

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作 品 名 稱：神經妙算流博村-是洪水？是山崩？

得 獎 獎 項：佳作

學 校 / 作 者：臺中市私立衛道高中(附設國中) 林昀蓓

作者簡介



小學時，假日經常與家人一起登山健行，有幸與台中縣登山會接觸，就像習慣的養成一般，對大自然的熱愛與日聚增。上國中後，結合休閒與學術，與一群登山同好一起參與科學主題探討，吸收知識及實驗觀察的方法。這個研究報告的完成，除了感謝指導老師審稿及實驗指導外，要特別感謝台中市四張犁國中林金直老師帶我們一起在山林間觀察自然現象。

Abstract

Lemidi hotel, Xitou, Nantou because mudflows and landslides and was wounded in 2001. The Insurance Company refused to settle a claim on the position on “A landslide is a debris flow”. After the lawsuit which was going through 5 years. In January, 2007, the High Court of Taiwan asserted that the adversity in the 2001 belongs to “the flood” in the norm of the insurance agreement. As the norm of the insurance agreement said, the debris flows in the land is the flood, not the “landslide”. The High Court of Taiwan judged that the Insurance Company should compensate the Lemidi Hotel. Is debris flow a landslide or a flood? The main cause is the Hydrology in the happening of a debris flow. We did preliminary analysis of forms by on-the-spot investigation on Song-Ho Village and reference discussing. We realized that physiographical factor is an abundant condition for a happening of a debris flow, not the essential condition. Generally, people only consider rainfall factor. And they consider physiographical factor as not as constant (neglect the influence of hydrology factor to physiographical factor). We can understand easily in that way. Therefore, in the aspect of security and economy, there is much doubt that is needed to be discussed. People who use neural network method to calculate the curve of the debris flow happening, and used fuzzy theory to calculate the curve of the debris flow happening which is influenced by the hydrology in Song-Ho Village. In that way, we may consider more thoughtful. From the example of the Lemidi Hotel in Nantou, we can prove that how necessary the hydrology factor in the debris flow is.

摘 要

南投溪頭米堤飯店在 2001 年因土石流受創，產險公司以「土石流即是山崩」為由拒絕理賠。歷經 5 年的訴訟後，2007 年 1 月台灣高等法院認定，土石流屬保險契約中所規範的「洪水」，並非「山崩」，判決產險公司應給付賠償金。土石流究竟是洪水？是山崩？主要因素便是土石流發生的水文因子。本文藉由博愛村的現場調查及文獻探討先作初步資料分析（preliminary analysis），了解到地文因子(physiographical factor)是土石流發生的充分條件，非必要條件；一般僅考慮雨量因子，把地文因子看作常數（忽略地文因子受水文因子歷程(course)影響），簡單易懂，但在安全與經濟考量上有待討論。使用類神經網路對已發生過的土石流事件計算土石流發生臨界曲線，並使用模糊理論計算松鶴地區其受水文因子影響的土石流發生臨界曲線，這樣的模式，考慮似乎比較周到。由「米堤飯店」的例證，更說明土石流發生的水文因子的必要性。

一、研究動機

假日經常隨家人登山健行，親眼目睹台灣山崩情形嚴重，遇豪雨就發生土石流。2004年七月小學畢業典禮後，一群師生到仁愛鄉碰到土石流搭直昇機歷劫歸來；於是與一群登山愛好者對松鶴土石流災區展開了解，我們的團隊也發表相關結果，如參考資料 6 和 11。年初，台灣高等法院審理米堤飯店賠償案省思，又引發探索土石流雨量因子興趣。經分析後發現，地文因子是土石流發生的「空間」條件；水文因子則是土石流發生的「時間」條件，兩者之間常有因果關係；近年來，松鶴部落每值颱風侵襲，總是發佈土石流警訊。所以，決定以 2004 年敏督利颱風期間(7 月 2 日~7 月 4 日)松鶴水土保持區為試區，如圖(5)；藉此也讓我們了解災區復育情形；並持續關心大甲溪沿岸的生態。

二、研究目的

松鶴部落附近每遇豪大雨，總是釀成災害，耗費人力與社會資源甚巨。本文使用模糊理論及以類神經網路求得的地文因子，針對土石流發生之水文因子進行計算分析。以雨量因子為 X 座標，地文因子為 Y 座標，建立的土石流發生臨界曲線，並與文獻 1 所計算得到之土石流發生臨界曲線比較；評估這個預警方法的可行性。

三、研究方法

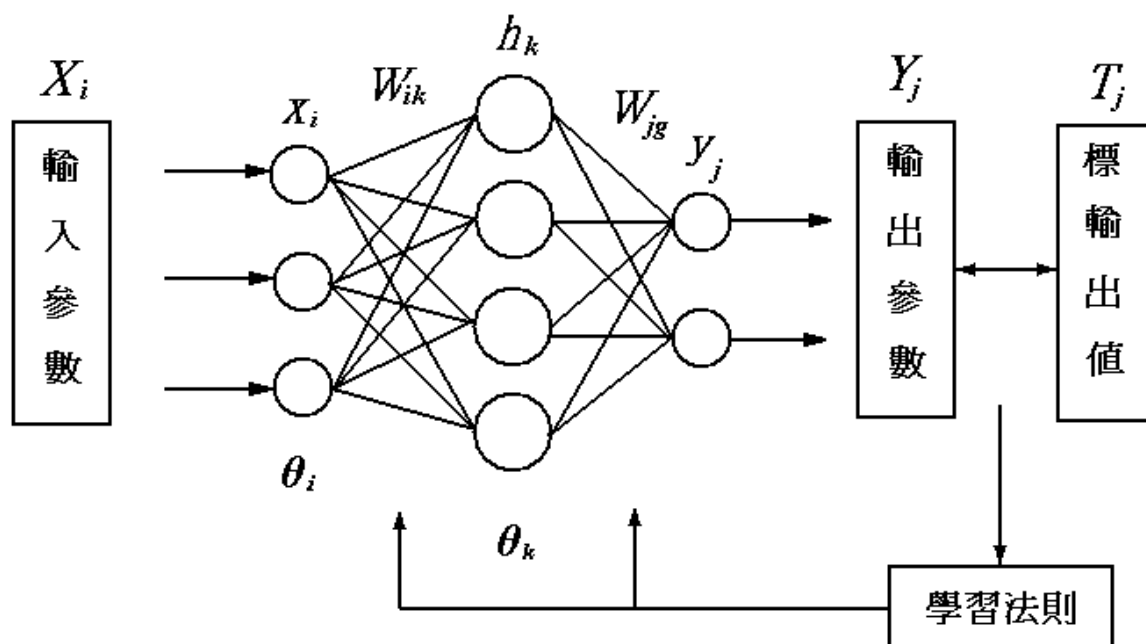
倒傳遞類神經網路基本結構分為四部份，如圖(1)，敘述如下：

- (1)輸入層：用以表現網路的輸入變數，其處理單元數目依問題而定，網路之訊號便是由此輸入，而其中每個神經元使用線性活化函數。
- (2)隱藏層：用以表現輸入處理單元間的交互影響，其處理單元數目並無標準方法可以決定，經常需要以試誤法決定其最佳數目，而每個神經元使用非線性活化函數。
- (3)輸出層：用以表現網路的輸出變數，其處理單元數目依問題而定，網路最終訊號便是由此輸出，而每個神經元使用非線性或線性的活化函數。
- (4)加權值：一般而言，訓練類神經網路的最終目的，就在於求出這些加權值的最佳值，以使類神經網路系統的輸入及輸出能形成某種特定的函數關係。

倒傳遞類神經網路最常使用的非線性活化函數為雙彎曲函數(sigmoid function)，此種函數當自變數趨近於正負無限大時，函數值趨近於常數，而其函數值介於0 與1之間，所以適用於倒傳遞類神經網路學習演算法，而且函數值與本研究之目標值相同介於0 與1 之間，因此本研

究建構網路時，隱藏層神經元採用此種活化函數。其計算式如下：

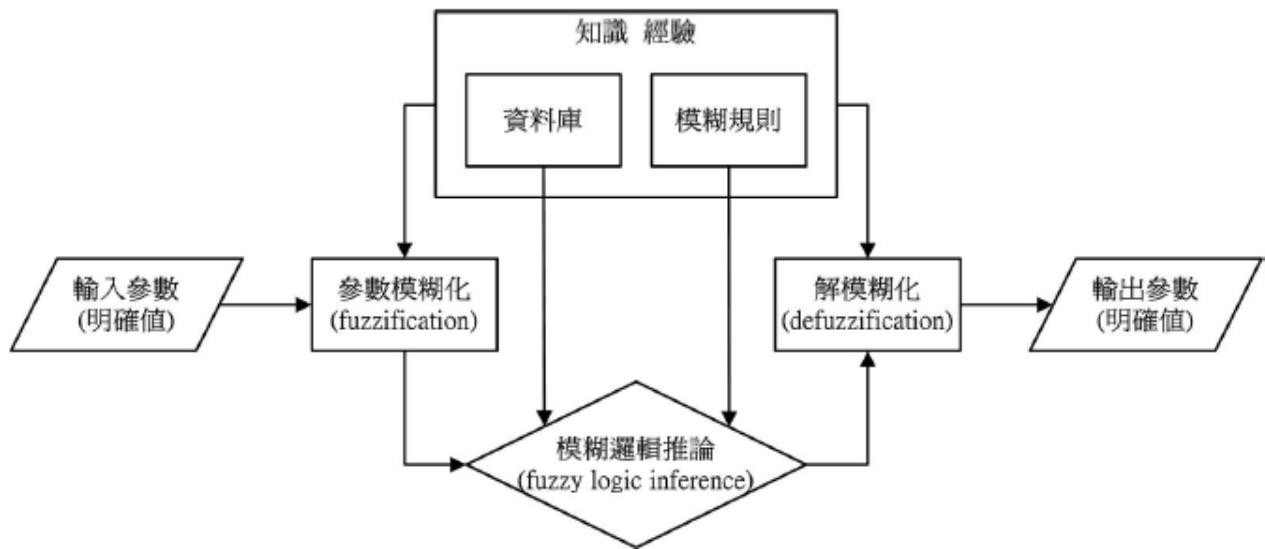
$$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$$



圖(1) 倒傳遞類神經網路基本結構

整個模糊集計算流程如圖(2)所示，其步驟為：

- (1)決定各個輸入以參數之歸屬函數，通常使用三角形或是常態分佈形歸屬函數。因為三角形之計算較常態分佈形簡單，而且計算出來結果相差不大，所以三角形歸屬函數較為人所採用，本研究亦以三角形歸屬函數建立歸屬函數圖，結果顯示出有相當不錯之成果。
- (2)將輸入參數之明確值透過歸屬函數得到各語言變數之歸屬度值。
- (3)依專家經驗建立模糊推論之規則，並將前項之輸入參數模糊數值透過模糊推論，得到目標輸出之模糊輸出。
- (4)將模糊輸出值經由解模糊化的方式，得到目標輸出之明確輸出。



圖(2) 模糊集計算流程圖

四、研究過程

(一)文獻探討與現地調查

1.試區地理位置及地質狀況概述

農委會水土保持局編號 003 之土石流潛勢溪(松鶴一溪)位於松鶴部落境內，行政區屬於台中縣和平鄉博愛村，如圖(3)，是台 8 線(中部橫貫公路)通車後形成的聚落。南側為唐麻丹山，東面是八仙山，皆為中央山脈合歡支稜的延續丘陵地，也是松鶴一溪主要集水區；北鄰東卯山東南方，屬於雪山山脈大雪山支脈的範圍。雪山地壘以雪山為中心，呈放射狀分歧，大雪山稜脈為主稜，其地質概況南部為始新世白冷層，北部為四稜砂岩。四稜砂岩分布於縣內大甲溪岸南勢、白冷南北兩側，南勢斷層以東之大、小雪山山脈，及水長流東側阿冷附近之白狗大山山脈，形成狹長帶狀。本層主由石英質砂岩、粘板岩及頁岩所成，如圖(4)。

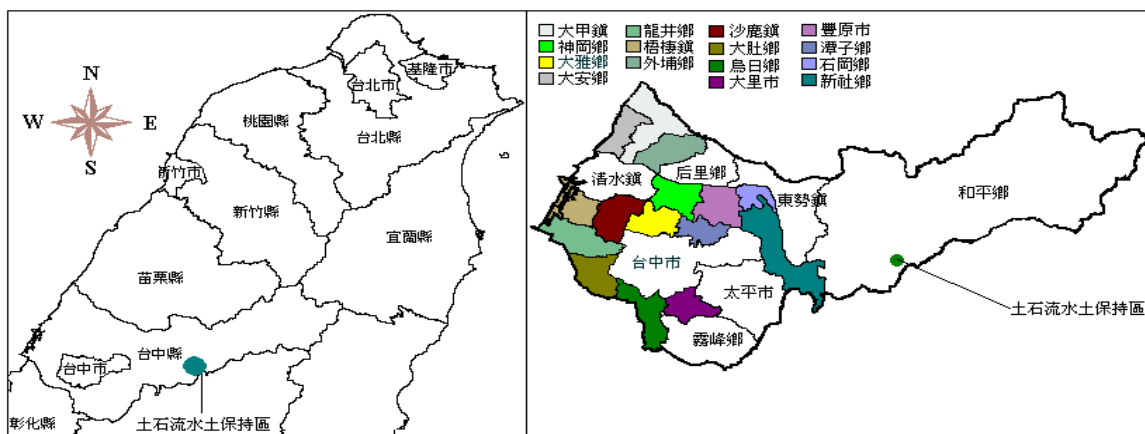
2.高程與坡度坡向分析

松鶴一溪集水區地勢走向是南高北低、東高西低。溪流全長 3401 公尺，有效集水面積 434.61 公頃，集水區高程介於標高 700-2800 公尺間，溪床坡度在百分之三十以上之上游集水區面積約 274.01 公頃，集水區上游崩塌面積為 20.316 公頃，如圖(5)。高程如圖(6)、坡度如圖(7)。

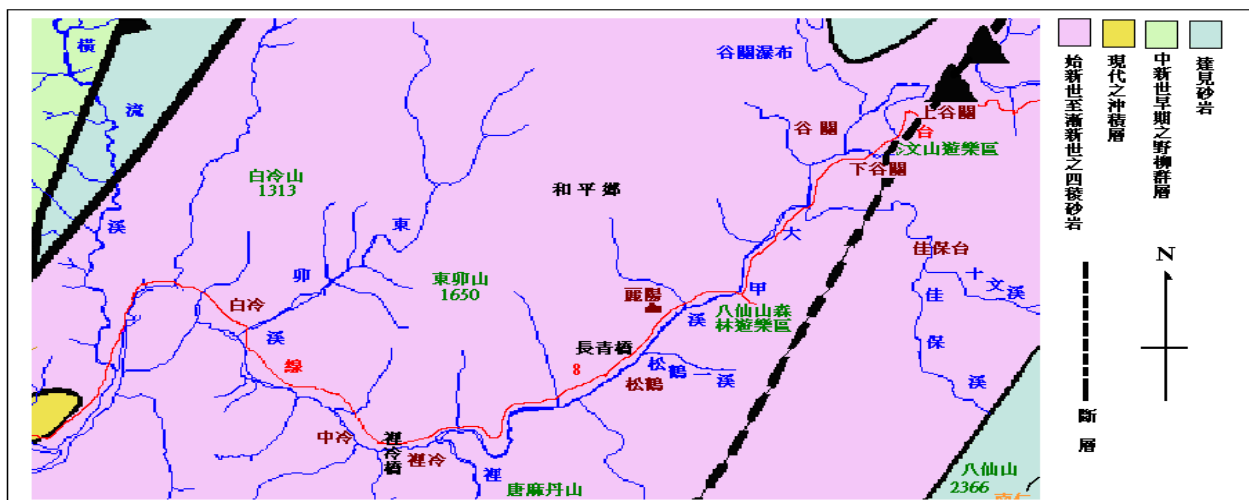
3.生態、土壤與植被分析

生態種類隨海拔高度的不同而有所差異，冷溫帶針葉樹林(2500~3000 公尺)，植被樹種以台灣雲杉、台灣鐵杉為主；鳥類以火冠戴菊鳥、星鴉、栗背林鴉、灰鸞等(分佈在海拔 2500 公

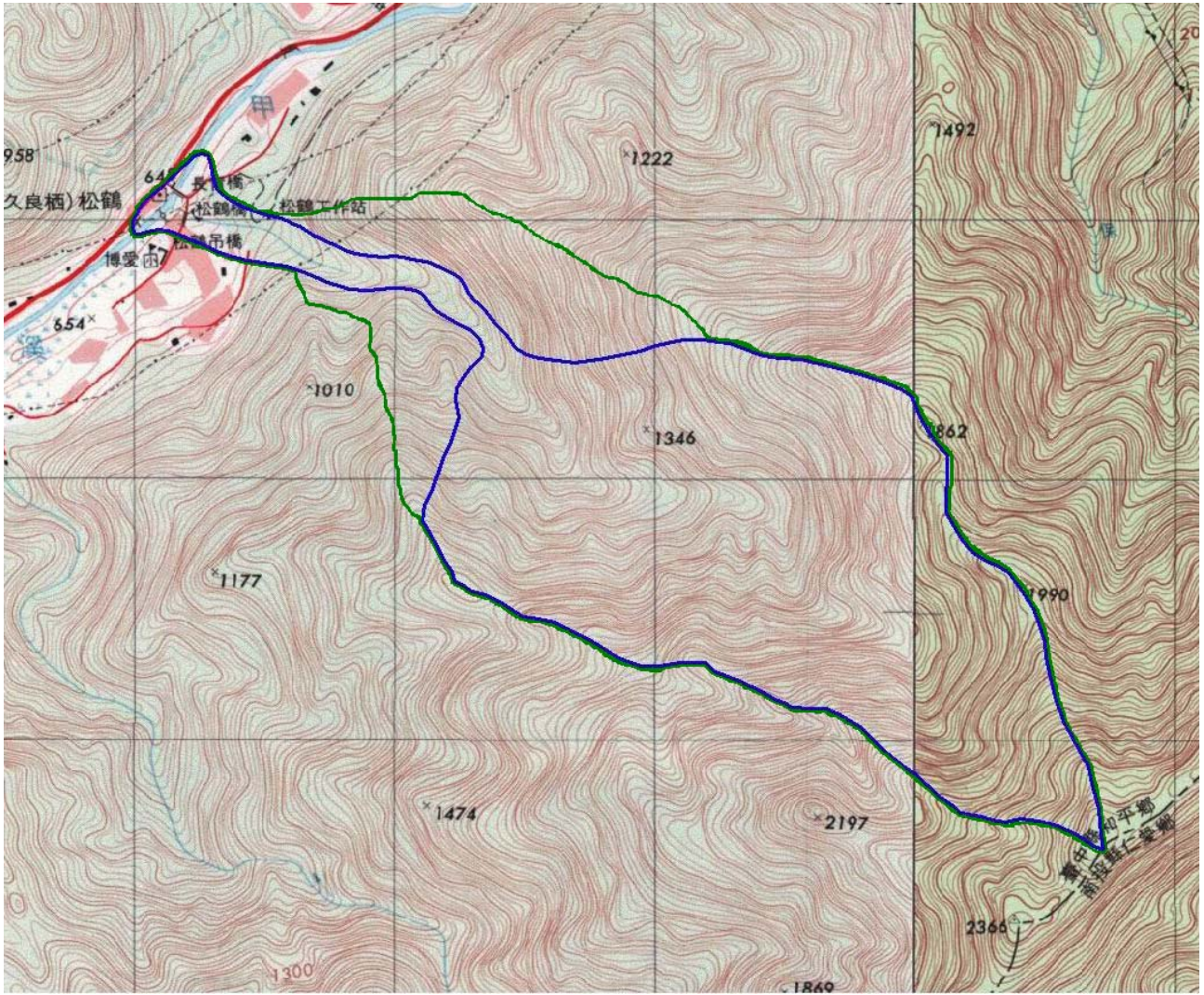
尺以上)為代表；此區常見蝶類為玉山蔭蝶及永澤蛇目蝶。暖溫帶山地針葉樹林(1500~2500公尺)之樹種以紅檜、扁柏為主；其鳥類以山雀科、畫眉科為主(如黃山雀、紅頭山雀、紋翼畫眉、黑長尾雉和綠啄木等)；本區蝶類最具代表性的是曙鳳蝶、雙環鳳蝶、黃鳳蝶、昇天鳳蝶、淡青胡麻斑小灰蝶、綠豹斑蝶、三角峰小灰蝶等。暖溫帶山地闊葉樹林(700~1500公尺)，植被樹種以樟科及殼斗科植物為主；鳥類則以黃胸藪眉、深山竹雞、白耳畫眉、冠羽畫眉、青背山雀及烏頭翁為主；而蝶類以綠小灰蝶、另斑鳳蝶、黃星鳳蝶、拉拉山三線蝶、西藏綠一字蝶、阿里山小灰蝶、紋黃粉蝶、寬尾鳳蝶及大紫蛺蝶為其代表。亞熱帶山地闊葉樹林(700以下)，植被樹種則以榕樹，筆筒樹，大葉楠為主。植物種類繁多，共計有九芎、三葉山香圓、千金藤、山芋、太魯閣櫟、玉山杜鵑、尖葉耳蕨、南投菝葜、臺灣肺形草等229種；鳥類以朱鷲、五色鳥和台灣藍鵲等；蝶類則以青斑蝶、小青斑蝶、姬小紋青斑蝶、小紋青斑蝶、淡小紋青斑蝶、琉球青斑蝶等為代表。土壤與植被，如圖(8)。



圖(3) 地理位置

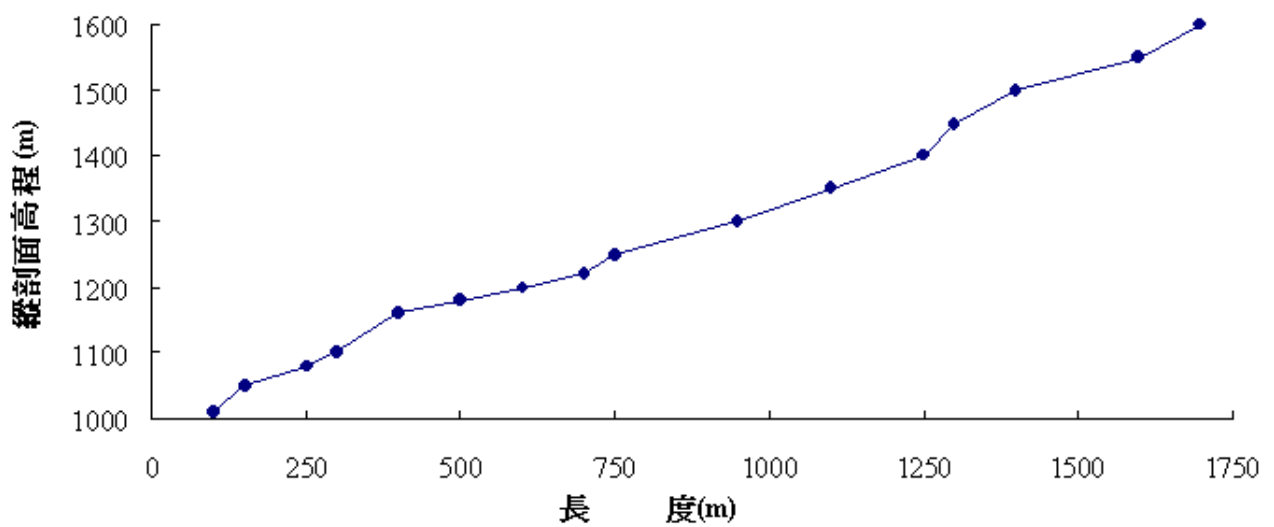


圖(4)地質概況

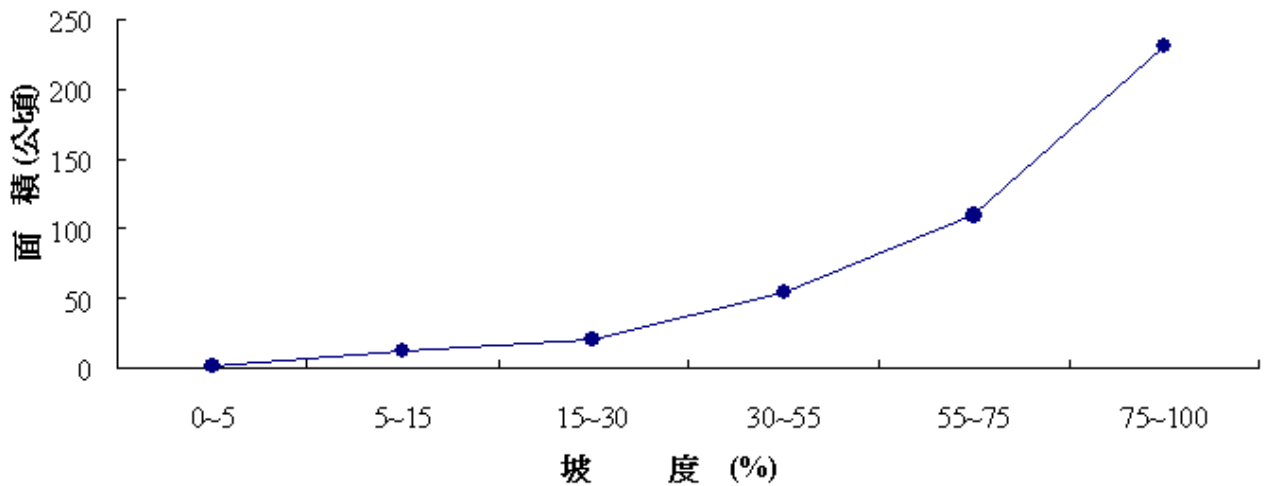


圖(5)松鶴水土保持區

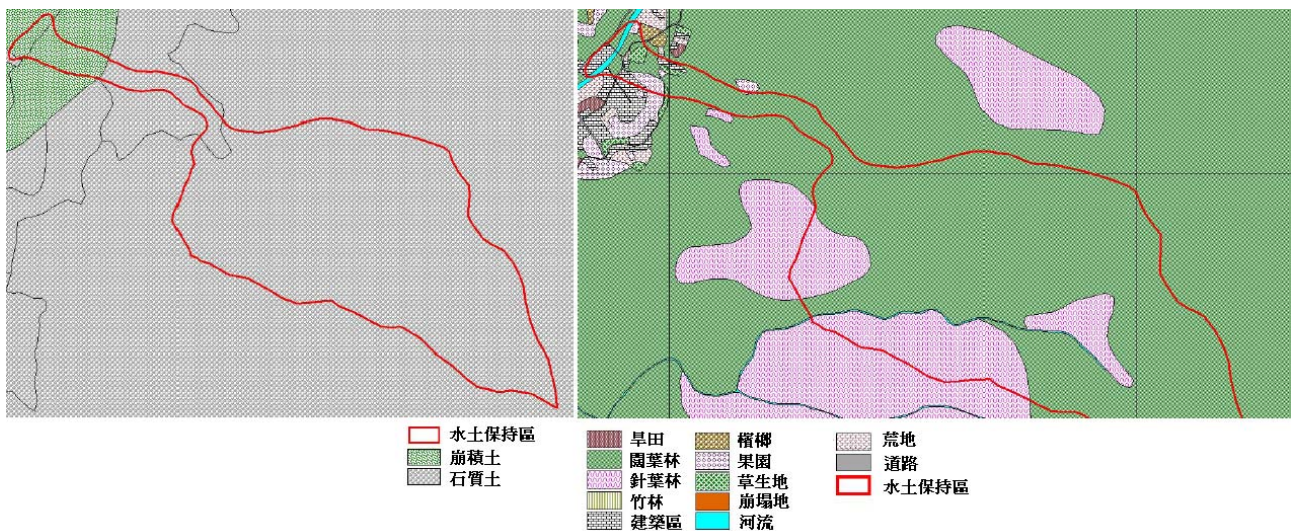
(註)藍色為水保局依數值計算方法劃定之水土保持區。綠色部分為經現場調查修正之水土保持區。



圖(6)高程



圖(7)坡度



圖(8)土壤與植被

4.取中央氣象局鄰近博愛村之新伯公與上谷關雨量觀測站資料得知，2004年7月2日降雨量為265.5與349.5公釐，7月3日降雨量為413與516公釐，7月4日降雨量為309.5與459.5公釐。

5.土石流災害歷史：民國九十年中度颱風桃芝挾帶之豐沛雨量，台中縣和平鄉博愛村編號中-003土石流潛勢溪流即在當日(7月30日)早上九至十點間發生土石流，造成下游版橋、產業道路及附近耕地造成大面積的土石掩埋，所幸無人傷亡。本區於921集集地震發生後，上游集水區產生多處大規模崩場地，根據現地勘查時發現，地震所產生之崩場地因受歷年颱風豪雨侵襲造成崩場地持續擴大。本集水區上游仍有大量崩場地存在，崩場地上的不穩定土方，可能造成土石流土砂供給之主要來源。

6.行政院農業委員會水土保持局【7】，土石流發生度評估指標：(1)有效集水面積為誘發土

石流危險度之重要評估指標。(2)集水區內岩體之岩性。(3)通過集水區內之斷層長度與總面積之比值。(4)溪流上游之崩塌面積與總面積之比值。日本學者川上浩，研究日本宇原川土石流與降雨特性的關係，認為累積雨量達 150~200 毫米以上，即會發生土石流；累積雨量達 400 毫米以上，一定會發生土石流。

(二)類神經網路計算全台土石流潛勢溪危險度後，使用模糊理論整合雨量因子與地文因子的計算方法【1】

1.取當地之地文參數，使用： $X_{norm} = (x + a) / b$ 作正規化，其中 x 為實際上之輸入參數值，形狀因子=集水區面積/溪流長度平方。各輸入因子之 a 、 b 值，如表 1 所示：

表 1

Collect water area effectively (m ²)		Collect water area (m ²)		Average slope (degree)		Length of the river (m)		Shape factor		Area that collapse/Collect water area		Area that collapse (m ²)		Rock nature	
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2061443	20657159	14778209	148010454	0.98	42.2	1153	12642	0.66	7.26	0.09	0.86	342500	3425000	-2.13	8.75

類神經網路之輸出值則會介於 0 與 1 之間，當輸出接近「1」時，表示曾經發生土石流之溪流；當輸出值為接近「0」時，則代表尚未發生土石流或無明顯跡象之溪流，簡單說，曾發生土石流之溪流與尚未發生或無明顯跡象之溪流，其判定標準為網路輸出值 0.5，大於 0.5 表示曾發生土石流之溪流，反之，則為尚未發生土石流或無明顯跡象之溪流。

2.類神經網路權重矩陣運算:將輸入參數乘隱藏層權重加上閾值。

$$\begin{bmatrix} 5.3939 & -3.5299 & -1.5169 & 3.0102 & 14.7316 & -5.1191 \\ 6.6491 & 4.2895 & -2.2477 & 3.4064 & 2.6599 & -4.1002 \\ 2.1577 & 2.9054 & 5.4039 & -3.629 & -12.3284 & 5.2858 \\ 11.639 & -4.4021 & 2.7551 & 0.2285 & 9.9287 & 8.4242 \\ -11.5993 & 1.5864 & -2.6432 & -1.9892 & 9.6615 & -8.5516 \\ 0.914 & 1.7768 & 5.4774 & 4.7729 & -10.3583 & -5.2966 \\ 6.2344 & 2.3151 & 5.7122 & 1.6557 & 13.2744 & 6.4108 \\ 7.1071 & 4.8433 & 2.3251 & -4.1584 & -0.8491 & -5.1571 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.310185 \\ 0.101717 \\ 1.269024 \\ 0.094208 \\ 0.957476 \\ 0.159317 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.8993 \\ -7.789 \\ -3.9752 \\ -3.8856 \\ 0.0351 \\ 5.2241 \\ -7.3254 \\ 2.1914 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.06295 \\ -5.92815 \\ -7.45662 \\ 13.6433 \\ 0.945091 \\ 2.32728 \\ 15.9801 \\ 5.81281 \end{bmatrix}$$

3.將2計算後之矩陣透過活化函數轉換成爲隱藏層之輸出值(輸出層之輸入值)。

$$\frac{1}{1 + e^{-n}} = \begin{bmatrix} 0.999685 \\ 0.00265633 \\ 0.000577271 \\ 0.999999 \\ 0.720127 \\ 0.911111 \\ 0.999999 \\ 0.99702 \end{bmatrix}, \text{其中 } n = \begin{bmatrix} 8.06295 \\ -5.92815 \\ -7.45662 \\ 13.6433 \\ 0.945091 \\ 2.32728 \\ 15.9801 \\ 5.81281 \end{bmatrix}$$

4.將輸出層的輸入值乘上輸出層之權重與加上閾值。

$$\begin{bmatrix} -3.422 & -0.6401 & -1.202 & 5.5641 & -8.9655 & -1.002 & 5.5365 & 3.2406 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.9997 \\ 0.0027 \\ 0.0006 \\ 0.9999 \\ 0.7201 \\ 0.9111 \\ 0.9999 \\ 0.9970 \end{bmatrix} + [-3.2695] = 0.269488$$

5. 將4計算後之矩陣透過活化函數轉換成爲輸出層之輸出值，即網路輸出值。此類神經網路輸出值亦爲土石流發生臨界曲線的地文因子之值。

$$\frac{1}{1 + e^{-n}} = \frac{1}{1 + e^{-0.269488}} = 0.566967$$

6.本區之二度分帶(TM2)座標爲(247002mE ~ 250731mE，247288mN ~ 267257.5mN)，並找出較近的雨量站爲上谷關站與新伯公站，其座標分別爲(251105，2677255)與(248269.167，2678790)，而根據水保局記載台中縣003案例於2004年7月2日颱風期間發生土石流，因此要取得兩雨量站當時之降雨紀錄作爲分析使用。依據下式之距離平方反比法(參考蔡玉琴(1994)「淡水河流域降雨時空分析及推估」中所提及之「距離平方反比法」來計算案例點之降雨量)

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i), Z(X_i) \text{ 爲觀測點}(x_i, y_i)\text{之測量值}, \lambda_i \text{ 爲觀測點}(x_i, y_i)\text{之權重係數}$$

$$\lambda_i = \frac{f(d_{0i})}{\sum_{j=1}^n f(d_{0j})}, f(d_{0i}) = \frac{1}{d_{0i}^2}, d_{0i} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, d_{0i} \text{ 爲未知點與觀測點之距離}$$

7.前期間接雨量距離土石流發生時間甚久，它受輻射強弱、蒸發、逕流等多種因素影響，故本研究定義前期間接雨量爲主雨場往前推算1 星期(7天)的雨量，以下式折減換算影響土石流發生時的有效雨量：

$$P_b = kP + k_2P^2 + \dots + k_7P^7 = \sum_{n=1}^7 k_n P^n$$

式中 P_1, P_2, \dots, P_n 分別爲主雨場前1日,2日至n日的降雨量(mm), k 爲遞減係數，約爲0.8~0.9，本研究取0.9

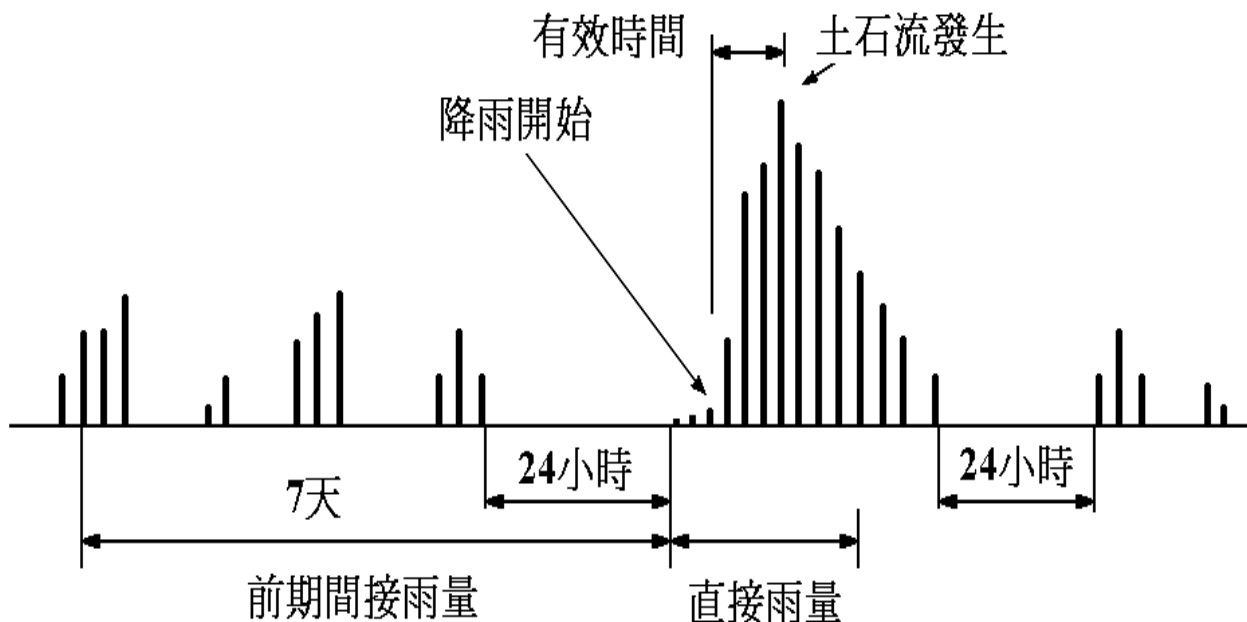
8.直接雨量爲土石流發生時之該場連續降雨量，於主雨場的第一個降雨量累計到土石流發生

時的累積雨量。因為直接參與土石流的發生，對於土石流的貢獻非常有效且直接，所以不予折減，因此本研究定義的「有效累積雨量」如下式所示：

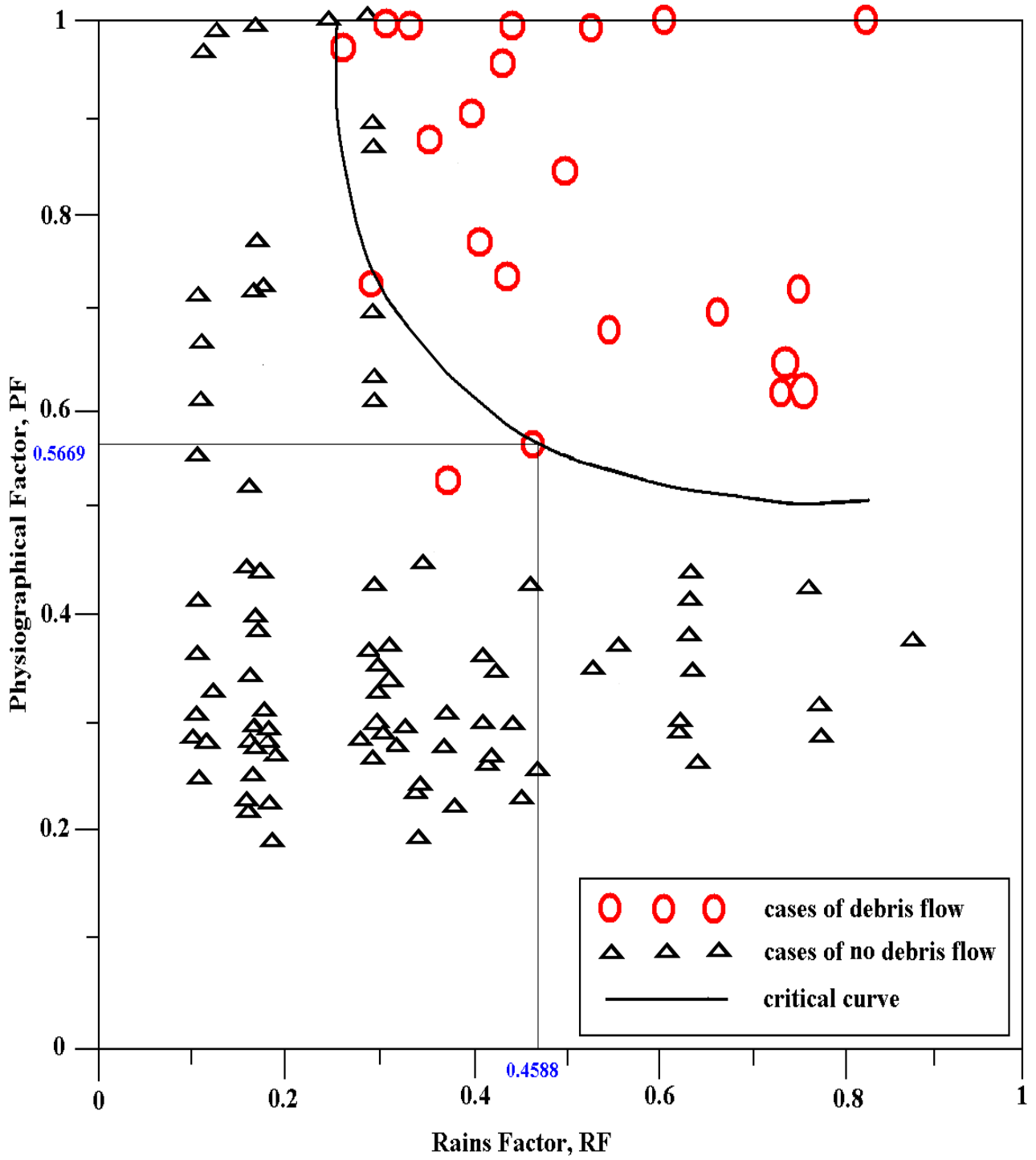
$$EAR = P_r + P_b = P_r + \sum_{n=1}^7 k_n P^n$$

9. 一場集中的降雨在其前後 24 小時沒有降雨，則視為一連續降雨，土石流發生的連續降雨雨場為「主雨場」；「降雨開始」之定義為，主雨場中時雨量第一個達 4mm 以上之時間點；土石流發生的累積雨量則算至「土石流發生時」之累積雨量，此一累積雨量分為「前期間接雨量(Pb)」與「直接雨量(Pr)」，如圖(9)所示。「有效時間」為「降雨開始」至「土石流發生點」的時間差，此時間差又稱為「降雨延時」；土石流發生的「有效累積雨量」除以「有效時間」即為「有效降雨強度」。

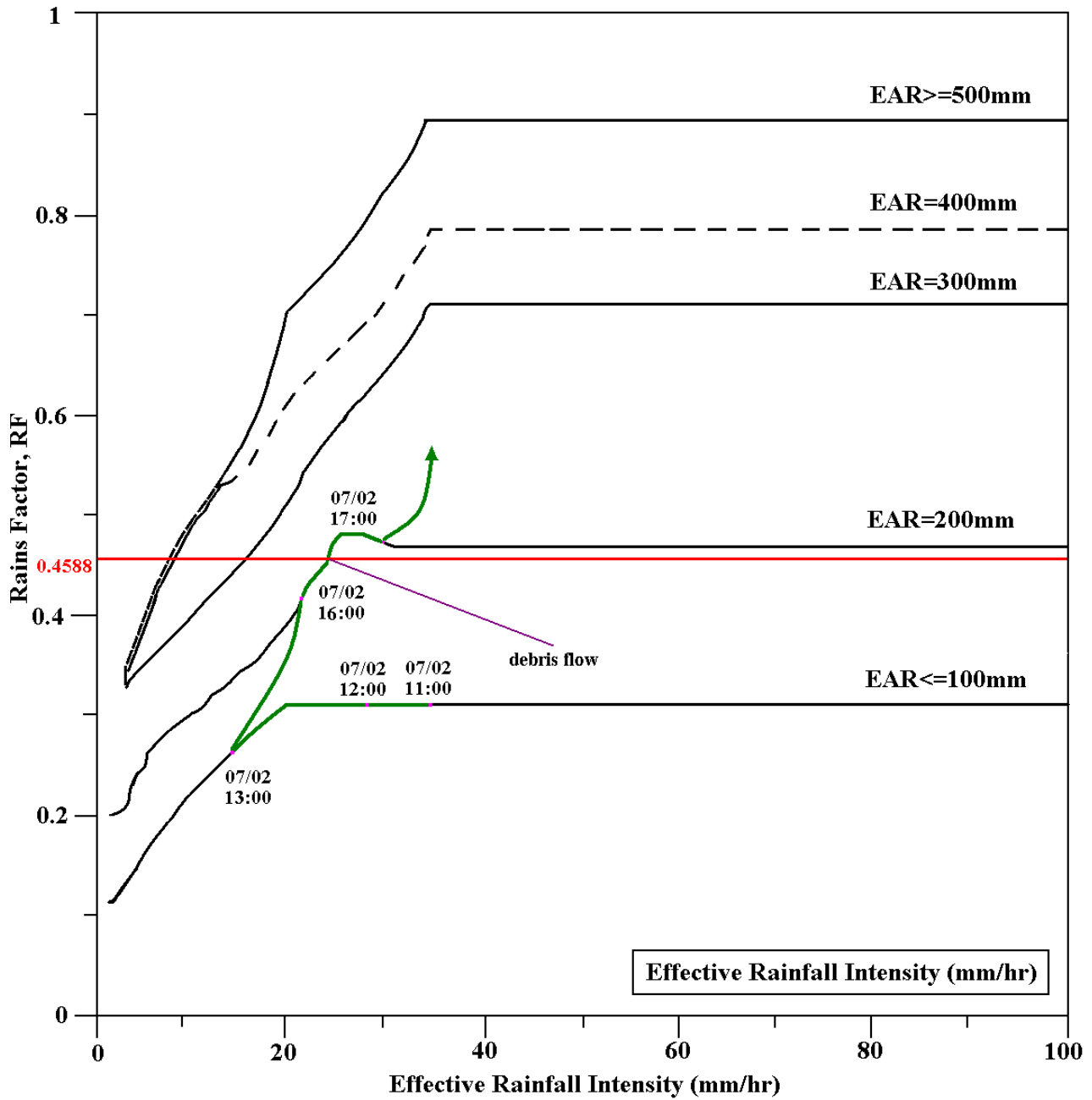
10. 將地文因子0.5669 代入圖(10)，對應土石流發生臨界曲線可以得到相對應的臨界雨量因子約為0.4588。根據圖(11)，可以輕易的觀察有效累積雨量以及有效降數水強度轉換成雨量因子的依時變化，當雨量因子越過0.4588，表示已具有發動土石流之潛能。



圖(9) 雨場分割示意圖



圖(10) 土石流發生臨界曲線圖



圖(11)雨量因子與降水量、降水強度關係

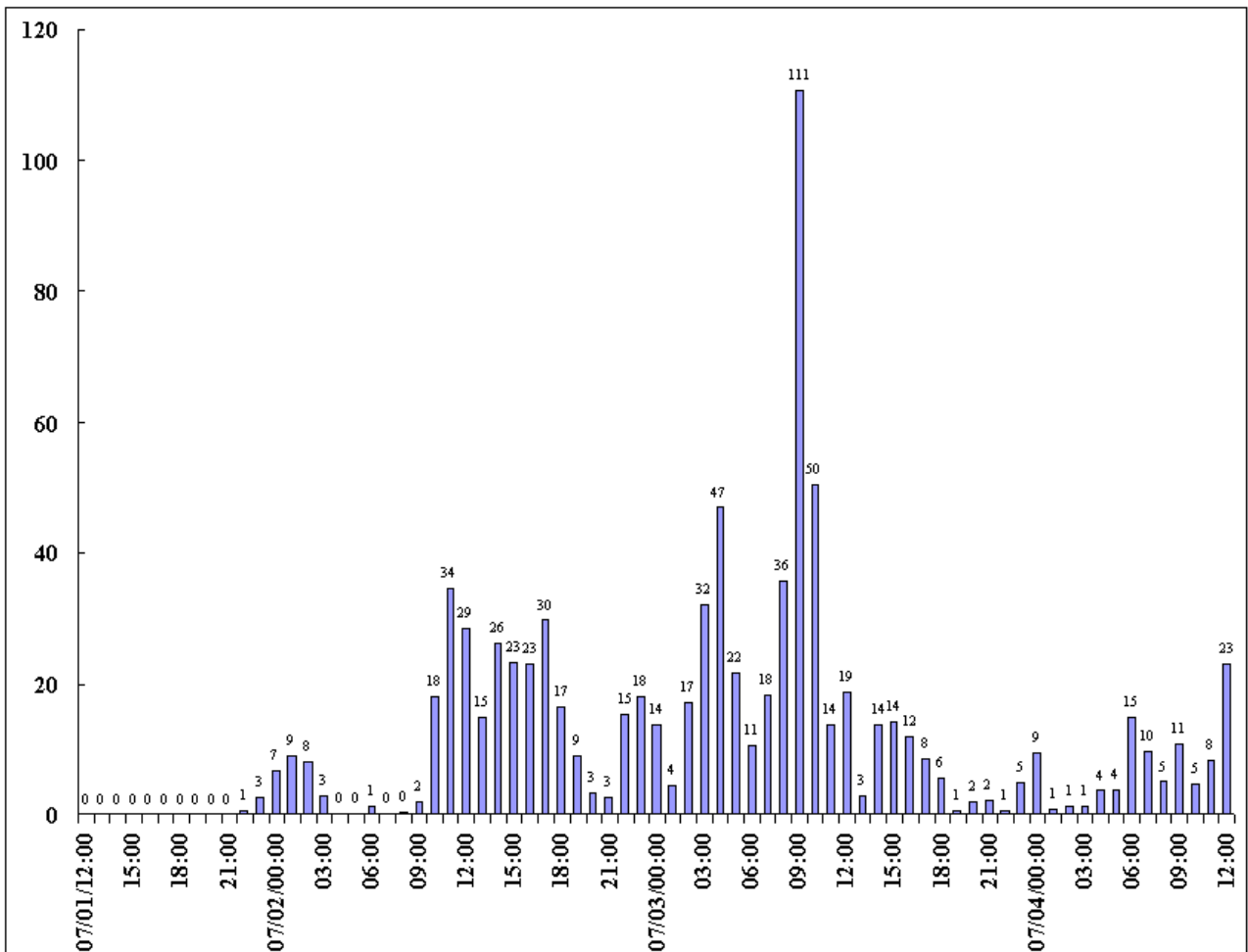
五、結果

- 一、依水保局計算方法顯示，土石流發生度指標，集水區特性得分 50 分。岩性得分 6 分、集水區上游崩塌面積 $20.316(\text{公頃}) \div 434.61(\text{公頃}) = 0.046 > 0.016$ ，得分 30 分；土石流之發生度為 86 分。
- 二、以類神經網路方法計算結果；有效集水面積參數 $0.310185(4346100\text{m}^2)$ 、集水面積參數 $0.101717(277000\text{m}^2)$ 、溪流長度 $1.269024(3401\text{m})$ 、形狀因子 $0.094208(0.023948)$ 、崩塌

面積/集水面積參數 0.957476(0.733430)、崩塌面積數 0.159317(203160m²)。經計算類神經網路輸出值為 0.5671。

三、計算得上谷關站之權重為0.4195995、新伯公站為0.5804005，那麼便可以推估博愛村當時之時雨量為「上谷關站×0.4195995 + 新伯公站×0.5804005」。

四、松鶴地區主雨場如圖(12)；由前期間接雨量公式，折減換算影響土石流發生時的有效雨量為 0 公厘；依時雨量計算之有效累積降水量(EAR)與有效降水強度，如圖(11)。推估土石流應於七月二日下午四時至五時之間已達發生臨界限；當時之有效累積降水量(EAR)為 200~230mm 之間，有效降水強度 25mm/hr 左右。



圖(12)松鶴地區土石流雨場

六、討論

一、地文因子依水保局(總分 100 分)計算方法得知，土石流發生度在 50 分以上，判定松鶴一溪屬於土石流高危險度溪流。其中，捨去通過集水區內之斷層長度的指標不計。類神經網路輸出值為 0.5669 > 0.5，我們便判斷此危險溪流為高危險度；因已發生土石

流，與現場狀況相符。依謝正倫等 1992~1997 年，以花東兩縣土石流現場調查發現：土石流危險溪流之平均坡度集中在 10~20 度之間，溪流長度集中在 500~2000 公尺之間，以溪床坡度 15 度為基準點之集水面積在 10~120 公頃之間。類神經網路計算方法似乎比較合理。

二、雨量觀測點之權重係數距離計算使用二度分帶(TM2)座標，由上河文化出版的五萬分之一台灣高山全覽圖及新伯公雨量站及上谷關雨量站經緯度換算。由有效累積雨量(EAR)及前期間接雨量比較，發現本案例的降水量強度(mm/hr)是誘發土石流之主要因素。

三、經查閱 2004 年 7 月份報紙與經歷土石流浩劫人士指出，七月二日晚間八到九時達觀村已發生土石流，但我們的結果顯示七月二日十六時至十七時已超過土石流發生的臨界曲線，雖然相去不遠；然而博愛村延至七月三日八時才爆發土石流，經查文獻 1，得知本類神經網路仍有 20%整體誤判率。但土石流的延後發生也可顯示水土保持工作成效並非不彰。三日累積降水量將近 1000 公厘；所以，天災是這個浩劫的主要因素。

四、值得欣慰的是，災區現地觀察發現復育中的德芙蘭正結合安全與生態工法快速重建；如圖(13)~圖(15)。



松鶴一溪重建後的梳子壩

圖(13)整治前後的松鶴一溪

七、結論

從文獻 6、11、12 已得知，本試區屬於高山型地質土石災害區，聚落都在土石流堆積形成的沖積扇上，加上九二一大地震後地質鬆動，上方溪流的集水面積大，又多為鬆散的浮土石，遇到豪雨，很容易在發生土石流。

本文使用類神經網路及模糊函數方法計算地文、水文因子相互影響的結果顯示，防災與疏散警戒，以 200 公厘累積雨量為黃色警戒(勸導疏散)，250 公厘累積雨量為紅色警戒(強制疏散)，在理論上是可以理解的。南投溪頭米堤飯店的案例，在科學論述中應該是合情理的。但豪雨亦屬天災，非人力所及；惟有共體時艱，致力於環境保護，才是無情災難的正面教育。

中橫部分地區使用生態工法路段還是坍方；生態工法兼顧「生態」與「安全」，敏督莉颱風造成災害，是因瞬間豪雨、累積雨量過大所造成，不能論斷是生態工法防災效果不彰。但生態工法不是萬靈丹，只有將工程因地制宜、就地取材、順應自然等原則整體規劃設計，才能提昇整治效能。所以中橫更不適合單獨使用生態工法整治。



復育中的大甲溪

圖(14)整治前後的大甲溪



松鶴一溪與大甲溪交接處土地公廟，訂於九十六年五月二十七日動土重建

圖(15)天佑斯土，松鶴的守護神

八、參考文獻

1. 曾炫學. 土石流發生臨界曲線之研究－模糊集合及類神經網路. 國立台灣大學碩士論文, 國家圖書館, 台北市, 2003.
2. Goh, A. T. C.(1994) , ” Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Networks” , Journal of geotechnical engineering, ASCE,120(9),pp.1467-1480.
3. Hagan, M.T. and Menhaj, M. B.(1994) , ”Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm” , IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 5, No. 6, pp.989-993.
4. Madhu, S., Juang, C. H., Chen, J. W., and Lee D. H.(1995) , ”A fuzzy system for rock mass classification and tunnel support selection” , Journal of Civil Engineering Systems.
5. Sitar, N., Anderson S.A., and Johnson K.A.(1992) , ”Conditions for Initiation of Rainfall – Induced Debris Flow” , Stability and performance of slopes and embankments : proceedings of a special conference at U.C. Berkeley, ASCE.
6. 曾智欣, 林雨蓉. An Initial Investigational Analysis of the Debris Flow Disaster of the Sung Ho Village. 2006 年台灣國際科學展覽參展作品專輯, 國立科學教育館, 台北市, 2006.
- 7.行政院農業委員會水土保持局土石流防災教育網站, <http://debris.swcb.gov.tw/home.php>.
- 8.李毅宏. 土石流預警與降雨關係之研究. 國立中興大學碩士論文, 國家圖書館, 台北市, 2003.
- 9.鄭富書等. 溪頭森林遊樂區鹿寮坑土石流災害案例分析. 中華技術雜誌, 財團法人中華顧問工程司, 台北市, 2003.
- 10.林玉芬. 石獅情人節訂婚,李朝卿伉儷作見證. 自立晚報, 台北市, 民 96.
- 11.曾智欣, 林雨蓉等. 中橫松鶴部落土石流之探討. 第 45 屆全國科學展覽優勝作品專輯, 國立科學教育館, 台北市, 2005.
- 12.台中縣和平鄉博愛村中-003 土石流特定水土保持區劃定計畫. 行政院農業委員會水土保持局, 南投縣, 2004.
- 13.蔡玉琴, 淡水河流域降水時空分析及推估：地理資訊系統的應用, 國立台灣師範大學地理研究所碩士論文, 國家圖書館, 台北市, 1994

評語

本作品利用模糊理論及以類神經網路求得的地文因子，針對土石流發生之水文因子進行計算分析，以雨量因子為 X 座標，地文因子為 Y 座標，建立的土石流發生臨界曲線，比較文獻之土石流發生臨界曲線，求出松鶴地區在 2004 年敏督利颱風期間，當雨量因子越過 0.4588，就會發生土石流，進而從雨量因子與降水量、降水強度關係，可以鑑定在 7 月 2 日下午四時至五時之間，已達發生臨界限，研究甚具實用價值。

評語

本作品利用模糊理論及以類神經網路求得的地文因子，針對土石流發生之水文因子進行計算分析，以雨量因子為 X 座標，地文因子為 Y 座標，建立的土石流發生臨界曲線，比較文獻之土石流發生臨界曲線，求出松鶴地區在 2004 年敏督利颱風期間，當雨量因子越過 0.4588，就會發生土石流，進而從雨量因子與降水量、降水強度關係，可以鑑定在 7 月 2 日下午四時至五時之間，已達發生臨界限，研究甚具實用價值。