

雷達網連觀測颱風的環流與對流

陳台琦

中央大學大氣科學系

一、前言

2001 年氣象局即將完成之雷達網連，已在今年九次侵台颱風中充分發揮了颱風觀測的功能，其中墾丁雷達站從奇比、尤特、潭美、桃芝、納莉到利奇馬，共有六個颱風進入觀測範圍，而五份山雷達也對納莉這個歷史上破許多記錄的颱風和中正機場共同做了十分完整的觀測，正在測試中的新花蓮都卜勒雷達也在海燕靠近時，做了觀測。回溯以往氣象局在過去三十年中已累積許多雷達觀測颱風回波的經驗，中正機場連續十四年亦提供了北部颱風的都卜勒風場觀測，在綠島的空軍氣象雷達，雖兩次遭颱風損壞，也保有了東南部颱風登陸前的颱風原貌。在此眾多的都卜勒雷達觀測中，這些珍貴的雷達資料究竟應如何分析應用，產生最有意義的颱風結構變化的資訊，是本篇文章想提出的觀點。

從過去氣象局已對颱風的路徑、環流型態、風雨分佈，有了長期統計的經驗。但是由於颱風結構及移速不同，即使十分類似的路徑，由於與地形及環境的交互作用，產生很大的差異。比如在今年的個案中，同在東南角附近登陸的潭美及利奇馬，一個在高雄降下豪雨，另一個卻未對西南部造成影響。桃芝颱風登陸前環流範圍很小，但過山後在南投降下豪雨造成兩百人以上以上的傷亡。納莉在登陸前，低層可觀測到 50m/sec 之風速，登陸後風速降到 25m/sec。但其緩慢的移速，在山部地區及平地產生持續的對流，造成大台北地區嚴重的水患。在本篇文章中，將提出在颱風登陸前，如何應用雷達資料分析來界定颱風的結構，包括颱風中心位置、眼牆半徑、最強風、最強風半

徑等。同時，亦試圖以賀伯及納莉兩個案說明在颱風登陸後強度 (intensity) 減弱的過程中，颱風本身的環流結構、對流活動及降水特性的複雜變化。本文將針對網連後四個雷達站可進行之颱風分析方法研發做一些實際的建議，期許在未來的努力下有更好的預報成果。

二、颱風登陸前結構的重要參數與雷達觀測

由於目前雷達網連的觀測回波半徑均為 450km，風場亦可觀測 250km 左右，但由於地球及電磁波傳遞路徑的曲率，颱風約在 200km 左右可看到較低層的結構。圖 1 是描述颱風結構三種參數的示意圖 (Holland and Merrill 1984)，核心強度 (core intensity) 以最強風或中心氣壓來估計，外核區強度 (outer core strength) 以離中心 100km 至 300km 之平均切線風速來估計，由於這兩參數都需要颱風切線方向環流風場的估計，可在中心定位後，由都卜勒雷達提供風場資料。目前已有多種方法可進行，如：VAD (Velocity Azimuth Display) (圖 2)，GBVTD (Lee et al. 2000) (圖 3) 或 Liou (1999) 移動座標單都卜勒風場反求 (圖 4)，TREC (Tuttle and Gall 1999) (圖 5) 等技術，甚至有經驗的預報員亦可利用雷達網連資料，如可同時配合探空、衛星風場等資料做整體的綜合，訂出 7 級風半徑及 10 級風半徑，對於颱風的風雨分佈之時間變化，可以有十分好的掌握。

2.1 颱風中心定位及強度估計

由於任何一個雷達站，在最低仰角的狀況，可觀測到雷達站附近低層的風場。如高度角 0.5° 時，50km 內可看到約 500m，到 100km 則約為 1000m，200km 則高於 2000m，因此在颱風中心進入雷達觀測半徑 200km 左右時，

中心附近最低層可觀測到約 2km 高度。此時已可訂出中心及最大風半徑，但由於颱風的切線風速最大在 1km 以下，此時對強度 (core intensity) 的掌握可能需要再略加修正。中心定位有許多方法，如眼牆回波對稱明顯可用幾何方式訂出，此方法氣象局正在發展。用單都卜勒風場記號(signature method) 定中心及最強風風速半徑是一般最常用的方法。圖 6 是納莉原始風場，但需要風場折疊自動處理，並且在颱風中心很接近時需加修正(Wood,1994) (圖 7)。颱風中心的波譜寬值較大亦可利用作為定中心的方法。GBVTD 方法的前置處理亦包括定中心的自動程序。

2.2 風場結構

當雷達站正處於之處在離颱風中心 100-300km 的外核區(outer core)時，都卜勒雷達網連各站可做 VAD，(Velocity Azimuth Display) 可提供外核區強度 (outer core strength) 相當好的估計，瞭解此颱風環流的大小，進而判斷 7 級風半徑。當颱風中心更接近雷達站，在離雷達約 100km 時，可利用 GBVTD，TREC 或移動座標風場反求法求取颱風中心附近的風況，其中最主要是最強風速半徑，由於此半徑的收縮，可用角動量守恆，計算核心強度風速的增強，目前 GBVTD 可提供三維空間的切線風場分佈及平均徑向風場。而 TREC 和移動座標風場反求，仍限於較低層的風場。

三. 颱風登陸後單雷達觀測

由於複雜的地形，依颱風不同路徑，不同的強度及暴風半徑，颱風登陸後，雖切向的環流風速因地形的摩擦與山岳的阻擋會很快的減速，但是在此過程中，各種不同的對流狀況會被激發，因此雷達觀測的重點不再單單追隨中心的移動，而更重要是觀察新生的對流變化。有幾個參數是值得注意的。

3.1 以雷達觀測輻合場

在登陸後，颱風除了有較強的雨帶，或破

壞的眼牆對流外，往往也被大片的層狀雨所包圍，可以由 VAD 分析，看出低層是否仍有輻合場，並可以量化這個場與在此半徑內降雨量的關係。以 0.5 高度角、50km 為半徑分析 1km 高度平均輻合場，比較不同的颱風個案不同時段此場之變化，並與 50km 內降雨量比較。除了大範圍的 VAD 計算外，在 PPI 或 CAPPI 中亦可注意是否有輻合帶出現，如納莉 16 日 17z 北部的雨帶(圖 8)，利用單都卜勒或雙都卜勒反求的技術，求取局部之輻合場並即時追蹤其變化，作為對流區是否發展、持續或消失的指標。

3.2 以雷達觀測渦旋

在許多情況下，颱風登陸期有副中心的存在，有的甚至取代主中心，此時亦可利用 GBVTD 或其他單都卜勒風場反求，偵測此類渦旋的大小及強度。如潭美可觀測到高雄地區有一小渦旋存在。如此類渦旋配合上昇運動區，便可產生局部持續的大雨。

3.3 雷達觀測對流系統的移速、面積變化

這是雷達對所有降水系統之基本觀測，但是全自動化的技術並不容易發展，有些雷達是以交談式的方式，由預報人員圈選出降水系統，再由自動化程式計算其移速及面積變化。值得注意的是，移動緩慢或在一地重複出生的系統，此現象常造成局部的豪雨。在雪山山脈的西北面，颱風如由東方接近，迎風面常有固定的雨帶，造成一大雨中心，在賀伯、楊希等颱風，16 日 15-17Z, 17 日 00-02Z 間橫亙於淡水河下游的雨帶，滯留時間很長是造成水患的主因，因此密切的觀測颱風登陸後較小尺度降水系統之變化是十分重要的，每六分鐘一筆的雷達資料可提供高時間解析度降水估計。

3.4 颱風期間的雷達降水估計

雷達降水估計方法基本根據回波及降雨率都是由雨滴譜積分所得，在沒有雨滴譜觀測的情況下，一般採用統計方法求取 Z-R 關係式，但是在雨型不同時 有很大的變異性。因

此以雨量站即時作客觀分析校正，在台灣地形多變情況下是很好的自動化方法。以此次納莉為例，從中大雨滴譜儀觀測，發現降雨率最高時是由大量的小雨滴組成(圖 9) 如採用 NEXRAD 的 Z-R 關係式，降雨率會嚴重低估。因此建議氣象局可配合雷達站加設雨滴譜儀，改善雷達降水估計。在未來山區設置偏極化雷達可改善山區雨量估計。

四. 北部地區雙雷達對颱風的觀測

從氣象局五分山勘站之初，即預先設計與台灣最早設立之中正機場雷達做雙都卜勒雷達風場合成，提供台灣北部地區接近即時三維風場及其他診斷場。由於五分山雷達在 2001 年五月以前，Level 2 的資料不能在線上即時傳回，因此雙都卜勒風場只在研究領域，而未能正式上線。但在不久的未來，如中正機場及五分山資料都可在接近即時的時間傳輸到一部雷達資料分析的電腦中，一個小時中提供 2-4 次的三維風場及診斷場的雙都卜勒分析，是極有可能並值得進行的。雙雷達雖只可提供北面海上 60×60km 及南面陸地上 60×60km 兩個分析區(圖 10) 較完整的三維風場，正是提供了絕佳的機會，觀察颱風在切線環流遭遇地形減弱時，徑向環流的變化及依山而上的氣流如何重新分配對流系統。96 年的賀伯颱風是一個極好的範例，以下即簡單的提出以五分山雷達觀察的賀伯登陸前後三維風場變化及對流活動。這個部分採取中央氣象局鄧仁星博士的 RASTA 程式(追隨地勢座標雙雷達風場合成方法)(Deng et al.2000)。

4.1 颱風雨帶海陸的對比

賀伯颱風登陸前 2005LST 時，主要雨帶通過雙都卜勒北面分析區，後進入南面分析區(圖 11)，從風場可看出在北面分析區，雨帶的結構十分類似一般在海上的觀測。但一進入地形後，切線風減速，但徑向的入流卻變厚、變強，雨帶變寬分佈在雪山山脈的迎風面上，垂

直運動場顯示風場隨地形舉升是降水分佈改變的原因。

4.2 颱風眼牆海陸的對比

在 2135 時間眼牆以進入北面及南面分析區(圖 12)，從 2135，2145 兩個時間的風場可明顯看出，60m/sec 的眼牆切線風進入地形後受到地形摩擦及山岳阻擋後，切線風速降至 30m/sec，而最強風區抬升至地形上 2-3 公里之高度，在海上眼牆內高聳的切線環流風場在進入陸地，除了最低層的減速外，形成一較寬低層噴流隨著地形舉升，此種風場結構的劇烈變化，也在氣壓反求時可看到登陸後氣壓的徑向梯度小很多。賀伯由於在陸地上只停留了約 6 小時，所以北部的降水情況並不嚴重，反而因 outer core strength 較大，中部山區降水很多。由此可見颱風系統的移速及環流結構是影響風雨分佈的主要因素。

五、結論

在回顧了許多分析颱風的雷達方法後建議氣象局成立雷達分析方法的工作平台，以充分的電腦及雷達資料作為方法測試的資源。局內由做此方面的人在一起舉行一些小型的討論會與預報人員經驗交換對多種方法在同樣的資料組中測試，有系統建立一套雷達分析颱風方法的流程。如何在一個颱風接近時，VAD、GBVTD、TREC 等方法適當做出颱風預報需要的參數，如何做降水估計，登陸時如何追蹤颱風降水系統的變化，如何發展診斷的定量條件等。這是一個很巨大的工作，期許更多人來參與，期許更具體自動化的流程可改善颱風預報。

六、致謝

多年來，氣象局、民航局、空軍不論是建站或是在站上觀測，維護氣象雷達的工作人員是最辛苦的，也最值得感謝的。

七、參考文獻

Holland, G. J. and R. T. Merrill, 1984: On the dynamics of tropical structure changes. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 110,723-745

Lee, W.-C., B. J.-D. Jou, P.-L. Chang, and S.-M. Deng, 2000: Tropical cyclone kinematic structure retrieved from single-Doppler radar observations. Part II: The GBVTD-Simplex Center Finding Algorithm, *Mon. Wea. Rev.*, 128,1925-1936.

Liou, Y. C. 1999 : A preliminary study of Retrieving vortex circulation using a Lagrangian Coordinate and single Doppler radar data. *Terre. Atmos. and Ocean. Sci.* 10, 2, 321-340

Teng, J.-H., C.-S. Chen, and T.-C. C. Wang 2000: Orographic Effects on a Squall Line System over Taiwan. *Mon. Wea. Rev.* 128, 1123-1138

Tuttle, J., and R.Gall, 1999: A single-radar technique for estimating the winds in tropical cyclones, *Bull. Amer. Meteo. Soc.*, 80, No.4, 653-668.

Wood, V. T. 1994: A technique for detecting a tropical cyclone center using Doppler radar, *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 11, 1207-1216.

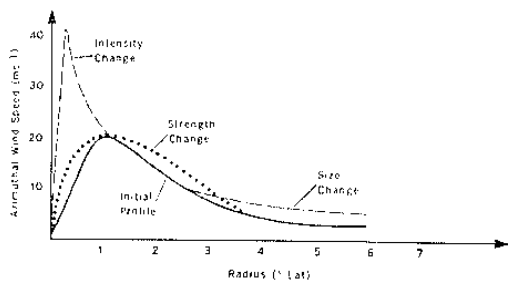


Figure 1 A schematic of the effects of intensity, strength and size change on the radial profile of azimuthal winds in a tropical cyclone.

*Permission: affiliation: Bureau of Meteorology, Department of Science and Technology, Melbourne, Australia

圖 1：颱風的風場結構與強度變化，摘自 Holland and Merrill (1984)

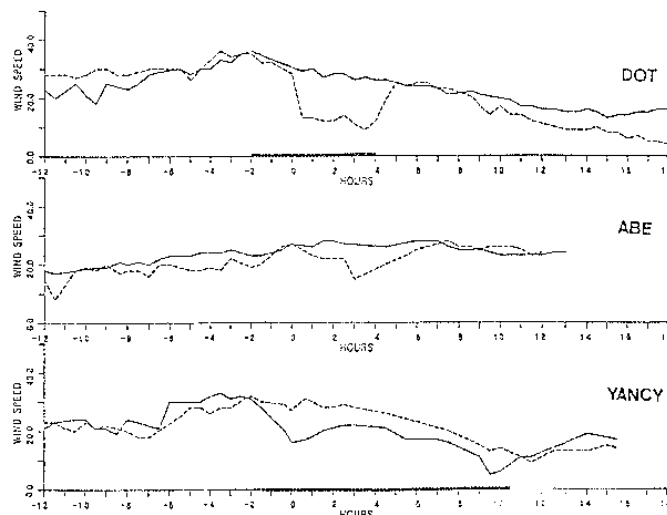


圖 2：楊希、黛特、亞伯颱風的 VAD 分析

7/27/87 5: 2:58 (72.1, -30.1) Z= 1 KM

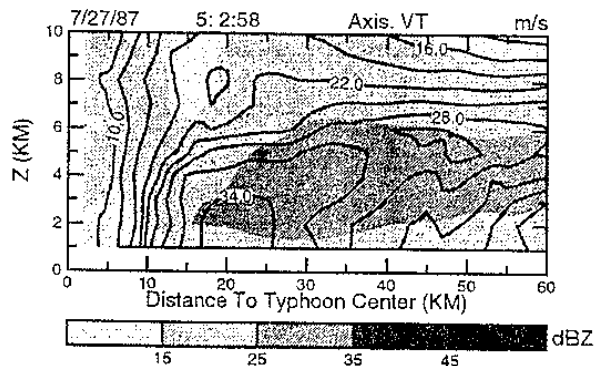
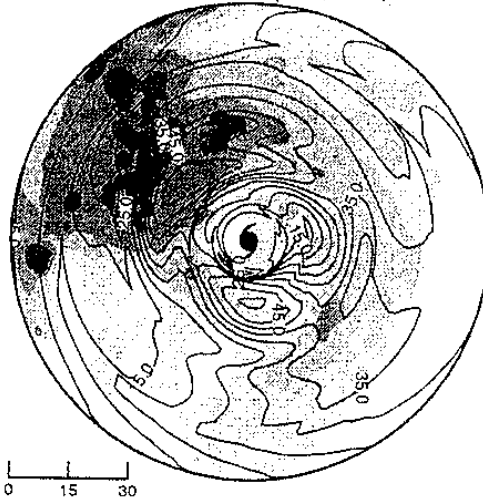


圖 3：亞力士颱風的 GBVTD 分析，摘自 Lee et al. (2000)

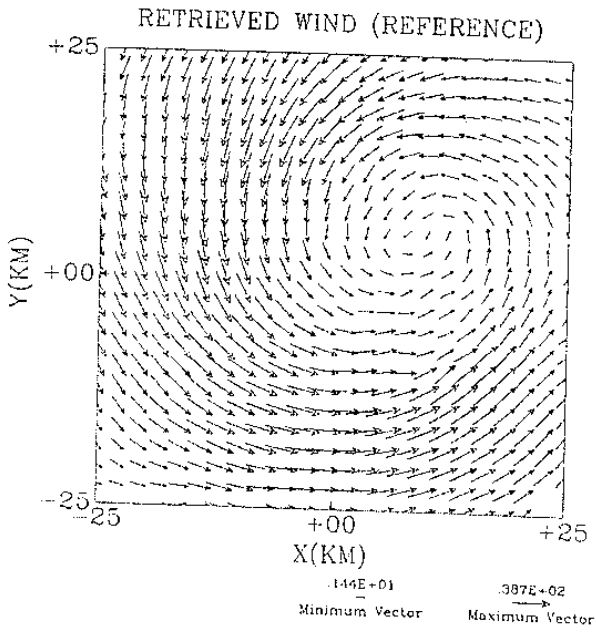


圖 4：單都卜勒風場反求渦旋，摘自 Liou (1999)

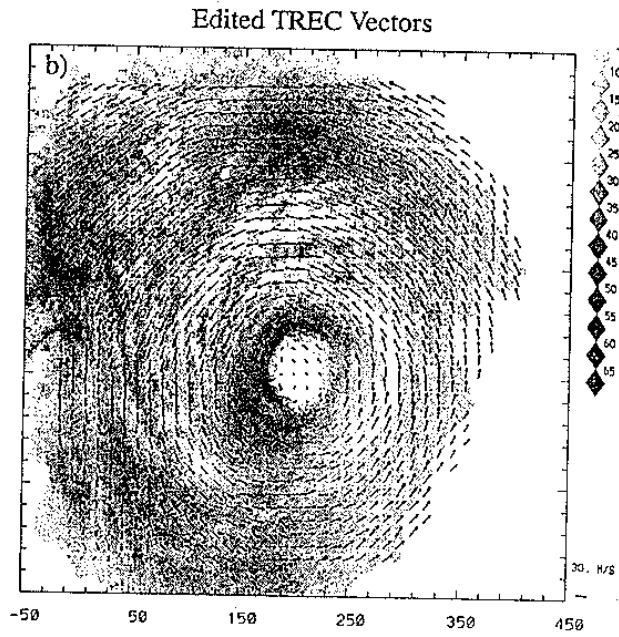


圖 5：賀伯颱風 TREC 分析風場，摘自 Tuttle and Gall (1999)

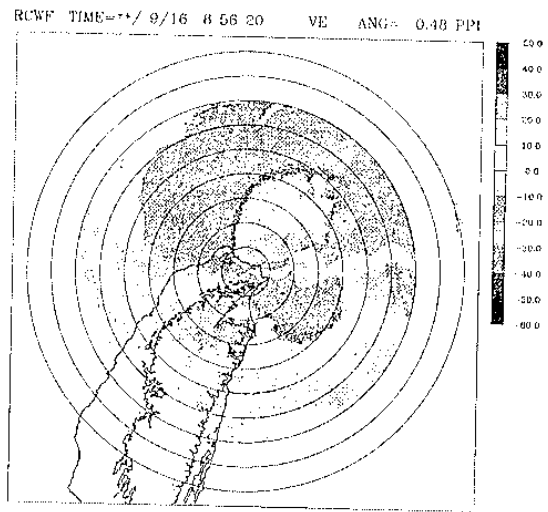


圖 6：納莉原始的單都卜勒風場

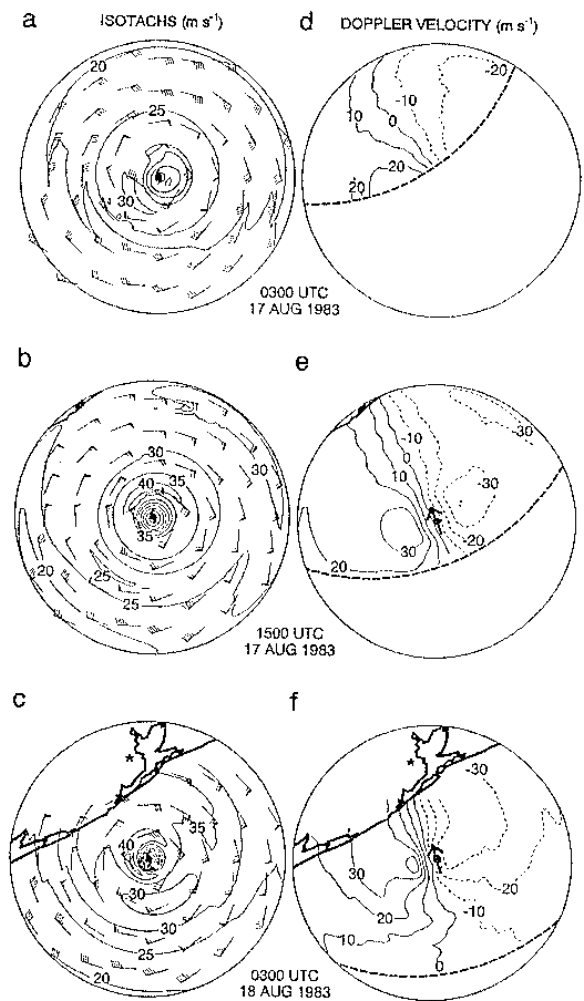


圖 7：用單都卜勒風場記號做颱風定位

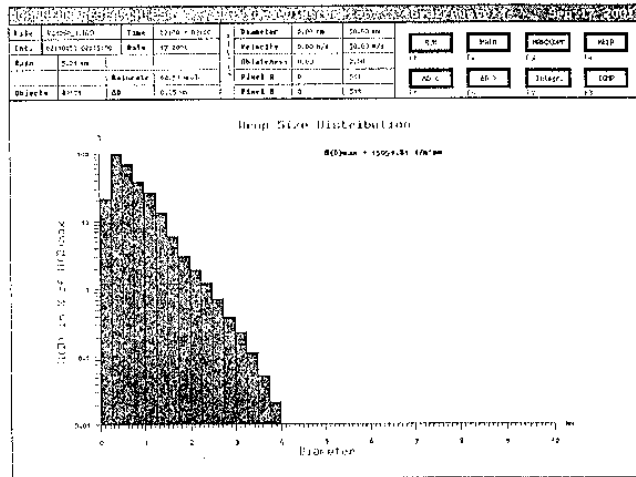
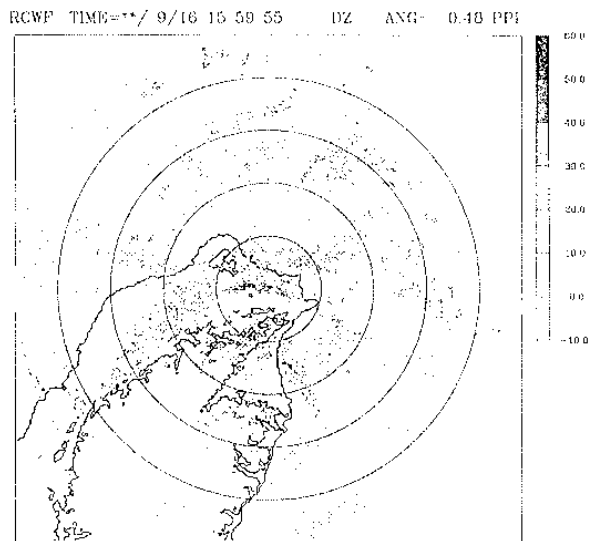


圖 9：雨滴譜儀納莉颱風中的觀測

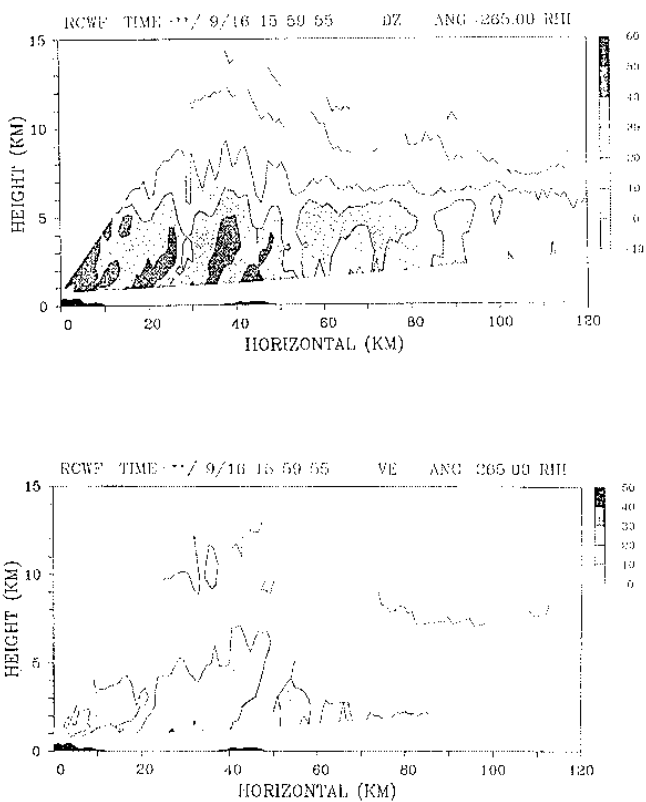


圖 8：納莉颱風登陸後的對流雨帶

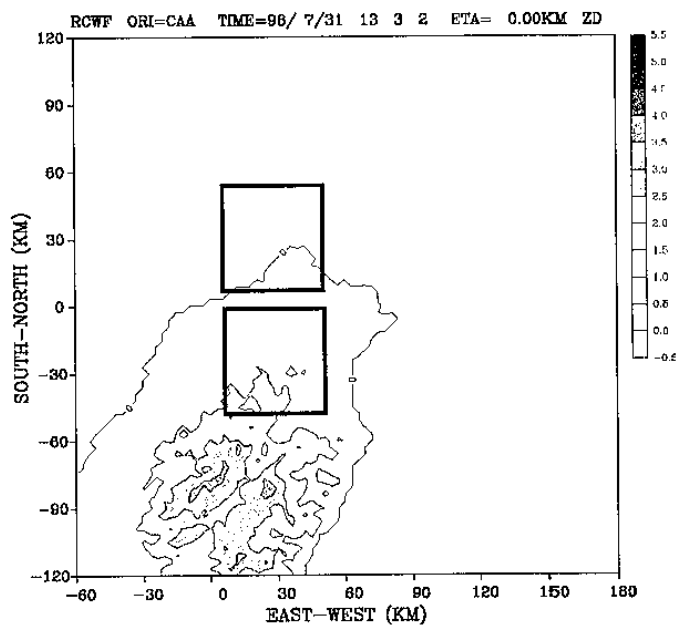


圖 10：雙都卜勒風場分析區

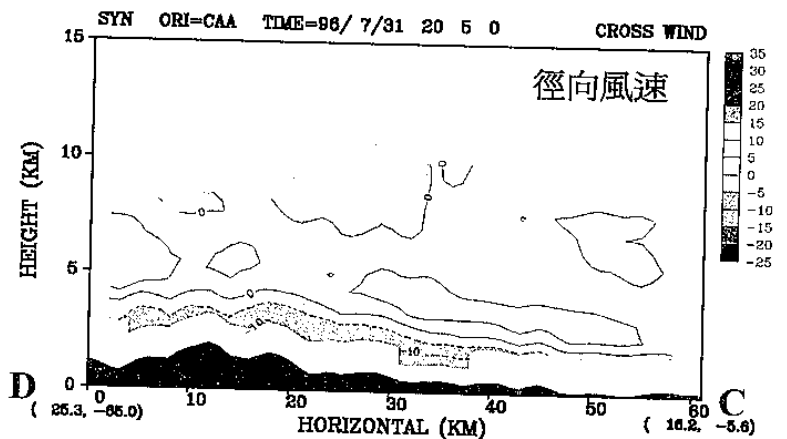
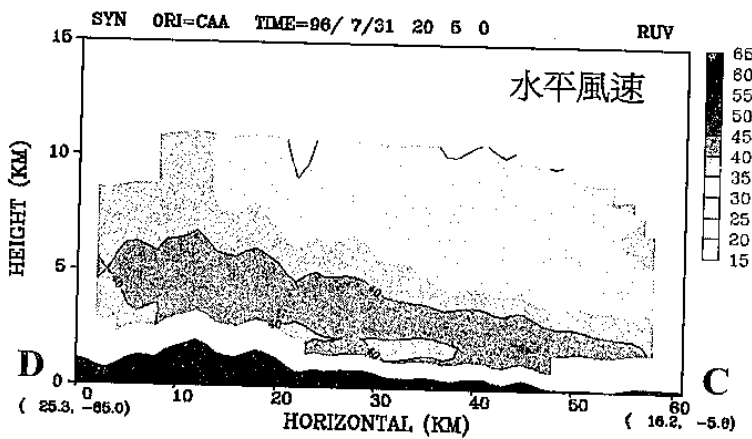
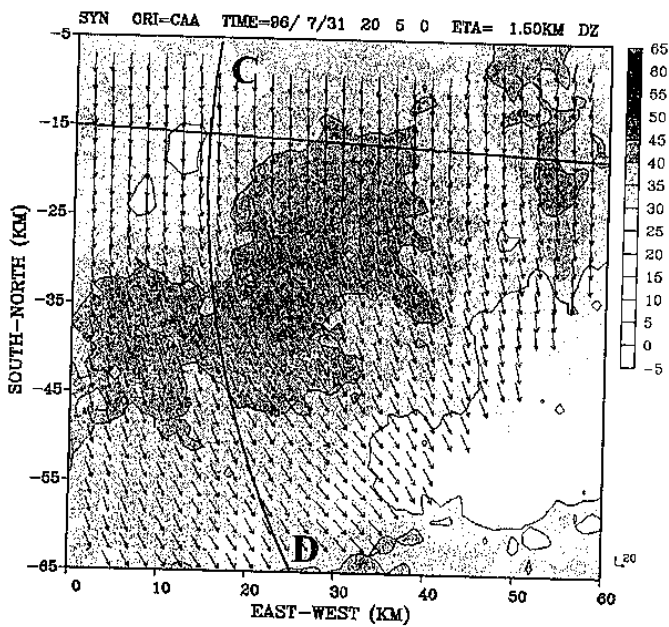
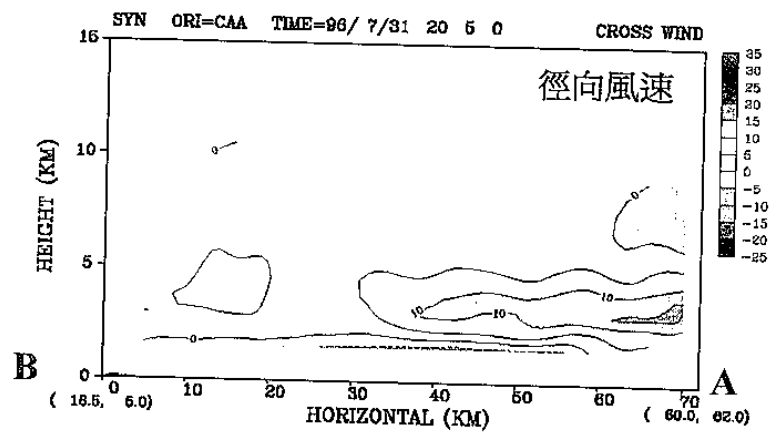
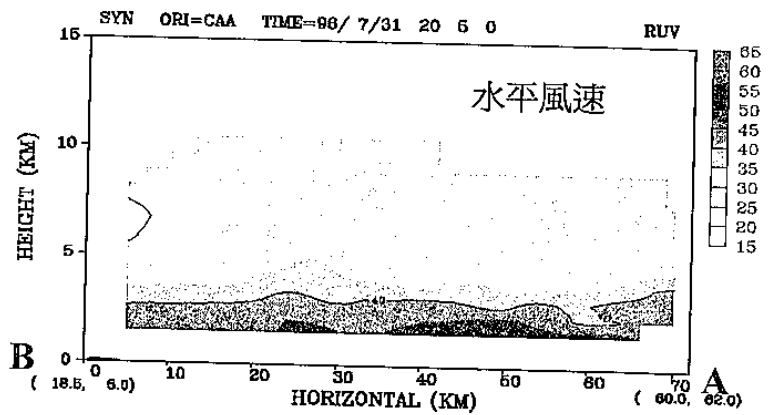
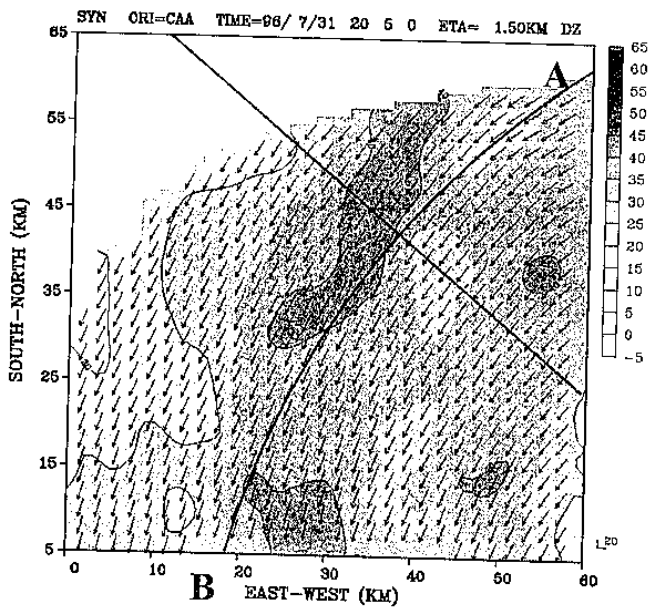


圖 11：賀伯颱風雨帶風場結構

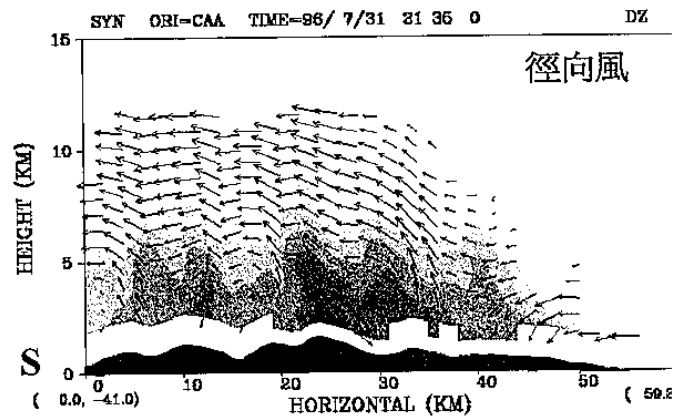
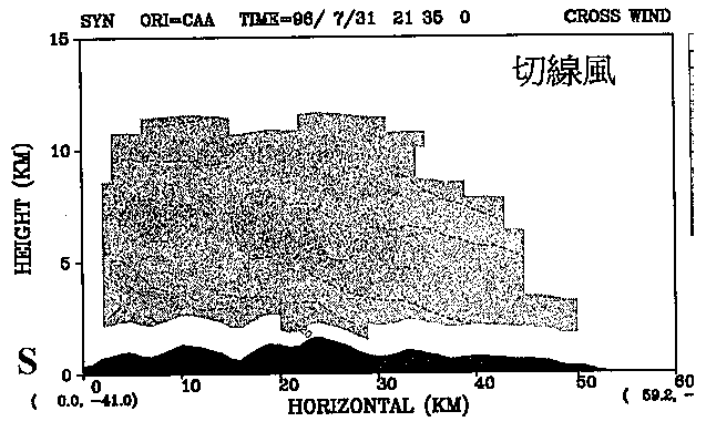
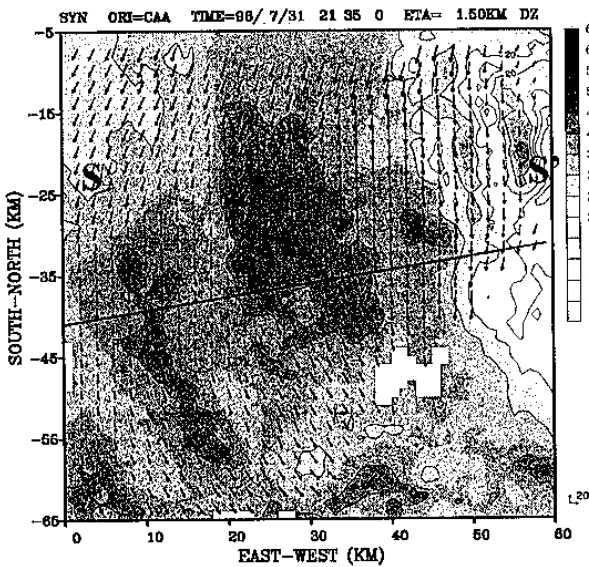
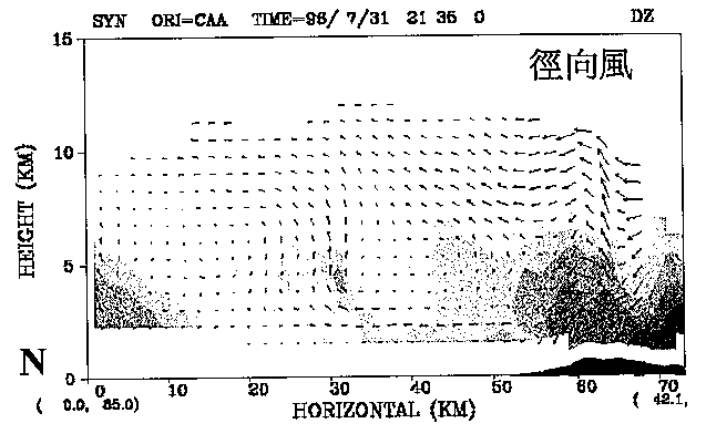
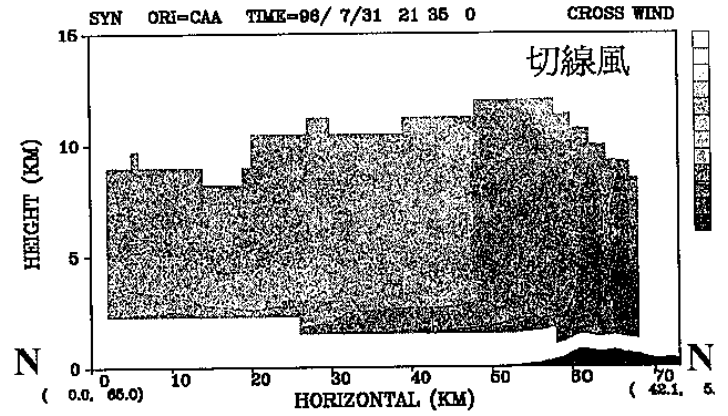
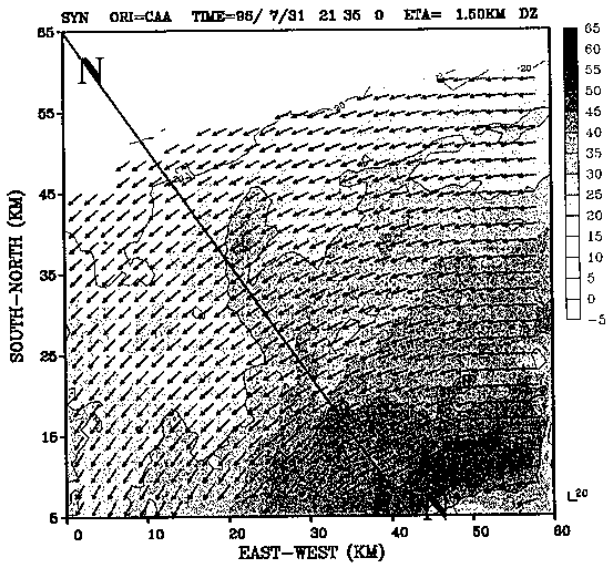


圖 12：賀伯颱風眼牆風場結構