

IPCC 第四期評估報告氣候模式對台灣氣候變遷模擬之分析

卓盈旻 盧孟明

中央氣象局科技中心

摘 要

本研究從IPCC第四期評估報告官方網站挑選了16個氣候模式分析台灣鄰近區域氣溫和雨量變化，模式模擬的結果皆顯示台灣地區氣溫變化趨勢與全球氣溫變化一致，會有明顯增溫的趨勢，模式對台灣暖化程度的模擬大致與全球平均溫度一致，也就是說全球暖化程度愈大的模式所模擬的台灣附近的增溫幅度也愈大。且隨著CO₂濃度的增加而加大上升的幅度，未來50年全球平均溫度約增加0.5-2.0°C之間，未來100年則上升至1.0-3.5°C左右，以A2的增溫幅度最大，A1B次之，B1則最小。但是模式之間模擬台灣附近雨量變化趨勢的差異相當大，長期變動幅度也比較大，顯示雨量變化問題較為複雜而無法有一致性的結果出現，無法僅僅根據全球平均溫度的暖化程度加以推測。

一、前言

聯合國跨政府氣候變遷小組（Intergovernmental Panel on Climate Change，簡稱IPCC）是由世界氣象組織與環境規劃署共同合作為評估科技、社會、經濟等人為因素對於氣候的影響而成立的，宗旨為用現有的科學技術和社會經濟環境，在客觀和公開的基礎上對全球氣候變遷進行全面性的推估，乃是當代氣候變遷的權威單位。自1988年成立以來，分別在1990、1996、2001、2007年發布了四次氣候變遷評估報告，探討過去與未來假設情境下的氣候變化特徵。

最新的第四次評估報告（IPCC AR4）分析不同的地表溫度資料，結果皆顯示全球平均溫度一直在持續增溫中，近一百年（1906-2005年）的線性趨勢為0.74°C±0.18°C，尤其是1950年之後的增溫幅度更是近一百年的兩倍，且陸地上的暖化速度大於海洋。由於大氣受到暖化的影響，全球的降水型態也隨之產生改變，大部分陸地上的強降水事件發生頻率有增加的變化趨勢。

臺灣位於歐亞大陸及太平洋的交界處，氣候屬於亞洲季風系統中的一環，由於特殊的地理位置和地形分布，使台灣各地季節變化明顯，且降雨型態變化複雜。受到全球暖化的影響下，台灣氣候也開始產生變化，Hsu and Chen（2002）根據8個氣象局局屬測站分析台灣過去百年資料，結果顯示全島出現一致性的增溫變化，氣溫上升速率為1.0-1.4°C/百年，尤其是夏季的增溫趨勢比冬季更為明顯。在降水變化方面，全島並沒有一致性的顯著變化趨勢，東北部測站（淡水、新竹和花蓮）呈現降雨增加的趨勢，南部測站（恆春）降雨反而減少，為北增南減的變化型態。

在IPCC研究報告中對於氣候變化的描述以全球和洲際尺度為主，對於我國較重視的100-400公里尺度的氣候變化著墨不多，這是受到全球氣候模式空間解析度的限制，遑論類似台灣這種更細微時空尺度，是目前現代科技尚不能突破的極限，尤其對於降雨特性的模擬能力仍然非常不足。Sun et al.（2006）針對1900-2000年的氣候分析了18個數值模式的模擬結果（其中有11個模式屬於IPCC AR4），發現模式普

遍低估了強降雨（日雨量大於10 mm），高估了弱降雨（日雨量介於1-10 mm之間），而且不能掌握對年累積雨量有67%貢獻的大降雨事件的強度與頻率特徵。Lin et al. (2008) 分析了14個模式的季內尺度的雨量變化，也發現IPCC AR4模式沒有能力模擬亞洲季風區降雨的季內尺度變化特徵。Kitoh and Uchiyama (2006) 利用15個IPCC AR4模式資料推估氣候變遷對東亞的梅雨和雨季的開始與結束時間的影響，發現台灣附近梅雨季將隨氣候暖化增長，而日本南方與長江流域的梅雨時間將縮短，太平洋副高增強是造成這些變化的主要影響因子；但事實上這些模式對東亞雨量長期平均的時空分布特性都還不能掌握。卓和盧 (2009) 比較七個IPCC AR4模式對於亞洲夏季季風的模擬，結果顯示模式皆無法準確掌握亞洲夏季季風氣候平均的最大降水區域，但對於亞洲季風還是有一定的模擬能力，雖然其數值與時間上和觀測有所差異，但是基本上大部分模式都能模擬出亞洲夏季季風空間分佈的主要型態。而模式對於南海和菲律賓海季風降雨區的模擬結果都不甚理想，無法模擬東亞大陸沿海一帶的南海與西北太平洋的西南風與東南風幅合現象，這是影響台灣夏季降雨非常關鍵的氣候場特性。

由於台灣氣候受到暖化的影響而發生改變，本研究分析台灣過去百年氣候變化特徵，並根據IPCC AR4模式推估台灣未來氣候可能發生的變化。研究中所使用的資料在第二節說明，第三章則分析台灣長期氣候變化，第四節探討模式模擬台灣未來的氣候變遷結果，第五節為結論。

二、資料與分析方法

本研究中台灣氣候資料採用中央氣象局之局屬測站溫度和雨量資料，採用台北、台中、台南、恆春、花蓮和台東6個具有百年長期記錄的氣象站，分析時間為1901-2009年。大尺度觀測資料採用CMAP降水月平均資料，空間解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯網格。溫度場資料採用NCEP/NCAR重分析月平均資料，該資料網格解析度為近似 $1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$ 經緯網格。

本研究所使用的模式資料來自於IPCC AR4的全球氣候模式，IPCC AR4整理的氣候模擬結果是由多國參與的23個全球氣候模式組成，模式結果依據IPCC模式資料處理規範儲存為各類數值模擬實驗輸出，在申請核可後可直接從氣候模式診斷和比對計畫網站取得(PCMDI, <http://www.pcmdi.llnl.gov>)。

IPCC根據不同的人口增長、經濟發展、技術變化及相關的CO₂二氧化碳排放量等假設了未來可能發生的情境。20C3M境況為氣候模式對20世紀氣候的模擬，A1B情境代表石化與非石化燃料能源平衡發展的進步情境，被認為是未來最有可能發生的境況；A2情境代表一種以區域發展為主要面向的人均和自給自足的較緩慢經濟發展狀態；B1情境在全球人口與數量方面的變化情況與A1情境相同，但經濟結構和社會環境朝向全球永續發展的形態。以CO₂排放量而言，A2情境代表高排放量，A1B情境為中等排放量而B1情境為低排放量。我們根據四種不同假設情境(20C3M、A1B、A2、B1)模式所提供之完整性挑選16個模式進行分析，模式名稱、來源國家、大氣模式之空間解析度和是否有做海氣之間的水氣或熱通量的調整等資料整理在表1。

三、台灣長期氣候變化趨勢

圖1為1901-2009年台灣地區(台北、台中、台南、恆春、花蓮和台東6個測站)年均溫之距平時間序列變化圖，圖中顯示台灣平均溫度從20世紀開始就一直持續上升中，至1950年代上升變得比較平緩，從1980年代氣溫又開始加速增溫中，其變化趨勢與全球平均溫度變化相當類似。近百年的增溫趨勢為 $0.14 \pm 0.04^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ ，此趨勢值為全球平均溫度上升趨勢值的2倍($0.074 \pm 0.018^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ ，IPCC AR4)，表示台灣地區溫度變化趨勢明顯受到局地變化(例如：都市熱島效應)的影響。近30年的增溫趨勢為 $0.29 \pm 0.09^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ ，此數值為百年趨勢值的2倍多，幾個高溫年都發生在近10年，表示台灣地區正處於迅速增溫的環境當中。

圖2為1901-2009年台灣地區年總雨量之距平時

間序列變化圖，由圖可知台灣年總雨量具有明顯的年際變化，但卻不像溫度一樣具有全島一致性之顯著之變化趨勢，近百年的年總雨量變化趨勢為 $-23.1 \pm 204.3 \text{ mm}/10 \text{ 年}$ ，顯示台灣總雨量有減少的趨勢存在。近50年和30年雨量趨勢變化都呈現出台灣降雨有逐漸增多的情形，但是由於雨量變化趨勢值皆未通過95%以上的顯著性統計檢定，可能是由於台灣地區降雨類型複雜，不僅受到大尺度環流變化的影響（年代際振盪），同時也受到局地變化的影響（西太平洋海溫），使台灣的降雨型態發生改變。

四、台灣未來氣候變化推估

圖3為台灣測站（紅線）、台灣附近（ $117^{\circ}\text{E}-125^{\circ}\text{E}$ ， $19^{\circ}\text{N}-28^{\circ}\text{N}$ ）NCEP重分析溫度場（藍線）和模式模擬20世紀（20C3M）與未來在A1B、A2、B1三種不同情境下的溫度變化，橘線為模式平均之結果，灰色區間為不同模式模擬之變化範圍。由NCEP資料的溫度曲線變化可知台灣附近溫度自1960年代下降之後隨即開始上升，至目前為止，台灣附近溫度在最近30年內約升高了 1.0°C ，其溫度變化趨勢與台灣測站之結果相似。模式對於不同 CO_2 濃度境況的溫度變化模擬結果反應相當一致，結果顯示未來100年台灣溫度會持續上升，且隨著 CO_2 濃度的增加而加大上升的幅度。預計到2100年，在A1B情境下台灣附近溫度會比目前增加 2.5°C 左右，A2情境約為 3.0°C ，B1情境約為 1.5°C ，以A2情境的暖化程度最大，溫度增加範圍大概是在 $1.0-3.5^{\circ}\text{C}$ 之間。模式間增溫幅度差異在台灣附近和全球平均溫度類似，也就是說對全球暖化程度估計愈強者在台灣附近的平均氣溫增幅也愈大，表示模式有其固有的反應。

圖4為全球暖化情境下台灣及鄰近地區的雨量變化，分析CMAP雨量資料發現近30年台灣附近總雨量呈現減少趨勢，但是與台灣總雨量相比，其減少的幅度並不大，但分析夏季雨量卻有增加的趨勢，表示台灣冬季雨量減少，夏季降雨強度增強。模式模擬的台灣附近總雨量在近30年並沒有明顯的變化趨勢，且模式之間的差異相當大。且不論哪一

種情境下，以多模式平均值（橘線）來看台灣地區未來100年的年總雨量可知雨量變化並不多，但是長期變動幅度相當大，表示雨量變化問題較為複雜而模式無法向溫度那般有一致性的變化趨勢結果。

五、結論

本研究從IPCC第四期評估報告官方網站挑選了16個氣候模式分析台灣鄰近區域氣溫和雨量變化，模式模擬的結果皆顯示台灣地區氣溫變化趨勢與全球氣溫變化一致，會有明顯增溫的趨勢，模式對台灣暖化程度的模擬大致與全球平均溫度一致，也就是說全球暖化程度愈大的模式所模擬的台灣附近的增溫幅度也愈大。且隨著 CO_2 濃度的增加而加大上升的幅度，未來50年全球平均溫度約增加 $0.5-2.0^{\circ}\text{C}$ 之間，未來100年則上升至 $1.0-3.5^{\circ}\text{C}$ 左右，以A2的增溫幅度最大，A1B次之，B1則最小。但是模式之間模擬台灣附近雨量變化趨勢的差異相當大，長期變動幅度也比較大，顯示雨量變化問題較為複雜而無法有一致性的結果出現，無法僅僅根據全球平均溫度的暖化程度加以推測。

參考文獻

- 卓盈旻和盧孟明，1999：IPCC 第四期評估報告氣候模式對亞洲夏季季風模擬之分析。《大氣科學》，**37**，13-34。
- Hsu, H.-H. and C.-T. Chen, 2002: Observed and Projected climate change in Taiwan. *Meteor. Atmos. Phys.*, **79**, 87-104.
- Lin, J.-L., K. M. Weickman, G. N. Kiladis, B. E. Mapes, S. D. Schubert, M. J. Suarez, J. T. Bacmeister, and M.-I. Lee, 2008: Subseasonal variability associated with Asian summer monsoon simulated by 14 IPCC AR4 couples GCMs. *J. Climate*, **21**, 4541-4567.
- Kitoh, A. and T. Uchiyama, 2006: Changes in Onset and Withdrawal of the East Asian Summer Rainy Season by Multi-Model Global Warming Experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 247-258.
- Sun, Y., S. Solomon, A. Dai, and R. W. Portmann, 2006: How often does it rain? *J. Climate*, **19**, 916-937.

表 1：本文分析的 IPCC AR4 模式名稱、所屬國家、解析度、海氣間水氣或熱通量的調整狀態，以及模式參考文獻。

Models	Country	Resolution	Flux Adjustment	References
BCCR BCM20	Norway	T63	no adjustment	Deque et al., 1994
CCCMA CGCM31 T47	Canada	T47	heat, freshwater	McFarlane et al., 1992; Flato, 2005
CNRM CM3	France	T63	no adjustment	Deque et al., 1994
CSIRO MK30	Australia	T63	no adjustment	Gordon et al., 2002
CSIRO MK35	Australia	T63	no adjustment	Gordon et al., 2002
GFDL CM20	USA	2.0X2.5	no adjustment	GFDL GAMDT, 2004
GFDL CM21	USA	2.0X2.5	no adjustment	GFDL GAMDT, 2004
GISS ER	USA	4.0X5.0	no adjustment	Schmidt et al., 2006
INM CM30	Russia	4.0X5.0	regional freshwater	Galini et al., 2003
IPSL CM4	France	2.5X3.75	no adjustment	Hourdin et al., 2006
MIROC32 MR	Japan	T42	no adjustment	Nozawa et al., 2005
MIUB ECHO G	Germany	T30	heat, freshwater	Roeckner et al., 1996
MPI ECHAM5	Germany	T63	no adjustment	Jungclaus et al., 2005
MRI CGCM232	Japan	T42	heat, freshwater	Shibata et al., 1999
NCAR CCSM30	USA	T85	no adjustment	Collins et al., 2004
NCAR PCM1	USA	T42	no adjustment	Kiehl et al., 1998

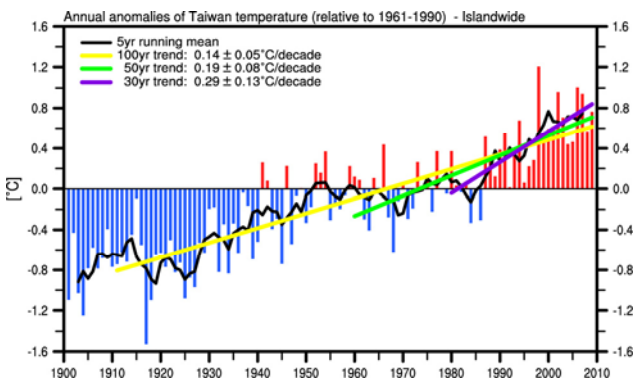


圖 1：1901-2009年台灣地區（台北、台中、台南、恆春、花蓮、台東）年平均溫度之距平時間序列圖，氣候平均年為1961-1990年，紅色長條為溫度正距平，藍色為負距平，黑實線為5年滑動平均，黃線、綠色、紫色分別為100年、50年和30年的變化趨勢，實線（虛線）表示趨勢值通過（未通過）95%以上的統計顯著性檢定。

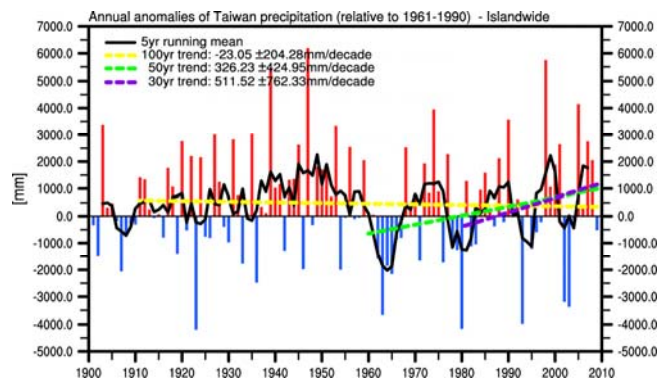
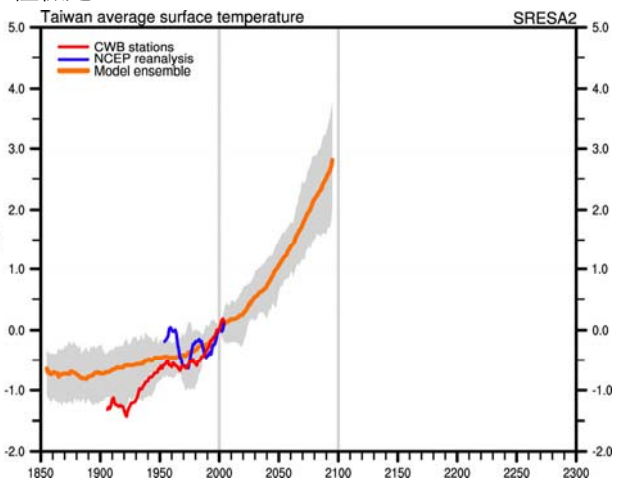
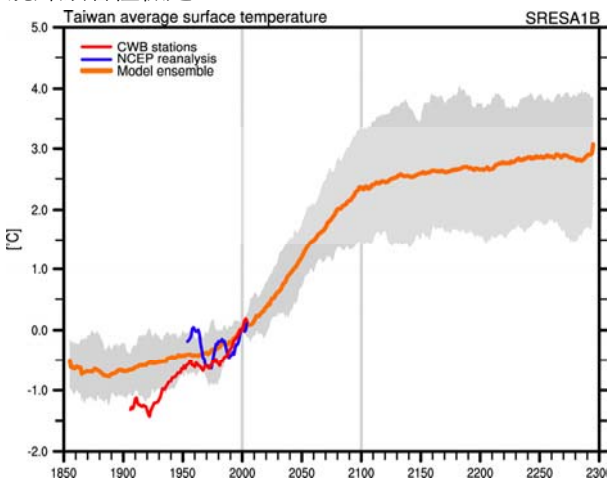


圖 2：1901-2009年台灣地區（台北、台中、台南、恆春、花蓮、台東）年總雨量之距平時間序列圖，氣候平均年為1961-1990年，紅色長條為溫度正距平，藍色為負距平，黑實線為5年滑動平均，黃線、綠色、紫色分別為100年、50年和30年的變化趨勢，實線（虛線）表示趨勢值通過（未通過）95%以上的統計顯著性檢定。



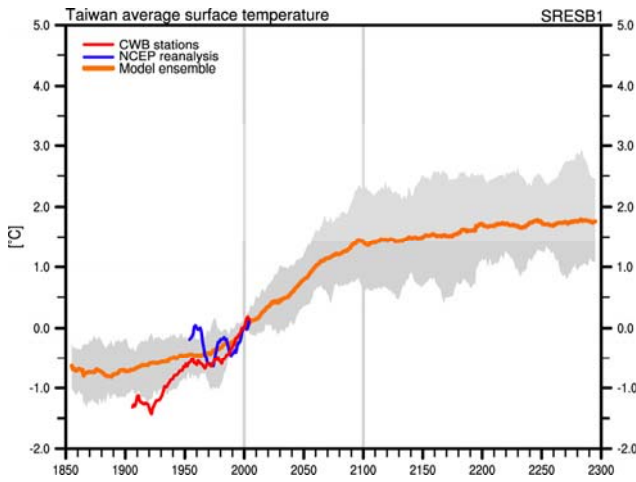


圖3：1850-2300年台灣鄰近地區（117°E-125°E，19°N-28°N）三個境況（A1B、A2、B1）下之平均溫度變化圖，紅線為台灣測站平均（台北、台中、台南、恆春、花蓮、台東），藍線為台灣附近（117°E-125°E，19°N-28°N）NCEP重分析溫度場，橘線為多模式平均之結果，灰色區間為不同模式模擬之變化範圍。

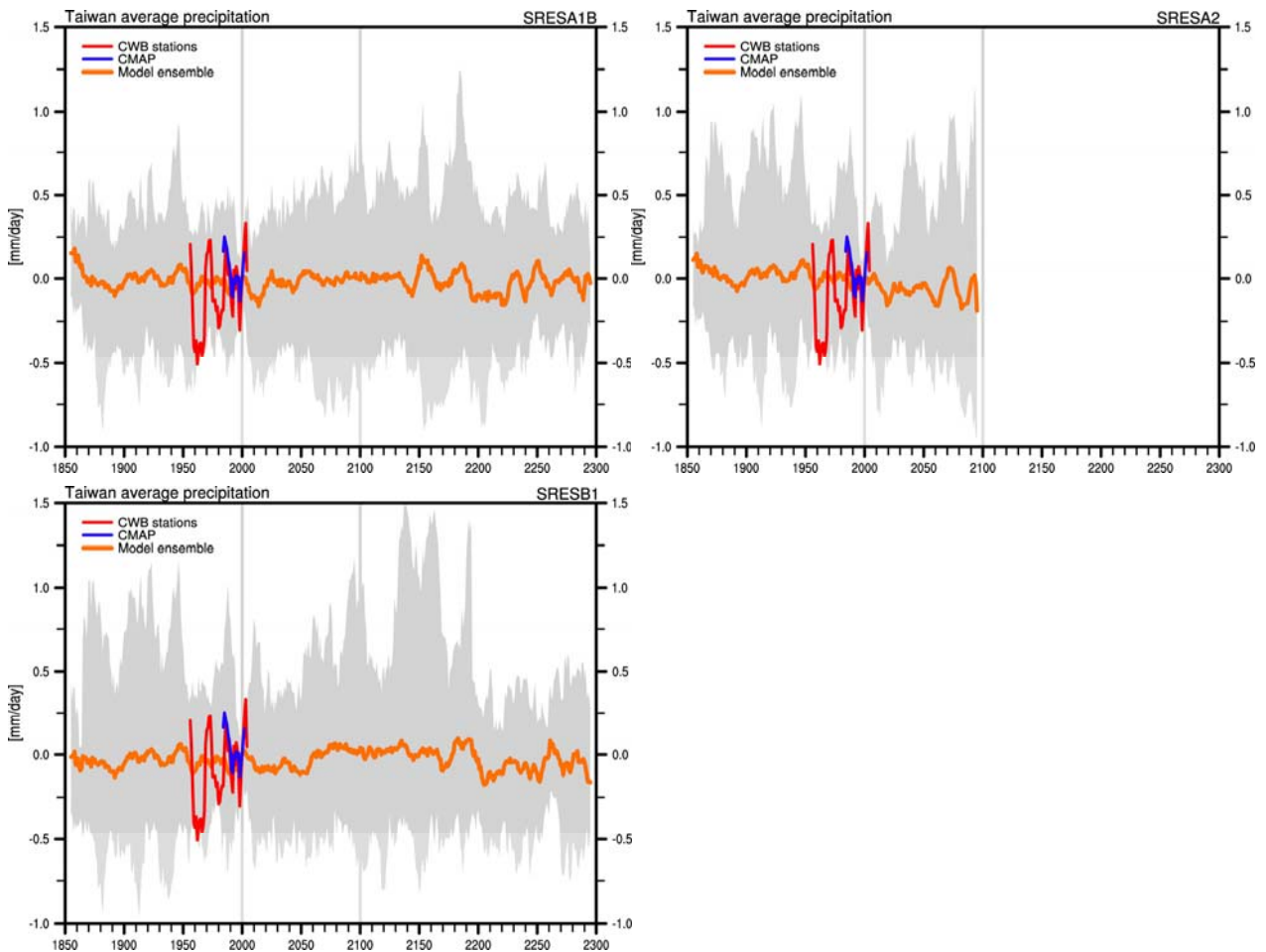


圖4：1850-2300年台灣鄰近地區（117°E-125°E，19°N-28°N）三個境況（A1B、A2、B1）下之平均雨量變化圖，紅線為台灣測站平均（台北、台中、台南、恆春、花蓮、台東），藍線為台灣附近（117°E-125°E，19°N-28°N）CMAP雨量資料，橘線為多模式平均之結果，灰色區間為不同模式模擬之變化範圍。