

國立中央大學

水文科學研究所
碩士論文

2005 年台灣地區季節性降雨之特徵
及颱風事件之逕流模擬

The Seasonal Rainfall Characteristics over Taiwan
in 2005 and the River-Runoff simulations by
Three Typhoon-Induced Heavy Rainfall events

研究生：傅佑瑜
指導教授：楊明仁 博士

中華民國九十七年七月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(95年7月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

同意 (立即開放)

同意 (一年後開放)，原因是：_____

同意 (二年後開放)，原因是：_____

不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名：_____ 傅佑瑜 _____ 學號：_____ 946205006 _____

論文名稱：_____ 2005年台灣地區季節性降雨之特徵及颱風事件之逕流模擬 _____

指導教授姓名：_____ 楊明仁 _____

系所：_____ 水文科學研究所 _____ 博士班 碩士班

日期：民國 97 年 7 月 18 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://blog.lib.ncu.edu.tw/plog/> 碩博士論文專區查閱下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁(全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替)。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館(以統一代轉寄給國家圖書館)。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

不同降雨事件各有不同的天氣特徵，且台灣地區降水現象受地形和綜觀條件影響很大，使得氣象模式往往會產生高估或低估降水預報。本論文研究分析2005年3~12月之氣象局自動雨量站資料和模式WRF模擬雨量場資料以探討全台灣季節性和全年10個月的降水分佈特性，希望瞭解WRF模式對於季節性降水的預報能力與其對於單一降水事件預報能力間的差異，得知WRF氣象模式對於不同時間尺度降水現象的預報準確度。

颱風伴隨強風豪雨，經常造成台灣地區淹水和人員傷亡，以及土石流、山崩等天然災害。因此為瞭解在颱風強降水事件之下集水區的淹水範圍與淹水過程，於是本論文研究挑選2005年之三個颱風事件，以水文模式來模擬石門水庫流量的多寡，以進行討論研究。

研究結果發現，WRF氣象模式模擬季節性降雨的分佈情形比模擬單一降雨事件(梅雨、颱風)時結果較好，得知WRF模式可以掌握到在台灣地區不同季節的盛行風向所帶來的地形性降雨分佈。本研究針對台灣崎嶇高聳的地形造成迎風面降雨增加和背風面降雨減少情形，有更進一步的分析探討。WRF氣象模式對於極端降水事件之雨量及颱風路徑模擬都有不錯的結果，但WRF模擬雨量大多為高估降雨。若將WRF模擬雨量輸入至水文模式FLO-2D以模擬石門水庫霞雲集水區的流量時，由於受到WRF模擬雨量誤差影響，導致在有些颱風事件模擬流量時結果並不是很理想。最後本論文研究中之水文模式FLO-2D並未設定初始基流和入滲後出流，因此可能導致流量模擬上的誤差。

關鍵字：季節性降雨、地形性降雨、颱風、逕流模擬、FLO-2D、WRF

Abstract

Different precipitation events occur under different synoptic weather regimes, and they are strongly affected by the Taiwan terrain and large-scale/synoptic conditions, so it is difficult for the meteorological model to have accurate precipitation forecast. This thesis utilized analyzes the automatic rain gauge data of the Central Weather Bureau and WRF-simulated rainfall data provided by Mr. Shi-Chien Wang. 1) to investigate the rainfall characteristics for each weather regime, 2) to examine the predictability of seasonal-to-annual rainfall of the WRF model, and 3) to verify the accuracy of WRF-predicted rainfall at different time scales.

The heavy rainfalls associated with typhoons often induce severe flooding, debris flows, landslides, and cause a great lose of human lives in Taiwan. Thus, in order to understand the flooding characteristics under typhoon-induced the heavy-rainfall events, this study will uses the FLO-2D hydrological model to simulate the river discharge over the Shihmen Reservoir watershed for three typhoon events in 2005.

Results show that the WRF model simulates better the distribution of seasonal rainfall than that for individual event (Mei-Yu front and typhoon), because the WRF model has a good skill at predicting the orographic rainfall under the prevailing wind in different seasons. This study also discusses the effects for the rainfall increase over the windward slopes and the decrease over the leesides in Taiwan. We find that the WRF model predicts well the rainfall distribution and typhoon tracks for heavy rainfall events, but the WRF model tends to over-predict the precipitation amount. If the WRF-simulated rainfall is taken as input for the FLO-2D hydrological model, the predicted river discharge is highly sensitive to

the errors inherent in the WRF-simulated rainfall. Finally, the neglect of initial base flow and infiltration outflow in the FLO-2D model may cause discrepancy in discharge at the later stage of a flooding event.

Keywords : seasonal rainfall, orographic rainfall, typhoon, river discharge,
FLO-2D, and WRF

致謝

第一次見到中央大學正門口華麗的兩排棉花樹的當下，我內心有一股奇特的感覺，內心暗自很希望自己可以考上這所漂亮的學校。研究所求學的這段時間，我從一個任性妄為的孩子變成一個能夠獨立思考的大孩子，首先我想先感謝辛苦養育我的爸爸、小嬌媽媽、家中三位姐妹(靜、少、佐瑜)、姊夫，和我親愛的皮皮與拉奇小天使，家人賜予我內心穩定感，深深覺得有家真好，我真是個幸福的孩子，哈哈。

特別感謝我的指導教授楊明仁老師，總是鼓勵我們要對自己有信心，以及相信自己，非常謝謝老師在這些年的指導。還有非常感謝隋中興老師、李明旭老師、以及李天浩老師，三位老師細心的看我的論文並且給予我許多論文上的指導。此外還要特別感謝大姐陳心穎和學長廖啟勳，學長姐讓我們研究室具有向心力，他們正直的人格、一針見血的見解、及求學態度都讓我學到很多，充滿佩服。另外還要感謝研究室的林宥丞曾好心阻止我去做瘋狂的事，及好人方裕仁、白哲陳文彬學弟大家讓研究室充滿歡樂的氣氛，雖然大家聚在一起打麻將的時候我都在旁邊看電視，但我其實都有在偷偷看你們的牌學打麻將，也難以忘懷我曾以 wii 的拳擊遊戲擊敗所有人，哈哈...我是小力氣女拳霸！

很開心可以在最後的這一年交到很多好朋友，陳韻如和黃惠絹(阿如阿爆姐妹花)，和你們在一起的時光總是充滿歡笑與淚水，開朗的你們讓我整個人也樂觀不少。另外還要感謝鼓勵我很多的特別劉雨青、說話很直且給他一千萬也絕對不會騙人的李昱欽、和想盡辦法借我資源的何宗翰、正直的黃亦璋、搞笑的鄭明昇、張廷暉、林哲震、蘇紹坤、和紀雍華等朋友們，還有秀芬和慧琳在背後默默為大家付出及安排各項大大小小的事，沒有他們的協助我絕

對搞不清楚任何校務上的程序，哈哈。感謝水文所上其他所有的教授們，對所有學生總是細心指導。

這段時間給我心靈上安慰及支持的資深好朋友黃蘚翔(阿翔)，因為有你，我才能瞭解自己，和張依嵐(肉餅)、范雯雯(范雯)、張愷芳(小花)、和蕭耕華(小耕)，大家總是提供我許多受用的建議，最重要的是我們製造數不盡的歡樂，和陪伴，真的非常謝謝大家。

最後，我真的很慶幸可以認識大家並且共度許多的歡樂時光，我會記在心裡，並且往後會不時的從我的小腦袋裡拿出專屬大家的回憶相簿，獨自回味。

我想將此本價值十萬元以上的論文獻給我最親愛的父母親

目錄

| | |
|------------------------|----|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | ii |
| 目錄..... | vi |
| 表目錄..... | ix |
| 圖目錄..... | xi |
| 第一章 前言..... | 1 |
| 1.1 研究動機..... | 1 |
| 1.2 文獻回顧..... | 3 |
| 1.2.1 降雨預報..... | 3 |
| 1.2.2 台灣地區降雨的氣候特徵..... | 4 |
| 1.2.3 地形降雨模擬研究..... | 6 |
| 1.3 論文架構..... | 7 |
| 第二章 個案描述與分析..... | 8 |
| 2.1 梅雨個案..... | 8 |
| 2.3 颱風個案..... | 9 |
| 第三章 研究區域地理描述與模式介紹..... | 12 |
| 3.1 研究區域地理概況..... | 12 |
| 3.2 氣象模式..... | 12 |
| 3.3 水文模式..... | 13 |
| 第四章 研究方法..... | 17 |
| 4.1 氣象模式之資料讀取..... | 17 |
| 4.2 雨量資料的處理..... | 18 |
| 4.3 評估方法..... | 20 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 4.3.1 | 雨量評估..... | 20 |
| 4.3.2 | 流量評估..... | 22 |
| 4.4 | 水文模式之資料處理與參數設定..... | 23 |
| 4.4.1 | 網格點選取..... | 23 |
| 4.4.2 | 渠道析取..... | 24 |
| 4.4.3 | 曼寧係數和入滲參數設定..... | 24 |
| 第五章 | 季節性與全年 10 個月降雨受地形影響分析及預報校驗結果..... | 25 |
| 5.1 | 季節性降雨..... | 25 |
| 5.1.1 | 春季..... | 25 |
| 5.1.2 | 梅雨季..... | 27 |
| 5.1.3 | 夏季..... | 28 |
| 5.1.4 | 秋冬季..... | 29 |
| 5.2 | 全年(3~12 個月)降雨..... | 30 |
| 第六章 | 梅雨及颱風個案之模式預報校驗結果探討..... | 32 |
| 6.1 | 降雨區域的預報校驗..... | 32 |
| 6.1.2 | 梅雨個案..... | 32 |
| 6.1.4 | 颱風個案..... | 34 |
| 6.2 | 10 大單日降雨量排名..... | 38 |
| 第七章 | 颱風個案之水文模擬結果..... | 40 |
| 7.1 | 颱風強降水個案之個別分析..... | 40 |
| 7.1.1 | 海棠颱風..... | 40 |
| 7.1.2 | 馬莎颱風..... | 42 |
| 7.2.3 | 泰利颱風..... | 44 |
| 7.2 | 颱風強降水個案之綜合分析..... | 45 |
| 第八章 | 結論與建議..... | 48 |

| | |
|-----------|----|
| 參考文獻..... | 51 |
| 附錄一..... | 55 |

表目錄

| | | |
|-------|---|----|
| 表 1.1 | 1996~2005 年每年 1~7 月北太平洋西部颱風及侵台颱風累計生成個數列表。..... | 58 |
| 表 1.2 | 1897~2004 年侵台颱風總個數統計表。..... | 58 |
| 表 2.1 | 各個案選取時間。..... | 58 |
| 表 4.1 | 曼寧粗糙係數表。..... | 59 |
| 表 4.2 | 漫地流曼寧係數值參考表。..... | 60 |
| 表 5.1 | 各季節和全年 10 個月觀測雨量與 WRF 模式模擬雨量之分析。..... | 61 |
| 表 5.2 | 於不同季節及全年 10 個月期間，比較經校驗後之觀測雨量和模擬雨量兩者相近位置之極大值、迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值之比值，和雨量之正規化均方根誤差。..... | 61 |
| 表 5.3 | 春季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。..... | 62 |
| 表 5.4 | 梅雨季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。..... | 62 |
| 表 5.5 | 夏季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。..... | 63 |
| 表 5.6 | 秋冬季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。..... | 63 |
| 表 5.7 | 全年 10 個月於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。..... | 64 |
| 表 6.1 | 在不同降雨事件下，比較校驗後之觀測雨量和模擬雨量兩者相近位置之極大值、迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值之比值，和雨量之正規化均方根誤差。..... | 65 |

| | | |
|-------|---|----|
| 表 6.2 | 梅雨個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分 (TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。(白色日期為 WRF 模式模擬時間 12-24h；綠色日期為 WRF 模式模擬時間 24-36h，紅色數值表示為某一低限值時的得分最高。) | 66 |
| 表 6.3 | 海棠個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分 (TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。 | 67 |
| 表 6.4 | 馬莎個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分 (TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。 | 68 |
| 表 6.5 | 泰利個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分 (TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。 | 69 |
| 表 6.6 | 梅雨和各颱風個案全台每 12 小時經校驗後累積雨量與 WRF 模擬雨量之全台灣和集水區降雨正規化均方根誤差表(RMSE；無因次)。 | 70 |
| 表 6.7 | 2005 年 10 大單日降雨排名。 | 71 |
| 表 6.8 | 龍王颱風之路徑誤差表。 | 71 |
| 表 7.1 | 海棠颱風之路徑誤差表。 | 72 |
| 表 7.2 | 馬莎颱風之路徑誤差表。 | 72 |
| 表 7.3 | 泰利颱風之路徑誤差表。 | 72 |
| 表 7.4 | 梅雨及各颱風個案雨量峰值延時誤差分析表。 | 73 |
| 表 7.5 | 各颱風個案之流量峰值延時誤差分析表。 | 74 |
| 表 7.6 | 各颱風個案之流量準確度評估分析表。 | 75 |

圖目錄

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 1.1 | 1960~2005 年北太平洋西部 1-7 月颱風累計生成個數。..... | 76 |
| 圖 2.1 | 2005 年 6 月 13 日 0000UTC 梅雨地面天氣圖。..... | 76 |
| 圖 2.2 | 2005 年 6 月 16 日 0000UTC 梅雨地面天氣圖。..... | 77 |
| 圖 2.3 | 梅雨全台觀測累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 6 月 12 日 1200UTC~6 月 13 日 1200UTC, (b) 2005 年 6 月 15 日 1200UTC~6 月 16 日 1200UTC。..... | 77 |
| 圖 2.4 | 統計 1897~2004 年颱風侵台路徑分類圖。..... | 78 |
| 圖 2.5 | 2005 年 7 月 10 日 0000UTC~7 月 19 日 1200UTC 海棠颱風路徑圖。..... | 78 |
| 圖 2.6 | 2005 年 7 月 18 日 0000UTC 海棠颱風地面天氣圖。..... | 79 |
| 圖 2.7 | 2005 年 7 月 19 日 0000UTC 海棠颱風地面天氣圖。..... | 79 |
| 圖 2.8 | 海棠全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 7 月 17 日 1200UTC~7 月 18 日 1200UTC, (b)2005 年 7 月 18 日 1200UTC~7 月 19 日 1200UTC, (c)2005 年 7 月 19 日 1200UTC~7 月 20 日 1200UTC。..... | 80 |
| 圖 2.9 | 2005 年 7 月 30 日 0000UTC~8 月 6 日 1800UTC 馬莎颱風路徑圖。..... | 81 |
| 圖 2.10 | 2005 年 8 月 4 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。..... | 81 |
| 圖 2.11 | 2005 年 8 月 5 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。..... | 82 |
| 圖 2.12 | 2005 年 8 月 6 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。..... | 82 |
| 圖 2.13 | 馬莎全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 8 月 3 日 1200UTC~8 月 4 日 1200UTC, (b) 2005 年 8 月 4 日 1200UTC~8 月 5 日 1200UTC, (c) 2005 年 8 月 5 日 1200UTC~8 月 6 日 1200UTC。..... | |

| | |
|--|----|
| | 83 |
| 圖 2.14 2005 年 8 月 24 日 1800UTC~9 月 1 日 1800UTC 泰利颱風路徑圖。 | 84 |
| 圖 2.15 2005 年 8 月 31 日 0000UTC 泰利颱風地面天氣圖。 | 84 |
| 圖 2.16 2005 年 8 月 31 日 1800UTC 泰利颱風地面天氣圖。 | 85 |
| 圖 2.17 泰利全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 8 月 30 日 1200UTC~8 月 31 日 1200UTC, (b)2005 年 8 月 31 日 1200UTC~9 月 1 日 1200UTC。 | 85 |
| 圖 2.18 泰利紅外線雲圖(a)2005 年 8 月 30 日 2300UTC, (b)2005 年 9 月 1 日 0000UTC。 | 86 |
| 圖 3.1 石門水庫集水區之雨量站及流量站位置。 | 86 |
| 圖 3.2 石門水庫高程分佈圖。 | 87 |
| 圖 4.1 研究方法流程圖。 | 87 |
| 圖 4.2 氣象模式 WRF 模擬的範圍劃分為三層巢狀網格—D1、D2、D3。 | 88 |
| 圖 4.3 讀取 WRF12~36 小時的每六小時累積雨量方法。 | 88 |
| 圖 4.4 全台觀測雨量站和 WRF 模式細網域(D3)9×9 公里網格點分佈圖。 | 89 |
| 圖 4.5 客觀分析後全台共有 196 個雨量校驗點(藍色圓點)。 | 89 |
| 圖 4.6 集水區之徐昇式多邊形網格。 | 90 |
| 圖 4.7 客觀分析後集水區之徐昇式多邊形網格, 共有 7 個雨量校驗點。 | 90 |
| 圖 4.8 石門水庫霞雲站上游集水區模式河道分佈圖, 共有 382 個網格數。 | 91 |
| 圖 5.1 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖, (a)中央氣象局雨量站之觀測雨量, (b)WRF 模式之模擬 | |

| | | |
|-------|--|----|
| | 雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 92 |
| 圖 5.2 | 2005 年 5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 93 |
| 圖 5.3 | 2005 年 7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 94 |
| 圖 5.4 | 2005 年 10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 95 |
| 圖 5.5 | 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 之 10 個月全台累積降雨分佈圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c) 客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 96 |
| 圖 5.6 | 經客觀分析後之觀測雨量與 WRF 模擬雨量各季節降水和全年 10 個月降水之全台雨量相關係數分析圖。(a)3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC，(b)5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC，(c)7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC，(d)10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC，(e) 3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC。 | 98 |
| 圖 5.7 | 經客觀分析後之觀測雨量與 WRF 模擬雨量各季節降水和全年 10 個月降水之集水區雨量相關係數分析圖。(a)3 月 12 日 1200UTC | |

至 5 月 1 日 1200UTC，(b)5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC，(c)7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC，(d)10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC，(e) 3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC。..... 100

圖 6.1 梅雨於觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 6/12/12Z~6/13/00Z；(b) 6/13/00Z~6/13/12Z；(c) 6/13/12Z~6/14/00Z；(d) 6/14/00Z~6/14/12Z；(e)6/14/12Z~6/15/00Z；(f)6/15/00Z~6/15/12Z；(g)6/15/12Z~6/16/00Z；(h)6/16/00Z~6/16/12Z。..... 104

圖 6.2 梅雨每 12 小時之客觀分析後全台觀測雨量與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a)6/12/12Z~6/13/00Z；(b)6/13/00Z~6/13/12Z；(c)6/13/12Z~6/14/00Z；(d)6/14/00Z~6/14/12Z；(e)6/14/12Z~6/15/00Z；(f)6/15/00Z~6/15/12Z；(g)6/15/12Z~6/16/00Z；(h)6/16/00Z~6/16/12Z。106

圖 6.3 梅雨於集水區每 12 小時之客觀分析後觀測雨量與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 6/12/12Z~6/13/00Z；(b) 6/13/00Z~6/13/12Z；(c) 6/13/12Z~6/14/00Z；(d)6/14/00Z~6/14/12Z；(e)6/14/12Z~6/15/00Z；(f)6/15/00Z~6/15/12Z；(g)6/15/12Z~6/16/00Z；(h)6/16/00Z~6/16/12Z。108

圖 6.4 海棠颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z；(b) 7/18/00Z~7/18/12Z；(c) 7/18/12Z~7/19/00Z；(d)7/19/00Z~7/19/12Z；(e) 7/19/12Z~7/20/00Z；(f) 7/20/00Z~7/20/12Z。..... 111

圖 6.5 海棠於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z；(b) 7/18/00Z~7/18/12Z；(c) 7/18/12Z~7/19/00Z；(d)7/19/00Z~7/19/12Z；(e) 7/19/12Z~7/20/00Z；(f) 7/20/00Z~7/20/12Z。..... 112

圖 6.6 海棠於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z；(b) 7/18/00Z~7/18/12Z；(c) 7/18/12Z

| | | |
|--------|---|-----|
| | ~ 7/19/00Z ; (d)7/19/00Z~7/19/12Z ; (e) 7/19/12Z~7/20/00Z ; (f) 7/20/00Z~7/20/12Z 。 | 113 |
| 圖 6.7 | 馬莎颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積 降雨分佈圖。(a) 8/3/12Z~8/4/00Z ; (b) 8/4/00Z~8/4/12Z ; (c) 8/4/12Z~8/5/00Z ; (d) 8/5/00Z~8/5/12Z ; (e) 8/5/12Z~8/6/00Z ; (f) 8/6/00Z~8/6/12Z 。 | 116 |
| 圖 6.8 | 馬莎颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關 係數分析圖。(a)8/3/12Z~8/4/00Z ; (b)8/4/00Z~8/4/12Z ; (c)8/4/12Z~8/5/00Z ; (d)8/5/00Z~ 8/5/12Z ; (e) 8/5/12Z~8/6/00Z ; (f) 8/6/00Z~8/6/12Z 。 | 117 |
| 圖 6.9 | 馬莎颱風於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相 關係數分析圖。(a) 8/3/12Z~8/4/00Z ; (b) 8/4/00Z~8/4/12Z ; (c) 8/4/12Z~8/5/00Z ; (d) 8/5/00Z~ 8/5/12Z ; (e) 8/5/12Z~8/6/00Z ; (f) 8/6/00Z~8/6/12Z 。 | 118 |
| 圖 6.10 | 泰利颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積 降雨分佈圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z ; (b) 8/31/00Z~8/31/12Z ; (c) 8/31/12Z~9/1/00Z ; (d) 9/1/00Z~9/1/12Z 。 | 120 |
| 圖 6.11 | 泰利颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關 係數分析圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z ; (b) 8/31/00Z~8/31/12Z ; (c) 8/31/12Z~9/1/00Z ; (d) 9/1/00Z~9/1/12Z 。 | 121 |
| 圖 6.12 | 泰利颱風於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之在 4 個時段相關係數分析圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z ; (b) 8/31/00Z~8/31/12Z ; (c) 8/31/12Z~9/1/00Z ; (d) 9/1/00Z~9/1/12Z 。 | 122 |
| 圖 6.13 | 2005 年 9 月 27 日 0000UTC~10 月 2 日 1200UTC 龍王颱風路徑圖。 | 123 |
| 圖 6.14 | 龍王颱風之 WRF 模擬分段路徑(粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路徑 圖。 | 123 |
| 圖 6.15 | 龍王颱風於 10/1/12Z~10/2/12Z 經客觀分析後之累積日雨量分佈圖。 | 124 |
| 圖 6.16 | 泰利颱風於 9/1/12Z~9/2/12Z 經客觀分析後之累積日雨量分佈圖。 .. | 125 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 圖 6.17 | 2005 年 6 月 12 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 13 日 1200UTC 之梅雨全 台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 125 |
| 圖 6.18 | 2005 年 6 月 13 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 14 日 1200UTC 之梅雨全 台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 126 |
| 圖 6.19 | 2005 年 6 月 14 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 15 日 1200UTC 之梅雨全 台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 126 |
| 圖 6.20 | 2005 年 6 月 15 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 16 日 1200UTC 之梅雨全 台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 127 |
| 圖 7.1 | 海棠颱風之 WRF 模擬分段路徑(紫色、粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路 徑圖。..... | 128 |
| 圖 7.2 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 之海棠颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 129 |
| 圖 7.3 | 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 之海棠颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 129 |
| 圖 7.4 | 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 130 |
| 圖 7.5 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之 模擬雨量。..... | 130 |
| 圖 7.6 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 之海棠颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 | |

| | | |
|--------|--|-----|
| | 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 131 |
| 圖 7.7 | 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 之海棠颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 131 |
| 圖 7.8 | 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 132 |
| 圖 7.9 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 132 |
| 圖 7.10 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 海棠颱風 之徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。 | 133 |
| 圖 7.11 | 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 海棠颱風 之模擬流量歷線圖。 | 133 |
| 圖 7.12 | 馬莎颱風之 WRF 模擬(紫色、粉紅色、淺紫色)與 CWB(藍色)公佈之 路圖。 | 134 |
| 圖 7.13 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 之馬莎颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 135 |
| 圖 7.14 | 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 之馬莎颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 136 |
| 圖 7.15 | 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。 | 137 |
| 圖 7.16 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風 全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之 模擬雨量。 | 138 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 圖 7.17 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。..... | 138 |
| 圖 7.18 | 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。..... | 139 |
| 圖 7.19 | 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。..... | 139 |
| 圖 7.20 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。..... | 140 |
| 圖 7.21 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 馬莎颱風之徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。..... | 140 |
| 圖 7.22 | 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 馬莎颱風之模擬流量歷線圖。..... | 141 |
| 圖 7.23 | 泰利颱風之 WRF 模擬(紫色、粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路徑圖。 | 141 |
| 圖 7.24 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 142 |
| 圖 7.25 | 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。..... | 143 |
| 圖 7.26 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量。..... | 143 |
| 圖 7.27 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 之泰利颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 | |

| | | |
|--------|---|-----|
| | 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 144 |
| 圖 7.28 | 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 144 |
| 圖 7.29 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風 集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨 量，(b) WRF 模式之模擬雨量。 | 145 |
| 圖 7.30 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 泰利颱風之 徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。 | 145 |
| 圖 7.31 | 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 泰利颱風之 模擬流量歷線圖。 | 146 |

第一章 前言

台灣為面積36000平方公里，東西幅寬約142公里，南北長約385公里，最高山峰玉山約為3952m，海拔高於1000公尺以上的土地面積佔39.1%；受到如此崎嶇陡峭的山脈影響，台灣地區的降雨明顯地受到地形高度影響。台灣地屬西北太平洋之副熱帶地區，四面環海，東邊為太平洋。Gray.(1968)指出西北太平洋為全球熱帶氣旋發生最旺盛的地方，從1960~2005年北太平洋西部1~7月颱風累計生成個數，(見圖1.1)中得知，西北太平洋生成颱風的個數明顯高於其他地區之氣候平均個數。中央氣象局氣象宣導提到在西北太平洋地區，全年平均約有27個颱風發生，從1996~2005年每年1~7月北太平洋西部颱風及侵台颱風累計生成個數列表，(見表1.1)所示，並非所有在西北太平洋生成的颱風都會侵襲台灣。颱風通常以7~9月發生個數最多，統計1897~2004年的颱風資料顯示出每年平均有3~4個颱風侵襲台灣，其中以8月份的颱風侵台次數最多。由表1.2之1897~2004年侵台颱風總個數統計表。顯示，8月份侵台總颱風個數為122個，佔108年來侵台颱風總個數的29.3%。颱風對於台灣地區而言，為造成最嚴重的氣象災害天氣。颱風常伴隨豪大雨，不只經濟受到影響、農作物與建築物都受到嚴重破壞，甚至波及人民造成嚴重傷亡。颱風防災措施除了消極的堆積砂包、興建擋土牆等防災建物之外，更需要積極的擁有準確預報颱風豪雨引發洪水的能力，以便及時監測預防災害發生。

1.1 研究動機

台灣年平均雨量達2510公釐，但由於人口密度高，每人每年所分配到的雨量僅佔世界平均年雨量的之七分之一。山坡地受到人為破壞，不適當的濫墾濫伐，使得土質鬆散結構不緊密，因此時常發生山崩、土石流、淹水等災

害。且台灣地形與氣候條件特殊，地形陡峭且河流淺急，夏季西南季風降雨與冬季東北季風性降雨明顯受到地勢高聳的中央山脈影響，主宰了台灣地區降雨的分佈。台灣地區位於亞洲季風區內，氣候明顯地受到季風的影響，冬天盛行東北季風，梅雨季及夏天盛行西南季風，雨量在時間和空間上分佈很不均勻；季風所挾帶的雨量在夏天顯著高於冬天，因此梅雨季及夏季為台灣地區主要的降水季節。

本論文研究中使用中央氣象局全台自動雨量站觀測雨量資料以及王士杰學長所模擬的WRF中尺度氣象模式之模擬雨量資料來探討2005年之不同季節性降雨和全年10個月(3~12月)降雨的分佈特徵；季節性降雨則區分為春季(3~4月)、梅雨季(5~6月)、夏季(7~9月)、及秋冬季(10~12月)等。本研究延續董(2001)及Yang and Tung(2003)使用MM5氣象模式模擬6個降水事件個案(春雨、梅雨、夏季午後對流、颱風、秋雨、冬季冷鋒)之定量降雨預報校驗方法，以驗證WRF氣象模式於季節性降雨和梅雨及颱風等強降雨個案之降雨預報準確度，進而瞭解WRF氣象模式之降雨預報能力。

台灣全年降雨量的主要來源為颱風和梅雨。雖然每個颱風的路徑不一定會直接侵襲台灣，颱風伴隨的豪大雨不僅會造成農業損失及土石流，甚至會造成人員傷亡或失蹤的災情，因此本論文研究挑選2005年3個颱風個案(海棠、馬莎、泰利)，以驗證水文模式之流量模擬準確性。除此之外，梅雨季節所降下的雨量佔台灣地區全年總降雨量的1/5，雖然梅雨所造成的災情不比颱風嚴重，但在梅雨期間仍有發生土石流、坍方、低窪地區淹水、山區洪水的情況發生。最後，本論文比較3個颱風強降水事件之北區水資源局實際觀測雨量及中尺度氣象模式(WRF)之模擬雨量，個別輸入至水文模式(FLO-2D)，模擬颱風事件下集水區之逕流，探討其水文反應。

1.2 文獻回顧

1.2.1 降雨預報

董(2001)之碩士論文及Yang and Tung(2003)從1998及1999年之中選定6個降水天氣型態(春雨、梅雨、夏季午後對流、颱風、秋雨、冬季冷鋒)，用MM5模式研究台灣地區降雨事件進行在不同積雲參數法下之敏感度分析。研究結果顯示，除了春雨和午後對流個案之外，MM5模式對台灣地區6小時累積降雨區域有相當好的預兆 (TS) 得分(一般而言 $TS > 0.4$)，且MM5模式對於豪雨個案(奧托颱風及梅雨個案)有最高的預兆得分，而對冷季個案(寒潮爆發及秋季冷鋒)的預兆得分也比對暖季個案(春雨和午後對流)的預兆得分高。此外，MM5模式通常傾向於低估豪雨的降雨區域面積，但高估小雨的降雨面積。在總降雨量方面，MM5模式對冷季寒潮爆發個案有最好的預報能力。

王(2003)之碩士論文及Yang et al.(2004)研究2000~2002年期間梅雨季之MM5系集降水預報校驗，和董(2001)之結果相同，發現Grell及Kain-Fritsh積雲參數法較適合用於台灣地區梅雨季降水數值的模擬。降雨預報校驗結果於低限門檻值設為0.3mm時，降雨預報表現較好的區域為台灣東北部、新竹、苗栗、中南部山區(南投、嘉義、和台南山區)、以及西南部平原，也是2000~2002年期間梅雨累積雨量較多的地區。這些地區產生降雨的原因為受到梅雨鋒面所帶來的西南氣流受地形抬升影響，在迎風面上坡處(如嘉義、台南山區)經地形抬升形成的對流性降雨。

陳(2005)之碩士論文研究運用中尺度數值預報模式(MM5)以單向(one-way)驅動降雨逕流水文模式(FLO-2D)，針對桃芝(2001)、敏督利(2004)、和艾利(2004)等三個颱風於石門水庫霞雲集水區和德基水庫松茂站上游集水區分別進行逕流模擬。研究結果發現MM5及FLO-2D兩模式的網格尺度不同、實際與模擬的颱風路徑誤差、以及氣象模式積分時間過長所造成的誤差、有無作颱風植入都會影響颱風降雨分佈以及降雨量，其FLO-2D水文模式的模擬

並未考慮入滲後的出流機制也會影響逕流的曲線分佈。

Li et al.(2005)以水文模式(FLO-2D)和中尺度數值預報模式(MM5)結合，研究瑞伯(1998)、納莉(2001)和賀伯(1996)三個颱風之氣象而引發洪水，且於賀伯颱風模擬時使用都卜勒雷達的徑向風場放到MM5模式中來改進降水的預報。研究結果顯示MM5的水平網格間距2.22km可以成功的模擬颱風路徑和全台降雨特性，然而2.22km的網格還不能夠解析小集水區的複雜的地形和降雨分佈。

1.2.2 台灣地區降雨的氣候特徵

Chen and Chen (2003)根據 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)資料(1980年~1997年)、台灣 25 個傳統氣象測站 38 年資料(1961年~1998年)及 5 年(1994年~1998年)的每小時自動雨量站資料(Automatic Rainfall and Meteorological Telemetry System; ARMTS)，研究統計整個台灣降水之特性，且將降雨分為 5 個季節，分別為冬季(12月~2月)、春季(3月~5月中)、梅雨季(5月中~6月中)、颱風季(7月中~8月)及秋季降雨(9月中~11月)。

Chen and Chen (2003)提到台灣的降水特性受到季風影響甚大，冬季受東北季風影響，為較穩定(層狀性)的降雨，導致產生的降雨量較少，降雨地區以北部和東北部為主，主要是由於東北季風受到地形抬升所形成的降雨。春季的環境熱力條件漸趨向不穩定狀態，降雨主要分布在西部地區；此時東北季風逐漸轉為西南季風，台灣上空 850 hPa 的西南氣流逐漸增強且帶來暖濕的水氣，因此所產生的雨量較冬季多。梅雨季盛行西南風，而降雨型態也轉為不穩定(對流性)的降雨，梅雨鋒面通過造成台灣西南方與西部沿海地區迎風面產生地形降水。夏季則受到颱風影響，常發生豪大雨，除此之外夏季午後對流(雷雨)也帶來不少降雨，因此山區的降雨量明顯增加。秋季降雨型態又逐漸

轉為穩定降水，受到東北季風影響，在北部和東北部迎風面降雨非常明顯，但背風面降雨量卻很少。台灣地區的冷季(9月~4月)主要是受到東北季風的影響，而暖季(5月~8月)則主要是受到西南季風的影響。其中5月中到6月中的梅雨季，夏季及早秋的颱風季，為台灣雨季發生的時期。

Chen and Chen (2003)提出中尺度對流系統(Mesoscale Convective Systems; MCSs)常沿著梅雨鋒面生成而導致豪雨，梅雨季的雨量分佈主要是在西部迎風面、西南部沿海平原、以及東北部山區。台灣山區約佔台灣總面積的2/3，所以當梅雨鋒面系統接近台灣時，降雨的分佈受到地形作用影響很大，所以台灣的降水型態除了受到綜觀天氣系統的影響之外，地形效應對於降雨的影響也非常重要。

Chen et al.(2007)分析台灣6年(1997-2002)在不同季節期間有發生大雨(>15mm/h)的天數之變化，並且把沒有包含颱風的季節降水和包含颱風個案各別分析探討。從5月中旬到10月初，受到大量的水氣、潛在不穩定度，以及山脈地形的影響，在沒有包含颱風的前提下，此段期間下大雨的天數頻率於超過60%，只有少數測站在綜觀擾動通過或中尺度對流系統趨近時有豪大雨發生。地形對於降雨空間分佈有很重要的影響，梅雨期間和夏季受到太陽加熱而有午後對流型大雨；尤其是在夏季西南氣流盛行時，受到山區的上升氣流影響，導致常有午後大雨發生。

Chen et al.(2007)提到梅雨季期間產生的大雨集中在台灣西部中央山脈迎風面上，部分發生在北部沿海地區和中央山脈東北部坡面上，這些地區都是受到梅雨鋒面尾端所帶來的迎風面降水。夏秋季節轉換之際(9月初至10月初)，大雨多集中在台灣西部，10月初受到強烈東北季風影響，大雨發生在台灣東北部最多。秋冬季節轉換期間，在台灣東北部受東北季風的影響，大雨多降在東北部迎風面坡面上。冬春季節轉變之際，很少發生豪大雨，是因為穩定大氣層之水氣含量很少，大雨多在2月後期，且集中在台灣西部。每年大

雨的空間降雨分佈(不包含颱風事件)顯示在台灣西南部之中央山脈西側坡面、北部沿海地區、和東北部坡面上有局部最大降雨發生頻率，是因為迎風面的坡面上有局部最大的低層風(低層噴流；Low Level Jet)所致。

Chen et al.(2007)研究指出受到颱風影響之大雨分佈的範圍更廣，最早在5月初就會發生，但在夏末秋初時更常發生，夏天和秋天下大雨的天數變更多約為5%-15%，但受熱帶氣旋影響，颱風下大雨的天數相較於不包含颱風且下大雨的天數還要低至50%-80%。受到從西太平洋往西方向和西北方向移動的颱風所影響，颱風伴隨大雨多發生在台灣東部、中央山脈東北側坡面上、和北部沿海地帶。受颱風環流影響，在迎風面之坡面會有豪大雨發生，豪大雨主要是從5月到秋初開始增加，尤其是在8月初、9月底、和11月初出現豪大雨的機會最高，且颱風期間主要是受到每日颱風路徑而影響大雨的降雨空間分佈。

1.2.3 地形降雨模擬研究

Anders et al.(2006)運用水平網格間距4km之氣象模式MM5進行模擬，以美國華盛頓州奧林匹克山的Matheny山脈做為研究區域，在2000~2005年間進行即時模擬研究。研究發現在奧林匹克山的西南邊會與水平網格間距為10km時之MM5模擬產生相似的降雨分佈，並且MM5高估降雨量。而且以水平網格間距10km模擬時，在800公尺高的山脊上降雨比距離10公里遠的山谷降雨多達50%。他們在2004~2006三年各挑選一個濕季，並於2003~2004年挑選10個較大的降水事件與實際觀測雨量進行比較。模擬結果顯示，MM5預測季節降雨的總降雨量和降雨空間分佈都和觀測值非常相近，證明了MM5在此研究區域之降水預報沒有系統性誤差。雖然比較觀測雨量資料和MM5所模擬的10個大降水事件以及季節降雨時有不錯的結果，但若比較單一事件時，則會很明顯地有時高估、有時低估雨量的情形，當改變雲微物理方案時也並不會完全

改變每年的預報降水能力。本研究證實MM5模式可以適當地模擬出迎風面上的地形降雨特徵。

Minder et al.(2008)進一步分析2004-2007年濕季(10月至4月底期間),MM5模擬美國華盛頓州奧林匹克山小尺度的降雨分佈情形,並以Queets和Quinalt兩地河谷之間的雨量站作為主要的雨量資料來源,且以此為研究區域。他們將濕季區分為單一降水事件和季節性降雨來看,發現模擬單一降水事件所產生的誤差情形(預報偏離得分;BS)較季節性降雨明顯高很多,而誤差的產生並不完全是模式解析度和雲物理方案使用的問題,模式的初始條件誤差也是造成誤差來源的因素之一(因為降水系統之上游地區太平洋海上很少測站)。他們並且比較山脊(R; 高程>200m)和山谷 (V; 高程<200m)之平均降雨量,發現除了2007年濕季之外, 2004-2006年濕季MM5模式模擬的R/V值都較觀測高,且2004-2007年濕季之山脊最大降雨量(R_{max})和山谷最小降雨量(V_{min})的比值發現MM5模擬雨量之 R_{max}/V_{min} 範圍介於45-60%之間,較觀測雨量之 R_{max}/V_{min} 61-78%稍微低。此外,分析當 $R_{max}/V_{min}>1$ 時,MM5模式全都高估山脊降水。

1.3 論文架構

本論文研究架構主要分為八章,第一章為前言,第二章為個案分析,分析梅雨和3個颱風強降水個案的雨量分佈。第三章為介紹研究區域地理及氣象模式(WRF)與水文模式(FLO-2D)介紹,第四章研究方法,介紹氣象模式之資料讀取方式、和雨量資料處理、驗證模式的方法、水文模式輸入資料和參數設計的處理等。第五章為季節性和全年10個月(3-12月)降雨受地形影響分析,以及預報校驗雨量探討。第六章為梅雨及颱風個案之模式預報校驗結果與探討。第七章討論颱風個案之水文模擬結果。第八章為結論與建議。

第二章 個案描述與分析

台灣暖季的西南季風主要是受到太平洋副熱帶高壓所控制，從五月中旬梅雨季開始到九月上旬結束，歷時約四個月。西南季風帶來的暖濕空氣遇到地形時，暖濕空氣經過地形抬昇後產生對流雲和降雨，降雨主要發生於台灣中南部丘陵和南部中央山脈西側。台灣冷季的東北季風主要是受到大陸冷高壓所控制，從九月開始到隔年四月結束，歷時約八個月，東北季風的暖濕氣流因地形舉升、水汽飽和凝結產生降雨，降水多集中在台灣北部及東北部基隆、宜蘭和台北一帶。

中央氣象局於民國 93 年 11 月 25 日修訂之「大雨」及「豪雨」定義如下：大雨(*heavy rain*)指 24 小時累積雨量達 50 毫米以上，且其中至少有 1 小時雨量達 15 毫米以上之降雨現象；豪雨(*extremely heavy rain*)指 24 小時累積雨量達 130 毫米以上之降雨現象；若 24 小時累積雨量達 200 毫米以上稱之為大豪雨(*torrential rain*)，而 350 毫米以上稱之為超大豪雨(*extremely torrential rain*)。

本論文研究中所挑選的強降雨個案都是依照 2005 年天氣圖和中央氣象局所提供的 2005 年氣象報告，以確認挑選個案的代表性。各個案選取時間可見表 2.1，詳述如下：

2.1 梅雨個案

梅雨季降雨受梅雨鋒面雲帶影響，雨量多，為長時間連續性的降雨，降水機率高，空氣潮濕。台灣每年約 4-5 個梅雨鋒面，平均降雨量為 450-500mm，占全年總雨量的 1/5，若雨量過多過急則可能造成淹水。本論文研究選用的梅雨個案日期為 2005 年 6 月 12 日 1200UTC 至 6 月 16 日 1200UTC。梅雨鋒面於這段時間朝東北東方向移動，可見 圖 2.1 之 6 月 13 日 0000UTC 地面天氣

圖；此時台灣受到梅雨鋒面影響，天氣不穩定，對北部造成豪雨，而西南部有豪大雨發生。如圖 2.3a 顯示，降雨極值出現在屏東縣瑪家(656mm/24h)和上德文(526mm/24h)之氣象局測站。由圖 2.2 之 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖得知，鋒面帶來西南氣流影響中南部皆有豪大雨發生，累積雨量分佈如圖 2.3b 所示，降雨極值出現在雲林縣誼梧(511mm/24h)和高雄縣甲仙(467mm/24h)之氣象局測站。

2.3 颱風個案

颱風為台灣帶來極大的雨量，為全年雨量最主要的來源，颱風也是在台灣地區造成最大氣象災害的降水事件。本論文研究挑選 2005 年颱風個案有三個，包括強烈海棠颱風、中度馬莎颱風、以及強烈泰利颱風。圖 2.4 為中央氣象局統計 1897~2004 年的颱風侵台路徑分類圖，其中馬莎颱風屬於颱風侵台路徑分類圖中的第一類，其他兩個颱風都屬於第三類。

1. 強烈海棠颱風

本論文研究選用的海棠颱風個案日期為 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 7 月 20 日 1200UTC，由氣象局颱風警報發佈概況表得知，海棠颱風於 2005 年 7 月 12 日 0000UTC 在關島北北西方生成後，快速向西南西轉西北方向移動，其颱風路徑圖如圖 2.5。

2005 年 7 月 17 日 2300UTC 海棠颱風接近台灣時，在花蓮外海逆時鐘方向打轉一圈，在 7 月 18 日 0000UTC 地面天氣圖如圖 2.6，颱風中心在花蓮南方之海面上往西北西前進，暴風圈籠罩台灣上空，為台灣帶來超豪大雨。降雨主要集中在北部和南部山區，由圖 2.8a 可知降雨極值出現在宜蘭縣太平山(837mm/24h)與屏東縣尾寮山(719mm/24h)之氣象局測站。海棠颱風於 18 日 0650UTC 於宜蘭東澳附近登陸，颱風之強度及移動速度皆有減緩趨勢。18 日 1400UTC 於苗栗後龍附近進入台灣海峽，中南部及東南部地區風雨仍很強。

由 7 月 19 日 0000UTC 地面天氣圖(圖 2.7)所示，颱風中心在台灣海峽北部往西北方向移動，暴風圈仍籠罩台灣，強度減弱；此時台灣地面受颱風外圍環流影響，出現超大豪雨，降雨主要集中在中南部(如圖 2.8b)顯示，降雨極值出現在高雄縣御油山(931mm/24h)和溪南(915mm/24h)。當時台灣雖然已脫離暴風圈，但仍有超大豪雨發生；7 月 19 日 1200UTC~7 月 20 日 1200UTC 之累積降雨量如圖 2.8c 顯示，降雨主要出現在新竹以南，降雨極值出現在屏東縣的尾寮山(602mm/24h)和上德文(557mm/24h)。海棠颱風對台灣造成 12 人死亡、31 人受傷、3 人失蹤，受到颱風環流影響引發豪雨，造成多處淹水且道路坍方，農漁牧損失逾 48 億。

2. 中度馬莎颱風

本論文研究選用的馬莎颱風(MATSA)個案日期為 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 8 月 6 日 1200UTC，由氣象局颱風警報發佈概況表得知，馬莎颱風於 2005 年 7 月 31 日 1200UTC 在關島西南西方生成後持續向西北方向移動，其颱風路徑圖如圖 2.9。

由 8 月 4 日 0000UTC 地面天氣圖(圖 2.10)可看出，颱風中心在宜蘭東南東方向之海面上，持續向北北西移動，台灣受馬莎颱風環流影響苗栗以北山區及中部山區皆有超豪大雨發生。圖 2.13 為 8 月 3 日 1200UTC 至 8 月 6 日 1200UTC 累積 24 小時雨量分佈圖，由圖 2.13a 得知第一天雨量極值出現在新竹縣觀霧(391mm/24h)和苗栗縣馬達拉(385mm/24h)之氣象局雨量測站。8 月 5 日 0000UTC 時，馬莎颱風中心位於台北東北東方向，由 8 月 5 日 0000UTC 之地面天氣圖(圖 2.11)顯示，此時暴風圈籠罩台灣北部、東北部陸地，風雨持續增強，帶來超豪大雨，降雨主要集中在台灣中部以北山區，降雨極值出現在台中縣稍來(856 mm/24h)和雪嶺(720mm/24h)之氣象局測站(如圖 2.13b)所示。8 月 6 日 0000UTC 時馬莎颱風強度減弱且暴風圈有縮小的趨勢，最後由浙江省進入大陸繼續往北北西移動。由 8 月 6 日 0000UTC 地面天氣圖(圖

2.12)，得知馬莎颱風外圍環流仍持續影響台灣地區降雨，甚至有超大豪雨出現，降雨極值出現在高雄縣溪南(461mm/24h)和御油山(331mm/24h)之氣象局測站(圖 2.13c)。

馬莎颱風於石門水庫集水區平均降雨量達 819 mm，但尖峰流量超過 $5,300\text{m}^3/\text{s}$ ，水庫淤積量推估新增 1,000 萬立方公尺，同樣造成石門水庫原水濁度過高而影響民生與工業用水長達 7 天。其帶來的超大豪雨在台灣造成七人受傷和兩人失蹤的災情，農業損失近九千萬新台幣。

3. 強烈泰利颱風

本論文研究選用的泰利颱風個案日期為 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 9 月 1 日 1200UTC，泰利颱風於 8 月 27 日 0000UTC 在關島西方生成後往西北西方向前進，其路徑圖可見圖 2.14。圖 2.15 為 8 月 31 日 0000UTC 時的地面天氣圖，此時颱風中心位置在花蓮東南東方海面上，正往西北西方向移動，暴風圈逐漸進入台灣東部海面；受泰利颱風環流影響為台灣帶來局部性豪大雨，降雨極值發生於苗栗縣公館(247 mm/24h)和明德(212 mm/24h)之氣象局雨量站(圖 2.17a)，降雨多集中在北部。圖 2.16 為 8 月 31 日 1800UTC 時之地面天氣圖，受到中央山脈地形的破壞，颱風強度已減弱為中度颱風，其低層環流中心在花蓮南方近海，呈現滯留現象，並持續減弱往西北移動。此時泰利颱風暴風圈仍籠罩台灣，受颱風環流影響，全台各地皆有雨，降雨極值出現豪大雨於高雄縣御油山(746mm/24h)和嘉義縣奮起湖(683mm/24h；見圖 2.17b)。9 月 1 日 0000UTC 泰利颱風低層中心於花蓮和宜蘭之間登陸，環流中心消失而被台中西方近海形成之副低壓中心取代，隨後中心繼續朝西北移動，形成難得一見的颱風中心分裂過山現象，可見圖 2.18 之紅外線雲圖。泰利颱風環流引發豪雨，不僅道路坍方還引起南部地區部分淹水，在台灣造成 3 人死亡、超過 200 人受傷，農業損失達 16 億新台幣。

第三章 研究區域地理描述與模式介紹

3.1 研究區域地理概況

石門水庫集水區為石門大壩上游之大漢河流域，範圍廣及桃園、新竹、宜蘭三縣，如圖3.1。集水區水系主要以大漢溪為主，發源於品田山及大霸尖山，石門水庫集水區西北端屬於地勢為低緩的丘陵地，其他大多屬於山岳；地勢起伏之大，由石門水庫壩址海拔135公尺變化至大霸尖山附近3,500公尺之間，高程分佈如圖3.2所示。Li et al(2005)提到石門水庫土壤分類可大致區分成49%為壤土，39%為砂質壤土，12%為砂質黏壤土，超過94%的集水區為針葉林和混合闊葉林。

石門水庫竣工於民國53年，水庫全長16.5公里，正常蓄水位標高245公尺，滿水位面積800公頃，總蓄水量309百萬立方公尺，現在有效蓄水量233百萬立方公尺。石門水庫內流量站包括霞雲、高義、稜角、玉峰、秀巒等五站，本論文研究是最靠近石門水庫的霞雲流量站作為流量出口點，模擬霞雲站的出流量。霞雲集水區內雨量站包括長興、霞雲、高義、三光、嘎啦賀、玉峰、秀巒、鞍部、鎮西堡、巴陵、白石、西丘斯山、池端等十三站(詳見圖3.1)，霞雲集水區面積約622.83平方公里。石門水庫具有發電、灌溉、防洪、公共給水等功能，對北台灣的農業和工業發展及減輕滂旱災害有很大的貢獻。

3.2 氣象模式

本研究所使用的氣象數值模式為 WRF 模式(Weather Research and Forecasting Model)V2.0.3.1 版本(Dec. 2004 Release)，此模式為新一代的中尺度氣象數值模式，WRF 模式可模擬天氣尺度範圍可由小尺度到綜觀尺度等不同尺度，可做為數值天氣預報及理論研究之用途。WRF 模式可以應用於真實天

氣個案模擬，或是應用其理想化模組來探討基本物理過程以做為理論探討的依據，其共同研究發展單位包括美國國家大氣研究中心(the National Center for Atmospheric Research; NCAR)、美國國家環境預報中心(the National Centers for Environmental Prediction; NCEP)、美國預報系統實驗室(the Forecast System Laboratory; FSL)、美國聯邦航空管理局(the Federal Aviation Administration; FAA)等。WRF 模式在時間積分方面採用 3 階 Runge-Kutta 數值方法，其物理參數化法包括積雲參數化法、輻射參數化法、邊界層參數化法等。

3.3 水文模式

本論文研究所使用的水文模式為 FLO-2D (O'Brien et al. 1993,1998) 二維洪水數值模擬模式，數值方法是以中間有限差分為主，以正方形網格系統模擬出洪水歷線，並且遵守體積守恆原則的商業用套裝軟體。有限差分洪水演算的關鍵在於數值穩定的標準，在每個時間間隔(time step)和每個網格點上都做數值穩定度的分析。數值穩定度分析是採用 Courant-Friedrich-Lewy 穩定度分析(CFL condition; Jin and Fread, 1997)，每個網格點的流向有八個相位。FLO-2D 模式可以有效地應用於不同的洪水現象，例如降雨逕流、泥石流、土石流、和漫地流、都市街道淹水、橋梁涵洞出流量等。

CFL condition :

(1)用於洪水平原擴散波演算：

$$\Delta t = \mu \Delta x / (v + c) \quad (3-1)$$

公式中， Δt 為時間間隔； μ 為可蘭數(Courant number)，是時間間隔 Δt 與擴散波在網格停留時間 $[\Delta x / (v + c)]$ 的比穩定度分析要求($\mu < 1.0$)； Δx 為是網格寬度； v 為平均橫斷面流速； c 為波速。

(2)用於動力波演算，數值穩定標準為網格流量通量的變量，公式如下：

$$\Delta t < \zeta S_0 \Delta x^2 / q_0 \quad (3-2)$$

公式中， Δt 為時間間隔； q_0 為單位寬度流量； S_0 為水面坡降(water surface slope)； ζ 為經驗係數(Ponce and Theurer,1982)。

FLO-2D模式的模擬過程中有下列假設，以利於數值高程格點的運算簡化。

模式基本假設：

- (1)靜水壓力分佈。
- (2)水力粗糙度滿足穩定流阻滯方程式。
- (3)渠道網格點斷面幾何特性和水力粗糙度為均一值(設定值為0.03)。
- (4)每一個網格點的高程與曼寧值都只有單一值(設定值為0.45)。

模式限制：

- (1)無法模擬河道刷深之現象。
- (2)模式無法模擬震波(shock wave)與水躍(hydraulic jumps)現象，流體在斷面中突然的流深變化在模式的計算中會被平滑化。

本模式控制方程包括連續方程式和三種波動的動量方程式，此三種波動分別為動力波(Fully Dynamic Wave)、擴散波(Diffusive Wave)和運動波(Kinematic Wave)。

控制方程如下：

(1)連續方程

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV_x}{\partial x} + \frac{\partial hV_y}{\partial y} = i \quad (3-3)$$

公式中， h 為水深； i 為超過入滲之降雨強度； V_x 為 x 軸方向的平均流速； V_y 為 y 軸方向的平均流速。

(2)動量(動力波)方程式

$$\begin{aligned} (S_{0x}-S_{fx})g &= \frac{\partial h}{\partial x}g + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_x}{\partial t} \\ (S_{0y}-S_{fy})g &= \frac{\partial h}{\partial y}g + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial t} \end{aligned} \quad (3-4)$$

公式中， S_{fx} 和 S_{fy} 分別為 x 軸方向和 y 軸方向的摩擦坡降 (friction slope)； S_{0x} 和 S_{0y} 為底床坡降 (bed slope)。 (3-4)方程式中右邊第一項為壓力梯度項，第二、三項為平流項，第四項為局部加速度項；在擴散波中，忽略平流項及加速度項，在運動波中，則是忽略壓力梯度項。FLO-2D模式可使用動力波與擴散波和運動波擇一來進行模擬。

FLO-2D所使用的入滲公式為Green-Ampt入滲公式 (Mein and Larson, 1973) 如下：

$$\begin{aligned} r(t) &= 0 && \text{當 } P(t) \leq IA \quad t > 0 \\ r(t) &= r_0(t) && \text{當 } P(t) > IA \quad t > 0 \end{aligned} \quad (3-5)$$

公式中， $r(t)$ 為有效降雨； IA 為初始截流量； $P(t)$ 為累積降雨。當累積降雨 $P(t)$ 大於初始截流量 IA 時，就開始產生有效降雨 $r_0(t)$ 。若為持續降雨時，則是使用下列公式：

$$f(t) = K_h^* \cdot \left[1 + \frac{\psi_f \cdot (\phi - \theta_0)}{F(t)} \right] = \frac{dF(t)}{dt}$$

公式中， $f(t)$ 為入滲率 $[LT^{-1}]$ ， $F(t)$ 為累積入滲量 $[L]$ ， ψ_f 為濕鋒吸力水頭 $[L]$ ， ϕ 為孔隙率， K_h^* 為飽和水力傳導係數 $[LT^{-1}]$ ， θ_0 為初始土壤含水量，其中 $(\phi - \theta_0)$ 為水分含量的變化。本FLO-2D水文模式並未考慮入滲後之出流量機制。

模式主要架構大致上分為洪水平原(Flood plain)、渠道(Channels)、物理過程(Physical Processes)、程式控制(Program control)及出入流選項(Inflow and outflow options)。

1. 洪水平原(Floodplain)：

在洪水平原系統裡包括數值地形資料(FPLAIN.DAT)可設定地表DTM高程資料及曼寧粗造係數，其他為街道資料(STREET.DAT)、堤岸資料(LEVEE.DAT)、及多重渠道(MULT.DAT)等設定。

2. 渠道(Channels)：

在渠道系統裡包括渠道資料(CHAN.DAT)設定包括河道流向、河道深度、河道曼寧粗造係數、河道寬及河道長度和渠道斷面幾何特性的選擇，可選擇為矩形、梯形、或是複式斷面等，另外還有橋墩及涵洞資料(BRIDCUL.DAT)設定。

3. 物理過程(Physical Processes)：

物理過程包括降雨資料(RAIN.DAT)設定包括累積降雨百分比和降雨發生累積時間，和入滲資料(INFIL.DAT)設定包括初始入滲值、飽和度、土壤孔隙率、土壤張力和水力傳導係數等，其入滲是使用Green-Ampt (1911)方程式所控制。此外，泥砂資料(SED.DAT)設定土石流和泥流。

4. 程式控制(Program control)：

其中包含模式控制資料(CONT.DAT)設定集水區網格總數、河道網格總數、模擬總時間及使用的物理過程(例如在本研究是使用降雨及逕流過程)，和資料修正參數(例如淺水流粗糙係數)等。運算控制資料(TOLER.DAT)設定包含擴散波、動力波、運動波等三種演算方程式的選擇、穩定係數、表面滯留深度(surface detention)及洪水平原與渠道水深度變化門檻值、運算時間間距等。

5. 出入流選項(Inflow and outflow options)：

包括洪水平原出流資料(FPINOUT.DAT)和渠道出流資料(CINOUT.DAT)分別可以設置洪水平原及渠道的出入流網格點位置。

第四章 研究方法

不同降水天氣型態各有不同的降水特性，且台灣地區降水受地形和綜觀天氣條件影響很大，使得 WRF 氣象模式的降水預報會產生高估或低估之誤差。本論文研究之目的在於瞭解 WRF 模式降水預報之系統性偏差情形，進一步探討全台 2005 年 3 月至 12 月(共 10 個月)的季節性降水特性和強降水個案(颱風及梅雨)之降水特徵。

由於地面雨量觀測與 WRF 網格點的空間分佈並不一致，於是我們將地面雨量站觀測雨量經由客觀分析方法把雨量內插到 WRF 網格點之後，再比較客觀分析後的觀測雨量和 WRF 模擬雨量之差異。接著運用預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)三種校驗參數(董 2001；Yang and Tung 2003)，以驗證 WRF 模式的降水預報準確度。吾人並且討論 WRF 模式於台灣地區 2005 年季節性降雨、和單一降水事件之颱風和梅雨個案，其分別受到地形高度、鋒面移動、盛行風向、和颱風路徑的影響，造成降雨分佈上的差異。同時我們探討校驗後之實際觀測降水極值和模式模擬降水極值之差異，以及在迎風面極大值與背風面降雨極小值之比值的比較。

最後我們縮小研究區域，探討在石門水庫集水區於颱風事件下之逕流模擬情形。吾人將觀測雨量和氣象模式 WRF 模擬雨量，分別輸入到水文模式 FLO-2D 來模擬石門水庫霞雲流量站上游之集水區流量，並且比較觀測流量、觀測雨量之模擬流量、及 WRF 雨量之模擬流量間的差異，可得知不同降雨量資訊之水文反應特性。本論文之研究步驟流程圖可見圖 4.1。

4.1 氣象模式之資料讀取

WRF 模擬的範圍共劃分為三層—D1、D2、D3，水平網格間距分別為 81

公里、27 公里、和 9 公里的巢狀網格，網格點數分別為 100×70、112×85、及 48×78，如圖 4.2 所示，粗網域(D1)涵蓋範圍包括整個東亞地區，中網域(D2)涵蓋中國大陸華中、華南地區、台灣、及越南，細網域(D3)涵蓋大陸東南沿岸和台灣本島。WRF 模式垂直分層為 30 層，預報時間為 36 小時，積分時間間距在三層網域分別為 243 秒、81 秒、和 27 秒。邊界層參數法是使用 MYJ 邊界層方法[Mellor-Yamada-Janjic (Eta) TKE scheme]，雲物理參數法是使用 Lin et al.(1983)參數法，積雲參數法是使用 Grell-Devenyi(2002)參數法，輻射參數設定為長波輻射(RRTM)和短波輻射(Dudhia 1989)。

WRF 氣象模式預報雨量資料來源為王士杰學長所執行的 2005 年 3 月 12 日至 12 月 31 日期間，每日以 0000UTC 初始場來預報 36 小時。本論文研究則讀取細網域(D3)的預報 12~36 小時的每 6 小時累積雨量，來進行分析研究。雨量資料讀取時間可見圖 4.3，吾人讀取預報 12~36 小時的原因是由於剛開始 0~12 小時為模式啟動期間(spinup)，此時模式的雲雨預報較不理想所致。WRF 模式使用的初始場資料為 NCEP Global Forecast System(GFS)，探空資料與地面資料是來自於 NCAR Unidata 資料中心。

為了驗證本論文研究所讀取雨量的方法是否可行，可參見附錄一所敘述之預報 6~36 小時雨量讀取方法，來比較因不同初始場造成雨量不連續之偏倚情形。由附錄一中的附圖 1 及附圖 2 得知，因使用間隔 24 小時的不同 0000UTC 初始場所造成的 WRF 模式模擬雨量的不連續性基本上不大，故可忽略它。

4.2 雨量資料的處理

本論文研究所採用的 WRF 模式模擬降雨資料之時間解析度為 6 小時，全台灣觀測雨量資料來源為 2005 年的中央氣象局所提供的 377 個雨量站資料。圖 4.4 為全台觀測雨量站和 WRF 模式細網域(D3)9×9 公里網格點分佈圖。我們使用地理資訊系統 GIS 軟體，繪製全台雨量圖是採用距離平方反比(IDW)

之內插方法，在每個格網鄰近的 12 個雨量站的雨量資料做距離平方反比計算。

全台灣共有 377 個氣象局自動雨量觀測站，空間上為非均勻分佈不規則的點，部分山區的雨量觀測資料並不完整，因此氣象局自動雨量站資料可能會低估實際之山區降水。但是氣象模式 WRF 網格點所在的位置附近也並不一定有觀測雨量站，然而 WRF 的網格點是正方形網格，其均勻規則地分佈於全台灣。為了校驗 WRF 模式網格點上的降雨預報準確度，本論文研究應用 Cressman(1959)所提出的客觀分析方法，將不規則的觀測雨量站雨量資料內插到 WRF 網格間距 9 公里的規則網格點上，做為在網格點上的觀測雨量資料。接著我們與 WRF 模式網格點上的預報降雨量做誤差分析比較，以更加瞭解觀測雨量與 WRF 模式預報雨量的誤差及準確性。Cressman(1959)客觀分析方法說明如下：

$$A_k^a = \frac{\sum_{i=1}^N W_{ki} (A_i^o)}{\sum_{i=1}^N W_{ki}}, \quad \begin{cases} W = \frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2}, & r < R \\ W = 0 & r \geq R \end{cases} \quad (4-1)$$

式中， A 為降雨量，下標 k 代表為第 k 個網格點，上標 a 代表為客觀分析值，所以 A_k^a 表示為客觀分析後之雨量， W 為權重函數，下標 i 代表為第 i 個觀測雨量站， N 為觀測雨量站總數，上標 o 表示為觀測雨量站之觀測值，所以 A_i^o 表示為觀測雨量站之雨量， r 為觀測雨量站與網格點間之距離， R 為給定的影響半徑值。

如同董(2001)所言，Cressman(1959)提出的客觀分析法於理論上為逐步修正法，需給定多個影響半徑(如 R 、 $3/4R$ 、 $1/2R$ 、 $1/4R$)，再將所給定的各個影響半徑在同一個網格點的客觀分析值作平均，作為該網格點的客觀分析值。由於降雨在空間上呈非均勻分佈且為非連續性降雨，內插到網格間距 9 公里的 WRF 網格點上，其影響半徑若設太大，使的網格點影響半徑範圍內的觀測

雨量站過多，最後客觀分析值會過大；若設太小，使的網格點影響半徑範圍內的觀測雨量站過少，或甚至完全沒有觀測雨量站，將使最後的客觀分析值過小，則此網格點不做預報降水校驗。因此本論文研究不採用逐步修正法，而是只取一個影響半徑與 WRF 網格間距相同為 9 公里，並設定影響半徑內最少要包括 3 個至 3 個以上的觀測雨量站才做雨量校驗計算(Yang and Tung 2003；Yang et al. 2004)，以確保其結果具有合理的代表性。設定內插半徑為 9 公里之客觀分析後的網格點(雨量校驗點)全台共有 196 點，如圖 4.5 所示。

因氣象局之雨量站在霞雲集水區內並沒有設置完整的雨量測站，因此霞雲集水區之觀測雨量資料主要來源為北區水資源局所提供的 13 個雨量站資料。集水區面積雨量計算方法則為分別將觀測和 WRF 模擬雨量資料以徐昇式(Thiessen's)法求得面積平均 6 小時累積雨量，徐昇式多邊形網格圖如圖 4.6 所示。再將求得的面積平均雨量(單位為 mm/6h)換算成累積雨量百分比(percent total rain)輸入到 FLO-2D 模式，初始時間設為 0 小時，初始雨量皆趨近於 0，所以模式的前 6 小時流量模擬幾乎都為 0，但還是依個案初始雨量而定。圖 4.7 為集水區經客觀分析後之網格點。

4.3 評估方法

4.3.1 雨量評估

本論文研究為瞭解 WRF 模式之降水預報能力，所以比較觀測雨量和 WRF 模式模擬之累積 12 小時降雨量，採用統計方法來評估季節性降雨、全年降雨，以及強降水個案(颱風和梅雨)之 WRF 模式對台灣地區之降雨預報能力及其系統性誤差之情形。參考 Yang and Tung (2003)，評估參數有三種包括預兆得分(Threat Score；TS)、公平預兆得分(Equitable Threat Score；ETS)、預報偏離得分(Bias Score；BS)。在(4-2)至(4-4)各式定義中， F 為 WRF 模式預報在台灣地區的 12 小時累積降雨量超過某一低限值(threshold)的網格點數， O 為

經客觀分析後的觀測 12 小時累積降雨量超過某一低限值(threshold)的網格點數， C 為模式正確預報 12 小時累積降雨量超過某一低限值(threshold)的網格點數， T 為經客觀分析後產生的校驗網格點總數， E 為隨機猜測值。評估方法分別敘述如下：

(1) 預兆得分(Threat Score ; TS)：

預兆得分是由 Anthes(1983)所提出，為了解模式對於研究區域之超過某一定降雨量之預報能力，用來評估模式對於降雨區域的預報能力。預兆得分定義如下：

$$TS = \frac{C}{F + O - C} \quad (4-2)$$

TS 值越接近 1 表示模式正確預報降雨面積的預報能力越高。

(2) 公平預兆得分(Equitable Threat Score ; ETS)：

公平預兆得分是由 Schaefer(1990)所提出，為正確預報降雨面積與預報及觀測降雨面積總和的比值，用來評估降雨預報之技術得分。公平預兆得分定義如下：

$$ETS = \frac{C - E}{F + O - C - E}, \quad E = \frac{F \times O}{T} \quad (4-3)$$

ETS 大於 0 表示為有技術得分的預報，ETS 等於 1 表示有完美的預報，ETS 小於 0 表示為沒有技術得分的預報(即預報能力較隨機猜測為差)，所以 ETS 值越接近 1 表示模式正確預報降雨面積的預報能力越高。

(3) 預報偏離得分(Bias Score ; BS)：

預報偏離得分也是由 Anthes(1983)所提出，為用來評估模式對於研究區域超過某一低限值的模式降雨預報出現頻率之預報能力。預兆得分定義如下：

$$BS = \frac{F}{O} \quad (4-4)$$

BS 大於 1 表示為過度預報或高估降水，BS 小於 1 表示為不足預報或低估降水，BS 值越接近 1 則表示模式正確預報降雨面積的預報能力越高。

本論文研究討論季節性降雨和全年 10 個月降雨則是依不同時節之降雨量來調整低限值，春季和秋冬季降雨所使用的低限值分別為 25mm、35mm、50mm、90mm、130mm、200mm、250mm、300mm，梅雨季和夏季降雨所設定的低限值分別為 50mm、130mm、200mm、350mm、500mm、1000mm、1500mm、2000mm，全年 10 個月降雨所設定的低限值分別為 500mm、1000mm、1500mm、2000 mm、2500mm、3000mm、3500mm、4000mm。而颱風和梅雨強降水個案設定預兆得分、公平預兆得分、和預報偏離得分的低限值分別為 0.25mm、2.5mm、5mm、10mm、15mm、25mm、35mm、50mm。

(4) 相對誤差的定義：

$$Relative\ error = \left| \frac{R_{sim} - R_{obs}}{R_{obs}} \right| \times 100\% \quad (4-5)$$

(5) 正規化均方根誤差的定義：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_{simi} - R_{obsi}}{R_{obsi}} \right)^2}{n-1}} \quad (4-6)$$

式中， R_{obsi} 為第 i 筆資料的觀測雨量(mm/hr)， R_{simi} 為第 i 筆資料的模擬雨量(mm/hr)， n 為觀測資料與模擬資料之個數， $RMSE$ 值越小代表雨量誤差越小。

4.3.2 流量評估

將觀測雨量與 WRF 模擬氣象場之 6 小時累積降雨量，用徐昇式法計算出其集水區面積平均雨量，再經由水文模式模擬逕流量。因此我們參考 Li et al.(2005)，使用效率係數(EFFIC；Kirkby et al.，1987；Breve et al.，1992)作為模式模擬流量準確度的評估標準。再以逕流率(Runoff Ratio；RR)瞭解逕流量與雨量之間的比例關係，和正規化均方根誤差(Normalize Root-Mean-Square Error；RMSE)得知觀測流量和模擬流量之誤差關係。效率係數、逕流率、正規化均方根誤差分別定義如下：

(1) 效率係數的定義：

$$EFFIC = \left(\frac{\sigma_0^2 - \sigma_e^2}{\sigma_0^2} \right) \times 100\% \quad (4-7)$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - \bar{Q})^2 / n$$

$$\sigma_e^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{simi})^2 / n$$

式中， Q_{obsi} 為第 i 筆資料的觀測流量(m^3/s)， Q_{simi} 為第 i 筆資料的模擬流量(m^3/s)， \bar{Q} 為觀測值的平均流量(m^3/s)， n 為觀測資料與模擬資料之個數。EFFIC 等於 1 則表示模擬值與觀測值完全符合，EFFIC 等於 0 表示模擬結果有達到觀測流量平均值的水準，所以效率係數值越接近 1 模擬結果越佳。

(2) 逕流率的定義：

$$RR = \frac{Q}{P} \quad (4-8)$$

式中， Q 為洪水事件在集水區面積平均流量(mm)， P 為集水區之平均降雨量(mm)。

(3) 正規化均方根誤差的定義：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{Q_{simi} - Q_{obsi}}{Q_{obsi}} \right]^2}{n-1}} \quad (4-9)$$

各單位定義如效率係數之定義， $RMSE$ 值越小代表模擬流量結果越好。

4.4 水文模式之資料處理與參數設定

4.4.1 網格點選取

研究區域的數值地形資料(DTM)為網格間距 40 公尺、高度解析度 1 公尺的地形資料，由農林航測所製作。霞雲集水區是以 200 公尺為網格間距，共有 15313 個網格點，集水區內每個固定間距的網格點都是由 X、Y 座標和高

程所組成。

4.4.2 渠道析取

集水區內的河道乃採用 GIS 軟體繪製，當累積流量大於等於自行設定的集流閾值之網格即定義為河道，本研究設定集流閾值為 1000，河道共有 382 個網格點如圖 4.8。渠道斷面幾何特性是採用梯形渠道(底寬設為 120 公尺，側坡高設為 1 公尺)較接近真實渠道，河道寬度是參考經濟部水利署官方網頁中的水文地理資訊系統內的資料，渠道水力粗糙係數則是參照曼寧粗糙係數表(應用水文學，王如意等，1992)，將渠道水力粗糙係數值設為 0.03，見表 4.1。

4.4.3 曼寧係數和入滲參數設定

每個網格點的曼寧係數在本研究中都設定為固定值，表4.2為參考FLO-2D手冊所建議的漫地流曼寧粗糙係數表，此表乃參考HEC-1手冊(1990)和工程設計技術指引(1997)中的設定改寫而成。

石門水庫集水區土地利用型態以闊葉林及混合林為主，面積達61,950 公頃，約佔水庫集水區面積81%。其次以竹林為多，面積8,532公頃，約佔水庫集水區面積11%，主要分佈於三民、長興、奎輝、霞雲等地。果園面積為2,238 公頃，多於緩坡種植以溫帶水果為主。茶園61 公頃，多分佈於水庫周圍。其餘農業種植3,195 公頃，約佔水庫集水區面積4.19%(吳東雄，2002)。Li et al(2005)提到石門水庫土壤49%為壤土占最大部份，所以設定水力傳導係數為6.35(mm/h)，孔隙率為0.463，土壤張力為88.9mm，且石門水庫有超過94%的集水區為針葉林和混合闊葉林，因此設定漫地流曼寧係數值為0.45，初始飽和度設為0.6。水文模式FLO-2D並未考慮基流和入滲後之出流機制。

第五章 季節性與全年 10 個月降雨受地形影響分析及 預報校驗結果

預報校驗主要是討論全台灣之氣象局雨量觀測站的降雨資料經過客觀分析後得到 WRF 網格點上的觀測雨量資料，再與校驗點之 WRF 模擬雨量做比較。為了探討 WRF 模式模擬雨量在台灣地區各個季節(春季、梅雨季、夏季、秋冬季)和全年(3~12 月)降雨受到台灣地形高聳的中央山脈影響對降雨分佈有何變化，於是各別比較觀測雨量和 WRF 模擬雨量之全台降雨分佈狀況和模式模擬雨量之高低估情形。最後將各季節雨量及全年 10 個月雨量各別做客觀分析，以做為雨量校驗的標準，進一步瞭解 WRF 模式模擬雨量受地形影響之迎風面降雨增加和背風面降雨減少情形，並求出 TS、ETS、BS 得分等，以得知 WRF 模式預報各季節雨量及全年雨量之降雨預報能力。

5.1 季節性降雨

5.1.1 春季

春季受到大陸冷高壓帶來東北季風的影響，降雨多集中在台灣東北部和北部之沿海地帶，以及中部山區迎風面位置，從圖 5.1 可知 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈情形，由圖 5.1a 得知春季降雨主要集中在北部、東北部、中部、及中部以西地帶，北部的雨量極值出現臺北縣大坪(741mm/2month)，而中部的雨量極值分別為南投縣合歡山(710mm/2month) 和翠巒(693mm/2month)，西北部的降雨主要是受到西太平洋副熱帶高壓發展出在高空 850hpa 吹西南風的影響(Chen and Chen 2003)。而由圖 5.1b 看出 WRF 模擬雨量與觀測雨量同樣都集中在台灣中部南投縣的位置，模式有預報到雨量極值位置且全台雨量分佈大致上的趨勢都很相近，於

中部雨量極值分別為(852 mm/2month)和(830 mm/2month)，而北部雨量極值為(413 mm/2month)；WRF 模擬雨量除了中部以西、北部、東北部、和東部一小部份為低估降水之外，其餘幾乎都為高估降水。表 5.1 更仔細分析 WRF 模式與觀測雨量之間的高、低估情形，比較圖 5.1a,b 觀測雨量與 WRF 模式模擬雨量之關係，WRF 模式在全台模擬雨量於春季為觀測全台平均雨量之 130.91%，在集水區則為 247.28%。經由客觀分析後雨量可見圖 5.1c，WRF 模式模擬雨量於 196 個校驗點之客觀分析雨量可見圖 5.1d，與未經客觀分析雨量圖 5.1a,b 對照可發現雨量整體有變小的趨勢，雨量極值也都相同集中在中部，且各地雨量都變小，主要是因為原本 WRF 模式未經客觀分析的網格點數為 446 點，客觀分析後網格點只剩餘 196 個點，之後探討的 WRF 模式各季節和十個月降雨皆有相同雨量減小的情形。參照圖 5.1c,d 和表 5.2，圖中相對位置之客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 382/715，客觀分析後觀測之迎風面雨量極大值(R_{max})和背風面雨量極小值(V_{min})比值為 2.27；相對地，WRF 模式模擬的 R_{max}/V_{min} 比值為 2.42，客觀分析後的觀測雨量和 WRF 模擬雨量值整體上更加相近，使得誤差減小，正規化均方根誤差(RMSE)為 1.35。WRF 模式對春季降雨有很好的模擬效果，但於迎風面降雨和背風面降雨之比值有高估的傾向。

吾人依照不同季節給定不同的低限值以校驗 WRF 模擬雨量的準確度，詳見表 5.3~5.7，TS 及 ETS 所有得分越接近 1 預報能力越好，通常低限值愈高時會有愈低的得分。春季之預報校驗得分如表 5.3 所示，當低限值超過 130 mm 時，BS 得分顯示 WRF 模式高估降水面積。這表示春雨的預報校驗在低限值為 130mm 之內可以有很準確的預報能力，其預兆得分(TS)範圍介於 0.98~0.82，且預報偏離得分(BS)很接近 1。當低限值為 200 mm 時也有很好的預報能力(TS 為 0.47)，只是 BS 得分偏差太大($BS > 2$)，當低限值大於 50mm 時公平預兆得分(ETS)皆大於 0，這表示全都為有技術得分的預報。

5.1.2 梅雨季

梅雨季的雨量及淹水災害為僅次於颱風對台灣所造成的災害。受到西南氣流和梅雨鋒面前端的影響，台灣西南部迎風面雨量非常豐沛，圖 5.2 為 2005 年 5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈狀況，由圖 5.2a 很明顯地看出降雨全集中在西南部中央山脈的內凹處，雨量極值出現在屏東縣瑪家和高雄縣御油山，累積雨量高達 (2745mm/2month) 和 (2357mm/2month)，在中部山區之臺中縣雪嶺也有出現高達(1830 mm/2month) 的雨量。北部沿海和東北部坡面降雨則是受到梅雨鋒面尾端氣流所影響(Chen and Chen 2003；Yeh and Chen 2004)。從圖 5.2b 可見 WRF 模式模擬雨量也都集中在西南部，表示模式有掌握到西南氣流和梅雨鋒面；但其極值位置偏南，雨量分別為(3340mm/2month)和(3260mm/2month)。相對於實際觀測雨量於中部極值的雨量(1830mm/2month)，WRF 模擬雨量於中部之雨量極值為(2243mm/2month)。大致而言，WRF 模式模擬雨量除了西北部和北部沿海地帶低估降水之外，其餘皆為高估降水。表 5.1 分析圖 5.2a,b 發現 WRF 模擬雨量於梅雨季佔全台觀測平均雨量之 119.59%，在石門水庫集水區則為 173.52%，梅雨季為所有季節性降雨中 WRF 模式高估最少的個案。比照圖 5.2c,d 和表 5.2 顯示，客觀分析後之觀測與模式模擬之雨量極大值為 2308/3058，客觀分析後之觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值(R_{max})和背風面雨量極小值(V_{min})比值分別為 5.99 和 5.74，比值差異很小；這顯示 WRF 模式對梅雨季節的模擬降雨有掌握到西南氣流所帶來的雨量分佈受台灣地形的影響。而且經客觀分析後觀測與模式模擬雨量之間的雨量差異值較未經客觀分析前為小，而正規化均方根誤差(RMSE)為 0.47，為所有季節降雨中誤差最小。表 5.4 為梅雨季之預報校驗得分，由於全台雨量在 350mm 以上，所以低限值 350mm 內的 TS 及 BS 皆為 1；累積雨量於 500mm 至 1500mm 間的 TS 得分為 0.88~0.54，但由 BS 得分得知 WRF 模式在低限值 1000mm 以上

開始明顯有高估降水的趨勢。

5.1.3 夏季

在夏季台灣地區除了受到颱風帶來足以造成山崩、土石流等災害的豪大雨之外，還有因西南氣流受地形抬升、加上太陽輻射所引起的午後雷陣雨，前者所帶來的雨量遠超過後者。由於 10 月初龍王颱風侵襲台灣，於是夏季累積降雨計算至 10 月 4 日 1200UTC 為止，圖 5.3 為 2005 年 7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC 全台累積降雨分佈情況。從圖 5.3a 得知降雨多集中在西南部和東北部山區，主要是因為 2005 年颱風路徑多為第一、三、五類(可見圖 2.9 之颱風侵台路徑分類圖)，雨量極值出現在西南部中央山脈迎風面山區，受地形抬升後產生更多降雨，分別為高雄縣御油山(4307mm/3month)和溪南(4185mm/3month)，而東北部的雨量極值出現在太平山(3980 mm/3month)。WRF 模擬雨量則集中在西南部和東北部山區，雨量極值位置與實際觀測雨量極值位置十分接近，西南部模擬雨量極值分別為(6617mm/3month)和(6603mm/3month)，而東北部模擬雨量極值為(4884 mm/3month)。WRF 模擬雨量於夏季在全台灣都為高估降水，且雨量極值高估甚多，在東北部沿海迎風面模式亦明顯高估降雨。由圖 5.3a,b 和表 5.1 發現，WRF 模擬雨量為夏季全台觀測平均雨量之 171.67%，在集水區則為 154.73%。由圖 5.3c,d 和表 5.2 對照來看，比較客觀分析後觀測與模式模擬雨量於北部和南部各有極大值分別為 3003/3798 和 3333/5976，而觀測之迎風面雨量極大值(R_{max})和背風面雨量極小值(V_{min})比值於北、南部分別為 4.33 和 3.56；相對地，WRF 模式模擬的 R_{max}/V_{min} 比值於北部和南部分別為 2.85 和 2.94，較觀測結果為小，正規化均方根誤差(RMSE)為 0.84。觀測雨量的 R_{max}/V_{min} 比值於北、南部皆較 WRF 模擬結果為大，這主要是因為模式於背風面高估降水較多而導致比值較小。WRF 模式模擬雨量對夏季之降雨分佈有很不錯的模擬結果，而夏季全台之降

雨分佈於北部出現極值主要是受到颱風影響帶來豐沛的雨量，而南部極值主要是受到西南氣流挾帶水氣所致，這表示 WRF 模式對於颱風降雨和西南氣流引發降雨都有很好的掌握，同時模式於迎風面和背風面降雨皆有高估的傾向。夏季預報校驗得分詳見表 5.5，夏季採用與梅雨季相同的低限值，由表中的得分值可見降水預報能力隨著低限值門檻升高而遞減，但模式於低限值門檻 1500mm 時 TS 仍有不錯的得分(TS 為 0.68)，在低限值 1000mm 以上 BS 大於 1，表示 WRF 模式明顯有高估豪大雨降水面積的趨勢。

5.1.4 秋冬季

圖 5.4 為 2005 年 10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 全台累積降雨分佈情形。秋冬季降雨主要是受到大陸冷高壓南下、東北季風影響所帶來的降雨，雨量很小，而冬季多為乾冷狀態。從圖 5.4a,b 很明顯的降雨都集中在東北部、北部、和東部三處之地勢較低的沿海地帶，降雨多集中在中央山脈的東北部及東部，觀測雨量於北部的極值出現在臺北縣大坪(1813mm/3month)和泰平(1548mm/3month)，而東北部雨量極值出現在宜蘭縣的古魯(1157mm/3month)和冬山(1065mm/3month)，可見圖 5.4a。WRF 模擬雨量於北部的極值為(1162mm/3month)和(1254mm/3month)，而東北部雨量極值為(2790mm/3month)和(2437mm/3month)，可見圖 5.4b。由圖 5.4a,b 和表 5.1 發現，WRF 模擬雨量於秋冬季佔觀測全台平均雨量之 178.41%，在集水區則為 378.82%。參照圖 5.4c,d 和表 5.2，對照圖中相對位置之客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 1425/1186，客觀分析後觀測之迎風面雨量極大值(R_{max})和背風面雨量極小值(V_{min})比值為 47.5；相對地，WRF 模式模擬的 R_{max}/V_{min} 比值為 14.46，正規化均方根誤差(RMSE)為 1.58，為所有季節降雨中誤差最大。 R_{max}/V_{min} 比值間的差異主要是因為 WRF 模式於迎風面的極大值低估降水且背風面極小值高估降水所致，但 WRF 模式整體上仍為高估降水，

且有掌握到東北季風帶來的降雨。秋冬季預報校驗得分採用與春季相同的低限門檻值，TS 值的範圍最高至最低為 0.9~0.56，雖然累積雨量最高只有 1500mm 以內，與春季降雨相比較則明顯的 TS 得分在最高低限門檻值 300mm 仍具有很高的得分，見表 5.6 所示。

5.2 全年(3~12 個月)降雨

圖 5.5 為 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 之 10 個月全台累積降雨分佈圖，由圖 5.5a 可知實際觀測的全年累積雨量主要是受到暖季(梅雨季及夏季)降雨所決定，雨量多集中在西南部山區迎風面和東北部迎風面，雨量極值都出現在 1000 公尺以上的山區，分別位在南部高雄縣御油山(7127mm/10month)、屏東縣尾寮山(6846mm/10month)、中部臺中縣雪嶺(5899mm/10month)、和東北部宜蘭縣太平山(5509mm/10month)。圖 5.5b 指出 WRF 模擬雨量集中在西南部山區迎風面、東北部沿海地區、和中部中央山脈兩側，雨量極值分別位在西南部雨量為(10583mm/10month)和(10242mm/10month)、東北部雨量為(8417mm/10month)、和中部雨量為(6576mm/10month)。WRF 模擬雨量高估觀測雨量非常多，這是由於各季節降水於中南部山區和東北部沿海地帶 WRF 模式都有雨量高估的情形。中南部山區雨量高估現象可能因為觀測雨量站於山區的測站設置不足，使得原始的觀測雨量資料低估於真實降下的雨量。而模式高估東北和南部沿海雨量的現象，分別是由於 WRF 模式表現氣流經過宜蘭太平山和南部山脈受地形強迫抬升造成迎風面降雨較實際降雨明顯。由圖 5.5a,b 和表 5.1 得知，WRF 模擬雨量於 10 個月佔觀測全台平均觀測雨量之 151.13%，在集水區則為 175.48%。對照圖 5.5c,d 和表 5.2 可知，全年 10 個月的降雨分佈主要是受到颱風和梅雨季的降雨所決定，客觀分析後之觀測與模式模擬之雨量極大值於北、南部分別為 4936/5829 和 5854/9583，客觀分析後之觀測之迎風面雨量極大值(R_{max})

和背風面雨量極小值(V_{\min})比值於北、南部分別為 2.97 和 3.39；相同地，WRF 模式模擬的 R_{\max}/V_{\min} 比值於北、南部分別為 2.25 和 3.05，客觀分析後雨量正規化均方根誤差(RMSE)為 0.58。雖然 WRF 模式於南部極大值較客觀分析後之觀測雨量高許多，但整體而言由 R_{\max}/V_{\min} 比值來看卻相差不大，此比值差異很小表示 WRF 模式模擬雨量對全年 10 個月的地形降雨特性有很好的模擬結果。WRF 模式整體而言高估降水量，但有明確的掌握到降雨極值分佈位置。表 5.7 為全年降雨之預報校驗得分，當低限值在 1500~3000mm 時 TS 值都很高(0.98~0.56)，而 BS 範圍為 1.02~1.75，顯示 WRF 模式高估豪大雨發生的機率。

將以上經客觀分析後之各季節及全年 10 個月降雨個別分析其觀測雨量與 WRF 模擬雨量之全台和集水區雨量繪製成散佈圖(scatter plot；詳見圖 5.6 和圖 5.7)，由圖 5.6 比較各季節降雨的相關性，可知 WRF 模式模擬全台降雨在秋冬季有最好的相關性(R^2 為 0.7167)，其餘春季、梅雨季、夏季的相關性都很接近($R^2 \sim 0.55$)。由此可見 WRF 模式對於秋冬季的全台雨量預報能力最佳，其餘三個季節預報能力都差不多。但綜觀來看，WRF 模式在各季節的降雨量預報的相關性都高達 0.5 以上，而全年 10 個月的降雨量相關性 R^2 也高達 0.5522，因此 WRF 模式模擬台灣地區季節降雨和全年降雨的相關性高達 50% 以上。就集水區來看，圖 5.7 顯示梅雨季有最高的相關性(R^2 為 0.7687)，其次為夏季、秋冬、春季，尤其梅雨和夏季的相關性都高於 0.5 以上，而全年 10 個月的降雨量相關性 R^2 為 0.2785。

第六章 梅雨及颱風個案之模式預報校驗結果探討

6.1 降雨區域的預報校驗

將降雨個案期間分為每 12 個小時的累積雨量(也就是分別為 WRF 模式的模擬時間 12-24h 和 24-36h 的累積雨量)，以 TS、ETS、BS 得分來探討模式之降雨預報準確度。再將經過客觀分析後的颱風和梅雨個案之雨量，分析降水事件受地形影響的迎風面和背風面模擬降雨量之結果。

在霞雲集水區只比較由石門水庫管理局所提供的的 13 個雨量站資料，而經內插後 WRF 網格點只有 7 點分佈於其中，資料樣本太少，於是集水區不做雨量校驗得分(TS、ETS、BS)，只比較客觀分析後於網格點的 7 點雨量和 WRF 模擬雨量之相關性的分析。

6.1.2 梅雨個案

表 6.2 為梅雨雨量校驗後的得分情形。6/14/12Z~6/15/00Z 期間滯留梅雨鋒停留在台灣中部，西南氣流導致台灣西南部有豪大雨發生，而 WRF 也有預報到降雨極大值位置，可見圖 6.1e，整體上 TS 此時有最好的得分。ETS 得分最佳的日期為 6/13/12Z~6/14/00Z，此時滯留鋒停留在台灣上空，從圖 6.1 c 來看得知 WRF 沒有預報到東北部的降雨，且於西南部預報降雨高估於客觀分析後的雨量，預報降雨的面積與實際接近。預報降雨和觀測降雨分佈最相近的為 6/14/00Z~6/14/12Z、6/14/12Z~6/15/00Z 和 6/15/12Z~6/16/00Z，此三段時間 BS 得分整體最佳，全台雨量分佈圖可見圖 6.1d、圖 6.1e 和圖 6.1g。由圖 6.1g 來看，WRF 模擬雨量於石門水庫集水區附近的苗栗縣雨量高估，也是因為 WRF 從第四天開始漸漸無法掌握梅雨在台灣地區產生降雨。BS 得分有高估也有低估的情形，是受到 WRF 模式無法準確地掌握梅雨鋒面的移動和鋒面

位置，而造成降雨誤差。整體而言，WRF 模式對於 12-24h 產生的降雨有較好的 ETS、TS 得分，BS 則在 12-24h 和 24-36h 時皆有很好的得分表現(表 6.2)。

梅雨個案客觀分析後日雨量之迎風面和背風面降水可見圖 6.17 至圖 6.20。比照圖 6.17 和表 6.1，6/12/12Z~6/13/12Z 期間客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 476/281，另外客觀分析後觀測與 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 23.8 和 5.85，由比值來看相對位置之極大值模式低估降雨，但於背風面 WRF 模式卻高估降雨，以至於模式的比值較小，而整體上雨量正規化均方根誤差 (RMSE) 為 12.80。6/13/12Z~6/14/12Z 期間的降雨極值比較可見圖 6.18 和表 6.1，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值相當接近為 210/209，另外客觀分析後觀測雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值為 12.35，而 WRF 模式模擬的比值為 7.46，主要是模式背風面降雨高估導致比值較小，正規化均方根誤差 (RMSE) 為 1.95。見圖 6.19 和表 6.1，6/14/12Z~6/15/12Z 經客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 427/389，另外客觀分析後觀測和模式模擬之雨量在迎風面的極大值和背風面極小值比值分別為 15.25 和 11.11，由比值看來模擬雨量結果很不錯，但因為模式雨量高估南部許多使的正規化均方根誤差 (RMSE) 較大為 5.58。6/15/12Z~6/16/12Z 之客觀分析後雨量可見圖 6.20 和表 6.1，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 156/183，另外客觀分析後觀測和模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 8.67 和 13.07，模式的迎風面極大值高估但背風面及小值低估，以致於模式的比值較大，而正規化均方根誤差 (RMSE) 為 0.79，整體上雨量誤差不大。

客觀分析後雨量與 WRF 模擬雨量之相關係數分析如圖 6.2 所示，發現雨量在 6/12/12Z~6/13/00Z 時有最高的相關性 R^2 達到 0.4096(圖 6.2a 所示)，此段期間 WRF 模擬雨量和全台客觀分析後的雨量分佈都集中在南部，且梅雨個案觀測雨量與 WRF 模擬雨量全都為正相關，代表 WRF 模擬梅雨個案有很好的

預報能力。相關性最低的為 6/15/12Z~6/16/00Z 期間(圖 6.2g)，主要是因為此時全台客觀分析後的雨量極值和 WRF 模擬雨量極大值出現位置差別太大，因此拉低了兩者間的相關性。集水區雨量的相關性於 6/15/00Z~6/15/12Z 期間為正相關，相關係數 R^2 為 0.4303(圖 6.3 f)，6/13/00Z~6/13/12Z 期間有最高相關係數(R^2 為 0.4598)，但為負相關(圖 6.3 b)。

6.1.4 颱風個案

1. 海棠颱風

颱風的降雨主要是受到模擬路徑較偏向或遠離台灣而有高估或低估降雨的情形，海棠颱風預報校驗在不同低限值的得分可見表 6.3，發現低限值為 0.25mm 時，ETS 沒有得分是因為 WRF 模擬雨量和客觀分析後的全台雨量全都達到低限門檻值且有考慮隨機猜測降雨面積亦為全台的關係。TS 得分整體表現最佳的為 7/18/12Z~7/19/00Z 期間，這是因為模擬雨量和觀測雨量都相同集中於南部且值都很接近，模式預報位置正確。此時觀測的颱風中心還停留在台灣正準備出海，而模式的颱風中心早已離開台灣，客觀分析後網格點上的觀測雨量資料和 WRF 模擬雨量於全台灣分佈情形可見圖 6.4c。ETS 得分整體表現最佳的為 7/20/00Z~7/20/12Z 期間，受颱風外圍環流的影響，WRF 模式模擬的颱風強度於第三天強度減弱，模擬雨量的極大值明顯低估，如圖 6.4f 所示，但 ETS 並不受到極大值高低所影響，而是受到模式網格點雨量高於低限值的降雨面積所影響。BS 得分整體表現最佳的日期為 7/19/00Z~7/19/12Z 期間，WRF 模式對於低限值高於 15mm 以上的雨有很好的模擬結果，此時颱風中心於台灣西部外海，模式對模擬雨量的掌握能力減弱，從圖 6.4d 可知，客觀分析後觀測雨量和 WRF 模擬雨量值仍為相近，模式為低估降水。綜合上述，海棠颱風之 TS 得分在 WRF 模式模擬時間的 12-24h 有較好的得分，而 ETS 和 BS 則是在 24-36h 得分表現較好。

海棠颱風客觀分析後每日之迎風面和背風面降水可見圖 7.2 至圖 7.4，逐日來看對照圖 7.2 和表 6.1，7/17/12Z~7/18/12Z 期間客觀分析後觀測與 WRF 模式模擬之雨量集中於北部和南部，因此各別比較其相對位置之極大值，分別為 396/694 和 489/1073，而客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值於北部分別為 56.57 和 53.38，而南部比值為 8.15 和 14.31，是由於模式模擬的颱風路徑較觀測路徑側偏南使的雨量於迎風面和背風面都高估，尤其是南部極大值高估非常多，而整體雨量正規化均方根誤差(RMSE)為 7.71。由圖 7.3 的 7/18/12Z~7/19/12Z 期間客觀分析後降雨分佈及日降雨對照表 6.1 得知，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 639/626，另外客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 13.04 和 10.61，WRF 模式於相對位置的極大值低估降雨但背風面極小值卻高估降雨，但值都差異不大，整體雨量正規化均方根誤差(RMSE)為 12.55，以上兩日的比值相差都很小，這代表 WRF 模式模擬海棠颱風個案的結果很不錯。參見圖 7.4 和表 6.1，7/19/12Z~7/20/12Z 之客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 543/418，而客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值分別為 10.05 和 23.22，模式模擬颱風的強度於第三天有減弱的趨勢而導致整體雨量低估，雨量之正規化均方根誤差(RMSE)為 2.36。

海棠颱風之全台經客觀分析後雨量與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析如圖 6.5，其中 7/20/00Z~7/20/12Z 期間(圖 6.5f)有最高的相關係數(R^2 為 0.6895)，此時 WRF 有掌握到全台灣降雨的分佈情形，極大值位置有掌握到但 WRF 模式則低估降水量，其雨量分佈圖可見圖 6.4f。相關性最低的為 7/19/00Z~7/19/12Z(如圖 6.5d 所示)，相關係數 R^2 為 0.1658，WRF 模擬雨量有小部分有掌握到雨量較大的地方，但沒掌握到極大值的分佈位置，WRF 模擬雨量明顯低估降水很多，可見圖 6.4d。針對研究區域的石門水庫集水區而言，

相關性最高的為 7/17/12Z~7/18/00Z(如圖 6.6a 所示)，相關係數 R^2 為 0.5567，而 7/19/00Z~7/19/12Z(如圖 6.6d 所示)之相關係數呈現負相關(R^2 為 0.6387)。

2. 馬莎颱風

馬莎颱風在不同低限值的預報校驗得分可見表 6.4，吾人發現 TS、ETS、BS 得分全都在 8/4/00Z~8/4/12Z 時整體上有最好的表現。此時颱風位置在台灣東部外海，由圖 6.7b 來看發現客觀分析後雨量和 WRF 模擬雨量雨量分佈集中的位置都相同，且極大值位置和值都很相近，但 WRF 模擬雨量高估降水。馬莎颱風之 TS、ETS 和 BS 得分在 WRF 模式模擬時間的 24-36h 都有較好的得分表現，經客觀分析後的觀測雨量資料和 WRF 模擬雨量於全台灣分佈情形可見圖 6.7，8/6/00Z~8/6/12Z 此時馬莎颱風已抵達中國大陸，WRF 模式對颱風強度的掌握減弱，導致模擬雨量為低估，在其他時間則為高估，

經過客觀分析後每日之迎風面和背風面降水可見圖 7.13 至圖 7.15，對照圖 7.13 之 8/3/12Z~8/4/12Z 客觀分析後雨量和表 6.1，吾人發現客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 333/397，另外客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 33.3 和 13.69，模式於迎風面和背風面都高估降水造成後者比值較小，但整體而言雨量正規化均方根誤差(RMSE)為 7.76，誤差算小。由圖 7.14 和表 6.1 得知，8/4/12Z~8/5/12Z 客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 714/844，而客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值分別為 64.91 和 64.92，比值差異非常小是由於在相對位置的迎風面極大值和背風面雨量極小值差距不大，模式模擬的颱風路徑此刻較觀測路徑接近台灣使得整體上為高估降雨，雨量之正規化均方根誤差(RMSE)為 5.25。對照 8/5/12Z~8/6/12Z 之客觀分析後日雨量圖 7.15 與表 6.1 可知，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量於北部和南部各有極大值分別為 289/196 和 275/201，而且客觀分析後觀測和

WRF 模式模擬雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值於北部分別為 72.25 和 32.67，而南部比值為 91.67 和 50.25，雨量正規化均方根誤差(RMSE)為 3.74。整體而言，客觀分析後之模擬雨量與觀測雨量集中區域相同，且 WRF 模式於南部高估降水，但北部和南部迎風面相對位置極大值模式皆為低估降水，而背風面全都為高估降水。

馬莎颱風於全台雨量相關係數分析可見圖 6.8，其中 8/4/12Z~8/5/00Z 相關性最高，相關係數 R^2 高達 0.7904，如圖 6.8c。對照圖 6.7c 和圖 7.14 此時 WRF 模式的模擬路徑較接近台灣，且雨量分佈面積和降雨極大值都與觀測相近。8/3/12Z~8/4/00Z 期間相關性最低，颱風中心遠在台灣東部外海，WRF 雨量為低估降水，相關係數 R^2 僅為 0.0001(如圖 6.8a 所示)。集水區雨量相關係數分析可見圖 6.9，在時間 8/4/12Z~8/5/00Z 為正相關，相關係數 R^2 為最高(0.8829；如圖 6.9c 所示)，而 8/3/12Z~8/4/00Z 也為正相關，相關係數 R^2 最低為 0.15(見圖 6.9a)。

3. 泰利颱風

表 6.5 為泰利颱風在不同低限值的預報校驗得分，於初始低限值設定的門檻中發現 ETS 沒有得分值，是因為客觀分析後全台雨量和 WRF 模擬全台雨量全都達到低限值的關係。TS 和 BS 得分都在 8/31/12Z~9/1/00Z 時整體有最好的得分情形，從圖 6.10c 來看發現雨量極大值預報位置和值都很相近，雨量多集中在中部以南，WRF 模擬路徑和觀測路徑都有經過台灣，但模擬路徑登陸位置偏北且往西北方前進大陸。ETS 得分則於 8/31/00Z~8/31/12Z 期間有較好的得分，對照圖 6.10b，主要是因為 WRF 模擬雨量有掌握到降雨面積位置，WRF 模擬雨量則呈現高估的傾向。泰利颱風之 TS 和 BS 得分在 WRF 模式模擬時間 12-24h 都有較好的得分表現，而 ETS 則是在 WRF 模式模擬時間 24-36h 有較好的整體表現，分析圖 6.10 經客觀分析後台灣雨量分佈情形，可

見模擬雨量於 8/31/00Z~8/31/12Z 之前都為高估降水，之後轉為低估降水，主要是由於 WRF 模式對於初始雨量強度掌握度不夠。

參照圖 7.24 和表 6.1，8/30/12Z~8/31/12Z 雨量經客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 134/229，客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 10.31 和 7.90，正規化均方根誤差 (RMSE) 為 9.52，整體而言客觀分析後之模擬雨量與觀測雨量集中區域相同，且模式高估降雨。將圖 7.25 之 8/31/12Z~9/1/12Z 客觀分析後雨量和表 6.1 比較，得到客觀分析觀測與模式模擬之雨量極大值為 644/458，客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 12.15 和 12.38，正規化均方根誤差 (RMSE) 為 30.82，主要是模式模擬的颱風路徑較實際偏北因此南部之迎風面極大值和背風面極小值全都低估。

圖 6.11 為泰利颱風於全台雨量相關係數分析圖，於時間 8/31/00Z~8/31/12Z 有最高的相關係數 (R^2 為 0.2785)，9/1/00Z~9/1/12Z 則為最低的相關係數 (R^2 為 0.0304)，此時模擬颱風路徑和觀測路徑皆已出海，WRF 模擬路徑偏北。集水區雨量相關係數分析可見圖 6.12，在時間 9/1/00Z~9/1/12Z 為正相關，相關係數 R^2 為最高 (0.0069)，如圖 6.12d 所示，而 8/31/00Z~8/31/12Z 時，圖 6.12b 呈現負相關，相關係數 R^2 為 0.4011。表 6.6 為各個降水個案分別於 12-24h 和 24-36h 之雨量正規化均方根誤差分析表，大致上在 WRF 模式於模擬時間 24-36h 之客觀分析後累積雨量正規化均方根誤差較模擬時間 12-24h 小。

6.2 10 大單日降雨量排名

2005 年 3 月到 10 月之單日降雨量最高排名詳見表 6.7，其中除了排名第 4 名之 10 月 1 日龍王颱風，和第 10 名之 9 月 1 日泰利颱風於本論文並未列入外，其餘皆已於上述本文中討論。圖 6.13 為氣象局發佈的龍王颱風路徑圖，

圖 6.14 為龍王颱風之 WRF 模擬路徑和氣象局發佈路徑圖合成圖，很明顯地 WRF 模擬路徑較實際觀測偏南。圖 6.15 為 10/1/12Z~10/2/12Z 經客觀分析後龍王颱風日雨量分佈圖，從圖 6.15a 得知颱風於花蓮登陸，登陸後中心位置在台灣中部，受到中央山脈破壞颱風結構的影響，造成降雨集中在南部和東北部，在花蓮縣的天祥和洛韶出現超豪大雨極值分別為 747 mm/24h 和 645 mm/24h。而圖 6.15b 顯示 WRF 模式模擬的颱風路徑是由台灣東南方登陸，登陸後颱風中心在台灣南部，由於南部地勢較緩，因此對颱風破壞較不嚴重，迎鋒面降雨也高估於觀測降雨，極大值較實際上偏南為 840mm/24h 和 815mm/24h，東南部的降水也高估，由於 WRF 模式網格間距為 9 公里，使得模式地形較實際平滑，於是背風降雨量也高估降水；整體而言 WRF 模式於龍王颱風之雨量全都高估。龍王颱風的路徑誤差詳見表 6.8。對照圖 6.15 和表 6.7，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 692/542，且客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬雨量之迎風面極大值和背風面極小值比值分別為 49.43 和 33.88，主要是由於 WRF 模擬龍王路徑較偏南，背風面高估降水但迎風面卻低估降水導致模式的比值較小，雨量之正規化均方根誤差(RMSE)為 9.94。圖 6.16 為 9/1/12Z~9/2/12Z 泰利颱風經客觀分析後之累積日雨量分佈圖，此時泰利颱風早已遠離台灣，實際颱風的強度也因受到地形破壞強度早已減弱，所以外圍環流帶來的雨量不大。對照表 6.7 可知，客觀分析後觀測與模式模擬之雨量極大值為 79/64，客觀分析後觀測和 WRF 模式模擬之迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值比值分別為 79 和 64，主要是由於 WRF 模式於迎風面低估降水導致比值較小，且模式預報雨量整體低估降雨，雨量之正規化均方根誤差(RMSE)為 5.46。

第七章 颱風個案之水文模擬結果

7.1 颱風強降水個案之個別分析

7.1.1 海棠颱風

1. 全台雨量

圖 7.1 為海棠颱風之 WRF 模擬路徑和中央氣象局發佈之觀測路徑相對位置圖，由於模式模擬之不同初始場之預報路徑，所以路徑需依照不同初始日期之模擬而分段標示。WRF 模擬與觀測的颱風路徑皆由台灣東南部海面往西北方向接近台灣，可看出 WRF 模擬路徑在 7 月 17 日 0000UTC 至 18 日 1200UTC 此段路徑大致偏南；而 7 月 18 日 0000UTC 至 19 日 1200UTC 此段路徑於初始 6 小時路徑偏東，其餘都為偏西的情況。WRF 模擬颱風移動速度整體而言較實際颱風還快，但模擬颱風登陸台灣和中國大陸的時間較實際登陸時間上提早。7 月 17 日 2300UTC 觀測路徑在花蓮外海逆時鐘方向打轉一圈，而模擬路徑由於為每 6 小時之輸出資料，因此未能看出打轉時間。海棠颱風之路徑誤差可見表 7.1。

本論文研究選用的海棠颱風個案日期為 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 7 月 20 日 1200UTC，個案時間共為 72 小時；每日全台雨量分佈如圖 7.2~圖 7.4 所示，分別比較經客觀分析後之中央氣象局雨量站觀測雨量及 WRF 模式之模擬雨量。由圖 7.2a 顯示，此時颱風觀測路徑橫跨台灣中部以北且離研究區域較近，觀測雨量於西南部和東北部出現超大豪雨；除了彰化縣雨量較小之外，其他各地皆有雨，雨量極值出現在屏東縣(雨量為 489mm/24h)和台北縣(雨量為 396mm/24h)。而由圖 7.2 b 發現，WRF 模擬路徑橫跨台灣中部，較實際位置偏南且離研究區域較遠；WRF 模擬雨量全都高於觀測雨量，尤其是在南部高估非常多。WRF 模擬雨量在西南部和東北部都出現超大豪雨，雨量極值是在西南部出現分別為 1129mm/24h 和 1073mm/24h；WRF 模擬雨量在全台都

高估於觀測雨量，極值分佈所在的位置和觀測雨量的位置相近。圖 7.3a 顯示，觀測路徑此時已準備出海往西北方離開台灣本島，觀測雨量超豪大雨出現於中、南部，雨量極值是在高雄縣(659mm/24h)以及(639mm/24h)。而圖 7.3b 之 WRF 模擬路徑早已出海，且模式模擬之雨量集中偏南，且於東部雨量高估許多，這是由於 WRF 模式所使用的地形較實際上平滑，而造成東部背風面處雨量高估所致，而在中部和北部則為低估降水。南部山區和東部花蓮縣超大豪雨之雨量極值分別為 698mm/24h 和 688mm/24h。由圖 7.4a 得知 7 月 19 日降雨集中在中部和西南部，超大豪雨出現在西南部，雨量極值是在屏東縣 543mm/24h 以及 503mm/24h，而圖 7.4b 之 WRF 模擬雨量多集中在南部，南部出現超大豪雨，雨量極值分別為 418mm/24h 和 365mm/24h；WRF 模式於西部和東部雨量高估於觀測雨量，在中部則為低估降水。圖 7.5 為 7 月 17 日 1200UTC 至 7 月 20 日 1200UTC 期間海棠颱風三天之全台累積雨量圖，WRF 模式在台灣南部的雨量分佈狀況與實際觀測非常相近，在東北部和東南部為高估降水，主要是由於 WRF 模式於山脈背風面會有高估降水的趨勢；WRF 模式在中部為低估降水，是由於 WRF 模擬颱風路徑於 17 日颱風中心經過中部使得雨量偏小，而且 18 日模擬路徑較實際觀測路徑更早出海。整體而言，WRF 模式有掌握到海棠颱風之雨量分佈位置但模擬雨量極值是高估於觀測值。

2. 集水區雨量

使用北區水資源局所提供的觀測雨量與 WRF 模擬雨量比對，比較同日的全台累積雨量和徐昇氏面積平均雨量之集水區雨量分佈(圖 7.2 和圖 7.6)，發現圖 7.2 之 WRF 模擬雨量全都高估降水，尤其是集水區東邊，而圖 7.6 之 WRF 模擬雨量也是全都高估降水，主要也是在集水區東邊高估許多。由圖 7.3 和圖 7.7 比較，發現圖 7.3 之 WRF 模擬雨量於集水區全都低估於觀測雨量，

尤其是集水區北半邊低估很多，而圖 7.7 之 WRF 模擬雨量大致和觀測雨量很相近、除了南邊有高估降水，西南邊則為低估於觀測雨量。從圖 7.4 和圖 7.8 來看，圖 7.4 之 WRF 模擬雨量於集水區北邊高估於觀測雨量，而圖 7.8 之 WRF 模擬雨量分佈狀況同觀測雨量。海棠颱風於 7 月 17 日 1200UTC 至 7 月 20 日 1200UTC 三天期間之集水區面積平均雨量圖可見圖 7.9，WRF 模擬雨量於右半邊高估降水，其餘降雨量都和觀測雨量相近。整體而言，WRF 模擬雨量於石門水庫集水區高估於觀測雨量。

7.1.2 馬莎颱風

1. 全台雨量

圖 7.12 為馬莎颱風之 WRF 模擬路徑和中央氣象局發佈之觀測路徑相對位置圖，可看出 WRF 模擬的第一段路徑(深紫色)於在 8 月 3 日 0000UTC 至 0600UTC 路徑偏南，3 日 1200UTC 至 04 日 0000UTC 路徑偏東，且移動速度較快，之後 4 日 0600 至 1200UTC 路徑轉為偏西。第二段模擬路徑(粉紅色)8 月 4 日 0000 至 0600UTC 時路徑偏南，而 1200UTC 開始轉為偏北，隨即於 1800UTC 又轉為偏西靠近台灣的路徑前進，離研究區域較近。第三段路徑(淺紫色)8 月 5 日 0000UTC 觀測路徑在台灣東北部外海，而模擬路徑於同一時間則是偏西，並且整段路徑都有偏西的情形。整體而言路徑傾向於偏西，馬莎颱風之路徑誤差情形詳見表 7.2。

本論文研究選用的馬莎颱風個案日期為 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 8 月 6 日 1200UTC，個案時間共為 72 小時，分別運用全台雨量分佈圖(如圖 7.13~圖 7.15)，以比較經客觀分析後之中央氣象局雨量站觀測雨量及 WRF 模擬氣象場之模擬雨量。由全台雨量圖 7.13a 得知，8 月 3 日觀測雨量於北部出現超大豪雨，中部也出現豪大雨，而南部則雨勢較小，雨量極值出現在新竹縣(333mm/24h)和苗栗縣(310mm/24h)。圖 7.13b 顯示 WRF 模擬路徑於 4 日 0600

至 1200UTC 較接近台灣東部外海的時間長於實際路徑，導致颱風外圍環流影響台灣時間較長，模擬雨量整體高於觀測雨量，台灣北部雨勢較大且出現超豪大雨，中部也出現豪大雨，而南部也與觀測雨量有相同雨勢很小的趨勢；雨量極值是在北部出現分別為 436mm/24h 和 400mm/24h，WRF 模擬雨量除了南部以外都高估於觀測雨量。圖 7.14a 顯示馬莎颱風觀測路徑繼續於台灣東方海面往西北方前進中國大陸，颱風環流為台灣北、中、南部都帶來很大的雨量，8 月 4 日觀測雨量於中部出現超豪大雨，雨量極值是在臺中縣(718mm/24h)和(714mm/24h)。圖 7.14b 顯示 WRF 模擬路徑較靠近台灣北部外海，WRF 模擬雨量於台灣北、中、南部都有很大的雨量，中部桃竹苗一帶多處出現超豪大雨，雨量極值分別為 880mm/24h 和 879mm/24h，除了台灣東南部以外，WRF 模擬雨量明顯高估於觀測雨量。圖 7.15 中模擬和觀測的颱風皆已抵達中國大陸，颱風所引發的外圍環流仍對台灣雨勢造成影響，由圖 7.15 a 得知降雨集中在台灣中部和南部且有豪大雨出現，雨量極值是在台中縣(289mm/24h)和高雄縣(雨量為 275mm/24h)；而圖 7.15b 之 WRF 模擬雨量多集中在中部和南部還有超豪大雨出現，雨量極值出現在約為屏東縣的位置分別為 416mm/24h 和 385mm/24h，WRF 模擬雨量全台都高估降水。圖 7.16 為 8 月 3 日 1200UTC 至 8 月 6 日 1200UTC 期間馬莎颱風三天之全台累積雨量圖，WRF 模擬雨量有掌握到全台灣降雨之分佈，但 WRF 模擬雨量整體上高估降水很多，主要是因為 WRF 模擬的颱風路徑都比較實際颱風靠近台灣的原因。

2. 集水區雨量

從圖 7.13 和圖 7.17 來看，發現圖 7.13 之 WRF 模擬雨量全都高估降水，尤其是集水區北邊，而圖 7.17 之 WRF 模擬全台雨量也是全都高估降水，主要也是北邊高估許多。由圖 7.14 和圖 7.18 比較，發現圖 7.14 之 WRF 模擬雨量於集水區全都高估於觀測雨量，尤其是集水區西邊高估很多，而圖 7.18 之

WRF 模擬雨量則相反，為低估於觀測雨量、尤其是西半邊高估降水很多。從圖 7.15 和圖 7.19 來看，圖 7.15 之 WRF 模擬雨量於集水區全都高估於觀測雨量，而圖 7.19 之 WRF 模擬雨量分佈狀況相同於觀測雨量。馬莎颱風三天之集水區面積平均雨量圖可見圖 7.20，WRF 模擬雨量與觀測雨量比較整體而言都是集中偏向集水區西邊，而模擬雨量於北邊高估降水，且於集水區中 WRF 模擬雨量高估於觀測雨量。

7.2.3 泰利颱風

1. 全台雨量

圖 7.23 為泰利颱風之 WRF 模擬路徑和中央氣象局發佈之觀測路徑相對位置圖，可看出第一段 WRF 模擬路徑在 8 月 30 日 1200UTC 至 31 日 1800UTC 時有偏南的情況，而從第二段 8 月 31 日 1800UTC 之後 WRF 模擬路徑較實際上偏北往中國大陸前進，觀測路徑在 8 月 31 日 1800UTC 登陸台灣，而模擬路徑登陸時間較早。泰利颱風之路徑誤差可見表 7.3。

本論文研究選用的泰利颱風個案日期為 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 9 月 1 日 1200UTC，個案時間共為 48 小時，比較經客觀分析後之觀測雨量及 WRF 模擬氣象場之模擬雨量可見圖 7.24 和圖 7.25。由圖 7.24a 全台雨量圖得知，8 月 30 日之觀測雨量於北部出現豪大雨，而中部則雨勢較小，雨量極值出現在苗栗縣(190mm/24h)和(155mm/24h)，而圖 7.24b 之 WRF 模擬雨量高於觀測雨量，在中部有豪雨，北部雨勢較大有豪大雨出現，雨量極值出現在新竹和台北縣一帶，雨量分別為 289mm/24h 和 229mm/24h，全台灣的 WRF 模擬雨量全都高估於觀測雨量。圖 7.25a 顯示，泰利颱風觀測路徑於 8 月 31 日 1800UTC 在台灣東部花蓮縣登陸，9 月 1 日 0000UTC 從台中縣出海繼續往西北方前進中國大陸，颱風在台灣本島停留時間約為 6 小時。泰利颱風為台灣東北部和西南部都帶來超大豪雨，8 月 31 日全台各地皆有雨，雨量極值是在

嘉義縣為(644mm/24h)和(583mm/24h)。在圖 7.25b 中，WRF 模擬路徑於 8 月 31 日 1500UTC 較觀測路徑略偏北方的位置登陸台灣，模擬路徑較觀測路徑偏北，於是高估中部降水，而低估南部降水，之後從苗栗縣的位置出海繼續往西北方前進中國大陸，且停留在台灣的時間較觀測路徑還長。WRF 模擬 8 月 31 日之雨量集中於台灣中、南部，出現超大豪雨，雨量極值約出現在嘉義縣的位置，分別為 458mm/24h 和 428mm/24h；WRF 模擬雨量除了中部和西北部高估以外，其餘皆低估於觀測雨量。泰利颱風兩天全台累積雨量可見圖 7.26，WRF 模擬雨量於台灣中部明顯高估，而南部和宜蘭一帶為低估降水，從累積兩天之雨量圖可知 WRF 模擬雨量低估於觀測雨量。

2. 集水區雨量

從圖 7.24 和圖 7.27 來看，發現圖 7.24 WRF 模擬雨量於集水區明顯全都高估降水，而圖 7.27 之 WRF 模擬雨量也是全都高估降水。由圖 7.25 和圖 7.28 比較，發現圖 7.25 之 WRF 模擬雨量於集水區全都低估於觀測雨量，而圖 7.28 之 WRF 模擬雨量也是全都低估降水。圖 7.29 為泰利颱風集水區累積兩天之面積平均雨量圖，WRF 模擬雨量於東半邊低估降水，西南邊部分高估降水，整體看來集水區中 WRF 模擬雨量低估於觀測降雨量。

7.2 颱風強降水個案之綜合分析

1. 集水區雨量分析

海棠、馬莎、泰利颱風之集水區徐昇氏面積平均雨量時間序列可見圖 7.10、圖 7.21、圖 7.30，WRF 模擬雨量和觀測雨量峰值依序分別為 300.05 mm/6h 和 181.8mm/6h；205.84 mm/6h 和 219.29mm/6h；181.79mm/6h 和 200.41mm/6h，海棠颱風的 WRF 模擬雨量明顯高估於觀測雨量。在馬莎和泰利颱風個案 WRF 模式皆為略低估於觀測雨量，三個颱風之流量尖峰延時分別

為 0 小時、延遲 6 小時、提早 6 小時出現，雨量相對誤差分別為 65.04%、6.13%、9.29%(見表 7.4)。

由表 7.6 可知三個颱風之集水區之面積平均總觀測雨量依序為 439.35mm、877.47mm、410.61mm，WRF 模擬雨量之面積平均總雨量為 527.25mm、887.44mm、345.35mm。比較得知，海棠和馬莎颱風之 WRF 模擬總降雨量高估於觀測總降雨量，而泰利颱風之 WRF 模擬總降雨量則為低估於觀測總降雨量。

2. 模擬流量結果

海棠、馬莎、泰利三個颱風之模擬流量歷線圖依序可參見圖 7.11、圖 7.22、圖 7.31 所示，以觀測流量作為觀測雨量模擬流量和 WRF 雨量模擬流量之參考基準，三個颱風之觀測雨量模擬流量峰值分別為 2471.24m³/s、5152.69m³/s、2560.6m³/s，峰值分別提早 2 小時、0 小時、提早 1 小時出現，流量相對誤差分別約為 15.57%、22.08%、7.50%。WRF 雨量模擬流量峰值依序為 5273.32m³/s、4724.64m³/s、1876.63m³/s，峰值分別提早 3 小時、延後 4 小時、提早 6 小時出現，WRF 雨量模擬流量與觀測流量之相對誤差分別約為 146.61%、11.94%、21.21%(可見表 7.5)。

表 7.6 顯示海棠、馬莎、泰利三個颱風之觀測流量、觀測雨量模擬流量、和 WRF 雨量模擬流量三者之面積平均流量分別為 273.61mm、167.54mm、和 269.47mm(海棠)；550.29mm、486.82mm、和 487.15mm(馬莎)；182.29mm、138.79mm、和 92.57mm(泰利)。逕流比分別為 0.62、0.28、和 0.51(海棠)；0.63、0.55、和 0.55(馬莎)；0.44、0.34、和 0.29(泰利)。三個颱風之觀測雨量模擬流量和 WRF 雨量模擬流量之效率係數分別為 0.43 和 -2.61(海棠)；0.68 和 0.62(馬莎)；0.83 和 -0.19(泰利)，效率係數皆以觀測雨量模擬流量較高，但海棠和泰利颱風之 WRF 雨量模擬流量皆未達到觀測流量平均值的水準。三個颱風個案之正規化均方根誤差兩者分別為 0.82 和 1.09(海棠)；0.72 和 0.76(馬莎)；0.76

和 1.61(泰利), 因此由效率係數和正規化均方根誤差之值可看出觀測雨量模擬流量的結果較 WRF 雨量模擬流量還好。

在模擬極端降雨事件(如海棠、馬莎、泰利颱風), 在雨量資料裡輸入累積雨量百分比(percent total rain)到 FLO-2D 模式中時, 初始時間設為 0 小時。除了海棠颱風之外, 各個案初始累積雨量百分比皆趨近於 0, 所以流量歷線圖中模式的前 6 小時流量值都為 0, 而海棠颱風的初始累積雨量百分比約為 0.2, 所以流量歷線圖中前 6 小時流量值不為 0。

第八章 結論與建議

台灣地區地形涵蓋中央山脈、丘陵和平地，春季降雨主要是受到鋒面系統所激發地形降水和東北季風影響，降雨主要集中於中部山區；夏季和梅雨季是由於西南季風及颱風帶來暖濕氣流受到地形抬升，降雨主要是在西南部丘陵和山區、中部山區迎風面；秋冬季之東北季風帶來的較為乾冷的水氣，降雨的分佈主要是在東北部和北部沿海地帶，以及中部山區迎風面位置有較明顯的雨量。鋒面或盛行風向受到地形改變而影響到迎風面降雨和背風面降雨之分佈，更可以看出台灣地區在不同季節之地形降雨特性。

台灣的雨季主要集中在梅雨季(5-6月)及颱風季(7-9月)。而梅雨季時的降雨分佈主要是在西部迎風面、西南部沿海平原、以及東北部山區。由於山區約佔了台灣總面積之 2/3，因此雨量分佈受地形影響很大，所以台灣不同的降水型態除了受到綜觀天氣系統的影響之外，降水受地形效應的影響也很大 (Chen and Chen, 2003)。

WRF 模式於秋冬季之全台降水預報能力最佳(相關係數 R 達 0.8 以上)，其餘春季、梅雨季和夏季三者的預報能力接近(相關係數 R 達 0.7 以上)。除了秋冬季之外，WRF 模式對於迎風面降雨極大值和背風面降雨極小值之比值都為高估，也許是因為模式的地形解析度(9 公里)太粗所造成。

由於 WRF 中尺度氣象數值模式的水平網格間距為 9 公里，解析度太粗(低)也許是造成無法準確預報小集水區的降雨分佈及降雨總量的原因。而且本論文研究之氣象模式 WRF 並未作颱風植入，使得模擬颱風的初始強度較弱，因此模擬路徑與實際觀測颱風路徑的誤差也影響在台灣的降雨空間分佈，導致雨量模擬的誤差。倘若再將 WRF 模擬雨量輸入至水文模式中，導致 WRF 模擬雨量的流量模擬就會更大的誤差。

研究中挑選的強降水颱風個案中，以馬莎颱風模擬流量情形最佳，也許

是由於馬莎颱風的颱風路徑並未直接侵襲台灣，颱風強度並未受地形破壞。並且 WRF 模式模擬的颱風強度因未作颱風植入本身的初始強度就偏弱，但由於路徑較為偏向台灣，使得集水區累積雨量與實際觀測近似，所以模擬流量才有如此好的結果。其餘泰利和海棠颱風的 WRF 雨量模擬流量結果皆都未達到觀測流量之平均值水準，此兩者颱風都有直接登陸台灣，海棠於集水區帶來的 WRF 模擬雨量遠高於實際觀測，所以 WRF 雨量模擬流量結果也隨之高估流量。模擬極端降雨事件時，雨量峰值若提前則模擬個案的結果會較差，而泰利颱風由於是 WRF 模擬的雨量較小，且雨量峰值提前 6 小時，導致 WRF 雨量模擬流量結果不佳。最後由各個案的流量歷線圖可看出，觀測雨量模擬流量和 WRF 雨量模擬流量於每個個案最後一個峰值之後的流量皆低估於觀測流量，推測這是因為本水文模式 FLO-2D 未考慮基流和入滲後之出流機制，因而降低了模擬集水區逕流量的準確度。

建議

本研究使用之 WRF 中尺度氣象數值模式的水平網格間距為 9 公里，應用於小集水區模擬尺度明顯不夠細(高)，不足以解析小區域內的複雜地形。而且本論文研究所使用的 WRF 模式資料並未作颱風植入，未來應提高 WRF 的水平解析度，以縮減水文模式和氣象模式間網格尺度的差異，期許能提高對於小集水區的降雨預報準確度。水文模式 FLO-2D 因未考慮地下水回流、入滲後出流和蒸發散等現象，導致對模擬流量造成誤差，且於極端降水事件過後也許地質上發生變化(如土石流)，土地特性和地形高度之改變，即時更新數值地形資料和土地資料也會改善模式模擬結果。最後本論文研究中所使用的 2005 年 WRF 模式模擬資料僅為 3~12 月，尚缺少 1~2 月的資料，對於台灣地區之季節性和全年雨量的統計也會造成些許誤差，期望未來可雙向耦合水文模式和氣象模式，進行即時預報，進而提高我們對於強降水引發洪水事件的

預報能力。

參考文獻

王如意、易任，1992：應用水文學，國立編譯館出版。

行政院農業委員會水土保持局，2007，<http://smr.swcb.gov.tw/academia/academia01.asp>

林澤松，2005：梳子壩攔阻土石流效果之模擬研究。私立逢甲大學，水利工程學系研究所，碩士論文，共 63 頁。

吳東雄，2002：石門水庫永續指標之建立與研究。國立中央大學，土木工程研究所，碩士論文，共 89 頁。

涂建翊、余嘉裕、周佳，2003：台灣的氣候，遠足文化事業有限公司出版。

陳心穎，2005：颱風事件下之集水區逕流模擬，國立中央大學，水文科學研究所，碩士論文，共 76 頁。

盛揚帆，林松錦，柳再明，林淑卿，劉其聖，2001：中央氣象局新一代區域預報系統(NFS)降水預報之診斷評估，91 年天氣分析與預報研討會論文彙編，255-259。

黃誌川，2002：集水區降雨逕流時空分布之模擬—結合地文參數之不確定性分析。國立台灣大學，地理環境資源研究所，博士論文，共 176 頁

彭繼賢，2006：應用 FLO-2D 於臺灣中部地區土石流流況分析之研究，國立臺灣大學工學院土木工程學研究所，碩士論文，共 192 頁。

董坤智，2001：積雲參數法對於台灣降雨數值模擬之敏感度研究，中國文化大學地學所大氣科學組，碩士論文，共 96 頁。

經濟部水利署，2007，<http://shihmen.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=31310&CtNode=5960>

劉昭明，1996：台灣的氣象與氣候，常民文化出版。

廖啟勳，2005：地形降水對於環境條件與地形特性之敏感度測試：2 維理想地形模擬研究，國立中央大學水文科學研究所，碩士論文，共 121 頁。

Anthes, R.A., 1983 : Regional models of the atmosphere in middle latitudes. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1306~1335.

Breve, K. and Binley, A. 1992 : The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction. *Hydrological Processes*, **6**, 279-298.

Chen, C.-S., and Y.-L. Chen, 2003 : The rainfall characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323-1341.

Chen, C.-S., Y.-L. Chen, C.-L. Liu, P.-L. Lin, and W.-C. Chen, 2007 : Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Wea. and Forecasting*, **22**, 981-1002.

Gray, W. M., 1968 : Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 669-700.

Jin, M. and D.L. Fread, 1997 : Dynamic flood routing with explicit and implicit numerical solution schemes. *J. of Hyd. Eng.*, ASCE, **123(3)**, 166-173.

Kirkby, M. J., Naden, P. S., Burt, T. P. and Butcher, D. P. 1987 : Computer Simulation in Physical Geography. New York: John Wiley & Sons, 136-151.

Minder, J.R., D.R. Durran, G.H. Roe and A.M. Anders, 2008 : The climatology of small scale orographic precipitation over the Olympic mountains : Patterns and processes. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*

Li, M.-H., M.-J. Yang, R.-T. Soong, and H.-L. Huang, 2005 : Simulating typhoon floods with gauge data and mesoscale-model rainfall in a mountainous watershed. *Journal of Hydrometeorology*, **6**, 306-323.

O'Brien, P. Y. Julien, and V. M. Ponce, 1998 : FLO-2D users manual for a short course on flooding and mud/debris flow. Salt Lake City, UT, 61pp.
[<http://www.flo-2d.com/generic12.html>]

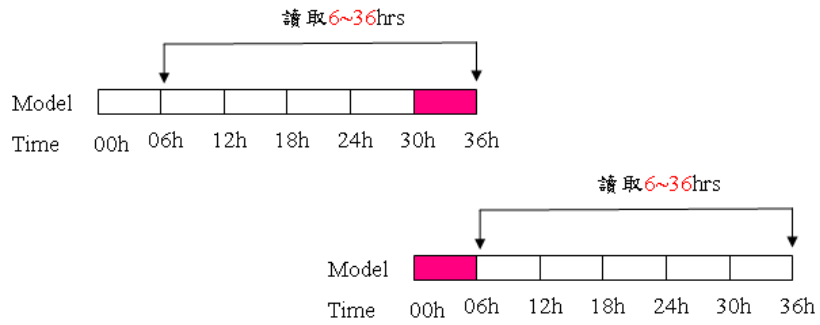
Ponce, V.M. and F.D. Theurer, 1982 : Accuracy Criteria in Diffusion Routing. *J. of Hyd. Eng.*, ASCE, **108(6)**, 747-757.

Schaefer, J.T., 1990 : The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*, **5**, 570~575.

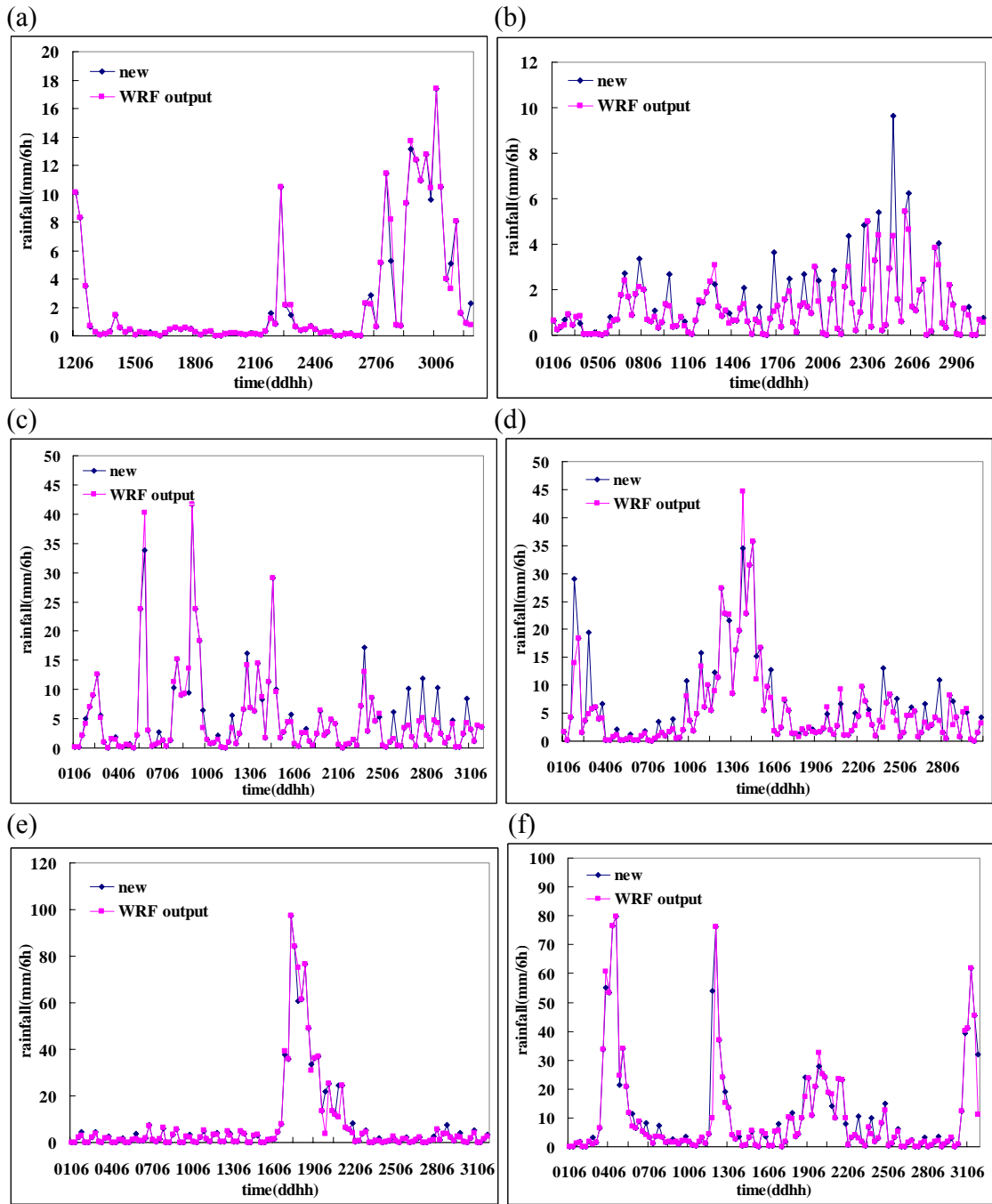
Yang, M.-J., and Q.-C. Tung, 2003 : Evaluation of rainfall forecasts over Taiwan by four cumulus parameterization schemes. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 1163-1183.

Yang, M.-J., Ben J.-D. Jou, S.-C. Wang, J.-S. Hong, D.-L. Lin, J.-H. Teng, and H.-C. Lin, 2004 : Ensemble prediction of rainfall during the 2000-2002 Mei-Yu seasons : Evaluation over the Taiwan area. *J. Geophys. Res.*, **109**, D18203. doi : 10.1029/2003JD004368.

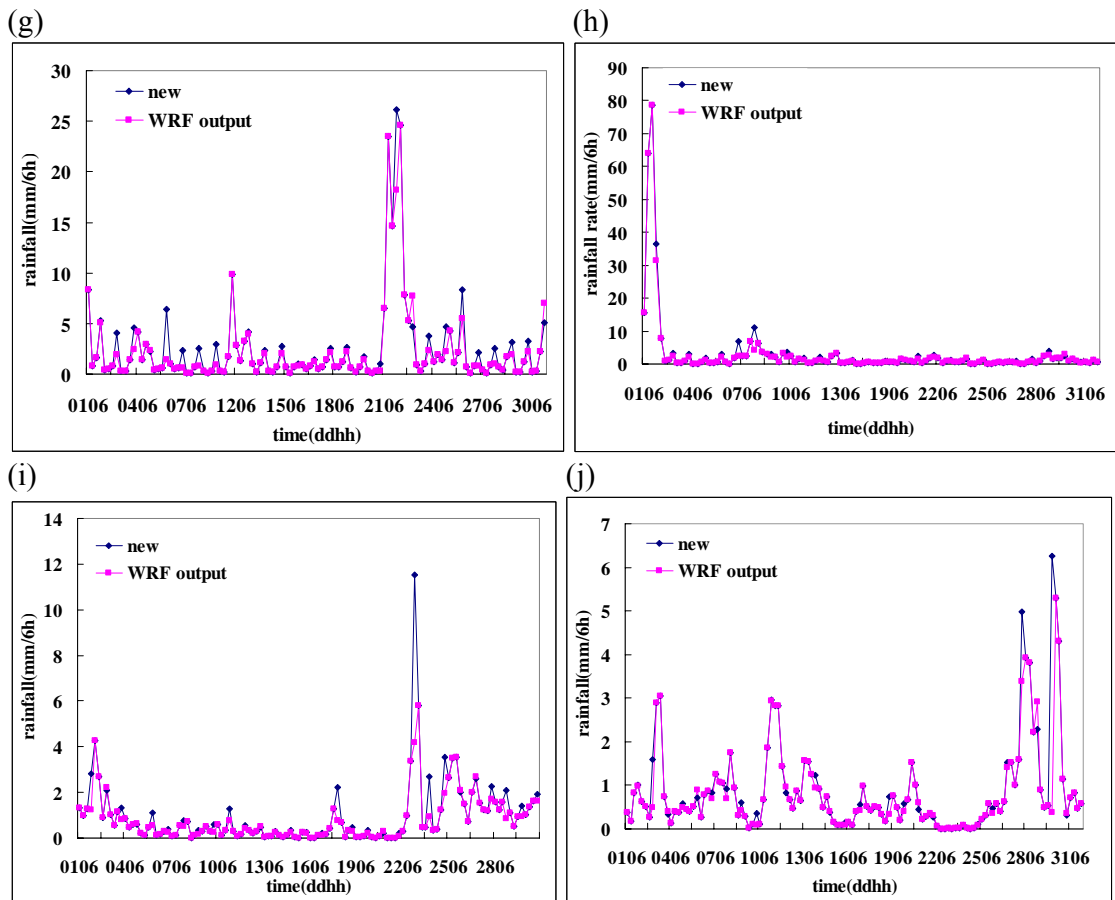
附錄一



附圖 1 讀取 WRF 氣象模式之 6~36h 的每六小時累積雨量方法，模式時間之 30~36h 會與隔日之 6~12h 重疊，將重疊(桃紅色)之雨量取平均作為其模擬雨量。



(continued).



附圖 2 (a) 3 月 12 日 0600UTC 至 4 月 1 日 0600UTC。 (b) 4 月 1 日 0600UTC 至 5 月 1 日 0600UTC。 (c) 5 月 1 日 0600UTC 至 6 月 1 日 0600UTC。 (d) 6 月 1 日 0600UTC 至 7 月 1 日 0600UTC。 (e) 7 月 1 日 0600UTC 至 8 月 1 日 0600UTC。 (f) 8 月 1 日 0600UTC 至 9 月 1 日 0600UTC。 (g) 9 月 1 日 0600UTC 至 10 月 1 日 0600UTC。 (h) 10 月 1 日 0600UTC 至 11 月 1 日 0600UTC。 (i) 11 月 1 日 0600UTC 至 12 月 1 日 0600UTC。 (j) 12 月 1 日 0600UTC 至 12 月 31 日 0600UTC。

(new 為讀取 6~36h 雨量; WRF output 為本論文研究所讀取之 12~36h 雨量。)

表目錄

表 1.1 1996~2005 年每年 1~7 月北太平洋西部颱風及侵台颱風累計生成個數列表。

| 西元 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 氣候平均值 (1971~2000) |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|
| 颱風生成總數 | 9 | 12 | 1 | 7 | 7 | 8 | 11 | 8 | 10 | 9 | 8.5 |
| 侵台颱風總數 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1.1 |

(資料來源為中央氣象局 7 月氣象報告)

表 1.2 1897~2004 年侵台颱風總個數統計表。

| 月份 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 全年 |
|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 總個數 | 3 | 16 | 33 | 97 | 122 | 94 | 36 | 13 | 2 | 416 |
| 百分比 | 0.7% | 3.8% | 8.0% | 23.3% | 29.3% | 22.6% | 8.7% | 3.1% | 0.5% | 100% |

(資料來源為中央氣象局氣象宣導)

表 2.1 各個案選取時間。

| 個案 | 降雨時期 |
|----|---------------------|
| 梅雨 | 6/12/12Z ~ 6/16/12Z |
| 海棠 | 7/17/12Z ~ 7/20/12Z |
| 馬莎 | 8/3/12Z ~ 8/6/12Z |
| 泰利 | 8/30/12Z ~ 9/1/12Z |

表 4.1 曼寧粗糙係數表。

| 計算公式： $n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5$ | | | |
|------------------------------------|------|-------|---------------|
| 水道條件 | | 數值 | |
| 水道材料 | 土質 | n_0 | 0.020 |
| | 岩石 | | 0.025 |
| | 細卵石 | | 0.024 |
| | 粗卵石 | | 0.028 |
| 不規則程度 | 平滑 | n_1 | 0 |
| | 微 | | 0.005 |
| | 普通 | | 0.01 |
| | 極不規則 | | 0.02 |
| 斷面變化 | 無 | n_2 | 0 |
| | 偶有變化 | | 0.005 |
| | 經常變化 | | 0.010 ~ 0.015 |
| 障礙作用 | 可忽略 | n_3 | 0 |
| | 微 | | 0.010 ~ 0.015 |
| | 顯著 | | 0.02 ~ 0.03 |
| | 極劇 | | 0.04 ~ 0.06 |
| 植物 | 低短 | n_4 | 0.005 ~ 0.010 |
| | 普通 | | 0.010 ~ 0.025 |
| | 高大 | | 0.025 ~ 0.050 |
| | 極高大 | | 0.05 ~ 0.10 |
| 蜿蜒程度 | 微 | m_5 | 1 |
| | 顯著 | | 1.15 |
| | 極劇 | | 1.30 |

(資料來源為應用水文學，王如意等，1992)

表 4.2 漫地流曼寧係數值參考表。

| 漫地流曼寧粗糙係數(overland flow Manning's roughness values) | |
|--|-------------|
| 地表狀態(surface) | n 值範圍 |
| 稠密草地(dense turf) | 0.17-0.80 |
| 百慕達植生茂密草地(Bermuda and dense grass, dense vegetation) | 0.17-0.48 |
| 灌木和森林枯枝落葉或牧草地(shrubs and forest litter, pasture) | 0.30-0.40 |
| 一般草地(average grass cover) | 0.20-0.40 |
| 植生少之粗糙地(poor grass cover on rough surface) | 0.20-0.30 |
| 矮草原(short prairie grass) | 0.10-0.20 |
| 稀疏植生(sparse vegetation) | 0.05-0.13 |
| 岩層上稀疏植生(sparse rangeland with debris) | |
| 無植生覆蓋(0% cover) | 0.09-0.34 |
| 百分之二十植生覆蓋(20% cover) | 0.05-0.25 |
| 耕地(plowed or tilled fields) | |
| 休耕地無農作物(fallow-no residue) | 0.008-0.012 |
| 傳統的耕地(conventional tillage) | 0.06-0.22 |
| 已開鑿耕地(chisel plow) | 0.06-0.16 |
| 梯田(fall disking) | 0.30-0.50 |
| 無耕作且無農作物(no till-no residue) | 0.04-0.10 |
| 無耕作農作物約 20~40%(no till 20-40% residue cover) | 0.07-0.17 |
| 無耕作農作物仍存有 60~100%(no till 60-100% residue cover) | 0.17-0.47 |
| 岩層開擴地(open ground with debris) | 0.10-0.20 |
| 瀝青或混凝土上含有 0.25 英吋至 1 英吋植生(shallow glow on asphalt or concrete 0.25" to 1.0") | 0.10-0.15 |
| 休耕地(fallow fields) | 0.08-0.12 |
| 無岩層開擴地(open ground,no debris) | 0.04-0.10 |
| 瀝青或混凝土(asphalt or concrete) | 0.02-0.05 |

(資料來源為 FLO-2D 手冊)

表 5.1 各季節和全年 10 個月觀測雨量與 WRF 模式模擬雨量之分析。

| Case | 全台平均雨量 | | | 集水區平均雨量 | | |
|-------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
| | OBS (mm) | WRF (mm) | WRF/OBS (%) | OBS (mm) | WRF (mm) | WRF/OBS (%) |
| 春季 | 257.61 | 337.23 | 130.91 | 208.12 | 514.63 | 247.28 |
| 梅雨季 | 1000.24 | 1198.53 | 119.59 | 615.69 | 1068.38 | 173.52 |
| 夏季 | 1151.06 | 2662.76 | 171.67 | 2355.27 | 3644.31 | 154.73 |
| 秋冬季 | 181.88 | 324.48 | 178.41 | 172.81 | 654.63 | 378.82 |
| 10 個月 | 2992.79 | 4523 | 151.13 | 3351.89 | 5881.94 | 175.48 |

表 5.2 於不同季節及全年 10 個月期間，比較經校驗後之觀測雨量和模擬雨量兩者相近位置之極大值、迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值之比值，和雨量之正規化均方根誤差。

| Case | Date | Max Precip (mm) OBS/WRF | OBS Max-Min Ratio | WRF Max-Min Ratio | RMSE |
|-------|--------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------|
| 春季 | 3/12/12Z~5/1 /12Z | 382/715 | 2.27 | 2.42 | 1.35 |
| 梅雨季 | 5/1/12Z~7/1/12Z | 2308/3058 | 5.99 | 5.74 | 0.47 |
| 夏季 | 7/1/12~10/4/12Z | 3003/3798(北) 3333/5976(南) | 4.33 (北) 3.56 (南) | 2.85 (北) 2.94 (南) | 0.84 |
| 秋冬季 | 10/4/12Z~12/31/12Z | 1425/1186 | 47.5 | 14.46 | 1.58 |
| 10 個月 | 3/12/12Z~12/31/12Z | 4936/5829(北) 5854/9583(南) | 2.97 (北) 3.39 (南) | 2.25 (北) 3.05 (南) | 0.58 |

表 5.3 春季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

| (春季) 低限值 | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | | 90mm | | |
|-------------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.98 | 0 | 1.02 | 0.97 | 0 | 1.03 | 0.95 | 0.08 | 1.04 | 0.91 | 0.16 | 1.06 |
| 低限值 | 130 mm | | | 200 mm | | | 250 mm | | | 300 mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.82 | 0.26 | 1.19 | 0.47 | 0.14 | 2.12 | 0.24 | 0.09 | 4.09 | 0.13 | 0.06 | 7.6 |

表 5.4 梅雨季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

| (梅雨季) 低限值 | 50mm | | | 130mm | | | 200mm | | | 350mm | | |
|--------------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|-----|
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 |
| 低限值 | 500 mm | | | 1000 mm | | | 1500 mm | | | 2000 mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.88 | 0.08 | 1.05 | 0.65 | 0.40 | 1.41 | 0.54 | 0.43 | 1.44 | 0.2 | 0.18 | 3.8 |

*ETS 沒有值是因為 WRF 模擬雨量和觀測雨量全都達到低限門檻值。

表 5.5 夏季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|-----|------|---------|-----|------|---------|------|------|---------|------|------|
| (夏季) 低限值 | 50mm | | | 130mm | | | 200mm | | | 350mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 0.99 | 0 | 1.00 |
| 低限值 | 500 mm | | | 1000 mm | | | 1500 mm | | | 2000 mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.99 | 0 | 1.01 | 0.87 | 0 | 1.15 | 0.68 | 0.16 | 1.43 | 0.27 | 0.09 | 3.55 |

*ETS 沒有值是因為 WRF 模擬雨量和觀測雨量全都達到低限門檻值。

表 5.6 秋冬季於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| (秋冬季) 低限值 | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | | 90mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.90 | 0 | 1.11 | 0.83 | 0.11 | 1.21 | 0.72 | 0.14 | 1.40 | 0.59 | 0.24 | 1.67 |
| 低限值 | 130 mm | | | 200 mm | | | 250 mm | | | 300 mm | | |
| 預報校 驗方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.55 | 0.31 | 1.79 | 0.6 | 0.46 | 1.67 | 0.60 | 0.50 | 1.48 | 0.56 | 0.48 | 1.61 |

表 5.7 全年 10 個月於全台累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

| (全年 10 個月) 低限值 | 500mm | | | 1000mm | | | 1500mm | | | 2000mm | | |
|-------------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 0.98 | 0 | 1.02 | 0.88 | 0 | 1.13 |
| 低限值 | 2500 mm | | | 3000 mm | | | 3500 mm | | | 4000 mm | | |
| | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 得分 | 0.80 | 0.16 | 1.24 | 0.56 | 0.14 | 1.75 | 0.39 | 0.16 | 2.58 | 0.24 | 0.12 | 4.11 |

*ETS 沒有值是因為 WRF 模擬雨量和觀測雨量全都達到低限門檻值。

表 6. 1 在不同降雨事件下，比較校驗後之觀測雨量和模擬雨量兩者相近位置之極大值、迎風面雨量極大值和背風面雨量極小值之比值，和雨量之正規化均方根誤差。

| Case | Date | Max Precip. (mm) OBS/WRF | OBS Max-Min Ratio | WRF Max-Min Ratio | RMSE |
|------|------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 梅雨 | 0612 | 476/281 | 23.8 | 5.85 | 12.80 |
| | 0613 | 210/209 | 12.35 | 7.46 | 1.95 |
| | 0614 | 427/389 | 15.25 | 11.11 | 5.58 |
| | 0615 | 156/183 | 8.67 | 13.07 | 0.79 |
| 海棠 | 0717 | 396/694 (北) 489/1073(南) | 56.57 (北) 8.15 (南) | 53.38 (北) 14.31 (南) | 7.71 |
| | 0718 | 639/626 | 13.04 | 10.61 | 12.55 |
| | 0719 | 543/418 | 10.05 | 23.22 | 2.36 |
| 馬莎 | 0803 | 333/397 | 33.3 | 13.69 | 7.76 |
| | 0804 | 714/844 | 64.91 | 64.92 | 5.25 |
| | 0805 | 289/196 (北) 275/201 (南) | 72.25 (北) 91.67 (南) | 32.67 (北) 50.25 (南) | 3.74 |
| 泰利 | 0830 | 134/229 | 10.31 | 7.90 | 9.52 |
| | 0831 | 644/458 | 12.15 | 12.38 | 30.82 |

表 6.2 梅雨個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。(白色日期為 WRF 模式模擬時間 12-24h；綠色日期為 WRF 模式模擬時間 24-36h，紅色數值表示為某一低限值時的得分最高。)

| (梅雨)低限值 | 0.25mm | | | 2.5mm | | | 5mm | | | 10mm | | |
|-------------------|--------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 6/12/12Z~6/13/00Z | 0.78 | 0.06 | 1.07 | 0.52 | 0.12 | 1.35 | 0.52 | 0.22 | 1.27 | 0.58 | 0.36 | 1.26 |
| 6/13/00Z~6/13/12Z | 0.97 | 0 | 1.03 | 0.79 | 0 | 1.26 | 0.67 | -0.03 | 1.37 | 0.49 | -0.05 | 1.56 |
| 6/13/12Z~6/14/00Z | 0.68 | 0.05 | 1.12 | 0.55 | 0.27 | 0.76 | 0.60 | 0.39 | 0.69 | 0.65 | 0.50 | 0.71 |
| 6/14/00Z~6/14/12Z | 0.99 | 0 | 0.99 | 0.92 | -0.02 | 1.01 | 0.83 | -0.04 | 1.02 | 0.78 | 0.07 | 1.05 |
| 6/14/12Z~6/15/00Z | 0.97 | 0 | 1.03 | 0.91 | 0.31 | 1.04 | 0.93 | 0.57 | 0.98 | 0.79 | 0.33 | 0.99 |
| 6/15/00Z~6/15/12Z | 0.98 | 0 | 1.01 | 0.91 | 0.08 | 1.02 | 0.84 | 0.07 | 1.02 | 0.76 | 0.22 | 1.07 |
| 6/15/12Z~6/16/00Z | 0.93 | 0.15 | 1 | 0.76 | 0.21 | 1.07 | 0.75 | 0.29 | 0.99 | 0.64 | 0.25 | 0.98 |
| 6/16/00Z~6/16/12Z | 0.99 | 0 | 0.99 | 0.98 | 0 | 0.99 | 0.90 | 0.11 | 0.93 | 0.63 | 0.04 | 0.70 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 低限值 | 15mm | | | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | |
| | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 6/12/12Z~6/13/00Z | 0.60 | 0.42 | 1.27 | 0.64 | 0.50 | 1.34 | 0.68 | 0.57 | 1.38 | 0.71 | 0.62 | 1.31 |
| 6/13/00Z~6/13/12Z | 0.51 | 0 | 1.59 | 0.40 | 0.07 | 1.62 | 0.21 | 0.19 | 1.47 | 0.41 | 0.23 | 1.29 |
| 6/13/12Z~6/14/00Z | 0.64 | 0.50 | 0.75 | 0.63 | 0.51 | 0.80 | 0.51 | 0.39 | 0.87 | 0.32 | 0.23 | 1.24 |
| 6/14/00Z~6/14/12Z | 0.77 | 0.19 | 1.09 | 0.66 | 0.21 | 1.15 | 0.69 | 0.40 | 1.08 | 0.70 | 0.50 | 1.03 |
| 6/14/12Z~6/15/00Z | 0.78 | 0.42 | 0.96 | 0.68 | 0.38 | 0.73 | 0.50 | 0.21 | 0.69 | 0.43 | 0.19 | 0.69 |
| 6/15/00Z~6/15/12Z | 0.66 | 0.19 | 1.06 | 0.49 | 0.14 | 0.94 | 0.43 | 0.18 | 0.81 | 0.43 | 0.26 | 0.85 |
| 6/15/12Z~6/16/00Z | 0.49 | 0.16 | 1.09 | 0.28 | 0.06 | 1.15 | 0.20 | 0.05 | 0.87 | 0.12 | 0.01 | 0.64 |
| 6/16/00Z~6/16/12Z | 0.51 | 0.07 | 0.57 | 0.29 | 0.07 | 0.38 | 0.21 | 0.08 | 0.28 | 0.06 | 0.03 | 0.12 |

表 6.3 海棠個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

(白色日期為 WRF 模式模擬時間 12-24h；綠色日期為 WRF 模式模擬時間 24-36h，紅色數值表示為某一低限值時的得分最高。)

| (海棠)低限值 | 0.25mm | | | 2.5mm | | | 5mm | | | 10mm | | |
|-------------------|--------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 7/17/12Z~7/18/00Z | 0.99 | 0 | 1.01 | 0.95 | 0 | 1.05 | 0.87 | 0.03 | 1.15 | 0.81 | 0.11 | 1.24 |
| 7/18/00Z~7/18/12Z | 1 | | 1 | 0.98 | 0 | 1.02 | 0.92 | -0.02 | 0.99 | 0.84 | 0.07 | 0.95 |
| 7/18/12Z~7/19/00Z | 1 | | 1 | 0.98 | 0 | 1.02 | 0.89 | -0.02 | 1.07 | 0.85 | 0.19 | 1.11 |
| 7/19/00Z~7/19/12Z | 1 | | 1 | 0.95 | -0.01 | 0.97 | 0.89 | 0.13 | 0.95 | 0.81 | 0.08 | 0.95 |
| 7/19/12Z~7/20/00Z | 1 | | 1 | 0.92 | 0.06 | 1.08 | 0.83 | 0.07 | 1.19 | 0.82 | 0.26 | 1.19 |
| 7/20/00Z~7/20/12Z | 0.82 | 0.10 | 0.84 | 0.74 | 0.37 | 0.96 | 0.72 | 0.43 | 0.90 | 0.59 | 0.36 | 0.66 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 低限值 | 15mm | | | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | |
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 7/17/12Z~7/18/00Z | 0.73 | 0.12 | 1.38 | 0.61 | 0.14 | 1.63 | 0.59 | 0.19 | 1.68 | 0.56 | 0.26 | 1.79 |
| 7/18/00Z~7/18/12Z | 0.78 | 0.07 | 0.91 | 0.66 | 0.08 | 0.84 | 0.59 | 0.11 | 0.78 | 0.58 | 0.22 | 0.76 |
| 7/18/12Z~7/19/00Z | 0.82 | 0.20 | 1.11 | 0.77 | 0.23 | 1.14 | 0.79 | 0.34 | 1.15 | 0.81 | 0.45 | 1.14 |
| 7/19/00Z~7/19/12Z | 0.75 | 0.10 | 0.99 | 0.70 | 0.15 | 1 | 0.66 | 0.14 | 0.99 | 0.60 | 0.18 | 0.85 |
| 7/19/12Z~7/20/00Z | 0.80 | 0.31 | 1.12 | 0.70 | 0.24 | 1.02 | 0.61 | 0.22 | 0.99 | 0.50 | 0.17 | 0.99 |
| 7/20/00Z~7/20/12Z | 0.52 | 0.33 | 0.84 | 0.53 | 0.38 | 0.55 | 0.47 | 0.36 | 0.47 | 0.32 | 0.24 | 0.32 |

表 6.4 馬莎個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

(白色日期為 WRF 模式模擬時間 12-24h；綠色日期為 WRF 模式模擬時間 24-36h，紅色數值表示為某一低限值時的得分最高。)

| (馬莎)低限值 | 0.25mm | | | 2.5mm | | | 5mm | | | 10mm | | |
|-----------------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 8/3/12Z~8/4/00Z | 0.62 | 0.04 | 1.59 | 0.29 | 0.05 | 2.47 | 0.13 | 0.02 | 4.17 | 0.01 | -0.04 | 5.55 |
| 8/4/00Z~8/4/12Z | 0.97 | 0.16 | 1.02 | 0.56 | 0.19 | 1.11 | 0.84 | 0.20 | 1.17 | 0.74 | 0.25 | 1.33 |
| 8/4/12Z~8/5/00Z | 0.94 | 0 | 1.05 | 0.86 | 0.13 | 1.11 | 0.83 | 0.18 | 1.17 | 0.77 | 0.21 | 1.29 |
| 8/5/00Z~8/5/12Z | 0.86 | 0.07 | 1.11 | 0.78 | 0.17 | 1.23 | 0.72 | 0.17 | 1.33 | 0.66 | 0.15 | 1.45 |
| 8/5/12Z~8/6/00Z | 0.87 | 0 | 1.14 | 0.67 | 0.09 | 1.48 | 0.61 | 0.14 | 1.61 | 0.54 | 0.20 | 1.75 |
| 8/6/00Z~8/6/12Z | 0.72 | 0.26 | 1.14 | 0.56 | 0.26 | 1.24 | 0.49 | 0.23 | 1.34 | 0.40 | 0.20 | 1.20 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 低限值 | 15mm | | | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | |
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 8/3/12Z~8/4/00Z | 0 | -0.04 | 4.78 | 0 | -0.02 | 1.83 | 0 | -0.01 | 0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 8/4/00Z~8/4/12Z | 0.78 | 0.41 | 1.27 | 0.75 | 0.42 | 1.31 | 0.79 | 0.55 | 1.25 | 0.78 | 0.58 | 1.28 |
| 8/4/12Z~8/5/00Z | 0.74 | 0.22 | 1.35 | 0.74 | 0.29 | 1.34 | 0.77 | 0.40 | 1.3 | 0.76 | 0.46 | 1.31 |
| 8/5/00Z~8/5/12Z | 0.64 | 0.17 | 1.50 | 0.60 | 0.17 | 1.60 | 0.57 | 0.19 | 1.68 | 0.49 | 0.18 | 1.83 |
| 8/5/12Z~8/6/00Z | 0.50 | 0.19 | 1.79 | 0.42 | 0.19 | 2.39 | 0.32 | 0.14 | 3.15 | 0.26 | 0.15 | 3.69 |
| 8/6/00Z~8/6/12Z | 0.28 | 0.12 | 1.08 | 0.19 | 0.08 | 1.28 | 0.16 | 0.08 | 2.10 | 0.10 | 0.05 | 2.14 |

表 6.5 泰利個案全台每 12 小時累積雨量在各低限值時的預兆得分(TS)、公平預兆得分(ETS)、預報偏離得分(BS)值。

(白色日期為 WRF 模式模擬時間 12-24h；綠色日期為 WRF 模式模擬時間 24-36h，紅色數值表示為某一低限值時的得分最高。)

| (泰利)低限值 | 0.25mm | | | 2.5mm | | | 5mm | | | 10mm | | |
|-------------------|--------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 8/30/12Z~8/31/00Z | 0.16 | 0.04 | 3.89 | 0.12 | 0.09 | 5.33 | 0 | -0.01 | 8 | 0 | 0 | |
| 8/31/00Z~8/31/12Z | 0.98 | 0 | 1.02 | 0.93 | 0.38 | 1.05 | 0.87 | 0.34 | 1.08 | 0.72 | 0.30 | 1.25 |
| 8/31/12Z~9/1/00Z | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 0.99 | 0 | 0.99 | 0.97 | -0.01 | 0.99 |
| 9/1/00Z~9/1/12Z | 1 | | 1 | 0.94 | 0 | 1.05 | 0.87 | -0.03 | 1.04 | 0.77 | -0.06 | 1.03 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 低限值 | 15mm | | | 25mm | | | 35mm | | | 50mm | | |
| 預報校驗評估方法 | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS | TS | ETS | BS |
| 8/30/12Z~8/31/00Z | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | | |
| 8/31/00Z~8/31/12Z | 0.63 | 0.28 | 1.33 | 0.55 | 0.29 | 1.57 | 0.42 | 0.23 | 1.70 | 0.23 | 0.12 | 2.57 |
| 8/31/12Z~9/1/00Z | 0.94 | 0.07 | 1.02 | 0.85 | 0.11 | 1.11 | 0.78 | 0.07 | 1.10 | 0.63 | 0.01 | 1.10 |
| 9/1/00Z~9/1/12Z | 0.71 | 0 | 0.96 | 0.61 | 0.05 | 0.89 | 0.55 | 0.11 | 0.83 | 0.47 | 0.12 | 0.82 |

表 6.6 梅雨和各颱風個案全台每 12 小時經校驗後累積雨量與 WRF 模擬雨量之全台灣和集水區降雨正規化均方根誤差表(RMSE；無因次)。

| 全台降雨 RMSE | | | | 集水區降雨 RMSE | | | |
|-----------|------|---------------|----------------|------------|------|---------------|----------------|
| 模式時間 | | 12~24 fcst | 24~36h fcst | 模式時間 | | 12~24 fcst | 24~36h fcst |
| 絕對時間 | | 12Z~00Z | 00Z~12Z | 絕對時間 | | 12Z~00Z | 00Z~12Z |
| 梅雨 | 6/12 | 243.03 | | 梅雨 | 6/12 | 0.93 | |
| | 6/13 | 4.63 | 57.57 | | 6/13 | 1.03 | 0.88 |
| | 6/14 | 18.54 | 4.35 | | 6/14 | 0.68 | 2.19 |
| | 6/15 | 21.00 | 29.11 | | 6/15 | 10.70 | 4.68 |
| | 6/16 | | 0.90 | | 6/16 | | 0.85 |
| 海棠 | 7/17 | 49.91 | | 海棠 | 7/17 | 0.54 | |
| | 7/18 | 10.06 | 3.22 | | 7/18 | 0.56 | 0.35 |
| | 7/19 | 7.09 | 4.43 | | 7/19 | 2.07 | 0.82 |
| | 7/20 | | 3.11 | | 7/20 | | 4.92 |
| 馬莎 | 8/3 | 70.21 | | 馬莎 | 8/3 | 21.93 | |
| | 8/4 | 83.39 | 3.66 | | 8/4 | 0.31 | 0.35 |
| | 8/5 | 488.10 | 134.33 | | 8/5 | 2.20 | 0.22 |
| | 8/6 | | 68.41 | | 8/6 | | 5.69 |
| 泰利 | 8/30 | 48.00 | | 泰利 | 8/30 | | |
| | 8/31 | 2.41 | 10.10 | | 8/31 | 0.73 | 1.25 |
| | 9/1 | | 11.84 | | 9/1 | | 8.88 |

表 6.7 2005 年 10 大單日降雨排名。

| Case | Date | Max Precip (mm) OBS/WRF | OBS Max-Min Ratio | WRF Max-Min Ratio | RMSE (mm) |
|------|----------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| 1 | 0718(海棠) | 639/626 | 13.04 | 10.61 | 12.55 |
| 2 | 0804(馬莎) | 714/844 | 64.91 | 64.92 | 5.25 |
| 3 | 0717(海棠) | 396/694 (北) 489/1073(南) | 56.57 (北) 8.15 (南) | 53.38 (北) 14.31 (南) | 7.71 |
| 4 | 1001(龍王) | 692/542 | 49.43 | 33.88 | 9.94 |
| 5 | 0831(泰利) | 644/458 | 12.15 | 12.38 | 30.82 |
| 6 | 0612(梅雨) | 476/281 | 23.8 | 5.85 | 12.80 |
| 7 | 0719(海棠) | 543/418 | 10.05 | 23.22 | 2.36 |
| 8 | 0614(梅雨) | 427/389 | 15.25 | 11.11 | 5.58 |
| 9 | 0805(馬莎) | 289/196 (北) 275/201 (南) | 72.25 (北) 91.67 (南) | 32.67 (北) 50.25 (南) | 3.74 |
| 10 | 0901(泰利) | 79/64 | 79 | 64 | 5.46 |

表 6.8 龍王颱風之路徑誤差表。

| | 1001 0000UTC~1002 | | 1200UTC | | | | |
|----------|-------------------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 55.64 | 59.77 | 53.64 | 90.60 | 106.15 | 68.45 | 133.25 |

表 7.1 海棠颱風之路徑誤差表。

| 0717 0000UTC~0718 1200UTC | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 60.32 | 33.62 | 46.40 | 118.63 | 59.21 | 115.78 | 97.51 |
| 0718 0000UTC~0719 1200UTC | | | | | | | |
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 43.18 | 45.64 | 120.29 | 112.35 | 180.77 | 154.83 | 152.21 |

表 7.2 馬莎颱風之路徑誤差表。

| 0803 0000UTC~0804 1200UTC | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 39.86 | 82.50 | 82.64 | 58.97 | 56.41 | 62.00 | 97.39 |
| 0804 0000UTC~0805 1200UTC | | | | | | | |
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 27.77 | 50.05 | 35.02 | 97.65 | 128.42 | 167.83 | 192.17 |
| 0805 0000UTC~0806 1200UTC | | | | | | | |
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 56.37 | 45.94 | 67.87 | 46.80 | 37.05 | | |

表 7.3 泰利颱風之路徑誤差表。

| 0830 0000UTC~0831 1200UTC | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 27.30 | 68.11 | 40.90 | 42.20 | 33.58 | 89.50 | 107.29 |
| 0831 0000UTC~0901 1200UTC | | | | | | | |
| 模擬時間(hr) | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 路徑誤差(km) | 53.64 | 62.46 | 76.45 | 101.02 | 70.45 | 28.34 | 28.14 |

表 7.4 梅雨及各颱風個案雨量峰值延時誤差分析表。

(時間單位為(ddhh)；雨量單位為(mm)；延時單位為(h)；相對誤差單位為(%))

| 個案 | 梅雨 | | 海棠颱風 | | 馬莎颱風 | | 泰利颱風 | |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | peak1 | | | | | | | |
| | 觀測 | WRF | 觀測 | WRF | 觀測 | WRF | 觀測 | WRF |
| 時間 | 1312 | 1312 | 1800 | 1800 | 0500 | 0506 | 3118 | 3112 |
| 雨量 | 33.64 | 21.51 | 181.8 | 300.05 | 219.29 | 205.84 | 200.41 | 181.79 |
| 延時 | | 0 | | 0 | | 6 | | -6 |
| 相對誤差 | | 36.06 | | 65.04 | | 6.13 | | 9.29 |
| peak2 | | | | | | | | |
| 時間 | 1500 | 1412 | | | | | | |
| 雨量 | 20.62 | 12.30 | | | | | | |
| 延時 | | -12 | | | | | | |
| 相對誤差 | | 40.35 | | | | | | |
| peak3 | | | | | | | | |
| 時間 | 1612 | 1600 | | | | | | |
| 雨量 | 19.98 | 10.19 | | | | | | |
| 延時 | | -12 | | | | | | |
| 相對誤差 | | 49.00 | | | | | | |

表 7.5 各颱風個案之流量峰值延時誤差分析表。

(時間單位為(ddhh)；流量單位為(m³/s)；延時單位為(h)；相對誤差單位為(%))

| 颱風個案 | 海棠 | | | 馬莎 | | | 泰利 | | |
|----------|--------|------------------|-------------------|--------|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|
| | peak1 | | | | | | | | |
| | 觀測 | 觀測 雨量模 擬流量 | WRF 雨量模 擬流量 | 觀測 | 觀測 雨量模 擬流量 | WRF 雨量模 擬流量 | 觀測 | 觀測 雨量模 擬流量 | WRF 雨量模 擬流量 |
| 時間 | 1803 | 1801 | 1800 | 0501 | 0501 | 0505 | 3119 | 3118 | 3113 |
| 流量 | 2138.3 | 2471.24 | 5273.32 | 4220.6 | 5152.69 | 4724.64 | 2381.87 | 2560.6 | 1876.63 |
| 延時 | | -2 | -3 | | 0 | 4 | | -1 | -6 |
| 相對 誤差 | | 15.57 | 146.61 | | 22.08 | 11.94 | | 7.50 | 21.21 |

表 7.6 各颱風個案之流量準確度評估分析表。

(Q 為面積平均流量，單位為(mm)； P 為總降雨量，單位為(mm)； RR 為逕流率，無單位； $EFFIC$ 為效率係數； $RMSE$ 為正規化均方根誤差，為無因次)

| 颱風個案 | 海棠 | | | 馬莎 | | | 泰利 | | |
|---------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|
| | 觀測流量 | 觀測雨量模擬流量 | WRF雨量模擬流量 | 觀測流量 | 觀測雨量模擬流量 | WRF雨量模擬流量 | 觀測流量 | 觀測雨量模擬流量 | WRF雨量模擬流量 |
| Q | 273.61 | 167.54 | 269.47 | 550.29 | 486.82 | 487.15 | 182.29 | 138.79 | 92.57 |
| P | 439.35 | 439.35 | 527.25 | 877.47 | 877.47 | 887.44 | 410.61 | 410.61 | 345.35 |
| RR | 0.62 | 0.28 | 0.51 | 0.63 | 0.55 | 0.55 | 0.44 | 0.34 | 0.29 |
| $EFFIC$ | | 0.43 | -2.61 | | 0.68 | 0.62 | | 0.83 | -0.19 |
| $RMSE$ | | 0.82 | 1.09 | | 0.72 | 0.76 | | 0.76 | 1.61 |

圖目錄

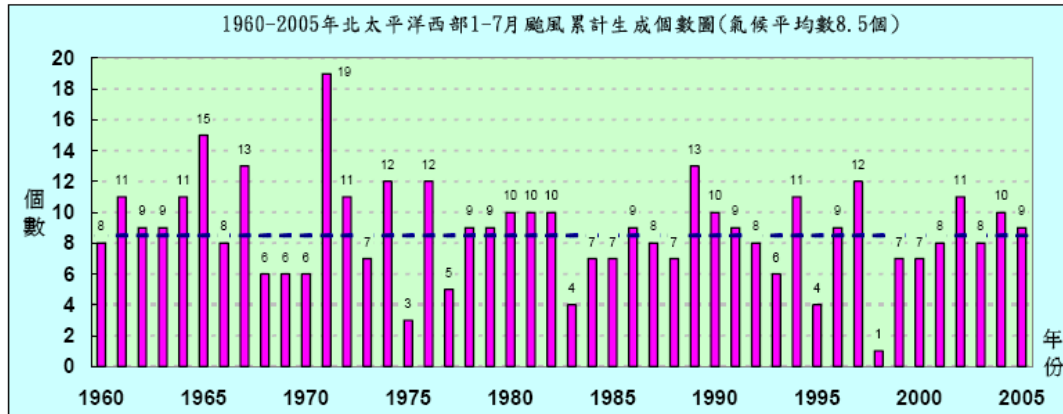


圖 1.1 1960~2005 年北太平洋西部 1-7 月颱風累計生成個數。

(圖片來源為中央氣象局 7 月氣象報告)

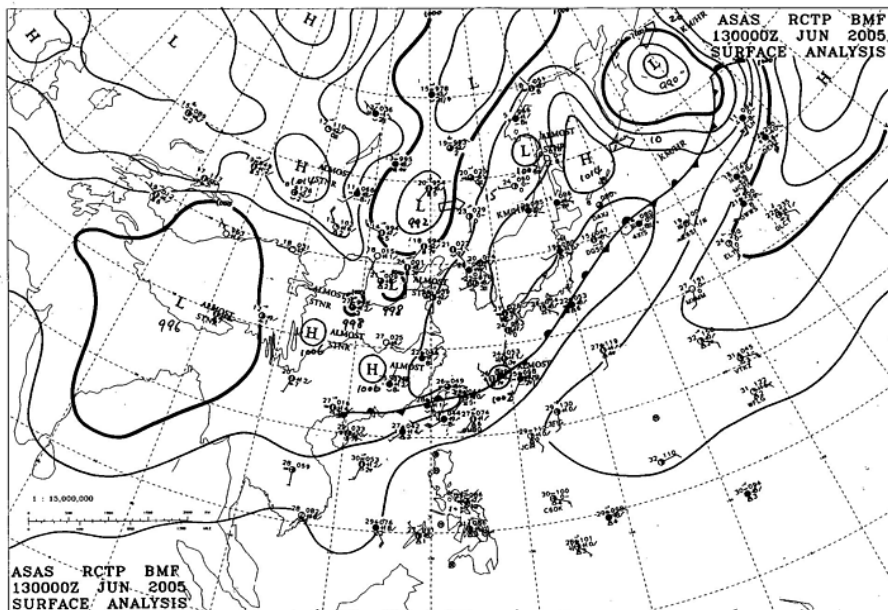


圖 2.1 2005 年 6 月 13 日 0000UTC 梅雨地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

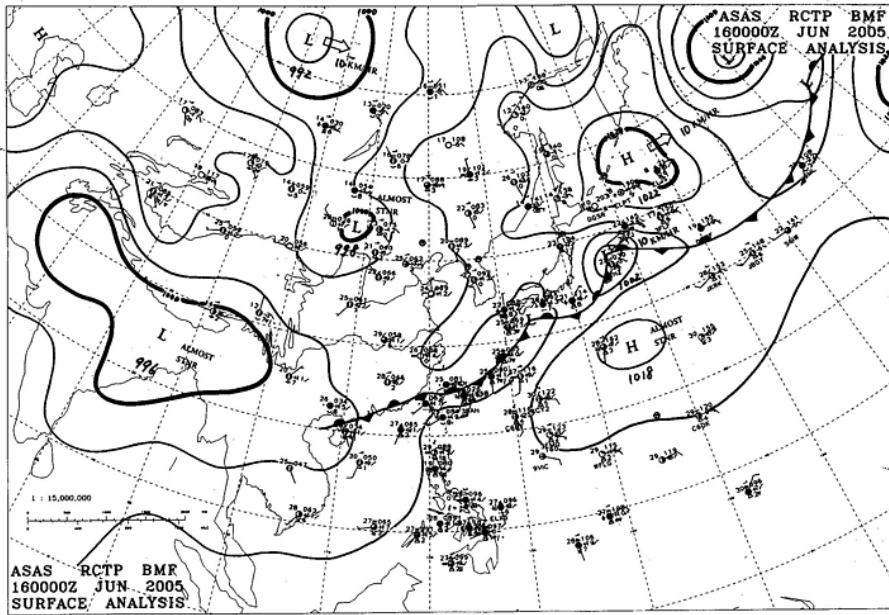


圖 2.2 2005 年 6 月 16 日 0000UTC 梅雨地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

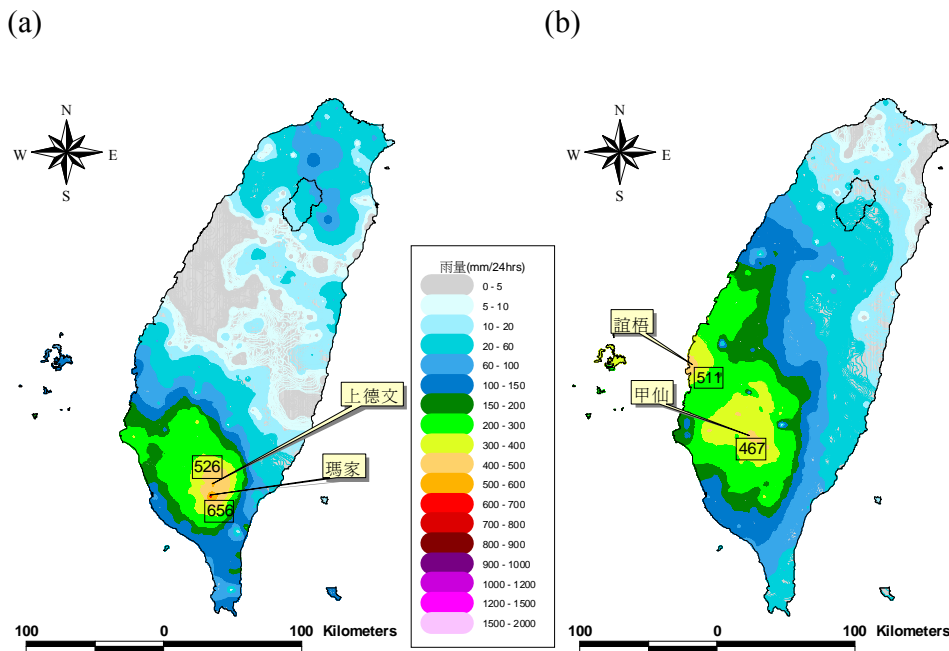


圖 2.3 梅雨全台觀測累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 6 月 12 日 1200UTC~6 月 13 日 1200UTC, (b) 2005 年 6 月 15 日 1200UTC~6 月 16 日 1200UTC。

(中間區域為霞雲集水區)

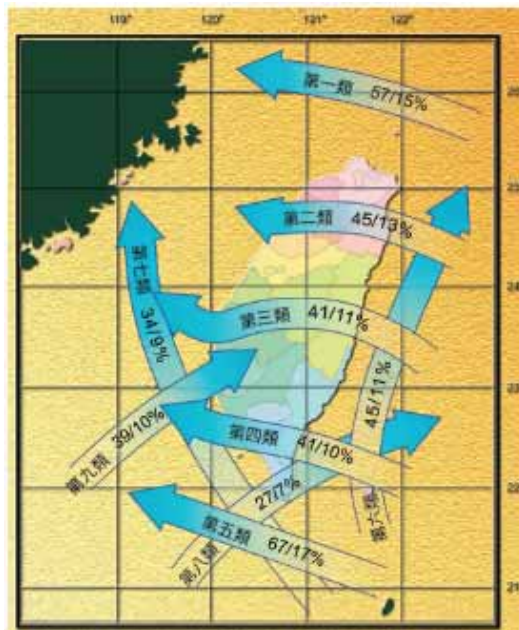


圖 2.4 統計 1897~2004 年颱風侵台路徑分類圖。

(圖片來源為中央氣象局氣象宣導)

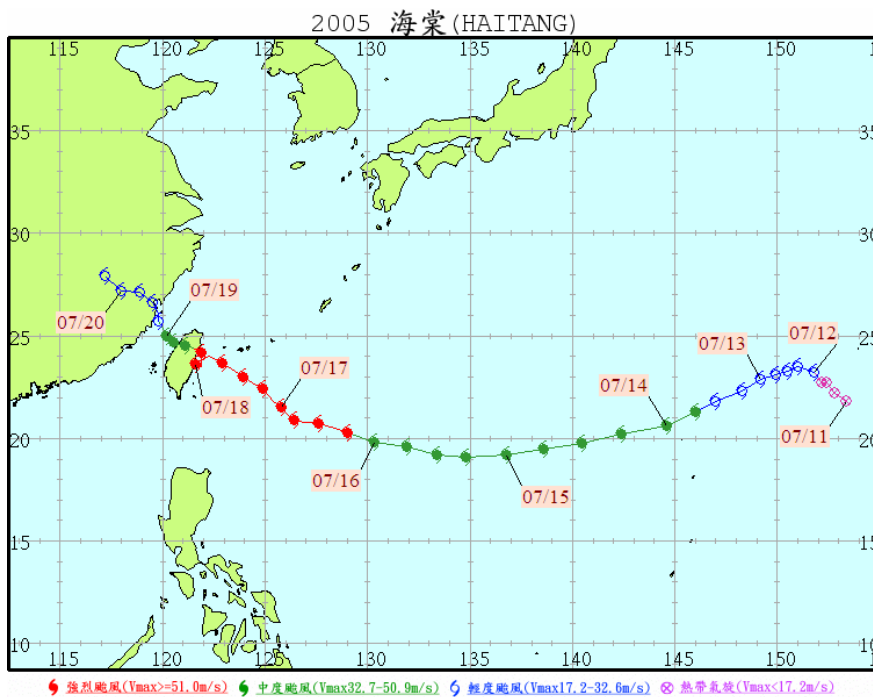


圖 2.5 2005 年 7 月 10 日 0000UTC~7 月 19 日 1200UTC 海棠颱風路徑圖。

(每點表示為每 6 小時颱風中心的位置，圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

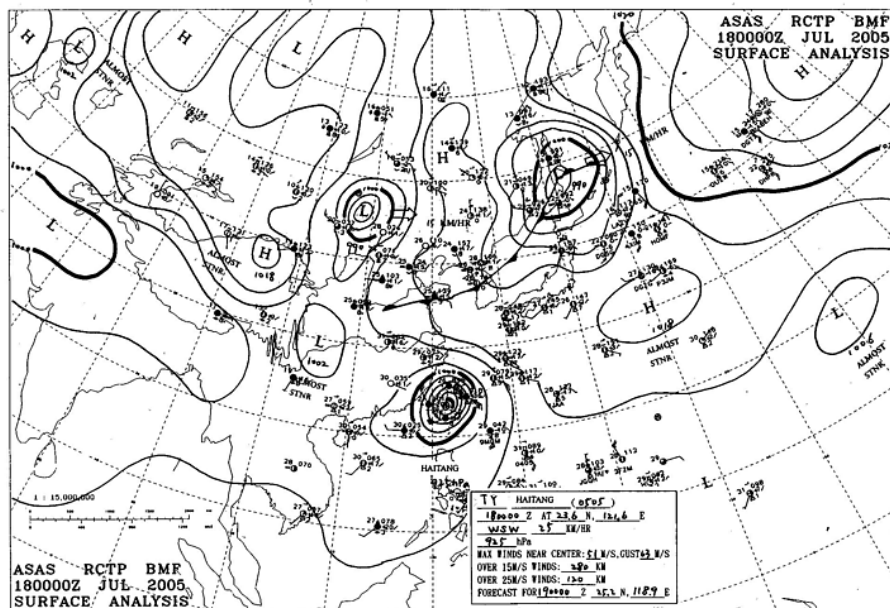


圖 2.6 2005 年 7 月 18 日 0000UTC 海棠颱風地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

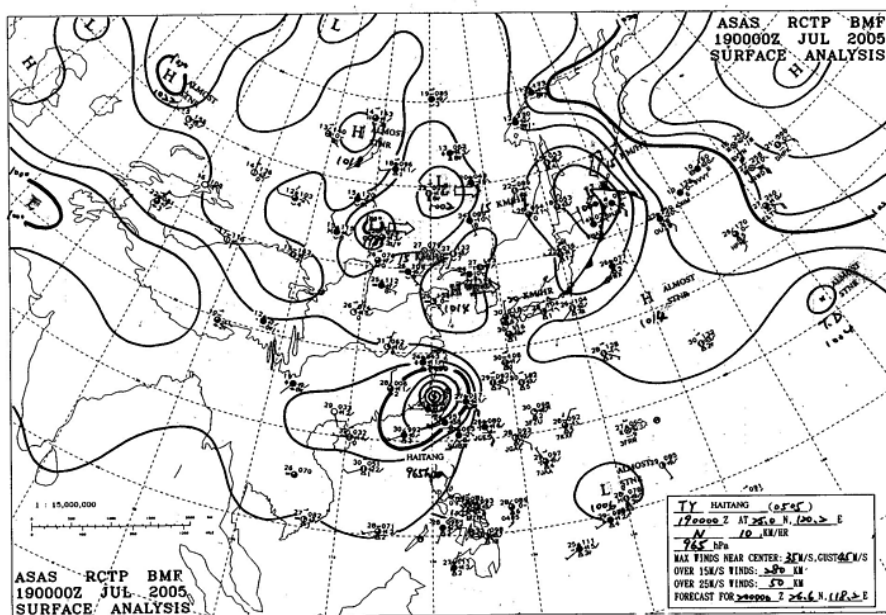


圖 2.7 2005 年 7 月 19 日 0000UTC 海棠颱風地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

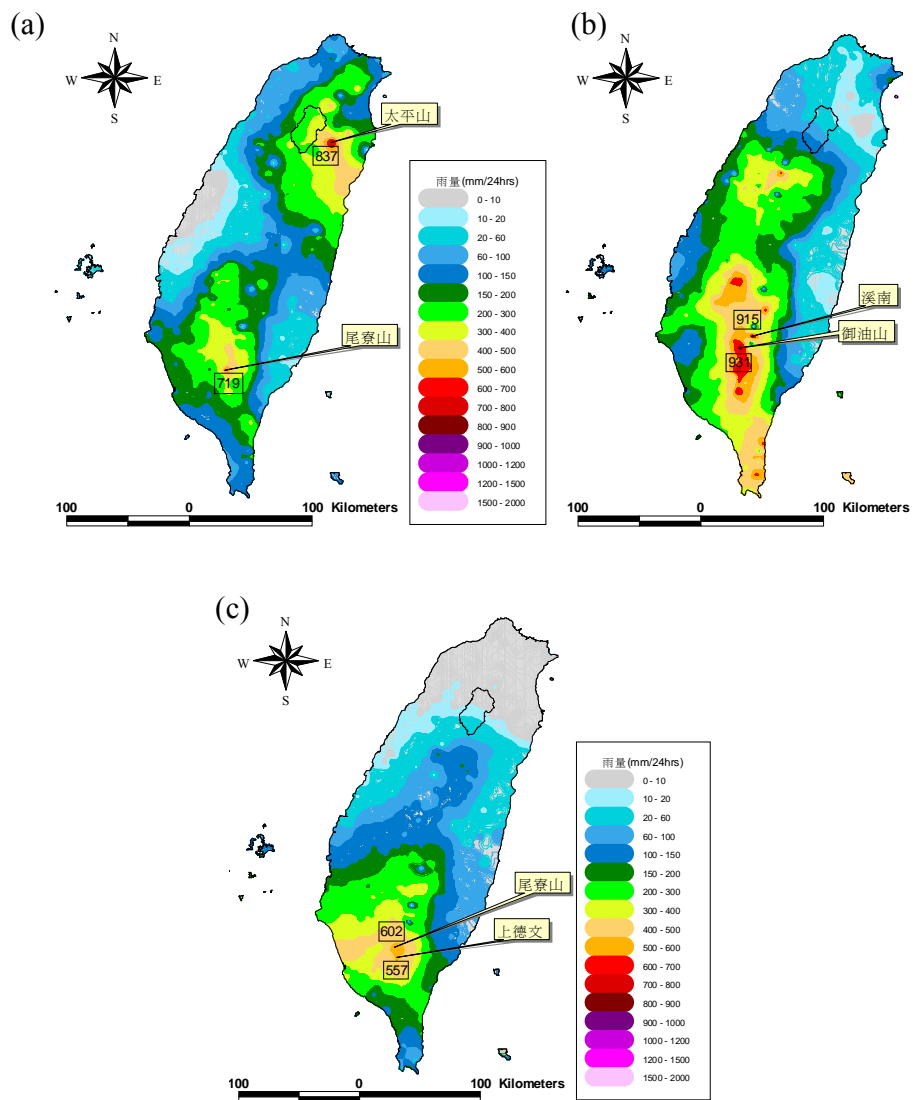


圖 2.8 海棠全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 7 月 17 日 1200UTC~7 月 18 日 1200UTC，(b)2005 年 7 月 18 日 1200UTC~7 月 19 日 1200UTC，(c)2005 年 7 月 19 日 1200UTC~7 月 20 日 1200UTC。
(中間區域為霞雲集水區)

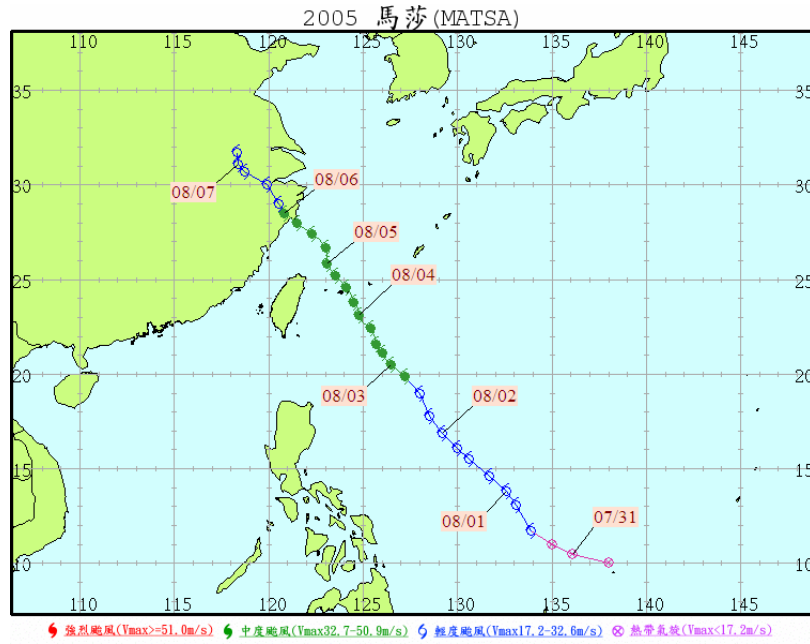


圖 2.9 2005 年 7 月 30 日 0000UTC~8 月 6 日 1800UTC 馬莎颱風路徑圖。
 (每點表示為每 6 小時颱風中心的位置，圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

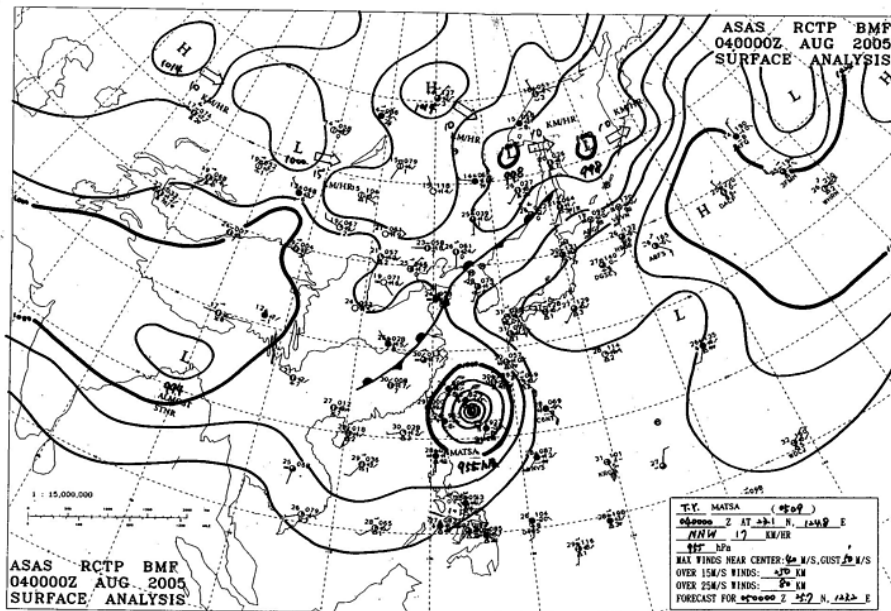


圖 2.10 2005 年 8 月 4 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。
 (圖片來源：文化大學劉清煌教授)

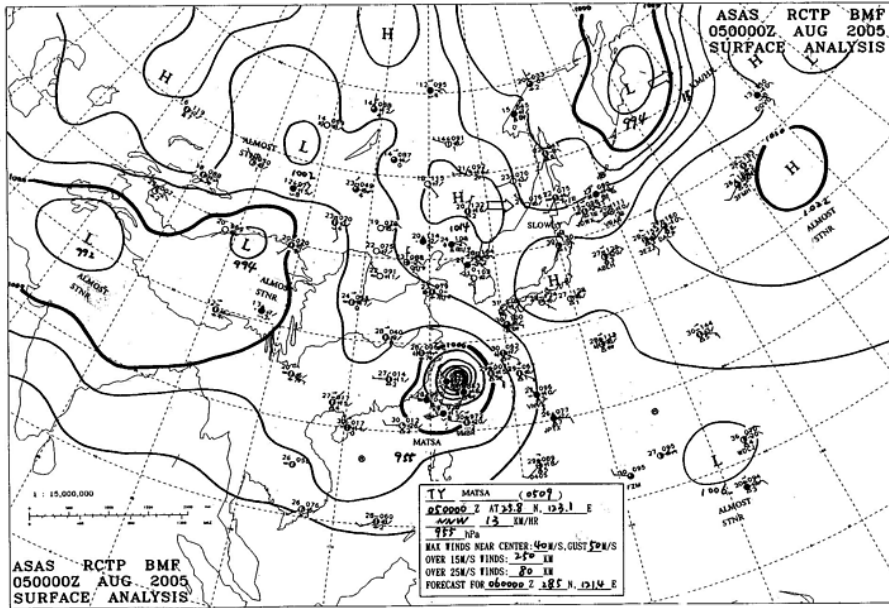


圖 2.11 2005 年 8 月 5 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

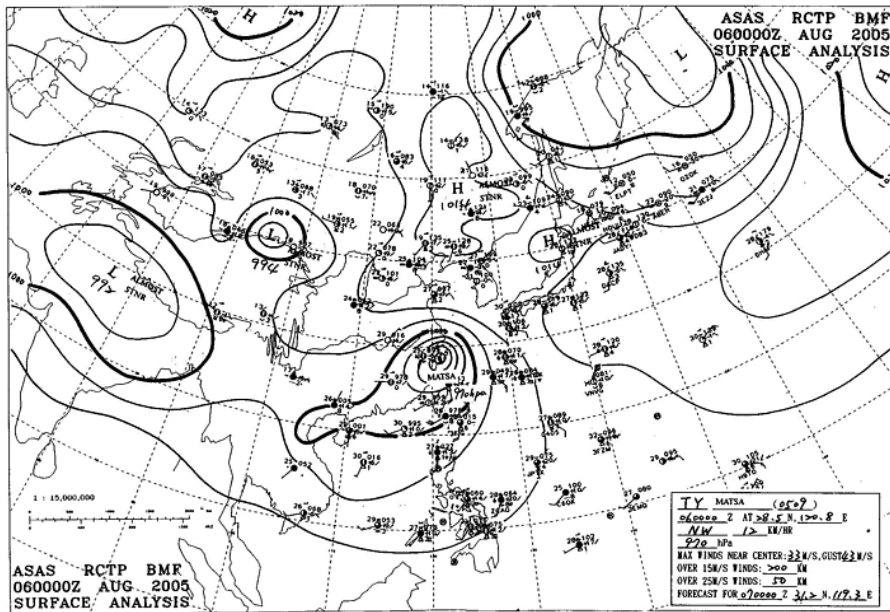


圖 2.12 2005 年 8 月 6 日 0000UTC 馬莎颱風地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

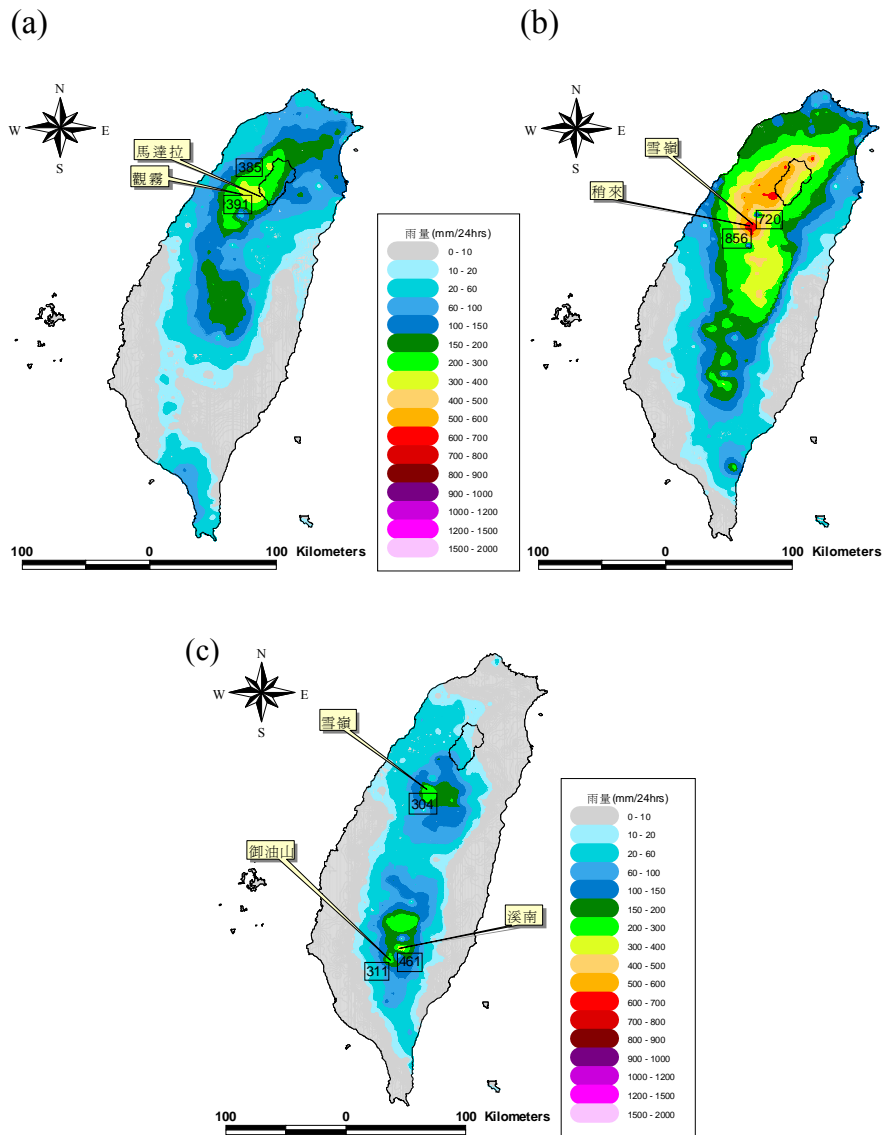


圖 2.13 馬莎全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 8 月 3 日 1200UTC~8 月 4 日 1200UTC, (b) 2005 年 8 月 4 日 1200UTC~8 月 5 日 1200UTC, (c) 2005 年 8 月 5 日 1200UTC~8 月 6 日 1200UTC。
(中間區域為霞雲集水區)

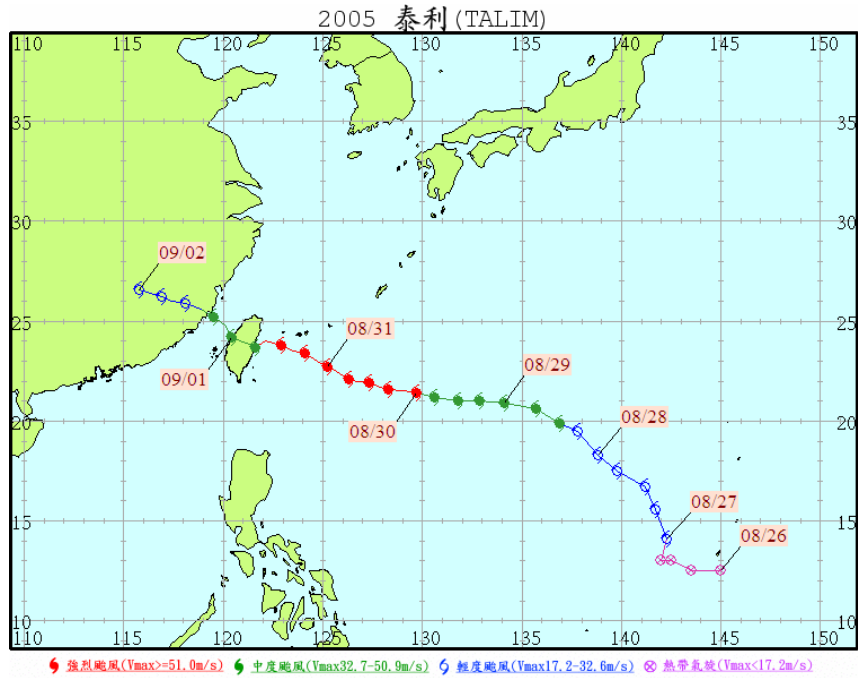


圖 2.14 2005 年 8 月 24 日 1800UTC~9 月 1 日 1800UTC 泰利颱風路徑圖。
 (每點表示為每 6 小時颱風中心的位置圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

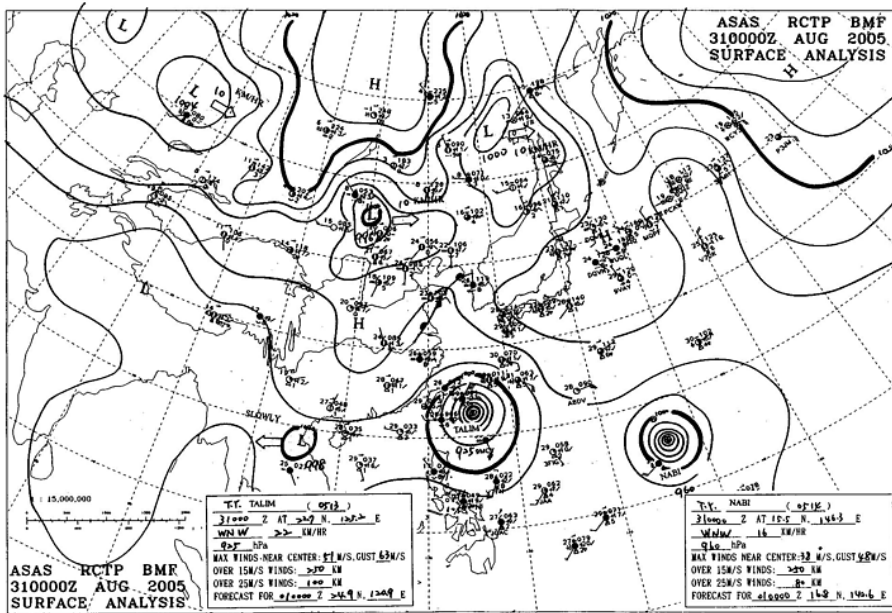


圖 2.15 2005 年 8 月 31 日 0000UTC 泰利颱風地面天氣圖。
 (圖片來源：文化大學劉清煌教授)

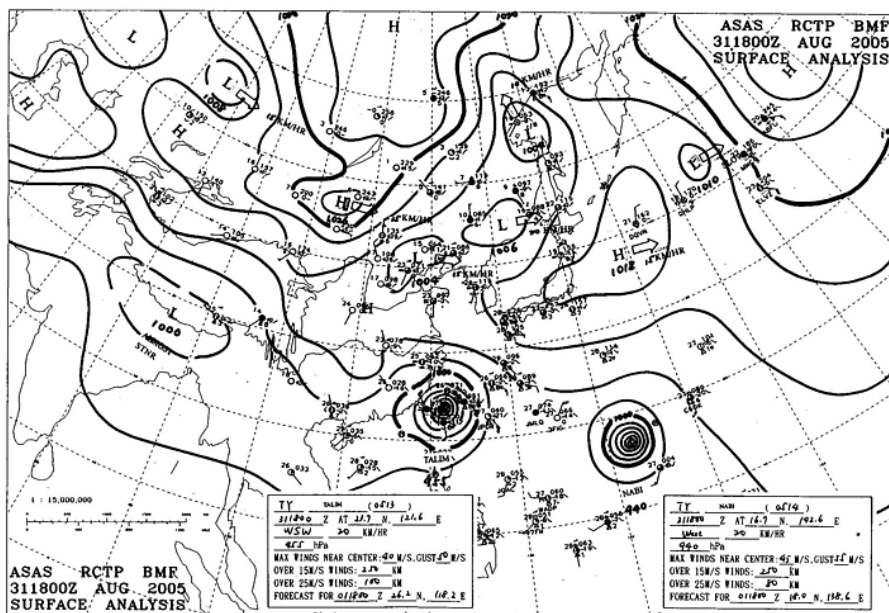


圖 2.16 2005 年 8 月 31 日 1800UTC 泰利颱風地面天氣圖。

(圖片來源：文化大學劉清煌教授)

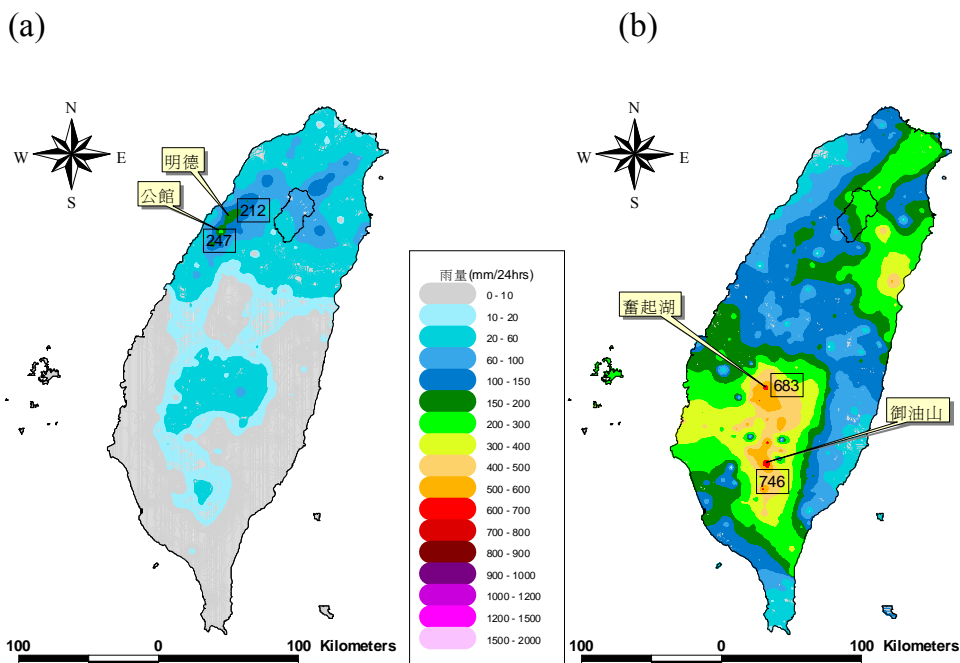


圖 2.17 泰利全台累積 24 小時雨量圖(a)2005 年 8 月 30 日 1200UTC~8 月 31 日 1200UTC，(b)2005 年 8 月 31 日 1200UTC~9 月 1 日 1200UTC。
(中間區域為霞雲集水區)

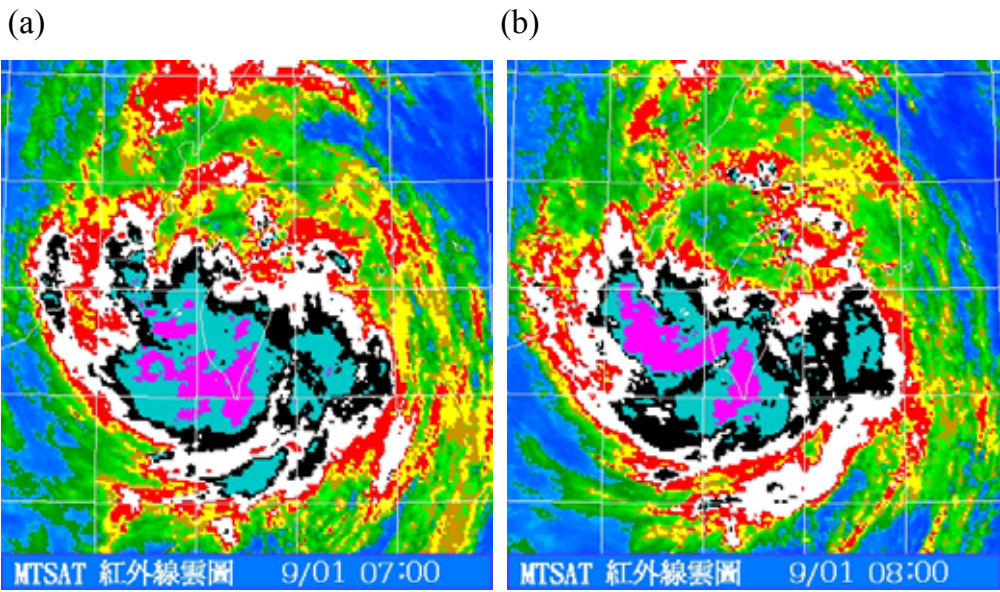


圖 2.18 泰利紅外線雲圖(a)2005 年 8 月 30 日 2300UTC，(b)2005 年 9 月 1 日 0000UTC。

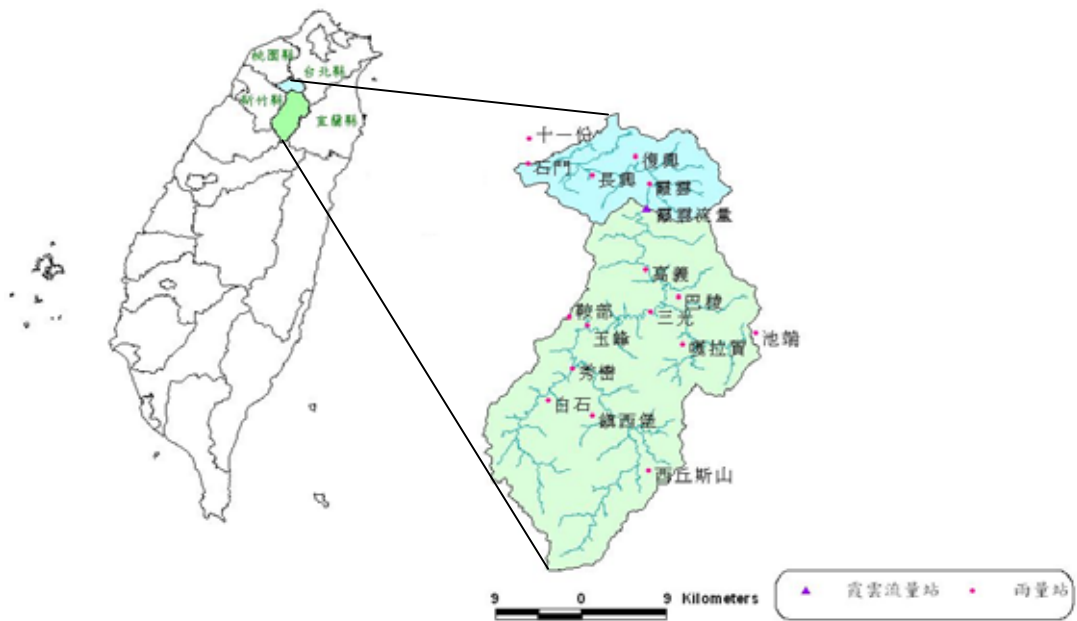


圖 3.1 石門水庫集水區之雨量站及流量站位置。

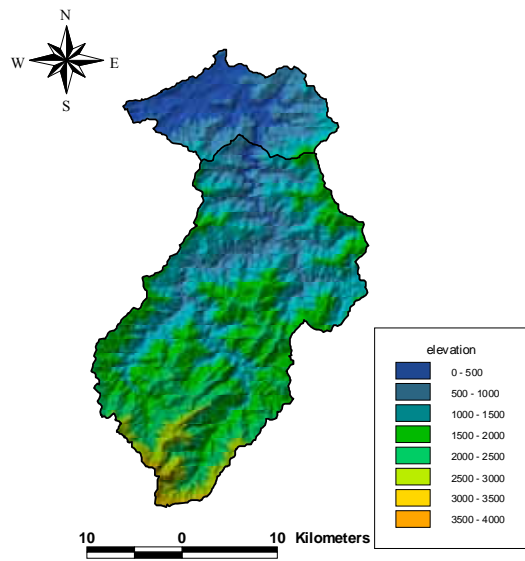


圖 3.2 石門水庫高程分佈圖。

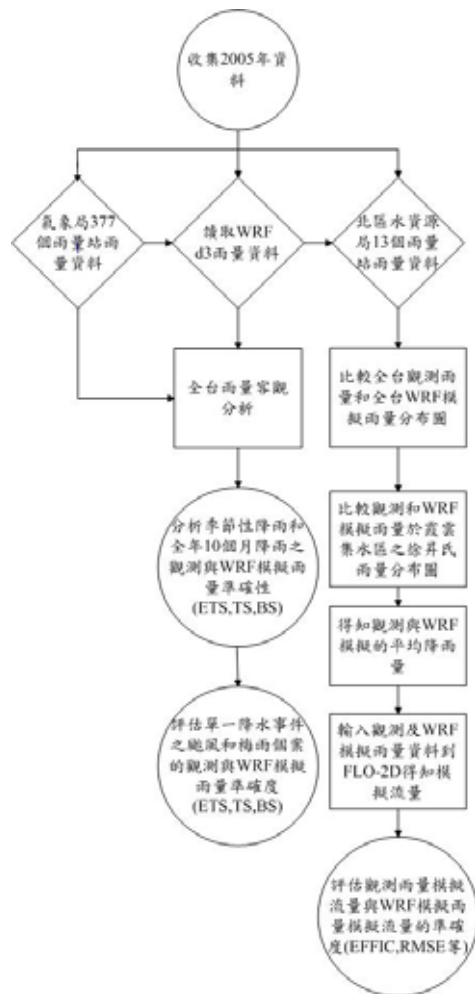


圖 4.1 研究方法流程圖。

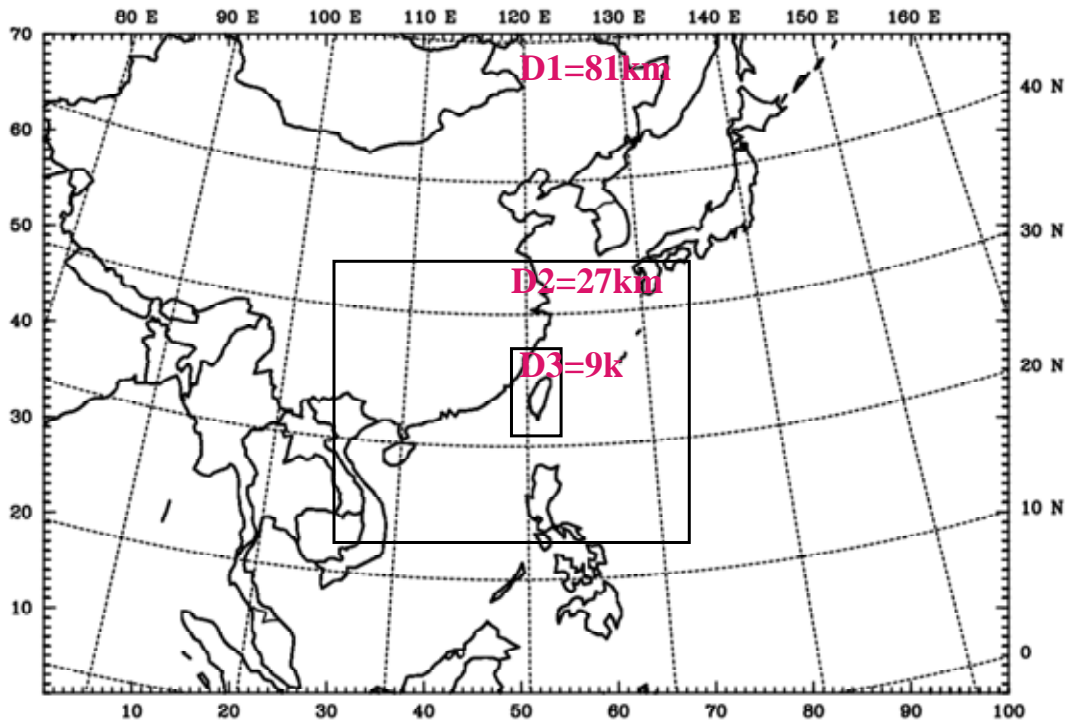


圖 4.2 氣象模式 WRF 模擬的範圍劃分為三層巢狀網格—D1、D2、D3。

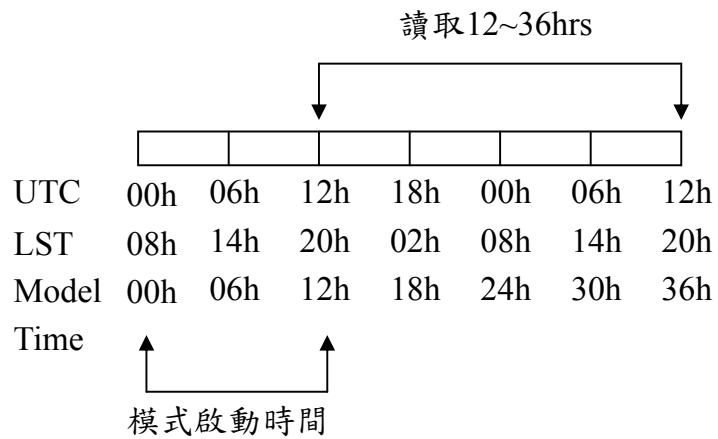


圖 4.3 讀取 WRF12~36 小時的每六小時累積雨量方法。

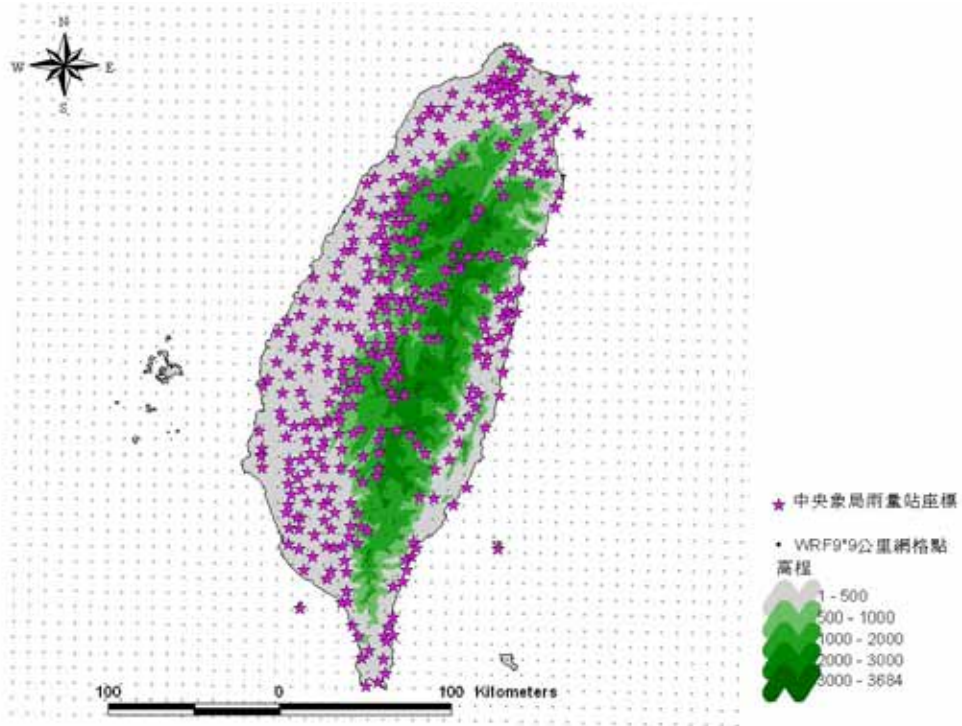


圖 4.4 全台觀測雨量站和 WRF 模式細網域(D3)9×9 公里網格點分佈圖。

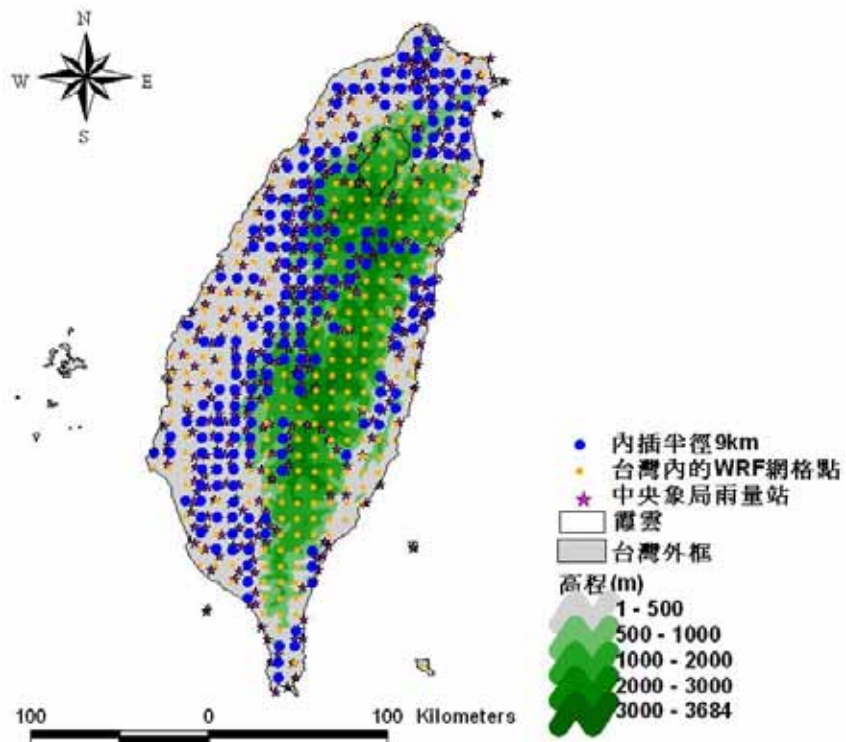


圖 4.5 客觀分析後全台共有 196 個雨量校驗點(藍色圓點)。

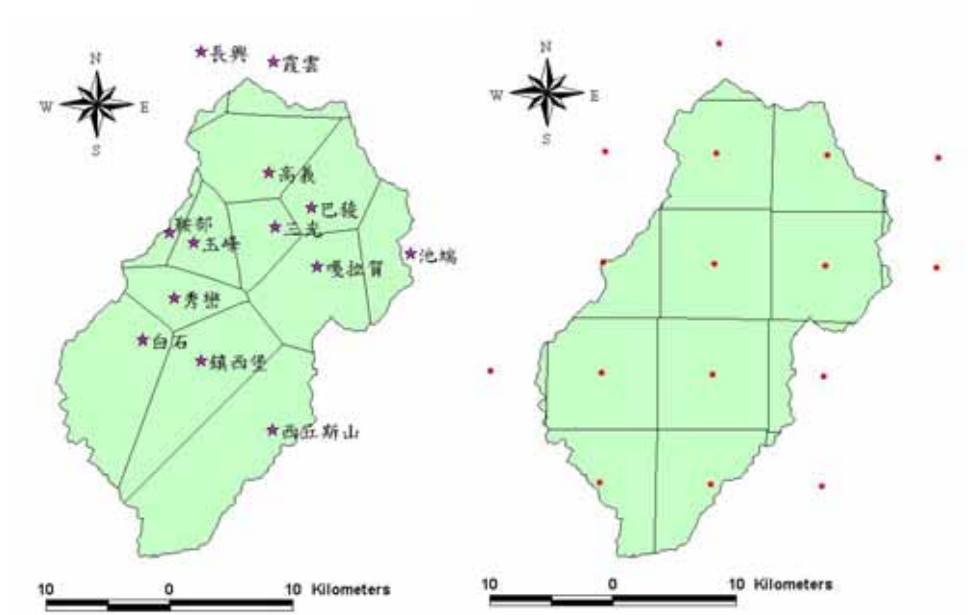


圖 4.6 集水區之徐昇式多邊形網格。
 (左圖為觀測雨量資料，星號為雨量站，右圖為 WRF 模式雨量資料，
 紅點為網格點。)

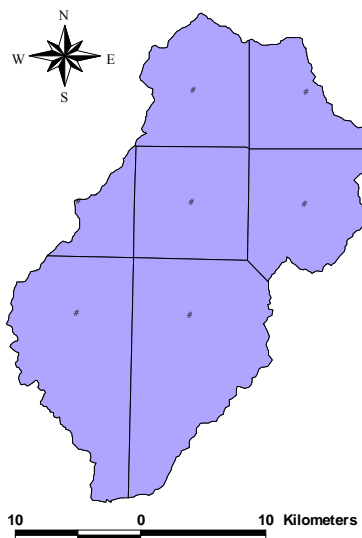


圖 4.7 客觀分析後集水區之徐昇式多邊形網格，共有 7 個雨量校驗點。

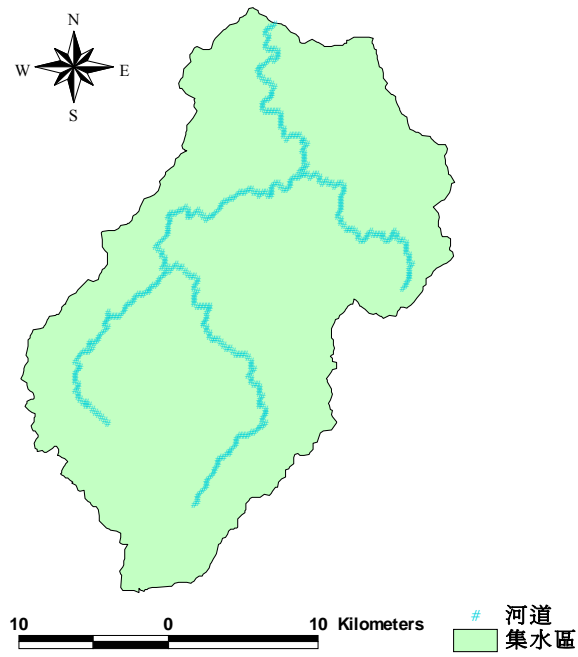


圖 4.8 石門水庫霞雲站上游集水區模式河道分佈圖，共有 382 個網格數。

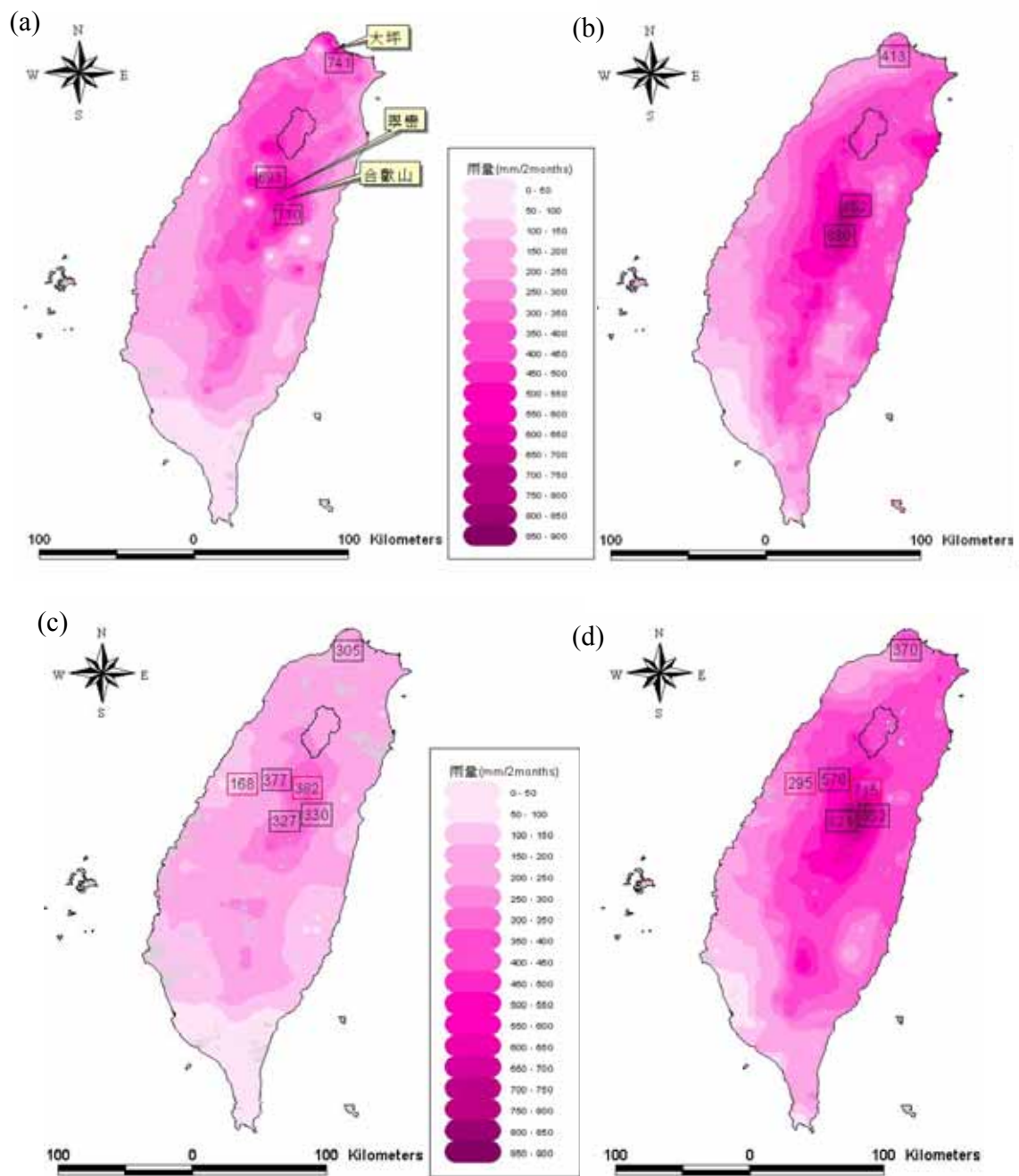


圖 5.1 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a) 中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。
(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

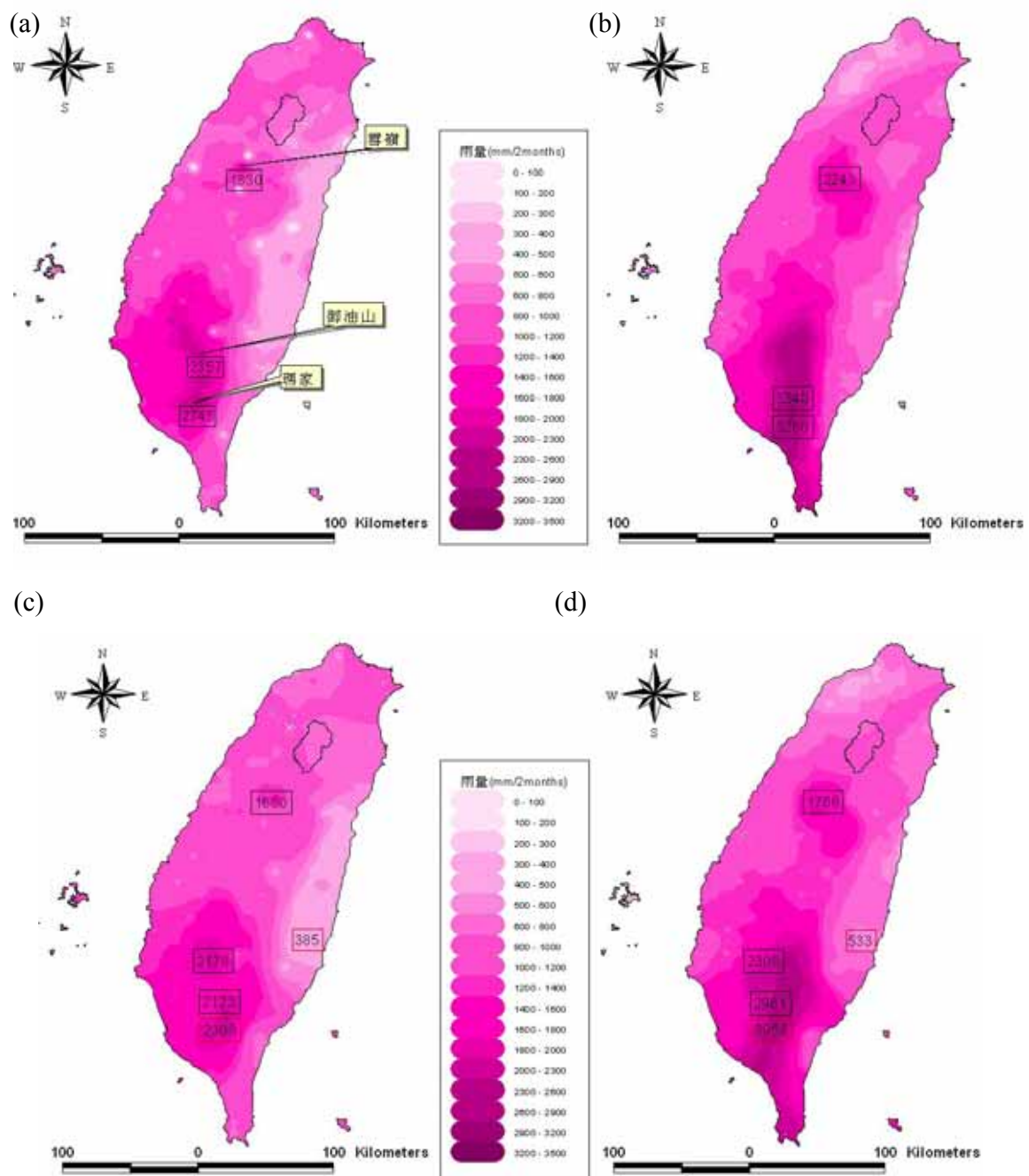


圖 5.2 2005 年 5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a) 中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。
 (中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

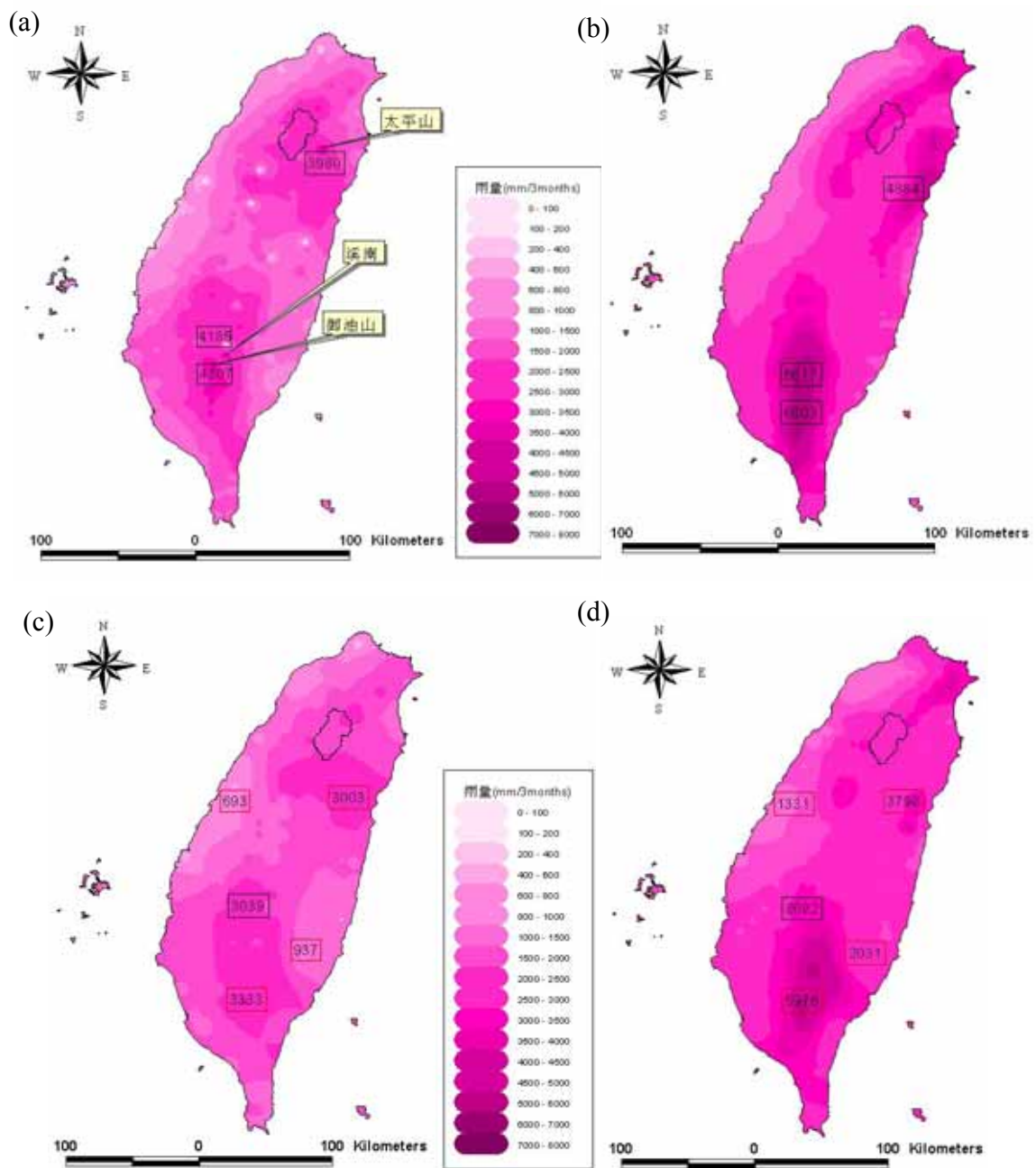


圖 5.3 2005 年 7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，(a) 中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。
 (中間區域為震雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

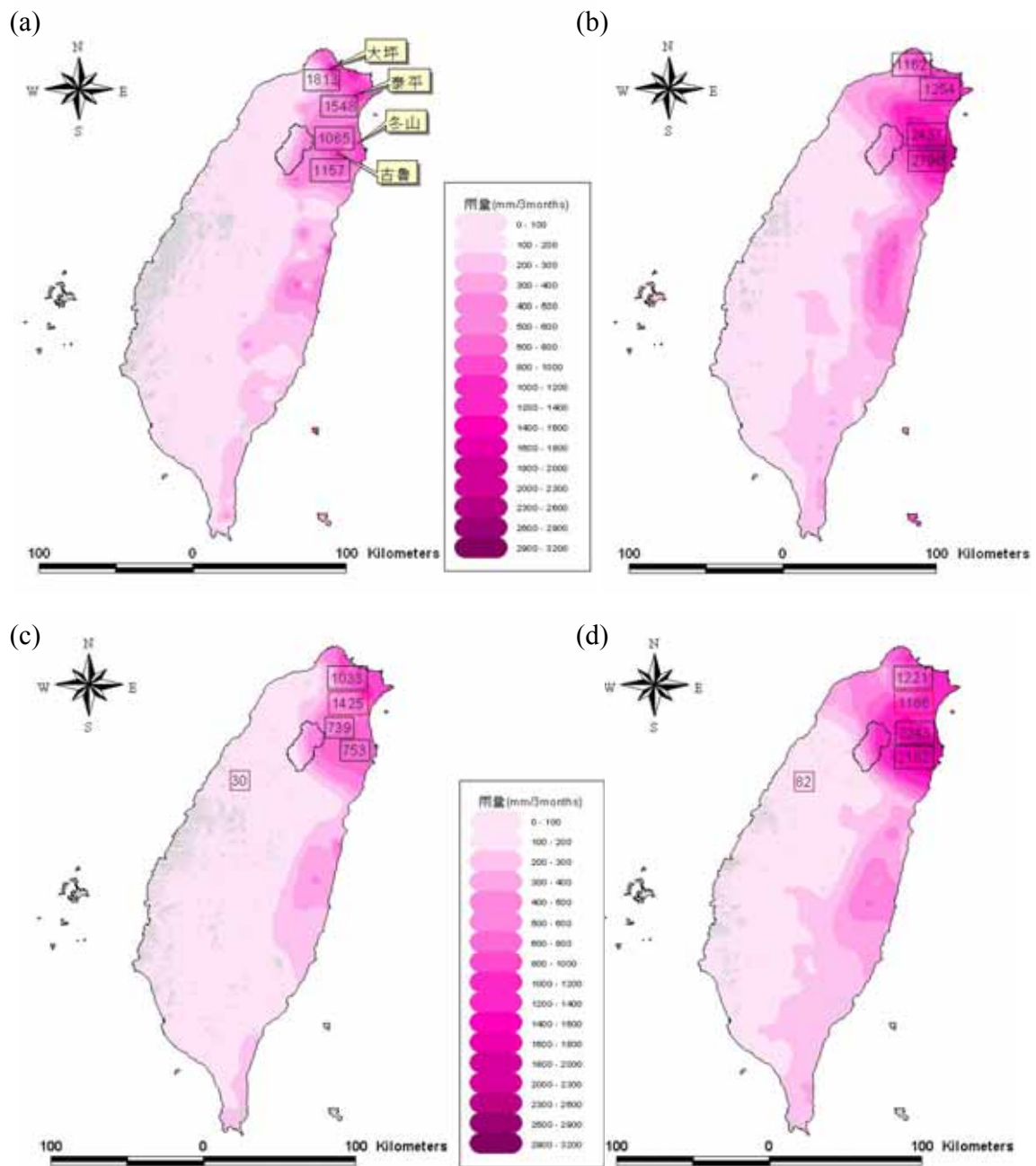


圖 5.4 2005 年 10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 全台累積降雨分佈圖，
 (a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c)客觀分析後之
 觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。
 (中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小
 值。)

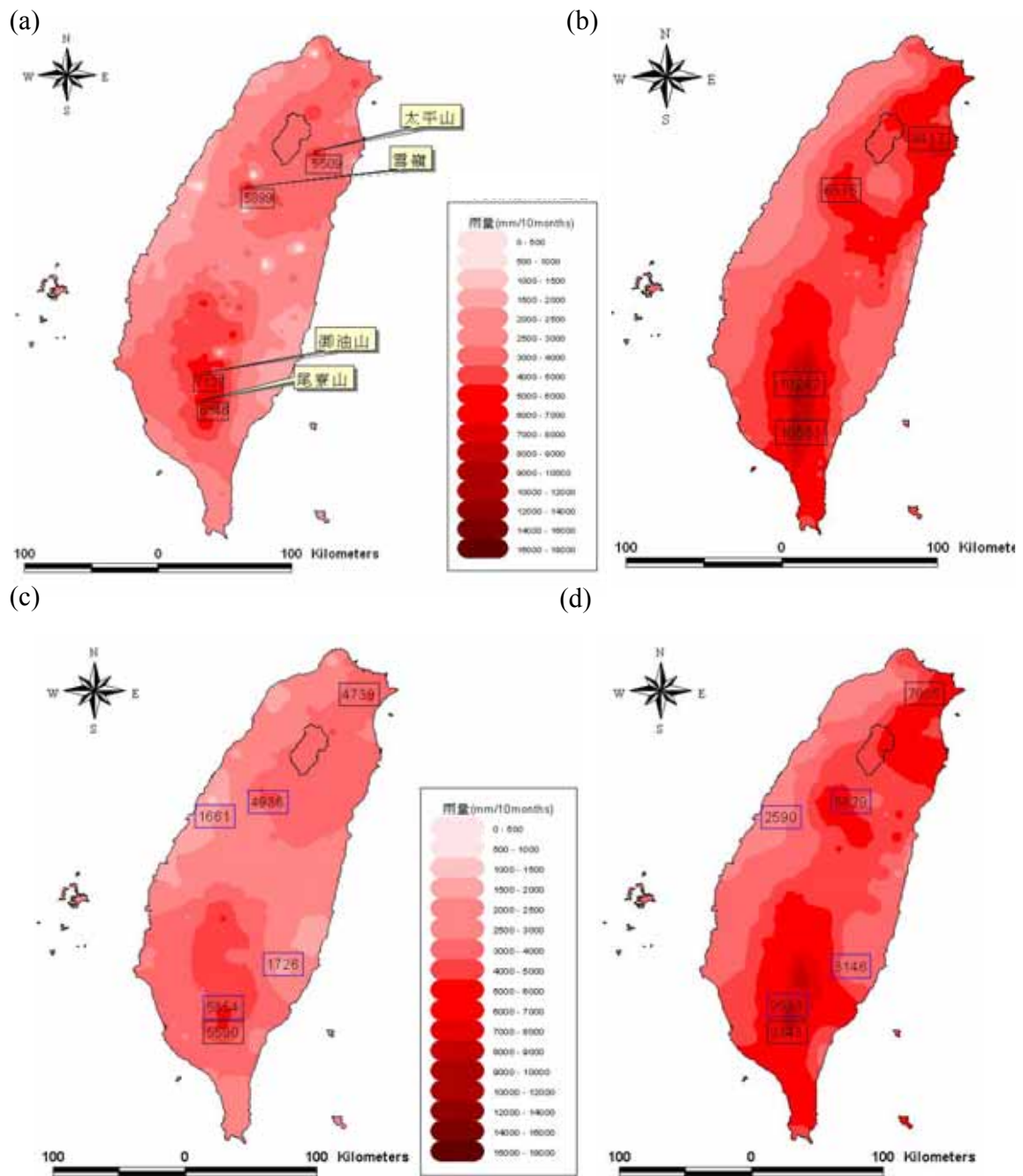
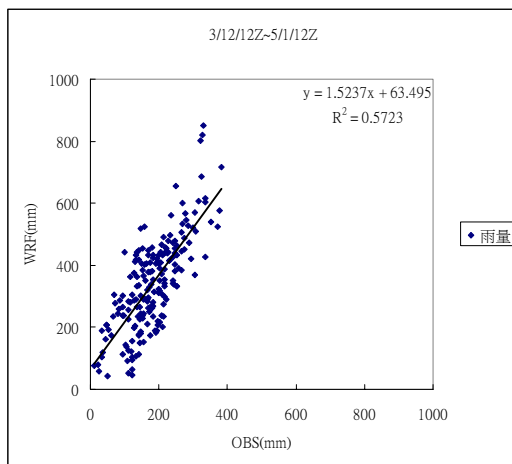
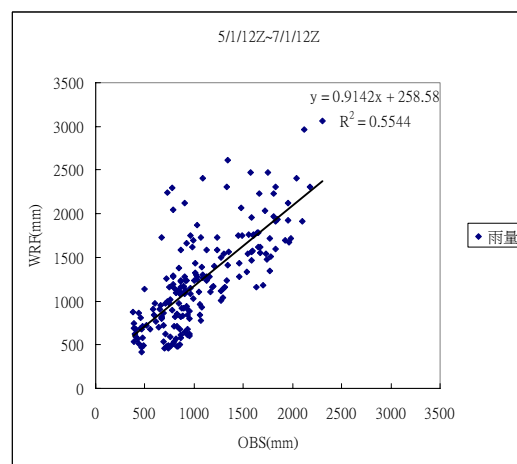


圖 5.5 2005 年 3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC 之 10 個月全台累積降雨分佈圖。(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量(c) 客觀分析後之觀測雨量，(d) WRF 模式之客觀分析雨量。
(中間區域為霞雲集水區，藍框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

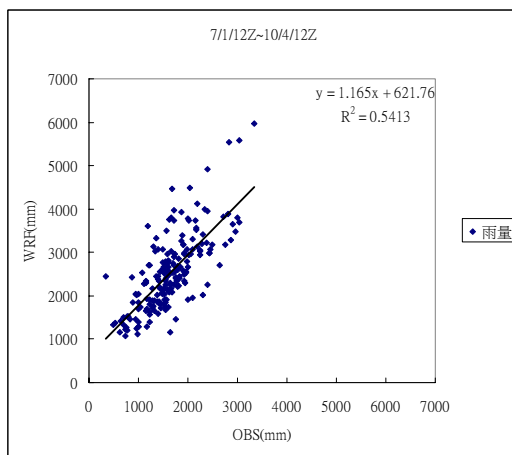
(a)



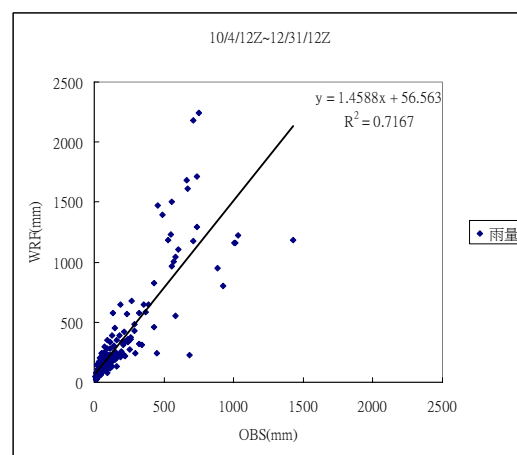
(b)



(c)



(d)



(continued).

(e)

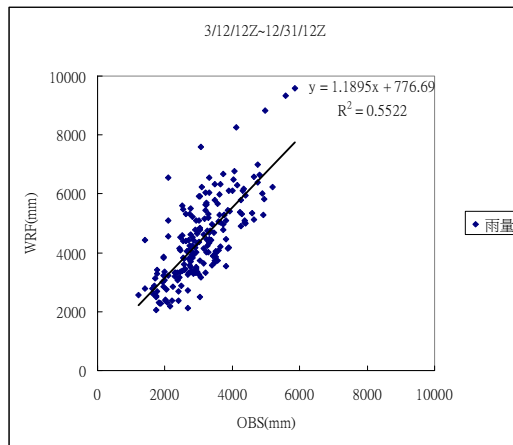
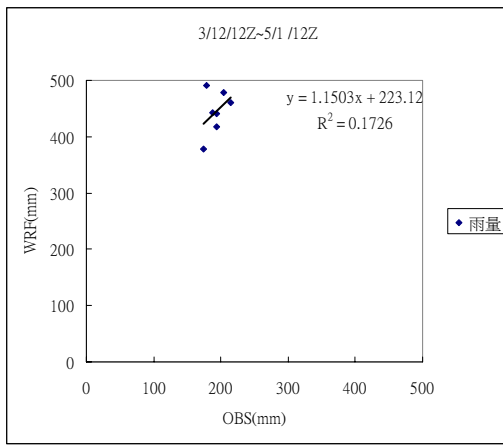
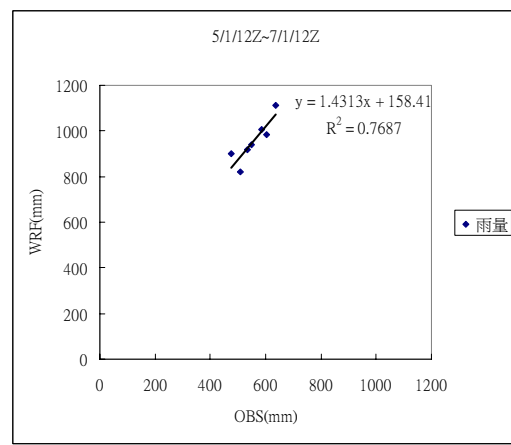


圖 5. 6 經客觀分析後之觀測雨量與 WRF 模擬雨量各季節降水和全年 10 個月降水之全台雨量相關係數分析圖。(a)3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC，(b)5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC，(c)7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC，(d)10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC，(e)3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC。

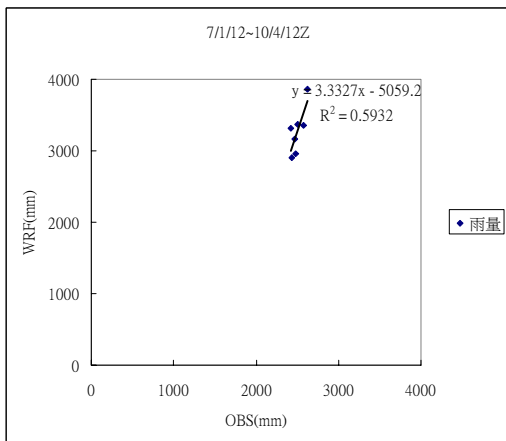
(a)



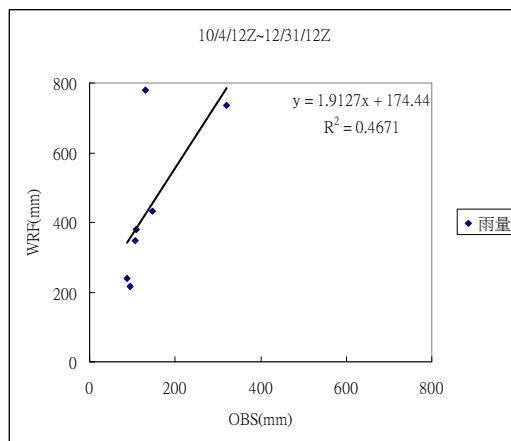
(b)



(c)



(d)



(continued).

(e)

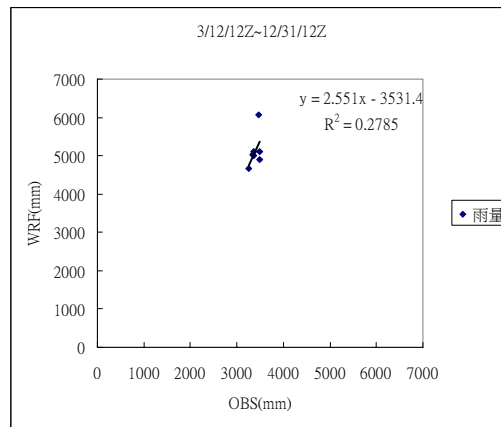
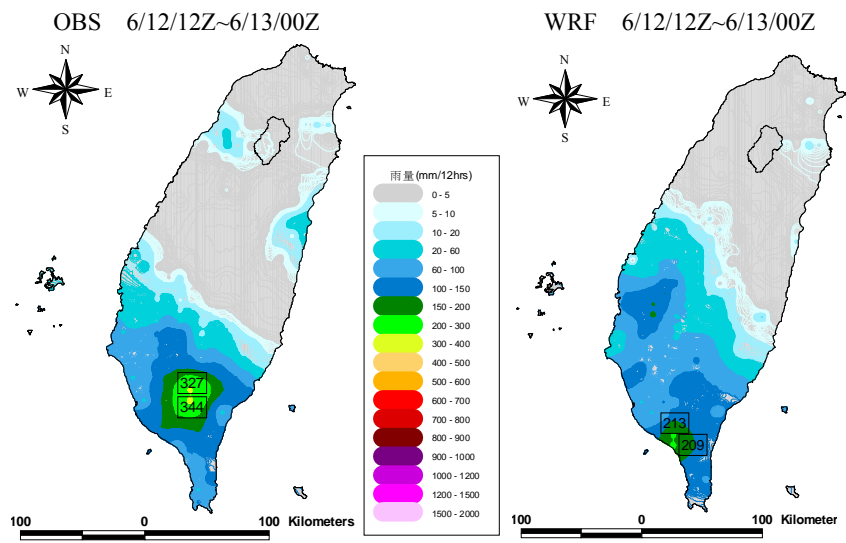
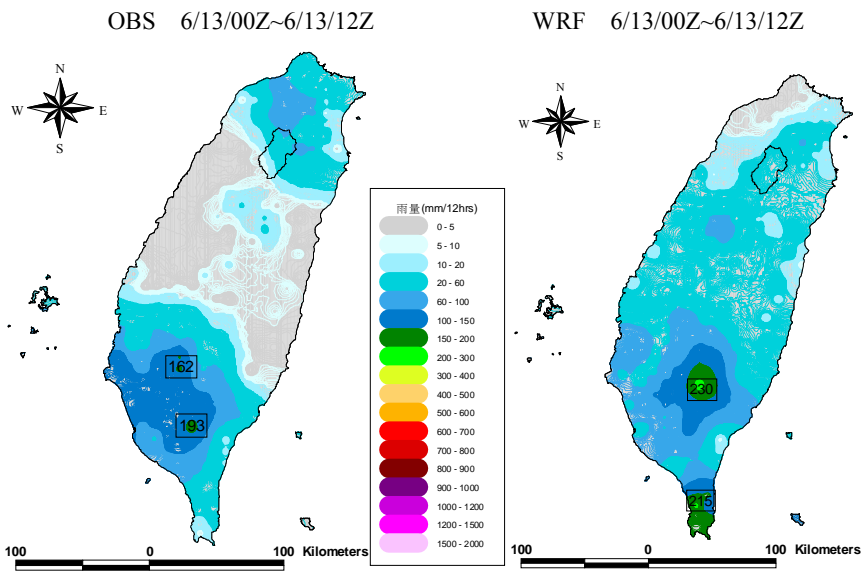


圖 5.7 經客觀分析後之觀測雨量與 WRF 模擬雨量各季節降水和全年 10 個月降水之集水區雨量相關係數分析圖。(a)3 月 12 日 1200UTC 至 5 月 1 日 1200UTC，(b)5 月 1 日 1200UTC 至 7 月 1 日 1200UTC，(c)7 月 1 日 1200UTC 至 10 月 4 日 1200UTC，(d)10 月 4 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC，(e)3 月 12 日 1200UTC 至 12 月 31 日 1200UTC。

(a)

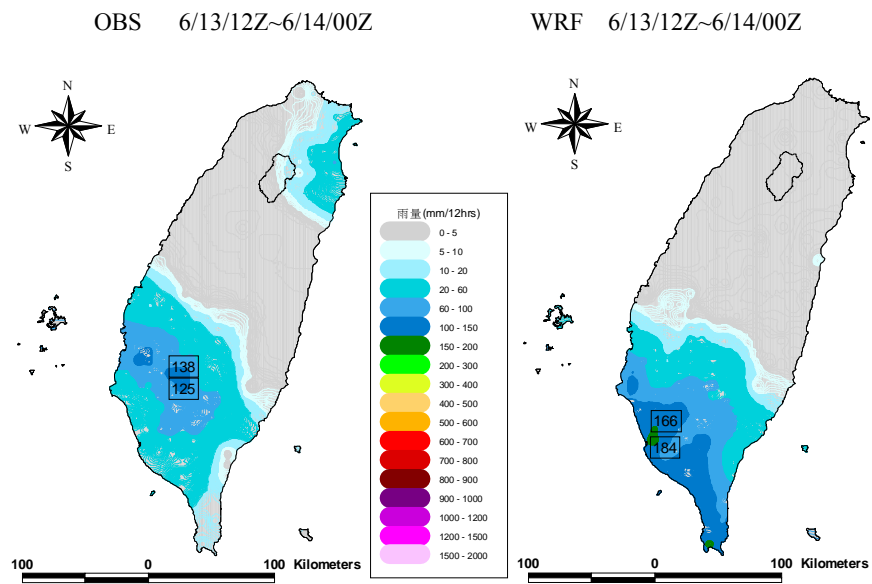


(b)

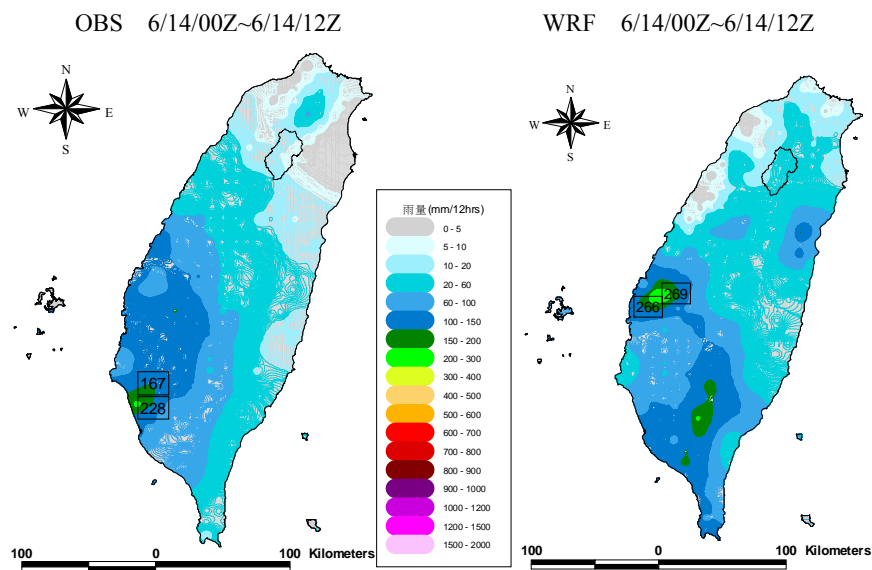


(continued).

(c)

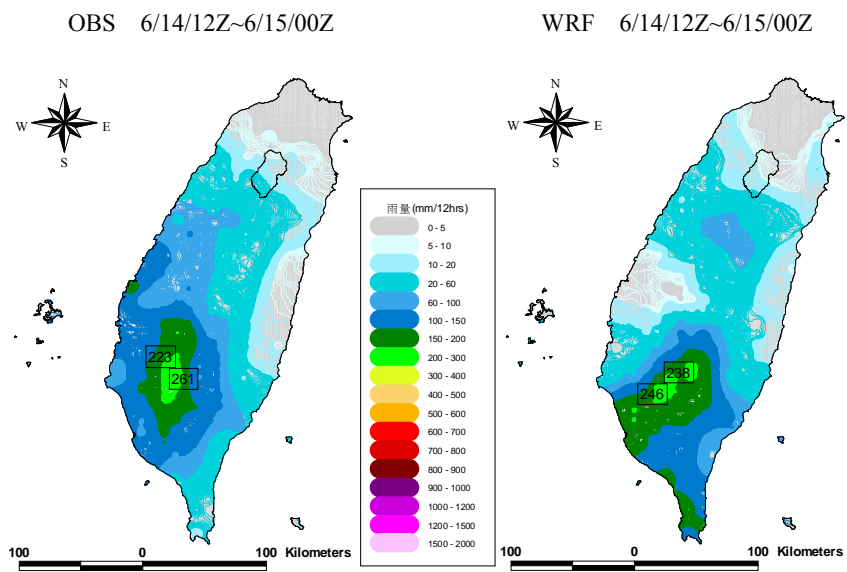


(d)

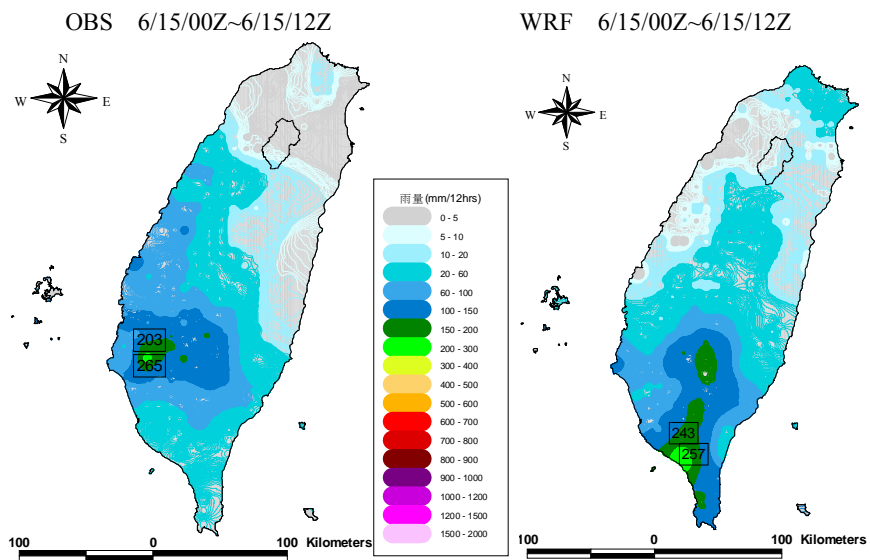


(continued).

(e)

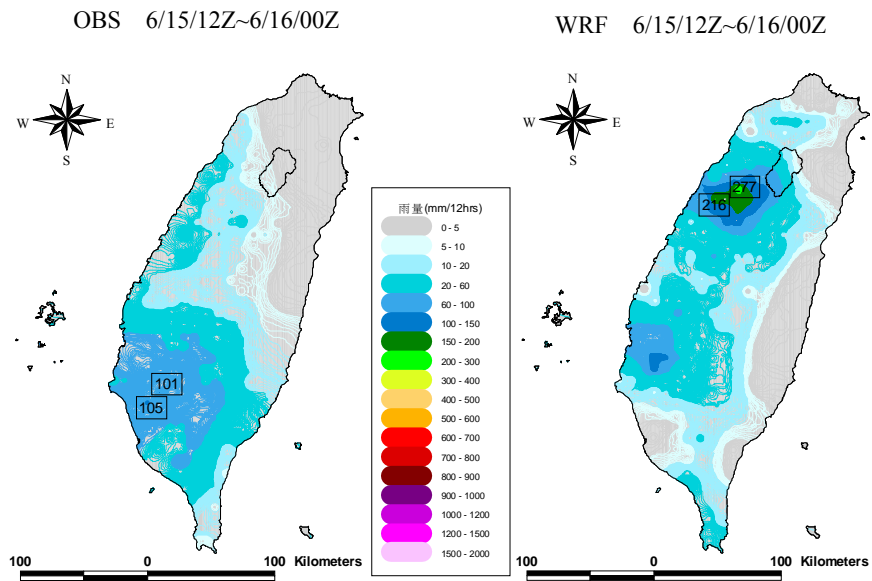


(f)



(continued).

(g)



(h)

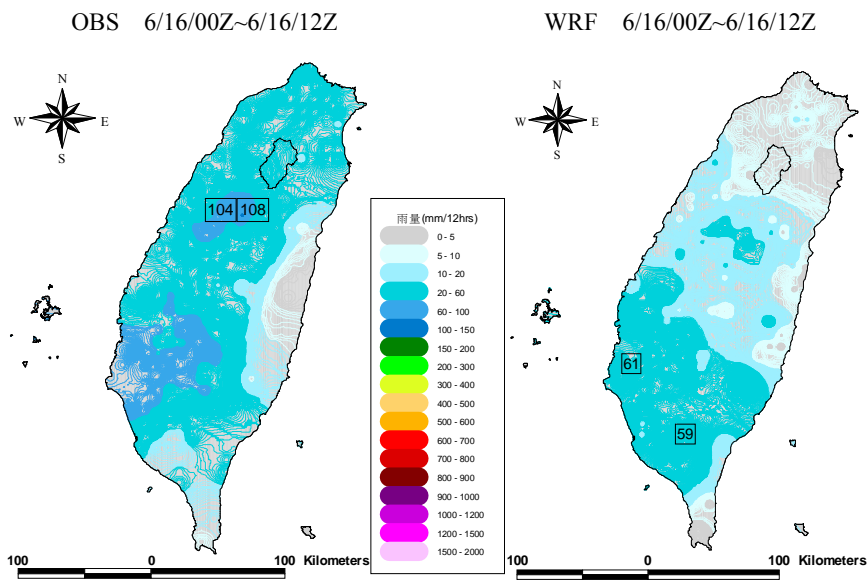
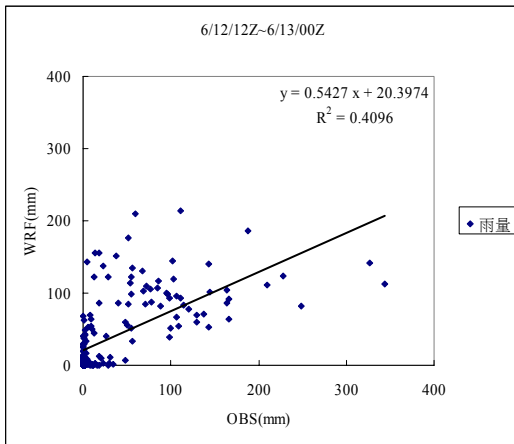
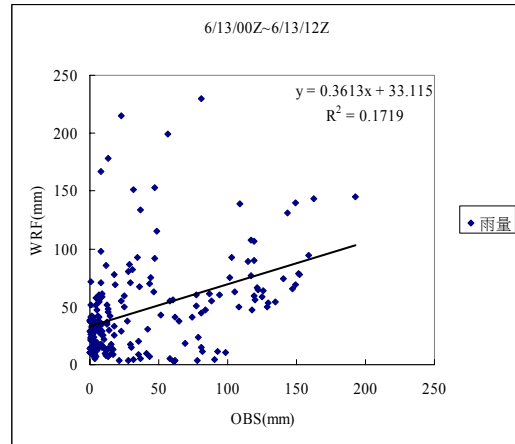


圖 6.1 梅雨於觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 6/12/12Z~6/13/00Z ; (b) 6/13/00Z~6/13/12Z ; (c) 6/13/12Z ~ 6/14/00Z ; (d) 6/14/00Z ~6/14/12Z ; (e)6/14/12Z~6/15/00Z ; (f)6/15/00Z~6/15/12Z ; (g)6/15/12Z~6/16/00Z ; (h)6/16/00Z~6/16/12Z 。

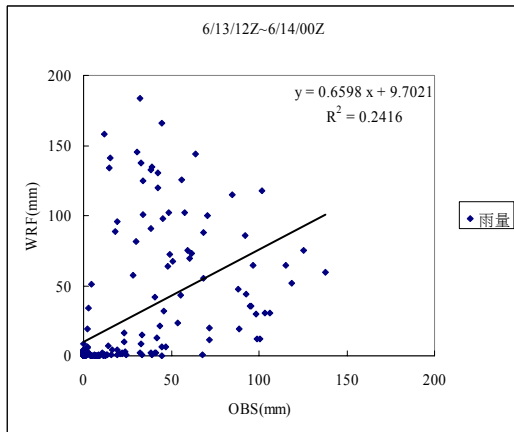
(a)



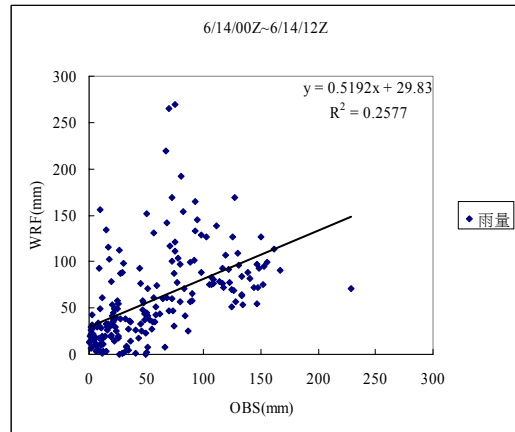
(b)



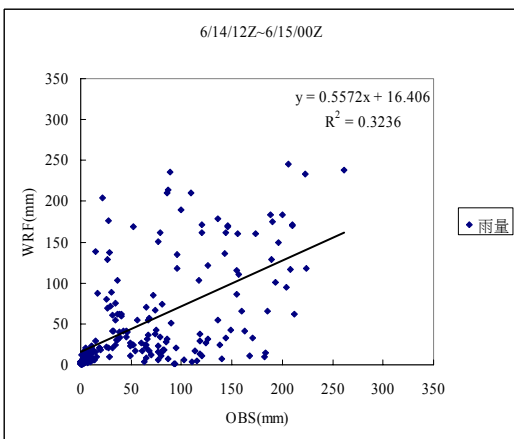
(c)



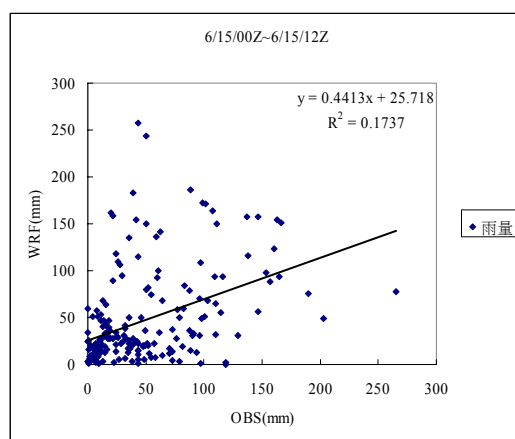
(d)



(e)

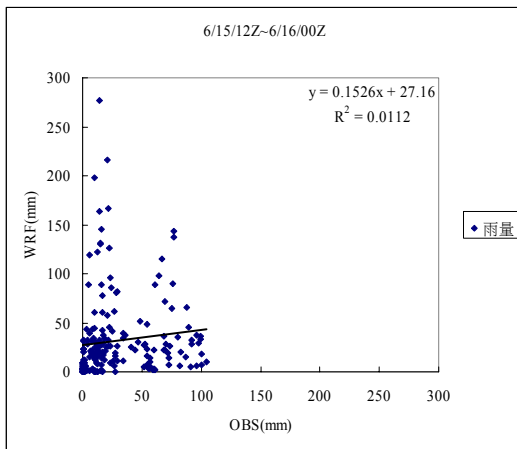


(f)



(continued).

(g)



(h)

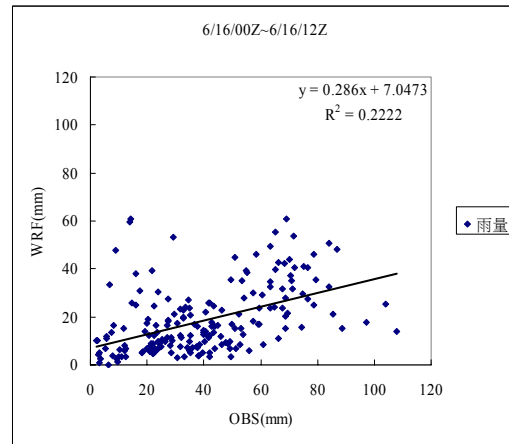
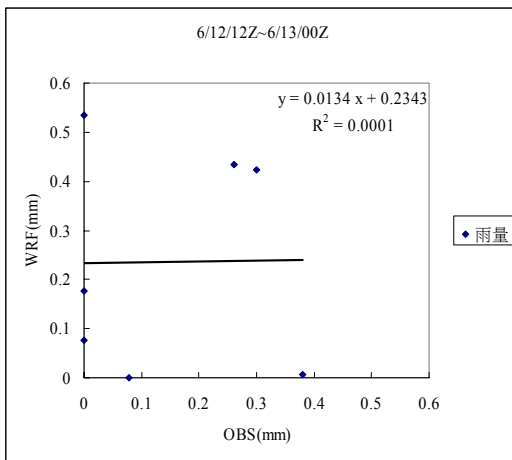
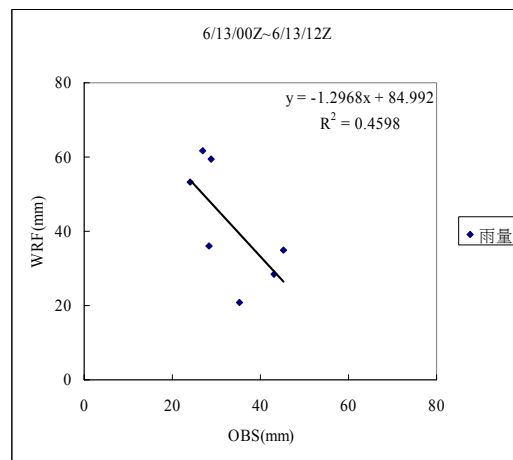


圖 6.2 梅雨每 12 小時之客觀分析後全台觀測雨量與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a)6/12/12Z~6/13/00Z；(b)6/13/00Z~6/13/12Z；(c)6/13/12Z~6/14/00Z；(d)6/14/00Z~6/14/12Z；(e)6/14/12Z~6/15/00Z；(f)6/15/00Z~6/15/12Z；(g)6/15/12Z~6/16/00Z；(h)6/16/00Z~6/16/12Z。

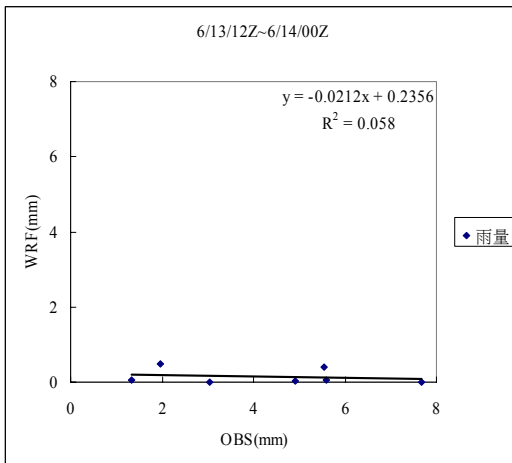
(a)



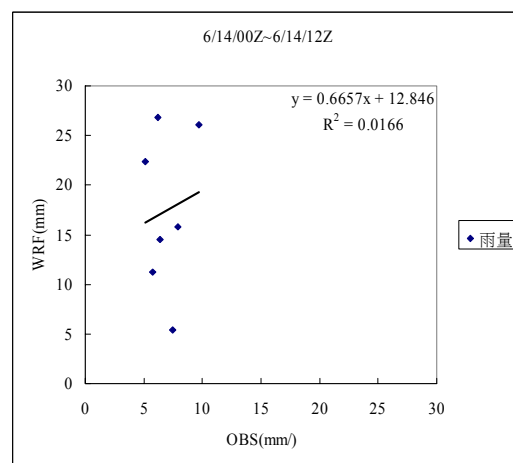
(b)



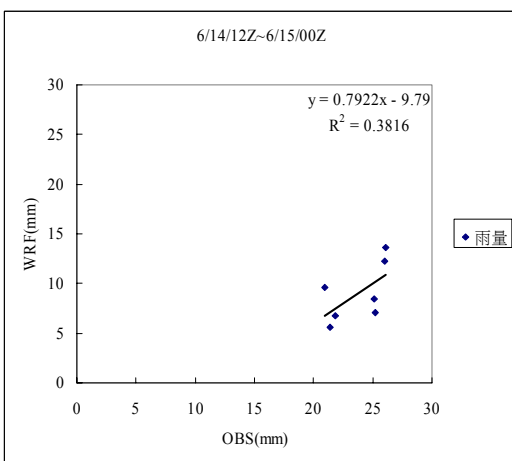
(c)



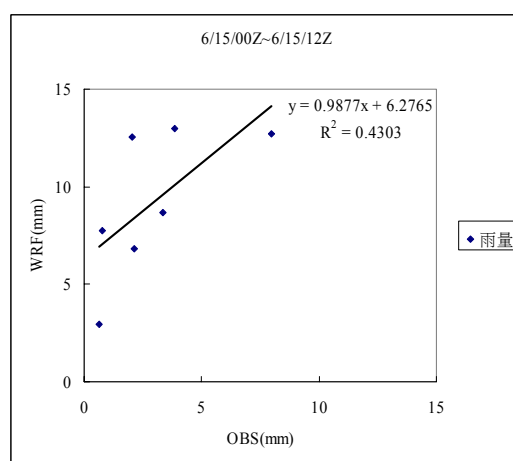
(d)



(e)

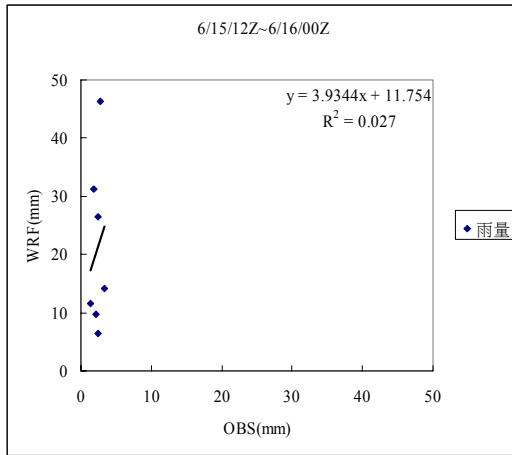


(f)



(continued).

(g)



(h)

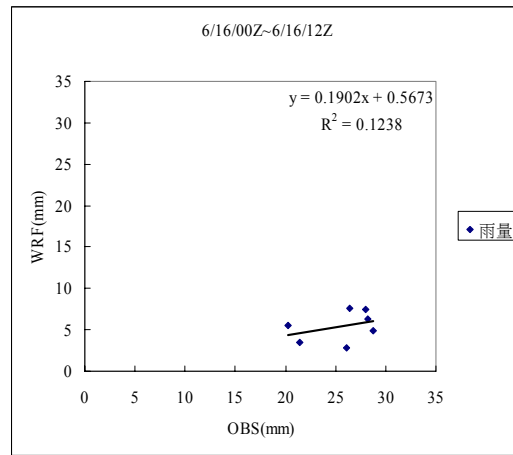
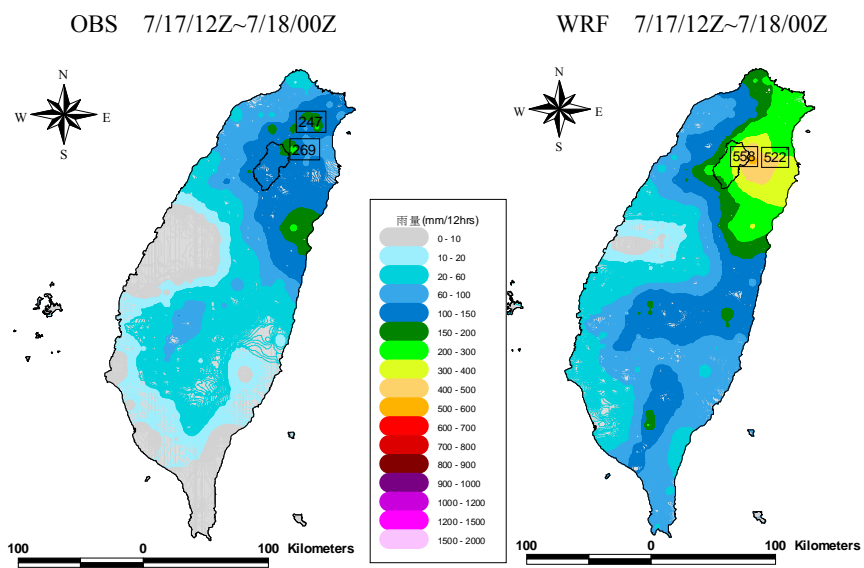
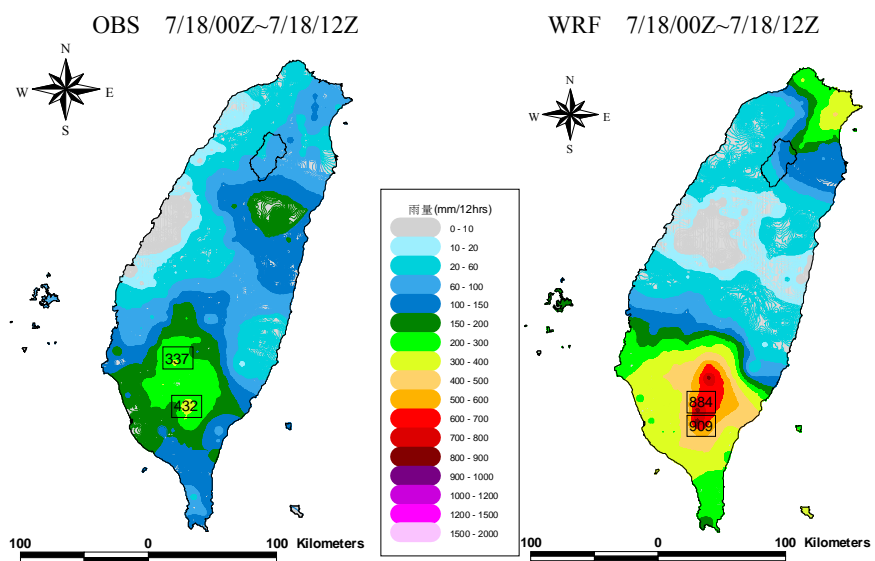


圖 6.3 梅雨於集水區每 12 小時之客觀分析後觀測雨量與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 6/12/12Z~6/13/00Z；(b) 6/13/00Z~6/13/12Z；(c) 6/13/12Z~6/14/00Z；(d) 6/14/00Z~6/14/12Z；(e) 6/14/12Z~6/15/00Z；(f) 6/15/00Z~6/15/12Z；(g) 6/15/12Z~6/16/00Z；(h) 6/16/00Z~6/16/12Z。

(a)

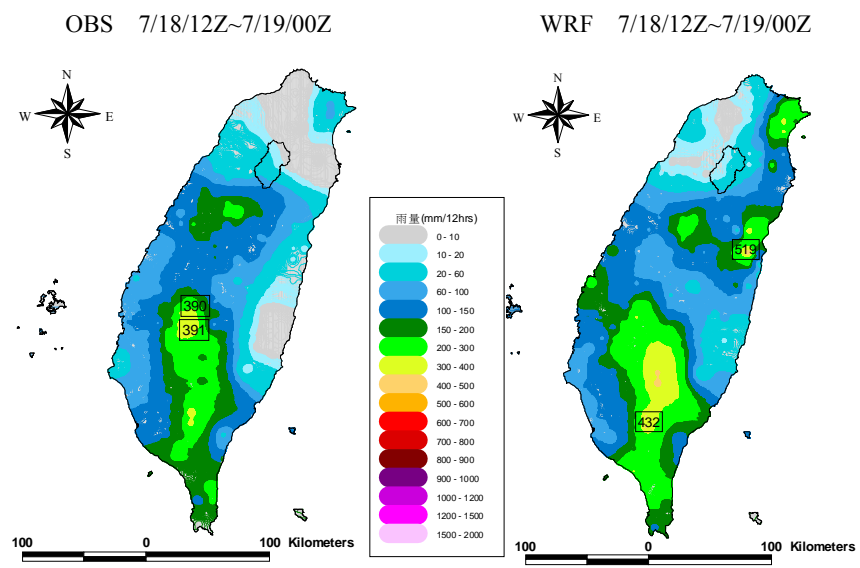


(b)

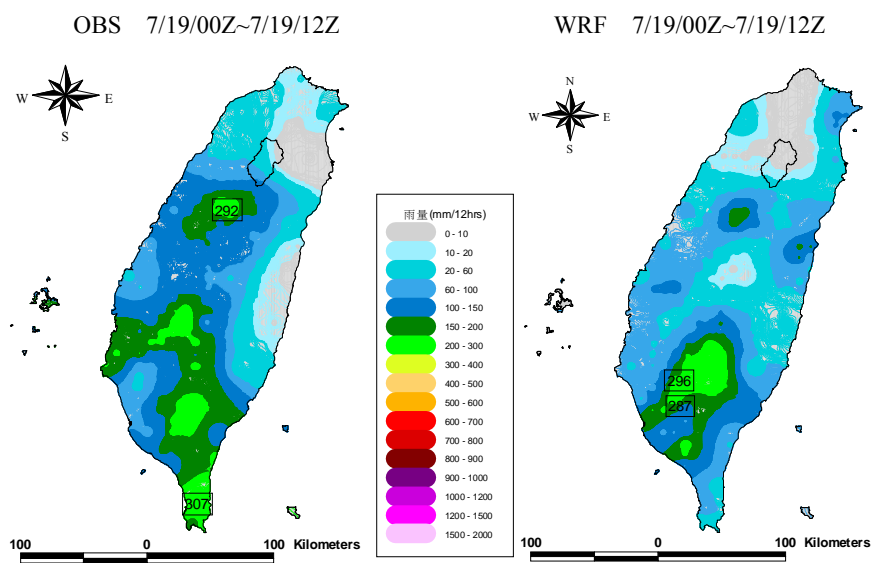


(continued).

(c)

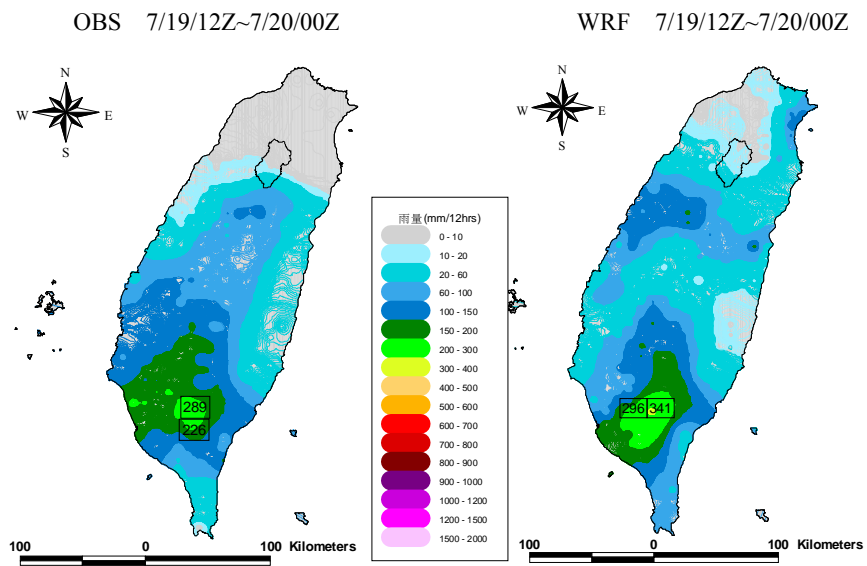


(d)



(continued).

(e)



(f)

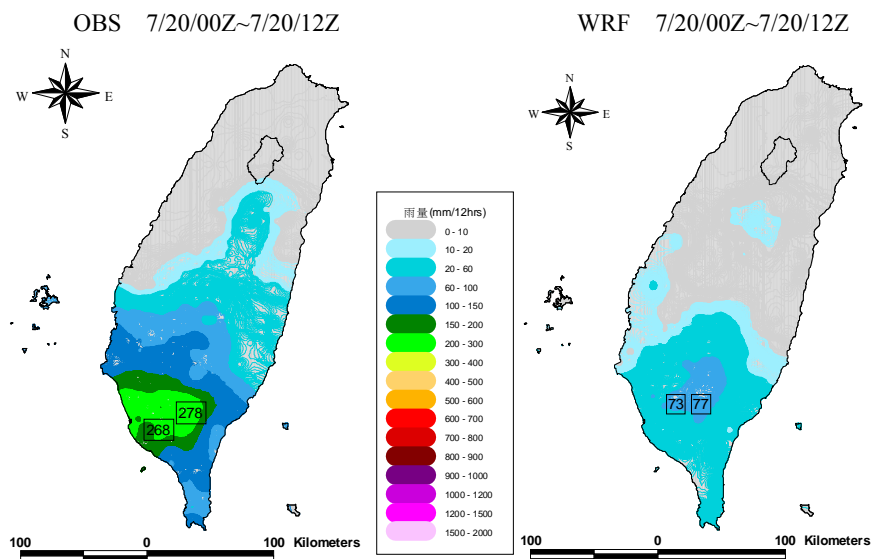


圖 6.4 海棠颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z；(b) 7/18/00Z~7/18/12Z；(c) 7/18/12Z~7/19/00Z；(d)7/19/00Z~7/19/12Z；(e) 7/19/12Z~7/20/00Z；(f) 7/20/00Z~7/20/12Z。

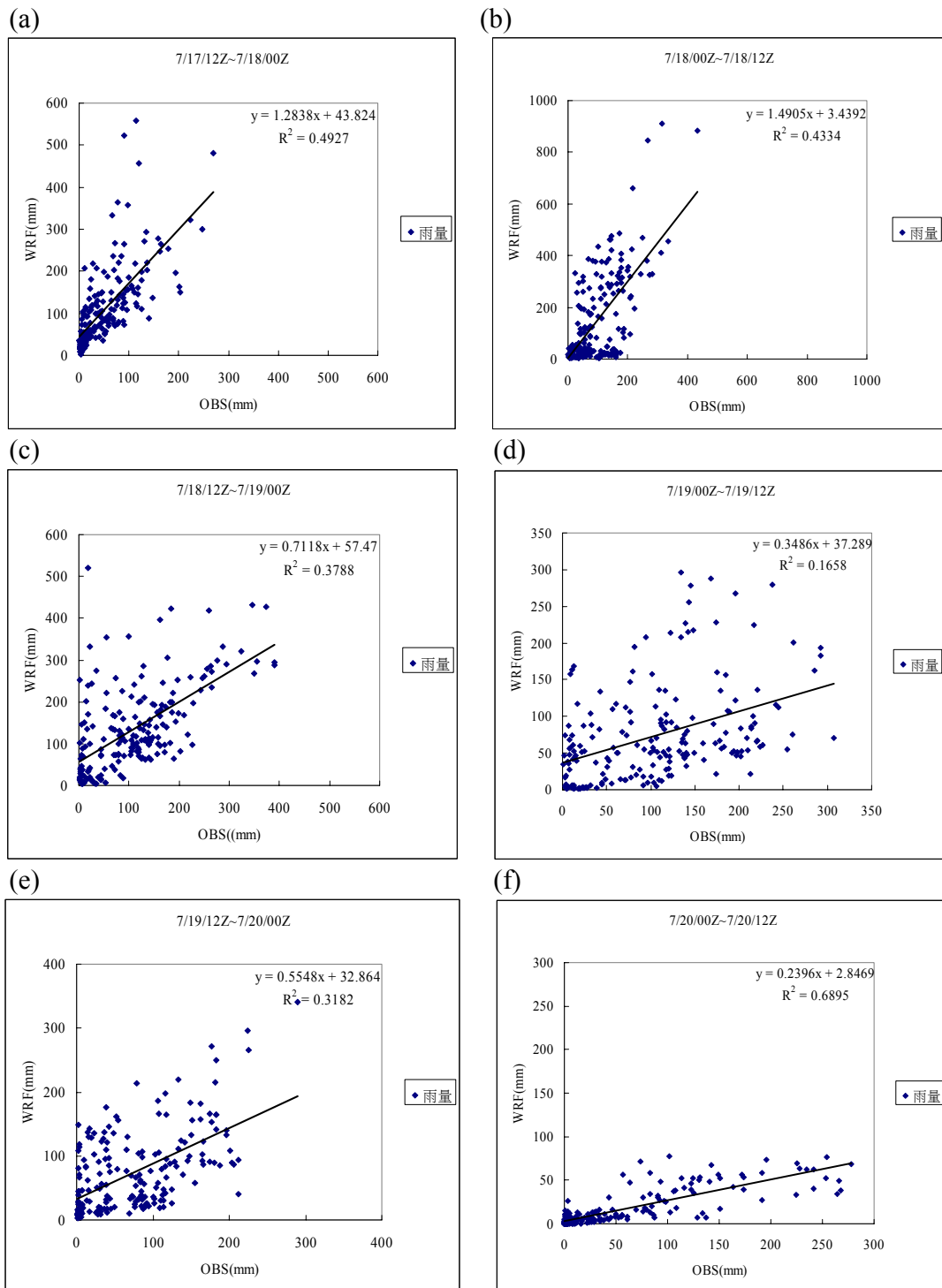


圖 6.5 海棠於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z ; (b) 7/18/00Z~7/18/12Z ; (c) 7/18/12Z~7/19/00Z ; (d)7/19/00Z~7/19/12Z ; (e) 7/19/12Z~7/20/00Z ; (f) 7/20/00Z~7/20/12Z 。

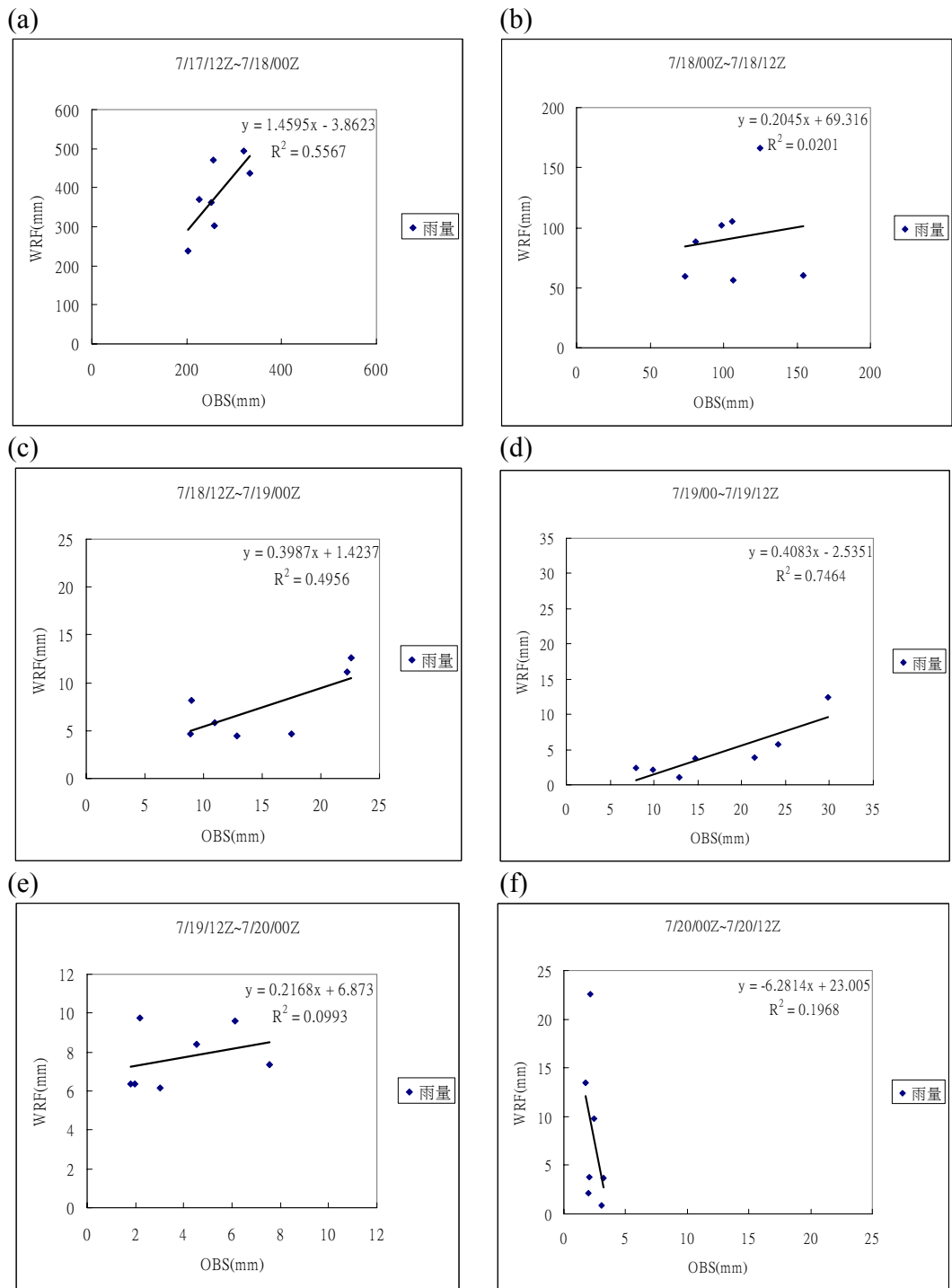
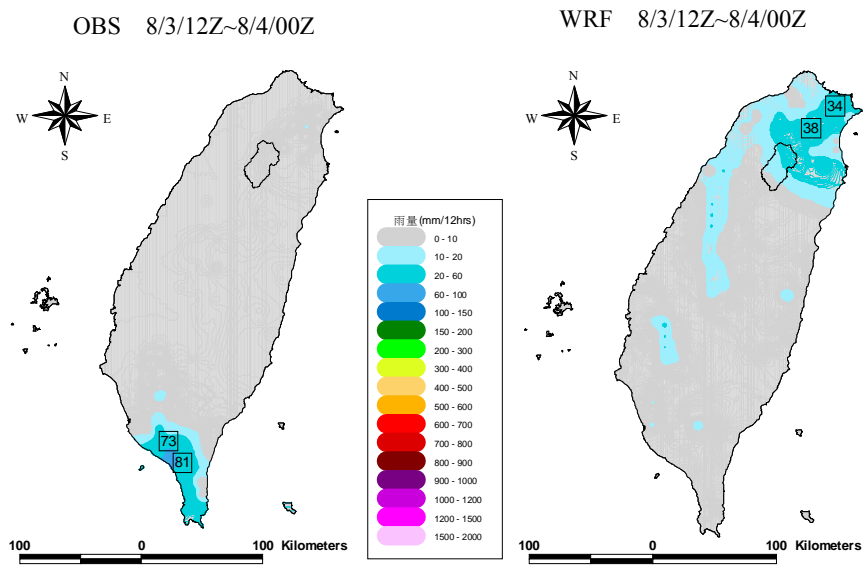
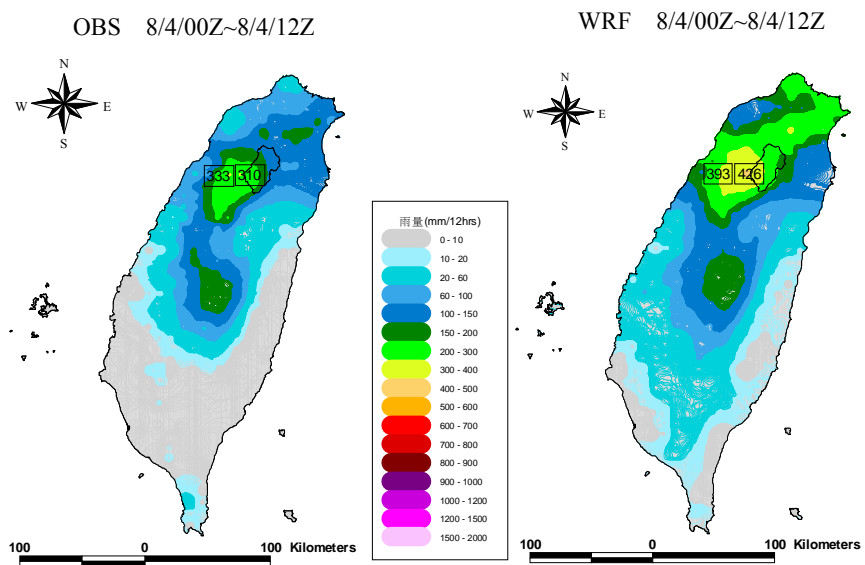


圖 6.6 海棠於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 7/17/12Z~7/18/00Z；(b) 7/18/00Z~7/18/12Z；(c) 7/18/12Z ~ 7/19/00Z；(d) 7/19/00Z~7/19/12Z；(e) 7/19/12Z~7/20/00Z；(f) 7/20/00Z~7/20/12Z。

(a)

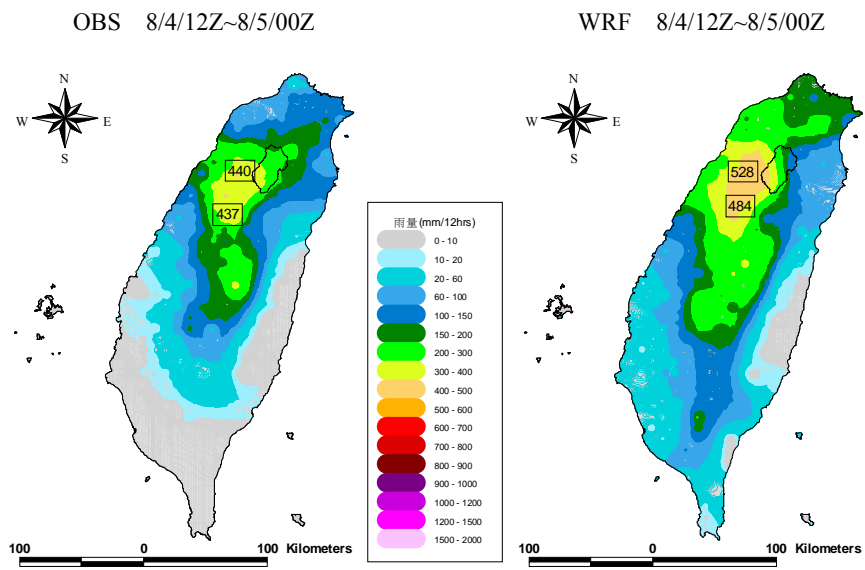


(b)

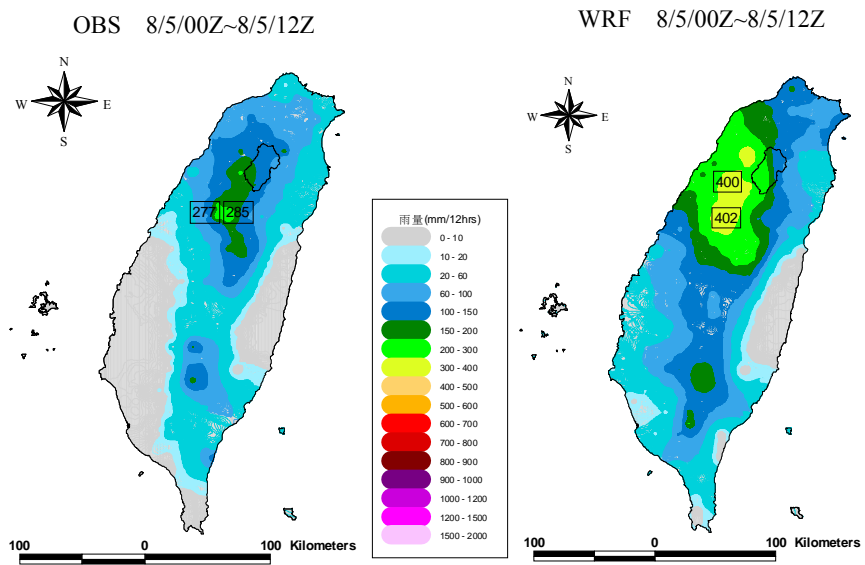


(continued).

(c)

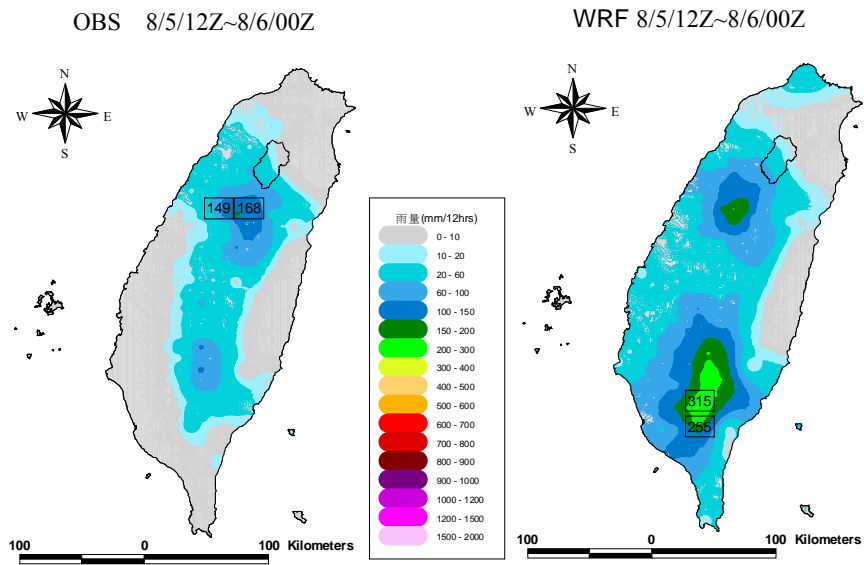


(d)



(continued).

(e)



(f)

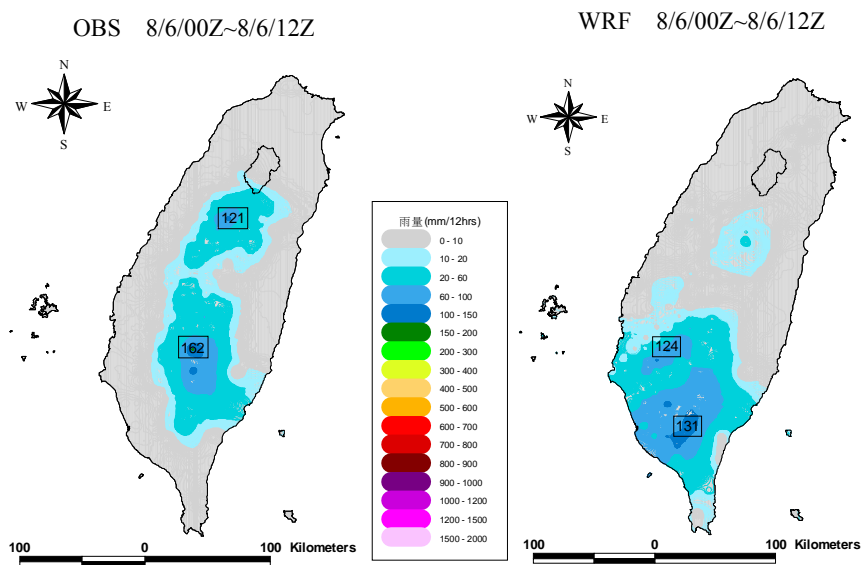


圖 6.7 馬莎颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 8/3/12Z~8/4/00Z ; (b) 8/4/00Z~8/4/12Z ; (c) 8/4/12Z~8/5/00Z ; (d) 8/5/00Z~8/5/12Z ; (e) 8/5/12Z~8/6/00Z ; (f) 8/6/00Z~8/6/12Z 。

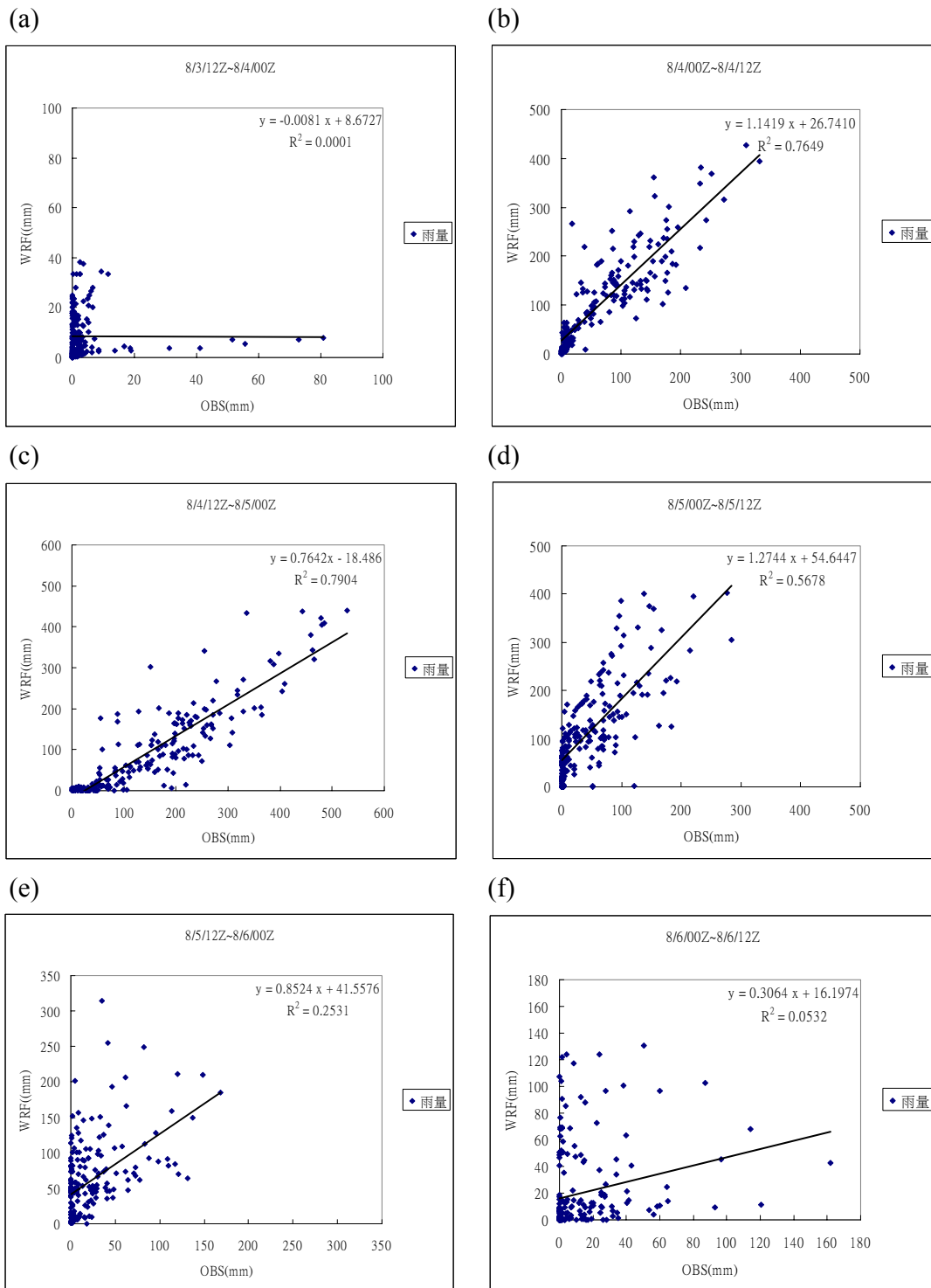


圖 6.8 馬莎颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a)8/3/12Z~8/4/00Z；(b)8/4/00Z~8/4/12Z；(c)8/4/12Z~8/5/00Z；(d)8/5/00Z~8/5/12Z；(e)8/5/12Z~8/6/00Z；(f)8/6/00Z~8/6/12Z。

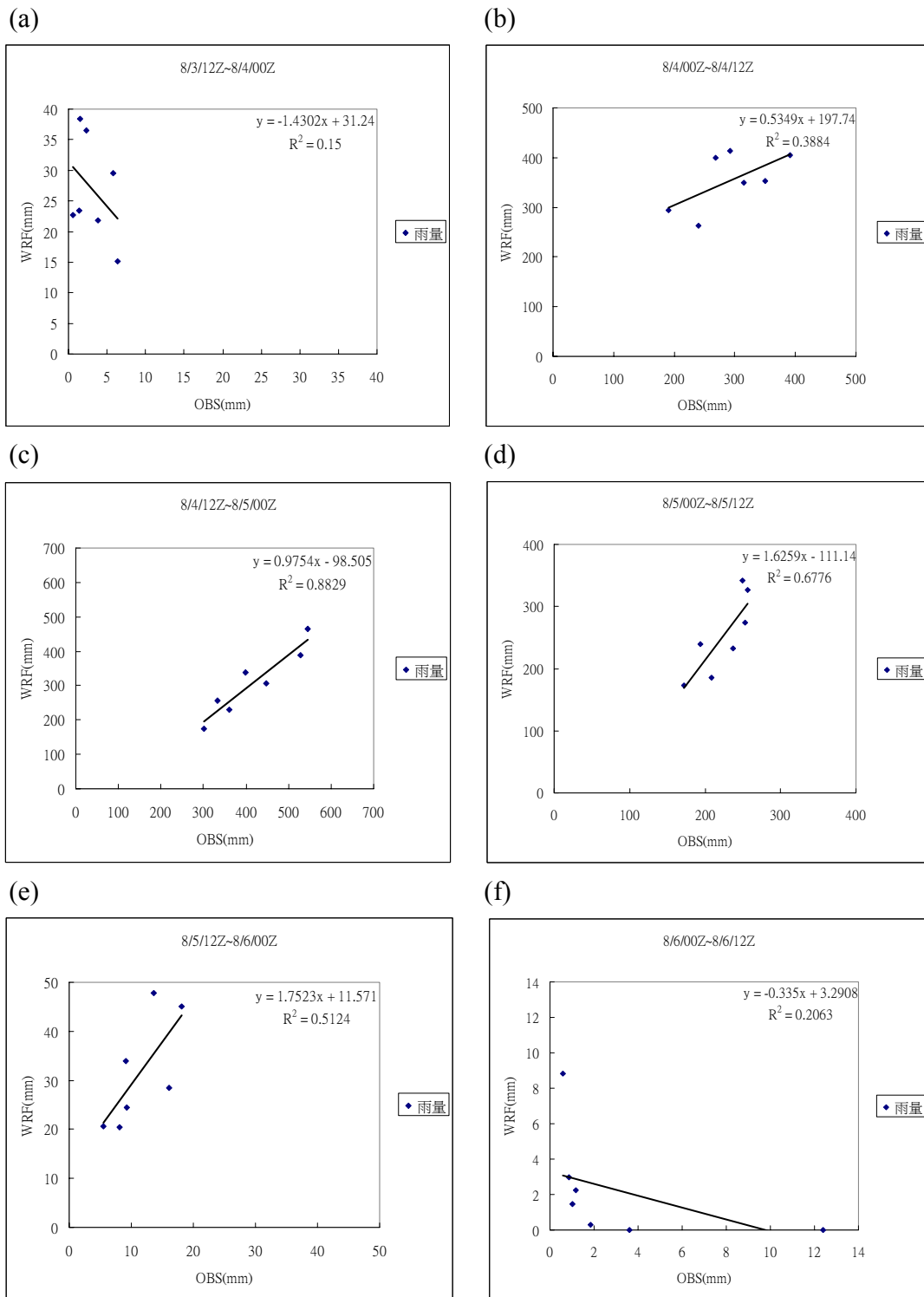
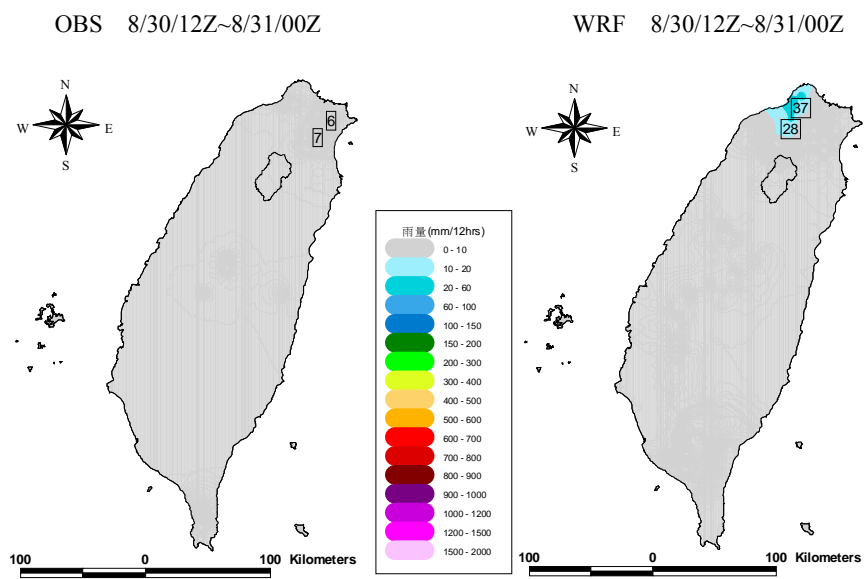
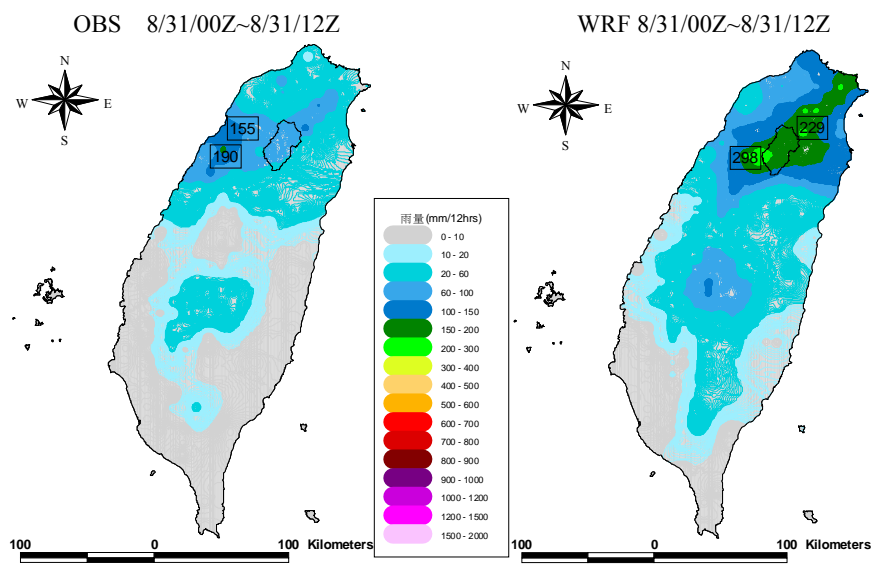


圖 6.9 馬莎颱風於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 8/3/12Z~8/4/00Z ; (b) 8/4/00Z~8/4/12Z ; (c) 8/4/12Z~8/5/00Z ; (d) 8/5/00Z~ 8/5/12Z ; (e) 8/5/12Z~8/6/00Z ; (f) 8/6/00Z~8/6/12Z 。

(a)

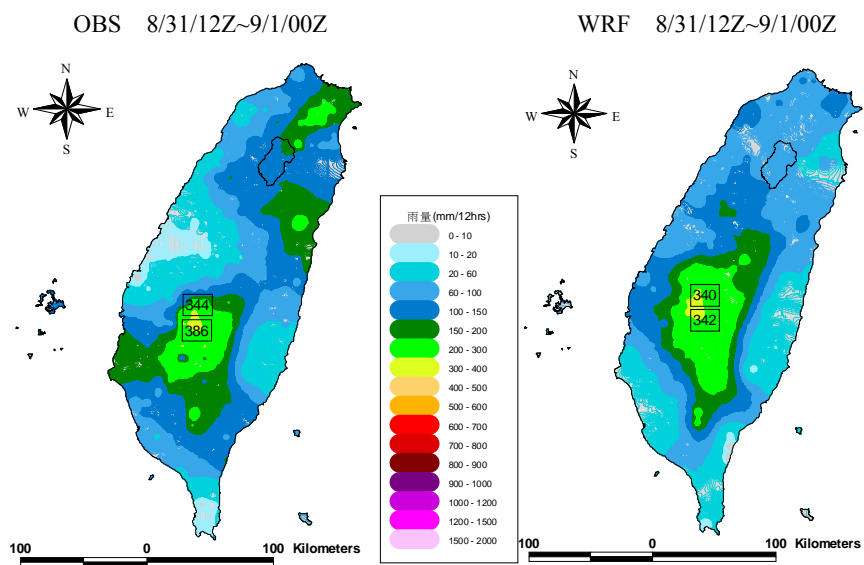


(b)



(continued).

(c)



(d)

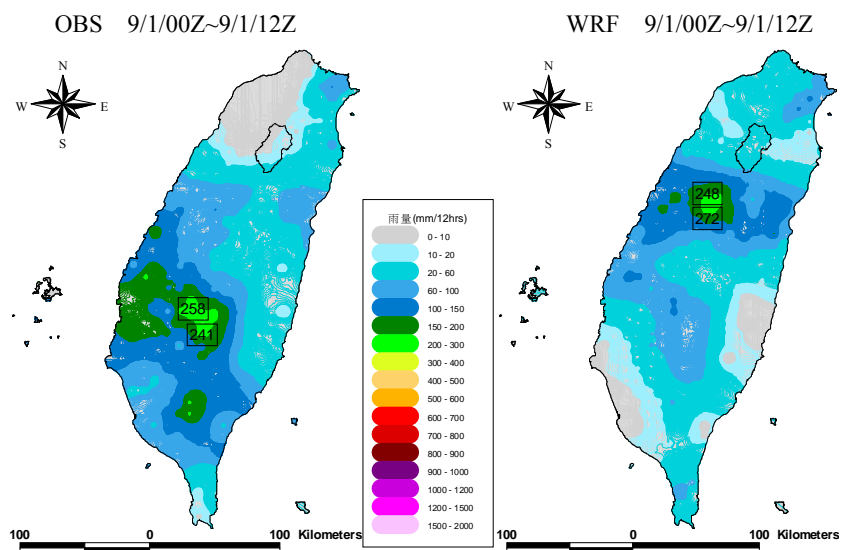


圖 6.10 泰利颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之累積降雨分佈圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z；(b) 8/31/00Z~8/31/12Z；(c) 8/31/12Z~9/1/00Z；(d) 9/1/00Z~9/1/12Z。

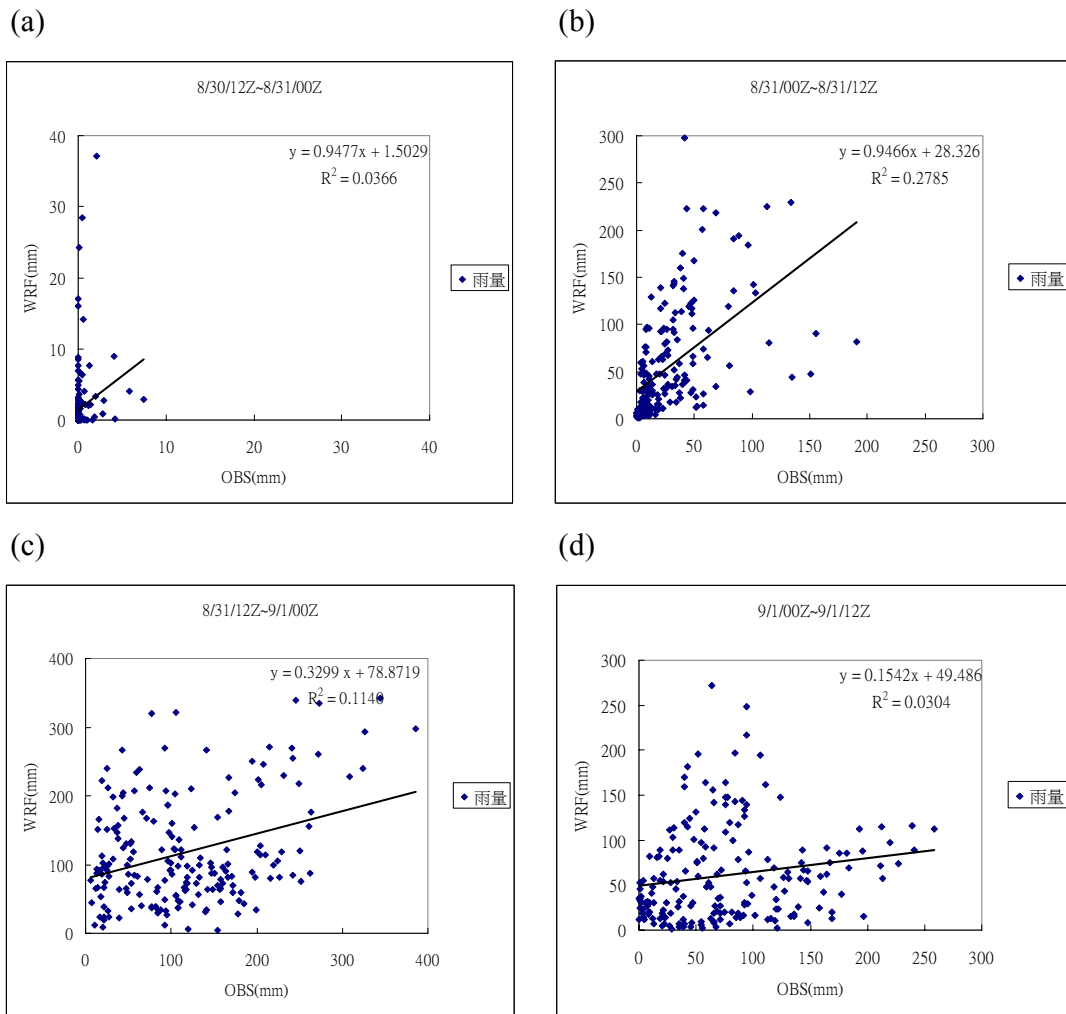


圖 6.11 泰利颱風於全台觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之相關係數分析圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z；(b) 8/31/00Z~8/31/12Z；(c) 8/31/12Z~9/1/00Z；(d) 9/1/00Z~9/1/12Z。

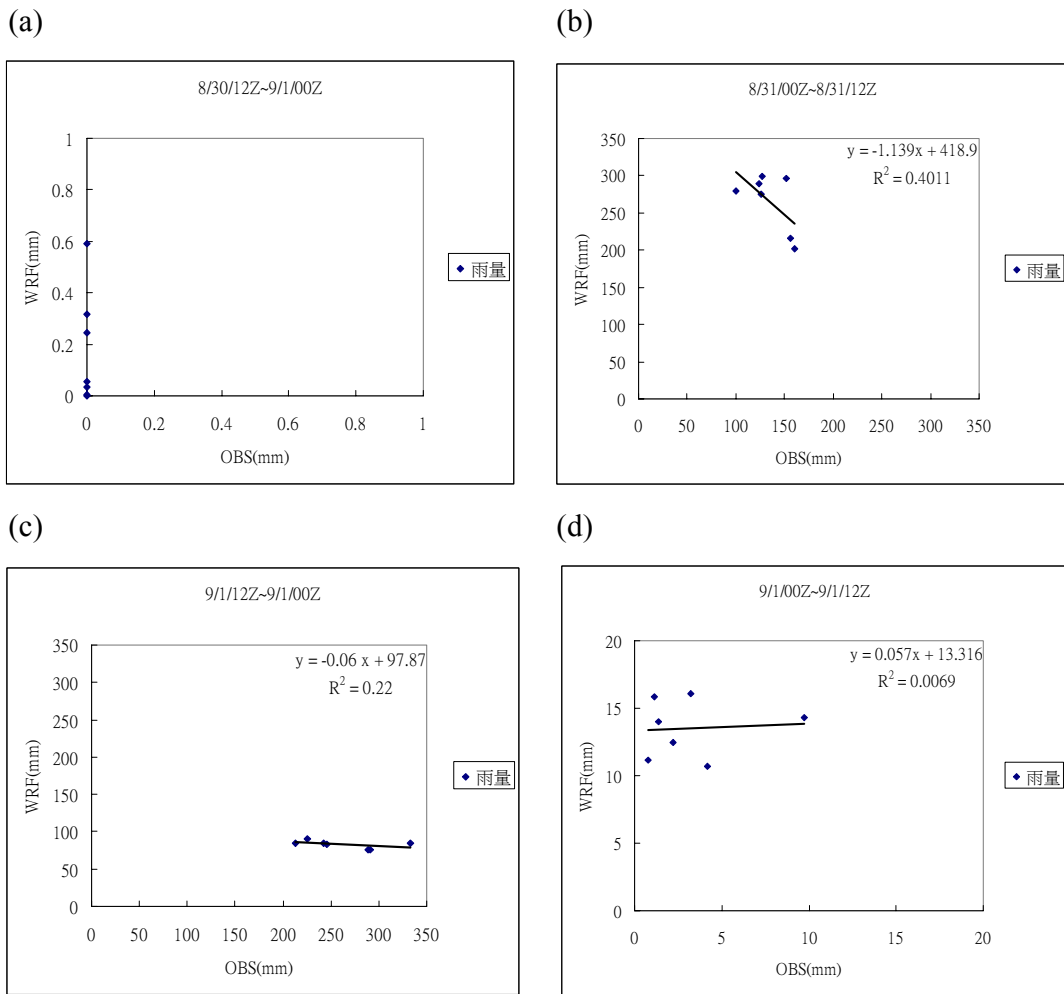


圖 6.12 泰利颱風於集水區觀測雨量經客觀分析後與 WRF 模擬雨量比較之在 4 個時段相關係數分析圖。(a) 8/30/12Z~8/31/00Z；(b) 8/31/00Z~8/31/12Z；(c) 8/31/12Z~9/1/00Z；(d) 9/1/00Z~9/1/12Z。

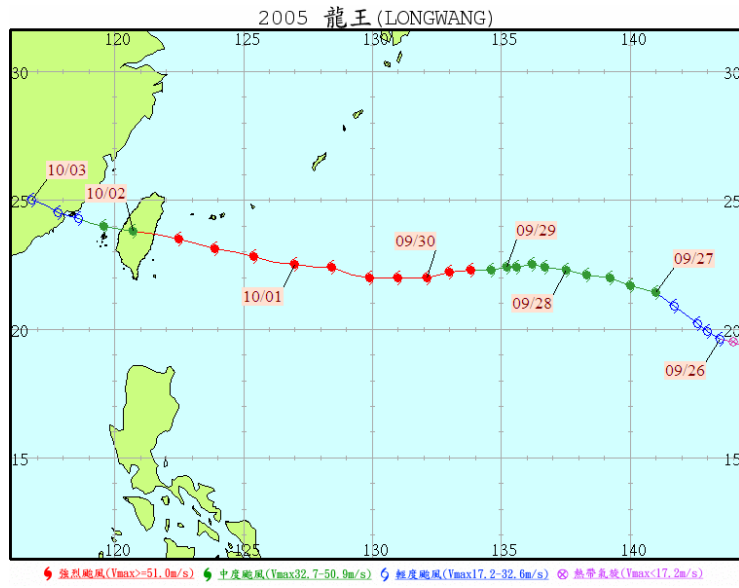


圖 6.13 2005 年 9 月 27 日 0000UTC~10 月 2 日 1200UTC 龍王颱風路徑圖。
(每點表示為每 6 小時颱風中心的位置，圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

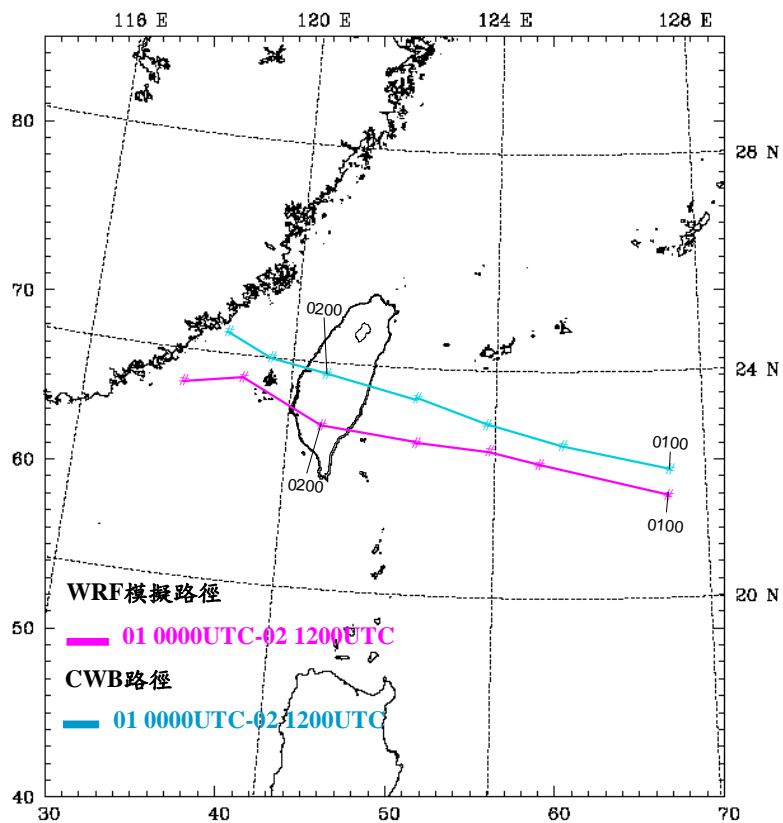


圖 6.14 龍王颱風之 WRF 模擬分段路徑(粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路徑圖。
(上方小區域為霞雲集水區)

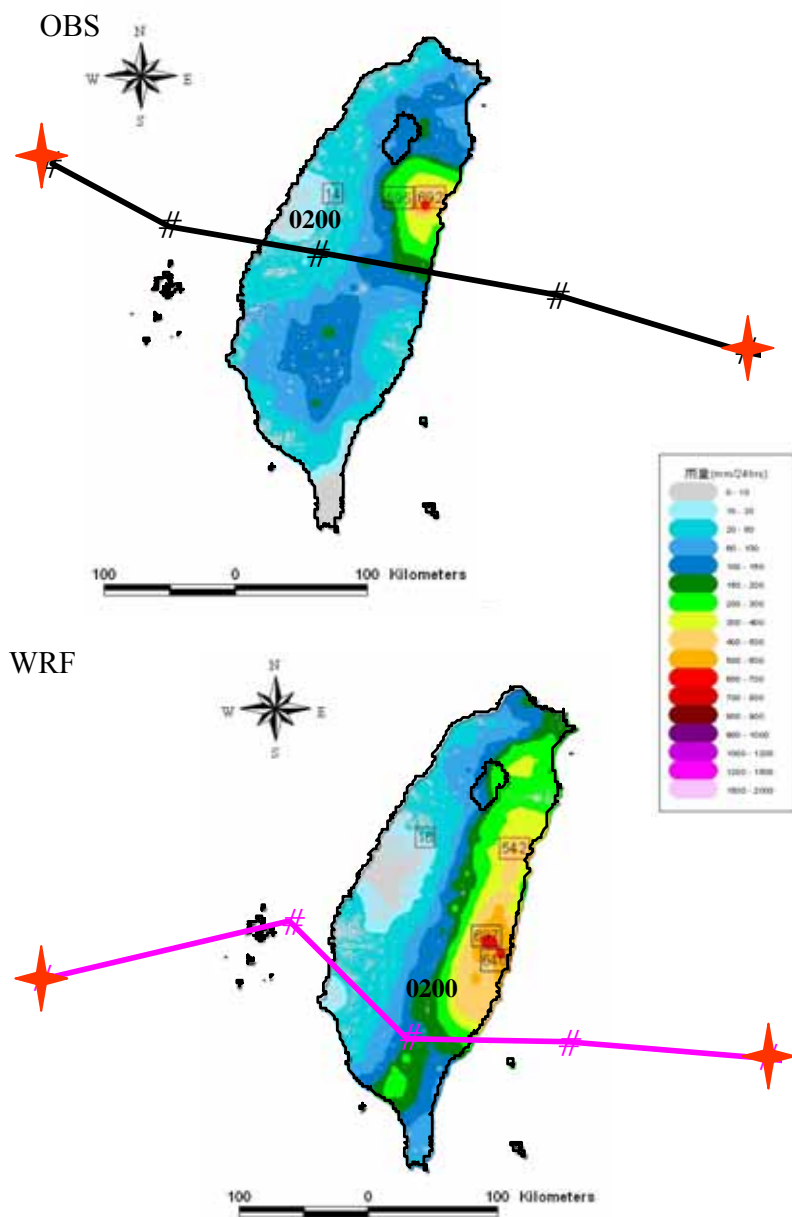


圖 6.15 龍王颱風於 10/1/12Z~10/2/12Z 經客觀分析後之累積日雨量分佈圖。
 (上為客觀分析後之觀測雨量，下為 WRF 模式之客觀分析雨量，中間區域
 為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為
 間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

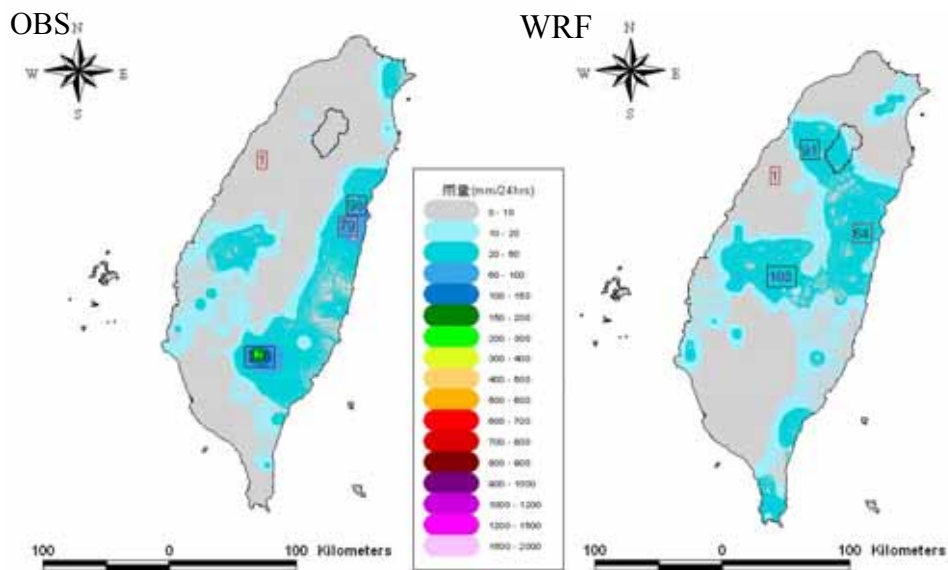


圖 6.16 泰利颱風於 9/1/12Z~9/2/12Z 經客觀分析後之累積日雨量分佈圖。
 (左為客觀分析後之觀測雨量，右為 WRF 模式之客觀分析雨量，中間區域
 為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

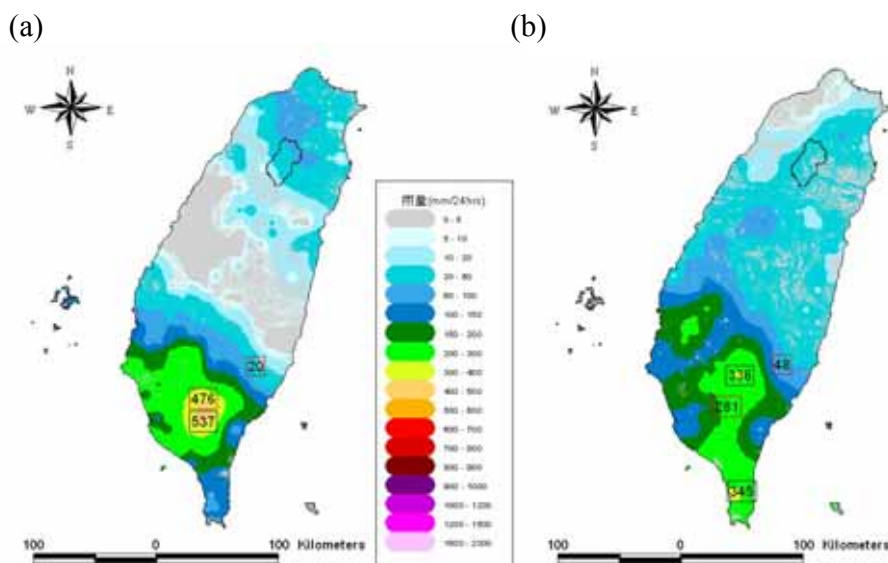


圖 6.17 2005 年 6 月 12 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 13 日 1200UTC 之梅雨全台累
 積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式
 之客觀分析雨量。

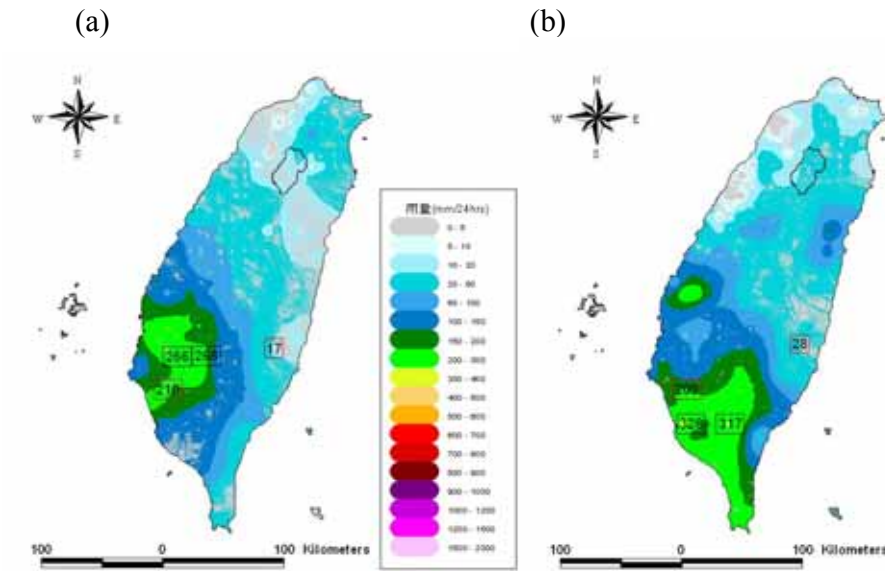


圖 6.18 2005 年 6 月 13 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 14 日 1200UTC 之梅雨全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值)

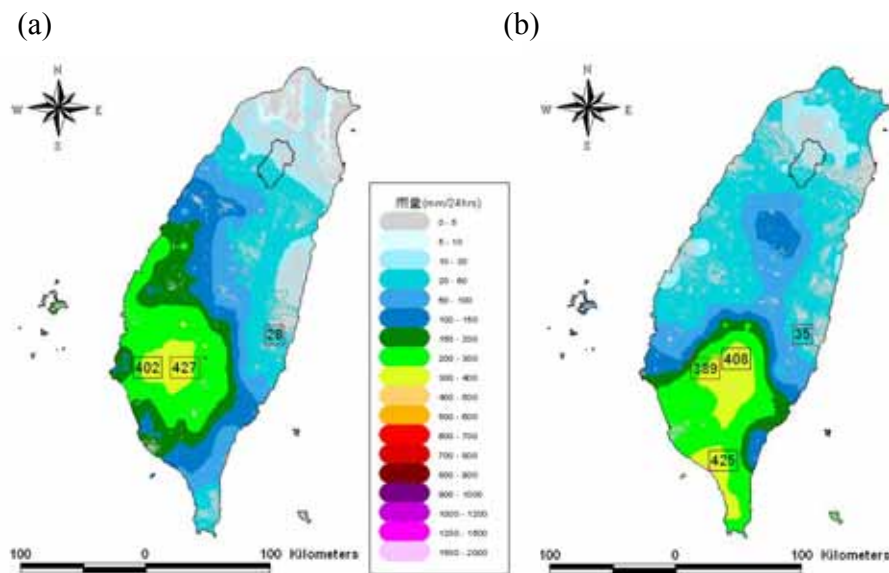


圖 6.19 2005 年 6 月 14 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 15 日 1200UTC 之梅雨全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

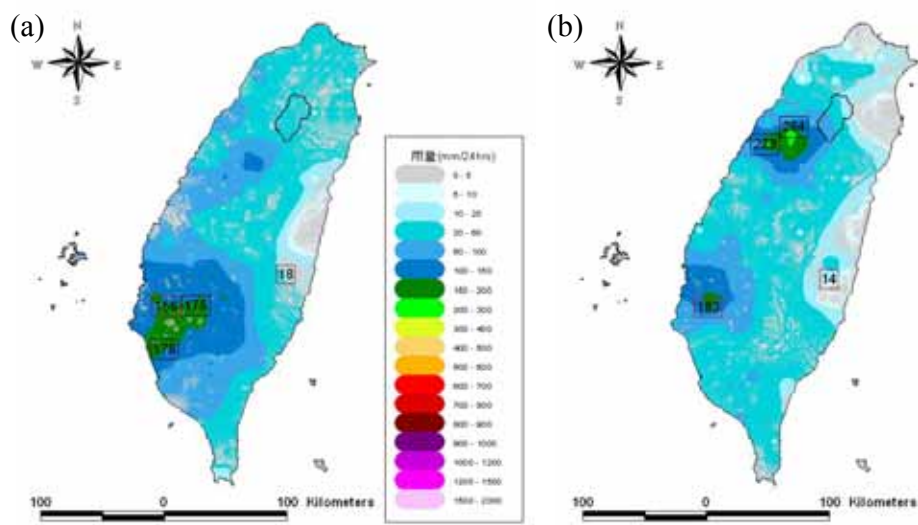


圖 6.20 2005 年 6 月 15 日 1200UTC 至 2005 年 6 月 16 日 1200UTC 之梅雨全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b)WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值)

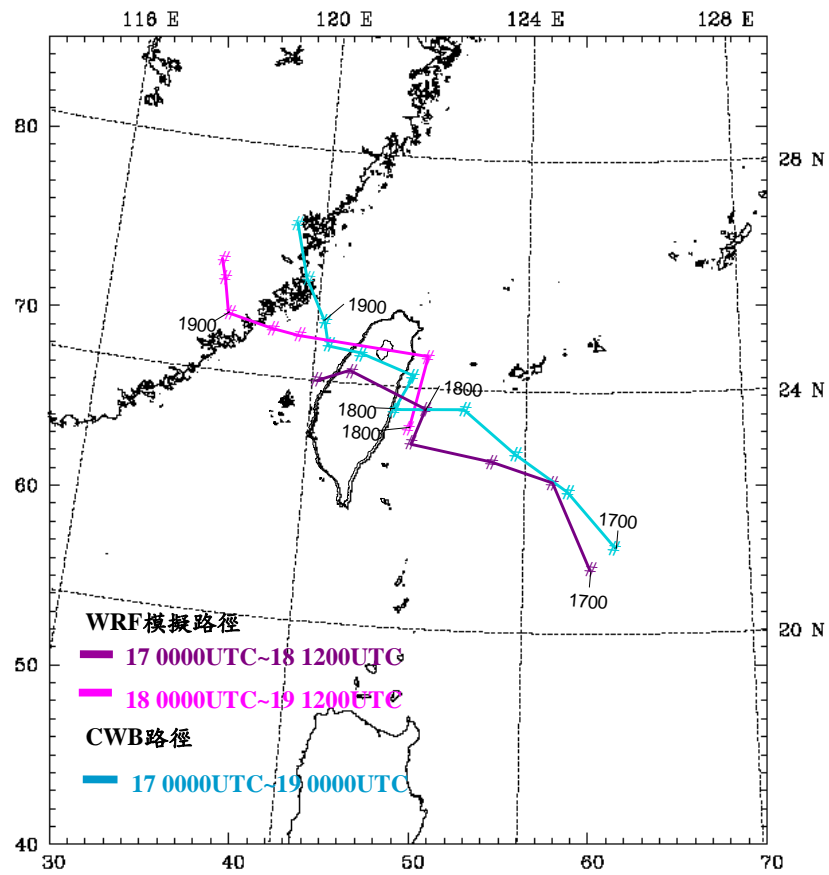


圖 7.1 海棠颱風之 WRF 模擬分段路徑(紫色、粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路徑圖。
(上方小區域為霞雲集水區)

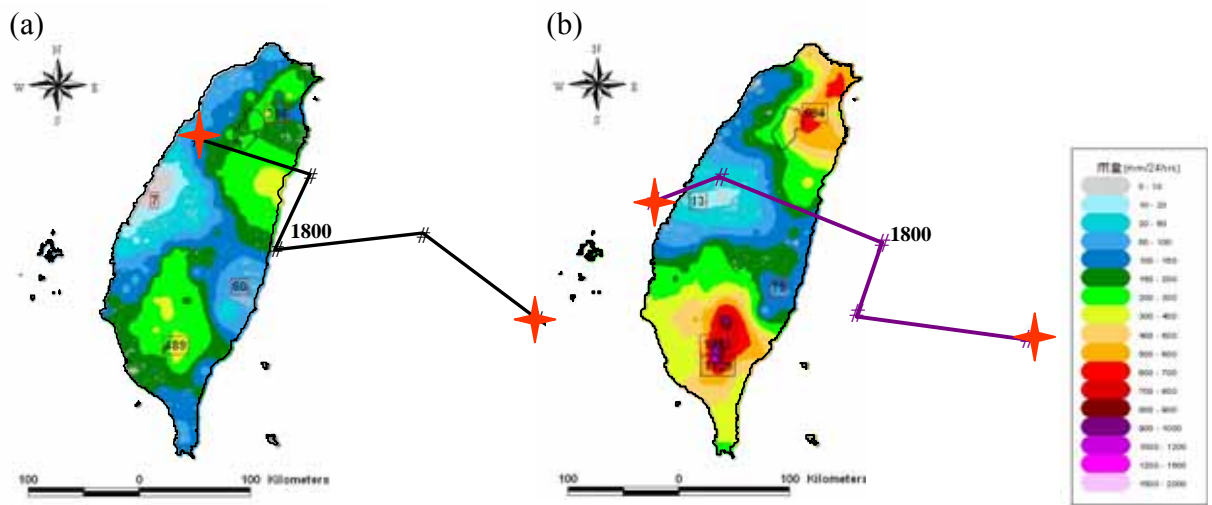


圖 7.2 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 之海棠颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

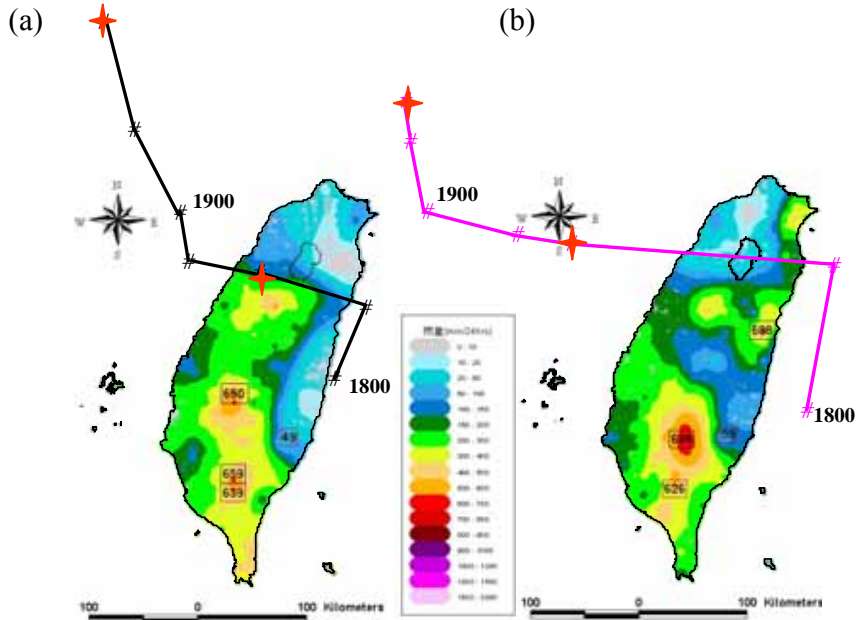


圖 7.3 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 之海棠颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

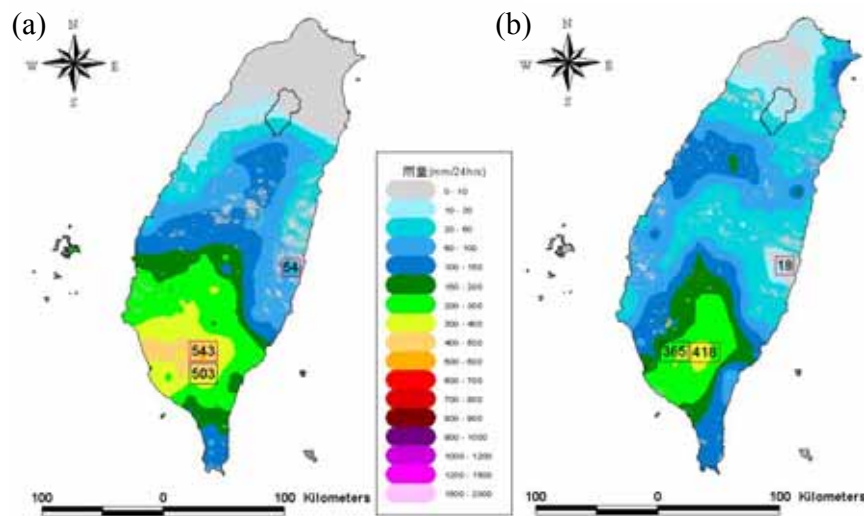


圖 7.4 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值。)

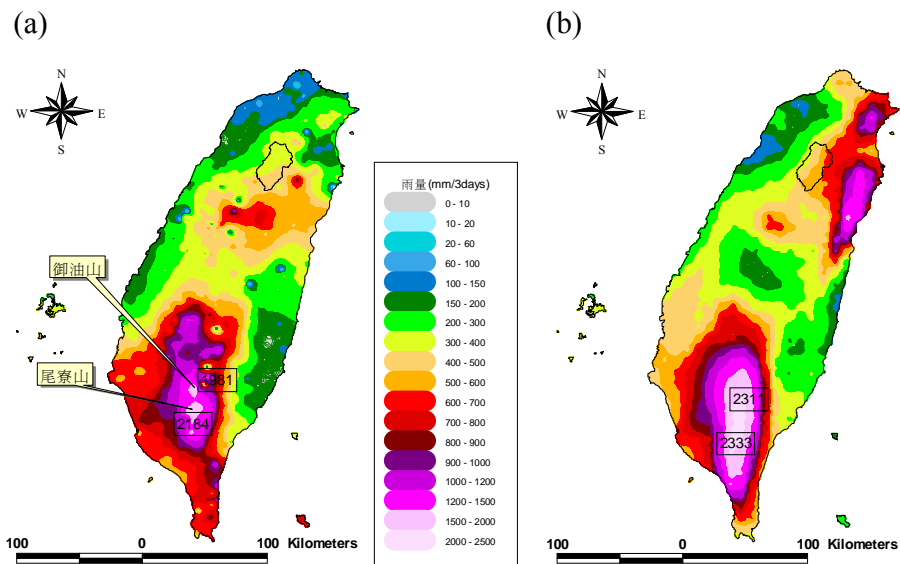


圖 7.5 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量。

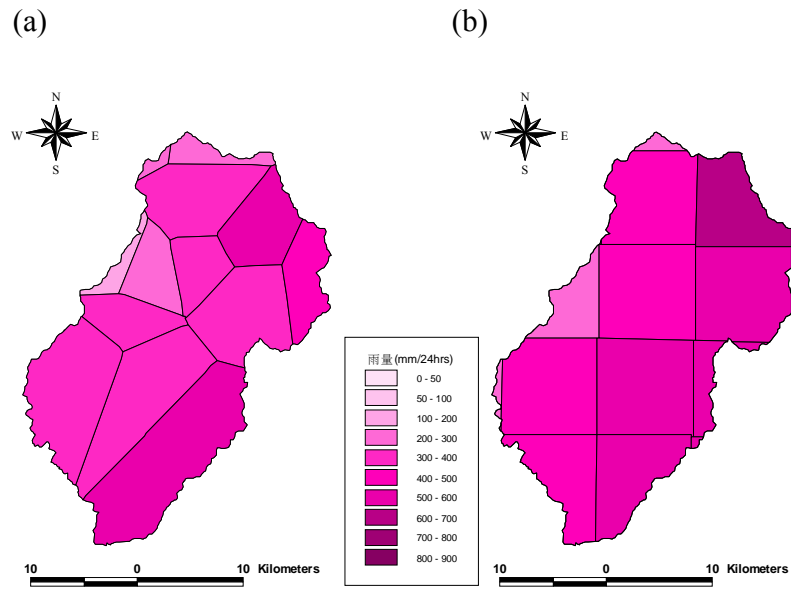


圖 7.6 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 之海棠颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

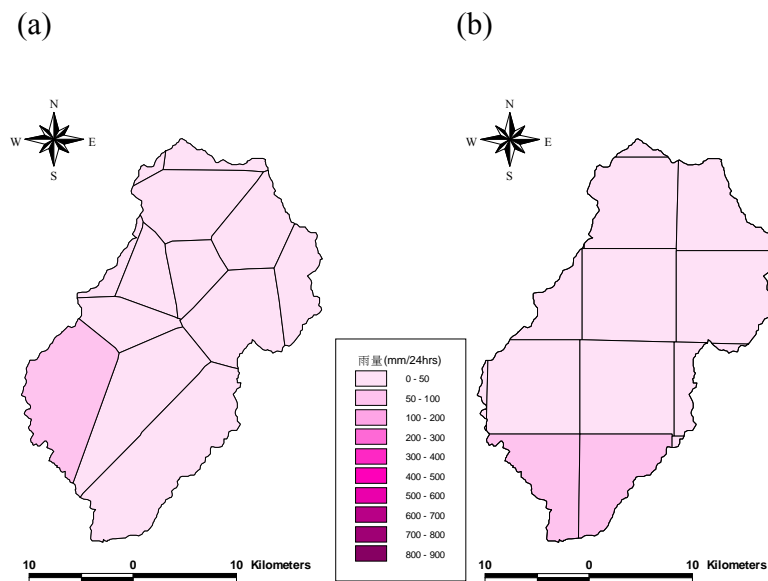


圖 7.7 2005 年 7 月 18 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 之海棠颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

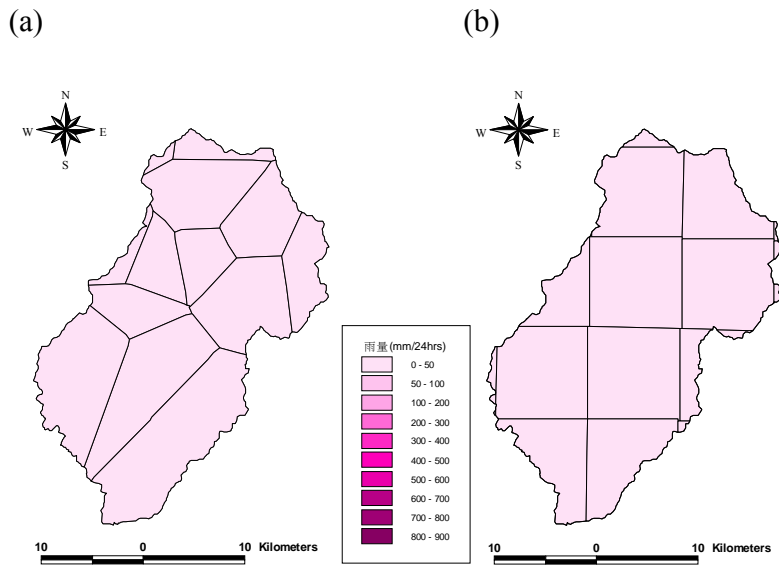


圖 7.8 2005 年 7 月 19 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

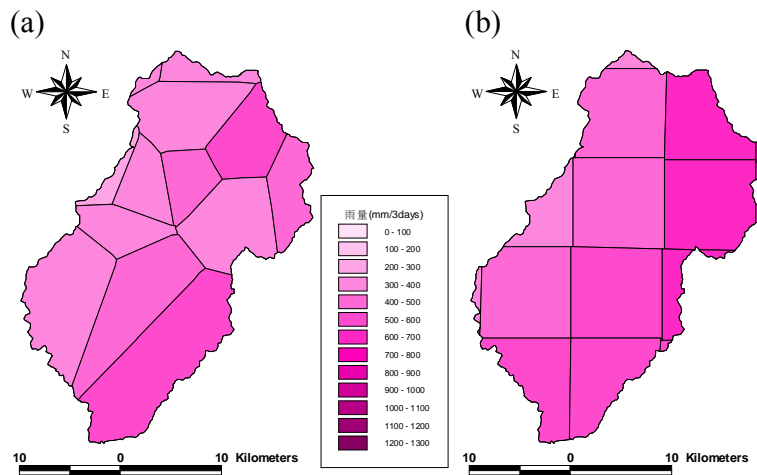


圖 7.9 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 之海棠颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

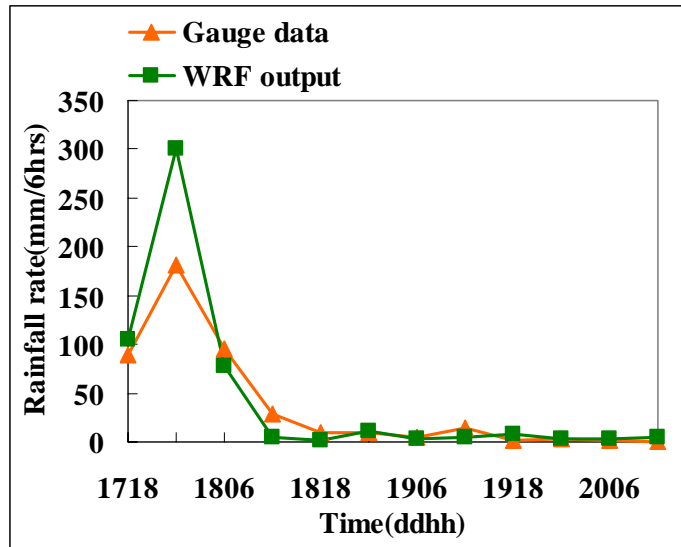


圖 7.10 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 海棠颱風之徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。

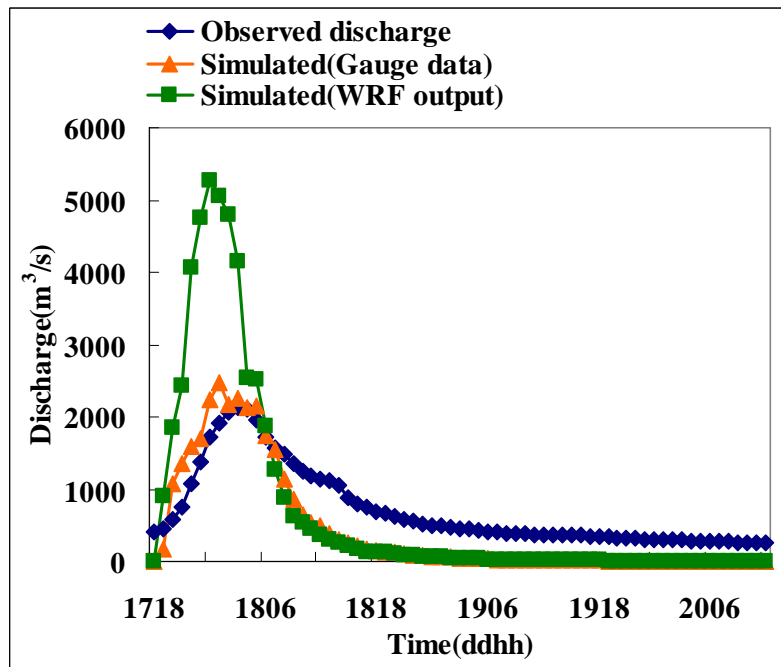


圖 7.11 2005 年 7 月 17 日 1200UTC 至 2005 年 7 月 20 日 1200UTC 海棠颱風之模擬流量歷線圖。

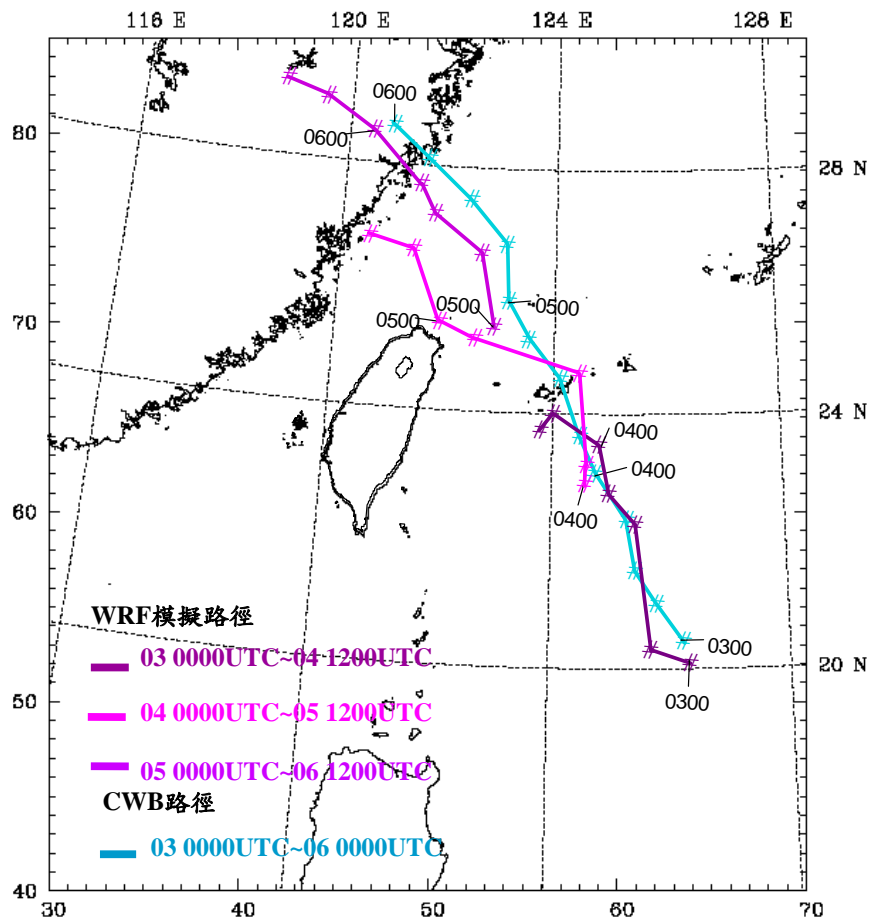
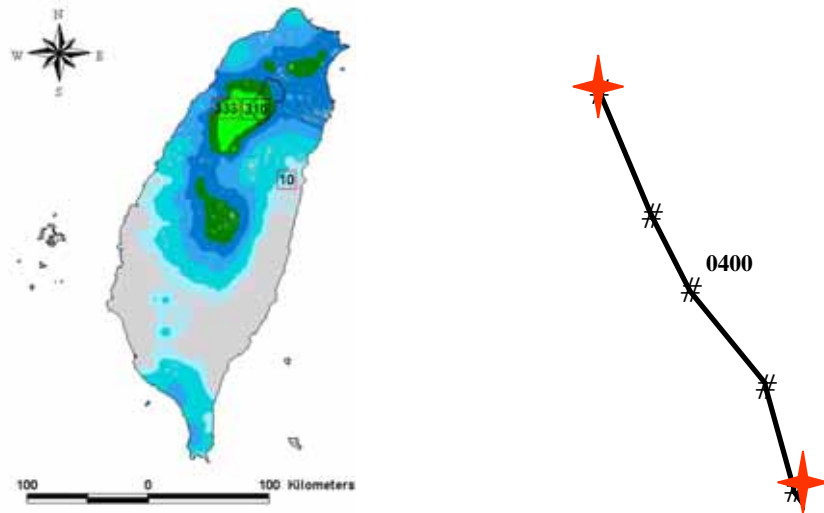


圖 7.12 馬莎颱風之 WRF 模擬(紫色、粉紅色、淺紫色)與 CWB(藍色)公佈之路圖。
(中間區域為霞雲集水區)

(a)



(b)

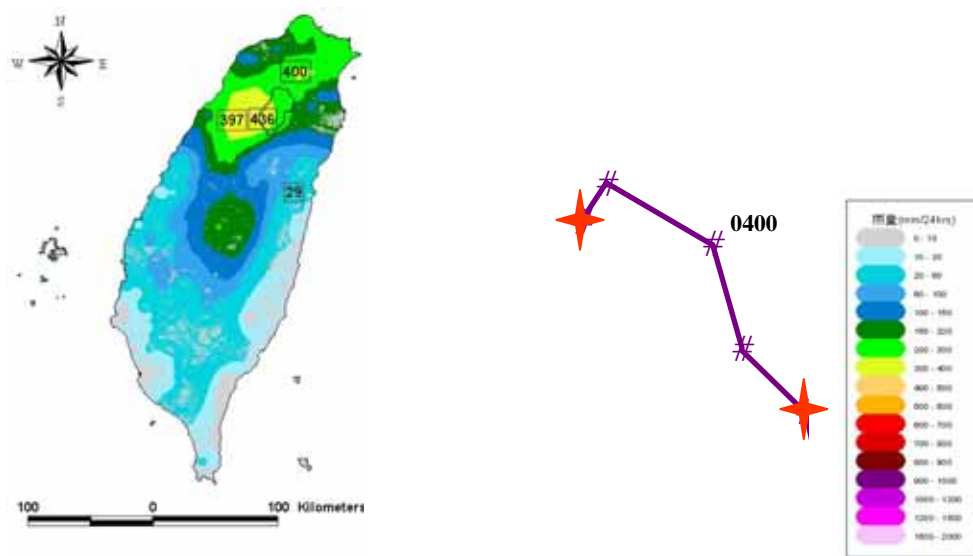


圖 7.13 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 之馬莎颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

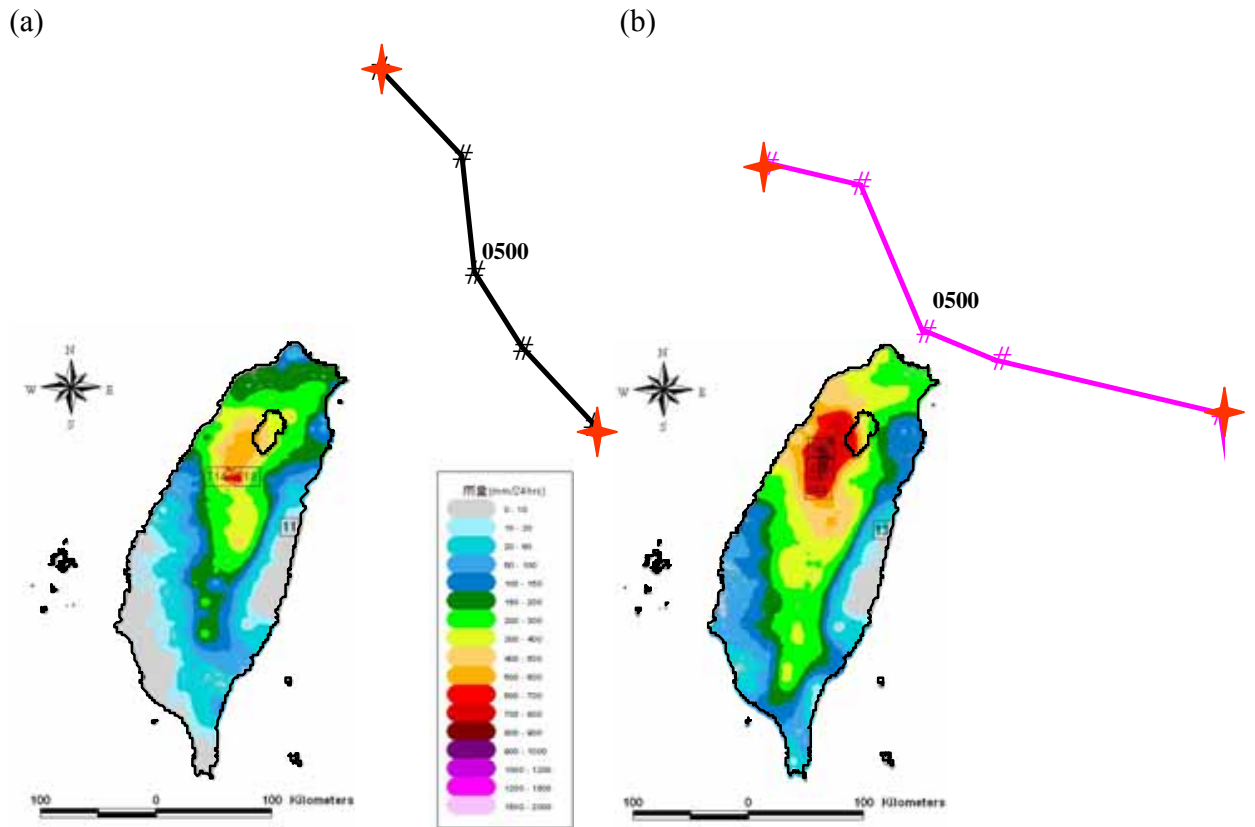


圖 7.14 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 之馬莎颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。
 (中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

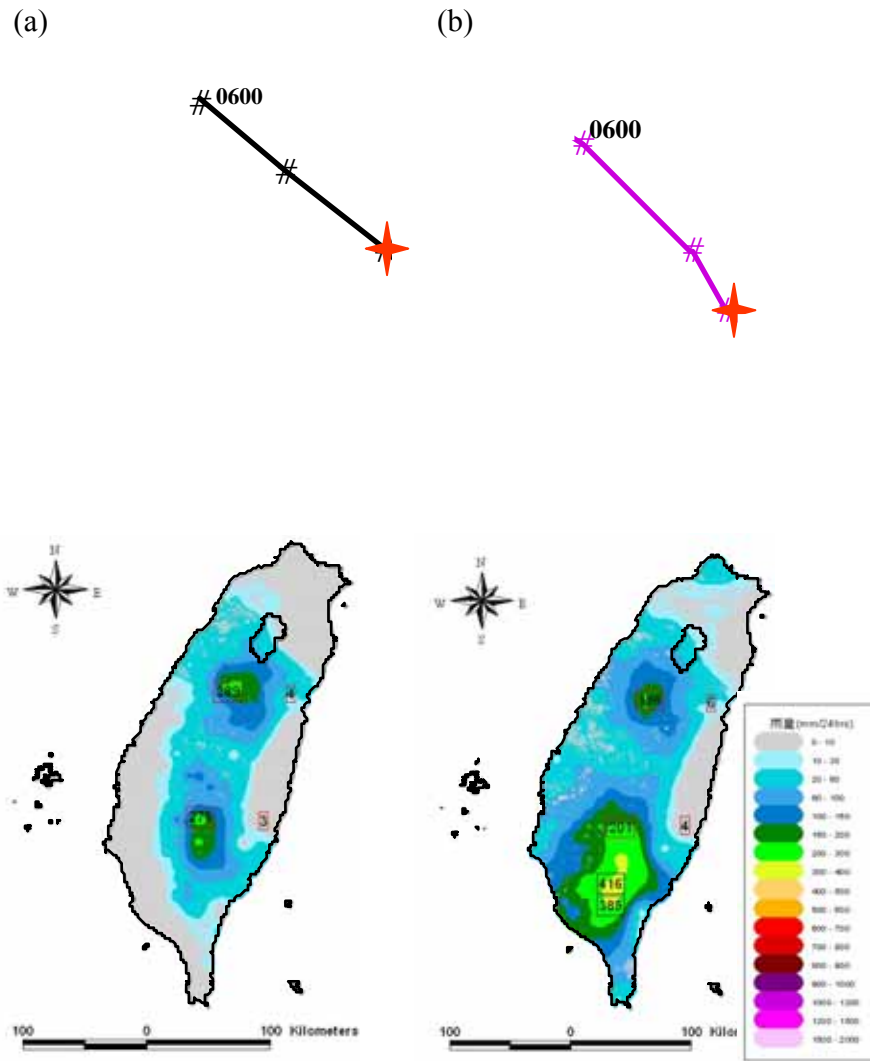


圖 7.15 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之起始時間，最終時間離台灣太遠於是未標示出。)

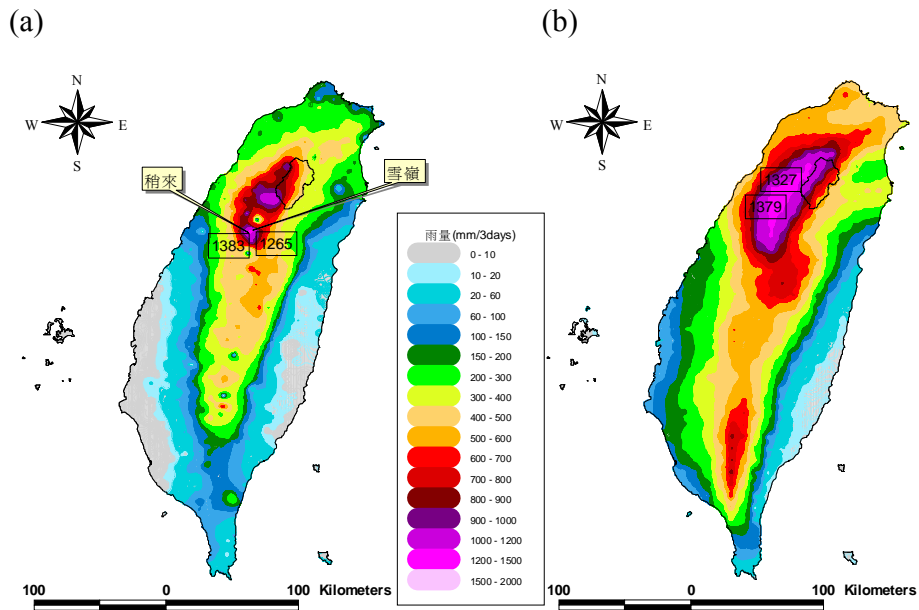


圖 7.16 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量。
(中間區域為霞雲集水區)

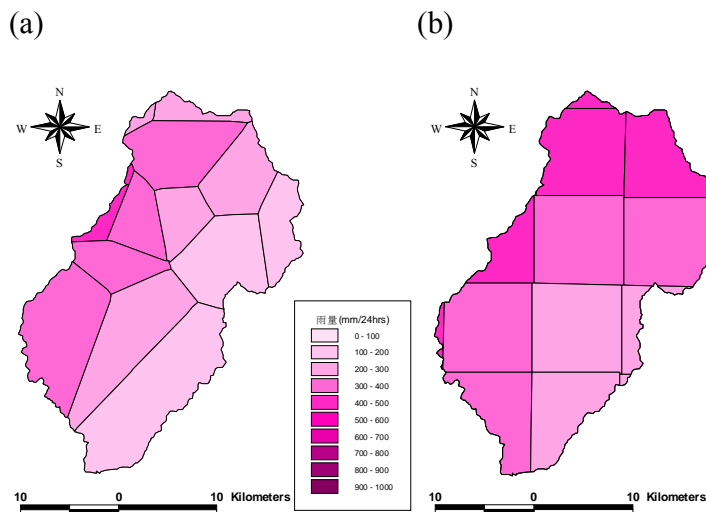


圖 7.17 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

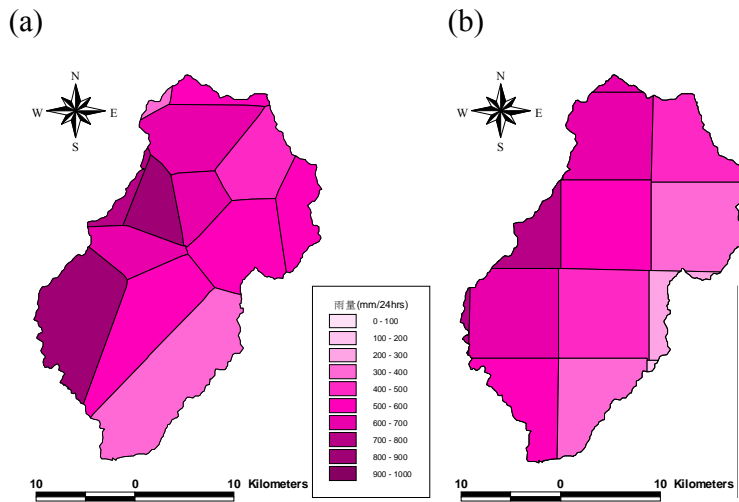


圖 7.18 2005 年 8 月 4 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

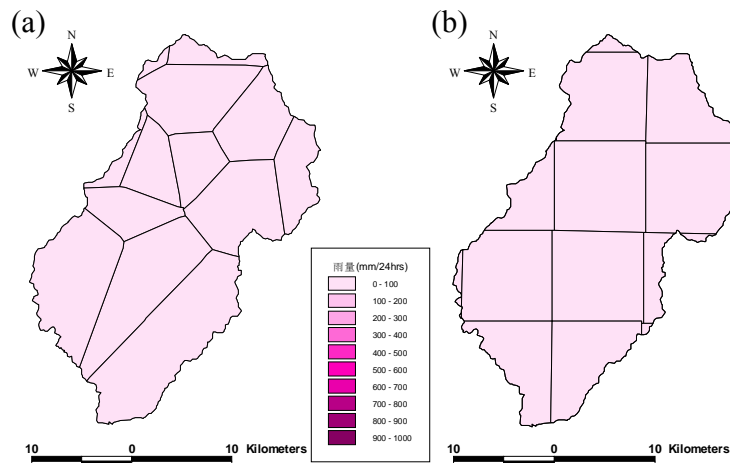


圖 7.19 2005 年 8 月 5 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

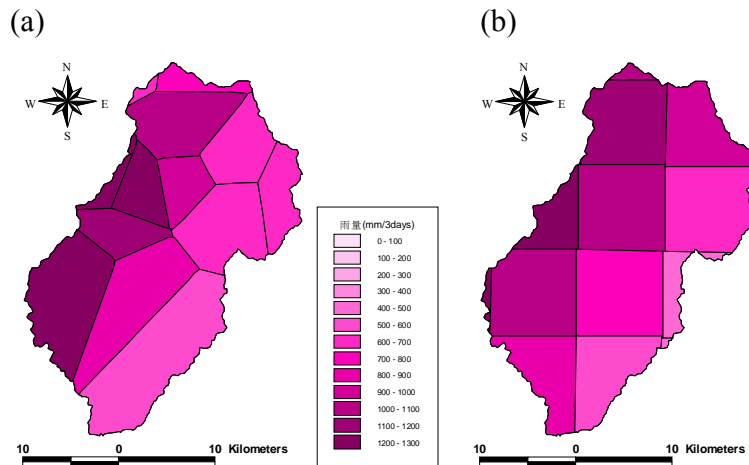


圖 7.20 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 之馬莎颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

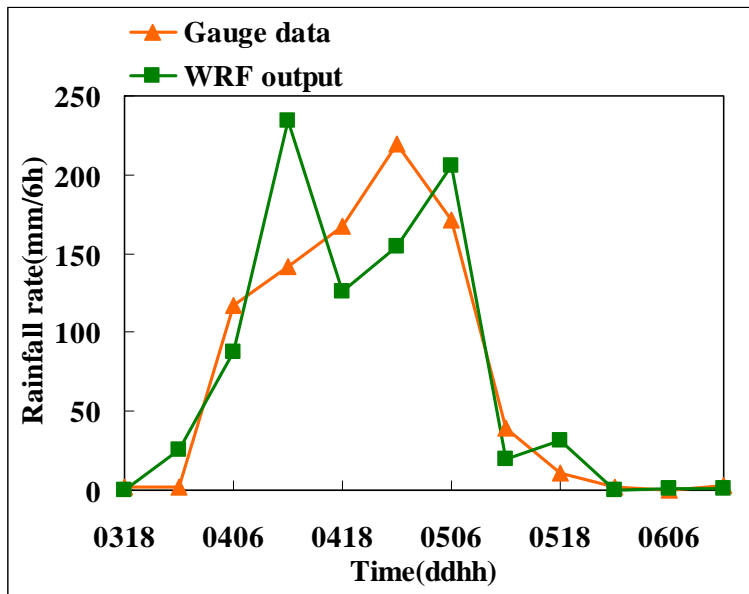


圖 7.21 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 馬莎颱風之徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。

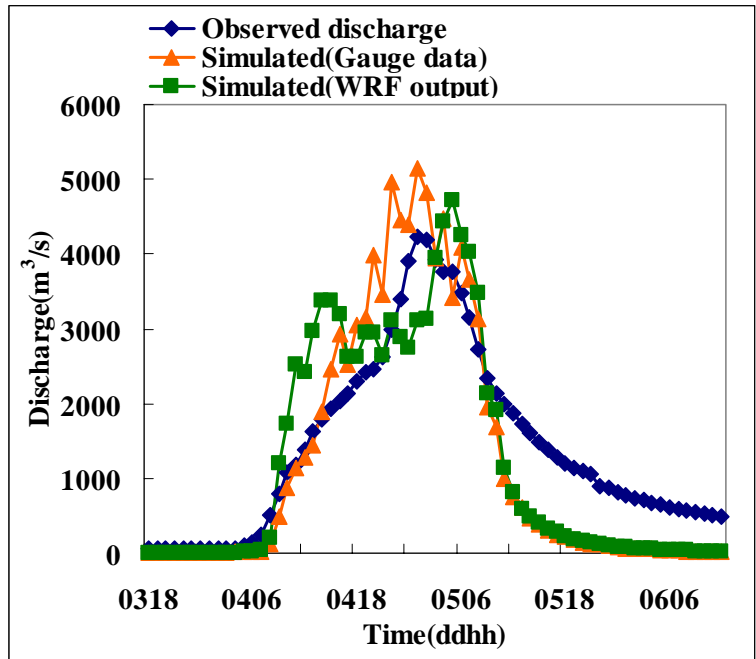


圖 7.22 2005 年 8 月 3 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 6 日 1200UTC 馬莎颱風之模擬流量歷線圖。

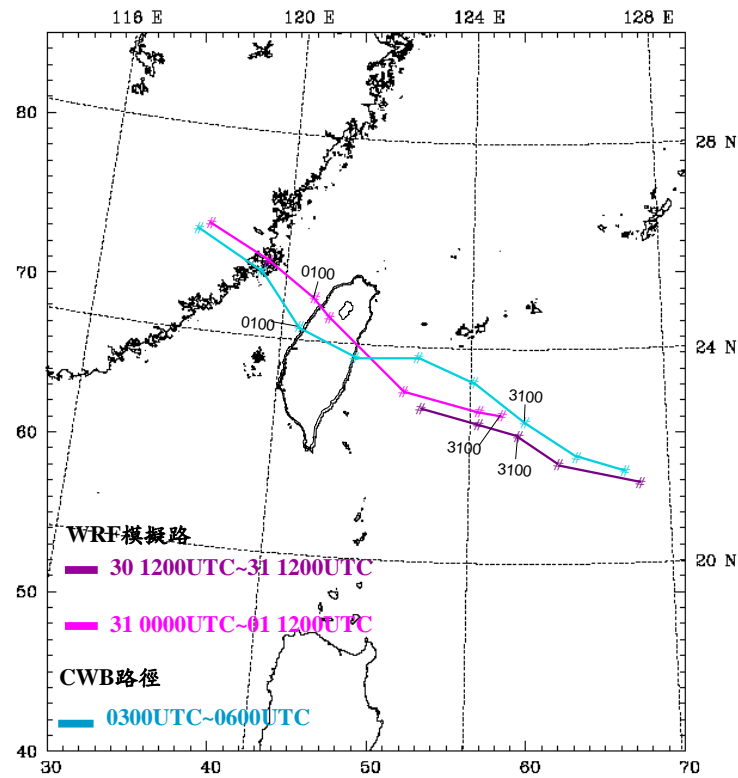


圖 7.23 泰利颱風之 WRF 模擬(紫色、粉紅色)與 CWB(藍色)公佈之路徑圖。
(上方小區域為霞雲集水區)

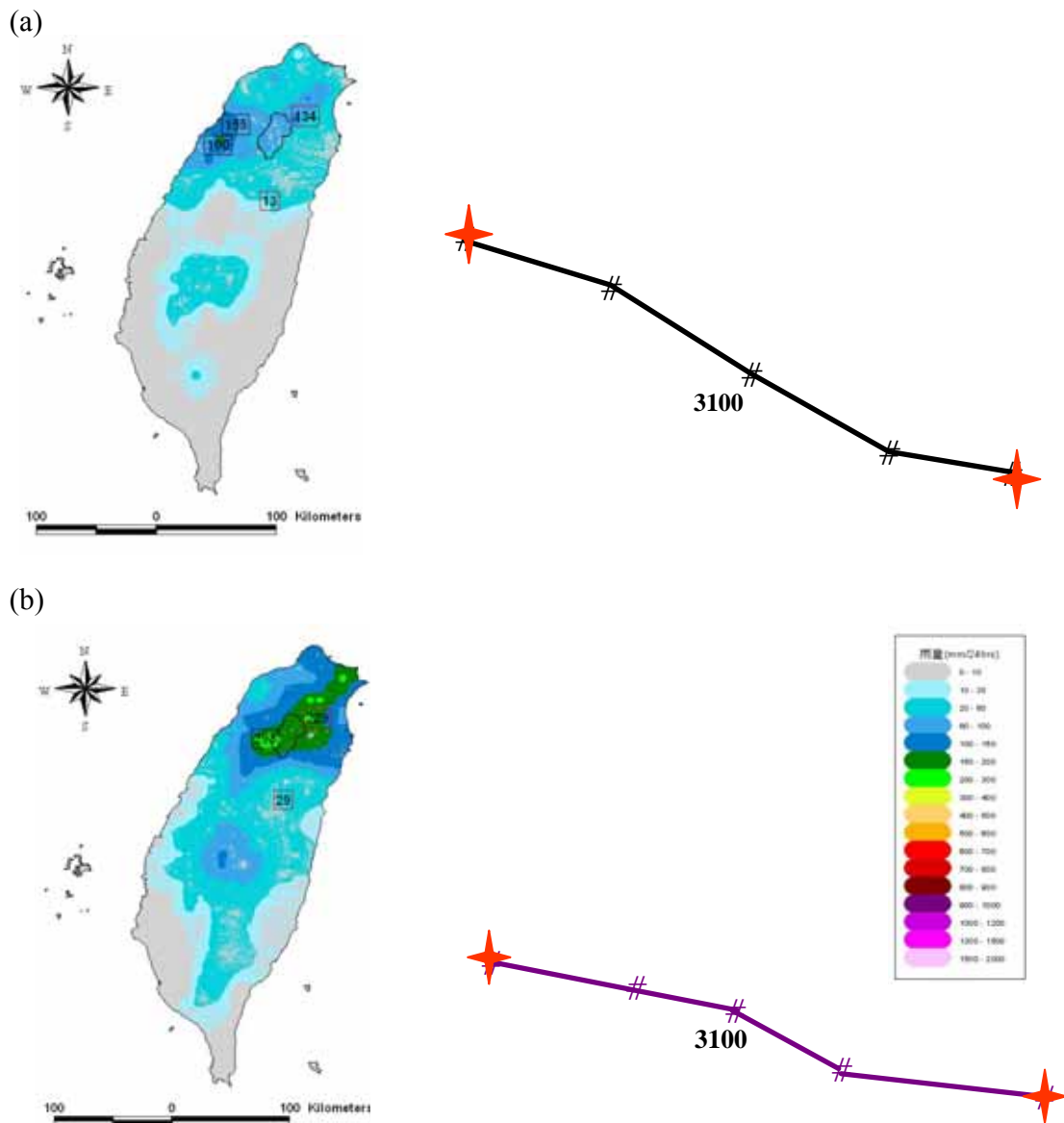


圖 7.24 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。
 (中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

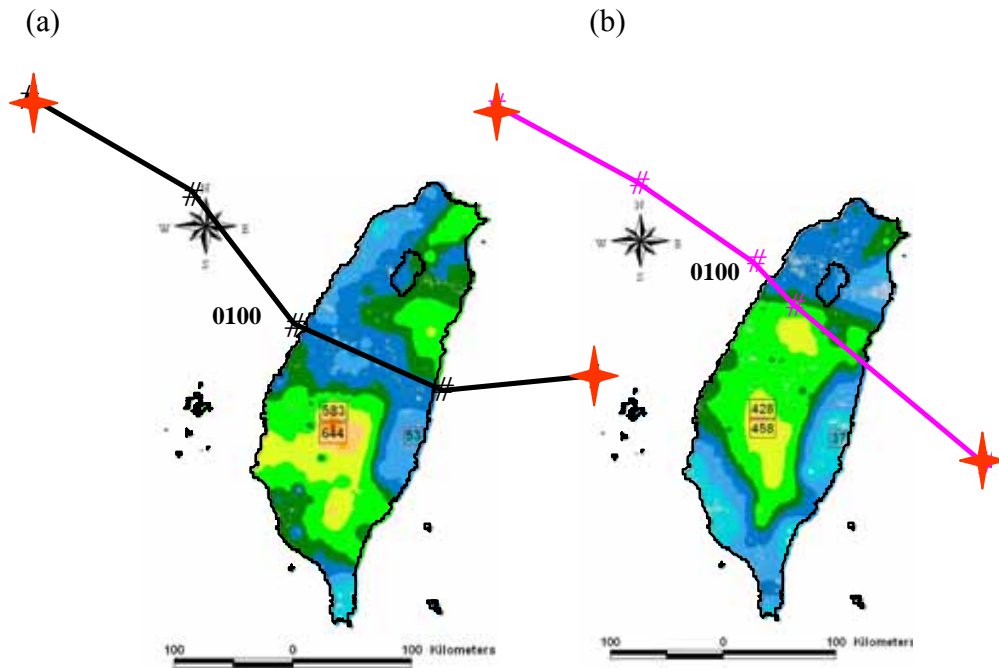


圖 7.25 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站經客觀分析後之觀測雨量，(b) WRF 模式之客觀分析雨量。

(中間區域為霞雲集水區，紅框數值為雨量之迎風面極大值和背風面極小值，每點為間距 6 小時之路徑，星號為累積雨量之時間始末。)

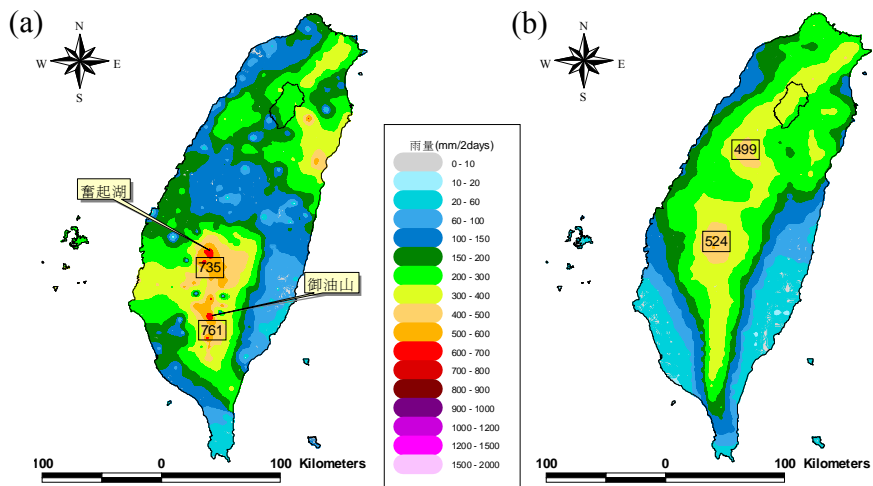


圖 7.26 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風全台累積雨量圖，(a)中央氣象局雨量站之觀測雨量，(b)WRF 模式之模擬雨量。

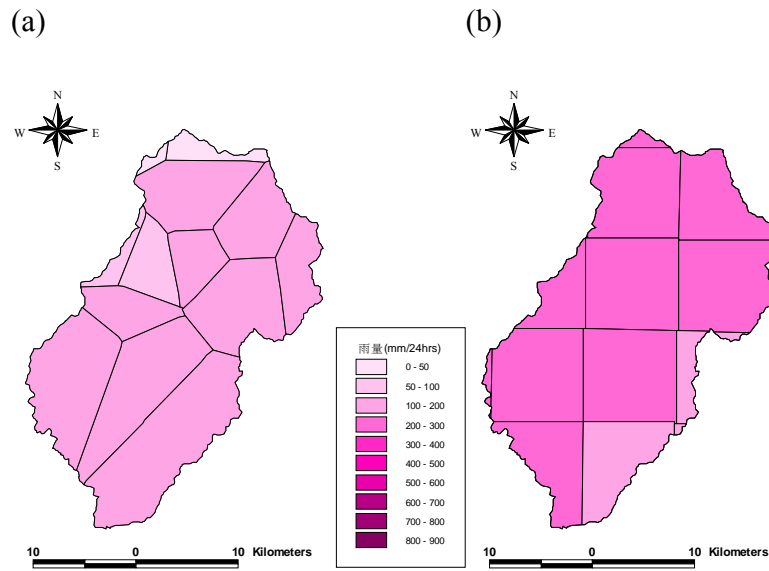


圖 7.27 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 之泰利颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

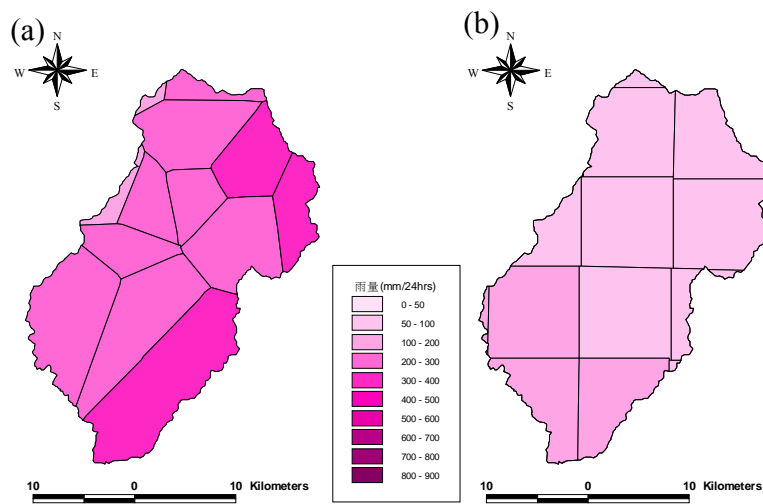


圖 7.28 2005 年 8 月 31 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

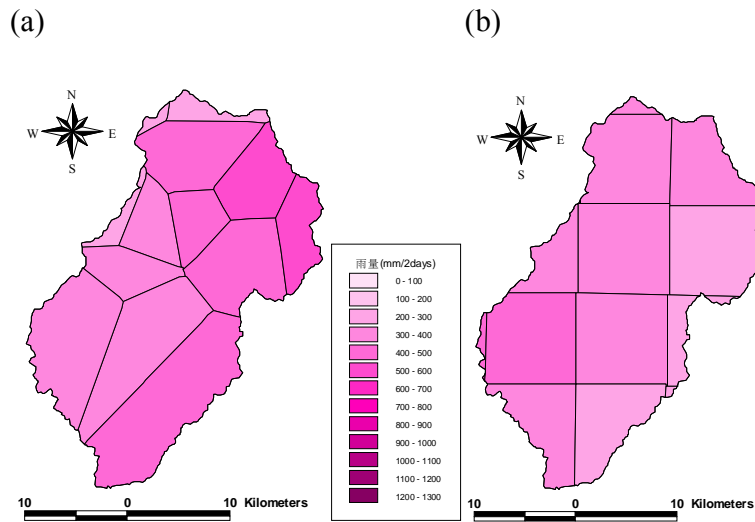


圖 7.29 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 之泰利颱風集水區徐昇氏面積平均雨量圖，(a) 北區水資源局雨量站之觀測雨量，(b) WRF 模式之模擬雨量。

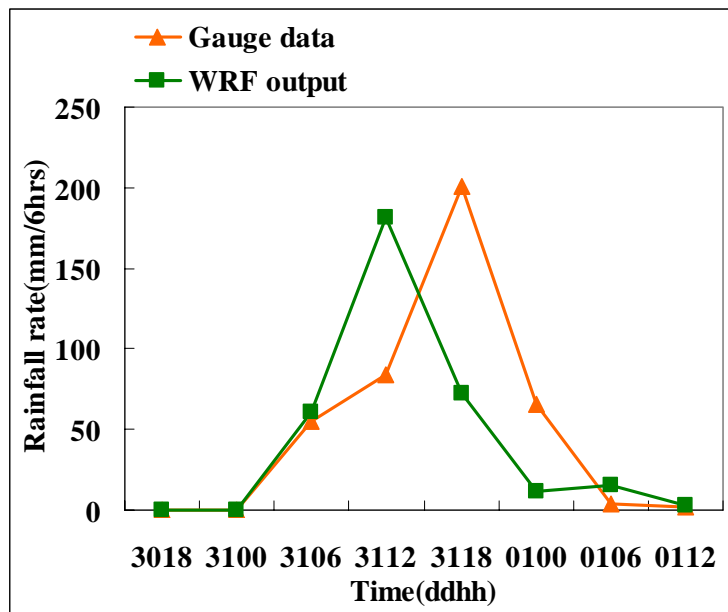


圖 7.30 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 泰利颱風之徐昇氏面積平均雨量時間序列圖。

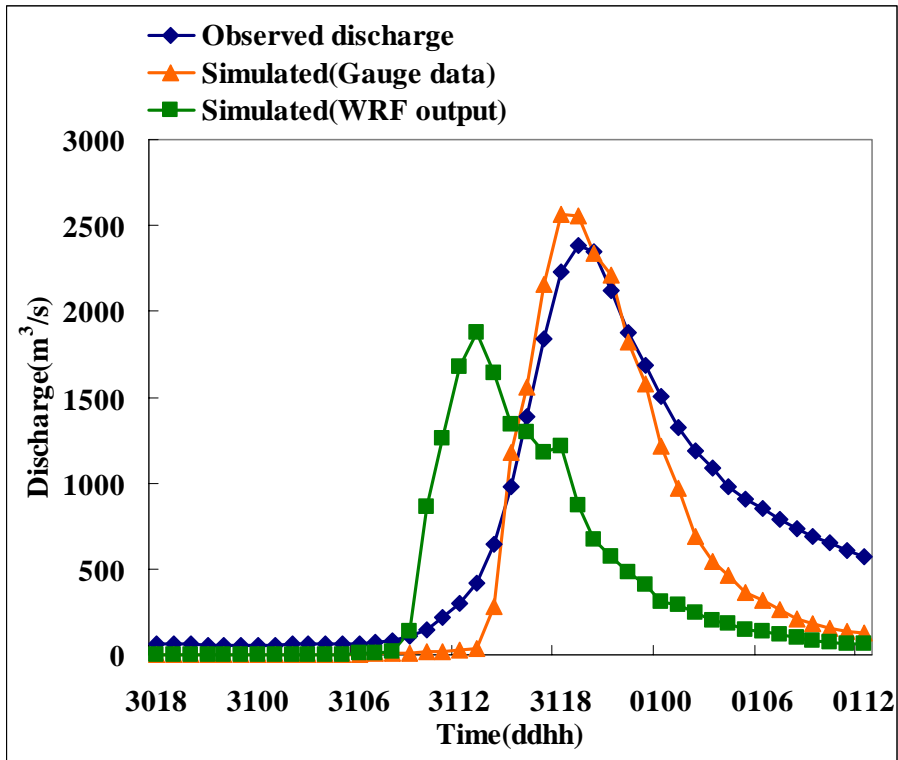


圖 7.31 2005 年 8 月 30 日 1200UTC 至 2005 年 9 月 1 日 1200UTC 泰利颱風之模擬流量歷線圖。