

中央氣象局診斷校驗系統之颱風預報校驗

陳白榆¹ 宋馥淇² 王志嘉¹ 蔡岳霖² 許捷勝¹ 廖哲瑩² 張庭槐¹ 黃文俊² 馮欽賜¹
中央氣象局氣象資訊中心¹ 資拓宏宇國際股份有限公司²

摘要

在各項數值天氣預報作業系統強化與改善的同時，系統性地統計分析數值模式的預報能力已為數值預報作業不可或缺的一環，經由診斷校驗系統(Diagnostic System；DIA)可監測與評估數值模式的預報表現，並方便發展和應用人員瀏覽診斷與校驗之結果。

氣象局的數值天氣預報診斷校驗系統，除了原本所提供的五大類校驗產品：環流場校驗、降水校驗、格點校驗、觀測點校驗與模式地面校驗以外，於今年度新增颱風預報校驗的建置與顯示，並分為颱風路徑及颱風強度預報校驗兩大項。往年颱風預報校驗多在事後進行，因應防災作業越來越倚賴數值預報產品，線上提供颱風校驗結果能使模式發展人員隨時掌握颱風期間的預報表現情形，並可提供預報人員作為使用模式資料進行預報分析之修正參考。

期望藉由颱風預報校驗的建立，使本局的診斷校驗系統達到協助模式預報的改進、提升模式預報的指引及參考價值，與推廣數值天氣預報產品應用之目標。

關鍵字：診斷校驗系統、颱風路徑預報校驗、颱風強度預報校驗

一、前言

近年來，在各項數值天氣預報(Numerical Weather Prediction；NWP)作業系統強化與改善的同時，系統性地統計分析數值模式的預報能力已為數值預報作業不可或缺的一環，藉此可追溯誤差的來源，作為模式發展人員在改進模式時的指標，也可由各種誤差的計算提供預報人員在使用模式產品時的修正參考(方與陳，1989)。

中央氣象局(以下簡稱本局)之預報模式自1988年正式上線作業後，為了解預報系統的預報能力並供進一步研究改進的參考，在系統作業同時也進行預報結果的儲存並做校驗、評估及統計(陳等，1989)。一開始為非日常作業，校驗及分析模式在長時間裡的誤差傾向，1990年開始格點校驗得分(SCORE)上線，基於電腦資源與實際之需要，選取6種有效之校驗方法，進行日常作業校驗每天之預報結果。對模式高度場(H)、溫度場(T)及風場(U、V)等4種變數進行校驗，2010年後加入相對濕度(RH)場校驗。

2010年為整合各研究人員之校驗工具於自動化作業流程，並建置一網頁環境平台，供數值預報模式發展和應用人員便於瀏覽診斷與校驗模式預報產品，故本局數值天氣預報診斷校驗系統(Diagnostic

System；DIA，以下簡稱本系統)自2010年2月開始發展，11月完成資料處理、診斷校驗產品產製與網頁顯示功能建置，當年度已彙整完成區域模式(Weather Research and Forecasting Model；WRF)環流場、降水、格點、觀測點校驗等作業與瀏覽功能。2011年提供研發者能使用本系統計算與繪圖工具，自行產製校驗預報產品及瀏覽個人化產品產製結果。並新增區域模式臺灣地區降水預報校驗、模式地面校驗等作業及其產品瀏覽功能。

2012年度新增全球模式(Global Forecast System；GFS)產品產製與顯示介面，並引進填繪圖系統(Graphic System；GRA)繪圖套件進行繪圖程式更換，以提升繪圖品質。2013年度建置作業監控流程、網頁顯示維護介面與備援系統，網頁顯示平台亦於同年7月整合於虛擬化環境，同時進行產品內容與產製作業調整，每日產圖量自約6萬5千張精簡至2萬多張，以提升作業效能。

往年颱風預報校驗多在事後進行，因應防災作業越來越倚賴數值預報產品，線上提供颱風校驗結果能使模式發展人員隨時掌握颱風期間的預報表現情形，並可提供預報人員作為使用模式資料進行預報分析之修正參考。故於本年度建立颱風預報校驗之作業流程，並進行產品繪圖及顯示網頁建置，希望藉此提升模式預報的指引及參考價值。

二、系統架構介紹

本系統主要接收本局氣象資料處理系統 (Meteorological Data Processing System ; MDPS) 所提供的國外氣象作業中心的數值天氣預報及觀測資料、本局 NWP 產製的資料，進行各種診斷校驗方法的計算與圖檔的產製，產製完成的產品，透過網頁顯示介面提供給使用者瀏覽。依據校驗的目的分為 6 大類產品：1. 環流場校驗，2. 降水校驗，3. 格點校驗，4. 觀測點校驗，5. 模式地面校驗，6. 颱風預報校驗，運作架構如圖 1。

(一) 軟、硬體架構

系統開發採用 Intel Xeon 伺服器級之中央處理器，多個處理器可各自獨立運作，作業系統採用 RedHat Enterprise Linux ES 5.8。網頁伺服器(Web Server) 建構在 Apache 2.2.3、PHP 5.3、CI Framework、SQLite 資料庫的環境下發展。

圖 2 為本系統的目錄架構，共分成 7 大部分，包含作業流程程式碼(含繪圖套件)、執行檔、建構設定檔、作業紀錄檔、暫存檔、公用函數檔及備份資料檔。

處理計算各類診斷統計資料及繪製校驗產品是為系統的主幹，並在作業系統以上架構整合性網路資訊交換環境系統(Network Information exChange Environment ; NICE)來處理系統管理相關工作，自動化作業流程採用 Python 語言及命令解譯器的描述語言(shell script)，圖形產品繪製的套件則是採用 Fortran 77 / 90、NCL V6.0 (NCAR Command Language) 等程式語言進行開發，顯示介面採用 JavaScript、PHP 進行開發，並利用 IRISME (Index & Retrieve Infra-Structure for Meteorological Entities) 套件進行顯示內容設定，同時配合 MySQL 及本局網格點資料管理系統(Grid Data Management System ; DMS)進行資料庫管理。

(二) 作業流程

本系統線上作業係藉 NICE 系統接收上游資料端所傳送的訊息為起始，當系統接收到訊息後，會

依接收訊息所代表的產品種類驅動該類產品的原始資料取得、繪圖資料計算、繪圖等流程，以進行繪圖產品產製。為確保系統不會因同時進行的產製流程過多而造成系統負載過重，本系統利用 xCRON 套件進行產製作業數量控管，並藉此避免產品重覆產製的狀況發生，使產製作業能更有效率地進行。

在產品產製完成後，藉由 IRISME 套件將產品資訊傳送到顯示端的資料庫進行儲存，除可提供顯示介面在使用者進行產品檢視時的即時選單內容搜尋之外，亦提供管理者在進行顯示介面選單建置與調整時的選單內容參考之用。

三、系統功能

本系統提供的服務分為兩大部分，包含：

(一) 線上作業診斷校驗產品產製與顯示

配合數值天氣預報現行作業，建立模式預報資料之各類統計校驗方法，及圖檔產製作業。其產品每日自動化顯示於網頁，不僅協助研發人員監測評估模式預報能力，也是預報人員進行預報分析之重要參考。

(二) 個人化產品產製與檢視

提供診斷校驗產品的統計與繪圖工具，使用者經由介面操作，可使用本系統或個人之研究資料，進行計算與繪圖功能，產製個人化產品，並可於檢視頁面查詢及下載圖檔。可協助模式研發人員診斷分析模式表現，及提供改進模式預報的指引。除繪圖之外，亦提供部分資料處理功能支援，包含平均場計算、差值場計算、觀測點校驗統計計算等，使用者僅需提供原始資料即可進行相關產品產製動作。

圖 3 是本系統的功能架構，除了上述兩大部分的診斷繪圖產品製作及查詢顯示功能以外，尚包含資料接收處理、儲存管理、系統備援與監控…等功能。

四、颱風預報校驗

今年除了原有之 5 大類線上校驗產品，於颱風

季新增颱風預報校驗產品之提供，建置颱風預報校驗之作業流程可分為 3 大部分，分別說明如下：

(一) 校驗方法之建立

分為颱風路徑預報校驗與颱風強度預報校驗兩種類型。

1. 颱風路徑預報校驗

針對模式預報之颱風中心位置，包括 500hPa 高度場的最小值中心位置、海平面氣壓(Sea-Level Pressure；SLP)的最低氣壓中心位置，兩者分別與對應校驗時間之本局預報中心定位的颱風最佳路徑(Best-Track)位置進行路徑誤差(Track Error)計算。路徑誤差即預報值與最佳路徑值之間的距離，採用計算方式為大圓距離(great circle distance)公式(Weisstein, 2003)與(Gade, 2010)：

$$d = a \cos^{-1} [\cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2) + \sin \delta_1 \sin \delta_2]$$

其中 δ 為緯度、 λ 為經度，考慮地球為圓球體，地球半徑 $a \approx 6378\text{km}$ ，可得出從球面上第 1 點經緯度(δ_1, λ_1)到第 2 點經緯度(δ_2, λ_2)之兩點間的大圓距離 d ，再將求得之 d 值取絕對值，即為路徑誤差(單位：km)。

2. 颱風強度預報校驗

針對模式預報之颱風中心在 10 米風場的最大風速值(單位：m/s)、海平面氣壓的最低值(單位：hPa)，兩者分別與對應校驗時間之觀測值進行強度誤差(Intensity Error)計算。分為平均誤差(Mean Error；ME)及平均絕對誤差(Mean Absolute Error；MAE)兩類，透過平均誤差可了解颱風強度預報的偏差(Bias)情況，可約略看出模式的預報傾向；平均絕對誤差則可表示誤差量的大小，不論正負(方與陳，1989)。計算方法為：

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i)}{N}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |F_i - O_i|}{N}$$

F_i 為颱風強度(最大 10 米風速及最低海平面氣壓)預報值、 O_i 為觀測值、 N 為個案數，若為一固定模式

預報初始時間，對某一預報時(如：2014 年 7 月 25 日 00 時 UTC 之 24 小時預報，即對 2014 年 7 月 26 日 00 時 UTC 的預報)的誤差計算，則 $N=1$ 。

(二) 繪圖程式之開發

繪圖端程式使用 NCAR Graphics 進行開發，搭配 Fortran 90 程式語言，使用模組程式及資料共享功能，達到使用最少量的計算資源進行作業繪製。程式繪圖端共分為 4 區塊：

1. 圖表標題：

標題設定分為主標題及副標題，可無限上增標題行數，每行並劃分為置左、中、右 3 部分。

2. 圖表圖例及資料繪製：

繪製的功能包含打點、畫線、打點及畫線，以及顏色設定、標示圖形。

3. 圖表底圖：

於圖表底圖輸入前，先設定 x 軸、y 軸之最大最小值，再設定所需間隔數，程式內部即會自行計算並取得適合的大小設定與間隔。

4. 表格數據顯示：

輸入數據資料後，於圖表下方顯示圖中數值，並自動計算相對位置與字體大小。

上述 4 區塊皆需相互引用資料，避免資料傳遞重複性，將共用變數使用模組(module)組合，以減少程式重複數量，方便維護者修改程式。繪圖程式經由輸入變數載入不同設定檔，讀取特定欄位資料後直接繪製圖檔，目前僅針對於全年度颱風校驗有於程式內部進行計算。

以颱風路徑預報校驗的路徑誤差圖為例(圖 4)，圖上表示麥德姆(MATMO)颱風期間(2014 年 7 月 17 日 18 時~2014 年 7 月 25 日 00 時 UTC)內所有預報初始時間(All Dtg)之 0~72 小時海平面氣壓路徑預報平均誤差，校驗對象為 WRF 模式成員 M00、TWRF、M02(45km 區域)、M03(20km 區域)，及上述成員與 GFS 模式以算術平均數得出的系集(ENSEMBLE)預報結果。由此圖，可比較颱風期間所有模式成員之預報誤差表現，及隨預報時間增長之路徑誤差變化趨勢。下方統計數據並詳細列出各成員於不同預報小時的平均誤差值與平均個案數(N，於括號內顯

示)。以麥德姆颱風來說，WRF 模式的 3 天(72 小時)平均路徑預報誤差為 242km 以內，其中又以 M03 成員的表現最佳。

(三) 產品顯示頁面建置

於本系統原有之網頁顯示平台上，新增颱風預報校驗頁面以供使用者選取與瀏覽此類校驗產品，建置項目包含顯示內容確認、頁面與選單設計、產品註冊與顯示頁面資料庫流程建置，及顯示頁面建構檔建置等。

圖 5 為颱風預報校驗的顯示頁面，使用者經由上方選單選擇校驗的模式預報區域後(目前分為 WRF 模式 45km/20km、15km/4km)，再由左側選單依序選擇繪圖種類、年份、颱風名稱、預報初始時間與預報時間長度。「颱風名稱」選單會將同一年度的颱風依發生時間先後順序作排列，最後的放在選單最上層，其中亦包含「全年度」選項，可隨時了解同年度至目前為止的所有颱風平均校驗結果。「預報初始時間」是颱風期間模式預報的初始時間，一天 4 次(00、06、12、18 時 UTC)，最上層則是「All Dtg」選項，表示是所有預報初始時間的預報誤差依個案數(N)平均的結果。

左側選單選取完成後，於右側視窗會出現二維矩陣之巢狀表格，其為所有產品之清單。可點選「比較」直接檢視全部模式成員校驗結果，亦可點選各成員名稱查看單一成員的校驗結果。二維矩陣產品清單中的最上列與最左邊項目點選後，可將該列或該欄產品圖以排圖方式呈現。

五、結論

中央氣象局診斷校驗系統今年新增之颱風預報校驗，可在颱風期間每日於本局模式預報完成後，計算與產製模式颱風路徑及強度預報校驗結果，並於網頁上顯示，能隨時掌握模式預報偏差情形，以作為使用模式資料進行預報分析之修正參考。

本系統未來將持續發展以使用者為出發點的客製化校驗產品、擴充個人化產品產製與檢視功能，並且發展新的校驗技術，如：新增系集預報校驗、

國外模式之颱風預報校驗等。提供對使用者真正有用的校驗產品，期許透過本系統瞭解數值預報的誤差特性，並進一步進行偏差修正(Bias Correction)，達到改進數值天氣預報能力之目的。

五、參考文獻

方力脩與陳慧貞, 1989: “數值天氣預測之校驗方法綜評”, 氣象學報, 35 卷, 1 期, 48-63

陳雯美、林松錦與蔡清彥, 1989: “中央氣象局全球數值天氣預報系統 1988~1989 預報校驗評估”, 氣象學報, 35 卷, 4 期, 263-279

張庭槐、郭姝涵、李香蘭、張騰駿、何傳忠、蔡凱翔、王志嘉、王美雲與馮欽賜, 2013: “中央氣象局氣象資料新填繪圖系統建置與應用”, 102 年天氣分析與預報研討會, 269-274

Gade, K., 2010: “A non-singular horizontal position representation”, *Journal of Navigation*, **63**, 395-417

Tallapragada, V., 2013: “Performance of the 2013 operational HWRF for the north western pacific and north Indian ocean basins”, Presentation given to NOAA's Hurricane Forecast Improvement Project, 6 Nove 2013

Weisstein, E. W., 2003: CRC Concise Encyclopedia of Mathematics, CRC Press, 1239-1240

WMO, 2013: “Verification methods for tropical cyclone forecasts”, Final report from WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research, 11 Nove 2013

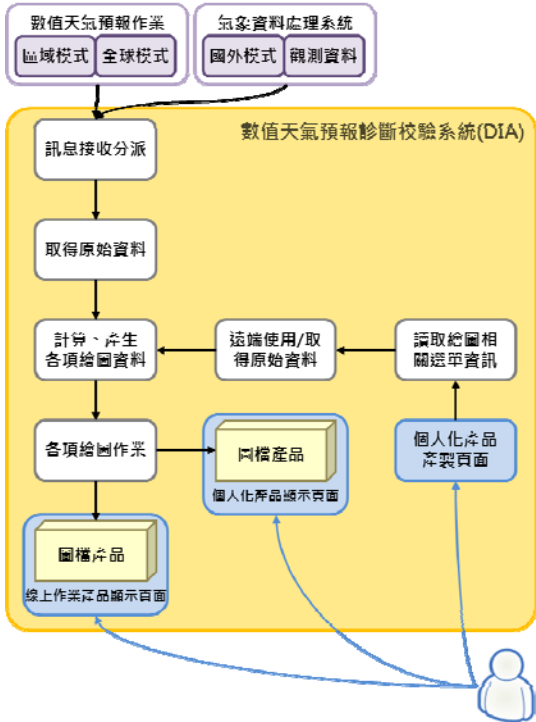


圖 1 診斷校驗系統運作架構

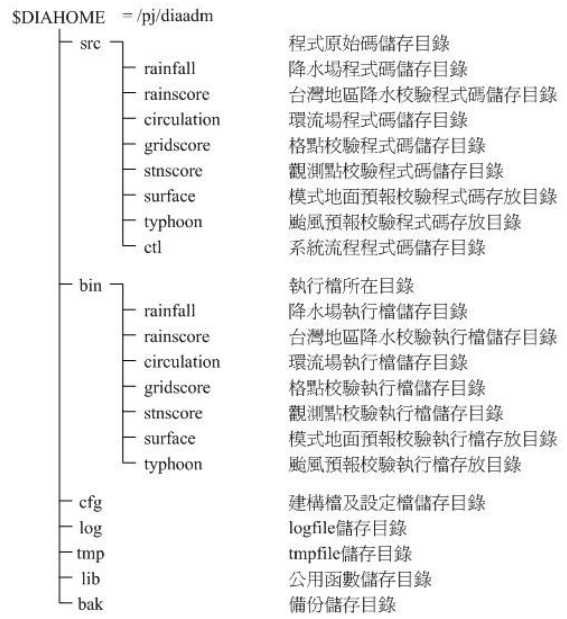


圖 2 診斷校驗系統目錄架構

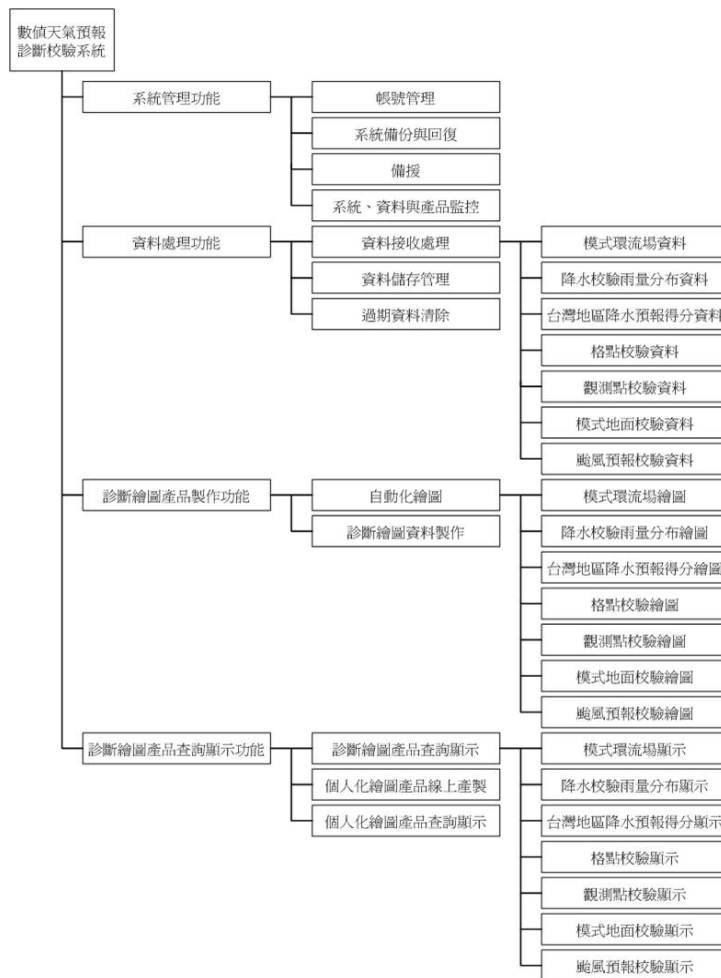


圖 3 診斷校驗系統功能架構

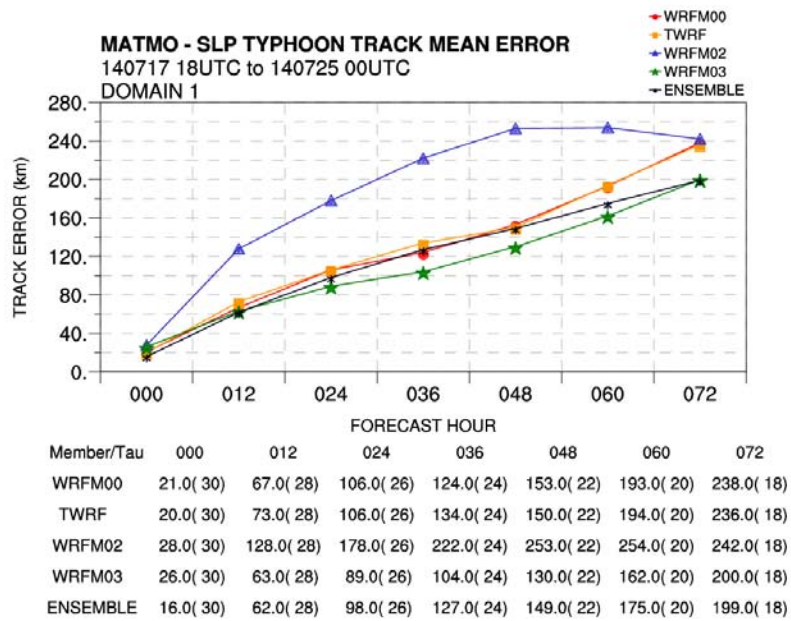


圖 4 麥德姆(MATMO)颱風海平面氣壓(SLP)路徑預報誤差(All Dtg)



圖 5 颱風預報校驗的顯示頁面與選單內容