

# 中央氣象局 107 年天氣分析與預報研討會 以迴歸模式預測海溫趨勢 – 以澎湖為例

林毓琇<sup>1</sup> 于嘉順<sup>2</sup>

國立中山大學海洋環境及工程學系<sup>1,2</sup>

## 摘要

澎湖位於台灣海峽中段，是三道洋流的交會處，在各種冷暖流的交會下，加上島嶼本身多變的地形，使得周圍生物種類繁多，漁業資源豐富，讓澎湖漁業得以蓬勃發展，是台灣的漁業重鎮之一。澎湖分別在2008年與2011年發生寒害，除了對周圍海洋生態系統造成傷害，也發生漁獲減產的現象，加上當地許多居民採用箱網養殖，寒害也對當地的養殖業者造成嚴重的損失，在生態與經濟上都造成嚴重災害，為提早預測到低溫事件並進行防寒措施，發展海溫預報機制有其必要性。本研究先針對可能造成海溫的因子進行相關性分析後，將採用的因子使用多元迴歸模式建立預報公式，預測兩日後的海溫，並與實測資料進行比對，檢驗準確性，在觀察到連續低溫後可提出預警，提前進行防災措施，減少寒害損失。

關鍵字：海溫預報、海溫相關性分析、迴歸模式、澎湖寒害

## 一、前言

澎湖在 2008 年發生過大規模寒害，食物鏈受到異常破壞，導致許多漁獲發生減產現象，造成的漁業損失達 1357 公噸，2011 年澎湖再次發生寒害，損失約 8000 萬元，也對附近海域生態造成衝擊[1][2]。

由於寒害的發生並沒有規律性，為減少這種短期間極端氣候造成的傷害，發展能提前預測海溫趨勢的技術有其必要性，目前國內對於寒害預警的相關研究並不多，因此本研究目的為建立一適用於全年的海溫預測公式，利用現有的監測資料，對澎湖馬公港的海溫進行預測。

## 二、研究方法

海溫與氣溫之間存在著線性關係，且前一到兩日的氣溫對當日海溫具有一定的影響[3][6]；風速大小會影響表層海水降溫多寡[8]，強風持續期間越久，表層海溫降低越多[5]；而雲遮量則是直接影響接收到的輻射量，整體而言，雲的存在會使溫度較無雲的狀態低[7]，故以下針對這幾項因子進行相關性分析。

本研究使用澎湖潮位站、浮標與 CFSR 重分析資料(Climat Forecast System Global Reanalysis and Seasonal Reforecast project, 簡稱 CFSR)進行相關性分析，藉由計算皮爾遜積差相關性係數(R 值)，與觀察因子間時序列分布趨勢，找出影響海溫升降的因子。R 值計算方法與相關強度的判斷如下：

$$R = \frac{\sum(X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{\sum(X_i - X)^2 - \sum(Y_i - Y)^2}}$$

$X_i$  為實際值， $X$  為實際值平均， $Y_i$  為預測值， $Y$  為預測值平均。

表 1 相關性係數大小與意義[4]

係數範圍(絕對值)	變項關聯程度
1.00	完全相關
.70 至 .99	高度相關
.40 至 .69	中度相關
.10 至 .39	低度相關
.10 以下	微弱或無相關

在找出相關性高的因子後，透過傅立葉擬合與移動平均兩種方法將資料進行補遺，同時也使曲線更為平滑，公式計算方法如下所列：

傅立葉擬合公式：

$$F(x) = a_1 + a_2 \cos(x * c_1) + a_3 \sin(x * c_1)$$

其中 F 為各項因子(如海溫、氣溫等)，a、c 為係數，x 為天數。

移動平均公式：

$$SMA = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n}$$

其中 SMA 為移動平均後之值， $p_n$  為前 n 日之

值，n 為天數。

最後將調整後的因子使用多元線性迴歸 (Multiple Linear Regression) 建立預測公式，並與歷年實測值進行比對，檢驗公式的準確性。多元線性迴歸公式如下：

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip}$$

其中  $y_i$  為預測值， $\beta$  為變數前之迴歸係數， $x$  為各變數。

### 三、公式建置與驗證

首先比較各因子與當日海溫之相關性，為減少短期間震盪造成的趨勢上誤判，先嘗試將資料做傅立葉擬合與移動平均，使曲線變得較為平滑，傅立葉擬合結果以海溫與氣溫擬合情況較佳，風速與雲遮量誤差較大(圖 1)，因此種方法擬合的結果過於平滑，若將使用此方法調整後的因子納入公式中會使預測值與實際情況相差過多，因此接著測試 3 天、5 天及 10 天移動平均，結果顯示移動平均的結果與實際情況較為符合，但隨著天數增加，延遲情況變得明顯，因此在比較之後選擇誤差與曲線趨勢在中間的 5 天移動平均(圖 2)。

表 1 為 2010 年 12 月至隔年 2 月各因子與當日海溫的相關性分析結果，表中 A 為當日海溫，B 為前兩日海溫，C 為前兩日氣溫，D 為前兩日風速，E 為前兩日雲遮量，計算結果顯示這四項因子與海溫的相關性皆在中高度相關以上，前述的時序列圖也顯示出其變化趨勢與海溫各有正負相關，證明四因子間確實存在著相關性。

表 1 各因子間相關性係數

	A	B	C	D	E
A	1.000	0.966	0.907	-0.563	-0.557
B	0.966	1.000	0.825	-0.368	-0.492
C	0.907	0.825	1.000	-0.615	-0.544
D	-0.563	-0.368	-0.615	1.000	0.411
E	-0.557	-0.492	-0.544	0.411	1.000

經上述分析後，本研究將前兩日之海溫、氣溫、風速與雲遮量皆納為計算因子，所得的預測公式如下：

$$Ft(t) = 0.728x_1 + 0.141x_2 - 0.083x_3 - 0.004x_4 + 3.642$$

其中 t 為澎湖當日海溫， $x_1$  為前兩日海溫， $x_2$  為前兩日氣溫， $x_3$  為前兩日風速， $x_4$  為前兩日雲遮量，此公式在 2008 與 2011 年冬季期間的模擬結果如圖 3 所示，可觀察到預測值與實測值十分吻合，除了在溫度變化過程中有精準的預測，在突然上升或下降等轉折處也能及時反映到，可見在冬季期間

使用此公式預測未來兩日日均海溫是可行的。

考慮到海溫變化具日夜性，若只計算日均溫可能使資料過於平滑，無法呈現變動較大的部分，因此本研究接著嘗試將每六小時平均資料代入同個公式中，增加資料筆數以預測兩日後海溫，並與日均溫比較，模擬結果如圖 4，相較於日均溫，每六小時平均的起伏較大，且在海溫變化幅度較大的部分(如 2008 年 1 月初)稍微出現延遲的現象，但整體而言在海溫變化趨勢與轉折點都有預測到。

表 2 日均海溫與六小時平均誤差

	2008 日均	2011 日均	2008 六小時平均	2011 六小時平均
R	0.990	0.994	0.991	0.984
RMSE	0.426	0.243	0.394	0.457

綜合以上結果，已知此公式在冬季期間的海溫預測上具有一定的準確性，因此本研究嘗試將模擬時間擴展至全年，圖 5 為 2011 年之澎湖全年日均海溫模擬結果，可觀察到在冬季期間模擬情況較佳，而離訓練值越遠的部分偏差越大(表 2)，但變化趨勢與實際狀況相近，推測是在不同月分中，各因子權重分配發生改變，因此以下針對誤差較大月份(5 至 10 月)的進行探討。

從係數上來看，可發現在冬季及全年的尺度下，各因子所佔權重確實發生改變，海溫的非標準化係數及相關性係數皆小幅上升，代表所佔權重增加；氣溫在冬季期間非標準化係數為 0.141，全年期間上升至 0.228，相關性係數也由 0.81 增加到 0.965，代表在全年的尺度下，其影響程度上升許多；風速的全年非標準化係數下降，但相關性係數卻提升；雲遮量冬季期間非標準化係數為-0.004，全年期間則降為 0，代表此因子在預報公式中已經毫無貢獻，同時相關性係數則從-0.557 降為-0.19，影響程度大幅下降，因此若要將此公式用於全年尺度，必須將誤差進一步修正。

表 3 逐月平均誤差(°C)

月份	5	6	7	8	9	10
誤差	-0.63	-1.18	-1.08	-1.04	-0.93	-0.7

表 4 澎湖海溫與各因子間係數比較

	非標準化係數(原)	非標準化係數(全年)	相關性係數(原)	相關性係數(全年)
海溫	0.728	0.783	0.966	0.993
氣溫	0.141	0.228	0.810	0.965
風速	-0.083	-0.009	-0.353	-0.583
雲遮量	-0.004	0	-0.557	-0.19

在計算出逐月平均誤差後，針對這 5 到 10 月份做局部調整，方法為在原公式中加入一季節性常數 S，依照表 2 計算的每月誤差大小，在不同的月

份代入不同係數，修正後之迴歸模式如下：

$$Ft(t) = 0.728x_1 + 0.141x_2 - 0.083x_3 - 0.004x_4 + S + 3.642$$

其中  $x_1$  為前兩日海溫， $x_2$  為前兩日氣溫， $x_3$  為前兩日風速， $x_4$  為前兩日雲遮量， $S$  為季節性係數( $S$  值)，其值大小按月份如表 4 所示。

表 5 S 值大小

月份	5	6-8	9	10
S 值	0.63	1.1	0.73	0.9

圖 6、圖 7 為 2008 年與 2011 年修正後之日均海溫模擬結果，再加上季節性係數修正後，原本低估的部分已修正至幾乎與實測值重疊，由於此公式是由 2011 年資料建置，為檢驗此公式是否同樣適用於近年的海溫預測上，使用 2017、2018 年之資料對修正後的公式進行事後預測，模擬結果(圖 8、圖 9)顯示預測值仍相當精準，均方根誤差皆小於 0.5 度(表 6)，因此使用此公式預測澎湖馬公港兩日後的海溫是可行的。

表 6 各模擬年份相關性係數與 RMSE

年份	2008	2011	2017	2018
R 值	0.995	0.996	0.996	0.990
RMSE	0.428	0.442	0.478	0.429
N	364	363	363	87

## 四、結論

本研究使用多元線性迴歸方法針對澎湖地區海溫進行預測，使用的因子有前兩日之海溫、氣溫、風速及雲遮量，以 2011 年資料訓練預報公式，並將 2008、2011、2017 及 2018 的實測值代入公式中進行驗證。

研究結果顯示，此預報公式可準確地預測出兩日後澎湖馬公港內海溫，且在海溫突然上升或下降時也能預測到轉折點，這 4 年之 RMSE 值分別為 0.428、0.442、0.478、0.429，平均誤差在 0.5 度左右，相關性係數皆在 0.99 以上，準確性高，作為低溫預警的工具是可行的，若預測到連續低溫時即可提出預警並採取應變措施，以降低低溫事件造成的生態衝擊與漁業損害。

由於此預報公式在海溫變化較大的冬季期間有準確的預測，因此本研究更進一步，將預測範圍擴展到全年尺度，但因不同季節會造成因子權重改變，造成夏季期間低估的現象，經測試後在公式中加上季節性係數，以修正因權重改變而造成的誤差，再將修正後的結果與上述 4 年之實測值進行比對，結果顯示修正後的公式在高溫月份準確性明顯提升，誤差約在 0.5 度左右，相關性係數更在 0.95

以上，因此不論在何種季節與年度，採用此預報公式預測兩日後海溫都是可行的。

此預報公式為一線性迴歸模式，優點為計算方便快捷，不像數值模式設定複雜且需運算較久的時間，只要有當日海溫、氣溫、風速、雲遮量便能預測兩日後海溫，可減少計算時間，提高預報效率。

## 五、參考資料

1. 于宜強, 2008: “2008 年澎湖寒害極端事件分析”, 國家災害防救科技中心
2. 呂逸林、洗宜樂、鐘金水、林志遠、陳世欽及蔡萬生, 2012, “寒流威脅下澎湖海域養殖管理的作為”, 水域專訓, 37 期, 21-25
3. 李燕, 2008: “單站海溫短期預報自動化”, 中國海洋預報, 24 卷, 4 期, 33-41
4. 邱皓政, 2010, 量化研究與統計分析-SPSS(PASW)資料分析範例解析, 第五版, 第十章, 五南書局
5. 陳永明、于宜強及黃柏誠, 2008: “澎湖海域 2008 年寒害分析報告”, 國家災害防救科技中心
6. 賈新興與吳清吉, 2006: “熱帶西太平洋海-氣通量之研究”, 大氣科學期刊, 34 期, 127-141
7. E. F. Harrison, P. Minnis, B. R. Barkstorm, V. Ramanathan, R. D. Cess, G. G. Gibbs, 1990: “Seasonal variation of cloud radiation forcing derived to from the Earth Radiation Budget Experiment”, *Journal of Geophysical Research*, 95(111), 18687-18703
8. Xie, S.-P. and S.G.H. Philander, 1994: “A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific.”

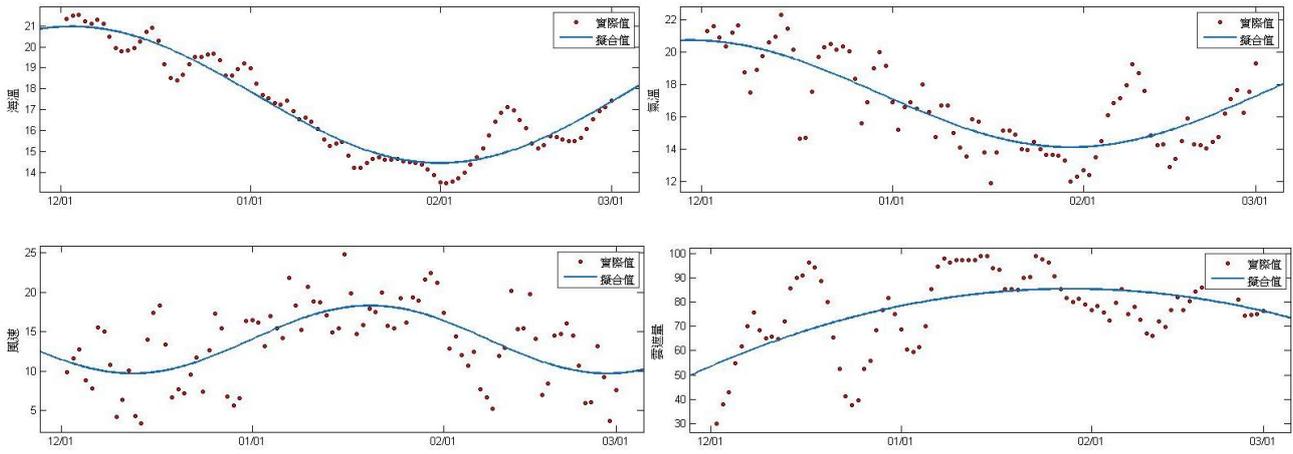


圖 1 2011 各因子傅立葉擬合結果

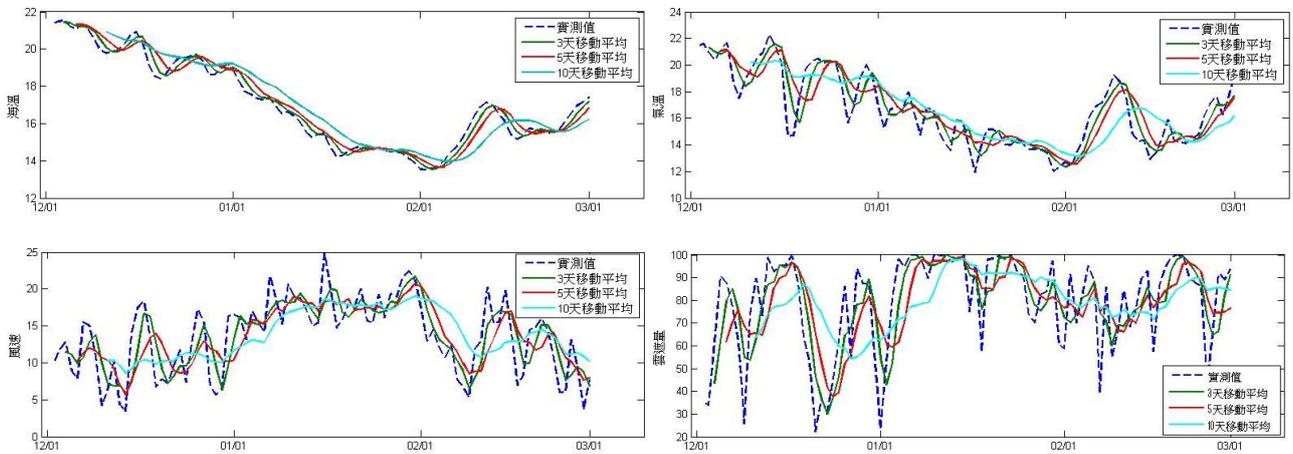


圖 2 2011 各因子移動平均結果

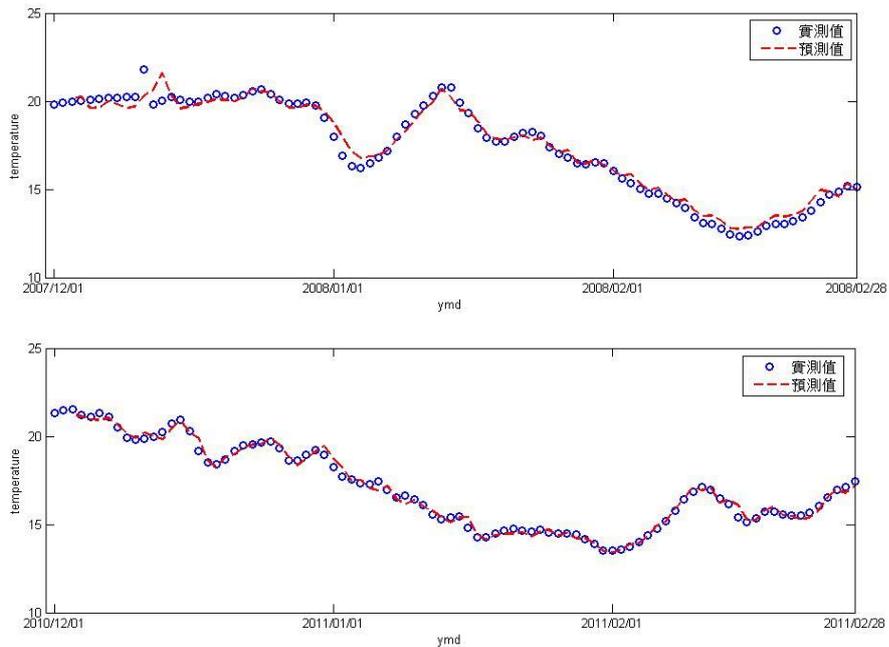


圖 3 2008 年(上)與 2011 年(下)日均海溫模擬結果

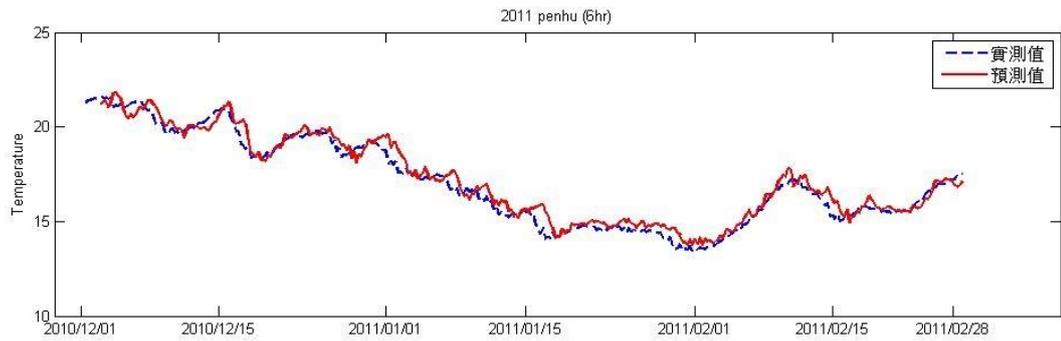
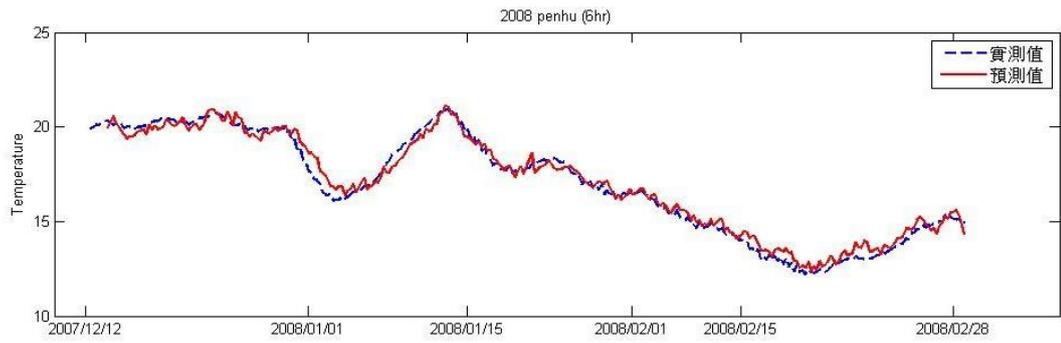


圖 4 2008 年(上)與 2011 年(下)每六小時平均海溫模擬結果

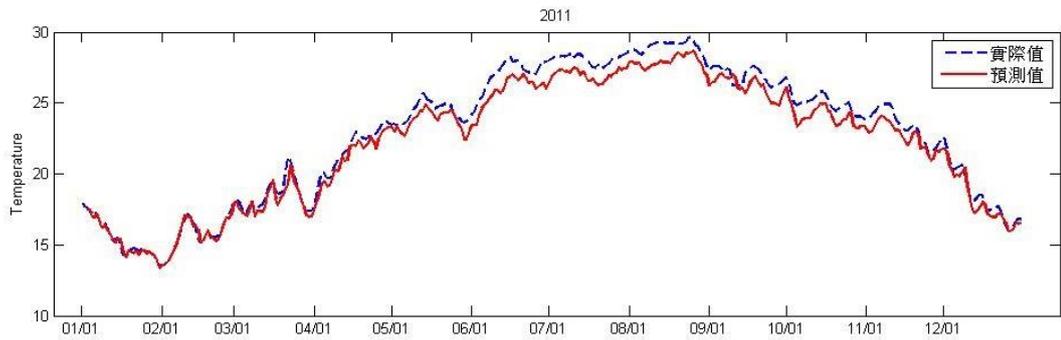


圖 5 修正前全年模擬結果(2011 年)

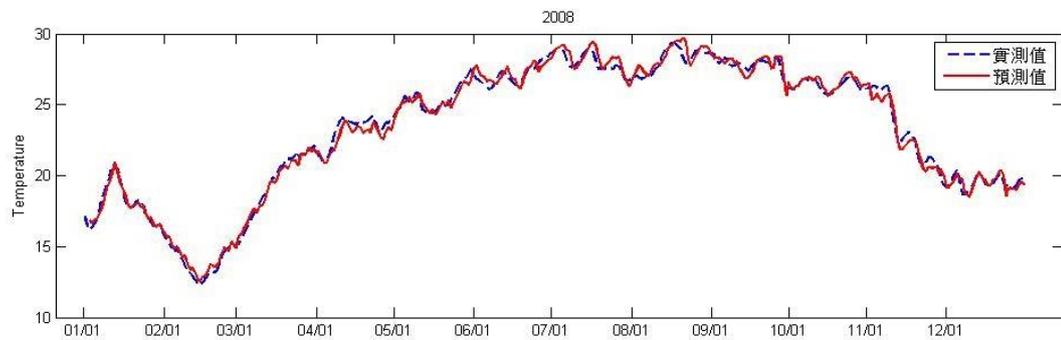


圖 6 修正後全年模擬結果(2008 年)

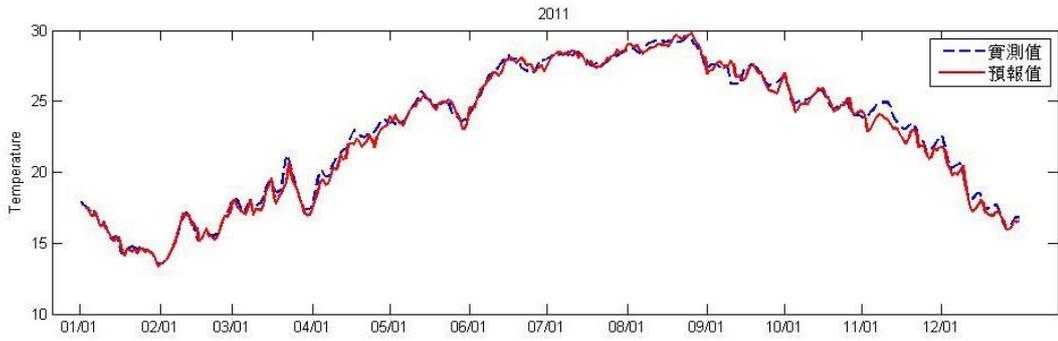


圖 7 修正後全年模擬結果(2011 年)

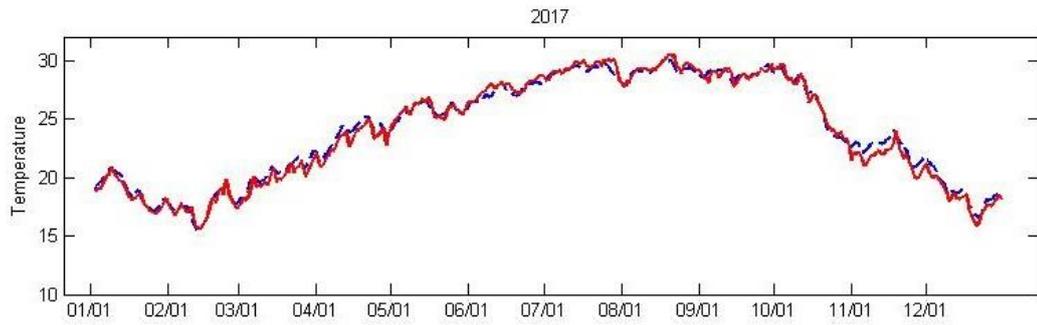


圖 8 修正後全年模擬結果(2017 年)

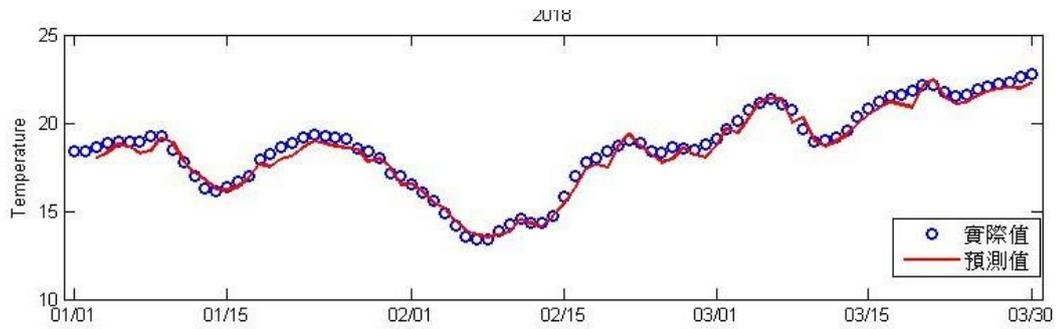


圖 9 修正後全年模擬結果(2018 年)