

以集水區地文因子探討崩塌地植生復育之研究-以旗山溪集水區為例

朱豐沂⁽¹⁾ 陳明賢⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘 要

莫拉克風災造成集水區多處崩塌及洪水暴漲，大量土石淹埋周遭村落民宅、阻礙河道，其中以南台灣災情最為嚴重。因崩塌地分布幅員遼闊，如何有效萃取崩塌區位、監測評估植生復育狀況，提供崩塌地治理參考有其必要。本研究利用旗山溪集水區風災前後之衛星影像萃取崩塌區位，並以風災後一年之衛星影像評估崩塌區位之植生復育率，顯示集水區崩塌地之植生復育率已達 7.24%。另以集水區面積、集水區周長、集水區長度、河川主流長度、河川總長度、河川數量、平均高程、起伏量、源頭數量、平均坡度、集水區寬度、形狀因子、河川頻率與河川級序等 14 個地文因子；利用主成份分析探討其與崩塌地植生復育率之關係，結果顯示以集水區周長、源頭數量、河川數量、平均高程、平均坡度、起伏量、集水區寬度及形狀等因子對集水區崩塌地之植生復育率有顯著影響；可大致歸類為尺度類、梯度類及形狀類等三個主成份軸，由三個主成份軸約能萃取 83.79%之成份。再以 K 平均數群集將集水區植生復育率分為優、普通及差等三類，利用判別分析探討植生復育率之影響因子，可得三組之 Fisher's 線性判別函數，其分類準確達 70%，藉由集水區地文因子能有效的判釋崩塌地植生復育率之良窳，本研究所發展之模式可供集水區崩塌地治理之參考。

(**關鍵詞**：崩塌地、植生復育率、多變量分析)

A study of vegetative restoration for the watershed landslides by using topographic factors – A case study of Cis-han Creek watershed

Feng-Yi Chu⁽¹⁾ *Ming-shen Chen*⁽²⁾ *Chao-Yuan Lin*⁽³⁾

Graduate Student⁽¹⁾ Doctoral student⁽²⁾ Professor⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taiwan

(1)國立中興大學水土保持系碩士班研究生

(2)國立中興大學水土保持系博士班研究生

(3)國立中興大學水土保持系教授(通訊作者 e-mail: cylin@water.nchu.edu.tw)

ABSTRACT

Typhoon Morakot caused several collapses and floods in the watersheds, which resulted in debris disasters and channel blockages of the nearby villages especially located at the southern Taiwan. Due to scattered distribution of the landslides, how to extract the watershed landslides, and to monitor and assess watershed's vegetative restoration are necessary for landslide management. This study extracted the spatial distribution of landslides in Cishan Creek watershed using satellite images before and after the Typhoon event, and assessed the vegetative recovery rate (VRR) of the watershed by applying the image taken a year after the hits of Morakot. The results show that the VRR of the watershed landslides has reached to 7.24%. The topographic factors of a watershed such as watershed area, watershed perimeter, watershed length, length of mainstream, rivers of total length, number of rivers, elevation, relief, number of headwaters, slope, watershed width, form factor, stream frequency and stream order are employed to study the contributions to the VRR of the watershed landslides. Among them, the factors of watershed perimeter, number of headwaters, number of rivers, elevation, slope, relief, watershed width and form factor can be classified as categories of scale, gradient, and form three principal component axes, which extract about 83.79% of information and show significant effects on the VRR of the watershed landslides. The VRR can further be grouped by K-means as excellent, ordinary, and poor rates, which couples with discriminant analysis can derive Fisher's linear discriminant function to explore the affecting factors of the VRR for the watershed landslides and the accuracy of the classification can reach 70%. The topographic factors of a watershed can be used as an effective index to interpret the VRR of the landslides, and the models developed in this study can be as the references of watershed landslide management.

(Keywords : Landslides, Vegetation recovery rate (VRR), Multivariate analysis)

前言

莫拉克颱風於 2009 年 8 月 8 日至 9 日入侵台灣，創下台灣有史以來最大降雨量，降雨強度超過 200 年頻率，台灣南部山區因大量暴雨影響，許多地方發生洪水暴漲及崩塌，崩塌所造成之大量土石因而淹埋週遭村落民宅、阻礙河道，多處橋樑與道路損壞。此次風災推估南台灣山區約有一萬多處崩塌，受災面積高達 2 萬多公頃，損失遠高於 921 地震及其他風災，其中以高雄市甲仙區

旗山溪(楠梓仙溪)集水區內小林村所遭受之災害最為嚴重。

莫拉克風災造成旗山溪集水區有數百處崩塌，堆積之土砂量遠超乎以往，經過此次變動，造成地形地貌與景物的完全改變。風災至今已逾二年多，針對崩塌區位仍需瞭解後續發展情況以及植生是否有入侵崩塌區位，由於植生對於安定裸露地具有相當之功效，加上崩場地分布幅員遼闊，如何有效萃取崩塌區位、監測評估植生復育狀況，瞭解崩場地植生復育之良窳與環境因子之關係，將有助於植生復育率評估及提供崩場地治理

之參考。

由於崩塌區位分佈廣闊，若利用航空照片判釋所費不貲，如採用現地調查將費力費時，難以監測大範圍崩塌區位之變遷情形，因此利用衛星影像以旗山溪集水區為研究樣區。衛星影像圖具備多時攝像、涵蓋大面積及快速分析等優點，並可與舊資料影像互相比較，進而掌握其變遷過程。本研究取用風災前 2008/8/24 及風災後 2009/10/28、評估期 2010/12/10 三個不同時期之 SPOT 衛星影像，利用影像相減法分析崩塌地變遷，並使用準確度(Kappa)評估分析崩塌地萃取之準確性，以均質區劃定管理分區並萃取出其集水區之地文因子，利用主成份分析 14 項地文因子進行檢測，篩選出對植生復育率影響較為顯著之地文因子，並配合判別分析之 Fisher's 線性判別函數，冀由集水區地形因子判釋崩塌地植生復育之良窳，作為崩塌地植生復育成效推估之依據。

樣區與材料

1. 樣區概述

本研究樣區位於旗山溪(楠梓仙溪)四德大橋上游集水區(圖 1)，旗山溪集水區位於嘉義縣及高雄市，區內以旗山溪為主要溪流，主流發源玉山西南麓。旗山溪集水區面積約為 40,304ha，西鄰嘉義、台南縣兩縣，北接南投縣，東屬台東縣。集水區之地勢除下游甲仙區較為平緩外，大部分皆屬陡峭區位，海拔高 135m 至 3,949m 之間，全區自東北向西南傾斜，呈南北之狹長腰形。集水區六級(55%)以上之坡度約佔全區 54%，地質多屬桂竹林層，其次為石底層，交通動線以台 21 線

為主要聯外要道。集水區行政區域包含高雄市桃源區梅山里、三民區民權里、民生里、那瑪夏區及甲仙區小林里、關山里、和安里及東安里與嘉義縣阿里山鄉中山村、達邦村、里佳村、新美村茶山村等。

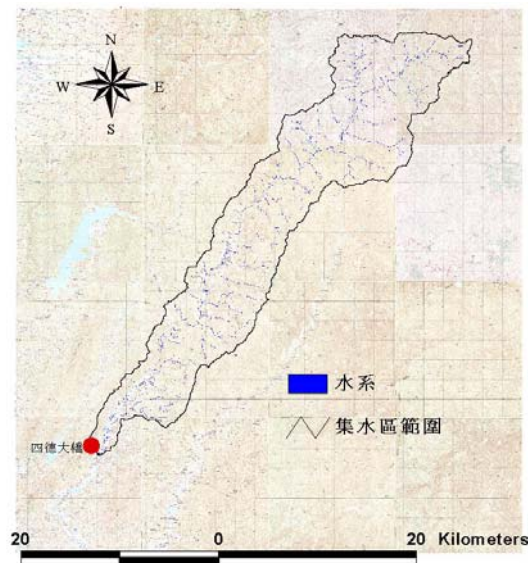


圖 1 旗山溪位置圖

Figure 1 Location of Cishan creek

2. 研究材料

(1)數值地形資料

利用林務局農林航測所製作之網格式資料數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，包含平面位置 X、Y 座標以及高程屬性，解析度為 20mx20m，用以進行集水區地形分析、水系網萃取及集水區嶺線萃取等。

(2)衛星影像

為瞭解研究樣區在莫拉克風災過後變遷之情況，因此所選用時間為莫拉克風災前(2008/8/24)、後(2009/10/28)及一年後

(2010/12/10)等三期的衛星影像，為中央大學太空及遙測中心之影像之 SPOT 衛星影像，空間解析度則為 20m×20m，用以進行崩塌地萃取、植生復育率分析。

研究方法

1. 崩塌地萃取

(1) 影像相減法

影像相減法(Image Subtraction)於多時段影像土地利用變遷偵測，影像相減之示意圖(圖 2)是將兩個不同時期影像相減後之成果，沒有改變之地區，亮度值會非常小(趨近於零)，而變遷較大之地區，其值會出現正值或負值。以 8 位元儲存格式為例，其相減後之值域分布為-255 到+255 之間，理論上未發生變遷之亮度差值會分布於 0 附近，通常可將其加上一常數轉換至正值(Jensen, 1996)，其計算式輸出值如下：

$$BV_{out} = (BV1 - BV2) / 2 + C$$

式中， BV_{out} ：改變之亮度值，即為影像相減輸出值； $BV1$ ：時間 1 之亮度值，即為 1 原始影像值； $BV2$ ：時間 2 之亮度值，即為 2 原始影像值； C ：常數，即為 127。

84	80	76		80	78	75		4	2	1
93	85	79		91	84	80		2	1	-1
96	91	86		96	92	88		0	-1	-2
Date1				Date2				Difference		

圖 2 影像相減法示意圖

Figure 2 Image subtraction diagram

(2) 變遷門檻值萃取崩塌地

利用崩塌地種子點取得崩塌地之初始門檻值，再由使用者以滑鼠或鍵盤調整崩塌地變遷百分比，快速萃取崩塌地資訊，可與現地輔助資料如彩色航照圖、相片基本圖或現場 GPS 實測資料等進行視覺比對，計算變遷門檻值、崩塌地區位及面積。所萃取之崩塌區位雖然較為主觀及無法精確評估資料，但其結果與現況差不多，對於坡地災害緊急治理或評估時，可提供即時且有效之資訊(林昭遠等，2009)。

2. 準確度評估

影像分類準確度評估乃以一個像元大小為基礎單位，經隨機方式抽取檢核的像元，每一個土地覆蓋類別均至少建立 30 個以上的亂數檢核點，再以現地調查資料或土地覆蓋等相關資料，逐一校對每一檢核點後，建立各檢核點之真實土地覆蓋類別，比較各檢核點影像分類後之土地覆蓋類別與真實類別，可產生統計表稱為誤差矩陣如表。Congalton (1991) 建議抽取的檢核點以大於 250 為佳，而檢核點數目則依據所分類影像像元數多寡而定，公式如下：

$$n = P(1 - P) \left[\frac{Z^2 / a}{e} \right]^2$$

式中 n 為樣本數、 P 為樣本比例、 e 為可容忍誤差值、 Z 為標準化常態變值。假設樣本比例為 0.5，即每一個樣本被選取與不被選取的機率各半，信賴區間為 90%，可容忍誤差值為 0.05，當 $Z \sim N(0,1)$ 時， Z 為 1.645，代入上式即可得 n 為 271。

在誤差矩陣中，列的資料為分類後土地

覆蓋類別之檢核點數，行的則為參考資料的檢核點數，利用上述資料，求得生產者精度 (Producer Accuracy)、使用者精度 (User Accuracy)、整體準確度 (Overall Accuracy)、漏授 (Omission Error)、誤授 (Commission Error) 及 Kappa 統計值；其中，當 Kappa 值為 1 時，表示為完美同意；而當 Kappa 值為 0 時，即同意度不高。

3. 集水區劃分及地文因子萃取

(1) 集水區劃分

Jenson and Domingue (1988) 利用 O' Callaghan and Mark (1984) 之累積流量觀念為基礎，提出累積流量之差值劃分集水區，累積流量差值之定義以每一網格為一個流量單位，計算每一網格與下游網格間其累積流量或上游流入個數之差值，若網格之累積流量差值大於或等於使用者給定門檻值，則指定該網格為集水區出口，往上游進行萃取可得集水區邊界。

由於集水區是以累積流量之門檻值 (Threshold) 來決定，因此集水區邊界之範圍大都以試誤法或由使用者主觀上來認定。另區位上某一點之土地利用、氣候條件、土壤、地質與其鄰近點位甚為相近，且影響該點之環境因子眾多，若採用單點進行計算，雖可準確瞭解各點位之差異，但亦易受各圖資資料精度不同導致雜訊過多，導致分析結果不佳，故本研究以均質區之觀點進行分析，並考量集水區排水流向及日後管理之簡便，以集水區地形分區進行均質區之劃定。

(2) 集水區地文因子

依據水土保持技術規範之規定，並整合

數值高程模型資料及地理資訊系統技術，分析集水區地文資訊，藉以了解集水區相關特性。集水區地文因子之計算式整理如表 1 (林昭遠等，2000)。

表 1 集水區地文因子分析項目
Table 1 Items of topographic information of the analyzed watershed

集水區特性	符號	單位	計算式或說明
(1) 集水區面積	A	km ²	$A = a \times n \times 10^{-6}$ ；(a：網格面積 [m ²]，n：集水區網格數目)
(2) 集水區周長	P _w	m	$P_w = l \times n$ ；(l：網格長度 [m]，n：集水區邊界鄰接網格邊長數目)
(3) 集水區長度	L _w	km	集水區最遠端至出口之直線投影長
(4) 河川主流長度	L ₀	km	集水區內最長之河川長度
(5) 河川總長度	L _T	km	集水區內全部河川長度總和； $L_T = \sum_{i=0}^n L_i$ ， L_0 為主流長度， $L_1, \dots, L_n$ 為支流長度
(6) 河川數量	N	-	集水區內之溪流數量
(7) 平均高程	$\bar{H}$	m	集水區高程之平均值； $\bar{H} = \frac{\sum Z}{n}$ ；(Z：網格之高程值)
(8) 起伏量	R _f	m	集水區之最大高差； $R_f = H_{max} - H_{min}$
(9) 平均坡度	$\bar{S}$	%	集水區坡度之平均值； $\bar{S} = \frac{\sum slp}{n}$
(10) 起伏比	R	-	集水區之最大高差除以該兩點水平距離之值； $R = \frac{R_f}{\Delta d}$
(11) 集水區寬度	W	km	集水區面積除以河川主流長度之值； $W = \frac{A}{L_0}$
(12) 形狀因子	F	-	單位主要河川長度之集水區寬度； $F = \frac{W}{L_0} = \frac{A}{L_0^2}$
(13) 密集度	C _s	-	同一集水區面積所對應之周長除以集水區周長； $C_s = 2(\sqrt{\frac{A}{\pi}}) \times \frac{\pi}{P} = \frac{3.54\sqrt{A}}{P}$
(14) 圓比值	M	-	集水區面積除以與集水區周長等長之圓面積； $M = \frac{A}{(\frac{P}{2\pi})^2 \pi} = \frac{4\pi A}{P^2}$

4. 植生復育率及多變量統計分析

(1)植生復育率

崩塌地治理主要目的為穩住裸露邊坡，促進植生入侵，以恢復崩塌前之環境，故崩塌地之植生覆蓋情形可作為崩塌地復原成效評估指標之一，本研究利用植生復育率 (Vegetative Recovery Rate, VRR)作為評估崩塌地植生復育優劣之指標。植生復育率以 NDVI 為基礎並將其線性轉換，計算不同時期影像之植生恢復百分比，可量化分析崩塌地植生復原之情形，其中植生復育率以崩塌前之 C_0 為參考值，並計算任一其評估期之 C_2 恢復至崩塌前之百分比，植生復育率公式如下(林昭遠等，2001)：

$$VRR(\%) = \frac{C_2 - C_1}{C_0 - C_1} \times 100\%$$

式中： C_0 為崩塌前之植生覆蓋指數； C_1 為崩塌初期之植生覆蓋指數； C_2 為評估期之植生覆蓋指數。

(2)多變量分析

多變量分析是一種有效率的方法，能將環境中錯綜複雜關係之因子，找尋其中之規律性，把複雜關係簡化並發現其中主要資訊，把數據結果進行分析與判別，能將複雜現象或問題進一步做合理之整理、判斷與預測(林昭遠，2000、莊智瑋，2010)。本研究以崩塌地植生復育率為評估標準，配合集水區地文因子，以 SPSS 多變量統計分析軟體中之主成份分析及判別分析，分析集水區地文因子哪些較具顯著性及推導出崩塌地植生復育率良窳之分類函數。

主成份分析為一種篩選多變數之統計方

法，主要是在處理彼此可能具有相關之變項情況，其功能是將變數予以減少，並使得各變數間相互具有獨立之線性組合；主成份分析之優點為：(1)可消除變數間之相關性；(2)降低變項維度，萃取重要資訊並簡化模式之複雜度；(3)對變數間之關係提供較客觀之分析方式。具體而言，以僅少數潛在變數或成份便能代表許多彼此相關之變項結構，利用主成份分析將數個變數予以線性組合，經由線性組合而得主成份變異數之觀測值，亦使各觀測值在這些成分方面顯現出最大之個別差異(林清山，1995)。

主成份變數與原變數數目一樣多，在實際應用經驗中說明 70%~90%之變異解釋能力做為選定之標準，對於主成份個數之多寡，目前無一特定標準。Kaiser's rule(Kaiser, 1960)建議主成份數選取，可取特徵值 $\lambda \geq 1$ 之個數。而 Pratsinis 等(1988)認為特徵向量之決定值大於 0.7 者，表示相關顯著，可以成為篩選同一主成份變數內之原數之依據。

判別分析為多變量分析中用於判別資料樣本所屬類型之方法。Johnson and Wichern(1982)認為判別分析能夠建立判別函數，能分類已知又能對未知重新配置，進而達到分類之目的。在研究對象分類已知情況下，依據樣本資料推導出一組或多組判別函數。

判別分析依據判別組數分為兩組或多組，依據數學模式不同可分為 Fisher's 與 Bayes 判別等。本研究以 K 平均數群集將植生復育率分類並利用判別分析較顯著之地文因子推導出 Fisher's 線性判別函數進行分類

討論，藉以瞭解植生復育率與地文因子之關係。本研究流程如圖 3。

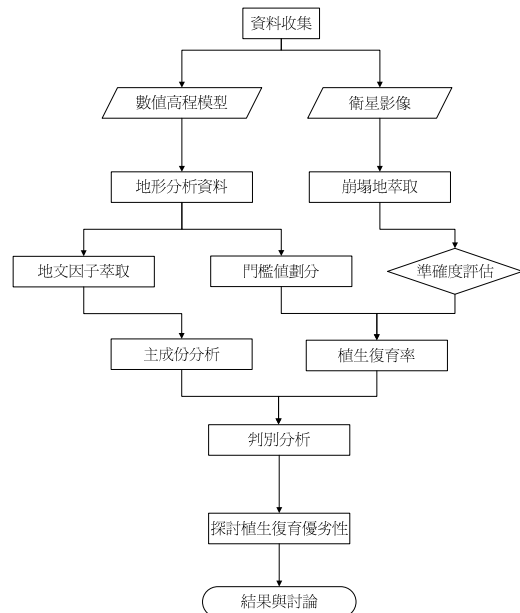


圖 3 研究流程
Figure 3 Flowchart of the study

結果與討論

1. 崩塌地萃取

利用影像相減法配合變遷門檻值進行崩塌地萃取，分析莫拉克風災前(2008/8/24)及風災發生後初期(2009/10/28)之 SPOT 衛星影像，將影像分類為崩塌地及非崩塌地(表 2 及圖 4)，整體精確度為 84%，Kappa 係數為 0.68，依據 Congalton(1991)及 Janssen and Vanderwel(1994)研究指出，kappa 係數小於 0.4 為差，0.4~0.7 為好，當 Kappa 大於 0.7 時，分類精確度屬良好。可知本研究所萃取崩塌地精確度之等級為好。並由誤差矩陣中

發現(檢核點 250 點)，崩塌地與非崩塌地誤授與漏授情況，分別為 19 及 21 個，經圖面檢視，發現產生原因多數落在崩塌地與植生交界之混合區塊所影響，其因為單一網格內如有兩種以上不同之地覆類別，將無法明確呈現該網格之地覆特性，另外還有受到衛星影像陰影影響等原因。

表 2 崩塌地分類誤差矩陣
Table 2 Classification error matrix of the Landslides

真實地表 分類 地表覆蓋	崩塌地	非崩塌地	合計	使用者 精度
崩塌地	106	21	127	83.46%
非崩塌地	19	104	123	84.55%
合計	125	125	250	-
生產者精度	84.80%	83.20%	-	-
整體精確度	84.00%			
Kappa係數	0.68			

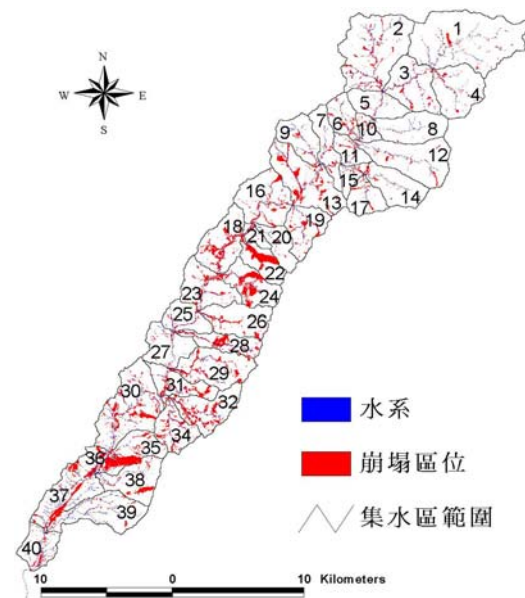


圖 4 崩塌區位空間分佈
Figure 4 Spatial distribution of the landslides

2. 植生復育率分析

旗山溪集水區崩塌區位之分佈(圖 4)，利用地形分區進行均質區劃定，可將旗山溪集水區劃定 40 個集水分區，各集水分區之面積、崩塌面積及植生復育率等資訊如表 3。

表 3 各集水分區相關資訊

Table 3 Basic information of each sub-watershed

集水分區編號	集水分區面積(ha)	崩塌面積(ha)	植生復育率(%)
1	3217.00	62.16	7.59
2	2463.36	121.92	15.34
3	1247.16	65.00	2.07
4	1263.16	40.96	14.76
5	755.76	17.80	9.52
6	601.76	49.40	11.40
7	746.16	32.52	6.63
8	1067.00	5.88	-7.50
9	823.52	33.80	16.69
10	292.92	19.12	5.75
11	442.16	23.80	12.64
12	1649.68	44.56	0.92
13	1684.84	197.00	4.33
14	975.12	27.08	3.59
15	314.04	20.88	6.19
16	1391.52	107.52	-0.43
17	623.68	28.80	4.29
18	1198.36	158.52	8.90
19	900.04	67.48	7.38
20	585.00	12.92	6.49
21	235.04	16.64	-9.09
22	659.88	165.16	6.03
23	1104.04	99.52	4.82
24	946.72	201.28	7.08
25	647.08	22.36	8.42
26	1077.40	70.20	8.93
27	903.16	30.32	11.90
28	718.16	123.44	4.84
29	1347.08	133.44	4.60
30	2058.40	219.76	4.30
31	773.84	100.88	3.14
32	1085.24	169.08	1.96
33	31.56	6.16	6.86
34	817.84	98.64	5.96
35	671.96	77.36	13.25
36	461.84	199.64	16.73
37	1395.96	195.52	6.82
38	1053.96	83.16	9.61
39	1353.04	54.12	11.49
40	720.16	49.36	25.32
合計	40304.60	3253.16	7.24

莫拉克風災後，旗山溪集水區崩塌面積約為 3252.16 公頃，經過 1 年多的時間，整體之植生復育率為 7.24%(表 3)，可見崩塌區位已有植被入侵，但是植生復育率不高，可能為崩塌初期，坡面尚未穩定，造成植生復育速度較為緩慢；針對各區植生復育率探討，其中最好達 25.34%，但是最差為-9.09%，而其他集水區為 0%~15%，多數集水區植生有逐漸恢復之情況，只有編號 8、16 及 21 呈現負值。

3. 植生復育率優劣探討

由表 5、6 所得之地文資訊相當繁多，探討地文因子與植生復育率之相關性並非易事，因此以多變量分析集水區地文因子與植生復育率之關係。表 4 顯示 14 項地文因子之個別平均數及標準差，從表中之 X10(集水區平均坡度)得其平均值為 65.53%，可看出分析集水區大多屬六級坡(>55%)。

表 4 各地文因子之平均值及標準差

Table 4 Mean and standard deviation of each topographic factor

	平均數	標準差
X1	10.0761	6.02486
X2	18.7680	5.97729
X3	4.5338	1.62711
X4	4.8472	2.32284
X5	8.354	7.2249
X6	8.2500	11.05174
X7	1384.5013	521.23573
X8	1331.8500	382.73178
X9	4.1500	5.53566
X10	65.5352	12.41162
X11	2.07270	.755833
X12	.5383	.36161
X13	.8064	.86467
X14	2.9250	1.14101

朱豐沂、陳明賢、林昭遠：
以集水區地文因子探討崩場地植生復育之研究-以旗山溪集水區為例

表 5 集水區地文因子資訊
Table 5 Watershed topographic information

編號	集水區面積 (km ²)X1	集水區周長 (km)X2	集水區長度 (km)X3	河川主流長度 (km)X4	河川總長度 (km)X5	河川數量 X6	平均高程 (m)X7
1	32.17	35.32	8.1683	8.6075	22.8534	17	2549.6951
2	24.6336	29.12	5.0804	9.4145	23.1706	23	2062.0004
3	12.4716	20.68	4.7802	5.8722	10.4954	9	1869.3566
4	12.6316	18.4	4.1303	3.8665	6.6874	9	2268.5912
5	7.5576	15.8	2.7732	2.6112	2.6395	1	1699.7965
6	6.0176	13.16	3.7643	4.3907	4.4107	1	1756.7463
7	7.4616	21.08	4.1701	4.1465	6.1128	3	1659.3005
8	10.67	18.44	5.7406	6.8061	9.5221	7	2016.263
9	8.2352	16.2	4.4019	4.8852	7.784	9	1773.0003
10	2.9292	9.44	2.0624	3.2823	3.3023	1	1404.1499
11	4.4216	12.4	2.5034	2.6595	2.6795	1	1398.6221
12	16.4968	25.6	6.6542	8.8007	10.614	8	2040.4281
13	16.8484	26.16	4.1217	5.6522	12.1969	11	1482.9995
14	9.7512	18	4.7431	5.0983	5.1266	1	2088.5015
15	3.1404	11.48	1.9874	2.9037	2.9237	1	1507.5328
16	13.9152	20.16	4.5411	5.7342	9.2656	7	1342.983
17	6.2368	13.28	3.161	2.3229	2.3512	1	1878.1858
18	11.9836	19.68	5.4913	4.6279	5.2155	3	1100.6018
19	9.0004	17.68	4.4084	4.0216	4.821	3	1654.1558
20	5.85	16.32	4.7451	3.2802	4.1548	5	1788.3806
21	2.3504	9.4	2.4518	1.4622	1.4822	1	1128.7328
22	6.5988	15.8	4.7887	1.9312	1.9512	1	1586.3447
23	11.0404	20.44	3.4458	4.4493	6.4756	5	1006.3555
24	9.4672	18.8	4.9244	4.059	4.0872	1	1507.1617
25	6.4708	14.48	3.0806	3.2174	5.3204	5	826.4224
26	10.774	20.32	5.7222	2.6257	2.6457	1	1498.2453
27	9.0316	17.96	2.8707	4.7149	5.068	3	804.4021
28	7.1816	20.76	6.687	7.3274	7.7853	3	1369.5489
29	13.4708	22.64	5.6134	5.608	9.3393	7	1396.2031
30	20.584	28.12	7.6784	10.689	24.6624	44	738.5113
31	7.7384	20.28	4.4902	3.5141	6.0233	5	899.1276
32	10.8524	22.12	5.7034	5.6928	8.6442	9	1317.7379
33	0.3156	3.68	1.0332	0.7325	0.7525	1	629.2535
34	8.1784	16.44	3.6797	4.9755	7.0516	5	1143.2947
35	6.7196	15.4	4.5202	2.9354	4.3286	7	1041.3357
36	4.6184	15.84	3.732	2.7402	7.5931	13	605.0116
37	13.9596	26.04	6.5233	8.7518	32.5538	51	494.6582
38	10.5396	20.32	5.3458	5.9549	6.4391	3	971.0554
39	13.5304	27.52	7.9752	8.4406	23.7024	29	698.8711
40	7.2016	15.96	3.6601	5.0832	11.9541	15	376.4891

表 6 集水區地文因子資訊(續)

Table 6 Watershed topographic information (continued)

編號	起伏量(m)X8	源頭數量 X9	平均坡度 (%)X10	集水區寬度 (km)X11	形狀因子 X12	河川頻率 X13	河川級序 X14
1	2437	9	84.2066	3.7374	0.4342	0.5284	3
2	1621	12	71.6399	2.6166	0.2779	0.9337	3
3	1500	4	75.3466	2.1238	0.3617	0.7216	4
4	1860	5	76.3553	3.267	0.8449	0.7125	3
5	1202	0	67.4631	2.8943	1.1084	0.1323	4
6	1292	1	63.8888	1.3705	0.3121	0.1662	1
7	1418	1	71.2283	1.7995	0.434	0.4021	4
8	1609	4	75.6861	1.5677	0.2303	0.656	2
9	1420	5	73.6738	1.6857	0.3451	1.0929	3
10	887	0	73.3253	0.8924	0.2719	0.3414	4
11	892	0	59.6358	1.6626	0.6252	0.2262	4
12	1763	4	73.8734	1.8745	0.213	0.4849	4
13	1405	5	74.5828	2.9809	0.5274	0.6529	4
14	1589	1	75.443	1.9126	0.3751	0.1026	1
15	1239	0	73.6915	1.0815	0.3725	0.3184	2
16	1493	3	83.1008	2.4267	0.4232	0.503	4
17	1383	1	69.0978	2.6849	1.1558	0.1603	1
18	1155	1	67.7304	2.5894	0.5595	0.2503	4
19	1576	2	77.7684	2.238	0.5565	0.3333	2
20	1715	3	76.484	1.7834	0.5437	0.8547	2
21	1094	0	70.7029	1.6075	1.0994	0.4255	4
22	1662	1	67.4084	3.4169	1.7693	0.1515	1
23	1226	2	53.2901	2.4814	0.5577	0.4529	4
24	1591	1	71.409	2.3324	0.5746	0.1056	1
25	862	2	41.9754	2.0112	0.6251	0.7727	4
26	1657	1	67.1216	4.1033	1.5627	0.0928	1
27	804	1	44.4366	1.9156	0.4063	0.3322	4
28	1520	2	72.3027	0.9801	0.1338	0.4177	2
29	1601	4	67.8089	2.4021	0.4283	0.5196	3
30	1289	22	60.5684	1.9257	0.1802	2.1376	4
31	1412	2	52.7449	2.2021	0.6266	0.6461	4
32	1559	5	76.1287	1.9063	0.3349	0.8293	2
33	471	0	56.7427	0.4309	0.5882	3.1686	3
34	1138	3	68.7299	1.6437	0.3304	0.6114	2
35	1291	4	60.819	2.2892	0.7798	1.0417	2
36	920	6	48.0184	1.6854	0.6151	2.8148	4
37	721	25	39.5191	1.5951	0.1823	3.6534	4
38	1311	2	59.5179	1.7699	0.2972	0.2846	2
39	1199	15	45.4452	1.603	0.1899	2.1433	3
40	490	7	32.5003	1.4168	0.2787	2.0829	4

表 7 及表 8 為 14 項地文因子標準化(平均值為 0，標準差為 1)所得之相關矩陣表，表 9 為經主成份分析所得各主成份軸之特徵值，顯示 14 項地文因子可由前三特徵值大於 1 之主成份軸代表(Pratsinis, 1988)，其三個特徵值分別為 6.12、4.21 及 1.4，特徵值總和為 11.73，三個主成份軸之總變異佔原來總變異的 83.79%(43.67%+30.09%+10.2%)，表示該三個主成份軸可以解釋 14 地文因子變數 83.79%之成份。圖 5 為各主成份軸依序排列並與其相對應之特徵所構成之陡坡圖，圖中在第三個主成份軸後坡度線甚為平坦，因此選定前三主成份軸進行分析。

表 10 為各主成份軸之特徵向量表。Pratsinis 等(1988)認為凡特徵向量之絕對值大於 0.7 者，表示相關顯著，可成為篩選同一主成份變數內之原變數依據。因此將各主成份軸特徵向量之絕對值大於 0.7 者標記，視為主成份之主要影響變量。第一成份主要影響變數有集水區周長(X2)、河川總長度(X5)、河川主流長度(X4)、集水區面積(X1)、集水區長度(X3)、源頭數量(X9)、河川數量(X6)；第二成份主要影響變數有平均高程(X7)、平均坡度(X10)、起伏量(X8)；第三成份主要影響變數有形狀因子(X12)與集水區寬度(X11)。從上述分析結果可知，前兩個主成份加起來可以解釋 73.78%之變異數，若在加上第三主成份，可以解釋之百分比可提升至 83.79%，而在第四個之後之主成份便沒有顯著之影響。

由分析數據所得第一主成份變數中，以集水區周長呈顯著之相關(0.939)，代表在探討植生復育率中集水區之大小具有極重要之

參考比重。由相關矩陣(表 8 及表 9)得知集水

表 7 各地文因子之相關矩陣

Table 7 Correlation matrix of each topographic factor

因子	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1.00	.917	.725	.796	.744	.549	.348
X2	.917	1.00	.850	.842	.783	.607	.204
X3	.725	.850	1.00	.793	.687	.572	.154
X4	.796	.842	.793	1.00	.861	.722	.092
X5	.744	.783	.687	.861	1.00	.934	-.106
X6	.549	.607	.572	.722	.934	1.00	-.299
X7	.348	.204	.154	.092	-.106	-.299	1.000
X8	.577	.547	.562	.303	.103	-.088	.803
X9	.571	.629	.615	.741	.939	.996	-.257
X10	.238	.110	.125	.037	-.198	-.344	.818
X11	.524	.461	.308	.017	.063	-.019	.416
X12	-.269	-.318	-.275	-.655	-.493	-.392	.120
X13	.024	.066	.122	.232	.550	.706	-.593
X14	.140	.143	-.116	.172	.286	.317	-.363

表 8 各地文因子之相關矩陣(續)

Table 8 Correlation matrix of each topographic factor (continued)

因子	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X1	.577	.571	.238	.524	-.269	.024	.140
X2	.547	.629	.110	.461	-.318	.066	.143
X3	.562	.615	.125	.308	-.275	.122	-.116
X4	.303	.741	.037	.017	-.655	.232	.172
X5	.103	.939	-.198	.063	-.493	.550	.286
X6	-.088	.996	-.344	-.019	-.392	.706	.317
X7	.803	-.257	.818	.416	.120	-.593	-.363
X8	1.00	-.033	.744	.602	.120	-.499	-.398
X9	-.033	1.00	-.309	.003	-.386	.684	.245
X10	.744	-.309	1.00	.270	.069	-.564	-.332
X11	.602	.003	.270	1.00	.602	-.376	-.137
X12	.120	-.386	.069	.602	1.00	-.293	-.271
X13	-.499	.684	-.564	-.376	-.293	1.00	.326
X14	-.398	.245	-.332	-.137	-.271	.326	1.00

表 9 主成份分析之特徵值

Table 9 Eigen value of principal component analysis

成份	初始特徵值			平方和負荷量萃取		
	總和	變異數的%	累積%	總和	變異數的%	累積%
1	6.12	43.67	43.67	6.12	43.676	43.67
2	4.21	30.09	73.77	4.21	30.099	73.77
3	1.40	10.01	83.79	1.40	10.018	83.79
4	.923	6.59	90.38			
5	.573	4.09	94.48			
6	.268	1.91	96.39			
7	.176	1.25	97.65			
8	.143	1.02	98.67			
9	.072	.517	99.19			
10	.042	.301	99.49			
11	.036	.256	99.74			
12	.026	.183	99.93			
13	.009	.065	99.99			
14	.001	.004	100.0			

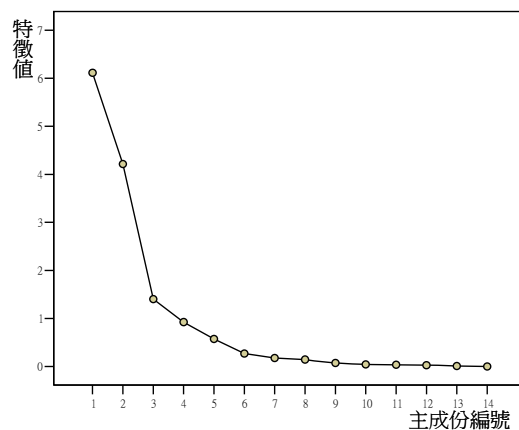


圖 5 特徵值陡坡分佈圖

Figure 5 Scree plot of eigenvalue

區面積、集水區長度、河川主流長度、河川總長度等與集水區周長有密切關係，分別為集水區面積(0.917)、集水區長度(0.850)、河

川主流長度(0.842)、河川總長度(0.783)。另兩項地文因子源頭數量與河川數量也在第一主成份中呈現顯著之相關(0.828)、(0.806)，由於植物生長與水源之多寡具有相當重要之影響，假設本研究以足夠雨量之前題下，變數中源頭數量與河川數量之多寡，影響到植物生長效率及拓展面積；故本研究依據 Gardiner(1978)地文因子分類方法，將第一主成份歸類為尺度類成份軸。

表 10 主成份分析之特徵向量

Table 10 Eigen vector of principal component analysis

	成份		
	1	2	3
X2	*.939	.152	.098
X5	*.921	-.300	-.141
X4	*.909	.034	-.340
X1	*.902	.240	.124
X3	*.862	.167	.037
X9	*.828	-.466	-.079
X6	*.806	-.514	-.088
X7	.133	*.888	.081
X10	.045	*.885	-.048
X8	.432	*.825	.246
X13	.298	-.787	-.186
X14	.156	-.484	-.145
X12	-.394	.078	*.878
X11	.319	.345	*.852

第二主成份主要顯著之變數為平均高程(0.888)、平均坡度(0.885)、起伏量(0.825)，高程之差異與所屬高程氣溫有關，高程愈高，氣溫愈低，不利於植物生長；平均坡度與起伏量，呈現地形是否陡峭，影響雨量降至地表後到集水區出口之間的流動時間，流動時間愈長，表示水份留於集水區內之時間也越長，影響植物吸收水分之時間，本研究

將第二主成份歸類為梯度類成份軸。第三成份變數有形狀因子與集水區寬度這兩項之特徵向量，絕對值大於 0.7，可以得知植生復育率與形狀因子及集水區寬度也有密切之關係，其中形狀因子由表 7 得知平均值為 0.321、標準差為 0.125，推算集水區形狀因子係數介於 0.196~0.446 之間，依據林昭遠等(2000)中提出土石流危險溪流之形狀因子係數介於 0.109~0.297，表示在係數範圍內之區域容易發生土石流，土壤容易流失，無法提供良好植物生長之立地空間，故本研究將第三主成份歸類為形狀類特性成份軸。

本研究以主成份分析法瞭解集水區植生復育率與集水區地文因子之關係，藉其結果篩選出集水區周長、源頭數量、河川數量、平均高程、平均坡度、起伏量、集水區寬度

表 11 植生復育率分類

Table 11 Classification of vegetative recovery rate

	各集群中心		
	1 優	2 普通	3 差
植生復育率	25.32	4.30	9.09

表 12 Fisher's 線性判別函數

Table 12 Fisher's Linear discriminant function

類別	Fisher's 線性判別函數
優	$F1 = -41.414 + 3.019 * X2 + 1.591 * X6 - 3.538 * X9 - 0.006 * X7 - 0.024 * X8 + 1.293 * X10 - 14.357 * X11 + 38.407 * X12$
普通	$F2 = -55.010 + 3.314 * X2 + 2.655 * X6 - 5.770 * X9 - 0.010 * X7 - 0.021 * X8 + 1.491 * X10 - 16.692 * X11 + 43.323 * X12$
差	$F3 = -60.770 + 3.359 * X2 + 3.312 * X6 - 6.935 * X9 - 0.009 * X7 - 0.018 * X8 + 1.526 * X10 - 21.252 * X11 + 50.647 * X12$

表 13 分類準確度

Table 13 Classification accuracy

集群觀察值個數		預測的各組成員			總和
原始各組成員個數		優	普通	差	
	優	9	1	0	10
	普通	4	18	6	28
	差	1	0	1	2
%	優	50.0	.0	50.0	100.0
	普通	90.0	10.0	.0	100.0
	差	14.3	64.3	21.4	100.0

註：70.0%個原始組別觀察值已正確分類

及形狀等 8 項地文因子，對於植生復育率皆有較有顯著之影響，並利用 K 平均數群集將集水區植生復育率分為優、普通、差等三類(表 11)，各群集中心分別為 25.32、4.30 及 -9.09，利用較顯著地文因子進行判別分析取得 Fisher's 線性判別函數(表 12)，植生復育率分類準確可達 70%(表 13)。

結論

莫拉克風災造成旗山溪集水區多處崩塌，雖然地形地貌受到改變，但經過 1 年多後，崩塌地植生已經有逐漸復原之情況，集水區植生復育率達 7.24%。本研究藉由主成份分析 14 項集水區地文因子，篩選出集水區周長、源頭數量、河川數量、平均高程、平均坡度、起伏量、集水區寬度及形狀等 8 項地文因子對於植生復育率皆具有較顯著之影響，可大致歸類為尺度類、梯度類及形狀類等三個主成份軸，由三個主成份軸約可萃取出 83.79%之成份，並以群集分析將植生復育率分為優、普通、差等三類，利用判別分析探討植生復育率之影響因子，可得三組之

Fisher' s 線性判別函數，其分類準確可達 70 %，藉由集水區地形因子能有效的判釋崩場地植生復育之良窳。本研究所發展之模式能對於崩場地變監測、規劃治理及植生復育成效推估，提供相關單位參考。

誌謝

本文承行政院國家科學委員會集水區環境復育指標之建置與應用（編號：NSC98-2313-B-005-007-MY3）計畫之支持，致使本研究得以順利完成，作著在此表達謝意。

參考文獻

1. 林昭遠(2000),「集水區地型因子自動萃取之研究-土石流危險溪流判釋之用」,中華水土保持學報,第一卷,第三十一期,第 81-91 頁。
2. 林昭遠、林文賜(2000),「集水區地水文因子自動萃取之研究」,中華水土保持學報,第三卷,第三十一期,第 247-256 頁。
3. 林昭遠、張力仁(2000),「地文因子對土石流發生影響之研究-以陳有蘭溪為例」,中華水土保持學報,第三十一期,第三卷,第 227-237 頁。
4. 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜(2001),「921 震災崩場地植生復育監測與評估」,中華水土保持學報,第一卷,第三十二期,第 59-66 頁。
5. 林昭遠、莊智瑋(2009),「21 地震崩場地特性及變遷監測分析」9,921 地震對生態影響與回復研討會,第 11-32 頁。
6. 林清山(1995),「多變項分析統計法」,東華局,第289-336 頁。
7. 莊智瑋(2010),「環境指標應用於崩場地植生復育之研究」,國立中興大學水土保持學系博士論文。
8. Congalton, R. G. (1991), "A review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data," Remote Sensing of Environment, 3: 35-46.
9. Gardiner, V. (1978), Drainage Basin Morphometry, in Geomorphological Techniques, Ed. Andrew Goudie, Unwin Hyman.
10. Jensen, J. R. (1996), Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective, Second Edition, Prentice Hall.
11. Jenson, S. K. and J. O. Domingue (1988), "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 54(11): 1593-1600.
12. Johnson, R. A., and D. Wichern. (1982), Applied multivariate statistical analysis, Prentice Hall, New Jersey.
13. Janssen, L. L. F. and F. J. M. Vanderwel (1994), "Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60(4): 410-432.
14. Kaiser, H. F. (1960), "The Application of

- electronic computers to factor analysis,”
Educational and Pshchological
Mesurement, 20: 141-151.
15. O’Callaghan, J.F. and D.M. Mark (1984),
“The Extraction of Drainage Networks
from Digital Elevation Data,” Computer
Graphics and Image Processing, 28:
323-344.
16. Pratsinis, S. E., M. D. Zeldin and E. C.
Ellis (1988), “Source Resolution of the
Fine Carbonaceous Aerosol by Principal
Componet-Stepwise Regression
Analysis,” Environ. Sci Technol, 22:
212-216.

101 年 04 月 21 日收稿

101 年 05 月 01 日修改

101 年 05 月 02 日接受

水土保持學報 44(2) : 135 – 150 (2012)

Journal of Soil and Water Conservation , 44 (2) : 135 - 150 (2012)