

利奇馬颱風雙眼牆結構:都卜勒雷達回波與徑向風場之探討

鄧財文¹ 秦新龍¹ 柯雅文¹ 陳文信¹ 曾乾興¹ 張鎮坤¹ 李嘉元¹ 李春波²

墾丁氣象雷達站¹ 台灣南區氣象中心²

中央氣象局

一、前言

根據過去 50 年來颱風調查報告

(<http://www.npmoc.navy.mil/jtwc/atcr,http://rdc.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/clm/typhoon1.htm>,<http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>)發現,大約有 13 個影響或侵襲台灣的颱風在發展期間都曾經出現雙眼牆結構,且在登陸台灣之前有中心氣壓降低,中心風速增強之現象,其中有數個颱風重創台灣,例如 1965 年黛納(Dinah)摧毀台東鎮。1994 年 9 月 1 日葛拉絲(Gladys)登陸蘇澳,宜蘭災情慘重。同年 10 月席斯(Seth)颱風掠過台灣東北角,北部及東北部強風豪雨。1997 年溫妮(Winnie)超級颱風挾帶強風豪雨過境台灣北部及東北地區。北部及中部山區豪雨不斷,台北天母、內湖、汐止地區嚴重積水及山崩,造成汐止林肯大郡房屋倒塌。2000 年碧利斯(Bilis)超級颱風侵襲綠島,摧毀空軍綠島氣象雷達,而除了碧利斯颱風在摧毀空軍綠島雷達的天線與天線罩(登陸)之前觀測到雙眼牆結構(周等, 2001)以外,其他的颱風因缺乏像都卜勒氣象雷達的精密儀器加以觀察紀錄。

根據國外很多的觀測分析(Willoughby et al.,1982;Willoughby,1990;Black and Willoughby,1992)指出,在某些強烈颱風的發展期間,螺旋雨帶會在先前已存在之內眼牆周圍形成部分或完整的對流圈,而且此對流圈通常含有一結構良好的風速極大值,此種內與外對流圈的型態一般稱為同心眼牆(Concentric eyewall, 簡稱 CE)或雙眼牆。而有雙眼牆的颱風經常在發展期間會經歷強度上的重大變化,因為外圍雨帶的結合而形成的外眼牆最後

會收縮增強而導致內眼牆的消散。在古典的軸對稱收縮期間,當內眼牆崩潰時颱風不再增強而開始減弱,亦即中心氣壓上升,最大切向風減弱且 RMW 增加(Willoughby et al.,1982,1984;Willoughby,1990;Marks and Doge,1997;Blackwell, 2000),稍後外眼牆取代內眼牆並變成新的主眼牆,在一連串的演替後,若颱風在不登陸時可恢復其強度(Willoughby,1979;Willoughby et al.,1982; Shapiro 與 Willoughby,1982 與 Blackwell,2000),例如,1992 年美國颶風 ANDREW 在眼牆取代循環後幾乎在達到其原始的最大強度,而其強大的破壞性可能與眼牆的重整過程有關(Willoughby 與 Black, 1996)。因此瞭解外眼牆初始的形成與隨後的發展應可協助我們瞭解伴隨雙眼牆循環的颱風強度變化。

有關眼牆重整過程,據國外的觀測研究指出(Maddox,2001),其可能短至數小時長至一天,強烈颶風可以在一週之內發生高達 10 次的循環。在此過程期間,最小的中心氣壓可多至 30 百帕的擾動(Fulton,1998)。而在多數的情況下,循環一結束後,馬上進入快速加強階段。然而亦有研究指出,系統可能隨即減弱,且不在恢復其原始的強度。目前氣象學家仍然不了解在這些眼牆重整循環期間,影響熱帶氣旋加強或減弱的原因為何?除此以外,從衛星影像觀察發現,在重整循環期間,颱風眼經常變得極凌亂而模糊,有時完全被高層雲遮沒。大多數的颶風在經歷重整循環後會出現較大的眼,但未必總是如此。由一些觀測資料也發現,強烈熱帶氣旋的眼牆重整循環與氣旋路徑

的搖擺有直接關聯，當循環開始時，氣旋會變得搖擺不定且正在取代另一眼牆時顯得凌亂，這會使得整個結構向其路徑之南或北振盪，一般這種路徑之搖擺無關緊要，但有時可能造成風暴路徑方向之超前，而使得其難以預報。

由上述可知颱風之強度與路徑變化和眼牆重整過程有密切關聯，而台灣過去亦曾經發生過不少類似之颱風，故在增進對颱風何時加強與減弱以及登陸時強度多大之了解上，有必要對眼牆重整過程以及颱風內部環流詳加了解。本研究即利用墾丁氣象雷達站之利奇馬颱風觀測資料進行雙眼牆結構之分析，以期了解其眼牆重整過程，作為其他颱風研究之基礎，而利奇馬颱風為中央氣象局雷達網建置完成後第一個觀測到雙眼牆結構之颱風，殊為可貴。

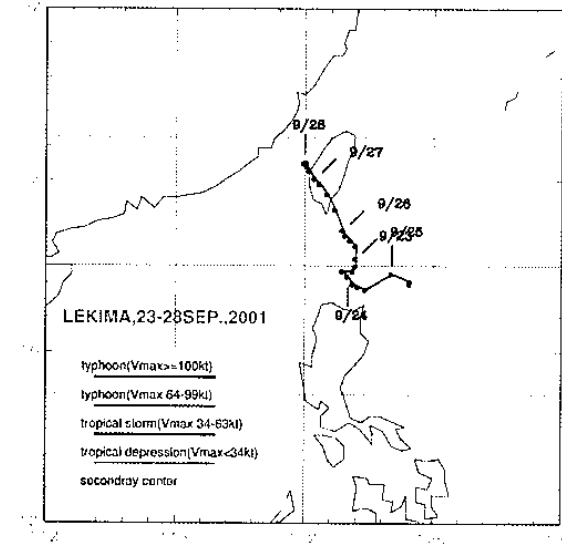
二、資料來源與方法

本研究所使用的資料為墾丁氣象雷達的雷達觀測資料，觀測半徑為 230 公里，選用的時間為 2001 年 9 月 25 日 1703LST、1800LST、1904LST、2000LST、2103LST、2200LST 與 2232LST。由於要以都卜勒徑向風速推算颱風中心氣壓，利用 Atkinson and Holliday (1977) 所提出之風壓關係式，即 $V_m = 6.7(1010 - P_c)^{0.644}$ ，在此 V_m 為中心風速估計值，而 P_c 為颱風中心氣壓。

三、個案介紹

怪颱風利奇馬(Lekima)在 9 月 22 日 20 時初形成時由於此時台灣附近沒有較明顯的導引系統使颱風移動，故利奇馬在形成後幾乎都呈現滯留打轉狀態(路徑如圖 1，引用 <http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>)。利奇馬颱風雖然移速緩慢，但強度仍不斷增強，

24 日 17 時利奇馬增強為中度颱風，中心氣壓降至 970 百帕。25 日 1703 時，雷達幕上顯示利奇馬颱風發展出了雙眼牆結構，此時利奇馬的中心氣壓為 965 百帕，中心附近最大風速每秒 35 公尺，颱風眼位於該站東南方約 180 公里的海面上，此為最強的階段；雙眼牆結構至 25 日 2200 時方才消失，總共歷時約 5.5 小時。



四、分析結果

圖 2 為墾丁雷達所觀測的回波場，圖示原點為墾丁雷達站，向東南南 240 公里以內的區域，高度 4.5 公里的水平回波圖。圖 2a 的時間為 25 日 1704LST。

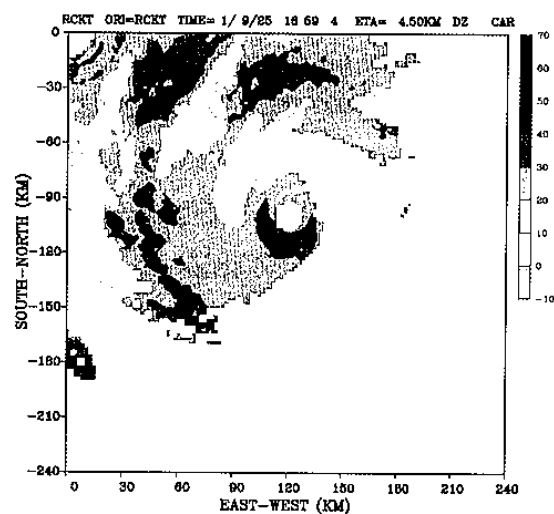


圖 2a 1704LST 回波圖

此時同心眼牆剛形成不久，可清楚看見圓形的眼，內外眼牆最強的回波都超過 40dBZ，分別位於眼的南側($x=120, Y=-110$)與北側($X=110, Y=-20$)，同心眼直徑分別為 30、80 公里，到了 1800LST(圖 2b)，內眼牆大於 40dBZ 的部分範圍稍擴大，但外眼牆及主要雨帶則明顯地組織起來，原先沿著 $X=60$ 的回波增強大於 40dBZ，而使得大於 30dBZ 的區域擴大。此時內眼直徑仍維持 30 公里，但外眼直徑稍微縮減為 60 公里。

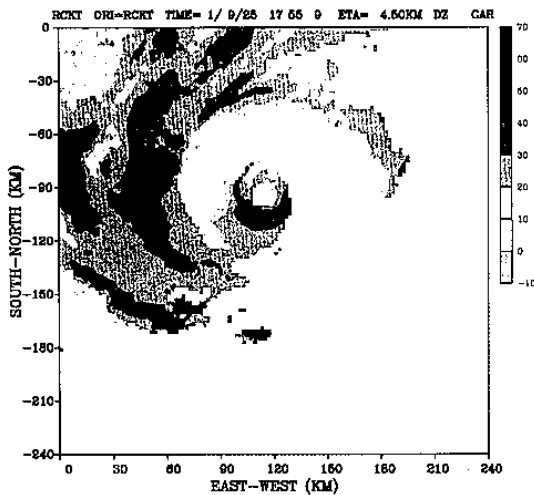


圖 2b 1800LST 回波圖

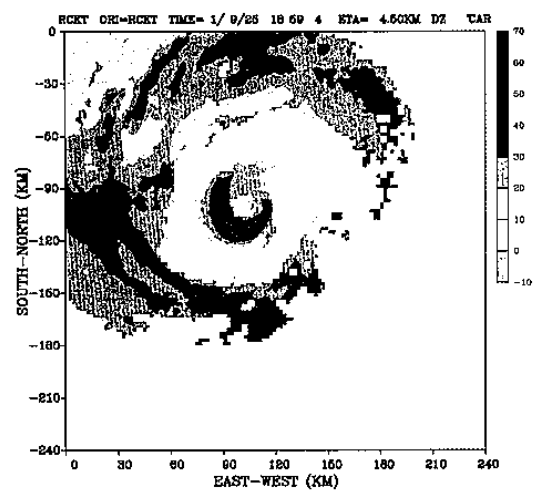


圖 2c 1904LST 回波圖

圖 2c 顯示 1904LST 回波圖，此時可明顯地看到大眼包小眼的 2 個颱風眼，此時大眼直徑仍維持為 60 公里、小眼直徑約為 30 公里。

2000LST 及 2104LST 回波如圖 2d 與 2e 所示。到了 2200LST(圖 2f)，回波產生了重大變化，可見內外眼牆即將合併在一起，大小眼直徑大幅縮小為 40 與 10 公里。自此以後，內眼逐漸收縮，到了 2232LST(圖 2g)時便消失了。

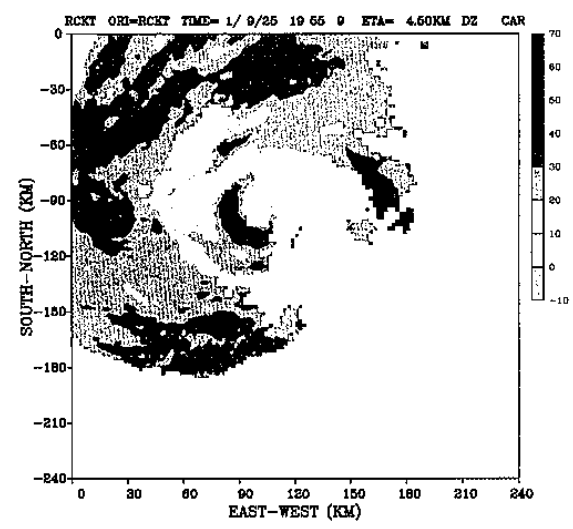


圖 2d 2000LST 回波圖

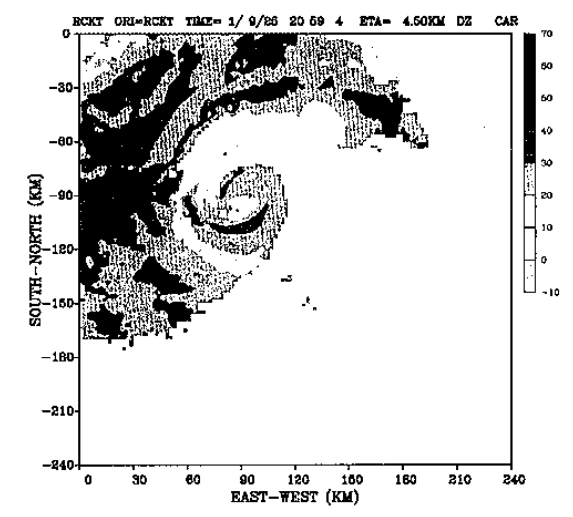


圖 2e 2104LST 回波圖

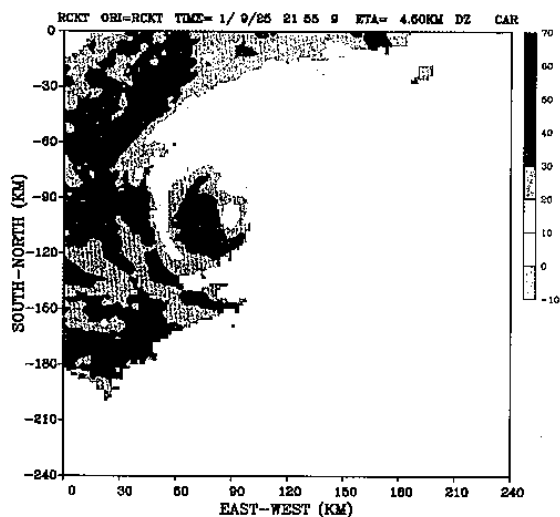


圖 2f 2200LST 回波圖

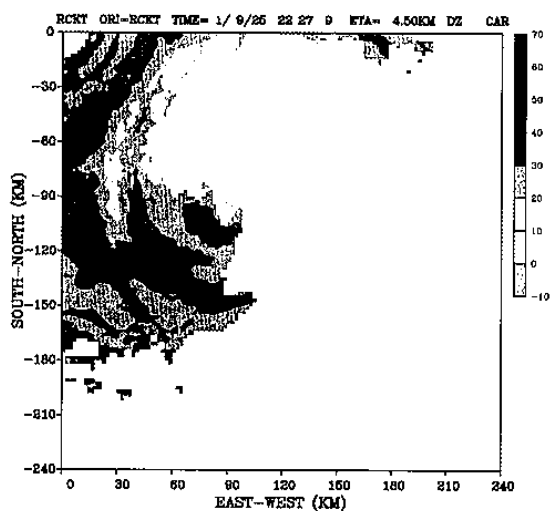


圖 2e 2232LST 回波圖

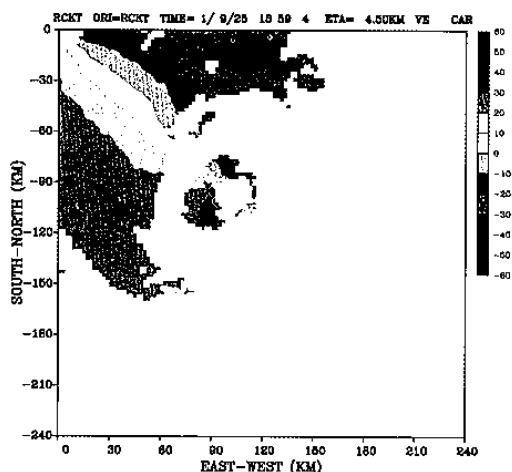


圖 3 1904LST 高度 4.5 公里的徑向風場圖

四、結論

綜觀此颱風眼的演變過程中，總結幾個

特點：(1)從形成同心眼牆到內眼牆消失之眼牆重整過程總共歷時約 5.5 小時。(2)在此過程中，大眼的直徑從最大約 80 公里收縮為 40 公里。從 1704LST 到 2200LST 的 5 小時內，颱風眼向西移動了約 30 公里，向北移動約 5 公里，所以其移速約為 6 公里/小時朝西方(3)眼牆區及主要雨帶的回波皆超過 40dBZ。(4)同心眼牆形成時，由中心氣壓估計值顯示颱風強度正在加強，中心氣壓由 984 百帕(25 日 1600LST)下降至 980 百帕(25 日 1700LST)，而在整個眼牆重整過程中，颱風中心氣壓加深最大值達 12 百帕，雖然比 Fulton(1998)所指出之最小中心氣壓 30 百帕的擾動值還小，但在 2 小時內亦很可觀。(5)在颱風的發展過程中，螺旋雨帶在眼牆附近形成完全或部分閉合的強降水回波環帶(convective ring)，且含有第二風速極大值(圖 3, 1904LST 在高度 4.5 公里上的徑向風場圖)，這幾個特性與颶風觀測分析的結果一致(Willoughby et al., 1982; Willoughby, 1990; Black and Willoughby, 1992)，而與這些研究結果之相異點在於颶風之眼牆重整過程通常發生在 Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale (www.amol.noaa.gov)之第 3、4 或 5 類颶風強度等級中，而此個案卻發生在較弱的第 2 類強度等級。

五、未來研究

由於中央氣象局雷達網已經建置完成，未來將可利用更多個案資料進行分析與比對，例如發生在不同強度等級之眼牆重整過程以及眼牆結構特性之異同點，由於碧利斯颱風之眼牆重整過程發生在較強之強度等級(第 4 類)中，值得以此個案進行比對研究，例如氣壓加深及中心風速增強程度。本個案有另一次眼牆重整過程，時間發生在次日清晨 4:30，未

來會進一步分析，同時將利用 GBVTD (Lee et. al., 1999; Lee and Marks, 2000) 技術以反演颱風內部三維環流的中尺度結構。

六、參考文獻

周仲島，張保亮與李文兆，1994: 都卜勒雷達在颱風環流中尺度結構分析的應用。大氣科學，第二十二期，第二號，163-186。

Ben J.-D. Jou, C.-M. Chou, P.-L. Chang, W.-C. Lee, 2001: Landfall typhoons observed by Taiwan Doppler Radar Network: A case study of Typhoon Bilis (2000). 2001 年東亞地區中尺度氣象與颱風研討會。

Black, M.L., and H.E. Willoughby, 1992: The concentric eyewall cycle of Hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 947-957.

Blackwell, K.G., 2000: The evolution of Hurricane Danny (1997) at Landfall: Doppler-observed eyewall replacement, vortex contraction/intensification, and low-level wind maxima. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 4002-4016.

Fulton, J., 1998: Eyewall replacement cycle. Texas A&M. Accessed: 16 October, 2002
<http://www.met.tamu.edu/class/Metr151/tut/hurricane/hurr9.html>

Maddox, D.E., 2001: The structure and complexity of the eye of a Hurricane. Fall 2001 Semester research paper-Eyes of Hurricane, introduction to Meteorology.

University of Oklahoma, Norman.
Marks, F.D., and P.P. Dodge, 1997: Hurricane concentric eyewall characteristics as revealed by airborne Doppler radar analyses. Preprint, *22nd Conf. on Hurricane and Tropical Meteorology*, Fort Collins, Co, Amer. Meteor. Soc., 102-103.

Shapiro, L.J., and H.E., Willoughby, 1982: The response of balanced hurricanes to local sources of heat and momentum. *J. Atmos. Sci.*, 39, 378-394.

Willoughby, H.E., 1990: Temporal changes in the primary circulation in tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 47, 242-264.

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

-----, F.D. Marks and R.J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricane. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3189-3211.