

# 以馬可夫鏈模式推估九份二山崩塌地植生復育之研究

莊智瑋<sup>(1)</sup> 林昭遠<sup>(2)</sup> 錢滄海<sup>(3)</sup>

## 摘要

921 地震造成台灣中部重大災害，地震發生自今已過 10 週年，植群演替在崩塌地植生復育具有重要參考意義，一般而言，草生植物立地條件較木本植物容易且生長快速，故草生植物可作為崩塌地早期植生復育重要參考指標，因此，於土地利用分類時，則需將草生植物加以萃取，供崩塌地植生復育模擬及評估之用。如何整合遙測、地理資訊系統及影像分類供植生復育模擬乃極為重要。本研究利用馬可夫鏈模式評估及探討九份二山崩塌地植生復育之情況，採用五期崩塌後 SPOT 衛星影像製作土地利用圖，供後續植生復育模擬，依據實際土地現況，將土地利用分為四類，分為林地、草生地、裸地及水域。藉由任兩期土地利用推估所得之轉置機率矩陣，進行馬可夫鏈植生復育模擬，結果顯示，2004 年前以草生植物為主要復育類別，2004 年後草生地逐漸轉變為林地，最終穩定年份則介於 2012~2028 年。整體而言，九份二山植生復育良好，但有時因受自然災害之干擾而有所影響。

(**關鍵字**：崩塌地、馬可夫鏈模式、植生復育)

## Simulation of Vegetation Restoration by Using Markov chain model at Chiufenershan Landslide Areas

*Chin-Wei Chuang*<sup>(1)</sup> *Chao-Yuan Lin*<sup>(2)</sup> *Chang-Hai Chien*<sup>(3)</sup>

Postdoctoral<sup>(1)</sup>, Professor<sup>(2)</sup>, Assistant Professor<sup>(2)</sup>, Department of Soil and Water Conservation,  
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C..

## ABSTRACT

The 921 earthquake caused a severe disaster in central Taiwan. Now it has passed ten years. Vegetation succession has an important reference at landslide vegetation restoration. Generally, because growth condition of grass is easier and growth rate is rapider than tree, grass could be considered as a pioneer or index on early vegetation restoration. Therefore, grass is necessary to be

---

(1) 國立中興大學水土保持學系博士後研究 (通訊作者 e-mail: cwchung@water.nchu.edu.tw)

(2) 國立中興大學水土保持學系教授

(3) 國立中興大學水土保持學系助理教授

extracted individually at land cover mapping. How to integrate remote sensing, geographic information system and image classification into vegetation restoration models is a very important. In this study, Markov chain was applied for vegetation restoration assessment and discussion at Chiufenershan landslide areas. Five SPOT satellites images after the 921 earthquake were used for land cover mapping and vegetation restoration assessment later. According to actual land cover, there are four categories of land covers to be extracted, including forest, grass, bare land and water, respectively. Through transitive matrix derived from any two land covers, vegetation restoration can be simulated by Markov chain model. The results show that grass was the major restoration category before 2004 and then grass gradually transformed into forest later. The finally stable year was between 2012 and 2028. Overall, vegetation restoration at Chiufenershan landslide areas is ongoing, but sometimes may be disturbed by natural disasters.

( **Keywords:** Landslide; Markov Chain Model; Vegetation Restoration )

## 前言

九二一地震造成台灣中部山區多處崩塌地，地震發生至今已屆十週年，其間歷經多場颱風暴雨肆虐，如桃芝、納莉、敏督利、艾利及聖帕颱風等，因颱風所挾帶之豪雨仍會造成許多崩塌地坡面土石鬆動及植被破壞，延遲植物自然生長及入侵速度，使得土壤流失與坡面安定性降低，對崩塌地之自然復育造成負面之干擾，進而導致後續之土砂災害。因此，需對崩塌地進行監測，瞭解其植生復育及演替情形，對崩塌範圍有所擴張之處，則需適時加以治理以避免二次災害之發生。另因草生植物所需之立地條件較木本植物簡易且生長快速，對於崩塌地之初期植生演替時，具有參考性指標，故於植生復育模擬時，需將其各別分類，以瞭解不同時期之植生復育變化。

在生態動態演替模擬中，馬可夫鏈是一種數學及概念模式 (Usher, 1979; Lep's, 1988)。Anderson and Goodman (1957) 藉由時間狀態之觀察，發展轉置機率矩陣來加以

推估各時期之演替情況，且轉置機率矩陣亦為目前最常被使用於植生演替之推估 (Cox, 1972; Kalbfleisch and Lawless, 1985; Balzer, 2000; Logofet and Lesnaya, 2000; Benabdellah, 2003; White 2005)。如 Aaviksoo (1993) 整合航空照片、地理資訊系統及馬可夫鏈模式，模擬愛沙尼亞之植被及土地利用變遷；Muller and Middleton (1994) 使用一階隨機馬可夫鏈模式量化比較 1935 年到 1981 年加拿大 Niagara 地區之土地利用變遷，結果指出農業用地之都市化佔最主要之變遷，且主要之變遷土地類別為林地及農業用地；Jenerette and Wu (2001) 發展馬可夫細胞機自動模式，模擬美國亞利桑納州之土地利用變遷。由此可鑑，馬可夫鏈模式可適用於變遷模擬之使用上。

本研究以 921 地震最為嚴重之九份二山為研究樣區，以崩塌後五期之 SPOT 衛星影像搭配倒傳遞類神經網路建立各期之土地利用，藉由各期土地利用與崩塌地之套疊分析及兩兩比對，可建立各期之轉置機率矩陣，最後利用馬可夫鏈模式模擬各期之土地利用

莊智瑋、林昭遠、錢滄海：以馬可夫鏈模式推估九份二山崩場地植生復育之研究

變遷，探討崩場地之植生復育情況，其結果可供日後崩場地治理參考之用。

## 材料與方法

### 研究試區

#### 一、試區概述

九份二山位於南投縣國姓鄉崁斗山山麓一帶，韭菜湖溪自南往北與澀子坑溪匯流於崩塌處，921 地震後匯流處已被土石掩埋。長石巷地區崩塌範圍北起太平角海拔 650 公尺至崁斗山南稜海拔 1040 公尺，沿順向坡向東南崩塌，南屆韭菜湖溪海拔 530 公尺，東起崁斗山南稜，西迄中興橋前，全區呈西北向東南傾斜約 28 度（圖 1）。依區位概況可分為大崩塌斜面區、堆積區及植生保育園區等三大區域，區域外之西側則屬半自然區，區內多屬未干擾區，僅有部分種植果園或檳榔；東側則因地勢較為陡峻，故多屬未干擾區，植被種類亦較複雜。地質構造包括大岸山向斜及水里坑斷層。崩場地地層由樟湖坑頁岩夾砂岩所組成，岩層向東傾斜約 24 度，原為順向坡地形（Chang 等，2005）。

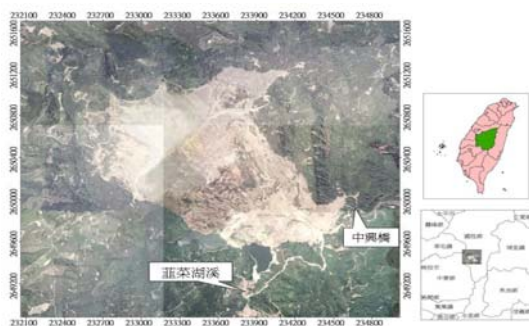


圖 1 研究樣區

Figure 1 Illustration of Chiufenershan

#### 一、材料

本研究以 SPOT 衛星影像作為崩場地長期監測與評估之主要材料。影像主要購自中央大學太空遙測研究中心之法國 SPOT 衛星影像，選用時期為 2001/12/3、2001/11/6、2004/2/10、2007/2/1 及 2008/1/5 等五期 SPOT 衛星影像（圖 2），用以監測崩場地植生復育變遷及模擬。

#### 二、方法

##### （一）植生指標

SPOT 衛星影像感測器所接收的波段為綠光、紅光及近紅外光，且綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，利用此原理可計算常態化差異植生指標（NDVI）。其值介於-1 與 1 之間，NDVI 小於零，屬非植生之雲層、水域及陰影等；值愈大時，代表地表植物生育愈旺盛、植被覆蓋佳(Burgan and Hartford, 1993)。為配合作物及管理因子（C）之合理值域(0~1)，即當植生覆蓋愈差，所對應之土壤覆蓋因子愈大的條件下，將其線性反向配置為作物及管理因子指標（Crop Management Factor Index, CMFI），CMFI 除具有 IPVI 之優點外，更可解決先前 USLE 中作物管理因子（C）以集塊體推估使用上之缺失（莊智瑋及林昭遠，2007）。IPVI 及 USLE 公式如下：

$$IPVI = \frac{NIR}{NIR + R} = \frac{1}{2} \left( \frac{NIR - R}{NIR + R} + 1 \right)$$

式中，NIR，近紅外光；R，紅光。

$$USLE = Rm \times Km \times L \times S \times C \times P$$

Rm=年平均降雨沖蝕指數

Km=土壤沖蝕性指數

L=坡長因子

S=坡度因子

C=作物管理因子

P=水土保持處理因子

另黃麗娟（2006）以不同植生指標於影像分類之探討，發現 CMFI 具有較佳分類結果，故本研究採用之。其公式為：

$$CMFI = \frac{R}{NIR + R} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{NIR - R}{NIR + R} \right)$$

式中，NIR，近紅外光；R，紅光。

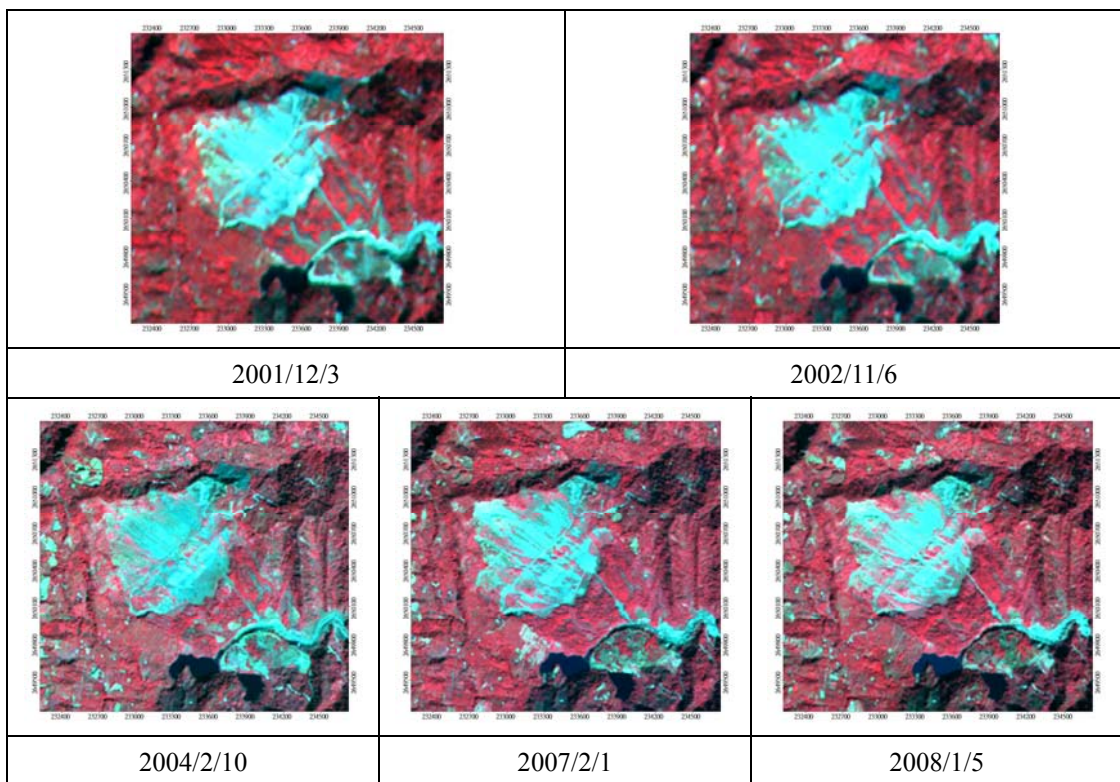


圖 2 九份二山多時期 SPOT 衛星影像

Fig. 2 Multi-temporal SPOT satellite images of Chiufenershan

(二) 影像分類

1.倒傳遞類神經網路

倒傳遞類神經網路的結構（圖 3）分為三層：分別為輸入層（input layer）、隱藏層（hidden layer）、輸出層（output layer）。其

中輸入層的神經元數目即為輸入變數的個數；隱藏層的層數與神經元的個數視問題複雜性而有所調整，並無一定的層數或個數，而隱藏層層數過多易造成網路收斂不易控制，一般多採用一層，隱藏層個數選用一般以（輸入層+輸出層）/2 較為常見；輸出層神經元數即為輸出變數的個數。採用訓練學習

次數為 6000 次。運算基本原理中主要是利用最陡坡降法 (the gradient steepest descent method) 的觀念，將誤差函數值予以最小化，目的為降低輸出單元實際輸出值與目標輸出值間的差距 (葉怡成，2003)。而倒傳遞類神經網路運作流程分為兩階段，一為學習階段，另一為回想階段。

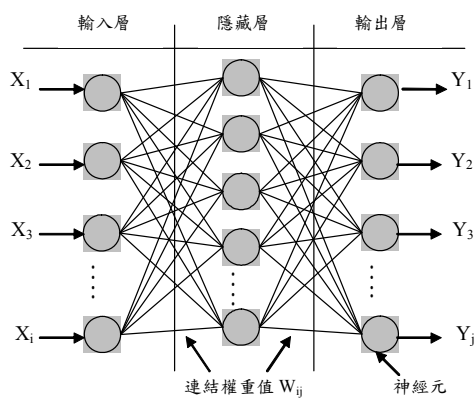


圖 3 倒傳遞類神經網路架構圖  
Fig. 3 Framework of back-propagation neural network

(1) 學習階段

A. 計算輸出變數

$$\text{net} = \sum W * X - \theta$$

$$Y = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + \exp^{-\text{net}}}$$

式中，W 是各節點間權重值，X 是輸入值，θ 是閾值，net 是淨值，f 是轉換函數，Y 是輸出值。

B. 誤差函數值

$$E = \frac{1}{2} \sum (T - Y)^2$$

式中，E 是誤差函數值，T 是目標值。

C. 計算權重修正量

$$W^{n+1} = W^n + \alpha * \Delta W$$

$$\theta^{n+1} = \theta^n + \alpha * \Delta \theta$$

式中，α 是慣性項。

D. 重複上述步驟直到符合下列之一項條件。

- (a) 誤差函數值 E 收斂；
- (b) 達到設定目標值；
- (c) 重複執行到一定次數。

(2) 回想階段

- A. 輸入全區資料；
- B. 計算並輸出各點回想值。

2. 精確度評估

一般精確度評估的方法常見有四種，分別為整體精度 (Overall Accuracy)、生產者精度 (Producer's Accuracy) 及使用者精度 (User's Accuracy)，以及 Kappa 係數；生產者精度又稱為 Omission Accuracy，是應分入該組類而未分入之誤差 (漏授)；使用者精度又稱為 Commission Accuracy，則為不該分入該組類而分入該組類所造成之錯誤 (誤授)。而 Kappa 係數因具有考量誤授及漏授關係，故本研究將採用整體精確度及 Kappa 係數作為判釋準則。

(三) 植生復育模擬

在進行植生復育模擬前，需先確立崩塌崩區位，本研究採用莊智瑋和林昭遠 (2010) 所劃定之崩場地範圍，因其萃取之範圍較具合理性且可修正影像相減法對裸地崩塌之遺 (漏估算，故將分類所得之影像與崩場地範圍套疊後，即可藉由馬可夫鏈模式進行崩場地植生復育模擬。

1.馬可夫鏈模式

Muller and Middleton (1994) 指出馬可夫鏈模式之所以適用的原因，首先在於土地利用變遷方式並非為單向過程，任一類型之土地利用皆會轉變為其它類型之土地利用，而該機率矩陣可同時探討其間各種之可能性；其次，重複自乘的轉置機率矩陣可得到另一個代表該時期土地利用變遷情形之矩陣，可用來比較不同時期土地利用變遷的程度。馬可夫鏈模式亦是地景生態學家用來模擬植被動態和土地利用變化之最早及最普遍模型。因此本研究採用一階馬可夫鏈模式作為植生復育模擬模式。

馬可夫鏈模式可表示為當

$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$  時，表示由狀態  $i$  於下一觀測期轉移至轉移至狀態  $j$  的轉置機率，可表式如下：

$$\begin{bmatrix} n_{1,t+\Delta t} \\ \vdots \\ n_{m,t+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{1,t} \\ n_{2,t} \\ \vdots \\ n_{m,t} \end{bmatrix}$$

$$P_{ij} = n_{ij} / \sum_{i=1}^m n_{ij}$$

式中： $N_t$  和  $N_{t+\Delta t}$  分別是由  $m$  個狀態變量組成的狀態向量在  $t$  和  $t + \Delta t$  時刻之值， $P$  是由  $m \times m$  個單元組成的變化機率矩陣，其中  $P_{ij}$  表示從時間  $t$  到  $t + \Delta t$  系統狀態  $j$  轉變為  $i$  的機率，而  $n_{ij}$  為轉變量。其中，每一列的總和應為 1，且矩陣內各數值均大於或等於 0。

模擬地景動態時，最簡單而直接的方法就是將所有研究之地景根據異質特點分類，

並用網格表示，每一個網格屬於  $m$  種地景嵌塊類型之一。根據兩個不同時期 ( $t$  和  $t + \Delta t$ ) 之土地利用圖計算從一種類型到另一種類型的變化機率，然後，在採用這些機率以預測地景變化格局。具體而言，嵌塊類型  $j$  轉變為嵌塊類型  $i$  之機率即是網格網中嵌塊類型  $j$  在  $\Delta t$  時段內轉變為嵌塊類型  $i$  的網格數佔嵌塊類型  $j$  在此時期發生變化的網格總數比例。

依據轉置矩陣轉換假設，可得馬可夫鏈模式的一個重要性質，亦即最終穩定型態  $L$ 。 $L$  稱為平衡矩陣 (Equilibrium Matrix) 或會合矩陣，也就是說，當轉置矩陣重複自乘至無限多次之後，矩陣內的各個數值將會達到穩定，不再變化。為求知某一段時期物件之最終演變分布狀態，若  $PL=Q$ ， $L = \lim_{x \rightarrow \infty} A^m$ ，由於  $L$  為平衡矩陣，則  $Q$  為此一時期物件的最終分布狀態，可推估出此一時期物件變化程度的理論趨勢值。此時不論  $P$  的分布狀況為何， $Q$  皆為一定的分布狀態，亦即獨立於初始狀態，不受初始狀態的影響。

$L = \lim_{x \rightarrow \infty} A^m$  的計算方式有兩種，一為利用向量空間之線性轉換的代數方法求得；

另一種為利用規則轉置矩陣 (Regular

Transition Matrix) 的性質求得。只要在某一轉置矩陣的自相乘過程中，存在一矩陣的所有值均為正值，則此種轉置矩陣便稱為「規則轉置矩陣」(或稱為規則轉置機率矩陣)。在一個  $m \times m$  的規則轉置矩陣  $A$  中，有如

下的性質（廖亞禎，2002；張俊斌，2004；趙羿等，2003；陳意昌，2004）：

(1)  $L = \lim_{x \rightarrow \infty} A^m$  必存在

(2) L 中之每一行必相等，其也為 **A** 對應於特徵值之特徵向量 **V**。

(3) 存在任何機率向量 **X**，可使得

$$L = \lim_{x \rightarrow \infty} (A^m X) = V$$

因此依據特徵向量之定義可得

$$A = V, (A - I)V = 0$$

## 2. 卡方檢定

為瞭解馬可夫鏈模式推估之準確率，一般利用 Goodman's Chi-squared 檢定，即卡方檢定（ $\chi^2$  檢定）來檢測所建立的馬可夫鏈模式是否符合其基本特性之要求，當計算值大於查表的檢測值，便表示其所建立的模式是可以用來預測地景變遷過程的地覆面積變遷量，用於預測地景變遷的馬可夫鏈模式之卡方檢定公式如下（徐嵐，1999；郭晉平，2001；趙羿等，2003）。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - Y_i')^2}{Y_i'}$$

式中， $Y_i$  為實測值， $Y_i'$  為預測值， $n$  為地景類型數。

## 結果與討論

### 1. 訓練樣本分析

進行監督式影像分類前，訓練樣本之選取將

導致後續影像分類之優劣。另草地為崩場地初期演替重要指標，因崩塌導致邊坡土石滑落，致使植生立地條件變劣，而草生植物生長所需條件較木本植物簡易，且演替快速，故草生植物為崩場地復育時之先驅植物，有鑑於此，需加以獨立分類。故將土地利用分為林地、草地、裸地及水域等四類，由於林地、草地皆為植被，且其於多光譜影像中，各波段之影像灰階值十分接近，但兩者間仍存在一定差異性，如草生植物之光合作用較木本植物強烈，且草生植物因生長高度較低，波長反射後較無第二次之折射問題，故於近紅外光上具有較高之光譜反射值；另其紋理結構資訊亦為不同，因木本植物高度較高，且常有複層林現象，故顯得較為雜亂無章，草生植物較為低矮及平坦，故雜亂度較低，因此，可利用上述特性可進一步加以分類。

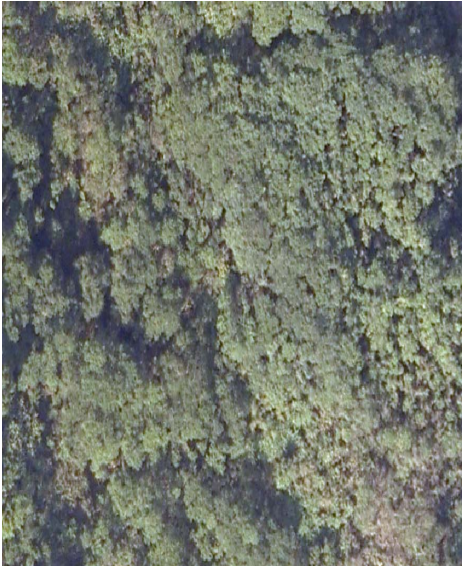



首將蒐集之航測影像與日期較為接近之衛星影像進行各種土地利用類別比對，經圖面檢視發現九份二山於林地之航測影像屬較為凌亂且色澤深綠，衛星影像部分則因波長反射受植被複層及光合作用較弱下，影像呈現暗紅色；草地部分，航測影像顏色較鮮綠並平順，衛星影像則因光合作用較強之影響，呈現鮮紅色；裸地部分，航測影像呈現土色或米白色，衛星影像呈現亮藍色；水域部分，航測影像呈亮白色，衛星影像上，則皆為暗黑色（圖 4）。故利用上述特性，進行影像之訓練樣本選取及統計分析（圖 5），發現水域在近紅外光波段與各土地利用類別有於綠波段與紅波段具有差異性；林地與草地則是在近紅外光波段有較明顯區隔，但易

水土保持學報 42(3) : 329-344 (2010)

Journal of Soil and Water Conservation , 42 (3) : 329-344 (2010)

所差異 (影像灰度值均屬偏低) ; 裸地部分則與裸地相互干擾, 故需藉由其他方式加以區

隔, 如加入植生指標等。因此, 利用光譜特性應可初步將各類別進行分類。

土地利用	航拍圖	SPOT 影像
林地		
草生地		



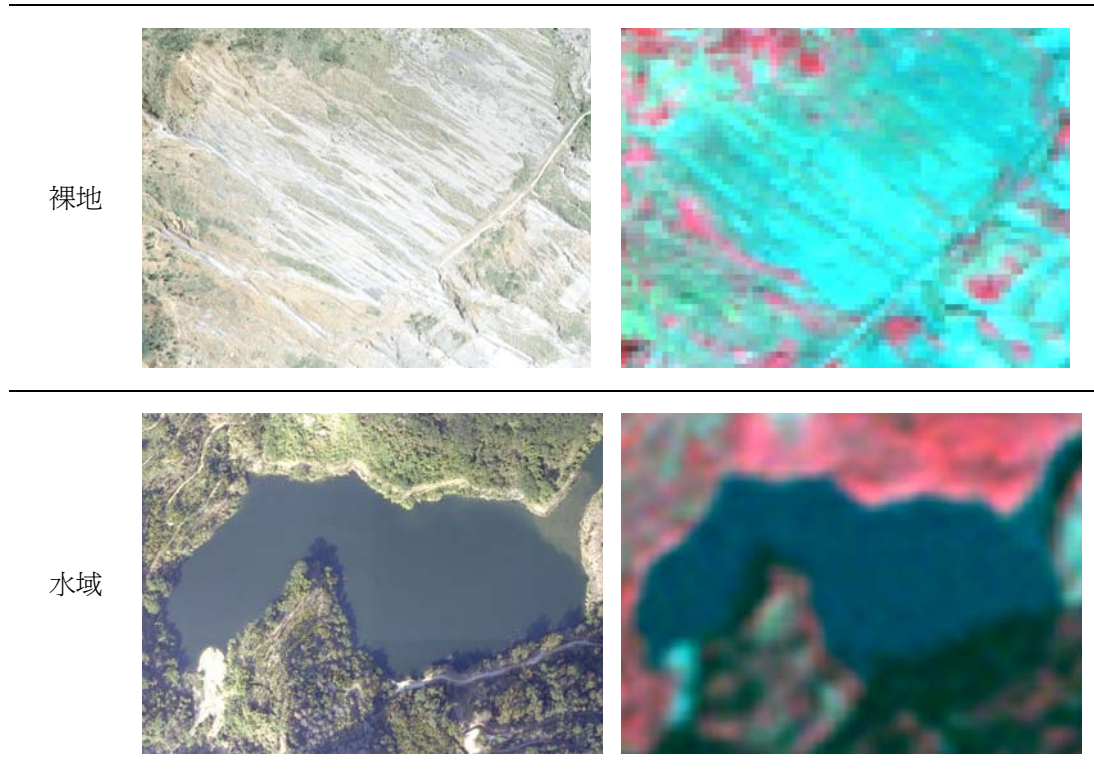


圖 4 土地利用類別之訓練樣本

Fig. 4 Training samples of each land use.

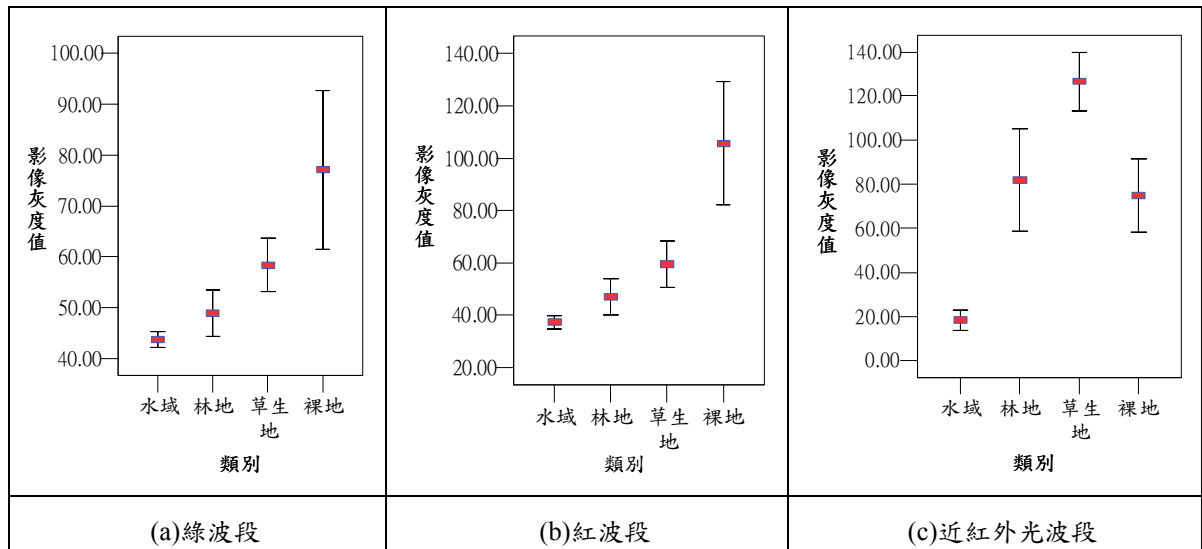


圖 5 土地利用類別之影像灰度值分布

Fig. 5 Distributions of gray values for each land cover.

2.影像分類之精確度評估

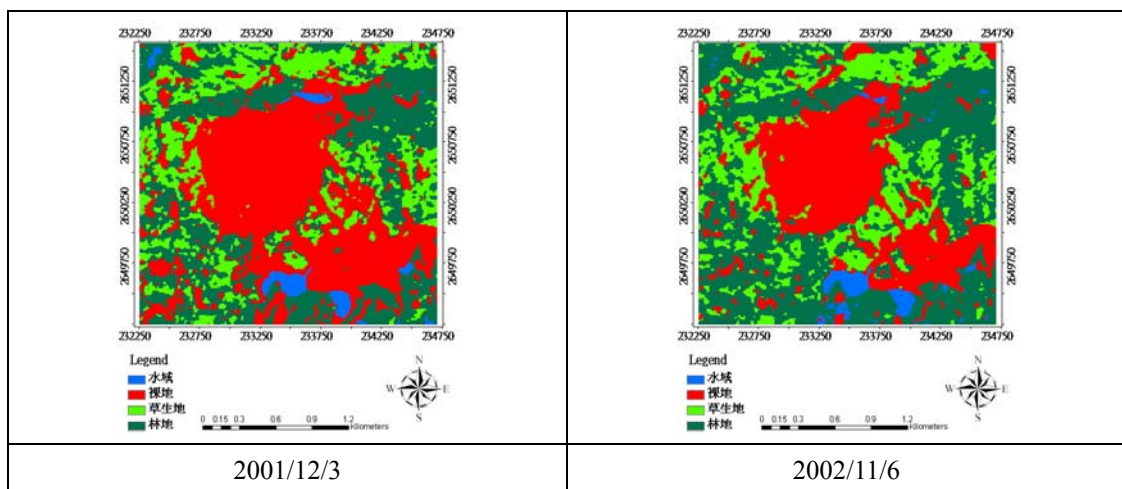
將原始影像及原始影像加入植生指標後，經倒傳遞類神經網路進行影像分類可發現，整體精確度及 Kappa 係數分別大於 79% 及 0.7 以上 (表 1)，且 Janssen and Vanderwel (1994) 指出當 Kappa 係數大於 0.7 時，表示其影像分類準確度良好，可知經由倒傳遞類神經網路所得之影像分類後結果屬良好，可供後續植生復育模擬之用。將原始影像及原始影像加入植生指標之分類結果進行比

較，發現加入植生指標所得之影像分類準確度皆高於未加入植生指標之影像分類成果，顯示影像分類中加入植生指標可有效提升影像分類準確度。再將誤判點位進行圖面檢視 (圖 6)，發現誤判點多位於各類別之交界處，因單一像元內若涵蓋多種土地利用，其反射之灰度值無法準確的將其土地利用類別予以表示，因而導致影像分類時之誤判。故可知原始波段加入植生指標搭配倒傳遞類神經網路進行影像分類雖可提升其影像分類準確度，但對混合像元之問題仍無法完全解決。

表 1 九份二山影像分類結果比較

Table 1 Comparison of Kappa coefficients and overall accuracies of image classification at Chiufenershan.

日期	Kappa coefficient		整體精確度	
	原始波段	原始波段加植生指標	原始波段	原始波段加植生指標
2001/12/3	0.732	0.771	80.08%	82.81%
2002/11/6	0.748	0.781	81.25%	83.59%
2004/2/10	0.756	0.797	81.64%	84.77%
2007/2/1	0.728	0.755	79.69%	81.64%
2008/1/5	0.767	0.818	82.81%	86.33%



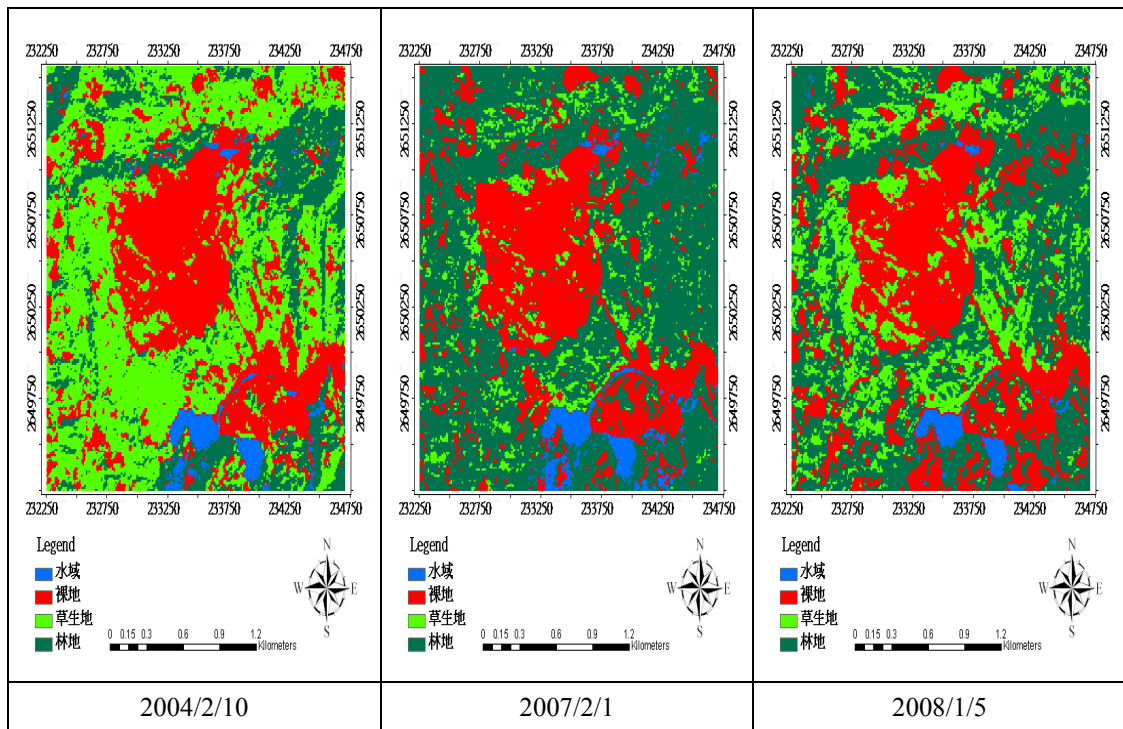


圖 6 各期影像分類結果

Fig. 6 Image classification of original wavebands plus vegetation index coupled with back-propagation neural network in different phases.

### 3. 植生復育模擬

進行一階馬可夫鏈模式計算前，需將各期土地利用之轉置機率矩陣求得，而目前尚無套裝軟體可供使用，故本研究以自行撰寫馬可夫鏈植生復育模組，以前述各期分類結果進行兩兩圖層比對，求得各期之轉換機率矩陣後，再將各期之土地利用初始面積百分比作為初始狀態矩陣，分以不同基準年進行植生復育模擬。進行推估時，是利用各期土地利用之轉置機率矩陣進行自乘，當前後期各類土地利用之百分比無變化時，則表示已達最終穩定推估年，故終止條件設定上，本研究以顯著水準小於 0.01 作為終止運算門檻值。而本研究共有五期影像，依據兩兩比對方式可得四種配對方式，分為 2001-2002 年

(M1)、2002-2004 年 (M2)、2004-2007 年 (M3) 及 2007-2008 年 (M3)，最後將各期最終穩定狀態機率進行探討。

#### A. 馬可夫鏈模擬

將各期土地利用面積進行計算後可發現 (表 2)，裸地面積逐年減少，從 79.07% 降至 49.83%，但 2004 年後下降幅度轉為趨緩，表示剩餘區域植生立地條件較差，復育較為緩慢；水域則變化不大，主要受降雨量多寡之影響；草生地則是 2004 年前逐年成長，2004 年後因草生地逐漸轉為林地，故 2007 年略微下降，2008 年則草生地因受 2007 年之秋颱影響，則再略微上升；林地部分則是主要成長於 2007 年，因草生地轉為林地所致，2008 年則受秋颱影響，則再略微下降。

顯示 2004 年後主要變動為林地與草地間相互改變。

以馬可夫鏈模式進行植生復育模擬 (表 3)，在不同時距轉換模式下 (M1~M4)，可發現以 M3 模式轉換次數最少，經 8 次自乘後即可達穩定，估計最終穩定年份為 2028 年；時間最長亦為 M3 模式，雖該模式自乘次數最少，但因其所採用之相鄰年份之土地利用時距最大，且該模式係草地轉換為林地之關鍵期，以致模式推估達穩定時間時，所需時間較久。故九份二山最終穩定年份應介於 2012~2028 年間。

再由各類別間最終面積百分比可發現，水域面積百分比介於 0.11%~5.27%間，主要因年降雨量之不同導致各期水域面積之差異，以致馬可夫鏈模式進行推估時有所差異；裸地部分則介於 26.39%~34.55%，再與 2001 年裸地面積百分比相比，當九份二山於最終穩定年份時，裸地已可減少 44.52%~52.68%間，表示植被復育相當良好。林地及草地則分介於 10.54%~58.25%及 6.68%~56.31%，顯示林地與草地間目前仍尚未達較穩定趨勢。

再將各種預測模式進行比對，發現當達穩定年份時，裸地及水域面積百分比變化較趨穩定，顯示 2001 年至 2008 年裸地與水域在各土地利用類型間轉換情況呈現較安定現象；但在林地與草地間則於 M3 模式 (轉換年份為 2004-2007) 變化較大，因馬可夫鏈模式僅以兩期間各土地利用類別之轉換作為機率模型，故當某一類別轉換機率較大時，經由多次自乘後，則所佔面積百分比亦逐漸增加，因此，由 M1 及 M2 模型可發現草地

為主要轉換類別，M3 模型則以林地為主要類別，顯示 2004 年前各類別轉換以草地機率最高，2004~2007 年則由林地取代之，亦可解釋為裸地先轉換成草地，再由草地轉換為林地，此現象與一般常理認知上之植物入侵生長情況甚為符合；但在 M4 模型卻以草地為主，經由交叉探討，發現 2008 年林地受 2007 年之秋颱影響，面積略為減少，主要由草地取代之，崩場地及水域變化不大，故 M4 模型經由多次自乘後，草地所佔面積百分比驟升，林地則遽減。因此，可發現九份二山在目前植生復育上，因受林地與草地之發展尚未明朗化，仍有不確定因素，但整體而言，若不在遭受重大外力之干擾下，當穩定時，崩場地應該可恢復 60%以上之植被覆蓋。B.卡方檢定

雖馬可夫鏈模式可提供預測結果，但預測模式之良窳與預測結果之合理性仍須進一步檢定。因 2008 年為模式之最終評估年，故僅以前四期 (2001 年、2002 年、2004 年及 2007 年) 作為模式推估基準年，再與各模式 (M1~M4) 進行各年份預測結果推估，並與實際值進行卡方檢定，茲瞭解模式推估之適用性。

結果顯示 (表 4~表 7)，1a、2a、3a 及 4a 因屬各推估模式所採用之評估年 (相鄰年份)，故所得之推估值與實際值差異甚小，使得卡方檢定值均小於 7.8147，達 95%顯著水準，但在 1c、1f、1g 及 2c 則因非採用之評估年，需以基準年與評估年之轉置機率矩陣進行推估，發現準確性較差，且變動幅度較大，如 1f 之卡方檢定值高達 95.3301，未達 90%或 95%之顯著水準。顯示馬可夫鏈模式於預測時，易受採用之基準年與評估年影響。

莊智璋、林昭遠、錢滄海：以馬可夫鏈模式推估九份二山崩場地植生復育之研究

表 3 九份二山土地利用最終穩定狀態

Table 3 The final state of each land use at Chiufenershan.

模式	轉換年份	運算次數	最終穩定年份	林地	草生地	裸地	水域
M1	2001-2002	11	2012	18.26	45.16	30.84	5.75
M2	2002-2004	9	2020	10.54	52.82	34.55	2.09
M3	2004-2007	8	2028	58.25	6.68	26.39	8.69
M4	2007-2008	13	2020	14.17	56.31	29.42	0.11

註：單位為%

表 4 九份二山各類土地利用推估百分比(以 2001 年為基準)

Table 4 Estimation of land use percentage based on the data of 2001 at Chiufenershan.

模式	代號	推估年	林地	草生地	裸地	水域	卡方檢定
M1	1a	2002	12.220	17.565	67.456	2.760	0.0783**
	1b	2003	13.571	24.593	58.463	3.373	—
	1c	2004	14.681	29.945	51.506	3.869	5.6758**
	1d	2005	15.576	34.025	46.127	4.273	—
	1e	2006	16.290	37.137	41.969	4.604	—
	1f	2007	16.852	39.513	38.756	4.880	95.3301
	1g	2008	17.292	41.325	36.273	5.111	25.339

註：—表示未使用；\*表示達 90%顯著水準；\*\*表示達 95%顯著水準

表 5 九份二山各類土地利用推估百分比(以 2002 年為基準)

Table 5 Estimation of land use percentage based on the data of 2002 at Chiufenershan.

模式	代號	推估年	林地	草生地	裸地	水域	卡方檢定
M2	2a	2004	8.458	30.826	57.947	2.769	0.0789**
	2b	2006	7.97	38.366	50.981	2.683	—
	2c	2008	8.387	43.125	45.914	2.574	30.6215

註：—表示未使用；\*表示達 90%顯著水準；\*\*表示達 95%顯著水準

表 6 九份二山各類土地利用推估百分比(以 2004 年為基準)

Table 6 Estimation of land use percentage based on the data of 2007 at Chiufenershan.

模式	代號	推估年	林地	草生地	裸地	水域	卡方檢定
M3	3a	2007	35.895	10.182	50.748	3.176	0.1042**

註：—表示未使用；\*表示達 90%顯著水準；\*\*表示達 95%顯著水準

表 7 九份二山各類土地利用推估百分比(以 2007 年為基準)

Table 7 Estimation of land use percentage based on the data of 2008 at Chiufenershan.

模式	代號	推估年	林地	草生地	裸地	水域	卡方檢定
M4	4a	2008	25.534	22.3	49.833	2.334	0.0557**

註：—表示未使用；\*表示達 90%顯著水準；\*\*表示達 95%顯著水準

## 結論

921 地震引致九份二山崩塌，至 2008 年其植生復育率已達 47%以上；再藉由馬可夫鏈模式進行植生復育模擬，可知 2004 年前以草生地為主要復育類別，2004 年後逐漸轉為林地，與一般常理認知上之植物入侵生長情況甚為符合，其達最終穩定年份則介於 2012 ~2028 年；卡方檢定中，雖馬可夫鏈模式可提供預測結果，但易受所採用之基準年與評估年之土地利用影響，其準確性較不穩定，使用時，需加以注意。整體而言，九份二山植生復育良好，但有時因受自然災害之干擾而有所影響。

## 引用文獻

1. 徐嵐 (1999), 「景觀網絡結構的幾個問題」, 景觀生態學: 理論、方法及應用, 地景觀企業股份有限公司, 第 225-230 頁。
2. 張俊斌 (2004), 「泥岩地區景觀生態結構與變遷之研究」, 國立中興大學水土保持學系博士論文。
3. 郭晉平 (2001), 「森林景觀生態研究」, 北京大學出版社, 第 1-74 頁。
4. 莊智瑋、林昭遠 (2010), 「結合植生指

標與 DEM 萃取集水區崩塌深度之空間變化」, 2010 森林集水區經營研討會, 第 75-98 頁。

5. 莊智瑋、林昭遠 (2007), 「以植生指標探討九份二山崩場地植生變遷之研究」, 中華水土保持學會 96 年年會論文發表, 第 51-52 頁。
6. 陳意昌 (2004), 「農地重劃地區土地利用與景觀變遷之研究」, 國立中興大學水土保持學系博士論文。
7. 黃麗娟 (2006), 「植生指標應用於土地利用分類判釋之研究」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文。
8. 葉怡成 (2003), 類神經網路模式應用與實作, 儒林圖書有限公司。
9. 廖亞禎 (2002), 「校園土地利用之地景變遷—以中興大學台中校區為例」, 國立中興大學園藝學系碩士論文。
10. 趙羿、賴明洲、薛怡珍 (2003), 「景觀生態學理論與實務」, 地景企業股份有限公司, 第 372 頁。
11. Aaviksoo, K. (1993), "Changes of Plant Cover and Land Use Types (1950's to 1980's) in Three Mire Reserves and Their Neighbourhood in Estonia," *Landscape Ecology*, 8(5): 287-301.
12. Anderson, T.W. and L.A. Goodman.

- (1957), "Statistical inference about Markov chains," *The Annals of Mathematical Statistics*, 28: 89-110.
13. Balzer, H. (2000), "Markov chain models for vegetation dynamics," *Ecological Modelling*, 126 : 139-154.
14. Benabdellah, B., K.F. Albrecht, V.L. Pomaz, E. A. Denisenko, and D. O. Logofet (2003), "Markov chain models for forest successions in the Erzgebirge, Germany," *Ecological Modelling*, 159: 145-160.
15. Burgan R.E. and R.A. Hartford (1993), "Monitoring vegetation greenness with satellite data," *USDA Forest Service Intermountain Research Station General Technical Report INT-297*.
16. Chang, K.J., A. Taboada and Y.C. Chan (2005), "Geological and morphological study of the Jiufengershan landslide triggered by the Chi-Chi Taiwan earthquake" *Geomorphology*, 71:293-309.
17. Cox, D.R. (1972), "Regression models with life tables," *Journal of the Royal Statistical Society*, B34:187-220.
18. Jenerette, G.D. and J. Wu (2001), "Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region ,USA," *Landscape Ecology*, 16(8): 611-626.
19. Kalbfleisch, J.D. and J.F. Lawless (1985), "The analysis of panel data under a Markov assumption," *Journal of the American Statistical Association*, 80: 863-871.
20. Lep's, J. (1988), "Mathematical modelling of ecological succession: a review," *Folia Geobot. Phytotx*, 23(1): 79-94.
21. Logofet, D.O. and E.V. Lesnaya (2000), "The mathematics of Markov models: what Markov chains can really predict in forest succession," *Ecological Modelling*, 126 : 285-298.
22. Muller, M.R. and J. Middleton (1994), "A Markov Model of Land-use Change Dynamics in the Niagara Region,Ontario,Canada," *Landscape Ecology*, 9: 151-157.
23. Usher, M.B. (1979), "Markovian approaches to ecological succession," *Journal of Animal Ecology*, 48: 413-426.
24. White B. (2005), "An economic analysis of ecological monitoring," *Ecological Modelling*, 189 : 241-250.
- 
- 99年06月15日收稿  
99年07月30日修改  
99年08月09日接受

水土保持學報 42(3) : 329-344 (2010)

Journal of Soil and Water Conservation , 42 (3) : 329-344 (2010)