

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

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

極端事件的預報中，日最高最低溫的預報也是相當重要的一環。本研究藉由迴歸方程式將MOS預報第二週之日均溫轉換成最高最低溫，並利用系集核密度估計(Ensemble Kernel Density Estimation)法後，得到日最高最低溫之機率預報。

本研究針對10°C以下之日最低溫以及35°C以上之日最高溫之機率預報進行評估。由Reliability及ROC曲線之校驗結果顯示，本研究所發展的第二週極端高溫以及極端低溫機率預報具有相當不錯的可信度以及區辨能力。

就第二週來說，現今數值模式雖然週時間尺度之溫度變化已有不錯的掌握，但仍較難以準確預報日時間尺度溫度變化。因此，在實際預報作業上，必須考量到極端事件(寒流或熱浪)在預報上的時間不確定性；亦即，所預報的極端事件可能提早或延遲一兩天發生。因此，本研究同時透過時間寬限(Temporal relaxation)之評估方式，找出預報員能接受的合理寬限時間。

關鍵字：MOS、極端事件、系集核密度估計(Ensemble Kernel Density Estimation)、時間寬限(Temporal relaxation)

一.前言

Glahn和Lowry, 1972發展的模式輸出統計MOS(model output statistic)具有找出數值模式預報的大氣環流與特定地區之天氣變數之相關性，並能修正數值模式預報的系統性誤差(Dallavalle, 1988)，因此MOS能找出數值模式中長期預報之預報參考價值。

近年來，為了掌握數值模式之不確定性，各國作業中心紛紛法展出系集數值預報模式(ensemble forecasting system)，透過給予不同初始擾動場來進行預報。Daniel等, 2007、David, 等2009以及Bob等, 2009也將系集數值預報應用於MOS模式中。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)。

透過EKDMOS (Ensemble Kernel Density

model output statistic)此技術，能有效的改善MOS系集預報離散度不足此特性，因此能得到可信度更高且具有區辨能力之機率預報。此外，此方法應用於第二週極端日均溫之預報上也有不錯的表現(陳等, 2017)。

近年來，極端日最高/最低溫之預報愈來愈受到重視，因此本文透過統計方法將MOS預報之日均溫轉換成日最高/最低溫，並透過系集核密度估計(Ensemble Kernel Density Estimation)此方法建立第二週極端日最高/最低溫之機率預報。

二、資料來源和研究方法

(一). 資料來源

本文使用中央氣象局利用 NCEP – GEFS

系集預報資料發展的 MOS 模式之日均溫系集預報(陳等, 2011)。其系集包含了 20 個系集成員以及單一控制組(Control Run)。本文將取以 2015/12/01 至 2018/03/31 為初始場, 預報時段為第 8 至第 15 天之預報。並取對應預報時間之測站資料作為校驗資料。

(二). 極端日最高/最低溫機率預報模式建立

本文建立極端日最高/最低溫機率預報之流程分別為下列四步驟：

1. 利用 2012-2015 年間之觀測日均溫與最高(5-10月)最低(12-4月)溫建立回歸方程式。以台北測站為例, 圖(1)顯示出, 利用簡單的回歸方法將日均溫轉成日最高/最低溫不會有太大的誤差。
2. 將 2012-2015 年間 NCEP-GEFS MOS(control run)預報之日均溫代入回歸方程式, 即可得到 MOS 預報之日最高/最低溫。
3. 將 2012-2015 年間 MOS 預報各測站之日最高/最低溫與測站觀測資料比對, 在假設為常態分布的情形下, 找出預報誤差之 (Probability Density Function ; PDF)。
圖(2)以及圖(3)顯示出, MOS 預報大多數測站之日最高/最低溫, 其誤差分布接近常態分佈。
4. 最後透過系集核密度估計之方法, 將各系集成員套入誤差之 PDF 後, 給予等權合成如下式

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

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(4)所示。

最後計算最高溫大於 $35C^\circ$ 以及最低溫小於 $10C^\circ$ 之面積即可得到極端日最高/最低溫之預報機率(圖 4)。

三、模式表現分析

(一)校驗方法

1. 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(5)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, 若在黑斜線上方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, 反之在黑斜線下方則為高估。

2. 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		
		yes	no
Obs			
	yes	h (hit)	m (miss)
	no	f (false alarm)	c (correct rejection)

其中, Hit rate = $h / (h+m)$;

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 0.7 代表此預報模式具有良好的區辨能力。

3. Performance diagram

如圖(10), 橫軸為 Success Ratio, 縱軸為 POD(Probability of Detection), 其式如下：

POD = $h / (h + m)$

Success Ratio = $1 - FAR$

其中， $FAR = f / (h + f)$

POD 越高預報能掌握住大部分觀測有發生的事件，而 Success Ratio 越高代表預報的假警報越少。而圖中的綠線為 TS(Threat score)，橘線代表 Bias。若當預報結果出現在圖的左上角時，代表雖然能掌握住大多數觀測有發生的事件，但也有過多的假警報，整體來說有過度預報的情形。反之，若預報結果出現在右下角時，代表雖然出現假警報的次數較少，但卻漏掉許多觀測有發生的事件，因此有低估的情形。當預報結果出現在右上角時，代表此預報結果能掌握多數觀測有發生的事件且鮮少有假警報的情況，因此當預報結果越靠近右上角代表預報表現越佳。

(二) 極端日最高/最低溫預報表現

由於只有 6 至 9 月有較高之機率發生最高溫高於 35 度之事件。此外，只有 12 至隔年 3 月有較高的機率發生最低溫低於 10 度的事件。因此，本文只針對上述時段對於暖事件以及冷事件進行較驗，最後，若某測站從未發生過極端事件，在此也不納入該測站之預報結果進行較驗。

1. 極端暖事件預報

圖(5)以及圖(6)分別代表預報 8 到 15 天極端暖事件機率預報之 Reliability 以及 ROC 曲線。圖中顯示出第二週各個預報時段皆能提供可信的機率預報，且各個預報時段 ROC 曲線下面積皆在 0.7 左右，代表各個預報時段皆有不錯的區辨能力。

2. 極端冷事件預報

圖(7)以及圖(8)分別代表預報 8 到 15 天極端冷事件機率預報之 Reliability 以及 ROC 曲線。同暖事件之結果，各預報時段皆能提供可信的機率預報。不同於夏季暖事件，冷事件之區辨能力隨預報時間逐漸遞減，在第 8 第 9 天時都大於 0.8，此外到了第 15 天仍大於 0.7，顯示出此模式的區辨能力在冬季較夏季高，且在第二週有不錯的預報表現。

3. 時間寬限校驗

現今數值預報模式對於第二週之溫度趨勢能有不錯的預報能力，但對於第二週日尺度之變化仍有較大的不確定性，換句話說，模式對於寒流或者熱浪來襲的預報可能有一兩天的偏差。因此，透過時間寬限(Temporal relaxation)之評估方式能在使用者能接受的寬限範圍內提升預報價值。

本研究時間寬限之校驗方式如圖(9)，若預報事件發生，只要觀測事件發生之時間偏差在一天以內就算命中，若三天觀測都沒有事件發生才算 False Alarm。若觀測事件發生時，預報三天都沒有發生才算 miss。若不屬於上述三種情況則為 Correct rejection。

圖(10)/圖(11)分別為暖/冷事件未經時間寬限以及圖(12)/圖(13)分別為給予一天時間寬限之暖/冷事件校驗結果。給予時間寬限後不論冷暖事件各個預報時段其結果皆更靠近右上角。在暖事件中，TS 皆可達到 0.4 以上，而冷事件中大部分預報時段都可達 0.5 以上。由上述結果可得知，給予時間寬限後確實能挖掘出模式之預報價值，此外不論冬夏季之極端事件皆能提供具有參考價值的預報，而冬季表現又優於夏季。

四、結論

本研究延續氣象局現行 EKDMOS，發展出極端日最高最低溫之預報指引。其校驗結果顯示不論冬夏季皆能提供有參考價值之預報。

而對於二週以上之極端事件預報來說，較難準確掌握事件發生之日期。若模式預報事件發生日期只偏差一天以內也算是不錯的預報表現，而傳統校驗方式無法考慮到這樣的情形。透過時間寬限的校驗方式則能考慮到上述情況，可以挖掘出模式被忽略之預報能力，提供更具有參考價值之預報指引。

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。

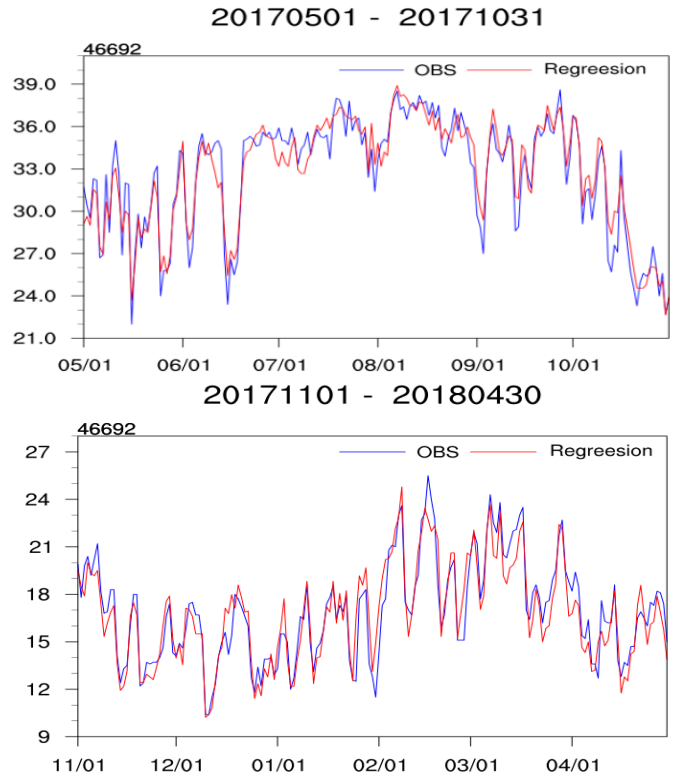
陳昀靖、陳孟詩、張惠玲與羅存文，2017：CWB MOS於第二週溫度機率預報之評比。

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.

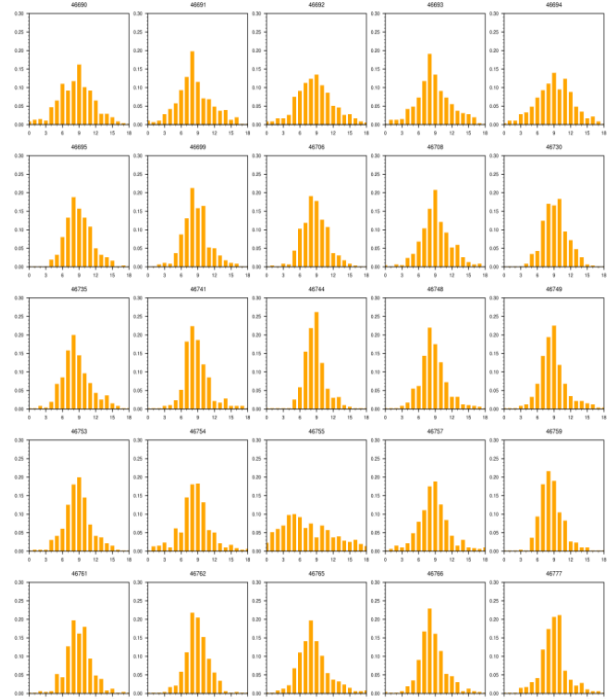
Dallavalle, J. P., 1988: An evaluation of techniques used by the National Weather Service to produce objective maximum /minimum temperature forecasts. Preprints, Eighth Conf. on Numerical Weather Prediction, Baltimore, MD, Amer. Meteor. Soc., 572- 579.

David A. Unger, Huug van den Dool, Edward O’Lenic, Dan Collins, 2009:Ensemble Regression, Monthly Weather Review, Volume 137, Issue 7, 2365-2379.

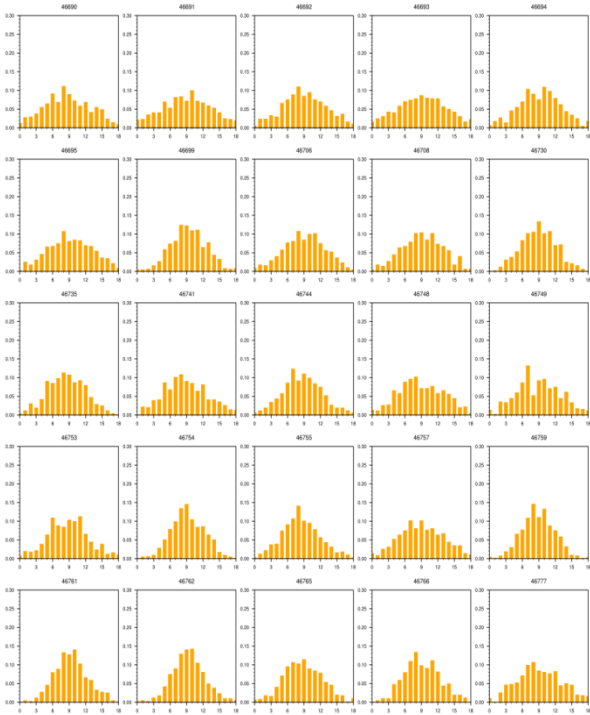
Glahn, H. R., and D. A. Lowry, 1972: The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J. Appl. Meteor*, **11**, 1202-1211.



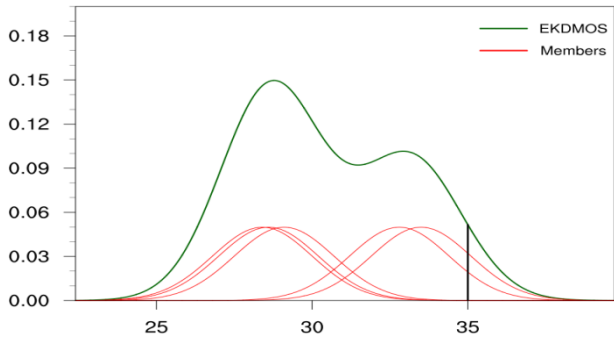
圖(1)、台北測站利用觀測日均溫經回歸方程式轉換成日最高最低溫之結果。



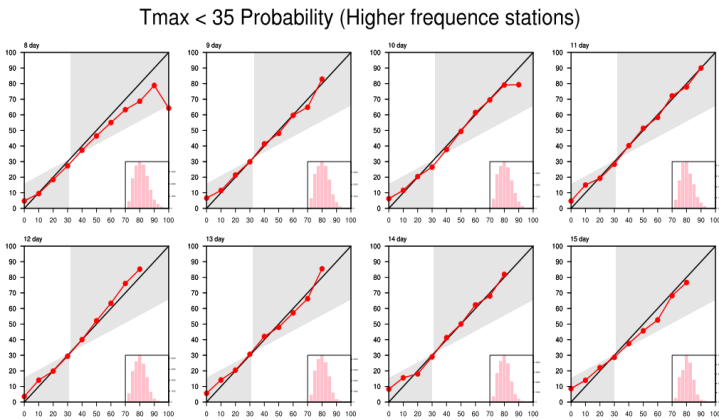
圖(2)、MOS 預報日均溫套入回歸方程式轉成 MOS 預報日最高溫之誤差分布。(25 個人工站 5-10 月)



圖(3)、MOS 預報日均溫套入回歸方程式轉 MOS 預報日最低溫之誤差分布(25 個人工站 11 至隔年 3 月)

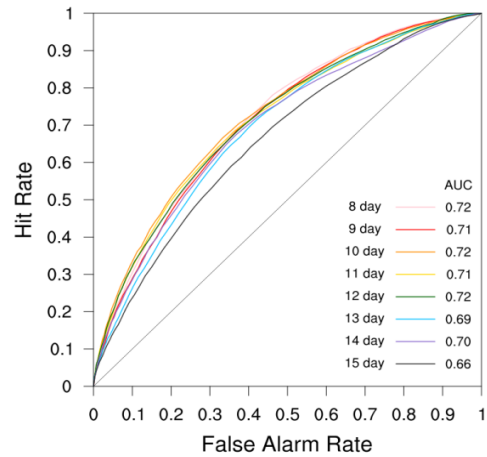


圖(4)、EKDMOS 示意圖，其中溫度高於黑線以後之面積即為預報高於 35 度之機率。



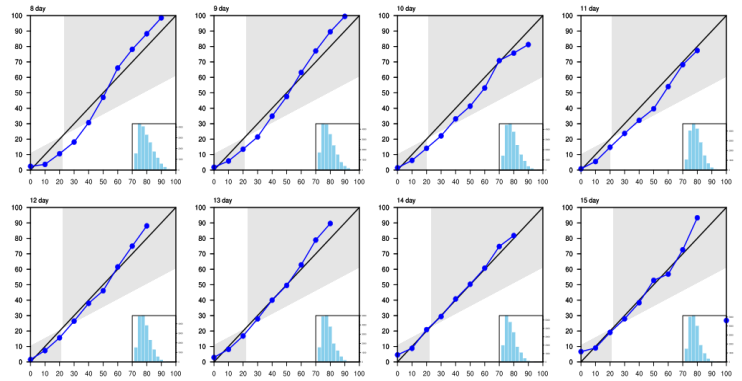
圖(5)、預報第 8 至 15 天日最高溫大於 35 度之機率之 Reliability 以及預報各機率之樣數。

Tmax > 35 Probability (Higher frequency stations)



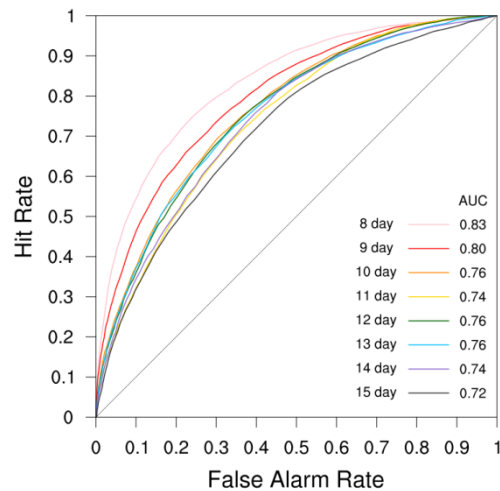
圖(6)、預報第 8 至 15 天日最高溫大於 35 度之機率 ROC 曲線與曲線下面積。

Tmin < 10 Probability (Higher frequency stations)



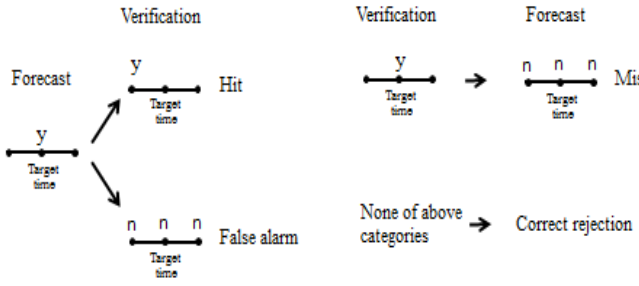
圖(7)、預報第 8 至 15 天日最低溫低於 10 度之機率之 Reliability 以及預報各機率之樣數。

Tmin < 10 Probability (Higher frequency stations)

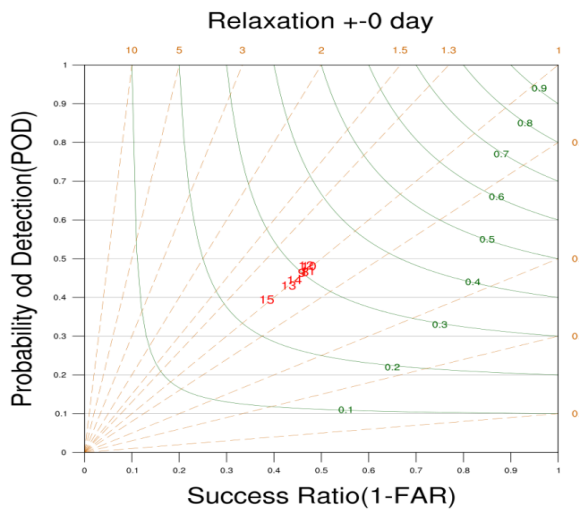


圖(8)、預報第 8 至 15 天日最低溫低於 10 度之機率之 ROC 曲線與曲線下面積。

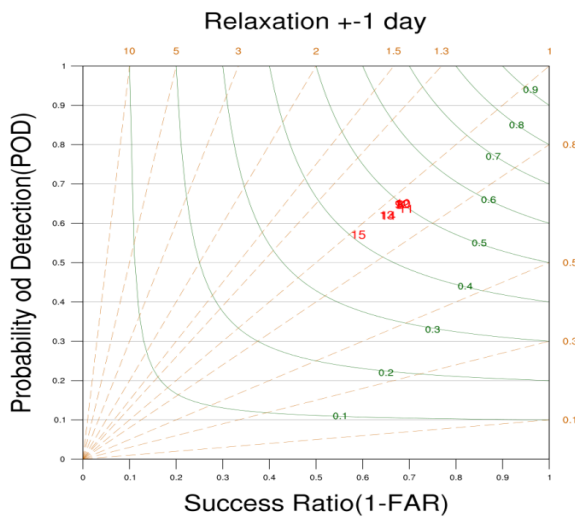
Temporal Relaxation:



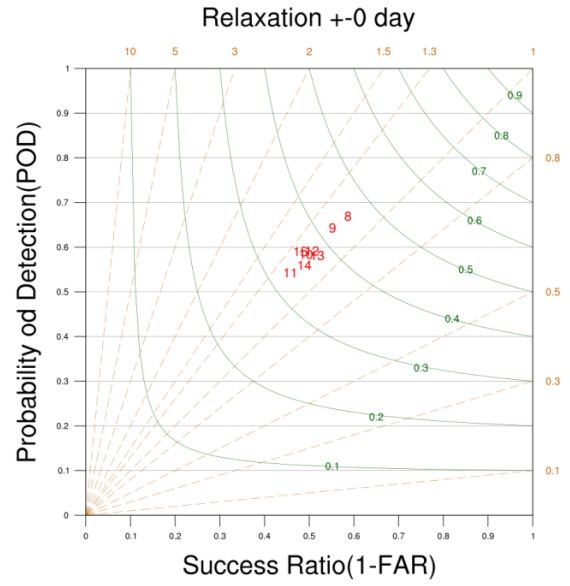
圖(9)、時間寬限後，如何計算 hit、miss、false alarm 以及 correct negative 之示意圖



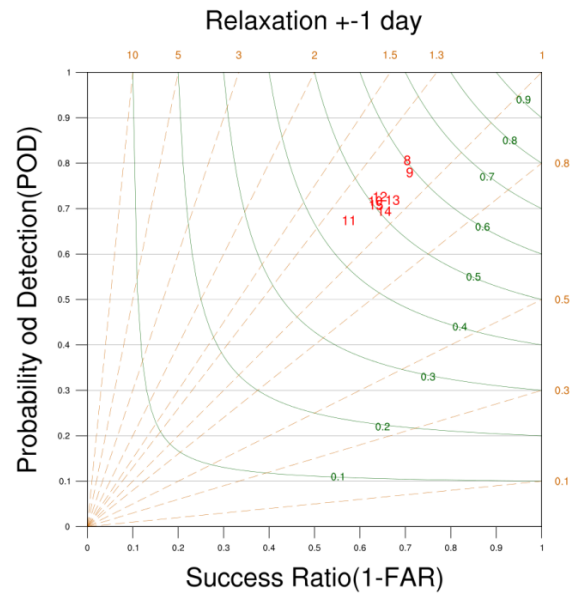
圖(10)、極端暖事件無時間寬限之 Performance Diagram，圖裡的數字代表不同 lead time(ex.15 代表預報第 15 天)



圖(11)、極端暖事件給予一天時間寬限後之 Performance Diagram。



圖(12)、極端冷事件無時間寬限之 Performance Diagram。



圖(11)、極端冷事件給予一天時間寬限後之 Performance Diagram。