

利用CAA都卜勒雷達資料分析四個侵台颱風伴隨雨帶之特徵

李清勝 蔡德攸

國立台灣大學大氣科學研究所

摘 要

本文利用位於中正機場之民航局(CAA)都卜勒雷達的觀測資料，針對亞力士(1987)、莎拉(1989)、歐菲莉(1990)及楊希(1990)等四個颱風個案，分析颱風侵台時所伴隨雨帶之特徵，並初步探討地形對雨帶可能造成之影響。分析時，依雨帶出現的位置以及雷達資料所顯示的回波特性，將侵台颱風伴隨的雨帶歸納為六類，分別為出現於颱風前方的颱風外圍雨帶、在地形斜坡上近似滯留的地形雨帶、颱風登陸前於眼牆對流前緣生成的主要雨帶、位於颱風後方伴隨於西南氣流的雨帶、自眼牆周圍分離出的雨帶以及海上對流組織而成的雨帶。外圍雨帶、地形雨帶和海上對流組織成的雨帶具有明顯的胞狀對流回波型態；主要雨帶的回波在水平及垂直方向發展較為一致，較屬於層狀回波型態(Barnes *et al.*, 1983)。伴隨西南氣流之雨帶其上游為胞狀回波結構，但下游則轉為層狀回波型態。至於自眼牆分離出的雨帶，剛分離時較具層狀回波型態，但隨著雨帶向外運動，漸轉成胞狀回波型態。

分析結果顯示，地形雨帶乃因潮濕氣流受地形舉升而生成，其相對於颱風之位置及移動沒有明顯規律性；伴隨西南氣流的雨帶與西南氣流中的豐富水汽有關，故均出現於颱風後方。除上述兩種雨帶外，其他四種雨帶皆隨颱風旋轉或移動。外圍雨帶及其中對流胞之運動情形，和Anthes(1982)所示者相似。主要雨帶之生成和減弱，與其所處之地形關係密切，但在雨帶生成後，有較明顯往上游發展之情形。由海上零星對流組織成之雨帶，與其他雨帶多生成於眼牆對流附近的情形大不相同。雖然主要雨帶、自眼牆對流分離出之雨帶和海上對流組織成之雨帶等三類雨帶之生成過程明顯不同，但三者仍具有些相似之特性；因此，針對是否有共同之物理機制主導此三類雨帶之生成過程，值得未來進一步分析。

關鍵詞：颱風、颱風雨帶、地形效應、都卜勒雷達資料分析

一、前言

颱風為台灣地區最重要的災變天氣，平均而言，每年有3至4個颱風侵襲台灣。颱風所伴隨的強風、豪雨，以及其所導致的大海水倒灌，經常使台灣遭受嚴重的生命、財產損失。颱風最明顯的結構特徵，除颱風眼及眼牆外，就是螺旋狀雨帶(spiral rainband)。雨帶中常具有明顯的對流特徵，伴隨有較強的風和較大的降水；而颱風在接近台灣時，因受地形影響，其伴隨之雨帶的結構特徵、形成和移動過程均可能有所改變，因此對於台灣地區而言，颱風伴隨雨帶之特徵和演變是一重要的研究主題。

過去二十年來，國外雖有頗多學者藉由雷達、衛星以及飛機的觀測資料分析伴隨颶風(hurricane)之雨帶特徵，對雨帶的瞭解頗有幫助(如Jorgensen, 1984a、b; Barnes *et al.*, 1983; Willoughby *et al.*, 1984)，但其所分析的螺旋狀雨帶，幾乎全是位在海上或登陸前的雨帶。而台灣地形頗為複雜，颱風在登陸前，其所伴隨之雨帶可能即已受地形影響而發生變化，所以雨帶的結構特徵和移動特性等，應與國外的研究結果有所差別。因此，本研究利用民航局中正機場(以下簡稱CAA)都卜勒雷達的觀測資料，針對亞力士(1987)、莎拉(1989)、歐菲莉(1990)及楊希(1990)等四個侵台颱風，分析颱風

伴隨雨帶特徵，並初步探討地形對雨帶可能造成之影響。

何(1988)曾指出，亞力士颱風(1987)的雨帶受地形破壞而減弱時，由外向內變成一系列的胞狀結構；而范(1992)則分別針對楊希、亞伯和黛特(1990)等侵台颱風，分析其伴隨的雨帶特徵，結果顯示台灣北部山脈對於不同颱風個案有不同的效應。鄧(1992)亦曾研究楊希颱風伴隨的雨帶，結果顯示，位於陸地上的雨帶及其所包含的對流胞(線)狀組織，逐漸由胞狀結構轉變成類似層狀的回波結構；位於海上之線狀組織則隨時間變化較小，且強回波區之發展高度較高。汪(1990)及許(1991)亦曾分別研究莎拉(1989)及歐菲莉(1990)颱風的雷達資料，但均未針對這些颱風伴隨的雨帶進行綜合分析。此外，上述分析大都以 CAA雷達都卜勒模式的資料為主，受限於都卜勒模式的觀測半徑，常無法觀測到完整的颱風雨帶，只能對陸地上的雨帶進行分析。所以本研究同時考慮非都卜勒模式的資料，期望對侵台颱風伴隨的雨帶有較完整的分析；再者，本研究借助三維視覺軟體 AVS (Advanced Visualization System)，對於雨帶之定位和特徵，有較好的掌握。

本文之第二節將簡要介紹雷達資料處理的過程，並說明所分析之颱風個案和雷達觀測，第三節則綜合分析、討論颱風伴隨雨帶的種類和回波結構、特徵，最後則為討論和總結。

二、雷達資料的處理和颱風概述

本研究處理 CAA雷達資料的軟體由台灣大學大氣科學所颱風實驗室所發展，此軟體與NCAR之CEDRIC軟體頗有差異。由於CEDRIC主要為處理多都卜勒雷達資料而設計，且考慮繪圖上的便利，故將位於球座標系的原始觀測資料，內插到共同的直角座標之上。本研究不考慮雙都卜勒雷達資料分析問題，故利用投影的方式繪圖以儘量保持原始觀測資料；有關資料處理的流程請參考李和蔡(1995)。

此外，為配合颱風雨帶之分析，本軟體之另一特色為可以做通過任意兩點的直線或任意四點的拋

物線(弧線)之垂直剖面圖；內插方式採用空間中的雙線性內插(Mohr and Voughan, 1979)，由周圍八點內插而來。垂直剖面的水平解析度為一公里，垂直解析度為0.5公里。在計算高度時，考慮地球曲率及大氣折射作用，以有效地球半徑計算(Battan, 1973; 鳳, 1992)。

最後需說明的是，本研究中有許多雷達降水回波資料是藉由AVS軟體協助分析；AVS為一個安裝在工作站的高階視覺影像處理套裝軟體，它能將三維資料在短時間內以立體圖形顯示，並可自由放大縮小以及旋轉。但因雷達的原始資料太過龐大，AVS軟體無法負荷，故在研究進行時考慮電腦的負荷能力下，將經內差而得的CAPPI資料(420×120×15)再內插到120×120×30的直角網格上，解析度分別為水平2公里、垂直0.5公里。

根據李和蔡(1995)之分析，以AVS軟體顯示雷達回波三維等值面(如30dBZ)之變化，則可以很清楚地判斷雨帶的走向，以避免誤判雨帶。雖然AVS軟體對於雷達回波資料的分析有相當大的幫助，但僅能應用在都卜勒模式雷達資料之分析部分，非都卜勒模式的雷達資料，因掃描範圍很大，電磁波在遠距離的垂直解析度不高，以AVS軟體分析將不具有太大意義。

本研究所分析的這四個颱風皆由東部移近台灣(圖1)，且自台灣北部出海，正行經CAA雷達的有效觀測範圍內，觀測資料之時間解析度，楊希颱風為30分鐘，亞力士及歐菲莉為15分鐘，莎拉則為10分鐘。以下簡要說明颱風路徑和雷達觀測狀況：

(1) 亞力士颱風(Alex, 1987)

蔡和王(1991)以地面資料所分析的颱風路徑圖顯示(圖未示)，亞力士颱風於1987年7月27日0530L後自宜蘭附近登陸台灣，且於0700L後於基隆一帶出海。CAA雷達資料時段為1987年7月27日0402L至27日1147L，但因雷達故障而缺0702L至0902L之資料，觀測時間間隔為15分鐘，資料包括都卜勒模式的降水回波及徑向風場。圖1a為本研究利用雷達回波所定的亞力士颱風路徑(以回波值小於25dBZ之弱回波區中心定義)，由於定位採用資料不同，此路徑與利用地面資料分析之路徑(蔡和王, 1991)稍有不同。

(2) 莎拉颱風(Sarah, 1989)

莎拉颱風侵台期間，CAA雷達針對此颱風進行每10分鐘之密集觀測，時間自1989年9月11日1630L至13日1500L(中間有小部份中斷)，但只有非都卜勒模式資料。圖1b為蔡和王(1991)利用逐時地面資料分析的莎拉颱風路徑，圖中顯示1989年9月11日1630L時，莎拉颱風中心位於花蓮東南方約150公里的海面上，向西北轉西方向移動，2200L在花蓮南方約60公里處登陸，此時於颱風中心後方出現另一中心(稱之分裂中心)。主中心越過中央山脈後，沿雪山山脈西麓向北前進，而分裂中心則沿台灣東部外海往北移動且發展成颱風之主環流中心(汪, 1990)。12日0800L時，當分裂中心位於蘇澳東南方20公里時，雷達回波即逐漸顯示此中心具有眼牆對流結構。1100L時，分裂中心與原中心在雪山山脈合併後(蔡和王, 1991)，沿基隆河谷往東北方移動，1700L出海後朝北北西方向前進。

(3) 歐菲莉颱風(Ofelia, 1990)

針對歐菲莉颱風，CAA雷達自1990年6月23日0800L起開始進行非都卜勒模式觀測，觀測資料的時間解析度為30分鐘。1210L起，增加都卜勒模式降水回波及徑向風場的觀測，而且1500L至2200L，資料的時間解析度提高為15分鐘。許(1991)和Lee(1992)利用CAA都卜勒雷達資料及地面資料，分析歐菲莉颱風登陸後之環流變化，發現歐菲莉颱風在登陸後，高、低層環流有分離情形，高層環流中心，順登陸前的方向向西北移動，而低層環流中心受中央山脈阻擋，沿山脈東側往北移動。蔡和王(1991)利用地面資料分析結果顯示，歐菲莉颱風地面中心約於1400L自花蓮登陸後，沿山脈東側向北移動，同時逐漸失去颱風的特徵；而山脈西側則有副低壓發展，2100L於西北外海重新形成颱風眼後，往北移動(圖1c)。Lee(1992)之分析指出，颱風眼之重新形成，乃由高低層環流偶合後之下沈運動所導致，因此高層環流似乎扮演主導之角色。

(4) 楊希颱風(Yancy, 1990)

CAA雷達對楊希颱風的觀測資料，自1990年8月19日0000L開始，即有非都卜勒模式降水回波資料，

資料的時間解析度為30分鐘，0135L後，增加都卜勒模式降水回波及徑向風場資料。圖1d為李(1991)利用CAA雷達資料所定的楊希颱風登陸時段之路徑，鄧(1992)利用地面資料和CAA都卜勒雷達資料分析，亦印證此氣旋式迴轉路徑。19日0730L時，颱風中心位於宜蘭東方約100公里的海面上，向西北西轉西方向移動，隨著颱風的移近台灣，颱風眼的弱回波區面積逐漸縮小且形狀變成不規則。颱風於1100L左右自基隆河口登陸後，中心沿河谷進入台北盆地，颱風眼逐漸因局部對流作用而不明顯；當颱風向南移動，並做一逆時鐘打轉時，颱風眼之弱回波特徵於1900L後又重新出現(Lee, 1992)。颱風中心於2300L左右，自桃園觀音的永安漁港附近出海，轉往西北移動。

三、雨帶之綜合分析

Barnes *et al.* (1983)利用飛機都卜勒雷達的合成資料，分析Floyd颱風(1981)伴隨的雨帶，且定義回波強度大於25dBZ的區域為雨帶；結果顯示，雨帶的上游具有較明顯的對流性質(具較大的回波值水平梯度，約 $6\sim 8\text{dBZ km}^{-1}$)，而雨帶的下游逐漸失去對流性質，呈現層狀降水的回波結構。Willoughby *et al.* (1984)則認為大部分颱風皆具有一雨帶組合(Stationary Band Complex, SBC)，SBC具有三個回波特徵：1. 主要雨帶(Principal band)——通常位於颱風前進方向的右邊，雨帶平行於流線，其回波較強且具有較活躍的對流；2. 連結雨帶(Connecting band)——連結眼牆回波與主要雨帶，雨帶穿越流線，回波值較弱且多屬層狀降水；3. 次要雨帶(Secondary band)——位於眼牆及主要雨帶之間，雨帶平行於主要雨帶，回波強度亦較主要雨帶為弱，屬於微弱對流或層狀降水的回波形態。

本研究使用之雷達回波資料未顯示明顯的SBC雨帶組合，可能因雷達的有效觀測半徑及地形影響，能完整觀測的範圍以台灣西北部為主；而這四個颱風均自台灣東方移入陸地，颱風的對流結構在接近台灣陸地時即已明顯改變，所以國外學者對於颱風伴隨雨帶的定義與分類，在本研究中並不完全

度用。分常時發現，颱風伴隨雨帶的回波強度，常因不同性質的雨帶或地形影響而變化很大；因此，本文所定義的雨帶其回波強度不求其須達25dBZ以上，而以能明顯分析出雨帶回波特徵的較強回波區為主；不過，大部分的回波值仍在25dBZ以上；後文圖中代表雨帶之弧線，為在此原則下通過最強回波之平滑弧線。此外，本文採用Barnes *et al.* (1983)的分類方法，將雨帶分為對流性及層狀降水的回波型態；對流性的回波呈明顯的胞狀結構，同時具有較大的回波水平梯度；層狀降水的回波其回波水平梯度較小，且雨帶中對流發展的高度較為一致。但須特別注意，在此對於雨帶回波型態的定義，主要以回波的水平梯度做為分類依據，所以層狀降水型態的雨帶中可能仍具有強烈的對流或上升運動。

綜合分析CAA都卜勒雷達所觀測之4個颱風伴隨雨帶之特性，初步可將雨帶分成六類，以下依CAA雷達對一移近中之颱風，所能觀測之雨帶出現順序，分別說明各類之特徵：

(1) 颱風外圍雨帶

此颱風外圍雨帶乃指出現於颱風前方，不與眼牆對流相連的雨帶。當颱風接近台灣時，CAA雷達首度觀測到颱風前方的外圍雨帶，但因其空間尺度較大，常需借助非都卜勒模式資料才能涵蓋。本研究外，莎拉、歐菲莉及楊希等颱風都有觀測到此種外圍雷雨帶，但歐菲莉個案因地形遮蔽作用，低層無雷達回波資料。

以楊希颱風的個案為例(圖2)，三條颱風外圍雨帶(圖2中的雨帶A、B和C)，呈北北東-南南西走向，尚不心中中心尚不在CAA雷達的有效觀測範圍內，故無法精確分析雨帶與半徑圈之夾角。圖2g為0000L沿圖2a中xy(雨帶B)弧線之垂直剖面，圖中顯示雨帶不並度顯的胞狀結構且對流垂直發展的高度並不寬；最大回波出現在海平面上2~5公里。雨帶的寬度約30公里(以10dBZ等值線計算)，雨帶之間方距約90公里。雨帶隨颱風的移動，往西北西方圍環進，但雨帶中的對流胞，卻是隨颱風外圍環流，往西南心中移動，所以雨帶相對於颱風中心，斷相相對向(或氣旋式)的移動，但無法判斷相對的進入運動。0330L後，颱風眼牆的對流結構邊緣進入

CCC圖外顯示E之圖2e中之E)，顯示外圍雨帶C與眼牆對流E之間的相對距離沒有明顯變化，約為200公里，且大致與眼牆平行。圖2同時顯示，當外圍雨帶的下游接近台灣陸地時，因受地形影響而移速變慢，但雨帶的上游仍以原來的速度，向西北西方向前進，故雨帶逐漸由直線走向變為弧形。

(2) 地形雨帶

此類型雨帶位於近平地之斜坡上，且雨帶生成後，沒有明顯向上游發展情形。目前4個個案皆觀測到地形雨帶，颱風侵台期間幾乎持續存在，且台灣北部各山區均曾出現，其移動緩慢或近似滯留；當環境氣流改變或雨帶移出其形成位置(地形)後，隨即消失。

圖3為伴隨亞力士颱風(1987年7月27日0402L)出現的三條雨帶之垂直剖面圖，圖中顯示強降水回波有沿地形上延伸的趨勢，最強回波(達40dBZ以上)出現在山坡前(或氣流正要上坡)的低層，10dBZ等值線之高度皆在8~10km間。這三條雨帶的尾端(遠離颱風的一端)都位在雪山山脈西麓，並沒有延伸到海岸線之外。在考慮颱風伴隨之氣旋式環流後，可確定這三條雨帶之形成與氣流受地形強迫舉升關係密切，故稱之地形雨帶。

(3) 颱風登陸期間的主要雨帶

此類雨帶是颱風登陸前，於眼牆對流的前緣生成，且明顯向上游發展，雨帶並有隨颱風而移動或旋轉有現象。本研究中，受限於CAA地理位置，只有顯現此北部登陸的亞力士及楊希颱風可清楚顯現此類雨帶之特徵，在此只顯示亞力士颱風之分析結果。圖4為亞力士颱風個案於0417L至0647L，CAA雷達所觀測之部份回波合成圖。0402L時(圖3)，颱風雪心尚在蘇澳東方海面上，但部分眼牆回波位於雪山山脈東方約30公里之陸地上，且與山脈平行；0417L時，在眼牆與雪山山脈間出現一條雨帶，其位置距雪山約15公里，回波最大值達35dBZ以上，此雨帶隨後向上游發展、延伸，成為亞力士颱風登陸期間最主要的雨帶。

此雨帶在0417L至0647L之位置如圖5(左)所示，達雷之波帶位置乃利用AVS軟體所展示之雷達回波

圖決定，如雨帶位於海上，則以25dBZ 回波等值面為準，當雨帶位於陸上時，因回波強度普遍增強，故改用30dBZ 回波等值面。圖中雖顯示此雨帶之位置隨颱風運動而往西北方前進，但雨帶的下游（前端，靠颱風眼牆的一端）位置改變不大，都位於宜蘭和花蓮間之中央山脈北端。圖5(右)為此雨帶於不同時間相對於颱風中心之位置，結果顯示雨帶有隨颱風環流做氣旋式旋轉且往外移動的現象，但0547L以後，雨帶相對於颱風中心之徑向運動似乎明顯減弱，但仍稍有氣旋式方向的運動。

雨帶的回波垂直剖面圖（圖6為其中之部份）顯示，自0417L起，伴隨此雨帶前端的強回波都位於地形斜坡之上，最強回波之高度也出現在中低層；意即雨帶出現於地形的迎風面。圖19同時顯示，雨帶有明顯向上游(或海上)發展之情形。此外，雖然此主要雨帶的回波值很強，但雨帶中大部分的回波垂直發展相當一致，較屬於層狀降水的回波結構，與颱風外圍雨帶胞狀的對流特徵明顯不同，也與Atlas *et al.* (1963)、Barnes *et al.* (1983)、Willoughby (1984)及Jorgensen (1984a)的研究結果不同。他們的結果都顯示在（主要）雨帶的上游為明顯的胞狀對流結構，雨帶的下游逐漸轉為層狀降水的回波結構。

雨帶的垂直剖面圖同時顯示(如圖6d)，25dBZ等值線的高度約在6至7公里，沒有太大的變化，但10dBZ 出現的高度在雨帶前端（下游）較低，雨帶尾端（上游）較高；以圖d中此條雨帶為例，圖7為從西和西北兩個方向觀察此條雨帶10dBZ回波等值面的立體圖形；圖中顯示雨帶前端10dBZ 的高度較低，尾端較高（圖中箭頭處表10dBZ 等值線的上緣）。此種現象可能因當時颱風中心位於宜蘭外海，進入雨帶的空氣塊由北方而來，流入雨帶前端（下游）的空氣塊，其流經陸地的路徑較長，到達雨帶前已經釋放了部分的不穩定度；而進入尾端（上游）的空氣塊因流經陸地的路徑較短，或沒有經過陸地，水汽豐富，具有較大的不穩定度，故垂直發展較好。

回波合成圖和垂直剖面圖同時顯示，當主要雨帶減弱時，雨帶前端所處的地形較平坦，回波由前端開始減弱。顯然此雨帶的出現及減弱與地形有極

大的關係，但又與一般的地形雨帶不同。地形雨帶經常存在，位於迎風面及地形之上，所以雨帶出現的位置及其走向與颱風沒有一定的關係，而與地形及盛行風向有關，且地形雨帶移動緩慢或近似滯留，生成後也沒有無明顯的發展；然而颱風登陸期間的主要雨帶，都是於眼牆接近陸地時，生成於眼牆對流的前緣，雨帶的位置保持在颱風前方，而且明顯向上游發展，並隨颱風移動。

(4) 伴隨於西南氣流的雨帶

此類雨帶於颱風中心出海前開始出現，雨帶多呈東北--西南或東--西走向；在歐菲莉及楊希颱風中，CAA 雷達曾觀測到這類雨帶。雨帶與颱風眼牆回波於颱風後方相連，相對於颱風中心，沒有明顯的徑向運動，也不隨颱風環流做氣旋式旋轉，顯然此種雨帶的出現，與颱風後方所引進的暖濕西南氣流有關。

圖8顯示歐菲莉颱風個案中，此類雨帶之回波合成圖(1990年6月24日0000L~0300L)及0200L之垂直剖面圖，圖中顯示雨帶位於眼牆後方，且相對於颱風中心（以星號表示）並無明顯之徑向或切向運動。此外，雨帶在上游具相對較明顯的胞狀回波結構，下游則屬層狀回波特徵。Atlas *et al.* (1963)指出，當雨帶的上游有對流胞形成，則雨帶相對於颱風的位置為固定，歐菲莉和楊希颱風個案亦顯示相同之特性；然而，何以雨帶近似滯留，則有待進一步分析。

(5) 自眼牆的對流結構分離出的雨帶

此類雨帶乃自眼牆周圍的對流分離出來；在亞力士及楊希颱風中，皆觀測到此類型的雨帶。亞力士颱風個案中，有一條雨帶自眼牆對流的左後緣分離(圖9d中AB弧線所示之雨帶)，位於颱風眼牆的左後方；相對於颱風中心，雨帶無明顯之旋轉，且向外之徑向運動亦不甚顯著。圖9同時顯示，雨帶與眼牆分離後，其回波逐漸由層狀轉為胞狀，但圖9c所顯示之1102L雨帶垂直剖面圖則指出，雨帶之最強回波區仍頗具層狀降水的回波特徵，且雨帶中具有亮帶(bright band)的回波特徵，出現在海平面5公里左右。

楊希颱風個案中，前後共有六條雨帶自眼牆對流區的前緣分離出來，雨帶隨颱風環流做氣旋式旋轉，且相對於颱風中心，有明顯的向外移動，雨帶先後移出CAA雷達的有效觀測範圍，或逐漸減弱消失。圖10為分離出的第四條及第五條雨帶之垂直剖面，圖中顯示，在內側的第五條雨帶尚未完全與眼牆對流分離，回波具層狀結構特徵；尤其雨帶的上游具有明顯的亮帶回波特徵，但亮帶出現的高度較圖9e中者為高，約在海平面6公里處。外側第四條雨帶的垂直剖面顯示，雨帶向外移動時，回波結構逐漸顯現出胞狀的特徵(圖10b)。

(6) 海上對流組織而成的雨帶

此類雨帶乃由海面上的零星對流胞組織而成；本研究中，僅莎拉颱風的雷達資料中可清楚顯示有數條此類雨帶生成。圖11為1989年9月12日1000L~1300L之回波合成圖，此時莎拉颱風地面中心位於宜蘭、花蓮一帶，但結構不顯著。圖11顯示，在台灣北部的海面上，位於颱風外圍雨帶的內側，出現許多個別的對流胞(箭頭指處)，這些對流胞逐漸增強並組織成一條新的雨帶；至1300L，雨帶的長度達400公里以上(圖11f)，之後因資料中止而無法繼續分析。此階段中，台灣附近除這條雨帶外，沒有其他明顯的對流系統。1300L時的雨帶垂直剖面(圖11g)顯示，回波呈明顯的胞狀對流型態，類似Willoughby et al. (1984)所分類的主要雨帶，且雨帶與眼牆對流並未相連。不同時間此雨帶位置合成圖顯示，雨帶前緣似有隨颱風環流做氣旋式旋轉情形，然而，雨帶後緣在切向上變化並不大。若仔細分析對流胞，則可見對流胞有做氣旋式運動，而在後緣則有新的對流胞產生。此外，雨帶相對於運動中之颱風中心，並沒有明顯的相對運動。

四、討論與總結

本研究使用CAA雷達觀測資料，針對亞力士(1987)、莎拉(1989)、歐菲莉(1990)以及楊希(1990)四個侵台颱風，分析颱風伴隨雨帶之特徵，並初步探討地形對雨帶可能造成的影響。使用的資

料除採用都卜勒模式的降水回波及雷達徑向風場之外，亦加入非都卜勒模式降水回波的資料；同時亦使用三維視覺軟體AVS協助分析。結果顯示，颱風侵台時，其所伴隨雨帶之空間分佈頗廣，都卜勒模式的資料只能顯示台灣近海及陸地上的雨帶；而以往的研究(何，1988；范，1992和鄧，1992)，以都卜勒模式資料為主，只能針對自海上移入台灣雨帶進行分析，且雨帶明顯受地形影響而發生改變。此外，因受限於CAA雷達的地理因素及颱風登陸位置，本文所分析之四個侵台颱風個案中，並未觀測到明顯的雨帶組合(SBC, Willoughby et al., 1984; Barnes et al., 1983)自外移入台灣地區。

分析時，我們依照雨帶出現的位置，以及CAA雷達資料所顯示的回波特徵，將侵台颱風所伴隨的雨帶分為六類，其重要特徵如下：

- (1) 颱風外圍雨帶：位於颱風前方數百公里，約與眼牆平行，雨帶呈明顯的胞狀對流之回波型態，具有較大的回波水平梯度(參考Barnes et al., 1983)。
- (2) 地形雨帶：位於地形斜坡之上，近似滯留，雨帶多為胞狀對流的回波型態，最強回波高度較低，約在1~4公里高處。
- (3) 颱風登陸期間的主要雨帶：颱風中心登陸前，生成於眼牆對流前方，且生成後明顯往上游發展；雨帶回波之水平梯度較小，且對流發展的高度較一致，較屬層狀回波型態；無明顯的胞狀特徵，但不表示其中的對流微弱。
- (4) 伴隨於西南氣流的雨帶：出現於颱風後方之西南氣流中；雨帶的上游為胞狀回波結構，下游逐漸轉變為層狀回波型態。
- (5) 眼牆周圍對流分離出的雨帶：颱風中心出海前後，自眼牆周圍的對流分離出來；剛分離時，雨帶屬於層狀回波型態；當雨帶向外移動時，雨帶逐漸轉變為胞狀回波型態。
- (6) 海上對流組織而成的雨帶：生成於台灣北部海面，由一連串零星的對流組織而成；雨帶呈明顯的胞狀對流回波型態。

分析結果顯示，颱風外圍雨帶相對於颱風中心有明顯的切向運動，至於徑向運動則較不顯著。此外，由於楊希颱風個案中，外圍雨帶是由非常明顯的對流胞所組成，故可進一步分析位於海上之外圍雨帶及其中對流胞的位移，結果如圖12所示，分析時颱風中心位置以估計求得，圖中顯示雨帶往西北西方向前進，時速約60公里；而雨帶中的對流胞卻是隨颱風外圍環流，往西南方向前進，時速約80公里，雨帶中對流胞的路徑與雨帶的夾角約65度，此與 Anthes (1982)所顯示對流胞位移的示意圖一致。

就雨帶之生成特徵而言，地形雨帶及伴隨於西南氣流的雨帶與其他四類雨帶的性質明顯不同。地形雨帶因地形舉升暖濕氣流而生成，故雨帶的位置與其走向與颱風沒有一定之關係，但與地形及盛行風向關係密切（至於何以成帶狀則為需深入研究之問題）。若再由地形雨帶生成的方式分類，可將地形雨帶分為在地形上生成，以及雨帶自外移入但在地形上近似滯留或重新生成新的雨帶。由於地形雨帶受地形舉升影響，雨帶的移動較無規則可循（風向之改變影響較大）。西南氣流中的雨帶則與颱風中心南方的暖濕空氣有關，故均出現於颱風後方，且不隨颱風旋轉，其特性似與一般所熟知的颱風雨帶稍有不同。

白眼牆對流分離出的雨帶，可能係因颱風於登陸時，地形或地面摩擦作用使眼牆周圍的對流明顯增強，眼牆的寬度也增加；當颱風眼牆的對流結構移出陸地時，對流逐漸由眼牆周圍分離，且分離的現象往下游延伸，於是形成分離雨帶。資料顯示，分離雨帶隨著雨帶之遠離眼牆，其回波逐漸由層狀結構轉變為胞狀回波型態。至於由海上零散對流組織而成的雨帶，只有在莎拉颱風的個案中出現，雨帶生成於颱風前方，但生成之位置與眼牆對流無關，雨帶先由下游開始組織，再逐漸往上游發展，其回波呈明顯的胞狀對流結構，雨帶明顯隨颱風環流做氣旋式旋轉，但卻沒有明顯的徑向運動。

颱風登陸期間主要雨帶，其性質與Willoughby et al. (1984) 分類的主要雨帶不同；Willoughby 認為颱風通常皆伴隨有所定義的主要雨帶。本研究的兩個主要雨帶均在颱風登陸前出現於眼牆對流

前緣，且明顯向上游發展；此外，雷達回波合成圖及雨帶垂直剖面顯示，颱風主要雨帶的生成，地形及氣流垂直於山脈的分量亦扮演重要的角色；當地形或風向改變時，主要雨帶的強度即發生變化。主要雨帶之發展情形，可以楊希颱風回波垂直剖面示意圖(圖13)為例說明；圖中顯示，雨帶中的強回波出現於地形之前，由低層向上游延伸，再向上垂直發展。此外，回波強度的減弱，也是由雨帶前端開始，但未觀測到這個過程有由低層向後延伸的現象，可能是回波減弱的過程很快，雷達30分鐘的掃瞄間隔無法解析所致。

颱風外圍雨帶、白眼牆對流分離出的雨帶以及對流組織而成的雨帶，其回波型態均呈明顯的胞狀對流結構，且均隨颱風環流旋轉，但這三種雨帶之形狀及走向，則顯著不同；颱風外圍雨帶位於颱風前方，距離甚遠，大致與眼牆對流平行；白眼牆對流分離出的雨帶則出現於眼牆對流結構的周圍，雨帶的曲率較大，類似螺線的形狀，環繞颱風的範圍超過兩個象限，且有明顯的向外移動，但似乎逐漸減弱而消失；由零散對流組織而成的雨帶，其曲率較小，略呈直線形，且雨帶與眼牆對流有明顯的交角。此外，雖然主要雨帶、白眼牆對流分離出之雨帶和海上對流組織成之雨帶等三類雨帶之生成過程明顯不同，但三者仍具有部份相似之特性；因此，有可能有共同之物理機制主導此三類雨帶之生成或發展過程，此問題值得未來進一步研究。

最後，雖然目前的分析已顯示頗多有關侵台颱風伴隨雨帶之重要現象，部份雨帶之特徵在過去的研究中並未特別提及；但因缺少熱力場和確切風場，無法研究雨帶之動力和熱力場結構以及形成和維持機制。此外，有關地形對雨帶之可能影響，亦需進一步分析。未來，唯有借助密集觀測實驗，收集詳細的熱力資料和二維風場，才可做進一步的分析；而且，亦有必要借助數值模擬結果之診斷分析，方可有更深入的瞭解。

誌謝

感謝民航局及其所屬之飛航服務總台和氣象中心提供CAA 雷達資料，此外，並特別感謝劉韶郁小

姐協助文書處理以及謝梨惠小姐協助繪圖。本研究乃在國家科學委員會支援下完成，計畫編號NSC82-0202-M-002-076、NSC83-0202-M-002-054及NSC84-2111-M-002-018。

參考文獻

- 李清勝和蔡德攸,1995:利用CAA都卜勒雷達資料分析四個侵台颱風伴隨雨帶之特徵。大氣科學,23, 2, 209-236。
- 李金萬,1991:單都卜勒氣象雷達分析楊希颱風結構。天氣分析與預報研究會論文彙編(80)。467-474。
- 何宏能,1988:亞力士颱風的降水回波結構。中央大學大氣物理研究所碩士論文,110頁。
- 汪建良,1990:莎拉颱風(1989)之分析。台灣大學大氣科學研究所碩士論文,97頁。
- 范育華,1992:侵台颱風內部結構之雷達分析與比較。中央大學大氣物理研究所碩士論文,133頁。
- 許信德,1991:歐菲莉颱風對流特徵演變之研究。台灣大學大氣科學研究所碩士論文,101頁。
- 蔡清彥和王時鼎,1991:台灣地形對颱風運動、結構及強度影響診斷研究-I:侵台重要颱風電腦資料檔建立及分裂過山颱風研究。國科會專題研究報告,65頁。
- 風雷,1992:雷達回波垂直結構與降水定量估計—楊希颱風。台灣大學大氣科學研究所碩士論文,73頁。
- 鄧資嘉,1992:楊希颱風回波特徵與雨帶演變之分析。台灣大學大氣科學研究所碩士論文,103頁。
- Anthes, R. A., 1982: Tropical Cyclones: Their Evolution, Structure, and Effect. *Meteor. Monog.*, 19(41), American Meteorological Society, Boston, 208pp.
- Atlas, D., K. R. Hardy, R. Wexler and R. T. Boucher, 1963: On the origin of hurricane spiral bands. *Geofis Int.*, 3, 123-132.
- Barnes, G. M., D. P. Jorgenson and F. D. Marks, Jr., 1983: Mesoscale and convective scale structure of a hurricane rainband. *J. Atmos. Sci.*, 40, 2125-2137.
- Battan, L. J., 1973: *Radar observation of the atmosphere*. Univ. of Chicago Press, Chicago and London, 324pp.
- Jorgensen, D. P., 1984a: Mesoscale and convective - scale characteristics of mature hurricanes. Part I: General observation by reserach aircraft. *J. Atmos. Sci.*, 41, 1268-1285.
- Jorgensen, D. P., 1984b: Mesoscale and convective - scale characteristics of mature hurricanes. Part II: Innor core structure of hurricane Allen (1980). *J. Atmos. Sci.*, 41, 1287-1311.
- Lee, C. -S., 1992: A Preliminary Analysis of Two Typhoons When Moving Across Taiwan. *Proceedings of the 2nd International Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate*. 205-212. World Scientific, Singapore.
- Mohr, C. G. and R. L. Vaughan, 1979: An economical procedure for cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space. *J. Appl. Meteor.*, 18, 661-670.
- Willoughby, H. E., F. D. Marks, Jr, and R. J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3189-3211.

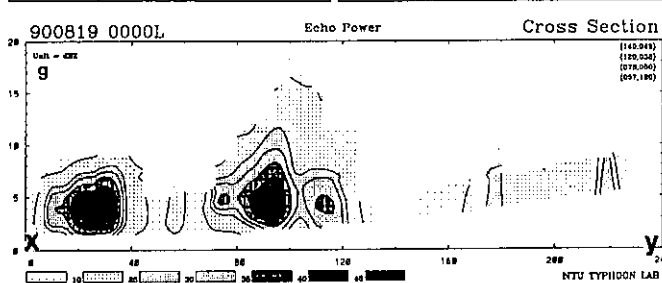
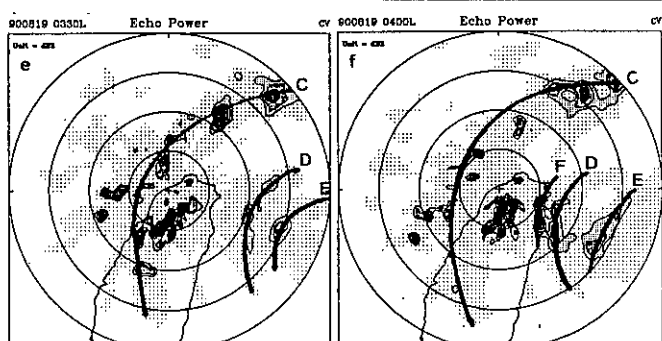
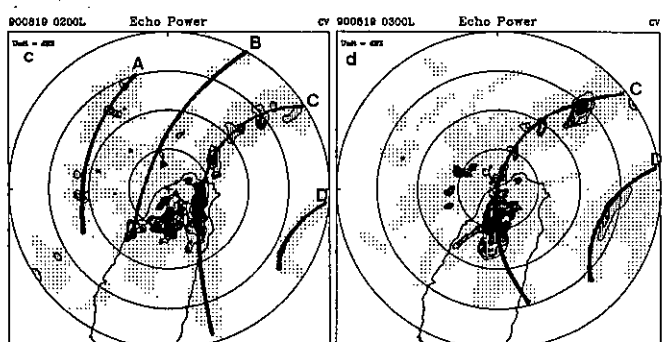
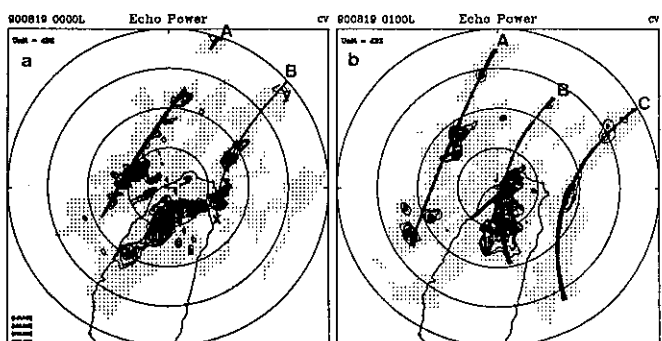
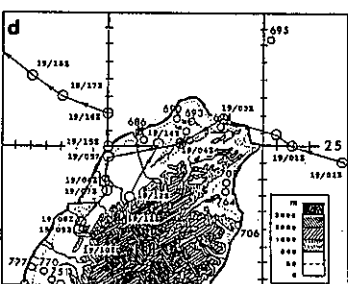
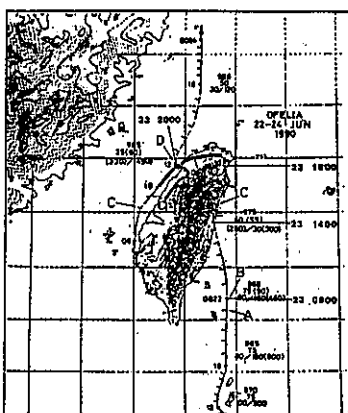
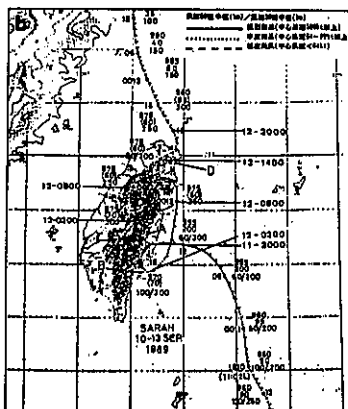
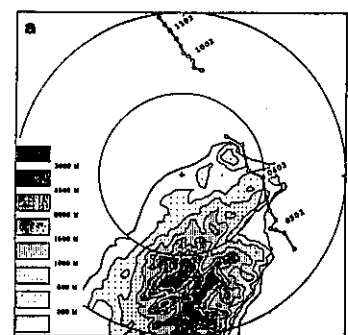


圖2 1990年8月19日CAA雷達的降水回波合成圖，時間為(a)0000L (b)0100L (c)0200L (d)0300L (e)0330L 和(f)0400L。圖(g)為0000L(圖a)沿xy弧線之垂直剖面圖。

圖1 颱風路徑圖。(a)為亞力士颱風(回波合成圖之回波中心)，(b)和(c)分別為沙拉和歐菲莉颱風(摘自蔡和王, 1991)。(d)為楊希颱風(摘自李, 1990)。

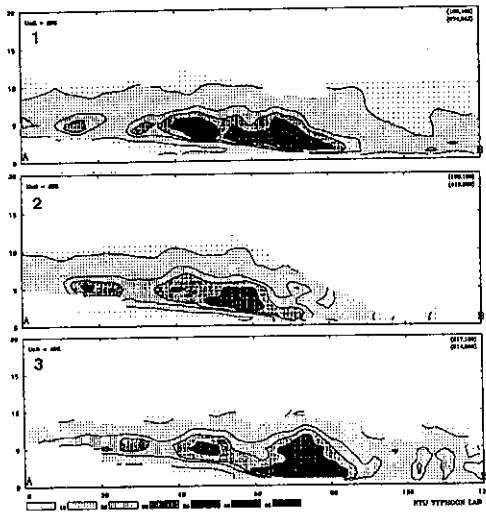
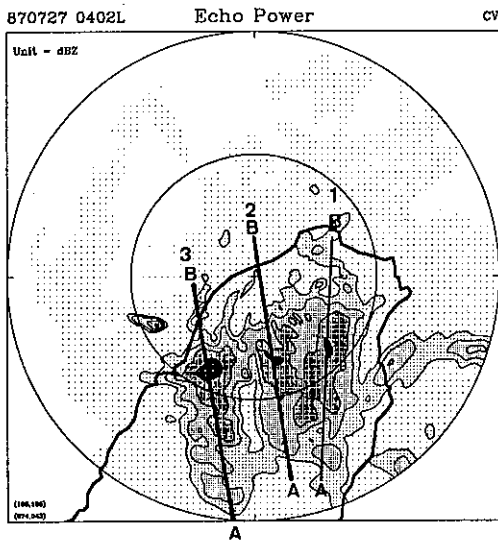


圖3 1987年 7月27日0402L, CAA雷達的降水回波合成圖及三個沿雨帶的垂直剖面。圖中粗實線AB為垂直剖面所切的位置。

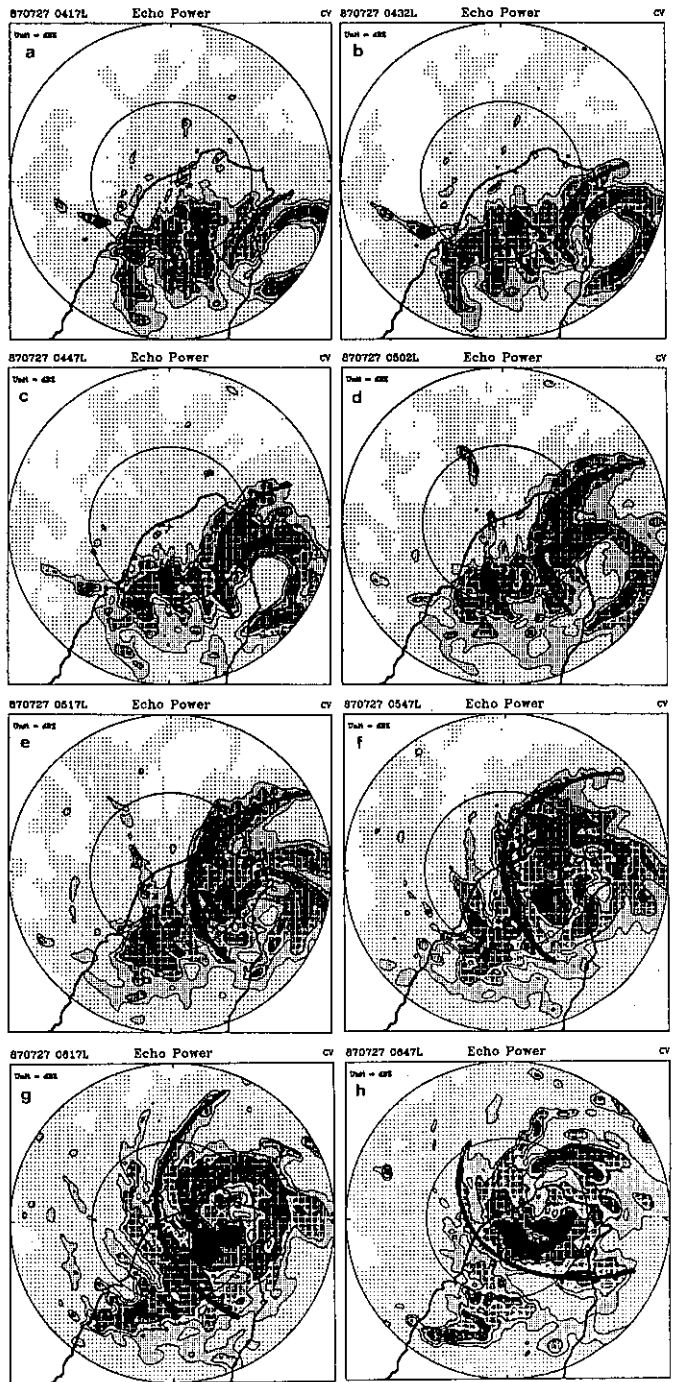


圖4 1987年7月27日CAA雷達的降水回波合成圖，時間為(a)0417L (b)0432L (c)0447L (d)0502L (e)0517L (f)0547L (g)0617L 和(h)0647L。圖中黑實線表雨帶位置。

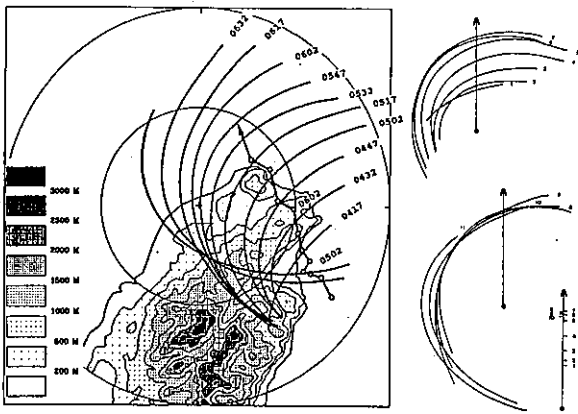


圖5 亞力士颱風的兩帶位置合成圖，左圖為雨帶相對於地面的位置，時間如圖中所標示(LT)，圓圈表颱風中心。右圖為雨帶相對於移動方向/颱風中心的位置。箭頭表示颱風之移向，數字表雨帶的時間順序。

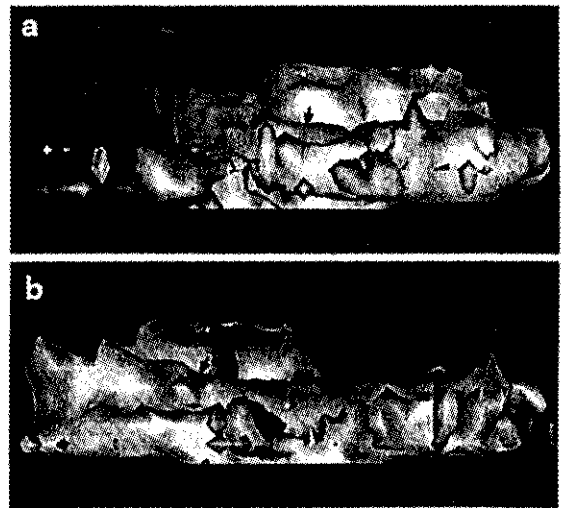


圖7 1987年7月27日0502L，CAA雷達的降水回波資料，以AVS軟體顯示的立體等值面。分別為自(a)西方和(b)西北方平視。

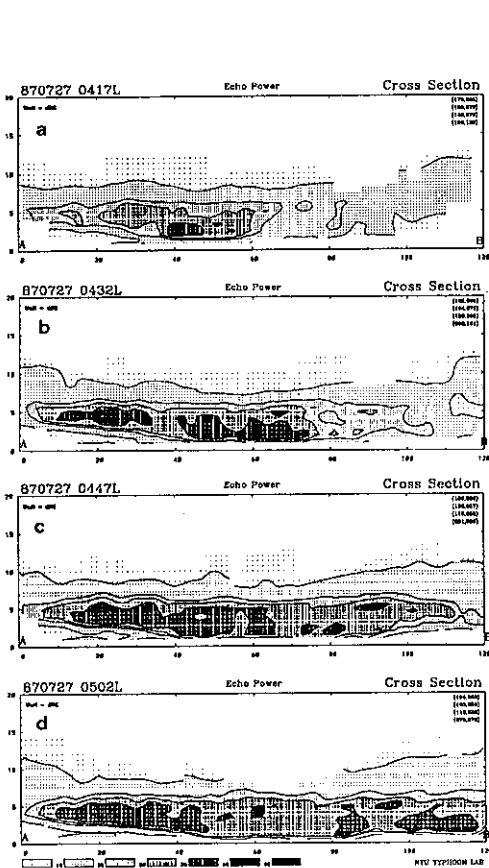


圖6 亞力士颱風伴隨雨帶垂直剖面圖，垂直剖面所切之位置以圖4之粗實線表示。時間為(a)0417L (b)0432L (c)0447L和(d)0502L。

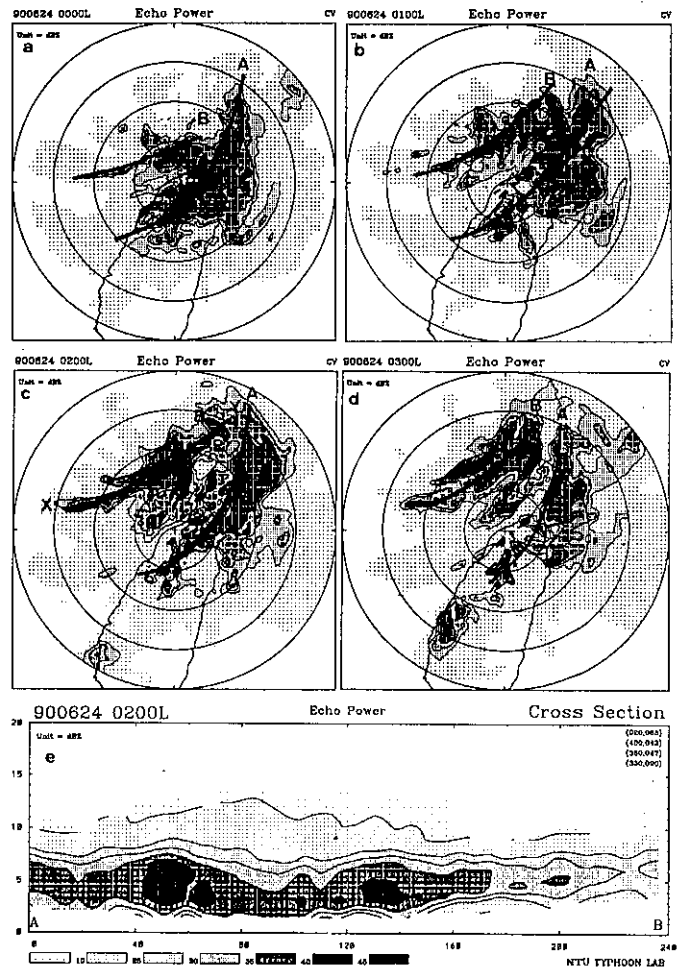


圖8 1990年6月24日CAA雷達的降水回波合成圖，時間為(a)0000L (b)0100L (c)0200L (d)0300L，(e)為0200L時沿xy弧線之剖面圖。

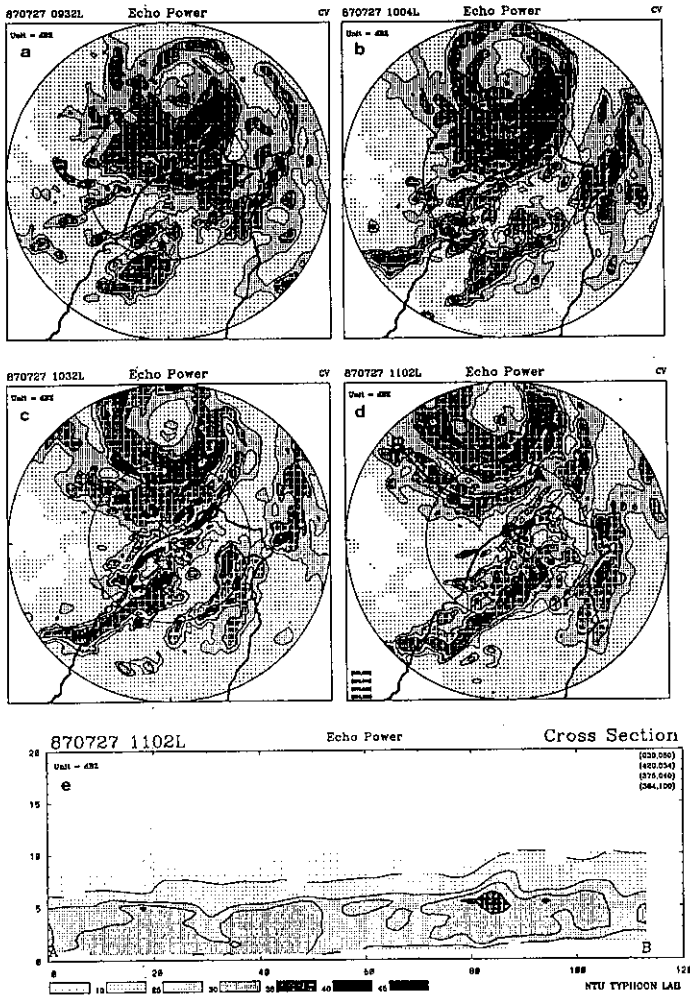


圖9 1987年7月27日CAA雷達的降水回波合成圖，時間為(a)0932L (b)1004L (c)1032L 和(d)1102L。圖(e)為沿AB弧線之剖面。

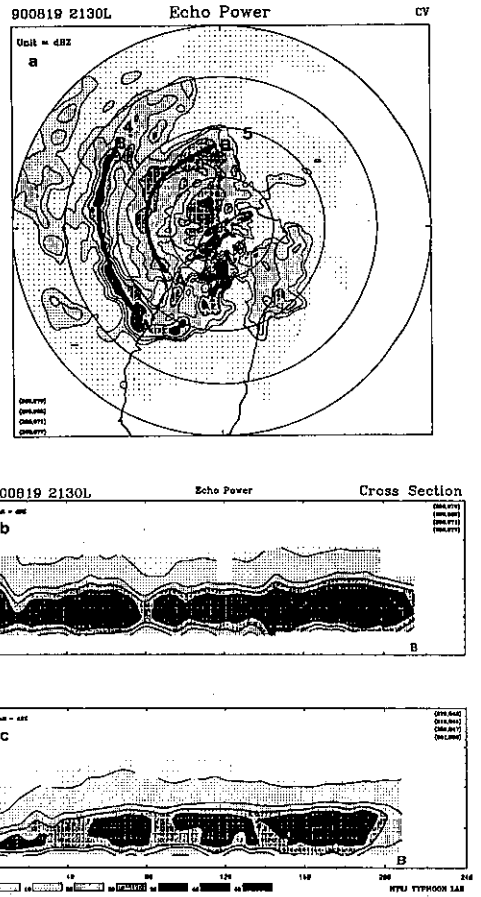


圖10 1990年8月19日2130L，CAA雷達的降水回波合成圖(a)、第四條雨帶的垂直剖面(b)及第五條雨帶之垂直剖面(c)。

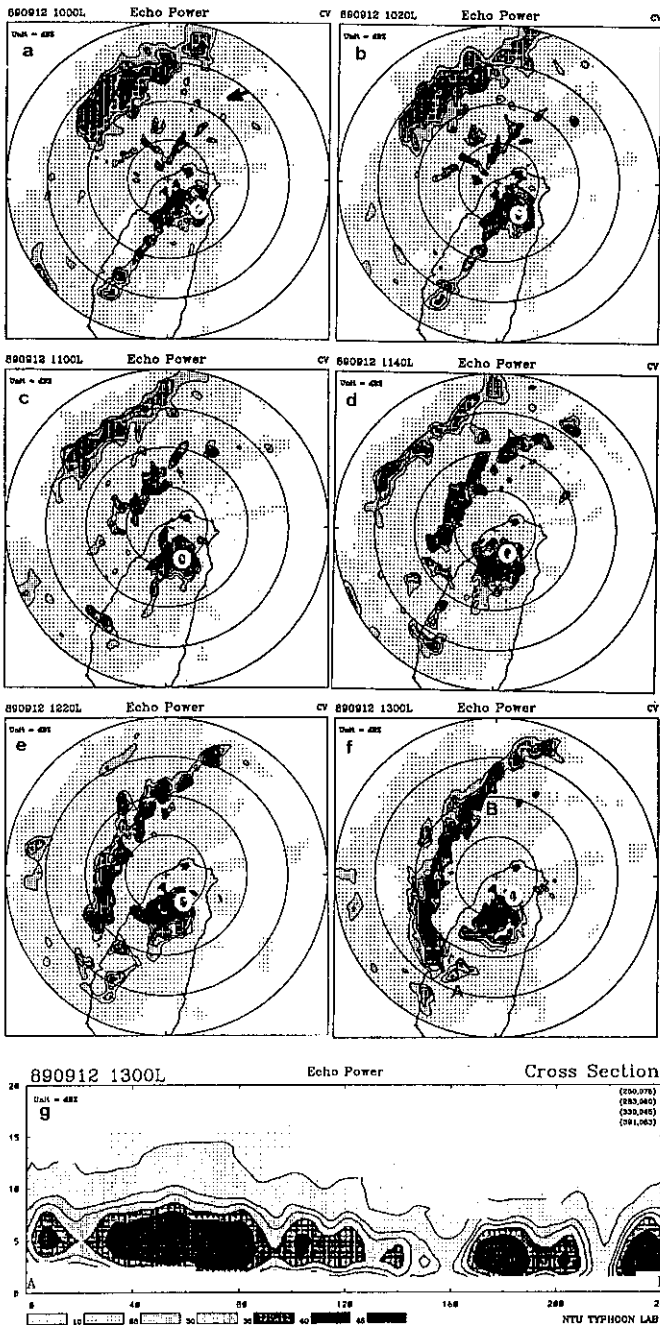


圖11 1989年9月12日CAA雷達的降水回波合成圖，時間為(a)1000L (b)1020L (c)1100L (d)1140L (e)1220L和(f)1300L。圖(h)為沿 AB弧線之剖面圖。圖中o表示莎拉中心位置。

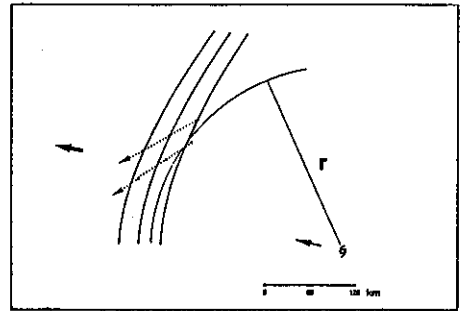


圖12 楊希颱風中，外圍雨帶以及其中對流胞的移動示意圖。其中颱風中心的位置以估計求得。

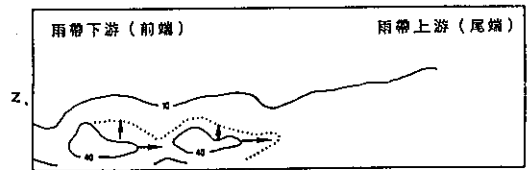


圖13 楊希颱風中，主要雨帶回波發展示意圖。圖中箭頭表回波發展的方向；點線表下一個時間40dBZ等值線的位置。