

CReSS 模式對臺灣夏季午後陣雨預報能力之評估

王重傑、蘇南州

國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

臺灣地處亞熱帶，夏季期間(5~10月)經常發生午後對流降水，然而此類現象由於可預報度相對偏低，對許多模式都是一種挑戰，而仍有許多改進的空間。為瞭解現階段高解析度模式對午後對流降水預報之能力，本研究評估「雲解析風暴模式」(Cloud-Resolving Storm Simulator, 簡稱 CReSS) 預報臺灣夏季午後對流降水的能力。此模式水平解析度為 2.5 公里，評估對象為 2011 年與 2012 年 5 到 10 月，每日 0000 UTC 初始之 72 小時預報。本研究並將臺灣劃分成北、中、南、東四個區域，去除臺灣在非弱綜觀條件下的日子，共篩選出 89 天符合條件的日子。隨後，本研究針對模式對此 89 天的預報結果，與中央氣象局之雨量圖進行比對與分析，評估其預報能力及特徵。

對模式定性預報的評估結果顯示，當天 0000 UTC 之預報會優於前一天和前兩天初始者，且對當天臺灣是否發生午後對流降水的預報能力，其預兆得分 (Threat score, TS) 可達 0.75，後符 (post agreement, PA, 所有預報發生中應驗的比例) 甚至可達 0.9，顯示有相當高的參考價值。另外，模式在不同區域上有不同的預報能力和特徵，例如模式在中部地區預報能力較其他三區為好，而東部地區在當天 0000 UTC 的預報能力會明顯優於前一天和前兩天者的特性。在定量降水預報的評估上，可發現三個預報時間點 (當天、前一天、及前兩天) 在午後總累積雨量之偏倚得分 (Bias) 坐落在 0.5~2 之間的比例，並沒有明顯的差異，大約均落在 69%~79%，並且當預報的累積降水量接近實際降水量時，些微低估之次數要比些微高估來得多。

關鍵字：臺灣、夏季午後對流、CReSS 模式、定量降水預報。

一、前言

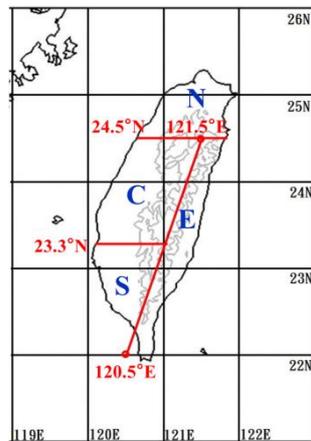
模式對午後對流降水的可預報度相對偏低，因此類現象多為熱力驅動，隨機性較高，模式對此掌握度較低，對許多模式而言是一種挑戰。但臺灣處於亞熱帶，在夏季期間經常發生午後陣雨，白天出門時晴空萬里，許多人因此並未帶雨具出門，或在戶外舉辦活動，但一過中午甚至是下班時間瞬間傾盆大雨，此對一般社會大眾的生活造成相當大的困擾，若能成功預報午後陣雨，對許多人而言會是相當大的貢獻。

「雲解析風暴模式」，Cloud-Resolving Storm Simulator，簡稱 CReSS 模式，是數年前從日本名古屋大學(Nagoya University)地球水循環研究中心 (Hydrospheric Atmospheric Research Center, HyARC) 引進，現已使用 CReSS 做即時的預報並將結果公布於網頁上。現今對於評估模式預報午後對流降水能力的研究仍少，但須了解模式的能力與特性才能正確地使用模式來做出好的預報，因此本研究評估 2011 年至 2012 年在此網頁上的預報結果對午後對流的預報能力，亦能作為往後模式改進的參考。

二、資料與分析方法

在預報資料上，本研究使用 CReSS 模式每日 0000UTC 初始之 72 小時預報，水平解析度為 2.5km，資料時間為 2011 年與 2012 年的 5 月至 10 月。在觀測（分析）資料上，使用中央氣象局的累計雨量圖、地面天氣圖以及衛星雲圖。為專注於弱綜觀條件下於臺灣陸地上產生之午後對流，剔除伴隨鋒面、颱風外圍環流以及低壓等移入性降水影響下的對流日。本研究定移入性降水影響之依據為：鋒面系統進入 118°E–124°E，20°N–28°N 之範圍、颱風和熱帶低壓進入 114°E–128°E，17.5°N–30°N 之範圍、在 1100LST 以前已有降水，以及降水區皆由沿海開始並隨時間向內陸延伸者。排除以上條件後，2011 年共有 50 日，2012 年共有 39 日，總計 89 日符合非移入性降水影響下的個案。而這些個案於 1100LST 至 2100LST 有降水，且雨量最大值高於 10mm 時視為一發生午後對流個案，反之則視為未發生午後對流之個案。根據預報初始時間之不同，分為當日 0000UTC(D-0)、前一日 0000UTC(D-1)以及前兩日 0000UTC(D-2)初始之預報，以便了解預報時間距離初始時間之時間長度對預報能力的影響。為探討 CReSS 在臺灣不同區域的預報能力差異，本研究以 23.3°N、24.5°N 以及(121.5°E, 24.5°N)–(120.5°E, 22.0°N)連線將臺灣劃分為北、中、南、東四個子區域（如圖 1 所示）；24.5°N 以北為北部區域，在 (121.5°E, 24.5°N)–

(120.5°E, 22.0°N)連線東側為東部區域，此線西側再以 23.3°N 劃分為中部和南部區域。劃分區域後，預報和實際的降水必須落在相同區域才算預報正確命中，因此一日有 4 件個案，89 日總計 356 件個案。評估定性的預報能力時，人



(圖1) 將臺灣劃分成四個子區域，N代表北部，C代表中部，S代表南部，E代表東部。

工比較預報和觀測之雨量圖分佈，配合以 2x2 表格為基礎的分類統計校驗法 (categorical statistics) 將預報結果歸納為四類(如圖 2 所示): 預報與觀測均發生 (Hit, H)、預報發生但實際未發生 (False Alarm, FA)、預報不發生但實際發生 (Miss, M)、以及預報與觀測均未發生 (Correct Negative, CN)，再依此分類計算出前估(prefigurance, PF)、後符(post agreement, PA)、預兆得分(Threat score, TS 或 CSI)、準確率(Accuracy, ACC)、偏倚得分(Bias, BS)等技術得分來評斷 CReSS 模式之預報能力和特性。以上各技術得分之定義為：PF=H/(H+M)，為所有觀測發生中被預報的比例；PA=H/(H+FA)，為所有預報發生中應驗的比例；TS=H/(H+FA+M+CN)，ACC=(H+CN)/(H+CN+FA+M)，BS=(H+FA)/(H+M)。在定量的預報能力評估上，人工加總 CReSS 逐時雨量預報後，篩選出觀測和預報皆有降水的日子，並將觀測和預報在 1100LST 至 2100LST 的最大累積雨量做迴歸分析，計算出回歸直線和相關係數；以及計算 Bias，並分析其 Bias 之分佈狀況，來了解模式在定量預報上的能力與特性。

		Observation	
		Y	N
Forecast	Y	Hit	FA
	N	Miss	CN

(圖2) 以2x2表格為基礎的分類統計校驗法 (categorical statistics)

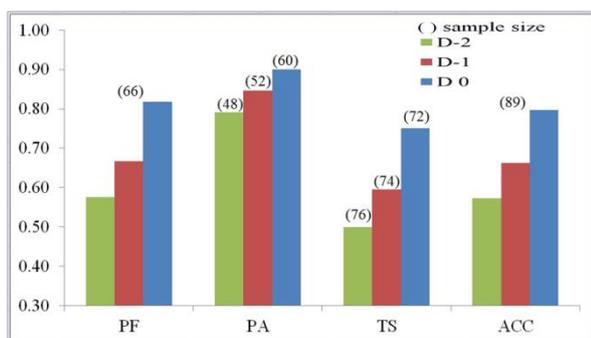
三、模式的定性預報能力與特徵

(一) 午後對流是否發生

其結果如圖 3 所示，在當天 0000UTC 初始之預報中，有 54 日模式掌握到該日臺灣地區會有午後對流降水發生，有 12 日未預報出該日將有午後對流降水，有 6 日為假警報，有 17 日正確預報沒有午後對流降水，由此計算出各項技術得分：前估 PF=0.82，後符 PA=0.90，預兆得分 TS=0.75，準確率

ACC=0.80，偏倚得分 BS=0.91，其中 PA=0.90 顯示當模式預報午後對流降水發生時，有九成會實際應驗。在前一天 0000UTC 初始之預報中，有 44 日模式掌握到午後對流降水之發生，有 22 日未預報降水發生，有 8 日為假警報，有 15 日正確預報未發生，並計算出：前估 PF=0.67，後符 PA=0.85，預兆得分 TS=0.59，準確率 ACC=0.66，偏倚得分 BS=0.79。在兩天前 0000UTC 初始之預報中，有 38 日模式掌握到午後對流降水之發生，有 28 日未預報降水發生，有 10 日為假警報，有 13 日正確預報未發生，並計算出：前估 PF=0.58，後符 PA=0.79，預兆得分 TS=0.50，準確率 ACC=0.57，偏倚得分 BS=0.73。綜合以上，可看出預報準確度隨著時間越近而越準確；從當日預報的 PA 值來看，可發現若模式預報發生午後對流降水，高達九成會實際應驗，即使是兩天前的預報，仍然有八成實際會發生。偏倚得分 BS 不論哪個時間的預報都小於 1，顯示模式對午後對流降水預報的頻率較實際發生頻率來得低，符合一般認為午後對流降水不易被模式所掌握之特性。

	D-2	D-1	D 0
H	38	44	54
FA	10	8	6
M	28	22	12
CN	13	15	17
PF	0.58	0.67	0.82
PA	0.79	0.85	0.90
TS	0.50	0.59	0.75
ACC	0.57	0.66	0.80
BS	0.73	0.79	0.91



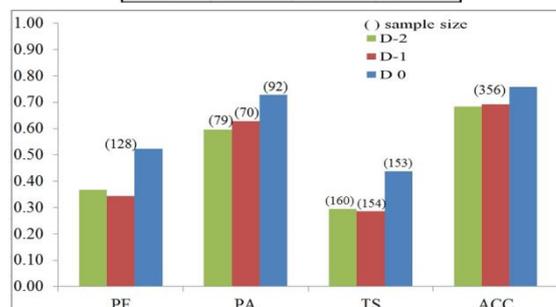
(圖3) 評估「是否發生」的各項結果。其中藍色為當日 0000UTC 初始(D 0)，紅色為前一日初始(D-1)，綠色為前兩日初始(D-2)之預報。() 裡面為技術得分之分母值

(二) 各區域之午後對流

劃分四個區域後，預報和觀測之降水需落在相同區域才屬正確預報，其綜合四子區域結果如圖 4 所示。在當日 0000UTC 初始之預報中，有 67 件模式掌握到該日會有午後對流降水發生且降水區正確

個案，有 61 件未在正確區域預報出午後對流降水的個案，有 25 件為假警報，有 203 件為正確預報沒有降水，計算出技術得分為：前估 PF=0.52，後符 PA=0.73，預兆得分 TS=0.44，準確率 ACC=0.76，偏倚得分 BS=0.72。前一天 0000UTC 初始之預報，有 44 件個案為正確預報，有 84 件未在正確區域預報出降水，有 26 件為假警報，有 202 件為正確預報沒有降水，其各項技術得分為：前估 PF=0.34，後符 PA=0.63，預兆得分 TS=0.29，準確率 ACC=0.69，偏倚得分 BS=0.55。前兩天 0000UTC 初始之預報，有 47 件個案為正確預報，有 81 件未在正確區域預報出降水，有 32 件為假警報，有 196 件為正確預報沒有降水，其各項技術得分為：前估 PF=0.37，後符 PA=0.59，預兆得分 TS=0.29，準確率 ACC=0.68，偏倚得分 BS=0.62。要求降水區域需落在相同位置之後，可發現模式的表現明顯較上一類不佳，因此降水區對午後對流降水的預報而言仍是一項挑戰。不過即使如此，在後符 PA 上仍有 0.73 之表現，顯示模式預報出午後對流降水時，仍有 7 成會在預報之區域發生。而偏倚得分 BS 小於 1 之特性比上一類更加明顯，只有 0.55 到 0.72 之間，明顯低於上一類之偏倚得分，顯示模式在預報午後對流降水時，有降水區偏小之趨勢。由不同預報初始時間來看，可發現前兩天和前一天初始之預報能力十分接近，在各項技術得分上互有高低，不過當日初始之預報仍明顯優於這兩者。

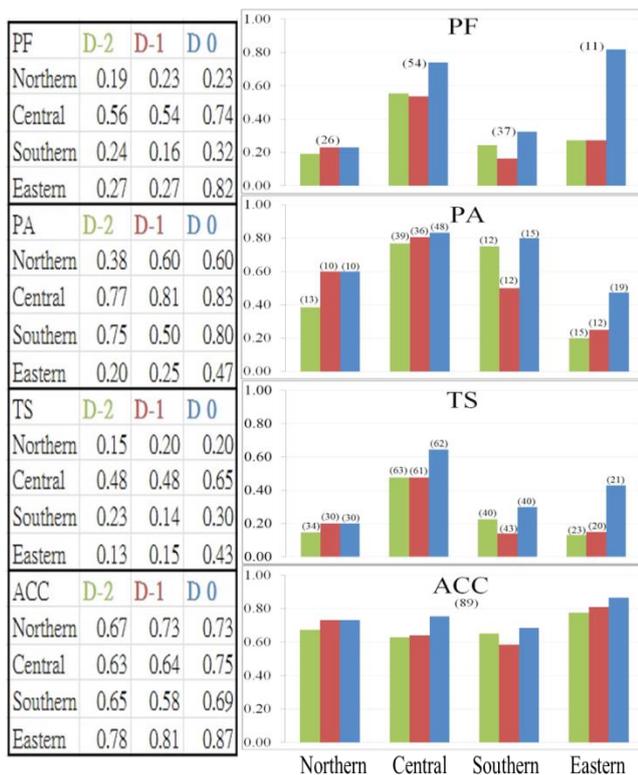
	D-2	D-1	D 0
H	47	44	67
FA	32	26	25
M	81	84	61
CN	196	202	203
PF	0.37	0.34	0.52
PA	0.59	0.63	0.73
TS	0.29	0.29	0.44
ACC	0.68	0.69	0.76
BS	0.62	0.55	0.72



(圖4) 評估「綜合各區域」的各項結果。其中藍色為當日 0000UTC 初始(D 0)，紅色為前一日初始(D-1)，綠色為前兩日初始(D-2)之預報。() 裡面為技術得分之分母值

(三) 各區域之比較與討論

將四個子區域各自計算技術得分，其結果如圖 5 所示。可以發現若不考慮 CN(預報和觀測皆未發生)之影響，即先剔除 ACC 值，中部區域的預報能力明顯優於其他地區，造成此現象的原因可能為兩者：一為中部地區因山區多，山區較平地易發展午後對流，而山區所發展之午後對流較容易被模式所掌握；二為本研究所劃分之中部區域較其他區域範圍較大，使得預報和觀測皆落在相同區域的機會較高，雖後者會對結果造成影響，但影響程度並不大，因此可看出模式有前者之特性。在中部地區的技術得分上，可看到後符 PA 仍然可達 0.83，預兆得分 TS=0.65，較(二)類高出許多。從 ACC 此項技術得分來看，可發現各區域的分數都明顯高於其他技術得分，並以東部區域最為明顯，表示 CN(預報和觀測皆未發生降水)的結果佔多數，因此若是評估模式預報出午後對流降水的能力，準確率 ACC 此項技術得分並不是個適合的評估標準。

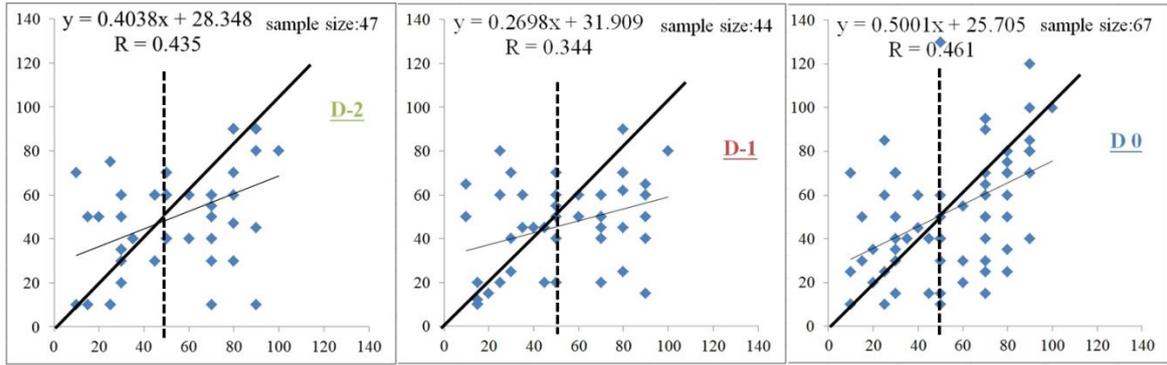


(圖5) 評估「各子區域」的各項結果。其中藍色為當日 0000UTC 初始(D0)，紅色為前一日初始(D-1)，綠色為前兩日初始(D-2)之預報。()裡面為技術得分之分母值

四、模式的定量預報能力與特徵

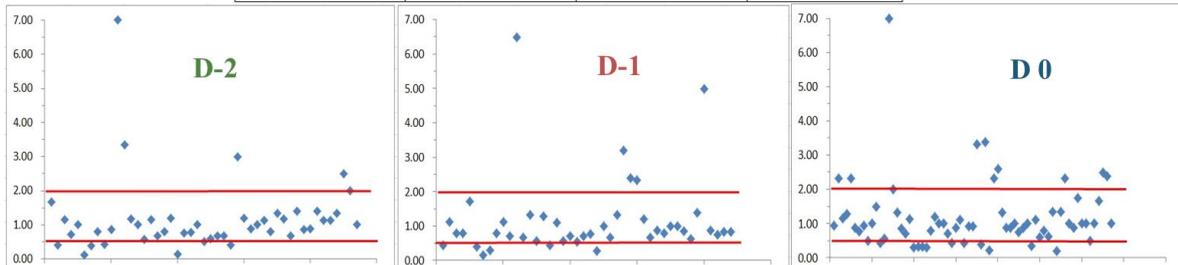
將觀測和預報在 1100LST 至 2100LST 的最大累積雨量做回歸分析後，其結果如圖 6 所示。根據預報初始時間由遠至近，其相關係數依序為 0.435、0.344、0.461，回歸直線的斜率依序為 0.4038、0.2698、0.5001。從相關係數來看，仍是當天 0000UTC 初始之預報最佳，但前兩天初始高於前一天初始之預報，回歸直線的斜率接近理想(斜率=1)的程度亦是如此。因回歸直線斜率皆小於 1，可發現在實際為低降水量時模式的預報較為高估，高降水量時的預報較為低估。

根據觀測和預報的最大累積雨量計算出偏倚得分 Bias，偏倚得分表示預報與觀測雨量之比例，大於 1 表示預報大於觀測，反之則預報小於觀測，其結果如圖 7、8 所示。Bias 的分佈在 0.5 至 2.0 的比例由預報初始時間遠至近依序為 78.7%、75.0%、68.7%，可發現預報初始時間越近卻有越高比例偏倚得分 BS 落在 0.5 至 2.0 之外，可能為隨機誤差的影響。將偏倚得分 BS 以間距 0.25 做分佈曲線，其結果如圖 8 所示，可看到前一天和前兩天初始的預報的最大值都落在小於 1(0.875-1.125)的位置，只有當天初始的預報落在 1 的位置，並且三者小於 1 的數量較大於 1 的數量要來的多，此結果顯示當預報的降水量接近實際值時，其預報值有低估的趨勢。

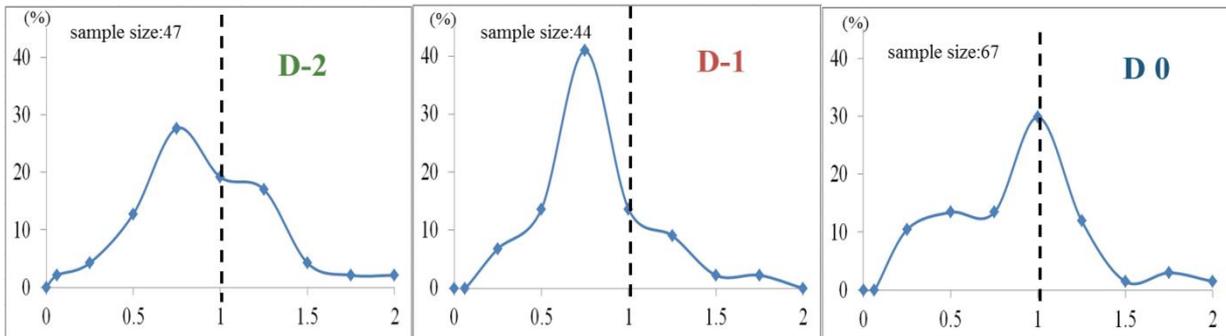


(圖6) 預報和觀測1100LST至2100LST最大累積雨量之迴歸分析。縱軸為預報，橫軸為觀測，單位為mm，細黑線為迴歸直線，粗黑線為斜率=1之直線，以虛線(觀測50mm)界定雨量較大或較小。

BS.	D-2.	D-1.	D0.
over 2.	4 (8.5%).	5 (11.4%).	10 (14.9%).
0.5 ~ 2.	37 (78.7%).	33 (75.0%).	46 (68.7%).
less than 0.5.	6 (12.8%).	6 (13.6%).	11 (16.0%).



(圖7) 雨量Bias之分布，縱軸為Bias的值。紅線為Bias=2.0及Bias=0.5



(圖8) 雨量Bias之分布，橫軸為Bias的值，縱軸為個案數量占總數之百分比，區間大小為0.25，虛線表0.875-1.125之區間。

五、總結

午後對流對於模式而言一直是很大的挑戰，本研究以各種技術得分評估高解析度模式 CReSS 在 2011 年至 2012 年預報時對午後對流的狀況，以了解 CReSS 對於臺灣地區午後對流降水的掌握程度。若預報臺灣地區是否發生午後對流降水，其預兆得分 TS 可達 0.75，而後符 PA 可達 0.9，表示模式預報午後對流發生時，有九成會實際發生，具有相當大的參考價值。在將臺灣劃分成四個子區域，並要求預報之降水區需在相同位置後，各項技術得分皆有下降：TS=0.44，PA=0.73，表示模式對掌握午後對流降水區的技術較不足；不過單看中部子區域的 TS=0.65，PA=0.83，顯示模式可能對於山區所發展午後對流的機制掌握度較佳。在定量的降水預報上，模式有低估大雨量、高估小雨量的趨勢；從偏倚得分 BS 來看，有相當大的比例(68.7%~78.7%)落在 0.5 至 2 的範圍之內，顯示模式預報的雨量誤差不易超過實際雨量的兩倍或一半；從偏倚得分 BS 的分佈來看，當模式預報的雨量接近實際雨量時，有稍微低估雨量的趨勢。在預報時根據對模式的了解來做人工的修正即能夠做出更佳的預報，因此了解 CReSS 對午後對流預報的能力和特性之後就能夠做為預報參考，往後並可作為改善模式的參考。

致謝

感謝文化大學大氣科學系劉清煌副教授提供累積雨量圖等研究所需之觀測資料。同時感謝颱風中心及國家高速網路計算中心提供 CReSS 預報所需計算資源。本研究在臺灣師範大學地球科學系 2013 暑期學生專題研究計畫支持下完成。

參考文獻

- 陳泰然、謝信良、陳來發及陳清得，1991：臺灣地區現階段豪(大)雨預報能力。《大氣科學》，**19**，177-188。
- 王重傑與陳泰然，2009：臺灣梅雨季豪(大)雨預報技術之發展與整合子計畫十一：物件導向豪(大)雨定量降水預報校驗法之法展與應用 (I)。國科會防災科技研究報告 NSC 96-2625-Z-003-003，107 頁。
- Wang, C.-C., 2013: WRF model rainfall forecasts during three Mei-yu seasons in Taiwan: 2008-2010. AOGS 10th Annual Meeting (AOGS 2013), 24-28 June , Brisbane, Australia, AS06-A024.
- Lin, P.-F., P.-L. Chang, B. J.-D. Jou, J. W. Wilson, and R. D. Roberts: Objective prediction of warm season afternoon tunderstorms in northern Taiwan using a fuzzy logic approach. *Wea. Forecasting*, **27**, 1178-1197.