氣象局第二代二步法短期氣候預報系統之全球大氣環流模式氣候模擬能力評估

李清縢、盧孟明、胡志文
中央氣象局氣象科技研究中心

摘　要

中央氣象局自2010年開始使用以全球大氣環流模式為主軸的客觀預報方法進行月與季氣候預報，由於海表面溫度的變化和大氣的變化是分開用兩個步驟預報，因此稱為二步法預報系統。第一代系統開始穩定運轉之後，便開始著手發展第二代二步法短期氣候預報系統，將氣象局全球大氣預報模式（CWB Global Atmosphere Model）解析度提升至T119L40（水平方向約為110公里，垂直方向40層，簡稱CWB-GAMT119L40），遠高過第一代的CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19（水平方向約為300公里，垂直方向18與19層），模式物理也大幅更新。本文分別依雨量和環流的氣候平均場、亞洲季風特徵與季節變化、伴隨聖嬰現象的海平面氣壓年際變化等三方面比較分析模式AMIP條件下氣候模擬結果的差異。結果顯示CWB-GAMT119L40不論是在雨量、海平面氣壓或環流的氣候平均場相較於CWB-GAMT42L18均有明顯的改進，局部地區降水分佈特徵模擬也較佳，應有助於改進台灣氣候之預測。固然在大尺度環流場之季節與年際變化方面，CWB-GAMT119L40比CWB-GAMT42L18更能掌握變化的特徵，但相較於ECHAM5-GAMT42L19，CWB-GAMT119L40的氣候模擬並沒有表現出明顯的優勢，顯見若要大幅提升氣候模擬結果，不單只靠提高模式解析度，也需考慮更新模式物理過程。

關鍵詞：短期氣候預報、氣候模擬、全球氣候預報系統

一、前言

氣象局自2002年起推動以數值模式為骨幹的短期氣候預測系統建置計畫，將數值天氣預報系統發展擴展至以第二季（6個月）為預報上限的短期氣候預測，於2009年發展完成第一版預測系統（簡稱CWB 2-tier CFS_v1）並上線作業。CWB 2-tier CFS_v1是以二步法為架構的短期氣候預報系統（胡等2008），也就是先用

統計與數值動力方法計算全球海表面溫度預測值，然後以此海溫預測值作為大氣的下邊界條件利用全球數值動力模式預測大氣狀態。CWB 2-tier CFS_v1 也是一個由多模式多組預測組成的系集預測系統，在大氣模式方面分別使用了氣象局全球數值天氣預報模式（CWB-GAMT42L18）與德國馬普研究院（Max-Planck-Institute for Meteorology）的ECHAH5模式（ECHAM5-GAMT42L19）兩組模式；海溫預報方面除了有氣象局全球海溫最佳化預報系統（OPGSST_v1/CWB）產品外，也使用美國環境預測中心（NCEP）氣候預報系統（CFS）的全球海溫預測資料（CFS_SST/NCEP）。兩組大氣模式與兩組海溫預測資料交錯搭配出四種組合，每一種組合每月產出10組7個月的預測結果，也就是說每月有40組長達7個月的預測結果作為加工產出月與季預測產品的原料。氣候預測乃是要預測氣象變數統計特性的變化特徵，必須根據多組預測結果推估具統計意義的變異幅度，依此觀點CWB 2-tier CFS_v1是符合基本科學準則完全客觀的預測系統。

為解決CWB 2-tier CFS_v1大氣模式的解析度過低和與氣象局全球數值天氣預報（NWP）作業模式物理部分差異過大的問題（陳等1989；馮與汪2010），2010年起氣象局將CWB 2-tier CFS_v1的CWB-GAMT42L18解析度從原來的T42（大約300公里網格）提升為T119（大約110公里網格），垂直層數從18增加為40層，模式物理也更新為與天氣預報的NWP模式類似，新版模式簡稱CWB-GAMT119L40。本研究的目的是根據CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19、CWB-GAMT119L40三個模式49年氣候模擬結果，依雨量和環流的氣候平均場、亞洲季風特徵與季節變化、伴隨聖嬰現象的海平面氣壓年際變化等三方面比較分析模式AMIP條件下氣候模擬結果的差異，作為後續發展由多個模式多組預報組成的第二代二步法短期氣候預報系統規劃參考。

二、資料與方法

（一）資料

本文以NCEP 重分析資料（Kalnay et al. 1996; NCEP-R1）作為評比模式大尺度環流場模擬結果的對照，資料解析度為經緯網格2.5°。由於重分析資料的雨量品質不佳，雨量部分採用解析度為2.5°的GPCP （Global Precipitation Climatology Project, Adler et al. 2003） 作為對照，但GPCP資料長度較短，始於1979年。另外，觀測的海表面溫度資料是使用美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）產出的ERSST-V3b （Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 3b, Smith et al. 2008），解析度為1°。

AMIP條件乃是指下邊界條件使用觀測分析場資料或給定的氣候資料，以此資料去強迫全球大氣環流模式的氣候模擬方式（Gates 1992）。氣象局在發展CWB

2-tier CFS_v1的初期（2003-2004）即分別完成了CWB-GAMT42L18和ECHAM5-GAMT42L19的AMIP條件氣候模擬，模擬的年份分別為1950-2005年（56年）與1956-2005年（48年）。雖然目前CWB-GAMT119L40的AMIP條件氣候模擬資料的長度有58年（1949-2006），本研究僅使用1956-2005年（49年）三個模式的模擬結果進行分析以方便評比，並將模式資料均內插成經緯網格2.5°的格點資料。模式使用的物理參數化方法整理在表1。

（二）方法

本研究依照雨量、海平面氣壓場、季節與季風變化三個重點分析模式的氣候模擬結果。雨量方面主要包含年雨量、季節雨量以及季風區的雨量季節變化特徵。海平面氣壓場搭配雨量分析，可了解模式是否掌握到重要的大尺度環流季節特徵。在季節與季風變化方面，則是依據不同的季風區域和指標，分析模式對於季風特徵的模擬能力。使用的統計方法主要有距平分析（anomaly）、形態相關係數（pattern

表1 全球氣候模式之CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18、與ECHAM5-GAMT42L19之物理過程與使用參數化表格。

Table 1. The table of physical process and schemes in CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18 and ECHAM5-GAMT42L19.

模式名稱 / 物理過程	**T119L40**	**T42L18**	**ECHAM5**
Radiation	Fu and Liou (1992, 1993) Fu et al. (1997)	Harshvardhan et al. (1987)	Fouquart and Bonnel (1980) Mlawer et al. (1997)
Cumulus	Pan and Wu (1995)	Moothi and Suarez (1992)	Tiedtke (1989) Nordeng (1994)
Large scale precipitaion	Zhao and Frederick (1997)	Based on relative humidity	Tiedtke (1993)
Shallow convection	Li and Young (1994)	Li (1994)	Lohmann and Roeckner (1996)
Vertical diffusion	Troen and Mahrt (1986)	Detering and Etling (1985)	Garratt (1992)
Surface flux	Businger (1971)	Businger (1971)	Louis (1979)
Land model	Ek et al. (2003)	Manabe (1969)	Roesch et al. (2001)
Gravity drag	Palmer et al. (1986)	Palmer et al. (1986)	Hines (1991a, b, c, 1993)

correlation coefficient）、標準化之均方根誤差（normalized root mean square error ）和泰勒圖（Taylor diagram）（Taylor 2001）。

三、雨量分析

（一）年雨量

圖1顯示作為對照資料的GPCP在1979-2005年之平均年雨量和CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19三個模式模擬的同期平均年雨量的對照，圖左上角標示的數字為全球平均後的單點降水量，可見模式模擬的總雨量高於GPCP，高解析模式雨量高於低解析，CWB模式雨量高於ECHAM5。由GPCP雨量資料（圖1a）可知全球降水主要集中在南北緯20°以內的熱帶區域，包括從東印度洋往東經印尼群島、南海、菲律賓海、以及大約沿10°N橫跨太平洋的間熱帶輻合區（ITCZ），還有從西太平洋暖水區向東南往南太平洋群島延伸的南太平洋輻合區（SPCZ）。南美洲亞馬遜雨林區和大西洋和西非赤道附近的ITCZ也都是年雨量豐沛的主要降水區域。熱帶以外的中高緯主要降水區域集中在太平洋和大西洋上，在北半球的雨帶走向為西南往東北，在南半球的雨帶走向為西北往東南，在南半球雨帶從熱帶多雨區往高緯度區域延伸的現象比北半球更明顯，這些雨帶主要反應了中高緯大氣的不穩定區域，低壓風暴容易在這些位置形成後往東和往極區方向移動。

相較於GPCP資料，氣象局模式模擬的雨量明顯偏多，CWB-GAMT119L40的雨量比CWB-GAMT42L18更多，在南半球的差異比北半球大。ECHAM5-GAMT42L19模擬的雨量比CWB模式較少，但在赤道附近西太平洋暖池區10°S與150°E附近的雨量仍是明顯多於GPCP，這個現象在CWB模式也同樣可見。CWB-GAMT119L40對赤道東太平洋上ITCZ的模擬較CWB-GAMT42L18為佳，但在東太平洋和中美洲附近的雨量仍然偏高，不過對於從南美洲西北端往南半球大西洋延伸的雨帶CWB-GAMT119L40則明顯優於CWB-GAMT42L18，赤道附近西印度洋上的降雨也同樣是CWB-GAMT119L40結果較佳。從各模式年雨量和GPCP形態相關係數來看，CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19三者與GPCP的相關係數分別為0.87、0.78與0.87，顯示CWB-GAMT119L40明顯改進了CWB-T42L18的模擬能力，但和觀測資料的相似程度與ECHAM5-GAMT42L19相當。

（二）季節平均雨量

圖2顯示1979-2005年夏季（Jun-Aug, JJA）與冬季（Dec-Feb, DJF）之GPCP季節平均雨量分佈圖以及CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19分別與GPCP的雨量差異圖，看到夏季GPCP的主要降水在孟加拉灣、太平洋與大西洋上5°N附近的ITCZ、中南美洲近赤道區域。雨量差異

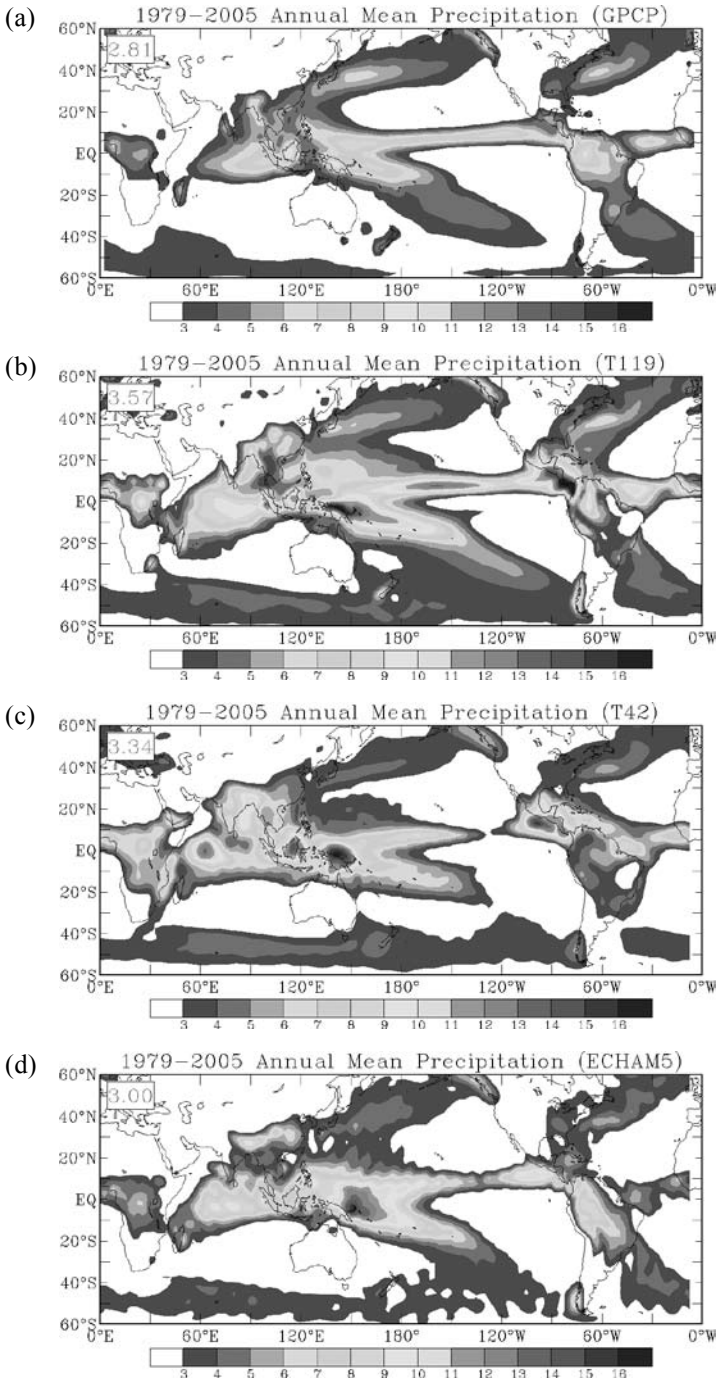

圖1 年雨量之GPCP (a)、CWB-GAMT119L40 (b)、CWB-GAMT42L18 (c)、ECHAM5-GAMT42L19 (d)的氣候場分佈圖。圖中左上角數字代表此區域內的雨量平均值。

Fig. 1. The climatological annual mean precipitation of GPCP (a)、CWB-GAMT119L40 (b)、CWB-GAMT42L18 (c)、ECHAM5-GAMT42L19 (d)。The value in map is precipitation count over whole area.

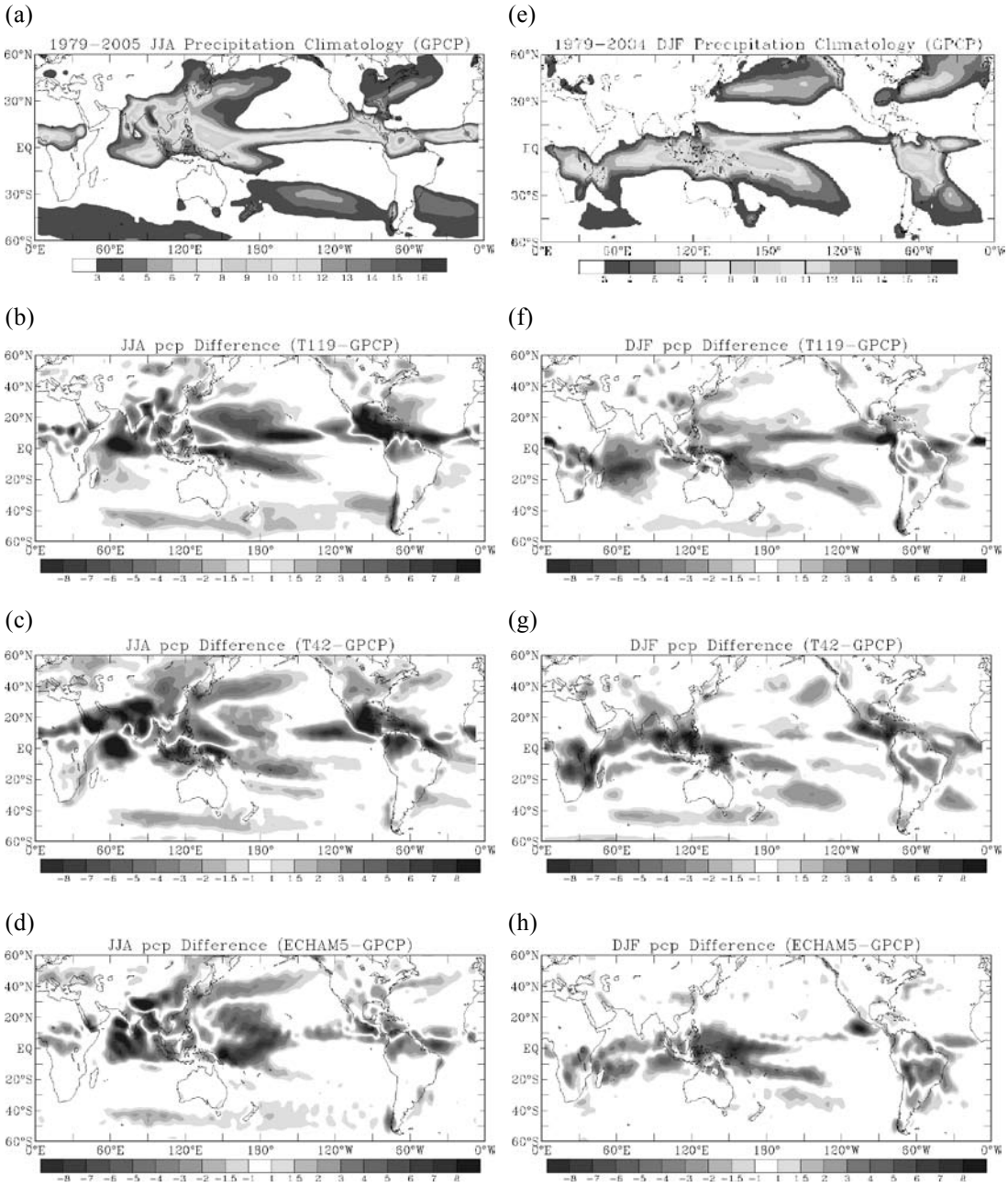

圖2 Jun-Aug（JJA）季節（a-d）與Dec-Feb（DJF）季節（e-h）平均之GPCP降水氣候分佈圖以及CWB-GAMT119L40（b,f）、CWB-GAMT42L18（c,g）、ECHAM5-GAMT42L19（d,h）分別與GPCP雨量的差異分佈圖。

Fig. 2. Jun-Aug(a-d) and Dec-Feb(e-h) seasonal mean precipitation of GPCP(a,e) and precipitation difference between GPCP and CWB-GAMT119L40(b,f)、CWB-GAMT42L18(c,g) 、ECHAM5-GAMT42L19(d,h).

圖2b顯示CWB-GAMT119L40雨量在熱帶海洋上有偏多的情形，印度洋、西與中太平洋及墨西哥灣與加勒比海一帶中尤其明顯。CWB-GAMT42L18的降水偏差（圖2c）空間特徵和CWB-GAMT119L40相似，但南亞與中國南方降水明顯偏多，在西北太平洋與東太平洋則明顯偏少。ECHAM5-GAMT42L19模擬的偏多區域（圖2d）和CWB-GAMT42L18相似，但前者降雨在陸地上的偏多程度低於後者。

GPCP顯示冬季（圖2e）降水集中在南太平洋SPCZ、印度洋與太平洋上赤道附近的ITCZ、南美洲大陸、以及北半球中緯度太平洋與大西洋上的風暴行經路徑。不同於夏季，CWB-GAMT119L40和CWB-GAMT42L18的雨量偏差空間分布差異在冬季較大，尤其是在印度洋與南亞及東南亞一帶，CWB-GAMT119L40雨量偏多區域主要在赤道以南的熱帶區域，而CWB-GAMT42L18雨量偏多區域以赤道以北為主。另外，太平洋上雨量偏多情況CWB-GAMT119L40較CWB-GAMT42L18明顯。ECHAM5-GAMT42L19的雨量偏差空間分布和CWB-GAMT42L18的相似性明顯高於CWB-GAMT119L40，但在中南美洲ECHAM5-GAMT42L19與另外兩個模式的相似程度甚低。

四、海平面氣壓場

除了雨量以外，海平面氣壓（SLP）季節平均特徵也是大尺度氣候的基本場量。圖3顯示夏季（JJA）與冬季（DJF）之SLP的NCEP-R1資料與三個模式模擬的偏差。首先看分析場，圖3a呈現夏季SLP的主要系統在夏季半球是大洋上顯著的副熱帶高壓，陸地SLP偏低，南亞與東南亞的阿拉伯海、孟加拉灣、南海、菲律賓海等緊鄰大陸的邊緣海域氣壓都偏低，可清楚辨識從中國南部和南海往東南延伸到赤道換日線附近的東亞與西北太平洋的季風槽，這是熱帶對流旺盛相當獨特的西北太平洋季風區。在冬季半球的SLP氣候平均特徵為帶狀的副熱帶高壓，三個高壓中心分別出現在非洲東南方馬達加斯加以東的印度洋海面、南太平洋智利西方、南大西洋上。澳洲南部也有明顯的高壓，唯強度不及在馬達加斯加東南方的西印度洋副熱帶高壓中心。

比較圖3b-d的三個模式模擬結果相對於NCEP-R1資料的偏差，可看到三個模式都有夏季半球的副熱帶高壓偏強位置偏北以及東亞與西北太平洋氣壓偏低的現象，高壓偏強以ECHAM5-GAMT42L19模式最明顯，熱帶季風區氣壓偏低則以CWB-GAMT42L18最明顯。冬半球的副高偏強現象以CWB-GAMT119L40幅度較大，但南太平洋東部CWB-GAMT119L40和CWB-GAMT42L18都有副高偏弱的現象。CWB-GAMT42L18模擬的SLP氣候場差異和CWB-GAMT119L40相當類似，但T42模擬的太平洋副熱帶高壓更強，高壓脊往台灣地區延伸。ECHAM5-GAMT42L19與重分析資料的差異和

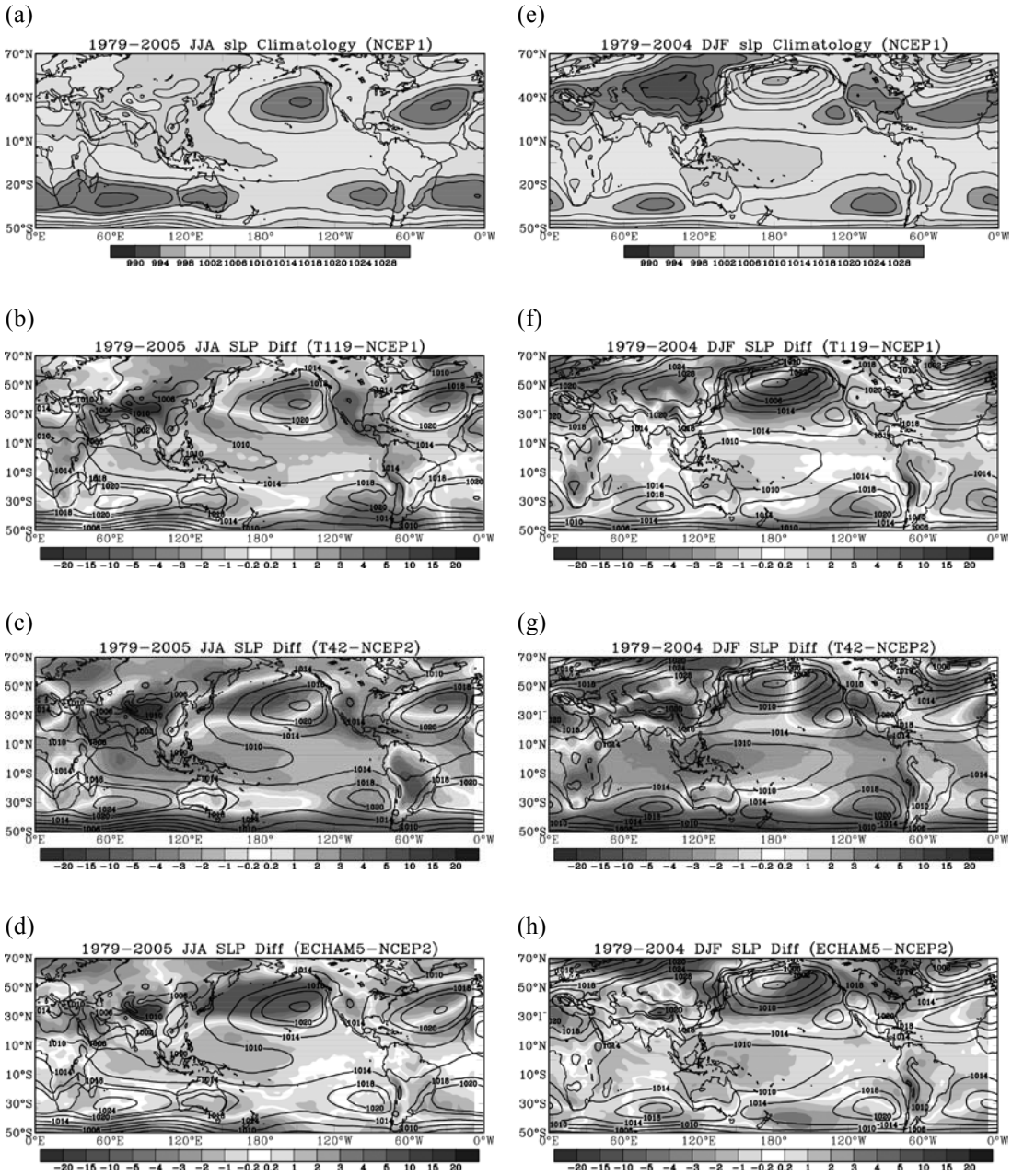

圖3 同圖2，但為NCEP-R1的SLP氣候分佈圖以及CWB-GAMT119L40（b,f）、CWB-GAMT42L18（c,g）、ECHAM5-GAMT42L19（d,h）分別與NCEP-R1之SLP差異與氣候分佈圖。圖中顏色為差異值，線條為NCEP-R1氣候值。

Fig. 3. Same as Fig. 2, but it's SLP of seasonal mean and difference. The contour is seasonal mean and color is difference between GPCP and CWB-GAMT119L40(b,f)、CWB-GAMT42L18(c,g)、ECHAM5-GAMT42L19(d,h).

CWB-GAMT42L18類似，也是副熱帶高壓偏強。東北亞與東西伯利亞陸地上氣壓偏高的現象只出現在ECHAM5-GAMT42L19。

冬季圖3e-h顯示北半球在歐亞大陸上有極為醒目的蒙古與西伯利亞高壓，太平洋上有阿留申低壓，從東太平洋往東包含北美陸地、大西洋、北非一直到中亞有一條帶狀的副熱帶高壓區。南半球SLP氣候場的副熱帶高壓和夏季（圖3a）相比在海上的相似度很高但強度明顯偏弱，比較大的季節差異出現在澳洲及其北方的海洋陸地與熱帶西北太平洋區域。圖3f顯示CWB-GAMT119L40模擬的西伯利亞高壓與阿留申低壓都偏弱，北美陸地與大西洋、北非與西亞的副熱帶高壓過強。CWB-GAMT42L18模擬結果和分析場的差異與CWB-GAMT119L40不盡相同，T42在東亞沿岸氣壓偏高，西北太平洋高緯區氣壓偏低都與T119不同，表示T119模擬的東亞冬季季風可能有偏弱的誤差而T42的模擬結果可能偏強。ECHAM5-GAMT42L19與NCEP-R1重分析資料的差異在冬、夏兩季大致上差異不大，都是中高緯高壓偏強並且主要偏強區域在冬季比夏季的緯度稍高。和CWB-GAMT119L40與CWB-GAMT42L18相比，ECHAM5-GAMT42L19（圖3h）的模擬特徵在東北太平洋和CWB-GAMT119L19（圖3f）與CWB-GAMT42L18（圖3g）相當類似，但在西北太平洋與CWB-GAMT119L40（圖3f）比較相似。

圖4是三個模式夏、冬季的季平均850hPa風場與NCEP-R1資料的差異。先看NCEP-R1夏季的氣候平均場（圖4a）顯示，太平洋赤道區域有明顯的東風帶，在東印度洋有很強的索馬利跨赤道流，風場在北印度洋和南亞陸地區域轉變成西風。北太平洋及北大西洋以反氣旋式環流為主，南太平洋中緯度則為強盛的西風帶。三個模式的模擬結果（圖4b-4d）以CWB-GAMT119L40的風場與風速和NCEP-R1資料最接近，而CWB-GAMT42L18和NCEP-R1有明顯差異，ECHAM5-GAMT42L19和NCEP-R1的差異在西北太平洋上比較大，南半球的差異平均而言比CWB的兩個模式都小。CWB-GAMT119L40改善了CWB-GAMT42L18印度洋上索馬利跨赤道流與南亞西風過強的偏差以及太平洋副高環流過度西伸與大西洋副高環流太弱等缺點，但在中美洲墨西哥灣附近高壓環流過強（圖4b）。

NCEP-R1 資料冬季氣候平均場（圖4e）顯示赤道附近在太平洋與大西洋上都是東風，印度洋上東風較弱，北太平洋與北大西洋為低壓環流並有風速明顯較大的西風帶從大洋往陸地吹；南太平洋以三個高壓環流為主，分別出現在印度洋、東太平洋與大西洋。類似於夏季看到的結果，三個模式（圖4f-4h）以CWB-GAMT119L40與ECHAM5-GAMT42L19的風場與風速和NCEP-R1資料最接近，CWB-GAMT42L18和NCEP-R1差異最大。雖然CWB-GAMT119L40明顯改善

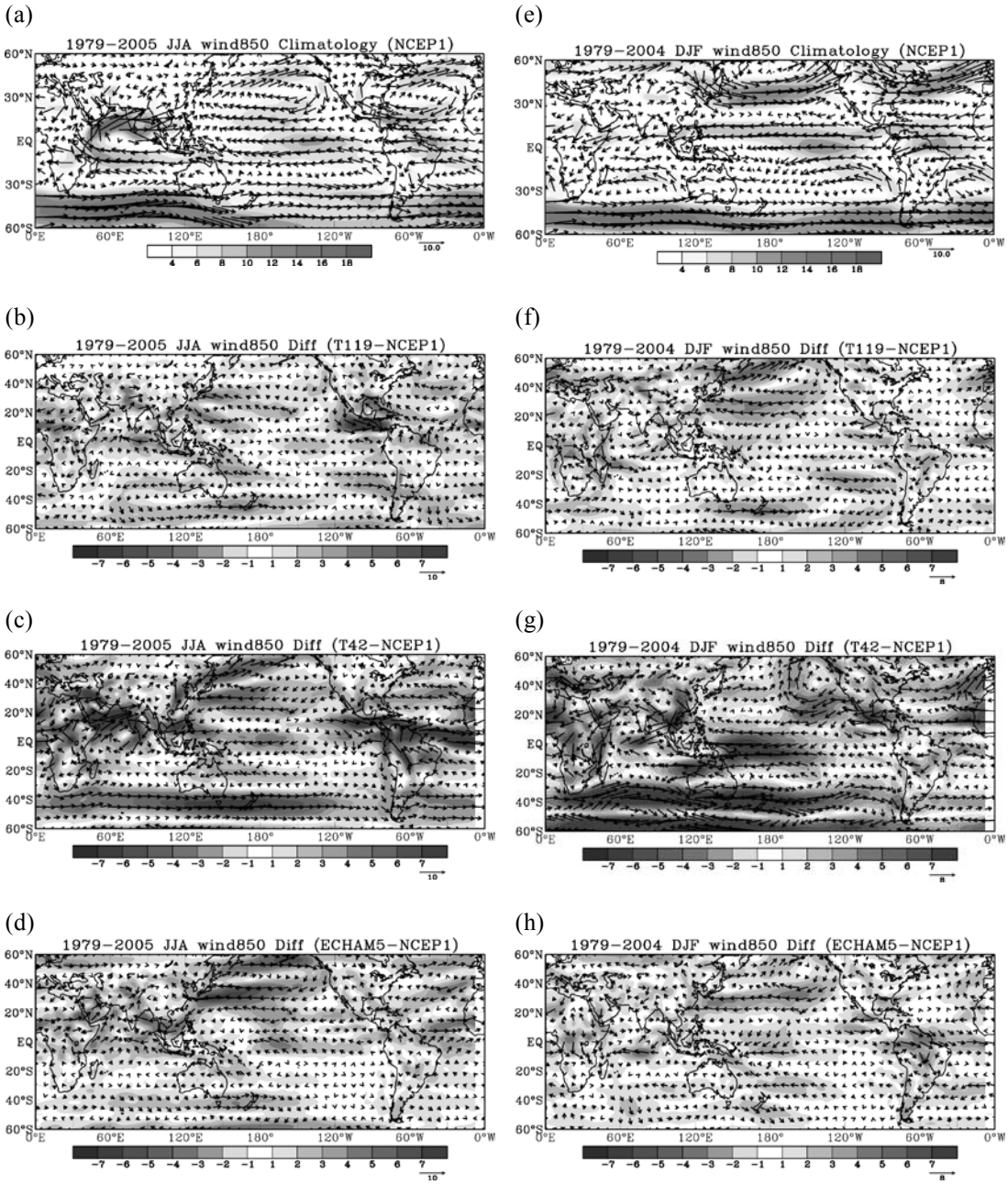

圖4 同圖2，但為NCEP-R1的850hPa風場氣候分佈圖以及CWB-GAMT119L40（b,f）、CWB-GAMT42L18（c,g）、ECHAM5-GAMT42L19（d,h）分別與NCEP-R1之風向與風速差異，顏色為風速差異值。

Fig. 4. Same as Fig. 2, but it's 850hPa wind of seasonal mean and difference. The vector and color is difference between NCEP-R1 and CWB-GAMT119L40(b,f)、CWB-GAMT42L18(c,g)、ECHAM5-GAMT42L19(d,h).

了CWB-GAMT42L18低層風場模擬不佳的缺點，但與ECHAM5-GAMT42L19相比並沒有明顯的優點，ECHAM5-GAMT42L19對東太平洋近岸風場的模擬比CWB模式更接近NCEP-R1的分析。

五、季風指標與季節變化

（一）季風時空特性

將CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18及ECHAM5-GAMT42L19三個模式日資料處理成氣候平均場之日資料，再採用Wang et al. （2001）的西北太平洋夏季季風指標（WNPM）以及Jhun and Lee （2004）的亞洲冬季季風指標（EAWM）來分析氣候模式是否能夠正確掌握季風區域內環流場的年循環變化特性。WNPM指標是850hPa緯向風（U）的經向風切，定義為U850（5°-15°N,100°-130°E） 與U850（20°-30°N,110°-140°E）的差值，而EAWM則是300hPa緯向風（U）的經向風切，定義為U300（27.5°-37.5°N,110°-170°E） 與U300（50°-60°N,80°-140°E）的差值。WNPM的決定是以伴隨東亞夏季季風的低緯度低層風特徵為主要考慮，EAWM的決定則是以伴隨東亞冬季季風的高緯度高層風特徵為考慮對象。

圖5顯示NCEP-R1、CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19之WNPM指標（圖5a）與EAWM指標（圖5b）的氣候平均值之日時間序列圖，圖中NCEP-R1的WNPM指標數值在5月開始上升，8-9月間達到最高值，隨後開始遞減。CWB-GAMT119L40在1-5月模擬偏強，尤其是在4-5月期間明顯偏強，8-9月沒有和觀測值一樣出現最高值，反而在10月份有最高值出現，隨後才開始遞減，表示CWB-GAMT119L40模擬的WNPM指標春季與秋冬過強而盛夏偏弱，一年當中的最高值出現時間偏晚。CWB-GAMT42L18的WNPM夏季偏弱的情況遠比CWB-GAMT119L40嚴重，春季（4-5月）和秋季（10-11月）模擬結果優於CWB-GAMT119L40。ECHAM-GAMT42L19的WNPM 模擬結果與 CWB-GAMT119L40相當接近。

圖5b顯示三個模式對EAWM指標在季節變化方面的掌優於WNPM，在十至三月的冬半年雖然模式模擬結果較NCEP-R1資料偏低，但季節轉變的季節特徵與NCEP-R1資料相當一致。NCEP R1資料顯示EAWM的最低值出現在夏季七、八月，與模式的模擬結果類似。CWB-GAMT119L40明顯優於CWB-GAMT42L18，夏半年的改進尤其明顯。

為更清楚呈現模式模擬的WNPM、EAWM與根據NCEP-R1資料計算的差異，將三個模式的日氣候值（相同日期的49年平均）以 NCEP-R1資料為對照以泰勒圖表示（Taylor, 2001）。圖中圓周上的數字為相關係數值，縱軸與橫軸標示的是根據指標時間序列計算的標準差並將模式的標準差轉換成觀測值標準差的倍數，

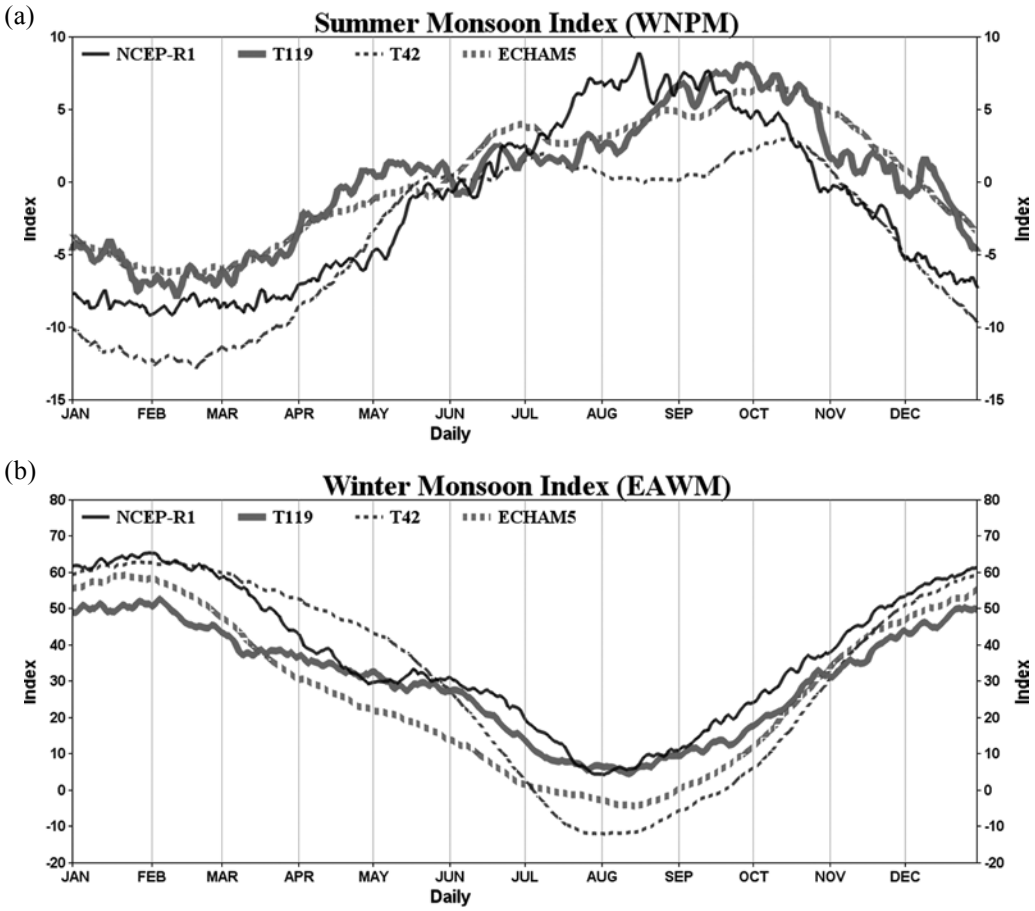

圖5 夏季季風指標WNPM（a）與冬季季風指標EAWM（b）之氣候平均值日時間序列圖，圖中分別為NCEP-R1（細實線）、CWB-GAMT119L40（粗實線）、CWB-GAMT42L18（細點線）與ECHAM5-GAMT42L19（粗點線）。

Fig. 5. Time series of daily climatology as described by the summer monsoon index-WNPM(a) and winter monsoon index-EAWM(b). The NCEP-R1(thin solid line)、CWB-GAMT119L40(thick solid line)、CWB-GAMT42L18(thin dot line) and ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line) were used.

橫軸上以'REF'為圓心往外擴展的圓弧其半徑長度代表均方根誤差值，此均方根誤差值是計算模式距平值與觀測距平值的差異總和開根號，並將誤差值轉換成觀測值標準差的倍數。本文泰勒圖的定義和卓與盧 （2010）相同，但與標準泰勒圖有些差異，可視為簡化至一維空間的泰勒圖。圖6為CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19的WNPM與EAWM的泰勒圖，由圓周上的相關係數值與圓弧半徑長度的均方根誤差，可以看到三個模式模擬結果與

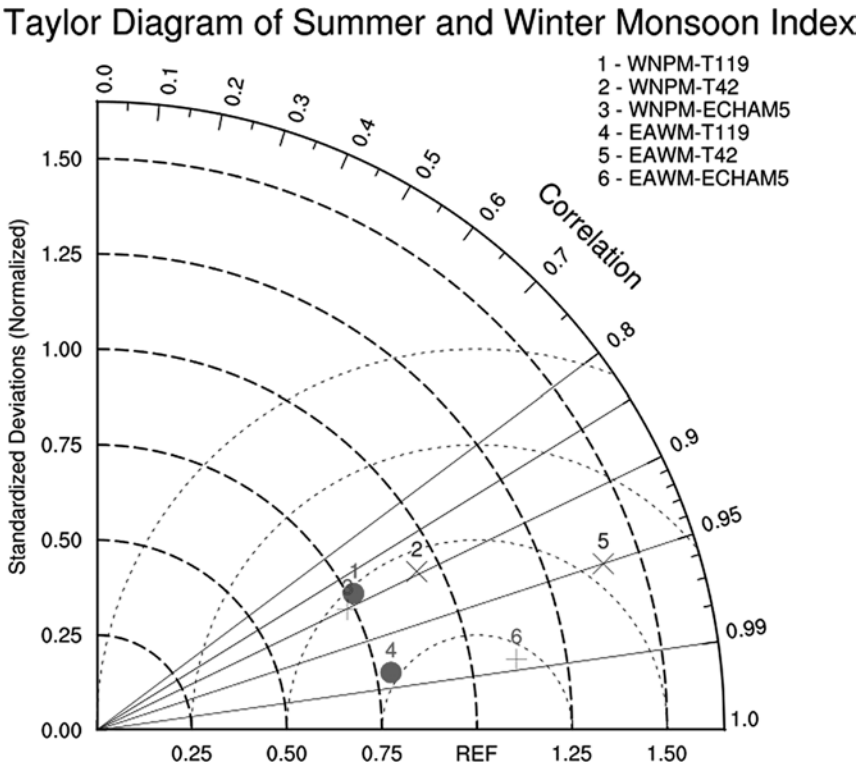

圖6 以NCEP-R1為參考值製作的夏季季風指標-WNPM與冬季季風指標-EAWM之泰勒圖，圖中細實線為相關係數值，粗點線為標準差值，細點線則為均方根誤差值，圖中分別為●代表CWB-GAMT119L40，╳代表CWB-GAMT42L18，＋號代表ECHAM5-GAMT42L19。

Fig. 6. Taylor diagram of WNPM and EAWM index refer to NCEP-R1. The thin line is correlation coefficient, thick dot line is standard deviation and thin dot line root mean square error. The mark "●" is CWB-GAMT119L40，"╳" is CWB-GAMT42L18，"＋" is ECHAM5-GAMT42L19.

NCEP-R1的相關係數都在0.85以上，均方根誤差值在0.5之內，三個模式的WNPM相關係數不分高下，EAWM則以CWB-GAMT42L18的相關係數最小，均方根誤差值最大，其它二者相當接近，但以ECHAM5-GAMT42L19的表現最好。另外，在季節變化幅度方面，三個模式的WNPM都表現出變化幅度方面不及NCEP-R1，EAWM則以CWB-GAMT42L18的季節變化幅度明顯大於NCEP-R1，ECHAM5-GAMT42L40的變化幅度也略大於NCEP-R1，CWB-GAMT119L40的變化幅度則是略小於NCEP-R1。由模式模擬結果與NCEP-R1季風指標的相關係數值、均方根誤差與變異量分析得到，CWB-GAMT119L40與

ECHAM5-GAMT42L19對於東亞的高低層風場季節變化基本特徵都有適當的模擬能力。

（二）雨量年循環

Wang and LinHo （2002）根據雨量變化的特性將亞洲季風區區分出西北太平洋夏季季風區（WNPSM，範圍：5°N-22.5°N，105°E-150°E） 、東亞夏季季風區（EASM，範圍：22.5°N-45°N，105°E-140°E）和印度夏季季風區（ISM，範圍：25°N-27.5°N，65°E-105°E））。接下來將用與前一節類似的分析方法討論模式在ISM和WNPSM的雨量氣候模擬結果，並用GPCP資料作為對照的參考標準。EASM區的雨量氣候在本文暫不討論。

圖7為三個模式與GPCP在WNPSM與ISM兩個季風區的雨量氣候值。由圖7a可知WNPSM雨量氣候的一年最大值出現在7月中至8月中期間，最低值出現在2-3月。這些基本特徵都沒有被三個模式模擬出來，CWB-GAMT42L18甚至最低值出現在夏季並有兩個峰值在五月和十一月中下旬。CWB-GAMT119L40和ECHAM5-GAMT42L19的結果非常相似但都不佳，CWB-GAMT119L40改善了CWB-GAMT42L18的夏季模擬，但仍不理想。不同於西北太平洋夏季季風區的模擬結果，模式在印度夏季季風區雨量的模擬甚佳，雨季高峰值之後比雨季開始的模擬更好。三個模式當中還是以CWB-GAMT42L18的結果最差，雨量明顯高估，這和圖1看到的結果一致。

圖8的雨量泰勒圖分析結果和圖6的風場結果明顯不同，模擬甚差的WNPSM雨量標準差明顯小於GPCP並且均方根誤差明顯大於ISM雨量模擬。另外，CWB-GAMT42L18的結果沒有在圖中出現，是因為模擬的結果實在太差，和GPCP的相關係數值只有-0.1。因此，從西北太平洋夏季季風雨量模擬的角度來看，CWB-GAMT119L40確實大幅改善了CWB-GAMT42L18的缺失。

六、年際變化

比較了三個模式模擬的49年氣候平均場，接下來討論模式氣候在全球大氣年際變化方面的表現。氣候最重要的年際變化首推聖嬰現象，由於AMIP條件模擬的下邊界條件是每天輸入觀測分析場資料，或可看作模式的海溫模擬是完全（perfect）的即與觀測分析場完全相符的，因此合適作為預報工具的模式必須能模擬聖嬰現象中大氣對海洋表面溫度的響應。盧（2000）分析得到台灣某些特定月份的異常氣候和聖嬰現象有明顯關係，所以本研究計算了常用的聖嬰指數Nino3.4與三個模式模擬的海平面氣壓（SLP）的相關係數，觀察模式的模擬結果是否合理，並以三個模式分別與NCEP-R1相關係數圖之間的形態相關係數值的高低作為判斷模擬好壞的客觀標準。Nino3.4代表赤道東太平洋（5°S-5°N，120°W-170°W） 海表面溫度的冷暖。

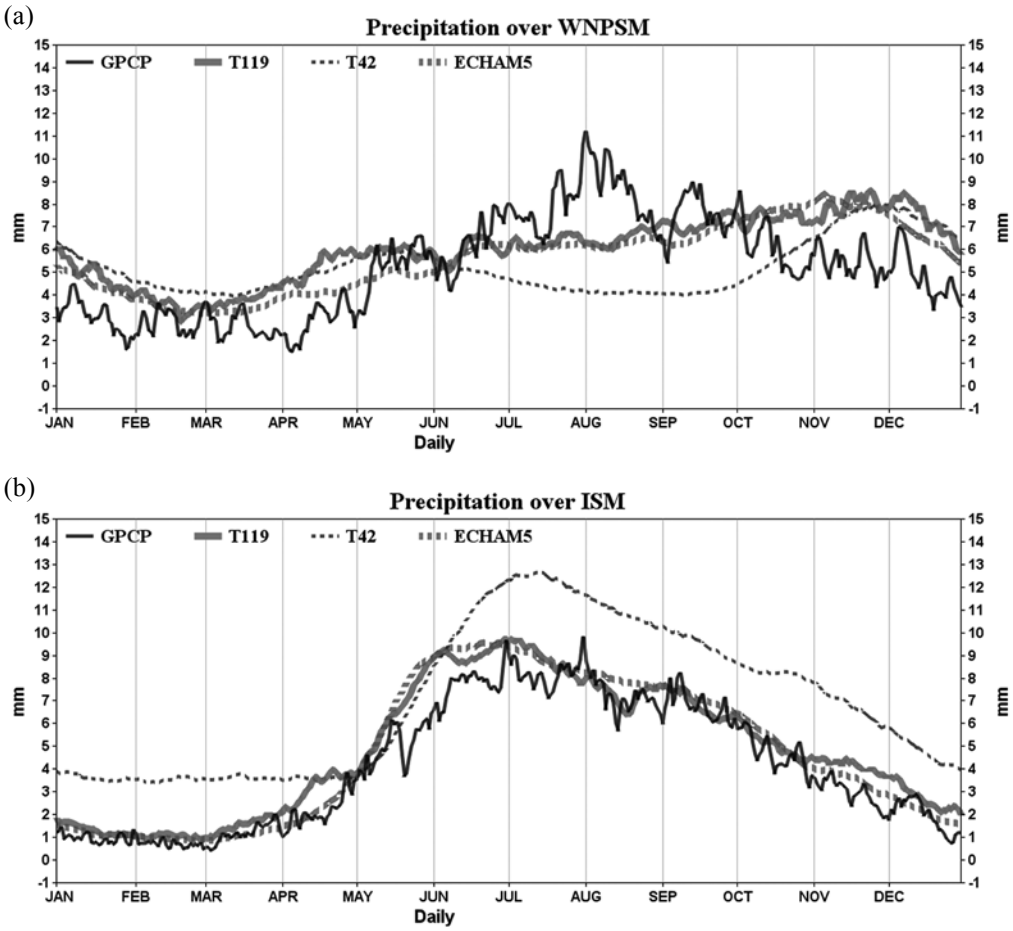

圖7 WNPSM（a）、EASM（b）、ISM（c）季風區域內之雨量氣候平均值的日時間序列圖，圖中分別為GPCP（細實線）、CWB-GAMT119L40（粗實線）、CWB-GAMT42L18（細點線）與ECHAM5-GAMT42L19（粗點線）。

Fig. 7. Time series of daily climatology as described by the precipitation over WNPSM(a)、EASM(b) and ISM(c). The NCEP-R1(thin solid line)、CWB-GAMT119L40(thick solid line)、CWB-GAMT42L18(thin dot line) and ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line) were used.

現以冬季（12-2月）為例檢視NCEP-R1和三個模式模擬的SLP與Nino3.4相關係數。圖9a顯示Nino3.4區域的海溫和東太平洋SLP有負相關的關係而和西太平洋與印度洋的SLP有正相關關係，這個伴隨赤道海溫變化出現的換日線（180°經度）東西大範圍SLP的變化趨勢相反的現象稱為南方振盪（Southern Oscillation），也就是赤道東太平洋偏暖時東太平洋海平面氣壓有偏低趨勢而西太平洋與印度洋海平

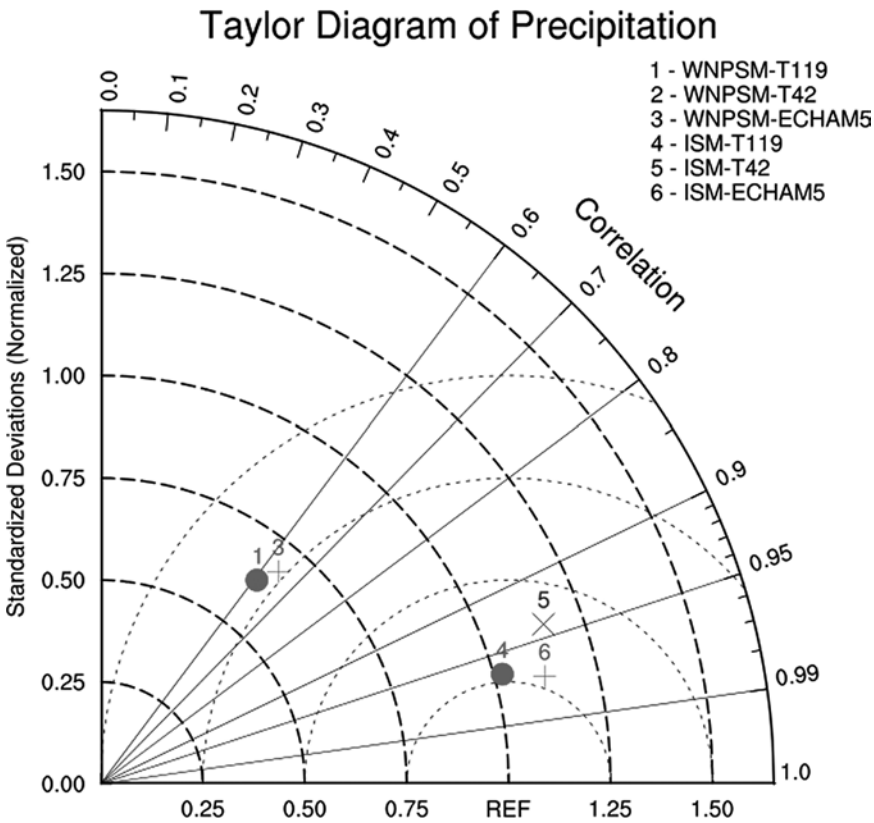

圖8 同圖6，但為WNPSM與ISM地區之氣候值日降水泰勒圖。

Fig. 8. Same as Fig. 6, but it's precipitation taylor diagram of WNPSM and ISM.

面氣壓有偏高的趨勢。此乃是因為海溫影響了熱帶對流系統的發展，東太平洋海溫偏暖時對流系統隨之偏東，旺盛的對流造成上升氣流因而氣壓偏低，同時加強了在西太平洋與印度洋的下沈氣流，對流活動減弱區域的氣壓偏高。比較分別顯示在圖9b-c的三個模式模擬的SLP和Nino3.4相關係數與圖9a的NCEP R1之SLP與Nino3.4相關係數可以看到模式對赤道海溫變化的反應大致正確，都有南方振盪的訊號，但反映的強弱和空間特徵不全相同。圖9d的ECHAM5-GAMT42L19的南方振盪訊號最強，圖9c的CWB-GAMT42L18訊號最弱。比較圖9b與9c發現CWB-GAMT119L40的南方振盪效果優於CWB-GAMT42L18。

為客觀比較三個模式對Nino3.4區域海溫變化的反應，模式與NCEP R1相關係數圖之間的形態相關係數全年變化顯示在圖10，相關係數愈高表示模式模擬SLP和Nino3.4 的關係分佈與NCEP-R1 SLP和Nino3.4的關係分佈愈相近。圖10顯示除了夏、秋季以外，CWB-GAMT119L40對Nino3.4的反應明顯優

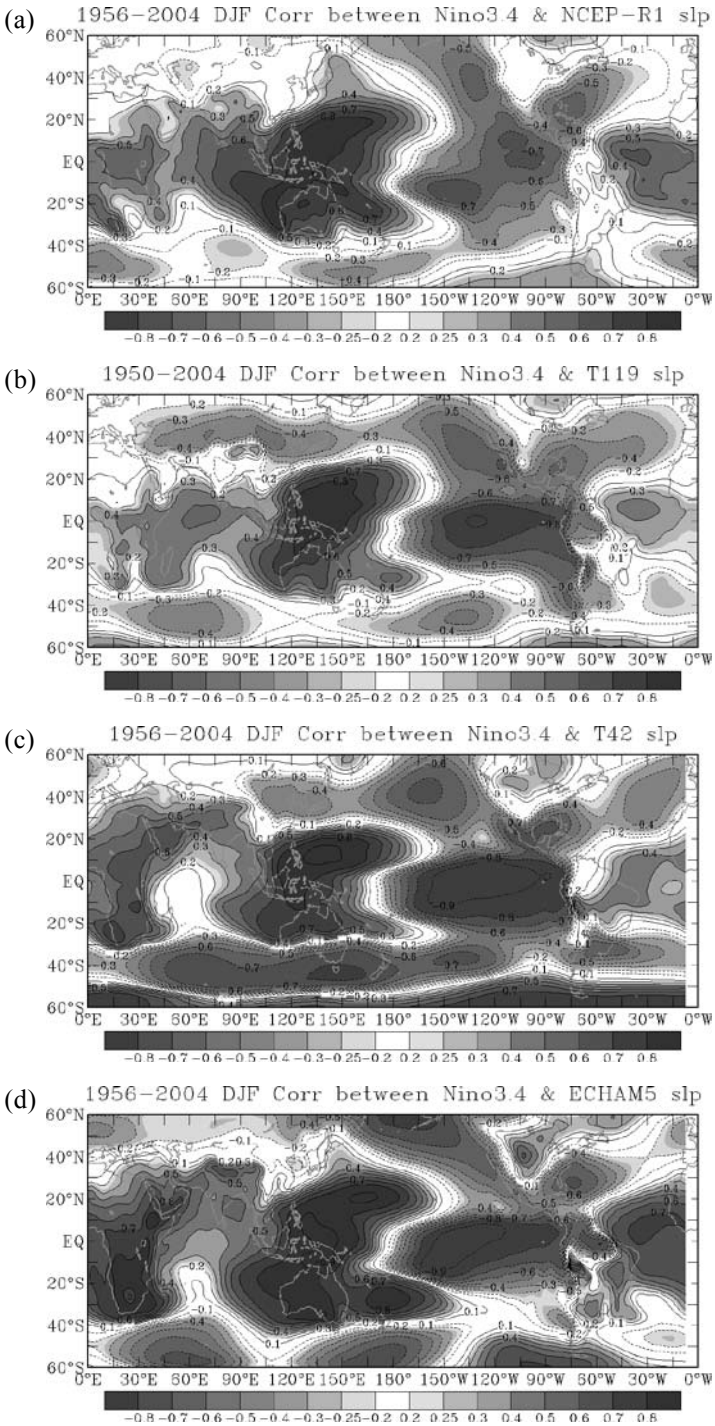

圖9 DJF的海平面氣壓（SLP）與Nino3.4指標相關係數圖，使用的SLP資料分別是(a) NCEP-R1 (b) CWB-GAMT119L40 (c) CWB-GAMT42L18 及 (d) ECHAM5-GAMT42L19。

Fig. 9. The DJF correlation map is between Nino3.4 SST and SLP. The NCEP-R1(a)、CWB-GAMT119L40(b)、CWB-GAMT42L18(c) and ECHAM5-GAMT42L19(d) were used.

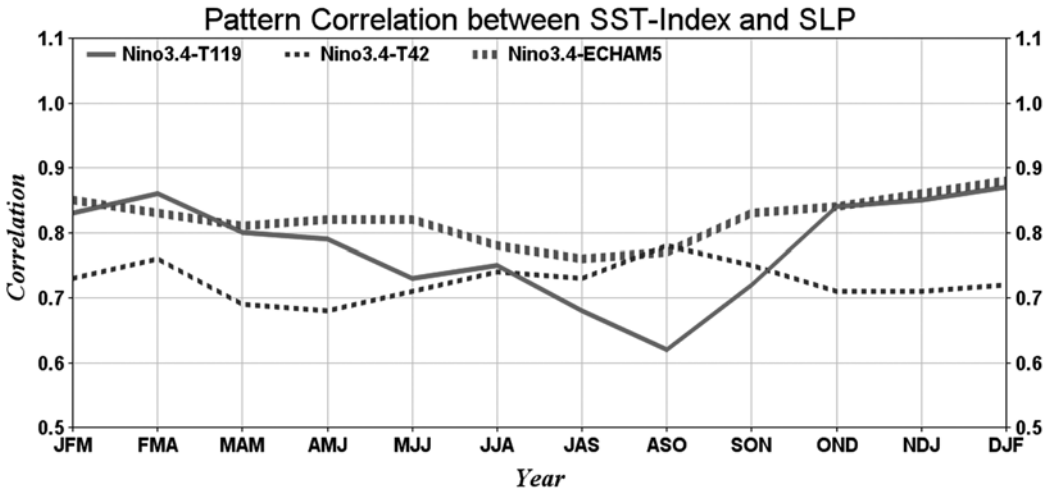

圖10 CWB-GAMT119L40（實線）、CWB-GAMT42L18（細點線）及ECHAM5-GAMT42L19（粗點線）之SLP相關分佈圖別與NCEP-R1的SLP空間相關製作形態相關係數之各季節序列圖。圖中X軸為季節，Y軸為相關係數值。

Fig. 10. Seasonal time series of pattern correlation as described by SLP spatial correlation between NCEP-R1 and CWB-GAMT119L40(solid line)、CWB-GAMT42L18(thin dot line)及ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line). The X label is seasonal and Y label is correlation coefficient.

於CWB-GAMT42L18，冬季尤其明顯。特別要注意ECHAM5-GAMT42L19的整體表現優於CWB-GAMT119L40，冬季二個模式的相關係數高低相當，2-4月的CWB-GAMT119L40相關係數高於ECHAM5-GAMT42L19，但是春季與夏季的ECHAM5-GAMT42L19相關係數明顯高於CWB-GAMT119L40。檢查後發現CWB-GAMT119L40表現較差的原因是在中高緯度的SLP對Nino3.4反應過強，出現與NCEP-R1資料不同的結果。為何CWB-GAMT119L18會反應過強？原因尚不清楚，需要繼續研究。

七、結論與討論

本研究分析氣象局的新一代高解析氣候預報模式CWB-GAMT119L40與目前的作業模式CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19的49年AMIP條件氣候模擬結果，發現不論是在雨量、海平面氣壓或環流的氣候平均場CWB-GAMT119L40的結果明顯優於CWB-GAMT42L18，表示模式物理參數化的改進與解析度提高改善了模式的氣候模擬能力。分析東亞季風區高低層風場季節變化與西北太平洋夏季季風區和印度夏季季風區的雨

量變化，同樣發現CWB-GAMT119L40優於CWB-GAMT42L18，但未發現CWB-GAMT119L40優於ECHAM5-GAMT42L19。分析模式SLP對Nino3.4海溫的反應，發現在聖嬰現象比較強盛的北半球冬季CWB-GAMT119L40優於CWB-GAMT42L18，但是在北半球夏季CWB-GAMT119L40對熱帶海溫的反應過強，反而不如CWB-GAMT42L18那麼接近觀測分析場NCEP-R1表現的SLP對Nino3.4海溫的反應。特別要注意的是三個模式中以ECHAM5-GAMT42L19對Nino3.4海溫的反應整體表現最好，優於CWB-GAMT119L40的表現在北半球夏季尤其明顯。相較於ECHAM5-GAMT42L19，CWB-GAMT119L40的氣候模擬並沒有明顯的優勢，可見若要大幅提升氣候模擬結果，不單只靠模式解析度的提高，也需考慮更新模式的物理過程。

以上研究結果是氣象局繼「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展計畫」（2002-2009年）之後接續在「災害性天氣監測與預報作業建置計畫」（2010-2015年）發展以改善月與季尺度預報為目標的「第二代二步法短期氣候預報系統」（CWB 2-tier CFS_v2）的重要參考。CWB 2-tier CFS_v2仍維持多模式多組預報的系集預報策略，除了將以CWB-GAMT119L40汰換CWB-GAMT42L18之外，全球海溫預報部分也將更新為OPGSST_v2/CWB。本文指出ECHAM5-GAMT42L19對海溫的反應整體而言優於CWB-GAMT119L40，將繼續以ECHAM5-GAMT42L19為預報系統的一員。CWB-GAMT119L40的SLP和Nino3.4的關係在北半球夏表現欠佳，由於大氣對海溫的反應是氣候預報的關鍵環節，將繼續研究表現欠佳的問題。

目前氣象局氣候預報系統發展小組正在建立用CWB-GAMT119L30和ECHAM5-GAMT42L19做預報的1981-2010年事後預報資料庫（hindcast data base），海溫預報是用OPGSST_v2/CWB和NCEP CFSRR的預報資料，預報起始的大氣分析場是用 NCEP CFSv2產出的重分析資料CFSR （Saha et al. 2010）。預報規畫為每天預報4組，每次積分280天，每個月綜整兩次月與季的預報結果。若制定每月的28日和14日為綜整預報結果的截取日，則在月底可用往前30天產出的120（30x4）組預報，而在月中同樣使用往前30天的另外120組預報，來更新預報結果。CWB 2-tier CFS_v2的預報技術將會根據這些事後預報資料分析評估。

誌謝

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NSC99-2625-M-052-002-MY3 與NSC99-2625-M-003-001-MY3支助下完成，特此致謝。

八、參考文獻

卓盈旻、盧孟明，2010：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*，第37期第2號，13-34。

胡志文、蕭志惠、童雅卿、任俊儒、鄭凱傑、黃文豪、施宇晴、施景峰、莊穎叡、賈愛玫，2008：中央氣象局動力統計氣候預報系統簡介。*天氣分析與預報研討會論文彙編（97）*, 253-258。

陳雯美、林松錦、蔡清彥，1989：中央氣象局全球數值天氣預報系統1988-1989預報校驗評估。*氣象學報*，35，263-279。

汪鳳如、馮欽賜， 2010：中央氣象局全球模式物理參數化之更新：邊界層及積雲參數化。*大氣科學*，第38期第3號，213-236。

盧孟明，2000：聖嬰現象與台灣異常氣候關係之探討。*大氣科學*，第28期第2號，91-113。

Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project （GPCP） monthly precipitation analysis （1979–present）. *J. Hydrometeor.*, **4**, 1147–1167.

Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, 1971: Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, **28,** 181-189.

Detering, H. W., and D. Etling, 1985: Application of the E-ε turbulence model to the atmostheric boundary layer. *Bound-Layer Meteor.*, **33,** 113-133.

Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, P. Grunmann, E. Rogers, G. Gayno, and V. Koren, 2003: Implementation of the upgraded Noah land-surface model in the NCEP operational mesoscale Eta model. *J. Geophys. Res.*, **108.8851**, doi:10.1029/2002JD003296.

Fouquart, Y. and B. Bonnel, 1980: Computations of solar heating of the earth's atmosphere: A new parameterization. *Beitr. Phys. Atmos.*, **53,** 35-62.

Fu, Q., and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomgenuous atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2139-2156.

Fu, Q., and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2008-2025.

Fu, Q., K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, **54,** 2799-2812.

Garratt, J. R. （1992）: The atmospheric boundary layer. *Cambridge Atmospheric and Space Science Series*. Cambridge University Press, Cambridge.

Gates , W. L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 1962-1970.

Harshvardhan, R. Davies, D. Randall, and T. G. Corsetti, 1987: A fast radiation parameterization for atmospheric circulation models. *J. Geophys. Res.*, **92,** 1009-1016.

Hines, C. O., 1991a: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part I: Critique of linear-instability theory. *J. Atmos. Sci.*, **48,** 1348-1359.

Hines, C. O., 1991b: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part II: Development of Doppler-spread theory. *J. Atmos. Sci.*, **48,** 1360-1379.

Hines, C. O., 1991c: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part III: Formation of the turbopause and of turbulent layers beneath it. *J. Atmos. Sci.*, **48,** 1380-1385.

Jhun, J.G. and E. J Lee. 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate.*, **17**, 711-726.

Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.

Li, J.-L. F., and J. A. Young, 1994: Modeling the interactions of shallow cumulus clouds with large-scale boundary layer fields. *6th conference on climate variations,* pp240-243.

Li, J.-L., 1994: On shallow cumulus parameterization scheme for large-scale planetary boundary layers, *Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison*, pp203.

Lohmann, U. and E. Roeckner, 1996: Design and performance of a new cloud microphysics scheme developed for the ECHAM4 general circulation model. *Clim. Dyn.*, **12,** 557-572.

Louis, J. F. （1979）: A parametric model of vertical eddy uxes in the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.*, **17,** 187-202.

Manabe, S., 1969: Climate and the ocean circulation: I. The Atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Wea. Rev.*, **97,** 739-774.

Mlawer, E. J.; Taubman, S. J.; Brown, P. D.; Iacono, M. J.; Clough, S. A., 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102,** 16663-16682.

Moothi, S., and M. J. Suarez, 1992: Relaxed Arakawa-Schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, **120,** 978-1002.

Nordeng, T. E., 1994: Extend versions of the convective parameterization scheme at ECMWF and their impact on the mean and transient activity of the model in the tropics. *Technical memorandum 206,*

ECMWF, Reading, UK.

Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112,** 1001-1039.

Pan, and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC Medium-Range Forecast model. *NMC Office Note 409*, 40pp.

Roeckner, E., G. Bauml, L. Bonaventura, R Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Krichner, L. Kornblueh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schelese, U. Schulzweida, and A. Tompkins, 2003: The atmosphere general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. *Report No. 349, Max Planck Institute for Meteorology*, Hamburg, Germany.

Roesch, A., Wild, M., Gilgen, H. and Ohmura, A. (2001): A new snow cover fraction parameterization for the ECHAM4 GCM. *Clim. Dyn.*, **17,** 933-946.

Saha, S. and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057.

Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historicalmerged land–ocean surface temperature analysis (1880–2006). *J. Climate*, **21**, 2283–2296.

Taylor, K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, **106**, 7183-7192.

Tiedtke, M., 1989: A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in largescale model. *Mon. Wea. Rev.*, **117,** 1779-1800.

Tiedtke, M. (1993): Representation of clouds in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, **121,** 3040-3061.

Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteor.*, **37,** 129-148.

Wang, B., W. Renguang, and 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 the Asian–Pacific Summer Monsoon. *J. Climate*, **15**, 386–398.

Zhao, Q., and F. H. Carr, 1997: A prognostic cloud scheme for operational NWP models. *Mon. Wea. Rev.*, **125,** 1931-1953.

Assessment of the Climate Simulation Strengths and Limitations of CWB Global Atmospheric General Circulation Model in the Two-tier CFSv2

Ching-Teng Lee, Mong-Ming Lu, Jhy-Wen Hwu
Research and Development Center, Central Weather Bureau, Taiwan

ABSTRACT

In 2010, the Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan started to generate monthly and seasonal climate forecast products based on a multi-model, multi-member, two-tier forecast system (CWB-2T-CFSv1). After CWB-2T-CFSv1 was in operation, CWB has begun to develop the second version two-tier forecast system CWB-2T-CFSv2. The most significant difference between these two versions is to replace the CWB atmospheric general circulation model used in the CWB-2T-CFSv1 with the version with finer spatial resolution and better physics. The resolution of the new model is T119L40 (horizontal grid interval roughly 110km and 40 vertical levels, named CWB-GAMT119L40), while the old models CWB-GAMT42L18 and ECHAM5-GAMT42L19 with horizontal grid interval of 300km and vertically 18 and 19 levels, respectively. In this paper, we compare the performance of the three models: CWB-GAMT119L40, CWB-GAMT42L19, ECHAM5-GAMT42L19 in the aspects of climatological precipitation and sea level pressure (SLP) patterns, and the variability associated with Asian monsoons and ENSO. The results suggest significant improvement of CWB-GAMT119L40 over CWB-GAMT42L18. However, no clear superiority of CWB-GAMT119L40 is demonstrated compared with ECHAM5-CWBT42L19. The implication is that climate simulations vary well with forecast model with high-resolution and better physical scheme.

Key words: short-term climate prediction, climate simulation, global climate forecast system