

# 臺灣測站季平均溫度綜合預報雛型與評估

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

## 摘要

本研究著重在臺灣測站季尺度溫度綜合預報流程建置，包含代表性預報計算、系統性偏差校正、測站統計降尺度與BMA綜合預報等四步驟的作業流程。使用氣象局TCWB2T2、TCWB1T1以及NCEP CFSv2三組氣候模式的系集平均作為預報來源，並以距平序列採遮蔽預報年的方式以分析場為依據逐年進行偏差校正，目標是以不同降尺度方法產製測站季均溫預報作為多來源預報資訊，包含使用模式直接預報和測站觀測值建立預報模型(Calibration model)，以及使用局內在進行臺灣冬夏季溫度季預報時所參考遙相關氣候指標導出量與測站觀測值建立預報模型(Bridging model)。採用基於貝氏推論(Bayesian Inference)所發展的貝氏模型平均法(Bayesian Model Average, 簡稱BMA)採逐站建立綜合預報模型。其中也針對測站季均溫降尺度預報與觀測值之條件機率進行統計分析確認誤差分布是否滿足常態分布之假設。最後再以連續型或機率型預報校驗方法評估校正成效。

關鍵字: 偏差校正、統計降尺度、貝氏模型平均法、測站預報

## 一、前言

在「研發短期氣候綜合預報系統計畫案」(簡稱前期計畫)，目標是發展客觀短期氣候綜合預報技術提供月、季與第2週預報指引。前期計畫第一年著重於評估適用於月、季尺度系統性偏差校正方法以及短期氣候綜合預報之技術，第二年目標為測站降尺度預報，評估適用於臺灣測站之統計降尺度方法，使用經偏差校正的氣候模式，針對局屬25座人工測站建立預報模型透過定量校驗方法初步評估預報成效。

今年度本研究著重在臺灣測站季尺度溫度綜合預報流程建置，目標是以不同降尺度方法產製測站季均溫預報作為多來源預報資訊，採用基於貝氏推論所發展的貝氏模型平均法建立綜合預報模型。並針對測站季均溫降尺度預報與觀測值之條件機率進行統計分析。

如下式，BMA預報模型在預測某天氣參數發生機率時，是以每個成員在訓練期內預報最佳的機率(後驗機率( $w_k$ ))，並給定預報值( $f_k$ )條件下觀測( $y$ )的機率密度函數進行加權平均。

$$p(y|f_1, f_2, \dots, f_k) = \sum_{k=1}^K w_k g_k(y|f_k)$$

因此需給定預報與觀測值之條件機率，過去研究大多認為溫度為常態分布、雨量則為伽瑪分布，因此條件機率也隨之假設。但實際上 $g_k(y|f_k)$ 表示當 $f_k$ 發生時 $y$ 要以何種分布落在預報附近，即為預報與觀測誤差的分布情形。假設預報具有準確性，理論上觀測發生機率會均勻地落在預報附近，使誤差呈現常態分布；若觀測發生時往往落在

預報某一側，則誤差可能為伽瑪分布。認為預報模型的準確度才是決定誤差分布的依據並非變數本身，後續分析確認測站季均溫降尺度預報與觀測誤差的條件機率是否滿足常態分布假設。

## 二、資料來源與綜合預報架構

進行條件機率統計分析前，先行說明本研究規畫BMA綜合預報架構、使用資料說明，最終說明條件機率的檢定方法與作法。

### (一) BMA綜合預報架構

本研究設計包含模式決定性預報計算、系統性偏差校正、統計降尺度以及綜合預報四個主要步驟作為季綜合預報架構(表1)。

以臺灣測站季溫度綜合預報為例，使用經系統性偏差校正的本局與美國氣候數值動力模式輸出資料，建置測站季溫度統計降尺度模型，包含使用模式直接預報利用空間內插法建立Calibration model以及使用模式氣候指標導出量與測站單迴歸遙相關建立Bridging model。最後再以BMA作為短期氣候綜合預報發展客觀預報系統。此外，BMA綜合預報可依據本局氣候預報作業需求建立在模式網格點上。

今年度規劃以TCWB2T2、TCWB1T1、CFSv2三組系集平均作為預報來源，由於氣候模式本身存在偏差，需要真實場進行修正，在尚未取得高解析度觀測資料前先以分析場作為偏差校正依據。作法

上採遮蔽預報年的方式以分析場為依據逐年進行偏差校正。

在氣候分析與預報上常見採用模式距平值而非原始值，其用意在於相信模式模擬的趨勢變化，並且可依應用需求將預報距平序列透過疊加觀測氣候值的方式得到較為可靠的預報值。因此，當模式距平值經過QM校正後，即可使用預報和觀測的距平值進行誤差條件機率統計分析。

## (二) 使用資料說明

表2為本研究所使用的氣候模式之概述，包含時間、空間解析度，資料起迄時間、資料空間範圍、模式資料之系集成員數量以及資料相關補充說明。

### 1. 局屬第二代二步法氣候模式 (TCWB2T2)

二步法架構為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的下邊界條件，再利用全球數值動力模式預測大氣未來狀態 (胡等人, 2008)。重預報資料年份為1982-2011年，共30年之月平均資料，空間格點數為360x180。

此系集預報系統由兩個大氣模式與兩組全球預報海溫組成，分別為中央氣象局全球數值天氣預報模式(CWB Global Atmosphere Model)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)的全球海溫預測資料(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。

### 2. 局屬第一代一步法氣候模式 (TCWB1T1)

一步法海氣耦合模式(TCWB CFS 1-tier)，採用之大氣模式為本局所發展之全球模式(GFS)，海洋模式為GFDL MOM3模式，大氣全球模式格點為360x180，垂直為40層。大氣和海洋模式一天耦合一次，大氣模式提供海洋模式所需要的wind stress、heat flux及降水等資訊，而海洋模式預報海面溫度作為大氣模式之下邊界資料。TCWB CFS 1-tier模式已完成初始時間為1982-2011年共30年，每月固定01、03、06、08、11、13、16、18、21、23、26、28日00Z，分別積分九個月之事後預報。即時資料則為每日00Z模擬，每月共有30個系集成員。

### 3. 美國第二代氣候預報系統 (CFSv2)

CFSv2氣候模式是由美國國家環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction, 簡稱NCEP)所開發，為海洋、大氣、陸地、海冰四者耦合的全球氣候模式。本次工作中使用的則是模式中的九個月重預報資料(9-month hindcast)：於每候第一日模擬四次(模擬時間分別是當日的00Z, 06Z, 12Z, 18Z)模擬時間由1981年12月12日到2011年3月27日，水平解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。本工作空間範圍使用119-123E、21-26N的範圍作為分析臺灣附近的溫度之用，為了使CFSv2本身季平均的資料時間長度一致，本次工作將資料的年份調整為1982年1月1日至2010年12月31日。

### 4. 氣候指標導出量

在季均溫BMA綜合預報架構的建置過程，包含建置測站季溫度綜合降尺度模型，其中使用模式氣候指標導出量與測站單迴歸遙相關建立Bridging model。參考「災害性天氣監測與預報作業建置計畫-104年度氣候監測系統發展及維運委外案期末報告」(簡稱P5計畫)，透過NCEP-R1分析場資料使用包含風場、重力位高度場等變數在特定區域平均與臺灣測站建立溫度、雨量的線性關係，並驗證利用季節性大尺度環流場狀態與臺灣季節氣候建立遙相關的概念。

前期計畫參考P5計畫選擇適用的氣候指標(表3)，以氣候模式輸出層場於特定區域平均後之氣候指標值來建立夏季、冬季的測站季溫度預報模型，並評估預報模型的優劣。

由於在進行季預報時，夏季會參考副熱帶高壓的位置、強度，而冬季則會參考東亞主槽線的位置與強度。因此前期計畫在Bridging model部分夏季保留GH、冬季保留CuiXP指標單迴歸模型，而今年度新增了Wang et al. (2013)利用了3個月(6-8月)平均的850毫巴重力位高度場來定義西北太平洋副高指數(WPSH)，唯獨TCWB2T2缺少H850高度場無法建立WPSH預報模型。

## 三、研究方法與流程

### (一) K-S檢定

為了確認測站降尺度預報模型與觀測的誤差是否可假設成常態分布，欲檢定該樣本群是否符合特定分布，可運用單一組樣本資料進行Kolmogorov-Smirnov test (簡稱K-S檢定)。K-S檢定是Kolmogorov提出的一種無母數統計方法，此方法主要目的為檢定一組樣本在某個次序變項上的分布是否來自一個理論上假設的母群體分布 (亦可稱為適合度檢定(goodness of fit))。理論上，K-S檢定經由比較假設上的理論分布與樣本分布的差異，藉以檢定樣本所來自的母群

體是否為該假設中的特定分布。其虛無假設為樣本群符合理論分布。

以單一模式季節降尺度模型為例，由於單一季節氣候模式 30 年僅 30 筆資料，若逐站檢定受限於樣本數不足可能影響檢定結果，因此改以 25 站預報模型混合作檢定。將每次預報與準應觀測計算誤差(在此，誤差=觀測-預報)，將誤差累計次數繪製成直方圖，透過 K-S 檢定該樣本群與藉由樣本群的平均值、標準差所產製的常態分布是否為相同分布，如圖 2 至圖 3 所示。

## 四、研究結果與討論

圖1為測站季均溫降尺度模型，使用模式直接預報和測站觀測值建立預報模型(Calibration model)，利用空間內插降尺度到測站，由於季節尺度的氣候變化常和大尺度環流場有關，可使用局內在進行臺灣冬夏季溫度、雨量季預報時所參考遙相關氣候指標導出量和測站觀測值建立預報模型(Bridging model)。因此在季尺度部分Calibration model 保留空間內插，Bridging model夏季使用GH、WPSH，冬季則以CuiXP指標與測站觀測值建立單迴歸模型。

圖2為測站夏季均溫BMA綜合預報的所有成員檢定結果，左至右依序為TCWB2T2、TCWB1T1、CFSv2三種氣候模式，兩種降尺度方法包含空間內插以及GH、WPSH指標單迴歸(TCWB2T2無H850無法建立WPSH模型)。圖3為測站冬季均溫BMA綜合預報的所有成員檢定結果，僅Bridging model改為CuiXP指標單迴歸。直方圖橫軸為誤差值(誤差=觀測-預報)，縱軸為誤差累計次數，顏色則表示是否通過檢定，本計畫以 $pvalue = 0.05$ 為門檻值，顏色越趨於紅色表示該樣本越不易通過檢定。

顯示不論夏季或冬季多數預報模型其誤差分布可通過常態檢定，少數不通過的模型可能受制於 $pvalue$ 門檻值的界定，也可能因為樣本群過於集中導致無法通過常態檢定。如圖3所示，TCWB1T1模式冬季均溫校正後序列以空間內插降尺度到測站預報模型檢定結果(temp\_12Z3\_lead0\_QM\_T2M\_Bilinear)，雖然該模型並未通過檢定但誤差分布卻是相當對稱，若觀測發生機率會均勻地落在預報附近，即便未通過常態檢定，極端的說去為預報百分之百命中的情況下一樣不會通過常態檢定，因此評估後認為該模型正是建立BMA綜合預報模型所需要的成員。

由上述測站季均溫降尺度預報模型的誤差檢定結果，發現多數季節預報和觀測誤差是通過常態檢定或是誤差呈現對稱分布，這些預報模型正是BMA綜合預報過程所需要

的重要預報因子。至於少數表現不佳的預報模型，後續在建立BMA綜合預報模型時，檢查該模型在訓練期內預報最佳的機率(後驗機率( $w_k$ ))，以確定該模型對BMA綜合預報模型的影響力，因此確定以常態分布做為BMA預測溫度發生機率的條件機率分布。

以常態分佈作為BMA預測溫度發生機率的條件機率假設，將BMA期望值與等權重平均(Equal weight average，簡稱EQW)的結果進行定量校驗分析，圖4和圖5分別為夏季和冬季均溫BMA綜合預報逐站RMSE序列圖，橫軸為局屬25座人工測站，縱軸為RMSE，藍線為等權重平均、橘線為BMA期望值。顯示等權重平均與BMA期望值在定量預報上能力相當，表示定量校驗無法突顯BMA能提供完整PDF的優點，後續將進一步使用機率型校驗評估預報成效。

## 參考文獻

1. 交通部中央氣象局,2015:「災害性天氣監測與預報作業建置計畫-104年度氣候監測系統發展及維運委外案」期末報告
2. 交通部中央氣象局,2016、2017:「研發短期氣候綜合預報系統計畫(1/2)、(2/2)案」期末報告
3. 交通部中央氣象局,2015:104年度「診斷分析氣象局短期氣候預報模式與改進建議」期中進度報告
4. 胡志文、蕭志惠、童雅卿、任俊儒、鄭凱傑、黃文豪、施宇晴、施景峰、莊穎欽、賈愛玫,2008:中央氣象局動力綜合氣候預報系統簡介。天氣分析與預報研討會論文集編
5. 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集編
6. Raftery, A. E., T. Gneiting, F. Balabdaoui, and M. Polakowski, 2005: "Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles". *Mon. Wea. Rev.*, 133, 1155-1174
7. Saha, S., Moorthi, S., Pan, H. L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., ... & Liu, H., 2010: The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015-1058.
8. Wang, B., B. Xiang, and J.-Y. Lee, 2013: Subtropical High predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions. *PNAS*, 110 (8), 2718-2722, doi:10.1073/pnas.1214626110. IPRC-940.

# 附表

表1 綜合預報架構

分類	臺灣測站	模式格點	高解析格點
Representative	TCWB2T2, TCWB1T1, CFSv2 三組MME	同左	同左
Bias Correction	距平序列進行 Quantile Mapping (分析場: CFSR)	同左	同左
Downscaling	空間內插 (Bilinear) Calibration (相鄰四點迴歸 +FS) Bridging (氣候指標單迴歸)	X	BCSD
Consensus Forecast	BMA	BMA	BMA

表2 使用資料說明

分類	重預報資料		
資料名稱	TCWB2T2	TCWB1T1	CFSv2
資料來源	指定路徑下載	指定路徑下載	指定路徑下載
時間解析	monthly	monthly	monthly
空間解析	1° x 1°	1° x 1°	0.5° x 0.5°
資料長度	1982→2011	1982→2011	1982→2011/03
模擬範圍	Global	Global	Global
系集 成員數 Reforecast	120	12	20, 24, 28
	兩組六氣模式與兩組海溫預報 交錯搭配四種組合，每組每月 產出30個起始模擬時間不同的 預報，每月共有120個系集成員	每月固定12天00Z模擬 (1, 3, 6, 8, 11, 13, 16, 18, 21, 23, 26, 28)，每月共有 12個系集成員	每候模擬四次(00/06/12/18Z)， 視月份會有5*4=20, 6*4=24, 7*4=28三種系集成員數
系集 成員數 Operation	120	30	120
	同Reforecast	每日00Z模擬，每月共有 30個系集成員	每日模擬四次(00/06/12/18Z)， 每10日組成系集E1, E2, E3，每 組系集有40個成員，每月有 3*40=120個系集成員
API longname	GFS_T119_CFS_Monthly GFS_T119_OPG_Monthly ECHAM5_T42_CFS_Monthly ECHAM5_T42_OPG_Monthly	TCWB1T1_monthly TCWB1T1_SST_monthly	NCEP_CFSv2_fcst_Monthly

表3 氣候指標一覽表

分類	氣候指標	使用 變數	定義	備註
冬季 季風 指數	CuiXP	H500	$CuiXP = H500(35\sim40^{\circ}N, 110\sim130^{\circ}E)$	東亞主槽
	YangS	V850	$YangS = V850(20\sim40^{\circ}N, 100\sim140^{\circ}E)$	東北季風 北風分量
	TWRlv850	V850	$TWRlv850 = V850(12\sim28^{\circ}N, 120\sim130^{\circ}E) + V850(15\sim30^{\circ}N, 130\sim140^{\circ}E)$	臺灣冬季 降雨監測
夏季 季風 指數	GH	H500	$GH = H500(20\sim25^{\circ}N, 125\sim140^{\circ}E)$	副高強度
	WPSH	H850	$WPSH = H850(15\sim25^{\circ}N, 115\sim150^{\circ}E)$	副高強度
	CMS	U850	$CMS = U850(17\sim23^{\circ}N, 115\sim125^{\circ}E) - U850(25\sim30^{\circ}N, 110\sim120^{\circ}E)$	臺灣夏季 降雨監測
	WWL	U850	$WWL = U850(5\sim15^{\circ}N, 100\sim130^{\circ}E) - U850(20\sim30^{\circ}N, 110\sim140^{\circ}E)$	夏季季風 強度

# 附圖

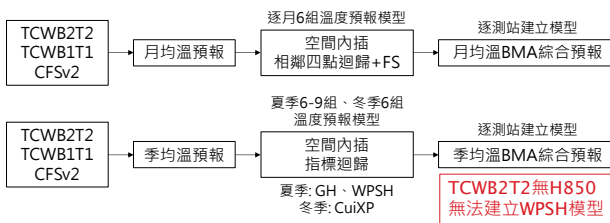


圖1 測站季均溫BMA綜合預報流程與測站降尺度預報模型彙整

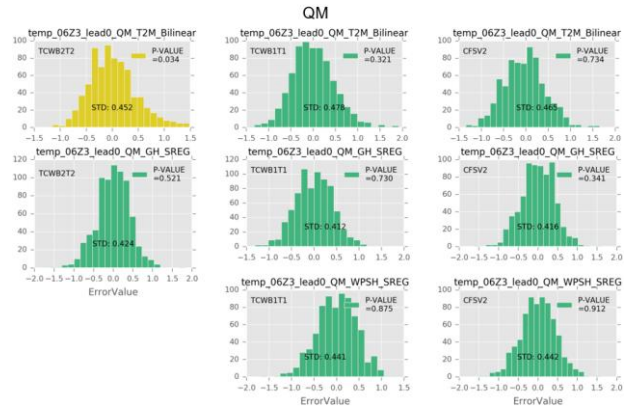


圖2 測站夏季均溫BMA綜合預報成員檢定結果  
(縱向為三組氣候模式，橫向為降尺度方法)

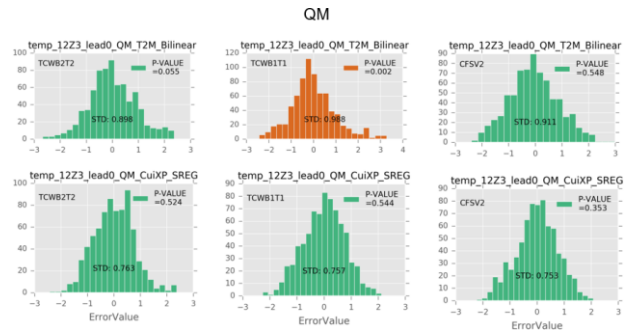


圖3 測站冬季均溫BMA綜合預報成員檢定結果  
(縱向為三組氣候模式，橫向為降尺度方法)

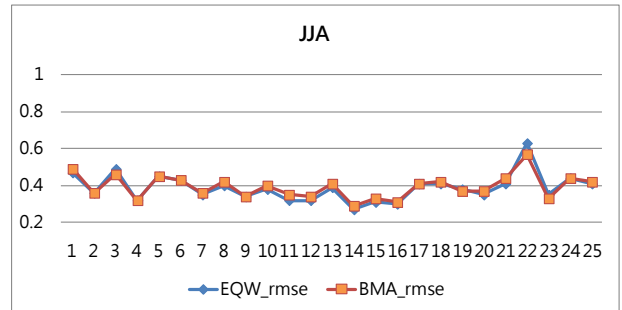


圖4 夏季均溫BMA綜合預報逐站RMSE  
(藍線為等權重平均、橘線為BMA期望值)

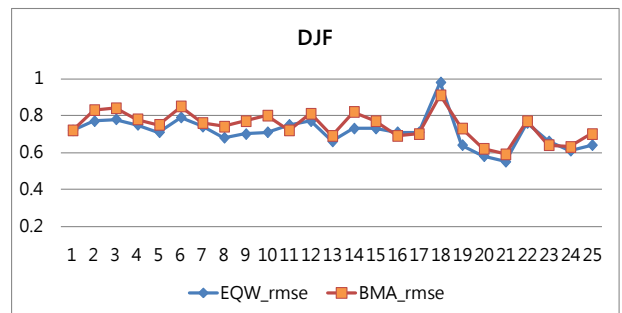


圖5 BMA冬季均溫BMA綜合預報逐站RMSE  
(藍線為等權重平均、橘線為BMA期望值)