

賀伯颱風結構之雙都卜勒雷達分析

曾吉暉¹

陳台琦²

中央大學大氣物理研究所¹ 中央大學大氣物理研究所²

摘要

賀伯颱風 (Herb, 1996) 侵襲台灣，造成台灣近幾年來最嚴重的災害。本研究利用中正機場雷達及五分山雷達，對於介於登陸時的賀伯颱風進行雙都卜勒風場的初步合成分析，希望能夠對於賀伯颱風侵台時的結構特徵有進一步的瞭解。

在進行初步合成的分析時間中，可以觀測到眼牆 (eyewall) 等主要結構。我們發現其回波及風場結構有以下的一些現象：

- 我們發現在距離眼牆比較遠的地方，空氣是呈均勻的圓弧形運動，而當越接近強回波區時，空氣會轉向成平行橢圓眼的方向的橢圓形運動。這樣的空氣流動情形在橢圓眼長軸的端點處會有最大的空氣轉向現象，同時也會造成很強的空氣輻合，強的空氣輻合造成強的上升運動及強烈的對流活動。若是在眼牆附近的空氣一直是保持這樣的運動情形，在橢圓眼長軸的兩端就會一直有較強的回波出現。同時我們也由壓力擾動場發現在長軸的端點也是最低壓力的所在。
- 此區的水平風速是由中心向外遞減的。而我們也發現在登陸後約半個小時裡，其最大水平風速減小的幅度並不大。並且，在邊界層上之垂直方向上，水平風速也是由下向上遞減，與暖心結構所需的熱力風平衡相符。
- 上升運動區在強回波區的外緣，似乎顯示在 2km 以上高度時，徑向的內流是在強回波區的外緣即轉而向上。

另外，由此次的分析結果，我們可以知道雙都卜勒雷達的合成分析對於中小尺度系統現象有相當大的貢獻。而由此次的分析結果，我們對於由中正機場及五分山雷達的風場合成有相當大的信心，未來將可利用此對於台灣北部的系統做更好的研究。

一、前言

賀伯颱風 (Herb, 1996) 侵襲台灣，造成近幾年來最嚴重的災情，中央氣象局新完成的五分山雷達站也在此次侵襲中受到了嚴重的損害。但它也適時的對於颱風在登陸之前進行了詳細的觀測，也因此，得以與中正機場都卜勒雷達的觀測互補其不足。本文即是利用此雙都卜勒雷達對賀伯颱風進行雙都卜勒風場的初步合成分析，希望對於賀伯颱風侵台時的結構特徵與過程有進一步的瞭解。

由於許多新技術的應用與飛機、雷達等新儀器加入觀測，使得科學家們對颱風有更多的了解。在 1984 年 Jorgensen (1984a、b) 對於四個颱風的飛機實地觀測做合成分析後指出，颱風的降水結構可分為三個部份：眼牆、眼牆外的層狀降水區及其它對流及層狀降水的雨帶。在眼牆區伴隨的是最大的切線風及強的降水，由於颱風低層的內流及颱風中心的外流在此區的內緣輻合，造成了強烈的上升運動，而伴隨水汽凝結的結果則有強回波存在。眼牆的強回波軸會隨著高度而向外傾斜，並且當眼的半徑越小的時候，傾斜的幅度會變小。

Marks 與 Houze 在 1987 年利用了機載都卜勒雷達與地面雷達對於 Alicia 颱風做雙都卜勒雷達的分析，對於颱風的環流結構有詳細的分析。他們

發現在颱風低層的 2-4 km 間有最大的內流而在高層 (約 10 km 或以上) 則是強的外流。在眼牆部份為強的對流尺度的上升及下降運動，並且在 6 km 以上時，上升運動尤其強烈。在眼牆外的層狀區則以融解層 (約 4-6 km) 為分界，以上為弱的中尺度上升運動，以下則為弱的中尺度下降運動。

之前相當多的學者的研究均指出最大切線風 (RMW) 的位置在眼牆附近。而近來的研究中發現，在 RMW 之外常有另一個次風速最大區 (Secondary Horizontal Wind Maxima, 簡稱 SHWM) 存在，如 Willoughby et al. (1982)。Samsury 與 Zipser (1995) 發現在 SHWM 的內緣的低層有輻合，此輻合上升的氣流在較高層輻散後，有一支在 RMW 附近下降，下降後的氣流有一小支會成為外流，如此 SHWM 與眼牆或雨帶相類似，形同一個氣流的障壁，阻止低層的內流進入眼牆區，導致眼牆對流與風速減弱，甚至使其消失。

颱風在受到地形的阻擋與地形產生交互作用之後常會產生許多變化，尤其是像台灣這種的高大地形。對於颱風經過台灣地形後的變化也有許多的研究。

周等 (1997) 利用雙都卜勒雷達分析賀伯颱風，結果顯示颱風在登陸過程中，環流呈完整的結

構。分析時間內颱風眼清晰可見，且呈週期性轉動，此情形在颱風個案觀測中並不常見。郭與周（1997）研究了賀伯颱風眼轉動的機制，他們引用 Guinn 與 Schubert（1993）的想法，認為橢圓眼的轉動可以視為圓形渦旋及其周圍擾動位渦波的“對稱化”過程，並由理論估計眼轉動的週期約為 8000 秒，此與觀測結果相符。

二、資料來源及分析方法

本研究中所使用的資料包括下列的資料：

- 中正機場都卜勒雷達（CAA）的雷達觀測資料：中正機場雷達觀測範圍為半徑 120 公里。其有 20 種掃描仰角。本研究共選用了 7 月 31 日 2000LST 至 2145LST 等八個時間的資料。

- 五分山都卜勒雷達（RCWF）的雷達觀測資料：五分山雷達觀測範圍為半徑 240 公里。其 VCP21 掃描策略共有 9 種掃描仰角。本文共選用了 7 月 31 日 1203GMT 至 1345GMT 等八個時間的資料。

本研究中對於雙都卜雷達合成資料的處理方法主要是利用美國國家氣象中心（NCAR）所提供的 SPRINT（Sorted Position INterpolation, 1995）及 CEDRIC（Custom Editing and Display of Reduced Information in Cartesian space, 1995）軟體來幫助完成。

為了合成風場的方便，在合成風場時，我們將五分山雷達的座標改以中正機場雷達的座標為原點，合成分析的範圍為 80 km*80 km，合成分析範圍見圖 1。

三、個案介紹

賀伯（Herb, 1996）颱風，係於 7 月 24 日 12Z 在北緯 19.9 度、東經 148.8 度，也就是在關島東北方約 800 km 海面增強形成颱風，而在 8 月 1 日登陸於福建省沿海，8 月 2 日 12Z 並減弱為熱帶性低氣壓，生命期共九天，其強度最強發展至強烈颱風，最大風速 51m/s，中心最低氣壓 925hPa，暴風半徑 300 km。賀伯侵襲台灣地區，其中心於 7 月 31 日晚間 9 時許於東北部之宜蘭附近登陸，之後通過北部地區，於 8 月 1 日 4 時許於新竹附近出海，在台灣陸地上停留時間約 7 個小時。所伴隨的強風豪雨造成台灣地區近年來的重大災害。

四、雷達資料分析與結果

4.1 五分山雷達水平回波分析

為了文後合成風場分析與討論的方便，在此我們對於颱風結構的幾個區域〔根據 Willoughby et al.（1982）所描述的區域特徵〕做了定義，以圖 2 為例。

- 主要雨帶（principal rainband）：颱風眼牆以外的第一個帶狀強回波的區域，如圖 2 中的 I

區。

- 低回波地區（low echo zone）：定義為颱風眼牆與主要雨帶之間的層狀低回波區，如圖 2 中的 II 區。

- 眼牆（eyewall）：最接近颱風中心的強回波區，如圖 2 中的 III 區。

本文則主要著眼於眼牆區。

圖 3 為 31 日 2130LST，五分山雷達所觀測的回波場圖。圖示範圍為以五分山雷達站為中心，半徑 120 km 以內的區域，高度為 4 km 的水平回波圖。圖中的黑色框區為雙都卜勒雷達合成的分析區域（以下簡稱分析區域）。可以發現在此時，一部份回波大於 40dbZ 的區域進入了我們的分析範圍的右下角，同時在橢圓眼長軸的兩端，均有強回波存在。

4.2 眼牆區的特性分析

眼牆區通常為颱風中造成最強降水的區域之一，在前人的研究中（如 Marks 與 Houze, 1987）指出，眼牆區通常也是颱風結構中，水平風速最大，水平回波最強的區域。在本研究中的最後三個時間，眼牆外緣的一部份進入了我們的分析區域之中。因此，我們得以對其特性加以研究。

圖 4 至圖 9 分別為 31 日 2145LST 時 4 km 高度的水平風矢、水平風場、回波場、垂直運動場、輻合場及擾動壓力場的水平剖面圖。由其水平風場的圖（圖 5），我們可以發現水平風速是由中心向外遞減的，而其最大值較其它兩區為高，約 55-60m/s。再比較回波場的圖（圖 6），我們可以發現較強風的地方同時伴隨著較強回波的情形相當明顯。此時於分析區域中的最強回波值約 40dbZ，與主要雨帶時的最強回波值相近。

由流線場的圖中，我們發現在距離眼牆比較遠的地方，空氣是呈均勻的圓弧形運動（圖 4），而當越接近強回波區時，空氣會轉向成平行橢圓眼的方向的橢圓形運動。這樣的空氣流動情形在橢圓眼長軸的端點處會有最大的空氣轉向現象，同時也會造成很強的空氣輻合，強的空氣輻合造成強的上升運動及強烈的對流活動。若是在眼牆附近的空氣一直是保持這樣的運動情形，在橢圓眼長軸的兩端就會一直有較強的回波出現，而我們所看到的回波情形正是如此，橢圓眼雖然有轉動的情形，但是最強的回波則一直出現在橢圓眼長軸的兩端。

由圖 8 中，可以發現在此區的輻合場分佈並不規則，但大致上有一帶狀的較大輻合區，此區與較大的上升運動區（圖 7）所在位置相吻合，表示此時空氣在垂直方向上的運動劇烈，而此上升運動區是呈現一絲一絲的分佈，並非呈現一帶狀的分佈，此情形也許與水平風速較強有關。再與水平回波比較，我們發現此一較大的上升運動區位於最強回波區的外緣，似乎顯示在此高度時徑向的內流是在最

強回波區的外緣即轉而向上運動，但是在前人的研究中(如 Jorgensen, 1984b 及 Marks 與 Houze, 1987 等)發現徑向的內流是一直進入到了最強回波區的內緣才上升。然而由於分析區域及資料的關係，我們並沒有辦法看到眼牆內緣以至於眼心部份以及 1 km 以下較低層的情形，也許在低層在更靠近眼牆內緣的地方，有更強的上升運動存在，但此時並無法辨明。

圖 9 是壓力擾動場的情形，由圖中可以看出等壓力線是大致呈現由外側向颱風中心遞減的情形，而最低氣壓所在的位置則在長軸的一端。另外在越靠近眼牆的地方，壓力梯度就越大，對照水平風場則可以得知此處的風速亦較大。除了徑向上的壓力梯度之外，切線向上也有壓力梯度的變化，而此方向上的壓力梯度則會直接造成區域性的切線風速變化情形。

圖 10 是我們試著沿通過颱風中心的方向(如圖 6 上的 AB 線段)，所做的垂直剖面圖。由圖中可以看出，在此區的水平風速是由下向上遞減的，並且斜率相當大，此與暖心結構的熱力風平衡相符。在 Bluestein 與 Hazen (1989) 的研究中，發現 Alicia (1983) 颱風在登陸大陸地一段時間之後，其原本中心的暖心結構會變為冷心結構，而且颱風 spin-down 的情形相當明顯。而在本研究中，由最大水平風速減小不多，再加上此時仍維持著暖心結構的情形，我們猜想此颱風在登陸後的約半個小時的時間內，其 spin-down 的情形並不顯著，但此點可能需要更進一步的風場診斷分析才可以證實。

五、結論與展望

5.1 結論

本研究中利用了中正機場雷達與五分山雷達，對於介於登陸時的賀伯颱風做了初步的雙都卜勒風場合成。

由前面的分析與探討，我們將對於眼牆的初步風場合成分析的結果分述如下：

1. 較強水平風伴隨較強回波的現象仍然存在，並且我們發現其登陸之後的水平風確有減小，但是在登陸後約半小時的時間裡，其減小的幅度並不大，而確實的減小幅度則需要更進一步的研究分析。
2. 橢圓眼的長軸端有很強的輻合，強的輻合造成強的上升運動及對流活動。若橢圓眼附近空氣的運動情形一直如此，這將可以說明為何橢圓眼雖然有轉動的機制，但是其最強的回波始終出現在長軸的兩端的情形。
3. 此區內的輻合場分佈並不規則，但大致上可以發現有一帶狀的較大輻合區，此區與較大上升運動區的所在位置相吻合。但此上升運動是呈現一絲一絲的分佈，而並非一整帶的分佈，此

情形也許與水平風速較強有關。

4. 此較大的上升運動區位於較強回波區的外緣，似乎顯示徑向的內流是在強回波區的外緣即轉而向上。但是由於分析區域與資料的關係，我們並沒有辦法分析到眼牆內緣至眼心處，及較低層的情形，也許在更靠近眼牆內緣的地方有更強的上升運動，但此時並無法辨明。

5.2 未來展望

在本研究中，發現在低層及高層的地方，資料缺漏的情形嚴重，此是由於雷達本身的特性所致，再加上五分山雷達位於七百多公尺的高處，對於低層的情形無法觀測。若想要詳盡的求出三維的風場，必需要補齊這些缺漏的資料，而這可能需要更好的中小尺度的數值模式，或是更好的單都卜勒風場反演資料來達成。

每 15 分鐘一筆資料的觀測間距對於颱風這種劇烈天氣來說，仍嫌過長，若能縮短中正機場雷達的觀測時間間距，對於颱風結構的變化應可以更加清楚。

本研究中僅對於北邊的區域做了初步的風場合成分析，今後若能處理南邊區域的合成分析，將有助於對颱風結構的瞭解。另外，更進一步的診斷分析，如動力場及熱力場的反求、渦度的收支分析等，及颱風 spin-down 的研究等，亦都是值得再繼續進行的。

六、參考文獻

- 周仲島、張保亮與李清勝, 1997: 賀伯颱風 (1996) 雙雷達分析。天氣分析與預報研討會論文集編 (85), 356-364。
- 郭鴻基與周仲島, 1997: 賀伯颱風眼轉動機制探討。天氣分析與預報研討會論文集編 (85), 381-381。
- Bluestein H. B., and D. S. Hazen, 1989: Doppler-Radar analysis of a tropical cyclone over land: Hurricane Alicia (1983) in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2594-2611
- Guinn, T., and W. Schubert, 1993: Hurricane spiral bands. *J. Atmos. Sci.*, 50, 3380-3404.
- Jorgensen, D. P., 1984a: Mesoscale and convective-scale characters of mature hurricanes. Part I: General observations by research aircraft. *J. Atmos. Sci.*, 41, 1268-1285.
- Jorgensen, D. P., 1984b: Mesoscale and convective-scale characters of mature hurricanes. Part II: Inner core structure of hurricane Allen (1980). *J. Atmos. Sci.*, 41, 1287-1311.

Marks, F. D. Jr., and R. A. Houze, Jr., 1987: Inner core structure of hurricane Alicia from airborne Doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*,44,1296-1317.

Samsury, C. E., and E. J. Zipser, 1995: Secondary wind maxima in hurricane-air-flow and relationship to rainbands. *Mon. Wea. Rev.*,123,3502-3517.

Willoughby, H. E., J. A. Clos, and M. G. Shoreibah, 1982: Concentric eyes, secondary wind maxima and evolution of the hurricane vortex. *J. Atmos. Sci.*,39,395-411.

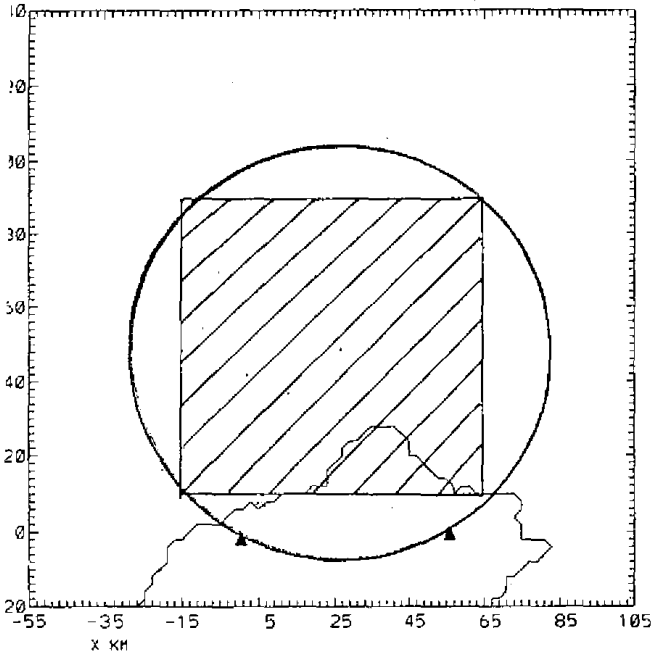


圖 1 中正機場雷達與五分山雷達風場合成分析區域示意圖

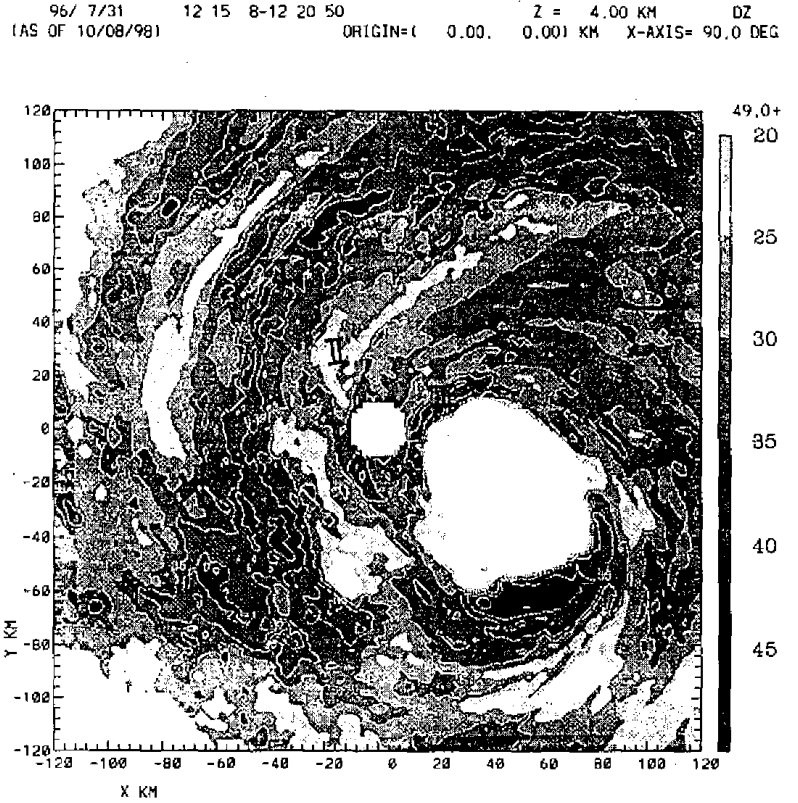


圖 2 雷颶風區域結構示意圖

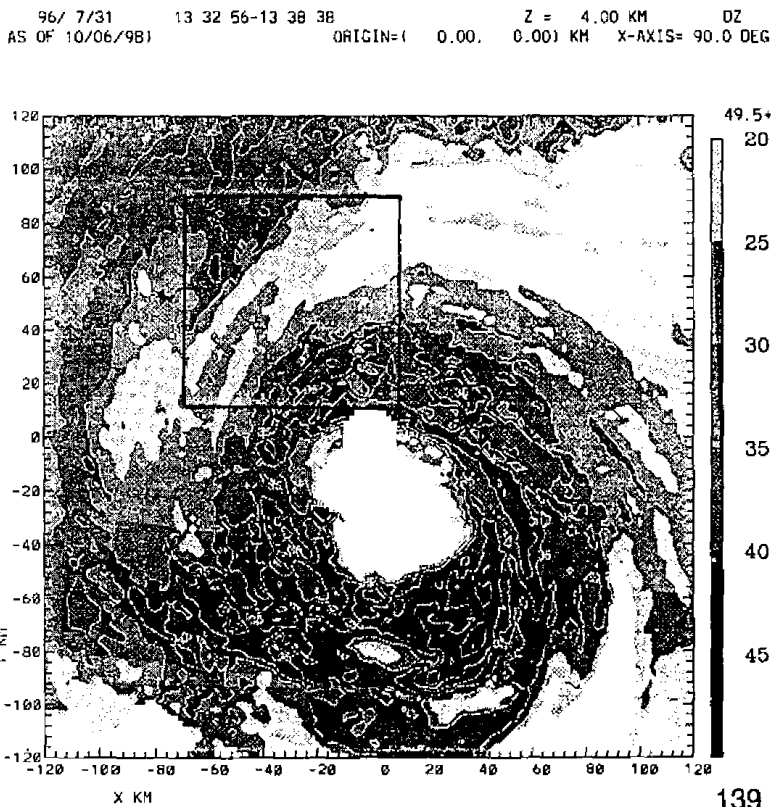


圖 3 31 日 2130LST 時五分山雷達 4 km 高度水平回波圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

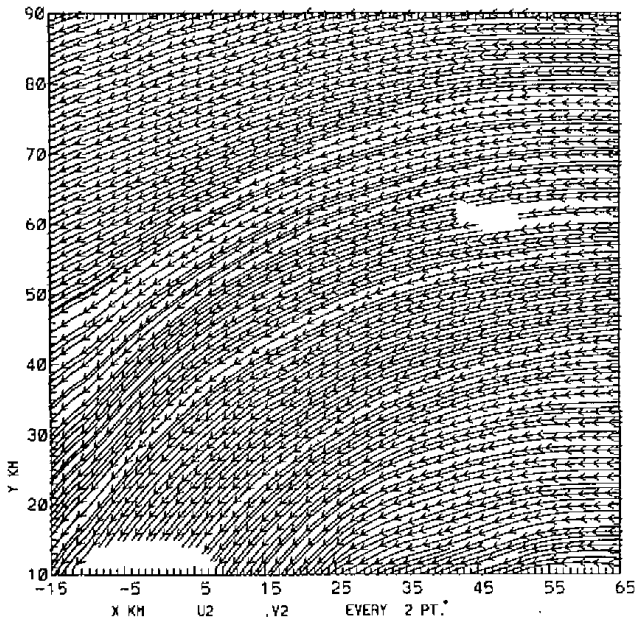


圖 4 2130LST, 4 km高度水平風矢圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM TOTALV
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

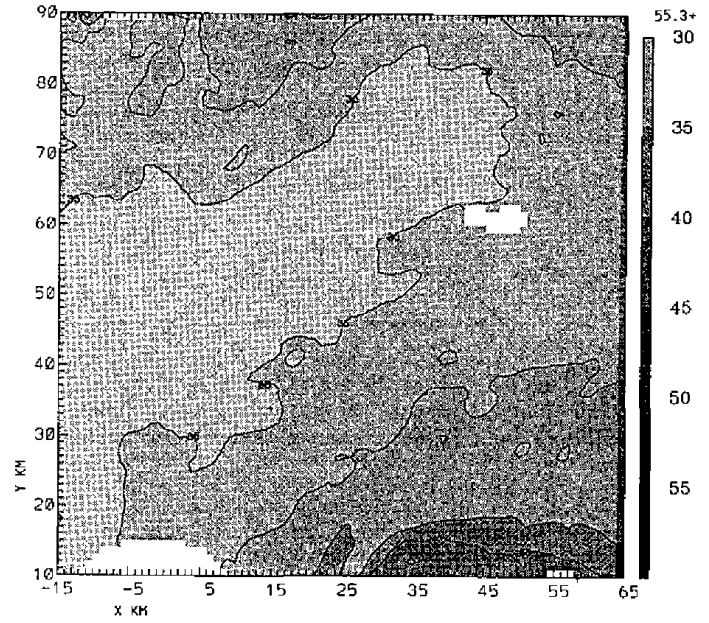


圖 5 2130LST, 4 km高度水平風速場圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM D22
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

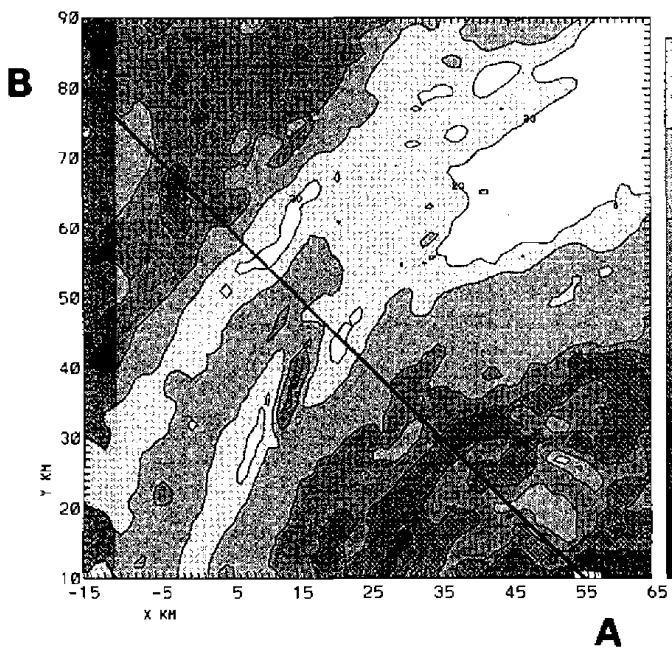


圖 6 2130LST, 4 km高度水平回波圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM W2
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

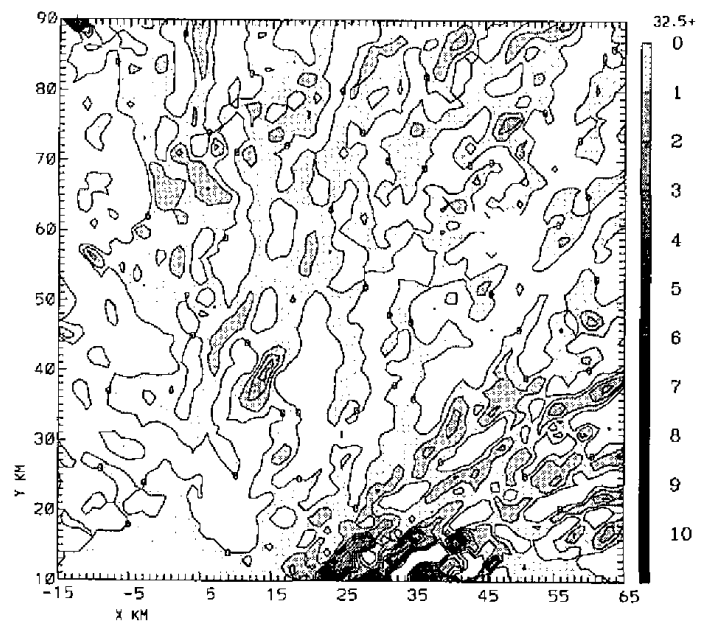


圖 7 2130LST, 4 km高度垂直運動場圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM CON1
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

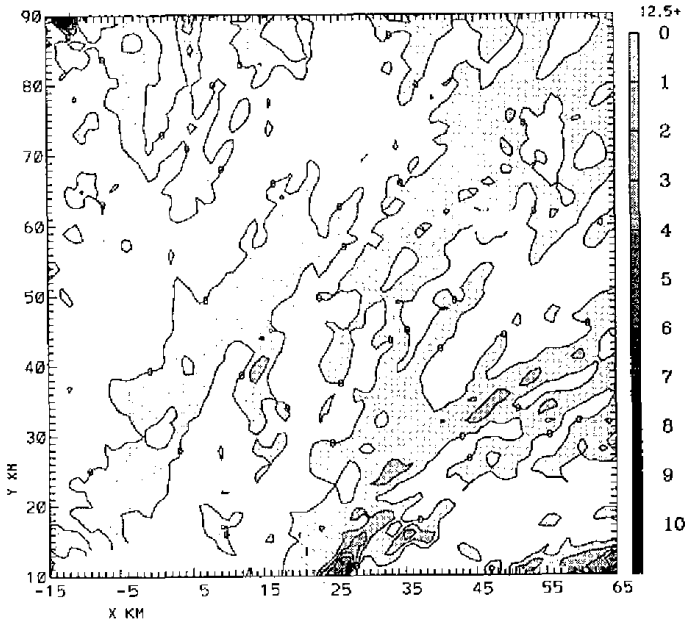


圖 8 2130LST, 4 km高度輻合場圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN Z = 4.00 KM PPRN
 (AS OF 10/06/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 90.0 DEG

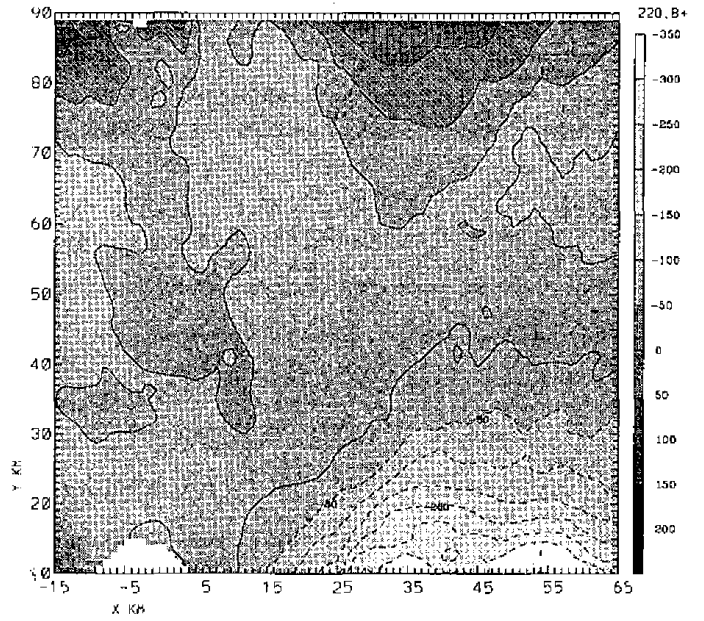


圖 9 2130LST, 4 km高度壓力擾動場圖

96/ 7/31 21 35 0-21 35 0 COMBIN X = 0.00 KM TOTALY
 (AS OF 06/19/98) ORIGIN=(0.00, 0.00) KM X-AXIS= 45.0 DEG

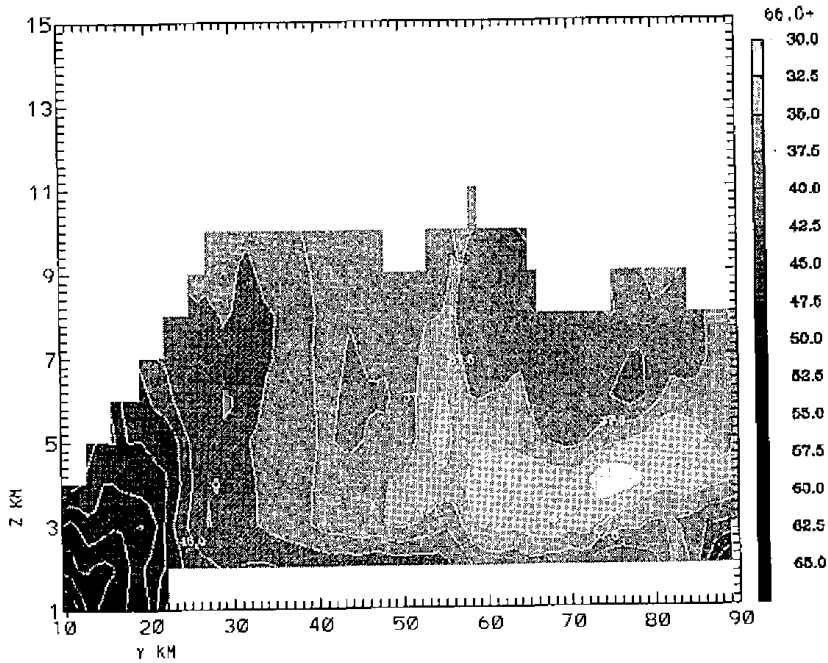


圖 10 2130LST, 水平風場垂直剖面圖

The structure of Typhoon Herb(1996) during its landfall by the dual Doppler analysis

Tseng, ChiHue and TaiChi Chen Wang
National Central University (NCU), Chung-Li, Taiwan 320.

Typhoon Herb(1996) had caused tremendous damage in Taiwan. However while it swept through northern Taiwan, it encountered two weather radars, one ISS (integrated sounding system),and many surface stations and raingauges. These instruments provide us opportunities to study the detail structure of Herb. Six contiguous dual Doppler radar syntheses and thermodynamic retrievals near landfall were carefully analyzed, the three dimensional wind and rain distribution patterns were clearly revealed. In the dual Doppler analysis domain we are able to observe the principal rainband, eyewall and the low echo intermediate region between the rainband and eyewall. Generally the overall structure are very similar to the hurricane structure observed in the literature.

From the center of Typhoon along the radial direction outward, we observed three tangential wind maxima at four km height level, near the inner rim of eyewall , the first rainband and the second rainband. This secondary wind maximum phenomena were found at lower and middle levels . The pressure and temperature retrieval results indicated the local pressure minimums were also associated with stronger convection along the rainband. The pressure gradient force may partially explain the strong secondary wind maximum near the rainband. The kinematic flow pattern near the oval eyewall shown the wind actually blew parallel along the oval shape, while the flow in the low echo region , the wind pattern were circular. Hence near the tips in the long axis of the oval eye, the wind field became convergent. The stronger convection were persistent in these area are very reasonable. We are processing the southern dual Doppler lobe data , the complicate topography in that area will cause more changes near the eye wall during landfall.

Keywords: dual Doppler radar, structure, typhoon Herb.