

月到季降雨預報統計降尺度技術發展

Development of Statistical Downscaling Skill for precipitation, from Monthly to Seasonally

主管單位：國家災害防救科技中心

朱容練 陳永明 林士堯 朱吟晨
Jung-Lien Chu Yung-Ming Chen Shih-Yao Lin Yin-Chen Chu

摘要

台灣地形南北狹長東西陡峭、河川短陡水流湍急，所以能儲存並有效利用的水資源有限，舉凡農業、工業、國防、醫療及民生用水等，皆須仰賴水庫及河川的供應，因此一旦適逢久未降雨，或用水量大的時期如春季，很容易就會面臨乾旱缺水的窘境。

本研究的目的是在於利用 SVD 統計降尺度方法，結合國際氣候中心(APCC)的氣候模組 Hindcast 資料，進行預報因子的尋找及模組測試。

首先以 Performance Metric 方法對模組進行評估，比對出模組對預報因子模擬的能力，再與 APHRODITE 的觀測資料進行相關性分析，評估與降雨之間相關性表現較好的預報因子，發現其中以 200 百帕的東西向風場表現最好，最後以此預報因子作模式間降尺度結果之驗證。

未來將針對水庫集水區作短期氣候預報，現階段以石門水庫為主要研究對象。

關鍵詞：春雨、春季乾旱、統計降尺度、Performance Metric

Abstract

Owing to the terrain in Taiwan is long and narrow in north-south direction, and steep in the east-west one, rivers are short, steep, with rapid current. The limited ability of storage and inefficiently applied water resource restricts the water usage from agriculture, industry, national defense, to people's livelihood, thus all these depend on reservoirs and rivers. Once confronting long-time no rain, or during huge water consumption period, like spring, drought or shortage of water may easily occur.

This research aims at using SVD statistical downscaling method, combining climate model hindcast from APEC Climate Center (APCC), to find predicting factors and model testing.

To begin with model evaluation by Performance Metric, the simulation ability of model to predicting factor is measured, and then does the correlation analyses with APHRODITE observation data. After evaluating correlation among predicting factors and precipitation, it turns out that the east-west wind at 200 hPa performs the best. Hence it becomes the selected predicting factor as testing model downscaling results.

Keywords : Spring rainfall, Drought in Spring, statistic downscale, Performance Metric.

一、前言

乾旱的發生，起因於降雨的不足，氣象上的降雨量度，是顯示乾旱與否的第一個訊息。衡量的基準與方式，往往與當地的氣候狀態有關。在美國，48小時內降雨少於2.5mm即被稱為乾旱；乾旱在英國則是連續15天降雨少於0.25mm時稱之；印度地區則是以實際季節降雨少於平均值兩倍作為氣象乾旱之定義；位於熱帶地區的峇厘島，若連續六個月沒有下雨，即稱為氣象乾旱；在台灣，連續二十日以上降水量均未達0.5公釐，且累積降水年量未達最近期準平均之 60%或累積降水三十日量低於同期間第一個十分位值(若第一個十分位值低於0.5公釐者則不計，視為屬預期性之乾旱)者稱為臺灣地區之非預期性氣象乾旱 (UNPREDICTABLE METEOROLOG DROUGHT)。

台灣平均年雨量約2500公釐，理應充沛無虞，然而，受到地形效應影響，降雨分佈極不均勻，季節降雨上則主要集中於夏季，冬季降雨則以北部地區為主，在此時空特性下，台灣易出現乾旱之情形。有別於國外乾旱時間尺度以年為單位計算，台灣的乾旱，一般以季節(3個月)作為衡量的時間尺度，乾旱若發生於春季，則勢必影響一期稻作之耕種，更甚者，則將衝擊台灣工業及民生用水。

二、研究地區與研究方法

此部分之研究將定位在水庫集水區短期氣候預測資訊提供，結合中央氣象局與國際氣候中心(如 APEC Climate Center)三個月之季節預報資料，研發專為水庫集水區所設計之統計降尺度模組，產製未來三個月之水庫集水區降雨預測資訊。研發初期，將以石門水庫集水區作為主要之研究區域。

2.1 資料

為了與氣候模式進行介接，本計畫自APEC Climate Center(簡稱APCC)取得20組氣候模式Hindcast 資料，詳細資料列表如表一所示。20組模式資料中包含了8個國家14個團隊以及12種變數資料，時間長度在各模式中不盡相同，所有模式共同時間長度有20年，時間最長的有30年資料，而本計畫使用其中的22年(1982年-2003年)共15組模式資料做分析運用。

表一 APCC 20組氣候模式Hindcast資料列表

模式	共同年分	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT
BCC	1983~2005		1983~2007	1983~2006	1983~2008	1983~2008	1983~2008	1983~2007	1983~2005	1983~2009	1983~2006
CWB	1982~2005	1982~2006	1982~2005	1982~2005	1981~2005	1981~2005	1981~2005	1981~2005	1981~2005	1981~2005	1981~2005
GCPS	1982~2006	1982~2006	1982~2006	1982~2006	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2007	1979~2009
GDAPS_F	1980~2007	1980~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2007	1979~2009	1979~2007	1979~2009
GDAPS_O	1982~2004	1982~2006		1980~2004			1980~2005			1980~2005	
HMC	1982~2002	1982~2004	1982~2004	1982~2003	1979~2003	1981~2010	1981~2003	1979~2003	1979~2003	1979~2003	1979~2003
JMA	1979~2005	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008	1979~2008
METRI	1982~2005	1982~2006	1982~2006	1982~2006	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2005	1979~2009	1979~2005	1979~2009
MGO	1982~2003	1982~2004	1982~2004	1982~2004	1979~2004	1979~2004	1979~2004	1979~2004	1979~2004	1979~2004	1979~2004
MSC_CANCM3	1982~2009	1982~2009	1981~2009	1981~2009	1981~2009	1981~2009					
MSC_CANCM4	1982~2009	1982~2009	1981~2009	1981~2009	1981~2009	1981~2009					
MSC_GEM	1979~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1979~2003	1969~2003	1979~2003
MSC_GM2	1979~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1979~2003	1969~2003	1979~2003
MSC_GM3	1979~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1979~2003	1969~2003	1979~2003
MSC_SEF	1979~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1969~2003	1979~2003	1969~2003	1979~2003
NASA	1993~2007	1982~2009	1981~2009	1981~2009	1993~2009	1981~2011	1993~2009	1993~2007	1993~2009	1993~2007	1993~2009
NCEP	1983~2006	1983~2009	1983~2009	1982~2008	1982~2008	1982~2008	1981~2006	1982~2008	1982~2008	1982~2008	1982~2006
NIMR	1982~2005	1982~2006	1982~2006	1982~2006	1979~2009	1979~2009	1979~2009	1979~2005	1979~2009	1979~2005	1979~2009
PNU	1980~2009			1980~2009	1980~2009	1980~2011	1979~2009			1980~2010	
POAMA	1982~2005	1982~2006	1982~2006	1982~2006	1979~2006	1981~2006	1981~2005	1981~2005	1981~2006	1981~2005	1981~2006

為了進行模式驗證，本研究採用日本APHRODITE 25公里空間解析度之季風亞洲地區全球降雨資料，以及國科會台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(簡稱TCCIP)計畫團隊所產製台灣地區5公里空間網格解析度之降雨資料作為模式降尺度後之結果驗證依據。

2.2 研究方法

首先運用Empirical Orthogonal Functions (EOFs)重建時間序列區域雨量站和大尺度變數的資料，然後以SVDA解析區域降雨與大尺度變數耦合的問題，方法如下：

$$Z_{predictor}(t, x) = \sum_{i=1}^m U_i(x) S_i(t) \quad (1)$$

$$Z_{predicta}(t, x) = \sum_{i=1}^m R_i(x) K_i(t) \quad (2)$$

$U_i(x)$ 和 $R_i(x)$ 分別為singular vector of the predictor and predicta； $S_i(t)$ 和 $K_i(t)$ 分別為time series of expansion coefficient of the i th SVD mode for the predictor and predicta。最後運用不同的GCMs資料可以得到降尺度的結果，方法如下：

$$S_i(t+1) = \sum_{j=1}^m Z_{predictor}(t+1, j) U_i(j) \quad (3)$$

$$PRJ(t+1, x) = \sum_{i=1}^m S_i(t+1) R_i(x) \quad (4)$$

$PRJ(t, x)$ 代表降尺度的投影； n 代表SVD模式總次數。

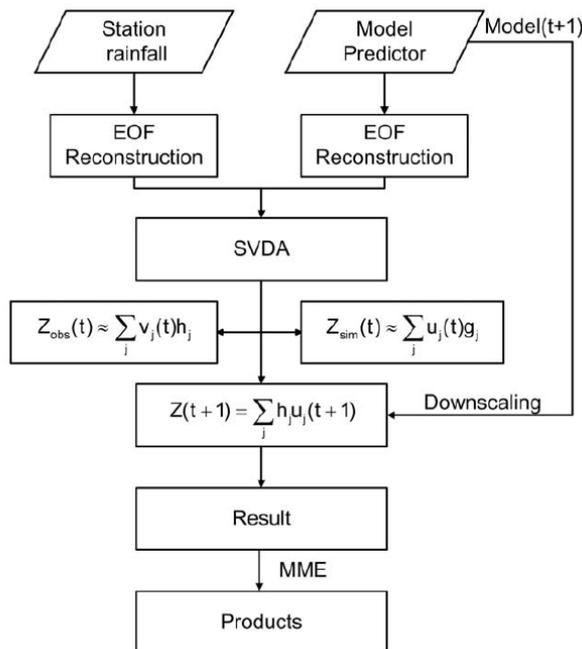


圖1 統計降尺度流程圖

接著將SVD降尺度輸出結果進一步計算與觀測資料的相關係數，並取主要研究區域石門水庫集水區的範圍(如下圖2所示)，共54個網格點資料做ECDF資料分析，結果發現14個模組資料之平均值與觀測資料接近，但是模式資料的標準差值普遍低於觀測資料之標準差，如表二，即模式資料的變動範圍較小。

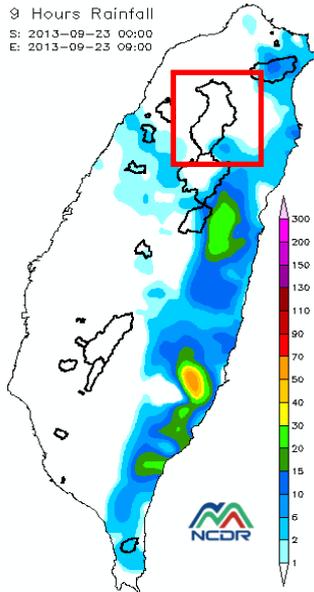


圖2 石門水庫集水區範圍示意圖

	Mean	Standard Deviation
CWB	-0.0017	0.1370
GCPS	0.0007	0.0518
GDAPS_F	0.0016	0.0752
JMA	-0.0044	0.0600
METRI	-0.0010	0.0510
MSC_CANCM3	-0.0050	0.0836
MSC_CANCM4	-0.0010	0.0989
MSC_GEM	-0.0117	0.0775
MSC_GM2	-0.0048	0.0751
MSC_GM3	0.0030	0.0800
MSC_SEF	-0.0076	0.0829
NASA	-0.0135	0.0757
NCAR	0.0175	0.2385
NIMR	-0.0010	0.0510
POAMA	-0.0037	0.0639

表二 APCC各模組降尺度相關係數標準差值

因此必須將降尺度後的資料進行誤差修正，所得到的結果如下圖3，模式原始資料(紅色線)，經誤差修正後(藍色線)與觀測值(黑色線)相近。

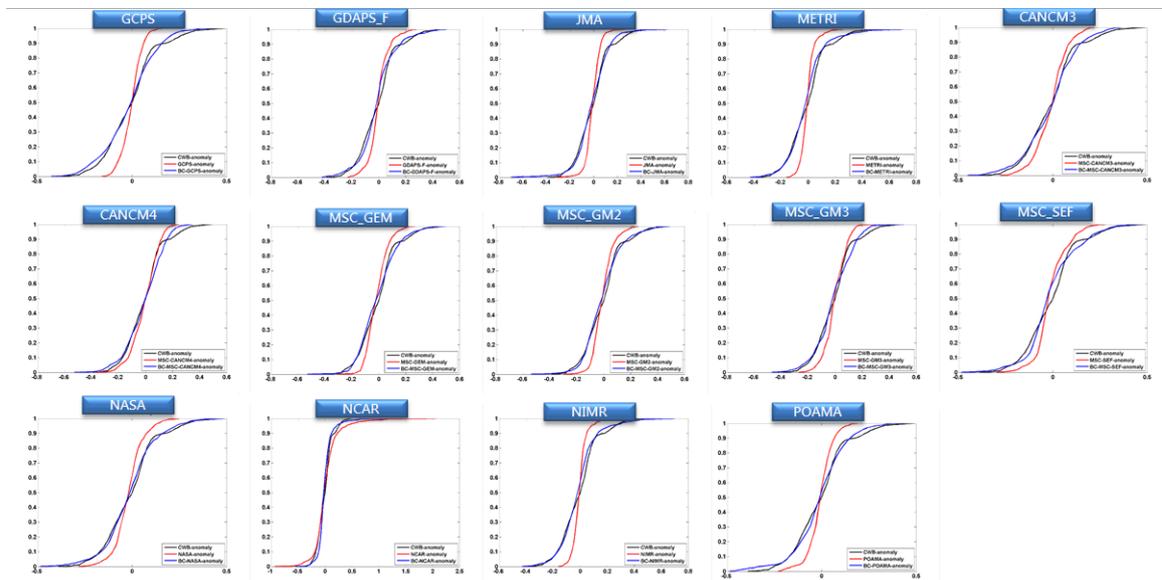


圖3 降尺度相關係數經誤差修正後之ECDF分布。

三、研究成果

3.1 模式基本表現

Performance Metric 之方法建立

本研究利用 Reichler 等人(2008)的方法，評估氣候模式之模擬能力：

$$e_{vm}^2 = \sum_n (w_n (\bar{s}_{vmn} - \bar{o}_{vn})^2 / \sigma_{vn}^2), \quad (1)$$

如上述方程式所示，其中 \bar{s}_{vmn} 為 m 模式模擬 v 變數於第 n 個網格點之氣候值， \bar{o}_{vn} 則是相對應的觀測資料， w_n 為緯度之權重值， σ_{vn}^2 則是觀測之變異量。藉由上述方程式，可算出 $I_{vm}^2 = e_{vm}^2 / \overline{e_{vm}^2}^{20C3M}$ ，I 值越小，則表示模式模擬結果越接近觀測結果。

利用所建立之 performance metric 方法，針對 APCC Hindcast 模式資料進行春季降雨表現評估，結果顯示，GDAPS_F、JMA.....等有較好之模擬能力，惟該部分為短期氣候預測結果(如圖 4)，其年際變化的掌握能力亦相形重要，需後續進一步由基本場進行比較。

performance metrics

- GDAPS_F、
- JMA、
- MSC_CANCM3、
- MSC_GEM、
- POAMA

model	v850	u200	slp	ave
BCC	2.025	0.116	0.154	0.765
CWB	0.244	1.368	1.381	0.998
GCPs	0.527	1.078	1.005	0.870
GDAPS_F	0.663	0.699	0.052	0.471
JMA	0.409	1.676	0.024	0.703
METRI	2.931	0.665	2.729	2.108
MSC_CANCM3	0.434	0.974	0.311	0.573
MSC_CANCM4	4	1.159	0.305	0.732
MSC_GEM	1.37738	0.475	1.223	0.363
MSC_GM2	0.277	0.899	1.408	0.861
MSC_GM3	1.034	1.221	2.974	1.743
MSC_SEF	0.678	0.943	0.774	0.798
NASA	0.791	-1.159	-0.929	-0.960
NCEP	0.928	1.140	0.105	0.724
NIMR	2.931	0.665	2.729	2.108
POAMA	0.273	1.016	0.756	0.682

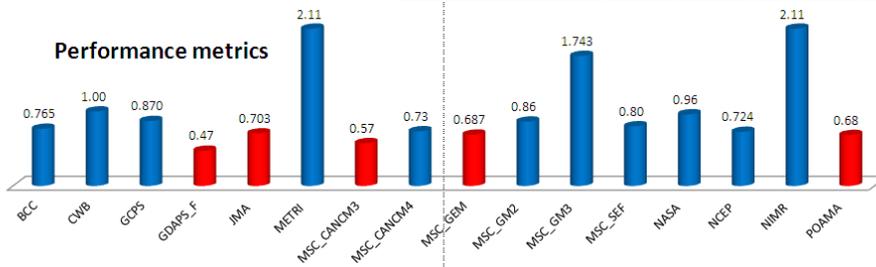


圖 4 APCC 提供之模式 Hindcast Performance

預報因子測試

利用自 APEC Climate Center(簡稱 APCC)所取得之 20 組氣候模式 Hindcast 資料，進行統計降尺度之預報因子敏感度測試與驗證。如圖 5 為經由以氣候模式算術平均後之各種氣象變數作為預報因子(Predictor)進行統計降尺度後之春季降雨，與觀測資料 APHRODITE 降雨之時間相關係數間分布圖。經由一系列的預報因子測試，結果顯示以 200hPa 東西向風場作為預報因子，對於台灣春季之降雨有較好的表現。

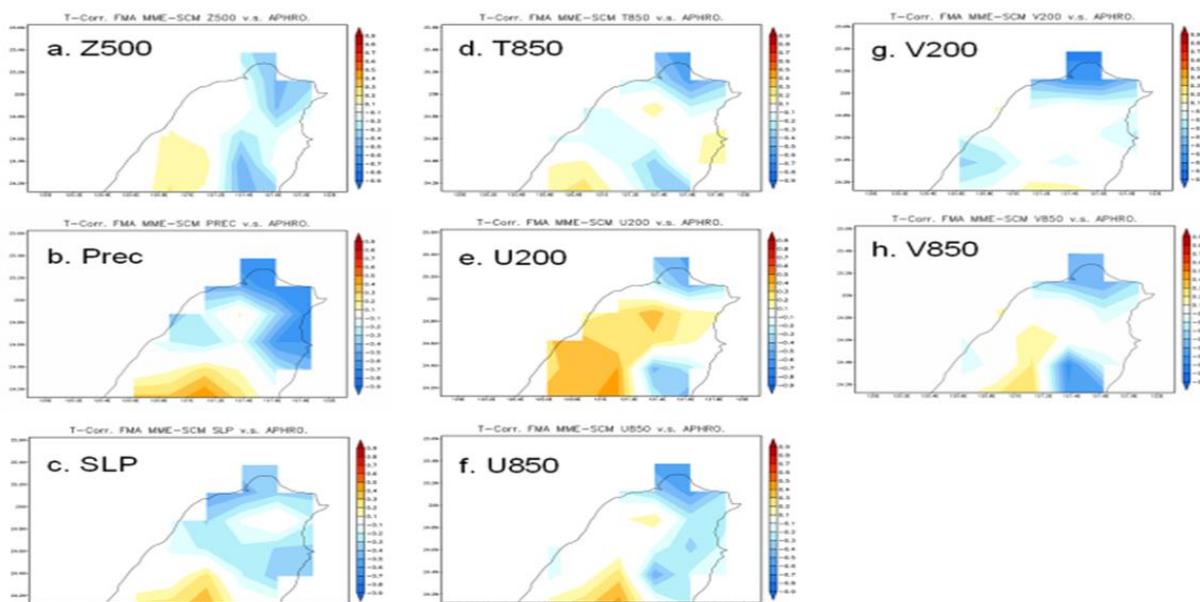


圖 5 統計降尺度歷史驗證相關係數空間分布圖(暖色系為正相關，冷色系則為負相關)。

模式表現評估

利用各模式 200hPa 東西向風場作為預報因子，進行模式間降尺度結果之驗證。圖 6 為台灣北部地區(含石門水庫集水區)統計降尺度後春雨與觀測之驗證結果。結果顯示，各國模式表現各有優劣，其中以 CWB 與加拿大系列之模式表現相對較佳。

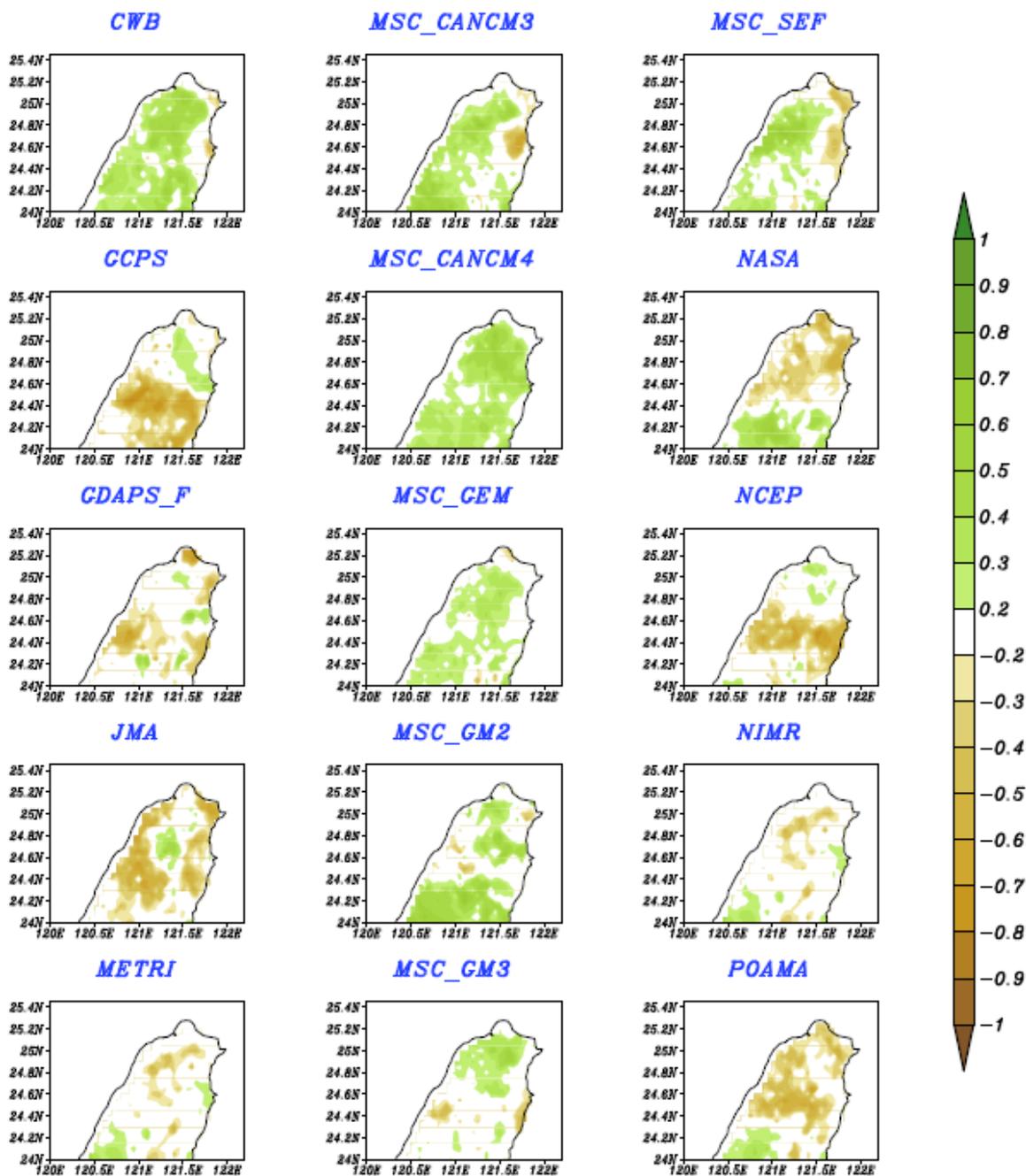


圖 6、台灣北部地區(含石門水庫集水區)統計降尺度後春雨與觀測之相關係數圖。

四、結論

有鑑於以往春季發生乾旱時對農田稻作、工業發展及民生需求的衝擊，造成社會經濟及社會資源的莫大損失，並且根據台灣氣候變遷科學報告的研究結果顯示，未來台灣地區的降雨在豐水期的降雨量會增加更多，而枯水期的雨量則會減少更多，因此如何有效的掌握春季降雨的多寡，將有助於政策的調整，降低社會成本的損失。

本研究為達成由月到季的降雨預報技術，運用 SVD 統計降尺度方法結合 APEC Climate Center 模式資料及 TCCIP 觀測資料，並以石門水庫集水區為主要研究對象，經誤差修正後取得數個模組的台灣地區 Hindcast 降尺度資訊。

首先利用 performance metric 方法，針對各個模組在不同預報因子對春季降雨的模擬能力進行比較，其結果顯示以 GDAPS_F、JMA... 等數個模組的模擬掌握能力較佳。

接著比較觀測的降雨資料與模式 ensemble 各項變數的相關性空間分布情況，來找出表現較好的變數作為可預報因子，其結果顯示以 200 百帕東西向風場與降雨分布的相關性最佳。

最後將先前分析得到的 200 百帕東西向風場作為預報因子，對各模組統計降尺度輸出做相關性分布比較，其結果顯示以 CWB、MSC... 等模組的相關性較佳。

未來將會延續本研究之分析，產製未來三個月之水庫集水區降雨預測資訊。