

中央氣象局數值預報系統四維資料同化之現況與展望

李尙武 陳雯美 黃麗玫 滕春慈 周鑑本 洪景山
中央氣象局

摘要

本文分析中央氣象局數值天氣預報之資料同化的現況，並對目前有關資料同化之趨勢略作評估以做為氣象局數值預報之資料同化未來發展之參考。主要分析內容包括觀測資料的空間分佈、時間分佈。客觀分析與現行間歇式同化概況。目前CWBNWP的主要傳統資料與ECMWF之資料量相近，但是在衛星觀測資料上則遠少於ECMWF與NMC。傳統資料的時間分佈上，仍以12小時的觀測週期為主。空間分佈在水平上以陸地最密而南半球最疏，在垂直分佈上以高對流層(300hPa-200hPa, 含傳統探空、衛星觀測及飛機報告等)與地面觀測為最多。在不同的觀測種類上以高層的風場觀測含傳統探空、衛星觀測及飛機報告等三種最多。對於這些資料的同化在傳統上以靜態的客觀分析與初始化為主。近年來資料同化方法有趨向連續性資料同化方法的趨勢也是本局考慮的方向。

一、前言

台灣位於亞洲大陸與太平洋之間，氣候特性屬季風氣候區的特徵。在此區域內除印度，中南半島與中國大陸外更涵蓋印度洋，南中國海及部份西太平洋等資料匱乏地區。並因此造成資料分佈不均勻。觀測資料的缺乏與觀測的時間及空間分佈的不均勻直接影響我們對大氣的瞭解和認知，更由於此種初始資料的分佈缺陷增加了研究人員及應用(預報)人員許多困擾。近年來由於觀測技術的發展使氣象工作者除了傳統的綜觀觀測網的資料之外更增加了飛機，衛星與各種雷達等非綜觀尺度的觀測資料。正確的資料處理不但提供數值模式正確的初始場做為正確模擬的必要條件，更可提供診斷分析研究一正確的觀測分析場。因此，如何有效而且有系統的使用這些綜觀及非綜觀觀測資料便成為資料處理的重要的研究項目之一。利用數值模式的輔助使資料同化從原來的靜態客觀分析與初始化進而為動態的連續性同化。此種包容不同時間的四維資料同化可以提供一正確並具有動力的一致性的分析資料。由於數值預報技術的發展與成熟，藉由模式的預報與模擬使得數值模式成為資料同化的最佳工具。配合數值模式的應用，資料同化方法可分為間歇式同化法(Intermittent Data Assimilation)與連續式同化法(Continuous Data Assimilation)。前者乃傳統的資料同化法，結合客觀分析，初始化與數值模式在固定時間進行資料分析與初始化。主要特色係採用模式預報做為初始估計值來彌補觀測資料之不足。雖然也將不同觀測時間的資料納入分析，但是對分析時間以外之觀測資料只以權重方式內插入特定的分析時間。對於不同種類的觀測資料通常也只以統計特性

事先決定其使用的權重。

本文的目的在分析中央氣象局的資料與作業現況以利於未來資料同化系統的規劃設計及推展。第二節分析本局的資料及作業現況。第三節概述資料同化技術的現況與各國趨勢。最後結語評估本局在未來的近程及遠程目標。

二、資料與分析作業現況

a. 資料現況

資料的蒐集與處理不只是數值預報或資料同化的重要項目，也是氣象預報作業中不可或缺一環。目前中央氣象局接收的資料以GTS(Global Telecommunication System)為主，另外接收衛星觀測資料。前者以電碼形式接收以後再加以解碼、檢定以提供下游的數值處理。後者則分別來自GMS與NOAA兩個衛星系統。另外，新一代的雷達觀測則在規劃中。

GTS資料

本局目前是由DATA GENERAL MV7800前置電腦即時接收主要為來自美國及日本兩條線路的GTS(Global Telecommunication System)資料後，傳送至HP工作站由自動氣象資料處理系統(AMDP; Automatic Meteorological Data Processing System)進行不同報別資料的分類、解碼及檢定(曾 1992)。目前經解碼檢定可供使用的資料有15種報別(未含網格點資料)。其中提供數值天氣預報使用的以高空觀測之TEMP、PILOT、AIREP、SATOB、SATEM及地面觀測之SYNOB及SHIP等資料為主。各主要報別的說明及其主要的氣象觀測要素如表一

表一 主要電報的種類與觀測要素

報別	觀測種類	觀測要素	垂直分佈	水平分佈限制
TEMP	地面探空觀測	高度、溫度、露點溫度、風	多層(密)	地面
PILOT	地面高空風觀測	風	多層(密)	地面
AIREP	民航飛機觀測	風	200hPa附近	不限
SATOB	衛星風觀測	風	多層(疏)	不限
SATEM	衛星探空觀測	厚度、可降水量	多層(疏)	不限
SYNOP	地表綜觀天氣	氣壓、溫度、露點溫度、風	單層	地面
SHIP	船舶綜觀天氣	氣壓、溫度、露點溫度、風	單層	海面

所列。表一顯示傳統觀測資料的分佈以陸地為主，而衛星與飛機的觀測則不受地面或海面的限制，在水平分佈上有較大的伸展空間但是在垂直分佈的層次則集中在特定幾層(圖一)。SATOB主要以850hpa與250hpa最多。SATEM則以1000hPa與10hPa為參考面；可降水量的資料很少，以1000-700hPa、1000-500hPa及1000-300hPa三層的資料為限。

在資料量方面，表二是日常作業資料量的例子。任意選取的時間為1994年4月10日至4月14日各主要報別的平均資料量，其中00Z及12Z係指數值預報系統每天進行兩次客觀分析的時間。這兩次客觀分析取用資料的觀測時間範圍分別是00Z為18Z至05Z而12Z則自06Z至17Z。兩次分析在傳統資料量的差別有限，其中12Z略少。但衛星的SATOB在12Z因太陽位置而明顯減少。在時間的分佈上，如圖二所示。每一種觀測資料的觀測時間、頻率亦不盡相同。由圖可以知道，其中SYNOP、SHIP及SATEM為每三小時觀測一次，TEMP、PILOT及SATOB則為每6小時一次(但並不集中於某一小時觀測)。AIREP在每個小時均有觀測資料，且資料量在時間的分佈上相當平均。但只集中在250hPa附近。

資料的水平分佈則如圖三至圖五所示。由圖可以看到傳統探空資料(TEMP及PILOT)主

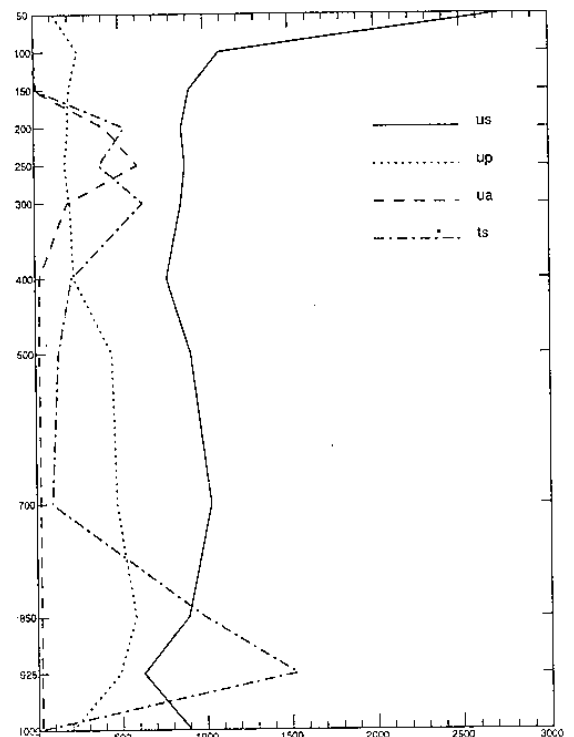
要分佈於陸地，廣大的洋面則主要為飛機及衛星觀測資料(AIREP、SATOB及SATEM)所涵蓋。無論是地面或探空資料，傳統觀測資料的分佈相當不均勻。測站分佈主要集中於北半球，佔各種觀測的所有資料80%以上(陳1993)。

這些不同的觀測報別分別來自不同觀測儀器且各有不同的特性(如誤差、代表性等)與觀測要素。就資料的時間及空間分佈而言，我們能夠瞭解每天作業的觀測資料已包含綜觀及部份中尺度天氣系統。因此，如何善用這些觀測要素、時間、空間及品質不盡相同的資料得到最合理，最接近大氣真實狀態的分析場，為現今資料同化之重要課題。

表二:各種主要觀測資料在主要分析時間的資料量

REPORT	00Z	12Z
TEMP	672	623
PILOT	351	341
AIREP	1481	1455
SATOB	4227	1978
SATEM	1333	1405
SYNOP	3745	3263
SHIP	485	470

note : mean during 940410-940414.



圖一:US,UP,UA及TS等觀測資料的垂直分佈

表三：各種主要觀測資料的逐時分佈(1994年4月10日-14日)

REPORT	18z	19z	20z	21z	22z	23z	00z	01z	02z	03z	04z	05z	06z	07z	08z	09z	10z	11z	12z	13z	14z	15z	16z	17z
TEMP	8	1	0	0	1	242	405	5	1	0	0	9	7	0	0	0	4	223	376	2	0	2	1	7
PILOT	60	0	0	0	2	112	72	1	0	1	2	100	65	0	0	1	1	116	62	0	0	0	9	86
AIREP	110	116	115	122	142	67	139	140	135	129	141	125	105	87	103	124	113	123	139	162	154	124	105	116
SATOB	82	0	0	0	0	0	1033	0	0	0	2186	926	105	0	0	0	0	1034	0	0	0	0	0	839
SATEM	353	0	0	327	0	0	367	0	0	286	0	0	386	0	0	373	0	0	379	0	0	267	0	0
SYNOP	3493	0	0	1765	0	0	3745	0	0	1671	0	0	3775	0	0	1729	0	0	3643	0	0	1326	0	0
SHIP	478	0	0	37	0	0	485	0	0	37	0	0	491	0	0	31	0	0	470	0	0	29	0	0

NOTE : mean during 940410-940414

衛星資料

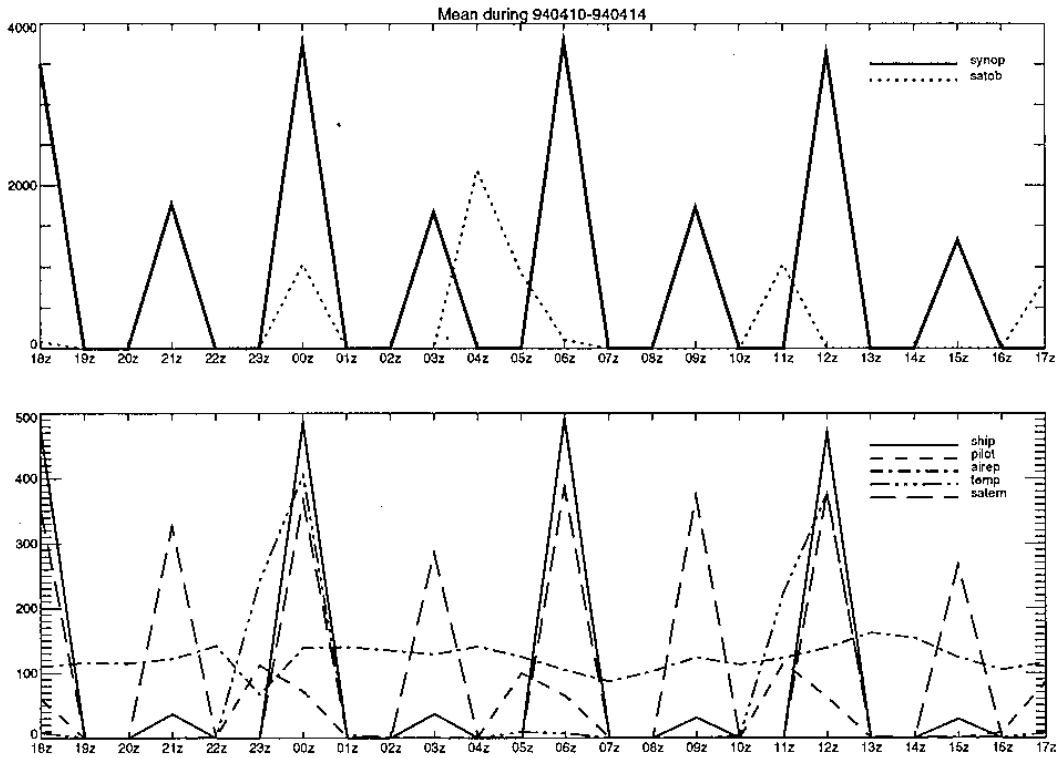
除了GTS上的SATEM, SATOB及SARAD等衛星資料外, 本局還接收地球同步衛星GMS與繞極軌道衛星NOAA11、NOAA12的訊號。GMS衛星上載有輻射計VISSR可提供紅外線與可見光兩種頻道的資料, 主要的氣象用途為: 產生衛星雲圖以利偵察天氣現象, 如颱風、氣旋、鋒面等。此外, 並可進一步計算地表和雲

頂溫度, 求雲量及追蹤雲塊移動以求衛星觀測風場。GMS可見光頻道星下點的解析度為1.25公里, 紅外光頻道解析度為5公里, 觀測時間在每正時30分時進行, 間隔為每小時一次。另外於0500Z、1100Z、1700Z、2300Z另外增加4次觀測。

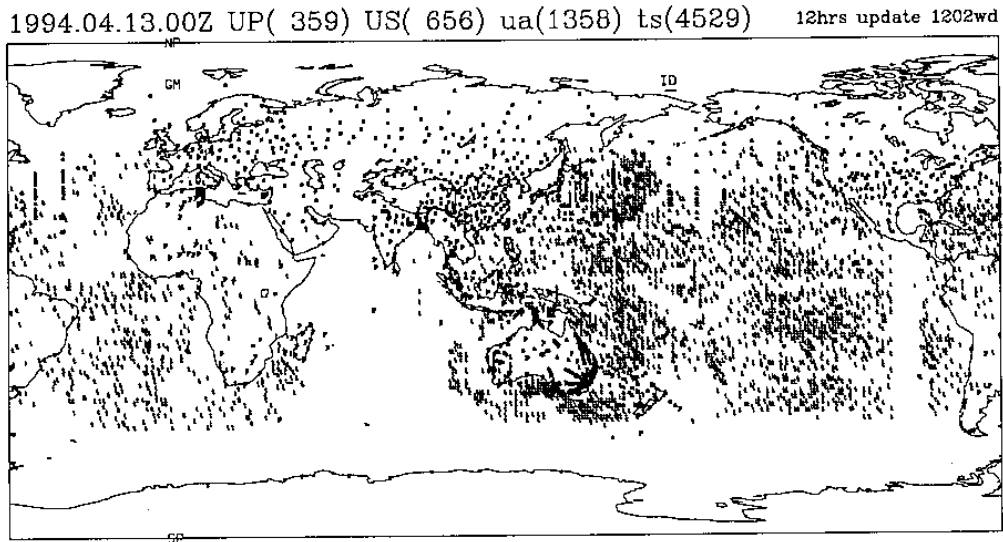
NOAA衛星主要分為TOVS與AVHRR兩個主要系統, TOVS包含三個獨立的子系統, 分別為HIRS/2、MSU、SSU三種。HIRS/2有19個紅外線頻道與一個可見光頻道, 星下點解析度為17.4公里。MSU提供4個微波頻道, 星下點解析度109.3公里。SSU包函3個紅外頻道, 主要用於觀測平流層, 星下點解析度147.3公里。結合三者的觀測可計算大氣垂直溫度剖面與水汽剖面等。AVHRR包括一個可見光、一個近紅外光與3個紅外光的頻道, 可用來計算海面與雲頂的溫度及求取雲量等。繞極衛星每天約地方時8時、20時, 2時、14時通過上空, 因此台灣每天可以接收至少4次的NOAA衛星資料, 衛星訊號掃描範圍約1200公里。本局目前天線涵蓋範圍約5500公里x5500公里。

目前對於GMS衛星資料運用, 主要在產生可見光與紅外光的衛星雲圖供預報人員參考研判。雲圖範圍經處理後分為東亞地區、台灣附近地區及全球三種。東亞地區的雲圖另外製作藍伯特投影的衛星雲圖, 以利與一般天氣圖配合。全球範圍的雲圖另計算5日、10日與月平均圖。除了雲圖製作外每天在00與12Z時, 另計算範圍在東經90°至150°, 北緯0°到50°之間, 每0.5°經緯度的網格點上之亮度溫度。

目前對於NOAA衛星資料的處理, AVHRR的資料用來計算台灣附近海面的海溫及雲量。海面溫度的求取採雙頻道訂正法, 濾雲則採多頻道濾雲法。此法不但可以濾雲並可進行雲分類, 並提高解析度到2公里。目前所求海溫與船舶與海上浮標觀測報告, 誤差約為1°K。至於TOVS資料的處理, 目前仍在發展與測試階段, 尚未進行作業。TOVS的資料用於計算水平解析度100X100公里的大氣垂直溫度, 水汽剖面、晴空亮度海面溫度、地面溫度、各層大氣厚度等資料。可提供數值預報較高解析度的初始資料以彌補傳統觀測之不足。目前本局預報作業上對這兩種衛星的使用仍侷限在圖片分析上, 數值資料的取用與應用技術仍在發展與測試中。



圖二:各種觀測資料的時間分佈(1994年4月10日-14日)



圖三:US,UP,UA及TS等觀測資料的水平分佈

雷達資料

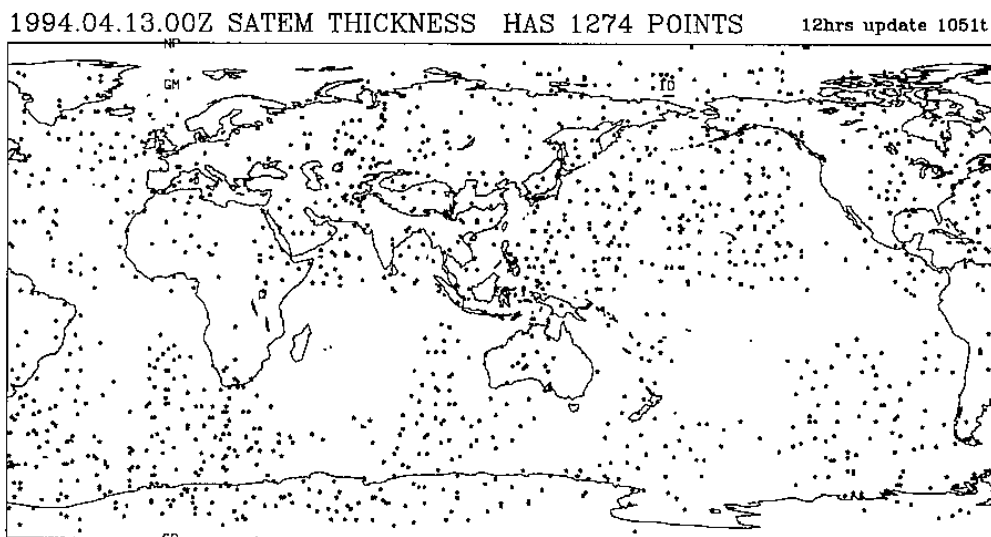
雷達觀測提供中小尺度(即時)預報一個充分條件。近年來，利用單都卜勒雷達觀測到的降水回波及徑向風場，配合數值模式來預測天氣系統的演化，並提供更精確的降水估計，可以說是結合雷達觀測和數值天氣預報中最重要的工作之一，例如Nakakita *et al.*(1991)利用雷達回波和一個簡單的降水預報模式可以定量估計雨區的形成和移動，其預報準確度可達3.5小

時，同時可進一步估計三維風場和輻散場，在和雙都卜勒雷達的合成的風場比較後，證明其方法的可信度。另外，雷達觀測到的降水回波基本上可以反應出特定尺度下大氣中水或水汽的分佈特徵，而如何將這個資訊加入資料同化的流程中，到目前為止這方面的研究在想法上和作法上都還處於很初步的階段。然而愈來愈多的研究指出在中尺度模式中地形和加熱扮演重要的角色(Zhang and Fritsch 1986; Diallo and

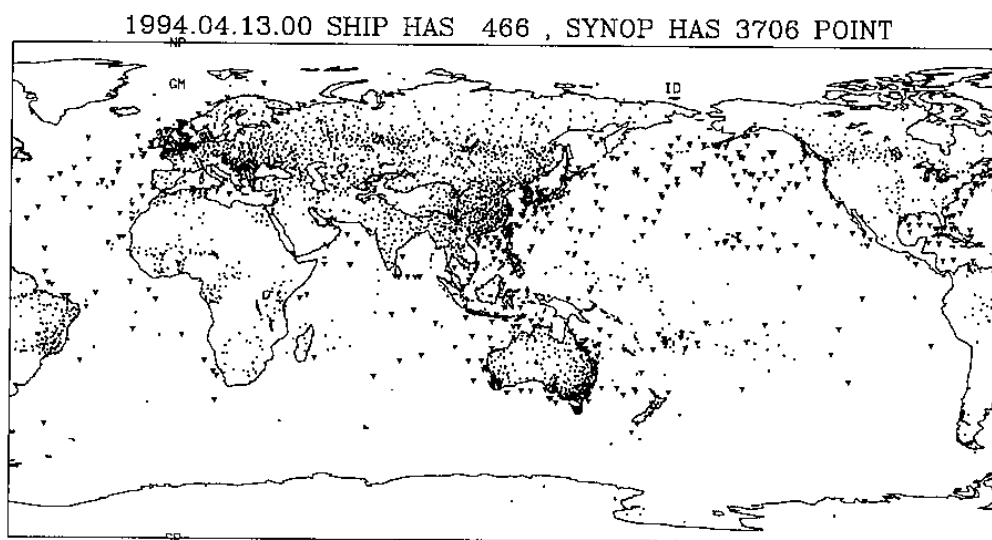
Frank 1986) 其中如何正確地掌握水汽的空間分佈是一個重要的關鍵，因此雷達資料的應用在未來應是一個值得進一步探討的主題。

本局原有花蓮與高雄兩雷達觀測站以監視東西兩方向來的天氣系統。為提供更高解析度的即時天氣，預計在未來6年內建置4個NEXRAD都卜勒雷達，分別位於五分山、花蓮(由傳統雷達直接升級)、墾丁和七股等。配合

現有CAA(民航局，位於中正機場)和CCK(空軍，位於台中清泉崗)都卜勒雷達及高雄傳統雷達(圖六)，預期屆時可構成一個完整的雷達網連系統，台灣沿海數百公里範圍內的天氣現象將隨時都在雷達的嚴密監控下，除了直接提供目視資料以外，由雷達觀測所提供的風場，降水和水汽資料將是四維資料同化提供小尺度模式初始場的一個最佳資料來源。



圖四:SATEM的水平分佈

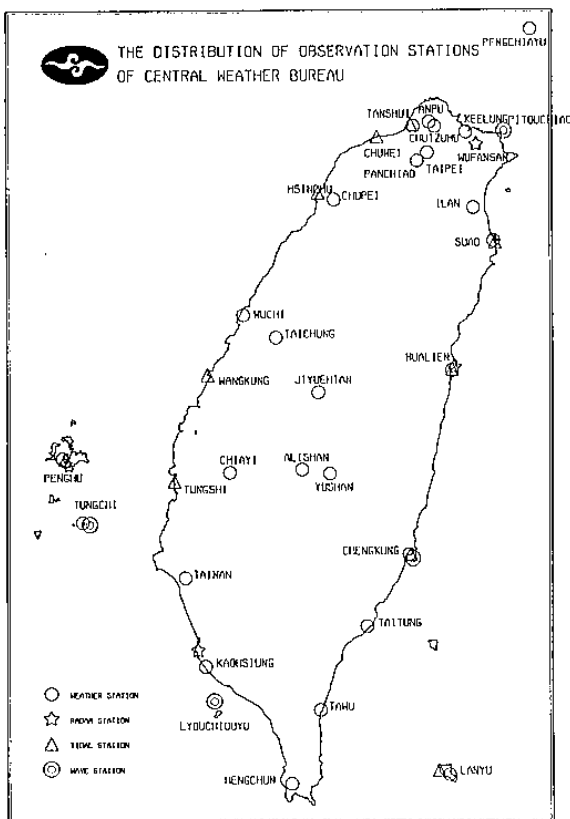


圖五:地(海)面觀測資料的水平分佈

資料品管

AMDP系統對各類資料均進行初步的檢定，檢定方式為單點資料的檢定，因此，幾乎所有的資料均做氣候值檢定。由於TEMP報包含高度及溫度垂直各屬的觀測，所以也做垂直的資料檢定。目前的作業參考歐洲中期預報中心(ECMWF)的檢定方法發展而成(胡 1979)。除了氣候值檢定外，還對每一站的資料進行儀

器結冰檢定、靜力穩定度檢定及流體靜力平衡檢定。近年來，觀測資料品質倍受重視，世界各數值預報中心無不致力於發展改進其資料檢定方法，本局亦參考美國國家氣象中心(NMC)目前作業對TEMP垂直各層的資料檢定方法(Collins and Gandin 1990)發展新的資料品質檢定系統(江等 1991)。目前已完成發展，並進行一年的平行測試後於1994年10月份上線作業(江與陳 1994)。



圖六:台灣各地的雷達及其他種類測站之分布

b. 客觀分析

客觀分析是資料同化系統的核心之一，本局第二代數值模式之客觀分析採用最佳內插法。目前已完成發展與測試，正進行CRAY8I/632線上作業性測試。全球模式及有限區域模式已分別於1994年6月與10月上線作業。

本局的最佳內插客觀分析採用Lorenç(1981)所提區間法(volume method)。在分析的範圍內分成若干個小區間(volume)，相鄰的區間相互重疊。同一區間內所有網格點上的分析值，由該區間內的三維觀測資料分布，透過最佳內插法求得分析值。除了分析區間以外，為方便執行與說明，本局的客觀分析沿著緯度圈定義使用分析帶(strip)，在y方向分成南北互相重疊的分析帶，每一個帶則沿x方向分成一格格東西向相重疊的分析區間。分析時以分析區間為單位，完成每一區間的三維多變數分析後再繼續做下一個區間的分析運算。全球模式由南到北共有28個分析帶，但在極區每帶僅有一個分析區。由於南半球的觀測資料量遠小於北半球，在南半球每個分析帶所佔的範圍比北半球大一倍，約18緯度(北半球為9緯度)。中高緯度因為旋轉半徑較低緯地區小，相同經度涵蓋的面積較小，因而令每一個分析帶的分析區間數目在中高緯度較低緯度少。赤道地區每一帶有30個

分析區間，往高緯則逐漸減少為24或16區間；在極區附近，南半球每一個分析帶有8個分析區間，北半球則有12個區間；南北極各只有一個分析區間。全球分析主要在經緯座標上執行，極區則改用極投影座標作分析；有限區域模式則在藍伯特投影的直角座標上進行分析。

有限區域模式系統的分析將模式範圍分為13個分析帶及9個分析區間；最南邊的區間在x及y方向分別有33及15個網格點，大小約為1920km x 840km；最北邊則為33x17網格數，相當於1920km x 960km，其他帶則為33x19網格數。進行分析計算時，如果每一分析區間內選取的觀測資料量太少則擴張觀測資料選取範圍。因分析座標的差異，全球模式在擴張資料選取範圍時，在東西方向各擴充該區間的經度個數之半，南北方向則各擴充緯度個數之半；有限區域模式則使用網格點數作為資料選取範圍擴大之依據。

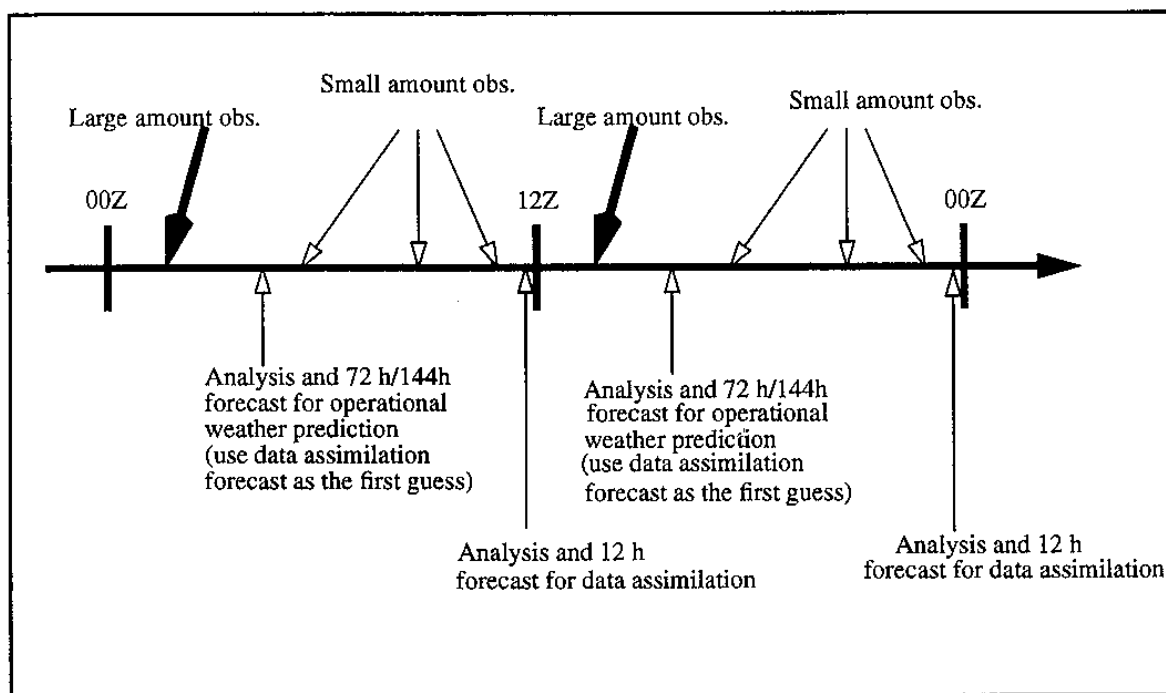
誤差特性是最佳內插客觀分析過程的一個重要依據。正確的誤差特性描述，明顯的影響分析品質。目前全球與有限區域模式所使用的相關誤差值均暫時採用二階自相關法(The Second Order Auto Regression; SOAR)的統計誤差相關值。俟本局最佳客觀分析之統計模式建立完成後再各別作更新。基本上該統計特性將配合不同的模式系統及各系統更新而不同及更新。因此，模式上線作業後亟待處理的便是誤差特性的統計與更新。

有限區域模式分析還有一項需特別處理的就是側邊界部份。為了和預報模式側邊界處理的量趨勢一致，側邊界五層分別依0、0.2、0.4、0.6、0.8的權重和全球模式的分析場做混合(blending)處理。目前二模式分析的物理量包含：相對濕度場單變數三維分析、高度場、風場之多變數三維分析及海面溫度單變數一維分析。

初步分析的結果顯示極區的分析結果因第二代模式提供較佳的背景場而有的顯著改進。在太平洋及大西洋西岸的槽線的相位上也優於第一代模式的分析；在觀測資料較豐富的地區，如中緯度陸地，和ECMWF的分析結果較接近也與觀測資料近似(黃等1994)。

c. 作業現況

本局目前在全球及區域模式系統上已進行間歇式資料同化，在00Z及12Z時利用上一次模式的12小時預報場做為初始預估場(First Guess)分析各主要觀測變數的差值(Increments)。同時在每一個主要觀測週期結束時，大部份的觀測資料都已抵達後重新進行一次分析與12小時預報。此種做法除了可利用模式來彌補資料置



圖七:本局數值預報系統中作業分析及預報與同化分析及預報之分佈情形

乏區域以外，也提高觀測資料的使用率。由於模式的介入，分析場多少滿足了模式的動力一致性。但是散佈在不同觀測時間的資料則無法代表個別觀測時間而被放棄或以較小的權重被視為00Z或12Z。目前分析的更新週期(Update Cycle)是12小時，也就是說每12小時進行一次同化分析與同化預報(圖七)。

三、資料同化現況與未來趨勢

四維資料同化(Four Dimensional Data Assimilation, FDDA)近年來有特指連續式資料同化法的趨勢。採用的方法有緩和植入法(Nudging or Relaxation)或變分法(Variational Method)。前者係Hoke and Anthes(1976)最早提出，將預報方程式中加入一項觀測值之緩和強迫項，使觀測值得以緩和融入預報模式而調整模式之預報值(或稱讓模式緩和趨近觀測值)。此種做法簡單且具彈性而可使模式接近觀測值(Kuo and Guo 1989)，但是缺乏物理意義，而且當模式結果不好時容易導致更嚴重的錯誤結果。但是由於方法簡易且使用較少量的電腦時間具作業能力，值得作業中心嘗試(Ramamurthy and Xu 1993)。四維變分資料同化(4D Var)則配合伴隨方程(Adjoint Equation)來處理變分分析中的最小化問題。此種方法自1985年以後有相當程度的發展，是各國目前仍在發展中的技術(Le Dimet and Talagrand 1986; Courtier and Talagrand 1987; Talagrand and

Courtier 1987; Courtier *et al.* 1993)。但是四維變分同化使用相當大量的電腦資源，以目前的電腦科技尚不足以提供作業性的需求。以歐美為例，歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)與法國氣象(Meteo France)在1987年即合作進行IFS/APEGE計畫以進行3D與4D的變分同化。配合這個計畫，ECMWF與法國氣象在這一方面有比較明確而顯著的成果。已完成3D變分同化系統(以OI為主)並取代其原來的大尺度系統(EMERAUDE)。美國NMC(NEPC)的作業仍採間歇式的資料同化，但在進行連續式的資料同化之評估，主要的進行方向有二，一為針對ETA有限區域模式做緩和植入法(Ramamurthy and Xu 1993)試驗，另一為對ETA及其波譜模式做變分資料同化(Navon *et al.* 1992; Zou *et al.* 1993a, b)。從作業的觀點而言，前者簡單容易進行，耗費之電腦時間遠小於變分同化法，較能符合實際作業的時間限制，具有相當程度的作業潛力。但是變分同化的技術具有較嚴謹的數學基礎也較受大部份的研究人員重視，在發展潛力上優於緩和植入法。同時電腦科技的發展也會加速變分同化法作業化的可能性。利用變分同化系統大致上包括(1)預報模式及其伴隨模式，(2)最小化過程及(3)變分法中的代價函數(cost function)及其梯度的計算三個主要部份。其中模式扮演變分分析中的限制條件而伴隨模式則用來處理最小化問題。

除了同化方法以外，新種類的觀測資料之引入與應用技術的發展也是一重要的趨勢。以美國為例，除了使用傳統的探空資料以外，充份的使用風剖儀(wind profiler)、都卜勒雷達、

民航機的ACAR資料、衛星資料等。因此，新觀測資料的融入也是提高分析品質的一大項工作。

與上述國家比較，我國目前在全球及區域模式系統上已進行間歇式資料同化，但在連續式資料同化方法上則尚在評估與嘗試階段。從技術層面比較連續式同化與間歇式同化，資料在時間分佈的應用上更靈活也更符合物理性質，這也是許多作業中心希望提高分析的更新週期的原因，而且文獻也指出頻率增加有助於同化結果的品質改善。但是評估目前的技術中，變分同化雖然在理論與數學上吸引了大量的研究員投入，但是要在日常作業上應用則在計算機資源的成本上仍需有所改進。因而對本局而言在近年內進行四維的變分同化並不實際。但是在長遠的技術發展而言我們仍需對此項技術的發展保留注意力培養本局研究人員在這方面的技術，俾使將來有適當的機會能與各技術先進國家同步發展。此外各種遙測資料也是我們尚未大量應用的觀測資料，衛星資料是目前正在努力的第一種資料。飛機與雷達資料則是積極開發的新觀測種類，資料量與品質及應用技術都需要更進一步的分析與研究。

四、結語

初始資料的良窳決定了數值產品的優劣。從各國的發展趨勢，我們瞭解四維資料同化是各國數值預報近年內的發展重點之一。而四維變分同化(4DVar)是目前資料同化方法的目標，但是緩和植入法在短期內具有作業能力。我們在以作業為導向的發展目標下也不能忽視尚處於研究階段的技術。

從資料與系統現況，我們也瞭解開發新種類的觀測資料與強化現有資料的品質管制都是亟待研究的重點。而資料品質向為各中心都很重視但較少見於一般學術刊物上的項目。因此，與各作業中心的技術交流是這一項工作觀摩重點。各種新資料的使用方法也是引進(獲得)資料後的主要工作。在分析技術上，變分分析似為未來的配合資料同化的主要方法。四維變分同化是遠程的目標，但是三維變分同化應是中程可達到的目標。

由於變分同化需使用伴隨模式來處理最小化問題，緩和植入法也需要深入模式瞭解植入強迫項的在整個模式中的角色。因此，處理資料同化時也需要深入模式，並非單純處理客觀分析及初始化，而是結合分析、初始化與模式的動力(含熱力)後一次完成資料同化而獲得一最佳(optimum)分析場。

誌謝

本文的部份內容為數值預報資料同化小組的年度工作報告之部份。本文蒙資訊中心葛行珏小姐悉心打字與數值預報其他各小組提供資料，特此誌謝。

參考文獻

- 江火明、曾文雯、陳雯美，1991: 中央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(付印中)。
- 胡仲英，1979: ADAPS 系統之研究與設計。氣象學報，25卷第一期9-24
- 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
- 陳雯美，1993: CWB 地面與探空資料現況及數值預報成效的客觀評估。中央氣象局數值預報小組報告第82003號，46頁
- 黃麗玫、滕春慈、劉其聖，1994: 最佳客觀分析法於中央氣象局第二代有限區域模式之使用現況。天氣分析與預報研討會論文彙編，1994，台北(付印中)。
- Collins, W. G. and L. S. Gandin 1990: Comprehensive hydrostatic quality control at the National Meteorological Center. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 2752-2767.
- Courtier, P. and O. Talagrand 1987: Variational assimilation of meteorological observations with the adjoint vorticity equation. Part II. Numerical results. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **113**, 1329-1368.
- Courtier, P., E. Andersson, W. Heckley, G. Kelly, J. Pailleux, F. Rabier, J-N Thepaut, P Uden, D. Vasiljevic, C. Cardinali, J. Eyre, M. Hamrud, J. Haseler, A Hollingsworth, A. McNally and A. Stoffelen 1993: *Variational Assimilation at ECMWF. Research Department Technical Memorandum*, No. **194**. ECMWF, 84pp.
- Diallo, N.T. and Frank, W, M, , 1986; Effects of enhanced initial moisture fields on simulated rainfall over West Africa and the East Atlantic, *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1811-1821
- Gandin, L. S. 1988: Complex quality control of meteorological observations. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1138-1156.
- Hoke, J. E. and R. A. Anthes 1976: The initialization of numerical models by a dynamic initialization technique. *Mon. Wea. Rev.* **104**, 1551-1556.

- Kuo , Y. H. and Y. R. Guo 1989: Dynamic initialization using observations from a hypothetical network of profilers. *Mon. Wea. Rev.* 117 , 1975-1998.
- LeDemit , F. X. and O. Talagrand 1986: Variational algorithms for analysis and assimilation of meteorological observations: Theoretical aspects. *Tellus* 38A , 97-110.
- Lorenc, A 1981: A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. *Mon. Wea. Rev.* 109, 701-721.
- Nakakita , E. , M. Shiiba , S. Ikebuchi and T. Takasao , 1991: Hydrological Applications of Weather Radar. Ellis Horward Press. pp.391-408.
- Ramamurthy , M. K. and T.-Y. Xu 1993: Continuous data assimilation experiments with the NMC Eta model: A GALE IOP 1 case study. *Mon. Wea. Rev.* 121 , 3082-3015.
- Talagrand , O. and P. Courtier 1987: Variational assimilation of meteorological observations with the adjoint vorticity equation. Part I: Theory. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 113 , 1311-1328.
- Zhang , D.-L. and Fritsch , J.M. , 1986: A case study of the sensitivity of a numerical simulation of mesoscale convective system to varying initial conditions. *Mon. Wea. Rev.* 114 , 2418-2431.
- Zou , X. , I. M. Navon and J. G. Sela 1993: Variational data assimilation with moist threshold processes using the NMC spectral model. *Tellus* , 45A 370-387.

