

地形圖上標高色彩之認知研究

A Perception of Hypsometric Colors Based Topographic Maps

高慶珍*

Ching -Jen Kao

摘要

地形圖上標高色彩自來具有使用光譜色系的傳統，本研究乃依循前人的用色規則，轉繪台灣北部二萬五千分一的地形圖到螢幕上，測試 20 至 30 歲間年輕人對標高色彩的偏好，及透過色彩所估計的空間高度。從結果知道擁有三種非相連色彩的漸變色彩最受喜愛，除可保有地形的連續性外，亦可達到視覺的可讀性，但要避免灰色調的加入。而從色彩量化估計中，發現綠中帶黃易被估計為 300 公尺左右，黃中帶綠則接近 600 公尺，黃中帶棕約可上估至 1000 公尺，而橙與棕色已被估計到 1000 公尺以上的地形了。從受測者之背景分析也發現，唯有理論與實作雙管齊下，才能培育出優秀的地圖人才。

ABSTRACT

Spectral color is the hue convention of hypsometric maps. According to earlier examples, this study transmit four sets of hypsometric color schemes in scale 1:25000 topographic map, to test the perception of young adult ranging from 20-30 years old. All questions are examined in computer. The results indicate that using hue transition will achieve the continuous terrain representation, but a successive hue sequential scheme and gray tone would be avoid to facilitate visual legibility. From the quantitative evaluation, greenish-yellow was evaluated about 300 meters. Reverse the situation the height was evaluated about 600 meters, while yellowish-brown was evaluated up to 1000 meters, and the color with brown or orange was evaluated above 1000 meters. These numbers offer a good reference once choosing color strategies. Besides, both of theory learning and practice is the best way to train a good cartographer.

關鍵字： 地形圖 標高色彩

Key words: topographic maps hypsometric colors

*中國文化大學地理系講師

一、前言

遠在十六世紀之前，地形圖的繪製多半僅透過線條將山的外形勾勒出來，以表達各山的相對遠近關係，直到十六世紀後達芬奇(Leonardo da Vinci)才首先將山脈的連續起伏表達出來，但卻仍無法表達出山的高低位置。1667年時，瑞士 Hans Conrad Gyger 配合自然色彩與三度空間概念，畫出第一幅真正的立體地形圖。但地形圖最大的進展，應是英國 Johann Georg Lehmann 在 1799 年發展出的暈滃(hachuring)繪圖系統，運用粗密或長短不同的線條來展現不同之疏密，藉以反應坡度的陡平。隨後根據暈滃法加以修正，改由陰影來展現立體效果的則稱暈渲繪圖法，此兩種地形製圖法均一直延續到廿世紀而不墜。

而今地形圖上最重要的等高線，原是參考海軍等深線圖繪製而成的，它的準確度在 1920 年航測照片發展後更為提高。此外，石版印刷發明後不只促進多色地圖的生產，此種利用標高圖色調(hypsometric tints)在面符號上印刷色彩的技術，並逐漸取代了暈滃與暈渲的地位，使得地形圖的發展又更上一層。演變至今，雖然電腦上的技術操作變化多端，但原理卻仍不離其宗。

國內彩色地形圖已採行多年，但針對國人對地形圖上的色彩認知所做的研究並不多見，因此本研究旨在透過不同的地形設色，找出較受歡迎的標高圖色彩，進而歸納其設色通則，並測試色彩所帶給讀者的高度認知，以作為日後地形圖繪製的參考。

二、地形圖之設色傳統

色彩之所以會產生前進與後退的感覺，乃由於長波折射率較小成像在視網膜之後，而短波效果相反成像在前，於是水晶體乃透過前進與後退作用將影像調整至正常位置，因而對色彩產生膨脹與收縮的感覺。地形圖的設色也就沿此原則，令高處以暖色調低處以寒色調來達成表現高低起伏的特色。然除了色調上的大原則不變外，兼及可讀性與形底關係的表達，在定性地圖上某些色彩用法一直是不變的，如水體不論是中國漢代或羅馬中世紀之地圖，均已採用藍色，此一作法主要還是來自色彩本身所帶給人們的聯想。根據 Patton & Crawford (1977)從地形圖的色彩實驗中發現，標高圖色彩其實同時傳達

了地形與非地形兩種訊息，綠色易引起密林、多雨的聯想，而黃色或棕色則易引起疏林的聯想。Robinson et al. (1995)、Dent (1996)、Keates (1996)在他們的著作中，也一致認為色彩的聯想，在地圖設色中極為重要，例如在西方地圖上藍色一直是濕、冷的表示，因此即使嚴寒的北歐水體很少呈現藍色，但仍被用來表達水體；乾燥的象徵則是由褐或黃色來表示；而綠色就一直被用來表示植物與茂盛的意思，其中草地與草原更分別被用以淡綠色及深綠色來表示。

在地形圖上，高亮度的黃色是小面積上不可或缺的色彩，若再加上寒色調和暖色調，即可成為表達地形連續效果的最好色彩，這也是光譜色系在近百年來一直被應用在地形圖上的原因。Kraak & Ormeling(1999)就曾提到利用漸層色表示地形圖極為有效，否則透過紫色調的影子，黃色調的面光色彩之暈渲效果，也可加強起伏印象。國內高慶珍與趙家民(1995)曾就各國地圖集的地形色彩做過研究，發現綠色系與黃色系一直是平原至丘陵間（1000 公尺）最常使用的色彩，若再升高地勢則漸為紅色的暖色調所取代，一般要到 5000 或 6000 公尺高才會以白色來表示終年不化的白雪。從上述文獻中，可見地形設色是有其一貫的傳統的。

三、研究方法

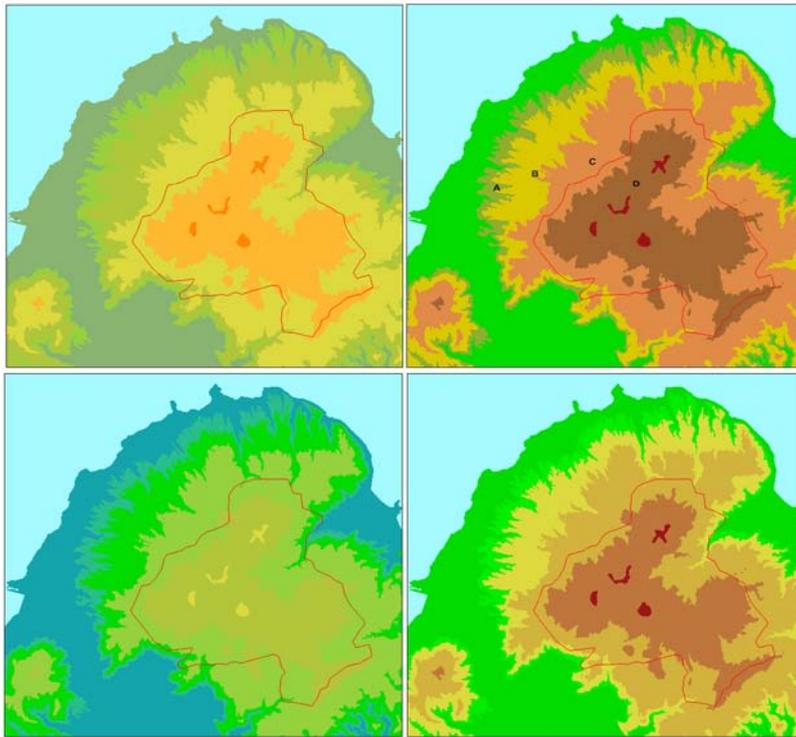
（一）、研究範圍

本研究取材自民國 86 年內政部出版二萬五千分一的地形圖，以陽明山國家公園為核心，將台灣北部地區重新數化設色後作為研究樣本。區內高度相差達 1000 公尺以上，為了避免造成視覺同時對多種色彩的判識困擾，僅以六色為限，因此在等高線的劃分上乃採用幾何級數系列(the geometric progression step sequence)，利用高度乘上常數 $K=2$ 得出，0-50、50-100、100- 200、200- 500、500- 1000 及 1000- 2000 公尺六階高度等級。其中原地圖中因 50 公尺等高線需透過內插數化不易，因而改由 60 公尺取代。

（二）、設色依據

為了顧及視覺可讀性及用色傳統性，同時達到地形逐漸攀升的起伏效果，本研究乃依據 Imhof(1965) 在 Cartographic Relief Presentation 一書中所介紹前人行之已久的設色經

驗，加以調配後應用到電腦螢幕上。圖一色彩之使用始自廿世紀，乃澳洲地圖學家 Karl Peucker(1859-1940) 根據心理與生理現象對地表之觀察所設計之顏色，低處帶灰高處帶紅用以加強立體效果。圖二修飾自圖四，乃刪掉中間亮度特別高的黃色值(modified spectral scale with omission of the yellow step)，以增加高度結構之穩定性。圖三利用越高越亮之原理(color gradations with optimum elevation modeling effect)來表達高度的不同，同樣是運用到心理過程、經驗效果及記憶的產生，唯此種表示方法多需伴有暈渲效果，方能表達出地形之起伏。圖四所使用的色彩沿襲自十九世紀，以黃色作為中間高度，往下為綠色，向上為紅色，為光譜色系之標準型(modified spectral scale, standard form)。



圖一 圖二
圖三 圖四
實驗樣本

(三)、螢幕設色

本研究於筆記型電腦上進行，螢幕色溫保持在 6500°K，樣本之繪製乃在 ArcView 軟體上進行，色彩以由 RGB 系統轉變而來的 HSV 系統上進行，在 18 個色相中、各以三個飽和度及亮度及四個灰度值之互相搭配，組成 166 種色彩。色彩之設定從對色彩名稱的認知轉換而來，凡屬同一色彩名稱者必設以相同的組成，令其在本研究中自成一套標準化的色彩，表 1 即為此四樣本圖的色相、飽和度及亮度三屬性之整理表。

表 1 樣本色彩之設色值統計表

高度 (m)	圖一		圖二		圖三		圖四	
	色彩	HSV	色彩	HSV	色彩	HSV	色彩	HSV
1000-2000	紅橙	23*	紅棕	255	黃	42	紅棕	255
		255**		221		184		221
		255***		158		221		158
500-1000	黃橙	28	中棕	19	綠黃	49	淡棕	19
		206		175		180		175
		255		161		199		191
200-500	黃	42	淡棕	19	黃綠	60	淡黃棕	34
		184		175		180		180
		221		225		210		210
100-200	綠黃	49	橄欖棕	39	綠	85	黃	42
		180		255		255		184
		199		220		220		221
60-100	黃綠	60	橄欖綠	52	藍綠	114	灰綠	85
		180		186		199		252
		210		174		191		240
0-60	灰綠	71	綠	85	綠灰藍	130	綠	85
		94		255		225		255
		180		220		172		220

註：*表 H=色相 **表 S=飽和度 ***表 V=亮度

(四)、實驗設計

本實驗共有 79 人接受測試，男生 42 人 女生 37 人，年齡介於 20-30 歲之間，其中 36 人受過地圖學基礎訓練，36 人中又有 26 位具有實際設計繪製地圖的經驗。本實驗透過對標高色彩之喜好排序，依次各予以 4、3、2、1 的加權分數，再透過平均分數找出最被偏好的地圖標高色彩。此外，透過對色彩之高度認知，只要高度填答介於標準答案之間者，即以正確計，據此計算色彩所表達的高度認知率之正確率，並歸納這些色彩實際提供之認知高度。兩者均利用單因素獨立測量 (ANOVA) 在電腦軟體 SPSS 上分析性別、專業訓練者與一般人士間的表現異同程度，作為地圖教育的檢測。

四、實驗成果

(一)、色彩偏好

在四張地圖中，圖一以獲 2 分的次數最多，共佔 60.8%，平均得分為 2.3797 (表 2)；圖二儘管以選擇 4 分的受測者佔最多數達 62%，但因給分的分布較為分散，因此平均分數僅為 3.2532；而選擇圖三為 1 分的受測者高達 78.5%，但也因其它給分相對並不集中，使得平均分數拉高為 1.4557；相對來講，受測者對圖四的看法最為集中，67.1%的受測者給予 3 分，平均得分為 2.9114。

表 2 各樣本圖之得分統計表

圖別 得分(%) 得分	圖一	圖二	圖三	圖四
	1	7.6	12.7	78.5
2	60.8	11.4	8.9	19.0
3	17.7	13.9	1.3	67.1
4	13.9	62.0	11.4	12.7
平均得分	2.3797	3.2532	1.4557	2.9114
標準差	0.8213	1.0916	0.9845	0.6032
排序	3	1	4	2

從平均分數的結果可見，圖二的分數最高，圖四居次，再次為圖一，而以圖三殿後。也就是說修飾了標準型的黃色後最為受測者偏好，但標準型仍緊追於後，Karl 的設色位居第三，而必須搭配暈渲效果的色彩最不受喜愛。

若從受測者背景來看，根據 ANOVA 之檢定，不論是性別或是受地圖教育與否，對地形圖的標高色彩之偏好均不具顯著差異。

(二)、色彩標高

在地圖中 ABCD 四個位置的高度，於實際地形中原為 60-100、100-200、200-500 及 500-1000 公尺。從實驗結果中發現，在四個位置中，A 點的高度估計正確率為 17.7%，B

點略降一些為 16.5%，C 點則又略上升為 21.5%，D 點更高為 39.2%（表 3），四個位置都呈現估計過高多於估計過低的現象（表 4）。事實上，A 點被估計的最低高度為 50 公尺，

表 3 各位置高度估計統計表

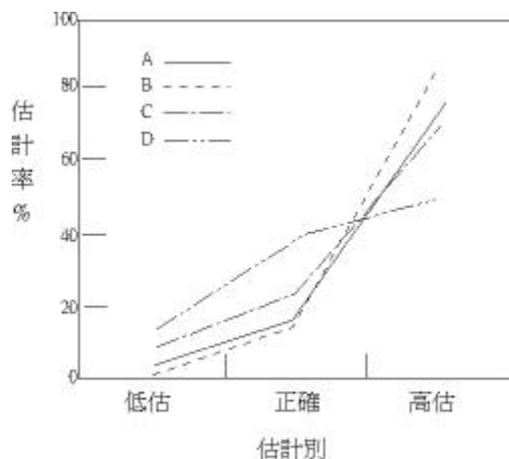
位置	正確率	不正確率	平均高度(m)	標準差
A	17.7	82.3	330	314.5697
B	16.5	83.5	637	570.8545
C	21.5	78.5	992	851.8181
D	39.2	60.8	1437	1189.5059

表 4 不正確估算率統計表

位置	A	B	C	D
低估率	3.7	0	8.8	12.6
高估率	78.6	83.5	69.7	48.2
不正確率	82.3	83.5	78.5	60.8

但以估計為 200、300 及 400 公尺的受測者最多，共佔所有受測者之 48.1%，而錯估至 800 公尺以上者僅有 3.9%，因此平均估計高度為 330 公尺。B 點被估計的最低高度為 100 公尺，與事實高度可稱吻合，但以估計為 500 或 600 公尺者居多共佔 31.3%，也有 11.3% 的受測者估計為 1000 公尺，但至此以上者仍佔 10.2%，平均估計高度為 637 公尺。C 點被估計的最低高度為 150 公尺，但以估計為 800 公尺者最多佔 13.8%，也有 10.0% 的受測者估計為 1500 公尺，其它高度則看法極不一致，甚至有估計為 6500 公尺者，但如此高度並不存在台灣失去意義，平均來講，C 點被估計的高度為 992 公尺。D 點看法更為分歧，其中以估計 1000 公尺者最多，符合實驗設計的標準高度，其它又以估計為 2000 或 3000 公尺的受測者居多，分別佔 10.0%，平均估計高度為 1437 公尺。此一位置最為特別

的是有一受測者估計此處僅為 50 公尺，也有一受測者估計此處為 8500 公尺，估計差距達 8000 公尺以上。整體言，D 位置的正確估計率最高，也最容易被低估高度；B 位置的正確估計率最低，且最易被高估高度，A 和 C 兩位置位居中間（圖五）。趨勢上，高度較低者較易被高估，反倒是高度愈高者，被低估的次數明顯增加，但高度愈高，看法差異愈大則至為明顯。



圖五 各種估計別所佔百分比圖

對此四位置的高度估計，有無受過地圖教育在經過 ANOVA 的檢定後，並不具明顯差異。即使具實作地圖的經驗者之觀點來看，地勢較低的 A、B 兩點之估計也與其它受測者不具明顯差異，但在 C 點 ($p=0.027$) 與 D 點 ($p=0.016$) 之估計上則與無實作地圖經驗者具有顯著之差異。有製作地圖經驗者估計 C 點平均為 702 公尺，雖已超出原設定高度，但比無地圖製作經驗者所估計的 1134 公尺比較起來，還是合理一些。而對 D 點的高度，有製作地圖經驗者之估計平均約為 996 公尺，界於標準答案之範圍內，無製作地圖經驗者之平均估計值則約為 1653 公尺，比實際高出了 500 多公尺。

在性別上則僅有 C 點具明顯的差異 ($p=0.001$)，男性對 C 點之估計平均為 817 公尺，遠比標準的 200-500 公尺之範圍的最高點已高出了 300 公尺以上，女性平均估計值則高達 1190 公尺，遠比男性估計值高出兩倍多，但與標準標高色彩早已相去甚遠。

五、成果分析

(一)、色彩之偏好

當視網膜的小神經節將刺激傳達至外側膝狀核的小神經節，再傳到視覺皮層執行色彩知覺之同時，心理上也會根據從環境中所學到的經驗，產生對各項色彩的不同偏好。也因此，影響色彩偏好的因子極為複雜，可以是受測者本身背景之養成而形成對色彩不同的好惡，也可以是色彩本身所散發出的內涵而左右受測者的選擇。然就美學觀點而言，在一堆色彩中要能堆砌出美的質感，和諧、對稱、清晰都是不可疏漏的。應用到地形圖的標高色彩上，和諧、清晰尤其重要，特別是將地勢起伏清楚表達的可讀性功能更是疏忽不得。儘管地形圖的標高色彩多以由高處下望時所見之自然色彩為原則（Imhof,1965），但色相決定後飽和度、亮度等色彩屬性間的搭配，才是主導地形圖傳播功能的關鍵。

從上述四幅地圖的比較，很明顯的圖三的色彩用色與習慣上所見者最不相同。若以對地圖較有概念的人來說，周圍水體無疑就是海洋，而濱海之地當然以低地為多，然低地最常以綠色出現，利用藍灰色顯得較不尋常；即使不以此地圖觀點思考，單就與其它三圖較大的差異，也是較容易在挑選時受到剔除。此外，此一地圖雖由藍、綠與黃三個主色所組成，但因色彩緊鄰區分較難，自然較無法滿足視覺上的可讀性。儘管運用了心理及經驗效果，但若非暈渲作用的搭配，或表達在具某程度高差的地區內，實在殊難顯示出效果，因此淪為最後一名並不意外，也顯示出受測者即使不具地圖概念，至少也具有美學素養。

相較起來，其它三圖就具有色彩間色階距離較遠的優勢，均包含綠、黃到紅三個色相及其屬性之變化組合，易讀性相對提高不少。從受測結果也不難發現，雖然光譜色系極為易辨，但用在地形圖上若太截然分明，反失去地形上連成一契的特性，若當亮度最高的黃色位居中間時，除非面積小於相鄰兩側面積甚多，否則反造成過於搶眼的缺失，而降低地形之連續效果，這也是圖四略遜於圖二之因。而圖二原即為修飾圖四的缺點而設計，從測試結果也顯示效果達成，圖中透過橄欖色來取代黃色，並以暖色調的棕色來加深高度，柔和漸進的色彩變化，將地形上綿延向上的特點表達得極為貼切。而為便利其它人文設備之表示，圖一在一大片的低地上設以帶灰綠色，結果亮度下降，也使得整幅圖清晰度隨之下降。事實上，地形圖色相、亮度的取決，與相鄰地勢間面積大小之比

率關係至為密切，否則失卻諧調之美，影響傳播效果。

也因此標高圖之色彩，盡量不要有兩個以上的單獨色相出現，也就是說起自一個基色不斷衍伸變化，微妙地透過色彩的內涵，造成地勢上明顯的連續起伏感受就是最受歡迎的地形圖標高色彩。

(二)、色彩之高度認知

由於常伴有植被覆蓋的印象，要精準估計標高圖之高度並不容易，在透過灰綠、橄欖綠、黃綠及藍綠四色的共同表現下，原先僅為 60-100 公尺之間的高度，卻被高估成平均 330 公尺（表 1）；而由黃色、橄欖棕、綠黃及綠色四色所提供的估計也平均高達 637 公尺；淡黃棕、淡棕、黃及黃綠的估計值則平均達 992 公尺，淡棕、中棕、黃橙及綠黃四色的高度估計值則高達 1437 公尺。從中確可歸納出由綠到黃到棕或橙色間，高度的確呈現出不斷向上攀升之趨勢，這種色彩聯想的認知是合理的，只是高度的估計都過高了。

從高慶珍與趙家民(1995)對國內外常見地圖集中標高色彩的探討發現，自海平面一直到 500 公尺高的地方，都有可能出現以綠色變化為主的設色。由此以上直到 1000 公尺間，則常見黃色的變化，而從 1000 公尺到 2000 公尺之間則由黃色漸變為加上紅色調的棕色，似乎與測驗結果不謀而合，顯示出受測者的認知應該還是受到經驗影響的。

對照本研究所採用之標高色彩，以及從地圖集的地形用色通則，毫無疑問由綠到黃到紅三色的變化是地形圖上一種約定成俗的作法，唯一的變化在 RGB 或 HSV 各屬性間的變動搭配而已。若將此三主色轉移到台灣的主要三種地形（黃朝恩，1980），則 100 公尺左右的平原區恰可設以綠色，100-1000 公尺間的丘陵地宜以黃色為主，而 1000 公尺以上的高山地區則利於由棕色來產生變化。

至於受測者對高度的錯估，有可能是來自於一般對等高線具等間距的刻板印象，當此一印象被移植到色彩的設定時，色彩本身所具備的聯想特性反而就被忽略了，而失卻色彩輔助標高的功能；另一可能是低地始自綠色中性色系，使得不諳地圖的人起點的估計就遠比冷色系高，以此類推而造成高度不斷累加。

(三)、受測者之背景

認知者的背景事實上對測試結果深具影響性，若從賴瓊琦（1996）的研究中發現，大專院校的年輕人對鮮青綠色、鮮綠色、明紫色及鮮黃色都相當偏好，而中灰、褐色則是不被歡迎的，驗證了此四樣本圖的偏好排序。尤其總共有 37 位受測者同樣選填 2413 的偏好排序，顯見不具灰色調或是色彩較為清新鮮豔者，確實比較吃香，而且不分男女或受地圖教育與否，換句話說，具備這樣條件的色彩搭配基本上是可以被普遍接受的。

同樣地，不論男女或受地圖教育與否，共同印證了從綠到黃再到紅色確實是具有高度愈來愈高的聯想趨勢。只是僅受過地圖教育者竟與一般受測者無異，實在是相當遺憾的事，尤其每個位置的估計都高出至少 200 公尺以上，差距實在太大了。所幸，在較高的 C 與 D 兩點，有地圖繪製經驗者的估計，明顯優於無製圖經驗者，足見在認知過程中，經驗尤其實際操作的經驗對思考與推理具相當的影響力。至於在性別上，雖只有 C 處的估計值，男性明顯優於女性，但多少還是顯示男性的空間處理能力略優於女性。

而從答案的推敲，可知大部分的受測者並不知道此一研究範圍位處台灣北部，即使陽明山國家公園的邊界完整標示，但輔助效果似乎不太看得出來。某些高達 7500 或 8500 公尺的離譜高度估計，更顯示出地理知識的不足，但也提供國內地圖教育相當大的反省空間。

六、結論

地形圖的標高色彩一直就在綠、黃及紅三色之間遞變著，透過本研究發現，利用混色色彩來表示地形尤其沒有灰色調加入的地圖最受到歡迎，除了可表達出地形上連續的特質外，也會因清晰度來提高可讀性，而增加吸引力。

而光譜色中長波長的暖色調所表示之地勢要高於中色調色彩所表示之地勢的聯想也獲印證。但似乎綠中若帶黃色高度就會被高估至 300 公尺左右，而如果是黃中帶綠色則被估計至 600 公尺，黃中帶棕色則被上估至 1000 公尺，至於橙與棕色則是 1000 公尺以上的高山地形了。雖則原先樣本的標色是有所依據的，但畢竟只是自成的標準化系統，不過最後的測試結果，無異仍可提供日後高度標色時的參考數據。

至於受測者相異的背景卻沒有獲得顯著差異看法的結果，樂觀來講，或可解釋為此四樣本圖的設色均相當合理，可被普遍接受；或者螢幕與印刷色彩之轉換間一定存在著

認知的誤差(Gerrn & Horbach,1998)，或者透過色彩來量化高度本來即極為不易。但換一個嚴肅的角度而論，尤其在高度估計上，除非具有地圖實作經驗者略為合理外，僅受過地圖教育者之表現竟與一般人無異，此一結論與高慶珍（2002）對地圖符號認知的測試結果完全相同。可見得在地圖教育中，光是理論的傳授是不夠的，一定要配合實際的設計操作訓練才能培育出優秀的地圖人才。

謝辭

本研究承蒙國科會經費補助（計畫編號 NSC90-2745- P034-001），特此申謝。

參考文獻

- 高慶珍、趙家民，1995，地圖及上高度表之色彩運用探討，中國文化大學地學研究報告，第 8 期，頁 199-208。
- 高慶珍，2002，遙測影像地圖符號設計之研究，中國文化大學博士論文。
- 黃朝恩，1981，台灣島諸流域特徵及相關性的研究，中國文化大學博士論文。
- 賴瓊琦，1996，台灣小學至大學學生色彩喜好研究-性別差異，隨年齡成長之變化，1995 年與 1970 年比較，台北技術學院學報，第 29 期，第 2 卷，頁 183-209。
- Dent, B. D., 1996, Cartography- Thematic Map Design, 4th Edition, Landon: Wm. C. Brown Publishers.
- Green, D. R. and S. Horbach, 1998, Color –Difficult to Both Choose and Use in Practice, The Cartographic Journal, Vol.35, No.2, pp.169-180.
- Keates, J. S, 1996, Understanding Maps, 2nd Edition, Landon: Addison Wesley Longman Limited.
- Kraak, M. J., & F. J. Ormeling, 1999, Cartography: Visualization of Spatial Data, Landon: Addison Wesley Longman Limited.
- Imhof, E., 1965, Cartographic Relief Presentation. Berlin: Walter de Gruyter.
- Patton, J.C., & P.V. Crawford, 1977, The Perception of Hypsometric Colors, The Cartographic Journal, Vol.14, No.2, pp.115-127.
- Robinson, A. H., et al., 1995, Elements of Cartography, 6th Edition, New York: John Wiley & Sons Inc.