

模糊迴歸應用於土石流發生臨界降雨線之研究

楊宏宇¹ 陳建荇²

¹ 中華科技大學土木防災與管理碩士班

² 中華科技大學土木防災與管理碩士班碩士

摘要

本文以南投縣陳友蘭流域為研究對象，進行歷年降雨參數蒐集並以 Tanaka et al. (1982) 模糊迴歸分析方法，提出一種研判在一場連續降雨過程中可能發生土石流之臨界雨量線，並以此作為試區內土石流發生之預警依據。本文用來評估土石流發生臨界雨量線之降雨參數，包括當日有效累積雨量 X_i 與有效降雨強度 Y_i 。並以每小時降雨強度指標為縱座標，降雨時間為橫座標，建立土石流可能發生的危險警示圖。建立歷年未發生土石流至有發生土石流的降雨指標線區間並劃分 $\tilde{Y}_{0,0}$ 、 $\tilde{Y}_{0,1}$ 區間表示危險等級為 I 級， $\tilde{Y}_{0,1}$ 、 $\tilde{Y}_{0,5}$ 區間表示危險等級為 I~III 級， $\tilde{Y}_{0,5}$ 、 $\tilde{Y}_{0,9}$ 區間表示危險等級為 III~V 級， $\tilde{Y}_{0,9}$ 、 $\tilde{Y}_{1,1}$ 區間表示危險等級為 V 級。應用本文之模式於南投縣信義鄉，分析兩場降雨事件過程中降雨參數 (X_i, Y_i) 值隨時間之變化，結果顯示本文之模式能有效呈現在一場連續降雨過程中土石流可能發生的危險等級隨時間的變化趨勢。

關鍵詞：土石流、模糊迴歸、危險等級。

一、前言

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海盆地板塊交界帶，地形陡峭，山高水急，河流下切與侵蝕作用強烈，地理位置處西太平洋亞洲大陸外緣，屬於亞熱帶海洋氣候，每年平均有 3.2 個颱風，颱風挾帶豪雨、山區雷陣雨、西南氣流雷雨、鋒面滯留造成之連續多日大雨等都是可引發土石流之因素。由於近年平地可利用土地經由高度開發，人們逐漸向山坡地遷居開發結果，使得土石流發生頻率規模有逐年增加趨勢，如能對土石流發生機制上有所瞭解在土石災害發生前能事先預知發生地點與時間提早疏散當地居民以避免造成居民生命財產的損失。

常發生土石流的區域有陡坡度山區或溪

谷兩側，因岩石受長期的風化侵蝕，當土石變得脆弱鬆軟再經大量雨水入滲之後，當坡面失去原支撐的力量而造成土石滑動。人為因素有山區道路的開闢、坡地的社區開發、山區礦場等所造成的廢棄土石，因不當棄置後，成為土石流的材料來源。

土石流(Debris Flow)最主要之特性是地表上大量岩屑及含有飽和水的土體與水混合成塑性狀之連續性體，流體運動時內部亦處於不斷變形狀態，因土體內之連續效應存在並受重力作用下而持續向下流動，土石流的形成有三個主要基本件：有豐富鬆散土石，大量的水源與可驅動土石加速之陡峻坡度(詹錢登, 1994)。當降雨強度達到尖峰時常產生大量地表沖蝕，特徵有流速快、泥砂濃度高、沖蝕力強、衝擊力大，短歷時激發，其

過程一般從幾分鐘至幾小時，土石流本身除了具水分以外，也含有大量的泥、砂、礫石及巨石等固體物質，其中固體物質所佔有之體積較高，且每立方公尺的重量也比較大，可看出土石流的運動特性不同於土體的崩塌運動與河道水流的輸砂現象，其具有部份固體及部份流體之特質。在流域內如未曾發生較大的地震其地質條件隨著不同時間是穩定的，但是當降雨條件的改變時會影響在流域內地層土壤狀況，而土壤條件受到降雨的影響是漸進的，其流域內土壤條件的變化往往決定於的降雨條件。

由於土石流常有爆發突然特性很難準確預測發生地點與時間，以過去臺灣各地發生土石流絕大部分原因都是由降雨所激發的，在形成土石流的要件中，水不僅是土石流體的重要成分，更是激發土石流的最直接因素因此可利用降雨條件來推估土石流潛勢溪流內土石流發生可能性的預警模式。

二、 降雨參數定義的回顧

水滲入坡面土壤後，減低土壤顆粒間之摩擦力與凝聚力，而增加土壤內孔隙水壓力因而降低土壤之有效應力，當水持續滲入土壤，孔隙水壓力逐漸上升，有效應力逐漸降低至零，土壤即產生液化現象，失去剪力強度，而形成塑性流動體，台灣屬亞熱帶地區，降雨是水分之主要來源，其降雨強度、降雨延、累積雨量、前期降雨等是影響水入滲與土壤含水量多寡之主要因素，亦將影響土石流發生之時間與規模。

過去常被用來分析土石流的降雨參數有降雨強度 I ，降雨延時 T 、累積雨量 R 及前期降雨量 P_0 等，不同的研究人員對採用這些降雨參數定義往往不盡相同。Keefner(1987)以降雨強度 I 及降雨延時 T 為指標所決定之土石流發生臨界降雨線(I - T 模式)。日本學者

Takahashi(1981)及國內學者謝正倫(1995)以有效降雨強度 I_e 、有效累積雨量 R_e 經由統計方法劃定地區發生土石流之臨界降雨線(I ~ R 模式)。詹錢登、曾奕超(2004)，以降雨強度及有效累積雨的關係作為評估土石流發生可能性的降雨指標(I ~ R 模式)，並以土石流可能發生機率觀點建立土石流發生降雨警戒值模式。吳積善等人(1990)以十分鐘降雨量及前期降雨量為兩大參數指標，建立雲南蔣家溝土石流發生之判別式，如網干(1972)利用土石流發生當日雨量即發生前14日之前期降雨量，建立土石流發生臨界降雨線等，前述幾種降雨警戒模式中，以 I ~ R 模式及 I ~ T 模式最常被使用。

三、 本文土石流降雨參數之定義

本文將歷年之雨資料進行降雨場的分割，將各個集水區雨量站資料依土石流發生與否分為發生土石流之降雨量，未發生土石流之降雨量。一場集中降雨事件在其前後24小時沒有降雨稱為一場連續降雨，土石流發生在一場降雨過程，一般定義土石流發生時刻在降雨事件的峰值時刻，以時雨量於4mm處為一場連續降雨開始時刻而以時雨量連續六小時均小於4mm處稱為該次降雨事件結束時刻，降雨開始時刻至降雨結束時刻為本次降雨延時，其所累積雨量為本次降雨累積雨量，再分別將各個發生土石流之降雨整理成連續雨量，有本次降雨定義為由開始降雨至降雨結束，本次降雨延時定義為由開始降雨時刻至降雨結束數時刻之延時。本次降雨有效時間為本次降雨開始至連續降雨過程中的某一時刻間的降雨延時。前期降雨為本次降雨開始時刻往前推算14天之間的降雨；前期有效累積雨量 P_e 為本次降雨事件中對土石流發生有間接貢獻之降雨。本次前段降雨累積雨量 R_e 為本次開始降雨至發

生土石流之前的某一時刻間的累積雨量是本次降雨事件中對土石流發生有直接貢獻之降雨。本次降雨有效降雨強度 I_e 為本次前段降雨累積雨量 R_e 除以有效時間 T_e ， $I_e = R_e / T_e$ 。本次降雨有效累積雨量 R_w ($R_w = P_e + R_e$)。一場連續降雨過程中發生土石流時刻之前的前期有效累積雨量 P_e 和前期降雨累積雨量 R_e 的降雨才是對該次土石流發生產生影響，而土石流發生時刻之後至土石流發生結束的時段內的降雨只能影響土石流發生後規模的大小，而土石流結束時刻以後的降雨對本次土石流的就再也沒有影響。

因本次降雨開始時刻之前的降雨，會影響土體的含水程度，對土石流的發生也有相當程度的影響，而越接近本次降雨事件的前期降雨對本次激發土石流的臨界短歷時降雨強度的影響越大；反之越遠離本次降雨事件的前期降雨對土石流短歷時激發降雨強度的影響越小，本文定義本次前段降雨累積雨量及本次降雨開始時刻之前14天的加權降雨量之和為影響土石流發生的有效累積雨量 R_w 。(t日雨量加權係數；本文取 $\alpha = 0.8$ ，為降雨開始前第t日之降雨量) 計算式如下：

$$P_e = \alpha^1 d_1 + \alpha^2 d_2 + \dots + \alpha^{14} d_{14} = \sum_{t=1}^{14} \alpha^t d_t$$

$$R_w = P_e + R_e$$

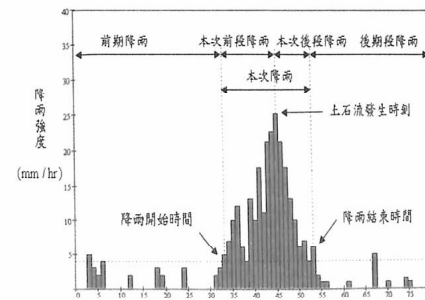


圖1 雨量分割方法示意圖(資料來源：詹錢登 2002)

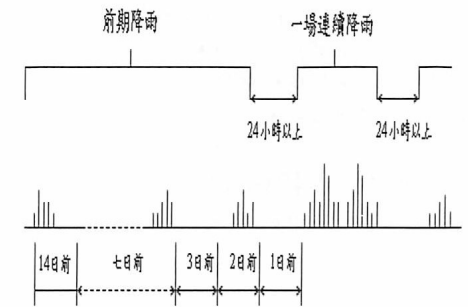


圖2 連續降雨和前期降雨示意圖(資料來源：謝正倫，1911)

四、 模糊迴歸模式

在科學研究過程中，常使用迴歸來描述自變數 X 和應變數 Y 之間的因果關係。傳統的迴歸分析均假設觀察值由實際應變數影響加上隨機誤差而產生。也就是說，應變數是一種帶有不确定性的隨機變數。不過在很多的實務應用上，往往無法滿足這樣的假設。例如有些應變數 Y 的觀察值並不是以單一數值形式存在而是帶有多重隸屬的特性。這些觀察值雖然帶有不确定性，但這種不确定性是來模糊現象而非隨機現象。為了改變傳統對統計資料的隨機觀點，以另一種角度來看待不确定性的問題，本文考慮用模糊觀點來取代隨機觀點。

Tanaka et al. 於1982 [19]年提出模糊迴歸分析(Fuzzy regression)，以衡量系統內的因果關係。根據Kim、Moskowitz及Koksalan [17]利用模擬分析比較統計迴歸與模糊迴歸的結果，認為由機率論所推展而得的統計迴歸模式在大樣本時其預測績效遠比可能性理論(Possibility theory)推演而得的模糊迴歸模式為佳。然而當資料量遞減或所構建的

模式適合性變差時(即變數間存在模糊關係)。則模糊迴歸模式的預測績效將優於統計迴歸模式。由於模糊迴歸模式在解決資料量少及系統關係模糊不清的問題上具有較佳之績效。

當變數間存在模糊關係時, Tanaka et al. 提出如 (1) 式之模糊迴歸方程:

$$\tilde{Y}_i = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_{i1} + \dots + \tilde{A}_N X_{iN} = \tilde{A} X_i \quad (1)$$

其中 $X_i = [X_{i0}, X_{i1}, \dots, X_{iN}]^T$ 為投入變數之向量 $\tilde{A} = [\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_N]^T$ 為模糊迴歸方程式之係數向量, 而迴歸係數可表示為一對稱三角模糊數 $\tilde{A}_j = (\beta_j, c_j)$, 而其隸屬函數 (Membership function) 如下(2)式表示其中 β_j 為此模糊數的中心值 (Central value) c_j 則為其散佈值 (Spread value)。[17]

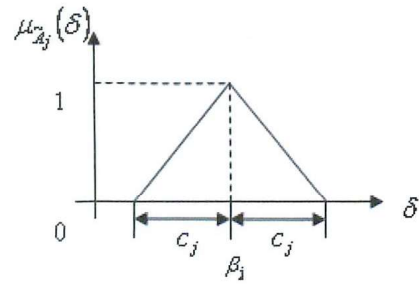


圖3 β_j 與 c_j 在 $\mu_{\tilde{A}_j}(\delta)$ 中的位值分佈

$$\forall j = 0, 1, \dots, N$$

$$\mu_{\tilde{A}_j}(\delta_j) = \begin{cases} 1 - \frac{|\beta_j - \delta_j|}{c_j}, & \beta_j - c_j \leq \delta_j \leq \beta_j + c_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

將(2)式代入(1)式並利用擴張原理 (Extension principle) [18], 可得模糊迴歸預測值 \tilde{Y}_i 的隸屬函數如(3)式。

$$\mu(Y_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|Y_i - X_i \beta|}{c^T |X_i|}, & X_i \neq 0, Y_i \neq 0 \\ 1, & X_i \neq 0, Y_i = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

模糊迴歸分析是在要求每一個觀測值 Y_i 隸屬於模糊迴歸區間的隸屬程度至少 h 的情況之下, 尋求最小的模糊迴歸預測區間, 如 (4) 式表示

$$1 - \frac{|Y_i - X_i \beta|}{c^T |X_i|} \geq h, \quad \forall i = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

在要求模糊程度 $c_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$ 最小的目標之下此觀念可由下列線性規劃模式表現出來[19]:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{j=0}^N c_j \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_{j=0}^N \beta_j X_{ij} + (1-h) \sum_{j=0}^N c_j |X_{ij}| \geq Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ & \sum_{j=0}^N \beta_j X_{ij} - (1-h) \sum_{j=0}^N c_j |X_{ij}| \leq Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ & c \geq 0, \beta_j \in \mathbb{R}, \\ & \forall j = 0, 1, \dots, N, X_{i0} = 1, \quad 0 \leq h \leq 1 \end{aligned} \quad (5)$$

因(5)式可求解 β_j 及 $c_j, \quad j = 0, 1, \dots, N$, 故(1)式可重寫成(6)式

$$\tilde{Y}_i = (\beta_0, c_0) + (\beta_1, c_1) X_{i1} + \dots + (\beta_N, c_N) X_{iN} \quad (6)$$

在將獨立變數 X_i 之值帶(6)式之後則可獲得預測之模糊值 \tilde{Y}_i , 因模糊迴歸數 \tilde{A}_j 為一對稱的三角模糊數, 故 \tilde{Y}_i 亦為一三角對稱的模糊數表示為 $\tilde{Y}_i = (Y_i^{h=1}, c^T X_i)$ $i = 1, 2, \dots, M$ 其中 $Y_i^{h=1} = \beta^T X_i$ 為 \tilde{Y}_i 之中心值 (Central value) 而 $c^T X_i$ 為散佈值 (Spread value) 代表 \tilde{Y}_i 之模糊程度。其中 $c^T = (c_0, c_1, \dots, c_N)$, $\beta^T = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_N)$

五、研究區域

陳友蘭溪位於南投縣境內, 是濁水溪流域中為最重要的支流之一, 自南向北流, 東側為雪山山脈、西側西部麓山帶, 是一北窄南寬之狹長型集水區, 集水區面積約為 44,800 公頃, 其行政範圍分屬於信義鄉、水里鄉、鹿谷鄉。

在水系分布方面, 陳友蘭溪發玉山北麓, 集合阿里山山脈東坡之和社溪郡大山脈, 西坡之水, 在同富會流北上, 於水里的東側與濁水溪主流會合。主要支流有郡坑溪十八重溪、坪瀨溪、筆石溪、和社溪、出水溪及沙里仙溪等 28 條。

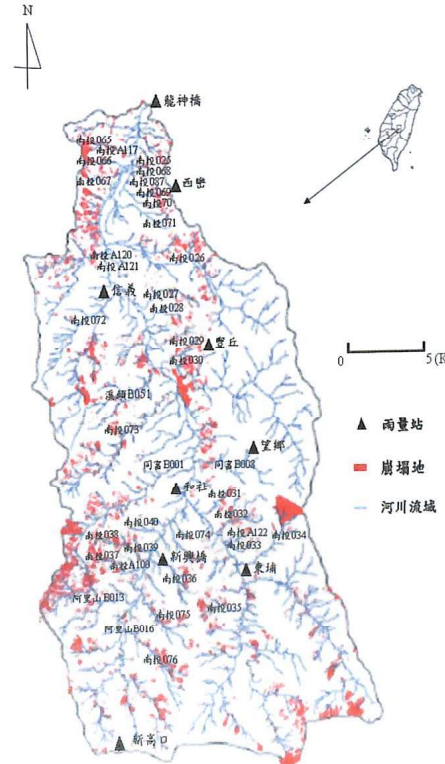


圖4 陳友蘭溪試區地理位置

表1 陳友蘭溪流域雨量站

所屬流域	雨量站名稱	雨量站座標(TM2)	
濁水溪流域	龍神橋	236,015	2,630,736
濁水溪流域	西營	237,283	2,628,112
濁水溪流域	信義	234,107	2,618,609
濁水溪流域	東埔	241,898	2,612,828
濁水溪流域	豐丘	236,086	2,618,609
濁水溪流域	望鄉	241,839	2,612,828
濁水溪流域	和社	237,598	2,610,181

臨界雨量線之求法:

選取分析之集水地區, 調查流域歷年各場降雨事件中土石流發生與否, 在確定土石流之發生與未發生後, 進一步收集相關雨量站之料, 以其中曾引發土石流之降雨資料和未發生土石流之雨量資料, 因未發生土石流之雨量資料佔有較大部分, 故本文僅收集未發生土石流的降雨之有效累積雨量超過 80mm 以上之降雨量資料進行分析。以線性規劃技巧觀測值 Y_i 隸屬於模糊迴歸區間的隸屬程度至少 h 情況, 尋求一細能將模糊數樣本即是 A 線-B線區間的有效累積雨量及有效降雨強度 (X_i, Y_i) , 全部包括的最小模糊區間, 再將三角形隸屬函數套用在此區間上, 如此便可求得一組模糊迴歸估計式。

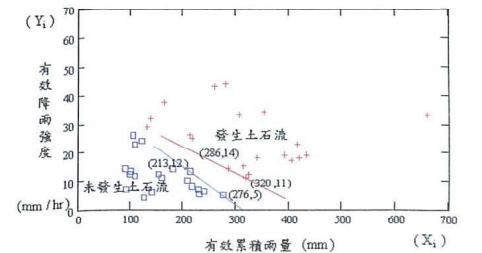
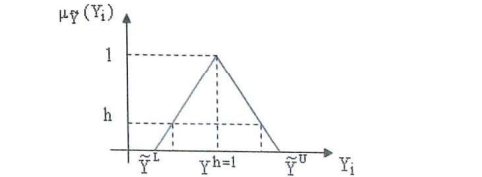


圖5 近15年陳友蘭溪流域災害雨量資料



$$\tilde{Y}_i^L = a^L + b^L X_i \quad Y_i^{h=1} = a + b X_i \quad \tilde{Y}_i^U = a^U + b^U X_i$$

圖6 對稱三角形隸屬函數

h值一般經驗取0.1-0.5本文採中間值0.3。

∴ \tilde{Y}^L 與 \tilde{Y}^U 互為相依方程式。

$$\frac{Y_i - Y^{h=1}}{\tilde{Y}^U - Y^{h=1}} = \frac{14 - a - 286b}{a^U + 286b^U - a - 286b} = 0.7 \quad (7)$$

$$\frac{Y_i - Y^{h=1}}{\tilde{Y}^U - Y^{h=1}} = \frac{11 - a - 320b}{a^U + 320b^U - a - 320b} = 0.7 \quad (8)$$

(213,12)

$$\frac{Y^{h=1} - Y_i}{Y^{h=1} - \tilde{Y}^L} = \frac{(a+213b)-12}{(a+213b) \cdot [(2a-a^U) + (2b-b^U) \cdot 213]} = 0.7 \quad (9)$$

$$\frac{Y^{h=1} - Y_i}{Y^{h=1} - \tilde{Y}^L} = \frac{(a+276b)-5}{(a+276b) \cdot [(2a-a^U) + (2b-b^U) \cdot 276]} = 0.7 \quad (10)$$

(7)(8)(9)(10)式解聯立方程式得a,b,a^U,b^U各值的方程式

$$\tilde{Y}^U = 40 - 0.08X$$

$$Y^{h=1} = 37.469 - 0.1X$$

$$\tilde{Y}^L = 34.938 - 0.12X$$

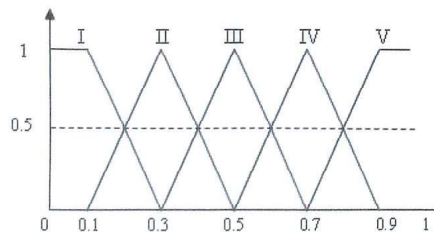


圖7 危險等級三角形隸屬函數

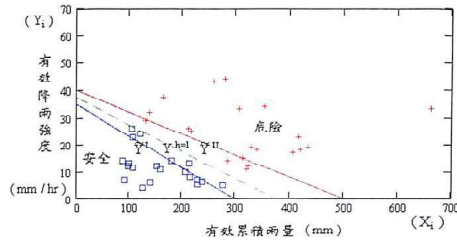


圖8 臨界雨量線隸屬函數

表2 土石流預警危險度評判等級

危險度評判等級	受災情形
I 級	安全狀況
II 級	危險警戒狀況
III 級	土石流可能發生
IV 級	土石流隨時可能發生
V 級	土石流已發生

建立臨界雨量線區間之隸屬函數：

$$\mu(X_i, Y_i) = \begin{cases} 0 & Y_i \leq \tilde{Y}_0 \\ Z_1(X_i, Y_i) & \tilde{Y}_0 < Y_i < \tilde{Y}_{0.1} & Z_1(X_i, Y_i) = \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_0}{\tilde{Y}_{0.1} - \tilde{Y}_0} \right) \cdot 0.1 \\ 0.1 & Y_i = \tilde{Y}_{0.1} \\ Z_2(X_i, Y_i) & \tilde{Y}_{0.1} < Y_i < \tilde{Y}_{0.5} & Z_2(X_i, Y_i) = \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_{0.1}}{\tilde{Y}_{0.5} - \tilde{Y}_{0.1}} \right) \cdot 0.4 + 0.1 \\ 0.5 & Y_i = \tilde{Y}_{0.5} \\ Z_3(X_i, Y_i) & \tilde{Y}_{0.5} < Y_i < \tilde{Y}_{0.9} & Z_3(X_i, Y_i) = \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_{0.5}}{\tilde{Y}_{0.9} - \tilde{Y}_{0.5}} \right) \cdot 0.4 + 0.5 \\ 0.9 & Y_i = \tilde{Y}_{0.9} \\ Z_4(X_i, Y_i) & \tilde{Y}_{0.9} < Y_i < \tilde{Y}_1 & Z_4(X_i, Y_i) = \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_{0.9}}{\tilde{Y}_1 - \tilde{Y}_{0.9}} \right) \cdot 0.1 + 0.9 \\ 1 & Y_i \geq \tilde{Y}_1 \end{cases}$$

$$\tilde{Y}_0 = 34.315 - 0.138X$$

$$\tilde{Y}_{0.1} = 34.938 - 0.12X$$

$$\tilde{Y}_{0.5} = 37.469 - 0.1X$$

$$\tilde{Y}_{0.9} = 40 - 0.08X$$

$$\tilde{Y}_1 = 40.625 - 0.075X$$

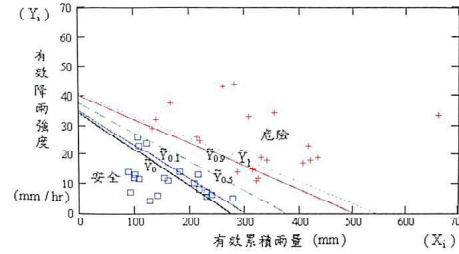


圖9 陳友蘭流域臨界雨量線之隸屬函數

實例驗證一：1996年7月31日，賀伯颱風侵臺試區位置：南投縣信義鄉和社四號溪發生土石流案例。

土石流發生時間：民國85年8月1日(0:00~01:00)

雨量站：中央氣象局和社雨量觀測站

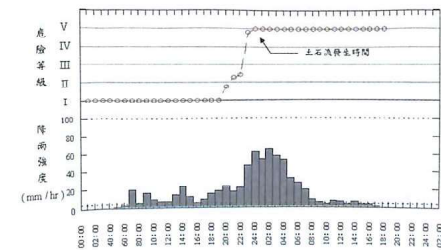
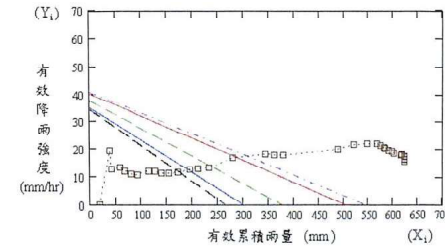


圖10 1996年7月31日00~8月2日02時，賀伯颱風降雨指標及土石流發生可能性隨時間之變化。

實例驗證二：2001年7月30日，桃芝颱風侵臺

試區位置：南投縣信義鄉埔東二號橋發生土石流案例。

土石流發生時間：2001年7月30日(0430~0530)

雨量站：中央氣象局望鄉雨量觀測站

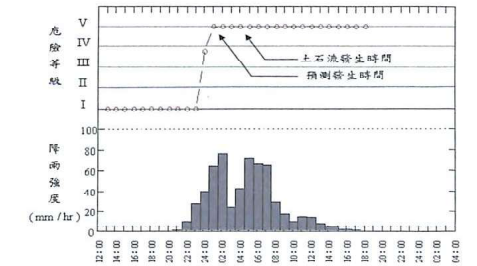
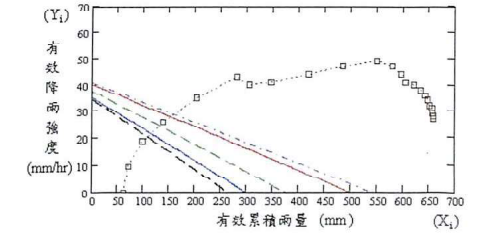


圖11 2001年7月29日1400~7月31日0400，桃芝颱風降雨指標及土石流發生可能性隨時間之變化。

表3 陳友蘭溪集水區歷年土石流發生資料

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
平坑	南投 025	民國 85 年 8 月 1 日 2-3 時	賀伯颱風
南投 028	南投 028	民國 85 年 8 月 1 日 1-2 時	賀伯颱風
丘豐國小	南投 029	民國 75 年 8 月 22 日 1850	韋恩颱風
		民國 85 年 7 月 31 日 11-12 時 民國 87 年 8 月 4 日 1300	賀伯颱風 奧托颱風

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
十八重溪	南投030	民國75年8月22日1850	韋恩颱風
		民國85年7月31日11~12	賀伯颱風
		民國87年8月4日1300	奧托颱風
東埔一號橋	南投031	民國75年8月22日4~5時	韋恩颱風
和社四號溪	南投037 南投A100	民國85年8月1日0~1時	賀伯颱風
桐子林橋	南投040	民國85年8月1日0~1時	賀伯颱風
火燒寮坑	南投067 南投A087	民國85年7月31日	賀伯颱風
南平坑	南投068	民國85年8月1日2~3時	賀伯颱風
郡安橋	南投069 南投070	民國85年7月31日	賀伯颱風
上安橋	南投071	民國85年7月31日	賀伯颱風
筆石溪	南投073	民國85年7月31日	賀伯颱風
出水溪	南投076	民國85年8月1日 民國87年5月9日	賀伯颱風 豪雨
神木村六鄰	阿里山B016	民國86年9月1日	豪雨
平坑	南投025	民國89年6月12日 民國90年7月30日	豪雨 桃芝颱風
郡坑溪	南投026	民國90年7月30日	桃芝颱風
九層橋	南投027	民國90年7月30日	桃芝颱風
南投028	南投028	民國90年7月30日	桃芝颱風
豐丘國小	南投029	民國89年5月1日	豪雨
		民國89年6月12日	豪雨
		民國89年7月20日17時	豪雨
		民國90年7月30日	桃芝颱風
		民國90年8月10日 民國91年5月31日 民國91年7月3日	豪雨 豪雨 豪雨

集水區名稱	發生溪流	發生時間	致災原因
十八重溪	南投030	民國90年7月30日	桃芝颱風
東埔一號橋	南投031	民國90年7月30日0430~0530	桃芝颱風
東埔二號橋	南投032	民國90年7月30日0430~0530	桃芝颱風
沙里仙橋	南投033 南投A122	民國90年7月30日7時	桃芝颱風
八頂溪	南投034	民國90年7月30日	桃芝颱風
烏乾坑溪	南投035 同富B022-1	民國90年7月30日	桃芝颱風
南投036	南投036	民國90年7月30日	桃芝颱風
和社四號溪	南投037	民國89年4月28日14時 民國90年7月30日	豪雨 桃芝颱風
和社三號溪	南投038	民國90年7月30日	桃芝颱風
桐子林橋	南投039 南投074	民國90年7月30日	桃芝颱風
米籠坑	南投065 南投A117	民國90年7月30日7時	桃芝颱風
竹子腳坑	南投066	民國89年4月1日20時	豪雨
		民國89年6月12日	豪雨
		民國90年6月6~7日 民國90年6月16日15時 民國90年7月30日	豪雨 豪雨 桃芝颱風
南平坑	南投068	民國90年7月30日	桃芝颱風
郡安橋	南投069 南投070	民國89年7月20日18~19時	豪雨
		民國90年7月30日7時	桃芝颱風
上安橋	南投071	民國90年7月30日1900	桃芝颱風

六、 結論與建議

由上述資料分析，結果分述如下：

1. 由實例驗證一得到，預測土石流發生時間與實際土石流發生時間是符合的。實例驗證二，得到預測土石流發生時間與實際土石流發生時間提早2個多小時。
 2. 本文僅採用降雨量參數做評判，對於各地土石流潛勢溪流的地質地形條件，穩定條件的往往不盡相同，因此激發土石流所需之雨量也可能不同，即使是同一區域每次土石流發生時的當次降雨量也有所不同。
 3. 土石流發生與否因本身所具有的不確定性，但實例驗證二也能預測土石流的發生，也可觀察到只要降雨強度持續增強其危險等級能在短時間內由級升至級的短歷時激發土石流效應，所以在土石流防災上應經由氣象局單位的降雨預報提早疏散當地居民以避免造成生命財產的損失。
- 避免災害之建議分述如下：
1. 如何準確推估兩個待定係數a, b, 應收集具有代表性的隸屬函數樣本，以建立土石流發生之臨界降雨線區間的每一隸屬函數。
 2. 對於在土石流發生不多的地區或是缺乏土石流發生降雨資料的地區而言，要所謂具有代表性的隸屬函數樣本應該是以模糊數的形式存在，所以本文採用樣本模糊數來估計模糊雨量參數(X_i, Y_i)，若要精進需要持續蒐集各潛勢溪流區域具代表性降雨量資料，並考慮加入地文因子參數進一步研究發展出更準確適合的綜合評判預警模式。

七、 參考文獻

1. 王小璠、曹銳勤，(1999)年「模糊迴歸模

式之構建與分析」，清華大學工業工程與工程管理學系博士論文，頁6-15。

2. 范正成、彭光宗(1998)「土石流危險因子與臨界雨線關係之研究」，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
3. 曾奕超、詹錢登，「土石流發生降雨地文綜合警戒指標之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所，1994。
4. 周憲德、姚善文，(2001)「土石流發生之水文特性探討」國立中央大學土木工程學系碩士論文。
5. 陳文福、李毅宏、吳輝龍，(2005)「結合地文與降雨條件以判定土石流發生之研究」臺灣地理資訊學刊第二期。
6. 姜善鑫、劉雲漢，(2001)「土石流發生之空間特性研究—以陳有蘭溪集水區為例」國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文。
7. 模糊理論及其應用 劉普實、吳孟達編著 中國國防科技出版社1998年8月第一版，頁13-25。
8. 蓋墟，民國80年11月「實用模糊數學」亞東書局，臺北。
9. 謝季堅，劉承平2000年「模糊數學方法及其應用」，華中科技出版社年5月第二版，頁29-37，武漢。
10. 王安培、劉政良，民國89年七月「土石流危險度之分析」第十一屆水利工程研討會論文集。
11. 行政院農業委員會水土保持局92年度土石流防災暨監測科技計畫成果彙編「土石發生區位與颱風降雨分佈之研究」。
12. 江永哲、林啟源(1991)土石流之發生雨量特性分析，中華水土保持學報22(2): 21-37。
13. 詹錢登、吳雲端 「土石流潛勢分析及其在臺南縣之應用」國立成功大學水利及海洋工程研究所(1999)。

14. 王景南 (2000)「模糊迴歸分析在籃球比賽攻防技術之應用」國家科學委員會研究彙刊, 人文及社會科學十卷三期, 頁 289-294。
15. Tanaka, H., S. Uejima and K. Asai, "Fuzzy linear model, fuzzy linear regression model," IEEE Transactions System, Man and Cybernet, 12, 903-907 (1982).
16. Kim, K. J., H. Moskowitz and M. Koksalan, "Fuzzy versus statistical linear regression," European Journal of Operational Research, 92, 417-434 (1996).
17. Zadeh, L. A., "The concept of a linguistic variable and its application to approximat reasoning I," Information Science, 8, 199-249 (1975).
18. Tanaka, H., S. Uejima and K. Asai, "Fuzzy linear model, fuzzy linear regression model," IEEE Transactions System, Man and Cybernet, 12, 903-907 (1982).

The Fuzzy Regression Applied to The Critical Rainfall Line of The Debris Flow Occurrence

Horng-Yu Yang¹ Chien-Chien Chen²

¹ Associate Professor of the Master Section of Civil Disaster Prevention and Management

² Master of the Master Section of Civil Disaster Prevention and Management

Abstract

This article took the Chen-Iuo-Lan stream catchment basin of Nantou County as the research object, and collected rainfall parameter through all previous years, and by using Tanaka et al.(1982) the Fuzzy Regression analysis method to propose one way which could forecast the critical rainfall line of the Debris Flow possible occurrence during a continuous rainfall process; and this research could be used as precaution of Debris Flow possible occurrence basis in a experimental area.

This article is to appraise rainfall parameter of the Debris Flow occurrence critical rainfall line including the day of effective accumulated rainfall X_i and effective rainfall intensity Y_i . The criterion of rainfall intensity per hour is as the Y-coordinate, and the duration of rainfall is as the X-coordinate. That could establish the precaution chart which Debris Flow possibly occurs. Using the criteria of rainfall in between none of any Debris Flow for years till Debris Flow occurrence, it had been divided into different risky levels; in between $\tilde{Y}_0 \sim \tilde{Y}_{0.1}$ the risky grade is level I; in between $\tilde{Y}_{0.1} \sim \tilde{Y}_{0.5}$ the risky grade is level I ~ III; in between $\tilde{Y}_{0.5} \sim \tilde{Y}_{0.9}$ the risky grade is level III ~ V; in between $\tilde{Y}_{0.9} \sim \tilde{Y}_1$ the risky grade is level V. With applying the pattern of this article in Shin-Yi Town of Nantou County, this research had analyzed the rainfall parameter (X_i, Y_i) would be changed as the time changed in two rainfall events. The result showed that the pattern of this article could effectively present that in a continuous rainfall process the possible risky grade of Debris Flow occurrence would depend on the time change.

keyword: Debris Flow, Fuzzy Regression, estimation of dangerous rank.