

# 衛星資料自動估計台灣地區降水之研究

顏泰崇 王文隆 陳興漢  
中央氣象局氣象衛星中心

## 摘要

早自七十年代起即有很多人研究利用衛星資料估計降水，雖然目前在衛星上可以使用來觀測降水的儀器有雷達、微波、紅外線與可見光輻射儀，但在作業上，利用氣象衛星資料估計降水者仍以使用紅外線與可見光資料為主。

本研究為配合嘉南地區防災實驗計畫，引進Adler與Negri的CST法，選取1992年Post-TAMEX預報實驗之豪雨個案資料，利用GMS衛星紅外線與可見光頻道影像資料，並以中央氣象局的自動遙測雨量站網的觀測資料校驗，建立客觀的自動估計台灣地區對流性與層狀降水技術，以便能及早掌握豪雨之發生，供預報員參考，達成對豪雨災害之預警功效。本研究也將此一自動估計降水技術與Scofield交談式估計降水技術做一比較，以期建立完整之即時預報降水作業。

## 一、前言

早自七十年代起即有很多人研究利用衛星資料估計降水，Barret & Martin (1981) 曾就衛星降水估計技術做過完整性的評介。雖然目前在衛星上可以使用來觀測降水的儀器有雷達、微波、紅外線與可見光輻射儀，但在作業用氣象衛星上還沒使用雷達，在美國的NOAA與DMSP衛星上雖已有微波輻射儀，但前者的空間解析度僅有110公里，不適用於做中小尺度的降水估計，後者又因為屬於美國軍方，無法為一般機構所接收使用，因此在作業上研究利用衛星資料估計降水者仍以使用紅外線與可見光資料為主。

利用紅外線與可見光資料估計降水的方法最早是雲指數(Cloud Index)法，針對不同雲型的雲區賦予不同指數，由經驗法則估計其降水潛勢(Follansbee, 1973; Barret等, 1986)。其後又有追蹤雲系發展過程的變化以估計降水量的雲史(Cloud History)法，例如Scofield & Oliver (1977) 追蹤同步衛星連續雲圖的演變，發展出一套估計對流雲系降水的方法，經多年測試與改進，已列入美國國家環境衛星資訊局(NESDIS)的例行作業中(Scofield, 1987)。中央氣象局氣象衛星中心在最近幾年也積極引進該方法，並在1992年5-6月預報實驗中應用該方法(紀與李, 1991; 紀, 1993)，完成了一個降水預報指引；但是此方法必須由有經驗的人員以交談式分析衛星雲圖與天氣圖，才能做降水預報。Griffith等(1978)則追蹤雲系發展過程中，雲頂溫度低於 $235^{\circ}\text{K}$ 之雲系面積，套入其雲系發展模式，估計其降水量，但此方法僅適用於熱帶地區。Negri等(1984)曾針對此法作一評估，並建立一個簡捷的估計方法。Arkin (1979)分析GATE資料，發現熱帶地區降雨量與雲頂溫度低於 $235^{\circ}\text{K}$ 之雲量有極大之相關。Adler與Negri (1988)以一維雲模式的結果為基礎，定出降雨率及降雨面積與最低雲頂亮度溫度之關係，用衛星紅外線資料估計出對流雲的降雨量，對層狀卷雲則以雲頂亮度溫度之模數值為閾值，估計其降雨量，此方

法簡稱為CST法。自GMS衛星做每小時觀測後，日本氣象衛星中心已自1989年3月起，利用以衛星資料建立之降水強度指數(Index of Precipitation Intensity, 簡稱SI)法估計雨量(Abe等, 1990)。

本計畫為配合嘉南地區防災實驗計畫，引進Adler & Negri的CST法，選取1992年Post-TAMEX預報實驗之豪雨個案資料，利用GMS衛星紅外線與可見光資料，並以中央氣象局的自動遙測雨量站網的觀測資料校驗，建立客觀的自動估計台灣地區對流性與層狀降水技術，以便能及早掌握豪雨之發生，供預報員參考，達成對豪雨災害之預警功效。本計畫也將比較此一自動估計降水技術與Scofield交談式估計降水技術，以期建立完整之即時預報降水作業。

## 二、降水估計方法

CST法原先是使用美國GOES衛星的資料應用於美國地區，因為只使用紅外線窗頻道影像資料，因此也可以適用於日本的GMS衛星及歐洲的METEOSAT衛星，但是必須針對不同衛星的輻射儀掃描特性略做修改。CST法估計降水的程序分為以下幾個步驟：

### 1. 選擇雷雨目標：

由影像中先尋找局部地區的相對最低亮度溫度 $T_{min}$ ，因為衛星觀測的 $T_{min}$ 常與個別雷達回波相一致(Negri & Adler, 1981)，如果 $T_{min}$ 不只一點時，則選取其質量中心；如果 $T_{min} > 253^{\circ}\text{K}$ 時，則視為不具有對流發展之雲系，不予考慮。

### 2. 計算斜率參數：

在 $T_{min}$ 的冷雲區中，有些薄而非對流性降水的卷雲，為了去除這些卷雲，利用卷雲區雲頂溫度的梯度較小，積雲區雲頂溫度的梯度較大的特性，計算每一個 $T_{min}$ 點周圍的雲頂溫度的梯度 $S$ 。

$$S = T_{1.4} \cdot T_{min}$$

$$T_{1.4} = (T_{1.1,j} + T_{1.1,j+1} + T_{1.1,j-1} + T_{1.1,j+1})/4$$

在此取周圍四點計算梯度，有別於原來CST法用六點計算梯度，這是因為GOES衛星的掃描在東西方向重疊取樣(Over-sampling)，使其像元間距縮小為4公里，GMS衛星的掃描則未做重疊取樣，其像元間距與解像度一樣是5公里。

### 3. 卷雲/ 雷暴之分辨：

依據雷達及可見光影像資料，建立一個分辨薄卷雲與活躍的對流雲的經驗關係(見圖一)。對任一 $T_{min}$ ，如果有較大的斜率(即落於圖上直線左方)，即視為對流雲系統；如果為較小的斜率，則視為卷雲。

$$S_{slope} = 0.568 * (T_{min} - 217)$$

### 4. 視野修正：

在CST法上，使用Adler & Mack的一維雲模式，上昇氣流核心為1公里，GOES衛星解像度為8公里，為便於做比較，將觀測之亮度溫度就此一視野之不同做一經驗修正：

$$(T_{min} - T_c) = 0.283 T_{min} - 56.61$$

在此 $T_c$ 為溫度修正值，係依據GOES與NOAA衛星對強烈雷暴之觀測做比較而得，其修正範圍自 $200^\circ K$ 的零修正到 $253^\circ K$ 的暖雷暴修正 $15^\circ K$ 。

### 5. 降雨率與降雨區的推定：

決定對流胞後，即依Adler & Mack的一維雲模式的結果，推定其降雨參數。最大降雨率與最大降雨量為最大雲高的函數，本研究中採用Adler & Mack在佛羅里達所使用的參數，降雨區域為模式中上昇氣流區域的五倍。

$$A_r = 5\pi r^2$$

在此降雨區的平均降雨率 $R_{mean}$ 為

$$R_{mean} = VRR / A_r$$

VRR 為瞬間總降雨率。 $T_c$ 與 $R_{mean}$ 間之線性關係為

$$R_{mean} = 74.89 \cdot 0.266 T_c$$

$T_c$ 與 $A_r$ 間之log 線性關係為

$$A_r = \exp(15.27 \cdot 0.0465 T_c)$$

### 6. 層狀卷雲降雨之估計：

對於非對流性的鉗狀卷雲，如果雲層夠厚也

會造成降水，由各個 $T_{min}$ 附近斜率小於4且通過薄卷雲測試的點，計算其周圍約八十公里的亮度溫度眾數 $T_{mode}$ ，再由全部的 $T_{mode}$ 計算期望值做為閾值 $T_s$ ，

$$T_s = E[Wi \cdot T_{mode}]$$

如果亮度溫度低於 $T_s$ ，即指定為每小時2mm的層狀降水。

## 三、資料

為配合嘉南防災計畫，本研究選取1992年Post-TAMEX預報實驗期間嘉南地區造成大雨的個案進行測試，但由於嘉南地區造成大雨的個案不多，本研究中僅選取在1992年五月十七日至十八日造成嘉南大雨的個案資料，測試此一自動估計雨量的方法。

在五月十七日，梅雨鋒面自日本九州向西南延伸，經台灣北部海面至華南，此一鋒面在晚上開始緩慢通過台灣北部，到十八日上午已通過中部地區(圖二)，對流雲系沿著鋒面在台灣海峽及華南沿海生成發展，並向東移動。

本研究所使用的資料主要為中央氣象局接收的日本GMS-4衛星的紅外線窗頻道數位資料，使用頻道範圍為10.5至12.5微米，該資料的空間解析度在衛星直下點為五公里，觀測頻率為每小時一次。自五月十七日二十二時起至五月十八日十一時止之色調強化紅外線衛星雲圖(圖三)，可以看出在整個鋒面雲帶上雖然有多個對流雲系，但大多停留在海上，只有對流雲系A於十七日晚上移到台灣中南部地區，至十八日凌晨00L，在台南地區造成一小時67mm的大雨，該雲系繼續向東南移動，分成兩個小胞後減弱。對流雲系B在02L時向東移動進入台灣南部，整個台南縣近中央山脈地區均有30-40mm的降水，隨後雨勢逐漸減小，06-08L又陸續下了10mm的雨，才結束了這個對流雲系的降水。

用來校驗所估計雨量精確度的是中央氣象局的自動遙測雨量暨氣象站網，此一觀測網在中央山脈以西已建置完成兩百餘站，在嘉南地區的測站分布情形如圖四。但在1992年Post-TAMEX預報實驗期間，嘉南地區的自動遙測雨量站正好在建置中，僅有南半部的雨量站完成建置，開始觀測，使本研究的校驗工作有所瑕疵。

## 四、結果

在本研究中，作者利用美國佛羅里達州個案所使用的係數，處理GMS衛星的資料，估計台灣地區附近兩百公里見方的每小時降雨量，選取其最大的雨量，並與雨量站網的逐時最大降雨量比較(見圖五)。

結果顯示二者在降雨趨勢方面尚稱一致，在00L至02L間有一最大降雨量，但CST法估計的降雨量對於較大降雨估計偏低，這可能是因為所使用的係數不適用於台灣地區，必須以台灣地區的氣候資料代入一維雲模式中模擬，以獲取適用於台灣地區的係數。另外也可能由於台灣地區的地形效應使雨量增大，在衛星觀測的紅外線影像無法適當的反應出來，必須將地形效應以另外的參數來表現。

CST法估計的降雨量數值變化也不大，這可能是由於估計最大雨量處只有一個像元，其面積約為五公里見方，只能代表一個雷雨胞，其生命期短於GMS衛星的觀測間隔。造成降雨的對流雲區範圍常包含數十個甚至上百個像元，整體生命期可能長達幾小時，在GMS衛星的一小時觀測間隔中，會有許多個雷雨胞下雨。因此我們又計算最大降雨處之對流雲區的平均降雨量，結果的降雨量雖然較小，但卻較能反應出降雨的尖峰。

在1992年POST-TAMEX預報實驗期間，實驗預報中心曾以Scofield交談式估計降水技術估計本個案之降雨量，但因在該實驗之重點在於北部地區，當鋒面南移後，至十八日03L即不再做估計，所以有估計降雨量的時間只有前半，由該資料與本研究的結果比較，在尖峰期略有出入，在數值上則差不多，均比實際觀測值偏低。

## 五、結論

在本研究中，我們將美國所發展的CST衛星紅外線資料估計法引入，雖然所得的結果並不是很理想，但是可以由電腦自動且客觀的做降雨估計，在作業上仍然可以有相當的參考價值，將來如果能夠進一步改進，應該可以轉移成天氣預報的良好工具。

由於台灣地區的氣候與地形有別於美國，因此在未來做降雨率的估計時，應考慮以台灣地區的氣候值輸入雲模式，以模擬出適用於台灣地區的估計對流雲降雨率的雲頂溫度與降雨率的關係式。而台灣地區的地形對於降雨的影響非常大，未來應考慮針對特定地形與氣流，給予加權，以配合實際的狀況。

**誌謝：**本研究在國科會NSC83-0414-p-052-004-B資助下，得以順利完成，特此誌謝。

## 參考文獻

- 紀水上，李清勝，1991：衛星資料在1992年5-6月預報實驗之應用研究(I)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告80-35號，NSC80-0202-p52-09B，63頁。
- 紀水上，1993：衛星資料在1992年5-6月預報實驗之應用研究(II)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告80-35號，NSC81-0414-p52-08B，234頁。

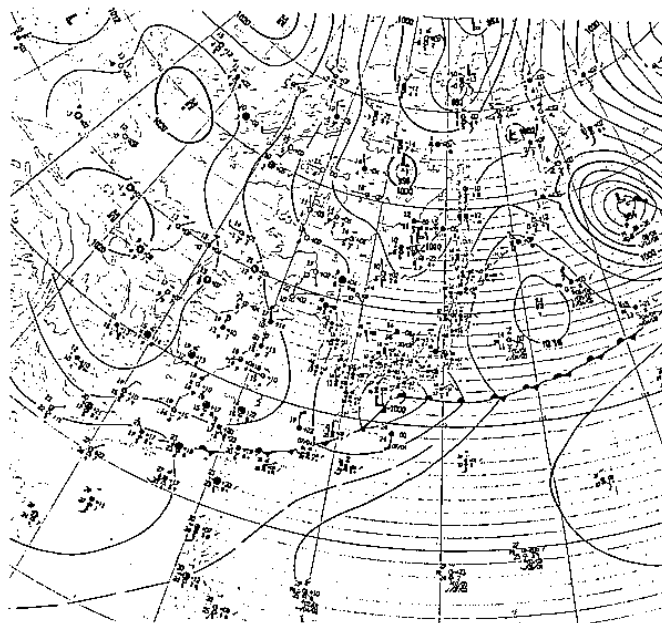
- Abe, Y., I. Nishimori, H. Senda., and T. Imai-zumi, 1990: Accuracy of the satellite-derived index of precipitation intensity and its representative characteristics. 日本氣象廳，氣象衛星中心技術報告，第20期，39-60。(日文版，英文摘要)。
- Adler, R.F., and A. Negri, 1988: A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27, 31-51.
- Arkin, P. A., 1979: The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1382-1387.
- Barret, E. C., G. D'Souza, and C. H. Power, 1986: Bristol techniques for the use of satellite data in rain cloud and rainfall monitoring. *J. Brit. Interplan. Soc.*, 39, 517-526.
- Barret, E. C. and D. W. Martin, 1981: The use of satellite data in rainfall monitoring. Academic Press, New York. 340pp.
- Follansbee, W.A., 1973: Estimation of average daily rainfall from satellite cloud photographs. NOAA Technical Memo. NESS 44, U.S. Dept. of Commerce, Washington DC, 39pp.
- Griffith, C.G., W.L. Woodley, P.G. Gruber, D. W. Martin, J. Stout, and D.N. Sikdar, 1978: Rain estimation from geosynchronous satellite imagery-visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1152-1171.
- Levizzani, V., F. Porcu, F. Prodi, R. Carla, and A. J. Negri, 1990: Rainfall estimation over the Arno river basin (Italy): a flood hazard case-study. Preprint of Conference on operational precipitation estimation and prediction. Anaheim, CA, AMS, 77-82.
- Negri, A. J., R. F. Adler, 1993: An intercomparison of three satellite infrared rainfall techniques over Japan and surrounding waters. *J. Appl. Meteor.*, 32, 357-373.
- Negri, A. J., R. F. Adler, and P. J. Wetzel, 1984: Rain estimation from satellite: an examination of the Griffith-Woodley technique. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 102-116.
- Scofield, R.A. and V.J. Oliver, 1977: A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery. NOAA Technical Memo. NESS 86, U.S. Dept. of Commerce, Washington, DC, 47pp.
- Scofield, R.A. and V.J. Oliver, 1980: Some improvements to the Scofield/Oliver technique. Preprint of Second Conference on Flash Fl-

oods. Atlanta, GA, AMS, 115-122.

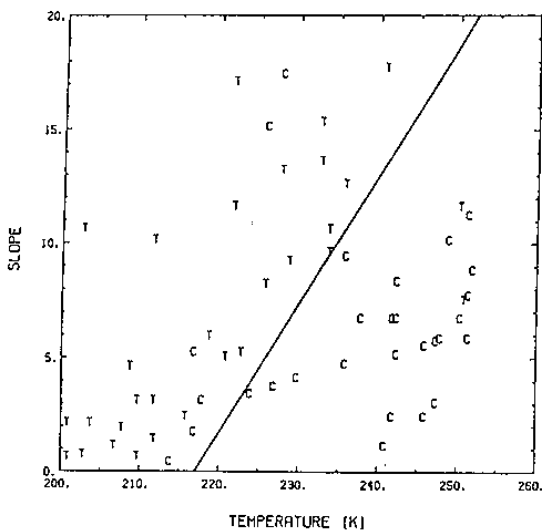
Scofield, R.A., V.J. Oliver and L.E. Spayed, 1980: Estimating rainfall from thunderstorms with the warm tops in the infrared imagery. Preprint of Eighth Conference on Weather Forecasting and Analysis, Denver, CO, AMS, 85-92.

Scofield, R.A., J. Robinson, and N. Lyles, 1987: Satellite estimates and forecasts of heavy rainfall from mesoscale convective systems (MCS). Preprint of Conference on operational precipitation estimation and prediction, Anaheim, CA, AMS, 5-12.

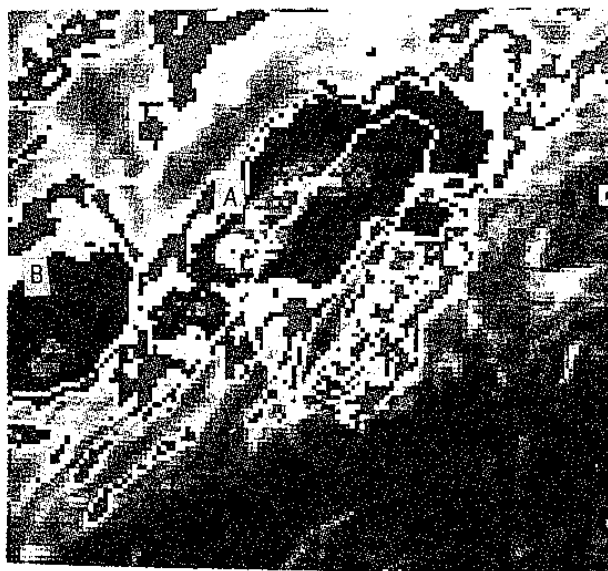
Scofield, R.A., 1987: The NESDIS operational convective precipitation estimation technique. Mon. wea. rev., 115, 1773-1792.



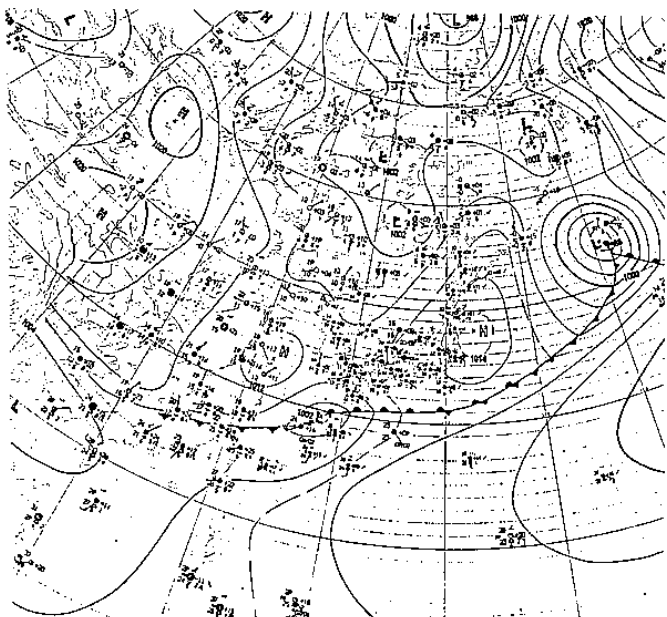
(b) 八十一年五月十八日00Z 地面天氣圖。



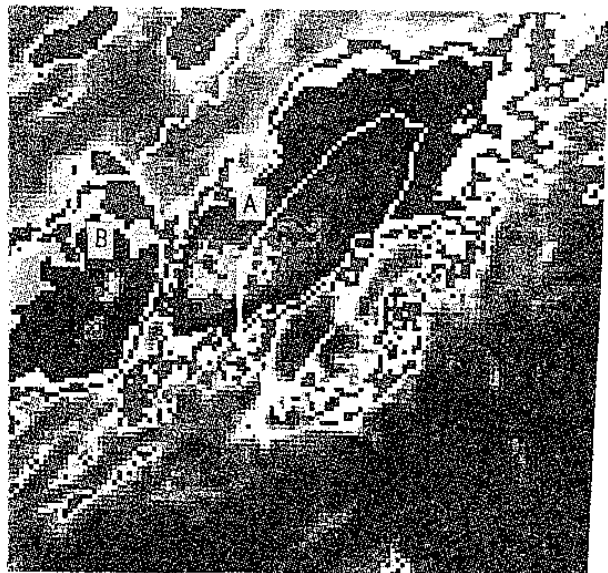
圖一：雷雨雲與薄卷雲之溫度／斜率判別分析圖。



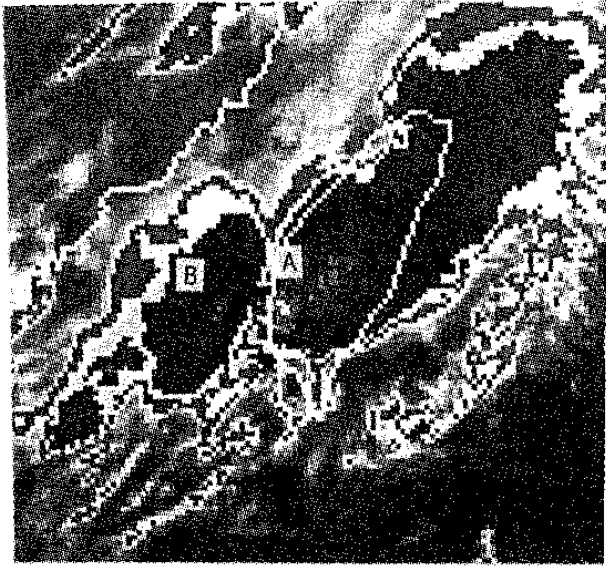
(a) 17日14Z



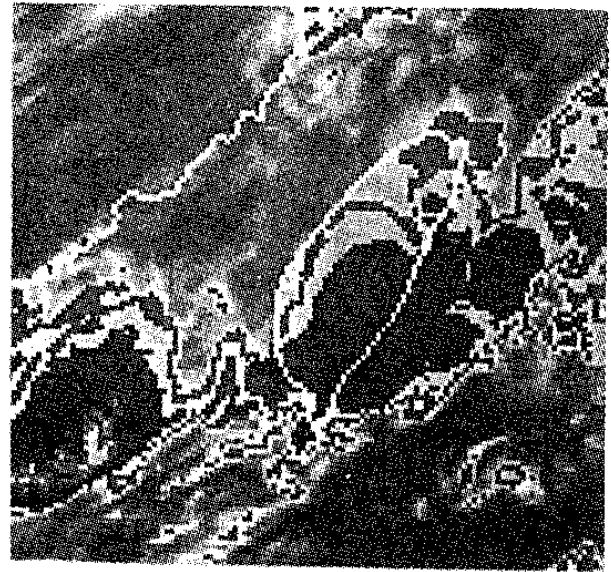
圖二：(a) 八十一年五月十七日12Z 地面天氣圖。



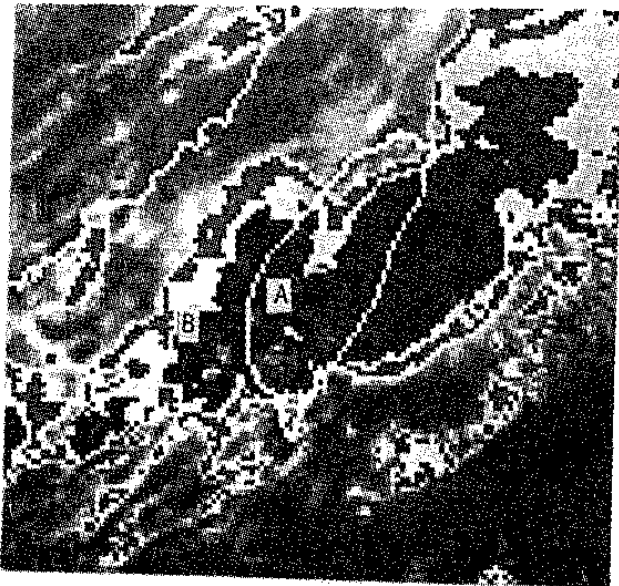
(b) 17日15Z



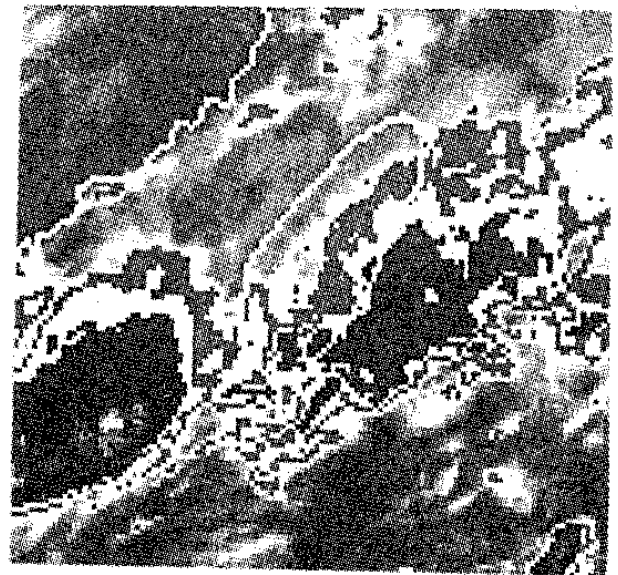
(c)17日16Z



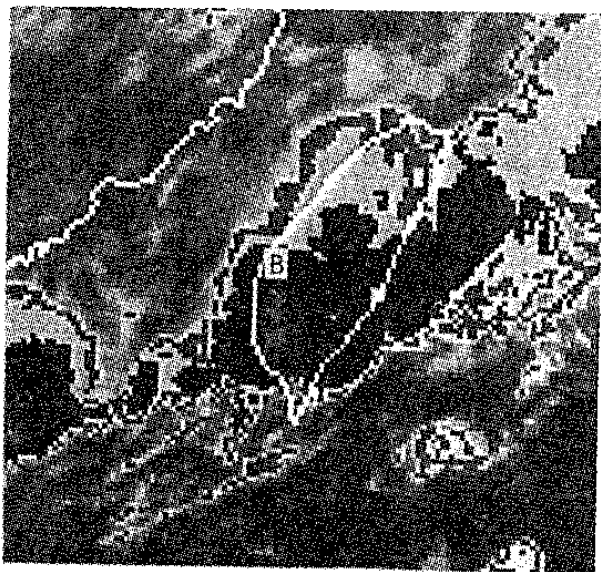
(f)17日19Z



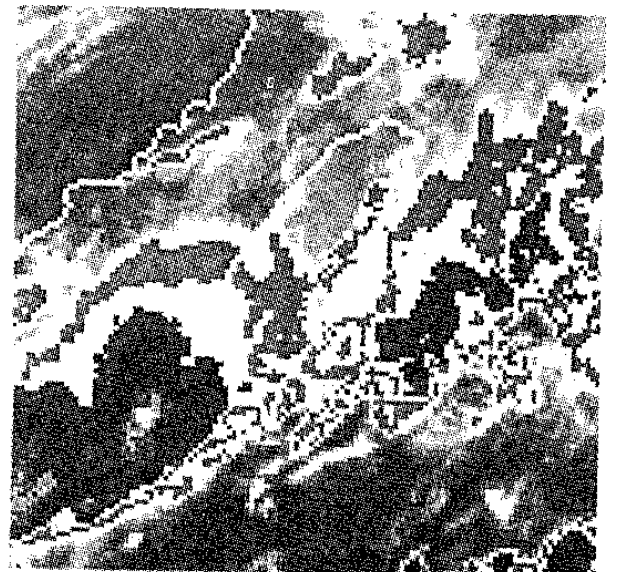
(d)17日17Z



(g)17日20Z

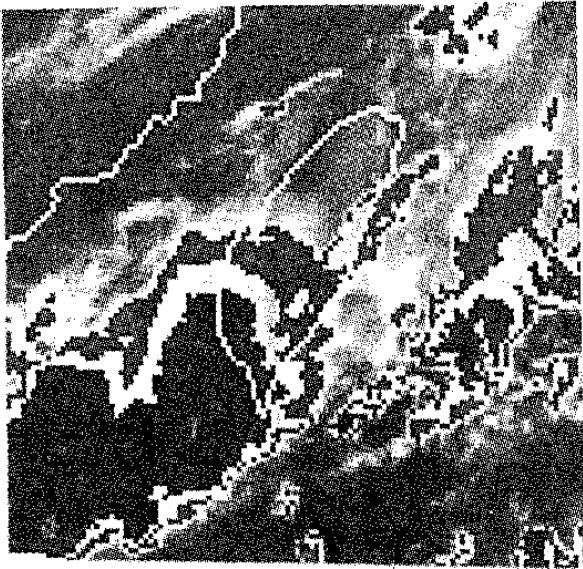


(e)17日18Z

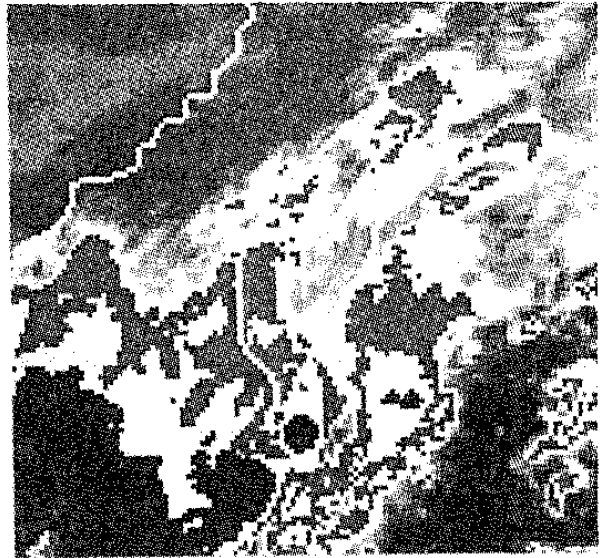


(h)17日21Z

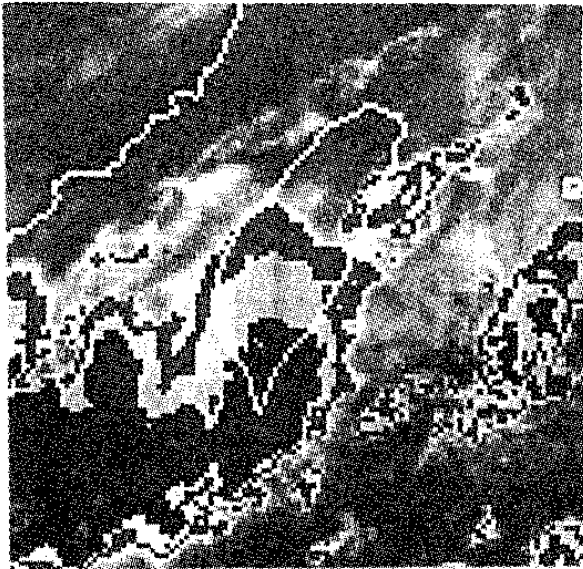
圖三：八十一年五月十七日14Z 至十八日03Z 色調強化衛星雲圖。



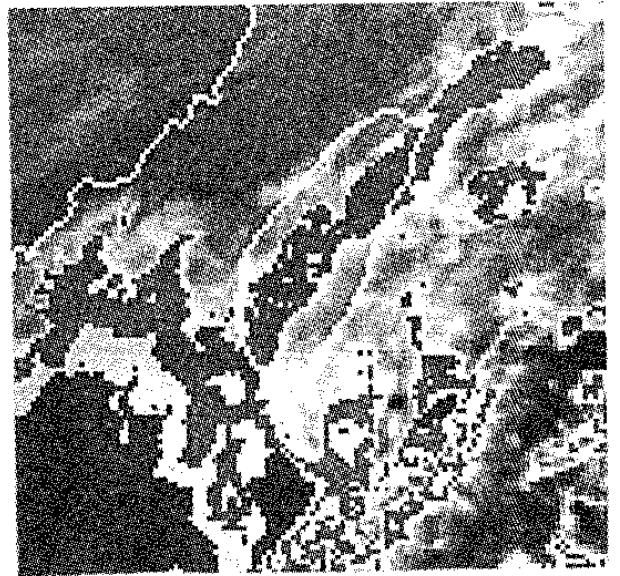
(i)17日22Z



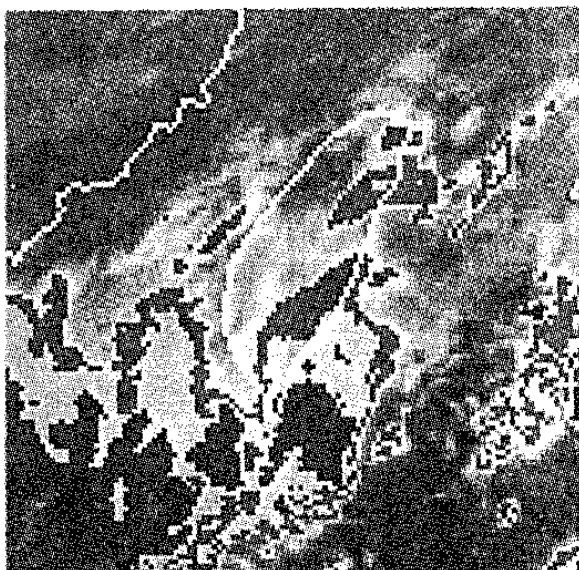
(l)18日01Z



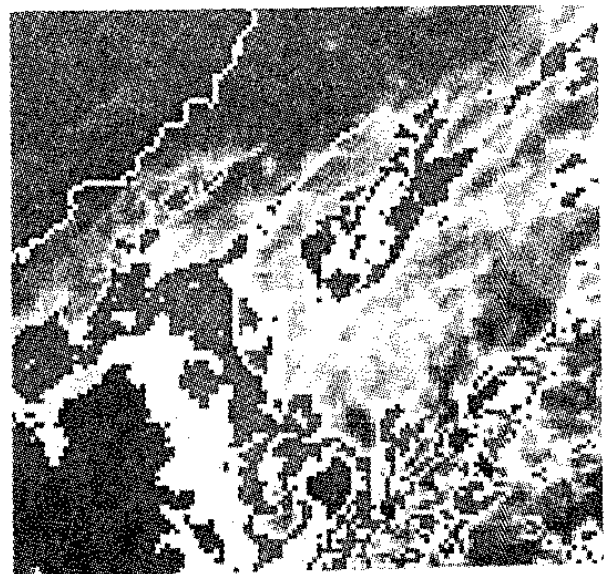
(j)17日23Z



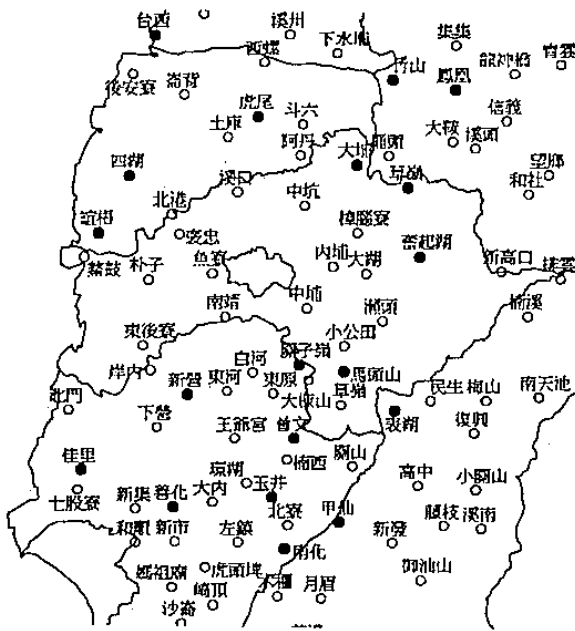
(m)18日02Z



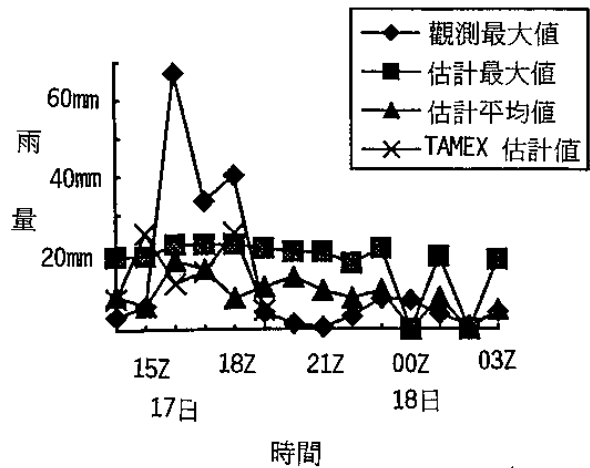
(k)18日00Z



(n)18日03Z



圖四：嘉南地區自動遙測雨量站分布圖



圖五：八十二年五月十七日14Z 至十八日03Z 逐時觀測最大雨量與 CST 法估計最大雨量、估計平均雨量、TAMEX 實驗估計雨量之比較。

## Study of Automatic Rainfall Estimation of Taiwan Area Using Satellite Data

Tai-Chung Yen, Wen-Lung Wang, Shing-Han Chen

Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

### ABSTRACT

To estimate rainfall using satellite data had been started since 1970's. Although there are various instruments like radar, microwave radiometer, infrared and visible radiometer on the spacecraft can be used to observe the rainfall now, it is only IR/VIS radiometer data being used major for operation.

In this study, the selected GMS IR/VIS image data of heavy rainfall case during 1992 Post-TAMEX Forecast Exercise are used to implement the objective automatic technique to estimate the convective and stratiform rainfall of Taiwan area from Adler & Negri's CST method. The observed data of CWB's rain gauge station network was used for calibration. We also compare the results with the result of Scofield's interactive method done in 1992 Post-TAMEX Exercise. We hope this technique can provide a reference to forecaster for early warning of torrential hazard.

