

交通部中央氣象局 研究計劃期末報告

題目：利用GMS-5衛星資料校驗中央氣象
局數值預報模式之分析與預報場

計畫編號：CWB87-2M-06

主持人：劉振榮

委託單位：交通部中央氣象局

執行單位：國立中央大學太空及遙測研究中心

日期：1998年6月30日

利用GMS-5衛星資料校驗中央氣象局數值 預報模式之分析與預報場

劉振榮、林唐煌、郭宗華(中央大學遙測中心)
盧孟明、王光華、潘琦(中央氣象局)

I. 計畫目的

由於電腦與數值模式的進步，數值天氣預報模式的應用越來越重要，數值預報模式不只大量減低人為的主觀判斷的誤差，其計算與分析能力也一直在進步中，可見在未來的天氣分析工作上，數值預報模式將越來越重要。

雖然數值預報模式的概念與發展已有三十餘年，各種模式的能力也漸受肯定，但時至今日，如何量化地評估預報模式的準確性似乎仍未被嚴格地考慮過，其主要的原因在於一般數值模式的時間與空間預報能力都遠大於傳統氣象觀測網的能力，故發展出一完整客觀的方法來驗證數值預報模式是有所必要的，準確的驗證結果也可作為改進訂正模式的依據。

本計劃的主要目的在於校驗中央氣象局數值預報模式(Numerical Weather Model, NWM)的結果，其方法先由數值預報模式運算出氣象參數，主要為三維的溫濕度網格點資料，及一些環境參數，如地面發射率等資料，輸入輻射傳送方程(Radiative Transfer Equation, RTE)，計算出其透射率與輻射值，經由此步驟模擬出GMS-5影像，即可推斷數值模式的精確度與偏差量，更可進一步地以此比較結果來修正數值預報模式。本研究的校驗重點將放在預報模式的分析場與預報場，本研究的另一主要目的是經由比對結果與模擬可建立更接近真實情況下的RTE模式。

II. 研究方法

由於GMS影像為實際觀測資料，以其來驗證數值模式結果，將可

得到客觀的比對結果，但因兩者的輸出參數/物理量並不一致，GMS所觀測到是到達大氣層頂的向上輻射值，而NWM則是溫濕度與其變化趨勢，兩者無法直接比較，需先行轉換成共同的物理量。因此本研究將視GMS影像為比較依據，而將NWM所輸出的溫濕度資料以RTE模擬換算為GMS所應觀測到的輻射值，再比較兩者的影像，以檢驗NWM結果，更一步可將檢驗結果做為進一步修正NWM的依據。

自1992，英國科學家L. F. Richardson在他的書中"Weather Predictionary by Numerical Process"就曾提出描述大氣運動的微分方程式可被近似為代數微分方程式，而計算出其中變數的趨勢變化，此種計算方法即為數值模式的原理。至今數值預報模式已廣為各國氣象單位使用，如中央氣象局所使用的NWM區域模式，在NWM日益廣被使用後，如何驗證NWM的結果精度也日益受到重視。

基本而言，校驗NWM的結果準確與否可由其預報準確率來判斷，但此判斷準則僅能提供一較局限性的定性比較，而無法做大範圍的定量描述。以實測資料，如探空資料，來比對NWM結果可說是最客觀準確的驗方法，但此方法卻又因探空資料的時間空間解析度的不足而有所限制，探空資料一天內只有兩次資料，且很多區域(特別是海洋區域)都缺乏探空，而NWM所處理的資料卻常常是時間連續且涵蓋面積廣大，故以探空資料來校驗NWM結果有其實行上的困難。本研究的目的即在於利用具備觀測時間間隔短(每半小時到一小時觀測一次)且涵蓋面積大之特性的GMS影像來校驗NWM結果。基本而言，因兩者所輸出的物理量不同，故本研究將以影像化(Visualization)方式來比對兩者的差異。本研究將先把比對重點放在GMS紅外線影像。

III. 輻射傳送理論基礎

在紅外線波段，衛星所觀測到向上紅外線輻射強度可以RTE表示為

$$I_{\nu}(\mu) = B_{\nu}(T_s)\epsilon_{\omega}\Gamma_{\nu}(\frac{\tau_1}{\mu}) - \int_0^1 B_{\nu}(T') \frac{\partial \Gamma_{\nu}(\frac{\tau'}{\mu})}{\partial \tau'} d\tau'$$

其中

I ：衛星所觀測到的輻射強度。

ν ：波數。

$\mu = \cos \theta$ ： θ 為天頂角。

B ：蒲朗克(Planck)函數。

T_s ：地表溫度。

ε_{ω} ：地表發射率。

Γ_{ω} ：地表到大氣層頂的透射率，即全氣柱透射率。

Γ_{ν} ：某一層大氣到大氣層頂的透射率。

τ_1 ：地表的光程座標值。

T' ：某一層大氣的溫度。

τ' ：某一層大氣的光程座標值。

因GMS衛星為垂直向下觀測，故 $\mu=1$ ，上式可再改寫為

$$I_{\nu} = B_{\nu}(T_s)\varepsilon_{\omega}\Gamma_{\omega} - \int_0^{\tau_1} B(T') \frac{\partial \Gamma_{\nu}(\tau')}{\partial \tau'} d\tau'$$

上式也可改寫為以透射率為垂直參考座標的形式

$$I_{\nu} = B_{\nu}(T_s)\varepsilon_{\omega}\Gamma_{\omega} - \int_0^{\Gamma_1} B_{\nu}(T') d\Gamma_{\nu}$$

簡言之，衛星所觀測到的向上輻射強度等於地表溫度所發射出的黑體輻射(等式右邊第一項)再加上大氣各層溫度所放射出的黑體輻射(等式右邊第二項)，兩者皆經過大氣的衰減作用。在紅外光波段，衛星所觀測的輻射強度與地表溫度、地表發射率及氣體成份垂直分佈的資訊有關。因此若地表與大氣垂直資訊是已知，就可模擬計算出衛星所應觀測到的輻射強度。

在一般情形，若觀測地區為洋面，因水體在紅外線波段可視為黑體，故發射率為可近似為1，若為陸地，則放射率就與地物類別有關。前述討論均是在晴空情況下討論，即衛星可觀測到地表，若為有雲或部份有雲情況下，則前述RTE需考慮雲的影響。

若為雲區，則輻射強度為雲頂溫度與雲頂以上各層大氣溫度黑體輻射再經大氣衰減的總和，即

$$I_{\omega cld} = B_{\omega}(T_{cld})\varepsilon_{\omega cld}\Gamma_{\omega cld} + \int_{\Gamma_{\omega cld}}^{\Gamma_1} B_{\omega}(T') d\Gamma_{\omega}$$

其中

I_{cld} : 衛星所觀測到的雲區輻射強度。

T_{cld} : 雲頂溫度。

ε_{cld} : 雲頂發射率。

Γ_{cld} : 雲頂到大氣層頂的透射率。

若為部份有雲情況下，則RTE變為更複雜，因衛星所觀測的輻射強度將部份來自晴空區，部份來自雲區。而來自晴空區與雲區輻射強度比例與雲量有關。其中雲量可由下式得之

$$N_c = \frac{(I - I_{\text{clr}})}{(I_{\text{cld}} - I_{\text{clr}})}$$

其中

N_c : 有效雲量。

I : 平均輻射強度。

I_{cld} : 雲區輻射強度。

I_{clr} : 晴空區輻射強度。

因此部份雲區的輻射強度(I'_v)可寫成

$$I'_v = (1 - N_c)I_v + N_c I_{\text{cld}}$$

在建立輻射傳送方程後，如何真正地計算大氣中的輻射效應是另一個重要的工作，由於在一般的輻射傳送方程條件下並無法求得解析解，因此必需由數值求解著手，由一般情況下，RTE的精確求解極耗時間，如何有效地模擬出RTE結果而又不失精確性是本計畫的重點之一。

本研究修改Lowtran7程式套做為本研究的紅外線輻射/透射率計算模式，Lowtran程式套為美國空軍地球物理實驗室(AFGL)於1988年所發展出來的一套模式，可計算大氣透射率與大氣及地表放射輻射，其適用波段範圍為 $0.25 \sim 28.5 \mu\text{m}$ ($350 \sim 40000 \text{cm}^{-1}$)，最小光譜解析力為 5cm^{-1} 。在本計畫中Lowtran模式將用來計算紅外光與水汽頻道的大氣穿透率與輻射值。

由於計算時間的考慮，Lowtran模式是採用低光譜解析度的計算

方式。真正的穿透率求解需以line-by-line方式做積分，但此方式需耗費大量時間，故Lowtran採用band-by-band的方式積分，此方式雖會降低精確性，但研究顯示對可見光與紅外光波段的影響不大。

IV. 資料來源

就前述討論而言，模擬GMS紅外線影像，需輸入地表溫度、地表發射率(含海洋與陸地)、大氣垂直成份資訊(主要為溫濕度剖面)、雲頂溫度、雲頂高度、雲頂發射率。由於目前NWM並無法提供或直接提供所有需要的參數，本研究將先行由別種資料建立與檢驗紅外線RTE模式。考慮涵蓋面積與參數需要，本研究使用TOVS反演資料，TOVS不僅可提供三維溫濕度網格點資料，也能提供雲量、雲高、地表溫度等資料。所使用的TOVS資料為1995年5月12日23:24Z台灣附近區域，涵蓋區域約為 $110^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$ ， $10^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 。

另外本研究也使用中央氣象局NWP結果作為輻射模擬計算的輸入，中央氣象局NWP資料空間解析度約為 60×60 公里的網格點，區域涵蓋東亞地區，資料本身包括溫度、溼度、壓力、地面高度，垂直高度分為16層，時間則為1997年7月。

本研究所模擬計算的區域主要為南中國海地區，時間則為1997年5月到8月，涵蓋南中國海地區夏季季風肇始的時段。

V. 模擬結果與討論

圖1為1995年5月12日23:24Z台灣地區實際的GMS-4紅外線影像，亦為本研究嘗試模擬的影像，我們可比對模擬影像與此真實影像的差異，來先行檢驗參數與RTE模式的準確性。圖2為反演的地表溫度(skin temperature)，需注意的是TOVS反演出的地表溫度在雲區區域是雲頂溫度。比較圖1與圖3，可看出兩者的形狀相當接近。圖3是TOVS反演出的1000mb高度的相對濕度，其中相對濕度是由溫度與露點溫度間接計算出。經由TOVS反演資料，可取得1000、850、700、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20及10mb共15層各層高度的溫濕度場。

另外經由TOVS所反演的雲頂高度及雲頂溫度(圖4、5)。對照紅外線RTE方程式，尚需輸入地表/雲頂發射率，因目前尚無此類實際反演值或觀測值可供使用，本階段暫時假設均為1，即全視為理想黑體。

將所有參數輸入修改後的Lowtran程式套，計算 $10.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 間波段，即能求得透射率與輻射值(圖6、7)及其所模擬的GMS-4 IR影像(圖8)。比對圖1與圖8，可知大體而言，本方法可初步模擬出近似的GMS-4 IR影像，若經由RTE的再一步修改及輸入參數精確性的提高，應能提高模擬影像的準確度。就現階段結果而言，模擬過程的誤差來源可能有如下幾個原因：

- (1) Lowtran程式套本身的誤差——即程式套及真實RTE的相異點，如程式套內部對真實物理條件與作用的簡化，例如Lowtran本身的光譜解析度為 5cm^{-1} ，為一低解析(low resolution)模式，並不能完全符合真實的物理情況。
- (2) 輸入參數的誤差——如大氣溫濕剖面等的誤差，(即TOVS反演誤差)，其他如發射率值因無法取得，僅能以假設值代入。
- (3) 雲參數的誤差——本研究假設雲為單層，並不考慮多層雲情況，也未考慮薄雲(如卷雲)的情況，即地表輻射可部份穿透雲層的情況，也未考慮同一視場部份有雲的情況。另就以往研究顯示，TOVS所反演出的雲參數尚有可觀誤差存在。

前面所述是由TOVS資料為根據所模擬的IR影像，再與GMS-4做比較，大致而言，其結果就定性而言相當不錯(定量檢驗尚未討論)，但此只是一個粗步檢定。如何由NWP結果模擬出可與GMS-5 IR影像比較的模擬影像才是本研究的主要工作。

比較前述TOVS的模擬過程，可發現若使NWP結果為模擬資料將無法獲得雲頂高度值。由於中央氣象局的NWP模式並未提供此一數值，因此本研究將先由GMS-5 IR影像間接推求雲頂高度，再加輻射傳送模式的模擬計算，最終再與GMS-5 IR影像比較來校驗NWP的準確性。以此方式來給定雲高，可能會影響其後的絕對比較，但就目前而言，此為一較可接受的取代方式，如何由NWP結果本身求得雲高資料，將是未來後續研究需加以解決的一大課題。

在GMS-5影像求取雲高的步驟中，本研究先利用GMS-5 IR影像求得雲頂高度，再由大氣垂直高度與溫度的關係來求得雲頂高度。本研究所使用雲頂高度與溫度關係是採用台灣地區三十年來長期觀測的平均值，圖9為利用1997年5月20日20Z GMS-5 IR1影像所估算的雲頂溫度與高度的關係。基本而言，溫度與高度為一相當穩定的線性關係，以長期平均值所推估的雲頂高度值誤差不大。取得雲頂高度後，就可由前述RTE的關係來模擬輻射值(圖10、11)

與大氣穿透率，最後再模擬GMS-5的IR影像（圖12），再與真實的GMS IR影像比較，就可用來校驗NWP的結果，也可用來校驗NWP的預報能力，圖13與14為NWP 24小時與48小時預報場和同時間真實GMS資料所估算的亮度溫度變化比較圖，橫座標為1到62為5月1日到31日，因00Z與12Z各計算一次，故有62點。整體而言，本研究使用 γ 值來校正Loetran模式的計算偏差量（bias），故圖13與14的晴空溫度值相當接近，但擾動時段的差異仍然較大，顯示本RTE模式與模擬過程大體可行，但尚需做進一步的修正，以期能模擬出更細微的輻射變化。

VI. 結論

- (1) 就前述結果而言，模擬GMS IR影像的方法是可行的。
- (2) 考慮本研究的執行目標與規劃，合適的試區將選擇南海及其周圍區域($100^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$)，分析時段為1997年4月到8月，優先分析時段為1997年5月1~31日，另為了與NWM比較，模擬影像的地面解析度將為 $60*60\text{km}$ ，計算的光譜波段將為 $10.5\sim 11.5\ \mu\text{m}$ (GMS-5 IR1)及 $11.5\sim 12.5\ \mu\text{m}$ (GMS-5 IR2)與水汽頻道($6.7\ \mu\text{m}$)。
- (3) 氣象局的NWP模式目前能提供標準氣壓面之溫濕度、地表溫度、地形高度，其他如地表/雲頂發射率、雲參數將需由其他來源或方法得之。
- (4) γ 值的導入有助降低Lowtran的計算偏差量，以更大量的資料以迴歸出準確的 γ 值是未來的工作重點之一，更一步檢驗 γ 值與季節的關係也是未來工作重點之一。
- (5) 基本而言，本階段著重在模擬的定性比較，未來的工作將著重於定量的比較，以期能對NWP嚴謹的校驗與改進。

圖1 1995年5月12日23:24Z GMS-4紅外線影像，範圍約為
105°E~130°E，10°N~35°N。

圖2 TOVS反演的地表溫度(skin temperature)。

圖3 TOVS反演的相對濕度(1=100%)。

圖4 TOVS反演的雲頂高度。

圖5 TOVS反演的雲頂溫度。

圖6本研究所計算出的地表/雲頂到大氣層頂的透射率。

圖7本研究所模擬出GMS-4 IR輻射值。

圖8本研究所模擬出GMS-4 IR影像。

圖9 GMS-5 IR影像亮度溫度與高度的關係。

圖10 GMS-5 IR1影像灰度值與Lowtran模擬計算的輻射值關係。

圖11 GMS-5 IR2影像灰度值與Lowtran模擬計算的輻射值關係。

圖12 由中央氣象局NWP資料所模擬出的GMS-5 IR1影像。

圖13 由中央氣象局NWP資料所模擬出的24小時後GMS-5 IR1亮度
溫度值與真實GMS-5 IR1亮度溫度值的比較。

圖14 由中央氣象局NWP資料所模擬出的48小時後GMS-5 IR1亮度
溫度值與真實GMS-5 IR1亮度溫度值的比較。

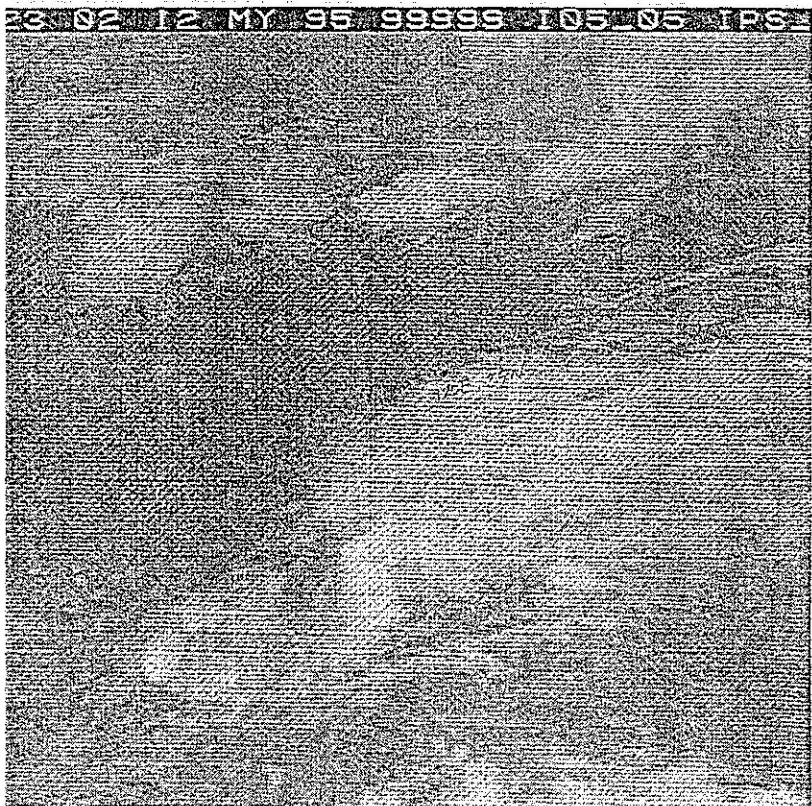


圖1 1995年5月12日23:24Z GMS-4紅外線影像，範圍約為
105°E-130°E，10°N-35°N。

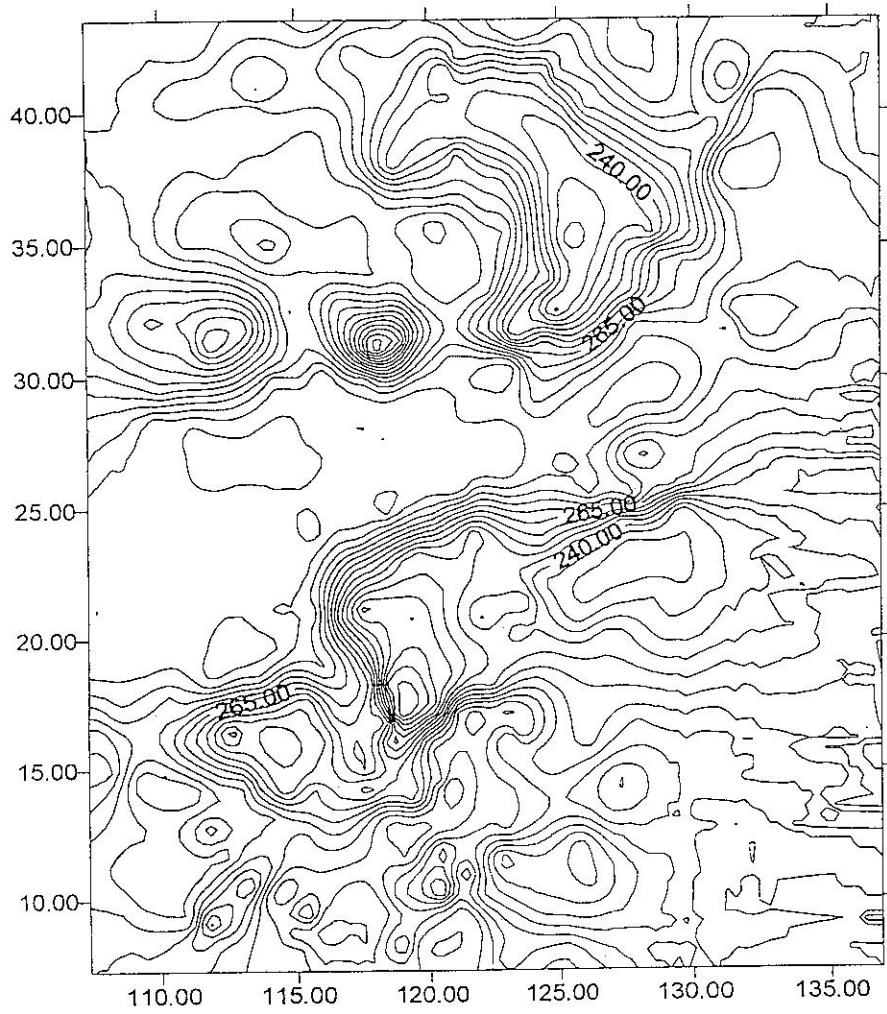


圖2 TOVS反演的地表溫度(skin temperature)。

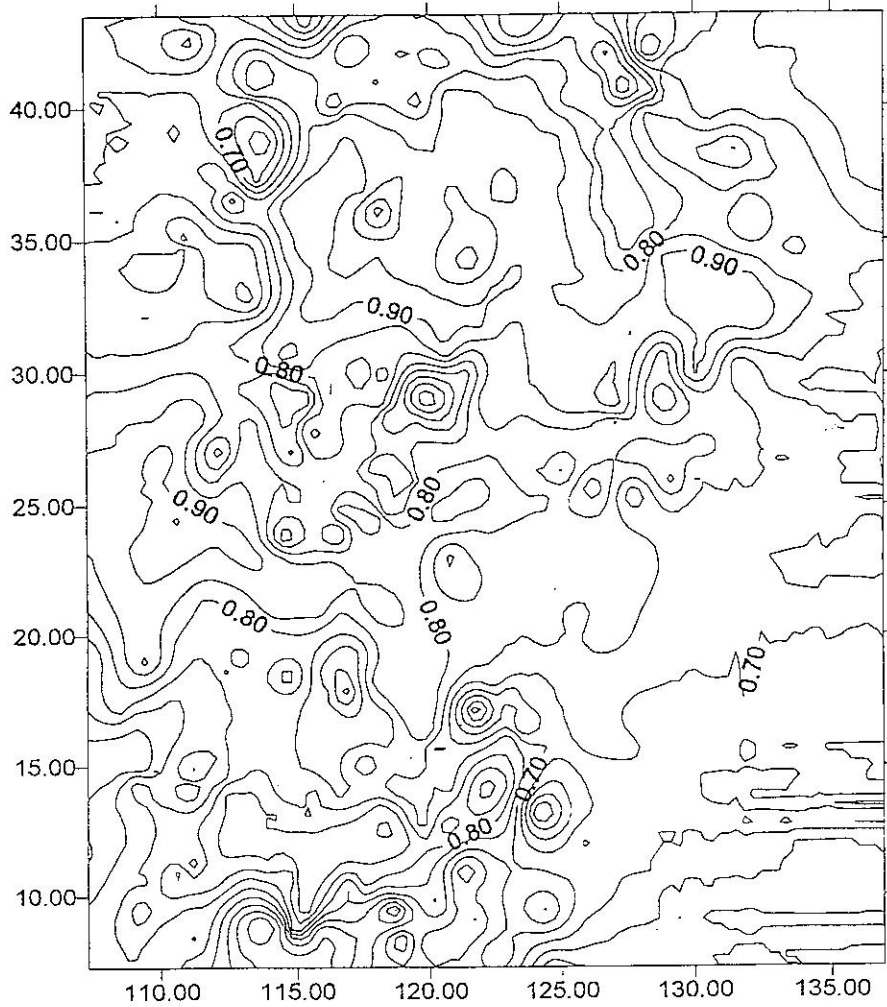


圖3 TOVS反演的相對濕度(1=100%)。

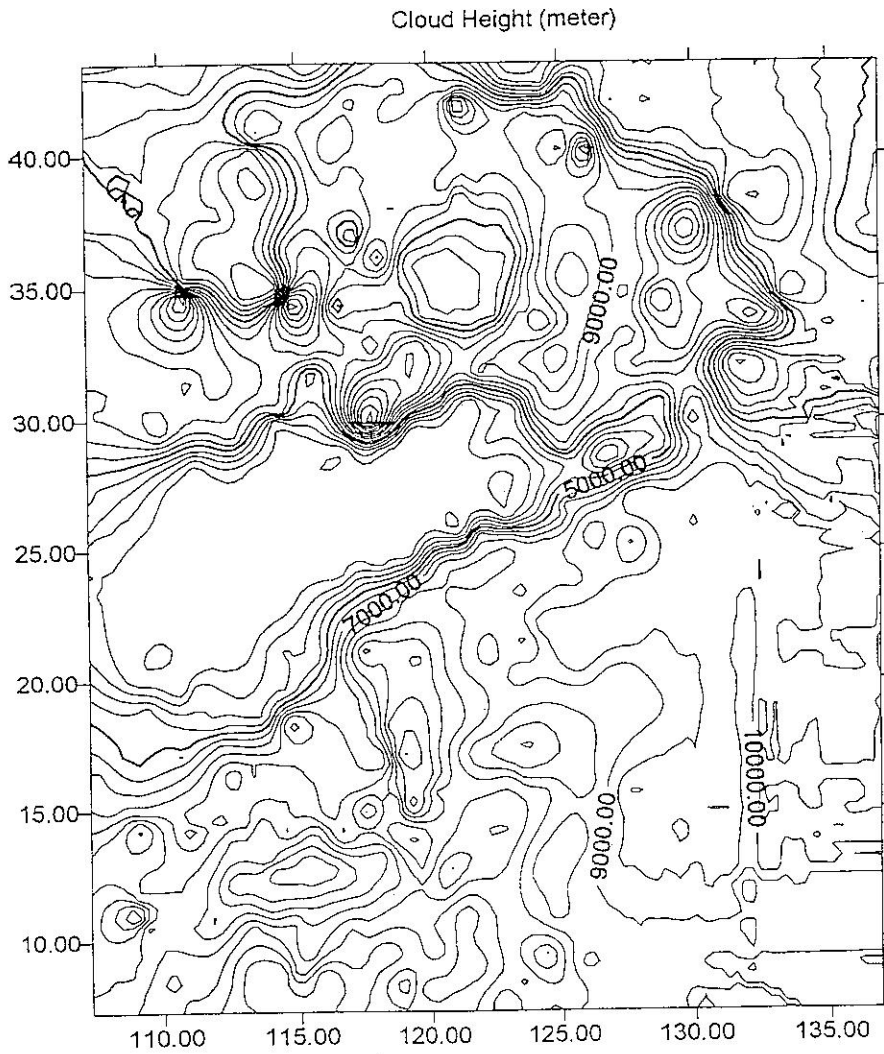


圖4 TOVS反演的雲頂高度。

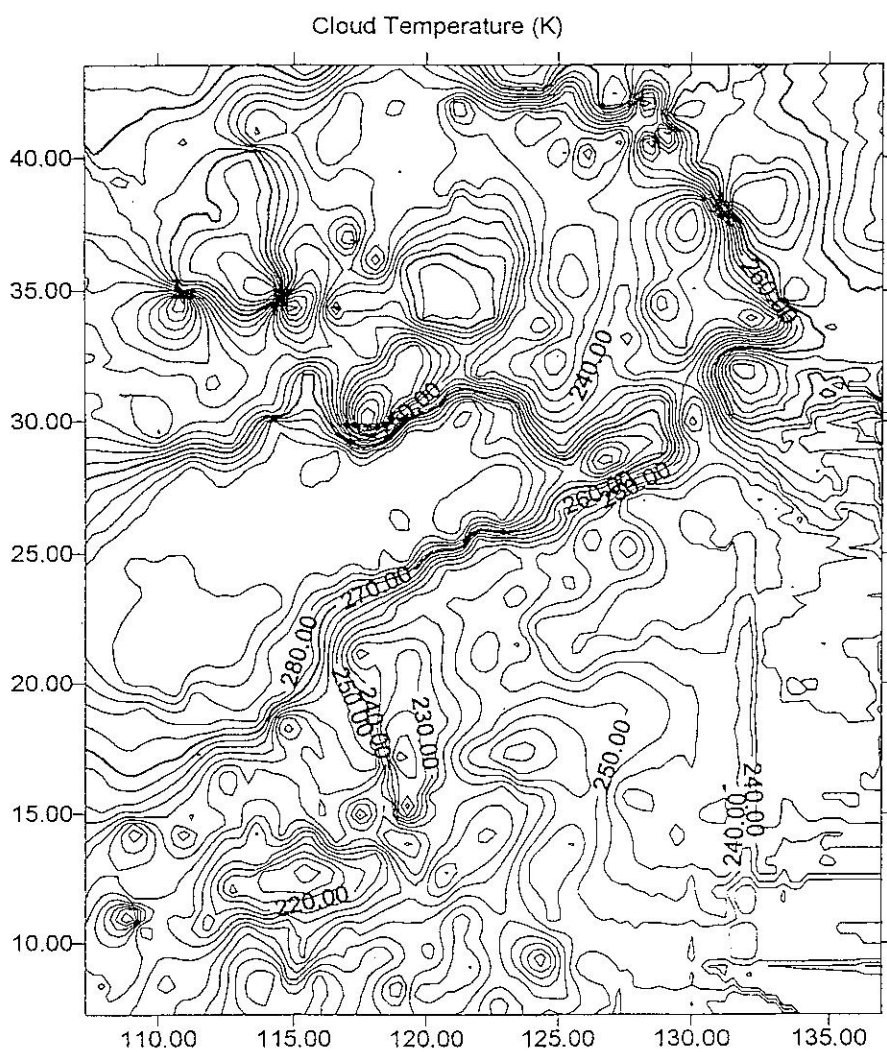


圖5 TOVS反演的雲頂溫度。

Transmittance (sfc/cloud top to TOA)

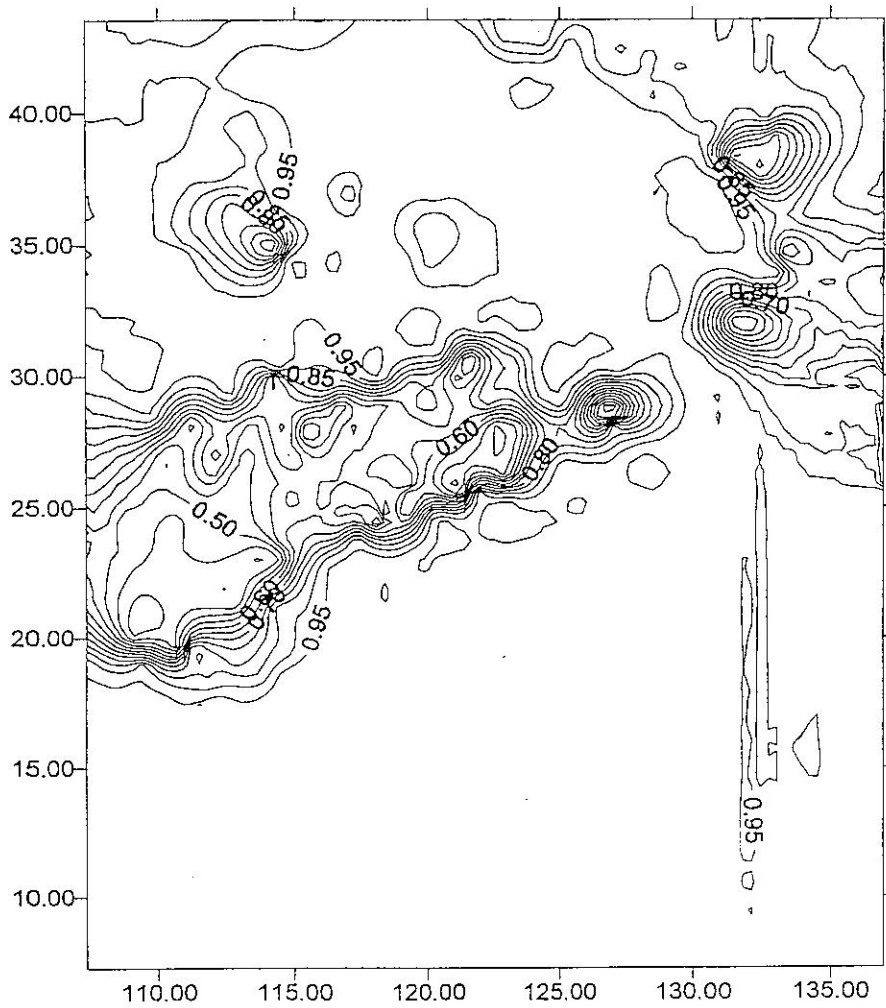


圖6本研究所計算出的地表/雲頂到大氣層頂的透射率。

1995/05/12 23:24

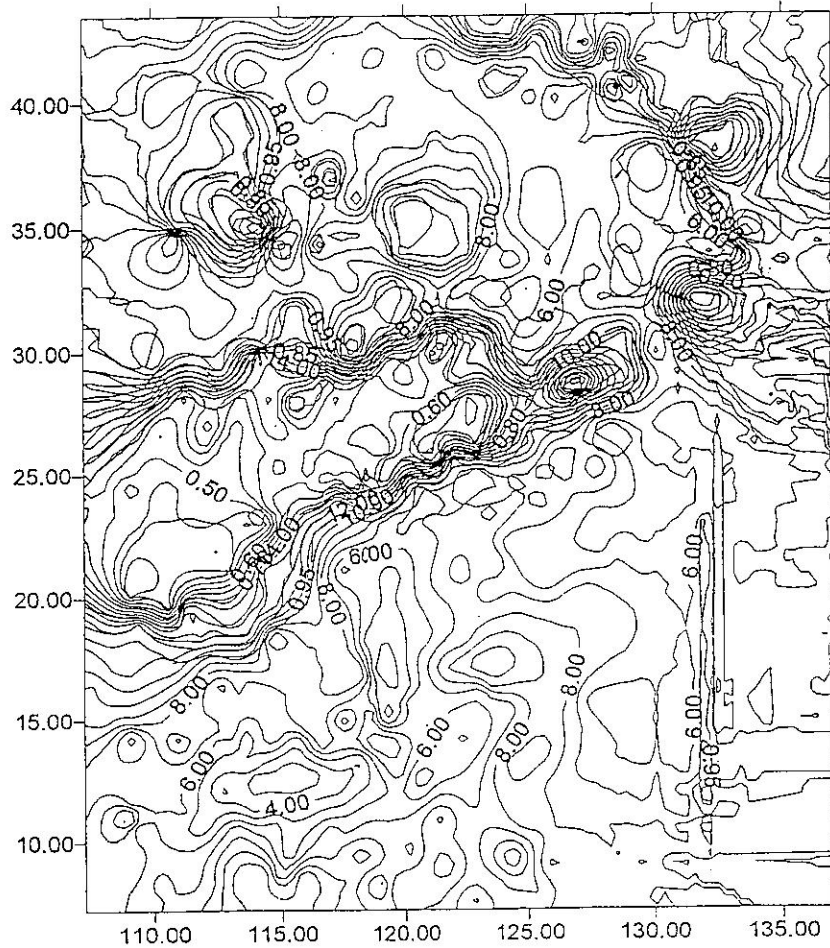
Simulated GMS-4 IR (10.5-12.5 μm) Radiance ($\times 10000 \text{ Watt/m/m}$)

圖7本研究所模擬出GMS-4 IR輻射值。



圖8本研究所模擬出GMS-4 IR影像。

402

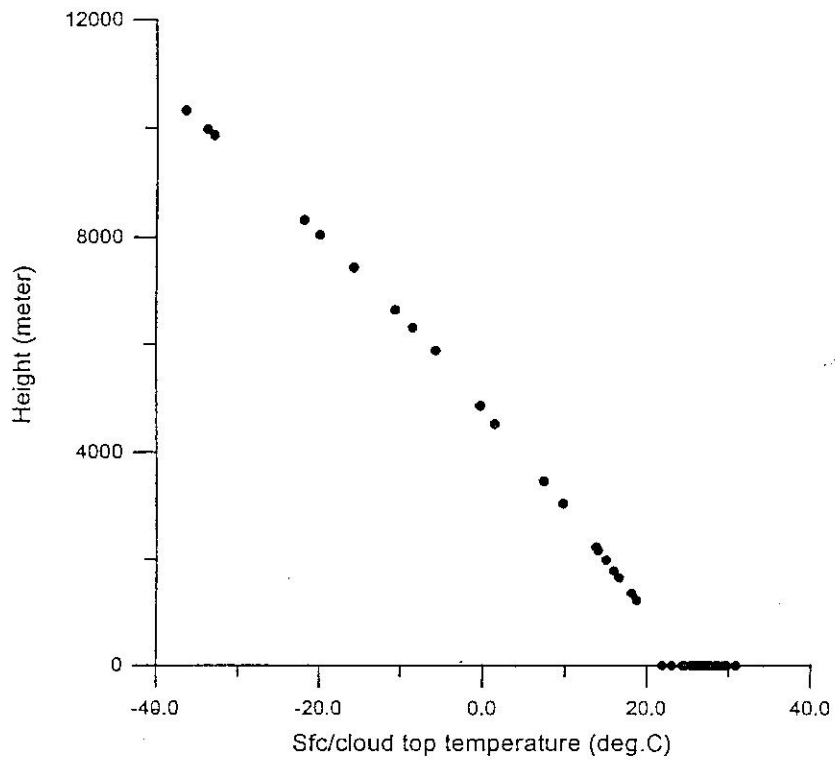


圖9 GMS-5 IR影像亮度溫度與高度的關係。

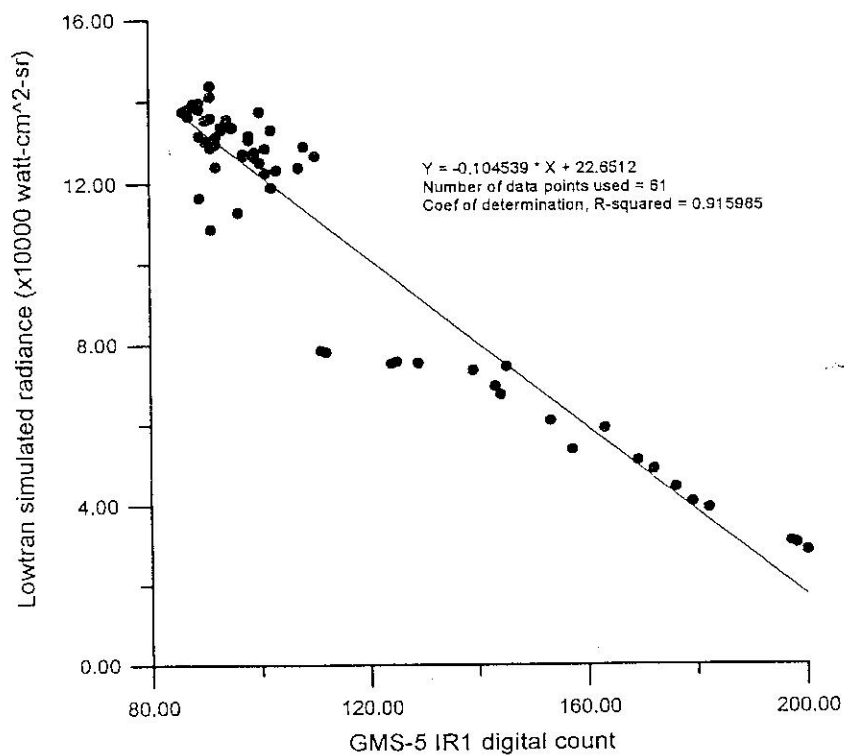


圖10. GSM-5 IR1影像灰度值與Lowtran模擬計算的輻射值關係。

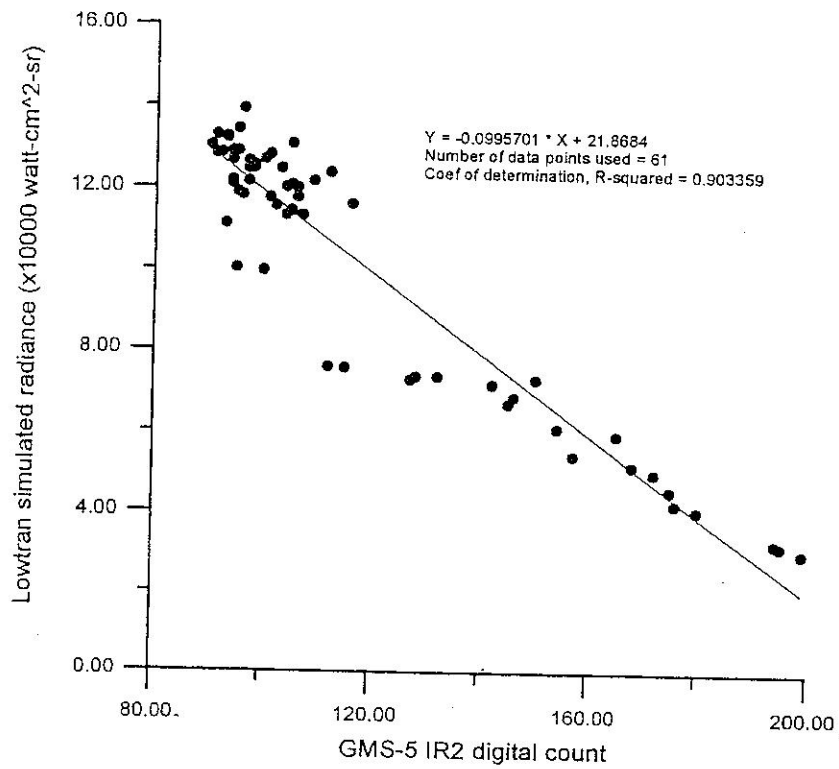


圖11 GMS-5 IR2影像灰度值與Lowtran模擬計算的輻射值關係。

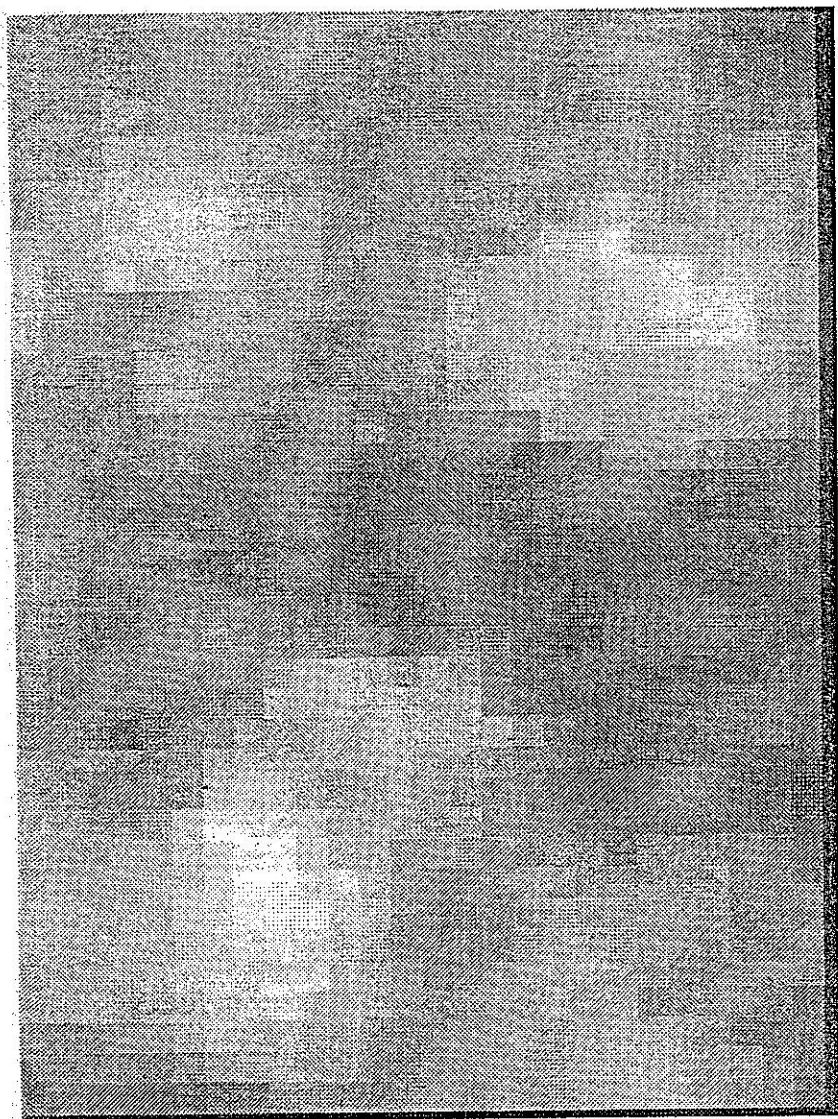


圖12 由中央氣象局NWP資料所模擬出的GMS-5 IR1影像。

406

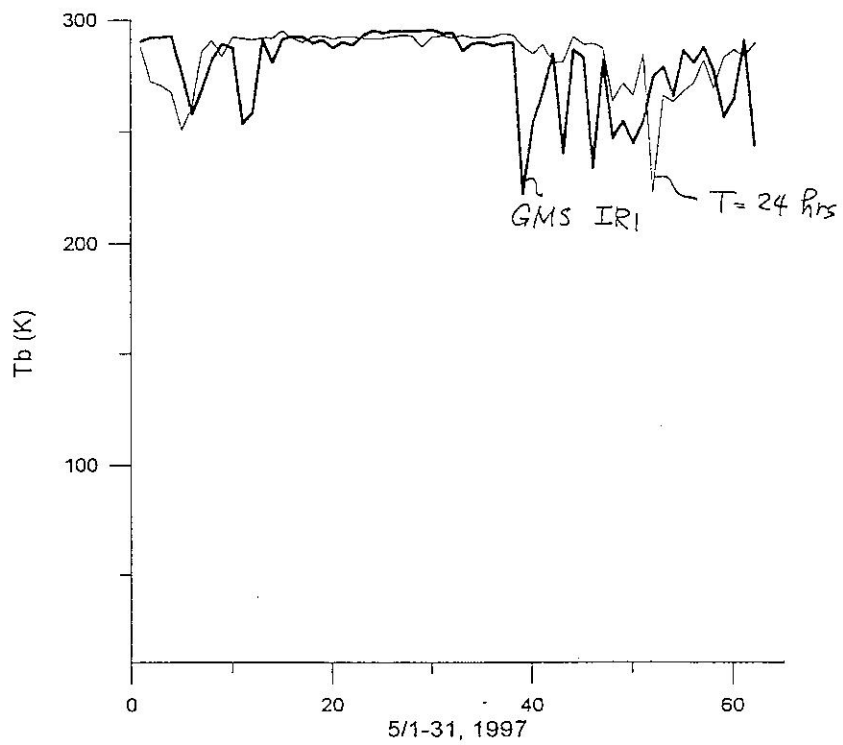


圖13 由中央氣象局NWP資料所模擬出的24小時後GMS-5 IR1亮度溫度值與真實GMS-5 IR1亮度溫度值的比較。

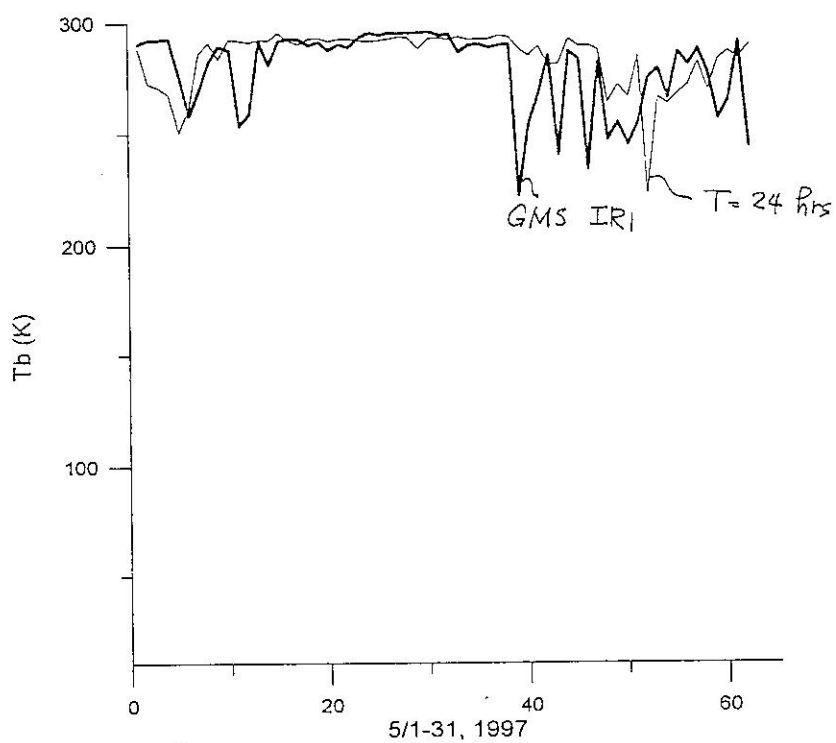


圖14 由中央氣象局NWP資料所模擬出的48小時後GMS-5 IR1亮度溫度值與真實GMS-5 IR1亮度溫度值的比較。