

自製視覺化地圖於地形呈現之研究

A Study of Terrain Rendering with Self-Created Visualization Maps

蕭宇伸* 李麗萍** 趙鈞平*** 鄭詠升****

Yu-Shen Hsiao Li-Ping Li Jun-Ping Zhao Yung-Sheng Cheng

摘要

本研究以自行發展的視覺化地圖，評估其在輔助地形判釋的可行性。相關圖資以 GMT 軟體繪製，並使用自行發展之 Fortran 程式處理較複雜之計算。在地形坡度方面，採用加權八鄰域法計算；在地形開闊度方面，本研究針對搜尋半徑與地形對比值之設定值做探討。本文研究區域包括台東美蘭河階、南投九九峰、苗栗火炎山以及台南頂頭額砂洲等，本團隊將各研究區域繪製成視覺化地圖，並與航照圖進行比較。研究發現自製之視覺化地圖對於微地形（沖蝕溝、河階與沙洲等）之呈現十分明顯，且能提供土砂災害、集水區判定以及地形變遷之良好參考。本研究之最終目的為希望自製視覺化地圖能對於後續災害防治、水土保持、環境監測與資源探勘等做出貢獻。

關鍵詞：自製視覺化地圖、地形開闊度、地形坡度。

ABSTRACT

This study is aimed at developing self-created visualization maps to analyze feasibility of aiding in terrain interpretation. We use the Generic Mapping Tools (GMT) for plotting the visualization maps, and the Fortran programs for processing the complex computations. In computations of terrain slopes, the Horn method is used; In computations of terrain openness, we discuss the given values of the search radii and the terrain contrasts. The study areas include the

* 國立中興大學水土保持學系副教授

Associate Professor, Dept of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University,
Corresponding author, yshsiao@nchu.edu.tw

** 國立中興大學水土保持學系研究助理

Research Assistant, Dept of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

*** 國立中興大學水土保持學系碩士生

M.S. Student, Dept of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

**** 逢甲大學水利發展研究中心研究助理教授

Research Assistant Professor, Water Resources Development Center, Feng Jia University.

Meilan river terrace in Taitung, the Jiou-Jiou peaks in Nantou, the Huoyanshan in Miaoli, and the Ding-To-A sandbars in Tainan. We generate the visualization maps of the study areas and compare them with the aerial photos. The results show that the self-created visualization maps can better highlight the micro-topographies (gully, river terrace, sandbank, and so on), and also can provide valuable references for landslide disasters, catchment divisions and terrain changes. The main purpose of this study is to further bring contributions to disaster prevention, soil and water conservation, environmental monitoring, and resource exploration.

Keywords: self-created visualization maps, terrain openness, terrain slope

一、緒論

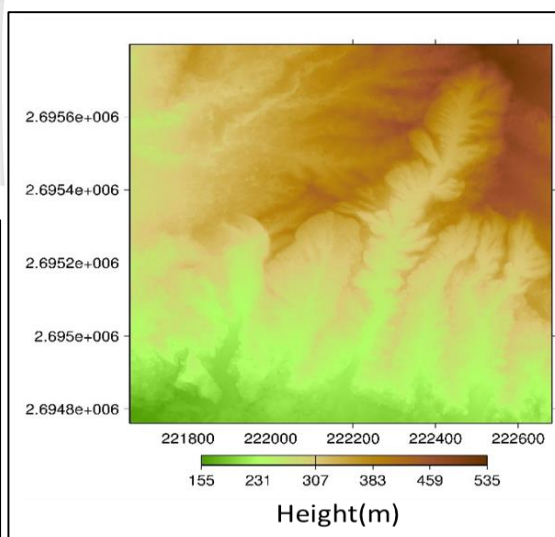
(一) 前言

臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊交界處，且處在環太平洋火山帶，再加上季風、颱風等氣候因素導致臺灣地形多變，為了研究臺灣多處特殊地形，國內近年來利用無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 與空載光達 (Light Detection and Ranging, Lidar) 等技術建置了許多高精度與高解析度的數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 以及數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，若能將此高精度模型投置於國內水土保持、土砂災害防治 (林慶偉等，2012)、地質災害應用 (侯進

雄等，2014)、國土規劃、防災管理、環境監控與資源探勘等會有極大之助益。然而以往呈現 DSM 以及 DEM 的方式大部分是以傳統方法如等高線圖、陰影圖或分層設色圖 (張玲等，2014) 來表示，雖能展現高程與地形概況資訊，但對於微地形特徵表現不甚理想，往往會導致重要的地形資訊有所遺漏，浪費高精度與高解析度數值地形模型。以台灣苗栗火炎山 DSM 為例 (圖 1)，航拍照片 (圖 1 (a)) 僅可約略判斷此地形有沖蝕問題，而由分層設色圖 (圖 1 (b)) 雖可以看出高程分布概況，但幾乎無法直接由圖中觀察出沖蝕溝。



(a)



(b)

圖 1 (a)苗栗火炎山航拍照片；(b)苗栗火炎山分層設色圖，其縱橫軸為 TWD97 坐標 (單位:m)。

為改善前面所敘述之問題，本研究發展自製視覺化地圖繪製技術，此視覺化地圖雖是二維地形圖，卻能給予觀察者三維的視覺觀感，且表達微地形之效果顯著，有助於高解析度地形之呈現。期望此圖資能提供有關單位在防救災、水土保持、環境監控、資源探勘與土砂災害等課題之相關設計規劃與風險評估之用。

(二) 文獻回顧

本研究之視覺化地圖相關技術概念，十多年前已經開始發展，而發展此地圖的重要核心技術為地形開闊度，地形開闊度之計算方式由 Yokoyama et al. (2002) 率先提出，其假設有一全方位光源照射至山頂，因頂部地形開闊且無遮蔽，所以顏色呈現偏亮，反之若光源照射至谷底，光源接受量少，顏色呈

現偏暗。Chiba et al.(2008) 結合地形開闊度與地形坡度並配合紅黑色階繪製出紅色地圖，並對地形判釋有不錯的結果。其他關於地形開闊度相關研究還包括 Lin et al. (2013) 利用光達資料製作出紅色地圖並與坡度圖以及陰影圖等做比較，從中發現紅色地圖對於細微地形特徵的判讀甚為有效；陳奕中等 (2014) 發現地形開闊度能有效突顯出不規則地形上角度變化強烈處，且繪製成紅色地圖可以強化地形地貌特徵之判釋，並證實對於細微構造地形能提供極佳之應用；Wang et al. (2015) 利用地形正負開闊度差值圖像閾值分割的方法，來自動提取黃土地貌溝沿線；李璟芳等 (2015) 以明暗數值地形，融合坡度圖與特定光源陰影圖產製之立體彩繪明暗圖，並用來觀察崩塌地；鄧嘉欣等 (2015)

利用紅色立體投影地圖突顯階地地形特徵；高治喜與連惠邦 (2015) 根據紅色立體地圖來判釋大規模崩塌潛勢區域與集水區內之「保全對象」、「土石流潛勢溪流數」、「崩塌率」等相關資料進行分析；蕭宇伸與郭耀駿 (2016) 研發自製紅色地圖程式，此程式為本研究之視覺化地圖前身，本研究在程式設計上有做大幅度之修改，例如：改善地形坡度之計算方式與新增地形對比值。

本研究製作視覺化地圖程式乃自行發展而成，此程式是以地形渲染方式來表達地形樣貌之嶄新技術，利用不同於 Yokoyama et al.(2002) 之地形開闊度計算方法結合地形坡度再配合適當的彩度色階來表現出地形的平緩或傾斜程度，有別於以往的等高線圖、陰影圖或分層設色圖，本文視覺化地圖在視覺上提供了絕佳的立體感，以肉眼觀看便能輕易地判別出豐富且詳細的地表資訊，而精度越高的 DEM 或 DSM 越能區別出微小地形的變化。

本文所發展之視覺化地圖，無論在地形坡度和地形開闊度計算方式，與 Chiba et al.(2008) 所發展之紅色地圖相比，均不相同，且在地形開闊度計算上，本研究還增加了搜尋半徑與地形對比值之設定，繪製上就彈性，使用者可根據喜好與需求自行繪製成果。

雖然赤色地圖相關研究已歷經近 10 年，但目前相關程式、軟體與技術僅日本有在發展，上述所提之前人研究，除蕭宇伸與郭耀駿 (2016) 和郭耀駿 (2016) 之外，均採用日本航測株式會社所發展之赤色地圖軟體，然而此軟體並未考慮高程，故無法由圖中辨識出高程變化。為克服此一問題，利用 GMT (Generic Mapping Tools) 軟體 (Wessel et al. 2013) 與 Fortran 程式，自行開發結合地形坡度 (Terrain Slope)、開闊度 (Terrain Openness)、高程 (Height) 之三維視覺化地形圖 (Terrain Map)，並各取坡度、開闊度、高程與地形之英文字首，取名為 H.O.S.T 地圖。H.O.S.T 地圖若無考慮高程項，其呈現結果類似傳統之赤色地圖。

而 H.O.S.T 地圖相較於傳統赤色地圖，除了有可以顯示高程值之優勢外，在坡度、開闊度等演算方法也有所不同，在傳統赤色地圖的繪製中，坡度與開闊度僅有單一的計算方法，而在 H.O.S.T 地圖中，坡度的計算方法可依使用者需求選取所需要套用的計算方法，計算方法有以下四種：

本研究以 GMT (Generic Mapping Tools) 軟體 (Wessel et al. 2013) 與自行發展之 Fortran 程式為基礎發展自製之視覺化地圖。GMT 軟體主要用於繪製地圖，而 Fortran 程

式則處理較複雜之相關計算，包括地形坡度值與地形開闊度值計算等。期望本視覺化地圖在地形表現上之優點對災害預防、水土保持、環境監測等相關工作有所貢獻。

二、研究方法

以下依照地形坡度、地形開闊度、以及視覺化地圖調色盤之順序逐一介紹。

(一) 地形坡度

地形坡度可以表示該地形的傾斜程度，本研究所計算之地形坡度值範圍介於 0° 至 90° 之正值，其概念如圖 2 所示，若點 A 為待計算高程網格點， θ 為計算後坡度值，但

若 B 點高程低於 A 點，計算後坡度值仍取 $+0$ ，代表無論是仰角亦或是俯角皆為正值。

本研究使用地形坡度計算方式為加權八鄰域法 (Horn,1981)，若要計算某網格點之地形坡度，其公式如下：

$$T_s = \frac{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}}{8d} \quad (1)$$

$$E_1 = (e_1 + 2e_4 + e_6) - (e_3 + 2e_5 + e_8) \quad (2)$$

$$E_2 = (e_6 + 2e_7 + e_8) - (e_1 + 2e_2 + e_3) \quad (3)$$

其中 T_s 為地形坡度； e_0 代表帶算網格點之高程； $e_1 \sim e_8$ 分別為八個相鄰網格之高程值； d 為網格單元大小。所有網格分布如圖 3 所示。

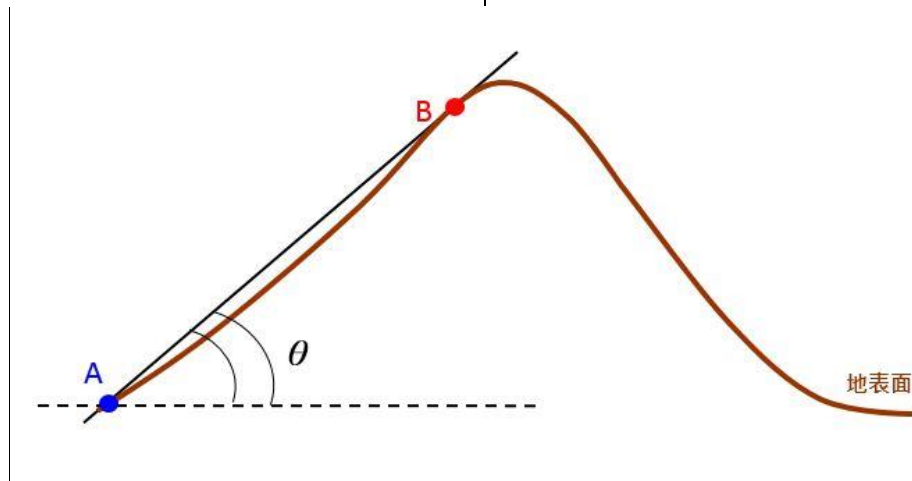


圖 2 地形坡度示意圖，A 為待計算網格點，B 為某一相鄰網格點， θ 為計算後坡度值。

e_1	e_2	e_3
e_4	e_0	e_5
e_6	e_7	e_8

圖 3 數值地形網格示意圖，其中 e_0 代表待計算網格點之高程，而 $e_1 \sim e_8$ 分別為八個相鄰網格之高程值。

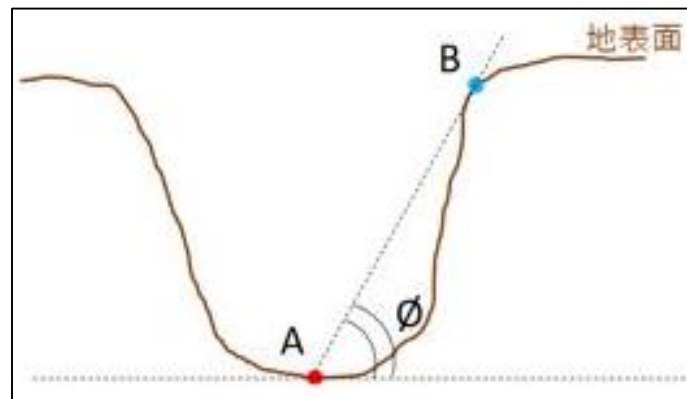
(二) 地形開闊度

本研究所定義之地形開闊度為計算待算網格點與搜尋範圍內周邊網格點之水平距離和高程差所形成的縱角平均值。以圖 4 為例，假設待算網格點 A 位於山谷中，點 A 與周邊較高處某一網格點 B 所形成的縱角為 ψ (仰角)，但若點 A 位於山頂處(圖 5(b))，則點 A 與點 B 所構成之縱角為 $-\psi$ (俯角)，故本研究之地形開闊度定義為山脊 A 點部分(地形開闊度佳)為負值，山谷 A 點部分(地形開闊度差)為正值。與地形坡度

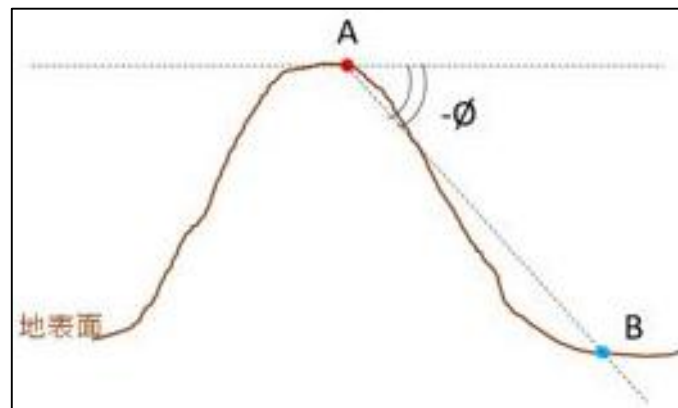
相比，地形開闊度有正負之分，其值範圍介於 -90° 到 90° 之間。以下為地形開闊度 To 之公式：

$$To = \frac{\sum_{i=1}^n \tan^{-1} \frac{s \times \Delta H}{d}}{n} \quad (4)$$

其中 s 為地形對比值，作用為增加地形的起伏，使立體感更加足夠； ΔH 與 d 分別為待計算網格點與搜尋範圍內周邊網格點之高程差與水平距離； n 為搜尋半徑內所有網格數(無單位)。



(a)



(b)

圖 4 (a) 正地形開闊度(山谷地形)示意圖，(b) 負地形開闊度(山脊地形)示意圖，點 A 為待算網格點，點 B 為搜尋範圍內某一周邊網格點。

本研究自製之視覺化地圖有絕佳的地形呈現效果，最重要的因素便是地形開闊度值，而搜尋半徑可自由選擇為本程式特色，在計算地形開闊度之前，可先決定搜尋半徑之範圍大小。圖 5 為搜尋半徑之示意圖，計

算時以待計算網格點 A 為中心，W 為搜尋半徑（單位為網格個數），以搜尋半徑 W 圍出之正方格內，所有網格點（圖 5 小圈）與點 A 所構成的縱角平均值，即為本研究所定義之地形開闊度值。

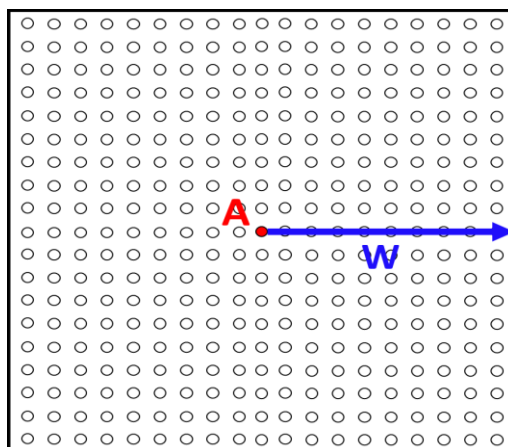


圖 5 網格搜尋示意圖，A 為待算網格點，W 為搜尋半徑（單位:網格數），圖中小圈為搜尋範圍內之網格點。

圖 6 為不同搜尋半徑所產製出地形開闊度圖，相較於傳統地形圖（如等高線圖、分層設色圖與陰影圖等），此圖較能呈現出山脊線、山谷線、沖蝕溝等細微地形，另外由圖中可發現不同搜尋半徑選擇會對地形繪製有很大的影響，若搜尋半徑設定過小，則地形雜訊會過多，地圖呈現出較破碎的狀態，

較無立體感，但計算時間較快速；若搜尋半徑設定過大，則地形之呈現雖較具立體感，但地形會過於平滑且許多細微的地形特徵可能因此消失，且計算時間較冗長。整體而言，考量地形立體感與清晰度，搜尋半徑值以 30 較適合（李麗萍，2017）。

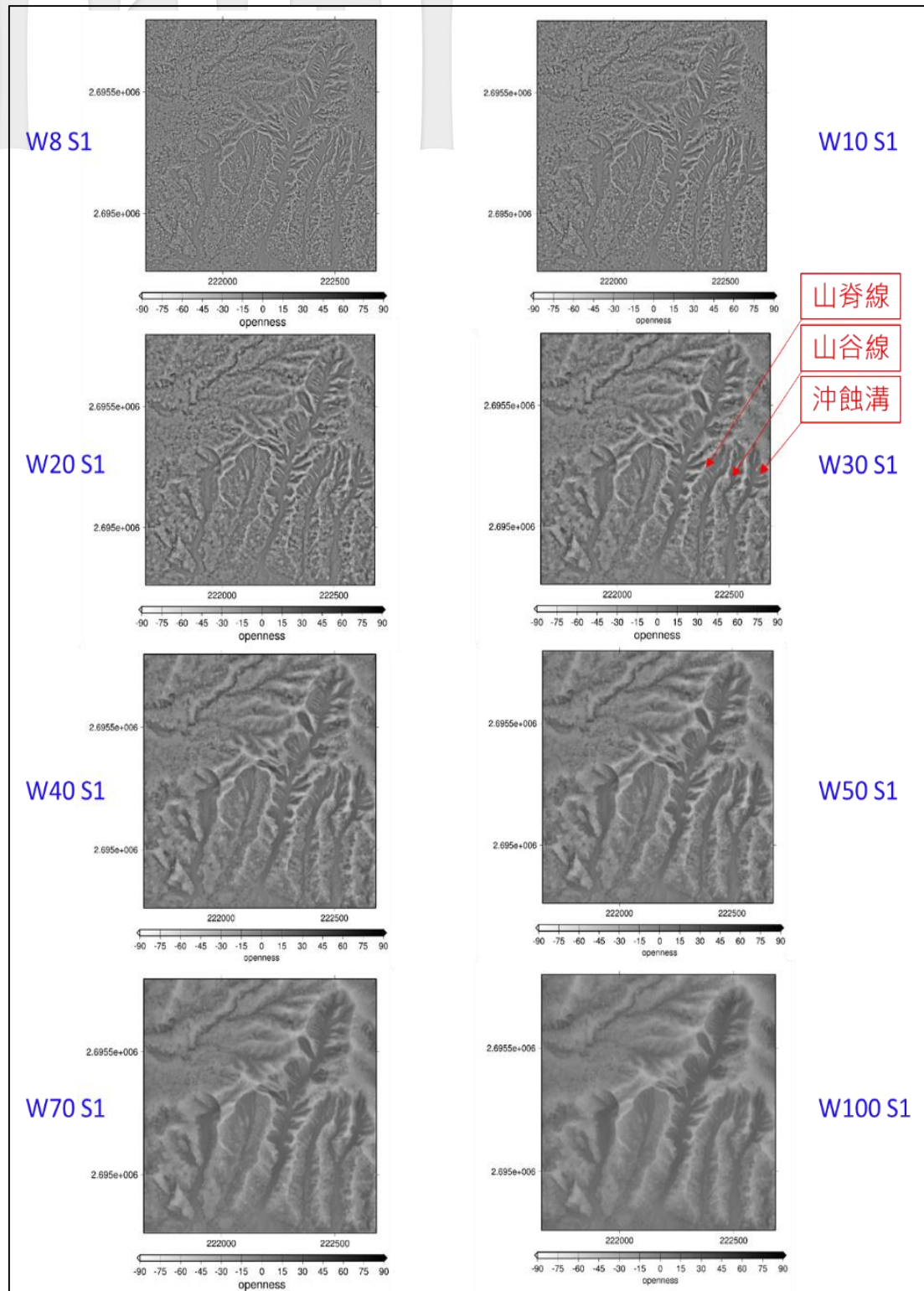


圖 6 使用不同搜尋半徑計算得到之地形開闊度圖 (縱橫軸坐標系統為 TWD97 坐標 (單位:m)，其中 W 為搜尋半徑 (單位：網格數)，S 為地形對比值 (無單位)。

圖 7 為同樣的搜尋半徑搭配不同的地形對比值所繪製出的地形開闊度圖，若將地形對比值增大，所計算出之開闊度值會更接近極值，在顏色呈現上會偏向白色或黑色，使黑白色層次更加明顯，立體感會更佳，從圖

7 中可以看出 s 值越大輪廓線就越清晰，但若 s 值太大亦有缺點，例如谷地地形太過黑暗以致於無法判釋。由圖 7 與參考過去文獻 (李麗萍，2017)，地形對比值以 3 較適合。

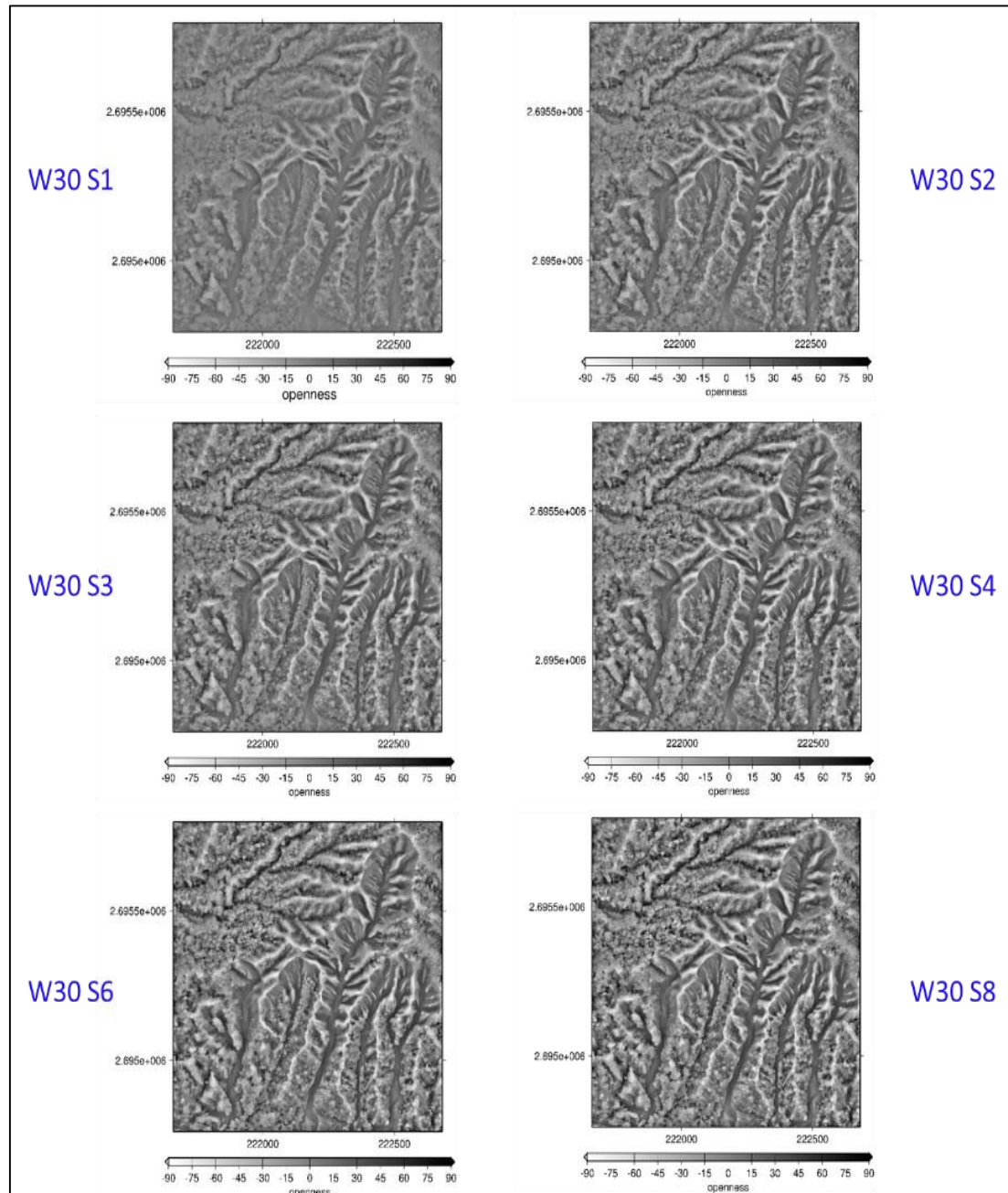


圖 7 使用不同地形對比值計算得到之地形開闊度圖 (縱橫軸坐標系統為 TWD97 坐標 (單位:m))，其中 W 為搜尋半徑 (單位：網格數)，S 為地形對比值 (無單位)。

(三) 視覺化地圖調色盤

本研究所使用之視覺地圖調色盤，如圖 8 所示，是由地形坡度及地形開闊度組成，顏色配置參照 Chiba et al.(2008) 之研究，但因採用之公式不同，調色盤縱橫軸範圍配置也與其不同，其橫軸為地形開闊度，範圍為 -90° 到 90° ，顏色配置為白色漸層至黑色，這

代表地形開闊度越佳之網格點，應具有較多之光照，故顏色偏白色，反之地形開闊度越差之網格點，由於光接收量少，故顏色應模擬為較黑的顏色。調色盤的縱軸為地形坡度，其範圍為 0° 到 90° ，顏色配置從白色漸層至紅色，這代表地形坡度越陡之網格，其色彩越偏紅色，而較平緩之地形則偏白色。

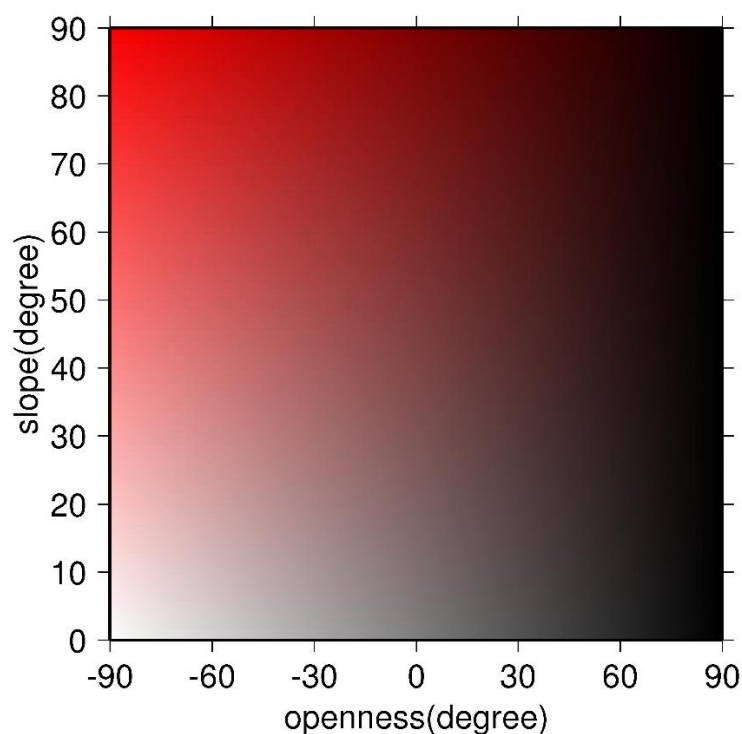


圖 8 視覺化地圖之調色盤，橫軸為地形開闊度，範圍為 -90° 到 90° ，縱軸為地形坡度，其範圍為 0° 到 90° 。

三、 研究區域

本文研究區域如圖 9 所示，包括台東美蘭河階、南投九九峰、苗栗火炎山、台南頂頭額沙洲等，皆為台灣特殊地形。美蘭河階地區高程範圍約 71m-195m，因河流的複雜作用，使該地不斷處於堆積、側向侵蝕與下切作用，最後產生河階地形；南投九九峰與

苗栗火炎山屬於惡地地形，成因為礫石的膠結不良，且容易受到風化作用以及雨水下切沖蝕而形成深邃的沖蝕溝，且切割面平整，另外地勢起伏相當劇烈且坡度甚陡，故山峰一般尖銳如鋸齒。南投九九峰高程範圍約介於 152m-785m，而苗栗火炎山則介於 160m-530m，兩者均屬於高程落差極大之區域；台

南頂頭額沙洲則受到河流、沿海波浪、水流、海流等堆積作用影響所形成的狹長之砂礫沉積地形，然而此區域之高程差相當小。

上述各研究區域之數值地形網格大小、數值地形資料來源、搜尋半徑值、地形對比值等資訊如表 1 所示。

表 1 各樣區網格大小資料與繪圖資料。

研究樣區	網格大小	搜尋半徑 (單位：網格數)	地形 對比值	資料來源
台東美蘭河階	5m DEM	30	3	內政部
南投九九峰	5m DEM	30	3	內政部
苗栗火炎山	1m DSM	30	3	自製 UAV 航拍照片
台南頂頭額沙洲	50cm DSM	30	3	自製 UAV 航拍照片

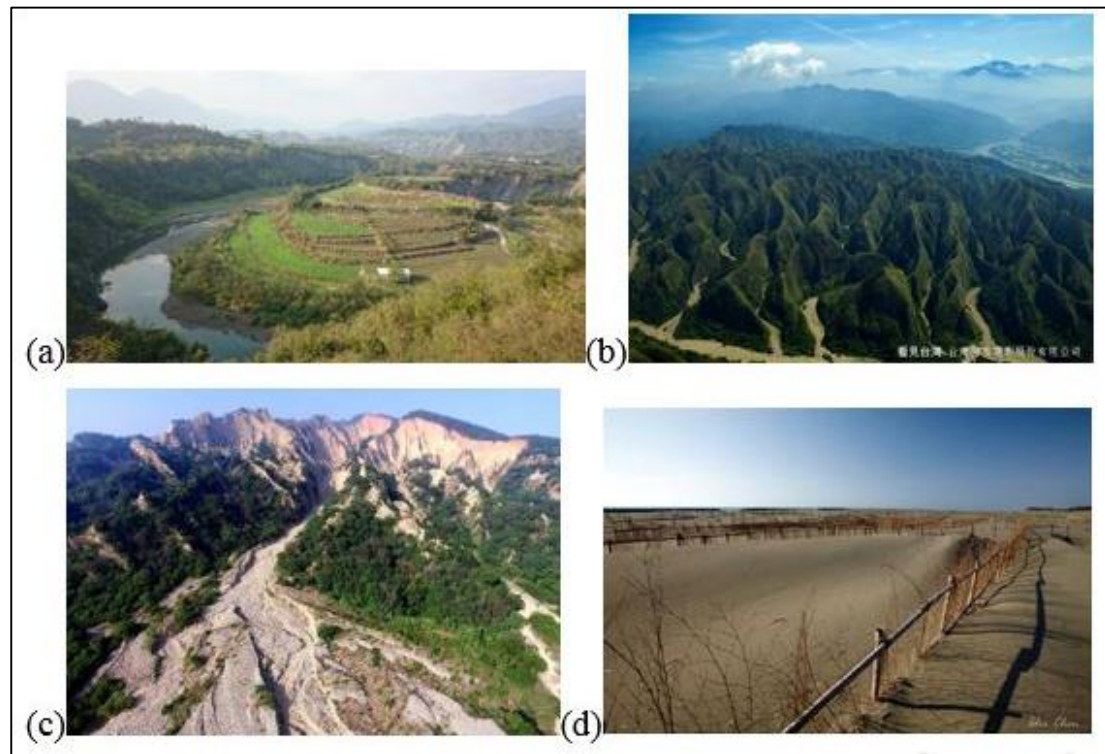


圖 9 研究樣區影像 (a) 美蘭河階影像 (照片來源:臺東縣東河鄉北源社區)；(b) 南投九九峰影像 (照片來源:齊柏林攝影-臺灣阿布電影公司)；(c) 苗栗火炎山影像 (照片來源:苗栗火炎山之自然與人文考察紀-國立彰化師範大學地理學系拍攝)；(d) 頂頭額沙洲影像 (照片來源:台江國家公園)。

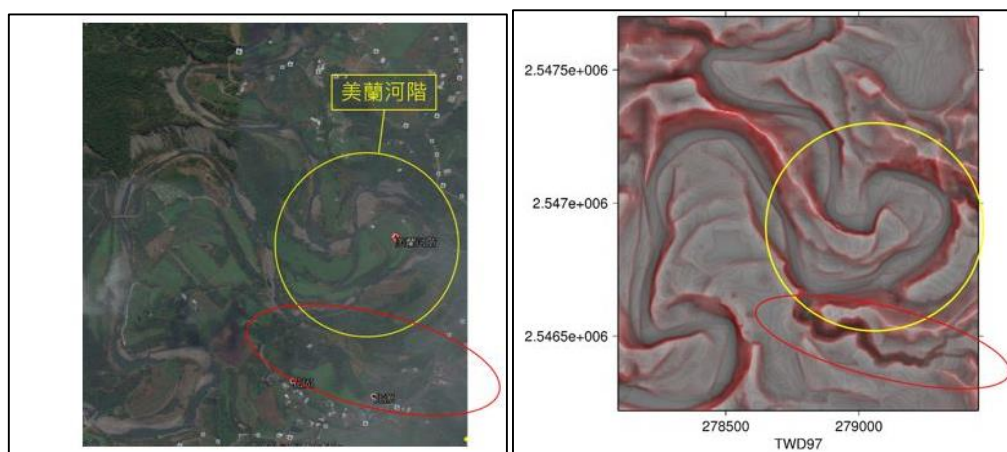
四、研究成果

以下針對四個研究樣區之視覺化地圖產製成果逐一討論：

(一) 台東美蘭河階

圖 10 (a) 為美蘭河階樣區衛星影像圖，圖中明顯無法分辨出地形起伏狀態，河階地形 (圖中黃圈處) 無法清楚判釋，且因為受植生覆蓋影響，故要判釋河道位置亦有困難。圖 10 (b) 為美蘭河階樣區之視覺化地圖，採

用內政部 5m DEM 製作。由圖中可發現本視覺化地圖較具有立體感，地形起伏非常明顯，河階地形非常清楚，且河階數 (包括一河階、二河階、三河階等) 均非常明顯呈現於圖中。圖中紅圈處為北溪某一支流，在圖 10 (a) 衛星影像中幾乎無法察覺，但在視覺化地圖中可清楚觀察到其河道位置、河道寬度與河道下切程度。



(a)

(b)

圖 10 (a) 美蘭河階之衛星影像 (影像來源:Google Earth)；(b) 美蘭河階之視覺化地圖。黃圈為美蘭河階位置，其中一河階、二河階、三河階等皆清楚呈現於圖中，紅圈為某一北溪支流位置，可清楚觀察出河道寬度與河道下切程度。

(二) 南投九九峰

圖 11 (a) 為九九峰樣區之衛星影像，圖中僅能看出中間區域地形皺褶較多，但對於九九峰之地形樣貌、地形起伏或範圍界定等無法輕易察覺，但若由視覺化地圖來觀察 (圖 11 (b)，採用內政部 5m DEM 製作)，可發現中間區域的地形與鄰近地形差異很大，中間區域坡度顏色較鮮紅，代表比鄰近地形

陡峭，且蝕溝紋路脈絡清晰，如鋸齒般之大片尖銳山峰亦可輕易察覺，故以肉眼觀察此視覺化地圖能劃分出地質不同的邊界範圍 (圖 11 (b) 黃虛線)，範圍內即為九九峰礫質惡地地形。除此之外，九九峰區域下方為烏溪河道，由圖 11 (b) 亦可輕易觀察出其河道淤積與沖刷之地形，可提供水利與水土保持相關防汛與防災之價值。

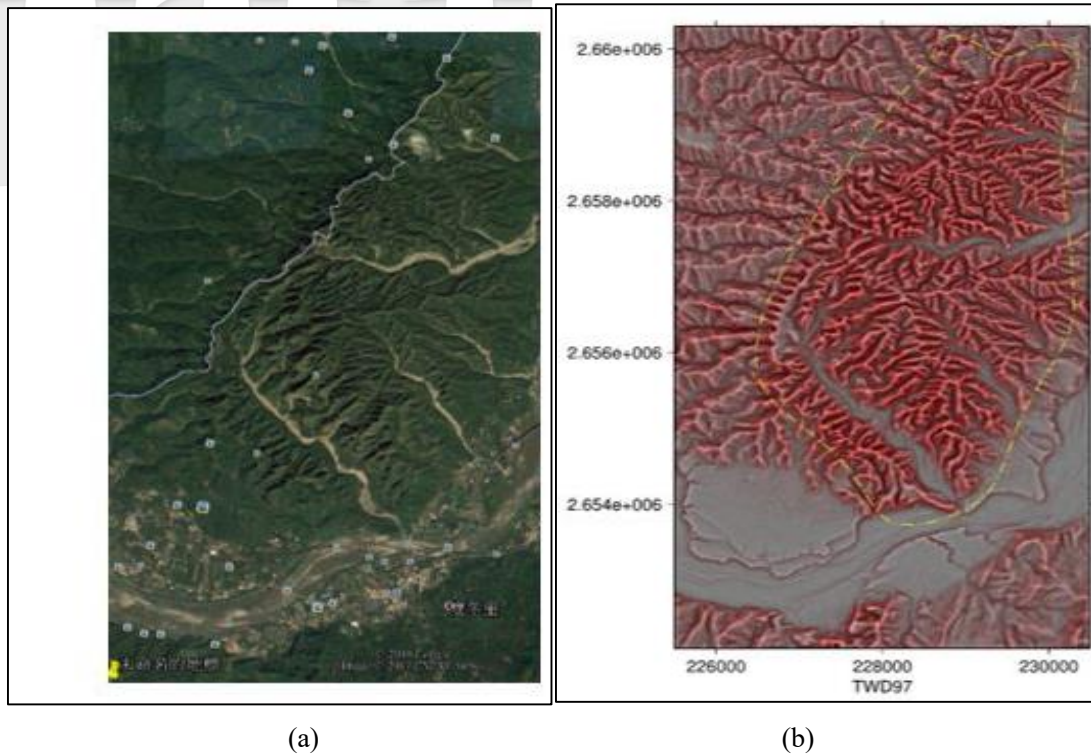


圖 11 (a) 九九峰之衛星影像 (影像來源:Google Earth)；(b) 九九峰之視覺化地圖，黃虛線內為九九峰礫石地質區域。九九峰區域下方為烏溪河道。

(三) 苗栗火炎山

圖 12 (a) 與 (b) 分別為苗栗火炎山之航拍影像與視覺化地圖。產製視覺化地圖之地形資料乃本團隊利用 UAV 空拍獲取的 1m DSM。圖 12 (a) 中因有包含裸露地，而在強光的照射之下，形成了強烈的光影對比，因此會讓人誤以為光亮面為凸地，但由圖 12 (b) 來觀察，可發現視覺化地圖中已排除因光影而造成之誤判問題，且對於稜線的勾勒非常清晰，因此沖蝕溝之形狀也能輕易判釋出，而沖蝕溝坡度之陡峭程度也能於圖中察覺，故此圖資能提供地質研究之用。然而由於繪製圖 12 (b) 之地形資料為 DSM，故在植被

區域之展現欠佳。

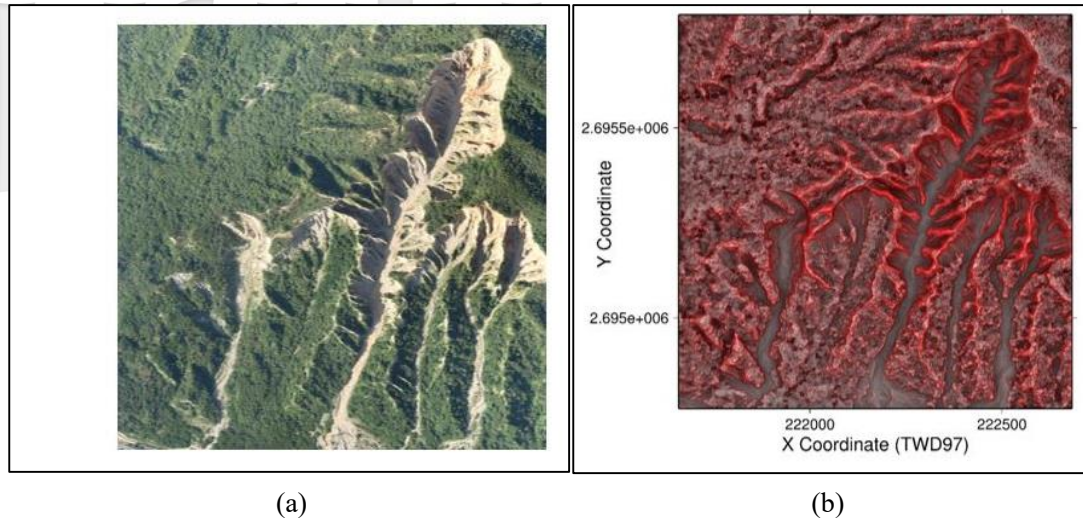


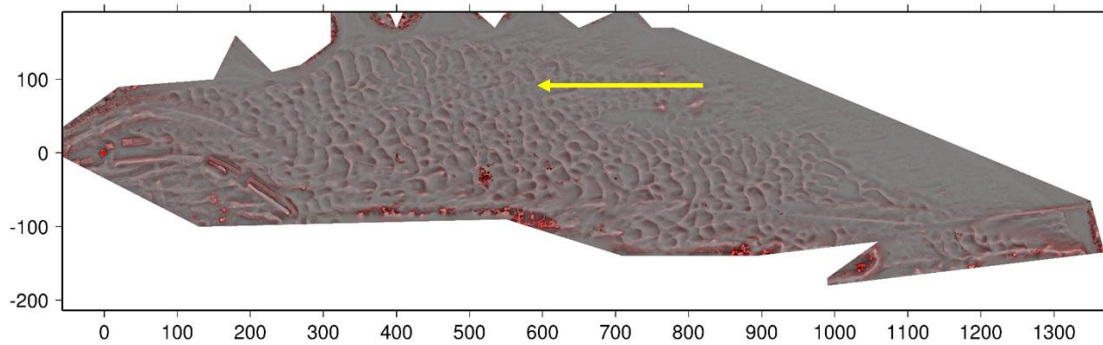
圖 12 (a) 苗栗火炎山之航拍影像；(b) 苗栗火炎山之視覺化地圖。航拍影像易受光照影像而誤判地形為隆起或下凹，而視覺化地圖不受影響，且可清楚觀察出沖蝕溝。

(四) 台南頂頭額沙洲

圖 13 (a) 為台南頂頭額沙洲之航拍照片，因此處沙洲高程差異甚小、故由航拍照片無法清楚觀察沙洲之形態。若由圖 13 (b) 之視覺化地圖觀察（地形資料來源為 UAV 空拍獲取的 50cm DSM），可發現沙洲紋路非常明顯，各砂丘之形態亦非常清楚，可觀察出沙丘的迎風面與背風面交界線。圖 13 (b) 中各砂丘左邊較陡急而右邊較平緩，故可判斷風向為圖 13 (b) 之黃色箭頭方向。整體而言，此圖資應可提供海岸與風力相關研究之重要價值。



(a)



(b)

圖 13 (a) 頂頭額沙洲之航拍影像；(b) 頂頭額沙洲之三維視覺化地圖，黃箭頭為主要的風向，縱橫座標為一相對直角座標 (單位：m)

五、 結論

本研究利用 GMT 軟體與自行撰寫之 Fortran 語法，開發一可產製三維視覺化地圖之程式。過程中需計算研究區域之地形坡度與地形開闊度，並配合一視覺化地圖調色盤而繪製相關圖資。

研究顯示自製之視覺化地圖對解讀地形有很大的優勢，在網格較小之地圖中對微地形之呈現十分明顯，此圖能幫助使用者更容易以肉眼觀察地形的樣貌以進行地形判釋，對於使用者來說，更有機會從地圖上判

讀出山脊線、山谷線、沖蝕溝、地質斷層帶以及集水區等區域。這對於分析例如：山崩、地滑、土石流等土砂災害有關之研究課題，亦或是沖蝕溝之變化、人工構造物之增減等問題都更能從地圖中輕易獲取相關資訊。

除了本文之研究區域外，本團隊已將多個測試案例結果放至於國立中興大學水土保持學系空間資訊應用研究室網站中，詳見 <http://agl.nchu.edu.tw/Center/HOSTMap/HOSTMap.aspx>。網站中除了提供多個樣區之光學影像與視覺化地圖比較外，另增設了圖資

中的各點高程值，若採用 Chrome 瀏覽器開啟網頁，只要將游標移至圖上任意點位，便可得知該點之高程值。

整體而言，本研究對於災害防治、水土保持、與環境監測等，應較能提供政府單位管理山坡地資源良好之參考。

參考文獻

李璟芳、黃韋凱、冀樹勇 (2015) 遙測新利器—立體彩繪明暗圖，地工技術，113：113-115。

李麗萍 (2017) 自製三維視覺化地圖於地形判釋之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。

林慶偉、衣德成、黃敏郎 (2012) 空載光達數值地形—找尋潛在大規模崩塌的利器，地質，31 (2)：44-48。

侯進雄、費立沅、邱禎龍、陳宏仁、謝有忠、胡植慶、林慶偉 (2014) 空載光達數值地形產製與地質災害的應用，航測及遙測學刊，18 (2)：93-108。

高治喜、連惠邦 (2015) 運用遙測技術協助判釋大規模崩塌潛勢區域微地形特徵之研究，行政院農業委員會水土保持局中華民國 104 年 10 月編印。

張玲、楊曉平、魏占玉、黃偉亮 (2014) 三維數據的二維可視化方法綜述，地震地

質，36(1)：275-284。

陳奕中、侯進雄、謝有忠、陳柔妃、吳若穎

(2014) 高解析度空載光達資料結合地形開闊度分析於構造地形特徵之應用，航測及遙測學刊，18 (2)：67-78。

鄧嘉欣、羅偉、陳柔妃、謝有忠 (2015) 利用高精度空載光達重新探討河流襲奪之問題：以大甲溪與蘭陽溪為例，中國鑛冶工程學會會刊，230：120-127。

蕭宇伸、郭耀駿 (2017) 利用自製紅色地圖輔助地形判釋：以太魯閣地區為例，國土測繪與空間資訊期刊，5 (1)：29-42。

Horn, B.K.P. (1981), Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1): 14-47.

Chiba, T., Kaneta, S. I., and Suzuki, Y. (2008), Red relief image map: new visualization method for three dimensional data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37: 1071-1076.

Lin, Z., Kaneda, H., Mukoyama, S., Asada, N., Chiba, T. (2013), Detection of subtle tectonic-geomorphic features in densely forested mountains by very high-

resolution airborne LiDAR survey,
Geomorphology, 182: 104-115.

Wang, K., Wang, C., Zhang, Q., Ding, K.

(2015), Loess shoulder line extraction
based on openness and threshold
segmentation, *Acta Geodaetica et
Cartographica Sinica*, 44: 67-75.

Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis,

J., and Wobbe, F. (2013), Generic
Mapping Tools: Improved version
released, *EOS Trans. AGU, San Francisco,
USA*, 94(45): 409-410.

Yokoyama, R., Shirasawa, M., and Pike, R. J.

(2002), Visualizing topography by
openness: a new application of image
processing to digital elevation models,
*Photogrammetric Engineering and
Remote Sensing*, 68: 257-265.