

# 「氣象資訊在綠能開發之應用服務」—資料推估模組建置

吳佳瑩<sup>1</sup> 陳建河<sup>1</sup> 張庭槐<sup>2</sup>  
氣象資訊中心<sup>1</sup> 氣象科技研究中心<sup>2</sup>  
中央氣象局

為提供綠能開發計畫所需之近地表氣象輸出場量，本研究於作業化 CWB/GFS 全球模式中，建置非直接預報輸出資料的推估模組。利用 CWB/GFS 全球模式產出之  $\sigma$  層及近地表層之氣象場資料，以靜力方程及線性內插方法，計算離地表 100 公尺高之氣象場資料，並隨 CWB/GFS 全球模式每六小時預報一同輸出。

此模組提供離地表 100 公尺高之溫度、氣壓、風場、比濕以及雲液態水混和比。其中比濕以及雲液態水混和比由 CWB/GFS 全球模式之  $\sigma$  層資料內/外插而得、溫度場由  $\sigma$  層及 2 公尺高度氣溫內插而得、風場由  $\sigma$  層及 10 公尺高度風場內插而得、氣壓場由  $\sigma$  層及地面氣壓內插而得。

關鍵字：CWB/GFS 全球模式、靜力方程、線性內插、綠能開發

## 一、前言

台灣位於副熱帶季風帶地區，全年擁有充足的日照以及風力，造就太陽能與風力發電等綠色能源在台灣的發展潛力，但由於台灣地形複雜、觀測資料不足情況下，對於綠能開發的細部評估十分不易。因此，除了觀測資料以外，我們透過模式的模擬，並增加對近地面的氣象量場解析度輸出，使得我們更能夠掌握近地面的大氣情況，有助於台灣綠能發展的建置評估。

本研究使用中央氣象局全球數值預報系統 (Global Forecast System, GFS)，並在此預報模式中加入非直接預報輸出的推估模組，輸出近地面 100 m 的相關氣象預報量場。模式相關介紹請參照第二章、非直接預報推估模組的架構請參照第三章。

## 二、CWB/GFS 模式

中央氣象局全球數值預報系統 (Global Forecast System, GFS) 於 1988 年上線作業，歷經多次改版，並在超級電腦的升級 (引進 Fujitsu-FX10) 後，現行作業版本精進為 T511L60 模式：水平解析度提升至 0.23 個經緯度 (約 25 公里)，垂直座標更改為  $\sigma - p$  hybrid

座標，解析度也增加至 60 層，模式層頂也由原本 1mb 提高至 0.1mb。

GFS 模式的運作，在前置資料處理的資料同化利用 GSI (Gridpoint Statistical Interpolation)，並採用三維系集變分混合法 (Hybrid 3D-EnVAR) 分析。觀測資料同時採用傳統 (風場之 Vor, Div, 及 T, Q, Terrain Pressure) 及非傳統 (輻射等) 觀測資料在模式  $\sigma$  面上進行分析；預報的動力模組為全球波譜模式 (T511)，高斯網格點分布為 1536 x 768，垂直為  $\sigma - p$  混合座標，共 60 層。預報變數包含渦度、散度、虛位溫、比濕、地表氣壓及雲水含量，時間積分採跳蛙和半隱式計算格式；物理參數化方面，在大氣垂直紊流混合參數化採用一階閉合邊界層參數法，考慮非局部 (nonlocal) 紊流通量，並加入 Han and Pan (2011) 的層積雲區輻射冷卻作用驅動之紊流擴散效應；其他參數化法，包含土壤模式、淺積雲對流、積雲對流、網格尺度降水、重力波拖曳及輻射參數化法則如表 1 所示。

目前作業流程所輸出、並且儲存於資料庫中的 GFS 模式預報資料包含：每日初始時間 00Z、06Z、12Z、18Z 做為期 16 天、逐六小時的預報。此常規輸出的預報資料可提供綠能評估系統於一般標準層 (1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10hPa) 之風場、溫度場、

比濕及雲液態水混和比的歷史預報資料；在近地表方面，提供離地表 2 m 高度之氣溫、地表土壤溫度及預報 24 小時以內地表太陽短波輻射量。

變數	T511L60
資料同化	Hybrid GSI
水平解析度	25 公里
垂直解析度	$\sigma - p$ Hybrid 座標；60 層
模式層頂	0.1 mb
網格尺度降雨	Zhao and Carr (1997)
積雲對流	Han and Pan (2011) : New_SAS
淺對流	Han and Pan (2011)
垂直擾動	Han and Pan (2011)
土壤模式	Noah Land Surface model
輻射	RRTMG (Clough et al. (2005), Iacono et al. (2008))
地形重力波拖曳	Palmer et al. (1986)

表 1 中央氣象局全球預報模式(T511L60)設定

### 三、 推估模組建置

此推估模組掛載於作業化 GFS 模式中，跟隨著模式做逐六小時預報。由於是跟隨著原始模式中同步計算，因此可以用於計算的氣象場資料便不局限於輸出的氣象量場。這裡我們使用垂直層 $\sigma$ 層的氣象場資料、地面氣壓、以及離地表 10 m 風場資料、離地表 2 m 溫度場資料，以線性內/外插方式，計算出 100 m 之風場、氣壓、溫度、比濕、及雲液態水混和比等資料。

#### (一) 離地 100 m 之氣壓計算

在模式中，各個氣象場的資料計算均在網格點上進行，而在 GFS 模式中的垂直層以 $\sigma - P$ 做計算，其 $\sigma$ 以及 P 的比重隨著高度遞增， $\sigma$ 座標比重減少、P 座標比重增加(表 7-1)，此兩者比重與氣壓對應關係為：

$$P = A_{ki} + B_{ki} \times P_{sfc} \quad (1)$$

$A_{ki}$  為 P 座標比重， $B_{ki}$  為 $\sigma$ 座標比重， $P_{sfc}$  為地表氣壓，由此可以計算出每一層垂直座標層的氣壓值。

在知道每一層垂直座標的氣壓值後，我們還需要知道距離地表 100 m 的氣壓值，這裡我們利用大氣靜力方程做計算：

$$P = P_{sfc} \times \exp\left(-\frac{z \times g}{R_d \langle T_d \rangle}\right) \quad (2)$$

$z$  為離地面高度， $g$  為重力常數， $R_d$  為理想氣體常數， $\langle T_d \rangle$  為地面至高度  $z$  的平均虛溫，由於無法確切知道平均虛溫的量值，因此採用地表溫度與離開地表後第一層垂直層溫度平均做為計算此厚度層的平均虛溫。這裡計算出的離地表 100 m 之氣壓與模式中離開地表後第一層垂直層的氣壓，在大部分的區域相近，因此選用上述方式計算的平均虛溫為合理。

圖 1 為地面氣壓與由推估模組計算出離地表 100 m 之氣壓差值。由圖中可以看出，氣壓差值會隨著地形變化及日夜變化而改變：高山上空空氣較平地稀薄，離開地表 100 m 與地表之氣壓差值也比平地來得小；而日間受到太陽輻射地表加熱，近地面的空氣密度降低，離開地表 100 m 與地表之氣壓差值便比夜間來得小；海洋上則較不受日夜溫差影響，唯在越往極區空氣溫度越低、密度越大的情況下，離開地表 100 m 與地表之氣壓差值便越大。

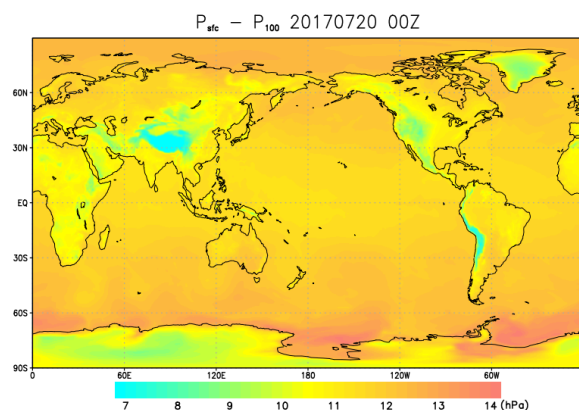


圖 1 地面氣壓與離地表 100 m 氣壓之差值(單位:hPa)

#### (二) 離地 100 m 之其他氣象場

##### 計算

由於相同氣壓層的厚度會隨著氣溫改變而有所改變，尤其以高山、極區更為明顯，因此即使在上述計算中，發現 100 m 高度之氣壓值與離開地表後第一

層垂直層的氣壓相似，也不能直接選用此層的氣象場資料做為 100 m 高度的氣象場資料。

在上一小節中，我們已經計算出距離地表 100 m 的氣壓值以及各垂直層的氣壓值，同時我們還有模式本身計算出的地表氣壓，因此可以透過線性內/外插方法，計算出各氣象場在離地 100 m 之值。另一方面，模式中原本有計算的離地表 2 m 溫度場資料、離地表 10 m 風場資料，更可以提高溫度場以及風場計算的準確度。

圖 2 為離地表 2 m 氣溫與推估模組計算出離地表 100 m 氣溫之差異，顯示時間為 2017 年 7 月 20 日 00Z，此時太陽直射位置為經度 180° E，太平洋區域為白天。由圖中可以看出，在白天區域，近地表大氣加熱明顯，溫度明顯高於離地表 100 m 之氣溫，而在夜晚區域則反之；另外，在海洋上的垂直溫度變化則較不易受日夜變化影響。

圖 3 為台灣地區離地表 100 m 與離地表 10 m 之風場差值，由圖中可以看出台灣西南方海域及台灣陸地上有明顯的垂直風切，而在東方太平洋海域上下層風則無明顯差異。此風場改變的趨勢與模式計算近地面  $\sigma$  層風場改變趨勢相同。

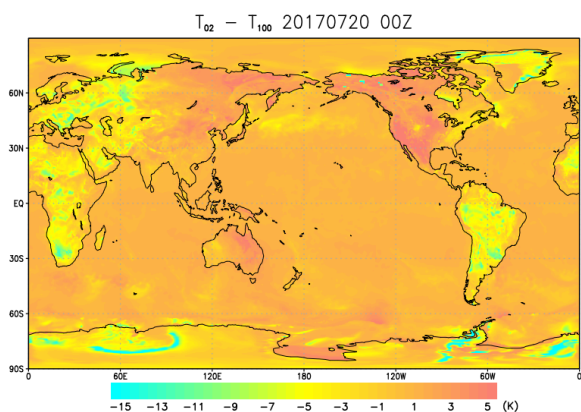


圖 2 離地表 2 m 與離地表 100 m 之溫度差值(單位：K)

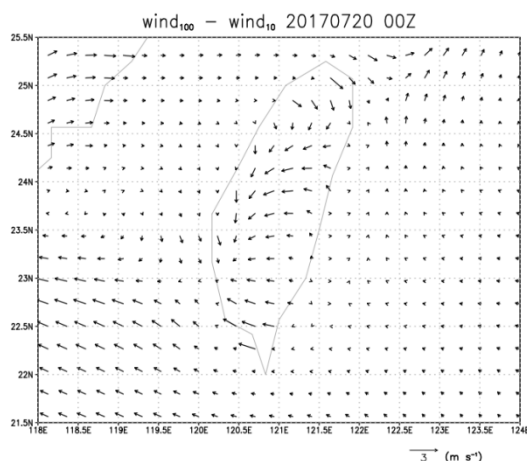


圖 3 離地表 100 m 與離地表 10 m 之風場差值(單位： $\text{m s}^{-1}$ )

## 四、 結論

在作業化 GFS 模式中，為了提供綠能預報所需的近地面氣象場資料，我們加入了非直接預報的推估模組，利用在模式內計算的  $\sigma$  層、地表、近地表氣象場資料，計算出距離地表 100 m 的風向、風速、氣壓、溫度、比濕及雲液態水混和比。上述這些氣象量場在經由反覆檢驗後為合理，目前推估模組已加入在現行作業化 GFS 模式中，並隨原始模式輸出量場輸出逐六小時預報，加上原始 GFS 模式亦輸出每六小時地表太陽短波輻射量、2 m 氣溫及地表土壤溫度預報，提供給綠能預報所需最即時的氣場預報資料。

## 五、 參考文獻

- Clough, S. A., M. W. Shephard, E. J. Mlawer, J. S. Delamere, M. J. Iacono, K. Cady-Pereira, S. Boukabara, and P. D. Brown, 2005: "Atmospheric radiative transfer modeling: A summary of the AER codes", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **91**, 233–244.
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: "Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System", *Wea. Forecasting*, **26**, 520–533.
- Iacono, M. J., J. S. Delamere, E. J. Mlawer, M. W. Shephard, S. A. Clough, and W. D. Collins, 2008:

“Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models”, *J. Geophys. Res.*, **113**, D13103, doi:10.1029/2008JD009944.

Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: “Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization”, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 1001-1039.

Zhao, Q., and F. H. Carr, 1997: “A prognostic cloud scheme for operational NWP models”, *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931- 1953.