

衛星探空資料 (SATEM) 在中央氣象局 有限區域預報系統之客觀分析模組的應用

洪 景 山

中央氣象局資訊中心

(中華民國八十七年十二月十一日收稿；中華民國八十八年元月二十九日定稿)

摘 要

本研究主要是評估衛星探空資料 (SATEM) 應用在中央氣象局有限區域預報系統之客觀分析模組中的影響，並提出適當的使用策略，以期增進 SATEM 的使用效率，俾提高分析及預報的準確度。

文中分為兩部份，第一部份說明 SATEM 資料的特性，第二部份則探討 SATEM 資料在最佳化客觀分析 (Optimal Interpolation) 中的可能影響。研究指出，SATEM 在低對流層有較差的垂直解析度，因此 850 hPa 以下加入 SATEM 後所導致高度場的變化均是客觀分析外延的結果，而 850/700 hPa 二層高度場間的低相關也說明 SATEM 在低對流層的不適用性。此外，分析中指出，SATEM 在客觀分析中的影響大約隨著高度的增加而增加，加入 SATEM 後的修正量佔總修正量的一半，而 SATEM 在雲雨系統中會使高對流層的高度場有系統性增加的趨勢，這是在應用上應該要特別注意的地方。最後，本研究建議在有限區域預報模式中 500 hPa (含) 以下及雲雨區的 SATEM 資料應避免使用，以減少因觀測誤差而污染模式的分析結果。

關鍵詞：衛星探空資料 (SATEM)，最佳化客觀分析

一、前 言

過去十多年來，對數值天氣預報而言，如何開發新的觀測資料及發展更進步的資料同化技術已經成爲一項研究的重點，同時也被認爲是提高

數值預報產品準確度的一個重要的瓶頸。其中衛星觀測資料具有甚高的空間及時間解析度，因此，如果能妥善運用衛星產品，可以說是目前數值天氣預報作業中最主要的課題之一。

目前 GTS (Global Telecommunications

System) 上的 SATEM (Satellite Temperature) 資料是由美國 NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service) 所提供, 主要是反演自 NOAA 11、12 號衛星觀測的輻射強度。然而, SATEM 除了輻射強度的觀測誤差之外, 其中也隱含了因為複雜的反演計算而導致更多的不確定性。因此, 在將 SATEM 應用到數值天氣預報模式之前, 實有必要對 SATEM 的品質及其在客觀分析中的影響做進一步的研究。

歐洲天氣預報中心 (European Center for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF) 曾對模式中加入 SATEM 的影響做過一系列的分析, Uppala et al. (1984) 利用 ECMWF 在 1982/83 年的作業模式及資料同化系統, 針對 1979 年 2 月和 1979 年 11 月 FGGE 的觀測資料進行 SATEM 在全球模式 240 小時預報的異常相關 (anomaly correlation) 計算, 其結論為:

- 南半球在 2 個試驗中, SATEM 對預報結果均有正的貢獻。Uppala et al. (1984) 認為由於南半球缺乏足夠的觀測資料, 因此 SATEM 在分析的過程中很容易發揮它的影響力。

- 北半球在 11 月的測試中為正的貢獻, 2 月的測試中則幾乎沒有影響。

Kelly and Pailleux (1988) 接著針對 Uppala et al. 所使用 1979 年 11 月的資料, 但用 ECMWF 1987 年的資料同化系統再作一次測試, 其預報結果在南半球同樣地仍有正貢獻, 但北半球的正貢獻相對地減少。而在他們另一個測試中 (1987 年 1 月 30 日 00UTC 至 2 月 14 日 12UTC) 則顯示南半球依舊是正的貢獻, 但北半球在北美--大西洋--歐洲一帶為正貢獻, 而亞洲--太平洋區域則為負貢獻, 綜合的結果是 SATEM 在北半球的影響趨近中性。

此外 Kelly and Pailleux (1988) 和 Kelly et al. (1991) 也指出 SATEM 在某些地方的可靠性相當低, 應該要有好的品管措施做嚴格篩檢, 以避免汙染到其他觀測資料。

有趣的是 Andersson et al. (1991) 再一次利用 1987 年的資料, 但配合 ECMWF 在 1988 年底經過修改後的資料同化系統和作業模式 (修改的項目可參考 Andersson et al. 1991 或 Lönnberg 1988) 重新分析 SATEM 的影響, 15 個個案平均的結果顯示南半球仍為正的貢獻, 但北半球則為負的貢獻。由以上一系列的研究可以知道同樣的資料在不同模式中 (包含分析和預報) 會有不同表現; Andersson et al. (1991) 認為這是因為新的模式在北半球雖然對於使用 SATEM 和未使用 SATEM 的個案均具有較高的預報準確度, 但在未使用 SATEM 的測試中卻進步更多, 因此使得 SATEM 的加入變成負的貢獻。這也意味著當我們對某特定觀測資料對整個資料同化系統的影響進行評估時, 模式本身即是一個不容忽視的變數。

由以上的文獻回顧可知, ECMWF 主要是探討模式加入 SATEM 後對模式預報場所可能產生的影響, 然而對於 SATEM 在客觀分析中的影響並未加以探討, 同時我們也不清楚 SATEM 針對特定數值預報中心的客觀分析模組或特定的天氣系統是否存在系統性偏差, 這都有必要進一步研究。此外, 雖然 ECMWF 對 SATEM 做了一系列的研究, 但是由於觀測資料提供的是模式的初始場, 因此不論是討論初始分析場本身的正確度或者是探討初始場在數值模式預報過程中的影響, 都因為不知道大氣狀態的真值而缺乏客觀上驗證的標準。舉例來說, 異常相關主要是計算分析場和預報場之間的相異程度, 一般我們希望分析場是不變的參考值 (也就是假設其為真值), 但是在

考慮不同觀測資料的影響時，分析場卻因為加入新的觀測資料而和預報場同時都成為變數，此時若再依據異常相關的差異來說明資料對預報的影響，將因為缺乏真值的參考依據而無法真正分離出資料的影響程度。此外，如果利用鄰近測站來討論不同觀測資料的差異，除了不容易得到全面性的結論外，也無法進一步獲得資料在分析模式或預報模式中的整體影響。職是之故，ECMWF 的研究方法固然有再進一步商榷的必要，而如何設計一個較獨立的分析方法則是一項更重要的工作。

本文主要是探討 SATEM 應用在中央氣象局有限區域預報系統的評估，其重點在研究 SATEM 對模式分析場的影響，而不是在說明反演衛星資料的技術。由於大氣背景場，如溫度剖面、水氣分佈等會直接改變大氣的光學性質，從而進一步影響到大氣輻射的觀測及反演計算的結果；因此 SATEM 可能會因為天氣系統、氣團特性、海陸分佈和反演技術的差異而具有系統性誤差 (Andersson et al. 1991, Flobert et al. 1991)，但更重要的是資料對模式的影響除了來自於自身存在的誤差外，更和模式本身息息相關，它們往往是相對的，而不是絕對的；因此模式在不同的發展階段會使得觀測資料具有不同的意義，SATEM 如此，其他資料（包括模式初始猜測值）也是如此。

本文分為五個部份；第二部份概略介紹中央氣象局第二代有限區域預報模式的架構和客觀分析的方法，第三部份說明 SATEM 的特性及其在空間和時間上的分佈，第四部份則探討 SATEM 在客觀分析中的影響，最後則是結論。

二、模式簡介

中央氣象局第二代區域預報模式為包含粗、細網格系統的巢狀模式，其網格間距分別為 60 及 20 公里，格點數目為 (161×121) 及 (91×91)，水平範圍達 9600 km×7200 km (如圖 1)。垂直方向採用 σ 座標 ($\sigma = P/P_s$, P 是壓力, P_s 為地表氣壓)，總共分為 20 層， $\sigma = 1$ 時為地表， $\sigma = 0$ 時則為模式的頂。變數在水平方向引用 Arakawa's C 交錯網格系統，時間積分採用顯示分離格式，羅士培模的時間間距為 90 秒，前三個重力模的時間間距則為 $1/8 \Delta t$, $1/4 \Delta t$ 及 $1/2 \Delta t$ ，它的好處是可以針對不同的物理過程給予不同的積分間距，而得到較經濟的計算時間。在物理參數化方面則考慮到郭氏積雲參數化 (Kuo 1974)、TKE- ϵ 紊流閉合的多層邊界層參數化 (Detering and Etling 1985) 和 Harshvardhan 輻射參數化 (Harshvardhan et al. 1987) 等。

第二代區域預報模式的客觀分析為最佳化客觀內插法 (Optimal Interpolation, Daley 1991)，其中包含水平速度場 (u, v) 和重力位 (Φ) 在等壓面的多變數分析，相對濕度 (在等壓面上) 和海面溫度的單變數分析等，溫度場則由重力位高度透過靜力方程計算而得。由於 SATEM 是厚度資料，因此它被歸類在重力位和風場的多變數分析中。觀測資料經過檢定後在進入分析之前會再次和初始猜測值校驗一次 (gross error check)，同時在分析區域中建立一個水平尺度為 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的 "box" 系統，在每一個 box 中依不同的資料來源設定選用的優先順序如下：

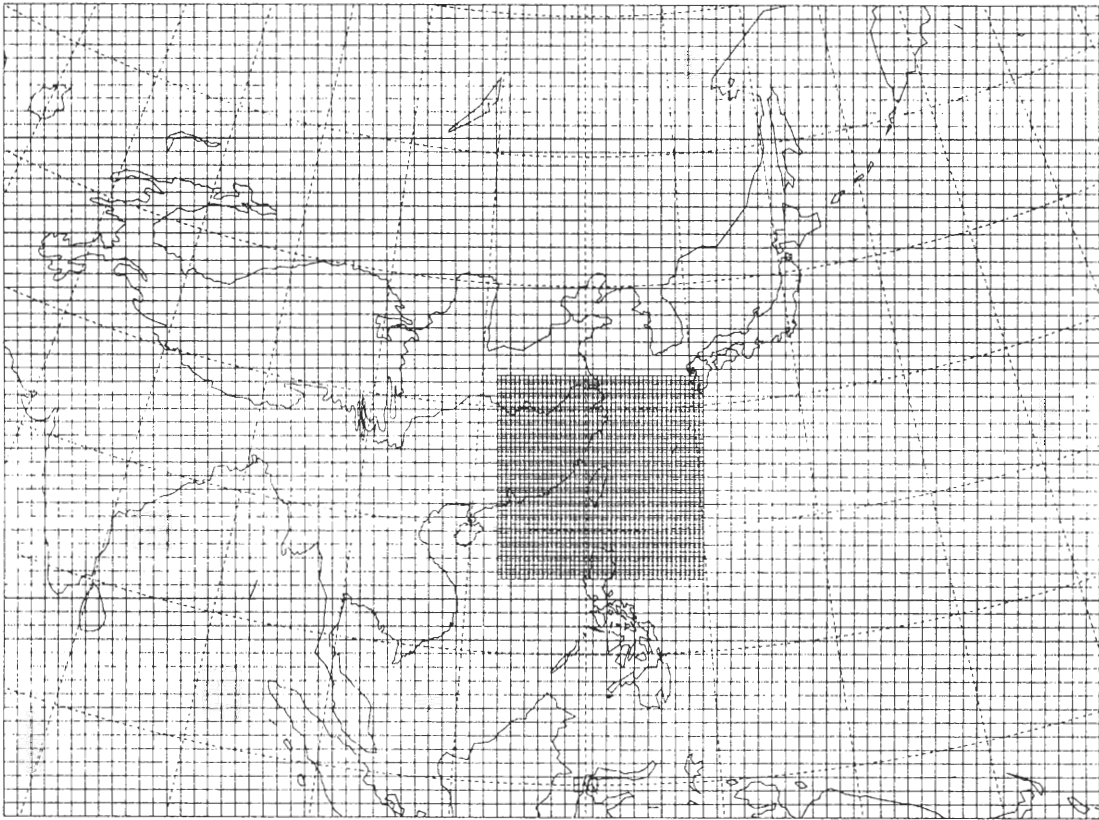


圖 1 中央氣象局區域預報模式的模式範圍及網格系統。其中大小網格間距分別為 60 及 20 公里，圖中每一個格點為 2 個網格間距。

探空資料 (TEMP)

高空風觀測 (PILOT)

地面觀測 (SYNOP)

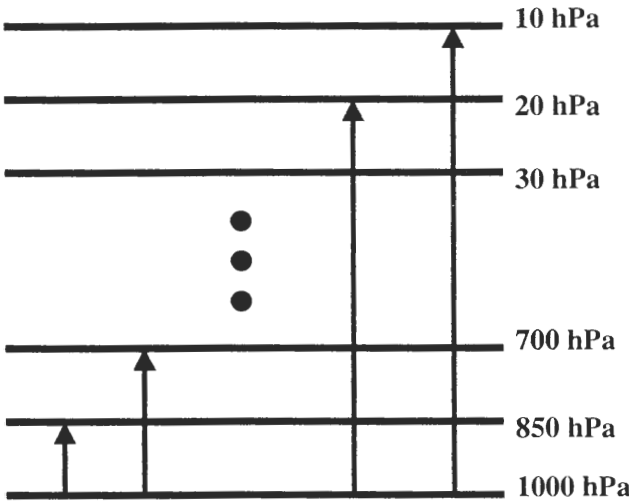
船舶觀測 (SHIP)

衛星探空觀測 (SATEM)

這是爲了要減少太多重複的資料，以利於最佳內插法的計算。由於本文重點在探討 SATEM 的影響，因此飛機觀測和衛星風觀測並沒有進入客觀分析中。

三、SATEM 的資料特性

目前 GTS (Global Telecommunications System) 上的 SATEM 資料是由美國 NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service) 所提供，主要是反演自 NOAA 11、12 號衛星的觀測資料，垂直方向包含自 1000 hPa 至 850 hPa、700 hPa、...、10 hPa 等計 14 個標準層的厚度資料 (如圖 2)，水平解析度大約爲 500 公里左右。圖 3 是隨機選取 1994 年 6 月 22 日 12Z 之 500 hPa 至 400 hPa 厚度的 SATEM 水平分佈範例，其中有幾點是要特別提出的：

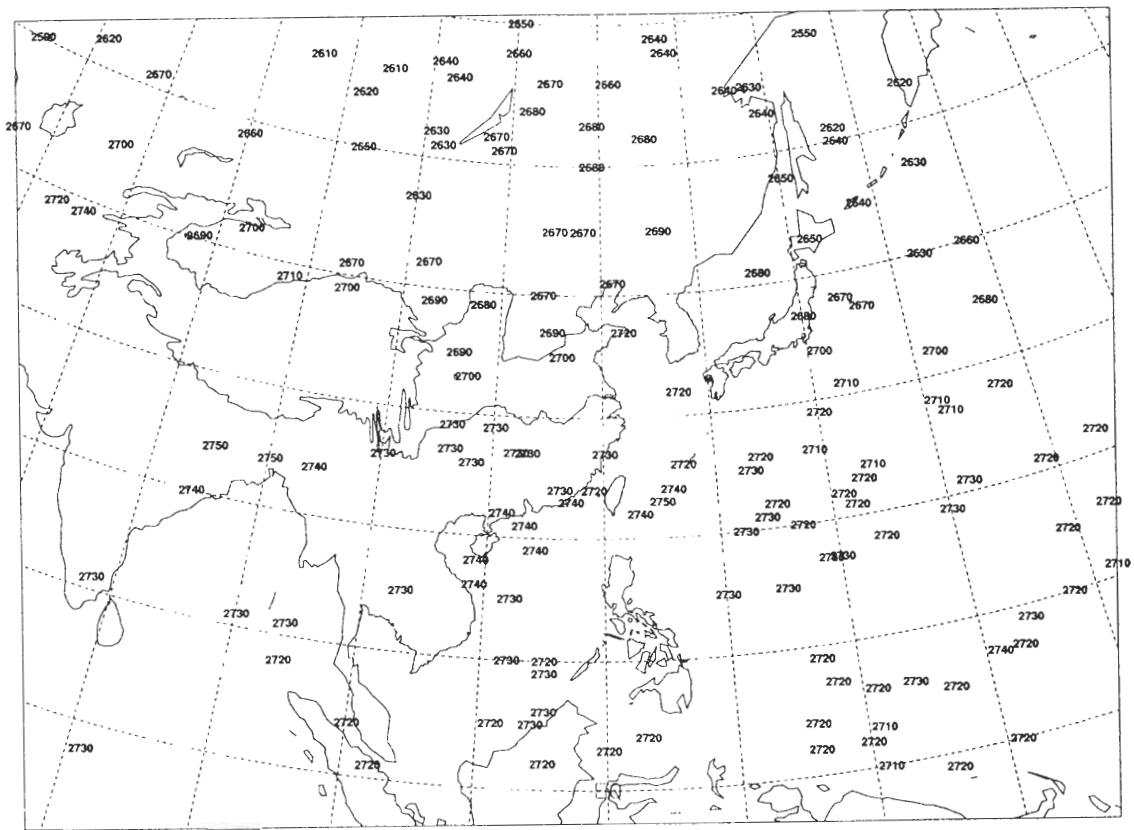


- GTS 上 SATEM 的時間解析度為 3 小時 (00 Z、03 Z、...、21 Z)，其中各包含前後 30 分鐘的衛星觀測，例如衛星在 0230 Z 至 0329 Z 的觀測均視為 0300 Z 的 SATEM 資料。而現階段中央氣象局區域模式同化系統的更新週期 (update cycle) 為 12 小時，其中包含了前後各 6 小時的觀測資料；也就是 06 Z 至 17 Z 的觀測資料均納入 12 Z 的分析，因此每個更新週期都包含了 4 個不同時間的 SATEM 資料。

- SATEM 經緯度的定位準確至個位數字，這對於 SATEM 500 公里水平解析度而言是可以接受的。

圖 2 SATEM 厚度示意圖，其中包含 1000 hPa 至 850、700、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20 及 10 hPa 共 14 層的厚度。

Thickness between 500 hPa and 400 hPa



94062212

154 elements

圖 3 1994 年 6 月 12 日 12 Z SATEM 資料的空間分佈，圖中的數字代表 500 hPa 至 400 hPa 的厚度。

- SATEM 厚度準確至 10 公尺，因此對於 700 hPa 以下的厚度而言，這個量級算是相當粗糙的，所以我們可以預期 SATEM 在低對流層或穩定度變化劇烈的地方（如逆溫層、對流層頂附近）可能有較差的解析度。

- 本局客觀分析模組在低對流層包括 1000 hPa, 925 hPa, 850 hPa...，而 SATEM 最低層是 1000/850 hPa 的厚度，由於資料本身在低層缺乏精細的解析度，因此模式中並沒有使用最低層的 SATEM 資料。

- 由於繞極軌道衛星在極區附近每一個視點均較低緯地區包含了更多經緯度，因此對於全球模式（採用經緯網格系統）來說，高緯的 SATEM 解析度相對是較差的，Pallieux（1985）即指出南北緯 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的 SATEM 最好不要採用。但在直角網格系統的區域模式中，這個問題就不至於那麼嚴重了。

- 因為 NOAA11、12 號衛星是繞極軌道衛星，因此在模式區域內的 SATEM 數目不見得每次分析都會一樣，而其空間分佈取決於衛星的運行軌跡。在 5 月 18 日至 6 月 26 日之間隨機選取 20 個個案的統計結果發現，平均進入區域預報模式範圍的 SATEM 數目為 133.5 個，標準差為 37.1 個，顯示資料來源相當穩定，因此在統計上來分析 SATEM 對有限區域預報模式分析及預報的影響是可行的。

四、SATEM 在客觀分析中的影響

（一）實驗設計

這個部份主要是探討 SATEM 經過客觀分析後在分析場中扮演的角色。在此隨機選用 1994 年 6 月 20 日至 6 月 26 日共 10 個個案，就統計的觀點來探討 SATEM 在分析場中是否具有系統性的影響。此一個案選取期間剛好配合南中國海及印度洋一帶之對流系統的發展（見圖 7），因此可以凸顯出 SATEM 在雲雨天氣系統中可能的影響。實驗分為兩組，第一組觀測資料包括 TEMP、PILOT、SYNOP 和 SHIP，以 NoSATEM 表示；第二組則加入 SATEM 資料，在此用 FULL 代表這組實驗，以高度場變數為例，NoSATEM 組的高度場表示成 Φ_{no} ，FULL 組則寫成 Φ_{full} ，初始猜測場則以 Φ_{fst} 表示，此處之模式初始猜測場來自於中央氣象局全球模式的分析場。

（二）分析結果

定義 $\Delta \Phi_{all}$ ，

$$\Delta \Phi_{all}(p) = \sqrt{\sum_{i,j} (\Phi_{full}^{i,j} - \Phi_{fst}^{i,j})^2 / N}$$

其中 (i,j) 表示水平網格點上的值， N 是水平總網格數目。因此 $\Delta \Phi_{all}$ 相當於等壓面上 FULL 測試和初始猜測場重力位高度差值的絕對值平均，它的數學型式類似標準差，計算結果比較有利於強調局部偏差，而較少包含整體平均的訊息。

同時 $\Delta \Phi_{all}$ 也是高度和個案的函數，為了去除個案間彼此的差異，因此將 10 個個案的 $\Delta \Phi_{all}$ 取平均，並計算標準差（如圖 4a）類似的手法也可定義 $\Delta \Phi_{satem}$ ，

$$\Delta \Phi_{satem}(p) = \sqrt{\sum_{i,j} (\Phi_{no}^{i,j} - \Phi_{full}^{i,j})^2 / N}$$

$\Delta \Phi_{satem}$ 即表示等壓面上 FULL 和 NoSATEM 的差值，也就是 SATEM 在分析場中所扮演的角色，10 個個案平均後即如圖 4b 所示。

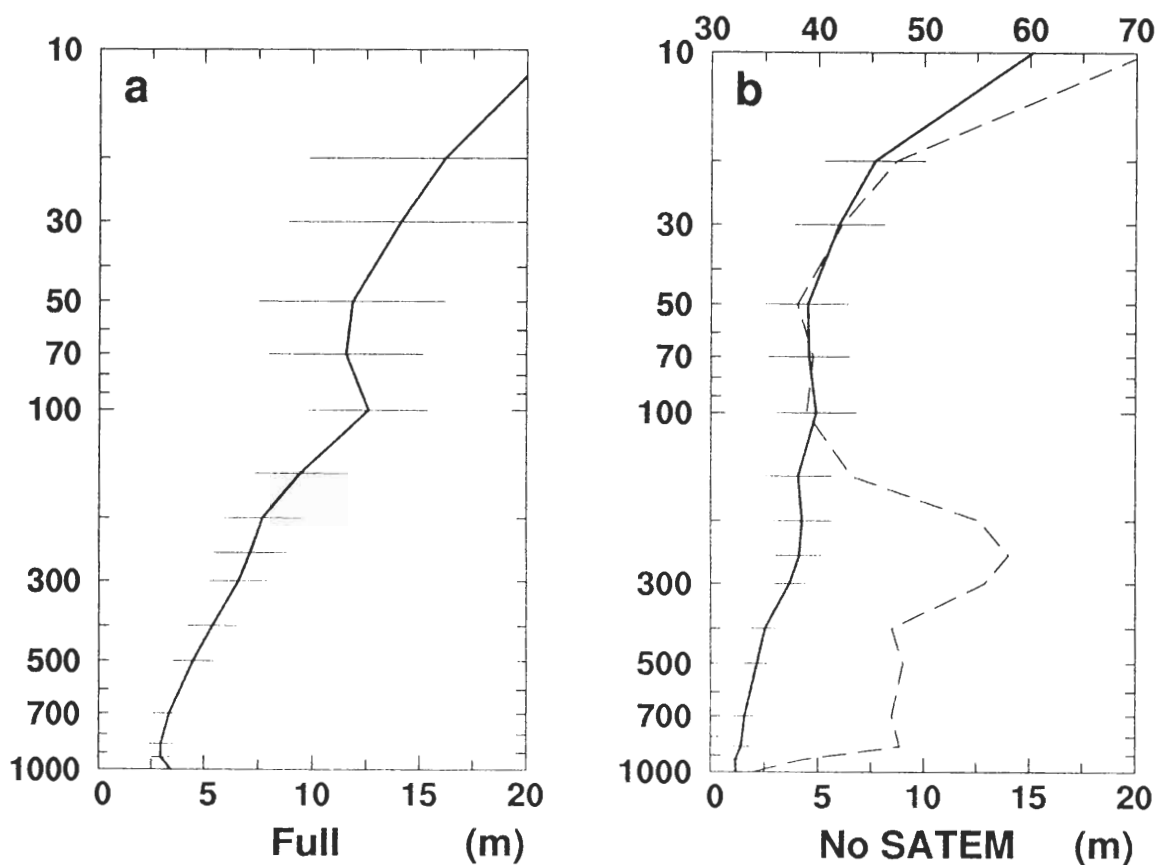


圖 4 a 為 10 個個案平均的 $\Delta \Phi_{all}$ (定義請參考內文所述) 隨高度的變化, 單位為公尺。圖中的橫線條為各層 10 個個案 $\Delta \Phi_{all}$ 的標準差, 單位為公尺。b 同 a, 但為 $\Delta \Phi_{satem}$, 虛線則是 $\Delta \Phi_{satem}$ 和 $\Delta \Phi_{all}$ 的比值, 橫軸上方的數值為比值的大小。

有以下幾個理由來說明為何作者在格點上來評估 SATEM 扮演的角色, 而不是在探空測站上和探空觀測來進行比對。第一、由於觀測資料在分析場中扮演的角色, 除了資料本身以外, 也和客觀分析方法有直接的關係, 不同的客觀分析方法會導致同樣資料在資料同化的過程中產生不同的影響。因此若在格點上來探討 SATEM 在客觀分析中扮演的角色, 當可同時評估 SATEM 以及客觀分析流程二者同時所造成的影響, 這和探討 SATEM 的正確度是不一樣的。第二、如第二節所述, 不同的觀測資料在客觀分析模組中已設定好

被篩選的優先順序, 因此在有探空觀測的周圍, 即便是有 SATEM 觀測, 那麼這個 SATEM 觀測將會被放棄不用。因而 SATEM 在分析場中影響的範圍將會是在沒有傳統探空觀測的區域, 在這情形之下, 在格點上來討論 SATEM 在分析場中所扮演的角色應是較適宜的。第三、由於 SATEM 是繞極軌道衛星的反演產品, 因而在時間及空間上的分布都是非線觀的, 這使得要在探空測站上取得足夠的樣本來校驗 SATEM, 將會產生較大的困難, 同時也較難得到全面性的結論。

圖 4a 顯示 10 個個案平均的 $\Delta \Phi_{all}$ 和標準差

基本上隨高度的增加而增加，但是在 100 hPa 以下標準差變化不大，顯示個案間的差異性相當小。圖 4a 中 850 hPa 以下及 100 hPa 至 50 hPa 之間負的斜率是一個值得注意的焦點，這意味著模式在邊界層及對流層頂存在較大的預報誤差。這個現象可以從兩個方向來探討，第一是計算方面的，由於客觀分析是在等壓面上進行的，因此模式的初始猜測場必須先由 σ 面內（外）插至等壓面，如果等壓面是在地形之下則經由靜力方程外插求得，在這個過程中可能在地形複雜地區的低層大氣產生較大的偏差。第二是物理方面的，由於低邊界層具有較複雜的物理過程及參數化過程，因此可預期模式在此會有較大的預報誤差，而對流層頂則因具有較大的梯度，模式也因此容易產生較大的預報誤差。至於 100 hPa 至 50 hPa 之間的平流層區域，由於多半由流體動力主宰，物理過程（除了輻射之外）的成份較少（特別是水氣），這也使得模式在平流層的預報誤差比對流層頂來得小。圖 4a 50 hPa 以上 $\Delta \Phi_{all}$ 又隨高度增加，這有可能是為了要滿足模式的上邊界條件而污染了初始猜測值。

我們所感興趣的還是 SATEM 的影響，圖 4b 中 $\Delta \Phi_{satem}$ 大致上仍隨高度的增加而增加，這意味著 SATEM 在客觀分析中的影響大約隨著高度的增加而增加。虛線表示 $\Delta \Phi_{satem}$ 和 $\Delta \Phi_{all}$ 的比值，平均大約在 50% 左右，這個比例顯示加入 SATEM 資料後在客觀分析中的影響是相當顯著的。當然，這個比例固然可以說明 SATEM 的影響程度，但是當我們改善了其他資料的使用情形或是加強了初始猜測場的準確度後也都會進一步改變這個比例，這也就是為什麼文中要強調在模式的不同發展階段都應該回來重新校驗不同資料在模式中的影響程度。此外， $\Delta \Phi_{satem}$ 剖面也沒有如 $\Delta \Phi_{all}$

般顯著的垂直變化，由於

$$\begin{aligned} \Delta \Phi_{satem}(p) &= \sqrt{\sum_{i,j} (\Phi_{no}^{i,j} - \Phi_{full}^{i,j})^2 / N} \\ &= \sqrt{\sum_{i,j} [(\Phi_{no}^{i,j} - \Phi_{fst}^{i,j}) - (\Phi_{full}^{i,j} - \Phi_{fst}^{i,j})]^2 / N} \end{aligned}$$

因此 $\Delta \Phi_{satem}$ 不包含模式預報的訊息在內，而僅僅只是觀測資料在客觀分析中的影響而已。因為 $\Delta \Phi_{satem}$ 並不包含模式的預報誤差，因此其垂直分布就不像 $\Delta \Phi_{all}$ 一樣地在低邊界層和對流層頂出現較大值。

此外，在第三節中已提及，由於受限於 SATEM 在低層缺乏精細的解析度，因此 850 hPa 以上的 SATEM 厚度才進入客觀分析中。但是圖 4b 中卻可以看到 850 hPa 以下 SATEM 仍有顯著的影響，這是因為最佳化內插同時涵蓋三度空間的資訊，因此，850/700 hPa 厚度的資訊會滲透至 850 hPa 以下各層，如圖 4b 所示。由於這個過程類似外延，因此可預期在垂直方向上應該要有很好的相關。圖 5 是相鄰兩層等壓面上 $\Delta \Phi_{satem}$ 的相關係數（10 個個案的平均），如圖顯示 925/850 hPa 及 1000/925 hPa 即如預期具有高度相關。而 850/700 hPa 的低相關可能是由於 SATEM 在低層的解析度不好所導致的。就實際層面來說，850 hPa 以下 SATEM 的訊息是外延的，這當然是不正確的；另一方面，大氣現象在相鄰兩層等壓面間應有相當的相關性，所以如圖 5 850/700 hPa 的低相關也不是我們所樂意看到的現象。相對地，700 hPa 以上的相關性皆大於 50%，500 hPa 至對流層頂之間則在 75% 以上，由這個觀點來看，作者建議 500 hPa 以下的 SATEM 應盡量避免使用，至少在最佳化內插的分析中，這些資料的所能提供的訊息相對來說比較貧乏的。

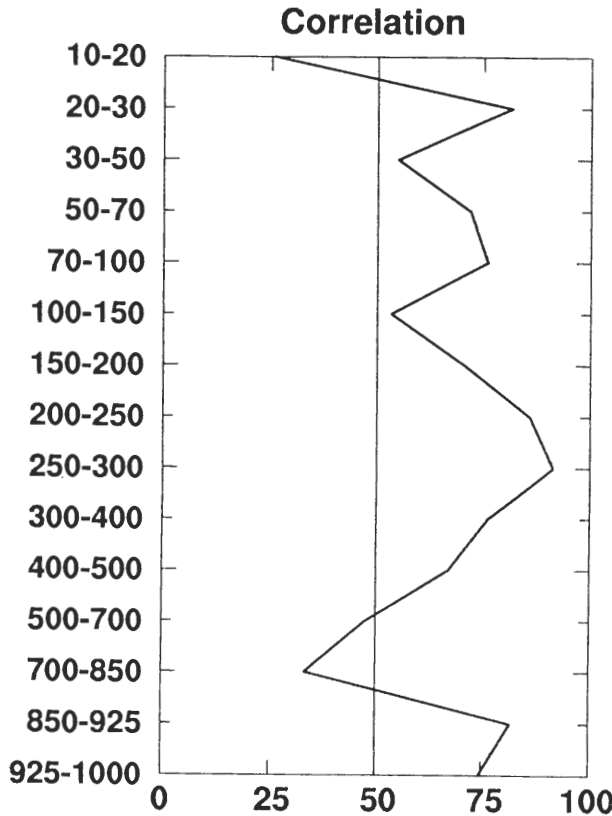
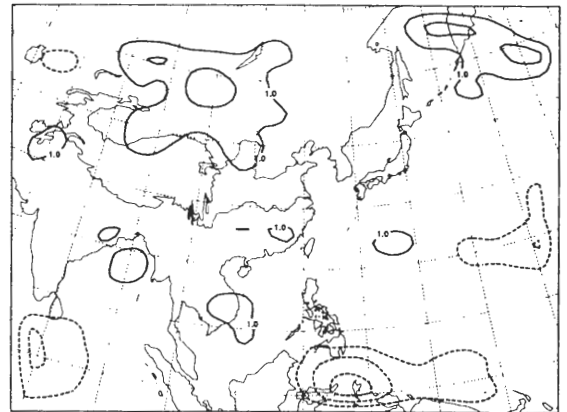
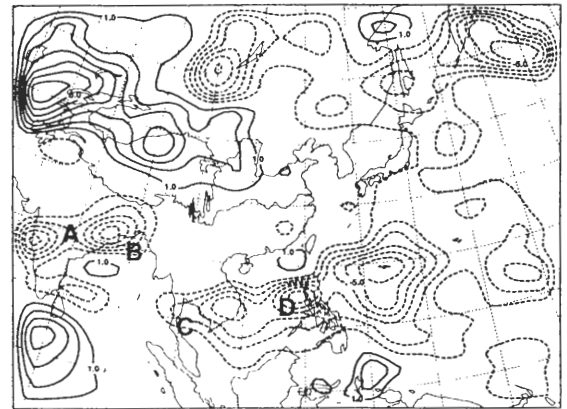


圖 5 鄰近兩個等壓面上 $\Delta \Phi_{satcm}$ 的相關係數，此為 10 個個案的平均值。

圖 6 是 850 hPa 和 300 hPa 等壓面上 $\Phi_{full} - \Phi_{no}$ 的場，正值表示 Φ_{full} 大於 Φ_{no} ，即意味加入 SATEM 後使分析的高度場增加，反之，負值表示 SATEM 使分析的高度場下降。圖 6 仍是 10 個個案的平均，因此已盡量減少因個案間的差異所導致的偏差。圖 7 則是 1994 年 6 月 20 日至 6 月 24 日 5 天平均的紅外線衛星雲圖，這段時間涵蓋了本實驗中的 8 個個案。很有趣的一點是，圖 7 中顯著的雲團（如圖中的 A，B，C 及 D）均對應著圖 6 300 hPa 中的負值區域（如圖中 A、B、C、D 所指），在這是值得特別注意的。眾所皆知，大氣中水氣的分布會強烈地改變輻射的行為，因此目前在有雲之下的反演計算仍具有相當的挑戰性。



850 hPa



300 hPa

圖 6 $\Phi_{full} - \Phi_{no}$ 在 850 hPa 和 300 hPa 的分佈，實線表示正值，虛線為負值，等值線間距為 1 公尺，零值線忽略未畫出。圖中仍為 10 個個案的平均，其中 A、B、C、D 分別對應於圖 7 中雲雨區的位置。

由本實驗中可以了解，在對流區域中 SATEM 的加入會使分析的高度場系統性地降低，這種情形在較高層中尤為顯著，低層則較不受影響（如圖 6 的 850 hPa）。雖然在此仍無法直接判斷這種效果對模式預報是正的或是負的貢獻，但是在許多研究報告中均指出，衛星反演的探空在有雲的區域往往會有較差的解析度和較低的準確度（Kelly et al.1991，Flobert et al.1991），因此這種系統性偏

1994-06-20_06-24.GMS_IR_5-DAY_MEAN

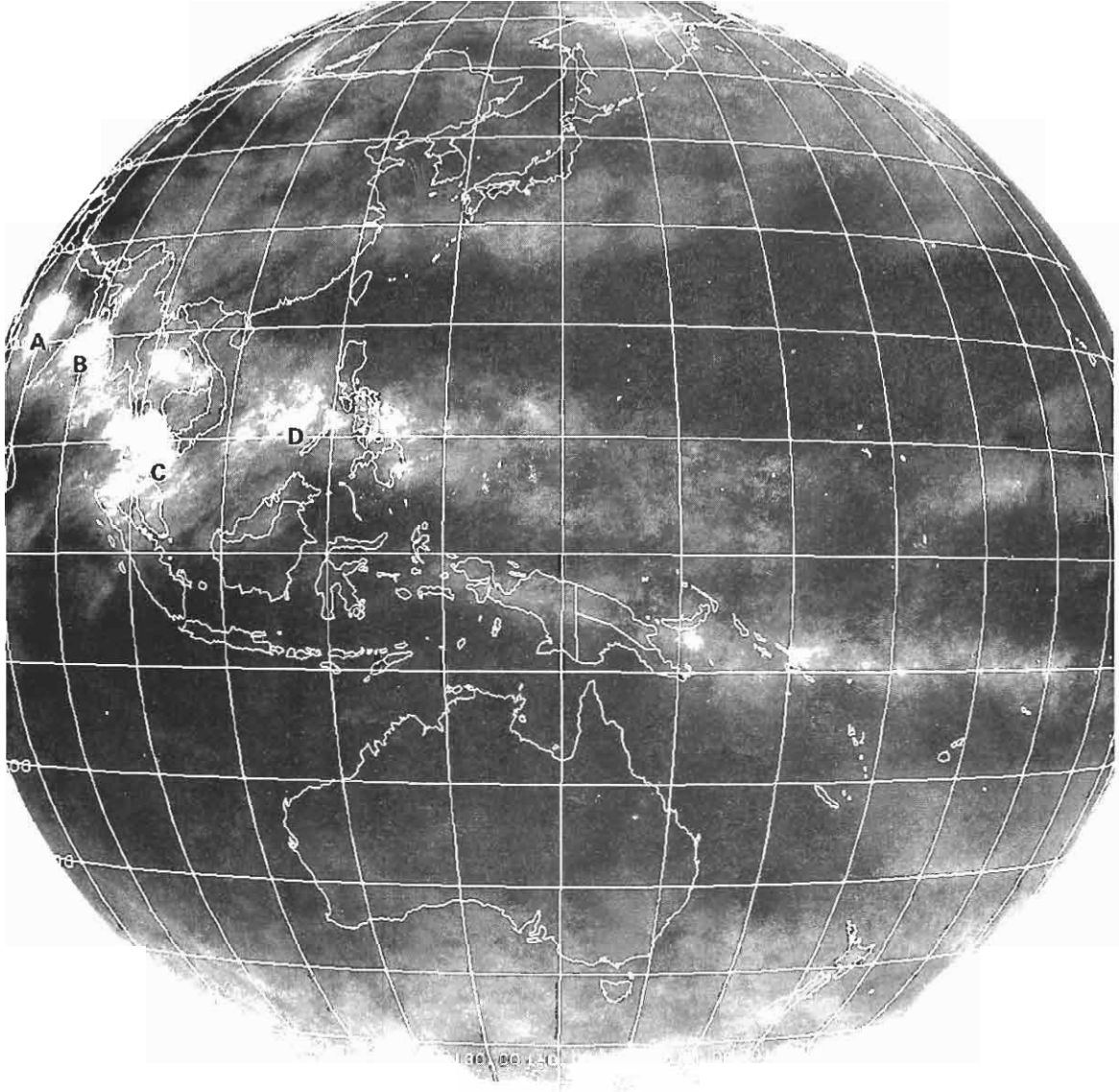


圖 7 1994 年 6 月 20 日至 6 月 24 日 5 天平均紅外線衛星雲圖，其中雲圖平均的取樣間距為 1 小時。A、B、C、D 為顯著的雲雨系統區。

差很可能是 SATEM 的反演誤差，在分析前就應該把它過濾掉，以免進入模式中污染到其它觀測資料。

五、結 論

由前面的討論中可以知道，由於 SATEM 在時空上的高解析度，因此特別吸引數值預報研究人員的關注；然而也因為遙測技術和反演理論在

實作上的限制，而使得 SATEM 的應用相對地存在更多的不確定性。本研究主要是探討 SATEM 在中央氣象局數值天氣預報系統之客觀分析模組中的影響，除了探討 SATEM 之分析誤差的統計特性外，同時也指出 SATEM 之在雲雨天氣系統中具有之相關特性，這當可以增強 ECMWF 之相關研究中不足的部份。

就現階段的衛星觀測技術而言，SATEM 在低對流層的垂直解析度仍不敷數值天氣預報的需求，這個現象在本研究的分析中可以很清楚地看到。由於中央氣象局有限區域預報系統之客觀分析模組只使用 850 hPa 以上的 SATEM 厚度資料，因此 850 hPa 以下因為加入 SATEM 所導致高度場的變化均是透過客觀分析的外延所致，這當然不是我們所樂見的。而 850/700 hPa 二層分析場之間的低相關也說明 SATEM 在低對流層的低解析度是不適用的。此外，分析中指出，SATEM 在客觀分析中的影響大約隨著高度的增加而增加，加入 SATEM 後的修正量佔總修正量的一半。但是模式在不同發展階段的預報能力和對觀測資料的使用策略都會明顯地影響到觀測資料在模式中所扮演的角色，這是要特別注意的。其次，SATEM 受到雲雨系統的影響也相當顯著，10 個個案平均結果顯示，分析場加入 SATEM 後在有雲的地方高對流層的高度場會系統性地降低，而低對流層的變化則較不顯著，這種系統性偏差很可能是衛星反演所導致的，這在分析應用上應該格外小心。

綜合以上分析，本文針就 SATEM 在中央氣象局有限區域預報模式的應用提出 4 點建議。

1. 由於 SATEM 垂直解析度的限制，低對流層，特別在 500 hPa 以下應避免使用。
2. 雲雨區，特別是對流旺盛的區域應盡量

不要使用。

3. 在模式不同的發展階段中應隨時校驗不同資料來源在模式中的影響，以準確、有效地應用有限的觀測資料。

4. 避開衛星反演技術的限制，直接使用衛星輻射強度觀測資料 (SATRAD)，這是未來可以繼續發展的一項技術 (Andersson et al. 1994, Derber and Wu 1998)。

未來衛星觀測資料無論在數值天氣預報或大氣科學研究上均將扮演舉足輕重的角色，而有關如何妥善應用觀測資料的研究，舉凡新資料的開發，校驗、更嚴謹的除錯系統、不同資料在客觀分析及預報流程中的影響以及資料同化的技術發展等，不僅在科學上具有研究的價值，同時也是影響數值天氣預報成果的重要關鍵，這是值得我們再進一步努力的一個方向。

誌 謝

本文作者感謝中央氣象局滕春慈副主任提供意見諮詢，以及兩位審查者的寶貴意見，使本文內容更加完整。本研究之計算在中央氣象局資訊中心提供的電腦支援下完成。

參考文獻

- Andersson, E., A. Hollingsworth, G. Kelly, P. Lönberg, J. Pailleux and Z. Zhang, 1991: Global observing system experiments on operational statistical retrievals of satellite sounding data. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1851 - 1865.

- Andersson, E., J. Pailleux, J.-N. The'paut, J. R. Eyre, A. P. McNally, G. A. Kelly, and P. Courtier, 1994: Use of cloud-cleared radiances in three/four dimensional variational data assimilation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **120**, 627 - 653.
- Daley, R., 1991: *Atmospheric data analysis*. Cambridge University Press, 457 pp.
- Derber, J. C., and W.-S. Wu, 1998: The use of TOVS cloud-cleared radiances in the NCEP SSI analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2287 - 2299.
- Detering, H. W., and D. Etling, 1985: Application of the E - ϵ turbulence model to the atmosphere boundary layer. *Bound. Layer Meteor.*, **33**, 113 - 133.
- Flobert, J. -F., E. Andersson, A. Che'din, A. Hollingsworth, G. Kelly, J. Pailleux and N. A. Scott, 1991: Global data assimilation and forecast experiments using the improved initialization inversion method for satellite soundings. *Mon. Wea. Rea.*, **119**, 1881 - 1914.
- Harshvardhan, R. Davies, D. A. Randall, and T. G. Corsetti, 1987: A fast radiative parameterization for atmospheric circulation models. *J. Geophys. Res.*, **92**, 1009 - 1016.
- Kelly, G., E. Andersson, A. Hollingsworth, P. Lönnberg, J. Pailleux and Z. Zhang, 1991: Quality control of operational physical retrievals of satellite sounding data. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1866 - 1880.
- Kuo, H. L., 1974: Further studies of the parameterization of the effect of cumulus convection on large scale flow. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 2132 - 2140.
- Kelly, G., and J. Pailleux, 1988: Use of satellite vertical sounder data in ECMWF analysis system. *ECMWF Tech. Memo.* **143**, 46 pp [Available from ECMWF, Shinfield Park, Reading, RG2 9AX, U. K.]
- Lönnberg, P., 1988: Developments in the ECMWF analysis system. *Proc. of the ECMWF Seminar on Data Assimilation and the Use of the Satellite Data*. Reading, ECMWF, 75 - 119. [Available from ECMWF, Shinfield Park, Reading, RG2 9AX, U. K.]
- Pailleux, J., 1985: Use of the satellite data in the ECMWF analysis system. *Proc. of the ECMWF Workshop on High Resolution Analysis*. Reading, ECMWF, 15 - 27. [Available from ECMWF, Shinfield Park, Reading, RG2 9AX, U. K.]
- Uppala, S., A. Hollingsworth, S. Tibaldi and P. Kallberg, 1984: Results from two recent observing system experiments at ECMWF. *Proc. of the ECMWF Seminar- Workshop on Data Assimilation Systems and Observing System Experiments with Particular Emphasis on FGGE*. Reading, ECMWF, 165 - 202 [Available from ECMWF, Shinfield Park, Reading, RG2 9AX, U. K.]

The Impact Study of the Satellite Sounding (SATEM) in the Objective Analysis of Limited Area Forecast System (LAFS) in Central Weather Bureau

Jing-Shan Hong

Computer Center, Central Weather Bureau

(Manuscript received 11 December 1998 · in final form 29 January 1999)

ABSTRACT

There are two components in the paper. First, the characteristics of the satellite sounding (SATEM) were reviewed. Second, the impact study of SATEM in the data assimilation system of Limited Area Forecast System (LAFS) in Central Weather Bureau (CWB) was performed. The results show that:

1. SATEM has the poor resolution below 700 hPa. Thus the analysis increment from SATEM below 850 hPa were basically extrapolated from upper level.
2. The analysis increment from SATEM has low correlation between 850 and 700 hPa.
3. The ratio of the analysis increment from SATEM to the total observations is about 50%. The proportion is kind of large.
4. The ingest of the SATEM tends to increase the analysis increment of geopotential height around the cloud system.
5. The author suggests that it is inadequate to ingest SATEM data below 500 hPa and around cloud system.

Key words: Satellite sounding (SATEM)