

中央氣象局數值預報資料同化的發展

滕春慈 劉其聖
氣象資訊中心 美國海軍研究院

摘要

氣象局第一代全球數值預報模式於民國 77 年正式上線，進行為期五天的全球數值預報作業。該作業系統將傳統由 1000 毫巴至 100 毫巴的觀測風與高度如：探空資料、地面天氣資料、使用 Barnes(1964)，二維單變數逐次調整客觀分析法，內插至模式 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 均勻網格點上。第一代數值預報作業系統上線作業後，氣象局旋即開始第二代數值模式的發展，在綜觀當時的環境選擇和 ECMWF 架構類似的統計最佳客觀分析方法(Lorenc, 1981; Barker, 1992)，結果顯示這個方法較 Barnes 客觀分析法更能掌握到大氣的結構，有較佳分析能力。

當氣象局致力第二代數值系統預報開發的同時，國際上在資料處理方面也有新理論與技術的發展。其一是三維或四維資料同化技術的開發，其二是衛星資料大量被數值預報使用。非傳統資料的開發，補充了觀測資料在廣大熱帶洋面的不足；資料同化技術的開發則將非傳統資料和數值預報模式充分的結合。台灣地理位置特殊，南面熱帶地區與東邊的太平洋上發展的熱帶氣旋對台灣地區天氣的演變影響重大，可是由於這些區域是傳統資料最缺少的區域，這限制了台灣數值預報模式的預報能力。為了數值預報模式可以大量結合這些多樣化的非綜觀觀測資料如衛星輻射量、密集飛機觀測風等，未來氣象局將致力於變分法資料技術的開發。一方面開發三維變分法的客觀分析方法，另一方面將對四維變分法作前瞻性的研究，期望氣象局未來的作業系統可以改善目前觀測資料缺乏的問題，提昇氣象局數值預報模式在分析場與預報場的能力。

一、前言

中央氣象局有感於全球資訊與氣象業務的發展，特於民國七十三年開始籌劃“氣象業務全面電腦化計畫”，第一期計畫的首要目標是將人工氣象預報作業方式改為自動化，同時引進超級電腦從事數值預報工作的發展。第一期計畫如期於民國七十八年正式上線作業，其中全球數值預報模式於七十七年年中即上線，從事一日二次，每次五天的全球氣象場預測。同時期國際上數值預報技術也迅速的發展，一期計畫規劃時許多開發中的技術均成熟且被作業單位採用成為作業模式。有鑑於此，氣象局於“氣象業務全面電腦化計畫”結束後即刻展開了氣象業務全面電腦化第二期計

畫”。

在第一期計畫數值預報奠定的基礎下，氣象局第二期計畫執行時不論在規劃時的前瞻性或執行時的變通性都有了顯著的改善。民國八十三年底，中央氣象局第二代數值天氣預報系統正式上線作業，不論是硬體架構、網路環境及數值預報模式本身和國際氣象作業中心類似。第二代全球數值預報模式是採用波譜模式，水平與垂直的解析度分別為 T79Z18，物理的處理則包含有：地表面通量(Lious, 1979)、k-理論邊界層處理(Detering 和 Egling, 1985)、Hashvardhan 輻射通量計算(1987)、層雲、積雲的參數

(Slingo and Ritter, 1985 ; Slingo, 1987)、參雲對流處理(Moothi and Suarez, 1992)、非降水的淺對流處理(Tiedtke, 1984)與大尺度降水等。第二代數值天氣預報系統的客觀分析是採用三維多變數統計最佳客觀分析法, 分析的變數是由 1000 毫巴至 10 毫巴標準氣壓面和 925 毫巴上的重力位高度與風。當氣象局第二代數值預報作業系統上線作業後, 國際上由於資訊環境的快速轉變與資料同化技術的迅速發展, 氣象局在未來幾年內又必需因應潮流, 加速相關方面的研發工作。

本文主要是針對氣象局過去、現在與未來資料同化技術的演變作一個粗略的介紹。第二節中將就第一代數值模式中資料四維同化技術做一個簡單的介紹。第三節中將就本局現行的資料同化技術做說明。第四節中, 本文將就目前所規劃之未來工作一簡單的介紹。第五節為結論。

第二節 Barnes 客觀分析法

氣象局第一代資料處理系統, 除了客觀分析方法的建立外, 另外一個重要的發展是建置兩條美國和日本高速衛星傳輸線路接收全球即時觀測資料。在軟體方面發展了氣象資料自動處理系統(曾, 1992 ; 江等, 1991), 處理氣象電碼分類、解碼與檢定等工作。其中採用類似 ECMWF 的檢定理念為基礎, 所有的觀測資料均經過時效檢定和範圍檢定, 而探空資料則再經過垂直一致性檢定。由此氣象局可以接收與快速、自動化處理全球觀測資料, 奠定數值預報工作的基石。

第一代數值模式的客觀分析法採用 Barnes(1964)逐次訂正二維單變數客觀分析, 在水平解析度 2.5x2.5 度經緯網格上, 分析 1000 毫巴至 100 毫巴的風與高度場。觀測資料對格點影響權重 W_i 和距離成反比, 例如:

$$W_i = \exp(-R_i/R_0)^2$$

R_i 是觀測資料和格點的距離, R_0 是一個常數用來定義背景場和觀測資料權重的比例以及觀測資料在不同方向權重比例。質量場的分析, 權重函數在各方向一致, 分佈呈圓形; 風場的分析, 權重函數在風的方向較其它方向為大, 函數分佈呈香蕉形。分析所使用的觀測資料有地面站的氣壓、風, 探空資的高空風與高度, 氣球報的高空風, 飛機觀測的風以及衛星觀測的風等。

由於分析時, 風場和質量場是互相獨立, 資料在進入預報模式前, 利用變分法同時調整風場和質量場, 使之滿足非線性平衡關係式(Barker, 1982)。另外, 使用 12 小間式資料同化, 利用模式的預報場將大氣的資訊, 逐漸由資料豐富的地區傳向資料稀疏的地區如: 台灣東邊的太平洋(Liou et al., 1989)。

第三節 最佳統計客觀分析法

氣象局第二代數值預報系統在軟、硬體環流上均有了另一個風貌, 在資訊環境上, 數值預報作業系統已改 UNIX 開放式架構、網路環境與資料庫管理。

此時, 觀測資料檢定更增加了自動偵測並修正錯誤資料的功能, 這主要是跟隨美國環境預測中心(NCEP)所發展的靜力平衡品控系統(CHQC)(Collins and Gandin, 1990)。氣象局 CHQC 經過相當長時間的平行測試後, 也證實(江和陳, 1994), 這種方法可以修正約佔總接收量 7%左右的錯誤資料, 提高在亞洲區印度、蒙古、中南半島、台灣地區及資料稀少的非洲、中南美洲與太平洋島嶼等區域的資料, 對數值預報能力有相當重要的影響。

Gandin, 1963 年發展統計客觀分析法, 證實在觀測資料對格點的權重設為

$$W_{ik} = \sum_j M_{ij}^{-1} h_{jk}$$

M_{ij} 是所有觀測資料 i 與 j 間的誤差相關矩陣； h_{jk} 是觀測資料 j 和分析格點 k 之間預報誤差的相關向量。

時，長時間平均而言，會有最小的平均分析誤差。除此之外，統計客觀分析方法在物理特性上也俱有下列幾個優點：(1)這是一分析方法俱備了外插的特性；(2)是一個分析方法其權重可以依觀測資料的疏密自動調整；(3)容易使用多變數分析的分析方法。有了上述之優點，從 80 年代中開始至 90 年代中，各個作業中心的客觀分析方法均逐漸改採統計客觀分析法。

中央氣象局由民國八十一年開始發展統計客觀分析方法(滕和劉，1992)，主要是以 ECMWF 為主幹的統計客觀分析方法(Lorenc，1981；Barker，1992)，這個方法將格點分成一區一區進行客觀分析，同一個區域採用相同的觀測資料，這個的好處是一個區間可以使用較多的觀測資料量。氣象局統計客觀分析法於民國八十三年正式上線作業，由個案測試比較的結果，證實統計客觀分析方法，比 Barnes 對高度場的掌握較佳。在熱帶風場上的分析也證實，當觀測資料充分時，的確可以分析到和 ECMWF 或 NCEP 的熱帶風結構，同時可以提昇一天左右的預報能力，使氣象局全球預報在 5 天內的 Anomaly Score 均大於 0.6。

觀測資料的使用較之前，最主要是增加了衛星厚度資料的使用，由李和陳(1995)；陳和李(1995)，的研究顯示，6 小時間歇式資料同化時，衛星資料對南半球的分析與預報有非常明顯的正值影響。

第二代風場與質量場的分析，除了客觀分析背景誤差統計量的使用考慮了風場與質量場的關係外，主要還是互相獨立，第二代初

始方法是使用非線性正模初始化，這個方法是去除了較短週期的重力波，使模式在預報過程中快速達到平衡(Liou et al.,1997)。

第四節 變分法客觀分析法

回顧過去展望未來，氣象局目前必需致力於觀測資料種類的開發。目前氣象局數值預報僅使用 GTS 上傳統的觀測資料，非傳統觀測資料也僅只於 GTS 上衛星導出風與衛星導出厚度，這和一般作業中心比較明顯不足。熱帶廣大海洋地區觀測資料的開發，對氣象局數值預報能力的提昇會有明顯的改進，各類衛星資料是目前最被重視的非傳統觀測資料之一，如何開發衛星資料如：衛星輻射資料、SSM/I，衛星密集風等的使用，是未來資料同化小組重要工作之一。和衛星資料使用相輔相成的工作是變分法客觀分析的開發，由於求極小值技術的發展，變法中使用各類資料的限制減小。這原也是統計客觀分析方法的優點之一，但是必需透過統計函數關係，限制了統計客觀分析中各類資料的使用；又統計客觀分析法中，需要有反距陣的運算相當耗時，限制了統計客觀分析法中觀測資料個數的使用；同時，統計客觀分析中為了反距陣的運算，在誤差的統計特性中特別要求，等方向性與均質性。而預報模式中在高緯度、低緯度、陸地、海洋等區域，預報特性不同，限制了統計客觀分析法對這些細緻特性的掌握。上述統計客觀分析方法的限制，使越來越多的作業中心開始開發變分客觀分析法，這也是氣象局資料同化小組的目標之一。

在實驗中發現，分析場中觀測資料的訊息，有時和預報背景場相差較大時，會在預報過程中遺失。為了儘量保留觀測資料，同時滿足預報模式，連續性資料同化技術的研發是氣象局資料同化小組未來研究發展的重點工作之一。四維變分法的資料同化是目前最被重視的項目之一，但是在這複雜的技術尚未成熟至

上線作業以前，將先著手於動力初始化技術的開發或開發電腦資源需求較小的連續性資料同化的開發，力求將觀測資料作最極致的使用。

五、結論

過去氣象局在數值預報工作小組同仁的努力下，資料處理的技術一直隨著國際舞台的腳步未有停滯，資料處理的技術一再的更新，致力於觀測資料的充分使用。使數值預報的初始場建立在一個最能表現真實大氣的情況下。隨著衛星資料和數值預報充分的結合，資料小組同仁將秉持過去研發的精神，希望在未來 3-5 年內，氣象局資料同化又呈現另一個面貌。

誌謝

本文作者僅是氣象資料處理小組之一成員，文中多處均摘自小組成員過去發表的文章，如；李尙武、陳雯美、曾文雯等，在此特別對他們以及其它工作小組成員；黃麗玫、洪景山、周鑑本等過去的努力，使氣象局資料同化技術不停止的發展，致上最深的敬意。

參考文獻

- 江火明、曾文雯、陳雯美，1991；中氣象局的氣象資料檢定系統。天氣分析與預報研討會論文彙編，1991，台北，111-119。
- 江火明、陳雯美，1994；中央氣象局更新之氣象資料品控系統。天氣分析與預報研討會論文彙編，1994，台北，107-114。
- 李尙武、陳雯美，1995；衛星資料與傳統探空資料在四維資料同化結果之比較。天氣分析與預報研討會論文彙編，1995，台北，246-250。
- 陳雯美、李尙武，1995；四維資料同化週期對全球預報模式結果之影響，1995，台北，

251-258。

- 曾文雯，1992：中央氣象局自動氣象資料處理系統之現況研究。氣象學報，38 卷第二期，119-133。
- 滕春慈、劉其聖，1992；中央氣象局最佳客觀分析法的發展現況。天氣分析與預報研討會論文彙編，1992，台北，17-22。
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, 396-409.
- Barker, E. H., 1992: Design of the navy's sumtivariate optimum interpolation analysis system. *Wea. And for.*, 7, 220-231.
- Detering, H. W. and D. Etling, 1985: Application of the E-e turbulence model to the atmospheric boundary layer. *Bound.-Layer Meteor.*, 33, 113-133.
- Gandin, L. S., 1988: Complex quality control of meteorological observations. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1138-1156.
- Harshvardhan, R. Davies, D. Randall and T. Corsetti, 1987: A fast radiation parameterization for atmospheric circulation models. *J. Geophys. Res.*, 92, 1009-1016.
- Liou C. S., J. H. Chen, C. T. Terng, F. J. Wang, C. T. Fong, T. E. Rosmond, H. C. Kuo, C. H. Shiao and M. D. Cheng, 1997; The second generation global forecast system at the Central Weather Bureau in Taiwan. To be submitted to *Weather and Forecasting*.
- , C.T. Terng, W. S. Kau, T. Rosmond, C. S. Chen, J. H. Chen and C. Y. Tsai, 1989: Global weather forecast system at

- Central Weather Bureau. Papers in Meteor. Res., 12, 205-228.
- Lorenc, A. C., 1981: A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. Mon. Wea. Rev., 109, 701-721.
- Louis, J. F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. Bound. -Layer Meteor., 17, 187-202.
- Moothi, s. and M. J. Suarez, 1992: Relaxed Arakawa-Schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. Mon. Wea. Rev., 120, 978-1002.
- Slingo, J. and B. Ritter, 1985: Cloud prediction in the ECMWF model. ECMWF Tech. Rep. No. 46, 48pp.
- Slingo, J., 1987: The development and verification of a cloud prediction scheme for the ECMWF model. Quart. J. Roy. Meteor, Soc., 113, 899-927.
- Tiedtke, M., 1984: The sensitivity of the time-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. ECMWF's Workshop on Convection in Large-Scale Numerical Models, ECMWF, Reading, 297-316.

Abstract

The five days global forecast system (GFS) which started its operation in 1988 at the Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan. The first generation global forecast model using Barnes(1964) two dimensional univariant scheme that interpolate the observational wind and height from 1000 hPa to 100 hPa to uniform 2.5X2.5 grid system. Immediately after the GFS became operational, a six year project was started to improve the GFS. The project was designed to bring the GFS up to the proven NWP techniques at that time, so, same as ECMWF's volume optimum interpolation was choice as the objective analysis scheme. It's started operation in January 1995 and indeed shows more performance then before.

The variation data assimilation method and satellite data are used by NWP model has been heavily development during the last ten years. These can increase the observation data in the vast tropical ocean area and improve the quality of data analysis and forecast over this area and the others. This is what CWB data assimilation will involve in the near future. Increase the observation amount over the South China Sea and the Western Pacific to have a better analysis and forecast of weather system by NWP near Taiwan area. To this purpose, either a 3 dimensional variation objective analysis or a 4-dimensional variation data assimilation will develop at CWB.