

私立中國文化大學

地學研究所大氣科學組

碩士論文

梅雨季降水之 MM5 系集預報校驗

指導教授：楊明仁

研究生：王士杰 撰

中華民國九十二年六月

摘 要

本研究使用於 2000~2002 年梅雨季期間，由國內各氣象學術單位（台灣大學、中央大學、師範大學及中國文化大學）與作業單位（氣象局、民航局）所共同參與的梅雨季 MM5 系集預報實驗，進行分析比較 ETS、Bias 預報得分校驗，試圖找出最適合台灣地區梅雨季降水的物理參數法組合。同時希望經由系集權重處理方法，提昇數值模式對於梅雨季降水的預報能力。

綜合 3 年梅雨季 6 個系集成員預報比較，最佳的降水物理組合為 Grell 積雲參數法配合 Reisner1 雲物理參數法，次為 Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Simple Ice 雲物理法。就梅雨季降雨是否發生機率而言，多數成員表現較好的區域為台灣東北部、新竹、苗栗、南投山區、嘉義台南山區及西南部平原，而這些地區亦為這 3 年梅雨季累積雨量較多的區域。

採用系集權重方式，可調整各成員間的權重關係，以致於最後系集預報降水與觀測降水在整個梅雨季期間有最小誤差，故可提昇降水預報能力，且其 ETS、Bias 預報得分明顯較系集平均（各成員有相同權重）為佳。

梅雨季降雨的確有其氣候延續性可循。套用前一年或前二年梅雨季降水校驗所得權重於該年梅雨季預報使用，結果雖較系集平均法差，但其 ETS、Bias 預報得分的表現趨勢卻與該年系集平均法類似。因此，採用系集權重方式可以掌握到梅雨季降水及部分氣候特性。

誌 謝

兩年的時光已匆匆飛逝，眼前又是六月這畢業的季節了。從剛入學的惶恐，深怕自己成就不了什麼大事，到今天對數值模擬及軟、硬體各方面都有涉獵，同時也真正啟發了我對大氣科學的興趣。

回首過去兩年，要感謝的人還不算少呢！除了劉院長廣英在論文寫作時所給予的寶貴意見；劉老師對程式寫作及電腦常識的灌輸；余老師在平時對我們的勉勵及教導；與張老師在專題討論課程後的討論；曾老師提供的參考文獻之外。最要感謝的就是指導教授楊老師所給予獨立思考、判斷及解決問題的訓練，這使我獲益良多，還有提供資料的洪景山博士、林慧娟小姐及董坤智學長。另外，特別要感謝的就是中大水文所許丕詔老師，對於本研究數學方法的細心教導，在此一併致謝。

當然也忘不了同甘共苦的好伙伴，煥文、宇庭、青麟、巨祥、鈞倫、惟閔及小玲在背後的支持，謝謝你們。最後，僅以本論文獻給我最敬愛的父母親及家人，感謝他們多年來的支持與鼓勵。

本研究在國科會計劃 NSC 90-2111-M-034-001、NSC 90-2111-M-008-034、91-2625-Z-008-017 資助下完成，硬體設備由中國文化大學大氣科學系及中央大學水文所提供。

目 錄

摘要	i
誌謝	ii
目錄	iii
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 論文回顧	2
1.3 論文結構	6
第二章 研究方法與資料來源	8
2.1 雲微物理參數法	8
2.2 積雲參數法	9
2.3 驗證資料	9
2.4 網格降水的計算方式	10
2.5 系集成員權重之估計	10
2.6 評估方法	13
2.6.1 模式降雨區域預報之評估方法	13

2.6.2	模式降雨量預報之評估方法	14
第三章	梅雨季降水概述	15
第四章	模式架構及實驗設計	17
4.1	模式簡介	17
4.2	實驗設計	21
第五章	預報結果的評估	23
5.1	各系集成員預報結果的評估	23
5.1.1	系集成員降雨量預報之系統分析	23
5.1.2	各系集成員之 ETS 水平分布	25
5.1.3	各系集成員之 BS 水平分布	27
5.1.4	各系集成員之 ETS 及 BS 表	29
5.2	系集預報結果之評估	30
5.2.1	2000 年系集權重結果	30
5.2.2	2001 年系集權重結果	32
5.2.3	2002 年系集權重結果	33
5.2.4	系集權重方法對 2000 年至 2002 年梅雨季季節特性的探討	34
第六章	總結	37
附錄	42

一、雲微物理參數法.....	42
二、積雲參數法.....	42
三、MRF 邊界層參數化方法.....	44
四、各參數化方法間之交互作用示意圖.....	44
五、最小平方法與配適線(fitted line)求法.....	44
參考文獻.....	46
附表.....	51
附圖.....	52

表目錄

表 1 各單位所使用之降水物理參數化方法組合及其在本研究中所使用的代號.....	51
表 2 降雨預報評估列聯表.....	51

圖目錄

圖 1	各種雲微物理參數化方法其三相水之相位轉換情形示意圖.....	52
圖 2	台灣地區自動雨量站 (343 個), 以及可校驗 MM5 網格點 (140 個) 之分佈位置圖.....	53
圖 3	MM5 模式於 15 公里水平解析度下之台灣地形圖.....	54
圖 4	台灣地區之觀測降雨及模式降雨分布示意圖.....	55
圖 5	(a) 2000 年、(b) 2001 年、(c) 2002 年梅雨季期間全台 343 個自動雨量站日間(00 Z; 當地時間上午 8 時至晚上 8 時)及夜間(12 Z; 當地時間晚上 8 時至上午 8 時)平均累積降雨量直方圖.....	56
圖 6	2000 年梅雨季之 (a)24 小時、(b)日間(00 Z; 當地時間上午 8 時至晚上 8 時)、(c)夜間(12 Z; 當地時間晚上 8 時至上午 8 時)之客觀分析累積降雨量水平分佈圖.....	57
圖 7	2001 年梅雨季之 (a)24 小時、(b)日間(00 Z; 當地時間上午 8 時至晚上 8 時)、(c)夜間(12 Z; 當地時間晚上 8 時至上午 8 時)之客觀分析累積降雨量水平分佈圖.....	58
圖 8	2002 年梅雨季之 (a)24 小時、(b)日間(00 Z; 當地時間上午 8 時至晚上 8 時)、(c)夜間(12 Z; 當地時間晚上 8 時至上午 8 時)之客觀分析累積降雨量水平分佈圖.....	59
圖 9	MM5 模式系統處理流程圖.....	60
圖 10	MM5 模式所使用之兩層水平解析網域.....	61
圖 11	2000 年各系集成員與系集權重(WT)12~24 及 24~36 小時預報降水和觀測降水的散佈圖(scatter plot)	61
圖 12	2001 年各系集成員與系集權重(WT)12~24 及 24~36 小時預報降水和觀測降水的散佈圖(scatter plot)	65
圖 13	2002 年各系集成員與系集權重(WT)12~24 及 24~36 小時預報降水和觀測	

	降水的散佈圖(scatter plot)	68
圖 14	2000 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 得分水平分佈圖...	71
圖 15	2001 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 得分水平分佈圖...	73
圖 16	2002 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 得分水平分佈圖...	75
圖 17	2000 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 BS 得分水平分佈圖...	77
圖 18	2001 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 BS 得分水平分佈圖....	79
圖 19	2002 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 BS 得分水平分佈圖...	81
圖 20	2000 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 及 BS 得分折線圖..	83
圖 21	2001 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 及 BS 得分折線圖..	84
圖 22	2002 年各系集成員 12~24 及 24~36 小時預報 ETS 及 BS 得分折線圖..	85
圖 23	2000 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 ETS 得分比較折線圖...	86
圖 24	2000 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 Bias 得分比較折線圖...	87
圖 25	2000 年以權重方式預報 12~24 小時及 24~36 小時降水各系集成員所得 權重之水平分佈圖.....	88
圖 26	2001 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 ETS 得分折線圖.....	90
圖 27	2001 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 Bias 得分折線圖.....	91
圖 28	2001 年以權重方式預報 12~24 小時及 24~36 小時降水各系集成員所得 權重之水平分佈圖.....	92
圖 29	2002 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 ETS 得分折線圖.....	94
圖 30	2002 年 12~24 小時及 24~36 小時之系集預報 Bias 得分折線圖.....	95
圖 31	2002 年以權重方式預報 12~24 小時及 24~36 小時降水各系集成員所得 權重之水平分佈圖.....	96
圖 32	2001 年預報套入 2000 年及 2001 年 12~24 小時及 24~36 小時所得權重 與系集平均 ETS 及 Bias 得分折線圖.....	98
圖 33	2002 年預報套入 2000 年~2003 年 12~24 小時及 24~36 小時所得權重與系 集平均 ETS 及 Bias 得分折線圖.....	99

第一章 前言

1.1 研究動機

隨著電腦運算技術的發達，以及便捷的網路架構，使得氣象資訊的傳遞也較傳統來得快速。同時，觀測及遙測技術的進步，如衛星、雷達及探空觀測的改進，可以提昇氣象觀測資料的準確性。所以，由於準確的觀測資料及快速的資料傳遞，我們可以藉此提供模式更好的初始條件，使得數值模式所預報之海平面氣壓場、風場、溫度場及重力位高度場之誤差已明顯降低。然而，數值模式對於降水預報的改善卻是十分有限(Olson et al., 1995)，故降水可說是數值模式最難預報的參數之一。

同時，數值模式預報台灣地區降水的困難尚有以下幾點。第一，台灣崎嶇的地形，以中央山脈為主幹，周圍有許多高於 3000 公尺以上的高山，所以容易產生因地形舉升之局部環流，故觀測資料與模式網格必須有相當程度的解析度，否則不易捕捉到因局部地形產生之中小尺度天氣現象；然而，解析度的提升也意謂著電腦運算時間的增長，但即時預報又必須爭取時效性。第二，台灣島嶼四面環海，海上觀測資料的缺乏往往造成模式初始條件之準確度降低而產生誤差。第三，由於大氣運動係非線性，且降水過程的產生受其環境條件如溫度場、濕度場及風場等所控制，但是我們對降水過程之理解卻仍十分有限。第四，由於中尺度數值模式對可解析尺度及次網格尺度降水過程，係採用雲微物理參數法及積雲參數法。不過各種積雲參數法均有其適用的大氣環境，

並非所有綜觀環境下的模擬均可使用；且當解析度提高時(網格間距為 5~10 公里)，積雲參數法是否應該存在，仍有其可議之處。而模式對於對流系統之雲微物理參數表示法是否恰當，也是降水預報誤差產生的原因之一。

雖然台灣地區降水預報存在著許多困難，但對於整個社會經濟的發展而言，氣象作業單位提供一定準確度之定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast ; QPF)是急迫而且必要的。台灣地區在 2000 ~ 2002 年間 5 ~ 6 月之梅雨季，國內之氣象作業單位及學術單位共同進行 MM5 系集降水預報實驗。本研究將針對這些預報實驗產品及其系集組合做分析探討，藉此瞭解各降水物理參數法組合及其系集處理的系統特性，以期改善台灣地區梅雨季之降水預報。

綜前所述，本論文研究將探討下列三個科學問題： 1.於相同大氣環境條件下，各降水物理參數法組合所預報的降水是否有其系統性誤差或一致性？ 2.梅雨季之降水是否有其季節特性可循及其空間分布特性為何？ 3.系集成員彼此間權重值大小分布所代表之物理意義，以及各成員對系集降水預報之提升能力如何？

1.2 論文回顧

由於各種雲微物理參數法及積雲參數法皆有其適用的綜觀環境及天氣系統，所以沒有任何一種降水物理參數法的組合是絕對

優於其它組合且適用於各種天氣系統的。因為降水物理參數法的改進有其限制，而提升降水預報的準確率又有其迫切需求，因此，綜合各家模式及降水物理參數法的預報結果之系集預報在近年來受到廣泛地重視及應用。

Krishnamurti et al.(1999)使用多個模式結果作系集處理，用以預報季節氣候及颶風(Hurricane)強度和路徑。研究指出，在使用超級系集處理(super ensemble)後的預報誤差比簡單系集平均(mean)的預報誤差要低，顯示超級系集處理可提高模式的預報能力。

Colle et al. (1999)使用 PSU/NCAR 的 MM5 模式(水平解析度各為 36 及 12 公里)，和 NCEP 的作業化 Eta-10 模式(水平解析度為 10 公里)比較，將兩種不同模式對美國西北地區的降水預報和實際觀測降水作分析校驗。研究結果顯示，當 MM5 模式之水平解析度由 36 公里提升至 12 公里時，其降水預報有較好的表現；且檢視偏離得分的空間分布可以發現，MM5 模式所預報的降水，在山前傾向於高估降水面積，而山後傾向於低估降水面積。至於 Eta-10 模式的降水預報和 12 公里解析度 MM5 模式的預報相當，不過 Eta-10 的偏離得分較高，顯示 Eta-10 模式所預報的降水面積過大。

Ebert (2001)使用歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)、美國、日本、德國、澳大利亞等五種的全球波譜模式及澳大利亞的區域模式和英國氣象局的全球模式結果來作 24 至 48 小時的短期定量降水預報。研究顯示，對於 24 小時降水機率預報在降水率大於 50

釐米/每天的降水門檻而言，多家模式系集預報(Poor Man's Ensemble)比歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)的單一系集預報結果有更好的表現。

簡(1998)使用網格水平解析度各為 45 公里及 15 公里的巢狀網格的 MM5 模式，評估台灣地區 1997 年 6 月梅雨季期間的 3 個豪雨密集觀測個案之降雨。研究發現 MM5 模式對於台灣地區梅雨季降水之分布型態有不錯的預報能力，主要因為模式準確地模擬了綜觀尺度之天氣系統；故經綜觀尺度天氣系統和地形之交互作用所產生的局部地區降水，模式較有能力預報其降水分布型態。但對降水量的預報，因 15 公里網格所可以表示之物理尺度並不足以和稠密之自動雨量站所能表示之物理尺度作比較，故透過積雲參數化處理所得之降水量明顯低估實際降水量。

Yang et al. (2000) 針對臺灣地區 1999 年 6 月 5 日的梅雨個案，使用 MM5 模式，比較各種不同的積雲參數法 (Anthes-Kuo 積雲參數法、Betts-Miller 積雲參數法、Grell 積雲參數法與 Kain-Fritsch 積雲參數法) 與雲微物理參數法 [Goddard Graupel 參數法(Tao and Simpson 1993)、Mixed Phase 參數法(Reisner et al. 1998)、Simple Ice 參數法(Dudhia 1989)與 Warm Rain 參數法(Hsieh et al. 1984; Kessler 1969)] 的影響。研究指出於網格水平解析度為 45 公里及 15 公里時，同一積雲參數法的降雨型態類似，顯示積雲參數法本身所使用的閉合假設遠比在網格上的可解析尺度強迫項對降水模擬結果有更大的影響。當我們固定使用某一雲微物理參數法後，累積降雨量的分佈與強度會因積雲參數法的選用而有一定的差異。若固定使用某一積雲參數法後，使用不同的雲微

物理參數法，則在累積降雨量的分佈上只有很小的差別。此比較研究顯示，在 45 公里及 15 公里的網格間距下，對於降雨型態而言，積雲參數法比雲微物理參數法有更直接且明顯的影響。而就定量降雨預報而言，使用考慮冰態雲物理過程的雲微物理參數法，較能得到合理的預報結果。

董(2001)選定 1998 及 1999 年間台灣地區冷、暖季之 6 個降雨個案，測試 MM5 模式之積雲參數法對降雨數值模擬的敏感度。結果顯示 MM5 模式對冷季個案的預報能力較佳，而對暖季個案的預報能力於不同積雲參數法間有顯著差異。MM5 模式傾向於高估小雨事件之降雨面積，但低估豪雨個案之降雨量。Kain-Fritsch 積雲參數法對梅雨鋒面的降雨極值有較好的預報能力，而 Grell 積雲參數法對梅雨鋒面的總降雨量表現最佳。

Chien et al. (2002) 同樣使用 45 公里與 15 公里的 MM5 巢狀網格架構，固定使用 Kain-Fritsch 積雲參數法，針對 1998 年臺灣地區梅雨季的降雨現象做 36 小時預報評估，顯示其公平預兆得分 (Equitable Threat Score; ETS) 在 2.5 mm 門檻時有最高的得分，約在 0.2 左右。模式初始時間在 0000 UTC 的降水模擬結果要比模式初始時間在 1200 UTC 的降水模擬結果來得好，其中模式初始時間在 0000 UTC 的公平預兆得分於 12~24 小時預報有最高得分 (ETS 約在 0.3 左右)。因 1998 年梅雨季 (5~6 月) 期間梅雨鋒面滯留在臺灣南部，故模式對臺灣南部地區有較好的得分，且模式在東亞夏季季風肇始之後比肇始之前有較好的 ETS 得分，這說明了模式的降水預報在綜觀環境強迫項較強的條件下能有較好的表現。

簡等(2003)使用 2000 年及 2001 年梅雨季 MM5 系集預報產品，經由兩種不同的權重方式：一種是根據 0~12 小時的預報降水與觀測降水做比較，於可校驗網格點求均方根誤差(RMSE)，再根據 RMSE 值得高低排序來決定各系集成員的權重值，再以此權重值計算 12~24、24~36 小時之系集預報降水；另一種則是依據 2000 年 12~24、24~36 小時各系集成員所預報的 ETS 預報得分排名來決定 2001 年各系集成員的權重，再以此權重值計算 12~24、24~36 小時之系集預報降水。結果顯示，調整系集預報成員間的權重確實可以提升系集預報能力，而 0~12 小時的預報雖然仍處於模式的啟動階段(spin up)，但由 RMSE 排序所得權重卻可提升 12~24 小時系集降水預報的能力，所以 RMSE 排序方式有其指標性存在。

1.3 論文結構

本論文研究延續簡等(2003)的梅雨季 MM5 系集預報分析，將降雨個案增加涵蓋 2002 年梅雨季降雨事件，並採用不同的權重決定方式進行系集預報。論文架構主要分為六個章節，於第二章將說明本研究中所選取之物理參數法組合、網格降水的計算方式、模式降水區域的評估方法及用以驗證之觀測資料來源。第三章概述梅雨季降水之特性及其綜觀天氣型態，以及 2000 年至 2002 年梅雨季之實際降水情形。第四章敘述使用之 MM5 數值模式架構、各降水物理參數法及實驗設計。第五章針對各降水物理參數法組合的預報結果作探討及比較，藉此瞭解各物理參數法組合和系集

結果之系統性誤差，及其對台灣地區降雨預報之敏感度。第六章將研究結果加以歸納整理，作一總結，同時討論系集權重方法在實際作業應用上的可行性。

第二章 研究方法與資料來源

為瞭解模式之雲微物理參數法與積雲參數法組合對於台灣地區梅雨季降雨預報之適當性，本研究共比較了 6 種不同的降水物理參數法組合(見表 1)，而 6 組實驗均使用水平解析度 45 公里及 15 公里的 MM5 巢狀網格架構，針對 2000~2002 年 5~6 月梅雨季降水作即時預報。由於每年梅雨季降水系集預報實驗的起訖時間並不一致，為避免因每年實驗期間降雨日數不同而影響統計個案的樣本數目，故本論文研究統一以 2000~2002 年的 5 月 23 日 0000 UTC 至 6 月 20 日 1200 UTC 作為實驗檢驗期間。數值模式係採用美國賓州州立大學(Penn State University; PSU) 與美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research; NCAR)所共同合作發展出的第五代中尺度非靜力模式(詳見第四章)。本研究先校驗各物理參數法組合所預報之降雨與實際降雨間的偏差，以確定各系集成員對梅雨季降水預報之系統特性，然後再評估系集預報對降雨區域分布的誤差。

2.1 雲微物理參數法

本研究選用了三種雲微物理參數法，依水之三相間轉換的複雜度來排列，分別為 Dudhia simple ice 雲微物理參數法(Dudhia, 1989)、Reisner mixed-phase 雲微物理參數法(Reisner et al., 1998) 及 Goddard mixed-phase 雲微物理參數法(Lin et al., 1983 ; Tao et al., 1993)。選用此三個雲微物理參數法是基於討論梅雨季豪大雨

個案時，降水系統內部可能存在的雲微物理特性。對於所選用之雲微物理參數法之示意及其相位轉換情形，請參考圖 1。

2.2 積雲參數法

本研究選取四個較常用的積雲參數法，分別為 Anthes-Kuo 積雲參數法 (AK; Anthes, 1977)、Betts-Miller 積雲參數法 (BM; Betts and Miller, 1986)、Grell 積雲參數法 (GR; Grell, 1993)、Kain-Fritsch 積雲參數法 (KF; Kain and Fritsch, 1993)。選用原因是尺度考量及閉合假設的代表性，和其在數值模式中被應用之普遍性，以涵蓋特定範圍內之積雲參數法的複雜性及物理假設。而所選用積雲參數法的敘述及其基本之閉合假設，請參考附錄。

2.3 驗證資料

用來驗證 MM5 模式降水預報結果的資料，為中央氣象局 2000～2002 年 5～6 月全台 343 個自動雨量站的雨量資料。雖然此三年間中央氣象局在各地陸陸續續增建新的自動雨量觀測站 (2001 年共有 356 個雨量站、2002 年全台共有 393 個雨量站)，但為考量雨量資料樣本的一致性，本研究均以 2000 年的雨量站資料為基準，即以全台 343 個自動雨量站所得之觀測資料來做校驗。

2.4 網格降水的計算方式

由於自動雨量站的空間分布並不規則，而 MM5 模式網格點所在的位置上，並不一定有觀測的降雨資料。故為了可以對模式網格點上的預報降雨作校驗，本論文研究嘗試了兩種取得網格“觀測”降水的方法。一為使用 Cressman(1959)之客觀分析方法，將不規則之自動雨量站資料內插至網格間距為 15 公里的 MM5 網域規則網格點上，以代表網格點位置的觀測雨量，藉此和 MM5 模式在網格點上的預報降雨量作比較。另一種方法為算術平均法，即以 MM5 模式的網格點為中心，將周圍 15 公里見方之正方形面積內的所有自動雨量站觀測降水取其算術平均，所得的值即代表該網格點之觀測降水，再和 MM5 模式上的預報降雨作比較。圖 2 所示為自動雨量站及 MM5 可校驗網格點的空間分布情形。由於水平解析度 15 公里的 MM5 網格對於台灣地區中央山脈崎嶇地形的掌握能力較差（見圖 3），所以選用算術平均的網格降水較接近模式網格尺度所能解析降水；而經 Cressman(1959)客觀分析雨量當有自動雨量站太接近模式網格點，會造成網格降水過多的情形。因此本論文研究的網格降水的校驗，皆使用算數平均結果，此與簡等(2003)及多數氣象作業單位做法相同。同時，我們對觀測資料也進行篩選，當模式網格點周圍 15 公里見方正方形面積內的雨量站數若不足 3 個時，則捨棄該網格點而不作校驗，以避免因雨量站數過少而造成估算誤差。

2.5 系集成員權重之估計

假設觀測降水(O)和 MM5 模式預報降水(m)間的關係為

$$\begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \\ \vdots \\ O_N \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} (m_1)_1 \\ (m_1)_2 \\ (m_1)_3 \\ \vdots \\ (m_1)_N \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} (m_2)_1 \\ (m_2)_2 \\ (m_2)_3 \\ \vdots \\ (m_2)_N \end{bmatrix} + \gamma \begin{bmatrix} (m_3)_1 \\ (m_3)_2 \\ (m_3)_3 \\ \vdots \\ (m_3)_N \end{bmatrix} + \kappa \begin{bmatrix} (m_4)_1 \\ (m_4)_2 \\ (m_4)_3 \\ \vdots \\ (m_4)_N \end{bmatrix} + \delta \begin{bmatrix} (m_5)_1 \\ (m_5)_2 \\ (m_5)_3 \\ \vdots \\ (m_5)_N \end{bmatrix} + \varepsilon \begin{bmatrix} (m_6)_1 \\ (m_6)_2 \\ (m_6)_3 \\ \vdots \\ (m_6)_N \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 m_1 為第一個系集預報成員， m_2 為第二個系集預報成員，依此類推(表 1 顯示 6 個系集預報成員)。N 為預報校驗樣本個數(本研究中整個梅雨季個案數 N 為 58)。

或將(1)寫成向量式為

$$\bar{O} = \alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{r} \quad (2)$$

則降水預報誤差項為

$$\bar{r} = \alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O} \quad (3)$$

其中， α 、 β 、 γ 、 κ 、 δ 、 ε 為各系集預報成員的權重係數(weighting coefficients)，且

$$r^2 = \bar{r} \cdot \bar{r} = (\alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O})^2 \quad (4)$$

欲求 r^2 極小值，令 $r^2 = A$ ，則我們令

$$\frac{\partial A}{\partial \alpha} = 0 = 2 \bar{m}_1 \cdot (\alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5a)$$

$$\frac{\partial A}{\partial \beta} = 0 = 2 \bar{m}_2 \cdot (\alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5b)$$

$$\frac{\partial A}{\partial \gamma} = 0 = 2 \bar{m}_3 \cdot (\alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5c)$$

$$\frac{\partial A}{\partial \kappa} = 0 = 2 \bar{m}_4 \cdot (\alpha \bar{m}_1 + \beta \bar{m}_2 + \gamma \bar{m}_3 + \kappa \bar{m}_4 + \delta \bar{m}_5 + \varepsilon \bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5d)$$

$$\frac{\partial A}{\partial \delta} = 0 = 2\bar{m}_5 \cdot (\alpha\bar{m}_1 + \beta\bar{m}_2 + \gamma\bar{m}_3 + \kappa\bar{m}_4 + \delta\bar{m}_5 + \varepsilon\bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5e)$$

$$\frac{\partial A}{\partial \varepsilon} = 0 = 2\bar{m}_6 \cdot (\alpha\bar{m}_1 + \beta\bar{m}_2 + \gamma\bar{m}_3 + \kappa\bar{m}_4 + \delta\bar{m}_5 + \varepsilon\bar{m}_6 - \bar{O}) \quad (5f)$$

經整理過後可得：

$$(\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_1 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_1 \cdot \bar{O} \quad (6a)$$

$$(\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_2 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_2 \cdot \bar{O} \quad (6b)$$

$$(\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_3 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_3 \cdot \bar{O} \quad (6c)$$

$$(\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_4 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_4 \cdot \bar{O} \quad (6d)$$

$$(\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_5 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_5 \cdot \bar{O} \quad (6e)$$

$$(\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_1)\alpha + (\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_2)\beta + (\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_3)\gamma + (\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_4)\kappa + (\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_5)\delta + (\bar{m}_6 \cdot \bar{m}_6)\varepsilon = \bar{m}_6 \cdot \bar{O} \quad (6f)$$

以矩陣形式表示如下

$$\begin{bmatrix} \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_1 \cdot \bar{m}_6 \\ \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_2 \cdot \bar{m}_6 \\ \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_3 \cdot \bar{m}_6 \\ \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_4 \cdot \bar{m}_6 \\ \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_5 \cdot \bar{m}_6 \\ \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_1 & \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_2 & \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_3 & \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_4 & \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_5 & \bar{m}_6 \cdot \bar{m}_6 \end{bmatrix}_{6 \times 6} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \kappa \\ \delta \\ \varepsilon \end{bmatrix}_{6 \times 1} = \begin{bmatrix} \bar{m}_1 \cdot \bar{O} \\ \bar{m}_2 \cdot \bar{O} \\ \bar{m}_3 \cdot \bar{O} \\ \bar{m}_4 \cdot \bar{O} \\ \bar{m}_5 \cdot \bar{O} \\ \bar{m}_6 \cdot \bar{O} \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad (7)$$

A **B** **C**

其關係式可寫成

$$\mathbf{AB} = \mathbf{C} \quad (8)$$

則

$$\mathbf{B} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{C} \quad (9)$$

而矩陣 **B** 即為所求之系集預報成員的權重係數矩陣。

2.6 評估方法

2.6.1 模式降雨區域預報之評估方法

圖 4 為台灣地區觀測降雨與模式預報降雨分布之示意圖，其中 F 表模式預報台灣地區降雨的 12 小時累積雨量超過某降水門檻值的涵蓋面積，O 為實際觀測經算術平均方法處理後所得之 12 小時累積雨量超過同一降水門檻值的涵蓋面積，而 C 則為模式正確預報 12 小時累積降雨量超過同一降水門檻值的涵蓋面積。

接著使用二種統計的技術得分(偏離得分及公平預兆得分)來評估預報結果。依表 2，首先設定一降水門檻值(如 12 小時累積雨量超過 2.5mm)，當預報或觀測降水超出門檻值時，定義其為有降水事件並紀錄其次數；反之，若低於門檻值時，定義其為無降水事件。A 表預報與觀測都有降水的次數，B 表預報有降水但觀測無降水的次數，C 表預報無降水但觀測有降水的次數，D 表預報與觀測皆無降水的次數。

偏離得分 (Bias Score; BS)

偏離得分主要用以評估模式對降雨區域的預報能力 (Anthes 1983)，藉以瞭解模式在一給定區域 (本論文研究中即為台灣地區)，於某一降水門檻時對降雨區域之預報高估或低估的傾向。其計算方式為

$$\text{Bias} = F/O = \frac{A+B}{A+C} \quad (10)$$

其中 F、O 的定義見圖 4，而 A、B、C 的定義見表 2。

公平預兆得分 (Equitable Threat Score; ETS)

公平預兆得分由 Shaefer(1990)所提出，為去除隨機猜測率(E)後所得模式正確預報降水的機率。所以 ETS 可避免當 A、C 大於 B 時，所造成得分偏高的情形。其計算方式為

$$E = \frac{(A+B)(A+C)}{A+B+C+D} \quad (11)$$

$$ETS = \frac{A-E}{A+B+C-E} \quad (12)$$

同樣地，A、B、C、D 的定義見表 2。

2.6.2 模式降雨量預報之評估方法

為了解系集成員對梅雨季降水預報的系統性誤差，我們將個別系集成員預報降水和所對應的觀測降水繪製散佈圖 (scatter plot)，並以最小平方法取其配適線 (fitted line)，藉此判斷系集成員對梅雨季降水模擬的情形，而最小平方法的作法請見附錄。

第三章 梅雨季降水概述

梅雨為台灣地區春末夏初，在季節交替時最重要的天氣現象，其成因是歐亞大陸之中高緯度乾冷氣團和亞洲南方海域的暖濕氣團，於華南與台灣地區交會，形成滯留鋒面和寬廣的雲帶。

梅雨期最主要的天氣特徵就是滯留鋒面伴隨著持續性的降雨。每年 5~6 月期間，台灣地區各地出現連續性或間歇性降雨，間或夾帶著豪雨，形成典型的台灣梅雨。

梅雨期主要是受到梅雨鋒面系統的影響，有時大量降雨，有時雨量很少，有時降雨時間短暫，有時連續多日。在每年的梅雨期內，平均有四至五個梅雨鋒面系統影響台灣地區(陳與紀，1978；陳與蔡，1980；陳，1994)。台灣地區梅雨期平均降雨量為 450 至 500 公釐，約為年平均雨量的四分之一至五分之一。

因為梅雨經常為局部地區帶來豪雨，由於經常有短時間內的大量降雨，容易造成嚴重積水，在都市造成交通阻塞，在農業區則損害農作物，損失難以估計，有時會在山區造成山洪爆發，引起山崩及土石流，甚至損毀橋樑道路及房舍，嚴重威脅人民的生命及財產安全。

檢視 2000 年至 2002 年 5~6 月梅雨季降水之全台自動雨量站平均累積降雨可發現，2000 年梅雨季的較大降雨發生在 6 月 12 日以後(圖 5 a)，且該年之降水多集中在日間(00-12 UTC)，其餘

降水資料則為零星降雨。2001年梅雨季(圖 5 b)強降水約在 5 月 28 日至 6 月 13 日期間，本年梅雨季降水量較 2000 年梅雨季降水量多，且多為日間降水。2002 年(圖 5 c)則呈現乾梅的情形，降水集中在 5 月 29 日至 6 月 11 日期間，多屬小而零星且集中在日間的降水。

至於降雨的空間分布方面(見圖 6,7,8)，2000 年梅雨季的累積降水(圖 6a)集中在中部山區、東北部及南部山區，降水總量約在 600 公釐以上，且多為日間降水(圖 6b)，夜間降水較少(圖 6c)。2001 年梅雨的累積降水(圖 7a)較集中在西南部地區、中部山區、及東北部，降水總量可達 800~900 公釐以上；中部山區及東北部降水主要發生在日間(圖 7b)，夜間降水極值發生於西南部地區(圖 7c)。2002 年梅雨季累積降水(圖 8a)則只集中在中部山區，降水總量約在 500 公釐左右，其它地區則只有零星降雨，算是這三年最乾的梅雨季；而且今年的降雨為日間降雨(圖 8b)多於夜間降雨(圖 8c)。

第四章 模式架構及實驗設計

4.1 MM5 模式簡介

本研究使用 PSU/NCAR 所發展的第五代中尺度數值模式，簡稱 MM5 (Fifth-generation Penn. State/NCAR mesoscale Model)。MM5 中尺度模式最早以 Anthes 與 Warner 在美國賓州州立大學所發展的模式為依據 (Anthes and Warner, 1978; Anthes et al., 1987)，為三度空間有限區域的靜力與非靜力的中尺度數值模式。MM5 模式所使用的垂直座為 σ 座標，並具有多重巢狀網格的功能，應用於不同尺度間之交互作用可有較好的解析及模擬。對於複雜的中尺度天氣系統而言，藉由 MM5 的模擬可以彌補因觀測資料不足而無法充分掌握其在時間與空間上演變的缺憾。

由於 MM5 模式適用性廣，符合各種研究領域的需求，全世界已有許多研究機構或氣象作業單位採用 MM5 數值模式進行數值模擬及預報，因此 MM5 模式一直處於不斷改進與發展的狀態之中，是目前被廣泛使用的中尺度數值模式之一。

MM5 是由許多輔助系統所構成，其系統之架構如圖 2.1 所示。中尺度模式系統可以分為前處理系統(pre-processing)、系統模擬中心(MM5 model)，及後處理系統(post-processing)。在前處理系統(post-processing)中，是由 Terrain、Regrid/Rawins 及 Interpf 三個部分所組合而成。

MM5 前處理系統之步驟為：首先由Terrain模組處理模擬區域的地圖投影，此地圖投影的方式包括極座標(Polar stereographic)投影法、藍伯特保角(Lambert conformal)投影法以及麥卡托(Mercator)投影法，並建立地形資料及地表之特徵且內差至MM5模式的網格中。再由Regrid模組引進低解析度之全球觀測分析資料，包括NCEP、ECMWF/TOGA、NNRP、ERA、ETA等全球分析資料可供選擇，本研究所使用的資料為ECMWF/TOGA網格解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的全球觀測分析資料，由之產生MM5模式的初始場(first guess field)。由於Regrid所產生的模式網格資料是經由低解析度的全球分析場經內插計算所得，對於某些中小尺度之天氣現象可能無法完全充分掌握，因此再經由Rawins模組使用客觀分析的方法將地面測站及高空探空的觀測資料加入初始場，以提高MM5模式初始資料對中小尺度現象之解析。再經Interpf模組將Regrid(及/或Rawins)模組產生之垂直氣壓座標資料內差至MM5模式垂直 σ 座標後，最後產生MM5模式模擬/預報所需的初始條件(initial condition)及邊界條件(boundary condition)。然後經由MM5模擬/預報中心前進積分運算獲得結果，再透過後處理系統(post-processing)進行輸出處理，包括使用Graph、RIP或Grads等繪圖軟體將結果加以分析並進行各種氣象場之繪製。

MM5 三度空間巢狀靜力/非靜力中尺度數值模式是三維的原始方程模式，而靜力和非靜力模式的差別在於非靜力模式增加了氣壓擾動場及垂直速度場的預報。由於非靜力模式使用可壓縮流體的連續方程，模式中允許聲波存在。故需以分割積分時間(time splitting)來處理，所以壓力項、動量項以及其間的交互作用項(與聲波有關)使用較小的時間間隔；而平流、擴散、科氏力項及水汽

過程(與聲波無關)則使用較大的時間間隔。MM5 中尺度模式對不同的大氣物理過程提供許多不同的參數法選擇，包括與降水相關的積雲參數法及雲微物理參數法、行星邊界層參數法、地表物理過程處理、和大氣輻射過程參數法。因此運用 MM5 模式的另一優點是，針對不同的天氣現象使用者可以採用適當的物理參數法予以模擬/預報。

以下是 MM5 模式非靜力版本之探制方程組。參考狀態及擾動場的定義分別如下：

$$\begin{aligned} p(x, y, z, t) &= p_0(z) + p'(x, y, z, t), \\ T(x, y, z, t) &= T_0(z) + T'(x, y, z, t), \\ \rho(x, y, z, t) &= \rho_0(z) + \rho'(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (13)$$

其垂直座標為 σ 座標， σ 的定義為

$$\sigma = \frac{p_0 - p_t}{p_s - p_t}, \quad (14)$$

其中 p_s 及 p_t 分別為參考狀態之地表及大氣頂層氣壓，其值不隨時間變動。在網格點上的總氣壓為

$$p = p^* \sigma + p_t + p', \quad (15)$$

其中

$$p^*(x, y) = p_0(x, y) - p_t, \quad (16)$$

p' 為預報量，表三維之氣壓擾動場。

MM5 模式使用之預報方程(不包含降水物質；Dudhia 1993)如下：

水平動量方程為

$$\begin{aligned}\frac{\partial p^* u}{\partial t} = & -m^2 \left[\frac{\partial p^* uu/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vu/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* u \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + uDIV \\ & - \frac{mp^*}{\rho} \left[\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right] + p^* fv + D_u\end{aligned}\quad (17)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial p^* v}{\partial t} = & -m^2 \left[\frac{\partial p^* uv/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vv/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* v \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + vDIV \\ & - \frac{mp^*}{\rho} \left[\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right] - p^* fu + D_v\end{aligned}\quad (18)$$

垂直動量方程為

$$\begin{aligned}\frac{\partial p^* w}{\partial t} = & -m^2 \left[\frac{\partial p^* uw/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vw/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* w \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + wDIV \\ & + p^* g \frac{p_0}{\rho} \left[\frac{1}{p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{T'_v}{T} - \frac{T_0 p'}{T p_0} \right] - p^* g[(q_c + q_r)] + D_w\end{aligned}\quad (19)$$

氣壓方程為

$$\begin{aligned}\frac{\partial p^* p'}{\partial t} = & -m^2 \left[\frac{\partial p^* up'/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vp'/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* p' \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + p'DIV \\ & - m^2 p^* \gamma p \left[\frac{\partial u/m}{\partial x} - \frac{\sigma}{mp^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{\partial v/m}{\partial y} - \frac{\sigma}{mp^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right] \\ & + p_0 g \gamma \frac{\partial w}{\partial \sigma} + p^* \rho_0 g w\end{aligned}\quad (20)$$

熱力方程為

$$\frac{\partial p^* T}{\partial t} = -m^2 \left[\frac{\partial p^* uT/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vT/m}{\partial y} \right] - \frac{\partial p^* T \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + TDIV$$

$$+ \frac{1}{\rho c_p} \left[p^* \frac{D_{p'}}{Dt} - \rho_0 g p^* w - D_{p'} \right] + p^* \frac{\dot{Q}}{c_p} + D_T \quad (21)$$

其中

$$DIV = m^2 \left[\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right] + \frac{\partial p^* \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad (22)$$

且

$$\dot{\sigma} = -\frac{p_0 g}{p^*} w - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v$$

由於在非靜力的過程中不可壓縮流體之連續方程假設不再成立，因此在非靜力模式模中 p^* 為常數的情形之下， DIV 代表氣壓趨勢，下標“0”表參考值，上標“ \prime ”表擾動值， ρ 為密度， m 為地圖投影比例， \dot{Q} 表非絕熱加熱作用，次網格亂流項以 D_u 、 D_v 、 D_w 及 D_T 表示，而 g 、 f 、 T_v 、 c_p 及 γ 則分別是重力加速度、科氏參數、虛溫、定壓比熱、及定壓比熱與定容比熱之比值， q_c 及 q_r 分別表示雲水和雨水混合比。

4.2 實驗設計

本研究所使用的 MM5 模式第 3 版，使用水平網格間距為 45 公里及 15 公里的兩層巢狀網格，網格點數分別為 71×81 及 79×79；粗網域(D01)涵蓋範圍為整個東亞地區，細網域(D02)則涵蓋了大陸華南地區及台灣本島（見圖 10）。垂直解析度為 27 層，採用 σ 座標。邊界層物理的處理選用 MRF 行星邊界層參數法(Hong and Pan, 1996)；大氣輻射過程選用 Dudhia (1989) 輻射參數法，其考慮了雲

與大氣間長短波輻射的交互作用，以及大氣的溫度趨勢所提供的地表輻射通量變化。為瞭解 MM5 模式之降水物理參數法組合對於梅雨季降水預報的適用性為何，本研究選用 4 種積雲參數法及 3 種雲微物理參數法的排列組合（見表 1），進行系集預報。對於所有初始場皆進行 36 小時的積分，將其輸出的預報降雨場分為每 12 小時一筆（0~12 小時、12~24 小時及 24~36 小時）的累積降水來作校驗。MM5 模式所使用的初始場為中央氣象局全球模式的分析場資料，邊界條件由中央氣象局全球模式的預報場提供，同時海平面溫度於積分期間則維持一定。

於校驗梅雨季降水預報方面，除分析各個物理參數法組合（15 公里 MM5 網域）對台灣地區降水預報的系統性誤差外，本研究嘗試以矩陣運算的方式，求得各系集成員於網格點上之權重係數（為空間的函數），並進行系集處理；同時和系集平均及另兩組系集組合（同樣積雲參數法但不同雲微物理參數法，以及同樣雲微物理參數法但不同積雲參數法）的結果作比較，再討論其物理意義。

我們也將比較不同年間梅雨季降雨之氣候特性，即將 2000 年梅雨季之各時段預報校驗後所得權重套用至 2001 年梅雨季之各時段預報作校驗，並比較其誤差情形。對於 2002 年的梅雨季降水預報校驗，則套用 2000 年及 2001 年的權重值，並比較 2002 年和 2000 年及 2001 年降水特性有何差異？由於 0~12 小時模式尚處於啟動 (spin-up) 階段，預報能力較差，故本研究著重於 12~24 小時及 24~36 小時的累積降水預報校驗上，並比較其系集權重的特性及系集平均的表現。

第五章 預報結果的評估

5.1 各系集成員預報結果的評估

以下將針對各系集成員的降水預報討論其偏離得分(BS)及公平預兆得分(ETS)，而各成員之物理參數法組合的表示將依表 1 所示。

5.1.1 系集成員降雨量預報之系統分析

圖 11 至圖 13 分別為 2000 年至 2002 年各系集成員預報降雨與觀測降水的散佈圖(scatter plot)。圖上每點表示每個降水預報事件的網格點預報降水與觀測降水之對應座標點。圖 11 顯示，各物理參數法的組合對於 2000 年各時段所作的預報均傾向高估降雨量，其中表現較好的組合有 GR-R1、KF-SI 及 KF-R1 三組，對於 12~24 小時的預報誤差較小(RMSE=13~14.5，C.C.=0.49~0.55)[圖 11(a)~(f)]。在 24~36 小時預報方面，則以 GR-R1、KF-R1 及 KF-SI 三組表現較佳(RMSE=13.5~15.8，C.C.=0.31~0.42)。由此可知，對於 2000 年梅雨季的降雨量預報而言，綜合 12~24 小時及 24~36 小時預報結果，表現較好的降水物理組合是 GR 積雲參數法配合 R1 雲微物理參數法及 KF 積雲參數法配合 SI 雲微物理參數法，顯示 Grell 及 Kain-Fritsch 積雲參數法對 2000 年梅雨季降水的掌握能力較佳[圖 11(g)~(l)]，而相對應配合表現較佳的雲微物理參數法則是 Reisner 1 參數法。至於系集權重預報(WT)方面[圖 11(m)~(n)]，可以看出採系集權重方式所得的預報可以降低誤差且

提高預報降雨量與實際觀測降雨量的相關性 (RMSE=12.4~12.5, C.C.=0.44~0.59)。

因為 2001 年梅雨季降雨比 2000 年多 (比較圖 5a 及圖 5b), 故對於小雨門檻高估之情形較 2000 年嚴重, 在 12~24 小時預報誤差較小的有 AK-SI、BM-R1、GR-R1 三組 (RMSE=16.3~19.1, C.C.=0.13~0.29) [圖 12(a)~(f)]; 24~36 小時預報表現較好的有 AK-SI、KF-R1、KF-SI 三組 (RMSE=15.3~16.3, C.C.=0.17~0.26) [圖 12(g)~(l)]。所以對 2001 年梅雨季降雨量預報而言, 綜合 12~24 小時及 24~36 小時預報, 表現較好的降水物理組合是 GR 積雲參數法配合 R1 雲微物理參數法以及 KF 積雲參數法配合 SI 雲微物理參數法。此顯示 Grell、Kain-Fritsch 積雲參數法對 2001 年梅雨季降雨的掌握能力較佳, 而所對應配合之較佳雲微物理參數法為 Reisner 1、Simple-Ice 雲微物理參數法。至於系集權重預報 (WT) 方面 [圖 12(m)~(n)], 可看出系集權重方法對於較多雨的 2001 年仍可降低預報誤差並提高預報及觀測降雨量的相關性 (RMSE=14.2~15.6, C.C.=0.31~0.37)。

2002 年降雨總雨量及強度均不若前兩年 (見圖 5), 所以各系集預報成員的降雨預報對於各降水門檻而言多屬高估降雨量的情形。12~24 小時降雨量預報表現較好的有 GR-R1、KF-GD、AK-SI 三組 (RMSE=13.8~14.1, C.C.=0.20~0.26) [圖 13(a)~(f)]; 24~36 小時降雨量預報表現較好的有 AK-SI、GR-R1、BM-R1 三組 (RMSE=14.3~18.8, C.C.=0.08~0.15) [圖 13(g)~(l)]。由此可知, 對於 2002 年梅雨季降雨量預報而言, 綜合 12~24 小時及 24~36 小時預報結果, 表現較好的降水物理組合為 GR 積雲參數法配合 R1

雲微物理參數法以及 KF 積雲參數法配合 GD 雲微物理參數法。這顯示 Grell、Kain-Fritsch 積雲參數法對於 2002 年梅雨季降雨的掌握能力較佳，而相對應配合的較佳雲微物理參數法則為 Reisner 1、Goddard 雲微物理參數法。至於系集權重預報(WT)方面[圖 13(m)~(n)]，可看出系集權重方法對於較少雨的 2002 年仍可降低預報誤差並提高預報及觀測降雨量的相關性(RMSE=11.3~13.2，C.C.=0.16~0.38)；但由於 2002 年梅雨季降雨多屬零星短暫的小雨，各成員表現普遍不佳，所以對系集權重預報能力的提升有限。

綜合比較此三年的梅雨季降雨量系集預報結果，最佳的降水物理組合為 Grell 積雲參數法配合 Reisner 1 雲微物理參數法(三年中有兩年為最佳預報)，其次為 Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Simple Ice 雲微物理參數法；其餘的降水物理組合於不同年間的預報差異較大，較無一致的特性。

5.1.2 各系集成員之 ETS 水平分布

本小節將分析各系集成員之在 12 小時累積降雨達 0.3mm 門檻的 ETS 水平分布情形，並討論各系集成員表現較好(ETS 得分較高)的局部區域。

圖 14 顯示，於 2000 年梅雨季期間各系集成員預報 ETS 得分較高的區域分布在台北盆地、桃竹苗地區、南投山區及台南、高雄等地。對應該年梅雨季累積總降雨量水平分布圖(圖 6a)，我們發現這些地區亦是累積降雨較多的區域，而這些區域的地形高度或位於平地(如台灣西南部平原)，或位於 500~1500 公尺的中央山

脈陡峭地形前緣（如嘉義、台南山區即位於西南氣流的上坡處）。這些區域得分較高的降水物理參數法組合為 KF-SI、KF-GD 及 KF-R1，可見 Kain-Fritsch 積雲參數法（其考慮對流可用位能的動力控制及一維逸入逸出雲模式的靜力控制）是較適用於該年的梅雨季降雨面積之預報。

由於 2001 年梅雨季降水較 2000 年來得多，由圖 15 發現，各系集成員對大部分地區所作的預報 ETS 分數均偏低，有些甚至出現負值的情形，如 AK-SI、及 KF-GD 對中央山脈及其東側的降水得分均偏向負值。不過在 2000 年表現最好的系集成員為 KF-R1，在 2001 年仍有較高的 ETS 得分，區域為台北盆地、桃竹苗山區、台南及高雄地區。所以 Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Reiser 1 雲微物理參數法對於 2001 年梅雨季（降雨較多的梅雨季）的降雨面積有相當不錯的預報能力。

最後，由 2002 年各系集成員的 ETS 得分分佈可發現（見圖 16），由於該年梅雨季的降雨量相當少，其預報誤差因而變大，致使各組物理參數法組合之 ETS 得分偏低情形相當嚴重。得分較高地區為台中、台南部分山區及台東、花蓮一帶，表現較佳的成員為 BM-R1 及 KF-R1，此與前兩年的表現有明顯差異。比較 2000 年及 2002 年降水分布，發現此兩年的降水量雖均偏低，但由於 2002 年的降水型態（見圖 8）明顯不同於前兩年（見圖 6 及圖 7），使得原本在 2000 年及 2001 年預報表現較佳的物理參數法組合（如 KF-GD），在 2002 年的表現反而不若前兩年，僅在少數幾個區域有較好的 ETS 得分。這可能是 2002 年梅雨季的降水型態及其降水物理過程和前兩年不太相同所致。

綜合前面所述，對於 2000~2002 年間梅雨季是否發生降雨的預報表現較好的區域約在台灣東北部、新竹、苗栗和台南、高雄一帶，以及在中央山脈高度約 500~1500 公尺之坡地且處於面對西南氣流上坡處。在這些區域各系集成員都有較高的 ETS 得分，其中以 KF-R1 的 ETS 得分最高，這意謂著 Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Reisner 1 雲微物理參數法對於預報這 3 年梅雨季中降雨事件是否發生有最好的能力(即最小降水門檻 0.3mm)。

根據 2000~2002 年梅雨季系集預報校驗結果，多數成員在 0.3mm 降水門檻之 ETS 得分較高區域，為台灣東北部、新竹、苗栗、南投山區、嘉義、台南山區及西南部平原，而這些地區亦為這 3 年梅雨季累積雨量較多的區域。這些區域產生降雨的物理機制，是由梅雨鋒面在地形迎風面上坡處(如嘉義、台南山區即為西南氣流的迎風面)激發對流而產生降雨，其物理尺度應屬 meso- β (20~200 公里)至 meso- γ (2~20 公里)之間，故各成員在 15 公里網格間距 MM5 的架構下大多能掌握其降雨發生機率。

5.1.3 各系集成員之 BS 水平分布

繼前小節討論了各系及成員 ETS 的水平分佈，本小節將接著分析各系集成員之在 12 小時累積降雨達 0.3mm 門檻的 BS 水平分布情形，並討論各系集成員表現較好(BS 得分在 1.0 左右)的局部區域。

圖 17 顯示，於 2000 年梅雨季期間各系集成員預報 BS 得分最

接近 1(降雨面積偏差最小)的區域分布在台灣東北部地區、新竹苗栗地區、南投山區及台南、高雄等地。對應該年梅雨季累積總降雨量水平分布圖(圖 6a)，這些地區亦是累積降雨較多且類似 ETS 預報得分表現較好的區域。這些區域有較低偏差的降水物理參數法組合為 AK-SI 及 GR-R1。

由於 2001 年梅雨季降水較 2000 年來得多，由圖 18 發現，各系集成員對大部分地區所作的預報 BS 分數均屬低估，只有 GR-R1 及 KF-SI 在桃竹苗、台南高雄山區一帶有較為穩定的表現。不過在 2000 年表現最好的系集成員為 GR-R1，在 2001 年仍有較好的偏差得分($BS \sim 1$)，區域為台北盆地、桃竹苗山區、台南及高雄地區。所以 Grell 積雲參數法配合 Reisner 1 雲微物理參數法對於 2001 年梅雨季(降雨較多)的降雨面積有相當不錯的預報能力。

最後，由 2002 年各系集成員的 BS 得分分佈可發現(見圖 19)，由於該年梅雨季的降雨量相當少，其預報誤差因而變大，致使各組物理參數法組合之 BS 得分偏高情形相當嚴重。偏離程度較低的地區為中南部山區及台灣東北部地區，表現較佳的成員為 BM-R1 及 KF-R1，此與前兩年的表現有明顯差異。

經比較各系集成員其 ETS 與 BS 的水平分佈，可以發現其 ETS 表現較好的區域與偏離程度較小($BS \sim 1$)的區域大致吻合，且與梅雨季累積降雨量的區域也有其關聯性。所以各系集成員的表現有其於空間上的一致性，與各年梅雨季的降水分佈、型態、持續性也有關係。故梅雨季系集降水預報的研究必須同時注重於梅雨季的氣候特性及各系集成員表現於空間上的差異性。

5.1.4 各系集成員之 ETS 及 BS 表現

在討論各系集成員於空間上的表現以後，接著我們將討論各系集成員在各年梅雨季實驗期間的表現。

如圖 20 所示為 2000 年各系集成員預報之 ETS 及 BS 表現比較。可以看出在 12~24 小時預報方面，表現最好的成員是 GR-R1(ETS=0.22~0.28)，且除了 BM-R1 在中高(15.0~50.0mm)降水門檻有明顯的高估(BS=1.5~2.1)以外，其餘各呈員偏離情形屬穩定狀態(BS=0.8~1.3)。而 24~36 小時預報則以 GR-R1 與 BM-R1 表現較佳(ETS=0.15~0.25)，而偏離的情形仍以 BM-R1 較為嚴重(BS=1.4~1.52)。

2001 年各系集成員預報之 ETS 及 BS 表現如圖 21 所示，在 12~24 小時預報方面，各系集成員對於 2.5mm 降水門檻時的表現最佳(ETS=0.17~0.27)，且 GR-R1 的表現明顯高出其他成員(ETS=0.1~0.27)，而降水面積偏離情形最為穩定的則是 GR-R1 及 KF-GD(BS=0.95~1.02)。而在 24~36 小時預報方面則以 BM-R1 在 10.0~50.0mm 降水門檻的表現較好(ETS=0.15~0.2)，且其面積偏離較為穩定(BS=0.85~1.1)。

2002 年梅雨季降水最少，且多零星降雨。故於 2002 年各系集成員的表現均較前兩年遜色(見圖 22)。於 12~24 小時預報表現較好的是 BM-R1(ETS=0.02~0.21)及 KF-R1(ETS=0.01~0.2)，其餘各成員的 ETS 預報得分均在 0.1 以下，且以 AK-SI 的偏離情形最為嚴重(BS=0.5~2.1)。至於 24~36 小時預報方面，各系集成員的 ETS 預報得分均偏低(0.15 以下)，表現較好的是

BM-R1(ETS=0.01~0.15)，而各系集成員只在 15.0mm 降水門檻時有較穩定的偏離情形(BS=0.9~1.1)，於其他門檻則呈明顯高估或是明顯低估的情形。

5.2 系集預報結果之評估

5.2.1 2000 年系集權重結果

圖 23a、圖 23b、圖 24a 及圖 24b 所示為 2000 年梅雨季期間，系集平均(Mean)與系集權重(WT)及二組對應相同雲微物理參數法／積雲參數法的系集平均(BGK-R1、KF-SGR)，在不同降水門檻值其預報 ETS 及 Bias 得分之折線圖分布情形。系集平均(Mean)為令 6 個系集成員有同樣權重(1/6)的預報結果，系集權重(WT)之結果是令 6 個成員採用 2.5 節所述矩陣運算方法給予每個成員不同權重所得之預報結果，相同雲微物理參數法組(BGK-R1)是令 3 個使用 Reissner 1 雲微物理參數法成員(BM-R1、GR-R1、KF-R1)有同樣權重(1/3)的預報結果，相同積雲參數法組(KF-SGR)是令 3 個使用 Kain-Fritsch 積雲參數法成員(KF-SI、KF-GD、KF-R1)有同樣權重(1/3)的預報結果。經比較後發現，對於 2000 年梅雨季 12~24 小時預報(圖 23a)，採用系集權重方式(WT)，其 ETS 預報得分在 0.2~0.25，且在 10.0 公釐以下降水門檻值的表現比系集平均(Mean)為佳，且其 Bias 預報得分維持在 0.8~1.2 之間(圖 24a)。而對應於相同積雲參數法(KF-SGR)及相同雲微物理參數法(BGK-R1)的兩組，則其只有在 2.5~5.0 公釐降水門檻值時有較系集平均為好的表現，且均偏向高估降水面積(Bias 在 1.2~1.4；見圖 24a)。由

此可知，若系集成員為使用同一種積雲參數法或雲微物理參數法時，所得到的系集預報結果不比系集平均結果好，而採權重方式在某些降水門檻確實可得到比系集平均較佳的降水預報。

至於 24~36 小時預報(圖 23b 及圖 24b)，由於預報時間較長以致 MM5 模式已累積相當的誤差，所以各組表現大多和系集平均(Mean)相近似，不過採權重方式(WT)所得結果於 15~50 公釐降水門檻時仍維持在相當不錯的水準內(ETS = 0.15~0.25；Bias = 0.8~1.5)較系集平均及其他 2 組為好，顯見以權重方式可將預報誤差控制在合理範圍內，所以其表現在不同降水門檻值皆呈穩定狀態。

若將 0~12 小時預報經校驗所得權重套用至 12~24 小時的預報中(見圖 23c 及圖 24c 的“12-24”曲線)，發現模式雖在 0~12 小時仍處於啟動(spin-up)階段，但由於已和實際觀測降水作校驗，所以其所得權重仍可用以預報 12~24 小時降水區域的分布(ETS 得分略較系集平均為差；見圖 23c)，但傾向於高估降水面積(Bias = 1.5~2.3；見圖 24c)。若將 0~12 小時、12~24 小時所得權重分別套用至 24~36 小時的預報中(見圖 23d 及圖 24d 的“12-36”及“24-36”曲線)，其結果均較系集平均為差，且明顯高估降水面積。在 ETS 預報得分方面，其在各降水門檻表現的趨勢和系集平均類似；套用 12~24 小時所得權重(“24-36”曲線)於 24~36 小時預報較套用 0~12 小時所得權重(“12-36”曲線)有更好的 ETS 得分，顯見梅雨季降水有其時間連續性，又因日夜降水的差異性使得 Bias 預報得分偏高。

檢視各系集成員在 12~24 小時的預報權重之水平分布(見圖

25a 至圖 25f) 可得知，對於 ETS 預報得分較高的區域而言(見圖 14a 至圖 14f)，如台南、高雄山區附近，AK-SI、GR-R1、KF-R1 及 KF-SI 四組成員之權重較高(0.6~0.8)。圖 25g 至圖 25l 則顯示對於 24~36 小時預報結果，權重方法給予 AK-SI、BM-R1、KF-R1 較高的權重(0.6~0.8)。所以系集權重方式(WT)會給予個別降水預報表現較佳的系集預報成員有較高的權重，其結果顯示此權重方式合乎我們所預期。

5.2.2 2001 年系集權重結果

圖 26a 及圖 27a 顯示，2001 年系集權重(WT)結果與其它組別之 12~24 小時預報比較，發現使用系集權重結果之 ETS 得分較高(0.15~0.25)，且 Bias 預報得分維持在 0.8~1.2 左右；尤其是在中高降水門檻(15~50 公釐)時，當其它系集平均方法的 ETS 得分都已降至 0.1 以下時，系集權重的 ETS 預報得分仍維持在 0.15~0.2 左右，而 Bias 預報得分則趨於穩定(0.8~0.9)。

對於 24~36 小時預報而言(見圖 26b 及圖 27b)，系集權重(WT)在 15 公釐降水門檻值以下的表現近似於系集平均(Mean)；於 25~50 公釐降水門檻值時系集權重的 ETS 得分(~0.15)仍較其它表現為佳，但傾向於低估降水面積(BS=0.5~0.7)。

接著我們嘗試將不同時段所得權重套用至次一或次二個時段，並和該時段的系集平均作比較。如圖 26c 及圖 27c 所示，我們發現若將 0~12 小時所得的權重套用至 12~24 小時之預報中

(“12-24”曲線)，可提升其對中高降水門檻值(10~50 mm)的 ETS 得分(0.15~0.2)，但其 Bias 得分亦相對偏高。在 24~36 小時預報方面(圖 26d 及圖 27d)，若套用 0~12 小時所得權重(“12-36”曲線)，可提升其對 25~50 公釐降水門檻的預報能力；若套用 12~24 小時所得權重(“24-36”曲線)，比套用 0~12 小時所得權重，在低中門檻(降水門檻小於 25 mm)的 ETS 表現較佳，但 Bias 預報得分持續偏高。

由圖 28a 至圖 28f 的 12~24 小時各系集成員所得權重之水平分布圖顯示，AK-SI、BM-R1、KF-SI 所得的權重較高，表示這些組別在 2001 年梅雨的 12~24 小時預報的表現較好。至於 24~36 小時預報方面(圖 28g 至圖 28l)，以 BM-R1、KF-R1、KF-SI 所獲得的權重較高。

5.2.3 2002 年系集權重結果

2002 年 12~24 小時系集降水預報如圖 29a 及圖 30a 所示。系集權重(WT)在中大(25 公釐以上)降水門檻的 ETS 表現較系集平均為好，在小雨降水門檻值的表現則類似或略劣於系集平均(Mean)，而又以 10 公釐以上降水門檻值時系集權重的 Bias 得分較系集平均為高。

對於 24~36 小時預報方面而言(見圖 29b 及圖 30b，系集權重在各降水門檻值(除 50mm 以外)的 ETS 預報得分均略高於系集

平均，Bias 預報得分稍高於系集平均(Mean)。而其它系集平均組合（如 BGK-R1 及 KF-SGR）的 ETS 表現較差，且 Bias 預報得分偏高。

校驗 12~24 小時預報，若套用 0~12 小時所得權重(見圖 29c 及圖 30c 的“12-24”曲線)，則其 ETS 預報得分並沒有提升，且 Bias 預報得分偏高(Bias=1.5~2.5)，這可能和 2002 年梅雨季降水多為零星短暫小雨的特性有關。同樣地，套用 0~12 小時所得權重(“12-36”曲線)或 12~24 小時所得權重(“24-36”曲線)在 24~36 小時預報方面的 ETS 得分也不理想，只在 25 公釐降水門檻 ETS 預報得分的表現略高於系集平均，而這 2 種套用前時段權重法之 Bias 預報得分均偏高。

檢視各成員所得權重之水平分布圖(見圖 31)，可見 2002 的降水特性不同於前兩年，各成員所得權重值較小，且各成員所獲最大權重的區域亦較為不同；獲得較高權重的組別有 AK-SI、GR-R1。

5.2.4 系集權重方法對 2000 年至 2002 年梅雨季季節特性的探討

以下嘗試在預報當年某時段(如 12~24 小時)的降雨時，套入前一年或前兩年同一時段(亦為 12~24 小時)所得權重值，以探討梅雨季降雨是否有其氣候特性可循。

做 2001 年梅雨季 12~24 小時預報時，若套入 2000 年 12~24

小時所得權重(“00WT-24”曲線),其 ETS 及 Bias 預報得分表現如圖 32a 及圖 32c 所示。兩年權重的趨勢類似,而以 2001 年所得權重(“01WT-24”曲線)的 ETS 預報得分較高(0.15~0.25),且對降水面積估計的表現類似系集平均(圖 32c)。而套入 2000 年權重者則明顯高估各門檻值時的降水面積($Bias > 1$;圖 32c 的“00WT-24”曲線)。對於 24~36 小時預報若套入 2000 年所得同時段的權重(見圖 32b 及圖 32d 的“00WT-36”曲線),則 2001 年同時段權重(“01WT-36”曲線)的 ETS 預報得分趨勢雷同,但比系集平均(“Mean”曲線)遜色,而 Bias 預報得分則顯示對所有門檻均高估降水面積($Bias=1.2\sim 1.6$)。

若對於 2002 年的 12~24 小時預報套入 2000 年及 2001 年 12~24 小時所得權重(見圖 33a 及圖 33c 的“00WT-24”及“01WT-24”曲線),這二種權重的 ETS 表現也是類似,但以套入 2001 年 12~24 小時權重的表現稍好,而 Bias 預報得分方面表現各組類似(圖 33c)。在 24~36 小時預報方面(見圖 33b 及圖 33d),2000 年及 2001 年同時段權重套入的 ETS 預報得分表現趨勢亦類似,約略低系集平均(Mean)0.1 左右,而 Bias 預報得分顯示,以套用 2001 年權重的降水面積高估情形最嚴重。

綜前所述,由於各系集成員對同一梅雨季降水系統的掌握能力並不一致,且表現較好的預報時段也不相同,所以採系集權重方式(WT)可以提升表現較好成員的影響比例,使其最後預報結果會較系集平均(Mean)來得好。一般而言,使用系集權重方式的 ETS 預報表現較為穩定,且由 Bias 預報得分來看,其對降水面積預報偏離程度能控制在一定範圍之內。當然,此權重方法使用於持續

性降雨時的預報表現較零星陣性降雨為佳。

經由不同年同時段的權重套入結果表現來看，雖然均較系集平均遜色，但其 ETS 及 Bias 的表現趨勢卻有雷同之處。因此，採用過去降水預報權重方式可以掌握到梅雨季降水的部分氣候特性。不過，影響梅雨季降雨的特性因素有很多，如地形效應、日夜變化及年際氣候變遷等，仍有待更深入的研究探討。

第六章 總結

本論文研究的目的是探討數值模式中降水物理參數法(積雲參數化法及雲微物理參數法)的組合對於台灣地區梅雨季降雨預報之合適性。希望經由本研究的比較分析，提供未來在預報台灣地區梅雨季降雨時的參考依據。

於總結本研究結果前，在此必須注意幾點：首先，造成降雨預報誤差的主因並非只有積雲參數法及雲微物理參數法，其它因素如模式初始條件的不正確、數值方法的誤差及其它物理參數法(如邊界層參數法)也都有可能造成降雨預報誤差。當大尺度(或綜觀尺度)的動力強迫條件較微弱時，上述各項因素的些許不完善就有可能造成降雨預報的顯著差異。再者，本文所使用的統計技術得分方法(ETS 及 Bias 得分比較)可能並不夠完備，所以一套更客觀降水評估方法的發展及建立，對於中尺度數值模式的降水預報及應用是刻不容緩的要務。

本研究使用於 2000 年至 2002 年梅雨季期間，由台灣地區各氣象作業單位(中央氣象局、民航局)及學術單位(台灣大學、中央大學、師範大學及中國文化大學)所共同進行的梅雨季 MM5 系集預報，進行分析比較及校驗，以評估其降水預報能力，並試圖找出預報台灣地區梅雨季降水的最佳降水物理參數法組合，以期提升數值模式對梅雨季降水之預報能力。預報資料為 2000~2002 年 5 月 23 日至 6 月 20 日六個系集預報成員所輸出 0~36 小時的預報降水資料，同時以中央氣象局全台 343 個自動雨量站所對應

時間之每 12 小時累積雨量資料，內插到 MM5 模式網格點上作校驗；接著使用降水評估列聯表計算各降水門檻值的預報和觀測之降雨及非降雨次數，以計算其 ETS 及 BS 得分，藉以評估降水預報的能力。

總結第五章的校驗結果，各系集成員表現如下：

- (1)綜合比較此三年（2000～2002 年）的梅雨季雨量系集預報結果，最佳的降水物理組合為 Grell 積雲參數法配合 Reisner 1 雲微物理參數法，其次為 Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Simple-Ice 雲微物理參數法；其餘的降水物理組合於不同年間的預報差異性較大，較無一致的系統特性。
- (2)就預報降雨是否發生(即降水門檻 0.3mm)的機率而言，多數成員預報表現較好的區域為台灣東北部、新竹、苗栗、南投山區、嘉義台南山區及西南部平原，而這些地區亦為這 3 年梅雨季累積雨量較多的區域。
- (3)採用系集權重方式，由於可以使得各成員在表現較好的地區有較大的影響權重，所以經系集權重方法所得降水預報較系集平均（即各成員有相同影響權重）預報為佳。

就系集預報方面：

- (1)採系集權重式對於降水預報可以有所提升。以 2000 年梅雨季降水 12～24 小時預報而言，系集權重的預報結果在小雨降水門檻

(10.0 公釐以下)的 ETS 得分表現較系集平均為佳；在 24~36 小時預報方面對中大雨門檻值(15.0~50.0 公釐)的提升更為明顯。對較多雨的 2001 年梅雨季而言，採用系集權重方式在 12~24 小時及 24~36 小時預報方面的 ETS 表現均較系集平均為佳，只在 24~36 小時預報於 15mm 以下降雨門檻值略低於系集平均表現。至於較少雨的 2002 年梅雨季，系集權重表現仍略優於系集平均，僅在 12~24 預報的小雨門檻(10mm 以下)表現劣於系集平均。究其原因可能為各系集成員對較乾梅雨季的短暫性小雨事件之降水能力較難掌握，致使在小雨門檻值的系集權重表現比系集平均來得差。

(2)至於同年不同時段權重的套用，雖較系集平均的結果遜色，但值得注意的是經套用前 12 小時或前 24 小時校驗所得權重對各門檻 ETS 表現的趨勢仍與系集平均類似，顯見套用前 12 小時或前 24 小時的權重對於梅雨季持續性降水型態仍具有一定程度的掌握能力，而且套用前 24 小時校驗所得權重預報結果較套用前 12 小時結果為差。而對於較乾的 2002 年套用結果明顯比前兩年預報結果要差，其原因可能和 2002 年梅雨季降水多為零星短暫性小雨的降水特性有關。

(3)比較不同年之間同一時段權重的套用發現，若套用前一年校驗所得權重時，在各降水門檻值的 ETS 及 Bias 表現較該年系集平均差，但對於降雨 ETS 得分趨勢掌握則類似系集平均。由此可見，梅雨季降水有其氣候延續特性可循。

整體而言，本論文研究主要結果如下：

- (1) 系集權重方式確實可改善降水預報結果。使用系集權重方式可將系集預報的降水誤差控制在一定範圍內，使其預報降水分佈較接近實際降雨。
- (2) 台灣地區梅雨季降水有其氣候特徵可循。使用不同年但同時段權重所得預報結果顯示，此種套用以往權重方式可以掌握到梅雨季降水的氣候延續特性。
- (3) 對於梅雨季降水預報而言，使用 Grell 積雲參數法配合 Reisner 1 雲微物理參數法效果最佳，Kain-Fritsch 積雲參數法配合 Simple Ice 雲微物理參數法次之。這和董(2001)及簡等(2003)的結果一致，顯示 Grell 及 Kain-Fritsch 積雲參數法適用於梅雨季降水數值的模擬。
- (4) 系集權重方式由於可提高各成員在表現較好地區的影響權重，所以其 ETS 及 Bias 預報能力較系集平均(各成員相同權重)為佳，此合乎我們所預期。由於各系集成員對同一梅雨鋒面天氣系統的實際降水掌握不儘相同，日後可只針對較有預報能力的幾組來作系集預報，相信更能提升對梅雨鋒面降雨的預報結果。
- (5) 由於數值模式降水預報有啟動階段(spin-up)的限制，其 0~12 小時的降水預報一般而言較不可靠，故實際應用上可以 12~24 小時(24~36 小時)預報結果經校驗後所得權重套入用以預報下一個 run 或下一個降水事件的 12~24 小時(24~36 小時)降水。

本研究發現採權重方式確實比系集平均有較好的結果，此結論與簡等(2003)類似。由於本研究採矩陣運算方式取得權重，使得各系集預報成員在不同地區(網格點)及不同時段(0~12、12~24、24~36小時)有不同的權重，故預報誤差可以最小平方差方式侷限在一定範圍內，因此可避免如簡等(2003)以均方根誤差(RMSE)方式排序會造各成員對有降雨、無降雨會有相同權重的情形產生。另外簡等(2003)使用 0~12 小時預報校驗結果來決定成員權重排序可能較有爭議性，因為當時模式仍在啟動階段。

對於找出梅雨季的氣候特性方面，我們應延續此梅雨季系集預報實驗繼續執行，並增加組別，即增加對梅雨季降水事件的個案統計及預報測試，以便瞭解各物理參數法組合之預報結果對於乾梅年、濕梅年的表現有何異同。我們亦須增加瞭解異常梅雨年相對於正常梅雨年有何氣候上的異常特徵，如 El Nino 發生時梅雨季降水型態有何改變。最後，我們或許可以對梅雨季降水預報設定一種指標，用以增加或減少來年各系集成員的權重，藉此提升我們對梅雨季降水之預報能力。

在增加對於各降水物理參數法與數值模式其它部分之間交互作用的瞭解方面，我們仍有許多地方值得努力，如積雲參數法之對流啟動機制假設或雲微物理過程的改進處理等。所以，如何改善梅雨季降雨事件中尺度對流系統的定量降雨預報，仍為一極具挑戰性的科學問題。

附錄

一、雲微物理參數法

1. Dudhia simple ice：由 Dudhia (1989)所提出，主要是將原有的降水物理假設加入了冰相過程，且於凝結層以上($<0^{\circ}\text{C}$)有雪花、冰晶及水汽等相位；於凝結層以下($>0^{\circ}\text{C}$)可存在的相位為雲水、雨水及水汽。
2. Resiner mixed-phase：由 Reisner et al., (1998) 所提出，主要不同點則是加入了過冷水(supercooling water)的假設，其中允許雪可以緩慢的融化。無軟雹(graupel)及霜(rime)等過程。
3. Goddard mixed-phase：由 Lin et al., (1983) 及 Tao et al.,(1989,1993) 所提出，屬較複雜的雲物理參數法，其中加入了軟雹的預報方程，適用於解析小尺度的雲物理過程。

二、積雲參數法

1. Anthes-Kuo 積雲參數法

由原本的 Kuo 積雲參數法 (Kuo 1974) 改進而來，其本身並不包含任何的雲模式，亦不考慮下衝氣流的存在。此積雲參數法對水氣的輻合做氣柱的垂直積分 (M_r)，並假設當環境中有條件性不穩定存在且水氣的垂直積分量超過一定的門

檻值時，對流便會發生，進而產生次網格尺度降雨。對流的發生位置及強度，則由水氣的垂直積分量決定。

2. Grell 積雲參數法

最初是被使用於 MM4 中尺度模式中，是 Arakawa-Schubert 積雲參數法(1974) 的簡化版本（只考慮一朵雲）；其閉合假設採用 Arakawa 與 Schubert（1974）所提出的準平衡假設，且考慮了對流尺度下衝氣流的物理過程。

3. Kain-Fritsch 積雲參數法

與 Fritsch-Chappell 積雲參數法（1980）相似，但改進了對逸出現象及其所使用的雲模式，最初也是被使用於 MM4 中尺度模式中。它使用與 Fritsch-Chappell 積雲參數法相同的閉合假設，即由網格點上的對流可用位能（CAPE）大小來決定對流是否會發生；一旦對流被激發，則在一定的平流時間週期內，網格點之垂直氣柱上的所有對流可用位能將被移除（Kain and Fritsch 1993）。此參數法使用一個質量保守、允許雲和環境之間可有交互作用並考慮濕下衝氣流的雲模式，它考慮了積雲中冰態的物理過程及在雲邊界上逸出和逸入的現象(Kain and Fritsch 1990)。

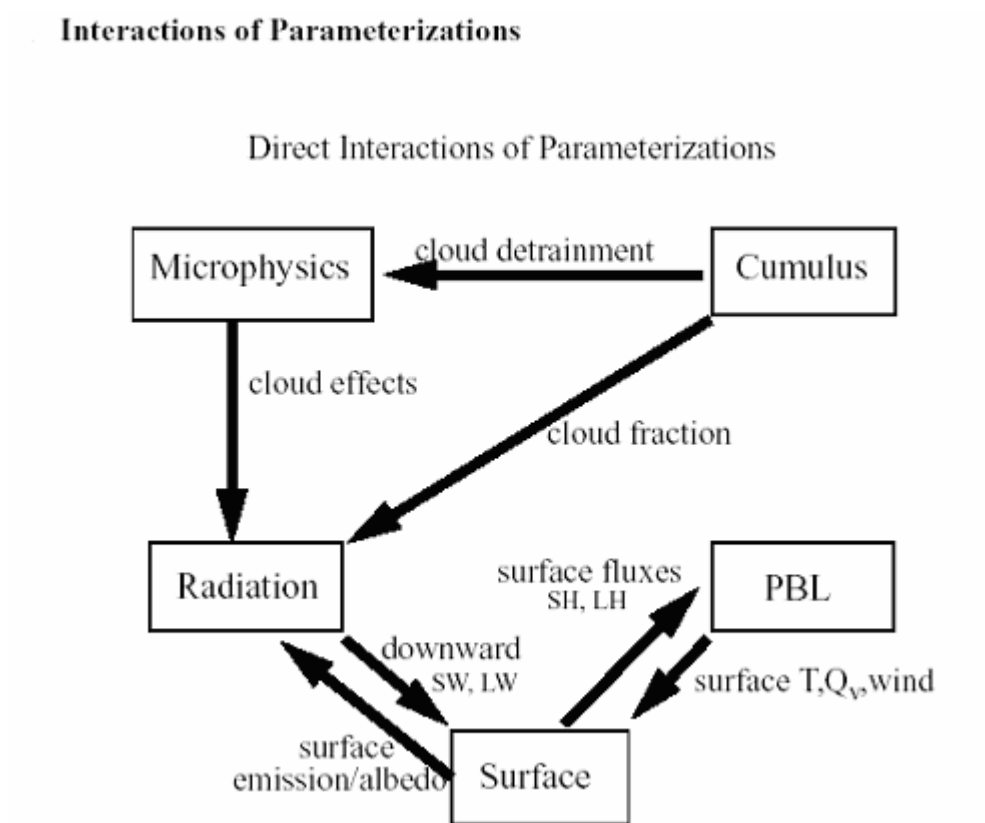
4. Betts-Miller 積雲參數法

近似於美國國家環境預報中心（National Centers for Environmental Prediction；NCEP）在作業上使用於 Eta 模式上之版本。此積雲參數法不同於其他在本研究中所使用的另三種積雲參數法，它屬於一種緩慢的對流調整參數法。

三、MRF 邊界層參數化方法

亦稱 Hong-Pan 邊界層參數化方法，於行星邊界層適用高解析度(同 Blackadar 方法)，是一種對均勻混合行星邊界層以 Troen-Mahrt 表示法代表逆梯度項及 K 剖面，如 NCEP MRF 模式所應用一般。詳見 Hong and Pan (1996)。

四、各參數化方法間之交互作用示意圖



取自 MM5 模式使用者操作手冊 v3.5 (Dudhia et al. 2002)

五、最小平方法與配適線(Fitted Line)求法

最小平方法(Method of Least Squares)的本想法是根據樣本資料 (x_i, y_i) ，其中 $i = 1, 2, \dots, n$ ，找出一條樣迴歸線(Sample Regression Line)或稱配適線(Fitted Line)

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i \quad (\text{A1})$$

使得各資料值 x_i 所對應的觀察值 y_i 與樣本迴歸線上所對應的配適值 \hat{y}_i 之間的差異最小，其中 $\hat{\beta}_0$ 及 $\hat{\beta}_1$ 分別為 β_0 及 β_1 的估計式。由於差異有正有負，所以考慮誤差的平方總和為最小，即

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (\text{A2})$$

為最小。

參考文獻

陳正改與蔡清彥，1980：影響台灣北部地區之梅雨系統。大氣科學，7，49-58。

陳泰然，1984：台灣梅雨季之豪雨研究。大氣科學，11，455-477。

陳泰然與紀水上，1978：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，35-47。

董坤智，2001：積雲參數法對於台灣地區降雨數值之敏感度研究，私立中國文化大學，地學研究所大氣科學組，碩士論文，共96頁。

簡芳菁，1998：MM5 模式之降水預報，天氣分析與預報研討會論文彙編，1998年2月23日至25日，台北市中央氣象局，211-216頁。

簡芳菁，蕭育琪，周仲島，林沛練，楊明仁，洪景山，鄧仁星，林慧娟，2003：MM5 系集降水預報之校驗，大氣科學，31，77-93

Anthes, R. A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 270–286.

Anthes, R. A., and T. T. Waner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable

for air pollution and other mesometeorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, **106**,1045-1078.

Anthes, R. A., E. -Y.Hsie, and Y.-H. Kuo, 1987: Description of the Penn State /NCAR Mesoscale Model Version 4(MM4). NCAR/TN-282+STR,National Center for Atmospheric Research ,Boulder,CO,66 pp.

Betts A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX, and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 693–709.

Colle, B. A., K. J. Westrick, and C. F. Mass, 1999: Evaluation of MM5 Eta-10 Precipitation Forecasts over the Pacific Northwest during the Cool Season. *Wea. Forecasting*, **14**, 137-154.

Colle, B, A., C. F. Mass, and K. J. Westrick, 2000: MM5 Precipitation Verification over the Pacific Northwest during the 1997-99 Cool Seasons. *Wea. Forecasting*, **15**, 730-744.

Chien, F.-C., Y.-H. Kuo, and M.-J. Yang, 2001: Precipitation forecast of the MM5 in Taiwan area during the 1998 Mei-Yu season. *Wea. Forecasting*, **17**, 739-754.

Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077–3107.

- Dudhia, J., 1993: A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, **121**,1493-1513
- Dudhia, J., D. Gill, Y.-R. Guo, K. Manning, A. Bourgeois, W. Wang ,and J. Wilson, 2002 : PSU/NCAR mesoscale modeling system tutorial class notes and user's guide(MM5 modeling system version 3). Available from <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/doc.html>.
- 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.
- Fritsch, J. M., and C. F. Chappel, 1980: Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I :Convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, **37**,1722-1733.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-398+STR, 117 pp.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764–787.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Wea. Rev.*, **124**,2322-2339

- Kain, J. S., and , J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2784-2802 .
- Kain, J. S., and , J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain–Fritsch scheme. *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models, Meteor. Monogr.*, No. 46, Amer. Meteor. Soc., 165–170.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, T. E. LaRow, D. R. Bachiochi, Z. Zhang, C. E. Williford, S. Gadgil, S. Surendran, 1999: Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. *Science*, **285**, 1548-1550.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, D. W. Shin, and C. E. Williford, 2000: Improving tropical precipitation forecasts form a multianalysis superensemble. *J. Climate*, **13**, 4217-4227
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, Z. Zhang, T. Larow, D. Bachiochi, and E. Williford, 2000: Multimodel ensemble forecasts for weather and seasonal climate. *J. Climate*, **13**, 4196-4216.
- Kuo, H.-L., 1974: Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1232-1240 .
- Olson, D. A., N. W. Junker, and B. Korty, 1995: Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea. Forecasting*, **10**, 498–511.

- Reisner, J., R. T. Brientjes, and R. J. Rasmussen, 1998: Explicit forecasting of supercooled water in winter storms using the MM5 mesoscale model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **124B**, 1071-1107.
- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Weather Forecasting*, **5**, 570-575
- Tao, W.-K., and J. Simpson, 1993: The Goddard cumulus ensemble model. Part I: Model description. *Terr., Atmos., and Oceanic Sci.*, **4**, 35-72.
- Yang, M.-J., F.-C. Chien, and M.-D. Cheng, 2000: Precipitation Parameterization in a Simulated Mei-Yu Front. *Terr., Atmos., and Oceanic Sci.*, **11**, 393-422.

表 1：系集預報成員所使用之降水物理參數化方法組合及其在本研究中所使用的代號。

成員代號	積雲參數法	雲微物理法	執行單位
BM-R1	Betts-Miller	Reisner 1	NCU
KF-SI	Kain-Fritsch	Simple Ice	NTNU
KF-GD	Kain-Fritsch	Goddard	CCU
AK-SI	Anthes-Kuo	Simple Ice	CWB
GR-R1	Grell	Reisner 1	NTU
KF-R1	Kain-Fritsch	Reisner 1	CAA

表 2：降雨評估列聯表(Contingency Table)。即於可校驗網格點上設定一定的降水門檻值(mm)，達到或超出門檻值者為降雨；反之則為無降雨。並於 A、B、C、D 各欄紀錄其次數。於本研究所設定的降水門檻值(mm)為 0.3、2.5、5.0、10.0、15.0、25.0、35.0 及 50.0。

觀測 預報	降雨	無降雨
	降雨	A
無降雨	C	D

Illustration of Microphysics Processes

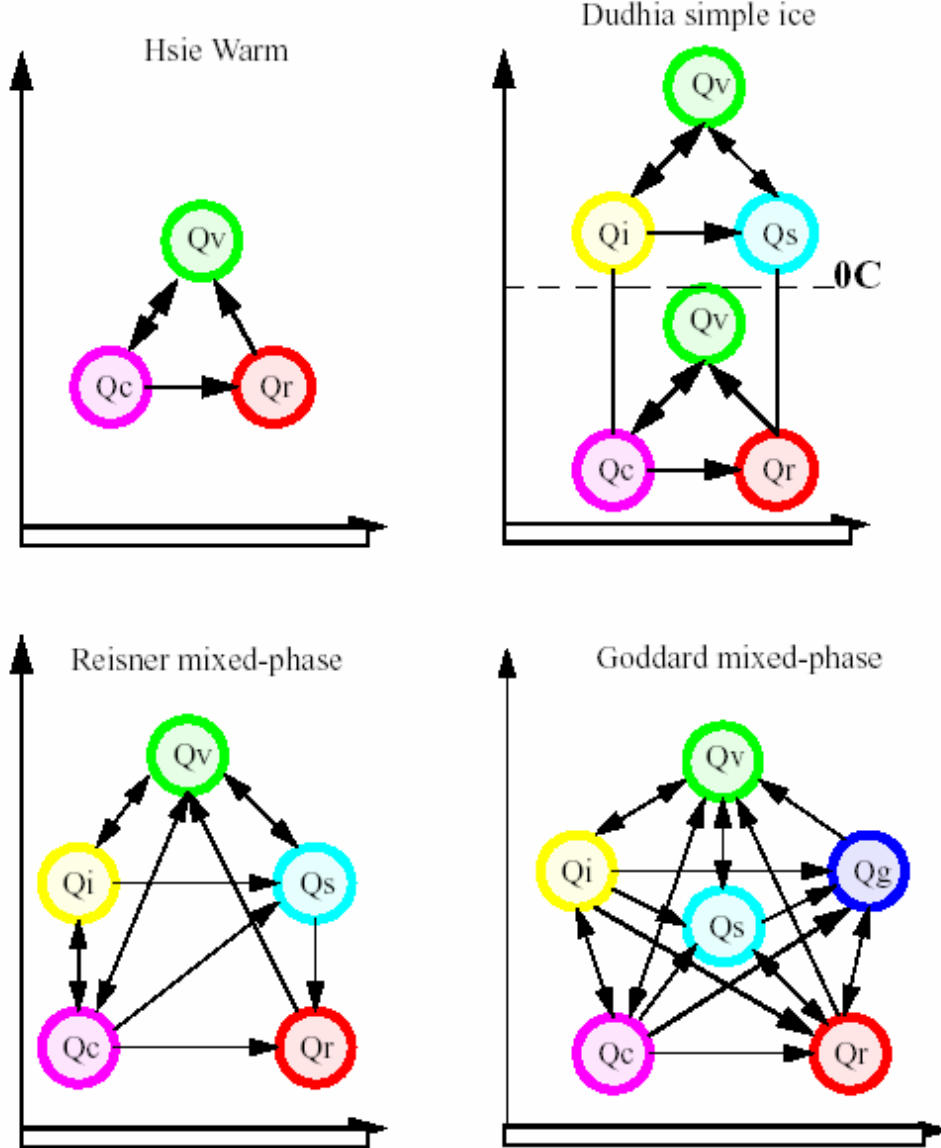


圖 1 各種雲微物理參數化方法其三相水之相位轉換情形示意圖。(取自 MM5 模式使用者操作手冊 v3.5, Dudhia et al. 2002)

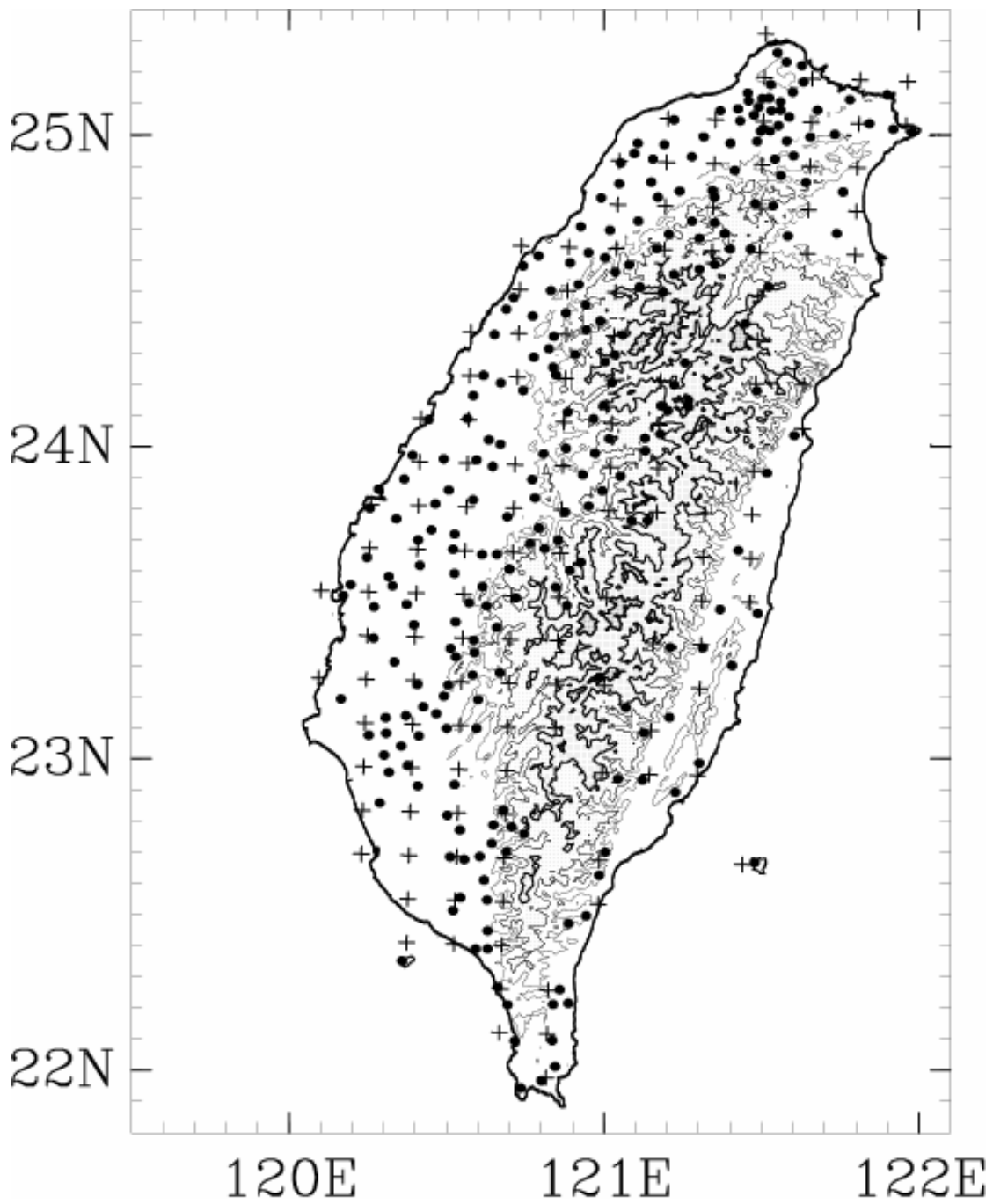


圖 2 台灣地區自動雨量站 (343 個)，以及可校驗 MM5 網格點 (140 個) 之分布位置圖。黑圓點為自動雨量站；十字記號為可校驗 MM5 網格點。地形高度等值線為 500m、1500m、2500m、3500m。

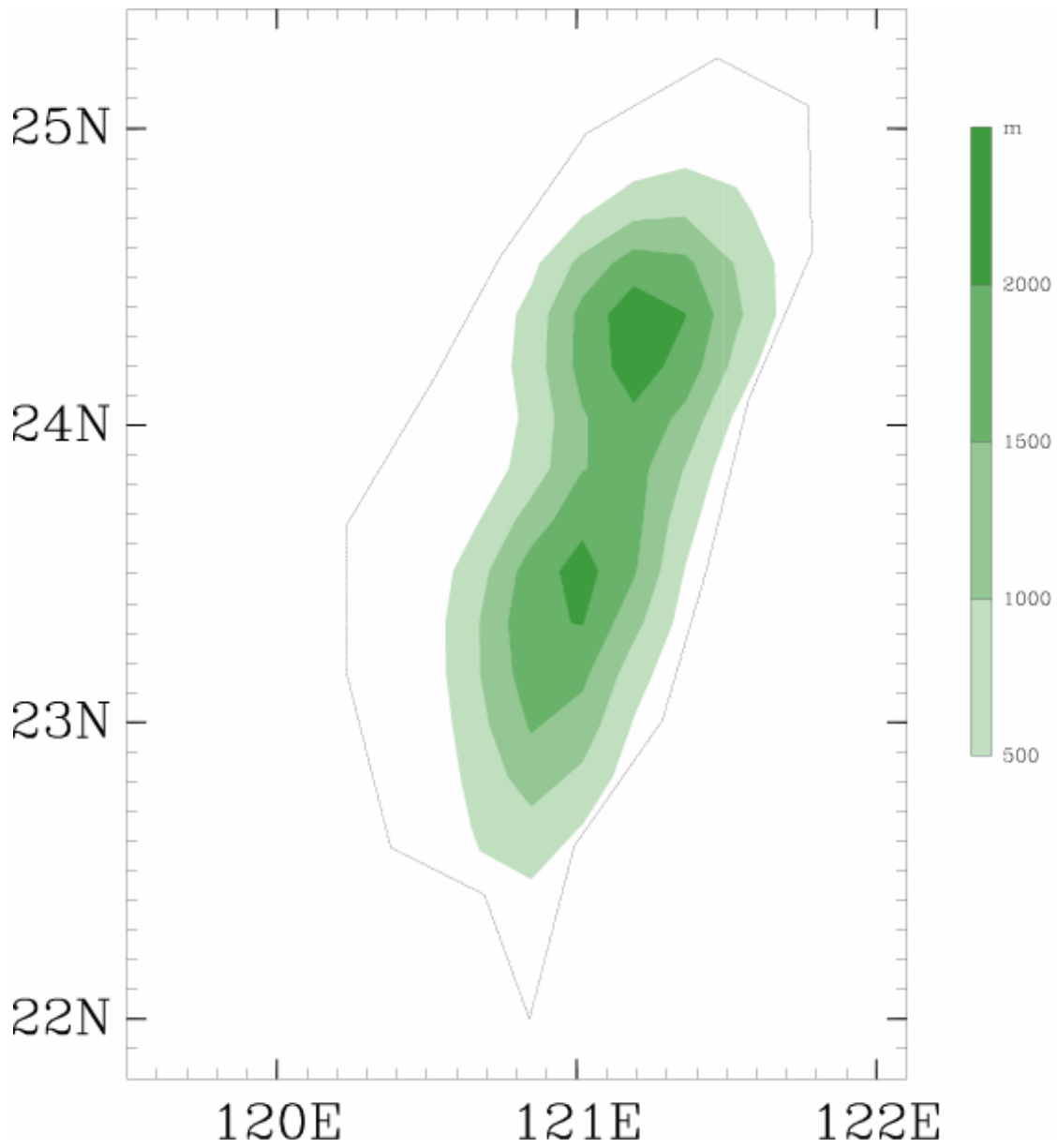


圖 3 MM5 模式於 15 公里水平解析度下之台灣地形圖。右邊的色階為地形高度 (m)，間距為 500 m。

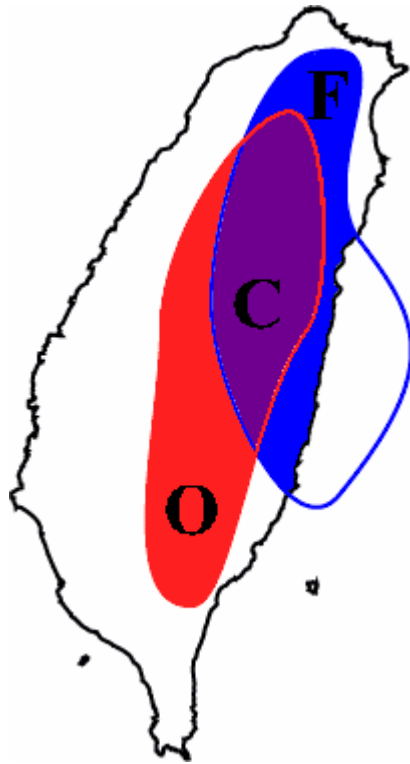
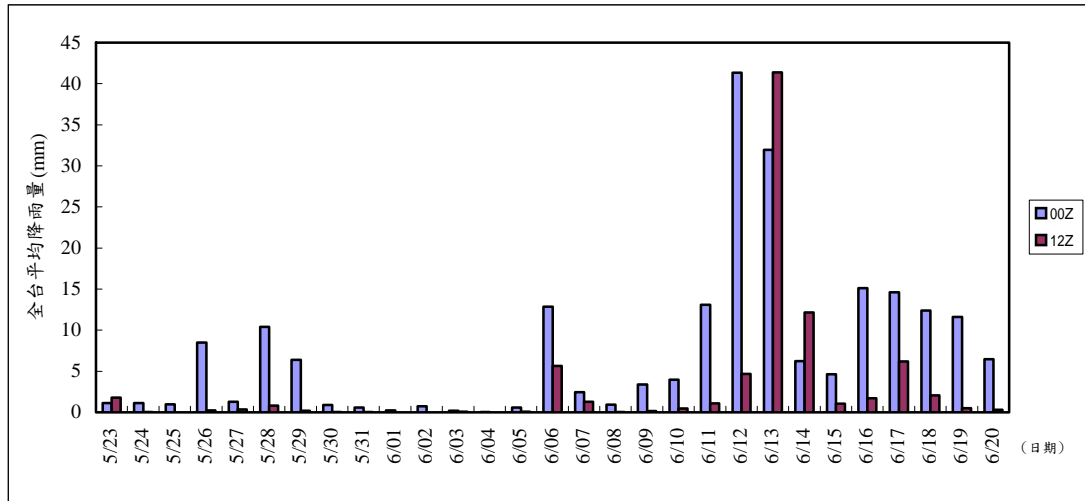
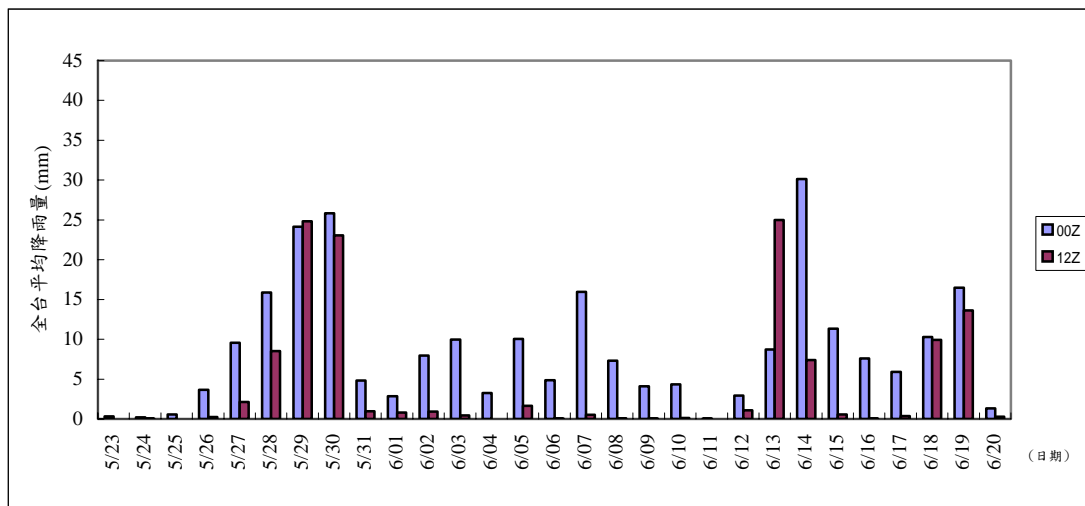


圖 4 台灣地區之觀測降雨及模式降雨分布示意圖。F 為模式在台灣地區的 12 小時累積降雨量超過門檻值之涵蓋面積、O 為觀測經算術平均處理過後的 12 小時累積降雨量超出門檻值之涵蓋面積、C 為模式正確預報 12 小時累積降雨量超出門檻值之涵蓋面積。(取自董 2001)

(a)2000 年



(b)2001 年



(c)2002 年

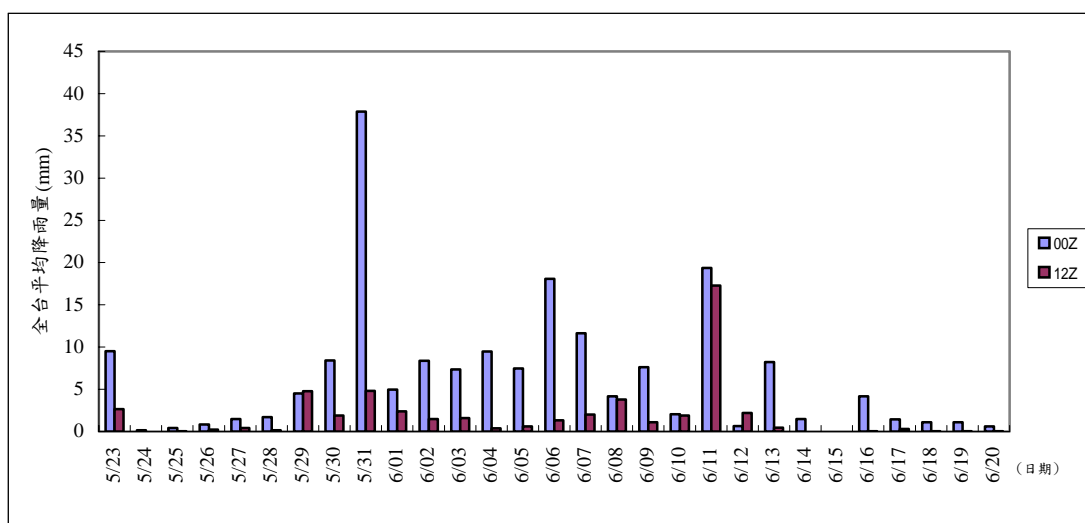


圖 5 (a) 2000 年、(b) 2001 年、(c) 2002 年梅雨季期間全台 343 個自動雨量站日間(00 Z; 當地時間上午 8 時至晚上 8 時)及夜間(12 Z; 當地時間晚上 8 時至上午 8 時)平均累積降雨量直方圖, 降雨量單位為公釐(mm)。

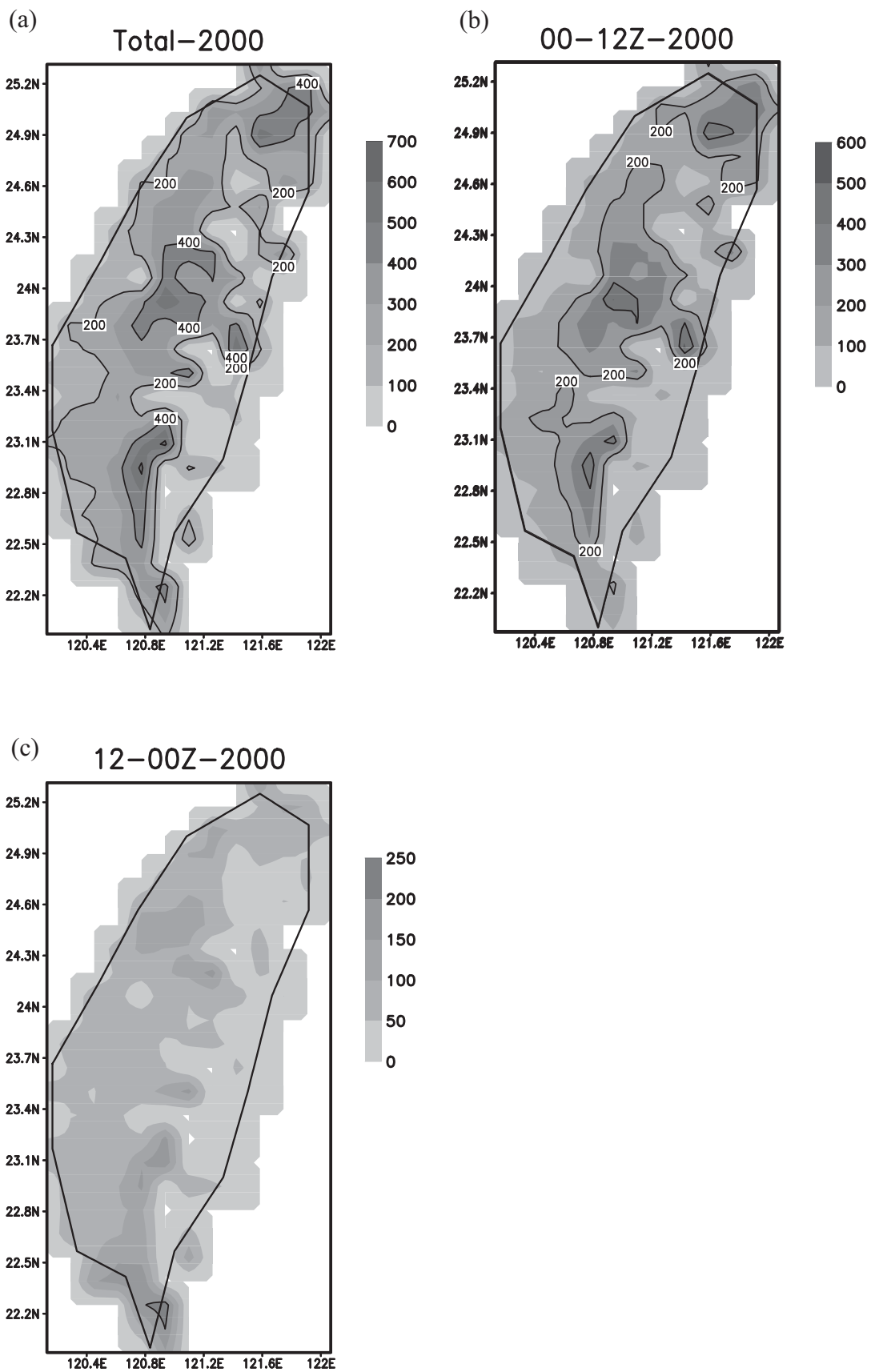


圖6 2000年之(a)24小時、(b)日間(00Z;當地時間上午8時至晚上8時)、(c)夜間(12Z;當地時間晚上8時至隔日上午8時)之客觀分析累積降雨量(單位：mm)水平分佈圖。

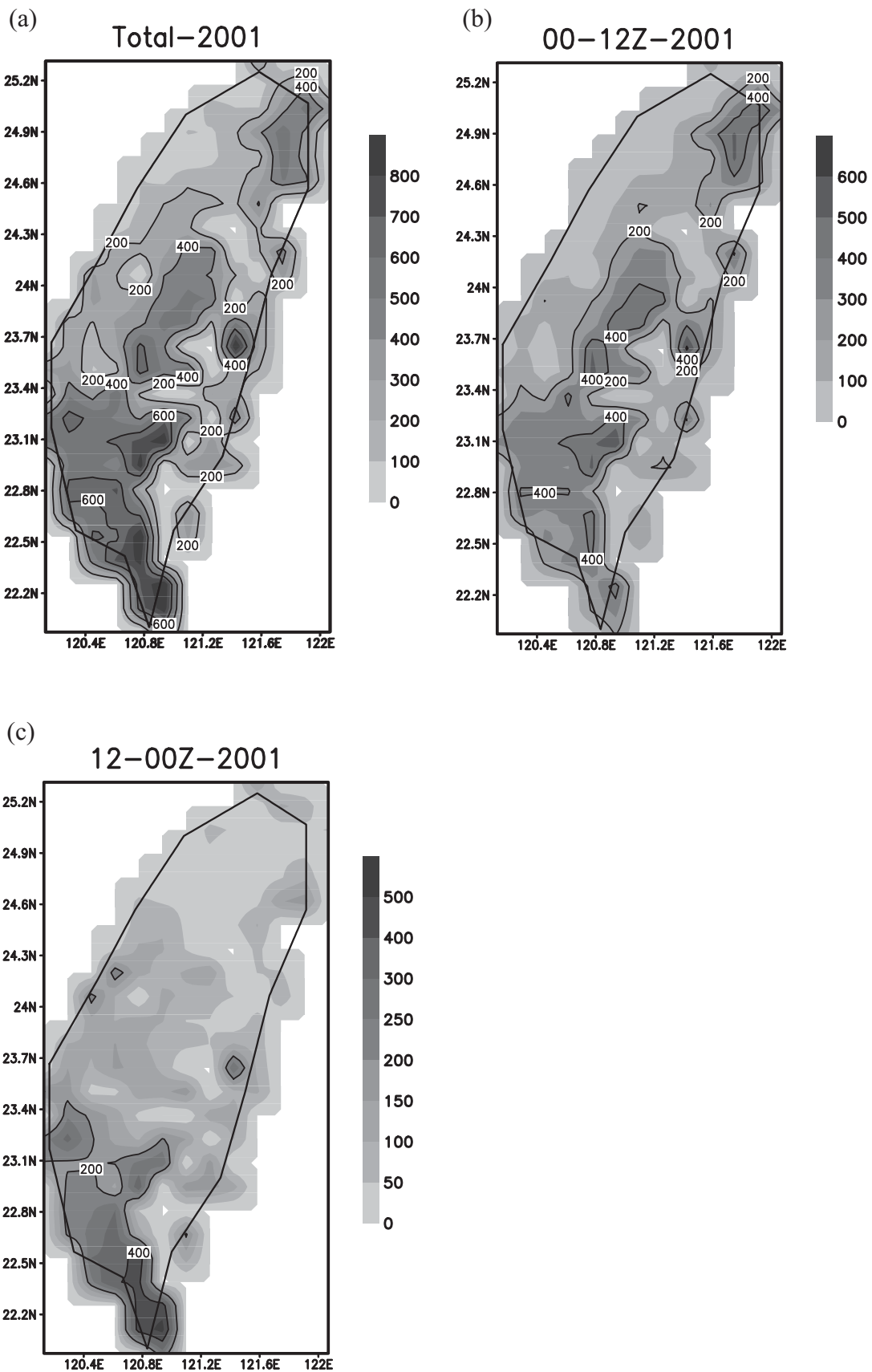


圖7 2001年之(a)24小時、(b)日間(00Z;當地時間上午8時至晚上8時)、(c)夜間(12Z;當地時間晚上8時至隔日上午8時)之客觀分析累積降雨量(單位：mm)水平分佈圖。

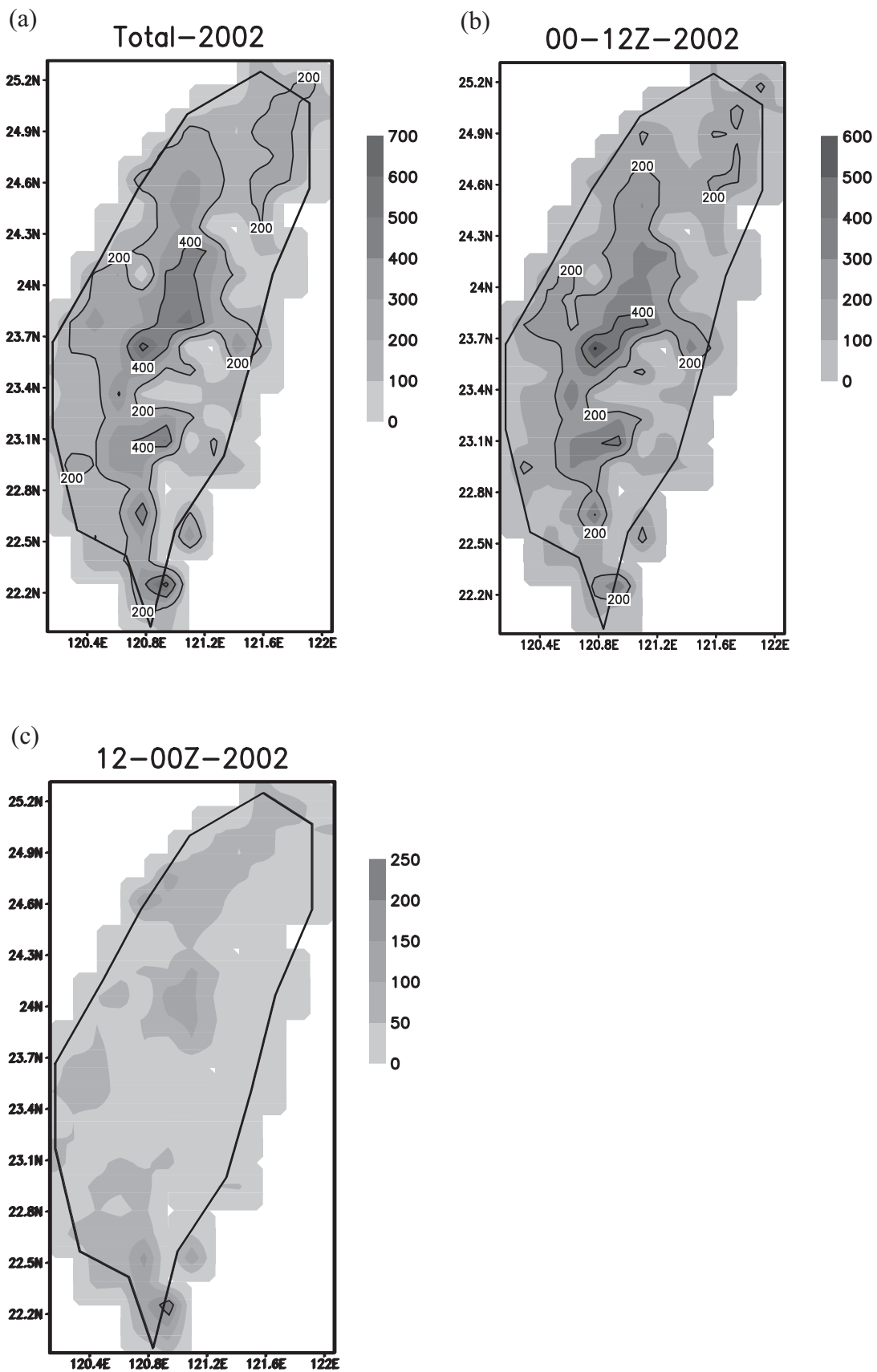


圖8 2002年之(a)24小時、(b)日間(00Z;當地時間上午8時至晚上8時)、(c)夜間(12Z;當地時間晚上8時至隔日上午8時)之客觀分析累積降雨量(單位：mm)水平分佈圖。

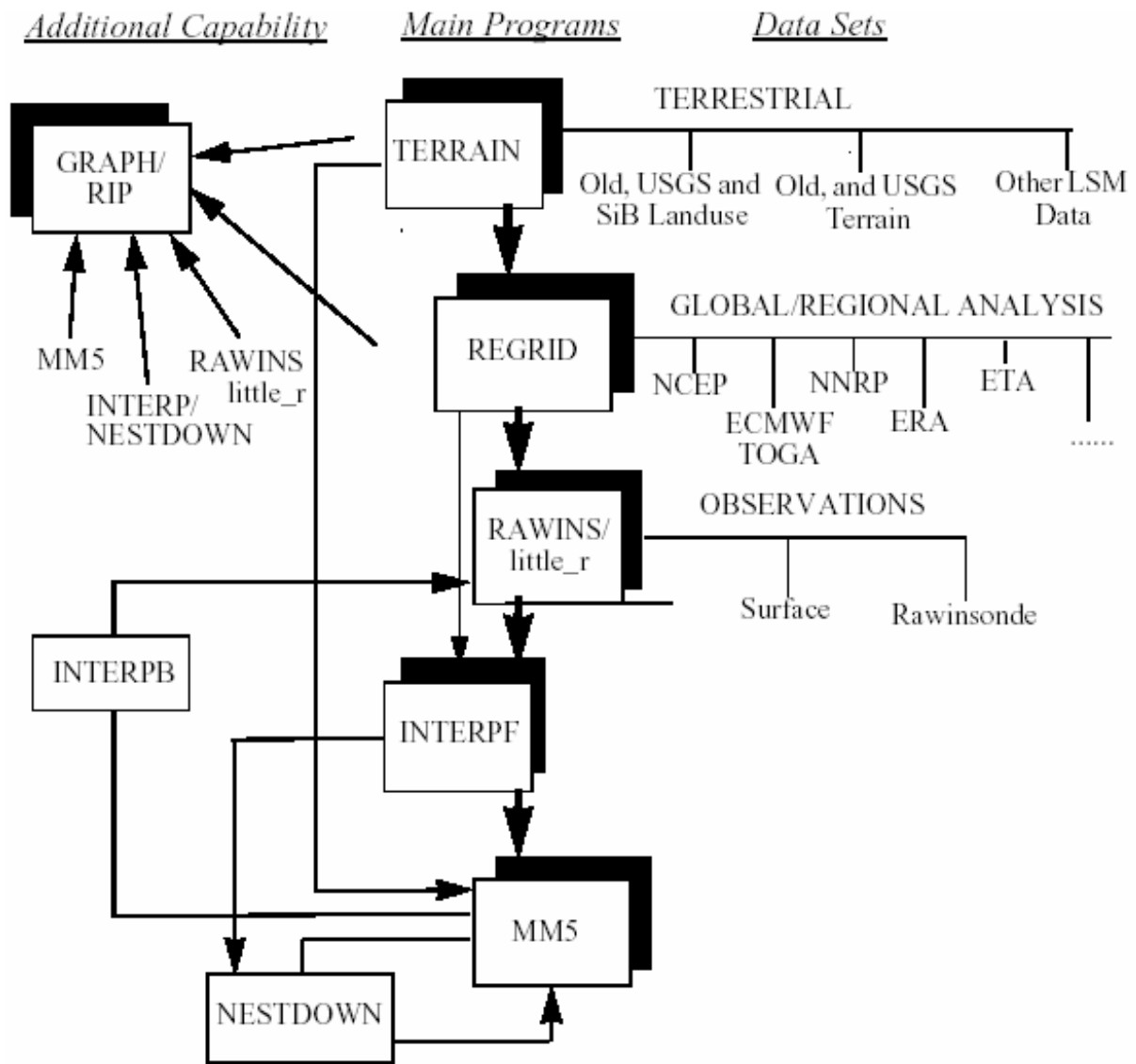


圖 9 MM5 模式系統處理流程圖。(取自 MM5 模式使用者操作手冊 v3.5, Dudhia et al. 2002)

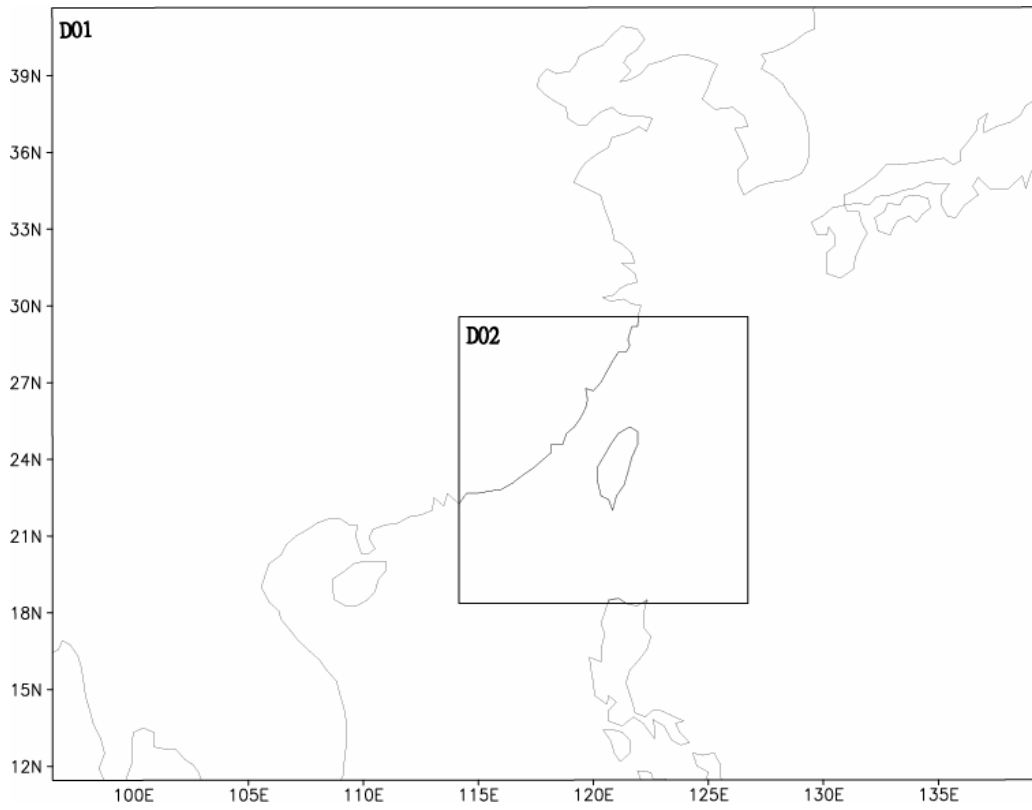


圖 10 MM5 模式所使用之兩層水平解析網域。

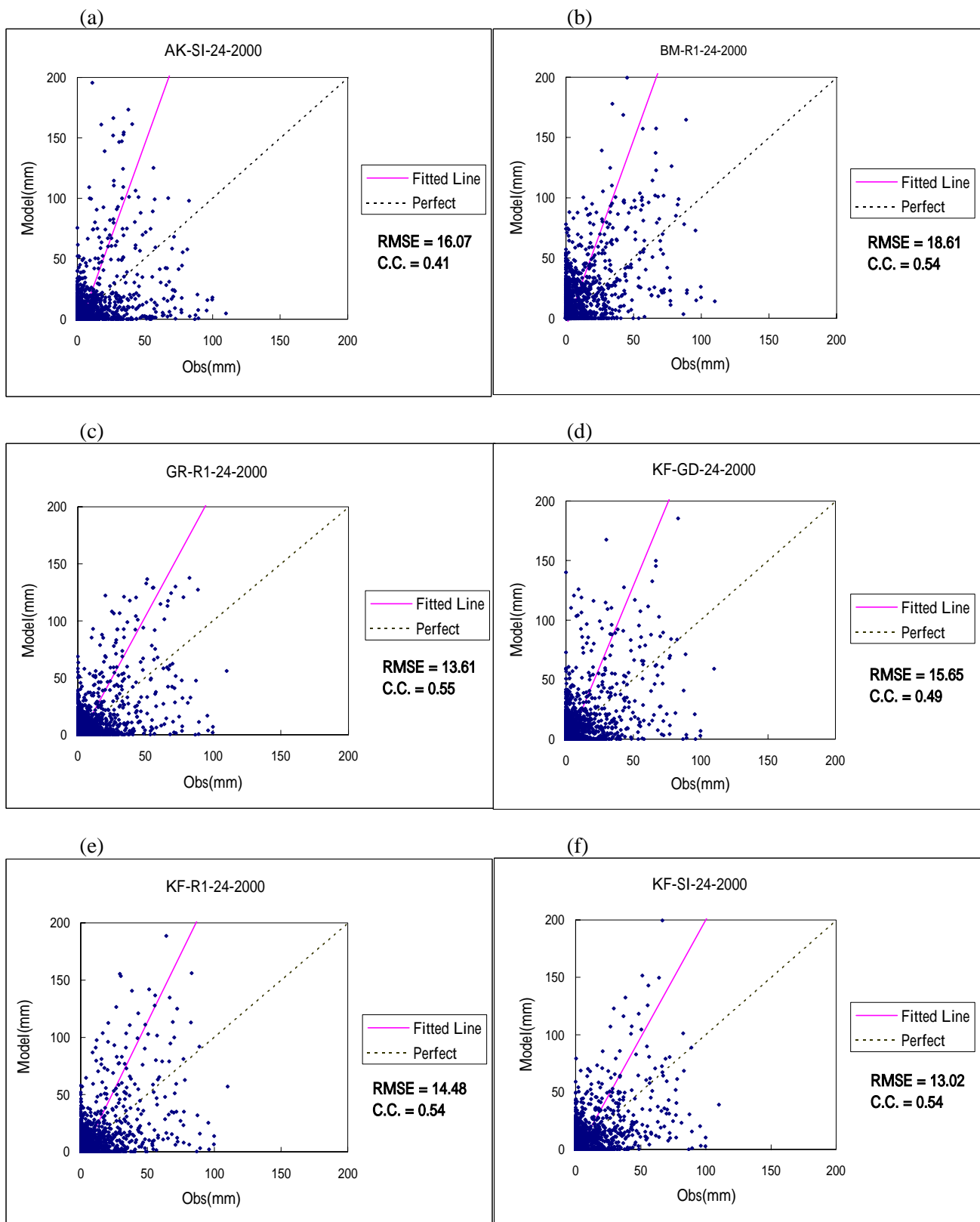


圖11 (a)~(f)為2000年各系集成員12~24小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

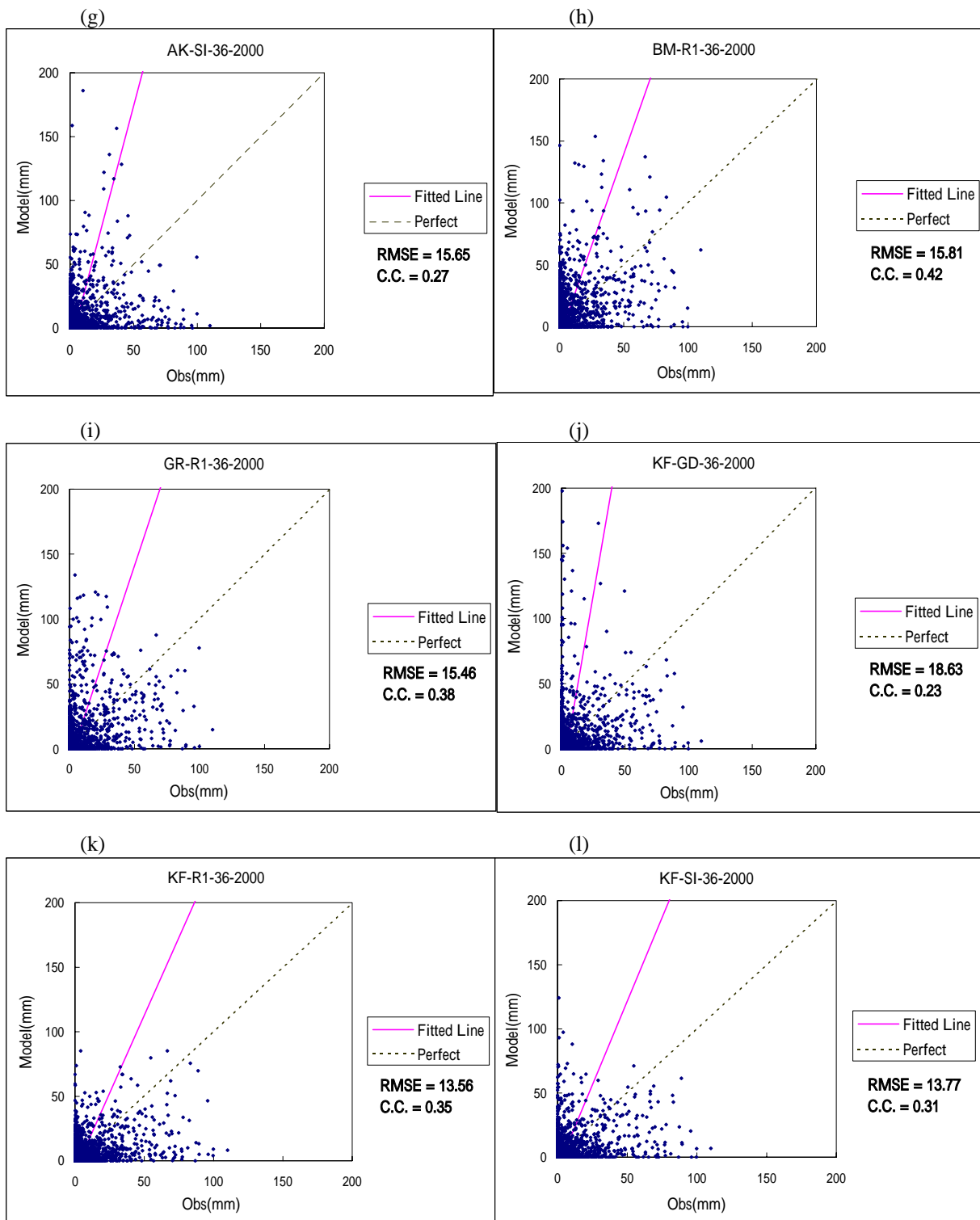


圖11 (g)~(l)為2000年各系集成員24~36小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

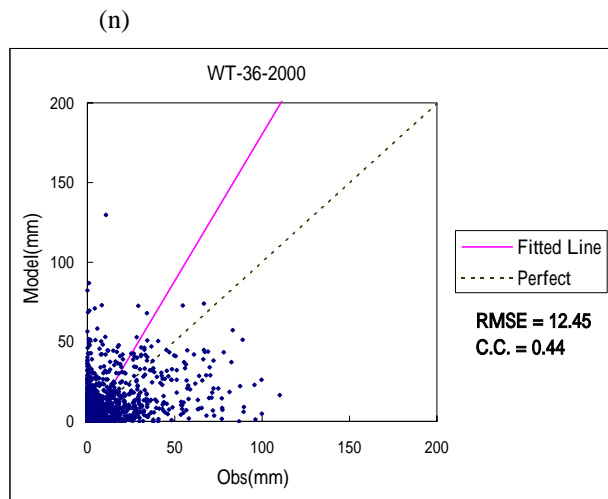
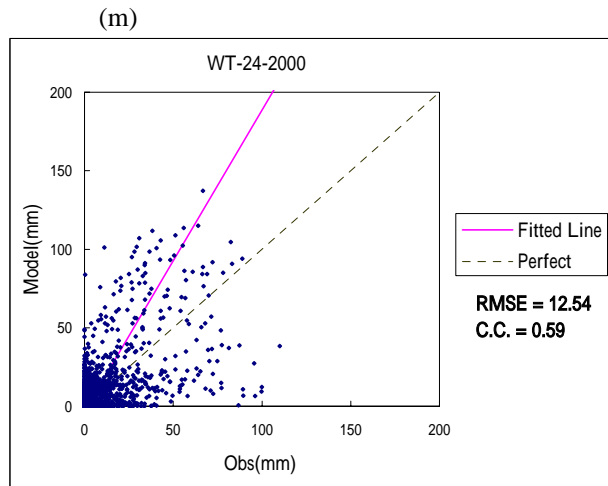


圖11 2000年(m)12~24小時(n)24~36小時系集權重(WT)預報降水和觀測降水的散布圖 (scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C. C. (相關係數)。

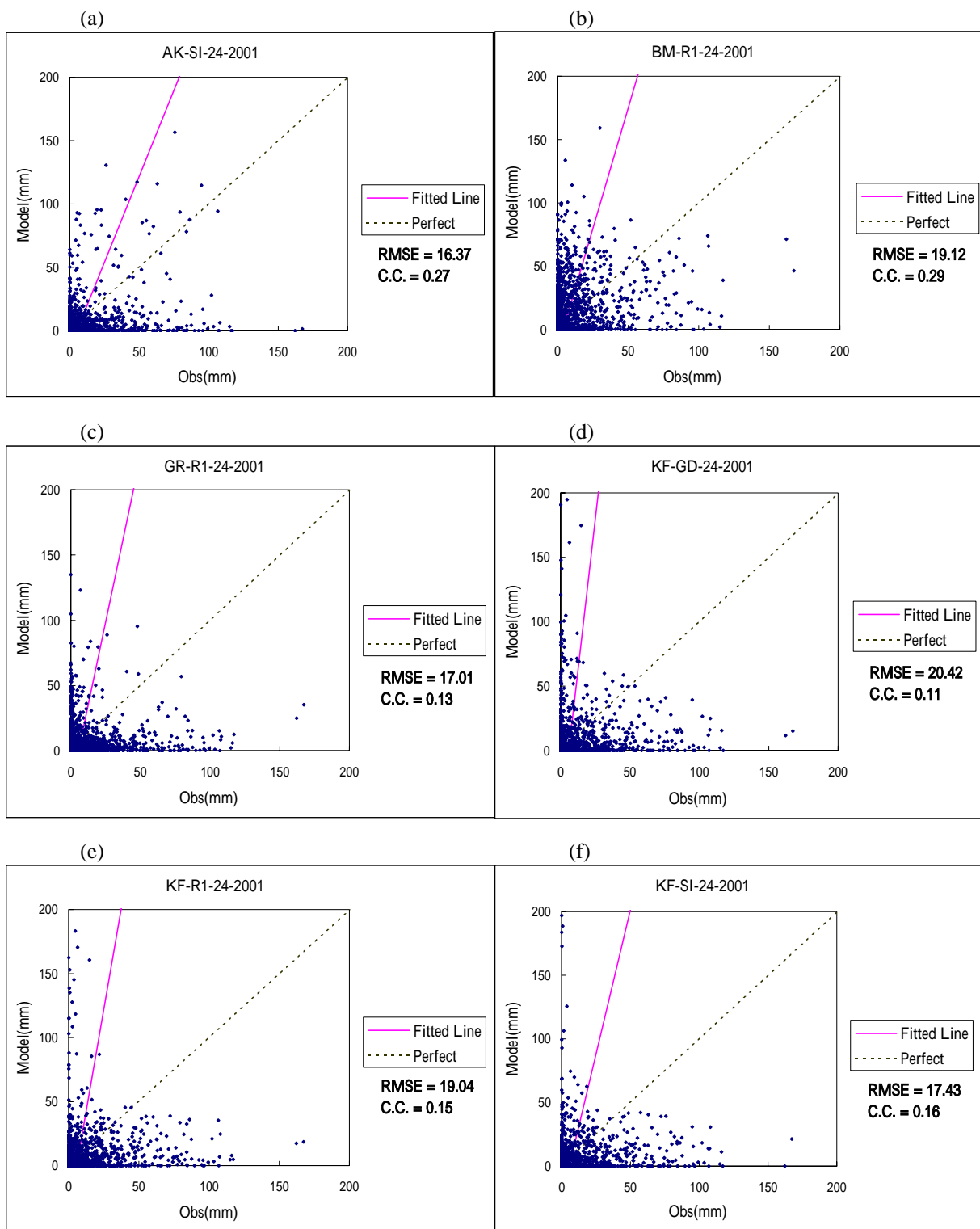


圖12 (a)~(f)為2001年各系集成員12~24小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

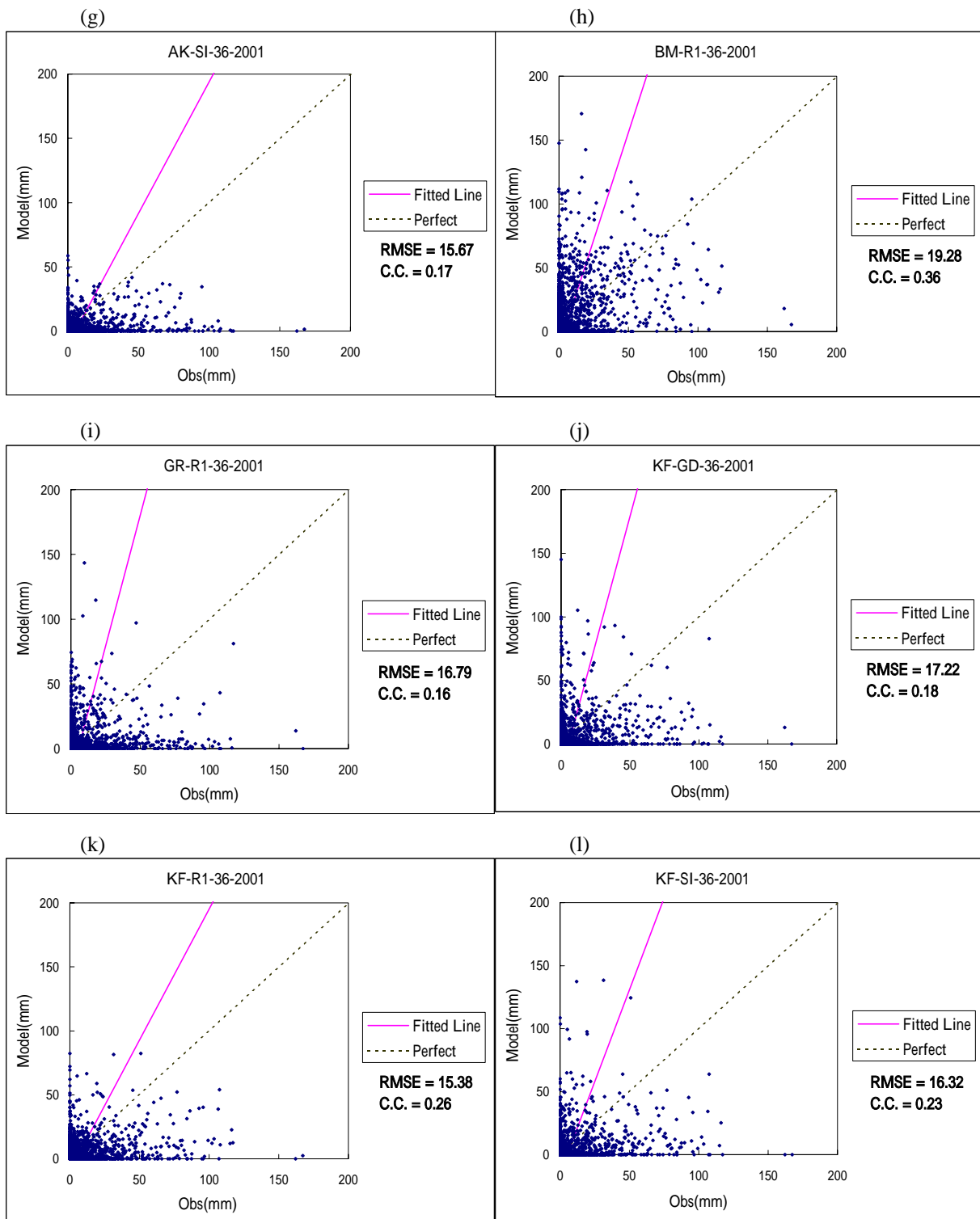


圖12 (g)~(l)為2001年各系集成員24~36小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

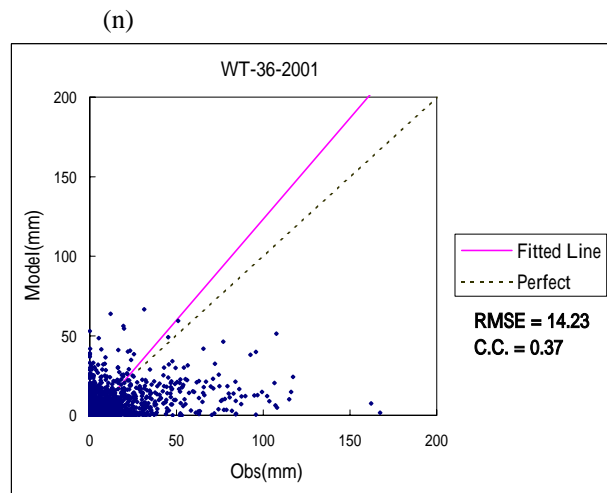
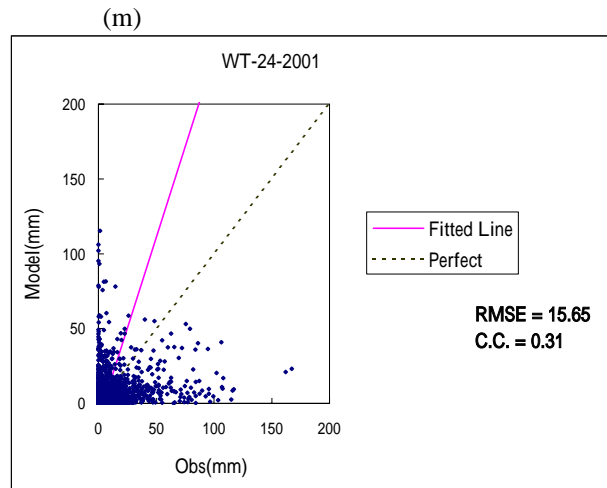


圖12 2001年(m)12~24小時(n)24~36小時系集權重(WT)預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C. C. (相關係數)。

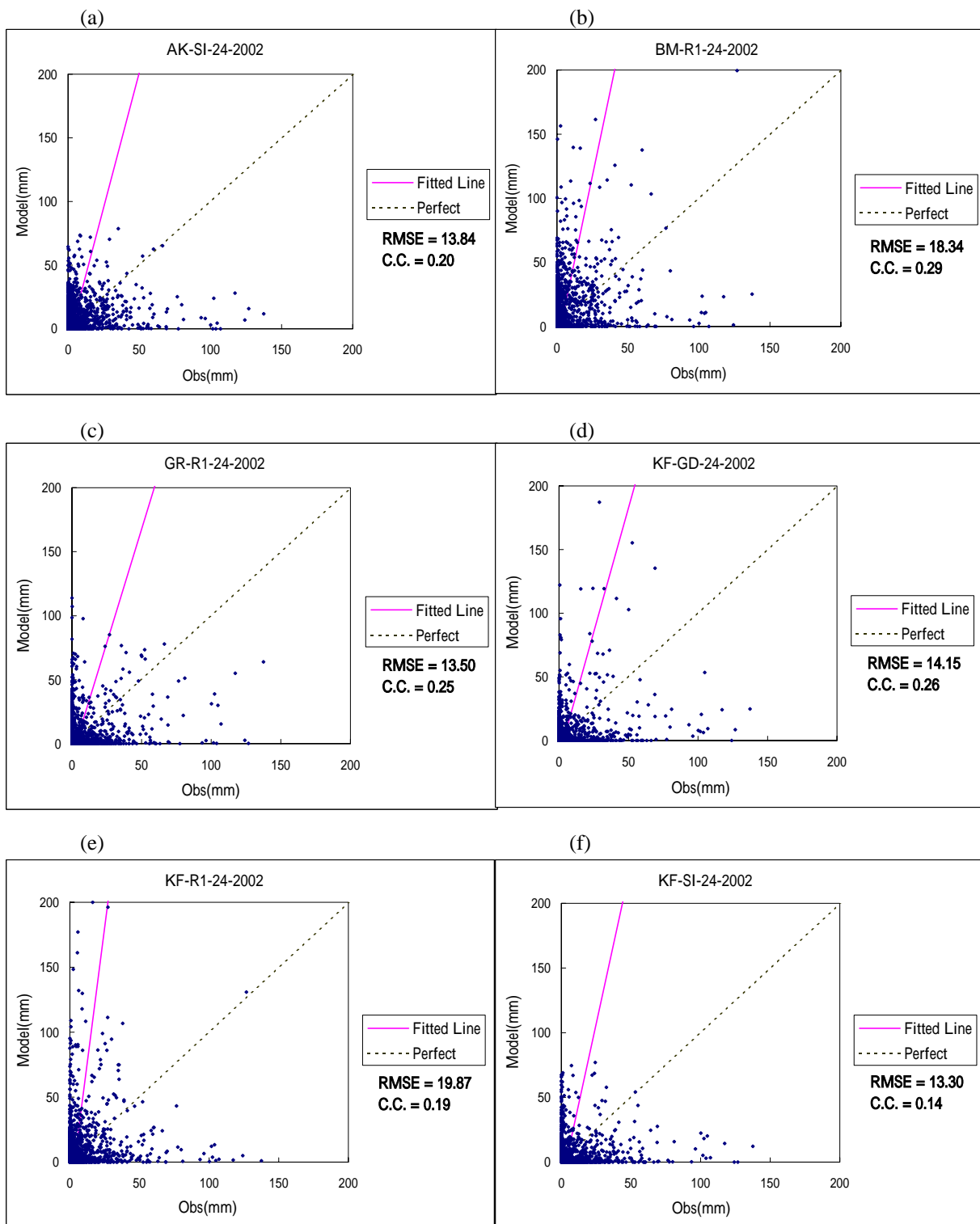


圖13 (a)~(f)為2002年各系集成員12~24小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

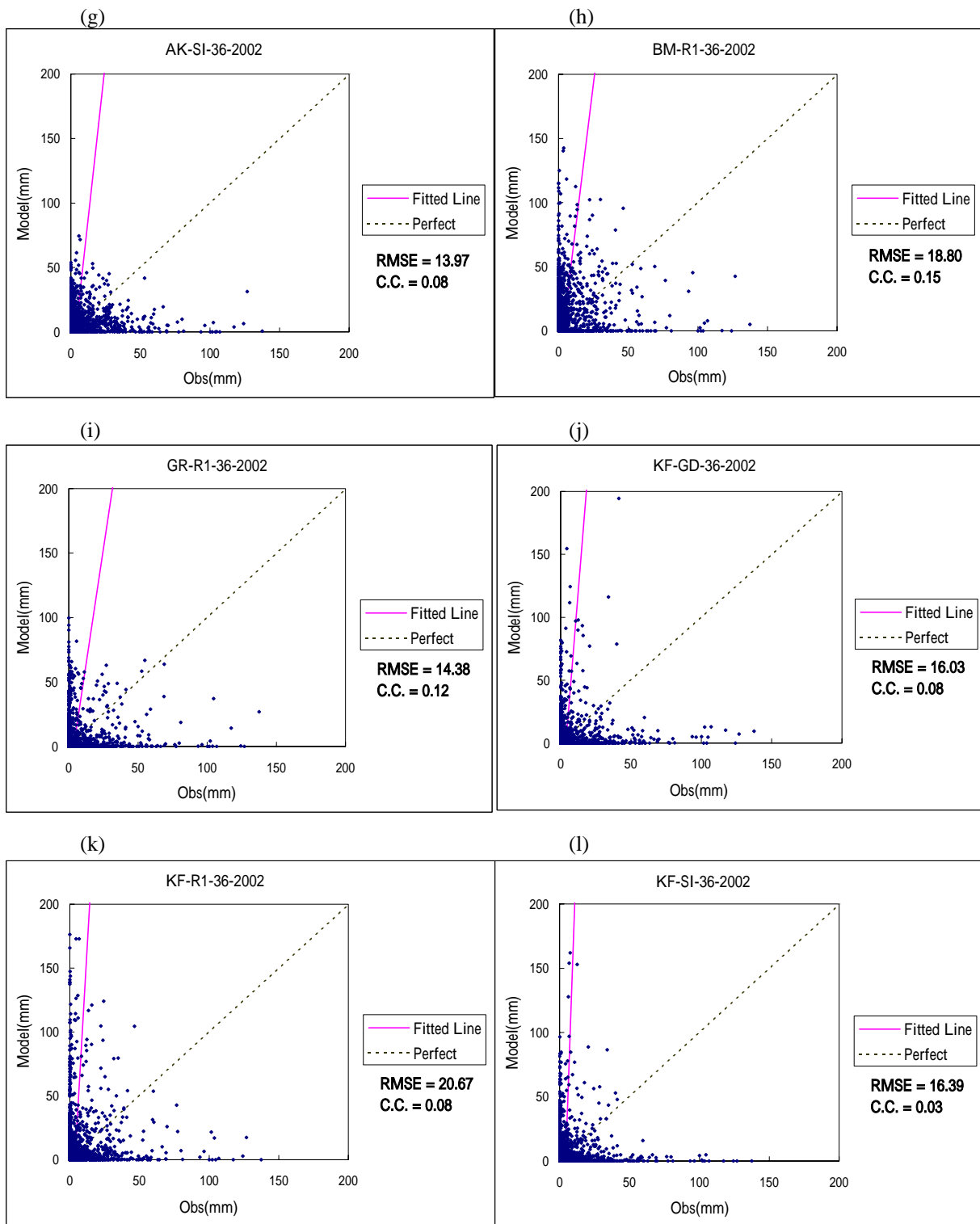


圖13 (g)~(l)為2002年各系集成員24~36小時預報降水和觀測降水的散布圖(scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C.C.(相關係數)。

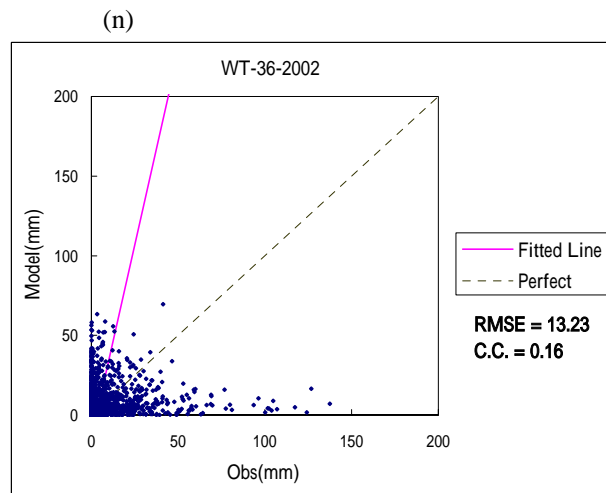
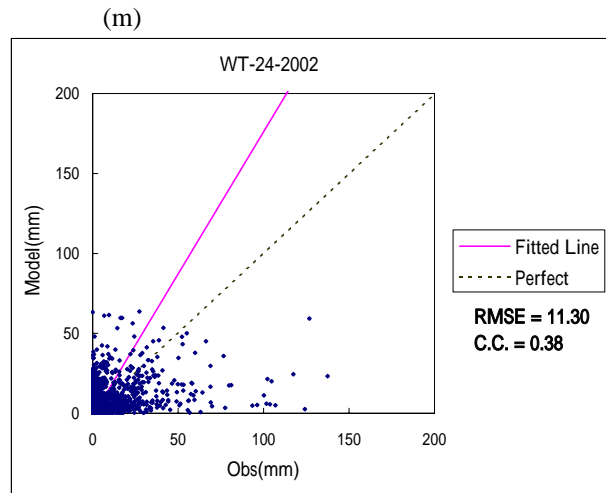


圖13 2002年(m)12~24小時(n)24~36小時系集權重(WT)預報降水和觀測降水的散布圖 (scatter plot)。實線為預報降水與觀測降水間的配適線，虛線為完美配適線(預報降水等於觀測降水)，右下方所標示為RMSE(均方根誤差，單位為mm)及C. C. (相關係數)。

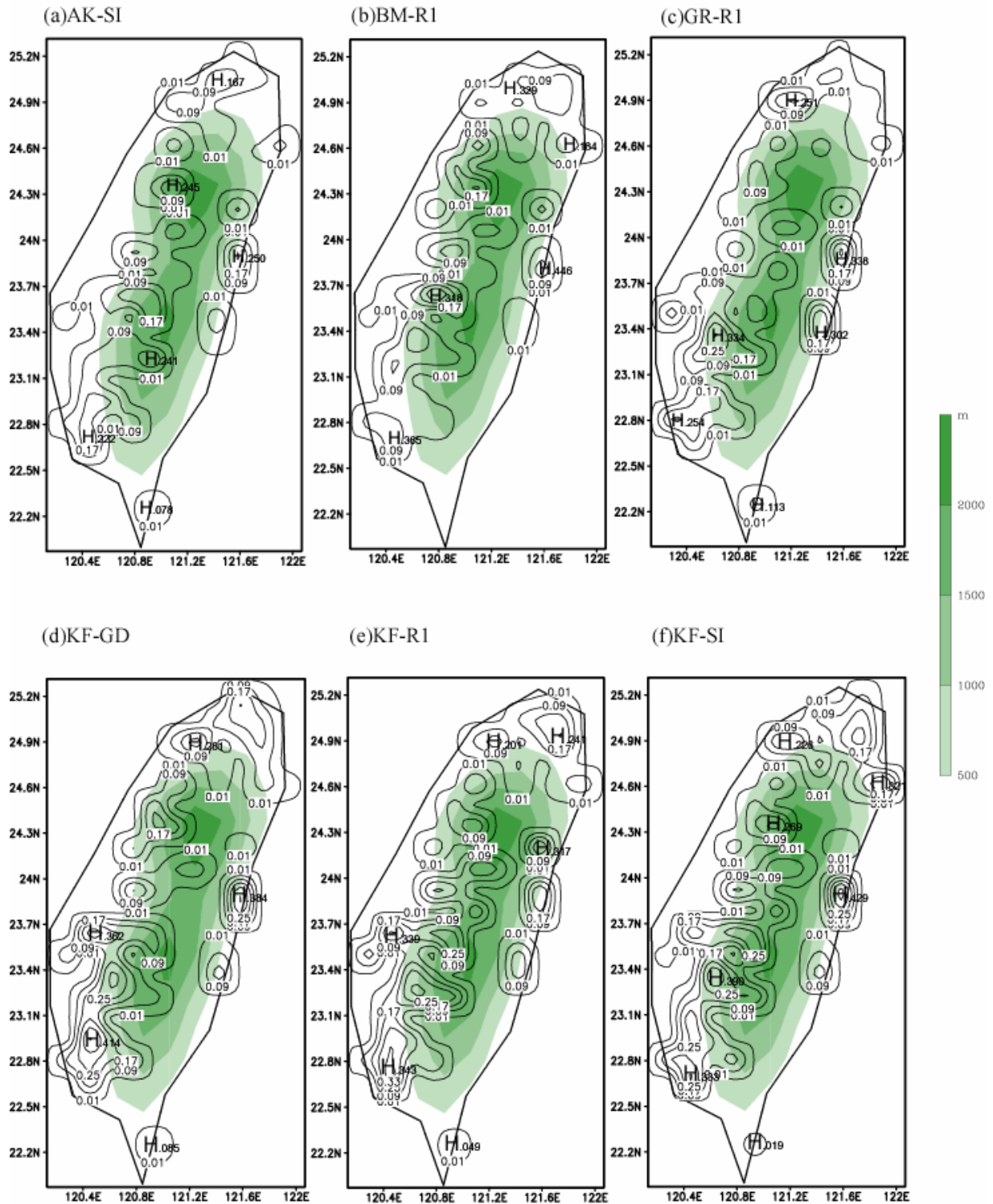


圖 14 (a)-(f)為2000年各系集成員12~24小時預報ETS水平分佈圖。ETS等值線間距為0.08。灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

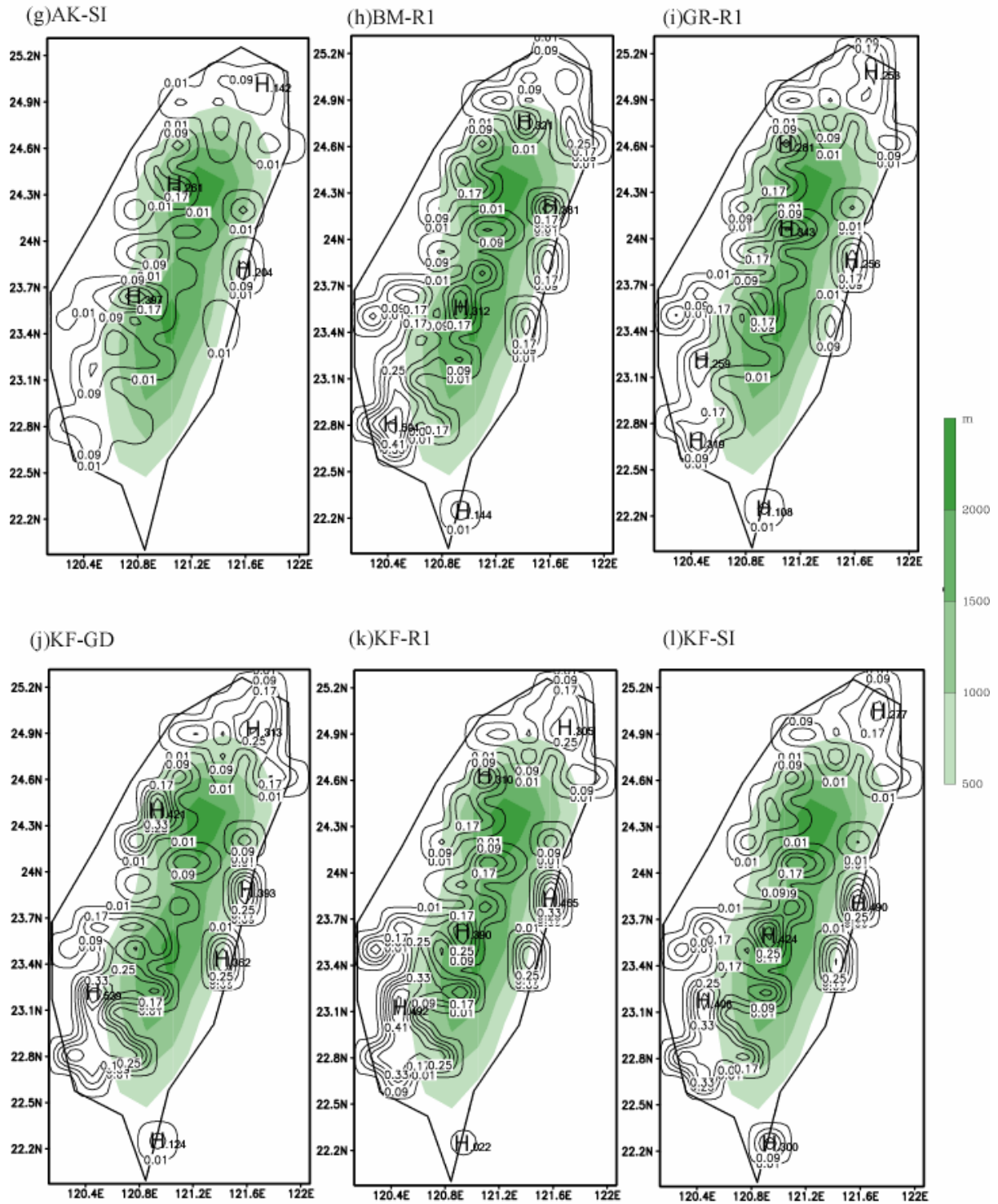


圖 14 (g)-(l)為2000年各系集成員24-36小時預報ETS水平分布圖。ETS等值線間距為0.08。灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

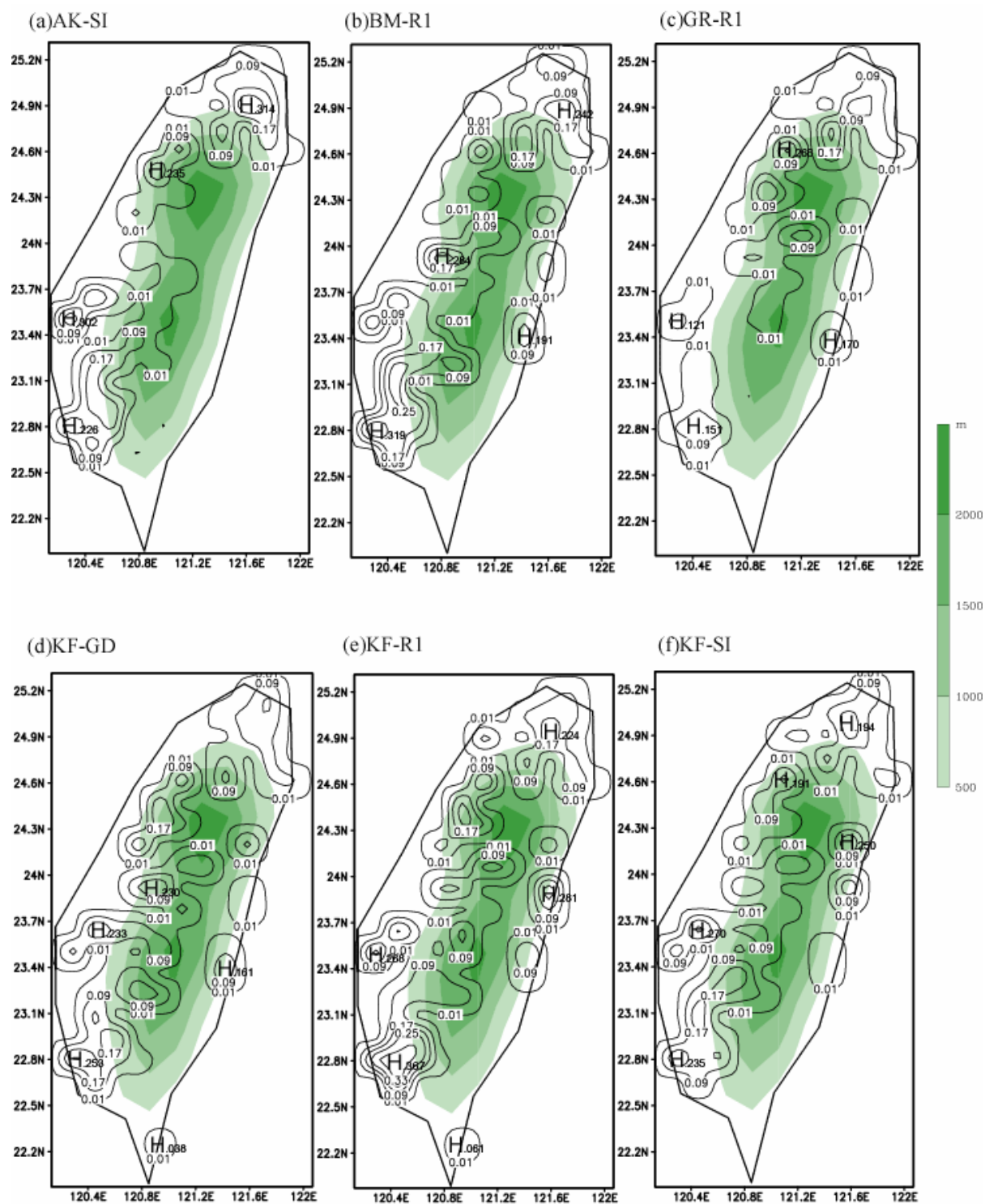


圖 15 (a)-(f)為2001年各系集成員12-24小時預報ETS水平分佈圖。ETS等值線間距為0.08。灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

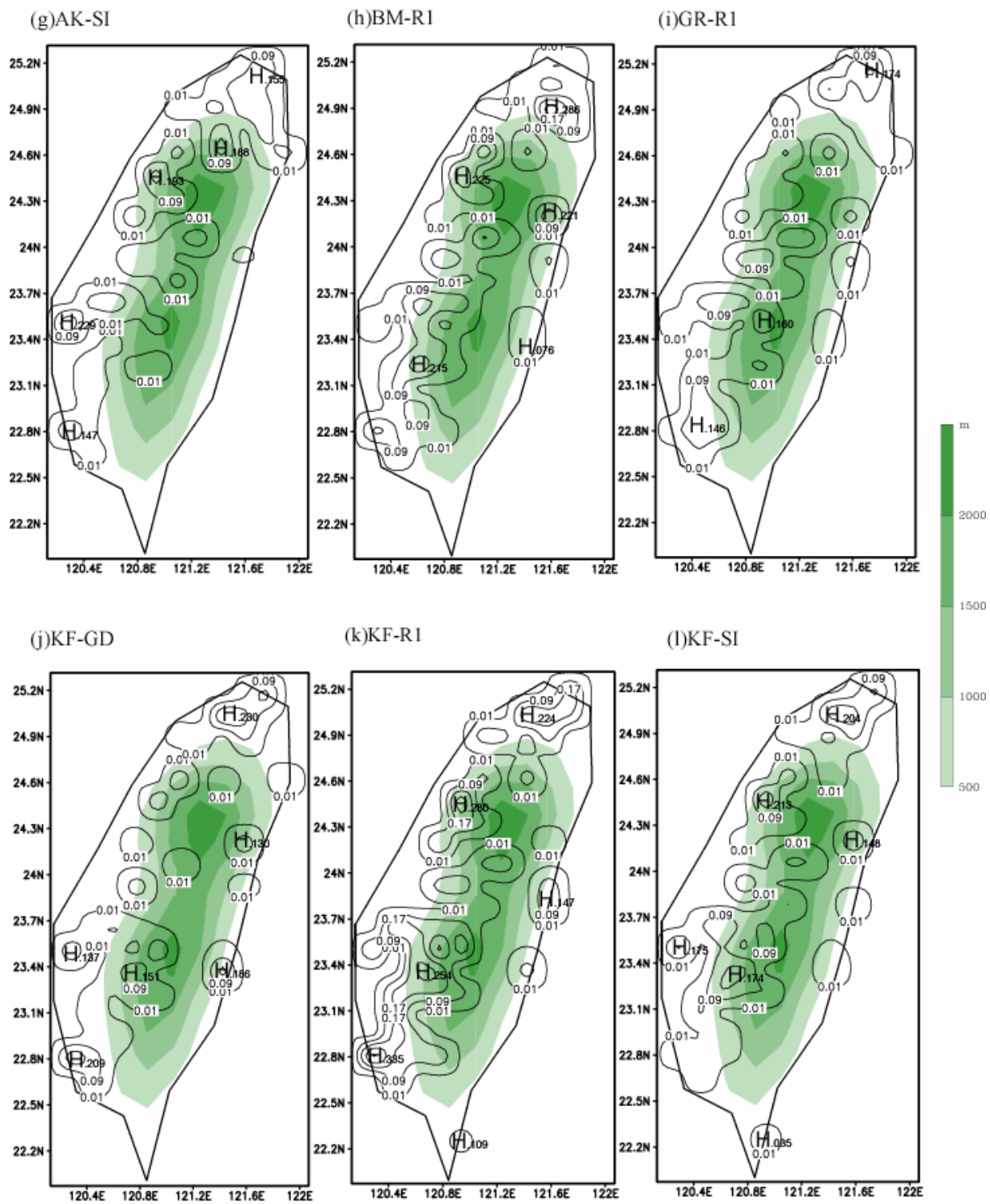


圖 15 (g)~(l)為2001年各系集成員24~36小時預報ETS水平分佈圖。(ETS等值線間距為0.08)

灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

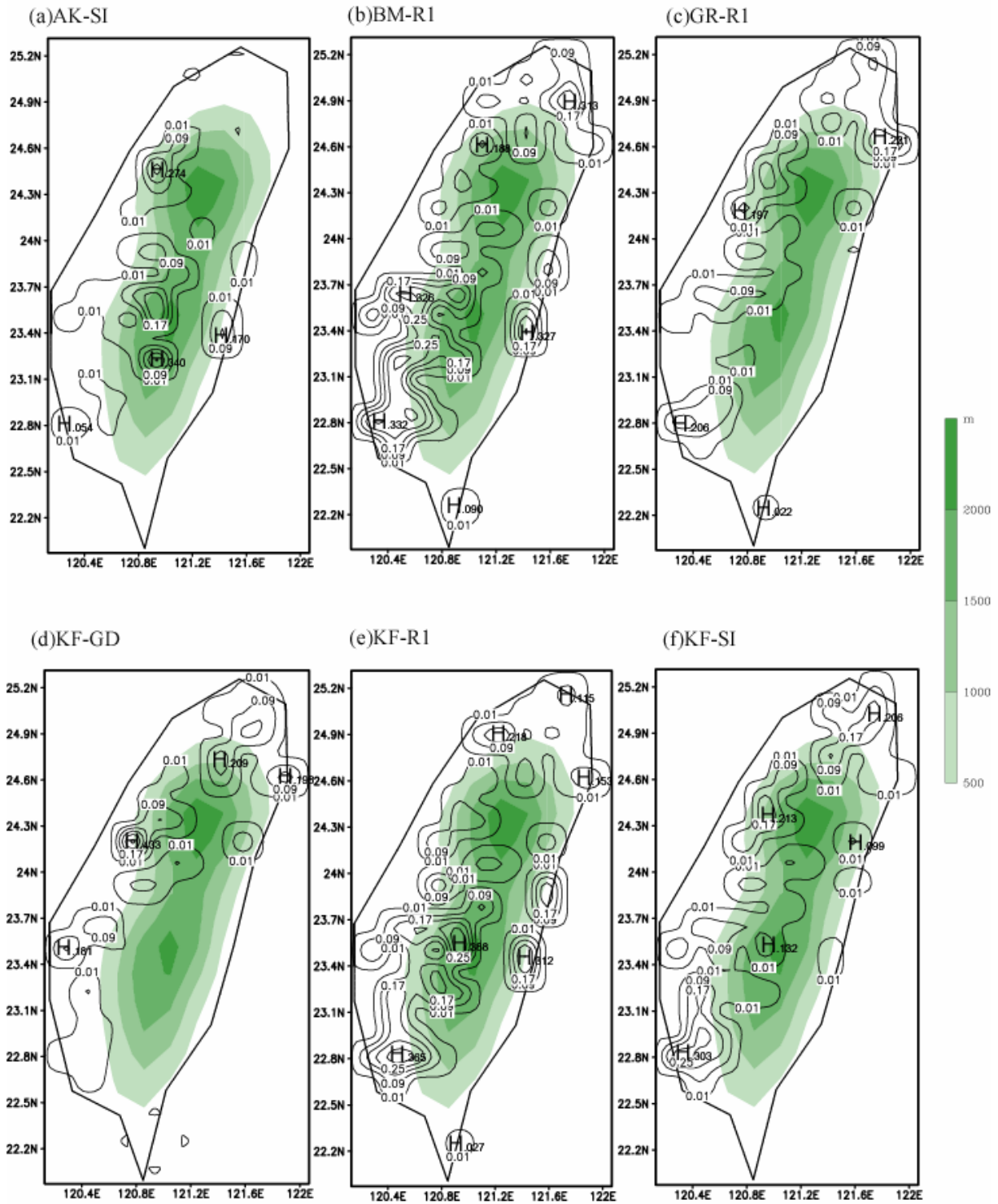


圖 16 (a)-(f)為2002年各系集成員12-24小時預報ETS水平分佈圖。ETS等值線間距為0.08。

灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

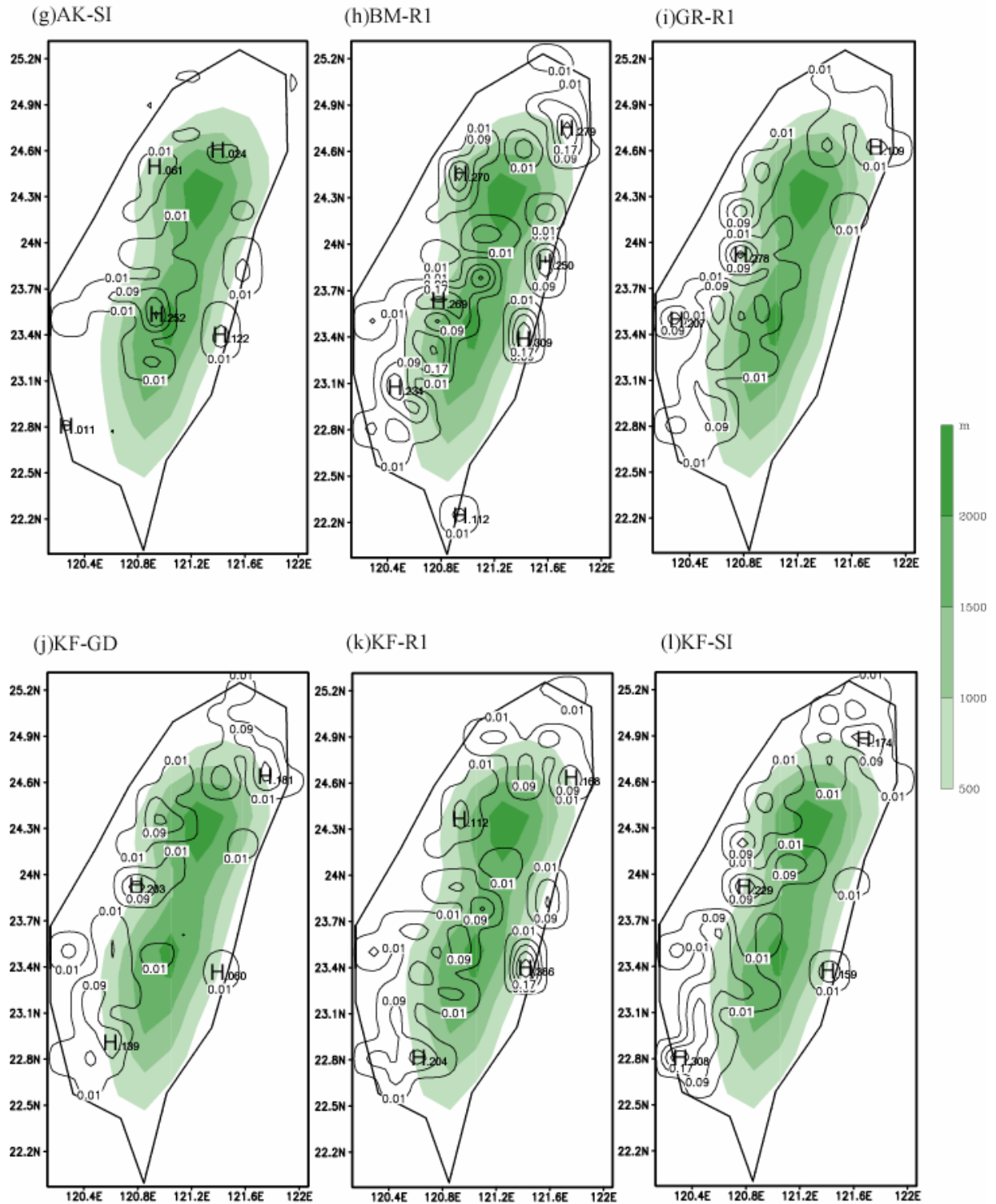


圖 16 (g)~(l)為2002年各系集成員24~36小時預報ETS水平分佈圖。ETS等值線間距為0.08。
灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

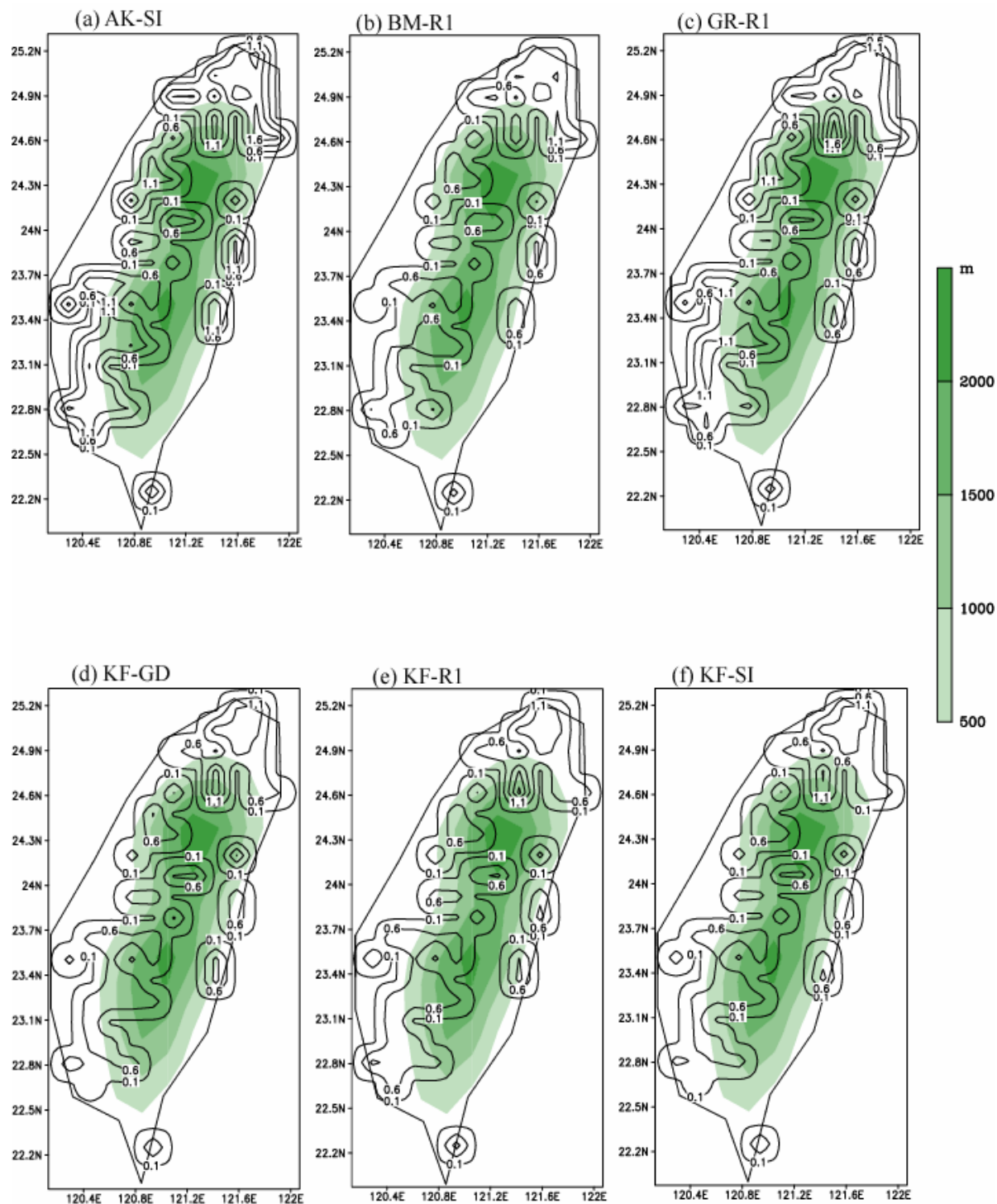


圖17 (a)-(f)為2000年各系集成員12~24小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。

灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

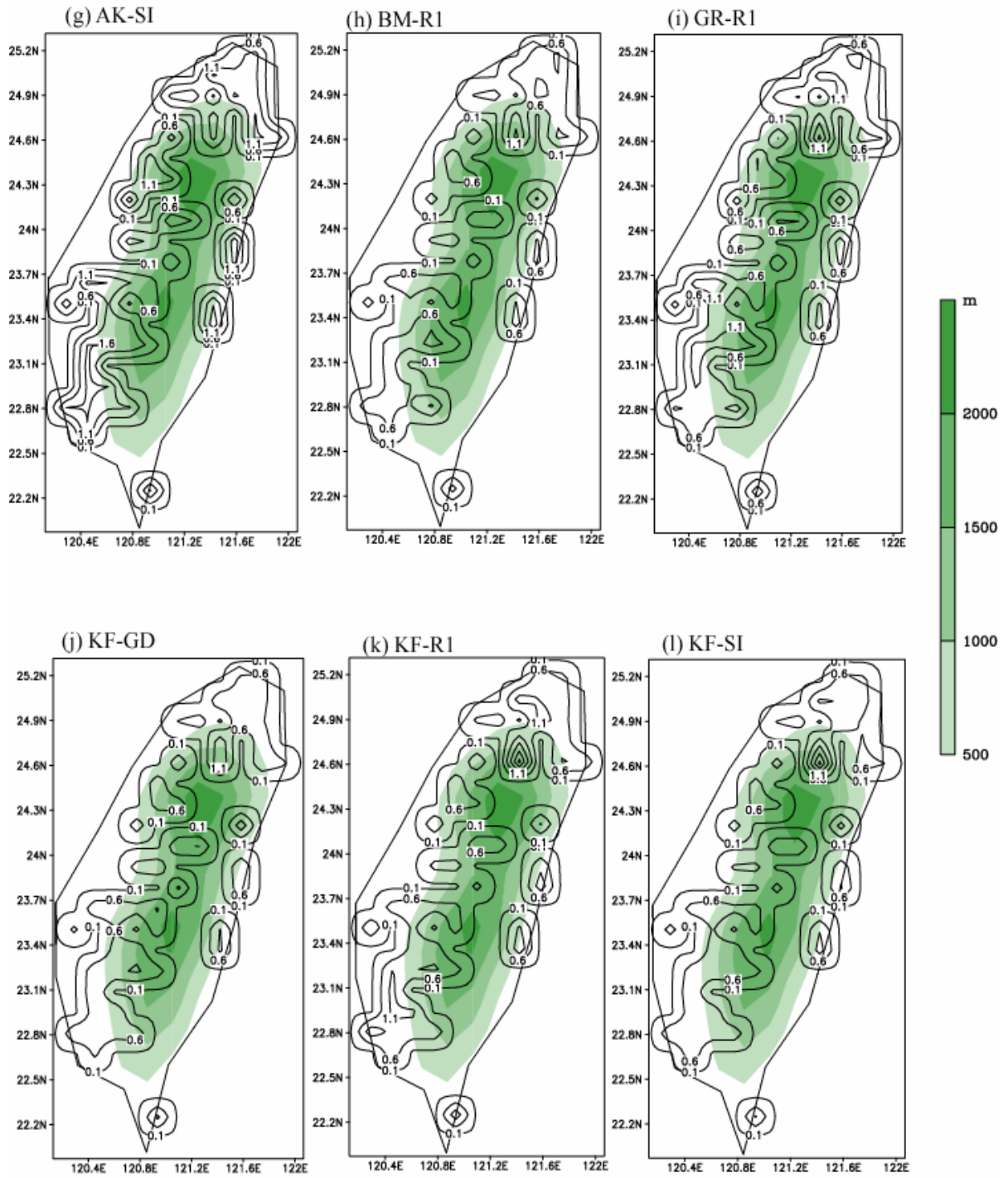


圖17 (g)~(l)為2000年各系集成員24~36小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。

灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

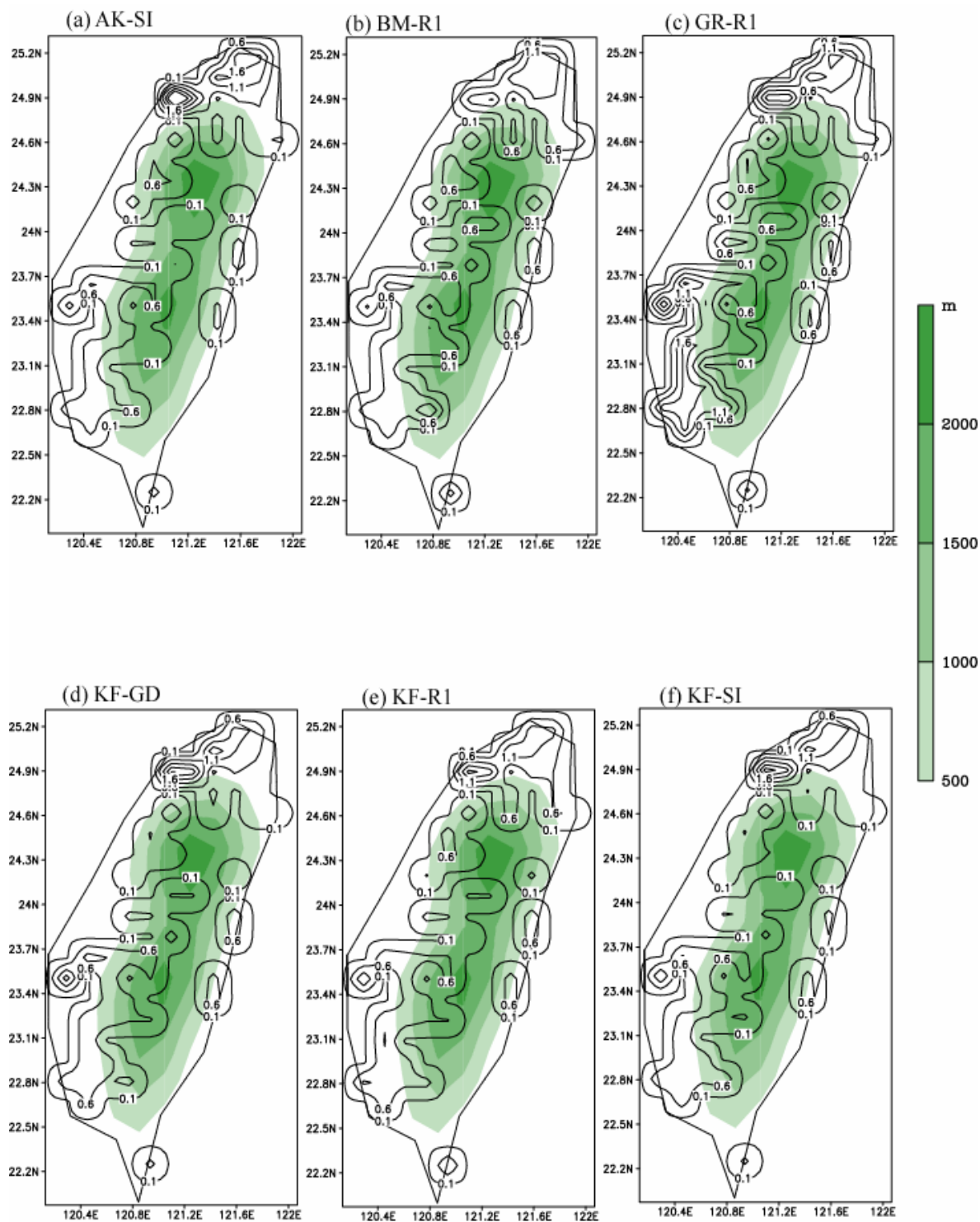


圖18 (a)~(f)為2001年各系集成員12~24小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。

灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

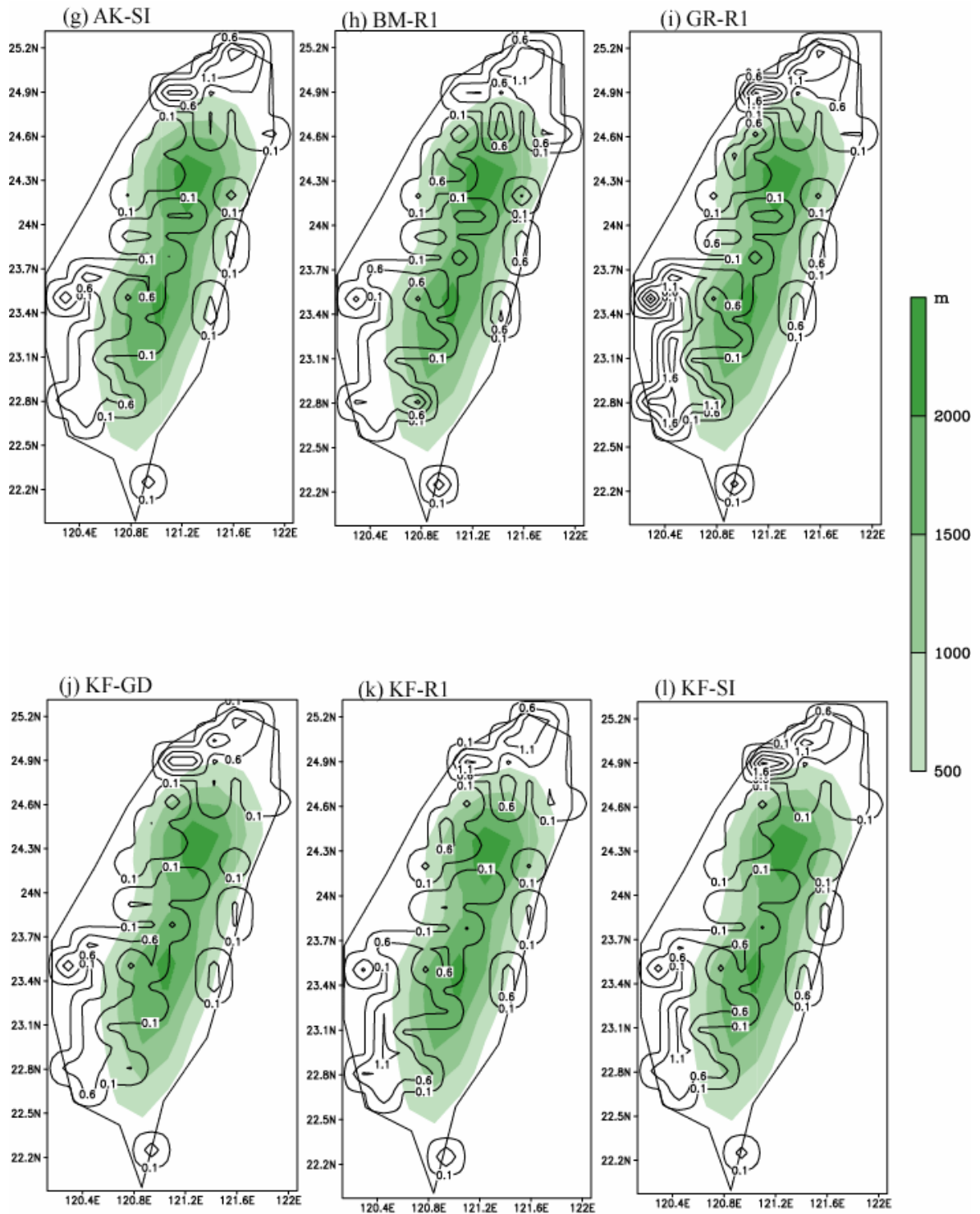


圖18 (g)-(l)為2001年各系集成員24~36小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

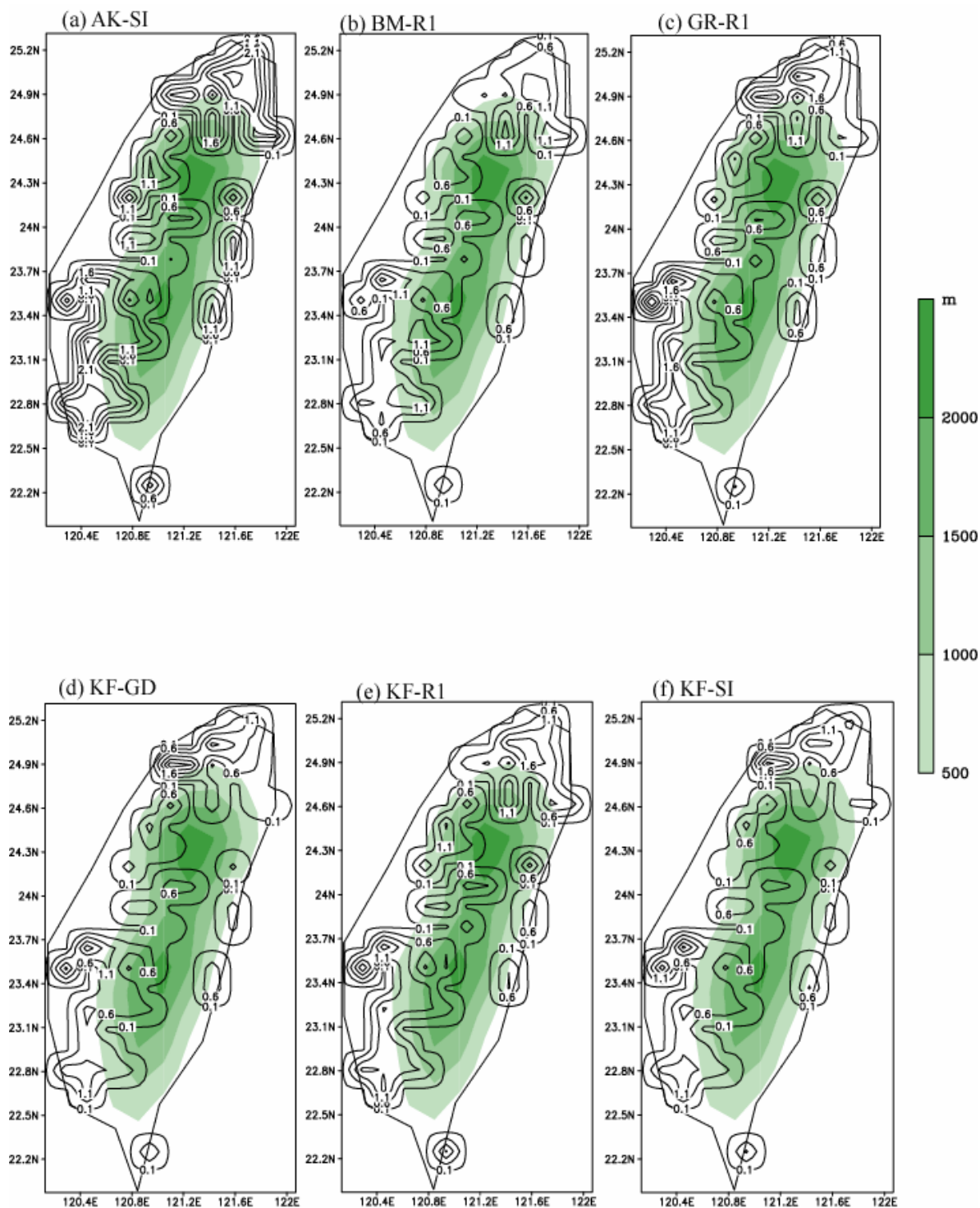


圖19 (a)~(f)為2002年各系集成員12~24小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。
 灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

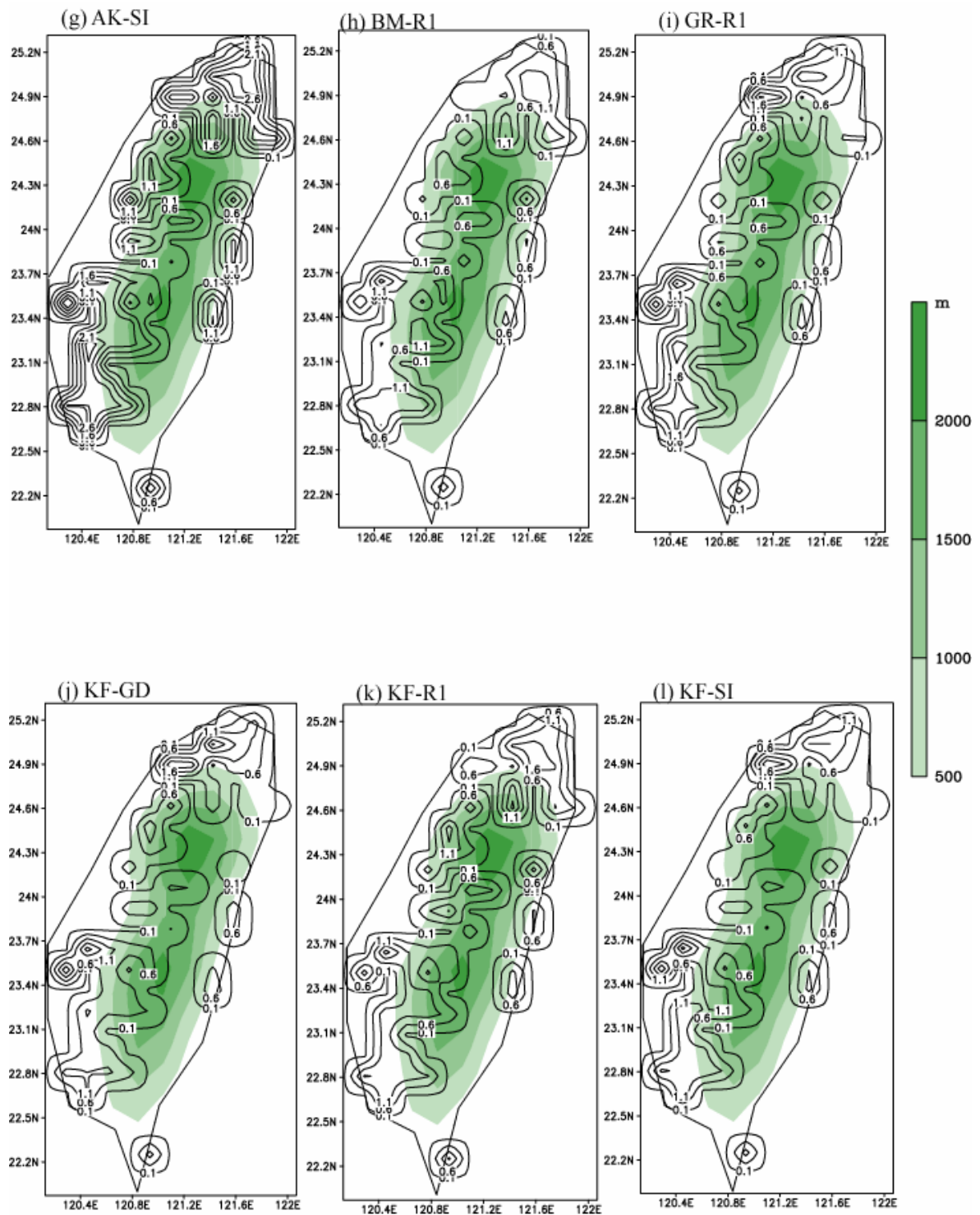


圖19 (g)-(l)為2002年各系集成員24~36小時預報Bias水平分佈圖。Bias等值線間距為0.5。
灰階為地形高度。降水門檻為0.3mm。

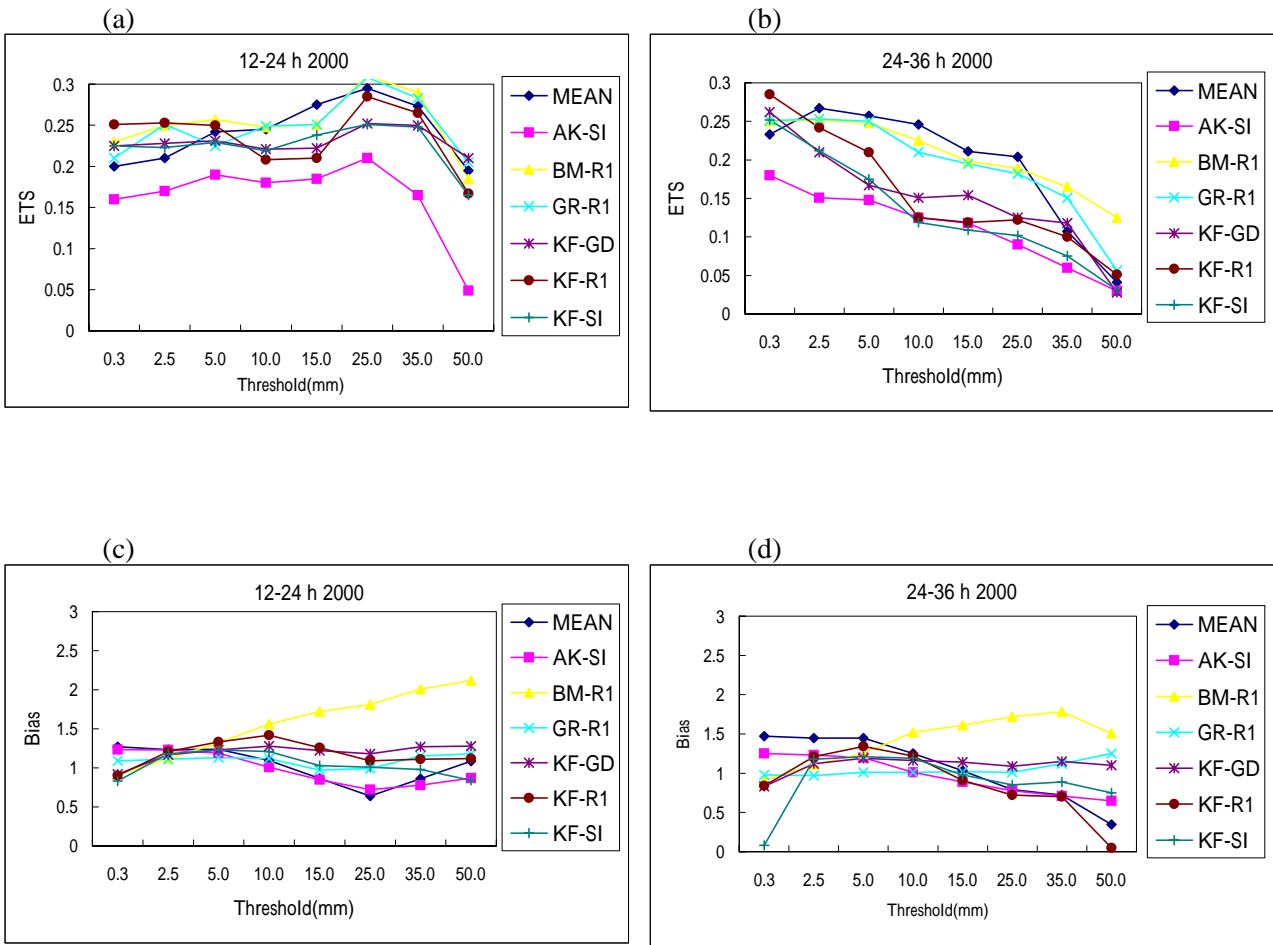


圖20 2000年(a)12~24小時、(b)24~36小時各系集成員之預報ETS得分折線圖，
 (c)12~24小時、(d)24~36小時各系集成員之預報Bias得分折線圖。

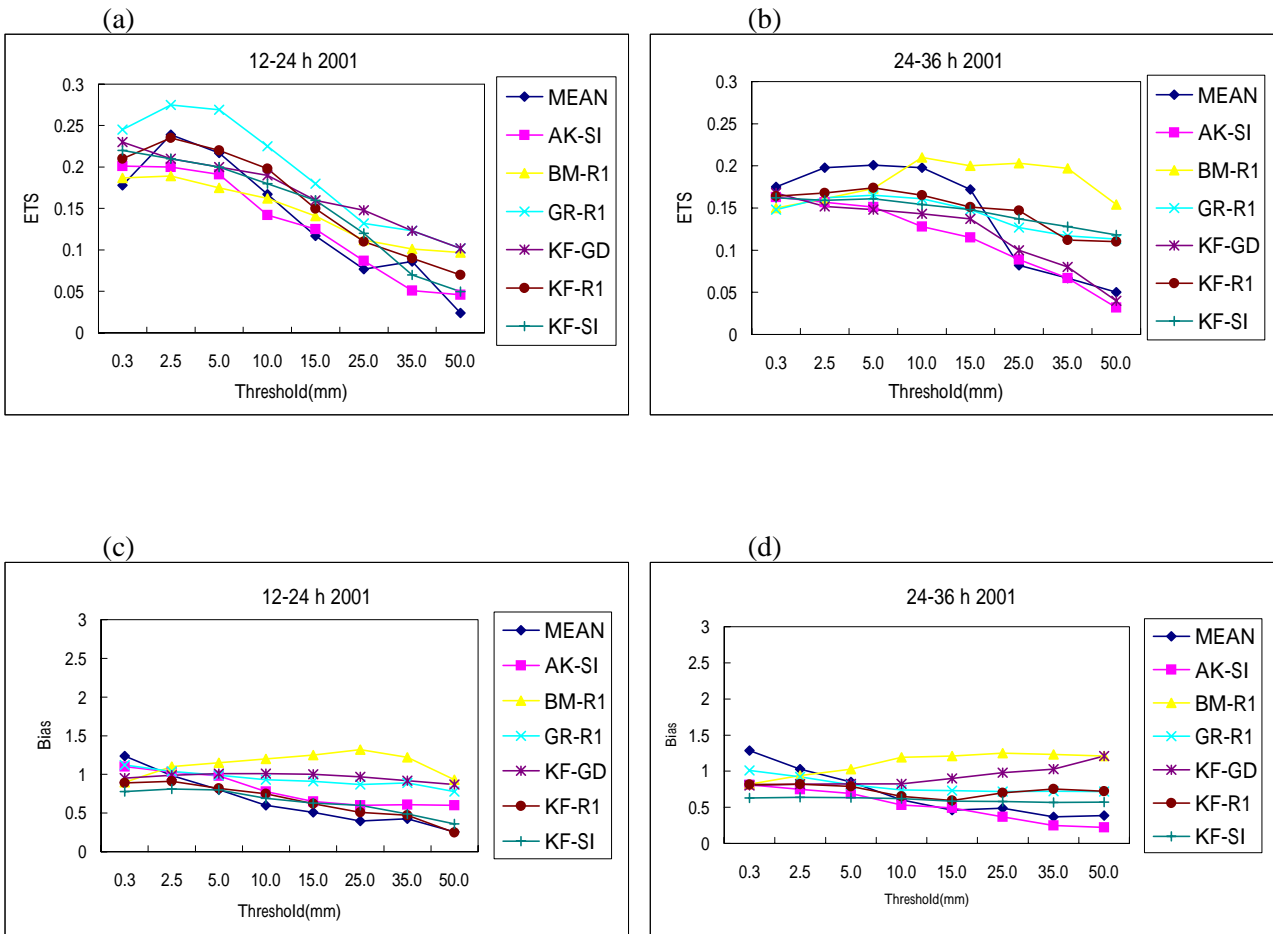


圖21 2001年(a)12~24小時、(b)24~36小時各系集成員之預報ETS得分折線圖，
(c)12~24小時、(d)24~36小時各系集成員之預報Bias得分折線圖。

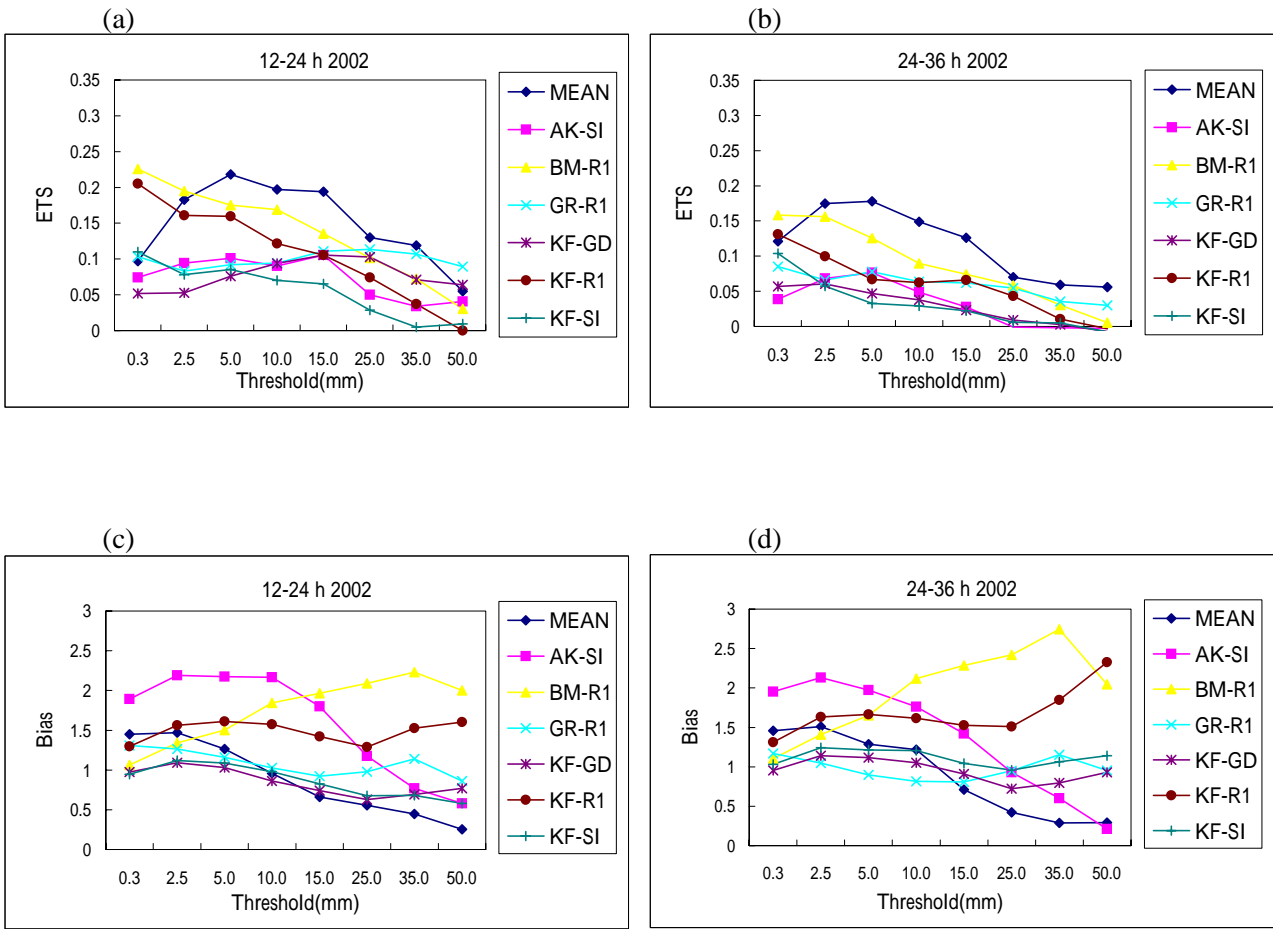


圖22 2002年(a)12~24小時、(b)24~36小時各系集成員之預報ETS得分折線圖，
(c)12~24小時、(d)24~36小時各系集成員之預報Bias得分折線圖。

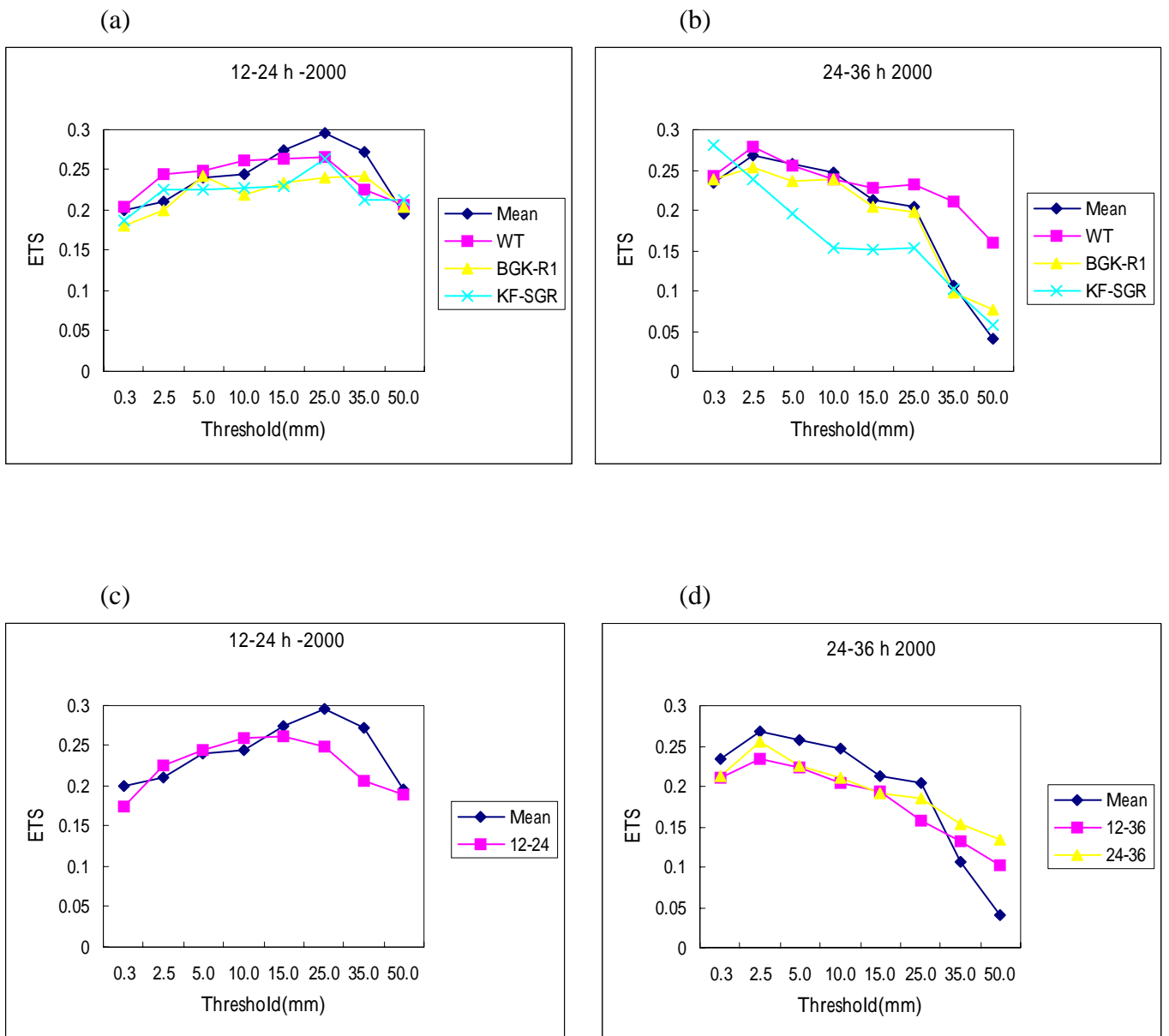


圖 23 2000 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 ETS 得分折線圖、(c)將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時及(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報所得 ETS 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

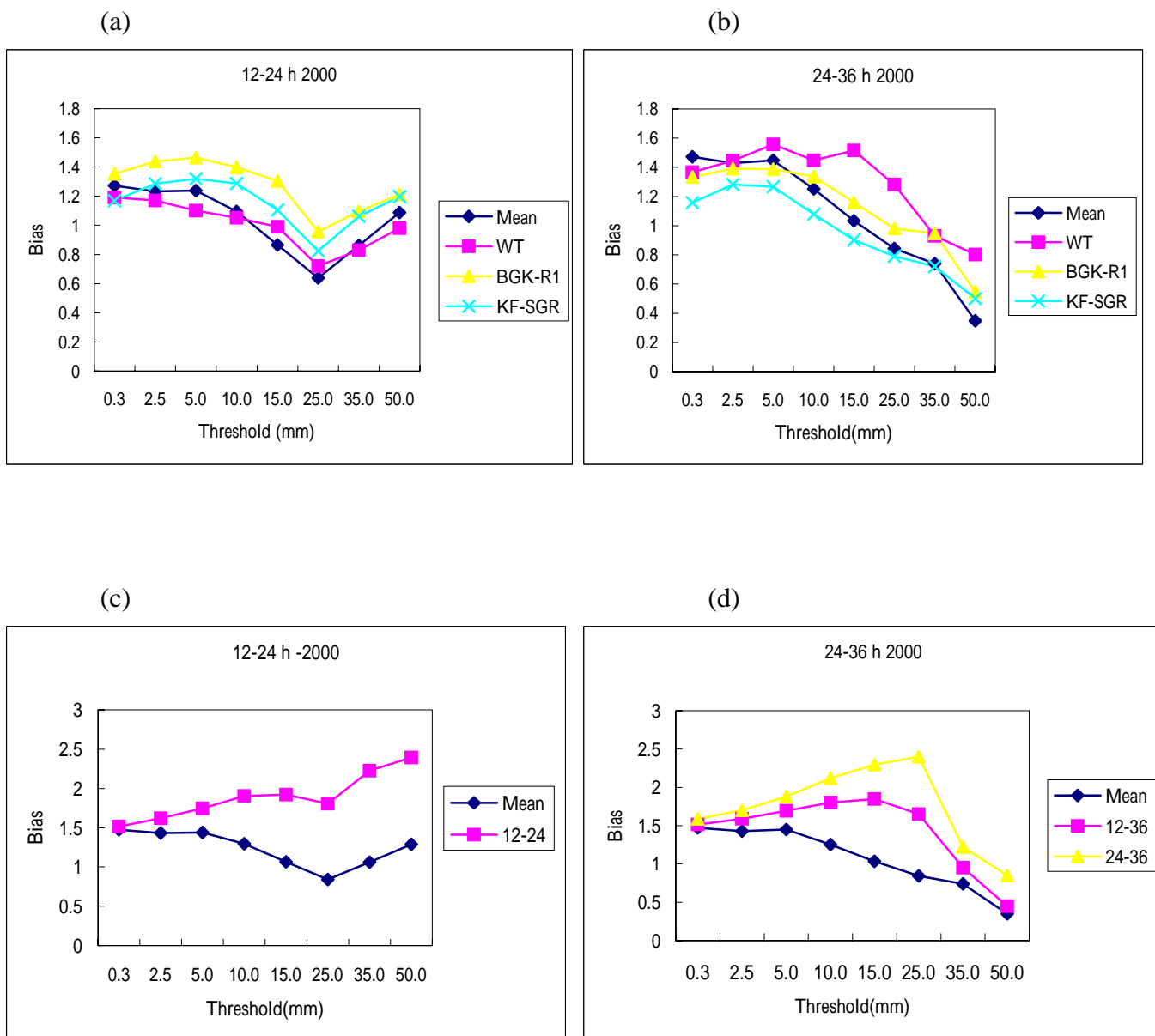


圖 24 2000 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 Bias 得分折線圖、(c) 將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時及(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報所得 Bias 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

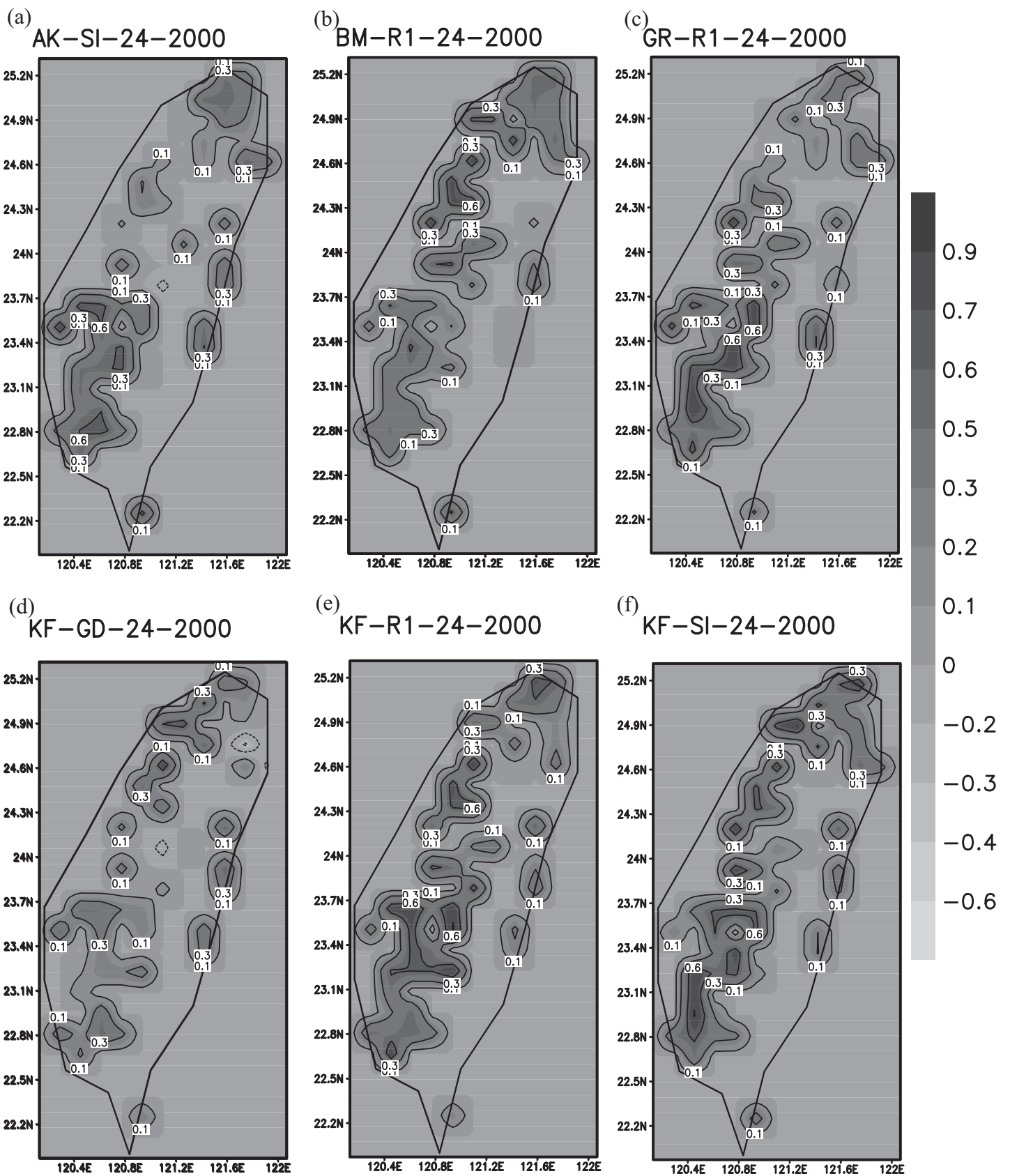


圖 25 (a)~(f)為2000年以權重方式預報12~24小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

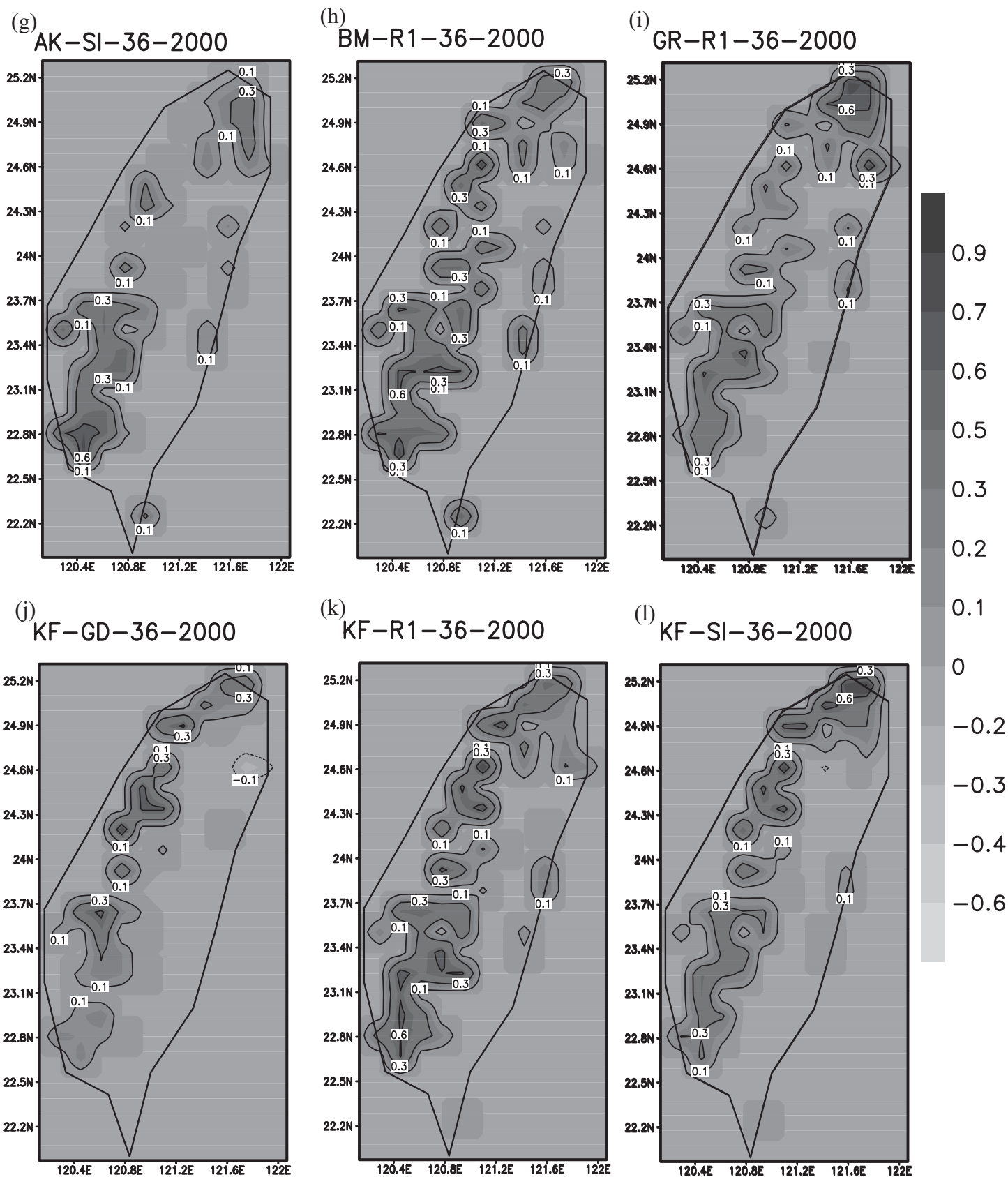


圖 25 (g)~(l)為2000年以權重方式預報24~36小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

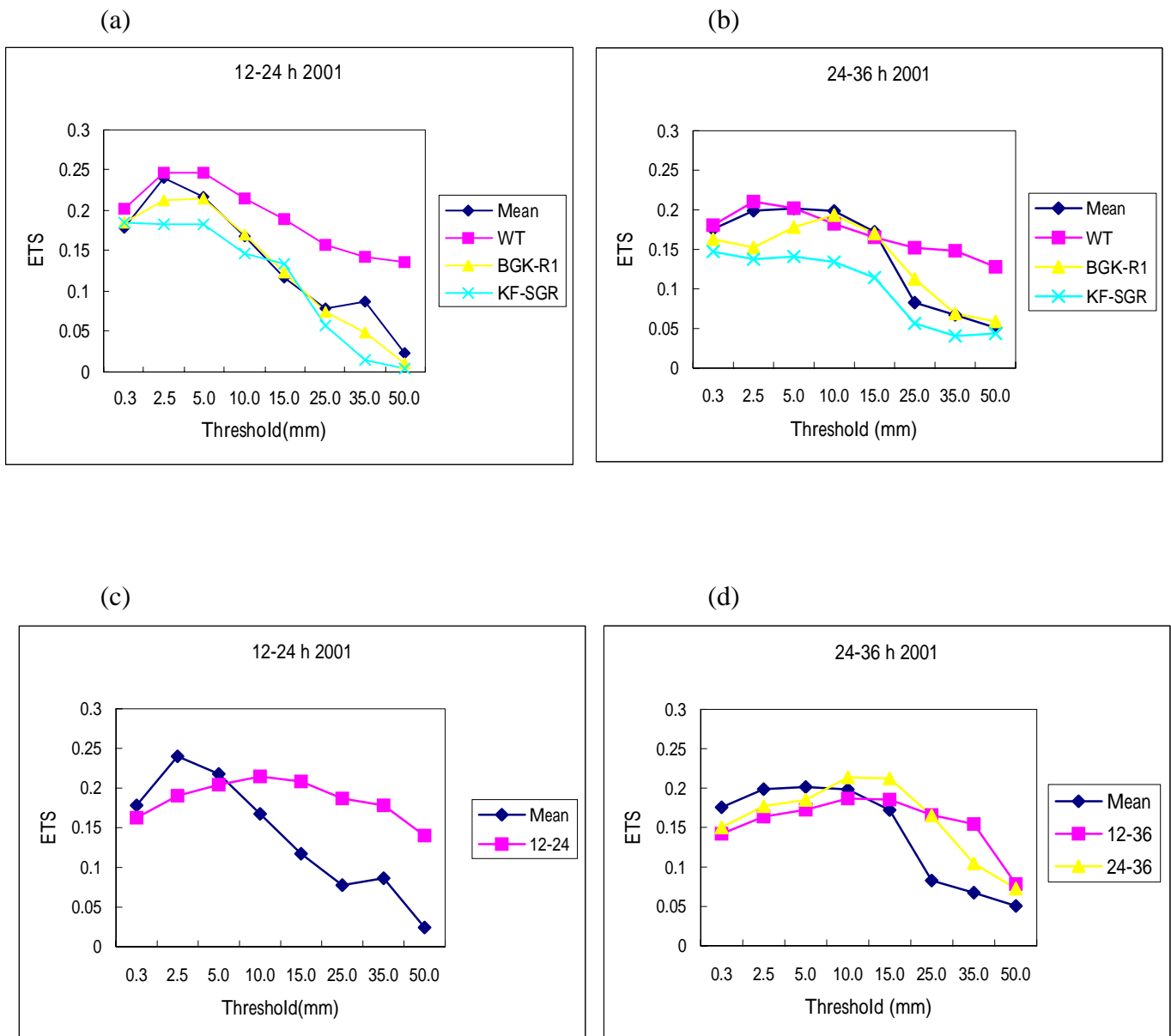


圖 26 2001 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 ETS 得分折線圖、(c)將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時及(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報 ETS 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

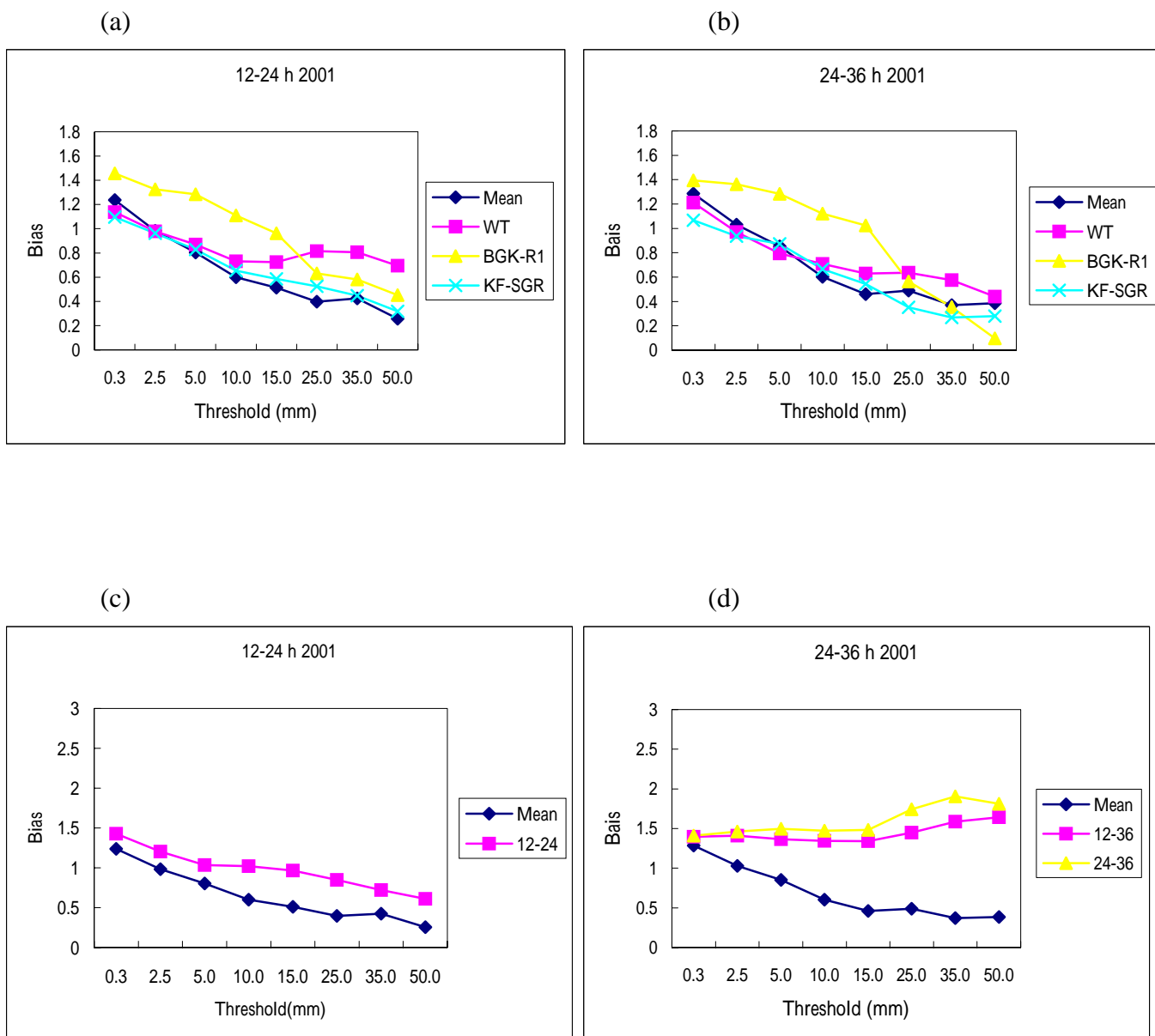


圖 27 2001 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 Bias 得分折線圖、(c)將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時；(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報所得 Bias 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

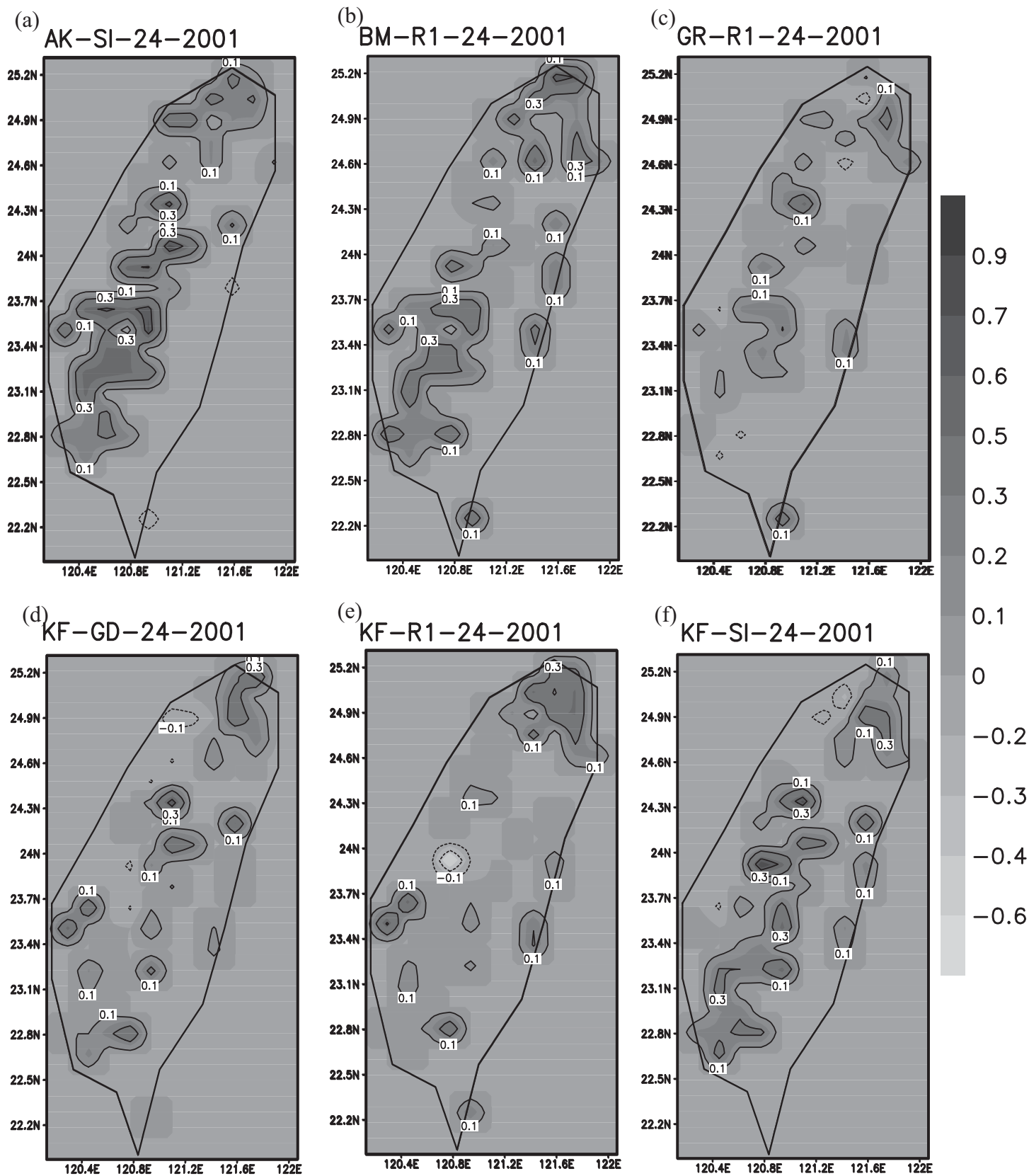
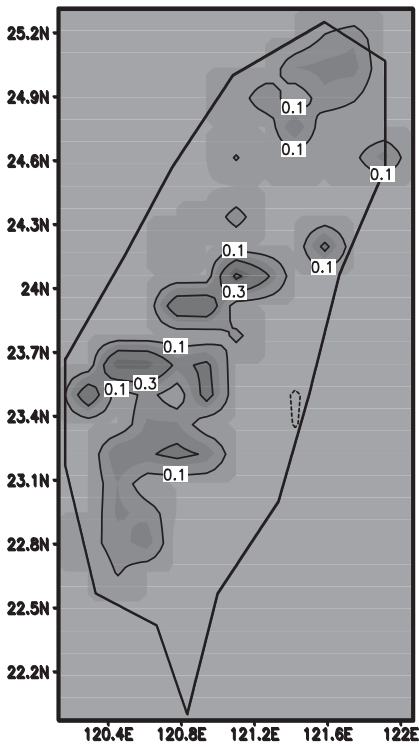
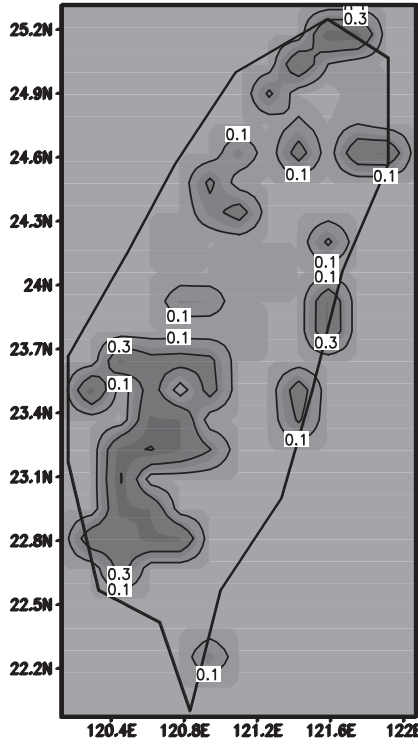


圖 28 (a)~(f)為2001年以權重方式預報12~24小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

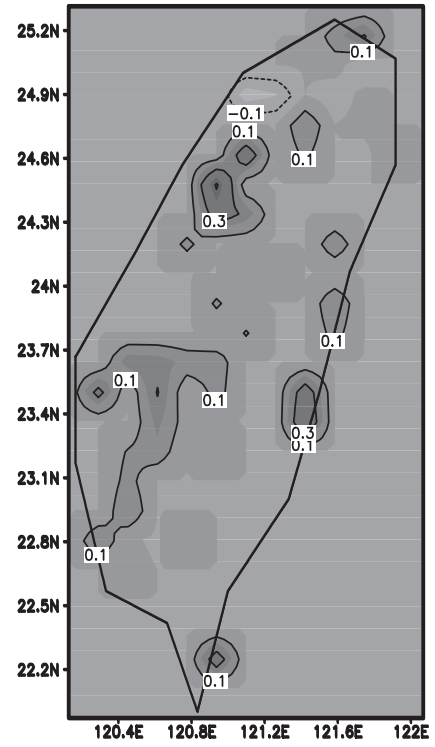
(g) AK-SI-36-2001



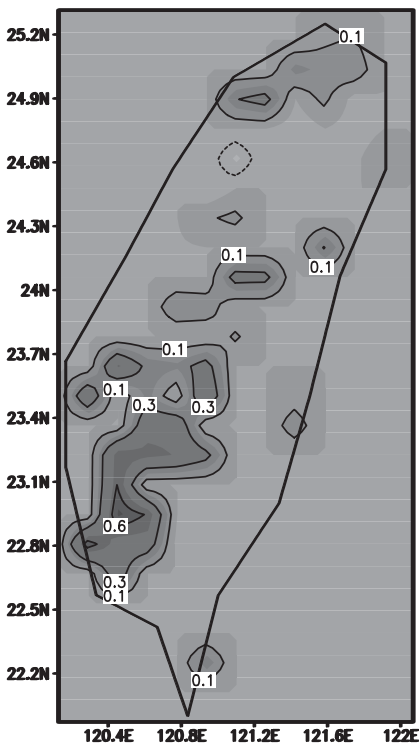
(h) BM-R1-36-2001



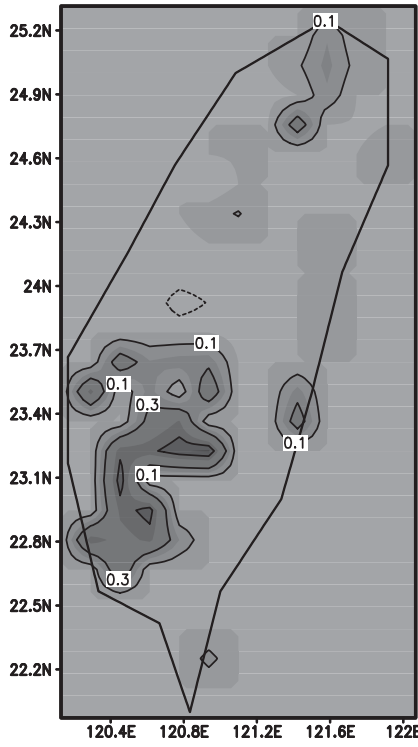
(i) GR-R1-36-2001



KF-GD-36-2001



KF-R1-36-2001



KF-SI-36-2001

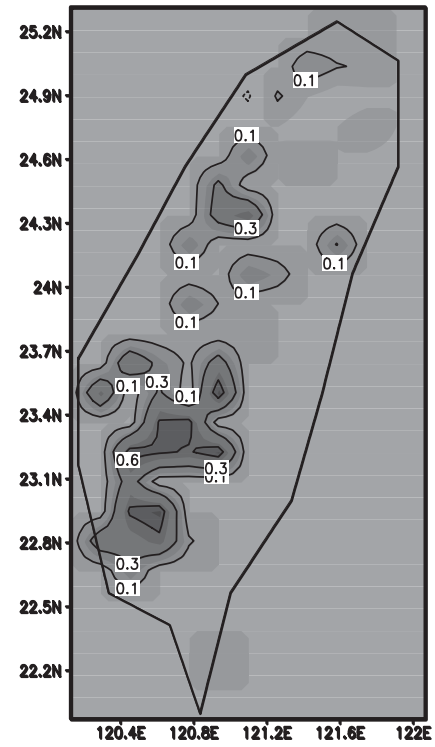


圖 28 (g)~(l)為2001年以權重方式預報24~36小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

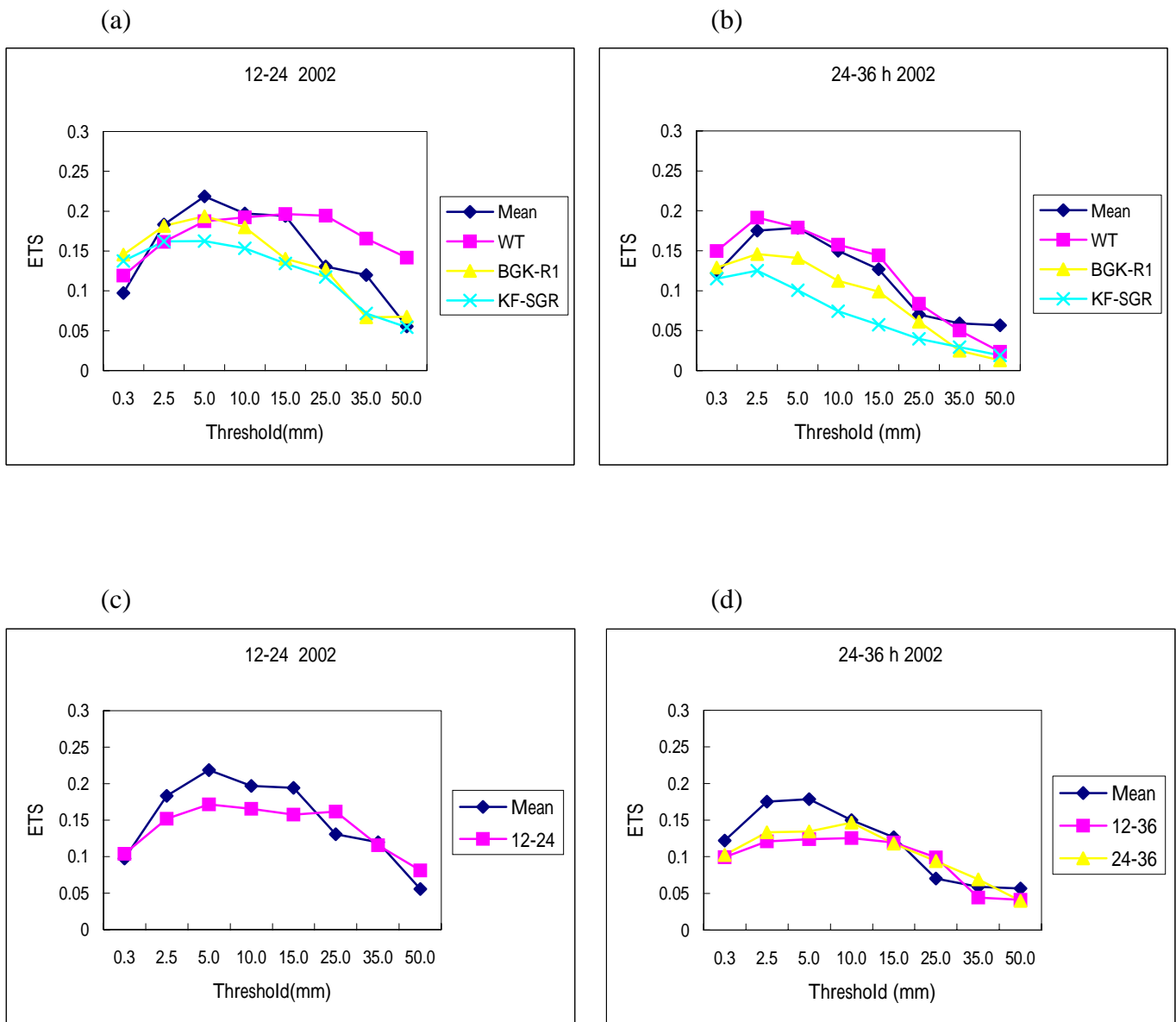


圖 29 2002 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 ETS 得分折線圖、(c)將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時及(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報所得 ETS 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

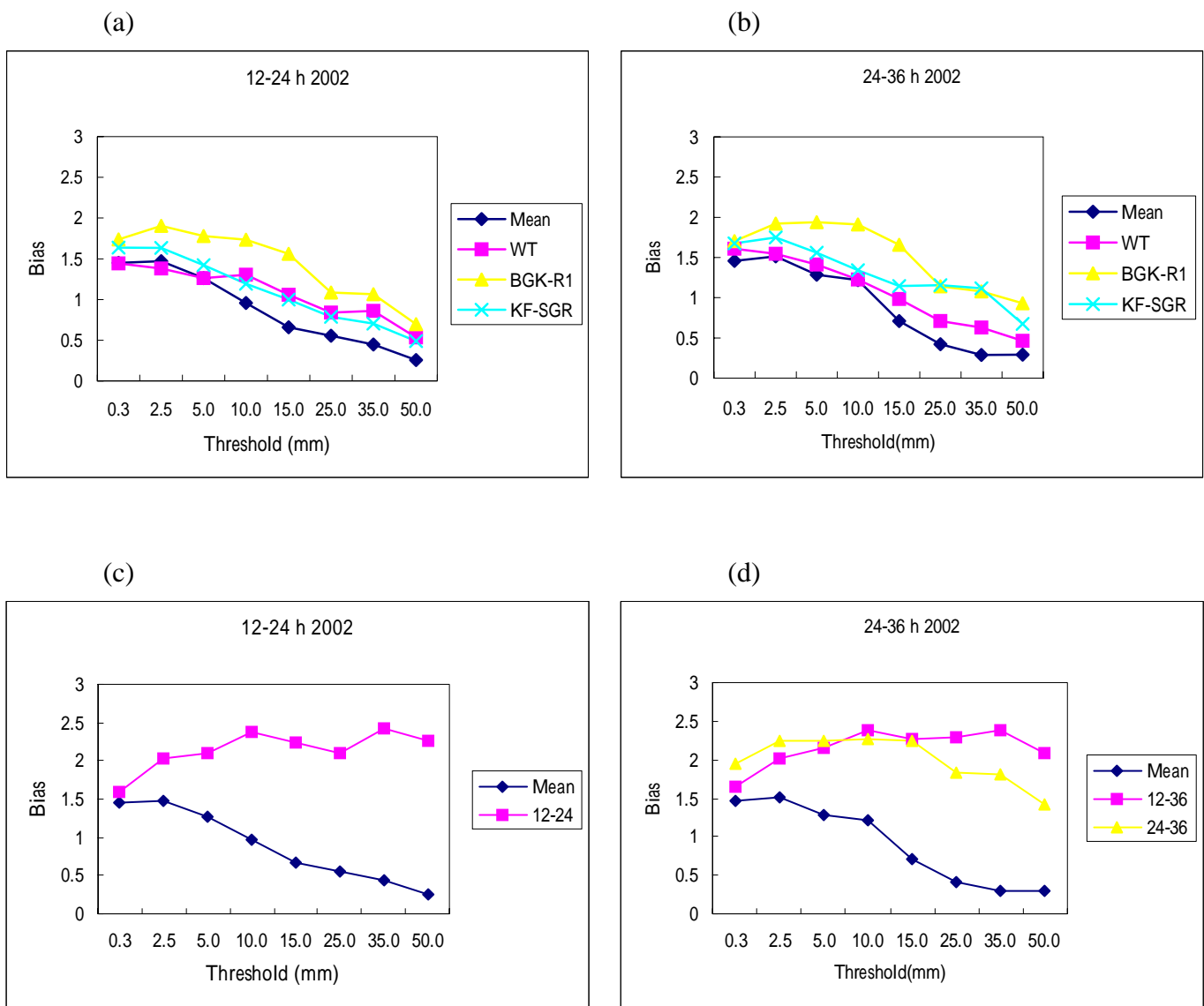


圖 30 2002 年(a)12~24 小時、(b)24~36 小時之系集預報 Bias 得分折線圖、(c) 將 0~12 小時所得權重套入 12~24 小時、(d)將 0~12 小時及 12~24 小時所得權重套入 24~36 小時之預報 Bias 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

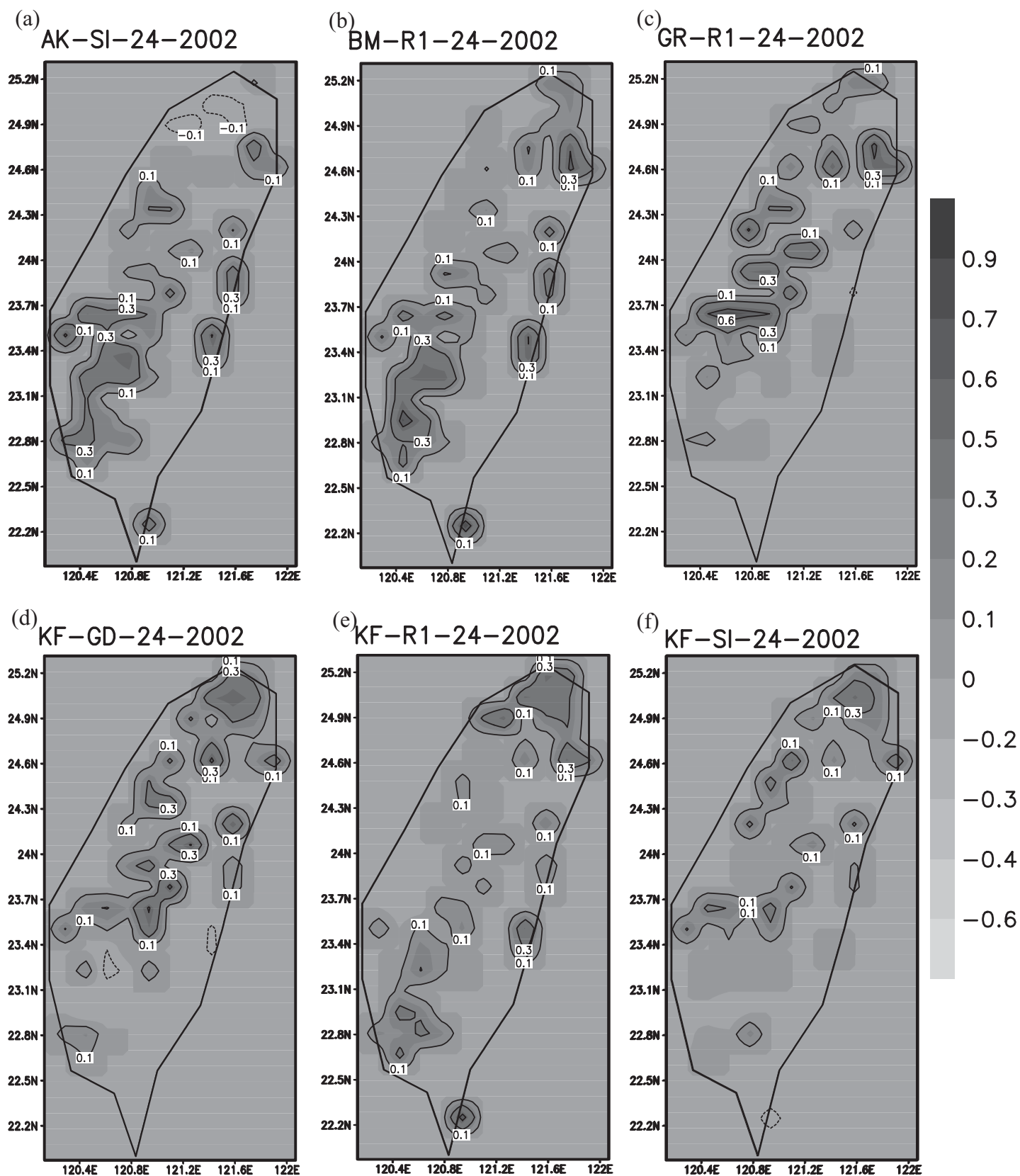


圖 31 (a)~(f)為2002年以權重方式預報12~24小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

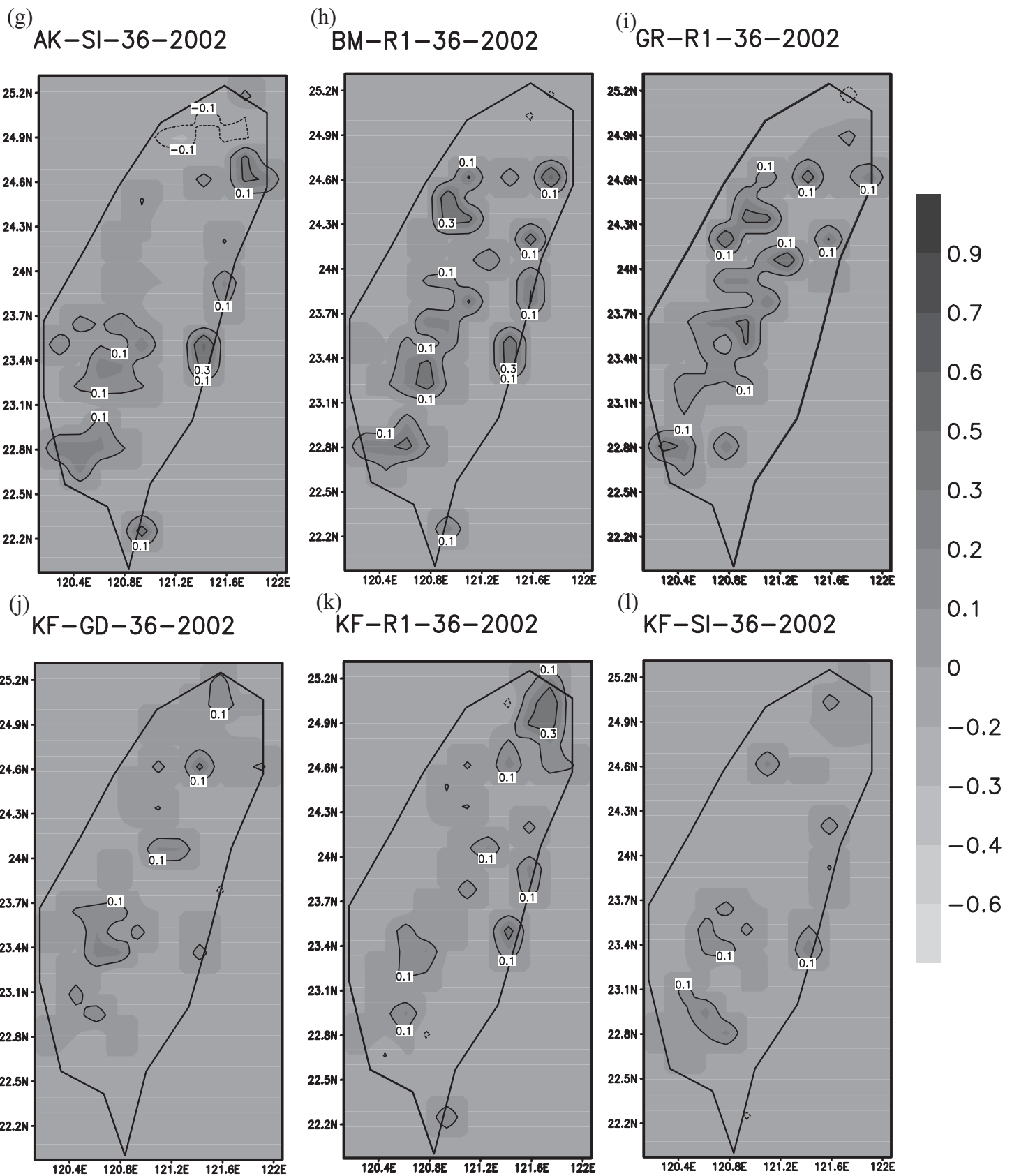


圖 31 (g)~(l)為2002年以權重方式預報24~36小時降水各系集成員所得權重之水平分佈圖。

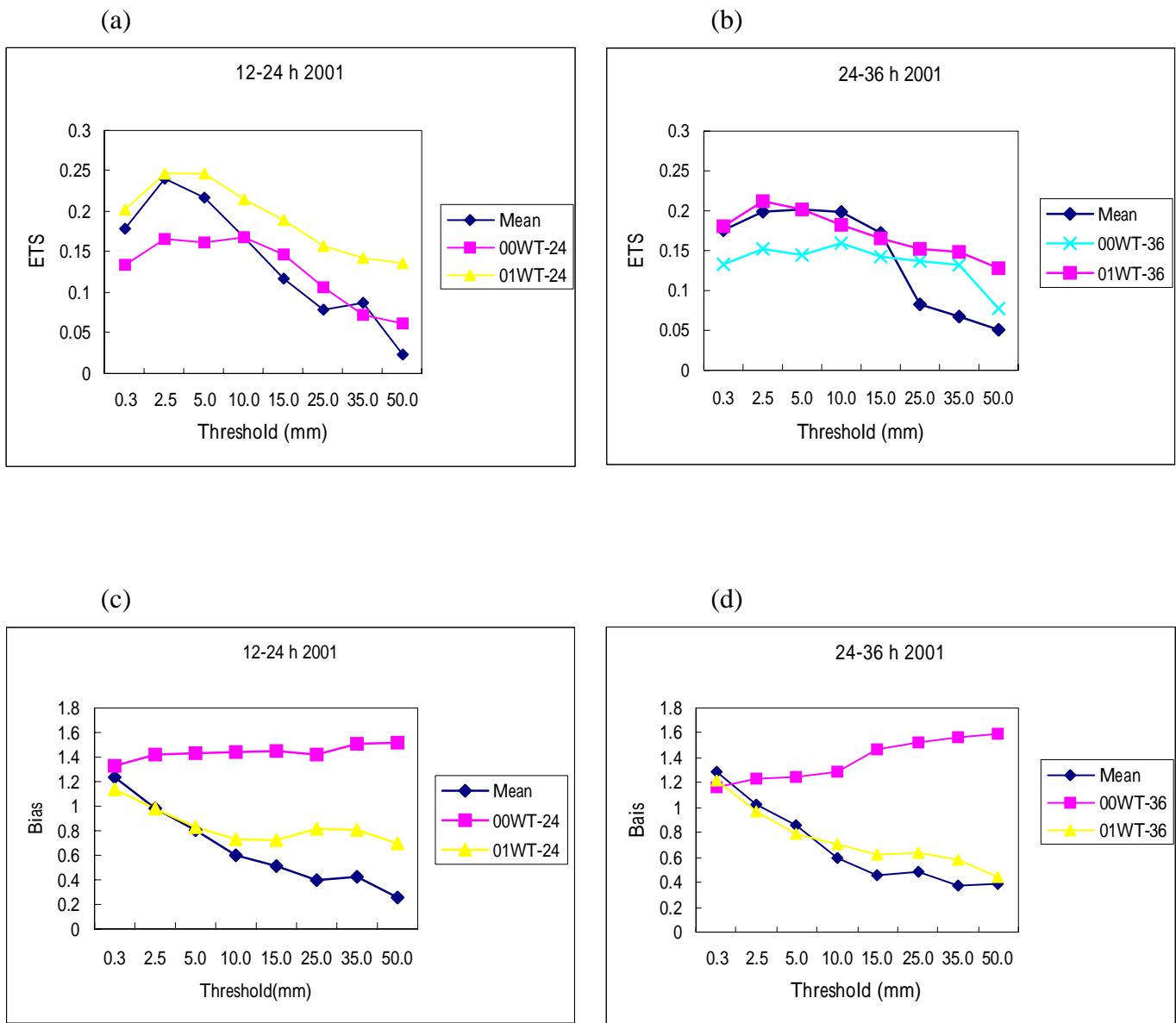


圖 32 2001 年(a)12~24 小時預報套入 2000 年及 2001 年 12~24 小時、(b)24~36 小時預報套入 2000 年及 2001 年 24~36 小時所得權重與系集平均 ETS 得分折線圖、(c)同(a)但為 Bias 得分折線圖及(d)同(b)但為 Bias 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。

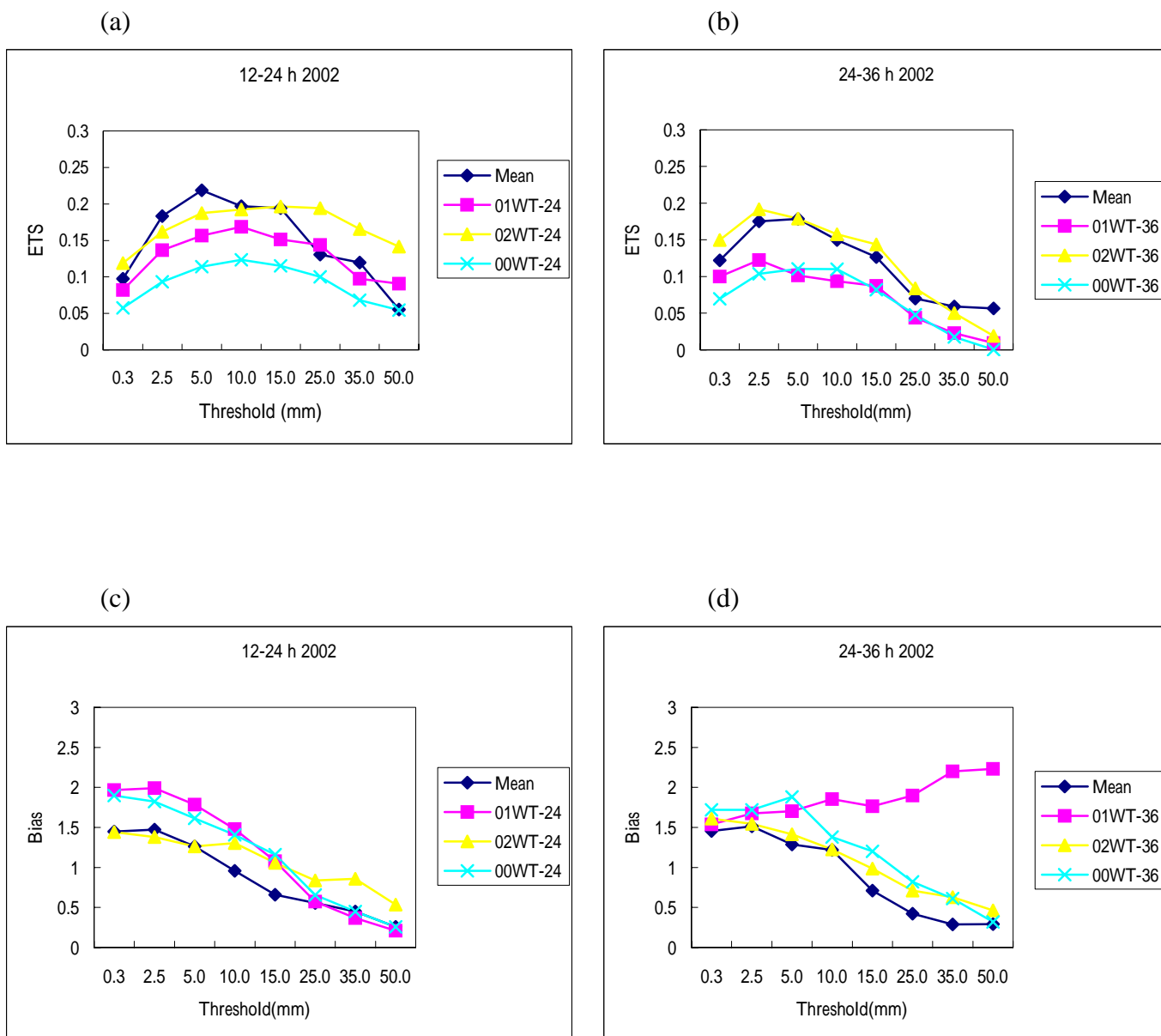


圖 33 2002 年(a) 12~24 小時預報套入 2000~2002 年 12~24 小時、(b) 24~36 小時預報套入 2000~2002 年 24~36 小時所得權重與系集平均 ETS 得分折線圖、(c)同(a)但為 Bias 得分折線圖及(d)同(b)但為 Bias 得分折線圖。各折線代表意義請見本文。