# 中國文化大學理學院地學研究所大氣科學組 碩士論文

Master's Thesis Graduate School of Earth Science (Atmospheric Sciences Section) College of Science Chinese Culture University

海棠颱風(2005)受台灣地形影響偏轉之雙都卜勒雷達 觀測研究

Dual-Doppler analysis of track deflection of typhoon Haitang(2005) under the influence of Taiwan topography

書館

昌

inese Culture

指導教授:游政谷 Advisor: Cheng-Ku Yu

研究生:林孝儒 Graduate Student: Shiau-Ru Lin

中華民國 106 年 1 月 January 2017



碩士學位論文

海棠颱風(2005)受台灣地形影響偏轉之雙都卜勒雷達 觀測研究

研究生:林孝儒

經考試合格特此證明

口試委員: 美俊傑

指導教授: 疗药药合

口試日期:中華民國 106 年 01 月 04 日

摘要

本研究主要是以都卜勒雷達資料(氣象局五分山以及花蓮雷達) 分析 2005 年海棠颱風個案,透過雙都卜勒雷達合成三維風場,檢視 其路徑向南偏轉前後颱風風場的變化特徵及其伴隨的機制,並嘗試了 解這些觀測結果是否與過去數值模擬研究結論一致,期望能更加深入 了解路徑向南偏轉現象的颱風。

由雙都卜勒分析顯示,海棠颱風在路徑南偏期間,地形(高度 約3km)與颱風之間的風速有加強,且有大於眼牆強對流區域風速的 趨勢,此風場特徵隨高度越高越不明顯。而此區域的平均切向風,在 颱風南偏後,有高低層風速差異變大的趨勢外,低層(3km 以下)的 切向風速有明顯增強情況。在颱風中心西側切向風風場與徑向風風場 增強的現象皆在低層(3km以下)較明顯,並且皆有不對稱特徵,這 些觀測顯示颱風低層風場與地形影響有相當大的關係。此雷達反演風 場之特徵與過去針對路徑南偏颱風數值模擬研究一致(Jian and Wu 2008、Huang et al. 2011)。為了進一步了解颱風環流受台灣地形的影 響程度,分析垂直地形走向的上游風場(即 Cross-Barrier Flow),結 果顯示低層(3km以下)的Cross-Barrier Flow隨著颱風越靠近地形時, 減速情形明顯較高層劇烈。這些特徵顯示地形上游阻擋效應對於海棠 颱風路徑南偏的重要性。

I

#### 致謝

熬了四年,終於將這本論文完成。首先要感謝我的指導教授游 政谷老師的指導與督促,能在老師帶領下完成此研究,在研究的過程 中,除了學習科學知識外,還有解決問題的能力及積極的態度,相信 對於以後就業上,皆能輕鬆應付。也非常感謝老師能包容我途中休學 去做我想做的事情,在此致上最誠懇的謝意。

感謝台灣大學吳俊傑老師及簡國基老師兩位口試委員的寶貴建 議,使本研究論文更加完整充實。研究所的求學過程中,特別由衷的 感激鄭凌文學長耐心的教導程式設計與傳授研究的經驗,使我能夠順 利的解決各種撰寫程式與研究技巧等問題。感謝團隊內的每一位學長 姐,總是耐心又無私的支援我任何研究上的困境。感謝文化大學裡曾 經給予我幫助的各位老師、助教、學長姐和同班同學。也要感謝在我 身邊好友們,總是包容我的霸凌。

家人的支持是我完成論文的最大動力,謝謝林家家族的所有人, 特別感激爸爸、媽媽、哥哥。多年來無怨無悔的付出與支持,我才能 無憂無慮的渡過漫長的研究生生活。最後再次感謝所有給予過幫助及 鼓勵的貴人,有你們才會有這樣的研究成果,在此致上我誠摯的謝意, 並將這份成果獻給大家。

圖書館

Ш

摘要
誌謝
目錄
圖表說明V
第一章 前言1
(一) 文獻回顧1
(二) 研究動機與目的
第二章 資料與研究方法5
(一) 資料
1. 資料來源
2. 都卜勒雷達資料的特性及處理
(1)五分山都卜勒氣象雷達
(2)花蓮都卜勒氣象雷達
3. QuikSCAT 近海面風場資料
(二) 都卜勒雷達合成及反演8
(三) 颱風中心弱回波定位8
第三章 個案描述10
雙都卜勒雷達合成回波場與風速之概述10
第四章 颱風南偏前後風場分析13
(一) 水平平均風速的結構變化特徵13
(二) 風場的垂直剖面結構15
1. 颱風中心東西向之垂直結構15
2. 扇形區域之垂直結構16
3. 台灣東部近岸之切向風垂直結構18

(三) 垂直於地形走向之風分量(Cross-Barrier Flow)的演變	18
(四) 地面島嶼測站、探空資料與衛星資料之徑向風分析	20
1.QuikSCAT 衛星資料之徑向風分析	20
2.地面測站資料之徑向風分析	21
3.探空資料之徑向風分析	22
第五章 結論	23
參考文獻	25
表	28
圖	31



## 圖表說明

- 表 1 五分山與花蓮雷達規格表。
- 表 2 雙都卜勒風場合成的基準時間與五分山、花蓮雷達資料的時間表。
- 表 3 颱風中心定位與颱風移動向量。
- 圖 2.1 本研究所使用的資料分布及地形結構圖。色階為地形高度(m), 三角符號代表都卜勒雷達站位置,五分山(WFS)、花蓮(RCHL)。 黑圓點代表地面測站,分別為彭佳嶼(Pengjia)、所野(Tokorono, TR)、與那國島(Yonagunijima, YNG)、西表島(Iriomotejima, IO)、大原(Ohara, OH)、波照間(Hateruma, HR)、志多阿原 (Shitaabaru, STB)、石垣島(Ishigakijima, IG)、真栄里(Maezato, MZ)、伊原間(Ibaruma, IBM)、仲筋(Nakasuji, NS)、多良間 (Tarama, TRM)、下地(Shimoji, SM)、伊良部(Irabu, IB)、宮 古島(Miyakojima, MY)與鏡原(Kagamihara, KH)。圖中方框為 雙都卜勒風場反演的範圍,大小為 130 x 140 km。
- 圖 2.2 此圖為五分山與花蓮雷達交角範圍。色階為地形高度(m),紅 色三角形符號代表雙都卜勒雷達站位置,分別為五分山(WFS) 及花蓮(RCHL),黑色實線為兩個雷達的電磁波波數束交角 (Cross-Beam Angle),紅色方框範圍為雙都卜勒風場反演範圍, 雙都資料只使用介於 30°至150°的電磁波波束交角。
- 圖 2.3 弱回波颱風中心定位路徑圖。色階為地形高度(m),紅色三角 形符號為花蓮雷達站位置,圓點為弱回波颱風中心定位,起始 時間為 07 月 17 日 1938 UTC (始末時間標示於圖上,每 10 分 鐘 1 筆,共 18 筆),藍色為 TIME\_1,紫色為 TIME\_2,綠色 為 TIME\_3。棕線為中央氣象局逐時路徑,颱風中心以 9 符號 標示,起始點為 07 月 17 日 1800 UTC (始末時間標示於圖 上)。

- 圖 3.1 2005 年海棠(編號第5號)颱風路徑圖,颱風中心定位每隔6 小時1筆,時間為 UTC。
- 圖 3.2 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、 (f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i)2228 UTC。
- 圖 3.3 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單位為ms<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為dBZ,間距為5dBZ),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i)2228 UTC。
- 圖 3.4 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、 (f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i)2228 UTC。
- 圖 3.5 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單 位為 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ, 間距為 5 dBZ),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i)2228 UTC。
- 圖 4.1 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3之1 km 高度 的平均雙都卜勒合成風場及回波場。a、c、e(色階為回波值, 單位 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、d、f(色階為風 速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為

dBZ,間距為5dBZ),時間依序為TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。 黑色箭頭為颱風移動向量(m s<sup>-1</sup>)。

- 圖 4.2 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3之3 km 高度 的平均雙都卜勒合成風場及回波場。a、c、e(色階為回波值, 單位 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、d、f(色階為風 速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ,間距為5 dBZ),時間依序為 TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。 黑色箭頭為颱風移動向量(m s<sup>-1</sup>)。
- 圖 4.3 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3 之 5 km 高度 的平均雙都卜勒合成風場及回波場。a、c、e(色階為回波值, 單位 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、d、f(色階為風 速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ,間距為 5 dBZ),時間依序為 TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。 黑色箭頭為颱風移動向量(m s<sup>-1</sup>)。
- 圖 4.4(a) 2 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單 位為m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為dBZ, 間距為 5 dBZ),時間為 1948 UTC。藍線為以颱風中心為基準 點,各自向正東與正西取 100 km 之剖面。(b)同 a,藍線區域 內為以颱風中心正北為 0°,方位角 60°至 120°與 240°至 300°,半徑 100 km 之扇形區域內風速之徑向平均。
- 圖 4.5 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 平均雙都卜勒合成的風 場及回波場垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相 對於地表之風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為 回波值,單位為 dBZ,由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。
- 圖 4.6 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相對於颱風

之徑向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為遠離颱風 中心,負值為靠近颱風中心,等值線為回波值,單位為dBZ, 由粗至細分別為40、30、20dBZ。

- 圖 4.7 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之切向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相對於颱風 之切向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為回波值, 單位為 dBZ,由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。
- 圖 4.8 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 平均雙都卜勒合成的 風場及回波場垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為 相對於地表之風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為 遠離颱風中心,負值為靠近颱風中心,等值線為回波值,單位 為 dBZ,由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。
- 圖 4.9 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為相對於颱風 之徑向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為遠離颱風 中心,負值為靠近颱風中心,等值線為回波值,單位為 dBZ, 由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。
- 圖 4.10 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為相對於颱風 之切向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為回波值, 單位為 dBZ,由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。
- 圖 4.11 (a) 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),圖中方框為台 灣地形東岸平均切向風之分析範圍(30 x 60 km)。(b)圖(a)方 框中之平均切向風隨時間及高度的變化圖。
- 圖 4.12 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與Cross-Barrier Flow分佈圖, 色階為回波值(單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向 風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), 等值線為 Cross-Barrier Flow,黑線為正值(表示 Flow 靠近地 形),灰線為負值(表示 Flow 遠離地形)。時間分別為(a) 1938 UTC、(b) 1948 UTC、(c) 1958 UTC、(d) 2008 UTC、(e) 2018 UTC、 (f) 2028 UTC、(g) 2038 UTC、(h) 2048 UTC、(i)2058 UTC

- 圖 4.12 (續),時間分別為(j) 2108 UTC、(k) 2118 UTC、(l) 2128UTC、 (m) 2138 UTC、(n) 2148 UTC、(o) 2158 UTC、(p) 2208 UTC、 (q) 2218 UTC、(r)2228 UTC。
- 圖 4.13 (a) 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與 Cross-Barrier Flow 分 佈圖,色階為回波值(單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標 為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),等值線為 Cross-Barrier Flow,正值表示 Flow 靠近地形, 圖中紅色方框則為 Cross-Barrier Flow 平均區域之分析範圍。 (b-f)為圖(a)中 A-A′範圍沿 y 方向平均之 Cross-Barrier Flow 隨 時間變化,高度依序為 1、2、3、4、7 km,色階為 Cross-Barrier Flow (m s<sup>-1</sup>)。
- 圖4.14 (a) 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與Cross-Barrier Flow分佈 圖,色階為回波值(單位為dBZ,間距如圖上所標示),風標為 風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), 等值線為Cross-Barrier Flow,正值表示Flow靠近地形,圖中 紅色方框則為Cross-Barrier Flow 平均區域範圍。(b)平均(a)所 選取區域內之Cross-Barrier Flow作為較有代表性的U所計算之 Froude number時間序列圖,其值介於1.5至2.5之間,整體平均 為1.3。(c) 0-10 km的切向風場中選取最大切向風代表U所計算 之渦流Froude number時間序列圖,其值介於1.5至3之間,整體 平均為2.1。
- 圖 4.15 0.25 km 高度之雙都卜勒合成的回波場與相對於颱風之徑向風 分佈圖,等值線為回波值(單位為 dBZ,間距為 5 dBZ),色階 為徑向風(單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值代表徑向風靠 近風中心,負值則為遠離)。時間分別為(a) 1938 UTC、(b) 1958 UTC、(c) 2018 UTC、(d) 2038 UTC、(e) 2058 UTC、(f) 2118 UTC、 (g) 2138 UTC、(h) 2158 UTC、(i)2218 UTC。

- 圖 4.16 利用 QuikSCAT 衛星反演風場所計算之徑向風,色階為徑向風,單位 m s<sup>-1</sup>。黑線為氣象局逐時路徑,黑點為颱風中心位置,藍點為以颱風環流定的颱風中心位置,黑色同心圓是以藍點為中心之輔助線。(a) 07 月 16 日 2200 UTC、(b) 07 月 17 日 1000 UTC。
- 圖 4.17 (a)日本氣象廳沖繩縣南方島嶼測站位置分佈圖。(b)日本島嶼 測站之平均徑向風隨時間變化圖。上圖平均徑向風(單位 m s<sup>-1</sup>), 下圖為颱風中心位置與島嶼測站之距離,藍星號為衛星資料分 析時間,綠色星號為雙都卜勒雷達分析時間,紅星號為颱風登 陸台灣時間。(c)同(b),但為彭佳嶼測站之徑向風。
- 圖4.18 石垣島探空風向風速資料所計算之徑向風隨高度及時間的變 化圖,色階為徑向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所示。虛線為 颱風登陸之時間點。



## 第一章 前言

#### (一) 文獻回顧

根據中央氣象局資料顯示,1958 至 2015 年共有 193 個颱風侵襲 臺灣陸地,平均每年約有 3 至 4 個颱風。由於颱風挾有強風和豪雨, 常直接造成許多嚴重災害。因此,準確的預報颱風資訊(強度、結構、 路徑等)是相當重要的。而台灣地形分佈複雜,地形主要以山地、丘 陵、盆地、臺地、平原為主體,山地、丘陵約佔全島總面積的三分之 二。臺灣山脈走向南北縱貫全臺,其中以中央山脈為主體,地勢高峻 陡峭,最高峰玉山達 3952 m。因此,台灣地區複雜的地形常與颱風 之間產生交互作用,不只影響了颱風路徑的變化,也會影響颱風的結 構、強度、移動速度,並常常導致劇烈降水(Brand and Blelloch 1974; Wang 1980; Bender et al. 1987; Chang et al. 1993; Wu and Kuo 1999; Yu and Cheng 2008、2013, 2014; Yue et al. 2017)。

過去的觀測研究(Brand and Blelloch 1974; Wang 1980)和數值模擬研究(Chang 1982; Bender et al. 1987; Yeh and Elsberry 1993a,b; Lin et al. 1999; Wu 2001; Wu et al. 2002; Peng and Chang 2002; Jian et al. 2006)探討台灣地形對於路徑偏折與連續性之影響,大致則認為強度較弱的颱風較容易受地形影響,使得颱風路徑較不連續,而強度較強的颱風受地形影響相對較小,因此行徑路徑較為連續。Yeh and Elsberry (1993a.b)顯示颱風若強度較弱和移動速度較慢則較容易受地形影響而產生偏折,而強度較強與移動速度較快的颱風其路徑受到地形影響的程度就較少,此結果也與(Bender et al. 1987) 的研究結果一致。

Lin et al.(2005)利用不考慮潛熱釋放與地表摩擦的乾模式,以 30km 的水平解析度探討地形對於颱風路徑的影響,他們參考過去相 關研究,選出控制地形影響颱風路徑的六個無因次參數,分別為 Vmax/Nh、U/Nh、R/Ly、U/fLx、Vmax/fR、h/Lx (Vmax 為颱風的最 大風速、N 為環境穩定度、h 為地形最高高度、U 為背景流場的速度、 R 為颱風最大風速半徑、f 為科氏參數、Lx 為地形東西向的寬度、Ly 為地形南北向的長度)。其中,Vmax/Nh 與 U/Nh 分別代表渦漩與背 景場的福祿數(Froude number,Fr),Vmax/fR 與 U/fLx 分別代表渦漩與 背景場的羅士培數(Rossby number),R/Ly 為氣旋尺度與垂直行進路 徑的地形尺度之比值,h/Lx 為地形的陡峭程度。針對這些無因次參數 進行一系列的理想實驗,結果顯示當 Vmax/Nh、U/Nh、R/Ly、U/fLx、 Vmax/fR 值越小而 U/fLx 越大時,颱風路徑受地形影響而偏折的現 象就會越明顯,並通過地形時路徑也會較不連續。且透過地形敏感度 實驗認為颱風登陸前,路徑向南偏折的現象,是因為地形阻擋效應強, 導致地形與颱風之間產生北方噴流,而北方噴流沿著山脈上游處形成 一個向南移動的渦度平流,進而影響颱風路徑向南偏折。

過去研究中,鮮少探討颱風南偏打轉現象,只有 Jian and Wu(2008) 和 Huang et al.(2011)分別針對有向南偏轉的颱風個案,有較深入的 探討。Jian and Wu (2008)使用 WRF 模式(最高解析度4km)模擬海 棠颱風(2005)登陸台灣前路徑偏折及打轉的現象。研究結果顯示台 灣地形高度越低,颱風路徑向南偏折及打轉的程度就越少,因此台灣 地形是造成海棠颱風路徑偏折的主要原因之一。此外藉由進一步分析 發現,當海棠颱風接近台灣地形時,氣流會因通過海棠和台灣地形間 的狹窄通道而加速,造成颱風中心西側會有低層的北風噴流而導致海 棠颱風的路徑向南偏轉,此現象稱為通道效應(Channeling Effect)。同 時他們利用氣流軌跡線分析,發現颱風中心西側氣流有合流的現象, 更支持通道效應的說法。而他們計所算的駛流向量與颱風移動向量結 果滿一致的。以上結果皆顯示颱風接近地形時,會受到地形影響而產 生通道效應,進而影響颱風路徑南偏的現象。

Huang et al.(2011)利用 MM5 中尺度模式進行高解析度(最高解

析度 3 km)的數值模擬,主要探討柯羅莎颱風(2007)登陸台灣前路徑 顯著的偏折及打轉現象。個案模擬與理想實驗均顯示,颱風受地形影 響而出現偏轉路徑的同時,颱風和地形之間的低層風速有顯著增強之 情形發生,颱風內核區的非對稱流場(Asymmetric Flow) 也因此產生 變化,分析顯示此非對稱流場與偏轉運動有密切關聯。軌跡線分析顯 示低層空氣質點經過地形與颱風間的狹小通道時有匯合的情形發生, 顯示此風速增強與所謂的通道效應(Channeling Effect)之概念相當一 致。

Wu et al.(2015)利用 MM5 中尺度模式進行高解析度(最高解析 度 3 km)的數值模擬,主要針對不同的颱風強度、結構、移動速度以 及不同的地形高度、形狀、位置進行敏感性實驗,探討颱風接近地形 時路徑偏折的機制。經過一連串的敏感性實驗,發現通道效應並不是 一個普遍的象徵,因此認為颱風南偏的主因並不是通道效應。並提出 颱風中層非對稱駛流的新機制這與過去研究中所指的通道效應並不 同。他們主要發現,颱風東側中層風速減弱,而西側中層增強或保持 不變,而導致中層駛流有向南的分量,因而使颱風南偏。另外,颱風 東側中層風速減弱,而西側中層增強之風場結構變化似乎與垂直速度 有關連,目前對於動力機制還未完全了解為何颱風南偏期間,颱風東 側風速會減弱,而西側增強或者保持不變。

#### (二)研究動機與目的

由過去的研究可以了解到地形的存在不只影響了颱風路徑的變 化,也會影響颱風的結構、強度、移動速度與降雨的分佈。其中,有 些颱風在接近台灣地形時,可能會受地形影響而有明顯偏轉或打轉的 路徑出現。這些颱風顯著的偏轉或是打轉路徑發生,很可能會延長及 擴大風雨影響台灣的時間和區域。因此,探討颱風路徑受地形影響產 生偏折的現象是相當重要的,而且過去對此現象的研究皆利用數值模擬去深入探討,而缺乏觀測資料的分析,因此本研究選取了海棠颱風 (2005)個案,在靠近台灣地形時,颱風路徑有明顯南偏與打轉的情況。 並想透過雙都卜勒雷達獲得更真實的三維風場,分析海棠颱風南偏期 間風場結構的變化特徵。除了是否能驗證造成颱風路徑南偏除了有通 道效應之外,期望能夠藉由詳細的觀測資料分析,能更深入了解颱風 路徑南偏的可能原因,進而在面對類似颱風侵襲時,能提早預防以減 少颱風的傷害。



## 第二章 資料與研究方法

#### (一) 資料

本研究利用中央氣象局地面雷達資料、彭佳嶼地面測站、日本氣 象廳與那國島與其附近 14 個地面測站資料、石垣島探空資料,分析 2005 年海棠颱風的風場結構,資料位置分別分佈於(圖 2.1)所示。

### 1. 資料來源

(1)中央氣象局:五分山(WFS)與花蓮(RCHL)都卜勒氣象雷達資料,包含(WFS)每六分鐘與(RCHL)每十分鐘一筆體積掃瞄的雷達回波場及徑向風場資訊。彭佳嶼(Pengchyu; PCY)地面測站提供風速風向資訊。
(2)日本氣象廳:石垣島(Ishigakijima)探空氣球觀測資料、15個地面測站風速風向逐時資料,分別為所野(Tokorono,TR)、與那國島(Yonagunijima,YNG)、西表島(Iriomotejima,IO)、大原(Ohara,OH)、波照間(Hateruma,HR)、志多阿原(Shitaabaru,STB)、石垣島(Ishigakijima,IG)、真栄里(Maezato,MZ)、伊原間(Ibaruma,IBM)、仲筋(Nakasuji,NS)、多良間(Tarama,TRM)、下地(Shimoji,SM)、伊良部(Irabu,IB)、宮古島(Miyakojima,MY)與鏡原(Kagamihara,KH),測站位置分佈如(圖2.1)所示。

(3)美國太空總署: QuikSCAT(Quick Scatterometer)的近海面風場資料。

## 2. 都卜勒雷達資料的特性及處理

(1) 五分山都卜勒氣象雷達

五分山雷達(Wu-Fan-San,WFS)為WSR-88D (Weather Surveillance

Radar-1988 Doppler)型 S-Band (10 cm 波長)的都卜勒氣象雷達,其位 於121.46° E,25.04° N(五分山之頂部),雷達天線高度為766 m(詳細 規格特徵如表1),因此不易受地形遮蔽而影響觀測。雷達的觀測資料 包括降水回波強度、都卜勒徑向速度以及頻譜寬。雷達掃瞄觀測為順 鐘向360 度圓錐面掃瞄,並非由固定方位開始掃描,而是每次觀測所 得不同仰角的圓錐面資料所組成完整的體積掃瞄。此雷達掃瞄策略先 以非都卜勒模式掃瞄0.4、1.4度,之後再開啟都卜勒模式分別掃瞄0.4、 1.4、2.3、3.3、4.2、6.0、9.8、14.5 及19.5 度,掃瞄一層約費時 26 至 34 秒,一次體積掃瞄約六分鐘,資料時間的紀錄使用世界標準時間 (UTC)。雷達回波資料觀測範圍為 460 km,徑向解析度為1 km,都 卜勒徑向風以及頻譜寬資料範圍則為 230 km,其徑向解析度為0.25 km。雷達回波強度之精確度介於 - 0.5 dBZ 至+ 0.5 dBZ 之間,儲 存範圍為 -40 dBZ 至 72 dBZ 之間;徑向風場的儲存範圍為 -48 m s<sup>-1</sup>至 48 m s<sup>-1</sup>之間。

由中央氣象局取得level II的體積掃瞄資料,將level II資料格式轉 換成UF(universal format)資料格式,五分山雷達的資料處理流程步驟 如下:(1)首先將level II資料解壓縮之後,轉為兩組氣象局格式資料, 分別為雷達回波以及都卜勒徑向速度資料,然後再將此兩組資料轉換 成 UF (universal format)格式資料。(2)將UF data轉換為sweep data並使 用美國國家大氣研究中心(NCAR, National Center for Atmospheric Research)所研發的SOLO軟體處理雷達回波場及風場資料。雷達回波 場的處理主要是刪除海面雜波及地形雜波,即刪除0.4度仰角掃描中, 因海面所造成的雷達回波,以及剔除因地形所造成的恆定回波 (permanent echoes)。徑向風場方面,本研究個案中刪除雷達回波場值 小於 0 dBZ的資料點以及所對應的徑向風場資料。另外亦針對發生風 速折錯的區域進行反折錯處理,最後再將處理完畢後的都卜勒雷達資 料轉換回 UF 格式。

6

(2) 花蓮都卜勒氣象雷達

花蓮雷達(Hual-Lien,RCHL)為德國 Gematronik 公司生產的 METEOR 1000S 型 S-Band (10 cm 波長)的都卜勒氣象雷達,位於 121.37°E,23.59°N,雷達天線高度為63 m(詳細規格特徵如表1)。 因花蓮雷達的西側有中央山脈阻擋,故掃瞄策略會隨高度做修正,使 天線旋轉的方位角避開中央山脈所造成的地形雜波。花蓮雷達的觀測 方式為順鐘向 360 度圓錐面掃瞄,先以非都卜勒模式掃瞄 0.4、1.4 度,之後再開啟都卜勒模式分別掃瞄第一至第九個仰角,一次體積掃 瞄的時間約為十分鐘。

由中央氣象局取得 level III 的體積掃瞄資料,處理方式與五分山相同,且將資料內插至水平解析度 1 km 的網格點上以供分析。

## 3. QuikSCAT(Quick Scatterometer) 近海面風場資料

美國航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 於 1996 年發射 QuikSCAT 衛星, QuikSCAT 極軌衛星繞地球所掃瞄到的全球海平面風場資料,可判定天氣系統的 形成與其環流風速與風向分佈,通過台灣的升交時間(Asceding Time) 約為 2200 UTC,降交時間(Descending Time) 約為 1000 UTC。此衛 星之觀測原理是利用海面波浪所反射的雷達能量來估算海面上約 10 m 的風向及風速,當風速小於 20 m s<sup>-1</sup> 時,其量測到的風速誤差為 2 m s<sup>-1</sup>,當風速介於 20-30 m s<sup>-1</sup> 時,則有 12%的誤差,風向的誤差範 圍為 20°。其空間解析度為 25 km × 25 km。QuikSCAT 極軌衛星觀 測資料並不是規則的分佈在經緯度上,因此利用 Cressman 之權重函 數作客觀分析,將觀測風場內差至 0.25° x 0.25° 之經緯度網格 上。

## (二) 都卜勒雷達風場合成及反演

本研究利用雙都卜勒風場合成法(Ray et al. 1980),可得到三維風 場資訊,藉此分析颱風雨帶內部的氣流結構特性。利用五分山與花蓮 雷達合成的分析區域及兩個雷達的交角範圍如(圖 2.2)所示,雙都卜 勒風場反演的時間如(表 2 所示,共 18 筆資料),基準時間以花蓮的 時間為準,五分山時間以此來做平移。

雷達資料的處理以及風場合成的步驟如下: (1)將各雷達的UF資 料格式轉換為Swp格式,再利用SOLO軟體將雷達資料地形及海面雜 波去除, 並把折疊的徑向風場反折成正確數值, 且回波值小於0 dBZ 的徑向風場全數移除。(2)經過SOLO軟體處理過的Swp格式資料,利 用NCAR的REORDER軟體(Ove et al. 1995)將雷達資料內插成網格點 資料,並進行系統移動速度的平移修正。網格點資料的水平解析度為 1 km、垂直解析度為0.25 km, 0.25 - 10 km共40層。內差方法是透過 Cressman weighting function(Cressman 1959) 以仰角(AZRADIVS) 1度、 方位角(ELRADIUS)2度,徑向距離(RGRADIUS)1.5 km作為影響半徑 內插而得。(3)經過上述步驟後得到的網格資料,透過NCAR的 CEDEIC(Custom Editing and Display of Reduced Information in Cartesion)軟體(Mohr and Miller 1983)進行雙都卜勒風場合成, 垂直速 度場則利用非彈性連續方程做垂直向下積分,利用變分法調節垂直速 度場,再代入雷達方程式求得水平風場。另外,在進行雙都卜勒風場 合成前已先移除五分山雷達與花蓮雷達的電磁波波數束交角 (Cross-Beam Angle) 30°以下與150°以上的資料點。

## (三)弱回波颱風中心定位與颱風移速估算

本研究其中一部份針對海棠颱風發生向南偏轉路徑時,其風場結 構變化進行討論,因此對於颱風中心位置的掌握極其重要。而本研究 使用雙都卜勒雷達 4 km CAPPI 並利用弱回波定位方法求得雙都卜 勒風場合成分析時間點之颱風中心位置(如圖 2.3),此方法所求得之 颱風中心與中央氣象局之颱風中心定位差距大約 15 km。為了考慮計 算颱風之徑向風與切向風所需要的颱風中心定位與颱風移速之準確 度,本研究決定以雙都卜勒雷達 4 km CAPPI 之弱回波定位做為計算 基準。而颱風移速求得方式,則是利用分析時間點中的前後各一個時 間點之颱風中心位置之距離除以經過的時間,單位為 m s<sup>-1</sup>,詳列於 表3。



## 第三章 個案描述

2005 年海棠颱風(Haitang) 生成地點約在關島北北東方海面,為 該年西北太平洋生成編號第五號的颱風。颱風生成後向西北方行進並 持續增強,07 月 16 日 0000 UTC 增強為強烈颱風,持續向西北方向 移動。中央氣象局於 2005 年 7 月 16 日 1530 UTC 發佈陸上颱風警報, 此時颱風中心位置位於鵝鑾鼻的東方約 630 km 之海面上,其中心最 低氣壓為 912 mb,瞬間之最大陣風為 68 m s<sup>-1</sup>。海棠颱風登陸臺灣前, 17 日 2200 UTC 其颱風中心在花蓮外海(約 60 km)時有向南偏轉的現 象(如圖 3.1),於 07 月 18 日 0650 UTC 左右在宜蘭東澳附近登陸, 強度逐漸減弱,持續朝西移動,18 日 1400 UTC 左右於苗栗後龍附近 進入臺灣海峽,強度也減弱為中度颱風,並繼續向西北移動,19 日 1100 UTC 進入中國,氣象局遂於 19 日 1830 UTC 解除颱風警報。

## 雙都卜勒雷達合成回波場與風速概述

由於海棠颱風接近台灣地形時,路徑有南偏並打轉的現象,因此 想了解路徑南偏前後時回波場及風速隨時間的變化。圖 3.2 為 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,圖上顯示回波的極大值區域 (45 dBZ 以上),不論何時(從 1948 UTC - 2228 UTC,如圖 3.2 a-i)皆 在颱風中心的東側,儘管圖上顯示有些時間颱風中心西北側會有零碎 的回波極大值區域出現(如圖 3.2 e-i),但由時間演變來看,颱風強回 波區域大致上維持在颱風中心的東側與東南側。另外,圖上風場顯示, 似乎在 2048 UTC 之後,位於颱風中心與台灣地形之間區域的風速 似乎有增強的趨勢(如圖 3.2 d - h),故我們進一步以色階表示風速, 來探討風速的分佈情形。圖 3.3 b 與 c 顯示風速極大值區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上與 60 m s<sup>-1</sup> 以上)出現在颱風中心的東側,而在 2048 UTC 時(如 圖 3.3 d,路徑開始南偏的時間點),風速極大值區域(60 m s<sup>-1</sup> 以上)轉 移至颱風中心的東北側,而此時颱風中心西側的風速有增強的趨勢, 與 2028 UTC(如圖 3.3 c)相比約增強 5 m s<sup>-1</sup>。到了 2108 UTC 時(如圖 3.3 e),風速極大值區域(60 m s<sup>-1</sup> 以上)出現在颱風中心的北側與西北 側,而颱風中心西側的風速仍有增強的趨勢,與 2048 UTC(如圖 3.3 d) 相比約增強 5 m s<sup>-1</sup>,並且此時颱風中心西側的風速強度比颱風中心 東側的風速大。而在 2128 UTC 至 2228 UTC 期間,可以看到風速 極大值區域(60 m s<sup>-1</sup> 以上)持續維持在颱風中心的西北側(如圖 3.3 fi)。

上述為 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場隨時間變化 的分佈,主要看到颱風風速極大值區域由颱風中心東側轉移至颱風中 心西北侧外,地形與颱風之間的風速有加強的現象(如圖 3.3 c-e), 並 有時此區域之風速會有大於眼牆強對流區風速的趨勢(如圖 3.2 e 與 3.3 e)。不僅如此,我們在不同高度(2、3 km)也有看到相似於 1 km 的風場分佈情況,另外,台灣地形最高海拔約三千多公尺,因此特別 檢視4km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,是否會因為受到較 少的地形影響,而有不同的變化分佈。從圖 3.4 中顯示回波的極大值 區域(45 dBZ 以上),不論何時(從 1948 UTC - 2228 UTC,如圖 3.4 a-i) 皆在颱風中心的東側,儘管圖上顯示有些時間颱風中心西北側會有零 碎的極大值區域出現(如圖 3.4 e-h),但由時間演變來看,颱風眼牆強 對流區大致上維持在颱風中心的東側。從圖 3.5 b 顯示風速極大值區 域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)出現在颱風中心的東側,而在 2028 UTC 時,風速 極大值區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)除了出現在颱風中心的東側外,颱風中心 的北側也有風速極大值區域(如圖 3.5 c)。2048 UTC 時,風速極大值 區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)依然在颱風中心的東側與北側,但此時颱風中心 西側的風速有增強的趨勢,與2028 UTC(如圖 3.5 c)相比約增強 5 m s<sup>-1</sup>(如圖 3.5 d)。到了 2108 UTC 時(如圖 3.5 e), 風速極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)出現在颱風中心的西側與西北側,並且此時颱風中心西側的

風速強度比颱風中心東側的風速大。而在2128 UTC 至 2228 UTC 期間,可以看到風速極大值區域(60 m s<sup>-1</sup> 以上)持續維持在颱風中心的 西北側(如圖 3.5 f -i)。

比較 1 km 與 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場變化分佈,發現海棠颱風在分析時段中,眼牆強對流區的位置皆位在颱風的 東側或東南側,回波場並無太大變化。而從風場皆可看到,颱風在路 徑南偏以前,強風速區皆位在颱風中心的東側,而在颱風路徑南偏期 間,原本位在颱風中心東側的強風速區則慢慢轉移至颱風中心北側或 西北側,而地形與颱風之間的風速也有增強的現象,且有大於眼牆強 對流區風速的趨勢(如圖 3.3 e 與 圖 3.5 e),但是地形與颱風之間的 風速增強現象,則隨高度越高風速增強幅度越小(如圖 3.4 d-e 與圖 3.5 d-e)。



## 第四章 颱風南偏前後風場結構分析

上一章節可以瞭解海棠颱風在登陸前路徑有南偏並打轉的現象, 而颱風在南偏前後的回波場之水平分佈變化不大,但風場卻似乎有較 大的改變。因此本章節將進一步利用雙都卜勒雷達風場反演,探討颱 風路徑南偏前後的風場變化特徵,所選取分析的時間為 2005 年 07 月 17 日 1938 UTC 至 2228 UTC (每 10 分鐘一筆,共18 筆),並根據 颱風小時平均移動向量與弱回波颱風中心定位路徑圖(如圖 2.3)顯示 1938 UTC 至 2028 UTC 期間,颱風是往西北移動,接著路徑才開始 發生南偏,因此將分析時間分為三個時段,TIME\_1 為颱風南偏前一 小時,其涵蓋時間為 1938 至 2028 UTC;TIME\_2 為颱風南偏第一小 時,其涵蓋時間 2038 至 2128 UTC;TIME\_3 為颱風南偏第一小 時,其涵蓋時間 2038 至 2128 UTC;TIME\_3 為颱風南偏第一小 時,其涵蓋時間 2138 至 2228 UTC(詳列於表 3),以利探討颱風路徑南偏 前後風場結構之變化。另外受限於雷達無法觀測到近地面風向風速, 因此加入地面島嶼測站資料、探空資料及衛星資料加以比對分析。

\圖書館/

## (一) 水平平均風場的結構變化特徵

為了更加瞭解颱風內核區風場結構變化,將利用 TIME\_1 至 TIME\_3 各自時段內之雙都卜勒合成的風場及回波場,以颱風中心為 基準點,加以平均,以利探討颱風路徑南偏前後之內核風場結構變化 特徵。圖 4.1 為 TIME\_1 至 TIME\_3 之 1 km 高度的平均風場及回波 場,TIME\_1 時段時,如圖 4.1 a 顯示回波極大值區域(45 dBZ 以上) 出現在颱風中心東側,而從圖 4.1 b 中顯示風速極大值區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)的位置位於颱風中心的東側;TIME\_2 時段時,回波極大值區 域(45 dBZ 以上)與 TIME\_1 時段一樣皆維持在颱風中心的東側(如圖 4.1 c),而風速極大值區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)卻出現在颱風中心的北側, 並且颱風中心西北側的風速有明顯增強的現象,與 TIME\_1 時段相比 至少增強了 10 m s<sup>-1</sup> 以上(如圖 4.1 b)。除此之外,儘管因為雷達觀測 資料不足的現象造成颱風東南側的風場資料不完全,但由比較 TIME\_1與 TIME\_2之風速分布顯示,颱風中心東側的風速明顯有減 弱的情況,而颱風中心西側的風速則有增強的趨勢(如圖 4.1 d);而在 最後 TIME\_3(如圖 4.1 e)時,回波極大值區域(45 dBZ 以上)出現在颱 風中心東南側,而風速極大值區域(55 m s<sup>-1</sup>以上)則出現在颱風中心 的西北側(如圖 4.1 f)。由此可知,強風速區有由颱風中心東側轉移至 西北側之趨勢。

接著分析為為 TIME\_1 至 TIME\_3 之 3 km 高度的平均風場及回 波場, TIME\_1 時段時, 從圖 4.2 a 中顯示回波極大值區域(40 dBZ 以 上)出現在颱風中心東南側, 而圖 4.2 顯示風速極大值區域(55 m s<sup>-1</sup> 以上)的位置位於颱風中心的東側; TIME\_2 時段時,回波極大值區 域(45 dBZ 以上) 依然維持在颱風中心東南側(如圖 4.2 c), 而風速極 大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)則出現在颱風中心的北側與西側, 而颱風中 心西側的風速與 TIME\_1 時段相比至少增強了 5 m s<sup>-1</sup> 以上(如圖 4.2 d); 在最後 TIME\_3 時段,回波極大值區域(45 dBZ 以上)與前兩個時段一 樣皆維持在颱風中心東南側(如圖 4.2 e), 而此時風速極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)卻出現在颱風中心的西北側。

而 TIME\_1 至 TIME\_3 之 5 km 高度的平均風場及回波場顯示 TIME\_1 時段時,從圖 4.3 a 中顯示回波極大值區域(40 dBZ 以上)出現 在颱風中心東南側,而圖 4.3 b 顯示風速極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)則 出現在颱風中心的東側; TIME\_2 時段時,回波極大值區域(40 dBZ 以上) 依然維持在颱風中心東南側(如圖 4.3 c),而風速極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)則出現在颱風中心的西北側,颱風中心西北側風速的風速 與 TIME\_1 時段相比大約增強了 5 m s<sup>-1</sup> 左右(如圖 4.3 d); 在最後 TIME\_3 時段,回波極大值區域(40 dBZ 以上)與前兩個時段一樣皆維 持在颱風中心東南側(如圖 4.3 e),而風速極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上) 則出現在颱風中心的西北側(如圖 4.3 f)。

14

綜合上述不同高度隨時間演變之平均回波場與平均風場,顯示颱 風眼牆強對流區大致上都維持在颱風中心的東側或東南側,但是較特 別的是當颱風隨時間越靠近地形後,颱風的強風速區會慢慢從颱風中 心東側轉移至颱風中心北側和西北側,並且颱風西側與西北側的風速 有增強的趨勢,甚至西側增強的風速比眼牆強對流區的風速強。而這 樣西側風速增強的現象則似乎會隨著高度越高,幅度變得越不明顯。

#### (二) 風場垂直結構

由不同高度層的水平風場分佈得知,颱風風速有不對稱特徵,因 此以颱風為中心向正東與正西各取 100 km 的垂直剖面(如圖 4.4 a), 比較颱風南偏前後風場的垂直結構有何差異。另外,我們也將計算半 徑 100 km 之扇形區域(以颱風中心為扇形圓心,方位角 60°至 120 。與 240°至 300°,颱風中心正北為 0°)內風速之徑向平均(如圖 4.4 b),比較這兩種分析方法在風速之垂直結構上有何差異。此外, 為了更詳細討論風場變化的特徵,將風速分解成相對於颱風系統(即 扣除颱風移動速度)之徑向風與切向風進行討論。

Culture

#### 1. 颱風中心東西向之垂直結構

首先,從平均雙都卜勒合成的風場及回波場垂直剖面圖 4.5 中顯 示颱風強回波區域從 TIME\_1 至 TIME\_3 皆位在颱風中心東側(如圖 4.5 a-c),而 TIME\_1 顯示颱風強風速區出現在颱風中心東側(如圖 4.5 a);而在 TIME\_2 則顯示颱風中心東側的風速有減弱的現象外,颱 風中心西側風速與 TIME\_1 時段相比有增強的現象,此時強風速區位 在高度 3 公里以下(如圖 4.5 b);接著在 TIME\_3 顯示颱風風速似乎因 為颱風越接近地形而有減弱的現象,但仍可以看到颱風中心西側風速 還是較東側風速強(如圖 4.5 c)。由以上分析大致可知,颱風在南偏前 後的回波場之垂直剖面變化不大,但風場卻有較大的改變,因此在進 一步探討徑向風與切向風。

接著探討徑向風之垂直結構,圖4.6為相對於颱風系統之徑向風 垂直剖面圖,剖面位置同圖 4.5,徑向風若為負值,代表對颱風而言 是內流的情況,反之,則為外流。從徑向風垂直剖面圖顯示 TIME\_1 (如圖 4.6 a)轉變至 TIME\_2(如圖 4.6 b)的時段時,颱風中心西側低層 的徑向內流明顯增強,而增強的現象在低層(約高度 3 km 以下)較明 顯,大約增強5至10 m s<sup>-1</sup>;TIME\_3(如圖 4.6 c)颱風中心西側之徑 向內流明顯減弱許多,並在2km以下觀測到徑向外流。從徑向風垂 直剖面時間序列分析顯示,颱風中心西側之徑向風在低層(高度3km 以下)有增強的趨勢,而颱風中心東側之徑向外流部分,則是可能由 於本研究之分析方法是將風速扣除颱風移動速度後在分解成徑向風, 而造成颱風中心東側之徑向風在低層為徑向外流。接著,分析切向風 之垂直結構,從切向風之垂直結構圖顯示 TIME\_1 的時段,切向風的 極大值(約 60 m s<sup>-1</sup>)出現在颱風中心東側水平範圍 10 至 30km 處(如圖 4.7 a); 而在 TIME\_2, 颱風中心東側水平範圍 10 至 30 km 處切向風 風速有減速(約 10 m s)的情況,而颱風中心西側切向風風速與 TIME\_1 時段相比, 在水平範圍 -20 至 -30 km、垂直高度 3 km 以 下有切向風增強(約 6 m s<sup>-1</sup>)的現象(如圖 4.7 b)。從切向風垂直剖面時 間序列圖分析顯示,颱風中心東側切向風風速有持續減弱現象,而颱 風中心西側切向風風速則在低層(3 km 以下)有增強的趨勢。

2. 扇形區域之垂直結構

過去研究中(e.g., Jian and Wu 2008; Huang et al 2011),皆曾分析 颱風內核區的非對稱流場(Asymmetric Flow),並認為此非對稱流場 與颱風路徑偏轉有密切關聯。但由於受限雷達觀測資料完整性,本研 究無法實際計算非對稱風場,因此想利用計算半徑 100 km 之扇形區 域(以颱風中心為扇形圓心,方位角 60°至 120°與 240°至 300°, 颱風中心正北為 0°)內風速之徑向平均(如圖 4.4 b),藉此了解颱風 風速在颱風中心東西兩側之間有何變化。從平均雙都卜勒合成的風場 及回波場垂直剖面圖 4.8 中顯示颱風強回波區域從 TIME\_1 至 TIME\_3 皆位在颱風中心東側(如圖 4.8 a-c) ,而 TIME\_1 顯示颱風強 風速區出現在颱風中心東側(如圖 4.8 a) ;而在 TIME\_2 則顯示颱風 中心東側的風速有減弱的現象外,颱風中心西側風速與 TIME\_1 時段 相比有增強的現象,此時颱風中心東西兩側皆有強風速極大值區分別 位在颱風中心西側高度 1.5 至 2.5 公里(如圖 4.5 b)及颱風中心東側高 度1公里以下;接著在 TIME\_3 顯示颱風中心東側風速有減弱的現象, 而颱風中心西側風速並沒有因為颱風越接近地形而減弱,反而有風速 增強的情況,並且增強的現象在 2 公里以下較明顯外,颱風中層(約 3-6 公里)也可以發現有此增強現象。

接著探討徑向風之垂直結構,圖 4.9 為相對於颱風系統之徑向風 垂直剖面圖,剖面位置同圖 4.8。從徑向風垂直剖面圖顯示 TIME\_1 (如 圖 4.9 a)轉變至 TIME\_2(如圖 4.8 b)的時段時,颱風中心西側低層的徑 向內流明顯增強,而增強的現象在低層(約高度 3 km 以下)較明顯, 大約增強5至10 m s<sup>-1</sup>; TIME\_3(如圖 4.9 c)颱風中心西側之徑向內 流明顯減弱許多,並在2 km 以下觀測到徑向外流。接著,分析切向 風之垂直結構,從切向風之垂直結構剖面圖顯示 TIME\_1 時段切向風 的極大值(約 50 m s<sup>-1</sup>)出現在颱風中心東側 (如圖 4.10 a);而在 TIME\_2 則顯示颱風中心東側的切向風極大值(約 50 m s<sup>-1</sup>)發展高度 變低,TIME\_1 時段發展高度可至 3 公里,但在 TIME\_2 時段切向風 極大值發展高度降至 2 公里,而颱風中心西側的切向風則較 TIME\_1 時段中明顯增強 5 ms<sup>-1</sup>左右(如圖 4.10 b);接著在 TIME\_3 顯示切向風 極大值區域(50 m s<sup>-1</sup> 以上)出現在颱風中心西側,而颱風中心東側切向 風明顯減弱許多(如圖 4.10 c)。

綜合上述兩種分析方法,我們主要可以看到 TIME\_1 至 TIME\_3 期間颱風中心東側的風速有持續減弱的現象,而颱風中心西側的風速 在低層則有加速的情況,另外較不同的是,利用扇形區域平均之分析 方法在 TIME\_3 時段顯示,颱風中心西側風速增強的現象除了在低層 (高度 2 公里以下)發生外,中層(高度 3 - 6 公里)也可以看到此現象(如圖 4.8 c)。

#### 3. 台灣東部近岸之切向風垂直結構

由前面分析可以了解到颱風與台灣地形之間的風場有較大的變 化,因此再進一步單獨分析台灣東部近岸的切向風之垂直結構隨颱風 越靠近地形時有何變化特徵。以花蓮測站向正東5km 選取 30 x 60 km 作為分析範圍(如圖 4.11 a),並平均區域內的切向風後,可以發現台 灣東部近岸的平均切向風隨著颱風越接近地形時有增強的現象,其中 除了在3km以下增強的情形較明顯外,在高度4至6 km 也有看到 增強的情況,但增強的幅度較低層小(如圖 4.11 b)。另外,從圖中可 以清楚看到颱風路徑南偏前(2048 UTC),平均切向風的垂直分佈上並 無太大差異,而颱風南偏期間,則在3 km 以下切向風速有明顯增強 情況。由這樣的時間與空間上的分佈變化,顯示地形對於切向風有明 顯的影響作用。

# (三) 垂直於地形走向之風分量(Cross-Barrier Flow)的演變

為了了解颱風環流受台灣地形影響的程度,因此將雙都卜勒合成 風場投影到垂直於中央山脈走向(20度方位角)之分量(即 Cross-Barrier Flow),檢視颱風內 Cross-Barrier Flow 水平分佈特徵是 否會因距離地形的遠近或不同高度而有明顯的差異。從圖 4.12 中分 析顯示在颱風距離地形較遠(颱風中心約略離岸 80 km)時, Cross-Barrier Flow 最強分佈在颱風中心北端,並順時針往颱風中心西 側等速遞減,而當颱風逐漸接近地形(颱風中心離岸小於 80 km,約 2048 UTC,如圖 4.12 h)後,Cross-Barrier Flow 水平分佈與先前的時 間有很大的差異,最強的區域依然在颱風中心北端,但極大值則分散 在數個區域,且向颱風西北側變的不等速遞減,局部區域出現劇烈減 弱的情形(如圖 4.12 h-r)。因此另外針對颱風中心北側選取垂直於地形 走向之範圍(如圖 4.13 a)並沿著 Y 方向平均區域內 Cross-Barrier Flow 隨時間的變化與比較其垂直高度分佈之間的差異,圖 4.13 b 顯示在 1938 UTC 至 2008 UTC 期間, Cross-Barrier Flow 是較為等速在減 弱。在 2018 UTC 時開始可以看到 0 至 40 km 處,隨著颱風越靠近地 形時, Cross-Barrier Flow 減速的現象明顯變劇烈,這樣的分佈現象特 徵只出現在 3 km 以下(如圖 4.13 b-d)。而 4 km 以上, Cross-Barrier Flow 隨時間的變化皆是較為等速的減弱(如圖 4.13 e、f)。上述的 Cross-Barrier Flow 差異顯示颱風的局部環流有一定程度受到地形上 游效應的影響(Pierrehumbert and Wyman 1985)。

由上述大致上了解 Cross-Barrier Flow 水平分佈的情況後,因此 選取較具代表性的地形上游區域(如圖 4.14 a), 並平均區域內之 Cross-Barrier Flow 作為較有代表性的 U 去計算 Froude number。 Froude number 主要是受到風速、穩定度及地形高度影響,本文主要 將地形高度定為 2000 m,穩定度為定值 1.67 x 10<sup>-2</sup>(由花蓮探空資料計 算而得), Froude number 乃由 Cross-Barrier Flow 的大小決定。圖 4.14 b 顯示 Froude number 介於 1.5 至 2.5 之間,整體平均值為 1.3。另 外, Lin et al.(2005) 理想實驗中,計算渦流的 Froude number (Vmax/Nh),結果顯示 Vmax/Nh 大於 1,颱風路徑則是向北偏, Vmax/Nh 小於 1,颱風路徑則是向南偏。因此,我們也試著計算海 棠颱風的 Froude number(如圖 4.14 c),由 18 個雙都時間點挑選各自 切向風場中最大值的切向風做為 Vmax,各分析時間最大切向風皆分 佈在低層(0.25 km),穩定度為定值 1.67 x 10<sup>-2</sup>(由花蓮探空資料計算而 得),地形高度定為 2000m,而 Froude number 大概介於 1.5 至 3 之 間,並隨著時間變化有越來越大的趨勢,整體平均值為 2.1。Lin et al.(2005) 理想實驗中結果顯示 Vmax/Nh 大於 1, 颱風路徑則是向北 偏,Vmax/Nh 小於 1,颱風路徑則是向南偏。而本研究之海棠颱風 個案顯示颱風路徑有向南偏轉的情況,但其 Vmax/Nh 大於 1,但由 於其模式中並無潛熱釋放與地表摩擦之作用,因此其模擬對真實大氣

中颱風遇到地形時,還是有些許差異。

#### (四) 地面島嶼測站、探空資料與衛星資料之徑向風分析

由於透過雙都卜勒合成風場所計算的水平徑向風場顯示 0.25 km 以上可觀測到徑向外流局部徑向風風速最大值區域可達 30 m s<sup>-1</sup>(如圖 4.15),1938 UTC 為起始時間,每 20 分鐘 1 筆,造成此情形的可能原 因猜測是徑向內流可能變淺,並與地形有關。因此想利用 QuikeSCATE 衛星資料了解近海面風場並結合島嶼測站資料補足雷達近低層的觀 測死角,並分析低層水平徑向風隨時間有何分佈上的差異。除此之外, 也分析石垣島探空資料,瞭解颱風隨時間越靠近台灣陸地時,徑向風 的垂直分佈。

## 1. QuikSCAT 衛星資料之徑向風分析

本研究選取 2005 年 07 月 16 日 2200UTC 與 2005 年 07 月 17 日 1000UTC QuikSCAT 衛星資料風場資料,將風場資料轉換成相對 於颱風中心系統之徑向風場(扣除颱風移動速度,移動速度則是利用 中央氣象局之逐時路徑所求),分析當颱風隨時間越靠近台灣時,低 層(高度約為海面上 10 m)之徑向風場有何變化差異。此外,我們發現 QuikSCAT 衛星資料風場中,颱風環流定的颱風中心位置與氣象局逐 時路徑有些差距,差距可達 50 km 以上,因此考慮計算徑向風所需要 的颱風中心定位之準確度,決定以颱風環流所定義的颱風中心位置做 為計算基準。由 QuikSCAT 近海面徑向風場顯示 07 月 16 日 2200 UTC, 此時颱風距離台灣大約 440 km,北台灣東邊外海附近皆為徑向內流 並介於 5 至 10 m s<sup>-1</sup>(如圖 4.16 a),而 07 月 17 日 1000 UTC,此時颱 風距離台灣約 200 km,顯示颱風與北台灣之間徑向內流有增強趨勢 約增強 5 m s<sup>-1</sup> 左右 (如圖 4.16 b)。其觀測現象與地面測站資料之徑 向風分析結果一致。

## 2.地面测站資料之徑向風分析

本研究選取雙都卜勒雷達分析範圍鄰近之地面測站資料,檢視颱 風低層徑向風。利用日本氣象廳沖繩縣南方島嶼測站資料,總共 15 個測站(如圖 4.17 a)。分析時間為 2005 年 07 月 15 日 1500 UTC 至 2005 年 07 月 20 日 0500 UTC, 並利用所有島嶼地面測站(測站平 均高度為20.8m)之風向風速計算出相對於颱風系統之徑向風(扣除颱 風移動速度,移動速度則是利用中央氣象局之逐時路徑所求),並平 均所有島嶼地面測站所求得的徑向風,了解徑向風隨颱風越接近地形 時的分布情況。從圖 4.17 b 顯示大約 07 月 17 日 0300 UTC 以前, 徑向內流介於 2-6 m s<sup>-1</sup>, 期間並無太大的變化。而 07 月 17 日 0300 UTC 之後,徑向內流則增強的幅度變大。而其中可以看到 07 月 16 日 2200 UTC 時(衛星資料觀測時間點),徑向風風速大約為 5 m s<sup>-1</sup>(徑向內流), 07 月 17 日 1000 UTC 時(衛星資料觀測時間點), 徑向風風速大約為 8ms (徑向內流),這期間徑向內流大概增強3m s<sup>-1</sup>,其觀測現象與衛星資料觀測結果一致。另外,單獨分析彭佳嶼測 站(測站高度為 101.7 m )相對於颱風系統之徑向風,計算方式與 QuikSCAT 衛星資料之徑向風分析相同,從圖 4.17 c 顯示彭佳嶼測站 之徑向風大約在 07 月 17 日 1200 UTC 以前,大致上皆為徑向內流, 並其風速皆在 5 m s<sup>-1</sup> 以內,而在 07 月 17 日 1200 UTC 之後,徑向 內流轉變為徑向外流,並徑向外流有逐漸增強現象,直至颱風登入台 灣後,徑向外流發展才漸漸減弱。而地面測站資料之徑向風分析中, 利用日本氣象廳沖繩縣南方島嶼測站資料所求得之徑向風,在此研究 雷達雙都卜勒合成資料分析時間期間,徑向風為徑向內流,而彭佳嶼 测站資料所求得之徑向風,在此期間徑向風為徑向外流。

21

## 3.探空資料之徑向風分析

本研究想透過石垣島探空資料嘗試釐清徑向風內外流之垂直分 佈特徵,並分析該垂直分佈特徵是否隨颱風接近地形而改變。分析時 間為2005年07月15日 0000 UTC 至 2005年07月18日 0000 UTC,探 空資料為 12 小時 1 筆,共 7 筆。利用石垣島探空資料之風向風速 計算出相對於颱風系統之徑向風(扣除颱風移動速度,移動速度則是 利用中央氣象局之逐時路徑所求),並使用線性內差法求得每小時之 徑向風變化。圖4.14為石垣島探空資料之徑向風,圖中顯示07月16日 1200 UTC 前,徑向風垂直變化不大,風速皆在 -5 至 5 m s<sup>-1</sup> 之間, 僅在16日0000 UTC至1200 UTC 高度 1 km以下有發展至 10 m s<sup>-1</sup> 之徑向內流。在 16日 1200 UTC 至颱風登陸台灣陸地前,約 1 至 3 km 有徑向外流(0-10 m s<sup>-1</sup>),可以發現低層徑向內流發展高度不高, 高度大約為1 km左右 ,甚至在07月17日 0000 UTC 只發展約至0.5 km。大致上顯示,颱風越靠近台灣地形時,徑向內流有增強的現象, 而徑向內流的發展高度只愛限於 2 km以下。

Culture U

## 第五章 結論

本研究首次利用雷達觀測資料(五分山及花蓮雷達),並配合地面觀 測資料分析 2005 年海棠颱風路徑向南偏過程中之風場結構特徵及變 化。經由分析討論後,主要得到了以下分析成果,對於海棠颱風路徑 南偏時結構的變化有更進一步的了解。

由雷達雙都卜勒合成的回波場與風場之水平與垂直結構分析顯示, 颱風在路徑南偏前與南偏後的回波場顯示,眼牆強對流區皆維持在颱 風中心東側與東南側,而風場則有較大的變化,綜合風場分析顯示颱 風中心東側的風速有持續減弱現象,而颱風中心西側的風速並無受到 地形破壞減弱,反而有增強的現象,強風速區域則會隨颱風越靠近地 形時,由颱風中心東側轉變至西側。另外,台灣東部近岸的平均切向 風隨著颱風越接近地形時有增強的現象、颱風路徑南偏前,平均切向 風的垂直分佈上並無太大差異, 而颱風路徑南偏期間, 則在 3km 以 下的切向風速有明顯增強情況,此顯示地形對於切向風有明顯的影響 作用。這些雷達反演風場特徵與過去針對南偏颱風數值模擬研究(Jian and Wu 2008、Huang et al. 2011)之特徵一致。另外 Wu et al.(2015) 提 出颱風中層非對稱駛流的新機制,颱風東側中層風速減弱,而西側中 層風速增強或保持不變,而導致中層駛流有向南分量,因而使颱風南 偏,並認為通道效應並不是一個普遍的象徵。而在本研究中,雖然主 要顯示颱風中心西側的風速在低層(3 km 以下)有較明顯的增強現象 外,在中層(高度 3-6 km)也有看到西側中層風速增強的情況。另外, 從台灣東部近岸的平均切向風也顯示中層(高度 4-6 km) 之平均切向 風有增強的現象,儘管增強幅度較低層小。此部份氣流特徵未來可更 深入的探討。

為了更進一步了解颱風環流受地形影響的程度,分析垂直於地形 走向的上游風場(即 Cross-Barrier Flow),結果顯示低層(3 km 以下) 的 Cross-Barrier Flow 隨著颱風越靠近地形時,減速的情形明顯較高 層劇烈。但在海棠颱風路徑開始南偏期間,台灣地形與颱風之間的風速,並無受到地形阻擋效應而減弱,反而有增強的現象。這些特徵顯 示地形阻擋效應對於海棠颱風路徑南偏的重要性。



# 参考文獻

- Bender, M. A., R. E. Tuleya, and Y. Kurihara, 1987: A numerical study of the effect of island terrain on tropical cyclones. *Mon.Wea. Rev.*, **115**, 130–155.
- Brand, S., and J. W. Blelloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 708–713.
- Chang, C.-P., T.-C. Yeh, and J. M. Chen, 1993: Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan. *Mon. Wea.Rev.*, **121**, 734–752.
- Chang, S. W., 1982: The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. *Mon. Wea.Rev.*, **110**, 1255–1270.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Huang, Y.-H., C.-C. Wu, and Y. Wang, 2011: The influence of island topography on typhoon track deflection. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1708–1727
- Jian, G.-J., and C.-C. Wu, 2008: A numerical study of the track deflection of Super-Typhoon Haitang (2005) prior to its landfall in Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 598–615.
- , C.-S. Lee, and G. T. J. Chen, 2006: Numerical simulation of Typhoon Dot (1990)
   during TCM-90: Typhoon Dot's discontinuous track across Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 17, 23–52.
- Lin, Y.-L., J. Han, D. W. Hamilton, and C.-Y. Huang,1999: Orographic influence on a drifting cyclone. *J. Atmos. Sci.*, **56**,534–562.
- —, S.-Y. Chen, C. M. Hill, and C.-Y. Huang, 2005: Control parameters for the influence of a mesoscale mountain range on cyclone track continuity and deflection. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 1849–1866.
- Mohr, C. G., and L. J. Miller, 1983: CEDRIC-A software package for Cartesian

space editing, synthesis, and display of radar fields under interactive control. Preprints, *21st Conf. on Radar Meteorology*, Edmonton, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 569-574.

- Oye, R., C. Mueller, and S. Smith, 1995: Software for radar translation, visualization, editing, and interpolation. Preprints, 27th Conf. on Radar Meteorology, Vail, CO, Amer. Meteor. Soc., 359-361.
- Peng, M. S., and S. W. Chang, 2002: Numerical forecasting experiments on Typhoon Herb (1996). J. Meteor. Soc. Japan, 80,1325–1338.
- Pierrehumbert, R. T., and B. Wyman, 1985: Upstream effects of mesoscale mountains. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 977-1003.
- Wang, S.-T., 1980: Prediction of the movement and strength of typhoons in Taiwan and its vicinity (in Chinese). National Science Council Research Rep. 108, Taipei, Taiwan, 100 pp.
- Wu, C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: Current understanding and future challenges. Bull. Amer. Meteor. Soc., 80, 67–80.
- —, 2001: Numerical simulation of Typhoon Gladys (1994) and its interaction with Taiwan terrain using the GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1533–1549.
- —, T.-H. Yen, Y.-H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall simulation associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The topographic effect. *Wea. Forecasting*, **17**, 1001–1015.
- —, T.-H. Li , and Y.-H. Huang, 2015: Influence of Mesoscale Topography on Tropical Cyclone Tracks : Further Examination of the Channeling Effect. J. Atmos. Sci., 72, 3032-3050
- Yeh, T.-C., and R. L. Elsberry, 1993a: Interaction of typhoons with the Taiwan

orography. Part I: Upstream track deflections. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3193–3212.

- —, and —, 1993b: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part II: Continuous and discontinuous tracks across the island. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3213–3233.
- Yu,C.- K., and L.- W. Cheng, 2008: Radar observations of intense orographic precipitation associated with Typhoon Xangsane (2000).*Mon. Wea. Rev.*, **136**, 497-521.
- —, and —,2013: Distribution and mechanisms of orographic precipitation associated with Typhoon Morakot (2009).*J.Atmos.Sci.*,**70**, 2894-2915.
- —, and —, 2014: Dual-Doppler-derived profiles of the southwesterly flow associated with southwest and ordinary typhoons off the southwestern coast of Taiwan. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 3202-3222.
- Yue, J.,Z. Meng, C.-K. Yu, and L.-W. Cheng, 2017: Impact of coastal radar observability on the forecast of track and rainfall of typhoon Morakot (2009) using a WRF-based EnKF data assimilation. Adv. Atmos. Sci., 34, 66-78.



	五分山	花蓮	
經度	121.77°E	121.62°E	
緯度	25.07°N	23.99°N	
海拔高度	766 m	63 m	
天線增益	45.6 dB	45.5 dB	
波長	10 cm	10 cm	
頻率	2.7 – 3.0 GHz	2.7 – 2.9 GHz	
波束寬	0.95°	0.95°	
脈波往返頻率	318 – 1304 Hz	250 – 1302 Hz	
最大觀測範圍	230 km	230 km	
脈波長	1.6 μs	0.5 μs	
最小接收訊號	-133 dBm	< -112 dBm	
空間解析度	1 km (回波)	1 km	
	250 m (徑向風)		
最大旋轉速率	6 RPM	6 RPM	
最大功率	750 kW	750 kW	
仰角	0.4 \ 1.4 \ 2.3 \ 3.3 \ 4.2 \ 6.0 \	0.5 \ 1.4 \ 2.4 \ 3.4 \ 4.3 \ 6.0 \	
	9.8、14.5、19.5° 土 倍	$9.9 \cdot 14.5 \cdot 19.5^{\circ}$	

表1 五分山與花蓮雷達規格表。



表 2 雙都卜勒風場合成的基準時間與五分山、花蓮雷達資料的時間 表。

基準時間	五分山雷達 花蓮雷達	
(REFERENCE TIME)	(WFS)	(HL)
07/17 19:38:00	07/17 19:37:37	07/17 19:38:06
07/17 19:48:00	07/17 19:49:19	07/17 19:48:05
07/17 19:58:00	07/17 20:01:00	07/17 19:58:05
07/17 20:08:00	07/17 20:06:50	07/17 20:08:08
07/17 20:18:00	07/17 20:18:32	07/17 20:18:05
07/17 20:28:00	07/17 20:30:13	07/17 20:28:05
07/17 20:38:00	07/17 20:36:06	07/17 20:38:05
07/17 20:48:00	07/17 20:47:47	07/17 20:48:05
07/17 20:58:00	07/17 20:59:28	07/17 20:58:05
07/17 21:08:00	07/17 21:11:11	07/17 21:08:08
07/17 21:18:00	07/17 21:17:02	07/17 21:18:05
07/17 21:28:00	07/17 21:28:44	07/17 21:28:05
07/17 21:38:00	07/17 21:40:25	07/17 21:38:05
07/17 21:48:00	@ 07/17-21:46:15 @	07/17 21:48:05
07/17 21:58:00	07/17 21:57:58	07/17 21:58:05
07/17 22:08:00	07/17 22:09:42	07/17 22:08:08
07/17 22:18:00	07/17 22:15:33	07/17 22:18:06
07/17 22:28:00	07/17 22:27:15	07/17 22:28:06

表 3 颱風中心定位與颱風移動向量

基準時間	颱風中心位置		中心位置 颱風移動向量			
(REFERENCE TIME)	大地座標	大地座標	東西方向 m s <sup>-1</sup>	南北方向 m s <sup>-1</sup>		
	X(m)	Y(m)				
颱風南偏前一小時 (TIME_1)						
	r	r	Γ	Γ		
07/17 19:38:00	414141.00	2643267.75	-4.84	5.25		
07/17 19:48:00	411356.62	2646750.00	-6.56	5.82		
07/17 19:58:00	405634.53	2649986.75	-7.46	4.27		
07/17 20:08:00	402735.62	2651466.75	-8.02	3.87		
07/17 20:18:00	396867.25	2652393.50	-8.27	1.28		
07/17 20:28:00	391735.00	2656093.00	-8.95	4.38		
颱風小時平	立均移動向量		-7.35	4.14		
	颱風南偏	第一小時 (	TIME_2)			
	Sei	x x W. Jan				
07/17 20:38:00	387065.68	2657959.50	-12.00	2.84		
07/17 20:48:00	378251.00	2658040.75	-10.76	-0.76		
07/17 20:58:00	370703.50	2655529.00	-10.64	-2.53		
07/17 21:08:00	364910.21	2650687.50	-8.18	-8.71		
07/17 21:18:00	364116.81	2646084.50	0.45	-7.77		
07/17 21:28:00	363844.62	2646193.75	-0.90	3.70		
颱風小時平	2均移動向量		-7.01	-2.20		
颱風南偏第二小時 (TIME_3)						
07/17 21:38:00	359845.75	2652862.25	-7.71	11.31		
07/17 21:48:00	353290.03	2649412.25	-13.54	-9.54		
07/17 21:58:00	348568.00	2646091.75	-7.67	-6.30		
07/17 22:08:00	344822.43	2643239.00	-5.82	-2.73		
07/17 22:18:00	340507.15	2641819.50	-10.90	-1.97		
07/17 22:28:00	331918.53	2637421.00	-12.71	-10.02		
颱風小時平	产均移動向量	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-9.72	-3.21		



圖 2.1 本研究所使用的資料分布及地形結構圖。色階為地形高度(m),三角符號 代表都卜勒雷達站位置,五分山(WFS)、花蓮(RCHL)。黑圓點代表地面測站,分 別為彭佳嶼(Pengjia)、所野(Tokorono,TR)、與那國島(Yonagunijima,YNG)、西 表島(Iriomotejima,IO)、大原(Ohara,OH)、波照間(Hateruma,HR)、志多阿原 (Shitaabaru,STB)、石垣島(Ishigakijima,IG)、真栄里(Maezato,MZ)、伊原間 (Ibaruma,IBM)、仲筋(Nakasuji,NS)、多良間(Tarama,TRM)、下地(Shimoji, SM)、伊良部(Irabu,IB)、宮古島(Miyakojima,MY)與鏡原(Kagamihara,KH)。 圖中方框為雙都卜勒風場反演的範圍,大小為 130 x 140 km。



圖 2.2 此圖為五分山與花蓮雷達交角範圍。色階為地形高度(m),紅 色三角形符號代表雙都卜勒雷達站位置,分別為五分山(WFS)及花蓮 (RCHL),黑色實線為兩個雷達的電磁波波數束交角(Cross-Beam Angle),紅色方框範圍為雙都卜勒風場反演範圍,雙都資料只使用介 於 30°至 150°的電磁波波束交角。



圖 2.3 弱回波颱風中心定位路徑圖。色階為地形高度(m),紅色三角 形符號為花蓮雷達站位置,圓點為弱回波颱風中心定位,起始時間為 07月17日 1938 UTC (始末時間標示於圖上,每10分鐘1筆,共18 筆),藍色為 TIME\_1,紫色為 TIME\_2,綠色為 TIME\_3。棕線為中 央氣象局逐時路徑,颱風中心以 9 符號標示,起始點為 07月17日 1800 UTC (始末時間標示於圖上)。



圖 3.1 2005 年海棠(編號第 5 號)颱風路徑圖,颱風中心定位每隔 6 小時1筆,時間為 UTC。



圖 3.2 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、 (g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i) 2228 UTC。



圖 3.3 1 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單 位為 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ,間距 為 5 dBZ),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、 (d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i) 2228 UTC。



圖 3.4 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、(d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、 (g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i) 2228 UTC。



圖 3.5 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單 位為 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ,間距 為 5 dBZ),時間分別為(a) 1948 UTC、(b) 2008 UTC、(c) 2028 UTC、 (d) 2048 UTC、(e) 2108 UTC、(f) 2128 UTC、(g) 2148 UTC、(h) 2208 UTC、(i) 2228 UTC。



圖 4.1 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3之1 km 高度的平均雙都 卜勒合成風場及回波場。a、c、e (色階為回波值,單位 dBZ,間距如圖上所標 示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、 d、f (色階為風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ, 間距為 5 dBZ),時間依序為 TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。黑色箭頭為颱風移動 向量(m s<sup>-1</sup>)。



圖 4.2 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3 之 3 km 高度的平均雙都 卜勒合成風場及回波場。a、c、e (色階為回波值,單位 dBZ,間距如圖上所標 示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、 d、f (色階為風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ, 間距為 5 dBZ),時間依序為 TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。黑色箭頭為颱風移動 向量(m s<sup>-1</sup>)。



圖 4.3 (a、b) TIME\_1、(c、d) TIME\_2、(e、f) TIME\_3 之 5 km 高度的平均雙都 卜勒合成風場及回波場。a、c、e (色階為回波值,單位 dBZ,間距如圖上所標 示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>), b、 d、f (色階為風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ, 間距為 5 dBZ),時間依序為 TIME\_1、TIME\_2、TIME\_3。黑色箭頭為颱風移動 向量(m s<sup>-1</sup>)。



圖 4.4(a) 2 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為風速(單 位為 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示),等值線為回波值(單位為 dBZ,間距 為 5 dBZ),時間為 1948 UTC。藍線為以颱風中心為基準點,各自向 正東與正西取 100 km 之剖面。(b)同 a,藍線區域內為以颱風中心正 北為 0°,方位角 60°至 120°與 240°至 300°,半徑 100 km 之扇 形區域內風速之徑向平均。



圖 4.5 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 平均雙都卜勒合成的風 場及回波場垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相對於地 表之風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為回波值,單位 為 dBZ,由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。



圖 4.6 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相對於颱風之徑向 風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為遠離颱風中心,負值為 靠近颱風中心,等值線為回波值,單位為 dBZ,由粗至細分別為 40、 30、20 dBZ。



圖 4.7 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之切向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4(a)藍線。色階為相對於颱風之切向 風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為回波值,單位為 dBZ, 由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。



圖 4.8 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 平均雙都卜勒合成的 風場及回波場垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為相對於 地表之風速,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為遠離颱風中心, 負值為靠近颱風中心,等值線為回波值,單位為 dBZ,由粗至細分別 為 40、30、20 dBZ。



圖 4.9 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為相對於颱風之徑向 風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值為遠離颱風中心,負值為 靠近颱風中心,等值線為回波值,單位為 dBZ,由粗至細分別為 40、 30、20 dBZ。



圖 4.10 (a) TIME\_1、(b) TIME\_2、(c) TIME\_3 相對於颱風系統之徑向 風垂直剖面圖,剖面位置如圖 4.4 (b)藍線。色階為相對於颱風之切向 風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,等值線為回波值,單位為 dBZ, 由粗至細分別為 40、30、20 dBZ。



圖 4.11 (a) 4 km 高度之雙都卜勒合成的風場及回波場,色階為回波值 (單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),圖中方框為台灣地形東岸平均切 向風之分析範圍(30 x 60 km)。(b)圖(a)方框中之平均切向風隨時間 及高度的變化圖。



圖 4.12 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與Cross-Barrier Flow分佈圖, 色階為回波值(單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速 (half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),等值線為 Cross-Barrier Flow,黑線為正值(表示 Flow 靠近地形),灰線為負值(表 示 Flow 遠離地形)。時間分別為(a) 1938 UTC、(b) 1948 UTC、(c) 1958 UTC、(d) 2008 UTC、(e) 2018 UTC、(f) 2028 UTC、(g) 2038 UTC、 (h) 2048 UTC、(i)2058 UTC



圖 4.12 (續),時間分別為(j) 2108 UTC、(k) 2118 UTC、(l) 2128UTC、 (m) 2138 UTC、(n) 2148 UTC、(o) 2158 UTC、(p) 2208 UTC、(q) 2218 UTC、(r)2228 UTC。



圖 4.13 (a) 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與 Cross-Barrier Flow 分 佈圖,色階為回波值(單位為 dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向 風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),等值線 為 Cross-Barrier Flow,正值表示 Flow 靠近地形,圖中紅色方框則為 Cross-Barrier Flow 平均區域之分析範圍。(b-f)為圖(a)中 A-A'範圍沿 y 方向平均之 Cross-Barrier Flow 隨時間變化,高度依序為 1、2、3、 4、7 km,色階為 Cross-Barrier Flow (m s<sup>-1</sup>)。



圖 4.14 (a) 1 km 高度之雙都卜勒合成回波場與 Cross-Barrier Flow 分佈圖,色階 為回波值(單位為dBZ,間距如圖上所標示),風標為風向風速(half-bar = 2.5 m s<sup>-1</sup>, full bar = 5 m s<sup>-1</sup>, flag = 25 m s<sup>-1</sup>),等值線為 Cross-Barrier Flow,正值表示 Flow 靠近地形,圖中紅色方框則為 Cross-Barrier Flow 平均區域範圍。(b)平均(a)所選 取區域內之 Cross-Barrier Flow 作為較有代表性的 U 所計算之 Froude number 時 間序列圖,其值介於 1.5 至 2.5 之間,整體平均為 1.3。(c) 0-10 km 的切向風場中 選取最大切向風代表 U 所計算之渦流 Froude number 時間序列圖,其值介於 1.5 至 3 之間,整體平均為 2.1。



圖 4.15 0.25 km 高度之雙都卜勒合成的回波場與相對於颱風之徑向 風分佈圖,等值線為回波值(單位為 dBZ,間距為 5 dBZ),色階為徑 向風(單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所標示,正值代表徑向風靠近風中心, 負值則為遠離)。時間分別為(a) 1938 UTC、(b) 1958 UTC、(c) 2018 UTC、(d) 2038 UTC、(e) 2058 UTC、(f) 2118 UTC、(g) 2138 UTC、 (h) 2158 UTC、(i)2218 UTC。



圖 4.16 利用 QuikSCAT 衛星反演風場所計算之徑向風,色階為徑向風,單位 m s<sup>-1</sup> 。黑線為氣象局逐時路徑,黑點為颱風中心位置,藍點為以颱風環流定的颱風中心位置,黑色同心圓是以藍點為中心之輔助線。(a) 07 月 16 日 2200 UTC、(b) 07 月 17 日 1000 UTC。



圖 4.17 (a)日本氣象廳沖繩縣南方島嶼測站位置分佈圖。(b)日本島嶼 測站之平均徑向風隨時間變化圖。上圖平均徑向風(單位 m s<sup>-1</sup>),下圖 為颱風中心位置與島嶼測站之距離,藍星號為衛星資料分析時間,綠 色星號為雙都卜勒雷達分析時間,紅星號為颱風登陸台灣時間。(c) 同(b),但為彭佳嶼測站之徑向風。



圖4.18 石垣島探空風向風速資料所計算之徑向風隨高度及時間的變 化圖,色階為徑向風,單位 m s<sup>-1</sup>,間距如圖上所示。虛線為颱風登 陸之時間點。