

氣象雨量資料在土石流預警之應用

林李耀¹、陳建元¹、陳天健¹、王安翔¹、李清勝^{1,2}、張保亮³

國家災害防救科技中心¹

台大大氣科學系²

中央氣象局衛星中心³

摘要

由於豪雨基本上是誘發大部分土石流或崩坍災害的主要原因，加上中央氣象局自動雨量站也提供大範圍的即時雨量監測資訊，因此，利用降雨因子進行土石流或崩坍等坡地災害的預警研究，具有便利性、實用性及經濟性等優點。

國內外利用降雨參數來預估土石流災害發生的研究相當多，本文除介紹國內外一些與土石流相關的研究方法外，並探討目前氣象雨量資料在土石流預警的應用，以及未來利用高時空解析降雨資料(QPESUMS)在土石流研究的可能方向。

關鍵詞：土石流、崩坍、降雨參數、QPESUMS。

一、前言

台灣地區地勢山陡水急、地質條件破碎，每當颱風或豪雨侵襲時，土石流或崩塌事件頻率逐漸增加，例如1996年賀伯颱風造成南投、阿里山區嚴重土石流，死亡人數超過40人；2001年的桃芝颱風重創921地震後的中部重建區，共發生約655處土石流災害；同年納莉颱風也重創台北市，共發生

約400起坡地崩塌事件，造成民眾重大的生命財產損失(林美聆等，2002)。

形成土石流的三個基本條件是豐富的鬆散土石、陡峭的坡度與大量的水源。就台灣地區的土石流特徵而言，豪雨是激發土石流最重要的水文條件。尤其在同一條土石流溝內，集水區的地文條件在短時期內變化不大，但是降雨的時空分布卻有很大的變異，因此，若能有效掌握即時降雨的時空分布，再配合地文的土壤、坡度等條件，對土石流發生前的預警工作將會有很大的幫助。

二、土石流預警研究的雨量參數

國內外利用降雨參數來預警土石流災害的研究相當多，日人瀨尾克美與船崎昌繼(1973)分析日本七縣市178場的土石流災害後，利用有效降雨量與有效降雨強度作為警戒與避難基準；另外Caine(1980)、Cannon and Ellen(1985)、Wieczorek(1987)、與Keefer(1987)則是利用土石流發生事件的降雨延時和降雨強度作為警戒基準參數，以迴歸方式求出土石流發生的臨界降雨線；在國內的研究方面，謝正倫(1991)參考日本的警戒模式研究，提

出土石流危險溪流判定與土石流發生臨界降雨條件設定方法，並以有效累積雨量及有效降雨強度為警戒基準參數，求出花蓮縣土石流發生的臨界降雨條件。表一為林美聆等(2003)整理過去學者所使用的降雨警戒模式。其中所選定的參數包括有：前期雨量、本次累積雨量(一場連續降雨的累積雨量)、當日累積雨量、降雨延時、平均降雨強度、及降雨強度等，以這些參數為座標所畫定的土石流發生降雨臨界線方法(圖一)有單線法、雙線法、三線法等三種(詹錢登, 2002)，其中單線法是以二個降雨參數為指標，以一條降雨臨界線將區域分為土石流不發生區與發生區(圖一 a)。雙線法則是在發生區加上一條受災線，再將土石流發生區分為小規模與大規模發生區兩種(圖一 b)，至於三線法重點在發生前的預警，因此在不發生區加上警戒基準線與避難基準線，將不發生區分為警戒線以下的安全區、警戒線與避難線間的避難區(圖一 c)。每種方法的降雨參數依個人的研究理念而有不同，再者即使是相似概念的參數，其計算方法也不盡相同。

在三種方法的研究上，多數學者的研究均利用單線法以臨界降雨線來劃分，但各研究依據不同的理論基礎選取合適的雨量代表值作為警戒值的參數指標，不僅使用的參數種類分歧，在定義上也有異同，使得土石流臨界警戒值的研究，甚難做統一和整合。目前在水土保持局的土石流防災應變系統中所採用的為謝正倫(1995)所發展的三線法模式，其模式採用有效累積降雨量(橫軸)與降雨強度(縱軸)作為降雨參數，其示意圖如圖二所

示，在現行作業下，以避難基準線作為「警戒」依據，(避難基準線以上稱為警戒區)，當有效降雨強度或有效累積雨量其中之一達到警戒標準，警戒系統將自動產生土石流預警單，再經確認後傳真到農委會、各縣市政府應變中心、與鄉鎮公所作為疏散居民之依據。

除了上述求取土石流發生降雨臨界線的方法外，范正成等(1999)與高子劍(2001)以多變量常態分布及特性曲線法，研究以機率化的臨界降雨線做為警戒依據；詹錢登(2002)也以機率觀點提出土石流發生降雨警戒模式，在降雨參數的選擇上仍然採用降雨強度與有效累積降雨量作為指標，圖三即為其模式示意圖，其模式採用土石流發生與不發生事件的降雨資料，以土石流發生事件的 10% 作為下限，以不發生事件的 90% 作為上限，並以機率表示將警戒程度分為低、中、高三種潛勢區，未來水保局的土石流防災應變系統將考慮採用機率預警模式。

無論是降雨臨界線方法或是機率預警模式都面臨到以下三個問題：

- (1) 災害發生時間不易推定。土石流發生資訊常來自民眾的報案紀錄，因此事件確切的發生時間必須經由事後加以驗證。目前而言，民眾提供的土石流發生時間有相當的不確定性，因此也影響到事件發生時的降雨強度推估。
- (2) 雨量資料的不確定性。土石流常發生在無雨量站觀測的地點，因此過去的作法是取最近雨量站資料或幾個雨量站的內插，因此推估出來的雨量值常無法具有災害點的降

雨特性，或是受到其它因素影響（例如樹葉雜物影響到自動雨量觀測）無法得到客觀的雨量值。

- (3) 缺乏地文因子分析。發生土石流必須同時滿足水文與地文條件，利用降雨參數固然有其便利性，但如要提高土石流發生警戒基準的精確度，也必須考慮地形、地質、等重要因子，例如林美聆等（2003）依地形、地質與雨型之特性交叉分析研究台北市崩塌警戒模訂定方法即為一例。

三、氣象雨量資料的應用

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，平均而言，雨量站的空間解析度大約十幾公里，由於土石流常發生在山區或河川上游，因此要以此離散且不均勻分布的雨量資料內差來作為土石流預警模式的降雨參數，資料品質實在明顯不足。

氣象雷達可以用來觀測大氣中的降水粒子，其優點為提供高時空解析度的降水資訊，中央氣象局於2001年完成台灣本島花蓮、墾丁、七股及五分山都卜勒雷達環島觀測網，觀測範圍包含台灣本島全區及周圍海域，對於監測颱風、豪雨等劇烈天氣系統具有相當大的幫助。但雷達觀測仍有許多問題需解決，例如回波反演關係式（Z-R）的求取與統計特性分析（黃若澄，1997）、地形與地面雜波的處理、地形阻擋下適當回波資料之選取等，必需經過雷達資料品質控管解決問題，圖四 a 為回波受地形阻擋時選取不同最低仰角觀測資料作為雨量估算

的概念圖，另外，在回波資料不足時，也必需結合其他觀測工具（例如自動雨量站、衛星...等）來協助估算，因此，如何有效整合雨量觀測資訊，是提升定量降水準確度最重要的工作，也可提供其他觀測儀器的參考標準及校正資料來源。

在此目的與需求下，中央氣象局、經濟部水利署與美國劇烈風暴實驗室(NSSL)於2002年起共同合作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)，並同時進行定量降水作業的平行測試，希望透過相關技術的開發，結合不同觀測工具，達成台灣及其鄰近海域降水量化的目標。

QPESUMS 的定量降雨資料空間解析度大約 0.0125×0.0125 度，時間解析度大約 10 分鐘，因此對於土石流預警研究而言可以解決實際災害點雨量資料品質不佳的問題，圖四 b 為 QPESUMS 雨量估計方法與過去方法的概念模式比較，過去利用雨量站數值內差的方法取決於降雨資料的平滑度，當降雨在空間上有不均勻分布情形下會造成較大的誤差，圖五 a, b 為雨量站觀測與雷達雨量觀測比較圖，圖中可明顯發現雷達雨量估計在空間解析度上的優越性。

除了改善目前模式的精準度外，我們也可以利用 QPESUMS 高時空解析度的特性來設計其它更合理的雨量警戒基準，例如以總集水區雨量參數代替單點觀測值，或再加上簡單地文因子參數一起考慮，對於利用降雨參數作為警戒依據而言，可以提高其參考

價值。

四、結論

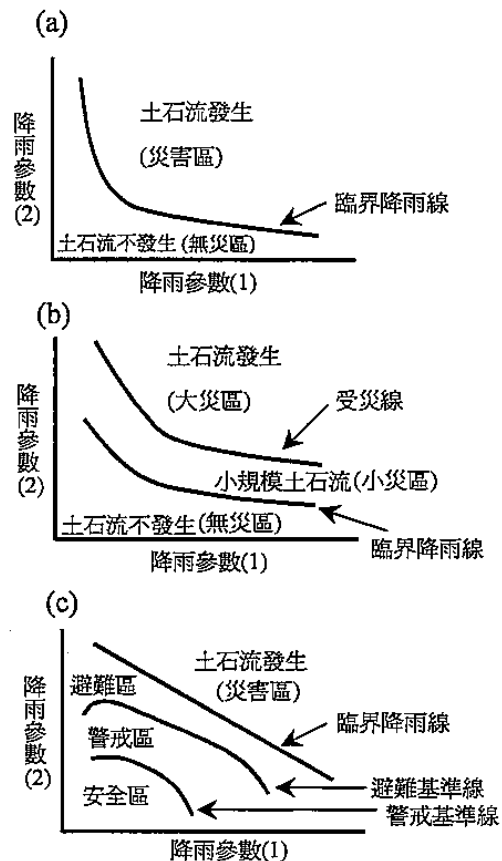
總而言之，土石流預警研究多利用雨量資料做為大範圍區域的警戒基準參數，目前最常使用的為降雨強度與有效累積降雨量，但是這類模式面臨很大挑戰的是災害點雨量資料估計的不確定性，因而導致警戒基準的精確度受到很大的限制。中央氣象局QPESUMS系統根據雷達回波反演降水並整合其它降雨資訊後，可以提供高時空解析的雨量估計，因此對於利用雨量參數作為警戒基準參考，除了可以解決過去土石流發生地點雨量因數值內差的不確定性外，也可利用其高時空解析特徵設計更合理的雨量警戒模式。

五、參考文獻

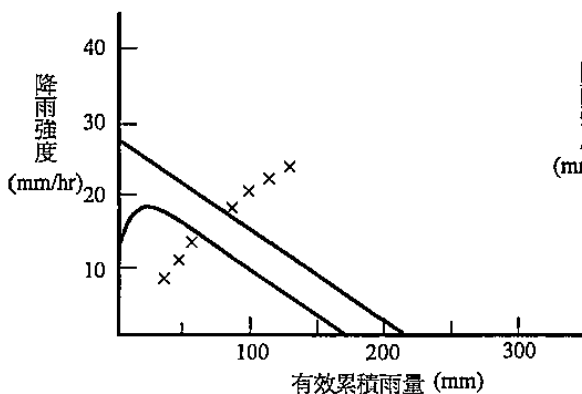
- 瀨尾克美、船崎昌繼，1973：「土砂害降雨量之研究」，新防砂，88：22-28。
- 謝正倫，1991：「土石流預警系統之研究」，國立成功大學台南水工試驗所研究報告。
- 謝正倫，1995，「土石流預警系統之研究（第五年）」，行政院農業委員會委託計畫。
- 黃若澄，1997，「台灣北部地區雷達回波的統計特性與雨量估計」，國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文。
- 范正成、吳明峰、彭光宗，1999：「豐丘土石流發生臨界降雨線之研究」地工技術，74，39-46。
- 高子劍，2001：「機率式土石流臨界降雨線之研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 林美聆、陳天健、林鴻州、李正利、魏水木、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集編，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」，行政院農委會水土保持局 91 年科技計畫報告。
- 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。
- 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集編。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。
- 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.
- Keefer, D. K., Wilson, R.C., Mark, R. K., Brab, E. E., Brown, W. M., Ellen, S. D., Harp, E. L., Wiczorek, G. F., Alger, C. S., and Zatzkin, R. S., 1987: Real-Time Landslide Warning During Heavy Rainfall, Science, 238, 921-925.
- Wiczorek, G.F., 1987: Effect of Rainfall Intensity and Duration on Debris Flows in Central Santa Cruz Mountains, California, Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, 93-104.

| 研究學者 | 降雨警戒關係式 | 相關參數 |
|----------------------------|--|---|
| 瀨尾克美與 船崎昌繼 (1973) | $R_e = a / (I_e + b)$ | R_e = 有效累積雨量 I_e = 有效降雨強度 |
| Caine (1980) | $I = 14.82 T^{-0.39}$ | I = 降雨強度 T = 降雨延時 |
| Cannon and Ellen (1985) | $T = a / (I - b)$ | I = 降雨強度 T = 降雨延時 |
| Wieczorek (1987) | $T = 0.9 / (I - 0.17)$ | I = 降雨強度 T = 降雨延時 |
| Keefner et al. (1987) | $(I - I_0) T = Q_c$ | I = 降雨強度 T = 降雨延時 I_0 = 流失雨量強度 Q_c = 臨界滲透量 |
| 謝正倫 (1991) | $I_e = a R_{te} + b$ | I_e = 降雨強度 R_{te} = 總有效累積雨量 |
| 范正成等 (2001) | $R_e = 11.42 T_e - 55.97 L_e + 3652$ (L_e 為常數) | R_e = 累積雨量 T_e = 降雨延時 (L_e 為常數) |
| 詹錢登 (2002) | $R_e + a I = C$ | R_e = 總有效累積雨量 I = 降雨強度 |

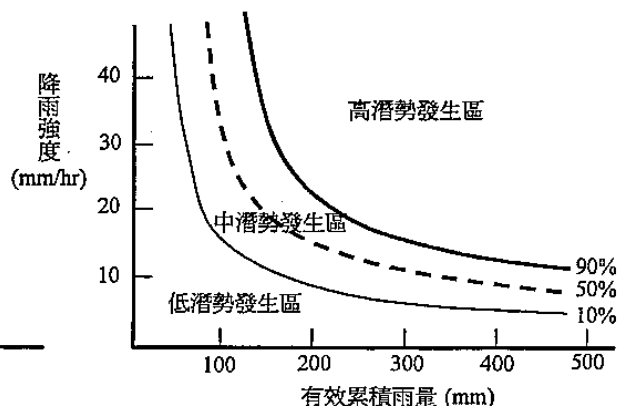
表一：各學者土石流發生降雨警戒值模式。(摘自林美玲等，2003)



圖一：土石流發生利用雨量參數之警戒區劃分示意圖。(摘自詹錢登，2002)

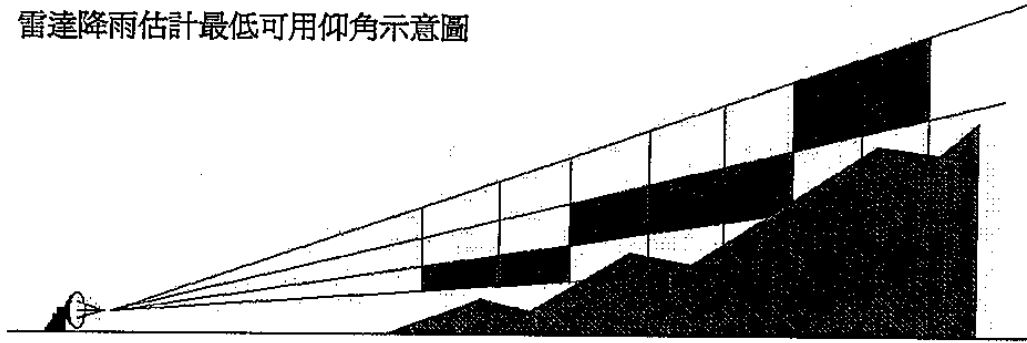


圖二：現行水保局土石流應變警戒作業模式。

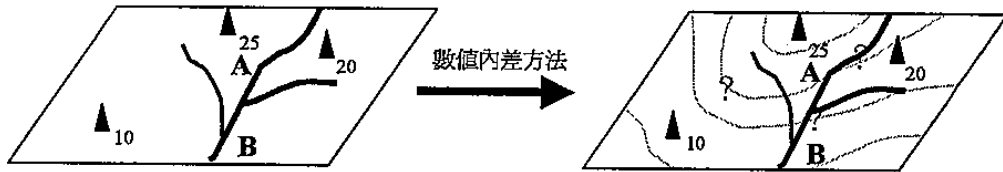


圖三：利用機率法的警戒區劃分示意圖。(詹錢登，2002)

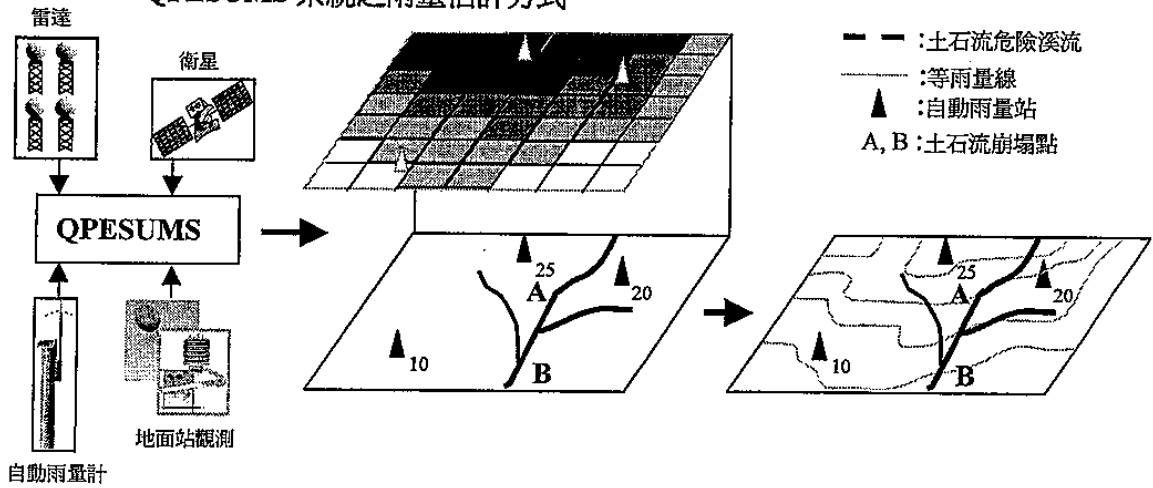
(a) 雷達降雨估計最低可用仰角示意圖



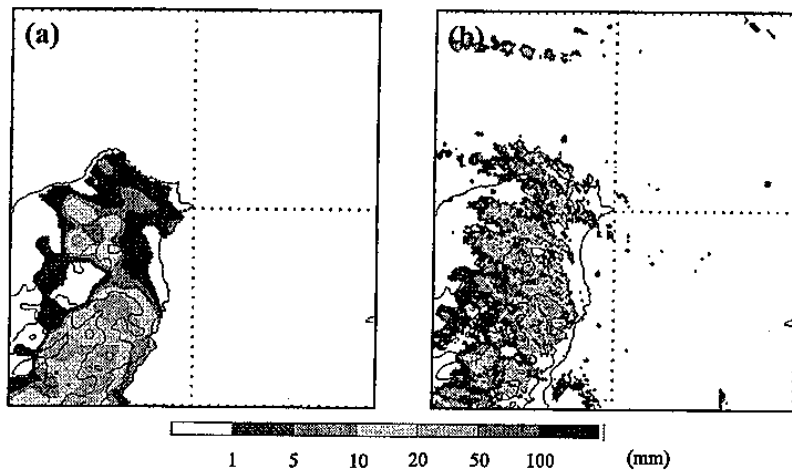
(b) 傳統雨量估計方式



QPESUMS 系統之雨量估計方式



圖四 (a)QPESUMS 系統之雷達最低可用仰角資料來源示意圖。(b)傳統雨量與 QPESUMS 系統雨量估計方式之比較。



圖五 (a)2003 年 9 月 1 日 1400 UTC 台灣北部地區之 1 小時觀測雨量分佈,(b) 1 小時雷達回波降雨推估分佈。