

CWB MOS於第二週溫度機率預報之評比

陳昫靖¹ 陳孟詩² 張惠玲³ 羅存文³

預報中心¹ 第三組² 科技中心³

摘要

本研究延續本局發展之模式輸出統計(Model Output Statistic; MOS)產出之系集溫度預報為基礎，建立系集核密度模式輸出統計(Ensemble Kernel Density Model Output Statistics; EKDMOS)。EKDMOS有效的改進MOS於第二週系集溫度預報離散度不足的問題，透過 Reliability以及RPSS(Rank Probability Skill Score)的校驗顯示出EKDMOS可以提供更可信之機率預報。

比較美國國家環境預報中心(NCEP)全球系集預報系統(Global Ensemble forecast system; GEFS)以及本局(CWB)全球系集預報系統(Global Ensemble Prediction System; GEPS)之EKDMOS溫度預報指引對於第二週週平均溫度之三分類機率預報之表現。全年來說，兩模式之RPSS皆有技術得分且Reliability也有不錯的可信度，其中NCEP GEFS MOS表現更為穩定。若分四季來探討，除了春季以外，兩模式於多數測站都有技術得分，其中又以秋季有最佳之表現。顯示出兩模式在夏、秋、冬三季皆有預報參考價值，而在春季相對不理想。

最後，針對台北測站，探討NCEP GEFS EKDMOS對於第二週日均溫極端事件之掌握能力，由Reliability以及ROC曲線(Receiver Operating Characteristic Curve)之校驗結果來看，不論是極端冷及極端暖事件都能提供可信之機率預報。

關鍵字：EKDMOS

一、前言

Glahn和Lowry，1972發展的MOS(model output statistic)模式，具有找出動力數值模式各個預報時段模擬之大氣環流與特定地區地面天氣變數的相關性，進行降尺度預報並能自動修正數值模式之系統性誤差。因此，MOS具有開發出中長期預報潛在參考價值的能力並被廣為使用在實際天氣預報作業上。

因動力數值模式具有不確定性，系集預報之發展成為趨勢，各國作業單位紛紛發展出系及數值預報模式(ensemble forecasting system)，透過給予不同初始擾動場來進行預報。中央氣象局亦採用美國國家環境預報中心(NCEP)全球系集預報系統建立MOS預報系統(陳等，

2011)。此系集MOS模式對於冬季第二週週尺度之溫度預報變化趨勢有不錯的預報能力(陳等，2014)。以此模式為基礎，透過系集核密度模式輸出統計法建立第二週週平均溫度三分類機率預報在冬季也具有預報參考價值(陳等，2016)。

本文將以此EKDMOS為基礎，並加入本局(CWB)全球系集預報系統(Global Ensemble Prediction System; GEPS)之EKDMOS對全年之第二週周平均溫度三分類機率預報進行評估。此外也將對於NCEP GEFS EKDMOS於預報第8至第14天之日均溫極端事件的掌握能力進行評估。

二、資料來源和研究方法

(一) 資料來源

本文使用中央氣象局發展之，NCEP GEFS MOS以及CWB GEFS MOS之日均溫系集預報。其包含了20個系集成員以及單一控制組(Control Run)，本文將取以2016/06/01至2017/05/31為初始場，預報時段為第8至第14天之預報。

此外，本文使用了1981年至2010年中央氣象局之人工觀測站(表一)之日均溫資料，作為三分類之氣後背景值。2016/06/09至2017/06/08之日均溫資料則用來作為此模式較驗之依據。

(二) 研究方法

1. 三分類週平均溫度之正常值範圍與極端日均溫門檻之計算

三分類週平均溫度之氣候正常值範圍計算方法和陳等，2016所使用的方法一致。

而本研究針對台北測站進行日均溫極端事件評估之探討。首先將台北測站1981年至2010年之所有日均溫資料進行排序，並取第百分之十之溫度做為極端冷事件之門檻，取第百分之九十之溫度做為極端暖事件之門檻。

2. EKDMOS 之建立

因預報的不確定性，實際觀測往往存在誤差，如圖(1)所示，以NCEP GEFS MOS台北測站預報秋季溫度為例，長期下來其誤差的機率分布會近似於常態分佈。因此，本研究收集一段時間MOS Control Run之誤差值進行常態分佈的套配，將套配出之機率密度函數(Probability Density Function;PDF)做為核密度函數套入EKDMOS中。考慮模式之誤差特性隨時間及空間的變化，在此對不同測站並分成四個季節建立各自之誤差PDF。

最後將每個成員套入PDF後，給予等權重進行合成如下式：

$$p(y|D) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K p(y|M_k, D)$$

其中 $p(y|M_k, D)$ 為各個成員所套入之機率密度函數，而 $p(y|D)$ 即為EKDMOS所得之預報PDF，如圖(2)所示。

最後計算機率時，以三分類之偏暖機率為例，計算預報PDF大於溫度正常值上限的面積即為預報偏暖類別之機率。

三、模式表現分析

(一) 校驗方法

1. Rank Histogram(RH)及Probability integral Transform(PIT)

假設一系集成員有K個預報值，將其依排序後可得到K+1個區間。若為好的系集預報，長期下來若在每個區間的機率都會接近 $1/(k+1)$ ，因此將實際觀測落在每個區間的比例畫成直方圖時，會相當平坦。

針對連續機率分布則可用PIT來校驗，將預報之PDF轉換成CDF，並將此CDF之0至1之間劃分成任意K等分。同RH，若為好的機率分布則實際觀測落在每個區間的比例應相當接近，因此繪製成直方圖時會很平坦。

2. Rank Probability Skill Score, RPSS

RPSS 為評估模式三分類機率預報之技術得分，其示如下：

$$RPSS = 1 - RPS/RPS_c$$

其中

$$RPS = \sum_{n=1}^k (Y_n - O_n)^2$$

Y_n 為預報之累積機率， O_n 為觀測之累積機率。 RPS_c 為氣候值之RPS。RPSS=1時為完美預報，介於0~1之間代表有預報技術，若小於0則代表沒有預報技術。

3. Reliability diagram

Reliability用來診斷機率預報之可信度，舉例來說，若預報發生之機率為80%的次數有100次，那這100次的預報中實際發生的機率是否接近80次。如圖(3)所示，橫軸為預報機率，

縱軸為觀測機率，黑色對角線為完美的機率預報，若為藍線代表實際發生的機率比預報還高，代表模式低估其發生的機率，反之紅線則為高估。

4. ROC 曲線 (Receiver Operating Characteristic Curve)及 ROC 曲線下面積 (Area Under the Curve of ROC,AUC)

將每一次預報之機率，給定不同門檻值後，即可對不同門檻值建立二維列聯表。

Fc Obs	yes	no
yes	h (hit)	m (miss)
no	f (false alarm)	c (correct rejection)

其中，Hit rate = $h / (h+m)$;

$$\text{False alarm rate} = f / (f+c)$$

不同的門檻值會得到不同的Hit rate以及False alarm rate，即可繪出ROC曲線。利用梯形法可計算其面積即為AUC。當AUC等於1時及為完美預報，AUC大於0.5代表有預報技術。

(二) EKDMOS 之優勢

由圖(4)得知，以第二週之週平均溫度為例，未經處理之MOS系集預報的RH有很高之比例落在兩端，顯示出其預報之離散度明顯不足。經由EKDMOS處理之後，由PIT直方圖可以看到雖然在第二週週平均溫度之EKDMOS其離散度稍微過大，但整體來說有效的改善離散度不足的情形，且更貼近完美之機率分布，在日均溫方面也有相同的結果。因此，以台北測站為例，EKDMOS之Reliability明顯較接近完美預報之對角線(圖5)，且各測站之RPSS也較高(圖6)，由此可知，EKDMOS能提升機率預報之品質，且因解決離散度不足的問題更有助於針對極端事件的探討。

(三) 第二週週平均三分類機率預報表現

如圖(7)所示，以台北高雄台中花蓮為範例，

兩模式之reliability都有不錯的表現，但兩模式於預報偏冷類別時，會有過度預報之情形，其中又以CWB更為明顯。由預報之個案數可以看出，在預報偏暖或偏冷時，CWB有較多的個案可以報到較高的機率值，顯示出CWB預報之變異度較NCEP來的大。

接著以RPSS評估第二週週平均三分類機率預報之表現，全年來說，兩模式皆有預報技術，而NCEP之表現又比CWB佳(圖8)。

若分四季來看，可以看到除了春季以外，兩模式皆有不錯的預報表現，其中又以秋季表現最佳。比較兩模式之表現，可以看到大致上四季都是NCEP表現最佳。在春季，CWB幾乎沒有技術得分，且皆輸給NCEP，其餘三季大致上都是NCEP表現較佳，而CWB於少數測站會有較佳之表現(圖9)。

(四) 極端事件預報表現

在此針對NCEP GEFS EKDMOS預報之台北測站第8至第14天日均溫進行評估。由圖10得知，隨著預報時間增加，暖事件之reliability越來越偏離完美預報，且低機率高估，高機率低估的情形越來越明顯。而由圖11得知，隨著預報時間增加，預報冷事件機率較高的個案數明顯減少，顯示隨著預報時間增加模式越難預報到冷事件。

圖12分別為暖事件及冷事件之ROC曲線，暖事件ROC曲線下面積隨預報時間增加並無明顯上升下降之趨勢，且都有0.75以上，顯示出於第二週極端暖事件之機率預報有參考價值。而冷事件隨著預報時間增加，冷事件之ROC曲線下面積有下降的趨勢，但到第14天之預報仍有0.7以上，具有參考價值。

四、結論

延續氣象局現 MOS 系集預報之基礎，發展EKDMOS所得到的預報PDF有效解決系集離散度不足的問題，且提高機率預報的品質。除了春季外，CWB 以及 NCEP EKDMOS 提供

之第二週週平均三分類機率預報皆有預報參考價值，且不論冬夏季對於極端事件也有一定程度的掌握能力。然而日最高最低溫之極端事件預報會比日均溫之極端事件預報更具有應用價值，因此未來若能利用 MOS 預報最高最低溫並利用 EKDMOS 之方法建立機率預報，將能提供預報員更有用之預報資訊。

五、參考文獻

陳重功、羅存文、李柏宏、賈新興、陳孟師與王嫻蘭，2011：CWB 2ndWeek 日均溫 MOS 系集預報模式開發-(II)測試評比，天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，370–375。

張語軒、張庭槐與吳蕙如，2011：“貝式模型平均於溫度機率預報之應用”。氣象學報，49(1)，19-38。

羅存文、陳重功、蔡孟峰與陳孟詩，2014：NCEP GFS 與 GEFS MOS 第 1 和 2 週平均溫度預報評比分析，103 年天氣分析與預報研討會。

蔡孟峰、陳孟詩、陳重功與羅存文，2014：中央氣象局第二週 NCEP GFS MOS 日均溫度預報模式開發探討，103 年天氣分析與預報研討會。

陳昫靖、陳孟詩、陳重功、羅存文與王志嘉，2016：NCEP-GEFS MOS於第二週溫度三分類機率預報之應用。

Bob Glahn, Matthew Peroutka, Jerry Wiedenfeld, John Wagner, Greg Zylstra, Bryan Schuknecht, Bryan Jackson, 2009:MOS Uncertainty Estimates in an Ensemble Framework, Monthly Weather Review, Volume 137, Issue 1, 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.

	測站名稱
1.	彭佳嶼
2.	基隆
3.	宜蘭
4.	蘇澳
5.	鞍部
6.	竹子湖
7.	淡水
8.	臺北
9.	新竹
10.	台中
11.	梧棲
12.	日月潭
13.	阿里山
14.	玉山
15.	嘉義
16.	台南
17.	高雄
18.	花蓮
19.	成功
20.	台東
21.	大武
22.	恆春
23.	蘭嶼
24.	澎湖
25.	東吉島

表一、本研究選用之測站。

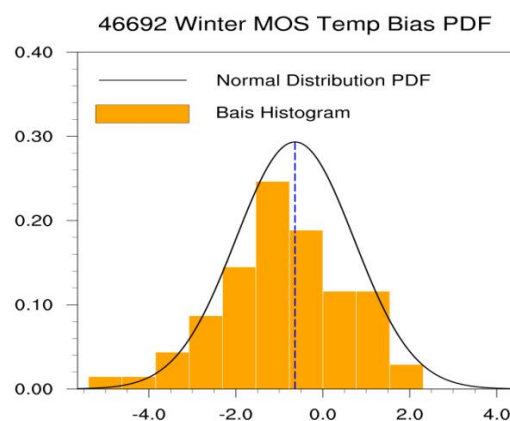


圖1、NCEP GEFS Contral Run 於台北測站冬季預報第二週週平均溫度之PDF。橘色長條圖為誤差之直方圖，黑色實線為套配之常態分佈。

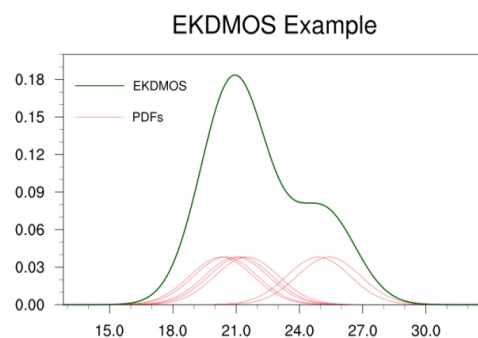


圖2、EKDMOS之範例，紅色為各成員之PDF，綠線則為合成後之PDF。

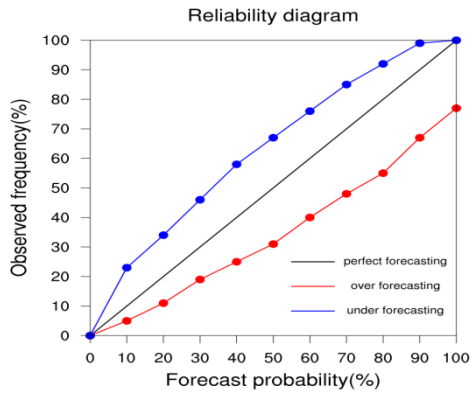


圖3. Reliability diagram範例，黑色為完美預報，紅線為高估，藍線則為低估。

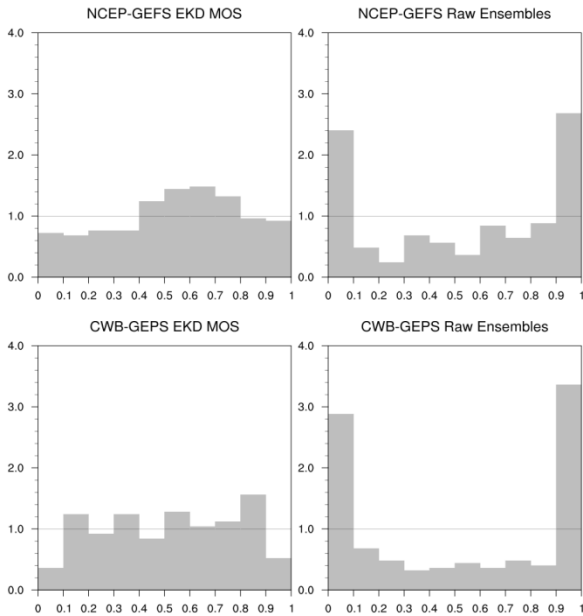


圖4. NCEP GEFS 以及 CWB GEFS 之 MOS 以及 EKDMOS 第二週周平均溫度之 RH 以及 PIT。

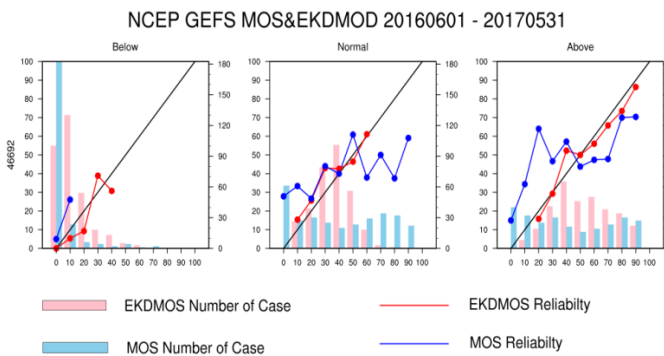


圖5. NCEP GEFS EKDMOS 與 MOS 對於第二週週平均溫度三分類機率預報 Reliability

diagram。紅線及為 EKDMOS 之 Reliability，粉紅色長條為預報至該機率之個案數，藍色系則為 MOS 之個案數以及 Reliability。

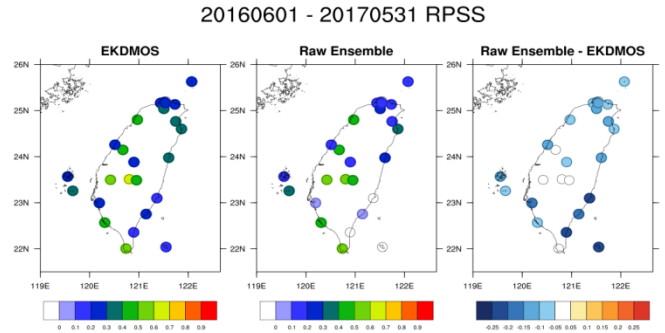
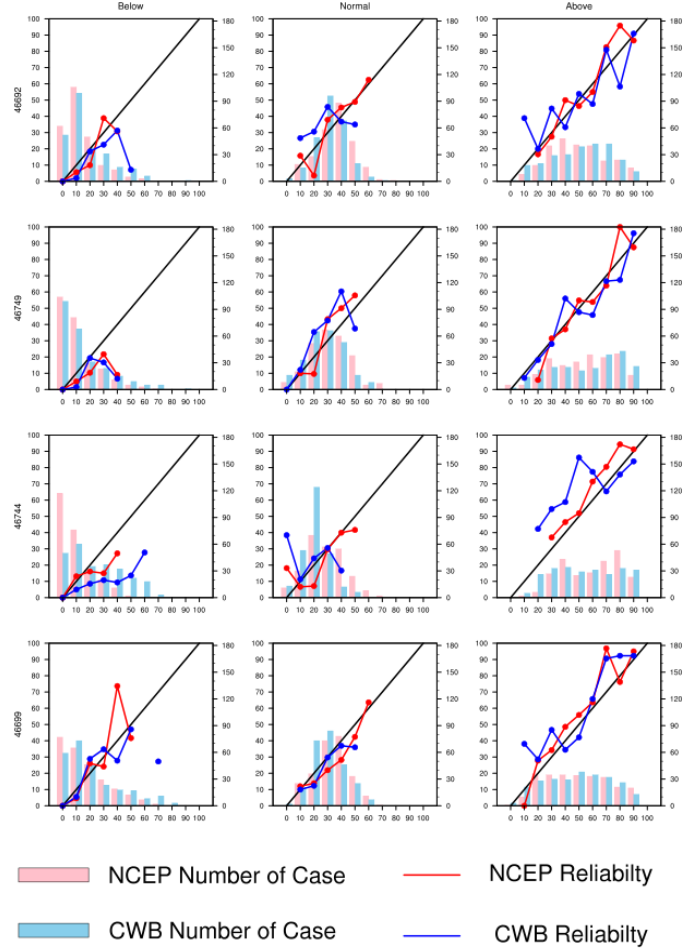


圖6. NCEP GEFS EKDMOS 與 MOS 之 RPSS。

NCEP & CWB EKDMOS 20160601 - 20170531



█ NCEP Number of Case — NCEP Reliability
█ CWB Number of Case — CWB Reliability

圖7. NCEP 及 CWB EKDMOS 於台北、台中、高雄及花蓮測站第二週週平均溫度三分類機率預報之 Reliability diagram。

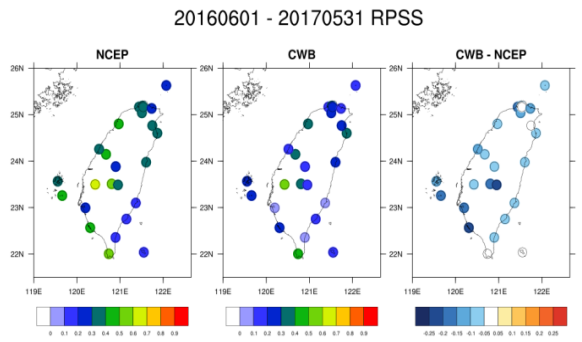


圖8. NCEP及CWB EKDMOS於2016-06至2017-05全年之RPSS。

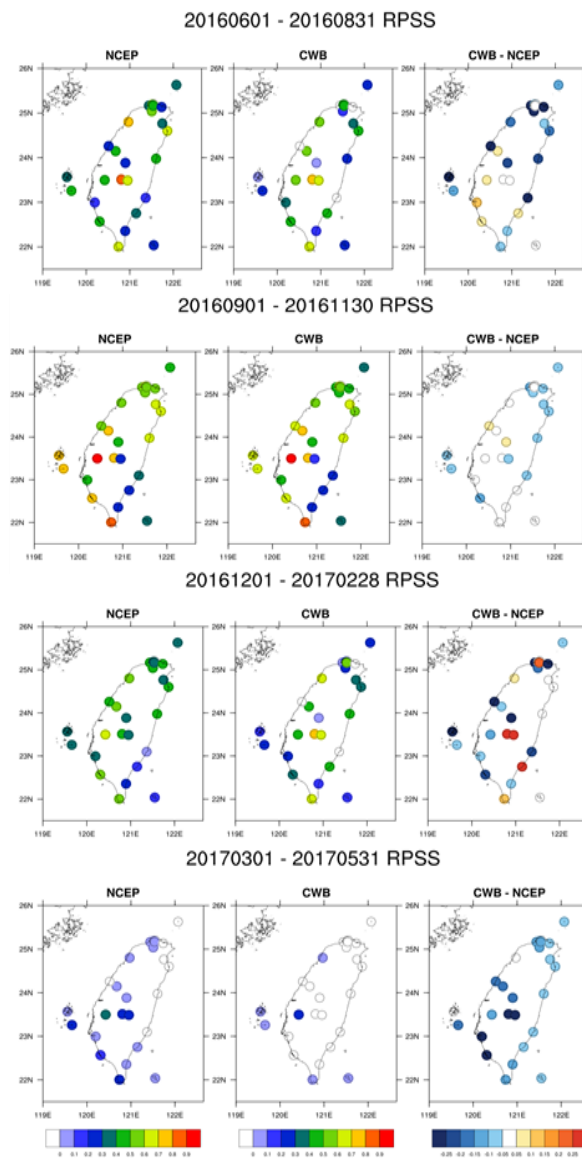


圖9. 同圖8，但由下至上分別為2016夏季、2016秋季、2016-2017冬季以及2017春季之RPSS。

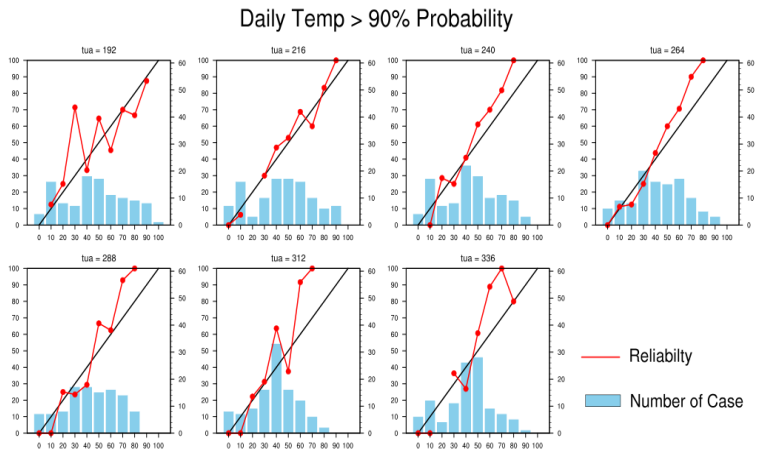


圖10. NCEP GEFS EKDMOS對於台北測站日均溫極端暖事件之Reliability diagram，紅線為預報之Reliability，藍色長條為預報至該機率之個數。

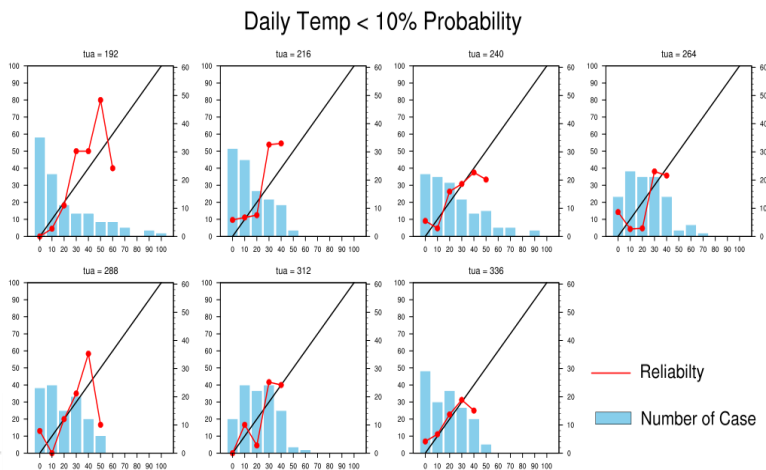


圖11. 同圖10，但為極端冷事件之Reliability diagram。

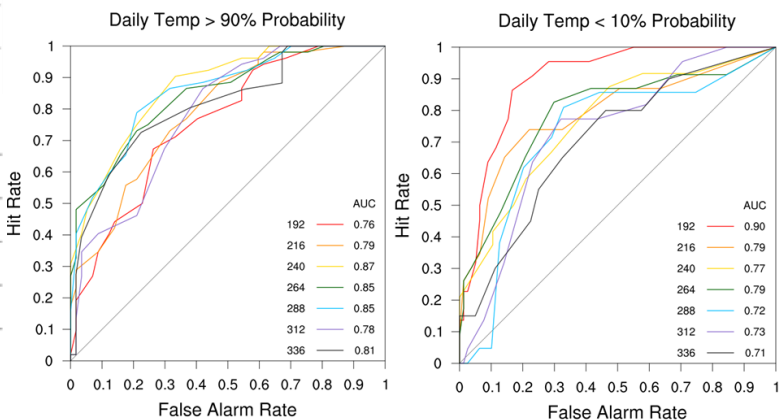


圖12. CEP GEFS EKDMOS對於台北測站日均溫極端之ROC曲線以及ROC曲線下面積。