

# 中央氣象局統計預報系統的建立

賀介圭  
中央氣象局預報中心

陳重功 羅存文 王惠民  
中央氣象局科技中心

## 摘 要

中央氣象局(Central Weather Bureau, 簡稱 CWB)在第三期氣象業務全面電腦化計劃下, 積極地進行統計預報作業系統的發展, 為配合氣象局各類動力數值模式的持續開發, 統計預報作業系統的規劃, 主要目的在於提供易於開發數值模式預報產品的應用與迅速維護的作業環境, 此系統具備能同時執行多個動力數值預報模式所開發之 PP(Perfect-prog)或 MOS(Model Output Statistics)等統計預報模式的能力; 並且在維護作業上, 可兼顧由外部輸入維護資訊的型式, 以期降低對 WINS(Weather Integration Nowcasting System)作業系統執行作業的干擾, 而系統的架構方面, 規劃為四個主要的子系統, 分別為: (1)統計預報資料收集與整理, (2)預報模式選取與建立, (3)WINS 統計預報作業系統與(4)預報產品校驗系統, 各個子系統的運作流程與相互支援之規劃, 敘述於本文中, 其中 WINS 統計預報作業子系統, 是實際預報運作的主要核心, 附屬於 WINS 作業系統下被執行, 對各個不同的數值模式預報產品, 進行產品修正或擷取預報指引等多元化的統計應用之預報產品輸出, 以期為中央氣象局更進一步落實預報作業的服務品質。

關鍵詞: 統計預報作業

## 一、前言

統計預報的出現, 在於結合了對特定區域天氣變數的定量預報能力的提升, 與動力數值模式預報產品應用開發的需求, 此種預報作業方式創始於隸屬美國 National Weather Service (NWS) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)的 Techniques Development Laboratory (TDL), 起自 1960 年代, TDL 即擔負起此項預報作業的研發與提供日常預報作業所需之指引。

在統計預報模式技術的發展上, 該實驗室先後研發出了 PP 與 MOS 兩種截然不同的統計預報作業模式, 理論上, MOS 具有自動修正動力數值預報模式所產生的預報偏差與系統性誤差的特性 (Dallavalle, 1988), 且經過長期的使用校驗, 由分析結果顯示出 MOS 確實比 PP 具有更準確的預報能力 (Carter *et al.*; 1989), 因此, 自 1973 年起 TDL 即全部採用 MOS 作為統計預報作業模式的基礎 (Erickson, 1988; Jacks *et al.*, 1990)。

美國氣象預報作業在統計預報指引支援的需

求量上, 以現行的短期預報作業在 1995 年 4 月的使用量為例: 針對全美國地區 717 個測站, 提供每日兩次(00Z 與 12Z)對未來 60 小時內的區域天氣變化之統計預報指引, 所提供的各個區域性天氣變數項目, 包含了 6 與 12 小時段降水機率、逐日最高/低溫度等項目, 合計該月的預報作業量, 單就 NGM MOS 而言, 即高達 1,044,000 條統計預報指引須運算, 顯見統計預報是美國預報員平時執行氣象預報作業的重要參考支援之一。

由於在協助天氣預報作業上的實際效益, 世界各個氣象先進國家, 如加拿大、澳大利亞、日本、法國、義大利、荷蘭及大英國協等國家的氣象預報作業單位, 均相繼致力於發展與應用統計預報作業, 藉以提供更具指引性的預報參考支援。

近十餘年來, 中央氣象局致力於提升天氣預報作業環境的功能, 在第三期氣象業務全面電腦化中, 加入統計預報作業的開發, 並詳細規劃出整套統計預報系統作業流程, 以為日後各式新的統計預報模式開發與維護日常統計預報作業之依據, 以下就統計預報模式的發展概念、中央氣象局的統計預

報模式開發與維護日常統計預報作業之依據。以下就統計預報模式的發展概念、中央氣象局的統計預報發展現況、統計預報作業流程的規劃，及未來持續發展的方向，進行詳細的敘述與探討。

## 二、中央氣象局統計預報發展現況

自民國 72 年 7 月起迄今，中央氣象局在氣象業務全面電腦化的規劃下，已建立了全球(CWB Global Forecast System；CWB\_GFS)與區域動力數值天氣預報模式(CWB Limited Area Forecast System；CWB\_LAFS)，並且每日提供兩次(00Z 與 12Z)各別超前 168 與 72 小時的數值預報作業。目前(第三期氣象業務全面電腦化計劃)，中央氣象局不僅持續 CWB\_GFS 與 CWB\_LAFS 預報作業數值模式的改進，提升模式預報的穩定性與準確度，且更積極的發展非靜力高解析度的中尺度動力數值預報模式(CWB Non-hydrostatic Forecast System；CWB\_NFS)。

然統計預報的發展，則起始於民國 84 年 7 月(第三期全面氣象業務電腦化計劃)。任務上，在於協助預報作業單位應用 CWB\_LAFS 模式預報產品，發展出各個測站每 12 小時段的降水機率、逐日最高/低溫度與日間的雲量分類等預報指引。於發展之初期，採用 ECMWF(European Center for Median-range Weather Forecast)的全球客觀分析場(2.5°x2.5°網格)，對台灣地區冬季的最高/低溫度的大氣環流相關因子進行分析(陳等, 1997)，並應用於現行預報作業所參考的 CWB\_LAFS 與 NMC\_MRF(NMC Median-Range Forecast model)兩組數值預報模式的預報產品，於民國 86 年 1 月及 2 月期間，進行以 PP 統計預報模式的各個測站逐日最高低溫度的平行預報測試實驗與校驗評比分析(陳等, 1998)。由逐步實驗結果顯示，CWB\_LAFS 數值模式存在相當穩定程度的系統性偏差。因此，自 87 年 7 月 1 日起，進行以上述實驗 PP 預報模式架構為基礎，每日二次(00Z 及 12Z)各個測站的超前三段 12 小時降水機率、未來兩日的最高/低溫度的統計預報指引。

由於 PP 模式未鎖定特定的動力數值模式，因

此有監測動力數值模式的穩定狀態與誤差性質及程度的功能，中央氣象局在統計預報發展的步驟上，先採用 PP 模式來監測分析動力數值模式持續發展/或維護改進的狀態(更或由多個不同性質/或特徵的動力數值預報模式中)，分析動力數值模式的穩定程度，作為是否適合進入發展 MOS 模式之重要參考依據。因而，所要建立的統計預報作業系統，需提供符合此種開發過程要求的環境。

## 三、統計預報作業系統的規劃

在統計預報作業運作程序整體的架構上，規劃為四個主要的子系統流程(參見圖 1)：資料整集、預報模式建立、預報作業與預報校驗。以下就此四個子系統的運作流程，詳述如后：

### (一)、統計預報資料整集系統流程

此部份主要的功用，在於收集並整理出所需要的預報元(轉換自觀測資料)與待選預報因子資料庫(由動力數值模式產品析出)。由圖 2 的系統流程指示，預報元部份依照現階段預報作業的需求，將實際的觀測記錄變換成預報(元)項目型式，經轉換後，各別的預報元即按逐日的順序排列存檔。並置放於迴歸預報資料部份待使用。而在待選預報因子資料庫的建立方面，將所收集到的動力數值預報模式產品，經過預報因子運算流程的處理後，按逐日的順序排列成待選預報因子檔案待下個步驟取用。此處運算流程的處理程序順序描述如后：首先將數值預報產品轉換成所需的網格投影格式；若統計預報模式發展與上線預報業的數值模式產品，為同一格式之投影網格則自動跳過不予執行。接著為截取出統計模式中預報因子所需使用的網格範圍，並進行所需要之導出場運算(由系統自動聯結到導出場程式庫)。當所有的數值預報產品場量整集完成後，即進行各類所需型式的因子析取運算處理，將場量網格資料截取轉換成單點(內插至測站位置(STA)或測站鄰近各別四點(SGP))，區域平均(AVG)與主要成份(PCA)等不同型式的因子，再依尋統計迴歸預報待選因子資料檔案所需的格式予以彙集儲存。

## (二)、統計預報模式建立流程

此一子系統的目的，在於建立起預報作業所需之適切的統計預報模式。內容主要包含了迴歸模式設定、預報模式的篩選及檢定分析與預報作業模式彙集等三個步驟(參見圖 3)。由上一個步驟所準備妥的預報元與待選預報因子資料庫，傳入迴歸模式設定步驟時，先設定建立迴歸模式所需求的條件：例如新增迴歸因子的變異量比率必須大於 5%、選取的因子與先前選入者的相互相關程度必須小於 10%、最高/低溫度預報測試的平均絕對誤差值(Mean Absolute Error)小於 2°C 或降水機率測試預報技術得分(Skill Score)大於零等檢定控制參數。接著設定因子篩選所需的程序，其間可選擇傳統的向前選取程序(forward selection scheme; Neter *et al.* 1983)或 UMC(scheme of University of Missouri-Columbia)的逐步相關因子選取程序(Kung and Tanaka, 1985)，來建立迴歸方程。在每一個預報因子選入後，均進行必要的迴歸模式檢定程序，包含有逐一增加迴歸因子的 ANOVA (ANalysis Of VAriance)檢定分析，與進一步的獨立資料組測試的校驗分析。此外在 UMC 的執行程序中，提供執行 Variance Inflation 的逐步檢定，作為因子選取時之嚴格參考因素。經由上述的分析結果中，若有不符合於所設定檢定要求者，則可重新回到迴歸模式設定部份，再重新設定選項條件並重覆此一程序。而通過檢定要求的迴歸模式，亦可再次選擇採取人工檢驗篩選方式，對逐一篩選過程所建立的迴歸方程進行比較。最後，進入預報模式彙集部份，將所有選出的預報迴歸方程整理成統計預報作業所需的預報作業輸入檔案。此檔案不僅提供 WINS 統計預報作業系統上線預報作業時使用，且兼具由外部維護/更新，及降低對 WINS 統計預報作業系統干擾的功能。

預報作業檔案的儲存路徑與格式內容的規劃，以各月為作業執行時的基本單位，月以下分類為各種不同的 NWP 動力數值模式，其下再區分為各個不同的統計預報作業模式(PP、MOS 或混合統計模式等)，各模式內容則包含了需求預報項目的

預報作業檔案(詳細示意於圖 4)。每一組檔案均記載了各別測站的迴歸預報方程(預報因子、迴歸係數及變數變量值)、特殊預報因子所需的處理控制參數與該方程的測試經驗修正對應參考值(如所預報的 PoP 值大於 50%，一律增加 20%)等三部份。其中，特殊預報因子處理部份，為預設之作業維護窗口，便於由系統外界直接處理不同型式的新增或特殊用途的預報因子，以維護模式的正常運作。

## (三)、WINS 統計預報作業系統流程

本子系統為日常預報作業的主要運作核心，功能在於處理所有支援預報員所需的各式預報指引。此系統主要架構在 WINS 天氣服務系統下執行，所需之 NWP 數值模式在執行預報作業完畢後，透過作業系統以參數方式自動啟動執行相對應於該 NWP 數值模式的統計預報作業程序。

按 WINS 統計預報作業系統運作規劃指示，執行時以同一個特定動力數值模式項下的所有統計預報模式，為進出系統運作流程的基本運作架構。因此，預報作業系統依尋圖 4 所示的 NWP 模式(i)，逐一載入預報方程檔案，進出圖 5 的作業系統流程，進行各別的統計預報運算。

此系統執行流程劃分為三個部份(參見圖 5)，分別為預報因子轉換、迴歸預報運算與預報指引/因子儲存。當該月的統計預報作業檔案與檔案 0 (由外部控制宣告相容之預報因子)載入預報因子轉換部份後，在檔案 0 的配合下，對同一動力數值模式下的所有統計預報模式(PP 或 MOS 等)之共同預報因子進行摘要整理，區分出共同的基本場、導出場與共同的預報因子等三組暫存的資料檔案清單。當前置作業完成的 NWP 預報產品載入時，即根據基本場與導出場兩組檔案清單，選取出統計預報作業所需的共同場量；當輸入的 NWP 模式產品和統計預報因子處於不同網格投影格式時，系統先將網格轉換成預報因子所需之投影網格格式，再進行網格資料範圍的截取。其次若存在數值模式未提供之導出場，系統會自動聯結導出場副程式庫完成運算，同時結束第一部份的作業流程程序。

第二部份為迴歸預報運算，根據所整理出的共

同預報因子檔案，並透過因子分析運算處理程序，逐一的由所截取網格範圍內的基本場與導出場量，析取出所需的各種預報因子；其中若含有特殊預報因子，需進行特殊方式個別處理，則參考檔案中所附的“特殊預報因子處理參數值”予以計算。當所需預報因子處理完成後，按照輸入此系統的統計預報作業檔案內容的各別迴歸方程，計算出各個預報項目的預報值；若預報方程有提供“測試經驗/預報維護修正的對照資料”，即可對該預報值進行對照修正，進一步調整已存在的系統性誤差，完成預報指引的運算。並依照預報人員所需的預報指引參考形式組合，展示於 WINS 的顯示系統上，或整理印製成預報單型式，提供預報作業參考。

第三部份為儲存上線預報的結果，在迴歸預報運算部份中所使用的各個預報因子、預報值與由經驗修正的預報值，均依據圖 6 所示的途徑(與圖 4 所示一致)與格式歸類儲存，以備校驗系統進行預報校驗與結果分析。在各個歸檔的方式上，預報值與修正預報值按全省各測站順序排列，每站依逐日的 00Z 及 12Z 預報順序，存入 NWP 模式所提供的客觀分析場(Obj)與各超前預報時段(12h, 24h, 36h, 48h)的預報結果；預報因子的儲存格式內容與預報值的內容一致。

#### (四)、統計預報校驗系統流程

此一系統的功能，在於儲存與校驗上線預報的結果。主要程序計有彙集資料庫、預報校驗分析與分析諮詢參考三部份(參見圖 7)。首先，預報結果資料庫的建立，負責收集、整理與儲存前一個子系統所執行完成的統計預報產品，與各個測站的各預報項目的觀測資料，並整理轉換成所相對應的預報元之形式，準備提供各式校驗項目取用。

第二部份：預報校驗分析，主要規劃有兩個校驗區間。其一為自動校驗區間，功能在於對所有儲存的各種預報值與預報因子，執行例行性(逐月或季)的自動校驗評比分析。其二為開發分析技術使用，不僅提供某預報項目在個別特殊事件期間的校驗分析，亦可供給資料進行新的校驗技術之開發測

試使用；而此一校驗技術的開發成果，經驗證肯定後，可列入自動校驗程序中，成為校驗作業的執行校驗項目之一。

最後為校驗分析諮詢參考部份，接續前一部份的例行自動作業的預報值與預報因子之評比分析結果，可展示在 WINS 系統的顯示窗口下，隨時提供預報作業人員、動力數值模式與統計預報技術發展人員參考諮詢，做為預報值的修正與模式維護之依據。並且將分析結果予以存儲，以備需要時查驗。

## 四、結語

統計預報的目的，主要是為了協助預報員瞭解與應用動力數值天氣預報模式的預報特性於日常天氣預報上，達到提升預報服務品質之效果。並且於無形中，亦成為監測動力數值模式持續發展的有效工具之一。

中央氣象局統計預報作業系統的規劃，乃基於配合氣象局各式動力數值預報模式未來的持續發展，提供適切地於各種預報作業所需的預報指引項目之開發及應用的環境。此一作業系統具備容納多組不同性質的動力數值模式的統計預報模式同時執行，且隨實際預報作業的需求，自動啟動各種統計預報模式的預報指引運算與預報結果校驗。

未來此一預報作業系統，更有效的擴充到支援長期預報作業流程化與更新

## 五、參考文獻

- Carter, G. M., J. P. Dallavalle, and H. R. Glahn, 1989 : Statistical forecasts based on the National Meteorological Center's numerical weather prediction system . *Wea. Forecasting*, 4, 401-412 .
- Dallavalle, J. P., 1988 : An evaluation of techniques used by the National Weather Service to produce objective maximum/minimum temperature forecasts . *Eight Conference on Numerical Weather Prediction*, Baltimore , Amer. Meteor. Soc. , 572-579 .

Erickson, M. C., 1988: Development and evaluation of perfect prog guidance based on output from the nested grid-model. *Eight Conference on Numerical Weather Prediction*, Baltimore, Amer. Meteor. Soc., 565-571.

Jacks, E., J. B. Bower, V. J. Dagostaro, J. P. Dallavalle, M. C. Erickson, and J. C. Su, 1990: New NGM-based MOS guidance for maximum/minimum temperature, probability of precipitation, cloud amount, and surface wind. *Wea. Forecasting*, 5, 128-138.

Kung, E. C., and H. Tanaka, 1985: Long-range forecasting of temperature and precipitation with upper air parameters and sea surface temperature in a multiple regression

approach. *J. Meteor. Soc. Japan*, 63, 619-631.

Neter, J., W. Wasserman, and M. H. Kutner, 1983: *Applied linear regression models*. Richard D. Irwin INC., Homewood, Illinois, 547pp.

陳重功、羅存文與王惠民，1997：影響台灣地區冬季最高/低溫度變化之相關天氣因子分析。 *天氣分析與預報研討會論文彙編*，中央氣象局，台灣，台北，481-490。

陳重功、羅存文與呂國臣，1998：冬季最高/低溫度統計預報測試分析。 *天氣分析與預報研討會論文彙編*，中央氣象局，台灣，台北，255-260。

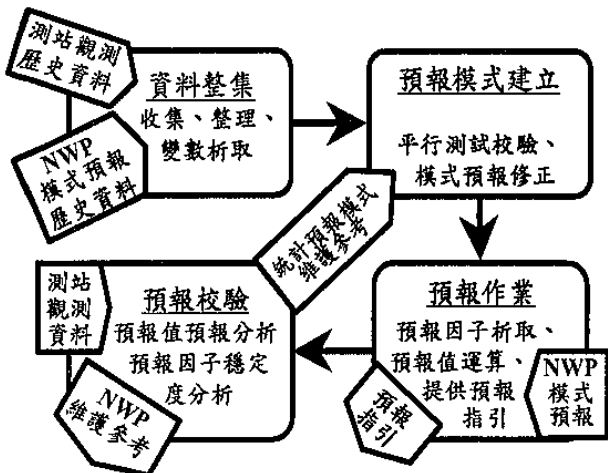


圖 1 統計預報系統運作流程

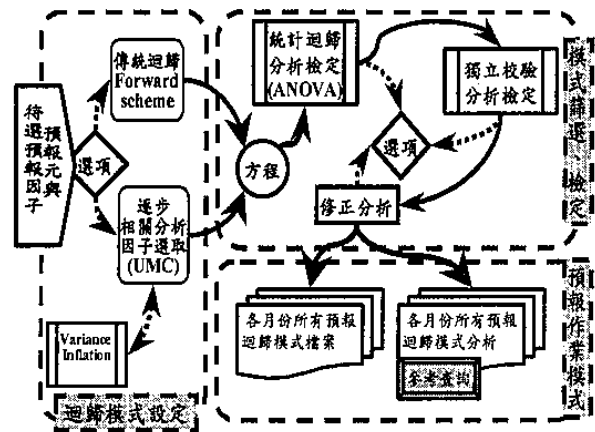


圖 3 統計預報模式建立流程

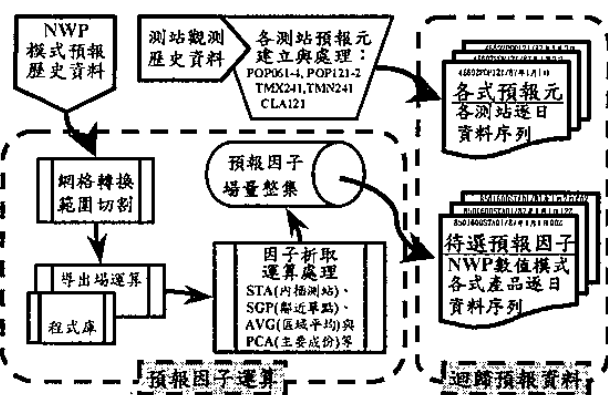


圖 2 統計預報資料整集系統流程

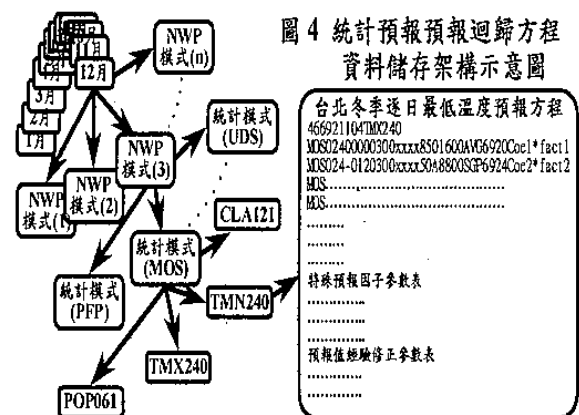


圖 4 統計預報預報迴歸方程資料儲存架構示意圖

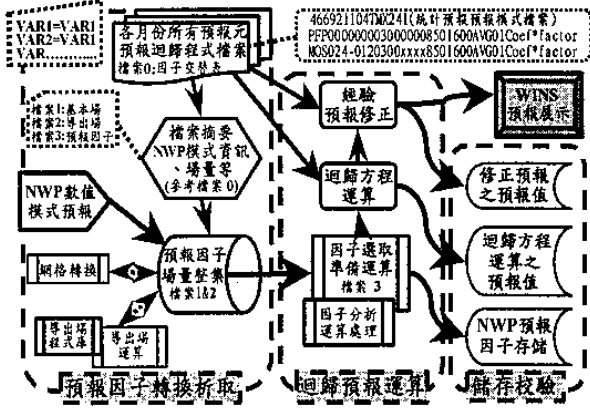


圖 5 WINS統計預報作業系統流程

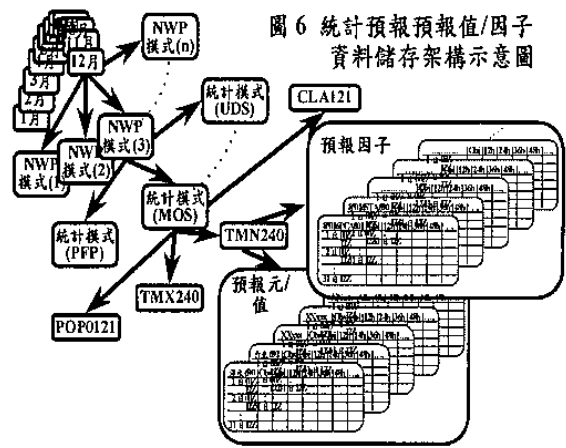


圖 6 統計預報預報值/因子資料儲存架構示意圖

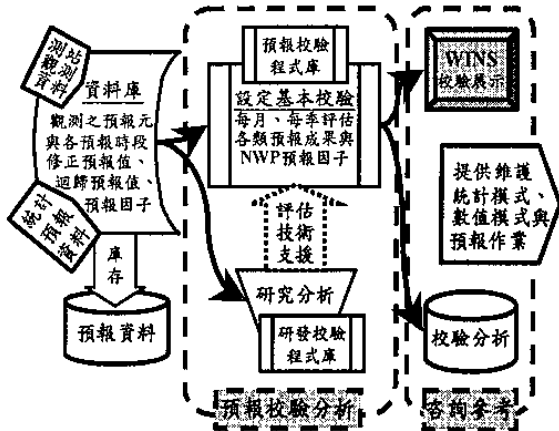


圖 7 統計預報校驗系統流程