

災害防救應用科技方案  
水庫集水區之短期定量降雨  
預報技術發展  
成果報告書

國家實驗研究院

台灣颱風洪水研究中心

中華民國 103 年 2 月

# 目錄

第一章 前言 .....	1
第二章 水庫集水區降雨氣候特徵.....	3
第三章 短期定量降雨預報技術方法.....	13
(1) 台灣定量降雨系集預報實驗 .....	13
(2) 機率撮合(probability-matched, PM)方法 .....	18
第四章 颱風個案分析.....	23
第五章 結論 .....	26
參考文獻.....	29

## 圖表目錄

表 2.1 石門水庫集水區測站列表(共 17 測站)。	6
表 2.2 曾文水庫集水區測站列表(共 19 測站)。	7
表 3.1 列聯表。	16
圖 2.1 (a) 石門水庫及 (b) 曾文水庫集水區 1987 年至 2012 年月平均測站平均日雨量(黑實線)、標準差(黑色虛線)。篩選測站資料門檻值為該站單月有雨量資料天數大於 20 天才納入統計，圖中綠色直條為通過篩選之測站數目。	8
圖 2.2 (a) 石門水庫、(b) 曾文水庫集水區測站位置以及 1987 至 2012 年月平均測站平均日雨量之測站間相關係數(以顏色表示)。	8
圖 2.3 以台灣降雨季特徵分類之(a) 石門水庫、(b) 曾文水庫集水區 1987 至 2012 年測站平均日雨量(實線)與其標準差(虛線)。3、4 月分類為春季(SP，綠線)，測站資料篩選門檻值為該站有資料天數大於 40 天；5、6 月為梅雨季(MY，藍線)，門檻值為該站有資料天數大於 40 天；7、8、9 月為颱風季(TY，紅線)，門檻值為該站有資料天數大於 60 天；10、11、12、1、2 月為冬季(WI，黑線)，門檻值為該站有資料天數大於 100 天。	9

- 圖 2.4 石門水庫集水區之季節平均日降雨距平(黑線)、線性趨勢線(藍線)、季節平均無降雨天數(黃直條)及最大連續無降雨天數(紅直條);(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 颱風季及(d)冬季。..... 10
- 圖 2.5 同圖 2.4，曾文水庫集水區。..... 10
- 圖 2.6 快速傅立葉轉換(FFT)降雨頻譜分析，(a)、(b)、(c)、(d) 石門水庫集水區；(e)、(f)、(g)、(h) 曾文水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季之平均日降雨分析。縱軸為振幅，橫軸為週期。..... 11
- 圖 2.7 以離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform)重建日降雨資料(綠色線)。另圖中加入氣候季節平均日降雨(黑色線)及兩者相關係數。(a)、(b)、(c)、(d) 石門水庫集水區；(e)、(f)、(g)、(h) 曾文水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季之平均日降雨分析。..... 12
- 圖 3.1 TAPEX 系集實驗 2012 年全年雨量校驗公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)，系集平均以黑粗線表示；系集成員以灰色線表示。..... 17
- 圖 3.2 TAPEX 系集實驗於 2012 年全年雨量校驗偏倚得分(Bias Score, BS)，系集平均以黑粗線表示；系集成員

以灰色線表示。 .....	17
圖 3.3 2012 年系集平均(黑色)與觀測(紅色)之機率密度函數 (Probability Density Function, PDF, 柱狀圖)和累積分 佈函數(Cumulative Distribution Function, CDF, 折線 圖)。	20
圖 3.4 2012 年 TAPEX 之系集平均(黑色)、所有系集成員(藍 色)與觀測(紅色)之機率密度函數(PDF, 柱狀圖)與累 積分佈函數(CDF, 折線圖).....	20
圖 3.5 機率撮合(probability-matched, PM)方法流程圖。 ..	21
圖 3.6 2012 年 TAPEX 經過 PM 後(綠色)之機率密度函數及累 積機率密度函數。 .....	21
圖 3.7 2012 年每 24 小時全台雨量最大值比較圖(橫座標為 dtg), 紅色線為觀測、藍色線為系集平均而綠色線為 PM 後雨量最大值。 .....	22
圖 4.1 石門水庫集水區及曾文水庫集水區示意圖。 .....	24
圖 4.2 2013 年康芮颱風(KONG-REY)8 月 28 日 08 時至 8 月 31 日 08 時 72 小時之(a)觀測累積雨量, (b)、(c)石門 水庫、曾文水庫集水區系集平均之累積雨量以及(d)、 (e)石門水庫、曾文水庫集水區 PM 方法改良後之累積	

雨量。 .....25

圖 4.3 同圖 4.2，2013 年菲特颱風(FITOW)10 月 03 日 18 時  
至 10 月 06 日 18 時。 .....25

# 第一章 前言

在全球氣候變遷的影響下，近年來世界各地極端天氣現象的發生頻率漸增。台灣地區位於西北太平洋海域之樞紐位置，每年依季節分別受到梅雨、颱風及中緯度鋒面的影響。因此，台灣地區年平均降雨量約可達 2,500 毫米以上，但由於降雨之時空分布不均勻，若無法針對水資源進行預先的管理與調度，當無顯著梅雨鋒面或是颱風侵襲時，便容易面臨缺水現象；又或是當颱風來臨造成顯著降雨後，水庫才開始調節性洩洪，就會導致低漥地區出現淹水的狀況。過往針對台灣地區乾旱現象的研究，無論是由氣象、水文、水資源管理或乾旱預警等方面出發，均已投入大量之研究人員進行探討分析，並獲得許多豐碩的研究成果。然而，為求實務作業上之有效應用，仍須進一步提供決策者更明確之決策訊息。為增進台灣地區水庫水資源管理實務上的效率，我們針對扮演關鍵上游資訊提供者角色的氣象預報進行技術發展與研究。本研究應用颱風中心定量降雨系集預報之實驗結果，針對水庫集水區，發展短期定量降雨預報技術，希望能有助於乾旱預警能力的提升。

本研究以颱風中心於 99 年開始之定量降雨系集預報實驗之經驗為基礎，著重在 72 小時（一至三天）高解析度定量降雨預報技術之研發。定量降雨系集預報實驗利用具備完整物理過程之動力模式與資料同化系統，藉由物理參數化、資料同化等擾動產生多組近似初始場，再經由數值模式運算求得多組大氣狀況資料，發展定量降雨機率預報技術。本研究為增進台灣地區水庫水資源管理之效率，將應用定量降雨系集預報之實驗結果，針對石門水庫與曾文水庫集水區，發展小範圍、高精度之最佳化定量降雨預報技術，並即時提供水庫管理單位於

應變期間參考應用，強化短期定量降雨預報技術之能力，以協助降低乾旱災害預警的不確定性。

第二章將介紹水庫集水區降雨的氣候特徵，利用所蒐集之石門水庫與曾文水庫集水區 1987 至 2012 年歷史降雨資料，分析其降雨氣候特徵，並進一步以春季、梅雨季、颱風季及冬季等不同降雨型態對集水區降雨做分類，並研究期間降雨之年際變化以及其與不降雨天數之相關性，最後透過頻譜分析，分析集水區降雨之年際之週期變化。第三、四章介紹本研究發展之水庫集水區定量降雨預報技術：利用颱風中心過去 3 年進行之系集預報實驗成果，針對石門水庫與曾文水庫之 72 小時預報結果與實際降雨進行分析與校驗，發展機率撮合/匹配 (probability-matched, PM) 之方法改善系集預報實驗結果對個別水庫集水區之預報能力，並以實際颱風個案進行測試。最後第五章為研究成果整理以及結論。

## 第二章 水庫集水區降雨氣候特徵

本研究蒐集石門水庫與曾文水庫集水區之歷史降雨資料，探討過去水庫集水區的氣候降雨特性。資料來源包含氣象局及水利署之測站，共蒐集 1987 至 2012 年時雨量資料，石門水庫集水區內共 17 測站，曾文水庫集水區內共 19 測站，測站列表如表 2.1、表 2.2，測站分布位置如圖 2.2 所示。首先分析測站降雨時序列特性，圖 2.1 為 1987 年至 2012 年間測站平均之月平均日降雨(黑實線)、標準差(黑色虛線)，篩選測站資料門檻值為該站單月有效雨量資料天數大於 20 天才納入統計，圖中綠色直條標示通過篩選之測站數目，在本研究蒐集資料中，石門水庫集水區內測站在 2003 年之後資料缺失問題顯著(圖 2.1(a))而曾文水庫集水區則有較完整資料。

在時序列變化上，從圖 2.1 可得知月平均日降雨呈現季節性變化，圖上極值多為颱風季期間颱風降雨所造成。而在空間特性方面，本研究以各測站平均日雨量資料進行相關性分析(圖 2.2)，石門水庫集水區以氣象局復興測站(時雨量資料長度最完整之測站)、曾文水庫集水區則以氣象局表湖測站為比較之基準(圖中三角形)，相關係數以顏色區分。分析結果顯示各測站間降雨之相關係數多在 0.8 以上，表示在集水區內各測站之降雨無顯著之空間分布差異，在石門水庫集水區內，以池端、西丘斯山站之降雨特性與其他測站最為不同，尤以池端站相關係數不到 0.6 為最低，原因可能為此兩測站皆坐落於山脊附近，受到地形影響造成降雨相關係數較低。而在曾文水庫集水區則顯示所有測站相關係數皆大於 0.7。

進一步將降雨資料以台灣降雨特性區分為春季(SP, 3、4 月)、梅雨季(MY, 5、6 月)、颱風季(TY, 7、8、9 月)及冬季(WI, 10、11、

12、1、2月)，探討在各季節中集水區內季節平均日降雨(圖 2.3)，各季節中篩選測站資料門檻值分別設定為：春季，有資料天數大於 40 天；梅雨季，有資料天數大於 40 天；颱風季，有資料天數大於 60 天；冬季，有資料天數大於 100 天。在石門水庫集水區，以資料最完整之氣象局復興測站為例，年平均累積雨量中春季佔 15%、梅雨季佔 24%、颱風季佔 40%、冬季則佔 21%，而在全測站平均上春季年平均降雨有 6.0 mm、梅雨季有 9.8 mm、颱風季有 13.0 mm、而冬季有 4.4 mm。而在曾文水庫集水區，測站平均年平均累積雨量中春季佔 6%、梅雨季佔 29%、颱風季佔 57%、冬季則佔 8%，年平均降雨則為春季 2.9 mm、梅雨季 13.3 mm、颱風季 17.7 mm、而冬季為 1.5 mm。在春、冬季曾文水庫集水區平均降雨量小於石門水庫集水區，而在颱風季曾文水庫集水區平均降雨量大於石門水庫集水區。

圖 2.4、圖 2.5 為日降雨距平(黑線)年際變化，圖上標示平均日降雨之線性趨勢線(藍線)、平均無降雨天數(黃直條)及最大連續無降雨天數(紅直條)。圖 2.4(a)、(b)、(c)、(d)分別顯示石門水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季。春季降雨距平並無明顯之年際變化趨勢，而梅雨季及颱風季則呈現增加的趨勢。以日降雨小於 1 mm 為門檻值定義並計算無降雨天數，在冬季、春季平均無降雨天數所佔比例最高，分別為 65%及 58%，而與降雨的相關性則以春、梅雨季最高，相關係數分別為-0.71 與-0.55，顯示過去發生乾旱事件時，春、梅雨季雨量距平值低且季節內無降雨天數高，例如 2002 年北部之乾旱事件發生時，北部石門水庫集水區呈現偏少的雨量。圖 2.5 則為曾文水庫集水區之分析結果，年際變化趨勢與石門水庫集水區(圖 2.4)類似，春、冬季無明顯年際變化趨勢，而梅雨、颱風季呈現增加趨勢；平均無降雨天天數以春、冬季所佔比例最高；平均無降雨天數與日降雨距平的

相關性也顯示以春、梅雨季為最好，分別達到-0.73 及-0.75。

水庫集水區的日降雨除了上述年際變化的線性趨勢外，本研究進一步利用快速傅立葉轉換(FFT)對日降雨進行頻譜分析，探討石門、曾文水庫集水區降雨之年際變化是否有週期性之特徵。圖 2.6 (a)、(b)、(c)、(d) 為石門水庫集水區、(e)、(f)、(g)、(h) 為曾文水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季之平均日降雨頻譜分析圖，縱軸為振幅，橫軸為週期。圖上週期 26 年之振幅極值即為年際變化之線性趨勢，除此以外，集水區內春季降雨呈現 2 到 4 年的週期性特徵。梅雨季降雨約有 5 到 6 年的週期性特徵，但兩集水區差異較大。颱風季降雨則有 3 到 4 年的週期。冬季則無顯著週期主宰。以春季降雨為例，若只取除 26 年週期以外最顯著前三個週期的訊號(2.89、3.71 及 8.67 之週期)，並透過離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform)重建雨量資料如圖 2.7(綠色線)，可解釋大部分氣候春季降雨(黑色線)的趨勢，跟平均日降雨資料在石門水庫集水區相關係數達到 0.63(圖 2.7(a))，曾文水庫集水區相關係數達到 0.66(圖 2.7(e))，顯示春季降雨受聖嬰現象 2~4 年之週期影響最為顯著。圖 2.7(b)、(c)及圖 2.7(f)、(g)則分別為石門水庫及曾文水庫集水區之梅雨季、颱風季分析結果，此兩季取 26 年週期以外最顯著前二個週期訊號來重建雨量資料，與平均日降雨相關係數分別在石門水庫集水區為 0.58、0.68，在曾文水庫集水區為 0.6、0.53，都有不錯之表現。

春季降雨雖然受聖嬰現象影響，但卻難以直接應用在降雨定量預報上，為配合現在天氣預報之作業，第三章將介紹本研究利用颱風中心過去 3 年進行之系集預報實驗成果，針對石門水庫與曾文水庫之 72 小時預報發展之短期定量降雨預報技術方法。

表 2.1 石門水庫集水區測站列表(共 17 測站)。

站名	WRA 八碼站號	CWB 站號	管理單位	時雨量資料年份	資料 年數
復興	---	C0C460	中央氣象局	1987-2012	26
十一份	1140P093	21C040	北水局	2001-2002,2008-2012	7
石門	1140P022	21C050	北水局	2001-2002,2008-2012	7
復興	1140P017	21C060	北水局	2001-2002,2008-2012	7
巴陵	1140P012	21C070	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
高義	1140P015	21C080	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
嘎拉賀	1140P088	21C090	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
長興	1140P110	21C110	北水局	2001-2002,2008-2012	7
霞雲	1140P114	21C140	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
三光	1140P009	21C150	北水局	2001-2002,2008-2012	7
鞍部	1140P005	21D120	北水局	2001-2002,2008-2012	7
秀巒	1140P006	21D140	北水局	2002-2002,2008-2012	7
玉峰	1140P007	21D150	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
新白石	1140P003	21D160	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
鎮西堡	1140P001	21D170	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
西丘斯山	1140P150	21D350	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20
池端	2560P011	21U110	北水局	1987-1999,2001-2002,2008-2012	20

表 2.2 曾文水庫集水區測站列表(共 19 測站)。

站名	WRA 八碼站號	CWB 站號	管理單位	時雨量資料年份	資料 年數
民生	---	C1V160	中央氣象局	1992-2012	21
草嶺(嘉)	---	C1M400	中央氣象局	1989-2012	24
馬頭山	---	C0M410	中央氣象局	1989-2012	24
表湖	---	C0V150	中央氣象局	1989-2012	24
頭凍	---	C1M600	中央氣象局	1997-2012	16
關子嶺	---	C0X020	中央氣象局	1993-2012	20
小公田	---	C1M540	中央氣象局	1993-2012	20
瀨頭	---	C1M390	中央氣象局	1989-2012	24
大棟山	---	C1O870	中央氣象局	1989-2012	24
關山	---	C1O880	中央氣象局	1989-2012	24
里佳	1630P048	H1M220	南水局	1987-2012	26
水山	1630P046	H1M230	南水局	1987-2012	26
樂野	1630P047	H1M240	南水局	1987-2012	26
關山	1630P055	01O760	6 河局	1984-2012	26
馬頭山	1630P049	H1M250	南水局	1987-2012	26
表湖	1630P063	H1P970	南水局	1987-2012	26
三角南山	1630P065	H1M420	南水局	1987-2012	26
大棟山	1630P066	H1O940	南水局	1987-2012	26
民族	1630P124	01V080	7 河局	1978-2012	26

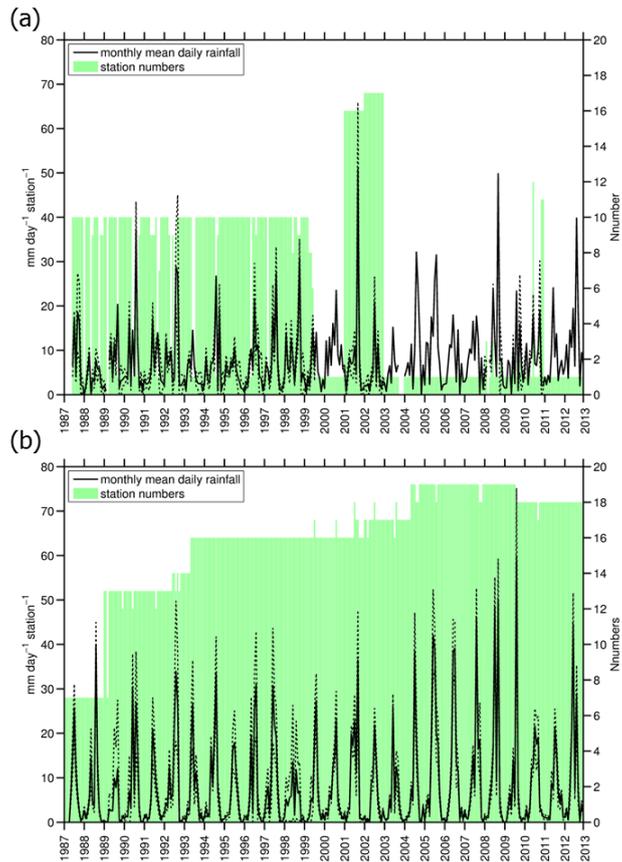


圖 2.1 (a) 石門水庫及 (b) 曾文水庫集水區 1987 年至 2012 年月平均測站平均日雨量(黑實線)、標準差(黑色虛線)。篩選測站資料門檻值為該站單月有雨量資料天數大於 20 天才納入統計，圖中綠色直條為通過篩選之測站數目。

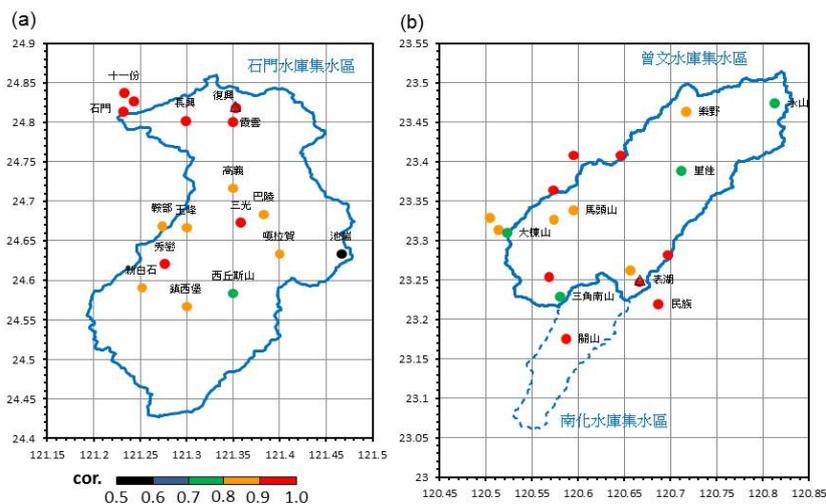


圖 2.2 (a) 石門水庫、(b) 曾文水庫集水區測站位置以及 1987 至 2012 年月平均測站平均日雨量之測站間相關係數(以顏色表示)。

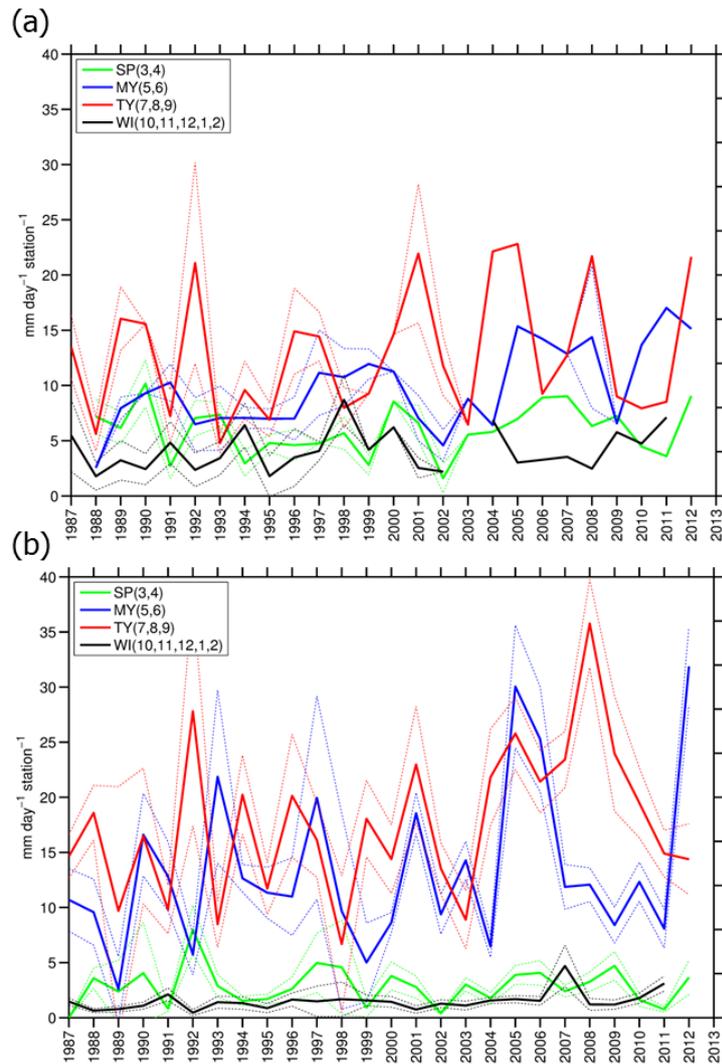


圖 2.3 以台灣降雨季特徵分類之(a) 石門水庫、(b) 曾文水庫集水區 1987 至 2012 年測站平均日雨量(實線)與其標準差(虛線)。3、4 月分類為春季(SP, 綠線), 測站資料篩選門檻值為該站有資料天數大於 40 天; 5、6 月為梅雨季(MY, 藍線), 門檻值為該站有資料天數大於 40 天; 7、8、9 月為颱風季(TY, 紅線), 門檻值為該站有資料天數大於 60 天; 10、11、12、1、2 月為冬季(WI, 黑線), 門檻值為該站有資料天數大於 100 天。

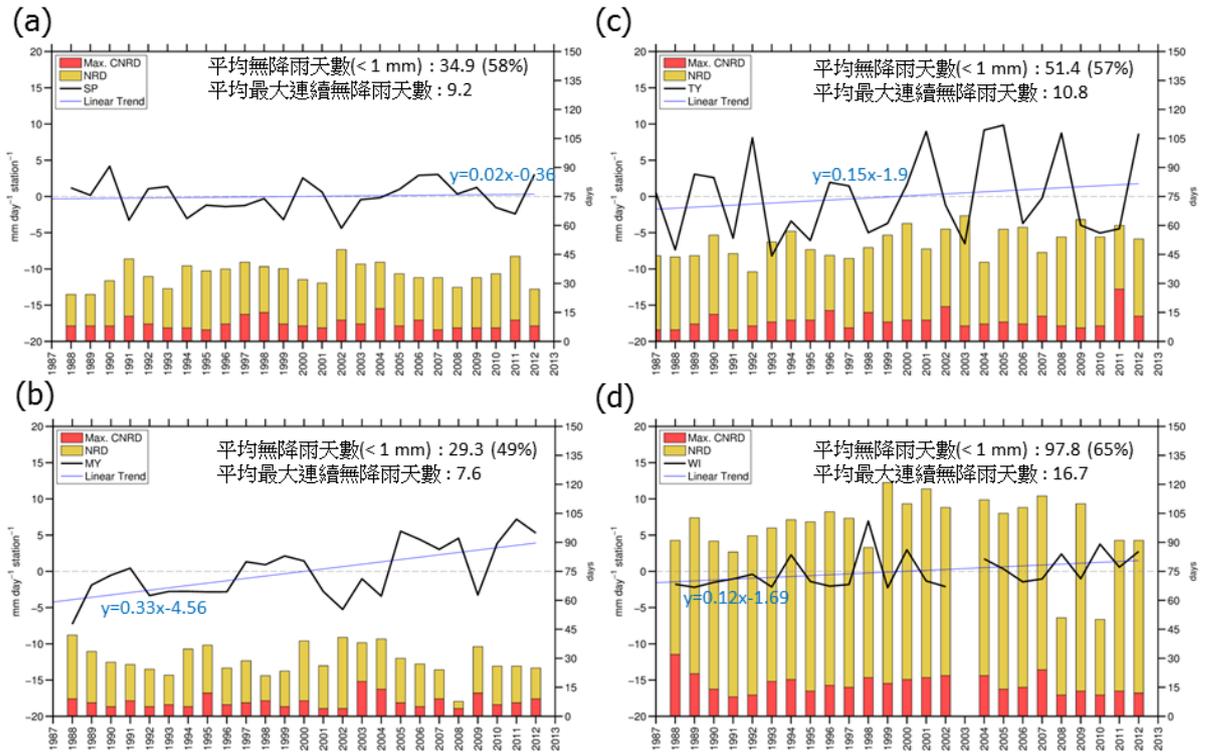


圖 2.4 石門水庫集水區之季節平均日降雨距平(黑線)、線性趨勢線(藍線)、季節平均無降雨天數(黃直條)及最大連續無降雨天數(紅直條)；(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 颱風季及(d)冬季。

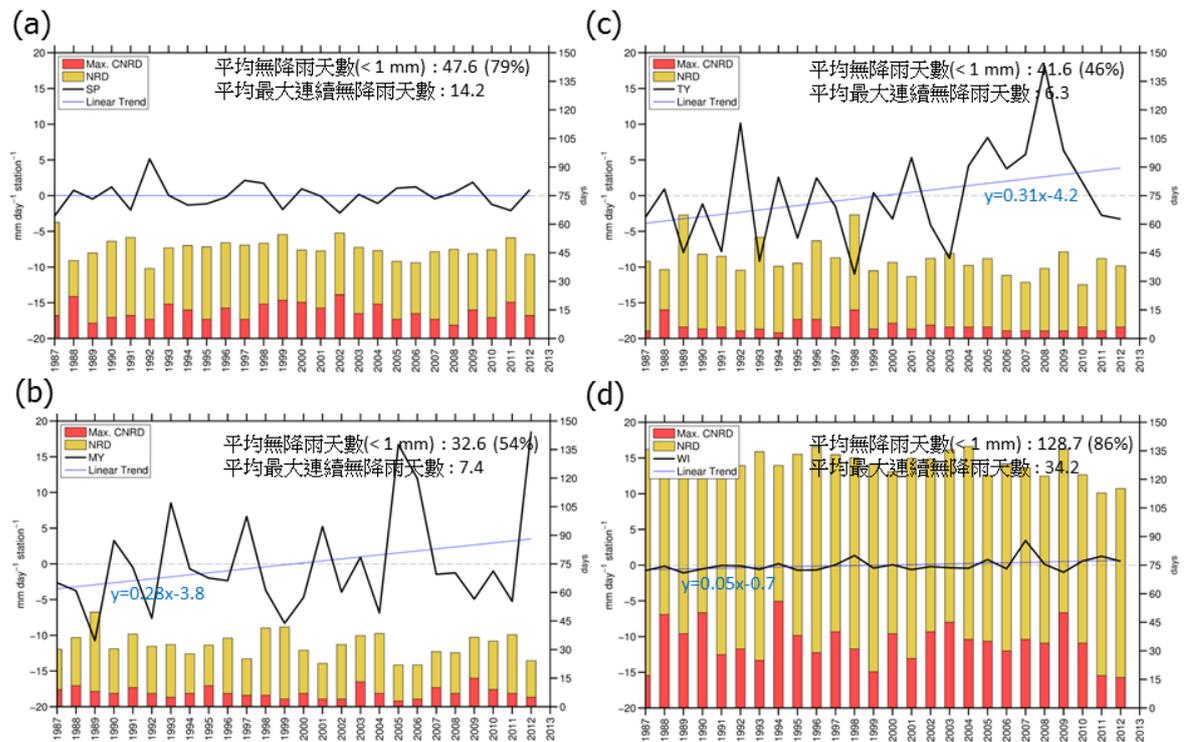


圖 2.5 同圖 2.4，曾文水庫集水區。

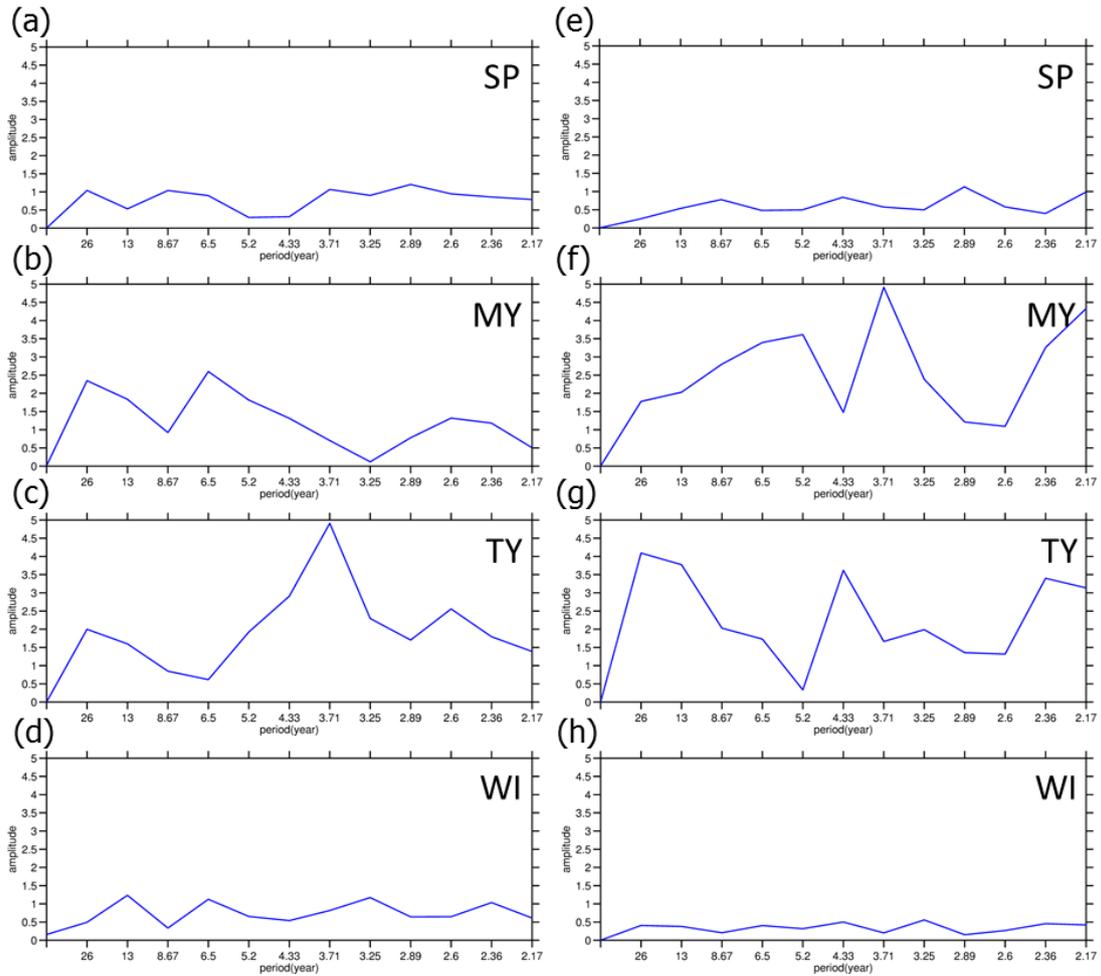


圖 2.6 快速傅立葉轉換(FFT)降雨頻譜分析，(a)、(b)、(c)、(d) 石門水庫集水區；(e)、(f)、(g)、(h) 曾文水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季之平均日降雨分析。縱軸為振幅，橫軸為週期。

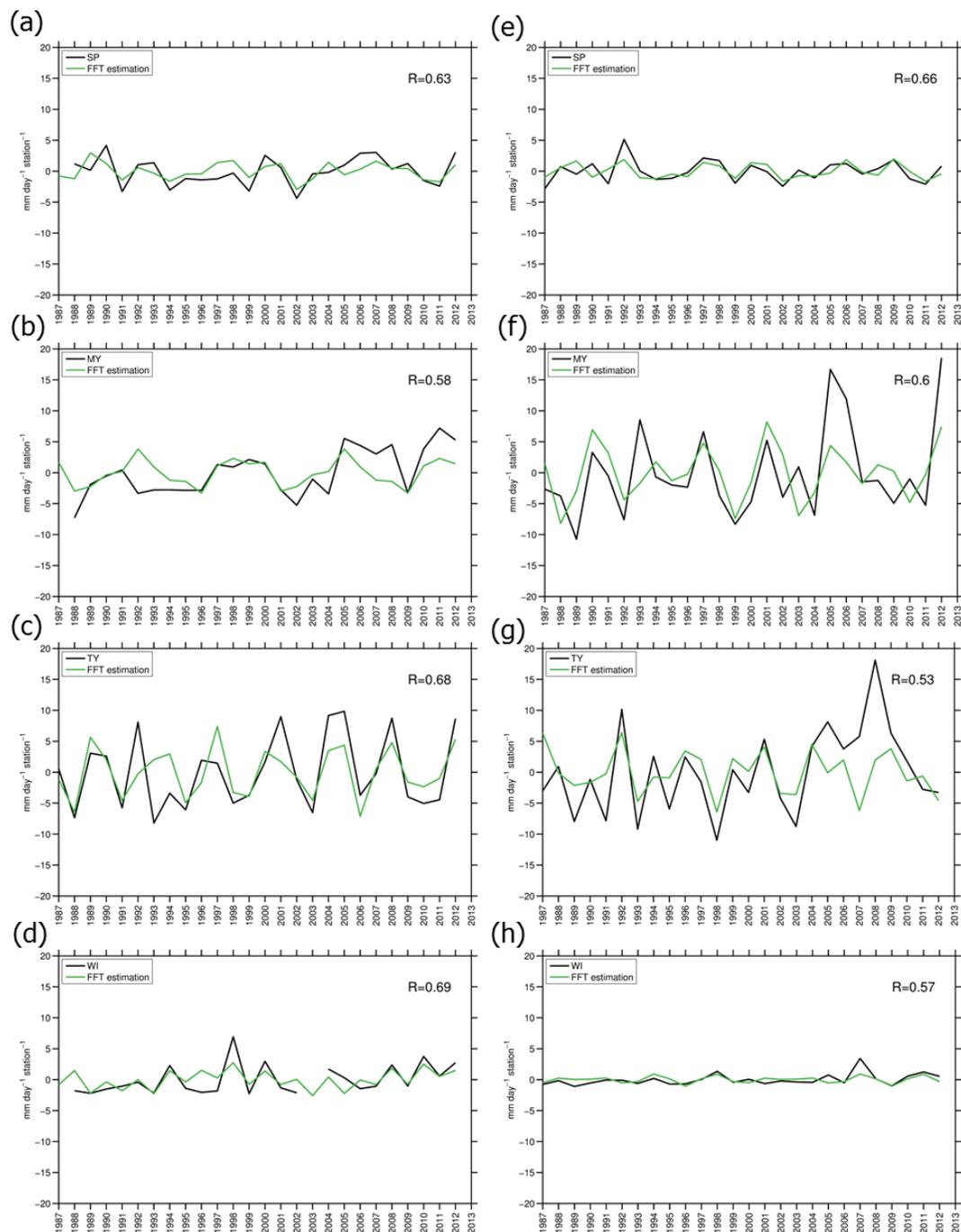


圖 2.7 以離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform)重建日降雨資料

(綠色線)。另圖中加入氣候季節平均日降雨(黑色線)及兩者相關係數。(a)、(b)、(c)、(d) 石門水庫集水區；(e)、(f)、(g)、(h) 曾文水庫集水區之春季、梅雨季、颱風季及冬季之平均日降雨分析。

### 第三章 短期定量降雨預報技術方法

本研究之短期定量降雨預報技術方法是利用颱洪中心「台灣定量降雨系集預報實驗」(Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX)之 72 小時預報雨量，發展機率撮合/匹配(probability-matched, PM)方法對短期降雨做預報，並進行測試，分述如下：

#### (1) 台灣定量降雨系集預報實驗

颱洪中心於2010年起進行「台灣定量降雨系集預報實驗」(Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX)，其目的在研發測試定量降雨預報技術並增加災防單位應變作業時可參考之資訊，協助提升災害防救效能。其實驗結合學研界(台灣大學、中央大學、台灣師範大學及文化大學)與作業單位(中央氣象局)之研發能量，並結合國家高速網路與計算中心的計算資源及國家災害防救科技中心的實務經驗。於颱風影響台灣期間，每日產出4次即時高解析度台灣地區天氣狀況並利用系集統計方法與機率預報概念，分析颱風路徑與雨量分布，並提供致災性雨量的機率預報。2012年實驗系集成員增加至22組，其模式包含多種不同之中尺度區域數值模式。2012年之實驗中包含有16組WRF模式(Weather Research and Forecasting Model)、2組第五代中尺度氣象模式(The Fifth-Generation NCAR / Penn

State Mesoscale Model, MM5)，2組雲解析風暴模式(Cloud-Resolving Storm Simulator, CReSS)以及2組的HWRP模式(Hurricane Weather Research and Forecasting Model)。

2012年TAPEX系集成員以及系集平均的整年校驗，以列聯表(表3.1)方式計算公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)以及校驗偏倚得分(Bias Score, BS)，方法如下：

- a. 公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS, 範圍：-1/3~1、最佳值：1、無能力：0)

$$ETS = \frac{\text{hits} - \text{hits}_{\text{random}}}{\text{hits} + \text{misses} + \text{false alarms} - \text{hits}_{\text{random}}}$$

其中，

$$\text{hits}_{\text{random}} = \frac{(\text{hits} + \text{misses})(\text{hits} + \text{false alarms})}{\text{total}}$$

ETS 又可稱為 GSS(Gilbert skill score)，此得分計算除了排除觀測與預報降雨皆沒有超過門檻值的情形，亦額外排除隨機預報正確的狀況，因此利用此得分比較不同區域的預報表現會較為客觀。

- b. 偏倚得分(Bias Score, BS, 範圍：0~∞、最佳值：1)

$$\text{Bias} = \frac{\text{hits} + \text{false alarms}}{\text{hits} + \text{misses}}$$

偏倚得分意義即為預報 Yes 之點數佔觀測 Yes 點數的比例，若

BS 大於 1 表示過度預報，小於 1 表示不足預報。此得分僅用以描述預報與觀測之間的相對關係，並不能用以描述預報結果有多接近觀測。

2012年全年TAPEX系集校驗結果如圖3.1及圖3.2所示。24小時累積雨量選取大雨門檻值(50 mm/24hrs)，豪雨門檻值(130 mm/24hrs)，大豪雨門檻值(200 mm/24hrs)以及超大豪雨門檻值(350 mm/24hrs)來計算ETS。在大雨門檻值及豪雨門檻值時，系集平均之ETS分別為0.44及0.45，優於其他單一成員，在大豪雨門檻值時，系集平均之ETS為0.38，與其他成員相比排名第二，而在超大豪雨門檻值時系集平均之ETS為0.38名列第五，表示系集平均在全年表現整體來說表現優異。由BS校驗分數來看(圖3.2)，在大雨門檻值下，系集平均有較好的表現(接近1)，但在豪雨、大豪雨尤其是超大豪雨門檻值下，系集平均都明顯不足預報(小於1)。綜合ETS以及BS表現，系集平均在降雨預報上較單一成員表現來得好，但容易在大值低估，而在其他系集成員中，反而較有機會可能報到降雨大值。

表 3.1 列聯表。

觀測 (Observed) 預報 (Forecast)	Yes $\geq$ 門檻值	No $<$ 門檻值	Total
Yes $\geq$ 門檻值	Hits (命中)	False Alarms (錯誤預報)	Forecast Yes
No $<$ 門檻值	Misses (失誤)	Correct Negatives	Forecast No
Total	Observed Yes	Observed No	Total

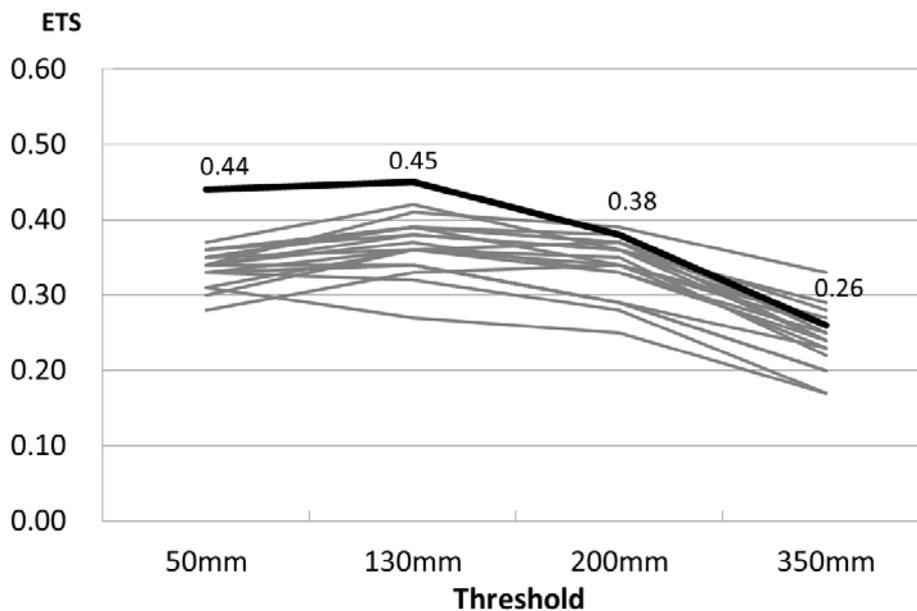


圖 3.1 TAPEX 系集實驗 2012 年全年雨量校驗公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)，系集平均以黑粗線表示；系集成員以灰色線表示。

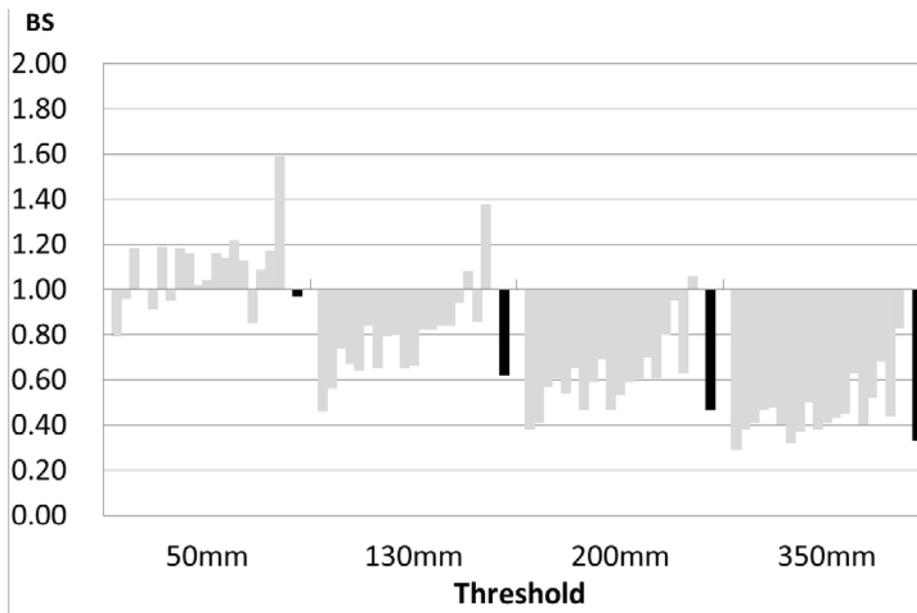


圖3.2 TAPEX系集實驗於2012年全年雨量校驗偏倚得分(Bias Score, BS)，系集平均以黑粗線表示；系集成員以灰色線表示。

## (2) 機率撮合(probability-matched, PM)方法

本研究參考過去機率撮合(probability-matched, PM)方法在雷達降雨、數值實驗上之應用經驗(Rosenfeld et al. 1993, 1994, 1995; Ebert 2001; Fang and Kuo 2013)，將其利用於TAPEX系集實驗的基礎上，發展出適合之短期定量降雨預報技術。圖3.3為分析2012年TAPEX中，挑選資料較完整之系集成員M01到M19之系集平均與觀測之機率密度函數(Probability Density Function, PDF)、累積分佈函數(Cumulative Distribution Function, CDF)之結果。系集平均在強降雨預報上之PDF明顯比觀測不足。而在降雨強度50 mm/24hrs以下，系集平均與觀測降雨有相同的累積機率，其結果符合圖3.2中BS在降雨門檻值50 mm/24hrs的校驗結果。而分析結果也顯示當CDF超過0.9以上，在相同的超越機率情況下，系集平均預報值明顯小於觀測值。

將系集平均、系集成員以及觀測進行PDF以及CDF分析，如圖3.4所示。圖3.4為2012年TAPEX之系集平均(黑色)、19組系集實驗(藍色)與觀測(紅色)之機率密度函數(Probability Density Function, PDF, 柱狀圖)與累積分佈函數(Cumulative Distribution Function, CDF, 折線圖)。顯示在降雨強度50 mm/24hrs左右，系集平均與觀測之CDF大致相同，表示若降雨事件門檻值設為50 mm/24hrs時，系集平均與觀測在門檻值以上及以下的降雨強度事件發生機率皆相近，但系集平均在130 mm/24hrs以上之PDF明顯小於觀測，在強降雨事件有低估的情形；

而從CDF分析來看，系集成員與觀測之CDF於70 mm/24hrs ~ 80 mm/24hrs，交會於CDF為0.93處，顯示整體系集成員相較系集平均來說更有機會能反應出強降雨事件。由整體趨勢來說，系集平均雖然可以反應降雨分布的空間特性，但是往往對於強降雨事件的降雨強度有所低估，各系集實驗中發生機率分布較系集平均更接近實際雨量事件發生的機率分布。因此，PM方法將TAPEX系集平均的雨量值進行排序，得到排序後之網格點上的雨量空間分布資訊，再將各系集實驗成員中網格點上雨量值也進行排序，最後將系集成員雨量資訊依照順序放入系集平均排列後的網格點上(圖3.5)。如此能同時保持較正確的系集平均雨量空間分布，又能夠修正系集平均雨量值使其更接近觀測雨量值。

將2012年TAPEX系集資料，利用M01至M19共19個系集成員做為樣本，共使用2012年194個dtg初始時間之實驗進行全台之PM方法測試，由機率密度函數與累積機率密度函數圖(圖3.6)，可看出PM過後的累積機率密度函數比系集平均更接近觀測，且在不損失成員資訊情形下，呈現所有系集成員雨量發生之機率分布。由194個dtg初始時間實驗數求得全台24小時累積雨量最大値之比較圖，如圖3.7所示，結果顯示在發生雨量大値區域，PM方法能有效將系集平均高値提高，但在較低雨量時有略微高估的情況。

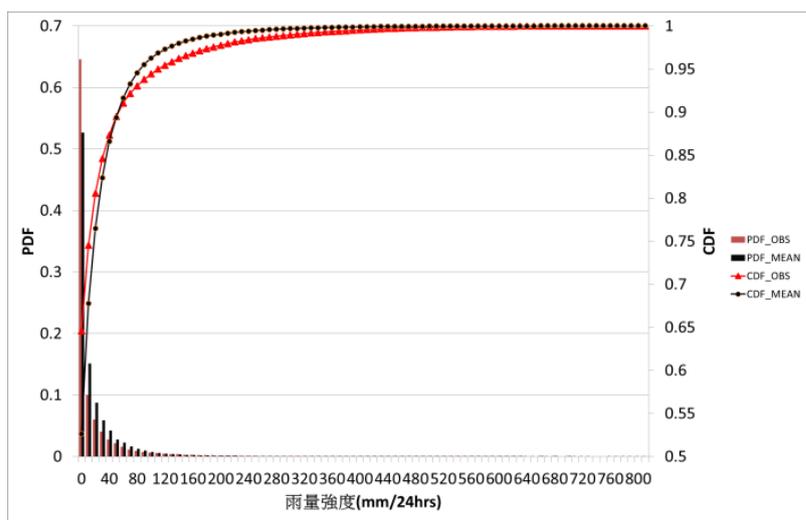


圖3.3 2012年系集平均(黑色)與觀測(紅色)之機率密度函數(Probability Density Function, PDF, 柱狀圖)和累積分佈函數(Cumulative Distribution Function, CDF, 折線圖)。

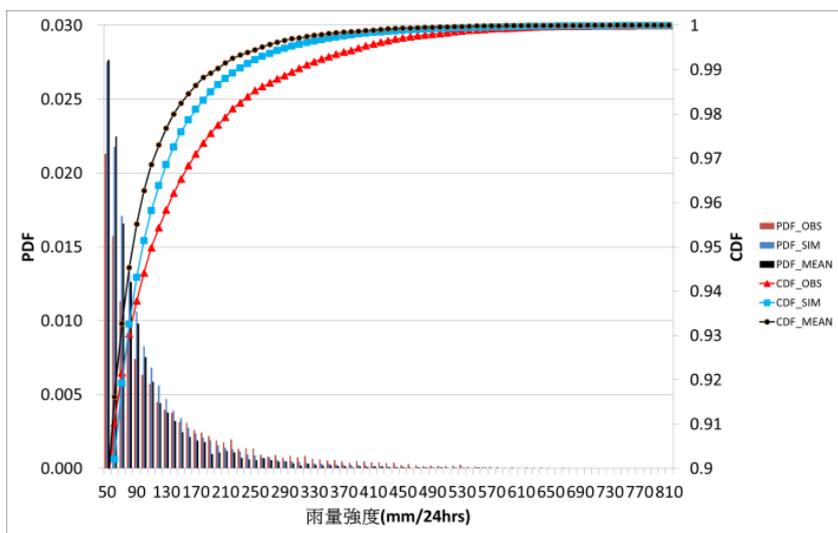


圖3.4 2012年TAPEX之系集平均(黑色)、所有系集成員(藍色)與觀測(紅色)之機率密度函數(PDF, 柱狀圖)與累積分佈函數(CDF, 折線圖)

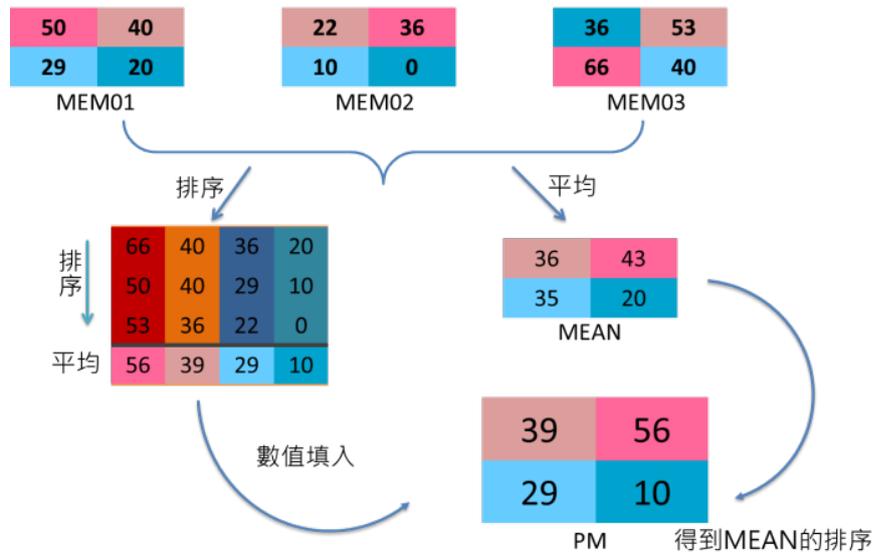


圖3.5 機率撮合(probability-matched, PM)方法流程圖。

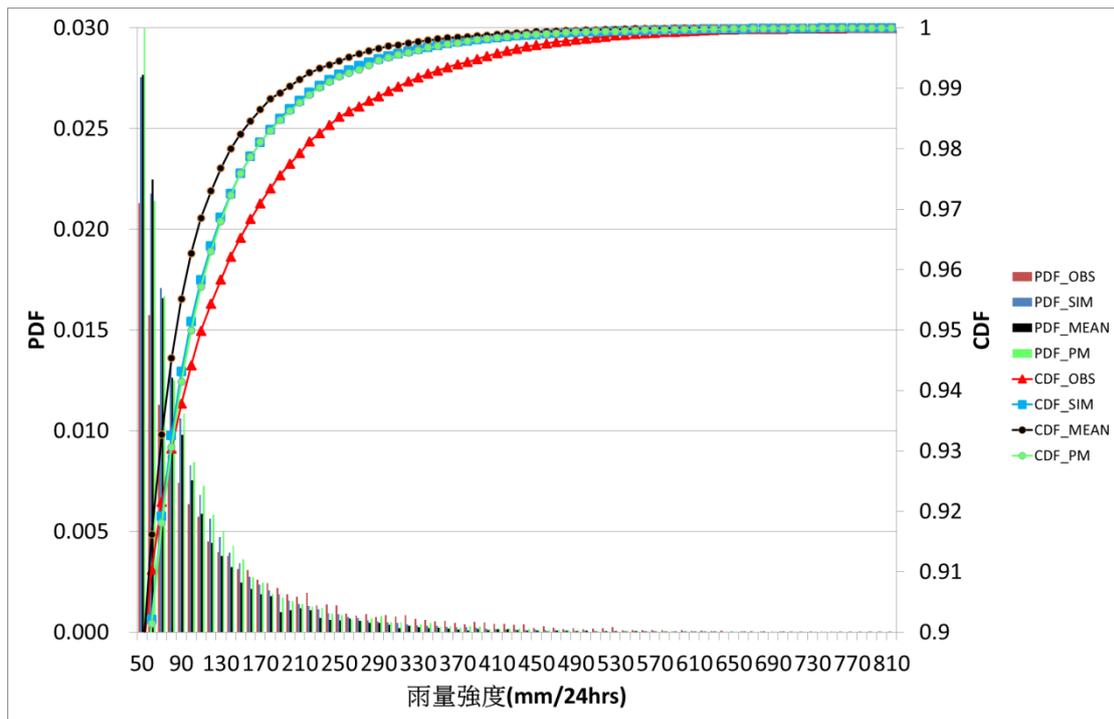


圖3.6 2012年TAPEX經過PM後(綠色)之機率密度函數及累積機率密度函數。

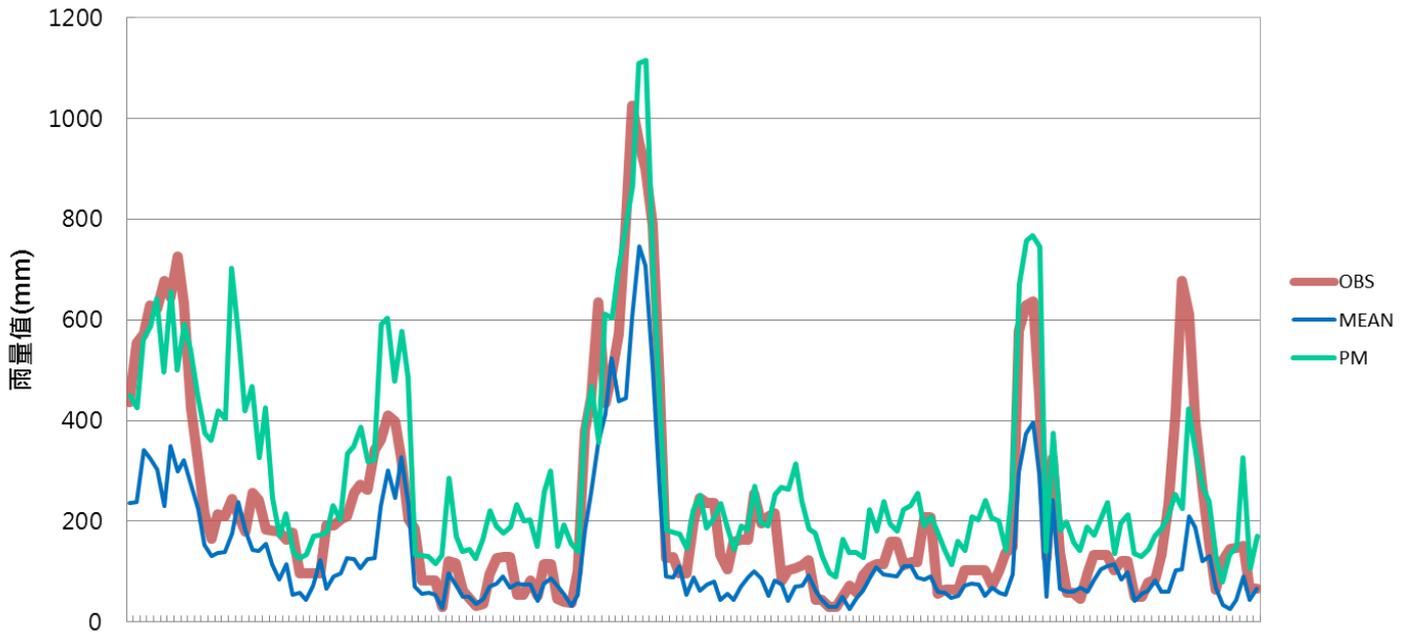


圖3.7 2012年每24小時全台雨量最大值比較圖(橫座標為dtg)，紅色線為觀測、藍色線為系集平均而綠色線為PM後雨量最大值。

## 第四章 颱風個案分析

本章以PM方法，將選取範圍由全台灣的範圍縮小至石門水庫集水區以及曾文水庫集水區範圍(圖4.1)作為測試區域，並從2013年的侵台颱風中，挑選康芮颱風(KONG-REY)及菲特颱風(FITOW)作為2013年PM方法測試的個案。分析結果分別於圖4.2及圖4.3。圖4.2(a)為2013年康芮颱風(KONG-REY)於8月28日08時至8月31日08時之72小時累積雨量，在台灣西南部有劇烈降雨，曾文水庫集水區72小時累積最大降雨為668 mm，而北部石門水庫最大降雨為45 mm。圖4.2(b)為以初始時間8月28日08時模擬之系集平均結果，在曾文水庫區域最大降雨為340 mm，與觀測誤差為328 mm，最大值區域接近，但雨量值明顯低估。圖4.2(d)則顯示經過PM後最大降雨提高為443 mm，與觀測之誤差減少至225 mm，改善系集平均之誤差值約31.4%。而在石門水庫集水區的最大值亦提高，但在周圍區域，PM將破百毫米之雨量值降低約60 mm以下，明顯將低值降低。

2013年菲特颱風在北台灣造成劇烈降雨，圖4.3(a)為2013年10月03日18時至10月06日18日之72小時累積雨量，在石門水庫區域最大值為323 mm，而在曾文水庫區域雨量值約為1 mm以下。圖4.3(b)則是以10月03日18時為模式初始時間之系集平均結果，在石門水庫區域最大值約為139 mm，雖然最大值發生區域相近，但其雨量值明顯低估許多，經過PM後改善後(圖4.3(c))最大值提高為352 mm，誤差絕對值從

184 mm降低為29 mm，改善約84.2%。在降雨較小之曾文水庫集水區，雖最大值將5 mm提升之8 mm，但其他區域之雨量值明顯降低至1 mm以下。兩颱風個案誤差分別改善31.4%與84.2%，雖然改善程度依個案不同而有變化，然而可發現PM方法對系集平均降雨都有正向的改善，平均誤差減少約可達到原誤差的57.8%。針對2013年之康芮與菲特颱風的測試結果顯示，此方法可顯著改善72小時累積之雨量預報；但因目前針對集水區進行分析之個案數尚少，有待未來持續進行驗證。

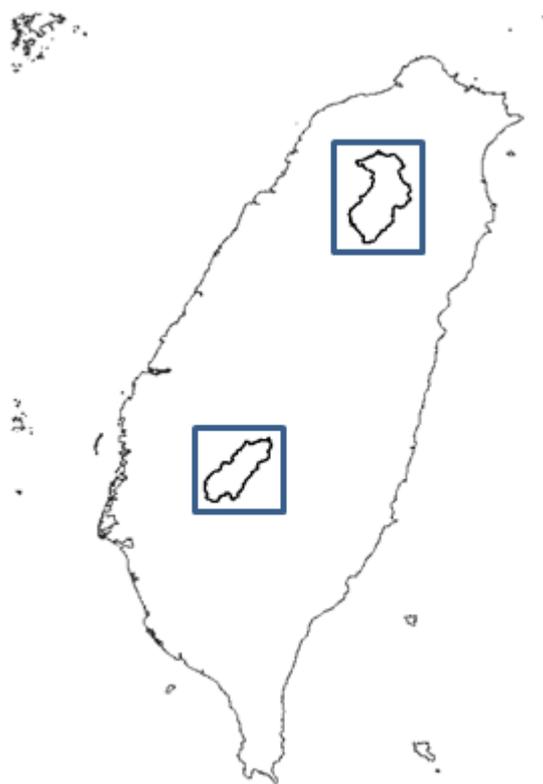


圖4.1 石門水庫集水區及曾文水庫集水區示意圖。

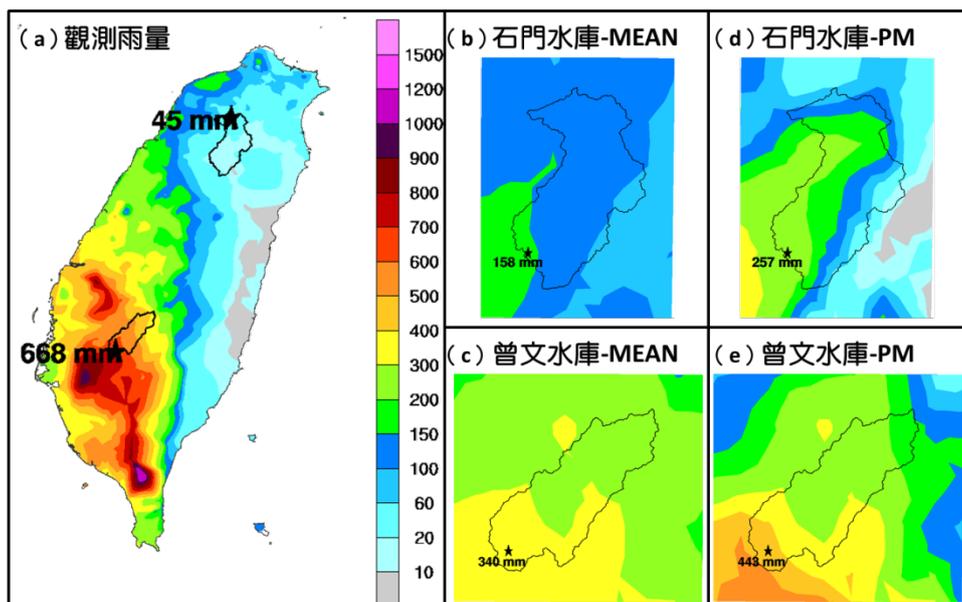


圖 4.2 2013 年康芮颱風(KONG-REY)8 月 28 日 08 時至 8 月 31 日 08 時 72 小時之(a)觀測累積雨量，(b)、(c)石門水庫、曾文水庫集水區系集平均之累積雨量以及(d)、(e)石門水庫、曾文水庫集水區 PM 方法改良後之累積雨量。

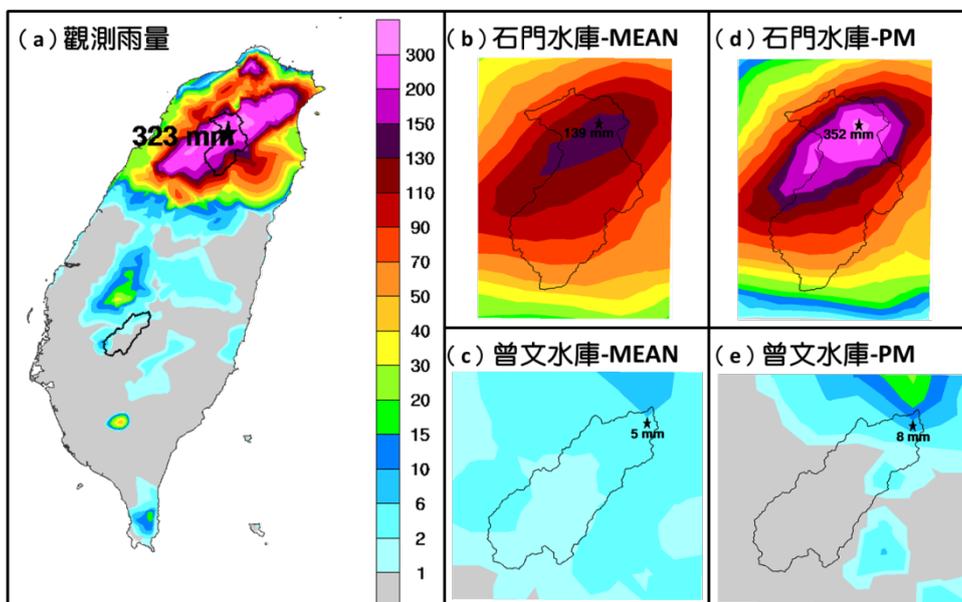


圖 4.3 同圖 4.2，2013 年菲特颱風(FITOW)10 月 03 日 18 時至 10 月 06 日 18 時。

## 第五章 結論

本研究為增進台灣地區水庫水資源管理之效率，並針對石門水庫與曾文水庫集水區，發展小範圍、高精度之最佳化定量降雨預報技術，首先分析過去水庫集水區降雨之氣候特徵，接者利用 TAPEX 實驗之 72 小時預報雨量，發展機率撮合(probability-matched, PM)方法對短期降雨做預報，強化定量降雨系集預報實驗結果之短期定量降雨預報技術能力，以期能提供水庫管理單位於應變期間參考應用。

蒐集石門水庫與曾文水庫集水區 1987 至 2012 年共 26 年 36 個氣象局及水利署測站之時雨量資料。分析測站資料顯示，集水區內測站在平均日雨量時序列上呈現顯著的季節性變化，在集水區空間分布上則呈現一致性。進一步將降雨資料分為春季(SP, 3、4 月)、梅雨季(MY, 5、6 月)、颱風季(TY, 7、8、9 月)及冬季(WI, 10、11、12、1、2 月)，探討在各季節中集水區內季節平均日降雨年際變化及其與不降雨天數之相關性。結果顯示春、冬季降雨距平並無明顯之年際變化趨勢，而梅雨季及颱風季則呈現增加的趨勢，而降雨變化與無降雨天數的相關性則以春、梅雨季最高，呈負相關，表示過去發生乾旱事件時，春、梅雨季雨量較氣候平均值低且季節內無降雨天數較氣候平均值高。透過頻譜分析則指出，春季降雨呈現 2 到 4 年的週期性特徵，梅雨季降雨約有 5 到 6 年的週期性特徵，颱風季降雨則有 3 到 4 年的週期，冬季則無顯著之週期。以春季為例，透過離散傅立葉轉換(Discrete

Fourier Transform)選取主要週期重建雨量資料，可解釋大部分氣候春季降雨趨勢，跟平均日降雨資料在石門水庫集水區相關係數達到 0.63、曾文水庫集水區相關係數達到 0.66，顯示春季降雨受聖嬰現象 2 到 4 年之週期影響最為顯著。

從 2012 年台灣定量降雨系集預報實驗(TAPEX)結果可知，系集平均在降雨預報上較各別單一成員表現來得好，可以反應降雨分布的空間特性，但在豪雨、大豪雨及超大豪雨等強降雨事件時容易有低估的情形，而在其他系集成員中則有機會可能報到降雨之大值。因此本研究透過機率撮合(PM)方法改善系集平均降雨大值低估的情形，PM 方法以系集平均的雨量空間分布為基準，重新排序、分配各系集實驗中雨量值於模式中之格點位置，以保有系集平均的雨量空間分布，並希望能修正系集平均低估之雨量使其更接近觀測雨量大值。使用 2012 年 194 個 dtg 初始時間之實驗測試結果顯示 PM 過後的累積機率密度函數比系集平均更接近觀測，且可呈現所有系集成員雨量發生之機率分布，而在發生雨量大值之區域，PM 方法在發生強降雨事件時能有效將系集平均預報之極值提高，但在較低雨量發生之地方有略微高估的情況。

從 2013 年的侵台颱風中，挑選康芮颱風(KONG-REY)及菲特颱風(FITOW)作為測試 PM 方法的個案，康芮颱風個案為台灣西南部有較大降雨之個案，曾文水庫區域觀測 72 小時累積雨量(8 月 28 日 08

時至 8 月 31 日 08 時)最大降雨量為 668 mm，經過 PM 後最大降雨值提高為 443 mm (系集平均最大值為 340 mm)，改善系集平均之誤差值約 31.4%。而 2013 年菲特颱風在北台灣造成劇烈降雨，觀測 72 小時累積雨量(10 月 03 日 18 時至 10 月 06 日 18 時)在石門水庫區域最大值为 323 mm。經過 PM 後最大降雨值提高為 352 mm (系集平均最大值为 139 mm)，誤差改善約 84.2%。

從 2013 年颱風個案來看，雖然改善程度依兩個案不同而有變化，PM 方法可顯著改善 72 小時系集平均預報之累積雨量，普遍可在雨量低估處提高預報之雨量，然而本研究也發現在雨量高估處無法一致性的修低預報高估之雨量，此點因目前測試之強降雨個案數尚少，尚須進一步測試，未來除了使用 PM 方法測試降雨個案外，也將測試選取不同模式範圍大小進行 PM 方法計算之敏感度。

## 參考文獻

- Ebert, E. E., 2001: Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2461–2480.
- Fang, X., and Y.-H. Kuo, 2013: Improving ensemble-based quantitative precipitation forecasts for topography-enhanced typhoon heavy rainfall over Taiwan with a modified probability-matching technique. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 3908–3932.
- Rosenfeld, D., D. B. Wolff, and D. Atlas, 1993: General Probability-matched Relations between Radar Reflectivity and Rain Rate. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 50–72.
- , ———, and E. Amitai, 1994: The window probability matching method for rainfall measurement with radar. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 682–693.
- , E. Amitai, and D. B. Wolff, 1995: Improved Accuracy of Radar WPMM Estimated Rainfall upon Application of Objective Classification Criteria. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 212–223.