
以嶄新 3D 地形表現技術(H.O.S.T.地圖)

輔助地形判釋

Terrain Interpretation With A Major

Breakthrough Terrain Presentation

Technique(H.O.S.T Map)

執行單位:國立中興大學

執行期間:106 年 02 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人:蕭宇仲 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

以嶄新 3D 地形表現技術(H.O.S.T.地圖)輔助地形判 釋

摘要

本計畫以自行發展的三維視覺化地圖(H.O.S.T.地圖)，評估其在輔助地形判釋的可行性。程式主要是以 GMT 軟體繪製地圖，並使用 Fortran 語法處理較複雜之相關計算。在地形坡度計算方面，本文採用四種運算方式並分析其差異；在地形開闊度計算方面，本研究針對罩窗半徑、地形對比值、地圖調色盤之設定值做深入的探討。為了解決無高程資訊的問題，本研究納入高程值，並製作立體調色盤用於 H.O.S.T.地圖。本文研究區域包括多處台灣特殊地形，吾人將其繪製成 H.O.S.T.地圖來做分析比較，發現自製之 H.O.S.T.地圖對於微地形（沖蝕溝、海溝與沙洲等）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 H.O.S.T.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： H.O.S.T.地圖、地形開闊度、地形坡度、地形判釋。

Terrain Interpretation With A Major Breakthrough

Terrain Presentation Technique (H.O.S.T. Map)

Abstract

We create self-created red relief maps (named H.O.S.T. map) to analyze feasibility of aiding in terrain interpretation. We use Generic Mapping Tools (GMT) for plotting H.O.S.T. maps, and Fortran programs for processing complex computations. On terrain slope, four methods are adopted and analyzed in this thesis; on terrain openness, we seriously consider the search radius, terrain contrast, and color palette. Furthermore, we create a three-dimensional palette for showing the elevation information on the H.O.S.T. maps. In this project, the study areas include many special terrains in Taiwan, and they are all converted to the self-created H.O.S.T. maps. Rigorous analysis and comparisons for these maps are carried out in this thesis. The results show that the H.O.S.T. maps can better highlight the micro-topographies (gully, trench, sandbank, and so on), and also can provide valuable references for landslide disaster, watershed division and terrain changes. The main purpose of this study is to further bring contributions to regions of disaster prevention, soil and water conservation, environmental monitoring, and resource exploration.

Keywords: H.O.S.T. maps, terrain openness, terrain slope, terrain interpretation.

目次

摘要.....	I
Abstract	II
目次.....	III
表次.....	VI
圖次.....	VII
第一章 前言.....	1-1
第一節 計畫緣起及目的	1-1
第二節 計畫成果.....	1-8
第二章 工作流程及進度.....	2-1
第一節 期初至期末研究流程	2-1
第二節 工作進度.....	2-3
第三章 H.O.S.T.地圖研究原理	3-1
第一節 地形坡度.....	3-1
第二節 地形開闢值.....	3-7
第三節 H.O.S.T 平面調色盤	3-21

第四節 H.O.S.T 立體調色盤	3-25
第四章 研究樣區	4-1
第一節 海底地形-台灣周遭海底地形	4-4
第二節 火山地形-磺嘴山火山口	4-5
第三節 沖積扇-佳陽沖積扇	4-6
第四節 河階地形-美蘭河階	4-7
第五節 向原侵蝕與河川襲奪-金門峒斷崖	4-8
第六節 礫質地質-九九峰、火炎山	4-10
第七節 泥岩惡地-太陽谷	4-12
第八節 沙洲-頂頭額沙洲	4-13
第九節 礦區-亞洲水泥新城山礦場	4-14
第五章 研究成果	5-1
第一節 各樣區之 H.O.S.T.地圖(以 DEM 繪製)	5-1
一、台灣周遭海底地形	5-1
二、新北磺嘴山火山口	5-4
三、台中佳陽沖積扇	5-7
四、台東美蘭河階	5-9

五、南投金門峒斷崖	5-12
六、南投九九峰	5-15
第二節 各樣區之 H.O.S.T.地圖(以 DSM 繪製)	5-18
一、苗栗火炎山	5-18
二、高雄燕巢太陽谷泥岩地形	5-21
三、台南頂頭額沙洲	5-23
四、亞洲水泥新城山礦場	5-25
第三節 H.O.S.T.地圖之高程展現方法	5-27
一、以立體調色盤繪製 H.O.S.T.地圖	5-27
二、H.O.S.T.鳥瞰圖	5-31
三、直接呈現高程值	5-35
第六章 結論與建議	6-1
參考文獻	1
附錄一	附錄-1
附錄二	附錄-8
附錄三	附錄-12

表次

表 1、計畫檢核表	2-4
表 2、各樣區網格大小資料與繪圖資料。	4-2
表 3、高程呈現方法比較。	5-37

圖次

- 圖 1、(a)苗栗火炎山航拍照片(b)苗栗火炎山分層設色圖，
縱橫軸單位為 TWD97 座標(單位:公尺)。1-2
- 圖 2、苗栗火炎山陰影圖(a)光源來自北方(b)光源來自南方
(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中黃色
箭頭為光源入射方向，紅圈在圖(a)像凹地，但在圖(b)
像凸地。1-4
- 圖 3、模擬光源接收量之開闊度示意圖。1-5
- 圖 4、計畫執行期初至期中研究流程圖。2-2
- 圖 5、地形坡度示意圖，A 為待計算網格點，B 為相鄰網格
點， θ 為計算後坡度值。3-2
- 圖 6、宜蘭沖積扇平原部分區域 80m DEM 之四種算法坡度
圖(縱橫軸座標系統為經緯度)，藍框為局部放大之區
域。3-5
- 圖 7 苗栗火炎山 1m DSM 之四種算法坡度圖(縱橫軸座標
系統為 TWD97 座標(單位:m))，藍框為局部放大之區
域。3-6
- 圖 8、(a)正地形開闊度示意圖。(b)負地形開闊度示意圖。
.....3-8

- 圖 9、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。.....3-9
- 圖 10、單窗掃描網格資料之示意圖，紅點為待算網格點，紅色箭頭為各待算網格點地形開闊度計算之方向。..3-10
- 圖 11、單窗內網格資料之示意圖， A 為待計算網格點， W 為單窗半徑(單位:網格數)。.....3-10
- 圖 12、單窗半徑示意圖，點 A 為待算網格點，點 B 為任意點位， $W1$ 為較短搜尋半徑， $W2$ 為較長搜尋半徑。...3-11
- 圖 13、單窗半徑示意圖，點 A 為待算網格點，點 B 為任意點位， $W1$ 為較短搜尋半徑， $W2$ 為較長搜尋半徑。...3-12
- 圖 14、不同單窗半徑所對應之地形開闊度圖(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中 W 為單窗半徑， S 為地形對比值。.....3-14
- 圖 15、同單窗半徑不同地形對比值之地形開闊度圖(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中 W 為單窗半徑， S 為地形對比值。.....3-16
- 圖 16、八方位示意圖。.....3-18
- 圖 17、不同單窗半徑之開闊度圖。.....3-19

- 圖 18、單窗半徑為 50 之開闊度圖，上圖使用舊公式(使用縱角平均值)，下圖為新公式(使用八方位)。3-20
- 圖 19、本團隊之 H.O.S.T.地圖之平面調色盤(左)，與相對應之地形繪製結果(右)。其中左圖中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)。3-21
- 圖 20、本團隊之各種地圖調色盤(左)，與相對應之地形繪製結果(右)。其中左圖中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度(單位:度)。3-22
- 圖 21、不同調色盤範圍之 H.O.S.T.地圖。3-24
- 圖 22 將平面調色盤增加高程變為立體調色盤(白色至綠色)。3-26
- 圖 23、將平面調色盤增加高程變為立體調色盤(藍色至綠色)。3-27
- 圖 24 各樣區位置分布圖。4-1
- 圖 25、磺嘴山影像(照片來源:台灣地貌-多面向台灣火山地質地自然景觀數位典藏資料庫拓展)。4-5
- 圖 26、佳陽沖積扇影像(照片來源:國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源)。4-6
- 圖 27、美蘭河階影像(照片來源:臺東縣東河鄉北源社區)。

.....	4-7
圖 28、金門峒斷崖影像(照片來源:國立台灣大學地理環境 資源學系,中部地景資源)。	4-9
圖 29、南投九九峰影像(照片來源:齊柏林攝影-台灣阿布電 影公司)。	4-10
圖 30、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)。	4-11
圖 31、燕巢太陽谷影像(照片來源:數位島嶼-拍攝者 Lily Su)。	4-12
圖 32、頂頭額沙洲影像(照片來源:台江國家公園)。	4-13
圖 33、亞洲水泥新城山礦場(照片來源:亞洲水泥)。	4-14
圖 34、台灣周遭海溝之分層設色陰影圖。	5-2
圖 35、台灣周遭海溝之 H.O.S.T.地圖。	5-3
圖 36、磺嘴山與大尖後山之衛星影像。	5-5
圖 37、磺嘴山與大尖後山之 H.O.S.T.地圖(無高程),黃圈 為火山位置。	5-5
圖 38、磺嘴山之 H.O.S.T.地圖(無高程),黃圈內為北方缺 口之位置。	5-6
圖 39、佳陽沖積扇之衛星影像。	5-8
圖 40、佳陽沖積扇之 H.O.S.T.地圖(無高程),黃圈內為沖	

積扇之位置。	5-8
圖 41、美蘭河階之衛星影像，黃圈為美蘭河階位置，紅圈 為一河道。	5-10
圖 42、美蘭河階之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈為美蘭河 階位置，紅圈為一河道。	5-11
圖 43、金門峒斷崖之衛星影像，黃圈為金門峒斷崖所在 處，藍色範圍為陳有蘭溪，綠色範圍為荖濃溪。	5-13
圖 44、金門峒斷崖之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈為金門 峒斷崖所在處，藍字為陳有蘭溪位置，綠字為荖濃溪位 置，紅圈為陳有蘭溪源頭與荖濃溪最接近之嶺線位置。	5-14
圖 45、九九峰之衛星影像。	5-16
圖 46、九九峰之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃虛線內為以 H.O.S.T.地圖所判斷之九九峰礫石地質。	5-17
圖 47、苗栗火炎山之航拍影像。	5-19
圖 48、苗栗火炎山之 H.O.S.T.地圖(無高程)。	5-20
圖 49、燕巢太陽谷之航拍影像。	5-22
圖 50、燕巢太陽谷之 H.O.S.T.地圖(無高程)。	5-22
圖 51、頂頭額沙洲之航拍影像。	5-24
圖 52、頂頭額沙洲之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃箭頭為主	

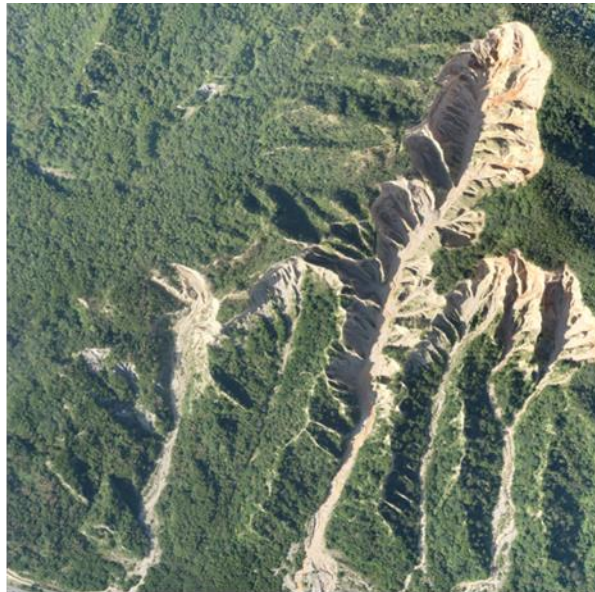
要風向。	5-25
圖 53、亞洲水泥新城山礦場之航拍正射鑲嵌影像圖。 ...	5-26
圖 54、亞洲水泥新城山礦場之 H.O.S.T.地圖。	5-27
圖 55、套疊等高線之 H.O.S.T.地圖，每 10m 一條等高線， 每 50m 作一次標記。	5-28
圖 56、以立體調色盤(白色至綠色)渲染之苗栗火炎山 H.O.S.T.地圖。	5-29
圖 57、以立體調色盤(藍色至綠色)渲染之苗栗火炎山 H.O.S.T.地圖。	5-30
圖 58、苗栗火炎山之各角度 H.O.S.T.鳥瞰圖。	5-32
圖 59、鐵砧山航拍鳥瞰圖。	5-33
圖 60、鐵砧山 H.O.S.T.鳥瞰圖。	5-33
圖 61、宜蘭縣蘇澳鎮新澳隧道航拍鳥瞰圖。	5-34
圖 62、宜蘭縣蘇澳鎮新澳隧道 H.O.S.T.鳥瞰圖。	5-34
圖 63、網頁頁面。	5-35
圖 64、網頁頁面放大圖。	5-36

第一章 前言

第一節 計畫緣起及目的

台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台灣地形多變，而為了研究台灣多處特殊地形，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表面模型(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、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 的方式大部分都是以傳統方法來表現，此傳統方法如等高線圖、陰影圖或分層設色圖等圖資(張玲等，2014)雖能展現高程、地形概況等資訊，但對於微地形特徵的表現不甚理想，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，以苗栗火炎山 DSM 為例，圖 1(a)為苗栗火炎山之航拍照片，圖中大約可以判斷此地形有嚴重的沖蝕問題，但若想獲得高程資訊須繪製成等高線圖亦或是分層設色圖如圖 1(b)所示，由此圖可以看出高程分布概況。

(a)



(b)

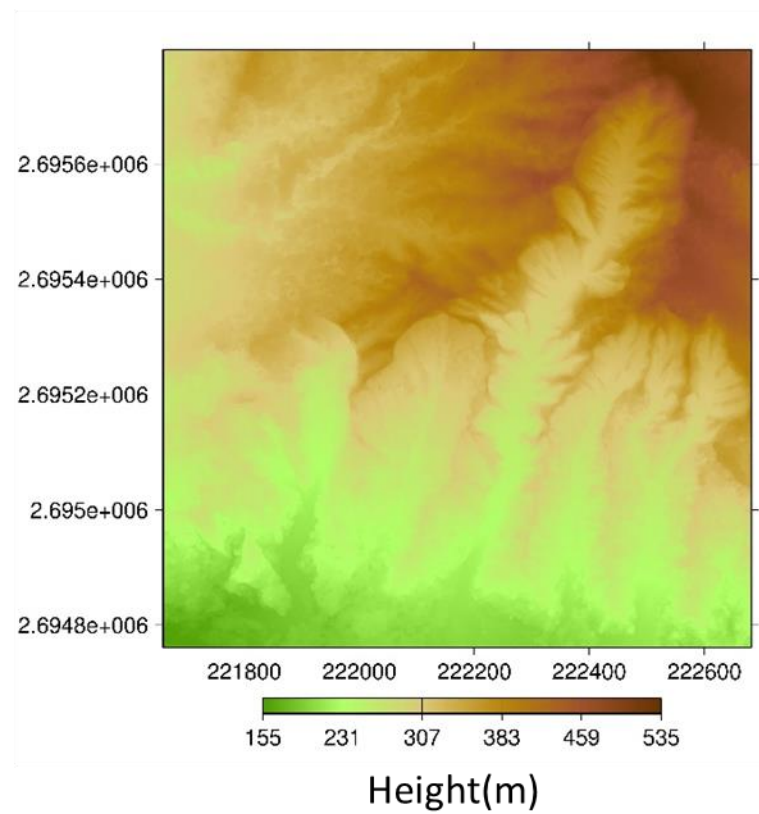


圖 1、(a)苗栗火炎山航拍照片(b)苗栗火炎山分層設色圖，縱橫軸單位為 TWD97 座標(單位:公尺)。

但是分層設色圖僅能得知高程資訊，對於地形特徵的表現仍然不佳無法直接觀察出地形型態，若將其 DSM 繪製成陰影圖(如圖 2 所示)，圖 2(a)為光源來自北方之陰影圖，由於光影變化讓地形起伏更加明顯且對於地形的樣貌能直接觀察，細微的地形特徵也能從此圖看出，然而若此時將光源方向改成南方，入射光源方向相反，如圖 2(b)所示，雖然仍有不錯的地形資訊表現能力，但與上圖比較可以發現地形的凹凸起伏變化相反，導致無法判斷何者地形呈現是正確的(Chiba et al.2008)，並且自身之陰影有可能會遮蔽鄰近微小地形，造成地形資訊遺漏，無法完整地呈現真實地形樣貌。

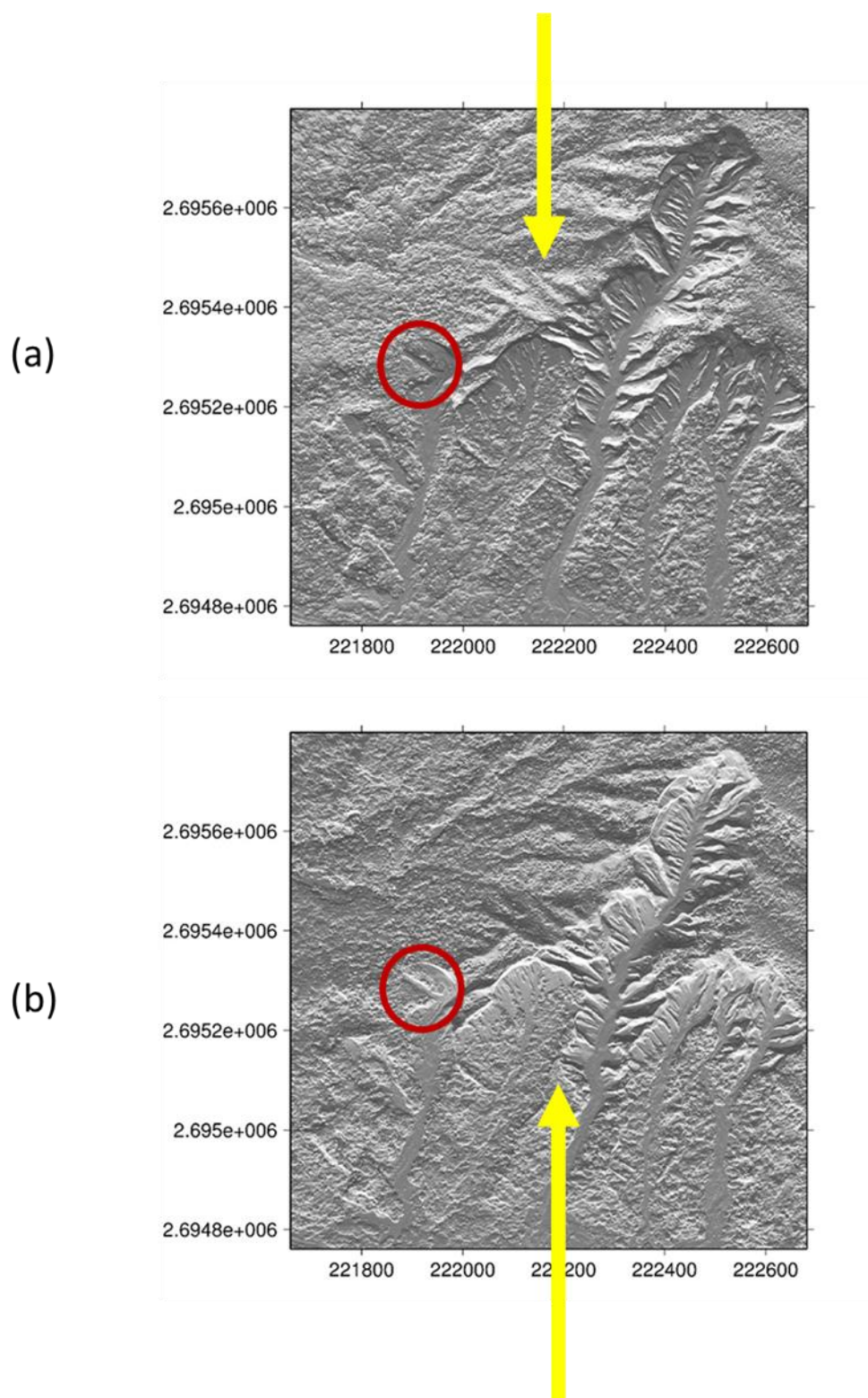


圖 2、苗栗火炎山陰影圖(a)光源來自北方(b)光源來自南方(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中黃色箭頭為光源入射方向，紅圈在圖(a)像凹地，但在圖(b)像凸地。

若欲克服上述之問題，過去常採用紅色地圖來表達地形起伏。紅色地圖的相關技術概念已發展有 10 多年的歷史，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，其概念如圖 3 所示，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，所以顏色呈現偏白，反之若光源照射至谷底，光源接受量少，顏色呈現偏暗。

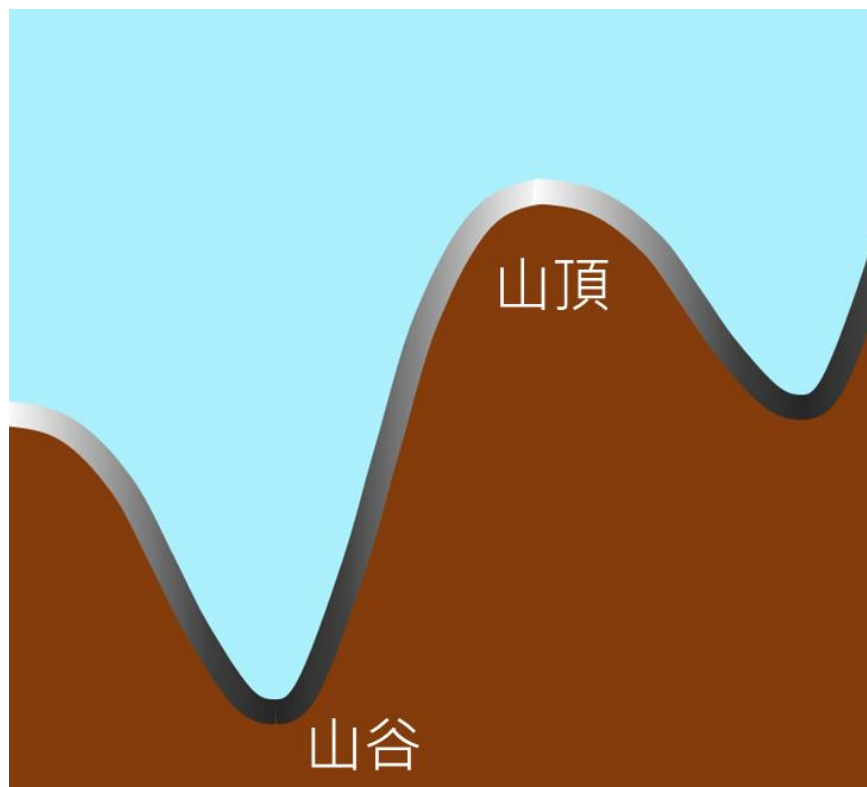


圖 3、模擬光源接收量之開闊度示意圖。

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赤色地圖，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。其他關於地形開闊度及赤色地圖相關研究還包括 Lin et al. (2013)利用光達資料製作出赤色地圖並與坡度圖以及陰影圖等做比較，從中發現赤色地圖對於細微地形特徵的判讀甚為有效；陳奕中等(2014)研究出地形開闊度能有效突顯出不規則地形上角度變化強烈處，且繪製成赤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；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，且紅色立體地圖可清楚判釋微地形特徵，尤對蝕溝的判釋最為清楚容易，也能判釋野溪河道的長度與寬度及防災疏散道路的區位等；蕭宇伸與郭耀駿(2016)和郭耀駿(2016)研發自製紅色地圖程式用於地形判釋。

雖然紅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紅色地圖軟體，然而此軟體並未考慮高程，故無法由圖中辨識出高程變化，甚為可惜。為克服此一問題，本計畫利用 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紅色地圖。期望藉由本團隊，能對山坡地土砂災害潛勢之相關分析預估，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。

本團隊於 2016 年執行行政院農業委員會水土保持局之創新研究計畫「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))乙案，發展自製之紅色地圖技術。該計畫中吾人在程式方面對坡度與開闊度稍做修改，並增加研究樣區展示台灣多處不同特殊地形，最後增加高程資訊於圖資中。

第二節 計畫成果

本團隊於計畫完成下列成果：

(1)完成事項

- a. 改善製作 H.O.S.T.地圖所需之地形開闊度、地形坡度、立體調色盤之程式。
- b. 利用自製之 H.O.S.T.地圖，進行山坡地土砂災害潛勢之分析。

(2)對於學術研究、國家發展及其他應用方面之貢獻

本團隊所產製的 H.O.S.T.地圖，應能提供防救災、水土保持、環境監控與資源探勘與土砂災害潛勢之相關領域作為參考，進而對國家民生經濟做出貢獻。

(3)對於參與之工作人員，可獲之訓練

本團隊參與人員除了計畫主持人外，還包括兩名碩士研究生或一名專任研究助理。於理論方面，團隊人員可學習 H.O.S.T.地圖相關原理與其相關應用；於計算方面，此計畫需處理大量重力相關數據，故相關研究人員可學習處理大量資料之相關經驗與技巧；於實務方面，團隊人員可學習程式語言與土砂災害評估相關技巧，故本計畫無論理論或實務面，均能提供相關研究人員完整的訓練。此外，相關研究人員也

可在進行計畫過程中，驗證其學習過程中之各項理論與數學公式，另外還必須將相關的理論公式以程式語言撰寫成計算軟體，故本計畫之執行實含有教育和科學研究訓練之意義。

(4) 完成之研究成果及績效

- a. 建立 H.O.S.T.地圖相關理論發展與程式開發。
- b. 發表水土保持 SCI 論文 1 篇(撰寫中)，國內期刊論文 1 篇(撰寫中)。希望能將本計畫的研究成果與國內與國際學者與相關人士分享。
- c. 培養相關領域的碩士生至少 2 名，讓研究生實際參與協助處理資料及發展相關技術，包括瞭解 H.O.S.T.地圖製作原理與有撰寫程式語言的能力等。

第二章 工作流程及進度

第一節 期初至期末研究流程

本計畫由期初至期中之研究流程如圖 4 所示，步驟分述如下：

- 1.樣區選擇:選擇所需之研究樣區。
- 2.DEM、DSM 資料處理:將樣區之 DEM 或 DSM 裁切以及整理成規則網格資料，並轉換成符合程式所需之檔案。
- 3.坡度計算:本團隊設計四種計算坡度之方法，分別為 GMT 軟體內建之 `grdgradient` 程式、以自製 Fortran 程式編譯之四鄰域法、加權八鄰域法以及等權八鄰域法，而本團隊樣區之坡度計算皆採用加權八鄰域法。
- 4.開闊度計算:結合 GMT 程式以及 Fortran 語法製作出計算開闊度之程式，將樣區之資料透過此程式運算得出地形開闊度值。
- 5.加入高程值:將圖資納入高程資訊。
- 6.平面調色盤繪製:製作出 H.O.S.T.地圖所需之平面調色盤。
- 7.立體調色盤繪製:製作出含有高程值之 H.O.S.T.地圖所需之立體調色盤。
- 8.繪製 H.O.S.T.地圖(無高程):結合坡度值以及開闊度值並配上相對應之色階，繪製出 H.O.S.T.地圖(無高程)，若需含有高程則以立體調

色盤繪之。

9. 罩窗半徑與地形對比值分析: 不同的罩窗半徑以及地形對比值對於所繪製出的地圖會有不同之影響，本團隊將比較其差異處。

10. H.O.S.T.地圖分析: 探討並分析繪製出的地圖。

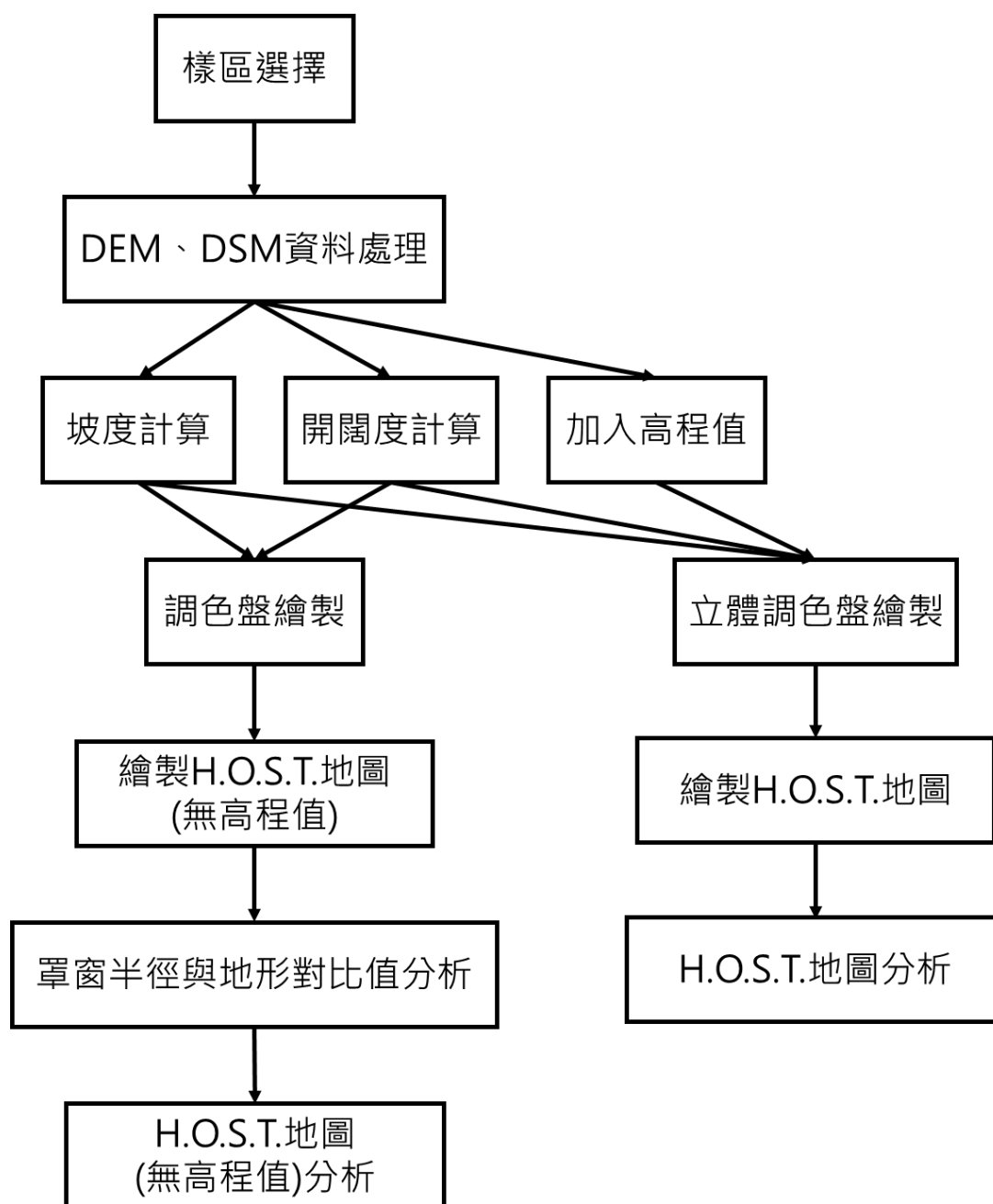


圖 4、計畫執行期初至期中研究流程圖。

第二節 工作進度

本團隊於計畫結束後，完成下列工作事項：

工作項目-壹：改善製作 H.O.S.T.地圖所需之地形開闊度程式。

執行情況：已建置完成。

工作項目-貳：改善製作 H.O.S.T.地圖所需之地形坡度程式。

執行情況：已建置完成。

工作項目-參：改善製作 H.O.S.T.地圖所需之平面調色盤之程式。

執行情況：已建置完成。

工作項目-肆：改善製作 H.O.S.T.地圖所需之立體調色盤之程式。

執行情況：已建置完成。

工作項目-伍：利用自製之 H.O.S.T.地圖，分析台灣部分山坡地土砂災害潛勢之分析。

執行情況：已建置完成。

本計畫計畫檢核表如下所示。

表 1、計畫檢核表

工作項目	時間			2-4 月			5-7 月			8-10 月			11-12 月	
1. 改善製作 H.O.S.T.地圖所需之 地形開闊度程式														
2. 改善製作 H.O.S.T.地圖所需之 地形坡度程式														
3. 改善製作 H.O.S.T.地圖所需之 平面調色盤之程式														
4. 改善製作 H.O.S.T.地圖所需之 立體調色盤之程式														
5. 利用自製之 H.O.S.T.地圖，分析 台灣部分山坡地土砂 災害潛勢之分析														
6. 報告撰寫														
7. 報告審查														
預計進度累計百分比 %	11	22	32	46	62	70	76	81	89	97	100			
查核點	預定完成時間						查核點內容說明							
期中簡報	106/7						已完成 78%工作項目。							
期末簡報	106/12						完成所有工作。							

第三章 H.O.S.T.地圖研究原理

本計畫使用 GMT 軟體以及 Fortran 語法產製出 H.O.S.T.地圖繪製程式，與過去研究相比(蕭宇伸與郭耀駿 2016；郭耀駿，2016)，在程式設計上有做大幅度的改善，如新增不同地形坡度之計算方式、新增地形對比值加強地形起伏以及加入高程資訊產製立體調色盤等，與前人之研究不盡相同，在本章會有詳細說明。

第一節 地形坡度

地形坡度可以表示該地形的傾斜程度，在坡度計算方面，本團隊所計算之地形坡度值範圍介於 0° 至 90° 之正值，如圖 5 所示，若點 A 為待計算網格點， θ 為計算後坡度值，但若 B 點網格點低於 A 點，計算坡度值仍取 $+\theta$ ，代表無論是仰角亦或是俯角皆無負數坡度值。

郭耀駿(2016)之坡度計算方法僅為 GMT 軟體內建之計算程式 `grdgradient`，而本團隊使用四種計算地形坡度方式，並分析其差異性，這四種坡度計算方式分別為 `grdgradient`、四鄰域法、加權八鄰域法以及等權八鄰域法(劉光恩，2009)。

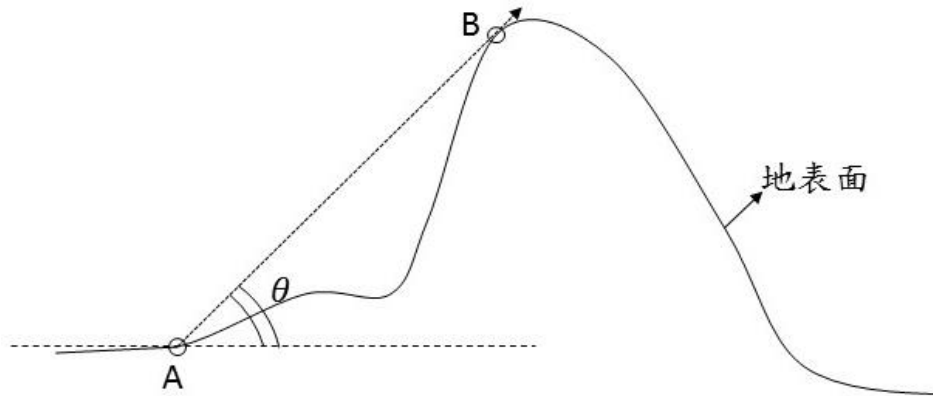


圖 5、地形坡度示意圖，A 為待計算網格點，B 為相鄰網格點， θ 為計算後坡度值。

1.方法一:網格微分法

首先第一種算法網格微分法是利用 GMT 內建之計算規則網格微分程式 `gdgradient`，此程式會對 DEM 水平距離進行一次微分，得到即為該 DEM 之坡度值，故可以計算得每個網格點之坡度值。

接下來的三種算法均使用 3x3 的移動視窗，其公式分別如下：

2.方法二:四鄰域法(Ritter's 演算法)

	e_2	
e_1	c_0	e_3
	e_4	

$$S = \sqrt{(e_1 - e_3)^2 + (e_4 - e_2)^2} / 2d$$

c_0 為待算網格點， S 為地形坡度值， e_i 為網格值， d 為網格單元大小。

3.方法三:加權八鄰域法(Horn's 演算法)

e_1	e_2	e_3
e_4	c_0	e_5
e_6	e_7	e_8

$$S = \sqrt{[(e_1 + 2e_4 + e_6) - (e_3 + 2e_5 + e_8)]^2 + [(e_6 + 2e_7 + e_8) - (e_1 + 2e_2 + e_3)]^2} / 8d$$

c_0 為待算網格點， S 為地形坡度值， e_i 為網格值， d 為網格單元大小。

4.方法四:等權八鄰域法(Sharpnack and Akin's 演算法)

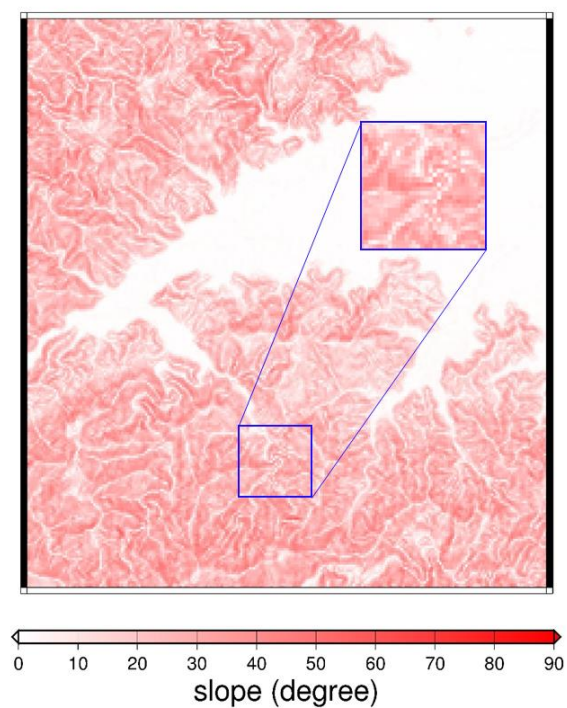
e_1	e_2	e_3
e_4	c_0	e_5
e_6	e_7	e_8

$$S = \sqrt{[(e_1 + e_4 + e_6) - (e_3 + e_5 + e_8)]^2 + [(e_6 + e_7 + e_8) - (e_1 + e_2 + e_3)]^2} / 6d$$

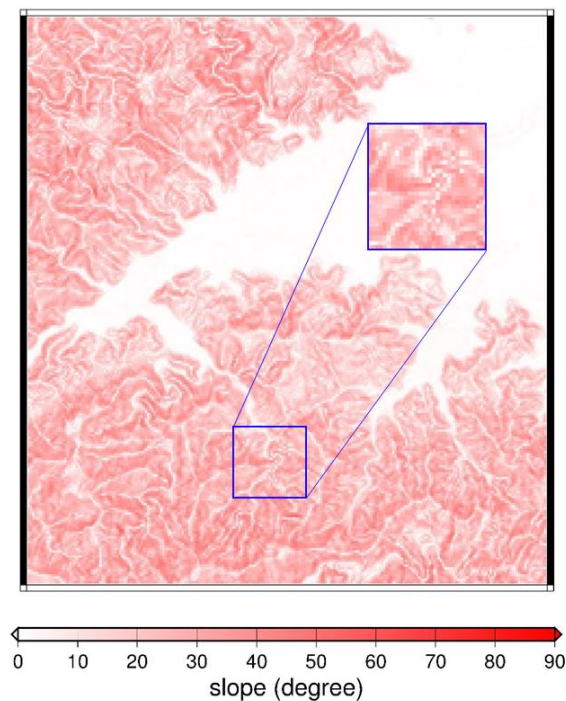
c_0 為待算網格點， S 為地形坡度值， e_i 為網格值， d 為網格單元大小。

本團隊將這四種方式分別套用在 80m 以及 1m 網格大小，其中 80m 之網格資料是由農林航空測量所 40m DEM 萃取而成(黃金維等，2003)，1m DSM 來源為自行利用 UAV 所產製，接著本團隊將圖 6 與圖 7 共 8 張圖做比較分析，如圖所示，圖 6 為 80m 網格大小之區域，圖 7 為 1m 網格大小之區域，這四種方法在網格較大之區域(圖 6)僅有些許差異，例如:用方法一之網格微分法與方法二之四鄰域法顏色

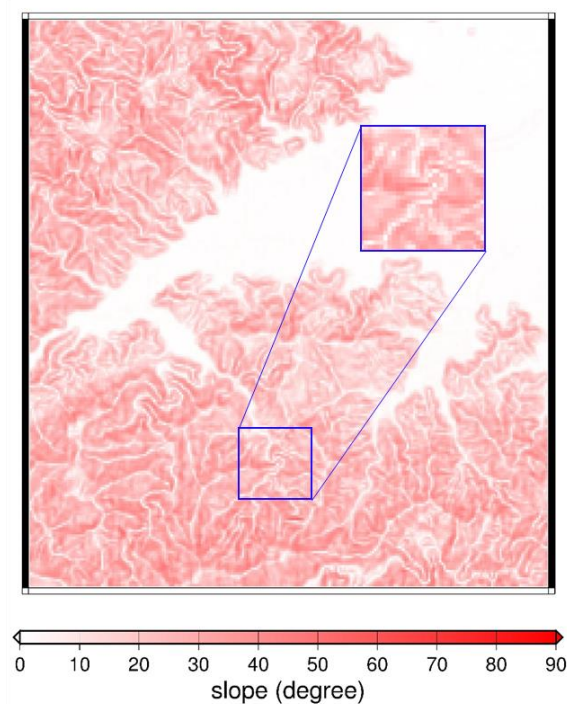
呈現比較粗糙，包含較多的雜訊，線條較不連貫，若局部放大來做觀察，大致上能判斷加權八鄰域法以及等權八鄰域法呈現較細膩，然而網格較細小之區域較分辨不出差異。經過比較分析後，本團隊認為四種方法中以加權八鄰域法與等權八鄰域法表現最佳，但僅以圖觀之並下最終結論稍有不妥，因此佐以相關研究來做探討，劉光恩(2009)在研究中利用真實 DEM 擬合成趨勢面，並重新製造 DEM，接著使用不同演算法所得出之坡度與坡向和以之的坡度坡向做比較，而證實 Horn's 演算法(加權八鄰域法)之平均誤差、平均絕對誤差以及均方根誤差在各趨勢面(平緩與陡峭地形)表現均是最佳，因此證明加權八鄰域法為精度較高之算法，因此後面所繪製之地圖全部皆由方法三之加權八鄰域法為準。



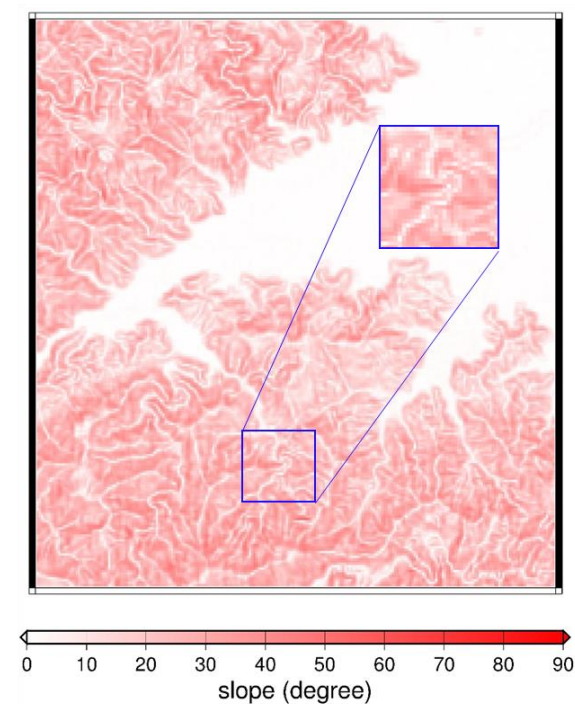
Grdgradient算法



四鄰域法



加權八鄰域法



等權八鄰域法

圖 6、宜蘭沖積扇平原部分區域 80m DEM 之四種算法坡度圖(縱橫軸座標系統為經緯度)，藍框為局部放大之區域。

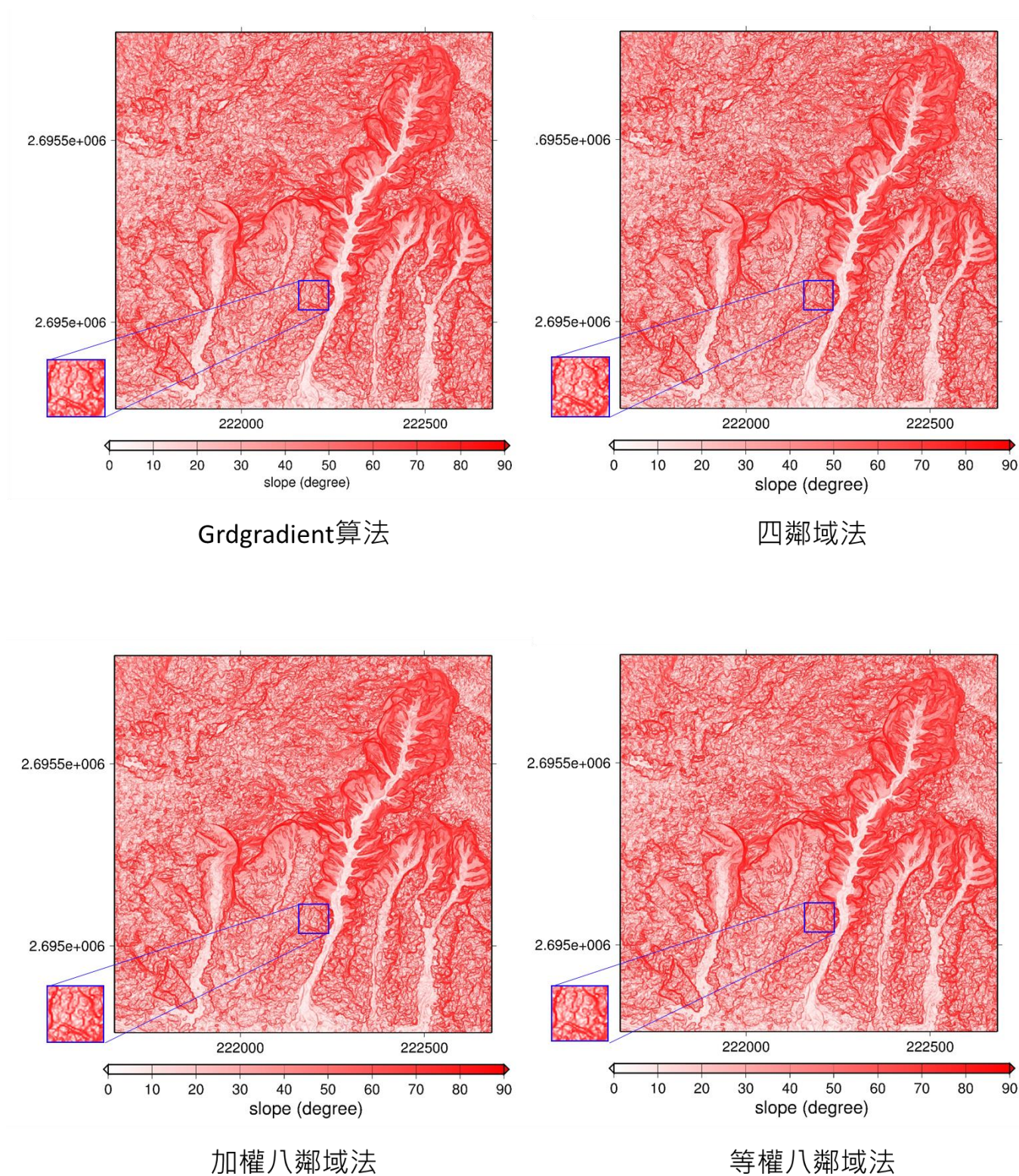


圖 7 苗栗火炎山 1m DSM 之四種算法坡度圖(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，藍框為局部放大之區域。

第二節 地形開闊值

本團隊近期對於開闊度公式部分為了定義罩窗半徑與地形對比值之使用規則有進行修改與測試，大致上雖能解決問題但仍然有其他缺點，因此本研究後續成果皆以原開闊度之算法為主，故本節仍先介紹原舊公式之原理，本章第二節末會再提及新公式之算法與缺失。

首先本團隊所定義之地形開闊度算法與 Chiba et al.(2008)不同，方法為計算待算網格點與範圍內周邊網格點之水平距離和高程差所形成的縱角並求其平均值，該平均值即為該待算網格點之開闊度值。以圖 8 為例，圖 8(a)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 ϕ (仰角)，但若點 A 位於山頂處(圖 8(b))，則點 A 與點 B 所構成之縱角為 $-\phi$ (俯角)，故本團隊之地形開闊度定義為山脊部分(地形開闊度佳)為負值，山谷部分(地形開闊度差)為正值，與地形坡度定義不同，開闊度有正負之分，其值範圍介於 -90° 到 90° 之間。

以下為地形開闊度之公式：

$$\text{地形開闊度值} = \frac{\sum_{i=1}^N \tan^{-1} \frac{S \times \Delta H}{\Delta D}}{N}$$

S 為地形對比值，作用為增加地形的起伏，本章後續會有詳細介紹。

ΔH 為與待算網格點之高程差。

ΔD 為與待算網格點之水平距離。

N 為單窗半徑內網格數。

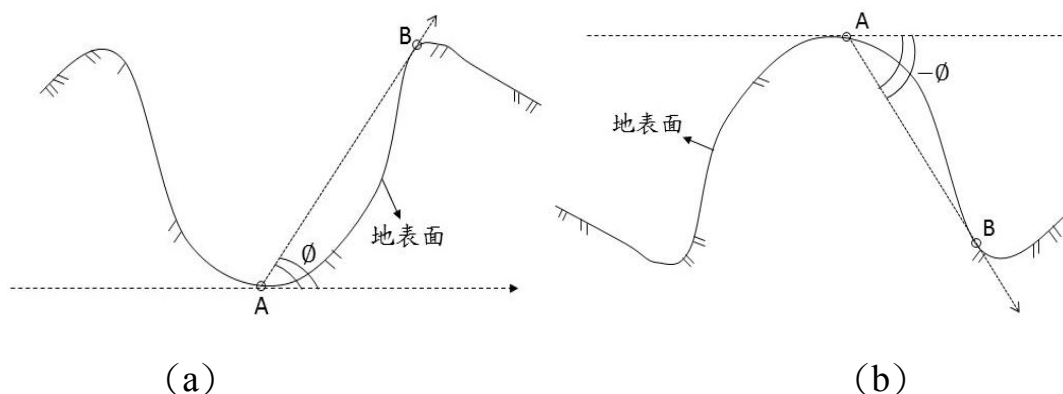


圖 8、(a)正地形開闊度示意圖。(b)負地形開闊度示意圖。

本團隊對地形開闊度定義為平均值，目的是為了待算網格點可以考慮到範圍內所有點位，與 Chiba et al.(2008)僅考慮八方位之最大最小值有所不同，該方法就有可能因為某一方位之點位與周遭之平均值過於懸殊導致開闊度值計算有誤差，因此本團隊以求取平均值的方式計算開闊度值。

H.O.S.T.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，其優點如圖 9 地形示意圖所示，點 A 與 A' 之高程與坡度值均相同，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。不過對於 H.O.S.T.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，以此來分辨不同地形狀態。

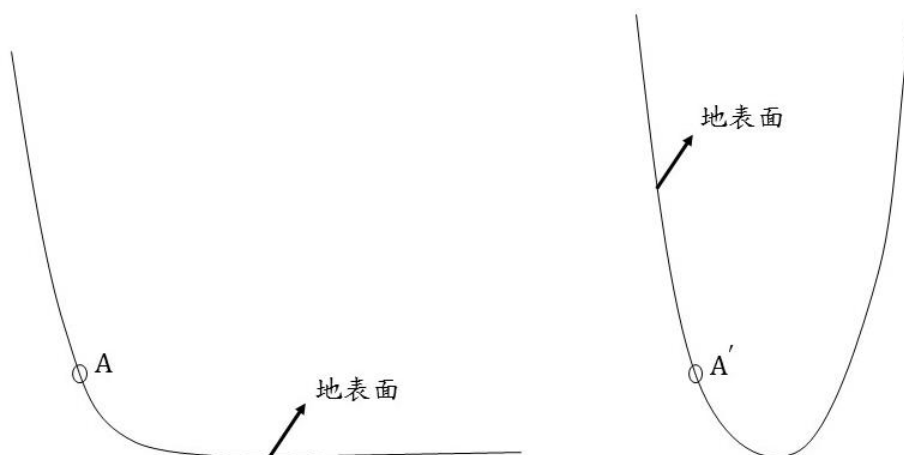


圖 9、地形示意圖，其中點 A 與點 A' 之高程值與坡度值均相同，但地形開闊度不同。

單窗半徑為本次研究特色之一，由圖 10 所示單窗會依照資料順序逐條計算出各個網格的地形開闊度，因此在計算地形開闊度之前，要先決定單窗半徑(W)之範圍大小，圖 11 為單窗半徑之示意圖，計算時以待算網格點 A 為中心， W 為單窗半徑其單位為網格個數，以單窗半徑 W 圍出之正方格內，所有網格點(小圈)與點 A 所構成的縱角值總和，再取其平均值作為本團隊之地形開闊度值(範圍介於 -90° 到 90° 之間)。

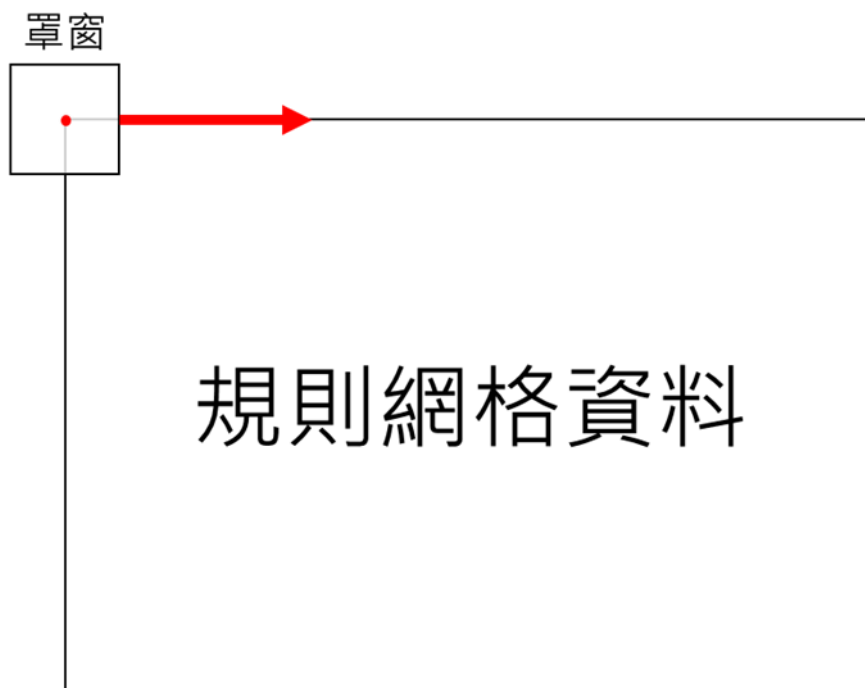


圖 10、罩窗掃描網格資料之示意圖，紅點為待算網格點，紅色箭頭為各待算網格點地形開闢度計算之方向。

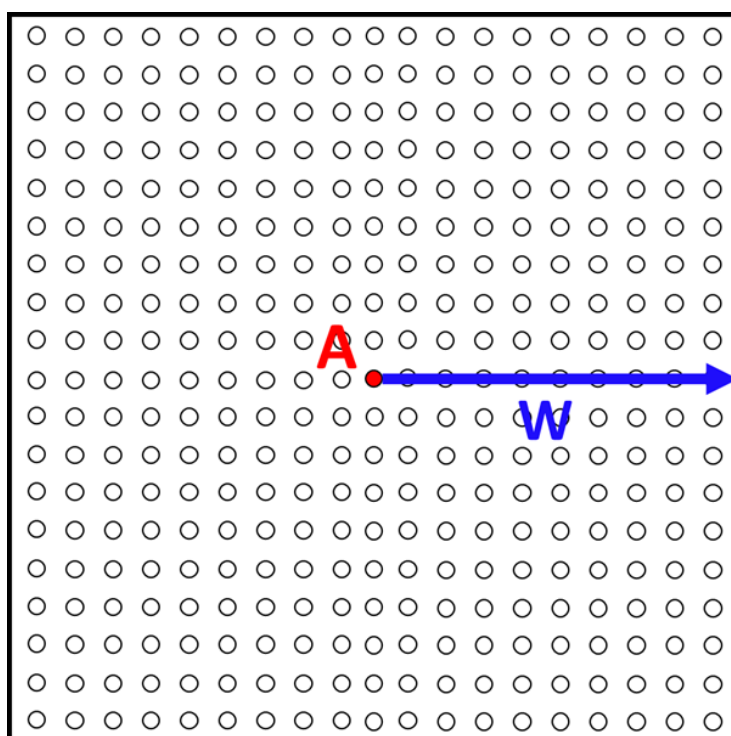


圖 11、罩窗內網格資料之示意圖，A 為待計算網格點，W 為罩窗半徑(單位:網格數)。

罩窗半徑(W)為非常重要之參數，會直接影響地圖的繪製結果，選擇不同罩窗半徑會對地形繪製有很大的影響，若罩窗半徑過小，無法完整搜尋到計算點周圍鄰近的地形網格點，計算出的地形開闊度便有所誤差，如圖 12 所示，假設有一地形要計算其開闊度，點 A 為待算網格點， W_1 為較短罩窗半徑， W_2 為較長罩窗半徑，計算地形開闊度時，若以 W_1 半徑計算地形開闊度，罩窗半徑會因設定過短而無法搜尋到點 B 所處地形，便會誤以為該地開闊度良好、顏色呈現偏白，不過若以 W_2 半徑作計算，罩窗半徑較長有涵蓋到完整谷地地形，所計算結果偏暗較為貼近正確地形。

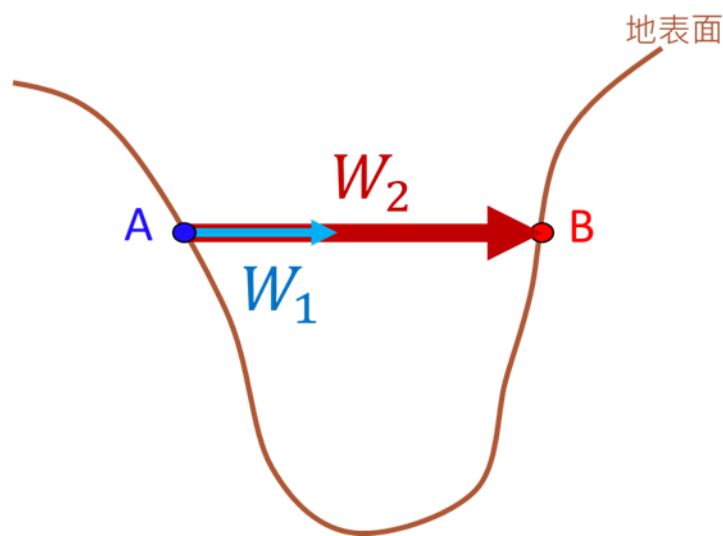


圖 12、罩窗半徑示意圖，點 A 為待算網格點，點 B 為任意點位，

W_1 為較短搜尋半徑， W_2 為較長搜尋半徑。

雖然較長的單窗半徑能囊括較完整之地形，但也不能為此涵蓋全部的網格資料，如圖 13 所示，若單窗半徑設定在 W_1 是最剛好之長度，而 W_2 則因設定過長除了需要多餘的計算時間之外也將導致地形的輪廓線變得較平滑。

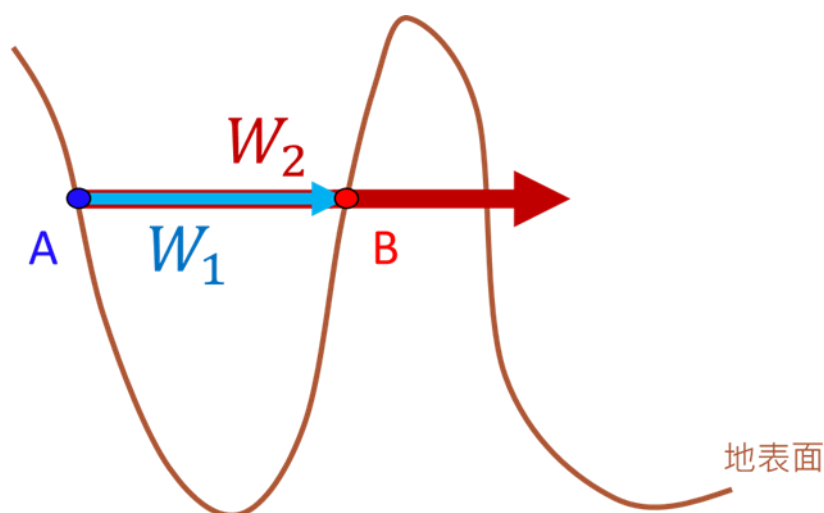


圖 13、單窗半徑示意圖，點 A 為待算網格點，點 B 為任意點位，

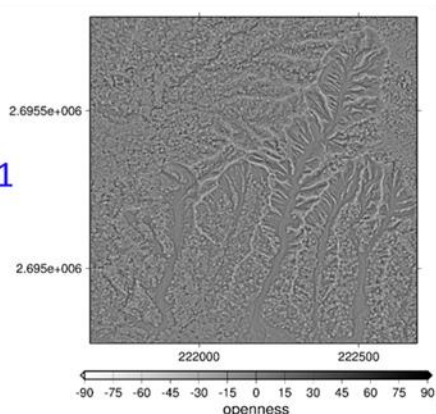
W_1 為較短搜尋半徑， W_2 為較長搜尋半徑。

圖 14 為不同單窗半徑所產製出地形開闊度圖，由圖中可以探知若單窗半徑設定過小，則地形雜訊過多，地圖呈現出較破碎的狀態，且失去該有的立體感，無法清楚知曉該地形之起伏狀態，反之若單窗半徑設定過大，地形之起伏會被平均化，地形呈現過於平緩，清楚的輪廓線也會糊化，從圖 14 中可以看出許多細微的地形特徵會消失，無法有效分辨地形起伏，因此設定過長之單窗半徑對於 H.O.S.T.地圖之呈現並無優勢，因此不同網格大小以及不同地形之樣區也必須選擇不同單窗半徑，而從圖中來看該示範例在相同之地形對比值(S)(本章

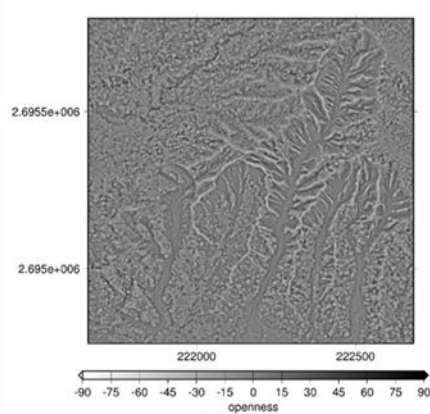
後面詳述)情況下，考量地形立體感與清晰度，罩窗半徑 30 與 40 為較適合之選擇。

由圖 14 之地形開闊度圖也可以看出相較於傳統地圖，此地圖能取代掉陰影圖，避免陰影圖之缺點卻保留其立體感及細緻感，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、沖蝕溝、地質斷層帶以及集水區等區域。

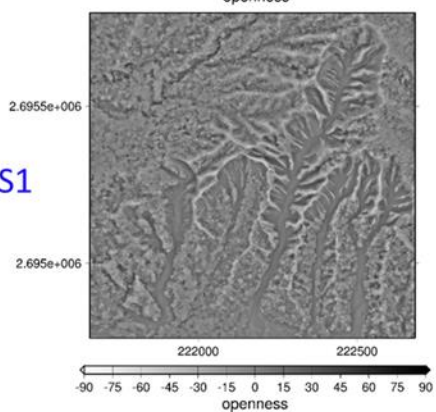
W8 S1



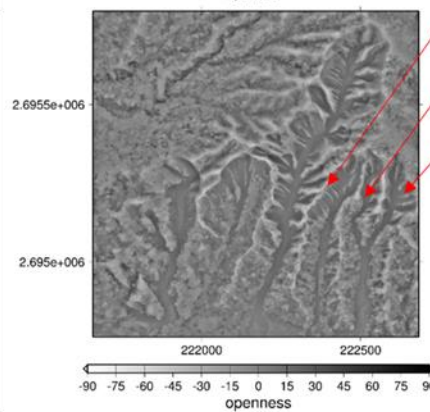
W10 S1



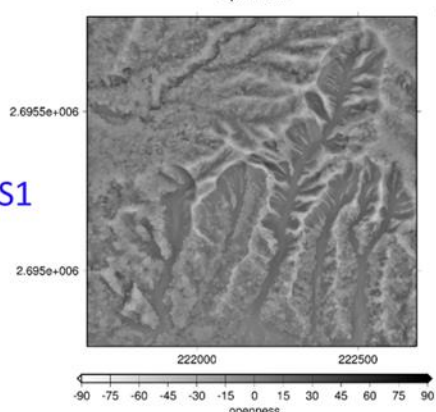
W20 S1



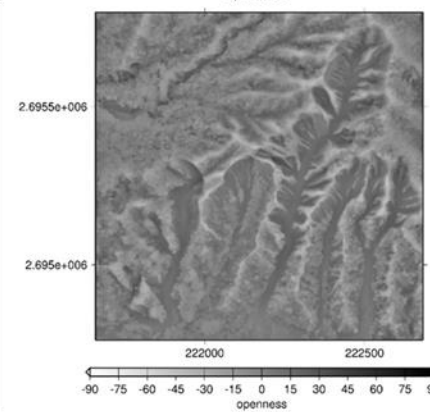
W30 S1



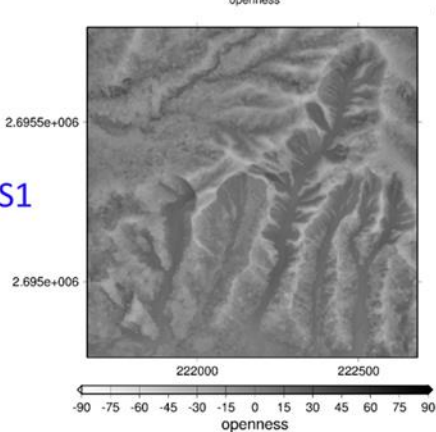
W40 S1



W50 S1



W70 S1



W100 S1

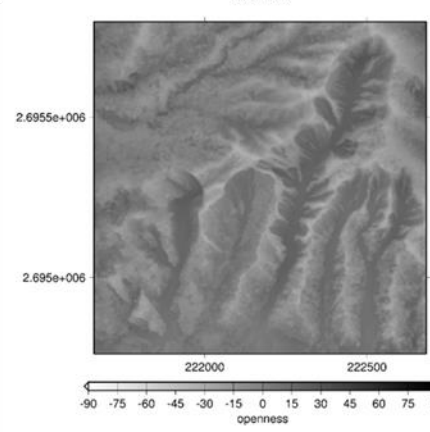
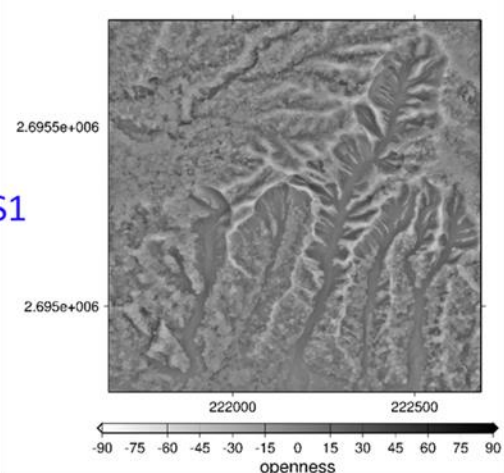


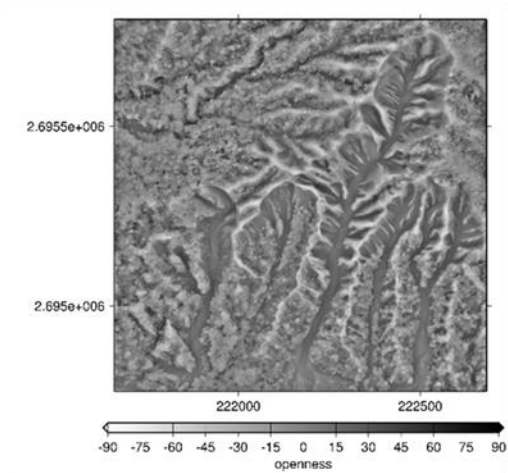
圖 14、不同單窗半徑所對應之地形開闊度圖(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中 W 為單窗半徑，S 為地形對比值。

另外在前述中本團隊對開闊度使用平均化的算法，因此為了讓地形起伏更加明顯本團隊增加地形對比值(S)這項參數，如圖所示，圖 15 為同樣的罩窗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 15 中可以看出 S 值越大輪廓線就越清晰，但值仍不能過大，若值取得太大會導致例如谷地地形太過黑暗以致於無法判釋，且黑白對比太過強烈對圖像判別也有困難。因此罩窗半徑(W)與地形對比值(S)會以網格大小、主觀視覺以及地形狀態去做抉擇，設定適當的值才能呈現較佳之 H.O.S.T.地圖。

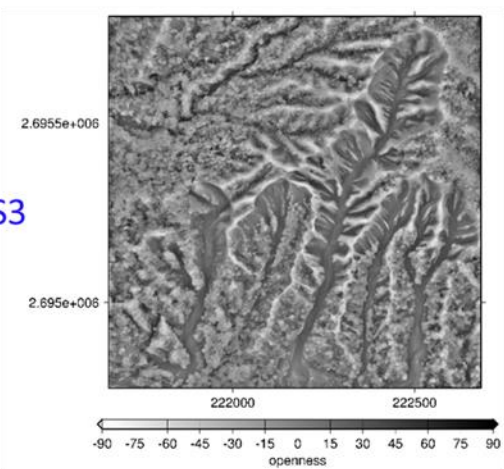
W30 S1



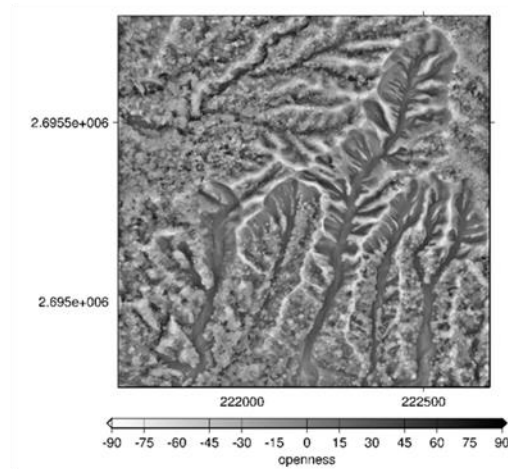
W30 S2



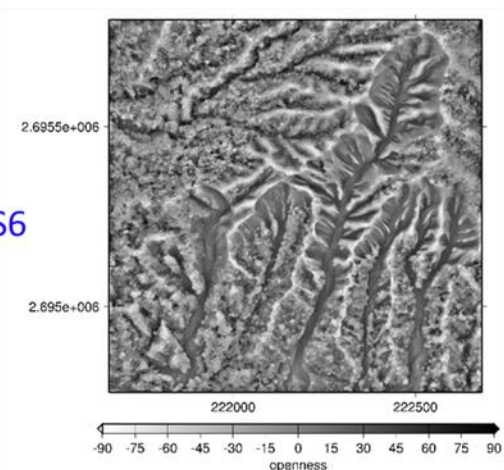
W30 S3



W30 S4



W30 S6



W30 S8

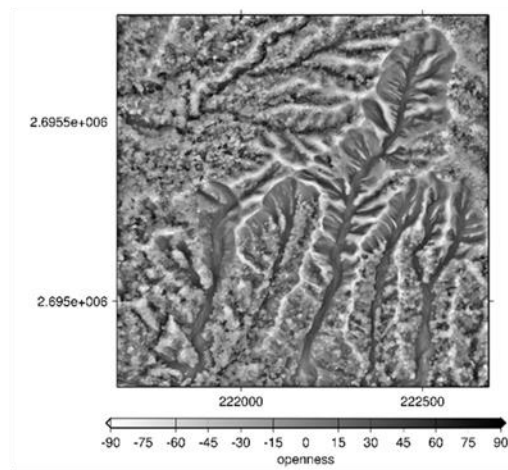


圖 15、同罩窗半徑不同地形對比值之地形開闢度圖(縱橫軸座標系統為 TWD97 座標(單位:m))，其中 W 為罩窗半徑，S 為地形對比值。

不過也因需要主觀判釋，在定義圖像是否呈現適當的情況下，會因為觀察者對於審美觀有不同的註解，進而導致所產製出的地圖有不同的結果，以及對於如何調整罩窗半徑(W)與地形對比值(S)尚未出現一個明確的規則，因此本團隊嘗試調整公式，原本必須計算一整個罩窗半徑內所有點位之縱角值，如圖 16 所示，吾人改取照窗半徑內之八方位的最大與最小縱角值，並將最大值與最小值相減得出最後的開闊度值，圖 17 為利用新公式所繪製之不同罩窗半徑的開闊度圖。因為只需要最大最小縱角值，因此罩窗半徑拉至一定長度後，角度的值域便會縮小，不再影響最終的極值，無論再增加多少罩窗半徑，縱角值也會被固定下來不再變化，如圖 17 中 $W250\sim W500$ 並無太大區別，只要將半徑設定成較大的值(例如: 1m 的 DEM, 半徑設定成 1km)，就可以得到最終開闊度值，且微地形不會因平均化之問題而變得模糊不清，反而適度彰顯開闊度的明暗變化(圖 18)，由於呈現結果較佳，於是吾人將地形對比值(S)從此公式中去除。但此程式仍要繼續做修改，只因將罩窗半徑增大，所需計算的點位也會變多，如此一來計算時間也會增加許多，因此後續章節之 H.O.S.T.地圖仍以原來之公式呈現。

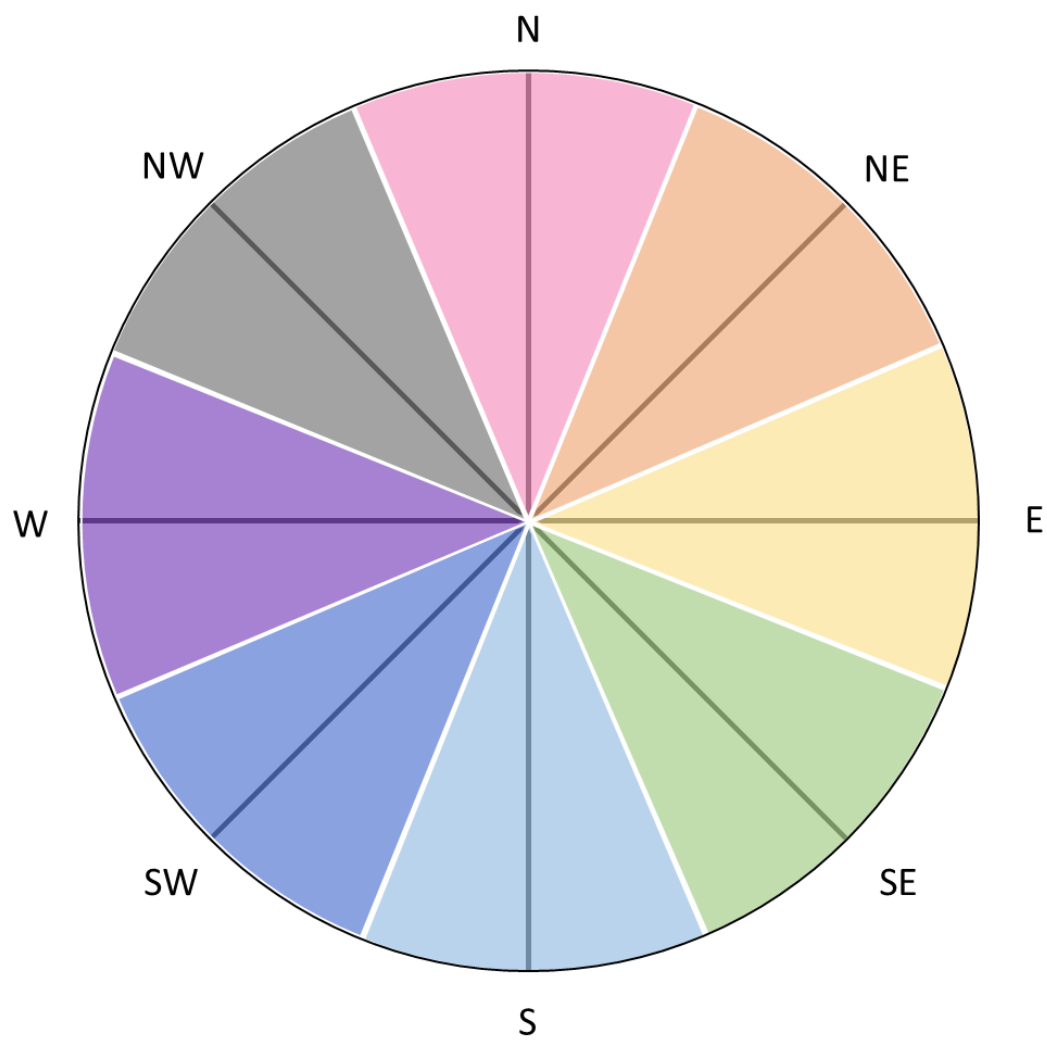


圖 16、八方位示意圖。

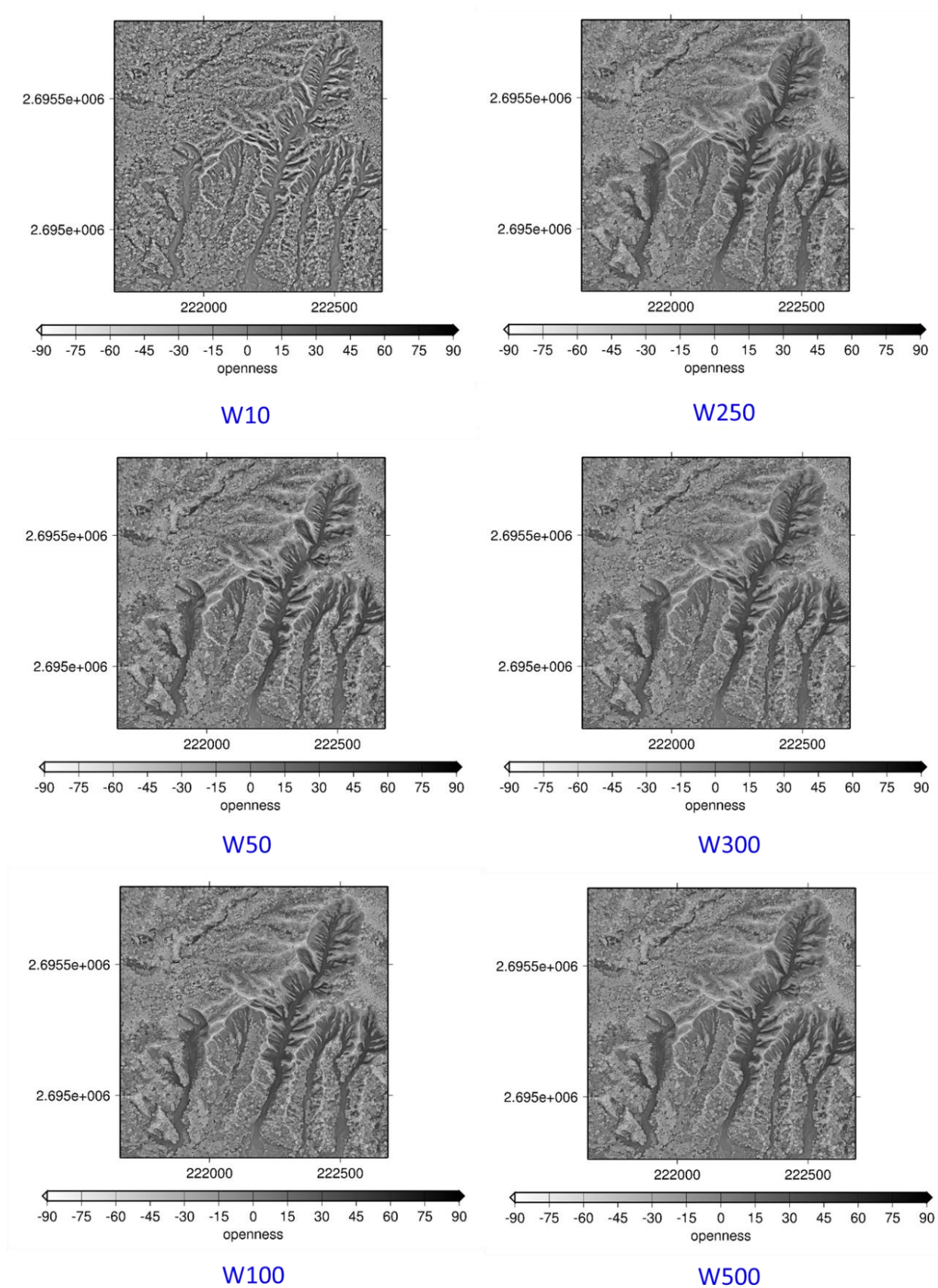
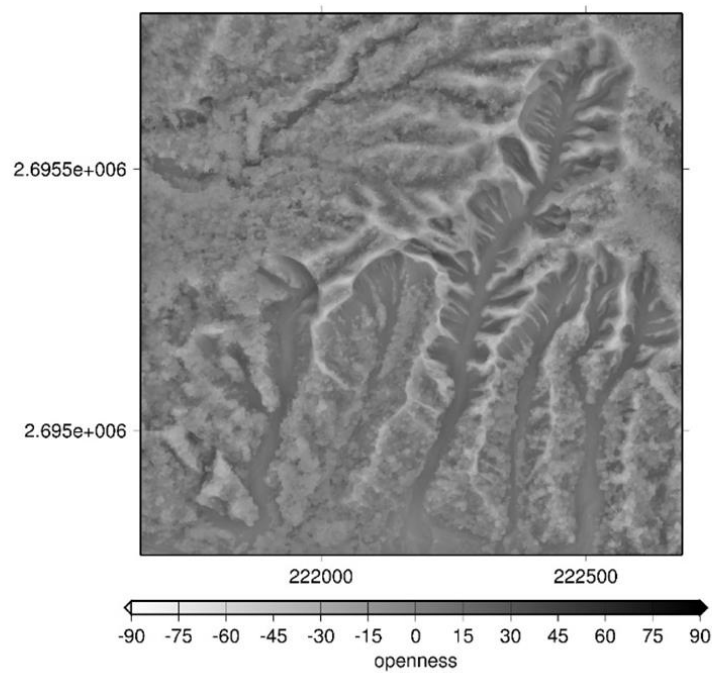
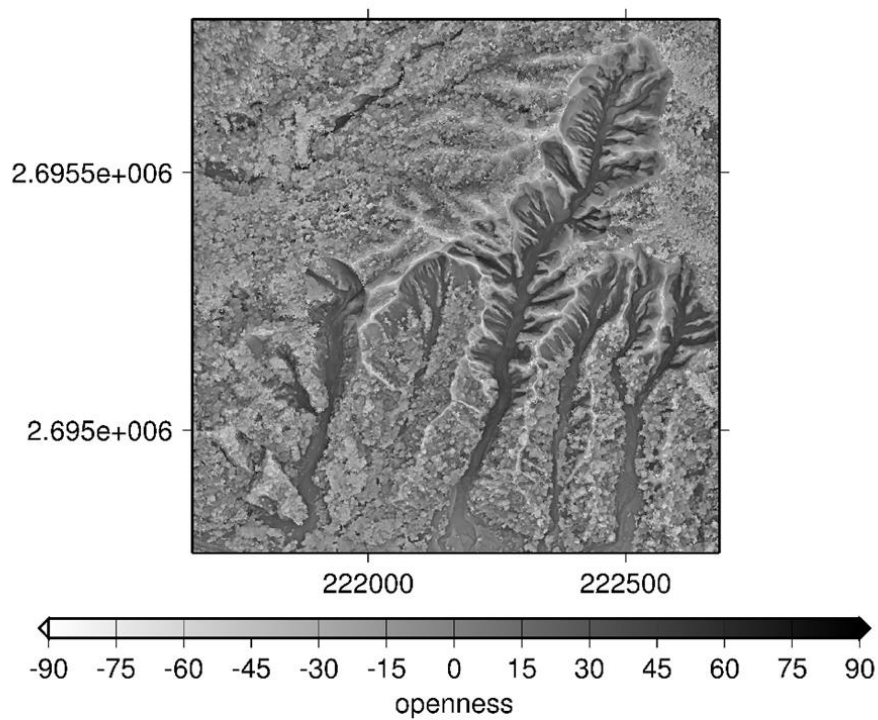


圖 17、不同罩窗半徑之開闊度圖。



W50(舊公式)



W50(新公式)

圖 18、罩窗半徑為 50 之開闊度圖，上圖使用舊公式(使用縱角平均值)，下圖為新公式(使用八方位)。

第三節 H.O.S.T 平面調色盤

本團隊所使用之 H.O.S.T 平面調色盤，如圖 19 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 x, y 軸範圍配置也與其不同，其橫軸為地形開闊度(單位:度)，範圍為 -90° 到 90° ，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，故顏色應模擬為較黑的顏色。調色盤的縱軸為地形坡度(單位:度)，其範圍為 0° 到 90° ，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。

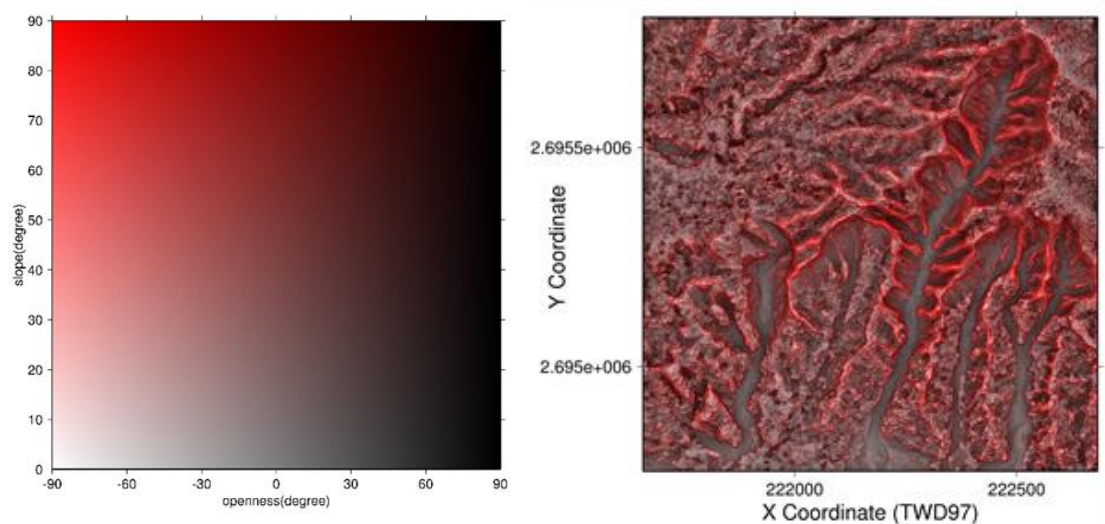


圖 19、本團隊之 H.O.S.T.地圖之平面調色盤 (左)，與相對應之地形繪製結果(右)。其中左圖中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為

地形坡度(單位:度)。

除了參考 Chiba et al.(2008)之顏色組合外，本團隊亦分析了其他配色組合如綠黑、藍黑等顏色對於地形呈獻結果。由圖 20 所示，綠色過亮會讓地圖輪廓線模糊，而雖然藍黑配色會有使地圖呈現清晰之效果，但選擇以紅色代表地形坡度，以及黑色代表地形開闊度之顏色組合，除了擁有最佳之地圖呈現成果之外，以紅色代表坡度也較容易讓人聯想到坡度地緩急程度，因此本團隊之後所有測試區域之分析，均採用此顏色組合。

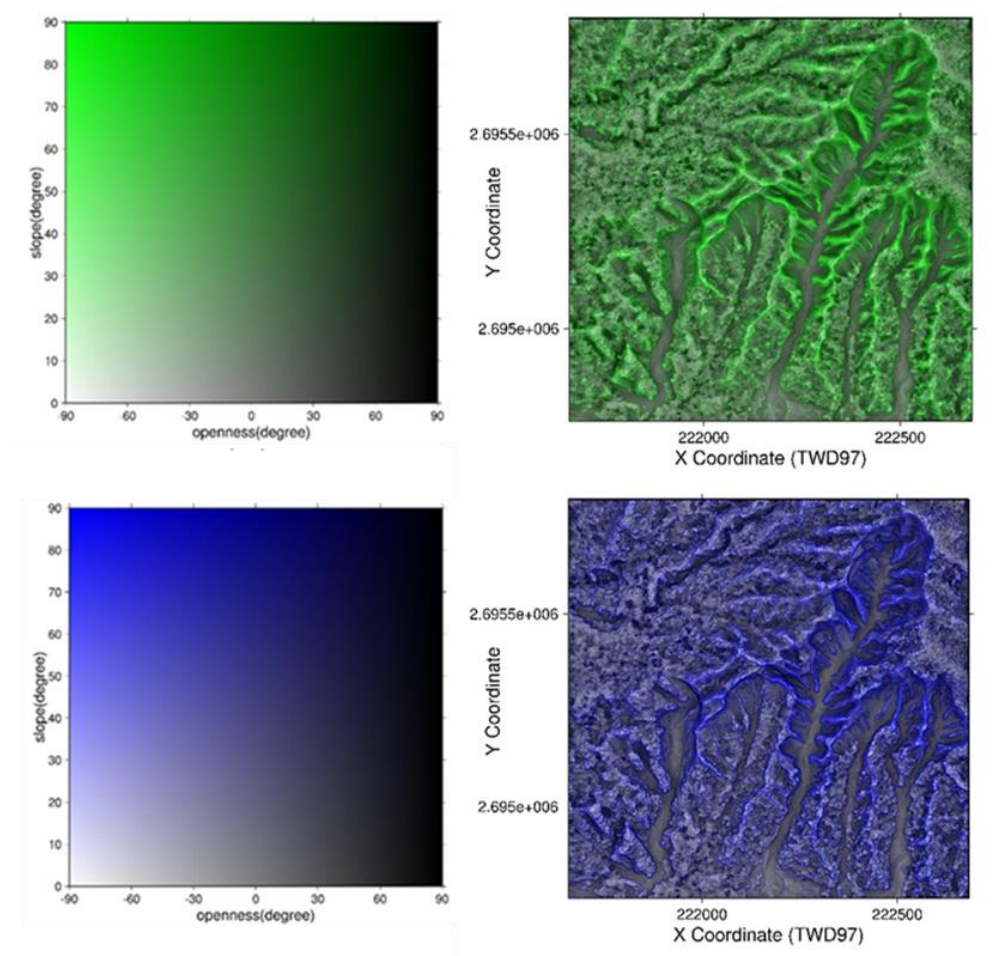


圖 20、本團隊之各種地圖調色盤(左)，與相對應之地形繪製結果

(右)。其中左圖中橫軸為地形開闊度(單位:度)，縱軸為地形坡度
(單位:度)。

本團隊之 H.O.S.T 平面調色盤除了可以自由更改顏色設定之外，對於調色盤之範圍設定也能隨意調整，原本地形開闊度範圍為 -90° 到 90° ，地形坡度之範圍為 0° 到 90° ，若將其範圍縮小對於地圖之繪製也有不同影響，圖 21 為本團隊之不同開闊度範圍及不同坡度範圍所組成之 H.O.S.T.地圖，其中本團隊挑選三種開闊度範圍及坡度範圍來做比較，由圖 21 可以明顯地看出若開闊度範圍值逐漸縮小，則黑白色層次會更加清楚，立體感更佳，此類效果與上述之地形對比值(S)有相似之作用，但調整調色盤範圍比調整地形對比值大小來的省時許多，因為在輸入地形對比值後需要一段運算開闊度值的時間，因此若要簡易更改地圖呈現方式，可直接設定調色盤範圍。同樣不能將範圍縮得過小，例如:谷地地形就會因過黑而無法判別，而坡度範圍縮得過小，地圖顏色會越紅，太紅就會導致誤判其坡度陡緩，故調色選擇要因地制宜。

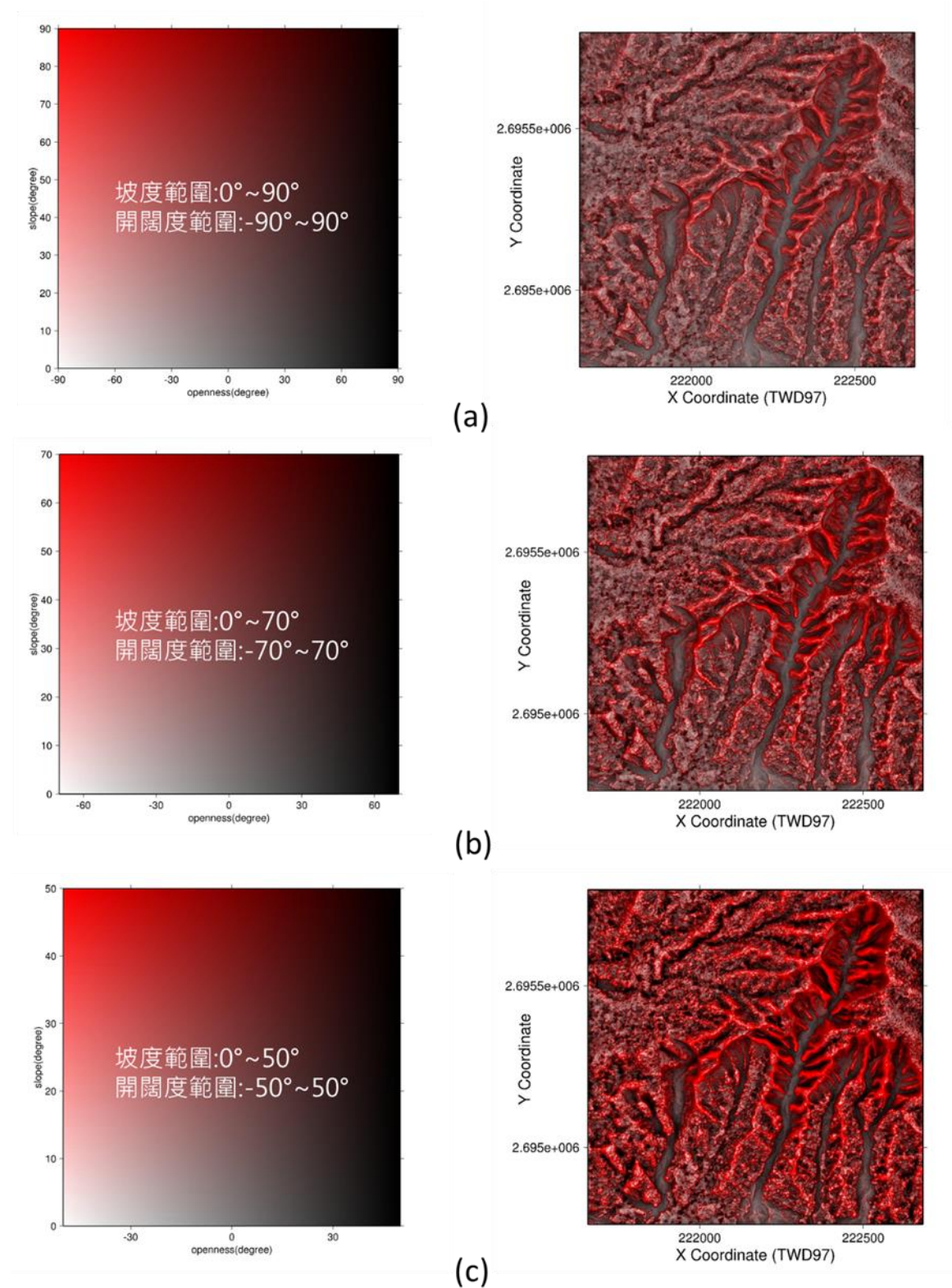


圖 21、不同調色盤範圍之 H.O.S.T.地圖。

第四節 H.O.S.T 立體調色盤

雖然利用 H.O.S.T 平面調色盤所繪製之 H.O.S.T 地圖，可以解決陰影圖之缺點並保留其優點，但卻因為沒有高程資訊，所以若想知道該地之高度變化就必須套用等高線圖或分層設色圖(Chiba et al.2008)，不過套疊等高線會導致整張地圖過於雜亂，對於解讀地形無半點優勢，而套疊分層設色圖則會在顏色方面混淆不清。本計畫期望能解決此問題，因此製作了立體調色盤，並用其產製出具有高程資訊的 H.O.S.T.地圖，如圖 22 所示，讓原有之平面調色盤增加 z 軸設為高程值變為立體調色盤，而其範圍依該地地形實際高程去做適當之設定，顏色配置從原底圖顏色逐漸增加綠色值至 255(RGB 配色: 0, 255, 0)，例如:平面調色盤之紅色(RGB 配色: 255, 0, 0)區塊加入綠色後變為黃色(RGB 配色: 255, 255, 0)，若該地地勢越高顏色越偏綠，以此來判斷高程，而若要更改為其他顏色來表示高程值亦可，如圖 23 所示，本團隊將高程值較低之處由白色(RGB 配色: 255, 255, 255)改為藍色(RGB 配色: 0, 0, 255)，因平面調色盤需增加藍色，因此紅色將會融合藍色變成紫色。另外本團隊有製作其他判定高程方式之地圖，例如將 H.O.S.T.地圖直接拉高成立體鳥瞰圖，其繪圖結果會在第五章第二節再做詳述。

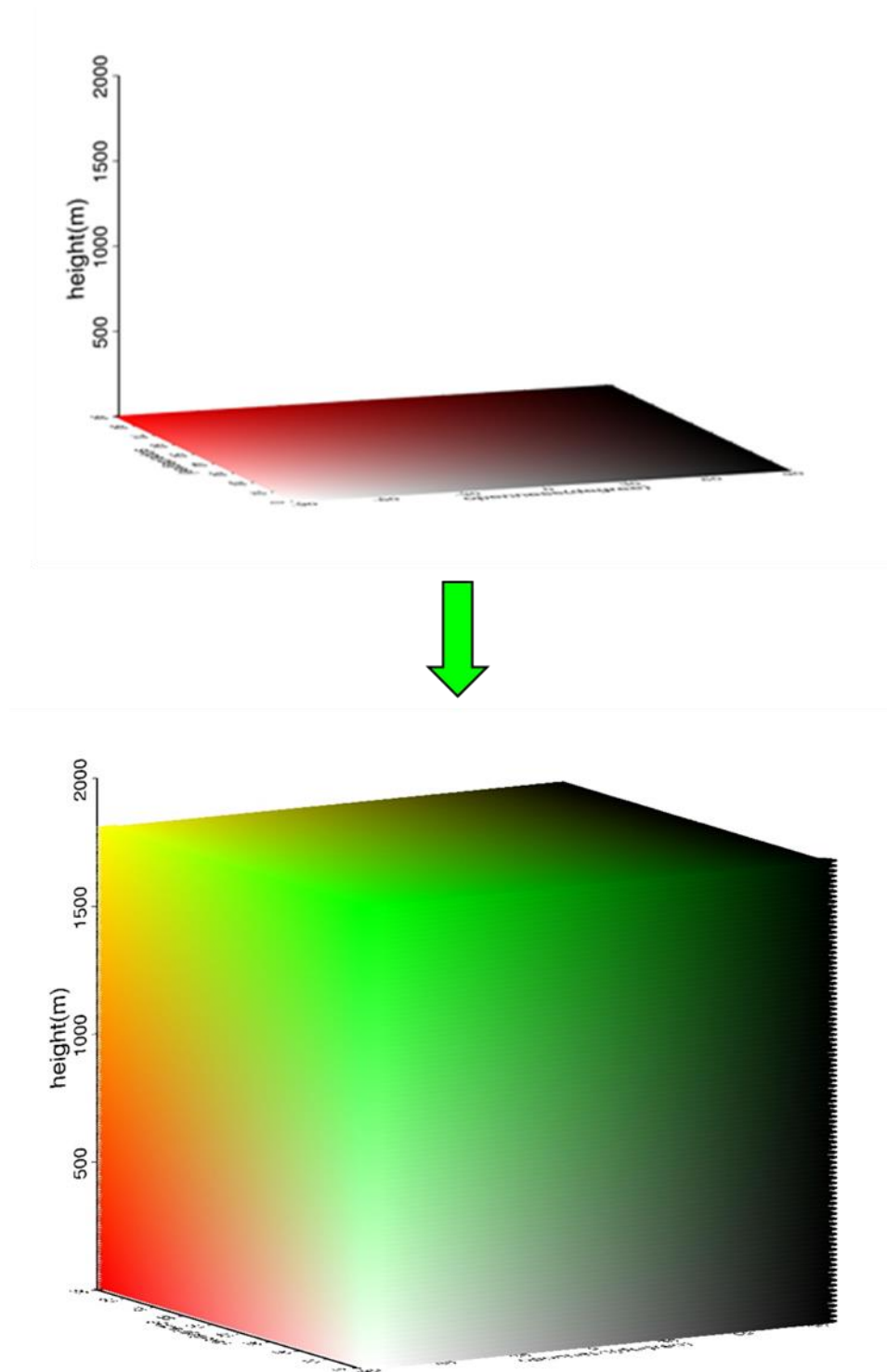


圖 22 將平面調色盤增加高程變為立體調色盤(白色至綠色)。

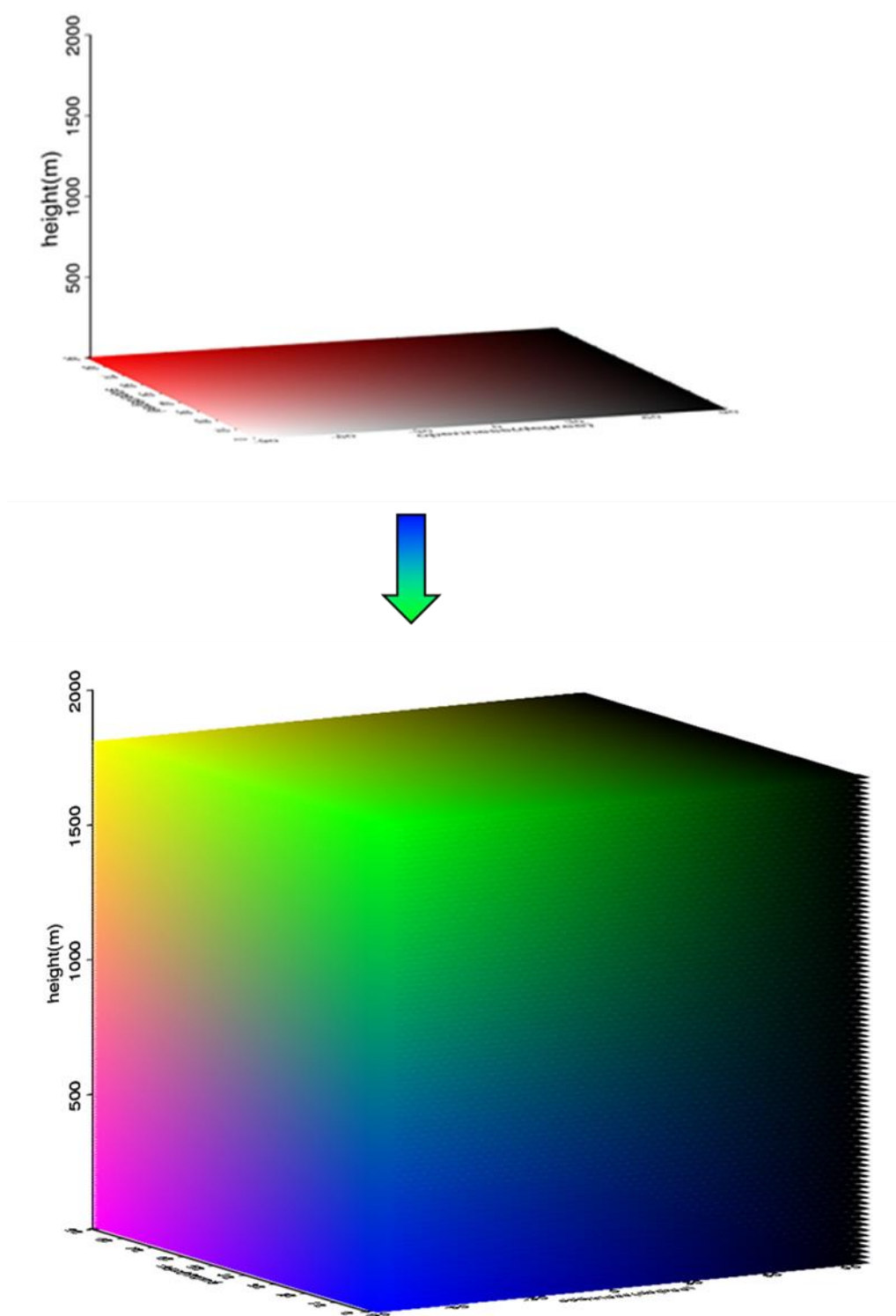


圖 23、將平面調色盤增加高程變為立體調色盤(藍色至綠色)。

第四章 研究樣區

台灣地形成因複雜，因此富含許多特殊地形，本團隊希望藉由自製之 H.O.S.T.地圖一窺其特殊地形狀態，並藉由地圖之優點發掘其他可應用之處。如圖 24 所示，圖中星號為各樣區位置，各編號對照表 2 中各樣區，表中也詳述各樣區之資訊。

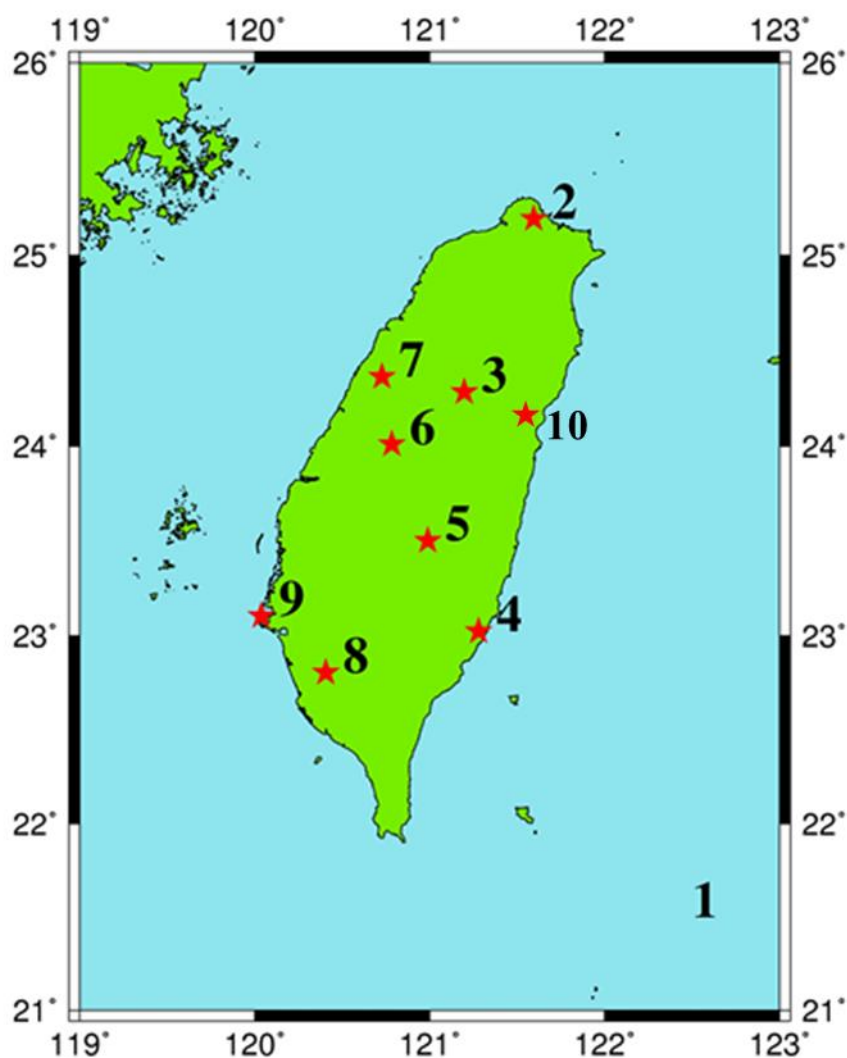


圖 24 各樣區位置分布圖。

表 2、各樣區網格大小資料與繪圖資料。

樣區編號	研究樣區	網格大小	罩窗半徑	地形 對比值	資料來源
1	台灣周遭海底 地形	9 秒 DEM	50	50	Hwang et al.(2007)
2	新北磺嘴山火 山口	5m DEM	20	3	農林航空 測量所
3	台中佳陽沖積 扇	5m DEM	30	10	農林航空 測量所
4	台東美蘭河階	5m DEM	10	3	農林航空 測量所
5	南投金門峒斷 崖	5m DEM	50	3	農林航空 測量所
6	南投九九峰	5m DEM	15	3	農林航空 測量所
7	苗栗火炎山	1m DSM	30	3	自製 UAV 航拍照片
8	高雄燕巢太陽 谷泥岩地形	20cm DSM	30	3	自製 UAV 航拍照片

9	台南頂頭額沙 洲	50cm DSM	15	3	UAV 航拍 照片
10	花蓮縣秀林鄉 新城山	1m DSM	60	3	自製 UAV 航拍照片

第一節 海底地形-台灣周遭海底地形

台灣位於歐亞大陸板塊以及菲律賓海板塊交界處，從一千五百萬年前開始菲律賓海板塊往西北方向擠壓歐亞大陸板塊，最後形成台灣，也因台灣附近板塊運動頻繁，造就許多豐富的海底地形。台灣海底地形大約分成四個部分，分別是西部、西南部、東部以及東北部，以下各部份之海底地形特徵如下：

- 1.西部:台灣西部大多為大陸棚地形，地形起伏不大較為平坦，深度約 100 公尺以內。
- 2.西南部、南部:由大陸棚向南坡度漸深，至南海盆地深度約有 2000m~3000m，坡度的變化量較大。
- 3.東部:深度約 4000m~6000m，因其為菲律賓海板塊隱沒之地帶，所以海底地形多變複雜。
- 4.東北部:位於台灣與日本之間，海槽內深度由北段至南段深度變化為 500m 至 2300m，而中段是較為崎嶇的地形，其鄰近的地形成帶狀分布。

(參考資料來源:科技部 ODB 海洋學門資料庫)

第二節 火山地形-磺嘴山火山口

台灣位在環太平洋火山帶，因此地震及火山爆發的發生機率都極大，對於火山災害之研究不可小覷。火山形狀大致可分為盾狀火山、鐘狀火山和錐狀火山等三種，本次研究之樣區磺嘴山(圖 25)位於大屯火山群陽明山國家公園內，因其外形呈圓錐狀，上段部分坡度較陡，下段部分較平緩，故屬於錐狀火山，磺嘴山頂有明顯的火山口，且具有火口湖，為台灣經典的火山地形。而在一旁的大尖後山(舊稱冬瓜山)為磺嘴山之寄生火山，不具有明顯的火山口，形狀為鐘狀火山。(參考資料來源:莊文星等(2008))



圖 25、磺嘴山影像(照片來源:台灣地貌-多面向台灣火山地質地形自然景觀數位典藏資料庫拓展)。

第三節 沖積扇-佳陽沖積扇

沖積扇通常坐落在山谷河流出口處，河流的泥沙到了下游因坡度減緩，流速減慢，導致泥沙慢慢堆積在平原或平緩處，久而久之便發展為沖積扇。本團隊以台中市佳陽沖積扇為樣區，如圖 26 所示，此區坐落於大甲溪支流下游以及大甲溪主流匯集處，材料以未膠結的礫石、砂、泥為主，但因大甲溪下切作用，使得沖積扇末端被侵蝕形成陡崖，也因此常被誤認為河階地形現正式更名為「佳陽切割沖積扇」。

(參考資料來源:國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源)



圖 26、佳陽沖積扇影像(照片來源:國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源)。

第四節 河階地形-美蘭河階

因河流的複雜作用，導致該地一直處於堆積、側向侵蝕以及下切作用，而影響河流的作用有很多原因，例如：斷層活動、海水面升降、氣候變遷以及人類活動等因素，這些都有可能影響河流沉積物的供應速率及搬運問題，進而造成堆積或侵蝕的後果，由這些複雜之因子反覆操作，最後產生河階地形。

（參考資料來源：台灣地質知識服務網）

本次河階樣區選在台東縣東河鄉的美蘭河階，如圖 27 所示，因周遭被北溪的大曲流環繞，狀似劇場，又名劇場河階，為全台階數最多的河階。

（參考資料來源：臺東縣東河鄉北源社區農村再生計畫）



圖 27、美蘭河階影像(照片來源：臺東縣東河鄉北源社區)。

第五節 向原侵蝕與河川襲奪-金門峒斷崖

河流因地形的變化使得侵蝕基準面開始往下降，而由於河床坡度變陡，流速加快，使得侵蝕作用加強，一開始侵蝕只發生在河流下游處，然後漸漸向上游源頭發展，即所謂向源侵蝕。而河川襲奪則發生在其中一條河流因發生向源侵蝕，源頭逐漸逼近另一條河流，並在最後搶奪其上源，搶奪者為襲奪河，被搶奪者為被襲奪河。

(參考資料來源：河川的新生命力—向源侵蝕與河川襲奪)

本團隊南投縣金門峒斷崖為研究樣區(圖 28)，此地區位於八通關草原之西側，主要成因是金門峒斷層通過以及陳有蘭溪強烈的向源侵蝕作用所致，然而也因陳有蘭溪的向源侵蝕作用非常強烈，加上此處岩性破碎，造成該地崩塌不斷，其與荖濃溪之間的分水嶺也不斷地往南移動，所以推測荖濃溪的上游終將被陳有蘭溪所襲奪。

(參考資料來源：國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源)



圖 28、金門峒斷崖影像(照片來源:國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源)。

第六節 礫質地質-九九峰、火炎山

首先要介紹的是礫質惡地地形，因為礫石的膠結不良，在降雨過後受到侵蝕形成沖蝕溝，溝紋下切之深邃如峽谷般，地勢起伏也比一般地形較為明顯，而突起處之外觀呈現鋸齒狀且坡度亦陡。臺灣這類地形，分布在南投九九尖峰(圖 29)、苗栗火炎山(圖 30)、高雄六龜十八羅漢山等地，而此三座山也被並稱為台灣三大火炎山地形。本次研究繪製南投九九峰與苗栗火炎山之 H.O.S.T.地圖。

(參考資料來源:苗栗火炎山之自然與人文考察紀)



圖 29、南投九九峰影像(照片來源:齊柏林攝影-台灣阿布電影公司)。



圖 30、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)。

第七節 泥岩惡地-太陽谷

泥岩地形在台灣最著名的地點為田寮月世界，而泥岩之所以被稱為惡地，主要有兩個原因，其一由於土壤的粒徑小而緊密、pH 值高、鹽分高和透水性低，能適應生長的植物種類稀少；其二因土壤顆粒排列緊密而導致的低透水性使雨水無法滲入泥土中，只好順流而下造成土壤沖蝕，並形成雨溝和溝蝕，最終使植物不易生長，地表荒涼猶如月球表面，故又稱月世界。

本團隊樣區以高雄燕巢太陽谷為例，如圖 31 所示，該地區屬台灣西部泥岩惡地形，由於受雨水沖擊，形成尖鋒利脊的地形景觀，泥岩裸露，稜脊和溝谷密佈是泥岩惡地形的一種特有景觀。山脊的坡面甚陡，往往在 60 度以上，平均亦在 $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 之間。

(參考資料來源:高雄鄉土教育服務、月世界泥岩惡地植物生態調查研究)



圖 31、燕巢太陽谷影像(照片來源:數位島嶼-拍攝者 Lily Su)。

第八節 沙洲-頂頭額沙洲

受到河流、湖泊或沿海波浪、水流、海流等堆積作用影響所形成的細長筆直的堤狀砂礫沉積地形，稱為沙洲，這類現象通常會發生在淺水處。本團隊樣區選在台江國家公園的頂頭額沙洲，如圖 32 所示，為一臨海沙洲，七股內海南端的屏障，由台灣西部河川所沖積出來的砂土，經過台灣海峽海浪挾帶這些砂土，長年累月地堆積而漸漸露出海面所造成狹長狀沙洲。

(參考資料來源:台江國家公園)



圖 32、頂頭額沙洲影像(照片來源:台江國家公園)。

第九節 礦區-亞洲水泥新城山礦場

圖 33 為亞洲水泥之新城山礦場位在花蓮縣秀林鄉，且礦區內有土石流潛勢溪流與山崩地滑地質敏感區，因此對於其安全性有些疑慮，雖然亞洲水泥公司有對坡面進行植生復育之相關工法，且根據該公司之敘述在挖掘其間並無發生任何災害，但對於坡面之穩定性仍須多加探討。



圖 33、亞洲水泥新城山礦場(照片來源:亞洲水泥)。

第五章 研究成果

第一節 各樣區之 H.O.S.T.地圖(以 DEM 繪製)

一、台灣周遭海底地形

研究範圍:經度:118°E~124°E 與 緯度:20°N~27°N

座標系統:經緯度

區域大小:約 610.7km x 775.9km

高程範圍:-6627.13m~3904.16m

圖 34 為台灣周遭海溝之分層設色陰影圖，在前述中(第一章第一節)有提到陰影圖容易造成地形上凹凸誤判以及陰影對於地形之遮蔽，儘管成圖(圖 34)看似不錯，但只考慮單方向之光源所製造之陰影圖仍為不妥，且陰影會加深原本色彩導致顏色加深容易誤以為是不同高程色塊，因此以 H.O.S.T.地圖(圖 35)取代陰影圖便可以保留其優點且改善其缺點。圖 35 中可以看出西部地形較為平坦，而越往南部地形便往下凹陷，可以看出南海盆地的輪廓。越往東部因遭受菲律賓海板塊擠壓，海底地形起伏就越複雜，在黃圈中海溝的形狀清晰可見，相較於圖 34 僅能判釋出凹陷地形，H.O.S.T.地圖更能將溝狀地形勾勒出來。為了將廣大的海底地形更完整地呈現，本團隊刻意將罩窗半徑調長，以及增大地形對比值，因此陸地山區地形看起來較為模糊及深邃。

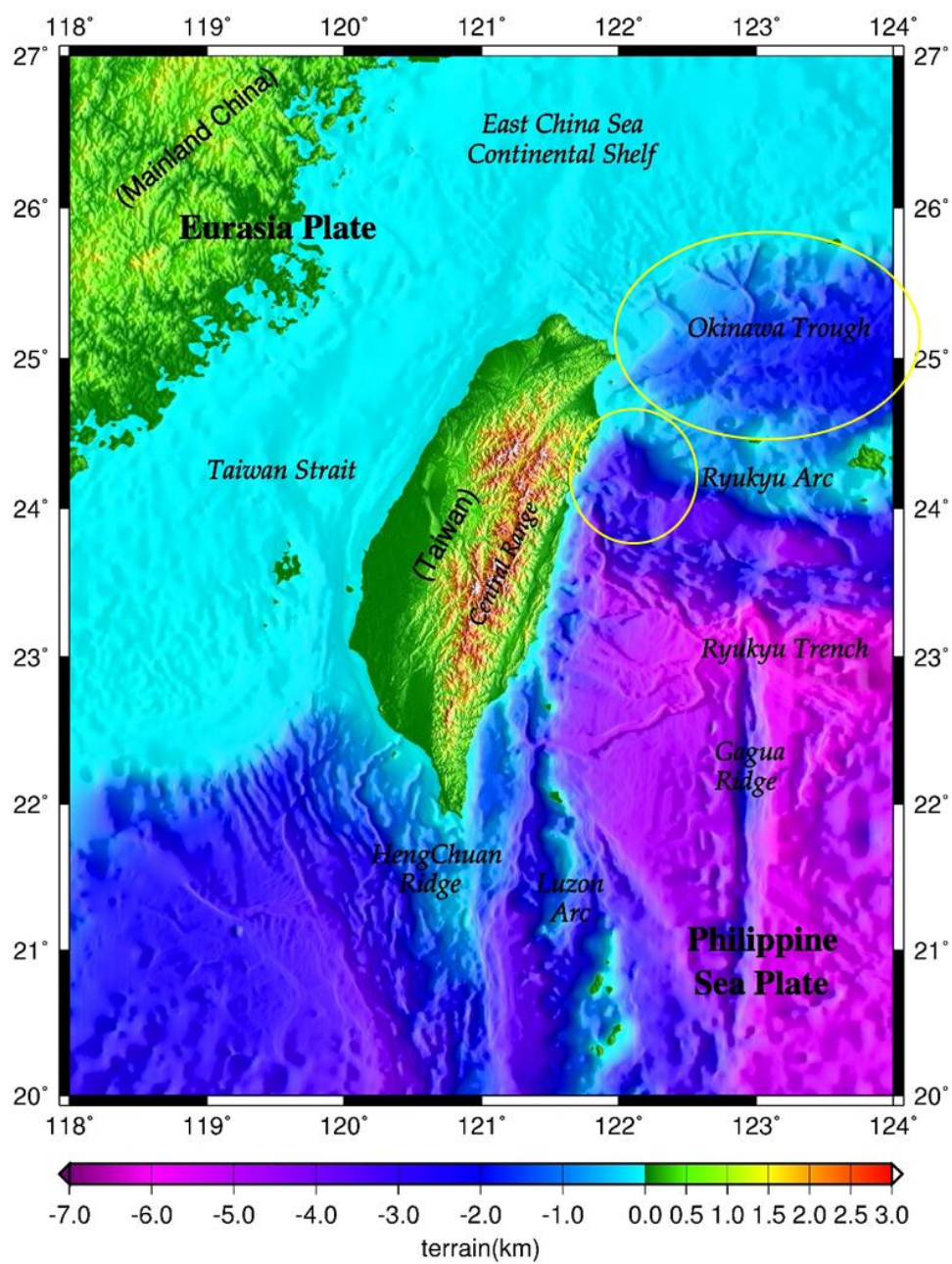


圖 34、台灣周遭海溝之分層設色陰影圖。

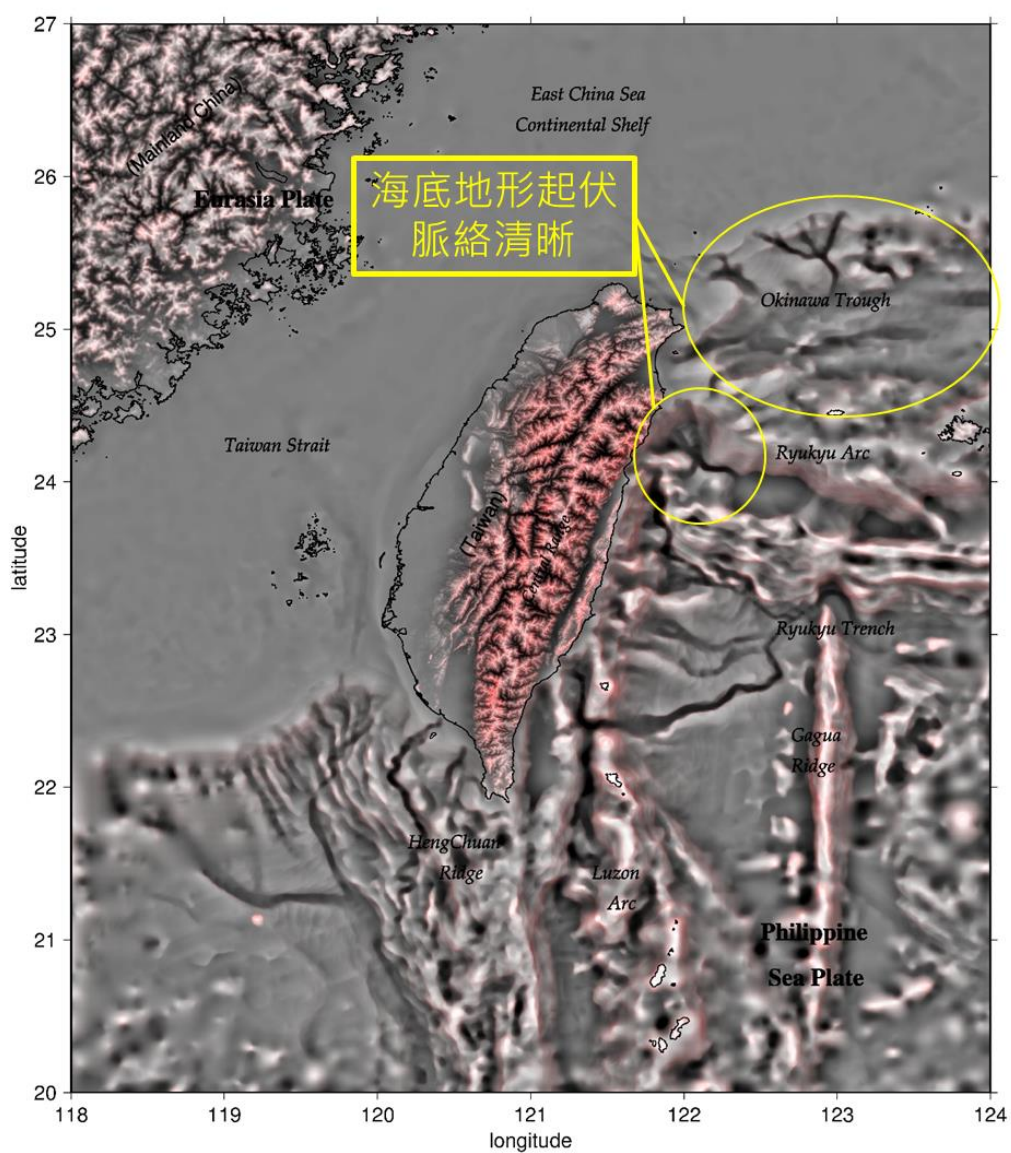


圖 35、台灣周遭海溝之 H.O.S.T.地圖。

二、新北磺嘴山火山口

研究範圍:X 軸:308130~314340m 與 Y 軸:2783655~2788420m

座標系統:TWD97

區域大小:6210m x 4765m

高程範圍:56m-919m

磺嘴山因火山口清晰可見為較經典之火山地形，如圖 36 所示，其火山口輪廓可以從衛星影像中簡易判斷出來，而在磺嘴山西南方還有一座鐘狀寄生火山，此山為大尖後山，因其形狀較為破碎且不具明顯火山口，所以單從衛星影像便無法辨識為火山地形。

繪製成 H.O.S.T.地圖(圖 37)後首先可以清晰地分辨出磺嘴山火山口的形狀，其火山口北方有個缺口，如圖 38 所示，此缺口為一條細微之溪溝，再者觀看整體山勢，磺嘴山大致上呈現錐體狀，與第四章第二節所述錐狀火山之形狀吻合，而大尖後山從 H.O.S.T.地圖上稍微能辨識出其火山口位置，且從坡度顏色變化來判別其形狀為類似鳥籠狀之鐘狀火山，兩者火山形狀之差異在平面地圖中顯而易見，只因 2D 之 H.O.S.T.地圖可以表現出 3D 之效果。



圖 36、礪嘴山與大尖後山之衛星影像。

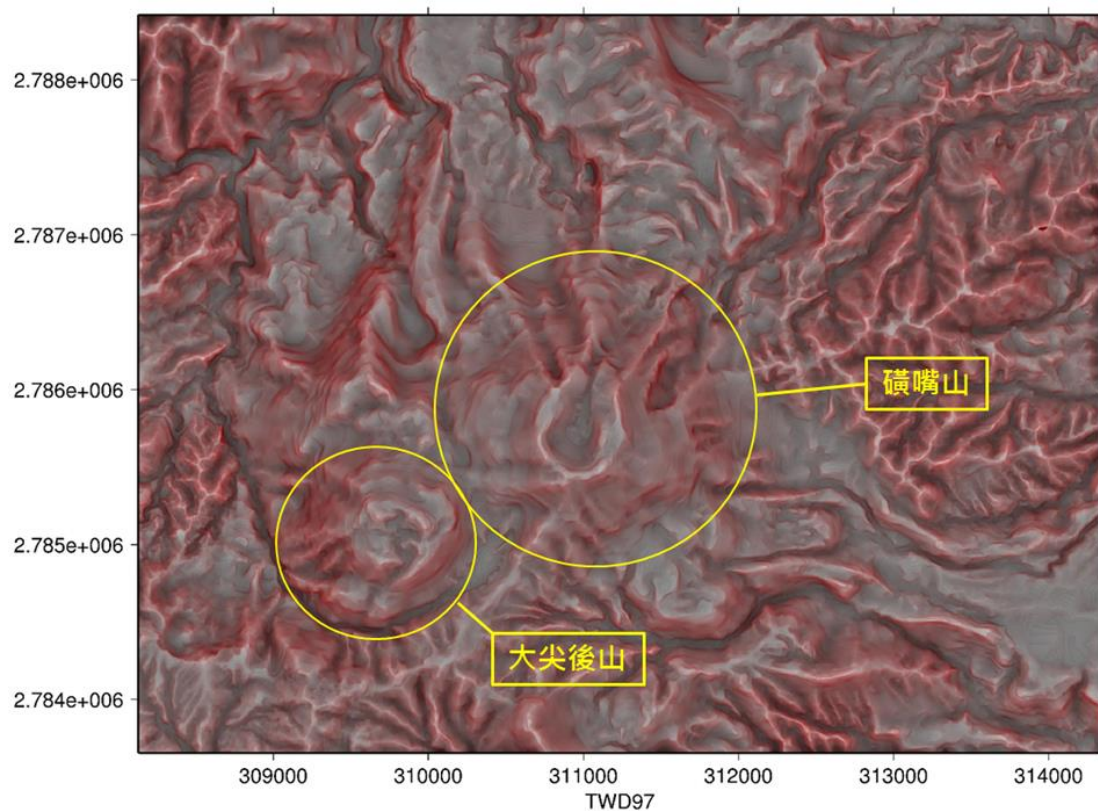


圖 37、礪嘴山與大尖後山之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈為火山位置。

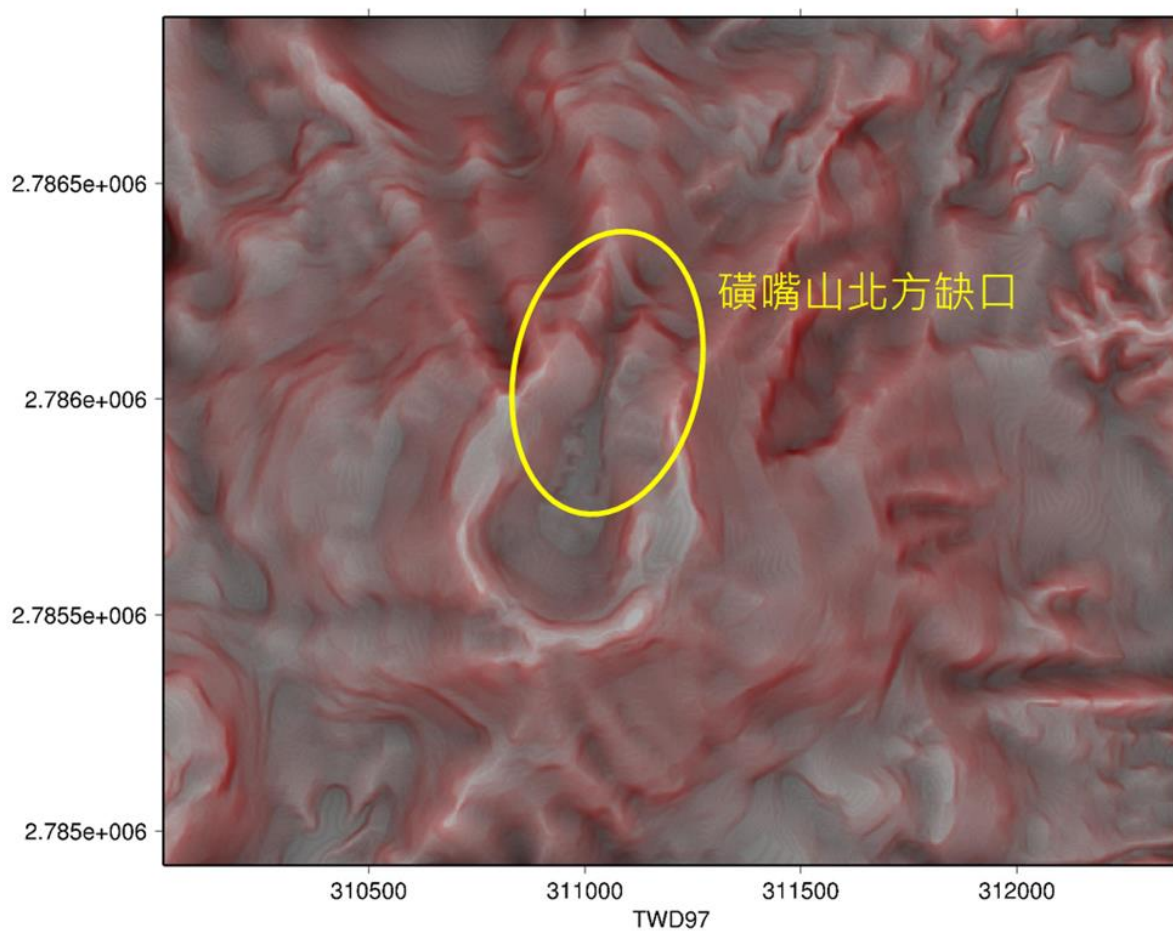


圖 38、磺嘴山之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈內為北方缺口之位置。

三、台中佳陽沖積扇

研究範圍:X 軸:269990~274885m 與 Y 軸:2683370~2686390m

座標系統:TWD97

區域大小:4895m x 3020m

高程範圍:1407m-2070m

圖 39 為佳陽沖積扇之衛星影像圖，雖然從圖中有農田房舍大致上可以猜測其地勢平緩，但將其繪製成 H.O.S.T.地圖(圖 40)更可以觀察出圖的中間有明顯的三角形之區域，而此區域位於一河道之末端，是標準的沖積扇地形，而其沖積扇末端有類似河階的地形，則是因為受到大甲溪下切作用所產生的。另外 H.O.S.T.地圖對於劃分地形邊界以及萃取沿岸線條有很大的助益，如圖中河道與山地劃分清晰，邊界線條明顯，能用於河道長寬之判釋。



圖 39、佳陽沖積扇之衛星影像。

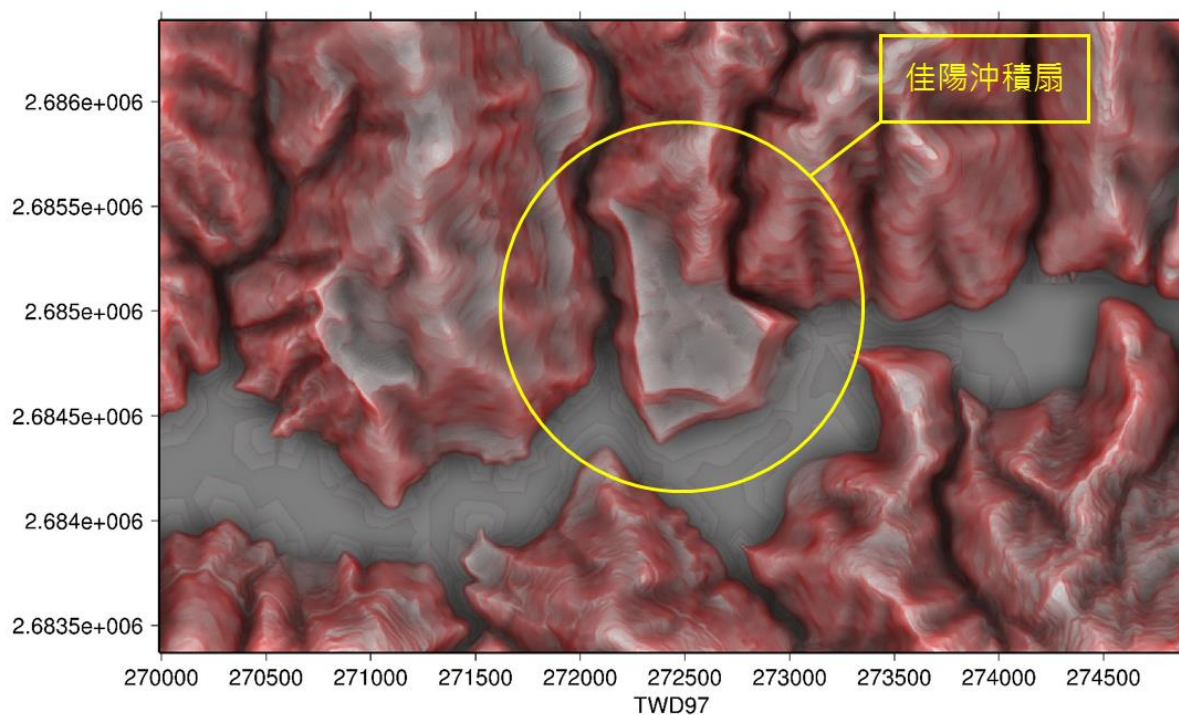


圖 40、佳陽沖積扇之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈內為沖積扇之位置。

四、台東美蘭河階

研究範圍:X 軸:278095~279450m 與 Y 軸:2546220~2547700m

座標系統:TWD97

區域大小:1355m x 1480m

高程範圍:71m-195m

河階地形的階段高程差不大，若只以傳統平面圖便難以觀察出其階段地形，如圖 41 的衛星影像圖，圖中無法分辨出地形起伏狀態，且因為植生覆蓋以及顏色複雜，連判斷河道位置都有困難，就算繪製成分層設色圖也無法分辨出階差僅數公尺之河階，賦予此圖的立體感可以更簡易地判釋地形狀態，因此本團隊將其繪製成圖 42 之 H.O.S.T. 地圖，黃圈為美蘭河階之位置，若要判別河階的階段在何處，只要細數坡度顏色較紅之階狀邊緣線就能判斷出來，H.O.S.T.地圖中可以觀察到河道確切位置，如圖中右下角紅圈有一明顯河道但在衛星影像無法觀測出來，且比起佳陽沖積扇之河道，此區因地質不同其沿岸邊界較乾淨俐落，無太多稜角突出。



圖 41、美蘭河階之衛星影像，黃圈為美蘭河階位置，紅圈為一河道。

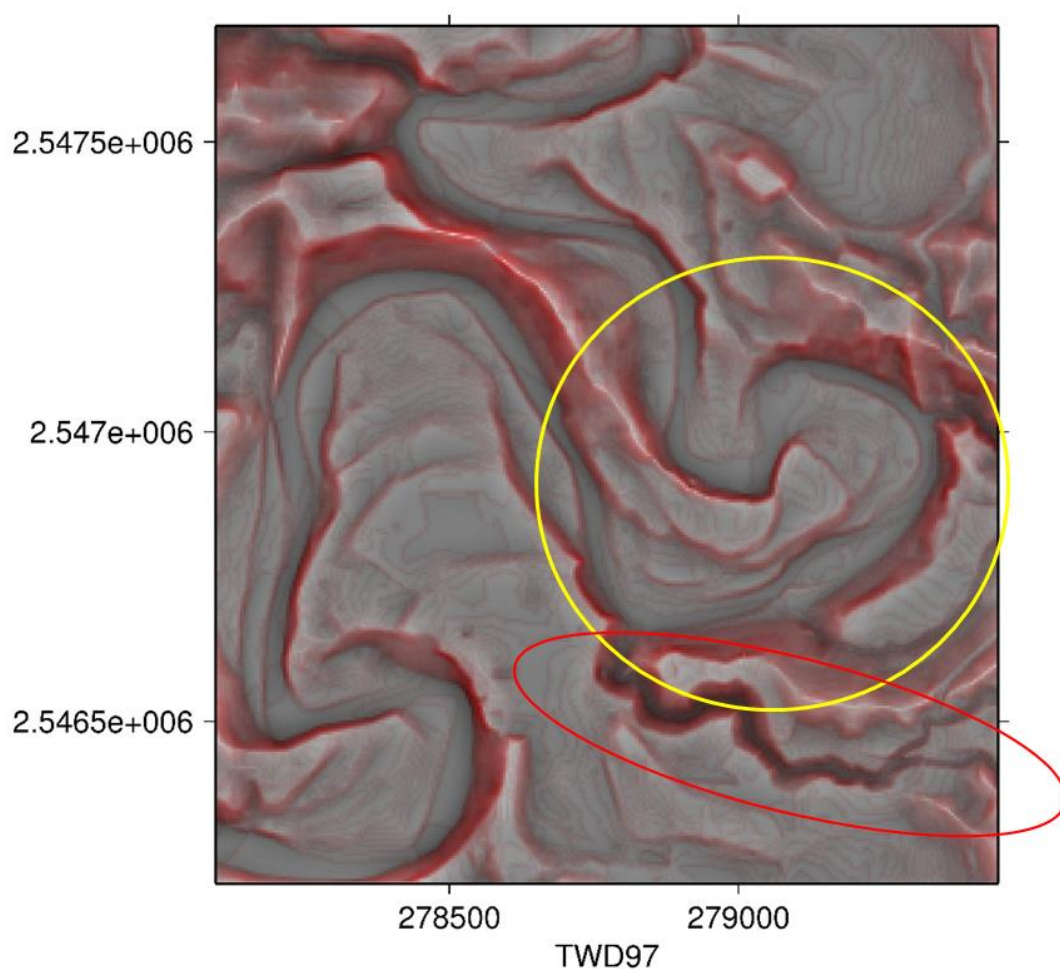


圖 42、美蘭河階之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈為美蘭河階位置，
紅圈為一河道。

五、南投金門峒斷崖

研究範圍:X 軸:242120~252160m 與 Y 軸:2594035~2602080m

座標系統:TWD97

區域大小:10040m x 8045m

高程範圍:1247m-3949m

圖 43 為金門峒斷崖之衛星影像，圖中有標示斷崖、陳有蘭溪以及荖濃溪之位置所在，黃圈內的裸露地就是陳有蘭溪的上游發源地，本團隊之 H.O.S.T.地圖因對於地形線條的勾勒有明顯的效用，因此產製出圖 44，其中可以探知各嶺線的分布及走向，因脊線顏色呈現偏白，對於分辨集水區的範圍大小有極大的用處，而從圖中紅圈內來看陳有蘭溪因向源侵蝕的緣故其源頭逐漸朝荖濃溪接近，白色的嶺線將不斷南移，大致上能推測中終有一天荖濃溪會被襲奪，若擁有不同時間之 DEM 就可以繪製成 H.O.S.T.地圖，並計算出嶺線的變化量。圖中有標示出玉山之位置，而其附近之岩質裸露，在 H.O.S.T.地圖中也能判別出不同岩質地形狀態。

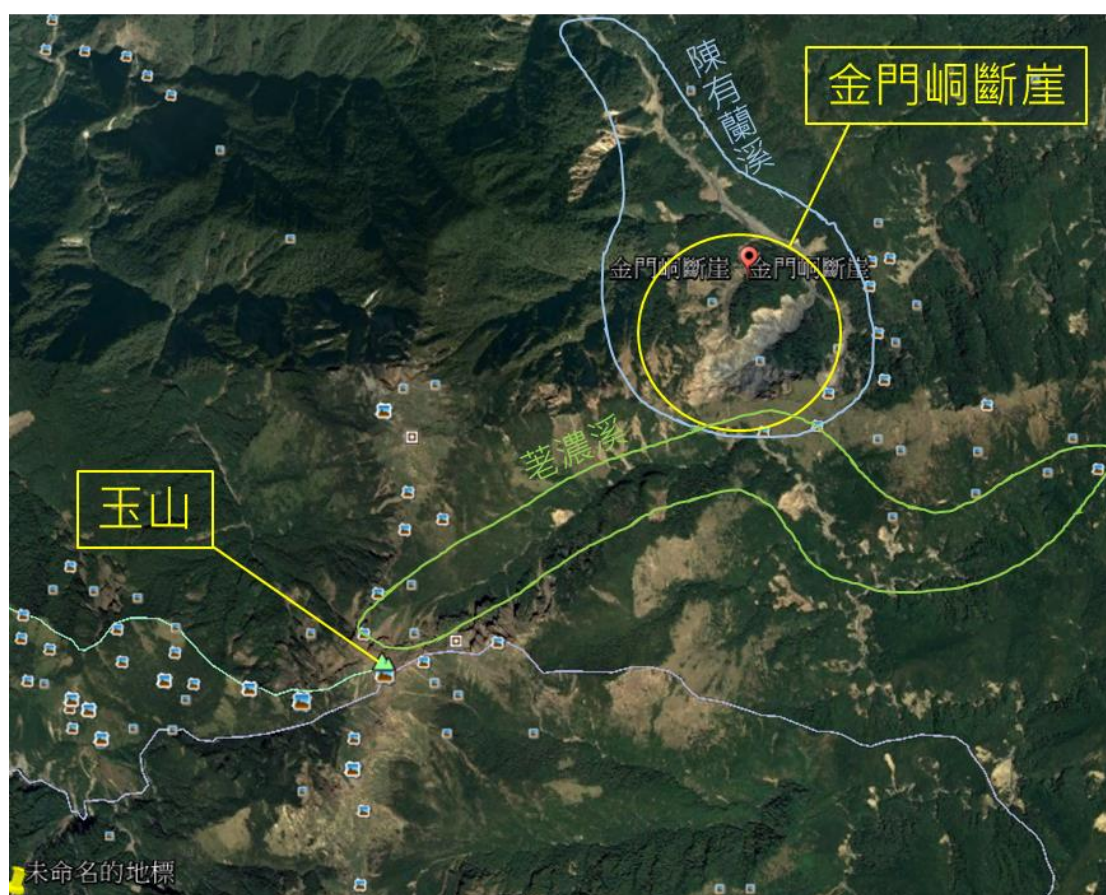


圖 43、金門峒斷崖之衛星影像，黃圈為金門峒斷崖所在處，藍色範圍為陳有蘭溪，綠色範圍為荖濃溪。

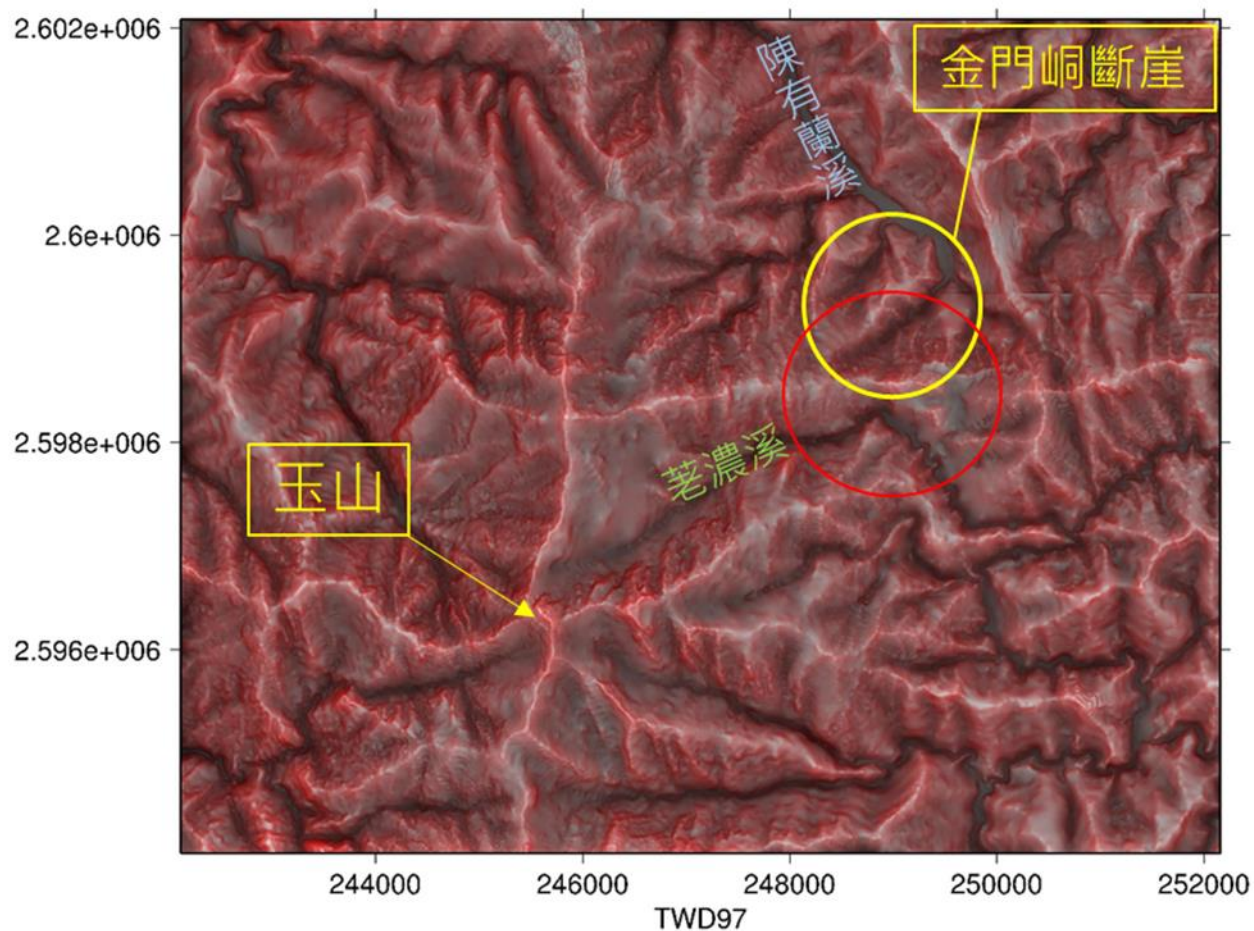


圖 44、金門峒斷崖之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃圈為金門峒斷崖所在處，藍字為陳有蘭溪位置，綠字為荖濃溪位置，紅圈為陳有蘭溪源頭與荖濃溪最接近之嶺線位置。

六、南投九九峰

研究範圍:X 軸:225500~230500m 與 Y 軸:2652100~2660300m

座標系統:TWD97

區域大小:5000m x 8200m

高程範圍:152m-785m

從衛星影像(圖 45)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、起伏或範圍界定無法輕易察覺，因此本團隊將此區域產製成 H.O.S.T.地圖並作分析，從圖 46 可以發現中間區域的地形與鄰近地形差異很大，坡度顏色鮮紅比起鄰近地形陡峭不少，且蝕溝紋路脈絡清晰，以肉眼觀察地圖大致上能劃分出地質不同的邊界範圍(黃虛線)，只因此區域為礫質惡地地形，而礫石地質容易受到風化作用以及雨水下切沖蝕，進而形成深邃的沖蝕溝，且切割面又平整，導致該地地形山峰尖銳如鋸齒，因九九峰地質脆弱再加上坡度過陡，造成此區容易形成崩塌地。



圖 45、九九峰之衛星影像。

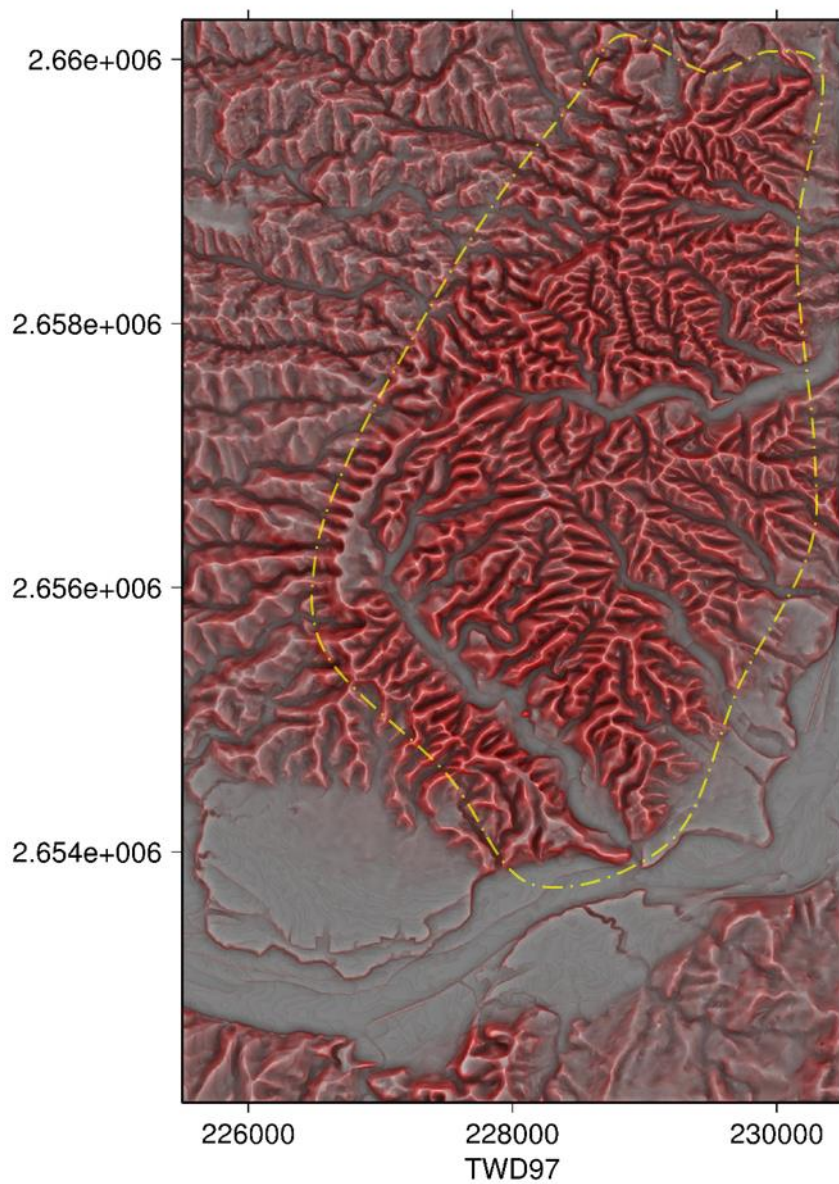


圖 46、九九峰之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃虛線內為以 H.O.S.T.地圖所判斷之九九峰礫石地質。

第二節 各樣區之 H.O.S.T.地圖(以 DSM 繪製)

一、苗栗火炎山

研究範圍:X 軸:221659~222682m 與 Y 軸:2694721~2695798m

座標系統:TWD97

區域大小:1023m x 1037m

高程範圍:158.25m–533.152m

本樣區採用 1m DSM 航拍資料，而因航拍照片(圖 47)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，但若輔以分層設色圖(圖 1(b))來觀看便能依高程值判斷出此裸露區為凹地地形，本團隊將其 DSM 資料繪製成 H.O.S.T.地圖，如圖 48，除了大幅減少因光影而造成之誤判問題，並發現雖然有植被覆蓋，但仍然能描繪出該地之地勢起伏，另外此圖對於稜線的勾勒非常清晰，因此蝕溝之形狀也能輕易描繪出，而沖蝕溝坡度之陡峭也能圖中證實。H.O.S.T.地圖對於微地形呈現良好，對於礫岩惡地地形之研究也有很大的幫助，若能利用 H.O.S.T.地圖來呈現，亦能達到不錯的效果。

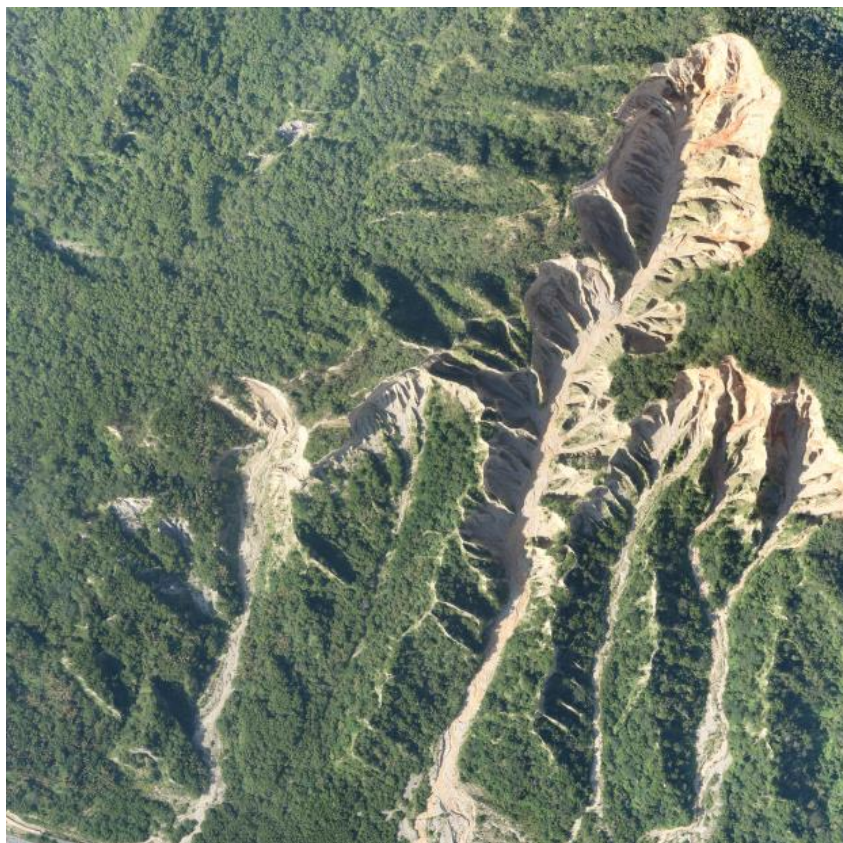


圖 47、苗栗火炎山之航拍影像。

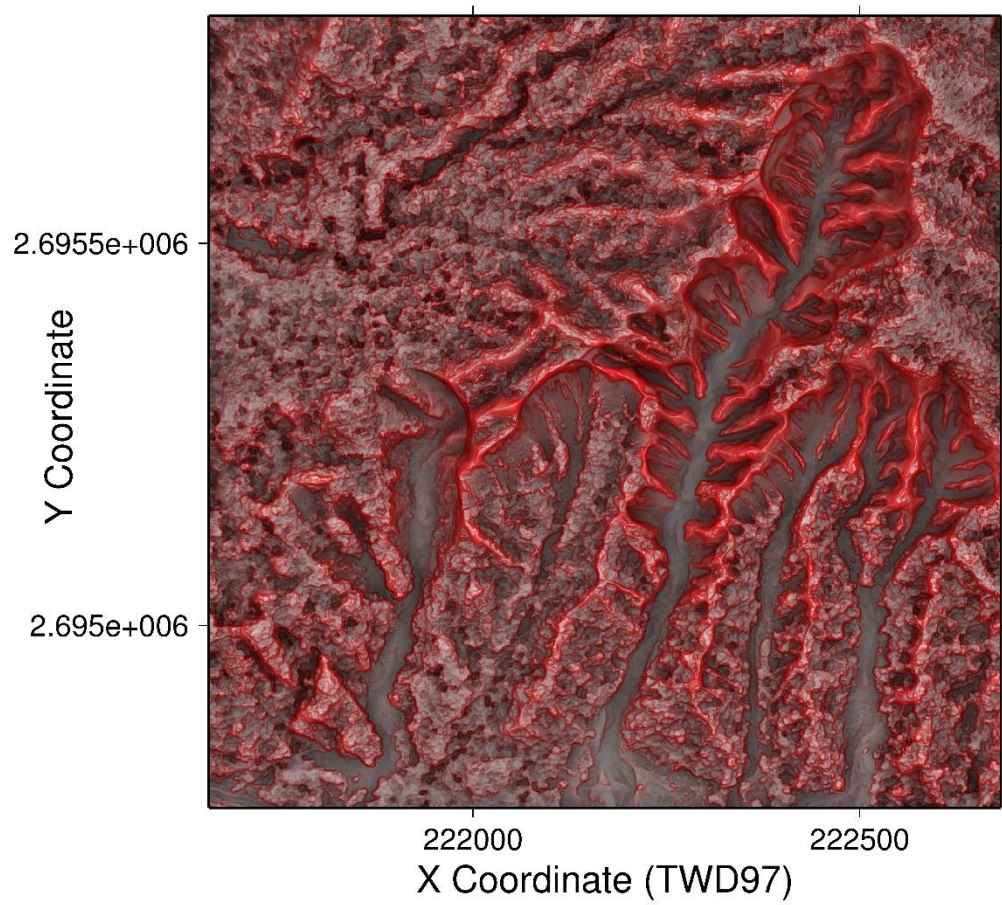


圖 48、苗栗火炎山之 H.O.S.T.地圖(無高程)。

二、高雄燕巢太陽谷泥岩地形

研究範圍:X 軸:188853.6~189114.0m 與 Y 軸:2522608.6~2522713.8m

座標系統:TWD97

區域大小:260.4m x 105.2m

高程範圍:111.928m-169.529m

從圖 49 中因航拍照片所拍攝之區域為泥岩裸露地，因此可以看見山峰嶙峋、坡面光滑，雖然單從照片中要觀察出裸露地之稜脊和蝕溝位置並不難，但同陰影圖之缺點受光影變化之干擾，無法準確地判斷其地形真實起伏狀態。而使用 H.O.S.T.地圖(圖 50)能快速且準確判斷其真實凹凸地形以及將道路邊坡工程、渠道、房屋等完整描繪出來，若將來要呈現僅有數公尺高之人工構造物可以採用 H.O.S.T.地圖來繪製。本團隊區域因採用 DSM 所以植生部分未能剔除，但相較於傳統地圖，H.O.S.T.地圖仍然能大致判斷植被下的地形為何，以及稍有被植生遮蔽的渠道也呈現地較完整。



圖 49、燕巢太陽谷之航拍影像。

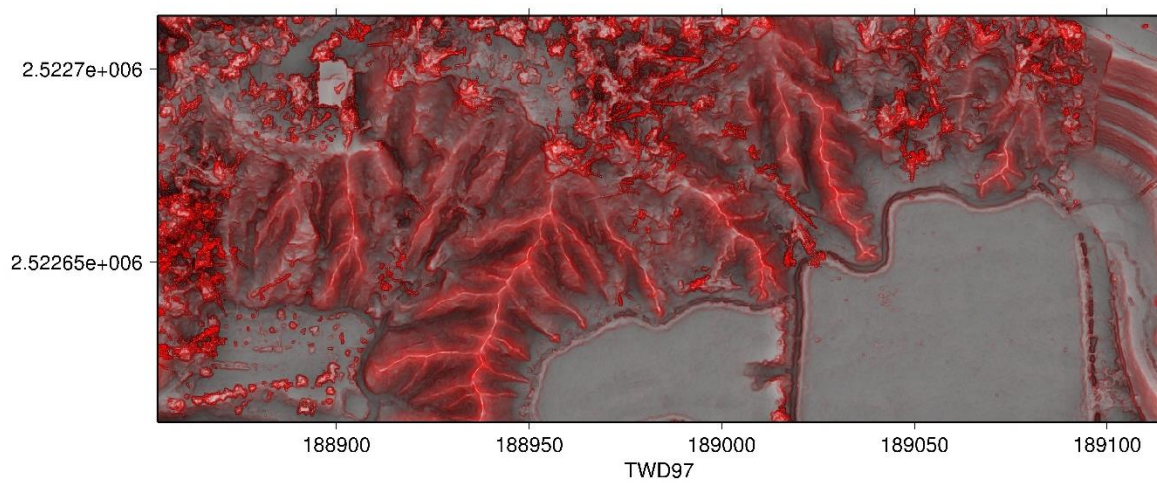


圖 50、燕巢太陽谷之 H.O.S.T.地圖(無高程)。

三、台南頂頭額沙洲

研究範圍：X 軸：-57~1369m 與 Y 軸：-214~192m(相對座標)

區域大小：1426m x 406m

高程範圍：-32.865m-15.3013m(相對高程)

圖 51 為頂頭額沙洲之航拍照片，而照片與 DSM 則是來自台大土木系水利組形貌水力學研究團隊，本計畫一開始為了看清沙洲紋路所以將此 DSM 以分層設色圖繪製，但後來發現沙洲高程差異不大、顏色區別度不高，因此成效不佳，遂改由 H.O.S.T.地圖來呈現。由圖 52 中可以看出以 H.O.S.T.地圖繪製的沙洲其紋路非常明顯，而黃色箭頭為本團隊判釋沙洲之坡度與形狀後推測出主要之風向，且因此地圖對於脊線之勾勒十分明顯，可用於觀察沙丘的迎風面與背風面交界線，若藉由不同拍攝時間之 DSM 計算交界線移動量，就可利用公式推測出背風面沙子的移動情況。若僅以其他傳統圖資來做觀看，便無法清楚看出迎風與背風面之交界線，而 H.O.S.T.地圖對於勾勒出地形輪廓及嶺線現有很大之益處。



圖 51、頂頭額沙洲之航拍影像。

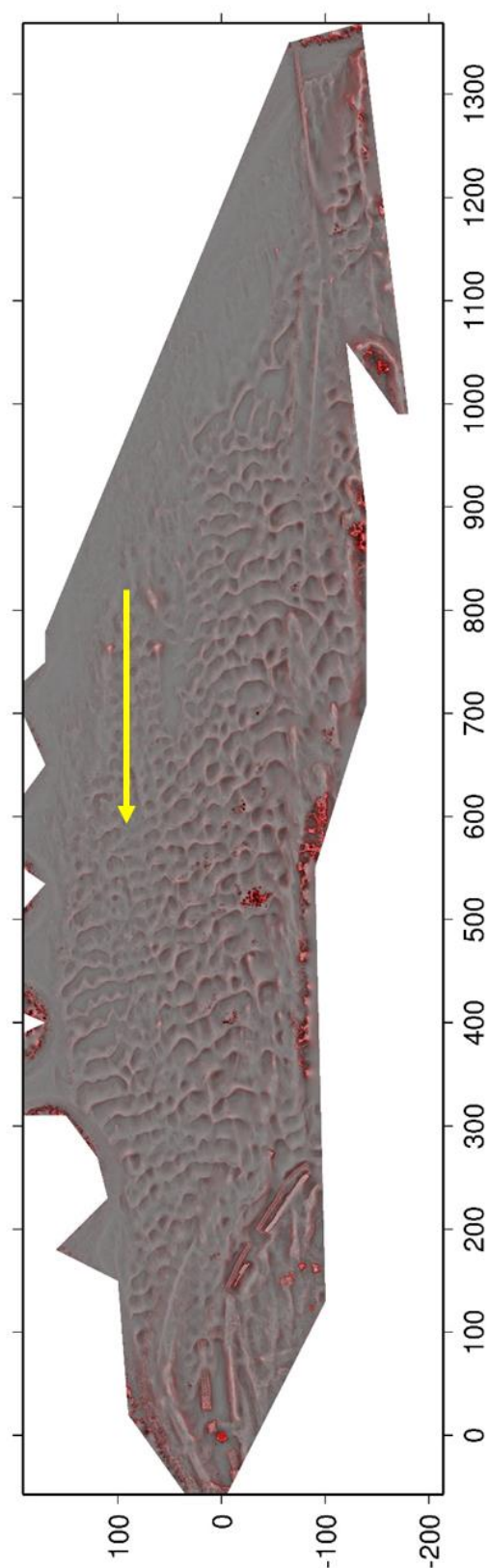


圖 52、頂頭額沙洲之 H.O.S.T.地圖(無高程)，黃箭頭為主要風向。

四、亞洲水泥新城山礦場

本團隊於 10 月中下旬拍攝新城山礦場之航拍照片(圖 53)，將其繪製成 H.O.S.T.地圖(圖 54(b))，並探討此地形狀態。前述之成果已表示航拍照片會因光影問題無法看清裸露區位之地形，而繪製成 H.O.S.T.地圖可以觀察出其挖掘後之礦場地形概況具有較佳之立體感，圖 54 中可以看出隨著時間流逝，礦區以階梯狀之挖掘方式不斷開墾，地貌與以往大不相同，長此以往對於山區之邊坡穩定有極大之危機。



圖 53、亞洲水泥新城山礦場之航拍正射鑲嵌影像圖。

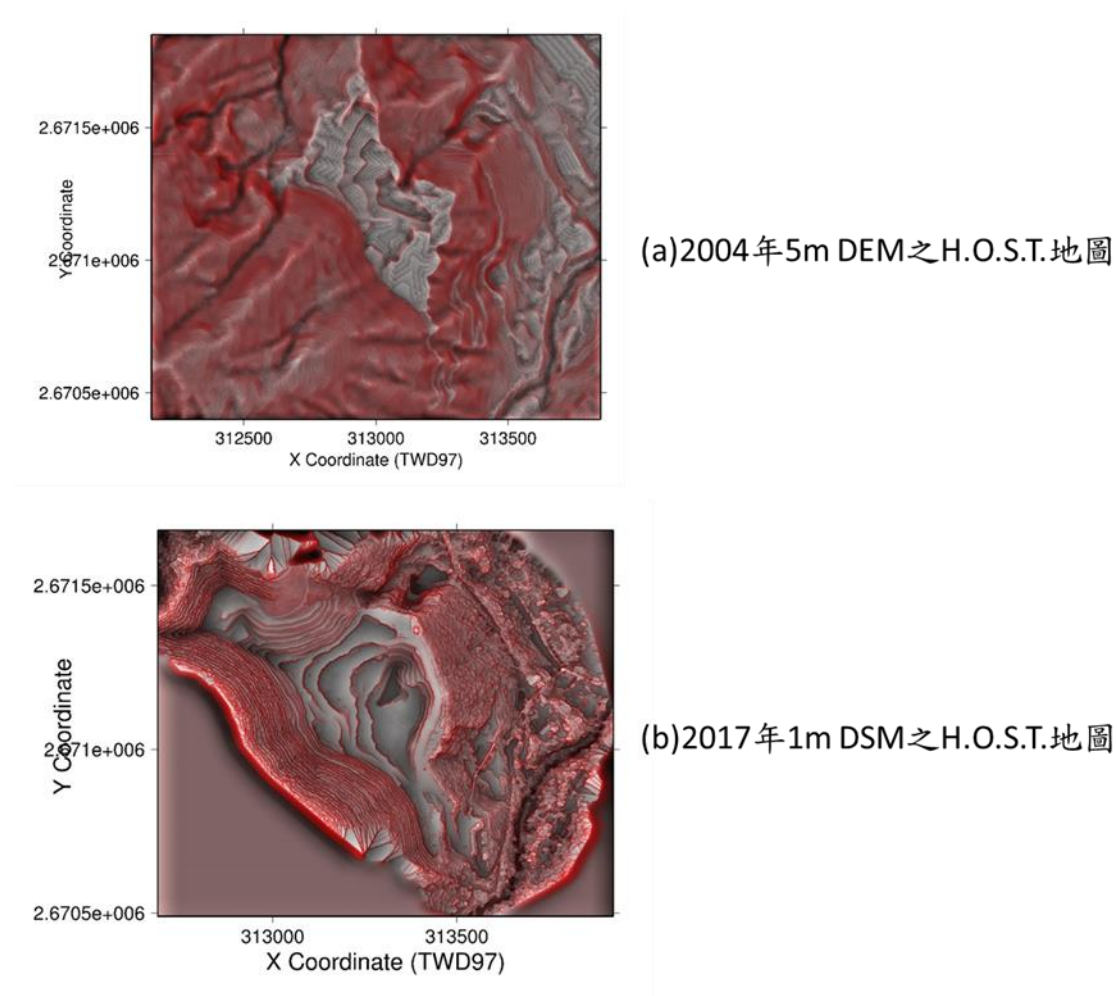


圖 54、亞洲水泥新城山礦場之 H.O.S.T.地圖。

第三節 H.O.S.T.地圖之高程展現方法

一、以立體調色盤繪製 H.O.S.T.地圖

前面提及為了解決無高程問題，曾經嘗試以加入等高線之方法來展現高程，如圖 55 所示，雖然能從中讀取高度，但線條雜亂要確定高程值並不容易，且原本對於 H.O.S.T.地圖能展現輪廓之特質會受到等高線所干擾，因此本團隊另尋辦法，將高程值結合地形坡度與地形開闊度值，製作出立體調色盤(3-4 節)，並繪製出圖 56 之含有高程值之苗栗火炎山 H.O.S.T.地圖，由圖中可以看出綠色元素越多的地方

就代表其高度越高，雖然此方法與套疊分層設色圖有類似功用，但因分層設色圖之顏色種類較多，容易導致原有顏色被覆蓋掉，地圖色彩呈現太過複雜，若刻意將分層設色圖顏色調淡，則高程資訊將不夠清楚，反而讓 H.O.S.T.地圖之優勢無法彰顯。因此本團隊研製立體調色盤期望能改善套疊分層設色圖之缺點。

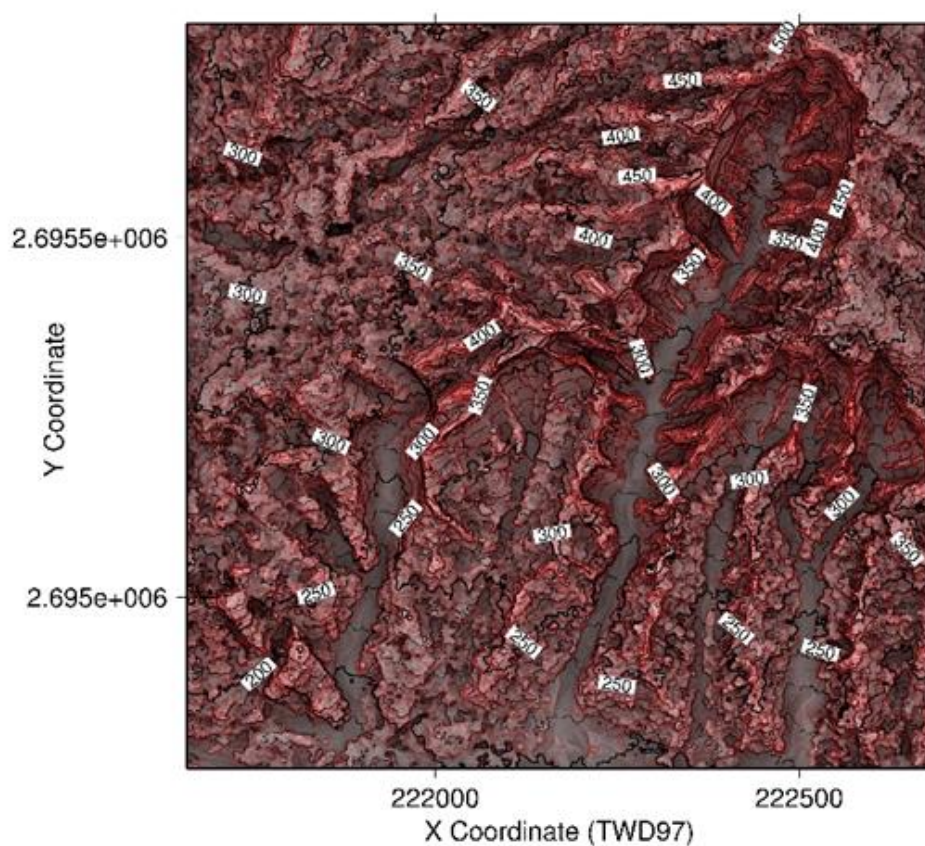


圖 55、套疊等高線之 H.O.S.T.地圖，每 10m 一條等高線，每 50m 作一次標記。

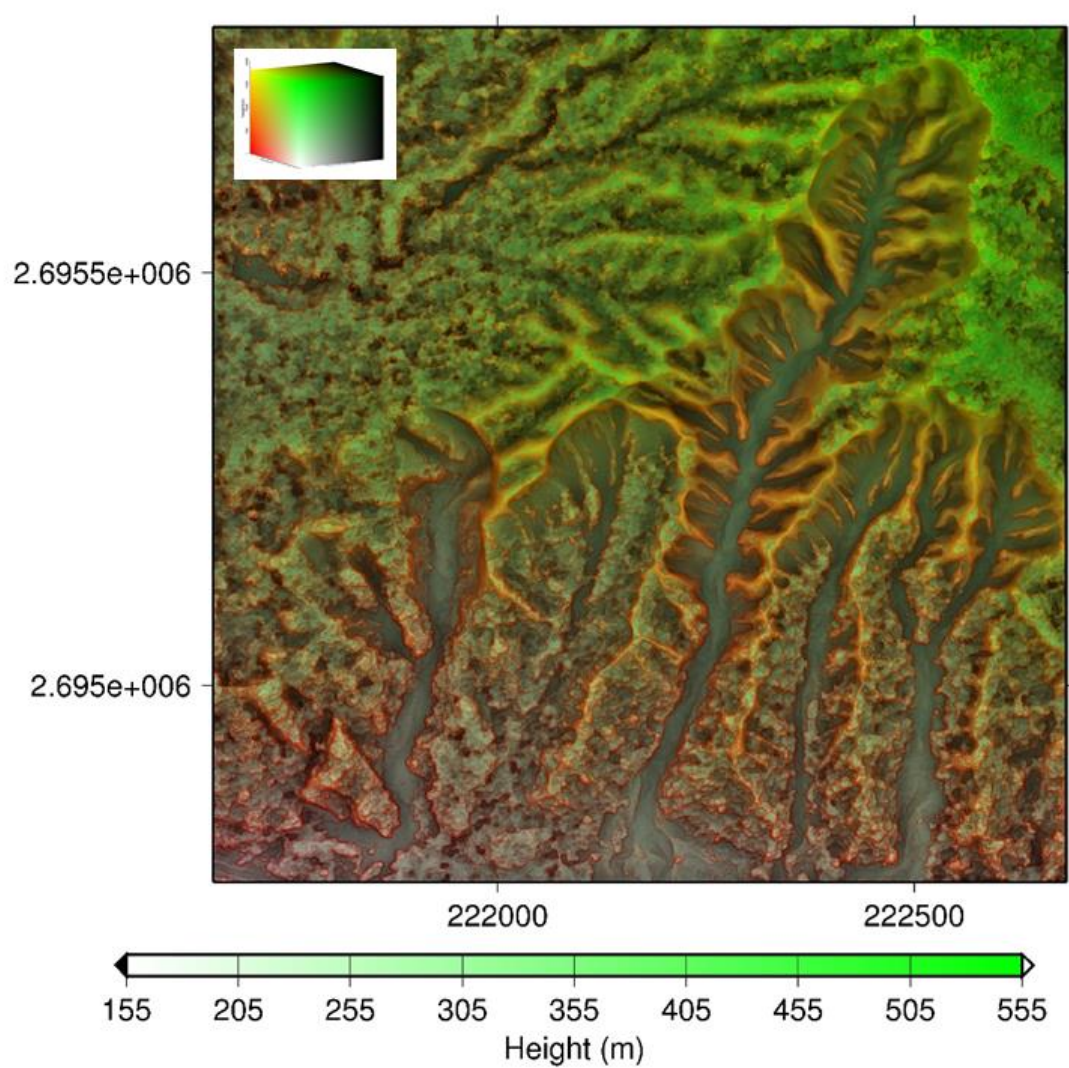


圖 56、以立體調色盤(白色至綠色)渲染之苗栗火炎山 H.O.S.T.地圖。

若以另一種立體調色盤(圖 23)上色，則如圖 57 所示高程較低之處呈現紫色或藍色，越高則越黃或越藍，新增藍色有助於對高程之判別，因只有一種顏色對於呈現高度落差會較模糊。

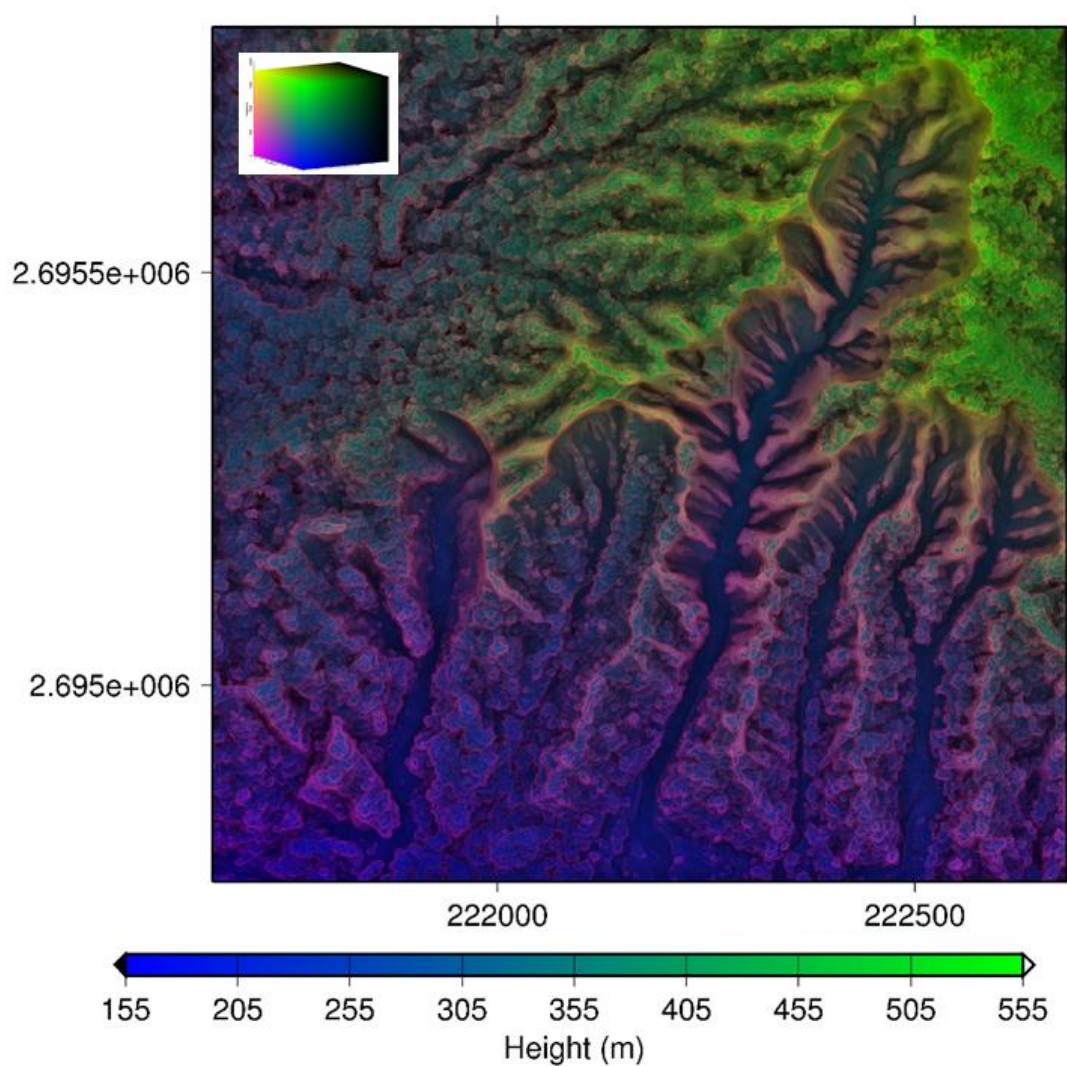


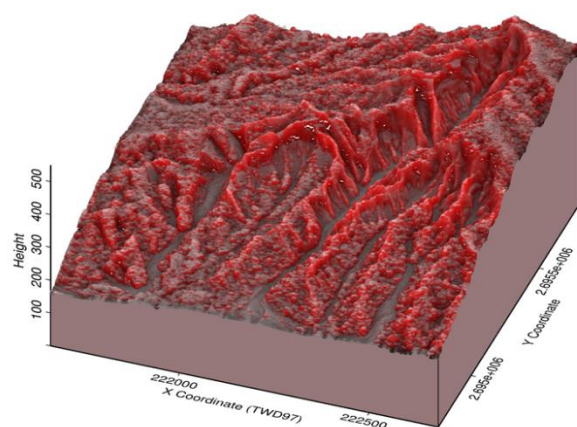
圖 57、以立體調色盤(藍色至綠色)渲染之苗栗火炎山 H.O.S.T.地圖。

二、H.O.S.T.鳥瞰圖

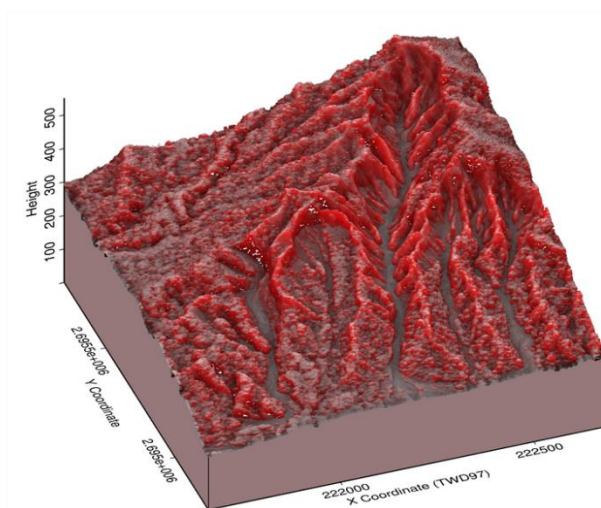
高程的展現除了將 H.O.S.T.地圖以立體調色盤呈現出來之外，本計畫所發展之軟體亦可將平面 H.O.S.T.地圖直接拉升為 3D 鳥瞰圖，讓觀察者可以直接感受其高程變化，如圖 58 所示，為了能看清楚苗栗火炎山之地形起伏，本團隊繪製三種面向之 H.O.S.T.地圖鳥瞰圖，分別是 160° 、 200° 、 240° 以利觀察。不過此種方法仍然有缺點，例如：若想要觀察其完整面相必須要每個角度都呈現出來，最好以動畫的方式呈現會比較完整，再者利用鳥瞰圖研究其高程分布僅能比較出大致相對高度，不能當作絕對高程，因為當平面圖以斜面的方式立起來時，對於觀測高程差異是容易誤判的，且標示高程值之刻度離地形有些距離，單看地形就想知道高程值非常困難，不過對於想觀察其細微地形，如沖蝕溝、崩塌地等，仍是可以利用之方法。

本團隊取得鐵砧山與新澳隧道之 DSM 並將其繪製成航拍鳥瞰圖(圖 59、61)以及 H.O.S.T.鳥瞰圖(圖 60、62)判斷崩塌地形。2017 年 6 月因梅雨季之降雨量過剩，導致台中市大甲區鐵砧山有崩塌之情形發生，雖然從圖 59 之影像來看，只要觀察裸露處就能簡易判斷崩塌區位，而圖 60 則因顏色統一較難判斷崩塌處，但因 H.O.S.T.鳥瞰圖對於蝕溝之描繪頗為明顯且立體感足夠，因此有利於於直觀型之地形建構，同樣在圖 61 中可以看出航拍影像因色彩優勢較好判斷崩塌區

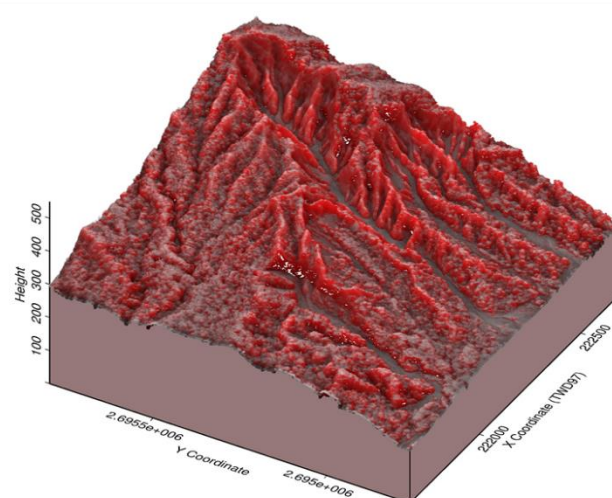
位，而圖 62 能觀察出崩塌後的地形狀態。



轉160°



轉200°



轉240°

圖 58、苗栗火炎山之各角度 H.O.S.T.鳥瞰圖。

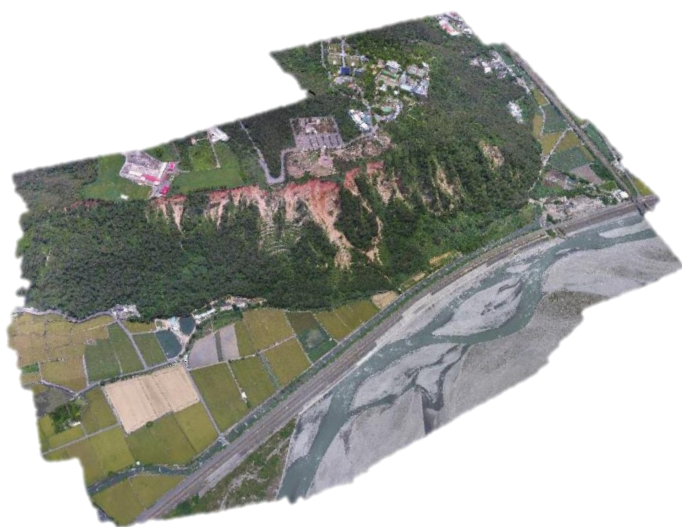


圖 59、鐵砧山航拍鳥瞰圖。

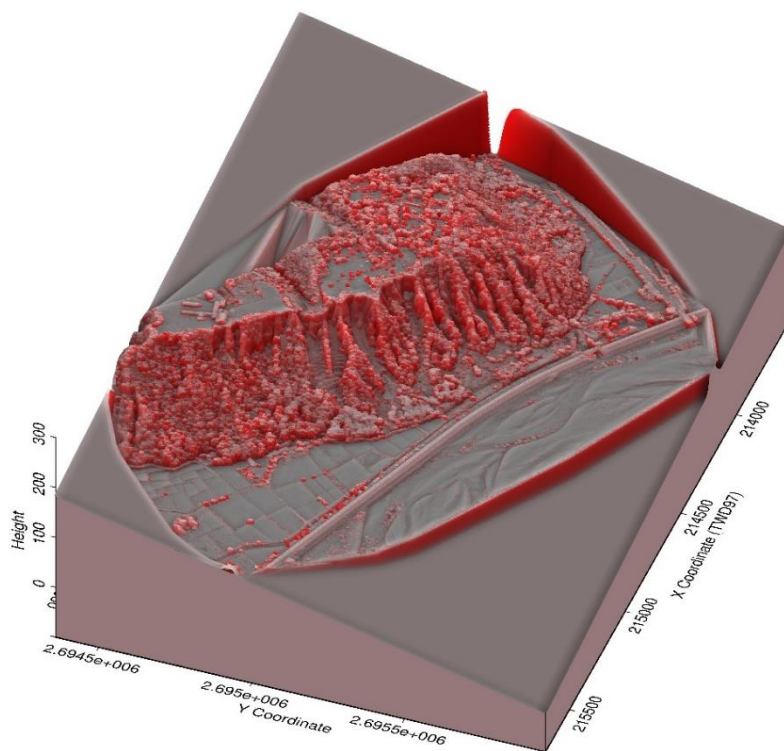


圖 60、鐵砧山 H.O.S.T.鳥瞰圖。



圖 61、宜蘭縣蘇澳鎮新澳隧道航拍鳥瞰圖。

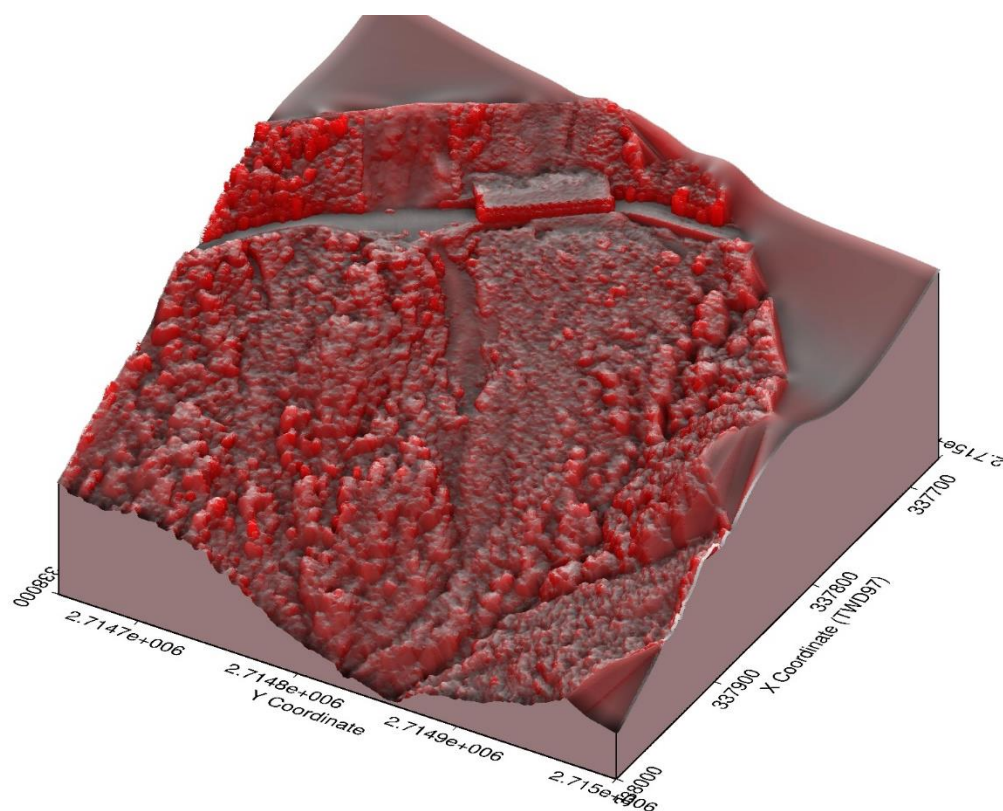


圖 62、宜蘭縣蘇澳鎮新澳隧道 H.O.S.T.鳥瞰圖。

三、直接呈現高程值

能在地圖中表達高程的方法眾多，但大部分的方法卻需要改變原圖的樣貌，無論是以等值線、顏色亦或是拉升成 3D 地形，此類舉動可能會造成原地圖之優勢喪失，導致判釋上難度增加，因此本團隊建置網頁(<http://agl.nchu.edu.tw>)(圖 63)，並將 H.O.S.T.地圖套疊上高程值，只要將游標移至圖上某點位，該點位之高程值就會出現(圖 64)，因此便不會破壞原圖優勢。藉由此技術，本團隊未來將持續發展 Geo pdf 格式之 H.O.S.T. 地圖，以供相關研究單位利用。



圖 63、網頁頁面。

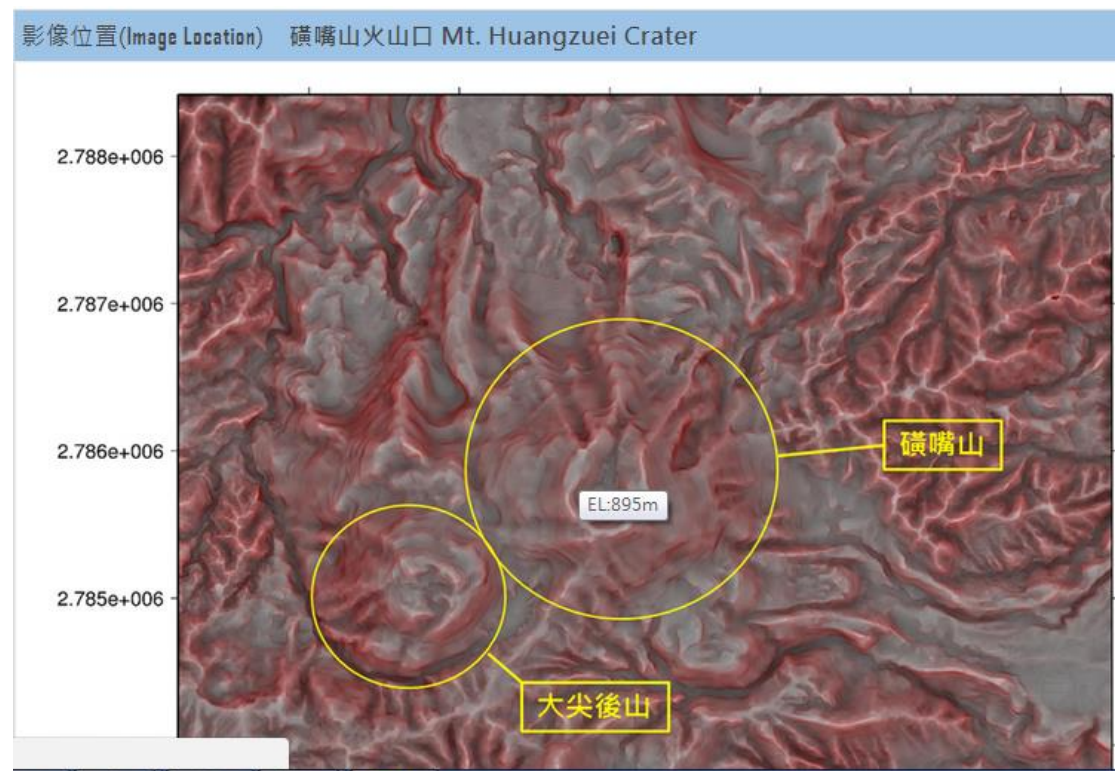


圖 64、網頁頁面放大圖。

本團隊將綜合上述所介紹之四種高程展現方式，並製作成表 3 以整理分析其優缺點，比較其不同之處。

表 3、高程呈現方法比較。

高程呈現方法	優點	缺點
H.O.S.T.地圖(利用平面調色盤繪製)套疊等高線 (如圖 53)	可以藉由讀取數值得知該地高程值，且製作較快速、容易。	線條過密，成圖太亂，遮蔽原圖地形資訊； 線條過疏，高程資訊不足，且難以直觀出高度變化。
H.O.S.T.地圖(利用立體調色盤繪製) (如圖 54、55)	類似於分層設色圖，但顏色較不複雜，且調色盤為一體成形無須另外套疊圖層，因此有助於同時判釋地形以及高程分布。	需耗費大量時間做運算。

H.O.S.T.地圖(利用平面調色盤繪製)鳥瞰圖 (如圖 58、60、62)	可以立刻觀察出其地形起伏以及細微地形特徵，且能判斷相對高程狀態。	需有各面向之鳥瞰圖才能觀察完整地形，且因其為傾斜方式展現地形，造成高程的判斷會因視覺誤導而有所誤差。
H.O.S.T.地圖(利用網頁呈現高程值) (如圖 63、64)	不會受到額外套疊圖層的所造成的干擾，且其值為絕對高程，不需對照色條，直接呈現數字。	僅簡易地將地圖與高程值套疊，較不嚴謹，且需要電腦輔助才得以觀看。

第六章 結論與建議

本團隊利用 GMT 軟體以及 Fortran 語法開發產製 H.O.S.T.地圖之相關程式，分析四種不同之地形坡度算法對於出圖之成效，結果得出加權八鄰域法最佳，並改善地形開闊度之算法，製作立體調色盤，將高程資訊融入地圖中，選擇了台灣多處不同大小網格以及不同地質、地形之區域作為研究區位，研究不同調色呈現之地貌，分析不同區域 DEM 及 DSM 之 H.O.S.T.地圖呈現結果，並與傳統地圖做比較。研究顯示 H.O.S.T.地圖對解讀地形有很大的優勢，在網格較小之地圖中可以證明其對微地形之呈現十分明顯，此圖能讓地形輪廓及脈絡清晰並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。

整體而言，利用 H.O.S.T.地圖較能判釋出地表微地形，若該研究區域地形有些許變動，H.O.S.T.地圖亦較傳統地圖更能察覺出差異性，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能方便觀察者從 H.O.S.T.地圖中獲取資訊。本研究產製之 H.O.S.T 地圖亦能與集水區分區圖層在 GIS 軟體做套疊（相關成果整理於研究室網頁 <http://agl.nchu.edu.tw/Center/Research/Research.aspx>），以進行檢核與相關圖層分析之應用。整體而言，H.O.S.T.地圖對於災害防治、水

土保持、與環境監測等，應較能提供良好之參考。本團隊希望未來能針對不同地形均能製作精確之 H.O.S.T.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。

本團隊對微地形判釋良好，對於地形線條勾勒明顯，因此用於研究地形變遷有極大之助益。雖然本團隊特意研發立體調色盤以及製作網頁改善無高程資訊問題，然而自製之 H.O.S.T.地圖現階段亦有缺點，即利用立體調色盤繪製地圖時，較需耗費時間做計算，所以出圖速率較慢，未來本團隊將持續修正相關程式軟體，也期望未來能有更多應用之處，套疊更多資訊於 H.O.S.T.地圖之中，例如：植生分布狀態、集水區管理範圍、雨量圖、磁力圖以及重力圖等水土保持相關研究。

本團隊近期計畫將地形開闊度值單獨作用於其他方面研究，例如：以開闊度做為一項環境因子，或利用其特性萃取出河道位置等相關研究，以期能增加開闊度之實用性。

參考文獻

- [1] 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。
- [2] 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。
- [3] 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。
- [4] 黃金維、蕭宇伸、林廷融 (2003)。台灣數值高程模型之建立及精度分析，地籍測量，第 22 卷 第 2 期，第 1-19 頁。
- [5] 莊文星、陳汝勤 (2008)。北臺灣火山地形多樣性之探討，經濟部中央地質調查所彙刊，第 21 期，第 107-141 頁。
- [6] 劉光恩 (2009)。數值高程模型坡度坡向演算法比較之研究，碩士論文，國立中興大學，台灣台中。
- [7] 郭耀駿 (2016)。以自製紅色地圖輔助地形判釋，碩士論文，國立中興大學，台灣台中。
- [8] 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。
- [9] 蕭宇伸、郭耀駿 (2016)。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 (已接受)。
- [10] 月世界泥岩惡地植物生態調查研究
(<http://www.wxp.ks.edu.tw/nature/theme4/book/book1/2/2.htm>)
- [11] 台江國家公園
(<http://www.tjnp.gov.tw/SceneryView.aspx?KeyID=f8272bd7-954f-4a58-8641-b0b0f0003510>)
- [12] 台灣地質知識服務網
(<http://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/mp?mp=6>)
- [13] 河川的新生命力—向源侵蝕與河川襲奪
(http://life.nthu.edu.tw/~labtcs/Salmon/history/river_capture.htm)
- [14] 亞洲水泥
(<http://www.acc.com.tw/special/special-faq>)
- [15] 科技部 ODB 海洋學門資料庫(http://www.odt.ntu.edu.tw/?page_id=277)
- [16] 高雄鄉土教育服務(http://content.ks.edu.tw/33k/002_3st/kiso/002.html)
- [17] 國立台灣大學地理環境資源學系，中部地景資源
(<http://lab.geog.ntu.edu.tw/ctlee/page02/02sightlist.html>)
- [18] 苗栗火炎山之自然與人文考察紀(<http://epaper.hrd.gov.tw/188/EDM188-0602.htm>)

- [19] 臺東縣東河鄉北源社區農村再生計畫
(https://ep.swcb.gov.tw/ep/File/REGENERATION/%E6%9D%B1%E6%B2%B3%E9%84%89%E5%8C%97%E6%BA%90%E7%A4%BE%E5%8D%80%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%A8%88%E7%95%AB%E6%A0%B8%E5%AE%9A%E7%89%88_201310301108072563.pdf)
- [20] Hwang, C., Hsiao, Y.-S., Shih, H.-C., Yang M., Chen, K.-H., Forsberg, R., and Olesen, A. V. (2007). Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey: Data reduction and accuracy assessment, *Journal of Geophysical Research*, 112, B04407, doi:10.1029/2005JB004220.
- [21] 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, pp. 1071-1076.
- [22] 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, pp. 104-115.
- [23] 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, pp. 67-75.
- [24] 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.
- [25] 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, pp. 257-265

附錄一

106 年度創新研究計畫案期中審查(A 場)會議紀錄

壹、時間:106 年 8 月 1 日(星期二)上午 9 時 30 分

貳、地點:本局第五會議室

參、主持人:王代理組長志雄

肆、委員意見及回覆

紀錄:高百毅

委員意見	意見回覆	對 應 章 節
1.4 種地形 坡度法， grdgradient 、四鄰域、 加權八鄰 域及等權 八鄰域等， 在不同地	感謝委員的意見，由本研究的測試範例來看，此四個演算法所得之結果，由肉眼觀察差距不大，然過去研究學者指出(劉光恩，2009)，各演算法在坡面較平緩時誤差較小，坡陡時誤差較大，而加權八鄰域法之誤差在各演算法中誤差最小，加權八鄰域法為所有坡度計算方法中，最佳之方法，故本團隊後續區域皆採用此方法(加權八鄰域法)計算。	第 三 章 第 一 節

形坡度的表現是否一致或各有優缺?		
2. 軟體中開闊度選擇如 $\pm 90^\circ$ 或 $\pm 70^\circ$ 間,建議給出參考值。	感謝委員的建議,本團隊認為若所計算出之值域大部分落在 $\pm 70^\circ$ 間則可以將調色盤設定在 $\pm 70^\circ$ 讓地圖成色明顯,以此類推觀察值的範圍並選定調色盤範圍。整體而言,若研究區域內有近乎垂直的構造物,則範圍可設定 $\pm 90^\circ$ 為佳,若地勢平坦地區(以 p5-23 台南頂頭額沙洲為例),則 $\pm 50^\circ$ 已足夠。	第三章
3. 為凸顯本計畫成果運用於坡地災害潛勢區的判斷,建議可選取大規模崩塌、	感謝委員的建議,本團隊所選擇的研究區域,已包括大規模崩塌潛勢、地滑潛勢、河谷沖積扇、河階等區域,H.O.S.T 地圖針對這些區域皆有很好的呈現結果,這對於大規模崩塌判釋因子(坡面形狀、坡面形變等)之確定,應具有極大之參考價值與可信度。	

地滑、河谷 沖積扇、河 階地等範 圍進行研 究探討。若 上述判釋 成果良好， 可評估後 續應用於 國土計畫 之相關運 用。		
4. 採用不 同色系表 達高程，可 能影響了 原紅色地 圖在坡度 的表達，是	感謝委員意見，採用不同色系表達高程(即採用立體調色盤)，為本研究一大創舉，改善了傳統紅色地圖無法由圖中觀察出高程變化的缺點，故本團隊認為其有應用價值。另外本團隊新增第四種方法來表達高程值，直接將游標放至於地圖中某處就會顯現出該點位之高程值(相關結果整理於本團隊研究室網	第 五 章 第 三 節 第 頁

否恰當?	http://agl.nchu.edu.tw/Center/HOSTMap/HOSTMap.aspx)，此高程呈現結果相當良好。	三點
5. 是否考量等高線表達高程變化。	感謝委員意見，等高線之線條過疏則無法判釋高城，過密則影響原圖，且精確的高程數值難以從等高線獲得，故不考慮。	第五章第三節
6. 紅色地圖可以判釋蝕溝，而加入了高程是否會變得更清楚判釋?	感謝委員意見，若以等高線表達高程恐會造成原地圖優勢喪失，若是以立體調色盤來表達高程，蝕溝之清晰度確實會略為降低，但優點為使用者能從圖中清楚觀察出研究區域高程變化。另外本團隊未來將極力發展 geopdf 格式(本團隊已先在研究室網頁 http://agl.nchu.edu.tw/Center/HOSTMap/HOSTMap.aspx 呈現類似功能)，此技術應能較克服此問題。	第五章第三節
7. 必須將 LiDAR 及 UAV 的影	已改正成 DEM 與 DSM 之區分，感謝委員意見。	第五章

像來源區 分。		
8. 目前產製之圖資僅能以圖形方式呈現，尚無法讀入 GIS 平台做加值，建議予以精進。	感謝委員之建議，本團隊目前產製之圖資，可利用 GIS 地理對位方式，將 H.O.S.T 地圖，與集水區分區圖層做套疊，來分析集水區範圍(shp 檔)的正確性與其他 GIS 應用。相關成果整理於研究室網頁 http://agl.nchu.edu.tw/Center/Research/Research.aspx 。	
9. 建議後續可結合 Geo pdf 格式，俾可作為另一種離線地圖以茲應用。亦可於圖	感謝委員提供之意見，目前本團隊正積極發展 Geo pdf 之相關技術，目前先於研究室網頁 (http://agl.nchu.edu.tw/Center/HOSTMap/HOSTMap.aspx) 製作相關類似功能，即滑鼠移至 H.O.S.T 圖中，點位即出現高程值，整體而言成果相當不錯。	

上直接讀 取高程。		
10. 罩窗半 徑及地形 對比值之 選用，於後 續可嘗試 提出選用 之建議原 則。	本團隊目前已新增地形開闊度之程式(以八方位計算)，能解決罩窗半徑以及地形對比值選用之問題。	第三章 第二節 末
11. 建議對 DEM 及 DSM 原始 資料應分 開探討，因 surface(S) 與 Elevation(E)所代表	已修正完畢，感謝委員之指正。	第五章

之地面地 貌不同概 念。		
12.建議可 探討未來 應用如何 結合展現 之 AR、 VR、3D 技 術呈現及 如何探討 之變化量。	感謝委員提供寶貴意見，對於本研究相關成果與 AR、VR 或其他 3D 技術之整合，確實對於 H.O.S.T 圖資未來會是很好的應用，本團隊後續希望與本校 或他校資工相關團隊合作，共同發展此一技術。	

附錄二

106 年度創新研究計畫案期末審查(B 場)會議紀錄

壹、時間:106 年 11 月 28 日(星期二)下午 2 時

貳、地點:本局第一會議室

參、主持人:柯總工程司燦堂

肆、委員意見及回覆

紀錄:高百毅

委員意見	意見回覆	對應章節
1.本研究與前期計畫的差異在於將紅色地圖上加上高程資訊，目前的成果似乎看不出高乘的直覺效果。(P.5-20 及 P.5-28)	感謝委員意見，若僅以 P.5-28 之等高線套疊於紅色地圖中，會造成圖資呈現混亂，反而喪失紅色地圖之原有優勢，因此本研究另外發展以網站顯示其高程資訊，而若要以視覺直觀方式展現高程則可以利用 3D 鳥瞰圖來表示。	第五章第三節
2.請補充說明採用什麼數據製圖。	感謝委員建議，本研究將樣區相關資訊以及所採用之罩窗半徑皆繪製整理成表 2。	第四章表 2

3.H.O.S.T 地圖可以表徵微地形變化，研判重力變形分布及其程度，如加入高程資訊是否影響整體圖示的效果？	感謝委員意見，以等高線套疊至紅色地圖會導致地圖呈現雜亂，而以立體調色盤調色雖然可依照顏色漸層變化判斷高程，但顏色判斷仍難以準確辨識，因此本研究另外發展以網頁之方式表達高程值，但因受限於網路問題因此無法有較精密之數值表達且須在有網路之環境才能使用，未來擬研究如何將地圖置入於 GEOPDF，並套疊更多地理資訊。	第五章第三節
4.採用綠色式黑至綠的調色盤，效果似乎不顯著。	感謝委員建議，雖然本研究之色調能自由調整，但仍有些色調不建議使用，本文中綠色為示範例，最終採用顏色為黑至紅色。	第三章第三節
5.建議解釋之所以選擇 GMT 及 Fortran 之原因。	感謝委員建議，因 GMT 及 Fortran 為吾人所擅長之軟體，	

	故選擇以此軟體製作程式。	
6.建議考慮地圖成果之後續應用面，尤其對高程及坡度之展現，如何能進行對水土保持相關之研究及成果實用探討。	感謝委員意見，本研究若要對土砂災害之相關地形作研究並判斷該地之崩塌潛勢，需要大量地形資料找尋其規律並將其整理出一套完整之模式，但目前本團隊尚未獲取大量資訊，未來會繼續收集相關資訊。	
7.建議再說明高程放入及不放入於肉眼之表達及實際應用之差異，並與國外文獻可多作比較。	感謝委員建議，目前以網頁直接呈現高程數值對於地圖較無負面之影響，且能表達該地之絕對高程值，但因受限於網路問題，無法有較高精度之高程值以及圖資無法自由套疊其它地理資訊，未來會參考GEOPDF 對於 H.O.S.T.地圖之應用。	
8.本計畫成果 3D 可顯著彰顯地形，然可能因人而有所差異，是	感謝委員之意見，本研究會繼續對程式之開發作研究，分析	

否有可能量化指標以利評估 3D 地形技術之成效。	出何種因子能夠界定出圖資的好看與否，並量化其指標。	
9.本案以 GMT 及 Fortran 程式語言撰寫，將來提供水土保持局之開發程式是否已開發較親善之介面？	感謝委員之建議，本研究將程式詳細使用說明整理於附錄三中。	
10.後續應用層面，請加強說明。如(1)微地形、重力變形;(2)崩塌潛勢判釋等，是否還需要輔以其它資料，建議可在結論與建議中加以述明。	感謝委員意見，本研究若要進行崩塌潛勢判釋之相關研究，需要是先收集大量地形資料找尋其規律特徵並將其整理出一套完整之模式，但目前本團隊尚未獲取大量資訊，未來會繼續收集相關資訊。	

附錄三

批次檔(.bat)之程式撰寫：

步驟一、整理 DEM/DSM:

```
grd2xyz fe.grd -Z|..\program\debug\grd2grd3 -
```

```
R213520/215713/2694360/2695960 -I1/1 -Gdem.grd3
```

要將 grd 檔轉成 xyz 檔，先製作成 fortran 可使用之檔案 grd3。

(..\program\debug\grd2grd3 用來進入外掛 fortran 程式 grd2grd3 之所

在位置，R 左/右/下/上為資料之邊界範圍，I 為網格資料大小。)

```
..\program\debug\grd3toz2 -Idem.grd3 -Gdem.xyz
```

將 grd3 檔轉成 xyz 檔。

(I 為輸入檔，G 為輸出檔。)

步驟二、畫分層設色圖：

```
makecpt -T0/1600/100 -Crainbow -Z >color.cpt
```

先製作調色盤。

(Tmin 值/max 值/值的間隔標示，Crainbow 為彩色，Z 為漸層。)

```
grdimage fe.grd -R213520/215713/2694360/2695960 -JX21.93c/16c
```

```
-B200/200WSne -Ccolor.cpt -X1.5 -Y3 -P -K >color.ps
```

畫出分層設色圖。

(JX 橫長/縱長為線性投影，B 橫軸/縱軸為圖框間隔標示，C 放入調色盤檔案，X、Y 為調整圖片位移，P 投影紙張直立。)

```
psscale -Ccolor.cpt -D3.0/-0.5/6.2/0.15h 5h -E -K -O >>color.ps
```

畫出調色盤。

(D 調整調色盤之位置與大小，E 旋轉。)

```
grdcontour fe.grd -R -JX21.93c/16c -C10 -A50f10 -W0.5 -O
```

```
>>color.ps
```

畫出等高線。

(C 等高線的間隔，A 每多少間隔標記一次，W 線寬。)

步驟三、計算開闊度：

```
rem makecpt -T-90/90/15 -Cgray -Z >openness.cpt
```

(rem 不要執行該指令<如果不想重複執行可用該指令>。)

```
..\program\debug\openness -Idem.grd3 -Gopenness.grd3 -W30 -S5
```

```
-T2
```

計算開闊度。

(W 單窗半徑，S 地形對比度，T 經緯度選 1，TWD97 座標選 2。)

```
..\program\debug\grd3togrd openness.grd3|xyz2grd -Z -
```

```
R213520/215713/2694360/2695960 -I1 -Gopenness.grd
```

```
grd2xyz openness.grd -Z >openness.z
```

```
grdimage openness.grd -JX21.93c/16c -
```

```
R213520/215713/2694360/2695960 -B500WSen -Copenness.cpt -
```

```
X1.7 -Y2 -K -P>openness.ps
```

```
psscale -Copenness.cpt -D3.0/-0.5/6.2/0.15h 5h -E -B":
```

```
openness : " -O >>openness.ps
```

步驟四、計算坡度：

```
..\program\debug\slope -Idem.grd3 -T2 -M2 -Gslope.grd3
```

計算坡度。

(M1 四鄰域法，2 加權八鄰域法，3 等權八鄰域法。)

```
..\program\debug\grd3toz2 -Islope.grd3 -Gslope.xyz
```

```
xyz2grd slope.xyz -R213520/215713/2694360/2695960 -I1 -
```

```
Gslope.grd
```

```
grd2xyz slope.grd -Z >slope.z
```

```
grdimage slope.grd -JX21.93c/16c -
```

```
R213520/215713/2694360/2695960 -B500WSen -Cslope.cpt -X1.7
```

```
-Y2 -K -P>slope.ps
```

```
psscale -Cslope.cpt -D3.0/-0.5/6.2/0.15h 5h -E -B":slope
```

```
(degree): " -O >>slope.ps
```

步驟五、把開闊度和坡度結合起來：

```
..\program\debug\combine -Iopenness.z -Jslope.z -  
Gopenness_slope.xy
```

步驟六、做赤色地圖調色盤與繪製赤色地圖：

```
..\program\debug\range_palette -R-90/90/0/90 -Gpalette.txt  
..\program\debug\color_palette -A255/255 -B0/255 -C0/255 -  
D0/0 -E0/0 -F0/0 -Gredmap.cpt
```

步驟七、畫平面調色盤

```
psxy palette.txt -JX21.93c/16c -R-90/90/0/90 -Credmap.cpt -  
B30" :openness(degree) :"/10" :slope(degree) : " WSne -Ss0.13 -X5c  
> palette.ps
```

以點的方式畫出調色盤。

(Ss 畫點。)

```
..\program\debug\redmap -Idem.xyz -Jopenness_slope.xy -  
Kpalette.txt -T2 -Gdem_redmap.xyz -Hdem_redmap(3d).xyz
```

製作畫紅色地圖及 3D 鳥瞰圖所需之 XYZ 資料。

(I 輸入檔，J 輸入檔，G 輸出檔，H 輸出檔。)

步驟八、畫紅色地圖(離散點畫法)

```
psxy dem_redmap.xyz -JX21.93c/16c -  
R213520/215713/2694360/2695960 -Credmap.cpt -  
B500":longitude:"/500":latitude:" WSne -Ss0.04 -X2 -Y3 -P >  
redmap.ps
```

步驟九、畫紅色地圖(網格畫法)

```
xyz2grd dem_redmap.xyz -R -I1 -Gdem_redmap.grd  
echo 213520 2695000 >text.txt  
echo 213650 2695150 >>text.txt  
echo 213560 2695200 >>text.txt  
echo 214000 2695850 >>text.txt  
echo 214180 2695960 >>text.txt  
echo 214220 2695960 >>text.txt  
echo 215420 2695280 >>text.txt  
echo 215713 2694990 >>text.txt  
echo 215680 2694720 >>text.txt  
echo 215440 2694460 >>text.txt
```

```
echo 215200 2694360 >>text.txt
```

```
echo 214920 2694360 >>text.txt
```

```
echo 214520 2694650 >>text.txt
```

```
echo 214350 2694800 >>text.txt
```

```
echo 214230 2694600 >>text.txt
```

把邊界點位輸出成 txt 檔。(裁切不規則地圖用。)

```
psclip text.txt -R -JX21.93c/16c -B500":X Coordinate
```

```
(TWD97):"/500":Y Coordinate (TWD97):" WSne -X1.7 -Y2 -K
```

```
>redmap(grid).ps
```

裁切不規則邊界用。

```
grdimage dem_redmap.grd -R -JX -B500":X Coordinate
```

```
(TWD97):"/500":Y Coordinate (TWD97):" WSne -Credmap.cpt
```

```
-X0 -Y0 -P -O >>redmap(grid).ps
```

```
grdimage dem_redmap.grd -R -JX -B500":X Coordinate
```

```
(TWD97):"/500":Y Coordinate (TWD97):" WSne -P -X1 -Y2 -
```

```
Credmap.cpt -K >redmap(grid)_c.ps
```

```
grdcontour fe.grd -JX -R -C20 -A100f5 -Wt0.3 -Wa2 -O
```

```
>>redmap(grid)_c.ps
```

步驟十、3D 繪圖：

```
makecpt -T-10000/-8000/1000 -Z >dtm.cpt
```

```
pstext tmp -JX21.93c/16c -JZ8c -E299/30 -B500" :X Coordinate
```

```
(TWD97):"/500" :Y Coordinate :"/100":Height : "WESNZ -
```

```
R213520/215713/2694360/2695960/-100/300 -X0.5 -Y0.5 -K
```

```
>redmap(3d).ps
```

定義圖框三軸長寬高。

(E 水平轉/縱方向轉。)

```
grdview fe.grd -JX -JZ -E299/30 -R -Cdtm.cpt -N-
```

```
100/150/120/120 -Qi150 -O -K >>redmap(3d).ps
```

畫鳥瞰圖的底色。

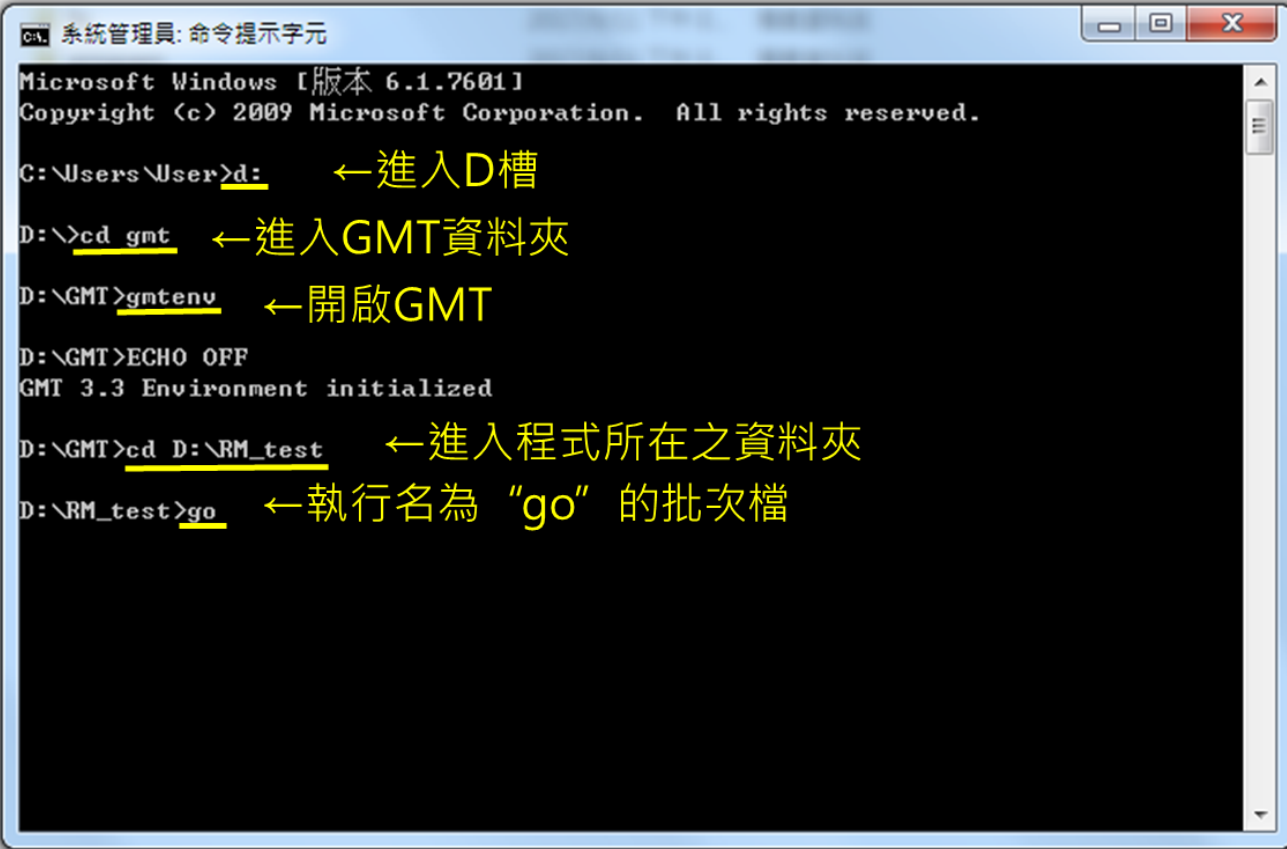
(N 底的起始高程/紅色/綠色/藍色。)

```
psxyz dem_redmap(3d).xyz -E299/30 -JX -JZ -R -Ss0.05 -
```

```
Credmap.cpt -O >>redmap(3d).ps
```

以點的方式畫出鳥瞰圖。

製作完批次檔後，使用命令提示字元開起 GMT，並執行程式。



```
Microsoft Windows [版本 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\User>d:      ←進入D槽
D:\>cd gmt      ←進入GMT資料夾
D:\GMT>gmtenv    ←開啟GMT
D:\GMT>ECHO OFF
GMT 3.3 Environment initialized
D:\GMT>cd D:\RM_test  ←進入程式所在之資料夾
D:\RM_test>go      ←執行名為 "go" 的批次檔
```