包括計算範圍之大小，回波均質性以及降水系統速度等。此降水系統整體之移動速度與內部風場有明顯之差異，由此可見資料時間間隔之大小決定了 TREC 結果所得之尺度特徵，間隔愈大，環城風之特性較突出，系統整體的移動較明顯，間隔愈小則可得到回波內部相對的較小尺度運動特徵。

## 四、結論

雷達是研究中尺度天氣系統非常有用的工具，因為雷達對其觀測範圍的降水系統，可提供瞬間定性及定量的訊息，此正可彌補傳統觀測資料時間及

空間解析度不足的缺點。善用雷達的觀測能力，對即時預報將有很大的幫助。傳統雷達雖可提供時間及空間解析度相當高的降水回波強度，讓我們了解降水系統回波強度的三度空間結構，但無法提供運動參數。都普勒雷達雖可提供回波區之徑向運動速度，但欲真正了解降水系統的內部運動特性，由雙都普勒雷達的合成分析才能完成。可是雙都普勒雷達資料並沒有很普遍，除了密集之觀測實驗的特別配置外，一般的例行作業很少有這麼好的設備。因此若能發展一套利用數值化雷達回波資料即可間接求得降水系統內部風場的軟體，對了解降水系統的運動結構將會有很大之幫助。

\*雷達回波相關追蹤\*(TREC)即利用兩連續時間

雷達降水回波圖形的相關分析作圖形之辨識以求得位移向量，決定回波內部的風場。這方面的研究我們曾先後針對高雄雷達以及中大雷達做過多個個案之測試與發展，本文僅選取中大雷達之個案來討論，高雄雷達個案之研究結果請參考李興王(1988)。

綜合多個個案測試之結果顯示，只要雷達資料之解析度夠好，尤其時間間隔夠密集，利用TREC之技術的確可以求得回波區內的水平運動場。進一步之研究，可利用風場計算回波區內之輻合、輻散場以提供對流發展潛勢之更有利判斷資料。

誌謝：本文之完成得力於李月珠、林慶輝、陳英材等助理之協助，交通部中央氣象局之經費支援亦一併在此表示謝意！

## 參考文獻

- Austin, G. L. and A. Bellon, 1974: The use of digital weather radar records for short-term precipitation forecasting. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 100, 658-664.
- Blackmer, R. H., R. O. Duda and R. Rebah, 1973: Application of pattern recognition techniques for digitized weather radar. *Preprints of Papers Presented at the 15-th Radar Meteor. Conf.*, 138-143.
- Brandes, E. A. 1977: Gust front evolution and tornado genesis as revealed by doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, 16, 333-338.
- Briggs, B. H., 1968a: On the analysis of moving pattern in geophysics I. Correlation analysis. *J. Atmos. and Terres. phys.*, 30, 1777-1788.
- , 1968b: On the analysis of moving pattern in geophysics II. Dispersion analysis. *J. Atmos. and Terres. Phys.*, 30, 1789-1794.
- Brooks, 1st Lt. Herbert B., 1946: A summary of some radar thunderstorm observations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 27, 557-536.
- Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storm which travel to the right of winds. *J. Atmos. Sci.*, 21, 634-639.
- , 1965: Some inference about the updraft within a severe local storm. *J. Atmos. Sci.*, 22, 669-677.
- , and G. B. Foote, 1976: Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 102, 499-533.
- , and R. J. Donaldson, 1963: Airflow and structure of a tornadic storm. *J. Atmos. Sci.*, 20, 535-545.
- Byers, H. R., and R. R. Braham, Jr., 1949: *The Thunderstorm*. U. S. Gov't Printing office, 287pps.
- Chen, C. S., 1984: The preliminary investigation of terrain effect on the movement of summer time convective systems. *Bull. of Geophysics*, 26, 133-156.
- Chen, C. S., T-k. Chiou, S-T. Wang, S-M Lin and C-k Wang, 1987: Heavy rainfall in Taiwan area on May 28 and 29, 1985. *Bulletin of Geophysics* 28, 177-188.

- Crane, R. K., 1977: Automatic cell detection and tracking. *IEEE Trans. on Geos. Elect.*, GE-17, 250-262.
- Hertzman, O., P. V. Hobbs and J.D.Locatelli, 1988: The mesoscale and Microscale Structure and Organization of Clouds and Precipitation in Midlatitude Cyclones. XVI: Three Dimensional Airflow and Vertical vorticity budget for a warm front. *J. Atmos. Sci.* 45, 3650-3666.
- Hilst, G. R., and J. A. Russo, Jr., 1960: An objective extrapolation technique for semi-conservative fields with an application to radar pattern. Tech. Memo No. 3, Contract AF 30-635-14459, Traversers Wea. Res. Center., Hartford, Conn., 34pps.
- Kessler, E. III, and J. A. Russo, Jr., 1963: A program for the assembly and display of radar-echo distributions. *J. Appl. Meteor.*, 5, 582-593.
- Kropfli, R. A., and L. J. Miller, 1976: Kinematic structure and flux quantities in a convective storm from dual-Doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*, 33, 520-529.
- Lhermitte, R.M. and M. Giehl, 1975: Dual doppler radar observation and stud of sea breeze convective storm development. *J. Appl. Meteor.*, 14 1346-1361.
- , and L. J. Miller, 1970: Doppler radar methodology for the observation of convective storms. Preprints 14th Conf. on Radar Meteor., 133-138.
- , K. Sashgyi and J. Cuning, 1977: Tri-Doppler radar observations of Florida convective storms. Preprints 10th Conf. on severe local storms., 90-96.
- Liao, S. Y., and C. S. Chen, 1984: The primitive study of organized radar echo of front systems and summertime convection system Bulletin of Geophys. 25.
- Locatelli, J. D., and P. V. Hobbs, 1987: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. XIII: Structure of a warm front. *J. Atmos. Sci.*, 44, 2290-2309.
- Marwitz, J. D. 1972: The structure and motion of severe hailstorms. Parts I-III. *J. Appl. Meteor.*, 11, 166-201.
- Newton, C.W., 1960: Morphology of thunderstorms and hailstorms as affected by vertical wind shear. *Physics of Precipitation. Geophysical Monograph No. 5, NAS-NRC No. 746,339-346.*
- , and J. C. Fankhauser, 1975: Movement and propagation of multicellular convective storms. *Pageoph*, 113, 748-764.
- Parsons, D.B., and P. V. Hobbs, 1983: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. IX: Some effects of orography on rainbands. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1930-1949.
- Ray, P. S., R. J. Doviak, G. B. Walker, D. Sirmans, J. carter and B., Bumgarner, 1975: Dual-Doppler observation of a tornadic storm. *J. Appl. Meteor.*, 14, 1521-1530.
- Ray, Peter S., K. k. Wagner, K. W. Johnson, J. J. Stephens, M.C.Bumgarner and E. A. Mueller, 1978: Triple-Doppler observations of a convective storm. *J. Appl. Meteor.*, 17, 1201-1212.
- Ray, P.S., C. L. Ziegler, W. Bumgarner and R. J. Serafin, 1980: Single- and Multiple-Doppler radar observations of tornadic storms. *Mon. Wea. rev.*, 108, 1607-1625.
- Rinehart, R. E., 1979: Internal storm motions from a single non-doppler weather radar. NCAR/TN-14+STR, NCAR Tech. Note, Nat. Center for Atmos. Res.

- Boulder, 262pp.
- , and R. E., 1978: Three-dimensional storm motion detection by convectional weather radar. *Nature*, 273 287-289.
- Smythe, G. R., and D. S. Zrnice, 1983: Correlation analysis of Doppler radar data and retrieval of the horizontal wind, *J. Climate and Appl. Meteor.*, 22, 297-311.
- Tuttle, John D. and G. Brant Foote, 1989: Boundary layer airflow determined from a single Doppler radar Preprints, 14th Conference on radar Meteorology, P134-137, American Meteorology Society.
- Wang, Tai-Chi Chen, L. N. Chang and P. L. Lin, 1987: Rainfall estimate from digital radars in Taiwan area international Symposium on Tropical Precipitation Measurements, Tokai University, Tokyo, Japan, P420-430.
- Wang, Tai-Chi Chen 1988: The radar analysis of two precipitation systems during 1986 Mei-Yu season, *P. M. R.*, Vol. 11, No.1, 63-94.
- Wang, Tai-Chi Chen, Ching-Sen Chen, and Yeuh-Chu Lee, 1988: The low level internal motions within a convective rainband during Mei-Yu Season in the vicinity of Taiwan Preprints, 15th Conference on severe Local storms, P221-224, America Meteorology Society.
- Wilk, K. E., 1966: Motion and intensity characteristics of the severe thunderstorms of April 3, 1966. Tech. Memo. IERTM-NSSL-29, Inst. for Environ. Res., NSSL, Norman, 9-21.
- Wilson, J. M., 1966: Movement and predictability of radar echoes. Tech. Memo. IERTM-NSSL-28, Inst. for Environ. Res., NSSL, Norman, 30pps.
- 陳景森·林雨我, 1986: 夏天台彎地區發生組織性回波的案例, *大氣科學*, 13, 63-76.
- 丘台光, 劉復謙, 1985: 民國63年6月3日台灣北部地區豪雨之個案研究, *大氣科學*, 12, 93-102.
- 曲克恭, 1979: 氣象雷達 MSR-74C測定台灣地區暴雨量之研究, *氣象預報與分析*, 78期, 1-18.
- 廖學鎰, 俞家恩, 洪秀雄, 陳景森, 江火明, 孔令誠, 蕭志惠, 鍾永明: 中尺度天氣系統之雷達分析(一)初步探討. 國科會專題研究報告 74頁 NSC-72-0202-M008-05.
- 廖學鎰, 羅季康, 洪秀雄, 陳景森, 江火明, 孔令誠, 蕭志惠, 鍾永明, 劉建忠與劉建新, 1984: 中尺度天氣系統之雷達分析(二)進一步探討, 國科會專題研究報告 56 頁 NSC-73-0202-M008-01.
- 廖學鎰, 羅季康, 洪秀雄, 陳景森, 江火明, 孔令誠, 鍾永明, 郭兆憲與陳維銘, 1985: 中尺度天氣系統之雷達分析(三)密集觀測及分析. 國科會專題研究報告 80 頁 NSC-74-0202-M008-01.
- 廖學鎰, 羅季康, 洪秀雄, 陳景森, 江火明, 劉建忠, 鍾永明, 劉東明, 洪天助, 郭兆憲與陳維銘, 1980: 中尺度天氣系統之雷達分析(四)擴大觀測與分析. 國科會專題研究報告 102頁 NSC-75-0202-M008-02.
- 張隆男, 王陳台琦, 何宏能, 1988: 亞力士颱風與降水回波資料, 天氣分析與預報研討會, 中央氣象局, 411-418.
- 李月珠與王陳台琦, 1988: 利用數值化雷達資料分析降水系統內部回波運動場, *大氣科學*第十六期, 217-235 頁.



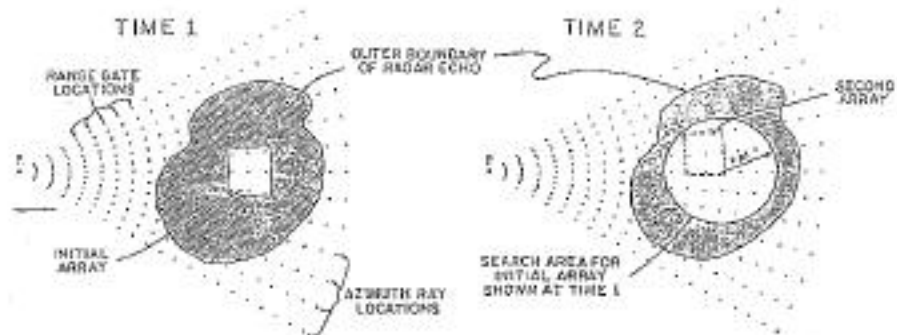


圖 1. 雷達掃瞄區矩陣之選取

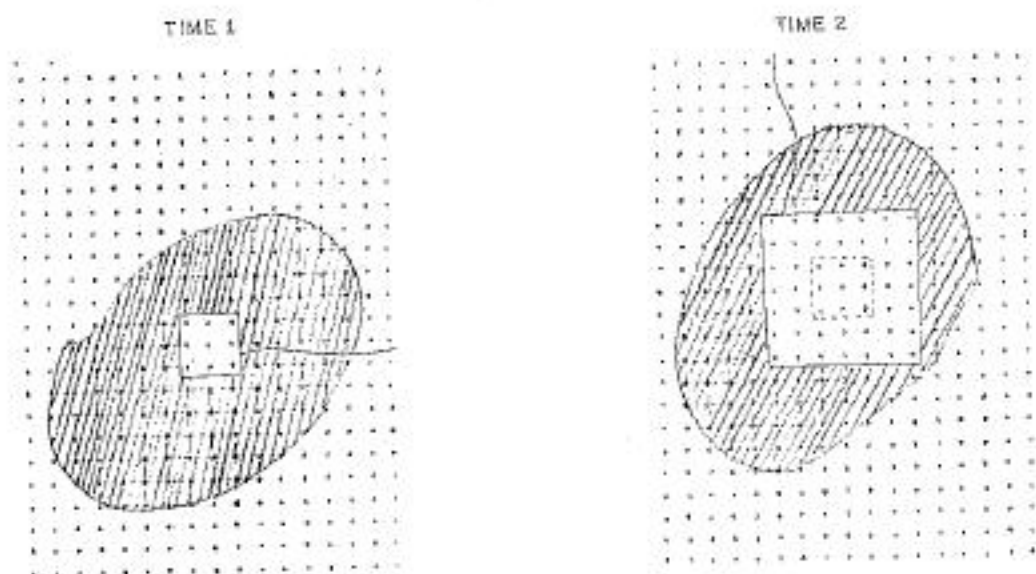


圖 2. 時間間隔  $\tau$  的兩組雷達矩陣資料



圖 3. (a) 3月3日 00z 0800LST 地面天氣圖

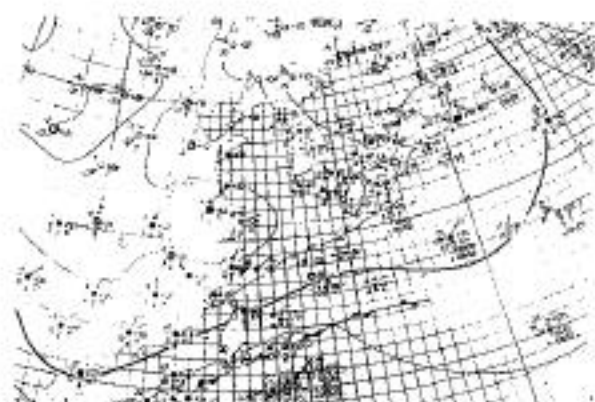


圖 3. (b) 3月3日 12z 2000LST 地面天氣圖

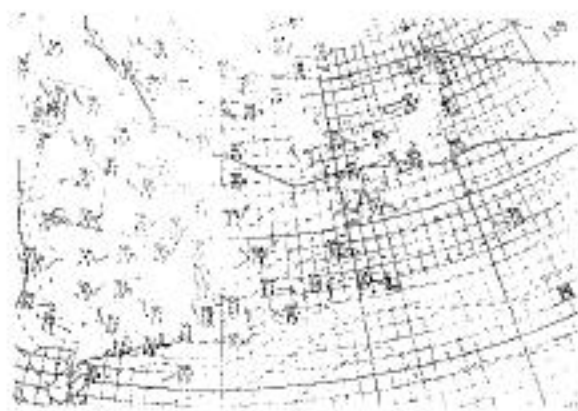


圖 3. (c) 3月3日 12z 2000LST 850毫巴天氣圖

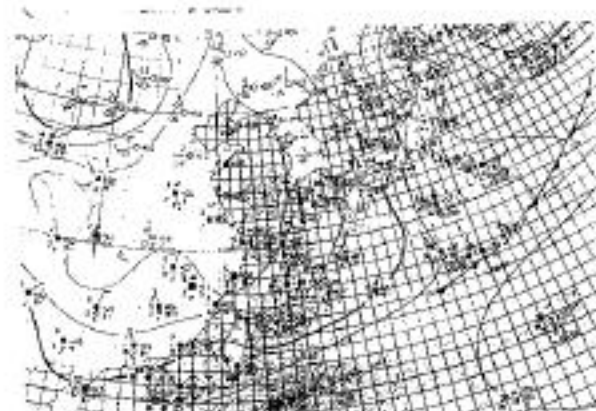


圖 4. (b) 3月4日 12z 2000LST 地面天氣圖



圖 4. (a) 3月4日 00z 0800LST 地面天氣圖

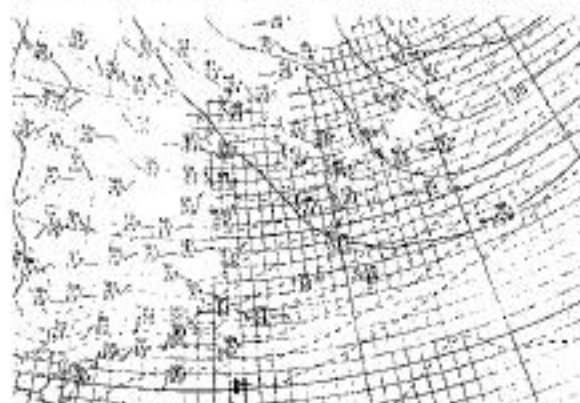


圖 4. (c) 3月4日 12z 2000LST 850毫巴天氣圖

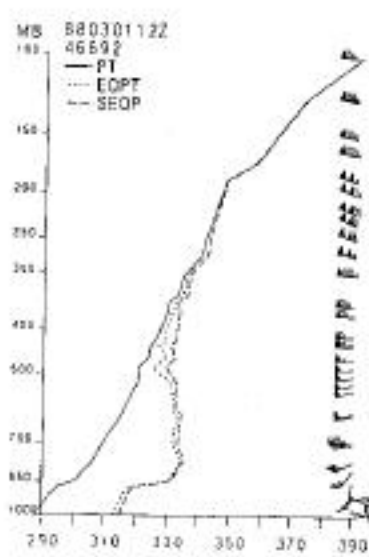
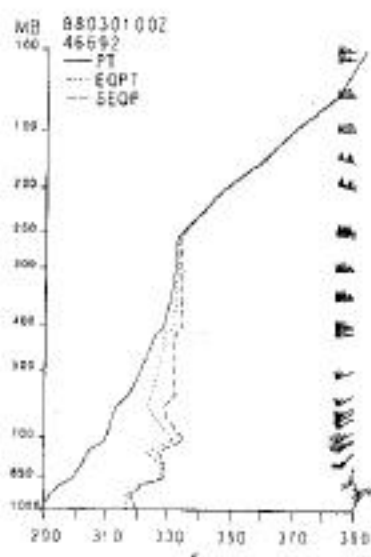


圖 5. (a) 3月1日 00z 0800LST 12z, 2000LST

$\theta$ ,  $\theta_e$ ,  $\theta_e^*$  高空氣剖面圖

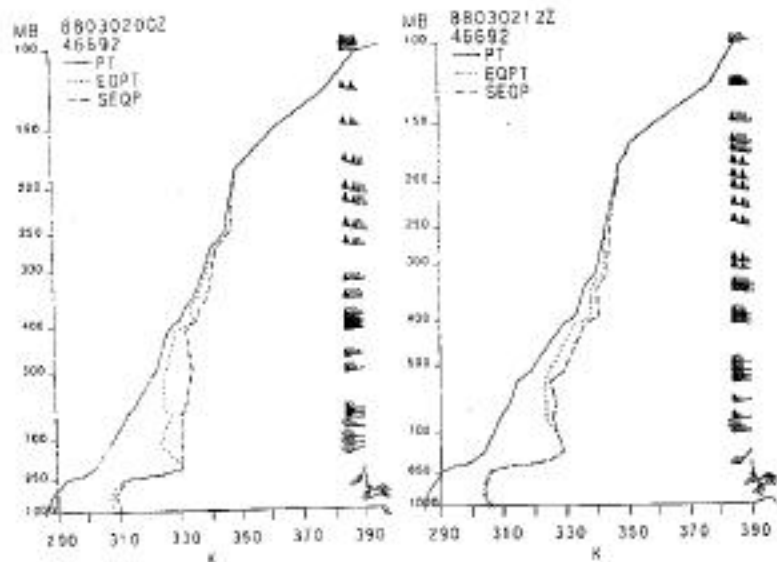


圖 5. (b) 3月2日 00z 0800LST 12z, 2000LST  
 $\theta$ ,  $\theta_e$ ,  $\theta_{e^*}$  高空風剖而圖

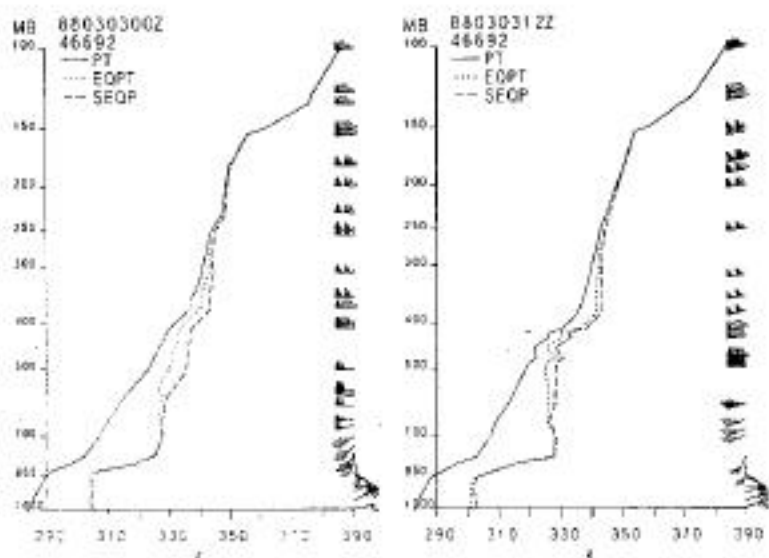
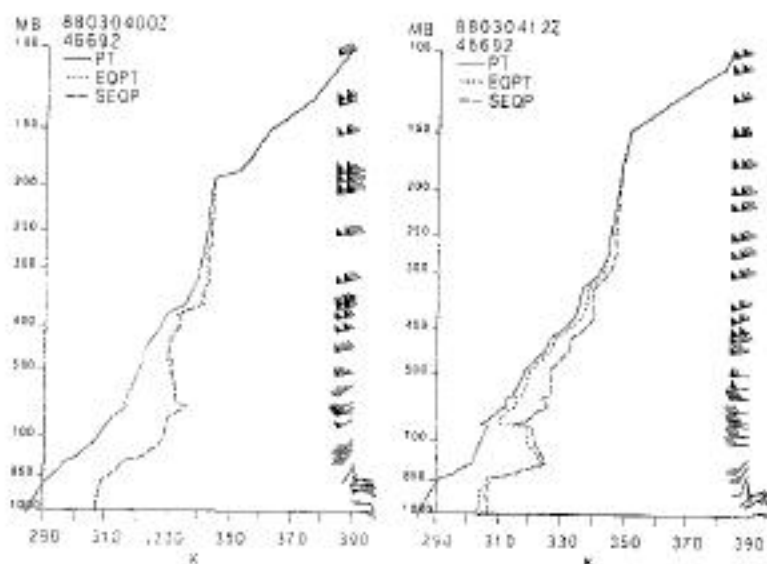


圖 5.  $\theta$ ,  $\theta_e$ ,  $\theta_{e^*}$  高空風剖而圖  
 (a) 3月3日 00z 0800LST 12z, 2000LST



(b) 3月4日 00z 0800LST 12z, 2000LST

$\theta$ ,  $\theta_e$ ,  $\theta_e^+$  高空風剖面圖

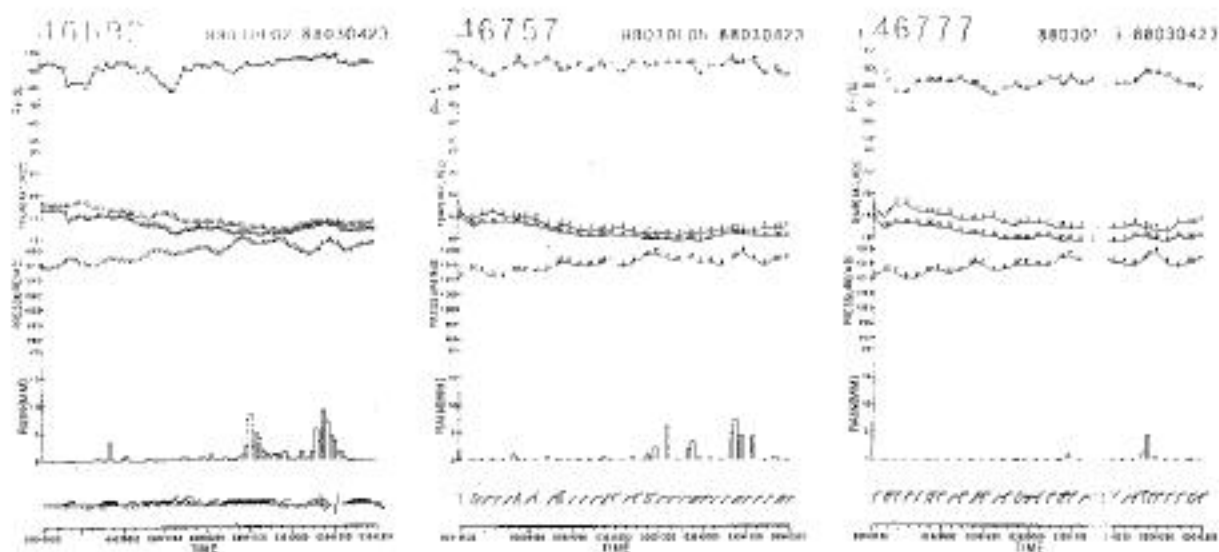


圖 7. 台北, 新竹, 台中, 3月1日 0200LST至3月4日 2300LST 地面要素

Station: MOU  
 Pulse Range: L 1 KM  
 Scalar: 1/2

05	5.7 dBZ
06	5.2 dBZ
07	4.7 dBZ
08	4.2 dBZ
09	3.7 dBZ
10	3.2 dBZ
11	2.7 dBZ
12	2.2 dBZ

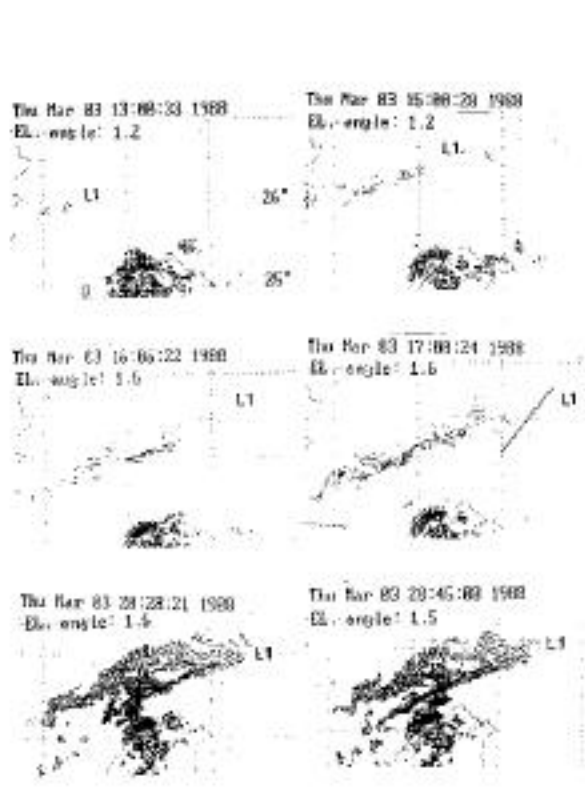


圖 8. 3月3日 1300LST至2045LST 中大雷達回波圖

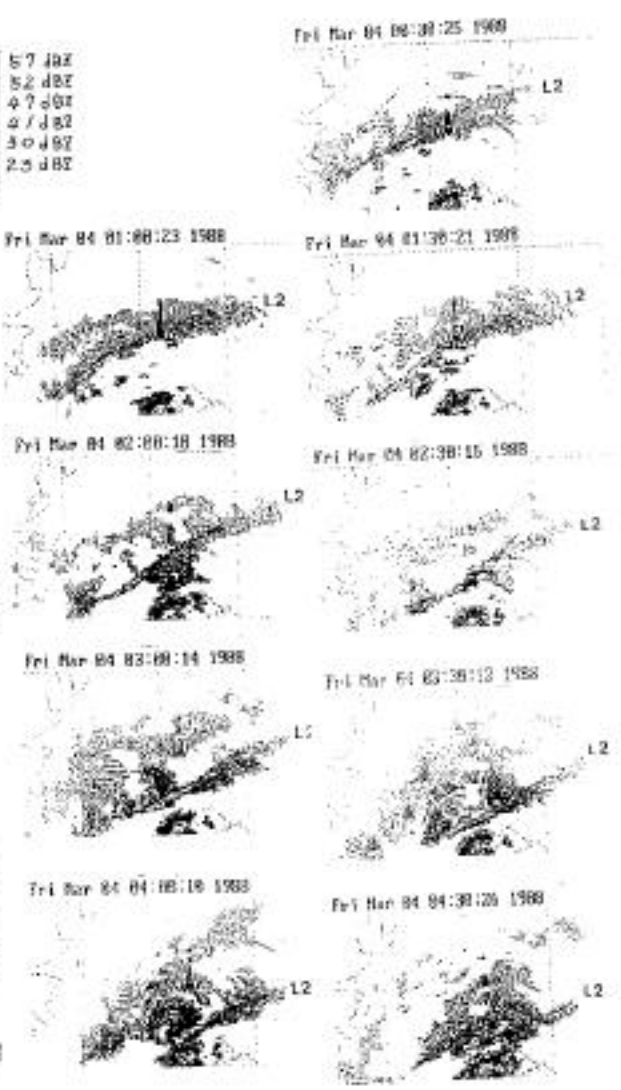


圖 9. 3月4日 0300LST至0430LST 中大雷達回波圖

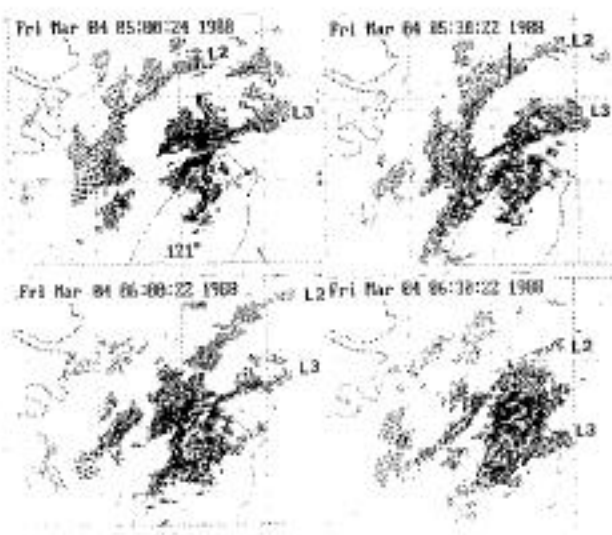
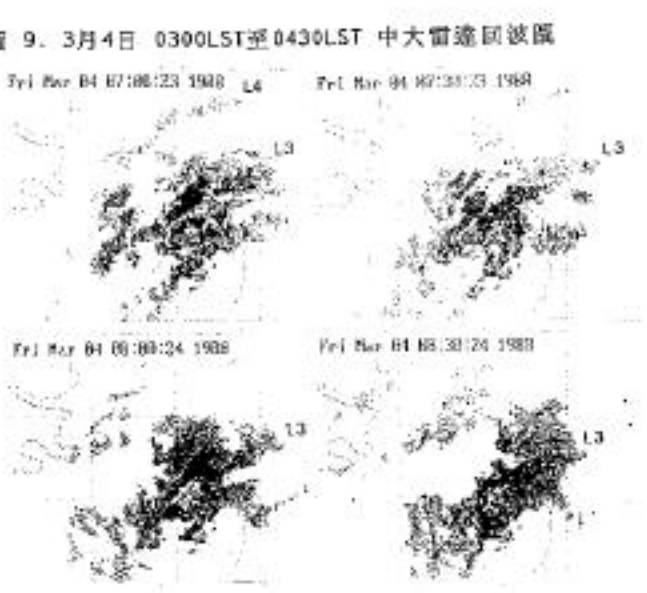


圖 10. 3月4日 0500LST至0830LST 中大雷達回波圖



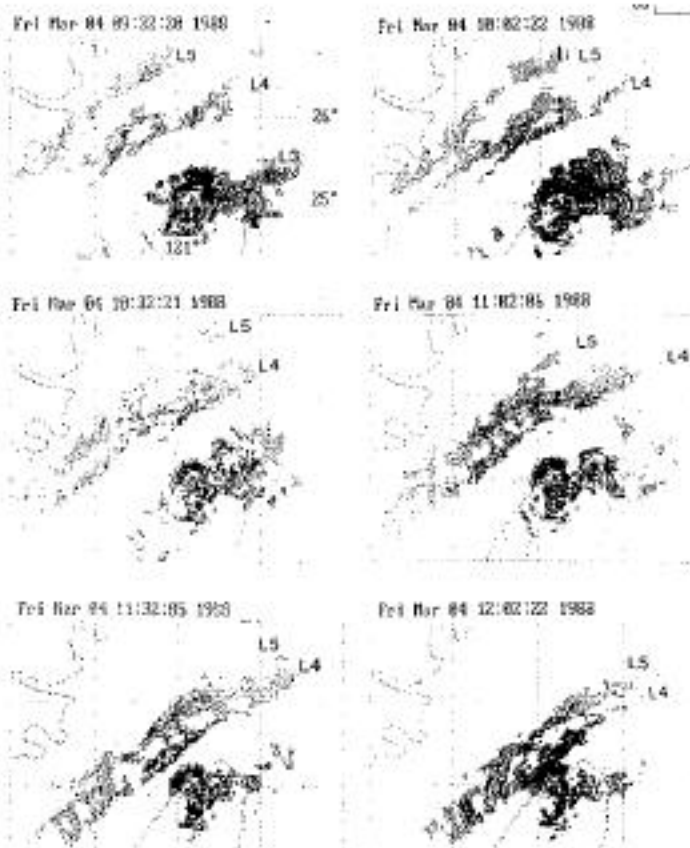


圖 11. 3月4日 0932LST至1202LST 中大雷達回波圖

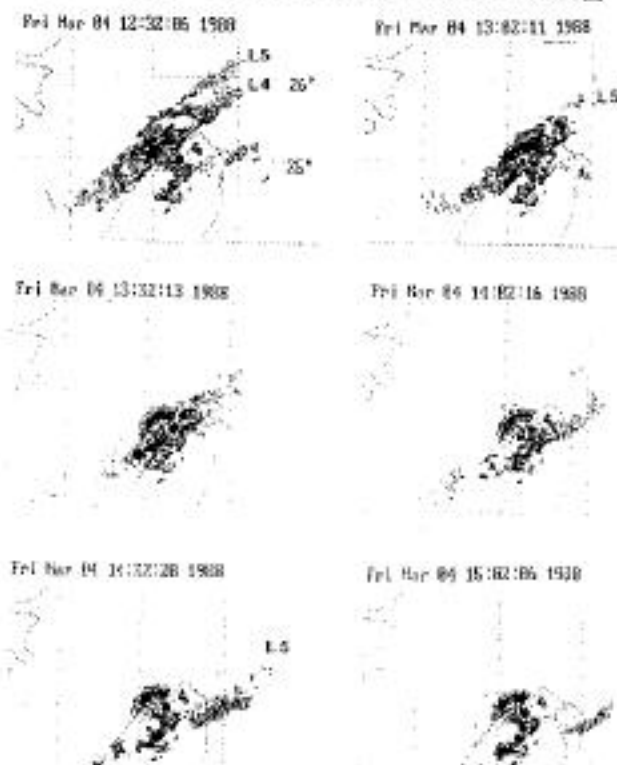


圖 12. 3月4日 1232LST至1502LST 中大雷達回波圖

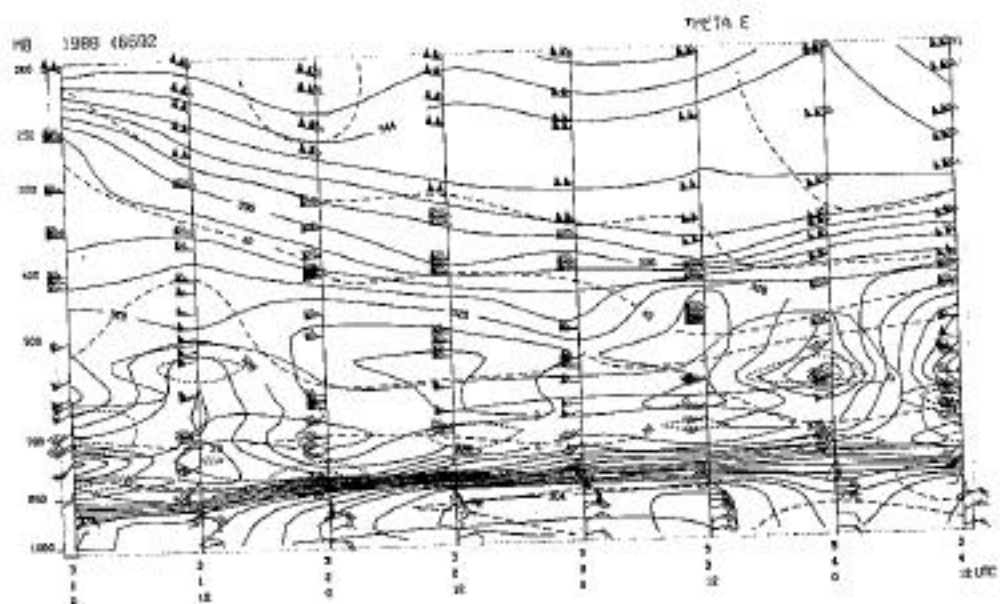


圖13. 探空時間序列分佈圖

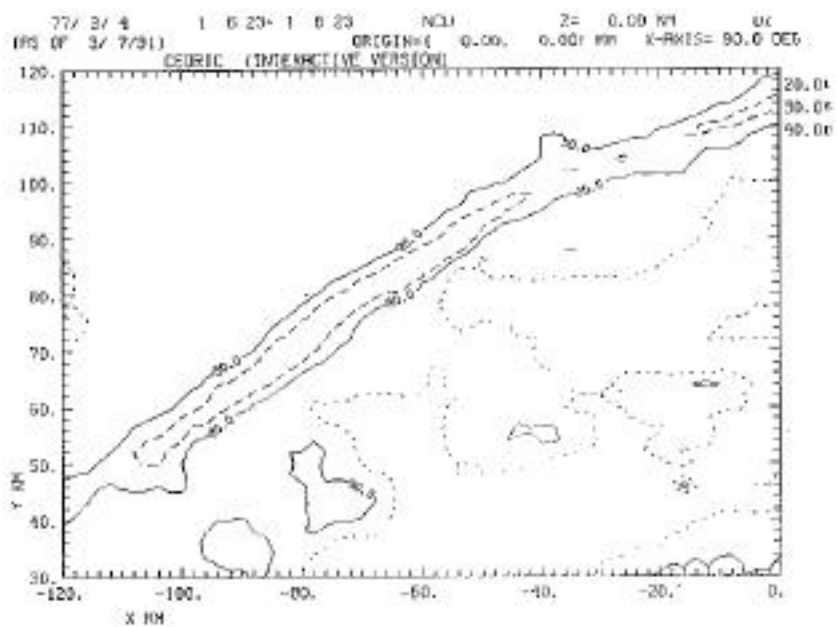


圖14. (a)3月4日 0106LST 回波分佈

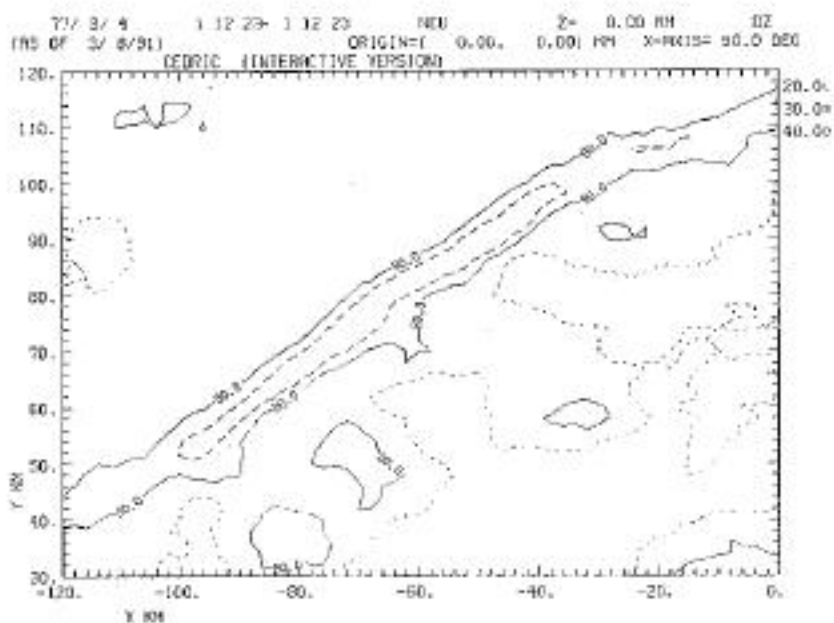


圖14. (b)3月4日 0112LST 回波分佈

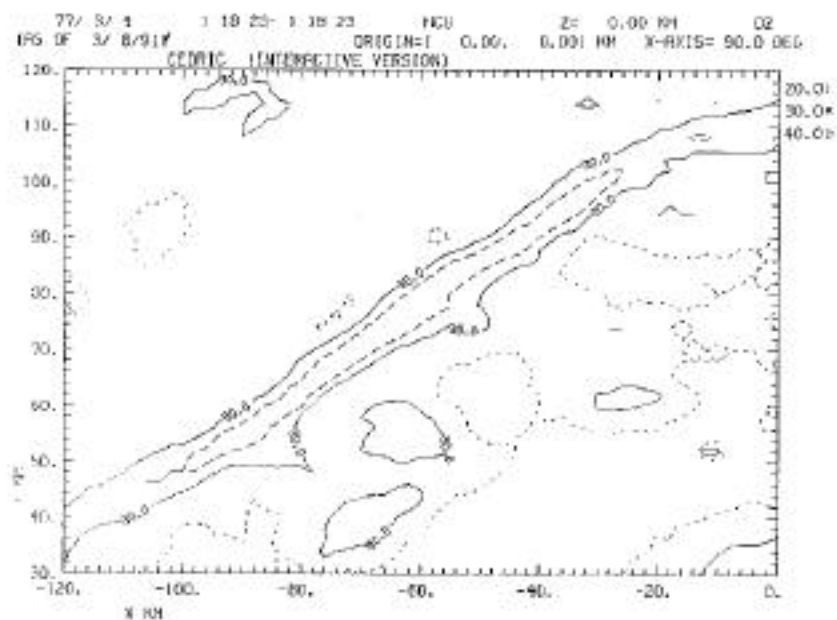


圖14. (c)3月4日 0118LST 回波分佈



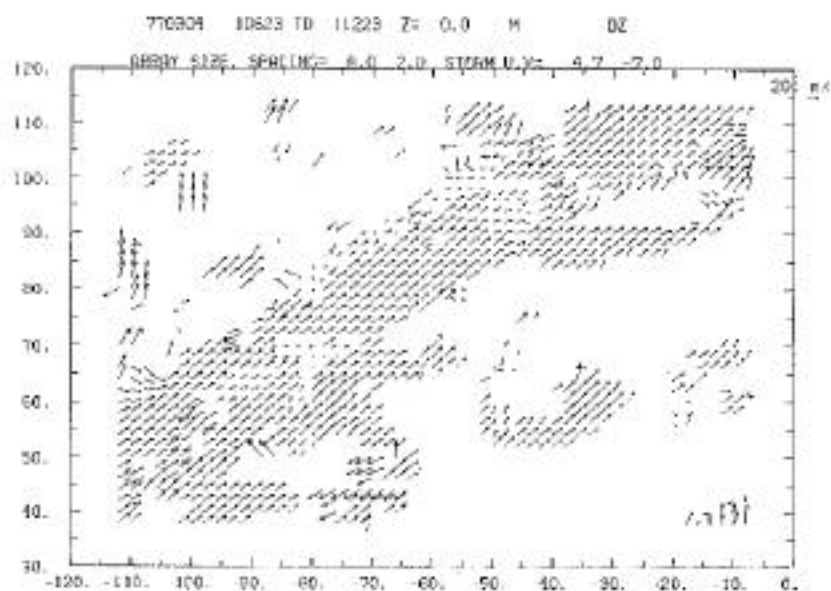


圖 15. (a)  $5 \times 5$  矩陣  $U = 4.7, V = -7.0 \text{ m/s}$  TREC 所得之  
 風場 (0106-0112LST)

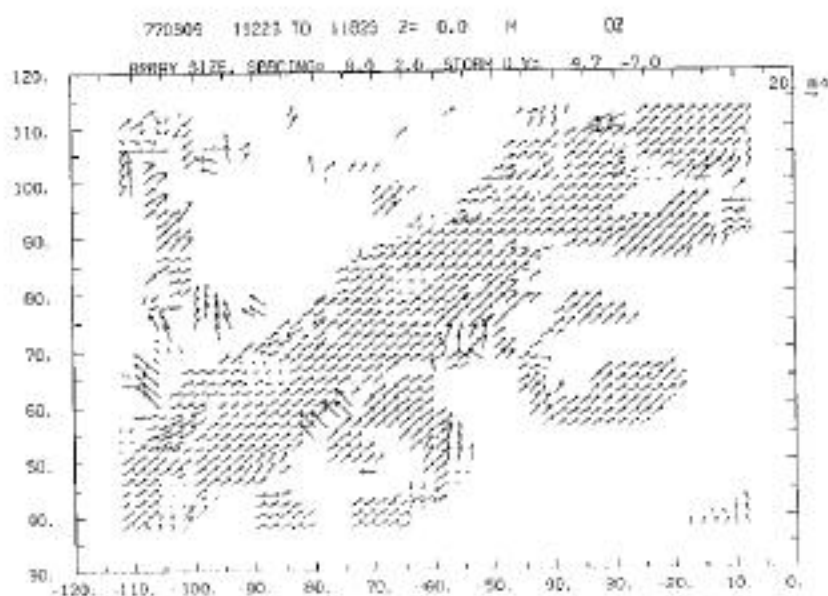


圖 15. (b)  $5 \times 5$  矩陣  $U = 4.7, V = -7.0 \text{ m/s}$  TREC 所得之  
 風場 (0112-0118LST)

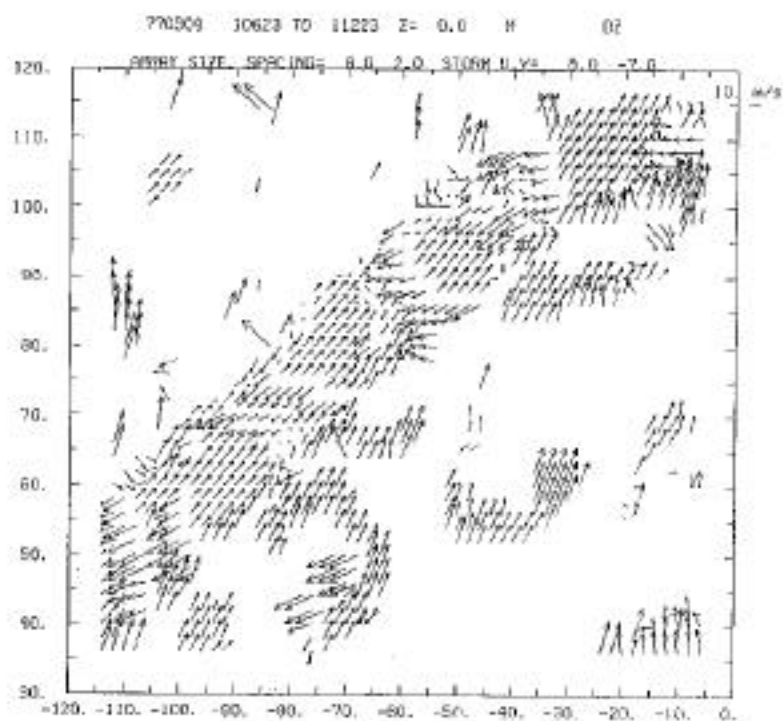


圖 16. (a)  $5 \times 5$  矩陣  $U=8.0, V=-7.0$  m/s TREC 所得之  
風場 (0106-0112LST)

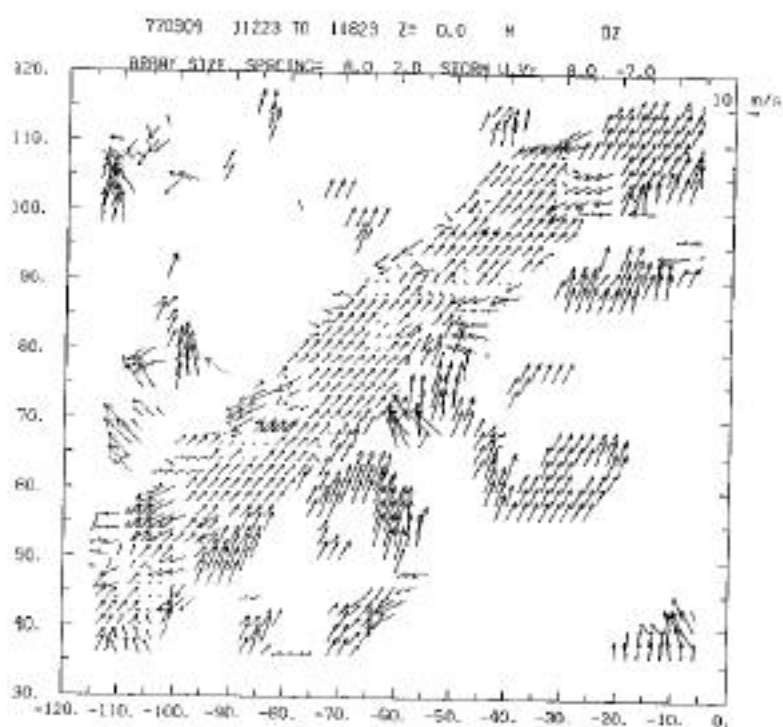


圖 16. (b)  $5 \times 5$  矩陣  $U=8.0, V=-7.0$  m/s TREC 所得之  
風場 (0112-0118LST)

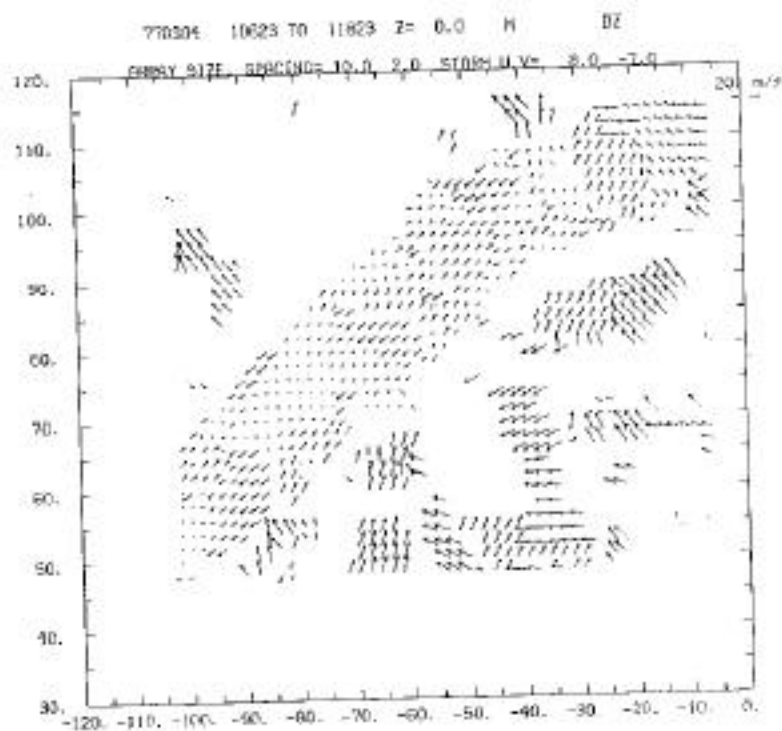


圖 17. (a) 6x6 矩陣  $V(\max) = 15 \text{ m/s}$  TREC 所得之風場  
 (0106-0112LST)

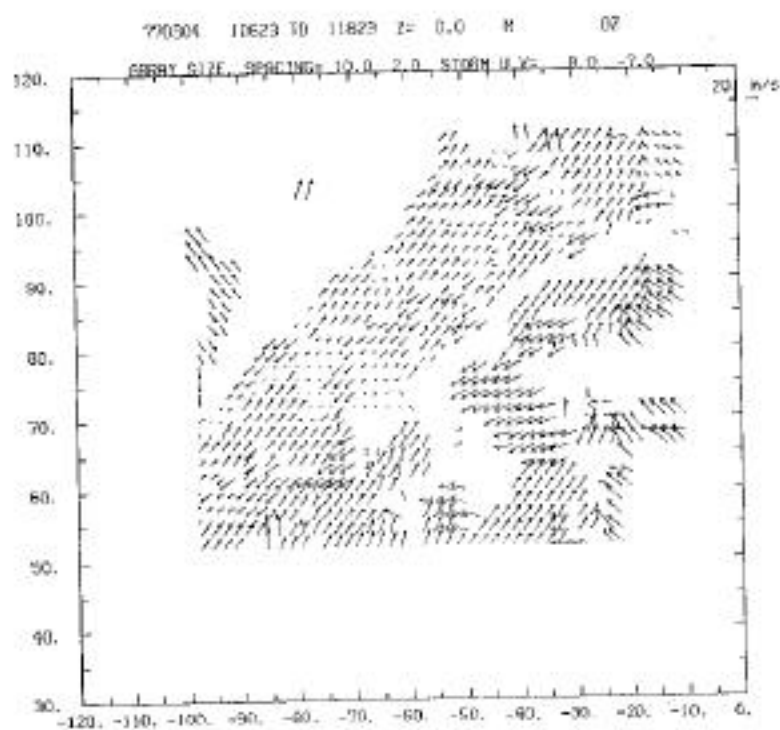


圖 17. (b) 同圖 17(a) + 假  $V(\max) = 20 \text{ m/s}$

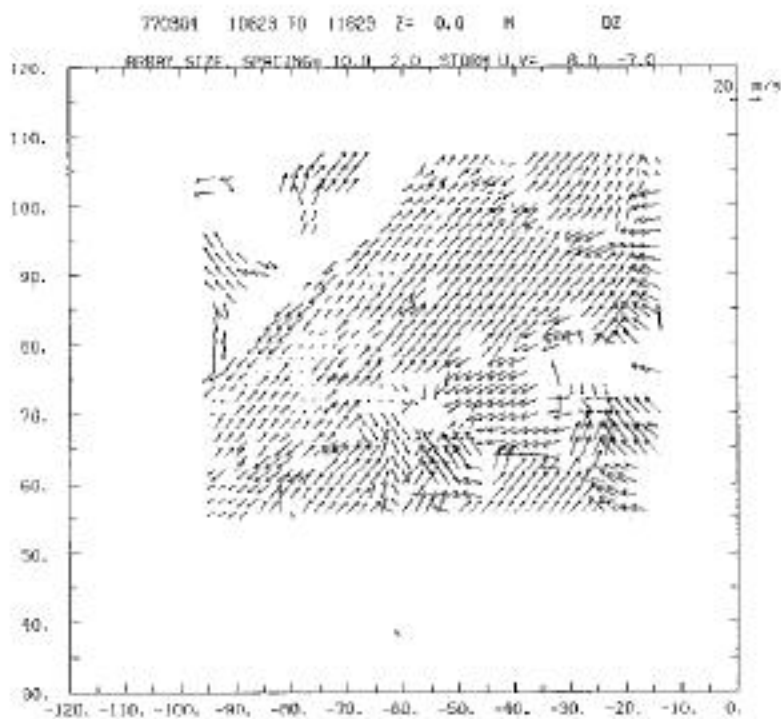


圖 17. (c)同圖 17(a), 但  $V(\max) = 25\text{m/s}$

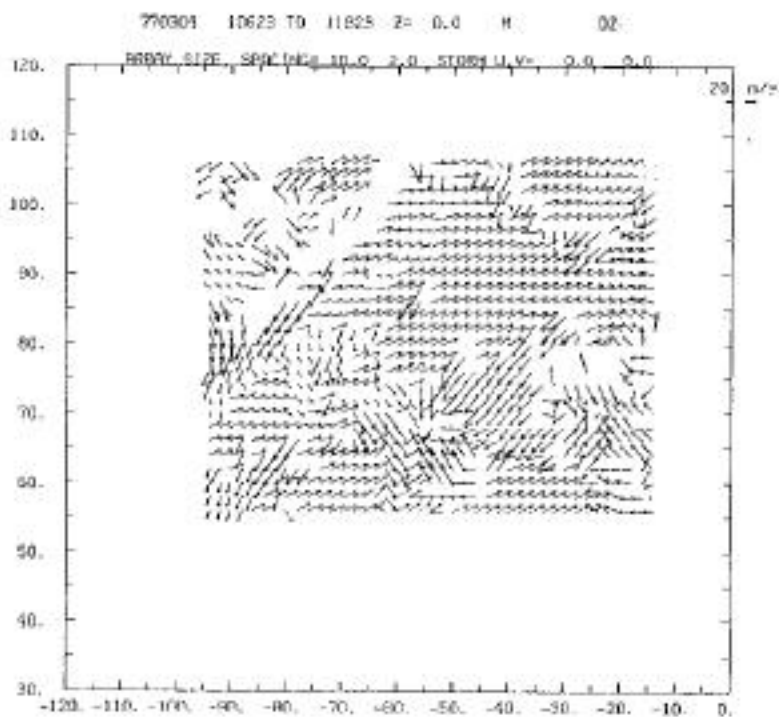


圖 18.  $6 \times 6$  矩陣  $U = 0, V = 0, V(\max) = 25\text{m/s}$  TREC  
所得之風場

Radar data application in precipitation forecasting (I)  
Internal motion derived from radar reflectivity

Tai-Chi Chen Wang

Pay-Liam Lin

INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS

NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY

Abstract

The mesoscale convective systems often bring heavy precipitation and cause damage of life and property. The knowledge of the internal kinematic structure of these MCSs will be helpful to the operation of nowcasting. Conventional radar may provide high resolution three dimensional reflectivity structure, however the internal motion of MCS can not be directly observed.

In this report, an objective technique called TREC (Track radar echo by correlation) (Rinehart, 1979) will be applied to digital reflectivity data. Through the calculation of cross correlation of reflectivity fields at two consecutive time periods the internal motion can be estimated. For the purpose of real time operation, we have tested this method on a personal computer. A few cases of different weather types were also tested. The motion field seem reasonable in most area.