中央氣象局數值天氣預報作業控制系統現況介紹

吳蕙如　張庭槐　林宗翰　李淑玲
中央氣象局 氣象資訊中心

摘　要

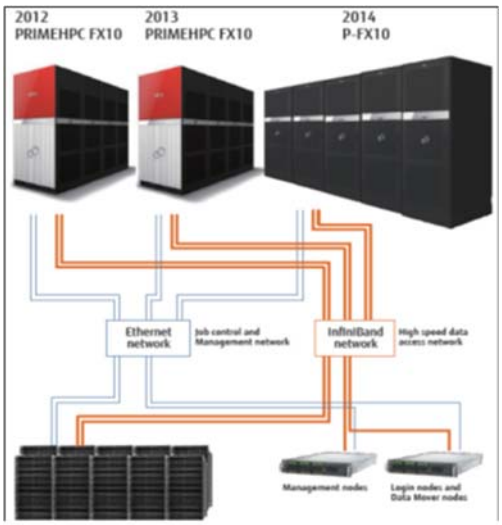
在中央氣象局的數值天氣預報工作中，由數值天氣預報作業控制系統 (NWP operation Control System，簡稱 NCS) 控制調度全球、區域、颱風、系集等各類模式、30 餘成員、每日百餘趟的定時作業，預報時數總長度超過 12,000 模式小時，範圍自氣象觀測站每小時的時間序列預報，至空間涵蓋全球的 45 天預報；預報完成後即時提供相關運算結果予局內、外各下游單位，用以進行各類天氣分析與預報。數值天氣預報作業自 2012 年底開始，於本局第五代高速運算電腦系統 Fujitsu PRIMEHPC FX10 上運行，NCS 主要包含作業啟動控制、輸入資料處理、格點分析與預報、產出資料處理、運作環境維護，搭配作業監控查詢，全年每日 24 小時持續不斷的運作。本文將針對現行數值天氣預報作業控制系統的運作狀況與架構進行簡單的介紹。

關鍵字：數值天氣預報、作業控制、高速運算電腦

一、　前　言

中央氣象局隨著「氣象業務全面電腦化」計畫的推行，在 1987 年啟用第 1 代高速運算電腦系統 CDC Cyber 205，其後，在 1992 年建置第 2 代高速運算電腦系統 Cray YMP 8I/632，隨之，在 2000 年更新為第 3 代高速運算電腦系統 Fujitsu VPP 5000，又在 2006 年替換成第 4 代的高速運算電腦系統 IBM P5-575 Cluster 1600。依循 2010 年開始進行的「災害性天氣監測與預報作業建置計畫」，氣象局自 2012 年起分 3 年建置第 5 代高速運算電腦系統 Fujitsu PRIMEHPC FX10 / P-FX10，現已完成建置的前兩期 FX-10 主機，提供 162.4 TFLOPS 的計算效能，以及 1.2 PB 的硬碟儲存容量，整體系統架構如附圖一。

圖一、現行高速運算電腦系統架構



現行的數值天氣預報作業，早已非建置初期的僅有全球模式與區域模式各一，每日只執行兩趟作業的系統。而是含括了全球預報系統(Global Forecast System，GFS)、與屬於區域模式的非靜力平衡預報系統(Non-hydrostatical Forecast System，NFS)、及天氣研究與預報模式 (Weather Research and Forecasting，WRF)，其中包含針對颱風調校的成員和系集成員，另有系集預報系統(Ensemble Forecast System，EFS)，共 4 大類模式，30 餘成員，於高速運算電腦系統上，依循排定之作業時程，全年每日進行百餘趟之各類數值預報作業。

為了調度安排每日的各項作業運作，控制各種不同特性的數值預報模式，數值天氣預報作業控制系統設計了系列自動作業程序，結合高速運算電腦資源管控、上下游系統串接、作業情況監控與異常處理介面等，以維持穩定運作。本文第二節將說明現行作業模式與成員，第三節描述一般模式作業流程，第四節則說明作業監控與挑戰，最後總結全文。

二、 現行作業內容

中央氣象局數值天氣預報作業控制系統目前於 Fujitsu PRIMEHPC FX10 所執行的作業模式，運作內容包含全球、區域、颱風、系集各類模式；以下簡述氣象局現行的各項作業模式。

全球預報系統(GFS)，有兩個作業成員 M00、M02，解析度分別為 T319L40、T119L30。其中，GFS_M00 為氣象局之主要全球預報模式，每日 4 趟主作業(Major Run)，分析先處理部分包括觀測資料處理、臭氧以及地面和垂直層初始猜測場準備、颱風虛擬資料產生，分析部份為格點統計內插(Grid point Statistical Interpolation，GSI)分析系統，分析後處理部分則為 GSI 資料格式與預報模式 DMS (grid Data Management System)格式間之轉換銜接。另外還包含預報所需之海溫及地表雪冰分析之準備，而後模式進行 384 小時預報；另安排有 4 趟強化資料品質的後置作業(Post Run)，以全循環更新(full update cycle)方式運行。GFS_M02 則為每日 2 趟作業，進行長達 1080 小時的預報，其初始場資料來自 GFS_M00。

非靜力平衡預報系統(NFS)，有兩個作業成員 M00、M02，解析度相同，為水平解析 45/15/5 公里之三種巢狀網格、及 30 層垂直 sigma 座標層，兩成員間差異主要在使用之側邊界資料上游模式來源不同。兩者每日皆進行 4 趟 Major Run，分別執行 84 小時的模式預報，另皆安排有 4 趟 Post Run，初始猜測場使用 full update cycle 方式運轉。

天氣研究與預報模式(WRF)，有四個主要成員 M00、M01、M02、M03 在作業中，並有系集調整卡爾曼濾波(Ensemble Adjustment Kalman Filter，EAKF)，以及 20 組系集成員(WRF Ensemble Prediction System，WEPS)在運行。其中，M00 ~ M02 模式水平採三層巢狀網格，解析度分別為 45/15/5 公里，垂直層數為 45 層。WRF_M00 與 M02 之差異在側邊界資料採用的上游模式不同，模式初始場則經由 WRF 和 WRF 三維變分(Three-dimensional variational assimilation，3DVAR)所建構之資料同化系統產生。WRF_M01 為針對颱風預報所調校的模式成員，3DVAR 之設定和颱風渦旋處理程序不同。WRF_M03 模式設定同於 M00，但水平採二層巢狀網格，解析度分別為 20/4 公里。WRF_M00 ~ M03 各成員，每日 4 趟作業皆採用部份循環更新(partial update cycle)資料同化策略運作，每趟作業包含兩趟 Post Run，以及 M00、M02、M03 一趟預報時間 84 小時的 Major Run，M01 預報時間則為 120 小時。

WRF_EAKF 模式包含水平解析度 45 公里網格、及垂直 45 層。開始時利用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction，NCEP)全球預報系統預報資料，並配合 3DVAR 產生 32 組擾動猜測場，之後再利用 32 組成員進行 6 小時預報場當作下一次猜測場，為 full update cycle 執行方式，產出之分析場提供給 M00、M02 使用。而使用不同邊界資料與運算參數的 20 組 WRF 系集預報(WEPS)，在主要作業運行間的空檔時間，以冷啓動(cold start)的方

表一、每日各模式成員的作業趟次與預報長度

模式	成員	預報長度	Major Run 趟次	Post Run 趟次
GFS	M00	384 小時	00、06、12、18	00、06、12、18
GFS	M02	1080 小時	00、12	N/A
NFS	M00、M02	84 小時	00、06、12、18	00、06、12、18
WRF	M00、M02、M03	84 小時	00、06、12、18	00、06、12、18
WRF	M01	120 小時	00、06、12、18	00、06、12、18
WEPS	E01~E20	72 小時	00、06、12、18	N/A
EFS	M00	28 天 / 7 天	12	12
EFS	M03	72 小時	00、06、12、18	N/A
EFS	M05	24 小時	00、06、12、18	N/A

式，每日執行 4 趟作業，各產出 72 小時預報。

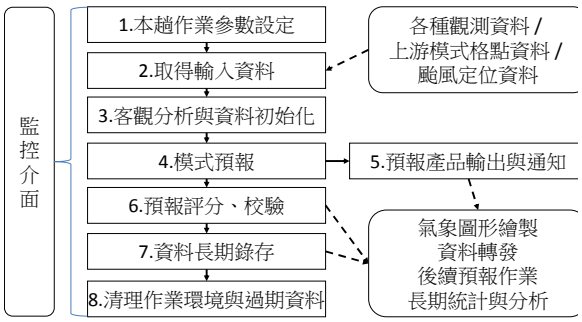
系集預報系統(EFS)有 M00、M03、M05 等成員在作業中，EFS_M00 之 ensfor 為所有網格點等權重的全球系集預報模式，預報時間至 28 天；而 supfor 為採用多模式迴歸法進行的全球超系集預報模式，每個網格點的權重隨地點及預報時間而異，預報每天輸出至第 7 天。EFS_M03 為採用多模式迴歸法進行的觀測點時間序列預報模式，每個測站的權重隨預報時間而異，預報每小時輸出至第 72 小時。EFS_M05 是利用貝氏模型平均（Bayesian Model Averaging）的統計方法對多個模式的預報進行後置處理後，預報觀測點極端天氣發生的機率。

每日各模式成員的現行作業趟次與預報長度概略整理如附表一。

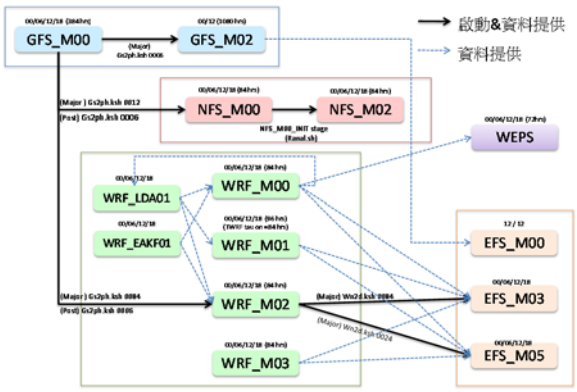
三、 模式作業流程

數值天氣預報作業控制系統為全自動化運行的系統，藉由各項控制設計，於一定的時間、使用指定的資源、進行預定的模式作業。NCS 的運作植基於大量

圖二、數值模式預報作業流程示意



圖三、各作業模式啟動及資料關係圖



負責各項功能的程式化腳本(shell script)，結合多個例行性工作排程(cron table)，與各種控制參數設定，使各項模式作業可以按時、依序、連續的運行。一般而言，數值模式預報作業的啟動與運行流程，可以以下示意圖二概括說明。

數值模式作業啟動後，首先要決定此趟作業的流程與控制選擇，如預報起始時間、執行 Major Run 或 Post Run、選擇 Update Cycle 或 Cold Start 方式、預定進行之預報長度等；接下來則進行輸入資料的確認與準備，主要是觀測資料，以及上游模式資料，若未能順利取得，可依狀況取用替代資料，或改執行相應替代流程。接下來，進入模式的前處理階段，可能是客觀分析，抑或是各種資料同化運算。

再之後，則正式進入模式預報階段，因為時效上的考量，在各預報時的計算結果輸出的同時，偵測預報進度的程式即會進行後續轉檔處理，並且通知、驅動各下游系統，如填繪圖系統，以即時輸出相關預報產品。預報完成後，各項校驗、評分等模式後處理接續執行。同時，因為資料珍貴，而硬碟空間有限，故將重要產品錄存至磁帶館，以能長期保留。最後，則是在作業完成後，進行運作環境的整理，包含清除歷史舊檔，與復歸各項模式控制設定。

總體而言，系列作業模式的起始者，由在主機上所設定的 cron table 開始驅動；但各模式是否啟動、是否通知下游系統、是否錄存檔案等機制，皆由相應之設定檔控制；而上下游模式之間的啟動關係，以及上游資料的確認，亦是由 shell script 所撰寫內容、配合設定檔所紀錄之狀態值而控制。現行各模式的運作啟動與上下游資料關係可參考附圖三。

四、 作業監控與挑戰

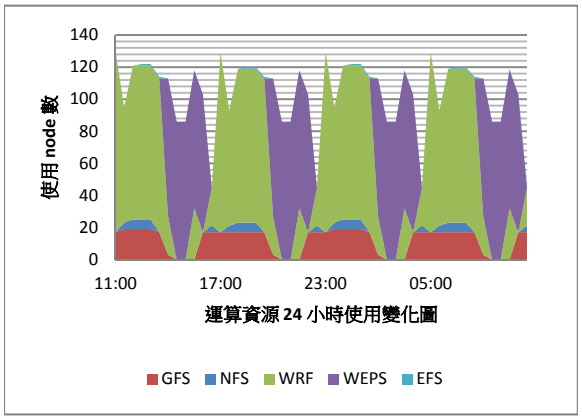
數值天氣預報作業控制系統每日執行大量工作，關於模式執行的正常與否、輸入資料的取得情形、輸出產品的完整性、作業啟動的準點與運行的耗時狀況、以及高速電腦主機的服務狀態，皆需要隨時進行監控；雖然對於許多可能發生的問題，流程內已經建有自動處理機制，必要時仍需要由人工介入進行異常處理。NCS 因此建置有完整的作業狀況監測介面，搭配各項

系統查詢功能、及基礎的問題處理介面，提供氣象資訊中心的輪值人員監看作業狀態，並進行初步的問題排除，如圖四。

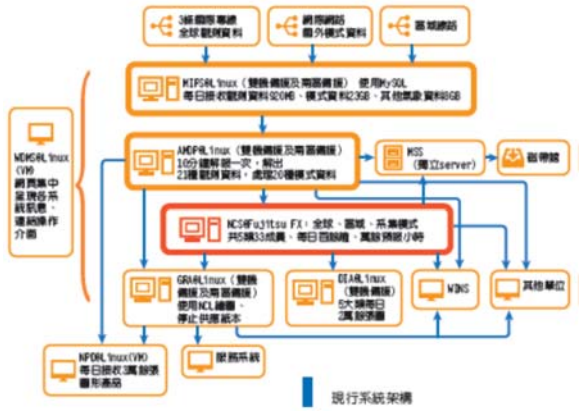
數值預報各作業常需要使用大量的電腦運算資源；即使是高速運算電腦，仍只能提供一定數量的運算單元。是以，在需要於同一時段進行多項數值模式作業時，作業資源的運用與調度，就成為 NCS 進行系統控制的一項挑戰。在進行運算資源安排時，單一時間的可用資源總數是固定的，系統人員在考慮模式作業的必須完成時間(最遲結束時間)、必要輸入資料到達時間(最早啟動時間)、各作業間的資料相依性、各段落所需耗用資源、與所需執行時間等項目後，方能規劃安排各模式的作業時間；目前作業各模式對運算節點(computing node)使用之數量與時間分布如附圖五。

圖四、NCS 監控介面

圖五、CPU 資源使用分布



圖六、NCS 與上下游各系統關係



NCS 並不是獨立運作的系統，運作中串接了許多上、下游系統，作業必須先至上游的氣象資料處理系統取得觀測與其他資料，並自預報中心的相關系統查得有無颱風與其定位資料，作業產品則及時輸往下游的填繪圖系統、即時預報系統、網格資料傳送系統、預報校驗診斷系統，以及其他各相關單位。各系統彼此息息相關，作業間互相緊密牽連，如附圖六；當上、下游系統有狀況，如何進行緊急應對以免遭受影響；或當 NCS 自身有異常，如何確保下游系統仍然能夠及時獲得所需資料，再再考驗系統負責人的應變。

五、 總 結

氣象局正在完成最新一期高速運算電腦的建置，隨著完成後，運算資源將再一次升級，在可預見的未來，數值天氣預報作業控制系統的運作規模勢必將再大幅度擴張。為了在穩定的環境下控制大量的模式運作與應對日益複雜的作業型態，NCS 將更強化發展相應的資源管理與運作調度，整體控制系統架構亦會配合新作業型態而更新，期能有效率的管理各項作業，使之能夠正確順暢的運行。

參考文獻

譚允中、蔡翠碧、黎兆濱，1994：“中央氣象局第二代數值天氣預報整體控制系統發展近況”，氣象學報，40 卷，3 期，246-257

中央氣象局，2012：“附件 2：數值天氣預報系統移植需求說明”，數值天氣預報系統主機設備建議徵求書

中央氣象局氣象資訊中心，2014：“高速運算電腦”、“數值天氣預報作業相關控制系統”，三十周年紀念專刊，29-31、33-39