

中央氣象局數值天氣預報系統整體作業控制近況介紹

黃麗玫 劉政 林介峰 柯宏明 李香蘭 秦照萍 何傳忠 陳蕙茹

中央氣象局 氣象資訊中心

摘 要

中央氣象局於完成第三代數值天氣預報系統發展(民國 84 年至民國 90 年)後,並於民國 91 年開始進入第四代數值天氣預報作業之建置發展,作業計算主機採用民國 88 年採購之 FUJITSU 5000 型及 FUJITSU 300F 型超級電腦,整體作業控制因應電腦主機之特性而調整作業排程,預報模式因電腦資源之充足,逐年做了多項改進,使得預報精確度亦明顯提昇。整體數值天氣預報之作業流程分為初始資料提供、預報作業主控、作業監控查詢、產品繪圖及資料提供五大階段,各階段環環相扣,緊密運作出每日二十四小時之數值天氣預報自動作業。本文將針對數值天氣預報作業整體控制各階段之作業功能及彼此間之連動作一簡單之現況介紹。

一、前言

中央氣象局數值預報作業發展進入第五階段(葉等,2001)。1984 年之前尚未開始全面業務電腦化計畫,僅於迷你型電腦上進行簡單之東亞正壓模式 48 小時預測與即時資料之接收、解譯及填繪圖。中央氣象局於 1984 年至 1989 年開始推動全面業務電腦化,建置 32MB 記憶體與 5.6GB 之 CYBER180 及 CYBER205 超級電腦,並建置第一代數值天氣預報系統,同時培訓了本局發展數值天氣預報系統之人才,第二期計劃進行五年,自 1990 年至 1994 年,完成第二代超級電腦 CRAY Y-MP8I/632 與 CRAY Y-MP2E/132 之建置,記憶體容量擴增為 512MB,磁碟容量增加為 30GB,最佳計算速度可達 2.6GFLOPS,數值預報系統小組與顧問合作發展第二代數值天氣預報系統(譚等,1994)。第三代數值天氣預報系統之建置於 1995 年至 2001 年進行,超級電腦 FUJITSU VPP5000 與 FUJITSU VPP300F 機器於 1999 年完成建置,數值天氣預報系統整體作業控制並轉移至該新超級電腦執行,因運算主機高速的運算效能,同時可讓數值天氣預報系統得以再進一步提昇其預報能力。2002 年中央氣象局開始執行氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展計劃,今年為該計畫執行之第二年,預計 2005 年將進行下一代高速運算主

機之採購。

本文以針對數值天氣預報作業於 FUJITSU 超級電腦之主控作業,介紹目前中央氣象局之數值預報作業運作情況,其中包含數值預報模式、系統與資料備份、資料清除、上游資料收集、預報產品圖形製作、預報資料提供。第二節說明整體作業控制系統之作業需求與環境,目前中央氣象局作業之數值模式及執行之主控系統將於第三節說明,第四節將針對數值預報作業所需之上游資料提供、產品圖形繪製及預報資料之提供系統加以解釋,最後將對目前整體控制系統之作業情況作一總結及未來發展概述。

二、控制系統之作業需求與運作環境

中央氣象局之數值預報產品除提供預報中心作中、長期天氣預報參考外,同時也提供氣象局及局外之作業系統作為執行預報所需之上游輸入資料,在此需求下,控制系統設計需具備幾項基本需求:(一)二十四小時自動作業化:在系統正常狀況下,所有排定之工作時程均需能定時自動啟動,不需人為介入;(二)作業執行之時效性:天氣預報有既定之對外發佈時間,數值預報執行時,需能掌握執行之時效;(三)產品提供之穩定性:電腦作業可能因軟體本身、硬體因

素、上游問題、網路傳輸.....等，造成作業無法執行，完善的備援機制可提高作業之穩定性；(四)提供監控功能：即時顯示作業執行狀態，並於異常時發出警訊，讓操作員能隨時監控作業運作，並於異常發生時可進行狀況排除。

整體數值天氣預報作業控制可分五大部份：模式執行所需之資料接收、模式預報積分運算、圖檔製作、預報資料傳送及作業監控查詢。基於上述作業需求，除數值模式作業執行因超級電腦昂貴，無法做到完全的雙機備援機制外，其他四部份均採雙機備援之作業方式。模式預報執行主機建構於二台 FUJITSU 超級電腦上：分別為含 15 / 16 個中央處理器、記憶體容量為 8 GB*15 / 2GB*16、最佳計算速度為 9.6 GFlops*15 / 2.4 GFlops*16、硬碟容量為 2 TB / 1.6TB 之 VPP5000 與 VPP300F 二部主機，中期數值模式預報主要執行於運算能力較強之 VPP5000 主機，長期模式預報之運算則由 VPP300F 主機負責，VPP300F 主機同時亦為部份 VPP5000 主機上作業之備援主機。二部主機均與 SILO (可容納 6000 捲磁帶) 自動資料錄存系統相連，數值預報所產生之大量資料定時轉錄存至此儲存空間。

除了數值天氣預報模式執行之作業外，與其相關之上下游作業系統尚包括執行模式預報所需之全球觀測資料與歐洲中期天氣預報中心(以下簡稱 ECMWF)之模式格點資料，經由氣象電碼接收轉發系統 (Meteorological Information Processing System, 以下簡稱 MIPS)之 GTS(Global Telecommunication System)線路接收來自美國、日本與泰國轉發之觀測資料，經過自動氣象資料處理系統(Automatic Meteorological Data Processing System, 簡稱 AMDP)解碼、檢定處理後輸出 FGGE(First GARP Global Experiment)格式資料，供模式預報使用。MIPS 與 AMDP 系統於 2001 年由原來 HP 9000/735 工作站轉建置至 HP L2000 伺服主機，二系統使用二台相同 HP L2000 伺服主機，進行資料相關處理。數值預報產品之應用分兩類提供：一為由填繪圖系統(以下簡稱 GRAPHER)製作圖檔供下游編輯或印出供預報人員參考，另一種則依下游使用者需求，經由網格點資料傳送系統(以下簡稱 RELAY)將數值預報產品以 FGGE 或 GRIB 格式傳送至下游系統，GRAPHER 及 RELAY 二系統於 2002 年由原來 HP 9000/750、9000/755 和 DEC α 工作站轉建置至相同的二台 HP C3000 工作站上，MIPS、AMDP、GRAPHER 及 RELAY 四套系統為與數值天氣預報作業主要相關上下游之二十四小時自動作業系統，硬體上均

採雙機備援機制，即二台機器中有一台被設定為主機(primary)，另一台則設定為備援機器(backup)，二台機器間會互相偵測機器是否正常運作，當主機故障無法運作時，備援機器會接替主機角色，繼續作業運作。HP L2000 與 HP C3000 主機之中央處理器均為 PA8500 型式，運算速度分別為 440MHz 與 400MHz，運算效能約較 HP 9000/735 工作站系列機器約快 4 倍，為發揮機器之最大效能，小組於該次作業機器更換時，同時更改作業方式，即 MIPS 和 AMDP 系統分散於作業主機與備援主機，兩系統各獨自使用一台伺服主機，當某一台故障時，方將故障主機上正進行作業之系統，切換至另一台主機共同作業，待機器修復後，再將作業回復為原來之作業方式。因目前數值天氣預報作業之相關控制系統所使用之 HP 機器性能均不錯，二台機器同時使用可發揮機器之最大運算效能。

在磁碟空間使用效率提昇方面，AMDP、GRAPHER 及 RELAY 三系統由原先使用主機所配備之磁碟，改為連接架置至 HP VA7400 型式之 SAN(Storage Area Network)網路儲存系統，在數值天氣預報相關系統須處理大量資料 I/O 情況，SAN 的使用可提昇 1 倍之存取效率，並可強化磁碟空間的使用效能，可將多餘之磁碟分散予其他系統使用，打破過去局地磁碟使用不完即閒置無法再利用之限制。

網路的通暢性，亦為作業系統所需考量。各主機間以傳輸速度 155 Mbit/sec 之 ATM 網路連接，另備援每秒傳送 10 Mbit/sec 之 Ethernet 網路，兩台 FUJITSU 主機間之網路連接方式為 FDDI 與 Ethernet 兩種方式，FDDI 傳送速度為 100 Mbit/sec。一般使用者透過 Ethernet 和各主機相連接，進行系統之發展與維護，並取得所有產品資訊。

三、數值預報作業主控系統

中央氣象局目前於 FUJITSU 超級電腦執行每日之數值預報作業模式共有八套，客觀預報時效涵蓋三天至三十天。模式客觀資料分析方法除 T120 全球預報模式使用最佳內插客觀分析法先做資料檢定後，再以三維變分分析法進行模式初始場之客觀分析，其餘數值模式之客觀資料分析均採用最佳內插客觀分析法。以下簡述氣象局之作業模式：

- (1)非靜力區域預報模式(Nonhydrostatic Forecast System, 簡稱 NFS)，為涵蓋三層不同範圍之巢狀網格，最外至最內層水平格距分別為 45、15、5

表一 中央氣象局數值天氣預報各模式預報時效

單位：小時

	00Z MAJOR RUN	00Z POST RUN	06Z MAJOR RUN	12Z MAJOR RUN	12Z POST RUN	18Z MAJOR RUN
T120 全球預報模式	00-120	00-12	00-12	00-192	00-12	00-12
T120 全球預報模式 (for MM5)		00-06	00-60		00-06	00-60
非靜力區域預報模式	00-72			00-72		
非靜力區域預報模式 (第二套)	00-72			00-72		
巢狀颱風路徑預報模式	00-96			00-96		
颱風路徑預報模式	00-96	00-96		00-96	00-96	
有限區域預報模式	00-72			00-72		
T79 全球預報模式	00-72	00-12	00-12	00-840	00-12	00-12
系集預報系統				30 天		

公里，三層大致均以台灣為預報區域之中心位置，水平格點數分別為 221 X 127、181 X 193、91 X 121 個網格點，第二三層之邊界資料來自於第一二層，垂直有 30 層，每日二次提供預報產品至 72 小時(表一)。

- (2)非靜力區域預報模式(第二套)(簡稱 NFS_2)，積雲參數化採用 Arakawa and Schubert 積雲對流參數法，上述(1)之模式則採用 Kuo 積雲參數法，模式之其餘架構完全相同，該版本之作業目的為利用(1)和(2)之不同積雲處理方式進行區域預報模式之定量降水預報系集計算，並提供結果予預報人員參考。
- (3)有限區域預報模式(Limited Area Forecast System, 簡稱 LAFS)，為本局上一代之區域預報模式，包含 60 公里與 20 公里粗細兩種網格，垂直為 20 層，粗網格以台灣為中心，水平格點數為 161 X 121，細網格有 91 X 91 個水平格點，邊界條件由本身之粗網格提供，預報至 72 小時之產品主要為提供本局之統計預報模式使用。
- (4)颱風路徑預報模式(Typhoon track Forecast System, 簡稱 TFS)，預報區域視颱風所在位置，採移動式的彈性預報做法，水平格距為 45 公里，水平格點數 191 X 155，垂直 20 層，模式之架構與有限區域預報模式相同，但因颱風發生之洋面上，觀測資料甚為稀少，為有效提升初始分析場對颱風位置、大小及強度之掌握，於初始場之處理上

會植入虛擬渦旋，並調整颱風附近之駛流場，於熱帶低壓或颱風接近台灣時該模式會被啟動，進行四天之颱風路徑客觀預報。

- (5)巢狀颱風路徑預報模式(簡稱 nested TFS)，預報區域固定，包含粗細 45 與 15 公里兩種水平格距，粗網格水平格點數 229 X 181，細網格為 211 X 211，垂直 30 層，模式之架構與(4)相同，該模式亦作颱風相關之虛擬資料處理，該作業於熱帶低壓或颱風接近台灣時啟動作四天之颱風路徑預報。
- (6)T120 全球預報模式(T120 Global Forecast System, 簡稱 T120 GFS)，為垂直 30 層之波譜模式，提供八天之客觀數值天氣預報產品供天氣預報、局內外下游作業系統及模式發展者使用，氣象局所有區域預報模式與民航局作業之 MM5 模式所需之側邊界資料完全由該模式提供。
- (7)T79 全球預報模式(簡稱 T79 GFS)，為垂直 18 層之波譜模式，每日 12Z 進行 840 小時之預報積分運算，預報產品除提供予需求單位外，主要提供系集預報系統使用。
- (8)系集預報系統(Ensemble Prediction System, 簡稱 EPS)，採用中央氣象局、美國、歐洲、日本全球預報模式之歷史預報及觀測資料，針對空間上的每一個網格點分別求出預報樣本模式的權重，進而迅速融合樣本預報結果，進行至 30 天之長期預報。在中央氣象局尚未建置系集預報系統之前，因應長期預報業務之需求，乃應用全球預報模式產品

建置了侯、旬、月、季平均場計算及統計預報之結果供預報中心做長期預報之參考(葉等, 1990)。

數值模式執行之流程可劃分為: 觀測資料接收提供模式使用、觀測資料客觀分析提供最佳初始猜場、模式積分運算提供客觀預報產品、網格預報資料提供下游單位、圖形產品繪製、模式預報結果校驗診斷、網格預報資料儲存、網格預報資料清除。模式本身除各流程之程序需建置外, 八套模式間有些又有上下游之依存關係, 以下先就模式作業流程加以說明, 接著再介紹控制機制之架構。

每日的作業程序開始於定時啟動 AMDP 系統, 將原始觀測資料電碼解碼為 FGGE 格式供模式使用, 為確保模式初始場之分析品質, 目前對探空資料設定一固定觀測量, 若未達到此標準則會延後截取時間, 但顧及模式產品提供的時限, 故於 00Z/12Z 作業啟動後, 資料不足會等待 20 分鐘/40 分鐘再進行模式預報。目前 00Z 及 12Z 預報作業啟動時間, 約為距觀測時間 3 小時, T120 GFS 開始執行客觀分析模組, 完成後繼續執行初始化模組及模式預報, 此時同時啟動 NFS 模式之客觀分析組模, T120 GFS 模式之初始分析場提供 NFS 模式作為初始猜測場, 模式每完成 12 小時之預報時, 同時會帶起 NFS 模式進行同時段之模式預報; 遇有熱帶低壓可能形成颱風或颱風有侵台之傾向時, 預報中心會傳送颱風定位資料至數值預報模式執行環境, 當數值預報模式開始作業預報, 偵測到有颱風定位資料檔, GFS、TFS 及 nested TFS 模式虛擬颱風產生機置即啟動, 颱風模式與 LAFS 模式之作業程序與 NFS 模式相同。T79 GFS 模式作業程序與 T120 GFS 相同, EPS 模式於 T79 GFS 模式完成 840 小時預報後, 再待 ECMWF、NCEP、日本全球模式資料來齊後, 便進行 30 天之預報。除 T79 GFS 模式與 EPS 模式於 VPP300F 主機作業, 其餘模式均於 VPP5000 主機作業, VPP5000 機器目前共有 15 顆中央處理器, T120 GFS、NFS、LAFS、TFS 及 nested TFS 模式分別使用 3、7、1、1、3 顆中央處理器進行預報積分計算, 所有模式可同時各自進行預報。因應海象中心波浪預報需求, 於每日早晚 11 時整, 準時啟動 GFS、NFS 及 TFS(有颱風定位資料時)模式之客觀分析模組, 以提供海象中心執行模式初始場之需求; 另為配合預報中心定量降水預報作業, 於 NFS 模式完成 72 小時預報作業後, 會再執行第二套的 NFS 模式, 目的為進行 NFS 模式降水之系集資料計算。

每日兩次主要預報啟動時(00Z run 和 12Z run)接

收到之觀測資料尚未完整, 為讓 FGS 模式及其下游使用側邊界資料之模式能有更好預報結果, 主控系統會於觀測資料進來較完整之後, 再啟動二次 GFS 模式之 00Z 與 12Z 預報(稱為 post run)。颱風路徑預報模式採同樣作法, 但主控系統不自動啟動, 乃由模式發展者視實際需要由操作員啟動作業。

各模式之預報於 σ 座標運算, 當每一階段之預報結束後, 為迅速提供下游系統使用及繪圖, 主控系統會啟動內插程式將 σ 座標之預測值轉換至氣壓座標。數值預報龐大的資料量, 在 FUJITSU 之主機上, 使用 Empress 資料庫做資料儲存, 在數值預報相關控制系統間之資料流通, 則透過網格資料管理系統(Grid Data Management System, 簡稱 GDMS) 加以管理。其網路上交換資料功能, 使資料可以於任一主機存取, 達到分散式資料處理的目的。所有預報結束後, 主控系統啟動模式校驗診斷模組, 目的在對模式表現能有客觀評估, 做為模式發展人員改進模式之參考。目前的校驗包括計算平均誤差、標準偏差、異常相關、S1 得分、東亞地區降水統計得分診斷、全球環流模式診斷、西太平洋副熱帶高壓校驗、東亞沿海區域降水校驗及衛星資料區域模式之校驗。預報結果的提供, 可分為主動抓取與被動傳送兩種, 被動傳送作業由網格點資料傳送系統執行, 提供資料格式有兩種: 16 位元精確度之 FGGE 格式與 32 位元精確度之 GRIB 格式。需要繪製圖檔之產品, 由主控系統於預報產品產生後, 自動呼叫填繪圖系統啟動相關執行程式進行填圖作業。校驗診斷計算結束後, 資料儲存程序被啟動, 目前 GFS 和 NFS 模式預報資料於 SILO 自動資料錄存系統儲存一年, 另為供外界使用, 定期將預報產品由自動資料錄存系統轉錄至 4 mm 磁帶永久存放。三維空間的數值產品, 需要大量的硬碟空間儲存, 故於每日預報作業啟動前, 主控系統會先定時啟動資料清除業, 以騰出空間進行新的預報作業。

繁雜的數值預報作業, 需有一套主控系統能依序處理銜接上述各項工作。控制檔案主要分兩類(譚等, 1994): (一) 作業類別控制檔案: 依序登錄所有被需求的程序, 維護人員由此檔可容易啟動或停止任何如模式、繪圖、清檔、儲存、校驗等程式, 以利異常作業之排除與啟動; (二) 多組預報使用之參考控制檔: 包含初始資料分析程序、預報時段控制、預報輸出時距控制、執行條件控制、資料提供與出圖控制, 校驗程式控制等, 複雜的執行程序啟動, 乃透過主控程式各執行程式間所建立之系統管道(system pipe)以訊

息交換回報方式來串連起每日的自動作業。VPP300F 主機同時備援 T120 GFS、LAFS 及 TFS 模式之作業，但因 VPP300F 主機之計算速度及記憶體容量與 VPP5000 主機差異甚大，當 VPP5000 系統異常時，移至 VPP300F 之作業並無法準時完成，NFS 模式因所需記憶體容量甚大，無法於 VPP300F 主機備援。

四、數值預報其他相關控制系統

MIPS 和 AMDP 系統接收處理全球觀測資料與來自 ECMWF、NCEP、日本氣象廳與英國之數值模式預報產品，這些產品除提供中央氣象局之數值天氣預報系統使用外，亦提供局內外相關之作業與學術單位使用。填繪圖系統之繪圖類別可分為五種：(一)中央氣象局數值天氣預報產品；(二)由 AMDP 解碼之國外模式產品；(三)觀測資料填圖；(四)氣象局校驗結果繪圖；(五)互動式 Web 介面圖形顯示，除滿足作業需求外亦發展提供模式發展人員所須之圖形顯示介面。龐大的數值產品，需有效率且系統化的迅速傳予下游使用，網格點資料傳送系統即負責該項任務，除傳送中央氣象局之數值產品外，尚包含由 ADMP 系統解碼之國外格點資料。

整體數值預報控制系統在自動化程序建置完備後，另一重要的課題，為如何提供一個齊備的監控環境讓操作員能容易的維持整體作業二十四小時之自動運作，欲滿足該部分需求需具備三方面功能：(一)作業執行程序監控介面；(二)作業異常警示功能；(三)排除異常、作業重新啟動之介面。數值天氣預報整體自動控制之系統，均提供此三項功能，除 RELAY 系統因本身自動重送功能強，故不作異常之警示。

五、結論

中央氣象局歷經二十多年的數值天氣預報模式發展經驗，除了模式預報能力大幅提昇外，在整體自動控制作業上亦配合作業需求，隨時更新調整，目前的

控制發展大致符合作業需求。相較於第二代數值模式的三套作業模式，目前中央氣象局八套作業模式的管理控制複雜度相對提高，中央氣象局正進行第五階段數值預報業務發展計劃，2005 年的新運算主機採購建置，數值模式預報能力可望再提昇，未來整體控制系統的發展重點將著重於控制架構模組化與加強控制功能、監控作業一體化及產品顯示精緻化之方向努力。

六、致謝

數值天氣預報控制系統之發展設計甚具挑戰性，隨著數值模式新方法增加及下游使用者增多的情況，整體架構日益複雜。衷心的感謝這二十年來曾為該系統貢獻心力的同仁及中央氣象局資訊中心同仁，大家的默默付出，成就了中央氣象局紮實的數值預報自動作業架構。特別感謝程家平副主任、林弘倉先生、陳鴻展先生及曾國棟先生提供多項資料與建議，使得本文得以順利完成。

七、參考文獻

- 葉天降、傅娟娟、朱娟德，1990：中央氣象局數值預測系統候旬月平均場之建立。中央氣象局研究發展專題報告第 322 號，25pp。
- 葉天降、慈春慈、黃麗玫，2001：空間資訊處理在數值天氣預報作業之應用。中華民國九十年全國計算機會議。
- 譚允中、蔡翠璧、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，第四十卷，第三期，246-256。