

QPESUMS 雨量資料在土石流警戒之應用

林李耀¹ 李清勝¹ 丘台光² 張保亮² 王安翔¹

國家災害防救科技中心¹
中央氣象局衛星中心²

摘要

土石流發生的基本條件（豐富的鬆散土石、陡峻的坡度、與大量的水源）中，豪雨是最重要的激發因子。因此，國內外利用降雨參數作為警戒劃分依據的研究相當多，其中最常被使用的降雨參數為累積雨量與降雨強度，但災害發生地點雨量站常分佈較疏，利用鄰近測站內差所求取的雨量值也無法有效代表災點雨量特徵。因此本研究嘗試利用 QPESUMS 提供之雷達回波降雨估計，進行自動雨量站降雨資訊與雷達估計雨量之差異性評估，並針對 2004 年敏督利 (Mindulle) 與艾利 (Aere) 颱風，進行土石流發生個案之雨量分析，以做為後續發展土石流潛勢區定量降雨預估與即時預報技術的基礎。

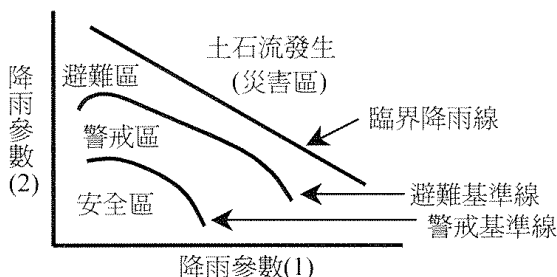
關鍵詞：QPESUMS，土石流預警，定量降雨估計。

一、前言

近年來豪雨所造成的坡地災害常導致生命財產的重大損失，尤其在 921 重創後的南投、台中等中部山區，其發生頻率較過去明顯增加(林美聆等，2002)，例如 2001 年桃芝颱風重創中部重建區，共發生約 655 處土石流災害，同年納莉颱風造成台北市約 400 起坡地崩塌事件。而 2004 年敏督利颱風與七二水災的土石流與崩塌事件更超過 1200 處，遠超過以往的歷史颱風事件。因此，為減少因土石流所導致的生命傷亡與財產損失，已成為中央與地方政府災害應變作業中極重要的一部份。

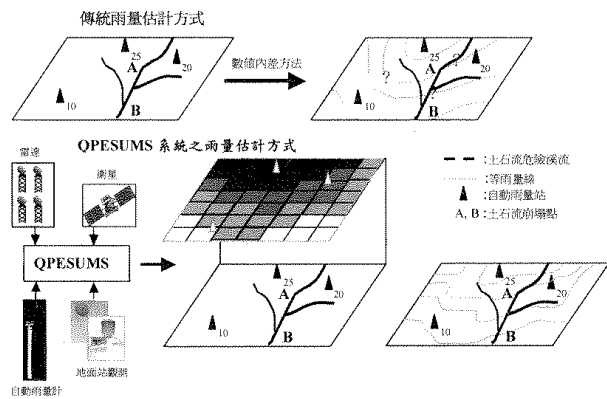
多數的土石流警戒研究均利用臨界降雨線作為警戒劃分的依據(圖一)，研究結果顯示，土石流或崩塌災害的發生，與局部地區的豪雨關係密切。利用雨量資訊進行土石流警戒研究面臨到土石流發生點雨量資料推估不確定性的問題。土石流多發生在無雨量站觀測的地點。選取最接近災點的雨量站資料或鄰近災點的數個雨量站觀測值的內插，所推估出來的雨量值常無法具有災害點的降雨特性，無法得到客觀的雨量值。

因此，本研究嘗試利用雷達觀測與自動雨量站氣象資訊，針對土石流高潛勢區發展定量降雨估計 (QPE) 技術，以做為土石流警戒的雨量資訊參考。



圖一：土石流發生利用雨量參數之警戒區劃分示意

圖。



圖二：傳統雨量與 QPESUMS 系統雨量估計方式之比較。

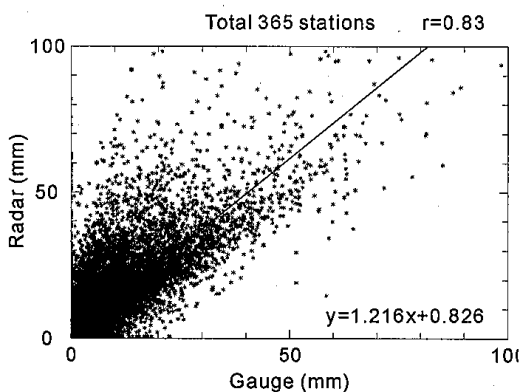
二、資料來源與研究方法

QPESUMS 為中央氣象局與美國 NSSL 合作所開發的即時定量降雨估計系統，其整合雨量之空間解析度大約 1.25 × 1.25 公里，時間解析度約 10 分鐘，圖二為利用 QPESUMS 雨量估計方法與過去雨量站內差方法的概念模式比較，由圖中可知，利用雨量站數值內差的方法受雨量站密度與天氣系統影響甚大，台灣地區自動雨量站大多分布在西半部區域或河流中下游，山區與河川上游地區分布較少，當降雨在空間上有不均勻分布的情形發生時，會造成較大的估計誤差。因此對於土石流預警研究而言，QPESUMS 雷達整合雨量可以提供較佳的災點雨量參考。

本研究根據全省河系分佈將台灣分為 33 個流域分區，並利用 QPESUMS 所推估的雷達雨量與各流域分區的地面自動雨量站觀測值進行比較分析，研究方法採取雨量站位置上空回波所估計之雨量值，與該自動雨量站所測得實際值進行線性迴歸分析，必需強調的是雖然雷達回波資料與雨量站資料均為 10 分鐘一筆，但因實際雷達掃瞄時間與雨量站觀測時間並不一定相同（雷達掃瞄以 10 分鐘內某次掃瞄作為代表），因此在 10 分鐘雨量的直接比較上會有時間差異的問題，本研究以時累積雨量做為分析資料的來源，可以避免資料時間無法完全一致的情形發生。

三、QPESUMS 雨量分析與評估

首先我們針對敏督利颱風 365 個自動雨量站觀測時雨量資料（2004 年 6 月 29 日至 7 月 5 日）進行線性迴歸分析，根據所有資料樣本（168 x 365 筆資料）所求出的 scatter diagram 與迴歸分析如圖三所示。圖三橫軸為雨量站實際觀測時雨量，縱軸為雷達回波估計雨量。整體而言，回波估計降雨與實際地面降雨有不錯的相關性（ $r=0.83$ ），也可以找出一個位於樣本迴歸線 $y=1.216x+0.826$ 四周的主要分布，顯示雷達回波降雨估計可以用來做為地面定量降雨估計的參考，但是若要提高資料的精確度，必須再進一步針對回波雨量特徵進行探討，以圖三而言，除了主要分布外，在時雨量小於 30 毫米情形下還可以發現三個主要的叢集（cluster），這些叢集可能與回波在不同地區的局部特性，或是回波資料距地面高度等因素有關，這些叢集也表現出在降雨較小的情形雷達回波常有高估降雨的情形發生。



圖三：敏督利颱風期雷達估計時雨量（縱軸）與自動雨量站（共 365 個站）觀測時雨量（橫軸）之統計迴歸分析圖（Scatter diagram），線性相關係數為 0.83。

以下針對全台 33 個河系流域（圖四），進行個別流域的降雨特徵分析，就台灣北部的北海岸河系、淡水河、桃園河系、頭前溪、與竹南河系流域而言，其主要雷達回波估計雨量資料來自北台灣的五分山雷達，除了北海岸河系線性相關程度較差外（ $r=0.59$ ），其它流域的 r 都大於 0.8 以上，與全部測站的平均值相當。但北海岸河系的線性相關程度是所有流域中最差的，此點可能與北部大屯山脈阻擋，以及雷達位置過高，使得資料最低回波高度距地面太高有關。其它各區域的相關程度大致都可維持在 0.8 左右，除了仍可發現部份區域有叢集現象外，顯示雷達估計雨量具有相當的可靠性，其中有趣的是原本認為可能相關程度不佳的大甲流域其相關程度高達 0.93，另外八掌溪流域雷達回波雨量估計似乎有一系統性誤差，回波估計有普遍的高估現象（ $y=2.170x-1.613$ ），由於雨量相關係數高達 0.88，未來可以作為回波雨量修正的參考依據。

我們將以上所有各別流域分析結果列表於表一，提供參考使用。

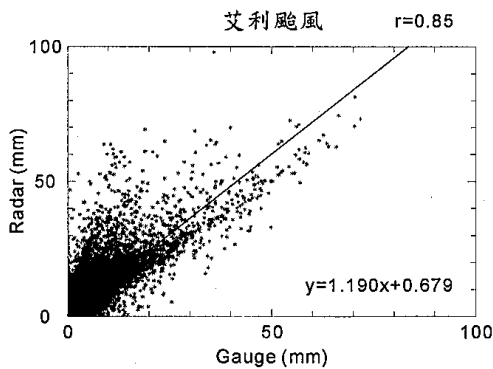


圖四：全台流域分界圖

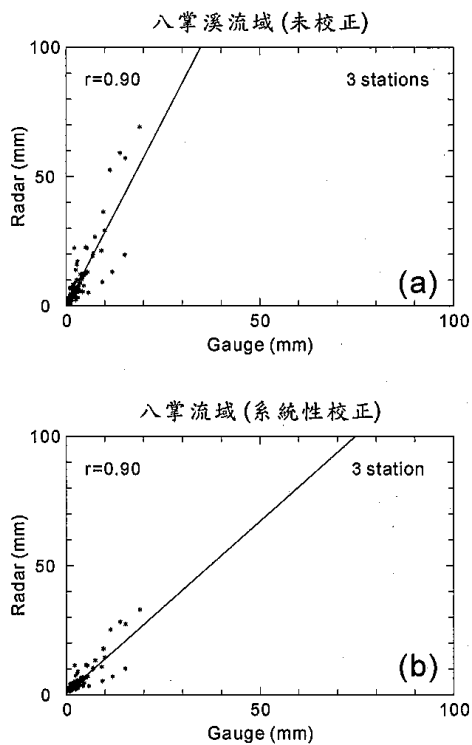
表一：敏督利颱風雷達估計降雨與雨量站降雨迴歸分析

流域	測站數	雷達估計降雨與雨量站相關係數	線性迴歸方程式
北海岸河系	9	0.59	$y=1.363x+0.691$
淡水河流域	52	0.80	$y=1.090x+0.260$
桃園沿海河系流域	9	0.89	$y=1.189x+0.349$
頭前溪流域	10	0.88	$y=1.175x+0.345$
竹南沿海河系流域	5	0.84	$y=1.082x+0.314$
後龍溪流域	10	0.73	$y=1.222x+0.928$
大安溪流域	8	0.79	$y=1.156x+1.390$
大甲溪流域	10	0.93	$y=1.067x+0.693$
烏溪流域	20	0.88	$y=1.183x+0.937$
彰化沿海河系流域	8	0.88	$y=1.121x+0.546$
濁水溪流域	26	0.84	$y=1.187x+0.862$
北港溪流域	12	0.82	$y=1.297x+0.865$
朴子溪流域	9	0.91	$y=1.231x+0.237$
八掌溪流域	3	0.88	$y=2.170x-1.613$
急水溪流域	10	0.89	$y=1.190x+0.352$
曾文溪流域	24	0.78	$y=1.247x+1.937$
鹽水溪流域	8	0.82	$y=1.272x+0.624$
二仁溪流域	3	0.83	$y=1.520x+0.611$
高雄沿海河系流域	10	0.87	$y=1.165x+0.379$
高屏溪流域	29	0.82	$y=1.276x+1.979$
東港溪流域	5	0.81	$y=1.148x+0.972$
林邊溪流域	1	0.92	$y=1.689x+0.409$
南屏東河系流域	13	0.72	$y=1.754x+0.806$
南台東河系流域	6	0.72	$y=1.016x+1.097$
卑南溪流域	6	0.82	$y=1.125x+1.301$
海岸山脈東側河系流域	4	0.90	$y=0.986x+0.897$
秀姑巒溪流域	10	0.96	$y=1.053x+0.249$
花蓮溪流域	15	0.73	$y=1.310x+0.890$
太魯閣河系流域	5	0.91	$y=1.348x+0.218$
南澳沿海河系流域	1	0.85	$y=0.883x+1.642$
蘭陽溪流域	16	0.85	$y=1.343x+0.117$
頭城沿海河系流域	4	0.73	$y=2.80x+0.289$
Total	365	0.83	$y=1.216x+0.826$

另外，我們將艾利颱風個案依照敏督利颱風個案的研究方法進行雷達降雨估計與自動雨量站的迴歸比較分析，分析颱風期間為 8 月 22 日至 8 月 25 日。圖五為艾利颱風的 scatter diagram，除了回波估計降雨少有超過 70 毫米外（與颱風個別降雨特性有關），艾利颱風整體的雨量分布與敏督利颱風極為相似，雷達估計降雨與雨量站線性相關係數為 0.85，線性迴歸方程為 $y=1.90x+0.679$ ，與敏督利結果相當接近，也顯示雷達回波估計具有相當的穩定性。



圖五：艾利颱風期雷達估計時雨量（縱軸）與自動雨量站（共 365 個站）觀測時雨量（橫軸）之統計迴歸分析圖（Scatter diagram），線性相關係數為 0.85。



圖六：(a)艾利颱風之八掌溪流域 scatter diagram。(b)利用敏督利迴歸方程修正結果。

我們也將敏督利颱風中相關係數較好的大甲溪流域與較差的北海岸河系流域做比較，結果顯示艾利颱風大甲溪流域的雷達估計雨量與雨量站相關係數達 0.97，圖中雨量分布也集中在迴歸直線附近，顯示與敏督利颱風相同的分析結果；而北海岸河系雷達估計雨量與雨量站相關係數為 0.68，與敏督利颱風個案相比較稍好，但與其它河系流域比較則相對為差，也與敏督利颱風相同的分析結果相同，顯示雷達回波估計

具有相當的穩定性。

以上已針對 QPESUMS 雷達估計雨量進行初步分析，同時也得知回波與雨量站降雨之不同區域特徵，這些結果已可初步用來改進估計降雨的系統性誤差，以艾利颱風八掌溪流域為例，圖六（a）為 QPESUMS 直接求取的雷達估計雨量分析結果，我們可以清楚的發現雖然相關係數達 0.9，但雷達高估降雨的情形頗為嚴重，如果我們將先前敏督利颱風的系統性誤差考慮進來，利用迴歸求取的經驗式修正雷達回波估計值，圖六（b）即為修正後的雨量分布情形，比較上下兩圖修正前後的結果，修正後的雨量值明顯優於直接由原本 Z-R 關係式得到的雨量估計值。

綜合以上研究結果，QPESUMS 雷達估計雨量可以有效的發揮即時雨量監測的效果，在敏督利與艾利颱風個案的自動雨量站降雨校驗下，目前雷達估計降雨的資料品質與可信度已達到不錯的結果與穩定性。雖然，在許多流域因地形或其它因素的影響下估計雨量與實際雨量間仍有差距，但這些可在將來局部區域的雨量特性研究上加以改進。實際上，目前 QPESUMS 也已完成利用地面雨量站觀測雨量作為降雨真值，來對雷達估計降雨空間分布進行客觀校正的即時模組，修正後的雷達估計降雨可以在雨量大小的估計上更接近實際降雨。

四、討論與結論

以下我們根據 2004 年敏督利颱風與艾利颱風的雷達雨量研究初步分析結果，將重點歸納如下：

- (1). 敏督利與艾利颱風期間，雷達估計降雨時雨量與地面雨量站時雨量間的線性相關良好，在所有流域 365 個地面雨量站的分析下，敏督利颱風 7 天的時雨量相關係數為 0.83，艾利颱風 4 天的時雨量相關係數為 0.85，兩颱風降雨 scatter diagram 的分布相當類似，顯示颱風降雨估計具有相當的穩定性。
- (2). 整體而言，雷達估計時雨量在降雨小於 30 毫米以下常有高估的情形發生，此點目前已經由地面雨量站的即時校正與客觀分析得到改善。
- (3). 雷達回波估計時雨量在 365 個自動雨量站的 scatter diagram 上可以發現 3~4 個叢集 (cluster)，部份流域雨量會集中在 1~2 個雨量叢集間，以台灣東南部流域為例，在雨量小於 20 毫米時有明顯的降雨高估第二叢集出現。尤其以海岸山脈東側流域最為顯著，此原因可能與雨量站所在之地形特性或是雷達波之區域特性有關。
- (4). 所有流域的雨量站時雨量統計結果顯示，目前的雷達時雨量估計以大甲溪流域的相關係數最好，敏督利颱風時為 0.93，艾利颱風為 0.97。表現最差的為北海岸河系流域，敏督利颱風為 0.59，艾利颱風為 0.68。

- (5). 在雨量站與雷達估計降雨線性相關較好的流域可以利用迴歸方程改善降雨估計，以八掌溪流域為例，經過系統性誤差修正後的雨量估計，可以明顯改善回波雨量高估的情形。
- (6). 經過雨量站逐時降雨歷程與回波估計降雨歷程比較結果，雷達估計雨量可以表現出颱風期間各時段的降雨特徵，顯示利用雷達來估計降雨的可行性，其缺點為仍有部份時段會有雨量差距較大情形發生，目前的解決方法為即時利用地面雨量站雨量作客觀分析，QPESUMS 已提供此校正資料做為參考。

總而言之，利用 QPESUMS 即時雨量估計來進行土石流或崩坍的警戒研究是可行的，雖然目前仍然有以上討論的問題存在，但未來如能針對局部分區進行系統性誤差的修正，必能發揮雷達雨量高時空解析度的優勢，以提供良好的雨量資訊。

五、參考文獻

- 鳳雷, 1992: 颱風雷達回波垂直結構與降水定量估計—楊希颱風。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文, 69。
- 黃若澄, 1997, 「台灣北部地區雷達回波的統計特性與雨量估計」, 國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文。
- 周仲島, 張茂興與何台華, 1997: 山區雷雨系統之降水與運動場結構分析, 大氣科學, 第 25 期第 4 號, 483-510。
- 林美聆、陳天健、林鴻州、李正利、魏水木、葉斯元、游文輝, 2002: 「台北市崩塌警戒基準初期研究」, 中央氣象局 2002 天氣分析與預報研討會論文彙編, 1-6。
- 詹錢登, 2002: 「坡地災害警戒值訂定與土石流觀測示範站之研究」, 行政院農委會水保局 91 年科技計畫報告。
- 丘台光、陳嘉榮、張保亮、簡國基、王溫和與林品芳, 2003: 「短時預報系統產品校驗」。天氣分析與預報研討會論文彙編。 63-68 頁。
- 丘台光、張保亮與林品芳, 2003: 「應用多重觀測工具之定量降雨估計與分類技術(QPESUMS)系統現況與展望」。2003 颱風及中尺度災變天氣預報技術研討會, 2003 年 12 月 16-17 日, 台北。
- 林美聆、陳天健、林鴻州、游文輝, 2003: 「台北市崩塌警戒模式訂定方法之研究」, 中華水土保持學報, 34(4), 389-399。
- 林李耀, 陳建元, 陳天健, 王安翔, 李清勝及張保亮, 2004: 氣象雨量資料在土石流預警之應用。第八屆全國大氣科學研討會, 桃園, 5 月, 65-70 頁。
- Doneaud, A. A., S. Ionescu-Niscov, D. L. Priegnitz, and P. L. Smith, 1984: The area-time integral as an indicator for convective rain volumes. *J. Climate Appl. Meteor.*, **23(4)**, 555-561.
- Caine, N., 1980: The Rainfall Intensity Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flow, *Geografiska Annaler*, **62**, 23-27.
- Cannon, S.H. and Ellen, S.D., 1985: Rainfall Conditions for Abundant Debris Avalanches in San Francisco Bay California, *California Geology*, **38(12)**, 267-272.
- Chandrasekar, V., and V. N. Bringi, 1988: Error structure of multiparameter radar and surface measurements and rainfall. Part I: Differential reflectivity. *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **5**, 783-802.
- Rosenfeld, D., D. Atlas, and D. A. Short, 1990: The estimation of convective rainfall by area integrals. Part II: The height-area threshold (HART) method. *J. Geophys. Res.*, **95**, 2161-2176.
- Rosenfeld, D., D. Atlas, D. B. Wolff, and E. Amitai, 1992: Beamwidth effects on Z-R relations and area-integrated rainfall. *J. Appl. Meteor.*, **31**, 454-464.
- Rosenfeld, D., D. B. Wolff, and D. Atlas, 1993: General probability-matched relation between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 50-72.
- Rosenfeld, D., D. B. Wolff, and E. Amitai, 1994: The window probability matching method for rainfall measurements with radar. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 682-693.
- Rosenfeld, D., E. Amitai, and D. B. Wolff, 1995: Classification of rain regimes by the three-dimensional probabilities of reflectivity fields. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 198-211.
- Rosenfeld, D., E. Amitai, and D. B. Wolff, 1995: Improved accuracy of radar WPMM estimated rainfall upon application of objective classification criteria. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 212-223.
- Sachidananda, M., and D. S. Zrnice, 1985: Z_{DR} measurements considerations for a fast scan capability radar. *Radio Science*, **20**, 907-922.
- Sachidananda, M., and D. S. Zrnice, 1987: Rain rate estimates from differential polarization measurements. *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **4**, 588-598.
- Wexler, R., and D. Atlas, 1963: On the measurement of precipitation intensity by radar. *J. Meteor.*, **10**, 66-67.