

綜合溫度熱指數產品之介紹與作業化應用

吳英璋¹，張保亮¹，陳傑宇²，龍世俊³，王文正³

¹中央氣象局資訊中心 ²輝達台灣分公司 ³中研院環境變遷中心

摘要

本研究利用熱指數計算模型(龍,2019)，以氣象局測站觀測資料及區域決定性預報模式(WRFD)計算綜合溫度熱指數(Web Bulb Globe Temperature，WBGT)，產出綜合溫度熱指數之觀測及預報產品，作為本局發佈熱危害預警的參考依據。

綜合溫度熱指數WBGT與人體熱壓力有良好的對應關係，為溫度、濕度、輻射及風速之函數，而這些變數於模式中之誤差特性及計算熱指數之敏感性皆不相同:不同初始時間對WBGT預報之表現、氣象變數的預報誤差對WBGT計算之影響程度。為了降低熱指數預報之誤差，本研究以臺北站為例，使用機器學習方法嘗試改善WBGT之預報誤差，結果顯示可降低14%之預報隨機誤差。

關鍵字：綜合溫度熱指數, WBGT, 機器學習

一、前言

氣候變遷的影響下，全球暖化情況加劇，導致平均溫度上升，台灣發生高溫事件數也顯著增加，造成民眾熱壓傷害風險增高。有鑑於美、日、英等先進國家針對熱危害預防均有積極作為以保護民眾健康，需發展熱危害之指標及相關預警分級標準之制定。

本局「高溫資訊」與「舒適度指標」不足以提供熱壓力造成健康危害所需的判斷依據，合適的熱危害指數應內入氣溫、太陽輻射、濕度及風速，以符合人體因高溫排汗散熱效率的影響因子。綜合溫度熱指數(Web Bulb Globe Temperature，WBGT)，有世界各國長期勞工方面人體生理變化之科學佐證，亦有臺灣本土之健康研究WBGT可提供熱危害預警分級所需的客觀參考依據。

二、綜合溫度熱指數介紹

綜合溫度熱指數公式如下:

$$WBGT=0.7*Tw + 0.2*Tg + 0.1*Ta$$

其中Tw為自然濕球溫度、Tg為黑球溫度 and Ta為乾球溫度(一般測量氣溫)。自然濕球溫度Tw代表當下飽和水氣壓與環境水氣壓之差異熱蒸散量與溫度差熱傳導平衡溫度，濕度越高Tw也越高，風速越大蒸散效率高則Tw較低;黑球溫度Tg代表太陽照射於黑球表面的情形下，吸收太陽輻射熱與環境氣溫差異

熱傳導達平衡之溫度，太陽輻射越強Tg也越高。綜合以上，綜合溫度熱指數可以定量描述一個具體情境：當人身穿黑色衣服，於烈日下滿身大汗行走的實際感受，是更「有感」的熱傷害定量指標。

三、熱指數作業化應用

WBGT熱指數計算模型(龍,2019)，使用測站溫度、濕度、輻射及風速來得出測站點上之觀測WBGT，其模型直接模擬儀器熱力平衡之相關物理公式(Liljegren,2008)並加以改善，經過測試與實際WBGT測量儀器相關性達0.85~0.9(龍,2019)，因此可視為站點上的觀測(文後以“觀測WBGT”表示)。同理，在模式預報中使用相同變數即可得到熱指數之預報結果，可提供未來預警之參考依據。目前熱指數作業化應用為使用中央氣象局區域決定性預報模式(WRFD)產製水平解析度3-km，時間間隔1小時之五天預報產品，提供下游使用者使用:樂活氣象APP。

四、模式預報誤差分析

(一) 預報時誤差分析

使用2020年7~8月WRFD 12Z初始模式預報及對應局屬地面測站WBGT觀測為例，個別計算模式於局屬站點之WBGT預報誤差，其預報誤差隨預報時變化如圖1所示:WBGT預報誤差並未隨時間明顯增加，偏差量(bias)於-0.8~1.5度之間，方均根誤差

(rmse)1.5~2.5度左右，於日間部分(圖1紅色區域)誤差明顯增加，偏差量於中午左右降低至0.5度左右，而方均根誤差於中午達到極大值。

(二) 預報變數敏感度測試

為瞭解中午WBGT預報誤差主要來源是何種預報變數誤差所影響，進行變數敏感度測試，使用資料時間同上小節，但是在計算模式預報WBGT時，除特定變數外，其他皆使用觀測資料變數做計算，例如計算預報輻射造成的WBGT預報誤差，僅僅使用模式輻射資料，其他變數皆使用對應位置之觀測資料做計算，圖2顯示模式預報輻射、風速(其他變數未呈現)敏感度結果:輻射部分，偏差量在接近中午時達到最大1.2~1.5度左右，方均根誤差於正中午達到最大值1.6~2度左右，風速部分，偏差量貢獻誤差較小0~0.2度左右，而方均根誤差在正中午顯著增加極值達1~1.2度左右，但是模式觀測風速方均根誤差(紅色虛線)只有稍微增加，實際挑選近中午資料檢視，近中午風速相對較小，在高輻射且風速低的情形下，WBGT計算模型會敏感許多，造成風速方均根誤差變化不大但WBGT誤差明顯大上許多的情形。

有上面結果可知，輻射及風速是預報WBGT產品主要的誤差來源，當實際輻射越強、風速越弱，模式預報些許誤差就會造成WBGT預報誤差顯著增加。然而，目前氣象局數值預報產品中，除了溫度偏差修正產品，輻射及風速預報誤差修正產品尚未成熟。因此本研究在數值預報的基礎下，不透過個別建立偏差修正產品，直接利用機器學習技術發展WBGT熱指數預報產品，以改善WBGT預報結果。

五、 機器學習改善預報誤差

(一) 使用資料及正規化

以台北測站資料為例，選取2017~2020各年七八月之測站熱指數WBGT觀測資料，以及相同時間的區域決定性預報模式(WRFD)每日四趟(00,06,12,18 UTC)之1~24小時台北測站預報氣象場:兩米溫度、兩米相對溼度、十米風速、地面氣壓、向下短波輻射、模式預報時(tau)、當地恒星時(LST)，共七項變數:旨在建立由模式氣象場之對應觀測位置直接推估觀測位置WBGT預報產品之機器學習模型。

首先進行資料正規化，目的使資料介於

0~1之間，使用簡單的公式個別做正規化，如下所示:

溫度: $T_{normalize}=T/40$

相對溼度: $RH_{normalize}=RH/100$

氣壓: $P_{normalize}=P/1000$

輻射: $SW_{normalize}=SW/1370$

風速: $WSPD_{normalize}=WSPD/5$

預報時: $\tau_{normalize}=\tau/24$

當地恒星時: $LST_{normalize}=LST/24$

正規畫後，將2017~2019年7~8月做為訓練資料，2020年7~8月做為測試資料。

(二) 模型架構

模型結構如表一所示，輸入層(input layer)維度為7，後續連接三層全連接神經網路(DNN) 隱藏層，啟動函數(activation function) RELU，神經元個數分別為128,128及32，最後整合為一個WBGT輸出。詳細模型訓練設定見表2。

(三) 測試結果

根據龍(2019)研究，WBGT極值大部分發生於中午之前，而WBGT每日極值為決定熱傷害影響之重要指標。因此分別計算10~12LST(中午前)、6~18LST(白天)、全天之WBGT偏差量及方均根誤差，又因方均根誤差代表偏差量及隨機誤差之總和，單純看方均根誤差改善可能未必緣於隨機誤差改善，故計算隨機誤差看出機器學習實質改善的效果。

以圖三為說明，藍色線表示地面觀測WBGT七八月時序圖，紅色線表示每日12Z WRFD模式預報1~24小時預報WBGT連續拼接時序圖，其中午前(10~12LST)偏差量1.13度、方均根誤差2.43度，隨機誤差為2.15度，視為基準(benchmark)。

圖四為AI訓練結果(黑線所示)，所有誤差值皆較低，其中午前(10~12LST)偏差量-0.02度、方均根誤差1.85度，隨機誤差為1.84度，機器學習成功降低偏差量是可預期的，在隨機誤差的部分由2.15度降至1.84度，整體下降14%之隨機誤差，表示機器學習不僅可以偏差修正，對於隨機誤差也有相當程度的改善。

六、 總結

本研究以臺北站為例，使用機器學習方法建構模式變數與台北站點 WBGT 之關係，提供誤差較小的 WBGT 預報產品，由測試結果

可看出預報產品幾乎無偏差，且隨機誤差也有相當程度的改善。使用機器學習方法不需要針對所有氣象變數進行偏差修正，而是透過尋找大量料之間的關聯性就可以得到較佳的效果，對於未來其他氣象衍生產品誤差修正提供更有效率的可能。

中午極值部分雖然改善誤差許多，但是看起來仍有改善空間，且目前研究以單點對單點建模，未來可嘗試其他模型架構改善 WBGT 預測結果甚至推廣至 WBGT 面化產品。

七、 參考文獻

- 龍世俊、鄭宇廷、葉柔辰、陳巧穎，2019: 科技部熱預警計畫期末報告_20191028 (MOST 107-2621-M-001-003-)
- Liljegren JC, Carhart RA, Lawday P, Tschopp S, Sharp R., 2008: Modeling the wet bulb globe temperature using standard meteorological measurements. s. J Occup Environ Hyg 2008; 5: 645-55.

表 1、模型架構

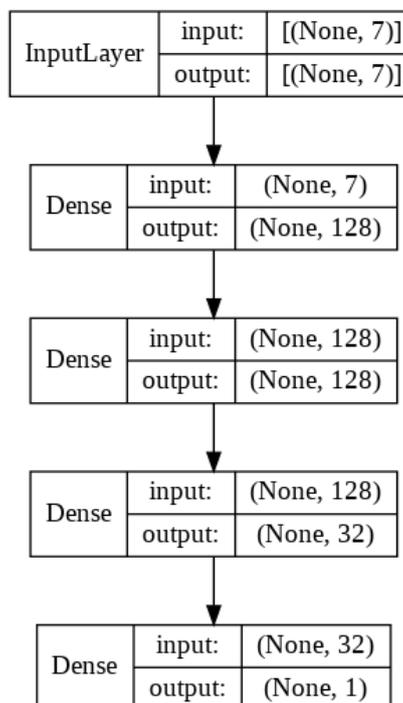


表 2、模型訓練設計

DNN MODEL SETTING	
Epoch	300
Batch	128
Learning rate	1~100Epoch:0.01 200~300Epoch: ExpDecay 0.96
Activation function	ReLu
Loss function	Mean Absolute Error
Optimizers	Adam

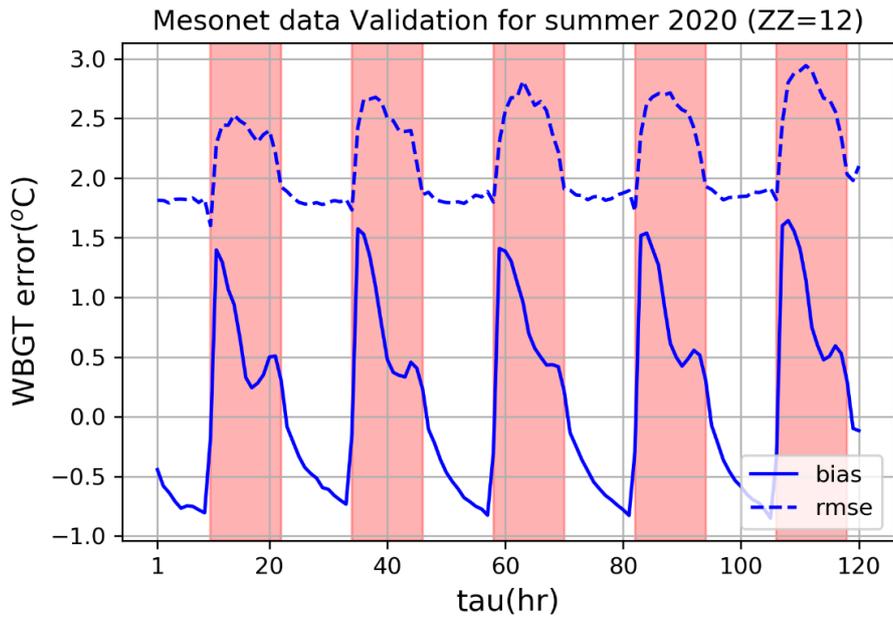


圖 1、12Z 預報誤差隨預報時變化圖，實線為偏差量(bias)，虛線為方均跟誤差(rmse)，紅色區域表示白晝(06~18LST)

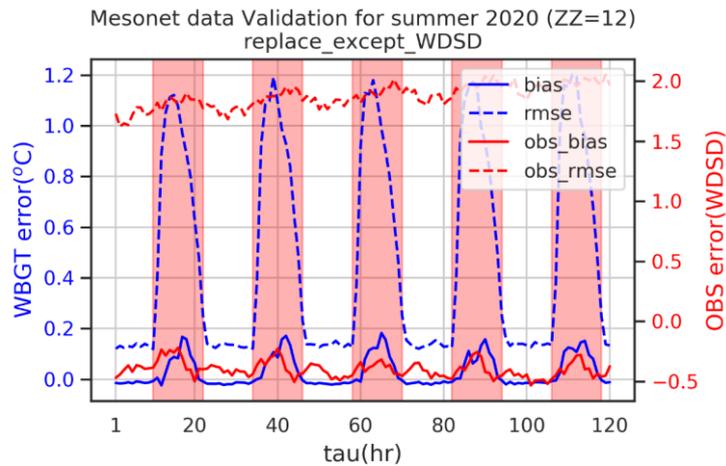
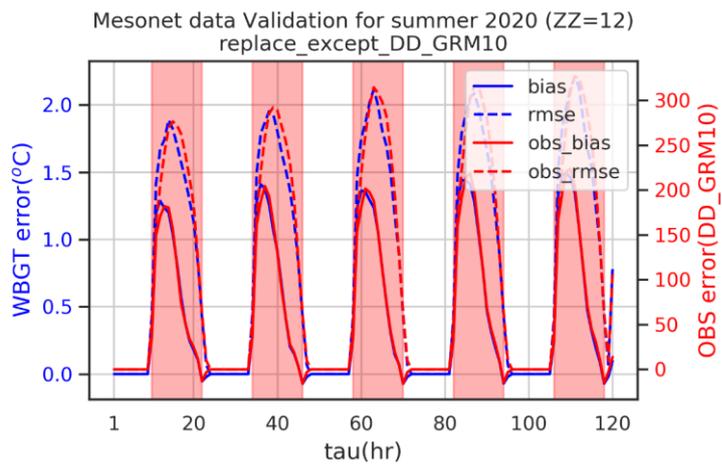


圖 2、模式預報輻射、風速敏感度結果。紅線表示觀測誤差(參考右側縱軸)，藍線表示該觀測誤差對應之 WBG T 誤差(參考左側縱軸)，紅色區域表示白晝(06~18LST)

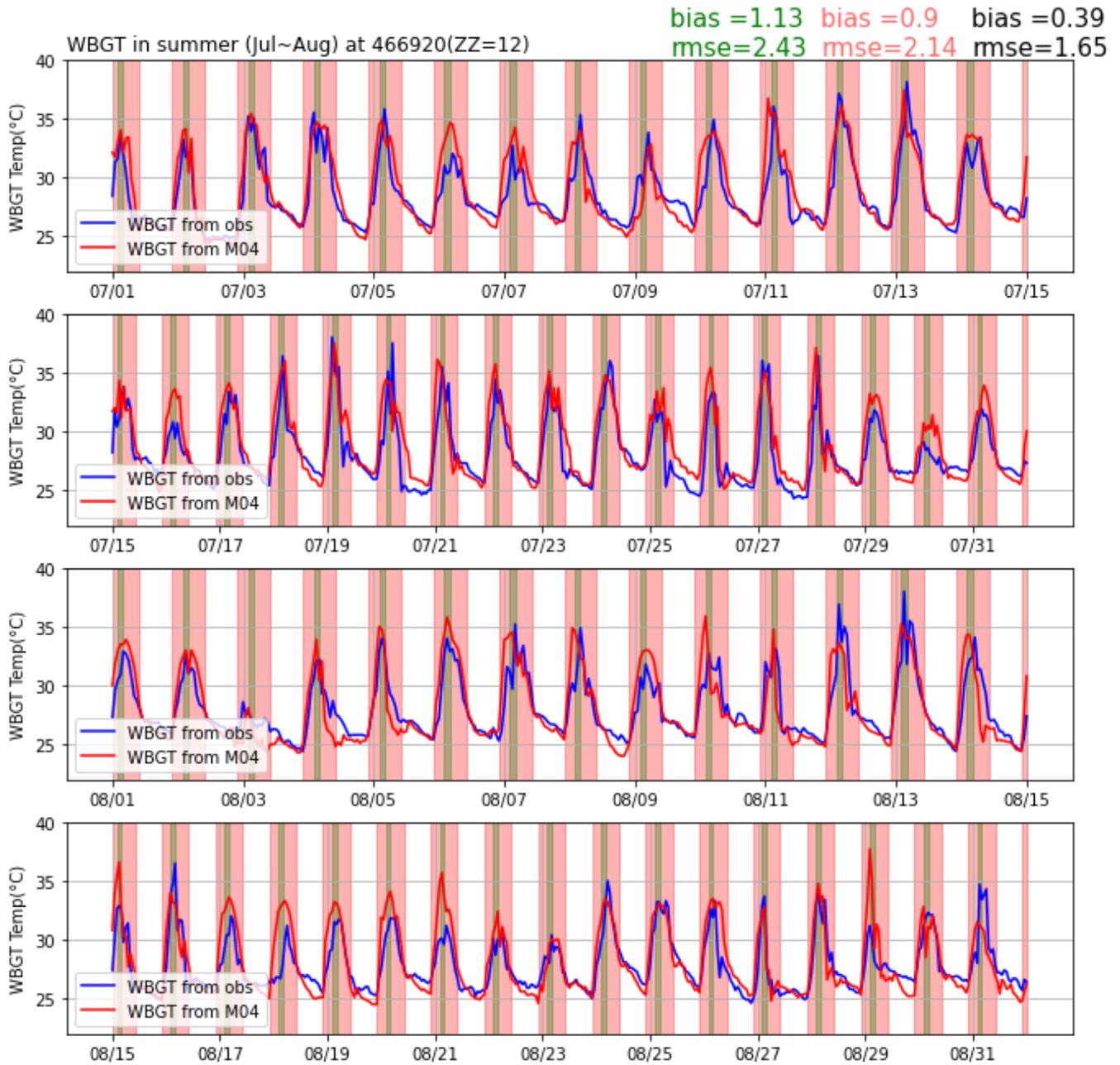


圖 3、台北站 WBGT 七八月時序圖，藍色線表示地面觀測 WBGT 時序圖，紅色線表示每日 12Z WRFD 模式預報 1~24 小時預報 WBGT 連續拼接時序圖。紅色區域表示白晝(06~18LST)，右上角分別計算 10~12LST(中午前，綠色)、6~18LST(白天，紅色)、全天(黑色)之 WBGT 模式預報與觀測偏差量及方均根誤差。

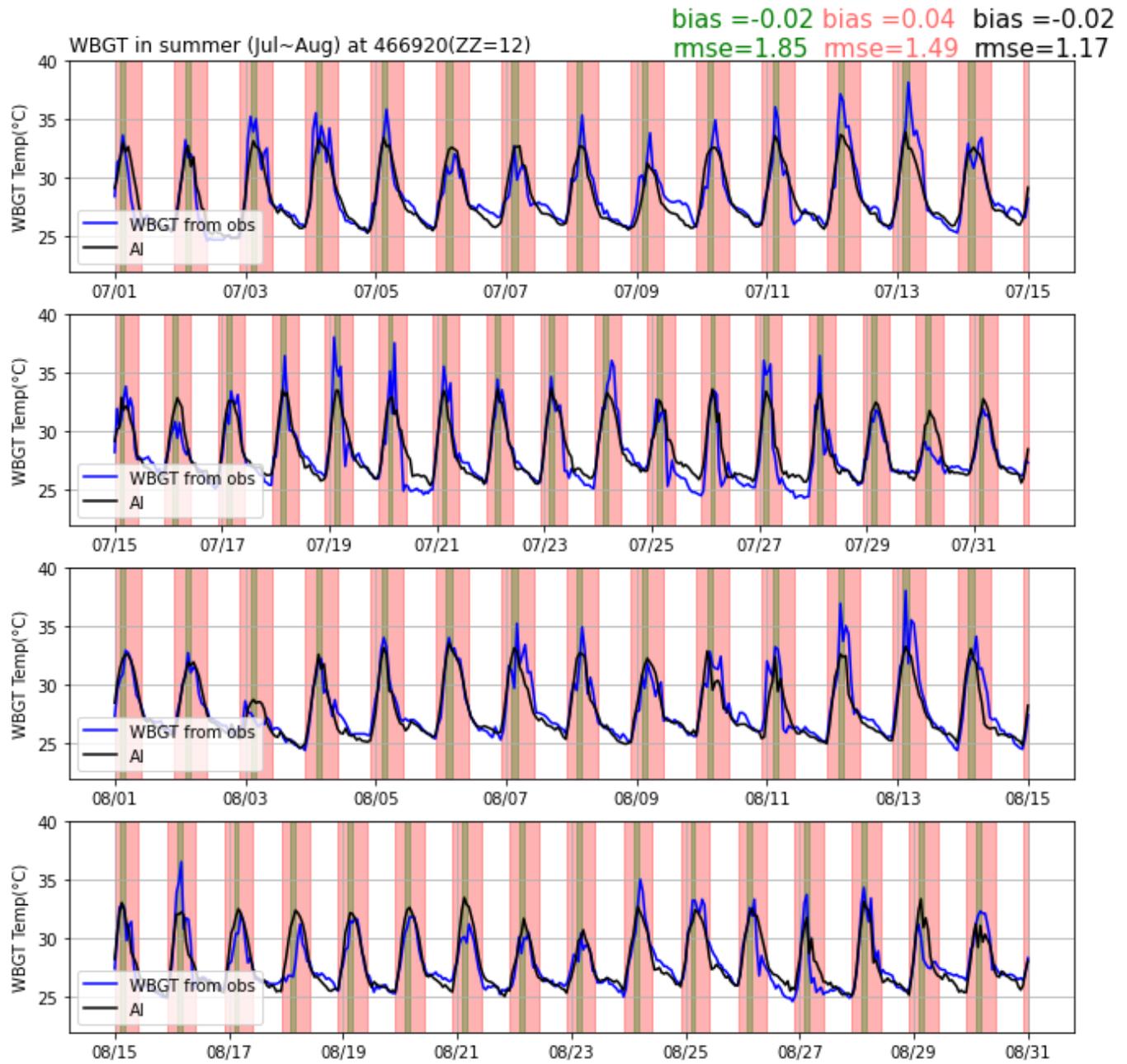


圖 4、同圖(3)，黑線為經過機器學習之結果。