

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

赴美國國家環境衛星資訊局
研習衛星資料應用技術

服務機關：交通部中央氣象局
出國人職稱：薦任技正
姓名：王建國
出國地區：美國
出國期間：民國 89 年 9 月 29 日至民國 89 年 12 月 27 日
報告日期：民國 90 年 3 月 23 日

H87
C08907937

目次

一、目的	1
二、過程	3
三、心得	5
(一) 衛星降水估計的分類	5
(二) 自動估計法 (Auto-Estimator)	7
(三) GOES 多頻道降雨估計法 (GMSRA)	12
(四) AMSU 降雨估計法	17
四、建議	22
參考文獻	23
附圖	
圖一 自動估計法之流程圖	24
圖二 雷達導出之降雨率與衛星紅外線頻道之雲頂亮度溫度的關係 圖	25
圖三 GOES 多頻道降雨估計法之流程圖	26
圖四 降雨機率與雲頂溫度在不同區域之關係圖	27
圖五 平均降雨率與雲頂溫度在不同區域之關係圖	28

一、 目的

降雨是一個自然界的產物，它對於氣象、氣候、水文、民生和旅遊等而言，是一個重要的因子。台灣地區由於地理環境特殊，平均年雨量達 1500 公釐以上，尤其在梅雨季和颱風期間之豪大雨，往往造成人民生命和財產的損失。因此，降雨的估計和預報是刻不容緩之重要工作。然而以往對於降雨的估計和預報是以定性的方式，描述降雨的發生和雨量多寡的程度，這種定性的方式，無法滿足實際需求，因此發展定量的降水估計和預報是必然的趨勢。

在各種氣象觀測儀器中，氣象衛星所接收的資料，由於具備了觀測面積廣大及觀測資料較一致性的特徵，加以現代的衛星資料無論在空間的解析度或在時間的解析度上，都比以往提升很多，因此發展衛星降水估計之技術，就成為近年來世界各國氣象部門所努力的目標之一。

中央氣象局自民國七十年正式成立氣象衛星資料與處理接收站（民國七十八年改為氣象衛星中心，以下簡稱本中心）以來，即不斷致力於產品的開發和研究，更時常引進國外的最新技術，其中對於衛星降水估計的研究，更是重點發展項目之一。在經過多年的努力和引進後，目前已有即時的衛星估計雨量產品產生，例如：改良後之 CST 法和 GWT 法等。但由於這些方法對於台灣地區而言，還是存在某些

的困難度和不確定性，因此爲了能更精確掌握衛星的降水估計和預測，除了繼續改良現有之方法外，就是吸取國外的最新技術和經驗。

在另一方面，位於美國華盛頓特區之國家環境衛星資訊局 (National Environmental Satellite, Data, and Information Service, 簡稱 NESDIS), 長久以來與中央氣象局的合作關係良好，而對於衛星降水估計之研究，一直是不遺餘力且成效卓著。有鑑於此，職被選派至 NESDIS 研習衛星降水估計之新技術，以期能增進本中心的衛星降水估計之準確率。

二、 過程

職於民國 89 年 9 月 29 日起至 89 年 12 月 27 日止，赴美國國家環境衛星資訊局（NESDIS）進行「研習衛星資料應用技術」，為期 90 天。

NESDIS 隸屬於美國國家海洋暨大氣總署（NOAA），其下轄有國家三大資料中心和五大辦事處，其中研究與應用辦事處（Office of Research and Applications，簡稱 ORA）的主要任務，就是提供氣象和水文的衛星產品與服務，給相關之機構或人民使用。ORA 設有三組，分別是大氣研究與應用組（Atmospheric Research and Applications Division，簡稱 ARAD）、氣候研究與應用組（Climate Research and Applications Division，簡稱 CRAD）和海洋研究與應用組（Oceanic Research and Applications Division，簡稱 ORAD）。職在美期間均停留於 ARAD，承蒙 Roderick A. Scofield 博士和 Bob Kuligowski 博士等人熱心地提供各種資源和技術，使職能夠順利展開工作，在此一併致謝。

職首先研讀美方所提供有關衛星降水估計方面之論文和技術報告，進而取得美方作業和研究用之相關程式，詳細了解其計算和運作之過程。其中由於美方大量使用 McIDAS-X（Man Computer Interactive Data Access System for Unix）軟體介面，作為資料讀取、計算、繪圖和儲存的工具，而此工具目前尚未被本中心所採用，因此職也花了部

分時間在了解此工具。另外，美方所使用的同步衛星資料是美國的 GOES 衛星系列，這與我國所使用的日本 GMS 衛星系列有些許的不同。再加上台灣地區與美國地區，無論在環境與地形或天氣與氣候上都有很大的不同。因此，在了解美方各技術方法之程式後，就著手修改成適合台灣地區天氣特性之版本，並利用職帶去的台灣地區各種相關資料作測試。由於美方所提供的繪圖軟體有問題，加以時間上不太夠，故只好留待回台灣後繼續測試。

三、心得

(一) 衛星降水估計的分類

自 1960 年美國發射第一顆氣象衛星以來，至今已發射了許多繞極和地球同步的氣象衛星，這期間陸續發展了許多氣象應用技術，衛星降水估計就是其中之一。根據 Barrett (2000) 在一份世界氣象組織的技術文件中，就把衛星降水估計歸納為四大類，分別為：

1. 紅外線或可見光降雨估計技術

(1) 氣候尺度

- i. Bristol 雲指數法
- ii. GOES 降水指數法

(2) 短時間或即時尺度

- i. Griffith/Woodley Technique (GWT) 法
- ii. Negri-Adler/Wetzel Technique (NAWT) 法
- iii. Convective-Stratiform Technique (CST) 法
- iv. Bristol/Barrett, Beaumont and Bellerby (B4) 法
- v. Scofield/Oliver and IFFA 法

2. 被動式微波技術

(1) 經驗法

- i. CAL/VAL 法

- ii. Grody/Ferraro 法
- iii. NASA's GSCAT 法
- iv. Ferraro-AMSU 法

(2) 物理法

GPROF 法

3. 活躍式微波技術

4. 結合衛星技術

(1) 氣候尺度

- i. Merged GPCP 法
- ii. CMAP 法

(2) 短時間或即時尺度

- i. 自動估計法 (Auto-Estimator)
- ii. GOES 多頻道降雨估計法 (GMSRA)
- iii. Manobianco 法
- iv. Kurino 法
- v. Turk et al. Procedure 法

其中自動估計法、GOES 多頻道降雨估計法和 Ferraro-AMSU 法，是 NESDIS 自行研發且目前有即時產品之方法，也是職研習的重點，因此在以下幾節中將分別詳細介紹之。

(二) 自動估計法 (Auto-Estimator)

自動估計法是 NOAA/NESDIS 在 1998 年所發展出來的一種新的技術，目前已被廣泛使用在即時的洪水預報、數值模式和水文作業上。它是以 GOES-8 和 GOES-10 同步氣象衛星的紅外線頻道(10.7 μm) 爲主，利用衛星雲頂亮度溫度與降雨率之迴歸方程式來計算降雨率，再經過水汽修正、雲成長率或雲頂亮度溫度梯度修正、地形/風修正以及視角的修正，而得到即時之降雨率，進而產生相關之產品，如圖一所示。以下則分別介紹之。

1. 迴歸方程

使用 1995 年的資料研究顯示，衛星紅外線頻道的雲頂亮度溫度和雷達導出的降雨率之關係，如圖二所示，其中雷達導出的降雨率是根據 $Z=300 \cdot R^{1.4}$ 而來。由於雷達導出的降雨率與地面雨量站所觀測的雨量之關係良好，因此根據圖二之關係可導出一迴歸方程如下：

$$R = 1.1183 \cdot 10^{(11)} \cdot \exp [-3.6382 \cdot 10^{(-2)} \cdot T^{(1.2)}]$$

其中，T 是雲頂亮度溫度 (K)

R 是降雨率 (mm/h)

2. 水汽修正

由於使用迴歸方程來計算降雨率時，發現在較乾的環境下易高估

降雨率，而在較濕的環境下反而低估了，因此適當的水汽修正是必須的。我們可定義一個水汽修正因子（PWRH）如下：

$$PWRH = PW * RH$$

PW：從地面至 500mb 的可降水量(英寸)

RH：從地面至 500mb 的平均相對濕度(%)

PWRH：水汽修正因子，範圍 0.0 ~ 2.0，小於 1.0 表示較乾的環境，大於 1.0 表示較濕的環境，大於 2.0 則為 2.0

這裏 PW 和 RH 採用 NCEP/Eta 數值模式資料。

修正之限制：

- (1) 當 $T < 210K$ 且 $PWRH > 1.0$ 時，環境溼度已很高，因此不用乘上 PWRH 因子。
- (2) 當 $T < 200K$ 時，降雨率限制在 72mm/h 以內。

3. 雲成長率修正

使用二張連續的紅外線衛星雲圖，比較相應各點的雲頂亮度溫度，即若 T 和 Tpre 代表目前和前一時刻的雲頂亮度溫度，則

- (1) $T < Tpre$ ，表系統增強中，則降雨率維持不變。
- (2) $T > Tpre$ ，表系統減弱中，則降雨率修正為零。
- (3) $T = Tpre$ ，表系統成熟期，則降雨率維持不變。

4. 雲頂亮度溫度梯度修正

如果衛星資料接收有問題，或有日月蝕發生時，往往在幾小時內只有一張衛星紅外線影像時，可用此修正來取代雲成長率。

假設雲頂亮度溫度為 $T = T(x,y)$ ，則可定義一個變數 H ，

$H = (\partial^2 T / \partial x^2)(\partial^2 T / \partial y^2) - (\partial^2 T / \partial x \partial y)^2$ ，對某一點 $P_0 = (x_0, y_0)$ 而言

(1) $H > 0$ 且 $(\partial^2 T / \partial x^2) < 0$ ，表極大值，即 P_0 比周圍較暖，降雨率修正為零。

(2) $H > 0$ 且 $(\partial^2 T / \partial x^2) > 0$ ，表極小值，即 P_0 比周圍較冷，降雨率維持不變。

(3) $H < 0$ ，沒有極值，即 P_0 與周圍溫度一樣，降雨率修正為原值之一半。

(4) $H = 0$ ，表未知，降雨率可修正為零。

在實際運用時，先採用 3×3 點來做差分和比較，當 $H_{3 \times 3} = 0$ 時，則採用 5×5 點做差分和比較。

5. 地形/風修正

從過去的研究指出，降水量隨著海拔高度增加而增加，且迎風面比背風面大。

因此地形/風修正技術是使用一個降雨率增加參數(M)來表示：

$$M = 1 + S \cdot U$$

U：水平風速(m/s)

S：沿著 U 方向之地形斜率

風取自於 NCEP/Eta 模式的 850mb 的風場資料，而地形高度則取自於北美的地形合成圖，其垂直解析度為 20m，水平解析度在美國、加拿大和墨西哥是 4km，在其餘地區為 10km，10km 部分則內插至 4km。

6. 視角修正

精確的雲頂位置，對於降水估計值的準確率影響很大，當一塊雲直接位於衛星正下方時，則所觀測雲的位置即為實際的位置，但若有一較大視角時，則會有誤差產生，有時可差距 20km 以上，因此視角的修正有其必要性。

視角的修正可依據雲高(Hc)、雲在地球上的位置(緯度 θ_c ，經度 ϕ_c)和衛星的位置(衛星軌道與地球中心間之距離 R_s ，衛星的緯度 θ_s 和經度 ϕ_s)而定。

7. 計算一小時的平均降雨率

由於 GOES 衛星接收資料的頻率一般為 30 分鐘，因此我們可使用三個連續的影像資料，利用下式計算出一小時的平均降雨率：

$$\text{Rain}(1\text{-hour}) = (\text{Rain}_{\min} + 2 * \text{Rain}_{\text{median}} + \text{Rain}_{\max}) / 4$$

其中 Rain_{\min} 為降雨率極小值，

Rain_median 爲降雨率中間值，

Rain_max 爲降雨率極大值。

8. 產品

目前在 NESDIS 的作業產品中有：即時降雨率、每半小時產生出一小時平均降雨率和三小時的總降雨量、每小時產生出六小時總降雨量以及每天之日總雨量。可在 WWW 網路上查看，網址爲：
<http://orbit35i.nesdis.noaa.gov/arad/ht/ff/auto.html>

(三) GOES 多頻道降雨估計法 (GMSRA)

GMSRA 的全名為 GOES MultiSpectral Rainfall Algorithm，它是 NESDIS 在 2000 年所發展出來的新技術。由於以往使用衛星紅外線頻道估計降水時，往往無法分辨降雨雲和非降雨雲，也無從考慮雲的微物理過程，為了改進此缺點，從而發展此一技術。GMSRA 之優點，在於它巧妙地結合 GOES 同步衛星中五種不同的頻道，並以雲頂溫度為基礎，利用雲滴的有效半徑和空間的溫度梯度濾除非降雨雲，進而得到降雨的估計值，其流程圖如圖三所示，以下則分別介紹之：

1. 各頻道之主要用途

- (1) 可見光頻道($0.65 \mu\text{m}$)：選擇光學上之厚雲，限白天。
- (2) 近紅外線頻道($3.9 \mu\text{m}$)：求取水汽凝結體的有效半徑，限白天。
- (3) 水汽頻道($6.7 \mu\text{m}$)：結合第四頻道，判斷水汽是否超過雲頂。
- (4) 紅外線頻道($10.7 \mu\text{m}$)：決定雲頂亮度溫度，亦為降雨估計最主要之頻道。
- (5) 紅外線頻道($12 \mu\text{m}$)：結合第四頻道，可估計雲頂溫度。

2. 計算雲滴的有效半徑(R_{eff})

- (1) 定義

$$R_{\text{eff}} = \int ((N(r)r^3 dr)/(N(r)r^2 dr))$$

$N(r)$: 半徑為 r 的粒子數目

(2) 計算

i. 首先求雲頂溫度估計值(T_c)

$$T_c = -6.411 + 1.026 * T_{b4} + 1.19dT + 0.2017dT^2 \quad (\text{GOES-8})$$

$$T_c = -6.951 + 1.0272 * T_{b4} + 1.7927dT + 0.0756dT^2 \quad (\text{GOES-10})$$

T_{b4} 、 T_{b5} : GOES 的第 4 和第 5 頻道之雲頂亮度溫度

dT : $T_{b4} - T_{b5}$

ii. 其次求 $3.9 \mu\text{m}$ 的光譜反照率(A)

$$A = (L - P_{\text{ebb}}) / (S_0 / \pi - P_{\text{ebb}})$$

L : 在 $3.9 \mu\text{m}$ 之觀測輻射

S_0 : 在 $3.9 \mu\text{m}$ 之太陽輻射

P_{ebb} : 對某一雲頂溫度(T_c)而言，相當於在 $3.9 \mu\text{m}$ 之黑體
輻射

iii. 參照 Rosenfeld and Gutman(1994)的 A 與 R_{eff} 對照表求取

R_{eff}

3. 非降雨雲的濾除

(1) 雲頂亮度溫度梯度(G_t)和斜率(S)

G_t 和 S 之定義如下：

$$G_t = T_{avg} - T_{min}$$

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

T_{min} 是局部範圍內(如 5*5 點或 25*25 點)之溫度極小值

T_{avg} 是周圍六點之平均溫度

(2) 濾除條件

i. 在白天，有下列條件之一者，即視為卷雲或非降雨雲：

(i) 反照率 < 0.4

(ii) 雲頂亮度溫度梯度 $<$ 斜率

(iii) 雲滴有效半徑 $< 15 \mu m$

ii. 在晚上，有下列條件之一者，即視為卷雲或非降雨雲：

(i) 雲頂亮度溫度梯度 $<$ 斜率

(ii) 雲頂亮度溫度 $< 230K$

iii. 例外

當雲頂亮度溫度 $< 220K$ 且 $10.7 \mu m$ 和 $6.7 \mu m$ 頻道的亮度溫度差為負值時，即為 overshooting top，因此一律視為降雨雲。

4. 降雨率的計算和修正

GMSRA 的降雨率可用下式來計算

$$RR(T_c) = P_b(T_c) * RR_{mean}(T_c) * PWRH * GROWTH$$

其中 T_c : 雲頂溫度

RR：降雨率

P_b：降雨機率

RR_{mean}：平均降雨率

PWRH：水汽修正因子

GROWTH：成長修正因子

(1) 降雨機率 (P_b) 之定義

$$P_b = N_r(T_c) / N_c(T_c)$$

其中 N_r(T_c)：降雨總點數

N_c(T_c)：雲塊總點數

降雨機率和雲頂溫度有關，根據使用 GHRC 的雷達資料和 NCEP 利用雨量器所調整的雷達資料，在 1998 年 6-7 月間所作之研究指出，降雨機率和雲頂溫度的關係圖如圖四所示。其中由於為了充分掌握地區之特性，因此將北美地區分成四區，分別為西北區 (40-50N, 100-120W)、西南區 (20-40N, 100-120W)、東北區 (40-50N, 60-100W) 和東南區 (20-40N, 60-100W)。根據研究指出，利用 GHRC 資料所估計的降雨率，在雲頂溫度高於 250K 時，通常會比用 NCEP 資料所估計的降雨率來得高。因此在雲頂溫度高於 250K 時，採用 NCEP 資料，反之則採用 GHRC 資料。

(2) 平均降雨率 (RR_{mean}) 之定義

$$RR_{mean} = (\sum RR_{O_i}(T_c)) / N_r(T_c)$$

其中 $RR_{O_i}(T_c)$: 地面觀測之降雨率

平均降雨率也和雲頂溫度相關，其對照圖如圖五所示。如同降雨機率分成四區，各區都有符合當地之迴歸方程使用。

(3) 水汽修正

可用水汽修正因子 $PWRH$ 來表示，其定義和計算可參考自動估計法。

(4) 雲成長率修正

可用雲成長率修正因子 $GROWTH$ 來表示，方法為計算兩張連續衛星影像的雲頂亮度資料，當目前雲頂亮度溫度與前一刻雲頂亮度溫度的差值為負時，代表成長的雲，則 $GROWTH = 1$ ；否則 $GROWTH = 0$

5. 產品

目前在 NESDIS 的作業產品中有：每半小時產生出一小時平均降雨率、每小時產生出六小時總降雨量以及每天之日總雨量。可在

WWW 網路上查看，網址為：

<http://orbit35i.nesdis.noaa.gov/arad/ht/ff/gmsra.html>

(四) AMSU 降雨估計法

繞極軌道衛星 NOAA-15 於 1998 年 5 月發射成功，其上裝載有二個被動微波探空感應儀器，分別是 AMSU-A 和 AMSU-B。其中 AMSU-A 又分為 AMSU-A1 和 AMSU-A2。AMSU-A1 有 13 個頻道，範圍為 50-89 GHz，解析度為 48km；AMSU-A2 有 2 個頻道，分別為 23.8, 31.4 GHz，解析度為 48km；AMSU-B 有 5 個頻道，範圍為 89-183 GHz，解析度為 16km。

目前在 NESDIS 有一套微波表面和降水產品系統，稱為 MSPPS。其內容在 AMSU-A 部分包含：可降水量(TPW)、雲液態水(CLW)、雪覆蓋(SNOWC)、海冰濃度(SICE)、海洋風速(OWS)、表面水汽量(SMOIST)、表面溫度(STEMP)和降雨率(RR)；在 AMSU-B 部分包含：冰水路徑(IWP)、雪覆蓋(SNOWC)和降雨率(RR)。其中有關降雨率部分，在 AMSU-A 中是採用 23.8、31.4、50.3 和 89.0GHz 頻道來做估計；在 AMSU-B 中，則是採用 89.0 和 150GHz 頻道來做估計。以下則分別介紹：

1. AMSU-A 降雨估計法

雲越過陸地表面和越過海洋表面時，其降雨估計方法是不同的。這是因為雲雨滴和陸地的放射率均較強，對比不明顯，而海洋表面之放射則較弱，因此對比較明顯。故對於陸地之降水估計，必須根據降水大氣中毫米大小的冰晶之散射而決定，因此種關係是間接的，會納入雪覆蓋和沙漠表面之輻射，因此必須加以排除。而對於海洋表面，則採用以放射為基礎之技巧。

(1) 陸地

i. 降雨率 (RR) 的計算

定義一個散射指數 (SI)，則

$$SI = TB23 - TB89$$

其中 TB23 和 TB89 分別代表 23.8GHz 和 89.0GHz 的亮度溫度

$$\text{若 } SI > 40.0, \text{ 則 } RR = 0.119 * SI^{**1.2039}$$

$$\text{若 } SI > 3.0 \text{ 且 } SI \leq 40.0, \text{ 則 } RR = 0.000867 * SI^{**2.49}$$

$$\text{若 } SI \leq 3.0, \text{ 則 } RR = 0.0$$

ii. 濾除雪覆蓋

當 $TB23 < 261.0$ 且 $TB23 < (168.0 + 0.49 * TB89)$ 時，

RR = 不確定數

iii. 濾除沙漠和乾燥地區

當 $TB89 > 273.0$ 或

$$(5.10 + 0.078 * TB23 - 0.096 * TB50) < 0.6 \text{ 或}$$

$$(10.2 + 0.036 * TB23 - 0.074 * TB50) < 0.35 \text{ 時，}$$

RR = 不確定數

其中 TB50 為 50.3GHz 的亮度溫度

(2) 海洋

i. 計算雲液態水(Q)

$$Q = \cos \theta * \{D0 + D1 * \ln[285 - TB23] + D2 * \ln[285 - TB31]\}$$

θ : cross-track scanner scan angle

其中 $D0 : 8.24 - 2.622 * \cos \theta + 1.846 * (\cos \theta)^2$

$D1 : 0.754$

$D2 : -2.265$

TB23 和 TB31 分別代表 23.8GHz 和 31.4GHz 的亮度溫度

ii. 降雨率 (RR) 的計算

首先計算雲液態水(Q)，

如果 $Q > 0.2\text{mm}$ 時， $RR = 1.6 * 0.002 * Q^{1.70}$

如果 $Q \leq 0.2\text{mm}$ 時， $RR = 0.0$

iii. 濾除海冰

當在北緯 50 度以北或南緯 50 度以南時，

若 $(2.85+0.02*TB23-0.028*TB50) > 0.2$ 時，

RR = 不確定數

(3) 沿岸

RR = 不確定數

2. AMSU-B 降雨估計法

由於 AMSU-A 的空間解析度比 DMSP 衛星中的 SSM/I 還差，所估計出來的雨量可用度不高，唯它比 SSM/I 有較寬的掃瞄寬度和較小的間隙。反觀 AMSU-B 則有較高的解析度，且可提供更多有關冰晶的密度和大小之微物理過程，尤其對於層狀降雨而言，更是一大利器。其估計方法有兩種：

(1) 改良 AMSU-A 之降雨率 (RR)

定義 $SI = TB89 - TB150$

其中 TB89 和 TB150 分別代表 89.0GHz 和 150.0GHz 的亮度溫度

如果 $SI > 3.0$ 時， 則 $RR = 0.00144*SI^{**2.485}$

如果 $SI \leq 3.0$ 時， 則 $RR = 0.0$

(2) 利用冰水路徑 (ice water path) 計算降雨率 (RR)

目前正在發展中的技術是利用冰水路徑(IWP)和雲模式模擬的資料來估計，其方法為

$$RR = a_0 + a_1 IWP + a_2 IWP^2$$

其中 $a_0 = -0.926418$; $a_1 = 21.5213$; and $a_2 = -2.6253$.

IWP 是利用 89.0GHz 和 150GHz 所計算而得。

3. 產品

目前在 NESDIS 的作業產品中有每日的全球降雨率分布圖。可在

WWW 網路上查看，網址為：

<http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/arad2/MSPPS/>

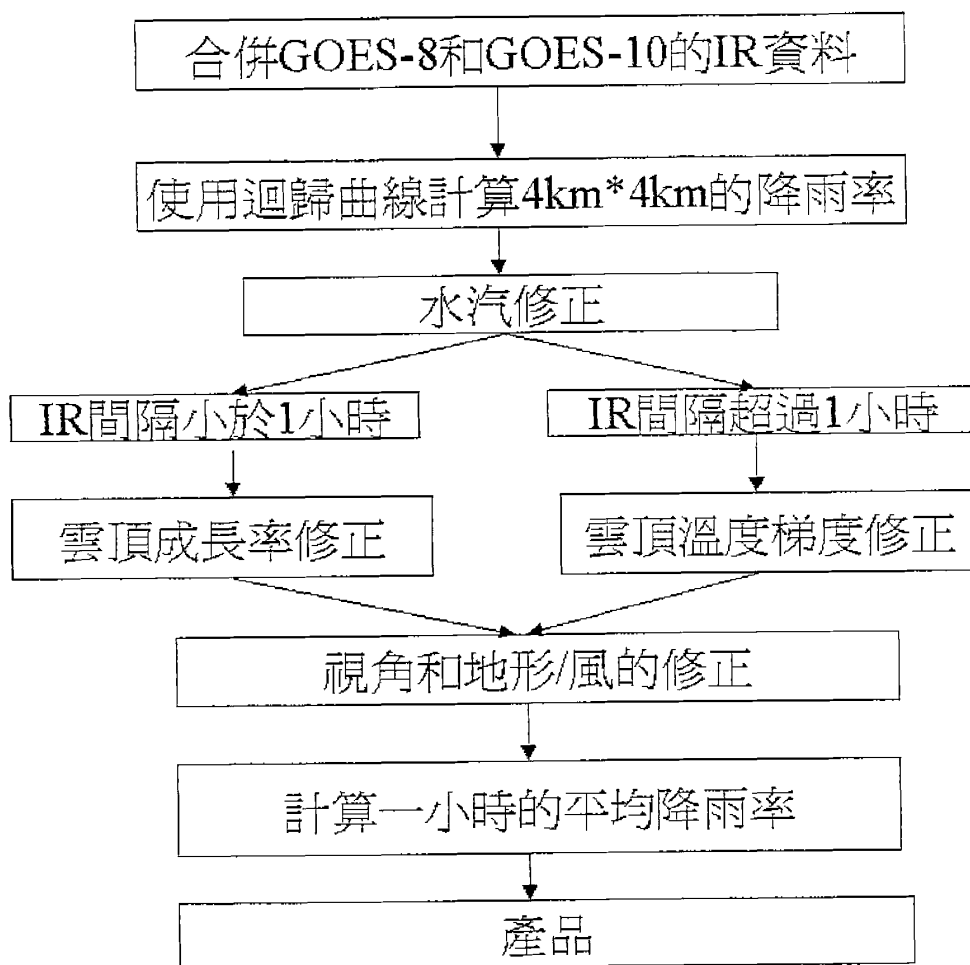
四、 建議

職此行赴美研習衛星降水技術，除了熟悉美方在此方面的最新技術外，更取得作業用之軟體，進而修改部分程式，使能成爲適合台灣地區特性之版本，實獲益匪淺。在此謹提出一些個人之建議，以供本局參考。

- (一) 氣象衛星應用技術的研發，是近年來氣象發展的新趨勢，而本局長久以來與美國 NESDIS 的互動關係良好，期望能在既有的基礎上，繼續推動人才之交流及技術之合作。
- (二) 美方對於衛星應用技術之研發，一直是不遺餘力，尤其是對於一些相關的理論研究和實驗，更是投入了不少人力和金錢；反觀本局在此方面就顯得有點不足。期望未來能有更多的優秀人才，投入衛星應用技術之研究。
- (三) 本報告所介紹的三種衛星降水估計方法，經適當的修改和測試後，可考慮上線作業，並把校驗結果回饋給美方參考。
- (四) 本局現有的各種衛星降水估計產品，可考慮加入水汽和地形的影響，另外也可參考 GMSRA 法，以濾除非降雨雲所帶來的誤差。

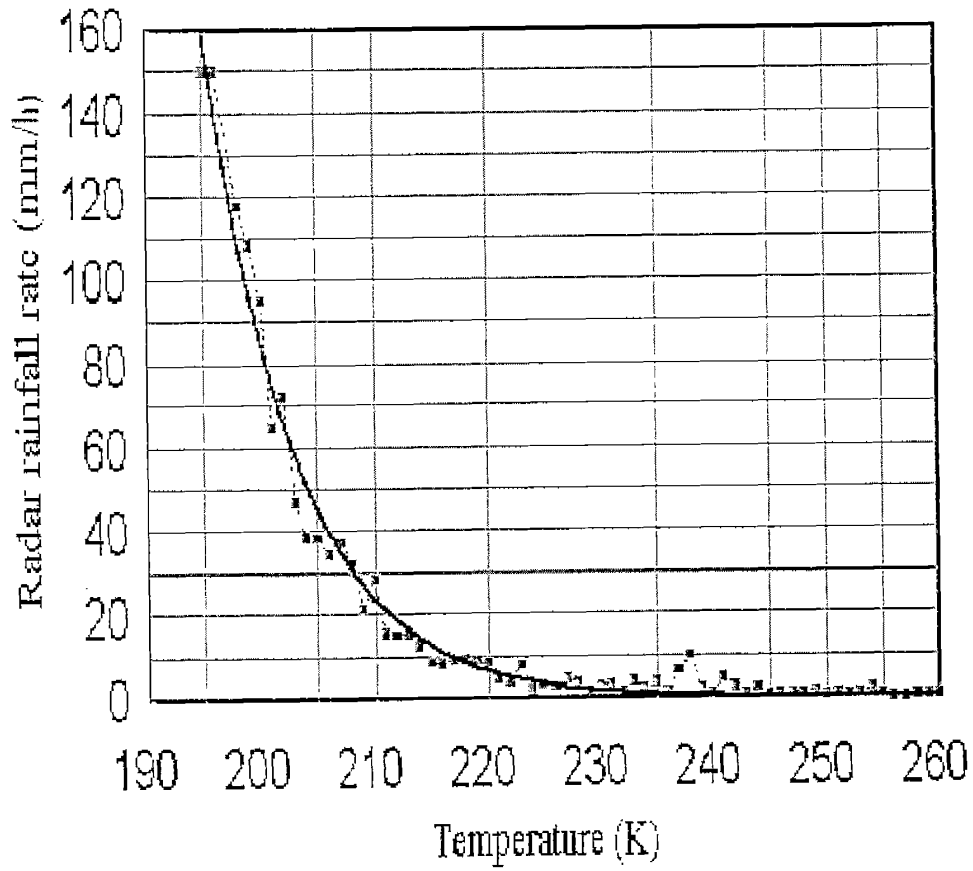
參考文獻

- Ba M. B., and A. Gruber, 2000: GOES multispectral rainfall algorithm.
(付印中)
- Barrett E. C., 2000: Estimating the amount of rainfall associated with tropical cyclones using satellite techniques. WMO Technical Document—Tropical cyclone program, TCP-42.
- Ferraro, R. R., et al., 2000: Precipitation characteristics over land from the NOAA-15 AMSU sensor. *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, 2669-2672.
- Rosentfeld, D. and G. Gutman, 1994: Retrieving microphysical properties near the tops of potential rain clouds by multi-spectral analysis of AVHRR data. *Atmos. Res.*, 34, 259-283.
- Vicente, G. A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel, 1998: The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1883-1898.



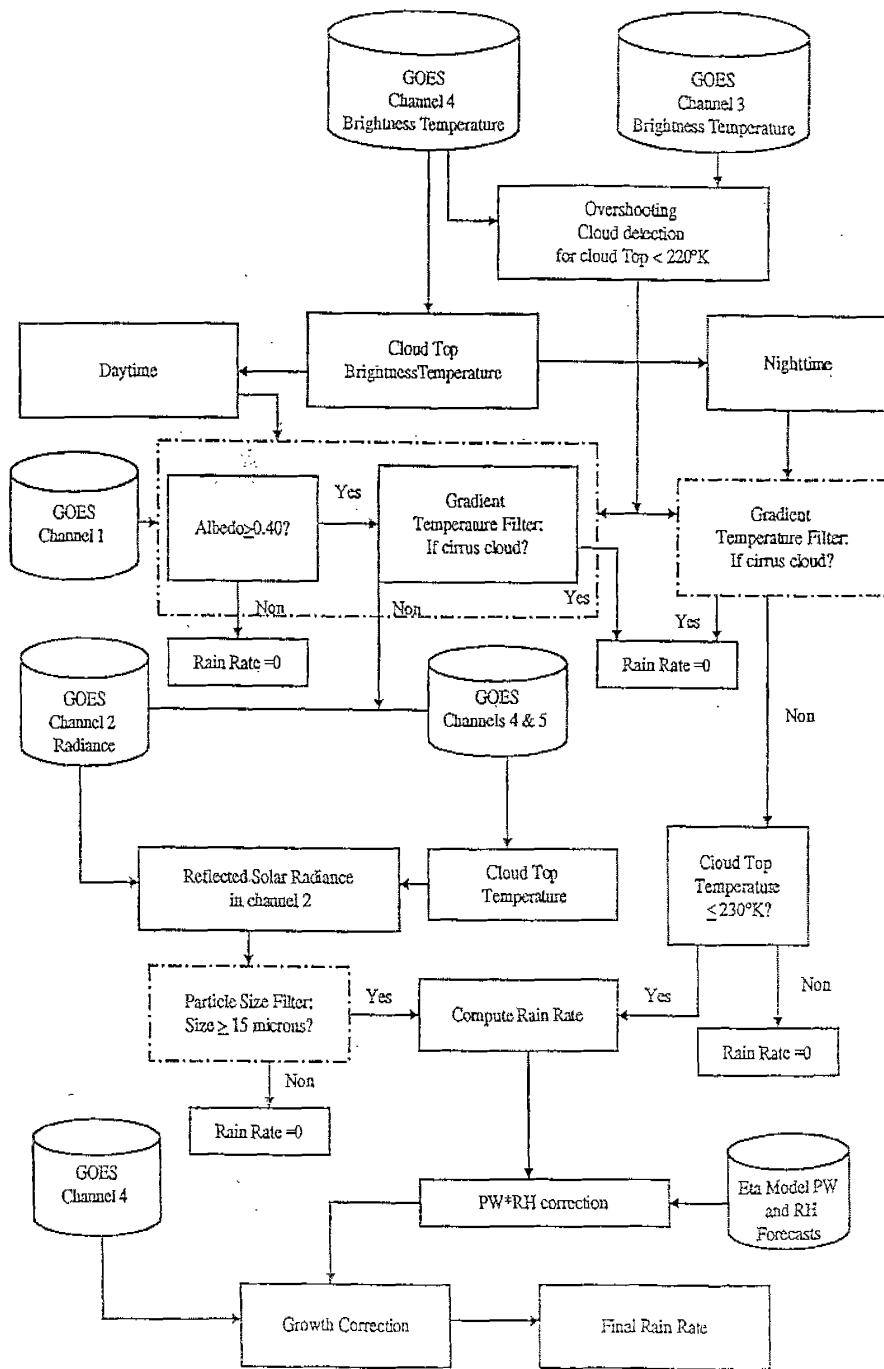
圖一 自動估計法之流程圖

Radar Rain Rate & GOES-8 Temperature



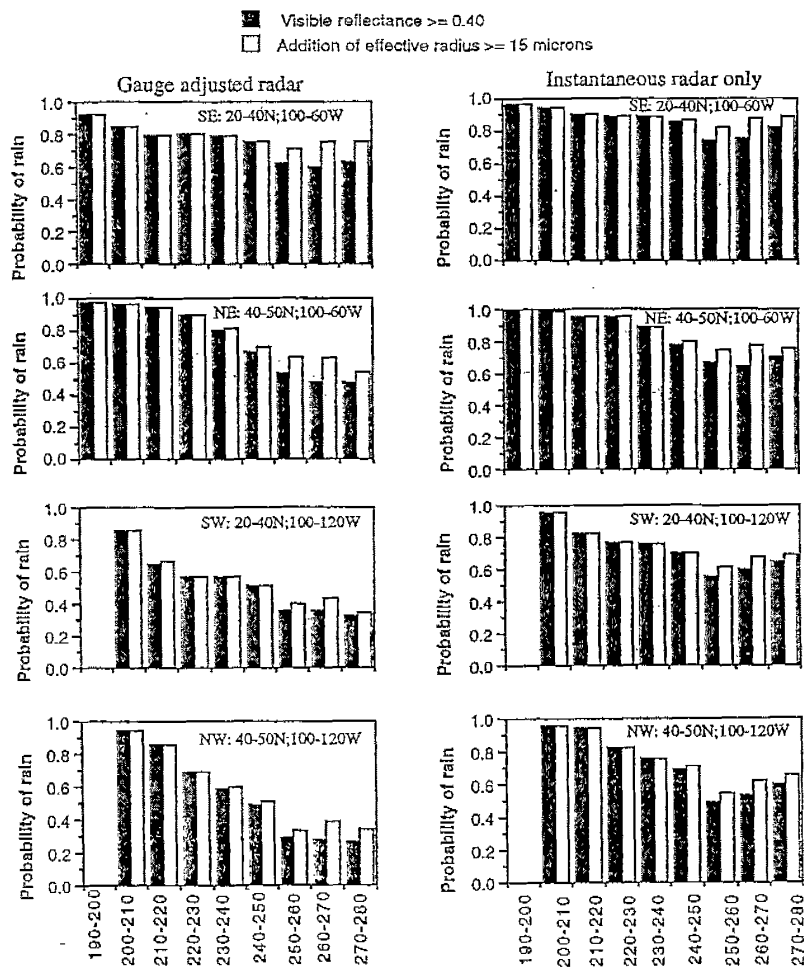
圖二 雷達導出之降雨率與衛星紅外線頻道之雲頂亮度溫度的關係

圖。圖中實曲線表迴歸曲線。圖取自 Vicente et al. (2000)。

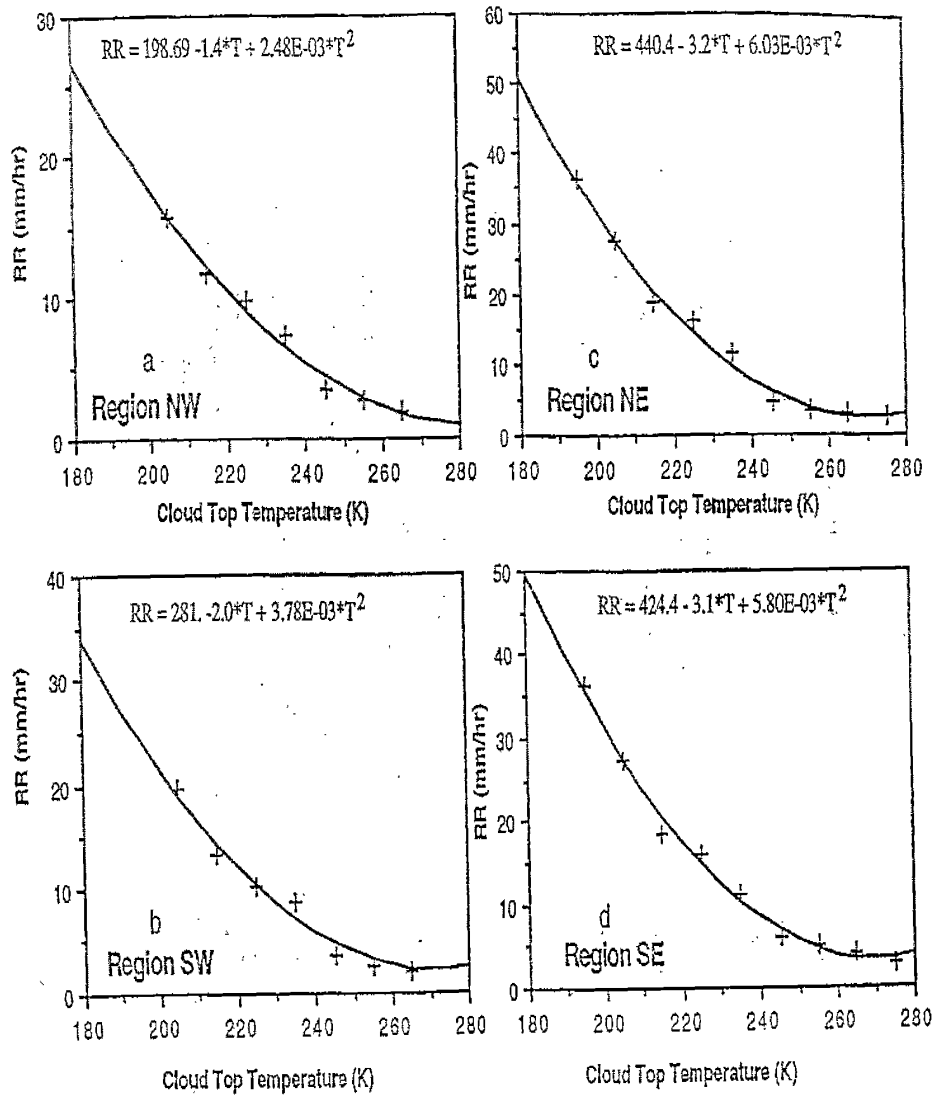


圖三 GOES 多頻道降雨估計法之流程圖

圖取自 Ba and Gruber (2000)



圖四 降雨機率與雲頂溫度在不同區域之關係圖。降雨機率單位為 %，雲頂溫度單位為 K。其中左圖使用 NCEP 利用雨量站修正過的雷達資料，右圖則使用 GHRC 雷達資料。圖取自 Ba and Gruber (2000)。



圖五 平均降雨率與雲頂溫度在不同區域之關係圖。圖取自 Ba and Gruber (2000)。