

國立臺灣大學理學院地理環境資源學所

碩士論文

Graduate Institute of Geography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

地形暈渲效果之比較研究

A comparison study of shaded relief effect

楊世銘

Su-Ming Yang

指導教授：賴進貴 博士

Advisor：Jinn-Guey Lay, Ph.D.

中華民國 98 年 8 月

August, 2009

國
立
臺
灣
大
學
地
理
環
境
資
源
學
系

碩
士
論
文

地
形
暈
渲
效
果
之
比
較
研
究

楊
世
銘
撰

98
8

國立臺灣大學理學院地理環境資源學所

碩士論文

Graduate Institute of Geography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

地形暈渲效果之比較研究

A comparison study of shaded relief effect



Su-Ming Yang

指導教授：賴進貴 博士

Advisor : Jinn-Guey Lay, Ph.D.

中華民國 98 年 8 月

August, 2009

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

地形暈渲效果之比較研究

A comparison study of shaded relief effect

本論文係楊世銘君（學號 R95228011）在國立臺灣大學地理環境資源學系、所完成之碩士學位論文，於民國 98 年 6 月 29 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

口試委員：

賴世貴

（指導教授簽名）

朱子豪

周學政

謝辭

幾年的研究生生涯，說長不長，說短不短，就這麼過去了。這段日子除了地理資訊專業知識的學習外，也體悟了一些人生哲理。而現在即將邁向人生的另一個階段，希望自己還能憑一己之力，好好經營自己的生活。

本論文得以完成，首先要感謝指導教授賴進貴老師，對於學生選擇的研究題材表達充分的支持，在我需要時給予一些分析方法選擇、文獻搜尋、研究設計嚴謹度上的專業建議，使論文在撰寫時不至於迷失方向。若學生有其他困難，他也會慷慨予以協助、關懷，在此特別向老師致謝。並感謝口試委員朱子豪教授、周學政教授在結論撰寫、暈渲文獻回顧、圖表整理給予的修改建議，使得本論文能更加完善。研究室裡的同學玉臨、茹敏、書婷學姊、立諄學姊、高華學長、淳昱學弟、挺晏學弟、其他行政助理們的打氣與協助，讓我能度過一段徬徨的歲月，為論文而努力的日子。最後感謝父母與家人的支持，讓我能心無旁騖地完成學業。

再次感謝幫助過我的大家，之後我將揮一揮衣袖，不帶走一片雲彩，來拜別此過去多年來，教我良多的學術殿堂。



地形暈渲效果之比較研究

楊世銘

台灣大學地理環境資源學所

摘 要

暈渲是表現地形起伏的常見方式，透過地圖讓讀者直覺感受地形特徵。在電腦地圖發展之前，繪製暈渲圖是一項非常專業技巧，只有少數的地圖專家有能力繪製。近年來，電腦繪圖快速發展，使用數值地形模型來繪製暈渲圖已經非常普遍。電腦繪製的暈渲圖主要是透過坡度和坡向的計算，模擬光源投射在地表所產生的陰影，本質上是以局部地區的地形分析計算為基礎，和手工繪製的暈渲圖有顯著差異，而各繪圖軟體所使用的演算法不同，所產生的暈渲圖彼此間也存有差異。如何利用數值地形資料自動化生產接近手工暈渲品質的效果，是一項值得探討的課題。電腦暈渲的效果的影響因子主要有演算法(軟體)、地形類型、數值資料解析度。本研究從這兩個因素出發，比較不同地形類型、不同演算法產生的電腦暈渲，希望找出這些電腦暈渲演算法的特性。MDOW、Swiss-style 暈渲是為改進電腦暈渲的一些缺點而研發出的新演算法，其灰度值對比要比其他演算法來得小，具有柔和的表現效果。Surfer 軟體各演算法的灰度值對比強烈，灰度值標準差大，比較不適合於一般地圖呈現。其中，Lambertian Reflection 方法的對比尤為強烈，如果要顯示清楚的地形特徵，本方法將是一個良好的選擇。

關鍵詞：地形資料表現、地形暈渲、地圖傳播、灰度值、Swiss-style 暈渲

A comparison study of shaded relief effect

Su-Ming Yang

Graduate Institute of Geography

National Taiwan University

2009

Abstract

Shaded relief is a common way to represent terrain relief for allowing readers to identify topography intuitively. Before the development of computer mapping, only very few professional cartographers can perform shaded relief illustration. Thanks for the advancement of computer applications, analytical shaded relief maps are becoming popular using digital elevation model (DEM) and computer mapping packages. Analytical shaded relief usually relies on the calculations of slope and aspect and simulates the shadows of light shining on the surface. It is based on calculation of terrain analysis in local terrain, and results in great difference with manual shading. Furthermore, the underneath algorithms of various mapping packages are different, so as their results. How to make analytical shading compatible to manual shading is worthy of investigation. The factors affecting analytical shaded relief effect are algorithm (software), landform classification and DEM resolution. This research starts with comparisons of algorithm (software) and landform classification. It is anticipated to find out the characteristics of several available algorithms. MDOW hillshade and Swiss-style hillshade are new algorithms which improves the shortcomings of previous analytical shaded relief methods. The gray value contrast is very strong in four algorithms of Surfer software with rather high standard deviation. Although Lambertian Reflection algorithm has the highest gray value contrast and very detailed relief presentation, it is a good choice to use Lambertian Reflection algorithm if clear and subtle representations of topographical features are desired.

Keywords: landform mapping, shaded relief, map communication, gray value, Swiss-style hillshade

目 錄

口試委員審定書.....	i
謝辭.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究架構.....	3
第四節 研究流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
第一節 地形資料表現法.....	6
第二節 電腦暈渲的影響因子.....	12
第三節 不同暈渲之比較.....	19
第四節 資料視覺化.....	26
第五節 小結.....	27
第三章 研究方法.....	28
第一節 研究區選定.....	28
第二節 地形暈渲製作.....	30
第三節 暈渲圖灰度值分析方法.....	36
第四章 結果分析.....	42
第一節 稜線谷線比較分析.....	42
第二節 灰度值分析.....	46
第三節 彩色暈渲比較.....	48
第五章 結論與建議.....	58
第一節 結論.....	58
第二節 建議.....	60
參考文獻.....	61

圖目錄

圖 1-1	台灣人口分布與地形的關係	2
圖 1-2	研究架構	4
圖 1-3	研究流程	5
圖 2-1(A)	山脈的具象圖 1.....	6
圖 2-1(B)	山脈的具象圖 2.....	6
圖 2-2	1935 年金子常光 台灣鳥瞰圖 (部分).....	7
圖 2-3	暈滷圖	8
圖 2-4	不同陰影濃度決定方式的暈渲	9
圖 2-5	不同立體感程度的暈渲	9
圖 2-6	不同立體感暈渲之光源設定	10
圖 2-7	傳統 2D 暈渲與 Plan oblique relief 效果比較.....	10
圖 2-8	加州斜視投影 3D 衛星影像	11
圖 2-9	Bryce 軟體的 Terrain editor 操作介面.....	11
圖 2-10	西關刀山(埔里附近)漁網圖.....	12
圖 2-11	不同軟體產生的暈渲效果比較	13
圖 2-12	GlobalMapper 產生暈渲的過程 (示意圖).....	15
圖 2-13	GlobalMapper 產生暈渲的過程 (示意圖).....	15
圖 2-14	不同地形類型下的暈渲效果	18
圖 2-15	歐洲地形圖	21
圖 2-16	暈渲概括化比較	22
圖 2-17	分層設色圖概括化比較	22
圖 2-18	以 ATM 為基礎的地形概括化.....	23
圖 2-19	以 SLM 為基礎的地形概括化.....	25
圖 3-1(A)	研究區地圖.....	29
圖 3-1(B)	研究區地圖.....	29
圖 3-2	不同暈渲修正方法之效果比較	32
圖 3-3	不同鄰居範圍的 MDOW 暈渲.....	33
圖 3-4	Laplacian of Gaussian 演算法使用 5x5 遮罩運算過程.....	39
圖 3-5	不同邊緣偵測演算法析取稜線谷線效果比較	40
圖 3-6	LoG 演算法產生之義大利麵條效應.....	40
圖 4-1	不同演算法暈渲效果比較	43
圖 4-2	Surfer軟體各演算法析出的稜線谷線	44
圖 4-3	Global Mapper暈渲與MDOW暈渲析出的稜線谷線.....	45
圖 4-4	不同鄰居範圍的MDOW暈渲	46
圖 4-5	丘陵在不同演算法下的暈渲效果	50

圖 4-6 台地在不同演算法下的暈渲效果 52
圖 4-7 盆地在不同演算法下的暈渲效果 55
圖 4-8 山地在不同演算法下的暈渲效果 57



表目錄

表 3-1	依DEM敘述統計劃分的地形類別	28
表 3-2	研究區範圍	28
表 3-3	所用的地形資料	30
表 3-4	不同演算法可供調整的暈渲參數	34
表 3-5	不同演算法參數設定大小對暈渲效果之影響	35
表 3-6	統一用的地形色表	41
表 4-1	各演算法暈渲的稜線析取情形	45
表 4-2	各演算法、各地形類別下的灰度值粗糙度	46
表 4-3	灰度值粗糙度排序	46
表 4-4	各演算法、各地形類別下的灰度值對比度	47
表 4-5	灰度值對比度排序	48



第一章 緒論

第一節 研究動機

地形資料的表現有許多種方式，如傳統的鳥瞰圖、暈滃圖 (Hachure)、手繪暈渲圖、等高線等，到近代電腦輔助下產生的 2D 暈渲圖、3D 暈渲圖、漁網圖 (Wireframe)、模擬飛行動畫等。在這些之中，等高線是一種量化的表達地形方式，提供最豐富的地形資訊。但是在真實世界中不易看到類似等高線的地形，讀圖者不容易直接判讀，所以必須透過教學來學習等高線使用。而且在教學上，學生第一次碰觸等高線時，常不易理解其概念 (Kennelly, 2002)。因此單獨使用等高線並不容易將地形資訊作有效的傳播 (Hobbs, 1995)。暈渲 (Shaded relief) 是一種直覺有效的地形視覺化表達方式，不論在主題地圖 (Thematic Map) 或普通地圖 (General Reference Map) 上，我們常可以看到地形暈渲作為地圖的底色，提供讀圖者關於地貌狀況的資訊，或是某種地理現象或地物的分布與地形起伏之關係。(參見圖 1-1)。為了兼顧等高線的資訊豐富與暈渲的直覺表達優點，在山區的普通地圖裡，會用等高線搭配彩色暈渲圖的混合表達方式。等高線提供不同區域高度值資訊，暈渲提供讀圖者大致高低起伏情形，能讓讀圖者能快速掌握該地地形全貌。

暈渲圖繪製方式主要有兩類：手繪暈渲 (Manual Shading) 及電腦暈渲 (Relief-shading)。前者是由有經驗的繪圖人員來進行，後者是藉由電腦繪圖軟體利用數值地形模型 (Digital Terrain Model)，假設只有單一光源照射下，設定光線照射方向 (Azimuth)、光源所在高度角 (Altitude) 的參數，計算其反射程度 (Reflectance Calculation)，得到陰影分布狀況來表達地形起伏 (Pike, 1992)。它優點是能以快速、客觀的方式產生暈渲 (Jenny, 2001)，但是相較於手工暈渲，通常沒有概括化的過程。像圖 1-1 背景的暈渲資訊就沒有強化主要山脈走向，如果不是對這個地理區有一定程度了解的人不容易看出那邊是高山、那邊是低緩的山

丘。只能大概分出圖片中，山地、丘陵、平原的分布區。

手工暈渲的繪製流程大致如下：先參考等高線用美工軟體的噴槍製作出粗略、平滑化、模糊的地形陰影，不會像很多電腦暈渲有尖銳的描繪筆調；然後對於稜線、主要地貌走向加強描繪，強化讀圖者的 3D 地形印象；最後把分層設色圖與黑白手繪暈渲套疊。電腦暈渲的繪製流程則較為簡單快速：先準備好該地區的數值地形資料，然後透過某一個演算法 (軟體) 的計算，得到黑白暈渲圖，再與分層設色圖套疊 (Heuberger and Kriz, 2006)。手繪暈渲雖然是品質最好的暈渲來源，具有許多電腦暈渲不能達到的優點，但因製作不易、需要有專業繪圖能力才可以進行，因而少見。



圖 1-1 台灣人口分布與地形的關係

第二節 研究目的

本研究的研究目的如下：

一、電腦暈渲暈渲效果會受一些因素影響，演算法算是影響最大的因素。本研究想透過邊緣偵測技術，析取出暈渲上的稜線谷線，與手繪暈渲圖面上顯示的稜線谷線作比較分析。來看出同一地區裡，不同演算法造成的暈渲效果、對讀圖者產生的影響。

二、評估不同演算法、不同地形類別下造成的暈渲效果，以找出本研究所探討的這些電腦暈渲演算法具有哪些特性。因為你可能不見得需要製作出最好的暈渲效果，花很多時間用美工軟體的噴槍參考等高線圖製作手工暈渲。只需要品質比普通電腦暈渲好一點的暈渲，但是花費時間與電腦暈渲相同，不再花時間於美工軟體作細部陰影修正。



第三節 研究架構

電腦暈渲效果的影響因子主要有演算法(軟體)、地形類型、數值地形資料解析度(見圖 1-2)。不同的演算法執行出的地形暈渲效果會不同，像是 ArcMap 軟體的暈渲看起來很尖銳，有稜有角；GlobalMapper 軟體暈渲仿造用噴槍製作手工暈渲效果，暈渲陰影會經過模糊化處理。接著，不同的地形類型會切出不同敘述統計特徵的數值地形資料，影響了最後的暈渲效果。最後還有數值地形資料解析度。解析度越高出來的暈渲越細緻，越低則暈渲會平滑粗略。

由於在某一比例尺下，適當呈現暈渲所用數值地形資料解析度關係已有國外文獻探討過，並找出一個大拇指定律。例如，在一百萬分一地圖上，數值資料解析度不能低於 250 公尺 (Heuberger and Kriz, 2006)。從這個關係式我們可以推出繪製其他比例尺暈渲圖所需最低數值資料解析度，像是在五百萬分一地圖上，數值資料解析度不能低於 1250 公尺。因此本研究想要從前兩個因素出發，比較不

同地形類型、不同演算法產生的電腦暈渲，總結出這些電腦暈渲演算法的特性。

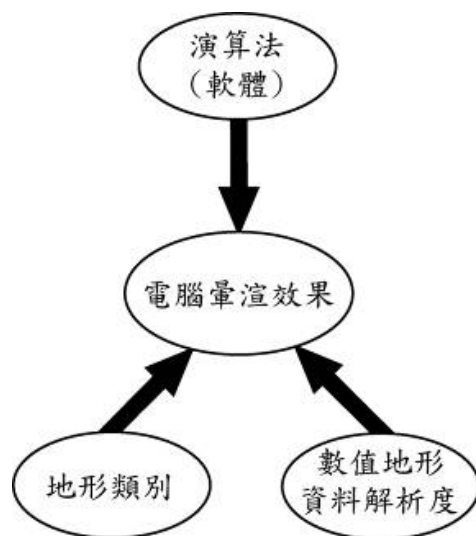


圖 1-2 研究架構

第四節 研究流程

整個研究過程可分為五大部分。第一是研究問題的確定；第二是文獻回顧；第三是研究設計、研究方法的確定；第四是暈渲圖分析，有兩項：不同電腦暈渲與手繪暈渲稜線谷線分布比較分析；不同演算法、不同地形暈渲圖的灰度值組織分析；還有最後的分析結果討論。

第一部份包括研究動機、研究目的。產生電腦暈渲的演算法有許多種，但與手繪暈渲相較，皆有一些缺點要修正。本研究於是想透過一些數值分析方法，分析這些不同演算法、不同地形對暈渲效果產生的影響。

第二部份是文獻回顧，有四項：各種地形表現方法的介紹、電腦暈渲效果影響因子的討論、電腦暈渲與手繪暈渲的比較、資料視覺化。第一項介紹傳統的及近代輔以地理資訊系統的各式地形表現法。第二項會把本研究用到的電腦暈渲公式或演算法執行流程、這些暈渲效果因子大概會造成哪些影響作個詳細論述。第三項將以 Imhof (1982)的著作「Cartographic Relief Presentation」為基礎，描述有哪些電腦暈渲缺點要修正，及過去的研究中提及的可能改進方式。第四項講述資

料視覺化是什麼，而暈渲正是地形資料視覺化的常用方式。

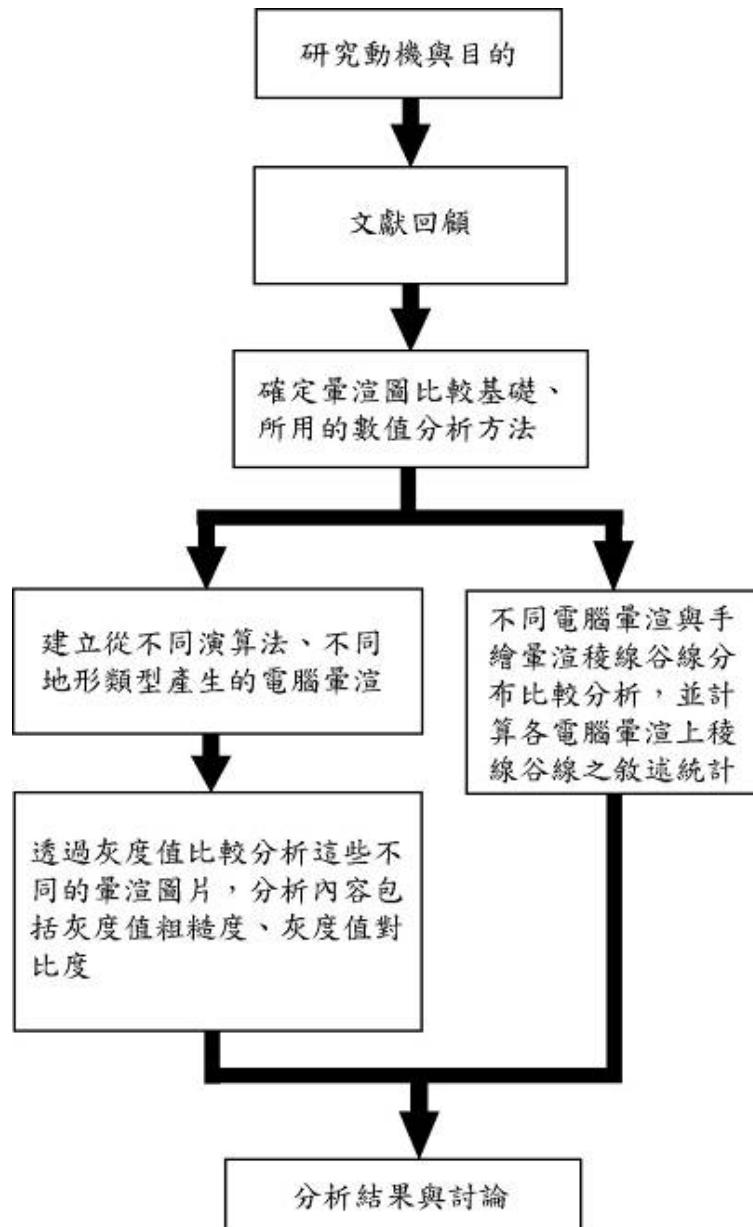


圖 1-3 研究流程

第三部分包括研究區選定，確定用來分析比較的基礎、會用到的電腦暈渲演算法、評估各暈渲的指標計算方法。第一項分析，同一區塊裡不同軟體的電腦暈渲與手繪暈渲顯示出的稜線谷線比較，選定臺灣東北三貂角作為比較區。第二項分析會針對四種地形類型、九種不同的電腦暈渲演算法製作出不同效果的暈渲圖片。分析圖面上灰度值變異程度、黑白對比強烈程度，比較當某個控制變因改變時，暈渲效果會有什麼變化。於是便根據這些步驟來進行第四部分的分析流程。

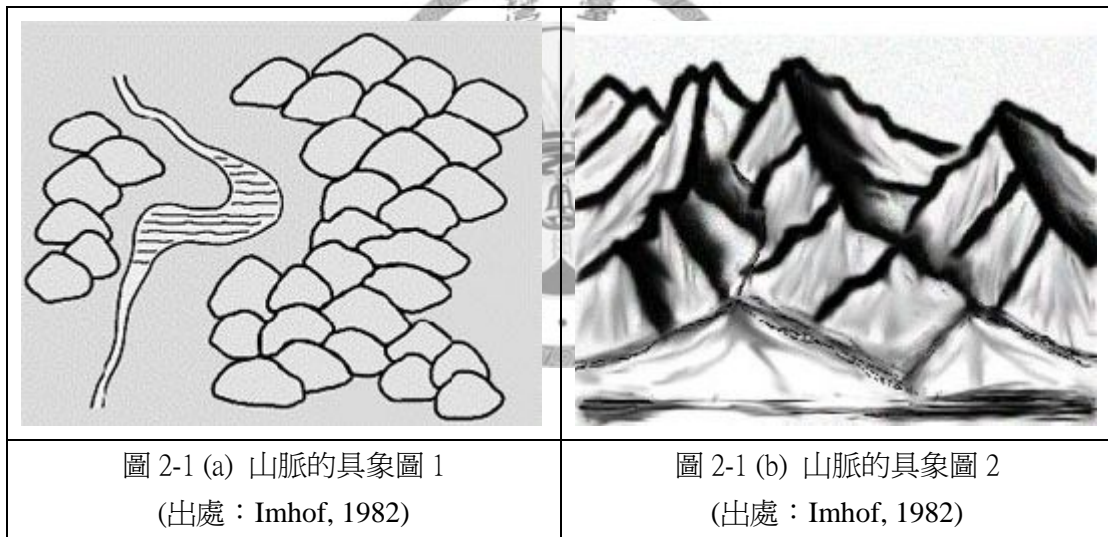
第二章 文獻回顧

第一節 地形資料表現法

地形資料表現法有許多種，有傳統的，也有現代藉由地理資訊系統輔助產生的。暈渲及等高線的繪製可經由電腦進行。但是與手繪暈渲或等高線相較，在小比例尺地圖上或是地形歧異度大的地方仍有一些地圖概括化的問題要解決。

一、具象圖

具象圖就是用粗略的圖畫符號來表示地形。古早的人，在要記錄某地的地形起伏的時候，常常就是直接描繪下這個地形給他們的印象或感覺(圖 2-1(a)、(b))，但是卻無法得知當時的地形高度資料，只能知道大概的地形樣貌。



二、鳥瞰圖

由於人們的藝術表達能力增加，圖畫式表現法的效果得以不斷提高。圖 2-2 為 1935 年金子常光所繪製的台灣鳥瞰圖之一部份，上面除了描繪出當時的 3D 景色、都市建築景象，還註記了各地風景名勝、名產。鳥瞰圖很誇大的表示出金山旁邊的野柳岬，實際上岬角應該要更小才對。左上角的海天一線還可看到沖繩、鹿兒島、東京等日本內地，但實際上往東北方向看應該只能看到沖繩才對。鳥瞰圖裡有許多景色、地形經過畫家的心智圖想像予以誇張化，常與實際現象不

符，減少了記錄上的參考價值。而且除非有註記山峰高度，不然無法得知地形高度資料。

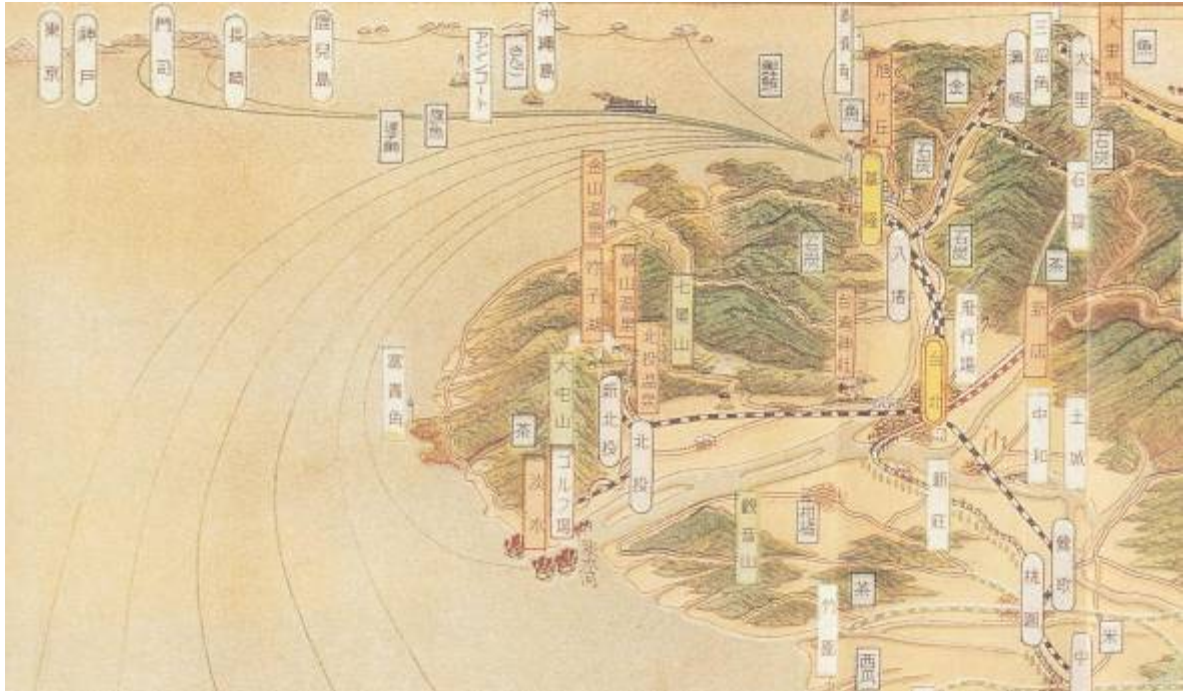


圖 2-2 1935 年金子常光 台灣鳥瞰圖 (部分)
出處：(莊永明編，1996)

三、暈滃圖

1799 年奧地利軍官列曼 (Lehmann)發明了一種用線符號來表示地形的暈滃法 (Hachure)。有系統地使用短線條的寬度變化，循最大坡度方向，以表示地形起伏，其平面位置與等高線的位置相垂直，暈滃線的寬度隨坡度角之大小而變化。列曼法規定暈滃線粗細與所在斜坡的坡度成比例，但有的暈滃法是不依坡度變換線寬，而採同樣粗的線再以間隔密度區別不同坡度。此法能使人產生一種暗影的錯覺，給讀圖者在假定光正射或斜射圖面下，觀察三維地表的假象。在小縮尺地圖或未經測量的地區途中，暈滃線很容易變成毛毛蟲式。(賀忠儒等，2002)。

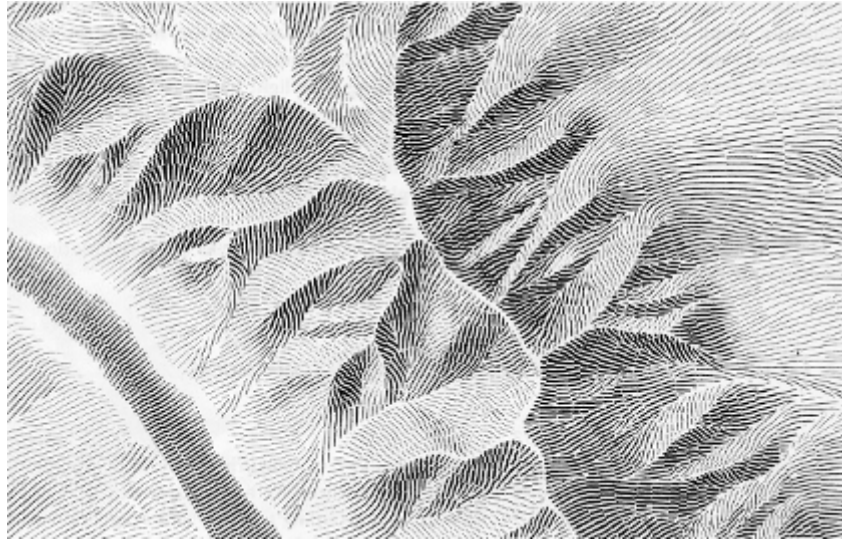


圖 2-3 暈滷圖
(出處：Imhof, 1982)

四、等高線

1728~1730 年間，荷蘭工程師克魯圭氏 (N. cruqeus)，曾用此種方式來表示茂爾威德河的深度，後又用此法來表示陸地的高低，直到十九世紀後，已逐漸被普遍採用。等高線是表示地面起伏型態的等值線。它是把地面上高度相等的各相鄰點所連成的封閉曲線，垂直投影在平面上的圖形。等高線具有數值上的精確，在大比例尺地圖上可以推算出坡度、坡向。從兩條等高線的間距再加上高度差可以算出坡度；與等高線垂直的方向為坡向。

五、地形暈渲

相較於等高線，暈渲 (Shaded relief)將各間隔高度線分布轉換成連續起伏的表面 (Imhof, 1982)，符合地形資料是連續分布的概念，給人直覺的感受，但暈渲缺乏計量的功效 (賀忠儒等，2002)。依據陰影濃度決定方式可分為坡度暈渲 (Slope shading)、斜照暈渲 (Oblique shading)、綜合暈渲(Combined shading) (Imhof, 1982；賀忠儒等，2002)。坡度暈渲是根據每個像素 (pixel)坡度值決定灰度值，若坡度一樣的地方灰度值會一樣，越陡峭的地方陰影越黑，水平地面則為白色。坡度暈渲又稱為直照暈渲。斜照暈渲是模擬光線斜射表面產生的暈渲，符合人們對於地形起伏的真實印象。通常入射角為 45 度，從西北照向東南。坡度暈渲與

斜照暈渲都有缺點，無法令人滿意。坡度暈渲的光源來自頂部，不太符合人們對於地形起伏的真實印象，不易辨認。斜照暈渲雖容易給人辨認，但若嚴格應用，則往往明亮處過份明亮，暗處過份暗，造成同一坡度的強烈明暗差異，而其實只是方向不同。因此出現了綜合暈渲。它是將前兩者的特性結合的暈渲，利用坡度暈渲的原理來緩和斜照暈渲不同方向的強烈明暗差異。(賀忠儒等，2002)。其他關於暈渲的詳細說明，在本章後兩節會有更詳細的論述。

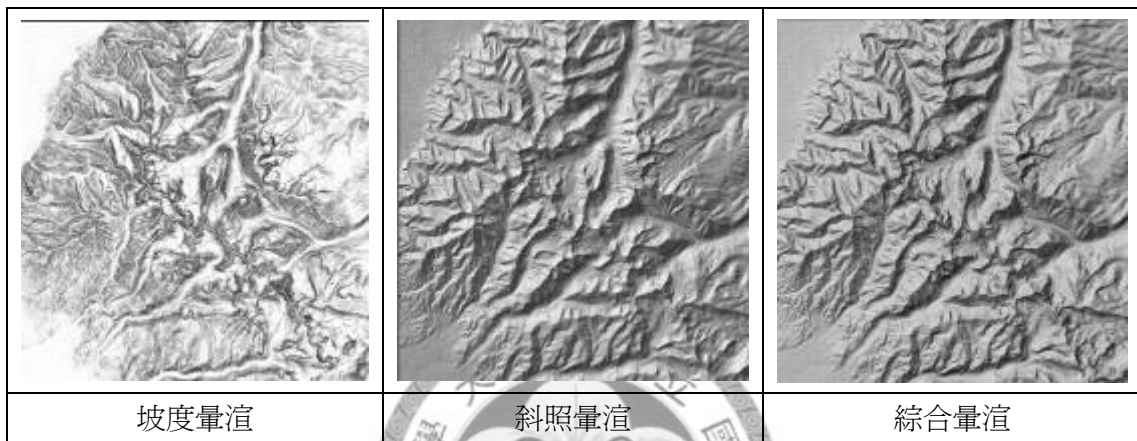


圖 2-4 不同陰影濃度決定方式的暈渲 (Kennelly, 2008)

以上所討論的是正射觀察光照下的地表得到的暈渲，還有另一種模仿人眼真實觀察的效果，用透視 (perspective view) 觀察得到的 3D 暈渲。由於容易被理解，能提供高視覺享受，現在常被大量運用於 3D 電玩遊戲、虛擬實境裡。Jenny and Patterson (2007) 依據暈渲的立體場景感，從低到高，分成傳統暈渲、Plan oblique relief、3D 透視暈渲。Plan oblique relief 不同於傳統暈渲從無限遠的正上方觀察，而是在低空介於 0~90 度之間觀察 (圖 2-6)。因為光源的位置在低空，照射出的

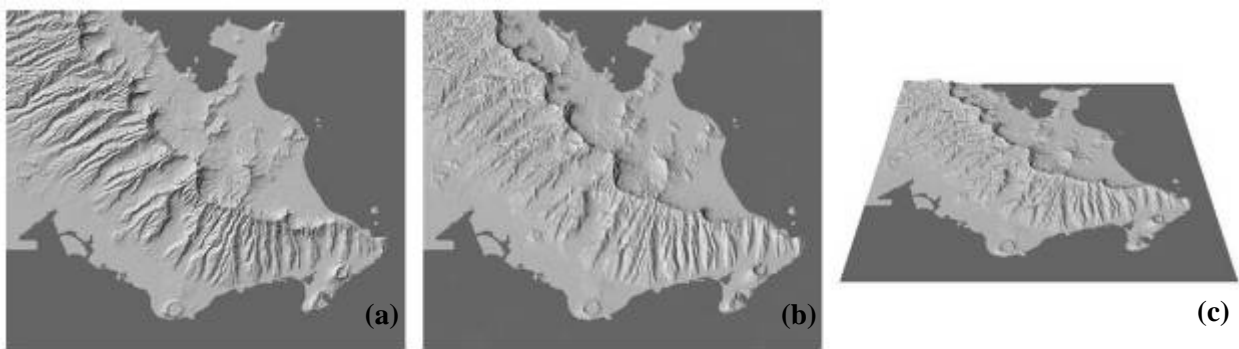


圖 2-5 不同立體感程度的暈渲 (Jenny and Patterson, 2007)

(a)傳統 2D 暈渲；(b) Plan oblique relief；(c)3D 透視暈渲

光暈效果會使地形有高度差異感，但是與傳統暈渲一樣，影像面與地表水平面平行，因此光源投射出來的暈渲影像不會受到扭曲（圖 2-5 (a)、(b)），正正方方地呈現在 2D 平面上，只在光暈效果與傳統暈渲有一點差異（圖 2-7）。這即便到了現在資訊發達的時代，也只有 Natural Scene Designer Pro 5.0 軟體開始在 2007 年提供此種暈渲的快速製作選項 (Patterson, 2007)。不然多要用手工繪製，或是靠各軟體間合作做出類似效果。

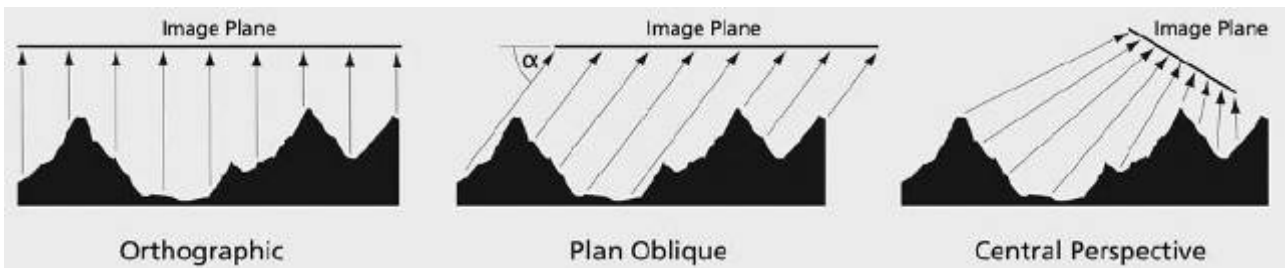


圖 2-6 不同立體感暈渲之光源設定 (Jenny and Patterson, 2007)
 從左至右：傳統 2D 暈渲；Plan oblique relief；3D 透視暈渲



圖 2-7 傳統 2D 暈渲與 Plan oblique relief 效果比較 (Patterson, 2007)

3D 透視暈渲，其影像面地表水平面不是平行，因此投射出的暈渲影像會有扭曲變形（圖 2-6、圖 2-5 (c)）。傳統作法是由有經驗的製圖人員繪製或是製作成縮小模型拍照，不過現今大部分都由軟體協助繪製。如果要簡單效果的，可以使用 ArcScene、GlobalMapper 等；要逼真的效果可以選擇 Natural Scene Designer、Bryce、Vue 等。Natural Scene Designer 軟體可以將衛星影像、數值地形資料作為輸入資料。但是要作各種投影、大地基準的設定，必須使用 Pro 版本。可設定的投影裡，其中有斜視投影 (Tilted perspective projection)，可模擬從低空看地球

的效果 (圖 2-7)。但是同樣可協助建構 3D 場景的 Bryce、Vue 卻無法做到，仍以美工導向的編輯功能為主，缺乏支援 GIS 資料、投影設定的功能。



圖 2-8 加州斜視投影 3D 衛星影像
Image copyright (C) 2009 Natural Graphics

Bryce 軟體具有地形模型編輯功能，可以抬高或拉低某處 (圖 2-)，並提供丘陵、泥裂地、圓丘、山脊等多個 3D 模型樣本供使用者快速編輯修改。之後還利用一些美工功能，貼上雪山、棕色岩地、森林等地貌材質，再加上植被、建築物等物件，或是雲朵、霧等特效，建構出獨特的 3D 場景。Bryce 算是較常用的 3D 場景編輯軟體，另外還有同功能，e-on software 公司出的 Vue 軟體提供另一選擇。

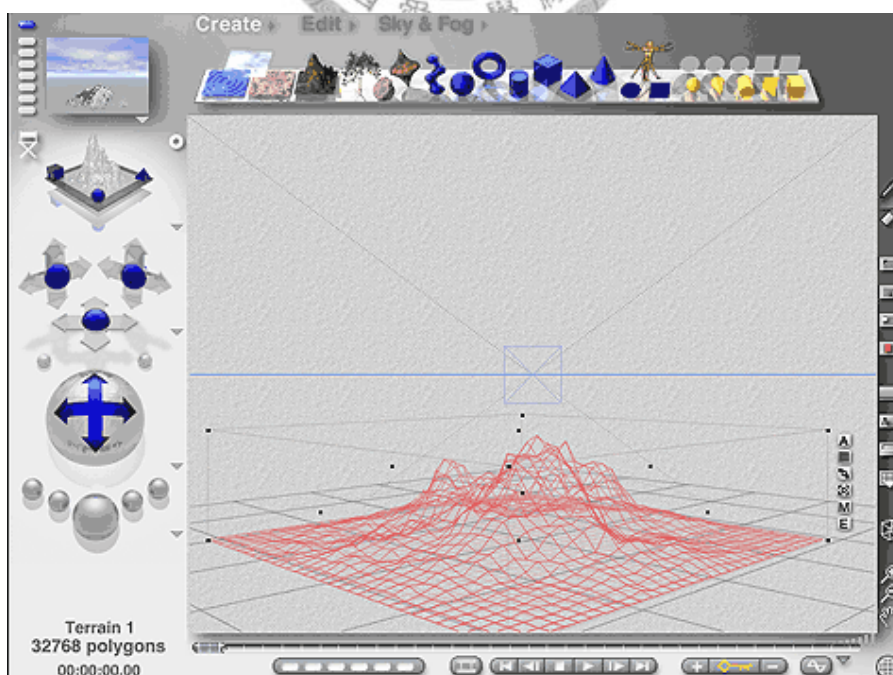


圖 2-9 Bryce 軟體的 Terrain editor 操作介面
(從 Bryce 5.5 試用版擷取畫面，該軟體是 DAZ production 公司的產品)

六、漁網圖

利用規則網格的數值地形資料，依據各網格點的高度值，將每條 X 方向與 Y 方向的地形剖面圖畫出，在三度空間中彼此垂直交叉排列成高低起伏的立體網格(圖 2-5)。此種圖又稱為透視跡線圖，在電腦裡可以調整觀察位置、視角，讓人隱約感受到地形起伏。但是幾乎要依賴電腦協助繪製，不容易用人工方式繪製。

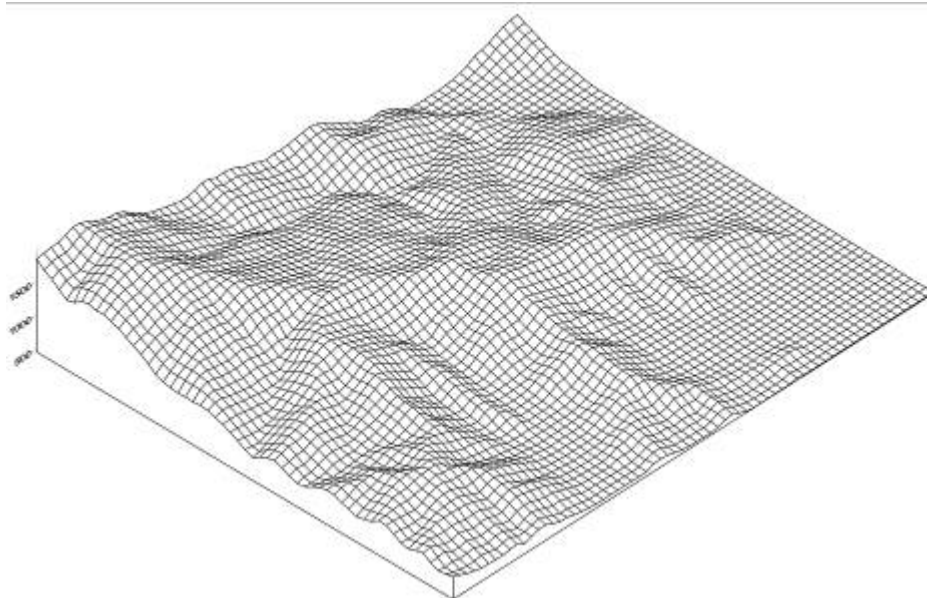


圖 2-10 西關刀山(埔里附近)漁網圖

第二節 電腦暈渲的影響因子

以下將就這三影響因子來分別作詳細說明：

一、不同軟體的暈渲視覺效果

製作電腦暈渲可用的軟體有很多種，例如 ArcMap、Surfer、GlobalMapper、Natural Scene Designer、MacDEM、Bryce、MapRender3D Pro 等。但因作業系統不同及有些軟體取得不易等原因，本研究將只以 ArcMap、GlobalMapper、Surfer、MapRender3D Lite 軟體為工具，比較不同製作途徑下的各種暈渲圖。

ArcMap 軟體與 GlobalMapper 軟體產生的暈渲相較，前者對於平緩地 (flat area)大量用灰色表示。轉成彩色暈渲後，暈渲陰影會太重。平緩地多為人口聚集

處，要註記的地圖資訊也多，應當使用較亮的色調，以免讓整體圖面的顯著性太重 (Imhof, 1982 ;Jenny, 2001)。這方面 GlobalMapper 軟體有注意到。所以用 2D 暈渲作地形判釋時，ArcMap 比較適合；至於地圖呈現用途，則以 GlobalMapper 比較適合。若把這兩個 2D 暈渲放入 ArcScene 作 3D Drape，Drapping 的參數設定皆相同，發現 ArcMap 的 3D 暈渲表現出的地形比 GlobalMapper 來的灰暗，黑白對比不強烈，其餘暈渲效果皆類似 (見圖 2-11)。

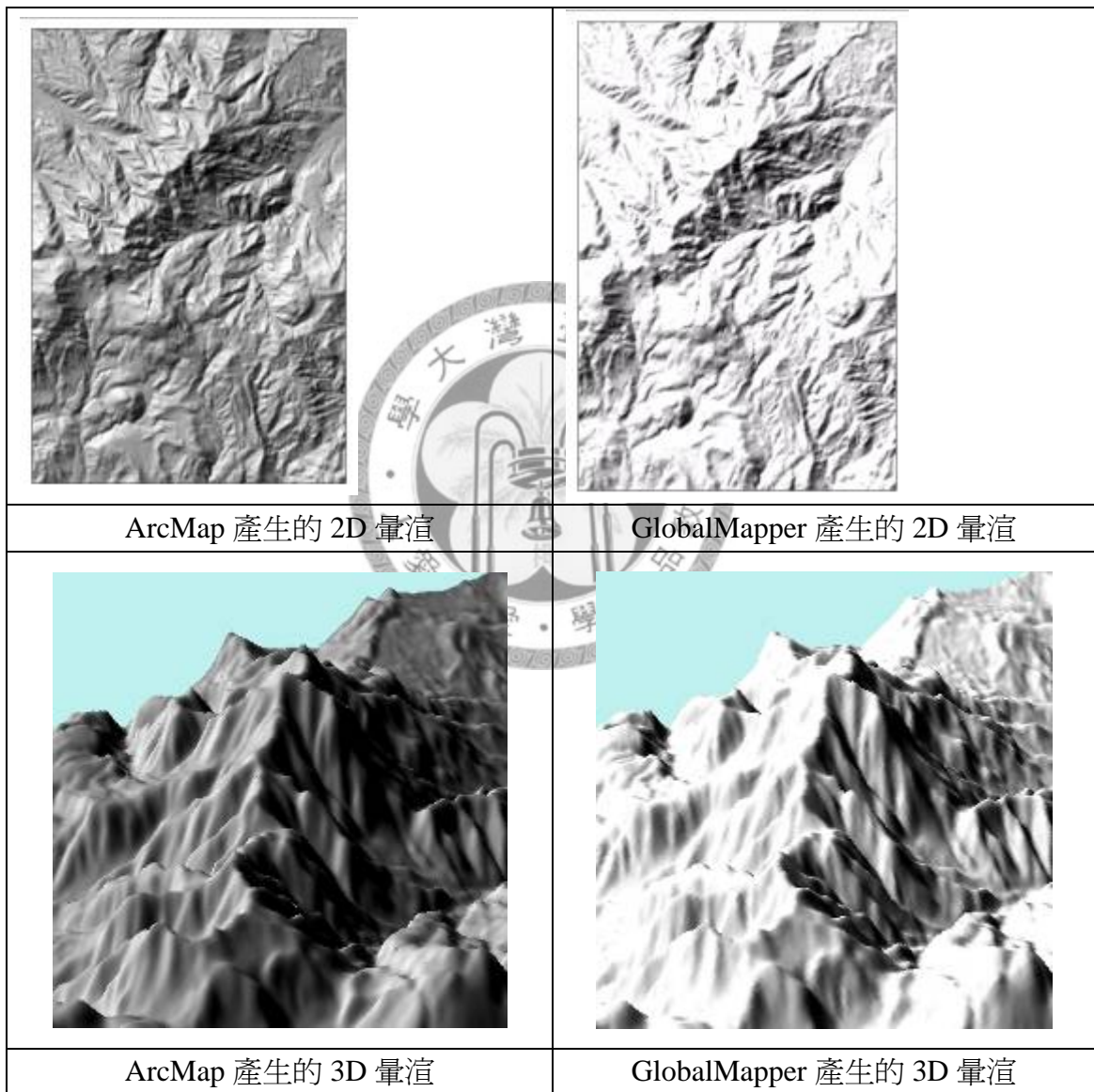


圖 2-11 不同軟體產生的暈渲效果比較

【1】ArcMap 從數值地形資料計算地形暈渲的公式 (Eyton, 1991)

假設此格數值地形資料之坡向為 A_f ，坡度為 H_f ，模擬光源所在高度角為 H_s ，光線方向為 A_s ，Relative Radiance 為 R_f ，暈渲濃度為 I_f

$$\text{則 } R_f = \cos(A_f - A_s) \sin(H_f) \cos(H_s) + \cos(H_f) \sin(H_s)$$

$$0 \leq R_f \leq 1, 0 \leq A_f \leq 360, 0 \leq H_f \leq 90,$$

$$0 \leq H_s \leq 90, 0 \leq A_s \leq 360, 0 \leq I_f \leq 255$$

根據 R_f 的值，把範圍用線性內插擴大到 0~255，變成 I_f (255 最亮，是白色；0 最暗，是黑色)，ArcMap 軟體就是用每格網格的 I_f 值描繪出暈渲。若之後在黑白暈渲之上放置分層設色圖，分層設色圖圖層透明度為 50%，就出現彩色暈渲圖。

【2】GlobalMapper 從數值地形資料計算暈渲的概略過程
(感謝 GlobalMapper Software 公司的解說)

先根據使用者設定的高度色表，決定每格地形資料應該上的顏色。再來就是產生黑白暈渲。每格地形資料會考量自己的值與周遭鄰居的值，運算出一小塊一小塊的面，在 3D 空間裡拼起來，如圖 2-12 所示。然後模擬光源在某個高度角及光源方向的設定下，每小塊 Surface 會產生的陰影濃度，就完成了黑白暈渲的計算，如圖 2-13 所示。

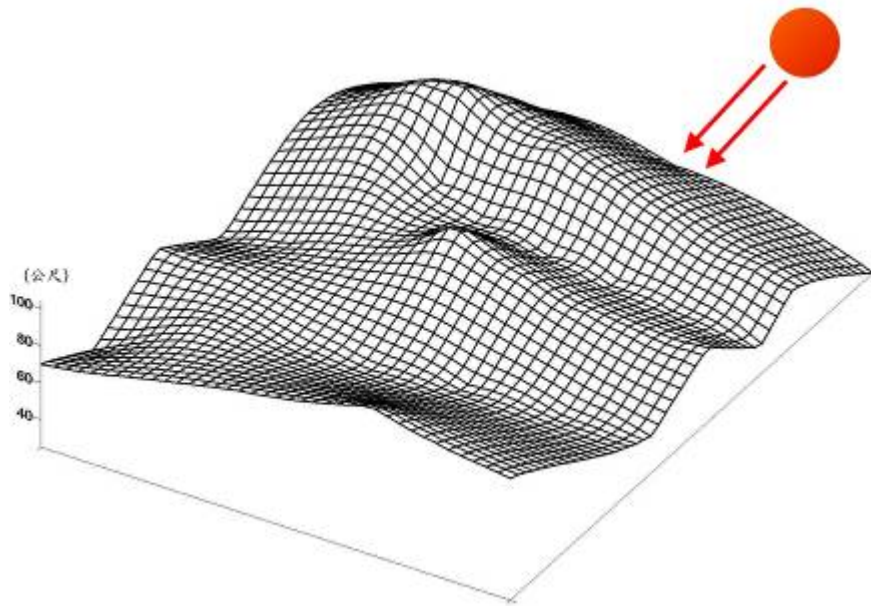


圖 2-12 GlobalMapper 產生暈渲的過程 (示意圖)

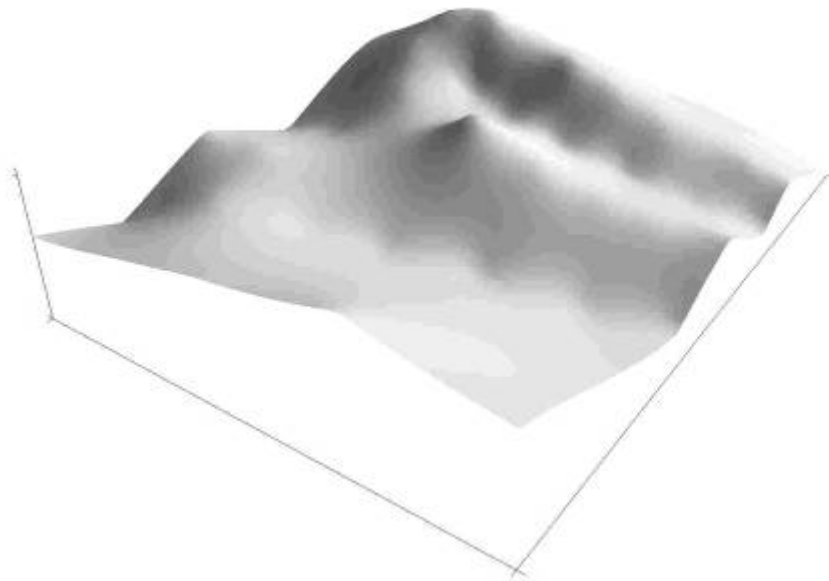


圖 2-13 GlobalMapper 產生暈渲的過程 (示意圖)

【3】Surfer 從數值地形資料計算地形暈渲的過程

在製作地形暈渲時，Surfer 有四個演算法可供選擇：Simple、Peucker's Approximation、Lambertian Reflection、Lommel-Seeliger Law。Simple 法可以很快速地產生粗略的暈渲影像，光源所在高度角預設為 45 度，光線方向預設為 315 度不能更改。Peucker's Approximation 法是一種逐步線性近似的演算法，而光源所在高度角、光線方向也和 Simple 採用相同的預設值不能更改。Lambertian

Reflection 法的暈渲是考量在任何方向的光，強度均一樣，照在不透光的理想表面上的情形所運算。它可以更改光源所在高度角及光線方向的設定。

Lommel-Seeliger Law 法是權衡在理想曲面下及實際表面的光線散射情形，妥協運算的結果。它可以更改光源所在高度角及光線方向的設定 (Golden software Inc., 2002)。

Simple 法 (Horn, 1981)

假設某點之反射光強度為 I ，光線入射角為 i

則 $I = \cos(i)$

以各點的反射光強度計算結果去繪製出暈渲。所以 Simple 法下的陰影濃度會受地形坡度很大的影響，坡度越陡，暈渲陰影越重。與光線入射方向較無關。

Peucker's Approximation 法 (Horn, 1981)

由於當時是計算機速度尚不發達的年代，在計算平方根時速度緩慢許多。因此 Peucker 利用逐步線性近似計算式，快速求得要用到平方根的坡度，得到最後的暈渲灰度值。

假設某點之反射光強度為 I ，東西方向的坡度為 p ，南北方向的坡度為 q

$$I(p, q) = 0.3441p - 0.5219q + 0.6599, \text{ for } p + q > 0$$

$$I(p, q) = 0.5129p - 0.3441q + 0.6599, \text{ for } p + q < 0$$

或者可以寫成：

$$I = 0.4285(p - q) - 0.0844 |p + q| + 0.6599$$

$|p + q|$ 是指對 $p + q$ 取絕對值

最後以各點的反射光強度計算結果去繪製出暈渲。

Lambertian Reflection 法 (Blinn, 1977)

此模式是根據有個理想的曲面，稱為 Lambertian reflector，會反射所有的入射光，且在任何觀察方向反射光亮度皆相同。在此情況下，光亮的面積乘以 π 等於陰影的面積，光亮的面積與 $\cos(i)$ 呈倍數關係。 i 為光線入射角。從此特殊情況產生的數學關係，於是得到了下列公式：

假設某點之反射光強度為 I ，光線入射角為 θ ，入射光線之方向角為 ϕ ，入射光線高度角為 ϕ_0 ， θ_0 為觀察者方向與平面法向量之間的角度

$$I = \cos \theta_0 \cos \theta + \sin \theta_0 \sin \theta \cos(\phi - \phi_0)$$

以各點的反射光強度計算結果去繪製出暈渲。

Lommel-Seeliger Law 法 (Horn, 1981)

由於不同的表面其反射係數不同，且多與理想曲面狀況差異甚多。因此在天文物理研究中，需要發展出一套精準的模式，用來計算太陽光照到不同行星表面之反射情形，以推估出各行星的反射係數。此為其中一個模式，觀察光在多孔表面的第一次散射情形所制定，最早由Lommel所發展出的，後經由Seeliger修改而成。假設某點之反射光強度為 I ，光線入射角為 θ ，入射光線之方向角為 ϕ ，入射光線高度角為 ϕ_0 ， θ_0 為觀察者方向與平面法向量之間的角度

則

$$I = (1 + \cos \theta_0) / [1 + \cos \theta / (\cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos(\phi - \phi_0))]$$

以各點的反射光強度計算結果去繪製出暈渲。

【4】MapRender3D Lite 軟體

MapRender3D Lite 因為是免費軟體，所以不能調整光源所在高度角、光線方向這兩項參數，只有在 MapRender3D Pro 才可以。這兩項參數在 MapRender3D Lite 裡應該分別設定為 45 及 315。由於商業上的考量，無法從軟體公司得知軟體

大概的運作過程資訊。不過經過一些觀察比對，此軟體決定暈渲陰影濃度的考慮要素可能有坡度、坡向、高度誇張值（誇張值越大，暈渲陰影越重）、此 DEM 的 cell value 的最高值與最低值（在同一個 DEM 中，若設定的高低值差異越大，暈渲對比越強烈）。

二、不同地形類型的暈渲視覺效果

在不同地形類型：丘陵、台地、高山上，由於高度、坡度分布歧異度不同，會影響各灰度值的頻率分布 (Histogram)。下面的兩張暈渲皆以 GlobalMapper 繪製，可以看到大屯火山群坡度大的地方比竹苗丘陵多，接近黑色的網格數也多。

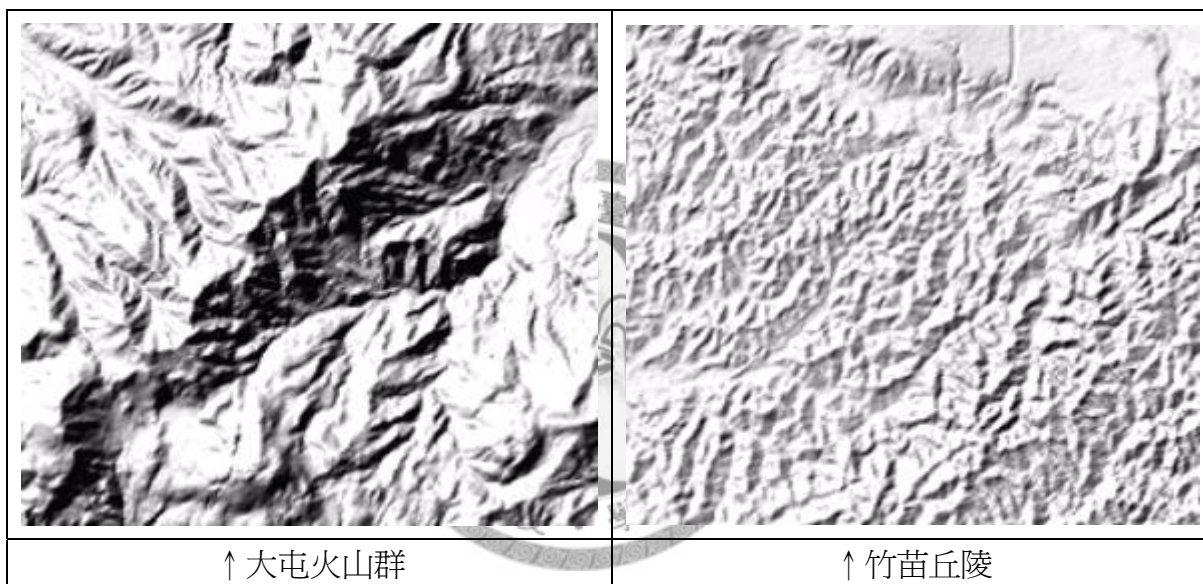


圖 2-14 不同地形類型下的暈渲效果

三、不同數值資料解析度的暈渲視覺效果

利用解析度低的數值資料產生的電腦暈渲，裡面的地形起伏越粗略平滑，但是地形解析度也不能太低，會變得完全不能看。使用高解析度的數值資料，電腦暈渲可以描繪出很細微的地貌，但是高低處黑白對比並不明顯，無法讓讀圖者抓到主要地形特徵為何。這部分可以探討的地方在於某一比例尺下，生產電腦暈渲所需數值資料解析度不能低於某個數值，否則圖面上會充斥著馬賽克圖案。

第三節 不同暈渲之比較

大部分電腦暈渲的演算法會依循越陡峭處，暈渲越重的原則，設定坡度越大的地方陰影越黑。除了影響讀圖者的視覺焦點，沒有強調主要地勢之外，也影響了山脈名等地圖註記的清晰度 (Price, 2001)。手繪暈渲在地形起伏大的地方，非常依據坡向資訊，每個坡面分的很清楚；在低緩處手繪暈渲使用 Diffuse reflection，黑白對比不明顯；平原要使用較亮的灰色色調，讓圖面註記能清楚呈現 (Jenny, 2001)。一般來說，手繪暈渲可解決電腦暈渲的諸多缺點，唯一缺點就是耗時太久，需要良好訓練專業人員繪製，非常費功夫，導致手繪暈渲比電腦暈渲來的少見。

電腦暈渲之四個缺點：(主要整理自 Imhof, 1982)

一、Azimuth-biasing：自然的地形暈渲，光線是散射的，從陰影可明顯辨識裸露地表的地形起伏。但電腦暈渲只模擬單一方向光線照射，會有一部分的暈渲是錯誤的假象，此狀況稱為Azimuth-biasing。當設定的光線方向偏離315度 (從西北照向東南方向)太多時，會看起來比較不自然。例如當光源方向設定為135度時跑出來的暈渲看起來好像上下顛倒 (Inverse reflectance)，山丘看起來像谷地；谷地看起來像山丘。這種不自然的暈渲情形，稱為Pseudoscopic Effect (Campbell, 1984)。如果光照方向 (illumination direction)垂直於某地貌的走向，產生陰影會最重，可明顯辨識；反之，若光照方向平行於某地貌的走向，產生陰影會最輕 (Clark and Meehan, 2001)。所以設定不同的光照方向時，在同一個地貌下，陰影會忽重忽輕，影響到圖面上各地形特徵的明顯性 (Bonham-Carter, 1994)。即使採用最佳的單一光線方向，在鼓丘 (Drumlin)的地形判釋上，暈渲只發現了84%的鼓丘數量 (Smith and Wise, 2007)。上述這些Azimuth-biasing的情形，大致可以歸為這兩類：False negatives及False positives (Smith and Clark, 2005)。False negatives指實際上該地貌存在但在暈渲中顯示不出來；False positives 指實際上該地貌不存在但在暈渲中顯示出來。

因此要減少這種暈渲假象，必須避免使用單一入射光線方向 (Single azimuth illumination angle)，要使用多入射光線方向 (Multi-directional azimuth illumination angle)。像是 Imhof (1982)建議將光源方向 $\pm 10^\circ$ 或 $\pm 15^\circ$ 產生的暈渲和原先產生的暈渲兩者用來一起作混合套疊以改進。Graham and Grant (1991)建議用兩個光線方向，一個與主要地貌走向成直角，另一個與主要地貌走向平行。Mark (1992) 使用多光線方向傾斜權重法(Multi-directional Oblique Weighting (MDOW) method) 計算出混合暈渲改善Azimuth-biasing。在雷達影像中，因為微波採用單一入射角，所以雷達影像上也會有Azimuth-biasing，可以融合不同入射角之雷達影像以去除此偏差 (Clark, 1997)。

二、高處的起伏與低處沒有差異。整片電腦黑白暈渲的計算因只考慮到坡向、坡度、光線方向高度角這三要素，人眼感覺不出高處的起伏較劇烈，低處的起伏較平緩。因此好的地形暈渲應該高處的黑白差異要大，低處的黑白差異要小，讓讀圖者能一眼掌握主要地貌，如圖 2-15 所示。此外，Imhof (1982) 認為分層設色圖的色表應該要越高的地方顏色越亮，讓暈渲表現出光照的陰影分布，使讀圖者覺得有地形的立體感。

在 GlobalMapper 裡可以使用 Resample 後解析度較大的數值資料來繪製第二層暈渲，與原先解析度資料繪製的暈渲一起混合套疊。如此可以拉大高處的黑白差異，減少低處的黑白差異，這樣圖面上高處的起伏就會變得顯眼，。效果詳見圖 3-2。



圖 2-15 歐洲地形圖 出處：(Imhof, 1982)

三、地形概括化 (Terrain Generalization)：在大比例尺地圖下，手繪暈渲與電腦暈渲效果差異小，且電腦暈渲可以描繪出詳盡的細微具體地形起伏特徵，輔助地質學者了解該地的地體構造、斷層、節理分布 (Onorati *et al.*, 1992)。但是轉換到小比例尺地圖下，電腦作的這些一大堆細微的地形暈渲充斥圖面，沒有像手繪暈渲只強化表現出該區主要的山脈走向，把細微地形暈渲刪除。地形暈渲也類似向量式 GIS 檔案一樣，因為電腦是盲目的，存在著很困難的暈渲概括化問題。(見圖 2-16)。透過概括化，可讓地圖具有易讀性 (Legible)，凸顯主要地物特徵，獲得更佳傳播效果。如果在地形歧異度大的區域製作分層設色圖，圖中會有太多破碎的色塊影響閱讀 (見圖 2-17)，必須作概括化，強調主要地勢 (Leonowicz and Jenny, 2008)。

Weibel (1992)認為可以將以儲存各網格中心點的地形高度資料轉換為 TIN，過濾刪除多餘的地形高度點資料。這個過程或許可以作為地形概括化自動化的發軔。之後 Weibel (1997)以 adaptive triangular mesh (ATM) filtering 為基礎，將原始

網格點的資料當作一個特殊的 TIN 資料的節點，計算出各節點到最近的 TIN 三角面之距離，然後把距離小於容忍值 ΔZ 的節點資料刪除，剩下的點會重新得到一個 TIN 三角面。接著重複計算到 TIN 三角面之距離，把距離小於容忍值 ΔZ 的節點資料刪除，直到距離大於容忍值 ΔZ 才停止演算。其概括化效果詳見圖 2-18。



圖 2-16 暈渲概括化比較 出處：(左：高等地圖帳, 2004) (右：Etopo2, 2006)

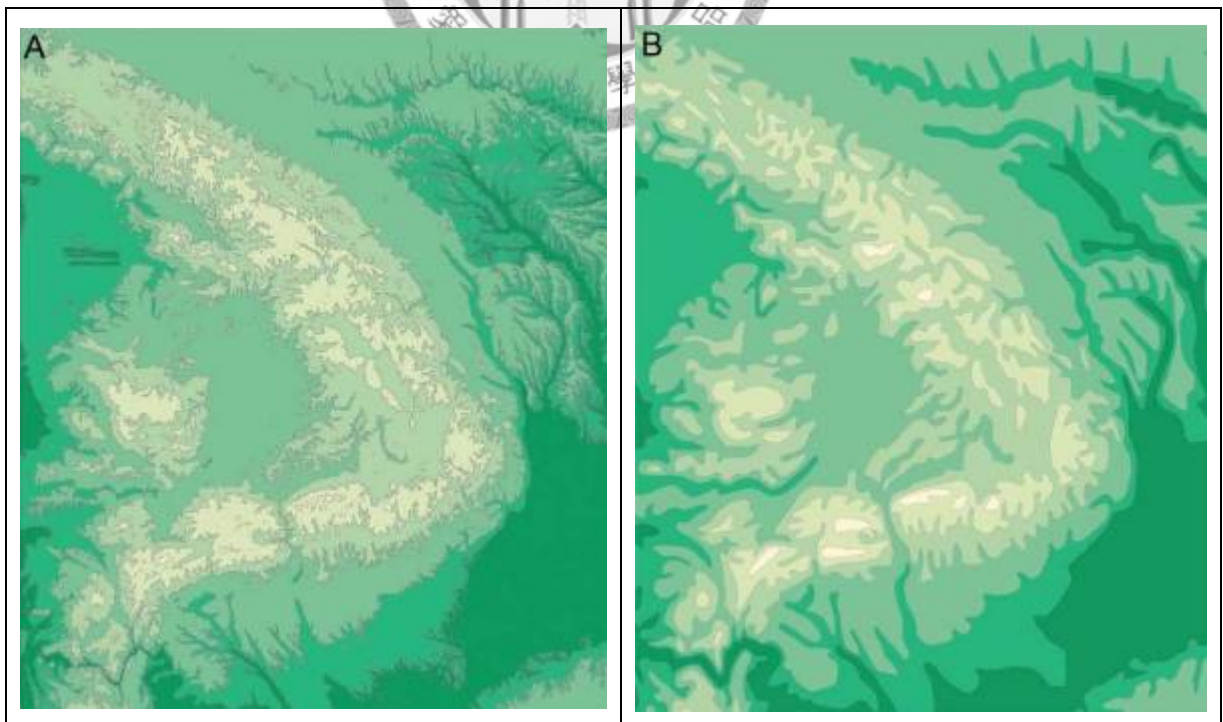


圖 2-17 分層設色圖概括化比較 出處：(Leonowicz and Jenny, 2008)

左：GTOPO30 資料產生的分層設色圖 右：經過手工概括化後

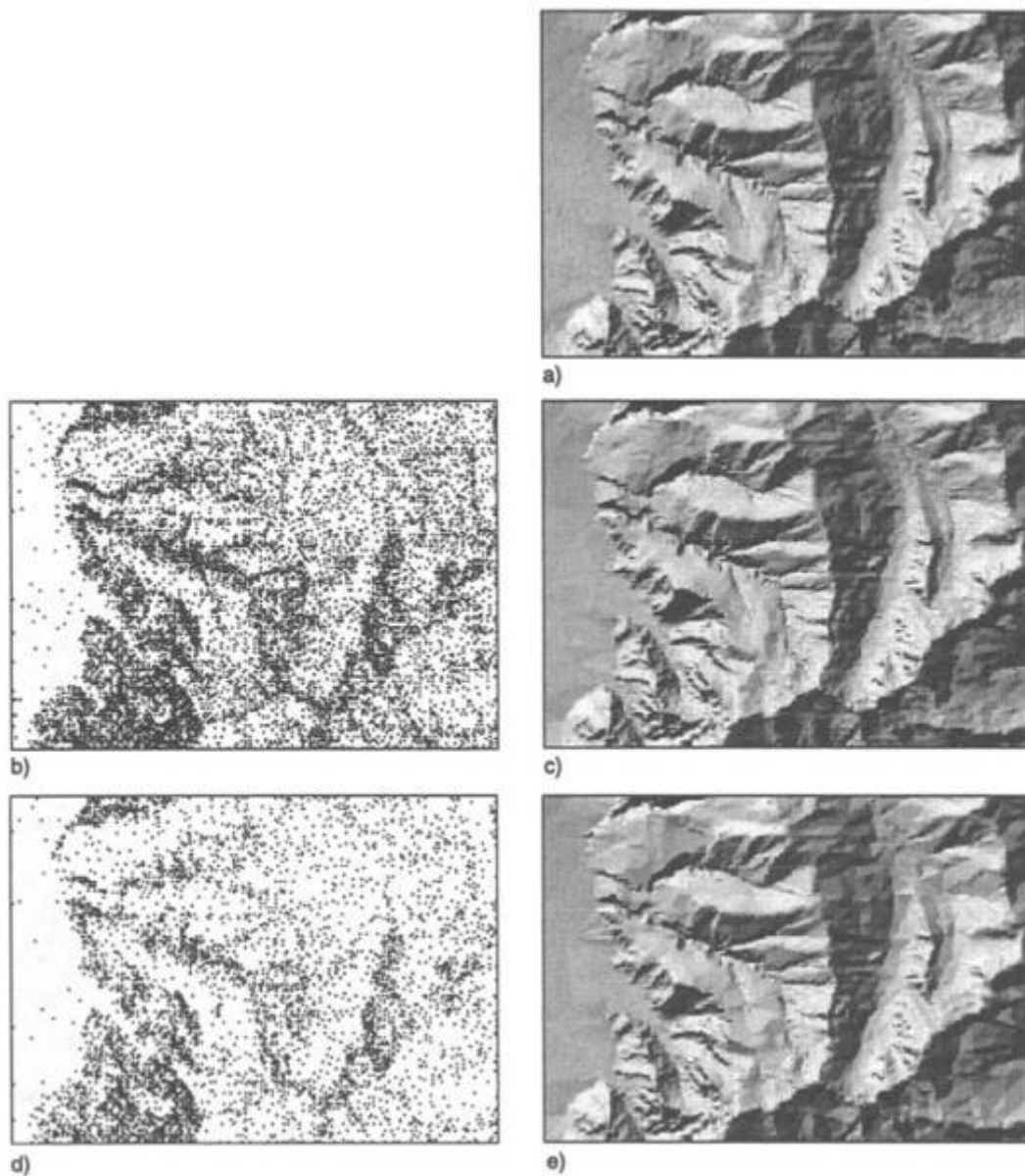


圖 2-18 以 ATM 為基礎的地形概括化 出處：(Weibel, 1997)

圖 2-18(a)為原始地形網格資料產生的暈渲 (25 公尺解析度, 共 68731 個網格); (b)設定 ΔZ 為 5 公尺, 剩下 11450 個網格點; (c)為用(b)的資料產生的暈渲; (d)設定 ΔZ 為 10 公尺, 剩下 5732 個網格點; (e)為用(d)的資料產生的暈渲。

Weibel (1997)又另外從繪製手工暈渲的過程找到一種地形概括化方式。繪製手工暈渲時, 我們必須先從等高線圖中描出稜線谷線, 了解區內的地形概況, 建構 Structure Line Model (SLM), 作為繪製暈渲的參考線。山脊在圖上成為很長的稜線, 而丘陵區遍布許多短小的稜線。因此用線資料概括化方法將長度小於容忍值的稜線谷線刪除 (eliminate), 還有簡化平滑化 (simplify), 再參考這些線作內

插得到概括化後的數值地形資料，產出概括化後的暈渲。其概括化效果詳見圖 2-19。

四、空中俯瞰效果 (Aerial perspective)：因為空氣中有許多的懸浮微粒及霾害，使得光線發生散射，讓人眼在覺得越遠方的景色一片模糊的灰藍色調，物體彼此間擁擠，高低物體間對比不明顯；而越近的高低物體間對比越明顯尖銳。此種效應形塑了人們的遠近感，是手工暈渲重要的設計要素之一。爲了模擬出空中俯瞰效果，在彩色暈渲圖上，平緩低地 (flat area)會使用淡綠或淡藍；迎光面的分層設色圖從坡度高到坡度低會用藍～綠～橄欖～黃～白的漸層；背光面的分層設色圖從坡度高到坡度低會用綠～深紫的漸層 (Jenny and Hurni, 2006)。



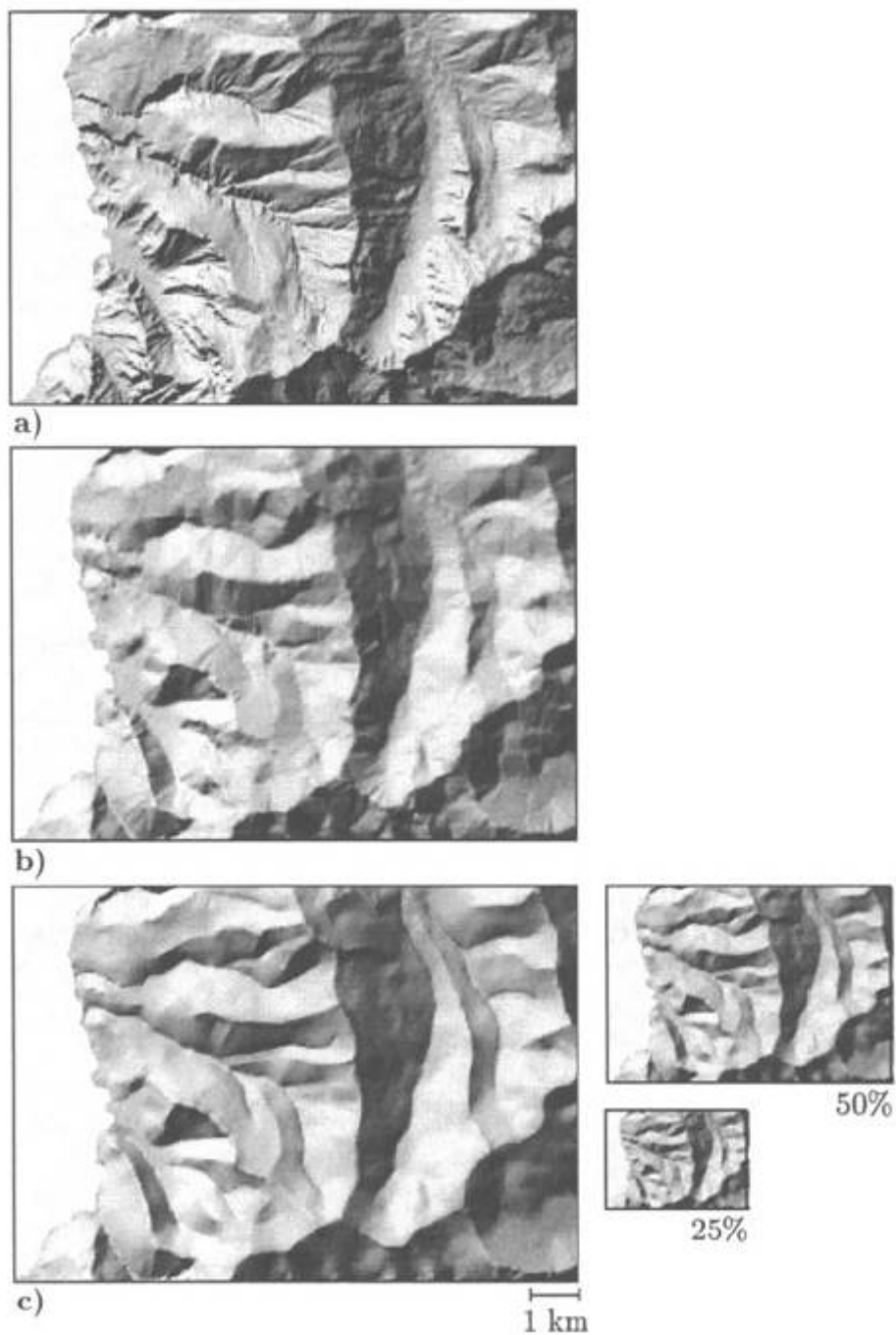


圖 2-19 以 SLM 為基礎的地形概括化 出處：(Weibel, 1997)

圖 2-19(a)為原始地形資料產生的暈渲；(b)將稜線谷線概括化後產生的暈渲，可以看到篩去了不少細微的地形，只保留了主要的地形起伏；(c)再將地形資料平滑化，可以更清楚地看到主要地形結構，縮小後也可很清楚看到主要地形，不會過於雜亂，很適合小比例尺的地形圖的使用。

第四節 資料視覺化

資料視覺化是傳統地圖表現工作的衍生，透過電腦圖形所提供的各種視覺效果，輔以資料探索 (Data exploration)和假說推論 (Hypothesis formulation)等工作，並將成果以具體的圖像呈現 (Final presentation of results)。地理視覺化 (Geovisualization) 是利用各種具體的視覺展示方式，來提供與傳統地圖表現法不同的視角，讓空間上的脈絡和問題可以被看見，讓讀圖者印象深刻，引發關注，找出可能的解決方法，最後來建構知識 (Kraak, 2003)。利用 GIS 作為輔助工具產生的 3D 模擬實景現今也可常常看到，提供人們更快速直接的空間分布差異資訊。

GIS 資料視覺化過程常常仰賴各式軟體，Sheppard (1998)於是將現今有關 GIS 的視覺化軟體大致分成這四類：

- 一、資料視覺化(科學視覺化 Data Visualization, Scientific visualization)：將數字、圖表或是平面地圖資料，經過知覺的加強後，展示在平面上。
- 二、地景視覺化(Landscape visualization)：使用 2D-GIS 的資料結構，在一個土地基座上展示三維地形的特徵。
- 三、高真實地景視覺化(High-realism landscape visualization)：利用貼圖 (texture-mapping)方式將真實的地表影像資料，依照座標貼在地形表面資料上。
- 四、3D 實體模型視覺化(3-D visualization of solid objects)：針對在連續的空間裡分布，屬性呈現漸進連續變化的資料可用 3D 模型加以實體化。例如不同深度的地質資料、某一個變數在不同時間不同空間的三維變化圖等。

地形資料視覺化方式中，暈渲 (Relief-shading)、3D 展示 (Perspective view) 是最常出現的。在地質學或地形學中，暈渲是輔助瞭解過去地形形塑過程、地質狀況的重要工具 (Onorati *et al.*, 1992 ;Smith and Clark, 2005 ;Thomas, 2007)。例如在冰川學裡，暈渲常用來與航照一起用於冰磧丘 (Moraine hill)、鼓丘 (Drumlin) 的地形判釋。另外在火山學、行星地質學、海岸地形學，暈渲也是重要的判釋輔

助工具。

第五節 小結

暈渲是表現地形資料的直覺而且常見的方式，主要用在地形判釋及地圖呈現上。電腦暈渲使用單一光線方向照射產生的 Azimuth-biasing 缺點可以經由 MDOW 暈渲修正，避免實際上該地貌存在但在暈渲中顯示不出來，或是實際上該地貌不存在但在暈渲中顯示出來的暈渲假象。但是如何利用數值地形資料自動化生產接近手工暈渲品質的電腦暈渲，這一直是在持續探討的課題。電腦暈渲的效果的影響因子主要有演算法(軟體)、地形類型、數值資料解析度。本研究會從前兩個因素出發，比較不同地形類型、不同演算法產生的電腦暈渲，找出這些演算法的特性。



第三章 研究方法

第一節 研究區選定

依據不同區塊 DEM 的敘述統計特徵：全距及標準差的大小，可以分成平原、山地、台地、盆地、丘陵。本研究將丘陵、山地、台地、盆地這四類作為地形暈渲效果測試區域，取出表 3-2 所列的這些範例。平原因為在模擬光線照射下幾乎不會出現陰影，因此不列為本研究的討論對象。研究區範圍在同一類地形下，皆為同樣大小的矩形，採用的座標系統是 TWD67 橫麥卡脫二度分帶投影。

表 3-1 依 DEM 敘述統計劃分的地形類別

此塊 DEM 敘述統計特徵	符合的地形類別
高度差小、起伏小 (此塊 DEM 全距小且標準差小)	平原
高度差大、起伏大 (此塊 DEM 全距大且標準差大)	山地
高度差大、起伏小 (此塊 DEM 全距大且標準差小)	台地、盆地
高度差小、起伏大 (此塊 DEM 全距小且標準差大)	丘陵

表 3-2 研究區範圍

地形分區	X 座標範圍	Y 座標範圍
南港丘陵	303060~312780	2763995~2771395
西關刀山 (埔里附近)	246880~251440	2653180~2658620
林口台地	280560~293080	2765890~2780330
埔里盆地	237880~251440	2645680~2660440

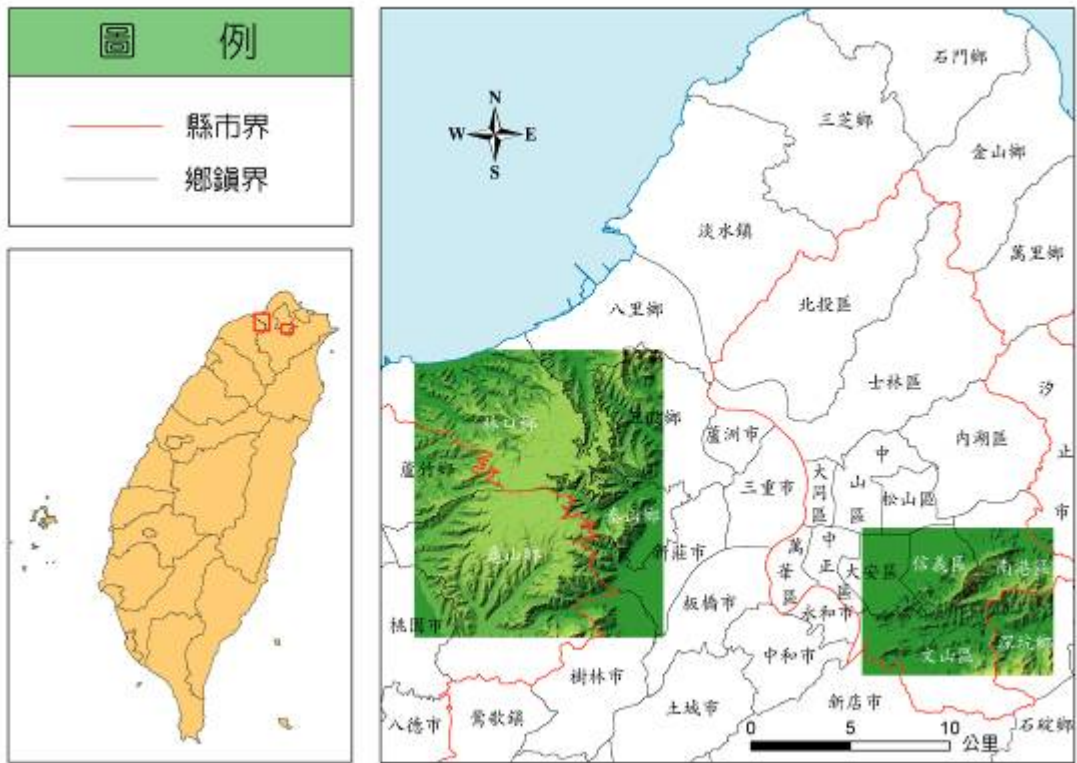


圖 3-1(a) 研究區地圖

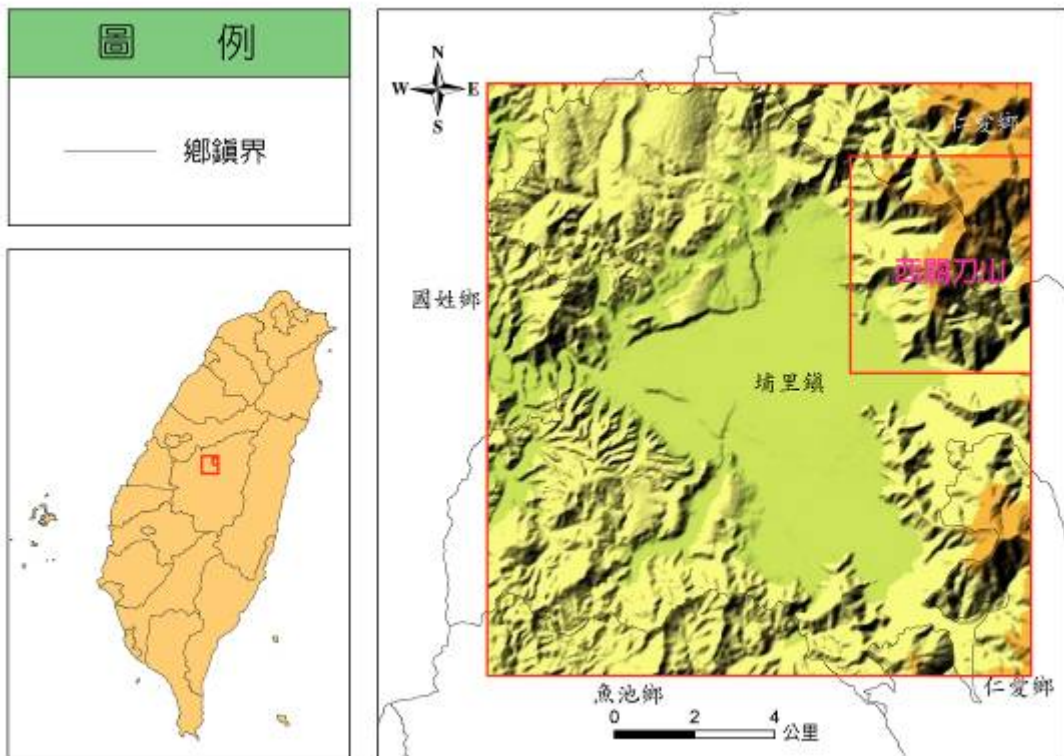


圖 3-1(b) 研究區地圖

第二節 地形暈渲製作

不同演算法的電腦暈渲與手繪暈渲會先作一次比較。然後再比較不同地形類型、不同演算法產生的電腦暈渲，探討出這些電腦暈渲演算法的特性。不同地形類型包括山地(西關刀山)、盆地(埔里盆地)、台地(林口台地)、丘陵(南港丘陵)，共四個。不同的演算法包括 ArcMap 軟體、GlobalMapper 軟體、Surfer 軟體 Simple 法、Surfer 軟體 Peucker's Approximation 法、Surfer 軟體 Lambertian Reflection 法、Surfer 軟體 Lommel-Seeliger Law 法、MapRender 3D Lite 軟體、ArcMap 軟體 Swiss-style 法、ArcMap 軟體 MDOW 法，共九個。經過初始的一些軟體表現效果摸索，本研究欲以研究區內的台灣 40 公尺 DTM 作為測試資料，將下列數種製作方式產出的 2D 黑白暈渲進行數值比較分析。根據第一章所提及的 DTM 解析度與可支持的最低比例尺關係式，研究所用之 40 公尺 DTM，比例尺應大於十六萬分之一，所以之後用來分析的各項暈渲圖其比例尺皆會大於十六萬分之一。暈渲濃淡之參數設定以個別該軟體設定效果最佳化為考量，不作統一設定。

表 3-3 所用的地形資料

項目	資料別	台灣 40 公尺 DTM
資料結構		DTM
網格大小		40 公尺
座標系統		TM2, TWD67
生產單位		農林航空測量所

一、ArcMap 軟體

使用 3D Analyst 模組上的 Hillshade 功能產生光線方向 315 度、光線仰角 45 度的黑白暈渲，並與分層設色圖 (Hypsometric Map)套疊成 2D 彩色暈渲。

二、GlobalMapper 軟體

參數設定光線方向 315 度、光線仰角 45、亮度 0.3、暈渲濃度 1.2，來產生

暈渲。

三、Surfer 軟體

參數設定光線方向 315 度、光線仰角 45，高度誇張值 2，四種演算法皆展示一遍。

四、MapRender 3D Lite 軟體

高低值使用電腦預設值，高度誇張值設定為 1，產生暈渲。

五、ArcMap 軟體，Swiss-style 暈渲法

Barnes (2002)提出了一個使用 ArcMap 裡的 Spatial Analyst 工具列來概括化暈渲的方法，將坡度歧異度大的地方平滑化、以刪去細微的地形起伏，強調主要地形特徵，製作出 Swiss-style 暈渲。過程如下：

先準備 DEM 及用 DEM 產生的預設值暈渲。(光源所在高度角 45、光線方向 315)。開啓 Spatial Analyst 工具列的 Raster calculator，運算式為[DEM] / 5 + [Hillshade]。計算完後存成永久檔 (Make permanent)。這個計算出的 Raster 檔案可以模擬在空中俯瞰地形起伏的效果，高處比較亮，低處比較暗。開啓 Spatial Analyst 工具列的 Neighborhood statistics，Input Raster 為預設值暈渲，定義鄰居方式為半徑 4 cell 的圓形，計算出各 Focal 內的平均值。這個計算出的 Raster 檔案可以將坡度歧異度大的地方平滑化、以刪去細微的地形起伏，強調主要地形特徵。將 3 個 Raster 檔案作疊圖，由上而下依序為：DEM 檔案、Neighborhood statistics 計算結果、Raster calculator 計算結果。DEM 檔案設定分層設色圖，圖層透明度 35%、Neighborhood statistics 計算結果的 Color Ramp 為黑到白，透明度 10%、Raster calculator 計算結果的 Color Ramp 為黑到白，透明度 35%。如此便製作出 Swiss-style 暈渲。暈渲效果修正後的結果，以埔里盆地為例，詳見圖 3-2。

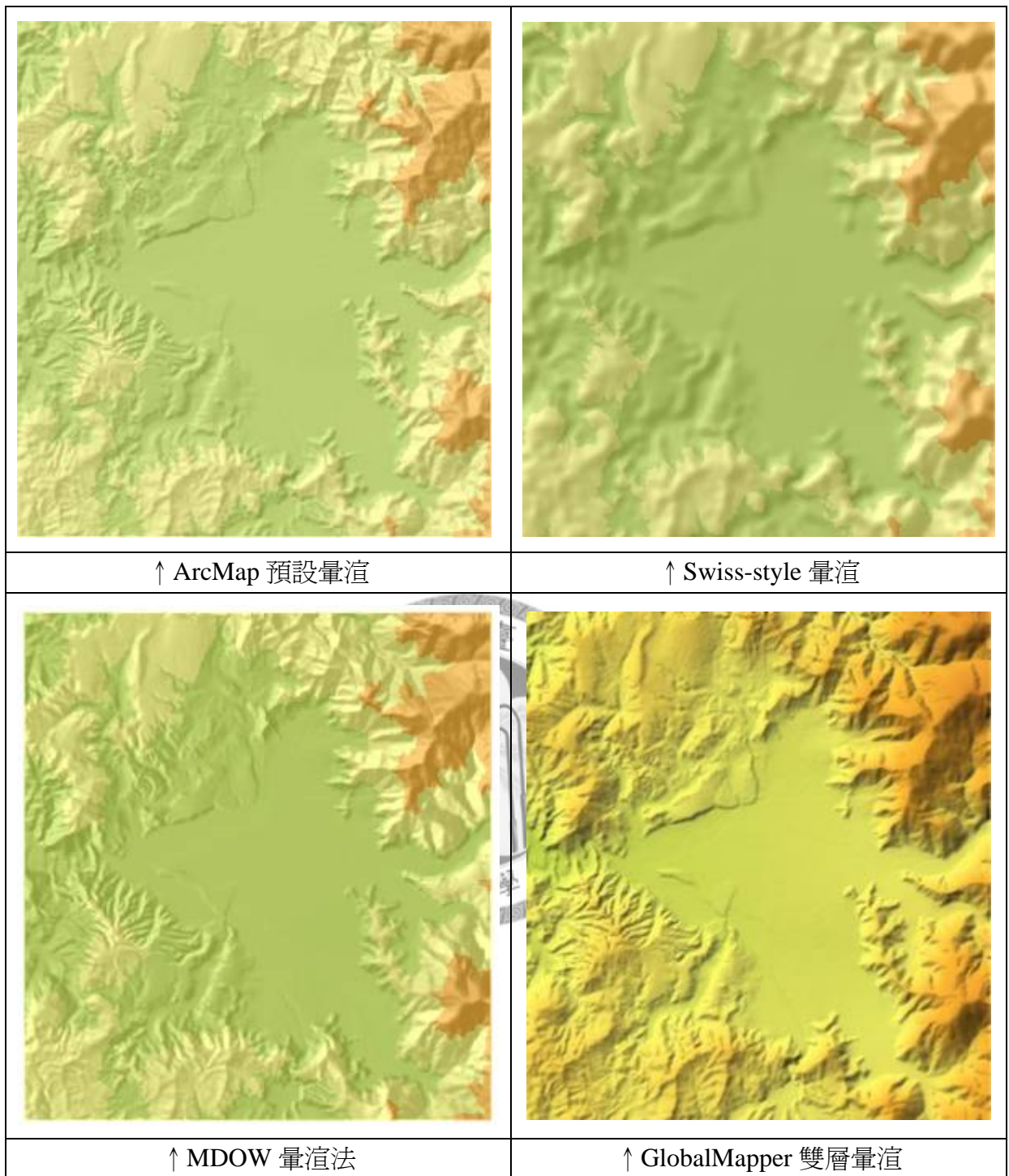


圖 3-2 不同暈渲修正方法之效果比較

Swiss-style 暈渲有作到地形概括化，刪去了細微的地形起伏；而且還有模擬在空中俯瞰地形起伏的效果，看起來具有立體感，拉大了高處與低處起伏的差異感。它適合用在主題地圖的暈渲背景資訊，立體感與粗略適當的地形暈渲資訊可以讓讀圖者快速掌握該區地貌，並能很方便與主題圖展示的分佈現象，作地形相

對高度關係的比較。

六、ArcMap 軟體，MDOW 暈渲法

Mark (1992) 使用多光線方向傾斜權重法(Multi-directional Oblique Weighting (MDOW) method)，以夏威夷30公尺DEM為例，分別產生光線方向225°、270°、315°、360°的暈渲 (光源高度角皆為30度)。然後用Neighborhood Statistics，以半徑10個cell的圓形為鄰居，計算每個Focal內的平均值，產出平滑化的DEM檔案，接著用這個檔案產生坡向值。然後用坡向計算出四個權重，最後計算出混合暈渲改善Azimuth-biasing：

$$W(225) = \sin^2(\text{坡向} - 225^\circ)$$

$$W(270) = \sin^2(\text{坡向} - 270^\circ)$$

$$W(315) = \sin^2(\text{坡向} - 315^\circ)$$

$$W(360) = \sin^2(\text{坡向} - 360^\circ)$$

$$\text{混合暈渲} = \{W(225) \times 225^\circ \text{的暈渲} + W(270) \times 270^\circ \text{的暈渲} + W(315) \times 315^\circ \text{的暈渲} + W(360) \times 360^\circ \text{的暈渲}\} / 2$$

計算平滑化的 DEM 檔案時，定義鄰居的範圍越大，暈渲上的坡分布會被概括化，暈渲效果會較佳，例如可以用半徑 20 個或 30 個 cell 的圓形為鄰居，見圖 3-3。定義半徑 30 個 cell 的圓形為鄰居，進行暈渲效果修正後的結果，以埔里山區為例，詳見圖 3-2。

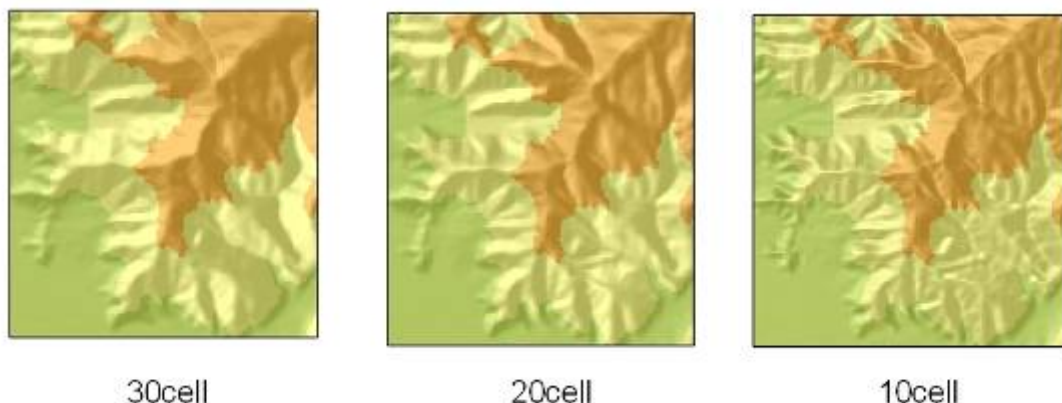


圖 3-3 不同鄰居範圍的 MDOW 暈渲

本研究使用的 MDOW 暈渲定義鄰居方式為半徑 30 cell 的圓形。製作成 2D 彩色暈渲圖時，分層設色圖在上，透明度 30%，MDOW 黑白暈渲在下。最後比

較 Swiss-style 暈渲及 MDOW 暈渲，發現前者雖然有做到模擬在空中俯瞰地形起伏的效果、暈渲概括化，但高處的起伏的黑白對比不夠強烈、可能有 Azimuth-biasing 要細部修正；後者只作了 Azimuth-biasing 的改善，但其他電腦暈渲的缺點，像是暈渲概括化，仍未修正。

最後，本研究將所用的九種不同演算法，可以調整的暈渲參數及參數高低造成的暈渲效果整理如表 3-4、表 3-5 所示：

表 3-4 不同演算法可供調整的暈渲參數

演算法 \ 參數名稱	光線仰角	光線方向	高度誇張值	亮度	陰影濃度	定義鄰居範圍	DEM 最高值與最低值
ArcMap 9.3 軟體	○	○	○	×	×	×	×
GlobalMapper 10 軟體	○	○	○	○	○	×	×
Surfer 8 軟體，Simple 法	×	×	○	×	×	×	×
Surfer 8 軟體，Peucker 法	×	×	○	×	×	×	×
Surfer 8 軟體，Lambertian 法	○	○	○	×	×	×	×
Surfer 8 軟體，Lommel 法	○	○	○	×	×	×	×
MapRender 3D Lite 1.0 軟體	×	×	○	×	×	×	○
Swiss-style 暈渲	×	×	×	×	×	×	×
MDOW 暈渲	×	×	×	×	×	○	×

表 3-5 不同演算法參數設定大小對暈渲效果之影響

參數名稱 演算法	光線仰角 ↑	光線仰角 ↓	高度誇張值 ↑	高度誇張值 ↓
ArcMap 9.3 軟體	整體暈渲圖片變亮，陰影少且淡，不明顯，平緩地為白色	整體暈渲圖片變暗，提供的暈渲細節越多，平緩地為深灰色	暈渲黑白對比變強、更為立體感、山區的迎光面轉為灰色，給人感覺厚重	暈渲黑白對比變弱、不具立體感
GlobalMapper 10 軟體	陰影範圍變小，稜線的反光會變得較清楚，平緩地為白色	陰影範圍變大，稜線的反光會變得不清楚，平緩地為灰色	提供的暈渲細節越多，陰影分布越廣	只顯示主要山脈走向之陰影，陰影少且淡，不明顯
Surfer 8 軟體，Simple 法	又	又	迎光面與背光面黑白對比越強烈	迎光面與背光面黑白對比不強烈，幾乎都是顏色相近的灰色
Surfer 8 軟體，Peucker 法	又	又	迎光面與背光面黑白對比越強烈	迎光面與背光面黑白對比不強烈，幾乎都是顏色相近的灰色
Surfer 8 軟體，Lambertian 法	陰影變淡，黑白對比不強烈，稜線的反光會變得較清楚	陰影變深，黑白對比強烈，稜線的反光會變得不清楚	圖面上每一個暈渲細節，在圖面上的明顯性皆相同	各暈渲細節在圖面上有明顯性差異之分，過於細微、小區域的不會顯眼

參數名稱 演算法	光線仰角 ↑	光線仰角 ↓	高度誇張值 ↑	高度誇張值 ↓
Surfer 8 軟體， Lommel 法	迎光面會變亮，其 反射光會變的強 烈，甚至減弱了背 光面的陰影濃度	迎光面會變暗， 呈現淺灰色	迎光面會變亮	迎光面會變暗
MapRender 3D Lite 1.0 軟體	又	又	陰影變深、圖面上 每一個暈渲細節， 在圖面上的明顯性 皆相同	陰影變淺、各暈 渲細節在圖面上 有明顯性差異之 分
Swiss-style 暈渲	(註 1)	(註 1)	(註 1)	(註 1)
MDOW 暈渲	(註 1)	(註 1)	(註 1)	(註 1)
參數名稱 演算法	濃度 ↑	濃度 ↓	亮度 ↑	亮度 ↓
GlobalMapper 10 軟體	調整整體圖片明 暗度變暗	調整整體圖片明 暗度變亮	平緩地變白色，迎 光面反射光變強烈	平緩地變灰色

註 1：透過 ArcMap 軟體執行，可以調整該參數，但是已經變成新類型的暈渲，不是原作者設定的配方。調整後的效果與 ArcMap 軟體相同。另外 MDOW 暈渲也是透過 ArcMap 軟體執行，可以調整光線方向、光線仰角、高度誇張值。

註 2：可以調整光線方向的演算法，其調整後的效果都是一樣的：陰影出現的位置、不同走向地貌的明顯性取決於光線方向的設定。

第三節 暈渲圖灰度值分析方法

根據前兩節所述，本研究要從這九種演算法、四種地形類型中，找出這些演算法有哪些特性。這樣總共會製作出 36 張黑白暈渲圖。接著計算這 36 張圖的灰

度值的灰度值粗糙度、灰度值對比度，來分析暈渲圖的組織。

數值地形資料及暈渲圖都是一種數位影像，各網格值的起伏變化具有組織特性 (texture feature)，這些組織特性也可以被稱為崎嶇度 (roughness)。蔡宗勳 (1994) 以數值地形資料為輸入資料，進行組織分析 (Texture analysis)，所使用的指標有地形粗糙度、地形起伏度。地形粗糙度是用來衡量該區地形崎嶇程度，其計算工具相當於現今的 ArcMap 軟體 Spatial Analyst 工具列之 Neighborhood Statistics。用 3x3 的矩形當作 Focal，計算各 Focal 內的標準差。如果該區各網格平均標準差越大，表示地形高度變異越大。地形起伏度是用來衡量該區地形垂直高度的差異範圍，其計算工具也是使用 ArcMap 軟體 Spatial Analyst 工具列。用 3x3 的矩形當作 Focal，計算各 Focal 內的全距。所以本研究會使用地形粗糙度、地形起伏度上述這兩個量度方法，不過輸入資料是灰度值。因為輸入資料的特性不同，不是數值地形資料，量度方式會有些微改變。灰度值粗糙度用來表示區內灰度值變異程度，值越大則暈渲越尖銳，反之則越模糊。灰度值起伏度改稱為灰度值對比度，用來表示區內灰度值黑白對比廣泛程度，值越大表示圖面上越多黑白對比處。在計算這兩個值時，各演算法之圖片皆統一轉換到解析度等於 8 公尺 (pixel size= 8 meter) 以方便比較。這些暈渲圖片原始解析度從 2~40 公尺都有。2 公尺解析度是因為 Surfer 軟體輸出 JPG 檔採用 300 dpi 導致的，但是解析度換成低一些後，解像力幾乎沒有變的太多，所以最後決定折衷使用 8 公尺，避免產生多餘的網格，減少電腦運算的負擔。

灰度值粗糙度使用 Neighborhood Statistics，用 3x3 的圓形當作 Focal，計算各 Focal 內的標準差，輸出解析度 24 公尺的計算結果。再將計算結果內的各網格值取平均數，當成代表該類地形該類演算法之灰度值粗糙度。灰度值對比度使用 Neighborhood Statistics，用 3x3 的圓形當作 Focal，計算各 Focal 內的全距，輸出解析度 24 公尺的計算結果。再將計算結果內的各網格值取平均數，當成代表該類地形該類演算法之灰度值對比度。因為要評估各暈渲圖的這些特性：易讀性、圖面明顯性。而灰度值粗糙度、灰度值對比度可以衡量各暈渲圖灰度值歧異

程度、對比強烈程度，會影響讀圖者的閱讀、解讀過程，因而選用灰度值粗糙度、灰度值對比度為評估暈渲效果的方法。

在組織分析裡還可利用邊緣偵測 (edge detection)，找出灰度值變化尖銳的地方(人眼會把這些解讀為稜線谷線，地體構造線)。利用這項技術可找出不同暈渲的稜線谷線描述多寡。同一地區、不同演算法下的暈渲圖，有不同的稜線谷線分布情形，有的是簡單表達主要地形；有的是詳細的表達；有的會有Azimuth-biasing的情形會誤導讀圖者判斷。因此選用邊緣偵測來評估圖面地形暈渲概括化、陰影表達地形準確性的方法。

邊緣偵測目的在於找出影像之中屬於邊的特徵像素 (feature pixel)，將影像較不重要的資訊濾掉，保留住影像的重要特徵 (Green, 2002)。因為要從影像中找出顏色變化最大的像素，故大多是使用一次微分或二次微分來萃取邊緣線。因此這些萃取邊緣線演算法大致可分成一階導數運算式與二階導數運算式兩類。一階導數運算式包括Sobel Edge Detection演算法、Canny Edge Detection演算法等。二階導數運算式有Laplacian of Gaussian Edge Detection演算法等。這三個演算法中，Laplacian of Gaussian Edge Detection演算法是先用Gaussian smooth function與來源影像進行迴旋積，使影像模糊，以過濾掉雜訊。影像模糊的程度由 σ 決定。Gaussian smooth function如下所示：

$$h(r) = -e^{\frac{-r^2}{2\sigma^2}} \quad \text{其中 } r^2 = x^2 + y^2, \sigma \text{ 為標準差}$$

接著再利用5x5的Laplacian遮罩，使計算結果影像近似於對來源影像取二階導數值 $\nabla^2 f$ 的結果 (過程詳見圖3-4) (Gonzalez and Woods, 2002)。本研究所用的邊緣偵測演算法，考量到找出適量的邊緣線，偵測演算法及參數設定皆要相同，減少偵測出的邊緣彼此互連的情形 (圖3-5)，因此最後採用Laplacian of Gaussian Edge Detection (LoG)演算法，5x5的Laplacian遮罩。計算時是使用臺灣東北角各暈渲來源圖片作比較，而且圖片的空間解析度會統一轉換成40公尺。如果用解析度太低的黑白暈渲圖的話，暈渲細節多，雜訊也多，成效會變差。手繪暈渲因為

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

$\nabla^2 f \doteq$ 用 Gaussian smooth function 過濾掉雜訊後的影像 \times Laplacian 遮罩

A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28
A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38
A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48
A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58
A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68
A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78

X11	X12	X13	X14	X15
X21	X22	X23	X24	X25
X31	X32	X33	X34	X35
X41	X42	X43	X44	X45
X51	X52	X53	X54	X55

↑ Laplacian 遮罩 5x5 (代號)

↑ 用 Gaussian smooth function 過濾掉雜訊後的影像 (代號)

LoG 演算法計算結果影像 $B_{33} = (A_{11} \cdot X_{11}) + (A_{12} \cdot X_{12}) + (A_{13} \cdot X_{13}) + (A_{14} \cdot X_{14})$
 $+ (A_{15} \cdot X_{15}) + (A_{21} \cdot X_{21}) + (A_{22} \cdot X_{22}) + (A_{23} \cdot X_{23}) + (A_{24} \cdot X_{24}) + (A_{25} \cdot X_{25})$
 $+ (A_{31} \cdot X_{31}) + (A_{32} \cdot X_{32}) + (A_{33} \cdot X_{33}) + (A_{34} \cdot X_{34}) + (A_{35} \cdot X_{35}) + (A_{41} \cdot X_{41})$
 $+ (A_{42} \cdot X_{42}) + (A_{43} \cdot X_{43}) + (A_{44} \cdot X_{44}) + (A_{45} \cdot X_{45}) + (A_{51} \cdot X_{51}) + (A_{52} \cdot X_{52})$
 $+ (A_{53} \cdot X_{53}) + (A_{54} \cdot X_{54}) + (A_{55} \cdot X_{55})$

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

↑ Laplacian 遮罩 5x5 (數字)

B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18
B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28
B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38
B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48
B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58
B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68
B71	B72	B73	B74	B75	B76	B77	B78

↑ 計算結果影像 (代號)

圖 3-4 Laplacian of Gaussian 演算法使用 5x5 遮罩運算過程

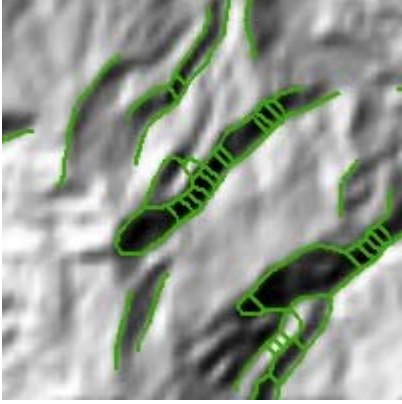
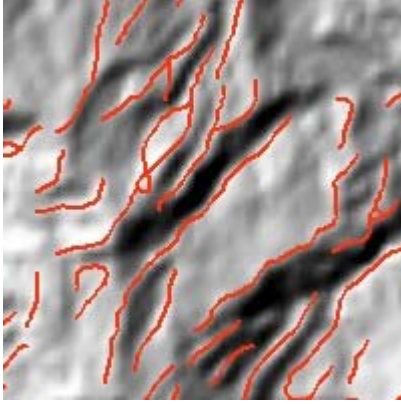
	
<p>Maprender 3D Lite暈渲 Sobel演算法，5×5遮罩，閾值為1000</p>	<p>Maprender 3D Lite暈渲 Laplacian of Gaussian演算法，5×5遮罩，閾值為100</p>

圖3-5 不同邊緣偵測演算法析取稜線谷線效果比較

無法與電腦暈渲使用同樣的偵測演算法及參數設定，作客觀的分析，取出稜線谷線，因此無法列入考量。經過反覆的測試，決定閾值為100，令 ∇f 大於100的為1，小於100的為0，製作出二元的網格資料，將數值等於1的部分透過ArcMap軟體的ArcScan工具列，轉換為向量線資料。析取出的線段會先與手工暈渲圖上的稜線谷線做圖面比較。接著算出各電腦暈渲之稜線谷線數，每條線之平均長度，作為辨識圖面稜線谷線數多寡之依據。這些邊緣偵測計算結果放在第四章第一節。

LoG演算法是二階微分，對於雜訊是最敏感的，不過來源影像會先透過Gaussian smooth function減少大部分雜訊。但還是有一個很嚴重的缺點，像是二階微分正值到負值間的零穿越 (Zero-crossing)區域，經邊緣偵測後會求得一些封閉的環。此現象稱為義大利麵條效應(spaghetti effect) (參見圖 3-6)

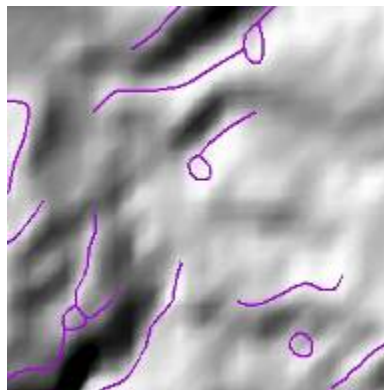


圖 3-6 LoG 演算法產生之義大利麵條效應
(Maprender 3D Lite暈渲，Laplacian遮罩5×5，閾值為100)

(Gonzalez and Woods, 2002)。這些封閉環常常不是自然情形下應有的地體構造線。

最後，這些不同電腦暈渲圖還會套疊上分層設色圖看它的整體效果，所用的地形色表如表 3-6 所示。這些彩色暈渲圖會放在第四章第三節作展示、比較。

表 3-6 統一用的地形色表

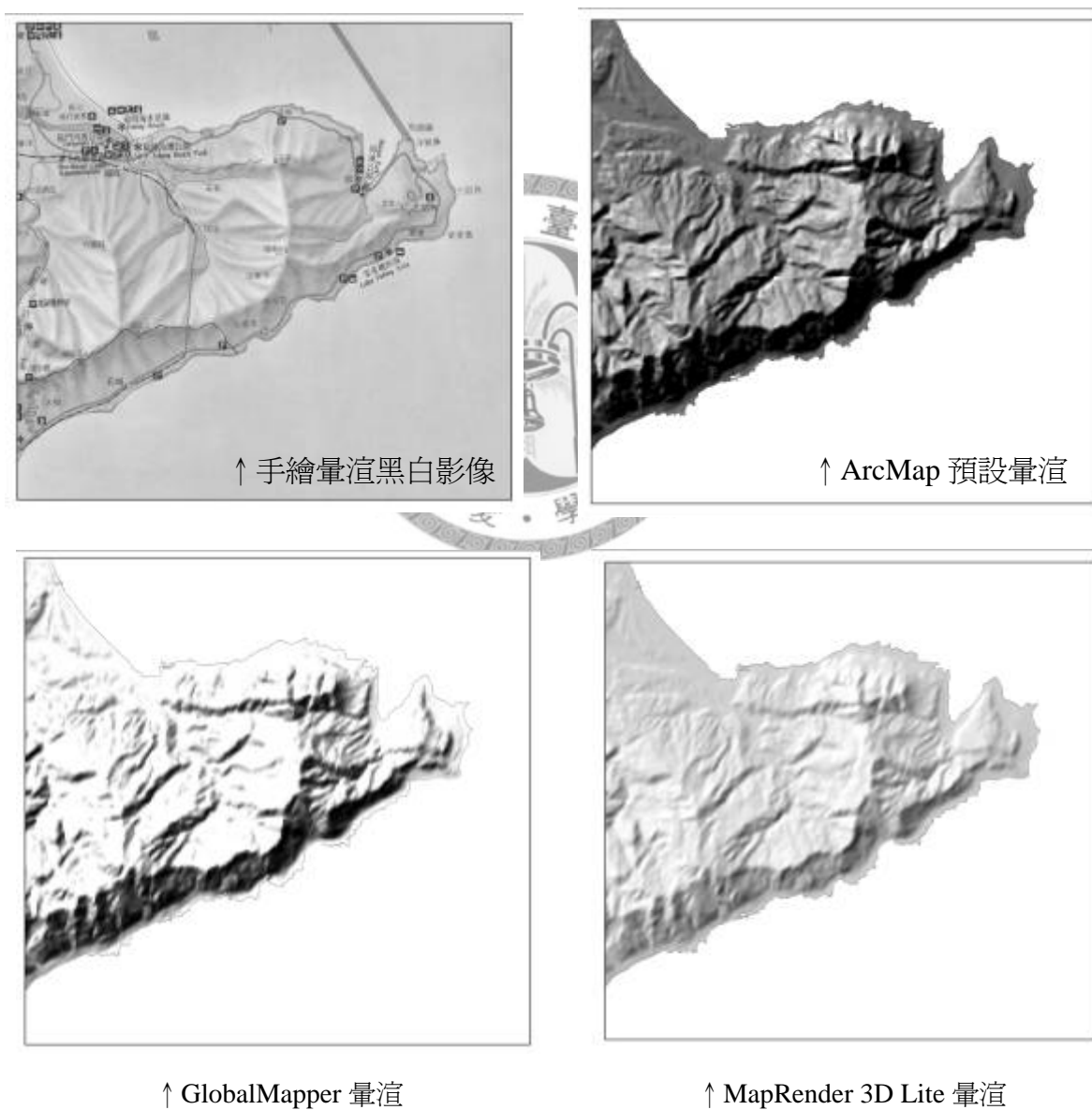
高度	RGB	CMYK
0 ~100 公尺	(51, 160, 45)	(82, 3, 98, 0)
100~ 200 公尺	(102, 186, 71)	(60, 2, 80, 0)
200~ 300 公尺	(153, 210, 85)	(40, 2, 70, 0)
300~ 500 公尺	(204, 233, 90)	(20, 2, 66, 0)
500~1000 公尺	(255, 255, 128)	(2, 1, 49, 0)
1000~2000 公尺	(255, 187, 60)	(2, 26, 73, 0)
2000~3000 公尺	(228, 143, 50)	(9, 41, 76, 2)
3000 公尺以上	(172, 115, 38)	(24, 44, 81, 11)



第四章 結果分析

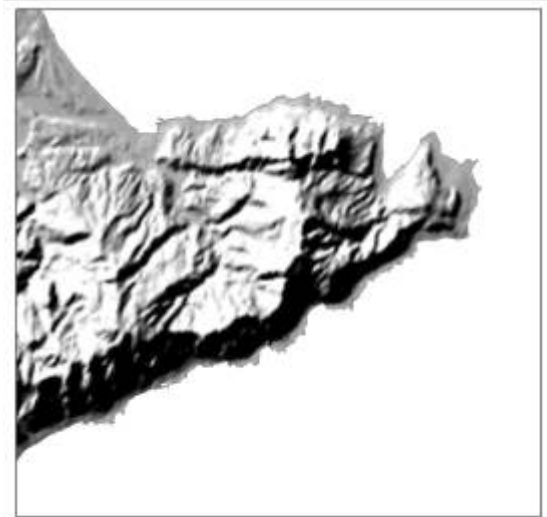
第一節 稜線谷線比較分析

本次研究向師大地理系吳信政老師索取了臺灣東北三貂角手繪暈渲圖，經過掃瞄成黑白影像後，直接拿來與其他黑白電腦暈渲，作圖面組織稜線描述多寡計算。圖 4-1 各小圖的比例尺皆為 1 : 68971。從圖 4-1 來看，所有的電腦暈渲都無





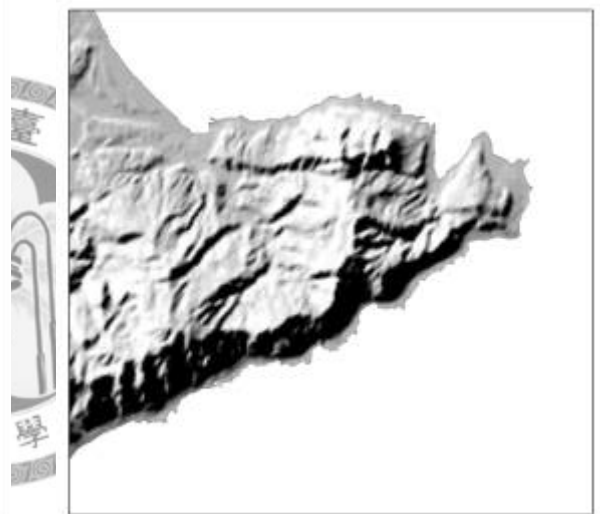
↑ Surfer, Simple 法



↑ Surfer, Peucker's Approximation 法



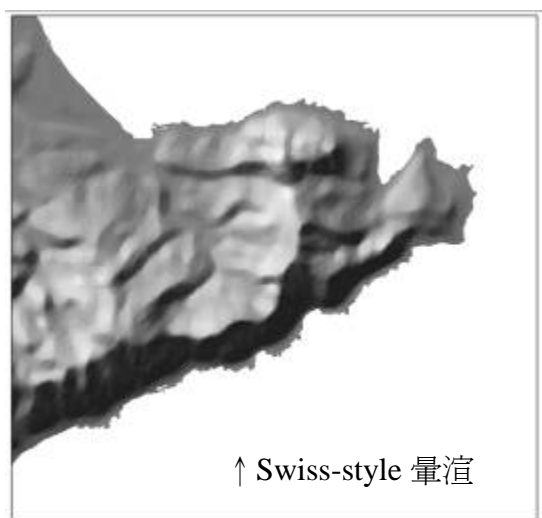
↑ Surfer, Lambertian Reflection 法



↑ Surfer, Lommel-Seeliger Law 法



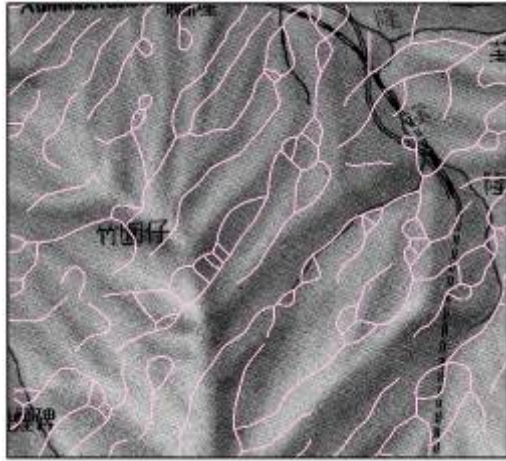
↑ MDOW 暈渲



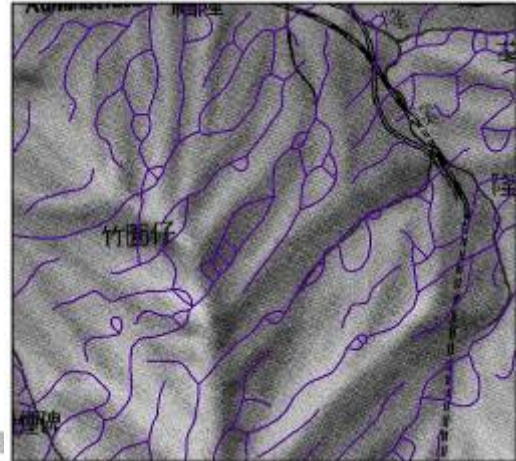
↑ Swiss-style 暈渲

圖 4-1 不同演算法暈渲效果比較

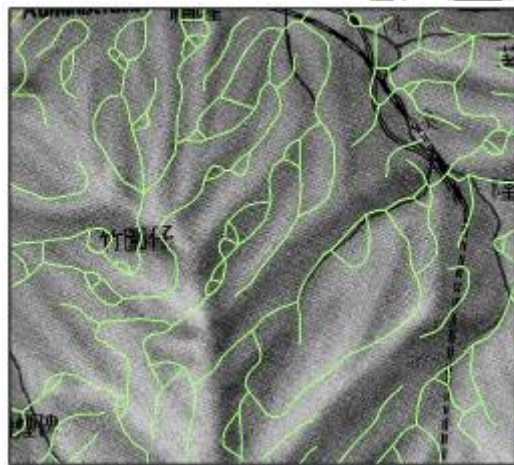
法像手工暈渲一樣清楚地呈現稜線分布。而且在南邊海岸的山脈南坡，因為坡度高，剛好位於背光面，暈渲多呈現很深的黑色，讓讀圖者誤認為那邊高度在區域裡最高，這是不恰當的。接著是圖面組織稜線描述多寡的部分，與手工暈渲圖比較的部分參見圖 4-2，稜線谷線之敘述統計計算結果見表 4-1。



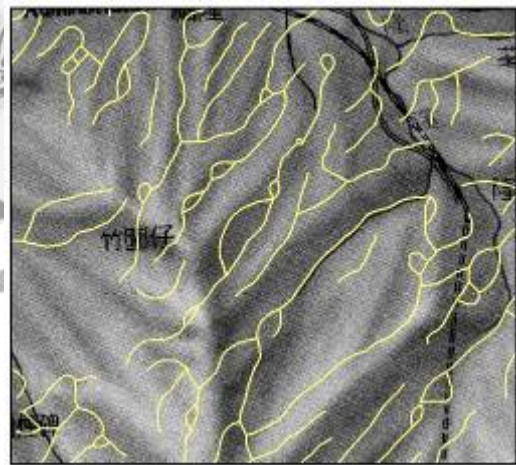
Simple 法與手工暈渲底圖比較



Peucker 法與手工暈渲底圖比較



Lambertian 法與手工暈渲底圖比較



Peucker 法與手工暈渲底圖比較

圖 4-2 Surfer 軟體各演算法析出的稜線谷線

圖 4-2 是從 Surfer 四個演算法暈渲圖析出的稜線谷線資料與手工暈渲圖顯示的稜線谷線比較圖，相較於其他演算法 (圖 4-3)，發現這些線分佈很雜亂，顯示 Surfer 四個演算法暈渲圖會顯示出雜亂的地形起伏，沒有聚焦讓讀圖者掌握主要地形特徵。而且受到單一光線方向照射的影響，多數稜線沒有照著真實的地貌分布 (圖 4-2 每張小圖的左上角)。光線是從左上角照向右下角方向，因此很多虛假的稜線呈現左下 \leftrightarrow 右上走向。

圖 4-3 顯示了經由 MDOW 暈渲修正 Azimuth-biasing 的成效。圖 4-3 各小圖左上角的稜線方向，按照真實地貌，應該呈現放射狀，避免一直出現與光線方向垂直走向的虛假稜線，誤導地形判釋的正確性。表 4-1 裡，Surfer(Lambertian 法)的稜線谷線總長度居所有演算法之冠，表示圖面上充斥許多邊緣線，人眼感受到最詳盡的地形起伏。Swiss-style 法的稜線谷線平均長度最長，表示幾乎只讓人看到主要構造線，地形概括化的效果明顯。

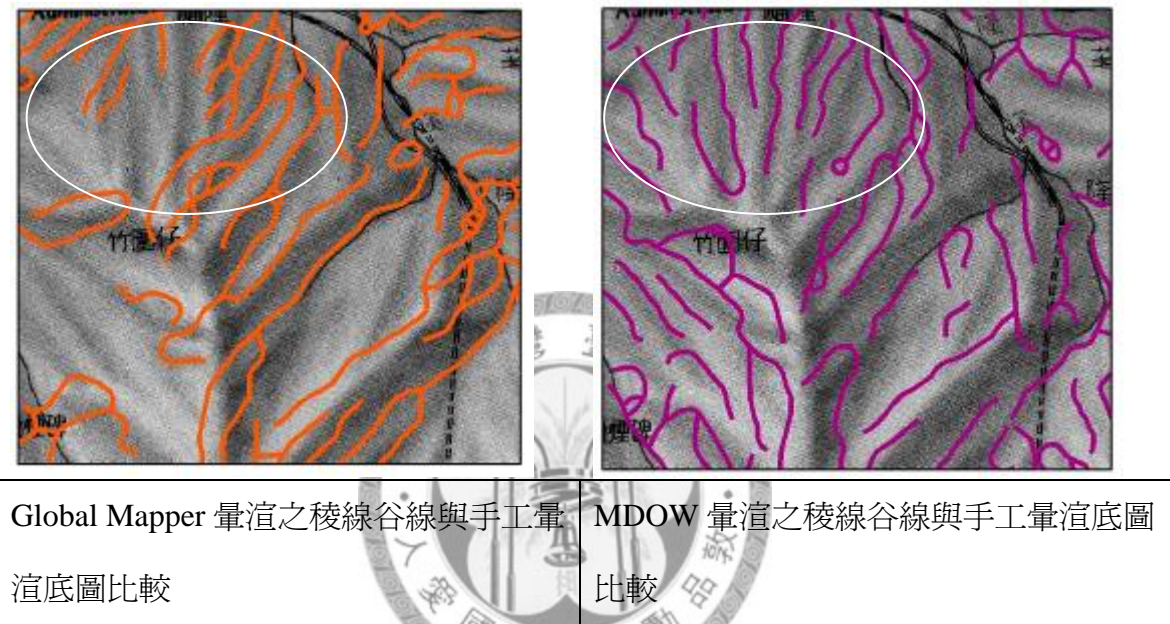


圖 4-3 Global Mapper 暈渲與 MDOW 暈渲析出的稜線谷線

表 4-1 各演算法暈渲的稜線析取情形

所用的演算法	稜線谷線數	平均長度*	總長度**
ArcMap	192	404	77,601
GlobalMapper	329	339	111,626
MapRender 3D Lite	179	417	74,600
Surfer(Simple 法)	462	265	122,325
Surfer(Peucker 法)	463	265	122,479
Surfer(Lambertian 法)	495	260	128,655
Surfer(Lommel 法)	374	297	110,994
MDOW	300	369	110,655
Swiss-style	60	493	29,566

*單位：公尺，四捨五入取至整數

**單位：公尺

灰度值，歧異度變高；沒有概括化、細節很多的暈渲圖，各種灰度值雜亂分布，歧異度低。在不同鄰居範圍 MDOW 暈渲裡以作為暈渲概括化的指標。灰度值粗糙度越大，暈渲概括化越高。但是回到表 4-3，Swiss-style 暈渲除了在台地之外，灰度值粗糙度都是各地形類別最低的，顯示出 Swiss-style 暈渲比起其他演算法暈渲有經過概括化。在台地比較不符合這規則，可能是因為在平台高起於平原處，Swiss-style 暈渲使用了很多黑白對比來強化高低差，作出空中俯瞰效果。對於其他八個演算法而言，灰度值粗糙度只能代表整體灰度值分布歧異程度，與暈渲概括化程度無關。例如 ArcMap 暈渲灰度值粗糙度比 GlobalMapper 暈渲來得低，但是從圖面比較來看 ArcMap 暈渲概括化程度與 GlobalMapper 暈渲差異不大，只是 GlobalMapper 暈渲的黑白對比強烈程度比 ArcMap 暈渲大。

表 4-4 各演算法、各地形類別下的灰度值對比度

地形類別 \ 來源	ArcMap	GlobalMapper	MapRender 3D Lite	Surfer (Simple法)	Surfer (Peucker法)	Surfer (Lommel法)	Surfer (Lambertian法)	MDOW	Swiss-style
山地	74.18	97.41	56.05	106.24	108.64	105.94	104.16	67.73	43.38
丘陵	44.19	60.43	36.30	87.59	76.48	62.32	79.00	45.89	36.03
盆地	55.61	75.62	41.84	91.65	86.18	76.10	86.72	48.56	37.13
台地	42.41	63.08	33.47	86.05	76.70	60.58	78.90	37.84	44.67

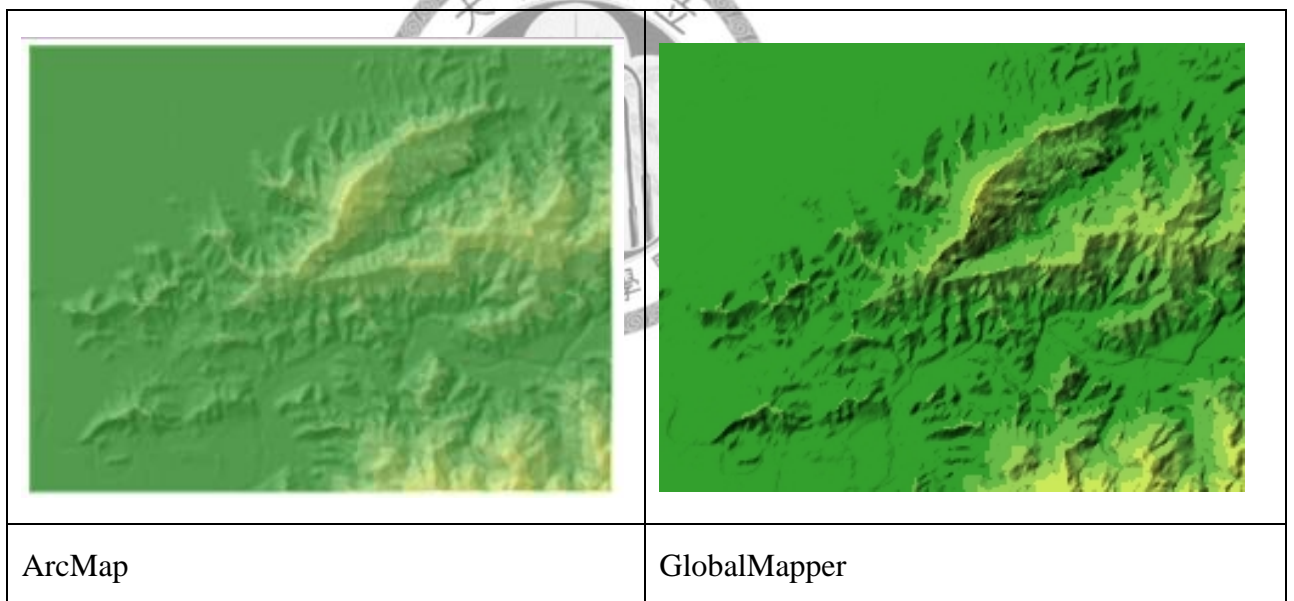
灰度值對比度計算結果如表 4-4、表 4-5 所示。灰度值對比度可以描述各暈渲圖整體的黑白對比強烈程度，值越大，黑白對比越強。Surfer 軟體各演算法的黑白對比都很強烈，讀圖者對於細微的暈渲分布能盡收眼底，比較不適合於地圖呈現用途。但是在地形判釋上或是想要提供清楚的暈渲分布，Surfer 軟體的 Lambertian Reflection 法是個可以考慮的選擇。GlobalMapper 軟體因為大量使用白色網格於平緩地及迎光面上，所以灰度值對比度也蠻高的。

表 4-5 灰度值對比度排序

地形類別	大 ←—————→ 小								
山地	Surfer (Peucker法)	Surfer (Simple法)	Surfer (Lommel法)	Surfer (Lambertian法)	GlobalMapper	ArcMap	MDOW	MapRender 3D Lite	Swiss-style
丘陵	Surfer (Simple法)	Surfer (Lambertian法)	Surfer (Peucker法)	GlobalMapper	Surfer (Lommel法)	MDOW	ArcMap	MapRender 3D Lite	Swiss-style
盆地	Surfer (Simple法)	Surfer (Lambertian法)	Surfer (Peucker法)	Surfer (Lommel法)	GlobalMapper	ArcMap	MDOW	MapRender 3D Lite	Swiss-style
台地	Surfer (Simple法)	Surfer (Lambertian法)	Surfer (Peucker法)	GlobalMapper	Surfer (Lommel法)	Swiss-style	ArcMap	MDOW	MapRender 3D Lite

第三節 彩色暈渲比較

一、不同演算法的南港丘陵暈渲圖



GlobalMapper 及 MapRender 3D Lite 的分層設色圖是照原色疊繪在黑白暈渲上，分層設色圖顏色不受暈渲導致明暗度變暗。因此如果用這兩個軟體繪製暈渲，要用飽和度低的顏色。至於其他的軟體，因為是用對分層設色圖設定透明度疊在暈渲上面，要用飽和度稍微高的顏色，以免暈渲看起來過於灰暗。ArcMap、Surfer(Simple)在平緩地使用灰暗色調，不太好；Surfer(Peucker's Approximation)在平緩地稍亮；



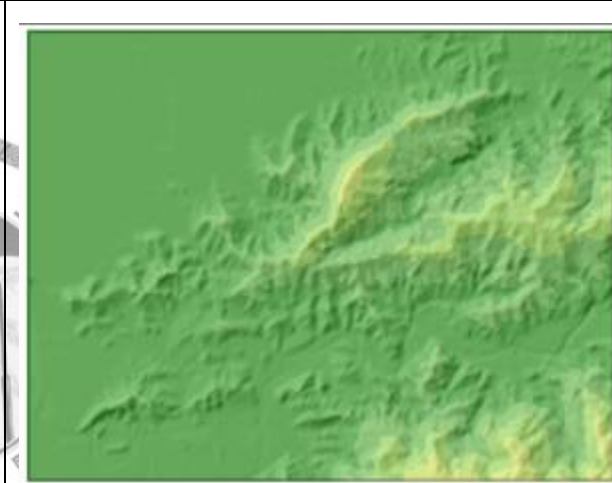
Surfer(Simple)



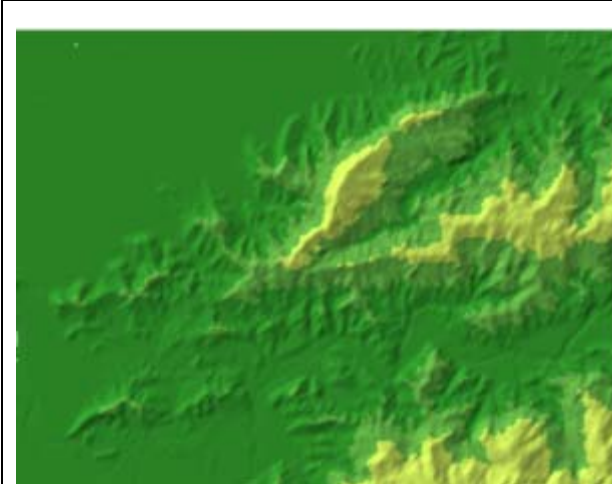
Surfer(Peucker's Approximation)



Surfer(Lambertian Reflection)



Surfer(Lommel-Seeliger Law)



MapRender 3D Lite



MDOW

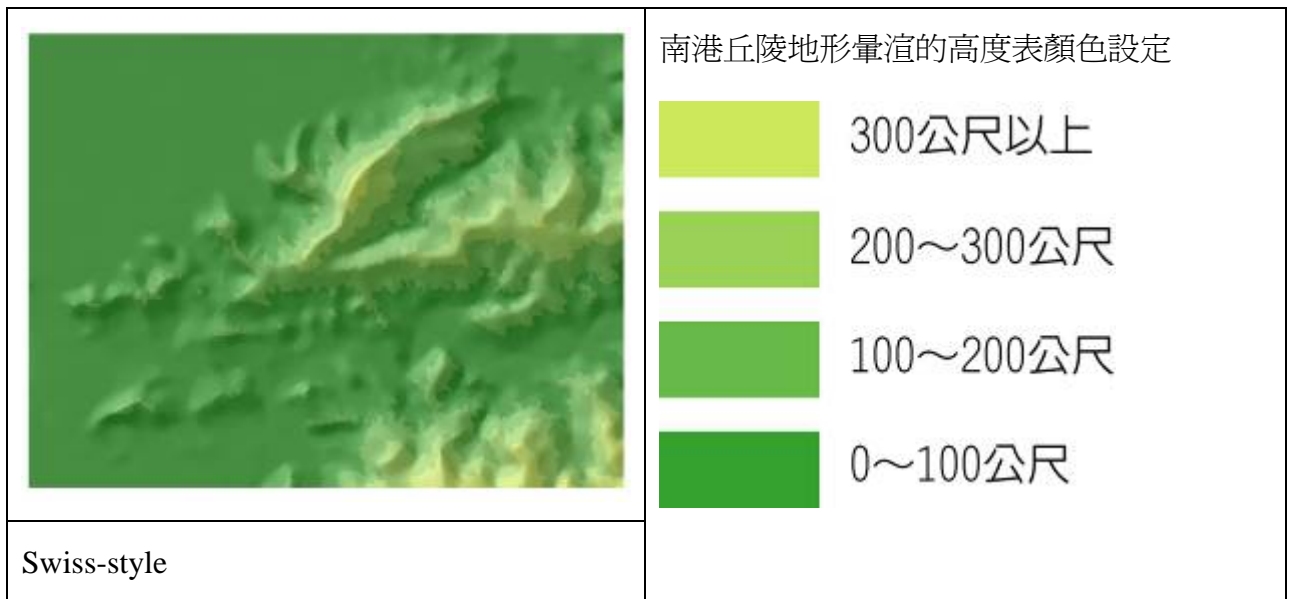
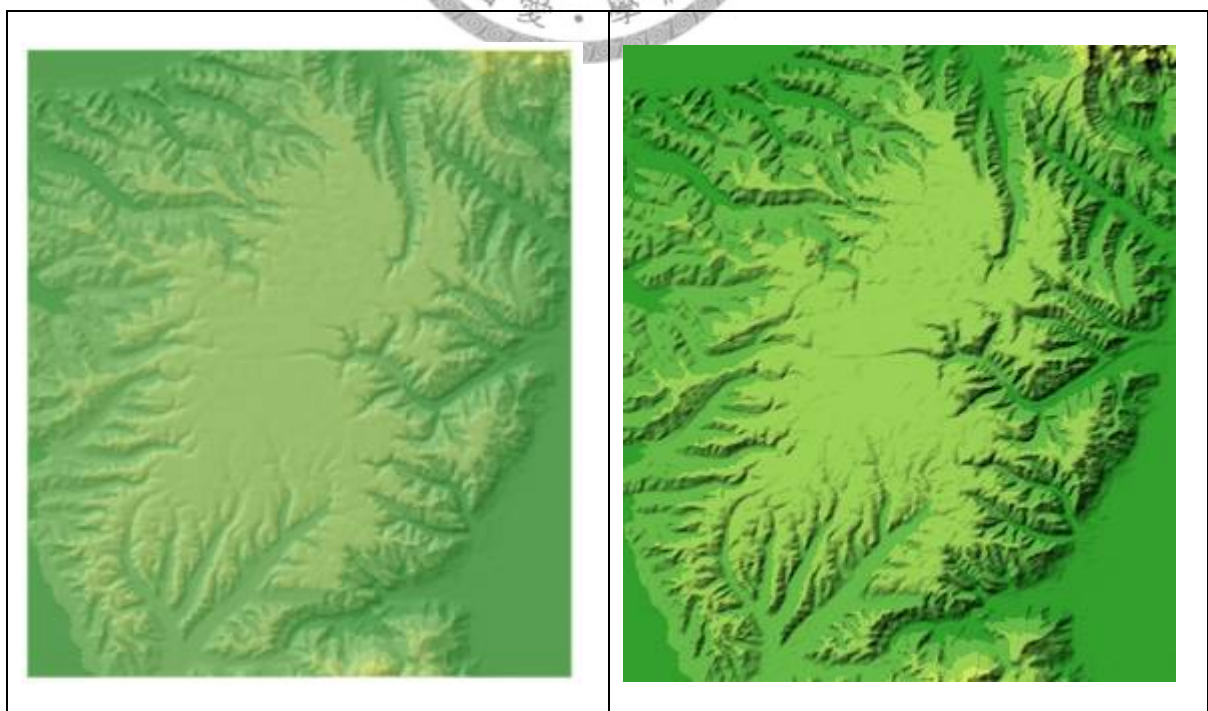






圖 4-5 丘陵在不同演算法下的暈渲效果

Surfer(Lambertian Reflection)、Surfer(Lommel-Seeliger Law)在平緩地最亮，不會影響圖面註記的明顯性，可以考慮使用。MDOW暈渲把坡面都分的很清楚，使圖面明顯性會高於ArcMap及Surfer的四個演算法。Swiss-style暈渲給讀圖者立體、有高低差的感覺，但是使用在丘陵上，使丘陵看起來像崎嶇的山區，過度吸引目光。

二、不同演算法的林口台地暈渲圖



ArcMap	GlobalMapper
	
Surfer(Simple)	Surfer(Peucker's Approximation)
	
Surfer(Lambertian Reflection)	Surfer(Lommel-Seeliger Law)

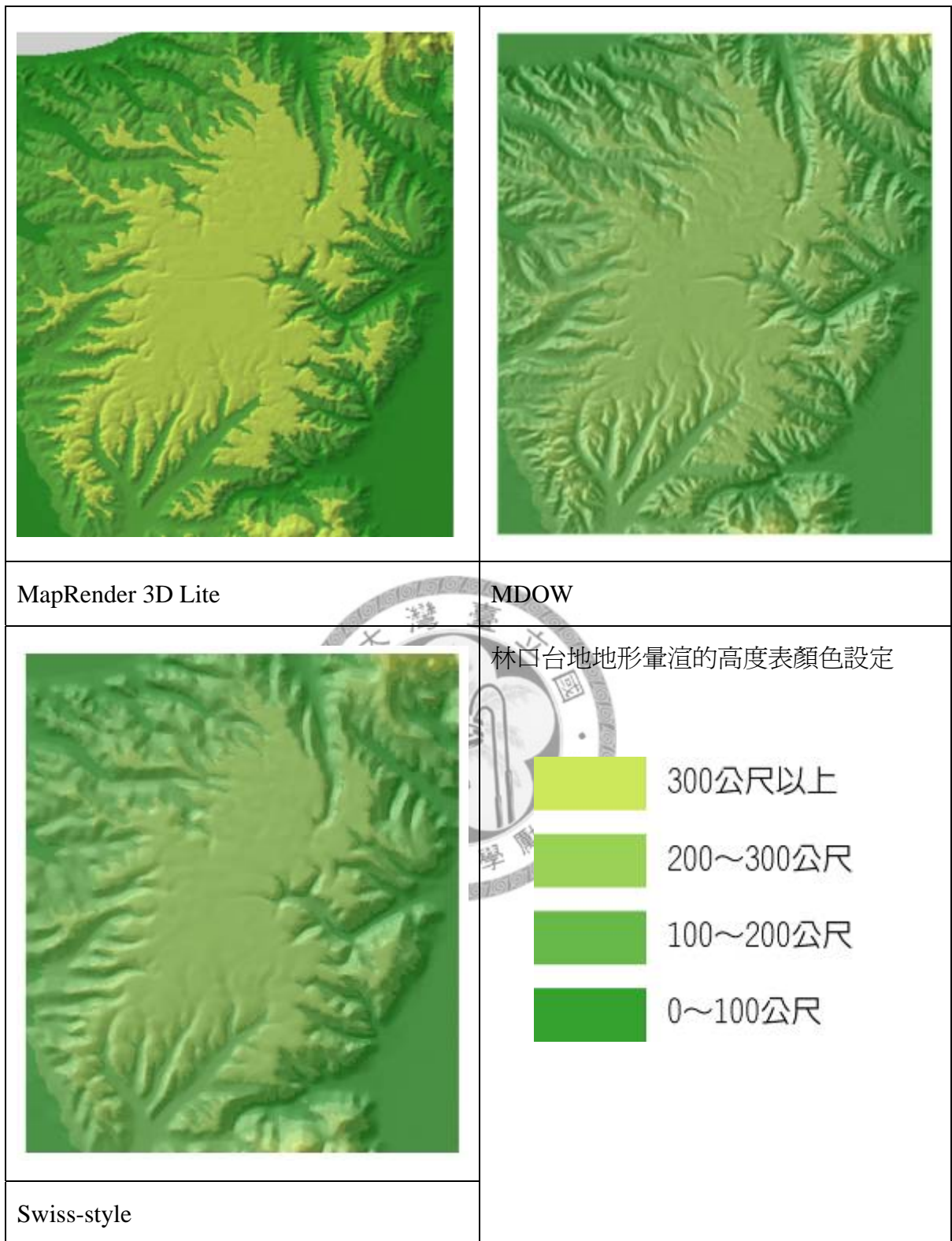

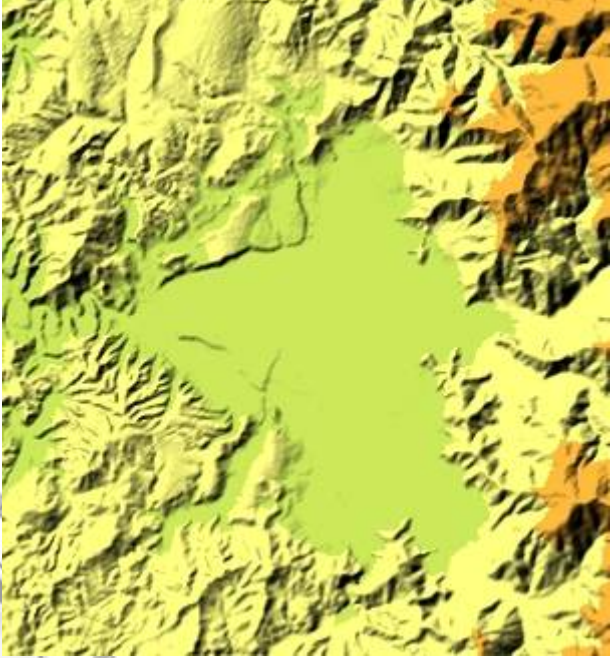




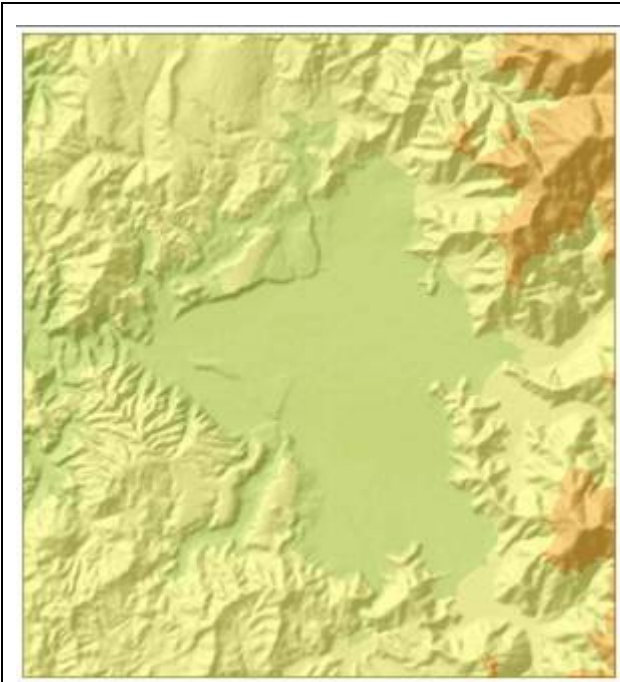
圖 4-6 台地在不同演算法下的暈渲效果

GlobalMapper軟體採用模糊化暈渲，模擬手工暈渲噴槍效果，是一個優點。從這些台地暈渲圖來看，暈渲立體程度從最高為Swiss-style暈渲；再來為MDOW暈渲；接著是Surfer(Simple)；其次是GlobalMapper；最後是其他演算法，暈渲立

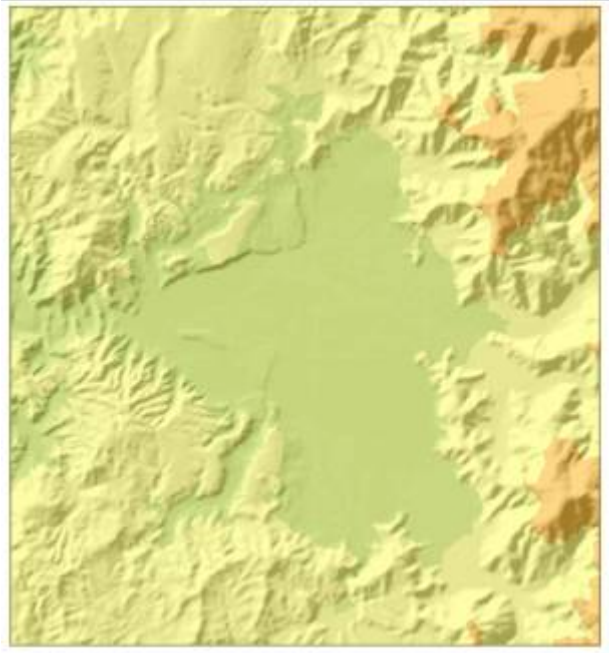
體感皆差不多。Swiss-style暈渲最能給讀圖者立體、有高低差的感覺，使用在台地上，可以看出平台高起於平原的效果，該演算法是充分表達了台地的地形特徵。

三、不同演算法的埔里盆地暈渲圖

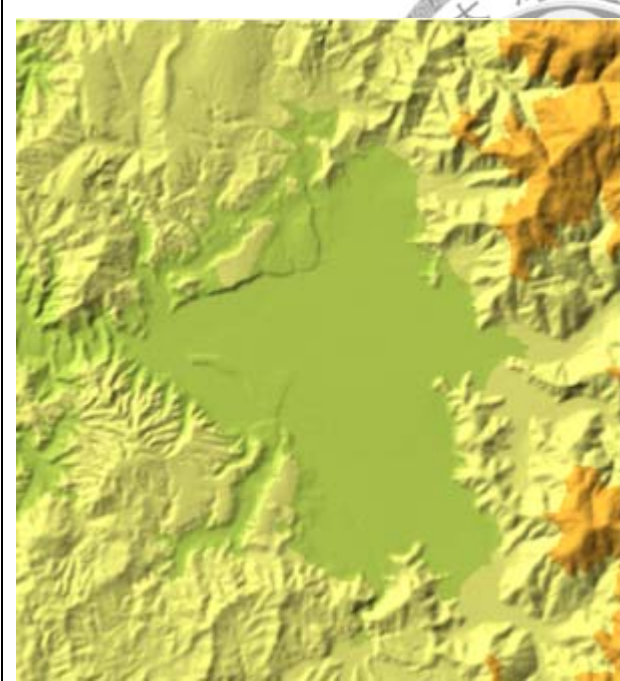
	
<p>ArcMap</p>	<p>GlobalMapper</p>
	
<p>Surfer(Simple)</p>	<p>Surfer(Peucker's Approximation)</p>



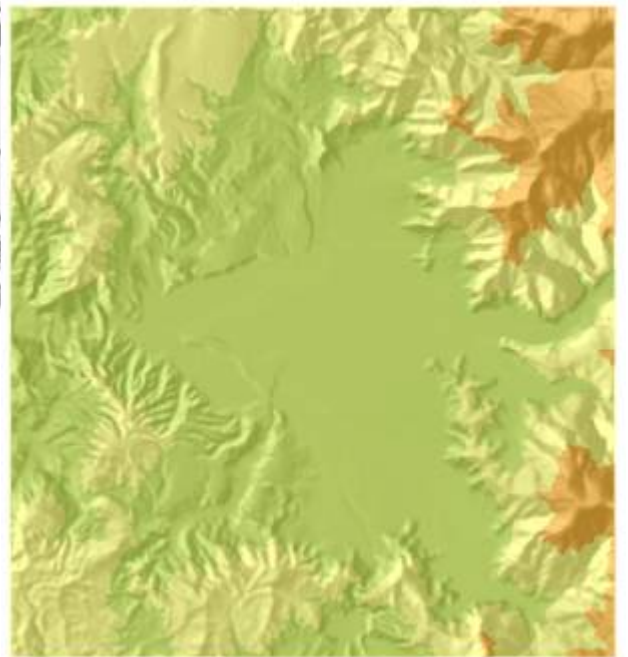
Surfer(Lambertian Reflection)



Surfer(Lommel-Seeliger Law)



MapRender 3D Lite



MDOW

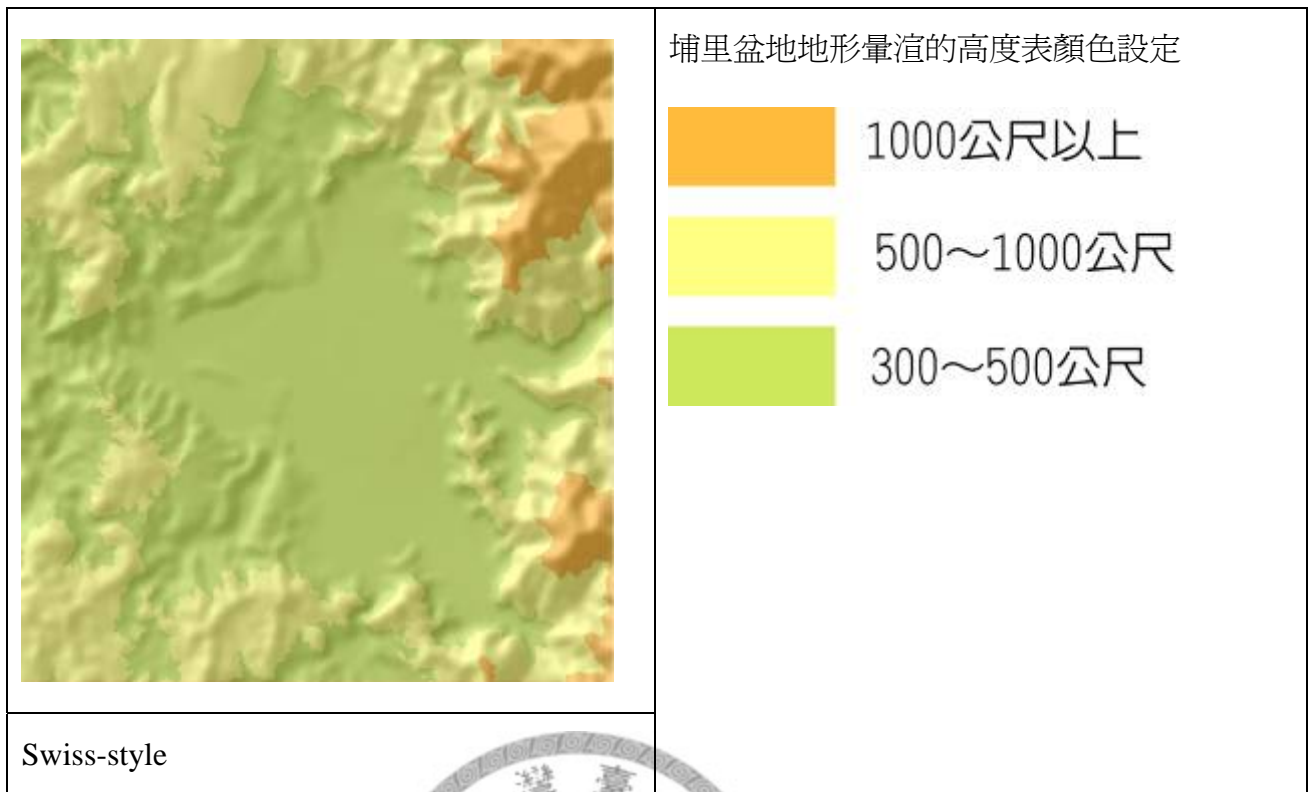
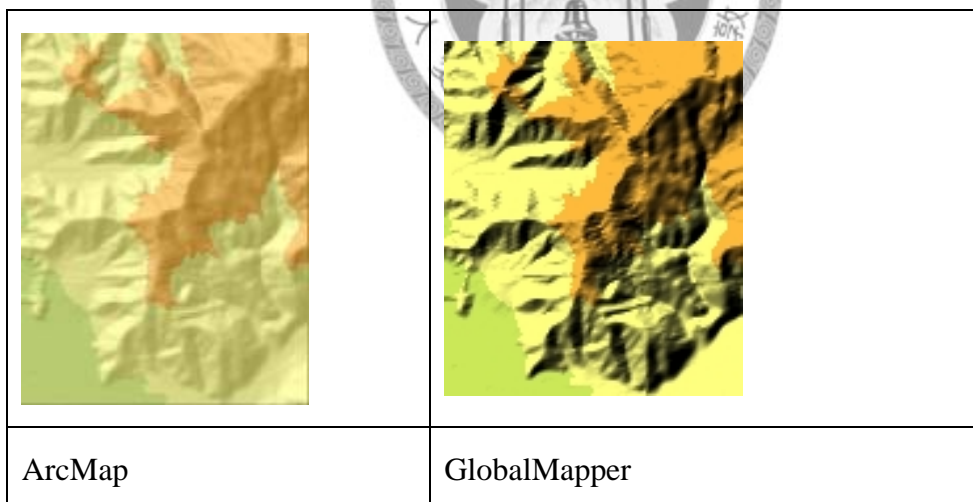

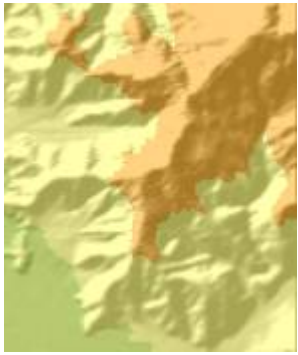






圖 4-7 盆地在不同演算法下的暈渲效果

四、不同演算法的西關刀山暈渲圖



	
Surfer(Simple)	Surfer(Peucker's Approximation)
	
Surfer(Lambertian Reflection)	Surfer(Lommel-Seeliger Law)
	
MapRender 3D Lite	MDOW

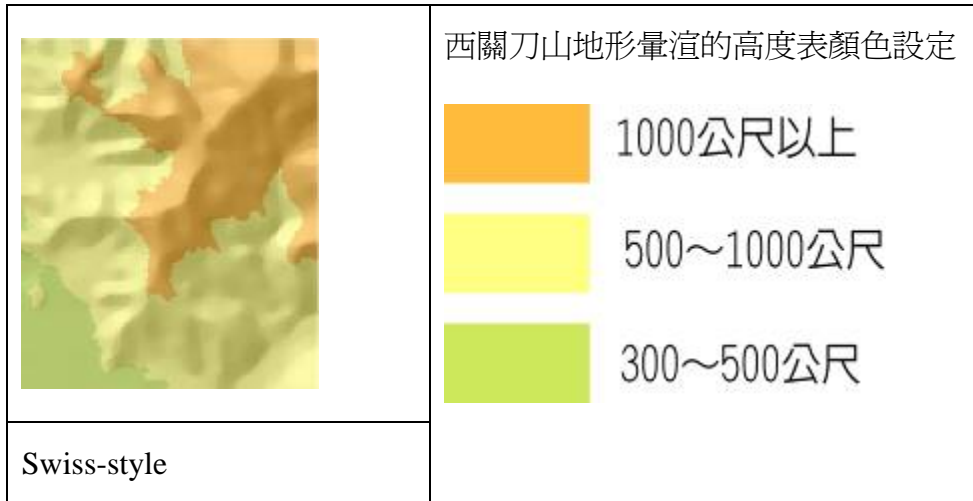


圖 4-8 山地在不同演算法下的暈渲效果

這些暈渲當中，Swiss-style暈渲最能給讀圖者立體、有高低差的感覺，圖面明顯性佳，效果是比較好的。而且主要稜線對比清楚，符合手工暈渲的特點。



第五章 結論與建議

第一節 結論

在邊緣偵測稜線谷線分析部分，Swiss-style 暈渲析取出的稜線谷線數少且平均長度長，顯示該演算法在視覺上能作到地形概括化，讓讀圖者容易掌握主要地貌。如果要用於地圖呈現用途，應該要優先考慮使用 Swiss-style 暈渲。MDOW 暈渲析出的稜線谷線，不會受到單一光線方向照射產生的影響，避免出現與光線方向垂直走向的虛假稜線，可維持地形判釋的正確性。

MDOW、Swiss-style 暈渲是為改進電腦暈渲的一些缺點而研發出的新演算法，其灰度值對比度大致都比其他演算法來得低，圖面顯著性不重，適合地圖呈現。Surfer 軟體各演算法的黑白對比都很強烈，灰度值標準差大，比較不適合於地圖呈現用途。但是在地形判釋上或是想要提供清楚的暈渲分布，Surfer 軟體的 Lambertian Reflection 法是個可以考慮的選擇。

灰度值粗糙度除了台地以外，只可以認定 Swiss-style 暈渲比起其他電腦暈渲概括化程度高，其餘很多時候灰度值粗糙度不能作為衡量電腦暈渲地形概括化程度的指標。如果某 A 演算法大量使用深淺灰色網格，少用黑色或白色，黑白對比度低。若有一暈渲細緻程度與 A 演算法差不多之 B 演算法，其暈渲黑白網格多，灰色網格少。然後計算灰度值粗糙度，會得到 A 演算法的值低於 B 演算法，但實際作圖面比較發現暈渲概括化程度是一樣的。因為暈渲影像的複雜，能夠客觀評估地形概括化程度的指標目前並沒有研究出來。

所以，經由第四章的各項灰度值分析、評估方法後，本研究整理出各演算法之特性及其適用性於表 5-1，提供給之後的使用者在適用性方面的參考。

表 5-1 各演算法之特性及其適用性

演算法	特性	析出的稜線谷線特性	灰度值粗糙度	灰度值對比度	受地形類型影響的效果
ArcMap 9.3 軟體		有 Azimuth-biasing 現象要修正	次高群組	次高群組	平緩地灰暗色，會影響圖面註記的明顯性
GlobalMapper 10 軟體		有 Azimuth-biasing 現象要修正	次高群組	最高群組	略
Surfer 8 軟體，Simple 法		地形構造線破碎度所有演算法中，次高	最高群組	最高群組	平緩地灰暗色，會影響圖面註記的明顯性
Surfer 8 軟體，Peucker 法		地形構造線破碎度所有演算法中，次高	最高群組	最高群組	略
Surfer 8 軟體，Lambertian 法		圖面上充斥短小稜線谷線，地形構造線破碎度在所有演算法中，最高	最高群組	最高群組	平緩地亮白色，不會影響圖面註記的明顯性，可以考慮使用
Surfer 8 軟體，Lommel 法		地形構造線破碎度所有演算法中，次高	次高群組	最高群組	平緩地亮白色
MapRender 3D Lite 1.0 軟體		有 Azimuth-biasing 現象要修正	最低群組	最低群組	高低差的地形，其明顯性不高，可以提高地形誇張度改善
Swiss-style 暈渲		析出的稜線谷線長且短，只顯示出主要構造線	最低群組	最低群組	高低差的地形使灰度值粗糙度變高，提高該地形之明顯性。最能表達台地地形之演算法

演算法	特性	析出的稜線谷線特性	灰度值粗糙度	灰度值對比度	受地形類型影響的效果
MDOW 暈渲		唯一可避免 Azimuth-biasing 現象，出現虛假稜線谷線的演算法	最低群組	次高群組	在山區能把各坡面分的很清楚

註 1：群組劃分是以最大概似法，將指標計算值相近的劃分在同一組。

第二節 建議

不同演算法(軟體)裡，即使同樣都具有高度誇張值參數可供設定，但是調整後的效果也會不同。如果想不經過寫程式的步驟來研究出新的暈渲效果，可以嘗試在軟體裡，對各參數進行高低調整。像是 Global Mapper 軟體將光線仰角調高為 70 度，調整地形誇張度為 4 倍，會因為光線接近從正方上照，有些稜線的反光會很明顯，而且陰影又柔和，有著還不錯的效果。

本研究由於時間上的限制，或是灰度值本身資料特性，無法利用更多描述數位影像組織之其他計量方法，對不同暈渲圖進行分析。這或許是未來可以繼續探討的地方。但是要注意的是黑白暈渲圖是三維的資訊 (X 方向、Y 方向、灰度值)。有些指標計算後會將資訊降低為一維或二維的資訊，使分析結果常常很難與圖面比較結果一致，找出的原則很多時候沒有一致性。因此可用的灰度值分析方法多來自於數位影像組織分析領域知識。

參考文獻

- 賀忠儒主編，徐聖謨、姜道章、吳信政編著 (2002) 地圖學通論，台北：茂昌。
- 莊永明編著 (1996) 台灣鳥瞰圖-1930 年代台灣地誌繪集，台北：遠流。
- 蔡宗勳 (1994) 數值高度模型之地形量度研究，國立台灣大學地理學研究所碩士論文。
- 二宮書店編集部 (2004) 高等地圖帳，東京：二宮書店。
- Etopo2 地形資料 (2006) <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html> [2008/4/10]
- Barnes, D. (2002) Using ArcGIS to Enhance Topographic Presentation, *Cartographic Perspectives*, 42:5-11.
- Blinn, J. F. (1977) Models of light reflection for computer synthesized pictures, *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH)*, 11(2):192-198.
- Bonham-Carter, G. F. (1994) *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*, Oxford: New York.
- Campbell, J. (1984) *Introductory Cartography*, Prentice Hall Inc: New Jersey.
- Clark, C. D. (1997) Reconstructing the evolutionary dynamics of former ice sheets using multi-temporal evidence, remote sensing and GIS, *Quaternary Science Reviews*, 16:1067-1092.
- Clark, C. D. and Meehan, R. T. (2001) Subglacial bedform geomorphology of the Irish Ice Sheet reveals major configuration changes during growth and decay, *Journal of Quaternary Science*, 16(5):483-496.
- Eyton, R. J. (1991) Rate-of-Change Maps, *Cartography and Geographic Information Systems*, 18(2):87-103.
- Green, W. E. (2002) Edge Detection Tutorial, <http://www.pages.drexel.edu/%7Eweg22/edge.html> [2008/5/10]
- Golden software Inc. (2002) *Surfer 8 User's Guide*, Golden software Inc: Colorado.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002) *Digital image processing*, Prentice Hall Inc: New Jersey.
- Graham, D. F. and Grant, D. R. (1991) A test of airborne, side-looking synthetic-aperture radar in central Newfoundland for geological reconnaissance, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28:257-265.
- Heuberger M. and Kriz K. (2006) Terrain representation in small-scaled maps. *Proceedings of 5th Mountain Cartography Workshop in Bohinj, Slovenia*. http://www.mountaintcartography.org/publications/papers/papers_bohinj_06/09_Heuberger_Kriz.pdf [2008/5/10]
- Hobbs, F. (1995) The rendering of relief images from digital contour data, *Cartographic Journal*, 32(2):111-116.

- Horn, B.K. (1981) Hill Shading and the Reflectance Map, *Proceedings of the IEEE*, 69(1):14-47.
- Imhof, E. (1982) *Cartographic Relief Presentation*, Walter De Gruyter: New York.
- Jenny, B. (2001) An Interactive Approach to Analytical Relief Shading, *Cartographica*, 38(1&2):67-75.
- Jenny, B. and Hurni L. (2006) Swiss-style colour relief shading modulated by elevation and by exposure to illumination, *The Cartographic Journal*, 43(3):198-207.
- Jenny, B. and Patterson, T. (2007) Introducing plan oblique relief, *Cartographic Perspectives*, 57:21-40.
- Kennelly, P. J. (2002) GIS applications to historical cartographic methods to improve the understanding and visualization of contours, *Journal of Geoscience Education*, 50(4):428-436.
- Kennelly, P. J. (2008) Terrain maps displaying hill-shading with curvature, *Geomorphology*, 102(3-4):567-577.
- Kraak, M. J. (2003) Geovisualization illustrated, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57(5):390-399.
- Leonowicz, A. and Jenny, B. (2008) Generating Hypsometric Layers from GTOPO30 for Small-Scale Mapping. *Proceedings of 6th Mountain Cartography Workshop in Lenk, Switzerland*.
http://www.mountaincartography.org/publications/papers/papers_lenk_08/leonowicz.pdf [2009/3/5]
- Mark, R. (1992) *Multidirectional, oblique-weighted, shaded-relief image of the Island of Hawaii*. US Geological Survey Open-file Report 92-422.
<http://pubs.usgs.gov/of/1992/of92-422/of92-422.pdf> [2008/5/14]
- Onorati, G., Poscolieri, M., Ventura, R., Chiarini, V., and Crucilla, U. (1992) The digital elevation model of Italy for geomorphology and structural geology, *Catena*, 19(2):147-178.
- Patterson, T. (2007) Creating 3D Relief on 2D Planimetric Maps,
<http://www.shadedrelief.com/planimetric/plan.html> [2009/7/5]
- Pike, R. J. (1992) *Machine Visualization of Synoptic Topography by Digital Image Processing*. US Geological Survey Bulletin 2016: B1-B12.
http://pubs.usgs.gov/bul/b2016/chapb/ch_b.html [2008/5/2]
- Price, W. (2001) Relief Presentation: Manual Airbrushing Combined with Computer Technology, *The Cartographic Journal*, 38(1):107-112.
- Sheppard, S. R. J. (1998) Visualization software bring GIS applications to life, *GeoWorld*, 12(3):36-41.
- Smith, M. J. and Clark, C. D. (2005) Methods for the visualization of digital elevation

models for landform mapping, *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(7):885-900.

Smith, M. J. and Wise, S. M. (2007) Problems of bias in mapping linear landforms from satellite imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9:65-78.

Thomas, R. A. (2007) Digital Terrain Visualization and Virtual Globes for Teaching Geomorphology, *Journal of Geography*, 106(6):253-266.

Weibel, R. (1992) Models and Experiments for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization, *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(3): 133-153.

Weibel, R. (1997) *Generalization of Spatial Data - Principles and Selected Algorithms*, Berlin: Springer Verlag, 99-152.

