

交通部中央氣象局委託研究計畫

颱風降雨整合預報技術之發展（1/3）

期末報告

執行單位：國立臺灣大學大氣科學系

中華民國九十八年十二月

交通部中央氣象局 98 年度委託研究計畫期末簡報內容重點表

計畫名稱：颱風降雨整合預報技術之發展

(一)年度計畫預定與實際工作內容比較

預期成果工作項目	1. 應用現有動力模式(如 MM5、WRF)，進行歷史侵台颱風之中尺度（鄉鎮尺度）降雨數值模擬。 a. 完成資料收集（已完成） b. 進行第 2、3 類侵台颱風個案之動力模式控制組模擬（已完成） c. 完成多組系集成員（ensemble members）之模擬（已完成） 2. 建立侵台颱風中尺度（鄉鎮尺度）降雨之動力統計預報指引系統。 a. 初步建立第 2 及第 3 類型路徑侵台颱風之降雨統計模式（已完成） b. 將颱風中尺度降雨動力統計預報模式之結果，與實際觀測及氣候法之預估結果進行差異評估（已完成）	
預定工作內容	實際工作內容	差異說明
1. 完成資料收集 2. 進行第 2、3 類侵台颱風個案之動力模式控制組模擬 3. 初步建立第二及第三類型路徑之颱風降雨動力統計模式及結果評估	1. 已完成 1989-2009 年之資料收集 2. 已完成第 2、3 類侵台颱風個案之動力模式控制組及各 11 組系集模擬 3. 已建立第二及第三類型路徑之颱風降雨動力統計模式及結果評估	無

- 註：1. 請依年度計畫書內「預期成果」項逐一說明其研究情形及達成度，屬「查核點」應特別表示達成情況。
2. 若有分項計畫，請依分項計畫逐項填寫。
3. 工作內容請儘量依條列舉、數量化方式具體說明。
4. 差異說明涵蓋研究工作之突破及研究進度之落後，所遭遇之困難等。

（二）資源運用探討

1. 經費運用

65% 人事費（含主持人、助理及臨時工）

10% 消耗性器材（碳粉匣、墨水匣、光碟片、硬碟外接盒等）

25% 其他研究有關費用

（含印刷費、文具事務費、會議便餐費、國內差旅費、資料檢索費）

以上如經費規劃核銷

2. 人力運用

■ 主持人- 李清勝

負責計畫構想、整合研究成果及撰寫報告

■ 研究助理-黃麗蓉、黃奕霖

負責研究計畫之資料處理、結果繪圖及撰寫報告

■ 行政助理-許倍甄

負責文書處理、經費控管及核銷、及其他與計畫相關行政事務

■ 臨時工-蔡德攸、陳雨青、陳柏孚

協助系統維護、資料收集、分析及處理

以上為主要研究人力，如人力規劃執行

3. 重要設備採購、裝設及使用情形

a. 設備採購：

網路磁碟機（2 台）

外接式磁碟機（2 台）

b. 裝設：

網路磁碟機與外接式磁碟機裝設於機房

c. 使用情形：

使用 1 組 Cluster（含 1 台 Master、3 台 Client）、3 台獨立運作機器，進行動力模式數值模擬。

額外使用 2 組 Cluster（含 2 台 Master、5 台 Client）進行個案系集模擬。

使用上列磁碟裝置存放及備份計畫成果。

（三）計畫之執行困難及其建議

交通部中央氣象局委託研究計畫期末報告

颱風降雨整合預報技術之發展

計畫類別：☒國內 ☐國外

計畫編號：MOTC-CWB-98-2M-07

執行期間：98 年 2 月 17 日至 98 年 12 月 31 日

計畫主持人：李清勝

執行單位：國立台灣大學大氣科學系

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：颱風降雨整合預報技術之發展

審議編號：	X	部會署原計畫編號：	MOTC-CWB-98-2M-07
主管機關：	交通部中央氣象局	執行單位：	國立台灣大學大氣科學系
計畫主持人：	李清勝	聯絡人：	許倍甄
電話號碼：	02-2392-8260	傳真號碼：	02-2363-3642
期程：	98 年 2 月 17 日至 98 年 12 月 31 日		
經費：(全程)	8600 仟元	經費(年度)	2600 仟元

執行情形：

1. 執行進度：

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

2. 經費支出：

	預定	實際	支用率 (%)
當年	780000	780000	100%
全程			

3. 主要執行成果：

本計畫今年度主要工作包括：(1) 資料收集與整理；(2) 利用數值動力模式，進行第二、三類型路徑颱風個案之控制組及系集模擬；(3) 利用模擬結果，建立第二、三類型路徑之颱風降雨動力統計模式，並將模式預估結果與實際觀測及現有氣候法進行評估。

在資料收集方面，本計畫目前完成 1989~2009 年全球網格分析資料 (NCEP FNL data、NNRP 及 EC-TOGA-advanced data)、QuikSCAT 風場資料及 NCEP ADP 全球觀測資料之收集。

本計畫於今年度利用 WRF 及 MM5 模式完成 20 個歷史第二、三類型路徑颱風個案之控制組及各 11 組系集模擬。進一步，利用所模擬之資料，初步建立第二及第三類型路徑之颱風降雨動力統計模式，並將模式預報結果，與觀測值及氣候模式之預估結果進行差異評估。

模式的校驗方面，本計畫進一步利用列聯表，針對相依及獨立颱風個案，計算個別

測站在不同門檻直之預報降水得分；同時計算各項統計參數，以瞭解觀測及預報場之整體降雨量值及降雨分布之差異。除了動力統計模式，亦針對 Lee et al. (2006) 發展之氣候模式進行校驗，並將結果與動力統計模式進行比較。結果顯示目前的動力統計模式可修正氣候模式容易低估雨量的情形，且較氣候模式更能掌握較大降雨的發生，但須注意動力統計模式過度預報雨量之情形。

本計畫團隊分別於 2009 年 6 月 1 日及 10 月 26 日，召開了第一及第二次的工作會議，針對工作進度、個案模擬結果與研究方法，與氣象局相關人員進行討論與交換意見。同時為求提升計畫成果和實用性，決定於期末報告後針對本年度成果進行討論，故第三次工作會議預計於 2009 年 12 月召開。目前工作符合預定進度。

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

本計畫之目的在配合中央氣象局颱風預警作業需求，發展適用於台灣地區之鄉鎮尺度颱風降雨整合預報技術；全程計畫預計三年完成，本年為第一年。本年計畫主要工作包括：(1) 利用數值動力模式，進行第二、三類型路徑颱風個案之控制組及系集模擬，(2) 利用模擬結果，建立第二、三類型路徑之颱風降雨動力統計模式，並將模式預估結果與實際觀測及現有氣候法進行評估。

在資料收集與整理方面，本年度完成 1989~2009 年颱風期間之全球網格分析資料(NCEP FNL data、NNRP 及 EC-TOGA-advanced data)、QuikSCAT 風場資料及 NCEP ADP 全球觀測資料之收集。在個案模擬方面，共完成 20 個歷史颱風個案之控制組模擬，且由於台灣地形鎖定之作用，第 3 類型路徑颱風的降雨模擬結果，普遍較第 2 類型路徑之颱風個案好；其次，每個控制組個案，再利用不同之初始時間、雲微物理及積雲參數化設定，完成 11 組系集成員之模擬。進一步，本計畫參考 Lee et al. (2006) 之方法，利用所重建之控制組及系集模擬組資料，初步建立第二、三類型路徑之颱風降雨動力統計模式。結果顯示，動力統計模式對較大降雨的掌握能力較氣候模式好，但卻也容易有過度預報的情形出現；然而，此動力統計模式可提供鄉鎮尺度之颱風降雨預估，以彌補氣候模式之不足。

關鍵字：鄉鎮尺度、颱風降雨、動力模式

目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
表目錄.....	3
圖目錄.....	4
一、前言.....	11
二、資料來源及數值模式.....	25
2.1 模式初始場.....	25
2.2 其他觀測資料.....	26
2.3 數值模式簡介.....	27
2.4 WRF 模式設定.....	29
2.5 MM5 模式設定.....	30
三、歷史個案控制組模擬結果分析.....	31
3.1 第二類路徑侵台個案模擬結果.....	32
3.2 第三類路徑侵台個案模擬結果.....	37
3.3 小結.....	41
四、侵台颱風降雨動力統計模式.....	43
4.1 系集模擬成員之選取及動力統計模式之建立.....	43
4.2 動力統計模式之校驗.....	45
4.2.1 校驗方法.....	46
4.2.2 校驗結果.....	49
4.3 小結.....	53
五、總結與展望.....	55
六、致謝.....	59
七、參考文獻.....	61
附件一.....	109
附件二.....	141

表目錄

表 1-1	Anthes-Kuo、Grell、Kain-Fritsch、Betts-Miller，四種積雲參數化比較（摘自 Kuo et al.，1996）。.....	65
表 3-1	第二類路徑之侵台颱風個案列表.....	65
表 3-2	第三類路徑之侵台颱風個案列表.....	66
表 4-1	控制組與系集模擬組模擬設定列表.....	67
表 4-1	控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）.....	70
表 4-1	控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）.....	71
表 4-1	控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）.....	72
表 4-2	列聯表。.....	73
表 4-3	利用列聯表，針對相依個案，計算各別測站在不同門檻值之預報降水得分。.....	74
表 4-4	針對相依個案，測站整體之各項統計參數校驗結果。.....	74
表 4-5	利用列聯表，針對獨立個案，計算各別測站在不同門檻值之預報降水得分。.....	75
表 4-6	針對獨立個案，測站整體之各項統計參數校驗結果。.....	75
表附 1-1	所有模擬個案在模擬時間內之平均路徑誤差.....	109

圖目錄

圖 1-1	Chang et al.(1993)利用 1971-1990 共 20 年之 22 個地面測站資料，分析颱風侵台期間台灣地區之降雨分佈狀況。.....	76
圖 1-2	TV 實驗組路徑比較圖。藍色表 TV-50、紅色表 TV-60、綠色表 TV-70、黑色表 CWB 路徑。.....	77
圖 1-3	TV 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TV-50、紅色表 TV-60、綠色表 TV-70、黑色表 CWB 路徑、桃紅表 JTWC Best Track。.....	77
圖 1-4	TR 實驗組路徑比較圖。藍色表 TR-60、紅色表 TR-70、綠色表 TR-80、黑色表 CWB 路徑。.....	78
圖 1-5	TR 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TR-60、紅色表 TR-70、綠色表 TR-80、黑色表 CWB 路徑、桃紅表 JTWC Best Track。.....	78
圖 1-6	TA 實驗組路徑比較圖。藍色表 TA-65、紅色表 TA-75、綠色表 TA-85、黑色表 CWB 路徑。.....	79
圖 1-7	TA 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TA-65、紅色表 TA-75、綠色表 TA-85、黑色表 CWB 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。.....	79
圖 1-8	TA 組實驗，積分 18 小時之地面氣壓圖。(a) 表 TA-65、(b) 表 TA-75、(c) 表 TA-85。.....	80
圖 1-9	積雲參數化過程示意圖(摘自 Dudhia et. al., 2002)。.....	81
圖 1-10	TC 實驗組路徑比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB 路徑。.....	81
圖 1-11	TC 組實驗，積分 18 小時之雷達回波圖。(a) TC-BM、(b) TC-AK、(c) TC-KF、(d) TC-GR、(e) TC- KF2。.....	82
圖 1-12	TC 組實驗，積分 18 小時之切向風場剖面圖。(a) TC-BM、(b) TC-AK、(c) TC-KF、(d) TC-GR、(e) TC- KF2。.....	83

圖 1-13 TC 實驗組切向風場比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、 橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。	84
圖 1-14 TC 實驗組強度變化比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、 橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。	84
圖 2-1 MM5 模式系統流程圖。	85
圖 2-2 本研究使用之 WRF 三層巢狀網格設計(45km、15km、5km)。	85
圖 2-3 MM5 使用三層巢狀網格涵蓋範圍，解析度由外而內分別為 45 km、15 km 以及 5 km。	86
圖 3-1 模擬之侵台期間示意圖，圖中▲中央氣象局發布陸上颱風警 報之時間，★為中央氣象局解除陸上颱風警報之時間。	86
圖 3-2 1996 年賀伯颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制 組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	87
圖 3-3 1996 年賀伯颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b)為模擬結果。	87
圖 3-4 2007 年柯羅莎颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控 制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	88
圖 3-5 2007 年柯羅莎颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b)為模擬結果。	88
圖 3-6 2008 年卡玫基颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控 制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	89
圖 3-7 2008 年卡玫基颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b)為模擬結果。	89
圖 3-8 2008 年辛樂克颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控 制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	90

圖 3-9 2008 年辛樂克颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	90
圖 3-10 2008 年薔蜜颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	91
圖 3-11 2008 年薔蜜颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	91
圖 3-12 2009 年莫拉克颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	92
圖 3-13 2009 年莫拉克颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	92
圖 3-14 2000 年碧利斯颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	93
圖 3-15 2000 年碧利斯颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	93
圖 3-16 2001 年桃芝颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	94
圖 3-17 2001 年桃芝颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	94
圖 3-18 2005 年海棠颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	95
圖 3-19 2005 年海棠颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	95
圖 3-20 2007 年聖帕颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	96

圖 3-21 2007 年聖帕颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	96
圖 3-22 2008 年鳳凰颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。	97
圖 3-23 2008 年鳳凰颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。	97
圖 4-1 利用(a)氣候模式及(b)動力統計模式，對相依個案，所有測站之總累積雨量的預估值（縱軸）相對於觀測值（橫軸）之分佈。	98
圖 4-2 利用氣候模式及動力統計模式預報相依颱風個案之總累積雨量，在不同門檻值的校驗結果，其中紅色代表偏倚評分，藍色代表可偵測機率，綠色代表誤報率，紫色實線為 T 得分，紫色虛線為 ETS。	99
圖 4-3 利用(a)氣候模式及(b)動力統計模式，對獨立個案，所有測站之總累積雨量的預估值（縱軸）相對於觀測值（橫軸）之分佈。	100
圖 4-4 利用氣候模式及動力統計模式，預報獨立颱風個案之總累積雨量，在不同門檻值的校驗結果，其中紅色代表偏倚評分，藍色代表可偵測機率，綠色代表誤報率，紫色實線為 T 得分，紫色虛線為 ETS。	101
圖 4-5 1991 年愛麗（Ellie）颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	102
圖 4-6 1992 年歐馬（Omar）颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	103
圖 4-7 1992 年寶莉（Polly）颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	104

圖 4-8	1994 年提姆 (Tim) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	105
圖 4-9	1994 年凱特琳 (Caitlin) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	106
圖 4-10	1994 年葛拉絲 (Gladys) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。	107
圖附 1-1	1990 年楊希颱風路徑誤差隨時間變化圖。	110
圖附 1-2	1990 年黛特颱風路徑誤差隨時間變化圖。	110
圖附 1-3	1996 年賀伯颱風路徑誤差隨時間變化圖。	111
圖附 1-4	1997 年安珀颱風路徑誤差隨時間變化圖。	111
圖附 1-5	1998 年奧托颱風路徑誤差隨時間變化圖。	112
圖附 1-6	2000 年碧利斯颱風路徑誤差隨時間變化圖。	112
圖附 1-7	2001 年桃芝颱風路徑誤差隨時間變化圖。	113
圖附 1-8	2005 年海棠颱風路徑誤差隨時間變化圖。	113
圖附 1-9	2005 年泰利颱風路徑誤差隨時間變化圖。	114
圖附 1-10	2005 年龍王颱風路徑誤差隨時間變化圖。	114
圖附 1-11	2006 年碧利斯颱風路徑誤差隨時間變化圖。	115
圖附 1-12	2006 年凱米颱風路徑誤差隨時間變化圖。	115
圖附 1-13	2007 年梧提颱風路徑誤差隨時間變化圖。	116
圖附 1-14	2007 年聖帕颱風路徑誤差隨時間變化圖。	116
圖附 1-15	2007 年柯羅莎颱風路徑誤差隨時間變化圖。	117
圖附 1-16	2008 年卡玫基颱風路徑誤差隨時間變化圖。	117
圖附 1-17	2008 年鳳凰颱風路徑誤差隨時間變化圖。	118
圖附 1-18	2008 年辛樂克颱風路徑誤差隨時間變化圖。	118
圖附 1-19	2008 年薔蜜颱風路徑誤差隨時間變化圖。	119
圖附 1-20	2009 年莫拉克颱風路徑誤差隨時間變化圖。	119

圖附 1-21	1990 年楊希颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	120
圖附 1-22	1990 年黛特颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	121
圖附 1-23	1996 年賀伯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	122
圖附 1-24	1997 年安珀颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	123
圖附 1-25	1998 年奧托颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	124
圖附 1-26	2000 年碧利斯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	125
圖附 1-27	2001 年桃芝颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	126
圖附 1-28	2005 年海棠颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	127
圖附 1-29	2005 年泰利颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	128
圖附 1-30	2005 年龍王颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	129

圖附 1-31	2006 年碧利斯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	130
圖附 1-32	2006 年凱米颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	131
圖附 1-33	2007 年梧提颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	132
圖附 1-34	2007 年聖帕颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	133
圖附 1-35	2007 年柯羅沙颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	134
圖附 1-36	2008 年卡玫基颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	135
圖附 1-37	2008 年鳳凰颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	136
圖附 1-38	2008 年辛樂克颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	137
圖附 1-39	2008 年薔蜜颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	138
圖附 1-40	2009 年莫拉克颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。	139

一、前言

侵台颱風所導致之災害，主要肇因於其所伴隨之豪雨；局部性之豪雨常導致該區域山崩、土石流、河水暴漲與淹水。因此，加強對侵台颱風之研究，藉以提供正確之預報指引，進而改進定量降雨預報與提高災害預警能力，是台灣地區颱風防災課題中的重要工作。需注意的是，由於颱風為一快速轉動的渦旋（伴隨有強烈對流和降水），故侵台颱風路徑和結構常受台灣複雜地形影響而有相當大變化；地形的作用，更常造成局部豪雨而導致嚴重災情，並增加降雨預報的困難度。然而，目前社會對於預報精度需求殷切，氣象局亦正朝向預報精緻化的目標邁進，預報標的將由原本的縣市範圍，提高為鄉鎮市範圍，因此亟需改善颱風預報指引之精度及準確度。本計畫之目的即是發展適用於台灣地區鄉鎮尺度之颱風降雨整合預報技術，以提升颱風期間鄉鎮尺度定量降雨預報之準確度。

目前颱風降雨預報技術，大致可分為氣候統計法（含類比法）和數值模式預報法兩大類。氣候統計法建基於歷史颱風資料的統計應用，考慮的是歷史案例的重現性，因此對於特殊颱風個案（如 2008 年的卡玫基颱風），較缺少預報能力。數值模式預報法，雖然在完整物理架構下，很可能可以模擬出合理的颱風降雨分佈；但由於諸多因素的

影響，在實際預報作業時，卻常存在難以掌握的不確定性，尤其是模式之颱風路徑預報有所偏差時，降雨分布將顯著偏離實際觀測。

在氣候統計法方面，王等（1983、1985）即利用 1942 至 1982 年的逐時颱風路徑資料，及該期間中央氣象局所屬台灣地區 14 個測站的逐時雨量資料，求出不同颱風路徑（主要為西行及北進兩類）下，各測站的雨量分佈。分析時，針對北緯 19-28 度、東經 117-129 度的範圍內，每一個 0.5×0.5 度的網格中，求出歷年颱風經過該網格區域時，某一測站的時雨量平均值、最大值、最小值、標準偏差以及過境次數，以供實際預報參考。此種僅採用時雨量平均值的方法，稱之為平均法，乃考慮一地之颱風時雨量僅受颱風位置、移向及當地地形所影響。葉等（1999）進一步校驗平均法應用在台北測站之颱風降雨預測之準確度，同時探討持續法在颱風定量降雨預報之可行性，其結果顯示，平均法對台北一地之颱風降雨預報有一定的參考價值，但對較大降雨有明顯的低估；而結合平均法與持續法之「差異持續法」和「比差法」，似乎能改善平均法對較大降雨低估的情形。

Chang et al.（1993）亦利用 1971~1990 共 20 年之 22 個地面測站資料，分析颱風侵台期間台灣地區之降雨分佈狀況。他們將北緯 17~27 度、東經 117~127 度的範圍，每 2×2 度分為一個網格，計算當

颱風中心落在每個網格中時，22 個測站的降雨分佈情況。結果顯示（圖 1-1），當颱風中心位於北緯 23 度以北時，最大降雨出現在中央山脈西側；而當颱風中心位於北緯 23 度以南時，最大降雨則出現在台灣東南部沿海。尤其當颱風中心位於北緯 21~23 度、東經 119~121 度之網格點時，東南部沿海的降雨極大值最為顯著，且最大值超過 9mm/h。整體而言，上述的研究成果，在颱風降雨預報上，提供極大的參考應用價值。

Lee et al. (2006) 延續王等 (1983、1985) 之平均法發展颱風降雨氣候模式。他們利用 1989-2002 年中央氣象局颱風路徑資料，及該期間中央氣象局所屬台灣地區氣象站 (18 站)、自動雨量站 (222 站) 以及台灣水利局第十工程處 (8 站)、石門水庫管理局 (9 站)、翡翠水庫管理局 (6 站)、曾文水庫管理局 (8 站) 等所屬雨量站，共計 371 個雨量站的逐時雨量資料，在東經 118-126 度、北緯 19-27 度的範圍內，每 0.5×0.5 度的網格中，求出歷年颱風 (共 61 個) 經過該網格區域時，某測站的時雨量平均值、最大值、標準偏差、時雨量大於 15 毫米及 50 毫米次數以及颱風過境該網格次數。其次，他們進一步利用 Barnes 客觀分析法，針對每一測站 (或流域) 將上述時雨量平均值資料內差到 0.1×0.1 度的經緯度網格內，以得到一組空間分佈均勻的網格資料並繪圖 (稱之該測站／流域之颱風降雨潛勢圖)，提供做

為預測未來颱風降雨的基礎資料。實際應用氣候模式時，首先必須找出颱風中心位置（根據中央氣象局預報之颱風定位）所在的網格，然後在某單一測站或流域的颱風降雨潛勢圖上，找到颱風於該網格位置時相對應的時雨量值，即為該測站或流域之時雨量預估值，而累積雨量（如 3、6、12、24 小時）即為沿颱風路徑之逐時雨量累加。

李（2008）為了增加氣候模式之穩定性，將氣候模式資料庫更新至 2006 年，使歷史颱風個案數由 61 個增加為 92 個（增加 50%個案數），同時，亦加入九二一地震後所新設立的雨量站；因此總計目前氣候模式資料庫中，共有 408 個雨量站資料。李除增加颱風個數和雨量站數外（2008），進一步發展新版集水區颱風降雨模式，此模式可根據颱風特徵即時調整模式計算時採用的雨量門檻值，此門檻值為在颱風降雨模式資料庫中，選取不同區間之降雨資料進行估算，以突顯颱風個案間之降雨特徵；此外，亦同時透過分析不同歷史颱風個案的降雨特性，給予使用者藉由分析颱風降雨特徵，獲得颱風降雨模式調整之參考指引。其進一步根據分析結果，提出選取特性相似（路徑、強度及暴風半徑大小）歷史個案的方式，以作為門檻值選取之參考。利用 2007 年帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風個案進行測試的結果顯示，利用歷史相似個案調整降雨門檻值後，可改善原始颱風降雨模式容易低估雨量的情形。

在數值動力模式方面，喬等（1996）、李和林（1999）、Wu et al.（2002）及簡和李（2002）等之真實侵台颱風個案的模擬結果顯示，PSU/NCAR MM5 已可合理模擬颱風侵台過程與中尺度環流演變。李等（2007）利用 MM5 數值模式，模擬、分析琳恩之侵台過程，並探討導致豪雨之重要機制。分析與模擬結果顯示，琳恩颱風影響期間，台灣北部地區之主要強降水，出現在鋒面由南北退且於台灣北部滯留時，且此顯著強降水並非單純之地形舉升降水。Lee et al.（2008）亦利用 MM5 合理模擬 2004 年敏督利（Mindulle）颱風侵台時，位於台灣海峽副中心的發展過程及 7 月 2 日出現於台灣西南部的強降水（最大降雨為 787 毫米）。Chien et al.（2005）的即時天氣預報系統結果顯示，WRF 模式對台灣地區天氣系統（如中尺度對流系統、颱風等）有不錯的掌握，且其使用 WSM 5-class 雲微物理搭配 KF 積雲參數法，在 2004 年敏督利（Mindulle）及艾利（Aere）颱風模擬的降水量及降水分佈都較 MM5 為佳。此外，黃等（2005）利用 LAPS-MM5 針對馬莎（Matsa）颱風，進行 0~6 及 6~12 小時之降雨預報校驗的結果顯示，無論在前期受颱風外圍環流影響期間、颱風雨帶所帶來之降雨，或是後期引進西南氣流的降雨，LAPS-MM5 對降雨位置皆有很不錯的掌握。而黃等（2006）利用 LAPS-MM5 及 LAPS-WRF 針對碧利斯（Bilis）及凱米（Kaemi）颱風，進行 0~6 及 0~12 小時之降雨預報校

驗結果亦顯示，除了一些小尺度的現象無法掌握之外，模式可大致反映兩颱風個案降雨極值的分佈。簡（2008）研究 WRF 模式應用於台灣地區之預報能力，並針對各種非傳統觀測資料（Dropsonde、COSMIC GPS 及 QuikSCAT 等觀測資料）進行資料同化，以瞭解其對 WRF 模式預報能力之影響；其結果顯示，模擬颱風之路徑與強度和實際觀測相接近。簡（2008）同時比較同化不同資料之三組實驗（控制組、Dropsonde 實驗組和 GPS 實驗組），結果顯示，因 Dropsonde 觀測資料之空間解析度較高，且多了風場資料植入模式中，經資料同化後較能模擬出雨量與雷達回波之特徵趨勢；而 GPS 實驗組相較下模擬結果影響相對較小。

在系集預報方面，1996 年由 Cliff Mass 及其研究群在西雅圖華盛頓大學開始建構一套即時的 MM5 預報系統，主要的預報區域為美國西北部（Colle et al., 2000）。該模式所預報的資料不但可應用於學術研究，亦可提供當地氣象預報單位（NWS）作業之參考。爾後，華盛頓大學開始發展即時的系集預報系統，可同時進行多組模擬，以提升預報能力，並校驗及改善中尺度系集預報方法（Grimit and Mass, 2002）。此外，可選用不同初始場、不同網格設定、不同參數化設定等方式，選定系集預報成員。簡（2005）即利用 WRF 模式針對網格範圍與物理參數等設定進行敏感度測試，以得到較佳的預報結果。

Yang and Ching (2005) 使用 MM5 模式模擬桃芝 (2001) 颱風，對其作物理參數的系集模擬實驗，得知選擇適合的物理參數法可以模擬出較佳的颱風路徑及降雨分佈。

為瞭解不同模式和物理參數化對侵台颱風強度、結構和降雨之影響情況，李(2007)利用 MM5 與 WRF 模擬桃芝(2001)與龍王(2005)颱風的結果顯示，在類似的模式設計下，WRF 對桃芝的模擬較 MM5 為佳；但對龍王而言，則以 MM5 之模擬較佳，且可掌握重要結構和降水特徵。陳 (2004) 使用 Davis and Low-Nam (2001) 植入渦旋的特性，進行桃芝 (2001) 颱風一系列之初始渦旋敏感度實驗，以期能植入與之相似結構特徵的初始平衡渦旋，藉以提昇模擬能力。其利用 Davis and Low-Nam (2001) 方法所植入的 Rankine vortex，其風速剖面設定為：

$$v = A(z)F(r)$$

$$F(r) = \frac{v_m}{r_m} r \quad ; (r \leq r_m)$$

$$F(r) = \frac{v_m}{r_m^\alpha} r^\alpha \quad ; (r > r_m)$$

其中， $A(z)$ 設定不同高度的權重分布， $F(r)$ 則依距離不同而有不同風速分布， v_m 表最大風速， r_m 表最大風速半徑， α 值設定風速剖面的

強度 (strength)，即最大風速半徑外之風速強弱，其分析以最大風速 70 ms-1，最大風速半徑 80 km， α 值 0.75 為控制組，就三種變數分別測試其對渦旋強度、大小的影響。

分析時，陳 (2004) 首先固定最大風速半徑及 α 值，並將最大風速值分別設為 50 ms-1、60 ms-1、70 ms-1 進行測試，模擬結果如圖 1-2。圖中顯示，實驗組中最弱的 TV-50 路徑較偏北，而在 TV-60、TV-70 的測試中路徑差異不大。圖 1-3 顯示 TV 實驗組的強度比較，模擬初期 6 小時為模式調整時間，從 28 日 1800 UTC 開始至登陸前，其強度有明顯差異，最大風速越強，其強度也越強。第二組實驗改變最大風速半徑 (rm)，分別設為 60 km、70 km、80 km，路徑測試結果顯示 (圖 1-4)，最大風速半徑對於路徑影響不大，而對於強度影響方面 (圖 1-5)，一般而言最大風速半徑較小其強度也較弱。第三組實驗改變 Alpha 值 (α)，分別設定為 0.65、0.75、0.85，圖 1-6 顯示實驗組的路徑測試結果，當 α 值越大時，其路徑較偏北。圖 1-7 顯示實驗組中各模擬結果之颱風中心海平面氣壓比較，結果顯示， α 值越大強度越弱。透過模擬之地面氣壓圖 (圖 1-8) 顯示， α 值越小，其中心氣壓梯度力越大。綜合而言， α 值設定風速剖面的強度，強度越弱，其中心氣壓梯度力越小，其路徑越往北偏移。陳 (2004) 敏感度測試的主要目的，除了尋求並使用模式中適當的參數外，另一重點即在獲

得一組最佳且最接近事實的模擬結果。根據觀測資料分析顯示，桃芝颱風是個小且強度集中之颱風，因此，測試不同渦旋大小、強度是為了能得到可合理模擬桃芝颱風的渦旋。綜合上述測試結果約可歸納出：最大風速（ v_m ）對於強度影響較顯著，Alpha 值（ α ）對於路徑偏向有明顯影響。

為了進一步探討颱風環流結構對颱風路徑的影響，陳（2004）亦利用不同積雲參數化，嘗試模擬渦旋大小、結構強弱不同之對照組，透過此組實驗約可定性瞭解結構對於桃芝颱風路徑的影響。積雲參數化將會影響雲雨的分布、潛熱釋放...等，圖 1-9 呈現積雲對流過程的所可能考慮的變數；由於不同的積雲參數化其物理假設均不同，因此其分別測試 BM（Betts-Miller，1986）、KF（Kain-Fritsch，1993）、GR（Grell，1994）、AK（Anthes-Kuo，1977）、KF2（Kain-Fritsch，2004）五種積雲參數化。表 1-1 整理不同積雲參數化的物理設定（摘自 Kuo et al., 1996）。圖 1-10 顯示積雲參數化實驗組的路徑測試結果，其中 TC-BM 並未登陸，而 TC-KF、TC-GR 表現較佳，但尚未有偏向的現象，移速也較快。路徑由北往南依序為，TC-BM、TC-AK、TC-KF、TC-GR、TC-KF2。進一步利用雷達回波圖來分析颱風結構特徵。圖 11 為積雲參數化實驗組的積分 18 小時（7 月 29 日 0600 UTC）後之雷達回波圖與地面氣壓圖，其中以 TC-KF、TC-GR、TC-KF2 之結構

較集中，且強回波區位於颱風中心西南側與實際雷達觀測資料較接近；TC-BM 其回波區較弱，於實際觀測資料差距較大；而 TC-AK 所模擬之颱風結構過於鬆散，強度也較弱。比較對照組實驗中颱風的大小(以 999 hPa 等壓線為參考基準)，颱風由大到小依序為 TC-BM、TC-AK、TC-KF、TC-GR、TC-KF2。圖 1-12 顯示 TC 實驗組積分 18 小時之切向風場剖面圖，TC-BM 所模擬之風場結構較弱，最大值僅有 25 ms⁻¹，範圍從距中心 40~140 km，高度延伸至 $\sigma=0.625$ ；而 TC-AK 及 TC-KF 之模擬結果強度略為增強，最大風速值為 35 ms⁻¹，範圍介於 30~80 km，高度至 $\sigma=0.675$ (以 TC-KF 為例)；而 TC-GR、TC-KF2 之最大風速值增強為 40 ms⁻¹，TC-GR 的模擬中，其範圍約為 40~65 km，高度延伸至 $\sigma=0.675$ 。由上圖比較而言，TC-BM 所模擬的風場較弱其颱風結構較大，而 TC-GR 及 TC-KF2 實驗中，則模擬出較強，風場較集中的颱風結構。圖 1-13 顯示 TC 實驗組積分 18 小時之切向風場，各組實驗之最大風速約發生於距中心 50km 處，與觀測資料接近，且最大風速由小至大依序為 TC-BM、TC-AK、TC-KF、TC-KF2、TC-GR。其中 TC-GR 的最大風速高達有 45 ms⁻¹，而從圖 1-14 顯示 TC 實驗組的強度比較，五組實驗組均偏弱，但其強度大小與環狀平均風場有一致的表現。

陳(2004)積雲參數化的測試結果顯示，從颱風較大較弱且結構

較鬆散的 TC- BM、TC-AK 到颱風較小較強且結構較集中的 TC-KF、TC-GR，其路徑表現與結構有其一致性。颱風較大較鬆散其路徑越往北偏，反之颱風較小結構較集中則有越往南偏向的現象。在桃芝颱風的個案中，使用 Grell 積雲參數化，無論是路徑、強度或是結構特徵，均可得到較佳的結果。Grell 積雲參數化是類似於 Arakawa- Shubert 參數化，即利用準平衡（Quasi-Equilibrium）的假設，但僅考慮一深雲（Deep Cloud），且大氣加熱和加溼垂直剖面是由上升流、下衝流、補償運動所決定，並未考慮逸入作用。

本計畫希望藉由數值模式預報法的合理性，合併統計預報的穩定及重現性的優點，改善侵台颱風降雨預報技術，並將其成果落實於氣象局現有之颱風預報作業程序及作業環境可供實際作業參考。整體而言，本計畫之全程目的在配合中央氣象局颱風預報作業之需求，完成下列三項工作，分別為（一）、應用現有動力模式（主要為 WRF），進行歷史侵台颱風之中尺度（鄉鎮尺度）降雨數值模擬。（二）、建立侵台颱風中尺度（鄉鎮尺度）降雨之動力統計預報指引系統。（三）、颱風中尺度降雨之動力統計預報指引系統作業化。

全程計畫預計三年完成，本年計畫為第一年計畫，工作重點共有以下兩項：

1. 應用現有動力模式（主要為 WRF），進行歷史侵台颱風中尺度（鄉鎮尺度）降雨之數值模擬：

（1）收集 1989~2008 年侵台颱風之全球網格分析資料，及該時段可用之其他觀測資料（如 QuikSCAT 等），以進行動力模式之數值模擬。

（2）針對近 20 年第二類及第三類路徑之侵台颱風個案，應用現有動力模式（主要為 WRF）進行空間解析度能解析台灣城鄉尺度之數值模擬，最高網格解析度為 5 公里或 6 公里，以解析鄉鎮尺度。此外，本計畫亦嘗試利用其他觀測資料（如 QuikSCAT 等）進行資料同化，以求得最接近實際觀測之模擬結果，稱之控制組模擬。並將所有控制組模擬結果，與實際觀測結果進行差異評估，以了解動力模式對本年度模擬個案之預報能力。

（3）依控制組設定，以初始環境或物理過程為變因，合理模擬多組的系集成員（ensemble members），以獲得類似環境下全台的模擬雨量分佈。由於歷史個案數較少，為了獲得類似環境下，各種不同影響因子之全台的模擬雨量分佈，本計畫將嘗試以不同初始條件、參數化設定及不同渦漩植入方式等方法，設定多組系集成員進行模擬。由陳（2004）的敏感度實驗顯示，颱風結構大小對於路徑有顯著的影

響，且有定性的關係。以西行颱風為例，當颱風環流越大，越早感受到地形的影響，因此，較早產生偏向；而颱風環流較小較集中時，如 2001 年的桃芝颱風，於登陸前 4 小時才感受到地形的影響，導致其突然偏轉的現象。不同積雲參數化亦將顯著影響颱風結構，並進而影響颱風路徑。測試不同積雲參數化的結果顯示，採用 BM(Betts-Miller, 1986) 積雲參數化時，颱風較大且結構較鬆散，其路徑較往北偏；採用 GR(Grell, 1994) 積雲參數化時，颱風較小且結構較集中，其移動路徑有往南偏向的現象。因此，本計畫將利用此系集模擬之預報結果，累積歷史個案之模擬結果，以作為未來建立統計模式指引之歷史資料。

2. 建立侵台颱風、鄉鎮尺度降雨之動力統計預報指引系統：

(1) 本項工作在第一年為先期工作，主要應用本年度之模擬結果，初步建立第二及第三類型路徑颱風之統計降雨模式，此為本計畫第二年度，建立鄉鎮尺度降雨之動力統計預報指引系統的重要依據。本計畫將利用所重建之第二及第三類型路徑颱風之控制組及系集模擬組的降雨資料，做為歷史背景資料，並參考 Lee et al. (2006) 之方法，初步建立第 2 及第 3 類型路徑之颱風降雨統計模式。未來，亦可參考李 (2008) 之方法，引進類比法的概念，改進此統計模式。

(2) 將本年度所建立之動力統計預報模式之結果，與實際觀測及氣候法之預估結果進行差異評估，以了解此方法之預報能力，並做為未來最佳化此方法之依據。

根據預定進度，現階段的進度為完成歷史侵台颱風全球網格資料之收集，及第二、三類侵台颱風個案之控制組及系集模擬，同時針對模擬結果與實際觀測進行初步之比較評估；進一步，利用控制組與系集模擬之結果，建立第 2、3 類型路徑之動力統計模式，並將模式預報結果與實際觀測及氣候法之預估結果進行差異評估。目前我們已依原計畫，完成以上各項工作。

二、資料來源及數值模式

本年度計畫收集 1989~2008 年侵台颱風之全球網格分析資料，及該時段可用之其他觀測資料（如 QuikSCAT 等），以進行動力模式之數值模擬。

2.1 模式初始場

本計畫所使用之模式初始資料主要有三種，分別為 NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data、NCEP/NCAR Reanalysis Project (NNRP) 及 EC-TOGA-Advanced data。以下分別說明此三種資料之特性及其可用時段。

NCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data 的時間解析度為 6 小時，水平解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，垂直解析度共 26 層，分別為 1000、970、950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、500、450、400、350、300、250、200、150、100、70、50、30、20 及 10hPa，資料起始時間為 1999 年 7 月 30 日，包含高度場、溫度場、風場等 93 種變數。

NCEP/NCAR Reanalysis Project (NNRP) data 之時間解析度為 6 小時，水平解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，垂直則有 18 層；NNRP 的資料包含

了高度場、溫度場、相對濕度、風場等 80 種變數，其包含了 1480 年至今的所有時段，可補 NCEP FNL Operational Global Analysis data 之不足。

EC-TOGA-Advanced data 的時間解析度為 6 小時，水平解析度為 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ ，垂直共有 22 層，分別為 Surface、1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10、7、5、3、2、1hPa。

2.2 其他觀測資料

在模擬過程中，本計畫亦加入 NCEP ADP Operational Global Surface and Upper Air Observations 及 QuikSCAT 的風場資料，進行資料同化，使模擬初始場更接近真實環境。

NCEP ADP Operational Global Surface and Upper Air Observations 包含陸地、海洋、探空及衛星資料，surface observations 的資料涵蓋了 1975 年 2 月 10 日至 2007 年 2 月 28 日的時段，upper air observations 的資料時段則為 1972 年 12 月 20 日至 2007 年 2 月 28 日。其中 surface observations 包含了陸地及船舶的觀測資料，而 upper air observations 則為飛機、探空及衛星的觀測資料。

QuikSCAT 衛星繞行軌道距地面約 801 公里，繞地球一周的時間

約 101 分鐘，對同一區域每天有兩次掃描(Ascending 及 Descending)，掃描之帶寬約 1800 公里，空間解析度約 25x25 公里，時間解析度約 12 小時。此衛星主要的觀測任務是在所有的天氣條件下，測量全球近海表面之風向與風速。本計畫將 QuikSCAT 風場資料同化至模式初始場中，使位於洋面之颱風中心的位置與移動更接近實際觀測。

2.3 數值模式簡介

本計畫主要使用 WRF V2.2 及 V3.0.1 (Weather Research and Forecasting Model, Version 2.2 and Version 3.0.1)，進行歷史颱風個案之數值模擬。若利用 WRF 模式無法模擬出該颱風個案之控制組模擬時，則嘗試以 MM5 V3 (The Fifth-Generation NCSR/Penn State Mesoscale Model Version 3)，進行該個案之模擬。

WRF 模式是為了學術研究及逐日天氣預報需要所設計的新一代中尺度數值天氣預報系統，此模式之研發團隊包括美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR)、美國海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)、美國國家環境預報中心 (National Center for Environmental Prediction, NCEP)、美國預報系統實驗室 (Forecast Systems Laboratory, FSL)、美國海軍研究實驗室 (Naval Research Laboratory)、奧克拉荷馬大學

(Oklahoma University) 及聯邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA)。WRF 模式可用來模擬理想大氣和真實大氣的變化情形，因此在側邊界條件有提供理想個案（週期性邊界、對稱性邊界及開放性邊界）和真實個案給使用者選擇；WRF 模式架構主要可分為前處理系統（pre-processing）、系統核心程式（WRF Model）及後處理系統（post-processing）三部分。WRF 前處理系統包含選定模擬區域、匯入初始場資料以及將資料水平內插至模擬區域等三個步驟；系統核心程式則為模式進行計算的主程式所在，其具有多個動態核心，能透過平行計算模擬真實個案或理想實驗，對於真實個案更能進一步使用 3 維資料同化 (3DVAR) 技術加入觀測資料 (D. M. Barker et al., 2004)；後處理系統為模式輸出的分析處理，可使用 RIP、GrADS、NCAR Graphics 及 Vis5D 等繪圖軟體，針對 WRF 模式之輸出結果繪製各種氣象場。

MM5 模式屬於三維空間的非靜力平衡原始方程模式，使用追隨地勢座標 (σ -coordinate)，容許多重的巢狀網格 (Nested Domains) 模擬，其網格架構及物理方法，具有高度的選擇性，對於中尺度對流系統及颱風內部之對流結構演變，都有相當合理且不錯的模擬結果。MM5 模式是由數個模組所組成，圖 2-1 為模式系統的流程圖，圖中顯示各個輔助程式的順序及資料流向。其中，TERRAIN、REDRID、

little_r/RAWINS 及 INTERP 模組為資料前置處理系統，目的在建立模式積分所需的初始場邊界資料，而 MM5 主程式部分則可依據模擬的需求，選擇降水物理過程、地表能量收支、地表邊界層處理和大氣輻射物理過程之各項參數化法來進行時間積分。

2.4 WRF 模式設定

在 WRF 模式的設定方面，本研究使用三層巢狀網格（圖 2-2），最外層網格間距 45（或 54）公里，涵蓋範圍 8145 公里×5445 公里（或 9774 公里×6534 公里）（181 點×121 點），中心網格位於 25°N，115°E；第二、三層網格之水平間距分別為 15（或 18）公里及 5（或 6）公里，涵蓋範圍為 3165 公里×2715 公里（或 3798 公里×3258 公里）（211 點×181 點）及 1205 公里×1205 公里（或 1446 公里×1446 公里）（241 點×241 點）。在垂直方向使用 σ 座標，共 31 層。地形經緯度則採用麥卡托投影。最外層網格之側邊界條件，來自實際客觀分析資料，以 Nudging 方式處理粗細網格的側邊界條件，較細網格側邊界由其上一層網格（母網格）提供。模式中同時使用雙向回饋（Two-way Interactive）的功能，使較細網格的模擬結果可反饋至上一層網格。

在模式參數化的設定方面，除雲微物理參數化及積雲參數化隨每個颱風個案而改變之外，邊界層參數化使用 YSU scheme，地表土壤

使用 thermal diffusion scheme，即是將預報地面溫度與土壤溫度分成 1、2、4、8 及 16cm 五層做處理。在模式的積分時間方面，每個歷史颱風個案皆由初始時間進行 96 小時積分；若實際觀測之颱風移動速度較慢，才考慮將模擬時間拉長。

2.5 MM5 模式設定

在 MM5 模式的設定方面，同樣使用三層巢狀網格（圖 2-3），各層網格涵蓋範圍、網格解析度、中心位置以及投影法之設定均與使用 WRF 模式時相同。垂直方向使用 σ 座標，共 23 層（ $\sigma = 0.99, 0.98, 0.96, 0.93, 0.89, 0.85, 0.80, 0.75, 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40, 0.35, 0.30, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10, 0.05$ ）。最外層網格之側邊界條件，亦來自實際客觀分析資料，以 Nudging 方式處理粗細網格的側邊界條件，較細網格側邊界由其母網格提供。模式中亦同時使用雙向回饋（Two-way Interactive）的功能，使較細網格的模擬結果可反饋至上一層網格。

模式參數化設定方面，除雲微物理參數化及積雲參數化隨每個颱風個案改變之外，上邊界採用 Cloud-radiation 輻射參數化，下邊界則使用高解析度的 Blackadar 邊界層參數化（Blackadar, 1979）。每個歷史颱風個案的積分時間設定，亦與使用 WRF 模式時相同。

三、歷史個案控制組模擬結果分析

本計畫本年度完成近 20 年（1990~2009 年），第二類與第三類路徑侵台颱風個案（總計 20 個）之數值模擬，其中包含 1 組控制組與 11 組系集預報模擬；為使模擬結果具代表性，控制組模擬之颱風於侵台期間最大累積雨量值與觀測雨量值比較之誤差須在 25% 以內。

由於模擬之颱風個案移動速度可能偏快或偏慢，而颱風降雨主要發生在陸上颱風警報期間，故本研究以模擬之颱風中心，進入至移出中央氣象局發布該颱風個案陸上颱風警報範圍之時段，做為模擬個案之侵台期間（圖 3-1）。計算觀測最大雨量方面，由於在強風且強降雨情況下，自動雨量站觀測可能出現問題，為避免單一最大雨量極值可能不具代表性，因此本研究選取觀測最大降雨發生地區中，前三大雨量站之平均值，作為觀測雨量最大值。而模擬之最大雨量，是將網格點之雨量資料內插至雨量站，並以最大雨量發生地區前三大雨量站之平均值，作為模擬之最大雨量。

本年度研究針對 8 個第二類路徑及 12 個第三類路徑之侵台颱風，完成共 20 個個案之控制組模擬，並將致災較嚴重之個案模擬結果分析詳述於後。所有模擬個案在模擬時間內的平均路徑誤差、路徑誤差隨時間之變化，及各颱風控制組與系集成員模擬路徑圖，則列於附件

一以供參考。

3.1 第二類路徑侵台個案模擬結果

表 3-1 為近 20 年第二類路徑之侵台颱風個案列表，目前已完成 1990 年楊希 (Yancy)、1996 年賀伯 (Herb)、2006 年碧利斯 (Bilis)、2007 年柯羅莎 (Krosa)、2008 年卡玫基 (Kalmaegi)、2008 年辛樂克 (Sinlaku)、2008 年薔蜜 (Jangmi) 及 2009 年莫拉克 (Morakot) 等 8 個颱風之控制組模擬。以下列舉數個致災較嚴重之個案分別說明各颱風之模式設計、模擬之雨量及模擬雨量之誤差。

(1) 賀伯颱風 (Herb, 1996)

1996 年 7 月 29 日 11 時 30 分，中央氣象局發布賀伯 (Herb) 颱風之海上警報，緊接著於當日 23 時 20 分發布陸上颱風警報。根據陸上颱風警報時間，本計畫利用 WRF 模擬賀伯颱風侵台期間之降雨，模式初始時間為 1996 年 7 月 29 日 20 時 (12UTC)，使用之雲微物理參數化為 WSM 5-class scheme，積雲參數化為 Simplified Arakawa-Schubert。圖 3-2 為賀伯颱風控制組模擬路徑結果，顯示模擬之颱風路徑於登陸前始出現偏差，登陸及出海地點稍微偏南。

賀伯颱風於陸上颱風警報期間降雨方面，主要降雨分布在中部山

區（圖 3-3a）；而 WRF 模式可合理模擬賀伯颱風於中部山區之最大累積降雨，且對宜蘭地區之較大累積降雨亦有合理掌握（圖 3-3b）。由於當時並無自動雨量站資料，因此無法針對中北部山區之降雨進行比較。進一步分析賀伯颱風陸上警報期間之觀測雨量值及模擬雨量值，結果顯示中部山區之模擬最大雨量值為 1169.1 毫米，而觀測之最大累積雨量值為 1116.8 毫米，兩者誤差約 4.7%，結果符合標準範圍。

(2) 柯羅莎颱風 (Krosa, 2007)

中央氣象局於 2007 年 10 月 4 日 17 時 30 分發布柯羅莎(Krosa)颱風之海上颱風警報，並於 5 日 5 時 30 分發布陸上颱風警報。本計畫利用 WRF 模擬柯羅莎颱風侵台期間之降雨，模式初始時間為 2007 年 10 月 4 日 8 時 (00UTC)，使用之雲微物理參數化為 WSM 5-class scheme，積雲參數化為 Grell-Devenyi ensemble scheme。

圖 3-4 為柯羅莎颱風之控制組模擬路徑結果，圖中顯示模擬之颱風移速較實際觀測快，且登陸地點偏南。柯羅莎颱風於陸上警報期間降雨方面，最大降雨區發生於宜蘭地區（圖 3-5a）；而 WRF 模擬之降雨對於宜蘭、北部山區及中南部山區等較大累積降雨之地區有合理掌握，但對於中南部山區的降雨則明顯高估（圖 3-5b）。進一步分析柯羅莎颱風陸上颱風警報期間之模擬及觀測雨量顯示，觀測之最大累

積雨量值為 1079.3 毫米，而模擬結果之最大雨量值為 1108 毫米，兩者相差僅 2.7%。

(3) 卡玫基颱風 (Kalmaegi, 2008)

中央氣象局於 2008 年 7 月 16 日 14 時 30 分發布卡玫基 (Kalmaegi) 颱風海上颱風警報，並於 17 日 2 時 30 分發布陸上颱風警報。模式初始時間為 2008 年 7 月 16 日 20 時 (12UTC)，使用之雲微物理參數化為 WSM 5-class scheme，積雲參數化為 Beets-Miller-Janjic scheme；結果顯示模擬之颱風移動速度偏快，但登陸與出海位置與實際觀測非常接近 (圖 3-6)。

卡玫基颱風於陸上警報期間降雨方面，主要的降雨分布在中南部山區 (圖 3-7a)；而模擬之主要降雨分布地區較實際觀測之最大累積降雨區略微偏向中央山脈，且略顯低估，中部山區之降雨量則明顯高估 (圖 3-7b)。進一步分析卡玫基颱風陸上颱風警報期間之觀測及模擬雨量顯示，觀測之最大累積雨量值為 908.6 毫米，而模擬結果之最大累積雨量值為 716.9 毫米，兩者差距為 21.1%。

(4) 辛樂克颱風 (Sinlaku, 2008)

圖 3-8 為 2008 年辛樂克 (Sinlaku) 颱風之控制組模擬路徑結果；

圖中顯示 WRF 模擬之颱風登陸地點與實際觀測接近，但並未掌握到颱風轉向之過程，因此出海地點不盡相同。模式初始時間為 2008 年 9 月 11 日 20 時 (12UTC)，使用之雲微物理參數化為 WSM 6-class scheme，積雲參數化為 Grell-Devenyi ensemble scheme。中央氣象局於 9 月 11 日 8 時 30 分發布海上颱風警報，並於 9 月 12 日 5 時 30 分發布陸上颱風警報。辛樂克颱風於陸上颱風警報期間之降雨方面，主要降雨區位於竹苗山區、中南部山區及宜蘭地區，最大降雨發生於竹苗山區（圖 3-9a）；而模擬之雨量對於竹苗山區與宜蘭地區有合理掌握，但中南部山區之降雨量則是大幅低估（圖 3-9b）。分析辛樂克颱風陸上警報期間，台灣竹苗山區之模擬及觀測雨量，發現模擬之最大累積雨量值為 1293.4 毫米，而觀測之最大雨量值為 1497.7 毫米，兩者之誤差為 13.6%。

(5) 薔蜜颱風 (Jangmi, 2008)

圖 3-10 為 2008 年薔蜜 (Jangmi) 颱風之控制組模擬路徑結果，顯示 WRF 模擬之颱風登陸與出海之地點皆較實際觀測偏南。模式初始時間為 2008 年 9 月 27 日 20 時 (12UTC)，使用之雲微物理參數化為 WSM 5-class scheme，積雲參數化為 Kain-Fritsch scheme，中央氣象局於 9 月 26 日 23 時 30 分發布海上颱風警報，並於 27 日 8 時 30

分發布陸上颱風警報。

由於模式初始時間定於薔蜜颱風陸上警報前時，對路徑的掌握度較差，因此累積雨量時間改為由模式初始時間開始累積至薔蜜颱風陸上警報結束。雨量比較結果顯示，實際觀測之降雨分布於宜蘭地區與中南部山區，且最大雨量發生於宜蘭地區（圖 3-11a）；而 WRF 模式低估了薔蜜颱風在台灣宜蘭地區所造成之降雨，中南部山區之降雨則未有理想模擬結果（圖 3-11b）。進一步分析薔蜜颱風模式初始時間至警報結束期間，模擬與觀測之最大降雨區皆落在宜蘭地區，模擬之最大累積雨量為 563.3 毫米，而觀測之最大雨量值為 625.2 毫米，兩者誤差為 9.9%。

(6) 莫拉克（Morakot）

中央氣象局於 2009 年 8 月 5 日 20 時 30 分發布莫拉克(Morakot) 颱風海上颱風警報，並於 6 日 8 時 30 分發布陸上颱風警報。由於 WRF 並未模擬出莫拉克颱風之理想降雨成果，因此嘗試使用 MM5 模式，發現具有較佳之模擬結果。圖 3-12 為莫拉克颱風之控制組模擬路徑結果，模式初始時間為 2009 年 8 月 6 日 8 時 (00UTC)，雲微物理參數化使用 Warm rain，積雲參數化使用 Kain-Fritsch II scheme；圖中顯示模擬之颱風登陸位置較實際觀測偏北，但出海位置則較實際

觀測偏南。

圖 3-13 為莫拉克颱風於陸上警報期間之實際雨量與模式雨量的降雨分布圖，顯示 MM5 模式可以合理模擬南部山區之最大降雨，但於中部山區之模擬結果仍有所不足。進一步分析莫拉克颱風陸上颱風警報期間之模擬及觀測雨量發現，模擬之最大累積雨量值為 2548.0，而同一地區之觀測最大累積雨量值為 2766.6，兩者誤差為 7.9%。

3.2 第三類路徑侵台個案模擬結果

表 3-2 為近 20 年第三類路徑之侵台颱風個案列表，目前已完成 1990 年黛特 (Dot)、1997 年安珀 (Amber)、1998 年奧托 (Otto)、2000 年碧利斯 (Bilis)、2001 年桃芝 (Toraji)、2005 年海棠 (Haitang)、2005 年泰利 (Talim)、2005 年龍王 (Longwang)、2006 年凱米 (Kaemi)、2007 年梧提 (Wutip)、2007 年聖帕 (Sepat) 及 2008 年鳳凰 (Fingwong) 等 12 個颱風之控制組模擬。以下列舉數個致災較嚴重之個案分別說明各颱風之模式設計、模擬之雨量及模擬雨量之誤差。

(1) 碧利斯颱風 (Bilis, 2000)

中央氣象局於 2000 年 8 月 21 日 8 時 25 分發布碧利斯 (Bilis) 颱風之海上颱風警報，並於 21 日 14 時 45 分發布陸上颱風警報。本

計畫利用 WRF 模擬碧利斯颱風侵台期間之降雨，模式初始時間為 2000 年 8 月 20 日 8 時 (00UTC)，雲微物理參數化使用 WSM 6-class scheme，積雲參數化使用 Grell-Devenyi ensemble scheme。

圖 3-14 為碧利斯颱風之控制組模擬路徑結果，顯示模擬之颱風移動速度略較實際觀測為慢。而在降雨的模擬結果方面，結果顯示，碧利斯颱風陸上警報發布期間，實際觀測之主要降雨出現在台灣東部地區（圖 3-15a），且模擬的結果與實際觀測相當一致（圖 3-15b）。

進一步分析碧利斯颱風陸上颱風警報期間之模擬及觀測雨量發現，模擬之最大降雨發生在花蓮地區，降雨量為 906.8 毫米，而觀測之最大降雨發生地區較模擬略微偏北，最大累積雨量為 951.5 毫米，兩者之差異僅 4.7%。此結果顯示，利用 WRF 模擬之碧利斯颱風於陸上警報發布期間之累積降雨，與實際觀測結果相當接近。

(2) 桃芝颱風 (Toraji, 2001)

圖 3-16 為 2001 年桃芝 (Toraji) 颱風之控制組模擬路徑結果，圖中顯示 WRF 模擬之鳳凰颱風登陸地點較實際觀測偏北，而出海地點則較實際觀測偏南。模式初始時間為 2001 年 7 月 28 日 20 時 (12UTC)，雲微物理參數化使用 WSM 5-class scheme，積雲參數化使用 Kain-Fritsch scheme。中央氣象局於 7 月 28 日 5 時 25 分發布海

上颱風警報，並於當日 11 時 10 分發布陸上颱風警報。

桃芝颱風於陸上颱風警報期間降雨方面主要降雨分布於中南部山區（圖 3-17a）；而 WRF 模擬之最大降雨區與實際觀測相當接近，但中部山區則較為低估（圖 3-18b）。分析桃芝颱風陸上颱風警報期間，南部山區之最大模擬及觀測雨量發現，模擬之最大累積雨量值為 685.4 毫米，而觀測之最大累積雨量值為 716.2 毫米，兩者之誤差約 4.3%。

(3) 海棠颱風（Haitang, 2005）

中央氣象局於 2005 年 7 月 16 日 14 時 30 分發布海棠(Haitang) 颱風之海上颱風警報，並於 16 日 23 時 30 分發布陸上颱風警報。本計畫利用 WRF 模擬海棠颱風侵台期間之降雨，模式初始時間為 2005 年 7 月 16 日 8 時(00UTC)，雲微物理參數化使用 WSM 6-class scheme，積雲參數化使用 Betts-Miller-Janjic scheme。

圖 3-18 為海棠颱風之控制組模擬路徑結果，圖中顯示 WRF 模式所模擬之海棠颱風，登陸地點較實際觀測偏南。海棠颱風於陸上颱風警報期間降雨方面，主要降雨區位於中南部山區與宜蘭地區，最大降雨區為中南部山區（圖 3-19a）；WRF 模式可合理模擬發生於宜蘭及中南部山區之較大累積降雨，但高估了東北部山區的降雨（圖

3-19b)。

進一步分析海棠颱風陸上颱風警報期間之模擬及觀測雨量發現，觀測之最大累積降雨為南部山區之 1710.7 毫米，而同一地區之模擬最大雨量值為 1589.4 毫米，觀測與模擬之最大累積降雨量差異約為 7.1%。

(4) 聖帕 (Sepat, 2007)

中央氣象局於 2007 年 8 月 16 日 8 時 30 分發布聖帕 (Sepat) 颱風海上颱風警報，並於當日 20 時 30 分發布陸上颱風警報。圖 3-20 為聖帕颱風之控制組模擬路徑結果，模式初始時間為 2007 年 8 月 16 日 8 時 (00UTC)，雲微物理參數化使用 WSM 5-class scheme，積雲參數化使用 Kain-Fritsch scheme，同時利用 QuikSCAT 風場資料進行 3 維資料同化；圖中顯示模擬之颱風登陸位置較實際觀測偏南，但出海位置則與實際觀測非常接近。

聖帕颱風於陸上颱風警報期間降雨方面，主要降雨分布在宜蘭地區與南部山區 (圖 3-21a)；而 WRF 模擬之主要降雨分布與實際觀測相當一致，但高估了宜蘭地區的累積降雨，南部山區的累積降雨則略微低估 (圖 3-21b)。進一步分析聖帕颱風陸上颱風警報期間之模擬及觀測雨量發現，模擬之最大累積雨量為 931.4 毫米，而同一地區之觀

測最大累積雨量值為 958.7 毫米，兩者差距為 2.8%。

(5) 鳳凰颱風 (Fungwong, 2008)

圖 3-22 為 2008 年鳳凰(Fungwong)颱風之控制組模擬路徑結果，圖中顯示，WRF 模擬之鳳凰颱風登陸與出海之地點，與實際觀測幾乎一致。模式初始時間為 2008 年 7 月 26 日 8 時 (00UTC)，雲微物理參數化使用 WSM 5-class scheme，積雲參數化使用 Kain-Fritsch scheme，同時利用 QuikSCAT 風場資料進行 3 維資料同化；中央氣象局於 7 月 26 日 11 時 30 分發布海上颱風警報，並於 27 日 2 時 30 分發布陸上颱風警報。

鳳凰颱風於陸上颱風警報期間降雨方面，主要降雨位於宜蘭地區 (圖 3-23a)；而 WRF 模式所模擬之主要降雨分布型態與實際觀測相當一致 (圖 3-23b)。分析鳳凰颱風陸上颱風警報期間，宜蘭地區之最大模擬及觀測雨量發現，模擬之最大累積雨量值為 620.2 毫米，而觀測之最大雨量值為 789 毫米，兩者之誤差約 21.4%。此結果顯示，利用 WRF 模式可合理模擬鳳凰颱風侵台期間之降雨。

3.3 小結

本年度計畫完成第二類路徑 (8 個) 與第三類路徑 (12 個) 共

20 個颱風個案之控制組與系集預報模擬。與實際降雨資料比對方面，由於 1996 年時並無自動雨量站資料，故賀伯颱風無法針對北部與南部山區進行比較；另外，2008 年薔蜜颱風與辛樂克颱風之轉向過程未能完全掌握，導致模擬之降雨分布與實際狀況差異較大。

此外，本研究針對歷史個案莫拉克（2009）之模擬，使用 WRF 模擬之累積雨量不盡理想。嘗試使用 MM5 進行模擬後，得到較為接近實際雨量值之結果，在嚴重致災的南部山區，模擬之最大雨量亦僅低估 7.9%。而早年的颱風，由於資料品質問題，模擬結果不如預期般理想，而近幾年的模式初始場資料品質較佳，故颱風個案經模式設計後，模擬雨量誤差值均在 25% 以內，通過檢核標準。

表 3-3 為所有控制組模擬之最佳參數化組合設定及模擬結果，綜合來說，第 3 類型路徑颱風的降雨模擬結果，普遍較第 2 類型路徑之颱風個案好，推測造成此結果之原因可能為台灣的地形鎖定作用，在第 3 類型路徑之颱風較為明顯，此結果可供預報員在往後的預報作業上參考。

四、侵台颱風降雨動力統計模式

本計畫希望藉由合併數值動力模式預報法動力過程一致的合理性，及統計預報法之穩定與重現性的優點，建立侵台颱風之降雨動力統計模式，並透過數值模式高解析度的優點，克服測站地區資料缺乏的問題，以達到協助氣象局發展城鄉尺度颱風降雨預報的任務需求。在降雨資料及模式建立方法方面，本計畫利用所重建之第二及第三類型路徑颱風之控制組及系集模擬組的降雨資料，做為背景資料，並參考 Lee et al. (2006) 之方法，初步建立第二及第三類型路徑之颱風降雨動力統計模式。之後，則利用相依個案和獨立個案，初步評估此方法與氣候模式評估結果之差異，做為未來進一步發展之基礎。

4.1 系集模擬成員之選取及動力統計模式之建立

本計畫今年度完成 1990~2009 年，共 20 個第二及第三類型路徑，歷史侵台颱風個案之控制組模擬，由於個案數較少，為獲得類似環境下，各種不同影響因子之全台模擬雨量分布，亦設定多組系集成員進行模擬。

在系集成員的選擇方面，本計畫首先以所有控制組模擬之雲微物理 (WSM 5-class scheme、WSM 6-class scheme) 及積雲參數化 (Kain-Fritsch scheme、Grell-Devenyi ensemble scheme、

Betts-Miller-Janjic scheme) 設定為變數進行模擬，並挑選其中模擬雨量與實際觀測差異最小的三組成員，加上控制組，進一步利用不同的兩組初始時間建立系集成員。因此，除了控制組之外，每個颱風個案都可得到 11 組系集成員，表 4-1 為所有颱風個案控制組雨系集模擬組之模擬設定列表。

進一步，本計畫參考 Lee et al. (2006) 之方法，建立動力統計預報模式，由於此模式將應用於台灣地區之城鄉尺度，故預報網格解析度設定為 0.05 度，範圍則涵蓋整個台灣地區，為北緯 21.5-25.5 度、東經 120-122 度，共 3200 個網格點。因此，如 Lee et al. (2006) 之方法，每個網格可視為一個測站，皆有一降雨潛勢圖，以決定颱風在不同網格區域時，該網格點之時雨量，故總共有 3200 張降雨潛勢圖。

而在歷史資料之建立方面，背景資料範圍為北緯 19-27 度、東經 118-126 度，由於動力模式之網格設定與此背景資料之範圍不同，故須先將模式之第三層網格資料內插至此範圍；其次，利用所有模式之模擬結果（包含控制組及系集模擬組結果），計算背景資料範圍內，每 0.5x0.5 度的網格中，當歷史颱風個案通過該網格時，每個預報網格點（如同雨量站）的時雨量平均值、最大值、最小值、颱風過境次數及標準偏差。進一步，利用雙線性內插之方法，將上述時雨量平均

值內插至 0.1×0.1 度的經緯度網格內，以得到一組空間分布均勻的網格資料。

實際使用動力統計模式之方法和 Lee et al. (2006) 相同，首先必須找出颱風中心位置(根據中央氣象局預報之颱風定位)所在的網格，然後在預報網格的定量降雨預報圖上，找到颱風於該網格位置時相對應的時雨量，即為該預報網格之降雨預估值，而累積雨量即為沿颱風路徑之逐時雨量累加。

4.2 動力統計模式之校驗

本計畫利用所建立之第二及第三類型路徑颱風降雨動力統計模式，針對近 20 年所有第二及第三類型路徑之颱風個案，進行陸上颱風警報期間，所有測站之累積雨量預估。同時，配合觀測資料及 Lee et al. (2006) 所發展之氣候模式的降雨預估結果，進行差異評估，以了解此動力統計模式之預報能力，並做為將來最佳化此模式之依據。

本計畫共完成近 20 年 (1990~2009 年) 20 個第二及第三類型路徑颱風個案之模擬，故將完成模擬之颱風個案稱為相依個案，其餘未模擬之個案則稱為獨立個案，本計畫將分別針對相依及獨立個案進行模式校驗。而在 Lee et al. (2006) 之氣候模式方面，本計畫將獨立個案扣除後，重新計算背景資料，以便與動力統計模式進行比較。此外

由於 Lee et al. (2006) 之氣候模式的背景資料時段僅到 2006 年，因此在此進行氣候模式的評估校驗時，2007~2009 年之颱風個案並未列入比較，以求資料時段之一致性。

4.2.1 校驗方法

由於本計畫所建立的動力統計模式之預報標的為網格點時雨量值和累積雨量值，為方便校驗，將預報之網格點累積雨量內插至雨量站，做為模式估計值，再將此模式估計值與觀測值及氣候模式預估結果進行比較。

本計畫使用列聯表（表 4-2）分析方法計算預報降水得分，比較台灣地區各雨量站的預估及觀測總累積雨量，以了解利用動力統計降雨模式及氣候模式預估總累積雨量之能力。首先選定降雨校驗之門檻值，而 a 表示當預報某測站降雨低於門檻值，且觀測到該測站降雨低於門檻值之次數（Correct Rejection）；b 代表當預報某測站之降雨低於門檻值，但觀測到該測站降雨超過門檻值的次數（Miss）；c 為當預報某測站降雨超過門檻值，但觀測到該測站降雨低於門檻值的次數（False Alarm）；d 則表示當預報某測站之降雨超過門檻值，且觀測到該測站降雨超過門檻值的次數（Hit）。在門檻值的設定方面，本計畫計算近 20 年第二及第三類型路徑之歷史颱風個案，其陸上警報發布

的時間平均約為 57 小時 (約 2~3 天)，因此我們參考中央氣象局雨量分級定義，選定陸上警報期間累積雨量校驗的降雨門檻值分別為 100 毫米、260 毫米、400 毫米及 700 毫米 (即取日雨量值之兩倍)。

根據列聯表，使用四個評估指標來校驗降水預報，分別為偏倚評分 (Bias Score)、可偵測機率 (Probability of Detection, POD)、誤報率 (False Alarm Ratio, FAR) 及 T 得分 (Threat Score, TS)。透過列聯表之評估指標，可依照不同的降雨門檻值，分別了解颱風降雨氣候模式在不同降雨門檻值之預報情形。

(1) 偏倚評分 (Bias Score)

$$BS = \frac{c + d}{b + d}$$

針對某一降水門檻值，評估模式預報出現的頻率；BS 大於 1 表示過度預報，小於 1 表示不足預報。

(2) 可偵測機率 (Probability of Detection, POD)

$$POD = \frac{d}{b + d}$$

正確預報降雨大於門檻值之次數，與觀測降雨大於門檻值總次數之比值；若 POD 值越接近 1，則正確預報比例越高。

(3) 誤報率 (False Alarm Ratio, FAR)

$$FAR = \frac{c}{c+d}$$

錯誤預報降雨大於門檻值之次數，與預報降雨大於門檻值總次數之比值；若 FAR 值越接近 1，則錯誤預報比例越高。

(4) T 得分 (Threat Score, TS)

$$TS = \frac{d}{b+c+d}$$

正確預報降雨大於門檻值之次數，與觀測或預報中降雨超過門檻值之總次數的比值，排除了觀測與預報降雨皆沒有超過門檻值的情形；無預報能力時，TS 為 0，完美預報時，TS 為 1。

除列聯表之外，本計畫亦利用計算統計參數進行校驗。首先，假設觀測雨量為 O_i ，預報雨量為 F_i ，資料點數為 N ，計算下列統計參數：

(1) 平均降雨率 (Mean Rain Rate)

觀測及預報降雨在所有測站上降雨率之平均

$$\bar{O} = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{N}, \quad \bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^N F_i}{N}$$

(2) 最大降雨率 (Maximum Rain Rate)

觀測及預報之最大降雨

(3) 平均絕對誤差 (Mean Absolute Error)

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

(4) 均方根誤差 (Root Mean Square Error)

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

(5) 相關係數 (Correlation Coefficient)

其中，平均降雨率及最大降雨率，主要反應觀測及預報場之整體降雨量值的差異；而平均絕對誤差、均方根誤差及相關係數，主要則反應觀測及預報場之降雨分布差異。

4.2.2 校驗結果

在相依個案的校驗結果方面，表 4-3 及圖 4-2 為測站整體在不同門檻值的校驗結果。由偏倚評分的結果來看，隨著門檻值提高，氣候模式預報結果由些微低估(BS=0.96)逐漸轉變為嚴重低估(BS=0.08，門檻值=700 毫米)，而動力統計模式則由些微高估(BS=1.35)逐漸

轉變為低估 ($BS=0.6$ ，門檻值=700 毫米)。而在 POD 的表現上，動力統計模式的表現皆較氣候模式的表現好，且隨著降雨門檻值提高，動力統計模式和氣候模式的差距逐漸增大。但同時，動力統計模式的誤報率卻也較氣候模式來得高，且差距亦隨門檻值增加而變大。在 TS 的表現上，動力統計模式的表現較氣候模式的表現好，在門檻值為 700 毫米時，動力統計模式的 TS 值尚維持在 0.33，但氣候模式則僅剩 0.08。

圖 4-1 分別為利用氣候模式(圖 4-1a)及動力統計模式(圖 4-1b)對相依颱風個案，所有測站之總累積雨量的預估值(縱軸)相對於觀測值(橫軸)之分佈。結果顯示，利用氣候模式及動力統計模式所預估之測站累積總雨量，其與實際觀測之相關係數分別為 0.79 及 0.7。兩者相當接近，但氣候模式很明顯有低估雨量的情形，而動力統計模式的預估結果則較為分散。表 4-4 為針對相依颱風個案，測站整體之各項統計參數的計算結果；結果顯示，就平均降雨率來看，動力統計模式為些微的高估，氣候模式則為低估。若不考慮 2007~2009 年之颱風個案動力統計模式的校驗結果，則可明顯看出動力統計模式對較大降雨的掌握較好；但相對的，動力統計模式的誤差也較氣候模式預估結果的誤差來得大。值得注意的是當考慮 2007~2009 年個案時，觀測之平均降雨率由未考慮時之 196 毫米提高為 243 毫米，而動力統計模

式估計之值則由 218 毫米提升為 246 毫米，僅差 3 毫米；顯示目前的動力統計模式在較大雨量的估計上，具相當大的參考價值，亦即未來採用動力統計的整合預報技術，若能持續發展，應有相當大的潛在應用價值。此外，動力統計模式的資料來自控制組和 11 個系集模擬，而系集模擬的結果和控制組應有相當差距，但整體而言，動力統計模式的平均預估值(246.2 毫米)和觀測值(242.7 毫米)竟然非常接近，表示目前的系集模擬所產生的基本資料檔，有相當高的參考價值。

表 4-5 及圖 4-4 為針對獨立個案，測站整體在不同門檻值的校驗結果。由於利用氣候模式及動力統計模式預估獨立個案的測站總累積雨量，當門檻值為 700 毫米時，兩模式皆未正確預報到，故不討論門檻值超過 700 毫米之結果。偏倚評分的結果顯示，當降雨門檻值為 100 毫米時，氣候模式些微高估測站總雨量 ($BS=1.15$)，而隨著門檻值提高則轉變為低估 ($BS=0.36$ ，門檻值=700 毫米)，但動力統計模式則不論門檻值為何，皆高估了測站的總累積雨量。然而，在 POD 及 FAR 的表現上，與相依個案的校驗結果一致：動力統計模式的 POD 表現在各個門檻值皆較氣候模式的表現好，但誤報率卻也較氣候模式來得高。而在獨立個案的 TS 表現上，則氣候模式與動力統計模式的表現差距不大。

圖 4-3 分別為利用氣候模式(圖 4-3a)及動力統計模式(圖 4-3b)對獨立颱風個案，所有測站之總累積雨量的預估值(縱軸)相對於觀測值(橫軸)之分佈。結果顯示，氣候模式明顯低估了獨立颱風個案的雨量，而動力模式則為明顯的高估(動力模式常有的特性)；而兩者的相關係數皆為 0.4，但動力統計模式的誤差則較氣候模式來得高。表 4-4 為針對獨立颱風個案，測站整體之各項統計參數的計算結果；結果顯示，不論就降雨量值(平均降雨率及最大降雨率)或降雨分布差異(平均絕對誤差、均方根誤差及相關係數)的結果來看，氣候模式的表現皆較動力統計模式的表現好。造成此種特性的原因，可能和獨立個案的組成有關；因獨立個案為動力模式不易模擬的個案，故建基於動力模式模擬資料為基礎的動力統計模式，其表現很可能會較差。

圖 4-5~圖 4-10 為本研究中 6 個獨立個案於陸上警報發布期間之降雨分布圖，其中 a 為觀測值、b 為氣候模式預估值、c 為動力統計模式預估值。圖 4-5 顯示，動力統計模式較氣候模式更高估了 1991 年愛麗(Ellie)颱風在北部山區造成的降雨，而在 1992 年寶莉(Pollt)颱風的預報結果則顯示(圖 4-7)，動力統計模式可修正氣候模式過度預報雨量的情形。圖 4-9 顯示，不論是氣候模式或動力統計模式，皆無法掌握 1994 年凱特琳(Caitlin)颱風在西南部地區造成的降雨。

4.3 小結

綜合以上的分析結果顯示，整體來看，動力統計模式對較大降雨的掌握能力較氣候模式好，但其預估結果與實際觀測的差異，卻較氣候模式來得大。推測此結果有一部分應是由系集模擬之資料所造成。本計畫利用系集模擬的方式增加背景資料，此方式可補足歷史個案不足的缺點，也可提供較細的降雨分布（尤其彌補缺乏雨量站區域的資料缺失），卻也會增加動力統計模式預估雨量與實際觀測之差異。

另一方面，動力統計模式雖可修正氣候模式容易低估雨量的情形，且在 POD 的表現上較氣候模式來得好，卻也須注意動力統計模式容易出現過度預報雨量的情形。因此，此種動力統計模式仍需進一步的分析和改進，透過瞭解模式特性（尤其是針對不同類型颱風），未來應可提升此種動力統計模式的應用價值。

五、總結與展望

本計畫本年度完成 1989~2009 年全球網格分析資料 (NCEP FNL data、NNRP 及 EC-TOGA-advanced data)、QuikSCAT 風場資料及 NCEP ADP 全球觀測資料之收集，並利用 WRF 及 MM5 模式完成 20 個歷史颱風個案之控制組及各 11 組系集模擬。進一步，利用所模擬之資料，初步建立第二及第三類型路徑之颱風降雨動力統計模式，並將模式預報結果，與觀測值及氣候模式之預估結果進行差異評估。

在模式的校驗方面，本計畫進一步利用列聯表，針對相依及獨立颱風個案，計算各別測站在不同門檻值之預報降水得分；同時計算各項統計參數，以了解觀測及預報場之整體降雨量值及降雨分布之差異。而除了動力統計模式，本計畫亦針對 Lee et al. (2006) 發展之氣候模式進行校驗，並將結果與動力統計模式進行比較。分析結果顯示，動力統計模式雖可修正氣候模式容易低估雨量的情形，且在 POD 的表現上較氣候模式來得好，卻須注意動力統計模式也容易出現過度預報雨量的情形。同時，動力統計模式較氣候模式更能掌握較大降雨的發生，但其預估結果與實際觀測的差異，卻較氣候模式來得大。值得注意的是當考慮 2007~2009 年個案時，觀測之平均降雨率由未考慮時之 196 毫米提高為 243 毫米，而動力統計模式估計之值則由 218 毫米提

升為 246 毫米，僅差 3 毫米；顯示目前的動力統計模式在較大雨量的估計上，具相當大的參考價值，亦即未來採用動力統計的整合預報技術，若能持續發展，應有相當大的潛在應用價值。再者，本動力統計模式整合了統計模式和動力模式的優點，提供鄉鎮尺度之颱風降雨預估，此為單純的氣候模式無法提供之資訊。

同時，本研究團隊分別於 2009 年 6 月 1 日及 10 月 26 日，召開了第一及第二次的工作會議，針對工作進度、個案模擬結果與研究方法，與氣象局相關人員進行討論與交換意見，會議紀錄如附件二。為求提升未來計畫的成果和實用性，本計畫決定在期末報告後針對第一年結果進行深入討論，做為修正第二年計畫的參考，故第三次工作會議預計於 2009 年 12 月 28 日召開。

本年度計畫完成第二及第三類型路徑之個案模擬，未來一年將持續完成其他路徑類型之個案控制組及系集組模擬。同時，將應用本年度建立動力統計預報模式的方法，建立其他路徑類型之動力統計預報模式，並參考李（2008）之方法，引進類比法的概念改進此動力統計模式。進一步，針對所建立之動力統計預報指引系統進行校驗評估，以確認建立之預報指引校驗結果，優於單純氣候延續法（CLIPER）之預報。

未來，將實際應用本計畫建立之動力統計預報指引系統，於侵台颱風之雨量預報，並針對預報結果進行評估，尤其是考量不同類型或特性颱風對模式評估結果的影響，以幫助改進此動力統計預報指引系統。進一步，將此預報指引系統與氣象局上線之作業系統結合，以建置新的颱風預報作業之程序及產品；而為了提供作業時之誤差評估，亦將進一步建置校驗系統。

整體而言，本計畫透過整合數值動力模式預報法之動力一致合理性，與統計預報的穩定與重現性之優點，改善侵台颱風降雨預報技術並提供做為鄉鎮尺度颱風降雨預報的參考工具。期望透過本計畫之持續執行，提供鄉鎮尺度颱風降雨預報的指引，以提升侵台颱風降雨預報的精密度及準確度。

六、致謝

承蒙中央氣象局對本計畫的支持，謹誌謝忱，同時感謝蔡德攸先生、許倍甄小姐、陳雨青小姐、陳柏孚先生、廖慎謙先生及馮天韻小姐在計畫執行期間的鼎力相助。

七、參考文獻

- 王時鼎、陳泰然、謝信良，1983：台灣颱風降雨特性及其預報研究(一)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，72-13 號，54 頁。
- 王時鼎、陳泰然、謝信良，1985：台灣颱風降雨特性及其預報研究(二)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，73-47 號，100 頁。
- 王時鼎，1992：侵台颱風路徑、強度、結構及風雨整合研究。國科會防災科技研究報告，80-73 號，285 頁。
- 李清勝，2007：颱風臨台路徑與侵台風雨預報技術發展暨預報實驗-子計畫：由台灣南方北上侵台颱風之分析、模擬與概念模式之發展（III）。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC 95-2625-Z-002-005-，共 117 頁。
- 李清勝，2008：颱風中尺度定量降雨預報技術之改進（I）。行政院國家科學委員會自然處永續學門防災科技研究報告，NSC96-2625-Z-002-004-，共 132 頁。
- 李清勝與林慧娟，1999：侵台歐菲莉颱風（1990）之數值模擬，大氣科學，27，235-256。
- 李清勝、羅英哲與張龍耀，2007：琳恩颱風（1987）與東北季風交互作用產生強降水之研究。大氣科學，35，p13-33。
- 陳熾竹，2004：桃芝颱風（Toraji，2001）侵台初期之分析與模擬，國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，103 頁。
- 喬森，1996：侵台颱風的 MM5 數值研究，中央大學大氣物理研究所碩士論文，60 頁。
- 葉天降、吳石吉與謝信良，1999：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究（一）預測方法與臺北颱風降水之預測校驗。大氣科學，27，395-411。

- 黃葳芃、王溫和、邱台光、陳嘉榮，2005：LAPS-MM5 於 2005 年梅雨季及颱風季的預報表現回顧，天氣分析與預報研討會論文編彙(94)，216-220。
- 黃葳芃、王溫和、張惠玲、邱台光、陳嘉榮，2006：2006 年梅雨季及颱風季 LAPS 短時預報系統的預報表現回顧，天氣分析與預報研討會論文編彙(95)，5-34-5-38。
- 簡國基與李清勝，2002：楊希颱風（1990）侵台的數值模擬與分析。大氣科學，27，147-170。
- 簡芳菁，2008：WRF 模式短期天氣系集預報(I)。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告，NSC 96-2625-Z-003 -001 -，共 46 頁。
- 謝信良、王時鼎、鄭明典與葉天降，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，共 497 頁。
- Anthes, R. A., 1977 : A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 270-286.
- Betts, A. K., 1986 : A new convective adjustment scheme. Part I : Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 677-692.
- Betts, A. K., and M. J. Miller, 1986 : A new convective adjustment scheme. Part II : Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 693-709.
- Blackadar, A. K., 1979 : High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, 1, No. 1. Pfafflin and Ziegler, Eds., Gordon and Breach Sci. Publ., New York, 50-85.
- Chang, C.-P., T.-C. Yeh, and J. Chen, 1993 : Effects of Terrain on the Surface Structure of Typhoons over Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 734–752.
- Chien , F.-C. , B. J.-D. Jou, P.-L. Lin, and J.-S. Hong, 2005 : ”A Real-time

- MM5/WRF Forecasting system in Taiwan”, 天氣分析與預報研討會論文編彙(94), 207-210。
- Colle, B. A., C. F. Mass, and K. J. Westrick, 2000 : MM5 precipitation verification over the Pacific Northwest during the 1997-1999 cool seasons. *Wea. Forecasting*, **15**, 730-744.
- Davis, C. A., and S. Low-Nam, 2001 : The NCAR-AFWA tropical cyclone bogussing scheme. A report prepared for the Air Force Weather Agency (AFWA).
- Dudhia, J., D. Gill, Y. R. Guo, K. Manning, A. Bourgeois, W. Wang, J. Wilson, 2002 : PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Calss Notes and User Guide: MM5 Modeling System Version 3. NCAR.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer, 1994 : A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 121pp.
- Grimit, E. P., and C. F. Mass, 2002 : Initial results of a mesoscale short-range ensemble forecasting system over the Pacific Northwest. *Wea. Forecasting*, **17**, 192-205.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993 : Convective parameterization for mesoscale model: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical modes, K.A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., Amer. Meteor. Soc., 246pp.
- Kain, J. S., 2004 : The Kain–Fritsch Convective Parameterization : An Update. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 170–181.
- Kuo, Y.-H., R.J. Reed, and Y. Liu, 1996 : The ERICA IOP 5 Storm. Part III: Mesoscale cyclogenesis and precipitation parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1409-1434.

- Lee, C.S., L.R. Hwang, H.S. Shen, and S.T. Wang, 2006 : A Climatology Model for Forecasting Typhoon Rainfall in Taiwan. *Natural Hazards*, **37**, 87-105 .
- Lee, C.S., Y.C. Liu, and F.C. Chien, 2008 : The Secondary Low and Heavy Rainfall Associated with Typhoon Mindulle (2004). *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1260–1283.
- Wu, C.C., T.H. Yen, Y.H. Kuo, and W. Wang, 2002 : Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect. *Wea. Forecasting*, **17**, 1001–1015.

表 1-1 Anthes-Kuo、Grell、Kain-Fritsch、Betts-Miller，四種積雲參數化比較（摘自 Kuo et al.，1996）。

TABLE A1. Comparison of different cumulus parameterization schemes in terms of dynamic control, static control, feedback, and trigger.

	Dynamic control	Static control	Feedback	Trigger
Anthes-Kuo	vertically integrated moisture convergence, M_i	moist adiabat	- parabolic heating profile - moistening profile as a function of environmental relative humidity	$M_i > M_{i0}$ ($= 3 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) - stability check $\Delta\sigma = 0.3$ cloud depth
Grell	quasi-equilibrium: $\left. \frac{\partial A}{\partial t} \right _{LS} \approx - \left. \frac{\partial A}{\partial t} \right _{CU}$	- moist adiabat - downdraft - no entrainment	- compensating subsidence - detrainment at cloud top and bottom	$\partial A / \partial t > 0$ - lifting depth < 50 mb 150-mb cloud depth $M_i > 0$
Kain-Fritsch	- CAPE-based - CAPE/τ, $\tau \approx 30$ min	1D entraining-detraining cloud model - downdraft - precipitation efficiency as a function of wind shear in cloud layer - ice physics	- compensating subsidence - detrainment of cloud water-ice throughout the cloud layer	- stability check - temperature perturbation: $\delta T \propto w_{ci}^{1/3}$ 4-km cloud depth
Betts-Miller	adjustment toward reference profiles of convective equilibrium	reference sounding: T_r and q_r	$(T - T_r)/\tau$ $(q - q_r)/\tau$	- stability check 290-mb cloud depth

A : cloud work function, CAPE: convective available potential energy, τ : adjustment time.

表 3-1 第二類路徑之侵台颱風個案列表

年分	颱風名稱	陸上警報期間（侵台期間）	模擬初始時間
1990	Yancy	1990081720-1990081920UTC	1990081700UTC
1991	Ellie	1991081607-1991081807UTC	
1994	Gladys	1994083102-1994090118UTC	
1996	Herb	1996072915-1996080115UTC	1996072912UTC
2006	Bilis	2006071200-2006071418UTC	2006071112UTC
2007	Krosa	2007100421-2007100712UTC	2007100400UTC
2008	Kalmaegi	2008071618-2008071812UTC	2008071612UTC
2008	Sinlaku	2008091121-2008091512UTC	2008091112UTC
2008	Jangmi	2008092700-2008092909UTC	2008092712UTC
2009	Morakot	2009080600-2009080921UTC	2009080600UTC

表 3-2 第三類路徑之侵台颱風個案列表

年分	颱風名稱	陸上警報期間（侵台期間）	模擬初始時間
1989	Sarah	1989090807-1989091307UTC	
1990	Dot	1990090608-1990090813UTC	1990090612UTC
1992	Polly	1992082707-1992083101UTC	
1992	Omar	1992090313-1992090507UTC	
1994	Tim	1994070907-1994071107UTC	
1994	Caltin	1994080300-1994080406UTC	
1997	Amber	1997082712-1997082915UTC	1997082712UTC
1998	Otto	1998080306-1998080501UTC	1998080306UTC
2000	Bilis	2000082106-2000082312UTC	2000082000UTC
2001	Toraji	2001072803-2001073106UTC	2001072812UTC
2005	Haitang	2005071615-2005071918UTC	2005071600UTC
2005	Talim	2005083012-2005090115UTC	2005083000UTC
2005	Longwang	2005093021-2005100300UTC	2005093000UTC
2006	Kaemi	2006072315-2006072518UTC	2006072300UTC
2007	Wutip	2007080803-2007080903UTC	2007080712UTC
2007	Sepat	2007081612-2007081906UTC	2007081600UTC
2008	Fungwong	2008072618-2008072903UTC	2008072600UTC

表 3-3 控制組模擬最佳參數化組合及模擬結果，其中 SAS 及 Warm rain 為 MM5 之設定，其餘皆為 WRF 之設定。

年份	颱風名稱	路徑分類	積雲參數化					雲微物理參數化			最大雨量(mm)		誤差(%)
			BMJ	KF	GD	G3	SAS	WSM5	WSM6	Warm rain	模擬	觀測	
1990	楊希(Yancy)	2			V			V			474	379	25
1990	黛特(Dot)	3	V						V		435	425	2.4
1996	賀伯(Herb)	2					V	V			1114	1117	0.2
1997	安珀(Amber)	3				V		V			712	948	24.8
1998	奧托(Otto)	3	V						V		402	428	5.9
2000	碧利斯(Bilis)	3			V				V		907	952	4.7
2001	桃芝(Toraji)	3		V				V			685	716	4.3
2005	海棠(Haitang)	3	V						V		1589	1711	7.1
2005	泰利(Talim)	3	V						V		682	732	6.8
2005	龍王(Longwang)	3		V					V		680	693	1.9
2006	碧利斯(Bilis)	2		V				V			989	841	17.6
2006	凱米(Kaemi)	3		V					V		468	530	11.7
2007	梧提(Wutip)	3			V			V			297	240	23.8
2007	聖帕(Sepat)	3		V				V			931	959	2.8

*邊界層參數化：YSU scheme、長波輻射：RRTM scheme、短波輻射：Dudhia scheme

BMJ: Betts-Miller-Janjic scheme、KF: Kain-Fritsch scheme、GD: Grell-Devenyi ensemble scheme、G3: Grell 3d ensemble cumulus scheme、

SAS: Simplified Arakawa-Schubert

WSM5: WSM 5-class scheme、WSM6: WSM 6-class scheme

表 3-3 (續)。

年份	颱風名稱	路徑分類	積雲參數化					雲微物理參數化			最大雨量(mm)		誤差(%)
			BMJ	KF	GD	G3	SAS	WSM5	WSM6	Warm rain	模擬	觀測	
2007	柯羅莎(Krosa)	2			V			V			1108	1079	2.7
2008	卡玫基(Kalmaegi)	2	V					V			717	909	21.1
2008	鳳凰(Fungwong)	3		V				V			620	789	21.4
2008	辛樂克(Sinlaku)	2			V				V		1293	1498	13.6
2008	薔蜜(Jangmi)	2		V				V			563	625	9.9
2009	莫拉克(Morakot)	2		V						V	2548	2767	7.9

*邊界層參數化：YSU scheme、長波輻射：RRTM scheme、短波輻射：Dudhia scheme

BMJ: Betts-Miller-Janjic scheme、KF: Kain-Fritsch scheme、GD: Grell-Devenyi ensemble scheme、G3: Grell 3d ensemble cumulus scheme、

SAS: Simplified Arakawa-Schubert

WSM5: WSM 5-class scheme、WSM6: WSM 6-class scheme

表 4-1 控制組與系集模擬組模擬設定列表

個案名稱	使用資料	初 始 時 間 (UTC)	積分 時間 (hr)	參數化設定 (雲微物理+積雲)	最細網格 解析度 (km)	模式版本	Ensemble run 參數化設定	Ensemble run 初始時間 (UTC)
1990Yancy	NNRP	1990081700	96	WSM5+Grell	5	WRF_v3.0	WSM5+KF	1990081712 1990081800
							WSM6+KF	
							WSM5+BM	
1990Dot	NNRP	1990090612	96	WSM6+BM	5	WRF_v3.1.1	WSM5+Grell	1990090700 1990090600
							WSM6+Grell	
							WSM5+BM	
1996Herb	EC_adv	1996072912	96	WSM5+ Simplified Arakawa-Schubert	6	WRF_v2.2	WSM5+KF	1996073000 1996072900
							WSM6+KF	
							WSM6+BM	
1997Amber	EC_adv	1997082712	96	WSM5+New Grell	5	WRF_v3.1.1	WSM6+New Grell	1997082800 1997082700
							WSM5+BM	
							WSM6+BM	
1998Otto	EC_adv	1998080306	72	WSM6+BM	5	WRF_v2.2	WSM5+KF	1998080300 1998080312
							WSM6+KF	
							WSM5+Grell	

表 4-1 控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）

個案名稱	使用資料	初 始 時 間 (UTC)	積分 時間 (hr)	參數化設定 (雲微物理+積雲)	最細網格 解析度 (km)	模式版本	Ensemble run 參數化設定	Ensemble run 初始時間 (UTC)
2000Bilis	GFS	2000082000	96	WSM6+Grell	5	WRF_v3.0	WSM5+KF	2000082012 2000082100
							WSM6+KF	
							WSM5+Grell	
2001Toraji	EC_adv	2001072812	96	WSM5+KF	6	WRF_v3.1.1	WSM6+KF	2001072900 、 2001072800
							WSM5+Grell	
							WSM6+Grell	
2005Haitang	EC_adv	2005071600	96	WSM6+BM	5	WRF_v3.1.1	WSM6+KF	2005071612 、 2005071700
							WSM6+Grell	
							WSM5+BM	
2005Talim	GFS	2005083000	96	WSM6+BM	5	WRF_v3.0	WSM6+KF	2005083012 、 2005082912
							WSM6+Grell	
							WSM5+BM	
2005Longwang	GFS	2005093000	96	WSM6+KF	5	WRF_v3.0	WSM6+Grell	2005093012 、 2005092912
							WSM5+BM	
							WSM6+BM	

表 4-1 控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）

個案名稱	使用資料	初 始 時 間 (UTC)	積分 時間 (hr)	參數化設定 (雲微物理+積雲)	最細網格 解析度 (km)	模式版本	Ensemble run 參數化設定	Ensemble run 初始時間 (UTC)
2006Bilis	EC_adv	2006071112	96	WSM5+KF	5	WRF_v2.2	WSM6+KF	2006071200 、 2006071100
							WSM6+Grell	
							WSM5+BM	
2006Kaemi	GFS	2006072300	96	WSM6+KF	5	WRF_v3.0	WSM5+Grell	2006072312 、 2006072212
							WSM5+BM	
							WSM6+BM	
2007Wutip	EC_adv	2007080712	96	WSM5+Grell	5	WRF_v3.1.1	WSM6+KF	2008080800 、 2008080700
							WSM6+Grell	
							WSM5+BM	
2007Sepat	GFS	2007081600	96	WSM5+KF	6	WRF_v3.0	WSM6+KF	2007081612 、 2007071512
							WSM5+Grell	
							WSM6+Grell	
2007Krosa	GFS	2007100400	96	WSM5+Grell	6	WRF_v3.0	WSM6+KF	2007100412 、 2007100312
							WSM5+Grell	
							WSM5+BM	

表 4-1 控制組與系集模擬組模擬設定列表（續）

個案名稱	使用資料	初 始 時 間 (UTC)	積分 時間 (hr)	參數化設定 (雲微物理+積雲)	最細網格 解析度 (km)	模式版本	Ensemble run 參數化設定	Ensemble run 初始時間 (UTC)
2008Kalmaegi	EC_adv	2008071612	96	WSM5+BM	6	WRF_v3.1.1	WSM6+KF	2008071700 、 2008071600
							WSM5+Grell	
							WSM6+BM	
2008Fungwong	GFS	2008072600	96	WSM5+KF	5	WRF_v3.0	WSM6+Grell	2008072512 、 2008072612
							WSM5+BM	
							WSM6+BM	
2008Sinlaku	EC_adv	2008091112	96	WSM6+Grell	6	WRF_v3.1.1	WSM5+KF	2008091200 、 2008091100
							WSM5+Grell	
							WSM5+BM	
2008Jangmi	EC_adv	2008092712	72	WSM5+KF	6	WRF_v3.1.1	WSM6+KF	2008092700 、 2008092612
							WSM5+Grell	
							WSM6+Grell	
2009Morakot	GFS	2009080600	96	Warm rain+KF	5	MM5_v3		2009080612 、 2009080700

表 4-2 列聯表。

Forecast Observation	< 門檻值	$\geq$ 門檻值
	Correct Rejection < a >	False Alarm < c >
< 門檻值		
$\geq$ 門檻值	Miss < b >	Hit < d >

表 4-3 利用列聯表，針對相依個案，計算各別測站在不同門檻值之預報降水得分。

門檻值 (mm)	BS		POD		FAR		TS		ETS	
	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式
100	0.96	1.23	0.78	0.96	0.19	0.22	0.66	0.75	0.31	0.29
260	0.46	1.04	0.4	0.71	0.13	0.32	0.38	0.53	0.3	0.37
400	0.24	0.84	0.21	0.57	0.15	0.32	0.2	0.45	0.18	0.37
700	0.08	0.6	0.08	0.4	0	0.34	0.08	0.33	0.08	0.31

表 4-4 針對相依個案，測站整體之各項統計參數校驗結果。

	平均降雨率		最大降雨率		平均絕對誤差	均方根誤差	相關係數
	模式	觀測	模式	觀測			
氣候模式	144.9	195.7	851.7	1987	92.7	139.7	0.79
動力統計模式 (不考慮 2007~2009 年颱風個案)	218.2		1214.6		105	150.8	0.66
動力統計模式	246.2	242.7	1421.8	2850	117.9	188.8	0.7

表 4-5 利用列聯表，針對獨立個案，計算各別測站在不同門檻值之預報降水得分。

門檻值 (mm)	BS		POD		FAR		TS		ETS	
	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式	氣候模式	動力統計 模式
100	1.15	1.86	0.67	0.95	0.42	0.49	0.45	0.5	0.2	0.18
260	0.64	2.14	0.28	0.54	0.56	0.75	0.21	0.21	0.16	0.12
400	0.36	2.22	0.15	0.45	0.60	0.8	0.12	0.16	0.10	0.13

表 4-6 針對獨立個案，測站整體之各項統計參數校驗結果。

	平均降雨率		最大降雨率		平均絕對誤差	均方根誤差	相關係數
	模式	觀測	模式	觀測			
氣候模式	118.8	118.5	610.7	750	85.9	124.5	0.4
動力統計模式	212.6		1127.2		128.5	185.2	0.41

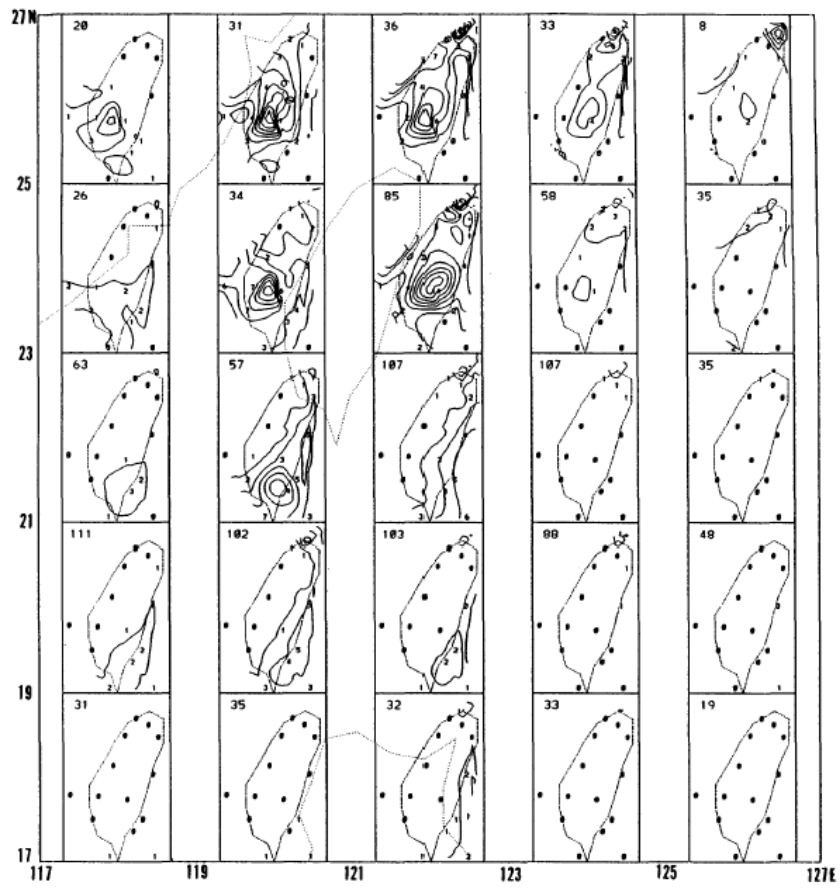


圖 1-1 Chang et al.(1993)利用 1971-1990 共 20 年之 22 個地面測站資料，分析颱風侵台期間台灣地區之降雨分佈狀況。

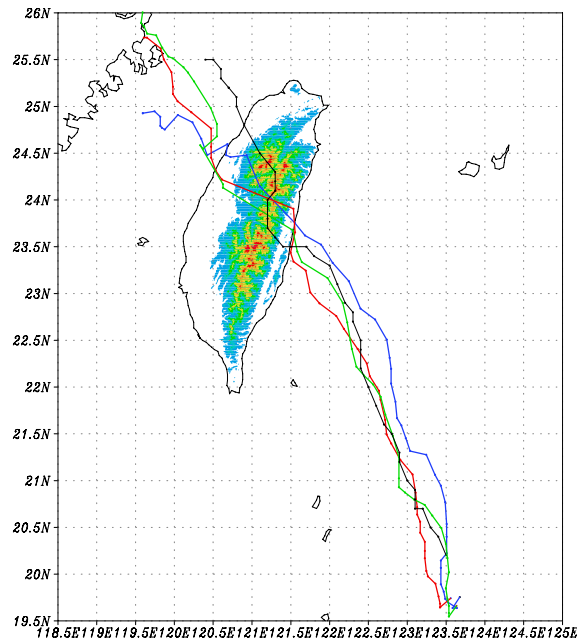


圖 1-2 TV 實驗組路徑比較圖。藍色表 TV-50、紅色表 TV-60、綠色表 TV-70、黑色表 CWB 路徑。

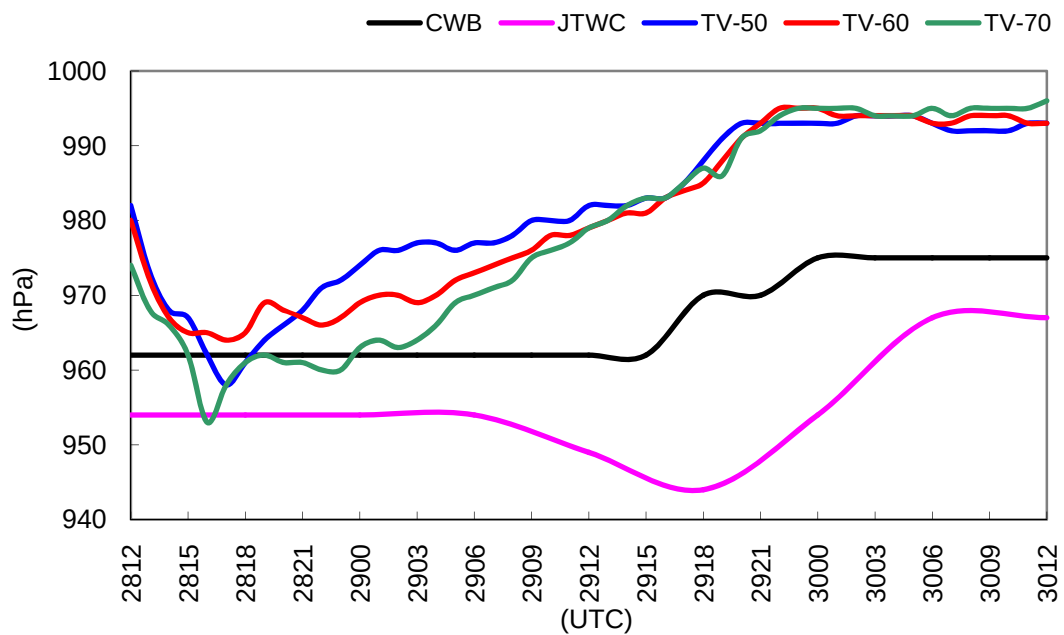


圖 1-3 TV 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TV-50、紅色表 TV-60、綠色表 TV-70、黑色表 CWB 路徑、桃紅表 JTWC Best Track。

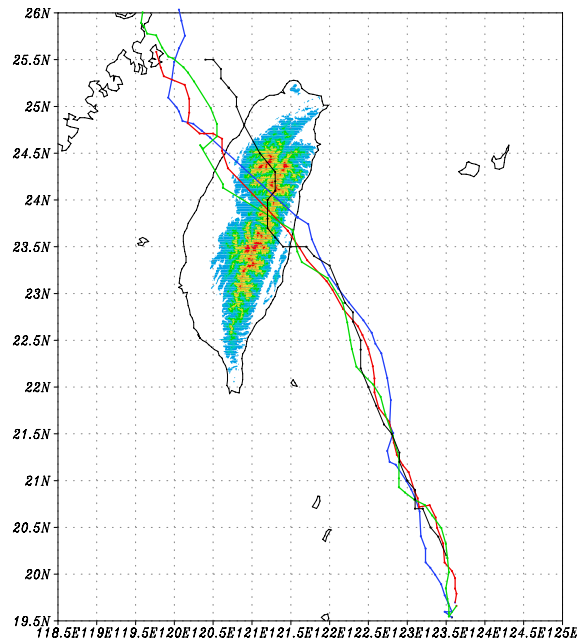


圖 1-4 TR 實驗組路徑比較圖。藍色表 TR-60、紅色表 TR-70、綠色表 TR-80、黑色表 CWB 路徑。

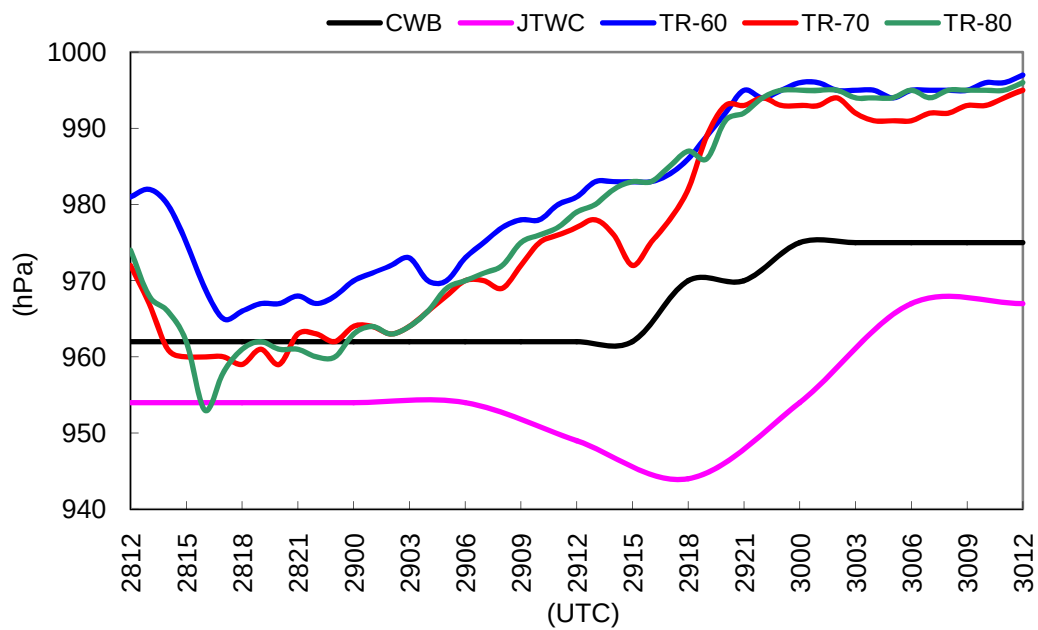


圖 1-5 TR 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TR-60、紅色表 TR-70、綠色表 TR-80、黑色表 CWB 路徑、桃紅表 JTWC Best Track。

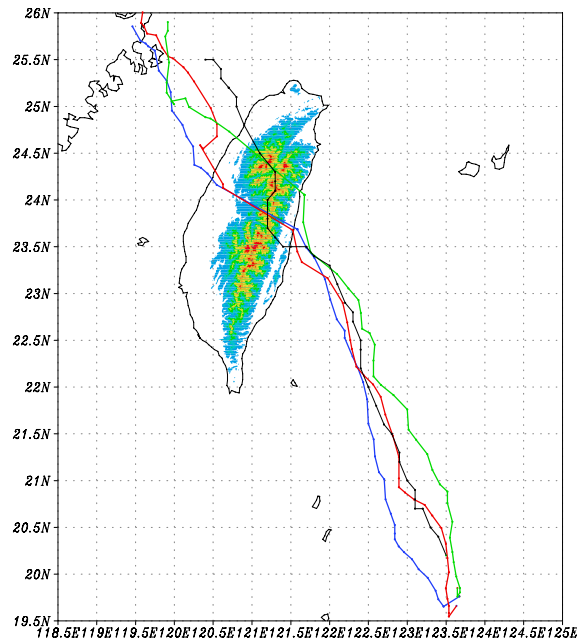


圖 1- 6 TA 實驗組路徑比較圖。藍色表 TA-65、紅色表 TA-75、綠色表 TA-85、黑色表 CWB 路徑。

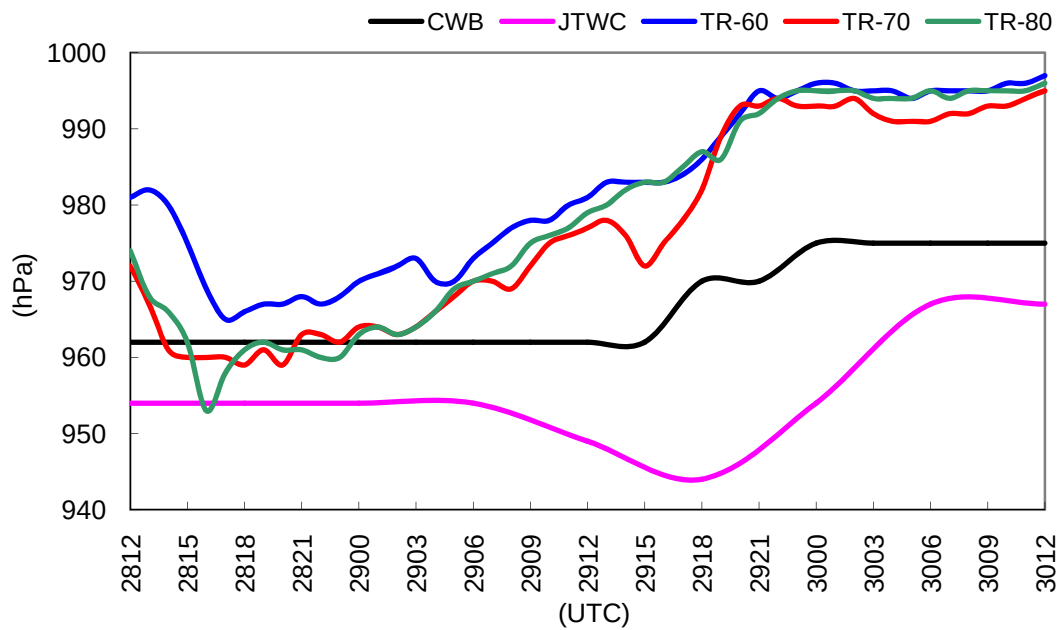


圖 1- 7 TA 實驗組強度變化比較圖。藍色表 TA-65、紅色表 TA-75、綠色表 TA-85、黑色表 CWB 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。

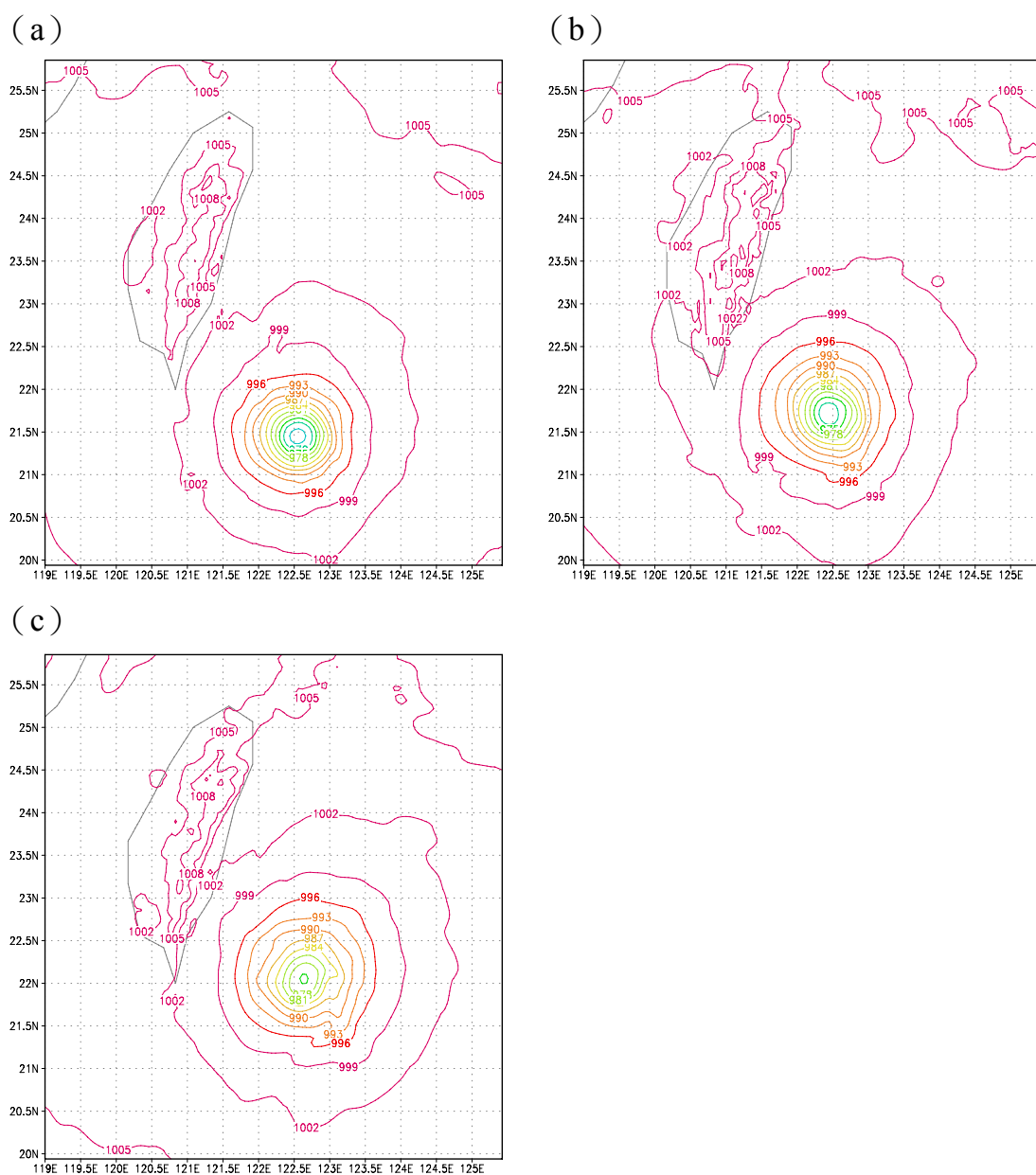


圖 1- 8 TA 組實驗，積分 18 小時之地面氣壓圖。(a) 表 TA-65、
(b) 表 TA-75、(c) 表 TA-85。

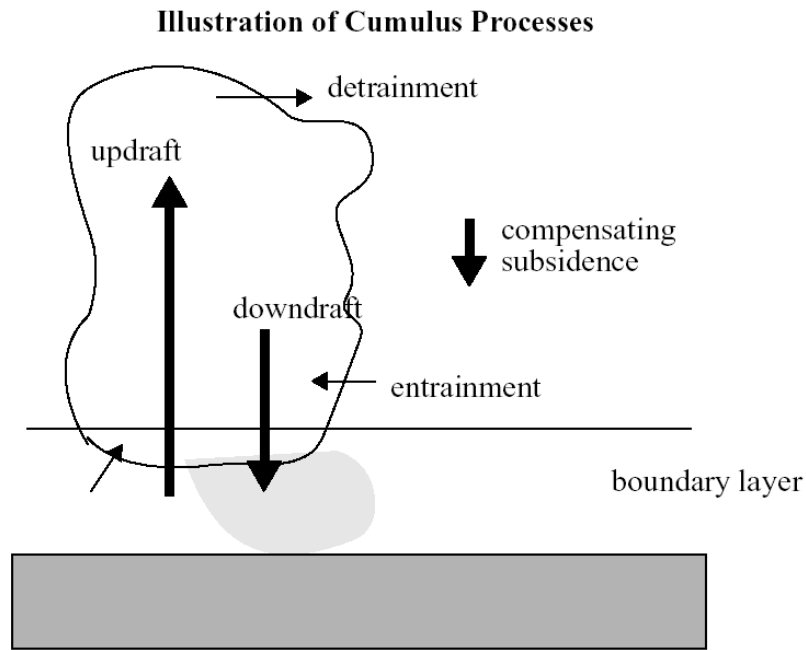


圖 1-9 積雲參數化過程示意圖（摘自 Dudhia et. al., 2002）。

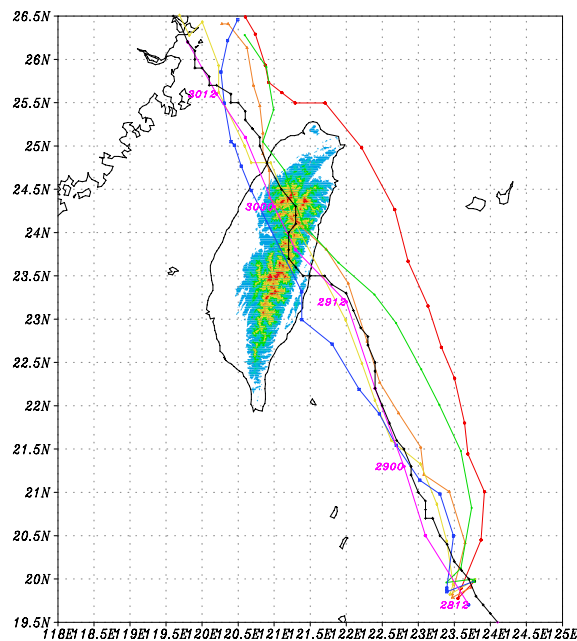


圖 1-10 TC 實驗組路徑比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、
 橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB
 路徑。

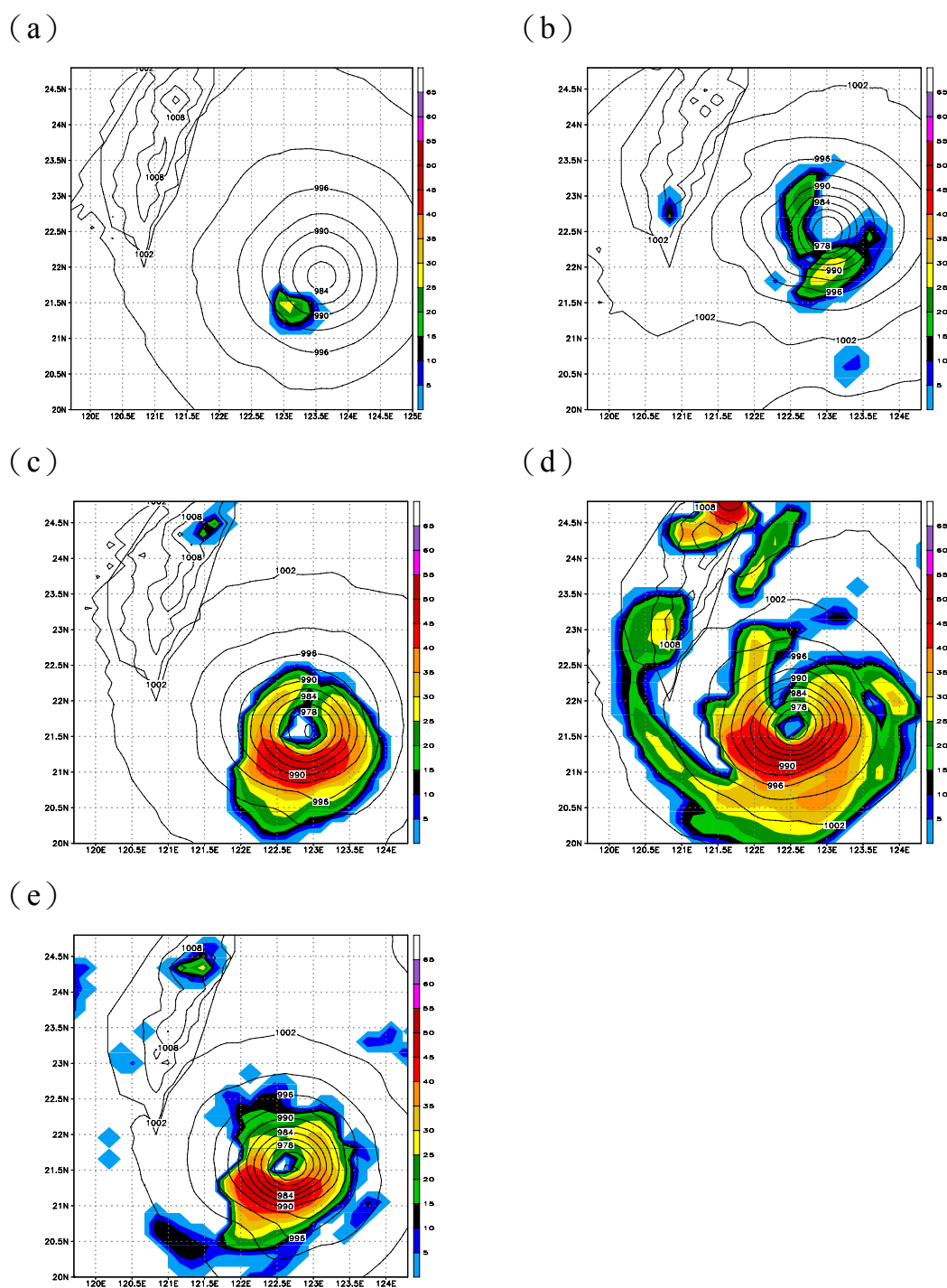


圖 1-11 TC 組實驗，積分 18 小時之雷達回波圖。(a) TC-BM、(b) TC-AK、(c) TC-KF、(d) TC-GR、(e) TC-KF2。

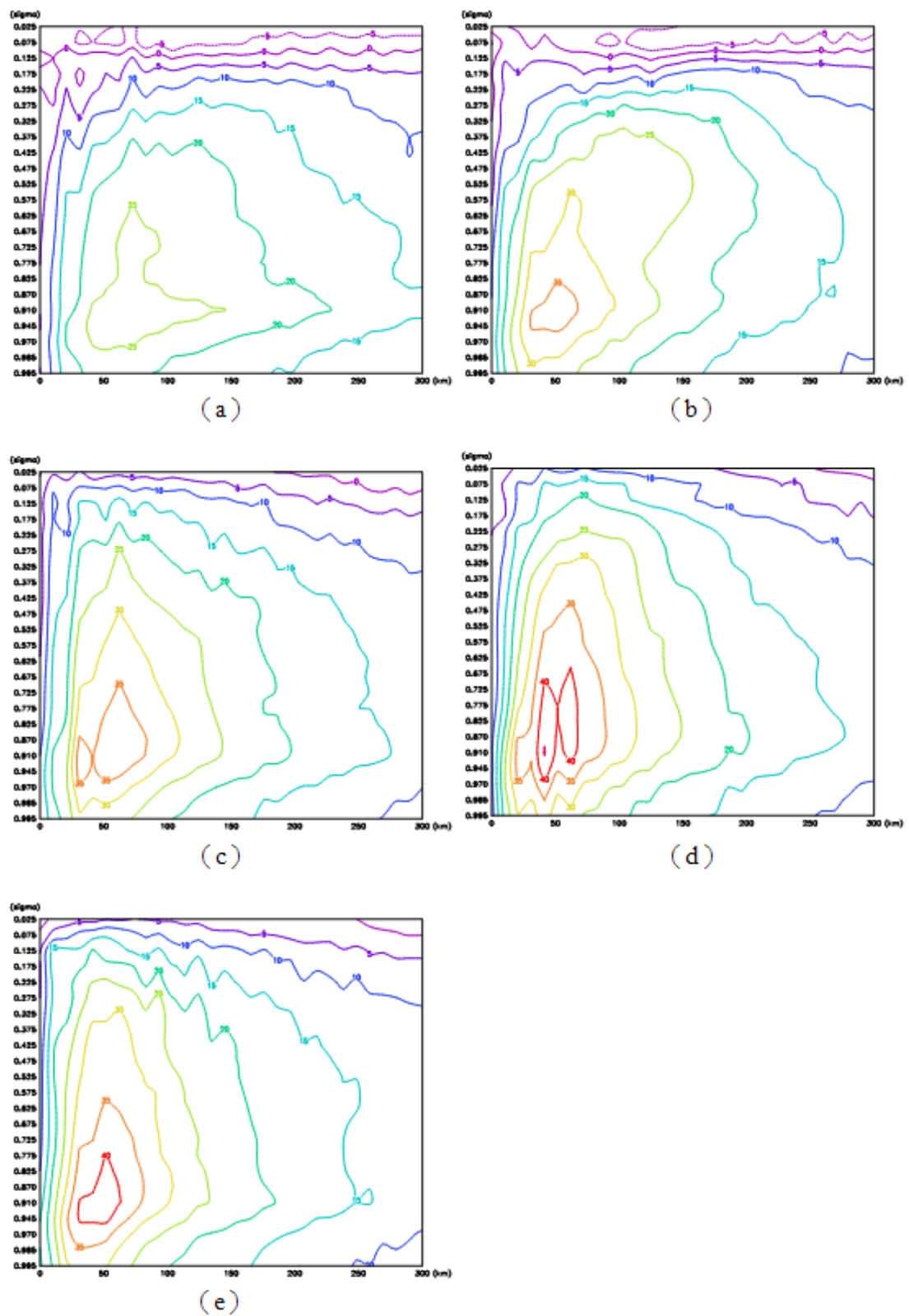


圖 1-12 TC 組實驗，積分 18 小時之切向風場剖面圖。(a) TC-BM、
(b) TC-AK、(c) TC-KF、(d) TC-GR、(e) TC-KF2。

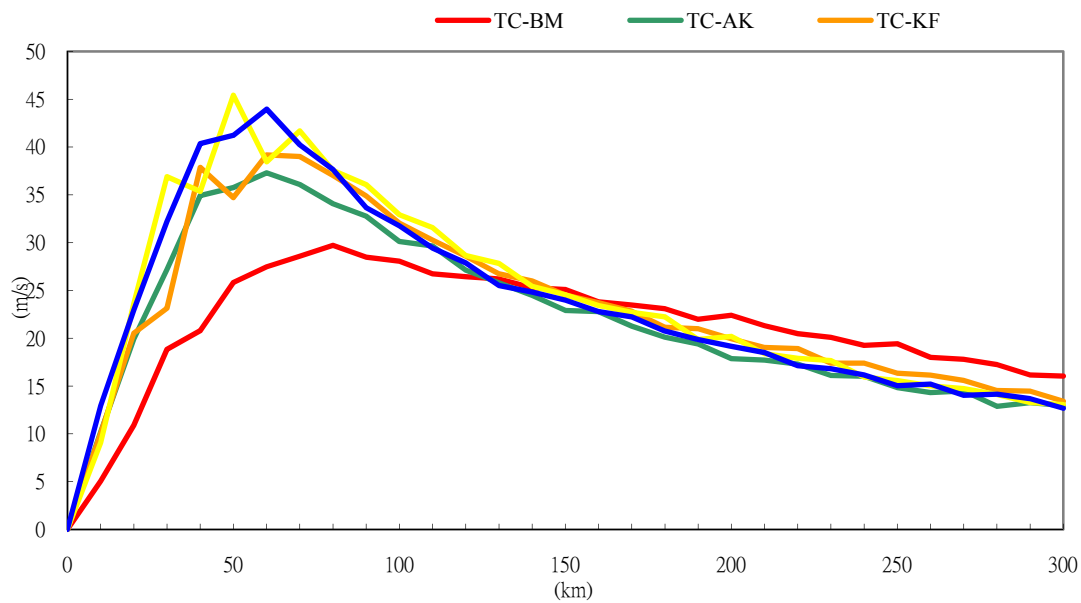


圖 1-13 TC 實驗組切向風場比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、
 橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB
 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。

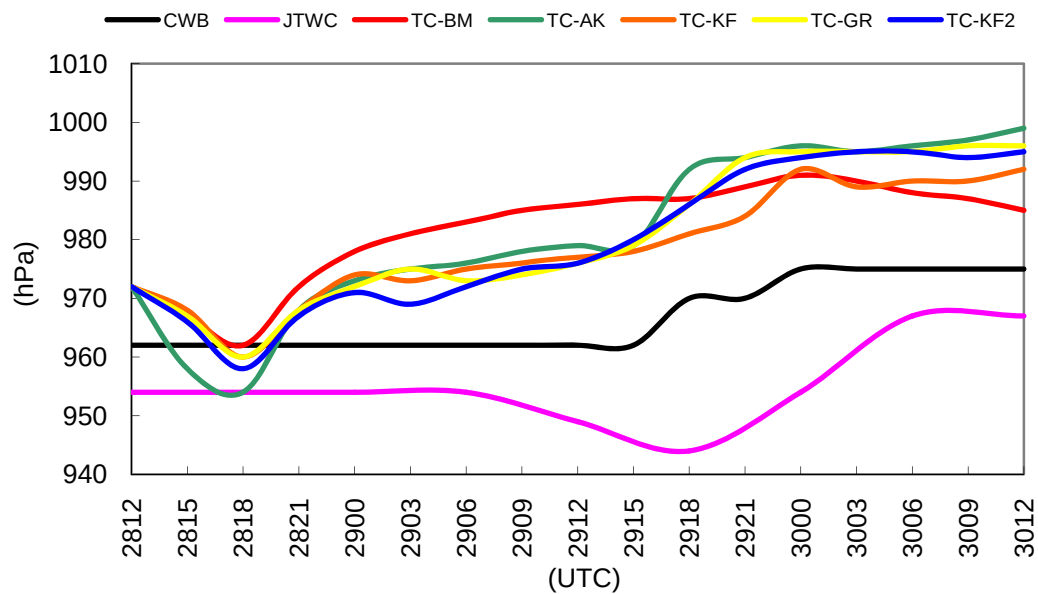


圖 1-14 TC 實驗組強度變化比較圖。紅色表 TC-BM、綠色表 TC-AK、
 橙色表 TC-KF、黃色表 TC-GR、藍色表 TC-KF2、黑色表 CWB
 路徑、桃紅色表 JTWC Best Track。

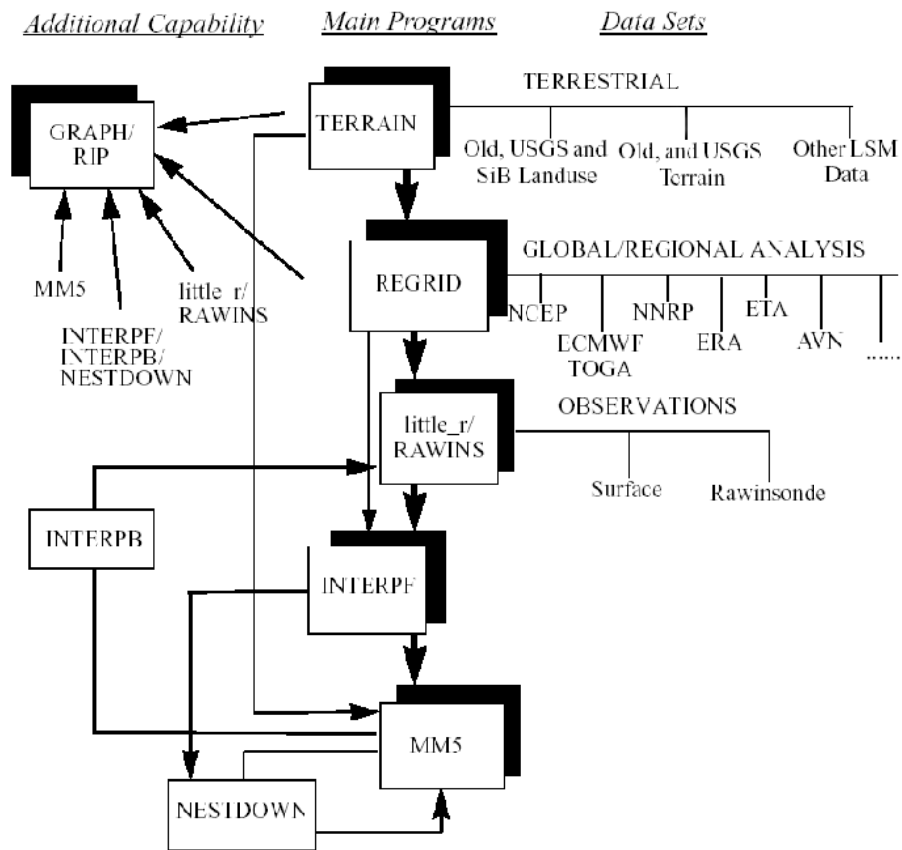


圖 2-1 MM5 模式系統流程圖。

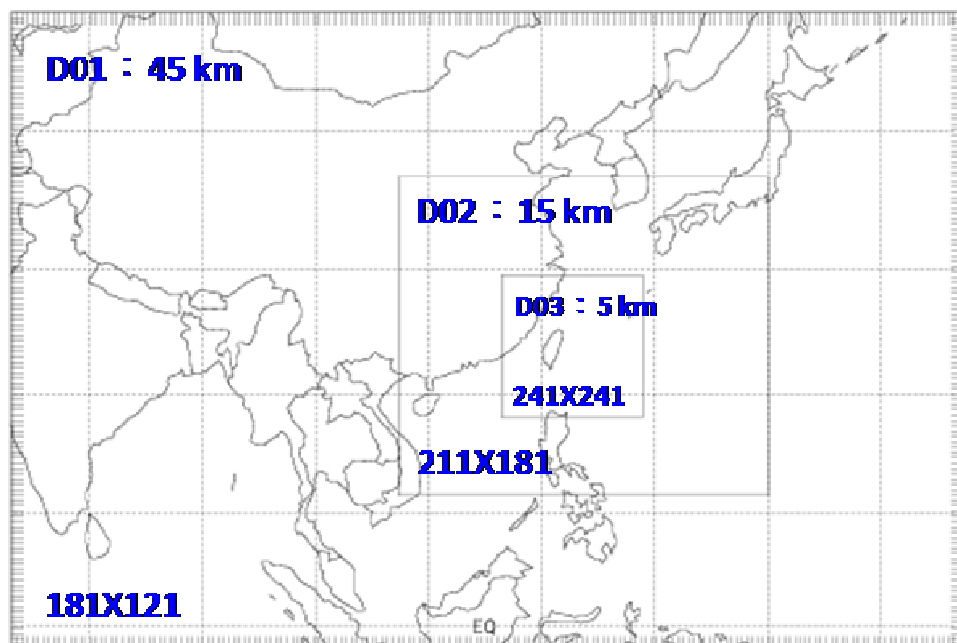


圖 2-2 本研究使用之 WRF 三層巢狀網格設計(45km、15km、5km)。

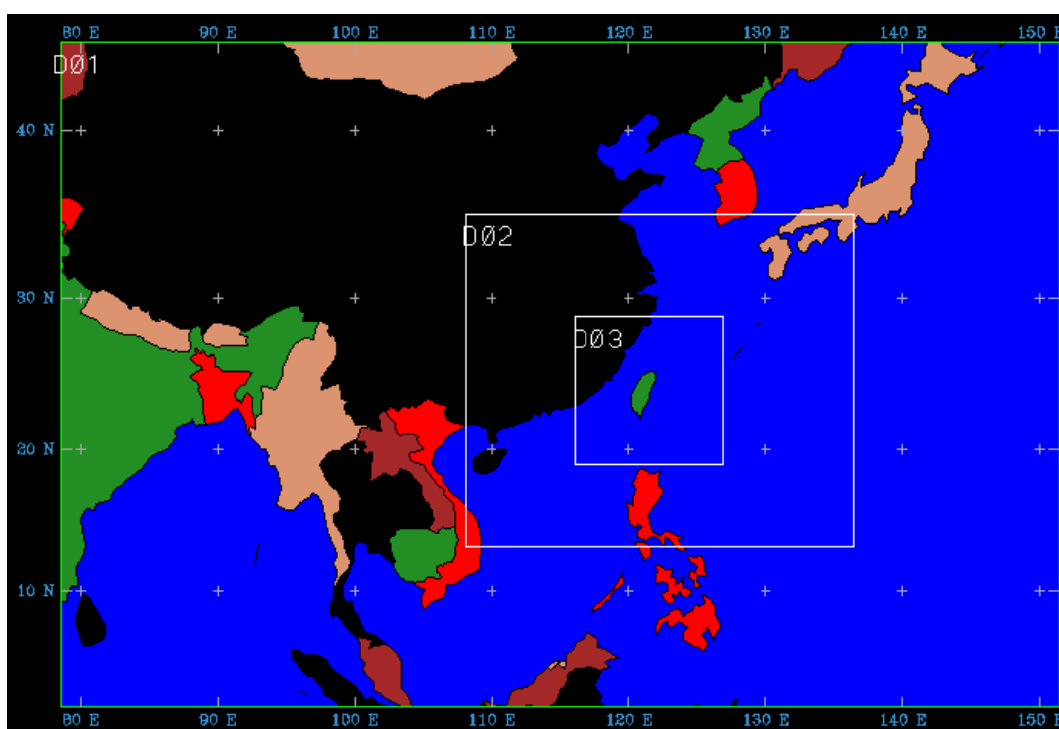


圖 2- 3 MM5 使用三層巢狀網格涵蓋範圍，解析度由外而內分別為 45 km、15 km 以及 5 km。

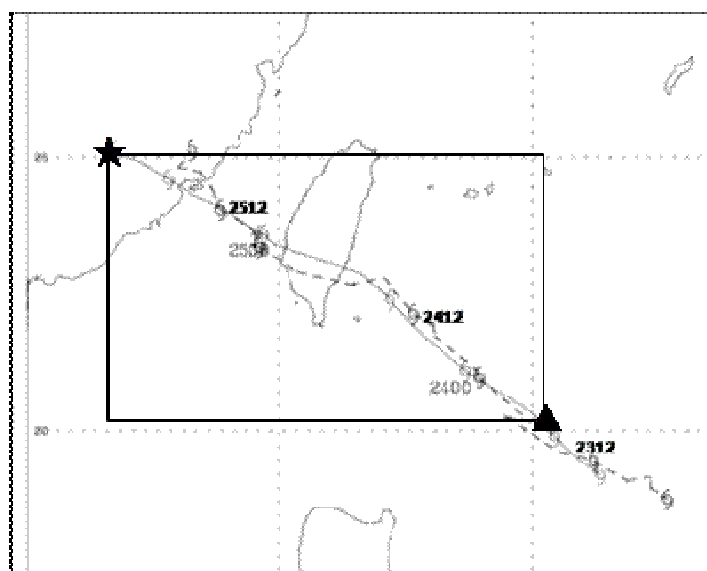


圖 3- 1 模擬之侵台期間示意圖，圖中▲中央氣象局發布陸上颱風警報之時間，★為中央氣象局解除陸上颱風警報之時間。

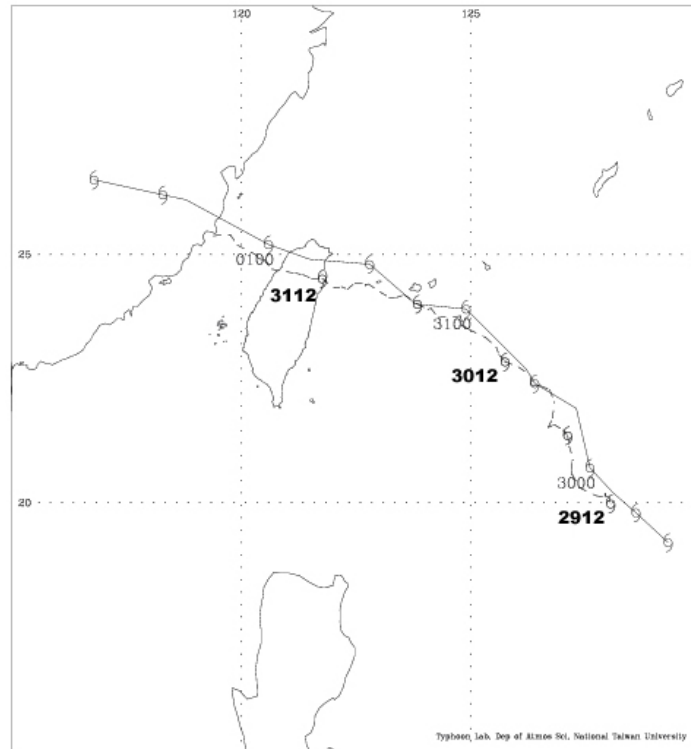


圖 3-2 1996 年賀伯颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

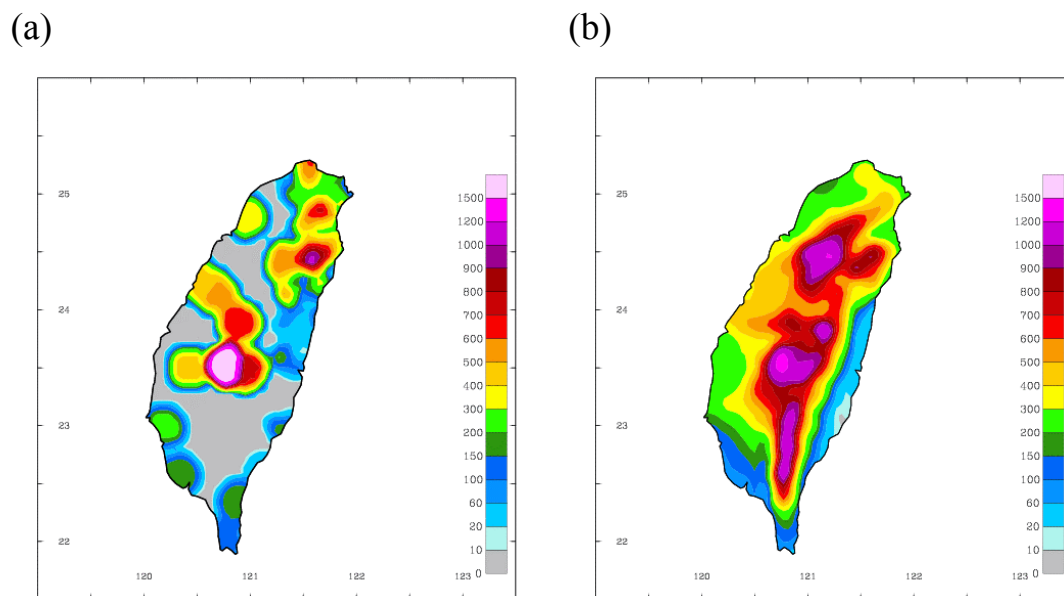


圖 3-3 1996 年賀伯颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

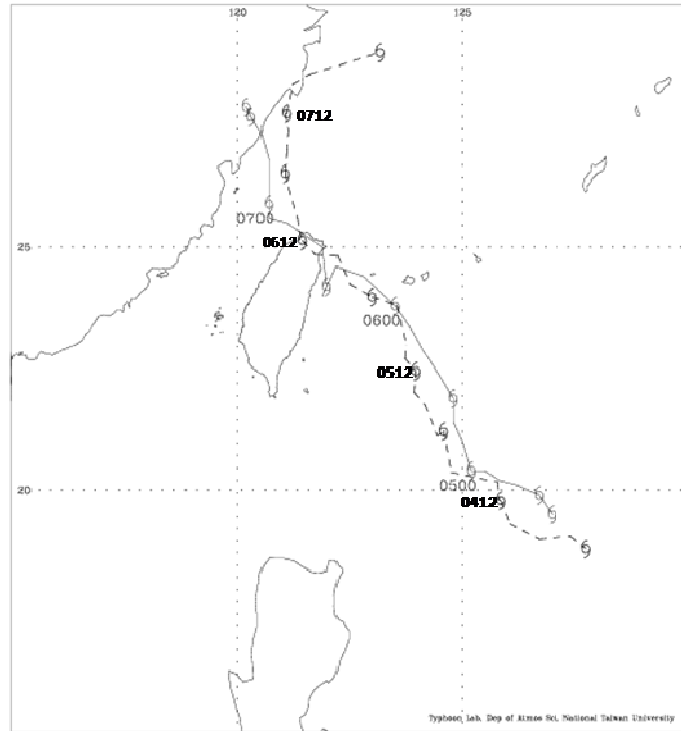
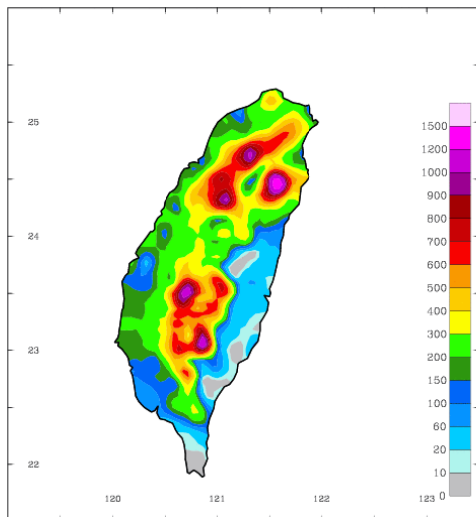


圖 3-4 2007 年柯羅莎颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

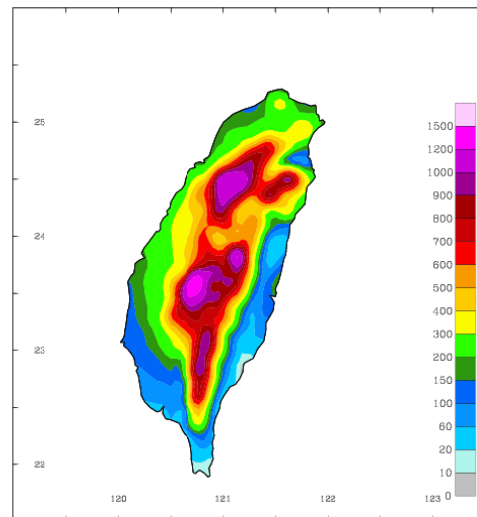


圖 3-5 2007 年柯羅莎颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

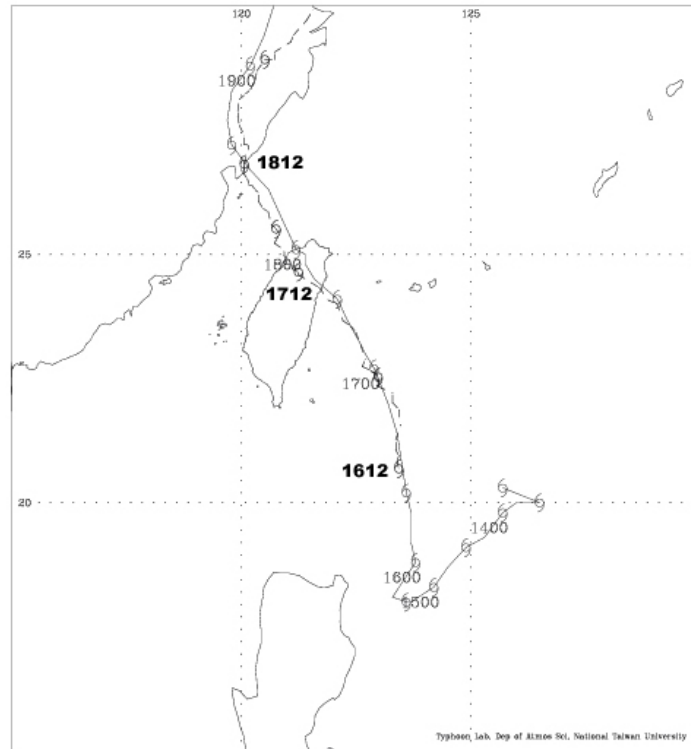
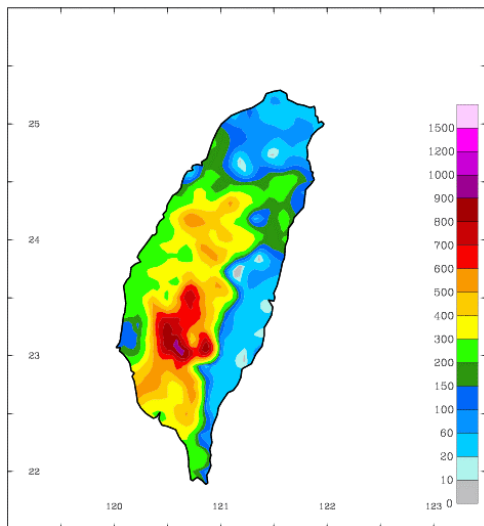


圖 3- 6 2008 年卡玫基颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

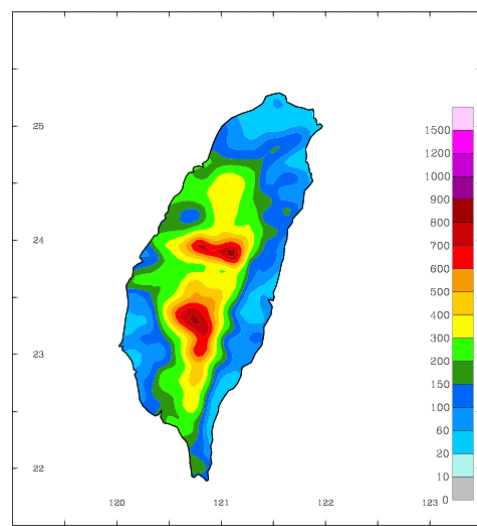


圖 3- 7 2008 年卡玫基颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

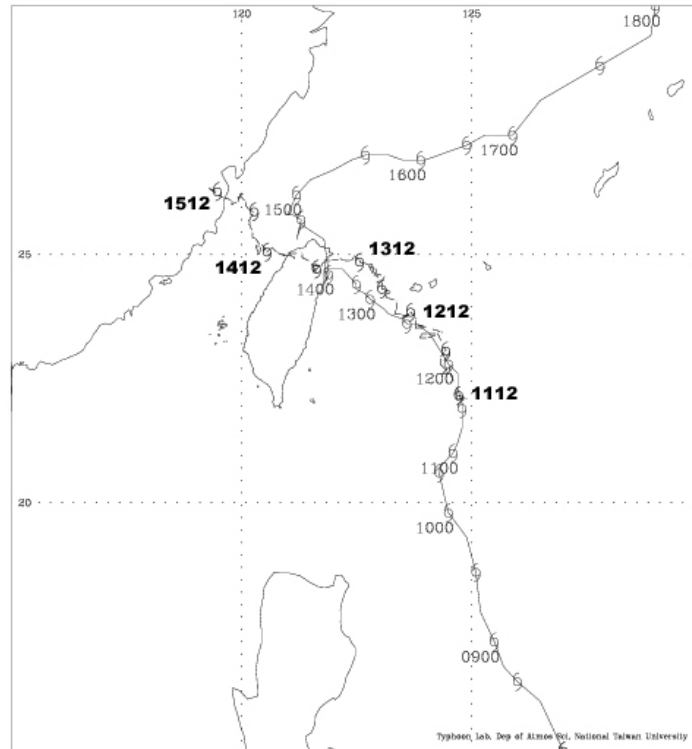
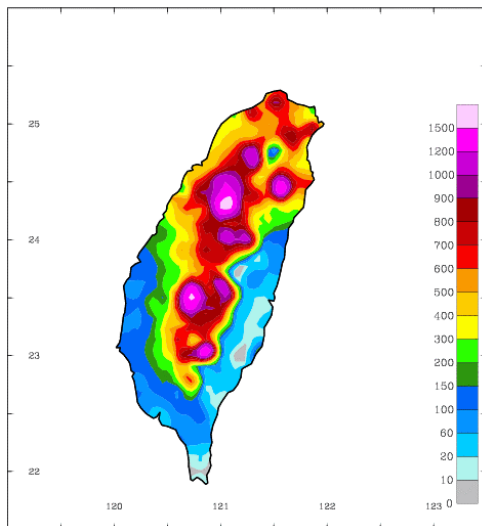


圖 3-8 2008 年辛樂克颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

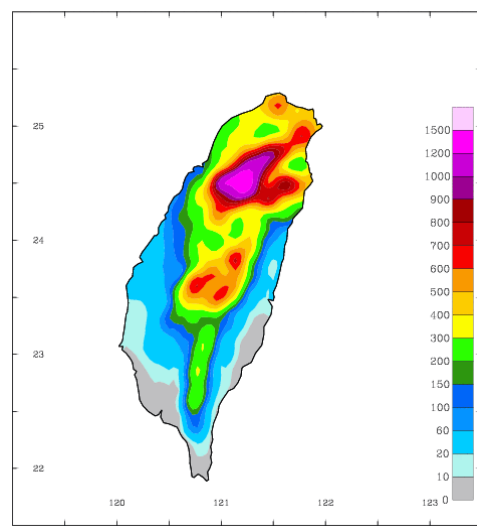


圖 3-9 2008 年辛樂克颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

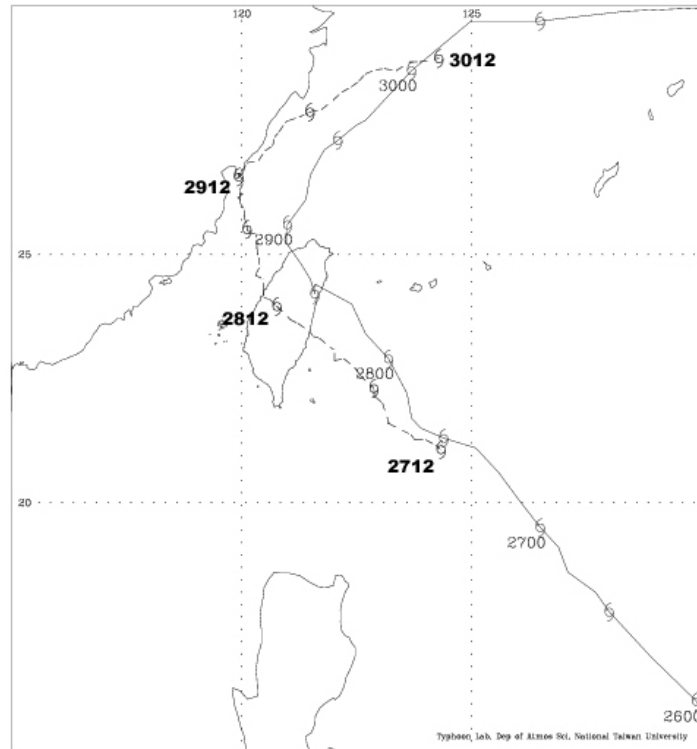
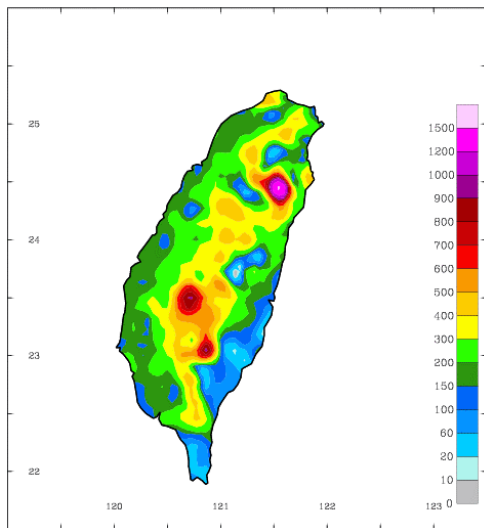


圖 3-10 2008 年薔蜜颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

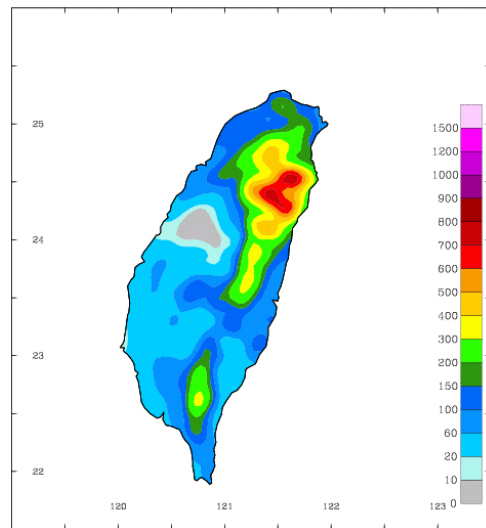


圖 3-11 2008 年薔蜜颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

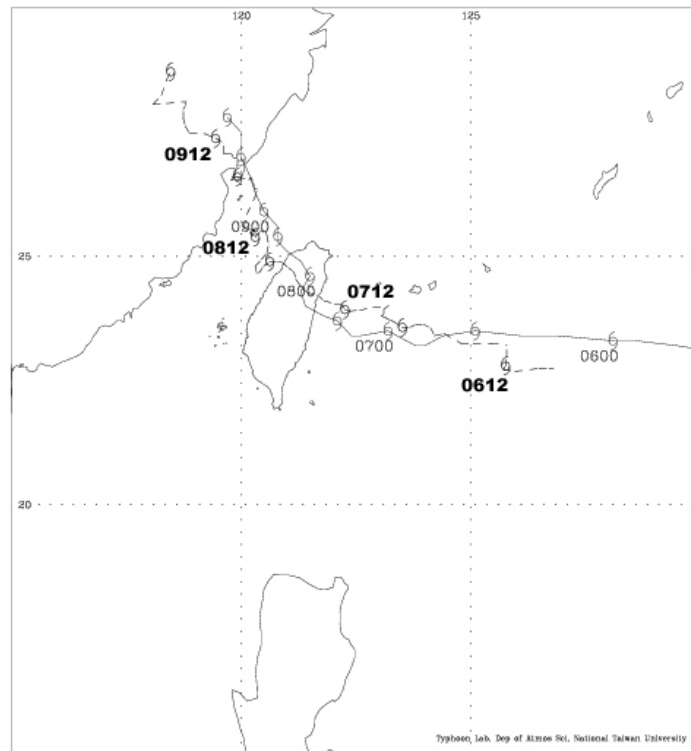
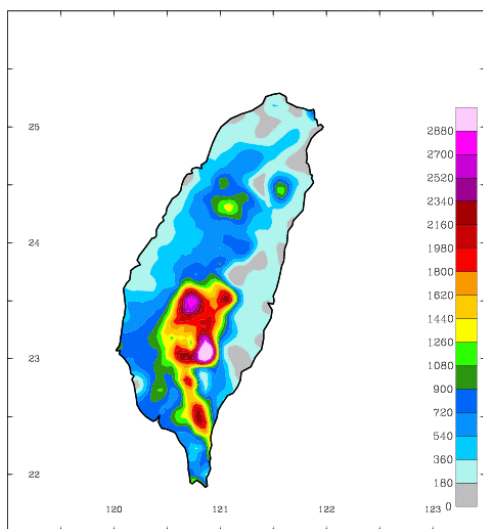


圖 3- 12 2009 年莫拉克颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

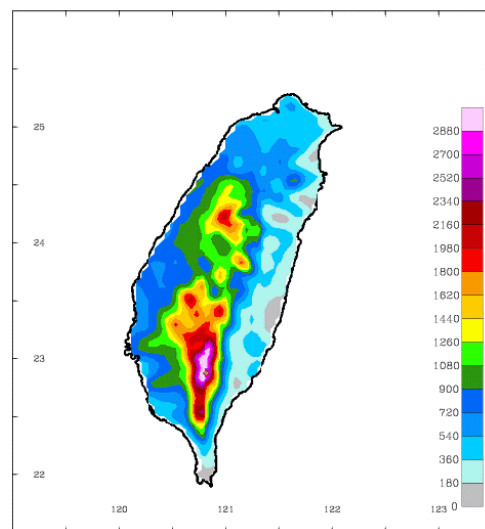


圖 3- 13 2009 年莫拉克颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

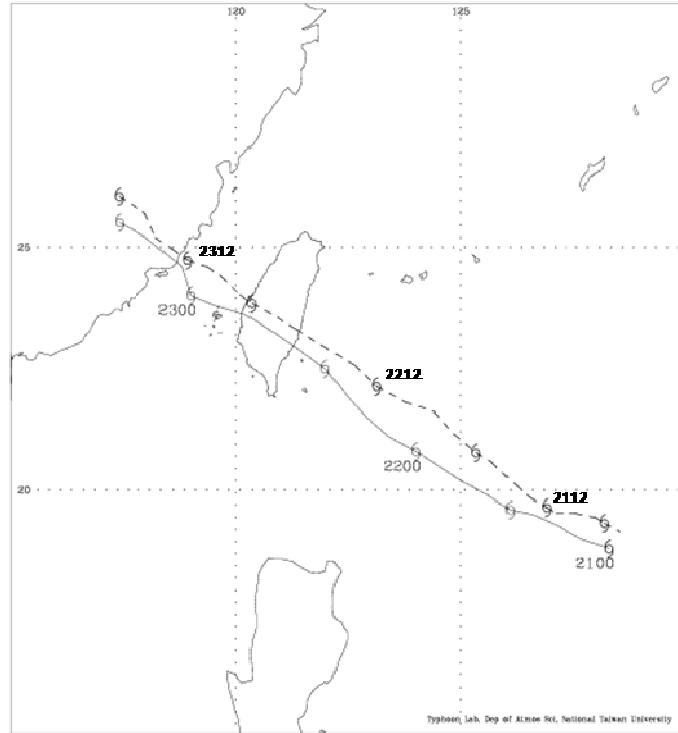
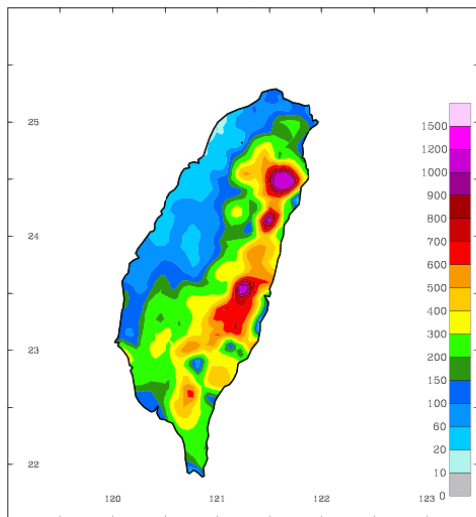


圖 3-14 2000 年碧利斯颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

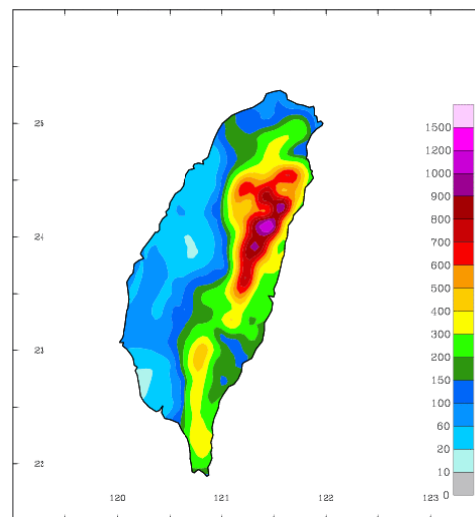


圖 3-15 2000 年碧利斯颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

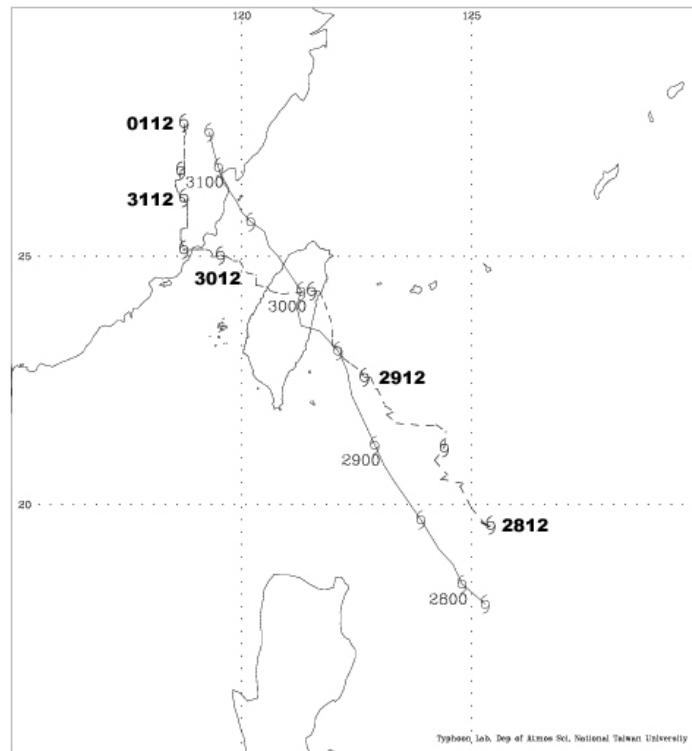
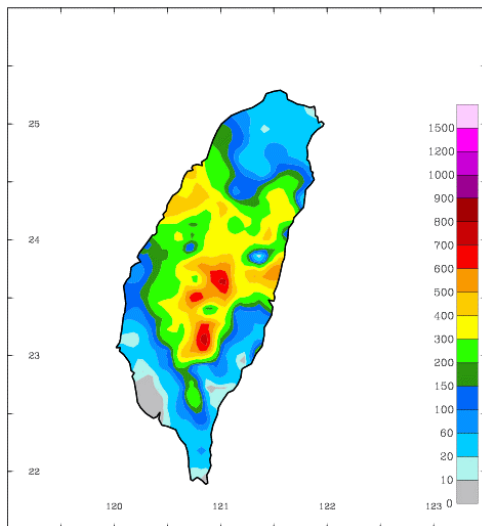


圖 3-16 2001 年桃芝颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

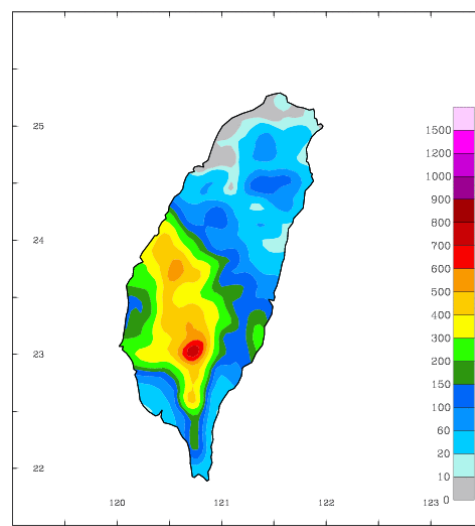


圖 3-17 2001 年桃芝颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

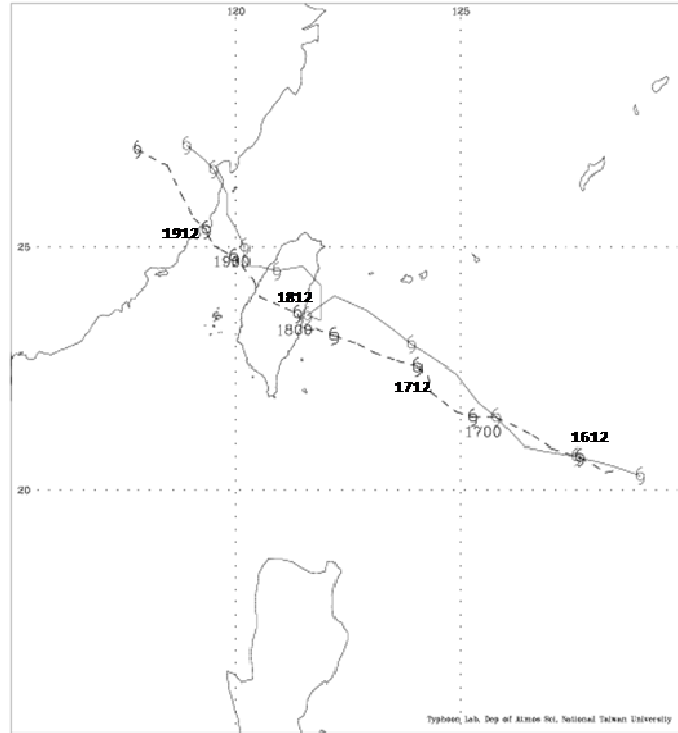
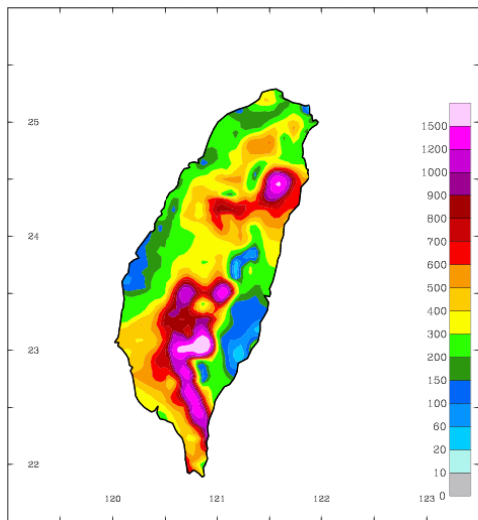


圖 3-18 2005 年海棠颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

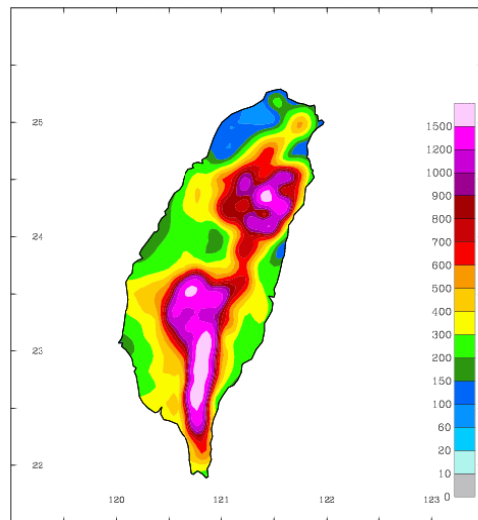


圖 3-19 2005 年海棠颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

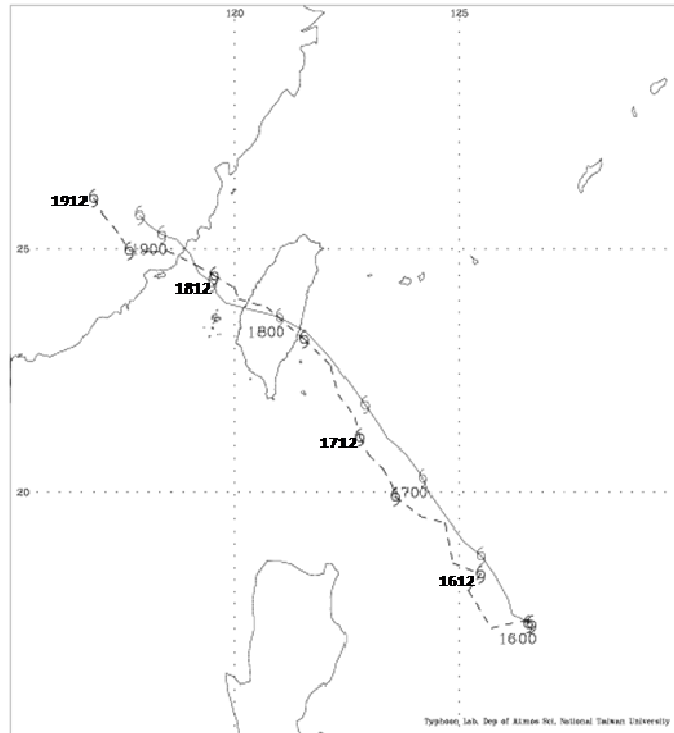
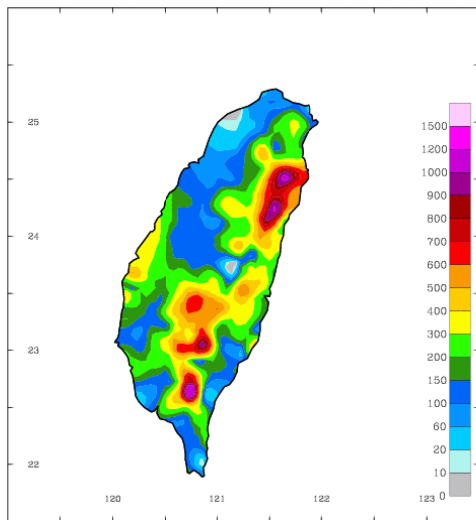


圖 3-20 2007 年聖帕颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

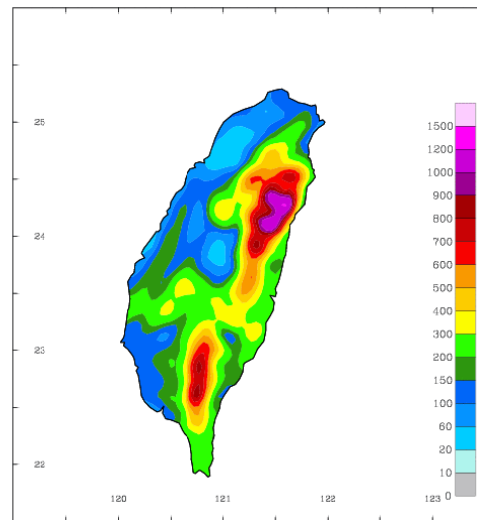


圖 3-21 2007 年聖帕颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

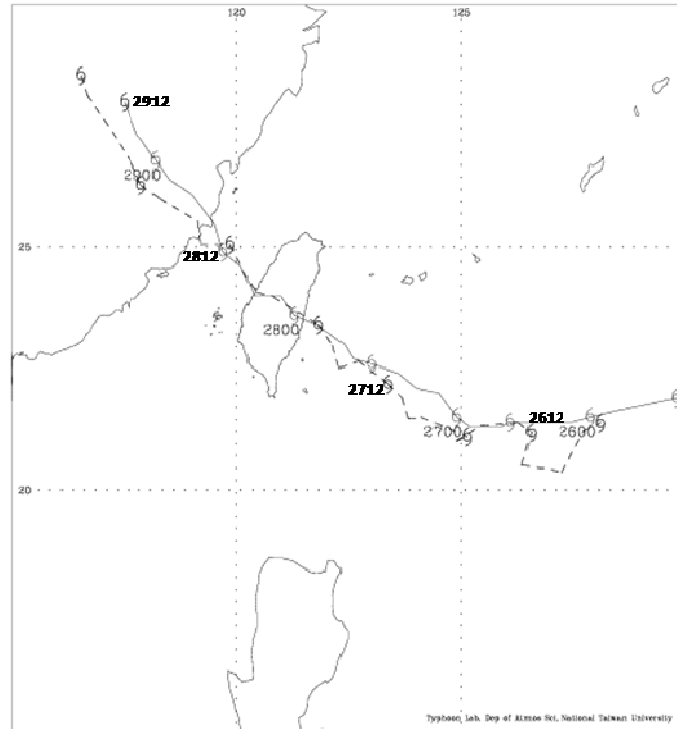
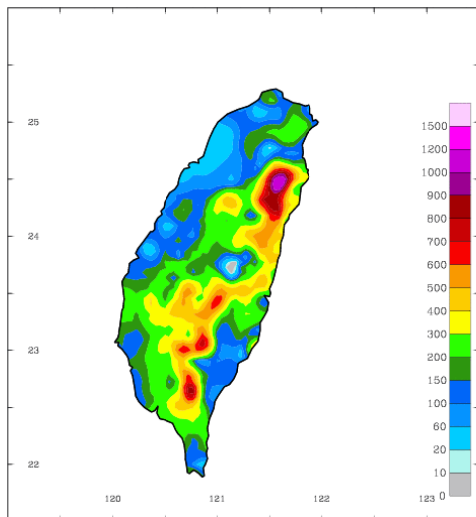


圖 3-22 2008 年鳳凰颱風，其中實線為氣象局定位資料，虛線為控制組模擬之路徑，「00」為觀測之位置，「12」為模擬之位置。

(a)



(b)

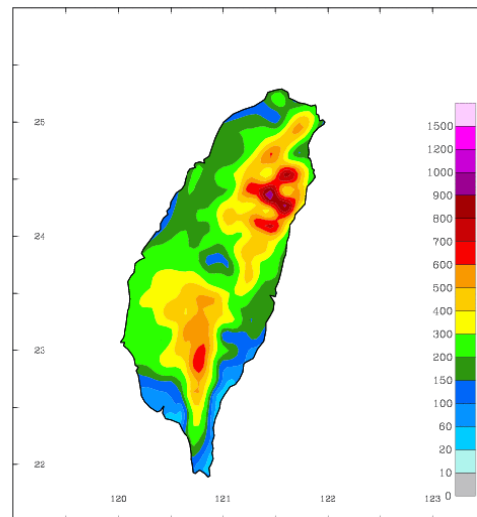
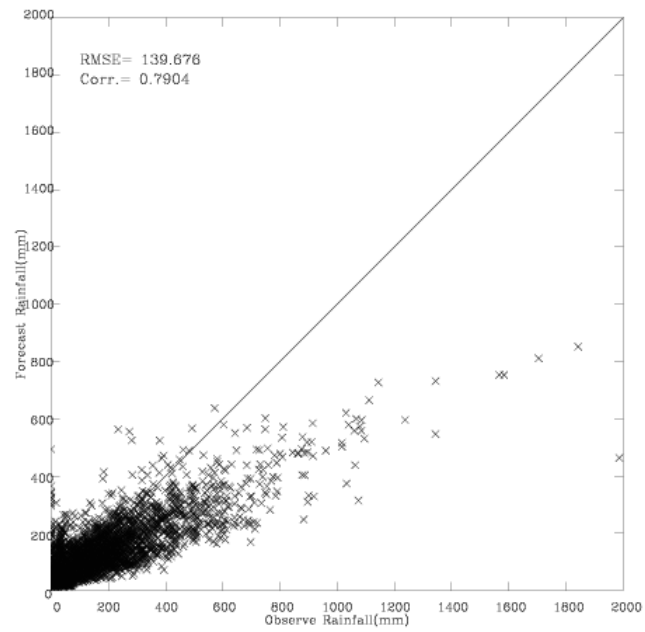


圖 3-23 2008 年鳳凰颱風，陸上颱風警報期間全台降雨分布圖，(a) 為實際觀測，(b) 為模擬結果。

(a)



(b)

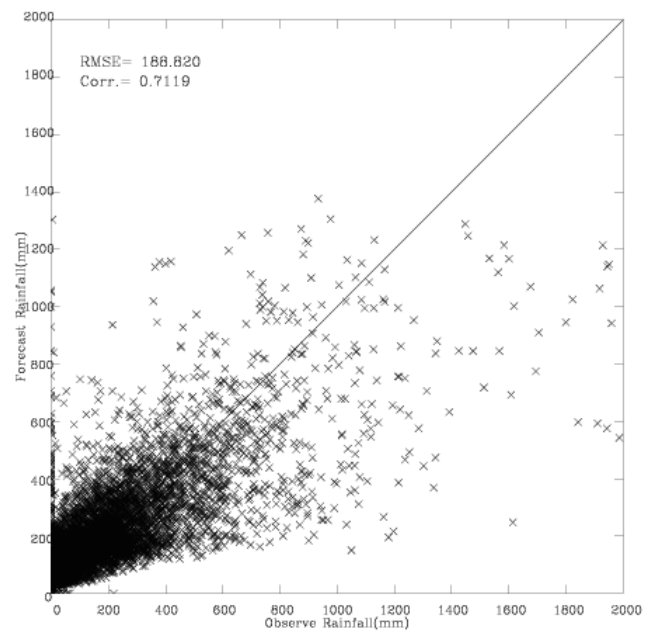


圖 4-1 利用(a)氣候模式及(b)動力統計模式，對相依個案，所有測站之總累積雨量的預估值（縱軸）相對於觀測值（橫軸）之分佈。

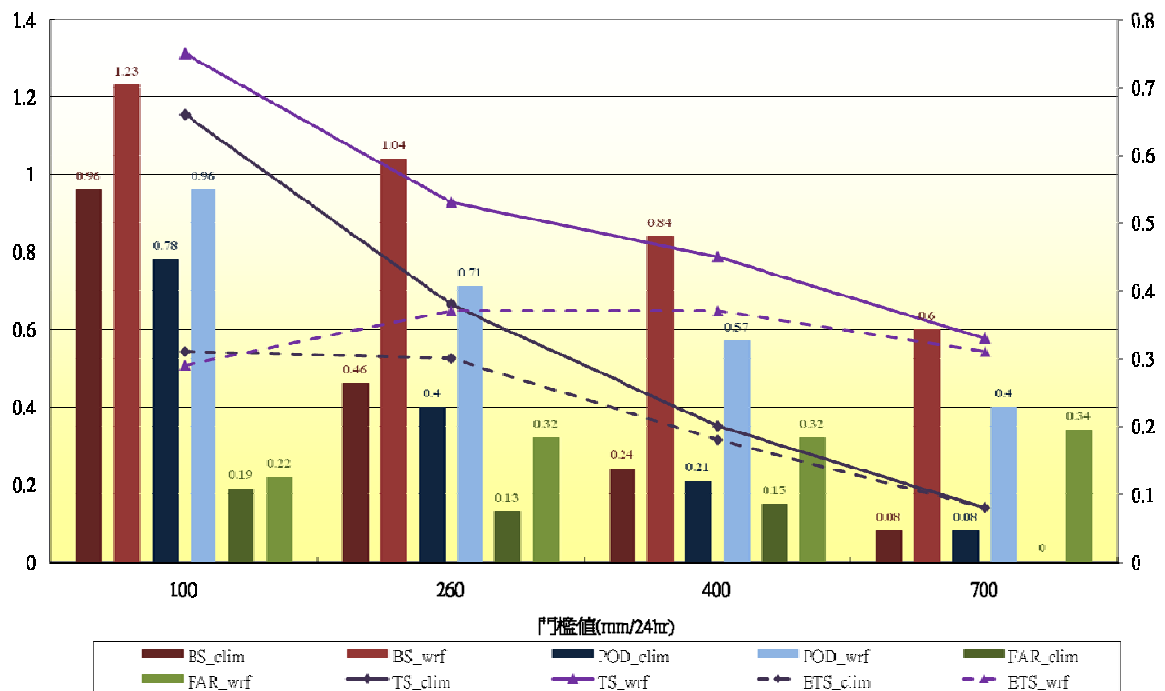
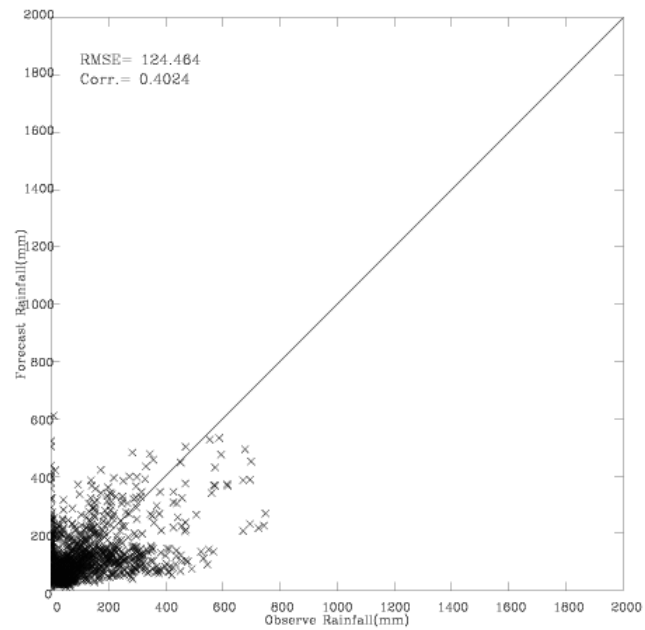


圖 4-2 利用氣候模式及動力統計模式預報相依颱風個案之總累積雨量，在不同門檻值的校驗結果，其中紅色代表偏倚評分，藍色代表可偵測機率，綠色代表誤報率，紫色實線為 T 得分，紫色虛線為 ETS。

(a)



(b)

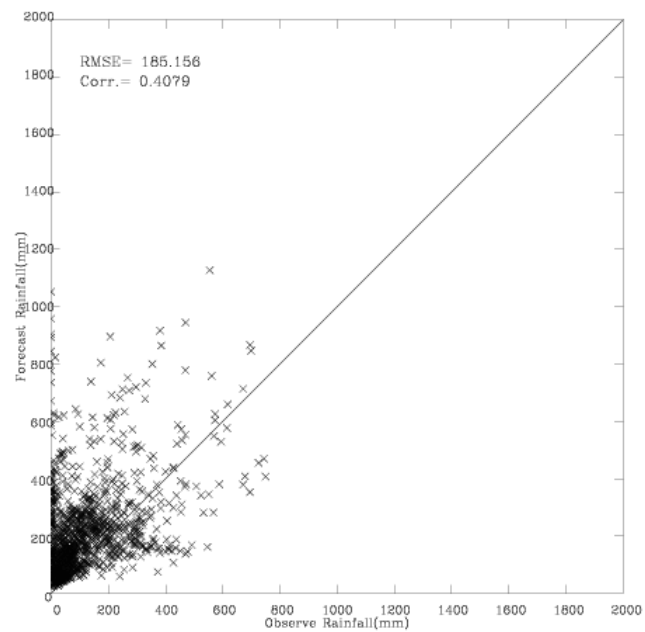


圖 4-3 利用(a)氣候模式及(b)動力統計模式，對獨立個案，所有測站之總累積雨量的預估值（縱軸）相對於觀測值（橫軸）之分佈。

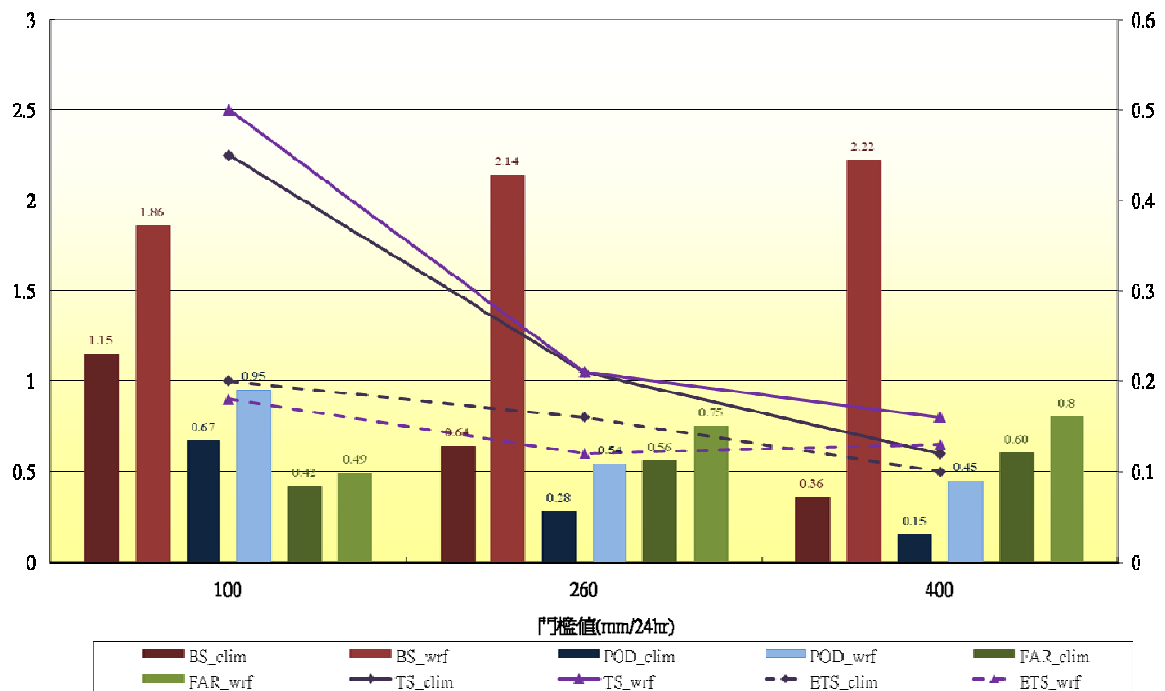
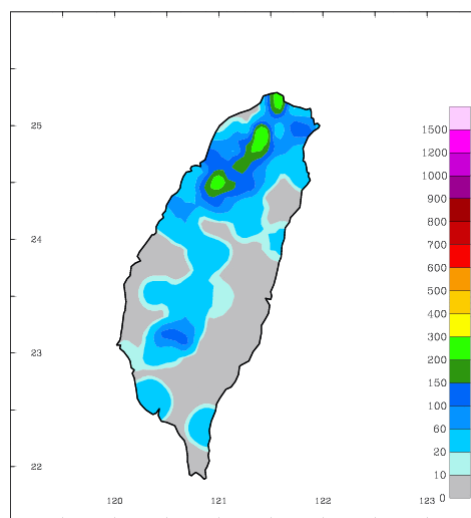
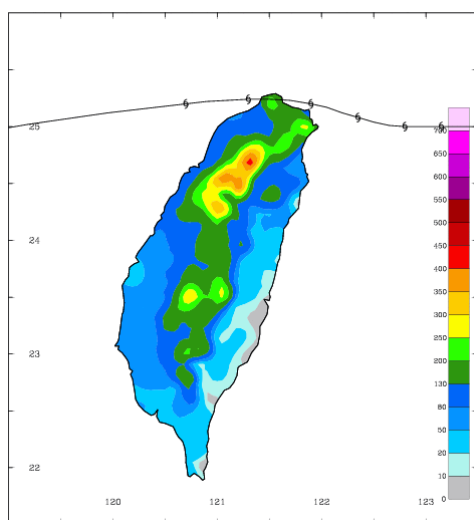


圖 4-4 利用氣候模式及動力統計模式，預報獨立颱風個案之總累積雨量，在不同門檻值的校驗結果，其中紅色代表偏倚評分，藍色代表可偵測機率，綠色代表誤報率，紫色實線為 T 得分，紫色虛線為 ETS。

(a)



(b)



(c)

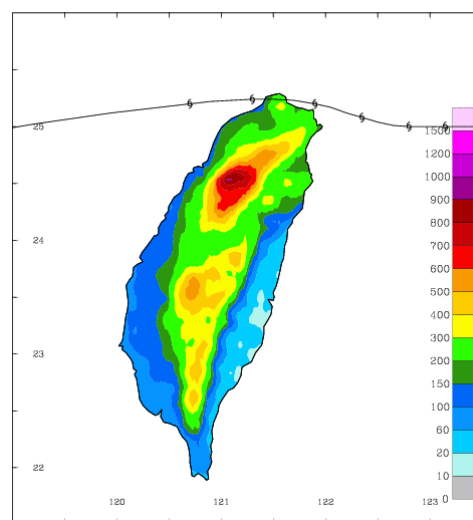
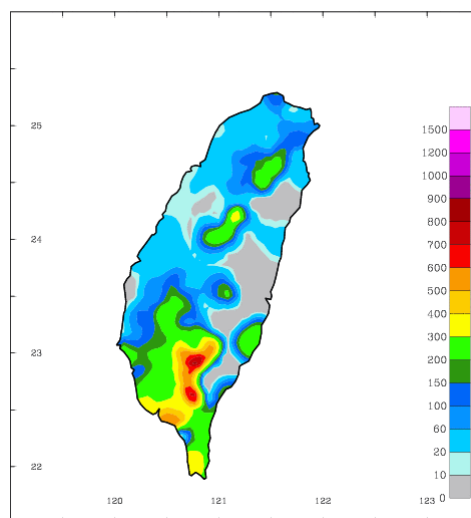
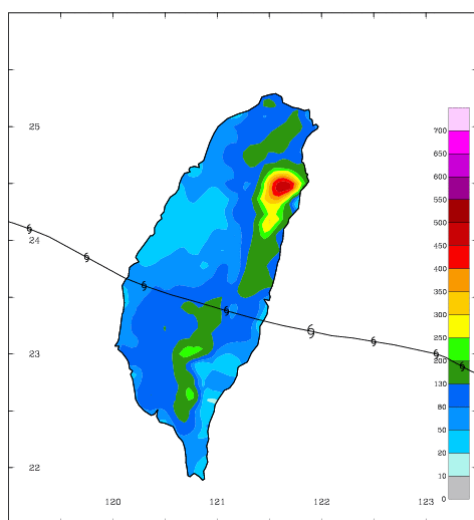


圖 4-5 1991 年愛麗 (Ellie) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。

(a)



(b)



(c)

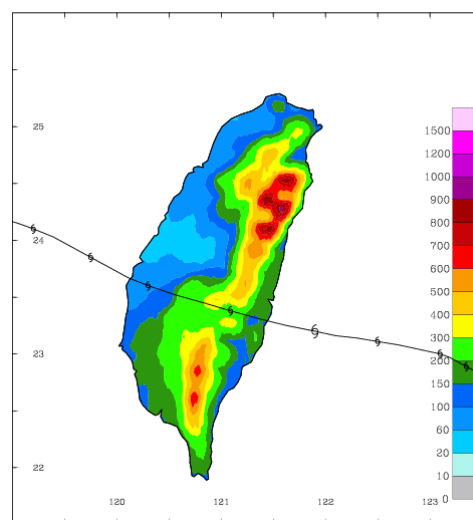
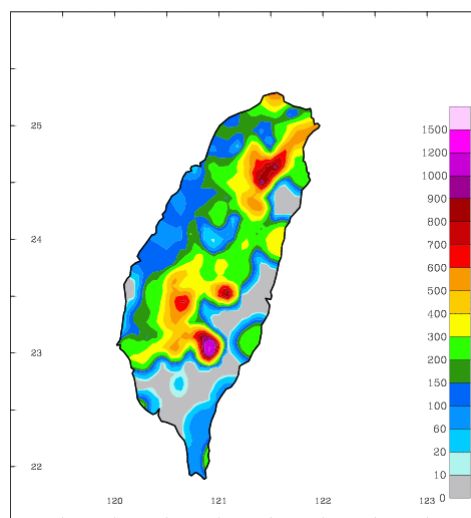
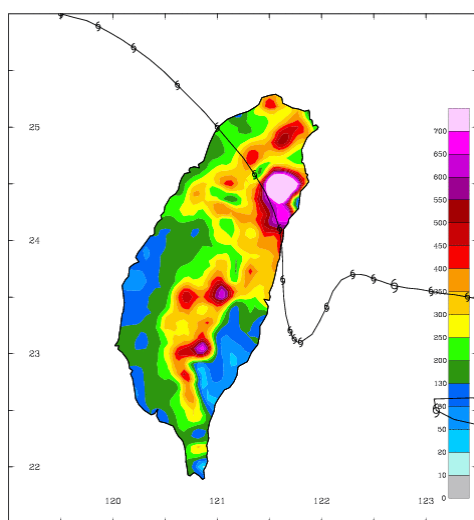


圖 4-6 1992 年歐馬 (Omar) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。

(a)



(b)



(c)

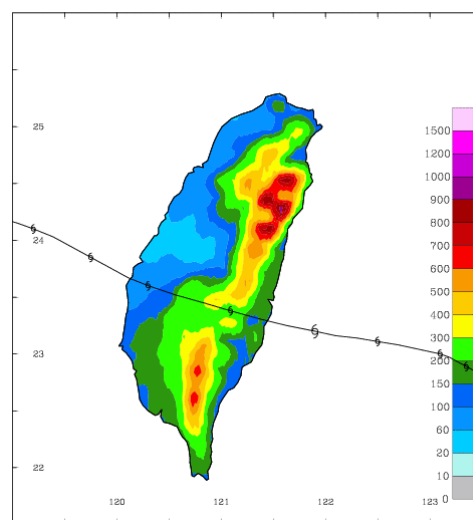
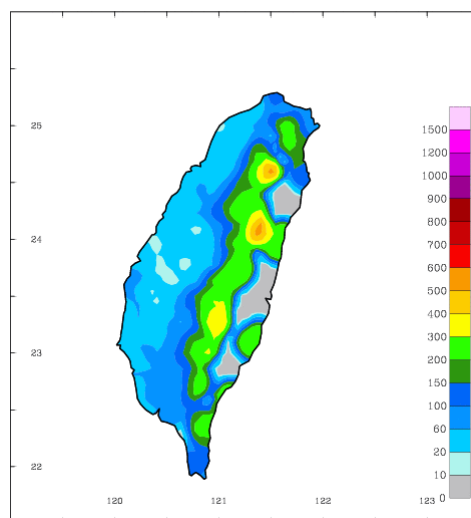
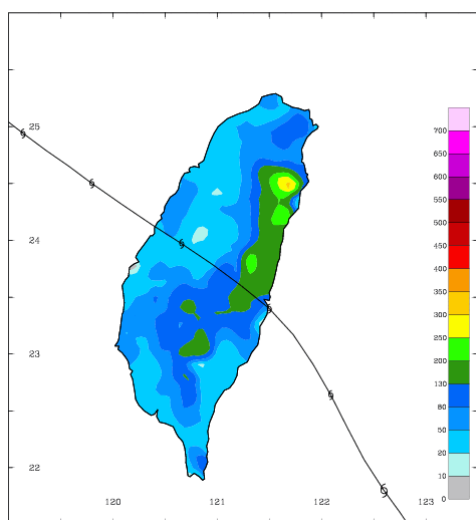


圖 4-7 1992 年寶莉 (Polly) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。

(a)



(b)



(c)

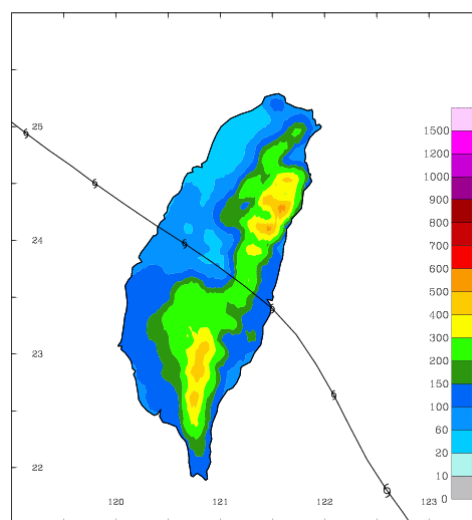
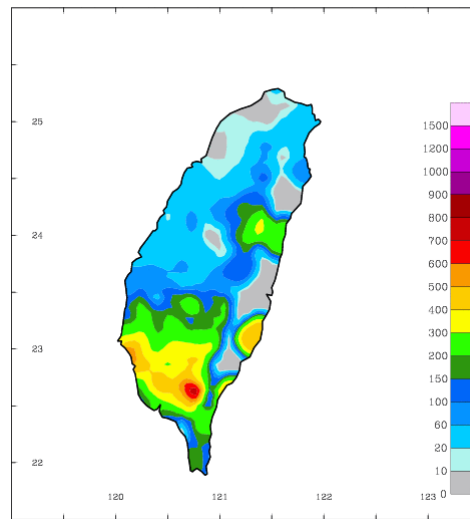
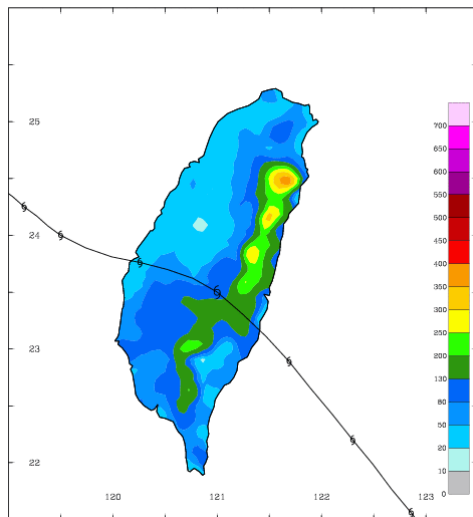


圖 4-8 1994 年提姆 (Tim) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估值。

(a)



(b)



(c)

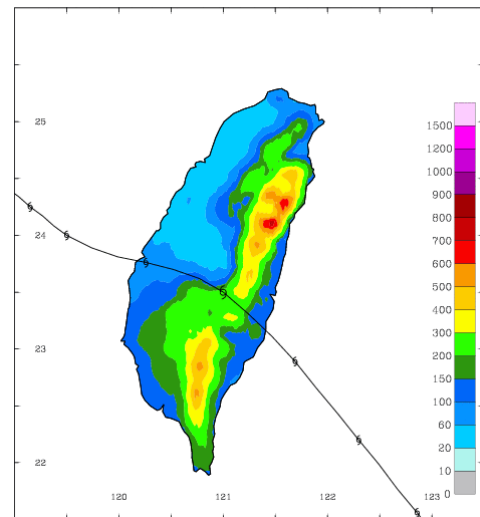
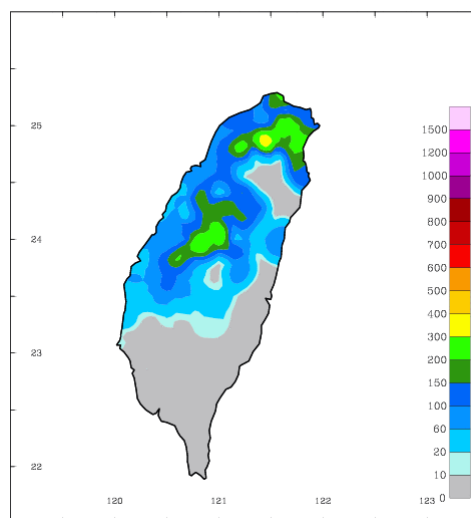
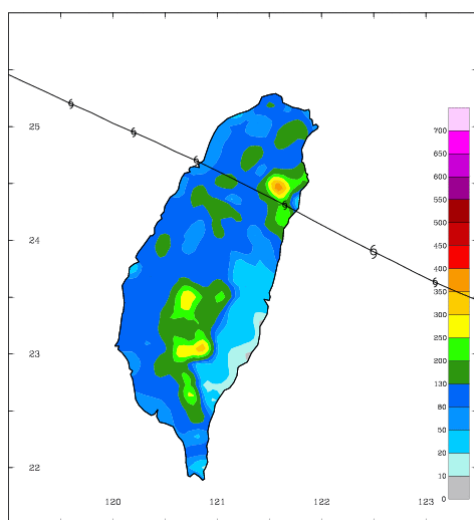


圖 4-9 1994 年凱特琳 (Caitlin) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估値。

(a)



(b)



(c)

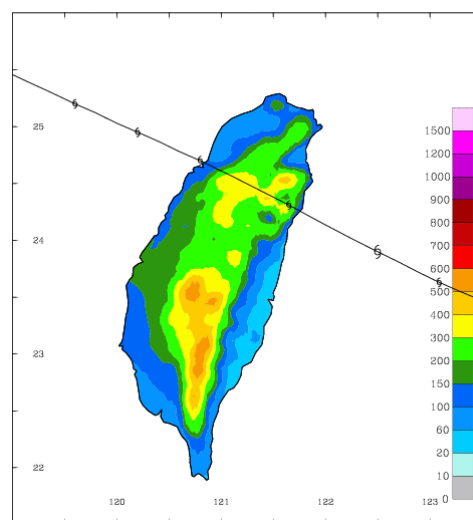
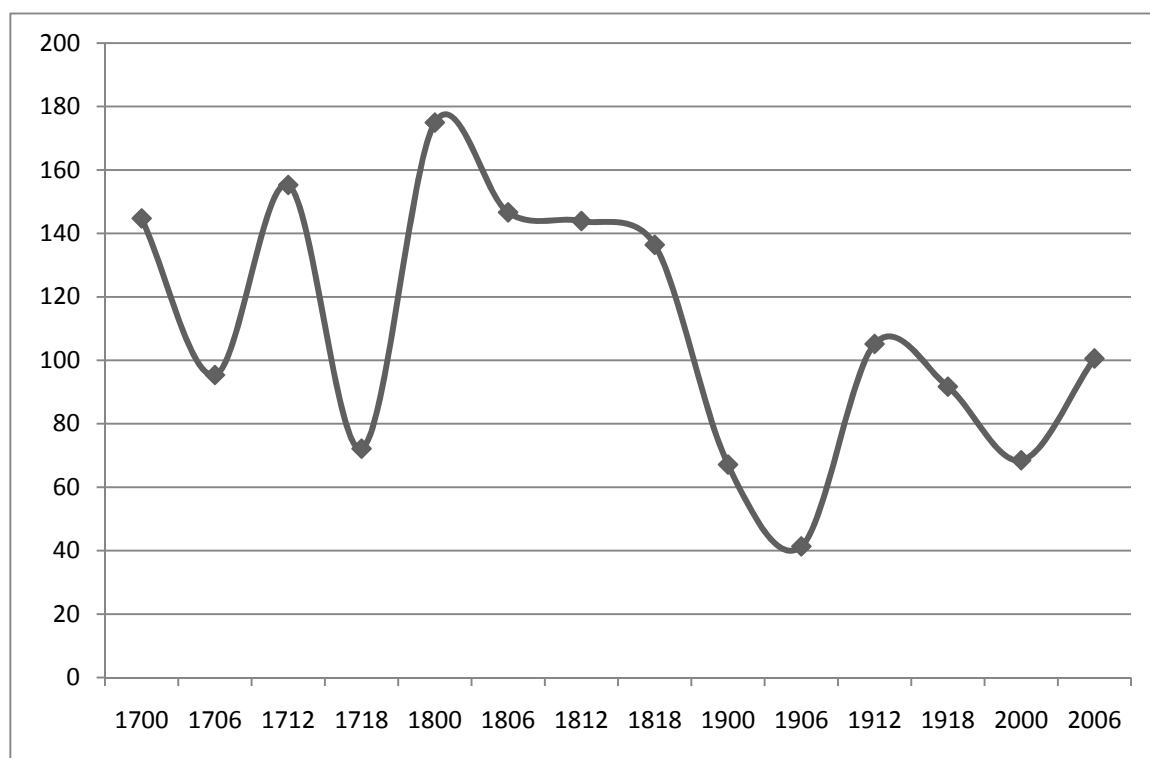


圖 4-10 1994 年葛拉絲 (Gladys) 颱風於陸上颱風警報發布期間之累積雨量分布圖，(a) 觀測值、(b) 氣候模式及 (c) 動力統計模式之預估値。

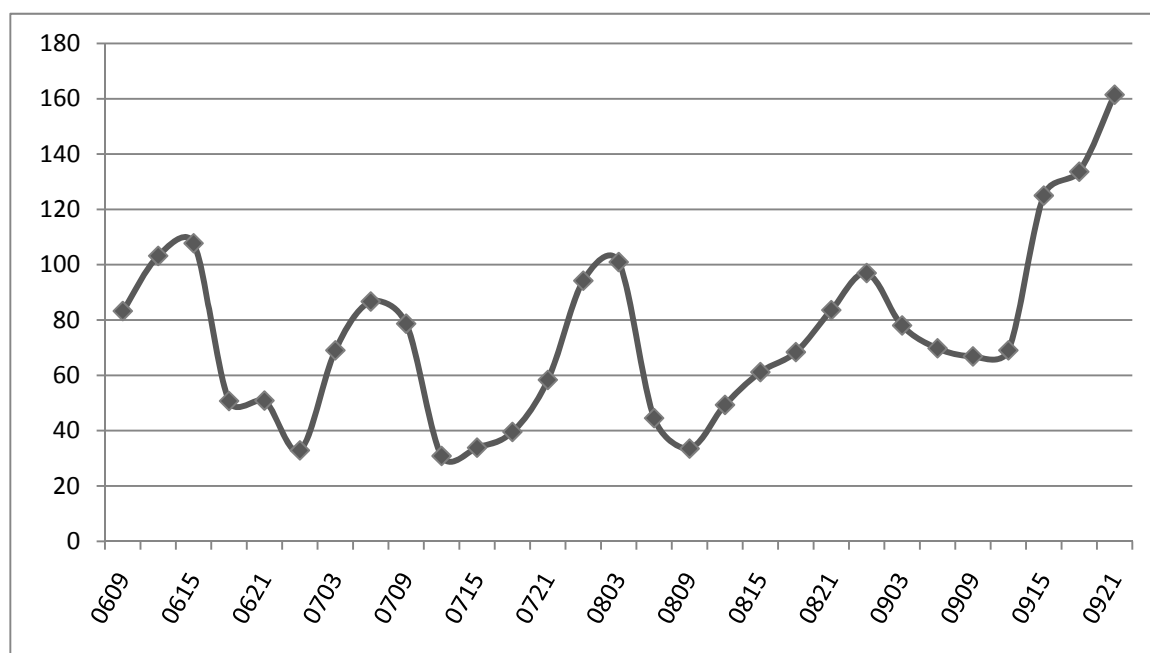
附件一

表附 1-1 所有模擬個案在模擬時間內之平均路徑誤差

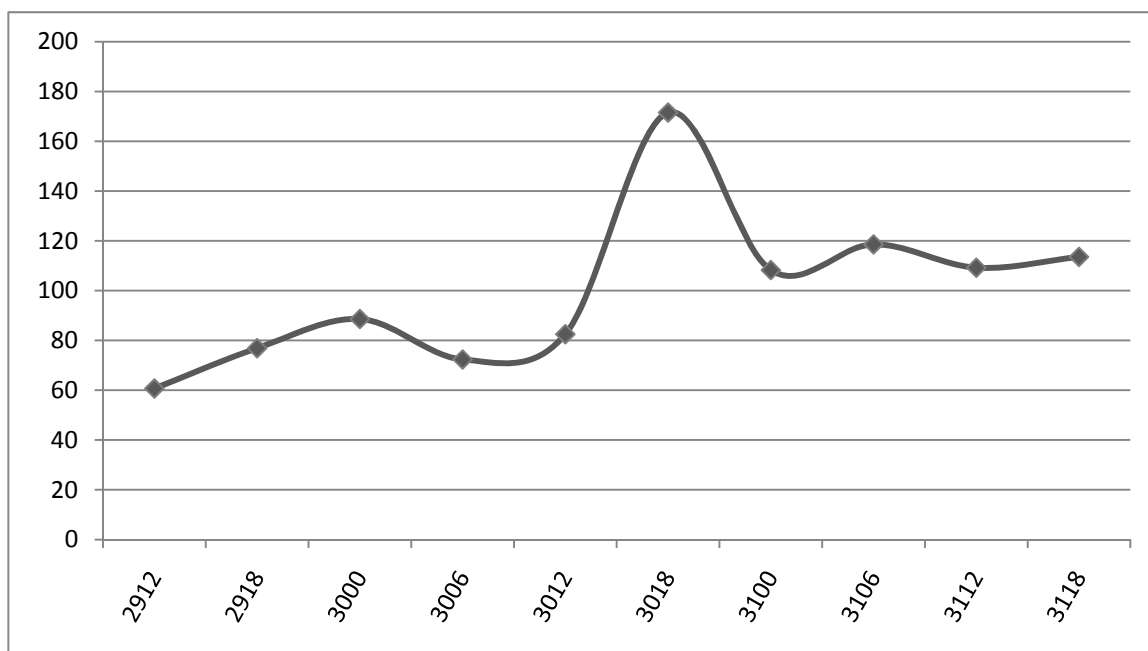
年分	颱風名稱	路徑分類	平均路徑誤差（公里）
1990	楊希（Yancy）	2	110.3
1990	黛特（Dot）	3	115.2
1996	賀伯（Herb）	2	100.2
1997	安珀（Amber）	3	45.3
1998	奧托（Otto）	3	79.9
2000	碧利斯（Bilis）	3	95.8
2001	桃芝（Toraji）	3	123.8
2005	海棠（Haitang）	3	90.4
2005	泰利（Talim）	3	98.7
2005	龍王（Longwang）	3	48.7
2006	碧利斯（Bilis）	2	143.7
2006	凱米（Kaemi）	3	82.7
2007	梧提（Wutip）	3	117.8
2007	聖帕（Sepat）	3	58.1
2007	柯羅莎（Krosa）	2	75.4
2008	卡玫基（Kalmaegi）	2	45.8
2008	鳳凰（Fungwong）	3	53.9
2008	辛樂克（Sinlaku）	2	72.0
2008	薔蜜（Jangmi）	2	128.9
2009	莫拉克（Morakot）	2	74.5



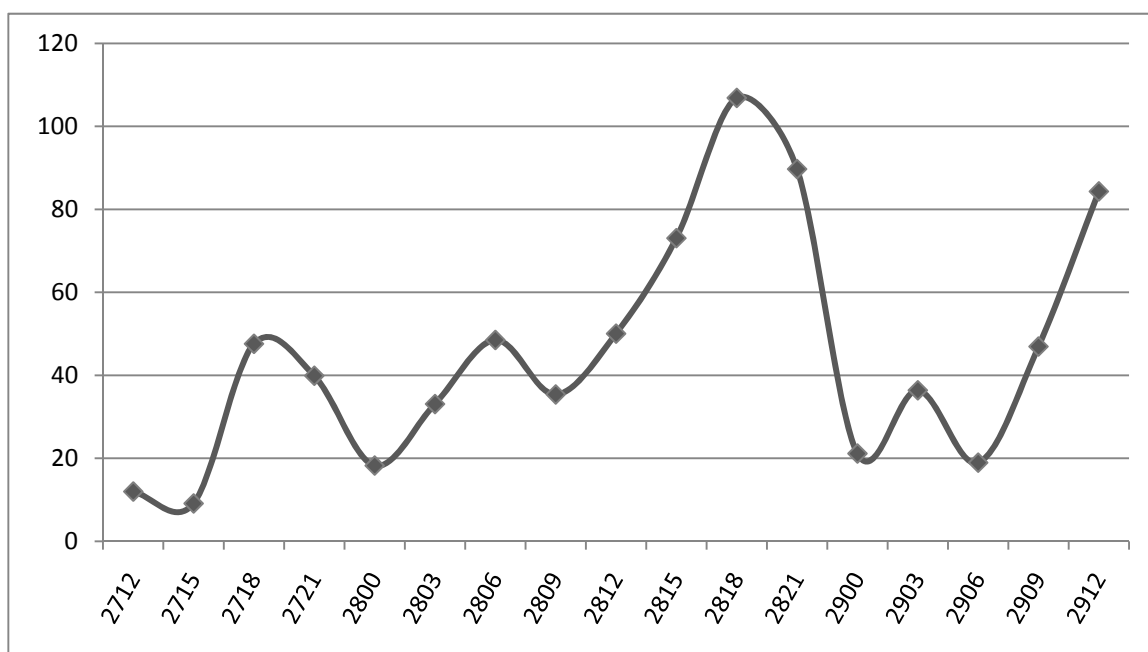
圖附 1-1 1990 年楊希颱風路徑誤差隨時間變化圖。



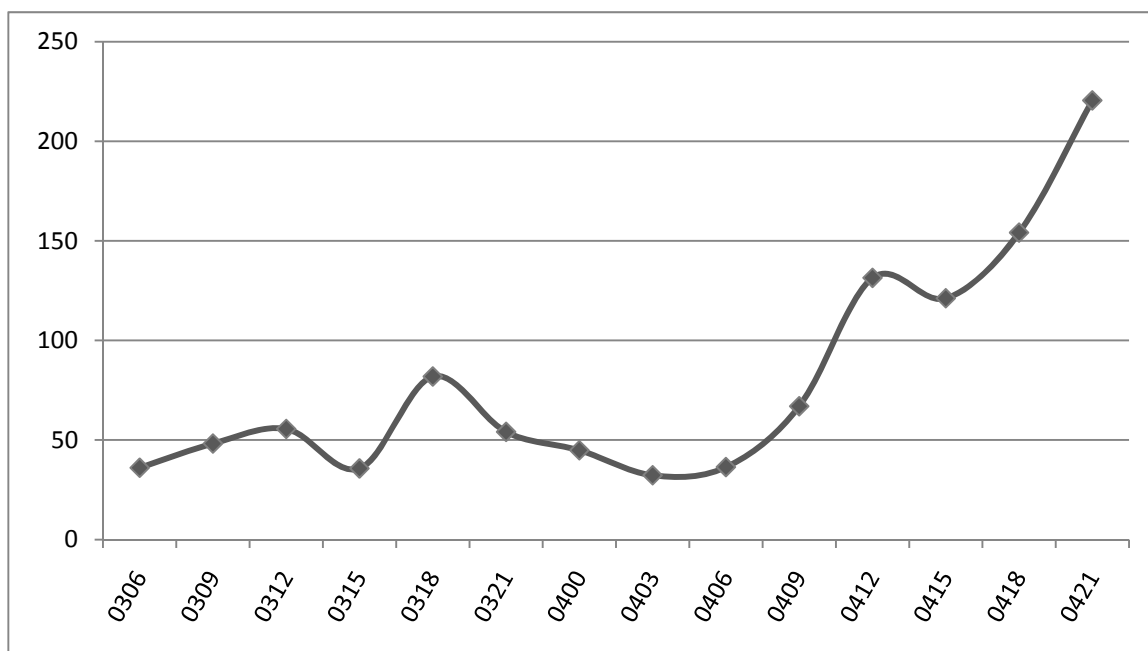
圖附 1-2 1990 年黛特颱風路徑誤差隨時間變化圖。



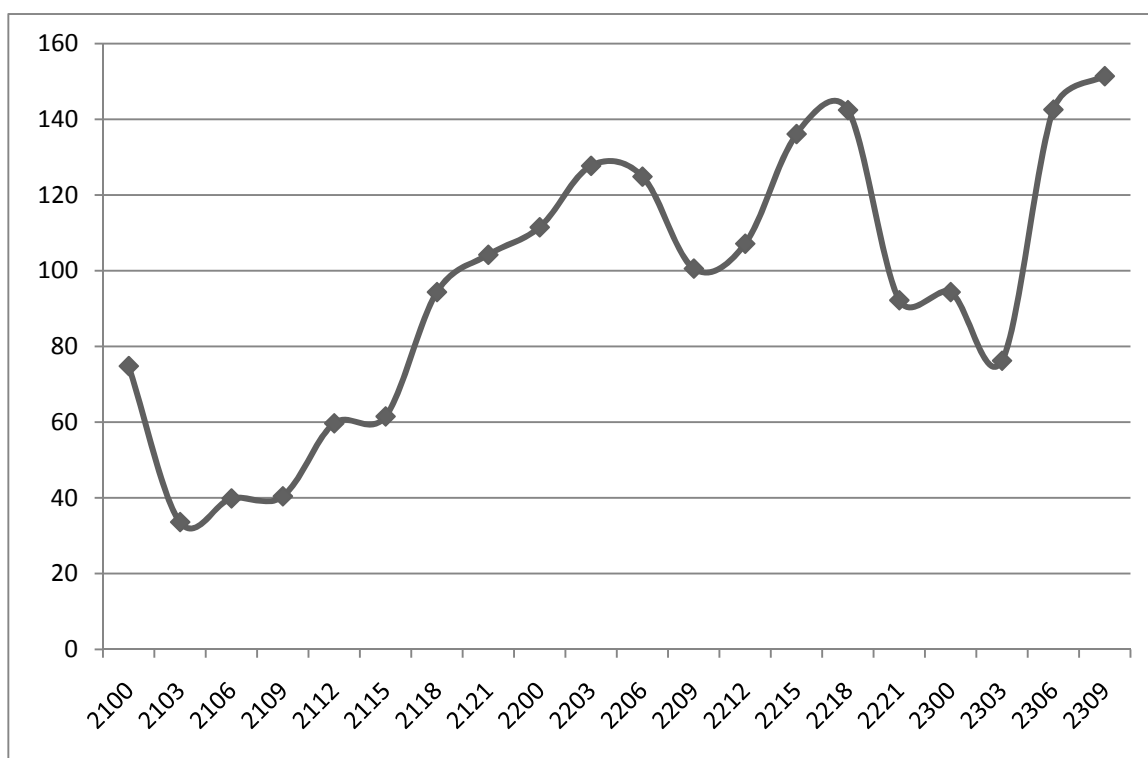
圖附 1-3 1996 年賀伯颱風路徑誤差隨時間變化圖。



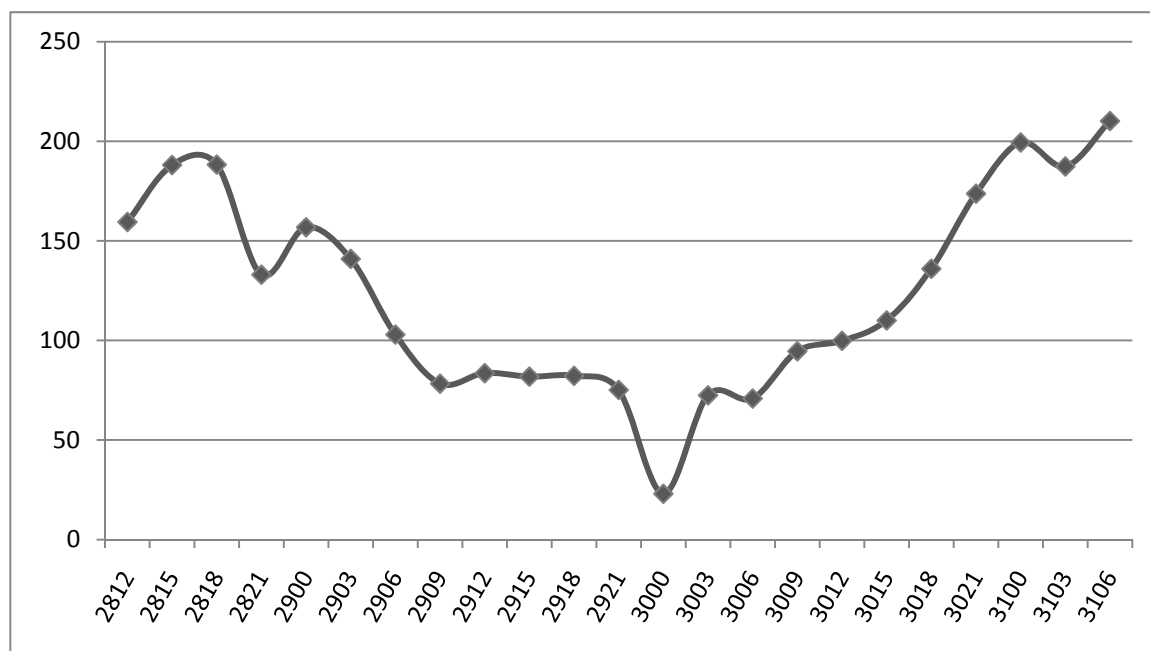
圖附 1-4 1997 年安珀颱風路徑誤差隨時間變化圖。



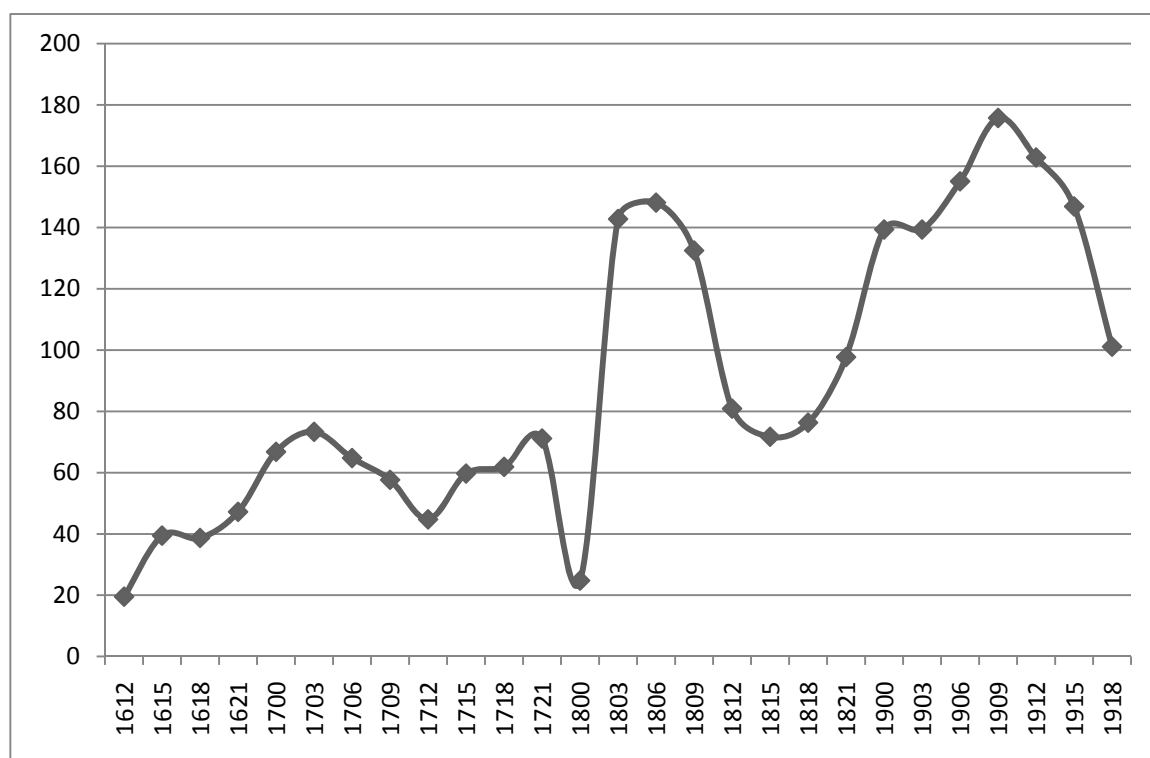
圖附 1-5 1998 年奧托颱風路徑誤差隨時間變化圖。



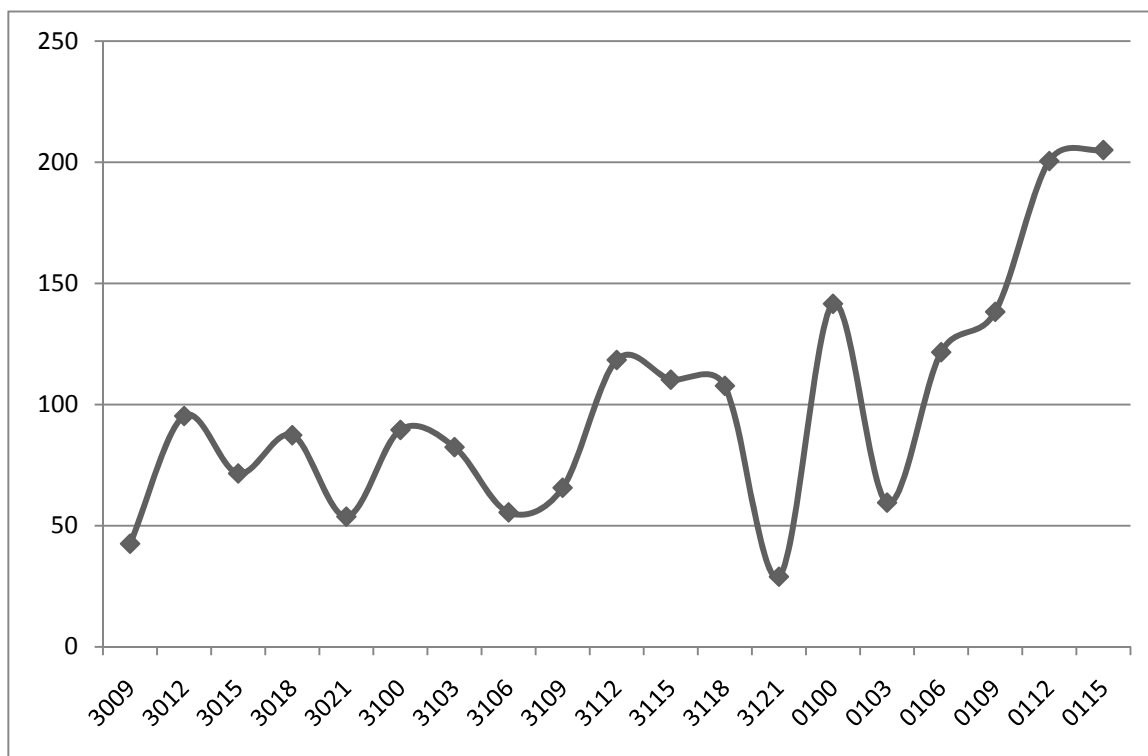
圖附 1-6 2000 年碧利斯颱風路徑誤差隨時間變化圖。



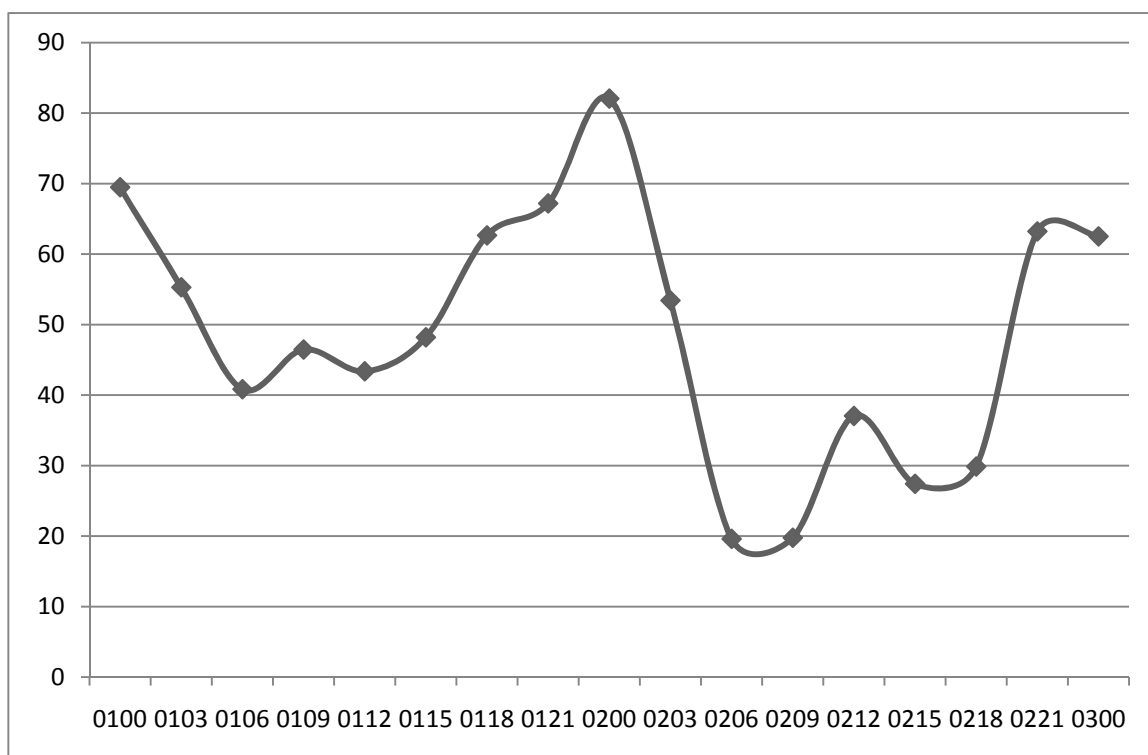
圖附 1-7 2001 年桃芝颱風路徑誤差隨時間變化圖。



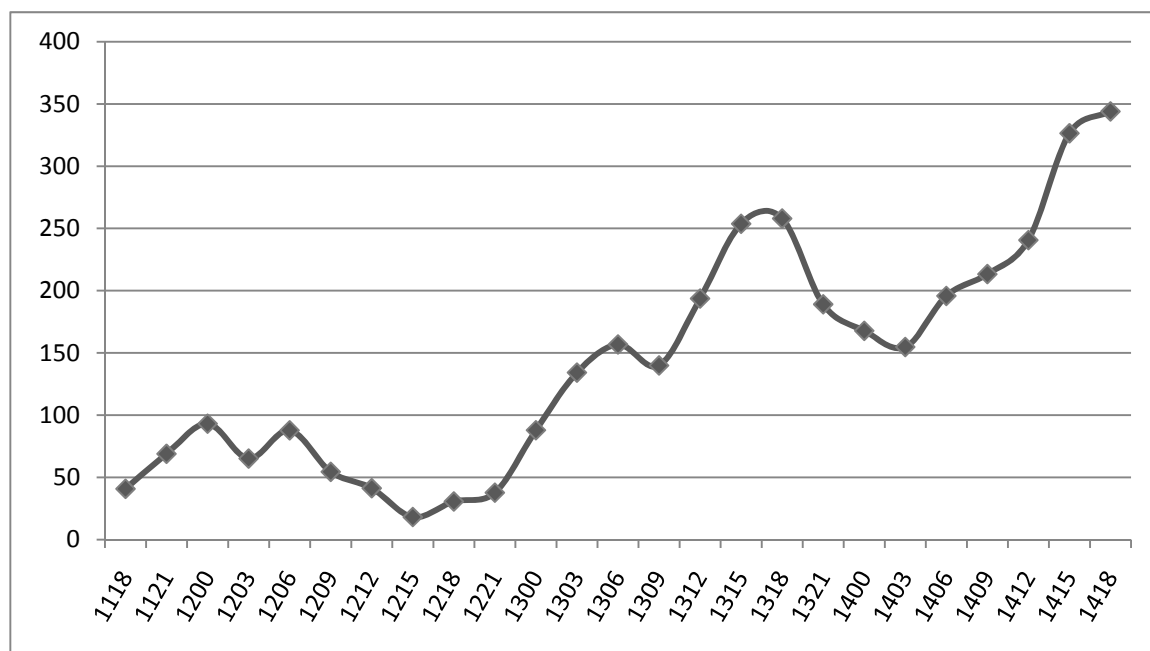
圖附 1-8 2005 年海棠颱風路徑誤差隨時間變化圖。



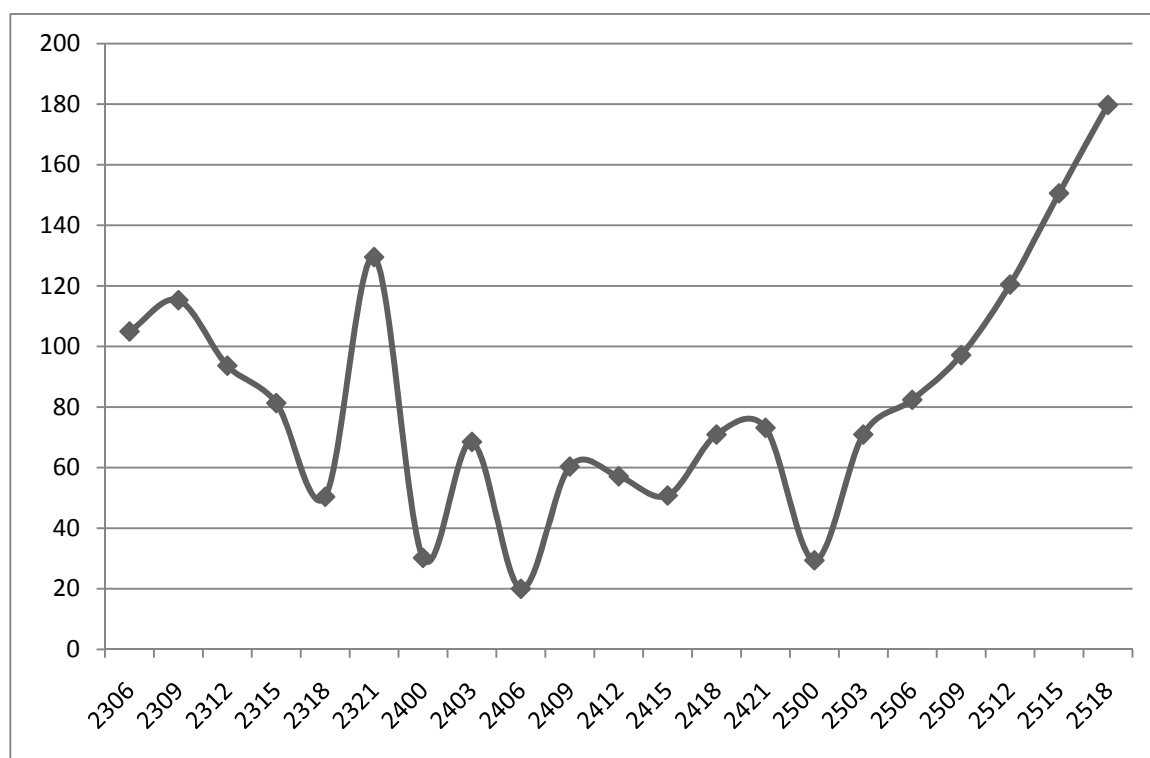
圖附 1-9 2005 年泰利颱風路徑誤差隨時間變化圖。



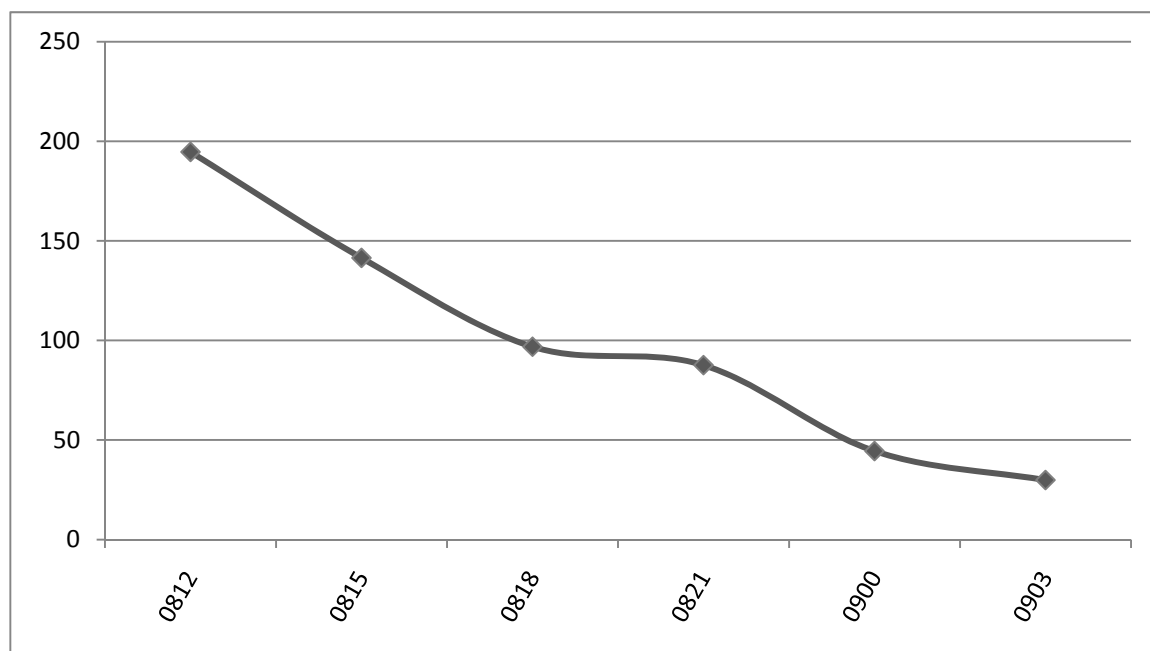
圖附 1-10 2005 年龍王颱風路徑誤差隨時間變化圖。



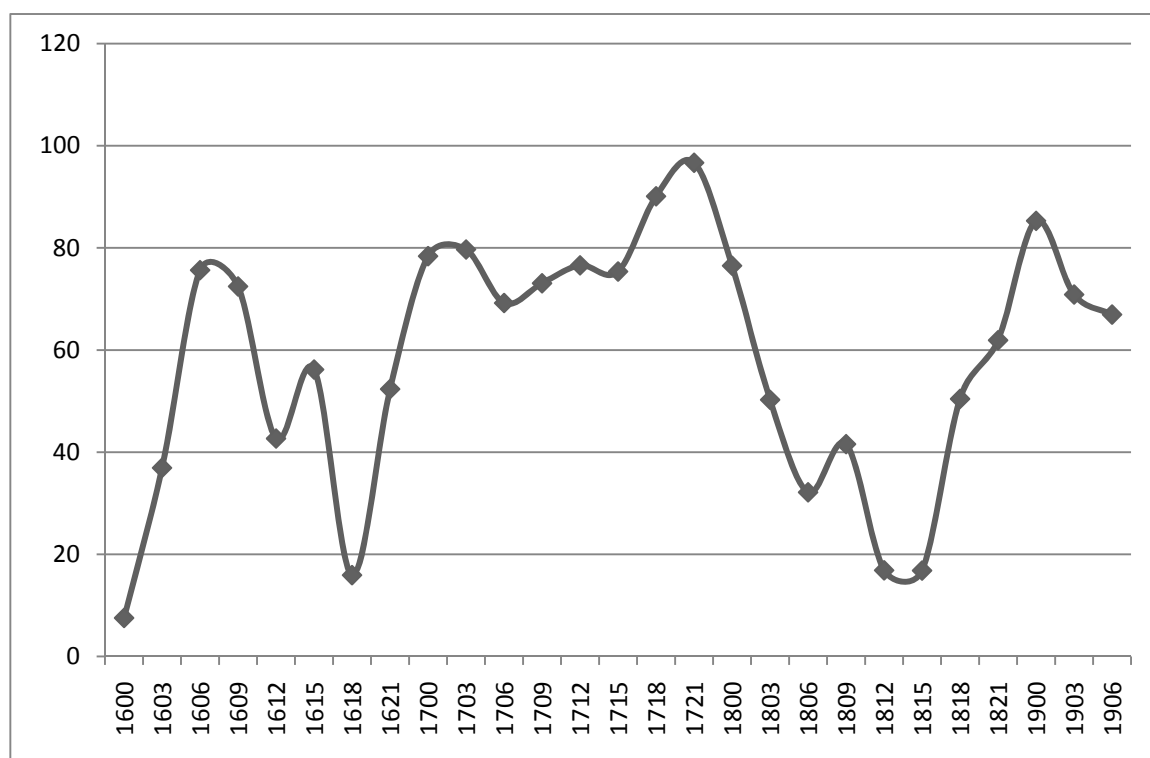
圖附 1-11 2006 年碧利斯颱風路徑誤差隨時間變化圖。



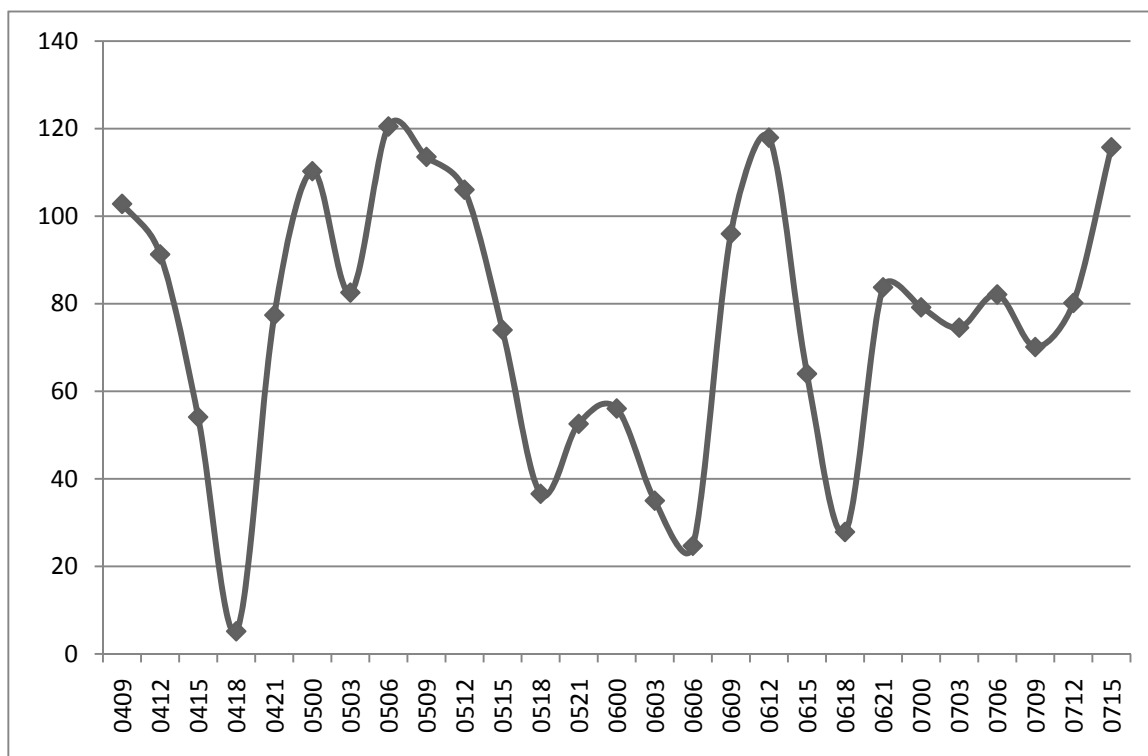
圖附 1-12 2006 年凱米颱風路徑誤差隨時間變化圖。



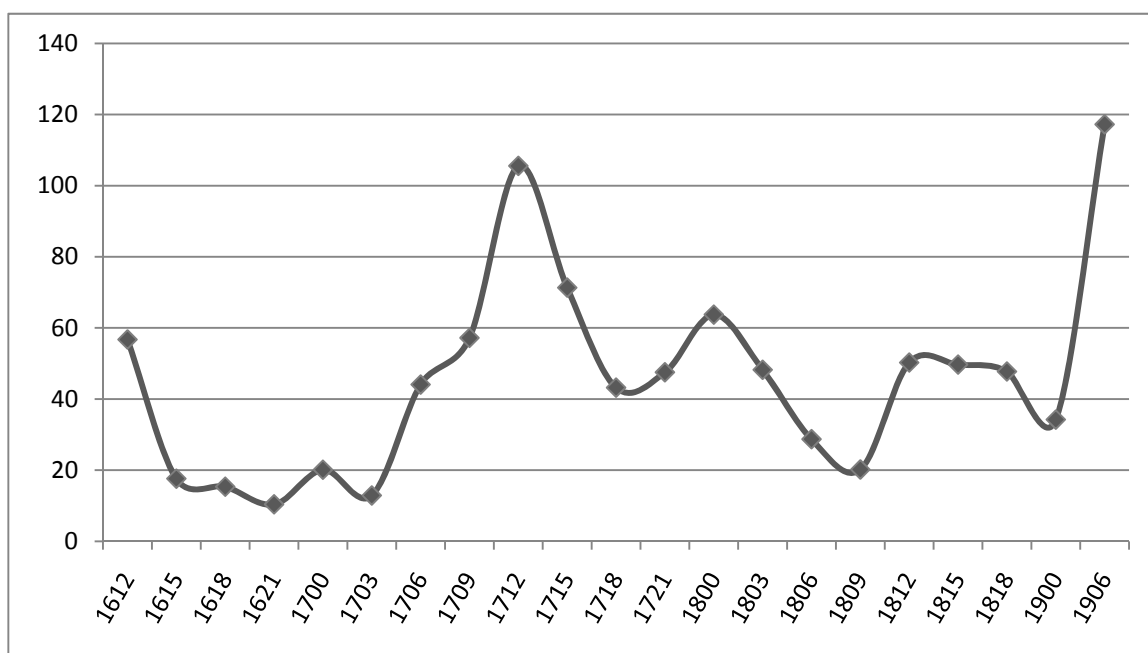
圖附 1-13 2007 年梧提颱風路徑誤差隨時間變化圖。



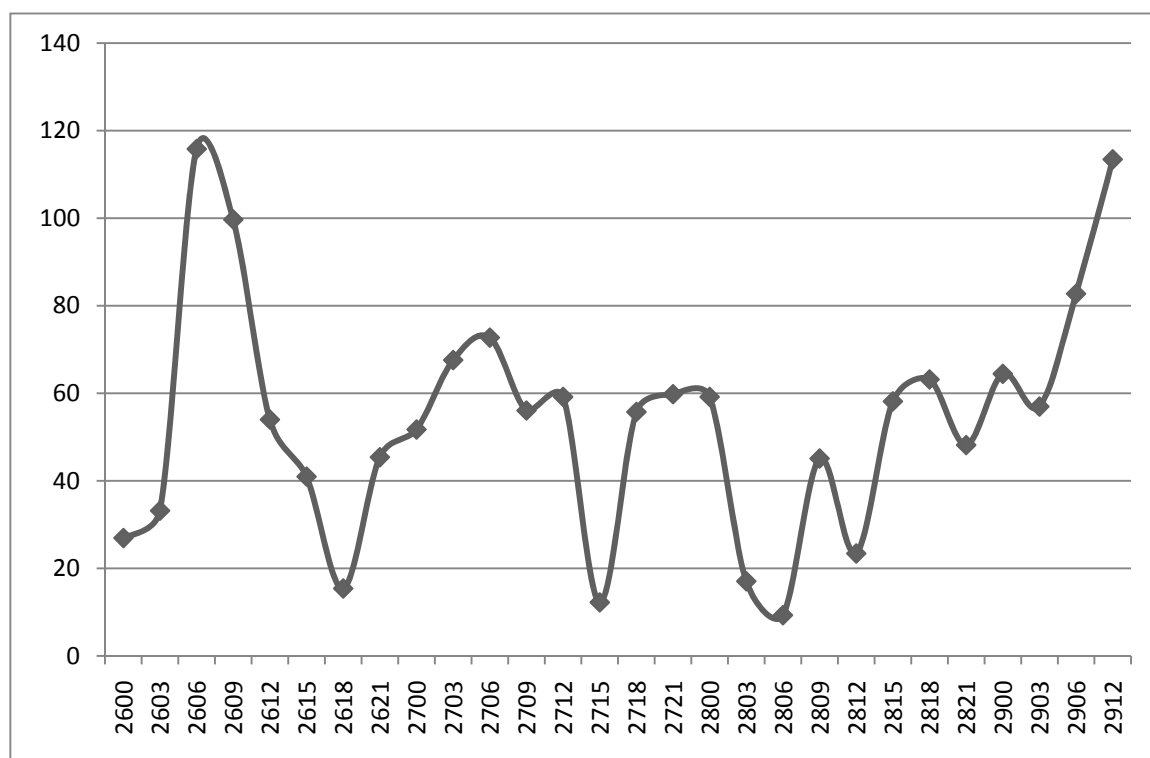
圖附 1-14 2007 年聖帕颱風路徑誤差隨時間變化圖。



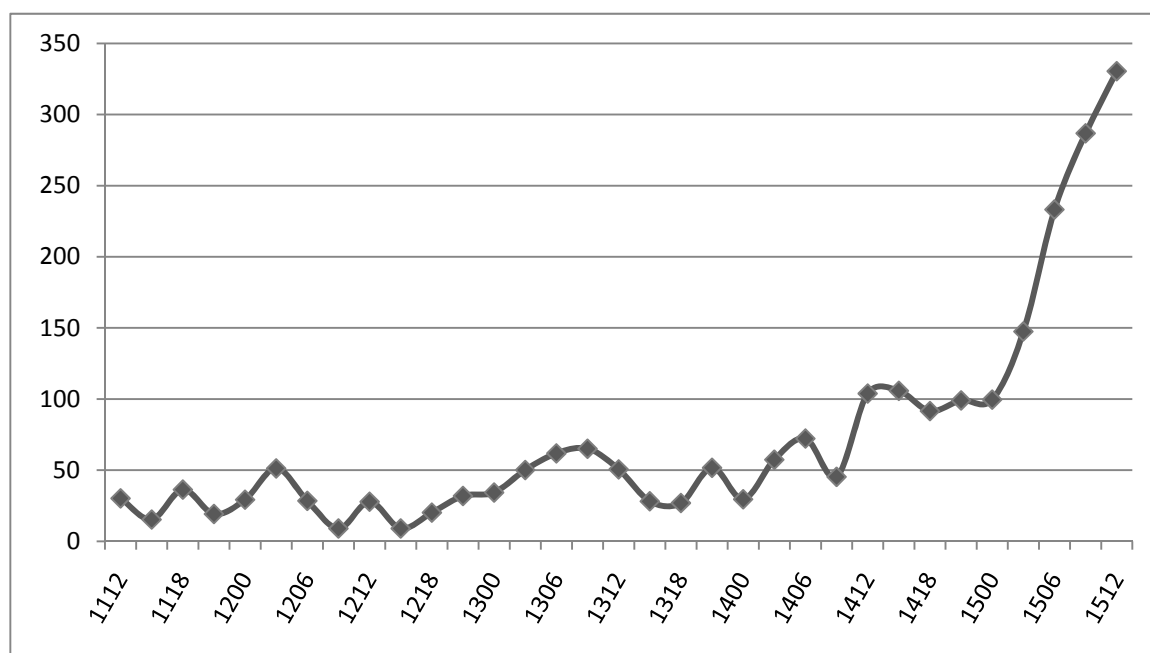
圖附 1-15 2007 年柯羅莎颱風路徑誤差隨時間變化圖。



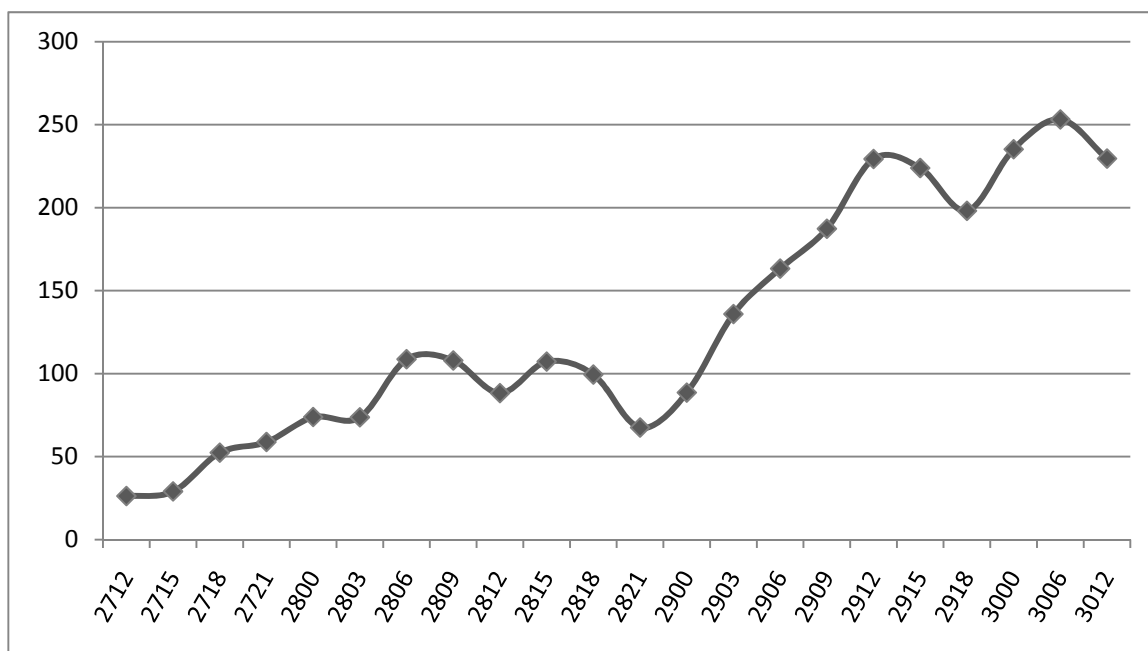
圖附 1-16 2008 年卡玫基颱風路徑誤差隨時間變化圖。



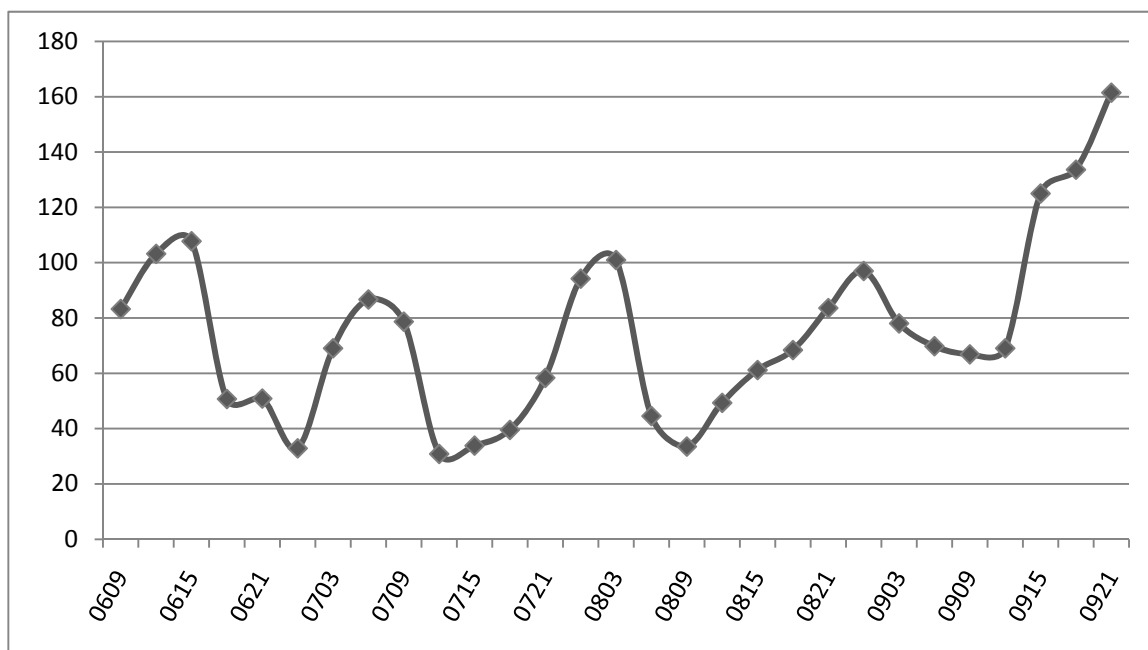
圖附 1-17 2008 年鳳凰颱風路徑誤差隨時間變化圖。



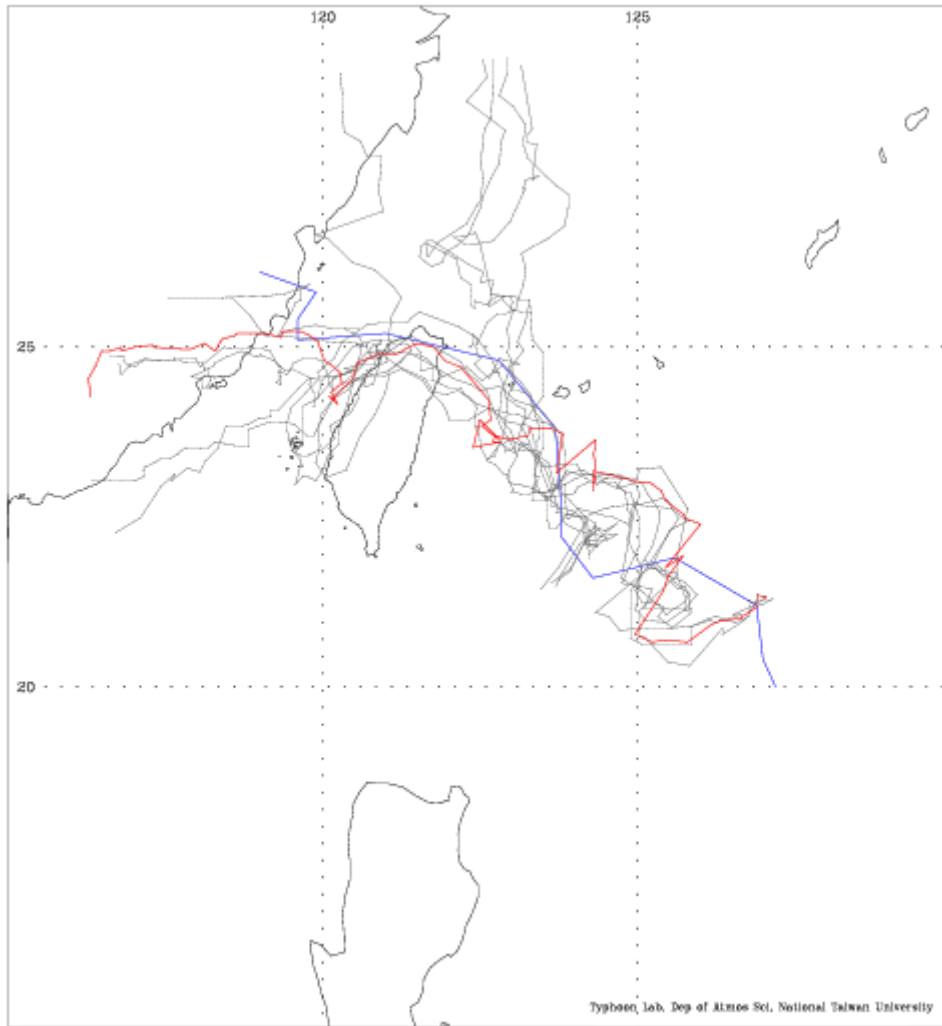
圖附 1-18 2008 年辛樂克颱風路徑誤差隨時間變化圖。



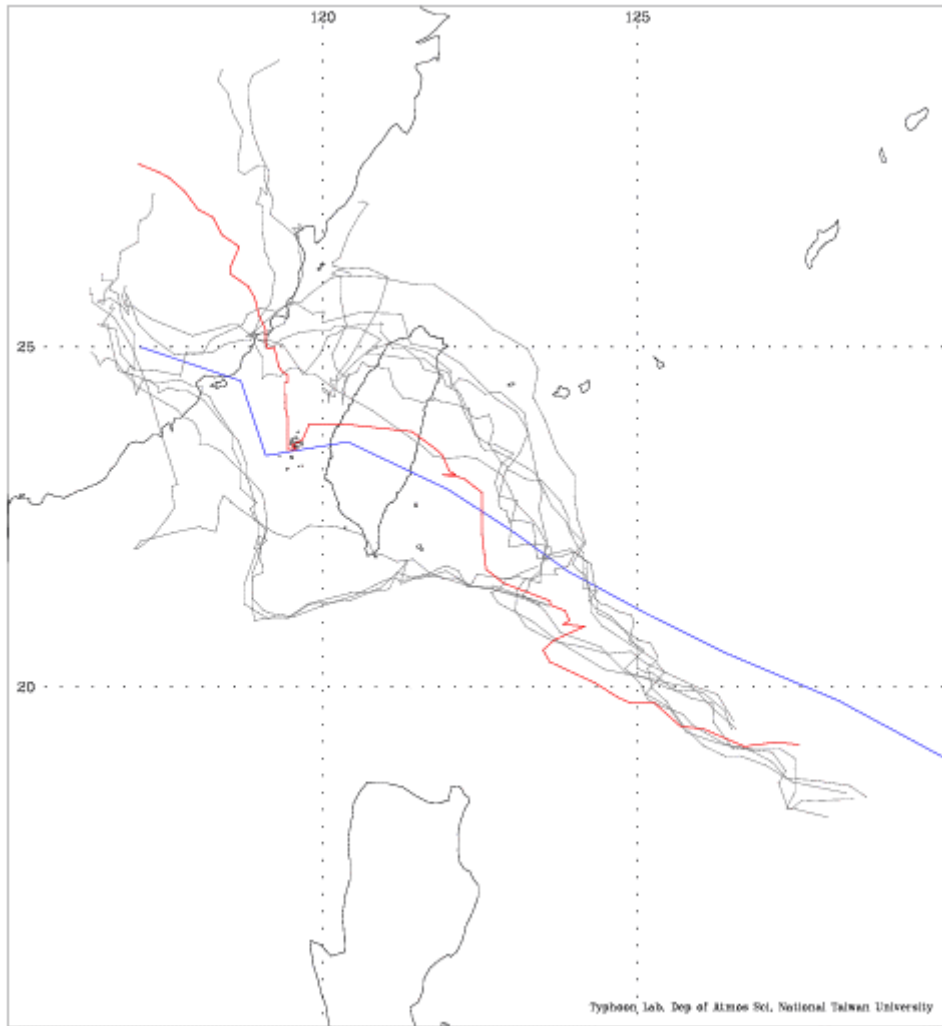
圖附 1-19 2008 年薔蜜颱風路徑誤差隨時間變化圖。



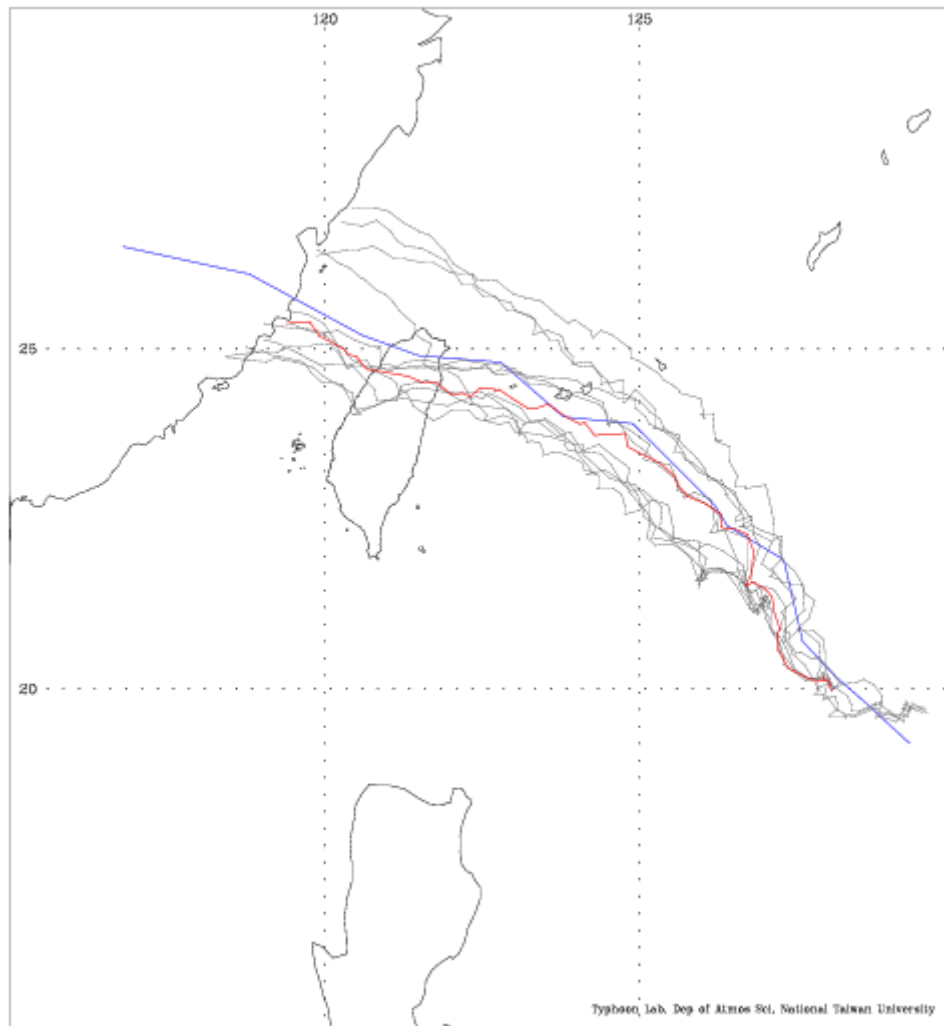
圖附 1-20 2009 年莫拉克颱風路徑誤差隨時間變化圖。



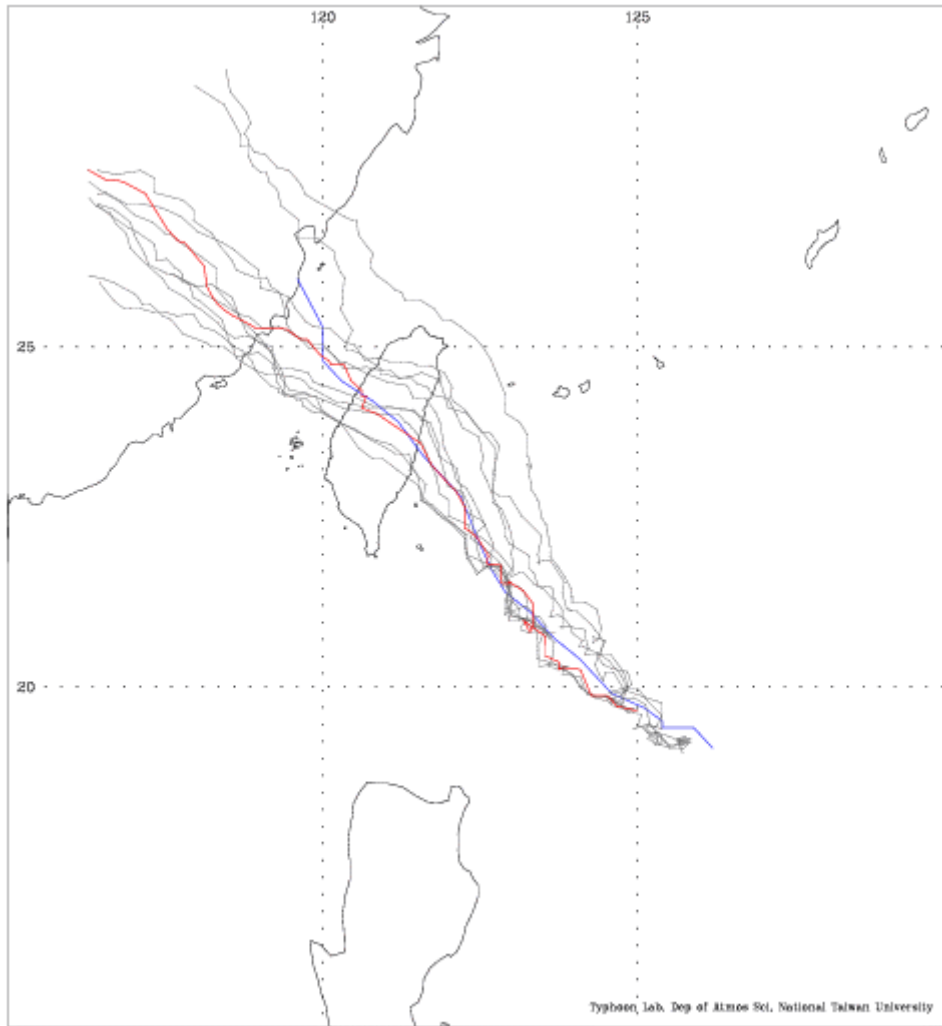
圖附 1-21 1990 年楊希颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



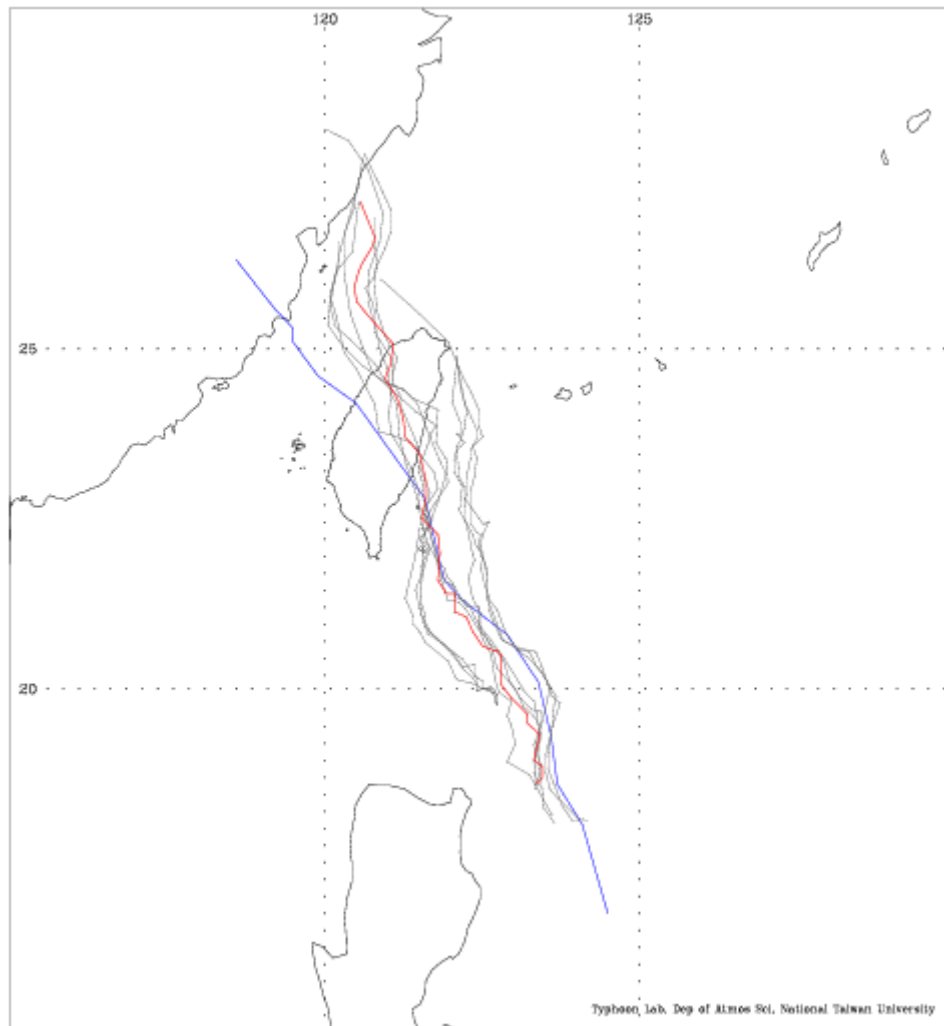
圖附 1-22 1990 年黛特颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



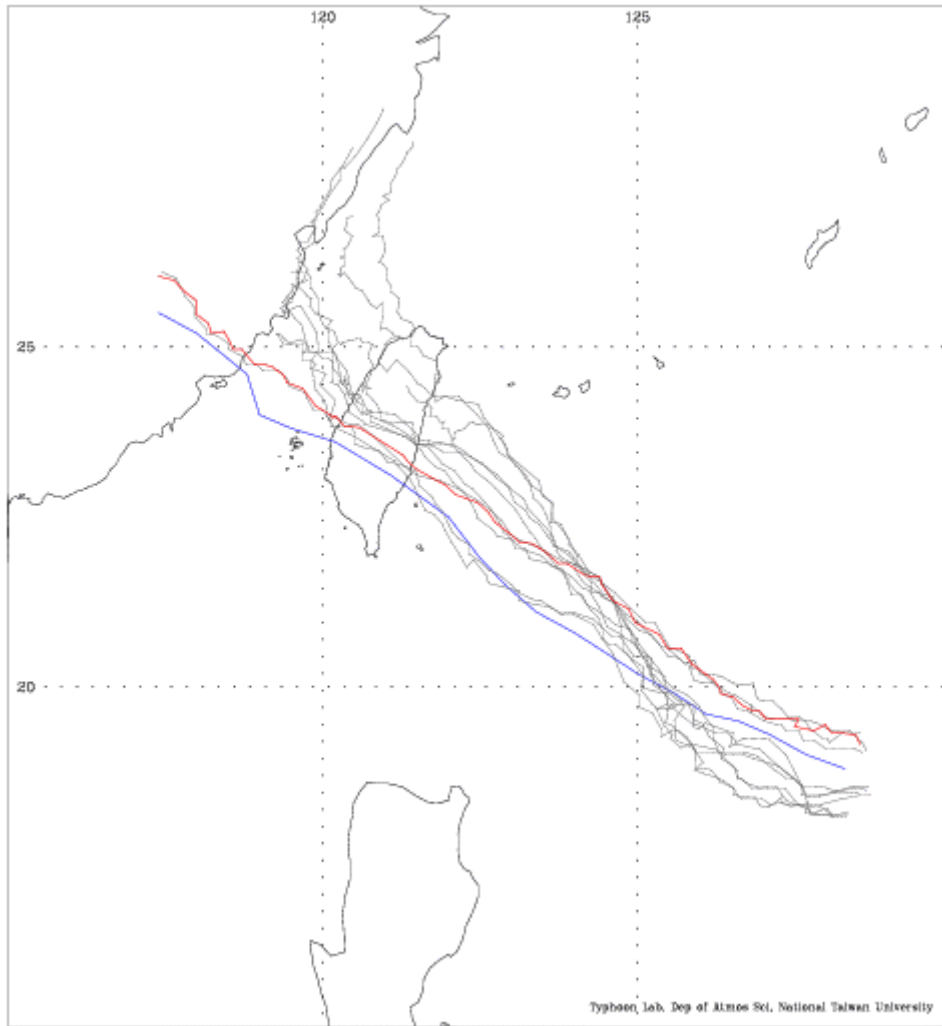
圖附 1-23 1996 年賀伯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



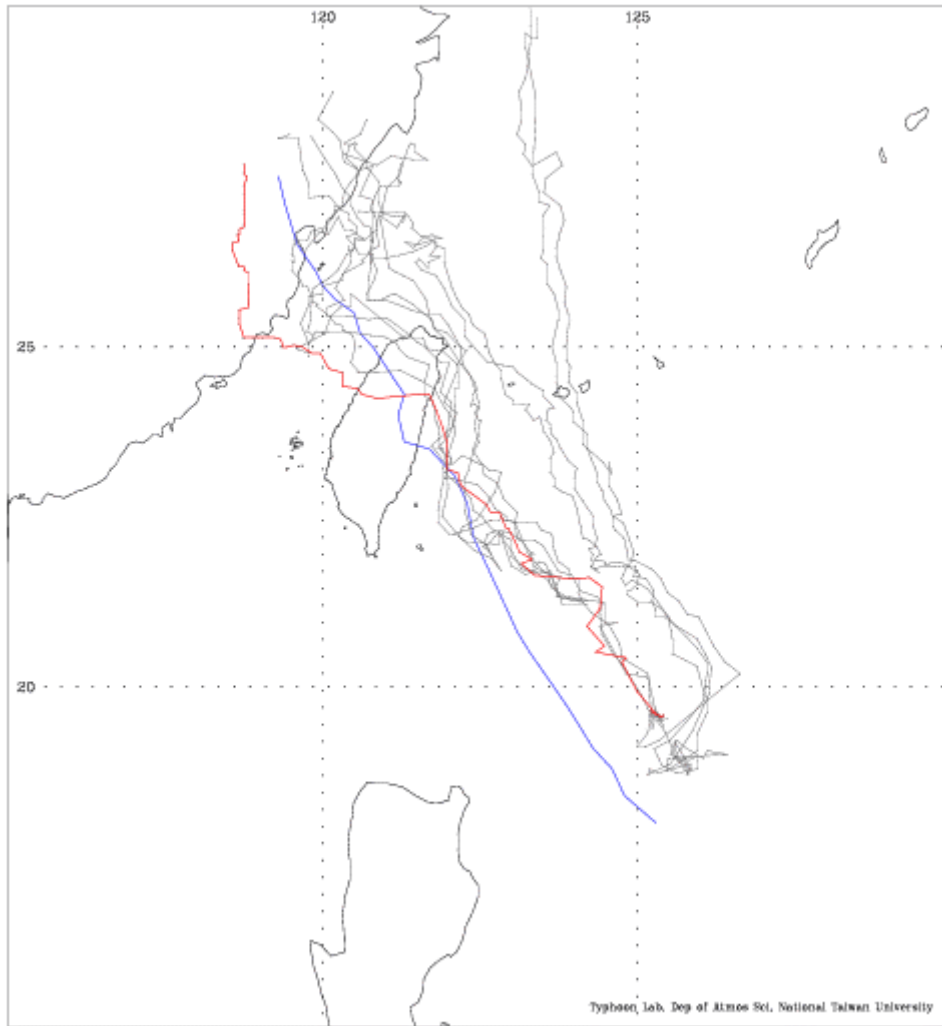
圖附 1-24 1997 年安珀颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



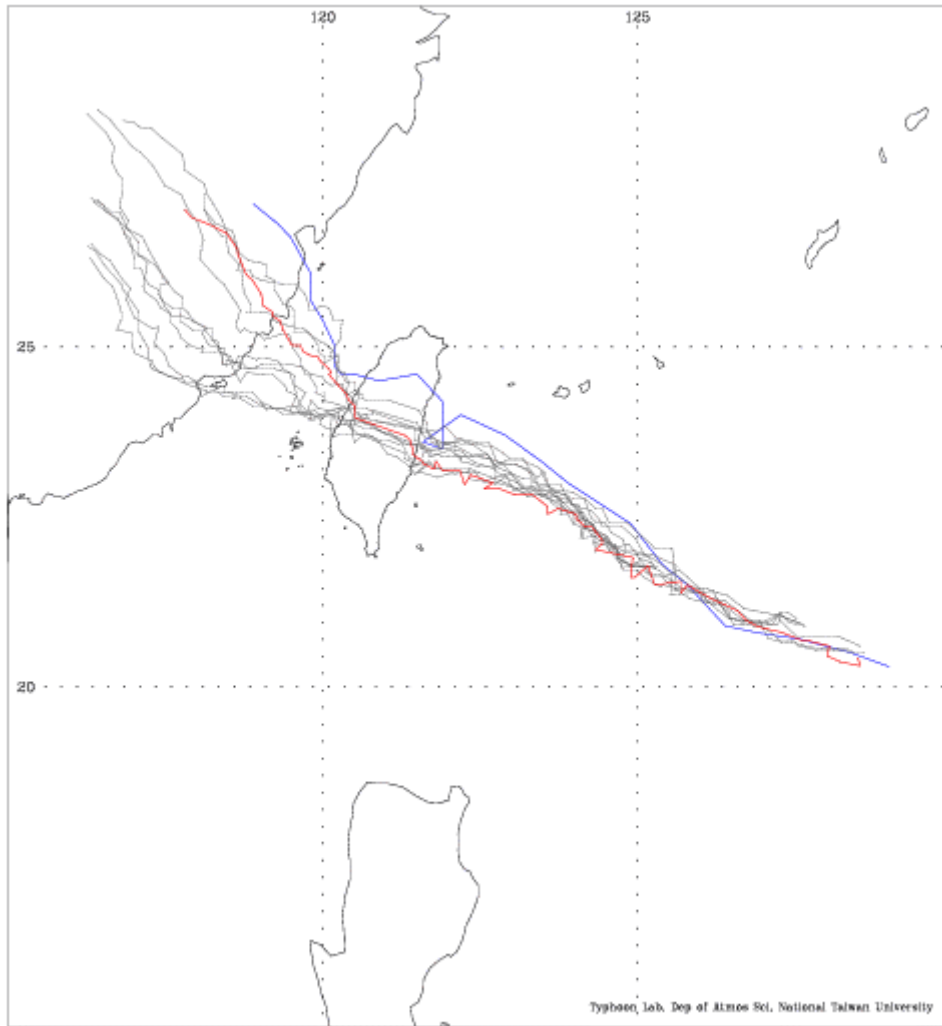
圖附 1-25 1998 年奧托颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



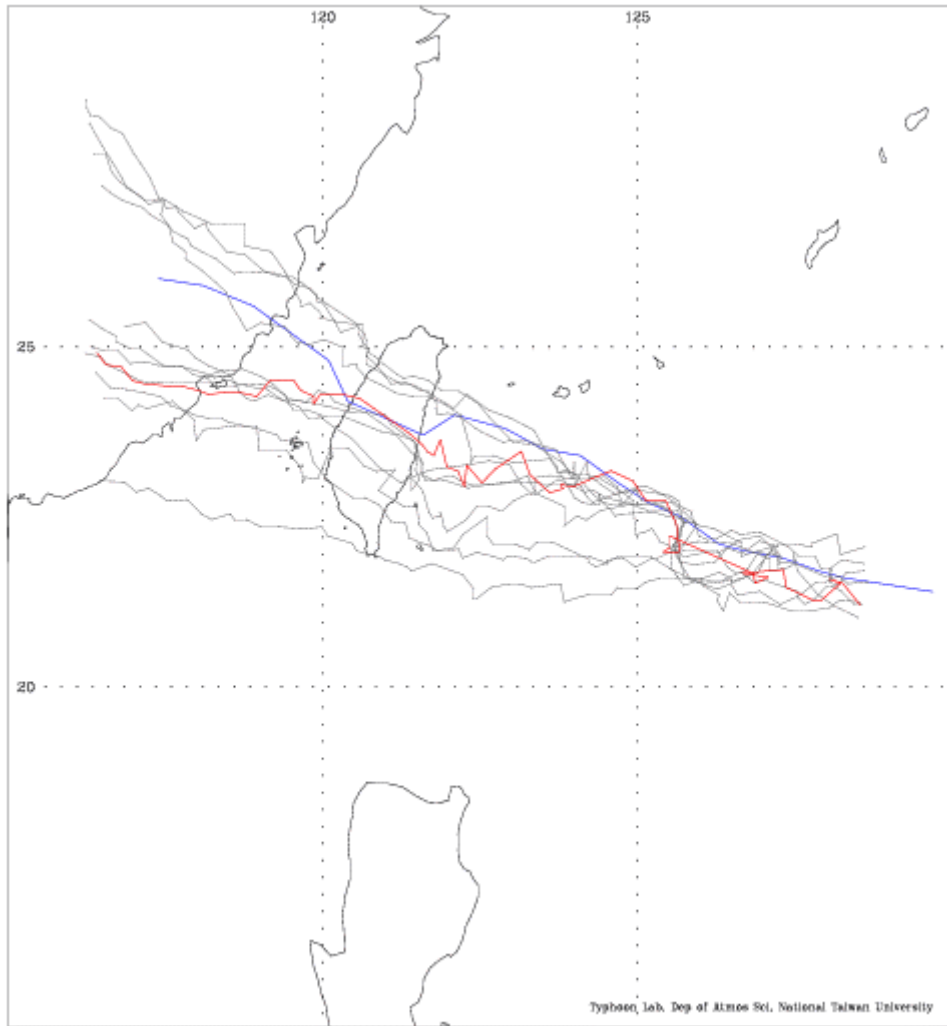
圖附 1-26 2000 年碧利斯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



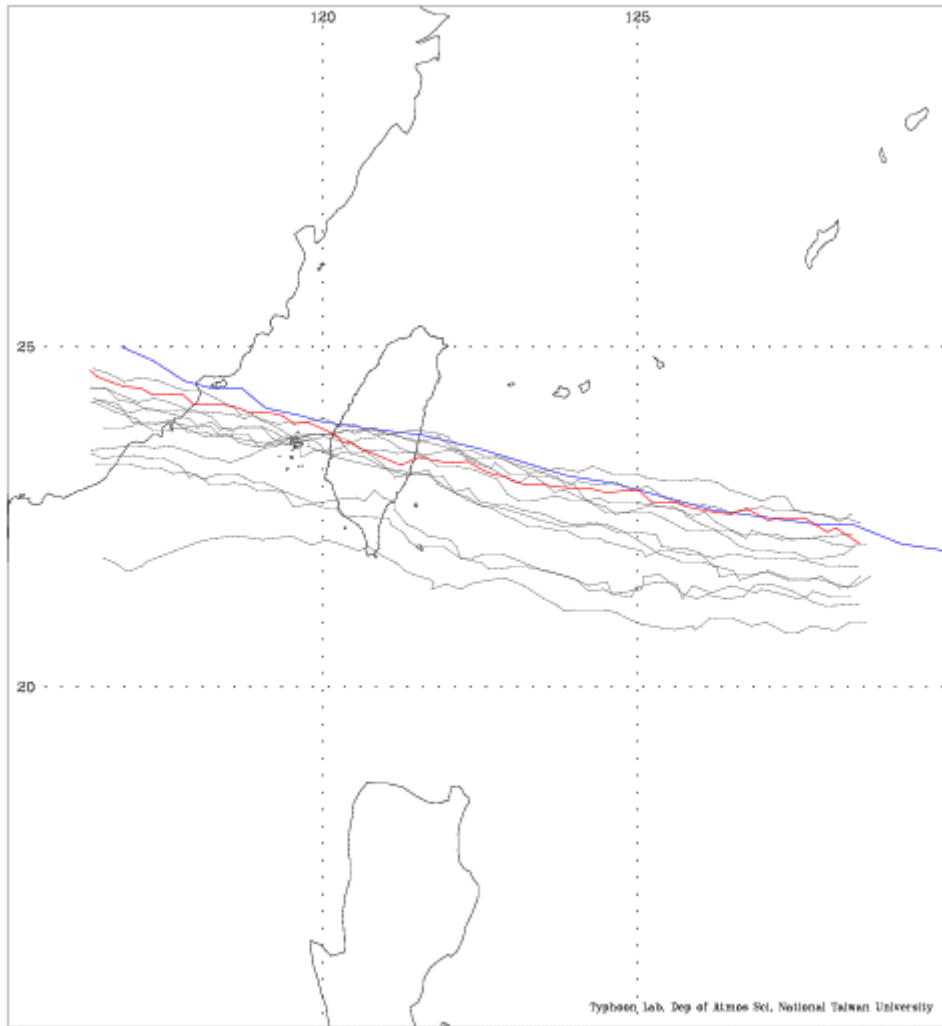
圖附 1-27 2001 年桃芝颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



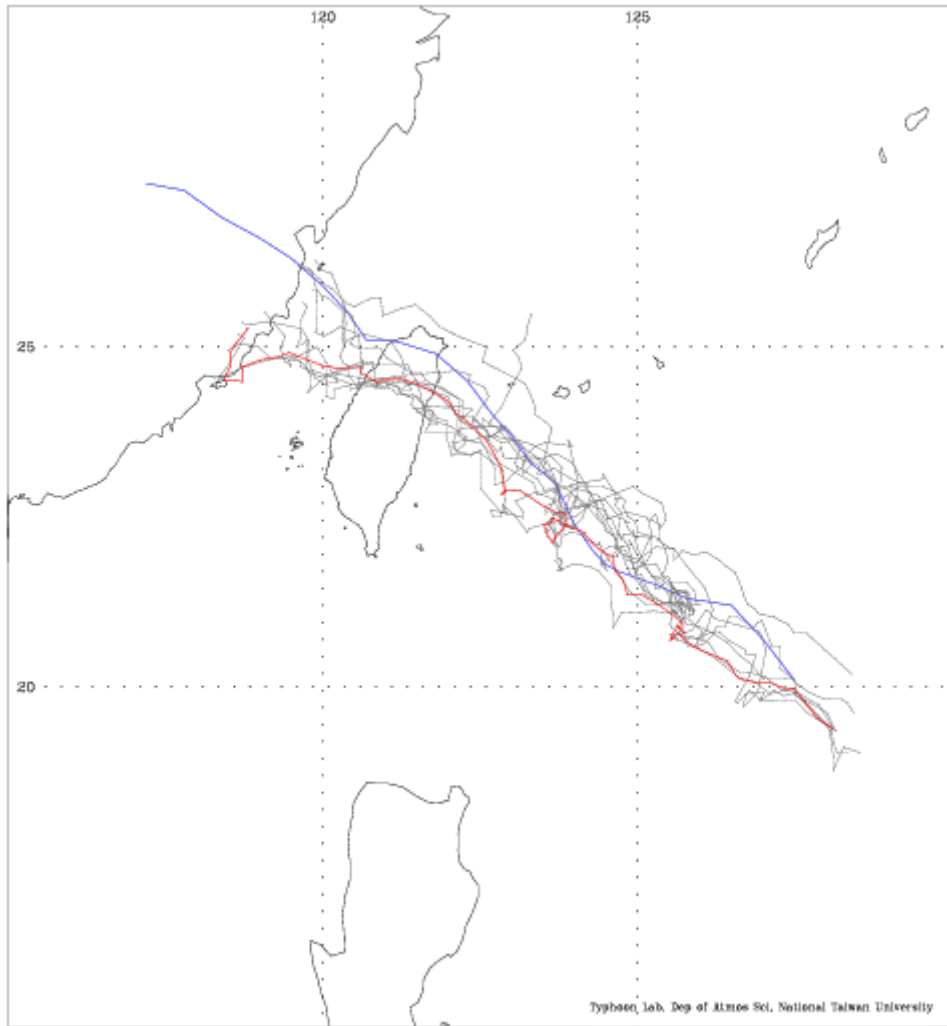
圖附 1-28 2005 年海棠颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



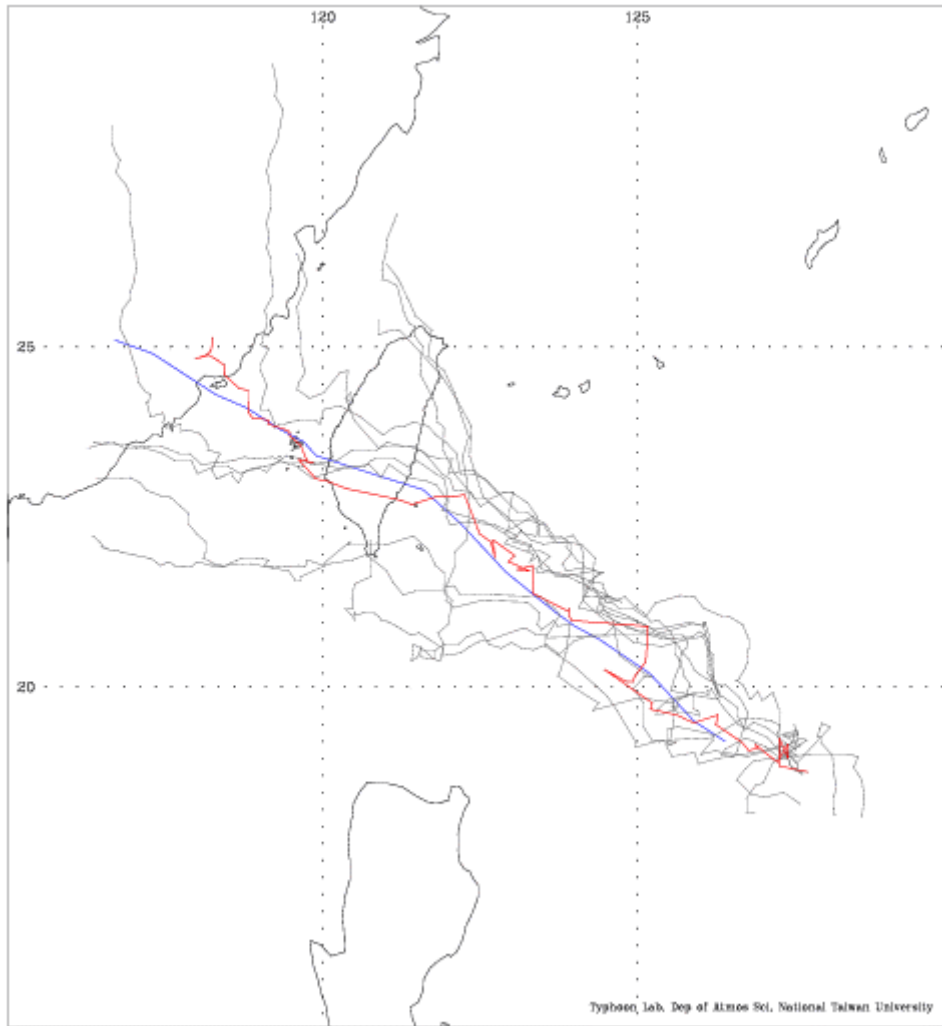
圖附 1-29 2005 年泰利颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



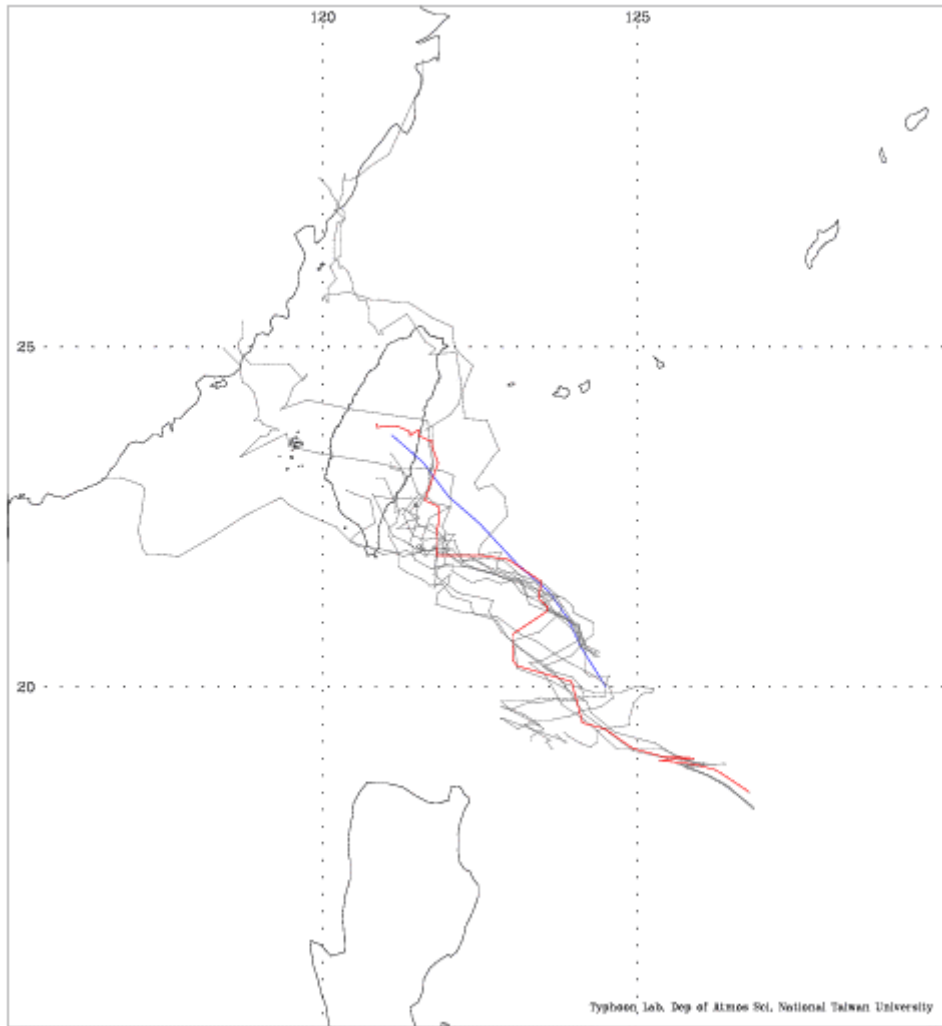
圖附 1-30 2005 年龍王颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



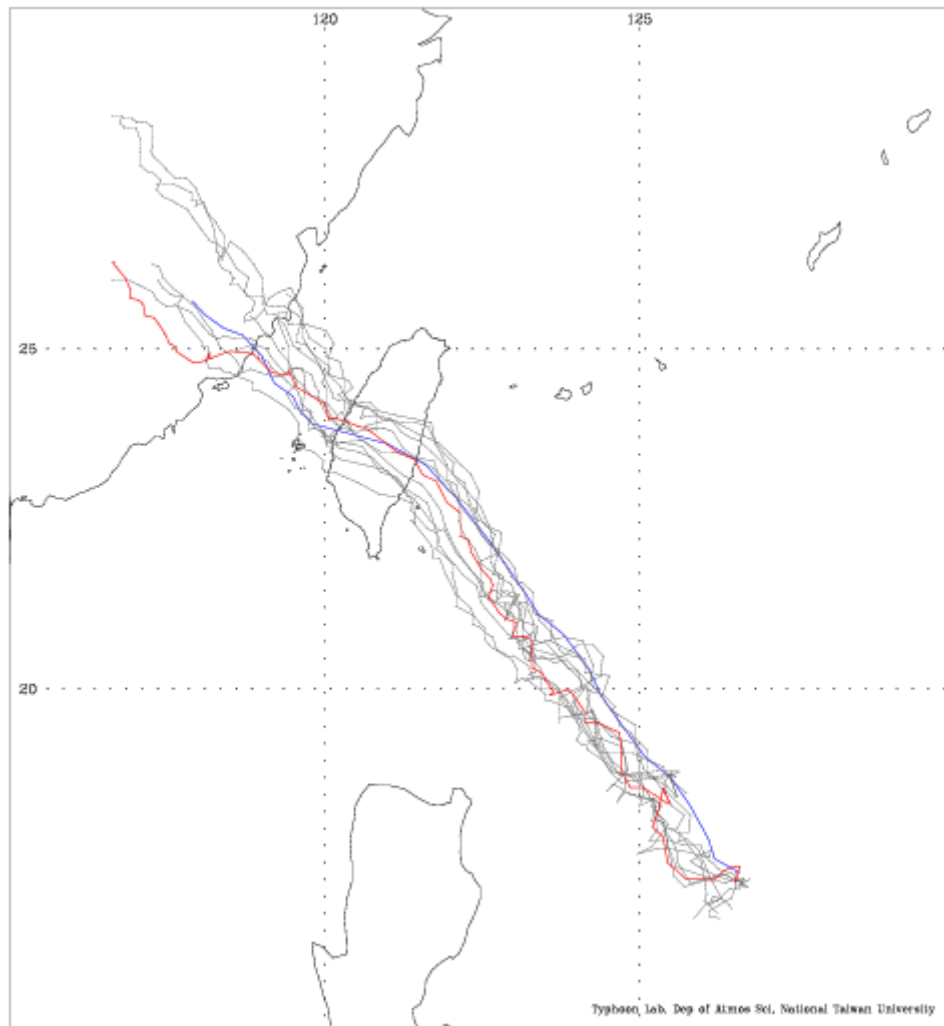
圖附 1-31 2006 年碧利斯颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



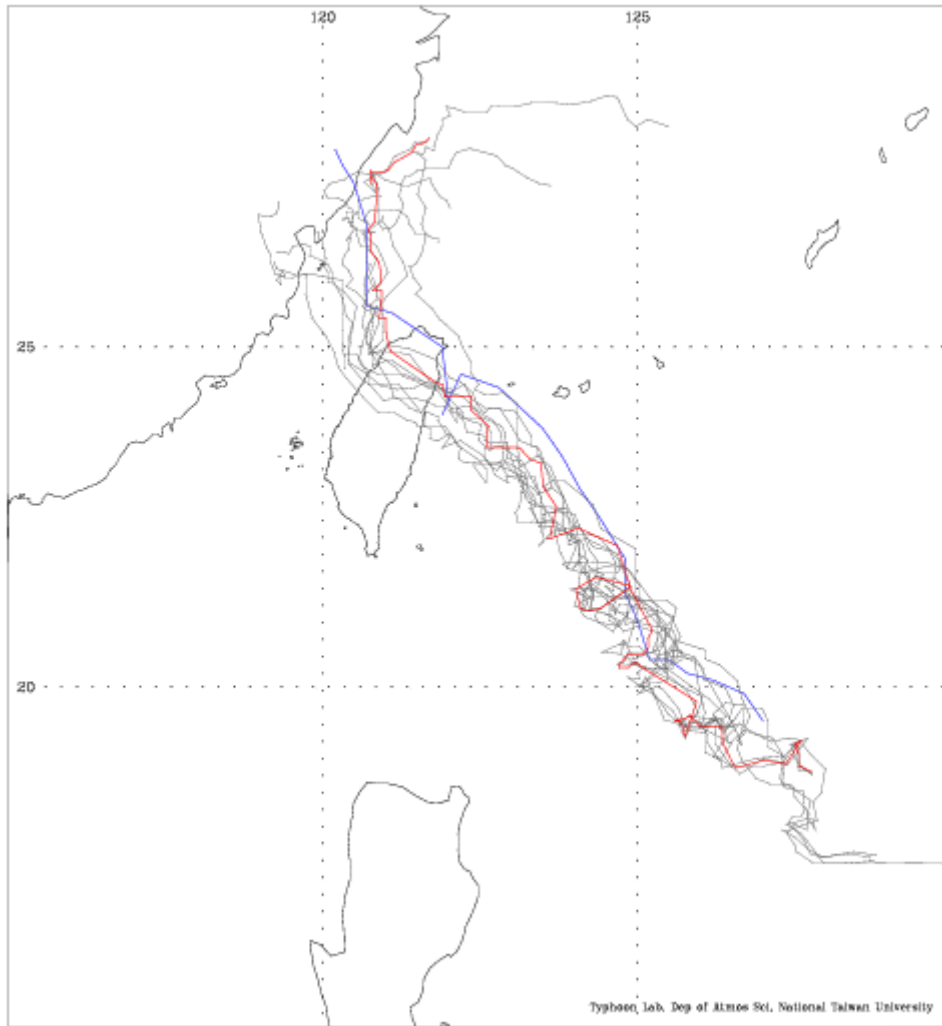
圖附 1-32 2006 年凱米颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



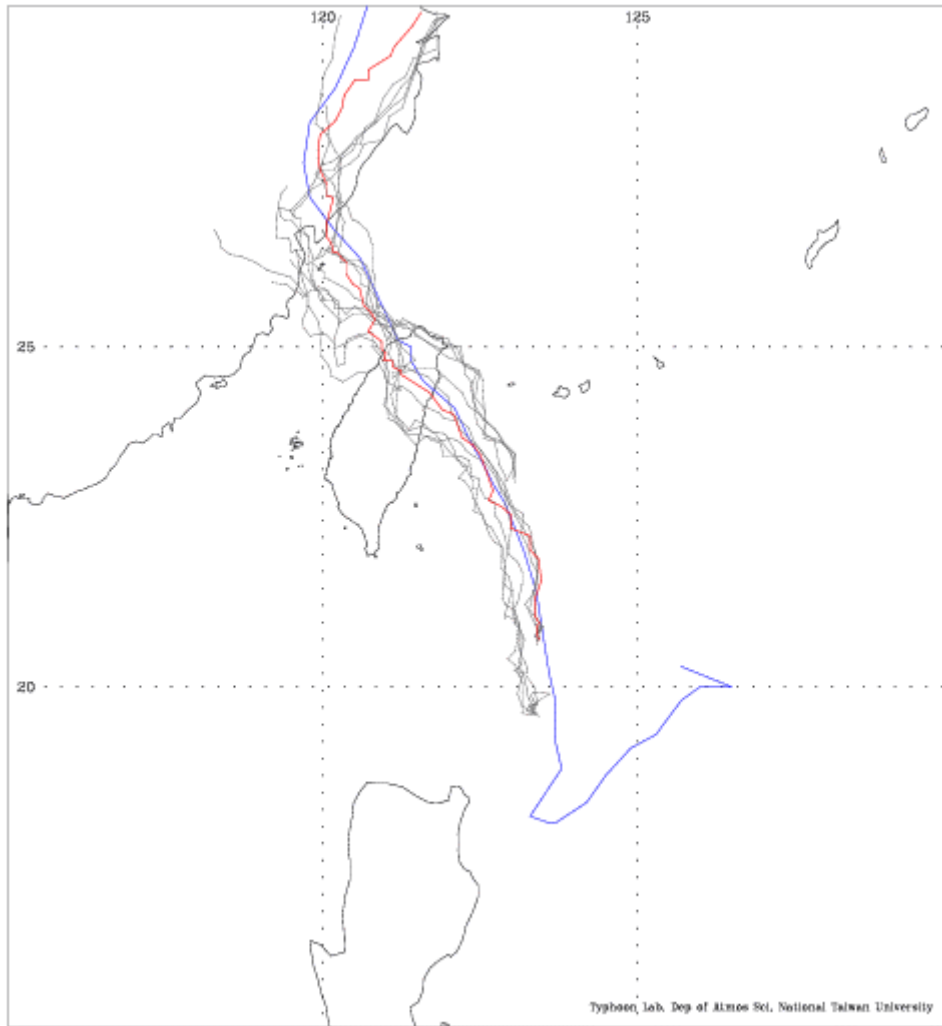
圖附 1-33 2007 年梧提颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



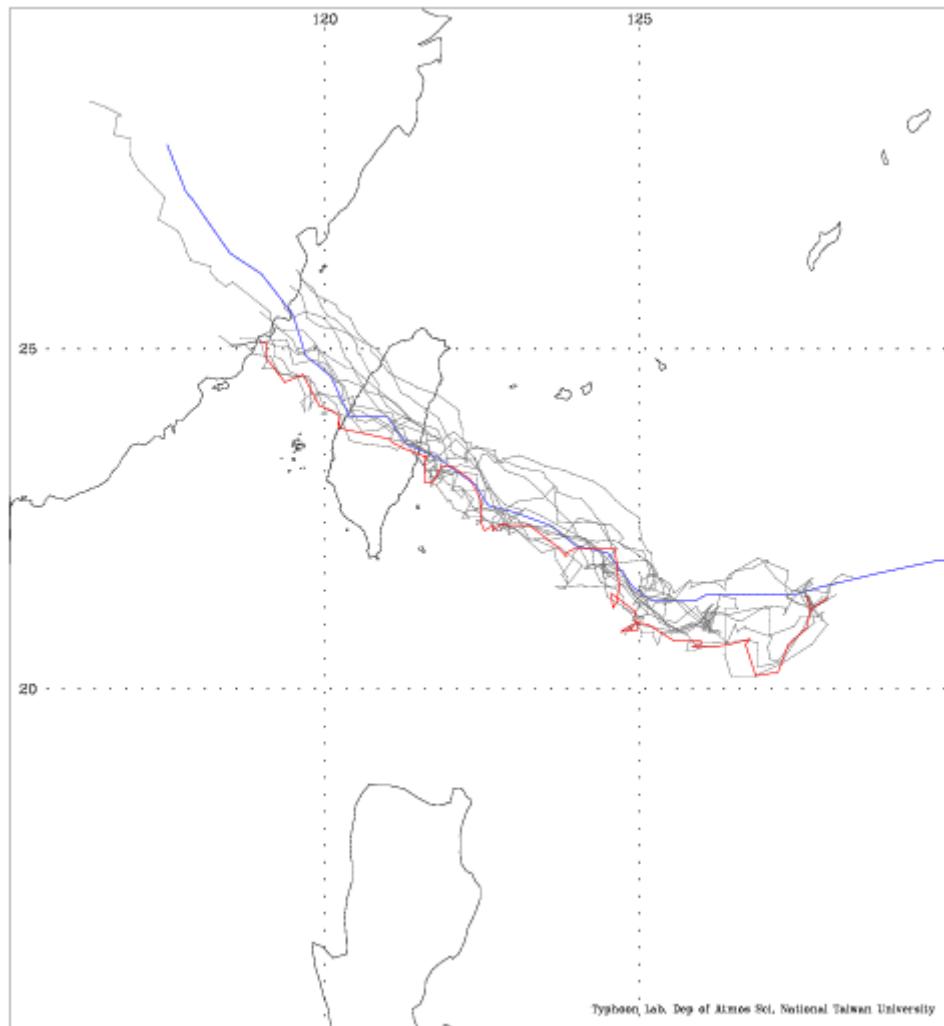
圖附 1-34 2007 年聖帕颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



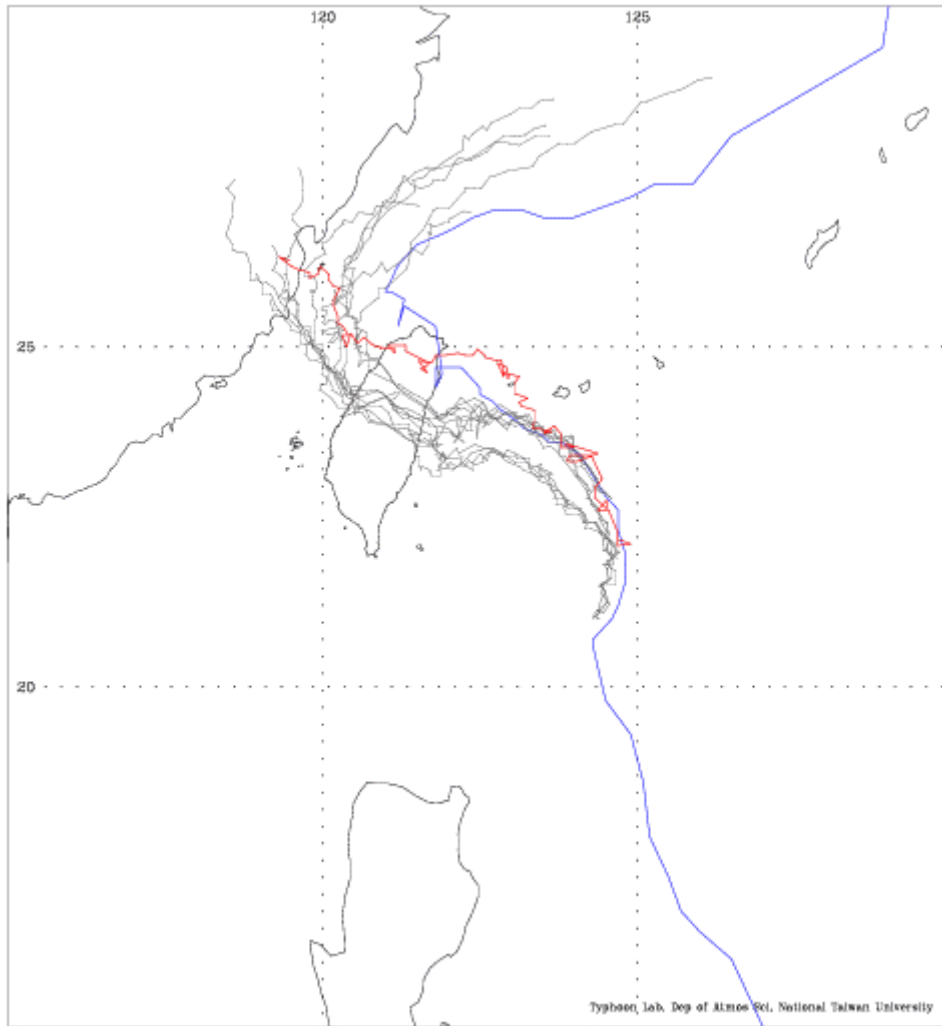
圖附 1-35 2007 年柯羅沙颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



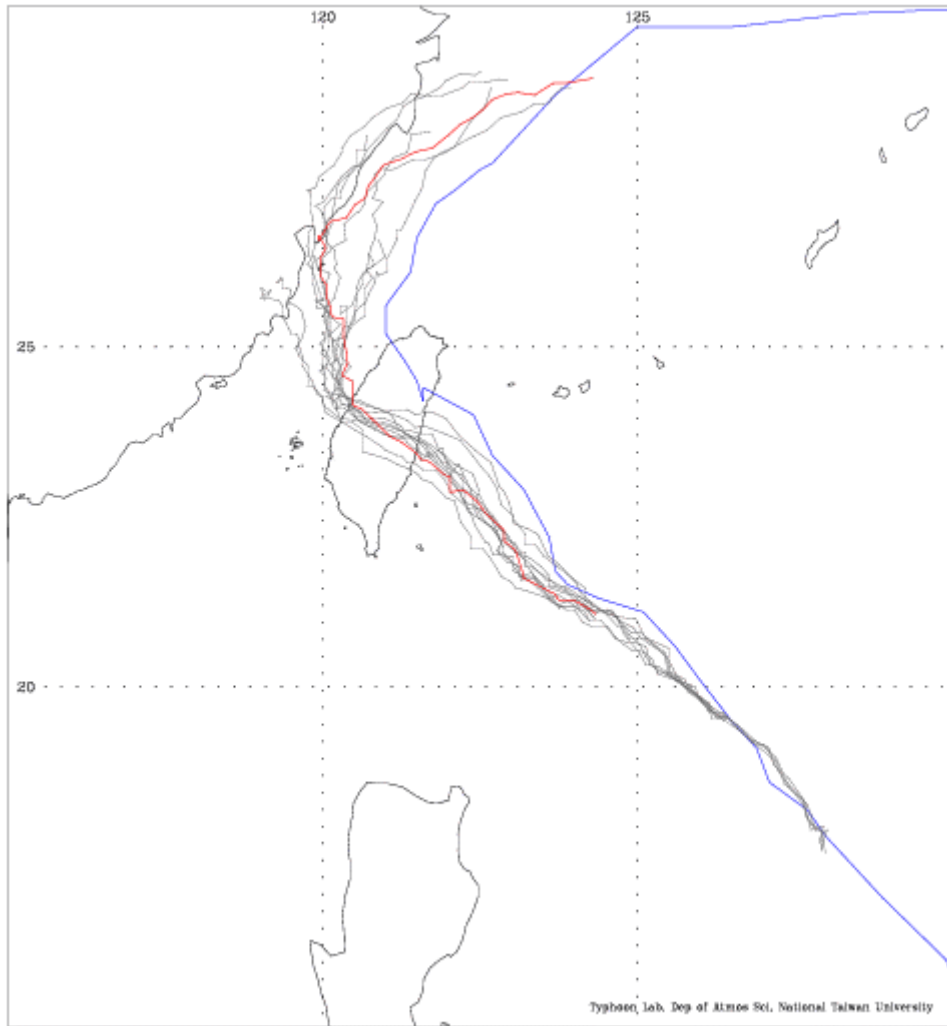
圖附 1-36 2008 年卡玫基颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



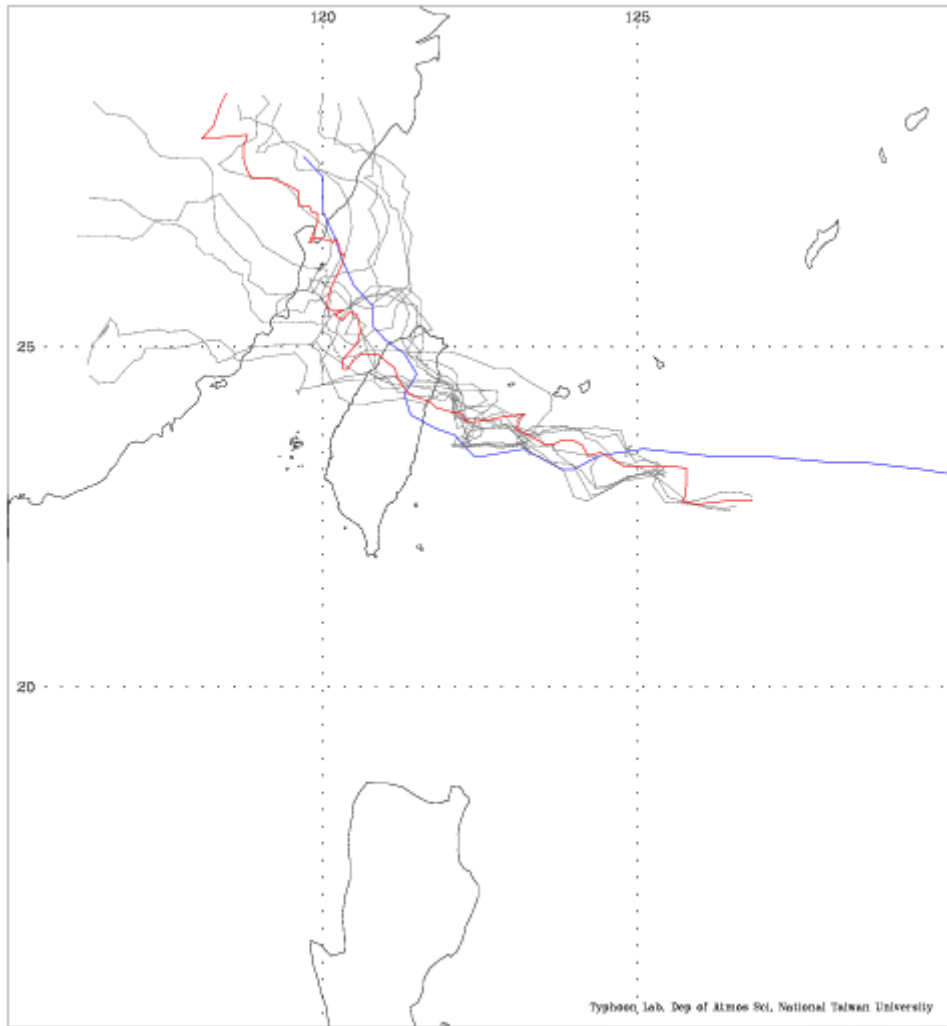
圖附 1-37 2008 年鳳凰颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



圖附 1-38 2008 年辛樂克颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



圖附 1-39 2008 年薔蜜颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。



圖附 1-40 2009 年莫拉克颱風路徑圖，其中藍色實線為氣象局定位資料，紅色實線為控制組模擬路徑，灰黑色實線為 11 組系集成員模擬路徑。

附件二

颱風降雨整合預報技術之發展 - 第一次工作會議

時 間：2009 年 6 月 1 日（星期一）下午 02:00

地 點：台灣大學大氣科學系二樓會議室

主 持 人：李清勝教授

出席人員：簡任技正-呂國臣、課長-陳怡良、副研究員-蔡孝忠、研究助理-黃麗蓉、博士生-陳熾竹、碩士生-陳柏孚、研究助理-黃奕霖

紀 錄：黃奕霖

壹、報告事項

- 一、計畫進度
- 二、控制組檢核標準及雨量校驗方法
- 三、模擬結果初步分析
- 四、未來工作

貳、討論決議事項

一、雨量校驗方法-觀測雨量：

為避免單一雨量極值可能造成誤差，改以觀測最大降雨發生地區，前三大雨量站的平均值當作觀測雨量最大值。

考量到早年的雨量站數量的不足，易造成在雨量峰值區域之雨量站數過少。因此，將採用半徑 20 公里（雨量站有效影響範圍）內之雨量站平均，或利用周圍測站距中心距離之權重分配。

二、雨量校驗方法-模擬雨量：

以最大模擬雨量發生地區之前三大降雨網格點及其周圍 10 公里以內網格點之平均為模擬之最大雨量。

三、網格解析度：

由於目前使用第三層網格解析度-5 公里，所得之模擬雨量有高估之情形。因此試著採用-第三層網格解析度 6 公里（ $\text{radt} = 54, 18, 6$ ），所得之雨量分佈及量值與實際較為相近。待期中報告評估後，考慮將所有個案解析度更改為第三層網格解析度 6 公里。

四、侵台時段之定義：

模擬之颱風個案中心，進出中央氣象局發佈該颱風個案之陸上颱風警報範圍之時段，做為該個案之侵台時段。

五、資料保存：

將模式模擬個案之各參數設定及記錄保存留予氣象局作為備考。另外，備份模式輸出之第三層網格資料及分析結果予氣象局研究員供研究使用。

參、散會

颱風降雨整合預報技術之發展 - 第二次工作會議

時 間：2009 年 10 月 26 日（星期一）下午 01:30

地 點：台灣大學大氣科學系二樓會議室

主 持 人：李清勝教授

出席人員：中央氣象局：簡任技正-呂國臣、課長-陳怡良、副研究員-蔡孝忠

颱風實驗室：研究助理-黃麗蓉、博士生-陳熾竹、研究助理-黃奕霖

紀 錄：黃奕霖

壹、報告事項

- 一、計畫進度
- 二、控制組模擬結果與系集成員之選擇
- 三、動力統計預報指引系統之初步建立
- 四、未來工作

貳、討論決議事項

一、統計資料解析度：

統計法解析度為 0.05° ，會有許多網格缺乏個案資料，使動力統計模式嚴重低估降雨結果。建議可調低網格解析度（如調整為 0.1° ）以增加網格之個案數，使統計模式之結果較接近實際。

二、系集成員選取：

1. 使用控制組之參數化，選取前後各 12 小時為模式初始時間。
2. 除控制組外，使用數種降雨預報準確度較高的參數化組合，選取該時間及前後各 12 小時為模式初始時間。

三、資料提供：

提供控制組設定及其降雨預報結果之明細，同時統一各設定之代號。備份模式輸出之三層網格資料及分析結果予氣象局研究員供研究使用。

參、散會