

坡地利用影響山崩潛勢之評估模式建置 —以寶來地區歷經莫拉克颱風為例

陳怡睿* 林洧全 謝舜傑

摘要 近年來，臺灣隨著經濟發展及社會變遷，對自然環境的破壞及土地資源不當使用也日趨嚴重，加上又位居西太平洋熱帶氣旋區上，時常受到颱風、暴雨侵襲，如遇雨量偏多季節，便容易發生山崩、土石流等災害，危及生命財產安全。因此，建立一套山崩潛勢評估模式，提供政府機關防災規劃時之參考實屬必要。本研究以莫拉克颱風侵襲台灣期間，高屏流域之寶來地區為研究範圍，運用類神經網路技術輔以紋理分析，進行衛星影像之判釋分類，用以擇取地表資訊與災害紀錄資料；透過相關性檢定，及結合多變量不安定指數，推算研究區山崩潛勢等級，再運用地理資訊系統繪製區域山崩潛勢圖。其中，本研究所考量之山崩災害潛勢因子包括坡度、坡向、地質、高程與坡地利用情形等 5 項。藉由山崩潛勢評估模式之建置，將可提供相關防救災單位針對高潛勢地區擬訂治理對策之參考，期減少人民生命財產之損失。

關鍵詞：山崩潛勢、類神經網路、多變量不安定指數、紋理分析、地理資訊系統。

Construction of an Evaluation Model for Landslide Potential due to Slope Land Use: Case Study of Baolai Following Typhoon Morakot

Yie-Ruey Chen* Wei-Chung Lin Shun-Chieh Hsieh

ABSTRACT Because of the rapid economic growth and social change, the development of slope land in Taiwan is inevitable. However, landslides occur frequently in high-altitude and heavy-rainfall regions during typhoons. To make the execution of the regulation of slope land development more efficient, the construction of an evaluation model for landslide potential is very important. In this research, artificial neural networks with texture analysis are employed for classifying high resolution satellite images of Baolai region following Typhoon Morakot to obtain digital records of the ground and disaster. By using a correlation test and the multivariate instability index method, the landslide levels of the research area were classified. Then, through the geographic information system the landslide potential map was plotted to distinguish high potential regions from low potential regions. The factors considered in the model were slope angle, aspect, geological situation, elevation and slope land use situation. In this way, the proper countermeasures to prevent serious damages in high potential regions from landslide could be made.

Key Words: landslide potential, artificial neural network, multivariate instability index method, texture analysis, geographic information system.

一、前言

台灣近年來隨著經濟發展及社會變遷，土地利用型態複雜，對自然環境的破壞及土地資源不當使用情形日趨嚴重，豪雨及颱風時所引起山崩、土石流及坡地災害，常造成難以估計之損害。

早期已有學者針對相關山崩災害之致災因子進行調查與探討 (張石角, 1987)，並提出許多不同致災因子；一般而言，大致可分為潛因和誘因，其中主要之誘因為降雨及地震；而山崩災害發生之潛在原因除了自然因子 (例如：地質、高程及坡度等) 之外，人為土地利用也是影響山崩的重要因素之一。

許多學者利用衛星影像判釋分類技術進行山崩地區之判釋，係因衛星影像具有資料獲取週期短、可迅速掌握地表改變狀況、影像資料涵蓋範圍廣以及成本低等特性，特別是山區或人員不易到達的地方，皆可藉由電腦分析及地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 資料輔助，快速研判地物覆蓋情形，適合做為大範圍與時序性土地利用變遷監測的工具 (Liu *et al*, 2001；陳文福等, 2005；陳怡睿等, 2009)。

然追求最佳的影像判釋精度，為影像判釋技術所追求的重要目標之一。近年來有多位學者應用類神經網路 (artificial neural network, ANN) 於衛星影像分類及崩塌地判釋之相關研究 (Chen, 2004；張崑宗等, 2006；萬鈞等, 2008)，由相關研究結果可知，以 ANN 應用於衛星影像分類或崩塌地判釋具有學習精度高、回想速度快等優點，且較經濟、可萃取參數間更多的資訊。

紋理 (texture) 為影像的特質之一，影像區塊中，若其一系列相同屬性之局部統計性或其圖形性質為不變、或為緩慢改變、或為近似可預測，則可將之視為不變之紋理 (Sklansky, 1978)。近年來亦有學者利用紋理資訊做為衛星影像判釋之輔助資訊，以期能夠提高判釋之精確程度 (萬鈞等, 2008)。

本研究取得高雄縣寶來地區之衛星影像，利用類神經網路進行影像分類判釋，藉此得知研究區內相關坡地利用情形，並利用灰階共生矩陣 (gray level co-occurrence matrix, GLCM) 萃取出高解析度衛星影像中之紋理資訊，來提高影像判釋之精度，並應用多變量不安定指數分析法 (dangerous value method, DVM) 推估研究區之山崩潛勢等級，然後以地理資訊系統展繪出山崩潛感圖。

二、研究方法

1. 倒傳遞類神經網路

類神經網路為結合電腦及先進科技之人工智慧技術之一，具有高速計算能力、高記憶力及高學習能力。類神經網路的優點在於不需要事先假設方程式的型式，且訓練方法非常簡單，可處理大批資料，加上精度高、速度快，因此適用於處理高度複雜的非線性函數問題 (羅華強, 2001；葉怡成, 2002；張斐章等、張麗秋, 2005)。

本研究中所使用之倒傳遞類神經網路模式 (back propagation neural network, BPN) 是目前類神經網路學習模式中最具代表性，應用最普遍的模式之一。BPN 基本原理是利用最陡坡降法 (the gradient steepest descent method) 觀念，將誤差函數予以最小化。BPN 為三層結構的神經網路，包含輸入層、隱藏層及輸出層，但實際上輸入層如同單層感知器的輸入層，並不對輸入資訊做特別處理，只是當外界輸入訊息的傳遞介面，將輸入項直接往後傳遞，因此實際有作用的神經元只有隱藏層及輸出層兩層 (葉怡成, 2002)。BPN 之基本結構，如圖 1 所示：

2. 紋理分析

在影像分析中，像元灰階值是屬較低階的性質，而像元彼此間的相互關係如方向性及規則性則屬較高階，而此即紋理；對於不同地表覆蓋種類，影像中具有不同紋理特徵。本研究利用 ENVI 影像處理軟體之紋理分析功能，對於研究區域內之衛星影像進行灰階共生矩陣 (GLCM) 之建立及量化，並透過其結果做為類神經網路於影像判釋訓練及分類之用。

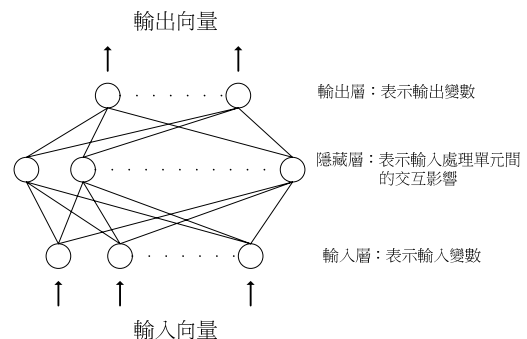


圖 1 BPN 架構圖 (葉怡成, 2002)

Fig.1 Schematic diagram of back-propagation neural network

GLCM 是一種二階的統計方法，它是用來統計每一對灰階值出現在特定相關位置像元的頻率。其計算方式如式 (1) 所示：

$$C_{ij}(d, \theta) = \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)} \quad (1)$$

P_{ij} 表示影像中灰階值 i 與 j 出現在相對位置 (d, θ) 的聯合機率 (joint probability)，其中 d 為距離、 θ 為方向。式 (1) 可供進行各項紋理特徵值之計算。

紋理量化的方式有許多種，Haralick *et al.* (1973) 曾建議多種可用來量化 GLCM 矩陣的紋理統計量，本研究運用以下述最常用之紋理量化方法：

均質度 (homogeneity)：係用來衡量各像素內紋理的均調性，當均調性越大時則該值越大。 i 與 j 表示像元中之灰階值， C_{ij} 則為經由 GLCM 計算後所得之值。其計算方式如式 (2) 所示：

$$\text{均質度} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{1}{1+(i-j)^2} C_{ij} \quad (2)$$

對比度 (contrast)：係用來衡量影像中紋理的對比強烈程度，當對比度越大時，則該值會越小。其計算方式如式 (3) 所示：

$$\text{對比度} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (i-j)^2 C_{ij} \quad (3)$$

不相似度 (dissimilarity)：係指用來衡量影像中灰階值的不相似程度。其計算方式如式 (4) 所示：

$$\text{不相似度} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} |i-j| \quad (4)$$

熵 (entropy)：係指用來衡量紋理的雜亂程度，影像紋理隨機性越高，其值會越小。其計算方式如式 (5) 所示：

$$\text{熵} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \log C_{ij} \quad (5)$$

二階角動量 (angular second moment, ASM)：係為衡量紋理的一致性與均勻性； Asm 值越小時，則矩陣中的元素分佈越平均。其計算方式如式 (6) 所示：

$$Asm = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \quad (6)$$

3. 多變量不安定指數

多變量不安定指數分析法 (dangerous value method, DVM)，為一多元非線性數學模式，係以計量為主要概念，於一相對關係下，提出一個不安定指數值 (D_t)，做為整個研究區域內，不同區位環境致災之風險度高低評估指標值 (陳昆廷等，2008；林芬玲等，2009)。

當欲推估各致災因子之影響權重值時，須經由因子中各分級之致災比率求算變異係數 (coefficient of variation, V)，其代表各因子分級反應崩塌機率之靈敏度，計算方式如式 (7) 所示：

$$V = \frac{\sigma}{X} \times 100\% \quad (7)$$

上式中， σ 為標準差， X 為各分級案例樣區受損百分比平均值。本研究利用各因子所計算之變異係數除以全部因子之變異係數總和，即可獲得該因子之權重值，各權重值即代表各因子對發生崩塌之影響程度。因子權重計算方式如式 (8) 所示。其中 W 為因子權重， V 為變異係數。

$$W_i = \frac{V_i}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} \quad (8)$$

各項致災因子之分級評分值 d 則可藉由下式 (9) 中，各因子分級之受損百分比來推算，分級評分值係以數值 1~10 之相對數值表示之。

$$d_n = \frac{9(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (9)$$

其中 X_i 表示案例樣區之致災比率， X_{\max} 與 X_{\min} 分別為該項因子中各分級案例樣區之受損百分比最大值與最小值。

最後，綜合上述算式可依其變異值 (V) 之大小排列判定其影響權重 (W_i)，最後給予各因子不同權重評分值，列式如下：

$$D_t = d_1^{w_1} \times d_2^{w_2} \times d_3^{w_3} \times d_4^{w_4} \times d_5^{w_5} \times \dots \times d_n^{w_n} \quad (10)$$

其中 D_t 為潛勢災害之不安定指數，以介於 1~10 之相對等級數值表示。

4. 地理資訊系統

地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 是一套以電腦為基礎的系統，可整合處理地理空間資訊及其相關描述資訊的電腦軟體，並且可進行視覺化、操作、分析及展現地理資料，進而獲得

衍生資料，進一步以數位化的資料型態提供予使用者，更可以針對特定之應用領域予以擴充發展。

本研究所使用之地理資訊系統 ArcGIS (ESRI, 2006) 主要由四個模組所組成，包括 ArcMap、ArcCatalog、ArcToolbox 及 ModelBuilder。ArcMap 為 ArcGIS 的核心模組，主要功能包括空間資料的分析、屬性資料分析、地圖製作及資料編修等。ArcCatalog 之功能主要在於瀏覽、組織及管理所有資料，其功能包括資料的瀏覽、搜尋、預覽、建立以及詮釋資料的建立與編輯等功能。ArcToolbox 係以浮動視窗 (docking window) 方式，直接在 ArcMap 中啟動及使用，同時也提供指令視窗 (command line window)，提供直接指令輸入。主要功能包括資料分析 (analysis tools)、資料格式的轉換 (conversion tools) 及資料處理 (data management tools) 及空間統計 (spatial statistics tools)，所以 ArcToolbox 可說是 GIS 分析的主要模組。ModelBuilder 可將一系列的分析步驟串聯成一個模式，此模式包括所需使用的資料、分析方法及步驟流程，模式建立完成後，可直接提供給他人使用，因此單位內或單位外皆可共享此模式 (黃敏郎、劉守恆，2005)。

三、山崩潛勢模式之建置

1. 研究區域之選定

2009 年 8 月期間，莫拉克颱風登陸侵襲台灣，致使台灣東部及南部遭受大規模坡地崩塌災害，據官方統計此次風災共造成全台 704 人死亡、22 人失蹤，其中又以高屏地區受創最為嚴重。因此，本研究選定高雄縣行政區內之寶來地區作為研究之對象。研究地區內包含水域、森林、草地、水田、建物、裸露地等多樣性之土地利用形態，且其相對位置如下圖 2 所示。

2. 原始圖資之建置

本研究的原始圖資包含高屏溪流流域歷經莫拉克颱風侵襲期間前後之福爾摩沙衛星二號 (FM2) 之多光譜影像，該衛星與太陽同步軌道，每日通過台灣海峽上空二次，拍攝時間為 2009 年 5 月 9 號及 2009 年 8 月 24 號。本研究已將研究區之衛星影像圖 (圖 3)、2007 年期間拍攝之航照圖 (圖 4)、數值高程 (DEM) 圖以及數值地質圖等，結合地理資訊系統，建立相關資料庫。

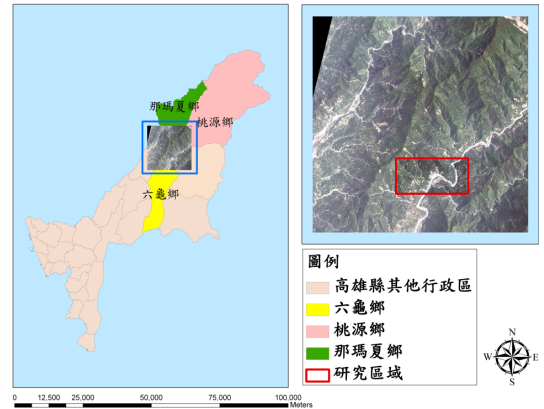


圖 2 研究地區位置圖

Fig.2 The study area

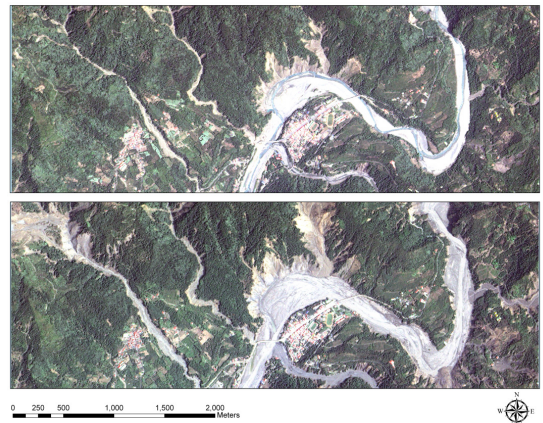


圖 3 莫拉克颱風前後 2009 年 5 月 9 日 (上) 及 2009 年 8 月 24 日 (下) 研究區之 FM2 衛星影像圖

Fig.3 FM2 satellite images of the study area before-and-after Typhoon Morakot

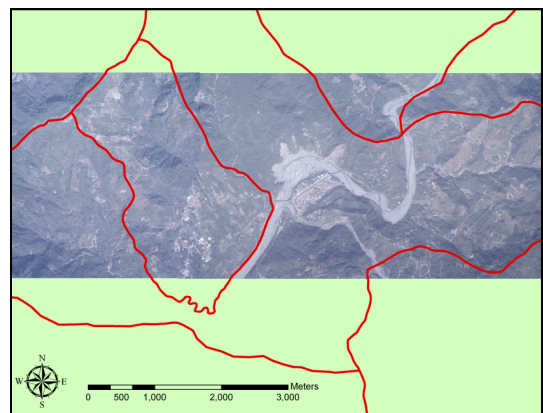


圖 4 研究區之航空照片圖

Fig.4 Aerial photo map of research area

3. 基本網格之建立

本研究所運用之衛星影像為 FM2 彩色融合 (fusion) 後之影像, 其空間解析度可達 2M, 惟考量本文所採用之 DEM 解析度為 40M × 40M。因此, 本研究運用地理資訊系統軟體 ArcGIS (ESRI, 2006) 建立 40M × 40M 的網格, 以作為本文的基本網格大小。

4. 影響因子選定

本研究經文獻回顧後, 選擇使用最為廣泛且資料取得最容易之坡度、坡向、高程、地質、坡地利用等 5 項因子, 作為影響山崩潛勢之致災因子。

(1) 坡度因子

坡度係指邊坡的傾斜率, 與邊坡的穩定性有極大的相關性, 當邊坡愈傾斜, 坡地物質向下的滑動力愈強, 因此坡度愈陡, 崩塌發生之機率相對較大。本研究利用 ArcGIS 分析研究區內之坡度因子, 其中坡度分級之級別係依據「山坡地土地可利用限度分類標準」, 但若坡度大於百分之一百 (四十五度) 者, 則另列為七級坡, 各坡度分級及其序數, 如下表 1 所示。

(2) 坡向因子

坡向係指邊坡坡面的傾向, 會受到降雨及風向等之影響, 一般而言迎面的坡向所產生的影響, 比背向坡向所產生之影響較為劇烈。本研究亦以 ArcGIS 計算每個網格內之坡向, 各坡向分級及編碼順序, 如下表 2 所示:

(3) 高程因子

高度差異會造成氣候之不同, 進而影響植生分佈、風化種類與速率。本研究以 DEM 萃取研究區域之高程, 並利用 ArcGIS 計算每個網格內之平均高程值。

(4) 地質因子

高雄縣地質依發育年代不同可分為始新世新高層、中世紀廬山層、中世紀中晚期瑞芳群、三峽群及其相當地層、上新世卓蘭層、錦水層及更新嶺科山層反台地堆積層等。本研究配合以各地質名稱及其對應之特徵, 進行地質因子之強弱等級分類。分類編碼的方式係先依照地質名稱, 配合其相關地質特性, 彙整出該地質所具有之岩性特徵, 再利用地質岩性特徵其相對應之壓縮強度, 對照 ISRM (1981) 所提出之壓縮強度與強弱等級之關係, 將具有該岩性特徵之地質名稱,

予以區分強弱, 並給予等級編碼。編碼表如表 3 所示。最後利用 ArcGIS 功能將其建入網格中。

表 1 坡度等級分類編碼表 (行政院農委會水土保持局)

Table 1 Encoding and classification of Slope of research area

坡度級別	土地單元之坡度變域(分級範圍)	編碼
一級坡	坡度百分之五以下	1
二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五	2
三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十	3
四級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十	4
五級坡	坡度超過百分之四十至百分之五十五	5
六級坡	坡度超過百分之五十五至百分之一百	6
七級坡	坡度超過百分之一百	7

表 2 坡向等級分類編碼表

Table 2 Encoding and classification of Aspect of research area

方位	方位角度	編碼
平地	—	-1
北方	337.5° ~ 22.5°	1
東北方	22.5° ~ 67.5°	2
東方	67.5° ~ 112.5°	3
東南方	112.5° ~ 157.5°	4
南方	157.5° ~ 202.5°	5
西南方	202.5° ~ 247.5°	6
西方	247.5° ~ 292.5°	7
西北方	292.5° ~ 337.5°	8

表 3 地質強度等級分類編碼表 (ISRM, 1980; 陳怡睿等, 2009)

Table 3 Encoding and classification of geology intensity level of research area

地質名稱	特徵	強度等級	等級編碼
臺地堆積	礫石、紅土、土、砂	極弱	1
利吉層_墾丁層	泥岩夾各類外來岩塊 (惡地地形)	極弱	1
沖積層	土、砂、礫	甚弱	2
大港口層	頁岩、砂岩、礫岩	弱	3
廬山層、蘇樂層	硬頁岩、板岩、千枚岩、硬砂岩	中強	4
畢祿山層	板岩、千枚岩夾石英岩質砂岩	中強	4
大南澳片岩	黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩	強	5
都巒山層	集塊岩、凝灰質砂岩、石灰岩凸鏡體	甚強	6

(5) 坡地利用因子

本研究以類神經網路進行研究區內之衛星影像判釋分類，並藉此獲取坡地利用因子，其中，類神經網路訓練時，所採用之判釋分類因子包括水域、果樹、建物、森林、草地、裸露地、水田、旱田、道路和河道等 10 項。此外，本研究並依照「重要性」及「合理取得」兩項原則，選定綠覆（含草地、森林）率、農田（含水田、旱田）種植率、果樹種植率、裸露地、建物密度、道路密度等 6 項因子作為影響研究區域山崩災害發生與否之坡地利用因子，各因子之量化指標基本定義，如下表 4 所示。

5. 衛星影像判釋

(1) 影像前處理

影像分類判釋前，為避免因雲層及陰影覆蓋而影響影像判釋結果，先以 ArcGIS 軟體將影像中被雲層及陰影部分所覆蓋的地區進行數化，再利用 ERDAS IMAGINE 軟體之功能予以切除 (ERDAS, 2001)，並擷取衛星影像中之 R、G、NIR 與 SWIR 等四類光譜值，作為影像判釋訓練及分類之用。

(2) 紋理資訊處理

本研究先利用 ENVI 軟體功能進行研究區域內紋理資訊之計算 (ENVI, 2008)，再利用 ArcGIS 擷取衛星影像中之 R、G、NIR 與 SWIR 等四類紋理資訊光譜值，並與原影像之光譜值做結合，以做為類神經網路之影像判釋訓練及分類之輸入值。

(3) 坡地利用因子樣區訓練

本研究以衛星影像圖為主，輔以航空照片圖，圈繪出研究地區內具有代表性之樣本區域；例如在圈繪建物時，以航照圖找出建物樣區位置，再利用航照圖與衛星影像套疊、比對，並訂出該建物於衛星影像圖上之相對位置，然後以此為據，圈繪出建物樣本區域；其餘各因子之樣本區域圈繪方式亦同。當各樣區圈繪後，本研究利用以 MATLAB (MATLAB, 2009) 為平台所開發之自動試誤式之類神經網路模組 (Chen et al., 2009)，進行類神經網路訓練及分類。

本研究於類神經網路訓練時，係設定各參數之上限值，並藉程式模組讓其自動訓練，其中隱藏層數、第一層、第二層神經元數、學習速率及

學習次數之上限值分別設定為 2、32、32、3.2 及 15,000。本研究以前述所圈選樣區資料總比數之 70% 做為訓練，另 30% 做為測試資料，並以類神經網路的收斂情形之均方誤差 (mean squared error, MSE) 來搜尋最佳化網路架構，並檢視類神經網路是否產生過度學習 (over learning) 的現象。過度學習可定義為，網路對訓練範例的誤差很小，對測試範例的誤差卻很大的現象 (葉怡成, 2002)。

經類神經網路程式模組之執行結果顯示，不論災前 (2009.05.09) 或災後 (2009.08.24) 之衛星影像，當輸入因子未加入紋理資訊時，並未產生過度學習之現象；然加入紋理資訊後，災前之影像其學習次數超過 5,000 次後，即產生過度學習之現象，故將學習次數設定為 5,000 次，並重新搜尋最佳網路架構。災後之影像，當加入紋理資訊後，其學習次數超過 1,000 次後，收斂果越顯不佳，故將學習次數設定為 1,000 次。

研究區歷經莫拉克颱風侵襲前後之衛星影像經訓練後之最佳架構參數，如表 5 所示。其中，災前衛星影像未加入紋理資訊時之訓練結果為，當隱藏層數為 2 層，第一層神經元數為 26 個，第二層神經元數為 32 個，學習速率為 2.4，學習次數為 15,000 次時，整體準度 (overall accuracy) 達 94.79%；然加入紋理資訊後，訓練之結果顯示，當學習速率為 1.5，學習次數為 5,000 次，整體準度可達 98.96%。災後衛星影像訓練結果可知，當隱藏層數為 2 層，第一層神經元數為 18 個，第二層神經元數為 28 個，學習速率為 2.8，學習次數為 15,000 次時，整體準度達 96.05%；當加入紋理資訊後，第一層神經元數為 32 個，第二層神經元數為 24 個，學習速率為 1.3，學習次數為 1,000 次時，整體準度可達 91.11%。

(4) 影像分類判釋驗證結果

為確認判釋結果之精確性，針對所欲判釋之各因子，於衛星影像上隨機各選取 25 個點位做為驗證檢核點，並與航空照片進行比對。本研究採一致性係數 (coefficient of agreement) Kappa 值 (Cohen, 1960) 及整體準度作為判釋分類精確度之依據。本文以莫拉克風災前之影像為例，其影像判釋結果未加入紋理資訊其整體

表 4 坡地利用因子之量化指標定義一覽表

Table 4 Definition of evaluated value for land use factors

坡地利用因子	量化指標定義
綠覆率	植被 (包含森林、草地) 在網格面積內所佔之面積百分率
農田種植率	農田在網格面積內所佔之面積百分率
果樹種植率	果樹在網格面積內所佔之面積百分率
裸露密度	裸露地在網格面積內所佔之面積百分率
建物密度	建物在網格面積內所佔之面積百分率
道路密度	道路在網格面積內所佔之面積百分率

表 5 類神經網路訓練架構參數之影像判釋訓練結果表

Table 5 Parameters for framework of natural network training and results of satellite image classification

影像日期	隱藏層數	1 st 隱藏層	2 nd 隱藏層	學習速率	學習次數	整體準度
		神經元數	神經元數			
2009.05.09	2	26	32	2.4	15,000	94.79%
2009.05.09 (加入 Texture)	2	27	22	1.5	5,000	98.96%
2009.08.24	2	18	28	2.8	15,000	96.05%
2009.08.24 (加入 Texture)	2	32	24	1.3	1,000	91.11%

表 6 衛星影像 (2009 年 5 月 9 日) 判釋結果誤差矩陣表

Table 6 Error matrix of satellite image (May 9, 2009) classification

	道路	農田	裸露地	水域	森林	果樹	建物	小計	使用者準度
道路	17	4	3	0	0	0	2	26	65.38
農田	0	35	0	0	0	0	1	36	97.22
裸露地	8	6	47	0	0	0	1	62	75.81
水域	0	0	0	24	0	0	0	24	100.00
森林	0	2	0	0	48	9	0	59	81.36
果樹	0	3	0	0	2	16	0	21	76.19
建物	0	0	0	1	0	0	21	22	95.45
小計	25	50	50	25	50	25	25	250	
生產者準度	68%	70%	94%	96%	96%	64%	84%		Kappa=0.83 整體準度=83%

準度為 76.4%，Kappa 值為 0.74；加入紋理資訊後其整體準度為 83.2%，Kappa 值為 0.83。同樣，莫拉克風災後之影像判釋未加入紋理資訊其整體準度為 75%，Kappa 值為 0.74；加入紋理資訊後其整體準度為 80.4%，Kappa 值為 0.78。根據相關研究顯示 (Landis and Koch, 1977)，本研究於影像分類判釋結果災前具有中高至高精確程度。本研究亦參考 Verbyla (1995) 之做法，將各項因子分類結果以誤差矩陣表之方式提出，如表 6 所示，其中橫軸為實際地表資訊，縱軸則代表經類神經網路判釋後之分類結果。其中，使用者準度表示地面覆蓋物經分類後，該類別被正確歸類的機率；生產者準度則表示在使用某種分類方法下，地面參考資訊可正確地被分類的情形。表 6 顯示分類正確率最高之因子為水域及森林，其皆為 96%，其餘因子分類正確率分別為道路 68%、農田 70%、建物 84% 及裸露地 94%，而分類正確率最低者為果樹的 64%。

6. 崩塌區之選取

本研究以歷經莫拉克颱風前、後期影像之裸露地面積之差值，佔該網格面積之 1/2 以上，且 NDVI 之差值小於 0 時，將該網格定為崩塌之處。

7. 坡地利用情形

本研究所考量之坡地利用情形係以坡地開發利用程度 (degree of land disturbance, DLD) 作為依據。網格內之坡地開發利用程度 (Chen *et al*, 2009) 可定義為：

$$DLD = \frac{DC}{EC} \tag{13}$$

其中，DC (disturbance condition) 為坡地利用情形，即於網格中存在的地表開發類型，EC (environment condition) 為坡地自然條件。因此，坡地開發指標 (index for DLD, IDLD) 可定義為：

$$I_{DLD} = \frac{\sum G_{DC} \times R}{G_{EC}} \tag{14}$$

其中，GDC (grading of DC) 為各網格中坡地開發利用因子之評分值；GEC (grading of EC) 為各網格中坡地自然條件之評分值；R 為各坡地開發利用因子於網格中所佔面積之比例。

但式 (14) 中係將自然條件因素一併考量，並不符合本研究設定之坡地利用情形中，因子獨立考量之情形，因此將式 (14) 修訂為如式 (15) 所示：

$$I_{DC} = \sum G_{DC} \times R \quad (15)$$

其中，影響崩塌之坡地開發因子評估指標 GDC，如表 7 所示。

表 7 影響崩塌之坡地開發因子評估指標 (Chen et al., 2009)

Table 7 Grading of influencing factors of hillside development conditions

坡地利 用因子	裸露 密度	採礦 密度	道路 密度	建物 密度	果樹 種植率	農田 種植率	綠覆率
評分數	7	6	5	4	3	2	1

表 8 坡地利用因子相關性檢定表

Table 8 Correlation test of slope land use factors

	果樹	建物	森林	裸露地	農地	道路
果樹	1	-0.052	-0.02	-0.222	0.054	-0.129
建物		1	-0.191	0.317	0.111	0.211
森林			1	-0.312	-0.046	-0.257
裸露地				1	0.018	0.347
農地					1	0.023
道路						1

表 9 山崩潛勢因子相關性檢定表

Table 9 Correlation test of landslide potential factors

	坡向	坡度	高程	地質	I _{DC}
坡向	1	0.165	-0.095	-0.262	0.041
坡度		1	-0.146	-0.252	0.262
高程			1	0.429	0.065
地質				1	0.224
I _{DC}					1

8. 山崩災害潛勢模式之建置

本研究運用多變量不安定指數進行研究區內坡地利用影響山崩潛勢模式之建置，模式建構流程，說明如下：

(1) 因子檢定

為解釋因子間彼此之相關性，及避免在計算多變量不安定指數時，輸入因子間關聯性太高，因此，須檢定研究區域內每一個網格所萃因子值域之相關性，本研究以 SPSS 統計軟體 (SPSS, 2005) 中的 Pearson 相關性檢定工具，進行因子之相關性檢定；輸入各影響因子後，產生之相關係數變化範圍會介於-1 與+1 之間，若相關係數趨近於+1 時，則表示兩變數為完全正相關；而趨近於-1 時，兩變數則為完全負相關，但在一般情況下，完全相關甚少出現；又若其值為 0 時，則代表兩變數間可視為無相關性存在 (林震岩, 2007)。經檢定後，若因子彼此間為高度相關，則須考慮另以統計方法，將其簡化為沒有相關及互相獨立的因子，以增加推估結果的可信度與正確性。由表 8 及表 9 之相關性檢定結果可得知，影響坡地利用之各因子間及山崩潛勢之各因子間，除極少部分因子間 (高程與地質) 呈現中低度相關外，其餘皆呈現低度相關性或無相關性。

(2) 山崩潛勢因子權重評分計算

本研究採用多變量不安定指數法建立山崩潛勢模式，研究區內之山崩潛勢因子權重評分，如表 10 所示。其中，在 IDC 之因子分級部份，係經由式 (15) 之推算後，又藉由 SPSS 集群分析工具，將 IDC 予以自動分群，並以此分群之結果進行推算。本文以坡度因子為例，說明因子權重評分之推算方式。在表 10 之坡度因子中，研究區內含括五種坡度等級，每一等級所在之網個總數、每一等級所屬網格數中之崩塌數及其受損 (崩塌) 百分比，皆列述於表中。本研究在推算受損百分比之標準差 ($\sigma = 0.026$) 後，藉前述式 (7) 可推求其變異係數 ($V = 0.617$)，再經由式 (8) 可得因子權重值 ($W = 0.122$)，最後依坡度因子各分及中之最大與最小受損百分比，及各該分級之受損百分比，以式 (9) 來推算坡度因子中各分級之評分值。其餘各項因子之權重與評分值計算方式皆類同。由表 10 中可知

IDC 之權重值 (0.331) 為最高, 坡向因子之權重值 (0.111) 為最低。

(3) 不安定指數模式建構

本研究考量 5 項山崩潛勢因子, 經分析後, 其權重值之大小依序為 IDC、地質 (Gs)、坡度 (Ss)、高程 (El)、坡向 (As), 所建立多變量不安定指數評估模式, 如下式 (16) 所示:

$$D_i = I_{DC}^{0.331} \times G_s^{0.312} \times S_s^{0.122} \times El^{0.121} \times A_s^{0.111} \quad (16)$$

由上式可知, 土地開發利用之影響 (0.331) 最為顯著, 惟相較於影響程度排序第三之坡度 (0.122) 而言, 其與地質因子對山崩之影響程度 (0.312) 尚屬相近。回顧過去學者之研究, 雖地質因子之影響為多數學者所認同, 但因降雨引致之重大山崩災害歷史事件中, 山崩之發生與現地之開發利用情形亦習習相關。趙振平及高玉鏡

(2007) 以不安定指數法改進模式應用於南勢溪集水區山崩潛感分析之研究, 結果亦顯示該研究區之山崩潛勢因子以土地利用之影響最大。因此, 土地開發利用對山崩之影響亦不容忽視。

四、山崩災害潛勢圖之繪製

依式 (16) 之不安定指數評估模式推算後, 結果顯示其 Dt 值介於 2.18930~9.93116 之間, 平均值為 6.14。本研究定義 Dt 值超過 6.14 之地區為中高山崩潛勢區, 反之若 Dt 值低於 6.14 之地區則定義為中低山崩潛勢地區, 並將山崩災害潛勢等級劃分為 2.18930~4.04669 (低崩塌潛勢)、4.04670~5.59301 (中低崩塌潛勢)、5.59302~6.14112 (中崩塌潛勢)、6.14113~8.05138 (中高崩塌潛勢)、8.05139~9.93116 (高崩塌潛勢) 等 5 個等級。研究區山崩災害潛感圖之展繪結果, 如圖 5 所示。

表 10 山崩潛勢因子 權重評分表

Table 10 Weights of landslide potential factors

影響因子	因子分級	網格總數	崩塌總數	受損百分比	評分	影響因子	因子分級	網格總數	崩塌總數	受損百分比	評分		
坡度因子 Ss	一級坡	698	11	0.016	1	高程因子 El	350~500m	3324	35	0.011	1		
	二級坡	1836	47	0.026	2.30		500~650m	2594	129	0.050	4.24		
	三級坡	3671	184	0.050	5.53		650~800m	1440	172	0.119	10		
	四級坡	1737	146	0.084	10		800~950m	693	55	0.079	6.69		
	五級坡	311	12	0.039	4.01		950~1100m	182	7	0.038	3.31		
	標準差 = 0.026			變異係數 = 0.617			1100~1250m	20	2	0.100	8.34		
	權重 = 0.122						標準差 = 0.04		變異係數 = 0.614				
					權重 = 0.121								
坡向因子 As	平地	2	0	0	1	地質因子 Gs	大港口層	1938	119	0.061	10		
	北方	653	48	0.074	10		廬山、蘇樂層	6315	281	0.044	1		
	東北方	610	44	0.072	9.83		標準差 = 0.027		變異係數 = 1.578				
	東方	877	28	0.032	4.91		權重 = 0.312						
	東南方	1263	31	0.025	4.01		IDC	集群分類 1	6254	359	0.057	10	
	南方	1482	94	0.063	8.77	集群分類 2		1999	41	0.021	1		
	西南方	1201	44	0.037	5.49	標準差 = 0.030		變異係數 = 0.923					
	西方	932	33	0.035	5.34	權重 = 0.34							
	西北方	1233	78	0.063	8.75	標準差 = 0.024		變異係數 = 0.561					
	標準差 = 0.024					變異係數 = 0.561							
權重 = 0.111													

表 11 研究區域各村里之災害情形概述表 (土石流防災資訊網)

Table 11 List of disaster records in study areas

時間	編號	颱風事件	災害概述
2007.08.20	A1	聖帕	14 棟房舍受損；護岸遭洪水沖毀流失約 300m
2008.07.17	B1	卡玫基	野溪上游發生崩塌
2008.07.17	B2		2 人死亡；1 人受傷；1 棟房舍倒塌
2008.07.18	B3		1 棟房舍受損，道路毀損 50m
2008.07.18	B4		台 20 線及護岸沖毀約 50m
2008.07.18	B5		建山二橋毀損
2008.07.18	B6		3 棟房舍受損，產業道路毀損約 80m
2009.08.07	C1	莫拉克	野溪上游崩塌區
2009.08.08	C2		土石淤塞河道，約 130m ³
2009.08.08	C3		台 20 線交通中斷
2009.08.08	C4		野溪溢流點
2009.08.08	C5		老濃溪左岸邊坡遭沖刷崩塌，造成高 133 線道路中斷
2009.08.08	C6		建山二橋遭沖毀
2009.08.08	C7		野溪源頭大範圍崩塌地
2009.08.09	C8		河岸多處崩塌
2009.08.09	C9		土石堆積
2009.08.09	C10		河岸坍塌

五、山崩災害潛勢模式之驗證

為了驗證模式是否適用，本文透過行政院農委會水土保持局之土石流防災資訊網所提供相關過去重大土石流災例與重大土石流災情報告中之資訊 (表 11)，擇取近年來研究區域內發生之重大山崩災害次數與類型，並運用研究區域內之山崩災害發生地點之 GIS 圖層，配合本研究所推估之山崩災害潛勢圖，進行疊圖比較。山崩災害發生地區與災害潛勢套圖結果，如圖 6 所示。

由表 11 與圖 6 相互比對可知，研究區內以莫拉克颱風侵襲時所造成之災害次數最多，而卡玫基颱風次之，其中，莫拉克颱風所造成之災害中除 C5 外，其餘之災害受損地區皆位於中高或高崩塌潛勢範圍內。而卡玫基颱風所造成之災害位置，除 B6 外，其餘編號皆位於中高或高潛勢範圍。最後由聖帕颱風所造成之災害位置 A1 則被分類至中高崩塌潛勢區域。因此，可驗證本研究建置之山崩災害潛感模式應具有可信度。

六、結 論

本研究以類神經網路輔以紋理分析技術應用於衛星影像之判釋分類，擇取坡度、坡向、高程、地質、坡地利用等 5 項山崩潛勢因子，並運用多變量不安定指數建立山崩災害潛感模式，再結合地理資訊系統繪製災害潛勢圖。研究結果可歸納出以下幾點結論：

1. 本研究運用類神經網路輔以紋理分析於影像判釋分類。經由判釋結果之及一致性係數可知，於影像判釋過程中，加入紋理資訊，可提高影像判釋分類之精確程度。
2. 本研究以寶來地區為例，進行山崩災害潛感模式之建置，經與農委會水土保持局所發佈之現地調查成果比對，顯示出本研究建立之潛感模式具有不錯之評估能力。
3. 由崩塌與否與山崩潛勢等級間之關係結果顯示，當山崩潛勢低時，崩塌的發生比例較低；反之，當山崩潛勢越高時，崩塌發生比例較高。
4. 本研究應用不安定指數分析法所推估研究區內之山崩潛勢評估模式，結果顯示影響山崩潛勢之坡地開發利用因子及地質因子之影響較大，由此可知，坡地開發利用對山崩之影響實不容忽視。
5. 本研究藉由所推估之山崩潛勢評估模式及潛勢圖，將可提供相關防救災單位針對高潛勢地區擬訂治理對策之參考，期減少人民生命財產之損失。

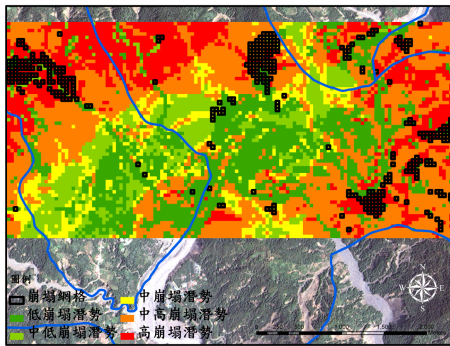


圖 5 山崩災害發生潛勢圖

Fig.5 Potential map for landslide disaster

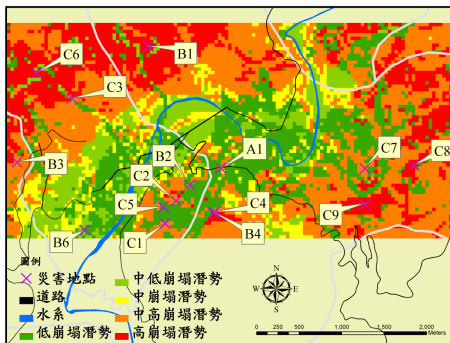


圖 6 山崩災害發生地區與災害潛勢套疊結果圖

Fig.6 Map of landslide disaster potential with the inventory of landslides

參考文獻

1. 行政院農委會水土保持局 (Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, [http:// www.swcb.gov.tw/](http://www.swcb.gov.tw/) (in Chinese))
2. 行政院農委會水土保持局土石流防災資訊網 <http://246.swcb.gov.tw/default-1.asp> (Debris Flow Disaster Information website, <http://246.swcb.gov.tw/default-1.asp> (in Chinese))
3. 林芬玲、林家榮、林昭遠 (2009), 「集水區崩塌潛勢劃定之研究」, 中華水土保持學報, 40(4), 438-453。 (Lin, F. L., Lin, J. R. and Lin, Z. Y. (2009). "A Zonation Technique for Landslide Susceptibility in Watershed," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40(4), 438-453. (in Chinese))
4. 林震岩 (2007), 多變量分析 SPSS 的操作與運用, 二版, 智勝文化, 台北。(Lin, Z. Y. (2007). *Multivariate Analysis: SPSS Operation and Application*, Best-Wise Publishing Co., Ltd., Taipei. (in Chinese))
5. 陳文福, 李毅宏, 吳輝龍 (2005), 「結合地文與降雨條件以判定土石流發生之研究—以陳有蘭溪集水區為例」, 台灣地理資訊學刊, 2, 27-44。 (Chen, W. F., Li, Y. E. and Wu, H. L. (2005). "Study of Judging Debris Flow Occurrence by Combing the Physiographical Factors and Rainfall Condition Chen-Yu-Lan Stream Watershed as an Example," *Journal of Taiwan Geographic Information Science*, 2, 27-44. (in Chinese))
6. 陳怡睿、謝舜傑、陳景文、倪柏寧 (2009), 「基因演算法自動演化類神經網路應用於山崩災害之評估」, 中華水土保持學報, 41(1), 61-72。 (Chen, Y. R., Hsien, S. C., Chen, J. W. and Ni, P. N. (2009). "Assessment of Landslides Based on Genetic Adaptive Neural Networks," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 41(1), 61-72. (in Chinese))
7. 陳昆廷、蔡光榮、王宣慧、林欽川 (2008), 「多變量不安定指數分析法應用於屏東山區道路邊坡崩塌潛感評估模式之建置研究」, 中興工程季刊, 100, 65-72。(Chen, K. T., Tsai, K. J., Wang, H. H. and Lin, C. C. (2008). "Construction of Slope Failure Potential Model by Using Multivariate Analysis Method along the Road of Pingtung Mountain Area," *Sinotech Engineering Consultants INC.*, 100, 65-72. (in Chinese))
8. 張石角 (1987), 「山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用」, 中華水土保持學報, 2(18), 41-62。(Chang, S. H. (1987). "The Prediction of Potential Geological Hazards of Slope Land and Its Applications In Environmental Impact Assessment," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 2(18), 41-62. (in Chinese))
9. 張崑宗, 劉進金 (2006), 「利用類神經網路方法於高解析度衛星影像及地形資料之崩塌辨識-以九份二山為例」, 航測及遙測學刊, 11(2), 161-174。(Chang, K. T. and Liu, J. K. (2006). "Landslide Features Interpreted by Neural Network Method Using a High-Resolution Satellite Image and Terrain Data - A Joer-Fen-Ell Mountain Case," *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 11(2), 161-174. (in Chinese))
10. 張斐章、張麗秋 (2005), 類神經網路, 東華, 台北。(Chang, F. C. and Chang, L. C. (2005). *Artificial Neural Networks*, Tunghua, Taipei. (in Chinese))
11. 黃敏郎、劉守恆 (2005), 地理資訊系統基礎操作實務, 松岡, 台北。(Huang, M. L. and Liu, S. H. (2007). *The Basic Practices of Geographic Information System*, Sung Gang Asset Management Corp, Taipei. (in Chinese))
12. 楊士龍、雷祖強、周天穎 (2006), 遙感探測理論與實務分析, 文魁資訊, 台北。(Yang, S. L., Lei, T. C. and Chou, T. Y. (2006). *Remote Sensing theory and practice*, Gsharp Corporation, Taipei. (in Chinese))
13. 葉怡成 (2002), 類神經網路模式應用與實作, 儒林, 台北。(Yeh, Y. C. (2002). *Application and Implementation of Neural Network Model*, Scholars Books, Taipei. (in Chinese))
14. 萬絢、陳明華、陳達祺、雷祖強 (2008), 「使用樹狀倒傳遞類神經網路於水稻田空間影像辨識研究」, 空間資訊基礎建設國際研討會暨台灣地理資訊系統年會。(Wan, H., Chen, M. H., Chen,

- T. C., and Lei, T. C. (2008). "Image Classification of the Rice Field by Using the Tree Back-propagation Neural Network," *Taiwan Geographic Information Society*. (in Chinese)
15. 趙振平、高玉錠 (2007), 「不安定指數法改進模式應用於南勢溪集水區山崩潛感分析之研究」, 中華水土保持學報, 38(2), 123-133. (Chao, C. P. and Gao, Y. D. (2007). "The Establishment of a Predictable Model for Potential Landslide Based on Dangerous Value Method in Nan-Shih Creek Watershed," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 38(2), 123-133. (in Chinese))
 16. 羅華強 (2001) 類神經網路—MATLAB的應用, 清蔚科技, 新竹. (Lo, H. C. (2001). *Artificial Neural Networks – Application of MATLAB*, CWEB Technology Inc., Hsinchu. (in Chinese))
 17. Cohen, J. (1960). "A coefficient of agreement for nominal scales," *Educ. Psychol. Meas.*, 20, 37-46.
 18. Chen, L. (2004). "Nested Hyper-Rectangle Learning Model for Remote Sensing: Land Cover Classification," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(3), 333-340.
 19. Chen, Y. R., Chen, J. W., Hsieh, S. C. and Ni, P. N. (2009). "The application of remote sensing technology to the interpretation of land use for rainfall-induced landslides based on genetic algorithms and artificial neural networks," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(2), 87-95.
 20. ENVI (2008). *ENVI 4.5 Using Manual*, ITT VIS., USA.
 21. ERDAS World Headquarter (2001). *ERDAS IMAGE Tour Guide*, ERDAS, Atlanta.
 22. ESRI (2006). *ArcGIS 9 Using ArcGIS Desktop*, ESRI, New York.
 23. Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. (1973). "Textural Features for Image Classification," *IEEE Trans. On Syst., Man and Cybern.*, 3(3), 610-620.
 24. ISRM (1981). *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Method*, Oxford, Pergamon Press.
 25. Liu, H. Y., Gao, J. X. and Li, Z. G. (2001). "The advances in the application of remote sensing technology to the study of land covering and land utilization," *Remote Sensing for Land and Resources*, 12(4), 7-12.
 26. MATLAB (2009), *User Guide*, The Mathworks.
 27. Shen, G. and Sarris, A. (2008). "Application of Texture Analysis in Land Cover Classification of High Resolution Image," *Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 513-517.
 28. Sklansky, J. (1978). "Image Segmentation and Feature Extraction," *IEEE Trans. Syst., Man Cybern.*, 8, 238-247.
 29. SPSS (2005). *SPSS 14.0 Brief Guide*, SPSS Inc., Chicago.
 30. Verbyla, D. L. (1995). *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*, New York, CRC Press.
-
- 2010年11月29日 收稿
2011年07月04日 修正
2011年07月16日 接受
- (本文開放討論至2012年3月31日)