

應用多重觀測工具之定量降雨估計之研究

丘台光 陳嘉榮 張保亮 林品芳
中央氣象局氣象衛星中心

摘要

為增進對一般導致局部劇烈或突變天氣發生之中小尺度天氣系統之即時監測、分析與預報的能力，中央氣象局與美國劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory; NSSL)於 2003 年起開發多重觀測工具之定量降雨估計與分類技術(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors; QPESUMS)，有效利用雷達、衛星及雨量計等觀測資料以準確估計降雨型態及降雨強度，並透過分析技術的開發，提昇對於劇烈或突變天氣發生之監測、分析與預警的能力。在定量降水估計方面，由 2003 年各月份最低仰角合成回波(Hybrid Reflectivity)與降雨量所擬合之 $Z-R$ 關係顯示，降雨粒子分布隨季節不同而有顯著差異，欲使用單一 $Z-R$ 關係式來進行台灣地區不同降雨型態之降雨量估計，存在有極高的不確定性。由 2003 年梅雨鋒面個案與 2004 年冬季鋒面個案分析顯示，兩個案擬合(fitting)之 $Z-R$ 關係式的係數 A 與 b 相差甚大，可能與個案的季節、區域、降雨型態的不同及雷達觀測差異有關。未來需藉由統計方式，循序漸進求出台灣地區各降雨型態相對適用之 $Z-R$ 關係式，以利作業中之定量降雨估計方面能降低其不確定性；並利用地面雨量站校正衛星、雷達降雨估計，並整合雷達、衛星及雨量計等觀測資料，以提高 QPESUMS 降雨估計之準確性。

關鍵詞：最低仰角合成回波、 $Z-R$ 關係式、降雨型態

一、前言

QPESUMS 主要目的為發展多重觀測之定量降水估計處理系統，除供氣象人員分

析參考外，其他氣象、工程、防災、水利及水庫管理等各單位，將其作最充分的有效利用，可達到防災、減災的目的。其中氣象雷達可提供大範圍且空間上較均勻、解析度較高的降雨資訊，因此妥善利用天氣雷達資料，為現階段改善降雨觀測不足最有效的方法。不過，雷達觀測常因地形(地面)雜波、地形阻擋(blocking)效應以及大氣環境而影響其觀測品質或造成資料缺乏，除需經過雷達資料品質控管(Quality Control)解決上述等問題外，需結合其它觀測資訊提昇正確率。如衛星為由太空往地面進行觀測，不似雷達會受地形遮蔽效應所影響，有助於改善資料缺乏的問題。而模式分析資料，則可提供大氣三度空間的溫度分布，這對於降雨相態(水相、冰相或共存)的辨識有很大的幫助。此外，閃電資料也有提高辨識降雨型態的效率。而雨量站觀測資料，雖然有分布地點不均且空間解析度低(數十公里)的問題，但卻可提供準確度高的實際降雨強度資料，可做為其它觀測儀器的參考標準及校正資料來源。

QPESUMS 在雷達估計降水處理方面包括雜波去除、本局所屬四個雷達網連之回波合成(mosaic)降雨量估計、層狀及對流降雨分類、液態及固態降雨分類、回波降雨估計校驗作業等，亦有十分鐘、逐時及分時累積雨量估計等供預報人員參考。QPESUMS 以網頁方式呈現其產品，各類產品可依所需資訊疊加地理、水文以及地面測站、雨量站等氣象輔助資訊，以滿足預警與防災之需求。自 2002 年 4 月安裝雛形系統至今，歷經近 2 年調整測試後，期待藉由此系統提昇對於短時劇烈天氣系統的定量降水監測能力。

QPESUMS 於現階段所使用之 $Z-R$ 關

係式($Z=32.5R^{1.65}$)，主要是參考 Alberta, Canada 之夏季對流降雨與雷達觀測資料之關係(Xin et al. 1997)，並非以統計台灣地區降水系統之降雨與回波相關為參考。為尋求相對適合台灣地區具地域性的 $Z-R$ 關係，提高雷達降雨估計之正確性，本計劃使用 2003 年之雷達觀測資料與實測降雨量，初步對於個案進行 $Z-R$ 關係式的回歸。

二、資料分析

定量降水資訊系統在進行定量降水的處理程序上(圖 1)，首先針對不同的輸入資料進行品質控制，特別是進行定量降水最為倚重的雷達資料。就雷達資料而言，在實際觀測作業中，除了接收真實的天氣的訊號外，也經常包含非天氣現象的干擾訊號。其除了影響觀測與預報人員對天氣系統的詮釋與判斷外，對於下游應用產品的影響更是深遠，這當中又以雷達回波降水估計的相關產品所受到的影響最大。因此，為能確保雷達資料的正確性，必需建立相當完整的雷達資料品質控制程序，才能發揮雷達在天氣監測上的最大功能。

因此統計分析中央氣象局五分山、花蓮、七股及墾丁雷達 2003 年 1~6 月最低層四個仰角(0.5, 1.5, 2.4, 3.3) 資料，顯示各雷達的海面回波均相當明顯，另外，五分山及七股雷達存在大範圍地形雜波(張保亮等 2003)。利用此統計結果及透過系統性的分類與特性探討，掌握發生背景條件，去除影響雷達觀測天氣的各類雜訊，再依各雷達不同方位的觀測，組合最接近地面且不受地形阻擋與影響的仰角觀測，此即最低仰角合成回波(Hybrid Reflectivity)。經過測試，除了可保留天氣現象外，亦可有效去除地形雜波。利用此最低仰角合成回波(dBZ) (經由 $dBZ=10\log Z \rightarrow Z=10^{dBZ/10}$ 之關係式) 與降雨量 $R(mm)$ ，擬合屬於台灣地區之 $Z-R$ 關係式。

在個案選取方面，除了使用 2003 年 1~12 月之雷達觀測與實測降雨量資料外，另選取 2003 年梅雨鋒面個案與 2004 年冬季鋒面個案。其中梅雨鋒面個案時間為 2003

年 6 月 12 日 2200Z ~ 6 月 13 日 0900Z，影響區域主要為嘉南平原及高雄地區，平均降雨量為 36.44 mm，雷達觀測資料主要來源為七股雷達。而冬季鋒面個案時間為 2004 年 2 月 8 日，影響區域主要為台灣北部地區，平均降雨量為 10.46 mm，雷達觀測資料主要來源為五分山雷達。

為有效利用雷達、衛星及雨量計等觀測資料以準確估計降雨型態及降雨強度，另選取 2003 年 6 月 10~14 日梅雨季降雨個案，分別測試地面密集雨量站資料改進僅用衛星或雷達估計降水量大小之方法，並作統計分析以了解其可行性。

三、初步結果

為簡單區分層狀與對流降雨，圖 2 為利用 2003 年台灣地區之仰角合成回波與實測降雨量所擬合之小於 30dBZ 及大於(含) 30dBZ $Z-R$ 關係式，分別為 $Z=15.31R^{3.34}$ 及 $Z=46.73R^{1.89}$ 。由圖可見，於 2003 年中，大部分皆為較小之降雨強度(小於 10mm/hr)，且小於 45dBZ 之任何 dBZ 皆會降下小於 10mm/hr 之降雨強度，亦即有不同的 Z ，卻會有相同的 R 。但對降雨強度大於 10mm/hr 而言，其所對應之回波值相對而言為較大值(大於 30dBZ)。就統計 2003 年回波與降雨之相關，無法視其隨季節應有之變化，因此針對 2003 年各月份(除 1 月份外，因其降雨量太少，較不具代表性)擬合 $Z-R$ 關係式(圖未示)，大於(含) 30dBZ 來看之係數 A 值介於 11.35~358.89 之間，係數 b 值介於 1.15~2.4 之間；小於 30dBZ 之係數 A 值介於 7.54~52.69 之間，係數 b 值則介於 2.35~3.96 之間。

再進一步擬合 6 月 12 日 2200Z ~ 6 月 13 日 0900Z 梅雨鋒面個案，影響區域主要為嘉南平原及高雄地區之之 $Z-R$ 關係式，得 $Z=0.0007R^{7.96}$ (圖 3a)。另外以 30dBZ 為分界，分別為 $Z=0.0005R^{8.13}$ (小於 30dBZ) 及 $Z=17.72R^{3.0}$ (大於(含) 30dBZ) (圖 3b)，圖中星號為當時與閃電有所對應。對此個案來說，其閃電資料不論在空間或是時間上，與降雨回波及降雨率之相關性不大。另外再擬

合 2004 年 2 月 8 日冬季鋒面個案，影響區域主要為台灣北部地區之 $Z-R$ 關係式，為 $Z=18.65R^{3.67}$ (圖 4)，而最低仰角合成回波所估計降雨量 $R_{radar}(mm)$ 與實測降雨量之相關係數達 0.89(圖 5)。

另選取 2003 年 6 月 10-14 日梅雨季降雨個案，分別測試地面密集雨量站資料改進僅用衛星或雷達估計降水量大小的結果如圖 6、7 及表 1 所示，圖 6 顯示僅用衛星資料估計降水較實際降水分佈廣，透過全區域雨量平均修正，誤差降低一些但區域仍廣，若利用區域雨量修正衛星降水估計結果就較接近實際降水分佈的結果，圖 7 為僅使用雷達資料估計降水結果與實際降水分佈比較，顯示對於陸地上降水分佈，僅用雷達比僅用衛星估計降水較接近實際降水分佈。表 1 統計每個個案利用雷達或衛星估計與實際降雨量比值，可看出僅用雷達估計降雨量 ($Z=230R^{1.25}$) 平均大小為實際平均降雨量的 0.41(BiasRAD，即 R_i/G_i ， R_i 為雷達回波估計之時降雨量， G_i 為雨量桶量測之時降雨量) 左右，有明顯低估的現象。利用衛星統計所求得的降雨量平均大小為實際平均降雨量的 0.40 左右，易亦有明顯低估的現象。但利用雨量站資料調整雷達降雨估計大小則可達 1.12 比值左右(1.0 最佳)，並且利用雨量站資料調整衛星統計所求得的降雨量大小則可達 1.10 比值大小。

四、討論與結論

本文初步利用 QPESUMS 輸出資料進行 $Z-R$ 關係之擬合，結果顯示 2003 年各月份不論是對於大於(含) $30dBZ$ 或是小於 $30dBZ$ 而言，其降雨粒子分布隨季節不同會有所差異。另外，2003 年之梅雨鋒面個案與 2004 年之冬季鋒面個案，兩者 $Z-R$ 關係式之係數 A 、 b 差異甚大，可見 $Z-R$ 關係式可能與個案的季節、區域、降雨型態的不同及雷達觀測差異有關。Joss et al.(1968)提出由於降水型態的不同，使用同樣的 $Z-R$ 關係式來進行每日降雨量估計其校驗結果差異可達 38%。Tokay and Short(1995)也指出，雨滴粒徑分布

在不同的降雨系統有相當高的變異性，相同的回波強度會因不同的雨滴粒徑分布而對應到不同的降雨率，更會影響到 Z 與 R 之間的相關。因此，欲使用單一 $Z-R$ 關係式來進行台灣地區不同降雨型態之降雨量估計，存在有極高的不確定性，未來仍需依賴更多的資料來進行統計及驗證。

未來將藉由循序漸進的方式統計台灣地區各降雨型態(如梅雨鋒面、雷雨、颱風、冬季降水 等系統)相對適用之 $Z-R$ 關係式以利作業中的定量降雨估計具較佳之準確性。又根據 Brands(1974)及 Wilson(1970)利用地面雨量站校正雷達降雨估計，誤差可降至 20~30%左右之結果，並探討其差異原因，進一步系統校驗及改進 QPESUMS 降雨估計之準確性，再提供至其他氣象、工程、防災、水利及水庫管理等單位使用，透過正確警訊及的發布，以及健全的防災措施，可將不必要之生命財產損失大幅降低。

致謝

本計畫之順利推動完成，其中部份成果特別感謝國科會(編號 NSC91-2625-Z-052-006)的支持。

參考文獻

- 張保亮、丘台光、王碧霞與林品芳，2004：網連雷達雜波統計特性分析。投稿大氣科學，已接受。
- Brands, E., 1974: Radar rainfall pattern optimizing technique. NOAA Tech. Memo. ERL NSSL-67, Oklahoma, 16 pp.
- Joss, J. K., J. C. Thomas, and A. Waldvogel, 1968: The accuracy of daily rainfall measurement by radar. Preprints, 13th Radar Meteorology Conf., Montreal, Amer. Meteor. Soc., 448-451 pp.
- Tokay, A., and D. A. Short, 1995: Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convection cloud. *J. Appl. Meteor.*, 35, 355-371.
- Wilson, J. W., 1970: Integration of radar and raingauge data for improved rainfall

measurement. *J. Appl. Meteor.*, 9, 189-497.

Xin, L., G. Recuter, and B. Larochelle, 1997: Reflectivity-rain rate relationship for convective rainshowers in Edmonton. *Atmos. Ocean*, 35, 513-521.

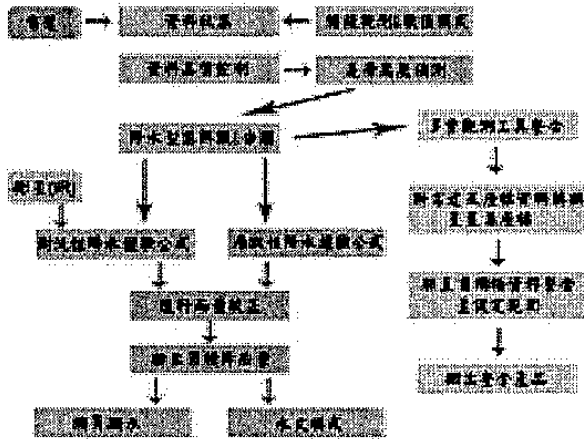


圖 1 中央氣象局定量降水資訊系統之定量降水估計處理流程圖。

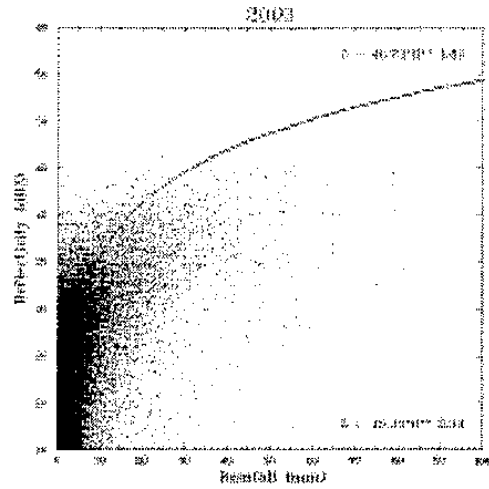


圖 2 擬合 2003 年台灣地區之仰角合成回波與實測降雨量所擬合之小於 30dBZ (藍線) 及大於 (含) 30dBZ (紅線) Z-R 關係式。橫軸為降雨強度，縱軸回最低仰角合成回波。

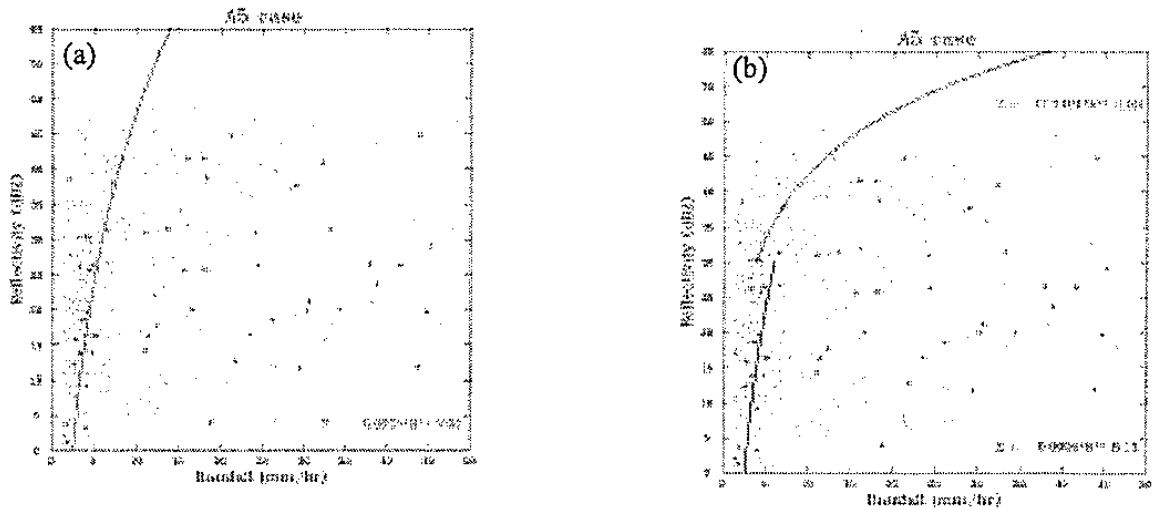


圖 3 擬合 2003 年 6 月 12 日 2200Z ~ 6 月 13 日 0900Z 梅雨鋒面個案之 (a) 不分回波大小及 (b) 以 30dBZ 為分界之 Z-R 關係式。橫軸為降雨強度，縱軸回最低仰角合成回波。

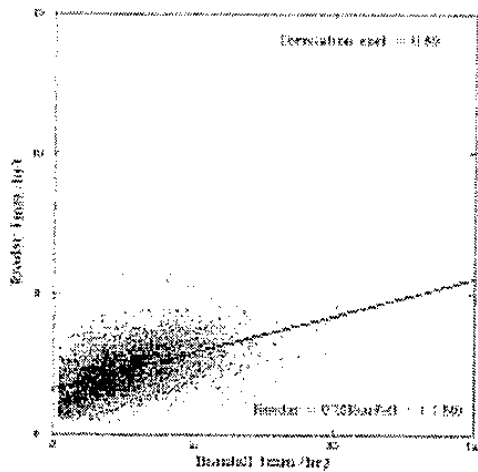


圖 4 同圖 3a，但為 2004 年 2 月 8 日冬季鋒面個案。

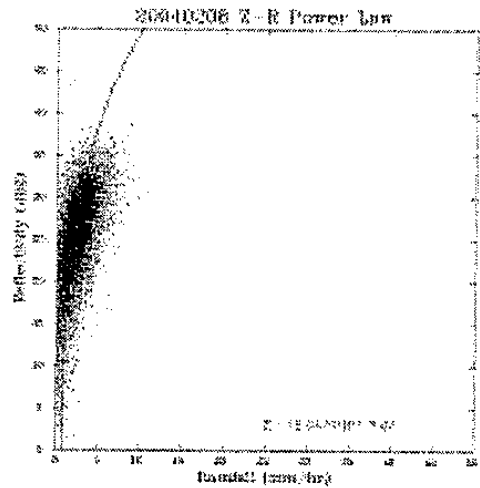


圖 5 最低仰角合成回波所估計降雨量 R_{radar} (mm) 與實測降雨量之相關。

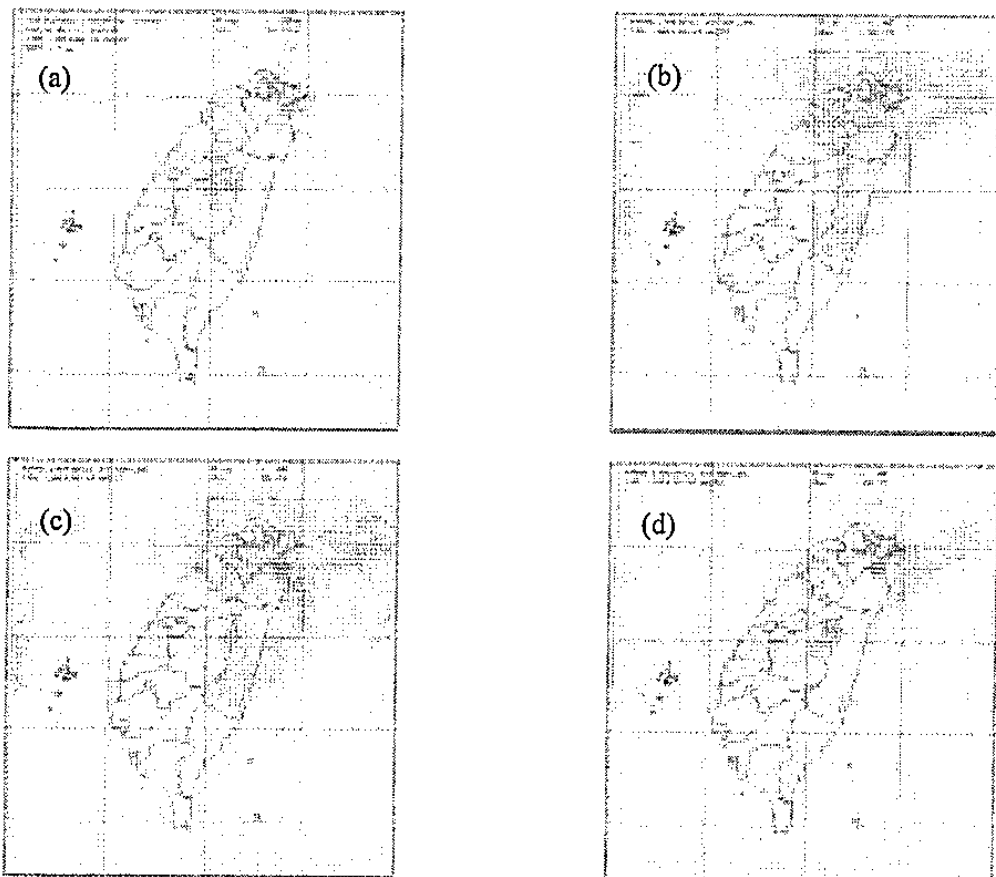


圖 6 利用雨量站資料改進衛星降水估計樣本圖，其中(a)為實際降雨分佈，(b)為僅用衛星資料估計雨量大小(c)為利用前一小時全區域雨量站平均修正結果，(d)為利用前一小時區域雨量站平均修正結果，樣本資料時間為 2003 年 6 月 14 日 09Z 梅雨鋒面降水個案。

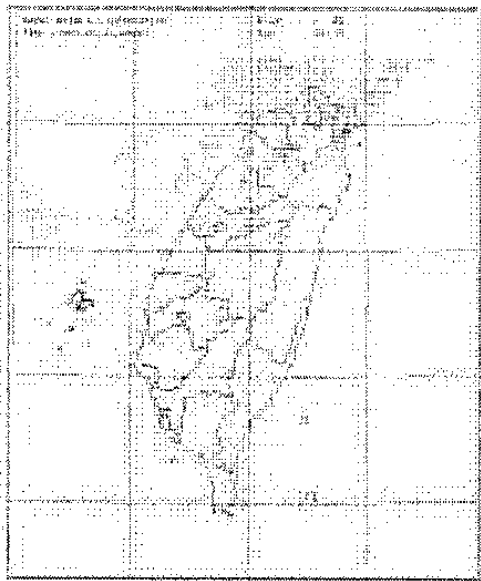


圖 7 與圖 6 類似但利用雷達降水估計地面降水分佈圖

表 1: 2003 年 6 月 10 日至 14 日雷達估計雨量、衛星估計雨量及經雨量站資料調整估計雨量與實際降雨量之比值大小

Gauge Reports				Bins(QPE/Gauge)			
data	Number Gauges	Gauge Mean	Gauge Max	RAD	MS	GC_RAD	GC_MS
6/10	427	11.15	104	0.32	0.3	1.15	1.04
6/11	427	10.97	80	0.42	0.45	1.02	1.00
6/12	428	31.33	208.5	0.45	0.43	1.06	1.05
6/13	378	36.44	195	0.37	0.36	1.05	1.05
6/14	379	19.26	127	0.49	0.46	1.31	1.34
平均	2040(±時)	21.83	145	0.41	0.40	1.12	1.10

RAD: 雷達估計平均雨量/實際平均降雨量

MS: 衛星估計平均雨量/實際平均降雨量

GC_RAD: 雷達經雨量站資料調整估計平均雨量/實際平均降雨量

GC_MS: 衛星經雨量站資料調整估計平均雨量/實際平均降雨量