

利用數值化雷達資料分析降水 系統內部回波運動場

李月珠 陳台琦

國立中央大學大氣物理研究所

(中華民國七十七年五月八日收稿；六月十五日定稿)

摘 要

中尺度天氣系統常伴隨劇烈降水，對生命財產造成很大的損害，若能對中尺度降水系統的運動結構有所了解，對短期預報將有幫助。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，能了解降水系統的三度空間結構，但無法提供運動參數，必須與其他觀測資料配合，主觀分析、推理，才可揣測其運動結構；但若有數值化雷達資料，應用Rinehart (1979) 所提出的一種客觀分析TREC技術(Tracking Radar Echo by Correlation) 利用相關分析對兩連續時間的回波圖形作圖形辨識得位移向量，而間接地求得降水系統內部的回波運動場，增進對降水系統運動結構之了解。

本文是利用臺灣地區的數值化雷達資料，應用TREC 技術做分析，以試驗以臺灣地區數值化雷達資料的解析度，應用TREC 技術的可行性，由分析結果顯示出，回波整體受環境風場作用而移動，但其內部風場有小尺度擾動存在，若能有更好的空間、時間解析度的雷達資料，則可藉著TREC 技術分析降水系統內部運動，得知其最有可能對流發展區之所在，則此技術可改善對劇烈降水的預報。

關鍵詞：數值化雷達、型式辨認、內部運動場。

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，都普勒雷達的發展，已可直接測得降水系統內部的風場。

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) 追蹤風暴內部的 "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 (1960) 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。Blackmer 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，得整體移動速度。Crane (1977) 對風暴內的回波胞 (cell) 作追蹤，而得個別回波胞的移動速度。Rinehart and Garvey (1978)，Rinehart and Tuttle (1980) 利用相關分析法，對風暴內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，與三都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。

影響臺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) 曾利用台中清泉崗雷達資料，配合地面資料、探空資料、衛星資料，對發生於臺灣地區的此類天氣系統作研究並分類。但我們對此類天氣系統內部的運動結構了解不深，本文就是應用 TREC 技術，對高雄雷達所收集的數值化雷達資料作分析，以試驗高雄雷達資料的解析

度應用 TREC 技術的可行性。

求取降水系統內部之風場，最佳的工具固然是都普勒雷達或飛機，但是在資料缺乏時，TREC 可在實際作業時以近即時 (real time) 的計算提供三度空間回波運動場。同時，如果作業單位僅能掌握一個都普勒雷達資料時，單都普勒的徑向風觀測，並無法得知三度空間風場之變化，而 TREC 技術可輔助單都普勒雷達做更精確之判斷。但使用 TREC 時，時間及空間解析度十分重要，不同的解析度所得之運動場代表不同尺度之回波運動。本文目的在探討此技術之可行性，無法取得足夠之資料組供比對，但期許日後雷達資料結構進一步改善時，此技術可增加降水系統運動結構之了解。

二、分析方法

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，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)

假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， θ 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， ξ ， η 分別是 x ， y 方向的位移， τ 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，其是描述型式的空間性質。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 τ 的兩不同時間的資料，可計算出二維空間相關函數 (ξ, η, τ) ， $\rho(\xi, \eta, \tau) = \text{constant}$ 的等值線也是一同心橢圓族；實際情況下，如此型式移動且強度的改變不大，則在原點外 ρ 的等值線應呈橢圓，且存在一最大值 ρ_{\max} 。假設極大值發生在 (ξ', η') 上，其位移向量為 $\vec{r} = (\xi', \eta')$ ，則速度向量 \vec{v} 可由下式求得

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}}{\tau}$$

由上可知，對於時間間隔為 τ 的兩型式，只要計算其二維空間相關函數 $\rho(\xi, \eta, \tau)$ ，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

$$R_{xy} = \frac{\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i) / n}{[(\sum X_i^2 - n\bar{X}^2)(\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2)]^{1/2}}$$

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)， $\bar{x}^2 = (\sum X/n)^2$ 。

相關分析法也被應用在衛星氣象上，如 Leese et al. (1971) 應用相關分析法追蹤雲塊，計算出雲塊的移動速度。現已許多國家將此分析納入例行作業中，如歐洲的 ESA、美國的 NESS 及日本的 MSC 都有風的計算系統，利用雲塊追蹤法求取風速及風向，這些風的資訊在海上、沙漠或高山等測站稀少區，顯得十分珍貴，對數值預報上的用途更大。

(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 τ) 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 \vec{r} ，視為時間一的九點矩陣經時間 τ 後的位移，由 \vec{r} 與 τ 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，而知回波內部運動情形。

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 技術的可行性受回波內部的特異性 (distinctness)，及回波特性的維持 (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。

(三)、分析方法

我們將 TREC 技術應用到高維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 τ 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 t_0 時，分析範圍中選定一個九點矩陣，在時間 t_1 中設定計算範圍，以最大可能移動速度為最低限，由時間 t_0 的九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。

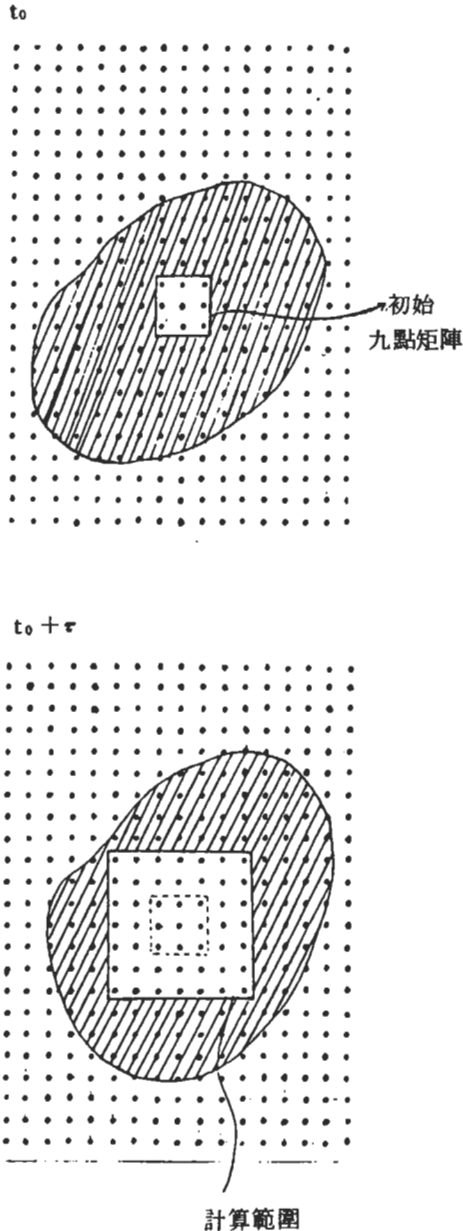


圖1 時間間隔為 τ 的兩組雷達資料處理示意圖(a)表示時間 t_0 。(b)表示時間 t_1 ($\tau = t_1 - t_0$)時之雷達資料。

對時間 t_1 中計算範圍內的每個九點矩陣，與時間 t_0 中所選定的九點矩陣作計算，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 \vec{r} ，則移動速度

$$\vec{v} = \vec{r} / \tau$$

(e)對每一移動速度做偵錯的工作，用主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某一數值（如90度），則捨棄此速度；再取相關係數次大的點，得移動速度，再做如上的主觀判斷；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。在此，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 t_0 中回波裡的每一個九點矩陣做(c)~(e)三個步驟，則可得回波裡每點的移動速度。

在我們的分析結果中所顯示的是每間隔5點，才取一九點矩陣作分析，是因為我們尚在試驗TREC的階段，為節省計算時間起見。TREC技術不能用在有地面回波或海浪回波之處，所以，我們在計算之前都將地面回波及海浪回波去除。另我們也分別用9點、25點及49點等不同大小的矩陣作試驗，此將於個案一中詳細討論。

三、資料來源及個案選取

TREC所追察之目標是在既定之時間間隔內最相似的圖形。以雷達資料而言即是最相似之回波圖形。而相關係數最大處，即假設是此型式移動之位置，因此所取雷達資料之時間與空間解析度對於所求得之回波運動場所代表之意義有先決性之影響。

時間間隔愈短，空間解析度愈小，如時間間隔小於100 sec，空間解析度約1 km左右，則可得到降水系統內部之回波運動場（internal motion），而水平方向十分接近風場。時間間隔如較長（10 min左右），但仍小於對流回波之生命期，則可得到對流胞之運動（Cell motion）。如時間間隔更長（30分~60分），則求取相關係數的矩陣要放大，所得之結果則接近降水系統之移動（Storm motion）。為了測試此方法，作者於75年8月22日赴高雄雷達站，收集可能取得之最短時間間隔資料，並且執行CA方式（Constant Altitude）

資料處理，在 14 點 25 分及 14 點 39 分，分別記錄了兩組 1 至 2 公里高度層之數值化資料 (digitized data)。

數值化資料的儲存方式，是儲存在 X 軸有 201 點，Y 軸有 216 點的矩陣內，網格點的距離是 4 公里。所以，涵蓋範圍為 800×860 平方公里的面積。高雄雷達的位置是在 X 軸第 101 點，Y 軸第 116 點上。本文就是利用此個案來對我們的分析方法 (TREC) 作試驗，稱為個案 1。

個案二是採取 75 年 5 月 20 日 23 點至 5 月 21 日 7 點每隔 30 分鐘之 CV 資料，CV (Column Vector) 觀測方式是氣象局一般作業所收錄之資料，在 201×216 之網格矩陣上，存入每一網格點垂直方向最強之回波強度值，此組資料被選取的原因有二，此組是當時所能取得最短時間間距資料，同時此個案是一典型梅雨鋒面上對流降水系統，整個降水系統前後維持近 8 小時左右，但由於是 CV 資料，在解釋回波圖形運動時應仔細考慮。此點在後文中將詳細討論。整個個案的回波結構及 TREC 結果之討論請參考 (Wang et al. 1988)，在本文中將以 TREC 技術方面來探討 0130 至 0200 LST 及 0500 至 0530 LST 之結果，詳加討論。

四、個案分析與討論

(一)、個案一

個案一是对 75 年 8 月 22 日 14:25 LST 與 14:39 LST 高度 1 ~ 2 公里的 CA 資料作分析。

(1) 天氣狀況

由 8 月 21 日 00 Z 地面天氣圖知，韋恩颱風在東沙島西北方約 170 公里的海面上，向東北東進行，約在 8 月 22 日早上由台灣中部登陸，橫跨台灣中部，而後由東部出海，到 8 月 23 日 00 Z 時，韋恩颱風在宜蘭東方約 270 公里海面上，在原地附近海面打轉徘徊；此颱風給澎湖及中部地區帶來極大的損害。至我們所分析的時間時，韋恩颱風已出海，

進入太平洋海面上，但台灣仍在颱風外圍環流籠罩下。由探空資料得知，8 月 22 日 00 Z，東港 850 毫巴面上 (約 1.5 公里高) 的風速約為 $290^\circ / 25 \text{ ms}^{-1}$ ，板橋 850 毫巴面上的風速約為 $120^\circ / 10 \text{ ms}^{-1}$ 。

(2) 雷達觀測

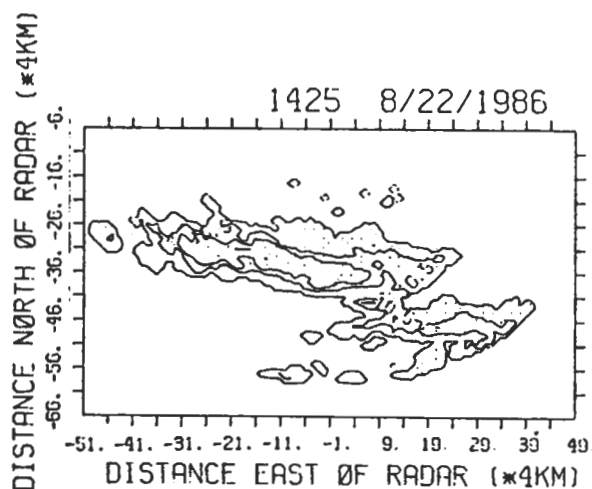
8 月 21 日早上 10 點 (中原標準時間)，在台灣海峽上可觀測到長條狀的降水回波，這就是韋恩颱風的外圍降雨帶 (rain band)，到了下午 2 點左右，已可看到颱風眼及大片的降雨帶，往東北東方向移動，在 22 日早上 6 點左右，由中部地區登陸，到下午 2 點左右，颱風已進入太平洋海面，雷達觀測可看到，在台灣北部有一大片微弱回波，另在巴士海峽上有一狹長帶狀回波，此回波受韋恩颱風的外圍環流的影響，向東南方向移動。我們所分析的個案一是 8 月 22 日 14:25 LST 與 14:39 LST 時，在巴士海峽上的狹長降雨帶，如圖 2 所示，此降雨帶長約 300 公里，寬約 80 公里，回波移動速度約為 $300^\circ / 25 \text{ ms}^{-1}$ ；回波反射率 (reflectivity) 達 40 dBZ 以上，此兩時間回波的外形改變不大。

(3) 分析與討論

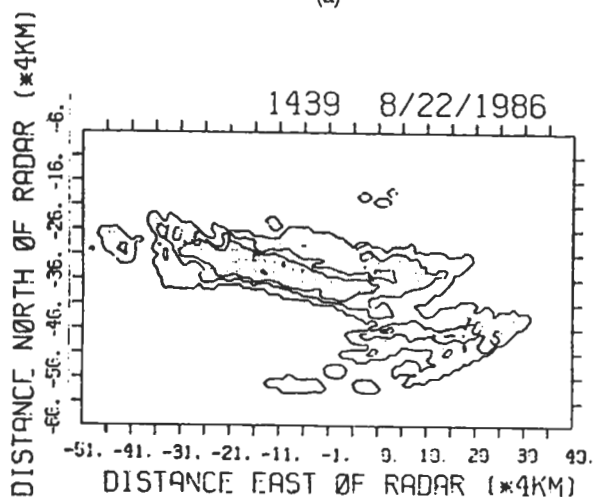
圖 2 是個案一所分析的範圍內之回波圖，因我們是用此個案來試驗 TREC 技術的可行性，及不同大小矩陣對其影響；所以，我們分別以不同大小的矩陣，及改變計算範圍來對此個案作分析，詳情如下：

(A) 設定計算範圍為以矩陣中心，往外擴大 10 點網格點，即計算範圍是網格點為 (20×20) 的範圍內。分別以 9 點矩陣、25 點矩陣及 49 點矩陣作分析，得到的結果如圖 3 (a)、(b)、(c) 所示，可知速度都高估了，且方向很紊亂，由流體連續觀點可知，鄰近點的風向不能有很大的轉變，除非此區有很強的天氣現象，如強輻合或強輻散。為了解此原因，就將每點的相關函數等值線圖形繪出，分別檢視、探討風向紊亂的原因。以下就取四點作討論：

(a) 點 (-16 , -56) : 由圖 4 (a)、圖 5 (a)、圖 6



(a)



(b)

圖 2 1986年8月22日 (a) 1425 LST (b) 1439 LST 雷達回波圖。
等值線最外圍的值為 22.5 dBZ，等值線間距為 10 dBZ。

(a)可看出在此點無論是 9 點矩陣、25 點矩陣或 49 點矩陣都找到了正確的移動速度，位移向量為 $(2, 0)$ ，且最大相關係數達 1.0。圖 2 可知此點在回波圖中是一個小回波胞的邊緣，又其附近沒有其他回波，所以，其可找到正確的速度。

(註：判斷速度的正確或錯誤，是由相關函數

的等值線圖形配合回波圖形，再加上主觀分析來作判斷。)

(b)點 $(4, -56)$ ：由圖 4 (b)、圖 5 (b)、圖 6 (b) 可看出 49 點矩陣可找到正確速度，其位移向量為 $(3, 0)$ ，最大相關係數為 0.859；但是 9 點矩陣及 25 點矩陣找到的最大相關係數所在的位移向量，分別為 $(2, 6)$ 及 $(-8, 1)$

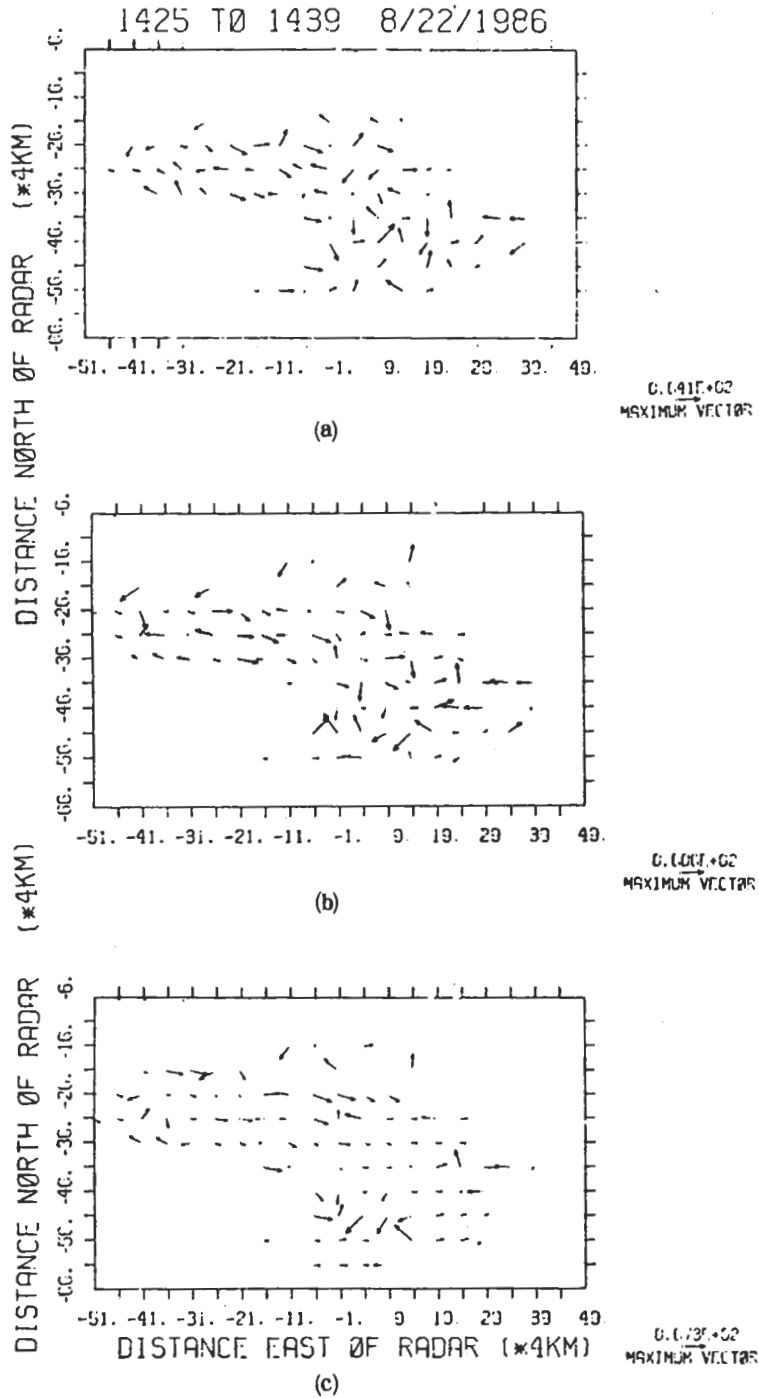


圖3 TREC分析所得的風場，計算範圍為 20×20 點。(a) 9點矩陣 (b) 25點矩陣 (c) 49點矩陣。

，由相關係數等值線圖可看出由原點(0, 0)到最大相關係數所在點，跨越了一負值區，由

主觀判斷知其並不是正確的。因此點在回波圖中是一小回波的邊緣，且其鄰近有其他小回波

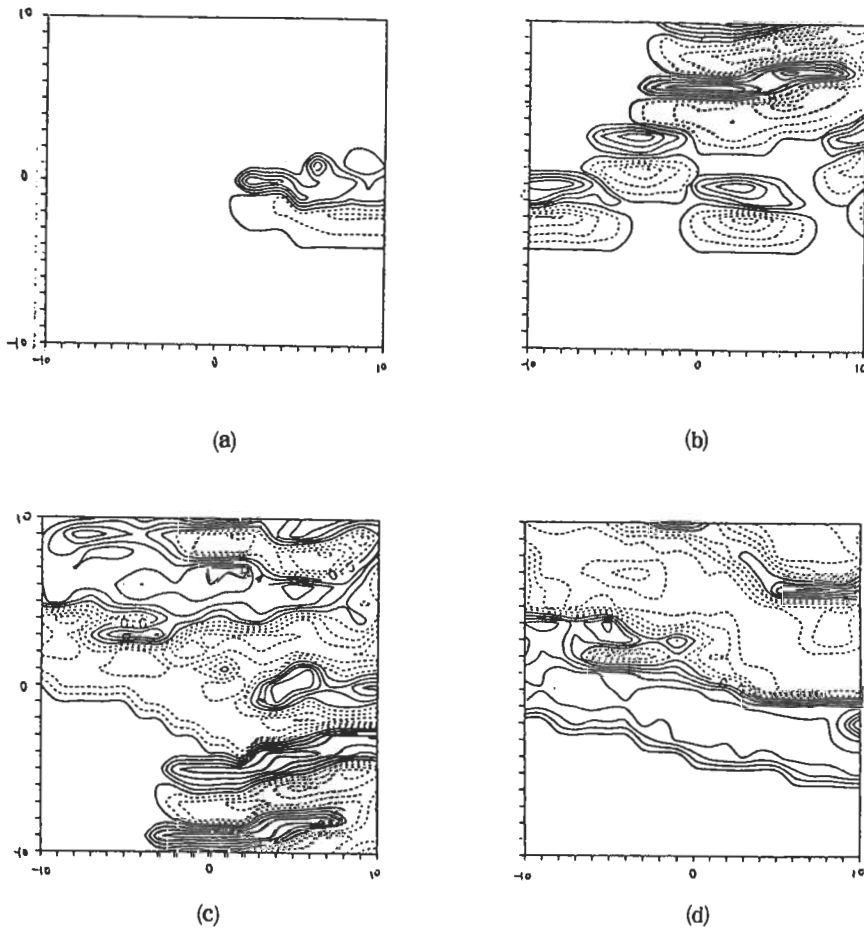


圖 4 相關函數等值線圖形，矩陣大小為 9 點。(a)點 (-16, -56) (b)點 (4, -56) (c)點 (4, -41) (d)點 (-11, -36) 圖上方的數值是最大相關係數值與位移向量及相關係數次大值與其位移向量。

胞存在，則在此回波胞的邊緣有很大的相關存在，若由電腦自動找最大相關係數所在，則可能找到其他回波胞，而得錯誤結果；判別的方法是看其是否跨越一相關係數負值區。若將計算範圍縮小，則 9 點矩陣及 25 點矩陣，就可得到正確的速度。

(c)點 (4, -41)：此點與點 (4, -56) 相似，由圖 6 (c)得知 49 點矩陣可找到正確的速度，其位移向量為 (3, 0)，最大相關係數為 0.774。由圖 4 (c)及圖 5 (c)可知 9 點矩陣及 25 點矩陣，若由電腦自動找最大相關係數所在，則找到了錯誤的位移向量，分別為 (0, -9)

及 (-1, -9)。由相關係數等值線圖得知，由原點到最大相關係數所在，也是跨越一負值區。但如果縮小計算範圍，9 點矩陣及 25 點矩陣也是能找到正確的速度。

(d)點 (-11, -36)：由圖 4 (d)、圖 5 (d)及圖 6 (d)可得知此點的相關係數等值線圖，是一拉長的橢圓，是因為周圍的矩陣與原來的矩陣相關性都很大所造成，也就是附近的矩陣都太相像。25 點矩陣及 49 點矩陣都找到正確的速度，其位移向量為 (4, -2)，最大相關係數分別為 0.967 及 0.955。由 9 點矩陣找到最大相關係數所在的位移向量是錯誤的，但其第二大相

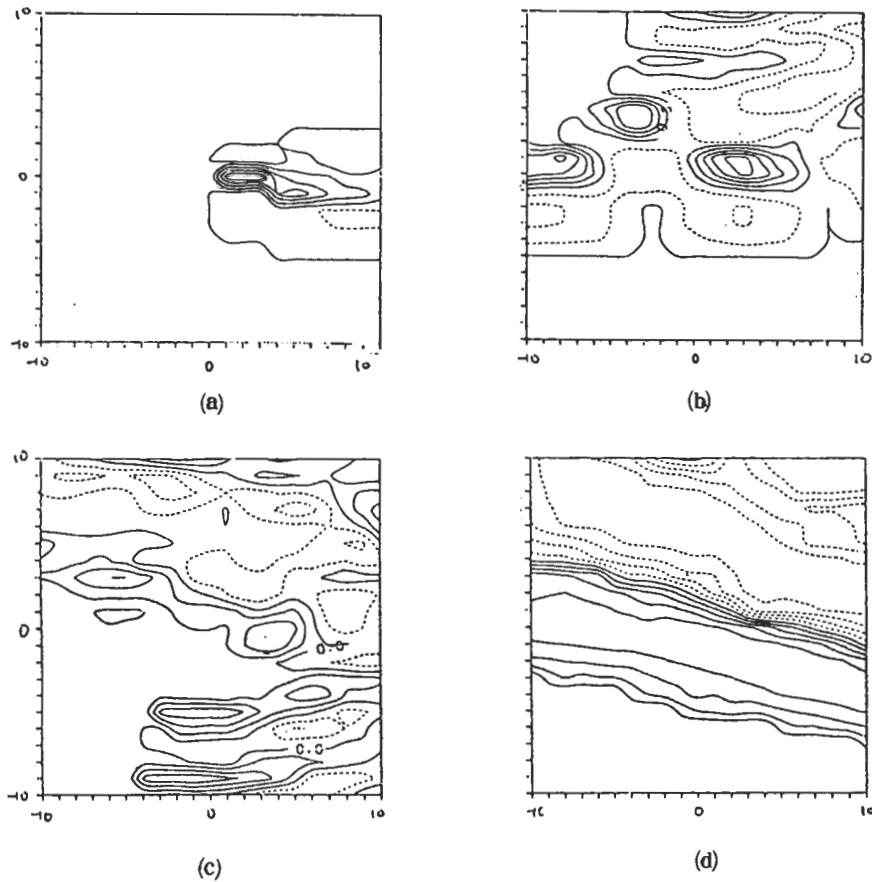


圖 5 同圖 4，但矩陣大小為 25 點。

關係數所在的位移向量也是 $(4, -2)$ ，相關係數達 0.979。

綜合以上的討論，我們知道可能影響 TREC 技術的因素有下列幾點：

1. 計算範圍的大小，若太大，則可能找到錯誤的速度，如上的討論。若太小，亦可能找到錯誤的速度，如最大相關係數是在計算範圍外，則由電腦自動找到的最大相關係數並非是最大的。
2. 由於找到之相關係數最大位置是網格座標，因此運動場之解析度必受限制，如

$$\Delta x = 4 \text{ km},$$

$$\Delta t = 14 \text{ min}$$
 則運動場必是 $\Delta x / \Delta t$ 的倍數，但不一定是整數倍。
3. 回波太均質或變化太小的區域，相關係數值都很

大，則無法判斷何者是正確的。

4. 僅以上面四點來看，矩陣愈大，似乎愈能找到正確的速度向量。若以整體來看，25 點矩陣及 49 點矩陣找到正確速度的點數比較多，但其中也是有許多點是錯誤，如圖 3 (b)、(c) 中的點 $(-41, -36)$ ， $(-36, -36)$ ， $(-31, -36)$ ……等等，也是必須藉由縮小計算範圍，才可找到正確速度向量。
 5. 若有靠很近的小回波胞，如計算範圍太大，則可能找到鄰近的回波胞，而得錯誤的結果，如點 $(4, -56)$ 。解決的方法是縮小計算範圍。
 由上可知計算範圍大小的選定是很重要的，所以，我們以下就縮小計算範圍來作運算。
- (b) 設定計算範圍為以時間 1 的矩陣中心，往外擴大 5 個網格點，即計算範圍為網格點 (10×10) 的

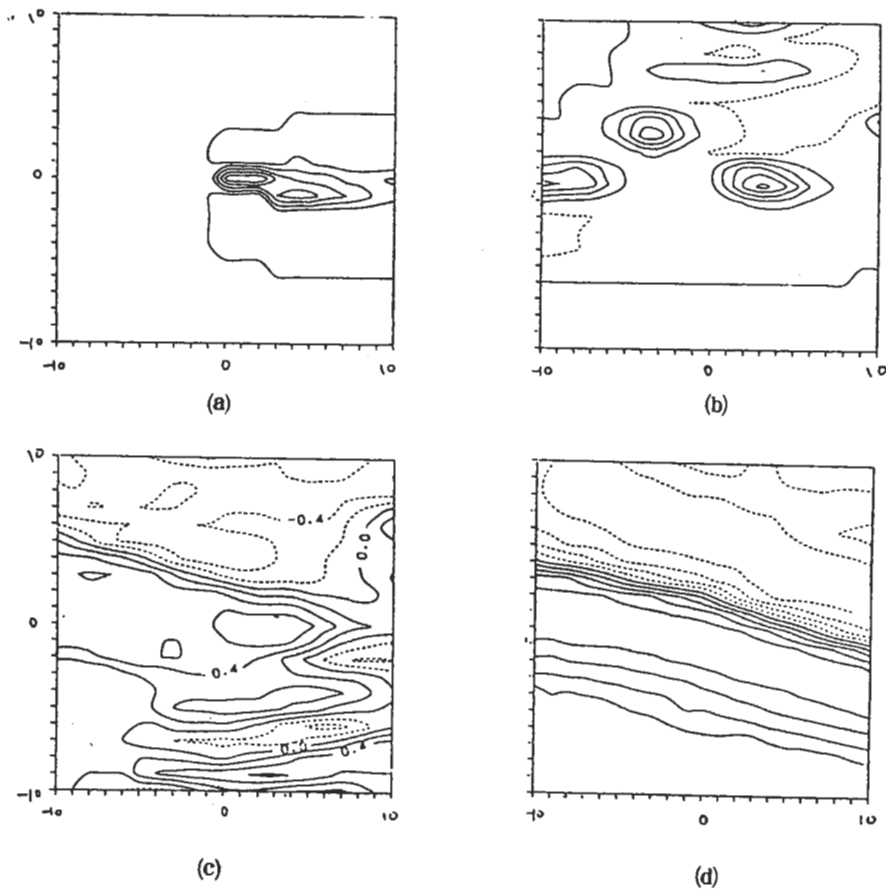


圖 6 同圖 4，但矩陣大小為 49 點。

範圍內，分別以 9 點矩陣、25 點矩陣及 49 點矩陣作分析，得到的結果如圖 7 (a)、(b)、(c) 所示，與圖 3 比較可知此結果比 (A) 的結果稍好。其速度值都降低了，與環境風場的數值很相近。但速度向量的方向，有些區域仍很紊亂。因此，我們就再加入主觀判斷。

(C) 設定計算範圍如 (B)，但加入主觀分析，也就是計算完後作偵錯的工作。我們所採取的偵錯方法是計算完相關係數，得速度向量時，與附近的速度向量作比較，若兩者角度偏差很大，超過某一數值，則捨棄此速度向量，再取相關係數次大的速度向量，再作比較，如此反覆直到取得最適當的速度向量。若找不到，則捨棄此點，繼續作下點的分析。如上設定計算範圍為 (10 × 10) 的網格點範圍，再加上主觀分析，所得結果如圖 8，與

圖 3 及圖 7 作比較，可看出此結果較合理，無論是 9 點矩陣、25 點矩陣或 49 點矩陣所得的風場都很一致，方向不再有互相相交的現象。速度向量的大小與環境風速大小相近，風向也很一致。比較圖 8 (a)、(b) 及 (c) 得三者的細微部分稍有差別，如有些位置的速度不一樣，但整體型式是很相似的。

由以上的分析比較得，在計算範圍大時，矩陣愈大愈能找到正確的速度向量；將計算範圍縮小，矩陣大者也是有較好的結果，但仍需加入主觀分析，才可得正確的結果。矩陣小者，若能選定適當的計算範圍，再加入主觀分析，也是能得到正確的結果。又矩陣小者，較能捕捉小尺度的運動，又能節省計算時間，所以，我們個案二的分析就採用 9 點矩陣。

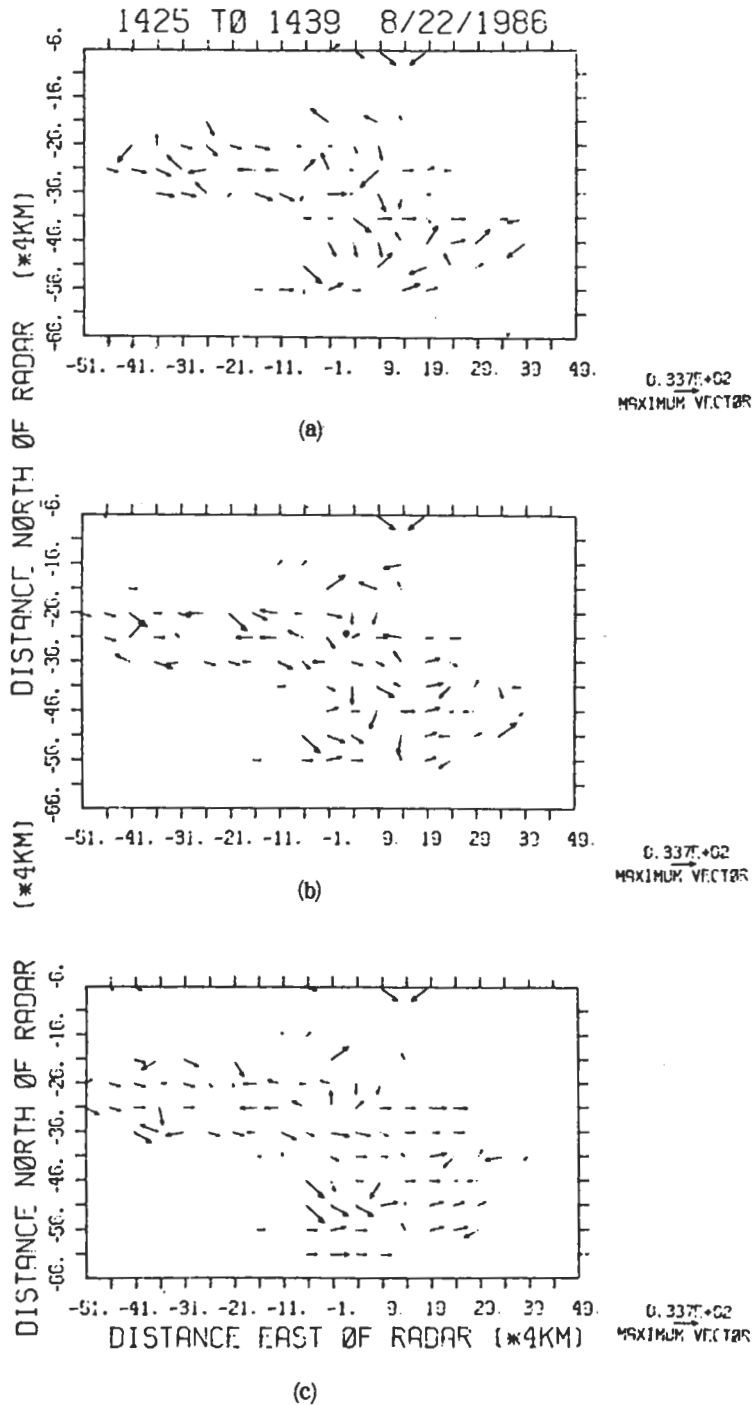


圖 7 TREC分析所得的風場，計算範圍為 10×10 點。(a) 9 點
(b) 25 點矩陣 (c) 49 點矩陣。

由此個案的分析結果知，此降水系統整體的移動速度與環境該高度層之風速相近，但內部風場有

微小變化；可知降水系統整體是受大尺度天氣系統的牽制而移動，但其內部有小尺度擾動存在，而有

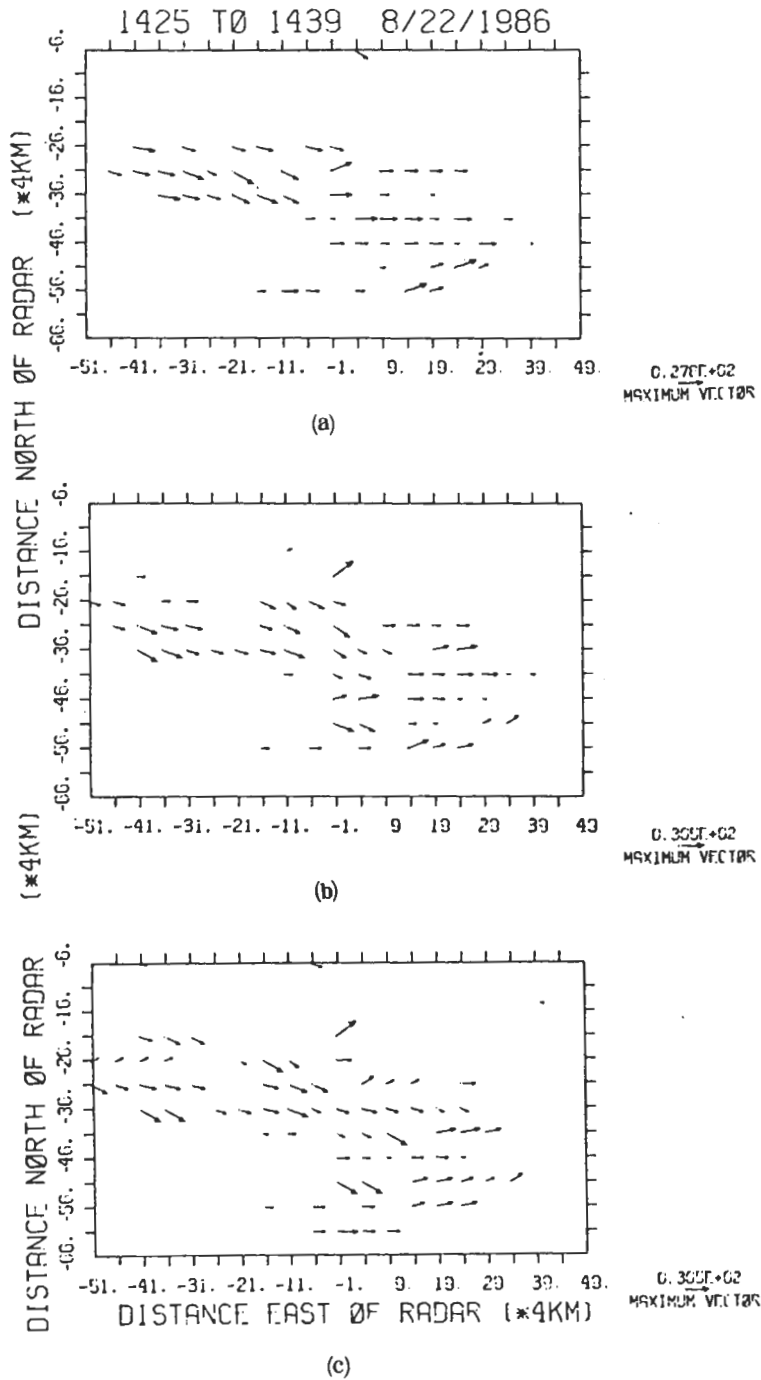
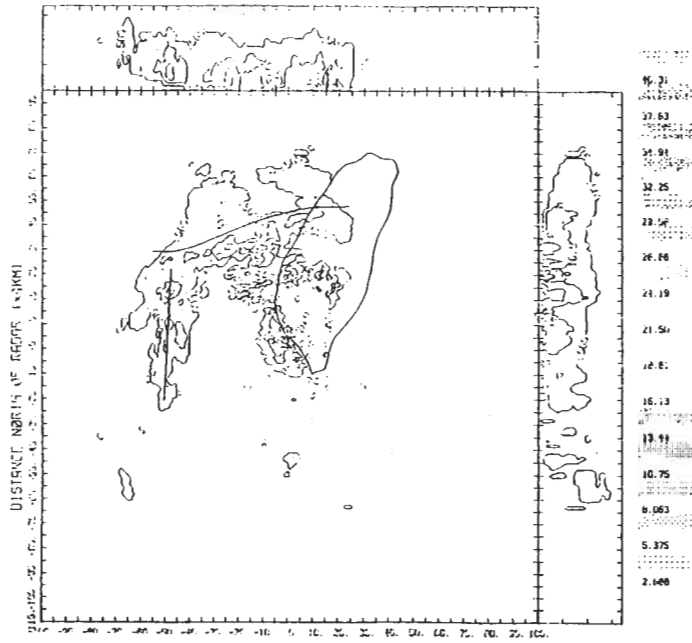


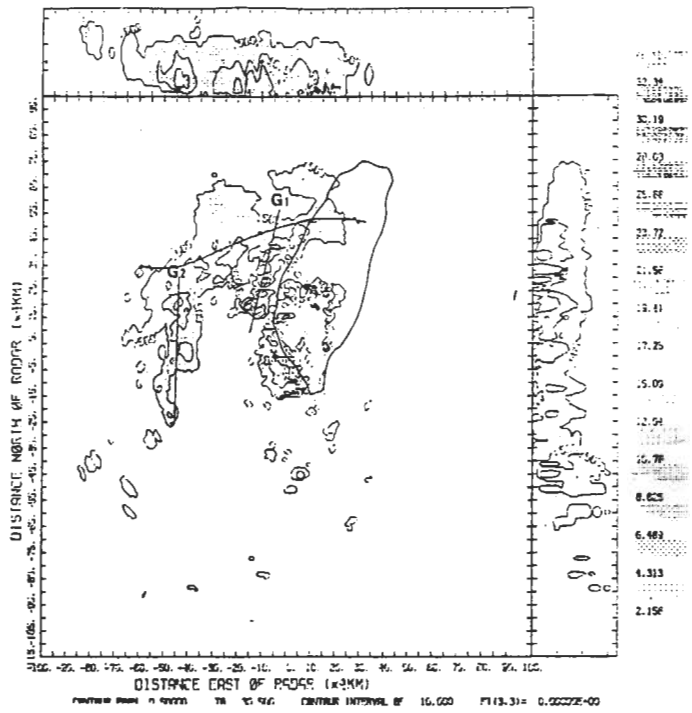
圖 8 TREC 分析加主觀判斷所得的風場，範圍為 10×10 點。(a) 9 點
 矩陣 (b) 25 點矩陣 (c) 49 點矩陣。

不同的移動速度。由此個案的分析，我們對 TREC 技術的應用，會遭遇何種困難，及其限制有更進一

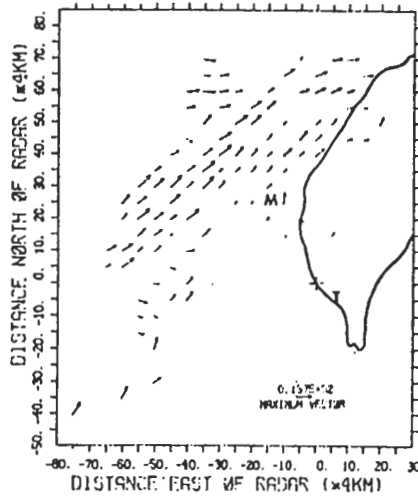
步的了解，且確信 TREC 技術可應用於台灣地區的降水系統。



(a)



(b)



(c)

圖 9 (a) 五月 21 日 0130 之回波分佈圖每 10dB 一條等值線，第一條等值線 (0.5) 代表 22.5 dBZ (b) 0200 回波分佈圖 (c) 0130 至 0200 之 TREC 運動場。

二、個案二

個案二採取 5 月 21 日 0130 LST 至 0200 LST 及 0500 LST 至 0530 LST 兩組資料做 TREC 計算及分析。

(1) 天氣狀況

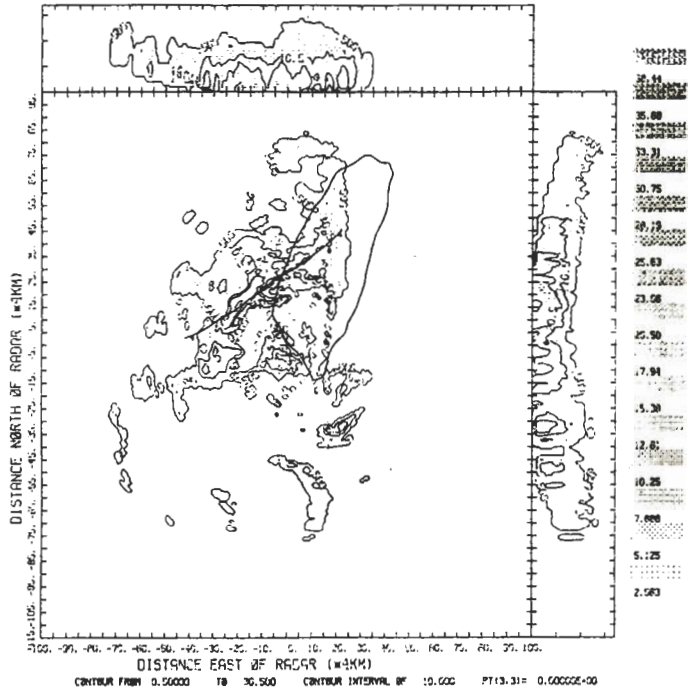
5 月 20 日 00 Z 時低氣壓在日本本州東方海面，向東北東移動，冷鋒由此中心向西南延伸，經東海及江西省至貴州省，此鋒面以每小時 20 公里的速度向東南移動。由 5 月 20 日 12Z 地面天氣圖可看到冷鋒由日本本州東方海面向西南延伸，經台灣北端至福建省一帶，此鋒面向東南移動，到 5 月 21 日 00 Z 鋒面已到達台灣南部。由地面天氣圖可看到冷鋒在 20 日晚上至 21 日早晨通過台灣北部，伴隨著中尺度對流系統 (Mesoscale Convective System)，給台灣北部某些地方帶來劇烈降水。本個案是一個相當顯著而典型的梅雨鋒系統。由探空資料所得的各高度風速圖得知，5 月 20 日 12 Z，板橋 700 毫巴面上 (約 3 公里高) 的風速約為 $230^\circ / 15 \text{ ms}^{-1}$ ，東港 700 毫巴面上的風速約為 $225^\circ / 18 \text{ ms}^{-1}$ 。5 月 21 日 00 Z，板橋 700 毫巴面上

的風速約為 $240^\circ / 15 \text{ ms}^{-1}$ ，馬公 700 毫巴面上的風速約為 $315^\circ / 8 \text{ ms}^{-1}$ ，東港 700 毫巴面上的風速約為 $260^\circ / 10 \text{ ms}^{-1}$ 。由上可知環境風場由西南風慢慢轉變為西南偏西風，回波移動速度也是由指向東北方向，慢慢轉變為指向東北偏東方向。

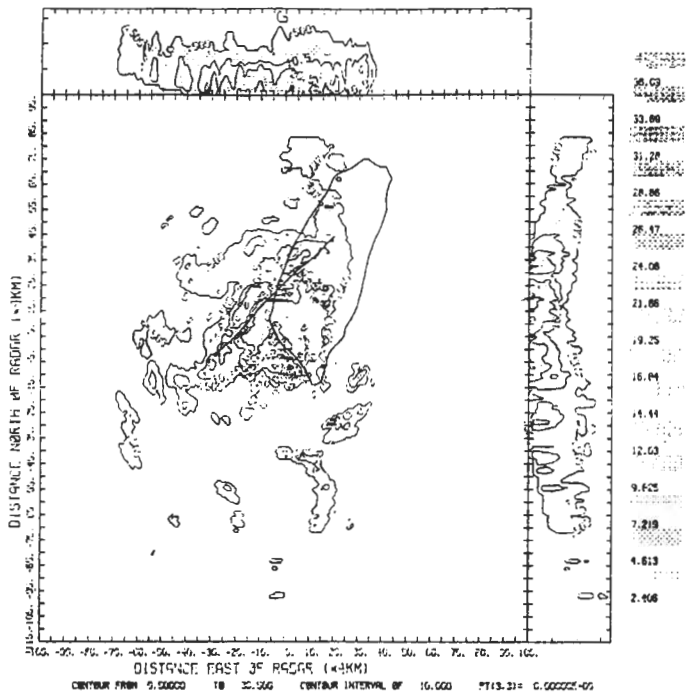
(2) 雷達觀測

5 月 20 日 2000 LST，台灣海峽至華南沿海一帶有着零星的對流降水回波出現，2300 LST 開始觀測到較有組織的帶狀回波，由新竹沿海向西南延伸橫過台灣海峽北部至福建沿海，長約 300 公里，寬約 50 公里，整個帶狀回波系統似呈滯留狀態，然其內部所蘊藏的小尺度對流系統受中下對流層西南氣流的導引，沿著降雨帶向東北方向移動。帶狀回波的寬度隨著梅雨鋒的南移而擴大，回波範圍貫穿台灣海峽，最強回波區的反射率高達 50 dBZ 以上，垂直伸展高度約 7 公里左右。21 日 0200 LST 至 0300 LST 帶狀回波達最盛期，此後回波寬度又逐漸縮小，到 0800 LST，此帶狀回波已消散，生命期約持續 8 小時。

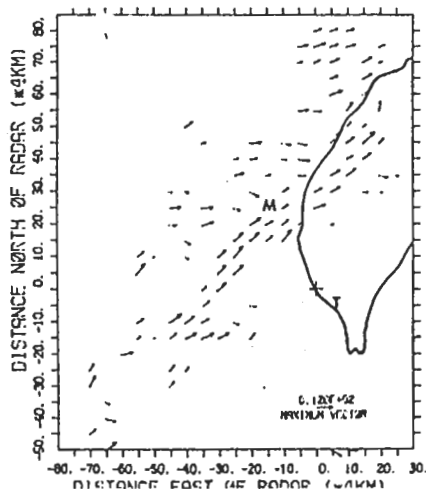
(3) 分析與討論



(a)



(b)



(c)

圖10 (a) 0500回波分佈圖 (b) 0530回波分佈圖 (c) 0500至0530之TREC運動場。

此個案詳細之雷達回波結構分析請參考 (Wang, 1988), 圖9(a)及9(b)是0130及0200之回波圖, 中心部分即是CV的等值線分布, 上方是在不同高度上, 南北方向之最強回波值之東西剖面分佈 (Side Table), 右側是東西方向最強回波值之南北剖面分佈。圖9(c)是以此兩組CV做出之TREC運動場, 雖然間隔時間長達30分, 但由圖中可看出許多胞狀結構生命期大於30分, 例如在高雄站 (+符號) 以西200公里附近有一南北走向之線狀回波, 在此系統中最北之對流胞在0130及0200期間, 強度、高度、外型都變化很小, 是最好的追蹤目標 (tracer), 從TREC計算出之運動場均為西南向東北方向, 速度約為15 m/sec。可看出在該時間階段深對流胞向東北方向集結, 由於所使用之資料是CV資料, 所得之運動場應代表最強回波所在高度之平均風場, 由剖面圖可知此高度層約在地面至六、七公里左右, 圖中西北角有一區域運動場轉為西風, 對照回波強度, 發現該區域是大範圍, 層狀降水之區域, 由天氣圖判斷應屬於鋒後之區域。因此, 西南方向轉西風方向之風切線應與地面鋒面位置配合。

圖10(a)、10(b)是0500及0530 LST之回波分佈圖, 10(c)是TREC運動場, 在這個時間風切線更加明顯, 與深對流之兩帶平行, 風切線前兩胞由西南向東北沿鋒面移動, 風切線後層狀降水向東移動, 配合圖11, 馬公之鋒面通過前後之探空 (0200鋒面通過前及0800鋒面通過後), 的確在鋒前, 地面至8公里平均風為西南風, 而鋒後地面至8公里平均風已轉西風, 在此更能確定TREC所得之風場相當合理, 風切線之位置即是鋒面位置。

五、結論與展望

由個案一的分析知, 以現有高雄雷達資料的解析度, 尚可應用TREC技術, 但若有更好的解析度, 則其效果會更好。目前資料之解析度尚不能完全找到正確速度, 仍需縮小計算範圍及加入主觀分析。矩陣小者若能選定適當的計算範圍, 再加入主觀分析, 亦能找到正確速度, 且其較能捕捉小尺度的運動, 又能節省計算時間。如能取得多層CA資料, 則可計算在不同高度面上回波運動場。

由個案二的分析結果顯示, 梅雨鋒所伴隨的降

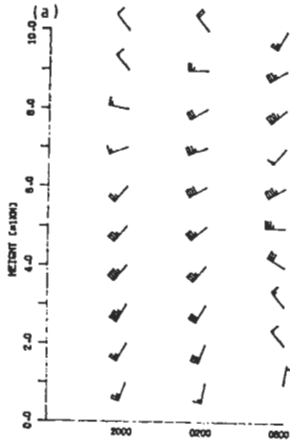


圖 11 馬公測站於 5 月 20 日 2000 LST 及 5 月 21 日 0200 及 0800 LST 之探空風場圖。

水系統，其生命期約持續 8 小時，但內部所蘊藏的小尺度對流系統的生命期約為 2~3 小時。每半小時之 CV 資料可以提供對流胞之運動 (Cell motion)，所得結果接近中低層之平均風場。而在層狀降水區亦可提供流區之平均風場，結果與探空資料符合，值得注意的是個案二之整個鋒面雨帶系統自 5 月 21 日 0300 至 0800 LST，是自西北向東南掃過，TREC 所得並非系統移動速度 (Storm Motion)，而可視 TREC 所得更接近降水系統內部之風場結構，鋒面位置明確可辨。

我們所分析的資料 (個案二) 是 CV 資料，且時間間隔為 30 分鐘，所以，我們只能定性地討論其內部結構，無法定量求其輻散場。若有更小時間間隔的 CA 資料，應用 TREC 技術可求出各個高度的風場，進而計算其輻散場，如此更能了解降水系統的運動結構，則更能掌握此降水系統的動向。

若有同時間時很密的 CA 資料，則可將 TREC 技術推廣至垂直方向，而得知降水系統的垂直運動結構。單都普勒雷達可直接測得降水系統內部沿雷達波方向的徑向速度，而 TREC 技術可求得降水系統內部的運動速度，包括徑向速度及切向速度，若兩者能配合使用，互相校正，則必能得

更好的結果。

因 TREC 技術受時間間隔大小與回波特性維持時間的限制，其對時間間隔太大或生命期太短的回波都不適用，所以，若有更好的時間、空間解析度的資料，則 TREC 技術的效率將更好。以現在的電腦能力，TREC 技術可做到即時展現 (real time display)，則對短期預報有幫助，改善劇烈天氣的預報能力。

誌謝

本文承中央氣象局花蓮雷達站張國良先生協助 Data General 軟體使用及高雄雷達站楊站長及工作人員之支持，得以完成一些特殊觀測，十分感謝。Dr. Rinehart 及 Mr. Tuttle 寄來多份參考資料，在此一併致謝。

參考文獻

- 廖學鎰、俞家忠、洪秀雄、陳景森、江火明與孔令誠，1983：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 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、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 NSC-73-0202-M008-10。
- 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 NSC-74-0202-M008-01。
- 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.

- 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.
- Browning, K.A., 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.
- Chen Wang, T.-C., C.-S. Chen and Y.-C. Lee, 1988: The low-level internal motions within a convective rainband during Mei-Yu season in the vicinity of Taiwan. Conference of the severe storms.
- Crane, R.K., 1977: Automatic cell detection and tracking. *IEEE Trans. on Geos. Elect.*, GE-17, 250-262.
- 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, Travelers 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.
- 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, 262pps.
- , and E.T. Garvey, 1978: Three-dimensional storm motion detection by convective weather radar. *Nature*, 273, 287-289.
- , and J. Tuttle, 1980: Mesocyclone detection with a conventional radar. preprints 19th Conference on Radar Meteorology.

A DIGITAL RADAR ANALYSIS OF THE INTERNAL REFLECTIVITY MOTION FIELD
WITHIN PRECIPITATION SYSTEMS

Yeuh-Chu Lee *Tai-Chi Chen Wang*

Institute of Atmospheric Physics
National Central University

(manuscript received May 8, 1988; in final form June 15, 1988)

ABSTRACT

In order to understand the kinematic properties of mesoscale precipitation systems, a pattern recognition technique TREC (Tracking Radar Echo by Correlation) was adopted to calculate the internal motion field from consecutive digital radar data set. A feasibility study was carried to test the proper time and space resolution of this technique. The data structure of Kaohsiung radar and the characteristics of different precipitation systems were taken into consideration. The results indicate short interval data sets were needed to provide qualitatively correct internal motion field of a precipitation system. More data sets will be processed to accumulate more experience for future development.

Key words: digital radar, pattern recognition, internal motion field.