

# 利用高解析度地面觀測及雷達資料研究颱風雨帶內部擾動及振幅特徵

陳滢<sup>\*</sup> 游政谷

中國文化大學大氣科學系

## 摘要

本研究利用中央氣象局高解析度地面觀測及都卜勒雷達資料分析2000~2008年間共264個颱風雨帶。由地面觀測分析顯示出在雨帶外邊界及內邊界內，平均擾動溫度下降約0.4°C，平均擾動露點溫度下降約0.2°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，兩者相差約0.15mb，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1.2K，但平均擾動相對濕度卻上升約2%；平均擾動橫越雨帶的氣流(perturbation cross-band flow)下降約1 m s<sup>-1</sup>，相對於平均擾動橫越雨帶的氣流的變化，平均擾動沿著雨帶的氣流(perturbation along-band flow)的變化就非常微弱，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且平均擾動風向為順時鐘轉變；平均擾動降雨率在雨帶內邊界內側有一極大值，於外邊界及內邊界的極小值相差12 mm hr<sup>-1</sup>；平均擾動雷達回波在雨帶中心軸達到極大值，於兩側逐漸減弱。由雨帶邊界內氣象參數的振幅分析顯示，隨著與颱風中心之徑向距離的增加，溫度、露點溫度、相當位溫及相對濕度的振幅都有明顯的上升；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；但橫越雨帶的氣流、沿著雨帶的氣流、風速及風向的變化卻無顯著的振幅變化；顯示出在不同之徑向距離間，雨帶的特性其實不甚相同。

關鍵字：颱風雨帶、都卜勒雷達

## 一、前言

雷達資料從1940年代初開始被使用，觀測發現熱帶氣旋的降水在風暴中呈現不均勻分佈，但卻會在某些局部區域呈現有組織的、帶狀的特徵，即稱之為「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)。雨帶對熱帶氣旋的演變及強度之可能的重要性已被廣泛的承認(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。

在過去數十年及近幾年，首先提供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)。儘管這些飛機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，但我們對接近於地面雨帶結構特徵的了解卻很少，係因陸地有很大的摩擦力且由於飛機飛行層固有的限制，大部分觀測資料的收集通常限制高於海平面150~500公尺以上的空曠海洋上空。因此了解當雨帶通過地面觀測站時的特徵是非常重要的，不僅是因為雨帶對由熱帶旋造成的地面災情有直接影響，且可更完善的詮釋當雨帶通過陸地時的觀測特徵。

## 二、資料及研究方法

### (一) 資料來源

本研究利用中央氣象局都卜勒的雷達資料(包含五分山、七股及墾丁)、局屬觀測站逐分資料及日本氣象廳與那國島測候所逐分資料。

### (二) 研究方法

將2000~2008年間有發警報颱風之都卜勒雷達資料繪製成PPI(仰角0.4°及1.4°)雷達回波圖，檢視完每一張圖後，主觀判斷出264個雨帶。

所選之264個颱風雨帶其邊界的雷達回波(PPI)需大於20dBZ，利用PPI所定義之雨帶邊界在20~35dBZ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。除了上述規定，雨帶還必須通過中央氣象局的局屬地面觀測站或日本氣象廳的氣象台觀測站(本研究只利用與那國島測候所)，此舉乃為了可有效利用高時間解析度的地面觀測資料(一個雨帶通過一個測站，以雨帶通過某一個測站時形狀最完整、邊界可適當定義且較垂直通過測站者為首選)。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)。並利用地面觀測站逐分之觀測資料，分析264個颱風雨帶的地面觀測特徵。

### 三、選取之颱風概述

#### 1. 觀測到可研究之雨帶的颱風

本研究分析 2000~2008 年間共 37 個颱風個案之雨帶，分別為 2000 年啟德(KAI-TAK)、巴比倫(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。

#### 2. 雨帶相對於颱風行進方向的象限

颱風行進之方向以雨帶中心軸時間之小時與後一小時間颱風中心移動之角度作為代表，雨帶與颱風中心之距離係以兩者之網格式點相差所計算出。以垂直雨帶角度及測站之連線與雨帶中心軸時間外邊界之交點代表雨帶之網格式點，再以雷達中心定位內插出雨帶中心軸時間時颱風中心之網格式點，兩者相差經換算即為距離。

#### 3. 雨帶通過之地面觀測站及數量

2000~2008 年 264 個雨帶共通過 13 個地面觀測站，其雨帶通過之測站名稱及數量分別為與那國島 96 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。

### 四、颱風雨帶內部擾動特徵

圖6為2000~2008年264個雨帶所合成之氣象參數隨時間的變化，以下分析方式皆先將氣象參數扣除颱風尺度的變化，即雨帶邊界內的平均值(一個雨帶一個平均值)，再normalize並composite。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，利用測站原始的風向扣除雨帶內平均的風向，最後相減所得之風向即為擾動風向。在分析擾動氣壓( $P'$ )的部份，因為所選取之雨帶通過測站的時間平均約為30分鐘(圖4)，因此使用氣壓的60分鐘滑動平均以除去雨帶尺度的氣壓變化，再利用上述所計算出之氣壓扣除雨帶邊界內的平均值，目的是除去風暴尺度的氣壓趨勢。擾動橫越雨帶的氣流(perturbation cross-band flow)與擾動沿著雨帶的氣流(perturbation along-band flow)，則需先將雨帶通過之測站的風速、風向投影至雨帶的角度(轉為u、v風)，並定義由外邊界至內邊界的u為正，正v即為正u逆時針轉90°，且u需扣除雨帶之移動速度(圖5)，再扣除颱風尺度的變化，最後所得即為

擾動橫越雨帶之氣流( $V_c'$ )，其v扣除颱風尺度的變化後即為擾動沿著雨帶之氣流( $V_p'$ )。擾動雷達回波(Ref.)為264個雨帶之合成，雷達回波係以雷達回波內插至雨帶通過測站之網格式點上，再扣除雨帶邊界內的平均值所得。

在雨帶外邊界，平均擾動氣壓有一極小值，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。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0.15mb，且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發現之大氣重力波的特性極為相似。在雨帶邊界內，平均擾動相當位溫降低最為劇烈，在邊界範圍內共降低約1.2K，並在內邊界有一極小值，顯示於雨帶內邊界時之空氣變為較乾且冷，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。在尚未扣除颱風尺度之平均橫越雨帶氣流的部分皆為正值，顯示於低層之橫越雨帶的氣流相對於雨帶為內流，扣除颱風尺度的變化後的平均擾動橫越雨帶的氣流在雨帶中心軸前為正值，雨帶中心軸通過後為負值，在雨帶邊界內的變化約為 $1 \text{ m s}^{-1}$ 。平均擾動沿著雨帶氣流的變化相對微弱，僅於內邊界內側有一明顯的低值。平均擾動風速在雨帶外邊界開始增強，平均擾動風向顯示出風向有順時鐘轉的情形。平均降雨率在雨帶中心軸及內邊界間有一極大值，約 $17 \text{ mm hr}^{-1}$ 。平均雷達回波在兩側有明顯的低值約20dBZ，極大值位於雨帶中心軸，約35dBZ左右。

### 五、颱風雨帶氣象參數振幅分析

雨帶對於熱帶氣旋的演變及強度的改變扮演重要的角色，因此探討隨著在不同之徑向距離間，雨帶各種氣象參數的振幅就顯得更為重要了。

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。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點的smooth，平滑原本平均值的連線。

圖7及8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，溫度、露點溫度、相當位溫及相對濕度的振幅都有明顯的上升。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。但橫越雨帶的氣流、沿著雨帶的氣流、風速及風向的變化卻無顯著的振幅變化。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。

### 六、結論

本研究透過中央氣象局都卜勒雷達資料及高解析度地面觀測資料詳細分析 2000~2008 年 37 個颱風共 264 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內部擾動及振幅特徵。整合前述之分析結果，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。
- (二) 熱力部份：在雨帶內部平均擾動溫度下降約 0.4°C，平均擾動相當位溫下降約 1.2K。平均擾動氣壓在雨帶通過前下降，於雨帶通過後上升，在雨帶內部上升約 1mb，有一類似波動的變化。
- (三) 動力部份：由橫越雨帶之氣流顯示出，在雨帶低層的氣流，相對於雨帶為內流。在雨帶內部平均擾動風向呈順時鐘轉且風速增加。
- (四) 振幅分析：隨著雨帶與颱風中心之徑向距離的增加，溫度、露點溫度、相當位溫及相對濕度的振幅都有明顯的上升情形，反之，氣壓隨著距離的增加，振幅有些許的下降。

## 誌謝

本研究由國科會 NSC 96-2111-M-034-001-MY3 支助進行，另外特別感謝交通部中央氣象局副局長紀水上先生及預報中心蔡立夫課長、台大大氣資料庫楊明錚先生在資料收集上的協助。

## 參考文獻

- 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.
- Chow, K. C., K. L. Chan, and A. K. H. Lau, 2002: Generation of moving spiral bands in tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 2930-2950.
- 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.
- 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.
- Ligda, M. G. H., 1955: Hurricane squall lines. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **36**, 340-342.
- May, P. T., 1996: The organization of convection in the rainbands of Tropical Cyclone Laurence. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 807-815.
- 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.
- Skwira, G. D., J. L. Schroeder, and R. E. Peterson, 2005: Surface observations of landfalling hurricane rainbands. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 454-4465.
- Staff Members, 1969: Precipitation bands of Typhoon Vera in 1959 (Part I). *J. Meteor. Soc. Japan*, **47**, 298-309.
- Ushijima, T., 1958: Outer rain bands of typhoons. *J. Meteor. Soc. Japan*, **36**, 1-10.
- Willoughby, H. E., F. D. Marks, Jr., R. J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 3189-3211.

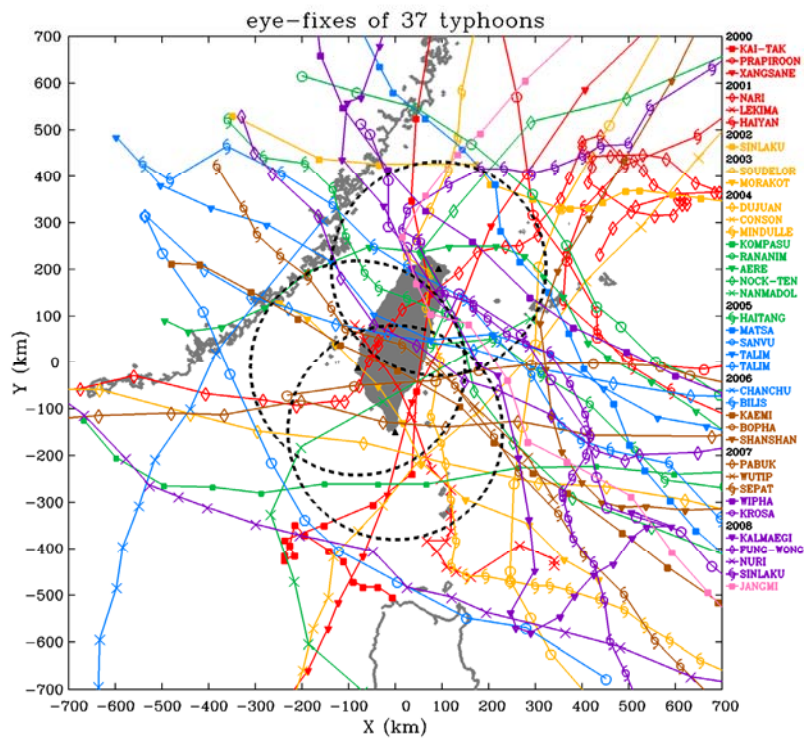


圖 1 發生選取之 2000~2008 年 264 個颱風雨帶的颱風路徑圖(共 37 個颱風)。灰線為海岸線，台灣以灰色填滿。色階部分為颱風之最佳路徑(每隔 6 小時一點)，其颱風名稱標示於圖右方(資料來源：中央氣象局)。▲符號為雷達站所在位置，虛線圓圈為雷達掃描之範圍。

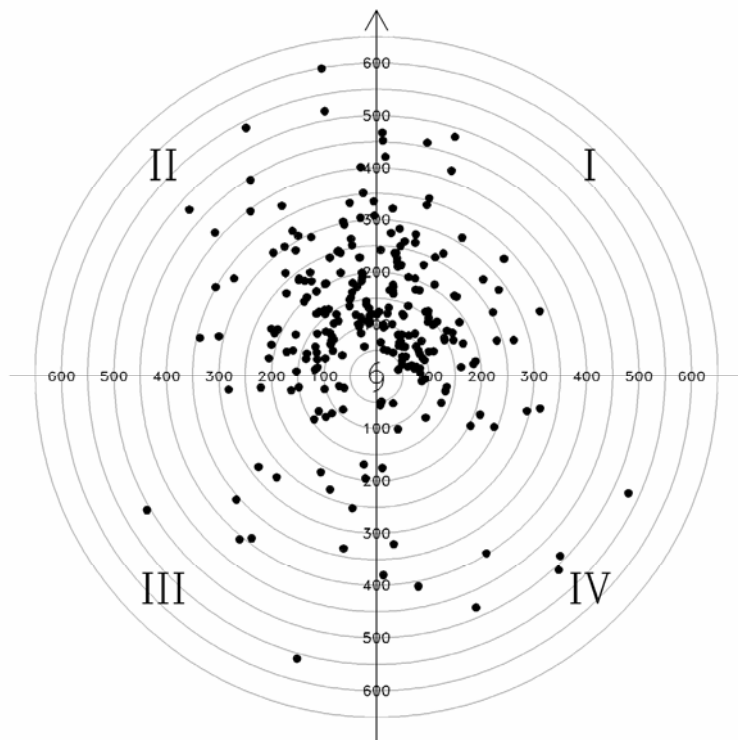


圖 2 颱風行進方向及雨帶分佈之象限圖，箭頭代表颱風之行進方向，颱風中心以 9 符號標示，一個雨帶為一個點，距離間隔為 50 公里(灰色圓圈)。颱風行進之右前方、左前方、左後方、右後方以 I、II、III、IV 符號標示，分別代表第一象限、第二象限、第三象限及第四象限。

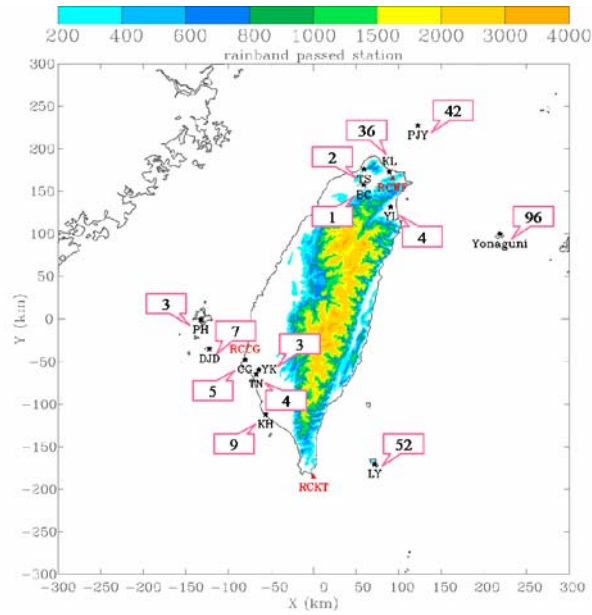


圖 3 2000~2008 年 264 個雨帶通過之測站及數量。色階部份為地形高度(單位為公尺)，間距顯示於圖上方。圖中 PJY、KL、TS、BC、YL、Yonaguni、PH、DJD、CG、YK、TN、KH、LY(由北而南分別代表彭佳嶼、基隆、淡水、板橋、宜蘭、與那國島、澎湖、東吉島、七股、永康、台南、高雄、蘭嶼觀測站(★為測站所在位置)，RCWF、RCCG、RCWF 分別為中央氣象局五分山、七股、墾丁都卜勒雷達站(▲為雷達站所在位置)。

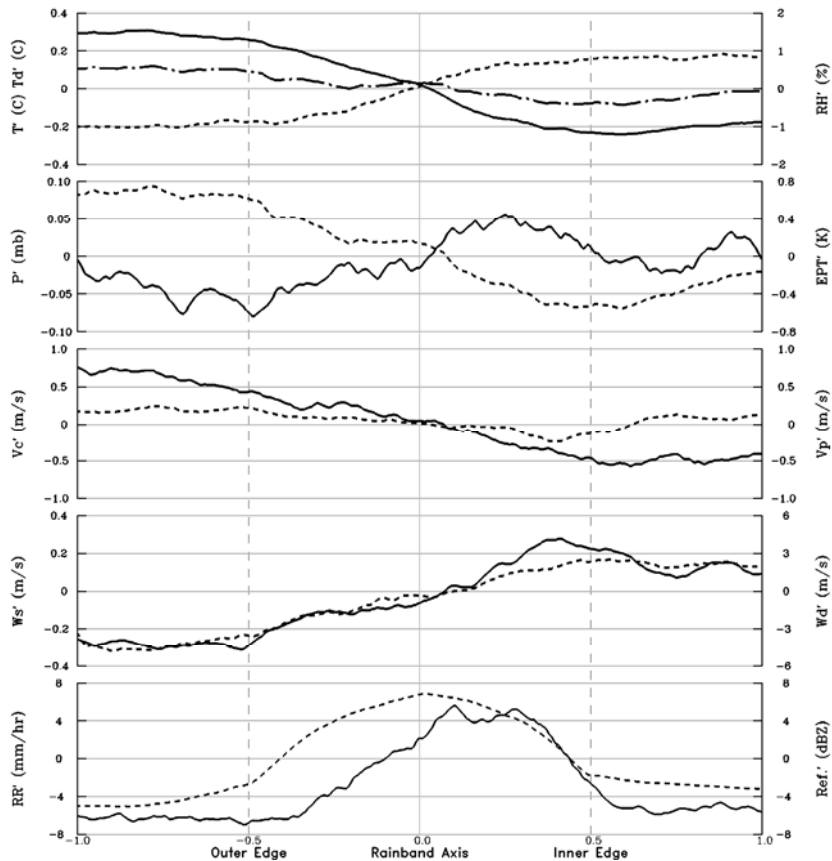


圖 4 2000~2008 年 264 個雨帶合成之地面觀測特徵，由上至下(左欄為黑實線、右欄為虛線)分別為：擾動溫度( $T'$ )、擾動露點溫度( $T_d'$ ) (點虛線)、擾動相對濕度( $RH'$ )、擾動氣壓( $P'$ )、擾動相當位溫( $EPT'$ )、擾動橫越雨帶氣流( $V_c'$ )、擾動沿著雨帶氣流( $V_p'$ )、擾動風速( $W_s'$ )、擾動風向( $W_d'$ )、擾動降雨率( $RR'$ )、擾動雷達回波( $Ref.'$ ) 隨時間的變化。雨帶的外邊界及內邊界在橫軸分別標示為-0.5 及 0.5。

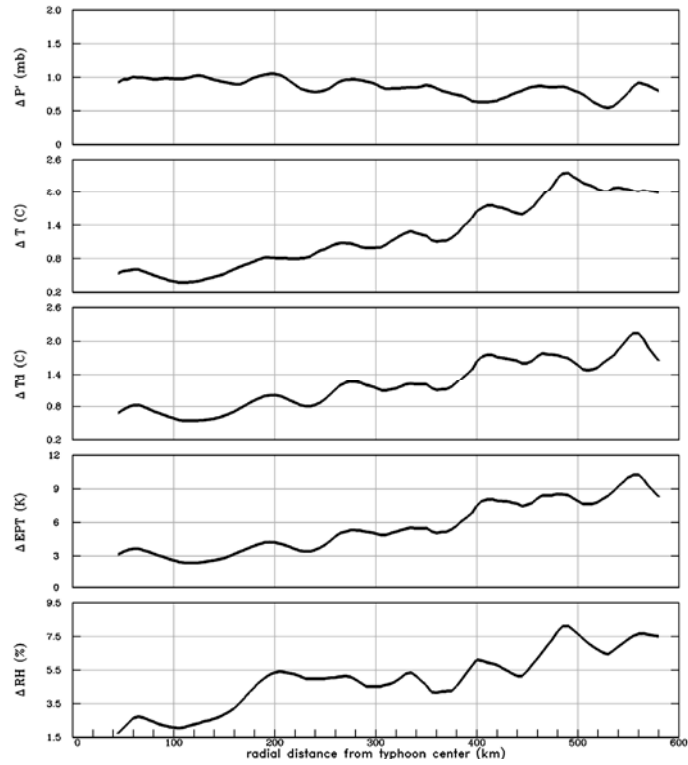


圖 5 2000~2008 年 264 個雨帶合成之氣象參數振幅，由上至下分別為：擾動氣壓振幅( $\Delta P$ )、溫度振幅( $\Delta T$ )、露點溫度振幅( $\Delta T_d$ )、相當位溫振幅( $\Delta EPT$ )、相對濕度振幅( $\Delta RH$ )。雨帶與颱風中心的徑向距離標示在圖下方，間距為 20km。

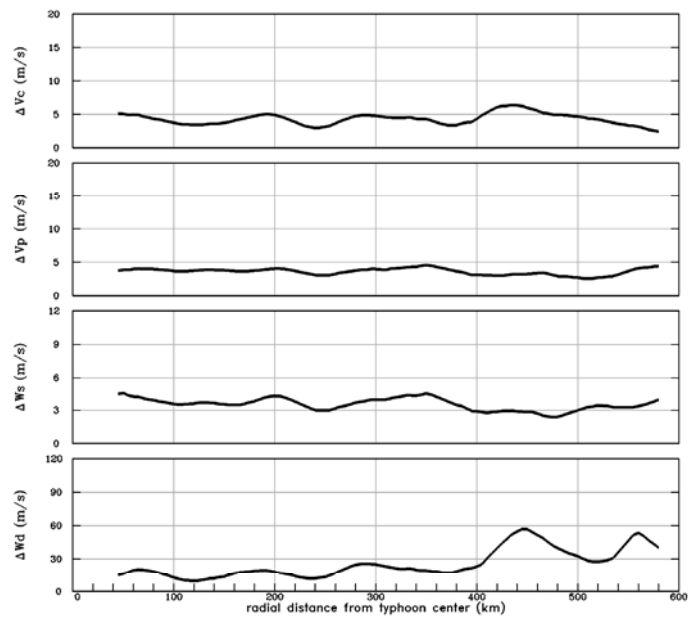


圖 6 同圖 5，但為橫越雨帶氣流振幅( $\Delta V_c$ )、沿著雨帶氣流振幅( $\Delta V_p$ )、風速振幅( $\Delta W_s$ )、風向振幅( $\Delta W_d$ )。