

# 臺灣測站二週溫度統計預報之技術發展與結果評估

## Development of 8~14 days temperature forecasts using decaying average statistical post-processing technique for stations in Taiwan

陳苡甄<sup>1</sup> 馮智勇<sup>1</sup> 張惠玲<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<sup>2</sup>

### 摘要

由於誤差衰退平均法(Decaying Average, 以下簡稱DCA)具有移除數值模擬與觀測系統性偏差的能力, 若將數值模式測站高度差異和模擬結果差異視為系統性偏差量, 則可利用DCA一併移除, 因此本研究嘗試藉由臺灣測站觀測資料應用DCA方法校正美國NCEP GEFS與本局CWB GEPS系集數值模式距地兩米高溫度場, 發展臺灣測站第二週溫度預報技術。為瞭解DCA方法預報能力, 另外與模式格點經高度修正至測站的溫度預報進行比較, 針對2018年冬、夏季預報二週平均溫度所有可用測站以統計值做評比。

近年來氣象局致力於將現有的氣象預報資訊推廣至農漁業等下游單位, 提供在地化農漁業資訊以符合應用端之需求, 由於部分鄉鎮並無觀測站或距離太遠, 農業單位提出高解析度網格化資料之需求。因此本研究將氣象局所有可用測站的預報和觀測資訊利用通用克利金法(Universal Kriging, 以下簡稱UK)內插至57個作物專區進行預報能力評估。

關鍵字：誤差衰退平均法、通用克利金法

Keyword：Decaying Average, Universal Kriging

## 一、前言

現階段發展的數值模式預報仍然存在系統性偏差, 如何有效率的移除模式預報與真實觀測之間的偏差量, 成為正確應用數值模式模擬結果的一項重要課題。

Cui等人(2012)提出DCA修正方式只需要儲存前一刻所留下的預報誤差以及當下模式預報資料即可進行誤差修正, 所使用的數學概念也相當單純, 同時包含著時間的權重以及誤差的移動平均的概念。

本研究將此方法用於美國NCEP GEFS與本局CWB GEPS系集數值模式的預報上, 以了解DCA用於預報臺灣地區距地兩米高溫度場的效果, 並且與模式格點以濕絕熱遞減率進行高度修正至測站的溫度預報做比較, 評估利用DCA發展臺灣測站第二週平均溫度預報技術之效益。

## 二、使用資料與研究方法

### (一) 誤差衰退平均法

美國NOAA NCEP針對NCEP GEFS模式與CMC GEFS模式輸出包含溫度在內共35個具空間分布均勻特性變數的系統係誤差, 發展採簡化形式卡門濾波(Kalman Filter)的DCA校正方式, 目前已實作於1.0經緯度解析度的逐6小時模式輸出場作業流程, 證實可有效移除系統誤差(Cui等人, 2012)。步驟如下：

### 1. 誤差估計

以下式估計時刻格點*i,j*的 $\tau$ 時間預報場誤差值 $b_{i,j}^{\tau}(t)$ 。其中,  $f_{i,j}^{\tau}(t)$ 為時刻格點*i,j*的 $\tau$ 時間預報場預報值, 而 $a_{i,j}(t)$ 為時刻格點*i,j*的分析值/真實值。

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

### 2. 更新系統性偏差

以下式與 $t-1$ 時刻校正結果更新系統性偏差 $B_{i,j}^{\tau}(t)$ 。其中權重係數 $w$ 代表該更新值考量幾次近期計算的偏差資訊。若以每日00Z模擬為例, 權重係數0.02代表掌握最近100-150次(權重係數倒數的2-3倍)模式模擬與分析場的系統偏差。

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

### 3. 以系統性偏差校正預報值

將時刻格點*i,j*的 $\tau$ 時間預報場預報值減去更新後的系統性偏差值 $B_{i,j}^{\tau}(t)$ , 得到時刻格點*i,j*的 $\tau$ 時間預報場校正值 $F_{i,j}^{\tau}(t)$ , 即：

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

在臺灣測站的方法實作上, DCA溫度誤差修正策略是假設測站為相鄰四個模式格點的真實場, 採逐預報時間進行偏差校正, 將誤差權重統一設定為0.1, 再依後端需求提取第2週平均溫度預報。在測站降尺度格點選擇上, 是以近期約20至30天模式預報與觀測之間相關係數最高的格點作為該次修正用的

格點。相同格點的原始預報以濕絕熱遞減率(以下簡稱 Lapse\_Rate)進行高度修正至測站的溫度預報作為對照組進行評比。

## (二) 克利金法

克利金法(Kriging technique)是根據資料在空間中分佈的統計特性，決定線性內插係數的一種技術(Bras and Rodriguez-Iturbe, 1985)。在不同的趨勢條件假設下，又可分為數學上不包含「不偏估條件」的「簡單克利金法」(Simple Kriging)；包含「平均值為常數」假設的「普通克利金法」(Ordinary Kriging)；以及包含平均值為某種空間趨勢函數假設的「通用克利金法」(Universal Kriging)。克利金法估計的步驟可分為二部份：

1. 結構分析(structural analysis)－由歷史資料，迴歸統計協變異數(covariance)隨距離變化的情形，決定「變異圖」或「半變異圖」(variogram or semi-variogram)的函數。
2. 最佳線性不偏估估計(Best Linear Unbiased Estimation)假設估計值為已知值的線性權重平均，根據不偏估和最小估計誤差變異數兩項原則，根據變異圖或半變異圖導出權重係數值。

前期研究分析臺灣地表溫度特性，認為地表溫度是緯度和海拔高度的線性趨勢函數，去除此二趨勢後的溫度殘差值的二階統計函數(即協變異圖)具有定常性。使用 UK 方法的主要理念是臺灣山區地表溫度隨海拔高度變化的趨勢為主控因子，必須去除半變異圖中的趨勢函數，才能突顯真實的地表溫度協變異圖。若要避免迭代求取協變異圖過程中，趨勢函數係數值可能偏估的問題，且直接使用測站溫度觀測值權重估計，乃使用 Kitanidis (1993)要求權重係數使各個趨勢函數係數乘的座標值權重組合為不偏估條件設計。

根據上述理念，UK 法線性估計方程式為：

$$\hat{z}(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(\mathbf{u}_i) \quad (4)$$

假設地表溫度  $Z(\mathbf{u})$  的趨勢函數如下，其中， $y$  為緯度， $h$  為海拔高度， $\beta_0$ 、 $\beta_y$  和  $\beta_h$  是未知的趨勢係數。

$$E[Z(\mathbf{u})] = m(\mathbf{u}) = \beta_0 + \beta_y \cdot y + \beta_h \cdot h \quad (5)$$

不偏估條件要求：

$$E[\hat{z}(\mathbf{u}_0)] = E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{u}_i)\right] = \sum_{i=1}^n \lambda_i m(\mathbf{u}_i) \quad (6)$$

$$\Rightarrow \beta_0 + \beta_y y_0 + \beta_h h_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i (\beta_0 + \beta_y y_i + \beta_h h_i)$$

$$\Rightarrow \beta_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) + \beta_y \left(y_0 - \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i\right) + \beta_h \left(h_0 - \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i\right) = 0$$

Kitanidis (1993)要求權重係數使各個趨勢函數係數乘的座標值權重組合都符合不偏估條件設計為：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i = y_0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i h_i = h_0$$

利用 Lagrange multiplier 結合最小估計誤差變異數條件的  $n$  個方程式 ( $n$  為測站數) 與此 3 個不偏估條件式，得到

$n+3$  組聯立方程式，解  $n+3$  個未知數  $\lambda_1, \dots, \lambda_n, v_1, v_2, v_3$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{cov}(d_{ij}) + v_1 + v_2 y_i + v_3 h_i = \text{cov}(d_{i0}) & \text{for } i=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j h_j = h_0 \end{cases} \quad (8)$$

## 三、分析結果

圖1為NCEP GEFS夏季預報第二週平均溫度與臺灣測站觀測計算統計值(上至下依序為RMSE、MAE、CORR，左至右依序為原始預報(RAW)、以濕絕熱遞減率進行高度修正至測站(Lapse\_Rate)、以誤差衰減平均法修正(DCA))。圖2則為CWB GEFS夏季預報第二週平均溫度對比結果。兩模式不論是以Lapse\_Rate或是DCA進行誤差修正均能有效移除大部分的偏差量。由於DCA誤差修正是假設測站為相鄰四個模式格點的真實場進行誤差修正，再以近期約20至30天模式預報與觀測之間相關係數最高的格點作為該次修正用的格點。Lapse\_Rate沿用前述高相關格點的原始預報進行高度修正。在選取格點變動的情況下有機會改善西半部測站的相關性。

由於兩種誤差修正作法均能有效移除偏差量並改善西半部測站的相關性，改以統計值差值(DCA減Lapse\_Rate)呈現於圖3。採用NCEP GEFS的結果顯示DCA於中南部靠山區明顯較佳(具有較小的RMSE與MAE值)，沿海則略差；採用CWB GEFS的結果則顯示DCA於中部山區及沿海明顯較佳，西南沿海則較差。由於DCA是使用前段時間的誤差累積成系統性偏差用來修正這次的預報，Lapse\_Rate僅針對當下的預報做高度修正，即便兩種做法使用相同格點的原始預報做修正，也會因每次修正的幅度使相關係數略有不同。

圖4同圖1改為NCEP GEFS冬季預報第二週平均溫度與臺灣測站觀測計算統計值，圖5則為CWB GEFS的結果，而圖6則是以統計值差值比較Lapse\_Rate與DCA差異。明顯可看出採NCEP GEFS的DCA校正於RMSE與MAE兩項統計值優於Lapse\_Rate者，而採CWB GEFS的DCA結果則僅於高屏一帶略差。此外，比較圖1和圖4，不論冬、夏季NCEP GEFS的Lapse\_Rate預報誤差主要集中在中南部山區與東西兩側沿海，CWB GEFS的Lapse\_Rate預報誤差則集中在中部山區與東西兩側沿海(圖2和圖5)，間接顯示Lapse\_Rate剩餘的誤差即是模式本身模擬結果的差異，DCA可將測站高度差異和模擬結果差異視為系統性偏差量一併移除。

因應農業單位之需求，將所有可用測站以DCA修正的溫度預報利用UK內插提供57個作物專區上的溫度預報供下游端使用。如圖7即為UK內插至高解析網格與57個作物專區網格化圖。

## 四、總結與討論

基於上述分析結果，兩種誤差修正作法均能有效移除偏差量並改善西半部測站的相關性。由於Lapse\_Rate僅針對當下的預報做高度修正，統計值分析結果也隱含著Lapse\_Rate無法移除模式本身模擬上的差異。而DCA即便能將測站高度差異和模擬結果差異視為一種系統性偏差量，以前段時間累積的系統性偏差用來修正這次的預報仍然存在風險，若前段時間預報對應真實觀測為高估(低估)，DCA會將當下的預報往下(上)修正，也因此用來累積穩定系統性偏差的天數長短必須依照分析對象的時間尺度進行誤差權重係數分析才能得到最佳的預報結果。

## 五、參考文獻

1. Cui, B., Z. Toth, Y. Zhu, and D. Hou, 2012: Bias correction for global ensemble forecast. *Wea. Forecasting*, 27, 396-410.
2. 馮智勇, 劉家豪, 陳雲蘭 2012: “客觀分析法地面溫度案例分析”, 101年天氣分析與預報研討會。
3. 陳昱璵, 馮智勇, 黃嘉美, 賈愛玫 2016: “應用Decaying Average發展國際都市高低溫預報技術”, 105年天氣分析與預報研討會。

## 六、附圖

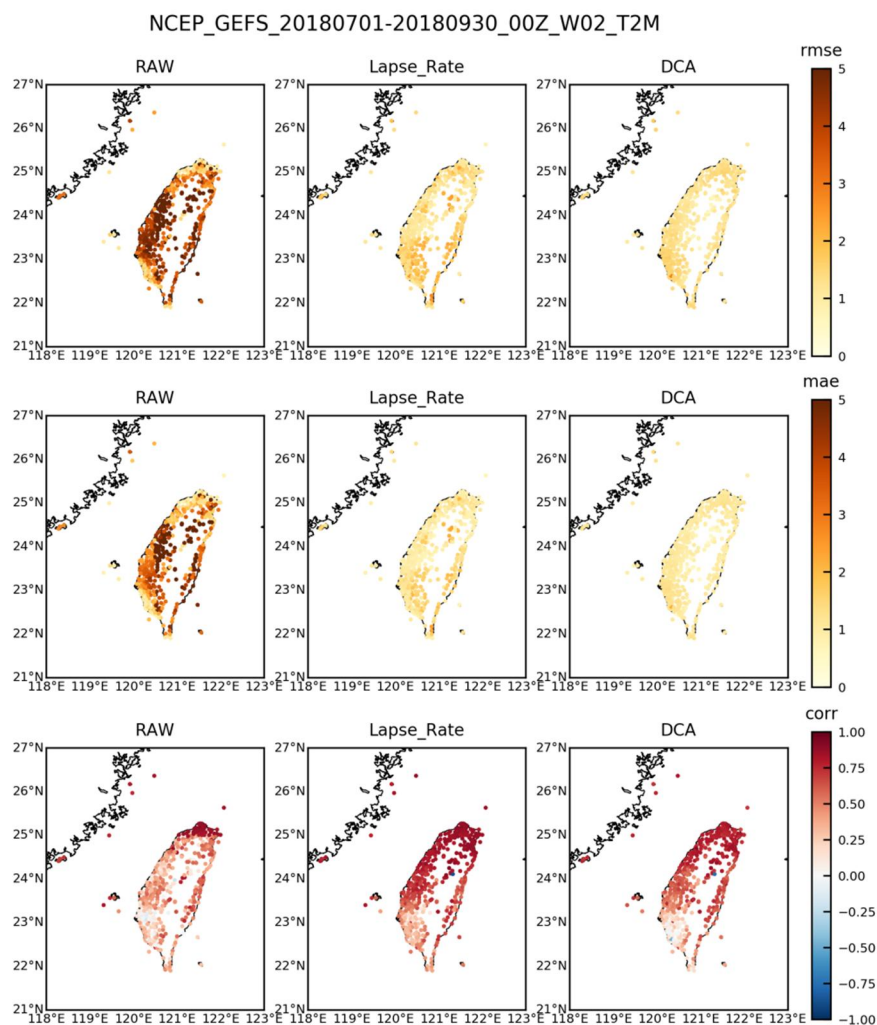


圖1 NCEP GEFS夏季預報第二週平均溫度與臺灣測站觀測計算統計值( 上至下依序為RMSE、MAE、CORR，左至右依序為原始預報(RAW)、以濕絕熱遞減率進行高度修正至測站(Lapse\_Rate)、以誤差衰退平均法修正(DCA))

CWB\_GEPS\_20180701-20180930\_00Z\_W02\_T2M

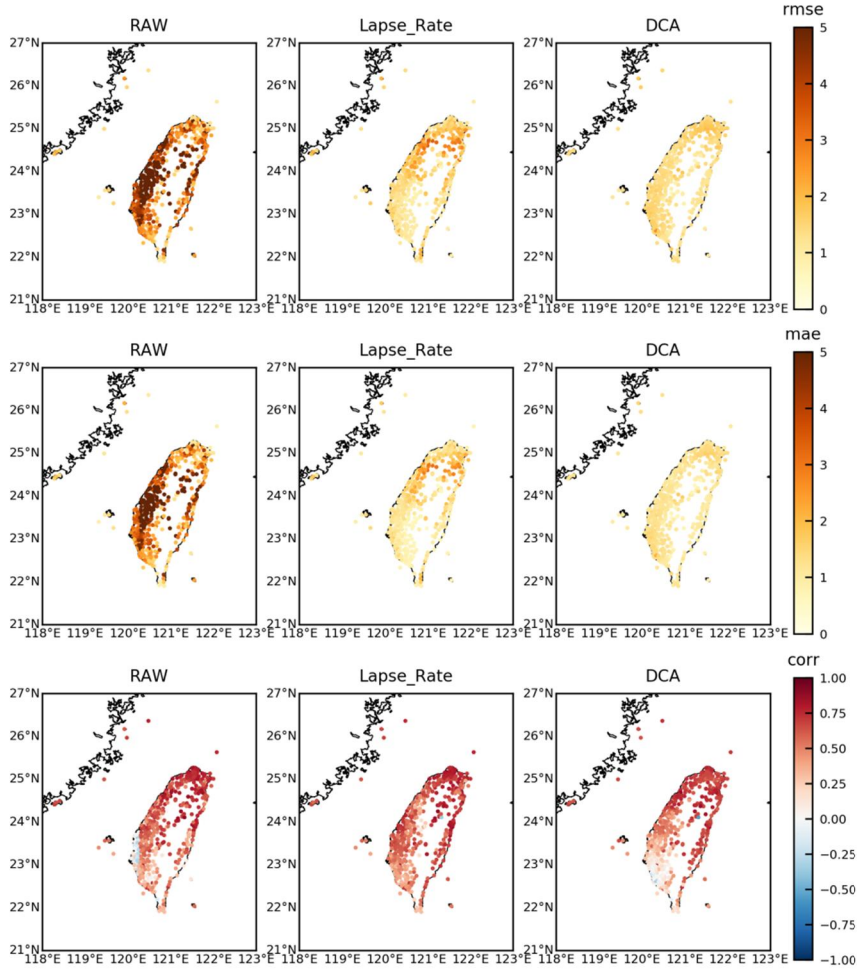
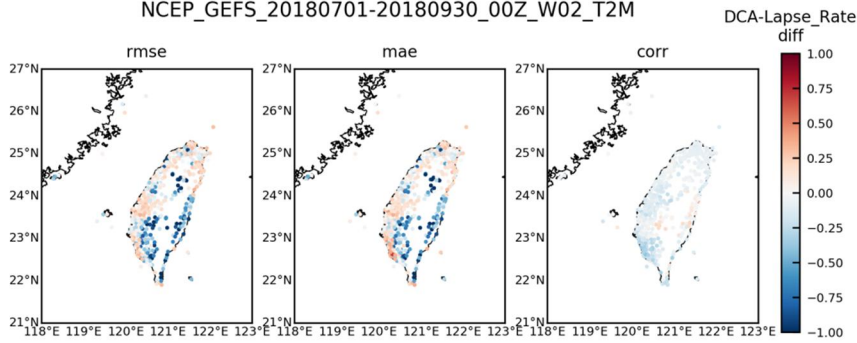


圖2 同圖1，改以CWB GEPS夏季預報第二週平均溫度呈現

NCEP\_GEPS\_20180701-20180930\_00Z\_W02\_T2M



CWB\_GEPS\_20180701-20180930\_00Z\_W02\_T2M

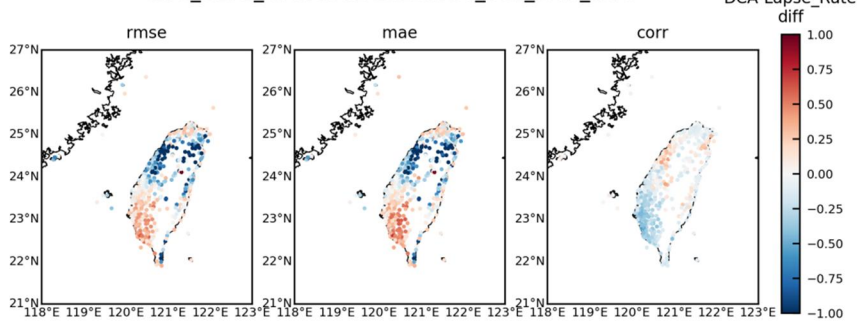


圖3 夏季預報第二週平均溫度與臺灣測站觀測計算統計值以DCA減Lapse\_Rate統計值差值呈現( 上下分別為 NCEP GEPS、CWB GEPS，左至右依序為RMSE、MAE、CORR )

NCEP\_GEFS\_20181201-20190228\_00Z\_W02\_T2M

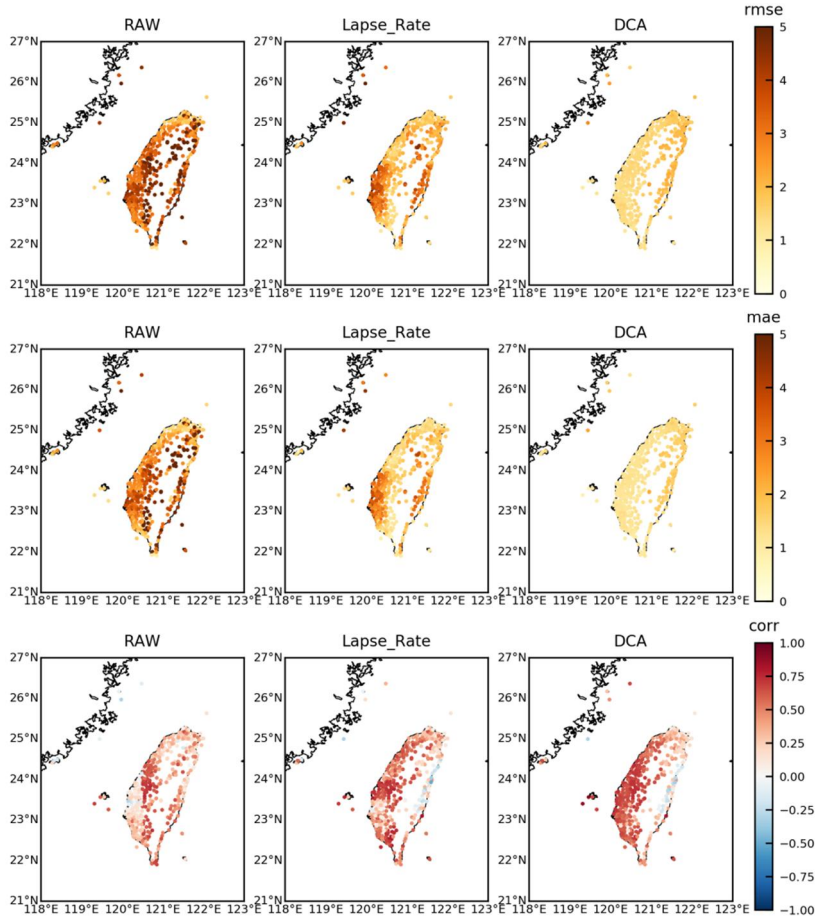


圖4 同圖1，改以NCEP GEFS冬季預報第二週平均溫度呈現

CWB\_GEPS\_20181201-20190228\_00Z\_W02\_T2M

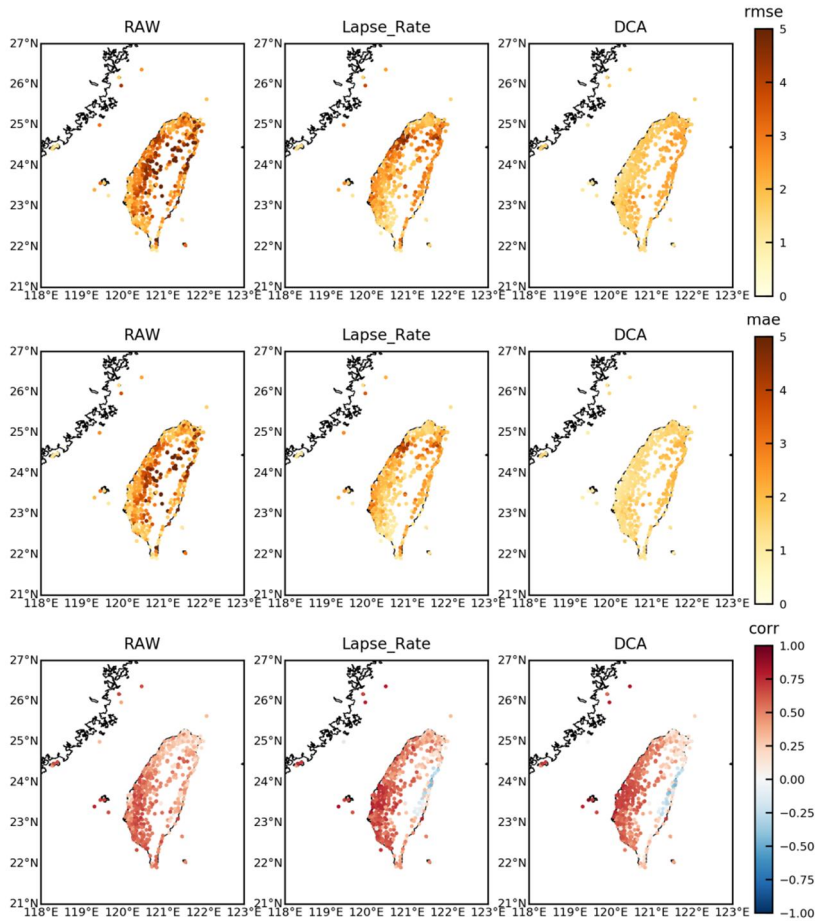


圖5 同圖1，改以CWB GEPS冬季預報第二週平均溫度呈現



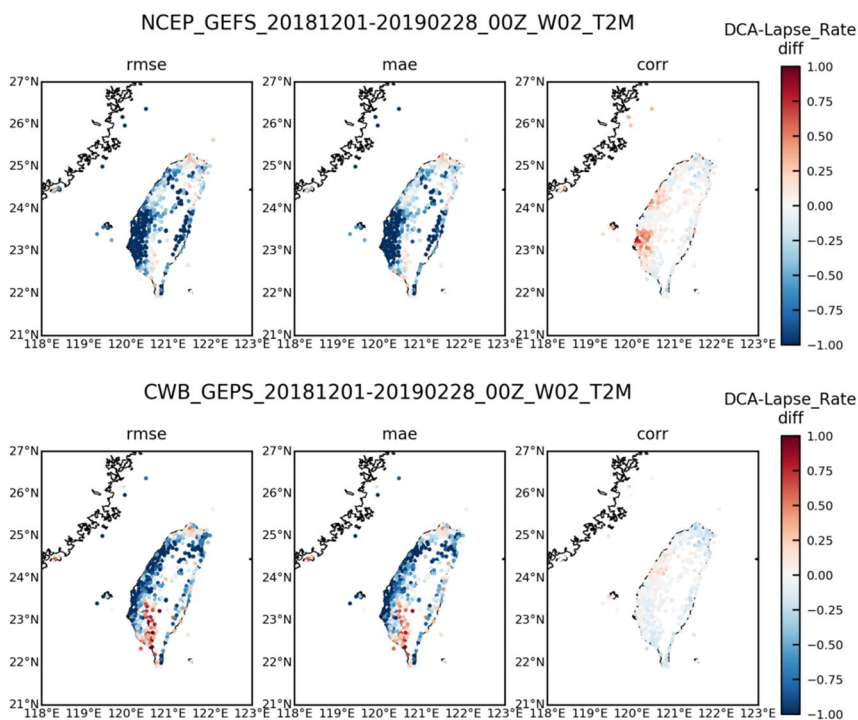


圖6 同圖3，改以冬季預報第二週平均溫度呈現

### 2018112108\_TT\_NONUG\_UK\_CWB1km

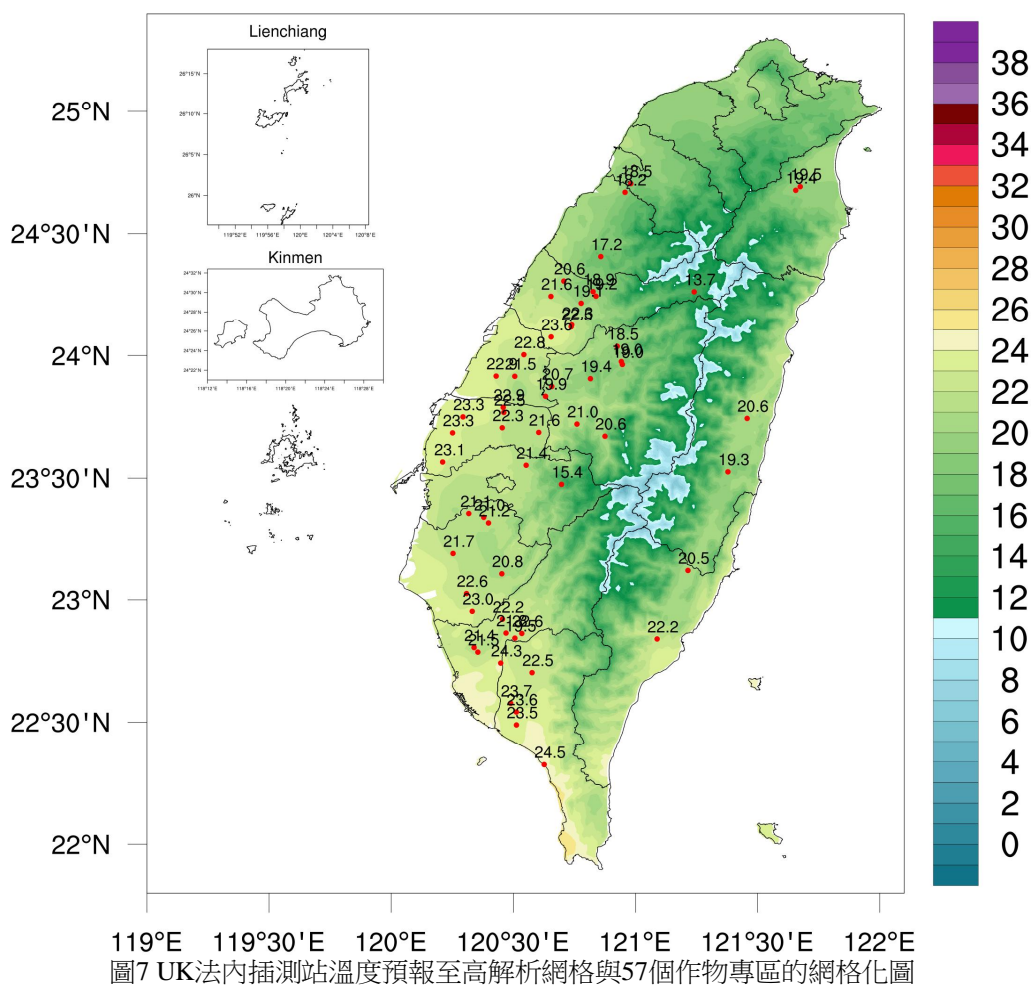


圖7 UK法內插測站溫度預報至高解析網格與57個作物專區的網格化圖