# 交通部中央氣象局委託研究計畫 98 期末報告

# 颱風侵台期間移行速度之研究與預報

- 計畫類別: ☑國內 □國外
- 計畫編號: MOTC-CWB-98-2 M-01
- 執行期間: 98 年 1 月 1 日至 98 年 12 月 31 日
- 計畫主持人: 郭鴻基
- 執行單位:臺灣大學大氣科學系

# 中華民國 九十八 年 十二 月

# 98 年度政府部門科技計畫期末摘要報告

# 計畫名稱:颱風侵台期間移行速度之研究與預報

審議編號:	x	部會署原計畫編號:	MOTC-CWB-98-2M-01
主管機關:	交通部中央氣象局	執行單位:	國立臺灣大學大氣科學系
計畫主持人:	郭鴻基	聯絡人:	郭鴻基
電話號碼:	(02)3366-3910	傳真號碼:	(02)2367-1291
期程:	98 年 1月 1日至 98 年 12 月 31 日		
經費 :(全程)	1850 仟元	經費(年度) 98	1850 仟元

執行情形:

1.執行進度:

	預定(%)	實際(%)	比較(%)
當年	100	100	0
全程	100	100	0

### 2.經費支用:

	預定	實際	支用率(%)
當年	1850	1850	100

全程

3.主要執行成果:

(一) 本研究蒐集建檔 1977 年至 2008 年颱風中心曾登陸台灣本島之侵台颱風路徑 資料,共 65 個個案,分析 55 個從台灣東岸登陸之個案登陸前移行速度變化。統計顯示 55 個颱風中有 34 個發生左偏特徵,平均在登陸前約 3 小時路徑曲率會有明顯變化,我 們定義明顯變化點為偏折點。偏折點在北緯 23.5 度以北的颱風中,大於 20 度偏折角的 個案佔 66.7%,北緯 23.5 度以南颱風大於 20 度偏折角的個案佔 20.5%。這些路徑偏折 除了產生登陸點的不同外,對於 3 到 6 小時雨量分布型態也有明顯的影響。當颱風定位 在東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度方格中,較大偏折角度颱風在約北緯 23.5 度以 南有較大降雨,以北以較小偏折角度颱風有較大降雨。在東經 121 到 122 度、北緯 24 到 25 度方格則是顯示在北緯 24.5 度以北是較大偏折角度颱風有較大降雨,以南則以較 小偏折角度颱風有較大降雨。此降雨位置分布顯示與颱風登陸點位置一致。

(二) 透過相關性分析,我們發現颱風在離岸 375 到 300 公里的平均移速越慢,路 徑偏折越大,越靠近海岸平均移速與路徑偏折的相關越小,且當颱風中心緯度越北個案 相關越好,選取偏折前 12 到前 9 小時平均移速做為參考移速,偏折角度在北緯 23.5 度 以北時約每增加 1 m/s,偏折角度減少 3.53 度。平均最大風速越大,路徑偏折越大,但 是颱風離岸距離沒有明顯相關的變化,中心緯度越北邊相關性越好。颱風的中心位置在 緯度小於 23.5 度之樣本會隨著緯度增加而有較明顯的路徑偏折,偏折角度分析顯示隨 偏折點緯度增加而變大,每增加 0.1 度緯度,偏折角度約增加 3.2 度。 (三) 路徑偏折的現象常會伴隨著移速變化的特徵,偏折點前3小時到登陸這段時間 的移行速率,通常會比參考移速增加約0到2m/s,統計顯示越靠近陸地,大偏折個案 與移速增加有越好的相關性,移速增加越多的個案裡,大偏折角個案的比例佔越高,我 們認為此登陸前加速的特性是由於不對稱渦度平流颱風中心同時造成颱風移向及移速 的改變。在陸期間移速統計分析則顯示,若以登陸前3小時移速為基準,北緯23.5度 以北登陸個案在陸期間移速多為減速,而在北緯23.5度以南登陸個案在陸期間移速多 為加速。

(四) 本研究中以區域淺水模式,探討渦旋通過台灣地形前發生的偏折現象,從不對 稱位渦場的分析,我們可以看到渦旋接近地形時,會把原本地形上的高位渦空氣平流下 山,平流到相對渦旋中心的西南邊,此一不對稱位渦形成之不對稱環流會平流渦旋中 心,並在地形邊與過山之氣流形成輻合,使得渦旋向行進方向的左手邊行進,此不對稱 機制與過去β gyre 動力以及地形β效應相似,且經分析顯示此不對稱位渦數量級與地球 β效應數量級約相等。另外從敏感度實驗中可發現,不對稱位渦相對渦旋中心的位置可 能會影響到路徑偏折的程度。

(五) 建立網頁互動式平台及光碟(CD-ROM),依照測站、地形及登陸點分段,將歷 史颱風之路徑、生命期強度資料(氣壓、最大風速、七級及十級陣風半徑)、個案登陸及 在陸期間前移行速度變化及路徑偏折、雨量分布氣候統計特徵,以網頁方式做互動式呈 現,透過此平台,預報員可以容易地點取歷史資料,與即時資訊做為比對,並提供氣候統計資訊,做為其預報決策的參考資訊。 4.計畫變更說明:

無

5.落後原因:

無

6.主管機關之因應對策(檢討與建議):

### 摘要

本計畫蒐集建檔 1977 年至 2008 年颱風中心曾登陸台灣本島之侵台颱風路 徑資料,共65個個案,分析55個從台灣東岸登陸之個案登陸前移行速度變化。 '選取颱風登陸前 150~200km 的路徑定位 ,用二階多項式曲線擬合( curve fitting ) 方法探討路徑偏折程度,並試著使用偏折角度分析量化分析結果,統計顯示 55 個颱風中有 34 個發生左偏特徵,平均在登陸前約 3 小時路徑曲率會有明顯變 化,我們定義明顯變化點為偏折點。偏折點在北緯 23.5 度以北的颱風中,大於 20 度偏折角的個案佔 66.7%, 北緯 23.5 度以南颱風大於 20 度偏折角的個案佔 20.5%。統計顯示登陸時較強的颱風個案中大偏折角度個案也較多,這些路徑偏 折除了產生登陸點的不同外,對於3到6小時雨量分佈型態也有明顯的影響。 當颱風定位在東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度方格中,較大偏折角度颱風 在約北緯 23.5 度以南有較大降雨,以北以較小偏折角度颱風有較大降雨。在東 經 121 到 122 度, 北緯 24 到 25 度方格則是顯示在北緯 24.5 度以北是較大偏折 角度颱風有較大降雨,以南則以較小偏折角度颱風有較大降雨。此降雨位置分佈 顯示與颱風登陸點位置一致。

透過相關性分析,我們發現颱風在離岸 375 到 300 公里的平均移速越慢, 路徑偏折越大,越靠近海岸平均移速與路徑偏折的相關越小,且當颱風在離岸 150 公里時中心緯度在 24 度以北及 24.5 度以北個案有最大的相關,選取偏折前 12 到前 9 小時平均移速做為參考移速,分析發現偏折角度在北緯 23.5 度以北時 約每增加1m/s,偏折角度減少3.53度。平均最大風速越大,路徑偏折越大, 但是颱風最大風速隨距離與路徑偏折的相關性沒有明顯變化,當中心緯度在24 度以北及24.5度以北兩組有最大負相關之樣本,偏折角度與颱風最大風速的關 係在北緯24度以北約每增加1m/s,偏折角度增加0.37度。平均差異移速越大, 路徑偏折越大,而當颱風在離陸150km到登陸間,平均移速變化與路徑彎曲有 最大的相關,我們認為此登陸前加速的特性是由於不對稱渦度平流颱風中心同時 造成颱風移向及移速的改變。另外統計結果顯示在離陸75km到登陸之間,颱風 的中心位置在緯度小於23.5度之樣本會隨著緯度增加而有較明顯的路徑偏折, 偏折角度分析顯示隨偏折點緯度增加而變大,每增加0.1度緯度,偏折角度約增 加3.2度。

路徑偏折的現象常會伴隨著移速變化的特徵,偏折點前3小時到登陸這段時間的移行速率,通常會比參考移速增加約0到2m/s,移速增加越多的個案裡, 大偏折角個案的比例佔越高。在陸期間移速統計分析則以登陸前3小時移速為基 準,北緯23.5度以北登陸個案在陸期間移速多為減速,而在北緯23.5度以南登 陸個案在陸期間移速多為加速。

區域淺水模式數值實驗顯示,渦旋接近地形時,會把原本地形上的高位渦空 氣平流下山,此一不對稱位渦形成之不對稱環流會平流渦旋中心,並在地形邊與 過山之氣流形成輻合,使得渦旋向行進方向的左手邊行進,此不對稱機制與過去 β gyre 動力以及地形β效應相似,且數量級與地球β效應約相等。而從敏感度實

Π

驗可發現,不對稱位渦相對渦旋中心的位置可能會影響到路徑的偏折程度。

目	錄
<b>H</b>	<b>火</b> 米

摘要
目錄
第一章 前言
第二章 路徑偏折分析
2.1 資料來源
2.2 偏折路徑特性
2.3 偏折角度分析12
2.4 登陸前移行速率變化1
2.5 在陸期間移行速度變化20
2.6 登陸前路徑偏折颱風雨量分佈分析2:
第三章 數值實驗探討27
3.1 模式介紹27
3.2 實驗設計與實驗方法2
3.3 敏感度測試
3.4 結果討論3
第四章 結論與未來工作

參考文獻	
------	--

# 第一章 前言

台灣地區位於西北太平洋颱風生成最多海域的西北側,為颱風最常侵襲的區 域之一。過去 30 年平均每年有 2.4 個颱風侵襲台灣,而當颱風接近陸地時,常 常受到地形的影響而產生路徑偏折或移速改變的情形,這些因地形產生的現象不 但影響預報準確度,同時也增加防救災的困擾。在現今預報與防災工作準確度與 時間解析度越來越高的要求下,颱風登陸前約 3 小時的路徑偏折對於預報颱風登 陸點及防災的工作上有很大的重要性,從 2001 年的桃芝颱風、2005 年的海棠 颱風及 2006 年的凱米颱風的路徑來看,登陸前可能受到地形影響,在靠近台灣 地形時發生沿著行進方向向左偏折的路徑,這樣的路徑偏折對於 0 到 6 小時、 數十公里的雨量預報有很大的影響。

本計畫目的在探討颱風通過台灣地形與通過前後,其路徑及移速產生的變 化。在前兩年度已經完成 1977 到 2007 年侵台颱風資料的整理與分析,並得到 颱風通過台灣時路徑偏折與颱風移行速率的特徵,並且以數值實驗建立颱風侵台 登陸前路徑偏折的概念模式。現階段工作已完成 1977 年到 2008 年共 65 個颱風 的路徑資料建檔與分析,颱風登陸前路徑偏折與移行速率的變化分析以及颱風在 陸期間移行速度的統計特徵,並使用區域淺水模式來模擬並分析颱風登陸前路徑 偏折的動力機制。

過去對於颱風登陸前路徑受地形影響的研究,發現颱風路徑的變化不是單純 由於背景平均流場與地形的交互作用所導致,應該考慮颱風環流場與地形的交互 作用。Brand and Blelloch (1974)研究西行颱風通過台灣時受地形的影響。Wang (1980)和謝等(1998)則綜合的研究台灣地形對颱風運動的影響。Bender et al.(1987)使用數值模式模擬颱風通過台灣地形時的行為,上述研究中發現在離地 形約 200 公里遠處常可看到颱風呈現氣旋式穿過台灣地形的路徑,同時伴隨著 移速加速的特徵。Yeh and Elsberry (1993a)分析 1947 到 1990 年 53 個西行颱 風以及使用數值模式模擬,發現在近海岸 250 公里以內受地形影響產生不對稱 低層環流平流颱風中心使路徑偏折,模式結果顯示颱風接近似台灣地形時會先往 南偏,在登陸前再往北偏,此南偏行為可能是由於當颱風接近地形時,地形與颱 風間空間尺度縮小,透過狹管效應( channeling effect )造成颱風西側往南風速增 分析發現此加速與颱風強度有關。Lin et al. (1999)、Lin et al. (2005)利用模式分 析,提出颱風在登陸前向南偏折可能也是透過狹管效應所造成。過去颱風路徑的 研究中,颱風外圍不對稱渦度結構的存在對於颱風路徑有很大的影響, Chan and Williams (1987), Fiorino and Elsberry (1989)所提β-gyre 效應指出颱風最大風速 外圍的不對稱 gyre 的環流平流颱風中心是主要導致颱風路徑轉向的因素,狹管 效應( channeling effect )並不能完全解釋颱風西側增強之北風是如何平流颱風 中心導致颱風轉向,且從觀測中我們可發現颱風氣旋式路徑也常在相對台灣地形

處較北邊出現,不完全符合產生狹管效應的條件。Kuo et al. (2001)以地形β效應 來詮釋渦旋在地形上的運動,渦旋氣流過山時感受到地形位渦水平梯度,渦管因 為拉伸作用(vertical stretching)受到正位渦平流引導而產生在渦旋最大風速外圍 的不對稱渦度,進而影響渦旋運動方向,實驗中渦旋會以反氣旋式路徑繞地形行 走,移速為渦旋最大風速及地形β效應乘積的平方根,此結果與 Smith (1993)、 Smith et al. (1997)提出颱風移速的冪次率一致。Zehnder (1993)淺水模式實驗 中,也可看到渦旋在接近地形時,渦旋西側會有不對稱渦度場發生。陳(2004) 也以地形β效應來解釋颱風在接近台灣地形時路徑偏折的情形。

本計畫選取 1977 到 2008 年 55 個由東向西個案登陸在台灣東岸的個案,選 取颱風登陸前 150~200km 的路徑定位,用二階多項式曲線擬合(curve fitting) 方法探討路徑偏折程度,並做偏折角度的量化分析,以提供給預報員參考,統計 顯示有 34 個個案在登陸前約 3 小時內,發生沿著行進方向左偏的路徑,此結果 與過去研究顯示一致。我們的分析發現此路徑偏折程度與移行速度的增加有關, 而路徑偏折造成的颱風登陸點差異則會和降雨分佈情形有關,透過相關性分析, 我們發現不同變數如颱風移速、颱風最大風速等不同變數對路徑偏折程度會有不 同的影響。除了登陸前路徑移行速度變化外,本計畫亦分析颱風在陸移行速度變 化的統計特徵,上述之分析成果將在第二章說明。再者,本計畫以不對稱動力觀 點,延伸 Kuo et al. (2001)地形β效應概念,以地形上存在的位渦梯度類比傳統β gyre 動力機制,說明颱風登陸前外圍不對稱位渦平流的來源,並以數值實驗做 動力機制的探討,此部分之成果將在第三章說明。第四章則是做現階段研究成果 的結論及說明未來方向。

## 第二章 路徑偏折分析

本計畫蒐集並建檔 1977 年至 2008 年颱風中心曾登陸台灣本島之侵台颱 風,共計 65 個個案,其中有 10 個個案是從台灣西邊海岸登陸,55 個個案從台 灣東邊海岸登陸。由於颱風在登陸陸地後,結構受到地形破壞,往往使得颱風中 心定位難以辨認而產生誤差,因此本計畫將把颱風侵台期間分成兩部分來加以分 析,即(一)颱風登陸前移行速度變化之分析,以及(二)颱風在陸期間移行速度 變化之分析。本計畫將以整點時間、最接近台灣本島陸地之海上颱風中心定位資 料及時間做為登陸點及登陸時間,離陸點與離陸時間依同樣方法判定。

#### 2.1 資料來源

本計畫蒐集之 1977 年至 2008 年間 65 個侵台且登陸颱風個案,其中 1977 年至 1996 年之颱風個案路徑定位資料以中央氣象局王時鼎顧問之百年侵台颱風 路徑圖集(謝 1998)之路徑資料為主,1997 年至 2008 年之颱風個案資料則以中 央氣象局颱風報告中雷達與衛星資料整合之客觀分析資料為主,整合成每小時的 颱風路徑定位。除此以外,也同樣蒐集建檔此 65 個侵台颱風個案之中央氣象局 颱風警報單、美軍聯合警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)最佳路 徑及日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA) 最佳路徑以供比較參 考。本計畫中使用之颱風強度資料,共計有 JTWC 最佳路徑之每六小時一筆之 颱風最大風速資料,以及 1977 至 1996 年的王顧問百年侵台颱風路徑圖集中之 每小時一筆之颱風最大風速及中心氣壓資料,1997 至 2008 年中央氣象局颱風 報告書中颱風最大風速及中心氣壓資料。

### 2.2 偏折路徑特性

2007至2008年間,共選取55個從台灣東邊海岸登陸之颱風個案, 分析其登陸前移行速度的變化,在我們的分析中常可看到颱風在登陸台灣前,出 現氣旋式路徑的特徵,如圖2-1,本節將分析探討不同颱風的氣旋式路徑下游向 左偏折之程度。本計畫中以二階多項式近似颱風登陸前路徑,在空間分佈上以台 灣海岸為基準大致劃分出離台灣海岸約75km、150km、225km及300km 遠的距 離,在每個颱風個案路徑中取出離岸150km 處到登陸間的颱風中心定位點來作 二階多項式曲線擬合(curve fitting),如圖2-2,首先以登陸點 ap 到離岸150km 遠處之定位點作為新*x*軸,圖中標示*x*',求出以登陸點為原點、*x*'為*x*軸之新座 標系統,若此新座標系統之*y*軸(以*y*'表示)與正北夾角為α,則此新座標系統 與經緯度座標系統在不考慮地球曲率下有以下之轉換關係:

$$x' = x\cos(\alpha) - y\sin(\alpha)$$
  

$$y' = x\sin(\alpha) + y\cos(\alpha)$$
(2.1)

其中 x'、y'為轉換後之座標, x、y為經緯度座標。離岸 150km 處到登陸間的颱 風中心定位點在新座標下可用二階多項式曲線擬合(curve fitting)求得近似路徑 的二階多項式曲線方程式(圖中紅色實線)為

$$y' = p_1 x'^2 + p_2 x$$

(2.2)

,此二階多項式曲線彎曲程度可由二次項係數 $p_1$ 決定, $p_1 < 0$ 表示此抛物線開口向下(即颱風行徑方向的左邊), $p_1$ 越小表示彎曲程度越大。總共 55 個個案中, $p_1 > 0$  個案有 20 個, $p_1 < 0$  個案有 35 個,其中 2005 年海棠颱風有極小值 $p_1 = -0.86$ 。

本計畫中利用中央氣象局之颱風定位資料計算出颱風移行速度,把所有個案 的路徑定位分為登陸點~離陸 75km、離陸 75km~150km、離陸 150km~225km、 離陸 225km~300km 及離陸 300km~375km 五個區域,計算颱風每小時移行速 度在上述區域中的平均值,以此平均值當做颱風隨著路徑移動的平均移速,並且 把

JTWC 最大風速資料經由線性內差成每小時一筆的最大風速資料,以上述平均移 速及平均最大風速跟二階多項式曲線之二次項係數做相關性分析,選取 p<sub>1</sub> < 0 個 案,去掉極小值 2005 年海棠颱風作為分析相關性之樣本,探討颱風在接近台灣 時移速與最大風速對於路徑偏折之影響。

圖 2-3 (a)為登陸台灣之颱風個案以登陸點為基準三小時平均移行速率合成 圖,橫軸 a 為登陸時間,d 為離陸時間,座標軸由右到左從登陸前 24 小時(-24) 到離陸後 12(12)小時。圖中黑實線為平均值,黑點為平均值加減一個標準差, 從登陸前 12 小時到登陸前 9 小時平均約 5.2 m/s 的移速,在登陸前 9 小時到前 6 小時開始有移速增加的特徵,到登陸前 3 小時平均移速增加到約 7 m/s。圖 2-3 (b)為颱風靠近登陸點 a 時在空間距離中的平均移速與加減一個標準差。圖中顯 示颱風靠近台灣時平均移速從 5.45 m/s 增加至 7.16 m/s,平均來說呈現加速情 形。表 2-1 為二次多項式方程式二次項係數 *p*<sub>1</sub> 與各空間距離之平均移速 U、平 均差異移速ΔU、平均最大風速 V<sub>m</sub>之相關係數。其中平均差異移速ΔU 定義為以 各空間區域平均移速與離陸 300km~375km 此區域平均移速之差值。表中可知平 均移速 U 與 *p*<sub>1</sub> 呈現正相關性,平均移速越大 *p*<sub>1</sub> 越大,路徑偏折不明顯。且相關 性隨著靠近陸地而減少,從 300km~375km 區域的 0.46 減少到登陸點~75km 區 域的 0.1。而平均最大風速 V<sub>m</sub> 與平均差異移速ΔU 相關性皆顯示為負相關,表示 *p*<sub>1</sub> 越小時 V<sub>m</sub> 與ΔU 越大,路徑偏折明顯時常會有較大的 V<sub>m</sub> 與ΔU。但兩者之相 關係數皆在 0.3 左右。

為了進一步探討颱風中心在相對台灣南北不同地形高度時各參數與路徑偏 折關係,首先在表 2-2 計算了近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 p<sub>1</sub> 與 離岸距離定位點之緯度的相關係數,並且以不同緯度做取樣標準。圖 2-4 為以颱 風在離岸 150km 處緯度及 p<sub>1</sub>之散布圖,全部個案相關係數 R<sup>2</sup>為 0.39,趨勢線 顯示緯度往北路徑彎曲程度越大,表 2-2 (a)為各緯度以南之個案,括弧內為取樣 之個案數。表 2-2 (b)為各緯度以北之個案,括弧內為取樣之個案數,個案數小於 2 之樣本不加入計算,相關係數大於 0.5 之樣本以灰色表示。結果顯示普遍來說 南邊個案 p<sub>1</sub>與緯度相關性較大,表 2-2 (a)顯示在緯度 23.5、24 及 24.5 度以南 個案相關係數達到-0.4 以上,離陸 75km 與登陸時定位點在緯度 23.5 度以南之 個案相關係數違到-0.4 以上,離陸 75km 與登陸時定位點在緯度 23.5 度以南之 颱風個案越容易有較明顯之路徑偏折發生。圖 2-5 為二次項係數 *p*<sub>1</sub> 與颱風在離 岸 150~300km 路徑定位點間平均移向散佈圖,分析個案移向分佈在 270~360 度 之間,表示多是東南到西北走向,但移向和 *p*<sub>1</sub> 無明顯關係,相關係數為-0.2。

表 2-3 為平均移速與 p, 的相關係數, 以颱風在離陸 150km 處定位點緯度作 為取樣標準,表 2-3(a)及表 2-3(b)顯示當颱風在離岸 150km 時緯度較北個案的 颱風,其離岸 375 到 300km 和 300 到 225km 處的平均移速和 p,有較好的正相 關,離岸 375 到 300km 緯度 22.5 度以北個案,以及離岸 300 到 225km 處緯度 23.5 度以北個案相關係數達到 0.6 以上,圖 2-6 為以颱風在離岸 375 到 300km 的平均移速及 p, 之散布圖, 全部個案相關係數 R 為 0.45, 以離岸 150km 處緯 度區分為大於 23.5 度(實心圓)及小於 23.5 度(空心圓)個案,趨勢線顯示平 均移速越慢颱風越容易有較大的路徑彎曲。表 2-4 則是平均差異移速△U 與 p₁ 的 相關係數,比較表 2-4(a)與 2-4(b),颱風個案的平均差異移速在離岸 150~75km、 離岸 75km 到登陸區域,緯度 24 度以北相關係數達到 0.6 以上,呈現負相關, 圖 2-7 為颱風在離岸 75 到登陸的平均差異移速及 p, 之散布圖,全部個案相關係 數 R<sup>2</sup> 為 0.26,以離岸 150km 處緯度區分為大於 24 度(實心圓)及小於 24 度 (空心圓)個案,圖中可以發現大部份個案在登陸前都是加速的情形,從趨勢線 顯示路徑彎曲越大颱風在登陸前有較大的移速增加情形。表 2-5 則為平均最大風 速與 p1 的相關係數,同樣以颱風在離陸 150km 處定位點緯度作為取樣標準表 2-5(a)及表 2-5(b)比較顯示當颱風在離岸 150km 時緯度在 24 度以北個案,平均

最大風速和 p1 有較好的負相關,相關係數達到 0.9 以上,圖 2-8 為颱風在離岸 375 到 300km 的平均最大風速及 p, 之散布圖, 全部個案相關係數 R<sup>2</sup> 為 0.14, 以離岸 150km 處緯度區分為大於 24 度(實心圓)及小於 24 度(空心圓)個案, 趨勢線顯示平均最大風速越大的颱風越容易有較大的路徑彎曲。 圖 2-9 整理相關 係數與各變數隨著離台灣海岸距離的關係,挑選幾個有較好相關係數的樣本,圖 中藍色線為平均移速、不同樣本以不同符號標示,結果顯示離岸 375 到 300 公 里的平均移速與 $p_1$ 有最大的相關係數,顯示當平均移速越慢, $p_1$ 越小,路徑彎 曲越大,越靠近海岸相關越小,且當颱風在離岸 150 公里時中心緯度在 24 度以 北及 24.5 度以北個案有最大的正相關。紅色線為平均最大風速隨距離的關係, 只畫出中心緯度在 24 度以北及 24.5 度以北兩組有最大負相關之樣本,顯示當平 均最大風速越大, p, 越小, 路徑彎曲越大。颱風最大風速與 p, 的相關係數隨距 離沒有明顯變化。 黑色線為平均差異移速同樣只畫出 24 度及 24.5 度以北兩組有 最大負相關之樣本, 顯示當平均差異移速越大, p, 越小, 路徑彎曲越大。隨距 離變化可發現當颱風在離陸 150km 到登陸間,平均移速變化與 p₁ 的相關係數有 最大的負相關。綠色線為颱風定位點緯度與與 pi 的相關係數隨離陸距離之變 化, 選取緯度小於 23.5 度之樣本, 結果顯示在離陸 75km 到登陸之間有最大的 負相關。

#### 2.3 偏折角度分析

本節以不同 2.2 節之分析方法探討路徑偏折特徵,使用一較為主觀的判斷偏 折角度的方法,希望能將 2.2 節分析所得之路徑彎曲特徵透過更直觀的偏折角度 展示出來,以期能在颱風預報上給予預報員作為參考並結合預報作業。圖 2-10 為判斷氣旋式路徑偏折程度方法之示意圖,利用 2 階多項式曲線來判定颱風是否 有發生此左偏之行為。從登陸點位置選取颱風登陸台灣本島前約 200 公里以內 的颱風移行各小時路徑資料,以 2 階多項式曲線對颱風路徑作近似,如圖中虛 線。2 階多項式曲線的方程式如下所示:

$$y = ax^2 + bx + c \tag{2.3}$$

其中 a、b、c 為常數。分析的個案中,大多為東南往西北走向的颱風,颱風定 位點的經度代入y,緯度代入x即可求出二階曲線方程式,當處理到幾個路徑較 偏北個案,則用緯度代入x,經度代入y來求得。若2階多項式曲線的開口向颱 風進入陸地方向之左側,則判定為路徑左偏之個案,除判斷颱風之偏向外,並選 取適當颱風中心定位點作為偏折點(圖中空心圓點),此偏折點大約為2階多項式 曲線斜率發生明顯改變之處,並以偏折點前後不同斜率做兩條切線(圖中點虛 線),兩切線之間交角定義為偏折角度O。偏折角度小於6度及2階多項式曲線 開口向右之個案定義為無明顯偏折個案。所有偏折角度大於等於6度之左偏個案 共 34 個,平均偏折點離登陸點約2.875小時,無明顯偏折個案共21 個。為了 比較左偏個案與無明顯偏折個案的特性,無明顯偏折個案選取登陸前3小時為參 考之偏折點。在 1977 至 2008 年中,有 5 颱風路徑在登陸前轉圈,包括 Sarah (1989)、Polly (1992)、Haitang (2005)、Krosa (2007)、Sinlaku (2008)。其中 Polly (1992)、Haitang (2005)、Krosa (2007)在定義之登陸點前有發生轉圈路 徑,因此在計算偏折角度時使用其路徑轉圈前之定位點為參考登陸點。 分析 55 個個案之各颱風偏折角度、偏折經緯度、偏折前 12 小時平均移速、偏折前 3 小 時平均移速、偏折後到登陸期間平均移速、偏折前 9 小時最大風速及登陸前 12 小時平均移向列於表 2-6。

偏折角度與偏折點空間分佈如圖 2-11。圖中紅色點為偏折角大於等於 30° 之個案,偏折角在 20°~29°之間為黃色點,偏折角在 6°到 19°之間為藍色點,無 明顯偏折個案以灰色標示出登陸前 3 小時定位點以做參考。圖中圓餅圖以北緯 23.5 度區分並統計偏折點在以北及以南之不同偏折角度個案數。偏折點的空間 分佈顯示颱風在北緯 23.5 度以北之個案共有 21 個,其中偏折角度 20°以上之個 案有 14 個,佔 66.7%。無明顯偏折個案 3 個,佔 14.3%。北緯 23.5 度以南個 案共 34 個,其中偏折角度 20°以上之個案 7 個,佔 20.5%。無明顯偏折個案 18 個,佔 52.9%。另外可發現北緯 23.5 度以南偏折角 20°以上個案大多集中在北 緯 23 度到 23.5 度之間。另外從偏折點的空間分佈來看,大部分左偏颱風偏折點 在離台灣海岸 50~100 km 以內。

探討偏折角度不同的侵台颱風特性,選取 JTWC 最大風速資料內插至選取 之登陸點時間。圖 2-12(a)為此內插之颱風登陸時颱風最大風速與登陸時中央氣

象局(王時鼎顧問與颱風報告書資料)的最低氣壓資料的散佈圖,相關係數約 0.8。圖 2-12(b)則為此內插之最大風速與颱風登陸時中央氣象局(王時鼎顧問與 颱風報告書資料)的颱風最大風速資料散佈圖,相關係數約 0.83,圖中細灰線斜 率為 1, 大部分的點位於此灰線之右下象限, 表示中央氣象局估計之登陸時颱風 最大風速大多比 JTWC 估計之最大風速弱,此原因為兩單位觀測之最大風速方 法不同,中央氣象局以 10 分鐘平均量測,而 JTWC 最大風速是一分鐘之平均。 以 JTWC 登陸時最大風速資料之平均值 33m/s 以及中央氣象局估計之登陸時颱 風中心氣壓平均值 965mb,可分為大於平均值及小於平均值兩部分分別統計其 中偏折角度,統計結果繪於圖 2-13,圖中紅色為偏折角度大於 20°之個案數目, 黃色為偏折角度 6°到 19°之個案數目,藍色為無明顯偏折個案數。 以登陸時最低 氣壓區分(圖 2-13(a)、圖 2-13(b))或以登陸時 JTWC 最大風速區分(圖 2-13(c)、 圖 2-13(d))皆一致顯示出強颱風(中心氣壓小於平均值 965mb 及最大風速大於平 均值 33m/s)的 27 個個案中,偏折角度大於 20°之個案有 16 個,佔 59.3%。弱 颱風的 28 個個案中,偏折角度大於 20°之個案有 5 個佔 17%,無明顯偏折個案 有13個,佔46.4%。

本節將以偏折角度與不同變數間做相關係數分析,並與2.2節所得結果來做 比較,移行速率與移行方向的計算方式上,選定颱風定位資料中一段時間間隔的 起始與結束兩定位點,兩點間直線距離除以兩點間經過時間即為此一段時間間隔 中的平均移行速率,而此時間間隔中結束之定位點與起始之定位點之向量方向為 平均移向,以正北方為 0°(360°)。

定義登陸前平均移向為登陸點到登陸前 12 小時定位點連線所指方向,正北 為 360°,正西為 270°,並定義移向小於 315°(東北方)個案為移向偏西個案,移 向大於 315°為移向偏北個案。圖 2-3 顯示颱風平均移速在偏折前 12 到前 9 小時 以後會開始有增加的趨勢,因此定義偏折前 12 到前 9 小時(離海岸約 250 km 遠 處)移速為未受地形影響前之參考移速。定義偏折前 9 小時 JTWC 最大風速為參 考最大風速,若 JTWC 觀測時間與偏折前 9 小時不符,則以前後時間線性內插 至偏折前 9 小時時間求得。

圖 2-14 為偏折點緯度與偏折角度散布圖,圖中以空心點表示移向偏北個 案,實心點表示移向偏西個案,無明顯偏折個案中2階多項式曲線開口向右之個 案則繪於偏折角度兩度位置以供比較。圖中趨勢線只統計偏折點在北緯 23.5 度 以南個案的所有左偏個案,結果顯示有著明顯隨緯度增加偏折角度的趨勢,趨勢 約每增加 0.1 度緯度,偏折角度增加 3.2°,且相關係數達到約 0.73。偏折點在 北緯 23.5 度以北個案則是偏折角度平均散布在 20°到 40°之間。另外無明顯偏折 之個案可發現多發生在北緯 23.5 度以南。

圖 2-15 為平均移向與偏折角度散布圖,圖中趨勢線只統計所有左偏個案, 結果顯示移向與偏折角度無明顯函數關係,相關係數約 0.14。雖然移向與偏折 角度無明顯函數關係,但從圖 2-14 可知,無明顯偏折個案中移向偏北個案數比 移向偏西個案數為 6:13,而左偏個案中移向偏北個案數比移向偏西個案數為 19:15。無明顯偏折個案中,移向偏西個案有較大的比例。

圖 2-16 為參考移速與偏折角度散布圖,圖 2-16(a)為全部個案之散布圖與左 偏颱風散布之趨勢線,相關係數達到約 0.52,趨勢約每增加 1m/s,角度減少 3.71 °。圖 2-16(b)則是偏折角在北緯 23.5 度以北之個案與其中左偏個案散布之趨勢 線,相關係數達到約 0.66,趨勢為每增加 1m/s,角度減少 3.53°。綜合來說, 颱風進入台灣周遭約 250km 範圍內時,若是移速越慢的颱風,越有機會發生較 大的偏折。

圖 2-17 為參考最大風速與偏折角度散布圖,圖 2-17(a)為全部個案之散布圖 與左偏颱風散布之趨勢線,相關係數約 0.26,趨勢約每增加 1m/s,角度增加 0.2 °。圖 2-17(b)則是偏折角在北緯 24 度以北之個案與其中左偏個案散布之趨勢 線,相關係數達到約 0.53,趨勢為每增加 1m/s,角度增加 0.36°。綜合來說, 颱風進入台灣周遭約 250km 範圍內且在較偏北的緯度時,強度越強的颱風,越 有機會發生較大的偏折。

整理上述各關係,可發現移速對於偏折角度,不管在任何緯度都有相當重要 的影響,其中又以北緯 23.5 度以北為甚,而北緯 23.5 度以南則是被偏折點緯度 所控制,北緯 24 度以北則颱風強度也開始扮演一部分角色,但是從趨勢線的斜 率可知,移速改變使偏折角度變化的幅度仍然大於強度改變偏折角度的幅度。比 較 2.2 節與 2.3 節結果顯示,颱風在接近台灣北部時較容易有較大路徑偏折發 生,其中颱風移速越慢,最大風速越強,颱風路徑越容易發生偏折,從偏折角度 分析中可得知移速變化相對最大風速變化,對於偏折角度大小有較大的影響。

#### 2.4 登陸前移行速率變化

圖 2-18 為以登陸點為基準,計算登陸前每三小時的平均移速,定義登陸點(橫 軸上標示為 a)到離陸點(橫軸上標示為 d)的直線距離為颱風在陸距離,兩點時間 間隔為颱風在陸時間,颱風在陸距離除以颱風在陸時間定義為颱風在陸移速。離 陸後移速以離陸點為基準,計算離陸後每三小時平均移速。圖 2-18(a)為 55 個颱 風個案登陸前 24 小時到離陸後 12 小時之三小時平均移速,圖中也標出平均值 加減一個標準差,以黑色點表示。登陸前 24 小時到 12 小時颱風平均約 5.2 m/s 的移速,在登陸前9小時到前6小時開始有移速增加的特徵,到登陸前3小時 平均移速增加到約 7 m/s,在陸期間移速達到約 8.1 m/s。圖 2-18(b)為 28 個登 陸點在北緯 23.5 度以北颱風個案的平均移速,登陸前 24 小時到 12 小時颱風移 速平均約 5.5 m/s,登陸前 9 小時到前 6 小時開始移速增加,到登陸前 3 小時平 均移速增加到約 7.5 m/s, 在陸期間移速則是稍降到約 6.1 m/s。圖 2-18(c)為 27 個登陸點在北緯 23.5 度以南颱風個案的平均移速, 登陸前 24 小時到 12 小時颱 風移速平均約 5 m/s,登陸前 9 小時到前 6 小時開始移速增加,到登陸前 3 小時 平均移速增加到約 6.6 m/s,在陸期間移速則是增加到約 10.5 m/s。總合來說, 颱風在登陸前平均移速會增加,且北邊登陸颱風平均增加較南邊登陸颱風多了約 0.9 m/s, 而在陸期間移速在北邊登陸個案平均比南邊登陸颱風少 4.4 m/s。本節

將討論颱風登陸前移速變化特徵,在陸期間移速特徵將於 2.5 節討論。

圖 2-18 結果顯示, 颱風在登陸前 3 小時會有加速的特徵, 圖 2-19 則以偏折 點(橫軸標示為 df)為基準計算平均移速, 偏折點之前還是以 3 小時時間解析度來 做平均,偏折點後則以偏折點到登陸點兩點來計算平均移速,偏折點平均離登陸 點 2.875 小時。圖 2-19(a)為 55 個颱風平均,也發現在登陸前有移速增加的趨勢, 平均起來移速從偏折前 24 小時到偏折前 9 小時約維持 5.3 m/s 左右,偏折前 3 小時平均移速達到 6.2 m/s,偏折後到登陸平均移速達到 6.89 m/s,增加了約 1.59 m/s。圖 2-19(b)把 55 個個案分成偏折點緯度在北緯 23.5 度以北, 以紅色表示, 偏折點緯度在北緯 23.5 度以南,以黑色線表示。平均顯示,偏折點緯度在北緯 23.5 度以北個案比以南個案移速稍大。圖 2-19(c)為以偏折角度 20°做區分,較 大偏折角颱風平均移速在偏折前 12 到前 9 小時以前平均移速較小,以後平均移 速則比較小偏折角颱風大,若以偏折前 12 到前 9 小時(約離海岸線 250 km 遠) 為基準,大偏折角度颱風平均移速增加1.91 m/s,而小偏折角度颱風平均移速增 加約 1.6 m/s。圖 2-19(d)選取偏折前 9 小時的 JTWC 最大風速資料做區分,全 部個案在此時平均最大風速為 42 m/s,圖中紅色為較強颱風平均,黑色為較弱 颱風平均,結果顯示在偏折點前後時間兩者平均移速沒有大太差異。圖 2-20 以 偏折前 12 到偏折前 9 小時平均移速當作參考移速,即離海岸約 250 km 遠處之 平均移速,選取偏折前3小時與偏折點到登陸點這兩段有最顯著增加的移速做平 均。繪出參考移速跟偏折前 3 小時到登陸之平均移行速率散佈圖,圖 2-20(a)為

全部 55 個個案之散佈圖,圖中灰線斜率為 1,大部分點落於灰線左上,表示為 移速增加個案。圖 2-20(b)則是偏折角度大於 20°個案,21 個個案中有 17 個個 案偏折點前後移速是增加的,且相關係數達到 0.66。圖 2-19(c)則是偏折角度小 於 20°個案,34 個個案中有 25 個個案偏折點前後移速是增加的,但相關係數僅 約 0.22。圖 2-21 則是統計偏折前 3 小時到登陸平均移行速率與偏折前 12 到前 9 小時平均移行速率之差距長條圖統計。圖中加以不同顏色代表不同偏折角度個 案數目來區分,紅色為偏折角大於等於 20°之個案,藍色為偏折角在 6°到 19°之 間個案,灰色為小於 5°之個案。結果顯示最大機率落在增加 0 到 1 m/s 之間有 14 個個案,次大落在 1 到 2 m/s 之間,也達到 13 個個案,而且整體來說移速增 加越多,大偏折角度颱風佔的比率越大。

#### 2.5 在陸期間移行速度變化

1977 到 2008 年間 65 個蒐集建檔颱風個案中,Amy (1977)、Nichole (1998)、Trami (2001)及 Wutip (2007)四個颱風由於颱風強度較弱且在通過陸地 後消散,因此在本節中不納入統計計算,本節將以 61 個颱風個案做為統計分析 樣本。每個颱風個案以整點時間、最接近台灣本島陸地之海上颱風中心定位資料 及時間做為登陸點及登陸時間,離陸點與離陸時間依同樣方法判定。登陸時間與 離陸時間差距即為颱風在陸停留時間,登陸點與離陸點兩點直線距離定義為在陸 移行距離,在陸移行距離除以在陸停留時間定義為平均在陸移速,颱風在登陸後 中心結構受地形破壞,中心定位不易,因此本計畫以平均在陸移速,則看整個在 陸期間平均的移行速度,可視為颱風在陸移動速率可達到的最小值。東岸登陸颱 風登陸經緯度、離陸經緯度、副中心取代、在陸時間、在路移動距離、在路移速 及登陸時最大風速列於表 2-7,西岸登陸颱風列於表 2-8。

圖 2-22 為颱風在陸停留時間與在陸移行距離散佈圖,其中 Rose (1978)在 陸移速達到 130.0km/h 為極端值,因此不納入統計。平均在陸移速為 28.8km/h, 圖中兩灰線為平均值加減 0.5 個標準差,分別為在陸移速 37.4km/h、20.1km/h。 紅色為在陸移速大於 37.4km/h 個案,定義為快速個案。綠色為小於 20.1km/h, 定義為慢速個案,介於 20.1 到 37.4km/h 之個案為黑色,定義為中速個案。其中 實心與空心分別代表北緯 23.5 度以南登陸與北緯 23.5 度以北登陸個案。藍色十

字為有不連續路徑之個案,不連續路徑個案定義為颱風主渦旋在東邊陸上消散, 山後產生之副渦旋中心增強取代原來中心之個案。結果顯示在陸移行速度快速個 案 大部分是在北緯 23.5 度以南登陸而在陸移行速度慢速個案則大多在北緯 23.5 度以北登陸。圖 2-23 以上述三種在陸移速分類,畫出登陸點的空間分佈, 並概分成北緯 23.5 度以北、以南及西邊登陸個案,北緯 23.5 度以北登陸個案共 28 個,其中慢速個案 15 個佔約 53.6%。以南登陸個案共 25 個,其中快速個案 佔9個36%,且登陸點集中在北緯約23度,西邊登陸個案共8個,其中快速個 案有 4 個,佔 50%。圖 2-24 為颱風在陸時間空間分佈圖及統計圓餅圖,圖中紅 點、藍點、空心點分別代表颱風在陸時間大於 10 小時、5 到 9 小時、小於 5 小 時之颱風個案登陸點。結果顯示北部登陸颱風在陸時間大於 10 小時的比例佔 25%,但以在陸 5 到 9 小時佔最大比例達 42.9%。南部登陸個案則是在陸時間 小於 5 小時與在陸 5 到 9 小時數量相當, 各佔 44%。在上面分析中發現移速快 速颱風中同時屬於副中心取代原中心的個案佔有不小的比例,圖 2-25 為 12 個 在通過台灣時產生不連續路徑之颱風個案,登陸點以紅色實心點表示,離陸點以 x 符號表示。登陸點與離陸點所連之直線即為分析中之在陸移行距離。12 個不 連續路徑個案中有8個為在陸移速快速個案,佔全部15個在陸移速快速個案中 的 53.3%。這些副中心取代主中心個案, 離陸點即為副中心取代主中心的時間定 位,因此算出之平均移速並不完全能代表颱風通過台灣的移速,但副中心取代主 中心之個案仍為颱風侵台重要現象之一,之後分析將把不連續路徑颱風個案與連

續路徑個案分開做分析。

圖 2-26 為此 12 個不連續路徑個案之分析,圖 2-26 (a)橫軸為登陸點緯度, 藍色線為颱風在陸移行距離,綠色線為颱風在陸停留時間,顯示緯度 23.5 度以 南個案在陸時間短,在陸移行距離很長,為移速快速個案。圖 2-26 (b)討論登陸 點緯度與登陸時 JTWC 颱風最大風速、颱風在陸移速之間的關係,大致上颱風 登陸時最大風速越弱,颱風在陸移速就會越快,呈現反比的趨勢。圖 2-27、圖 2-28 則是移除不連續路徑個案後,重新計算圖 2-22、圖 2-23 之結果,重新計算 之在陸平均移速為 24.6 km/h,重新定義快速颱風為在陸移速超過 30.8 km/h 之 個案, 慢速颱風為在陸移速低於 18.3 km/h 之個案, 但從登陸點空間分佈及統計 圖來看,整體趨勢沒有明顯改變,颱風登陸在北緯 23.5 度以北有較大比例在陸 移行速度較慢,以南則慢速颱風比例較小。將颱風在陸移速與颱風登陸前3小時 到登陸平均移速比較,可知此在陸移速與登陸前移速相比是加速或是減速,圖 2-29 為在陸移速與登陸前 3 小平均移速散布圖, 灰線斜率為一, 點落在灰線左 上象限代表颱風登陸後是加速,右下象限為減速,圖中以不同顏色代表北緯 23.5 度以北登陸、以南登陸及西邊登陸個案,結果顯示減速個案中,北邊登陸個案佔 最大比例約 67.9%,而加速個案以南邊登陸個案最多佔約 47.6%。圖 2-30 統計 登陸前後移速變化的比率,定義ΔU=(U<sub>a~d</sub>-U<sub>-3a</sub>)/U<sub>-3a</sub>,其中 U<sub>a~d</sub> 為颱風在陸移速, U<sub>-3a</sub> 為颱風登陸前 3 小時移速,結果顯示登陸後加速颱風以增加 25% 到 50% 佔 最大比率,而減速颱風以減少 25% 個案數佔最大比率。把加速及減速颱風以移

速變化比率 50%為分界,分成加速大於 50%、加速小於 50%、減速小於 50%、 減速大於 50%分成四類,圖 2-31 為此四類颱風登陸點空間分佈及統計個案數, 北緯 23.5 度以北登陸颱風多式減速,以南多加速,整體來看約在 24.5 度以北為 減速超過 50%的個案,北緯 23 度到 24.5 度為減速在 0 到 50%之間,北緯 23 度以南則多為加速區域。圖 2-32 為加速比率與登陸時 JTWC 最大風速之散布 圖,顯示隨著最大風速越大有減速的趨勢,但是相關係數只有 0.28,函數關係 不明顯。圖 2-33、圖 2-34、圖 2-35 分別以緯度 0.5 度、測站中點以及大略地形 做更精細的分區,統計登陸前後加速減速的變化,圖中分區都分別標明登陸後平 均移速、在陸時間、登陸前 3 小時移速與在陸移速比較登陸後加速減速個案數以 供參考。

#### 2.6 登陸前路徑偏折颱風雨量分佈分析

Cheng et al. (1993)統計 20 年的資料,以 2°×2°解析度分析,顯示颱風中心 定位位置在台灣附近同樣的 2°×2°區域內會有類似的雨量與氣壓分佈。郭等 (2001)比較桃芝颱風(2001)個案與 Cheng et al. (1993)氣候統計所得之時雨量平 均空間分佈特性,在南投與雲嘉山區,前者與後者皆顯示出很大的降雨,但在桃 芝颱風(2001)登陸點的北邊,即台灣地形迎風側呈現不遜於中南部山區的時雨 量,而登陸點的南邊雨量又比氣候統計特性少。不同個案所呈現不同於氣候值之 變異度,對於現今越趨重要之中小尺度預報與縣市的防災工作,是越來越值得討

論與注意的問題。本計畫同樣繪製颱風中心定位與台灣時雨量的平均分佈,選取 颱風個案為本節所選取之 55 個颱風個案,以 489 個測站時雨量來做分析,測站 包括氣象局局屬測站、氣象局自動雨量站、農業測站、民航局測站及空軍測站, 測站位置如圖 2-36。為了更進一步研究登陸前台灣地形迎風面受颱風影響之情 形,移除方格中颱風登陸後的定位時間不予計算。圖 2-37 以台灣東邊東經 121 到 123 度,北緯 21 到 23、23 到 25、25 到 27 度三個 2°×2°方格來分類,與過 去 Cheng et al. (1993)所做研究選取之範圍一樣,合成出颱風中心登陸前的台灣 平均時雨量分佈圖. 方格左上角數字代表合成之颱風個案數. 圖 2-38 則為圖 2-37 之標準差分佈圖。圖 2-37 結果顯示,大致上雨量分佈與過去研究相同,颱風中 心在北緯 21 到 23 度方格時,時雨量平均在台灣東邊沿岸從約北緯 23 度到 25 度之間有最大值。颱風中心在北緯 23 到 25 度方格時,雨量分佈在北緯 24 度到 25 度之間有極大值約 20~25 mm/h,中南部山區也有 5~10 mm/h 的雨量,與 Cheng et al. (1993)的氣候值相比,中南部山區雨量較少,這是因為在本圖中僅 合成登陸前雨量,若登陸後雨量也合成的話,則與氣候值相似。颱風中心在北緯 25 到 27 度方格時,雨量分佈在台灣東北角有極值,達到 15 到 20 mm/h,與氣 候值相比,中南部山區雨量較少。圖 2-38 為時雨量平均的標準差,圖中可發現 大致上來說,標準差極值分佈區域與時雨量平均的分佈相同,表示雖然各颱風雨 量大小不同,但降雨分佈會類似。圖 2-38 中,東經 121 到 123 度,北緯 23 到 25 度方格,雨量主要分佈在東部沿海約北緯 23 度以北,以及中南部山區,同樣

區域的標準差達到約 15 到 20 mm/h,有很大的變異度,因此將進一步把此方格 畫分成 1°×1°解析度來探討其變異度。圖 2-39 將東經 121 到 123 度、北緯 23 到 25 度以 1°×1°解析度分成四格,分別繪出颱風中心定位在此四格中時間的時 雨量平均,圖 2-40 則為標準差。分成 1°×1°解析度可發現四格中都在緯度 24 度 以北有雨量分佈的極值,越往北及越靠近海岸中南部山區的降雨越顯著,而只有 在東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度此一方格內在東部沿岸約北緯 23 到 24 度之間有降雨。圖 2-41、圖 2-42 進一步把颱風資料概分成偏折角度 20°以上與 小於 20°之個案,在上述同樣空間分格中繪出兩群樣本的雨量差值,以分析不同 颱風路徑特性帶來之雨量差異,圖 2-41 顯示,東經 121 到 123 度、北緯 21 到 23 度方格,兩者無明顯差異,而北緯 25 到 27 度方格,偏折角大於 20 度颱風 雨量分佈大部分為正值,在東北角最大。而在北緯 23 到 25 度方格則顯示出兩 種偏折角度颱風在東邊海岸及西南部海岸有不同的降雨分佈,圖中負值區表示較 小偏折角度颱風在此區有較大的降雨量。圖 2-42 東經 122 到 123 度、北緯 23 到 24 度,東經 122 到 123 度、北緯 24 到 25 度及東經 121 到 122 度、北緯 24 到 25 度三個方格裡,較小偏折角颱風造成的降雨在西南部較多。 而其中東經 122 到 123 度、北緯 23 到 24 度, 東經 122 到 123 度、北緯 24 到 25 度兩方格在台 灣東部沿海區域都是較大偏折角度颱風降雨較多。 東經 121 到 122 度、北緯 24 到 25 度及北緯 23 到 24 度兩方格則在台灣東部沿海區域呈現正負相間的特徵, 東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度方格中,較大偏折角度颱風在約北緯 23.5

度以南有較大降雨,以北則以較小偏折角度颱風有較大降雨。在東經 121 到 122 度、北緯 24 到 25 度方格則是顯示在北緯 24.5 度以北是較大偏折角度颱風有較 大降雨,以南則以較小偏折角度颱風有較大降雨。圖 2-43、圖 2-44、圖 2-45 為 本計畫中偏折角度大於20°之颱風路徑共34個案,為了作圖清楚分成在北緯23.5 度以南、以北登陸及登陸前路徑呈現打轉共三張圖。圖 2-43 顯示在北緯 23.5 度 以南登陸之較大偏折角度颱風,登陸位置多在北緯23度到23.5度之間,計算北 緯 23.5 度以南登陸較大偏折角颱風之平均登陸點緯度(包含路徑打轉颱風 Sarah(1989))為 23.4 度。圖 2-44 則是北緯 23.5 度以北登陸之較大偏折角度颱 風,計算所得之平均登陸點緯度(包含路徑打轉颱風 Polly (1992)、Haitang (2005)、Krosa (2007)、Sinlaku (2008))為 24.7 度。此兩平均登陸位置與圖 2-42 中東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度以及北緯 24 到 25 度兩方格中較大偏折 角度颱風有較大降雨之區域類似,可能是由於此較大降雨區處於颱風登陸時地形 之迎風面所造成。
### 第三章 數值實驗探討

### 3.1 模式介紹

本章將以區域淺水模式來模擬颱風路徑在登陸前受地形影響發生之路徑變 化,在一垂直偶合良好的颱風裡,可視為駛流導引一正壓渦旋,淺水模式也能模 擬出因地形產生之輻散輻合現象,因此我們認為以淺水模式來模擬有一定的合理 性。

使用之淺水模式預報方程可寫成如下:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [u'(\zeta + f) + \overline{u}\zeta] - \frac{\partial}{\partial y} [v'(\zeta + f) + \overline{v}\zeta]$$
(3.1a)

$$\frac{\partial\delta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} [v'(\zeta + f) + \overline{v}\zeta] - \frac{\partial}{\partial y} [u'(\zeta + f) + \overline{u}\zeta] - \nabla^2 \left(\frac{u^2 + v^2}{2} + gh'\right) \quad (3.1b)$$

$$\frac{\partial h'}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [\overline{u}h' + u'(H + h' - h_t)] - \frac{\partial}{\partial y} [\overline{v}h' + v'(H + h' - h_t)]$$
(3.1c)

其中:

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$
(3.2a)

$$\delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$
(3.2b)

$$h = H + h' - h_t \tag{3.2c}$$

$$u = \overline{u} + u' \tag{3.2d}$$

$$v = \overline{v} + v' \tag{3.2e}$$

在 3.1、3.2 式中, <sup>*u*</sup> 是東西向速度, <sup>*v*</sup> 是南北方向速度, 東西方向背景風場與南

北方向背景風場分別為 $\vec{u}$ 、 $\vec{v}$ , $\vec{\zeta}$ 是渦度場, $\delta$ 是輻散場,h為高度場,H為平 均水深,本計畫中設定為 5000 m,h'為擾動水深,h,為地形高度,本計畫中使 用真實台灣地形,地形資料解析度為 2 km,最大值到 3500 m。本計畫使用之 $\vec{u}$ 、  $\vec{v}$ 不受地形影響改變背景流場,單純只作用在預報方程的平流項中,即方程式中 高度場預報方程忽略 $\frac{\partial}{\partial x}\vec{u}h_i$ 、 $\frac{\partial}{\partial x}\vec{v}h_i$ ,因此研究中單純探討渦旋受地形影響的路 徑變化。f為科氏參數,公式為 $f = f_0 + \beta y$ 。f平面實驗中設定 $f_0$ 為北緯 20° 之科氏參數,約 5×10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>。 $\beta$ 平面實驗中,台灣地形緯度對應之網格中心約為 北緯 23.5 度,此時網格中心之f約 5.8×10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>。使用雙周期性邊界,空間解 析度為 2km,網格點數為 512×512,空間微分方法使用 Fourier pseudo-spectral method,時間積分方法為跳蛙法(leapfrog method),時間解析度為 2 秒。計算 位渦之方程式如下:

$$P = \frac{(\zeta + f)}{(H + h' - h_t)}H$$
(3.3)

#### 3.2 實驗設計與實驗方法

實驗設定如圖 3-1,放入解析度 2km 之真實台灣地形,圖中 x 標記為不同渦 旋初始位置實驗 t= 0 h 時渦旋中心位置,初始渦旋中心離海岸線約 300 km 遠, 每個初始位置南北相距 50 km,由北到南給予編號 1 到 7 號。使用兩種背景風場, 東風實驗及東南風實驗,圖中分別以黑色及紅色表示其路徑定位與初始位置。兩 種背景風場渦旋初始位置不同,若渦旋不受地形影響改變路徑時,圖中由北到南 不同背景風場的渦旋初始位置則會分別對應到相同的登陸位置。圖中挑出3號實 驗畫出其路徑定位與36小時每3小時合成之渦度場等值線,等值線為0.00195s -1,路徑定位每點間隔1小時。實驗中使用之渦旋結構為修正阮肯渦旋(modified Rankine vortex),渦旋結構為:

$$\zeta(x, y) = \zeta_{m} \begin{cases} 1 & 0 \le r_{j} < 1 \\ c_{0} + c_{1}r_{j} + c_{2}r_{j}^{2} + c_{3}r_{j}^{3} , \ \textcircled{B} \ 1 \le r_{j} \le 1.1 \\ \frac{1}{2}(1 - \alpha)r_{j}^{-\alpha - 1} & 1.1 < r_{j} < \infty \end{cases}$$
(3.4)

ſ

其中 $r_j = [(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2]^{1/2} / r_m$ 。 $\zeta_m$ 為渦旋最大渦度值, $r_j$ 為無因次徑向距離, $x_c$ 、 $y_c$ 為渦旋中心位置, $r_m$ 為渦旋最大風速半徑。當 $1 \le r_j \le 1.1$ 時,利用立 方多項式內插(cubic polynomial interpolation)將內側與外圍不連續部分相接,使 渦旋結構連續, $c_0$ 到 $c_3$ 為此多項式係數,結構如圖 3-2。

渦旋路徑定位方法,本計畫中使用渦旋幾何中心當作渦旋中心點,由於實驗 設計之渦旋結構為修正阮肯渦旋,因此在渦旋最大風速半徑內渦度值皆為定值 *ζ<sub>m</sub>*,渦旋幾何中心可由平均空間中具有*ζ<sub>m</sub>*渦度值之座標點求得。圖 3-3 為渦旋 定位比較之示意圖,黑色為渦旋幾何中心,紅色為以擾動水深最小值為中心之路 徑,圖中每點間隔為1小時,兩種定位方法路徑在登陸前相似,但在靠近地形時 擾動水深最小值定位方法之渦旋中心會大幅度跳躍到地形上,與渦度場明顯分 離,示意圖中可看到以擾動水深最小值為中心定位之路徑,在實驗時間第16小 時以後,擾動水深最小值出現在地形上,而以渦旋幾何中心定位之路徑到第18 離陸之間這段時間,為了能準確定義登陸點及後續之偏折角度計算,本計畫採用 以渦旋幾何中心定位路徑之方法,實驗中求得路徑定位後,可使用與觀測資料相 同方法定義登陸點、偏折點及偏折角度。

圖 3-4 為 f 平面, 背景東風, 初始位置 3 號渦旋實驗接近台灣地形時不對稱 位渦場與不對稱風場分佈圖 , 圖 3-1 黑色路徑與黑色渦度合成等值線即為此實驗 的路徑定位與渦度合成。本實驗使用之渦旋最大風速為 50 m/s,最大風速半徑 為 50 km,結構α=1,背景風場為 5 m/s 之東風。圖中以渦旋中心為原點,陰影 為不對稱位渦場,地形等值線畫出 1 公尺與 1500 公尺等值線做為代表,向量為 不對稱風場, 右下角標示出各時間不對稱風場的極大值, 只畫出離渦旋中心 300 km 以內及大於 0.5 m/s 之風場向量。時間序列由左到右,由上到下分別為 0、5、 10、15 小時。不對稱位渦場求法,首先定義出渦旋中心,以此中心求位渦值的 軸對稱平均,把全部的位渦值減去此軸對稱平均位渦值即可求得不對稱位渦值。 時間為 0 時, 可看到在台灣地形上原本有著高位渦的空氣, 約 6×10-5 s-1 以上, 數量級約跟科氏參數相等,代入公式(3.3)可知在地形最高 3500 m 處位渦值為 1.6×10-4 s-1。原本在地形上高位渦的空氣隨時間被渦旋的環流平流向東南移 動,在5小時時可看到在1500等高線邊有帶狀高位渦值,從10小時到15小時 此高位渦值從地形平流至渦旋中心的南邊約 150 km 到 250 km 遠處,同時不對 稱風場在 10 小時到 15 小時之間也增強,不對稱風向量最大值從 8.62 m/s 增加 到 23.01 m/s,出現在 1500 等高線地形上,向量方向順著渦旋環流往東南方。

30

在第 15 小時可看到除了穿越地形的不對稱風向量以外,在渦旋最大風速半徑內 不對稱風場方向也是指向渦旋南邊,此瞬間最大風速半徑內平均約 5.6 m/s。穿 越 1500 地形等高線的風場與穿越渦旋中心的風場在地形邊緣有幅合產生。本實 驗之偏折點時間為第 14 小時,第 15 小時渦旋路徑劇烈轉向渦旋行進方向的左 手邊。

圖 3-5(a)為 f 平面與β平面實驗之渦旋路徑圖,使用渦旋參數為α=1、V<sub>m</sub>=50 m/s、R<sub>m</sub>=50 km、背景風場為 U=5 m/s 之東風。圖中 x 為初始位置,空心圓為 偏折點,粗實心圓為登陸點,細實心圓為定位點,定位間隔 1 小時。圖 3-5(b) 為偏折點緯度與偏折角度散布圖。 f 平面實驗中偏折角度隨緯度增加到約北緯 24.5 度有最大值約 33 度,之後又隨緯度增加而下降。圖 3-5(a)顯示β平面整體 路徑較 f 平面實驗偏北,相對初始位置實驗之偏折點緯度也較北邊,偏折點 24.5 度以南實驗偏折角度皆較 f 平面實驗大,以北實驗偏折角度較小,但兩組實驗偏 折角度隨緯度變化有同樣的趨勢,β平面的效應沒有系統性的影響偏折角度,而 只是使渦旋感受到不同緯度的相對地形。Kuo et al. (2001)討論到在沒有背景風 場時渦旋要感受到地形的效應產生路徑偏折,需要考慮渦旋與地形的尺度比以及 背景行星渦度梯度β與有效的地形β。值,在本計畫中β平面之區域中心 f 約 5.8× 10-5 s-1、地形高度最大值 3500 m、平均水深 5000 m、台灣地形的半山寬估計 75 km,估計地形βe 值約 5.41×10<sup>-10</sup> s<sup>-1</sup>,而背景行星渦度梯度β以區域中心(約 北緯 23.5 度)來算約 2.289×10-11, β與βe 比值約為 0.04。圖 3-5 實驗中渦旋最大

31

風速半徑為 50 km,地形半山寬與渦旋最大風速半徑比值為 1.5,在 Kuo et al. (2001)相位圖中屬於會有繞地形運動。本計畫中渦旋雖然尚未接觸到地形,但從 圖 3-4 顯示渦旋西南或是南邊之不對稱位渦值是由本來在山上之高位渦空氣被 平流而來,此不對稱位渦值造成渦旋近地形時向行進方向的左手邊偏折,估計β 與β。應與上述類似。在本計畫中使用了渦旋最大風速半徑有 25 km、50 km、75 km 與 100 km,算出之地形半山寬比渦旋最大風速半徑比值分別為 3、1.5、1、 0.75,皆屬於繞地形運動方式,也就是說地形上的位渦梯度效應比行星渦度梯度 重要,而從計算中可估計在台灣的地形尺度下,阮肯渦旋結構之渦旋其最大風速 半徑需要約 130 km,行星渦度梯度效應開始顯著。

#### 3.3 敏感度測試

本節將使用 f 平面, 針對不同背景風速、不同渦旋最大風速、不同渦旋最大 風速半徑及不同渦旋結構來做敏感度測試, 討論不同參數對渦旋路徑偏折角度的 影響。

圖 3-6 實驗渦旋參數固定為α=1、V<sub>m</sub>=50 m/s、R<sub>m</sub>=50 km,改變背景風場為 U=7 m/s、U=5 m/s、U=3 m/s 三種,圖 3-6(a)為實驗路徑定位圖,每個背景風 場各做 7 個不同初始位置實驗,初始位置如圖 3-1 黑色 x 符號。圖中只畫出其中 4 條路徑,不同背景風場大小的實驗其偏折點位置相差不多,而在偏折點之後的 時間路徑定位才開始有較大的差異。圖 3-6(b)為偏折點緯度與偏折角度散布圖。 圖中綠色為 U=7 m/s 實驗,黑色為 U=5 m/s 實驗,紅色為 U=3 m/s 實驗。結果 顯示 U=3 m/s 的實驗在各對應初始位置的偏折角度較大,U=5 m/s 實驗次之, U=7 m/s 實驗最小,而三組實驗皆顯示偏折角度隨緯度增加而變大,到約 24.5 度達最大值,24.5 度以北偏折角度隨緯度增加而減少。緯度 23.5 度左右,三組 實驗偏折角度都在 20 度到 30 度之間,緯度 23.5 度以北到約 25 度之間,U=3 m/s 實驗偏折角度最大達到 42.5 度。U=5 m/s 實驗偏折角度可維持 20 度以上。25 度以北偏折角度皆有變小趨勢,可能與此緯度對應地形高度較小有關。

圖 3-7 為不同方向背景風場實驗,渦旋參數為α=1、Vm=50 m/s、Rm=50 km、 背景為 f 平面。背景風場大小為 5 m/s,圖中 W 為東風實驗,N 表示東南風實 驗。實驗結果顯示偏折角度一樣是隨緯度增加而變大,東南風實驗的偏折角度在 相對初始位置比東風實驗的偏折角來的大,但在初始位置最北邊的實驗則顯示東 風實驗的偏折角較大。圖中東南風實驗最大值達到 58 度。圖 3-8(a)為東南風背 景風場、不同風速大小實驗之路徑圖,圖 3-8(b)為偏折角與偏折點緯度散布圖, 結果顯示與圖 3-6 結果類似,背景風場越小,偏折角度有越大的趨勢,比較圖 3-6與圖 3-8 可知,東南風實驗又比東風實驗更傾向有大偏折角度。以最慢的 3m/s 背景風速來說東風實驗在約北緯 24.7 度時偏折角度達到最大值 42 度,東南風實 驗則在約北緯 24 度時偏折角度達到最大值 65 度。

渦旋最大風速的敏感度測試,本計畫中使用之渦旋最大風速如圖 3-9,固定 渦旋最大風速半徑為 50km,α=1,背景風場 5m/s 之東風。實線為渦旋最大風速

33

50 m/s 實驗,虛線為 20 m/s,點線為 35 m/s,點虛線為 65 m/s。 圖 3-10(a) 為路徑比較圖,不同最大風速實驗路徑顯示偏折點發生的經度位置相差不多,而 路徑在偏折點後才發生較大差異。圖 3-10(b)為偏折角度與偏折點緯度散布圖, 結果顯示偏折角度有隨渦旋最大風速增加而變大的趨勢,其中渦旋最大風速為 65 m/s 的實驗與最大風速為 50 m/s 的實驗偏折角度相差較小,兩者在偏折點為 24 度到 24.5 度時,偏折角度達到約 30 度左右,而渦旋最大風速為 35 m/s 與 20 m/s 的實驗則比上述兩組實驗小較多,在偏折點為 24 到 24.5 度時偏折角度 約為 25 度。

渦旋最大風速半徑的敏感度測試,渦旋結構與切向風速結構如圖 3-11,固 定渦旋最大風速約 50 m/s,α=1,背景風場為 5m/s 之東風,圖中點線為最大風 速半徑 25 km、實線為最大風速半徑 50 km、虚點線為最大風速半徑 75 km、虚 點線為最大風速半徑 100 km,圖 3-12(a)為其路徑圖,不同最大風速半徑的渦旋 其偏折點發生的時間位置不太相同,最大風速半徑大的渦旋偏折點離地形較遠, 最大風速半徑小的渦旋偏折點離地形較近。最大風速半徑為 75 km 與 100 km 的 實驗路徑顯示在偏折點之後,一開始往行進方向左手邊偏折的程度比最大風速半 徑 50 km 實驗來的大,但是在登陸前偏折的趨勢減緩,使得偏折角度反而比最 大風速半徑 50 km 的實驗小。圖 3-12(b)為偏折角度與偏折點緯度散布圖,渦旋 最大風速半徑為 50 km 的實驗偏折角度最大,半徑增加偏折角度減少,半徑 25 km 的實驗偏折角度也較小。 圖 3-13 為不同渦旋結構之渦度剖面與及切向風速剖面,固定渦旋最大風速 為 50 m/s,渦旋最大風速半徑為 50 km,背景風場為 5 m/s 之東風實驗。實線 為α=1 實驗,虛線為α=0.7,點線為α=0.5。α=0.5 實驗在最大風速以外有最平緩 的渦度梯度與切向風速遞減率。圖 3-14(a)為路徑定位圖,當渦旋結構外圍有渦 度裙帶時有較為圓弧的路徑,但在接近地形時偏折點位置及偏折點以後的路徑極 為相似。圖 3-14(b)為偏折角度與偏折點緯度散布圖,結果顯示最大風速半徑以 外較平緩的渦度梯度或是風速遞減率,在偏折點緯度 23 度到 24.5 度之間,偏折 角度會稍微比阮肯渦旋大。

#### 3.4 結果討論

模式結果顯示,渦旋在接近地形時偏折角度隨偏折點緯度增加而變大,大約 在 24.5 度左右有最大值,24.5 度以北偏折角度變小,圖 3-15 為 *f* 平面所有實 驗的偏折點空間分佈與偏折角度統計,20 度以上偏折角度實驗,偏折點多分佈 在北緯 23 度到 25 度之間,對應台灣地形東西向梯度較大處,北緯 23.5 度以北 統計顯示總共 54 個實驗中有 30 個實驗偏折角度在 20 度以上,佔 55%,有 6 個實驗無明顯偏折角度,佔 11%,此6 個實驗偏折點皆在 25 度左右,對應較小 的地形東西向梯度。北緯 23.5 度以南統計顯示 44 個實驗中有 17 個實驗偏折角 度在 20 度以上,空間分佈上可看到多分佈在 23 度到 25 度之間,同樣對應地形 東西向梯度較大處,而偏折角度 6 度到 19 度個案有 26 個,佔最大比例 59%。 跟觀測圖 2-11 相比,整體來說實驗符合北緯 23.5 度以北統計大於 20 度偏折角 度佔的比例較大,以南比例較小的特徵,但是可發現無明顯偏折個案在北緯 23.5 度以南不常出現,可能原因之一為無明顯偏折颱風在北緯 23.5 度以南有很大比 例的偏折點是在北緯 22 度附近,而實驗中這麼南端的偏折點實驗數目較少,另 一可能原因如 3-2 節所討論,實驗中已經設定渦旋屬於能感受到地形存在發生繞 島運動的大小比例,因此實驗幾乎都有較明顯的偏折角度。

初步分析不對稱的渦度場可知,地形上的高位渦空氣被渦旋平流,在渦旋南 邊形成不對稱的渦度場,此不對稱渦度場的環流再平流主渦旋往行進方向的左手 邊偏折。對應地形位置較北邊之渦旋偏折角度較大可能是由於過山的環流比較南 邊的渦旋感受到更大的地形差距,形成之不對稱渦度場較強所導致。實驗中可發 現越往南邊的實驗渦旋能平流下山的高位渦空氣越少,因此偏折角度也越小。

從敏感度實驗可知背景風場大小、渦旋最大風速、渦旋結構及方向對於渦旋 路徑偏折角度都有影響,背景風場風速越大,即渦旋移速越快,偏折角度越小, 渦旋移速越慢,偏折角度越大,背景風場方向偏北實驗的偏折角度比背景風場方 向向西的實驗大。可能是由於移速較慢的渦旋有更多的時間平流不對稱位渦到相 對渦旋中心較東南邊的位置。相對來說若不對稱渦度被較強的平流平流到渦旋東 南邊,則可能造成較大的偏折角度,實驗中此平流來自颱風環流,最大風速及渦 旋結構都會影響。不對稱位渦相對渦旋中心的位置可能是影響渦旋路徑偏折程度 的原因。隨時間積分,不對稱位渦相對渦旋中心從西南邊被平流到東南邊,在同 樣的渦旋結構下,移速越慢的渦旋從感受到此不對稱位渦的環流到登陸的時間 內,有比移速快的渦旋更多的時間,使得渦旋能夠平流不對稱位渦到相對渦旋中 心越東南邊的位置,因此路徑偏折角度越大。

## 第四章 結論與未來工作

本計畫蒐集建檔 1977 年至 2008 年颱風中心曾登陸台灣本島之侵台颱風路 徑資料,共計 65 個個案,分析其登陸前及在陸期間移行速度的變化及特徵。分 析 55 個從台灣東岸登陸之個案登陸前移行速度變化特徵。在陸期間移行速度則 分析 61 個個案。選取颱風登陸前 150~200 km 的路徑定位,用二階多項式曲線 擬合(curve fitting)方法探討路徑偏折程度,並試著使用量化的偏折角度分析提 供給預報員參考,統計顯示 55 個颱風中有 34 個發生左偏特徵,左偏颱風在登 陸前平均約 2.875 小時路徑曲率會有明顯變化,我們定義明顯變化之定位點為偏 折點,之後路徑沿著行進方向的左手邊偏折,其中偏折點在北緯 23.5 度以北的 颱風大於 20 度偏折角的個案佔 66.7%, 北緯 23.5 度以南颱風大於 20 度偏折角 的個案佔 20.5%, 有明顯南北分佈差異。統計顯示颱風強度跟偏折角有一定的關 係,分析登陸時強度,強颱風(中心氣壓低於平均值 965 mb)中,大於 20 度偏折 角的個案佔了約 59%。另外也發現西行颱風登陸點北邊,地形的迎風面常會有 較大的雨量,這些路徑偏折除了產生登陸點的不同外,對於 3 到 6 小時雨量分 佈型態也有明顯的影響。當颱風定位在東經 121 到 122 度、北緯 23 到 24 度方 格中,較大偏折角度颱風在約北緯 23.5 度以南有較大降雨,以北以較小偏折角 度颱風有較大降雨。在東經 121 到 122 度、北緯 24 到 25 度方格則是顯示在北 緯 24.5 度以北是較大偏折角度颱風有較大降雨,以南則以較小偏折角度颱風有 較大降雨。此降雨位置分佈顯示與颱風登陸點位置一致。

透過相關性分析,我們發現颱風在離岸 375 到 300 km 的平均移速越慢,路 徑彎曲越大,越靠近海岸平均移速與路徑彎曲的相關越小,且當颱風在離岸 150 km 時中心緯度在 24 度以北及 24.5 度以北個案有最大的相關。平均最大風速越 大,路徑彎曲越大,但是颱風最大風速隨距離與路徑彎曲的相關性沒有明顯變化 中心緯度在 24 度以北及 24.5 度以北兩組有最大負相關之樣本。平均差異移速越 大,路徑彎曲越大,而當颱風在離陸 150 km 到登陸間,平均移速變化與路徑彎 曲有最大的相關,我們認為此登陸前加速的特性是由於不對稱渦度平流颱風中心 同時造成颱風移向及移速的改變。另外統計結果顯示在離陸 75 km 到登陸之間, 颱風的中心位置在緯度小於 23.5 度之樣本會隨著緯度增加而有較明顯的路徑彎 曲。

我們透過偏折角度分析試著量化上述之現象,定義登陸前 12 小時平均移 向、偏折前 12 到前 9 小時平均移速與偏折前 9 小時颱風最大風速,探討不同變 數對路徑偏折程度的影響,分析結果顯示在約北緯 23.5 度以南,偏折角度隨偏 折點緯度增加而變大,相關係數達到約 0.73,趨勢為每增加 0.1 度緯度,偏折角 度約增加 3.2 度。移向分析顯示,移向較偏北的颱風傾向於發生向左偏折的路 徑。偏折角度隨著參考移速越大而減小,尤其在北緯 23.5 度以北有不錯的相關 性,相關係數達到約 0.66,約每增加 1 m/s,偏折角度減少 3.53 度。參考移速

39

的取法主要是希望能找出一個未受地形影響時的平均移速,本計畫中使用偏折點 前 12 到前 9 小時的平均移速來做參考移速,當做未受台灣地形影響時的平均移 速,空間上大約是颱風離台灣地形 250 km 遠的距離,圖 4-1 為取各颱風東經 123.5 度到 124.5 度、北緯 20.5 度到 21.5 度區域之平均移速跟參考移速的比較 圖,兩者有不錯的相關性,達到約 0.7%。以此移速作為參考移速,重新畫圖 2-16, 結果如圖 4-2 顯示,全部個案與參考移速的相關係數達到 0.47,北緯 23.5 度以 北相關係數達到 0.52,隨移速越大偏折角度減小。平均移向與偏折角分析顯示, 無明顯偏折個案中移向偏北個案數比移向偏西個案數為 6:13,而左偏個案中移 向偏北個案數比移向偏西個案數為 19:15,無明顯偏折個案中,移向偏西個案有 較大的比例。分析偏折角與颱風最大風速的關係顯示,越強的颱風偏折角度越 大,北緯 24 度以北相關係數達到約 0.55,趨勢約每增加 1 m/s,偏折角度增加 0.2 度,但是影響角度的幅度明顯比參考移速小。

路徑偏折的現象常會伴隨著移速變化的特徵。以偏折點前 12 到前 9 小時的 平均移速做為參考移速,發現在偏折前 3 小時到登陸這段時間的移行速率,通常 會比參考移速增加約 0 到 2 m/s,統計顯示移速增加越多的個案裡,大偏折角個 案的比例佔越高。

在陸期間移速統計分析則顯示,若以登陸前3小時移速為基準,在陸期間移 速加速或是減速與登陸點位置有很大的關係,在北緯23.5度以北登陸個案在陸 期間移速多為減速,而在北緯23.5度以南登陸個案在陸期間移速多為加速,即 使是不算登陸時發生副中心取代主中心的個案,仍然有同樣的特徵,另外從圖 2-34 可知,在陸期間加速的個案登陸點多集中在 23 度左右,但北緯 23.5 度以 北登陸減速個案登陸點呈現平均分佈。

本計畫中以區域淺水模式,放入真實台灣地形,以一渦旋受背景風場平流過 山的實驗來探討渦旋通過台灣地形前發生的偏折現象,從不對稱位渦場的分析, 我們可以看到渦旋接近地形時,會把原本地形上的高位渦空氣平流下山,平流到 相對渦旋中心的西南邊,此一不對稱位渦形成之不對稱環流會平流渦旋中心,並 在地形邊與過山之氣流形成輻合,使得渦旋向行進方向的左手邊行進,此一不對 稱機制與過去β gyre 動力以及地形β效應相似,且經分析顯示此不對稱位渦數量 級與地球β效應數量級約相等。本問題不同於β gyre 動力以及地形β效應的地方 在於一開始渦旋並沒有感受到背景位渦的梯度,而是隨著背景風場接近地形,開 始感受到地形位渦梯度。同時渦旋環流平流高位渦空氣下山後,會透過渦旋本身 軸對稱化過程把此高位渦空氣拉伸並向渦旋西南邊平流,透過敏感度測試顯示移 速較慢、最大風速越大的渦旋與移向偏北的渦旋,有較大的偏折角,不對稱位渦

本計畫以統計及模式模擬建立完整的颱風侵台期間移行速度變化的概念模式, 目前已著手進行能展示本計畫成果之應用平台工作,目前初步的互動式網頁應用 平台已建置,網址為 http://61.56.8.58/typhoon\_land/,未來移交後將會以網頁及 CD-ROM 兩種方式呈現,目前設計是以測站位置、登陸點分段及登陸點地形三 種方式分段,將颱風個案之行經路徑、生命期強度資料(氣壓、最大風速、七級 及十級陣風半徑)及本計畫中分析的個案,其登陸及在陸期間前移行速度變化及 路徑偏折統計數據、雨量分佈氣候統計特徵分析等資料,以網頁方式做互動式呈 現(圖 5-1 及 5-2)。透過此平台,預報員可以容易地點取歷史資料,與即時資訊 做為比對,並提供氣候統計資訊,做為其預報決策的參考資訊。未來希望能夠再 結合即時的預報資料呈現,以期更能夠回饋至實際預報作業。

### 參考文獻

謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降,1998: 百年侵台颱風路徑圖集及其應用。中

央氣象局專題研究報告 CWB86-1M-01。

郭鴻基、吳俊傑、李清勝,中華民國九十年十二月:天搖地動-颱風研究的挑戰。

科學發展月刊第二十九券第十二期。

陳怡良,2004: 台灣地形βe效應對颱風路徑的影響─東南駛流個案探討。國立台

灣大學大氣科學研究所博士論文。

- 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. Blelloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. *Mon. Wea.Rev.*, **102**, 130-155.
- Chan, J. C.-L. and R. T. Williams, 1987: Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part I: Zero mean flow. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1257-1264.
- 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.
- Fiorino, M., and R. L. Elsberry, 1989: Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. J. Atmos. Sci., 46, 975-990.
- Kuo, H. C., R. T. Williams, J. H. Chen, and Y. L. Chen, 2001: Topographic effects on barotropic vortex motion: No mean flow. J. Atmos. Sci., 58, 1310-1327.
- 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.
- Smith, R. B., 1993: A hurricane beta-drift law. J. Atmos. Sci., 50, 3213-3215.
- —, X. Li, and B. Wang, 1997: Scaling laws for barotropic vortex beta-drift. *Tellus*,
   49A, 474–485.
- Wang, S. T., 1980: Prediction of the behavior and intensity of typhoons in Taiwan and its vicinity (in Chinese). Research Rep., 108, Chinese National Science Council, Taipei, Taiwan, 100pp.
- 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.
- Zehnder, J. A., 1993: The influence of large-scale topography on barotropic vortex motion. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2519–2532.

表 2-1: 近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 p<sub>1</sub> 與各空間距離之平均

Region (km)	U	dU	Vm
375-300	0.46	_	-0.17
300-225	0.32	-0.28	-0.21
225-150	0.22	-0.29	-0.27
150-75	0.03	-0.35	-0.28
75-arrival	0.10	-0.27	-0.26

移速、平均差異移速、平均最大風速之相關係數。

表 2-2: 近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 p1 與離岸距離定位點之緯 度的相關係數,表中相關係數四捨五入至小數第二位,以不同緯度做取 樣標準。(a)為各緯度以南之個案,括弧內為取樣之個案數。(b)為各緯 度以北之個案,括弧內為取樣之個案數,個案數小於 2 之樣本不加入計 算,相關係數大於±0.5 之樣本以灰色表示。

(a)

Lat (°N) Position (km)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
075	-0.22	-0.35	-0.38	-0.42	-0.49	-0.49	-0.38	-0.38
375	(22)	(26)	(29)	(31)	(32)	(32)	(33)	(33)
200	0.00	-0.29	-0.38	-0.41	-0.46	-0.46	-0.46	-0.36
300	(20)	(22)	(24)	(29)	(32)	(32)	(32)	(33)
225	-0.23	-0.23	-0.29	-0.41	-0.44	-0.47	-0.47	-0.38
225	(18)	(18)	(21)	(26)	(29)	(32)	(32)	(33)
150	-0.05	-0.39	-0.43	-0.31	-0.41	-0.43	-0.48	-0.40
150	(9)	(14)	(18)	(22)	(27)	(28)	(32)	(33)
75	-0.69	-0.05	0.04	-0.55	-0.18	-0.20	-0.35	-0.32
15	(4)	(6)	(10)	(15)	(21)	(24)	(31)	(34)
Arrival	(0)	(0)	(2)	-0.58	-0.35	-0.25	-0.08	-0.10
Amval	- (0)	- (0)	- (Z)	(13)	(17)	(19)	(29)	(34)

表 2-2(續):同表 2-2。

Lat(°N) Position (km)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
275	0.09	0.14	0.26	0.27	(2)	(2)	(4)	(4)
375	(12)	(8)	(5)	(3)	- (2)	- (2)	- (1)	- (1)
200	0.18	0.12	0.09	0.16	(2)	(2)	(2)	(1)
300	(14)	(12)	(10)	(5)	- (Z)	- (Z)	- (Z)	-(1)
225	0.02	0.02	0.14	0.23	0.26	(2)	(2)	(1)
225	(16)	(16)	(13)	(8)	(5)	- (2)	- (2)	-(1)
150	-0.14	-0.08	-0.09	0.26	0.33	0.42	(2)	(1)
150	(25)	(20)	(26)	(12)	(7)	(6)	- (2)	-(1)
75	-0.31	-0.25	-0.07	-0.30	-0.11	0.19	0.1	(0)
15	(30)	(28)	(24)	(19)	(13)	(10)	(3)	- (0)
Arrival	-0.10	-0.10	-0.04	-0.02	-0.25	-0.27	0.28	(0)
Anivai	(34)	(34)	(32)	(21)	(17)	(15)	(5)	- (0)

表 2-3: 近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 *p*<sub>1</sub> 與各空間距離之平均 移速 U 之相關係數。以颱風在離岸 150km 遠處之緯度做為取樣標準。(a)為各緯 度以南之個案,括弧內為取樣之個案數。(b)為各緯度以北之個案,括弧內為取 樣之個案數,個案數小於 2 之樣本不加入計算,相關係數大於±0.5 之樣本以灰 色表示。

(a)

Lat(°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(9)	(14)	(18)	(22)	(27)	(28)	(32)	(33)
375-300	0.28	0.19	0.39	0.32	0.41	0.41	0.44	0.45
300-225	0.07	-0.14	0.11	0.11	0.28	0.28	0.29	0.31
225-150	-0.21	-0.32	0.10	0.00	0.27	0.27	0.19	0.20
150-75	0.14	-0.04	0.02	-0.08	0.15	0.11	0.01	0.00
75-arrival	0.44	0.27	0.40	0.07	0.18	0.16	0.09	0.08

# 表 2-3(續):同表 2-3。

(b)

Lat (°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(25)	(20)	(16)	(12)	(7)	(6)	(2)	(1)
375-300	0.58	0.64	0.60	0.67	0.69	0.69	_	_
300-225	0.37	0.45	0.54	0.61	0.62	0.62	_	_
225-150	0.26	0.30	0.29	0.37	0.33	0.33	_	_
150-75	0.06	0.04	0.13	0.22	-0.09	-0.08	_	_
75-arrival	0.01	0.05	-0.03	0.02	-0.24	-0.24	_	_

表 2-4: 近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 p<sub>1</sub>與各空間距離之平均 差異移速△U 之相關係數。以颱風在離岸 150km 遠處之緯度做為取樣標 準。(a)為各緯度以南之個案,括弧內為取樣之個案數。(b)為各緯度以北 之個案,括弧內為取樣之個案數,個案數小於 2 之樣本不加入計算,相 關係數大於±0.5 之樣本以灰色表示。

(a)

Lat (°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(9)	(14)	(18)	(22)	(27)	(28)	(32)	(33)
375-300	_	_	_	_	_	_	_	_
300-225	-0.43	-0.47	-0.39	-0.32	-0.30	-0.31	-0.30	-0.31
225-150	-0.36	-0.37	-0.34	-0.33	-0.25	-0.26	-0.31	-0.32
150-75	-0.11	-0.17	-0.29	-0.31	-0.25	-0.27	-0.35	-0.37
75-arrival	0.09	0.07	-0.10	-0.19	-0.19	-0.20	-0.27	-0.29

表 2-4(續):同表 2-4。

(b)

Lat (°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(25)	(20)	(16)	(12)	(7)	(6)	(2)	(1)
375-300	_	_	_	_	_	_	_	_
300-225	-0.38	-0.40	-0.15	0.02	-0.02	-0.02	–	-
225-150	-0.41	-0.48	-0.33	-0.19	-0.31	-0.31	Ι	Ι
150-75	-0.44	-0.51	-0.40	-0.28	-0.62	-0.63	_	_
75-arrival	-0.42	-0.44	-0.42	-0.48	-0.61	-0.61	_	_

表 2-5: 近似颱風路徑之二次多項式方程式二次項係數 p1 與各空間距離之平均 最大風速 Vm 之相關係數。以颱風在離岸 150km 遠處之緯度做為取樣標 準。(a)為各緯度以南之個案,括弧內為取樣之個案數。(b)為各緯度以北 之個案,括弧內為取樣之個案數,個案數小於 2 之樣本不加入計算,相 關係數大於±0.5 之樣本以灰色表示。

(a)

Lat (°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(9)	(14)	(18)	(22)	(27)	(28)	(32)	(33)
375-300	-0.28	-0.12	-0.06	-0.23	-0.05	-0.05	-0.16	-0.18
300-225	-0.18	-0.12	-0.16	-0.31	-0.10	-0.10	-0.21	-0.23
225-150	-0.12	-0.12	-0.30	-0.41	-0.17	-0.17	-0.27	-0.29
150-75	-0.09	-0.13	-0.31	-0.42	-0.17	-0.17	-0.27	-0.29
75-arrival	-0.04	-0.14	-0.3	-0.40	-0.16	-0.15	-0.24	-0.27

表 2-5(續):同表 2-5。

(b)

Lat (°N) (case #)	22	22.5	23	23.5	24	24.5	25	25.5
(km)	(25)	(20)	(16)	(12)	(7)	(6)	(2)	(1)
375-300	-0.09	-0.17	-0.18	-0.05	-0.94	-0.94	_	_
300-225	-0.16	-0.22	-0.19	-0.07	-0.94	-0.94	–	-
225-150	-0.24	-0.30	-0.21	-0.09	-0.96	-0.96	_	_
150-75	-0.27	-0.32	-0.25	-0.13	-0.97	-0.97	_	_
75-arrival	-0.26	-0.30	-0.25	-0.12	-0.96	-0.97	_	_

表 2-6: 各颱風偏折角度、偏折經緯度、偏折前 12 小時平均移速、偏折前 3 小

時平均移速、偏折後到登陸期間平均移速、偏折前9小時最大風速及登

Case name	θ (°)	Deflection longitude	Deflec- tion latitude	U <sub>-12—9</sub> (m/s)	U <sub>-3-df</sub> (m/s)	U <sub>df-a</sub> (m/s)	Vm₋ <sub>9</sub> (m/s)	Mean direction
1977_VERA	29	122.46	25.17	4.51	6.67	7.84	55.71	306.67
1978_ROSE	9	121.58	22.91	4.68	6.12	5.34	18.01	330.53
1978_DELLA	6	122.11	24.06	5.94	5.38	8.27	23.15	314.38
1980_NORRIS	21	122.63	24.41	4.86	7.65	9.96	42.85	295.78
1981_JUNE	18	122.18	24.18	6.12	6.56	9.09	38.58	346.77
1981_MAURY	10	122.31	25.25	9.06	6.52	6.25	28.29	286.03
1982_ANDY	12	121.56	22.66	5.52	6.28	5.66	60.02	296.79
1984_ALEX	6	121.59	22.55	8.10	7.34	8.67	33.44	329.50
1984_FREDA	20	122.63	24.86	8.58	13.10	9.88	23.15	341.87
1987_ALEX	14	122.30	23.24	5.92	6.18	7.49	33.44	343.73
1989_SARAH	50	122.53	23.21	4.36	4.82	5.51	59.16	351.11
1990_OFELIA	16	121.74	22.97	4.57	7.42	7.85	45.43	367.67
1990_YANCY	25	122.87	24.84	5.37	7.70	11.13	46.30	338.18
1992_POLLY	35	122.27	23.76	2.68	3.33	1.21	24.44	284.46
1992_TED	10	121.61	22.46	4.12	10.51	9.34	32.56	355.68
1994_CAITLIN	23	121.83	22.84	5.46	9.47	8.08	24.01	296.75

陸前 12 小時平均移向。

表 2-6(續):同表 2-6。

Case name	θ (°)	Deflection longitude	Deflec- tion latitude	U-12— 9 (m/s)	U <sub>-3-df</sub> (m/s)	U <sub>df-a</sub> (m/s)	Vm₋ <sub>9</sub> (m/s)	Mean direction
1994_TIM	20	122.01	22.89	6.86	8.57	10.04	62.16	319.52
1996_HERB	34	122.42	24.91	4.02	9.22	8.39	70.74	282.08
1998_OTTO	12	121.65	22.71	7.20	7.11	8.34	41.16	318.59
2000_BILIS	6	121.96	22.51	6.55	7.97	9.02	72.02	303.83
2001_NARI	33	122.80	25.50	2.13	2.79	3.02	42.01	249.72
2001_TORAJI	26	122.02	23.23	5.90	4.80	6.22	46.30	333.02
2004_MINDULLE	31	121.82	23.08	5.76	4.54	3.91	40.74	353.73
2004_NOCK-TEN	25	122.29	24.10	6.04	7.04	9.03	56.59	313.15
2005_HAITANG	47	122.30	24.00	5.79	6.44	1.38	59.16	304.39
2005_TALIM	20	122.36	23.99	6.42	8.11	8.96	59.59	298.95
2006_BILIS	38	122.17	24.93	5.32	7.43	6.84	23.15	309.98
2006_KAEMI	16	121.62	22.82	5.30	7.70	6.73	30.87	321.09
2007_KROSA	30	122.87	24.4	3.98	8.76	2.68	66.88	323.80
2007_SEPAT	22	121.90	23.00	4.61	6.99	5.86	60.45	323.34
2008_FUNGWON G	34	122.25	23.28	5.42	5.74	5.75	45.44	295.95
2008_JANGMI	34	122.28	24.25	5.54	7.78	16.11	67.74	334.73
2008_KALMAEGI	10	122.40	23.68	9.41	4.78	4.86	39.44	338.72
2008_SINLAKU	40	122.33	24.67	2.15	3.02	4.07	51.44	330.33

表 2-6(續):同表 2-6。

Case name	θ (°)	Deflection longitude	Deflec- tion latitude	U-12—9 (m/s)	U <sub>-3-df</sub> (m/s)	U <sub>df-a</sub> (m/s)	Vm₋9 (m/s)	Mean direction
1997_AMBER	3	121.9	23.5	4.04	7.36	8.28	50.57	319.74
1980_PERCY	_	121.53	21.63	4.95	4.96	6.08	64.31	295.81
1982_DOT	_	121.90	21.94	4.35	3.96	6.57	30.87	291.41
1984_WYNNE	_	121.49	21.96	4.49	4.79	4.41	28.29	265.84
1986_ABBY	_	121.82	23.01	4.03	4.75	4.74	48.87	292.99
1986_NANCY	_	121.68	23.28	7.81	6.60	7.84	39.01	337.58
1987_VERNON	_	121.93	23.39	5.41	6.83	9.97	28.29	336.47
1990_DOT	_	122.16	22.74	6.71	6.13	6.74	38.58	301.60
1991_ELLIE	_	122.54	25.06	4.29	3.73	4.97	28.29	269.30
1991_NAT	_	121.33	22.04	4.52	4.59	4.07	56.59	278.27
1992_OMAR	_	122.07	23.25	3.91	4.52	5.37	31.29	287.88
1994_GLADYS	_	122.65	24.00	6.30	6.73	7.30	45.43	288.51
1996_GLORIA	_	120.79	21.5	2.39	4.04	4.68	46.30	353.21

表 2-6(續):同表 2-6。

Case name	θ (°)	Deflection longitude	Deflec- tion latitude	U-12—9 (m/s)	U <sub>-3-df</sub> (m/s)	U <sub>df-a</sub> (m/s)	Vm₋9 (m/s)	Mean direction
2000_KAI-TAK	_	121.36	21.99	3.28	7.01	10.54	33.44	414.54
2001_TRAMI	_	121.15	22.20	3.41	1.82	3.40	18.01	307.93
2001_LEKIMA	_	121.16	22.24	2.04	3.78	3.16	47.59	320.52
2003_MORAKOT	_	121.17	21.83	3.26	3.93	6.11	28.29	267.99
2005_LONGWAN G	_	122.45	23.48	7.68	7.14	8.49	63.02	281.31
2006_BOPHA	_	121.85	22.98	5.62	4.26	4.55	24.01	268.37
2007_PABUK	_	121.78	21.94	5.88	5.05	6.05	33.44	277.83
2007_WUTIP	_	122.30	21.90	2.27	5.49	13.15	15.43	334.96

Case name	Arrival longitude	Arrival latitude	Departure longitude	Departure latitude	2 <sup>nd</sup> low replace	T (h)	D (km)	V (km/hr)	Vm (m/s)
1977_VERA	121.90	25.15	120.90	24.94	N	5	103.46	20.69	54.02
1978_DELLA	121.96	24.29	120.97	25.09	Y	2	133.92	66.96	23.58
1978_ROSE	121.47	23.05	120.64	25.26	Y	2	259.89	129.95	15.43
1980_NORRIS	121.95	24.59	120.89	24.85	Ν	8	110.95	13.87	38.58
1980_PERCY	120.97	21.91	120.54	22.07	Ν	2	47.79	23.90	59.16
1981_JUNE	122.01	24.43	121.82	25.22	Y	9	89.95	9.99	37.71
1981_MAURY	121.87	25.18	120.92	25.12	N	5	95.90	19.18	21.86
1982_ANDY	121.28	22.92	120.01	23.33	N	5	137.71	27.54	51.44
1982_DOT	121.25	22.15	120.00	23.12	N	5	167.68	33.54	30.87
1984_ALEX	121.47	23.10	120.66	25.14	Y	4	241.39	60.35	38.15
1984_FREDA	121.95	25.03	120.98	25.07	Ν	6	97.86	16.31	27.01
1984_WYNNE	121.03	21.93	120.71	21.93	Ν	1	33.02	33.02	26.15
1986_ABBY	121.46	23.33	121.39	25.19	Ν	16	206.50	12.91	46.30
1986_NANCY	121.64	24.04	121.79	25.35	Ν	4	146.52	36.63	35.58
1987_ALEX	121.91	24.65	121.61	25.37	Ν	3	85.62	28.54	32.15
1987_VERNON	121.73	24.34	121.71	25.39	Ν	4	116.83	29.21	24.01

路移動距離、在路移速及登陸時最大風速。

表 2-7(續): 同表 2-7。

Case name	Arrival longitude	Arrival latitude	Departure longitude	Departure latitude	2 <sup>nd</sup> low replace	T (h)	D (km)	V (km/hr)	Vm (m/s)
1989_SARAH	121.59	23.43	121.91	25.27	N	20	207.25	10.36	58.30
1990_DOT	121.59	23.13	119.97	23.30	Y	3	166.70	55.57	35.58
1990_OFELIA	121.54	23.71	120.83	24.90	Y	6	150.69	25.11	46.30
1990_YANCY	122.11	25.05	120.91	25.07	Ν	14	120.95	8.64	45.44
1991_ELLIE	122.01	25.11	121.58	25.35	Ν	2	50.85	25.42	25.72
1991_NAT	120.91	22.11	120.68	22.17	Ν	2	24.62	12.31	54.02
1992_OMAR	121.55	23.46	120.14	23.70	Ν	8	146.22	18.28	23.58
1992_POLLY	121.67	24.14	121.06	25.23	Ν	8	136.04	17.00	21.00
1992_TED	121.42	23.35	121.01	25.16	Y	6	205.61	34.27	32.58
1994_CAITLIN	121.35	23.12	119.82	23.53	Y	2	162.82	81.41	28.29
1994_GLADYS	122.05	24.45	120.86	24.98	N	4	133.93	33.48	50.59
1994_TIM	121.50	23.34	120.41	24.16	Y	2	143.67	71.83	64.31
1996_GLORIA	120.91	21.94	120.21	23.95	Y	5	234.82	46.96	46.30
1996_HERB	121.83	24.82	121.04	25.05	N	7	83.70	11.96	57.45
1997_AMBER	121.80	23.70	120.50	24.60	-	7	165.65	23.66	48.44
1998_OTTO	121.54	22.96	120.45	24.35	_	7	190.39	27.20	41.16
2000_BILIS	121.52	22.93	120.07	23.80	_	4	176.90	44.23	70.31

# 表 2-7(續): 同表 2-7。

Case name	Arrival longitude	Arrival latitude	Departure longitude	Departure latitude	2 <sup>nd</sup> low replace	T (h)	D (km)	V (km/hr )	Vm (m/s)
2000_KAI-TAK	121.45	23.01	121.60	25.45	_	7	271.87	38.84	32.58
2001_LEKIMA	121.09	22.54	120.20	23.80	_	23	167.13	7.27	39.87
2001_NARI	122.00	25.00	119.90	23.00	_	51	308.31	6.05	42.01
2001_TORAJI	121.50	23.60	120.90	24.85	_	11	151.80	13.80	50.59
2001_TRAMI	121.00	22.50	121.00	22.50	_	_	_	_	18.01
2003_MORAKOT	120.96	22.39	120.00	23.32	_	7	142.79	20.40	32.58
2004_MINDULLE	121.57	23.67	121.50	25.30	_	18	181.47	10.08	33.44
2004_NOCK-TEN	121.97	24.60	121.83	25.38	_	3	87.91	29.30	49.73
2005_HAITANG	121.90	24.17	120.63	24.63	_	9	138.47	15.39	48.87
2005_LONGWAN G	121.60	23.75	119.98	23.98	_	6	166.79	27.80	54.02
2005_TALIM	121.73	24.06	120.20	24.19	Y	9	156.01	17.33	51.44
2006_BILIS	121.93	24.97	121.00	25.13	_	3	95.40	31.80	23.15
2006_BOPHA	121.37	22.97	120.07	22.93	_	3	133.25	44.42	26.58
2006_KAEMI	121.40	22.90	119.90	23.47	_	5	165.98	33.20	29.15
2007_KROSA	121.90	24.95	121.55	25.30	_	1	52.52	52.52	52.73
2007_PABUK	121.15	22.00	120.63	22.10	_	2	54.76	27.38	34.30
2007_SEPAT	121.55	23.20	119.93	23.93	_	7	184.07	26.30	52.73

表 2-7(續): 同表 2-7。

Case name	Arrival longitude	Arrival latitude	Departure longitude	Departure latitude	2 <sup>nd</sup> low replace	T (h)	D (km)	V (km/hr )	Vm (m/s)
2007_WUTIP	121.60	23.00	121.60	23.00	_	_	_	_	15.43
2008_FUNGWON G	121.67	23.43	120.37	24.27	_	8	161.53	20.19	45.44
2008_JANGMI	121.78	24.50	121.15	25.10	_	13	92.27	7.10	51.44
2008_KALMAEGI	121.90	24.50	121.30	25.15	_	10	94.33	9.43	43.73
2008_SINLAKU	121.90	24.70	121.80	25.20	_	10	56.53	5.65	47.16

Case name	Arrival longitude	Arrival latitude	Departure longitude	Departur e latitude	2 <sup>nd</sup> low replace	T (h)	D (km)	V (km/hr )	Vm (m/s)
1977THELMA	120.37	22.51	120.72	24.90	Y	5	268.26	53.65	40.73
1981IKE	120.27	22.45	122.01	25.04	Ν	11	338.25	30.75	29.99
1986WAYNE	120.26	23.97	122.00	24.73	Ν	7	195.57	27.94	39.44
1988SUSAN	120.66	22.09	120.93	22.26	Ν	1	33.64	33.64	36.44
1990MARIAN	119.91	22.96	122.16	24.68	Ν	6	298.41	49.74	23.15
1995DEANNA	120.14	23.89	121.75	25.26	Ν	5	223.07	44.61	18.01
2002NAKRI	121.07	25.15	121.80	25.37	_	5	77.50	15.50	17.58
2004NANMADOL	120.20	22.47	121.50	23.00	_	3	145.80	48.60	24.01

路移動距離、在路移速及登陸時最大風速。


圖 2 - 1: 選取 10 個由東向西移動之颱風個案路徑,其接近台灣陸地時呈現氣旋 式路徑。圖中虛線為颱風之不連續路徑。



圖 2 - 2:以二階多項式近似颱風登陸前 150km 遠處到登陸路徑的偏折程度,圖 中黑色實線為颱風路徑,藍色虛線分別為離台灣海岸約 75km、150km、 225km 及 300km 遠的距離,黑色虛線為坐標轉換後之新坐標軸,以登陸 點 ap 到離岸 150km 遠處之定位點作為新 x 軸,圖中標示 x'。紅色實線 為求得之近似路徑的二階多項式曲線 y' = p<sub>1</sub>x'<sup>2</sup> + p<sub>2</sub>x',此二階多項式曲 線彎曲程度可由二次項係數 p<sub>1</sub>決定, p<sub>1</sub> < 0表示此抛物線開口向下(即 颱風行徑方向的左邊), p<sub>1</sub>越小表示彎曲程度越大。



圖 2-3:(a)由東向西移動登陸台灣之颱風個案三小時平均移行速率合成圖,橫 軸 a 為登陸時間,d 為離陸時間,座標軸由右到左從登陸前 24 小時(-24) 到離陸後 12(12)小時。圖中黑實線為平均值,黑點為平均值加減一個標 準差。(b)颱風靠近登陸點 a 時在空間距離中的平均移速與加減一個標 準差。圖中顯示颱風靠近台灣時平均移速從 5.45 m/s 增加至 7.16 m/s, 呈現加速。



圖 2-4:二次項係數 p<sub>1</sub>與颱風在離岸 150km 路徑定位點的緯度散佈圖,圖中垂 直軸為二次項係數 p<sub>1</sub>,負值越小表示颱風路徑彎曲程度越大,趨勢線顯 示隨著颱風在離岸 150km 路徑定位點的緯度增加,颱風路徑彎曲程度越 大。



圖 2-5:二次項係數 p<sub>1</sub> 與颱風在離岸 150~300km 路徑定位點間平均移向散佈 圖,圖中垂直軸為二次項係數 p<sub>1</sub>,負值越小表示颱風路徑彎曲程度越大。



圖 2-6:二次項係數 p<sub>1</sub>與颱風在離岸 375~300km 路徑定位點間平均每小時移速 散佈圖,圖中垂直軸為二次項係數 p<sub>1</sub>,負值越小表示颱風路徑彎曲程度 越大,趨勢線顯示隨著颱風平均每小時移速增加,颱風路徑彎曲程度越 小。實心圓點為颱風個案在離陸 150km 處時緯度在 23.5 度以北,空心 圓為颱風個案在離陸 150km 處時緯度在 23.5 度以南。



圖 2 - 7:二次項係數 *p*<sub>1</sub> 與颱風在離岸 75~登陸路徑定位點間平均移速變化散佈 圖,圖中垂直軸為二次項係數 *p*<sub>1</sub>,負值越小表示颱風路徑彎曲程度越 大,趨勢線顯示平均移速變化與颱風路徑彎曲程度呈正比。



圖 2-8:二次項係數 p<sub>1</sub>與颱風在離岸 375~300km 路徑定位點間平均每小時最大 風速散佈圖,圖中垂直軸為二次項係數 p<sub>1</sub>,負值越小表示颱風路徑彎曲 程度越大,趨勢線顯示隨著颱風的平均每小時最大風速增加,颱風路徑 彎曲程度越大。實心圓點為颱風個案在離陸 150km 處時緯度在 24 度以 北,空心圓為颱風個案在離陸 150km 處時緯度在 24 度以南。



圖 2-9:平均移速(藍色線)、平均最大風速(紅色線)、平均差異移速(黑色線)、

颱風定位點緯度(綠色線)的相關係數隨離陸距離之變化,圖中為有較好 相關係數的樣本。



圖 2 - 10:以二階多項式曲線分析氣旋式路徑示意圖,圖為桃芝颱風路徑。圖中 實心黑點為選取之登陸定位點,虛線為以登陸前約 200 公里內之路徑所 做之二階多項式曲線,曲線開口向行進方向之左手邊定義為向左偏折個 案。圖中空心點定義為偏折點,取登陸前 200 公里內路徑前後斜率變化 最大之定位點。圖中點虛線為偏折點與登陸點相連之直線和偏折點與登 陸前 200 公里之定位點之連線,兩線夾角可定義出偏折角,用來比較路 徑向左偏折之程度。



圖 2 - 11:偏折點之空間分佈圖,圖中紅色點為偏折角大於等於 30°之個案,偏 折角在 20°~29°之間為黃色點,偏折角在 6°到 19°之間為藍色點,偏折 角小於 6°或是非左偏個案定義為無明顯偏折個案,圖中以灰色標示其登 陸前 3 小時定位點以供比較。圖中圓餅圖以北緯 23.5°為界線,分別統 計偏折角在北邊及南邊之個案數。



圖 2-12 :(a) JTWC 颱風最大風速內插至選取之登陸點時間與颱風登陸時中 央氣象局的最低氣壓資料的散佈圖,相關係數約 0.8。(b) JTWC 颱風 最大風速內插至選取之登陸點時間與颱風登陸時中央氣象局的颱風最 大風速資料散佈圖,相關係數約 0.83,圖中細灰線輔助線斜率為 1,大 部分的點位於此灰線之右下象限,表示中央氣象局估計之登陸時颱風最 大風速大多比 JTWC 估計之最大風速弱。



圖 2 - 13 : (a) 颱風登陸時最低氣壓小於等於平均值 965mb 之 27 個颱風個案 之偏折角度圓餅圖,紅色為偏折角大於等於 20°之個案數,黃色為偏折 角大於等於 6°至小於等於 19°之個案數,藍色為偏折角小於 6°之個案 數。(b) 同(a),颱風登陸時最低氣壓大於平均值 965mb 之 28 個颱風個 案之偏折角度圓餅圖。(c) 同(a),颱風登陸時最大風速大於等於平均值 33m/s 之 27 個颱風個案之偏折角度圓餅圖。(d) 同(a),颱風登陸時最 大風速小於平均值 33m/s 之 28 個颱風個案之偏折角度圓餅圖。



圖 2 - 14: 偏折點緯度與偏折角散佈圖,角度 6°以下個案為無明顯偏折個案,其 中無法定義偏折角度之個案皆標在 2°的位置。圖中實心點為移向偏西個 案,空心點為移向偏北個案。(定義移向為登陸點到登陸前 12 小時定位 點連線所指方向,正北為 360°,正西為 270°,定義移向小於 315°個案 為移向偏西個案,移向大於 315°為移向偏北個案。)圖中趨勢線為線性 曲線擬合偏折點緯度小於 23.5°、偏折角大於 6°之個案。偏折點緯度小 於 23.5°個案之趨勢為越向北偏折角度越大,相關係數 R 達到約 0.73。



圖 2 - 15: 颱風登陸前平均移向與偏折角度散佈圖。圖為左偏颱風個案線性曲線

擬合所得之趨勢線,颱風移向與偏折角度相關係數 R 約 0.14。



圖 2 - 16:參考移行速率(偏折前 9~12 小時颱風移行速率)與偏折角度散佈圖。(a) 全部颱風個案與線性曲線擬合所得之趨勢線,參考移行速率與偏折角度 呈現反比之趨勢,相關係數約 0.52。(b) 同(a),偏折點在北緯 23.5°以 北颱風個案,參考移速與偏折角度呈現反比之趨勢,相關係數 R 約 0.66。



圖 2 - 17:參考颱風最大風速(偏折前 9 小時颱風 JTWC 最大風速)與偏折角度散 佈圖。(a) 全部颱風個案與線性曲線擬合所得之趨勢線,參考颱風最大 風速與偏折角度呈現正比之趨勢,相關係數 R 約 0.32。(b) 同(a),偏折 點在北緯 23.5°以北颱風個案,參考颱風最大風速與偏折角度呈現正比 之趨勢,相關係數 R 約 0.55。



圖 2-18:(a) 55 個由東向西移動登陸台灣之颱風個案三小時平均移行速率合 成圖,橫軸 a 為登陸時間,d 為離陸時間,座標軸從登陸前 24 小時(-24) 到離陸後 12(12)小時。圖中黑實線為平均值,黑點為平均值加減一個標 準差。(b) 28 個由東向西登陸在北緯 23.5°以北之颱風個案三小時平均 移行速率合成圖。(c) 27 個由東向西登陸在北緯 23.5°以南之颱風個案 三小時平均移行速率合成圖。



圖 2 - 19: (a) 以偏折點為基準,偏折點以前為三小時平均移行速率,從偏折前 24 小時(-24)到偏折。偏折點以後為偏折點到登陸點 a 之間平均移行速 率,偏折時間在橫軸上以 df 表示。(b) 同(a),把全部個案分成偏折點在 北緯 23.5°以北,以紅線表示。偏折點在北緯 23.5°以南個案以黑線表示。



圖 2 - 19 (續): (c) 同(a),把全部個案分成偏折角大於等於 20°個案,以紅線表示。偏折角小於 20°個案以黑線表示。(b) 同(a),把全部個案分成偏折前 9 小時颱風最大風速大於等於平均值 42m/s 之個案,以紅線表示。偏 折前 9 小時颱風最大風速小於平均值 42m/s 之個案以黑線表示。



圖 2 - 20 : (a)以偏折前 12 到前 9 小時平均移行速率為參考移速,與偏折前 3 小時到登陸之平均移行速率(偏折前 3 小時到偏折點之平均移速與偏折 點到登陸之平均移速之平均)之散佈圖,總共 55 個個案。(b) 同(a),偏 折角大於等於 20°之個案,共 21 個。(c) 同(a),偏折角小於 20°之個案, 共 34 個。圖中細灰線為斜率為 1 之輔助線,深黑線為線性趨勢線。



圖 2 - 21:偏折前 3 小時到登陸平均移行速率與偏折前 12 到前 9 小時平均移行 速率之差距長條圖統計。圖中加以不同顏色代表不同偏折角度個案數目 來區分,紅色為偏折角大於等於 20°之個案,藍色為偏折角在 6°到 19° 之間個案,灰色為小於 5°之個案。



圖 2-22: 颱風在陸停留時間與在陸移行距離散佈圖,在陸移行距離定義為登陸 點與離陸點之直線距離,平均在陸移速為 28.8km/h(去掉 1978 Rose, 在陸移速 130.0km/h 此極端值),圖中兩灰線分別代表在陸移速 37.4km/h、20.1km/h(平均值±0.5 個標準差)。圖中紅色為在陸移速大於 37.4km/h 個案,定義為快速個案。綠色為小於 20.1km/h,定義為慢速 個案,介於 20.1~37.4km/h 之個案為黑色,定義為中速個案。其中實心 與空心分別代表北緯 23.5°以南登陸與北緯 23.5°以北登陸個案。藍色十 字為有不連續路徑之個案,不連續路徑個案定義為颱風主渦旋在東邊陸 上消散,山後產生之副渦旋中心增強取代原來中心之個案。



圖 2-23: 颱風在陸移速統計圓餅圖,圖中紅點、黑點、綠點分別代表颱風在陸 移速快速,中速,慢速之颱風個案登陸點。圓餅圖分成登陸點在北緯 23.5 °以北、以南及西邊登陸。



圖 2 - 24: 颱風在陸時間統計圓餅圖,圖中紅點、藍點、空心點分別代表颱風在 陸時間大於 10 小時、5 到 9 小時、小於 5 小時之颱風個案登陸點。圓 餅圖分成登陸點在北緯 23.5°以北、以南及西邊登陸之個案。



圖 2 - 25:12 個在通過台灣時不連續路徑之颱風個案,登陸點以紅色實心點表 示,離陸點以 x 符號表示。登陸點與離陸點所連之直線即為分析中之在 陸移行距離。12 個不連續路徑個案中有 8 個為在陸移速快速個案,佔全 部 15 個在陸移速快速個案中的 53.3% (8/15)。



圖 2 - 26:12 個不連續路徑個案之分析,(a) 橫軸為登陸點緯度,藍色線為颱風 在陸移行距離,綠色線為颱風在陸停留時間,顯示緯度 23.5°以南個案 在陸時間短,在陸移行距離很長,為移速快速個案。(b) 橫軸為登陸點 緯度,藍色線為登陸時 JTWC 颱風最大風速,綠色線為颱風在陸移速, 大致上呈現反比的趨勢。



圖 2 - 27:同圖 2-22,拿掉不連續路徑之颱風個案,新計算出在陸移速平均為 24.6km/h,平均值加減 0.5 個標準差分別為 30.8km/h 以及 18.3km/h。



圖 2 - 28:同圖 2-23,去除不連續路徑之颱風個案。



圖 2 - 29:縱軸為颱風在陸移速,橫軸為颱風登陸前 3 小時移速,細灰線為斜率 為 1 之輔助線,空心圓點為登陸點在北緯 23.5°以北,實心黑圓點為登 陸點在北緯 23.5°以南,灰色圓點為西邊登陸個案,細灰線以上之圓餅 圖統計登陸後加速之颱風個案,細灰線以下之圓餅圖統計登陸後減速之 颱風個案,統計結果顯示加速個案在南邊登陸個案比率最大約 47.6%, 減速個案在北邊登陸個案比率最大,約 67.9%。



圖 2 - 30:統計登陸前後移速變化比率,定義ΔU=(U<sub>a~d</sub>-U<sub>-3a</sub>)/U<sub>-3a</sub>,統計結果顯 示登陸後加速颱風以增加 25%到 50%佔最大比率,而減速颱風以減少 25%個案數佔最大比率。



圖 2 - 31:不同ΔU 比率區間之颱風登陸點空間分佈圖,圓餅圖分別統計登陸點 在北緯 23.5°以北、北緯 23.5°以南及西邊登陸個案,圖中藍色代表減速 超過 50%之個案,淺藍色為減速比率在-50%到 0 之間,黃色為加速比 率在 0 到 50%之間,紅色為加速超過 50%之個案。



圖 2 - 32 : ΔU 與颱風登陸時 JTWC 最大風速散佈圖。



圖 2 - 33:以緯度 0.5 度分區登陸後平均移速、在陸時間、登陸前 3 小時移速與

## 在陸移速比較加速減速個案數。



圖 2 - 34: 以測站中點分區登陸後平均移速、在陸時間、登陸前 3 小時移速與在

## 陸移速比較加速減速個案數。



圖 2-35:以大略地形分區登陸後平均移速、在陸時間、登陸前 3 小時移速與在 陸移速比較登陸後加速減速個案數。


圖 2 - 36:雨量分析選取之測站位置,包括氣象局局屬測站、氣象局自動雨量站、

農業測站、民航局測站及空軍測站共 489 個。



圖 2 - 37: 颱風中心登陸前定位在近台灣東海岸 2°×2°方格內之時間,平均時雨 量分佈圖。方格左上角數字代表合成之颱風個案數。



圖 2 - 38: 如圖 2-37,時雨量平均之標準差分佈圖。



圖 2 - 39 : 選取圖 2-37 中東經 121°到 123°、北緯 23°到 25°之方格,細分成 1° ×1°。選取颱風中心登陸前定位在此 1°×1°方格內之時間,平均時雨量分

佈圖。方格左上角數字代表合成之颱風個案數。



圖 2 - 40:如圖 2-39,時雨量平均之標準差分佈圖。



圖 2 - 41:如圖 2-37,偏折角大於等於 20°之個案與偏折角小於 20°之個案時雨 量平均差值分佈圖,負值以虛線表示。方格中左上數字為偏折角大於等 於 20°之個案數與偏折角小於 20°之個案數之比例。



圖 2 - 42:如圖 2-39,偏折角大於等於 20°之個案與偏折角小於 20°之個案時雨 量平均之差異分佈圖。方格中左上數字為偏折角大於等於 20°之個案數 與偏折角小於 20°之個案數之比例。



圖 2 - 43:北緯 23.5 度以南登陸偏折角大於 20 度個案路徑,個案包括 Caitlin (1994)、Tim (1994)、 Toraji (2001)、Mindulle (2004)、Sepat (2007)、 Fungwong(2008)。



圖 2 - 44:北緯 23.5 度以北登陸偏折角大於 20 度個案路徑,個案包括 Vera (1977) 、 Norris (1980)、Freda (1984)、Yancy (1990)、Herb (1996)、 Nock-Ten (2004)、Talim (2005)、Bilis (2006)、Jangmi(2008)、Nari (2001)。(為了圖形清楚,Nari (2001)沒有畫出。)



圖 2 - 45:颱風路徑在登陸前轉圈之個案,包括 Sarah (1989)、Polly (1992)、 Haitang (2005)、Krosa (2007)、Sinlaku (2008)。其中 Sarah (1989)定

義登陸點經緯度在東經 121.59 度、北緯 23.43,歸類為在北緯 23.5 度 以南登陸個案。



圖 3-1:實驗設計示意圖,放入解析度 2km 之真實台灣地形,圖中 x 標記為不同 渦旋初始位置實驗之 t= 0 h 時渦旋中心位置,由北到南編號 1 到 7。初 始渦旋中心離海岸線約 300 km 遠,黑色為背景風場東風之實驗,紅色 為背景風場東南風之實驗,圖中挑出兩組實驗畫出其路徑定位與 36 小 時每 3 小時合成之渦度場等值線,等值線為 0.00195 s<sup>-1</sup>,路徑每點間 隔 1 小時。



圖 3-2:修正阮肯渦旋(modified Rankine vortex)渦度結構,橫軸為無因次的半徑,縱軸為無因次的渦度, $\zeta_m$ 為渦旋最大渦度值, $r_m$ 為渦旋最大切向風速半徑。



圖 3-3:不同定位中心方法之比較,黑色為渦旋幾何中心,紅色為以擾動水深最 小值為中心之路徑,圖中每點間隔為1小時,兩種定位方法在登陸前相 似,但在靠近地形時擾動水深最小值定位之方法的渦旋中心會大幅度跳 躍到地形上,與渦度場明顯分離。



圖 3-4:西行渦旋接近台灣地形時不對稱位渦場與不對稱風場分佈圖,渦旋中心 固定在原點,陰影為不對稱位渦場,地形等值線畫出1公尺與1500公 尺等值線做為代表,向量為不對稱風場,右下角標示出各時間不對稱風 場的極大值,只畫出離渦旋中心300km以內及大於0.5m/s之風場向量。



圖 3-5: f 平面與β平面實驗之(a) 渦旋路徑圖,圖中 x 為初始位置,從北到南取 第 1、3、5、7 個初始位置實驗作圖,空心圓為偏折點,粗實心圓為登 陸點,細實心圓為定位點,定位間隔 1 小時。(b) 偏折點緯度與偏折角 度散布圖,兩組實驗皆使用渦旋參數為α=1、V<sub>m</sub>=50 m/s、R<sub>m</sub>=50 km、 背景風場為 U=5 m/s 東風。



圖 3-6:不同背景風場大小實驗之(a) 渦旋路徑圖,圖中 x 為初始位置,從北到 南取第 1、3、5、7 個初始位置實驗作圖,空心圓為偏折點,粗實心圓 為登陸點,細實心圓為定位點,定位間隔 1 小時。(b) 偏折點緯度與偏 折角度散布圖,兩組實驗皆使用渦旋參數為α=1、V<sub>m</sub>=50 m/s、R<sub>m</sub>=50 km、背景為 *f* 平面。圖中紅色為 U=3 m/s 實驗,綠色為 U=7 m/s 實驗, 黑色為 U=5 m/s 實驗,皆為東風。



圖 3-7:不同方向背景風場實驗之(a) 渦旋路徑圖,圖中 x 為初始位置,從北到 南取第 1、3、5 個初始位置實驗作圖,空心圓為偏折點,粗實心圓為登 陸點,細實心圓為定位點,定位間隔 1 小時。(b) 偏折點緯度與偏折角 度散布圖,兩組實驗皆使用渦旋參數為α=1、Vm=50 m/s、Rm=50 km、 背景為 *f* 平面。背景風場大小為 5 m/s,圖中 W 為東風實驗,N 表示東 南風實驗。



圖 3-8:背景風場為東南風,不同背景風場大小實驗之(a) 渦旋路徑圖,圖中 x 為初始位置,從北到南取第 1、3、5 個初始位置實驗作圖,空心圓為偏 折點,粗實心圓為登陸點,細實心圓為定位點,定位間隔 1 小時。(b) 偏 折點緯度與偏折角度散布圖,兩組實驗皆使用渦旋參數為α=1、V<sub>m</sub>=50 m/s、R<sub>m</sub>=50 km、背景為*f* 平面。圖中紅色為 U=3 m/s 實驗,綠色為 U=7 m/s 實驗,黑色為 U=5 m/s 實驗。



圖 3-9:渦旋最大風速敏感度實驗之渦度及風速剖面圖,固定渦旋最大風速半徑 為 50km,α=1。實線為最大風速 50 m/s 實驗,虛線為 20 m/s,點線為 35 m/s,點虛線為 65 m/s。



圖 3-10 : 同圖 3-6 , 渦旋最大風速敏感度實驗,實驗使用渦旋參數為α=1、R<sub>m</sub>=50 km、背景風場為 5 m/s 東風,背景為 *f* 平面。圖中藍色為 V<sub>m</sub>=20 m/s 實驗 , 綠色為 V<sub>m</sub>=35 m/s 實驗 , 黑色為 V<sub>m</sub>=50 m/s 實驗 , 紅色為 V<sub>m</sub>=65 m/s 實驗。



圖 3-11:渦旋最大風速半徑敏感度實驗之渦度及風速剖面圖,固定渦旋最大風 速為 50 m/s, α=1。實線為最大風速半徑 50 km 實驗,虛線為 100 km, 點線為 25 km,點虛線為 75 km。



圖 3-12:同圖 3-6,渦旋最大風速半徑敏感度實驗,實驗使用渦旋參數固定為α =1、V<sub>m</sub>=50 m/s、背景風場為 5 m/s 東風,背景為 *f* 平面。圖中藍色為 R<sub>m</sub>=25km 實驗,黑色為 R<sub>m</sub>=50 km 實驗,綠色為 R<sub>m</sub>=75 km 實驗,紅 色為 R<sub>m</sub>=100 km 實驗。



圖 3-13:渦旋結構敏感度實驗之渦度及風速剖面圖,固定渦旋最大風速為 50 m/s,最大風速半徑為 50 km。實線為α=1 實驗,虛線為α=0.7,點線為 α=0.5。



圖 3-14: 同圖 3-6, 渦旋結構敏感度實驗, 實驗使用渦旋參數固定 V<sub>m</sub>=50 m/s、

R<sub>m</sub>=50 km、背景風場為 5 m/s 東風,背景為 *f* 平面。圖中黑色為α=1 實驗,綠色為α=0.7 實驗,紅色為α=0.5 實驗。



中以灰色標示。



圖 4-1: 取颱風進入東經 123.5 到東經 124.5,北緯 20.5 到北緯 21.5 區間時的 平均移速,與偏折前 12 到前 9 小時的平均移速做散布圖,黑色實線為 趨勢線,灰色細線為斜率為 1 輔助線,兩者相關系數 R 達到約 0.79。



圖 4-2: 同圖 2-16,參考移速改成東經 123.5 到東經 124.5,北緯 20.5 到北緯 21.5 區間時的平均移速,全部個案相關系數 R 可達到約 0.47,而北緯 23.5 度以北個案相關係數 R 可達到約 0.52。



圖 4-3: 互動式網頁應用平台。依測站分段,圖中顯示已基隆-宜蘭測站為分段 時,其 1997-2008 年於基隆-宜蘭間登陸的颱風個案之路徑(圖中網格點大小為 0.5°\*0.5°),及其在生命期中各小時的強度(中心氣壓、最大風速、七級及十級風 半徑)資料。下方的表格則為每個個案,本計畫中分析之颱風的登陸移速及偏折 角之統計特性。本平台為互動式,使用者可以點取其有興趣的個案,或是疊加不 同的測站分段點。



圖 4-4:互動式網頁應用平台。同圖 4-3, 依登陸緯度為分段。