

中央氣象局二週溫度與降雨預報產品之介紹

張惠玲¹ 陳均靖¹ 周栢均² 羅存文² 馮智勇³

中央氣象局衛星中心¹

中央氣象局科技中心²

多采科技有限公司³

摘要

中央氣象局目前透過統計後處理技術研發之第二週預報產品包括臺灣地區二週溫度預報指引與東亞地區二週系集降雨預報指引。臺灣地區二週溫度預報指引主要是採用誤差衰退平均 (Decaying Average, DCA) 或模式輸出統計(Model Output Statistics, MOS) 技術進行偏差修正後的預報產品，包括測站未來1~14天的逐日溫度預報 (日均溫、日最高溫與日最低溫) 以及第二週極端高溫/低溫預報指引；其中極端高溫/低溫預報指引有兩項產品，一項是臺灣各地未來8-14天溫度高於/低於某個極端門檻的機率預報，另一項則是預報哪些地區未來8-14天的溫度會高於/低於某個極端門檻。

在東亞地區二週系集降雨預報指引部分，我們作業化產製系集導出的決定性預報產品與系集降雨機率預報；決定性預報產品包括系集平均、機率擬合 (Probability matching, PM) 後的降雨預報與不同系集百分位之降雨預報 (Quantitative Precipitation Forecast Percentile, QPF Percentile)。針對降雨預報產品，目前除評估本局與美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 之全球系集預報系統在東亞地區的預報能力外，同時也積極發展偏差校正技術，以期提供更具參考價值之二週降雨預報指引。

關鍵字：誤差衰退平均法 (Decaying Average, DCA)、模式輸出統計 (Model Output Statistics, MOS)、偏差校正 (Bias correction)、系集機率預報(ensemble probabilistic forecast)

一、前言

為提升數值模式預報的應用價值，我們透過各種統計後處理 (Statistical Post-Processing, SPP) 技術之發展，加值數值模式輸出的預報場，以提供使用者更具參考價值的預報指引或客製化的預報產品。目前的使用者主要是本局長期預報課預報員，未來將擴展到農漁業者或一般民眾。

統計後處理的主要目的包括(1) 修正預報偏差：數值預報模式難免存在不同程度的系統性偏差，因此需要針對不同的氣象場，採用合適的校正方法進行偏差修正，例如雨量與溫度預報因頻率分布特性不同，必須採用不同的校正技術，以得到可信的預報。(2) 降尺度到測站或高解析格點上：由於民眾關心的是特定地點與特定時間的天氣狀況(氣溫、降雨、濕度、風速等)，解析度較低的模式預報無法直接滿足使用者的需要，

因此需要透過合適的統計方法，將模式預報資訊降尺度到測站或高解析格點上。(3) 客製化使用者所需之預報產品：使用者需要的產品可能是農作物生產專區的日夜溫差預報、未來1週連續5天不下雨的機率預報等，但這些產品都不是數值模式的標準預報輸出，必須透過統計後處理技術客製化提供，才能符合使用者的需求。

本文主要針對現階段中央氣象局透過統計後處理技術研發並以作業化產製的二週溫度與降雨預報產品進行整理與介紹，所有的溫度預報產品均已經過偏差修正與降尺度處理，且預報校驗結果顯示溫度產品具有一定程度的參考價值與預報能力。降雨產品目前仍屬初步開發階段，甫於108年完成東亞地區第二週系集降雨預報指引之建置，擬於今(109)年進行完整的預報評估，同時開發雨量校正技術，規劃於109年中開始作業化產製校正後的第二週系集降雨預報指引。

二、模式資料

中央氣象局目前透過統計後處理技術研發之第二週預報產品包括臺灣地區溫度預報指引與東亞地區系集降雨預報指引。所採用的上游模式包括：美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 的全球系集預報系統 (Global Ensemble Forecast System, GEFS) 以及本局的全球系集預報系統 (Global Ensemble Prediction System, GEPS) 與全球預報系統 (Global Forecast System, GFS)。三個預報模式的時間與空間解析度、每一報的時間間隔與預報長度等資訊請參見表一。

表一、二週溫度與降雨預報所採用的上游全球模式資訊。

分類	即時資料		
	NCEP_GEFS	CWB_GEPS	CWB_GFS
資料名稱	NCEP_GEFS	CWB_GEPS	CWB_GFS
資料來源	NCDB	NCDB	指定路徑下載
時間解析	6 hr	12 hr	1 hr
空間解析	1° x 1°	0.5° x 0.5°	X: 0.234375°, Y: 高斯網格
資料長度	2018/01/01→至今	2017/01/01→至今	2018/08/28→至今
模擬範圍	Global	Global	Global
系集	20 (+1)	00Z→20 (+1), 12Z→1	X
成員數	預報間隔: 每日00/12Z	預報間隔: 每日00/12Z	預報間隔: 每日00/06/12/18Z
Operation	預報長度: 00-384/6hr	預報長度: 00-1080/12hr	預報長度: 00-384/1hr
NCDB API longname	NCEP_GEFS	CWB_GEPS	X
屬場	兩米溫度	兩米溫度	兩米溫度、最高溫、最低溫

三、臺灣地區二週溫度預報指引

臺灣地區二週溫度預報指引採用的統計後處理技術只要是誤差衰退平均 (Decaying Average, DCA; Cui et al. 2012) 法與模式輸出統計 (Model Output Statistics, MOS; Glahn and Lowry 1972)。目前作業化產製的預報產品包括測站未來 1~14 天的逐日溫度預報(日均溫、日最高溫與日最低溫)以及第二週極端高溫/低溫預報指引；其中極端高溫/低溫預報指引有兩項產品，一項是臺灣各地未來 8-14 天溫度高於/低於某個極端門檻的機率預報，另一項則是預報哪些地區未來 8-14 天的溫度會高於/低於某個極端門檻。

(一)測站未來 1~14 天的逐日溫度預報

測站未來 1~14 天的逐日溫度預報產品包括日均溫預報與日最高溫/日最低溫預報，此產品是採用 DCA 方法 (Cui et al. 2012) 進行偏差修正與降尺度的

預報結果。DCA 是由美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 所屬的環境模擬中心 (Environmental Modeling Center, EMC) 所發展，採用卡門濾波 (Kalman Filter) 的概念進行模式的系統性偏差修正。此技術的原理在於：越靠近分析時間的模式預報誤差權重越大；反之，越遠離分析時間的誤差權重越小。Decaying average 方法只需讀取一個系統性偏差值，即可涵蓋過去一段時間的模式預報誤差資訊，可以有效節省資料儲存空間並提升運算效能，是非常適合應用在作業上的預報偏差校正技術。DCA 校正步驟說明如下：

步驟一：計算預報誤差

$$b_{i,j}^{\tau}(t) = f_{i,j}^{\tau}(t) - a_{i,j}^{\tau}(t) \quad (1)$$

其中， $b_{i,j}^{\tau}$ 是 t 時刻格點 i, j 在 τ 延時的預報誤差， $f_{i,j}^{\tau}$ 為 t 時刻格點 i, j 在 τ 延時的預報值，而 $a_{i,j}^{\tau}$ 為 t 時刻格點 i, j 的分析值。

步驟二：以 Decaying average 方法更新系統性偏差

$$B_{i,j}^{\tau}(t) = (1 - w) \cdot B_{i,j}^{\tau}(t-1) + w \cdot b_{i,j}^{\tau}(t) \quad (2)$$

以權重係數 w 控制 $t-1$ 時刻的系統性偏差 $B_{i,j}^{\tau}(t-1)$ 與 t 時刻的預報誤差 $b_{i,j}^{\tau}(t)$ 的比重，更新 t 時刻的系統性偏差 $B_{i,j}^{\tau}(t)$ 。

步驟三：偏差修正

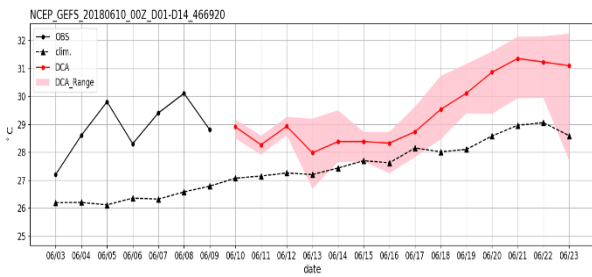
$$F_{i,j}^{\tau}(t) = f_{i,j}^{\tau}(t) - B_{i,j}^{\tau}(t) \quad (3)$$

將 t 時刻格點 i, j 的模式預報 $f_{i,j}^{\tau}(t)$ 減去 decaying average 計算出來的系統性偏差 $B_{i,j}^{\tau}(t)$ ，即可得到 t 時刻格點 i, j 在 τ 延時校正後的預報值 $F_{i,j}^{\tau}(t)$ 。

1. 各測站未來 1~14 天的日均溫預報

測站未來 1~14 天的日均溫預報的上游模式有兩種來源，分別是 NCEP GEFS 與 CWB GEFS，此產品每天一報(00 UTC)，每一報針對台灣地區 426 個測站進行預報，並產製其中 25 站的預報時序圖供預報員參考。以台北站為例(圖一)，預報時序圖上呈現的資訊包括未來 1~14 天校正後的日均溫預報、1981~2010 年的日均溫氣候值(以當日與前後 3 天的平均日均溫作為氣候值)以及前 7 天的測站觀測值，同時以系集最大與

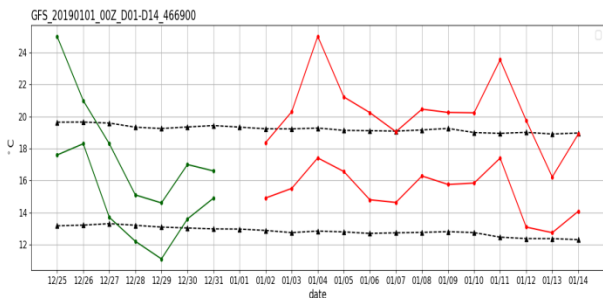
最小值顯示出預報的不確定性範圍(粉紅色陰影區)。



圖一、測站(以台北站為例)未來 1~14 天的日均溫預報，紅色實線是校正後的預報結果，粉紅色陰影區顯示預報的不確定性範圍，黑色虛線是氣候值(1981~2010 年)，黑色實線是前 7 天的測站觀測值。

2. 測站未來 1~14 天的日最高溫/最低溫預報

測站未來 1~14 天的日最高溫/最低溫預報的上游模式來自 CWB GFS (此模式有未來 45 天之逐時格點溫度預報)。日最高溫/最低溫預報產品同日均溫預報產品，每天一報(00 UTC)，每一報針對台灣地區 426 個測站進行預報，並產製其中 25 站的預報時序圖供預報員參考。以淡水站為例(圖一)，預報時序圖上呈現的資訊包括未來 1~14 天校正後的日最高溫/最低溫預報、1981~2010 年的日最高溫/最低溫氣候值(以當日與前後 3 天的平均作為氣候值)以及前 7 天的測站觀測值。



圖二、測站未來 1~14 天的日最高溫(兩條同樣顏色曲線的上方曲線)與日最低溫(兩條同樣顏色曲線的下方曲線)預報，紅色實線是校正後的預報結果，黑色虛線是氣候值(1981~2010 年)，綠色實線是前 7 天的測站觀測值。

(二) 第二週極端高溫/極端低溫預報指引

第二週極端高溫/極端低溫預報指引包括兩種產品，其中一項是「臺灣各地未來 8-14 天溫度高於或低

於某個極端門檻的機率預報」(圖三與圖四)，另一項產品是「預報哪些地區未來 8-15 天的溫度會高於或低於某個極端門檻」(圖五)。此二項產品目前都是透過迴歸方程式將 MOS (Glahn and Lowry 1972) 輸出的 8~15 天日均溫預報轉換成日最高溫/日最低溫預報，再利用系集核密度估計 (Ensemble Kernel Density Estimation) 方法，得到日最高溫/日最低溫的機率密度函數 (Probability Density Function, PDF) 分佈 (陳等，2018)；一旦得到日最高溫/日最低溫預報的 PDF 分佈後，即可求出測站在任何溫度門檻的預報機率。由於過去建置 MOS 預報系統時，並未針對日最高溫/日最低溫預報進行建模與預報，因此目前暫時採用迴歸方程式將 MOS 日均溫預報轉換為日最高溫/日最低溫預報。今(108)年已於新建置的動態 MOS (dynamic MOS, DMOS) 系統中，新增日最高溫/日最低溫兩預報變數，待完成預報評估後，將直接由 DMOS 輸出測站的日最高溫/日最低溫預報。

由於第二週極端高溫/極端低溫預報指引除提供本局長期預報參考外，未來也將提供農、漁產業使用；農、漁產業往往需要特定站點 (例如某個農業作物區) 的預報，但所關心的特定站點往往沒有觀測資料而無法直接進行站點的 MOS 溫度預報，因此我們將測站點上的溫度機率值內插到高解析格點 (2km) 上，以提供高解析格點上的極端高溫/低溫機率預報。

另一項產品「預報哪些地區未來 8-15 天的溫度會高於或低於某個極端門檻」之產製程序略異於極端高溫/低溫機率預報，主要差異在於 (1) 得到所有系集成員的日最高溫/日最低溫預報後，接續利用上述的系集核密度模式統計輸出 (Ensemble Kernel Density Model Output Statistic, EKDMOS; Glahn et al. 2009) 方法得到測站點上日最高溫/日最低溫預報的 PDF 與機率預報，再將預報機率內插到高解析格點上。(2) 在每個高解析格點上，透過最佳機率門檻 (optimal probability threshold, OPT) 的篩選，將機率預報轉為決定性預報，亦即預報機率高於 OPT 的格點視為「最可能發生極端高溫/低溫事件的格點」，若此格點的預報機率並未達到 OPT，但前一天或後一天的預報機率達到 OPT，則將此格點標示為「可能性比較小但依然有可能發生極端事件的格點」。目前，我們是採用預報/觀測頻率比 (Bias) ~1.5 作為最佳機率門檻的篩選條件，這是因為長期個案評估結果顯示此篩選條件可得到最佳的預報表現。

發展「預報哪些地區未來 8-15 天的溫度會高於或低於某個極端門檻」此預報指引的原因在於，對於不確性較大的二週預報，在作業應用上必須考量極端高溫/低溫預報在時間和空間上的不確性，例如所預報的高溫/低溫事件可能提早或

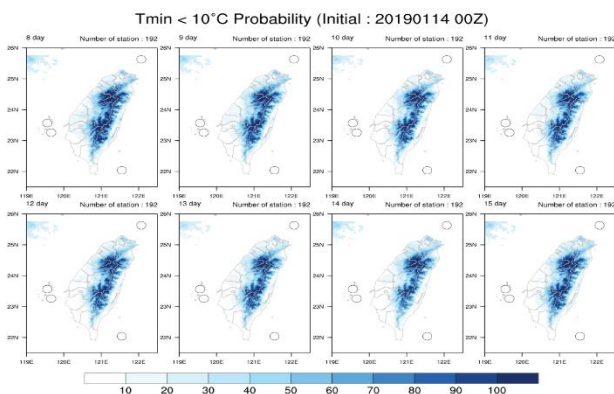
延後一天發生，或是預報發生在台北市的高溫/低溫事件可能發生在淡水或桃園地區；這種在時間或空間上略有偏移的預報並非完全沒有參考價值，因此我們透過此預報指引的開發來提升二週極端溫度預報的參考價值。

1. 臺灣各地未來8-14天溫度高於/低於某個極端門檻的機率預報

此機率預報產品的上游模式有兩種來源，分別是 NCEP GEFS 與 CWB GEFS，每天一報 (00 UTC)，冬半年(11~4 月)會產製極端低溫(日最低溫 $<10^{\circ}\text{C}$)機率預報(圖三)，而在夏半年(5~10 月)則是產製極端高溫(日最高溫 $>10^{\circ}\text{C}$)機率預報(圖四)。由於我們已透過 EKDMOS 技術求得日最高溫/日最低溫的 PDF，因此，極端高溫或低溫門檻是一個可依使用者需求而彈性調整的門檻。目前，作業化產品的極端低溫門檻是採用 10°C ，未來也將增加 12°C 、 14°C 、第 5 與第 10 百分位溫度門檻；而極端高溫門檻目前是採用 35°C ，未來也將增加 36°C 、 38°C 、第 90 與第 95 百分位溫度門檻。

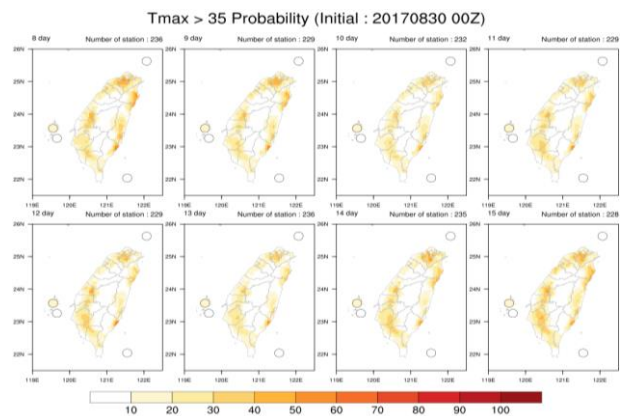
2. 預報哪些地區未來8-14天的溫度會高於/低於某個極端門檻

此產品用以預報哪些地區在未來 8~15 天的溫度會高於或低於某個極端門檻值，所採用的上游模式有兩種來源，分別是 NCEP GEFS 與 CWB GEFS，每天一報 (00 UTC)。目前此產品在冬季的極端低溫門檻是採用 10°C (圖五)，未來也將增加 12°C 、 14°C 、第 5 與第 10 百分位溫度門檻；目前的夏季極端高溫門檻是 35°C (圖未附)，未來也將增加 36°C 、 38°C 、第 90 與第 95 百分位溫度門檻。

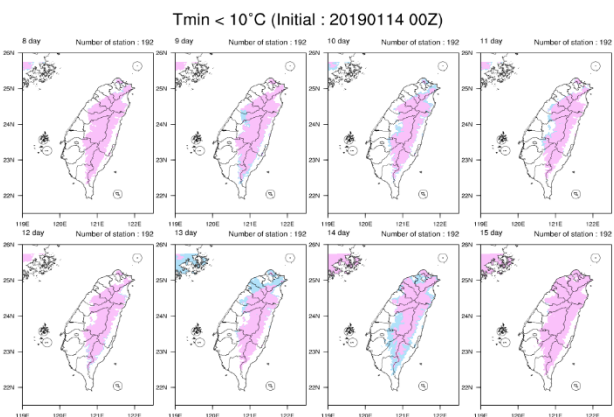


圖三、此產品顯示臺灣各地未來 8~15 天日最高溫

$<10^{\circ}\text{C}$ 的機率大小， 10°C 是可依使用者需求而調整的門檻。



圖四、此產品顯示臺灣各地未來 8~15 天日最高溫 $>35^{\circ}\text{C}$ 的機率大小， 35°C 是可依使用者需求而調整的門檻。



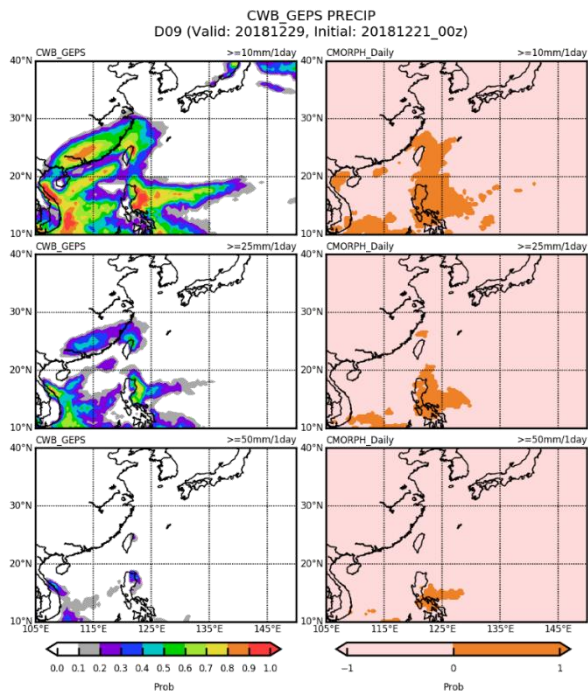
圖五、第二週極端低溫預報指引。此產品用以預報哪些地區在未來 8~15 天的溫度會 $<10^{\circ}\text{C}$ ，粉紅色和藍色分別是可能性最大以及可能性比較小但依然有可能發生的格點； 10°C 是一個可依使用者需求而調整的門檻。

四、東亞地區系集降雨預報指引

在東亞地區第二週系集降雨預報指引部分，我們產製了系集降雨機率預報以及系集導出的決定性預報產品，系集導出的決定性預報產品包括機率擬合 (Probability matching, PM)、系集平均與不同系集百分位之降雨預報(Quantitative Precipitation Forecast Percentile, QPF Percentile)。以上各項產品的上游模式均有兩種來源，分別是 NCEP GEFS 與 CWB GEFS，每天一報 (00 UTC)，以下將分別介紹各項預報產品。

(一) 系集降雨機率預報

系集降雨機率預報(Chang et al. 2012)是根據系集成員的降雨預報分布狀況，所得到在各降雨門檻下的機率大小；例如針對某一降雨門檻 $50 \text{ mm} (24 \text{ h})^{-1}$ ，如果 20 個系集成員中有 8 個成員的預報降雨達到此門檻，則降雨機率為 40% ($=8/20$)。在應用上，通常會將不同降雨門檻的機率預報畫在同一張圖上，以了解所預報的降雨最可能落在哪個降雨強度區間(如圖六)。



圖六、CWBGEPS 第 9 天系集降雨機率預報(左圖)以及所對應的觀測降雨(CMORPH 衛星降雨估計)機率(右圖)在不同門檻 [10 、 25 和 $50 \text{ mm} (24 \text{ h})^{-1}$] 的分布，個案初始時間是 2018 年 12 月 21 日 00 UTC。右圖中的深橘色區域代表 CMORPH 衛星降雨估計達到降雨門檻(亦即，觀測降雨機率為 1)。

(二) 系集導出的決定性預報指引

機率預報的優點在於能夠提供使用者預報的不確定性，但一般民眾普遍不了解降雨機率所代表的意義，使得機率預報在推廣與應用上比較不容易，且政府防災單位及一般民眾對機率預報的接受度也相對較低。此外，下游水利單位進行洪水預報、土石流預報或都市淹水預報時，所採用的水文預報模式須以決定性降雨預報作為初始場，降雨機率預報反而有使用上的困難。基於上述原因，許多由系集預報導出的決定性預報逐漸被發展出來，常見的有系集平均、機率擬合後

的降雨預報(PM)以及不同系集百分位的降雨預報(QPF Percentile)。以下將簡單介紹此三種常見由系集導出的決定性預報指引(陳等，2018)。

1. 系集平均

系集平均是所有系集成員的雨量平均(圖六之左下圖)，系集平均的優點在於計算簡單，僅需將每個格點上所有成員的降雨預報值加總後再平均即可，實務上也常以系集平均作為降雨預報之平均趨勢參考；但平均過程容易導致雨量極值被平滑掉。

2. 機率擬合(PM)

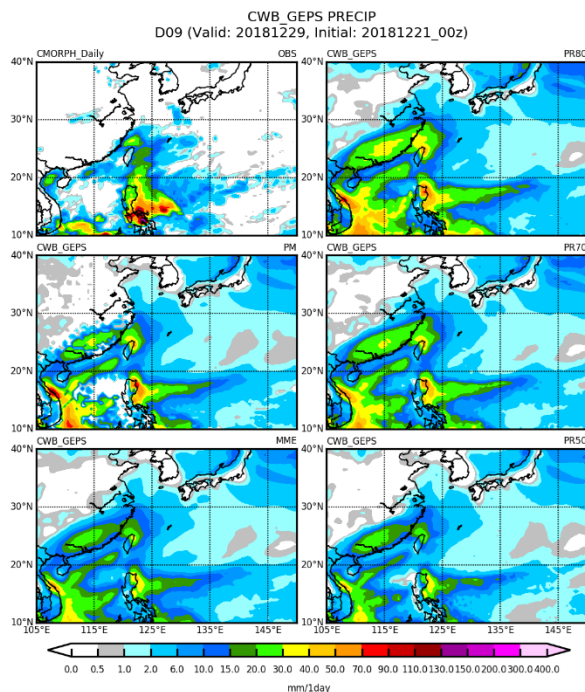
PM (Ebert 2001)具有和系集平均一樣濾掉非線性誤差的雨量型態分佈(rainfall pattern)，但有更接近真實的降雨率(圖七之左中圖)。PM 方法主要是針對系集平均容易低估降雨極值的缺點進行改進，此方法假設系集平均的降雨分佈是正確的，但必須納入所有成員在所有格點上的降雨資訊，才能得到接近真實的降雨頻率分佈。PM 的產製過程如下：首先，將 20 個成員在所有模式格點的預報雨量進行排序，並以 20 個雨量預報為一組，計算每一組雨量資料的中位數，再將各組的中位數依序填入系集平均的降雨空間分佈。舉例說明，PM 最大的雨量中位數值將被填入系集平均空間分佈中有最大預報雨量的格點位置，排名第 2 的雨量中位數值則是填入系集平均空間分佈中有第 2 高預報雨量的格點位置，以此類推。PM 藉此雨量重新配置的過程，得到與系集平均相同的降雨型態，但保留了降雨極值，因而可以改善系集平均降雨極值被平滑掉的問題。

3. 不同系集百分位的降雨預報(QPF percentile)

QPF Percentile 是指落在某個百分位的雨量大小，例如第 80 百分位的 QPF 代表有 80% 的系集成員，其雨量預報是低於此 QPF 量值的。過去的研究(黃等，2016)指出，相較於其他機率門檻的 QFP，第 80 百分位的 QFP 對於臺灣地區的降雨有比較好的預報表現，可作為優良的預報指引，因此本研究選擇第 80、70 百分位做為降雨預報指引之重要參考，同時也選擇系集中位數(即第 50 百分位的降雨預報)做為降雨預報之中間趨勢，主要目的是與極值容易被平滑掉的系集平均進行比較。

五、結論

本文主要針對現階段中央氣象局透過統計後處理技術作業化產製的二週溫度與降雨預報產品進行整理與介紹(表二)，文中所提到的各項溫度預報產品均已進行偏差修正和降尺度處理，且預報評估顯示各項溫度預報產品具有一定程度的預報能力與參考價值。至於降雨預報產品，目前仍屬初步開發階段，機率預報評估結果請參見周等(2019)，初步的預報校驗結果顯示：第二週降雨預報的可信度不高，因此，我們著手發展雨量校正技術，以期改善降雨預報產品的可信度與預報能力，預計在明(2020)年中開始，將可作業化提供校正後更為可信的第二週系集降雨預報指引。



圖七、CWB GEPS 系集降雨預報指引，包括機率擬合雨量預報(PM；左中)、系集平均(左下)以及不同系集百分位之雨量預報[右圖，由上而下分別是第 80、70 與 50 系集百分位(亦即中位數)之雨量預報]。左上圖同時顯示做為觀測場的 CMORPH 衛星雨量估計以進行校驗。個案的模式初始時間為 2018 年 12 月 21 日 00UTC，進行未來第 9 天(2018 年 12 月 29 日)的日降雨量預報。

表二、各項作業化之溫度與降雨預報產品所採用的統計後處理技術、上游之全球模式與產品預報間隔資訊。

	預報產品採用的統計後處理技術	上游全球模式	預報間隔
臺灣地區 溫度預報 指引	測站未來1~14天的逐日均溫預報 Decaying average technique	CWB GEPS NCEP GEFS	一天一報
	測站未來1~14天的逐日高溫預報 測站未來1~14天的逐日低溫預報 Decaying average technique	CWB GFS	
	預報哪些地區未來8-14天的溫度會高於或低於某個極端門檻 Ensemble Kernel Density MOS (EKDMOS)+temporal relaxation method	CWB GEPS NCEP GEFS	
	臺灣各地未來8-14天溫度高於或低於某個極端門檻的機率預報 Ensemble Kernel Density MOS (EKDMOS)	CWB GEPS NCEP GEFS	
東亞系集 預報指引	未來8~14天系集降雨機率預報 ensemble probability forecasts 系集導出的決定性預報指引 (系集平均、機率擬合雨量預報、不同系集百分位之雨量預報) Ensemble mean, Probability Matching (PM), ensemble percentile (including ensemble median).	CWB GEPS NCEP GEFS	一天一報

參考文獻

黃椿喜、葉世瑄、呂國臣、洪景山，2016：系集定量降水預報方法之探討與分析—系集平均、機率擬合平均與超越之定量降水預報。大氣科學，**44**，173-196。

陳冠儒、張惠玲、楊舒芝、洪景山、吳佳蓉、汪琮，2018：臺灣地區WRF 颱風系集降雨機率預報之評估、校正與經濟價值分析-第三部分：經濟價值分析。大氣科學，**46**，198-221。

陳昀靖、陳孟詩、張惠玲與羅存文，2018：臺灣地區測站之第二週日最高最低溫機率預報的發展與評估。107年天氣分析與預報研討會，中央氣象局，臺北，臺灣。

周栢均、張惠玲、陳昀靖、羅存文、陳韋廷，2019：東亞地區二週系集降雨預報之校驗分析。107年天氣分析與預報研討會，中央氣象局，臺北，臺灣。

Chang, H. L., H. Yuan, P. L. Lin, 2012: Short-Range (0-12h) PQPFs from Time-Lagged Multimodel Ensembles Using LAPS. *Mon. Wea. Rev.*, **140**, 1496-1516

Cui, B., Z. Toth, Y. Zhu, and D. Hou, 2012: Bias correction for global ensemble forecast. *Wea. Forecasting*, **27**, 396-410.

Ebert, E. Elizabeth, 2001: Ability of a Poor Man's Ensemble to Predict the Probability and Distribution of Precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2461-2480.

Glahn, B., M. Peroutka, J. Wiedenfeld, J. Wagner, G. Zylstra, B. Schuknecht, and B. Jackson, 2009: MOS Uncertainty Estimates in an Ensemble Framework, *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 246-268.

Glahn, H. R., and D. A. Lowry, 1972: The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 1202-1211.