

CWB GFS 模擬台灣夏季氣候之準確度與可預報度

施景峰 陳昭銘

中央氣象局科技中心

摘要

本研究以 10 個 1950~2000 年的 CWB-GFS (T42L18) 系集氣候實驗為分析對象，探討 GFS 對台灣地區夏季氣候變化的模擬能力，包括模擬準確性和可預報度。研究結果顯示，GFS 對台灣夏季溫度的變化特性可以相當準確地模擬，不論是年變化或是呈現長期暖化趨勢的氣候變遷現象均能準確掌握。台灣地區溫度與降雨於觀測中呈現相反相位變化特性，亦即高溫少雨、低溫多雨為主要氣候變化類別，但在 GFS 模擬實驗中，夏季溫度與降雨呈現相同相位變化，呈現高溫多雨、低溫少雨氣候變化類型。

在可預報度方面，影響可預報度高低變化主要因素為海溫距平的強度，於台灣鄰近區域溫度變化具有高（低）可預報度的年份，對應該區較強（較弱）海溫距平，導引較強（較弱）的熱源變化，伴隨短波輻射與潛熱通量的變化，引發較強（較弱）的降雨過程，於是形成較穩定（較不穩定）的物理機制來維持溫度變化的較高（低）可預報度。

關鍵詞：台灣夏季氣候、可預報度、準確度

一、前言

本研究藉由分析 CWB GFS 的系集實驗，探討 GFS 對台灣夏季氣候之模擬能力，研究主要重點如下：

- GFS 是否能正確模擬台灣夏季氣候（溫度、降雨）之變化特性？GFS 模擬台灣夏季氣候之系統性誤差為何？
- GFS 對台灣夏季氣候之可預報度為何？海溫距平是否能影響 GFS 對台灣夏季氣候的可預報度與準確性？若能，則其影響機制為何？

二、台灣夏季氣候之模擬準確性

為了分析 GFS 模擬台灣夏季氣候的準確性，我們取台灣地區 10 個主要測站

（即第二部分研究所用的台北、新竹、台中、台南、高雄、恆春、宜蘭、花蓮、成功、台東），以 10 測站夏季（6~8 月）平均溫度（T）和累積降雨（P）之平均值代表台灣地區平均氣候，做為驗證模式模擬結果的觀測標準值，而 GFS 則以每一年夏季 10 樣本實驗之平均值，取緊鄰台灣周遭的 4 網格點資料加以平均，以此估算 GFS 所模擬的台灣地區區域氣候。台灣地區 1950~2000 年夏季氣候之測站觀測與 GFS 模擬的溫度和降雨時間序列顯示於圖一。

在溫度方面，測站觀測值與 GFS 模擬值顯示良好的對應關係，二者於 1950~2000 年時間序列之相關係數為 0.88，且都顯示清楚具有長期暖化趨勢的氣候變

遷現象，即 1979~2000 年(此期間以 IP2 表之)之平均溫度較 1950~1977 年(此期間以 IP1 表之)為高。而不論是 IP1 或 IP2 期間，GFS 所模擬台灣夏季溫度年際變化均與觀測值相近，此結果清楚顯示，GFS 模擬台灣地區夏季溫度變化特性具有相當高程度的準確性。

在降雨方面，圖一 b 中觀測值與 GFS 模擬值二時間序列並未呈現好的對應關係，且在相當多的年份呈現相反相位。隱喻 GFS 模擬台灣夏季降雨變化具有相當程度相反相位的系統性誤差。就觀測而言，台灣地區夏季溫度和降雨呈現相反相位的變化，即降雨過程是主導溫度變化的主要機制，少雨-高溫、多雨-低溫為主要氣候變化類型，夏季溫度和降雨觀測值於 1950~2000 年時間序列之相關係數為 -0.56。但在 GFS 中，所模擬台灣夏季溫度和降雨時間序列之相關係數為 0.80，呈現高溫-多雨、低溫-少雨變化類型，此結果隱喻於 GFS 模式中，溫度高低是影響降雨變化的主要機制，恰與觀測之變化特性相反，因此雖然 GFS 可以相當準確地模擬台灣夏季溫度變化，但卻幾乎是錯誤地模擬台灣夏季降雨變化，其中所反應的動力機制細節，仍待探討。

當台灣地區夏季溫度偏暖時，對應到從南海北部往東延伸，經台灣到西北太平洋的暖海溫距平，此海溫距平形成區域性熱源(heat source)，導引 GFS 低層(850mb)大氣環流於西北太平洋生成大尺度輻合距平中心，且於其四週形成大尺度羅士培波環流反應，台灣位於亞洲大陸低壓距平與北太平洋高壓距平交會之處，強盛的南風、西南風距平，從南方洋面帶來潮濕的暖平流，搭配台灣鄰近地區的輻合距平中心，於是促使台灣地區的溫度上升，降雨亦隨之增多，形成溫度與降雨相同相位的變化特性，所以在正確模擬溫度變化之

時，卻也搭配降雨變化的錯誤模擬。

當台灣地區夏季降雨增多時，從南海、台灣、西北太平洋區均為負海溫距平，為 GFS 提供熱匯(heat sink)距平，導致低層大氣於西北太平洋區形成大尺度輻散中心，於台灣西側亞洲大陸區形成高壓距平，為台灣帶來自北方南下的冷平流，使台灣及其東側洋面均為偏冷的距平變化，而從北方南下的冷平流亦明顯阻擋西南氣流的水氣往台灣地區傳送，GFS 降雨於是在台灣地區減少，呈現與觀測降雨增多的相反變化，產生錯誤的模擬結果。

分析可看出(圖未示)GFS 實驗中，台灣地區夏季溫度與降雨變化均與台灣鄰近海域海溫變化呈現相同相位，亦即當海溫增暖(偏冷)時，於台灣四週提供偏暖(偏冷)環境，台灣地區感受此環境變化，溫度伴隨改變，造成相同相位之變化關係。再而海溫偏暖(偏冷)的環境亦在 GFS 中強化(弱化)水氣往大氣傳送，搭配伴隨的低層大氣輻合(輻散)距平，降雨於是增加(減少)，形成 GFS 所模擬台灣地區溫度與降雨距平相同相位的變化，此結果反應熱力過程為主導 GFS 模式降雨過程的重要機制，但實際觀測卻是降雨過程為影響溫度變化的主要機制，此系統性偏差縱然讓 GFS 能順應海溫變化而正確模擬台灣地區夏季溫度變化，但相同機制卻也讓伴隨的降雨變化得到錯誤的模擬結果。

三、台灣氣候之可預報度

GFS 能正確模擬台灣夏季溫度的變化特性，但卻錯誤模擬降雨變化，因此只適宜以 GFS 實驗探討台灣夏季溫度之可預報度，而降雨之可預報度則無討論價值。

GFS 夏季溫度之訊息/噪訊比值顯示圖二 a，其中高比值區域大致落於溫度變

異較小的熱帶地區，再逐漸往中緯度區遞減，例外者為日本南方洋面的暴風路徑帶區域，該地帶亦為中緯度區唯一高比值區域。台灣恰位於暴風路徑帶和熱帶地區二主要高比值區之間，訊息/噪訊比不高，約僅在 20~30% 之間，此結果反應即使 GFS 能相當準確地模擬台灣夏季溫度變化，但該區卻無明顯由大尺度背景場所主導的氣候變化現象，相對而言，台灣地區溫度在 GFS 實驗中並不是容易預報之區域。

就台灣地區的可預報度而言，本文以外方框所示 16 網格點為範圍，估算 GFS 所模擬夏季溫度之 APC 值，以此推論台灣地區溫度之 APC 變化。取 1950~2000 年間，每年 10 個實驗樣本中任選 2 個樣本計算其 APC 值，由每年總共 $C_2^{10} = \frac{10!}{8!2!} = 45$

個 APC 的平均值所組成之時間序列顯示如圖二 b。此時間序列之長期平均值為 0.75，標準差為 0.16，本文以 0.8 標準差為範圍定義高 APC 年與低 APC 年，再根據 APC 變化明顯年所對應台灣鄰近區域之溫度距平變化(外方框之溫度距平平均值)，分類為正溫度距平(T+)與負溫度距平(T-)類別，綜合分類後之類別及其對應年份與變化特性顯示如表一。高 PAC 年計有 10 年，7 年對應正溫度距平，3 年對應負溫度距平，低 APC 年計有 9 年，4 年對應正溫度距平，5 年對應負溫度距平。

結果顯示於溫度高 APC 年份，熱源於台灣鄰近地區訊息/噪訊比值約在 50% 左右，但在低 APC 年份則降到 20~30% 之間，呈現清楚的高低變化對比。而台灣鄰近地區 S850 距平於溫度高 APC 年的比值約 40%，低 APC 年僅降到 30~40% 之間，其高低對比並不明顯。上述結果反應熱力機制比動力機制是更重要因素來影響 GFS 實驗中台灣附近溫度 APC 變化的機制，下節中，我們將持續探討 SST 如何

影響 GFS 熱力機制來影響台灣鄰近區域溫度的 APC 變化。

四、海溫與台灣鄰近溫度 APC 變化

本節將探討海溫變化如何影響 GFS 實驗中台灣鄰近溫度 APC 變化的物理過程，首先我們以 GFS 所模擬台灣鄰近區域為正溫度距平之高、低 APC 類別為分析對象，即表一之 (T+, APC+) 與 (T+, APC-) 類別，比較此二類別之差異。該二類別所對應的 SST 距平，熱源距平 (HT，正值代表向下傳導，負值代表向上傳導)。於 (T+, APC+) 類別，SST 於台灣附近及其東側洋面形成顯著暖距平，此暖海溫變化直接導引 GFS 於該區形成往上传導的熱源變化 (負 HT 距平)，亦即地表為熱源來源，於是該區生成暖溫度距平，直接對應台灣附近及其東側洋面的暖 SST 距平，因此 GFS 表面溫度距平與 SST 距平呈現相當類似之分佈型態。於 (T+, APC-) 類別，台灣鄰近海域之 SST 距平強度相當微弱，約於零值附近，然此 SST 距平仍然導引 GFS 生成負 HT 距平，形成向上傳導的熱源變化，導引台灣及南海地區之暖表面溫度距平，但此溫度距平強度明顯比 (T+, APC+) 類別為弱，與 SST 距平強度於 (T+, APC+)，(T+, APC-) 兩類別間之強弱對此型態相似，隱喻 SST 距平強度似為影響 GFS 實驗中台灣附近溫度可預報度的重要機制。在模式中，熱源係由 4 種不同分量組合而成，即 $HT=LW+SW-LH-SH$ ，此處 LW 代表向下淨長波輻射量，SW 代表向下淨短波輻射量，LH 代表潛熱通量，SH 代表可感熱通量，此 4 種分量在熱源變化過程中之單獨變化特性為何，尚須分析。以 (T+, APC+) 為例，當 HT 於台灣鄰近區域為負距平時，SW 亦為負距平，LH 則為正距平，顯示短波輻射與潛熱通量均對熱源改變

提供相位一致的貢獻，而 LW 和 SH 由於變化強度不大，所以在此不予顯示。當潛熱通量增加，向下淨短波輻射量減少時，反應熱源往上传送，水氣亦往上传送，故降雨機制增強，降雨於是增多。在 (T+, APC-) 類別之距平型態與 (T+, APC+) 型態相近，只是強度明顯偏弱，不論是熱源分量或是降雨距平都是如此。

從距平合成平均圖(圖未示)之比較可作如下推論：當表面溫度變化型態具有相同相位時，影響台灣鄰近區域溫度 APC 高低的重要因素之一是海溫距平的強度，及其所引導模式內部熱源、降雨變化的強弱。為了驗證此一推論，我們取外方框所包含 16 網格點為範圍，計算各類 APC 型態所對應不同變數距平之區域平均值，結果顯示於表二。從此表可清楚看出，不論是 T+ 類別或 T- 類別，SST 距平於 APC+ 類別之平均強度均勝過 APC- 類別，HT 距平亦然，而 HT 變化主要是受到 SW 和 LH 變化所致，最後則導引到降雨變化強度於 APC+ 類別強過 APC- 類別。此結果顯示當海溫距平為正(負)時，導引 GFS 模式於台灣鄰近區域形成正(負)溫度距平，當海溫距平強度較強時，對應較強的熱源、降雨變化等物理過程，維持較穩定的台灣地區溫度變化，使可預報度提高；反之，當海溫距平較弱，搭配較弱熱源，降雨過程，所模擬之溫度距平較易變化且不穩定，而使可預報度降低。

五、結語

研究結果顯示，GFS 對台灣夏季溫度的變化特性可以相當準確地模擬，不論是年際變化或是呈現長期暖化趨勢的氣候變遷現象均能準確掌握。另一方面，GFS 所模擬台灣地區夏季降雨與觀測值於 1950~2000 年時間序列的相關係數為 -0.43，呈現明顯相反相位的錯誤模擬。台

灣地區溫度與降雨於觀測中呈現相反相位變化特性，亦即高溫少雨、低溫多雨為主要氣候變化類別，但在 GFS 模擬實驗中，夏季溫度與降雨呈現相同相位變化，呈現高溫多雨、低溫少雨氣候變化類型。

從單點相關係數之空間分佈結果顯示，台灣地區夏季觀測溫度偏高時，對應台灣鄰近海域的暖 SST 距平，及上方低層大氣大尺度輻合距平中心，受其所激發的大尺度羅士培波於亞洲大陸為低壓距平，台灣東側西太平洋區為高壓距平，此環流距平為台灣從南方洋面帶來潮濕的暖平流，於是台灣地區模擬的溫度升高，降雨亦隨之增加，GFS 模擬到正確台灣溫度變化。但當台灣觀測夏季降雨增加時，對應到台灣鄰近海域的負距平，低層大氣形成輻散距平，環流於亞洲大陸形成高壓距平，從北方引來冷平流進入台灣，阻擋西南氣流及其伴隨水氣進入台灣，模式於是在台灣地區產生低溫少雨的距平變化，因而使模式與觀測降雨變化呈現相反相位 GFS 產生錯誤的降雨模擬。

在可預報度方面，影響可預報度高低變化主要因素為海溫距平的強度，於台灣鄰近區域溫度變化具有高(低)可預報度的年份，對應該區較強(較弱)海溫距平，導引較強(較弱)的熱源變化，伴隨短波輻射與潛熱通量的變化，引發較強(較弱)的降雨過程，於是形成較穩定(較不穩定)的物理機制來維持溫度變化的較高(低)可預報度。

在實際觀測中，台灣地區夏季氣候係由降雨過程來引導溫度變化，但 GFS 卻是由熱力機制來引導降雨變化，亦即由 SST 距平決定 GFS 中熱源變化而影響降雨過程。在這相反的影響機制差異之下，GFS 所模擬的台灣夏季溫度能依循 SST 變化而得到正確結果，但模式降雨卻也依循 SST 變化及伴隨的熱源變化，而模擬出錯誤的

結果，顯示目前的 GFS (T42L18) 適宜用來研究或預報台灣地區的溫度變化，但不適用於降雨變化。GFS 是以洋面的平均氣候來代表台灣氣候，使得所模擬的台灣地區平均溫度與 SST 變化呈現相當一致的特性，也因此使模式無法掌握類似台灣島上降雨變化影響溫度改變的陸地型氣候變化機制。若要修正上述系統性誤差，可能的解決方法應是提高 GFS 的水平解析度，使模式能察覺到台灣島的存在，如此才有可能於台灣地區模擬出陸地型的氣候變化機制，而非海洋型變化機制。而解析度需提高到何種程度，仍須未來設計不同氣候系集實驗加以研究討論。

參考文獻：

張庭槐、曾建翰、張忍成，2001：中央氣象局系集預報系統。《氣象學報》，43,1-11。

胡志文、馮欽賜、汪鳳如、陳建河、鄭明典，2002：中央氣象局全球模式之氣候特徵：東亞夏季季風。《大氣科學》，30，99-116。

Anderson, J., H. M. Van den Dool, A. Barnston, W. Chen, W. Stern, and J. Ploshay, 1999: Present-day capabilities of numerical and statistical models for atmospheric extratropical seasonal simulation and prediction. *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, 80, 1349-1361.

Chen, J.-M., C.-T. Fong, F.-J. Wang, C.-H. Shiao, J.-H. Chen, and M.-D. Cheng, 1999: Climate characteristics of the CWB Global Forecast System: Hydrological processes and atmospheric circulation. *TAO*, 10, 737-762.

Rowell, D. P., 1998: Assessing potential seasonal predictability with an

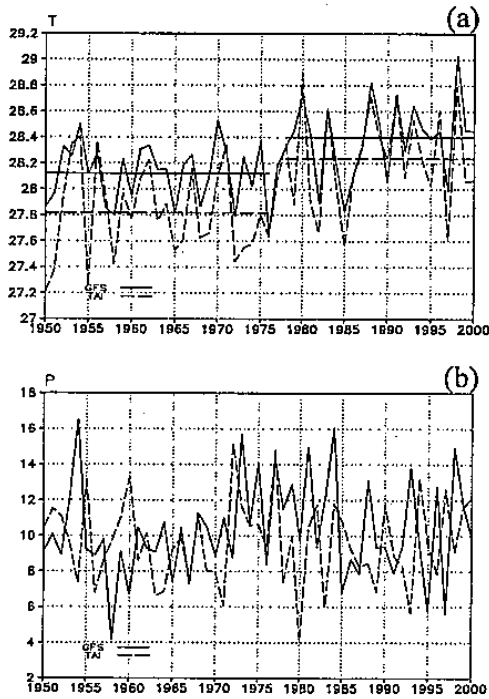
ensemble of multidecadal GCM simulations. *J. Climate*, 11, 109-120.

表一：不同 APC 類別所對應之氣候變化特性與年份

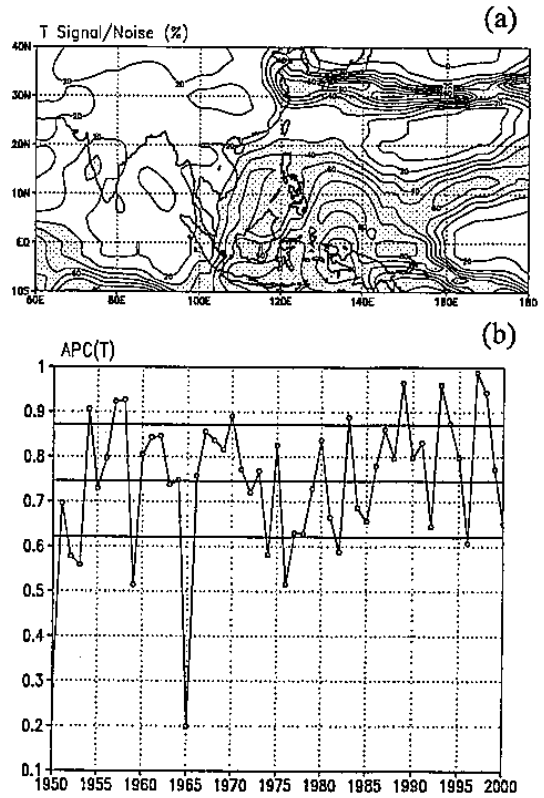
可預報 度類別	溫 度 距 平	年 份	APC 值	△ T(°C)	類別	
APC+	T+	1954	0.91	0.21	(T+ , APC+)	
		1970	0.89	0.27		
		1983	0.89	0.34		
		1989	0.97	0.20		
		1993	0.96	0.33		
		1994	0.88	0.23		
		1998	0.94	0.80		
		平均	0.92	0.34		
T-	T-	1957	0.92	-0.34	(T- , APC+)	
		1958	0.93	-0.38		
		1997	0.99	-0.18		
		平均	0.95	-0.30		
APC-	T+	1952	0.58	0.07	(T+ , APC-)	
		1953	0.56	0.02		
		1959	0.52	0.00		
		1996	0.61	0.21		
		平均	0.57	0.07		
	T-	T-	1950	0.29	-0.34	(T- , APC-)
			1965	0.20	-0.40	
			1974	0.58	-0.21	
			1976	0.52	-0.58	
			1982	0.59	-0.33	
平均	0.44	-0.37				

表二：以圖一外方框 16 網格點為範圍，計算各 APC 類別所對應氣候距平之合成平均值。(單位：SST： $^{\circ}\text{C}$ ，HT、SW、LW、LH、SH： wm^{-2} ，P： mm)

類別	SST	HT	SW	LW	LH	SH	P
APC+ T+	0.32	-21.41	-12.69	-2.87	6.08	-0.23	1.77
APC- T+	0.07	-8.83	-8.51	-1.42	-0.43	-0.67	0.84
APC+ T-	-0.28	27.35	16.82	2.60	-7.92	0.00	-1.75
APC- T-	-0.24	16.93	11.71	2.95	-2.77	0.50	-1.39



圖一：台灣夏季氣候(a)平均溫度，(b)累積降雨，於 GFS 實驗之模擬值與實際觀測值之比較。



圖二：GFS 實驗中，夏季表面溫度之(a)訊息/噪訊比值分佈圖，等值線間距為 10%，陰影區大於 30%，(b)由圖一外方框 16 網格點所估算夏季溫度之平均 APC 值時間序列。