利用衛星 IR 雲圖對中尺度對流系統作降水估計與定量預報之研究

丘台光　汪琮　苟潔予　梁信廣
中央氣象局 氣象衛星中心

摘　要

本文研究重點在發展梅雨季華南及台灣地區中尺度對流系統(MCS)之降水估計與 0-3 小時定量降水預報的方法。分析 1997-1998 年 5-6 月豪大雨個案衛星雲圖 MCS 雲頂溫度(Tbb)與實際降水量的關係，取代過去採用類似美國 NOAA/NESDIS(Scofield，1987）作業用對流降水估計方法所用參數之對應關係，測試 1997-1999 年 5-6 月 MCSs 個案 1 小時降水估計及 0－3 小時定量降水預報結果及比較其誤差大小。再將上述所獲得 MCS 雲頂溫度與實際降水量的關係式，採用類似美國 NOAA/NESDIS 自動降水估計技術(Vicente et al.，1998)的架構，完成台灣地區自動化降水估計與 0-3 小時定量降水預報方法建置於電腦工作站上。並以 2000 年 5-6 月豪大雨預報實驗個案作測試及校驗。另就 1995-1999 年 5-6 月豪大雨個案分析與統計台灣附近地區 MCS 生命發展及移動特徵，以建立 MCSs 氣候概念模式，作爲改進降水預報之參考，最後目標希望建立自動化、客觀化台灣及鄰近地區中尺度對流系統之降水估計與 0-3 小時定量降水預報系統，以提供天氣預報作業應用。

一、前　言

傳統天氣觀測及數值預報在空間及時間上均無法滿足人們對於中尺度對流系統的瞭解需求。自從地球同步氣象衛星參與作業後，因不斷地觀測地球大氣並提供高時間、空間解析度的資料，除可藉以增進如中尺度對流系統之形成、加強和移動過程之了解外，尚對衛星估計降水技術之建立提供甚多且有用的資訊。中尺度對流系統之降水大小與其雲頂發展率、移動特性、雲系間之合併以及環境水汽含量有密切關係，Scofield and Oliver (1977)發展一適用於對流雲的降水估計技術。該技術經多年測試與改進(Scofield，1987）現已列入作業。Vicente et al. (1998)更採用上述概念，利用作業的 GOES 衛星資料發展自動降水估計技術，此方法除自動利用雲頂溫度估計降水大小外，尚考慮環境潮溼度、雲系發展或結構(梯度)的修正，目前該方法已在全美國地區作業使用。國內方面亦早已引進在 1992 年 post-TAMEX 作業上測試可行(紀和李，1992; 紀水上，1993)，並對雲頂溫度與雨量對應稍作調整（謝等 1994），但評估結果誤差每年變化很大，且區域不同，誤差亦不同。主要原因之一可能對於對流雲的降水估計技術中的參數並不完全適用於台灣地區，爲了要將此方法落實於台灣地區及發展定量預報作業，因此丘等 1998 年起開始利用統計台灣地區雲頂亮度溫度與雨量關係取代過去採用類似美國作業用對流降水估計方法所用參數之對應關係，初步結果整體誤差率降低。

本文乃進一利用上述所獲得 MCS 雲頂溫度與實際降水量的關係式作測試及比較誤差大小。並採用類似美國 NOAA/NESDIS 自動降水估計技術的架構，完成台灣地區網格 5 公里距離之自動化降水估計與 0-3 小時定量降水預報方法建置於電腦工作站上。並以 2000 年 5-6 月豪大雨預報實驗個案作測試及校驗。另就 1995-1999 年 5-6 月豪大雨個案分析與統計台灣附近地區 MCS 生命發展及移動特徵，以建立 MCSs 氣候概念模式，作爲改進降水預報之參考。

二、資料及分析方法

本文首先利用 1997-1998 年 5-6 月豪大雨個案

資料，統計分析紅外線衛星雲圖中 MCSs 雲頂溫度（灰度值）與實際降水量的關係，所獲得參數對應值帶入原先引進針對對流雲降水估計方法中參數對應值，進行 1997-1999 年 5-6 月 MCS 之降水估計及 0-3 小時之定量降水預報測試並比較兩者之誤差大小。再將上述統計紅外線衛星雲圖中 MCSs 雲頂溫度與實際降水量的關係，使用雙曲線 Hyperbolic Fit 求得雲頂溫度與降水量關係式，再採用類似美國目前自動降水估計技術(Vicente et al. ，1998)方式，建立自動化降水估計系統。並以 2000 年 5-6 月豪大雨預報實驗個案作測試及校驗。另選取 1995-1999 年梅雨季台灣及鄰近地區的中尺度對流系統的個案，利用中央氣象局衛星中心每小時接收日本地球同步衛星（GMS）的紅外線雲圖，配合地面、高空及密集雨量資料，分析台灣及其附近周圍地區（21-26°N，118-123°E）之中尺度對流系統生成、成熟、消散及移動特徵，定義當 MCS 雲系進入或出現該區域，且雲頂溫度出現-52°C 範圍時定爲 MCS 的初生期，MCS 最冷雲頂溫度達到最大範圍稱爲成熟期，一直到 MCS 雲系雲頂溫度-52°C 範圍消失時間定爲消散期。

三、結果及討論

利用衛星估計降水之大小與對流雲胞色調強化的灰度值有關。圖 1 爲 1997-1998 年 5-6 月豪大雨期間所獲得 MCSs 雲胞灰度等級與雨量的關係圖，圖中中間實線爲平均值，上下實線爲加減一個標準差值之對應關係線，當對流雲胞到達(-32℃ ～ -44℃）時雨量即開始估計降水，當對流雲胞到達（-45℃ ～ -51℃）時雨量即開始增加，而當對流雲胞達到（-52℃～ -61℃）至雲頂溫度（- 71℃～ - 79℃）時雨量即明顯增加，由此所獲得雲胞灰度等級與雨量的關係與目前作業中所採用 NOAA/NESDIS 的對應值有很大的不同。

爲了比較所獲得雲胞灰度等級與雨量的關係與目前作業中 NOAA/NESDIS 所用的對應值，特別就 1997-1999 年 5-6 月豪大雨個案衛星之 1 小時降水估計(圖中 2a、2b)及 3 小時定量預報(圖中 2c、2d)比較誤差大小如圖 2 所示，藍色表利用原 NOAA/NESDIS 溫度對應雨量參數值(定義爲舊方法)所估計降水的誤差大小，綠色線表利用統計分析紅外線衛星雲圖中台灣地區 MCSs 雲頂溫度與實際降水量關係(定義爲新方法)的誤差，而紅色表所獲得雲頂溫度與實際降水量平均值加一個標準差對應關係值(如圖 1 上方實線)所造成誤差大小，由圖中可清楚看出，不論一小時降水估計誤差或比較 3 小時定量預報誤差大小，在高估個案方面新方法都比舊方法整體誤差要小，僅在少數低估個案方面新方法與舊方法誤差差不多,若採用新方法加一個標準偏差之對應值,在高估個案方面誤差反而增大,但對低估個案方面則減少誤差，高估在無法去除卷雲所造成的影響,而低估爲暖雲層狀降水或沒有特別處理好強對流所造成降水的影響。

爲了嚐試解決上述問題及採用自動化利用雲頂溫度大小估計雨量值的需求，首先採用雙曲線趨近（Hyperbolic Fit）求得台灣地區梅雨季 MCSs 雲頂溫度與降水量關係式(圖 3 所示)及利用分辨對流胞技術分爲對流降水或層狀降水，如爲對流降水再根據對流胞大小增加或減少將降雨量加減權重。權重大小主要依據所求得雲頂溫度與降雨量之標準差而定，另外本方法也將亮度溫度梯度大小及不同時間亮度溫度差一併考慮,而本方法三小時降雨預報初期以外延法推算三小時降雨量，對流胞如果從陸地移出則以自動遙測站實際降雨量爲主，否則以衛星降水估計值爲主，將上述降水估計預報方法建置於電腦工作站上，並以 2000 年 5-6 月豪大雨預報實驗個案作測試及校驗,圖 4 爲利用衛星資料自動化一小時降水估計產品,此產品每小時產生一次,圖 5 爲 2000 年 5 月 26-29 日自動化降水估計與實際降雨量分布圖,由圖中可看出對於大部分小雨高估,而對於少部分大雨低估現象,是否卷雲所造成的影響,暖雲層狀降水或沒有特別處理好強對流所造成降水的影響，此方面需近一步探討，

有關對豪(大)雨的發生地區及降水量大小均與

MCS 的生成、發展及移動之特徵有關，分析 1995-1999 年 MCS 生成，成熟及減弱之各類型統計結果，可看出台灣附近 MCSs 的生成、發展及減弱時間情形，在五月份台灣附近 MCS 的生成期頻率分別爲午後(14 時)最高，其次在午夜及清晨(02 時 08 時)。其中若梅雨鋒活躍則 02 時及 08 時生成期頻率增高。成熟期頻率最高在 07 時及 10 時，其次爲下午(16 時)之機率最高。減弱期頻率以 14 時最高，其次 08 時或 20 時頻率最大。六月份 MCS 的生成期頻率最高亦在 14 時，其次最大頻率爲 20 時。此與五月份 MCS 的生成期次大頻率發生時間不同，成熟期頻率最高發生在 16 及 17 時，其次最大頻率爲 08 時或 11 時及 23 時，減弱期則出現在 20 時最高頻率，其次爲 02 時或 00 時左右。此亦與五月份 MCS 分析結果有差異。

分析 1995-1999 年五、六月 MCS 生命史更清楚看出五-六月份 MCS 初生至成熟期到減弱期大約 3-8 小時左右，其中 6 小時出現頻率最高，由初生期至成熟期最多出現 3 小時，其次爲 1 小時，由成熟期至減弱期最多出現 3 小時，其次爲 1 小時。

四、總結及建議

本文研究重點在發展梅雨季華南及台灣地區中尺度對流系統(MCS)之自動化降水估計與 0-3 小時定量降水預報的方法。經統計分析台灣地區紅外線衛星雲圖中 MCSs 雲頂溫度（灰度值）與實際降水量的關係及經測試及比較其誤差大小。最後並將上述方法建立在電腦上自動化作業測試，另就 MCSs 生命史及移動特徵進行統計分析等，綜合檢討可獲得下列幾點結論及建議：

1. 經由台灣地區統計分析所獲得雲胞對流雲頂溫度(灰度)等級與雨量的關係(新方法)與原先作業中所採用 NOAA/NESDIS 的對應值(舊方法)有很大的不同。此顯示副熱帶與中緯度降水特性不同。

2. 1997-1999 年 5 月與 6 月之 1 小時及 3 小時降水預報誤差大小比較，整體上新方法的誤差比舊方法爲低。

3. 分析 1995-1999 年五、六月台灣附近 MCSs 的生成、發展及減弱時間特徵，顯示在五月份台灣附近 MCS 的生成期頻率分別爲 14 時最高，其次在 02 時及 08 時。其中若梅雨鋒較活躍則 02 時及 08 時生成期頻率增高。而成熟期頻率最高在 07 時及 10 時，其次爲 16 時之機率。減弱期頻率以 14 時最高，其次 08 時或 20 時頻率最大。六月份 MCS 的生成期頻率最高亦在 14 時，其次最大頻率爲 20 時，此與五月份 MCS 的生成期次大頻率發生時間不同，成熟期頻率最高發生在 16 及 17 時，其次最大頻率爲 08 時或 11 時或 23 時，此與五月份 MCS 的成熟期最大頻率發生時間不同，減弱期則出現在 20 時最高頻率，其次爲 02 時或 00 時左右。此亦與五月份 MCS 分析結果有差異。

4. 分析 1995-1999 年五、六月 MCS 生命史更清楚看出五-六月份 MCS 初生至成熟期到減弱期大約 3-8 小時左右，其中 6 小時出現頻率最高，由初生期至成熟期最多出現 3 小時，其次爲 1 小時，由成熟期至減弱期最多出現 3 小時，其次爲 1 小時。

5. 自動化降水估計與預報技術，初步結果誤差仍大，有很大改進的空間，如何濾除卷雲避免造成高估的現象，對暖性層狀降水或強對流胞低估的改進，以及 MCS 雲塊追蹤技術的引進，配合 MCS 概念模式的建立，將作爲未來改進衛星估計降水與預報之參考。

致謝

本研究在國科會 NSC 87-2621-P-052-009 的支助下完成，特此申謝。

參考文獻

丘台光，苟潔予，汪琮，劉慧琳，1998：衛星資料在台灣地區梅雨季豪（大）雨與定量降水預報之應用，國科會專題研究計劃成果報告，40頁。

紀水上，李清勝，1992：氣象衛星資料在[1992年5-6月預報實驗]之應用研究(I)，國科會科技研究報告80-35，63頁。

紀水上，1993：氣象衛星資料在[1992年5-6月預

報實驗]之應用研究(II)，國科會科技研究報告81-45，234頁。

謝信良，林雨我，陳清得，溫嘉玉，1994：台灣地區梅雨豪（大）雨預報研究成果作業化研究，國科會防災研究計畫82-52，92頁。

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., 1987: The NESDIS operational convective precitation estimation technique.Mon.Wea.Rev.,115, 1773-1792.

Vicente, G. A.,R. A. Scofield and W. P. Menzel: The operational GOES infrared rainfall estimation technique. Bulletin of the Amer. Meteo. Soc. , 1883-1898.

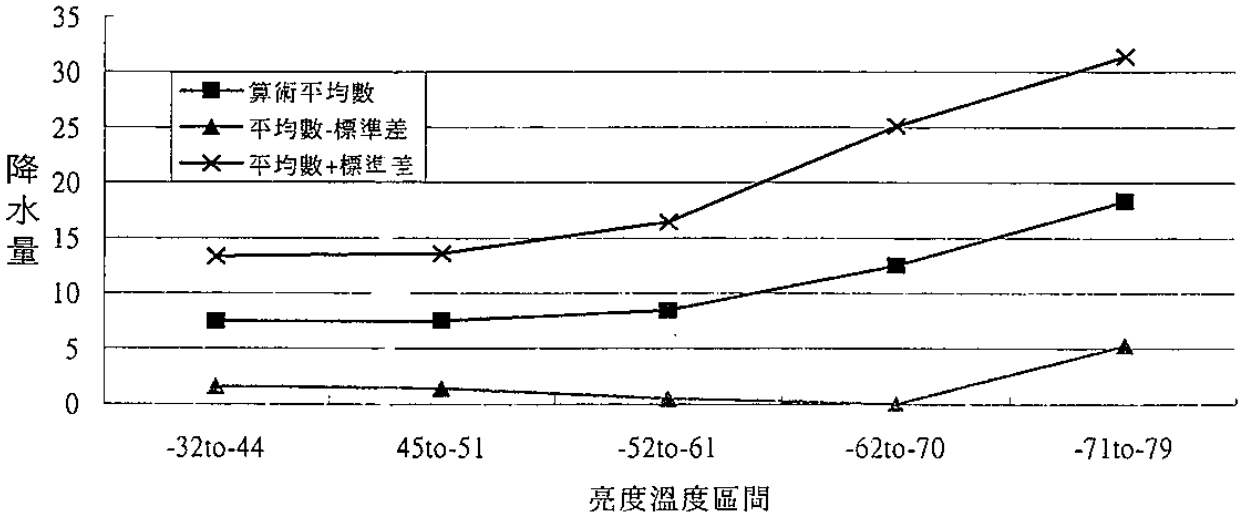


圖 1 1997 年至 1998 年梅雨個案 MCS 雲頂溫度與降水量關係圖

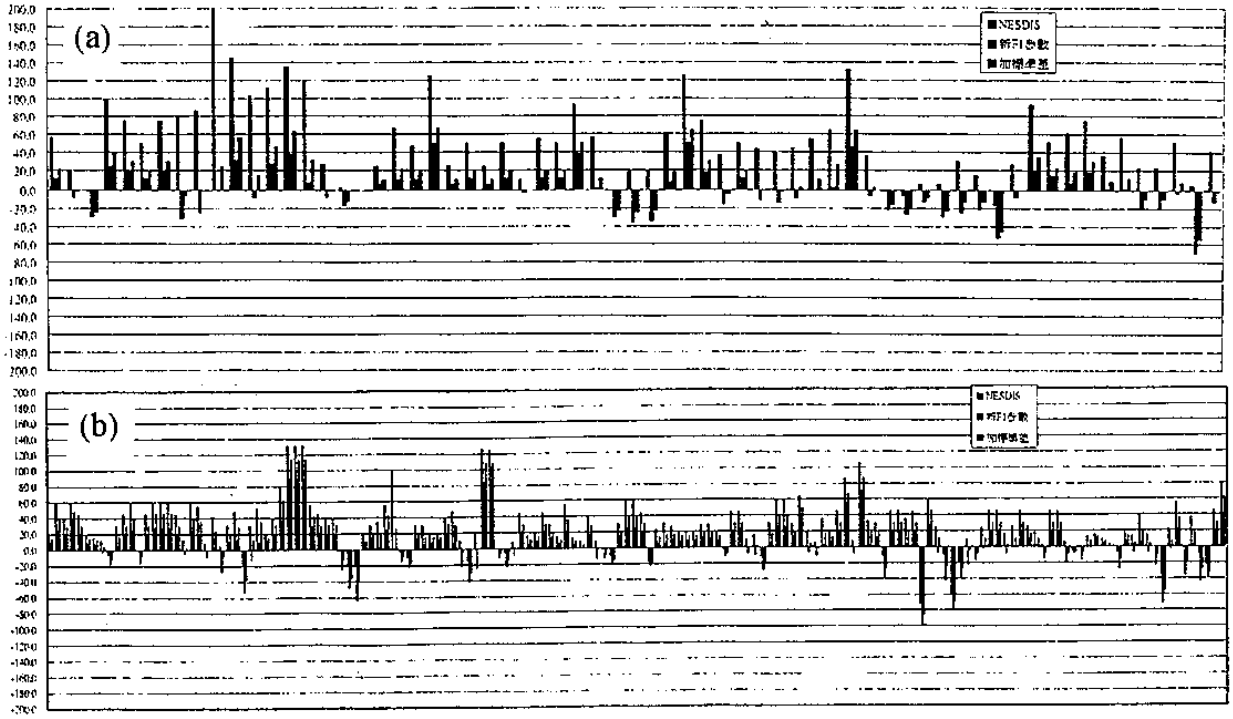
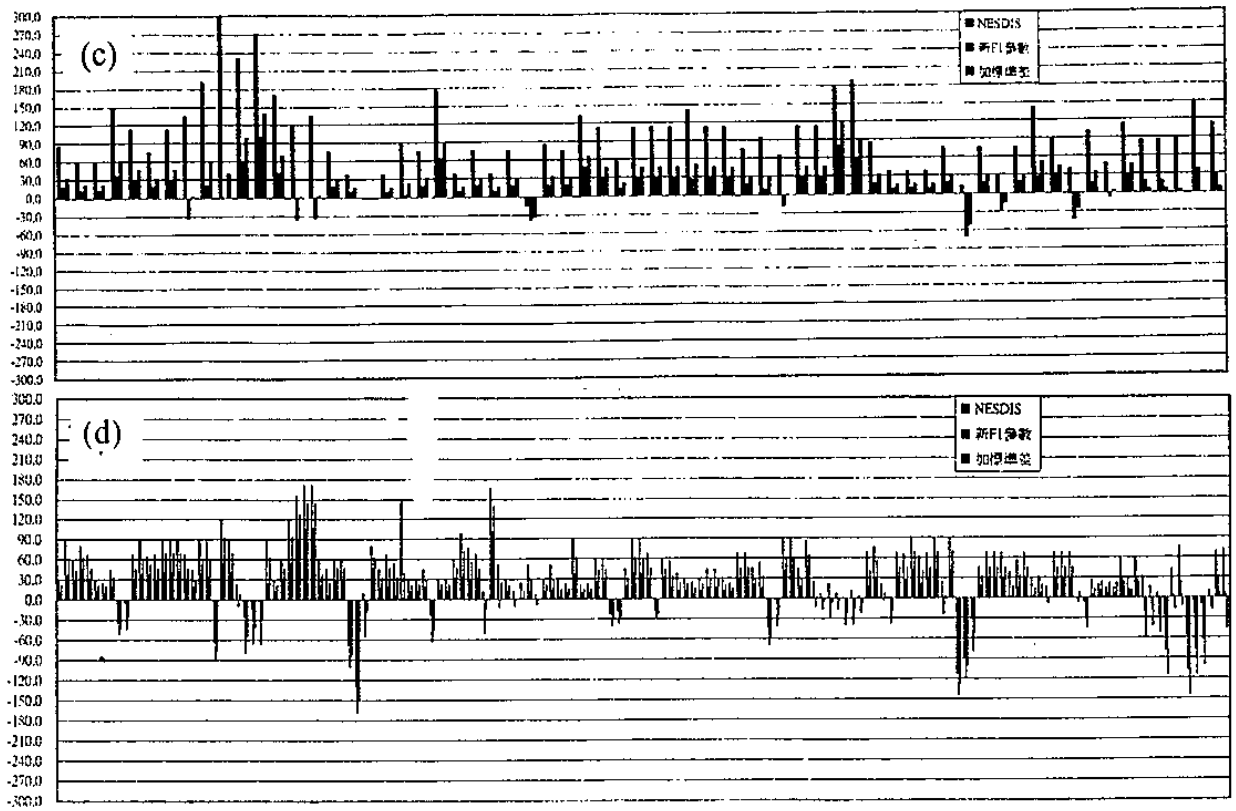
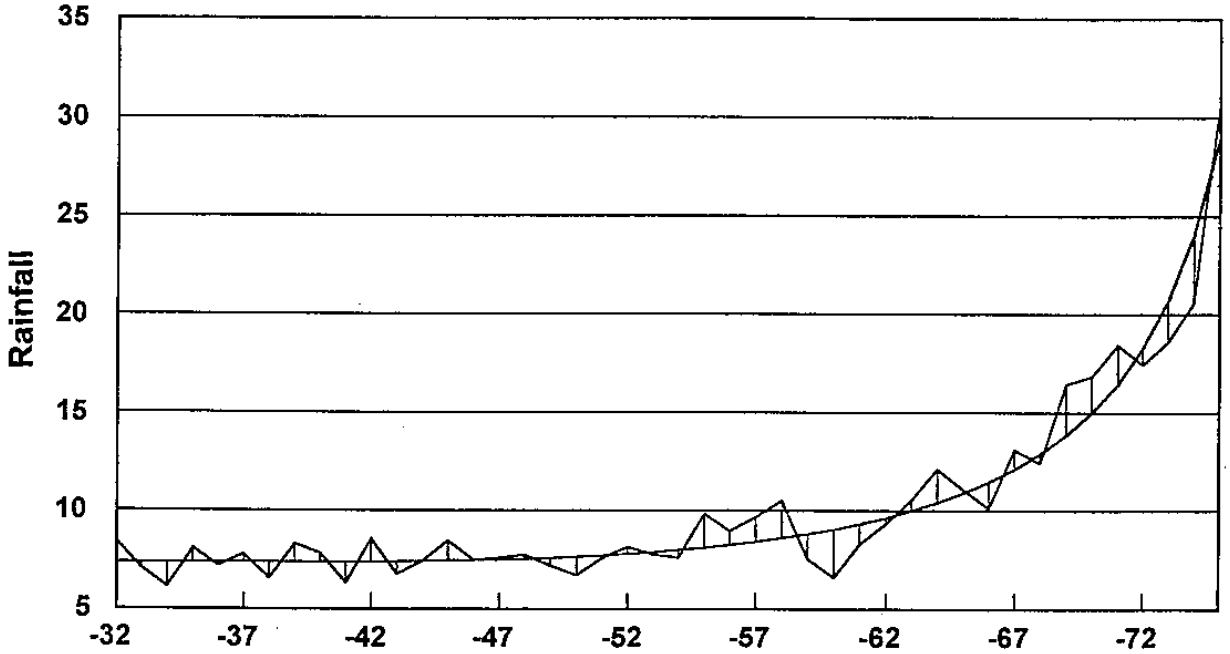


圖 2. 1997 至 1999 年梅雨期間 MCS 衛星 1 小時降水估計新舊三種方法誤差 對流直徑＞2/3° （b）2/3° ≥對流直徑＞1/3° 。



續圖 2. 但爲 3 小時降水預報（c）對流直徑＞2/3°　（d）2/3°　≧對流直徑＞1/3°　。



H yperbolic Fit
y=1/(a0+a1*x+a2*x^2+a3*x^3+a4*x^4)
a0=0.146128
a1=-0.00337006
a2=0.000311564
a3=-1.17589E-005
a4=1.13683E-007

圖 3　1997 至 1998 年梅雨個案 MCS 雲頂溫度與降水 hyperbolic fit 關係式。

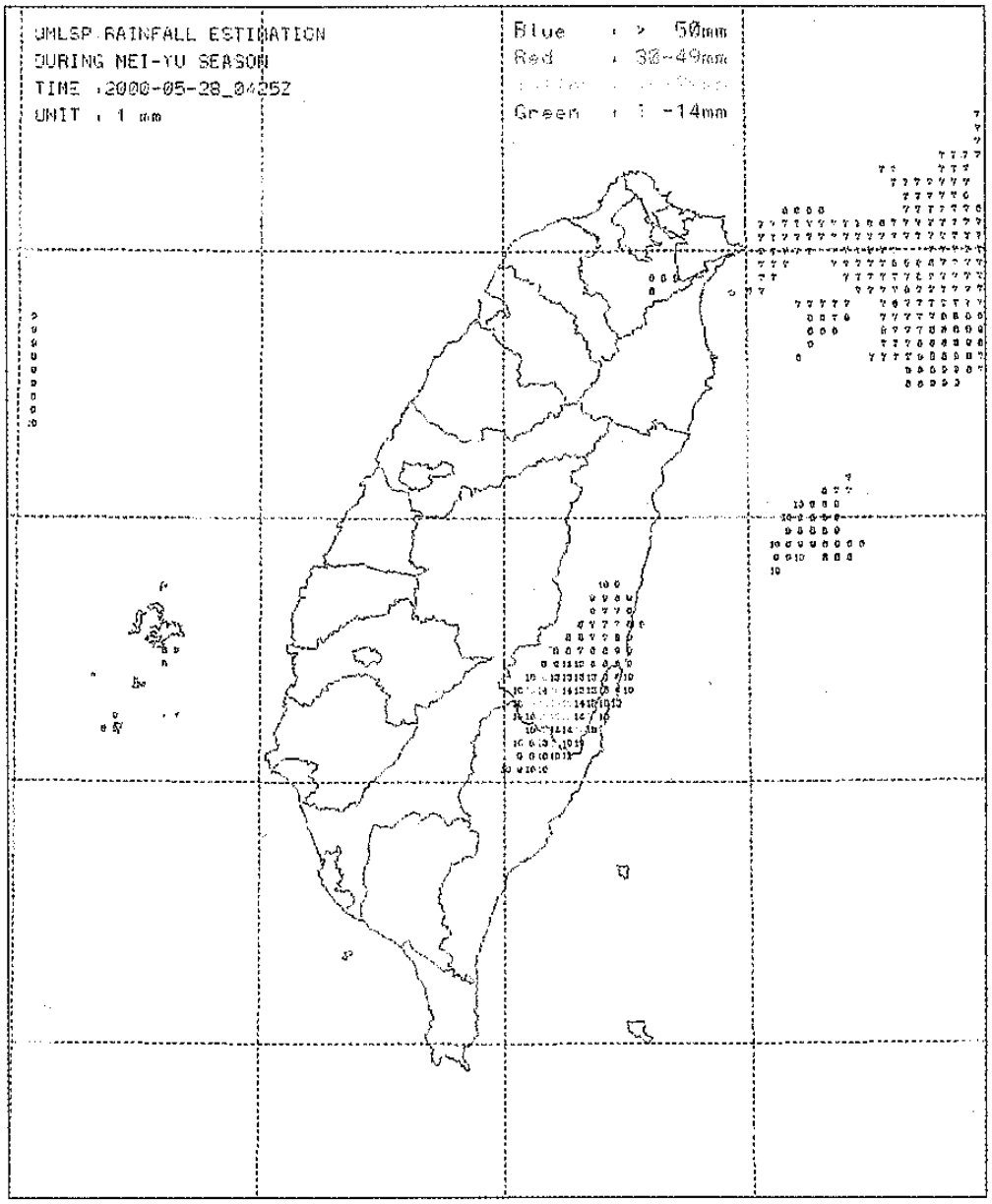


圖 4. 利用衛星自動化降水估計產品範例，圖中時間爲 2000 年 5 月 28 日 05Z。

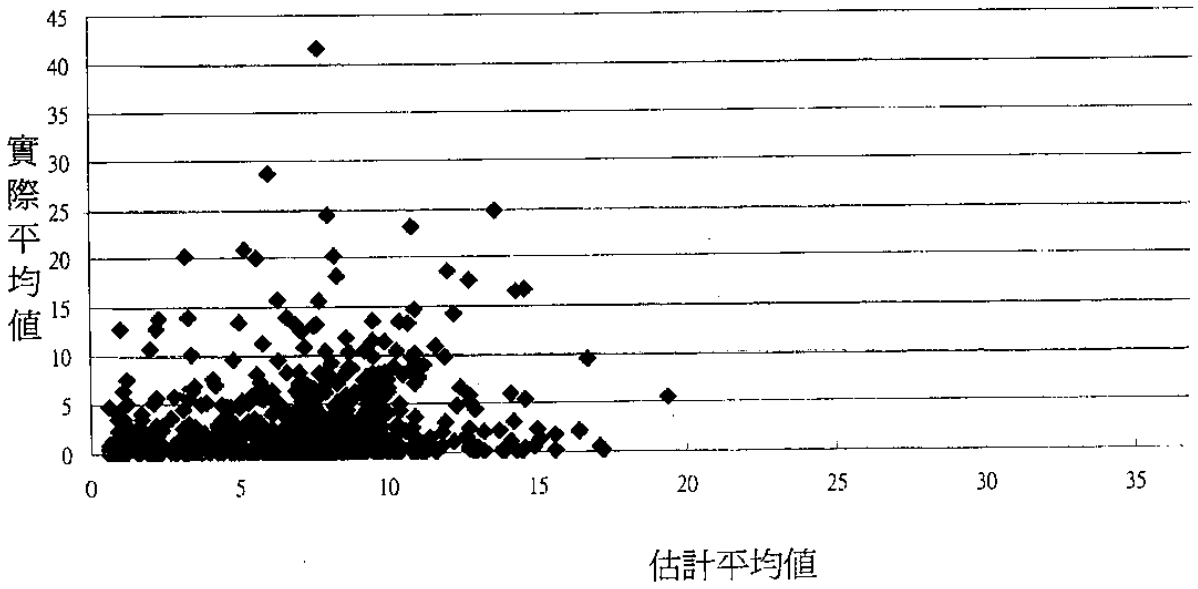


圖 5. 2000 年 5 月 26~29 日雨量估計與實際降雨分佈圖(網格：15 公里 x15 公里)。