

應用羅吉斯迴歸法進行阿里山地區山崩潛勢評估

李嶸泰^[1] 張嘉琪^[2] 詹勳全^{[2]*} 廖珮妤^[2] 洪雨柔^[2]

摘 要 山崩潛感分析通常需要結合數種能辨別山崩的地形、地質及水文等因子，共同找出一組能解釋山崩的因子組合，建立山崩潛感模型和計算潛感值，繪製成山崩潛感圖。本研究以阿里山地區為例，應用多變量統計中的羅吉斯迴歸方法進行山崩潛勢評估研究，為了有效挑選山崩潛感因子，針對各因子進行檢定、篩選，山崩潛感分析的結果並加以驗證；並利用分類誤差矩陣表檢驗羅吉斯迴歸預測之準確性，了解分析成果之品質；最後分別以 10、25、50 及 100 年不同重現期距之降雨量計算降雨誘發山崩潛感值，並將崩塌潛勢分為高潛勢、中高潛勢、中潛勢及低潛勢四個等級以繪製山崩潛感圖。

關鍵詞：山崩潛感、羅吉斯迴歸、分類誤差矩陣、山崩潛感圖。

The Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Analysis-A Case Study in Alishan Area

Jung-Tai Lee^[1] Chia-Chi Chang^[2] Hsun-Chuam Chan^{[2]*} Pei-Yu Laio^[2]
Yu-Jou Hung^[2]

ABSTRACT Landslide susceptibility analysis usually combines several factors, including the terrain, geology, and hydrology. The analysis tries to find a suitable combination of these factors in order to establish a landslide susceptibility model and calculate the susceptibility value. A potential landslide map can be established by using the calculated the susceptibility value of landslide. This study took Alishan area as an example and aimed to assess landslide susceptibility analysis by Logistic regression, a multivariate analysis method. In order to select the factors efficiently, the calibration and selection procedure were performed. The results were verified by a previous typhoon event. The classification error matrix was used to evaluate the accuracy of landslide predicted by the present model. Finally, this study applied 10-, 25-, 50-, and 100-year return periods precipitation to estimate the susceptibility values for the study area. The landslide susceptibilities were separated into four levels, including high, medium-high, medium, and low, to delineate the map of potential landslide.

Key Words : Landslide susceptibility, logistic regression, map of potential landslide.

一、前 言

山崩潛感分析通常需要聯合數種能辨別山崩的地形、地質及水文等因子，共同找出一組能解釋山崩的

因子組合，建立山崩潛感模型和計算潛感值，並繪製成山崩潛感圖。研究山崩潛感的方法一般可分為定值法與機率法兩大類，定值法是以力學原理的無限邊坡分析方法為基礎，常被運用來解釋及模擬地震或豪雨

[1] 中興工程顧問股份有限公司
Sinotech Engineering Consultants, LTD.

[2] 國立中興大學水土保持學系

Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

* Corresponding Author. E-mail : hcchan@nchu.edu.tw

較多，故形成夏季炎熱而冬季陰濕的氣候現象，根據中央氣象局所設立之阿里山雨量站之降雨資料，近十年之年平均累積降雨量高達 4,150mm，高於臺灣年平均降雨量 2,500mm，降雨量相當豐沛，4 月至 9 月防汛期間累積雨量更占全年總降雨量 83.78%，由於雨量集中，每年汛期颱風豪雨對阿里山地區所造成的傷害，往往在短時間難以修復。

三、研究方法

1. 羅吉斯迴歸分析

羅吉斯迴歸模型 (logistic regression model) 為對數線性模型中的一種特殊形式 (Feinberg, 1985; Agresti, 2002)，其多變量模式係透過統計歸納方式獲致具有鑑別山崩與非山崩的經驗式，對於因子迴歸係數之決定亦具有相當程度之鑑別優勢。

當對數線性模型中的一個二元變數被當作應變數並定義為一系列自變數的函數時，對數線性模型就變

成羅吉斯迴歸模型。羅吉斯分佈 (logistic distribution) 為二元應變數分析中最常使用的分佈函數，其值域在 0 與 1 之間擁有 S 形狀的曲線，此種曲線類似於一個隨機變數的累積分佈曲線。logistic 迴歸模型可表成以下的形式 (Gregory and John, 2003)：

$$P(y_i = 1 | x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta x_i)}} \tag{1}$$

上式中， $P(y_i = 1)$ 表崩塌事件發生之條件機率， x_i 為自變數列向量， α 及 β 分別為迴歸截距及迴歸係數之行向量，若 $P(y_i = 1 | x_i)$ 則上式可改寫為：

$$\ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_{ki} \tag{2}$$

其中， $P_i = P(y_i = 1 | x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki})$ 為在給定一系列自變數 $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ 值時的事件發生機率。在本研究中，羅吉斯迴歸分析式可寫為：

$$y_i = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_k x_{ki} \tag{3}$$

表 1 研究區高程分析結果表
Table 1 Classification of elevation distribution in the study area

高程 (公尺)	面積 (公頃)
0-500	813.13
500-1000	7230.98
1000-1500	8680.11
1500-2000	5281.1
2000-2500	3304.16
2500-2658.8	64.76
總面積	25374.22

表 2 研究區坡度分析結果表
Table 2 Classification of slope distribution in the study area

坡度分級	坡度範圍	面積(公頃)
一級坡	S≤5%	78.57
二級坡	5%<S≤15%	531.37
三級坡	15%<S≤30%	2189.26
四級坡	30%<S≤40%	7756.33
五級坡	40%<S≤55%	7706.12
六級坡	55%<S≤100%	5994.76
七級坡	100%<S	1117.82

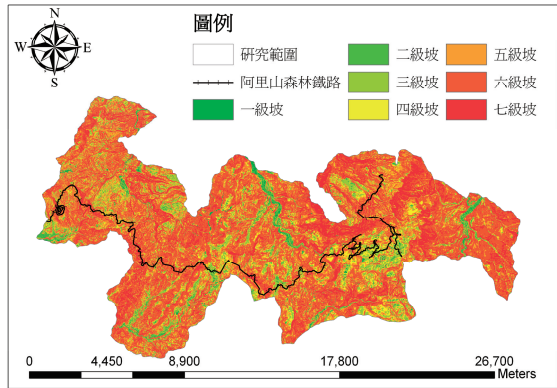


圖 2 研究區坡度分佈圖
Fig.2 The distribution of slope in the study area

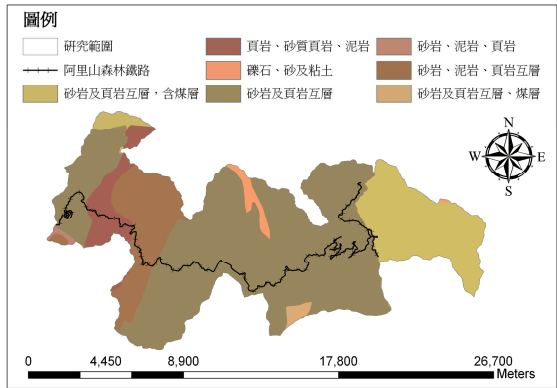


圖 3 研究區之地質分佈圖
Fig.3 The distribution of geology in the study area

其中， y_i 代表著各網格單元羅吉斯函數值， x_{ki} 為各項山崩潛勢因子值， β_k 為各因子之迴歸係數。將各網格單元的羅吉斯函數值代入 (1) 式中計算出潛勢值，本研究將潛勢值分為四個等級：低崩塌潛勢、中潛勢崩塌、中高潛勢崩塌、高潛勢崩塌；其潛勢值之條件機率範圍分別為：0~0.25、0.25~0.5、0.5~0.75、0.75~0.9999，研究區內各網格之不同山崩潛勢值之等級計算出後，即可繪製出山崩潛勢圖。

2. 山崩潛感模式驗證方法

山崩潛感分析的結果須加以驗證，進而了解該分析成果之品質。張弼超 (2005) 指出可採用分類誤差矩陣 (classification error matrix) 驗證羅吉斯迴歸模式預測之準確性，此法可表現真實情況與不同地表類型於分類結果之間的關係，是一種常用的驗證表示方法，因此為本研究所採用。驗證過程將總網格劃分成山崩與非山崩組，如表 3 所示，以建立分類誤差矩陣表，依據山崩與非山崩網格數所佔總網格數的比例，可分別計算出總體正確率、山崩組使用者正確率和非山崩組使用者正確率，利用分類誤差矩陣表計算出不同之正確率可檢驗羅吉斯迴歸的預測準確性。

本研究利用多變量分析中的羅吉斯迴歸進行分析，獲得一組由山崩潛勢因子組成的線性組合，以及代表各因子貢獻程度的迴歸係數，建置迴歸模型的優劣則以訓練資料的分類誤差矩陣表示，迴歸模型的穩定性則以驗證資料的使用者正確率來表示，分類誤差矩陣表使用者正確率計算方式如下：

$$\text{山崩組使用者正確率} = N_1 / (N_1 + N_2) \quad (4)$$

$$\text{非山崩組使用者正確率} = N_4 / (N_3 + N_4) \quad (5)$$

其中， N_1 ：山崩組判釋正確之網格數

N_2 ：非山崩組判釋錯誤之網格數

N_3 ：山崩組判釋錯誤之網格數

N_4 ：非山崩組判釋正確之網格數

表 3 分類誤差矩陣表

Table 3 The classification results based on confusion matrix using logistic regression in the study area

項目		全區資料網格數	
		山崩組	非山崩組
分類結果 網格數	山崩組	N_1	N_2
	非山崩組	N_3	N_4

3. 與雨量建立關係之方法

吳秉晃 (2002) 及曾志豪 (2004) 研究雨場切割之定義，將一場連續降雨過程，以前 12 小時累積雨量達 10mm 之時為有效降雨時間開始，而以後 12 小時累積雨量不足 10mm 之時為有效降雨時間結束。由於該雨場切割方式之研究成效良好，且該研究區域與本研究區域地域相近，因此本研究採此種雨場切割方法進行雨量資料處理，利用切割完後各雨量站之雨場資料，統計其總雨量及最大降雨強度，配合克利金法推估莫拉克颱風之總雨量及最大降雨強度空間上之分佈。

四、山崩潛感模式之建置

1. 基本資料蒐集

本研究蒐集整理的基本資料包括：

- (1) 1/5,000 與 1/10,000 相片基本圖。
- (2) 5m × 5m 網格數值地形模型 (digital terrain model, DTM)。
- (3) 二十五萬分之一地質圖。
- (4) 莫拉克颱風事件之降雨量資料。
- (5) 莫拉克颱風事件之山崩目錄。

2. 建模因子選定

為了有效挑選山崩潛感因子，本研究對各因子進行檢定，並根據檢定的結果，進行因子的篩選。首先將各因子值以及其崩壞比繪製成圖，供檢視崩壞比是否隨因子值改變而呈現某一趨勢之改變。崩壞比顯示坡度、地形粗糙度、剖面曲率、平面曲率及總曲率大致上呈現值越大崩壞比亦隨之增加的趨勢；坡向以北向及東北向坡崩壞比最大。再來根據各因子山崩與非山崩次數分佈，選取山崩與非山崩群組差異性較大之因子。各因子山崩與非山崩次數分佈顯示平面曲率、剖面曲率及總曲率的山崩與非山崩次數分佈幾乎一致，表示這些因子無法有效辨別山崩與非山崩組。因此本研究使用莫拉克颱風事件之坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、岩性、最大時雨量與總雨量等因子，以羅吉斯迴歸進行山崩潛感分析。山崩潛感分析採用網格分析單元，所有資料均轉為 5m × 5m 的網格資料，以利處理。以下針對分析過程採用之因子處理與特性進行詳述：

(1) 坡度因子

坡度為最直接影響邊坡力學的地形條件，坡

度愈陡，愈容易發生崩塌，從力學的觀點來看，坡度愈陡造成土層或是岩層往下移動的作用力更大，然而岩層的強度愈高才能存在於陡峻的坡面，因此產生崩塌的機率較低。本研究利用研究區 5 公尺高精度數值地形資料，以 3×3 網格按 Wilson 和 Gallant (2000) 之坡度 (slope) 定義進行坡度計算，並將坡度視為連續變數代入羅吉斯回歸進行分析。

(2) 坡向因子

坡向 (slope aspect) 即為坡面的傾向，某些特定之坡向常受到暴雨之侵襲而造成其坡面之邊坡塊體容易有膠結不良或是高度風化的情況，容易引致崩塌。研究區內之坡向分佈如圖 4，坡向之計算方式亦採用 3×3 網格，按 Wilson 和 Gallant (2000) 之坡向定義進行坡向計算，本研究將坡向因子視為類別變數，坡向分類標準整理如表 4，將坡向範圍分為 9 類。

(3) 地形粗糙度

地形粗糙度 (terrain roughness) 為描述一區域內的地形變化程度，為了更加符合自然地形之型態，Wilson 和 Gallant (2000) 提出利用圓形的視窗內的高度標準差，作為區域內高度變化程度的計測方式。以 GIS 進行鄰域統計分析 (neighborhood statics analysis)，去除地表起伏較為劇烈的部分，僅留下大範圍的地勢的起伏，再將原始地形面扣除平滑化後的地形，即可得到地表起伏較為劇烈的高頻特徵，然後計算半徑 13×13 之某一圓形區域範圍內的標準值來代表此區域地形之粗糙度。

(4) 坡度粗糙度

坡度粗糙度 (slope roughness) 可反應一區域內之坡度變化程度。坡度粗糙度的計算方式與地形粗糙度的計算方式相同，其差異之處是把原先輸入的濾波後地形資料轉為坡度資料進行運算。藉由坡度粗糙度的計算，可以反映出區域範圍內坡度變化的程度。

(5) 岩性因子

根據中央地質調查所資料，研究區沿線所出露之岩層主要以第三紀中新世中期至第四紀更新世為主，由老至新依序為中新世之達邦層、南莊層，中新世至上新世之桂竹林層關刀山砂岩、十六份頁岩、大窩砂岩，上新世至更新世之錦水

頁岩、卓蘭層等。本研究分析完成之岩性因子根據不同地層之岩性類別分為五類，整理如表 5。

(6) 總雨量和最大降雨強度

由於研究區內雨量站分佈稀疏，僅阿里山、奮起湖、樟腦寮、石磐龍、瑞里、神木村等六站，考慮進行雨量空間分佈推求時易產生較大之誤差，為增加雨量空間分佈推估之精度，雨量站選用考慮空間高程變異之影響，納入研究區鄰近之雨量站，以阿里山、奮起湖、樟腦寮、石磐龍、瑞里、神木村、望鄉、和社、新興橋、東埔、新高口、楠溪、豐山、草嶺、山豬湖、馬頭山及大湖等雨量站之資料進行雨量空間分佈推估。採用雨量站之位置分佈如圖 5 所示，共 17 個雨量站資料進行最大降雨強度及總雨量萃取，並以克利金內插法推估流域雨量空間分佈。莫拉克颱風期間總雨量與最大降雨強度經空間內插後之分佈如圖 6 與圖 7 所示，圖中並繪出計畫區內莫拉克颱風造成之崩塌區供比對。由圖 6 與圖 7 可知，莫拉克颱風所造成的兩處重大崩落地總雨量都大於 2700mm 以上，且最大降雨強度每小時也都大於 110mm 以上；另外，颱風之總雨量及最大降雨強度與崩落地亦具有關聯性，總雨量及最大降雨強度越大崩塌有增大趨勢，顯示崩塌潛勢的可能性越大。

表 4 坡向分類標準

Table 4 Classification of aspect in the study area

坡向	坡向範圍
平地	-1
北	337.5~22.5
東北	22.5~67.5
東	67.5~112.5
東南	112.5~157.5
南	157.5~202.5
西南	202.5~247.5
西	247.5~292.5
西北	292.5~337.5

表 5 研究範圍岩性歸類表

Table 5 Classification of geology in the study area

類別代號	岩性類別	地層
1	砂岩及頁岩互層，含煤層	南莊層
2	頁岩、砂質頁岩、泥岩	錦水頁岩
3	砂岩及頁岩互層	桂竹林層
4	砂岩、泥岩、頁岩	頭料山層
5	砂岩、泥岩、頁岩互層	卓蘭層

五、山崩潛感模式分析

1. 分析樣本之選取原則

由於各因子的單位及值域分佈不盡相同，不同因子數值大小會使模式分析結果產生誤差，一般會對因子進行正規化，但若因子有異常大或異常小的資料，則正規化後的資料會因異常值的關係過於集中某個區段，進而影響分析結果，為了避免上述情況，本研究進行分析所選取的樣本資料皆為標準化後的因子資料，經標準化後因子的值域不盡相同，集中於幾個標準差之內，可降低單位與值域對潛感分析的影響。

由於模式之建立需選取樣本進行訓練，本研究主要以阿里山森林鐵路為研究對象，故取莫拉克颱風事

件之鐵路沿線網格資料為訓練樣本，利用山崩目錄圖進行 GIS 分析的結果顯示，山崩組網格數遠小於非山崩組網格數，由於訓練樣本須選取相近樣本數以避免分析結果的偏差，因此本研究以隨機抽樣的方式選取鄰近阿里山森林鐵路之山崩與非山崩組網格資料，各一萬五千筆作為訓練樣本進行分析，利用隨機抽樣的方式選取之方式可避免人為選取造成主觀之誤差。本研究所採用的山崩組資料為比對颱風事件前後期的衛星影像，挑選該事件所誘發之山崩目錄，將整個研究區扣除穩定區、山崩區與無資料區剩下的區域，即為非山崩組的資料。為了提升非山崩資料的純粹性且減低誤差產生，事件後山崩區向外劃定 20m 的部分、過去曾發生山崩現已復育或尚未復育的區塊與坡度 55 度

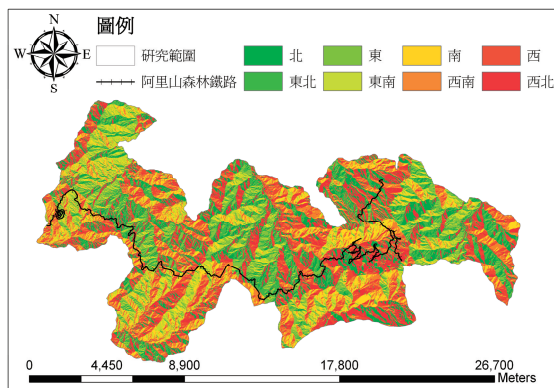


圖 4 研究區域方位分佈圖

Fig.4 The distribution of aspect in the study area

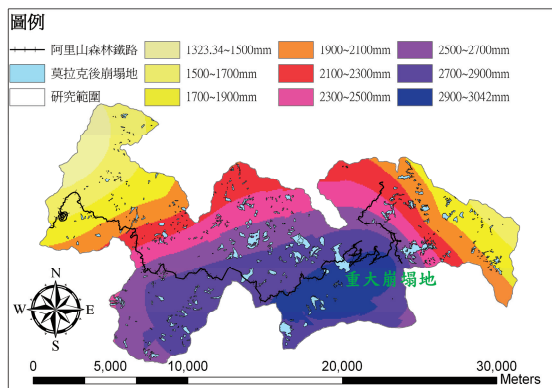


圖 6 莫拉克颱風總雨量空間分佈與崩塌區分佈

Fig.6 Distribution of Total rainfall of Typhoon Morakot and landslide in the study area

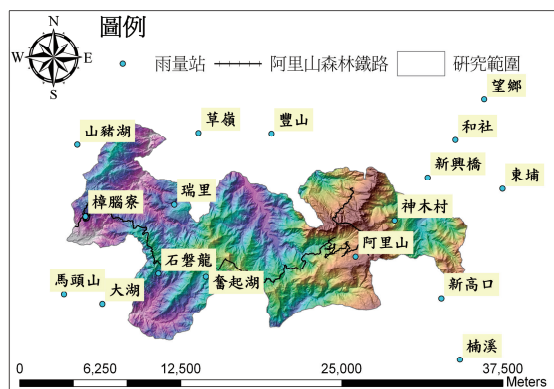


圖 5 研究採集雨量站空間位置分佈圖

Fig.5 The distribution of rain-gauge station in the study area

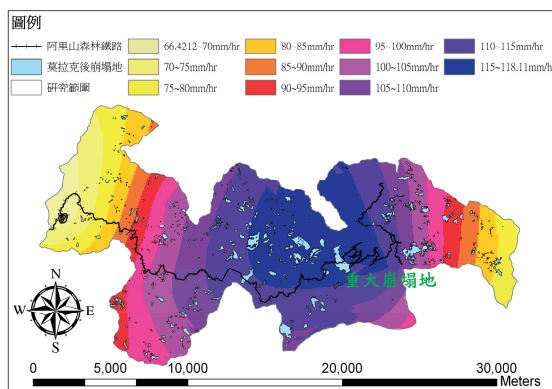


圖 7 莫拉克颱風最大降雨強度空間分佈與崩塌區分佈

Fig.7 Distribution of The maximum rainfall intensity of Typhoon Morakot and landslide in the study area

以上容易發生落石的區域，由非山崩資料中剔除，最後剩下的即為非山崩組的資料。以經過上述步驟篩選後的山崩組與非山崩組資料進行山崩潛感分析，能夠突顯促崩因子，也就是本研究選出的最大時雨量與總雨量的重要性，讓分析模式對於資料預測的準確度能更進一步的提升。

2. 模式分析結果

將本研究選取之岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、最大時雨量與總雨量等因子，以羅吉斯迴歸進行山崩潛感分析，可得到以下迴歸式：

$$P = \frac{1}{1 + e^{-\lambda}} \quad (6)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^m W_i L_i + \sum_{j=1}^n W_{m+j} D_j + \sum_{k=1}^0 W_{m+n+k} F_k + C \quad (7)$$

其中， P 為山崩潛感值，(7) 式中 L 代表不同之岩性因子、 D 代表不同之坡向因子、不同之 F 分別代表坡度、地形粗糙度、坡度粗糙度、總雨量及最大降雨強度因子， W 為迴歸式係數，各迴歸式係數值詳見表 6，當迴歸係數為正值時，代表該因子會增加該研究區域崩塌潛勢；而迴歸係數為負值時，代表該因子會降低其崩塌潛勢，然而當因子在迴歸式中顯著性低時，代表此因子不能有效判別山崩與否，在建模過程羅吉斯迴歸將其自動剔除。由迴歸式中的迴歸式係數 W 也可知道岩性、坡度、坡向、總雨量及最大降雨強度佔了大部分的權重，說明了這些因子在阿里山地區之山崩潛感分析可視為重要因子。

利用各因子之迴歸係數代入式 (7) 計算出 λ 值後，將其代入式 (6) 可計算潛勢值 P 。以莫拉克颱風崩塌資料進行驗證時，根據羅吉斯迴歸中的羅吉斯指標 (cut off) 之預設值 (0.5) 進行分組，當潛感值 P 大於 0.5 者視為山崩組；反之小於 0.5 者視為非山崩組。驗證結果如圖 8 所示，位於研究區域之北部、東北部之崩塌區模式皆能有效預測，莫拉克颱風誘發之山崩多數落於羅吉斯迴歸分析結果預估之範圍內，以莫拉克颱風崩塌資料進行驗證時正確率如表 7 所示，山崩組判釋正確率約為 78.5%，非山崩組正確率則為 72.5%，總體平均亦有 75.5%，顯示本研究選用之岩性、坡度、坡向、總雨量及最大降雨強度等因子，對莫拉克颱風實際崩塌發生處及利用率定模式崩塌模擬結果良好，但仍然有少部分落於高潛感以外者，如位於研究區西南部與少部分南部之崩塌區（竹崎鄉光華村與

阿里山鄉達邦村），初步研判崩塌地的人為誤判跟計畫區南部雨量資料不足都可能是原因。

表 6 山崩潛感分析因子係數值

Table 6 The coefficient of factor of landslide susceptibility analysis

代號	因子	係數	係數值
L ₁	南莊層	W ₁	—
L ₂	錦水頁岩	W ₂	—
L ₃	桂竹林層	W ₃	0.911
L ₄	頭嵙山層	W ₄	—
L ₅	卓蘭層	W ₅	0.319
D ₁	北	W ₆	0.511
D ₂	東北	W ₇	-0.283
D ₃	東	W ₈	-0.534
D ₄	東南	W ₉	-1.536
D ₅	南	W ₁₀	-1.494
D ₆	西南	W ₁₁	-1.674
D ₇	西	W ₁₂	-0.803
D ₈	西北	W ₁₃	—
F ₁	坡度	W ₁₄	1.021
F ₂	地形粗糙度	W ₁₅	0.74
F ₃	坡度粗糙度	W ₁₆	—
F ₄	總雨量	W ₁₇	-3.328
F ₅	最大降雨強度	W ₁₈	3.856

表 7 山崩潛感模式正確率

Table 7 The accuracy of landslide susceptibility model

項目	正確率 (%)
山崩組	78.5
非山崩組	72.5
總體平均	75.5

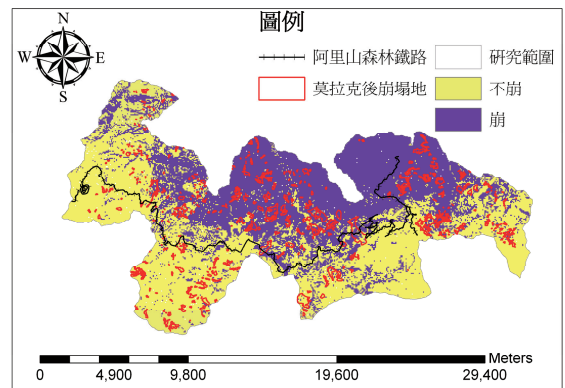


圖 8 羅吉斯迴歸模式於莫拉克颱風後預測崩塌區與實際崩塌區比較

Fig.8 Compared predicted landslide with actual landslide by logistic regression model

六、山崩潛感圖繪製

本研究之重點為降雨特性對阿里山地區邊坡崩塌之影響，故模式設計之促崩因子為颱風事件之總雨量及最大降雨強度，其主要目的在了解各種重現期距下，坡地山崩潛感機率對雨量空間分佈的反映，故本研究將各雨量站不同重現期距之 1 小時及 72 小時雨量資料，分別代入山崩潛感模型的最大降雨強度及總雨量兩促崩因子，重現期距包含 10 年、25 年、50 年與 100 年。將不同重現期距之雨量資料帶入 GIS 中，使用克利金法推估研究範圍內空間上的雨量分佈情況，研究採用之各雨量站不同重現期距下雨量平均值整理如表 8 所示。

根據驗證完成之羅吉斯迴歸模型，進行不同重現期距雨量之崩塌模擬，並將崩塌潛勢分為高潛勢、中

高潛勢、中潛勢及低潛勢四個等級，研究區域不同重現期距雨量下崩塌潛勢分佈如圖 9 到圖 12，圖中模擬結果顯示之高崩塌潛勢區所涵蓋的範圍及面積，可供有關單位進行預警防災工作之參考。以研究區域之阿里山森林鐵路為例，森林鐵路為阿里山地區之觀光重要資源，暴雨造成之崩塌可能導致鐵路受損，使研究區域之交通與經濟受創，不同重現期距降雨之崩塌潛

表 8 各頻率年時雨量及三日雨量於研究區域之平均值 (mm)

Table 8 The average of rainfall and 3-days rainfall in the study area

小時	頻率年10年	頻率年25年	頻率年50年	頻率年100年
1hr	109.4	144.7	173.7	206
72hr	949	1218.9	1426.1	1628.6

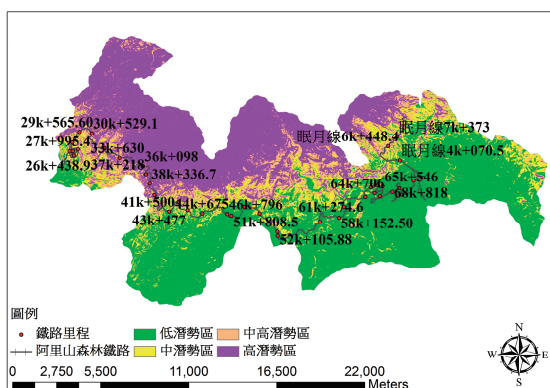


圖 9 頻率年 10 年之山崩潛勢圖

Fig.9 10-year return periods precipitation of the map of potential landslide

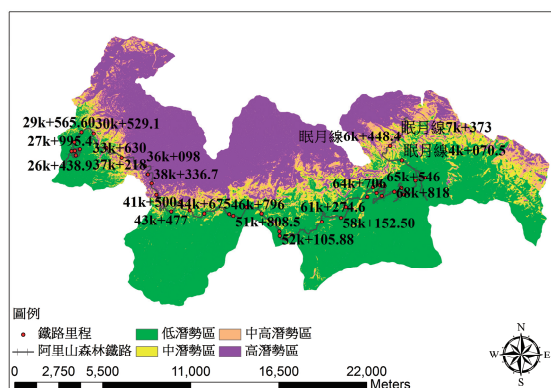


圖 11 頻率年 50 年之山崩潛勢圖

Fig.11 50-year return periods precipitation of the map of potential landslide

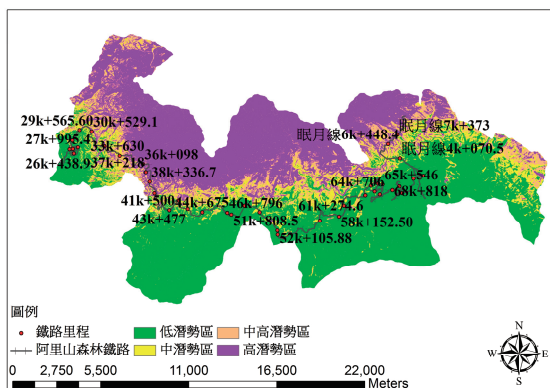


圖 10 頻率年 25 年之山崩潛勢圖

Fig.10 25-year return periods precipitation of the map of potential landslide

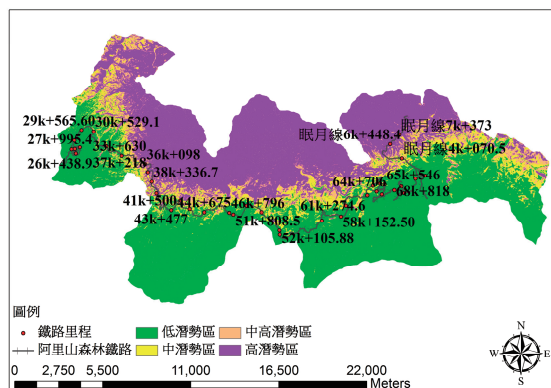


圖 12 頻率年 100 年之山崩潛勢圖

Fig.12 100-year return periods precipitation of the map of potential landslide

勢分佈圖可做為阿里山森林鐵路沿線之防災預警參考, 分析圖 9 到圖 12 可知, 頻率年 10 年之高崩塌潛勢區多位於研究區之西北部, 鐵路里程位於 23~40 公里及眠月線 8 公里處皆有高崩塌機率; 頻率年 25 年之崩塌潛勢分佈則以鐵路 34~40 公里及眠月線 5~8 公里處屬高崩塌潛勢區; 頻率年 50 年之高崩塌潛勢區集中於鐵路 34~40 公里及眠月線 5~8 公里處, 且涵蓋面積有擴大的趨勢; 頻率年 100 年之崩塌潛勢圖顯示, 高崩塌潛勢區開始向該區域東北方移動且影響範圍增大, 涵蓋範圍包括眠月線全線、鐵路 34~40 公里部份鐵路周邊。

七、結 論

本研究完成崩塌因子萃取與篩選, 以岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、最大時雨量與總雨量等因子, 建立羅吉斯迴歸進行山崩潛感分析模式, 依據民國 98 年 8 月的莫拉克颱風崩塌資料, 完成模式驗證工作, 並根據不同重現期距之模擬結果, 繪製山崩潛勢圖, 其研究結果可歸納以下結論:

1. 利用阿里山地區山崩網格數所訓練出來的迴歸式, 在全區山崩組判釋正確率約為 78.5%, 非山崩組正確率則為 72.5%, 總體平均亦有 75.5%, 顯示本研究選用之岩性、坡度、坡向、總雨量及最大降雨強度等因子, 對莫拉克颱風實際崩塌發生處模擬結果良好。
2. 10、25、50 及 100 年重現期距降雨誘發之山崩潛感圖如圖 9-12 中, 崩塌區偏向研究區域之北與西北部, 然而莫拉克颱風之預測崩場地分佈如圖 8 所示卻在研究區域之北與東北部, 主要原因為促崩因子雨量之不同, 前者蒐集各雨量站之雨量頻率年 1 小時及 72 小時之統計資料, 並以克利金方法所產生之雨量分布作為雨量因子; 後者採用莫拉克颱風實際總雨量及最大時雨量資料為雨量因子, 其最大時雨量及總雨量分布如圖 6、圖 7 所示, 比較圖 6、圖 7、圖 8 可以得知, 時雨量分布與預測崩塌處之關聯性最大, 主要位於研究區域之北部、東北部。
3. 莫拉克颱風誘發之山崩多數落於羅吉斯迴歸分析結果預估之範圍內, 位於研究區域之北部、東北部與鐵路沿線之崩塌區模式皆能有效預測, 但仍然有少部分落於高潛感以外者, 如位於該區西南部與少部分南部之崩塌區 (竹崎鄉光華村與阿里山鄉達邦村), 推估可能因研究區南部缺乏雨量資料, 僅能由區外之雨量站, 進行克利金法推估空間之雨量分佈, 故造成雨量資料之誤差, 進而影響山崩潛感模式之準確性。
4. 藉由假設 10、25、50 及 100 年重現期距雨量發生情況下, 繪製而成阿里山地區崩塌潛感圖, 得知隨著重現期距的增加, 預測的高崩塌潛勢區面積有擴大的趨勢, 重現期距 10 年之高崩塌潛勢區主要分佈在區域北部、西北部, 頻率年 25、50、100 年之高崩塌潛勢區逐漸向區域之東北部方向移動, 模擬出來的結果可用於預警防災之準備工作。

參考文獻

1. 吳秉晃 (2002), 「集集地震後阿里山地區公路邊坡之崩壞行為與熱紅外線影像特性研究」, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文。(Wu, P.H. (2002). *Study on the Slope Failure and Thermo Characteristics Along the Ali-San Highway After Chi-Chi Earthquake*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
2. 王濟川、郭志剛 (2003), 「Logistic 迴歸模型—方法及應用」, 五南圖書出版股份有限公司, 共 338 頁。(Wang, J.C., and Guo, C.G. (2003). *Logistic Regression Models: Method and Application*, Wu-nan culture enterprise. (in Chinese))
3. 曾志豪 (2004), 「降雨特性對阿里山公路邊坡破壞模式分析之影響研究」, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文。(Tseng, C.H. (2004). *The influence of rainfall characteristics on slope failure mode of Alishan Highway*. Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
4. 張弼超 (2005), 「運用羅吉斯迴歸法進行山崩潛感分析-以台灣中部國姓地區為例」, 國立中央大學應用地質研究所碩士論文。(Chang, P.C. (2005). *Using Logistic Regression to Assess Landslide Susceptibility—A Case Study in Kouhsing Area, Central Taiwan*, Master thesis, National Central University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
5. 陳樹群、馮智偉 (2005), 「應用 Logist 迴歸繪製崩塌潛感圖-以濁水溪流域為例」, 水土保持學報 36(2): 191-206。(Chen, S.C., and Ferng, J.W. (2005). "The Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Zhuoshuei River

- Basin.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 36(2), 191-206. (in Chinese))
6. 經濟部中央地質調查所 (2007), 「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置第 1 階段實施計畫-集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估總報告書」。(Central Geological Survey, MOEA. (2007). “Geological Investigation, Landslide-Debris Flow Investigation and Their Susceptibility Evaluation.” (in Chinese))
 7. 蔡明君 (2008), 「以降雨特性研究阿里山公路邊坡崩塌預警管理」, 國立成功大學土木工程研究所職專班碩士論文。(Tsai, M.J. (2008). *A Study on Slope Failure Forewarning Management of Alishan Highway by Rainfall Character*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
 8. 李錫堤, 費立沅, 李錦發, 林銘郎, 董家鈞, 張瓊文 (2008), 「石門水庫集水區的山崩與土石流潛感分析」。(Li, S.T., Feng, L.Y., Li, J.F., Lin, M.L., Dung, J.J., and Chang, C.W. (2008). “Landslide and Debris flow susceptibility analysis—A case study in Shihmen Reservoir Watershed.” (in Chinese))
 9. 經濟部中央地質調查所 (2009), 「地質敏感區災害潛勢評估與監測都會區周緣坡地山崩潛勢評估 (3/4)」。(Central Geological Survey, MOEA. (2009). “Landslide Susceptibility Zonation in Slope land of Urban Area (3/4).” (in Chinese))
 10. Atkinson, P.M., and Massari, R. (1998). “Mapping susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy.” *Computers and Geosciences*, 24, (4), 373-385.
 11. Claessens, L., Knapen, A., Kitutu, M.G., Poesen, J., and Deckers, J.A. (2007). “Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan footslopes of Mount Elgon.” *Geomorphology*, 90, 23-35.
 12. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P. (1999). “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy.” *Geomorphology*, 31, 181-216.
 13. Gregory, C., and Davis John, C. (2003). “Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas.” *Journal of Engineering Geology*. Volume 69, No. 8, 331-343, 2003.
 14. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., and Ardizzone, F. (2005). “Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale.” *Geomorphology*, 72, 272-299.
 15. Iverson, R.M. (2000). “Landslide triggering by rain infiltration.” *Water Resour. Res.*, 36, 1897-1910.
 16. Jibson, R.W., Keefer, D.K. (1993). “Analysis of the seismic origin of landslides: examples from the New Madrid seismic zone.” *Geological Society of America Bulletin*, 105(4), 521-536.
 17. Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A. (2000). “A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps.” *Engineering Geology*, 58, 271-289.
 18. Lee, C.T., Huang, C.C., Lee, J.F., Pan, K.L., Lin, M.L., and Dong, J.J. (2008a). “Statistical Approach to Earthquake-Induced Landslide Susceptibility.” *Engineering Geology*, 100(1-2), 43-58.
 19. Lee, C.T., Huang, C.C., Lee, J.F., Pan, K.L., Lin, M.L., and Dong, J.J. (2008b). “Statistical approach to storm event-induced landslide susceptibility.” *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 8, 941-960.
 20. Mark, R.K., and Ellen, S.D. (1995). “Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard.” *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 93-106.
 21. Montgomery, D.R., and Dietrich, W.E. (1994). “A physical-based model for the topographic control on shallow landsliding.” *Water Resour. Res.*, 30, 4, 1153-1171.
 22. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., and Soeters, R. (2006). “Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult?” *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65, 167-184
 23. Wilson, J.P., and Gallant, J.C. (2000). “Terrain analysis: Principles and applications.” New York, Wiley, 87-131.

2011 年 11 月 23 日 收稿

2012 年 01 月 02 日 修正

2012 年 02 月 08 日 接受

(本文開放討論至 2012 年 12 月 31 日)