

中央氣象局全球模式診斷校驗系統

廖子芸¹ 洪忠和² 王志嘉² 張庭槐²

資拓宏宇國際股份有限公司¹ 中央氣象局科技中心²

摘 要

對於數值天氣預報發展人員而言，模式校驗是不可或缺的，在發展人員可以快速校驗模式表現，並提供多樣的校驗結果參考指引目標下，中央氣象局於2016年底引進美國環境預測中心全球模式實驗預報表現統計系統(NOAA NCEP/EMC Global Model Experimental Forecast Performance Statistics System)，同時進行本土化作業，建置中央氣象局全球模式診斷校驗系統(Global Verification system，簡稱GVER)。

GVER模式診斷校驗系統之流程可分為三步驟，第一步：進行資料串接及轉換，支援本局DMS格式資料輸入，並使用DMS的應用程序介面(API)讀取遠端資料，減少資料傳輸及空間；第二步：建立校驗統計資料庫(Verification Statistic DataBase，簡稱VSDB)，內容包含計算校驗分數所需要的相關統計值，如格點數、 f^2 、 a^2 、 $f*a$ 等參數，降低重複讀取資料的需求，增加校驗速度與效能；第三步：計算校驗分數並繪圖，本系統提供ACC、Bias、RMSE、Murphy's MES Skill Score、Ratio of Standard Deviation、RMSE from Mean Difference、RMSE from Pattern Variation、Anomaly Pattern Correlation等8種校驗分數產品。

目前提供決定性數值預報之校驗產品為主，包含本局(CWB GFS)、美國國家環境預報中心(NCEP)、日本氣象廳(JMA)及歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)等4組數值模式；提供重力位場、溫度場、風場、相對溼度共72項氣象層場；提供6種區域範圍統計校驗，包含全球(G2)、北半球區域(NHX: 20N-80N)、南半球區域(SHX: 20S-80S)、熱帶區域(TRO: 20S-20N)、太平洋北美區域(PNA: 20-75N,180-320E)、東亞地區(ASI: 5S-55N,60-180E)。

本系統預期能提供模式發展人員快速獲得模式表現，並提供統一校驗產品顯示平台，更能有效地互相交流並提升局內數值天氣預報發展人員的技術與經驗。

關鍵字：全球模式、模式校驗、網格資料

一、前言

極端氣候導致的災害是全球性的議題，全球數值天氣預報模式的發展也在各國佔有舉足輕重的地位，中央氣象局(以下簡稱氣象局)數值天氣預報(NWP)作業系統發展至今已近34年，葉等人(2012)曾闡述其發展過程，在1984年至1989年間發展第一代數值天氣預報系統，包括在1987年6月建置第一代超級電腦CDC-CYBER 205，同時也開始發展客觀分析、全球模式、區域模式、颱風路徑預報等技術，並於1990年正式上線作業。而對於模式研發人員而言，除了致力於科研持續鑽研與發展外，如何和國際接軌與各國模式產品比較，並且提供快速、多樣的校驗模式表現，是不可或缺的。

在發展人員可以快速校驗模式表現，並提供多樣的校驗結果參考指引目標下，中央氣象局於2016年底引進美國環境預測中心全球模式實驗預報表現統計系統(NOAA NCEP/EMC Global Model Experimental Forecast Performance Statistics)，同時進行本土化作業，建置中央氣象局全球模式診斷校驗(GVER)系統。

GVER系統期待能使模式發展人員快速獲得模式表現，並提供統一校驗產品平台，更能有效地互相交流並提升局內數值天氣預報發展人員的技術與經驗。

本文第二節針對GVER系統架構進行說明，第三節則說明目前平行測試所提供的4種模式校驗產品及網頁呈現內容。第四節則對於未來整體規畫進行說明。

二、系統架構介紹

全球模式診斷校驗(GVER)系統，目前每日校驗除了校驗本局全球數值天氣預報系統資料外，還經由氣象資料處理系統(Meteorological Data Processing System，MDPS)抓取歐洲中期天氣預報中心(European Center for Medium-Range Weather Forecast, ECMWF)、美國國家環境預報中心(National Centers For Environmental Prediction's Environmental Modeling Center, EMC/NCEP)、日本氣象廳(Japan Meteorology Agency)數值天氣預報模式之預報資料進行校驗。

建立統計校驗資料庫(verification statistic database, VSDB)後，進行各種得分計算與繪圖產製，繪圖產品以網頁形式，供研發人員查看及比較。更提供本系統安裝包給研發人員做為個人校驗工具，其運作架構如圖1所示。

(一) 軟、硬體及網路作業環境

硬體環境

1. 主機：Intel Xeon 2.4 GHz。
2. 記憶體：125GB。
3. 硬碟容量：37TB。
4. 網路介面：TCP/IP。

軟體環境

1. 作業系統：CentOS Linux release 7.2 (Core)
2. 發展工具：KornShell、html、GrADS v1.8
以上、F77/F90/gcc/gfortran編譯程式。

(二) 系統IPO模型

GVER模式診斷校驗系統之流程可分為三步驟，第一步:資料前置處理(串接及轉換)、第二步:建立VSDB資料庫、第三步:計算校驗得分並繪製產品。GVER系統IPO模型如圖二所示，並將資料前置處理與建立VSDB資料庫放在同一個IPO模型內。以下針對兩個IPO模型進行詳述：

建立VSDB資料庫

1. 輸入(Input)：校驗之數值模式(DMS格式)
2. 流程(Process)：
分為兩階段，為了符合氣象局主要流通的資料格式(DMS格式)，首先使用DMS的Utility遠端抓取資料，進行資料轉檔，轉置成GRIB1的資料格式儲存於本機中。為了減少資料存取的時間及提高效率，將校驗所需的相關模式資訊(格點數、長度等)、統計值(f^2 、 a^2 、 f^*a)等參數儲存至VSDB資料庫內。
3. 產出(Output)：VSDB資料庫(ASCII格式)

校驗繪圖程序

1. 輸入(Input)：VSDB資料庫
2. 流程(Process)：
使用VSDB資料庫之統計值進行校驗得分計算，並且繪製以校驗日期為單位的時序圖、spread圖等得到最終產品。
3. 產出(Output)：校驗產品(PNG)、計分卡(html)

(三) 網頁架構呈現方式

本網頁架構可分為三大部分作呈現，分別為首頁、校驗得分呈現頁、計分卡(ScoreCard)呈現頁。

1. 首頁(圖三)：

在首頁部分提供本網站相關文件給使用者參考，包含氣候資料格式、Model Acronyms清單、Model Information、校驗區域範圍、校驗得分計算方式說明等。

2. 校驗得分呈現頁(圖四)：

整體畫面區分成三個區塊，左區塊以下拉式選單提供不同校驗得分及氣象場，供使用者選擇；上區塊則根據使用者所選擇的校驗方法、氣象場的所有氣象層和預報時間，以表格的方式呈現供選擇；下區塊則呈現校驗產品圖。

3. 計分卡(ScoreCard)(圖五)：

本系統亦提供計分卡給研發人員做快速的校驗結果查詢，以表格的方式呈現，並以顯著水準(significance level)進行分類，大小則為這兩個模式彼此的差異；顏色則指出兩模式間比較優

劣。X軸為校驗區域與預報天數、Y軸則為不同校驗方式的層場，內文則為比較結果。

三、校驗產品內容

本系統目前提供三大項產品：和距平相關係數(Anomaly Correlation Coefficient)、模式本身的基本7種校驗得分、計分卡。以下針對校驗公式，內容及研發人員版本進行分別說明：

(一) 計算校驗分數公式

提供ACC、Bias、RMSE、Murphy's MES Skill Score、Ratio of Standard Deviation、RMSE from Mean Difference、RMSE from Pattern Variation、Pattern Correlation 等校驗產品，以下列出GVER所提供的8個計算校驗分數的公式供參考：

1. Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

$$ACC = \frac{\sum[x \cdot y] - [(\sum x)(\sum y)]}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2)(\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad \begin{cases} x = f - c \\ y = o - c \end{cases}$$

2. Bias

$$(\bar{F} - \bar{A})$$

3. RMSE

$$\sqrt{(MSE)} = \sqrt{(F - A)^2} \rightarrow MSE = E^2 = E_p^2 + E_m^2$$

4. Murphy's MES Sill Score

$$MSESS = 1 - \frac{E^2}{\sigma_a^2} = 2\lambda R - \lambda^2 - \frac{E_m^2}{\sigma_a^2}$$

5. Ratio of Standard Deviation

$$\lambda = \sigma_f^2 / \sigma_a^2, \quad \begin{cases} \sigma_f^2 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (F_n - \bar{F})^2 \\ \sigma_a^2 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (A_n - \bar{A})^2 \end{cases}$$

6. RMSE from Mean Difference

$$E_m^2 = (\bar{F} - \bar{A})^2$$

7. RMSE from Pattern Variation

$$E_p^2 = \sigma_f^2 + \sigma_a^2 - 2\sigma_f^2 \sigma_a^2 R$$

8. Anomaly Pattern Correlation

$$R = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{n=1}^N (F_n - \bar{F}) \cdot (A_n - \bar{A}) \right\} / \sigma_f^2 \sigma_a^2$$

(二) 校驗產品規格

1. 氣候、分析場及計分卡：

Anomaly Correlation Coefficient是以美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)/美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR) 30年(1959-1988)的再分析氣候資料為計算基底。其餘的校驗分數是以模式本身預報f00為分析場，另外計分卡則是提供CWB與NCEP的校驗結果進行比較。

2. 產出模式產品：

本系統提供四種模式，包含中央氣象局全球預報模式、美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球預報模式、歐洲中期天氣預報中心(European

Centre for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF)全球預報模式、日本氣象廳(Japan Meteorology Agency, JMA) 全球預報模式。

3. 校驗區域：

本系統提供六種校驗區域，列表如下：

區域	範圍	區域	範圍
G2	Global	SHX	20S-80S
TRO	20S-20N	ASI	5S-55N,60E-180E
NHX	20N-80N	PNA	20N-75N; 180E-320E

4. 空間與時間的解析度：

每天兩次(00Z、12Z)，其預報長度為192小時(預報間距12小時)，校驗長度則為30天。目前於每日19:00提供當日的00Z校驗結果、隔日07:00提供12Z的校驗結果。每次總共產出約1.7萬張圖，在網頁上呈現預報長度1天、3天、5天、6天的校驗分數。

而目前統一數值模式的空間解析度為2.5°的等經緯網格進行校驗分數計算。

(三) 研發版本說明

除了目前既有的平行測試版本外，亦有提供給研發人員版本供使用，研發人員可調整的項目校驗模式(支援同時校驗10種模式)、資料可分散在不同路徑下(使用不同的DMSPATH)、不同層場、區域(可自訂區域範圍及名稱)、可設定模式本身的初始場(tau00)為分析場或是特定分析場、可設定預報、校驗長度與間距、可調整計分卡比較的對象及內容。

而目前支援DMS及GRIB1資料格式、等經緯網格資料、可輸入0.25°、0.1°、1°、2.5°的等經緯

網格資料，統一輸出為1°或2.5°的VSDB資料庫及校驗產品。層場則是限制在GRIB1有定義為準。

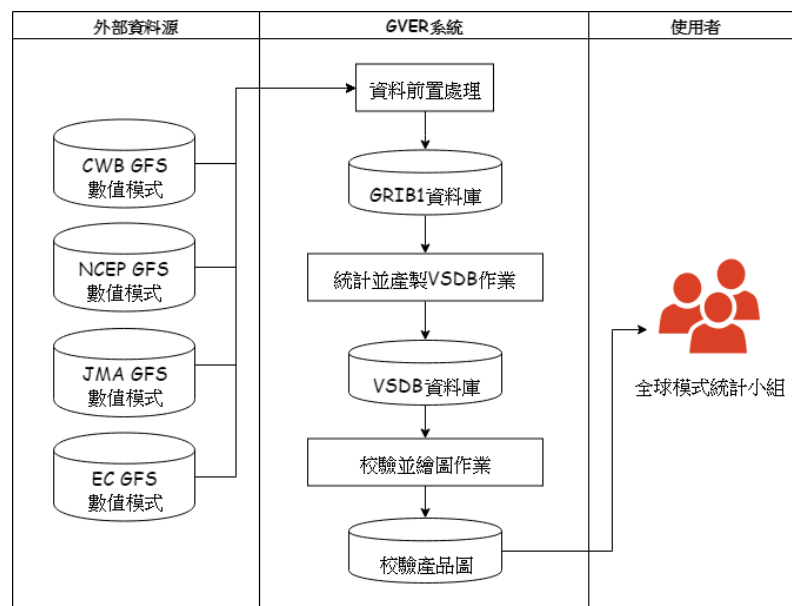
四、未來展望與規劃

GVER系統目前提供8種校驗計算方式、6種校驗區域、4種數值模式及計分卡等，並提供研發版本供研發人員使用，相信氣象專業研究人員可藉由此畫面得到更多元及豐富的校驗產品。而未來GVER系統將持續進行擴充，包含服務更多種資料格式、更高時間與空間解析度、更多層場等縱向擴充；納入降雨、Fit to OBS、Grid to OBS、系集校驗等更多樣的校驗產品橫向擴充，提供研發人員統一且多樣的校驗產品，同時也藉由使用者的意見回饋，定期修改與調整整體系統效能與優化研發人員使用體驗，希望藉此能加速系統本土化成效，打造適宜氣象局的專屬校驗平台，提升局內數值天氣預報發展人員的技術。

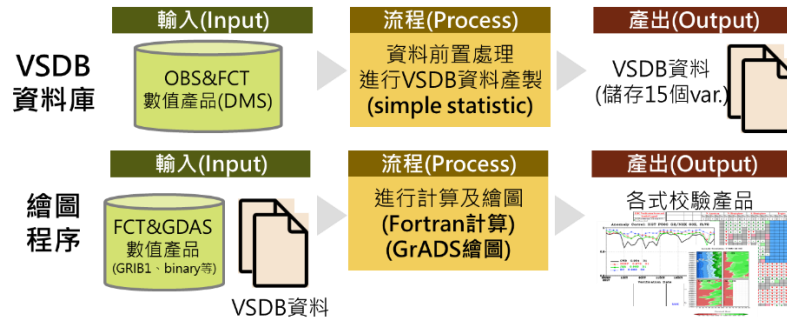
五、參考文獻

- 葉天降、滕春慈、黃麗玫、馮欽賜、張庭槐，2012：中央氣象局數值天氣預報作業系統(一)歷史演進。氣象學報，48，53-68。
- 葉天降、馮欽賜、柳再明、陳得松、黃康寧、陳雯美、汪鳳如、洪景山，2012：中央氣象局數值天氣預報作業系統(二)預報模式概況。氣象學報，48，69-95。
- Fanglin Yang for NCEP Global NWP Model Verification Package and knowledge of the VSDB file structure.

六、附圖



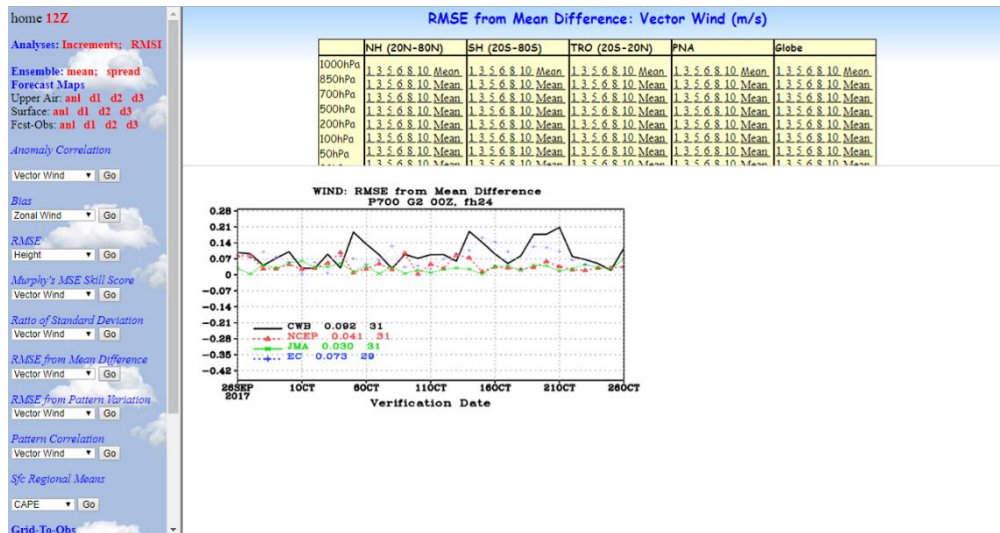
圖一、GVER整體架構圖



圖二、GVER系統IPO模型

The screenshot shows the homepage of the GFS/CWB Global Model Experimental Forecast Performance Statistics website. The page includes a navigation menu on the left with options like 'Analyses: Increments, RMSI, Ensemble: mean; spread, Forecast Maps' and various correlation and RMSE metrics. The main content area features a title 'GFS/CWB Global Model Experimental Forecast Performance Statistics' and a list of bullet points describing the site's purpose and data sources. A table of acronyms (CWB, NCEP, ECM, JMA) and a list of regions (G2, NHX, SHX, TRO, PNA) are also present.

圖三、GVER網頁首頁



圖四、GVER網頁校驗產品呈現頁

