

# 地文因子對旗山溪集水區莫拉克風災崩塌地植生復育影響之研究

林子荃<sup>(1)</sup> 江孟玲<sup>(2)</sup> 林昭遠<sup>(3)</sup>

## 摘要

莫拉克颱風於 2009 年 8 月 6 日至 10 日為台灣中南部帶來嚴重災害，創紀錄之超強雨勢造成南台灣山區多處村落遭到崩塌而摧毀掩埋、人員傷亡與房屋毀損，並造成土石鬆動以及植生破壞，地形地貌已全然不同。然風災至今已近三年，有必要對崩塌地進行植生復育評估，瞭解崩塌區位植生復育變遷情況。本研究利用旗山溪集水區莫拉克風災前後之衛星影像，萃取崩塌區位，並以風災後一年及二年之衛星影像，分別計算崩塌區位兩期之植生復育率。結果顯示風災後一年及二年；旗山溪崩塌地植生復育率分別為 6.16%與 28.61%，植生復育率提升了 22.45%，表示崩塌區位植生有持續復原之趨勢。另以 19 項集水區地文因子；利用主成分分析，探討集水區地文因子與植生復育率之關係，可歸類為五個主成份軸，五個主成份軸約能解釋 90.82%之成份。再以 Kmeans 群集將崩塌地植生復育率分為優、好、普通及差等四類，利用判別分析具顯著影響之集水區地文因子，可得四組之 Fisher's 線性區別函數，其分類準確第一年達 60%、第二年可達 90%；兩年間植生復育差值之分類精準可達 77.5%，得知集水區地文因子對崩塌區位之植生復育率有顯著之影響，其解釋能力隨演替時間越久有越好之趨勢。

(**關鍵詞**：崩塌地、多變量分析、植生復育、地文因子、旗山溪)

## Effects of topographic factors on the vegetation recovery for the landslides caused by Typhoon Morakot in the Chishan streams watershed

*Yu-Chuan Li*<sup>(1)</sup> *Mon-Ling Chiang*<sup>(2)</sup> *Chao-Yuan Lin*<sup>(3)</sup>

Graduate Student<sup>(1)</sup>, Doctoral student<sup>(2)</sup>, Professor<sup>(3)</sup>, 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 dumped torrential rains that caused serious flooding in the central and southern Taiwan. This serious storm had washed out the villages in the mountain and caused large amounts of landslide. Three years passed, the vegetation recovery rate (VRR) of the landslides needs to be evaluated to know the changes of vegetation recovery status. SPOT satellite images of the Chishan streams watershed were applied to extract the spatial distribution of landslides and calculate the VRR of the landslides. Results show that the average of VRR is reached to 6.16% for the 1st year and 28.61% for the 2nd year. The increase of 22.45% means that the recovery status is better. Principle component analysis depicts that five principle components can be derived from 19 topographic factors and there is about 98.82% interpretation. Furthermore, four categories (excellent, fine, ordinary and worse) of VRR were classified using K-Means clustering method, which coupled with discriminant analysis can get four sets of Fisher's Linear Discriminator to understand the effects of topographic factors on the VRR of the watershed landslides. The accuracy can reach up to 60% for the 1st year and 90% for the 2nd year, while the difference of the two phases is 77.5%. It shows that watershed topographic factors can efficiently interpret the VRR of the landslides.

(**Keywords:** Landslides, Multivariate Analysis, Vegetation Recovery Rate, topographic factors, Chi-shan stream watershed)

## 前言

莫拉克颱風伴隨強烈西南氣流，引進大量豪雨，造成台灣中南部地區嚴重水災，引發多處崩塌。旗山溪集水區因颱風豪雨帶來之植生破壞及土壤嚴重流失，造成坡面穩定性降低，延遲植物生長及入侵速度。由於崩塌區位分布遼闊且零散，如採用現地傳統調查較為費時費工，難以評估大範圍崩塌區位與植生變遷情形，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。本研究蒐集旗山溪集水區之莫拉克風災前後四期 SPOT 衛星影像資料，利用影像相減法萃取崩塌區位，另以 DEM 資料劃分 40 個管理分區並萃取各管理分區之地文因子，找出 19

個地文因子的特徵向量，將災後第一、二年及兩期差值之植生復育率分為四類，配合判別分析探討影響植生復育之主要地文因子。

## 研究樣區與材料

### 一、研究樣區概述

樣區位於嘉義縣及高雄市，以台 21 線為主交通動線，旗山溪發源地為玉山西南麓，向西南方蜿蜒而下，其東鄰老濃溪、西鄰曾文溪，略成平行河道，流經地區為三民、甲仙、杉林至旗山匯入高屏溪(圖 1)，全長 104 公里，旗山溪集水區面積約為 40,200ha，平均高程為 1385m，平均坡度為 65.53% (表 4)。

## 二、研究材料

### (一) 衛星影像

分別為莫拉克風災前期(2008/08/24)、後期(2009/10/28)、一年後(2010/12/10)及兩年後(2011/10/28)之衛星影像，作為樣區崩場地萃取及植生復育率評估。

### (二) 數值地形資料

使用林務局農林航測所製作之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，進行集水區地文因子之萃取。

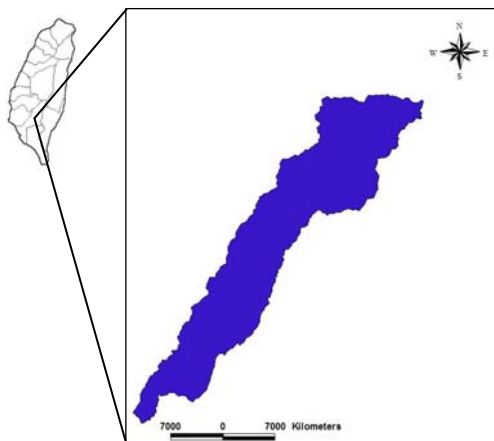


圖 1 樣區位置圖

Figure 1 Map of the study areas

## 研究方法

### 一、崩場地萃取

崩場地萃取方式使用 SPOT 衛星影像感測器所接收的波段為綠光、紅光及近紅外光，因綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，採用常態化

植生指標 ( Normalization Difference Vegetation Index, NDVI ) 作為分類之指標，利用影像相減法 ( Image Differencing )，對完成 NDVI 分類，由影像處理軟體將兩時期影像之像元灰度值彼此相減以了解其變遷情形，可快速區別出新增裸露地與植生覆蓋之區域，可與多時期舊有影像比對，進而得知其變遷資訊(蕭國鑫等 1994；Gomez and Kavzoglu, 2005)。將兩個不同時期之影像相減後之成果，沒有改變之地區值會非常小 (趨近於零)，而變遷較大之地區其值會出現較大之正值或負值。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，結果將會經由加上一個常數轉換至正值 (Jensen, 1996) 計算式如下：

$$BV_{out} = (BV_1 - BV_2) / 2 + C$$

BV<sub>out</sub>：改變之亮度值；即為影像相減輸出值。

BV<sub>1</sub>：時間 1 之亮度值；即為 1 原始影像值。

BV<sub>2</sub>：時間 2 之亮度值；即為 2 原始影像值。

C：常數；即為 127。

83	79	73	-	80	83	74	=	3	-4	-1
92	84	78		90	82	75		2	2	3
95	91	86		92	91	85		3	0	1
Date1				Date2				Difference		

圖 2 影像相減法示意圖

Figure 2 Image subtraction diagram

經相減程序後，每個波段之影像亮度差異值會產生近似於高斯的分布狀態，如圖 3 所示，其中有發生變化之像元多被發現位於分布曲線之尾端，而未變化之像元多分布於平均值附近 (Jensen, 1996)，如影像變遷與無變遷可依經驗選擇一變遷之門檻值。

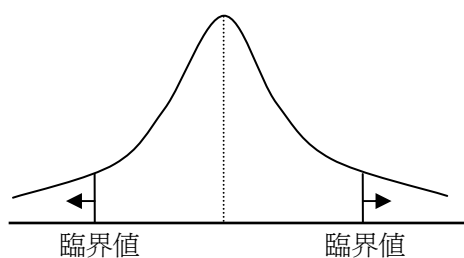


圖 3 影像相減後之常態分布圖

Figure 3 Normal distribution of Image subtraction diagram

## 二、影像分類準確度評估

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 (檢核點)，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；比較各檢核點之影像分類後的土地覆蓋類別與真實類別，可產生誤差矩陣統計表；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：

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

上式中，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，行的資料則為參考資料的檢核點數，利用上述資料，求得下列統計值：

### (一) 生產者精度 (Producer Accuracy, PA)

指屬於某一真實地面參考資料的土地覆蓋類別之檢核點，被正確分類像元數的百分比。

$$PA = X_{ii} / X_{i+}, X_{i+} = X_{AA} + X_{BA} + X_{CA} + X_{DA}$$

### (二) 使用者精度 (User Accuracy, UA)

分類後各土地覆蓋類別，對應到地面真實參考資料時，真正為該種類別的像元數百分比。

$$UA = X_{ii} / X_{i+}, X_{i+} = X_{AA} + X_{AB} + X_{AC} + X_{AD}$$

### (三) 整體準確度 (Overall Accuracy, OA)

分類後正確的土地覆蓋類別之檢核點數之總合，除以總抽取的檢核點數。

$$OA = \left[ \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{\sum_{i=1}^r X_{ii} (\sum_{i=1}^r X_{ii})} \right] \times 100\%$$

上式中 r：類別數、X<sub>ii</sub>：誤差矩陣中對角線元素、X<sub>1+</sub>：誤差矩陣中第 i 列之和、

$X + i$ ：誤差矩陣中第  $i$  行之和。

(四) 漏授 (Omission Error, OE)

指屬於某一真實地面參考資料的土地覆蓋類別之檢核點，不正確分類像元數的百分比。

(五) 誤授 (Commission Error, CE)

分類後各土地覆蓋類別，對映到地面真實參考資料時，不為該種類別的像元數百分比。

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
(6) 河川數量	N	-	集水區內之溪流數量
(1) 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	集水區之最大高度差； $R_f = H_{max} - H_{min}$
(9) 源頭數量	-	-	-
<b>梯度類因子</b>			
(1) 平均坡度	$\bar{S}$	%	集水區坡度之平均值； $\bar{S} = \frac{\sum slp}{n}$
(2) 起伏比	R	-	集水區之最大高度差除以該兩點水平距離之值； $R = \frac{R_f}{\Delta d}$
<b>形狀類因子</b>			
(1) 集水區寬度	W	km	集水區面積除以河川主流長度之值； $W = \frac{A}{L_0}$
(2) 形狀因子	F	-	單位主要河川長度之集水區寬度； $F = \frac{W}{L_0} = \frac{A}{L_0^2}$
(3) 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； $C_s = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \times \frac{\pi}{P} = \frac{3.54A}{P}$
(4) 圓比值	M	-	集水區面積除以與集水區周長等長之圓面積； $M = \frac{A}{(\frac{P}{2\pi})^2 \pi} = \frac{4\pi A}{P^2}$

(5)細長比	E	-	與集水區相等面積之圓直徑除以集水區長度 $E = \frac{\sqrt{A/\pi}}{L} = \frac{1.128\sqrt{A}}{L}$
<b>流域網路類因子</b>			
(1)水系密度	DS	-	全部河川長度總和除以集水區面積值： $D_s = \frac{L_T}{A}$
(2)河川頻率	FS	-	集水區內河川數目除以集水區面積之值： $F_s = \frac{N}{A}$
(3)河川級序		-	

### 三、集水區劃分及地文因子萃取

#### (一) 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。

集水區是以累積流量之門檻值來決定，集水區內的地表特性、土壤、地質及氣象等條件組合，會造就不同的水系特性，且影響該點之環境因子眾多，集水區邊界之範圍大部分是以試誤法或由使用者主觀上來認定，故以集水區地形分區進行均質之劃定。

#### (二) 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、林文賜，2000)。

##### 1. 植生復育率

植生復育率係以崩塌區位風災前之 NDVI<sub>0</sub> 為參考值，計算任一評估期之 NDVI<sub>2</sub> 恢復至風災前之百分比，其計算式如下(林昭遠等，2001)：

$$VRR(\%) = \frac{NDVI_2 - NDVI_1}{NDVI_0 - NDVI_1} \times 100\%$$

上式中：

NDVI<sub>0</sub>：崩塌前之植生指標。

NDVI<sub>1</sub>：崩塌初期之植生指標。

NDVI<sub>2</sub>：評估期之植生指標。

##### 2. 多變量統計分析

經國內外之相關研究，曾被考慮或使用過的山崩潛感因子超過五十種(林彥享，2003)，其中有許多是無法量化的因子，其在分析上難度比較高，在多樣的因子進行分析是絕對沒有必要。依據水土保持技術規範之規定，初步篩選出集水區地文因子，供進一步研究。多變量統計分析為一良好工具，能將環境系統中錯綜複雜之因素關係，尋覓出其規律性，將複雜之現象簡化，抽提出其中之主要信息，對數據之結果進行分析及判斷，配合地理資訊

系統在空間上之展現能力，能將複雜問題或現象做有效之整理、判斷與臆測（林昭遠，2000）。Johnson and Wichern(1982)認為判別分析能夠建立區分(separation)函數去分類已知，又能對未知重新配置(allocation)達到分類之目的。Kaiser's rule (Kaiser, 1960)建議主成分數選取，可取特徵值  $\lambda \geq 1$  之個數。Pratsinis et al.(1988)認為凡特徵向量之絕對值大於 0.7 者，表示相關顯著，可以成為篩選同一主成分變數內之原變數依據。本研究利用崩場地植生復育率為評估標準，配合集水區地文因子，使用 SPSS 多變量統計分析軟體中之

主成份分析及判別分析，分析崩場地植生復變遷之影響因子。

### 3. Kmeans 平均數集群

K 平均數集群(K-means method)，應用於「集群」來「分群」的分析方法，辨別某些事物具有相同特性，將事物依照某些特性，劃分成數個集群，在同一集群中具有高度均質性，而不同集群中則有相異性。植生復育率分類以 K 平均數集群將植生復育率優、好、普通及差等四類。

### 4. 判別分析

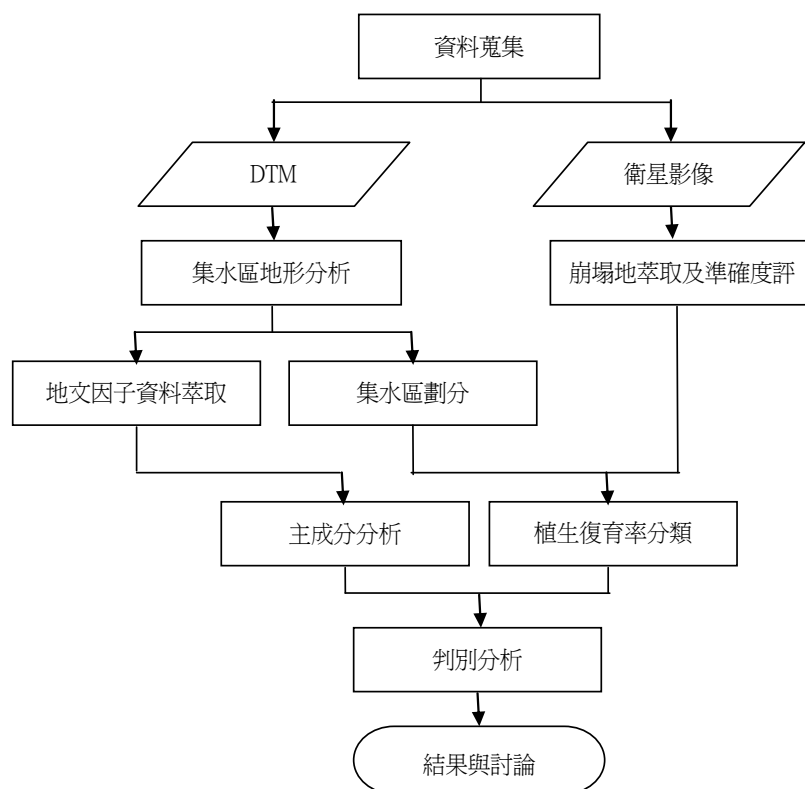


圖 3 研究流程

Figure 3 Flowchart of the study

判別分析(discriminant analysis) 是以一組自變數來預測一個依變數，其依變數為不連續性之間斷資料型態，主要用來再計算一組自變數的線性組合對依變數加以分類，並檢查其各分類之正確性。利用判別分析較顯著之集水區地文因子，推導出 Fisher's 線性判別函數進行分類討論，瞭解植生復育率與地文因子之關係，準確判釋崩塌地植生復育率之優劣區位。本研究流程如圖 3。

表 2 分類誤差矩陣

Table 2 Error matrix of the classification

真實地表分類	崩塌地	非崩塌地	合計	使用者精度
覆蓋地表覆蓋				
崩塌地	105	19	124	84.68%
非崩塌地	20	104	124	83.78%
合計	125	123	248	
生產者精度	84.00%	84.55%		
整體精確度	84.27%			
Kappa 係數	68.548%			

(一) 植生復育率分析

以均值區將旗山溪集水區劃分 40 個分區，各集水分區之面積、崩塌面積及各期植生復育率等資訊(如表 5、圖 4)。第一年平均植生復育率為 6.16%，第二年平均植生復育率為 28.61%，兩期植生復育率之差值為 22.45%(表 5)；第一年各區植生復育率探討，其中最好的達到 18.52%，最差為-11.53%，其他分區多介於 0~13%，多數

集水區植生有逐漸恢復之情況只有編號 1、5、8、21 呈現負值；而第二年各區植生復育率整體發展有逐漸恢復趨勢，其中最好的達到 68.29%，最差的達到-3.20%，其他集水區幾乎介於 15~45%，多數集水區植生有逐漸恢復之情況，只有編號 1、4 呈現負值，顯示第二年崩塌區位，下游段編號 25~40 樣區崩塌地整治植生復育狀況良好，有顯著成長，上游段編號 1~24 樣區崩塌地因坡度較陡，平均高程較高，植生恢復狀況較緩。由兩期植生復育率比較探討，編號 2、4、15、20 有變差的趨勢，編號 25、30、35、37 植生恢復率較大。

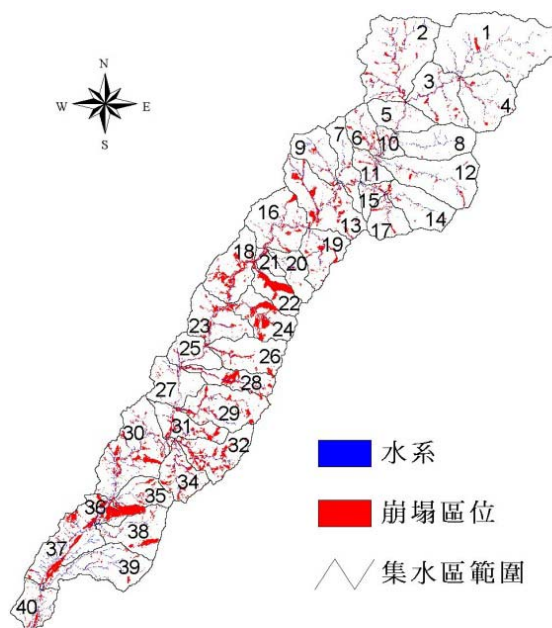


圖 4 崩塌區位空間分布  
Figure 4 Spatial distribution of the landslides



表 3 旗山溪集水區地文因子資訊

Table 3 Topographic information of Chishan stream watershed

編號	(1)尺度類因子								
	集水區 面積 (km <sup>2</sup> )X1	集水區 周長 (km)X2	集水區 長度 (km)X3	主流 長度 (km)X4	河川總 長度 (km)X5	河川 數量 X6	平均 高程 (m)X7	起伏 量 (m)X8	源頭 數量 X9
1	32.17	35.32	8.1683	8.6675	24.451	711	2549.7	2437	703
2	24.6336	29.12	5.0804	9.4428	25.643	818	2062	1621	805
3	12.4716	20.68	4.7802	5.9039	10.522	333	1869.4	1500	325
4	12.6316	18.4	4.1303	3.8865	7.358	209	2268.6	1860	204
5	7.5576	15.8	2.7732	2.6112	2.4242	107	1699.8	1202	107
6	6.0176	13.16	3.8049	4.3707	4.0906	112	1756.7	1292	111
7	7.4616	21.08	4.1701	4.1348	5.9686	217	1659.3	1418	212
8	10.67	18.44	5.7406	6.7978	9.3965	312	2016.3	1609	307
9	8.2352	16.2	4.4019	4.8652	7.4122	180	1773	1420	179
10	2.9292	9.44	2.0624	3.294	3.1387	134	1404.1	887	131
11	4.4216	12.4	2.5034	2.6795	2.5139	106	1398.6	892	106
12	16.3852	24.52	6.6542	8.8573	10.302	311	2046.4	1761	300
13	16.8484	26.16	4.1217	5.6342	12.097	344	1483	1405	335
14	9.7512	18	4.7431	5.1183	5.3502	161	2088.5	1589	160
15	3.1404	11.48	1.9874	2.9237	2.9699	100	1507.5	1239	95
16	13.9152	20.16	4.5411	5.7825	9.6296	318	1343	1493	312
17	6.2368	13.28	3.161	2.3512	2.6685	93	1878.2	1383	92
18	11.9836	19.68	5.4913	4.6279	4.7595	190	1100.6	1155	187
19	9.0004	17.68	4.4084	4.0499	6.324	204	1654.2	1576	204
20	5.85	16.32	4.7451	3.3085	4.5405	125	1788.4	1715	124
21	2.3504	9.4	2.4518	1.5104	1.5042	61	1128.7	1094	59
22	6.5988	15.8	4.7887	1.9512	2.1002	53	1586.3	1662	53
23	11.0404	20.44	3.4458	4.481	6.3632	226	1006.4	1226	222
24	9.4672	18.8	4.9244	4.5983	4.3239	111	1507.2	1591	111
25	6.4708	14.48	3.0806	3.2174	5.1079	166	826.42	862	162
26	10.774	20.32	5.7222	2.6623	2.959	71	1498.2	1657	70
27	9.0316	17.96	2.8707	4.6949	4.7982	147	804.4	804	147
28	7.1816	20.76	6.687	7.3474	8.5554	258	1369.5	1520	257
29	13.4708	22.64	5.6134	5.6114	9.4485	301	1396.2	1601	298
30	20.584	28.12	7.6784	10.729	22.575	688	738.51	1289	664
31	7.7384	20.28	4.4902	3.5224	5.8446	199	899.13	1412	195
32	10.8524	22.12	5.7034	5.7225	9.0913	263	1317.7	1559	259
33	0.3156	3.68	1.0332	0.7325	0.7442	23	629.25	471	23
34	8.1784	16.44	3.6797	4.9872	7.4593	205	1143.3	1138	204
35	6.7196	15.4	4.5202	2.9837	4.29	142	1041.3	1291	141
36	4.6184	15.84	3.732	2.7837	7.2516	245	605.01	920	241
37	13.9596	26.04	6.5233	8.7387	33.89	990	494.66	721	958
38	10.5396	20.32	5.3458	5.9949	7.4909	256	971.06	1311	253
39	13.5304	27.52	7.9752	8.4517	23.981	822	698.87	1199	802
40	7.1996	16	3.6602	5.0266	11.926	393	376.52	490	377
合計	402.932	749.68	181.395	195.05	341.26	10705	55386	53272	10495
平均	10.0733	18.742	4.53488	4.8764	8.5316	267.63	1384.7	1331.8	262.38

表 4 旗山溪集水區地文因子資訊(續)

Table 4 Topographic information of Chishan stream watershed (continued)

編號	(2)梯度類因子		(3)形狀類因子					(4)網路類因子		
	平均 坡度 (%)X10	起伏 比X11	集水區 寬度 (km)X12	形狀 因子 X13	密集 度X14	圓比 值X15	細長 比X16	水系 密度 X17	河川 頻率 X18	河川 級序 X19
1	84.207	0.2987	3.7116	0.4282	0.5685	0.3241	0.7833	0.76	22.101	2
2	71.64	0.3213	2.6087	0.2763	0.6034	0.3651	1.102	1.041	33.207	3
3	75.347	0.3163	2.1124	0.3578	0.6045	0.3665	0.8333	0.8437	26.701	2
4	76.355	0.4722	3.2501	0.8363	0.6838	0.4688	0.9706	0.5825	16.546	2
5	67.463	0.4333	2.8943	1.1084	0.6159	0.3804	1.1182	0.3208	14.158	1
6	63.889	0.3418	1.3768	0.315	0.6599	0.4366	0.7272	0.6798	18.612	1
7	71.228	0.37	1.8046	0.4364	0.4587	0.211	0.7389	0.7999	29.082	2
8	75.686	0.2899	1.5696	0.2309	0.6271	0.3943	0.6419	0.8806	29.241	1
9	73.674	0.3673	1.6927	0.3479	0.6271	0.3943	0.7354	0.9001	21.857	1
10	73.325	0.4296	0.8893	0.27	0.6418	0.4131	0.9361	1.0715	45.746	2
11	59.636	0.3578	1.6502	0.6159	0.6003	0.3614	0.9475	0.5685	23.973	1
12	74.003	0.2566	1.8499	0.2089	0.5844	0.3425	0.6862	0.6288	18.981	2
13	74.583	0.3523	2.9904	0.5307	0.5554	0.3094	1.1233	0.718	20.417	2
14	75.443	0.335	1.9052	0.3722	0.6141	0.3782	0.7426	0.5487	16.511	1
15	73.692	0.4433	1.0741	0.3674	0.5465	0.2994	1.0058	0.9457	31.843	2
16	83.101	0.3297	2.4064	0.4162	0.655	0.4302	0.9266	0.692	22.853	2
17	69.098	0.4437	2.6526	1.1282	0.6657	0.4444	0.8912	0.4279	14.912	1
18	67.73	0.2563	2.5894	0.5595	0.6227	0.3888	0.7111	0.3972	15.855	2
19	77.768	0.3573	2.2224	0.5487	0.6007	0.3618	0.7676	0.7026	22.666	1
20	76.484	0.3614	1.7682	0.5344	0.5246	0.276	0.575	0.7762	21.368	2
21	70.703	0.4542	1.5561	1.0302	0.5774	0.3343	0.7053	0.64	25.953	1
22	67.408	0.3769	3.3819	1.7333	0.5755	0.3322	0.6051	0.3183	8.0318	1
23	53.29	0.3582	2.4638	0.5498	0.5755	0.3321	1.0877	0.5764	20.47	2
24	71.409	0.321	2.0588	0.4477	0.5794	0.3366	0.7048	0.4567	11.725	1
25	41.975	0.2799	2.0112	0.6251	0.6219	0.3878	0.9314	0.7894	25.654	1
26	67.122	0.2884	4.0469	1.5201	0.5718	0.3279	0.647	0.2746	6.5899	1
27	44.437	0.2855	1.9237	0.4097	0.5924	0.3519	1.1809	0.5313	16.276	1
28	72.303	0.2328	0.9774	0.133	0.457	0.2094	0.4521	1.1913	35.925	1
29	67.809	0.2623	2.4006	0.4278	0.5739	0.3303	0.7375	0.7014	22.345	2
30	60.568	0.3439	1.9185	0.1788	0.5712	0.3271	0.6665	1.0967	33.424	2
31	52.745	0.3134	2.1969	0.6237	0.4856	0.2364	0.6988	0.7553	25.716	1
32	76.129	0.2743	1.8964	0.3314	0.5272	0.2787	0.6515	0.8377	24.234	2
33	56.743	0.458	0.4309	0.5882	0.5404	0.2929	0.6133	2.358	72.877	1
34	68.73	0.2623	1.6399	0.3288	0.6158	0.3803	0.8767	0.9121	25.066	2
35	60.819	0.303	2.2521	0.7548	0.5959	0.3561	0.6469	0.6384	21.132	1
36	48.018	0.2491	1.6591	0.596	0.4803	0.2313	0.6495	1.5701	53.049	1
37	39.519	0.117	1.5974	0.1828	0.5079	0.2587	0.6461	2.4277	70.919	2
38	59.518	0.2459	1.7581	0.2933	0.5656	0.3208	0.685	0.7107	24.289	1
39	45.445	0.1491	1.6009	0.1894	0.4732	0.2245	0.5203	1.7724	60.752	2
40	32.508	0.1348	1.4323	0.2849	0.5937	0.3534	0.8269	1.6564	54.586	1
合計	2621.5	12.844	82.2218	21.118	23.142	13.549	31.497	34.5	1105.6	60
平均	65.539	0.3211	2.05555	0.528	0.5785	0.3387	0.7874	0.8625	27.641	1.5

表 5 旗山溪各集水分區相關資訊

Table 5 Basic Information of each  
Chishan stream watershed

集水區編號	集水區面積 km <sup>2</sup>	集水區崩塌面積 km <sup>2</sup>	第一期植生復育率 (%)	第二期植生復育率 (%)	二期差值 (%)
1	32.17	5.292	-7.15	-1.47	5.68
2	24.6336	5.984	5.84	3.70	-2.14
3	12.4716	3.712	2.71	4.00	1.30
4	12.6316	3.896	0.07	-3.20	-3.27
5	7.5576	1.2	-2.28	2.41	4.69
6	6.0176	5.184	2.21	10.04	7.83
7	7.4616	1.996	3.57	3.62	0.04
8	10.67	0.896	-1.88	0.15	2.04
9	8.2352	2.652	12.44	15.57	3.13
10	2.9292	1.556	0.43	1.74	1.31
11	4.4216	2.108	4.49	14.47	9.98
12	16.3852	2.712	1.55	4.57	3.02
13	16.8484	12.432	9.14	14.81	5.67
14	9.7512	1.892	0.40	5.42	5.01
15	3.1404	0.92	10.10	6.00	-4.10
16	13.9152	4.856	6.16	24.18	18.02
17	6.2368	2.92	10.10	11.51	1.41
18	11.9836	10.324	12.48	44.13	31.65
19	9.0004	2.772	12.84	23.66	10.82
20	5.85	0.46	15.21	6.30	-8.90
21	2.3504	0.092	-11.53	25.95	37.48
22	6.5988	14.524	6.46	16.05	9.60
23	11.0404	4.708	13.04	46.52	33.47
24	9.4672	15.948	8.77	22.51	13.74
25	6.4708	1.648	11.70	66.40	54.70
26	10.774	1.64	4.68	30.61	25.93
27	9.0316	1.996	12.56	61.50	48.94
28	7.1816	4.444	13.74	39.41	25.66
29	13.4708	4.368	6.40	50.43	44.03
30	20.584	19.188	3.30	52.89	49.59
31	7.7384	5.088	9.15	46.19	37.04
32	10.8524	8.572	3.60	46.14	42.54
33	0.3156	0.456	8.23	50.61	42.38
34	8.1784	8.232	5.87	48.89	43.02
35	6.7196	7.98	6.53	57.11	50.58
36	4.6184	13.344	12.47	58.53	46.06
37	13.9596	7.652	3.08	57.67	54.59
38	10.5396	8.624	5.02	52.23	47.21
39	13.5304	4.856	6.45	55.07	48.62
40	7.1996	1.016	18.52	68.29	49.77
合計	402.93	208.14	246.48	1144.60	898.12
平均	10.07	5.20	6.16	28.61	22.45

表 6 各地文因子之平均值及標準差

Table 6 Mean and standard deviation of each  
topographic factor

代碼	平均數	標準差
X1	10.0733	6.02186
X2	18.7420	5.94753
X3	4.5349	1.62664
X4	4.8764	2.32207
X5	8.5316	7.44409
X6	267.6250	227.03910
X7	1384.6508	521.42673
X8	1331.8000	382.67414
X9	262.3750	220.87155
X10	65.5387	12.41336
X11	.3211	.08429
X12	2.0555	.74734
X13	.5280	.35125
X14	.5785	.05621
X15	.3387	.06373
X16	.7874	.17863
X17	.8625	.48588
X18	27.6411	15.48058
X19	1.5000	.55470

## (二) 植生復育率優劣探討

由於因子的值域範圍不同，因此每個因子的極大和極小值將各個因子正規化至 0~1 之間，代入分析模（表 7）為 19 項地文因子標準化(平均值為 0，標準差為 1)所得相關矩陣表，表 8 顯示 19 項集水區地文因子利用主成分分析，前五特徵值大於 1，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 5），圖中在第五個

主成份後坡度線甚為平坦，五個特徵值分別為 7.44、5.13、2.10、1.50 及 1.08，特徵值總和 17.25，五個主成份佔原來總變異  $39.15\%+27.02\%+11.07\%+7.91\%+5.67\% = 90.82\%$ ，特徵值愈大，表示此函數愈具有區別效力，可歸類為五個主成份軸，因此選定前五主成份進行分析。表 9 為各主成份之特徵向量表。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。因此將各主成分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。

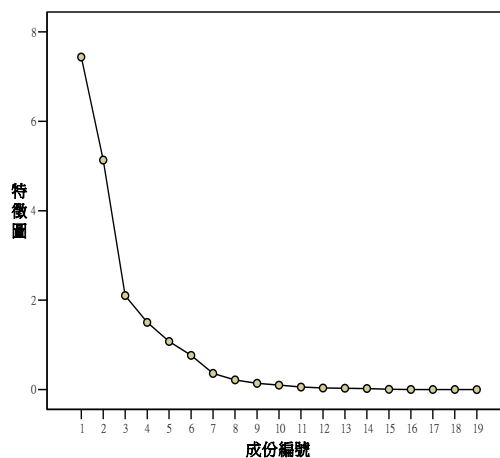


圖 5 特徵值陡坡分布圖  
 Figure 5 Scree plot of eigenvalue

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	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19
X1	1	0.917	0.724	0.798	0.755	0.737	0.348	0.577	0.741	0.238	-0.3	0.532	-0.27	0.033	0.023	0.12	-0.06	-0.12	0.577
X2	0.917	1	0.848	0.84	0.79	0.781	0.199	0.544	0.784	0.107	-0.5	0.471	-0.31	-0.26	-0.26	-0.04	-0	-0.07	0.544
X3	0.724	0.848	1	0.798	0.684	0.671	0.155	0.562	0.673	0.125	-0.59	0.308	-0.28	-0.29	-0.29	-0.5	0.057	-0.02	0.311
X4	0.798	0.84	0.798	1	0.851	0.846	0.097	0.313	0.847	0.045	-0.56	0.029	-0.65	-0.15	-0.15	-0.11	0.243	0.182	0.539
X5	0.755	0.79	0.684	0.851	1	0.993	-0.07	0.132	0.993	-0.17	-0.56	0.093	-0.48	-0.25	-0.25	-0.08	0.507	0.446	0.554
X6	0.737	0.781	0.671	0.846	0.993	1	-0.1	0.098	1	-0.2	-0.57	0.071	-0.49	-0.26	-0.26	-0.07	0.513	0.473	0.564
X7	0.348	0.199	0.155	0.097	-0.07	-0.1	1	0.803	-0.1	0.818	0.432	0.415	0.12	0.388	0.396	0.148	-0.54	-0.57	0.199
X8	0.577	0.544	0.562	0.313	0.132	0.098	0.803	1	0.105	0.744	0.143	0.595	0.113	0.073	0.076	-0.14	-0.53	-0.6	0.267
X9	0.741	0.784	0.673	0.847	0.993	1	-0.1	0.105	1	-0.2	-0.57	0.075	-0.49	-0.26	-0.26	-0.07	0.508	0.468	0.565
X10	0.238	0.107	0.125	0.045	-0.17	-0.2	0.818	0.744	-0.2	1	0.505	0.263	0.062	0.272	0.276	0.011	-0.49	-0.51	0.276
X11	-0.3	-0.5	-0.59	-0.56	-0.56	-0.57	0.432	0.143	-0.57	0.505	1	0.083	0.432	0.371	0.375	0.354	-0.39	-0.34	-0.07
X12	0.532	0.471	0.308	0.029	0.093	0.071	0.415	0.596	0.075	0.263	0.083	1	0.599	0.243	0.237	0.239	-0.58	-0.62	0.128
X13	-0.27	-0.31	-0.28	-0.65	-0.48	-0.49	0.12	0.113	-0.49	0.062	0.432	0.599	1	0.174	0.17	0.048	-0.46	-0.44	-0.38
X14	0.033	-0.26	-0.29	-0.15	-0.25	-0.26	0.388	0.073	-0.26	0.272	0.371	0.243	0.174	1	0.998	0.474	-0.45	-0.44	-0.06
X15	0.023	-0.26	-0.29	-0.15	-0.25	-0.26	0.396	0.076	-0.26	0.276	0.375	0.237	0.17	0.998	1	0.468	-0.44	-0.43	-0.06
X16	0.12	-0.04	-0.5	-0.11	-0.08	-0.07	0.148	-0.14	-0.07	0.011	0.354	0.239	0.048	0.474	0.468	1	-0.31	-0.26	0.241
X17	-0.06	-0	0.057	0.243	0.507	0.513	-0.54	-0.53	0.508	-0.49	-0.39	-0.58	-0.46	-0.45	-0.44	-0.31	1	0.975	0.131
X18	-0.12	-0.07	-0.02	0.182	0.446	0.473	-0.57	-0.6	0.468	-0.51	-0.34	-0.62	-0.44	-0.44	-0.43	-0.26	0.975	1	0.126
X19	0.577	0.544	0.311	0.539	0.554	0.564	0.199	0.267	0.565	0.276	-0.07	0.128	-0.38	-0.06	-0.06	0.241	0.131	0.126	1

表 8 主成份分析之特徵值

Table 8 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	7.44	39.15	39.15	7.44	39.15	39.15
2	5.13	27.02	66.07	5.13	27.02	66.07
3	2.10	11.07	77.24	2.10	11.07	77.24
4	1.50	7.91	85.15	1.50	7.91	85.15
5	1.08	5.67	90.82	1.08	5.67	90.82
6	.77	4.03	94.85			
7	.36	19.10	96.76			
8	.22	1.14	97.90			
9	.14	.74	98.64			
10	.10	.53	99.17			
11	.06	.31	99.48			
12	.04	.19	99.67			
13	.03	.16	99.83			
14	.02	.13	99.96			
15	.00	.04	100.0			
16	.00	.00	100.0			
17	.00	.00	100.0			
18	.00	.00	100.0			
19	.00	.00	100.0			

第一成份主要影響變數有河川總長度(X5) 0.940、源頭數量(X9) 0.938、河川數量(X6) 0.937、集水區周長(X2) 0.920、河川主流長度(X4) 0.915、集水區面積(X1) 0.899、集水區長度(X3) 0.779 等 7 項具有顯著性，其中以河川總長度(X5)，對於植生復育率中之有極重要之參考比重，由相關矩陣(表 7)得知河川數量(X6) 0.993、源頭數量(X9) 0.993 與河川總長度最有密切關係。主要解釋總長度(X5)、源頭數量(X9)、河川數量(X6)、河川主流長度(X4)

與河川有關，集水區周長(X2)、集水區面積(X1)、集水區長度(X3)與集水區大小有關，可知集水區面積與河川之逕流體積成正比，溪流之水源及支流之分佈區域其水量之大小，受到集水區面積大小、地表逕流所影響。

表 9 主成份分析之特徵向量

Table 9 Eigen vector of principal component analysis

因子	主成份				
	1	2	3	4	5
X5	*.940	-.142	-.165	-.127	.047
X9	*.938	-.164	-.175	-.132	.060
X6	*.937	-.171	-.178	-.133	.061
X2	*.920	.180	.235	-.158	-.082
X4	*.915	.118	-.231	.033	-.173
X1	*.899	.267	.215	.081	.067
X3	*.779	.219	.119	-.199	-.512
X19	.617	.292	-.176	-.102	.514
X8	.322	*.827	.372	-.041	-.170
X12	.287	.221	*.894	.112	.107
X17	.247	-.494	-.643	-.362	.057
X18	.188	-.523	-.658	-.358	.113
X7	.075	*.865	.169	.245	.079
X16	.007	-.072	.189	.474	*.755
X10	-.041	*.951	.023	.088	.080
X14	-.130	.157	.105	*.939	.139
X15	-.134	.164	.094	*.937	.137
X13	-.459	-.020	*.771	-.059	.099
X11	-.570	.461	.083	.118	.520

第二成份主要影響變數有平均坡度(X10) 0.951、平均高程(X7) 0.865、起伏量(X8) 0.827，顯示第二出主成分中 3 項因子對於集水區顯著影響，其裡面影響因子為地勢氣候有關係，海拔越高植物生長緩慢，由曼寧公式可知，坡度愈陡，在一樣

的有效降雨條件下，達到洪峰流量的時間愈短；在地形陡峭起伏量大，容易再次崩塌，導致植物附著不易或生長緩慢，雨量降至地表後逕流速度快，影響土壤入滲時間，其植物水分吸收會受影響。

表 10 植生復育率分類

Table 10 Classification of vegetative recovery rate

植生復育率	各集群中心			
	1(優)	2(好)	3(普通)	4(差)
第一年	12.93	6.66	1.40	-9.34
第二年	60.65	47.74	20.87	3.91
兩期差值	47.85	31.87	9.10	-0.56

表 11 第一年 Fisher’s 線性判別函數

Table 11 Fisher’s linear discriminant function of the first year

類別	Fisher’s 線性判別函數
優	$F1 = -4216.413 - 27.313 * X5 + 1.048 * X9 + 0.353 * X10 - 0.011 * X7 + 0.118 * X8 - 67.347 * X12 + 124.983 * X13 + 28952.046 * X14 - 25304.961 * X15 - 3.847 * X16$
好	$F2 = -4076.198 - 27.326 * X5 + 1.032 * X9 + 0.194 * X10 - 0.009 * X7 + 0.113 * X8 - 63.208 * X12 + 113.481 * X13 + 28533.666 * X14 - 24940.320 * X15 - 5.526 * X16$
普通	$F3 = -4130.646 - 27.733 * X5 + 1.051 * X9 + 0.293 * X10 - 0.12 * X7 + 0.114 * X8 - 63.519 * X12 + 116.719 * X13 + 28700.662 * X14 - 25085.156 * X15 - 6.559 * X16$
差	$F4 = -4070.017 - 27.109 * X5 + 1.031 * X9 + 0.261 * X10 - 0.006 * X7 + 0.108 * X8 - 62.997 * X12 + 113.607 * X13 + 28501.656 * X14 - 24908.594 * X15 - 9.950 * X16$

第三成份主要影響變數有集水區寬度(X12) 0.894 與形狀因子(X13) 0.771，第四成份主要影響變數有密集度(X14) 0.939 與圓比值(X15) 0.937，第五成份主要影響變數有細長比(X16) 0.755，顯示出三、四、

五成份裡面影響因子為形狀類有關係，形狀因子會影響流量歷線的形狀，即形狀因子的變化能反應出集水區匯集水量之能；平均寬度與流量大小成正比；集水區中河川形狀、密集度愈大及細長比愈大時，則集水區面積愈大而主流愈短，洪峰流量愈快到達集流口，不易截流其植物水分吸收會受影響。從上述分析結果可知，前兩個主成份為尺度因子與河川高程有關係，後三個主成份為形狀類，河川形狀特性有關係。而在第六個主成份之後便沒有顯著之影響。

表 12 第二年 Fisher’s 線性判別函數

Table 12 Fisher’s linear discriminant function of the second year

類別	Fisher’s 線性判別函數
優	$F1 = -3798.799 - 20.283 * X5 + 0.721 * X9 + 1.725 * X10 + 0.16 * X7 + 0.39 * X8 - 40.234 * X12 + 65.439 * X13 + 26639.335 * X14 - 23283.499 * X15 - 33.101 * X16$
好	$F2 = -3866.327 - 20.533 * X5 + 0.727 * X9 + 2.160 * X10 + 0.18 * X7 + 0.39 * X8 - 41.485 * X12 + 67.779 * X13 + 26797.477 * X14 - 23428.201 * X15 - 30.458 * X16$
普通	$F3 = -3919.598 - 20.407 * X5 + 0.730 * X9 + 2.378 * X10 + 0.033 * X7 + 0.031 * X8 - 44.272 * X12 + 78.187 * X13 + 26893.261 * X14 - 23517.186 * X15 - 25.789 * X16$
差	$F4 = -3881.166 - 21.424 * X5 + 0.770 * X9 + 2.217 * X10 + 0.053 * X7 + 0.027 * X8 - 48.199 * X12 + 81.280 * X13 + 26717.570 * X14 - 23370.257 * X15 - 20.549 * X16$

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，藉其結果篩選出河川總長度、源頭數量、河川數量、平均坡度、平均高程、起伏量、集水區寬度、形狀、密集度、圓比值及細長比等 11 項地文因子，對於植生復育率皆有較有顯著之影響，並利用 Kmeans 群集將集水區

第一、二年植生復育率分為優、好、普通、差等四類(表 10)，第一年各群集中心分別為 12.93、6.66、1.40、-9.34，第二年各群集中心分別為 60.65、47.74、20.87、.91，兩期植生復育率差值之各群集中心分別為 47.85、31.87、9.10 及-0.56，利用 3 較顯著地文因子進行判別分析取得 Fisher's 線性判別函數(表 11、12、13)，應用地文因子能有效判崩場地植生復育率之情形，第一年植生復育率分類準確可達 60.0%，第二年植生復育率分類準確可達 90.0%，植生復育率差值分類準確可達 77.5%(表 14、15、16)，可解釋為五個主成份 90.82% 的總變異數，對植生復育率之判釋準確度隨著復育時間增加而增大。

表 13 兩期差值 Fisher's 線性判別函數  
Table 13 Fisher's Linear discriminant function of the two phase difference

類別	Fisher's 線性判別函數
優	$F1 = -3724.915 - 20.612 * X5 + 0.733 * X9 - 0.903 * X10 - 0.007 * X7 + 0.055 * X8 - 29.050 * X12 + 25.333 * X13 + 26591.666 * X14 - 23189.606 * X15 - 60.133 * X16$
好	$F2 = -3765.490 - 19.943 * X15 + 0.715 * X9 - 1.014 * X10 - 0.011 * X7 + 0.058 * X8 - 30.432 * X12 + 24.343 * X13 + 26754.073 * X14 - 23315.958 * X15 - 60.788 * X16$
普通	$F3 = -3746.077 - 20.266 * X5 + 0.728 * X9 - 0.867 * X10 + 0.005 * X7 + 0.050 * X8 - 31.561 * X12 + 28.305 * X13 + 26609.204 * X14 - 23200.712 * X15 - 53.878 * X16$
差	$F4 = -3705.267 - 20.419 * X5 + 0.737 * X9 - 0.894 * X10 + 0.010 * X7 + 0.051 * X8 - 34.718 * X12 + 30.975 * X13 + 26439.776 * X14 - 23052.514 * X15 - 49.947 * X16$

表 14 第一年分類準確度

Table 14 Classification accuracy of the first year

集群觀察值個數		預測的各組成員				總和
		優	好	普通	差	
原始各組成員個數	優	2	0	0	0	2
	好	0	6	3	3	12
	普通	2	5	7	0	14
	差	0	0	3	9	12
%	優	100	.0	.0	.0	100.0
	好	.0	50.0	25.0	25.0	100.0
	普通	14.3	35.7	50.0	.0	100.0
	差	.0	.0	25.0	75.0	100.0

註：60.0% 個原始組別觀察值已正確分類

表 15 第二年分類準確度

Table 15 Classification accuracy of the second year

集群觀察值個數		預測的各組成員				總和
		優	好	普通	差	
原始各組成員個數	優	6	1	0	0	7
	好	1	9	0	0	10
	普通	0	0	7	2	9
	差	0	0	0	14	14
%	優	85.7	14.3	.0	.0	100.0
	好	10.0	90.0	.0	.0	100.0
	普通	.0	.0	77.8	22.2	100.0
	差	.0	.0	.0	100.0	100.0

註：90.0% 個原始組別觀察值已正確分類

表 16 兩期差值分類準確度

Table 16 Classification accuracy of the two phase difference

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	好	普通	差	
	優	5	1	0	0	6
	好	3	10	0	0	13
	普通	2	0	6	2	10
	差	0	0	1	10	11
%	優	83.3	16.7	.0	.0	100.0
	好	23.1	76.9	.0	.0	100.0
	普通	20.0	.0	60.0	20.0	100.0
	差	.0	.0	9.1	90.9	100.0

註：77.5% 個原始組別觀察值已正確分類

### 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，著作在此表達謝意。

### 結論

莫拉克風災造成旗山溪集水區多處崩塌，整合環境因子及相關技術，其顯示出第一年崩場地植生復育率已達 6.16%，第二年崩場地植生復育率已達 28.61%，兩期之差值為 22.45%，顯示有持續恢復之趨勢。藉由主成份分析 19 項集水區地文因子，可歸類為五個主成份軸，由五個主成份軸約能解釋 90.82%之成份，可瞭解河川總長度、源頭數量、河川數量、平均坡度、平均高程、起伏量、集水區寬度、形狀、

密集度、圓比值及細長比等 11 項地文因子，對於植生復育率有顯著之關係，Kmeans 群集將風災後兩年集水區植生復育率分為優、好、普通及差等四類，再使用判別分析，以較顯著之集水區地文因子，可得四組之 Fisher's 線性區別函數，其分類準確第一年達 60%、第二年達 90%、兩期差值達 77.5%。五個主成份軸約佔總變異數之 90.82%。植生復育率之判釋準確度隨著復育時間增加而增大，使用集水區地文因子可以有效的判釋崩場地植生復育率之良窳，可供後續植生復育成效及變遷分析之參考。

### 參考文獻

1. 中央氣象局, <http://www.cwb.gov.tw>.
2. 林昭遠、林文賜 (2000), 集水區地文水文因子自動萃取之研究, 中華水土保持學報, 第三十一卷, 第三期, 第 247-256 頁。
3. 林昭遠(2001), 「集水區崩場地植生復育監測與評估」, 水土保持植生工程研討會論文集, 第 50-58 頁。
4. 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, 第三十一卷, 第一期, 第 81-91 頁。
5. 林彥享(2003), 「以類神經網路進行地震誘發山崩之潛感分析」, 國立中央大學應用地質研究所碩士論文, 第 81 頁。
6. 何春蓀 (1994) 臺灣地質概論, 經濟部



- 中央地質調查所。
7. 蕭國鑫 (1994), 遙測與 GIS 結合應用於德基水庫集水區土地利用/覆蓋監測, 遙感探測, 第二十一卷, 第 21-54 頁。
  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. Jensen, J. R. (1996), Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective, Second Edition, Prentice Hall.
  10. 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.
  11. Johnson, R. A., and D. Wichern. (1982), "Applied multivariate statistical analysis," Prentice Hall, New Jersey.
  12. 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.
  13. 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.
  14. Pratsinis, S. E., M. D. Zeldin and E. C. Ellis (1988), Source Resolution of the Fine Carbonaceous Aerosol by Principal Component-Stepwise Regression Analysis, Environ. Sci Technol, 22:212-216.
- 
- 101 年 06 月 25 日收稿  
101 年 06 月 27 日修改  
101 年 06 月 28 日接受

水土保持學報 44(3) : 295 – 312 (2012)

Journal of Soil and Water Conservation , 44 (3) : 295 – 312 (2012)