

## 衛星觀測輻射值與數值模式同化分析之模擬輻射值的比較

周鑑本 李尚武 吳石吉

中央氣象局

### 摘要

本研究計算並比較 TOVS 觀測之輻射值與數值預報模式結果之模擬輻射值，作為將衛星輻射資料納入四維資料同化之初步測試。數值模式之網格點資料可利用一輻射模式來估算其輻射量。此輻射模式除利用大氣的溫度、水氣剖面、吸收氣體等參數外，雲分量的估計也嚴重影響輻射估算值。因此我們利用高解析度的 AVHRR 資料做為 HIRS 視場中雲參數分析的資料來源來估計雲參數，所估計的雲參數與目前中央氣象局數值預報模式的分析與預報結果的網格資料來計算輻射值。衛星觀測的輻射值將與數值模式中相對應位置的輻射值做比較。結果顯示網格資料的模擬輻射值與衛星觀測的輻射值十分相近。個案分析顯示利用 AVHRR 資料分析單一 HIRS 視場中的雲參數，對雲參數的估計確能獲得良好結果。而使用輻射模擬模式修正雲高的測試，初步顯示也有不少的改進。同時，利用輻射模式輸入數值模式的分析場模擬衛星觀測在各頻道也獲得良好的模擬結果。

### 一、前言

對於衛星資料的使用或同化，傳統的方法是將反演後的垂直剖面，做為探空資料提供客觀分析使用。此種做法往往高估衛星觀測的權重，將低解析度的衛星觀測之垂直剖面資料與較高解析度的探空觀測資料混合導入高解析度的數值預報模式，反而降低初始資料的解析度。這也是北半球資料密集地區發現衛星資料反而有負面效果的原因。Eyre and Lorenc(1989)認為直接將輻射值導入模式，可維持原有的解析度但也獲得衛星觀測資料可以克服上述問題。Eyre(1991,1992)利用輻射模式模擬衛星觀測，與衛星觀測的輻射值修正(反演)原來的垂直剖面。為進行衛星觀測輻射值的同化，我們首先針對雲參數的處理問題，使用高水平解析度的 AVHRR 資料對每一個 HIRS 視場中的雲量進行分析，然後藉助中央氣象局有限區域模式的分析資料與輻射計算模式中對有雲量存在時的輻射模擬能力，做為提供衛星資料反演時較精確的雲參數估算與衛星觀測輻射資料之同化的初步測試。

### 二、分析方法與採用資料

本實驗所使用的衛星資料是 1995 年 8 月 8 日早上 7 時 12 分 NOAA-12 號衛星的觀測資料，涵蓋

範圍自朝鮮半島至菲律賓群島間的洋面與部分陸地。輻射模式所用的資料為中央氣象局有限區域模式的分析場。由於衛星觀測的視場的經、緯度並不規則，因此須將數值天氣預報網格點上的大氣變數水平內插至該視場的相對地理位置。並且垂直內插至輻射模式中。因為陸上的地表情形比較複雜需考慮更多因子，因此我們暫時選擇在海面上的觀測視場進行分析。

首先利用 Aoki(1990)的方法合併 AVHRR 與 HIRS 兩種觀測資料，比較 HIRS 頻道八的觀測亮度溫度與相對位置 AVHRR 頻道四的平均亮度溫度值(圖一)，圖中的點都落在對角線上或附近，因此結合 AVHRR 與 HIRS 資料來進行雲參數的估計是可行的。其次，對於 AVHRR 視場雲、晴的判定則採 Saunders(1988)的方法，但略做修正。對一個 HIRS 視場中所有的 AVHRR 掃描點進行判斷晴空或是有雲，當 HIRS 掃描點中的所有的 AVHRR 掃描點都被判為晴空時，則認定這個 HIRS 掃描點為晴空；而被判為有雲存在的 HIRS 點，則再進一步的分析其中雲參數的情形。本研究中分析單一 HIRS 點中雲參數的方法與 Taylor(1985)的方法類似。當 HIRS 視場中有較均勻的區域時，會有較明顯的小標準差集中區(足部)產生(圖二)。取取出該區的平均溫度代

表此均勻區域的溫度，求取足部溫度的方法如 Taylor *et al.* (1985) 所使用。假設雲的放射率為 1，公式(1)可求出這個 HIRS 視場中的雲分量，其中  $I_{mean}$  是 HIRS 視場中 AVHRR 掃描點的平均輻射值，

$$N = \frac{I_{clr} - I_{mean}}{I_{clr} - I_{cloud}} \quad (1)$$

$I_{clr}$ 、 $I_{cloud}$  代表晴空與雲遮的輻射值。當峰值數超過兩個以上的視為多層雲，目前暫時不處理。圖三是部分晴空部分為單層雲覆蓋的情形，左圖為加權直方圖右圖為所在位置之雲圖。在直方圖中虛線為原始的加權直方圖，實線是經平滑化後的曲線。雲高是以各層雲的窗區頻道亮度溫度與數值模式的溫度剖面比對而來。但這個方法由紅外遙測方程式，在假設視場為全雲遮且雲為不透明的情形下，如公式(2)，知亮度溫度的求取必受大氣的吸收與放射影響，並不會等於該層的溫度值，因此必定有誤差存在。

$$I_c = B_\nu(T_c)\mathfrak{T}_{\nu c} + \int_{\mathfrak{T}_{\nu c}}^1 B_\nu(T)d\mathfrak{T}_\nu \quad (2)$$

公式(2)等號右側第 1 項為雲頂的輻射值，第 2 項為雲頂至衛星間之大氣輻射值。 $I_c$  為衛星上量得全雲遮的輻射值， $B_\nu$  是頻率為  $\nu$  的普朗克函數， $T_c$  為雲頂溫度， $T$  是大氣溫度， $\mathfrak{T}_{\nu c}$  為頻率為  $\nu$  的雲頂透射率， $\mathfrak{T}_\nu$  大氣透射率。在此我們希望藉助於輻射計算模式修正此一效應。

### 三、資料與模擬結果

圖四是晴空 HIRS 觀測視場亮度溫度的模擬情形，橫軸是觀測的亮度溫度，縱軸是由輻射計算模式計算出的亮度溫度。頻道 1, 9, 11, 12, 17, 19 有較嚴重的偏差，頻道 8, 18 也有偏差的情形產生。頻道 20 至 23 是代表 MSU 頻道 1 到 4，頻道 1 與 17 的權重函數的極值都在高層，分別為 30 毫巴與 5 毫巴，而在此處的大氣參數資料在數值分析場最高層之上，只用簡單的外延法得到，這是造成偏差的主要原因。頻道 9 是探測氧氣的頻道，這次計算並未輸入精確的氧氣含量值，故產生偏差。頻道 19 偏差是因為並未計及反射陽光的關係。至於 11, 12 頻道是水汽頻道，除計算模式本身在此有較大的誤差外，發生偏差的原因也可能是來自於區域模式水汽場分析的結果仍具有改善的空間。第 8 頻道偏離較大的地域發生在鋒面雲區南側的洋面上，可能是此地系統移動的速度較快所造成，但須進一步探討詳細的原因。18 頻道也是窗區頻道。至於 MSU 頻道方面，第一頻道(頻道 20)有較大的偏

差，這是因為 MSU 頻道的權重函數極值在地面，而地表的微波放射率變動很大因此產生誤差。

圖五是雲為單層且部分晴空部分雲遮的情形下雲分量在 0.1 至 0.9 之間的 HIRS 視場所模擬出的結果，模擬的情形與晴空時類似，唯偏差明顯較大。

圖六是全雲遮情形下模擬的結果，由圖中可以發現溫度較低的雲層模擬的偏差比較大，由其差值的空間分布圖(未附)可以發現，偏差較大的地區發生在熱帶氣旋的雲及鋒面雲層中溫度較低的地區，可能的原因是目前的方法對高層雲的雲高判定較差，或高層雲的物理特性並不合於黑體的假設。表一是經比對預報場得到的雲高情形下計算亮度溫度與觀測亮度溫度的平均差，與經調整雲高後所得的平均差值，其中雲層高度平均而言調整了 45.24 毫巴，經調整後的模擬情形，平均而言較優於未調整前。

就目前在歐洲中心發展的 1DVAR 方法中，用來進行反演工作的頻道，在全晴與半雲遮的情形是 HIRS 1 至 7 與 10 至 15 頻道，和 MSU 2 至 4 頻道，而 HIRS 1 至 3 頻道和 MSU 2 至 4 頻道則用於全雲遮的 HIRS 視場。由圖七(a)，可以發現到在這些用於反演的頻道中，除第一頻道與水汽頻道有較大的差值外，其餘頻道的差值都在一定的範圍以內，而其標準方差也不大，這顯示目前所使用的方法，對目前雲晴的處理及日後進一步從事觀測與模擬結果偏差修正的可行性。圖七(b)是部分晴空部分雲遮的情形，相較全晴的情形平均差值明顯偏大的頻道發生在 HIRS 頻道 6 與 7 及水汽頻道，而且模擬的亮度溫度較真實觀測的亮度溫度為高，圖七(c)是全雲遮的情形，偏差發生較大的頻道在 13, 14 頻道。且全雲遮的情形各頻道的標準差都比較大，不過如前所述這些誤差較大的區都發生在高層雲的情形。

在圖七中 can 發現 MSU 頻道 2 至 4 不論在晴空、半雲或全雲的情形平均差值都不大且標準差小，這是因為 MSU 是微波觀測儀器，微波對雲層而言除非有大粒徑的液態水存在，否則具有強大的穿透率，因此不受雲層的干擾，而 MSU 頻道是以後做觀測與模擬偏差因氣團特性不同而做不同修正的主要依據 Eyre(1992)。

### 四、結論與討論

本研究處理單一 HIRS 視場中雲參數的方法是結合多種的分析方法而成，可以判斷晴空或有雲；及在有雲的情況下分析雲層數目與估算單層雲的雲分量之能力。個案分析顯示利用 AVHRR 資料分析

單一 HIRS 視場中的雲參數，對雲參數的估計確能獲得良好結果。而使用輻射模擬模式修正雲高的測試，初步顯示也有不少改進。同時，利用輻射模式輸入數值模式的分析場模擬衛星觀測在各頻道也獲得良好的模擬結果。這些結果除了提供反演 HIRS 資料的預設參考值以外，對於衛星輻射資料直接導入數值模式而言這也是初步的測試與瞭解。然而，本研究的結果仍具有許多須要改進的工作與可以繼續發展的方向。其中包括：判斷 AVHRR 視場是否為晴空的方法中所使用的經驗值應作長期的資料分析，以得到適合於本地使用的經驗值；目前於分析雲層數目方法中，所使用的濾波方法，將資料過分平滑化，仍須進一步改進；本實驗分析雲參數的過程中，並未充分的使用 HIRS 資料將是以後加強的方向；數值預報或分析場不能提供輻射計算模式資料的地區，應尋找適當的資料填補；此外，多層雲量的分析更是企待解決的問題。對於衛星觀測輻射資料的同化則尚有相當長遠的距離與大量的工作。

**誌謝：**本文蒙中央氣象局資訊中心葛行珺小姐悉心打字，衛星中心廖美慧提供晴雲判別參數的經驗。沈秀蓉、王光華、林熹閔、張拱祿、滕春慈、黃麗玫等提供資料處理的協助。陳萬金博士與 NOAA/FSL Dr. Dongsoo Kim 提供討論與建議。主要的電腦計算與模擬在中央氣象局衛星中心與資訊中心的電腦系統中完成。本研究主要資源由中央氣象局業務電腦化第三期計畫提供，部份資源由國科會 NSC84-2111-M-052-008 AP4 與 NSC85-2111-M-052-004 AP4 計畫項下補助。

**參考文獻：**

Aoki, T., 1980: A method for matching the HIRS/2 and AVHRR pictures of TIROS-N satellites. *Tech. Note No. 2*, Met. Sat. Center, Japan, 15-26.

Eyre, J. R. 1991: A fast radiative transfer model for satellite sounding systems. *Tech. Memo. 176*, ECMWF.

Eyre, J. R. 1992: A bias correction scheme for simulated TOVS brightness temperatures. *Tech. Memo. 186*, ECMWF.

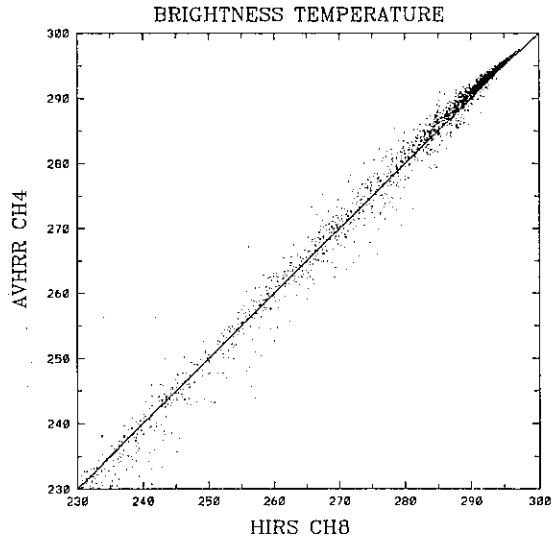
Eyre, J. R. and Lorenc, A. C. 1989: Direct use of satellite sounding radiances in numerical weather prediction. *Meteorol Mag.*, **118**, 13-16

Rodgers, C.D. 1976 Retrieval of atmosphere temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **14**, 609-624.

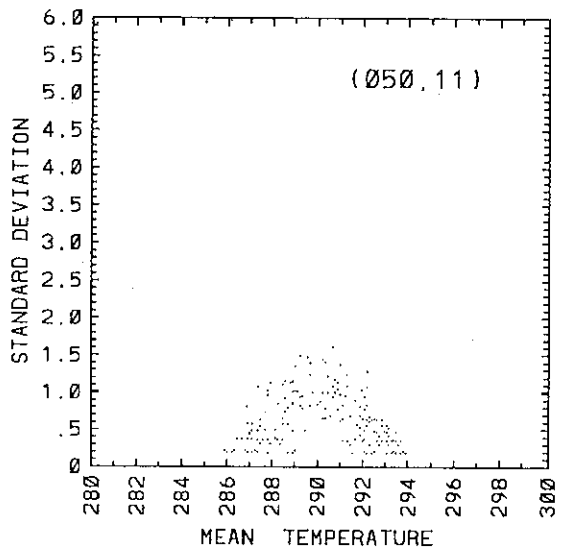
Saunders, R.W. and K.T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances for AVHRR data. *Int. J. Remote*

*Sensing*, **90**, 1, 123-150.

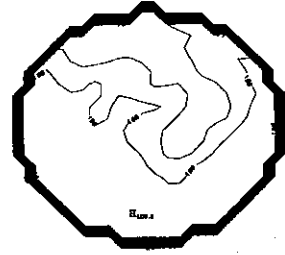
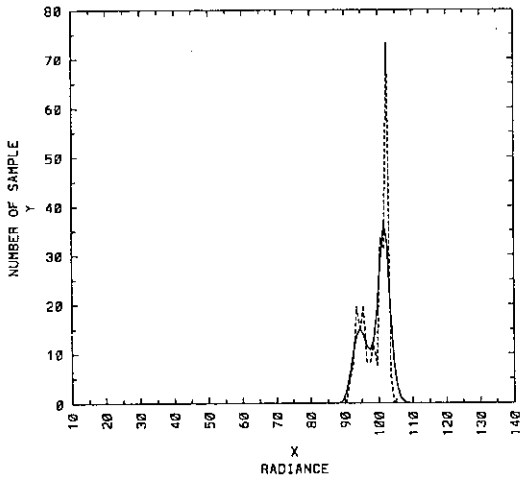
Taylor, B.F., C.M. Hayden, W.L. Smith, 1985: The determination of HIRS scene temperature from AVHRR data. *TOVS-II conference*.



圖一：AVHRR (頻道4)與 HIRS (頻道8) 之亮度溫度比較。



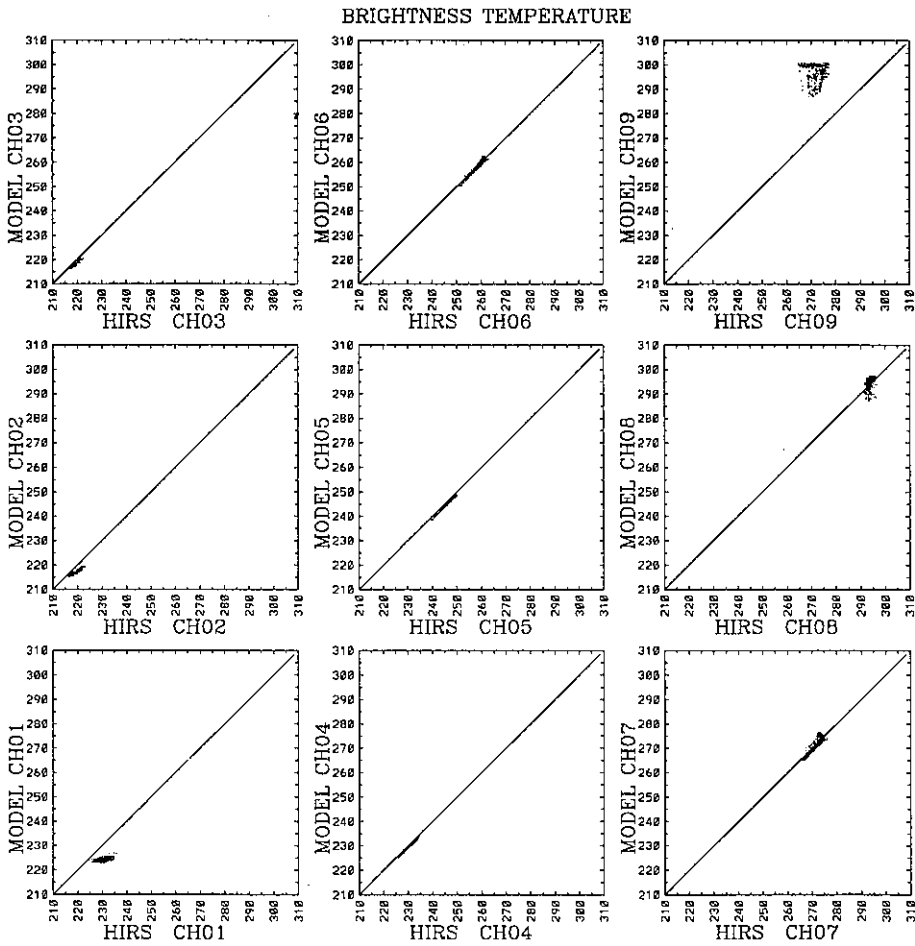
圖二：以第 50 條掃描線，第 11 點掃描點的 HIRS 視場為例所畫出的空間相關圖。



line 050  
 pixel 11  
 cloud .344

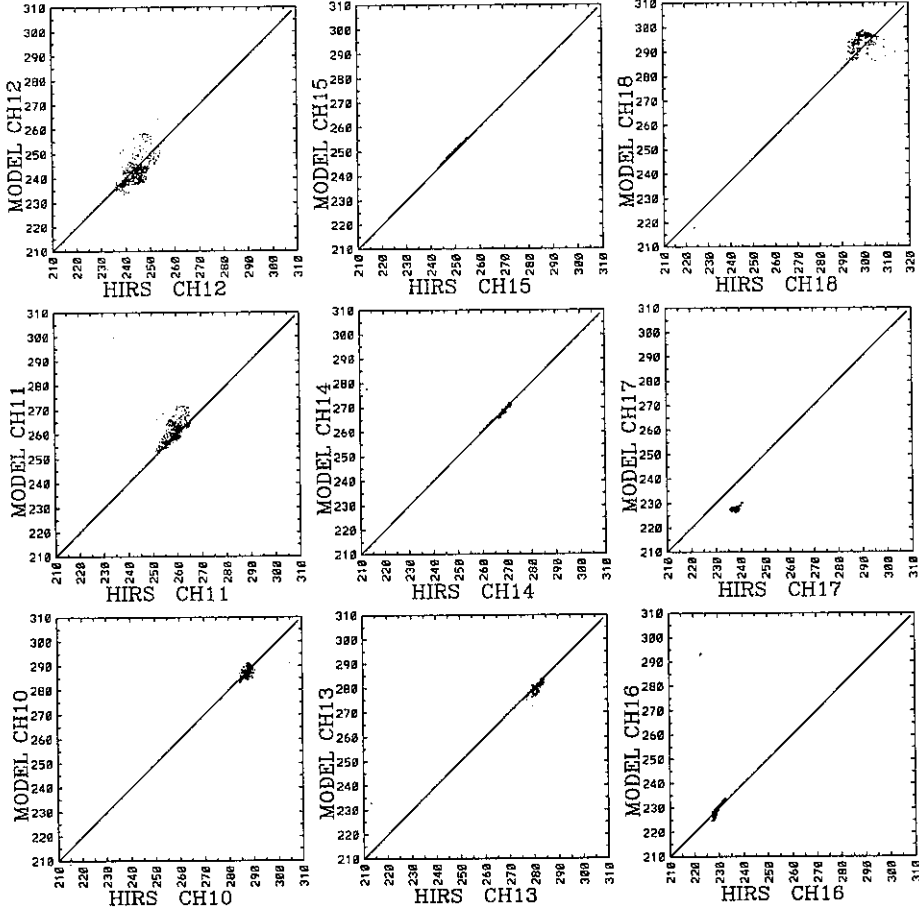
CONTOUR FROM 5 TO 100 BY 5

圖三：左圖虛線為原始加權直方圖，實線為濾波器修勻後的情形，右圖為以等值線所表示的 HIRS 視場雲圖。



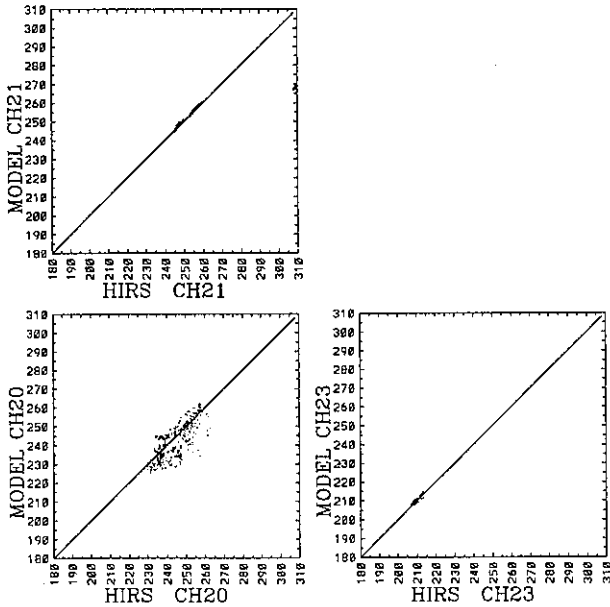
圖四：晴空 HIRS 觀測視場的亮度溫度與模擬的亮度溫度的比較。橫軸是觀測的亮度溫度，縱軸為模擬的亮度溫度。

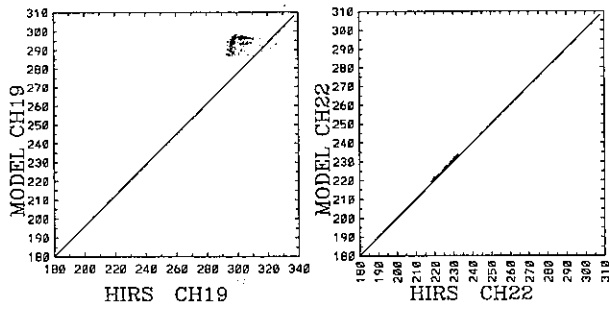
BRIGHTNESS TEMPERATURE



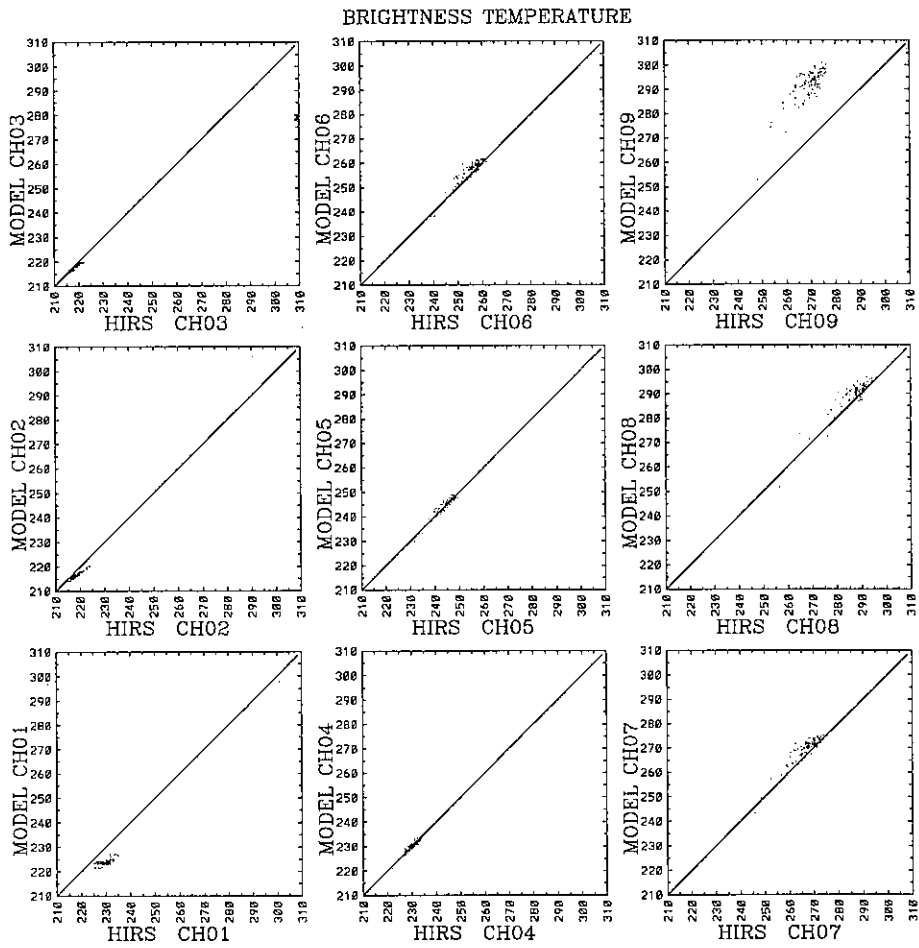
圖四：(續)

BRIGHTNESS TEMPERATURE



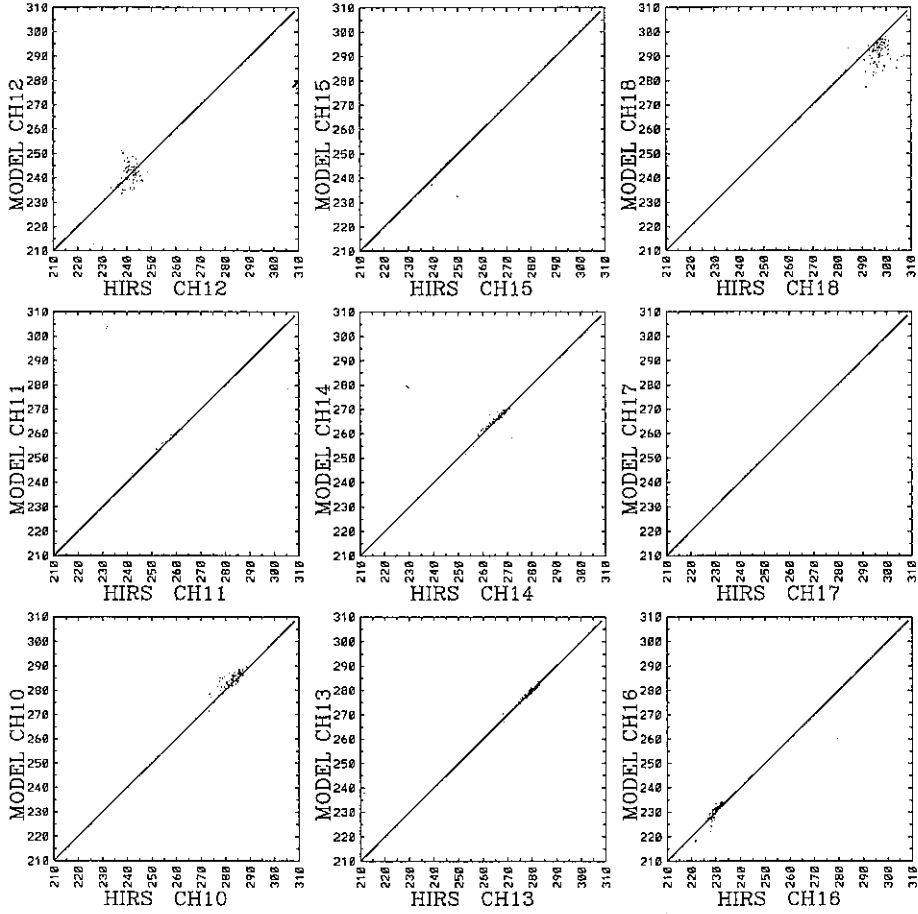


圖四：(續)



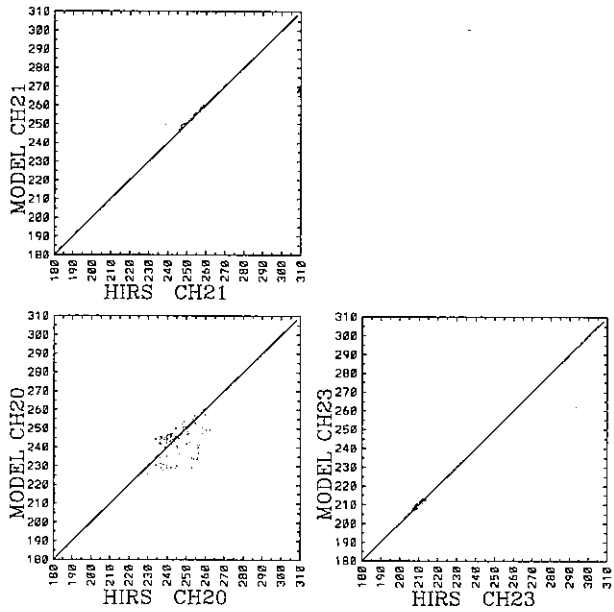
圖五：如圖四，但 HIRS 視場為部分晴空且  
部分單層雲(雲量在 0.1 至 0.9 之間)。

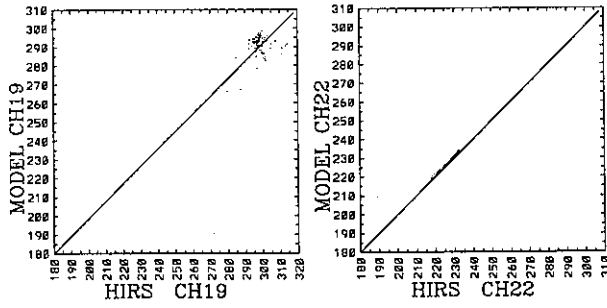
BRIGHTNESS TEMPERATURE



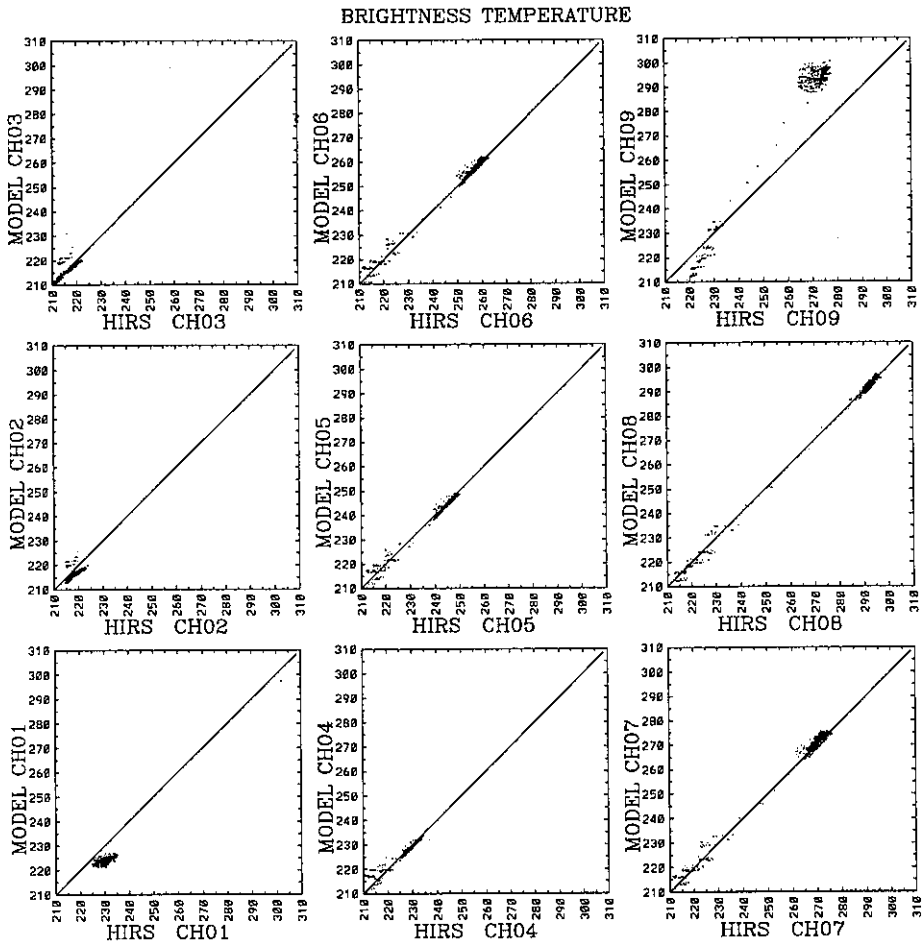
圖五：(續)

BRIGHTNESS TEMPERATURE





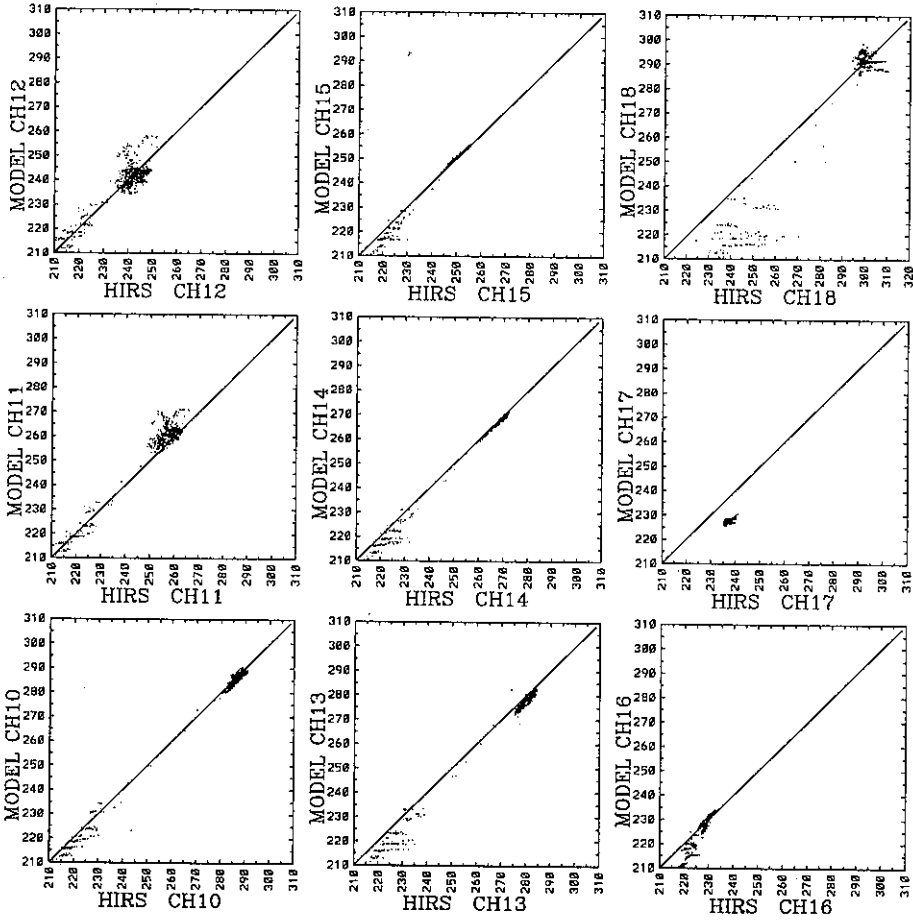
圖五：(續)



圖六：如圖四，唯 HIRS 視場是全雲狀況。

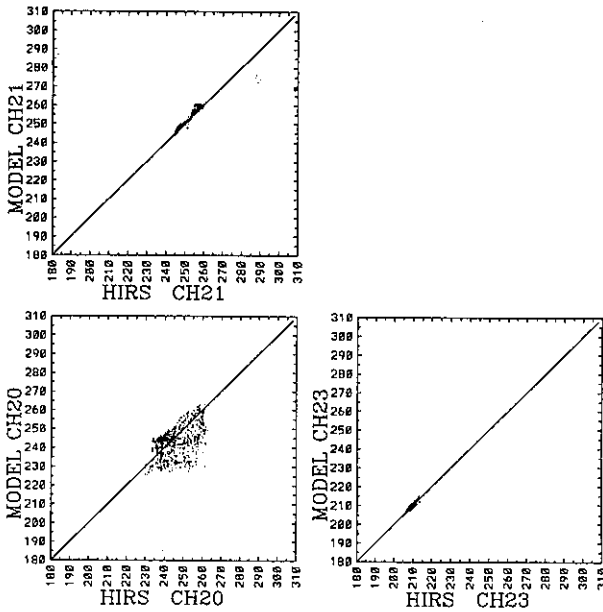


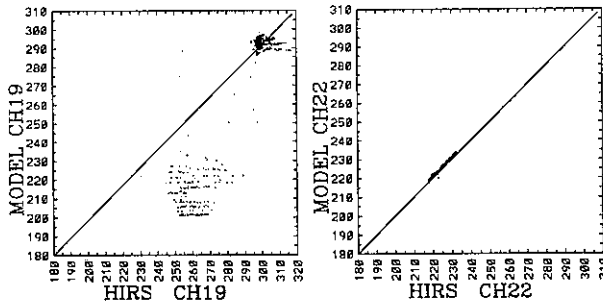
BRIGHTNESS TEMPERATURE



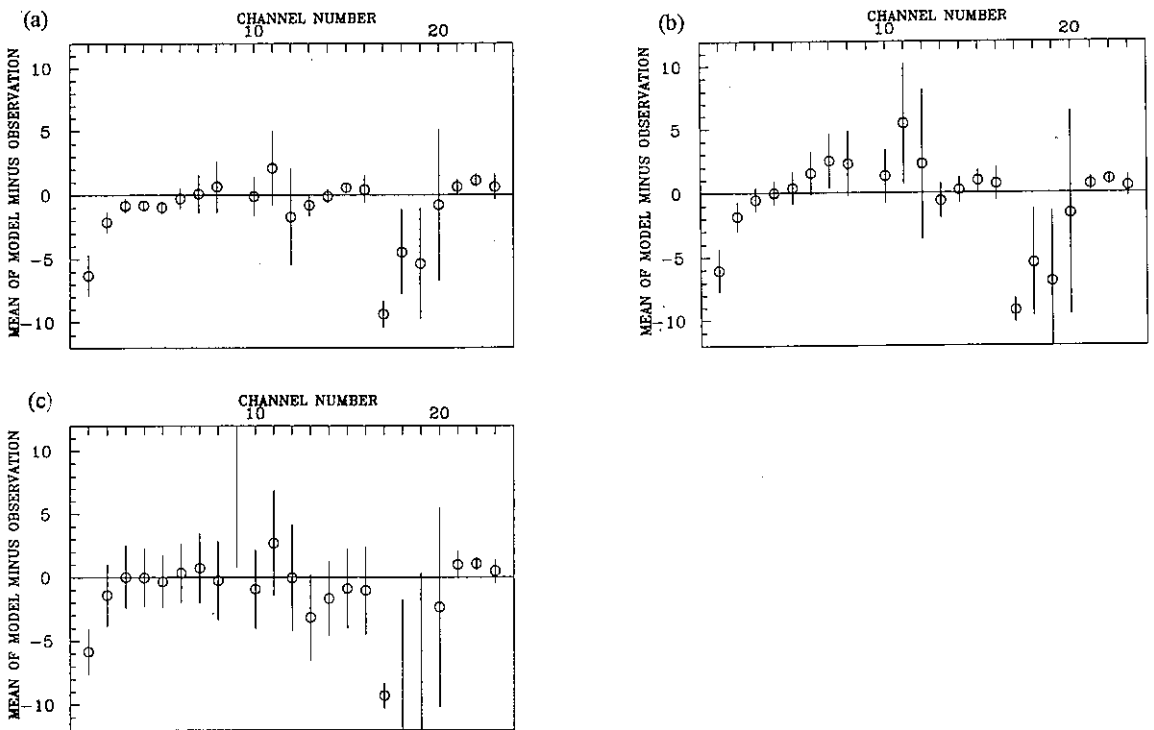
圖六：(續)

BRIGHTNESS TEMPERATURE





圖六：(續)



圖七：縱坐標是亮度溫度( $^{\circ}\text{K}$ )，橫坐標是頻道數，1至19是代表HIRS頻道1到19，20到23是代表MSU頻道1到4。圓圈所在位置代表模擬與觀測差值的平均大小，穿過圓圈的短棒長度代表標準方差的大小。  
圖(a)為晴空的情形，(b)，(c)分別為半雲遮與全雲的情形。

sample number:	400
change number:	400
mean change of cloud high:	45.23749
mean difference between observation and simulation	
before change:	3.27006
after change:	1.91531

表一：經修正雲高與未修正前之比對