

CMIP5 模式對臺灣梅雨季大尺度環流的模擬能力評量

卓盈旻 盧孟明

中央氣象局科技中心

摘要

本研究利用第五期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) 提供的 28 個模式於 1986-2005 年的模擬結果, 對照 NCEP/NCAR 重分析資料和 GPCP 雨量資料兩組全球格點觀測資料, 分析模式對臺灣梅雨季東亞區域的模擬能力。

從季節平均和年際變化方面評量模式對於梅雨季環流的掌握能力, 結果顯示模式對於 850hPa 風場的模擬存在不同程度的偏差, 但都能模擬出氣候平均的空間分佈主要型態。模式對於梅雨鋒面的模擬能力有限, 大都無法準確掌握梅雨季氣候平均的最大降水區域, 降雨有明顯低估的情形存在。在季節環流轉變方面, 模式對於 u 風場模擬優於 v 風場, 6 月 v 風場的模擬結果比 5 月來得好。GISS-E2-H、FGOALS-g2、MIROC-ESM 和 CCSM4 四個模式對於 v 風場模擬較不理想, 模式無法掌握到 v 風場的轉變特徵。在風場的年際變化上, 模式之間在 u 平均風速的差異比較大, v 風場的變異度與觀測值則較接近。CMCC-CESM 和 MIROC-ESM 模式對於 u 風場比較不能反應其年際變異的變化特徵。

一、前言

梅雨是台灣地區在春夏季節轉換時最重要的天氣現象, 平均而言, 每年梅雨季約有 4~5 道鋒面系統出現, 梅雨鋒面會伴隨連續性並夾帶豪大雨的降水(陳、紀, 1978; 陳、蔡, 1980)。王等(1985)分析 1960~1984 年中央氣象局所屬 24 個測站發現, 每年除了颱風造成的劇烈降水以外, 豪大雨發生頻率主要出現在 5 月中至 6 月中之梅雨時期。由於梅雨經常在局部地區帶來劇烈的豪大雨, 引發暴洪、淹水、山崩、土石流等災害, 因此成為台灣重要的災害性天氣現象, 尤其近年來, 都市快速發展, 使得劇烈降水災害有增加的趨勢。

利用數值模式研究氣候變遷是重要的工具, 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, 遑論是易致災性的極端降雨(Randall et al. 2007)。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。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正確掌握。

因此, 本研究利用第五期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 的模式模擬結果, 檢驗氣候模式對於臺灣梅雨季東亞區域環流的模擬能力, 可以作為未來利用模式進行未來梅雨季氣候變化趨勢推估時的參考依據。

二、資料與分析方法

本研究中所使用的氣候模式為 CMIP5 於歷史情境 (historical) 模擬下的 28 個模式月平均資料, 資料由 ESGF (Earth System Grid Federation) 的氣候模式診斷和比對計畫 (Program for Climate Model Diagnosis

and Intercomparison, PCMDI) 網站上取得 (<http://pcmdi9.llnl.gov/esgf-web-fe/>), 選取的模式名稱、模式的提供單位等基本資料整理在表 1。觀測資料部分採用 GPCP (Global Precipitation Climatology Project) 降水月平均資料和 NCEP 重分析 (NCEP/NCAR reanalysis R1) 月平均風場資料, 分析時間選取 1986-2005 年。由於模式的空間水平解析度都不同, 因此將所有模式的解析度內差至與觀測資料相同的解析度。

三、結果與討論

本研究比較模式與實際觀測的大尺度環流系統在季節平均和年際變化方面的差異。季節平均為 1986-2005 年的 5-6 月雨量和風場特徵, 年際變化則指雨量和風場季平均值在年與年之間的變異度。

圖 1 為 1986-2005 年梅雨季(5-6 月)降雨及 850hPa 風場的氣候平均場, 此時南亞主要雨區集中在西風氣流迎風面的印度西岸和孟加拉灣北端。西太平洋副熱帶高壓脊位於菲律賓海到南海, 沿太平洋副熱帶高壓外圍經南海和來自於孟加拉灣的西南氣流, 與大陸高壓的東北風在華南至琉球群島會合形成梅雨鋒面帶, 成為此時東亞地區主要的降水區域。模式對於東南亞地區的風場都具有不錯的氣候模擬能力, 基本上都能模擬出沿副熱帶高壓脊的東風在南海至日本轉為西南風的狀態, 但模式之間對於高壓脊的強度和位置差異甚大。圖 2a-2c 分別為 MIROC5、FGOALS-g2、CSIRO-Mk3.6.0 三個模式對梅雨季降雨及 850hPa 風場氣候平均的模擬結果, 圖 2d-2f 則為三個模式與觀測場之間的差值。MIROC5 模式的太平洋副高甚強, 以致於菲律賓海和南海偏乾, 對於南海與西北太平洋的西南風與東南風輻合區的模擬結果與實際環流相當接近, 也能夠模擬出華南往東北方延伸到日本的鋒面雨帶。FGOALS-g2 模式雖然可以模擬出類似的鋒面型態, 但鋒面雨帶的雨量有明顯低估的情形, 顯示模式對於梅雨鋒面的模擬能力則相當有限。CSIRO-Mk3.6.0 模式的高壓脊偏東且位置偏北, 因此南海和菲律賓海上的西風過強, 鋒面雨量明顯偏低, 而菲律賓和西太平洋的雨量明顯偏多。從各個模式模擬結果的比較結果可看出模式對於梅雨季的模擬並不完全相同, 有些模式

之間的差異甚大。

為了評量氣候模式的模擬能力, 分別計算圖 1 紅色方框區域 ($100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$) 內模式和觀測在雨量、低層 (850 hPa) u 和 v 風場的空間相關係數 (PCC) 和均方根誤差 (RMSE), 分析結果如圖 3 所示。模式對於低層風場的掌握能力普遍都相當好, 在 u 風場方面, CSIRO-Mk3.6.0 模式 PCC 較低為 0.45, 其餘模式的變化範圍介於 0.61~0.95。v 風場 PCC 介於 0.54~0.85 之間, RMSE 的偏差值較 u 風場低, CSIRO-Mk3.6.0 和 MIROC-ESM 兩個模式 u 風場與觀測場之間有較大的差異。對於雨量的模擬能力差異則較大, PCC 從最高的 0.62 (ACCESS1.3) 到 -0.18 (CanCM4), 其中 BCC-CSM1.1m、CanCM4、CanESM2、CMCC-CESM、CSIRO-Mk3.6.0 都未通過 95% 的顯著性檢定, RMSE 的誤差值也比風場要大。整體而言, 模式對於環流場的模擬能力都優於降雨, v 風場的模擬結果較一致。

圖 4a 為 1986-2005 年 5 月 850hPa 風場的氣候平均場減去 1 月氣候平均場的環流變化, 用以瞭解梅雨季的環流轉變情形。圖中顯示 5 月時在緯度 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 的南亞地區風向轉為盛行西風, 此西風氣流和 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 的跨赤道氣流會合, 南海和菲律賓海上出現西南風增強的情形, 然後在臺灣西邊轉為東南風, 琉球群島一帶形成低壓槽。圖 4b 為 6 月平均氣候風場減去 1 月的環流變化, 此時南亞的西風帶更強, 範圍向北擴張至 20°N , $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 的跨赤道氣流也更強, 使臺灣附近往北吹的南風氣流也更強, 東南亞地區(紅色方框區域)的環流幾乎完全轉為西南氣流。為了瞭解模式對於梅雨季環流轉變的掌握能力, 計算圖 4 紅色方框區域 ($100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$) 內模式和觀測風場的空間相關係數, 結果顯示在表 2。模式都可以掌握 u 風場的季節轉變特徵, 對於 v 風場的季節轉變模擬較差, 其中 GISS-E2-H、FGOALS-g2、MIROC-ESM 和 CCSM4 四個模式對於 v 風場模擬較不理想, 模式無法掌握到 v 風場的轉變特徵。整體而言, 模式對於 u 風場的季節轉變模擬優於 v 風場, 對於 6 月 v 風場的環流轉變結果要比 5 月來得好。

圖 5 為梅雨季模式和觀測於圖 4 紅色方框區域的風場變異度比較, 矩形代表 1986-2005 年的氣候平均

值，線段長度代表標準差，藍色為 u 風場，紅色為 v 風場。觀測結果顯示 v 的平均風速比 u 大，u 風場的年際變異程度比 v 大。對於 u 平均風速的模擬，模式之間的差異比較大，CMCC-CESM、MIROC-ESM、NorESM1-M 三個模式的 u 風場平均值與觀測結果相比明顯偏低，BCC-CSM1.1m、CMCC-CESM、FIO-ESM、MIROC-ESM 四個模式的標準差變化與觀測結果有明顯的差距。GISS-E2-H 和 GISS-E2-R 的 v 風場平均值與觀測結果相比偏低，模式 v 風場的標準差幾乎都與觀測值相當接近。

四、結論

本研究利用第五期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) 提供的 28 個模式於 1986-2005 年的模擬結果，對照 NCEP/NCAR 重分析資料和 GPCP 雨量資料兩組全球格點觀測資料，分析模式對臺灣梅雨季東亞區域的模擬能力。

從季節平均和年際變化方面評量模式對於梅雨季環流的掌握能力，結果顯示模式對於東南亞地區的風場都具有不錯的氣候模擬能力，基本上都能模擬出沿副熱帶高壓脊的東風在南海至日本轉為西南風的狀態，但模式對於高壓脊的強度和位置的模擬差異甚大。雖然模式之間存在不同程度的偏差，但都能模擬出氣候平均的空間分佈主要型態。模式對於梅雨鋒面的模擬能力有限，大都無法準確掌握梅雨季氣候平均的最大降水區域，降雨有明顯低估的情形存在。模式對於環流場的模擬能力都優於降雨，v 風場的模擬結果較一致。在季節環流轉變方面，模式對於 u 風場模擬優於 v 風場，6 月 v 風場的模擬結果比 5 月來得好。GISS-E2-H、FGOALS-g2、MIROC-ESM 和 CCSM4 四個模式對於 v 風場模擬較不理想，模式無法掌握到 v 風場的轉變特徵。

在風場的年際變化上，模式之間在 u 平均風速的差異比較大，v 風場的變異度與觀測值則較接近。CMCC-CESM 和 MIROC-ESM 模式對於 u 風場比較不能反應其年際變異的變化特徵。

五、參考文獻

王時鼎、鄭俠、徐晉淮與邱台光，1985：五、六月間台灣地區暴雨之環境條件。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，P55-72。

陳正改，蔡清彥，1980：影響台灣北部地區之梅雨系統。大氣科學，7，49-58。

陳泰然，紀水上，1978：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，35-47。

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.

Randall D. A., Coauthors, 2007: Climate models and their evaluation. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S. Solomon et al., Eds., Cambridge University Press, 589-662.

Sun, Y., S. Solomon, A. Dai, and R. W. Portmann, 2006: How often does it rain? *J. Climate*, **19**, 916-937.

表 1：本研究中使用的 CMIP5 模式名稱和編號、提供的組織單位。

編號	模式名稱	提供的機構單位
1	BCC-CSM1.1m	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration
2	BNU-ESM	Beijing Normal University
3	CanCM4	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis
4	CanESM2	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis
5	CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici
6	CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici
7	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques and Centre Europeen de Recherches et Formation Avancees en Calcul Scientifique
8	ACCESS1.3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization and Bureau of Meteorology
9	CSIRO-Mk3.6.0	Queensland Climate Change Centre of Excellence and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
10	FIO-ESM	The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration
11	GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
12	GFDL-ESM2G	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
13	GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies
14	GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies
15	INM-CM4	Russian Institute for Numerical Mathematics
16	IPSL-CM5A-MR	Institute Pierre Simon Laplace
17	FGOALS-g2	LASG (Institute of Atmospheric Physics) - CESS (Tsinghua University)
18	MIROC5	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
19	MIROC-ESM	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
20	HadCM3	Met Office Hadley Centre
21	HadGEM2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration
22	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre
23	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology
24	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute
25	MRI-ESM1	Meteorological Research Institute
26	CCSM4	US National Centre for Atmospheric Research
27	CESM1 (CAM5)	National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research
28	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre

表 2：圖 1 紅色方框區域（100°E~140°E，5°N~35°N）
模式和觀測之間的風場空間相關係數。

模式	U850		V850	
	MAY-JAN	JUN-JAN	MAY-JAN	JUN-JAN
1	0.90	0.92	0.37	0.48
2	0.80	0.93	0.38	0.58
3	0.93	0.92	0.56	0.73
4	0.95	0.93	0.57	0.74
5	0.88	0.91	0.78	0.73
6	0.95	0.95	0.76	0.62
7	0.96	0.95	0.84	0.88
8	0.88	0.93	0.28	0.71
9	0.96	0.95	0.50	0.68
10	0.72	0.83	0.20	0.56
11	0.92	0.95	0.75	0.88
12	0.94	0.96	0.55	0.82
13	0.83	0.89	0.18	0.39
14	0.89	0.92	0.37	0.46
15	0.89	0.90	0.35	0.55
16	0.85	0.94	0.40	0.72
17	0.83	0.89	0.05	0.16
18	0.82	0.81	0.71	0.85
19	0.68	0.74	-0.02	-0.01
20	0.93	0.94	0.70	0.80
21	0.95	0.98	0.70	0.85
22	0.95	0.97	0.61	0.76
23	0.93	0.92	0.80	0.85
24	0.94	0.94	0.56	0.77
25	0.94	0.93	0.56	0.69
26	0.85	0.92	0.16	0.43
27	0.86	0.88	0.45	0.58
28	0.86	0.94	0.34	0.62

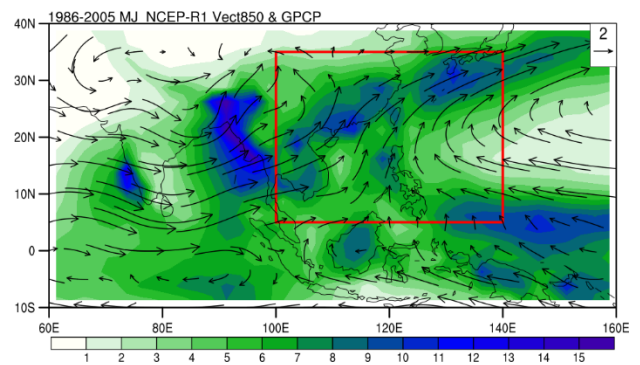


圖 1：1986-2005 年 5-6 月 GPCP 雨量和 NCEP/NCAR 風場的氣候平均分布。

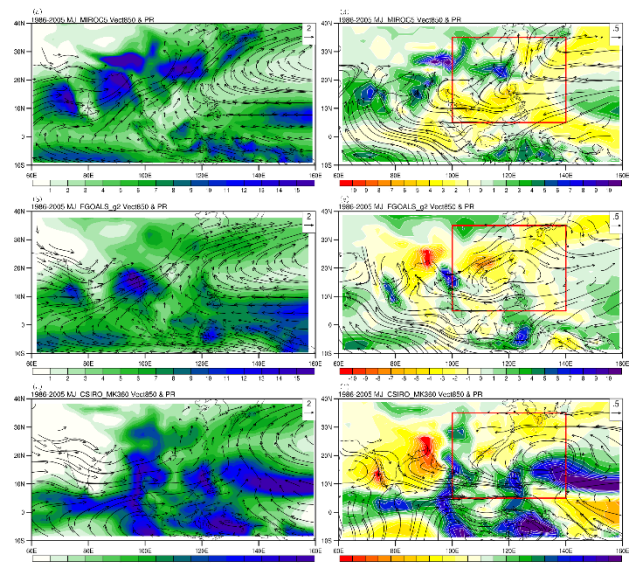


圖 2：如圖 1，但為模式模擬結果。(a) MIROC5，(b) FGOALS-g2，(c) CSIRO-Mk3.6.0，(d) - (e) 分別為三個模式與觀測資料（圖 1）之間的差異。

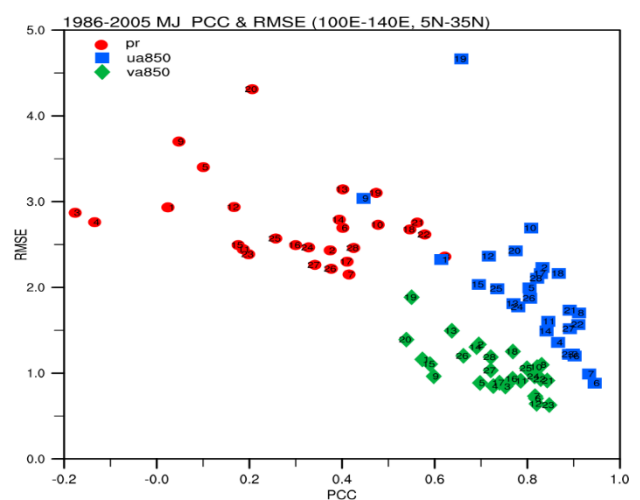


圖 3：為 28 個模式對圖 1 紅色方框區域（100°E~140°E，5°N~35°N）與觀測在雨量、850hPa 低層 u 和 v 風場

的空間相關係數（PCC）和均方根誤差（RMSE）模擬結果。紅色圓形為雨量模擬結果，藍色方形為 u 風場，綠色菱形為 v 風場，數字分別為表 1 中對應的模式。

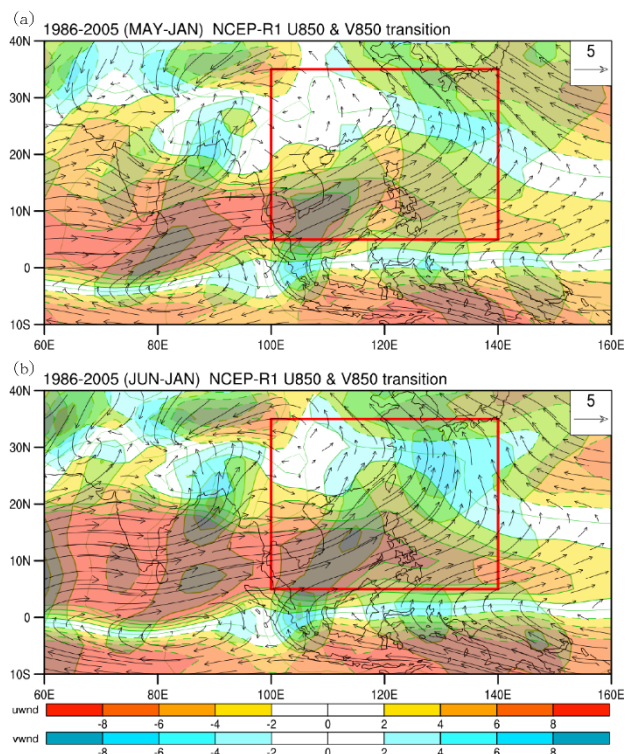


圖 4：(a) 1986-2005 年 5 月 850hPa 風場的氣候平均場減去 1 月氣候平均場的環流變化，(b) 為 6 月氣候平均場減去 1 月。

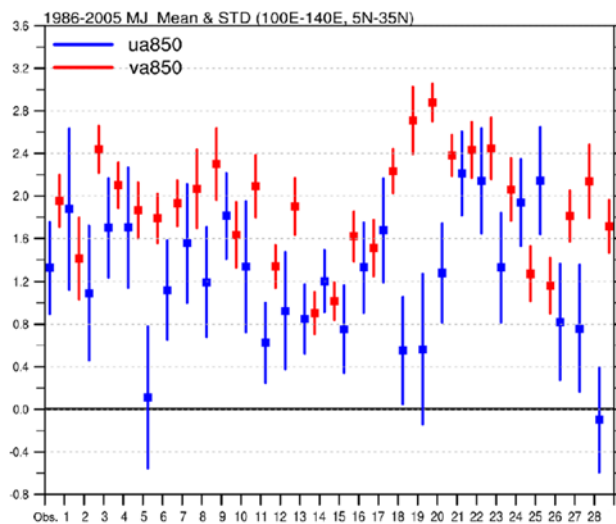


圖 5：梅雨季觀測和模式和於紅色方框區域的風場變異度，矩形代表 1986-2005 年的氣候平均值，線段長度代表標準差，藍色為 u 風場，紅色為 v 風場。