

凡那比颱風(2010)眼牆重建之雙都卜勒雷達之初步分析

劉振甫 魏志憲

國防大學理工學院環境及資訊工程學系

摘要

凡那比颱風於 2010 年 9 月 19 日登陸台灣前，具有明顯且扎實之颱風眼及同心圓對稱結構。颱風於台灣東岸登陸後其颱風眼消失，且颱風北側回波逐漸轉弱，成為一個明顯的不對稱結構。當颱風眼自台灣西岸出海且眼牆尚未重建前，颱風南側之雨帶有明顯增強並持續發展之趨勢，造成當時台灣南部地區創下驚人的累積雨量。本研究欲探討造成該雨帶增強及隨後颱風眼牆重建之機制，利用馬公及七股都普勒雷達資料，針對該時段之雨帶特性進行初步分析，主要分析時間為 0601~0701UTC。由合成風場資料顯示，在高度 2 公里以下，颱風環流的偏北風與雨帶上之西北風（風速常大於 25m/s）於雨帶之北側產生明顯輻合作用，同時高層該處位處風場出流之輻散區，有利於激發並維持強對流雨帶。此外，透過分析其渦度場、回波場及垂直運動場之三維結構特徵，發現分佈於底層並夾帶來自海面之暖濕氣流；最後，尋找可能存在於該雨帶中之渦旋熱塔（vortical hot tower）更可能是造成雨帶增強並使眼牆重建之有力證據。

關鍵字：雙都普勒雷達、底層輻合及暖濕氣流之入流、高層輻散、渦旋熱塔

一、前言

2010 年 9 月凡那比颱風在台灣南部及東部地區造成豪雨，其移動路徑圖（圖 1）屬於西行之颱風。就累積雨量之時空分布特徵而言（圖 2），最大累積雨量之位置隨時間由北向南偏移，甚至在岡山地區亦創下歷來最大時雨量紀錄（圖 3）。

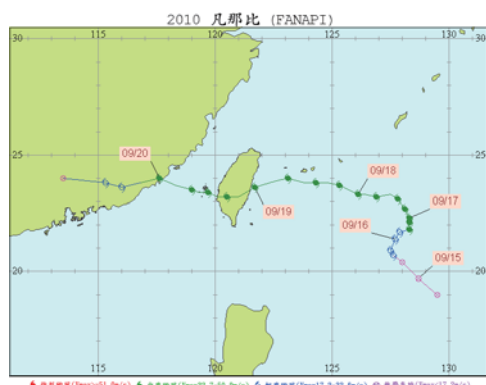


圖 1 2010 年 9 月凡那比颱風行進路徑圖。

簡而言之，凡那比颱風（2010）在侵台期間其眼牆結構雖遭受台灣複雜地形影響而破壞，但隨其西移出海後其南方顯著的降水對台南及高屏地區造成嚴重的災情。因此對於其南方雨帶的增強乃至於眼牆之重建過程的研究便顯得十分重要，吾人將針對颱風眼出海

前海峽南部雨帶之結構及特徵做進一步之分析及探討。

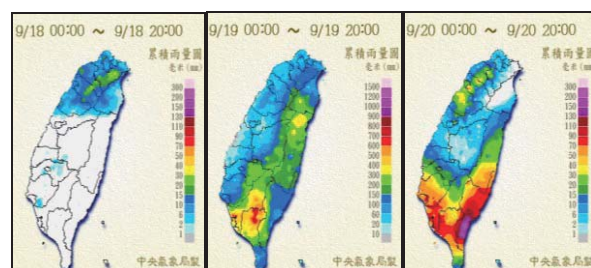


圖 2. 2010 年 9 月 18~20 日地方時累積雨量圖。

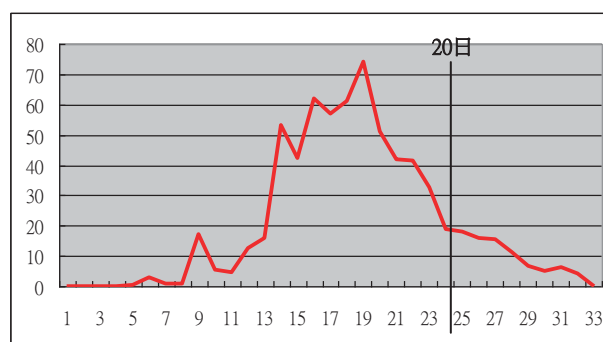


圖 3 2010 年 9 月 19 日 01 時~9 月 20 日 10 時岡山地區累積雨量

由於凡那比颱風南側雨帶約自 9 月 19 日 06UTC 之後回波強度發展至 50dBZ 以上且開始呈現明顯之帶

狀分佈特徵，本研究將針對 9 月 19 日 06UTC 至其後約 1 小時左右，利用空軍馬公基地雙偏極化雷達與中央氣象局七股都普勒雷達資料進行雙雷達風場合成分析（圖 4），並繪製各等高面上之輻散場及渦度場分佈圖，再以 9 月 19 日 06UTC 中央氣象局定位之官方颱風中心位置向外朝南方發展中之雨帶製作垂直剖面圖，分析其回波及風場結構，期望能夠進一步了解颱風眼在出海前，造成其南方雨帶增強乃至眼牆重建之主要原因。

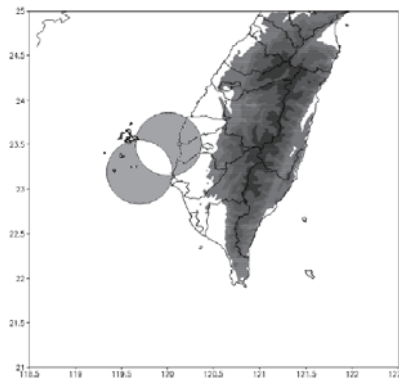


圖 4 馬公及七股雙雷達合成有效涵蓋範圍圖

本文第二節為資料來源與處理；第三節則描述凡那比（2010）颱風眼於即將出海前，南方逐漸增強之雨帶結構特徵及進行初步探討；最後為結論與展望。

二、資料來源與處理

本研究使用空軍馬公雙偏極化雷達與中央氣象局七股都普勒雷達進行雙雷達之分析，主要分析時間為 2010 年 9 月 9 日 0601~0701UTC，首先經過格式轉換，再透過 SOLOII 軟體將其全體積掃描資料進行風場折錯及各種除錯處理後，將資料內插到以馬公雷達為中心之直角座標；在合成風場前，需利用 CEDRIC 修補並平滑那些使用 REORDER 內插所得到之時間場與使用 SPRINT 內插所得到之參數場結合後的資料。

三、雨帶結構特徵及初步探討

當凡那比颱風結構受台灣地形破壞後，呈現明顯回波南強北弱之不對稱型態。2010 年 9 月 19 日 06UTC 時，颱風眼位於七股雷達東北東方約 50 公里處，相當於在南部山區一帶。一般概念上認為颱風眼南方雨帶之所以會發展而維持，是受到颱風環流與地形間交互

作用所產生之動力舉升機制所引起，但觀察馬公雷達於該時段附近之回波分佈演變情況（圖 5）可發現，該強回波區域乃自颱風環流上游之海峽南部海面即持續存在，並向東南延伸至台灣南部地區，並非是弱回波移入中南部山區後於山緣附近增強之情況，由此可見該持續發展並增強之帶狀回波的生成及維持機制主要與颱風本身和環境場間的交互作用有所關聯。

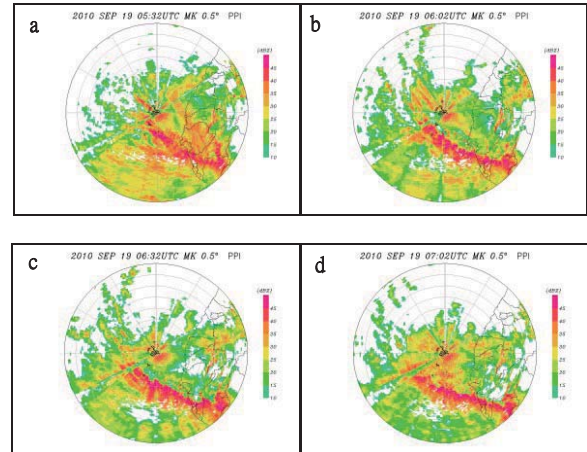


圖 5 馬公雷達回波 0.5 度 PPI 圖

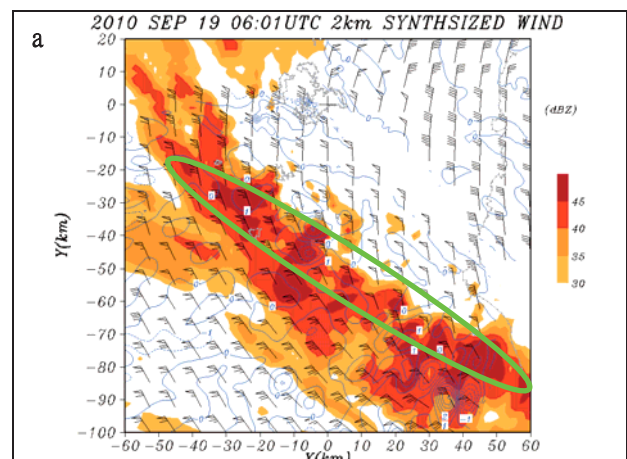


圖 6 顯示颱風本身偏北風之環流與雨帶內偏西南風之風場於較強回波區之北側（即靠近颱風眼之內緣）交會，並由輻散場之水平分佈可印證該處存在較強之輻合區。隨著時間之演進，較強回波區之北側大於 45dBZ 以上之回波範圍發展更加擴大且更趨於完整之線狀結構。

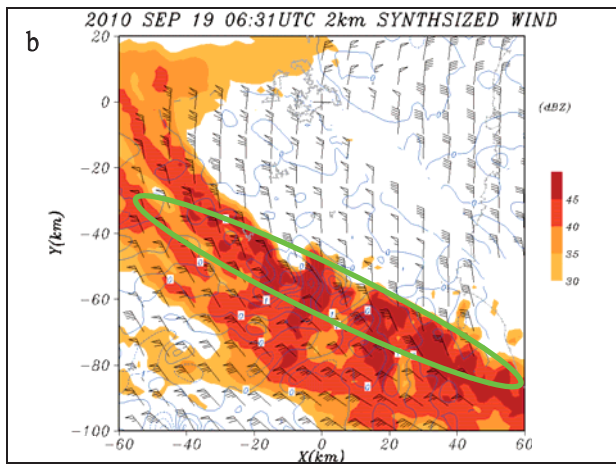


圖 6 馬公及七股雙都雷達合成圖（高度 2 公里）

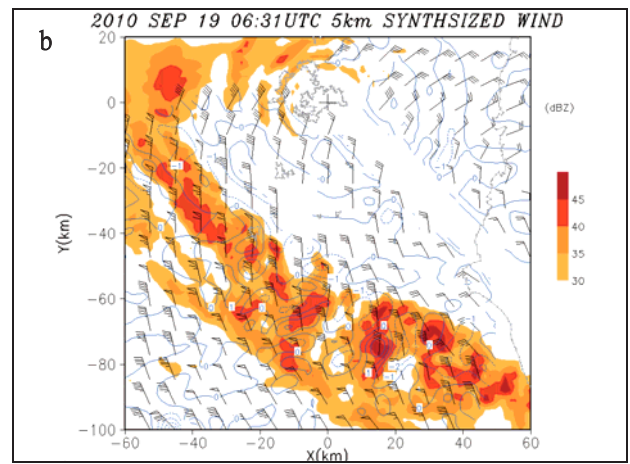
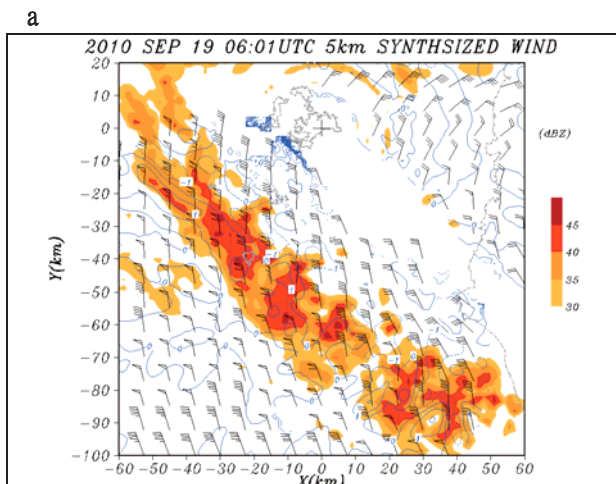
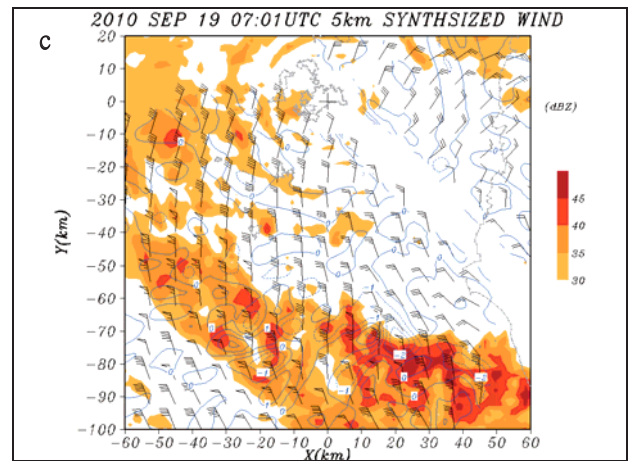
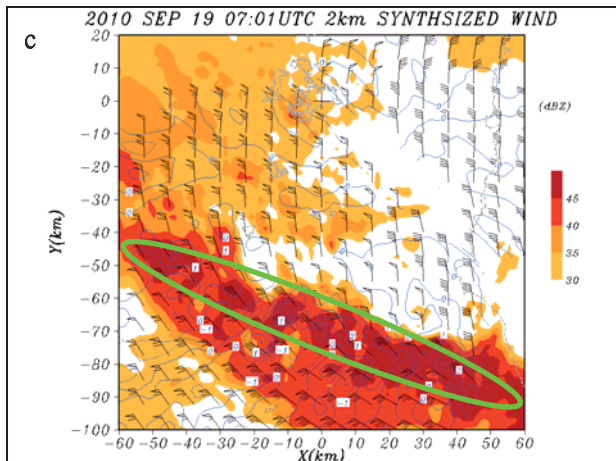


圖 7 馬公及七股雙都雷達合成圖（5 公里）



相較於圖 6 綠色橢圓之相對位置，圖 7 之該處恰為風場出流區，亦與輻散場之分佈範圍一致，故底層輻合、高層輻散，有利於該雨帶之發展與維持。

此外，Houze et al. (2009) 曾提及熱帶氣旋在演變成颱風的過程中，渦旋熱塔（vortical hot tower）所扮演重要的角色，它是受浮力作用而產生的對流性上升流，其底部伴隨之輻合作用將環境場底層之渦度向上拉升，使其成為一個垂直向上伸展且伴隨高正渦度值的上升氣流，雖然其中詳細變化之過程仍未完全明白，但它確實能使熱帶地區海洋上、包含數個中尺度對流系統的廣大低壓帶演進成具有氣旋特性的颱風；同樣它也可能使結構遭受地形破壞的颱風重新組織、並增強它氣旋式的環流；另外，有關於熱塔（hot tower），唐（2010）定義為在 10 公里高度等高面上，其回波大於 25dBZ 之對流胞。由於渦旋熱塔具有受底層輻合作用將垂直正渦度向上拉伸的特性，故吾人以 2010 年 9 月 19 日 06UTC 之官方颱風中心為原點，向外針對 0601、0631 以及 0701UTC 之 2 公里高度眼牆上具有較大正渦度值之區域做垂直剖面（圖 8 之藍色實線為所切之垂直剖面位置示意圖，而圖 9 為所切之垂直剖面圖，

○ 表颱風中心

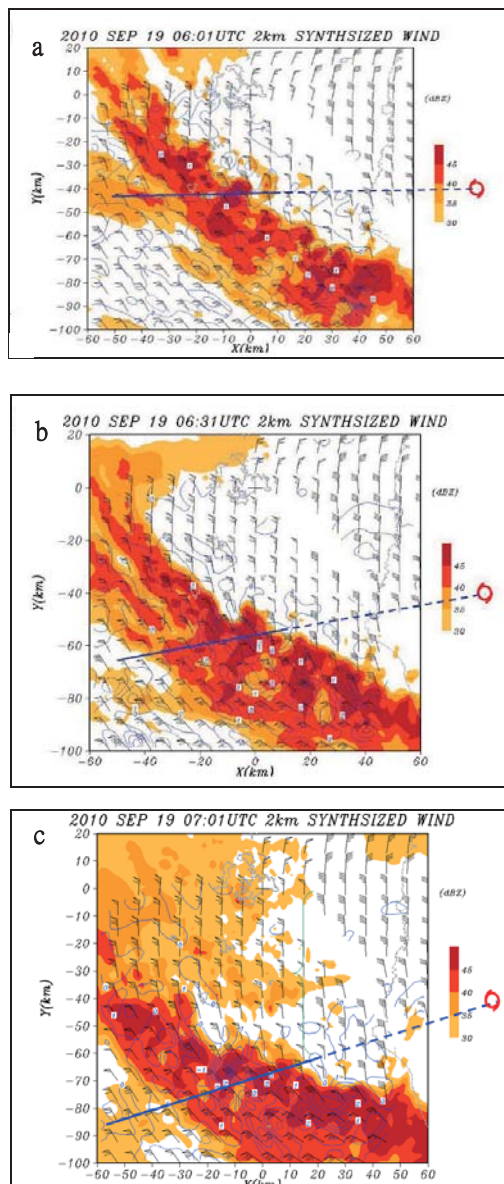


圖8 垂直剖面位置示意圖。

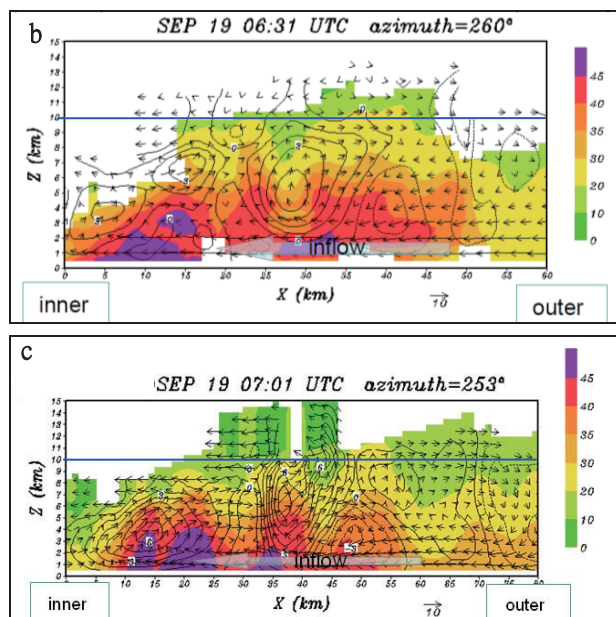


圖9 相對於圖8所示位置之垂直剖面圖。

在雨帶明顯增強與發展的0601~0701UTC時段，針對2公里高度具有局部垂直渦度最大值之區域所切的垂直剖面具有以下幾點特徵：其一，底層皆存在明顯朝颱風眼方向輻合之入流，這意味著氣流在底層由颱風外圍之海面向內攜入了暖濕（可能隱含高相當位溫）之空氣，使得大氣底層環境之穩定度降低，有利於氣旋之發展；其二，隨時間推移及所取最大渦度場之剖面愈向南推，其回波普遍發展之垂直高度更加明顯，雖然在等高面10公里以上偶有介於20~30dBZ之回波分佈，但實際之強度及範圍並不明顯，是否為渦度熱塔仍有待進一步驗證。

四、結論與展望

歷史上以類似凡那比颱風侵台之路徑登陸台灣者不在少數，本個案受地形破壞結構後又重建眼牆並造成台灣嚴重災情之現象更是值得我們加以研究，並期望在日後能夠提早警覺、加強戒備，使傷害減至最低。

透過雙都普勒雷達分析，吾人發現了颱風與環境風場在中尺度動力機制的作用下，產生了底層輻合與高層輻散的現象，使得短時間內能夠迅速增強颱風南側雨帶內緣之強度；另外，透過垂直剖面之資訊，我們發現雨帶底層存在著明顯自海面流向颱風中心之入流，這也為颱風眼牆出海後能夠重建提供另一個可能的有力證據；最後，目前雖然所獲取之剖面結果未見明顯之渦旋熱塔結構，但在嘗試尋找的過程中發現，

隨著時間的推移以及所取之位置更加往南，回波有發展高度愈高且強度愈強之趨勢，也許條件足夠被稱為渦旋熱塔的塔狀積雲在此個案中是可以被預期發現的。Hence and Houze (2008)曾提出，強對流的強上升運動會將環境產生的水平渦度傾側成垂直渦度，並會將垂直渦度向上平移到中層的現象，這勢必需要利用渦度收之方程中各項之變化來加以檢驗。有關於渦度方程在卡式座標內的形式如下

$$\frac{D(\zeta + f)}{Dt} = -(\zeta + f) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

其所代表之意義為：絕對渦度隨時間變化的程度分別受到方程式中右方各項的影響，其分別為（由左至右）輻散項、扭轉項（或稱為傾斜項）以及力管項。未來透過渦度收支方程中各項之變化來詳細檢驗渦度的變化，相信對於驗證渦度熱塔的過程有相當程度的幫助。

參考文獻

- Houze, R. A., Jr., 2010: REVIEW Clouds in Tropical Cyclones., *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 293-344.
- Houze, R. A., Jr., W.-C. Lee and M. M. Bell, 2009: Convective contribution to the Genesis of Hurricane Ophelia (2005), *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 2778-2800.
- Ishihara, M., Z. Yanagisawa, H. Sakakibara, K. Matsuura and J. Aoyagi: Structure of a Typhoon Rainband Observed by Two Doppler Radars., *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.64, No.6, 923-939
- 唐玉霜 2010: 2009 莫拉克颱風雷達觀測中尺度雨帶特性研究，國立中央大學碩士論文。