中國文化大學地學研究所大氣科學組

碩士論文

颱風環境下台灣北海岸地形差異 對降雨強度及分佈之影響

Influences of different coastal barriers over northern Taiwan on precipitation intensity and distributions in the typhoon environment

> 指導教授:游政谷 博士 研究生:王信凱 撰

中華民國 98 年 12 月

摘要

本研究主要是以氣象局五分山都卜勒雷達及民航局桃園機場雷 達資料分析北台灣兩座臨海山脈(大屯山及南港基隆山脈)在颱風環 境下所造成的降水差異,探討不同形狀與高度之山脈是如何影響颱風 的地形降水。本研究總共選擇了2001~2008年七個侵襲北台灣的颱風 個案(納莉、海棠、泰利、龍王、碧利斯、柯羅莎、辛樂克)來做分析, 基本上這些颱風皆伴隨明顯的低層東北風吹向北台灣海岸。研究分析 發現大部分個案於南港基隆山脈大於35 dBZ 回波頻率高於大屯山, 雖然南港基隆山脈較低,但是降水卻多於地勢較高寬的大屯山,顯示 南港基隆山脈能更有效率的產生地形降水。

另外比較兩座山脈的地形梯度顯示南港基隆山在高度低的地方 就有較大的地形梯度,有利於迅速抬舉低層的水氣而凝結成水滴。探 討兩座山脈降雨強度與上游回波跟風速的關係時,發現大屯山與南港 基隆山脈在上游回波與風速越強的時候所能產生的回波也越強。進一 步比較兩座山脈在相同上游回波與相同風速下地形降水增強的差異 時,顯示當風速和回波都較弱的時候,大屯山上的地形降水增加比南 港基隆山脈要多;而在上游風速及回波都較強的情況下,卻是南港基 隆山脈地形降水增強較多,這似乎暗示著兩座山脈受到不同的地形降 水機制所主導。

誌謝

本研究能夠完成,首先要感謝我的指導老師游政谷博士這些年來 給予我的教導以及愛護,在老師的指導下,除了學到研究有關的知識 以外,更使我學會嚴謹的思考以及對研究的態度。此外老師也在生活 上予以學生各方面的協助,使學生得以心無旁騖的專注在研究上。能 夠在碩士生涯中如此成長,在此向老師致上最誠懇的謝意。

感謝口試委員劉清煌老師以及在師範大學的王重傑老師細心的 審閱,有了兩位口試委員的寶貴意見使得本研究論文更加完整。研究 所的求學過程中,感激張保亮學長及魏志憲老師提供的雷達解碼程式 以及幫助,使我能夠順利的解決各種雷達資料上的問題。在研究資料 上面,感謝台大大氣研究資料庫的楊明錚先生與民航局的陳海根先生 提供雷達資料與地面觀測資料。資料處理方面,感謝凌文學長與薇鈞 學妹幫忙處理雷達資料。也感謝系上學長姐、同學以及所有師長們的 協助使我能夠將論文順利完成圖書館

在研究的日子裡總是受到大家許多的照顧,研究遇到問題時多虧 了凌文、哲佑與嘉倫幫忙才得以順利解決,在程式方面常協助我的品 竣學長與子鈞、讓我們不至於喝西北風總是把錢管的好好的瑩薰、總 是有許多好食物分享我們吃下午茶的菁華、一起玩跑跑卡丁車跟 CS 的俊祥、晉堯、培根、烤肉達人紹欽學長、常常發起團購的助教惠雯、 在心情不好時總是與我分享心情的苡珊與若慈、常常帶我去觀星的天 文社的大家們,有你們的陪伴讓我享受多采多姿的研究所生活,謝謝 你們帶給我許多美好的回憶。

家人在背後的支持是我完成論文最大的動力,因為有家人的理解 與支持,使我沒有後顧之憂的將學業完成。最後的最後,再次感謝所 有幫助過我的貴人們,因為有你們的相挺才得以將此論文完成,在此 將這份成果現給大家。

Π

目錄

圖表說

- 表1 2001年納莉颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表 2 2005 年海棠颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表3 2005 年泰利颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表4 2005年龍王颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表 5 2006 年碧利斯颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表6 2007年柯羅莎颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表7 2008 年辛樂克颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。
- 表8 七個颱風個案當北台灣地形上游風場介於0°到70°之間研究 分析時間與雷達資料筆數。
- 圖 1.1 簡單地形降水機制示意圖。(a)種雲播雲機制(Seeder-feeder mechanism); (b)地形斜坡強迫舉升凝結機制(Upslope forcing); (c)地形斜坡激發機制(upslope triggering); (d)地形上游減速激發機制(Upstream triggering); (e)熱力激發機制(Thermal triggering); (f)背風面輻合激發機制(Lee-side triggering); (g)背風面重力波加強機制(Lee-side enhancement by gravity waves)(圖摘取自 Houze 1993)。
- 圖 1.2 MAP IOP5 個案,五種地形降水型態示意圖。(a) Slope Convergence(SCT);(b)Upslope Triggering(UT);(c)Weak Slope Convergence Triggering(WSCT);(d)Gap Exit Convergence Triggering(GECT);(e)Slope Convergence Forced Stratiform (SCFS)。左圖為平面圖,右圖為左圖相對應之垂直剖面(圖 摘取自 Yu et al. 2007)。
- 圖 1.3 2000 年象神颱風十小時累積雷達回波圖(PPI 1.4° 仰角),黑 色等值線代表累積回波(單位為 dBZ,間距為 150 dBZ),色 階為地形高度(單位為 m,間距如圖所示)。累積時間自 10 月 31 日 2000 UTC 至 11 月 1 日 0600 UTC,共十小時(圖摘 取自 Yu and Cheng 2008)。

- 圖 1.4 (a)大屯山地形圖,地形水平解析度為 40 m,垂直解析度 1 m,顏色代表地形高度,間距如圖右側所示。(b)同(a),但是 為南港基隆山脈。
- 圖 2.1 地形上游風平均場選取範圍(圖中紅線所圍之區域),等值 線為五分山雷達及桃園機場雷達電磁波波束相交角度,間距 為10°,顏色代表地形高度。
- 圖 3.1 2001 年納莉颱風個案的颱風路徑圖,颱風中心訂為每隔6小時一點,時間為 UTC。(資料來源:中央氣象局)
- 圖 3.2 同圖 3.1,但為 2005 年海棠颱風個案。
- 圖 3.3 同圖3.1,但為2005年泰利颱風個案。
- 圖 3.4 同圖3.1,但為2005年龍王颱風個案。
- 圖 3.5 同圖3.1,但為2006年碧利斯颱風個案。
- 圖 3.6 同圖3.1,但為2007年柯羅莎颱風個案。
- 圖 3.7 同圖3.1,但為2008年辛樂克颱風個案。
- 圖 3.8 (a) 2001 年納莉颱風;(b) 2005 年海棠颱風;(c) 2005 年泰利 颱風;(d) 2005 年龍王颱風;(e) 2006 年碧利斯颱風;(f) 2007 年柯羅莎颱風;(g) 2008 年辛樂克颱風。北台灣地形上游雙 都卜勒風場範圍內高度 0.25 到 1 km(間距為 0.25 km)、高度 1 km 以下平均以及基隆測站的風標圖,圖中紅線代表 1 km 以下平均風之風速變化,間距以紅字表示在圖右側;藍線表 示 1 km 以下平均風之風向變化,間距以藍字表示在圖右 側, 而藍色虛線為風向 70° 的位置。
- 圖 4.1 (a) 2001 年納莉颱風; (b) 2005 年海棠颱風; (c) 2005 年泰利 颱風; (d) 2005 年龍王颱風; (e) 2006 年碧利斯颱風; (f) 2007 年柯羅莎颱風; (g) 2008 年辛樂克颱風。當北台灣地形上游 吹東北風時颱風個案回波大於 35 dBZ 的頻率(1.75 km 高度 CAPPI),色階代表頻率強度,累積時間表示在右上角,等 值線為地形高度。
- 圖 4.2 (a) 2001 年納莉颱風; (b) 2005 年海棠颱風; (c) 2005 年泰利

颱風;(d) 2005 年龍王颱風;(e) 2006 年碧利斯颱風;(f) 2007 年柯羅莎颱風;(g) 2008 年辛樂克颱風。當北台灣地形上游 吹東北風時颱風個案回波利用 Z = 32.5R^{1.65}所估計出來的累 積雨量(1.75 km 高度 CAPPI),色階代表累積雨量值,累積 時間表示在右上角,等值線為地形高度。

- 圖 4.3 北台灣測站分佈圖,圖中符號所代表的測站類型如圖右上方 說明,色階代表地形高度(單位為 m,間距如上所標示)。
- 圖 4.4 (a) 2001 年納莉颱風; (b) 2005 年海棠颱風; (c) 2005 年泰利 颱風; (d) 2005 年龍王颱風; (e) 2006 年碧利斯颱風; (f) 2007 年柯羅莎颱風; (g) 2008 年辛樂克颱風。當北台灣地形上游 吹東北風時颱風個案的累積雨量圖,色階表示累積雨量,間 距如圖上所示,累積時間表示在右上角,等值線代表地形高 度,間距為 100 m。 ersity 1/6
- 圖 4.5 圖 4.5 七個颱風個案回波大於 30%頻率的頻率,色階代表 頻率強度,間距如圖上所示,等值線代表地形高度,間距為 100 m。 圖書館
- 圖 5.1 (a)大屯山迎風面選取範圍(圖中粗黑實線所圍之部分),顏 色代表地形高度,間距如圖上方所示。(b)同(a),但是為南 港基隆山脈。
- 圖 5.2 (a)大屯山地形高度與梯度的關係,紅色線條代表回歸曲線。 (b)同(a),但是為南港基隆山脈。
- 圖 5.3 大屯山與南港基隆山脈兩座山脈地形高度與梯度回歸曲線 比較圖,綠色線條代表大屯山,紅色線條代表南港基隆山脈 。
- 圖 5.4 大屯山與南港基隆山脈地形上回波平均的選取範圍(黑色方 框所圍的區域),色階為地形高度(單位為 m,間距為 100 m, 如圖上所示),另外將黑色方框利用每個時間的雙都風場反 推至地形外,代表兩座山脈上游回波的情況。

- 圖 5.5 大屯山上游回波的反推。時間為2005年07月17日(a) 1426 UTC ;(b) 1420 UTC;(c) 1414 UTC。方框代表回波反推的位置, 色階為1.75 km~5 km高度平均回波的強度(單位為dBZ,間距 為5 dBZ,如圖上所示)。
- 圖 5.6 南港基隆山脈上游回波的反推。時間為 2005 年 07 月 17 日(a) 2012 UTC; (b) 2006 UTC; (c) 2001 UTC; (d) 1955 UTC。 方框代表回波反推的位置,色階為 1.75 km~5 km 高度平均 回波的強度(單位為 dBZ,間距為 5 dBZ,如圖上所示)。
- 圖 5.7 (a)大屯山七個颱風個案期間每個時間風速與地形上游回波 強度所對應到的地形上的回波,色階代表山區回波強度,單 位是 dBZ,間距如圖所示,七種圖形分別代表不同的颱風個 案。(b)同圖(a),但為南港基隆山脈。
- 圖 5.8 (a)大屯山七個颱風個案風速大小與地形上游回波強度相對 於地形上回波之比較,色階代表山區回波強度,單位是 dBZ,間距如圖所示。(b)同圖(a),但為南港基隆山脈。
- 圖 5.9 (a)大屯山七個颱風個案風速大小與地形上游回波強度相對 於山區回波的增加量(地形上回波-上游回波)之比較,色 階代表山區回波增加量,單位是Z,間距如圖所示。(b)同圖 (a),但為南港基隆山脈。
- 圖 5.10 將大屯山與南港基隆山脈回波增加量圖交集的部分相減 (NKR-DT),代表兩座山脈在不同的上游回波強度與風速 時回波增強的差異,暖色系代表南港基隆山脈增強較大屯山 強(相減為正);冷色系則相反(相減為負)。色階代表回波差 值,單位是Z,間距如圖所示。

第一章 前言

颱風在自然界當中是極具破壞力的天氣系統,台灣位於西太平 洋颱風主要的侵襲路徑上,平均每年約有3~4個颱風影響到台灣區 域,對台灣而言,颱風也是相當重要的災變天氣之一。颱風除了強風 以外,就屬豪雨了,尤其是颱風與山區地形交互作用下所產生的降雨 更是驚人,再加上地形並不會移動,降水滯留在原地,常造成山區降 雨量是平地的好幾倍,雨量豐沛的結果使得山坡地上常造成土石流、 道路坍崩等災害。對於下游民眾來說,山區的雨量也會造成溪水暴 漲,將沿岸道路沖刷、橋梁沖毀,也造成許多地區淹水,嚴重影響居 民的交通以及人身安全。

台灣是一個由歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊擠壓所形成的一座 島嶼,因此台灣擁有許多山脈及豐富的地貌特徵,許多天氣系統也會 受到地形影響而變得複雜,地形降水的了解對台灣的劇烈天氣預報也 就顯得更加重要。中央氣象局在台灣設置了四百多座的自動觀測雨量 站,然而山區的雨量站分佈較為稀疏,使得雨量站常常無法代表實際 山區的降水,造成觀測上的誤差。不過氣象局建立了涵蓋全台本島的 都卜勒觀測網,加上民航局以及軍方的氣象都卜勒雷達觀測,這些雷 達觀測能夠清楚的分析地形上降水的強度以及空間分佈,有利於我們 對地形降水的課題做更深入的研究探討。

(一) 文獻回顧與研究動機

在國外,地形降水這個議題早在四十多年前就已經開始有研究, Wilson and Atwater (1972)曾指出 Connecticut 之山丘高度雖然未達 300 m 但是卻有明顯的地形降水,而 Bergeron (1968,1973)在瑞典的 Uppsala 附近觀測到高度不及 60 m 的山丘上卻有增強兩倍之多的降 雨,顯示出低矮的地形都能夠顯著影響降水的強度以及分佈。針對小 型山脈上為何能夠引發如此強烈的降水,Bergeron (1949,1965)提出液 態水中顯著的比例可能是受大尺度舉升所產生的高雲的降水沖刷,因 為地形雲中的合併過程太慢,需要透過較大的山才有足夠時間讓地形 雲持續舉升產生降水,但若是透過大尺度舉升所產生的高雲的降水沖 刷將使得較小的山脈也能產生很強的降水。對於這種假設,Bader and Roach (1977)透過模式嘗試模擬出沖刷的過程,也證實它的確能造成 劇烈地形降雨。

Smith (1979)提出了三個地形引發降水的機制:第一個是當上游氣 流通過體型較大的山時,受到地形抬升達到飽和在迎風面產生降雨並 且在背風側出現雨蔭區。第二種是透過地形舉升而雲滴事先出現在小 山丘上,若大環境有降水,雨滴就會和雲滴合併使得降雨增強,這種 機制也稱為種雲播雲機制。第三種則是當太陽照射到山脈時,熱力的 作用也會使得山區有積雨雲的出現。說明了不論是在動力上或者是在 熱力上都有可能會產生地形降水。

Houze (1993)(如圖 1.1 所示)將地形降水機制大致上分為(a)種雲 播雲機制(Seeder-feeder mechanism); (b)地形斜坡強迫舉升凝結機制 (Upslope forcing); (c)地形斜坡激發機制(Upslope triggering); (d)地形 上游減速激發機制(Upstream triggering); (e)熱力激發機制(Thermal triggering); (f)背風面輻合激發機制(Lee-side triggering); (g)背風面重 力波加強機制 (Lee-side enhancement by gravity waves)七種形式。然 而在實際的情況下地貌是很複雜的,Yu et al. (2007)在 MAP (Mesoscale Alpine Programme)計劃中利用機載都卜勒雷達觀測位於 義大利與斯洛維尼亞交界的兩座山脈,並且歸納出五種不同的地形降 水機制(如圖 1.2 所示),這些機制都是發生在相同的兩座山脈上,只 是因為當時熱力環境、氣流走向及穩定度不同才導致不同的地形降水 形式。這些研究結果暗示著,就算是相同的地形隨著不同的大氣環境 所造成的地形降水,其強度及分佈也會有所差異。顯然這些過程無法 完全利用 Houze (1993)描述的七種的形降水機制來完整的描述。

Medina et al. (2005)透過IMPROVE-II (the Second Improvement of Microphysical Parameterization through Observational Verification Experiment)與MAP (Mesoscale Alpine Programme)計劃,利用偏極化雷 達與垂直指向雷達觀測鋒面發現當鋒面過山時,亂流有助於地形降水 的增強,這些亂流是在低層強風切處生成的。在通過較低矮的山坡 時,亂流會加速水相粒子的凝結並掉落到地表,使得原本不會發生降 雨的迎風坡出現了降雨。

根據過去的研究指出(李與蔡1995),當颱風進入一個複雜的地形時,颱風降水大致上可以分成兩部分:一為颱風環流本身所造成的降水,這類降水會隨著颱風環流的移動而移動;另一類則為氣流受到地 形影響而引發出來的降水,由於地形本身不會移動,因此降水也往往 呈現滯留的狀態,造成更嚴重的災害。

過去許多學者對於地形降水的課題做了許多觀測以及模擬的研究,國內外也有許多的實驗計畫去探討相關的問題,如國外的 Improvement of Microphysical Parameterization through Observational Verification Experiment (IMPROVE; Stoelinga et al. 2003)計畫對 Oregon Cascade Mountains 的地形降水做了研究;在義大利北部阿爾 卑斯山所進行的 Mesoscale Alpine Programme (MAP; Bougeault et al. 2001)也結合地面與飛機都卜勒雷達針對阿爾卑斯山上的降水密集的 觀測,希望了解山區局部豪大雨的降水過程。而在台灣也有一些實驗 計畫,1987 的 TAMEX(Taiwan Area Mesoscale Experiment; Kou and Chen 1990)期間就有探討台灣海峽兩邊地形對中尺度對流系統之影 響,在 2008 TiMREX (Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment) 當中也希望能夠探討台灣地形與海陸交界對中尺度對流系統的激發 與消散之影響。儘管如此,我們對於地形降水的認知大多只侷限在中 緯度冷季的天氣系統。中緯度冷季常為對流穩定的大氣,環境條件較 為單純,在這樣的環境條件之下地形降水基本上只與兩個因子有關: 一個是地形與氣流的交互作用;另一個是雲物理過程,利用這兩個因 子我們便可以決定出地形降水的強度與位置(Colle 2004)。但是台灣屬 於副熱帶的海島地形,具有高山且四面環海,受到太陽加熱由熱力所 引發的局部環流也會影響到降雨的強度與分佈,而且台灣暖季的大氣 多為對流不穩定。若是在颱風環境下,颱風環流以及雨帶的變化更增 加了地形降水的複雜性,因此我們無法單純利用上述兩個因子來解釋 台灣颱風環境下的地形降水。

雖然有許多研究指出地形會對颱風的降雨造成影響,但是主要是 探討颱風路徑與降雨分佈的相關性,對於影響颱風地形降水的因子以 及機制這一方面我們所得到的認知卻是少之又少,使我們在颱風降水 的預報上無法明確的掌握到最大降雨發生的位置以及總量。通常颱風 災害最嚴重的地區都跟地形有相當大的關聯,若是能夠了解颱風環境 下的地形降水將使我們對於災害的預警會很有幫助。李與蔡 (1995) 和張 (2000)曾指出一些颱風地形降水的特徵,但是皆只有對降雨型 態做簡單的描述,對於產生地形降水的物理過程沒有做深入的探討。 Yu and Cheng (2008)利用五分山雷達觀測 2000 年象神颱風時,發現當 颱風位於台灣東方且北台灣地形上游風場吹東北風時,位在迎風側的 大屯山脈及南港基隆山脈皆發生顯著的地形降水。透過期間 10 小時 的累積回波(頻率)圖(圖 1.3)(10 月 31 日 2000~11 月 1 日 0600UTC)更 可以看到其中南港基隆山脈回波是高於大屯山的。比較兩座山脈的地 形特徵(圖 1.4)發現大屯山形狀近似三維沒有一個固定的地形走向, 高度較高,大約1200m;而南港基隆山脈大致上為東北-西南走向, 高度較低矮,約 700 m 左右。大屯山與南港基隆山脈地理位置很接近 卻又有不一樣的地貌特徵,若能夠利用相同的颱風環境比較這兩座山 脈的降水差異將使我們對於地形降水的了解有很大的幫助。

(二) 研究目的

本研究蒐集了2001年~2008年七個颱風個案(納莉、海棠、泰利、 龍王、碧利斯、柯羅莎、辛樂克),並利用五分山雷達觀測資料與民 航局桃園機場雷達資料來分析探討北台灣兩座臨海山脈(大屯山與 南港基隆山脈)在颱風環境下所產生的地形降水。雷達資料可以提供 給我們高解析的降雨分佈資訊,並且可以藉由兩座雷達來反演出地 形上游的風場資料,這些資訊將有助於我們去深入的分析兩座山脈 在颱風環境下所造成的降水差異。這七個颱風個案在侵台期間皆有 在北台灣帶來強盛的東北風,氣流從海上直接吹向大屯山和南港基 隆山脈,並未受到其他地形的顯著影響,能夠讓我們單純去分析雨 帶和氣流受到地形的效應。本研究主要目的是希望利用七個颱風個 案來比較兩座山脈的地形降水,期望可以藉由這麼多的個案探討在 相同環境下不同的地形對於降雨強度與分佈的異同,並嘗試釐清當 中的物理機制,拓展我們對於颱風環流與地形交互作用的認知。

本文第二章說明本研究所使用的資料來源與處理方法,簡單介 紹五分山雷達與桃園機場雷達資料特性,並說明雙都卜勒雷達風場 合成的方法。第三章對於選取的七個颱風個案做概括性的描述。第 四章利用五分山雷達的回波資料與雙都卜勒合成的風場資料分析當 地形上游環境場吹東北風時兩座山脈降雨的強度以及分佈情況,並 與地面測站觀測到的雨量圖來做比較。第五章進一步探討上游環境 因子與兩座山脈的地形特徵對於地形降水的影響。最後將前面研究 的成果整理總結在第六章。

第二章 資料及研究方法

(一)資料

1.資料來源

- (1)中央氣象局:地面測站資料,包含局屬站、自動氣象站及自動雨量站的觀測資料。五分山都卜勒雷達(RCWF)資料,雷達資料為每六分鐘一筆體積掃瞄(Volume scan),包含雷達回波場及徑向風場資訊。
- (2)民用航空局:桃園機場都卜勒雷達(CAA)資料,2003 年以前為舊 雷達,每十五或三十分鐘一筆體積掃瞄(Volume scan)的雷達回波 場及徑向風場資料;新雷達則是每五或十分鐘一筆體積掃瞄 (Volume scan)的雷達回波場及徑向風場資料。
- (3)中央大學太空及遙測中心: Digital Terrain Model(DTM),數值地形 資料。

2.都卜勒雷達資料之特性與處理

(1)五分山都卜勒雷達

五分山雷達為 WSR-88D (Weather Surveillance Radar-1988 Doppler)型S波段(10 cm)都卜勒氣象雷達,雷達天線高度為766 m, 雷達的觀測資料包括降水回波強度、都卜勒徑向速度以及頻譜寬。雷 達掃瞄觀測為順鐘向360°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°、1.4°、2.3°、 3.3、4.2°、6.0°、9.8°、14.5°及19.5°,掃瞄一層約費時26~34秒。雷 達回波資料觀測範圍為460 km,徑向解析度為1 km,都卜勒徑向風 以及頻譜寬資料範圍則為230 km。五分山雷達的折錯速度(velocity folding)除了2001 年納莉颱風與2008 年辛樂克颱風以外,在低層 6 個仰角的折錯速度(velocity folding)為 26.55 m s⁻¹, 而較高的 3 個仰角 的折錯速度(velocity folding)為 30.95 m s⁻¹; 2001 年納莉颱風低層 6 個 仰角的折錯速度為 22.55 m s⁻¹,較高的 3 個仰角的折錯速度為 31.05 m s⁻¹; 至於 2008 年辛樂克颱風折錯速度則是區分為三個部分,低層 2 個仰角的折錯速度為 26.55 m s⁻¹, 第 3 到第 6 個仰角的折錯速度為 21.55 m s⁻¹, 第 7 到第 9 個仰角為 30.95 m s⁻¹。雷達回波強度之精確度 介於-0.5 dBZ 至+0.5 dBZ 之間,儲存範圍為-40 dBZ 至 72 dBZ 之 間;徑向風場的儲存範圍為-48 m s⁻¹至 48 m s⁻¹之間。

五分山雷達的資料處理流程步驟如下:1)將 level II 資料格式轉 換成 UF(universal format)資料格式。首先將 level II 資料解壓縮之後, 轉為兩組氣象局格式資料,分別為雷達回波以及都卜勒徑向速度資 料,然後再將此兩組資料轉換成 UF 格式資料。2)將 UF 格式資料轉 換為 sweep format 並使用 NCAR soloii 軟體處理雷達回波場及風場資 料。雷達回波場的處理主要是刪除海面雜波,即利用與高層仰角回波 的比較刪除 0.4° 仰角掃描因海面所造成的雷達回波。徑向風場了面, 本研究個案中刪除雷達回波場值小於 0 dBZ 的資料點以及所對應的 徑向風場資料。另外亦針對發生風速折錯的區域進行反折錯處理,最 後再將處理完畢後的都卜勒雷達資料轉換回 UF 格式。

(2)桃園機場都卜勒雷達

民航局桃園機場雷達為一作業用之 C 波段(5 cm)都卜勒雷達, 1987年4月架設在桃園國際機場並於 2003年8月汰換舊雷達更新為 新的都卜勒雷達。舊雷達站高度為 27 m,原始觀測資訊包含降水回 波強度、都卜勒徑向風場及頻譜寬資料。雷達掃瞄觀測為由正北為起 點,順時針做 360°圓錐面的掃描,並由低層到高層進行 10 個仰角的 掃瞄,分別為 0.5°、0.9°、1.3°、2.4°、3.5°、4.5°、6.0°、8.0°、10.0° 及 15.0°,掃瞄一層約需要 25 秒,10 層之體積掃瞄約費時 4.2 分鐘。 雷達回波資料觀測範圍為 240 km,都卜勒徑向風以及頻譜寬資料範 新雷達於2003年開始啟用,高度為8 m。與舊雷達相比,強化發 射功率為350 KW,並將原來的類比接收器改為數位接收器, PRF(Pulse Repetition Frequency) 250 Hz ~1500 Hz (或2000Hz)可任意 調整,最大可偵測距離相較原先240km大幅增加到682 km,最大可偵 測速度也從原本的 ±48 m s⁻¹更改為±72 m s⁻¹(使用1500 Hz PRF)或±80 m s⁻¹(使用2000 Hz PRF)。雷達由低層至高層進行14 個仰角的掃描, 分別為 $0.3^{\circ} \times 0.8^{\circ} \times 1.3^{\circ} \times 1.8^{\circ} \times 2.5^{\circ} \times 3.0^{\circ} \times 4.0^{\circ} \times 5.0^{\circ} \times 6.0^{\circ} \times 7.0^{\circ} \times 9.0^{\circ} \times 12.0^{\circ} \times 15.0^{\circ}$ 及 18.0° , 一次體積掃描時間約五分鐘。由於新雷達採用 雙脈波往復頻率(DUAL PRF)觀測,根據雷達基本方程:

$$V_{\text{max}} = \pm \frac{1}{4} \lambda PRF \qquad (2.1)$$

$$R_{max} = C/2PRF$$
 (2.2)

 V_{max} 為最大未折錯速度(unambiguous velocity), R_{max} 為雷達最大可觀測 距離, λ 是波長而C是光速, 由上面兩個式子可以知道PRF與 V_{max} 成 正比卻與 R_{max} 成反比, 即當增加PRF 時可增加最大可測未折錯風速, 但相對會減短雷達最大可測距離, 如果採雙脈波往復頻率(DUAL PRF), 則會依據高PRF及低PRF的比值來計算出最大折錯速度,例如 新雷達波長為5.3cm, HIGH PRF為1000 Hz並採用3:4比值,可以知 道LOW PRF為750 Hz, 接著利用公式計算出 V_{HIGH} =13.25 m s⁻¹、 V_{LOW} =9.9375 m s⁻¹, 可由4 V_{LOW} =3 V_{HIGH} 得出可測最大未折錯風速值 為39.75 m s⁻¹,最大可觀測距離為150 km。雙脈波往復頻率(DUAL PRF) 觀測能夠提高未折錯風速的範圍而不減少雷達最大可測距離,新雷達 共有四種PRF模式(1:1、2:3、3:4、4:5)可供使用。在作業上,民航局 並非使用固定的一組PRF觀測,因此在處理風場資料時須先將折錯速 度計算出來才能得到正確的徑向風場。

桃園機場雷達的資料處理步驟如下:1)將原始資料轉換為 UF 格

式資料。2)將 UF 格式資料轉為 sweep format 並使用 NCAR soloii 軟 體軟體處理風場資料。桃園機場雷達資料風場處理主要為刪除徑向風 速大於此個案中可能出現的風速極值,並且刪除相鄰四點的風切大於 10 m s⁻¹以上的風場資料,將發生折錯的區域進行反折錯處理。最後 再將處理完畢後的都卜勒雷達資料轉換回 UF 格式。

3. 數值地形資料處理

台灣地區數值地形模型資料(DTM, Digital Terrain Model)為行政 院農委會補助計畫「台灣地區數值地形模型資料」,由林務局農林航 空測量所執行,製作完成之台灣地區數值地形模型資料(DTM),轉存 中央大學太空及遙測研究中心並負責保管。此DTM之地面解析度為 40 m × 40 m,平面座標系統採用二度分帶橫麥卡脫投影(Two Degree Zone Transverse Mercator Projection 簡稱二度 TM 座標)。平面座標單 位為 m,高程(即高度)為 cm,原始資料以 ASCII 碼逐點儲存三維座 標。

(二)雙都卜勒風場合成

首先利用 NCAR Reorder(Oye et al. 1995)將雷達回波資料與徑向 速度透過 Cressman weighting function 以 1 km 為影響半徑由極座標內 插至水平解析度 1 km、垂直方向從 0.25 km 至 10 km 一共 40 層,解 析度 0.25 km 的卡氏座標中。

接著使用 CEDRIC (Custom Editing and Display of Reduced Information in Cartesian)進行雙都卜勒風場合成(Mohr and Miller 1983),其原理與方法大致根據 Ray et al. (1978)及 Yu and Cheng (2008)。利用非彈性連續方程垂直向下積分獲得垂直速度場,並採取 變分法調節,再代入雷達方程式求得水平風場。

本研究將圖2.1所圍住區域中的風場平均,可得到40層(自0.25 km到10 km,垂直間距為0.25 km)的平均風,並將高度1 km以下之風

場平均當作是地形上游低層的平均風。風場合成的分析時間是選取兩 個雷達進行體積掃描最接近的時間,七個颱風個案雙都卜勒風場合成 的雷達資料時間點分別詳列於表1~表7中,基本上兩雷達的觀測時間 差都在1分鐘以內。而圖中等值線則是表示五分山雷達與桃園機場雷 達的電磁波波束交角(Cross-beam angle),可以看到研究中地形上游選 取範圍大致上都在30°~100°左右,代表該區域所做出來雙都卜勒雷達 風場合成應有不錯的品質。



第三章 颱風個案與地形上游風場概述

本研究分析了自 2001 年到 2008 年一共7 個颱風個案,分別是 2001 年納莉(Nari)、2005 年海棠(Haitang)、泰利(Talim)與龍王 (Longwang)、2006 年碧利斯(Bilis)、2007 年柯羅莎(Krosa)以及 2008 年辛樂克(Sinlaku)颱風。圖 3.1~圖 3.7 為七個颱風個案的路徑圖,可 以看到颱風大致上都是從台灣東方往西邊移動,當颱風靠近台灣東方 時,強盛的颱風環流使得北台灣上游吹東北風,有利於我們分析大屯 山與南港基隆山脈在颱風環境下地形降水的強度與分佈。

(一)颱風個案概述

3-1 納莉颱風

2001年納莉颱風(Nari)於 09月 06日 0000 UTC 在 124.7 °E、25.0 °N 生成輕度颱風,是 2001 年編號第 16 號的颱風。中央氣象局於 09 月 13日 0700 UTC 發布海上颱風警報,並於 09月 14日 1845 UTC 開 始發布陸上颱風警報。09月 15日 2005 UTC 颱風位於宜蘭東北東方 約 250 km 海面上,威力增強為中度颱風。16日 1340 UTC,納莉颱 風由宜蘭頭城一帶進入台灣東北部,往西南西方向移動。颱風移近陸 地後,由於環流受到地形破壞,颱風強度開始減弱,於 16日 1845 UTC 轉變為輕度颱風。由於颱風移動緩慢,侵台期間為台灣帶來豐沛的雨 量,直至 09月 18日 1530 UTC 颱風才在台南安平附近出海。出海後, 颱風往西緩慢移動,氣象局於 09月 19日 0910 UTC 解除陸上警報, 09月 19日 1505 UTC 氣象局解除了海上颱風警報。隨後納莉颱風通 過香港進入廣西東部,並減弱為熱帶性低氣壓。

ersity Lib,

3-2 海棠颱風

2005 年海棠颱風(Haitang)於 07 月 13 日 0000 UTC 在 149.2°E、22.9°N 生成,是 2005 年西北太平洋生成編號第 5 的颱風,也是該

年第一個侵台的颱風。颱風生成後朝台灣東方海面前進,07月16日 06 UTC 增強為強烈颱風,同一時間氣象局發布海上颱風警報,接著 在07月16日1530 UTC 發布陸上颱風警報。海棠颱風在移到花蓮東 方約60 km 海面時,行進方向突然轉變,於花蓮附近打轉一圈之後 18日0650 UTC 在宜蘭縣東澳附近登陸並持續朝西移動,強度也減弱 為中度颱風。18日14 UTC 左右颱風從苗栗後龍附近出海,往西移動 進入福建,強度也減弱為輕度颱風。氣象局遂於19日1830 UTC 解 除颱風警報。

3-3 泰利颱風

2005年泰利颱風(Talim)於 08月27日0000 UTC 在 142.1 °E、14.9 °N 生成,是 2005年編號第13號的颱風。颱風生成後便往西北方向 移動且強度迅速增強,08月30日0000 UTC 發展成為強烈颱風,中 心氣壓 925 hPa,最大風速為51 m s¹。中央氣象局於08月30日0030 UTC 發布海上颱風警報,接著在30日1230 UTC 發布陸上颱風警報。 泰利颱風接近台灣時結構由於受到地形破壞,08月31日1830 UTC 減弱為中度颱風,低層中心在花蓮外海呈現滯留打轉的現象,高層中 心則是以分裂過山的形式於31日17 UTC 左右進入花蓮縣立霧溪, 隨後低層中心於31日2330 UTC 在宜蘭、花蓮間登陸並逐漸減弱消 失,由台中西方近海形成之副低壓中心取代。泰利颱風之後繼續向西 移動並於09月01日0815 UTC 進入大陸福建並減弱為輕度颱風。中 央氣象局遂於09月01日1530 UTC 解除泰利颱風的颱風警報。

3-4 龍王颱風

2005 年龍王颱風(Longwang)於 09 月 26 日 0000 UTC 在 143.4 ° E、19.6 °N 生成,是 2005 年編號第 19 號在西北太平洋形成的颱風。 颱風生成後便朝西北西方向移動,並持續增強,於 09 月 29 日 12 UTC 發展為強烈颱風。中央氣象局在 09 月 30 日 1230 UTC 開始發布海上 颱風警報,隨後在 09 月 30 日 2130 UTC 發布陸上颱風警報,成為該

年第四個侵台的颱風。颱風在台灣東方以大約每小時 20 km 的速度筆 直朝台灣東部接近, 10 月 01 日 2115 UTC 在花蓮縣豐濱鄉付近登 陸。登陸後受到地形影響的關係,02 日 0030 UTC 減弱為中度颱風。 隨後龍王颱風於 02 日 0215 UTC 由濁水溪口附近出海持續朝西北西 移動,1230 UTC 時颱風強度減弱為輕度颱風且在 1600 UTC 登陸中 國福建。氣象局遂於 10 月 03 日 0030 UTC 解除颱風警報。

3-5 碧利斯颱風

2006 年碧利斯颱風(Bilis)於 07 月 09 日 0600 UTC 在 137.0 °E、 13.4 °N 生成輕度颱風,為 2006 年編號第 4 號的颱風。也是當年第 一個中心登陸台灣本島的颱風。生成後往西北方朝著台灣東方海面接 近,氣象局於 2006 年 07 月 11 日 1830 UTC 發佈海上颱風警報。到 了 07 月 12 日 0030 UTC,碧利斯颱風移動方向由西北轉向西北西行 進並對台灣北部及東半部陸地造成威脅,於是氣象局便開始發布陸上 颱風警報。碧利斯颱風雖然中心結構鬆散,也沒有強勁的風力,但是 西南象限及東南象限有強盛的對流雲系帶來豪雨。碧利斯颱風登陸後 中心通過北部陸地,並於 13 日 1720 UTC 左右從淡水附近出海進入 台灣海峽,14 日 1230 UTC 解除台灣本島的陸上颱風警報,最後在 14 日 1830 UTC 完全解除碧利斯的海上及陸上颱風警報。

3-6 柯羅莎颱風

2007 年柯羅莎颱風(Krosa)於 10 月 01 日 1800 UTC 在 131.3 °E、 16.9 °N 形成輕度颱風,是 2007 年編號第 15 號的颱風。柯羅莎颱風 形成之後先在原地打轉,之後往西北方向朝台灣前進。颱風強度逐漸 增加,中央氣象局於 10 月 04 日 0930 UTC 發布海上颱風警報。柯羅 莎颱風在 12UTC 增強至強烈颱風,並持續朝台灣逼近,氣象局遂於 10 月 04 日 2130 UTC 發布陸上颱風警報。06 日 06 UTC 當颱風接近 宜蘭近海時開始向南打轉一圈,並在期間(09 UTC)強度減弱為中度颱 風。06 日 1430 UTC 颱風中心由頭城及三貂角間登陸進入北部陸地, 隨即在 1520 UTC 從基隆附近出海,朝北北西方向移動。10 月 07 日 0030 UTC 減弱為輕度颱風並在 09UTC 由浙江與福建交界處進入大 陸。隨著颱風移入大陸後,中央氣象局於 10 月 07 日 1230 UTC 解除 陸上颱風警報,也於同日 1530UTC 解除颱風警報。

3-7 辛樂克颱風

2008年辛樂克颱風(Sinlaku)於09月08日1800 UTC在125.7°E、 16.8°N形成輕度颱風,是2008年編號第13號的颱風。颱風生成後朝 北北西方向移動,09日18 UTC強度增強為中度颱風。由於颱風逐漸 向台灣逼近,中央氣象局於09月11日0030 UTC發布海上颱風警報。 11日0630UTC辛樂克颱風增強為強烈颱風,近中心氣壓925 hPa,7 級暴風半徑從原先的200 km增強至250 km,同時颱風路徑也由原先 的北北西轉向西北移動,增加颱風對台灣的威脅,氣象局遂於09月 11日2130 UTC發布陸上颱風警報。颱風在靠近宜蘭時受到地形破 壞,強度減弱成中度颱風。13日1750 UTC颱風於宜蘭縣蘭陽溪附近 登陸並開始向南打轉一圈,隨後14日0215 UTC颱風中心掠過東北角 進入台灣北部海面。颱風出海後又再一次出現向南打轉的現象,同 時強度也減弱為輕度颱風,暴風圈也有逐漸縮小的趨勢。之後辛樂 克颱風持續往東北移動遠離台灣,各地也逐漸脫離暴風圈影響的範 圍。09月15日1230 UTC中央氣象局解除陸上颱風警報並在16日0630 UTC解除海上颱風警報。

(二)個案地形上游風場隨時間的變化

圖3.8為七個颱風個案的上游(雙都卜勒合成,分析範圍見圖2.1) 及基隆測站風場隨高度及時間的平均變化圖。圖3.8a是2001年納莉颱 風個案,09月16日0600 UTC到1400 UTC風速較強,大約在25 m s⁻¹~ 35 m s⁻¹之間,隨後風速急速減弱到15 m s⁻¹~20 m s⁻¹左右,到了09月 17日1800 UTC風速才又稍微增強;在風向上面,09月16日0600 UTC

到1400 UTC上游風場從北風轉成東北風約70° 的風向,之後風向就維 持在70°左右。納莉颱風在09月17日0130 UTC~0915 UTC這一段時 間由於上游沒有降水回波,因此無法利用雙都將這一段時間的風場反 演出來。圖3.8b是2005年海棠颱風個案,從07月17日1300 UTC到07 月18日0000 UTC之間風速隨時間遞增,風向在這一段時間從東北東 風緩慢變化成吹東風。圖3.8c是2005年泰利颱風個案,風速在8月31 日0900 UTC到1600 UTC從25 m s⁻¹增強至45 m s⁻¹,之後稍微減弱到36 m s⁻¹左右,到了1900 UTC時風速又增強至45 m s⁻¹;風向在8月31日 0900 UTC到190 UTC由原本的東北風轉變成東風至東南東風。圖3.8d 是2005年龍王颱風個案,1 km以下風速平均在10月01日1500 UTC到 1800 UTC大致維持在15 m s⁻¹~25 m s⁻¹左右, 1800 UTC到2000 UTC 風速開始增強至35 m s⁻¹,之後到10月02日0000 UTC風速大約都維持 在30 m s⁻¹~35 m s⁻¹; 風向在10月01日1500 UTC到10月02日0000 UTC 由東北東風逐漸轉成東南東風。圖3.8e是2006年碧利斯颱風個案,從 1 km以下的平均風速(紅線)可以看到07月13日0000 UTC到0700 UTC 風速大致上在25 m s⁻¹到30 m s⁻¹左右,之後風速開始減弱;風向(藍線) 維持在60°左右, 吹東北東風。圖3.8f是2007年柯羅莎颱風個案, 10 月5日1900 UTC到10月6日0600 UTC平均風速從30 m s⁻¹增強到50 m s⁻¹,之後風速便開始減弱;平均風向在10月5日1900 UTC到10月6日 0400 UTC大約維持在45° 左右,之後風向便開始轉變成東風。圖3.8g 是2008年辛樂克颱風個案,從圖中可以看到風速變化很大,不過大多 介於25 m s⁻¹到30 m s⁻¹之間; 風向在09月12日2000 UTC到09月13日 1200 UTC大致維持在45° 左右,之後轉成東風的風場。將基隆測站風 場與雙都風場比較,可以發現七個個案測站與雙都風場變化基本上是 一致的,只是雙都合成風場的高度較高,因此風向會有順轉的情形。

為了單純討論大屯山與南港基隆山脈地形降水的效應,我們必須 排除從其他地形進入山區的雨帶和氣流,若雨帶和氣流由西邊移進北 台灣陸地,南港基隆山脈的地形降水就會受到大屯山的影響;若雨帶

和氣流由東邊移進北台灣,大屯山的地形降水就會被南港基隆山脈所 影響,因此我們選用風場介於0°到70°之間的雷達資料,70°剛好與 南港基隆山脈走向一致。從七個颱風個案的雙都與測站風場隨時間的 變化來看,可以知道七個颱風皆有一段時間是吹東北風,因此適合拿 來比較兩座山脈的地形降水。我們將七個個案上游風場介於0°到70° 之間的時間選取出來表示在表8,並計算這一段時間的強降水回波(大 於35 dBZ)頻率來當做比較兩座山脈降雨強度的依據。由於五分山雷 達的掃描策略是9個仰角的圓錐面掃描,因此距離雷達越遠的地方所 掃描到的高是度越高的,為了能夠公平比較兩座山脈降雨強度的差異 並且避開地形雜波的影響,我們將雷達資料做空間上的內插並取1.75 km高度的CAPPI來做累積。



第四章 大屯山與南港基隆山脈地形降水强度與分佈之比 較

前面大略描述了七個颱風個案的侵台的情況以及北台灣上游風 場的變化情形,雖然每個颱風路徑都不相同,不過大致上都是從台灣 的東邊往西邊移動,當颱風位於台灣東側時,颱風環流使得北台灣吹 東北風,海上的水氣與颱風雨帶進入陸地之後帶來了豐沛的雨量,尤 其是山區的地方,包括大屯山與南港基隆山脈。大屯山高度較高,沒 有明顯的地形走向;南港基隆山脈呈現東北-西南走向,地形高度相 對於大屯山來說較低矮。從先前Yu and Cheng (2008)觀測2000年象神 颱風所做的10小時累積回波圖顯示出南港基隆山脈的降雨量是高於 大屯山的,當時北台灣上游是吹東北風,因此我們想要了解其他個案 當北台灣上游同樣是吹東北風時的降雨分佈是否會與象神颱風類似。

圖4.1為七個颱風個案風場介於0°到70°之間的累積回波頻率 圖,圖4.1a是2001納莉颱風個案,該個案侵台的時間較長,累積時間 有28小時,從圖中比較兩座山脈回波頻率的強度可以發現南港基隆山 脈回波頻率是比大屯山還要強的,與象神颱風有相同的結果。南港基 隆山脈最大強度大致分佈在山脈的西南邊,東北邊回波頻率強度較 低;大屯山回波最強的位置除了西北側的山腰外還有山頂的位置,在 山區的下游也有較弱的回波頻率。圖4.1b是2005海棠颱風個案,累積 時間7小時,從圖中可以看到兩座山脈強回波的頻率都不高,但南港 基隆山脈的回波頻率強度還是較大屯山強,南港基隆山脈強回波頻率 主要在山區的西南邊;大屯山頻率最大值則是在接近山頂的位置,強 回波頻率主要的區域位於背風面。圖4.1c是2005泰利颱風個案,累積 時間5小時,南港基隆山脈回波頻率很明顯較大屯山強許多,頻率最 強約在山頂的位置;大屯山頻率最強位置約在山頂南側,強回波頻率 主要集中在背風側的地方,在大屯山下游也可以看到有弱頻率區。圖 4.1d是2005龍王颱風個案,累積時間3小時,南港基隆山脈回波頻率 也是略高於大屯山,強度較強的區域位於山脈西南邊;大屯山回波頻

率較強的地方位於山脈的西北側山腰。圖4.1e是2006碧利斯颱風個 案,累積時間12小時,回波頻率的強度都很弱,最大值只有到27%。 此特性與前述結果不太一樣,大屯山的累積回波頻率比南港基隆山脈 要高,大屯山回波頻率最強的位置約在山脈西側的山腰處;而南港基 隆山脈最強的位置大致上在山頂。圖4.1f是2007柯羅莎颱風個案,累 積時間12小時,圖中兩座山脈的累積回波強度似乎沒有太大的差異, 南港基隆山脈強回波頻率的地區大致上在山脈南方及下游處;大屯山 強回波頻率的區域在山脈西側背風面的山腰處,在大屯山下游處也可 以看到有弱回波頻率的區域。圖4.1g是2008辛樂克颱風個案,累積時 間18小時,這個個案的累積回波頻率是大屯山略高於南港基隆山脈 的,南港基隆山脈頻率最強的地區在山頂的位置;大屯山強頻率的區 域在西北側的山腰上,最高頻率有43%。

ersity Lib

前面只是利用強回波頻率來比較兩座山脈強降水的情況而已,並 沒辦法定量的去說明兩座山脈實際降水的差異,因此我們利用Z-R關 係式將回波轉換成降雨率估計兩座山脈的實際降雨,本研究是採用中 央氣象局劇烈天氣監測系統QPESUMS (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)所使用的Z = 32.5R^{1.65}來估計降雨強度,這個關係式是利用WPMM (Window Probability Matching Method)針對強對流性降水所得到的,詳細的資 訊可以參考Xin et al. (1997)。圖4.2為七個個案利用雷達回波所估計的 累積雨量,累積的時間與強回波頻率的分析時間相同,由於七個個案 累積的時間不一樣,因此每個個案累積雨量的值會有所差異。與圖4.1 比較可以發現累積雨量的強度分佈與回波頻率是一致的,顯示不論是 強回波頻率還是Z-R估計累積降水都能夠得到類似的結果。

總結兩座山脈回波頻率與利用Z-R關係式估計累積降雨的情況可 以看到除了2006年碧利斯颱風、2007年柯羅莎個案及2008年辛樂克個 案外,其他都是南港基隆山脈回波頻率高於大屯山的,南港基隆山脈 強回波頻率的位置在山脈的西南地區,東北處的頻率相對來說是比較 弱的;大屯山頻率最強的地方大致在西北邊的山腰處以及山頂的位置,而在大屯山下游也可以看到明顯的弱回波頻率區。從強回波頻率 強度比較的結果來看,當上游吹東北風的時候兩座山脈降雨都有機會 高過另一座山脈,而不是只有大屯山或是南港基隆山脈一直有較強的 降雨,這樣的結果有可能是因為颱風雨帶進入其中一座山脈的數目較 多所導致的,但是仔細比較每個個案兩座山脈頻率大小的差異時,可 以發現在大屯山頻率高的個案中,南港基隆山脈的回波頻率是略低於 大屯山的;可是在南港基隆山脈回波頻率高的個案裡強度卻能夠高出 大屯山許多,顯示出南港基隆山脈能夠引發較強地形降水的能力是高 於大屯山的。

接著將地面測站每個個案時間所觀測到的累積雨量以Cressman (1959)的權重函數繪製累積雨量分布圖與雷達回波頻率來做比較。圖 4.3為北台灣局屬測站與自動氣象與雨量測站的分佈圖,圖中山區的 測站跟平地比較起來要少了許多,大屯山上西側有較多的雨量觀測, 其他都位在山腳的地方; 南港基隆山測站的觀測就更少了,除了在山 脈的西南方有兩個測站之外,其他地區並無觀測,因此可以預期在南 港基隆山脈這邊的雷達觀測與地面觀測雨量會有很大的差異。

圖4.4為北台灣七個個案的累積雨量資料,累積的時間與雷達回 波頻率的累積時間相同。比較七個個案累積回波頻率與累積雨量可以 看到大屯山上的雨量分佈除了稍微有往下游移動之外,在定性上與回 波頻率的結果大致上是一致的,但是下游並沒有像累積回波頻率圖一 樣有觀測到雨量明顯驟減的情形;至於南港基隆山脈的累積雨量並不 像回波一樣可以看到雨量高於大屯山的情況,這是因為南港基隆山脈 上沒有雨量觀測的原因,但是從靠近山區西南邊兩個雨量測站有局部 強降雨的情況可以推測出南港基隆山脈上在七個個案累積的時間中 發生大雨的機會是很高的。

為了獲得七個個案統整之頻率圖,我們將七個颱風累積回波頻 率大於30%的部分再做一次頻率分析表示在圖4.5。分析顯示南港基 隆山脈頻率明顯大於大屯山的,南港基隆山脈頻率較高的地方位在 山頂以及背風側,山區的東北側頻率較低,與之前七個個案頻率分 佈大致一致;大屯山頻率較高的地方是在山頂的位置,在山區的下 游也可以發現到頻率明顯的降低。從這張頻率分析除了能夠幫我們 整理七個個案強降水發生的位置之外,我們也可以更確定在颱風環 境下,上游吹東北風時南港基隆山脈比大屯山更能有效率產生地形 降水。



第五章 地形與上游條件對於地形降水的影響

由上一章節我們知道在颱風環境下當北台灣上游吹東北風時通 常南港基隆山脈的降雨會比大屯山還要多,於是針對這個現象我們 做了幾個猜測,首先是地貌對於降水可能的影響。因為水氣主要是 集中在底層,若地形有很大的梯度,將有利於引發更強的垂直速度 使底層的水氣帶往高空;第二種是地形上游的風速,若上游風速越 大,氣流遇到地形就越容易過山,受到地形舉升,空氣塊就容易凝 結成水滴產生降水;第三種是颱風本身降水的強度對於地形降水的 影響,強度不同的颱風雨帶進入地形之後對於地形降水的增強也會 有所不同。因此本章將針對這些因素做探討,希望能夠拓展我們對 於造成南港基隆山與大屯山的地形降水差異的可能因素。

Jersity Lib,

(一)地形梯度

大屯山與南港基隆山脈具有不同的地貌特徵,大屯山沒有固定 的地形走向,結構近似三維,高度較高;南港基隆山脈則是東北-西 南走向,地形高度較低矮。在相同的環境下,不同的地形也有可能 產生不同的地形降水,因此我們便針對兩座山脈的地貌來做分析。 圖5.1a與圖5.1b為大屯山與南港基隆山脈的地形圖,黑實線所框的區 域為兩座山脈的迎風面,大屯山主要為一座三維的山脈,迎風面的 區域與上游風的風向相關,在大屯山的東北側;南港基隆山脈為一 座東北-西南走向的山脈,是一座形狀較二維的山脈,對於這種類型 的山脈上游風垂直地形走向的分量(跨山氣流分量)較為重要,因此南 港基隆山脈迎風面的區域在山脈西北方。我們分別去計算兩座山脈 迎風面的地形梯度,地形梯度可以代表山脈的陡峭程度,若氣流遇 到陡峭的山脈所引發的垂直速度也將會更強。本研究利用下列方程 式,計算迎風面的地形梯度:

$$\nabla h = \frac{\partial h}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial h}{\partial y}\hat{j}$$
 (5.1)

(5.1)式中h代表地形高度。圖5.2a與圖5.2b分別為大屯山與南港基隆 山脈梯度隨高度的變化圖,紅色的線條代表回歸曲線,接著將兩座 山脈的回歸曲線畫在一起做比較表示在圖5.3,綠色線條是大屯山的 回歸曲線,紅色線條則代表南港基隆山脈。從兩條曲線看來,大屯 山最大梯度約在800 m的位置,最大梯度值比南港基隆山脈高一些, 雖然南港基隆山脈梯度並沒有大屯山高,但是南港基隆山脈梯度最 大的位置約在400 m左右的高度,比大屯山要低很多。當上游氣流進 入兩座山脈時,南港基隆山脈在較低的地區就能夠引發垂直速度, 使空氣塊凝結產生降水粒子,而大屯山則是要到比較高的位置才能 引發相同的垂直速度,相對於南港基隆山脈是較沒效率的。另外水 氣大多是集中在靠近地表的地方,南港基隆山脈比大屯山更能夠將 底層的水氣帶往高空,產生更多的降水。因此從兩座山脈的地形來 看,南港基隆山脈比大屯山更有利於地形降水的產生。

(二)上游風場與颱風本身降水的強度對於地形降水的影響

除了地形梯度會影響地形降水以外,上游風場與颱風本身的降水的強度也有可能會影響到地形降水的增強(Yu and Cheng 2008; Smith et al. 2009)。圖5.4為北台灣的地形圖,我們將黑色方框所圍的 區域平均分別代表兩座山脈山區的回波強度,另外用5 km以下的都 卜勒合成風之平均值將方框回推至外海當做是上游回波的區域,由 於降水是由高空落下至地面,因此我們是用5 km以下回波的平均來 代表上游背景場的回波強度。圖5.5與圖5.6分別是大屯山與南港基隆 山脈回波從山區反推至外海的時序範例圖。從圖5.5a~c與圖5.6a~d皆 可以看到當方框所圍起來的區域反推至外海時,可有效掌握伴隨颱 風降雨區的移動情形,因此使用這種方法所得到地形上游之回波強 度的代表性應該是不錯的。

以下分析是將上游風場與上游降雨強度這兩個因素同時考慮進 來,檢視在這兩個因子的變化下大屯山與南港基隆山脈降雨強度有 何變化。圖5.7a與圖5.7b分別是七個颱風個案侵台期間大屯山與南港 基隆山脈上每個時間點回波隨地形上游風場及背景回波變化的情況(横軸為地形上游風場強度,單位為m s⁻¹;縱軸為背景回波強度,單 位為dBZ),圖內七種圖形分別代表不同的颱風個案。為了更能表示 三者之間的相關性,將山區回波依地形上游風場(橫軸,解析度為1 m s⁻¹)與背景回波(縱軸,解析度為1 dBZ)大小排列至網格上後(若地形上 游風場與背景回波相等時則作山區雷達回波平均),分別對橫向與縱 向作線性內插,最後將兩者平均並用Shuman (1957)提出的濾波法將 雜訊平滑兩次繪製出圖5.8a與圖5.8b。從圖中顯示不論是大屯山還是 南港基隆山脈,其在地形上的回波強度是隨著背景回波與風場增強 而增強的,顯示兩座山脈降雨強度與這兩種因子都有正相關的情況 。接著我們將地形上的回波與上游1.75 km高度的回波轉換成回波因 子相減來突顯降雨增強的情形。圖5.9a與圖5.9b分別是大屯山和南港 基隆山脈山區降雨回波增強量與風場強度和背景回波強度的關係圖 ,分析顯示兩座山脈降雨增加量幾乎都是大於0Z的,代表從上游移 入山區的回波都有增強,增強的幅度在背景回波與風速都很弱的情 況並不明顯。但是當強的背景回波及強的風速與地形交互作用時, 山區回波突然有顯著的增強,顯示上游回波跟風速對於兩座山脈降 雨的影響並不是單純線性的關係。

最後再比較兩座山脈在相同風速及上游回波時降雨回波增強的 情形,我們將圖5.9a與圖5.9b有交集的地方相減,得到圖5.10,此分 析圖大致可以把它分成兩個截然不同的物理區域,一個是當風場和 背景回波都不強的時候大屯山回波增強的較南港基隆山脈多,另一 區域是當風場和背景回波皆很強的時候南港基隆山脈回波增強的較 大屯山多,而且增強的幅度比大屯山要高出許多。因此在颱風環境 下只要上游有強降水移入山區,南港基隆山脈的降雨便能夠輕易的

超過大屯山。至於是怎麼樣的原因造成兩座山脈地形降水增強的差 異,推測可能是在颱風環境下地形上游的飽和空氣受到兩座山脈的 地形舉升時由於大屯山的地勢較高,所以水氣很容易凝結成水掉到 地表;而南港基隆山脈地勢較低不足以使水氣凝結,形成低雲,之 後當上游有颱風降水移入山區時,南港基隆山脈上的降水雨滴沖刷 山上的低雲形成更大的雨滴,而大屯山則因為水氣已經凝結降到地 表使得沖刷的效應並不顯著,無法有效提升山區強雨的強度。也就 是說,當上游背景回波並不強的時候,地形降水主要是靠地形強迫 舉升凝結機制產生的,由於大屯山高度較高因此能夠產生較多的降 水,但是當上游有強降水進入地形時,種雲播雲機制就成為主要的 地形強水機制,於是南港基隆山脈能夠透過沖刷的效應產生更多地 形降水。



第六章 結論與未來展望

本研究選取了七個在侵台期間北台灣吹東北風的颱風個案,利用 中央氣象局五分山雷達資料來比較大屯山及南港基隆山脈降雨強度 的差異,另外我們也透過五分山雷達資料與桃園機場雷達資料反演出 地形上游的風場,並探討可能影響兩座山脈降雨強度的因子,希望能 夠透過分析兩座山脈降雨的差異來找到影響地形降水的機制。將前幾 章的分析結果整合如下:

(一)當七個颱風個案(納莉、海棠、泰利、龍王、碧利斯、柯羅莎、辛 樂克)的上游吹東北風時,透過五分山雷達在這段期間大於 35 dBZ 的 回波頻率分析,發現除了碧利斯、柯羅莎與辛樂克颱風以外,其他個 案南港基隆山脈的強回波頻率皆比大屯山上的要高,而且明顯的要強 許多。與測站的雨量分佈圖來比較,大屯山雨量除了稍微有往下游偏 移外,強降雨的分佈與回波頻率大致上是一致的;南港基隆山脈上因 為缺乏測站資料而無從比較,但是從山脈西南方鄰近山區的雨量資料 來看都有局部的大值出現,顯示南港基隆山脈上也應有強烈的降雨。 另外分析七個個案整合之頻率圖發現南港基隆山脈的頻率依然是高 於大屯山的,顯示當颱風環境上游吹東北風的時候南港基隆山脈較大 屯山更有能力加強地形降水。

(二)計算兩座山脈迎風面的地形梯度與地形高度的關係可以發現雖 然大屯山的地形梯度極值較大,但卻是位於地形高度較高的地方;而 南港基隆山脈在地形高度低的地方就有比較大的地形梯度,地形梯度 若是越大代表氣流遇到地形所引發的垂直速度也會越大,而且水氣主 要是集中在靠近地表的地方,若在高度低的地方有比較大的地形梯度 代表越有能力將地表的水氣帶往高空凝結成水滴,因此在地形方面南 港基隆山脈似乎比大屯山更有利於產生地形降水。

(三)比較七個颱風個案大屯山與南港基隆山脈地形上回波強度與地形上游風速和上游回波強度的關係,發現當上游回波強度與上游風場

較強的情況下兩座山脈都有強回波出現。進一步將山區的回波與上游 回波相減來看地形加強降雨的程度,可以看到上游的回波進到山區都 有被加強的情形,而且加強的程度也都隨著地形上游回波與風速的增 強而有所增加,顯示當進入兩座山脈的降雨及上游風速越強,大屯山 與南港基隆山脈所產生的地形降水強度也將越強。另外比較兩座山脈 在相同上游回波與相同風速下地形降水增強的差異可以發現當風速 和回波都較弱的時候大屯山上的地形降水增加比南港基隆山脈要 多;而在上游回波及風場都較強的情況下反而是南港基隆山脈上地形 降水增強的較多,而且增強的幅度比大屯山增強的要大上許多。對於 這樣的結果初步推論這是因為當上游回波強度不強時,因為缺乏大環 境的降雨,種雲播雲的機制並不明顯,地形降水主要是靠氣流舉升凝 結所產生的,對於地形高度較高的大屯山來說能夠產生比較多的地形 降水;而當上游回波增強時也就意味著大環境的降雨增強,這時南港 基隆山脈上無法凝結成兩滴的雲滴便受大環境降雨沖刷一起落到了 地表,使得南港基隆山脈能夠產生出比大屯山要多的地形降水。

圖書館

本研究藉由比較兩座山脈在颱風環境下降水的差異對地形降水 進行分析,從分析中使我們對於影響地形降水的因子有初步的認知, 另外對於兩座山脈地形降水的加強也有了一些猜測及想法。然而這些 想法還需要再進一步得去驗證,每個颱風個案本身的變化也很大,只 用七個颱風個案去解釋地形降水是稍嫌不足的,未來可以再陸續增加 新的個案來探討上游氣流與回波強度對於地形降水的關係,使研究更 具有代表性,也期盼能夠找出影響地形降水強度及分佈的重要物理過 程,而對於颱風環境下地形降水的預報能有所幫助。

参考文獻

- 李清勝與蔡德攸,1995:利用CAA都卜勒雷達資料分析四個侵台颱風 伴隨雨帶之特徵。大氣科學,23,209-235。
- 張保亮,2000:登陸中颱風環流變化分析:賀伯(1996)個案研究。國 立台灣大學大氣科學研究所博士論文,158頁。
- Bader, M. J., and W. T. Roach, 1977 : Orographic rainfall in warm sectors of depressions, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **103**, 269–280.
- Bergeron, T., 1949 : The problem of artificial control of rainfall on the globe. Part II : the coastal orographic maximum of precipitation in autumn and winter, *Tellus*, 1, 15–32.
- Bergeron, T., 1965 : On the low-level redistribution of atmospheric water caused by orography, Suppl., Proc. Int. Conf. on Cloud Physics, Tokyo 1965, 96–100.
- Bergeron, T., 1968 : Studies of the oreigenic effect on the areal fine structure of rainfall distribution. *Meteorological Institute*, Uppsala Univ., Report No. 6.
- Bergeron, T., 1973 : Meteorological studies of precipitation. V. Monthly rainfall in the Uppsala field. *Meteorological Institute*, Uppsala Univ., Report No. 38.
- Bougeault, P., P. Binder, A. Buzzi, R. Dirks, R. Houze, J. Kuettner, R. B. Smith, R. Steinacker, and H. Volkert, 2001: The MAP Special Observing Period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 433–462.
- Colle, B. A., 2004 : Sensitivity of orographic precipitation to changing ambient conditions and terrain geometries : An idealized modeling perspective. J. Atmos. Sci., 61, 588–606.
- Cressman, G. P., 1959 : An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367–374.
- Houze, R. A., Jr., 1993: Cloud Dynamics, Academic Press, 573 pp.

- Kuo, Y. H., and G. T. J. Chen, 1990: The Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX): An Overview. Bull. Amer. Meteor. Soc., 71, 488–503.
- Medina, S., B. F. Smull, R. A. Houze, and M. Steiner, 2005: Cross-Barrier Flow during Orographic Precipitation Events: Results from MAP and IMPROVE. J. Atmos. Sci., 62, 3580–3598.
- Mohr, C. G., and L. J. Miller, 1983: CEDRIC: A software package for Cartesian space editing, synthesis, and display of radar fields under interactive control. Preprints, 21st Conf. on Radar Meteorology, Edmonton, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 559–574.
- Oye, R., C. Mueller, and S. Smith, 1995: Software for radar translation, visualization, editing, and interpolation. Preprints, 27th Conf. on Radar Meteorology, Vail, CO, Amer. Meteor. Soc., 359–361.
- Ray, P. S., K. K. Wangner, K. W. Johnson, J. J. Stephens, W. C. Bumgarner, and E.A. Mueller, 1978 : Triple-doppler observation of a convective storm. J. Appl. Meteor. , 17,1201–1212.
- Shuman, F. G., 1957: Numerical Methods in Weather Prediction : II. Smoothing and Filtering. *Mon. Wea. Rev.*, **85**, 357-361.
- Smith, R. B., 1979: The influence of mountains on the atmosphere. *Adv. Geophys.*, **21**, 87–230.
- Smith, R. B., P. Schafer, D. J. Kirshbaum, and E. Regina, 2009: Orographic Precipitation in the Tropics: Experiments in Dominica. J. Atmos. Sci., 66, 1698–1716.
- Stoelinga, M. T., P. V. Hobbs, C. F. Mass, J. D. Locatelli, B. A. Colle, R. A. Houze, A. L. Rangno, N. A. Bond, B. F. Smull, R. M. Rasmussen, G. Thompson, and B. R. Colman, 2003: Improvement of Microphysical Parameterization through Observational Verification Experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 1807–1826.

Wilson, J., and M. Atwater, 1972 : Storm rainfall variability over
Connecticut. J. Geophys. Res., 77, 3950-3956.

- Xin, L., G. Recuter, and B. Larochelle, 1997: Reflectivity-rain rate relationship for convective rainshowers in Edmonton. Atmos. Ocean, 35, 513–521.
- Yu, C.- K., D. P. Jorgensen, and F. Roux, 2007: Multiple Precipitation Mechanisms over Mountains Observed by Airborne Doppler Radar during MAP IOP5. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 955–984.
- Yu, C.- K., and L. W. Cheng, 2008: Radar Observations of Intense Orographic Precipitation Associated with Typhoon Xangsane (2000). *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 497–521.



表 1 2001年納莉颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五	分山雷達	民航局桃園機	場雷達
2001年9月16日	060113 UTC	2001年9月16日	060000 UTC
2001年9月16日	063015 UTC	2001年9月16日	063000 UTC
2001年9月16日	065916 UTC	2001年9月16日	070000 UTC
2001年9月16日	071641 UTC	2001年9月16日	071500 UTC
2001年9月16日	074541 UTC	2001年9月16日	074500 UTC
2001年9月16日	081544 UTC	2001年9月16日	081500 UTC
2001年9月16日	084444 UTC	2001年9月16日	084500 UTC
2001年9月16日	093109 UTC	2001年9月16日	093000 UTC
2001年9月16日	100009 UTC	2001年9月16日	100000 UTC
2001年9月16日	102909 UTC	2001年9月16日	103000 UTC
2001年9月16日	104634 UTC	2001年9月16日	104500 UTC
2001年9月16日	111534 UTC	2001年9月16日	111500 UTC
2001年9月16日	114436 UTC	2001年9月16日	114500 UTC
2001年9月16日	123102 UTC	2001年9月16日	123000 UTC
2001年9月16日	130004 UTC	2001年9月16日	130000 UTC
2001年9月16日	132903 UTC	2001年9月16日	133000 UTC
2001年9月16日	134627 UTC	2001年9月16日	134500 UTC
2001年9月16日	141528 UTC	2001年9月16日	141500 UTC
2001年9月16日	144428 UTC	2001年9月16日	144500 UTC
2001年9月16日	150153 UTC	2001年9月16日	150000 UTC
2001年9月16日	153055 UTC	2001年9月16日	153000 UTC
2001年9月16日	162956 UTC	2001年9月16日	163000 UTC
2001年9月16日	171620 UTC	2001年9月16日	171500 UTC
2001年9月16日	174523 UTC	2001年9月16日	174500 UTC

表 1 (續)

2001年9月16日	181423	UTC	2001	年9月	16日	181500	UTC
2001年9月16日	183148	UTC	2001	年9月	16日	183000	UTC
2001年9月16日	190049	UTC	2001	年9月	16日	190000	UTC
2001年9月16日	192949	UTC	2001	年9月	16日	193000	UTC
2001年9月16日	201615	UTC	2001	年9月	16日	201500	UTC
2001年9月16日	204517	UTC	2001	年9月	16日	204500	UTC
2001年9月16日	211419	UTC	2001	年9月	16日	211500	UTC
2001年9月16日	213143	UTC	2001	年9月	16日	213000	UTC
2001年9月16日	220044	UTC	2001	年9月	16日	220000	UTC
2001年9月16日	222944	UTC	2001	年9月	16日	223000	UTC
2001年9月16日	231610	UTC	2001	年9月	16日	231500	UTC
2001年9月16日	234511	UTC	2001	年9月	16日	234500	UTC
2001年9月17日	001518	UTC	2001	年9月	17日	001500	UTC
2001年9月17日	004419	UTC	2001	年9月	17日	004500	UTC
2001年9月17日	010144	UTC	2001	年9月	17日	010000	UTC
2001年9月17日	013044	UTC	2001	年9月	17日	013000	UTC
2001年9月17日	015945	UTC	2001	年9月	17日	020000	UTC
2001年9月17日	024613	UTC	2001	年9月	17日	024500	UTC
2001年9月17日	031514	UTC	2001	年9月	17日	031500	UTC
2001年9月17日	034415	UTC	2001	年9月	17日	034500	UTC
2001年9月17日	040138	UTC	2001	年9月	17日	040000	UTC
2001年9月17日	043040	UTC	2001	年9月	17日	043000	UTC
2001年9月17日	045941	UTC	2001	年9月	17日	050000	UTC
2001年9月17日	054607	UTC	2001	年9月	17日	054500	UTC
2001年9月17日	061507	UTC	2001	年9月	17日	061500	UTC

表 1 (續)

2001年9月17日	064409 U	JTC	2001	年9)月	17	日	064500	UTC
2001年9月17日	070133 U	JTC	2001	年9)月	17	日	070000	UTC
2001年9月17日	073035 U	JTC	2001	年9)月	17	日	073000	UTC
2001年9月17日	075936 U	JTC	2001	年9	月	17	日	080000	UTC
2001年9月17日	082943 U	JTC	2001	年9)月	17	日	083000	UTC
2001年9月17日	091609 U	JTC	2001	年9)月	17	日	091500	UTC
2001年9月17日	094509 U	JTC	2001	年9)月	17	日	094500	UTC
2001年9月17日	101410 U	JTC	2001	年9)月	17	日	101500	UTC
2001年9月17日	103134 U	JTC	2001	年9)月	17	日	103000	UTC
2001年9月17日	110034 U	JTC	2001	年9	月	17	日	110000	UTC
2001年9月17日	112934 U	JTC	2001	年9	月	17	日	113000	UTC
2001年9月17日	114659 U	JTC	2001	年9	月	17	日	114500	UTC
2001年9月17日	121559 U	JTC	2001	年	月	17	日	121500	UTC
2001年9月17日	124459 U	STC	2001	年	月	17	日	124500	UTC
2001年9月17日	131400	JTC	2001	年9)月	17	日	131500	UTC
2001年9月17日	133125 U	JTC	2001	年9)月	17	日	133000	UTC
2001年9月17日	140026 U	JTC	2001	年9)月	17	日	140000	UTC
2001年9月17日	142926 U	JTC	2001	年9)月	17	日	143000	UTC
2001年9月17日	144651 U	JTC	2001	年9)月	17	日	144500	UTC
2001年9月17日	151553 U	JTC	2001	年9)月	17	日	151500	UTC
2001年9月17日	154453 U	JTC	2001	年9)月	17	日	154500	UTC
2001年9月17日	161457 U	JTC	2001	年9)月	17	日	161500	UTC
2001年9月17日	170120 U	JTC	2001	年9	月	17	日	170000	UTC
2001年9月17日	173022 U	JTC	2001	年9)月	17	日	173000	UTC
2001年9月17日	175924 U	JTC	2001	年9)月	17	日	180000	UTC

表 1 (續)

年	9	月	17	日	181648	UTC	2001	年	9 月	17	日	181500	UTC
年	9	月	17	日	184548	UTC	2001	年	9 月	17	日	184500	UTC
年	9	月	17	日	191447	UTC	2001	年	9 月	17	日	191500	UTC
年	9	月	17	日	200112	UTC	2001	年	9 月	17	日	200000	UTC
年	9	月	17	日	203013	UTC	2001	年	9 月	17	日	203000	UTC
年	9	月	17	日	205913	UTC	2001	年	9 月	17	日	210000	UTC
年	9	月	17	日	211637	UTC	2001	年	9 月	17	日	211500	UTC
年	9	月	17	日	214539	UTC	2001	年	9 月	17	日	214500	UTC
年	9	月	17	日	221440	UTC	2001	年	9 月	17	日	221500	UTC
年	9	月	17	日	230104	UTC	2001	年	9 月	17	日	230000	UTC
年	9	月	17	日	233006	UTC	2001	A	9月	17	日	233000	UTC
	年年年年年年年年年年年	年 9 年 9 年 9 年 9 年 9 年 9 年 9 年 9 年 9 年 9	年9月 年9月 年9月 年9月 年9月 年9月 年9月 年9月	年9月17 年9月17 年9月17 年9月17 年9月17 年9月17 年9月17 年9月17 年9月17	年9月17日 年9月17日 年9月17日 年9月17日 年9月17日 年9月17日 年9月17日 年9月17日	年9月17日 181648 年9月17日 184548 年9月17日 191447 年9月17日 200112 年9月17日 203013 年9月17日 205913 年9月17日 211637 年9月17日 214539 年9月17日 230104 年9月17日 233006	年9月17日181648UTC年9月17日184548UTC年9月17日191447UTC年9月17日200112UTC年9月17日203013UTC年9月17日205913UTC年9月17日214539UTC年9月17日214539UTC年9月17日230104UTC年9月17日233006UTC	年9月17日181648UTC2001年9月17日184548UTC2001年9月17日191447UTC2001年9月17日200112UTC2001年9月17日203013UTC2001年9月17日205913UTC2001年9月17日211637UTC2001年9月17日214539UTC2001年9月17日230104UTC2001年9月17日233006UTC2001	年9月17日181648UTC2001年年9月17日184548UTC2001年年9月17日191447UTC2001年年9月17日200112UTC2001年年9月17日203013UTC2001年年9月17日21637UTC2001年年9月17日214539UTC2001年年9月17日230104UTC2001年年9月17日233006UTC2001年	年9月17日181648UTC2001年9月年9月17日184548UTC2001年9月年9月17日191447UTC2001年9月年9月17日200112UTC2001年9月年9月17日203013UTC2001年9月年9月17日205913UTC2001年9月年9月17日214539UTC2001年9月年9月17日214539UTC2001年9月年9月17日230104UTC2001年9月年9月17日233006UTC2001年9月	年9月17日181648UTC2001年9月17年9月17日184548UTC2001年9月17年9月17日191447UTC2001年9月17年9月17日200112UTC2001年9月17年9月17日203013UTC2001年9月17年9月17日205913UTC2001年9月17年9月17日214539UTC2001年9月17年9月17日221440UTC2001年9月17年9月17日230104UTC2001年9月17年9月17日233006UTC2001年9月17	年9月17日181648UTC2001年9月17日年9月17日184548UTC2001年9月17日年9月17日191447UTC2001年9月17日年9月17日200112UTC2001年9月17日年9月17日203013UTC2001年9月17日年9月17日205913UTC2001年9月17日年9月17日211637UTC2001年9月17日年9月17日214539UTC2001年9月17日年9月17日230104UTC2001年9月17日年9月17日23006UTC2001年9月17日	年9月17日181648UTC2001年9月17日181500年9月17日184548UTC2001年9月17日184500年9月17日191447UTC2001年9月17日191500年9月17日20012UTC2001年9月17日20000年9月17日203013UTC2001年9月17日20300年9月17日21637UTC2001年9月17日21000年9月17日214539UTC2001年9月17日214500年9月17日221440UTC2001年9月17日21500年9月17日230104UTC2001年9月17日23000年9月17日23006UTC2001年9月17日23000



表 2 2005年海棠颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達
2005年7月17日 130440 UTC	2005年7月17日 130514 UTC
2005年7月17日 131622 UTC	2005年7月17日 131513 UTC
2005年7月17日 133356 UTC	2005年7月17日 133509 UTC
2005年7月17日 134538 UTC	2005年7月17日 134508 UTC
2005年7月17日 141449 UTC	2005年7月17日 141519 UTC
2005年7月17日 144405 UTC	2005年7月17日 144514 UTC
2005年7月17日 145546 UTC	2005年7月17日 145512 UTC
2005年7月17日 152501 UTC	2005年7月17日 152507 UTC
2005年7月17日 153641 UTC	2005年7月17日 153521 UTC
2005年7月17日 155414 UTC	2005年7月17日 155518 UTC
2005年7月17日 160558 UTC	2005年7月17日 160517 UTC
2005年7月17日 162437 UTC	2005年7月17日 162511 UTC
2005年7月17日 163619 UTC	2005年7月17日 163512 UTC
2005年7月17日 170531 UTC	2005年7月17日 170523 UTC
2005年7月17日 173446 UTC	2005年7月17日 173518 UTC
2005年7月17日 174630 UTC	2005年7月17日 174515 UTC
2005年7月17日 180403 UTC	2005年7月17日 180512 UTC
2005年7月17日 181544 UTC	2005年7月17日 181511 UTC
2005年7月17日 184502 UTC	2005年7月17日 184506 UTC
2005年7月17日 185642 UTC	2005年7月17日 185520 UTC
2005年7月17日 191415 UTC	2005年7月17日 191517 UTC
2005年7月17日 192556 UTC	2005年7月17日 192514 UTC
2005年7月17日 195508 UTC	2005年7月17日 195509 UTC
2005年7月17日 200650 UTC	2005年7月17日 200524 UTC

表 2 (續)

2005年7	月17日	202423	UTC	2005年7月	17日	202520	UTC
2005年7	月 17日	203606	UTC	2005年7月	17日	203519	UTC
2005年7	月17日	210519	UTC	2005年7月	17日	210514	UTC
2005年7	月17日	213435	UTC	2005年7月	17日	213509	UTC
2005年7	月17日	214615	UTC	2005年7月	17日	214508	UTC
2005年7	月17日	221533	UTC	2005年7月	17日	221518	UTC
2005年7	月17日	224446	UTC	2005年7月	17日	224512	UTC
2005年7	月17日	225628	UTC	2005年7月	17日	225510	UTC
2005年7	月17日	231400	UTC	2005年7月	17日	231507	UTC
2005年7	月 17 日	232544	UTC	2005年7月	17日	232510	UTC
2005年7	月17日	235457	UTC	2005年7月	17日	235506	UTC
			1 / 101	17			



表 3 2005年泰利颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達
2005年8月31日 090516 UTC	2005年8月31日 090522 UTC
2005年8月31日 093421 UTC	2005年8月31日 093521 UTC
2005年8月31日 101503 UTC	2005年8月31日 101510 UTC
2005年8月31日 104407 UTC	2005年8月31日 104516 UTC
2005年8月31日 112453 UTC	2005年8月31日 112522 UTC
2005年8月31日 115400 UTC	2005年8月31日 115510 UTC
2005年8月31日 123441 UTC	2005年8月31日 123521 UTC
2005年8月31日 131525 UTC	2005年8月31日 131510 UTC
2005年8月31日 134430 UTC	2005年8月31日 134516 UTC
2005年8月31日 142511 UTC	2005年8月31日 142523 UTC
2005年8月31日 145414 UTC	2005年8月31日 145511 UTC
2005年8月31日 153457 UTC	2005年8月31日 153521 UTC
2005年8月31日 160402 UTC	2005年8月31日 160510 UTC
2005年8月31日 164546 UTC	2005年8月31日 164517 UTC
2005年8月31日 171449 UTC	2005年8月31日 171504 UTC
2005年8月31日 175531 UTC	2005年8月31日 175510 UTC
2005年8月31日 182435 UTC	2005年8月31日 182516 UTC
2005年8月31日 183614 UTC	2005年8月31日 183523 UTC
2005年8月31日 190516 UTC	2005年8月31日 190511 UTC
2005年8月31日 191653 UTC	2005年8月31日 191511 UTC
2005年8月31日 193420 UTC	2005年8月31日 193517 UTC

表 4 2005年龍王颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達
2005年10月1日 150543 UTC	2005年10月1日 150512 UTC
2005年10月1日 153454 UTC	2005年10月1日 153520 UTC
2005年10月1日 154044 UTC	2005年10月1日 154006 UTC
2005年10月1日 160405 UTC	2005年10月1日 160519 UTC
2005年10月1日 160955 UTC	2005年10月1日 161017 UTC
2005年10月1日 162136 UTC	2005年10月1日 162018 UTC
2005年10月1日 163908 UTC	2005年10月1日 164016 UTC
2005年10月1日 165048 UTC	2005年10月1日 165016 UTC
2005年10月1日 172001 UTC	2005年10月1日 172013 UTC
2005年10月1日 174910 UTC	2005年10月1日 175012 UTC
2005年10月1日 180640 UTC	2005年10月1日 180510 UTC
2005年10月1日 181923 UTC	2005年10月1日 182010 UTC
2005年10月1日 183654 UTC	2005年10月1日 183526 UTC
2005年10月1日 190602 UTC	2005年10月1日 190524 UTC
2005年10月1日 191152 UTC	2005年10月1日 191007 UTC
2005年10月1日 193512 UTC	2005年10月1日 193523 UTC
2005年10月1日 194102 UTC	2005年10月1日 194005 UTC
2005年10月1日 200421 UTC	2005年10月1日 200521 UTC
2005年10月1日 201011 UTC	2005年10月1日 201005 UTC
2005年10月1日 202150 UTC	2005年10月1日 202020 UTC
2005年10月1日 203920 UTC	2005年10月1日 204017 UTC
2005年10月1日 205101 UTC	2005年10月1日 205012 UTC
2005年10月1日 212011 UTC	2005年10月1日 212016 UTC
2005年10月1日 214921 UTC	2005年10月1日 215014 UTC

表 4 (續)

220649	UTC	2005年10月1日	220513 UTC
223557	UTC	2005年10月1日	223511 UTC
224146	UTC	2005年10月1日	224010 UTC
230503	UTC	2005年10月1日	230526 UTC
231053	UTC	2005年10月1日	231009 UTC
234001	UTC	2005年10月1日	233525 UTC
234001	UTC	2005年10月1日	234007 UTC
235141	UTC	2005年10月1日	235005 UTC
	220649 223557 224146 230503 231053 234001 234001 235141	220649UTC223557UTC224146UTC230503UTC231053UTC234001UTC234001UTC235141UTC	220649UTC2005年10月1日223557UTC2005年10月1日224146UTC2005年10月1日230503UTC2005年10月1日231053UTC2005年10月1日234001UTC2005年10月1日234001UTC2005年10月1日235141UTC2005年10月1日



表 5 2006年碧利斯颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達
2006年7月13日 000626 UTC	2006年7月13日 000524 UTC
2006年7月13日 003528 UTC	2006年7月13日 003514 UTC
2006年7月13日 010429 UTC	2006年7月13日 010522 UTC
2006年7月13日 012155 UTC	2006年7月13日 012014 UTC
2006年7月13日 015056 UTC	2006年7月13日 015022 UTC
2006年7月13日 021959 UTC	2006年7月13日 022012 UTC
2006年7月13日 024901 UTC	2006年7月13日 025020 UTC
2006年7月13日 030628 UTC	2006年7月13日 030519 UTC
2006年7月13日 033530 UTC	2006年7月13日 033510 UTC
2006年7月13日 040434 UTC	2006年7月13日 040519 UTC
2006年7月13日 042159 UTC	2006年7月13日 042011 UTC
2006年7月13日 045101 UTC	2006年7月13日 045019 UTC
2006年7月13日 052003 UTC	2006年7月13日 052010 UTC
2006年7月13日 054905 UTC	2006年7月13日 055019 UTC
2006年7月13日 060631 UTC	2006年7月13日 060517 UTC
2006年7月13日 063533 UTC	2006年7月13日 063508 UTC
2006年7月13日 070435 UTC	2006年7月13日 070516 UTC
2006年7月13日 075104 UTC	2006年7月13日 075017 UTC
2006年7月13日 082112 UTC	2006年7月13日 082005 UTC
2006年7月13日 085015 UTC	2006年7月13日 085015 UTC
2006年7月13日 091917 UTC	2006年7月13日 092005 UTC
2006年7月13日 093643 UTC	2006年7月13日 093523 UTC
2006年7月13日 100545 UTC	2006年7月13日 100513 UTC
2006年7月13日 103447 UTC	2006年7月13日 103522 UTC

表 5 (續)

2006年7月13日	112115 UTC	2006年7月13日	112021 UTC
2006年7月13日	115016 UTC	2006年7月13日	115012 UTC
2006年7月13日	121920 UTC	2006年7月13日	122021 UTC
2006年7月13日	123645 UTC	2006年7月13日	123519 UTC
2006年7月13日	130547 UTC	2006年7月13日	130510 UTC
2006年7月13日	133449 UTC	2006年7月13日	133519 UTC



表 6 2007年柯羅莎颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達
2007年10月5日 191918 UTC	2007年10月5日 192017 UTC
2007年10月5日 193635 UTC	2007年10月5日 193519 UTC
2007年10月5日 200524 UTC	2007年10月5日 200511 UTC
2007年10月5日 203415 UTC	2007年10月5日 203519 UTC
2007年10月5日 205133 UTC	2007年10月5日 205008 UTC
2007年10月5日 212019 UTC	2007年10月5日 212015 UTC
2007年10月5日 214905 UTC	2007年10月5日 215007 UTC
2007年10月5日 220619 UTC	2007年10月5日 220509 UTC
2007年10月5日 223608 UTC	2007年10月5日 223517 UTC
2007年10月5日 230453 UTC	2007年10月5日 230509 UTC
2007年10月5日 235057 UTC	2007年10月5日 235006 UTC
2007年10月6日 001941 UTC	2007年10月6日 002018 UTC
2007年10月6日 003656 UTC	2007年10月6日 003523 UTC
2007年10月6日 010540 UTC	2007年10月6日 010515 UTC
2007年10月6日 013427 UTC	2007年10月6日 013524 UTC
2007年10月6日 015147 UTC	2007年10月6日 015013 UTC
2007年10月6日 022042 UTC	2007年10月6日 022005 UTC
2007年10月6日 024932 UTC	2007年10月6日 025013 UTC
2007年10月6日 030648 UTC	2007年10月6日 030514 UTC
2007年10月6日 033538 UTC	2007年10月6日 033522 UTC
2007年10月6日 040430 UTC	2007年10月6日 040513 UTC
2007年10月6日 041015 UTC	2007年10月6日 041133 UTC
2007年10月6日 042145 UTC	2007年10月6日 042021 UTC
2007年10月6日 045034 UTC	2007年10月6日 045012 UTC

表 6 (續)

2007年10月6日	052505 UTC	2007年10月6日	052449 UTC
2007年10月6日	053635 UTC	2007年10月6日	053522 UTC
2007年10月6日	060528 UTC	2007年10月6日	060519 UTC
2007年10月6日	063526 UTC	2007年10月6日	063528 UTC
2007年10月6日	070415 UTC	2007年10月6日	070512 UTC
2007年10月6日	071545 UTC	2007年10月6日	071520 UTC
2007年10月6日	072130 UTC	2007年10月6日	072014 UTC
2007年10月6日	074433 UTC	2007年10月6日	074509 UTC
2007年10月6日	075019 UTC	2007年10月6日	075018 UTC
2007年10月6日	081907 UTC	2007年10月6日	082020 UTC
2007年10月6日	083628 UTC	2007年10月6日	083523 UTC



表 7 2008年辛樂克颱風雙都卜勒風場合成之資料時間點。

中央氣象局五分山雷達	民航局桃園機場雷達			
2008年9月12日 201950 UTC	2008年9月12日 202008 UTC			
2008年9月12日 205019 UTC	2008年9月12日 205016 UTC			
2008年9月12日 212158 UTC	2008年9月12日 212007 UTC			
2008年9月12日 213413 UTC	2008年9月12日 213510 UTC			
2008年9月12日 220447 UTC	2008年9月12日 220518 UTC			
2008年9月12日 223524 UTC	2008年9月12日 223510 UTC			
2008年9月12日 230601 UTC	2008年9月12日 230518 UTC			
2008年9月12日 233635 UTC	2008年9月12日 233509 UTC			
2008年9月13日 001921 UTC	2008年9月13日 002005 UTC			
2008年9月13日 004952 UTC	2008年9月13日 005013 UTC			
2008年9月13日 012027 UTC	2008年9月13日 012004 UTC			
2008年9月13日 015059 UTC	2008年9月13日 015012 UTC			
2008年9月13日 022130 UTC	2008年9月13日 022003 UTC			
2008年9月13日 025201 UTC	2008年9月13日 025011 UTC			
2008年9月13日 030411 UTC	2008年9月13日 030514 UTC			
2008年9月13日 033451 UTC	2008年9月13日 033521 UTC			
2008年9月13日 040526 UTC	2008年9月13日 040513 UTC			
2008年9月13日 043601 UTC	2008年9月13日 043521 UTC			
2008年9月13日 051944 UTC	2008年9月13日 052020 UTC			
2008年9月13日 055018 UTC	2008年9月13日 055011 UTC			
2008年9月13日 062055 UTC	2008年9月13日 062019 UTC			
2008年9月13日 065130 UTC	2008年9月13日 065011 UTC			
2008年9月13日 072202 UTC	2008年9月13日 072018 UTC			
2008年9月13日 073414 UTC	2008年9月13日 073520 UTC			

表 7 (續)

2008年9月13日	080450 UTC	2008年9月13日	080512 UTC
2008年9月13日	083520 UTC	2008年9月13日	083519 UTC
2008年9月13日	090554 UTC	2008年9月13日	090511 UTC
2008年9月13日	093627 UTC	2008年9月13日	093519 UTC
2008年9月13日	100657 UTC	2008年9月13日	100510 UTC
2008年9月13日	101910 UTC	2008年9月13日	102016 UTC
2008年9月13日	104937 UTC	2008年9月13日	105007 UTC
2008年9月13日	112009 UTC	2008年9月13日	112016 UTC
2008年9月13日	115043 UTC	2008年9月13日	115007 UTC
2008年9月13日	122112 UTC	2008年9月13日	122015 UTC
2008年9月13日	125144 UTC	2008年9月13日	125007 UTC
2008年9月13日	133533 UTC	2008年9月13日	133517 UTC
2008年9月13日	140607 UTC	2008年9月13日	140509 UTC
2008年9月13日	143644 UTC	2008年9月13日	143518 UTC
2008年9月13日	144856 UTC	2008年9月13日	145006 UTC
2008年9月13日	151932 UTC	2008年9月13日	152121 UTC
2008年9月13日	155003 UTC	2008年9月13日	155013 UTC
2008年9月13日	162030 UTC	2008年9月13日	162006 UTC

表 8 七個颱風個案當北台灣地形上游風場介於0°到70°之間研究 分析時間與雷達資料筆數。

個案名稱	分析時間範圍	總時數	資料筆數
納莉 (Nari)	2001 年 09 月 16 日 0700 UTC ~ 2001 年 09 月 16 日 1500 UTC 2001 年 09 月 16 日 2100 UTC ~ 2001 年 09 月 17 日 0200 UTC 2001 年 09 月 17 日 0900 UTC ~ 2001 年 09 月 18 日 0000 UTC	28 hr	275
海棠 (Haitang)	2005 年 07 月 17 日 1300 UTC ~ 2005 年 07 月 17 日 2000 UTC	7 hr	57
泰利 (Talim)	2005 年 08 月 31 日 0900 UTC ~ 2005 年 08 月 31 日 1400 UTC	5 hr	57
龍王 (Longwang)	2005 年 10 月 01 日 1500 UTC ~ 2005 年 10 月 01 日 1700 UTC 2005 年 10 月 01 日 1800 UTC ~ 2005 年 10 月 01 日 1900 UTC	3 hr	30
碧利斯 (Bilis)	2006年07月13日0000 UTC~2006年07月13日1100 UTC 2006年07月13日1300 UTC~2006年07月13日1400 UTC	12 hr	125
柯羅莎 (Krosa)	2007年10月05日1900 UTC~2007年10月06日0700 UTC	12 hr	118
辛樂克 (Sinlaku)	2008年09月12日2000 UTC~2008年09月13日1400 UTC	18 hr	177



圖 1.1 簡單地形降水機制示意圖。(a)種雲播雲機制(Seeder-feeder mechanism);(b)地形斜坡強迫舉升凝結機制(Upslope forcing);(c)地形斜坡激發機制(upslope triggering);(d)地形 上游減速激發機制(Upstream triggering);(e)熱力激發機制 (Thermal triggering);(f)背風面輻合激發機制(Lee-side triggering);(g)背風面重力波加強機制(Lee-side enhancement by gravity waves)(圖摘取自Houze 1993)。

Plan ViewI unstable prefrontal (\mathbf{x}) south-A $\overline{\mathbf{B}}$ Julian Alps (b)Upslope Triggering(UT) unstable prefrontal south-(X)+ southwesterlies D C prefrontal south southwesterly (c)Weak Slope Convergence Triggering (WSCT) unstable prefrontal south-X Ē (d)Gap Exit Convergence Triggering(GECT) Plan ViewII Julian Aln postfrontal **Blocked easterly flow** southwesterlie G Ħ (e)Slope Convergence Forced Stratiform postfrontal On aric (SCFS) 10 y flow AIDS bright postfrontal southwesterlies upper-level postfrontal × x southwesterly flow \mathbf{x} Ī

(a)Slope Convergence Triggering(SCT)

Ī

MAP IOP5個案,五種地形降水型態示意圖。(a) Slope 啚 1.2 Convergence(SCT) ; (b)Upslope Triggering(UT) ; (c)Weak Triggering(WSCT) ; (d)Gap Slope Convergence Exit Convergence Triggering(GECT) ; (e)Slope Convergence Forced Stratiform(SCFS)。左圖為平面圖,右圖為左圖相對 應之垂直剖面(圖摘取自Yu et al. 2007)。





圖 1.4 (a)大屯山地形圖,地行水平解析度為40m,垂直解析度1 m,顏色代表地形高度,間距如圖右側所示。(b)同(a),但 是為南港基隆山脈。



圖 2.1 地形上游風平均場選取範圍(圖中紅線所圍之區域),等值 線為五分山雷達及桃園機場雷達電磁波波束相交角度,間距 為10°,顏色代表地形高度。



圖 3.2 同圖3.1,但為2005年海棠颱風個案。



圖 3.4 同圖3.1,但為2005年龍王颱風個案。



圖 3.5 同圖3.1,但為2006年碧利斯颱風個案。



圖 3.6 同圖3.1,但為2007年柯羅莎颱風個案。





圖 3.8 (a) 2001年納莉颱風; (b) 2005年海棠颱風; (c) 2005年泰利颱 風; (d) 2005年龍王颱風; (e) 2006年碧利斯颱風; (f) 2007 年柯羅莎颱風; (g) 2008年辛樂克颱風。北台灣地形上游雙 都卜勒風場範圍內高度0.25到1 km(間距為0.25 km)、高度1 km以下平均以及基隆測站的風標圖,圖中紅線代表1 km以 下平均風之風速變化,間距以紅字表示在圖右側;藍線表示 1 km以下平均風之風向變化,間距以藍字表示在圖右側,而 藍色虛線為風向70° 的位置。





圖 3.8 (續)



圖 4.1 (a) 2001年納莉颱風; (b) 2005年海棠颱風; (c) 2005年泰利颱 風; (d) 2005年龍王颱風; (e) 2006年碧利斯颱風; (f) 2007 年柯羅莎颱風; (g) 2008年辛樂克颱風。當北台灣地形上游 吹東北風時颱風個案回波大於35 dBZ的頻率(1.75 km高度 CAPPI),色階代表頻率強度,累積時間表示在右上角,等 值線為地形高度。





圖 4.1 (續)





圖 4.2 (a) 2001年納莉颱風; (b) 2005年海棠颱風; (c) 2005年泰利颱風; (d) 2005年龍王颱風; (e) 2006年碧利斯颱風; (f) 2007年柯羅莎颱風;
(g) 2008年辛樂克颱風。當北台灣地形上游吹東北風時颱風個案回 波利用Z = 32.5R^{1.65}所估計出來的累積雨量(1.75 km高度CAPPI), 色階代表累積雨量值,累積時間表示在右上角,等值線為地形高度。





圖 4.2 (續)



圖 4.3 北台灣測站分佈圖,圖中符號所代表的測站類型如圖右上方 說明,色階代表地形高度(單位為 m,間距如上所標示)。



圖 4.4 (a) 2001年納莉颱風; (b) 2005年海棠颱風; (c) 2005年泰利颱 風; (d) 2005年龍王颱風; (e) 2006年碧利斯颱風; (f) 2007年 柯羅莎颱風; (g) 2008年辛樂克颱風。當北台灣地形上游吹 東北風時颱風個案的累積雨量圖,色階表示累積雨量,間距 如圖上所示,累積時間表示在右上角,等值線代表地形高 度,間距為100 m。





圖 4.4 (續)



圖 4.5 七個颱風個案回波大於30%頻率的頻率,色階代表頻率強度,間距如圖上所示,等值線代表地形高度,間距為100m。


圖 5.1 (a)大屯山迎風面選取範圍(圖中粗黑實線所圍之部分),色 階代表地形高度,間距如圖上方所示。(b)同(a),但是為南 港基隆山脈。



圖 5.2 (a)大屯山地形高度與梯度的關係,紅色線條代表回歸曲線。 (b)同(a),但是為南港基隆山脈。



圖 5.3 大屯山與南港基隆山脈兩座山脈地形高度與梯度回歸曲線 比較圖,綠色線條代表大屯山,紅色線條代表南港基隆山脈。



圖 5.4 大屯山與南港基隆山脈地形上回波平均的選取範圍(黑色方 框所圍的區域),色階為地形高度(單位為 m,間距為100 m) ,另外將黑色方框利用每個時間的雙都風場反推至地形外, 代表兩座山脈上游回波的情況。



圖 5.5 大屯山上游回波的反推。時間為2005年07月17日(a) 1426 UTC ;(b) 1420 UTC;(c) 1414 UTC。方框代表回波反推的位置, 色階為1.75 km~5 km高度平均回波的強度(單位為dBZ,間距 為5 dBZ)。



圖 5.6 南港基隆山脈上游回波的反推。時間為2005年07月17日(a) 2012 UTC;(b) 2006 UTC;(c) 2001 UTC;(d) 1955 UTC。方 框代表回波反推的位置,色階為1.75 km~5 km高度平均回波 的強度(單位為dBZ,間距為5 dBZ)。



圖 5.7 (a)大屯山七個颱風個案期間每個時間風速與地形上游回波強度 所對應到的地形上的回波,色階代表山區回波強度,單位是dBZ ,間距如圖所示,七種圖形分別代表不同的颱風個案。(b)同圖 (a),但為南港基隆山脈。



圖 5.8 (a)大屯山七個颱風個案風速大小與地形上游回波強度相對於地 形上回波之比較,色階代表山區回波強度,單位是dBZ,間距 如圖所示。(b)同圖(a),但為南港基隆山脈。



圖 5.9 (a)大屯山七個颱風個案風速大小與地形上游回波強度相對於山 區回波的增加量(地形上回波一上游回波)之比較,色階代表 山區回波增加量,單位是Z,間距如圖所示。(b)同圖(a),但為 南港基隆山脈。



圖 5.10 將大屯山與南港基隆山脈回波增加量交集的部分相減 (NKR – DT),代表兩座山脈在不同的上游回波強度與風速時回波增強的差異,暖色系代表南港基隆山脈增強較大屯山強(相減為正);冷色系則相反(相減為負)。色階代表回波差值,單位是Z,間距如圖所示。