

氣象局TCWB2T2氣候模式誤差分析與校正評估

張凱鈞¹ 陳苡甄¹ 馮智勇¹ 劉人鳳² 陳孟詩²
多采科技有限公司¹ 中央氣象局預報中心²

摘要

本研究首先分析氣象局屬TCWB2T2系集氣候模式1982~2011年重預報(Reforecast)資料的颱風季(JAS)雨量以及台灣夏季降雨監測指數CMS指標誤差特性後,再利用分位數映射法(Quantile Mapping, QM)予以校正並分析誤差改善情況。

颱風季雨量資料以GPCP降雨資料為分析場,選擇為119°E~123°E, 21°N~26°N範圍內1° x 1°解析度格點代表台灣區域,並以CFSR的850hPa緯向風場為CMS指標校正的分析場資料。分析可知多模式系集平均雨量與GPCP的空間型態相關係數(Pattern Correlation Coefficient)值約為0.4,而模式預報計算的CMS指標值和測站雨量資料距平時間相關係數(Anomaly Correlation Coefficient)值接近0,顯示模式無論直接降雨預報、氣候指標預報皆存在偏差。經過QM校正後則可觀察到雨量保留模式模擬的時間趨勢,並且雨量強度接近分析場,而校正後CMS指標則是和測站雨量相關係數改善。

關鍵字: 誤差校正、Quantile Mapping

一、前言

中央氣象局第二代兩步法全球氣候預報系統(以下簡稱 TCWB2T2)於2015年開發完成,並在2016開始進行準預報作業測試。在進行區域性季預報/氣候預報時,兩種統計上的處理方法常被用來改進模式預報資料準確度(Feddersen, 1999): 第一種為校準(Calibration),為建立模式原始輸出溫度、雨量和分析場資料間統計模型,可用於在該區域有一定預報能力的模式;第二種為橋接(Bridging),使用模式預報較大尺度指標(通常為某一選定區域之變數平均值)和分析場溫度或雨量建立模型,橋接在模式於該區域溫度/雨量直接預報品質不佳時尤其有效。

Wood(2004)在進行氣候變遷的水文分析時發現,無論使用何種降尺度方法來做氣候預報,誤差校正(Bias Correction)後不僅能使氣候模式輸出值和觀測的誤差減少,在進行未來氣候變遷的推估時也能有較為合理的結果,不至於出現無法接受的誤差。Hidalgo(2008)則是將Wood使用的分位數映射法(Quantile Mapping, 以下簡稱QM)校正誤差後進行降尺度和建構類比法(Constructed Analogue, 以下簡稱CA)的結果比較,相對於CA法適合用於日資料處理,QM法更適合用於月資料的誤差校正。

考量系集模式預報成果優劣關鍵在於參與整合的各個模式/成員必須具有穩定且的預報特性,並且應先盡可能去除系統性偏差完成誤差校正。本研究將先針對校準以及橋接,分別選定颱風季(JAS)降雨以及算出CMS指標的850hPa緯向風場(以下簡稱u850)進行QM法校正。為了觀察校正前後差異,颱風季降雨將分析其平均氣候值、時間序列雨量、空

間型態相關係數(Pattern Correlation Coefficient, 以下簡稱PCC)、距平時間相關係數(Anomaly Correlation Coefficient, 以下簡稱ACC)、泰勒圖;而CMS指標則將觀察校正前後指標值對於測站雨量相關係數,以及泰勒圖,最後統整降雨和CMS指標研究結果,並提出建議,為後續發展及精進TCWB2T2局屬模式,以及評估校準模式和橋接模式是否能直接作為預報作業之用。

二、資料來源

TCWB2T2氣候模式採二步法架構,先使用統計與數值動力方法計算全球海表面溫度預測值,將此海溫預測值作為大氣模式下邊界條件,再利用全球數值動力模式預測大氣未來狀態(胡等人, 2008)。預報資料年份為1982-2011年,共30年之月平均資料,空間解析度為1° x 1°,格點數為360 x 180。

TCWB2T2由兩大氣模式與兩全球預報海溫組成,分別為中央氣象局全球數值天氣預報與ECHAM5模式兩組大氣模式;海溫預報方面除了有氣象局全球海溫最佳化預報系統(OPGSST-v2; 童雅卿, 2012)產品之外,也使用美國環境預測中心(NCEP)氣候預報系統(CFSv2)全球海溫預測資料(Saha et al., 2010)。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30組,共有120組資料。

CFSR為NCEP開發之氣候預報系統再分析資料,使用距離地表兩公尺溫度(t2m)此變數來做比較與分析,原始解析度為0.5° x 0.5°。

GPCP為世界降水氣候計畫產製結合觀測和衛星反演降水資料,空間解析度為2.5° x 2.5°,格點數

為144 x 72，其月資料長度為1979年01月~2015年10月。研究使用氣象變數為降水月平均資料，為配合模式資料所選取資料長度為1982年至2011年。

測站觀測資料使用經檢核與補遺後的台灣本島綜觀測站21測站的時資料，經重新計算後輸出季雨量，時間長度為1982年到2011年。

為使後續模式誤差分析和模式預報能力分析上具一致性，首先將全球格點數據資料尺度統一，將各分析場資料調整格點數為360 x 180格點數；另因研究目的之一為校正模式在台灣區域降水，因此在分析直接預報結果時劃定台灣區域為21°N-26°N, 119°E-123°E，共30個格點；而CMS指標則是針對(17~23°N, 115~125°E)、(25~30°N, 110~120°E)兩區域運算。

CMS指標為u850(17~23°N, 115~125°E)減去(25~30°N, 110~120°E)六、七、八月季平均風場兩區域相減。監測夏季南海地區西南季風南風分量強度變化，和臺灣測站降雨有相關性。指標值表示夏季南海地區低層大氣南風分量強弱，數值越大表示南風越強，此時對應至臺灣測站雨量，降水偏多。

三、研究方法與流程

原TCWB2T2共有120個系集成員，研究成果若呈現所有成員資料散佈，則會造成範圍過大難以分析，為了瞭解兩組大氣模式以及兩組不同海溫模式結果之差異，除多模式系集平均(Multi-Model Ensemble, 以下簡稱MME)外，進一步將原本120個系集成員重新依據資料特性分類為九組(見表1)。

研究分兩部分：(1)直接預報雨量校正，使用颱風季平均雨量，與(2)氣候指標校正。皆使用QM法作為校正方法，考量研究目的為校正準氣候預報資料而非進行氣候變遷分析，QM法中“Projected Period”(研究中為某年季平均)遠短於“Historical Period”(研究中為其餘29年季平均)，且在進行交互驗證(Cross-Validation)時，累積機率分布(Cumulative Distribution Function, 以下簡稱CDF)函數由於建模資料筆數少於一般氣候變遷分析的資料筆數，無法求出具有足夠代表性的標準差而無法沿用前人使用標準差作為門檻來篩選外延值。為解決QM法在進行交互驗證時會產生外延(Extrapolation)問題，颱風季平均雨量外延值計算為利用分析CDF最大/小值乘上係數(模式預報值除以模式CDF最大/小值)；u850外延值計算則是用分析CDF最大/小值加上差值(模式預報值減去模式CDF最大/小值)。

四、研究結果

(一) 颱風季雨量：

1. 氣候平均值：如圖1所示，QM前九組系集氣候平均值偏差明顯較QM後大，可見對於氣候平均值而言，QM的確能夠移除誤差，使其明顯下降。

2. 雨量時間序列：將MME經過QM後，其餘所有成員和MME以雨量等比例(風場指標則為等間距)方式進行校正，用意在於降低模式降雨強度使其更趨於分析場，亦保留成員間離散特性。QM後系集模式雨量相較於QM前，系集雨量值更接近分析場雨量。進一步計算台灣範圍各網格點之方均根誤差值(RMSE)再對台灣區域平均後，模式九組系集平均和GPCP分析場之RMSE值顯著減小，例如MME，校正前RMSE為4.5，校正後RMSE為2.0，RMSE值越小表示和分析場偏差越小越接近分析場值，如圖2所示。

3. PCC：從圖3觀察到，QM前空間相關係數，九組系集在颱風季散布範圍約在0到0.95之間；而在QM後空間相關係數，九組系集在颱風季散布範圍則在0.35到1之間，可見QM對於PCC也能有明顯改善。由於MME直接對分析場做校正所以又以MME最高，反而降低了EC5E類別相關係數，整體而言空間型態相關係數上升。

4. ACC：圖4為QM後減去QM前ACC值結果，颱風季除了在東南邊有些許正偏差，其他部分都在0左右。校正前與校正後模式九組系集平均和GPCP分析場之距平時間相關係數結果相似，進一步透過差值來呈現，發現整體而言距平時間相關係數不變，表示透過QM校正只會校正到模式資料強度，並不會校正成員本身趨勢。

5. 泰勒圖：圖5為QM前後泰勒圖差異，MME(圖中編號9)經過QM後標準化標準差接近1.0，意即QM後MME資料數值散布程度和分析場資料相似，而圖中相關係數和ACC同義，也能從泰勒圖再一次驗證QM過程並不會影響ACC分布，意即QM在修正模式誤差的同時也能保留模式隨時間變化趨勢。

(二) CMS指標：

1. 測站雨量相關係數：圖6為CMS指標MME和30年測站每年夏季平均雨量相關係數圖，和颱風季雨量ACC結果相異。由於CMS指標為兩區域取平均後再相減，相減過程會使原本相關係數改變。而以校正前後結果相比，QM法的確能讓CMS指標對於測站雨量關係改進。

2. 泰勒圖：圖7為CMS指標兩區域，以及CMS指標本身泰勒圖，三者以QM法校正前後結果列出。和颱風季平均雨量在泰勒圖上分布相似，兩區域相減後指標值在QM後標準化標準差接近1.0，ACC由於風場取區域平均後再相減，故不一定能維持QM前ACC值。

五、結論與建議

直接預報颱風季雨量，校正後結果會將整體雨量強度往分析場校正，進而減少氣候平均值誤差和RMSE，而PCC改善代表模式資料經過校正後空間分布也較接近分析場，ACC維持不變則是QM法本身特色，能維持模式資料長期趨勢。後續將繼續對不同季節雨量、溫度進行校正來評估QM法能否適用於所有校準模式，進而使校準模式同時能進行氣候預報以及運用於BMA(Bayesian Model Averaging)中。

CMS指標校正後，由於是個別區域風場校正後區域平均相減，ACC不一定能維持原本關係，而測站雨量相關係數圖能看出ACC改善。在進行氣候預報時模式資料經過校正，也能作為橋接模式使用於BMA中。後續將繼續利用QM法校正其他氣候指標，包含：東北季風-東北分量指標(YangS Index)、台灣梅雨水平風切監測指標(Hshear Index)等，來評估不同指標對於QM法校正結果為何，是否能作為橋接模式應用於BMA，以及作為氣候預報之用。

為解決QM法外延，視欲校正的變數為何，對應使用比例或差值來求出外延值，原因其一為建模資料筆數較少，容易出現分析場外延資料和模式外延資料值遞增/減情況差異過大而讓校正值失真之故。以研究結果來看，此法對於資料外延的調整的確對於資料整體有明顯改善。但若TCWB2T2能有時間更長模擬年分，則CDF函數曲線會較為平滑，或許能讓模式和場間資料差異縮小。

參考文獻

- 童雅卿，2012: "第二代全球海溫預報系統之發展與測試"，天氣分析與預報研討會論文彙編，A3,76-81。
- 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，253-258。
- Fedderson, H., A. Navarra, and M.N. Ward, 1999: "Reduction of model systematic error by statistical correction for dynamical seasonal prediction." J. Climate, 12, 1974-1989.
- Hidalgo, H. G., Dettinger, M. D., and Cayan, D. R., 2008 "Downscaling with constructed analogues: daily precipitation and temperature fields over the United States", Report No. CEC-500-2007-123, California Energy Commission, Sacramento, CA, 48 pp.

5.Saha S, Moorthi S, Pan H-L, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Kistler R, Woollen J, Behringer D, Liu H, Stokes D, Grumbine R, Gayno G, Hou Y-T, Chuang H-Y, Juang H-MH, Sela J, Iredell M, Treadon R, Kleist D, van Delst P, Keyser D, Derber J, Ek M, Meng J, Wei H, Yang R, Lord S, van den Dool H, Kumar A, Wang W, Long C, Chelliah M, Xue Y, Huang B, Schemm J-K, Ebisuzaki W, Lin R, Xie P, Chen M, Zhou S, Higgins W, Zou C-Z, Liu Q, Chen Y, Han Y, Cucurull L, Reynolds RW, Rutledge G, Goldberg M. 2010. "The NCEP Climate Forecast System Reanalysis." Bull. Amer. Meteorol. Soc. 91: 1015-1057.

6.Wood, A.W., Leung, L.R., Sridhar, V., Lettenmaier, D.P., 2004: "Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs." Climatic Change 62, 189-216

附表

表 1 120 個成員分成九組系集平均之說明。

組別	代稱	定義	成員數量
1	cwb_cfs	中央氣象局全球數值天氣預報模式和CFSv2海溫資料模擬結果	30
2	cwb_opg	中央氣象局全球數值天氣預報模式和中央氣象局全球海溫最佳化預報系統模擬結果	30
3	ec5_cfs	ECHAM5大氣模式和CFSv2海溫資料模擬結果	30
4	ec5_opg	ECHAM5大氣模式和中央氣象局全球海溫最佳化預報系統模擬結果	30
5	CWBE	中央氣象局全球數值天氣預報模式和兩筆不同海溫模擬結果	60
6	EC5E	ECHAM5大氣模式和兩筆不同海溫模擬結果	60
7	CFSE	CFSv2海溫資料和兩種不同大氣模式模擬結果	60
8	OPGE	中央氣象局全球海溫最佳化預報系統和兩種不同大氣模式模擬結果	60
9	MME	所有系集成員平均	120

附圖

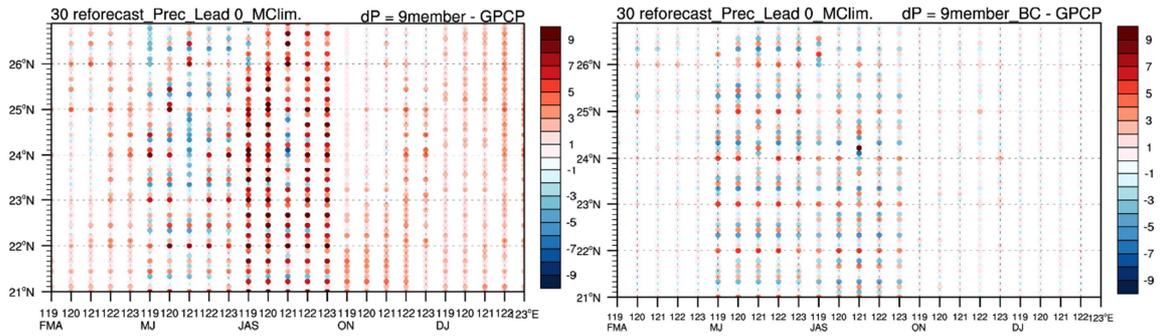


圖 1 台灣區域格點模式九組系集平均與 GPCP 分析場之降雨資料在季預報上模式和 MeanClim. 偏差空間分布圖，左圖為校正前，右圖為校正後。X 軸為包含春、梅、颱風、秋、冬五季之台灣區域經度格點，Y 軸為包含模式九組系集平均之台灣區域緯度格點，模式九組系集平均由下到上依序為 cw_b_cfs, cw_b_opg, ec5_cfs, ec5_opg, CWBE, EC5E, CFSE, OPGE, MME。

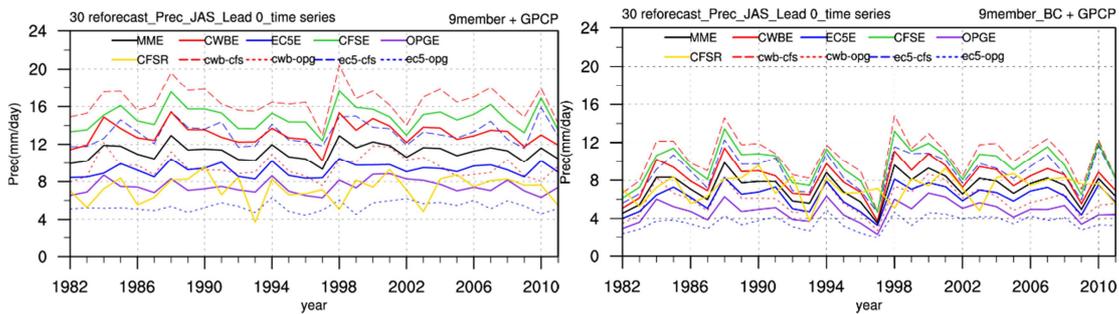


圖 2 台灣區域平均模式九組系集平均與 GPCP 分析場颱風季之時間序列圖，左圖為校正前，右圖為校正後。圖中 X 軸為 1982-2011 年時間序列，Y 軸為模式九組系集平均和分析場所對應逐年降雨平均值。

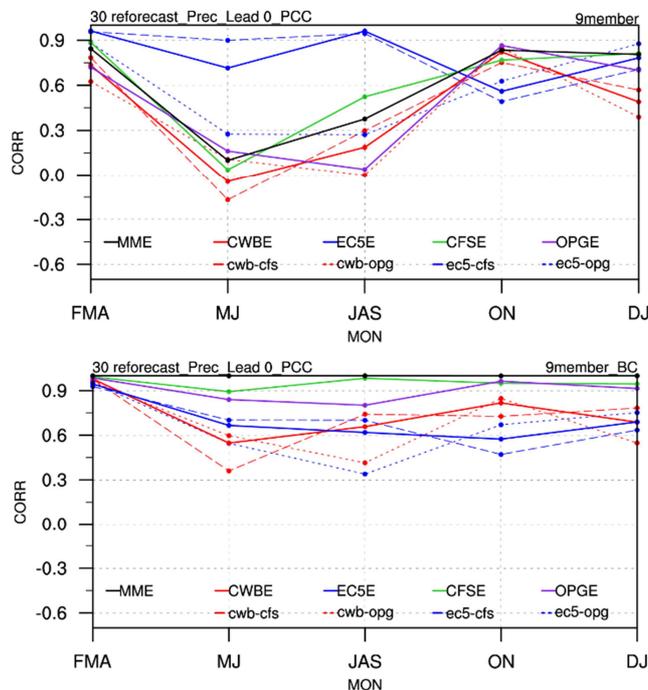


圖 3 台灣區域模式九組系集平均與 GPCP 分析場之降雨資料在季預報上空態型態相關係數圖 (PCC)，左圖為校正前，右圖為校正後。X 軸為春、梅、颱風、秋、冬五季之時間序列，Y 軸為各時間點所對應之空間型態相關係數。

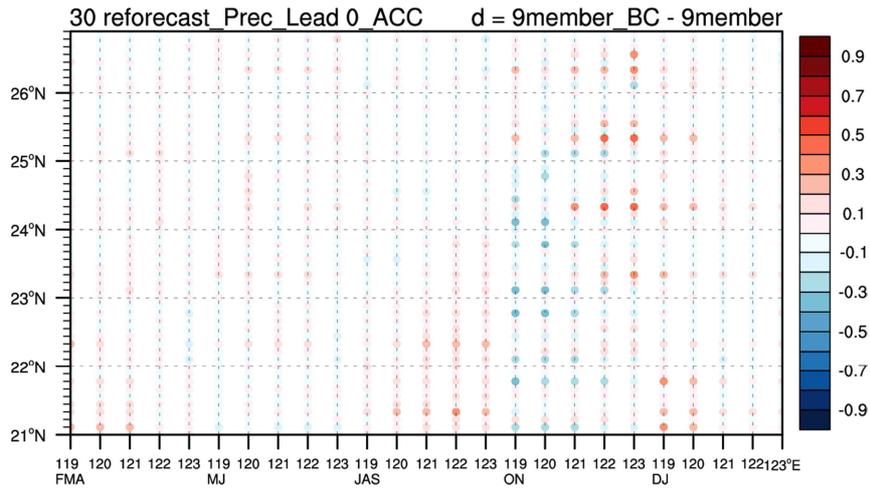


圖4 台灣區域格點模式九組系集平均與 GPCP分析場之降雨資料在季預報上校正前後(校正後-校正前)距平時間相關係數空間分布圖 (ACC)。

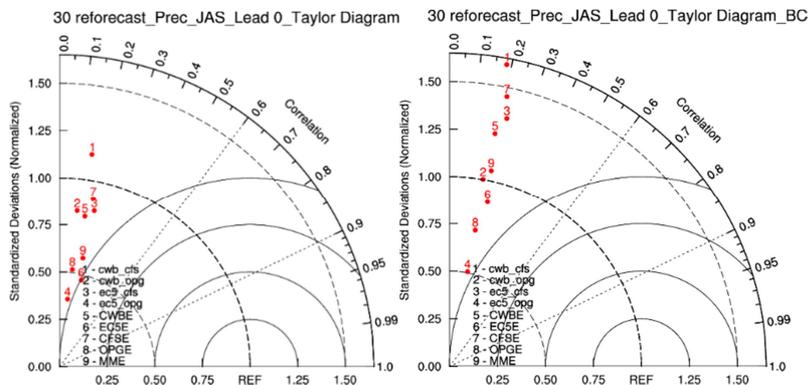


圖5 台灣區域平均模式九組系集平均與 GPCP分析場降雨資料在颱風季的泰勒圖，左圖為校正前，右圖為校正後。X、Y軸對應粗虛線為模式九組系集平均標準差標準化後的結果(模式標準差/分析場標準差)，扇形區對應的細點線為模式九組系集平均和 GPCP分析場的距平時間相關係數值，半圓形實線為距平方均根誤差值。編號為所對應之模式九組系集平均，紅點為正相關，藍點為負相關。

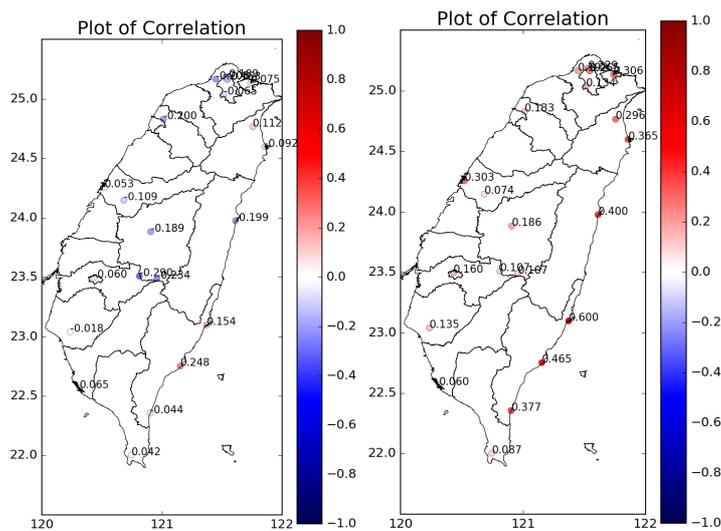


圖6 模式資料中 ME之 CMS Index計算值和測站夏季降雨校正前(左圖)、校正後(右圖)逐站 ACC關係圖。

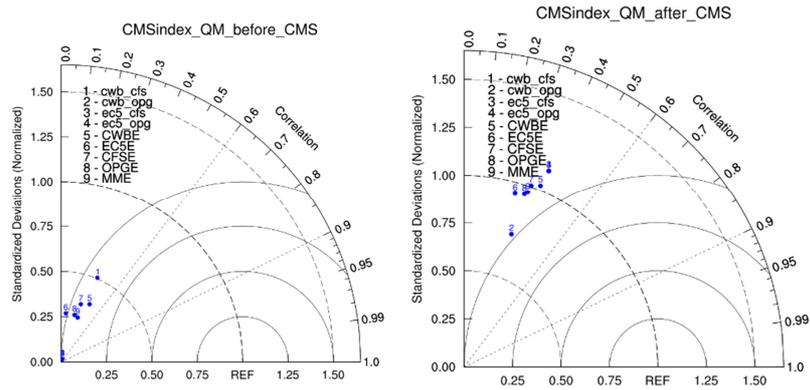


圖7 台灣區域平均模式九組系集平均與 CFSR分析場 CMS指標的泰勒圖，左圖為校正前，右圖為校正後。X、Y軸對應的粗虛線為模式九組系集平均的標準差標準化後的結果(模式標準差/分析場標準差)，扇形區對應的細點線為模式九組系集平均和 CFSR分析場的距平時間相關係數值，半圓形實線為距平方均根誤差值。編號為所對應之模式九組系集平均，紅點為正相關，藍點為負。