

利用自製紅色地圖輔助地形判釋：以太魯閣地區為例

蕭宇伸^{1*} 郭耀駿²

論文收件日期：105.04.17

論文修改日期：105.07.07

論文接受日期：105.07.18

摘 要

本文利用自行發展之紅色地圖技術輔助判釋台灣太魯閣地區之地形特徵。本研究紅色地圖成果乃結合地形開闊度與地形坡度而得到。用於產製紅色地圖之軟體為 Generic Mapping Tools(GMT)，而用於計算地形開闊度與坡度之數值高程模型為 40 公尺空間解析度。本研究主要目的為發展新的視覺化方法來表達地形特徵，以提供相關使用者細微且重要地形資訊，並希望後續能對災害預防、水土保持、環境監測與資源探勘做出貢獻。研究中依據不同地形開闊度計算之罩窗半徑值(200m~1600m)，分為 8 個研究測試例。結果顯示，罩窗半徑 1000m 與 1200m 為最佳選擇。研究中發現，自製之紅色地圖與傳統等高線圖或分層設色圖相比，更能夠清楚凸顯出山脊線、山谷線與集水分區等地形特徵。

關鍵詞：地形開闊度、紅色地圖、地形坡度

¹助理教授，國立中興大學水土保持學系

²碩士生，國立中興大學水土保持學系

*通訊作者，TEL:(04)22840381#101，E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw。

Interpretation of Terrain Features by Self-Developed Red Relief Image Map: A Case Study in Taroko Area

Yu-Shen Hsiao¹, Yao-Chun Kuo²

Abstract

We develop the red relief image maps (RRIMs) to help interpretations of terrain features in Taroko area, Taiwan. The RRIM is produced based on the combination of the terrain openness and the terrain slope. The software for generating RRIM is Generic Mapping Tools (GMT). A digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 40m is used for both terrain openness and terrain slope computations. The purpose of this research is to develop a new visualization method of topographic maps in order to provide users subtle and important terrain information, and further bring contributions to the regions of disaster prevention, soil and water conservation, environmental monitoring, and resource exploration. In this study, 8 test cases for deriving self-developed RRIMs are designed according to the use of the different search radii for terrain openness computations. The result shows that the cases with search radii of 1000m and 1200m are best recommended. In addition, the ridgelines, valley lines and terrain-based subcatchments are more clearly revealed by the self-developed RRIMs than by the traditional contour plots and color mapping.

Keyword : RRIM, Terrain Openness, Terrain slope

¹Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

²Master, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

*Corresponding Author, TEL:+886-4-22840381#101, E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw.

一、前言

地形測繪的技術日新月異，數值地形模型的精度也隨之提升。早期製作數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)及數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)模型，均採用航空攝影測量技術，以內政部全台 5m 空間解析度 DEM 與 DSM (網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)為例，即利用航空攝影測量技術產製而成，並為台灣提供了高精度與高解析度之地形模型。除此之外，近年來空載光達技術也已經非常成熟，全台灣利用光達產製之 1m 空間解析度之 DSM 與 DEM 也已建置完成 (網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)。空載光達所獲取的高程精度甚高，可達公寸等級(Hodgson and Bresnahan, 2004)。上述兩種測量方式所產製之 DSM 與 DEM 均能提供國內水土保持、土砂災害、國土規劃、防救災、環境監控與資源探勘等良好的參考依據。傳統上，表達 DSM 與 DEM 大多還是採用等高線，分層設色或陰影等圖資來表示(張玲等，2014)，這些高程表現方法有其特殊目的與優點，例如等高線圖能以簡單的線條與較小的空間儲存量展現地形起伏變化；分層設色圖能清楚呈現地形之實際高程與變化；陰影圖能使圖面增加立體感，並輔助判釋坡度變化。然而上述高程之表現方法亦有其限制，例如均未能清楚呈現地形開闊度，這將可能造成地圖使用者遺漏 DSM 與 DEM 上重要地形資訊，並對地形判釋與災害預防上造成損失，如此也將枉費這些高解析度與高精度之高程模型成果。

紅色地圖為一種較新的地形渲染技術，此技術利用地形開闊度與地形坡度之間的關係，搭配紅色色階與黑色色階來表現出地形開闊度與地形坡度(Chiba et al., 2008)。由於紅色地圖考慮了地形開闊度之因素，相較於等高線圖、陰影圖或分層設色圖，紅色地圖能提供更佳的立體感與更細緻之地形資訊。紅色地圖的發展可追溯至彩繪明暗圖(李錫堤，1996)，此圖利用日照方向與觀測角度，並搭配彩度色階，來呈現 DEM 之高度變化。後來(Yokoyama et al., 2002)提出地表開闊度的概念，分別對於地形的凹陷與凸起計算地上開闊度 a 與地下開闊度 b ，其中 a 凸顯山谷地形而 b 凸顯山脊地形，將兩者合併計算可進而得到尾根谷度值 c 。其中 $c=(a-b)/2$ 。利用尾根谷度值產製的圖即為尾根谷度圖。由於尾根谷度圖考慮到地形開闊度，故在山脊、丘陵、窪地與山谷等地形判釋上有不錯的成果。(Chiba et al., 2008)進一步將尾根谷度圖與地形坡度之關係，配合紅黑色階直接表現出紅色地圖，此技術已廣泛應用於地形學、地理學與地質學等領域，並對地形判釋有不錯的結果。(Wang et al., 2015)對於黃土高原研究地形開度和差值圖像閾值分割，更進一步提及關於紅色地圖相關研究還包括(Lin et al., 2013)、(陳奕中等，2014)、與(李璟芳等，2015)。一張適宜的紅色地圖，可表達出豐富且詳細的地表資訊，並提供有關單位防救災、水土保持、環境監控與資源探勘與土砂災害潛勢之相關設計規劃與風險評估。故本研究以 GMT 軟體(Wessel et al., 2013)為發展基礎，自行發展製作紅色地圖之相關技術。並以太魯閣地區為本文研究區域，分析紅色地圖在表現地形起伏與地貌判釋上，與傳統等高

線圖、分層設色圖與陰影圖相比之優缺點。本研究為台灣首次自行發展繪製紅色地圖技術，可說別具意義，希望能提供有關政府學術單位做參考。

二、紅色地圖原理

傳統地形陰影圖原理是以模擬不同光線的入射角以建立陰影，此方法雖然能夠輔助地圖立體化，但也容易因入射光線角度而造成地形判讀錯誤。紅色地圖呈現之概念類似醫學手術燈，光線從全方向照射地形，山脊或山峰部分因地形較開闊，故能接受的光照較多，顯得越亮；反之，山谷和窪地由於地形開闊度差，故顯得較暗(圖 1)。進一步分析，如圖 2 地形示意圖所示，點 A 與 A' 之高程與坡度值均相同，但地形開闊度不同，則點 A 與 A' 地形在等高線、分層設色或陰影圖表達上將無差異。另一方面，對於紅色地圖來說，由於點 A 與 A' 地形開闊度不同，兩者於圖上將呈現不同的彩度(詳細比較說明見第四章)，也較能夠表達出 DEM 之細微地形，這對於地圖使用者來說，更有機會從地圖上判讀出山脊線、山谷線、地質斷層帶、順向坡、岩層崩滑及土石流潛勢區域等區域。

本研究之紅色地圖即分別計算出研究區域 DEM 之地形開闊度與地形坡度，再利用二者之關係去對應紅色色階與黑色色階來表達立體地形，若以此方式繪製地形圖，陡峭地形將呈現較深彩度，平緩地形將以較淡的彩度表現，色階主要顏色選擇紅色是因為此顏色對人眼有較佳的辨識度，相較於其他顏色，更能增進地形解讀與地貌判釋。

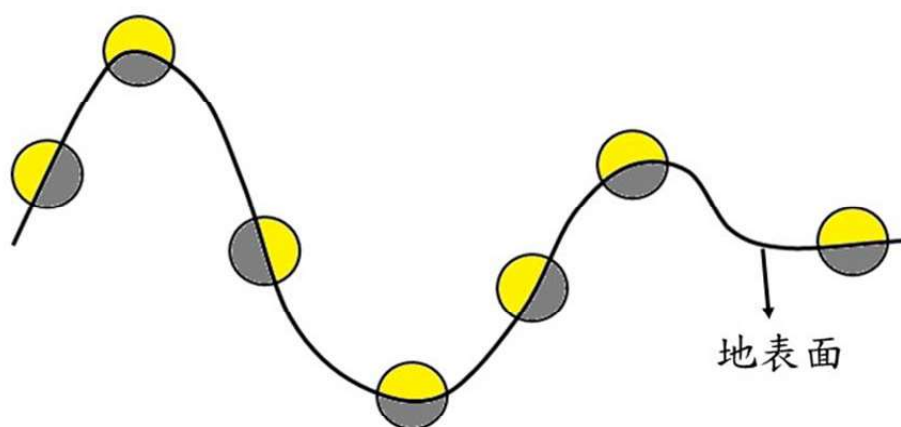


圖 1 對於光源接收量之開闊度示意圖，其中黃色面積代表所在地形光源接收量，圖中地形在山頂(山脊)處由於地形開闊度較佳，故光源接收量較多，在山谷處則光源接收量較小。此圖改編自亞洲航測株式會社開闊度示意圖 (<http://www.ajiko.co.jp/>)。

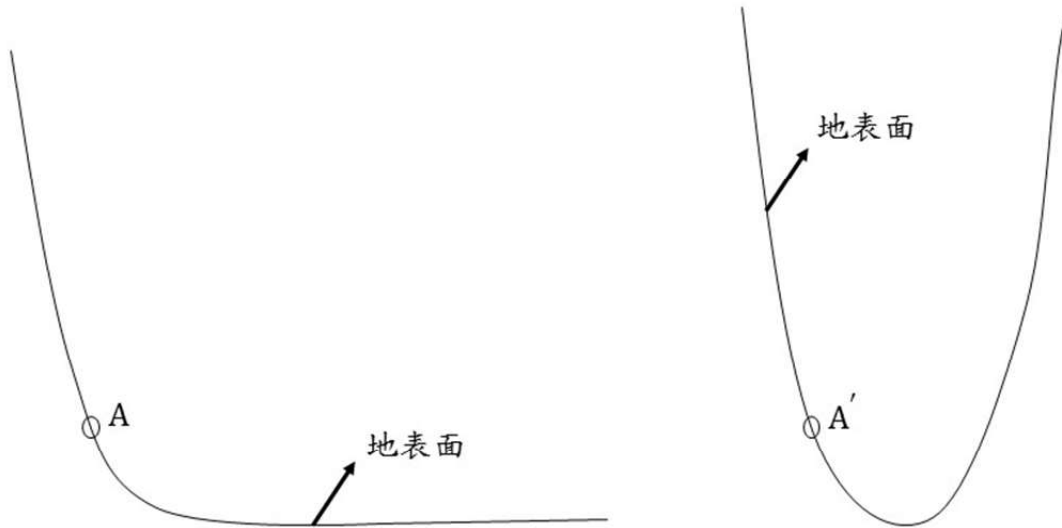


圖 2 地形示意圖，其中點 A 與點 A' 之高程值與坡度值均相同，但地形開闊度不同。

三、研究方法

本研究發展紅色地圖所使用的主要軟體為 GMT 軟體。先撰寫程式來計算 DEM 地形開闊度，並利用 GMT 計算地形坡度、製作紅色地圖調色盤與繪製紅色地圖。GMT 為一免費繪圖軟體，雖然其為免費，但繪圖功能強大，已廣為地球科學界採用。

在地形開闊度方面，有別於過去研究所採取的計算尾根谷度值(Yokoyama et al, 2002; Chiba et al., 2008)，本研究所定義之地形開闊度乃計算待算網格點與周邊網格點之水平距離與高程差所形成的縱角平均值。以圖 3(a)為例，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 ϕ (仰角)，但若點 A 位於山頂處(如圖 3(b))，則點 A 與點 B 所構成之縱角為 $-\phi$ (俯角)。本研究計算以點 A 為中心，罩窗半徑 r 範圍內所有網格點與點 A 所構成的縱角值總和(如圖 3(c))，再取其平均值作為本研究之地形開闊度值(範圍介於 -90° 到 90° 之間)；在坡度計算方面，本研究以 GMT 軟體的 `gdgradient` 程式計算得每個網格點之坡度值，`gdgradient` 為 GMT 內建之計算規則網格微分之程式，若輸入檔為一 DEM，則輸出檔即為該 DEM 每個網格之斜率值，再將斜率值轉換為坡度(單位：度)，即為本研究所定義之地形坡度值 θ (圖 3(d))， θ 範圍介於 0° 到 90° 之間。

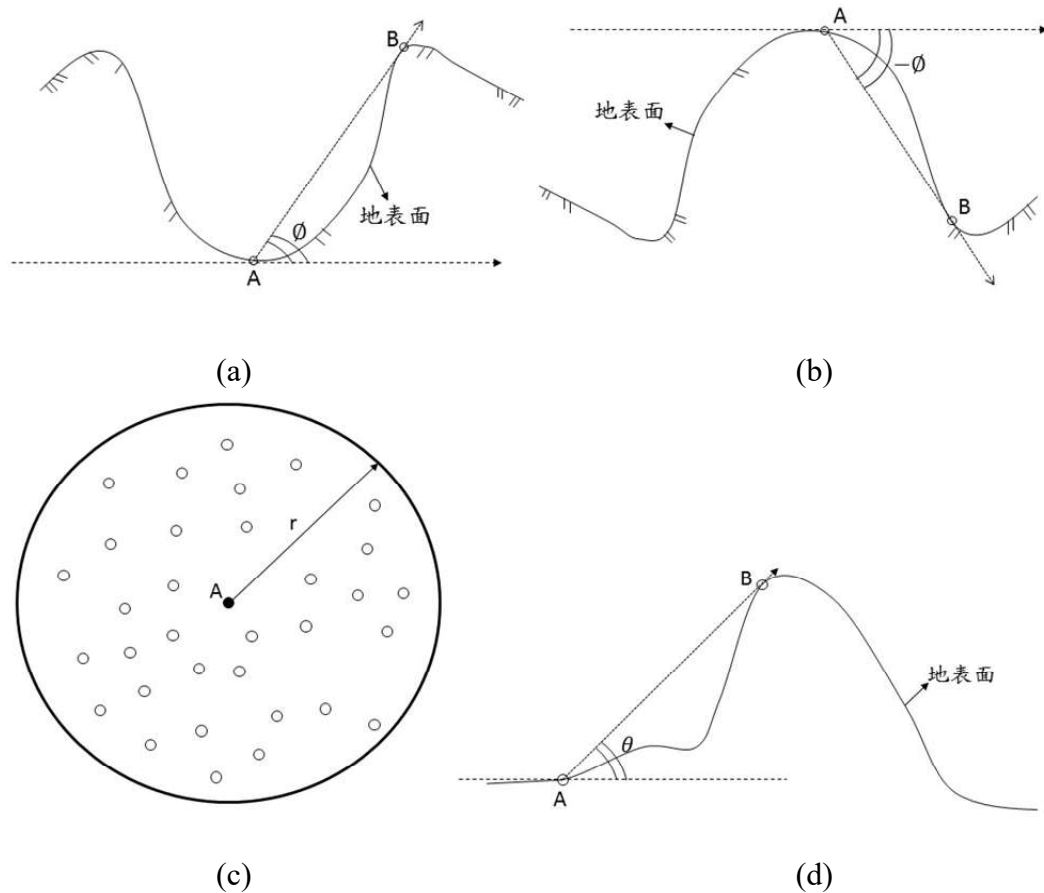


圖 3(a)正地形開闊度示意圖。(b)負地形開闊度示意圖。(c)地形開闊度計算罩窗半徑示意圖。(d)地形坡度示意圖。

圖 4 為本研究之紅色地圖調色盤，其中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)，顏色配置參考(Chiba et al., 2008)之研究，即地形開闊度 -90° 到 90° 的顏色配置為白色(灰階值 255)漸層至黑色(灰階值 0)，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，故顏色應模擬為偏黑色；另一方面，地形坡度 0° 到 90° 的顏色配置從白色漸層至紅色(RGB 配色: 255,0,0)，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。

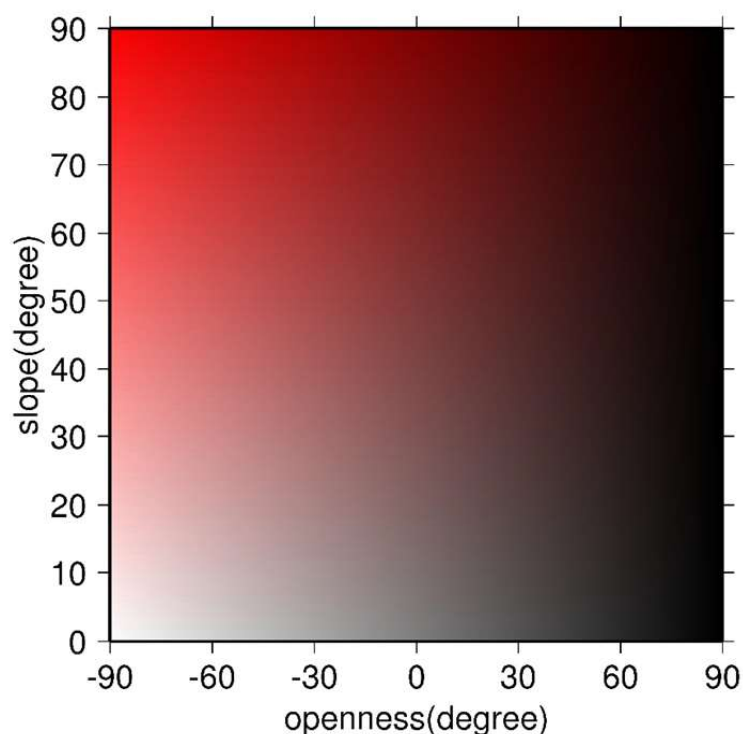


圖 4 本研究紅色地圖調色盤，其中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)。

利用上述地形開闊度與地形坡度計算方式，即可得到研究區域每個網格點之地形開闊度與地形坡度值，再以圖 4 之紅色地圖調色盤作為配色標準，即可將各點地形開闊度與地形坡度值對應至調色盤所指定的顏色，進一步產製出紅色地圖。此外，本研究依照地形開闊度計算罩窗半徑(圖 3(d))之不同，共分為 8 個測試例，其分類如表 1 所示，各測試例所計算得到之紅色地圖成果將於第四章分析比較。

表 1 測試例 1-測試例 8 之地形開闊度搜尋罩窗半徑

	地形開闊度搜尋罩窗半徑(m)
測試例 1	200
測試例 2	400
測試例 3	600
測試例 4	800
測試例 5	1000
測試例 6	1200
測試例 7	1400
測試例 8	1600

四、研究成果

本文研究區域初步選定台灣太魯閣及其周邊區域(圖 5)，研究範圍為經度 121.35°E~121.60°E 與緯度 24.10°N ~24.25°N 之間約 25km x 17km 之區域，選擇此區域的原因為太魯閣地形相當崎嶇，不論高程與坡度變化均相當劇烈，故更能比較出傳統地圖與紅色地圖呈現上的差異。此外，本研究使用之 DEM 為內政部 40m 規則網格(網址：<http://gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/ApplyContent.aspx>)。圖 6 為研究區域採用傳統方法繪製 DEM 之成果，包括圖 6(a)等高線圖、圖 6(b)分層設色圖、圖 6(c)分層設色陰影圖與圖 6(d)分層設色陰影鳥瞰圖。這些圖均能清楚表現出研究區域高程變化資訊，研究區域最低位於東邊立霧溪河谷地區，高程低於 500m，而西邊中央山脈最高可達 3000m。除此之外，經由圖 6(a)圖中等高線圖的疏密，與(b)~(d)等圖陰影與高程的分布，亦可輕易判斷出研究區域坡度的緩傾程度。然而由於這些傳統圖資之繪製缺乏了地形開闊度的概念，故在判釋特殊地形上，例如山脊線、山谷線或集水分區等，將不容易搜尋。

圖 7 與圖 8 分別為本文計算得之研究區域地形坡度與地形開闊度值。由圖 7 可發現除了少部分山脊線與山谷線外，研究區域大部分坡度非常陡峭。在地形開闊度計算方面，依據不同罩窗半徑值，共有圖 8(a)~(h)等 8 個測試例的計算結果。由圖中明顯看出山脊線的地形開闊度極佳，故色彩呈現偏亮白色，反之山谷線由於地形開闊度差，故圖中呈現偏暗黑色。除此之外，不同的罩窗半徑選擇也決定了地形開闊度表現的清晰度，以圖 8(a)~(c)(測試例 1-3)為例，由於罩窗半徑較短，導致圖中呈現之地形開闊度的雜訊較多，若使用較長的罩窗半徑(測試例 5-8)則計算得到之地形開闊度雜訊較小且呈現較佳。另外由圖 8 可發現測試例 5-8 之計算結果彼此之間差異已不大，這代表罩窗半徑選擇 1000m 為最佳選擇。罩窗半徑小於 1000m 將造成圖中雜訊值增加，若罩窗半徑大於 1000m 將增加不必要之程式計算時間。此外，無論是圖 7 或圖 8 均可發現，地形坡度與地形開闊度成果與傳統地形圖(圖 6)有一定程度上的吻合，這可證明本研究開發之程式初步正確無誤。

若將上述地形坡度(圖 7)與地形開闊度(圖 8)產製成果相結合，並以圖 4 之調色盤配色，即可得到本研究最終之紅色地圖成果(圖 9)。圖 9 即代表在不同地形開闊度罩窗半徑選取下，同時呈現地形坡度與地形開闊度之地形圖。由圖中亦可明顯看出，若罩窗半徑的選擇距離過短(測試例 1~4)，彼此紅色地圖呈現有顯著的差異，以測試例 1(圖 9(a))之結果為例，若地形開闊度罩窗半徑為 200m 時，所製成紅色地圖對於地形的判釋結果最差，地形起伏的立體感無法由肉眼直接觀測出，這對於山脊線、山谷線或其他地形之判釋將產生嚴重誤差。當罩窗半徑漸漸增加至 800m 以上(測試例 4)之計算結果，可以明顯看出與罩窗半徑 200m(測試例 1)之結果的差異，測試例 4 整體地形呈現較立體，其山脊線、山谷線甚至集水分區也可於圖中明顯觀察出。整體而言，在地形表現與程式計算時間取捨下，當罩窗半徑選擇 1000m 至 1200m 時(測試例 5 與 6)，具有本研究區域最佳之紅色地圖結果，當罩窗半徑超過

1200m 時(測試例 7 與 8)，所製成之紅色地圖與測試例 5 與 6 相比，並無太大差異。

若進一步比較分層設色圖(圖 6(b)~(d))與本文紅色地圖(圖 9)繪製結果，可發現由於傳統地形分層設色圖是利用 DEM 高程值去對應彩色值所製成，所能獲取的地理資訊只有 DEM 的高程值(圖 6(b))，並無法在分層設色圖上獲取高程以外的地理資訊，若輔以陰影圖套疊(圖 6(c))或以鳥瞰圖形式表達(圖 6(d))，確實能夠輔助判釋坡度大小。然而若以圖 2 地形開闊度示意圖為例(點 A 與點 A' 之高程與坡度值均相同，但地形開闊度不同)。點 A 與點 A' 不論在圖 6(b)、6(c)與 6(d)所呈現之色彩將完全一致，這對地形判釋將產生誤差，例如山脊線、山谷線與集水分區並不容易由圖 6(b)~(d)中觀察出。而本研究之紅色地圖(圖 9)，由於同時考慮地形坡度與地形開闊度，故點 A 與點 A' 在紅色地圖是呈現不同的顏色，這是紅色地圖獨有的優點，此優點能幫助地圖使用者更容易以肉眼觀察地形的樣貌以進行地形判釋。

然而本研究自製之紅色地圖現階段亦有缺點，即無法直接從圖上觀察出每個網格點的實際高程值，或兩網格點的實際高程差，故若要獲取此高程資訊，必須輔以分層設色圖或等高線圖來配合判釋解讀。未來本研究將持續修正相關程式軟體，期望能在考慮地形開闊度與地形坡度之餘，亦能同時將 DEM 之高程資訊呈現於紅色地圖中。

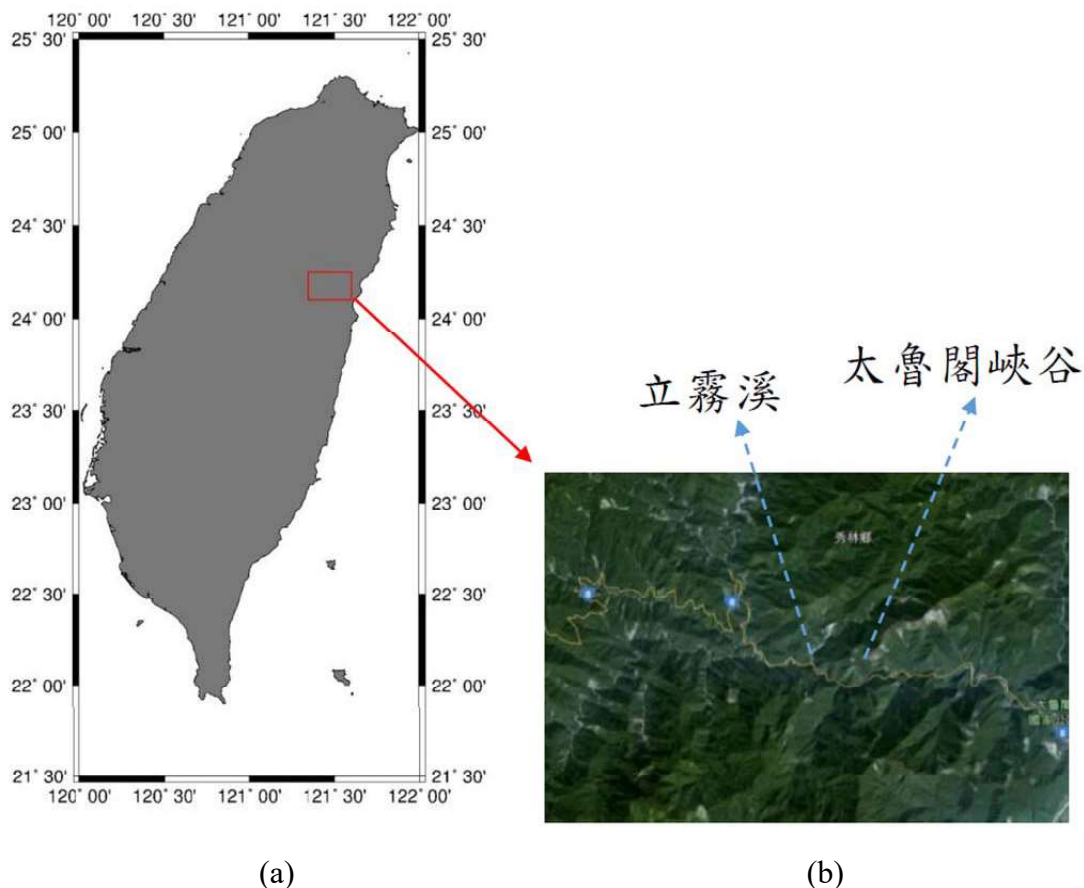


圖 5 (a)研究區域(紅色框，即太魯閣周圍區域)，(b)研究區域衛星影像圖(資料來源:Google map)

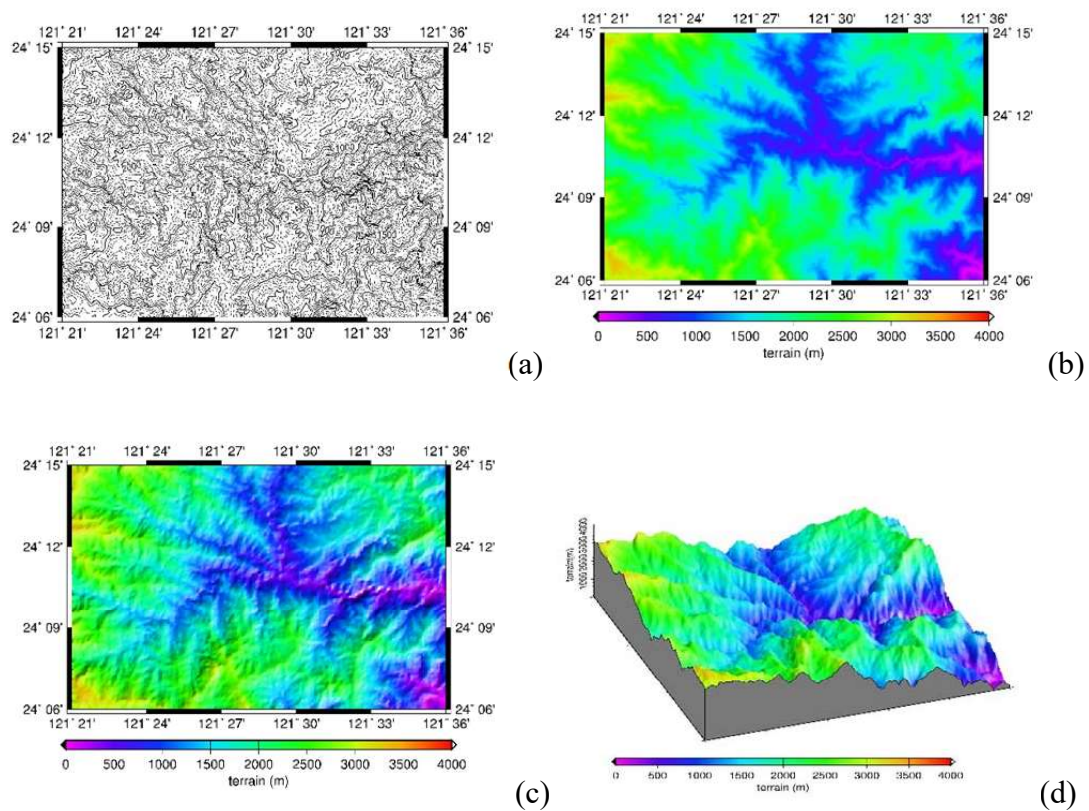


圖 6 研究區域之(a)等高線圖、(b)分層設色圖、(c)分層設色陰影圖與(d)分層設色陰影鳥瞰圖。

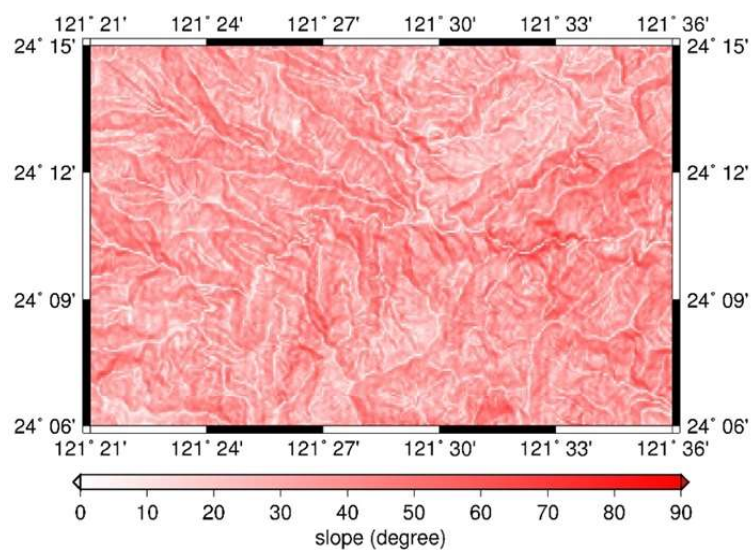


圖 7 地形坡度計算結果。

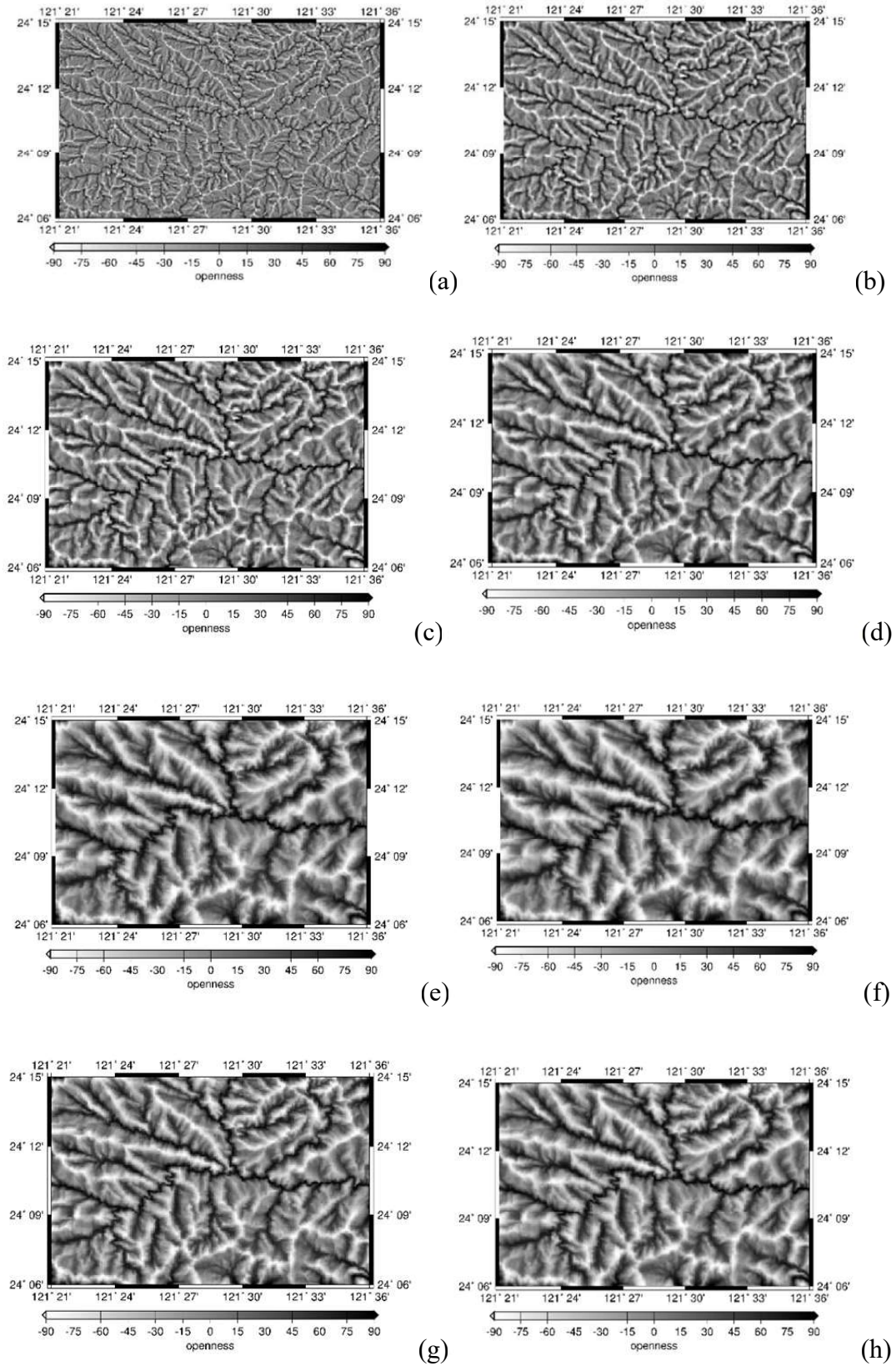


圖 8 研究區域地形開闊度計算結果，其中圖(a)~(h)分別為測試例 1~測試例 8 結果。

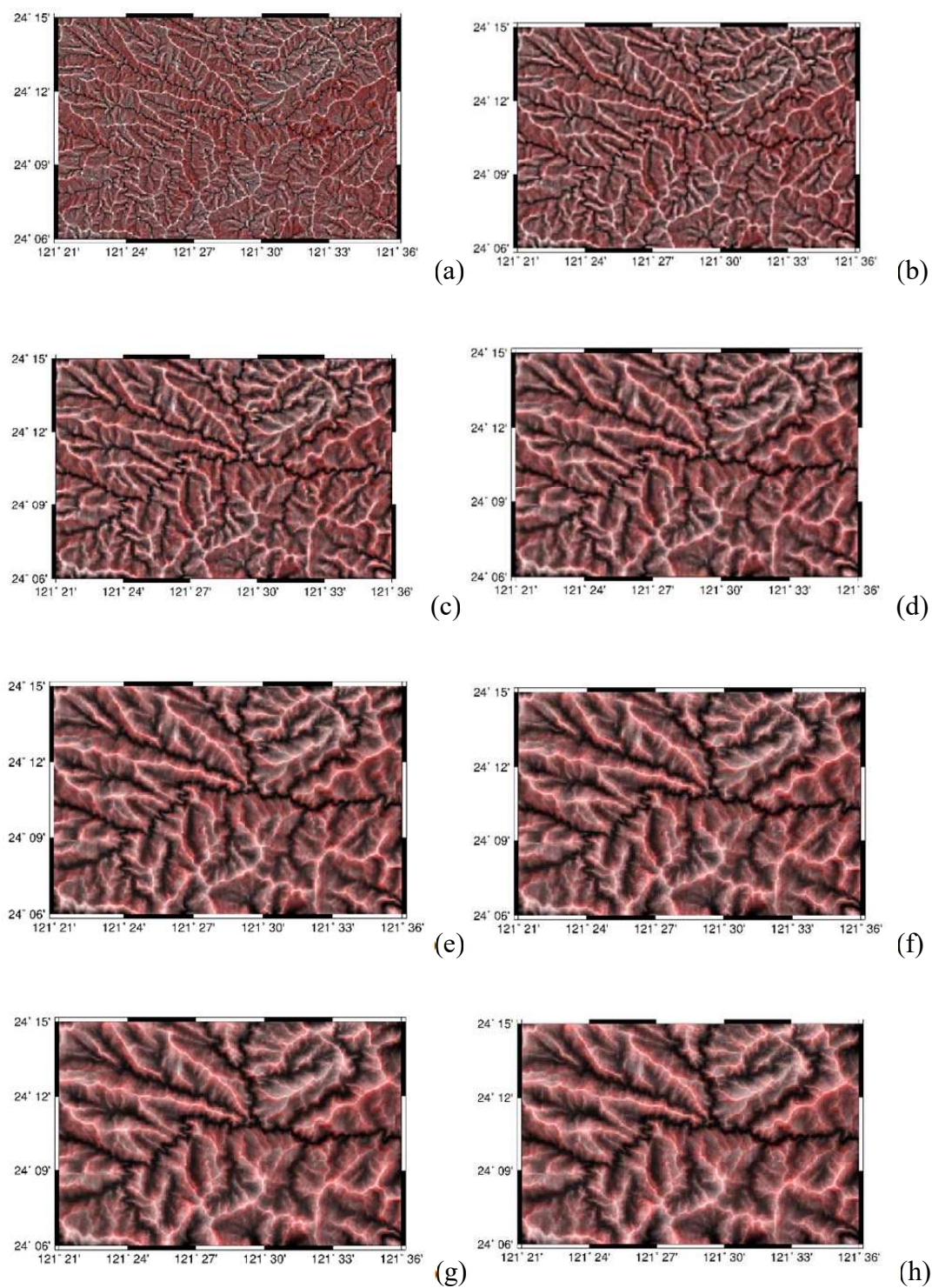


圖 9 研究區域紅色地圖結果，其中圖(a)~ (h)分別為測試例 1~測試例 8 結果。

五、結論與建議

本研究利用 GMT 軟體為基礎開發產製紅色地圖之相關技術。研究區域選定太魯閣及其周邊約 25km x 17km 之範圍，分析此區域 DEM 之紅色地圖呈現結果。這是國內首次以自行發展紅色地圖技術為主之研究，故極具有學術價值。過程中需計算研究區域的地形坡度與地形開闊度，並將產製之紅色地圖與傳統地圖(等高線圖、分層設色圖、分層設色陰影圖與分層設色陰影鳥瞰圖)作比較分析。研究顯示紅色地圖在表現山脊線、山谷線和集水分區判釋上有非常明顯的優勢，也更能夠清楚的解讀地形起伏樣貌，這對於往後分析土砂災害(山崩與土石流等)風險評估助益極大。

此外，本研究目前還在持續測試各種不同的紅色地圖調色盤，找出地形開闊度與地形坡度之最佳組合，希望未來能針對不同地形均能製作精確之紅色地圖，以期對地形判釋及山坡地土砂災害潛勢之預估做出貢獻，並提供政府有關單位管理山坡地資源之參考。未來本研究將持續進行以下工作：

- (1) 建立各種地形與最適宜之地形開闊度單窗半徑計算值的關係，提供給後續使用者參考。
- (2) 在現有的基礎上，繼續精進產製高精度紅色地圖之技術(例如針對原始 DEM 平滑處理、設計不同調色盤、採用不同方法計算坡度與開闊度等)，進一步對台灣空間資訊、地理、地球科學與水土保持等領域做出貢獻。
- (3) 紅色地圖除了應用於傳統坡地災害分析之外，後續將探索應用在海底地形圖、重力異常圖、大地起伏圖、甚至溫度圖與雨量圖等可能性，期望藉由紅色地圖，發掘更多傳統圖資無法呈現的資訊。

誌 謝

本文為 105 年度行政院農委會水土保持局補助之創新研究計畫「以自行研發之紅色地圖技術輔助預判土砂災害之潛勢地區」(計畫編號：105 保發-13.1-保-01-06-001(1))初步成果，謹此致謝。

參考文獻

- 李錫堤，1996，數值地形的彩繪明暗製圖及應用，地工技術，第 56 卷，第 69-84 頁。
- 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，第 113 期，第 113-115 頁。
- 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，第 18 卷，第 2 期，第 67-78 頁。
- 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，第 36 卷 第 1 期，第 275-284 頁。

- Chiba, T., S. I. Kaneta, and Y. Suzuki, 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, pp. 1071-1076.
- Hodgson, M. E., and P. Bresnahan, 2004, Accuracy of airborne Lidar-derived elevation: Empirical assessment and error budget., *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(3), pp. 331-339.
- Lin, Z., H. Kaneda, S. Mukoyama, N. Asada, and T. Chiba, 2013, Detection of subtle tectonic- geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey, *Geomorphology*, 182, pp. 104-115.
- Wang, K., C. Wang, Q. Zhang, and K. Ding, 2015, Loess shoulder line extraction based on openness and threshold segmentation, *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 44, pp. 67-75.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. Luis, and F. Wobbe, 2013, *Generic Mapping Tools: Improved version released*, EOS Trans. AGU, San Francisco, USA.
- Yokoyama, R., M. Shirasawa, and R. J. Pike, 2002, Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, pp. 257-265.