

MSU 微波頻道在台灣地區定量降水之研究

陳萬金¹ 趙俊傑¹ 劉振榮²

中正理工學院應用物理系¹

中央大學太空及遙測研究中心²

摘要

在豪大雨之預報中我們發現台灣地區的豪大雨之發生的來源常常是在海上，然而海洋上我們沒有密集的雨量站以量測降雨的大小，於是衛星資料便是解決這個問題的方法之一。利用衛星資料估算降雨之方法有很多種，其中較為準確的方法則是利用微波頻道來估算降雨量，因為微波可以穿越雲層，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主要有 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。

未來取代 MSU 之新一代微波儀 AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) 預計將在 1998 年 4 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

近年來，由於豪大雨的災害造成人民生命的危害、環境的破壞，以及農業和經濟的巨大損失。因此豪大雨之防治及預報是目前刻不容緩之一項重要的工作。然而傳統的豪大雨預報方法是以定性的描述豪大雨之發生或大約的降雨量，這種定性的預報方法，無法滿足實際需求，因而發展定量降水預報是必然的趨勢。

衛星資料由於具備了觀測面積廣大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。以往利用紅外線及可見光進行定量之降水預報，所得的結果往往受卷雲的影響而高估了降水量，因為它只能提供雲表的資訊，對於雲下的降雨情形則無法觀測到，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水估計，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，能夠提供雲下降雨的資訊。

由於微波估算降水之可行性，所以國外有很多學者加入這方面之研究，也有許多的成果和各種不同的方法被提出，並被加入數值預報當中。但是在國內則屬於剛起步階段。估算降雨之方法有包括物理法、統計法和類神經網路等等相當多，這裡也不多作贅述。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 三種衛星，其微波頻道系統分別為 SSM/I、MSU 和 TMI。三種衛星的任務及特性完全不同，SSM/I 和 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。然而目前在台灣沒有接收站接收 DMSP 和 TRMM 的衛星資料，而如果要透過網際網路查詢的話，也只能得到兩天以前的資料，無法滿足即時定量估計的要求，所以 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，為目前可以利用之衛星資源，所以本文將著重在 MSU 頻道之定量降水估計。

MSU 頻道之所以被認為可以用作降水估算之衛星頻道，是因為在作 TOVS 溫度反演時，某些地區的溫度突然下降，因而懷疑此是因為降雨所造成的。經過多次驗證的結果，Philips 等人 (1980) 建議如降雨造成 MSU 亮度溫度觀測之錯誤，就應當省略此反演之部分溫度。Grody (1983) 因此利用 MSU 第二頻道 53.74GHz 以觀測降雨的影響，利用第一頻道 50.30GHz 得到陸地地表放射率。Nappi 等人 (1986) 則是利用 MFA (Median Filter Algorithm) 方法去除降水之影響，Yang 等人 (1988) 則發現在陸地上 MSU 的第二頻道其 MFA 值與降雨之相關性最大。

海洋的表面放射率較低，大約只是陸地放射率的一半 (約 0.5)，但是海洋的放射率變化較小，陸地

的放射率變化較大(0.9~0.95)，再加上MSU第一頻道對於降雨較敏感，所以Spenser等人(1993)利用MSU第一頻道做海洋降水之估計，但他們是應用於氣候方面的研究。陳等(1997)則是應用於即時的觀測，他們是利用MSU第一頻道來估算降水，用第二、三頻道消除溫差效應，結果顯示在大範圍降水及豪大雨時有良好之估算，但由於角度訂正之不良以及頻道本身解析度的限制，對於小範圍降水估算效果較差。本研究改進陳等(1997)之方法，將GMS資料加入，使得MSU估算降雨區域的解析度大為提高，以彌補MSU解析度不佳的缺陷。

二、資料

本文所用到的衛星資料包括MSU、SSM/I、GMS三種衛星資料，所要估算降水之區域在北緯0°至40°，東經100°至140度。GMS衛星在其他文獻描述較多，在此不再介紹，此處僅就MSU、SSM/I各頻道儀器及特性做一簡單介紹：

(一)MSU (Microwave Sounding Unit)

MSU主要是一個作業用探空系統，裝載在TIROS(Television and Infrared Observation Satellite)上，後來裝載在NOAA上。MSU為四個氧氣頻道所組成，包括50.30、53.74、54.96和57.95GHz等，其中50.30GHz是窗區頻道，其它三個頻道權重最大值分別位於約700MB，300MB，和100MB高度，MSU天線波寬為7.5度，3-dB的衛星正下方掃描點為110Km。

MSU有十一掃描點，其角度分別為0°，±10.7°，±21.6°，±32.7°，±44.2°和±56.6°，其中0°為星下點。由於微波所經過的光程愈長，則大氣所吸收的程度愈大。故掃描角度愈大，則出現「臨邊昏暗」愈明顯，必須經過角度訂正，將其它的角度訂正到0°下之亮度溫度。我們的資料來源為中央大學太空遙測研究中心之氣象衛星接收系統所處理的資料，此資料是已經過校正的值。

權重函數除了受頻道和角度影響之外，亦受地表放射率的影響。因為陸地之放射率約為海洋之一倍(約1.0)，且陸地的放射率不均勻，所以頻道的亮度溫度深受影響，尤其以第一頻道(50.30GHz)最為明顯。

(二)SSM/I

SSM/I是一被動微波輻射儀，它共七個頻道，由四個線性極化頻道所組成的，四個頻率分別為19.35、22.235、37.0和85.5GHz，除了22.235GHz沒有偏極化外，其餘三個頻率皆分為垂直和水平極化頻道，故共有七個頻道。其空間之解析度分別為(70X45)，(60X40)，(38X30)和(16X14)平方公里。

SSM/I的資料是來自美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)，我們得到的資料已經過角度，及亮度溫度訂正，目前使用的衛星是DMSP-F13和DMSP-F14。本文SSM/I降水的估算是採用Olson等人所提出之估算式(Gairola, 1992)。

(1)陸地上之降水估算式

$$R = \exp(3.29716 - 0.01290TB85v + 0.0087TB85h) \cdot 8.0 \text{mm/hr}$$

(2)海洋上的降水估算式

$$R = \exp(3.06231 - 0.0056036TB85v + 0.0029478TB85h - 0.0018119TB37v - 0.0075TB22v + 0.009755TB19v) \cdot 8.0 \text{mm/hr}$$

其中R為降雨量，TB85v和TB85h分別為85GHz垂直和水平極化的亮度溫度；TB37v、TB22v及TB19v分別為37GHz、22GHz和19GHz之垂直極化的亮度溫度

如果85GHz頻道不能使用，則用下列之估算式

(1)陸地之降水估算式

$$R = \exp(-17.76849 - 0.09612TB37v + 0.15678TB19v) \cdot 1.0 \text{mm/hr}$$

(2)海洋的降水估算式

$$R = \exp(5.10196 - 0.05378TB37v + 0.02766TB37h + 0.01373TB19v) \cdot 2.0 \text{mm/hr}$$

三、理論

(一)程式模擬

模擬程式是採用美國威斯康辛大學所發展之套裝軟體ITPP(International TOVS Processing Package)之模擬程式，方法是輸入探空資料以模擬晴空時MSU之亮度溫度。根據理論，若探空資料當時有降雨之發生，則MSU觀測到的亮度溫度會受降雨之影響，而有降低(或增加)的現象。於是本文就以以此來驗證降雨對MSU亮度溫度之影響。

MSU亮度溫度模擬之輻射傳遞方程式如下：

$$T_b = \underbrace{\epsilon_s T_s \mathfrak{T}_{\nu_s}}_{(1)} + \underbrace{\int_P^0 T(p) \frac{\alpha_{\nu}(p)}{\phi} dp}_{(2)} + \underbrace{(1 - \epsilon_s) \mathfrak{T}_{\nu_s} \int_0^P T(p) \frac{\alpha_{\nu}(p_s - p)}{\phi} dp}_{(3)}$$

其中 \mathfrak{T}_{ν_s} 為全氣柱透射率，

$$\mathfrak{T}_{\nu}(p) = \exp \left[- \int_0^p \kappa_{\nu}(p') \rho(p') dp' \right]$$

$$\mathfrak{T}_{\nu}(p_s, p) = \mathfrak{T}_{\nu_s} / \mathfrak{T}_{\nu}(p)$$

$\mathfrak{T}_{\nu}(p)$ 和 $\mathfrak{T}_{\nu}(p_s, p)$ 分別為從氣壓P到大氣層頂和從氣壓P到地表的大氣透射率。上式中已設定向下的大氣輻射中只有往正下方的部份才會被地表反射而到達衛星的微波輻射計上。

第(1)項是代表來自地表的貢獻量，其中 ϵ 為放射率，所以本項為地面溫度放射經大氣之吸收及散射後之能量，第(2)項是代表大氣層氣體的貢獻量，所以是整層大氣對每一層透射率之積分，第(3)項是代表大氣中氣體能量放射經地表反射後之貢獻量。

(二) 晴空時之模擬

本文首先模擬晴空時之 MSU 亮度溫度值，即先假設大氣在無降水和無雲的狀況下來進行模擬，首先我們選用第一頻道來做測試。因為 MSU 第一頻道地表放射率對地面狀況有很大的差異，在海面上地表放射率約為 0.5，陸地上則為 0.9~1.0 之間，而且隨地表狀況的變化而不同，比較難以估算。所以我們在這裡估算海上的地表放射率。

海面放射率受頻率、衛星視角及海面溫度三個量的影響，故我們先檢視這三個量對海面放射率之影響，圖 1 為頻率對海面放射率的影響，圖中顯示微波的海面放射率隨頻率的增加而增加，在 50.0GHz 附近海面放射率約為 0.5 左右，這和其他學者（如 Spencer, 1993）提出的值是一樣的。圖 2 為海面溫度對海面放射率的影響，圖中顯示出在海面溫度在 306K 時有極小值，但是海面溫度不可能那麼高，所以海面放射率隨著海面溫度之增加而減少，在 295K 左右時海面放射率為 0.5。圖 3 為衛星視角對海面放射率的影響，大致上角度小於 45 度時放射率能維持 0.5，此外由於低軌道衛星視角在大於 60 度時，就無法掃描到地球，所以角度在大於約 60 度時，放射率迅速降低為零，而在角度為零度時，海面放射率約為 0.5 左右。因為海面的日變化不大，所以對於一個頻率不變，角度固定的衛星而言，海面放射率會隨著季節的變化而有所不同，冬季放射率最高，夏季放射率最低，但變化並不會太劇烈。

(三) 受降雨影響之模擬

圖 4 為 MSU 四個頻道受降雨之影響時亮度溫度變化情形，由圖中可看出第二、三頻道受降雨影響，亮度溫度逐漸減弱，而第一頻道受降雨影響其亮度溫度變化先是增加而後再降低，而第四頻道並不受降雨之影響。以上不同頻道亮度溫度的變化現象和頻道的權重高度有關，權重高度愈高，則和降雨的關係愈差。第四頻道的權重高度約在 100Mb 左右，所以降雨對它沒有太大影響，而第一頻道是窗區頻道，權重高度在地面附近，所以受降雨影響很大。

第一頻道雖受降雨之影響很大，但亮度溫度增加有一飽和值，在圖 4 中是 270° K，此會造成降雨量之錯誤估算。但是根據 Spenser (1983) 用雷達降雨量和 37GHz 頻道估算的降雨量相比較，仍然得到一個相當好的關係式，而沒有非線性的情形發生。造成理論與實際不符的原因，可能是在 30 至 60GHz 中間的頻道，亮度溫度的增暖是大範圍視場區域降雨量的平均，而這個視場的大部分對輻射是可透性的，而只有少部分是強烈降水。

(四) 反演公式

由對降雨模擬之結果可知 MSU 第一頻道對降

雨較敏感，於是在此利用第一頻道來估算降雨，但同時必須校正大氣溫度對亮度溫度的貢獻，才能得到真正的降雨量，根據 Spenser 等人 (1993)，大氣的溫度可表示如下：

$$T_{air} = 1.6Tb2 - 0.6Tb3$$

其中，Tb2 是 MSU 第二頻道之亮度溫度值，Tb3 是 MSU 第三頻道之亮度溫度值。

此外降雨的公式如下：

$$P = a(\Delta T b1)(b \overline{T_{air}} + c)$$

其中，p 為降雨量，單位(mm/hr)；a=0.15mm/hr，b=0.0067，c=-0.83。

(五) 解析度的改進

由於 MSU 的解析度不佳，使得初期的降雨估算結果不如預期好，於是本文利用 GMS 高解析度的特性改善 MSU 估算降雨的精度；即是先由 MSU 估算降雨，然後再利用 GMS IR 的亮度溫度來判斷 MSU 降雨區內是否全部有雨，及其降雨之大小。如 GMS IR 亮度溫度高於閾值 253° K，則此區域無降水；反之，若亮度溫度低於閾值 253° K，則判斷為降水，且其降雨量和 IR 的亮度溫度成反比。於是我們有以下的公式：

$$R_{253} = \frac{total}{n} * R_{min}$$

$$R_i = \frac{\Delta T_i}{\sum_n \Delta T_i} * R_{253}$$

R 代表降雨量，下標 i 表示 MUS 中第 i 個 GMS IR 的點，total 表示為一個 MSU 中之 GMS IR 的點數，n 代表一個 MSU 中之 GMS 降雨視場個數，R₂₅₃ 為 GMS 視場亮度溫度小於 253° K 所估算之降雨量， ΔT 表示 GMS IR 亮度溫度和 253° K 之差值，亮度溫度小於 253° K 則 $\Delta T=0$ 。

四、結果與分析

(一) 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都是固定的（相差三個小時），所以很難找出兩個同一時間經過同一地點的影像，最近的差距約一個小時左右，所造成比較上的誤差是難以避免的。

(二) 圖 5 為 SSM/I 所反演出之降水分布圖，由圖中可發現陸地與海洋之降水有不連續的地方，海洋地區所估算的降雨比陸地地區要大許多，這是由於海洋地區的迴歸式與陸地地區的迴歸式不同所致。此外在陸地與海洋交接處，對衛星的視場而言，它包含了陸地與海洋的資訊，不管用海洋地區公式或是陸地地區的公式，所估算出來的雨量都會有誤差。

(三)圖6為只用MSU所估算之降水圖，由圖中可看出降雨區域相當大，但降雨量都很小，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，相較之下SSM/I所估算的降雨量則較準確，因此要使MSU用作即時估算降雨之資料，必須要加以改進。

(四)由於篇幅的關係，利用GMS IR增加MSU解析度的結果將在研討會中發表出來，屆時再作進一步的分析比較。

五、討論：

(一)MSU反演降水受其本身頻道之特性影響，其所反演之降雨量並不能如我們所希望達到的結果，但其仍是一個可供參考之資料，尤其對於大範圍之降水，反演之效果更好。因此MSU反演降水之應用，應該適用於春夏季節大範圍之大雨或豪雨，其他季節及小範圍之降水區域較不適用。

(二)MSU估算降水加上GMS IR的解析度之方法雖然可以解決MSU解析度較差的問題，但是由於GMS IR頻道會受卷雲的影響，所以此方法仍會受卷雲的影響，未來可考慮加強卷雲的濾除，以及MSU估算方法之精進。

(三)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。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。

六、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，但由於頻道本身特性的限制，反演降雨量之效果仍不理想。為改善此缺失，本文引用GMS IR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，但對於小範圍之降雨或雨量小的降水，此方法仍然無法估算其降水。

由於AMSU及TMI皆較MSU具備更高的解析度及更多的頻道，所以未來以AMSU及TMI做定量降水估算預期比MSU更加準確，但未來仍需加強其角度訂正的方法，才能得到所預期的結果。

七、參考文獻：

1. 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學，渤海堂文化事業公司，台北。
2. 劉振榮，呂貴寶，徐天佑，1992：應用同步衛星資料估算台灣地區對流降雨，大氣科學，Vol.20，No3，233-263。
3. 陳萬金，趙俊傑，1997：微波頻道在定量降水之初步研究，第六屆國防科技學術研討會論文集，中正理工學院，585-591。

4. Adler, R. F., and E. B. Rodger, 1977: Satellite-observed latent heat release in a tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.* 105, 956-963.
5. Barrett, R. F., and D. W. Martin, 1981: The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring. *Academic Press*.
6. Grody, N. C., 1983: Severe Storm Observations Using the Microwave Sounding Unit. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 22, 609-625.
7. Nappi, A., A. Swaroo, N. C. Grody, and J. Weiman, 1986: Precipitation effects on microwave sounding unit data. *Preprints, 2nd Conf. on satellite Meteorology/Remote Sensing and Application*, 114-117.
8. Paris, J. F., 1971: Transfer of Thermal Microwave in the Atmosphere Report, Dept. of Meteor., Texas A&M Univ.
9. Philips, N. A., 1980: Cloudy Winter Satellite Temperature Retrievals over the Extratropical Northern Hemispheric Ocean. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 652-659.
10. Savage, R. C., and J. A. Weinman, 1975: Preliminary Calculation of the Upwelling Radiance from Raincloud at 37.0 and 19.35 GHz. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 1272-1274.
11. Scofield, R. A., 1987: The NESDIS Operational Convective Precipitation Estimation Technique. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1773-1792.
12. Spenser, R. W., W. S. Olson, W. Rongzhang, D. W. Martin, J. A. Weinman, and D. A. Santek, 1983: Heavy Thunderstorm Observed over Land by the Nimbus 7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1041-1046.
13. Spenser, R. W., 1993: Global Oceanic Precipitation from the MSU during 1979-91 and Comparisons to other Climatologies. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 32, 1301-1326.
14. Yang, C. G., and Andrew, T. C., 1988: Precipitation Detection with Satellite Microwave Data. *NOAA Tech. Rep., NESDIS 32*.
15. Diak, G. R., D. Kim, M. S. Whipple, and X. Wu, 1992: Preparing For the AMSU. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 1971-1984.
16. Gairol, R. M., and Krishnamurti, T. N., 1992: Rain Rats Based on SSM/I, OLR and Rainage Data Sets. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 50, 165-174.
17. Singer, S. F., and G. F. Williams, Jr., 1968: Microwave detection of precipitation over the surface of the ocean. *J. Geophys. Res.*, 73, 3324-3327.

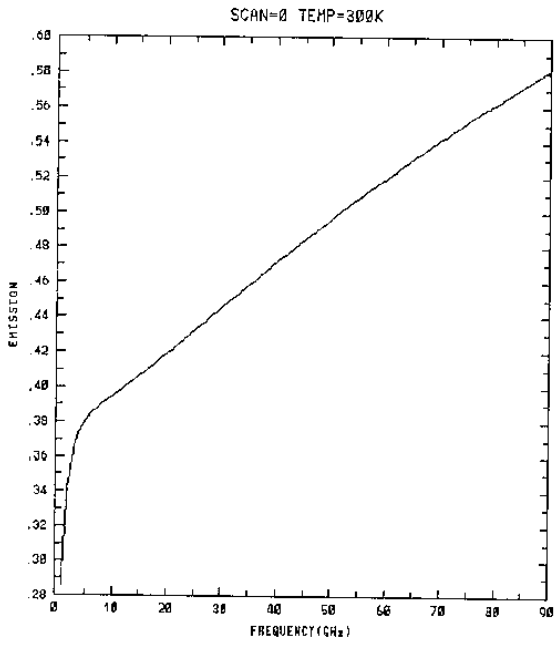


圖1 頻率對海面放射率的影響。

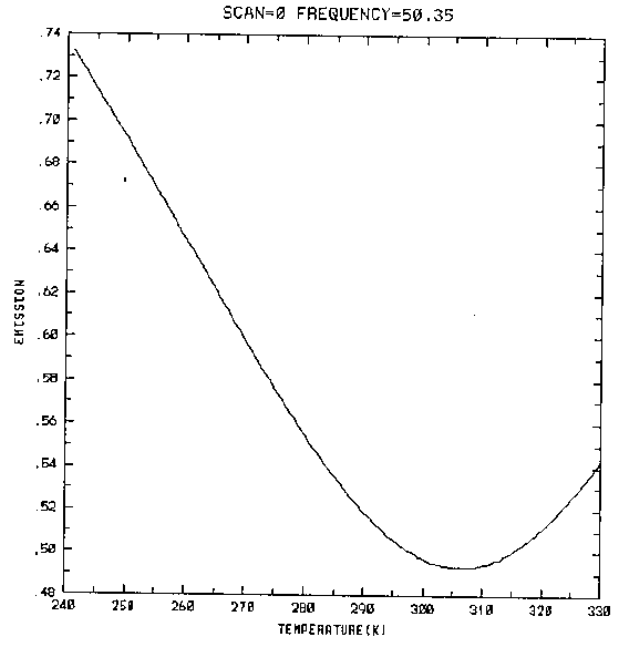


圖2 海面溫度對海面放射率的影響。

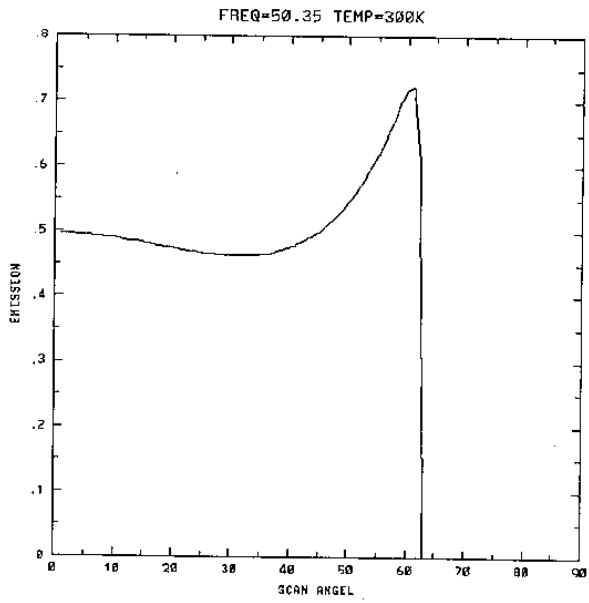


圖3 衛星視角對海面放射率的影響。

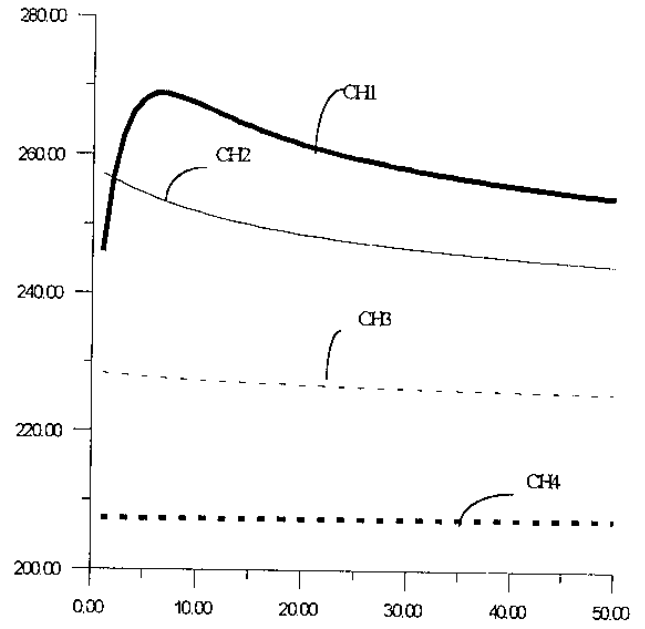


圖4 降雨對各頻道亮度溫度的影響。

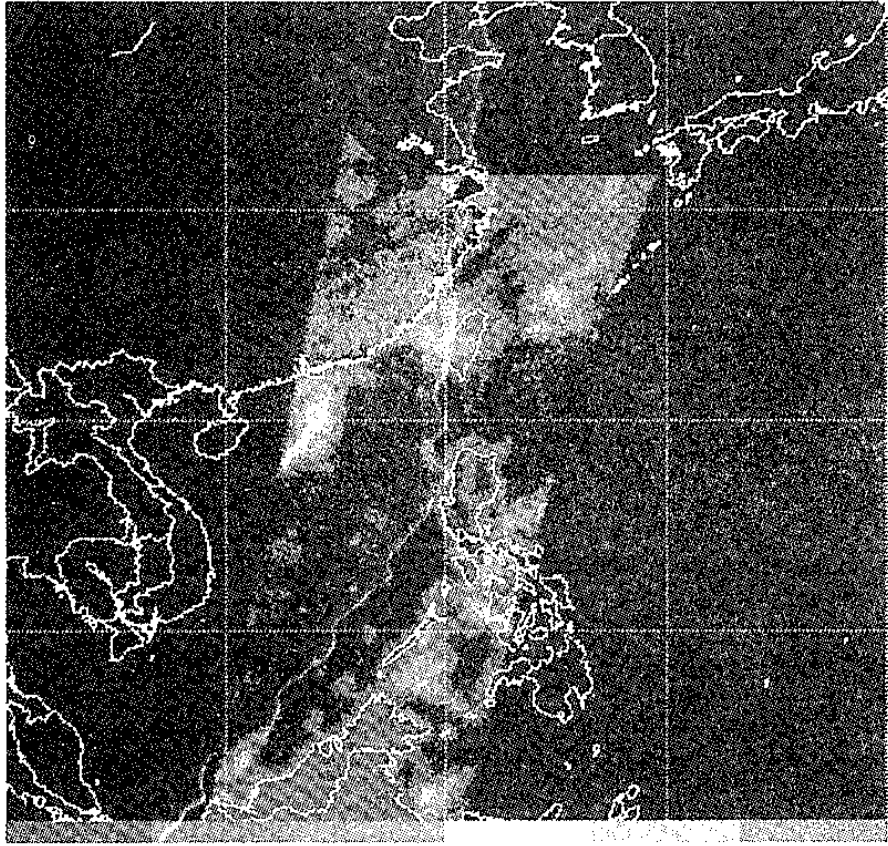


圖 5 1996 年 5 月 27 日 10 時 SSM/I 所反演之降雨分布圖，顏色間隔為 10mm/hr。

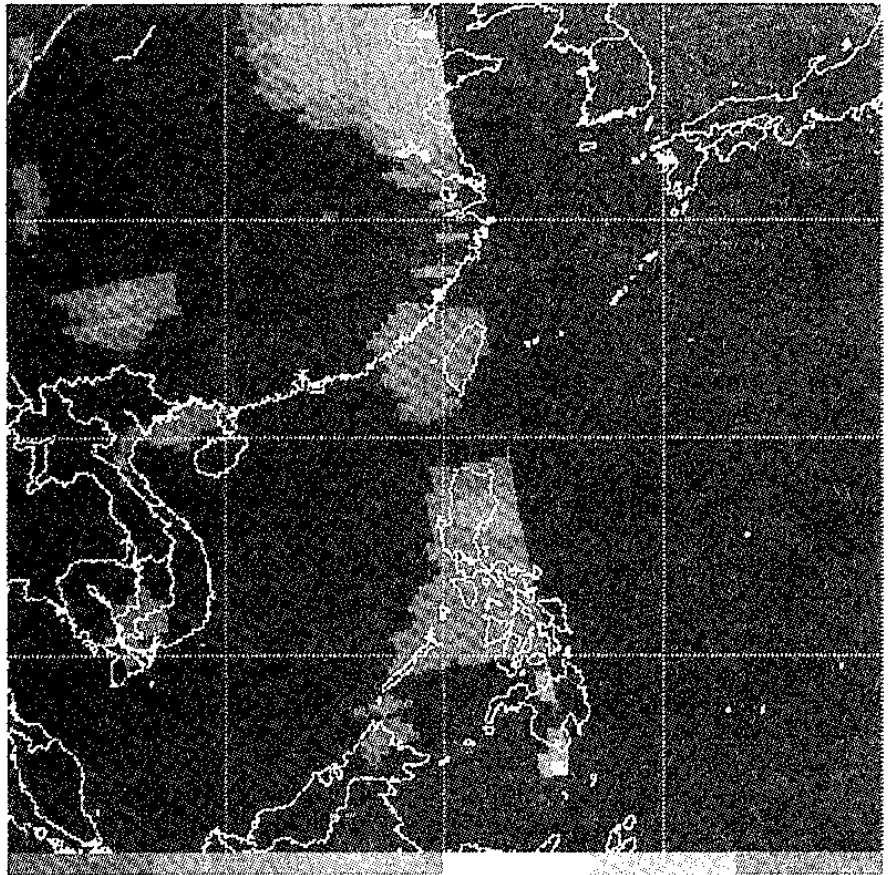


圖 6 1996 年 5 月 27 日 11 時 MSU 所反演之降雨分布圖，顏色間隔為 10mm/hr。