

中國文化大學地學研究所大氣科學組  
碩士論文

Graduate Institute of Earth Science (Atmospheric Sciences Section)  
Chinese Culture University  
Master Thesis

颱風雨帶地面觀測特徵之分析研究

Study on Surface Features of Typhoon Rainbands



指導教授：游政谷 博士  
Advisor : Professor Cheng-Ku Yu

研究生：陳澄  
Graduate Student : Ying Chen

中華民國 99 年 6 月  
June 2010

## 摘要

本研究利用中央氣象局七股、墾丁及五分山都卜勒雷達資料分析 2000~2008 年間通過台灣沿岸及離島氣象站之颱風雨帶。檢視此期間之雷達回波資料，共找出 263 個颱風雨帶。統計結果顯示，雨帶多分佈於颱風行進方向的右前方及左前方且大多距離颱風中心 300 公里以內，雨帶之寬度平均為 18.1 km，雨帶之移動速度平均為  $11.2 \text{ m s}^{-1}$ 。

由高解析度地面觀測資料的分析顯示，雨帶內平均擾動溫度下降約  $0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，平均擾動露點溫度下降約  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ；平均擾動氣壓在雨帶的外邊界有一極小值，並在內邊界的內側有一極大值，相差約  $0.15 \text{ mb}$ ，且發現有一類似波動的變化；平均擾動相當位溫在邊界內下降約  $1.2 \text{ K}$ ，但平均擾動相對濕度卻上升約  $2\%$ ，其顯示出雖然平均擾動露點溫度的下降(即雨帶內水氣量減少)，但平均擾動溫度下降幅度更大(即飽和水氣壓下降更多)，造成雨帶內平均擾動相對濕度的上升及擾動相當位溫的下降。平均擾動橫越雨帶氣流顯示雨帶內部低層氣流為內流，並下降約  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，相較之下平均擾動平行雨帶氣流的變化較微弱，僅於內邊界內側有一極小值；平均擾動風速顯示出雨帶內部風速逐漸增強，由平均擾動風向的分析可得知雨帶內風向呈順時鐘旋轉；平均擾動降雨率在雨帶中心軸與內邊界之間有一極大值，與外邊界及內邊界的極小值相差  $12 \text{ mm hr}^{-1}$ ；平均擾動雷達回波在雨帶中心軸達到極大值，往外邊界及內邊界逐漸減弱。

由雨帶邊界內氣象參數的振幅分析顯示，隨著與颱風中心徑向距離的增加，溫度、露點溫度、相當位溫及相對濕度的振幅都顯著的增加。但橫越雨帶的氣流、平行雨帶的氣流、風速及風向的振幅並無明顯的變化。

## 誌謝

本論文得以完成歸功於眾多人的幫助，首先要感謝指導教授 游政谷博士在這兩年細心的指導與督促，最後的研究成果僅是兩年的冰山一角，從老師身上學到的研究精神及為人處世才是研究所兩年來真正的收穫。此外，感謝台灣大學 吳俊傑博士及中央大學 楊明仁博士兩位口試委員的細心審閱與寶貴建議，使得本研究論文更趨完整且充實。

在研究過程中，因為需要使用大量的資料，在此承蒙許多人的幫忙，中央氣象局副局長 紀水上先生、預報中心 蔡立夫課長、衛星中心 張保亮課長、時任服務科 錢根樹先生，飛航服務總臺時任飛航業務室氣象課 陳海根先生，台大大氣資料庫 楊明錚先生，日本氣象廳 下重和義先生，日本名古屋大學 上田博教授，因為您們的幫助，減輕我在搜集資料上的困難。

在學習過程中，要感謝系上所有老師的指導，所幸有信凱學長不厭其煩的教導以及無私的幫忙、凌文學長程式一流的指導、嘉倫學長研究方法上的建議、給予鼓勵的哲佑學長、總是把錢管好好的瑩薰學姐，以及同屆好同學們的陪伴，衷心感謝你們，你們充實且圓滿了這段刻苦銘心的日子。

家人的支持是我完成論文的最大動力，由衷感激我的父母，謝謝你們多年來無怨無悔的付出與支持，特別要感謝我的姊姊、奶奶、叔叔、嬸嬸、大舅舅、大舅媽，謝謝你們在我求學過程中給予的幫助，愛犬歐趴的溫馨陪伴，以及始終相互扶持與鼓勵的亦堅，因為有你們，才得以成就敝人今日小小的成就。

最後再次感謝所有曾經給予幫助的貴人，本論文絕非我一人之力所能完成，在此致上我誠摯的謝意並將這份成果獻給大家。

## 目錄

摘要.....	I
誌謝.....	II
目錄.....	III
圖表說 .....	V
第一章 文獻回顧與研究動機.....	1
(一) 文獻回顧.....	1
(二) 研究動機與目的.....	4
第二章 資料及颱風雨帶選取.....	5
(一) 資料.....	5
1. 資料來源.....	5
2. 都卜勒雷達之特性與處理.....	5
(二) 颱風雨帶選取.....	7
第三章 颱風雨帶概述.....	9
(一) 選取雨帶的颱風.....	9
(二) 雨帶通過氣象站時的颱風強度.....	9
(三) 雨帶與颱風中心之徑向距離.....	9
(四) 雨帶相對於颱風行進方向分佈的象限.....	10
(五) 雨帶通過之地面氣象站及數量.....	10
(六) 雨帶通過氣象站的時間.....	10
(七) 雨帶之寬度.....	11
(八) 雨帶之移動速度.....	11
(九) 觀測雨帶之都卜勒雷達站及仰角.....	11
第四章 颱風雨帶地面觀測特徵之分析.....	12
(一) 颱風雨帶地面平均變化特徵.....	12
1. 合成方法.....	12
2. 結果描述.....	13
(二) 颱風雨帶氣象參數振幅分析.....	14

第五章 結論與未來展望.....	17
參考文獻.....	19



## 圖表說

- 表1 由左至右分別為2000~2008年263個颱風雨帶之編號、外邊界時間、中心軸時間、內邊界時間(時間單位皆為UTC)、通過之氣象站名稱(PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站)、中心軸時間時颱風之強度(輕、中、強分別代表輕度颱風、中度颱風及強度颱風)、與颱風中心的徑向距離(單位為公里)、通過氣象站之時間(單位為分鐘)。.....22
- 表2 2000~2008年263個雨帶依雨帶通過氣象站時的颱風強度及各颱風強度之個數統計。.....31
- 表3 2000~2008年263個雨帶依雨帶與颱風中心之徑向距離(單位為公里)及各徑向距離個數統計。.....32
- 表4 2000~2008年263個雨帶通過之氣象站與觀測通過各氣象站雨帶其都卜勒雷達站及仰角，下表中PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站。.....33
- 表5 2000~2008年264個雨帶依寬度(單位為公里)及各寬度個數統計。.....34
- 表6 2000~2008年264個颱風雨帶各氣象參數振幅的平均值、最大值及標準差。.....35
- 圖3.1 2000~2008年263個雨帶之颱風的路徑圖(共37個颱風)。灰線為海岸線，台灣以灰色填滿。色階及不同符號代表各颱風之最佳路徑(每隔6小時一點，時間單位為UTC)，其颱風名稱標示於圖右方(資料來源：中央氣象局)。▲符號為雷達站所在位置，虛線圓圈為各雷達掃描之範圍。.....36
- 圖3.2 相對於颱風行進方向及雨帶分佈位置之象限圖，箭頭代表颱

風之行進方向，颱風中心以 $\odot$ 符號標示，一個雨帶以一個點代表，距離間隔為50公里(灰色圓圈)。颱風行進之右前方、左前方、左後方、右後方以I、II、III、IV符號標示，分別代表相對於颱風行進方向之第一象限、第二象限、第三象限及第四象限。.....37

圖3.3 2000~2008年263個颱風雨帶通過之氣象站及數量。色階部份為地形高度(單位為公尺)，間距如圖上方所標示。圖中PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY(由北而南)分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站(★為氣象站所在位置)，WFS、CG、KT分別代表中央氣象局五分山、七股、墾丁都卜勒雷達站(▲為雷達站所在位置)。各氣象站名稱旁之方框為通過此氣象站之雨帶的數量。.....38

圖 3.4 2000~2008 年 263 個雨帶通過氣象站之時間及各時間個數統計圖，黑色粗實線表示在各時間內雨帶發生的個數，個數標示於圖左方，時間以每 10 分鐘為單位，並標示於圖下方。.....39

圖3.5 2000~2008年263個雨帶在邊界內之移動速度及各移動速度個數統計圖，黑色粗實線表示在各移動速度內雨帶發生的個數，個數標示於圖左方，移動速度以每 $2.0 \text{ m s}^{-1}$ 為單位，並標示於圖下方。.....40

圖4.1 2000~2008年263個雨帶合成之地面觀測特徵，由上至下(左欄為黑實線、右欄為虛線)分別為：擾動溫度( $T'$ )、擾動露點溫度( $T_d'$ )(點虛線)、擾動相對濕度( $RH'$ )、擾動氣壓( $P'$ )、擾動相當位溫( $EPT'$ )、擾動橫越雨帶氣流( $V_c'$ )、擾動平行雨帶氣流( $V_p'$ )、擾動風速( $W_s'$ )、擾動風向( $W_d'$ )、擾動降雨率( $RR'$ )、擾動雷達回波( $Ref.'$ )隨時間的變化。雨帶的外邊界及內邊界在圖下方的橫軸分別標示為-0.5及0.5。.....41

- 圖4.2 2000~2008年263個雨帶合成之氣象參數振幅，由上至下分別為：擾動氣壓振幅( $\Delta P'$ )、溫度振幅( $\Delta T$ )、露點溫度振幅( $\Delta T_d$ )、相當位溫振幅( $\Delta EPT$ )、相對濕度振幅( $\Delta RH$ )。雨帶與颱風中心的徑向距離標示在圖下方，間距為20km。.....42
- 圖4.3 同圖4.2但為橫越雨帶氣流振幅( $\Delta V_c$ )、平行雨帶氣流振幅( $\Delta V_p$ )、風速振幅( $\Delta W_s$ )、風向振幅( $\Delta W_d$ )。.....43
- 圖5.1 2000~2008年263個雨帶之平均地面觀測特徵示意圖。雲區代表雨帶位置，以淺灰色填滿，強降雨區以深灰色填滿。箭頭為平均擾動橫越雨帶氣流( $V_c'$ )、黑曲線為平均擾動氣壓( $P'$ )、虛線為平均擾動相當位溫( $EPT'$ )的變化。.....44





## 第一章 文獻回顧與研究動機

### (一) 文獻回顧

早期雷達觀測就已發現熱帶氣旋內的降水分佈相當不均勻，但會在某些局部區域呈現有組織、帶狀的特徵，便稱之為「雨帶」或是「螺旋雨帶」(Wexler 1947；Ligda 1955；Senn and Hiser 1959)。從氣象雷達及衛星可看出雨帶是熱帶氣旋中最顯著且持續的結構之一(Willoughby et al. 1984；Gall et al. 1998；Cecil et al. 2002)，並且通常包含較大的降雨及較強的風速(Anthes 1982；Ryan et al. 1992；Samsury and Zipser 1995)。雨帶對於熱帶氣旋演變及強度變化之重要性已被認知(Barnes et al. 1983；Willoughby 1990；May and Holland 1999；Wang 2009)，但現今對雨帶的地面觀測特徵仍不甚了解。

由於熱帶氣旋雨帶一般以明顯的胞狀回波形式所構成(例如 Barnes et al. 1983)，因此可以預料因雨帶的對流活動及降雨造成之氣象參數的變化將會十分顯著。可惜的是早期針對雨帶的研究使用相對較粗糙的雷達及地面氣象站資料，所以對於地面觀測特徵的描述較為不清楚。Wexler(1947)與Ligda(1955)研究數個通過佛羅里達的颶風雨帶，從地面觀測資料分析顯示出雨帶包含強降雨區域、風向順時鐘旋轉、風速增強及溫度降低。Ushijima(1958)利用地面測站資料研究三個颱風的雨帶，其分析顯示當雨帶通過測站時的主要觀測特徵包含 1. 降雨強度增強； 2. 氣壓在雨帶到達前開始下降，當雨帶通過後即突然增加。當雨帶通過測站時，氣壓會有小的擾動； 3. 多數個案溫度下降且濕度增加； 4. 當雨帶到達測站前，風向變為順時鐘旋轉，在雨帶通過後，風向轉變為原本的風向。

Skwira et al. (2005)利用 Wind Engineering Mobile Instrumented Tower Experiment (WEMITE) 中的地面塔及雷達觀測資料來研究颶風 Bonnie(1998)和 Dennis(1999)共十個登陸雨帶的地面特徵。他們的分析指出雨帶內氣溫及露點溫度的擾動相當微弱( $< 1^{\circ}\text{C}$ )；然而，部份雨

帶之相當位溫下降非常顯著(3~10 K)。

近期，Yu and Tsai(2010)使用高時間解析度的地面觀測資料、都卜勒雷達及微波降雨雷達資料分析2005年龍王颱風兩個通過台灣北部氣象站的雨帶，其研究結果顯示兩個雨帶都有遠離颱風中心移動的情形，且雨帶具有明顯之對流上升運動( $5\sim 6\text{ m s}^{-1}$ )。並且在雨帶的邊界外兩側具有相對寬的層狀降水區域，此區域在高(低)對流層具有微弱的向上(向下)垂直運動。在地面觀測的分析顯示出在雨帶外(內)邊界氣壓較低(高)、橫越雨帶的氣流相對較強(弱)且溫度較暖(冷)。

過去大多數對於雨帶的研究是利用飛機雷達觀測資料分析(Barnes et al. 1983 ; Willoughby et al. 1984 ; Barnes and Stossmeister 1986 ; Powell 1990a,b ; Barnes et al. 1991)，在這些研究中有發現到熱帶氣旋雨帶具有明顯的內流減速及相當位溫降低等特性。此外，有些研究發現，熱帶氣旋雨帶為有利於增強風速的區域。綜觀而言，這些研究提出邊界層變異(內流的減速、相當位溫的降低及風速增強)對於對流活動有直接的貢獻，隨著較多對流性活動之雨帶會引起較大尺度的邊界層變異，如果空間及時間夠大，即可能對母體熱帶氣旋整體的強度產生直接的影響。

早期，雨帶對熱帶氣旋的演變及強度之可能重要性已被探究過，Simpson(1965)認為在適當且接近眼牆的雨帶投擲碘化銀可能會導致雨帶強度增強且發展成一個具有較舊眼牆更大半徑之新眼牆。因此如果角動量守恆為可應用的，當眼牆半徑逐漸擴大時近中心之最大風速可能因此而減小。Shapiro and Willoughby(1982)的假說及Willoughby et al. (1982)觀測的重點皆為雙眼牆的結構。他們提出具有雙眼牆的颶風在位於眼牆外側的雨帶會內縮並抑制到達眼牆的雲下層空氣，導致原始的眼牆消散且雨帶將會取代眼牆的特性。1980年Allen颶風的最大風半徑、中心氣壓及水平回波形式有很巨大的變化，此即為雙眼牆的特性(Willoughby et al. 1982)。如果關於雙眼牆

的理論是正確的，那雨帶可能在調整颶風的大小及強度扮演著重要的角色(Barnes et al. 1983)。

先前的研究(Barnes et al. 1983；Powell 1990a,b；Wang 2002b,c)提出雨帶可能是經由幾種不同的物理過程影響颶風的強度。在動力上，向雨帶的質量輻合可能會減弱向眼牆的質量輻合，造成眼牆內上衝流及對流的減弱，並使颶風強度衰弱。或是由雨帶內的對流翻轉產生之補償性下沉，可能將乾空氣引入來抑制眼牆對流，使得颶風強度的發展受限(Willoughby et al. 1982；Shapiro and Willoughby 1982)。

Wang(2002b)經由模式的研究結果顯示出由外圍雨帶所造成之擾動，將導致眼牆的潰散致使颶風強度減弱；其並發現邊界層內流的阻塞是眼牆潰散及颶風強度減弱的關鍵因素。近期，模式的研究進一步探討外圍雨帶如何影響颶風結構及強度，Wang(2009)的模式結果顯示出強外圍雨帶的存在將限制颶風的強度；其指出外圍雨帶內雨滴的蒸發以及雪與軟雹的溶解所造成之冷卻與颶風強度及結構維持的關係甚密，因此環境的相對濕度對於颶風結構及強度的改變是非常敏銳的，若環境較潮濕將有利於較大的颶風、環狀颶風的結構及同心圓眼牆之發展；相反地若環境較乾燥則有利於較小並結構結實的颶風，但不利於環狀颶風或同心圓眼牆的形成。

### (一) 研究動機與目的

當大量模式與理論的研究探究雨帶的起因時，相對較少的觀測研究是描述雨帶通過地面氣象站的特性。在過去數十年及近幾年，絕大多數雨帶的觀測描述是經由飛機觀測(Jorgensen 1984；Barnes and Stossmeister 1986；Powell 1990a,b；Hence and Houze 2008)。儘管飛機觀測研究藉由雨帶範圍內降水、氣流和熱力特性使我們對雨帶的中尺度特性有更深一層的了解，但由於飛機飛行層固有的限制，大部分飛機觀測資料的收集通常限制高於平均海平面 150~500 公尺以上的

空曠海洋上方，因此我們對接近於地面雨帶結構特徵的了解相對不足。了解當雨帶通過地面氣象站時的特徵是非常重要的，不僅因為雨帶對於由熱帶氣旋造成之地面災情有顯著的影響，並且可更完整的詮釋當雨帶通過陸地時的觀測特徵。

本文第二章說明本研究所使用的資料來源與處理方法，並針對雨帶之選取作詳細的說明介紹。第三章對雨帶作概括性描述，包括雨帶相對於颱風行進方向的分佈、與颱風中心的徑向距離、通過氣象站之時間及寬度等等。第四章利用高時間解析度的地面氣象站資料詳細分析雨帶通過時的平均擾動情形，以及與颱風中心之不同徑向距離間雨帶氣象參數之振幅變化。最後，將主要的研究結果與未來工作整理於第五章。



## 第二章 資料及颱風兩帶選取

### (一) 資料

#### 1. 資料來源

- (1) 中央氣象局：七股(RCCG)、墾丁(RCKT)及五分山(RCWF)都卜勒雷達資料，每六到十分鐘一筆體積掃描(Volume scan)的雷達回波場。地面氣象站逐分資料。
- (2) 日本氣象廳：與那國島測候所逐分資料。

#### 2. 都卜勒雷達資料之特性與處理

##### (1) 七股都卜勒雷達

七股雷達位於 $120.06^{\circ}\text{E}$ ， $23.15^{\circ}\text{N}$ ，七股雷達為METEOR-1000S型s波段(10公分波長)都卜勒氣象雷達(與墾丁為同一規格，同為德國製造的氣象雷達)，雷達天線高度為30公尺，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。此雷達之機型、規格、掃描方式皆與五分山雷達類似，但其掃描策略為每8~10分鐘進行9個仰角的圓錐面掃描，分別為 $0.5^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}$ 、 $2.4^{\circ}$ 、 $3.4^{\circ}$ 、 $4.3^{\circ}$ 、 $6.0^{\circ}$ 、 $9.9^{\circ}$ 、 $14.6^{\circ}$ 及 $19.5^{\circ}$ 。雷達回波資料觀測範圍為460公里，徑向解析度為1公里，都卜勒徑向風以及頻譜寬資料範圍則為230公里，其徑向解析度為0.25公里。

雷達的資料前置處理：1)由於中央氣象局五分山雷達與墾丁雷達資料皆經壓縮後存放，故使用資料前需先解壓縮為Level II 資料，再轉為兩組氣象局資料格式資料。資料檔案的命名原則以七股雷達為例為：YYYYMMDDHHNNcgZ 及 YYYYMMDDHHNNcgW，其中YYYY為西元年、MM 為月份、DD 為日期、HHNN 為世界標準時(UTC)之時分，cg表示RCCG 雷達(即七股雷達，kt表示RCKT雷達，即墾丁雷達，wf表示RCWF雷達，即五分山雷達)，Z 表示雷達回波

資料，W 表示都卜勒徑向速度資料。再將此兩組氣象局資料格式轉為 universal format (UF data)，此為極座標之等仰角資料(PPI)(顏 2003)。2)將UF data轉換為雷達掃描面資料(sweep data)。3)再轉換為本研究室可分析利用之UF data，本文中所作雷達資料分析皆以此極座標等仰角資料為依據。

## (2) 墾丁都卜勒雷達

墾丁雷達位於 $120.85^{\circ}\text{E}$ ， $21.90^{\circ}\text{N}$ ，墾丁雷達為METEOR-1000S型s波段(10公分波長)都卜勒氣象雷達，雷達天線高度為40.85公尺，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。此雷達之機型、規格、掃描方式皆與五分山雷達類似，但其掃描策略一般為每8分鐘兩組體積掃描，掃描順序為先以半徑460公里掃描最低兩個仰角( $0.5^{\circ}$ 和 $1.4^{\circ}$ )，此組掃描僅收集回波資料，且資料徑向解析度為1公里；而後再以半徑230公里做完整體積掃描(9層仰角，分別為 $0.5^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}$ 、 $2.4^{\circ}$ 、 $3.4^{\circ}$ 、 $4.3^{\circ}$ 、 $6.0^{\circ}$ 、 $9.9^{\circ}$ 、 $14.6^{\circ}$ 及 $19.5^{\circ}$ )，此組觀測掃描包括降水回波強度、都卜勒徑向風場及頻譜寬資料，資料徑向解析度則為250公尺。

另外，其雷達可掃描仰角的範圍與五分山雷達略有所不同。此雷達之雷達塔高度是中央氣象局所屬氣象雷達之中最低的，僅6公尺，其原因為鵝鑾鼻燈塔就在其西北方附近，為顧及航運安全，故雷達塔高度受到一定的限制。而墾丁雷達與五分山雷達較大的差異為其二次回波處理的較好，且為一開放式系統，故掃描策略較為彈性，可依實際需要做調整，例如因為受到西北邊鵝鑾鼻燈塔和北邊地形的影響，故雷達所發射出去的電磁波會受到相當的阻擋，故墾丁雷達站基於1)位處在墾丁國家公園，2)電磁波會受到地形阻擋這兩個理由，將雷達的掃描策略做了一些調整，即在某些低層方位角(仰角 $0.5^{\circ}$ ，方位角 $297^{\circ}$ 順時鐘向到 $20^{\circ}$ ；仰角 $1.4^{\circ}$ ，方位角 $343^{\circ}$ 順時鐘向到 $20^{\circ}$ ；仰角 $2.4^{\circ}$ ，方位角 $350^{\circ}$ 順時鐘向到 $5^{\circ}$ )並不發射電磁波(顏 2003)，墾丁

雷達的資料處理流程步驟如同七股雷達。

### (3) 五分山都卜勒雷達

五分山雷達位於  $121.77^{\circ}\text{E}$ ， $25.07^{\circ}\text{N}$ ，五分山雷達為 WSR-88D(Weather Surveillance Radar-1988 Doppler)型 s 波段(10 公分波長)都卜勒氣象雷達，雷達天線高度為 766 公尺，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。雷達掃瞄觀測為順時鐘向 360 度圓錐面掃瞄，並非由固定方位開始掃描，而每次觀測所得不同仰角的圓錐面資料組成完整的體積掃瞄，掃瞄策略為每 6 分鐘進行 9 個仰角的圓錐面掃瞄，分別為  $0.4^{\circ}$ 、 $1.4^{\circ}$ 、 $2.3^{\circ}$ 、 $3.3^{\circ}$ 、 $4.2^{\circ}$ 、 $6.0^{\circ}$ 、 $9.8^{\circ}$ 、 $14.5^{\circ}$  及  $19.5^{\circ}$ ，掃瞄一層約費時 26~34 秒。雷達回波資料觀測範圍為 460 公里，徑向解析度為 1 公里，都卜勒徑向風以及頻譜寬資料範圍則為 230 公里，其徑向解析度為 0.25 公里。雷達回波強度之精確度介於  $-0.5\text{dBZ}$  至  $+0.5\text{dBZ}$  之間，儲存範圍為  $-40\text{dBZ}$  至  $72\text{dBZ}$  之間；徑向風場的儲存範圍為  $-48\text{ m s}^{-1}$  至  $48\text{ m s}^{-1}$  之間(鄭 2006)，五分山雷達的資料處理流程步驟如同七股雷達。

### (二) 颱風雨帶選取

將 2000~2008 年間中央氣象局有發警報颱風之都卜勒雷達資料繪製成 PPI(仰角  $0.4^{\circ}$  及  $1.4^{\circ}$ )雷達回波圖，並檢視每一張圖來主觀判斷颱風雨帶。

颱風雨帶的選取需滿足以下條件：雨帶邊界的雷達回波(Plan Position Indicator, PPI)需大於  $20\text{ dBZ}$ ，本研究中利用 PPI 所定義之雨帶邊界在  $20\sim 35\text{ dBZ}$  之間(所定義之邊界乃依據 PPI 最合適定義出雨帶邊界的雷達回波值)，且所選之雨帶需有明顯的帶狀，亦即雨帶兩側有相對中心軸較弱之雷達回波。除了上述條件，雨帶還必須通過中央氣象局的局屬地面氣象站或日本氣象廳與那國島測候所，此舉乃為了可有效利用高時間解析度的地面觀測資料以分析雨帶通過時的地

面觀測特徵(一個雨帶通過一個氣象站，以雨帶通過某一個氣象站時形狀最完整、邊界可適當定義且較垂直通過氣象站者為首選)。並以距離颱風中心較遠之雨帶邊界為外邊界(outer edge)，反之較近者為內邊界(inner edge)。

本文研究期間滿足以上選取條件之颱風雨帶共有 263 個，而這些颱風雨帶之編號、邊界時間、通過之氣象站的名稱、雨帶中心軸發生時颱風的強度、與颱風中心的徑向距離及通過氣象站的時間詳列於表 1。

在主觀判斷颱風雨帶的過程中(暫撇開龐大雷達資料及氣象站資料搜集上的困難)，由於雷達所觀測的範圍不同，因此以雷達正常觀測來說，一個颱風就必須檢視 3 個雷達站的 PPI 雷達回波圖(2000~2008 年有發警報並搜集到雷達資料的颱風共有 52 個)，這是非常花時間的研究工作。再者，檢視完所有的雷達回波圖並且搜集到雨帶之後，便要開始進行篩選的動作，因為雨帶並不會只通過一個氣象站，因此必須考慮這個雨帶通過哪一個氣象站時較符合上述之選取標準，並且雨帶實際的外觀樣式極為多樣化與複雜，因此在篩選雨帶時常遭遇到一些困難，例如：一個雨帶通過 a 氣象站及 b 氣象站，通過 a 氣象站時雨帶的邊界可以清楚的定義出來，但是雨帶卻較沿著(平行) a 氣象站通過，而通過 b 氣象站時雨帶的邊界不容易定義出來，但是雨帶是很垂直通過 b 氣象站等。總結前述，雨帶的搜集與選取相對複雜，而極大多數的工作仍須依賴主觀判斷。



### 第三章 颱風雨帶概述

#### (一) 選取雨帶的颱風

本研究分析 2000~2008 年間共 37 個颱風個案之颱風雨帶，分別為 2000 年啟德(KAI-TAK)、巴比侖(PRAPIROON)、象神(XANGSANE)、2001 年納莉(NARI)、利奇馬(LEKIMA)、海燕(HAIYAN)、2002 年辛樂克(SINLAKU)、2003 年蘇迪勒(SOUDELOR)、莫拉克(MORAKOT)、杜鵑(DUJUAN)、2004 年康森(CONSON)、敏督利(MINDULLE)、康柏斯(KOMPASU)、蘭寧(RANANIM)、艾利(AERE)、納坦(NOCK-TEN)、南瑪都(NANMADOL)、2005 年海棠(HAITANG)、馬莎(MATSA)、珊瑚(SANVU)、泰利(TALIM)、龍王(LONGWANG)、2006 年珍珠(CHANCHU)、碧利斯(BILIS)、凱米(KAEMI)、寶發(BOPHA)、珊珊(SHANSHAN)、2007 年帕布(PABUK)、梧提(WUTIP)、聖帕(SEPAT)、韋帕(WIPHA)、柯羅莎(KROSA)、2008 年卡玫基(KALMAEGI)、鳳凰(FUNG-WONG)、如麗(NURI)、辛樂克(SINLAKU)及薔蜜(JANGMI) 颱風。圖 3.1 為此 37 個颱風個案之最佳路徑圖。

#### (二) 雨帶通過氣象站時的颱風強度

表 2 為 2000~2008 年 263 個雨帶通過氣象站時(以雨帶中心軸時間中央氣象局發布之海陸颱風警報單中的颱風強度為依據)颱風的強度，由表中可發現中度颱風最多，有 142 個雨帶，其次為強度颱風 86 個，輕度颱風時最少，僅 35 個。

#### (三) 雨帶與颱風中心之徑向距離

颱風中心之位置以雷達中心定位(若無雷達中心定位則以中央氣象局之最佳路徑代替之)內插出雨帶中心軸時間時之颱風中心，而颱風中心與雨帶通過之氣象站的距離即為雨帶與颱風中心的距離(表 3)。2000~2008 年 263 個雨帶與颱風中心之徑向距離在 300 公里內佔

大多數(約為 80%)，但也有極少數雨帶距離颱風中心較遠，最遠為相距 601 公里，相反地相距最近為 44 公里。

#### (四) 雨帶相對於颱風行進方向分佈的象限

颱風行進之方向以最接近雨帶中心軸時間一小時內颱風中心移動角度作為代表(舉例說明：case001，其雨帶中心軸時間為 2000 年 07 月 09 日 01 點 48 分，則是利用 01:00 及 02:00 之間颱風中心之移動角度為代表)，雨帶與颱風中心之徑向距離計算方式則如同前述。圖 3.2 顯示出雨帶大多分佈在颱風行進方向的右前方及左前方(共有 214 個)，即相對於颱風行進方向的第一象限與第二象限，雨帶於颱風行進方向的左後方及右後方則較少，僅有 49 個，但此結果可能與颱風路徑及地形之影響有關，因為大多數颱風是由台灣之東南往西北移動，造成颱風行進方向後方的雨帶由於地形破壞而邊界不好定義，導致不符合本研究選取雨帶的條件。

#### (五) 雨帶通過之地面氣象站及數量

2000~2008 年 263 個雨帶共通過 13 個地面氣象站(圖 3.3)，其雨帶通過之氣象站名稱及數量分別為與那國島 95 個、蘭嶼 52 個、彭佳嶼 42 個、基隆 36 個、高雄 9 個、東吉島 7 個、七股 5 個、台南 4 個、宜蘭 4 個、永康 3 個、澎湖 3 個、淡水 2 個、板橋 1 個(依雨帶通過之數量排序)。2000~2008 年 263 個雨帶以通過外海島嶼佔大多數，其餘為台灣北部及西南部沿岸氣象站。

#### (六) 雨帶通過氣象站的時間

在此利用以 PPI 定義的雨帶外邊界與內邊界時間之差值(表 1)，計算雨帶通過氣象站的時間(圖 3.4)。2000~2008 年 263 雨帶通過氣象站的平均時間約為 31 分鐘，標準差為 17.4，其中時間最短僅 6 分鐘，最長則為 105 分鐘，造成此雨帶通過氣象站之時間較長的原因為此雨帶通過氣象站時較沿著氣象站移動。

## (七) 雨帶之寬度

利用邊界時間內雨帶外邊界所移動之距離估計出雨帶之寬度(表 5)。有 5 個雨帶寬度在 0~5 公里之間，有 33 個雨帶寬度在 5.1~10 公里之間，有 70 個雨帶寬度在 10.1~15.0 公里之間，有 62 個雨帶寬度在 15.1~20.0 公里之間，有 53 個雨帶寬度在 20.1~25.0 公里之間，有 14 個雨帶寬度在 25.1~30.0 公里之間，有 15 個雨帶寬度在 30.1~35.0 公里之間，有 7 個雨帶寬度在 35.1~40.0 公里之間，有 2 個雨帶寬度在 40.1~45.0 公里之間，各有 1 個雨帶寬度在 45.1~50.0 及 50.1~55.0 公里之間。263 個雨帶之平均寬度為 18.1 km，標準差為 8.3。

## (八) 雨帶之移動速度

利用邊界時間內雨帶外邊界所移動的距離配合雨帶通過氣象站之時間(即以 PPI 定義之外邊界與內邊界時間的差值，圖 3.4)，上述的距離除以時間後可得到雨帶之移動速度(圖 3.5)，263 個雨帶平均之移動速度為  $11.2 \text{ m s}^{-1}$ ，標準差為 5.1。

## (九) 觀測雨帶之都卜勒雷達站及仰角

2000~2008 年 263 個雨帶以第二章介紹之三個中央氣象局都卜勒雷達站所觀測。七股雷達使用第二層仰角( $1.4^\circ$ )觀測通過高雄、東吉島、台南、永康、七股、澎湖共六個氣象站的雨帶；墾丁雷達亦使用第二層仰角( $1.4^\circ$ )觀測通過蘭嶼氣象站的雨帶；五分山雷達站則使用兩種不同仰角觀測不同氣象站，分別為利用第一層仰角( $0.4^\circ$ )觀測通過日本氣象廳與那國島測候所之雨帶，及第二層仰角( $1.4^\circ$ )觀測北部沿岸及離島氣象站(包含彭佳嶼、基隆、宜蘭、淡水、板橋)(表 4)。

## 第四章 颱風雨帶地面觀測特徵之分析

由前一章節初步了解所選取之雨帶的概況後，在本章節將進一步探討雨帶通過地面氣象站的特徵。藉由雨帶通過地面氣象站期間內，其高時間解析度之資料以分析雨帶通過時地面氣象參數的變化，以剖析雨帶的地面觀測特性。以下分為兩部份說明，第一部份為利用地面觀測資料並配合 PPI 定義出之雨帶的邊界，分析雨帶通過前至通過後時的平均變化；第二部份針對雨帶與颱風中心之徑向距離，分析雨帶邊界內氣象參數的平均振幅變化。

### (一) 颱風雨帶地面平均變化特徵

#### 1. 合成方法

分析方式為先將各氣象參數扣除雨帶邊界內的平均值(一個雨帶一個平均值)，且因為不同雨帶之邊界時間(duration)差異甚大，若直接將263個雨帶隨時間的變化直接合成會影響資料平均的客觀性，因此先挑選出263個雨帶中邊界時間最長者(圖3.4，邊界時間最長為105分鐘)，將其餘雨帶之觀測資料內插至相同筆數(normalize)後再合成(composite)263個颱風雨帶之各氣象參數。

其中擾動溫度( $T'$ )、擾動露點溫度( $T_d'$ )、擾動相對濕度( $RH'$ )、擾動相當位溫( $EPT'$ )、擾動風速( $W_s'$ )及擾動降雨率( $RR'$ )處理方式如同前述。但擾動風向( $W_d'$ )處理方式稍有不同，需先轉為u、v風，利用u、v風計算雨帶內的平均，之後再轉回風速、風向，利用氣象站原始的風向扣除前述所得到之雨帶內平均的風向，最後相減所得即為擾動風向。在分析擾動氣壓( $P'$ )的部份，當雨帶通過氣象站時所實際觀測到的氣壓受到兩項主要因子影響：(1)颱風本身的低壓系統及(2)雨帶內部的對流或波動，由於本研究主要探討的是雨帶內部的擾動變化，因此實際觀測到之氣壓需扣除伴隨颱風的低壓系統的影響，而本研究所選取之雨帶通過氣象站的時間平均約為30分鐘(表四)，於是使用氣壓

的60分鐘滑動平均(接近於低壓系統的變化)來代表颱風尺度的氣壓變化，因此實際觀測到之氣壓扣除氣壓60分鐘的滑動平均後即為雨帶尺度的變化，之後再利用上述所計算出之氣壓再扣除雨帶邊界內的平均值，即為擾動氣壓( $P'$ )。擾動橫越雨帶的氣流(perturbation cross-band flow)與擾動平行雨帶的氣流(perturbation along-band flow)，則需先將雨帶通過之氣象站的風速、風向投影到雨帶的角度(轉為u、v風)，並定義由外邊界至內邊界的方向為正u，則正v即為正u逆時針轉90°。u扣除雨帶之移動速度(圖3.5)後再扣除雨帶內的平均值，最後所得即為擾動橫越雨帶之氣流( $V_c'$ )，v扣除雨帶內的平均值後即為擾動平行雨帶之氣流( $V_p'$ )。擾動雷達回波( $Ref.'$ )為263個雨帶之合成，雷達回波係以雷達回波內插到雨帶通過氣象站之網格點上所得(觀測雨帶之中央氣象局都卜勒雷達站及雨帶通過之氣象站，表二)，再扣除雨帶邊界內的平均值。

## 2. 結果描述

圖4.1為2000~2008年263個颱風雨帶所合成之氣象參數隨時間的變化。在雨帶的外邊界，平均擾動氣壓有一極小值，外邊界通過之後平均擾動氣壓逐漸增加，並且平均擾動溫度、平均擾動露點溫度、平均擾動相當位溫及橫越雨帶的氣流都開始明顯降低，但平均擾動相對濕度逐漸增加。其中平均擾動氣壓的變化量相對較小，其極大值出現在雨帶內邊界內側，與外邊界之極小值相差約0.15 mb，值得注意的是雨帶通過時地面氣壓的平均擾動，顯示出類似波動的變化，此特徵與先前對流風暴研究中提到之大氣重力波的特性極為相似(Koch and Golus 1988；Schumacher 2009)。在雨帶邊界內，平均擾動溫度下降約0.4 °C，相較於平均擾動露點溫度下降0.2 °C較為明顯，平均擾動相當位溫降低約1.2 K，並在內邊界有一極小值，值得注意的是，平均相對濕度在雨帶內部卻呈現上升的情形，並在內邊界到達一極大值，綜合前述的分析結果，即可推論出由平均擾動露點溫度的下降得知雨帶內水氣量的減少，但平均擾動溫度下降幅度更大，使飽和水氣

壓下降更多，造成平均擾動相對濕度的上升及平均擾動相當位溫的下降。平均擾動降雨率在雨帶中心軸及內邊界間有一極大值，約 $6 \text{ mm hr}^{-1}$ 。平均擾動雷達回波在雨帶中心軸有一極大值，約 $7 \text{ dBZ}$ ，並向雨帶的內外邊界減弱。

由平均擾動橫越雨帶的氣流顯示出雨帶低層之氣流為內流，並隨著雨帶逐漸通過氣象站有減速的情形，在雨帶邊界內的變化約為 $1 \text{ m s}^{-1}$ 。平均擾動平行雨帶氣流的變化相對平均擾動橫越雨帶氣流的變化微弱，僅於內邊界內側有一低值。平均擾動風速在雨帶外邊界通過時開始增強，平均擾動風向顯示出雨帶通過氣象站時風向有順時鐘轉的情形。

儘管前述之雨帶地面平均觀測特徵大致上皆與先前針對雨帶的地面觀測特徵之研究結果相似，例如溫度、相當位溫的下降及氣壓在雨帶通過前先下降，並在雨帶通過後上升等(Ushijima 1958；Hamuro and Coauthors 1969；Anthes 1982)，但前者之研究皆是少數雨帶個案的分析且往往受限於地面氣象站及雷達站資料可利用之區域，因此所使用之觀測資料的時間解析度較為粗糙。本研究在此提供較前者之研究較詳盡且更多雨帶的資訊，具有統計實質意義。

## (二) 颱風雨帶氣象參數振幅分析

由第一章了解到，雨帶對於熱帶氣旋的演變及強度的改變扮演著重要的角色，因此探討隨著在與颱風中心之不同的徑向距離間，雨帶邊界內各種氣象參數的振幅變化就顯得更為重要了。

所謂雨帶氣象參數之振幅即為以PPI定義之雨帶邊界內，各氣象參數之最大值與最小值的差值。表6為2000~2008年263個雨帶各氣象參數振幅的平均值、最大值及標準差，而標準差的計算是利用下列公式計算各氣象參數之標準差：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

其中  $x_i$  為資料數值， $\bar{x}$  為該氣象參數 263 個雨帶的平均值， $n$  為資料筆數。

氣壓的振幅( $\Delta P$ )與擾動氣壓的振幅( $\Delta P'$ )平均值約為 1 mb，最大值約為 7.5 mb，標準差約為 0.9；溫度的振幅( $\Delta T$ )與露點溫度的振幅( $\Delta T_d$ )差距不大，平均值約 0.8 °C，最大值約為 3.9 °C，標準差約為 0.8，標準差是各氣象參數中最小的，顯示 263 個雨帶其溫度及露點溫度的振幅都較接近平均值；相當位溫的振幅( $\Delta EPT$ )與相對濕度的振幅( $\Delta RH$ )平均值分別為 4.0 K 及 3.9 %，標準差約為 3.7，且值得注意的是，相當位溫與相對濕度振幅的最大值與平均值的差異甚大，其中相當位溫振幅的最大值為 15.0 K 而相對濕度振幅的最大值為 31 %；風速的振幅( $\Delta W_s$ )平均為 3.7 m s<sup>-1</sup>，最大值為 17.5 m s<sup>-1</sup>，標準差為 3.0；風向的振幅( $\Delta W_d$ )平均為 17.8°，最大值為 160.0°，標準差為 24.1；橫越雨帶的氣流之振幅( $\Delta V_c$ )與平行雨帶的氣流之振幅( $\Delta V_p$ )平均約為 3.9 m s<sup>-1</sup>，最大值約為 20.0 m s<sup>-1</sup>，標準差約為 3.4；降雨率最大值之振幅( $max RR$ )平均為 35.0 mm hr<sup>-1</sup>，最大值為 225.0 mm hr<sup>-1</sup>，標準差為 38.6；分鐘降雨最大值之振幅( $max RMN$ )平均為 0.9 mm min<sup>-1</sup>，最大值為 4.0 mm min<sup>-1</sup>，標準差為 0.6。

雨帶與颱風中心的距離的估計方法，已於前一章說明。並且針對雨帶的振幅資料於每 5 公里(雨帶與颱風中心之徑向距離)作 40 公里的平均，此外，由於本研究選取之雨帶以距離颱風中心 300 公里內佔大多數(約 80 %)，因此為了使與颱風中心距離超過 300 公里之雨帶的振幅可較明顯的被描述，所以利用 9 點滑動平均，平滑原本平均值的連線。

圖4.2及4.3即為透過上述分析方法而得到之振幅變化圖，顯示出

隨著與颱風中心之徑向距離的增加，熱力部份，溫度( $\Delta T$ )、露點溫度( $\Delta T_d$ )、相當位溫( $\Delta EPT$ )及相對濕度( $\Delta RH$ )的振幅都有明顯的增加。相反地，擾動氣壓的隨著徑向距離的增加，有些微下降的情形。但運動場部份，橫越雨帶的氣流、平行雨帶的氣流、風速及風向的振幅卻無顯著的變化。從以上分析顯示出在不同之徑向距離間，雨帶的特性其實不甚相同。

其中值得注意的是，相當位溫的振幅( $\Delta EPT$ )隨著雨帶與颱風中心徑向距離的增加而劇烈增加，顯示出外圍雨帶(outer rainband)與內圍雨帶(inner rainband)在特性上的不同。由第一章就已經了解到雨帶造成邊界層的變異對於颱風環境的熱力場有直接的影響(Barnes et al. 1983; Willoughby 1990; May and Holland 1999; Wang 2009)，而在此經由相當位溫的振幅分析發現外圍雨帶較內圍雨帶對颱風之熱力影響更大，即是外圍雨帶較有能力去降低颱風環境之對流不穩定度，而其中隱含之物理意義以及外圍雨帶對於邊界層變異之影響程度則值得進一步探討。





## 第五章 結論與未來展望

本研究透過中央氣象局七股、墾丁及五分山都卜勒雷達及地面高時間解析度觀測資料詳細分析 2000~2008 年 37 個颱風共 263 個颱風雨帶，利用合成與統計的方式了解颱風雨帶內部多個氣象參數的平均擾動特徵及振幅變化。此外對於颱風雨帶之基本特性，包含相對於颱風行進方向的象限分佈、寬度、移動速度等皆有所探討。整合前幾章的分析結果，其主要結論如下：

(一) 雨帶分佈的位置集中於颱風行進方向的右前方及左前方，即相對於颱風行進方向之第一象限與第二象限，雨帶之平均寬度為 18.1 km，雨帶之平均移動速度為  $11.2 \text{ m s}^{-1}$ 。

(二) 熱力部份：由在雨帶內部平均擾動溫度( $T'$ )下降約  $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 、平均擾動露點溫度( $T_d$ )下降約  $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、平均擾動相當位溫( $EPT'$ )下降約 1.2 K 及平均擾動相對濕度( $RH'$ )上升 2 % 得知雖然雨帶內水氣量減少，但飽和水氣壓卻下降更多，因此造成平均擾動相當位溫下降可是平均擾動相對濕度上升的情形。平均擾動氣壓( $P'$ )在雨帶外邊界有一極小值，當雨帶通過氣象站時平均擾動氣壓逐漸上升，於雨帶中心軸及內邊界之間到達一極大值，平均擾動氣壓在雨帶外邊界及內邊界間上升約 0.15 mb，並且有一類似波動的變化。平均擾動降雨率在雨帶中心軸及內邊界之間到達一極大值，並往兩側邊界減弱(圖 5.1)。

(三) 運動場部份：平均擾動橫越雨帶( $V_c'$ )的氣流顯示出雨帶低層的氣流為內流，並且隨著雨帶通過而逐漸減速。雨帶通過地面氣象站時平均擾動風向( $W_d'$ )呈順時鐘旋轉且平均擾動風速( $W_s'$ )逐漸增加(圖 5.1)。

(四) 振幅分析：隨著雨帶與颱風中心之徑向距離的增加，溫度( $\Delta T$ )、露點溫度( $\Delta T_d$ )、相當位溫( $\Delta EPT$ )及相對濕度( $\Delta RH$ )的平均振幅都有明顯的增加情形；但是橫越雨帶氣流( $\Delta V_c$ )、平行雨帶氣流( $\Delta V_p$ )、風速

( $\Delta W_s$ )以及風向( $\Delta W_d$ )的振幅，卻無隨著雨帶與颱風中心之徑向距離的增加而有顯著之變化。

本研究主要針對通過台灣離島地區及沿岸氣象站的雨帶進行分析。透過本研究使我們對於颱風雨帶的地面觀測特徵有初步的了解，亦對颱風雨帶之氣象參數的振幅變化有進一步的認知。然而在 263 個雨帶中，有某些雨帶其地面觀測特徵與平均值差異甚大，這些特殊的個案之內部結構或是主導之機制都需進一步釐清。另外，相當位溫的振幅隨著雨帶與颱風中心距離的增加而增加，顯示外圍雨帶較內圍雨帶對颱風環境之熱力場影響更大，但其中的物理過程我們仍不甚了解，未來亦可針對此進行更深入的研究，以期對颱風雨帶之特性以及它對於颱風強度的影響能有更進一步的了解。



## 參考文獻

- 顏健文，2003：侵台颱風降雨結構之時空變化特徵。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，112頁。
- 鄭凌文，2006：北台灣地形對颱風降水分佈及強度之影響：象神颱風雷達觀測研究。私立中國文化大學地學研究所碩士論文，71頁。
- Anthes, R. A., 1982: *Tropical cyclones: Their evolution, structure, and effects*. Meteor. Monogr., **Vol. 19**, Amer. Meteor. Soc., 208 pp.
- Barnes, G. M., E. J. Zipser, D. P. Jorgensen, and F. D. Marks, 1983: Mesoscale and convective structure of a hurricane rainband. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 2125-2137.
- Barnes, G. M., and G. J. Stossmeister, 1986: The structure and decay of a rainband in Hurricane Irene (1981). *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 2590-2601.
- Cecil, D. J., E. J. Zipser, and S. W. Nesbitt, 2002: Reflectivity, ice scattering, and lightning characteristics of hurricane eyewalls and rainbands. Part I: Quantitative description. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 769-784.
- Gall, R., J. Tuttle, and P. Hildebrand, 1998: Small-scale spiral bands observed in Hurricanes Andrew, Hugo, and Erin. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1749-1766.
- Hamuro, M., and Coauthors, 1969: Precipitation bands of Typhoon Vera in 1959 (Part I). *J. Meteor. Soc. Japan*, **47**, 298-309.
- Hence, D. A., and R. A. Houze, Jr., 2008: Kinematic structure of convective-scale elements in the rainbands of Hurricanes Katrina and Rita (2005). *J. Geophys. Res.*, **113**, D15108, doi:10.1029/2007JD009429.
- Jorgensen, D. P., 1984: Mesoscale and convective-scale characteristics of

- mature hurricanes. Part I: General observations by research aircraft. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1268-1285.
- Koch, S. E., and R. E. Golus, 1988: A mesoscale gravity wave event observed during CCOPE. Part I: Multiscale statistical analysis of wave characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 2527-2544.
- Ligda, M. G. H., 1955: Hurricane squall lines. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **36**, 340-342.
- May, P. T., and G. J. Holland, 1999: The role of potential vorticity generation in tropical cyclone rainbands. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1224-1228.
- Powell, M. D., 1990a: Boundary layer structure and dynamics in outer hurricane rainbands. Part I: Mesoscale rainfall and kinematic structure. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 891-917.
- Powell, M. D., 1990b: Boundary layer structure and dynamics in outer hurricane rainbands. Part II: Downdraft modification and mixed layer recovery. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 918-9938.
- Ryan, B. F., G. M. Barnes, and E. J. Zipser, 1992: A wide rainband in a developing tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 431-447.
- Samsury, C. E., and E. J. Zipser, 1995: Secondary wind maxima in hurricanes: Airflow and relationship to rainbands. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3502-3517.
- Senn, H. V., and H. W. Hiser, 1959: On the origin of hurricane spiral rain bands. *J. Meteor.*, **16**, 419-426.
- 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.
- Simpson, R. H., 1965: Project Stormfury: An experiment in hurricane weather modification. *Geofid. Int.*, **5**, 63-70.

- Skwira, G. D., J. L. Schroeder, and R. E. Peterson, 2005: Surface observations of landfalling hurricane rainbands. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 454-4465.
- Ushijima, T., 1958: Outer rain bands of typhoons. *J. Meteor. Soc. Japan*, **36**, 1-10.
- Wang, Y., 2002b: Vortex Rossby waves in a numerically simulated tropical cyclone. Part II: The role in tropical cyclone structure and intensity changes. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1239-1262.
- Wang, Y., 2002c: An explicit simulation of tropical cyclones with a triply nested movable mesh primitive equation model: TCM3. Part II: Model refinements and sensitivity to cloud microphysics parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 3022-3036.
- Wang, Y., 2009: How do outer spiral rainbands affect tropical cyclone structure and intensity? *J. Atmos. Sci.*, **66**, 1250-1273.
- Wexler, H., 1947: Structure of hurricanes as determined by radar. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **48**, 821-844.
- Willoughby, H. E., 1977: Inertia-buoyancy waves in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1028-1039.
- Willoughby, H. E., F. D. Marks, Jr., R. J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 3189-3211.
- Willoughby, H. E., 1990: Temporal changes of the primary circulation in tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 242-264.
- Yu, C. -K., and C. -L. Tsai, 2010: Surface pressure features of landfalling typhoon rainbands and their possible causes. *J. Atmos. Sci.*, in press.

表 1 由左至右分別為 2000~2008 年 263 個雨帶之編號、外邊界時間、中心軸時間、內邊界時間(時間單位皆為 UTC)、通過之氣象站名稱(PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY 分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站)、中心軸時間時颱風之強度(輕、中、強分別代表輕度颱風、中度颱風及強度颱風)、與颱風中心的徑向距離(單位為公里)、通過氣象站之時間(單位為分鐘)。

2000 年 啟德 (KAI-TAK)						
001	2000/07/09	01:36 ~ 01:48 ~ 02:00	KL	中	241.5	25
002	2000/07/09	03:24 ~ 03:30 ~ 03:48	Yonaguni	中	190.5	25
003	2000/07/09	05:43 ~ 06:01 ~ 06:13	KL	輕	69.4	31
2000 年 巴比倫 (PRAPIROON)						
004	2000/08/28	03:08 ~ 03:14 ~ 03:20	Yonaguni	輕	505.1	13
2000 年 象神 (XANGSANE)						
005	2000/10/31	18:11 ~ 18:17 ~ 18:23	Yonaguni	中	288.1	13
006	2000/11/01	01:53 ~ 01:59 ~ 02:05	Yonaguni	中	63.7	13
2001 年 納莉 (NARI)						
007	2001/09/15	22:21 ~ 22:33 ~ 22:44	KL	中	169.9	24
008	2001/09/16	02:09 ~ 02:14 ~ 02:26	KL	中	134.2	18
009	2001/09/16	01:51 ~ 02:14 ~ 02:26	Yonaguni	中	118.3	36
010	2001/09/16	02:49 ~ 02:55 ~ 03:01	KL	中	123.1	13
011	2001/09/16	03:24 ~ 03:30 ~ 03:36	KL	中	119.4	13
012	2001/09/16	04:22 ~ 04:28 ~ 04:34	KL	中	112.3	13
013	2001/09/16	04:34 ~ 04:40 ~ 04:45	KL	中	107.9	12
014	2001/09/16	06:01 ~ 06:12 ~ 06:24	Yonaguni	中	124.1	24
015	2001/09/16	06:30 ~ 06:36 ~ 06:47	KL	中	96.1	18
016	2001/09/16	07:16 ~ 07:22 ~ 07:28	KL	中	83.8	13
017	2001/09/16	06:59 ~ 07:28 ~ 07:57	Yonaguni	中	118.4	59
018	2001/09/16	07:34 ~ 07:39 ~ 07:45	KL	中	81.3	12
019	2001/09/16	08:21 ~ 08:50 ~ 09:13	KL	中	78.0	53
020	2001/09/16	10:05 ~ 10:23 ~ 10:40	KL	中	64.1	36
021	2001/09/16	10:29 ~ 11:03 ~ 11:27	KL	中	58.9	59
022	2001/09/16	11:38 ~ 11:56 ~ 12:07	KL	中	55.6	30
2001 年 利奇馬 (LEKIMA)						
023	2001/09/25	11:20 ~ 11:28 ~ 11:52	LY	中	127.0	33

024	2001/09/25 13:28 ~ 13:44 ~ 14:00	LY	中	121.4	33
025	2001/09/25 14:56 ~ 15:04 ~ 15:12	LY	中	121.2	17
026	2001/09/25 16:16 ~ 16:32 ~ 16:40	LY	中	107.2	25
2001年 海燕 (HAIYAN)					
027	2001/10/15 19:28 ~ 20:03 ~ 20:20	Yonaguni	中	204.2	53
028	2001/10/15 22:46 ~ 22:58 ~ 23:09	Yonaguni	中	161.8	24
029	2001/10/16 00:19 ~ 00:37 ~ 00:54	Yonaguni	中	149.0	36
2002年 辛樂克 (SINLAKU)					
030	2002/09/06 00:09 ~ 00:15 ~ 00:21	PJY	中	304.9	13
031	2002/09/06 00:27 ~ 00:39 ~ 00:50	PJY	中	298.8	24
032	2002/09/06 10:31 ~ 10:43 ~ 10:49	PJY	中	248.3	19
033	2002/09/06 10:49 ~ 10:55 ~ 11:01	PJY	中	253.4	13
034	2002/09/06 11:36 ~ 11:48 ~ 12:00	PJY	中	252.5	25
035	2002/09/06 12:47 ~ 12:59 ~ 13:05	PJY	中	240.4	19
036	2002/09/06 13:11 ~ 13:17 ~ 13:22	PJY	中	238.4	12
037	2002/09/06 21:01 ~ 21:30 ~ 21:47	PJY	中	174.7	47
2003年 蘇迪勒 (SOUDELOR)					
038	2003/06/16 20:11 ~ 20:19 ~ 20:27	LY	輕	374.7	17
039	2003/06/17 02:59 ~ 03:07 ~ 03:15	LY	輕	264.8	17
040	2003/06/17 04:03 ~ 04:11 ~ 04:19	LY	輕	246.3	17
2003年 莫拉克 (MORAKOT)					
041	2003/08/03 01:59 ~ 02:06 ~ 02:23	LY	輕	147.8	25
2003年 杜鵑 (DUJUAN)					
042	2003/09/01 08:24 ~ 08:32 ~ 08:48	LY	中	209.8	25
043	2003/09/01 10:32 ~ 10:40 ~ 10:48	LY	中	129.9	17
044	2003/09/01 11:20 ~ 11:36 ~ 12:00	LY	中	120.2	41
045	2003/09/01 12:08 ~ 12:24 ~ 12:40	LY	中	96.0	33
2004年 康森 (CONSON)					
046	2004/06/08 18:37 ~ 19:09 ~ 19:25	LY	中	199.6	49
047	2004/06/08 20:29 ~ 20:37 ~ 20:45	LY	中	160.6	17
048	2004/06/08 20:53 ~ 21:01 ~ 21:09	LY	中	157.6	17
049	2004/06/08 21:41 ~ 21:57 ~ 22:21	LY	中	146.7	41
050	2004/06/09 03:01 ~ 03:25 ~ 03:49	LY	中	64.6	49
2004年 敏督利 (MINDULLE)					
051	2004/06/30 09:13 ~ 09:45 ~ 10:01	LY	中	296.0	49
052	2004/06/30 11:45 ~ 12:09 ~ 12:25	LY	中	269.5	41
053	2004/06/30 12:57 ~ 13:13 ~ 13:29	LY	中	244.4	33

054	2004/06/30 14:57 ~ 15:05 ~ 15:13	LY	中	212.2	17
055	2004/06/30 17:05 ~ 17:29 ~ 17:53	LY	中	169.7	49
2004年 康柏斯 (KOMPASU)					
056	2004/07/14 17:11 ~ 17:21 ~ 17:51	KH	輕	191.4	41
2004年 蘭寧 (RANANIM)					
057	2004/08/10 10:32 ~ 10:38 ~ 10:44	Yonaguni	中	539.3	13
058	2004/08/10 12:07 ~ 12:13 ~ 12:19	Yonaguni	中	520.1	13
059	2004/08/10 17:12 ~ 17:18 ~ 17:24	KL	中	601.1	13
060	2004/08/11 20:17 ~ 20:40 ~ 20:52	PJY	中	221.1	36
2004年 艾利 (AERE)					
061	2004/08/23 07:27 ~ 07:44 ~ 08:20	Yonaguni	中	257.2	54
062	2004/08/24 00:19 ~ 00:37 ~ 00:55	Yonaguni	中	107.2	37
063	2004/08/24 00:37 ~ 00:49 ~ 01:00	PJY	中	231.7	24
064	2004/08/24 01:59 ~ 02:17 ~ 02:34	PJY	中	209.9	36
065	2004/08/24 02:34 ~ 02:40 ~ 02:46	Yonaguni	中	122.5	13
066	2004/08/24 04:43 ~ 05:07 ~ 05:36	PJY	中	180.7	54
067	2004/08/24 07:16 ~ 07:27 ~ 07:39	PJY	中	149.8	24
068	2004/08/24 07:33 ~ 07:45 ~ 07:57	Yonaguni	中	108.9	25
069	2004/08/24 07:39 ~ 07:57 ~ 08:09	PJY	中	148.4	31
070	2004/08/24 08:09 ~ 08:15 ~ 08:27	PJY	中	143.4	19
071	2004/08/24 08:39 ~ 08:50 ~ 09:08	PJY	中	130.7	30
072	2004/08/24 09:31 ~ 09:43 ~ 09:55	Yonaguni	中	114.0	25
073	2004/08/24 09:55 ~ 10:07 ~ 10:12	Yonaguni	中	109.2	18
074	2004/08/24 11:29 ~ 11:40 ~ 11:52	PJY	中	102.5	24
075	2004/08/24 13:49 ~ 13:55 ~ 14:01	PJY	中	58.2	13
076	2004/08/24 15:52 ~ 15:58 ~ 16:05	Yonaguni	中	143.3	14
077	2004/08/24 17:21 ~ 17:27 ~ 17:33	Yonaguni	中	153.0	13
078	2004/08/25 20:03 ~ 20:13 ~ 20:43	TN	輕	282.3	41
2004年 納坦 (NOCK-TEN)					
079	2004/10/24 11:09 ~ 11:25 ~ 11:33	LY	中	204.6	25
080	2004/10/24 20:25 ~ 20:31	KL	中	232.3	7
081	2004/10/24 20:48 ~ 21:00 ~ 21:18	Yonaguni	中	157.2	31
082	2004/10/24 21:41 ~ 22:04 ~ 22:40	Yonaguni	中	132.1	60
083	2004/10/25 01:23 ~ 01:35 ~ 01:41	KL	中	68.9	19
084	2004/10/25 01:35 ~ 01:54 ~ 02:11	PJY	中	112.3	37
2004年 南瑪都 (NANMADOL)					
085	2004/12/03 15:16 ~ 16:04 ~ 16:28	LY	輕	332.9	73



2005 年 海棠 (HAITANG)						
086	2005/07/16	22:24 ~ 22:36 ~ 22:47	Yonaguni	強	469.7	24
087	2005/07/16	22:59 ~ 23:05 ~ 23:11	Yonaguni	強	454.8	13
088	2005/07/17	00:46 ~ 00:58 ~ 01:09	Yonaguni	強	423.7	24
089	2005/07/17	06:02 ~ 06:08 ~ 06:14	PJY	強	460.7	13
090	2005/07/17	11:01 ~ 11:25 ~ 11:42	Yonaguni	強	202.0	42
091	2005/07/17	11:48 ~ 11:54 ~ 12:00	Yonaguni	強	187.1	13
092	2005/07/17	14:03 ~ 14:09 ~ 14:26	Yonaguni	強	156.6	24
093	2005/07/17	14:38 ~ 14:49 ~ 15:13	Yonaguni	強	145.1	36
094	2005/07/17	15:25 ~ 15:30 ~ 15:42	Yonaguni	強	125.0	18
095	2005/07/17	16:30 ~ 16:36 ~ 16:53	Yonaguni	強	111.1	24
095	2005/07/17	17:05 ~ 17:11	Yonaguni	強	95.6	7
097	2005/07/17	17:23 ~ 17:28 ~ 17:34	Yonaguni	強	94.5	12
098	2005/07/17	17:58 ~ 18:04 ~ 18:09	PJY	強	233.8	12
099	2005/07/17	17:52 ~ 18:04 ~ 18:21	Yonaguni	強	96.8	30
100	2005/07/17	19:08 ~ 19:25 ~ 19:37	PJY	強	216.2	30
101	2005/07/17	19:37 ~ 19:43 ~ 19:55	PJY	強	217.6	19
102	2005/07/17	22:21 ~ 22:38 ~ 23:02	PJY	強	201.8	42
103	2005/07/18	00:36 ~ 00:54 ~ 01:11	PJY	強	253.9	36
104	2005/07/18	02:04 ~ 02:27 ~ 02:51	PJY	強	269.3	48
105	2005/07/18	14:22 ~ 14:57 ~ 15:26	PJY	中	161.7	65
2005 年 馬莎 (MATSA)						
106	2005/08/04	06:35 ~ 06:46 ~ 06:58	Yonaguni	中	167.7	24
107	2005/08/04	08:08 ~ 08:32 ~ 08:55	KL	中	310.6	48
108	2005/08/04	09:36 ~ 10:05 ~ 10:23	KL	中	284.0	48
109	2005/08/04	13:31 ~ 13:36 ~ 13:48	PJY	中	209.9	18
110	2005/08/04	15:00 ~ 15:11 ~ 15:29	TS	中	237.8	30
111	2005/08/04	15:11 ~ 15:23 ~ 15:35	PJY	中	186.9	25
112	2005/08/04	15:17 ~ 15:29 ~ 15:52	KL	中	200.9	36
113	2005/08/04	22:26 ~ 22:44 ~ 23:01	KL	中	167.5	36
2005 年 珊瑚 (SANVU)						
114	2005/08/12	16:26 ~ 16:46 ~ 17:16	DJD	輕	287.2	51
115	2005/08/12	19:16 ~ 19:46 ~ 19:56	DJD	輕	240.2	41
116	2005/08/13	00:56 ~ 01:06 ~ 01:26	DJD	輕	243.4	31
117	2005/08/13	06:26 ~ 06:56 ~ 07:06	TN	輕	395.8	41
118	2005/08/13	09:06 ~ 09:16 ~ 09:26	KH	輕	479.4	21
2005 年 泰利 (TALIM)						

119	2005/08/31	01:59 ~ 02:04 ~ 02:34	Yonaguni	強	255.8	36
120	2005/08/31	04:01 ~ 04:18 ~ 04:42	Yonaguni	強	231.5	42
121	2005/08/31	04:48 ~ 04:53 ~ 04:59	YL	強	310.0	12
122	2005/08/31	05:52 ~ 06:09 ~ 06:27	Yonaguni	強	163.5	36
123	2005/08/31	15:00 ~ 15:29 ~ 15:52	PJY	強	186.7	53
124	2005/08/31	16:18 ~ 16:28 ~ 16:58	KH	強	222.4	41
125	2005/08/31	18:18 ~ 18:28 ~ 18:48	DJD	強	203.3	31
126	2005/08/31	20:08 ~ 20:48 ~ 21:08	PH	中	167.3	61
127	2005/08/31	21:48 ~ 22:38 ~ 23:08	PH	中	141.1	81
128	2005/09/01	12:48 ~ 13:08 ~ 13:18	CG	輕	388.5	31
2005年 龍王 (LONGWANG)						
129	2005/10/01	12:33 ~ 12:45 ~ 13:03	Yonaguni	強	161.6	31
130	2005/10/01	14:43 ~ 15:07 ~ 15:23	LY	強	221.1	41
131	2005/10/01	16:39 ~ 16:50 ~ 17:08	Yonaguni	強	134.0	30
132	2005/10/01	17:31 ~ 17:37 ~ 17:43	Yonaguni	強	132.8	13
133	2005/10/01	19:17 ~ 19:41 ~ 19:52	KL	強	177.7	36
134	2005/10/01	21:20 ~ 21:43 ~ 21:55	KL	強	162.6	36
2006年 珍珠(CHANCHU)						
135	2006/05/17	17:57 ~ 18:27 ~ 18:37	TN	中	317.2	41
136	2006/05/17	19:47 ~ 19:57 ~ 20:07	KH	中	336.2	21
137	2006/05/17	21:17 ~ 21:37 ~ 21:47	CG	中	271.2	31
2006年 碧利斯 (BILIS)						
138	2006/07/13	18:01 ~ 18:09 ~ 18:33	LY	輕	354.5	33
139	2006/07/13	23:45 ~ 23:53 ~ 07/14 00:01	LY	輕	404.5	17
2006年 凱米 (KAEMI)						
140	2006/07/24	14:24 ~ 15:12 ~ 15:36	LY	中	73.2	73
2006年 寶發 (BOPHA)						
141	2006/08/08	22:43 ~ 23:13 ~ 23:33	DJD	輕	80.3	51
2006年 珊珊 (SHANSHAN)						
142	2006/09/14	12:32 ~ 12:43 ~ 13:30	Yonaguni	中	485.1	59
143	2006/09/15	00:15 ~ 00:21 ~ 00:27	KL	中	479.8	13
144	2006/09/15	07:13 ~ 07:19 ~ 07:24	KL	中	398.6	12
145	2006/09/15	13:48 ~ 13:54 ~ 14:10	Yonaguni	中	156.3	23
146	2006/09/15	15:08 ~ 15:14 ~ 15:31	Yonaguni	中	132.0	24
147	2006/09/15	15:54 ~ 16:07 ~ 16:25	Yonaguni	中	124.1	32
148	2006/09/15	16:25 ~ 16:30 ~ 16:42	Yonaguni	中	116.8	18
149	2006/09/15	16:42 ~ 16:54 ~ 16:59	Yonaguni	中	109.9	18

150	2006/09/15 16:59 ~ 17:11 ~ 17:23	Yonaguni	中	111.3	25
151	2006/09/15 17:23 ~ 17:28 ~ 17:51	Yonaguni	中	108.3	29
152	2006/09/15 17:51 ~ 17:57 ~ 18:09	Yonaguni	中	97.9	19
153	2006/09/15 18:09 ~ 18:15 ~ 18:38	Yonaguni	中	101.3	30
154	2006/09/15 18:44 ~ 19:07 ~ 19:24	Yonaguni	中	104.5	41
2007年 帕布 (PABUK)					
155	2007/08/07 00:40 ~ 00:56 ~ 01:20	LY	輕	337.9	41
156	2007/08/07 09:04 ~ 09:36 ~ 10:16	LY	輕	97.8	73
157	2007/08/07 10:56 ~ 11:04 ~ 11:12	LY	輕	85.1	17
158	2007/08/07 11:12 ~ 11:20 ~ 11:28	LY	輕	84.0	17
159	2007/08/07 11:28 ~ 11:44 ~ 12:00	LY	輕	86.5	33
160	2007/08/07 15:53 ~ 16:03 ~ 16:13	CG	輕	184.5	21
161	2007/08/07 17:23 ~ 17:33 ~ 17:43	CG	輕	151.4	21
162	2007/08/07 17:23 ~ 17:43 ~ 17:53	KH	輕	74.7	31
163	2007/08/07 18:03 ~ 18:13 ~ 18:23	KH	輕	56.2	21
164	2007/08/07 19:33 ~ 19:53 ~ 20:23	TN	輕	74.4	51
2007年 梧提 (WUTIP)					
165	2007/08/08 06:00 ~ 06:08 ~ 06:16	LY	輕	309.5	17
2007年 聖帕 (SEPAT)					
166	2007/08/17 10:36 ~ 10:44 ~ 11:40	LY	強	178.2	65
167	2007/08/17 13:24 ~ 13:32 ~ 13:40	LY	強	130.8	17
168	2007/08/17 14:32 ~ 14:49 ~ 15:18	Yonaguni	強	277.0	47
169	2007/08/17 15:16 ~ 15:46 ~ 16:26	DJD	強	305.6	71
170	2007/08/17 19:24 ~ 20:12 ~ 20:44	LY	中	127.7	81
171	2007/08/17 19:41 ~ 20:21 ~ 20:32	Yonaguni	中	209.9	52
172	2007/08/17 22:56 ~ 23:02 ~ 23:13	PJY	中	254.9	18
173	2007/08/18 08:52 ~ 09:24 ~ 09:48	LY	中	320.2	57
174	2007/08/18 12:16 ~ 12:36 ~ 13:06	YK	中	168.1	51
175	2007/08/18 13:46 ~ 14:06 ~ 14:26	YK	中	194.0	41
176	2007/08/18 18:06 ~ 18:46 ~ 19:26	DJD	輕	210.0	81
177	2007/08/19 02:16 ~ 02:46 ~ 03:16	CG	輕	332.5	61
178	2007/08/19 08:26 ~ 08:36 ~ 08:46	YK	輕	407.8	21
2007年 韋帕 (WIPHA)					
179	2007/09/17 06:41 ~ 06:53 ~ 07:10	Yonaguni	中	405.0	30
180	2007/09/17 09:05 ~ 09:17 ~ 09:28	Yonaguni	中	354.3	24
181	2007/09/17 17:56 ~ 18:08 ~ 18:19	PJY	中	325.1	24
182	2007/09/17 18:37 ~ 18:42 ~ 18:54	KL	中	307.3	18

183	2007/09/17	20:15 ~ 20:20 ~ 20:56	Yonaguni	中	126.8	42
184	2007/09/17	20:56 ~ 21:02 ~ 21:07	Yonaguni	中	111.6	12
185	2007/09/17	21:48 ~ 21:59 ~ 22:05	Yonaguni	中	103.5	18
186	2007/09/17	22:17 ~ 22:57 ~ 23:37	Yonaguni	中	90.4	81
187	2007/09/17	23:43 ~ 09/18 00:06 ~ 00:29	Yonaguni	中	78.1	47
188	2007/09/18	00:40 ~ 00:58 ~ 01:26	BC	中	235.7	47
189	2007/09/18	03:16 ~ 03:27 ~ 04:02	Yonaguni	中	88.6	47
190	2007/09/18	05:29 ~ 05:35 ~ 05:47	PJY	中	64.3	19
191	2007/09/18	17:35 ~ 17:53 ~ 18:10	Yonaguni	中	378.8	36
2007年柯羅莎 (KROSA)						
192	2007/10/05	06:42 ~ 07:10 ~ 07:28	Yonaguni	強	421.9	47
193	2007/10/05	11:01 ~ 11:13 ~ 11:19	Yonaguni	強	357.3	19
194	2007/10/05	11:36 ~ 11:42 ~ 11:47	Yonaguni	強	343.8	12
195	2007/10/05	12:28 ~ 12:34 ~ 12:39	Yonaguni	強	337.2	12
196	2007/10/05	12:47 ~ 12:55 ~ 13:19	LY	強	344.9	33
197	2007/10/05	13:35 ~ 13:43 ~ 13:51	LY	強	331.1	17
198	2007/10/05	14:30 ~ 14:36 ~ 14:48	Yonaguni	強	269.4	19
199	2007/10/05	14:47 ~ 14:55 ~ 15:03	LY	強	309.5	17
200	2007/10/05	16:37 ~ 16:49 ~ 17:00	Yonaguni	強	232.0	24
201	2007/10/05	17:18 ~ 17:23	Yonaguni	強	216.6	6
202	2007/10/05	17:23 ~ 17:35 ~ 17:46	Yonaguni	強	224.7	24
203	2007/10/05	18:15 ~ 18:21 ~ 18:33	Yonaguni	強	203.1	19
204	2007/10/05	18:38 ~ 18:44 ~ 18:56	Yonaguni	強	192.9	19
205	2007/10/05	19:43 ~ 19:51 ~ 20:31	LY	強	282.6	49
206	2007/10/05	19:30 ~ 19:53 ~ 20:05	Yonaguni	強	176.6	36
207	2007/10/05	20:16 ~ 20:22 ~ 20:28	Yonaguni	強	163.9	13
208	2007/10/05	20:28 ~ 20:40 ~ 20:51	Yonaguni	強	168.9	24
209	2007/10/05	21:26 ~ 21:37 ~ 21:49	Yonaguni	強	142.2	24
210	2007/10/05	21:54 ~ 22:06 ~ 23:04	Yonaguni	強	136.2	71
211	2007/10/05	22:24 ~ 22:30 ~ 22:41	PJY	強	288.1	18
212	2007/10/05	23:27 ~ 23:33 ~ 23:45	Yonaguni	強	104.9	19
213	2007/10/06	00:08 ~ 00:13 ~ 00:19	PJY	強	256.2	12
214	2007/10/06	00:36 ~ 00:42 ~ 01:05	Yonaguni	強	80.1	30
215	2007/10/06	00:54 ~ 00:59 ~ 01:17	KL	強	220.8	24
216	2007/10/06	02:26 ~ 02:38 ~ 02:49	PJY	強	186.5	24
217	2007/10/06	03:01 ~ 03:18 ~ 03:35	PJY	強	168.5	35
218	2007/10/06	03:47 ~ 04:10 ~ 04:15	PJY	強	150.4	29

219	2007/10/06 04:33 ~ 04:50 ~ 05:07	KL	強	123.2	35
220	2007/10/06 05:25 ~ 05:42 ~ 05:48	KL	強	92.1	24
221	2007/10/06 05:48 ~ 06:11 ~ 06:23	KL	強	79.4	36
222	2007/10/06 06:41 ~ 07:15 ~ 07:44	PJY	強	135.3	64
223	2007/10/06 11:12 ~ 11:17 ~ 11:23	PJY	中	177.8	12
224	2007/10/06 15:09 ~ 15:15	PJY	中	71.4	7
2008年 卡玫基 (KALMAEGI)					
225	2008/07/18 18:39 ~ 18:46 ~ 19:16	PH	輕	528.3	38
2008年 鳳凰 (FUNG-WONG)					
226	2008/07/27 10:12 ~ 10:20 ~ 10:35	LY	中	200.6	24
227	2008/07/27 12:35 ~ 12:42 ~ 12:50	LY	中	160.1	16
228	2008/07/27 12:50 ~ 12:57 ~ 13:12	LY	中	163.5	23
229	2008/07/27 15:20 ~ 15:35 ~ 15:50	LY	中	140.5	31
230	2008/07/29 01:01 ~ 01:54 ~ 02:31	KH	輕	558.0	91
2008年 如麗 (NURI)					
231	2008/08/21 15:09 ~ 15:16 ~ 15:24	KH	中	488.6	16
232	2008/08/21 17:39 ~ 17:46 ~ 17:54	KH	中	506.5	16
2008年 辛樂克 (SINLAKU)					
233	2008/09/10 09:06 ~ 09:36 ~ 09:58	LY	中	352.0	53
234	2008/09/10 17:51 ~ 17:58 ~ 18:06	LY	中	323.0	16
235	2008/09/11 13:57 ~ 14:03 ~ 14:15	YL	強	448.5	19
236	2008/09/11 21:54 ~ 22:01	KL	強	414.1	8
237	2008/09/12 08:06 ~ 08:24 ~ 08:30	Yonaguni	強	147.7	25
238	2008/09/12 08:30 ~ 08:42 ~ 09:13	Yonaguni	強	151.9	44
239	2008/09/12 11:39 ~ 11:45 ~ 11:51	KL	強	268.4	13
240	2008/09/13 06:51 ~ 08:29 ~ 08:35	TS	中	164.2	105
241	2008/09/13 08:41 ~ 09:48 ~ 10:06	Yonaguni	中	56.7	86
242	2008/09/13 10:19 ~ 10:25 ~ 10:37	Yonaguni	中	44.4	19
243	2008/09/13 10:13 ~ 10:31 ~ 10:37	KL	中	130.6	25
244	2008/09/13 10:37 ~ 11:01 ~ 11:14	Yonaguni	中	47.7	38
245	2008/09/13 11:32 ~ 11:38 ~ 11:50	Yonaguni	中	53.6	19
246	2008/09/13 12:15 ~ 12:33 ~ 12:45	Yonaguni	中	59.0	31
247	2008/09/13 15:01 ~ 15:25 ~ 16:02	KL	中	80.9	62
248	2008/09/15 01:13 ~ 01:25 ~ 01:43	Yonaguni	輕	293.8	31
2008年 薔蜜 (JANGMI)					
249	2008/09/27 15:06 ~ 15:21 ~ 15:29	LY	強	266.4	24
250	2008/09/27 17:21 ~ 17:29 ~ 17:59	LY	強	230.0	39

251	2008/09/27	18:09 ~ 18:22 ~ 18:34	Yonaguni	強	313.3	26
252	2008/09/27	21:59 ~ 22:14 ~ 22:21	LY	強	212.0	23
253	2008/09/27	23:17 ~ 23:24 ~ 23:30	Yonaguni	強	203.9	14
254	2008/09/27	23:59 ~ 09/28 00:29 ~ 00:59	LY	強	208.4	61
255	2008/09/28	00:58 ~ 01:17 ~ 01:41	YL	強	240.8	44
256	2008/09/28	01:35 ~ 01:55 ~ 02:13	Yonaguni	強	157.8	39
257	2008/09/28	02:13 ~ 02:33 ~ 02:51	PJY	強	278.1	39
258	2008/09/28	04:05 ~ 04:17 ~ 04:23	Yonaguni	強	111.7	19
259	2008/09/28	04:30 ~ 04:48	Yonaguni	強	97.7	19
260	2008/09/28	05:37 ~ 05:43 ~ 05:52	YL	強	119.9	16
261	2008/09/28	06:17 ~ 06:29 ~ 06:41	Yonaguni	強	92.8	25
262	2008/09/28	07:04 ~ 07:23 ~ 07:35	KL	強	102.1	32
263	2008/09/28	15:05 ~ 15:17 ~ 15:39	Yonaguni	中	173.4	35



表 2 2000~2008 年 263 個雨帶依雨帶通過氣象站時的颱風強度及各  
颱風強度之個數統計。

輕度颱風	中度颱風	強度颱風
35	142	86



表 3 2000~2008 年 263 個雨帶依雨帶與颱風中心之徑向距離(單位為公里)及各徑向距離個數統計。

距離	個數
0~50	2
51~100	40
101~150	61
151~200	45
201~250	40
251~300	25
301~350	20
351~400	9
401~450	7
451~500	7
501~550	5
551~600	1
601~650	1



表 4 2000~2008 年 263 個雨帶通過之氣象站與觀測通過各氣象站雨帶其都卜勒雷達站及仰角，下表中 PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY 分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站。

中央氣象局都卜勒雷達站名稱	仰角	雨帶通過之氣象站名稱
七股雷達 (RCCG)	第二層仰角 (1.4°)	KH、DJD、CG、TN、YK、PH
墾丁雷達 (RCKT)	第二層仰角 (1.4°)	LY
五分山雷達 (RCWF)	第一層仰角 (0.4°)	Yonagunijima
	第二層仰角 (1.4°)	PJY、KL、YL、TS、BC



表 5 2000~2008 年 263 個雨帶依寬度(單位為公里)及各寬度個數統計。

寬度	個數
0.0~5.0	5
5.1~10.0	33
10.1~15.0	70
15.1~20.0	62
20.1~25.0	53
25.1~30.0	14
30.1~35.0	15
35.1~40.0	7
40.1~45.0	2
45.1~50.0	1
50.1~55.0	1

表 6 2000~2008 年 263 個雨帶各氣象參數振幅的平均值、最大值及標準差。下列數值為四捨五入到小數點後一位。

2000 年~2008 年 263 個雨帶						
	$\Delta P$ (mb)	$\Delta P'$ (mb)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T_d$ (°C)	$\Delta EPT$ (K)	$\Delta RH$ (%)
平均值	1.2	0.9	0.8	0.9	4.0	3.9
最大值	7.2	7.8	4.0	3.8	15.0	31
標準差( $\sigma$ )	1.0	0.8	0.9	0.8	3.4	4.0

2000 年~2008 年 263 個雨帶						
	$\Delta W_s$ (m s <sup>-1</sup> )	$\Delta W_d$ (deg)	$\Delta V_c$ (m s <sup>-1</sup> )	$\Delta V_p$ (m s <sup>-1</sup> )	<i>max RR</i> (mm hr <sup>-1</sup> )	<i>max RMN</i> (mm min <sup>-1</sup> )
平均值	3.7	17.8	4.1	3.7	35.0	0.9
最大值	17.5	160.0	18.6	21.3	225.0	4.0
標準差( $\sigma$ )	3.0	24.1	3.7	3.1	38.6	0.6

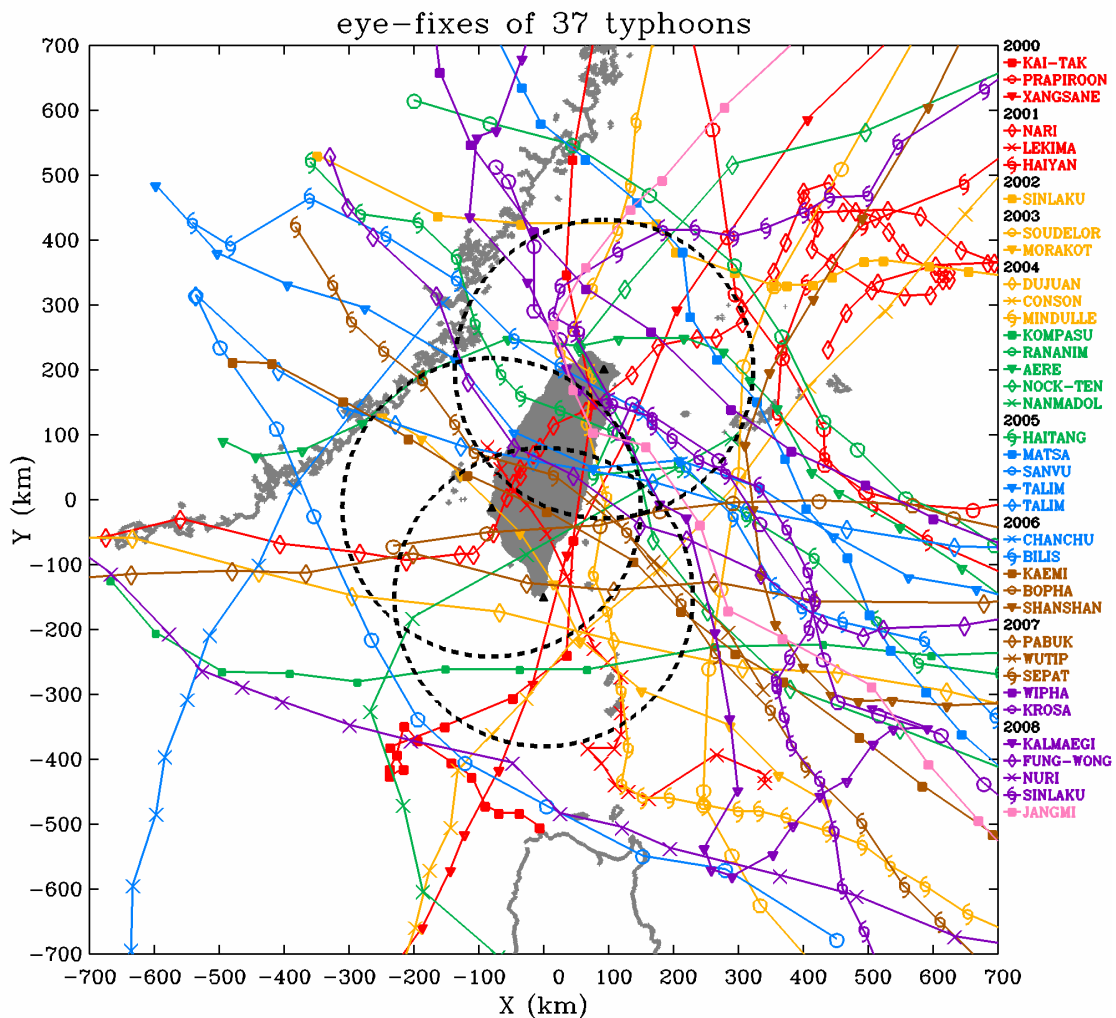


圖 3.1 2000~2008 年 263 個雨帶之颱風路徑圖(共 37 個颱風)。灰線為海岸線，台灣以灰色填滿。色階及不同符號代表各颱風之最佳路徑(每隔 6 小時一點，時間單位為 UTC)，其颱風名稱標示於圖右方(資料來源：中央氣象局)。▲符號為雷達站所在位置，虛線圓圈為各雷達掃描之範圍。

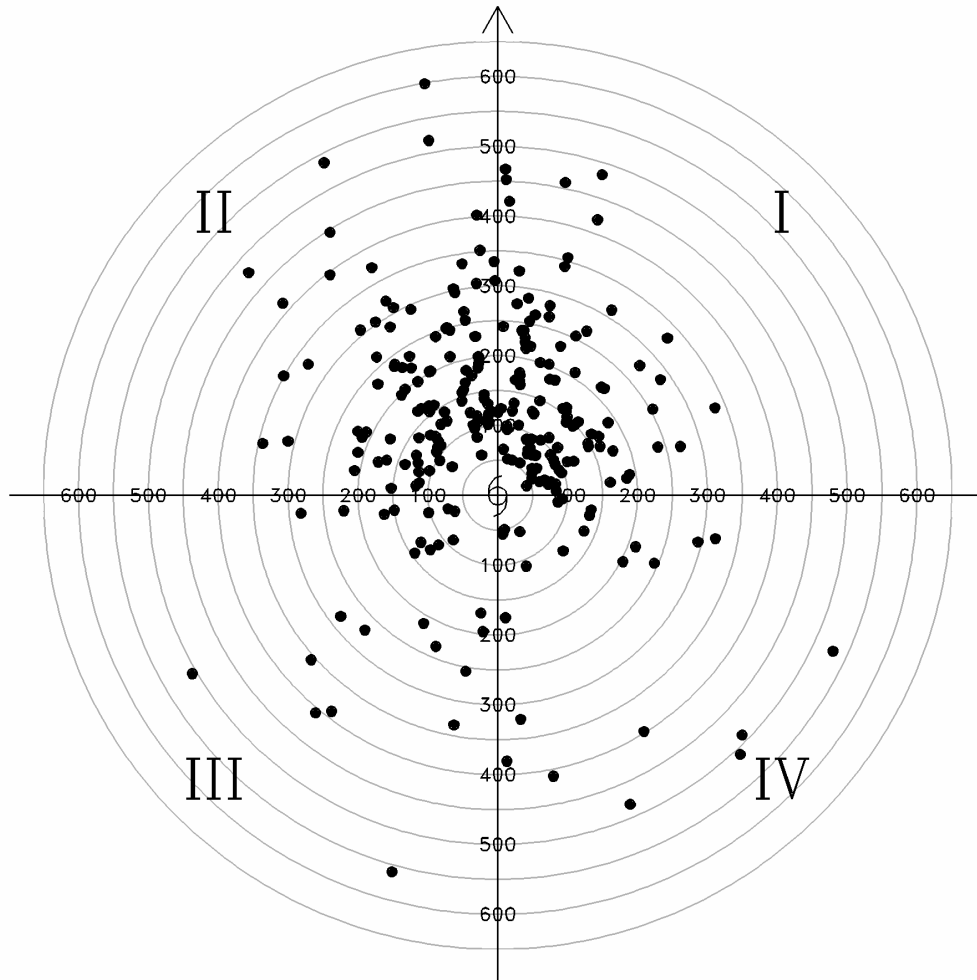


圖 3.2 相對於颱風行進方向及雨帶分佈位置之象限圖，箭頭代表颱風之行進方向，颱風中心以  $\text{⑨}$  符號標示，一個雨帶以一個點代表，距離間隔為 50 公里(灰色圓圈)。颱風行進之右前方、左前方、左後方、右後方以 I、II、III、IV 符號標示，分別代表相對於颱風行進方向之第一象限、第二象限、第三象限及第四象限。

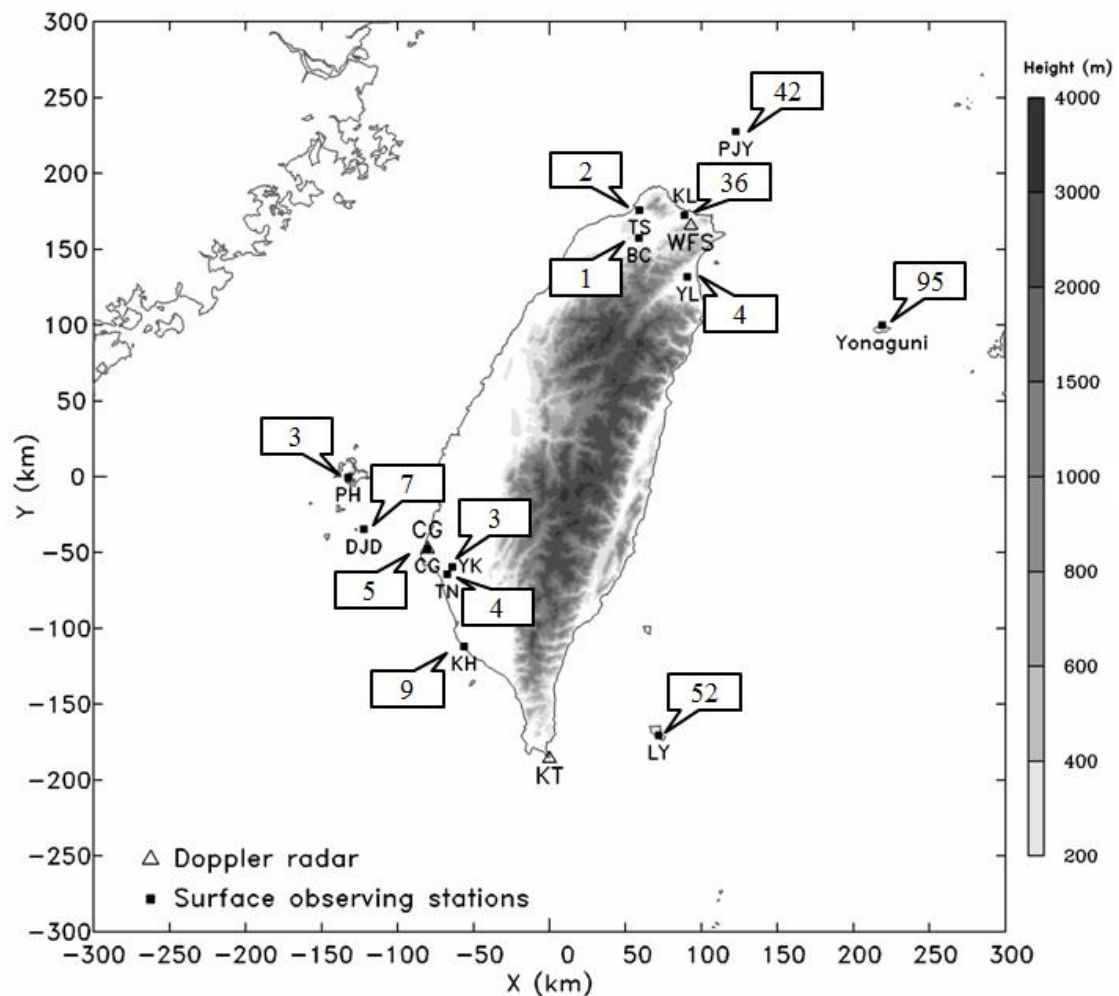


圖 3.3 2000~2008 年 263 個颱風雨帶通過之氣象站及數量。色階部份為地形高度(單位為公尺)，間距如圖上方所標示。圖中 PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY(由北而南)分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼地面氣象站(★為氣象站所在位置)，WFS、CG、KT 分別代表中央氣象局五分山、七股、墾丁都卜勒雷達站(▲為雷達站所在位置)。各氣象站名稱旁之方框為通過此氣象站之雨帶的數量。

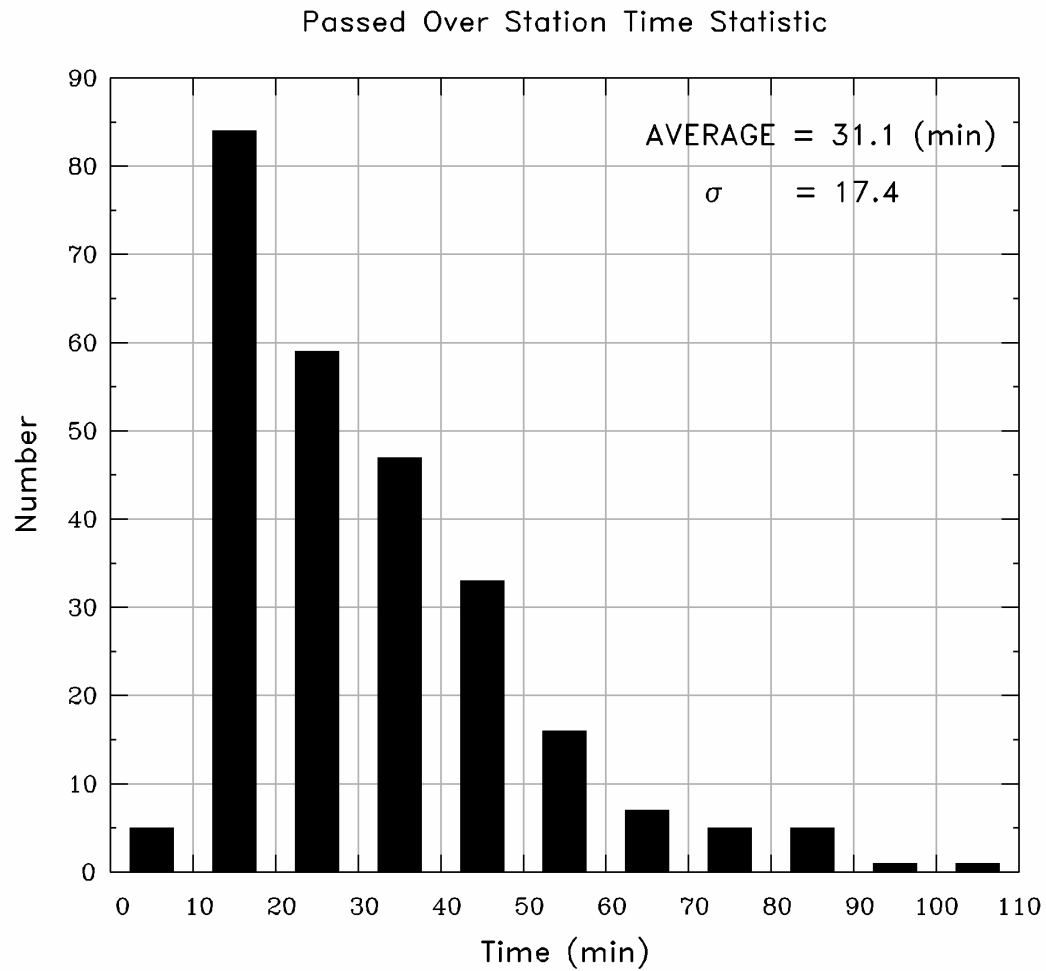


圖 3.4 2000~2008 年 263 個雨帶通過氣象站之時間及各時間個數統計圖，黑色粗實線表示在各時間內雨帶發生的個數，個數標示於圖左方，時間以每 10 分鐘為單位，並標示於圖下方。

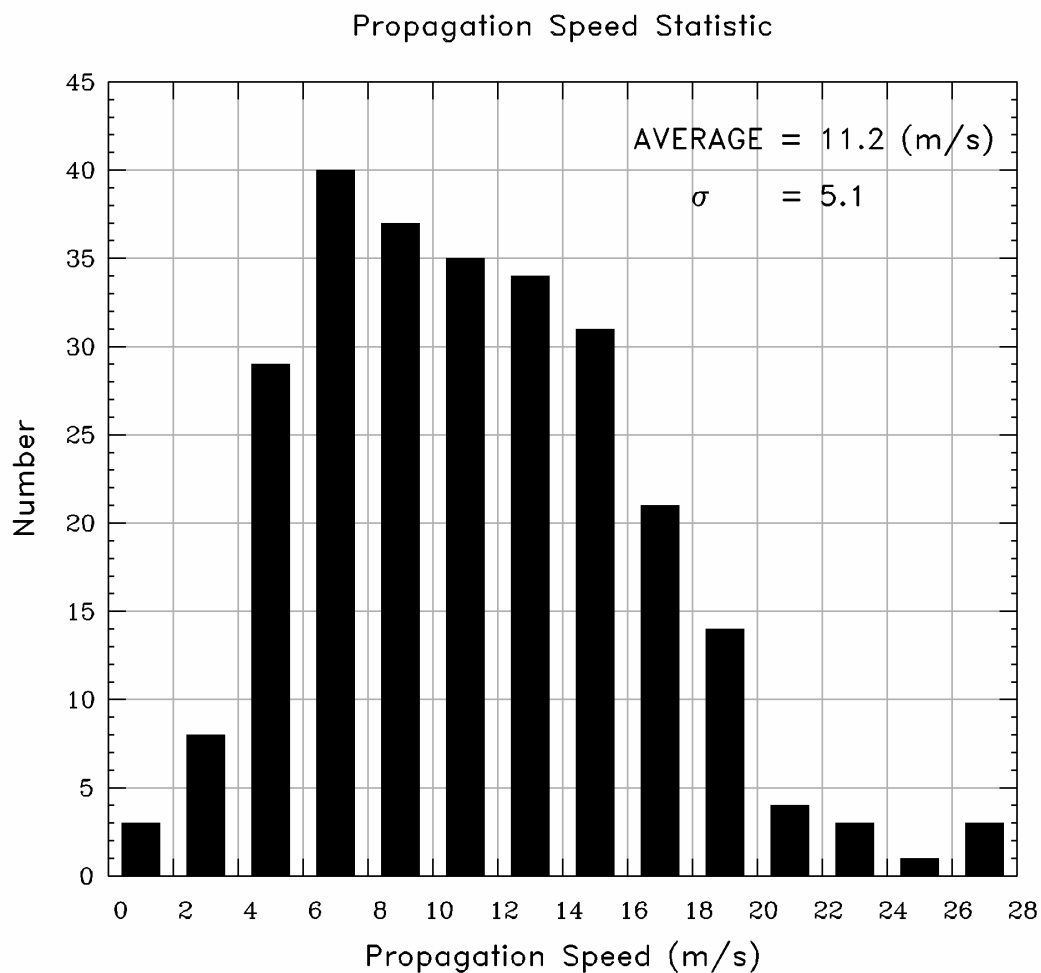


圖 3.5 2000~2008 年 263 個雨帶在邊界內之移動速度及各移動速度個數統計圖，黑色粗實線表示在各移動速度內雨帶發生的個數，個數標示於圖左方，移動速度以每  $2.0 \text{ m s}^{-1}$  為單位，並標示於圖下方。



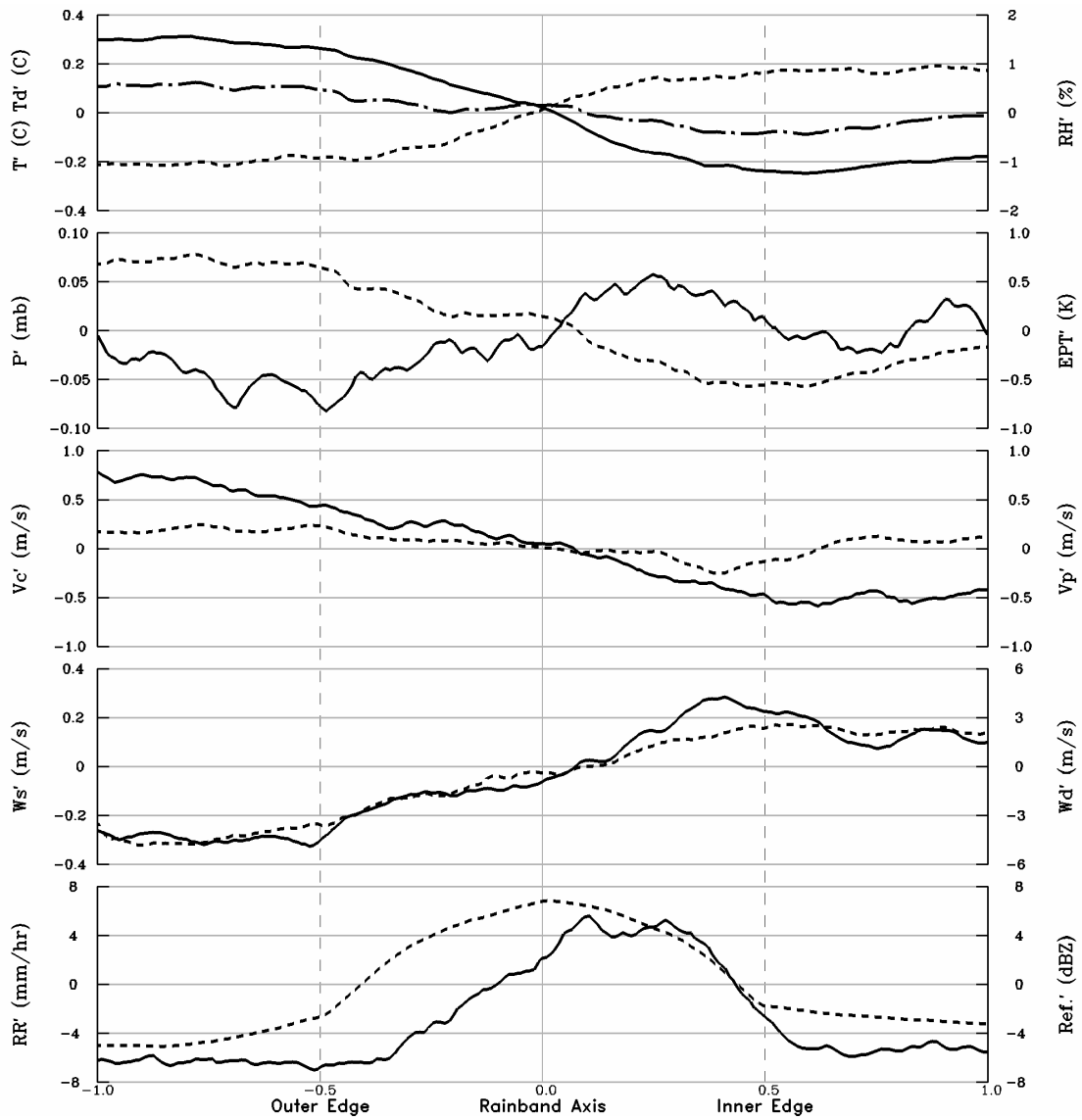


圖 4.1 2000~2008 年 263 個雨帶合成之地面觀測特徵，由上至下(左欄為黑實線、右欄為虛線)分別為：擾動溫度( $T'$ )、擾動露點溫度( $T_d'$ )(點虛線)、擾動相對濕度( $RH'$ )、擾動氣壓( $P'$ )、擾動相當位溫( $EPT'$ )、擾動橫越雨帶氣流( $V_c'$ )、擾動平行雨帶氣流( $V_p'$ )、擾動風速( $W_s'$ )、擾動風向( $W_d'$ )、擾動降雨率( $RR'$ )、擾動雷達回波( $Ref'$ )隨時間的變化。雨帶的外邊界及內邊界在圖下方的橫軸分別標示為-0.5 及 0.5。

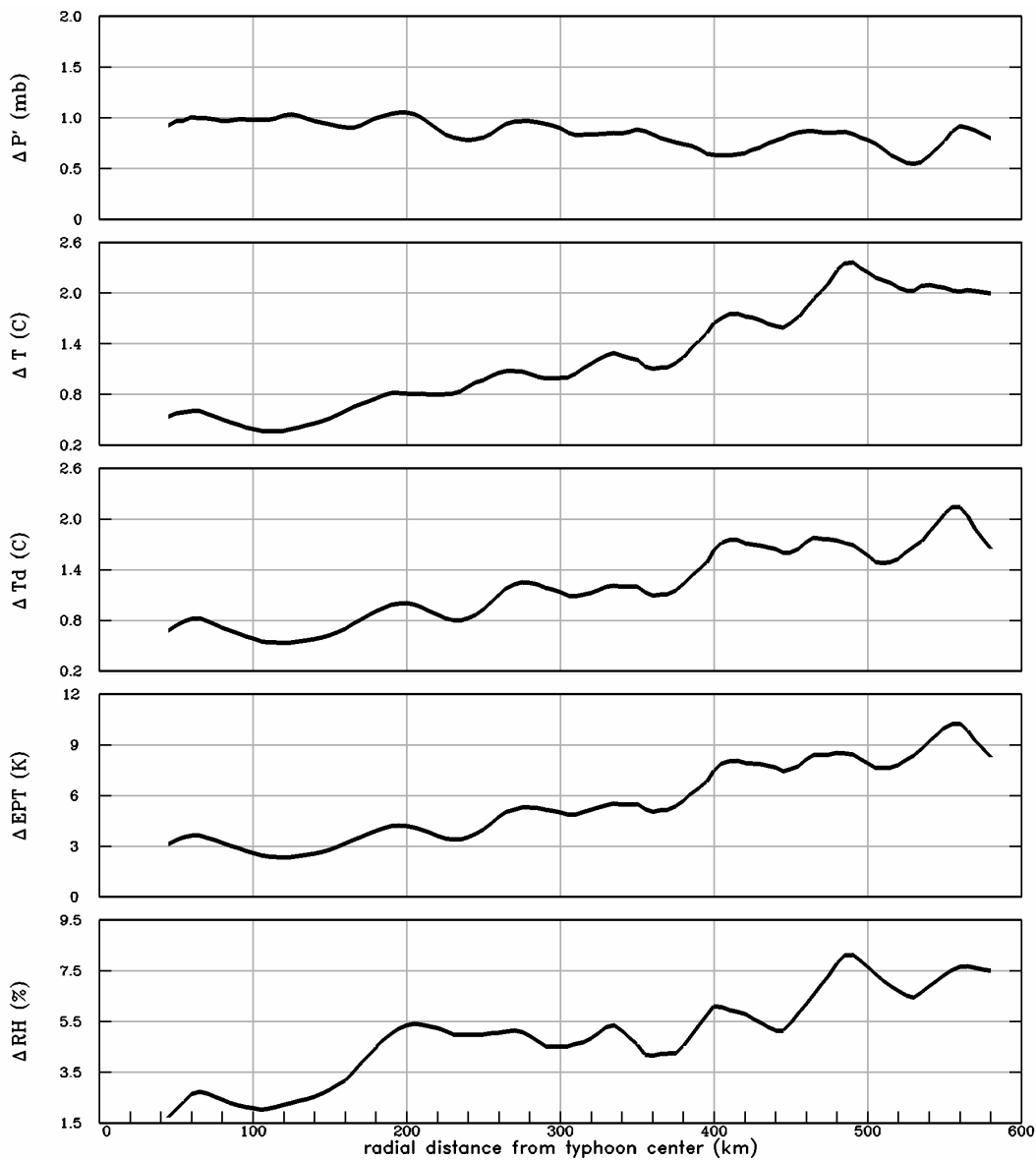


圖 4.2 2000~2008 年 263 個雨帶合成之氣象參數振幅，由上至下分別為：擾動氣壓振幅( $\Delta P'$ )、溫度振幅( $\Delta T$ )、露點溫度振幅( $\Delta T_d$ )、相當位溫振幅( $\Delta EPT$ )、相對濕度振幅( $\Delta RH$ )。雨帶與颱風中心的徑向距離標示在圖下方，間距為 20 km。

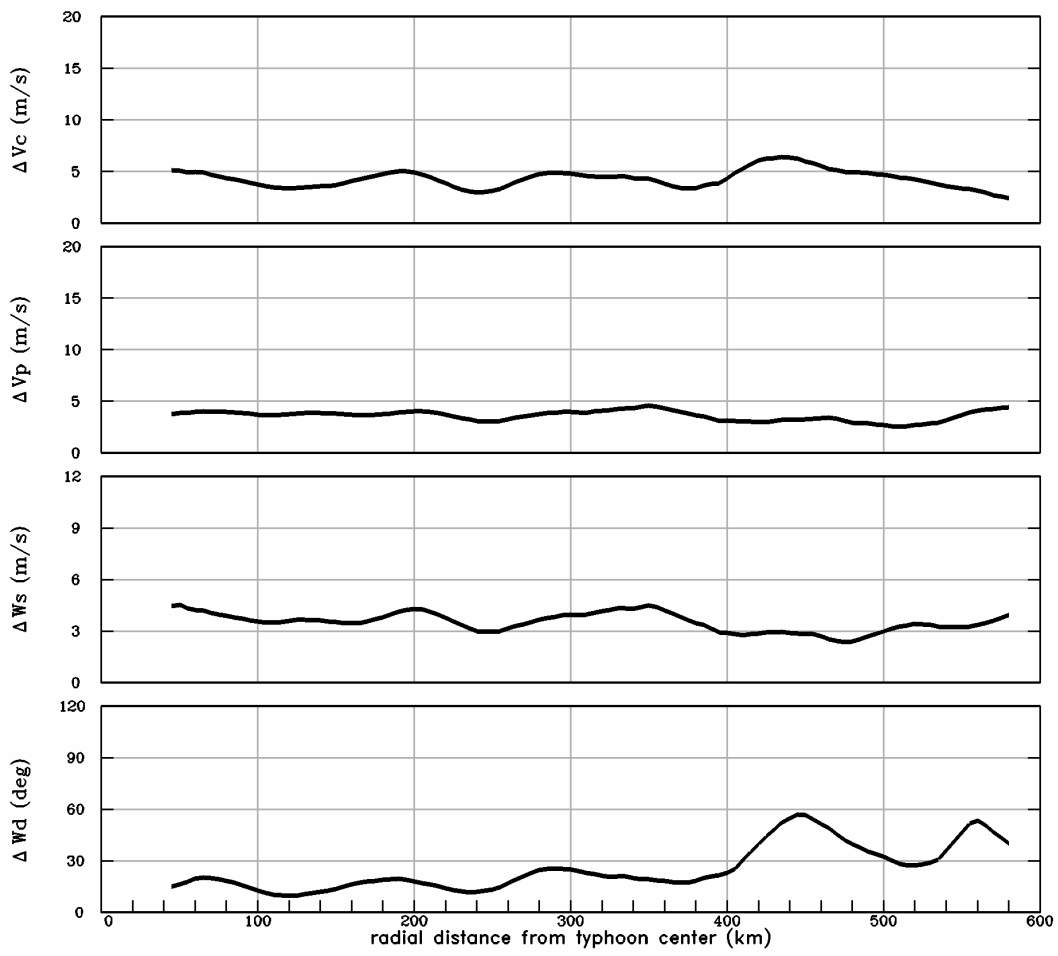


圖 4.3 同圖 4.2 但為橫越雨帶氣流振幅( $\Delta V_c$ )、平行雨帶氣流振幅( $\Delta V_p$ )、風速振幅( $\Delta W_s$ )、風向振幅( $\Delta W_d$ )。

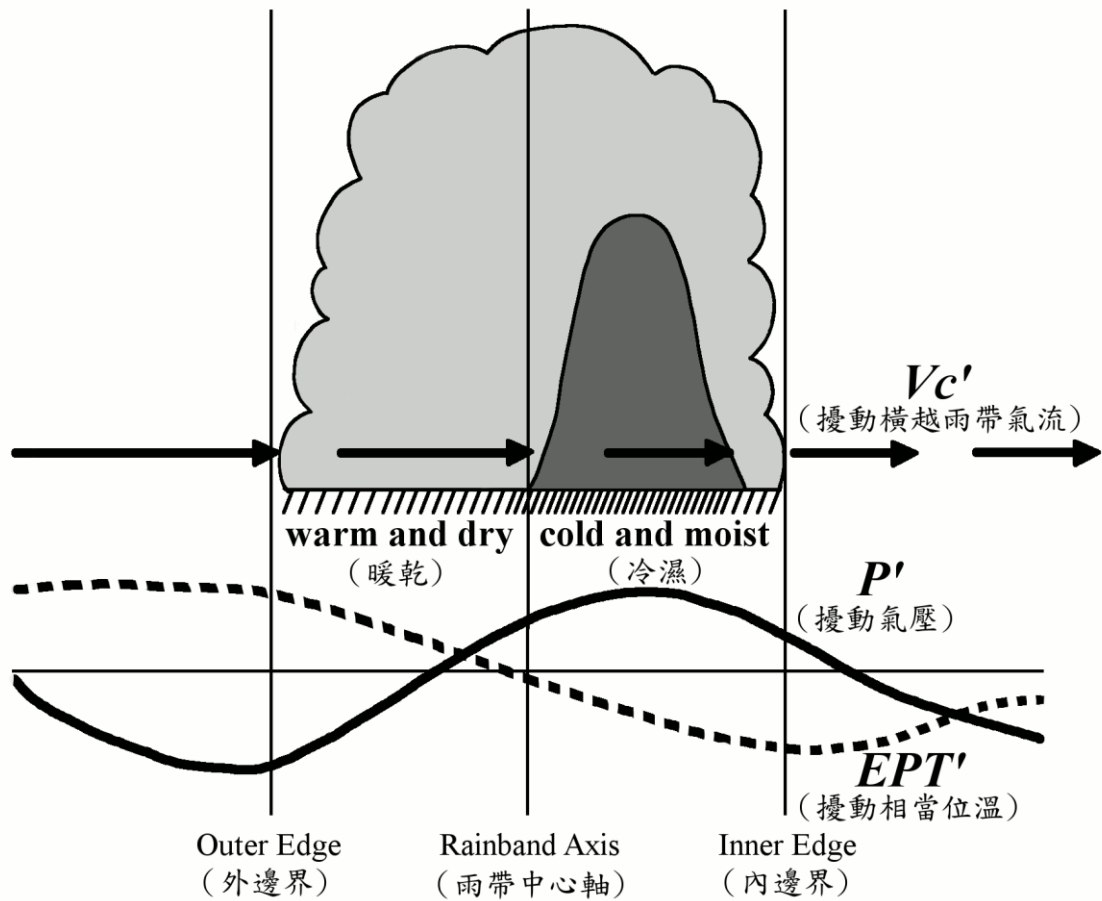


圖 5.1 2000~2008 年 263 個雨帶之平均地面觀測特徵示意圖。雲區代表雨帶位置，以淺灰色填滿，強降雨區以深灰色填滿。箭頭為平均擾動橫越雨帶氣流( $V_c'$ )、黑曲線為平均擾動氣壓( $P'$ )、虛線為平均擾動相當位溫( $EPT'$ )的變化。