

# 利用 MSU 和 GMS - 5 資料估算海面上中尺度之降水

趙俊傑 陳萬金 劉振榮  
中正理工學院 中央大學

## 摘要

在利用衛星資料作降雨估算時，發現微波可以穿越雲層而直接得到雲中雨滴狀態的資訊，比以往使用可見光或紅外線只得到雲頂狀態資訊間接求得的雨量要來的準確。現行可用的衛星微波資料有 SSM/I ( Special Sensor Microwave Imager ) 和 MSU ( Microwave Sounding Unit ) 及剛發射昇空的 TRMM ( Tropical Rainfall Measuring Mission ) 衛星中的 TMI ( TRMM Microwave Image ) 頻道等，然而目前台灣地區可直接接收的資料只有 MSU 而已，基於未來本研究成果能直接應用於豪大雨預報作業之理由，所以本文選用 MSU 做為降水估算之頻道。

由於 MSU 第一頻道受降雨之影響最大，因此用它作為估算降雨之頻道，比 MSU 其他頻道要準確，但南北溫差效應影響了反演降雨的區域與大小，因此本研究利用多閾值法和 MSU 第二及第三頻道了消除此南北溫差效應。結果發現由於 MSU 解析度不佳的因素，造成估算出來的雨量偏低，且中小尺度的降水無法分辨出來。於是本研究首次結合 MSU 和 GMS 紅外線雲圖資料一起作降水之反演，結果顯示所得出之結果比單用 MSU 資料之結果要來的準確。

未來取代 MSU 之新一代微波儀 AMSU ( Advanced Microwave Sounding Unit ) 預計將在 1998 年 5 月份升空，AMSU 之頻道數比 MSU 要多，且解析度亦提高許多，對於降水預期會有更佳之估算，對於定量降水預報會有很大之幫助。

## 一、前言

降雨的量測方法包括有地面雨量筒、雷達雨量估算及衛星雨量估算等。地面雨量筒在陸地的分佈較為廣泛，所以以往皆用此量測法作降雨量分析，但在海洋上則相當稀少。而雷達亦可估算降雨，但它和地面雨量筒相似，只能作陸地和臨岸邊的降雨分析，對於定量降雨預報也只能作及時預報，而無法作較長時間的預報。衛星資料由於具備了觀測面積廣及觀測資料較一致性的特徵，所以能提供全面性的天氣狀況、海面資料及地表資料，對於天氣系統之分析、掌握及預報皆有莫大的幫助。以往應用

衛星資料研究多使用紅外線及可見光雲圖進行定量之降水預報，但由於紅外線雲圖受卷雲的影響很大，所得的結果往往因此而高估了降水量，這是因為可見光及紅外線只能提供雲表的資訊，對於雲下的降雨情形則無法觀測到(曾【1】)。可見光雲圖雖可消除卷雲之影響，但此雲圖只有白天才有，而且它所觀測到的只是雲的反照率，而不是真實的降雨資訊，這是屬於間接性的降水估計。較為直接的方法則是利用微波頻道進行降雨估計，因為微波頻道具備良好的穿透雲層能力，所以不受雲的限制，能夠提供雲下的資訊。

應用微波頻道進行定量降水估算，在國外



已經使用相當普遍，有很多學者加入這方面之研究行列，然而在國內則屬於剛起步階段。第一個提出這個概念的是 Buettner [2]，利用飛機觀測加以驗證的是 Singer 和 Williams [3]，Bashvinor 等人[4]和 Kreiss[5]。但 Wilheit 等人[6]以及 Adler 和 Rodgers [7]加以真正定量化估計雨量並應用到衛星資料。估算降雨之方法相當多，包括有物理法、統計法和類神經網路法等，早期應用於微波估算降水之衛星有 Nimbus-7 的 SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)，而現在衛星上裝載被動式微波頻道的氣象衛星有 DMSP (Defense Meteorology Satellite Program)，NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 和 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 三種衛星，其微波頻道系統分別為 SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)，MSU (Microwave Sounding Unit) 和 TMI (TRMM Microwave Imager)。三種衛星的任務及特性完全不同，SSM/I 及 TMI 的衛星頻道較多，解析度也較高，其主要的目的是在求取大氣中的各物理參數，比較適合做降水的估算。TRMM 衛星上有另外一個 PR (Precipitation Radar) 微波頻道，此儀器和前面提到的儀器不同點在於它是屬於主動式微波輻射儀，這和雷達一樣可主動發射及接收訊號，所以性質上和雷達相似，而和被動式輻射儀有顯著的不同。目前在台灣並沒有接收站直接接收 DMSP 及 TRMM 衛星資料，而 NOAA 之 MSU 頻道，雖然主要之目的不在反演降水，但可以滿足即時預報的需求，為目前台灣地區可即時 (real time) 利用之衛星資源，所以本文將著重在 MSU 頻道之定量降水估計。

MSU 頻道之所以被考慮到可以進行降水估計，主要是因為在進行溫度垂直剖面反演時，對於降雨大的區域，反演的溫度有偏低之現象 (Philips[8]；Hubert 等人[9])，經過測

試結果，他們建議如果懷疑降雨會影響 MSU 亮度溫度 (Tb; bright temperature) 之測量，就應當省略此反演之部分溫度。Grody [10]因此利用 MSU 第二頻道 53.74 GHz 以監測降雨，並使用第一頻道 50.30 GHz 推求陸地地表發射率。此外 Nappi 等人[11]利用 Median Filter Algorithm 以偵測及消除降水對亮度溫度干擾，而 Yang and Andrew [12]則是發現在陸地上 MSU 第二頻道之 Median Filter Anomaly 與降雨之相關性最大，而並非第二頻道之亮度溫度本身。

由於微波頻道海洋的表面發射率較低，大約只是陸地發射率 (0.9~0.95) 的一半 (約 0.5)，但其發射率變化較小，陸地的發射率及其變化都較大。並由程式模擬得知 MSU 第一頻道對於雲水和降水的變化較敏感，所以 MSU 第一頻道被使用做海洋降水之估計 (Spenser [13])，在陸地上因為 MSU 第一頻道對於陸地之發射率很敏感，故不宜直接做陸上降雨之估計。然而台灣地區是屬於海島地形，而且 MSU 之視場區域大 (約 110 至 200 公里)，所以本文嘗試利用 MSU 第一頻道之統計法來作研究，即是將 MSU 第一頻道之資料做角度訂正，並用第二、三頻道降低南北溫差效應，然後再進行降水之估計，並與地面降雨觀測站相比較，以測試 MSU 頻道對降水之敏感度，及對台灣地區估算降水之優劣。

## 二、原理

最大的 Tb 1 變化是來自大氣中的液態水的貢獻，但當衛星視場中雲和雨水的量增加時，Tb 1 則會增加至一飽和的極限值，此極限值端賴雲的放射溫度而定，以 37 GHz 頻道為例，此現象對它而言不管在理論上和實際上皆適用，對於一層 4 公里厚的雨層，假設雨水很少，此飽和極限的降雨量大約為 5mm/hr (Jin and Kong [14])，然而，大於 30 GHz 的

頻道，冰晶的散射效應變得很重要，它可以使 Tb 值降低。當足夠的冰晶產生時，便會和雲與雨水的 Tb 增溫相抗衡。

冰晶的散射現象在早期的研究室所知甚少，而後第一次被 Willheit 等人[15]利用飛機以 92 GHz 頻率觀測證實，第一次用衛星加以驗證則是由 Spenser 等人[16]，用的是 SMMR 37 GHz 資料。由於這種情況常發生於較小的空間尺度和較低的頻率，所以對 MSU 將近 100 至 200 公里的解析度而言，這種情況是從未出現的，可能是因為空間愈寬廣，冰晶在高層的量就愈少，這些只是稍微減少液態水的增溫現象，況且降雨並不會完全伴隨冰晶的。

前面提到 Tb 1 的變化是大氣中的液態水變化，但 Tb 的增溫現象是雲水或是雨水所造成的呢？這是一個很關鍵的問題，雖然雨水的粒子大於雲水的粒子，但被動微波輻射儀對於粒子大小並不敏感，不像主動微波儀 (雷達) 對粒子大小有選擇性。雖然米氏散射理論預測在近 50 GHz 頻率，雨滴所輻射的量是雲滴的二至三倍[17]，但雲滴所涵蓋的範圍比雨滴要大很多，因此而混淆了雲滴和雨滴的判斷。很可惜的是到目前為止，並沒有人能夠提出一個方法用以分別出雲滴或是雨滴，所以至今仍有待解決。然而，根據以上的分析，Tb 1 的變化可能主要是受雲水的變化所影響，直接受雨水的貢獻則較少，然而我們仍然可以用亮度溫度和地面測站降雨資料做適當的校驗。

但究竟亮度溫度的增加和降雨的大小有何相關聯呢？首先我們應訂出一個閾值來判斷是否有降雨，我們用區域平均雨量站的降雨值來和 Tb 1 做比較，訂出一個較為合理的閾值，在我們訂出一個閾值後，我們便可以導出一個 Tb 值和降雨的關係式。由於 Tb 值的增加和降雨的增加從理論來看並非是線性的關係 (因為 Tb 的增加會出現飽和值)，但是根據 Spenser [18]用雷達降雨量和 37 GHz 頻道估算的降雨

量相比較，仍然得到一個相當好的關係式，沒有非線性的情形發生，而 MSU Tb 1 對於雲和降水的反應與 37 GHz 頻道相差不大。此實際與理論之所以不同，可能是因為在 30 至 60 GHz 中間的頻道，Tb 的增暖是大範圍視場覆蓋值的函數，而在這個視場的大部分降雨對輻射而言是可透性的，其中只有少部分才是強烈降水。根據以上的解釋與說明，所以我們先假設 Tb 1 大於降雨閾值的大小與降水的關係是屬於線性的，而不是非線性的。

## 三、角度訂正

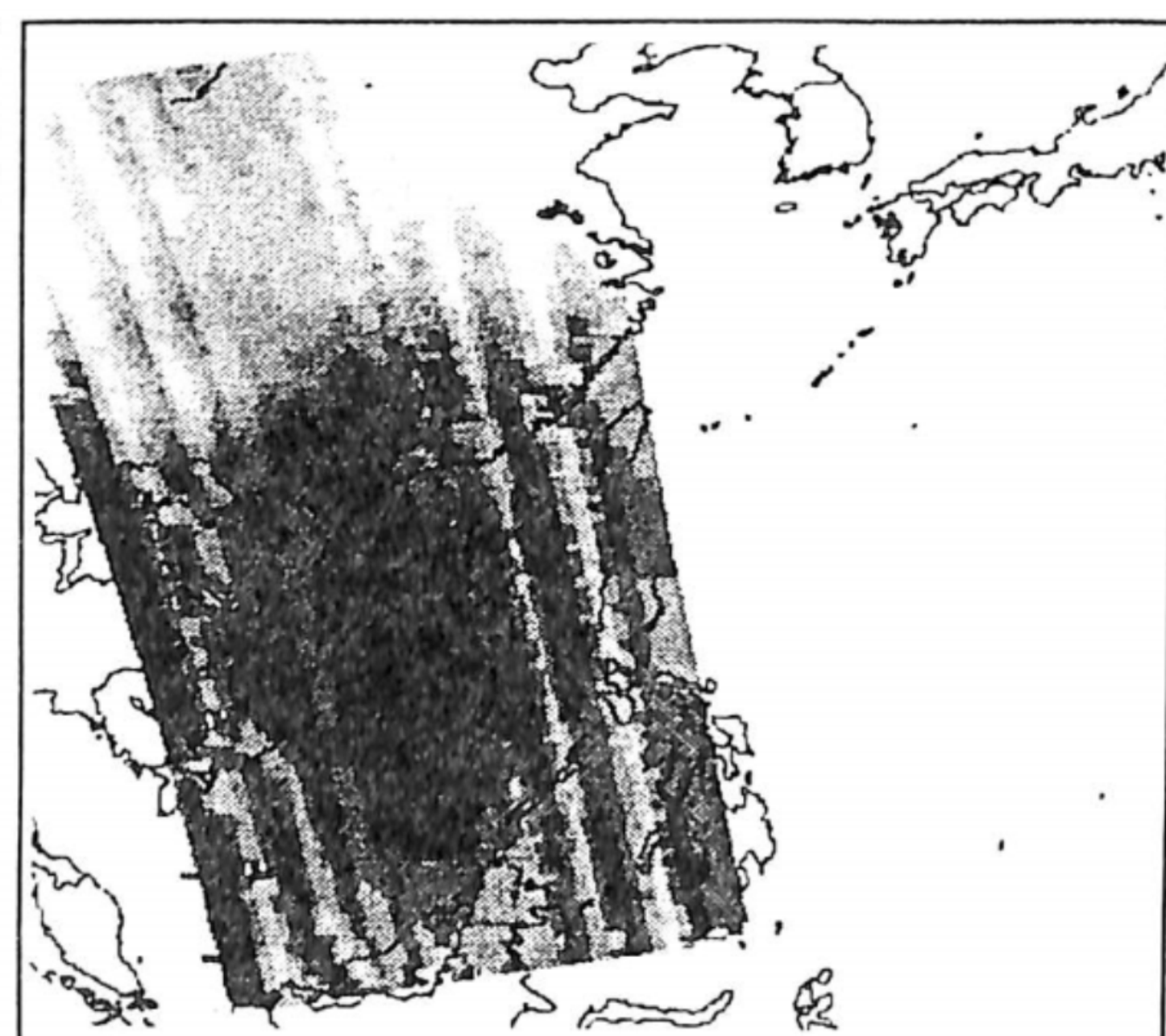
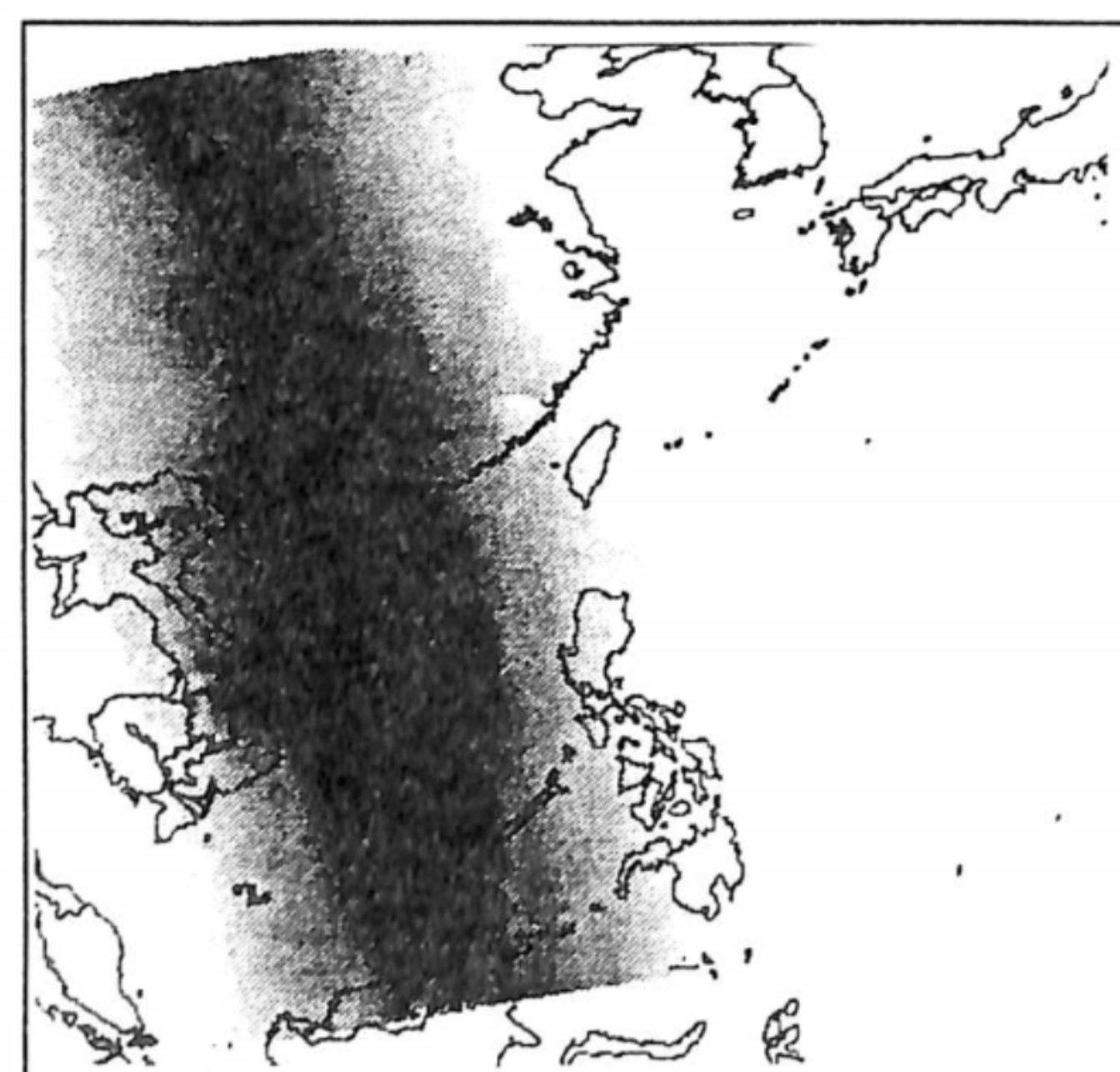
MSU 每條掃描線有十一個掃描視場，其掃描角度分別為  $\pm 56.6^\circ$ ， $\pm 44.2^\circ$ ， $\pm 32.7^\circ$ ， $\pm 21.6^\circ$ ， $\pm 10.7^\circ$  和  $0^\circ$  等，由於每個掃描角度所接收到地球輻射路徑長短不同，被水汽吸收或散射的量亦不同，這種現象稱之為「臨邊昏暗」效應，在使用各頻道亮度溫度進行各種物理量反演之前，必須加以校正，亦即將每一個不同掃描角的輻射值訂正到 0 度掃描角的輻射值。

角度訂正的方法大致為 Smith 等人[19]所提出利用一個頻道星下點的亮度溫度和所有頻道在一特定角度的觀測值做線性迴歸，迴歸係數的求得是利用氣候值計算得到合成亮度溫度所導出的，所以每個地區的角度訂正係數需要每個地區的氣候值作迴歸統計，然而真正做過台灣地區 MSU 角度訂正的人不多，只有李[20]及呂[21]等兩人，李與呂皆是利用 MSU 各頻道實際觀測的亮度溫度值與當時當地的探空資料所模擬亮度溫度的差值進行迴歸統計，並以此修正 MSU 的觀測值。但李的方法是找出測站相距 50 公里內的衛星視場 (FOV)，將探空以內差或外延方式把大氣自 1000 mb 至 0.1 mb 分成 40 層，然後帶入微波輻射傳方程式模擬 MSU 各頻道的亮度溫度值，做為衛星星下點的標準值；再與 MSU 觀測值相比，得到各



種視場觀測角度下的差值。並且將觀測角分為 0-10、10-20、20-30、30-40、40-50 度五個區域，針對各區域中探空計算與衛星觀測的差值作平均，而以此平均值作為校正值。若按照李之修正法進行角度訂正，在五個區域的中間交界處會出現溫度不連續現象，此種現象乃是因為此校正值是範圍較大之區域平均值，於是對於較小區域則有校正不足或是校正太過的情形發生，造成校正後亮度溫度的不連續現象。如圖一為未經角度訂正的 MSU 第二頻道之觀測影像資料，而圖二為經李之修正法校正後的結果，由圖二中可看出在區域交接處有明顯的不連續現象。

為了消除此不連續現象，呂對於李之校正法做了二點的修正；第一點只取與測站相距 18 公里內的衛星視場來作比較，縮短衛星視場與探空在位置上的差距，第二點直接求出各觀測角與星下點亮度溫度差之迴歸方程式。修正的結果如圖三所示，由圖中可以看出已經沒有前面所提的不連續現象。但呂之修正並不包含對 MSU 第一頻道的修正，主要是因為第一頻道屬於窗區頻道，所測得的亮度溫度主要是來



自地表的貢獻，因此它隱含了地表發射率的訊息。然而地表發射率會隨著地表物之不同而有所差異，所以要校正 MSU 第一頻道的臨邊昏暗問題首先必須先知道地表的發射率，而呂並沒有地表發射率的資訊可供使用，所以無法達到訂正的目的。主要是因為地表物並不是固定的，它會受時空因素的影響而改變，所以很難決定一個地區的即時地表發射率，只能用長期平均的地表發射率來代表此一地區的地表發射率。呂的角度訂正公式，其第二及第三頻道修正公式為

$$\Delta y_2 = 0.087 + 0.11x - 3.1 \times 10^{-3}x^2 + 1.4 \times 10^{-4}x^3 \quad (3.1)$$

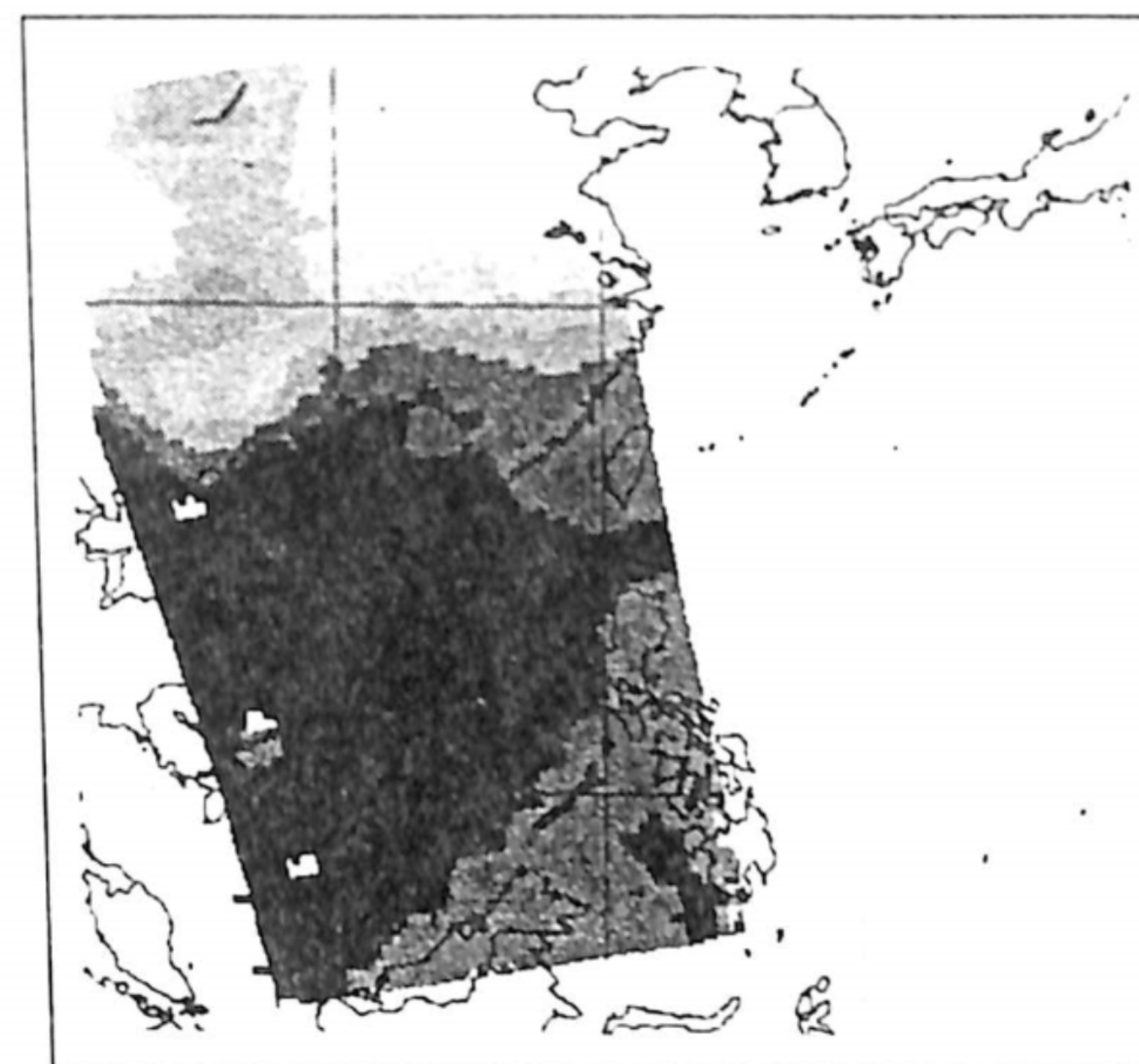
$$\Delta y_3 = 1.74 - 0.017x + 4 \times 10^{-3}x^2 + 2 \times 10^{-5}x^3 \quad (3.2)$$

其中  $\Delta y_2$  及  $\Delta y_3$  分別為第二及第三頻道的角度修正量  $x$  為掃描角度。

ITPP 程式中已經可以做到 MSU 第一頻道的角度訂正，但是經過反覆檢驗結果，發現 ITPP 程式修正後的亮度溫度有三點問題：1. MSU 第一頻道的亮度溫度在陸地上並沒有預期的比海洋高，2. 沒有將衛星視角校正至零度，3. 在海洋上降雨對 MSU 第一頻道亮度溫度的應貢獻應為正的，但校正後其貢獻卻是負的

圖一 1996年5月27日11時未經角度訂正之 MSU 第二頻道圖

圖二 同圖一，但為用李[20]角度修正法之亮度溫度圖

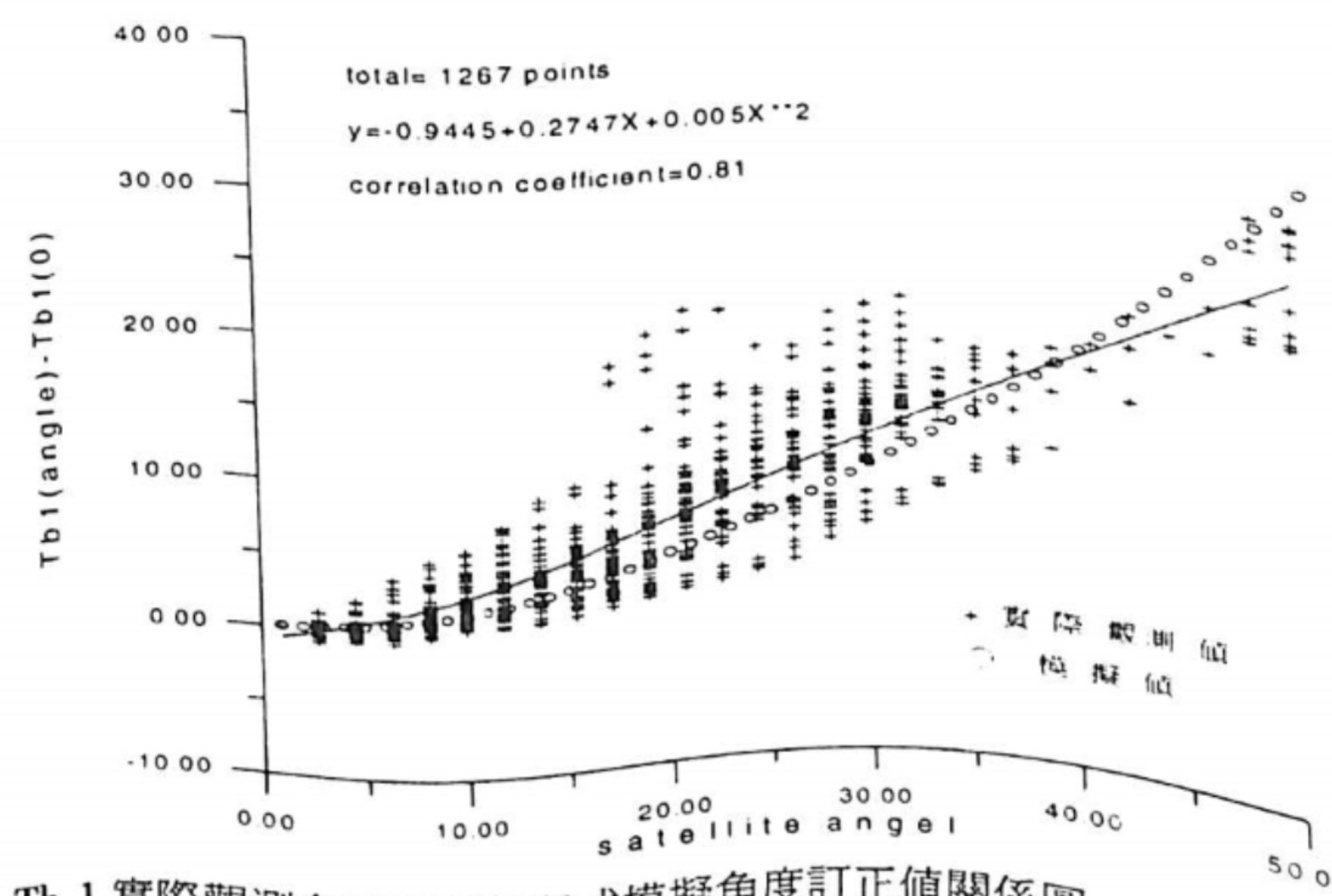


圖三 同圖一，但為用呂[21]角度修正法之亮度溫度圖

。因此本研究沒有採用 ITPP 校驗後的亮度溫度值，而是嘗試由自己進行角度訂正工作。在過程中對於呂[21]的角度訂正方法有兩點問題：1. MSU 的衛星視角和 HIRS 的衛星視角不同，不能以 HIRS 的衛星視角來模擬 MSU 晴空的亮度溫度。2. 利用 HIRS 第八頻道單頻道濾雲法（假設亮度溫度小於 285 K 為雲遮情況）濾雲後，MSU 各角度實際觀測值所趨近出

來的線和程式模擬不同。圖四、圖五和圖六為 MSU 第一、二和三頻道實際觀測角度訂正與模擬值關係圖，X 軸是衛星視角，Y 軸是不同角度亮度溫度和零度時的差值，實線為實際觀測值之迴歸線。

圖四中模擬值和實際迴歸線的差值最大是在 50 度左右約 5 K 之多，圖五和圖六中模擬值和實際值很相近。因此本研究的角度訂正方



圖四 Tb 1 實際觀測角度訂正與程式模擬角度訂正值關係圖，實線為 fit 觀測值



法乃採用實際觀測值的趨近式。所得第一、二、三頻道公式如下：

$$\Delta y_1 = 0.2747x + 0.005x^2 \quad (3.3)$$

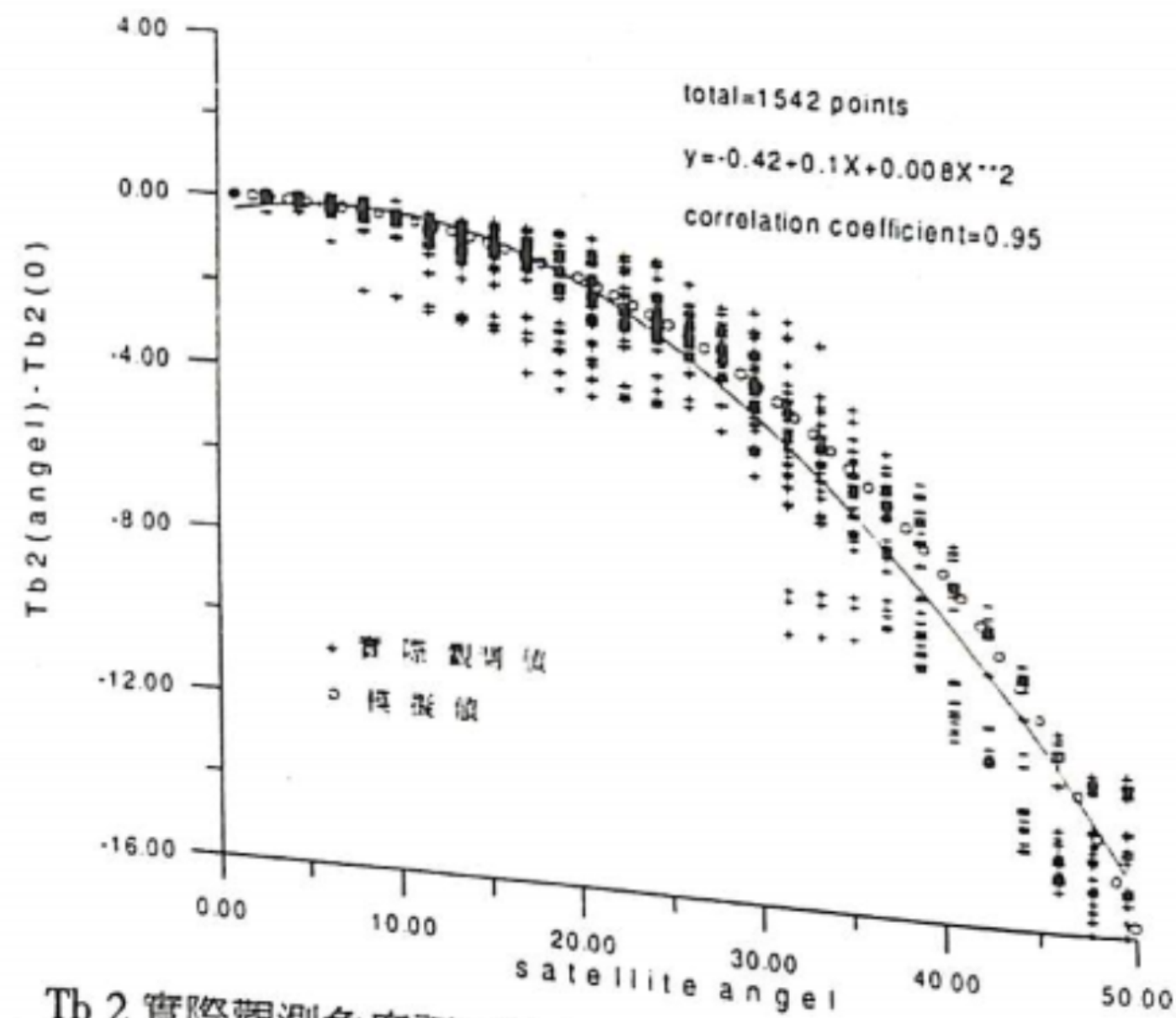
$$\Delta y_2 = 0.1x + 0.008x^2 \quad (3.4)$$

$$\Delta y_3 = 0.08x + 0.025x^2 \quad (3.5)$$

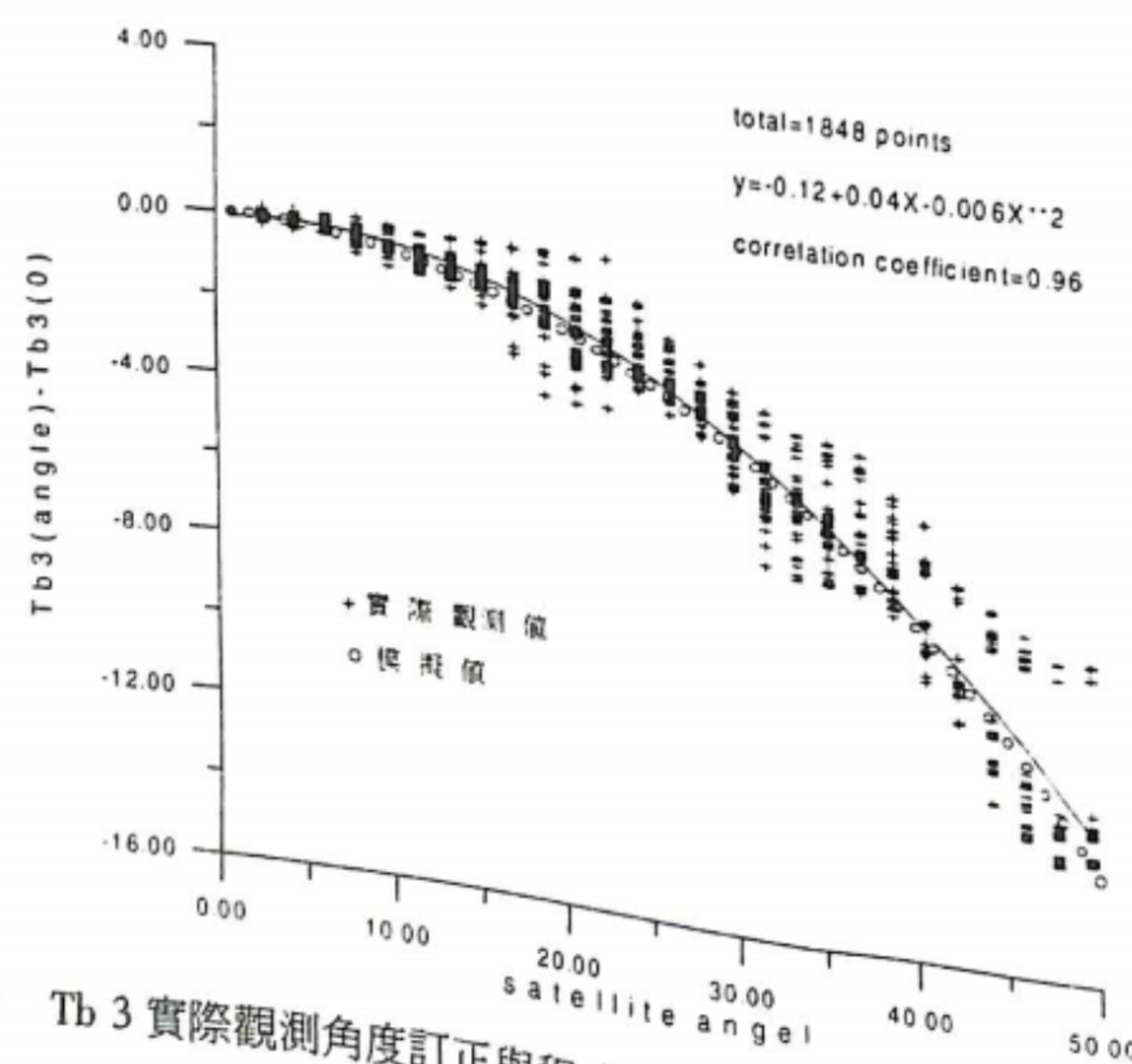
### 四、研究方法

為了判斷降雨之閾值為何，吾人選用 1996 年 5、6 月份的降雨資料與 MSU 亮度溫度相比較，由於本研究是用中央氣象局地面自動觀測站的資料，以空間而言，地面測站資料是屬於「點」的觀測，而衛星資料則是屬於「體」的觀測。

以時間而言，地面測站資料是一個地點長



圖五 Tb 2 實際觀測角度訂正與程式模擬角度訂正值關係圖，實線為 fit 觀測值



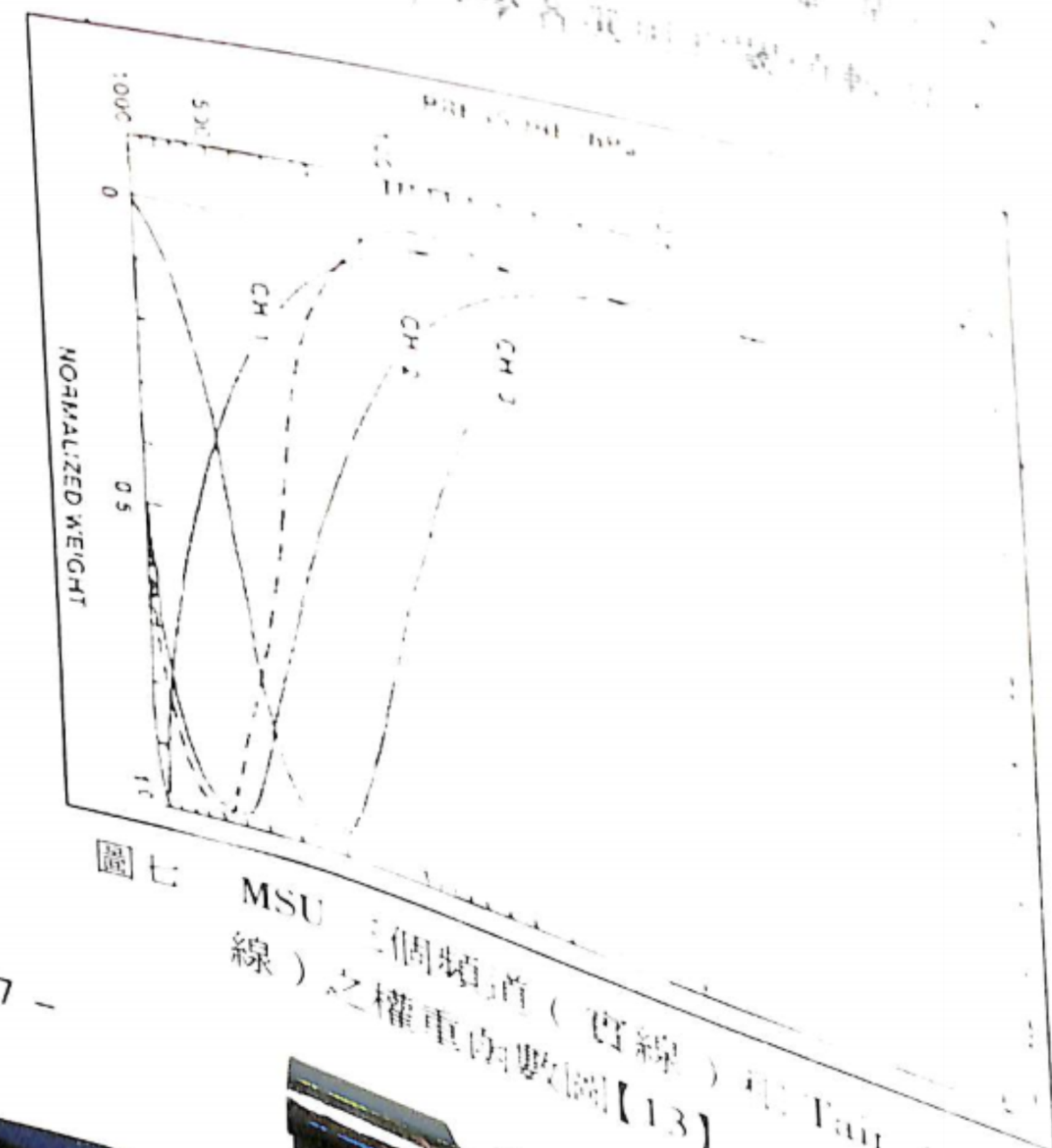
圖六 Tb 3 實際觀測角度訂正與程式模擬角度訂正值關係圖，實線為 fit 觀測值

時間連續」的觀測，而衛星資料在每一地點是屬於「瞬間」的觀測，所以兩種資料在空間上就難以比較。為了讓這兩種資料能較為合理的方式來比較，在時間的處理方面，先找出衛星掃描時間最接近的兩個小時地面雨量資料，然後再加以平均，如此才可消除部份時間上的差異。在空間的處理方面，吾人將一張 MSU 的觀場內所有的地面觀測資料加以平均後，再和 MSU 的亮度溫度相比較，如此才可消除部份空間上的差異。雖然已經做過空間和時間資料的處理，但只能減低兩種資料部份之不相稱性，仍無法將兩種資料的誤差全部去除。

關於閾值的選定問題，根據 Spencer 等人的研究 [13]，為了降低南北溫差的效應，他是利用閾值法來訂出是否降雨的標準。此所謂的閾值法，因為根據長期觀測結果，全球海洋每一時間大約有 5% 的地區為降雨區，但因為 MSU 的網格解析度較大，所以在同一個 Tair 中選全球最暖的 15% 的亮度溫度作為降雨的閾值；此處 Tair 為大氣對流層的溫度，由 MSU Tb 2 和 Tb 3 所組合而成，如圖七虛線即是 Tair 的權重曲線。然而本研究的範圍是在台灣附近地區，所以無法用全球最暖的 15% 亮度溫度作為閾值，而必須建立自己的方法。本研究分為兩個方向探討閾值選定的方法，第一個是只用單一頻道 MSU Tb 1，但加入南北平均溫度和兩掃描線平均溫度來降低溫差的效應；另外一個方法是用 Spencer 等人使用的閾值法，所不同的是不用全球最暖的 15% 亮度溫度作為降雨的閾值，而是用每個 Tair 值給不同的閾值，以減少南北溫差不同造成的影響。

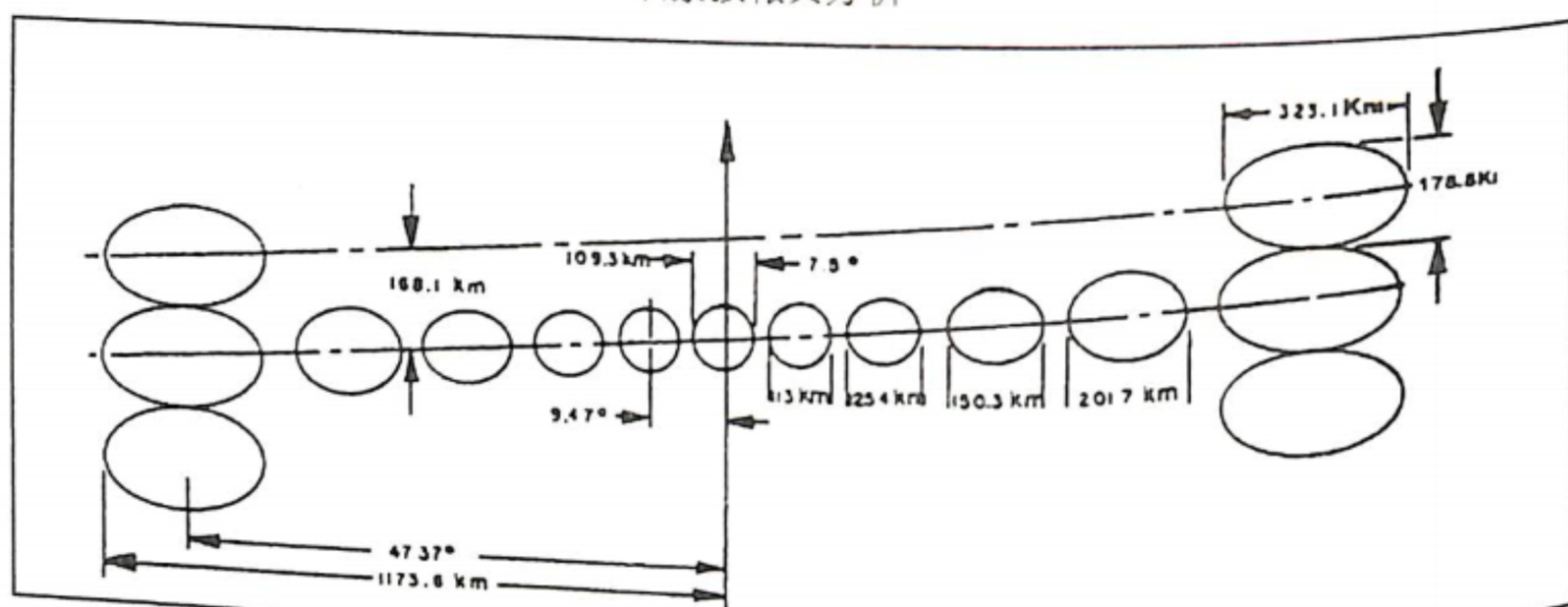
為了消除空氣溫度的貢獻，我們需要從 MSU 第二和第三頻道量測氣塊的溫度，根據 Spencer 等 [13]，氣塊的溫度可以用下式表示：

$$T_{air} = 1.6 Tb 2 - 0.6 Tb 3 \quad (4.1)$$



圖七 MSU 三個頻道 (實線) 和 Tair (虛線) 之權重曲線圖 [13]





圖八 MSU 頻道掃描型態，正中心處為星下點，其解析度為 109.3 Km [13]

這樣可以將所有可能降水的區域，不管大雨或小雨皆可考慮到，如 Griffith [24]，Negri [25] [26]，劉[27]等，選用的值大致都用 253 度。而這裡所選用的 IR 降雨閾值是採用 Griffith 等人的 253 度，因為這樣可以顧及到非對流性降水。在本研究中並不採用可見光的頻道，因為可見光在晚上並沒有資料。

網格的選定為 5 公里 x 5 公里，因為 GMS IR 的星下點解析度為 5 公里，這樣比較能保持原有的解析度。網格點內差的方式則是利用臨值法 (nearest neighborhood)，此方法比較能夠維持原始每個亮度溫度值的資訊。另外，GMS-5 IR 有兩個分割頻道 (IR1 及 IR2)，這裡我們選用 IR 的是第一頻道 (IR1)。

### 5.3.2 反演降雨方法

反演方法可分為下列三個步驟：

- (1) 首先利用前面的方法計算求出 MSU 之降雨量。
- (2) 判斷 IR1 亮度溫度是否小於閾值 (253 K)，若是則為降雨區，非則為無雨區。
- (3) 有下列四種情形：

	MSU 有降水	MSU 無降水
IR 1 有降水	方法(1)	不計
IR 1 無降水	方法(2)	不計

$$\text{方法(1): } R_i = \text{total} * R_{msu} * \frac{\Delta T}{\sum \Delta T} \quad (5.1)$$

$$\text{方法(2): } R_i = R_{msu} \quad (5.2)$$

其中  $R_i$  為 MSU 和 GMS 資料融合的  $5 \times 5$  Km 降雨量，total 為一個 MSU 視場內 GMS IR 的個數，在本研究內為 400。 $R_{msu}$  為 MSU 視場之降雨量， $\Delta T$  為 IR 亮度溫度與閾值之差， $\sum \Delta T$  為一個 MSU 視場內所有  $\Delta T$  之和。方法(1)代表的意思為當 MSU 和 GMS IR1 都有降水時，利用 GMS IR1 的亮度溫度來重新分配 MSU 視場之降雨量大小。方法(2)代表的意思是當 MSU 有降雨，而 GMS IR1 的亮度溫度皆大於 IR1 閾值時，則 MSU 是場內的降雨量皆為 MSU 的降雨量。另外，如 MSU 觀測為無降雨時，不管 GMS IR1 是否大於或小於降雨閾值，MSU 視場內皆為無降雨。

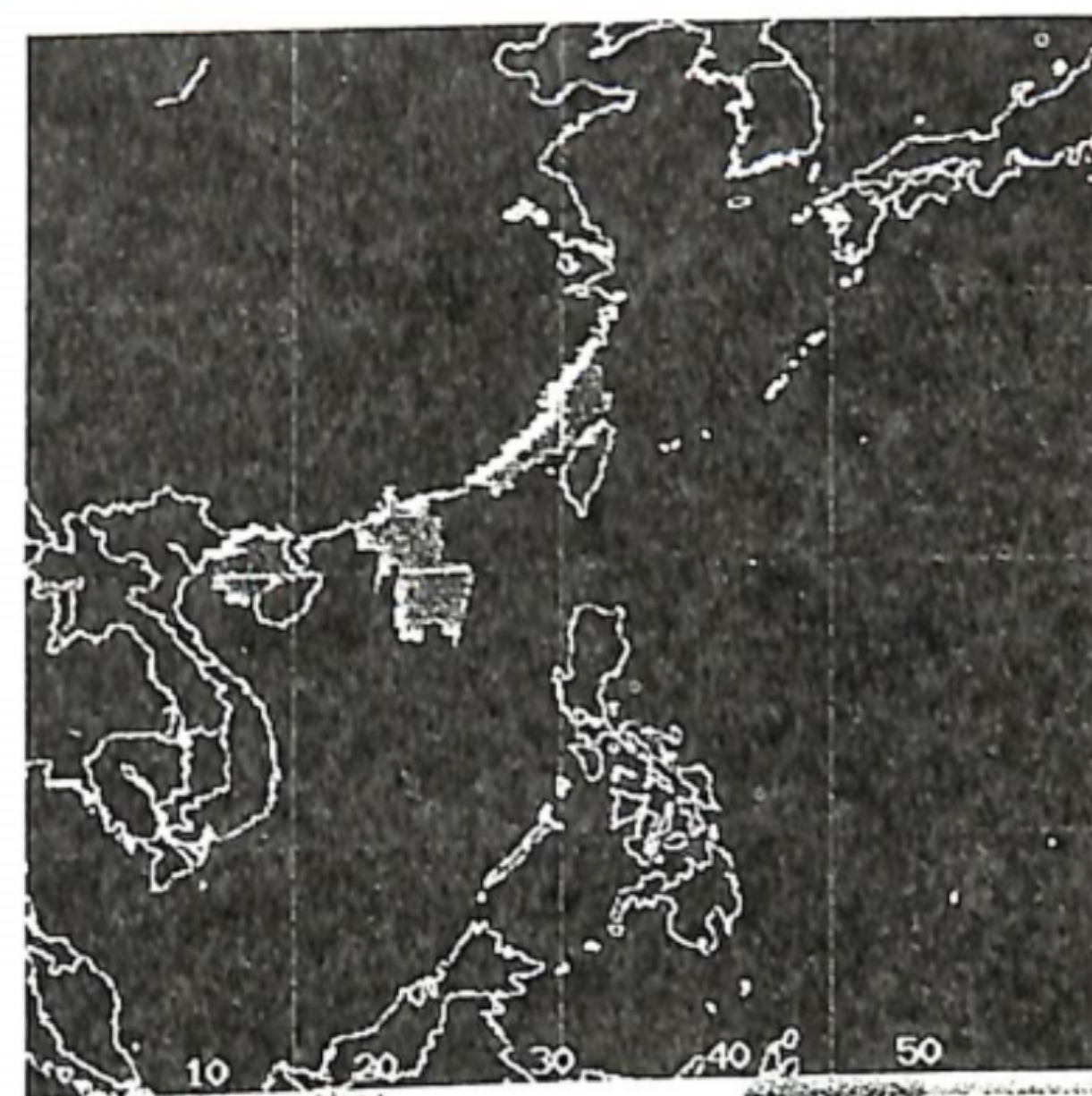
## 五、結果討論

由於 MSU 和 SSM/I 都是太陽同步衛星，兩顆衛星在同一地點出現的時間是固定的 (相差三個小時左右)，所以很難找出兩個同一時間經過同一地點的影像，最近的差距約一個多小時左右，所以無法作降水量之比較，但吾人仍可用其作相近時間對流演變之追蹤。

圖九和圖十為只用 MSU 所估算之降雨圖，由圖中可看出降雨區域相當大，但降雨量都很大，和實際之降雨量有差距，這是因為 MSU 視場空間平均所導致之效果，因此要使 MSU 用作即時估算降雨之資料，必須要加以



圖九 1996年5月27日19時MSU所反演之降雨分布圖，顏色間隔 10mm/hr



圖十 1996年5月28日7時MSU所反演之降雨分布圖，顏色間隔 10mm/hr

改進。

圖十一和圖十二為 MSU 加上 GMS 之降雨圖，資料時間和圖九和圖十的時間一樣，所不同的是一個沒有加入 GMS 資料，一個為加入 GMS 紅外線頻道的結果，相較之下，可以看出 MSU 加上 GMS 資料的結果在降雨範圍上要小很多，這是因為加入 GMS 資料後可將一些 MSU 計算是降雨的區域，而實際上並不是降雨的區域過濾掉，這樣比較能符合事實上的結果。

從圖十一及圖九比較上我們可以清楚看出，降雨量的分佈不像單用 MSU 一樣小區域的降水皆相同，而加入 GMS 以後將解析度提升到 5 公里，對於一些較小尺度的強烈降水亦可判斷出來，對於較小尺度的降水預報也有所助益。

從 MSU + GMS 之降雨分佈圖與 MSU 降雨分佈圖的比較上，可以看出降雨反演之結果已有明顯的改善，但是究竟改善了多少呢？在研究資料的這幾個時間裡，降豪雨的資料有限，而且兩種資料秉性不同，造成了比較上的困難，這是無法避免的，但吾人仍希望未來有更多

的儀器可供校驗，譬如 TRMM 計畫中的 TMI 資料，未來有比較好的比較對象，對於反演降水的精確度必定有所幫助。

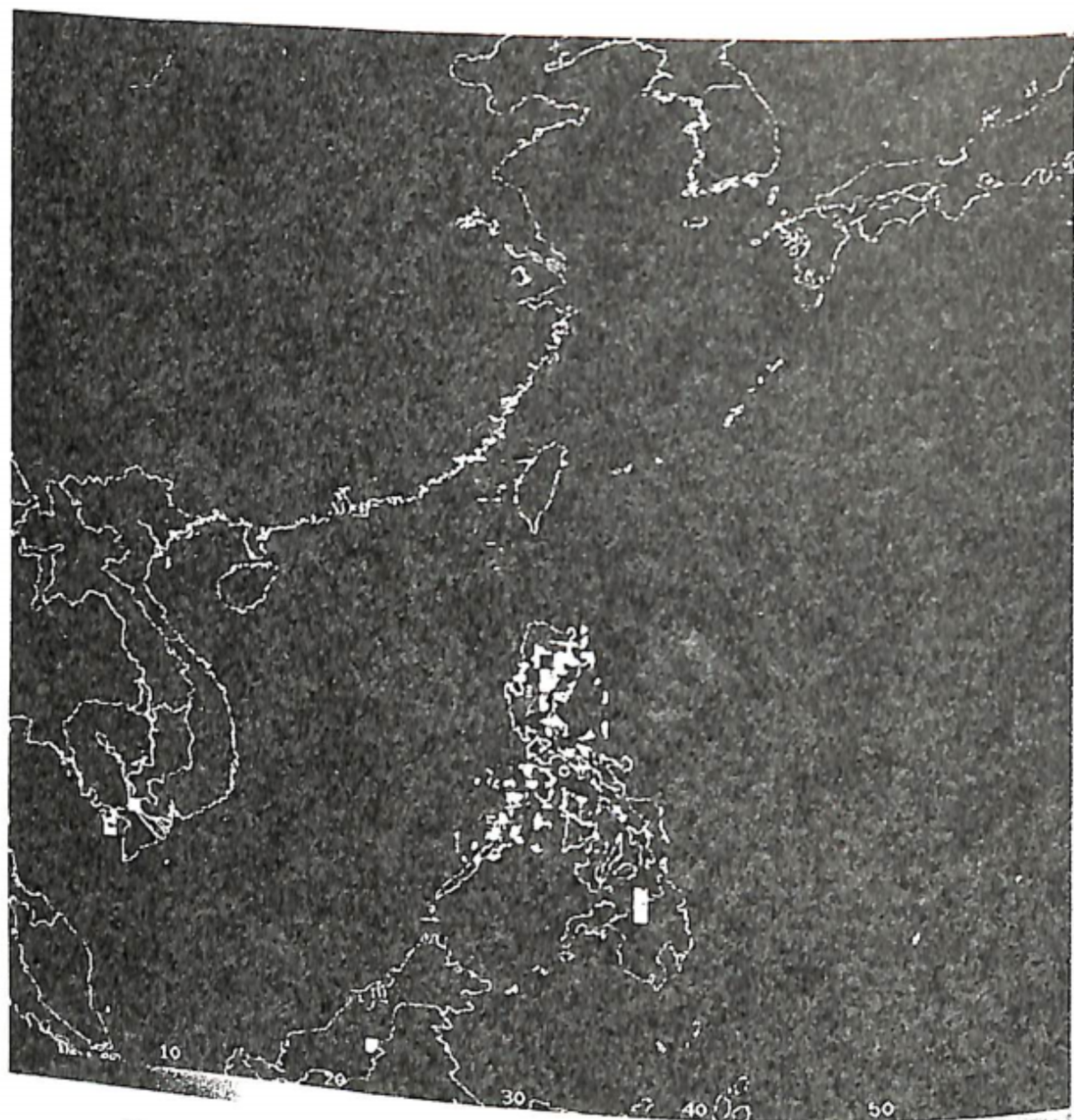
## 五、結論

利用 MSU 探空儀之第一、二及三頻道的亮度溫度值可以做定量降水估計，但由於 MSU 頻道本身特性的限制，所反演的降水量在大範圍區域有良好的估算，但對於中小尺度的降水反演則因為區域平均的效果，小雨的地方有高估的現象，而大雨的地方，則有低估的現象。為改善此缺失，本文引用 GMS-5 紅外線的資料，以提高估算降雨區的解析度。從所反演之降雨分布圖與改進前的降雨分布圖比較，可看出對於降水之區域有明顯之改善，尤其對於豪大雨的估算有相當好的結果。

另外，由於解析度的增加，使我們能夠對於中小尺度的降水比以前有更佳的掌握，由於現在的預報趨向於中小尺度的預報，因此本研究若應用於豪大雨之預報工作，應該可以有顯著的改善。

已發射昇空的 TMI 比 MSU 具備更高的解





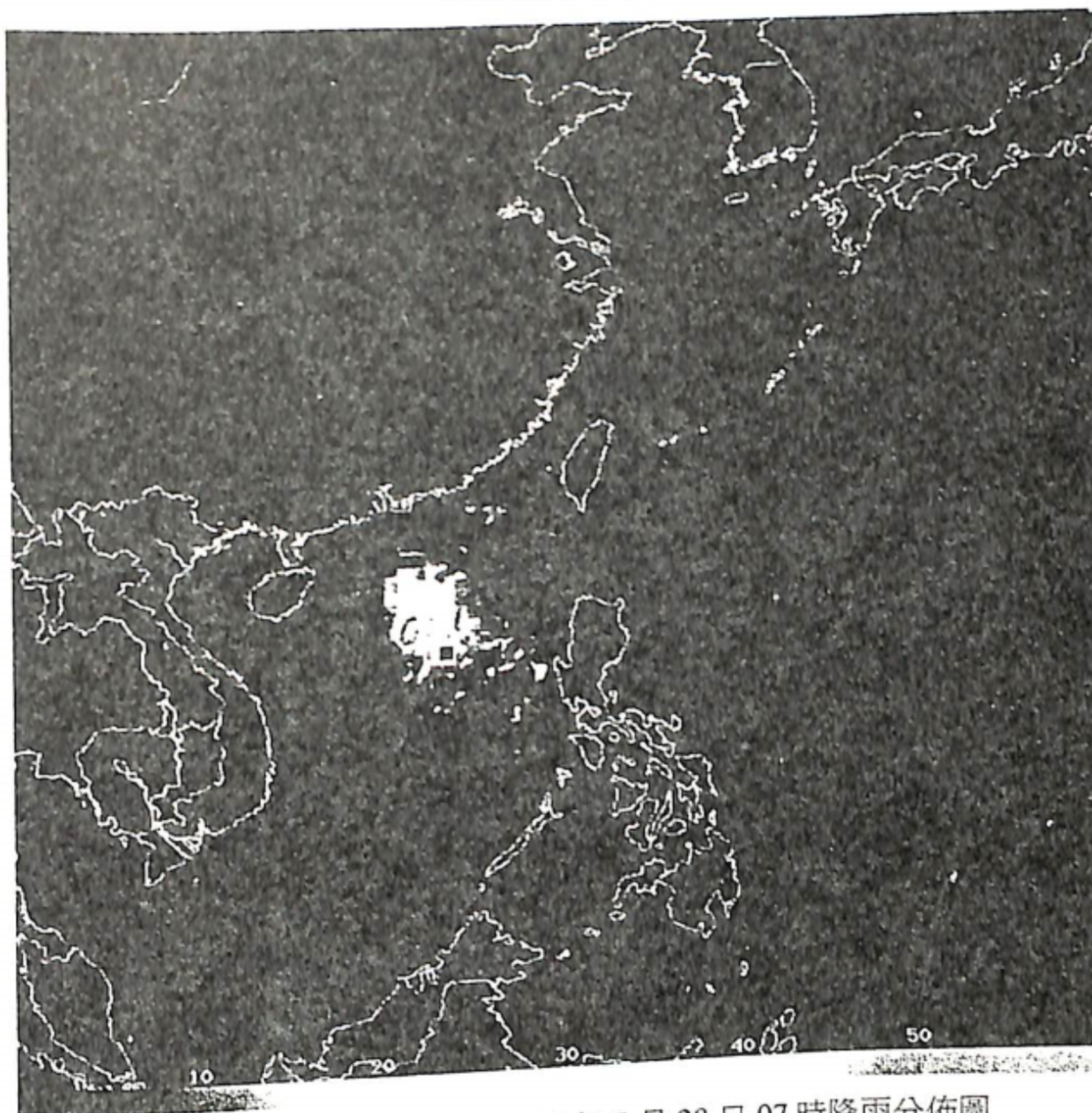
圖十一 1996年5月27日19時MSU + GMS降雨分佈圖

析度及更多的頻道，所以未來以 TMI 資料做定量降水估算預期比 MSU 更加準確，且亦可用其作為 MSU 估算降水的比較資料，對於 MSU 降水估算更能改善其精確度。

MSU 的下一代產品 AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit)，預計將在今年中 (1998) 升空，AMSU 有 20 個頻道，比 MSU 四個頻道要多許多，且 AMSU 比 MSU 有更高分的解析度 (AMSU - A 星下點是 50Km，AMSU - B 是 15Km)。雖然 AMSU 主要是用於反演大氣溫溼剖面，但它亦有類似於 SSM/I 的許多水汽頻道可提供反演大氣環境參數，降雨便是其中之一項 [28]。所以未來利用 NOAA 衛星來反演降水量，應是非常可行而且預期有較好的結果。

### 參考文獻

1. 曾忠一，「大氣衛星遙測學」，渤海堂文化事業公司，台北，630 頁，民國七十七年。
2. Buettner, K. J. K. "Rain localization from a weather satellite via centimeter waves." *Nature*, 50, 591 (1963).
3. Singer, S. F. and Williams, G. F. Jr. "Microwave detection of precipitation over the surface on the ocean." *J. Geophys. Res.*, 73, 3324 (1968).
4. Bashvinor, A. E., Egorov, S. T., Kolosov, M. A. and Kutuza, B. G. "Particular features of the method of high frequency radiometric sounding of the atmosphere from aircraft." *Trans. of the Main Geophys. Observatory*, 222 (1968).



圖十二 同圖十一、但為 1996年5月28日07時降雨分佈圖

5. Kress, W. T. "The influence of clouds on the microwave brightness temperature viewing downward over open sea." *Proc. of IEEE*, 57, 440 (1969).
6. Wilheit, T. T., Chang, A. T. C., Rao, M. S. V., Rodgers, E. B. and Theon, J. S., "A satellite technique for quantitatively mapping rainfall rates over the oceans." *J. Appl. Meteor.*, 16, 551 (1977).
7. Adler, R. F., and Rodger, E. B., "Satellite-observed latent heat release in a tropical cyclone." *Mon. Wea. Rev.*, 105, 956 (1977).
8. Philips, N. A., "Cloudy winter satellite temperature retrievals over the extratropical northern

hemispheric ocean." *Mon. Wea. Rev.*, 109, 652 (1980).

9. Hubert, A. A., Grody, N. C. and Weinman, J., "Precipitation effects on microwave soundings in low latitudes." NOAA Technical Report NESS 82, Dept. of Commerce, Washington, DC (1986).
10. Grody, N. C., "Severe storm observations using the Microwave Sounding Unit." *J. Clim. Appl. Meteor.*, 22, 609 (1983).
11. Nappi, A., Swaroo, A., Grody, N. C. and Weiman, J., "Precipitation effects on microwave sounding unit data." Preprints, 2nd Conf. on satellite Meteorology / Remote Sensing and Application, 114 (1986).
12. Yang, C. G. and Andrew, T. C., "Precipitation



- detection with satellite microwave data." NOAA Tech. Rep., NESDIS, 32 (1988).
- 13 Spenser, R. W. "Global oceanic precipitation from the MSU during 1979-91 and comparisons to other climatologies." *J. Clim. Appl. Meteor.*, 1301 (1993).
- 14 Jin, Y. Q. and Kong, J. A., "Passive and active remote sensing of atmospheric precipitation." *Appl. Opt.*, 22, 2535 (1983).
- 15 Wilheit, T. T., King, J. L., Rodger, E. B., Nieman, R. A., Krupp, B. M., Milman, A. S., Stratigos J. S. and Siddalingaiah, H., "Microwave radiometric observations near 19.35, 92, and 183 GHz of precipitation in Tropic Storm Cora." *J. Appl. Meteor.*, 21, 1137 (1982).
- 16 Spenser, R. W., Olson, W. S., Rongzhang, W., Martin, D. W., Weinman, J. A. and Santek, D. A., "Heavy thunderstorm observed over land by the Nimbus 7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer." *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1041 (1983).
- 17 Paris, J. F., "Transfer of thermal microwave in the atmosphere report," Dept. of Meteor., Texas A & M Univ (1971).
- 18 Spenser, R. W., Hinton, B. B. and Olson, W. S., "Nimbus-7 737-GHz radiances correlated with radar rain rates over the Gulf of Mexico." *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 2095 (1983).
- 19 Smith E. A., Mugnai, A., Cooper, H. J., Tripoli, G. J. and Xiang, X., "Foundations for statistical physical precipitation retrieval from passive microwave satellite measurements. Part I: Brightness-temperature properties of a time-dependent cloud-radiation model." *J. Appl. Meteor.*, 31, 506 (1992).
- 20 李國光, "MSU 資料之觀測角度修正及其在反演大氣垂直剖面上之影響" 中央大學碩士論文, 民國八十一年。
- 21 呂佩盈, "應用 NOAA MSU 微波資料估計台灣地區颱風的強度及走向" 中央大學碩士論文, 民國八十三年。
- 21 Spenser, R. W. and Grody, N. C., "Global atmospheric temperature monitoring with satellite microwave measurements: Method and results." 1979-84. *J. Climate*, 3, 1111 (1990).
- 22 Arkin, P. A. and Meisner, B. N. "The Relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982-84." *Mon. Wea. Rev.*, 115, 51 (1987).
- 23 Barrett, R. F., and Martin, D. W., "The use of satellite data in rainfall monitoring." Academic Press (1981).
- 24 Griffith, C. G., "Comparisons of gauge and satellite rain estimates for the central United States during August 1979." *J. Geophys. Res.*, 92 (D8), 9551 (1987).
- 25 Negri, A. J. and Adler, R. F., "Infrared and visible satellite rain estimation. Part I: A grid cell approach." *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 1553 (1987).
- 26 Negri, A. J. and Adler, R. F., "Infrared and visible satellite rain estimation. Part II: A grid cell approach." *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 1565 (1987).
- 27 劉振榮, 呂貴寶, 徐天佑, "應用同步衛星資料估算台灣地區對流降雨", *大氣科學*, 20 (3), 233, 民國八十一年。
- 28 Diak, G. R., Kim, D., Whipple, M. S. and Wu, X., "Preparing for the AMSU." *Bull. Amer. Meteor. Soci.*, 73, 1971 (1992).