

# IPCC 第四期評估報告氣候模式之亞洲夏季季風分析與台灣氣候變遷 設計境況

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七個時空解析度俱佳的氣候模式，對照 NCEP/NCAR 重分析資料和 CMAP 雨量資料兩組全球格點觀測資料，分析模式對亞洲季風季節變化之模擬。結果顯示若把亞洲季風按地理位置分為南亞、東亞、西北太平洋三個次季風區，模式普遍對南亞季風模擬的最好，西北太平洋季風最差。模式可做出和觀測分析場相當接近的南亞季風區雨量和環流的季節性變化，但是對西北太平洋季風區雨量和環流氣候的季節性變化均無法掌握。了解了模式模擬能力的限制後，面對必須充分利用模式結果推估全球暖化對台灣氣候的影響的需求，本文提出一個以氣候變遷設計境況為架構的推估概念，並建議可順應模式的固有特性呈現模式對氣候變遷的推估結果。氣候變遷設計境況以模式模擬的「全球暖化程度」和與臺灣氣候直接有關的「大尺度環流變異程度」為主軸，架構出「暖化強，環流變異強」、「暖化弱，環流變異強」、「暖化弱，環流變異弱」、「暖化強，環流變異弱」等四種設計境況，然後依此境況設計架構全球暖化對台灣氣候之影響的推估論述。本文最後以台灣夏季平均溫度和雨量變化為例，將七個模式依照「全球暖化程度」和與「大尺度環流變異程度」歸類，發現在溫度方面夏季暖化趨勢於 2001-2050 年仍將持續，夏季雨量若和上一世紀相比則增加或減少的可能性都有。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。但台灣附近的雨量變異與環流變異關係密切，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。2007 年發布的第四次評估報告，原名為 IPCC Fourth Assessment Report，簡稱 IPCC AR4，收集整理了世界數千位專家的研究成果。在第五次報告產生之前，IPCC AR4 及其相關研究成果就是國際間評估 2001-2100 年氣候變化的共同基礎。

IPCC 研究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，遑論更細微的時空尺度，這是現代科技尚不能突破的極限。雖然近十餘年來氣候數值模式的模擬技術進展快速，但關於降雨特性的模擬能力仍然非常不足（IPCC AR4 WGI Ch. 8）。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。

臺灣的氣候屬於亞洲季風系統中的一環，季風的雨量變化對於亞洲地區的農業、經濟與生態等有著深遠的影響。由地理位置和季風肇始時間及雨季的降雨尖峰時期早晚的差異，亞洲夏季季風系統分為東亞季風、南亞季風和西北太平洋季風三個子分量（Wang and LinHo 2002）。東亞季風有季節、年際和年代際等變化的特點，以季節尺度而言，季風區內多半地方雨季明顯，並且和雨暴或颱風等劇烈天氣系統所帶來的降雨在年總雨量中往往佔有相當可觀的比例，使得氣候模式模擬的降雨和真實狀況差距甚大。因此，在現階段氣候模式模擬能力的條件限制之下，若欲推估全球暖化對臺灣氣候變遷的影響，最根本的問題是要瞭解模式對控制台灣天氣變化的東亞季風系統可模擬到什麼程度。

本文將從季風降雨與環流的季節特徵和年際變化幅度分析 IPCC AR4 氣候模式的 20 世紀氣候模擬（簡稱 20C3M），以了解模式對東亞夏季季風掌握的程度。本文是推估全球暖化對台灣夏季氣候尤其是災害性降雨年發生率影響的先期研究，因此選擇夏季季風為主要分析對象。第二章將介紹本研究使用的資料和分析方法，第三章將比較模式雨量和風場與觀測的差異，第四章介紹台灣氣候變遷的設計境況，第五章為結論。

## 二、資料與分析方法

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，這些模式比第三次評估報告 (TAR) 模式的解析度更高，參數化方法也更好，模式部分模擬結果可直接從氣候模式診斷和比對計畫 (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, PCMDI) 網站取得 (<http://www.pcmdi.llnl.gov>)。本文以模式解析度高和資料時間密度粗細為條件，選取 7 個模式進行分析，模式之基本資料整理在表 1。觀測資料部分採用 CMAP 降水月平均資料和 NCEP/NCAR 重分析月平均風場資料。為了分析 IPCC AR4 模式對於東亞季風降水和環流的模擬能力，考慮模式和觀測資料的時間長度，因此分析時間選取 1979-1999 年。

根據 Wang and LinHo (2002) 指出亞洲季風最重要的降雨區域依降雨高鋒期開始的早晚可分為三個部分，因此本文中針對三個季風加以分析 (圖 1)：印度夏季季風區 (ISM：5°N-27.5°N, 65°E-105°E)、西北太平洋夏季季風區 (WNPSM：5°N-22.5°N, 105°E-150°E)、東亞夏季季風區 (EASM：22.5°N-45°N, 105°E-140°E)。

## 三、模式氣候與觀測之比較

本章比較模式與實際觀測的亞洲季風系統分別在季節平均、季節變化和年際變化方面的差異。季節平均乃指 1979-1999 年的 6-8 月平均雨量及風場特徵，季節變化是指月雨量及風場氣候值 (1979-1999 年平均) 在一年中逐月的季節性變化，而年際變化則指雨量和風場的季節平均值在年與年之間的變異度。

### 3.1 夏季平均雨量與風場之基本特徵

太陽輻射隨季節的改變與海洋和陸地熱容量的差異是季風形成的根本原因，也是氣候模式必須具有的模擬能力。各個模式對東亞季風系統的夏季 (6-8 月) 降雨及 850hPa 風場的 1979-1999 年氣候平均場模擬結果顯示在圖 2(a)-(g)，對應於圖 1 的三個次季風區的範圍亦標示在圖中，從各個模式模擬結果的比較即可看出模式之間差異甚大。圖 1 顯示東亞季風區的主要雨區集中在印度西岸、孟加拉灣北端、泰國灣東北端、南海東半部以及菲律賓海等五處。7 個模式基本上都能模擬出印度西岸的雨量極值，以 MIROC32\_HR 模擬的雨量最多且範圍最廣，而 CSIRO\_MK30 模擬的雨量最少且範圍最窄，南印度洋赤道附近緯度 0°-5°S，經度 60°E-90°E 的帶狀雨區僅有 MPI\_ECHAM5 模擬結果和觀測比較接近，但也不盡理想。孟加拉灣北端和泰國灣東北端的雨量極值 7 個模式都能模擬出來，南海東半部以及菲律賓海的模擬結果則不理想，以 CSIRO\_MK30 與 CSIRO\_MK35 模擬結果較好，MPI\_ECHAM5 的雨量過多而 BCCR\_BCM20 和 MIROC32\_HR 則偏少。

MIROC32\_HR 模式的太平洋副高甚強以致於菲律賓海偏乾，熱帶西北太平洋 ITCZ 位置偏南，但是對於東亞大陸沿海一帶的南海與西北太平洋的西南風

與東南風輻合現象，這也是影響台灣夏季降雨最關鍵的特徵，只有 MIROC32\_HR 模式的模擬結果與實際環流比較接近；從台灣往東北延伸到日本和韓國的兩帶也以 MIROC32\_HR 的模擬結果最好。南海與西北太平洋上的輻合帶可在 BCCR\_BCM20 看到，然而這個模式的雨量普遍偏少。另一方面，CSIRO\_MK30 與 CSIRO\_MK35 雖然對南海東半部以及菲律賓海的降雨模擬的最好，但是菲律賓海上西風過強，太平洋高壓脊偏東並緯度偏高。CCCMA\_CGCM31\_T63 和 MPI\_ECHAM5 也都有太平洋高壓脊偏東並緯度偏高的現象，後者在南海與菲律賓海上的雨量比前者明顯偏多，可見每一個模式都有不完美但也有其獨特之處，僅用單一模式是無法推估模式偏差產生的不確定性，所以氣候變遷影響推估一定要參考多個模式的模擬結果。

### 3.2 雨量與風場季節性變化

圖 3 為三個季風區月平均降水的變化情形，在 ISM 區域 (圖 3a) 模式與觀測結果類似，雨量從 5 月到 6 月明顯增強，表示夏季季風的開始。ISM 區域雨量在 6-8 月達到巔峰，除了 MIROC32\_HR 模式之外大部分的模式模擬的雨量低於觀測 (CMAP)。MPI\_ECHAM5 的雨量尖峰出現在 6 月，其餘模式的尖峰期則比 CMAP 約晚了 1 個月。在 WNPSM 區域 (圖 3b)，模式間的差異明顯大於 ISM 區域，多數模式的冬季雨量過多，夏季過少，其中 CSIRO\_MK30、CSIRO\_MK35 和 MPI\_ECHAM5 的尖峰值都出現在 6-10 月之間，觀測資料的尖峰則在 8 月。模擬結果最不理想的是 MIROC32\_HR，不僅雨量強度明顯偏弱而且高峰值出現在秋季，冬季的降水強度也高於夏季，有降雨冬季過強夏季過弱的偏差。在 EASM 區域 (圖 3c) 模式的表現相當一致，都呈現單峰的曲線變化，雨量在夏季達到高峰，除了 MIROC32\_HR 以外模式的夏季雨量普遍低於觀測，但是在冬季大部分模式的雨量高於觀測。綜合而言，模式對季風區域雨量季節變化有相當的掌握能力，模擬結果在印度與東亞季風區優於西北太平洋。雨量的量值在冬季比夏季接近於觀測，但是有冬季偏高夏季偏低的現象。

在風場季節變化方面，模式的表現可以用代表印度季風變化的 IMI 和代表西北太平洋季風變化的 WNPMI 兩種季風指標表示 (Wang et al., 2001)。圖 4 顯示模式對 IMI 的季節特性模擬結果比較一致，而 WNPMI 的模式間差異比較大。WNPMI 的峰值出現在八月，但 BCCR\_BCM20 和 CCCMA\_CGCM31\_T63 都做出了兩個峰值，MIROC32\_HR 的峰值則出現在十月，與 NCEP/NCAR 重分析資料表現出的變化差距甚大。

### 3.3 夏季雨量與風場氣候之空間特徵

模式和分析場氣候的夏季季風空間差異可用泰勒圖檢視。圖 5 為分別針對在印度夏季季風區 (ISM：5°N-27.5°N, 65°E-105°E)，西北太平洋夏季季風區 (WNPSM：5°N-22.5°N, 105°E-150°E)，東亞夏季

季風區 (EASM: 22.5°N-45°N, 105°E-140°E) 的低層 (850hPa) 和高層 (200hPa) 風場  $u$  與  $v$  分量以 NCEP 分析風場和 CMAP 雨量資料為參考值製作的泰勒圖。各模式在印度夏季季風區 (圖 5a) 與分析場的相關係數明顯高於其它兩個季風區, 顯示模式對印度季風有比較好的掌握, 這與前一節看到的風場與雨量季節變化的結果是一致的。各個變數當中, 又以高層 (200hPa)  $u$  的相關係數最高, 低層 (850hPa) 風場次高, 雨量的相關係數最低, 顯示模式對環流的模擬能力優於降雨。西北太平洋夏季季風區的 850hPa  $u$  相關係數高於  $v$ , 而東亞夏季季風區的 850hPa  $v$  相關係數高於  $u$ , 表示模式對南海與西太平洋的東西風幅合特徵較無法掌握, 但是對於台灣和日本之間的南風還能掌握。三個季風區中以西北太平洋夏季季風區的模擬最不理想, 相關係數最低, 變異度也較分散。

#### 四、台灣氣候變遷設計境況

從前面的分析發現 7 個 IPCC AR4 模式對東亞季風主要特徵的模擬結果都不理想, 在此客觀條件限制之下, 如何根據模式模擬結果推估全球暖化對台灣氣候變遷的影響是本章的討論重點。

##### 4.1 台灣氣候變遷模擬結果

圖 6 為台灣附近 (117.5°E-125°E, 20°N-27.5°N) NCEP 溫度場和模式模擬 20 世紀與未來在 A1B、A2、B1 三種不同情境下的夏季溫度變化。由 NCEP 資料的溫度曲線變化可知 1970 年後台灣溫度急遽上升, 及至目前為止台灣夏季溫度在 30 年內大約升高了 0.5°C, 為 30 年氣候平均值的 1.8%。模式模擬的結果顯示未來台灣夏季溫度會持續升高, 且隨 CO<sub>2</sub> 濃度的增加而加大上升的幅度。各個模式以 MIROC32\_HR 的升幅度最大, 未來 100 年約升高 2.5-3°C, BCCR\_BCM20 的溫度變化最小, 約升高 1.0-2.0°C 左右。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。

全球暖化情境下台灣及鄰近地區的雨量變化顯示在圖 7, CMAP 資料顯示近 20 年台灣附近夏季總雨量呈現增加的趨勢, 但是與台灣總雨量相比增加的幅度不大, 1990 年之後的 10 年 (1991-2000 年) 總雨量較 1990 年以前 10 年 (1981-1990 年) 總雨量增加 3.9%。CMAP 雨量資料顯示的變化幅度少於測站資料的變化, 模式間的雨量變化模擬結果有相當大的差異且長期的變動幅度也比較大, 其中 BCCR\_BCM20、CSIRO\_MK35、MPI\_ECHAM5 顯示未來台灣的雨量將增加, 而 MIROC32\_HR 顯示雨量將減少, 其餘模式的未來雨量變化大致與目前相同。

##### 4.2 氣候變遷設計境況

從前一節的分析可見, 不但模式與觀測分析場之間有相當大的差異, 模式之間的模擬結果也相當分歧, 雨量差異尤其明顯。在模式客觀條件的限制下, 若欲充分利用模式的模擬結果推估全球暖化對台灣氣候的影響, 本文建議可參考荷蘭氣象局設計氣候變遷境況的做法 (KNMI, 2006), 提出以氣候變遷設計境

況為架構的推估概念。氣候變遷設計境況以模式模擬的「全球暖化程度」和與臺灣夏季氣候直接有關的「大尺度環流變異程度」為主軸, 可架構出「暖化強, 環流變異強」、「暖化弱, 環流變異強」、「暖化弱, 環流變異弱」、「暖化強, 環流變異弱」四種境況, 再依此架構建立全球暖化對台灣氣候影響程度推估的論述, 做法詳細說明如下。

模式的全球暖化比較整理在表 2, 分別為未來 50 年 (2001-2050) 和 100 年 (2001-2100) 相對於 1900-1999 年全球平均溫度的增溫幅度。不論是未來 50 年或 100 年的三個 CO<sub>2</sub> 境況, 七個模式的增溫幅度排序完全一致, 表示各個模式對全球平均溫度受到 CO<sub>2</sub> 濃度的影響有模式固有的敏感度。以 A1B 而言, 2000-2100 年 MIROC32\_HR 的平均溫度變化最大, 溫度增加約 3.4°C, CSIRO\_MK30 的變化程度最小, 約增加 1.4°C 左右。以 A1B 境況的未來 50 年增溫幅度 1.2°C 為分界點, 可將 MIROC32\_HR、CCCMA\_CGCM31\_T63、NCAR\_CCSM30、CSIRO\_MK35 四個模式歸入「暖化強」類別, 而其於的三個模式 MPI\_ECHAM5、BCCR\_BCM20、CSIRO\_MK30 屬於「暖化弱」類別。

以 (117.5°E-125°E, 20°N-27.5°N) 範圍內的平均夏季 (6-8 月) 風場和雨量在 1979-1999 年期間的年際變異量 (variance) 作為模式「大尺度環流變異程度」的判斷標準。表 3 整理了各個模式 1979-1999 年六至八月 (JJA) 台灣及鄰近區域總雨量和 850hPa 風場之變異量, 模式模擬夏季降水的變異幅度在 0.6-3.8 mm/day 之間,  $u$ 、 $v$  風場變異量分別在 0.8-1.8 m/s 和 0.2-1.5 m/s 之間, 七個模式的平均變異量與標準差也顯示在表 6。加入雨量變異量的考慮, 可計算三個變數的排序總和再重新排序, 依總排序決定各模式對與台灣相關的大尺度環流變異大小模擬程度的差異。若以排序在 1-3 位者為「環流變異強」, 則 CSIRO\_MK35、MIROC32\_HR、BCCR\_BCM20、CSIRO\_MK30 四個模式屬於「環流變異強」, 餘者為「環流變異弱」。再對照各項排序, 發現環流變異強弱的區分在風場方面三個「環流變異強」模式 (CSIRO\_MK30、CSIRO\_MK35、MIROC32\_HR) 的  $u$  都有相對較大的變異, BCCR\_BCM20 則是  $v$  的變異量較大。環流和雨量變異量大小的排序關係不錯, 表示用「大尺度環流變異程度」區分模式和推估氣候變遷對台灣雨量影響的方向不致抵觸。換言之, 「大尺度環流變異程度」強的 mode 屬於臺灣附近雨量隨大尺度環流變異變化較大的 mode, 而「大尺度環流變異程度」弱的 mode 屬於臺灣附近雨量隨大尺度環流變異變化較小的 mode。

圖 8 呈現出台灣氣候變遷設計境況。根據本文分析的 7 個 IPCC AR4 模式模擬的 2001-2050 年暖化程度, 可將模式區分為暖化強 (以「W」符號為代表) 和暖化弱 (M) 兩種。再依照模式對台灣及鄰近區域大尺度環流模擬的變異程度亦可區分為環流變異強 (+) 和變異弱 (-) 兩類。根據增溫和大尺度環流變異程度, 架構出四種影響台灣的氣候變遷境況: 「W+」表示「暖化強, 環流變異強」、「M+」表示「暖

化弱，環流變異強」、「M-」表示「暖化弱，環流變異弱」、「W-」表示「暖化強，環流變異弱」。模式分類如圖 8 中所示。

## 五、結論

本文是推估全球暖化對台灣夏季氣候尤其是災害性降兩年發生率影響的前期研究，重點為討論 IPCC AR4 模式對亞洲季風區季平均溫度和雨量的模擬能力。挑選的模式是資料公布在 IPCC AR4 官方網站，空間解析度高於 63 個波 (T63) 且提供了逐日雨量的 7 個模式。分析的內容包括以亞洲夏季季風為核心的雨量與風場的基本特徵、季節變化、空間變化、年際變化等四個基本面向，並提出經考慮模式特性而建構的全球暖化對台灣夏季氣候影響之設計境況。

研究發現七個模式都無法準確模擬亞洲夏季季風的氣候平均的最大降水區域，也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甚為關鍵的氣候場特性。印度夏季季風 (ISM) 和東亞夏季季風 (EASM) 區的雨季的開始和結束多數模式的模擬結果還不錯，西北太平洋夏季季風 (WNPSM) 區降雨的季節性變化模式則掌握得較差。用泰勒圖比較模式在各季風區的雨量和風場模擬結果，發現模式對風場的空間特性比雨量有更好的掌握。

本文參考荷蘭氣象局設計氣候變遷境況的做法 (KNMI, 2006)，提出一個以氣候變遷設計境況為架構的推估概念；亦即以模式模擬的「全球暖化程度」和與臺灣夏季氣候直接有關的「大尺度環流變異程度」為主軸，架構出「暖化強，環流變異強」、「暖化弱，環流變異強」、「暖化弱，環流變異弱」、「暖化強，環流變異弱」四種境況，作為推估全球暖化對台灣氣候影響程度的論述架構。本文僅以台灣附近的夏季風場和總雨量在 1979-1999 年期間的年際變異量 (variance) 作為模式「大尺度環流變異程度」的判斷標準，說明如何利用氣候變遷設計境況的架構推估全球暖化對台灣夏季平均溫度和雨量的影響。在溫度方面發現雖然台灣的暖化趨勢與全球平均溫度的暖化趨勢類似，但增溫幅度沒有遵循全球暖化幅度的響應關係；在雨量方面也發現隨著全球暖化台灣未來變得更乾或更濕的

可能性都有，顯示暖化並不是決定台灣雨量變異的關鍵因素。若須推估全球暖化對台灣夏季災害性降兩年發生率的影響，因模式降雨資料對影響台灣的災害性降雨沒有代表性，故應避免直接使用，可採取先推估全球暖化對災害性降雨發生頻率關係密切的環流指數的影響，再進一步推估這種影響對極端降兩年發生率的意義。

## 致謝

本研究在氣象局「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展計畫」及國科會計畫 NSC 96-2625-Z-052-008 支助下完成，特此致謝。

## 參考文獻

- IPCC AR4 WG1, 2007:  
<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- 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.
- KNMI, 2006: KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. *KNMI Scientific Report WR 2006-01*, pp82.
- 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.
- Sun, Y., S. Solomon, A. Dai, and R. W. Portmann, 2006: How often does it rain? *J. Climate*, **19**, 916-937.
- Wang, B., R. Wu, K. M. Lau, 2001: Interannual Variability of the Asian Summer Monsoon: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, **14**, 4073-4090.
- Wang, B. and LinHo, 2002: Rainy season of Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate*, **15**, 386-398.

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調整狀態，以及模式參考文獻。

Models	Country	Resolution	Flux Adjustment	References
BCCR BCM20	Norway	T63 (128×64)	no adjustment	Deque et al., 1994
CCCMA CGCM31 T63	Canada	T63 (128×64)	heat, freshwater	McFarlane et al., 1992; Flato, 2005
CSIRO MK30	Australia	T63 (192×96)	no adjustment	Gordon et al., 2002
CSIRO MK35	Australia	T63 (192×96)	no adjustment	Gordon et al., 2002
MIROC32 HR	Japan	T106 (320×160)	no adjustment	Nozawa et al., 2005
MPI ECHAM5	Germany	T63 (192×96)	no adjustment	Jungclaus et al., 2005
NCAR CCSM30	USA	T85 (256×128)	no adjustment	Collins et al., 2005

表 2: 各個模式未來 50 年 (2001-2050 年) 和未來 100 年 (2001-2100 年) 全球平均溫度變化相對於 1900-1999 年的增溫幅度。

Model	2001-2050			2001-2100		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1

BCCR BCM20	0.9 (6)	0.8	0.8 (6)	1.8 (6)	1.8	1.3 (6)
CCCMA CGCM31 T63	2.0 (2)	×	1.8 (2)	2.9 (2)	×	2.4 (2)
CSIRO MK30	0.8 (7)	0.9	0.6 (7)	1.4 (7)	1.7	0.9 (7)
CSIRO MK35	1.5 (4)	1.5	1.4 (4)	2.4 (4)	2.5	2.0 (3)
MIROC32 HR	2.1 (1)	×	2.0 (1)	3.4 (1)	×	2.8 (1)
MPI ECHAM5	1.1 (5)	1.0	0.9 (5)	2.2 (5)	2.1	1.7 (5)
NCAR CCSM30	1.8 (3)	1.8	1.5 (3)	2.5 (3)	2.8	1.9 (4)

表 3：1979-1999 年夏季 (JJA) 台灣及鄰近區域降雨 (PR) 和 850hPa 風場 (U850、V850) 之變異量 (variance) 和變異度排序。

Model	PR	U850	V850	總排序
BCCR BCM20	2.6 (2)	0.9 (6)	0.6 (3)	3
CCCMA CGCM31 T63	0.6 (6)	0.8 (7)	0.4 (5)	7
CSIRO MK30	1.3 (3)	1.6 (2)	0.4 (6)	3
CSIRO MK35	1.2 (4)	1.8 (1)	1.5 (1)	1
MIROC32 HR	3.8 (1)	1.1 (4)	0.5 (4)	2
MPI ECHAM5	0.9 (5)	0.9 (5)	0.7 (2)	5
NCAR CCSM30	0.6 (7)	1.3 (3)	0.2 (7)	6
平均 ± 標準差	1.6±1.2	1.2±0.4	0.6±0.4	

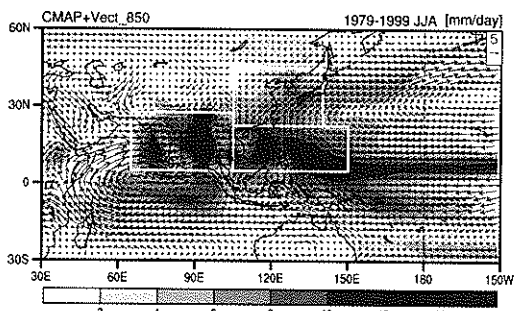


圖 1: 根據 CMAP 1979-1999 年 6-8 月累積雨量資料繪製的雨量分布圖以及南亞季風、東南亞與西北太平洋季風以及東亞季風範圍；印度夏季季風區 (5°N-27.5°N, 65°E-105°E)、西北太平洋夏季季風區 (5°N-22.5°N, 105°E-150°E)、東亞夏季季風區 (22.5°N-45°N, 105°E-140°E)。

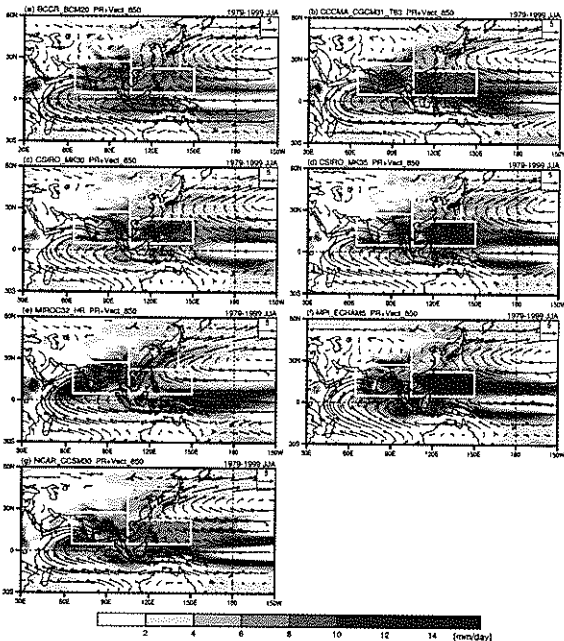


圖 2: 如圖 1, 但為模式模擬結果。(a) BCCR\_BCM20, (b) CCCMA\_CGCM31\_T63, (c) CSIRO\_MK30, (d) CSIRO\_MK35, (e) MIROC32\_HR, (f) MPI\_ECHAM5, (g) NCAR\_CCSM30。

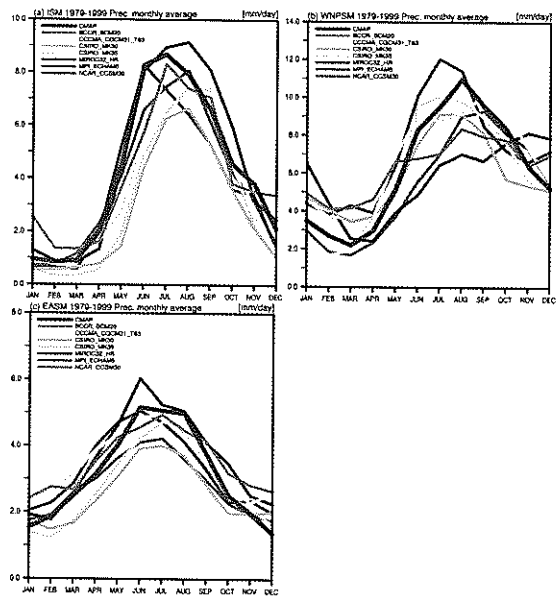


圖 3: 各模式模擬之 1979-1999 年季風區平均雨量季節變化與 CMAP 雨量資料的比較, (a) 印度夏季季風區 (ISM: 5°N-27.5°N, 65°E-105°E), (b) 西北太平洋夏季季風區 (WNPSM: 5°N-22.5°N, 105°E-150°E), (c) 東亞夏季季風區 (EASM: 22.5°N-45°N, 105°E-140°E)。

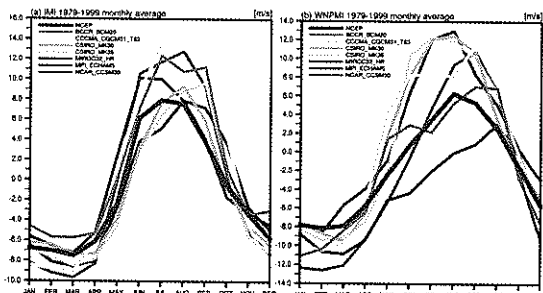


圖 4: 各模式模擬之 1979-1999 年季風區平均風場季節變化與 NCEP 分析場 (Reanalysis-1) 資料的比較, (a) IMI 指標, (b) WNPMI 指標, 指標定義如表 2。

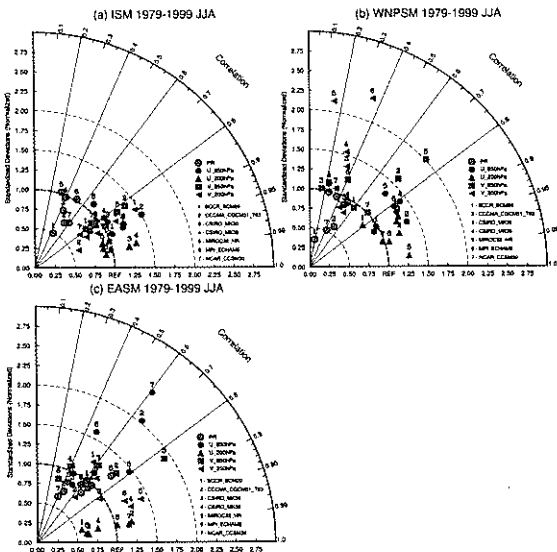


圖 5：以 NCEP 分析場為參考值製作的在 (a) 印度夏季季風區 (ISM)，(b) 西北太平洋夏季季風區 (WNPSM)，(c) 東亞夏季季風區 (EASM) 低層 (850hPa) 和高層 (200hPa) 平均風場的 u 與 v 分量泰勒圖。

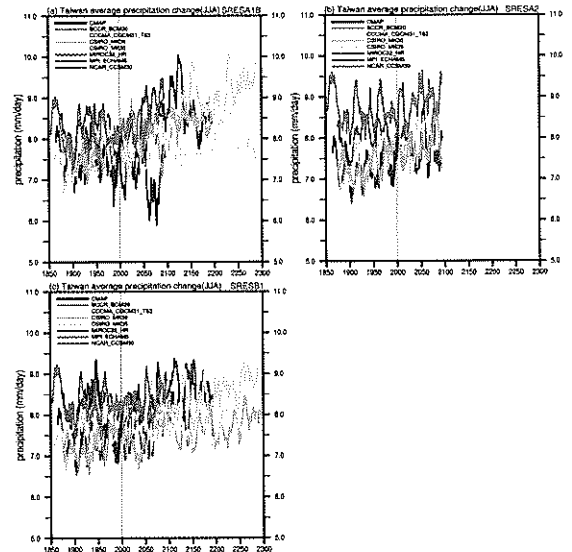


圖 7：模式模擬不同境況下台灣附近夏季的平均雨量變化圖，(a) 為 A1B 境況，(b) 為 A2 境況，(c) 為 B1 境況。

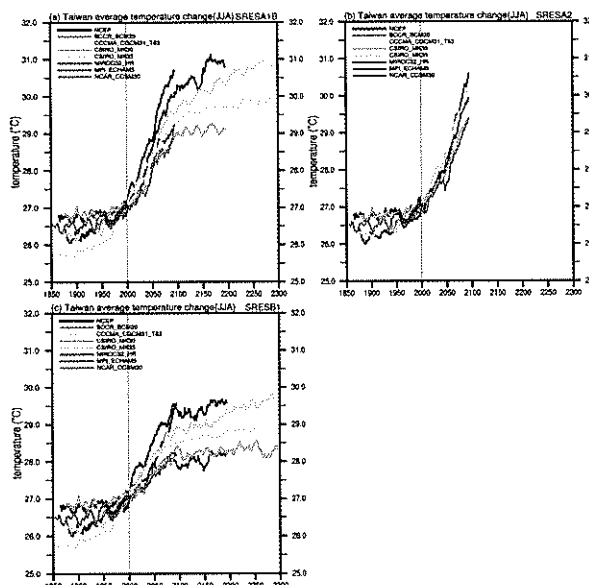


圖 6：模式模擬不同境況下台灣附近夏季的平均氣溫變化圖，(a) 為 A1B 境況，(b) 為 A2 境況，(c) 為 B1 境況。

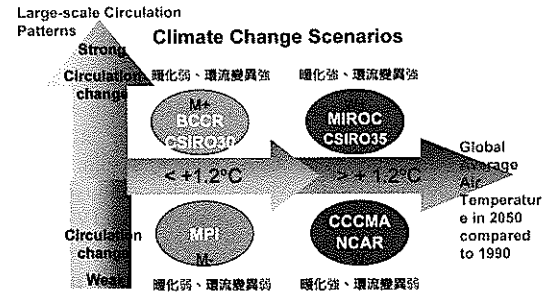


圖 8：氣候變遷境況設計圖。