

國立交通大學

應用藝術研究所

碩士論文

配色之移調研究

Transposition of Color Sets



指導教授：陳一平博士

研究生：沈昶甫

中華民國九十六年七月

配色之移調研究

Transposition of Color Sets

研究生：沈昶甫

Student : Chang-Fu Shen

指導教授：陳一平

Advisor : I-Ping Chen

國立交通大學

應用藝術研究所

碩士論文



Submitted to Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Design

July 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月


配色之移調研究

學生：沈昶甫

指導教授：陳一平博士

國立交通大學應用藝術研究所碩士班

摘要



音樂與色彩之間的關聯性自古以來一直是學者們充滿興趣的研究題目。在大多數的研究都著重於探討音樂與色彩該如何對應之下，本研究從音樂所具有的現象－移調－來探討色彩的配色是否也具有相似的現象。本研究依據音樂在大調或小調之間移調後，音程維持不變的特性，以 **HSB** 色彩模型為基礎下，使用隨機色塊組成的參考色盤為刺激，再依受試者填色後所組成的目標色盤進行比對，探討是否具有色相等距平移的效果。從研究結果顯示，當參考色盤與目標色盤之起始色差異不大時，平移的現象較為明顯。此外，在實驗中也發現，誤差高的填色其色相有集中於光譜上的紅黃色區域之趨勢，誤差低的填色其色相則散佈於紅黃色區域以外的光譜上。

關鍵字：配色，色彩計畫，色彩調和，移調，音樂，共感覺，總體藝術

Transposition of Color Sets

Student: Chang-Fu Shen

Advisor: Dr. I-Ping Chen

Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

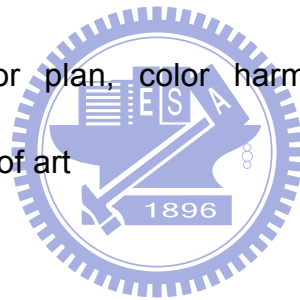
Abstract



For a long time, many researchers are interested in finding the relationship between color and music. A great deal of effort was focused on the mapping between the ordering structures of color and musical tuning systems. A different approach is taken in this study, namely, we concentrate on the color analogue of transposition in music. Are there any transposition rules to entail 'chord identity' when we shift the hues of a set of color patches? The HSB color model was used in this study as the basis of hue shift. Five sets of color patches were created as the starting sets of colors. For each set, the color of one of the patches was mapped to another color in an otherwise blank set of patches. The participant was asked to finish the color mapping for all other patches. The inter-patch hue differences were calculated for both

the starting sets and the destination sets. It is assumed that the better the agreement in the inter-patch hue differences between the starting and the destination sets, the closer the mapping is to the ideal transposition. We found that if the mapping is over a small range of hue angles, the results are close to a rigid transposition. Larger disparities were found when the starting mapping colors are within the range of from 0 to 60 degrees (the range of red to yellowish orange). Smaller disparities were found within 120 to 360 degrees.

Keywords: color set, color plan, color harmony, transposition, music, synesthesia, the total work of art



誌謝

寫論文就像是登山一樣，我很幸運的擁有一位傑出的嚮導，也就是我的論文指導教授陳一平老師。在登山的過程當中，陳老師並沒有告訴我應該走哪條路，反而是讓我自己摸索，走出自己的道路，而陳老師則是扮演著適時修正前進方向的角色，讓我能夠不偏離目的，朝向山頂邁進。在整個過程中，陳老師不只介紹這座山的風景，也會教我眺望遠山的風景，讓我能夠對於這座山的一切有所掌握，還能兼得他山的訊息，拓展見聞。此外，我也感謝與我一起登山的山友一元琪，雖然我們攀登的是不同的山，然而一路上的相互扶持與鼓勵，也讓整個攀登過程不至於那麼辛勞。最後，我要感謝的是我的贊助商，也就是我的父母，如果沒有他們在精神以及物質上的資助，還有就是對於我的信任，我相信我是無法登上這座山的，你們真是這世界上最慷慨的贊助商了!!

當我登上山頂之後，才發現周圍有更多的高山環繞，這時候才發覺自己的渺小。不過也由於登上了這座山之後讓我有更好的視野來找尋下一座想要攀登的山峰，就像其他登山者一樣，永不停息的朝向新的目標邁進。

目 錄

摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
目錄	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與背景	1
1.2 研究目的與範圍	3
1.3 研究問題	4
第二章 文獻探討	5
2.1 色彩空間 (Color Space)、色彩模型 (Color model)	5
2.1.1 RGB	5
2.1.2 HSB.....	6
2.2 Color Context	7
2.3 知覺 (Perception)	9
2.3.1 色彩視覺(Color Vision)	12
2.4 共感覺 (Synesthesia)	14
2.5 Tone Chroma	20
2.6 移調 (Transposition)	22
2.7 音樂與色彩之間的關聯性研究.....	23
2.7.1 先蘇時期.....	23
2.7.2 啓蒙時代.....	25

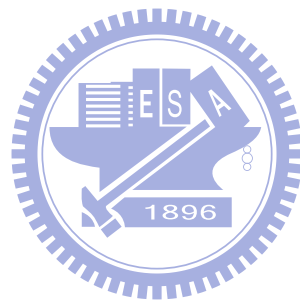
2.7.3 現代的研究	27
2.7.4 實驗心理學的研究方式.....	32
第三章 實驗.....	37
3.1 實驗設備	38
3.2 實驗時間	38
3.3 實驗人數	39
3.4 實驗環境	39
3.5 實驗設計	39
3.6 實驗結果	43
第四章 研究發現與探討	50
4.1 實驗結果總覽	50
4.2 研究發現	51
4.3 後續研究與建議	56
4.3.1 配色移調能力的訓練	56
4.3.2 移調後的配色與和諧	56
4.3.3 移調後的配色與感情喚起	57
4.3.4 光譜在個體上的差異	58
4.4 結語	58
參考文獻	61
附錄一 第一組色盤之所有受試者實驗數據	65
附錄二 第二組色盤之所有受試者實驗數據	66
附錄三 第三組色盤之所有受試者實驗數據	67
附錄四 第四組色盤之所有受試者實驗數據	68
附錄五 第五組色盤之所有受試者實驗數據	69



圖目錄

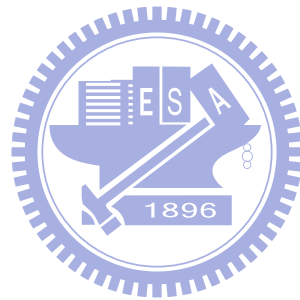
圖 1-1 Paul Klee, Ancient Sound: Abstract on Black	2
圖 2-1 HSV 色彩模型	7
圖 2-2 不同背景色對相同前景色的影響	8
圖 2-3 眼球的結構	12
圖 2-4 Tone Chroma	21
圖 2-5 Tone Helix	21
圖 2-6 移調	22
圖 2-7 應用色相平移的影像處理	23
圖 2-8 Tetractys	24
圖 2-9 畢達哥拉斯的實驗	25
圖 2-10 牛頓進行色彩與音符對應實驗	26
圖 2-11 色彩與音符之互補特性	28
圖 2-12 Garner 的色彩與音符之頻率對應關係	29
圖 2-13 以階層表示音高的數種方式	31
圖 2-14 Sebba 的實驗結果範例	34
圖 3-1 實驗環境配置	38
圖 3-2 實驗環境配置	39
圖 3-3 色盲測驗	40
圖 3-4 填色實驗介面	42
圖 3-5 所有色盤	42
圖 3-6 色相距離差異之計算	45
圖 3-7 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊之色相距離差異分布圖	47
圖 3-8 部分受試者所填色塊之色相距離差異分布圖	48

圖 3-9 色盤別之色相距離差異平均次數分配圖	49
圖 4-1 起始色之色相相對位置圖.....	52
圖 4-2 色盤內高誤差與低誤差色塊	54
圖 4-3 色盤內高誤差與低誤差色塊比較.....	54
圖 4-4 誤差色相分布圖.....	55
圖 4-5 使用不同色彩作為色彩計畫的延伸	57



表目錄

表 2-2 勃拉瓦茨基夫人與史克里亞賓在色彩與音符上之對應.....	20
表 3-1 第 1 組色盤中各受試者所填入之色彩數值	43
表 3-2 第 1 組色盤中，參考色盤裡各色塊所具有色相之相互距離	44
表 3-3 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊中各色相之相互距離.....	44
表 3-4 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊之色相距離差異矩陣.....	46
表 4-1 色盤別之色相距離差異平均次數統計表	50
表 4-2 色相距離差異平均次數累計表	51



第一章 緒論

1.1 研究動機與背景

從牛頓（Isaac Newton, 1643-1727）進行三稜鏡實驗標定出光譜中各種色彩的位置以來，連同他在內，已經有許多的科學家試著將光譜上的色彩位置與音階上的音符位置作對應。其實，探索音樂與色彩之間關係的研究，早在距離牛頓一千多年前的畢達哥拉斯（Pythagoras, 580-500BC）、柏拉圖（Plato, 428/427 – 348/347 BC）以及亞里斯多德¹（Aristotle, 384-322BC）就已經開始進行。色彩(color)是組成繪畫或是設計活動中的基本單位，而音調（tone）則是組成旋律的基本單位²。色彩與音調在本質上有一些相似性，例如兩者都以波的形式存在，色彩是一種電磁波，每種特定的色彩都有特定頻率的電磁波，音調則是一種機械波，而且每種特定的音調也有其特定的波長。一段旋律或是一首樂曲能夠使聆聽者產生出快樂或是悲傷的感覺，由不同色彩所構成的一組配色也能帶給觀賞者歡愉或是憂愁的感受。色彩與音調

¹ The colors that depend on simple ratios, like the concords in music, are regarded as the most attractive, for example halourgon (purple) and phoinikoun (red) and a few others like them.

Aristotle, On Sense and the Sensible. Translated by J. I. Beare

² 在樂理中，特定頻率的音調被賦予一個代號，也就是所謂的音符（note）。音符是由拉丁字母中的前七個字母代表，分別是 A, B, C, D, E, F, G，而一般常見的 Do-Re-Mi-Fa-So-La-Ti 則是這些音符的唱名

對於情感具有影響力的這點相似性，不約而同的在各領域的藝術活動中，都有藝術家們試圖將兩者串聯起來。

當我們在欣賞康定斯基(Vasily Kandinsky, 1866-1944)，蒙德里安(Piet Cornelies Mondrian, 1872-1944)，保羅克利(Paul Klee, 1879-1940)等人的畫作時，注視著這一片由色彩交織出的空間的我們，彷彿在心裡有一股莫名的情緒被漸漸鼓動；似節奏、又似旋律般的音樂性體驗彷彿與畫面中的色彩共演、結合。這種色彩具有音樂性的體驗與感覺相信大家都曾經體驗過。除了在繪畫中藝術家們在畫布上以旋律作畫之外，在音樂中也有不少作曲家試圖要把音樂與色彩做結合，例如梅湘(Olivier Messiaen, 1908-1992)以及史克里亞賓(Alexander Scriabin, 1872-1915)等人在作曲時引進光譜色彩的觀念，發展為作曲原理來譜曲，或是在演出時利用特殊裝置把音符以色彩的形式表現出來。

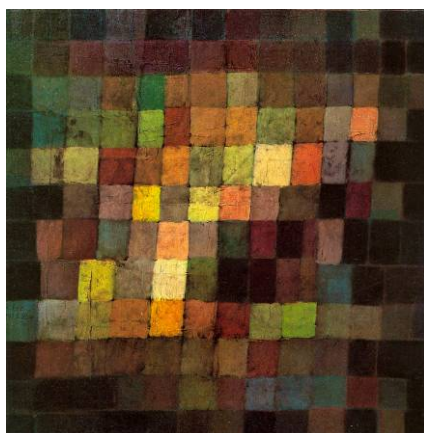


圖 1-1 Paul Klee, 1879-1940, Ancient Sound: Abstract on Black, 1925, oil on cardboard, 15×15 inch, Kunstsammlung, Basel

音樂與色彩所表現出的相似性不僅在藝術上引起注意，在物理學、神經生理以及心理學的領域中也引起研究人員的興趣。本研究便基於音樂與色彩相似的現象，著眼於音樂的移調技法，來探討配色的移調現象是否具有與音樂移調相似的特性。但是本研究與其他探討色彩與音樂關係研究的最大不同點在於，以往的研究方式都是通過主觀的或是心理物理學的方式設法在音階與光譜之間尋求對應的關係，但本研究卻是從音樂所表現出的移調特性來試著尋找色彩上是否也有此特性，是從應用面來連接色彩與音樂之間的關聯性而非從本質面例如波長的長度，順序等，求出兩者的關聯。

兩千多年來，音樂與色彩之間的關聯性雖然吸引許多哲學家與科學家的興趣與研究，但仍有許多可供我們探索的地方，在歷史上關於這個題目的研究也一直未曾中斷，持續吸引許多人投入。同樣的，希望本研究在音樂與色彩關係的建立之旅上，也能夠有些貢獻。

1.2 研究目的與範圍

雖然色彩與音樂相關的研究已經有了許多傑出的成果，但幾乎都是以共感覺(Yamawaki & Shiizuka, 2004; Mills, 2003)為理論架構以及對人類情緒所具有的喚起作用(Baumgartner, 2006; Scherer, 2004)或是心理治療(Clark et al., 2006; Jones, 2006; Pelletier, 2004; Boyatzis & Varghese, 1994)為範圍進行研究，對於配色的移調現象這個主題並無探討。因此，本研究的目的與

範圍在於，以 HSV 色彩空間為基礎，探討配色移調是否具有與音樂移調一樣的等距位移效果。

1.3 研究問題

音樂上的移調是把原來的旋律平移到一个調上，例如由 C 大調移成降 B 大調的話，平移的距離就是 1 個全音的音程。若是類比到色彩上，把配色中的所有色彩以相同色相角來平移可謂之配色的移調。根據上一章所整理出來，過去曾經進行過的色彩與音符關係之研究中可以發現，在進行這類研究時，大都著重在找出色彩與音符在位置上的對應關係。本研究不從探討兩者在本質上所具有的關聯性為出發點，而探討兩者同樣在移調之下色相角的平移現象是否與音符的平移現象相同之問題，亦即：我們關心的不是單一一個音與單一一個顏色的對映關係，而是音與音之間的關係與色與色之間關係的可比較性。

第二章 文獻探討

2.1 色彩空間 (Color Space)、色彩模型 (Color model)

色彩空間是一種把我們所知覺到的色彩以一種共同的定義方式再現的方法。經由特定色彩空間的定義方式我們就能夠以文字或是數值的方式描述色彩(Jackson et al., 1994)。想像一下在使用油漆粉刷時，若使用的黃色油漆用完必須要再去購買，如果沒有油漆製造商所提供的色號或色名以供選購的話，僅依靠目視辨認而要能買到與原先相同顏色的油漆將會非常困難，這個原因在於我們對於色彩分辨的能力太過優越，因此在比對 2 種顏色時總還是會覺得兩者之間有所差異(Schwartz, 1994)。在這個例子當中，油漆商所提供的色號或是色名廣義而言也能夠被當作是一種色彩空間。

如果使用數學方式把色彩空間轉換成笛卡兒座標系統 (Cartesian coordinate system) 就可以建構出所謂的色彩模型(Jackson et al., 1994)。與本研究相關的色彩模型有以下兩種：

2.1.1 RGB

RGB 又稱為色光三元色，是一種加法混色的色彩模型。這個色彩模型被廣泛的應用在目前的顯示裝置上，這除了與我們人類所擁有的三種視覺

接受器 (L-cone, M-cone, S-cone) 有關之外，在系統的設計以及程式撰寫上也能夠以最少的資源來表現出色彩。這個色彩模型還有一個好處就是，只要作些微的改變就能夠對應減法混色的色彩模型 (Jackson et al., 1994)。不過在大多數的情況下進行與知覺相關的工作或實驗時，RGB 色彩模型由於無法進行直覺式的調整，因此不適合用在人機介面上 (Jackson et al., 1994)，除了在進行 Color Matching Experiment 這類探討視覺生理的研究中才適合使用 RGB 色彩模型作為色彩混色的調整。RGB 色彩模型在表示色彩時有兩種方式，第一種是分別以 0 到 255 的數字來表示 R、G、B 的值，例如以 (255, 0, 0) 代表紅色，(0, 255, 0) 代表藍色，(255, 255, 255) 代表白色。另一種表示方式則是以十六進位的數值表示，例如 #000000 代表黑色，#FFFFFF 代表白色。



2.1.2 HSB

在本研究中所使用的色彩模型為 HSB，HSB 色彩模型又稱為 HSL 或是 HSV 色彩模型，是由 Alvy Ray Smith 在 1978 年時所發明，當時他正與 Dick Shoup 在 Xerox PARC 發展一套名為 SuperPaint 的電腦繪圖程式，而 HSV 色彩模型則是在 SuperPaint 發展過程中所提出的一種色彩模型。HSV 分別代表 Hue (色相)，Saturation (飽和度)，Value (亮度)，後來 Adobe System 公司的創始者 John Warnock 將 HSV 納入 PostScript 頁面描述語言之後，並將它改名為 HSB (B 代表 Brightness，亦即明度)。

Alvy Ray Smith 是根據畫家們進行調色所得來的靈感，建立了 HSV 色彩模型。在模型中央有一條 V 軸，貫穿了六角形的色彩平面(如圖 2-1)，V 軸代表的是亮度，與色彩平面相交處標記 1.0，也是亮度最高的地方，往下延伸則數值愈低，最低為 0.0。色彩平面上有 RGB 三原色再加上黃色、洋紅與靛青三個二次色。色彩平面的中央是亮度最高但飽和度也最低的地方，愈往外圍飽和度愈高。目前常用的 HSV 色彩模型的表示，大多以圓形的平面來代替前述所提之六角形平面。

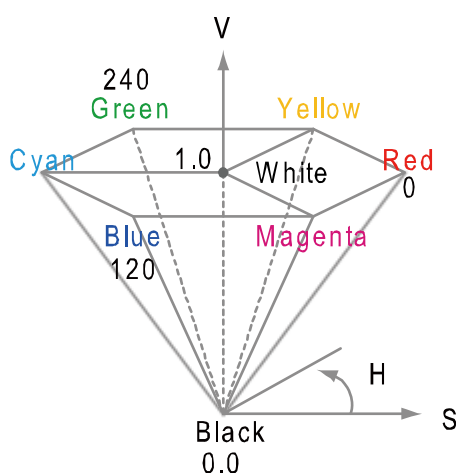


圖 2-1 HSV 色彩模型 (改自 Foley et., al., 1990)

2.2 Color Context

音樂具有時間的特性，例如數個音同時發出所構成的和弦或是一連串的音符。在色彩當中，雖然沒有與時間直接關聯的特性，但以同樣的概念來看，也可以把音樂的和弦或是鋪陳在時間軸上的音符類比為在同一個空間當中由數個色彩並置所獲得的效果。並置的色彩會相互影響，改變我們對於色彩的

知覺，環境光的顏色也同樣的會影響在它照射之下的色彩，進而改變了我們對色彩的認知。這種色彩會被週遭色彩所影響的現象就稱為 **color context**。**Color context** 對於我們的色彩知覺影響甚大，尤其是在色彩知覺當中的色彩對比（Levkowitz, 1997）。如圖 2-2 所示，當紅色色塊在黑色背景之上時，會比起在白色背景上更加耀眼，當紅色色塊在橘色背景上時也會比在藍綠色背景上來的黯淡，在特定的情況下 **Color context** 也會讓並置的色彩產生錯視的現象。Land 倡導 **color context** 超過 25 年之久（Boynton, 1988），Land 與 McCann 就曾多次透過 **Retinex model**，展示出照明光線的顏色會改變我們對色彩的認知來支持這項見解。（Levkowitz, 1997）

除了這種由物理性的原因或是較低層次的認知機制造成的，對於色彩認知的改變之外，在較高層次的大腦情報處理當中，由脈絡關係所造成的對於色彩認知的影響也佔有相當大的成分，例如物體所具有的意義與場景都會影響我們對色彩的認知。這時候，如果色塊的形狀具有某種意義則色彩看起來就會更加飽和，像是紅色的蘋果與綠色的樹木相互搭配之下，色彩的飽和度會優於以幾何、抽象的紅綠色塊並置所呈現出來的效果。（Levkowitz, 1997）

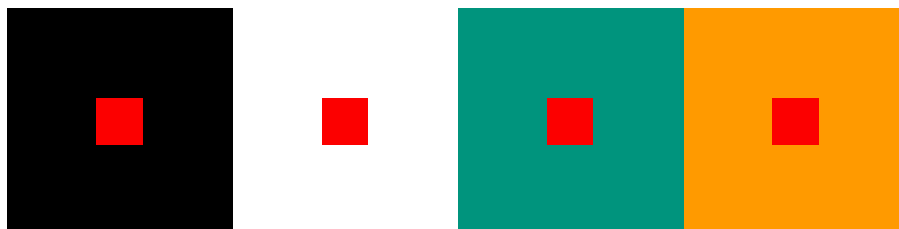


圖 2-2 不同背景色對相同前景色的影響

2.3 知覺 (Perception)

「什麼是真實？你又如何定義真實？若你所認為的真實是能感覺、能聞、能品嚐以及能看見事物，那麼這些真實只不過是被大腦所解譯的電子訊號。」(What is real? How do you define real? If you're talking about what you can feel, what you can smell, what you can taste and see, then real is simply electrical signals interpreted by your brain.)這是在電影駭客任務(The Matrix)中 Morpheus 對 Neo 所說的一段話。雖然只是科幻電影中的旁白，卻也點出了關於知覺這個現象的核心。就以視覺而言，我們所「看到」的這個世界是由我們的大腦所製造出來的世界；也可以說，我們所看到的不過是幻覺。但是為什麼只有動物具有視覺、聽覺、嗅覺、觸覺等知覺呢？這個問題的正確答案或許只有造物者才知道，我們在此僅能合理的推論，動物具有知覺是爲了要求生存。

動物們爲了在環境中生存下去，必須仰賴知覺的協助，但是外界如此龐大又快速流動的資訊，會造成知覺系統的負擔，以人類而言便逐漸的演化出只會注意重要訊息的知覺能力(Wolfe et al., 2005)。舉視覺、聽覺爲例，正常人類的眼睛在光譜上所能感應到的範圍被限定在特定的波段，因此不像蜜蜂一樣能夠看見紫外線；而人類所能聽到的聲音頻率也屬有限，因此不像蝙蝠一樣能聽到更高頻的聲音。這是因爲在這種範圍下的視、聽覺對於應付我們的日常生活以及維持大腦訊息處理的效率上已做了最佳的平衡。蜜蜂要演

化出能夠看見紫外光的能力是爲了要方便找到花朵來採蜜，蝙蝠演化出能夠聽見更高頻率聲音的聽覺是爲了在黑暗的環境中捕捉獵物以及在飛行中閃避障礙物，一般而言在經過數百萬年的演化之後，目前的動物們所具有的知覺能力均針對其生存適應之需求，達到幾近最佳效益之狀態。

知覺在科學心理學的領域中是歷史最爲悠久的研究項目之一，而哲學家們自古以來也對於知覺的探討留下許多見解。先蘇時期的希臘哲學家赫拉克利圖斯（**Heraclitus, 535–475 BC**）曾經提出一個有名的比喻—「你絕不會踏入同樣的河流兩次」（**You can never step the same river twice**）。在這個比喻中隱含了赫拉克利圖斯所提出的萬物皆處於變動狀態的概念。由於河流不停的在流動著，因此我們第一次踏入的河流與第二次踏入的河流將會是不一樣的。而這種萬物變動不居的概念對於知覺而言是相當重要的一個立論。知覺其實對於外界的變化相當敏感，知覺系統都能迅速的將外界環境的變化予以標定並且加以強調。知覺除了能夠敏銳的察覺變化，它也具有忽略那些不變動的訊息的能力，造成這種現象的主要機制稱爲「適應（**adaptation**）」（**Wolfe et al., 2005**），舉例來說，救護車的警鈴爲了引起更多注意，在聲響上會有音量以及音調等不同的變化，以免因爲發出單調的警鈴聲而被大腦忽略。由於與本研究相關的知覺爲視覺，在此僅針對視覺的部份擇要介紹。

畢達哥拉斯（**Pythagoras of Samos, 580-500 BC**）的後繼者們相信，視覺是一種類似觸覺的作用方式，在我們的眼睛裡存在著火光，而這個光線就主動的從眼睛裡投射出來，「碰觸」到我們想看的物體而讓我們能夠看見。

柏拉圖（Plato, 428-348BC）則進一步認為，存在於吾人內部的這種火光（inner fire）必須跟日光進一步結合才能夠讓我們產生視覺，然而亞里斯多德（Aristotle, 384-322BC）則駁斥這種從眼睛裡發射出光線因而看見物體的說法，認為是空氣作為介質，讓我們得以「碰觸」到物體，產生視覺。一直要到中世紀的阿拉伯學者愛爾海森（Alhazen, 或稱為 Ibn Al-Haithen, 935-1039）才提出了光線是由物體反射之後再進入眼睛的這個概念

隨著科學的進步，視覺之謎逐漸解開，現在我們已經大致了解光線必須依序通過角膜（Cornea）、虹膜（Iris）、瞳孔（Pupil）、水晶體（Lens）以及玻璃體液（Vitreous humor）之後，投射在視網膜（Retina）上，接著再交由各種視覺神經來接收、傳遞這些資訊，並送到大腦進行更高層次的解讀。視覺能夠讓我們看見運動中的物體，分辨出不同明暗程度的物體，也能在極暗的環境下辨識出物體等等，然而在這些視覺能力當中，人類所具有的一個特殊天賦就是看見色彩的能力，也就是所謂的色彩視覺（Color vision）。也因為有這個能力的存在，除了欣賞大自然所提供的色彩景致以外，我們還能在藝術、設計以及生活的各個領域中創造出多采多姿的繽紛世界。

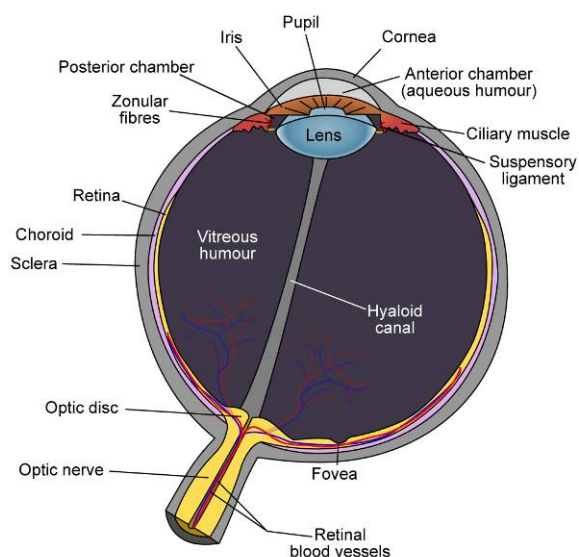


圖 2-3 眼球的結構（改自 Wikipedia 網站, 2007.4.29）

2.3.1 色彩視覺(Color Vision)



榮格（Carl Jung, 1875-1961）曾說過：「Colors express the main psychic functions of man.」。每天早晨當我們睜開眼睛，色彩隨即開始幫助我們進行日常生活上的工作。它能夠讓我們在盥洗時不至於拿錯牙刷，出門時不至於穿到不成雙的襪子，送花給情人時不至於送錯顏色，表錯心意，我們能夠感覺色彩這件事對我們的生活而言提供了相當多的便利性，也可以讓我們以有效率的方式在大自然中生活，並佔有優勢。色彩視覺對我們而言是如此的理所當然，也因此許多人都漠視了它的真正價值，其實人類所擁有的這種色彩視覺，在大自然中僅有極少數的生物擁有這項能力，所以這項能力可說是人類的視覺當中最為珍貴且特殊的一項功能。唯

有在色彩視覺的支援之下，才能如同榮格所說的，藉由色彩來表現出人類主要的心靈功能。

色彩視覺是藉由含有不同感光色素(**photopigment**)的視覺接受器(**photo receptor**)來分辨由物體所反射或是自體發出的不同波長之光線，再經由神經系統比對這些不同視覺接收器所接收到的訊息。正常的人類所具有的色彩視覺為三色系視覺(**trichromatic vision**)，除了人類以外，目前僅知大猩猩(**great ape**)以及某些舊大陸猴也具有三色系視覺。而其他的靈長類則僅具有雙色系視覺(**dichromats**)，剩下的哺乳類動物則大多僅具有非常薄弱的色彩視覺(**Jacobs et. al, 1996**)。其他的色彩視覺種類尚且包括了四色系視覺(**tetrachromatic vision**)，這類的視覺比三色系視覺(**trichromatic vision**)生物多出了一種視覺接收器，而引起這種視覺接收器最大的刺激反應之光線波長落在紅色與綠色之間，擁有四色系視覺的動物則包含了部分的鳥類、魚類、兩棲類、爬蟲類、蛛形綱的生物、以及生活在南美雨林的新世界猴。也有不少學者認為四色系視覺以基因變異的方式存在於部分人類的身上。若四色系視覺屬於人類色彩視覺上的變異，同樣的，單色系視覺(**monochromats**)以及雙色系視覺若先天性的發生在人類身上，也屬於一種基因變異造成的結果。具有這類色彩視覺的人通常稱之為色弱或色盲(**color blindness**)。

人類為什麼具有色彩視覺，對於這個問題至今仍然沒有一個令人滿意的解答。我們只能推論，視覺系統所擔負的第一要務就是以最具效率的方式來分辨物體之間的差異。若是只具有薄弱色彩視覺或是單色系視覺的生物，僅能就物體的亮度差異進行辨識，而不能藉由光線波長的差異來辨識物體 (Purves, & Lotto, 2003)，這對於生物在進行採集或是狩獵覓食的行為時將會非常不便。不過，醫學技術的進步，視覺接收器在生物體上所具有の種類或許不再受到限制。在 Jacobs 所發表的論文中(Jacobs et. al., 2007)，藉由實驗證實了老鼠可以經由植入新的視覺接受器基因而讓生出來的小鼠後代能夠看到新奇的顏色 (novel color)，這代表著老鼠的大腦具有擴張功能的能力，原本只有黃、藍、灰色的色彩知覺能力的小鼠，能夠因為基因的移植而使大腦知覺到不同的色彩，因此我們是否也可以做此推論，人類的大腦也具有這種功能擴張的能力，這對於基因療法而言應該是屬於相當令人感興趣的課題。

2.4 共感覺 (Synesthesia)

人類的感覺系統會把 4 種刺激屬性：形式、強度、持續時間以及位置轉化成相對應的感覺。而強度、持續時間以及位置這 3 種屬性則存在於 5 種感官通道 (sensory modality) 當中，分別為視覺、聽覺、觸覺、味覺以及嗅覺。(Martin, 1991)。這些感官通道當中，每一種感覺仍各自擁有次感官通道，例如讓某些人在聽到音樂時產生對色彩的刺激反應(Lyons, 2001)。當一

個感官通道受到刺激時會同時引發另一種或更多種感官通道的反應，這種現象就稱為共感覺（Synesthesia）。Synesthesia 一詞源自於古希臘文，是由意味著「with」（syn）以及「perception」（aisthēsis）的兩個字結合而成。歷史上首次公開的共感覺研究於 1812 年由一位德國醫生 Georg Sachs 發表，進入 20 世紀之後研究共感覺這個題目儼然形成一股風潮，然而追溯歷史還可以發現，從 19 世紀開始就有藝術家沉迷於共感覺的魅力而服用藥物來經歷共感覺的體驗(Lyons, 2001)。法國詩人波特萊爾（Charles Baudelaire, 1821-1867）就是一位著名的大麻使用者，在他 1851 年出版的酒與大麻之比較（Du vin et du haschisch comparés comme moyens de multiplication de l'individualité）中曾經如此描述：



Sounds have a color, colors have a music. Musical notes are numbers, and as the music unfolds in your ear you solve extraordinary arithmetic calculations with alarming speed.

（Les sons ont une couleur, les couleurs ont une musique. Les notes musicales sont des nombres, et vous résolvez avec rapidité effrayante de prodigieux calculs d'arithmétique à mesure que la musique se déroule dans votre oreille.）

共感覺可以依照發生的成因分為 idiopathic synesthesia 與 acquired synesthesia 以及 contrived synesthesia 三類(Harris, 2004)。idiopathic synesthesia 這種類型的共感覺是屬於先天性，具有這種共感覺的人數也比

較稀少；**acquired synesthesia** 類型的共感覺則是由藥物（LSD、大麻、梅斯卡靈等）、疾病、受傷、或是電流刺激等原因造成的(Harris, 2004)，例如波特萊爾，而 **contrived synesthesia** 類型的共感覺則是依照一些刻意制定的規則，例如以人爲的方式把色彩與音樂之間的關係連結起來。由於後兩種共感覺類型都能藉由藥物檢測或是背景分析做出部分篩選，在如何判斷出是否具有 **idiopathic synesthesia** 類型的共感覺上，R. E. Cytowic 曾歸納出以下五種 **idiopathic synesthesia** 類型共感覺的特性以茲識別(Cytowic, 2002)：

1. 共感覺的發生是非自發性的，但能透過誘導的方式使其發生。
2. 共感覺現象是以投射的方式顯現出來。若經歷到共感覺現象時，所謂的光幻覺（**photism**）將會出現在接近臉部前方的位置。
3. 共感覺的體驗是經久不變，但在個體之間卻又相異。若某人認為某一聲音聽起來會產生藍色的共感覺，那麼他會永遠對那種聲音產生藍色的共感覺；然而在其他具有共感覺的個體上，或許會認為那個聲音聽起來像紅色。
4. 共感覺的體驗是令人難忘的。許多具有共感覺經驗的人都表現出超記憶（**hypermnnesia**）的現象。
5. 能夠引起情感反應的刺激才能喚起共感覺的發生。

若把共感覺的種類以同時引發的感官通道類型來區分，根據 Sean A.

Day 的統計 (Day, 2001, 引自 Cytowic, 2002, 頁 17)，共感覺中最常見的前三類分別是「色彩－字母共感覺」(Colored graphemes)、「色彩－時間單位共感覺」(Colored time units)，以及「色彩－音樂共感覺」(Colored musical sounds)。而從下表中我們也可以了解，共感覺存在著許多不同的連結類型，經由 Sean A. Day 的調查還發現有高達 40% 以上的共感覺者同時擁有 2 種以上的共感覺。

表 2-1 共感覺類型及所佔百分比 (Day, 2001, 改自 Cytowic, 2002, 頁 17)

Types of synesthesia (N=365)	
Colored graphemes	66.8%
Colored time units	19.2%
Colored musical sounds	14.5%
Colored general sounds	12.1%
Colored phonemes	9.6%
Colored musical notes	10.4%
Colored personalities	4.4%
Colored tastes	6.3%
Colored pain	4.4%
Colored odors	5.8%
Colored temperature	2.2%
Colored touch	1.9%
Sound → touch	2.7%
Sound → taste	2.7%
Sound → smell	1.1%
Sound → temperature	0.5%
Taste → hearing	0.3%
Taste → touch	1.1%
Touch → taste	0.5%
Touch → smell	0.3%
Touch → hearing	0.5%
Vision → taste	1.9%
Vision → hearing	1.1%
Vision → smell	1.1%
Vision → touch	0.8%
Smell → sound	0.3%
Smell → touch	1.1%

著名的作曲家例如林姆斯基可沙可夫（**Nikolai Rimsky-Korsakov, 1844-1908**）、梅湘（**Olivier Messiaen, 1908-1992**）都擁有先天性的色聽能力。尤其是梅湘，他在將音樂與色彩結合所作的努力以及所投入的時間，到目前為止可說是沒有一位音樂家能夠與他相提並論。他曾如此描述自己的色聽能力：

Colors are very important to me because I have a gift — it's not my fault, it's just how I am — whenever I hear music or even if I read music, I see colors.

梅湘在作曲上的一項重大創舉，也深深影響後世的部份就是所謂的「**modes of limited transposition**」。顧名思義，這項作曲理論就是把作曲時可用的調性限定在某些範圍，只能進行有限度的移調，藉由這樣的想法去除音樂的 **tone helix**（請參閱 2.4 Tone Chroma）現象之後，使音樂能夠更符合色彩的特性（**Cytowic, 2002**），所以他是目前把音樂與色彩在實際的創作中結合得較為成功的作曲家。

史克里亞賓（**Alexander Scriabin, 1872-1915**）與康定斯基雖然也有表現出色聽的傾向，但仍被大多數的歷史學者認為他們兩位並非真正具有色聽能力，而是受了創辦神智會（**Theosophical Society**）的勃拉瓦茨基夫人（**Madame Blavatsky, 1831-1891**）的論點所影響（**Harris, 2004**）。史克里亞賓與康定斯基也同樣執著於總體藝術（**Gesamtkunstwerk** 或稱 **the total work of art**）— 這也是影響他們二人亟欲將音樂與色彩連結在一起的重要因素，因

此史克里亞賓與康定斯基都可被歸類為 **contrived synesthesia**。

康定斯基有不少作品將色彩與音樂作結合共同在畫布上演出，例如他著名的構成（**Composition**）系列。關於他對色彩與音樂之間關係的見解，或許可以從他的著作—**Concerning the Spiritual in Art (1911)**裡一窺究竟。在書中，他以一段比喻來描寫聲音與色彩之間的關係

Color is the keyboard. The eye is the hammer. The soul is the piano, with its many strings. The artist is the hand that purposefully sets the soul vibrating by means of this or that key.



史克里亞賓在音樂與色彩的結合上，最著名的莫過於他的第五號交響曲—**Prometheus: The Poem of Fire (1910)**。這首交響曲於 1915 年在紐約市演出時，使用了所謂的「**clavier à lumières**」（光之鍵盤，**Keyboard of Light**，也稱為 **Luxe**）³。這項特殊樂器的外觀雖然類似一部風琴，但彈奏出來的不是音樂而是色彩，當演奏者彈奏樂譜之後就會依照預先設定好的音符與色彩的關係，將色彩投射出去⁴，把音符化為色彩的演出。如前面所述，史克里亞賓並不是一位 **idiopathic synesthesia**，其中的一項證據就來自於他在色彩與音樂對

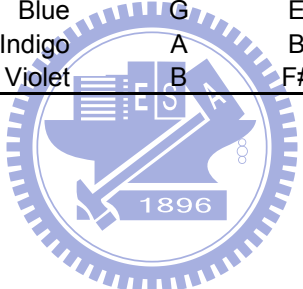
³這類樂器的總稱—色彩風琴（**color organ**）早在 1730 年左右就由一位數學家 **R.P. Castel** 所發明，這也是安海姆所認為對於色彩理性化的早期探索（**Arnheim, 1986**）。

⁴ 色彩投射出去的方式現在已不可考（**Shaw-Miller, 2000**）。

應關係上並不是維持恆久不變的。此外，尼采（Friedrich Wilhelm Nietzsche, 1844-1900）的悲劇的誕生（The Birth of Tragedy）啓蒙了史克里亞賓，使他有尋求色彩與音樂關聯的想法，除了尼采以外，康定斯基以及前述的勃拉瓦茨基夫人也都對他在這方面的想法有所影響。從表 2-2 可以看出史克里亞賓以及勃拉瓦茨基夫人所認爲的音符與色彩對應關係。

表 2-2 勃拉瓦茨基夫人與史克里亞賓在色彩與音符上之對應（改自 Harris, 2004）

	Blavatsky Scriabin	
Red	C	C
Orange	D	G
Yellow	E	D
Green	F	A
Blue	G	E
Indigo	A	B
Violet	B	F#



2.5 Tone Chroma

色彩與音樂所具有的相似性中，除了節奏、明亮/活潑或陰暗/憂鬱等這些比較能被一般大眾以直覺方式去感受到的以外，也有不少研究者或對於音樂與色彩這兩個領域都略有涉獵的人都可以意識到這兩者之間在排列的順序上，或是說在結構上似乎也有存在一些關聯。的確，音符也能夠以類似色相環的方式進行排列，這種將音符環狀排列之後的圖形就稱之爲 **Tone Chroma**，如圖 2-4 所示。

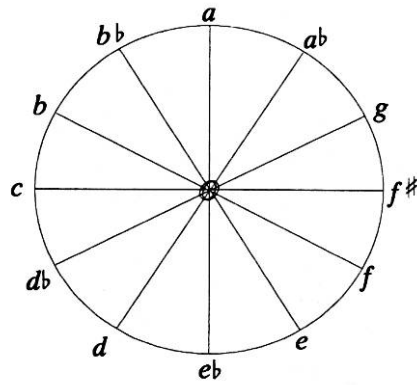


圖 2-4 Tone Chroma (改自 Butler, 1992)

Tone Chroma 的結構不僅與色相環有著外型上的類似，它與色相環一樣也是以頭尾相連的方式銜接在一起，就如同色相環上以紅色起始也以紅色結尾一樣。此外，由於同一個音符有高低之分，如果把這種音高的變化表現在 Tone Chroma 之上時，就會構成所謂的 Tone Helix (參見圖 2-5)，這樣的 Tone Helix 結構就有點類似在色相環上加入了明度變化後所呈現的樣子，由此可見兩者所具有的高度相似性，也正因為這樣的相似性產生了對於音樂與色彩這兩者之間所存在的關聯性研究以及在藝術上將兩者結合起來的創作。

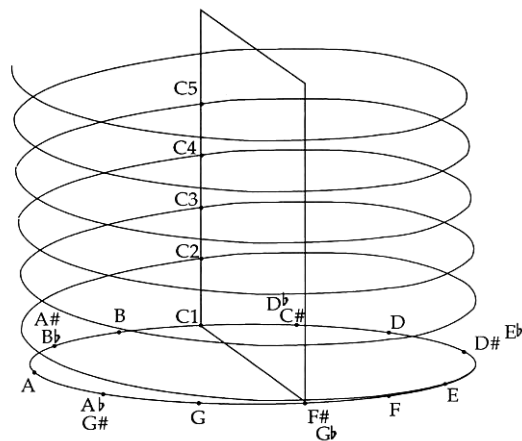


圖 2-5 Tone Helix (改自 Butler, 1992)

2.6 移調 (Transposition)

音樂中的移調是在樂曲中經常使用的一種技巧，作曲家把一段樂句移調之後，發展、再現出聽起來相似但卻有不同感覺的樂句，增加樂曲的變化。音樂中的移調，能夠以等距的方式平移每一個音符，旋律經過移調之後仍然能夠維持旋律的不變，以一個經常發生的例子來說，在唱歌時，一首歌曲經過移調——也就是所謂的升降 **Key** 之後，歌曲仍然能夠以原有的旋律來演唱。音樂的移調方式如下：

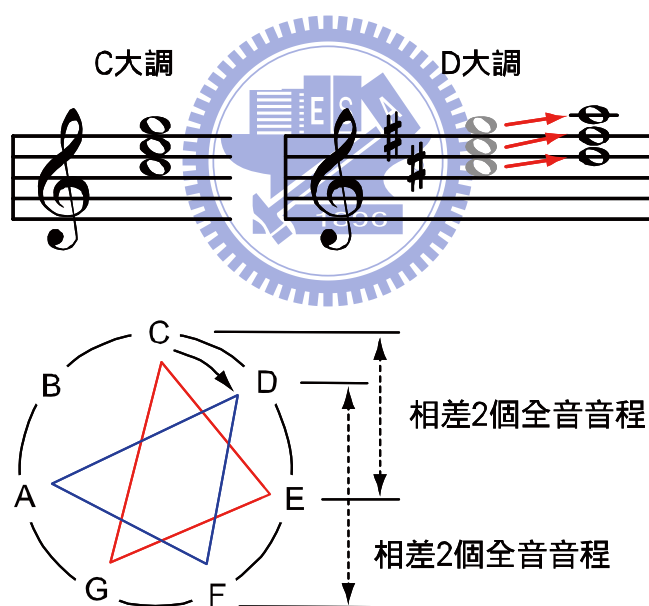


圖 2-6 移調

在音樂上，移調用來產生調性的變化，增加樂曲的豐富性，而相同的原理應用在色彩上形成色彩平移的這項技法也經常應用在數位影像調整的情況下。在數位攝影時，如果拍攝時的參數例如白平衡以及曝光值並未妥善設

定，會使影像獲得不正確的色彩表現，造成所謂的色偏現象。在影像處理流程上常用的方式就是以色相平移來調整色偏(麥克·傅里曼, 2007)。除了用來調整色偏之外，色相平移效果也可以製作出特殊風格的影像。如圖 2-6 所示，中間的紅色賽車影像只要使用色相平移的方式，平移-120 度就可獲得左圖，平移+80 度就可以產生右圖的影像。



圖 2-7 應用色相平移的影像處理(改自 MSN 台灣-汽車頻道, 2006.7)

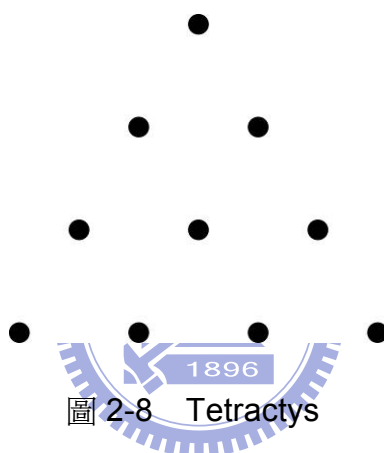


2.7 音樂與色彩之間的關聯性研究

2.7.1 先蘇時期

早在二千多年前，古人就已經開始研究色彩與音樂之間的關連性。在科學尚未發達的時代，對於這類大自然中不可解的現象難免會從神靈的方面來解釋。先蘇時期的畢達哥拉斯，他是一位哲學家，同時也是一位數學家以及天文學家，而他的學說總是具有一層神祕的色彩。在畢達哥拉斯學派裡擁有最至高無上地位的核心思想就是 Tetractys (τετρακτυς)。這個

字在古希臘語中代表著四個一組，或是四的意思，而畢達哥拉斯的眾多思想都是由此導出，其中也包含了音樂與色彩的相關論說。如圖 2-7 所示，Tetractys 是由 4 排的點組成的一個三角形，這四排的點數目分別為 1、2、3、4，而所有點數相加的總和為 10，這隱含著整體、一統的意味。在 Tetractys 所具有的眾多象徵中⁵，與色彩及音樂相關的部份曾提到，位於 Tetractys 頂部的 3 點（第 1、2 排）代表著至上的白光，並且所有的色彩與音樂都是源自於此。而剩餘的兩排總計 7 點則代表著光譜上的 7 種色彩



以及音階上的 7 個音符 (Hall, 2003)。而 Tetractys 也可用來解釋在畢達哥拉斯的音樂體系中所提出的音程 (interval) 關係。相傳畢氏曾在一間

⁵在 Tetractys 中所具有的象徵還包括了：

四種元素—大地、空氣、火、水。

第一排至第四排分別代表 0, 1, 2, 3 度空間。

第一排與第二排的三點代表著至上的白光，第三排則代表著世間萬物的形而上部份，第 4 排則代表世間萬物的形而下部份。

除此之外，Tetractys 所揭示的觀念與東方哲人—老子在道德經第四十二章中所提出之「道生一，一生二，二生三，三生萬物」頗有異曲同工之妙。

打鐵鋪中發現，若將鐵槌的重量減去 $1/2$ 以後，發現敲擊出來的聲音會比原來的高八度，於是他接著使用裝水的杯子以及弦來做實驗，發現當重量



圖 2-9 畢達哥拉斯的實驗（改自 Julyan et. al., 2002）

或是長度為原來的 $2/3$ 時，所發出來的聲音會比原來高五度，若是重量或是長度為原來的 $3/4$ 時則所發出來的聲音會比原來的高四度。而這些比例上的變化恰符合了 *Tetractys* 各排點數之間的比例，亦即 $1:2$ 、 $2:3$ 、 $3:4$ 。

2.7.2 啓蒙時代

在歷經科學革命（Scientific Revolution）進入啓蒙時代（Age of Enlightenment）之後，對於大自然中的各種現象大多已能夠擺脫先驗的神靈觀念，而以更客觀的方式來觀察、研究。在探討色彩與音樂之間的關連性這個題目上，也在這個時期由牛頓建立了色彩理論之後，更進一步的，使用較理性的方式，導入數學來描述光譜上的色彩，最後提出了色彩在光譜上排列的方式就如同音階上音符的排列一樣之學說。

在牛頓的光學（Opticks）一書中，記錄了他所設計的一個實驗，如圖 2-9 所示。在這個實驗當中，Ma、ag、ge、eh、hi、il、IG 等線段恰好能對應到光譜上的紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫、而且如果把 GM 線段延長使 MX 等於 GM 長度，令 G 的位置為 1、X 的位置為 0，則 M、a、g、e、h、i、l 這些各個色彩的分界點於 GX 線段上所在的座標將分別是 $1/2$ 、 $9/16$ 、 $3/5$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ 、 $8/9$ (Newton, 1730)，這也相當於純律（just intonation）中的音程 (Sepper, 1994)。不過，牛頓的這個實驗在後世的學者看來，一般都認為這只是牛頓以自己的方式來把光譜分為七種顏色以便於對應七個音符，這其中並不存在確切的證據能夠證實色彩與音符具有這種對應關係。

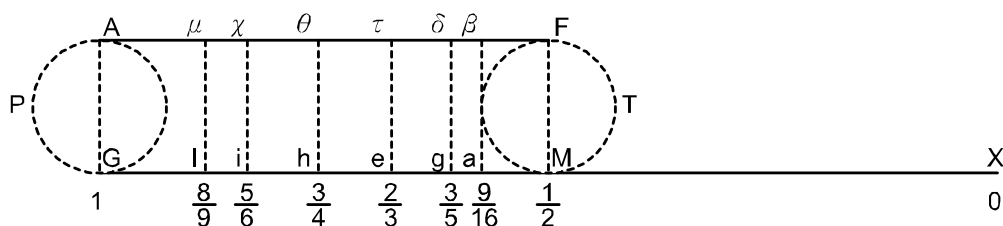


圖 2-10 牛頓進行色彩與音符對應實驗（改自 Sepper, 1994）

2.7.3 現代的研究

在進入二十世紀以後，音樂與色彩的研究依然方興未艾，在藝術上除了有梅湘、史克里亞賓、康定斯基等人以作品實踐自己的理論之外，在學術研究上也對音樂與色彩之間的異同有更多的了解。Alan Wells 是一位音樂教師也是一位色彩研究人員，他以自身體驗到的經驗以及文獻探討的方式提出了音樂中三全音 (tritone) 的音程與色彩中的補色 (complementary color) 具有類似效果的看法(Wells, 1980)。三全音，由於它是增四度，具有不安的特性，被視為具有危險、邪惡的意義⁶，又被稱為魔鬼音程 (diabolus in musica)，而在中世紀一直到十九世紀共曉時期 (common practice period) 的這段期間裡被歸類為不諧和音程 (dissonance)。在設計或是會畫上若使用補色作為配色也會使得畫面具有衝突、對立、拮抗的感覺，再加上三全音恰好將八度音的音程一分為二，與色相環上補色位於對角線位置的情況相同，因此作者認為音樂上的三全音與補色具有可類比的關係。但是，作者也指出，史克里亞賓利用三全音來詮釋出歡樂、狂喜的氣氛，有別於以往的不安定形象，卻讓樂曲呈現和諧之感；同樣的在

⁶ Moussorgsky 作品 Boris Godunov 中的 Coronation Scene 以及 Rimsky-Korsakoff 的 Scheherezade 中的第二樂章，以及 Wagner 的歌劇「諸神的黃昏」(Götterdämmerung) 中使用三全音來暗示 Hagen 的欺騙，百老匯歌舞劇「西城故事」也大量使用三全音，甚至卡通「辛普森家庭 (The Simpsons)」的片頭曲中也使用了三全音

繪畫上他也提到了梵谷在補色的使用上，未見對立的氣氛，卻讓人感覺到相輔相成與合諧。他並引用了梵谷在信中曾寫過的一段話為例：

I'm always in hope of making a discovery to express the love of two lovers by a marriage of complementary colors, their mingling and their opposition, the mysterious vibration of kindred tones.(Stone & Stone, 1995)

此外，Alan Wells 在文中也提出音符也存在著與色彩中的補色一樣的互補關係，例如 F#與 C 成互補，A#與 E 成互補，D 與 G#成互補，如圖 2-11 所示。

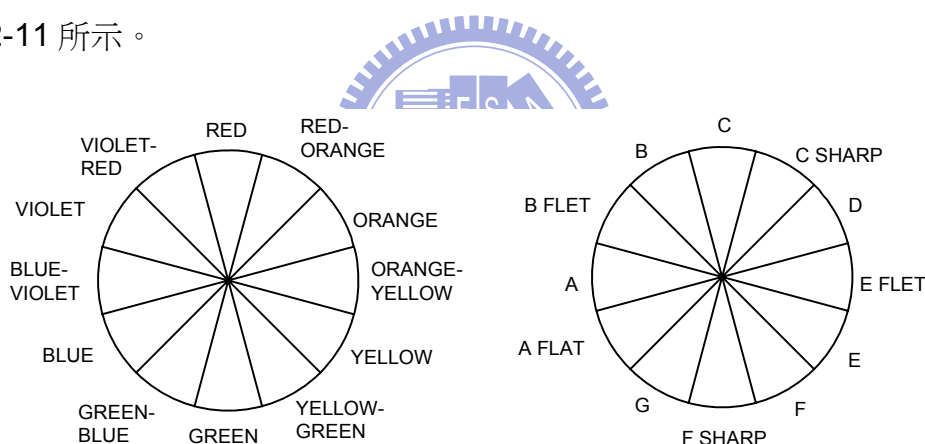


圖 2-11 色彩與音符之互補特性（改自 Wells, 1980）

在現代有關音符與色彩關係的對應研究中，Garner 也曾提出一套以邏輯方式對應光譜與音階位置的方法(Garner, 1978)。他的作法是先定義出色彩與音符的對應關係後，再實際以「God Save the Queen」這首曲子來套用對應的色彩。任何一首曲子，包括「God Save the Queen」在內都能夠以 12 種不同的曲調來演奏，這也是在本文之前所提到的移調概念，因

此，我們可以知道，移調之後的這 12 種具有不同調性的樂曲旋律聽起來都一樣，唯有高低音的差別而已。然而他也指出，把樂曲的音符轉換成色彩之後這 12 首不同調性的樂曲卻會呈現出不同的色彩表現。這首曲子的開頭幾個音為 G—G—A—F#—G—A，轉換成相對應的色彩應該是藍綠—藍綠—藍紫—綠—藍綠—藍紫，如果把這首曲子由原先的 G 大調移至 D 大調，則上述的色彩關係將會變成紅—紅—黃—暗紅—紅—黃，若是移到

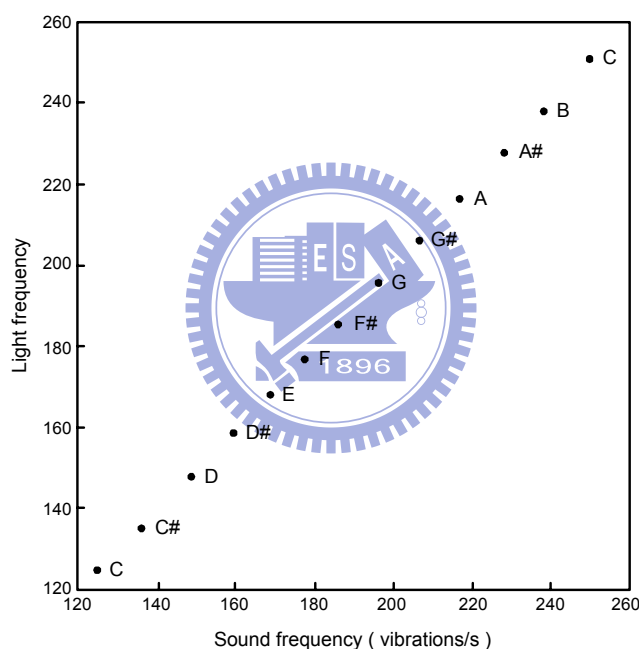


圖 2-12 Garner 的色彩與音符之頻率對應關係（改自 Garner, 1978）

E 大調則為黃—黃—綠—橘紅—綠。由此可知，依據 Garner 定義的音符與色彩對應關係來進行色彩移調之後所呈現的樣貌是隨調性變化。此外，他還提出了數種音符與色彩之間相異的地方，例如色彩具有同時對比效果因而會影響顏色看起來的感覺，但是在音符上卻沒有這樣的現象

存在；以及，在一段由數個音符所組成的樂句中，就一位稍有受過音樂訓練的人而言仍然可以清晰聽出其中的音符，但是若把數種色彩混在一起就連專業的人員都難以分辨出混合後的顏色是由哪些色彩所組成。

Pridmore 則是爲了製作出一台能將音符轉化爲色彩的設備，因此探討音樂與色彩之間的關係以便於在轉換的過程中做爲依據。他提到，若音樂與色彩均存在著能帶來心理影響的這種共同性質，那麼這種性質的成因主要源自於音樂與色彩所帶來的物理性刺激。它們所分別擁有的聲能（sonic energy）與輻射能（radiant energy）都只擁有兩個變項－振幅（amplitude）與波長（wavelength）。振幅與聲音的大小相關或與色彩的亮度相關，而不同的波長則形成了不同的音符或是不同的色彩。此外，音符與色相所具有的唯一相關性在於這兩者當中都能以圓形的方式排列，也就是說，色相能夠排列成爲色相環，音符能夠排列成爲環狀的八度圈（octave cycle）。不過，雖然兩者都有這種在排列上的相似性，但是八度圈上的音符－以 Do 爲例，即使頻率變爲 2 倍但音符依然是 Do；不過色相環上的色彩就不具有這樣的特性。事實上色相環只有一個，但八度圈卻有 9 到 10 個。最後，音符與色彩的不同之處還包括：

1. 音符的頻率與音高的對應關係都有準確的劃分出來，但是色彩卻不盡然。以紅色爲例，如果某人的眼睛能夠感知到更短波長的光線時，他就能看到更爲暗沉的紅色，因此色彩之間的波長並無準確的

畫分。

2. 色彩之間能夠相互混和形成新的色彩，但音符混和之後所組成的和弦仍然是維持各音符獨立的狀態。

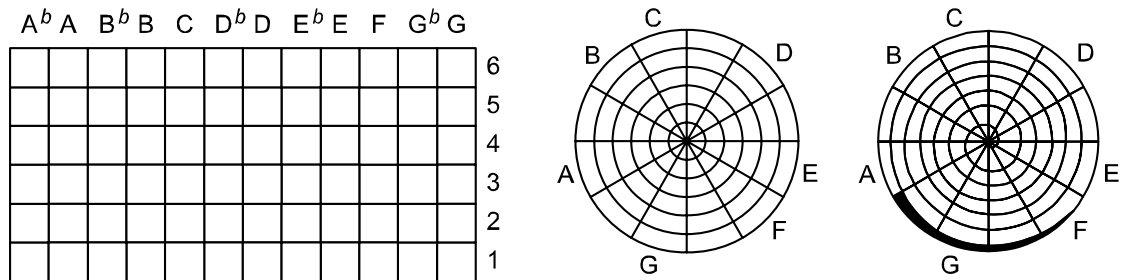


圖 2-13 以階層表示音高的數種方式（改自 Pridmore, 1992）

由於 Pridmore 的目的是製作出一台聲音色彩轉換器，因此他的目的也只是要定義出聲音與色彩所擁有的特性之間的對應關係，在此僅列出與本研究相關的部份如下：

1. 以亮度代表音量，亮度愈高則音量愈大。
2. 以相鄰色相代表一個半音（**semitone**）的音程。
3. 以色相環代表八度圈。
4. 以相對應的色相組合來代表和弦。
5. 以階層的方式顯示色彩來代表不同的音高（圖 2-12）
6. 依據 $\lambda = C/f$ 的公式（ λ 代表波長， C 代表光速（ 2.997×10^8 ）， f 代表頻率）把音符的頻率轉換成波長（例如中央 C 的頻率為

261.6Hz，換算成波長為 1,145,642m），再重複除以 2，直到波長落入可見光的範圍（Pridmore 定義的可見光範圍約為 440-620nm），接著再找出該波長於色相環上所對應之顏色。

2.7.4 實驗心理學的研究方式

除了一些以主觀的想法或是藉由觀察的方式來進行色彩與音樂之間關聯性的研究之外，自威廉馮特（Wilhelm Wundt, 1832-1920）創立了實驗心理學（Experimental Psychology）以後，使用這種方式，以心理刺激來觀察受試者反應的實驗設計也可見於應用在色彩與音樂之間關聯性的研究上。以 Sebba 所做的研究為例，他對於色彩與音樂的關係提出了三個假設：



1. 音樂色彩都能夠喚起心理上的反應。而聆聽某一段音樂所喚起的特定感覺也能夠經由觀看特別設計過的、以色彩構成的畫面來喚起。安海姆就曾說過：There are perceptually convincing correspondences between colors and sounds based on shared expressive equalities. (Arnheim, 1986)
2. 儘管音符與色彩兩者並無直接關聯，但這兩者之間卻存在著比例關係。如果將一個波長範圍內的色彩與某一頻率範圍內的音符相對應，則該波長範圍內各色彩的波長所呈現出的比例關係會與該頻率範圍內各音符的頻率所呈現出的比例關係相符。

3. 在第一及第二假設成立的前提下，一段樂句必能以色彩的方式轉換、呈現。在一個以色彩組成的畫面中，色彩之間的相互關係將等同於樂句中音符之間的相互關係。

爲了證實這三個假設，**Sebba** 進行了一些實驗。首先，她挑選 2 首樂曲，分別是莫札特 (Wolfgang Amadeus Mozart, 1756-1791) 的 *Serenade in G, K.525* 「Eine kleine Nachtmusik」以及 Albinoni 的 *Adagio in G minor*，由受試者聽完這 2 首曲目之後，選擇其中之一，把聽完音樂的感覺以色彩畫出。接著，爲了驗證第二及第三假說，**Sebba** 簡化了樂曲，只提取出樂曲中的四個小節並且只擷取旋律而忽略和弦。她要求受試者同樣的在聽完這四小結的音樂後，把聽完這段音樂之後的感覺使用色彩畫出，接著再請受試者把繪畫時所使用的色彩種類依照自己的感覺，與在這四小節中所出現音符的最高音與最低音之間的範圍內、以半音爲間隔所構成的音階以對應的方式排列。最後再請受試者們以色塊的形式來描述四小節中的每一個音符，色塊的色相代表不同音符，色塊的寬度代表音符的持續時間（拍子），色塊的高度用來代表該音符的音量。

T. Albinoni Adagio in Sol minor

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

W.A. Mozart Eine kleine Nachtmusik in Sol major

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

圖 2-14 Sebba 的實驗結果範例 (改自 Sebba, 1991)

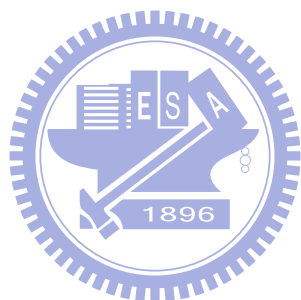
從實驗中所獲得的結果，**Sebba** 提出了幾項論點。

1. 對應至某一段樂句的色彩組合所喚起的心理反應類似該樂句所喚起的心理反應。
2. 以階層方式依序排列的音符以及色相之間，具有相互對應的關係。
3. 曲調的不同也會影響音符與色彩的對應。
4. 隨著聲音頻率的提高，除了亮度、彩度也會提高之外，也發現色相也會愈往暖色系偏移的傾向。
5. 兩個相鄰音符之間的對比效果類似兩個相鄰色彩之間的對比所帶來的效果。



但是研究者對於 **Sebba** 所提出的假說－在一個以色彩組成的畫面中，色彩之間的相互關係將等同於樂句中音符之間的相互關係－只擷取樂曲中的樂句（在這個實驗中 **Sebba** 取四小節）來找出音符與色彩之間的關係有不同的看法。一首古典樂曲，多半由幾個不同的樂章組成，各樂章之間不僅速度不同，也以不同的方式來呈現樂曲的主題，這種現象在交響曲式中更是明顯。透過各種對於主題的發展與再現、就有如我們在寫文章時所謂的起、承、轉、合，構成了一首具有「故事情節」的音樂，如果只聽其中的一部份就有如從文章中間開始閱讀一樣，難免會對文章所要表達的意義有所曲解。

因此在以音樂與色彩都能共同喚起人類情感反應的這個假設下（假設一）來探討音符與色彩之間的關係時，斷章取義的就一段樂句作為實驗時的刺激，恐怕無法有效的喚起正確或一致的情感反應，若以 **Sebba** 在此實驗中所選的 **Serenade in G, K.525** 「**Eine kleine Nachtmusik**」為例，這首小夜曲包含四個樂章⁷，因此在實驗設計上應該讓受試者聆聽一個完整的樂章或是一首完整的樂曲。



⁷本曲原有兩段小步舞曲，不知何故佚失一首，僅以四樂章版本傳世（焦元溥, 2006）。目前流傳下來的四個樂章為：第一樂章：快板（**Allegro**），第二樂章：浪漫曲（**Romance**）：行板（**Andante**），第三樂章：小步舞曲（**Menuetto**）：中奏（**Allegretto**），第四樂章：輪旋曲（**Rondo**）：快板（**Allegro**）

第三章 實驗

從 Berk T. et al.的研究中可以知道，使用 HSB 色彩模型與 RGB 色彩模型相較之下，受試者可以更快速並且更準確的描述出目標色彩(Berk T. et al., 1982)。因此在本研究中將以 HSB 色彩模型為基礎，個別控制色相、飽和度、明度這三個變項以觀察這些變相對於配色的移調會有什麼影響。由於本實驗所測量的是受試者之色彩知覺，因此所使用的色彩模型應該要有知覺均勻 (perceptually uniform) 的特性。以下圖為例，三角形 a 裡的輪廓線所代表的是，同一條輪廓線上的色彩，在知覺上都具有相同飽和度，三角形 b 則標示出 HSB 色彩模型的等飽和度輪廓線。由此可知，以電腦影像處理為主要應用的 HSB 色彩模型，在不使用過於複雜的演算法以避免增加電腦處理負擔的前提下，已經設法接近知覺均勻的要求。雖然至今仍沒有一個能夠做到完全知覺均勻的色彩模型，但仍有一些色彩模型能夠獲得更準確的成果，例如 CIE 色彩模型。而在本實驗中不採用 CIE 色彩模型卻使用較不準確的 HSB 色彩模型之原因有以下幾點。第一，HSB 色彩模型可以讓使用者以直覺的方式進行調色，尤其在電腦影像處理上具有良好的支援。而調色結果能夠及時在螢幕上呈現的這項特性，對以電腦為主要設備的本實驗來說，如前面所述，能夠讓受試者更簡便的進行實驗。第二，以 CIE 色差公式只能計算出色彩與色彩之間的差距，難以表示出色差的方向性，然而若使用 HSB 色彩模型則能夠很輕易的計算出色差的方向性，這對本研究而言是個不可或缺的便利性。

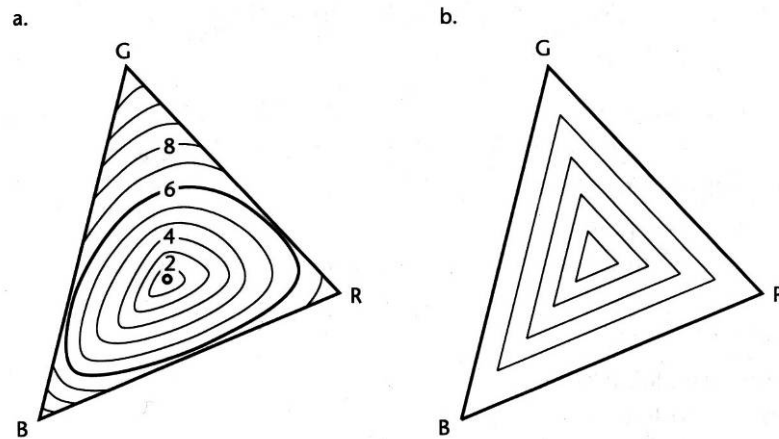


圖 3-1 實驗環境配置

3.1 實驗設備

顯示器：EIZO FlexScan T965 陰極射線顯示器

電腦：Pentium IV 等級 CPU，搭配 Windows XP 作業系統，使用
Macromedia Flash Player 8 播放實驗之操作介面

光源：Macbeth SpectraLight II，設定為 Daylight 以獲得具有連續光譜之
光線

色盲測驗圖卡：Pseudo-Isochromatic Plates for Testing Color Perception

3.2 實驗時間

每人進行 2 次實驗，每次實驗進行時間 40 分，若於時間內施測完畢得以
提前結束。兩次實驗之間的時間大於 24 小時。

3.3 實驗人數

參與本研究之受試者共計 30 人，全員都是交通大學學生，並且正在修習視知覺課程，其中男性 9 人，女性 21 人。參與實驗為視知覺課程修課之選擇性條件。

3.4 實驗環境

現場為一無窗戶之密閉空間，螢幕與受試者保持約 60 公分距離，電腦螢幕上方並以不反光黑色紙板遮蔽以避免光線直接照射在螢幕上，影響色彩判斷。



圖 3-2 實驗環境配置

3.5 實驗設計

實驗進行前先開機並使螢幕暖機 30 分鐘以上，以使螢幕裏的電子槍趨於

穩定狀態。受試者於首次作實驗之前，先接受色盲篩檢，所使用之色盲測驗圖卡為 Pseudo-Isochromatic Plates for Testing Color Perception，並將圖卡以 Macbeth SpectraLight II，設定為 Daylight 作為光源進行測驗。色盲測驗之後，接著再請受試者進行填色實驗。



圖 3-3 色盲測驗。左 1 為色盲測驗圖卡：Pseudo-Isochromatic Plates for Testing Color Perception，左 2 為光源：Macbeth SpectraLight II

填色實驗之操作介面以 Macromedia Flash 8 製作，並使用 ActionScript 3.0 版本之程式語言撰寫介面中的互動操作功能。填色介面左側為已填好色彩之具有蒙德里安畫作風格之色盤，在此稱為參考色盤，色盤中的顏色以參考色稱之。畫面右側則顯示在結構上與左側完全相同之色盤，在此稱為目標色盤，兩色盤都擁有 16 個色塊。在初始狀態下的目標色盤中，除了已填色之起始色塊（以下稱為 H_0' ）以外，其餘的 15 個色塊均為純黑色，起始色以隨機方式事先指定。目標色盤中的 H_0' 與參考色盤中的 H_0 在飽和度與明度方面皆相同，只有色相不同。實驗進行步驟為：

1. 受試者必須判斷出目標色盤中的 H0' 與參考色盤中的 H0 之間的色彩差異關係。
2. 根據參考色盤中的 H1，加上 H0 與 H0' 的色彩差異之後來判斷目標色盤中對應位置的 H1' 應該填入的顏色。
3. 接著再根據參考色盤中的 H2，加上 H0 與 H0' 的色彩差異之後，判斷目標色盤中對應位置的 H2' 應該填入的顏色。
4. 依此類推，受試者於每 1 組色盤中應完成 15 個色塊的填色，總計需填完 5 組色盤。
5. 所有的色塊填滿之後，受試者必須在目標色盤所有顏色都已填入的情況下進行檢視，並視需要修正各色塊之填色，以校正因色塊相鄰所造成之影響。



每個目標色盤之色塊以隨機方式出現，填色時色彩之選擇乃透過位於界面下方之三條滑桿，分別控制色相，飽和度以及明度，所有滑桿皆未標示刻度以避免受試者藉以判斷間距。操作介面除了填色部分以外，其餘的背景以及文字顯示、調整介面皆使用灰階色調以降低干擾。每位受試者在 2 次實驗中必須完成 5 種色盤之填色。

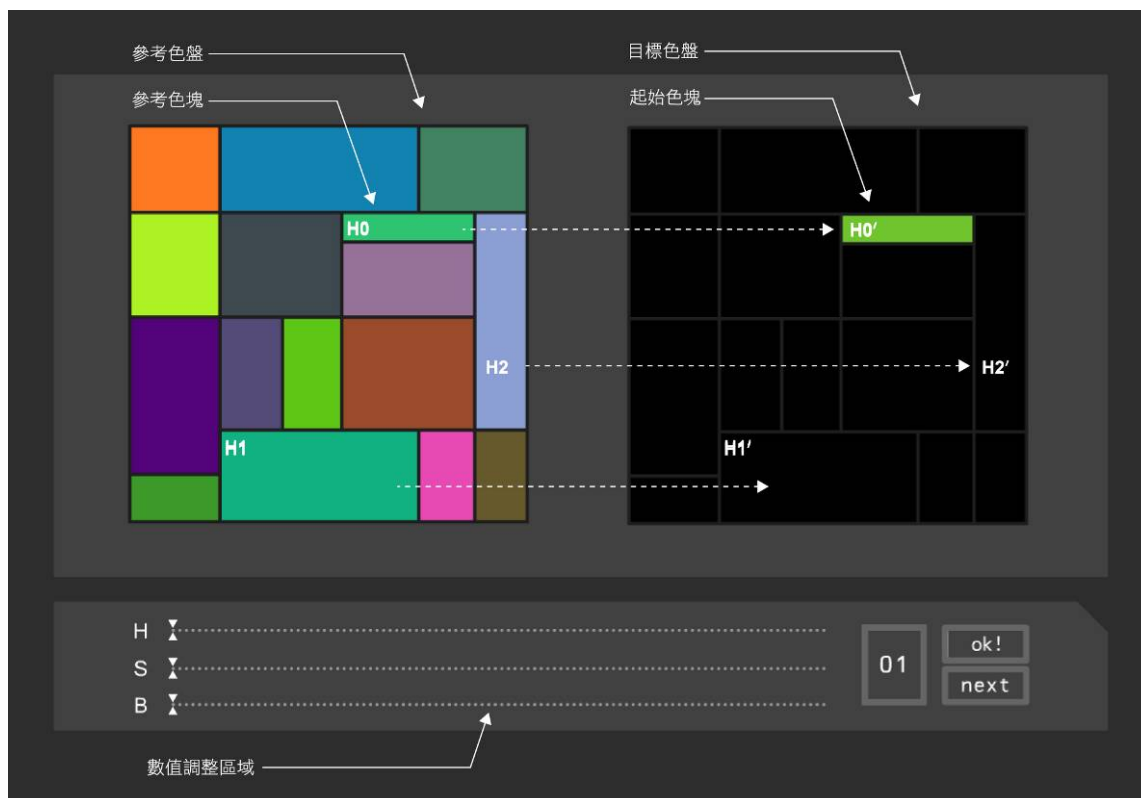


圖 3-4 填色實驗介面

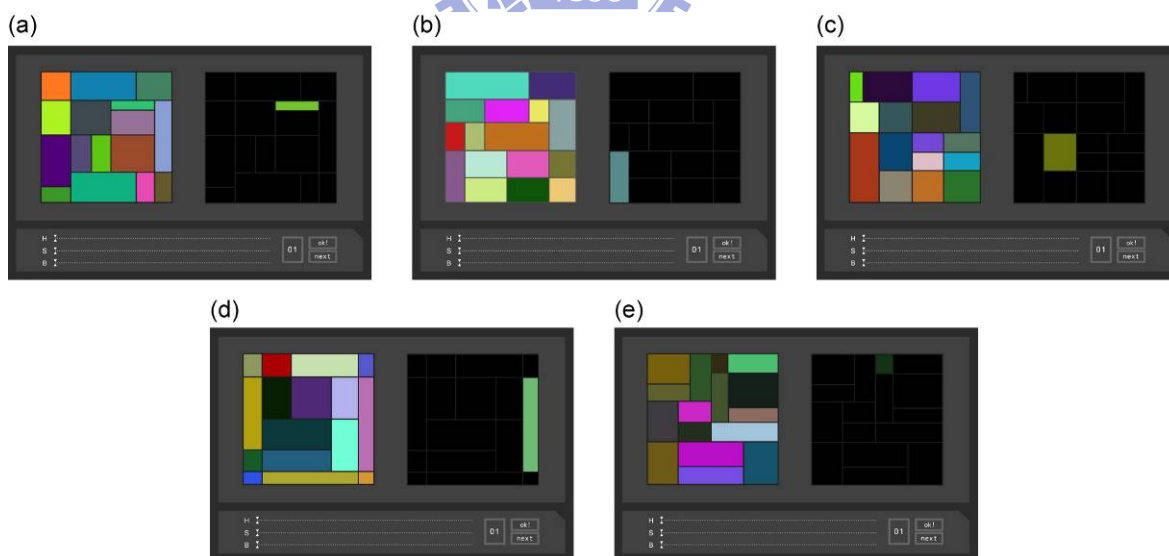


圖 3-5 所有色盤

3.6 實驗結果

在每組色盤填色實驗中可獲得 30 位受試者所填入的 HSB 資料，表 3.1 列出在第 1 組填色色盤中的部份資料供參考（僅包含 2 位受試者資料），完整資料將以附錄形式附加在本文之後。本研究探討色彩之移調研究時，把音樂上的音調類比為色彩中的色相（Garner, 1978; Wells, 1980; Sebba, 1991; Pridmore, 1992; Caivano, 1994），而根據音樂移調的原理，兩個音調之間的距離在移調前與移調後應保持相等，所以在資料分析的第一步便是將參考色盤中的色相數值兩兩相減以交叉計算出色相之間的距離後（表 3-2，僅列出部份資料），再分別就每位受試者填入的色相數值兩兩相減，交叉計算出



表 3-1 第 1 組色盤中各受試者所填入之色彩數值（部分資料）

	參考色			受試者 01			受試者 02		
	H	S	B	H	S	B	H	S	B
H0	147	76	77	95	76	77	95	76	77
H1	17	72	60	19	83	64	30	93	58
H2	199	90	69	204	67	59	161	72	58
H3	278	97	48	265	73	47	241	77	51
H4	226	34	83	263	36	59	194	26	71
H5	96	89	78	73	77	77	75	79	80
H6	45	57	40	25	52	47	34	82	59
H7	294	26	60	314	45	60	255	23	66
H8	23	87	99	26	81	93	6	77	99
H9	320	68	91	329	77	94	288	81	93
H10	251	37	47	268	41	45	185	34	41
H11	161	90	69	147	62	67	131	66	70
H12	82	85	95	74	84	97	52	91	89
H13	205	23	31	137	24	31	81	34	30
H14	150	50	51	129	44	48	83	44	49
H15	110	73	60	87	66	60	104	78	71

色相之間的距離，以第 1 位受試者在第 1 組色盤中所獲得之數據為例，列於表

3-3 中（僅列出部份資料）。

表 3-2 第 1 組色盤中，參考色盤裡各色塊所具有色相之相互距離（ H_m-H_n , $m=1\sim 15, n=1\sim 15$ ）（部分資料）

參考色							
H01-H01	0	H02-H01	182	H03-H01	261	H15-H01	93
H01-H02	-182	H02-H02	0	H03-H02	79	H15-H02	-89
H01-H03	-261	H02-H03	-79	H03-H03	0	H15-H03	-168
H01-H04	-209	H02-H04	-27	H03-H04	52	H15-H04	-116
H01-H05	-79	H02-H05	103	H03-H05	182	H15-H05	14
H01-H06	-28	H02-H06	154	H03-H06	233	H15-H06	65
H01-H07	-277	H02-H07	-95	H03-H07	-16	H15-H07	-184
H01-H08	-6	H02-H08	176	H03-H08	255	H15-H08	87
H01-H09	-303	H02-H09	-121	H03-H09	-42	H15-H09	-210
H01-H10	-234	H02-H10	-52	H03-H10	27	H15-H10	-141
H01-H11	-144	H02-H11	38	H03-H11	117	H15-H11	-51
H01-H12	-65	H02-H12	117	H03-H12	196	H15-H12	28
H01-H13	-188	H02-H13	-6	H03-H13	73	H15-H13	-95
H01-H14	-133	H02-H14	49	H03-H14	128	H15-H14	-40
H01-H15	-93	H02-H15	89	H03-H15	168	H15-H15	0

表 3-3 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊中各色相之相互距離（ $H_m'-H_n'$, $m'=1\sim 15, n'=1\sim 15$ ）（部分資料）

受試者 01							
H01-H01	0	H02-H01	185	H03-H01	246	H15-H01	93
H01-H02	-185	H02-H02	0	H03-H02	61	H15-H02	-89
H01-H03	-246	H02-H03	-61	H03-H03	0	H15-H03	-168
H01-H04	-244	H02-H04	-59	H03-H04	2	H15-H04	-116
H01-H05	-54	H02-H05	131	H03-H05	192	H15-H05	14
H01-H06	-6	H02-H06	179	H03-H06	240	H15-H06	65
H01-H07	-295	H02-H07	-110	H03-H07	-49	H15-H07	-184
H01-H08	-7	H02-H08	178	H03-H08	239	H15-H08	87
H01-H09	-310	H02-H09	-125	H03-H09	-64	H15-H09	-210
H01-H10	-249	H02-H10	-64	H03-H10	-3	H15-H10	-141
H01-H11	-128	H02-H11	57	H03-H11	118	H15-H11	-51
H01-H12	-55	H02-H12	130	H03-H12	191	H15-H12	28
H01-H13	-118	H02-H13	67	H03-H13	128	H15-H13	-95
H01-H14	-110	H02-H14	75	H03-H14	136	H15-H14	-40
H01-H15	-68	H02-H15	117	H03-H15	178	H15-H15	0

第二步驟是把參考色盤中各色相的距離與受試者所填色盤中，各色塊之色相距離相減，以比較出色相距離之間的差距。計算方式如圖 3-5 所示。

$$\begin{array}{c}
 | H01-H02 | - | H01-H02 | \\
 | H01-H03 | - | H01-H03 | \\
 | H01-H04 | - | H01-H04 | \\
 \vdots \\
 | H02-H01 | - | H02-H01 | \\
 | H02-H02 | - | H02-H02 | \\
 | H02-H03 | - | H02-H03 | \\
 \vdots \\
 | H15-H13 | - | H15-H13 | \\
 | H15-H14 | - | H15-H14 | \\
 | H15-H15 | - | H15-H15 | \\
 \hline
 \begin{array}{cc}
 \text{來自受試者} & \text{來自參考色盤} \\
 \text{的填色資料} & \text{的填色資料}
 \end{array}
 \end{array}$$

圖 3-6 色相距離差異之計算

在計算色相距離時取絕對值的原因在於，本研究所關心的數值為色相距離之間的差異以及偏差方向，因此把色相距離取絕對值。此外，也才能符合音程（音調與音調之間的距離）也為正值的特性。

完成第二步驟的計算後，進入第三步驟。把在每種色盤中，經由第二步驟計算出的數值以矩陣的方式表示，矩陣的 X 軸為每組色盤中的參考色盤之色塊色相值，Y 軸為同組色盤中目標色盤之色塊色相值，在此僅列出第 1 組

色盤裡，代表第 1 位受試者實驗結果的矩陣。

表 3-4 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊之色相距離差異矩陣

15	-25	28	10	60	0	-3	43	-26	32	40	9	-15	-45	2	0
14	-23	26	8	58	2	-1	41	-24	30	38	7	-13	-47	0	2
13	-70	61	55	105	-45	-48	88	-71	77	85	-34	-60	0	-47	-45
12	-10	13	-5	45	-13	12	28	-11	17	25	-6	0	-60	-13	-15
11	-16	19	1	51	9	6	34	-17	23	31	0	-6	-34	7	9
10	15	12	-24	-20	40	37	3	14	-8	0	31	25	85	38	40
9	7	4	22	-28	32	29	-11	6	0	-8	23	17	77	30	32
8	1	2	-16	34	-26	-21	17	0	6	14	-17	-11	-71	-24	-26
7	18	15	33	-17	43	40	0	17	-11	3	34	28	88	41	43
6	-22	25	7	57	-3	0	40	-21	29	37	6	12	-48	-1	-3
5	-25	28	10	60	0	-3	43	-26	32	40	9	-13	-45	2	0
4	35	32	-50	0	60	57	-17	34	-28	-20	51	45	105	58	60
3	-15	-18	0	-50	10	7	33	-16	22	-24	1	-5	55	8	10
2	3	0	-18	32	28	25	15	2	4	12	19	13	0	26	28
1	0	3	-15	35	-25	-22	18	1	7	15	-16	-10	-70	-23	-25
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

觀察這個矩陣我們可以發現，由左下到右上的對角線上的數值都為 0，並在對角線的兩側，所有色相距離差異的數值呈現對稱分布。由於藉由矩陣仍然難以用直覺的方式了解色相距離差異的分布狀況，因此在第四步驟中將把矩陣表轉換成以圖表，以視覺化的方式呈現。

在第四步驟中，使用 Pseudocoloring 的方式把矩陣轉成以色彩表示。首

先，展開 HSB 的色相環以線性排列的方式顯示，直線座標的正中央對應至色相角 180 度之處並定義為原點，正的方向其極端值為 360，對應至色相角則為 360 度；負的方向其極端值為為-360，對應至色相角則為 0 度。由於在上個步驟中所建立的數列矩陣以左下至右上的對角線為軸呈現對稱分布，為簡略起見把上半部的數值去除，再把數列矩陣中的數值轉換為色相尺度，繪製出色相距離差異分布圖，以提供更直覺的方式來分析數據。轉換方式為，令矩陣中的數值為 a ，對應到色相尺度上的數值為 b ，則 $b=180+a/2$ 。

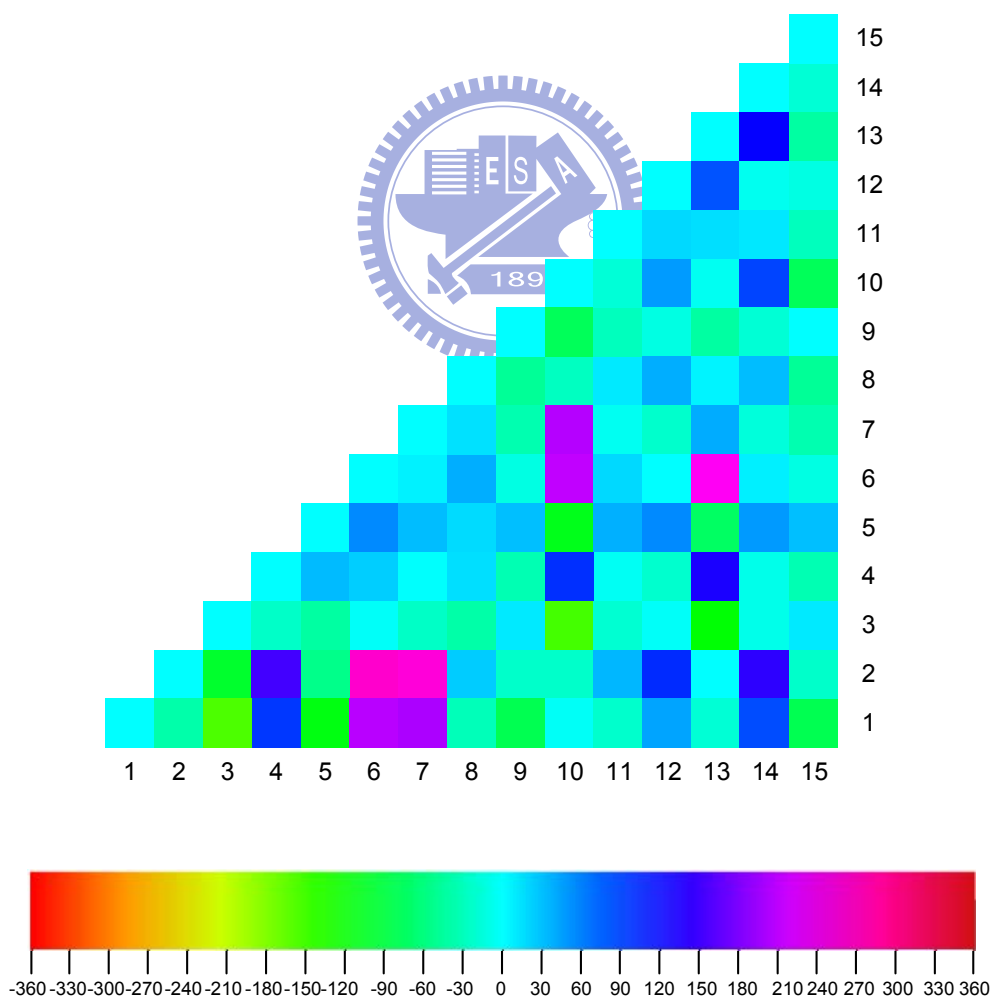


圖 3-7 第 1 組色盤中，第 1 位受試者所填色塊之色相距離差異分布圖

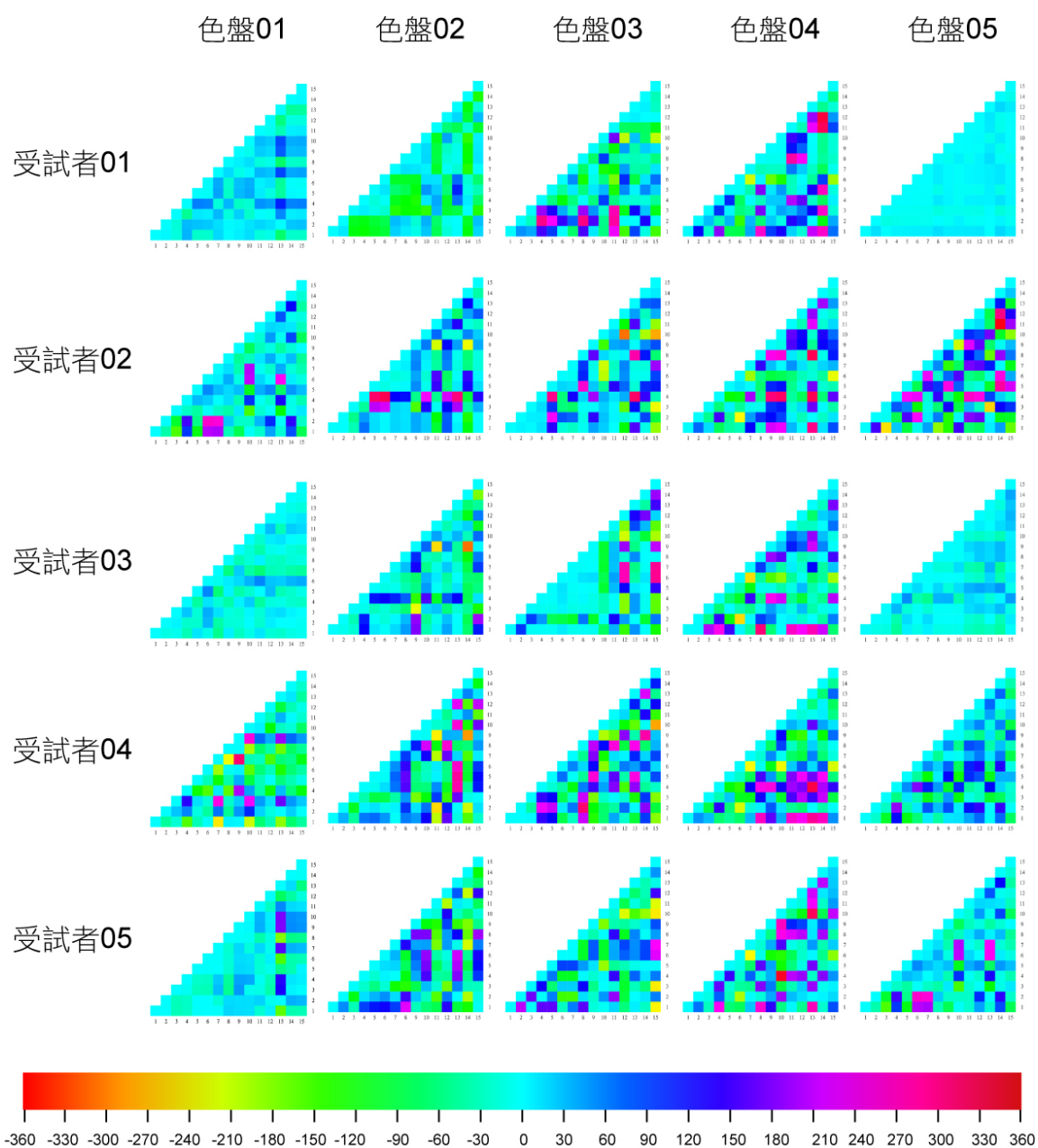


圖 3-8 部分受試者所填色塊之色相距離差異分布圖（部分資料）

接下來，研究者再次根據色相距離差異值，求出每個色盤中，色相距離差異值的次數分配，以分析整體的差異分布程度，步驟如下。

首先，以 0 為原點、20 為級距劃分出以下幾個尺度：

大於300	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	---

-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	-180	-200	-220	-240	-260	-280	-300	小於-300
-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

接著把同一色盤中，每位受試者的色相距離差異值，依照這個尺度計算出個別受試者在單一色盤中色相距離差異值之累計次數，最後再把單一色盤中所有受試者在同一級距內的累計次數加總，求出平均數，個別針對 5 組色盤計算之後，所獲得資料以下圖表示。

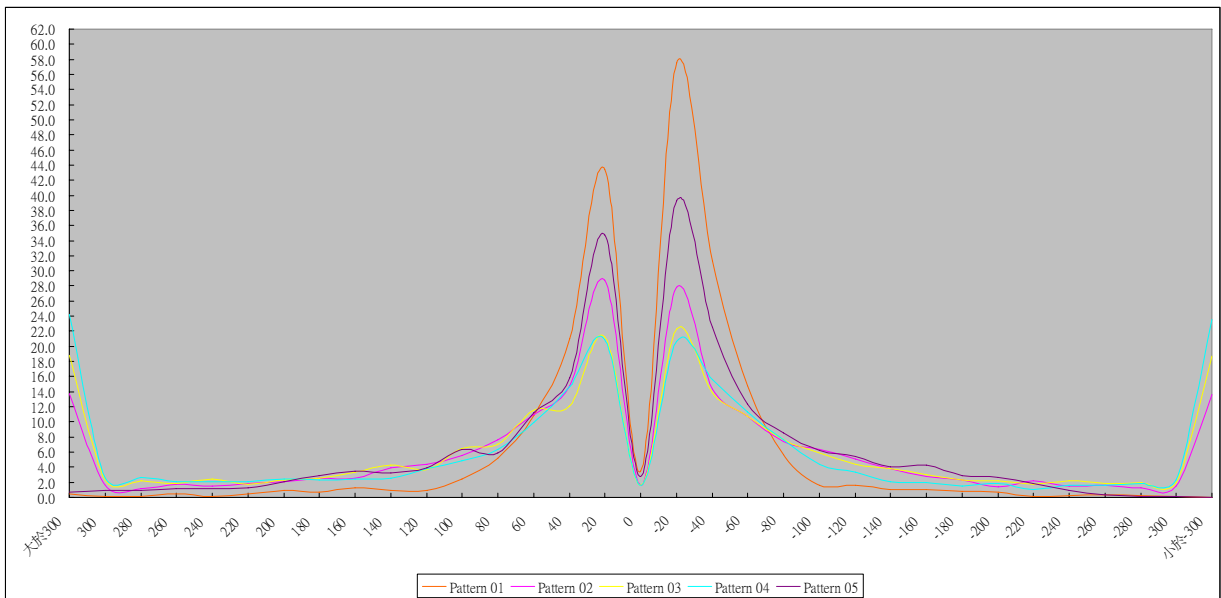


圖 3-9 色盤別之色相距離差異平均次數分配圖

第四章 研究發現與探討

4.1 實驗結果總覽

綜合所有色盤中每位受試者填色之色相距離差異分布圖上(圖 3-7)可以發現，在第一組色盤以及第五組色盤中具有較低的色相距離差異分布現象，

表 4-1 色盤別之色相距離差異平均次數統計表

	色盤 01		色盤 02		色盤 03		色盤 04		色盤 05	
	平均次數	百分比	平均次數	百分比	平均次數	百分比	平均次數	百分比	平均次數	百分比
大於300	0.5	0.2%	13.7	6.5%	18.9	9.0%	24.2	11.5%	0.7	0.3%
300	0.1	0.1%	1.7	0.8%	2.3	1.1%	2.5	1.2%	0.9	0.4%
280	0.1	0.1%	1.2	0.6%	2.2	1.0%	2.7	1.3%	0.9	0.4%
260	0.5	0.2%	1.7	0.8%	1.8	0.9%	2.1	1.0%	1.2	0.6%
240	0.1	0.1%	1.5	0.7%	2.4	1.2%	2.1	1.0%	1.2	0.6%
220	0.5	0.2%	1.9	0.9%	1.8	0.8%	2.0	1.0%	1.3	0.6%
200	0.9	0.4%	2.0	1.0%	2.3	1.1%	2.4	1.2%	2.1	1.0%
180	0.7	0.3%	2.6	1.2%	2.5	1.2%	2.3	1.1%	2.9	1.4%
160	1.3	0.6%	2.6	1.2%	3.4	1.6%	2.5	1.2%	3.5	1.7%
140	0.9	0.4%	3.9	1.9%	4.3	2.0%	2.5	1.2%	3.2	1.5%
120	0.9	0.4%	4.4	2.1%	3.7	1.8%	3.8	1.8%	3.9	1.9%
100	2.5	1.2%	5.6	2.7%	6.5	3.1%	4.9	2.3%	6.3	3.0%
80	5.2	2.5%	7.6	3.6%	7.1	3.4%	6.3	3.0%	5.9	2.8%
60	10.9	5.2%	11.0	5.2%	11.6	5.5%	10.0	4.7%	11.2	5.3%
40	21.1	10.0%	14.7	7.0%	12.1	5.7%	14.6	7.0%	15.8	7.5%
20	43.5	20.7%	28.7	13.7%	21.2	10.1%	20.9	10.0%	34.7	16.5%
0	3.5	1.7%	1.6	0.8%	1.6	0.8%	1.6	0.8%	2.8	1.3%
-20	57.5	27.4%	27.9	13.3%	22.3	10.6%	20.6	9.8%	39.2	18.7%
-40	31.3	14.9%	14.3	6.8%	13.8	6.6%	15.6	7.4%	22.5	10.7%
-60	14.7	7.0%	10.7	5.1%	10.8	5.1%	11.4	5.4%	12.4	5.9%
-80	5.6	2.7%	7.4	3.5%	7.7	3.7%	7.7	3.7%	8.6	4.1%
-100	1.6	0.8%	6.3	3.0%	5.9	2.8%	4.4	2.1%	6.2	3.0%
-120	1.6	0.8%	5.1	2.4%	4.3	2.1%	3.4	1.6%	5.4	2.6%
-140	1.0	0.5%	3.8	1.8%	3.8	1.8%	2.1	1.0%	4.0	1.9%
-160	1.0	0.5%	2.8	1.3%	3.0	1.4%	2.0	1.0%	4.3	2.0%
-180	0.8	0.4%	2.4	1.1%	2.3	1.1%	1.5	0.7%	2.9	1.4%
-200	0.7	0.3%	1.4	0.7%	2.2	1.0%	1.9	0.9%	2.6	1.2%
-220	0.1	0.1%	2.2	1.0%	1.7	0.8%	1.0	0.5%	1.9	0.9%
-240	0.3	0.1%	1.5	0.7%	2.2	1.1%	1.6	0.7%	0.9	0.4%
-260	0.4	0.2%	1.6	0.8%	1.8	0.9%	1.6	0.8%	0.4	0.2%
-280	0.3	0.1%	1.2	0.6%	1.9	0.9%	1.8	0.9%	0.1	0.0%
-300	0.1	0.0%	1.5	0.7%	2.0	0.9%	2.3	1.1%	0.1	0.0%
小於-300	0.0	0.0%	13.6	6.5%	18.7	8.9%	23.5	11.2%	0.0	0.0%

從色盤別之色相距離差異平均次數分配圖（圖 3-8）也可以明顯的看出，其中又以第一組色盤的填色結果所呈現的差異現象最低。同樣的，第一組色盤與第五組色盤的色相距離差異平均次數集中在中央地帶，誤差都不大，而在圖形兩側誤差較大的尺度範圍，平均次數也有明顯的降低，比較上第二、三、四組色盤在這個區域的誤差普遍偏高。若把色盤別之色相距離差異平均次數分配以分配次數以及百分比表示可得表 4-1。

從表 4-1 中可以得知，第一組色盤與第五組色盤的誤差中在 0 到±40 之間，以第一組色盤來說，平均誤差值在 0 到±20 之間占了 49.7%，平均誤差值在 0 到±40 之間更以高達 74.7%。第五組色盤的平均誤差雖然也小，但與第一組色盤比較之下仍有差距，其平均誤差在 0 到±20 之間占了 36.5%，0 到±40 之間則佔了 54.8%。而其餘的第二、三、四組色盤，平均誤差值在 0 到±40 之間則分別佔了 41.5%、33.8%以及 35.0%。在誤差大於±260 的部分，第一組色盤占了 0.5%，第五組色盤占了 1.3%，第二、三、四組色盤則分別為 15.7%、21.9%、27.2%。

表 4-2 色相距離差異平均次數累計表

	色盤 01	色盤 02	色盤 03	色盤 04	色盤 05
0 - ±20	49.7%	27.7%	21.5%	20.5%	36.5%
0 - ±40	74.7%	41.5%	33.8%	35.0%	54.8%
300<或<-300	0.2%	13.0%	17.9%	22.7%	0.3%
260<或<-260	0.5%	15.7%	21.9%	27.2%	1.3%

4.2 研究發現

從以上的實驗資料分析中可以得知，第一組色盤與第五組色盤的數據具有相似的趨勢，而第二、三、四組色盤也具有相似的趨勢。為探究這些色盤之間的關係，研究者接著進行各組色盤中，參考色盤以及目標色盤的起始色分析，分析結果如下。

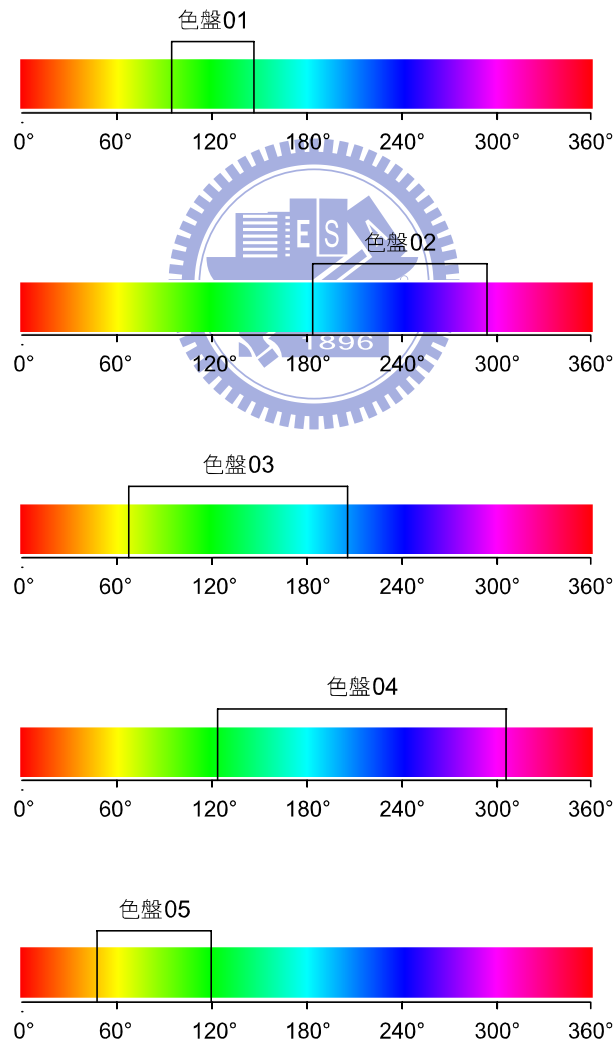


圖 4-1 起始色之色相相對位置圖

由上圖可以看出，第一組色盤的兩個起始色落在同一色相範圍中，第五組色盤的兩個起始色雖不再同一色相範圍中，但也落在相鄰的兩色相中。而第二組色盤與第三組色盤的起始色則分跨 3 個主要色相，第四組色盤的起始色則分跨 4 個主要色相。

綜合以上觀察結果可以推論，若是參考色盤與目標色盤的起始色位於同一色相未達明顯變化的範圍之內時，受試者能夠以較精確的方式來進行配色的移調，因為這時候受試者只需將參考色在其所屬色相範圍稍加位移就可填入目標色盤中，這也可以解釋為什麼第一組色盤誤差值在 ± 40 之內的比例高達 74.7%。若是參考色盤與目標色盤的起始色橫跨的色相變化範圍愈廣，準確度也愈低，在第二、三、四、五組以跨越色相角度的大小排列，最小的是第五組，之後為第二組、第三組、第四組。而誤差值在 ± 40 之內的排名為第一組最高，之後為第五組，第二組，第四組，第三組；誤差值在 ± 260 以上的排名以第四組最高，之後為第三組、第二組、第五組。

在本研究中的另一個發現為，所有色盤中，若把填入的顏色裡誤差最高的前兩名編為一組，誤差最低的前兩名也編為一組，這些高誤差與低誤差色塊對應至參考色盤後，所呈現的高誤差組與低誤差組在色彩上具有組內的相似性。如圖 4-2、4-3 所示（ L^1 表誤差最低的填色， L^2 表誤差次低的填色； H^1 誤差最高的填色， H^2 誤差次高的填色）。

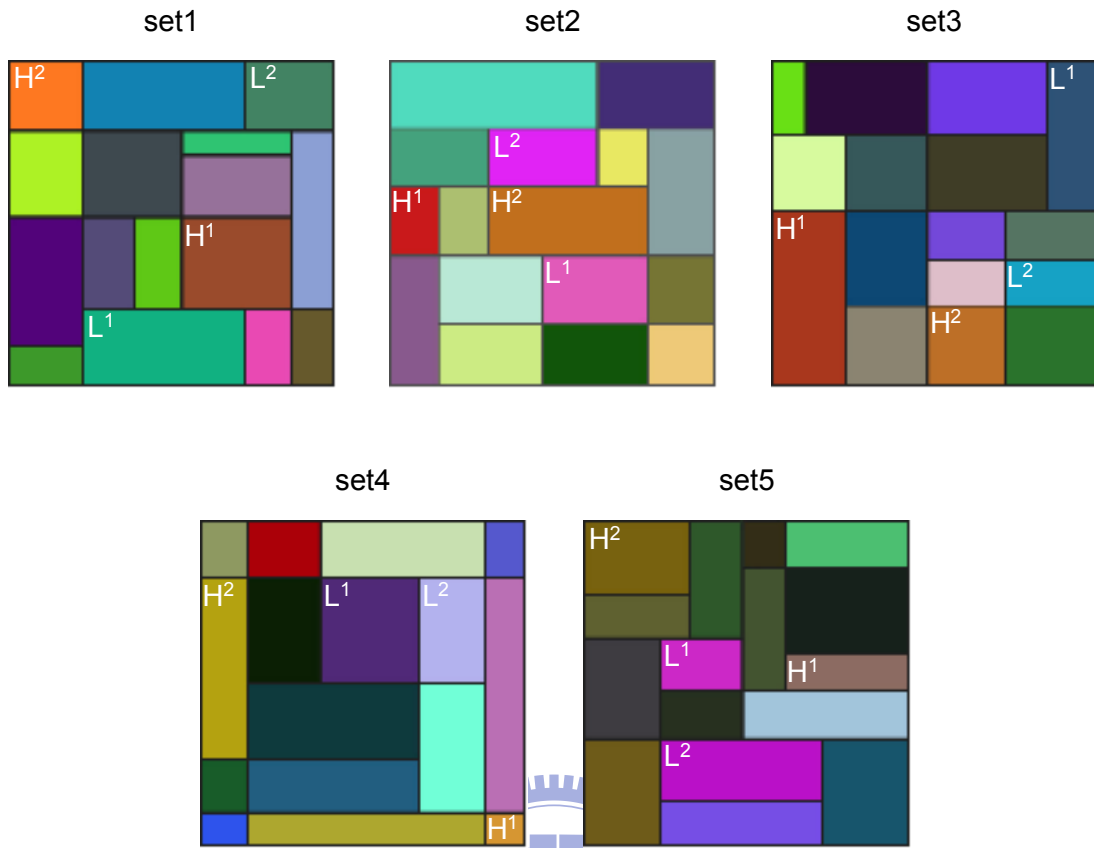


圖 4-2 色盤內高誤差與低誤差色塊

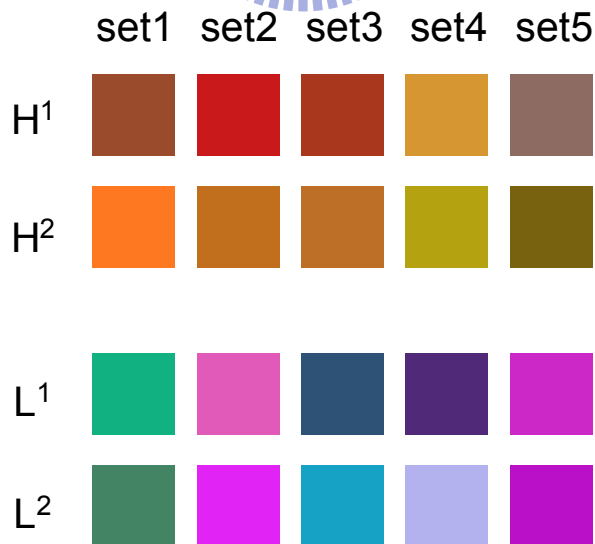


圖 4-3 色盤內高誤差與低誤差色塊比較

從圖中可以觀察到，每組色盤內誤差高的前兩個色塊（ H^1 ， H^2 ）在色相上的差異不大，同樣的情況也發生在誤差低的前兩個色塊之間（ L^1 ， L^2 ），而且在所有五組色盤中，誤差高的色塊幾乎都集中在某個色相範圍內，這些色相誤差高與低的色塊，在色相上的分布如圖 4-4 所示。很明顯的我們可以看出，在所有色盤中，誤差較高的色塊在色相上有很明顯的集中趨勢，尤其是集中在 0 到 60 度的色相範圍中，而誤差低的色塊所呈現出的分布特性也有值得令人注意的地方。這些低誤差色塊不會發生在高誤差色塊所在的色相範圍中，而是在其餘的色相中呈現大致上平均分布的現象。

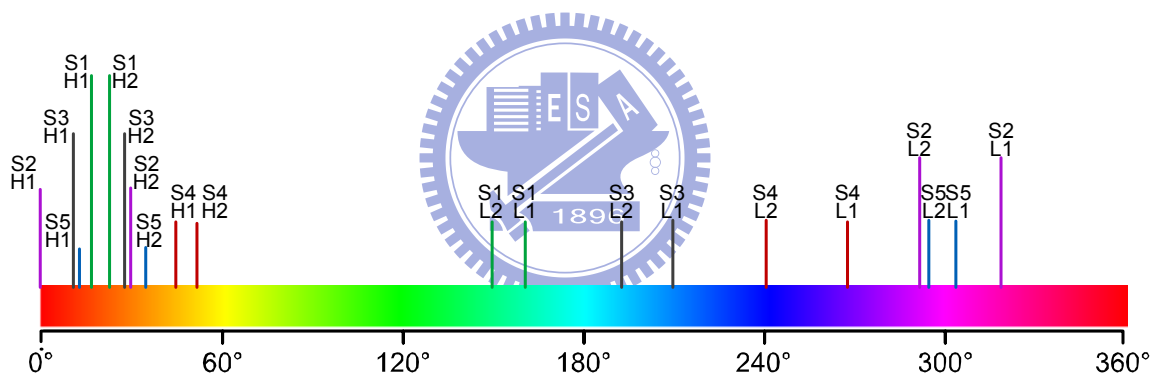


圖 4-4 誤差色相分布圖

對於高誤差色塊集中分布於 0 到 60 度色相範圍的這個現象，研究者認為，或許能從圖 4-3 中找到一些線索。從圖上可以看到所有的高誤差色塊都可歸類為褐色（brown）或是其鄰近色。褐色是在類別色（Categorical colors）（Berlin & Kay, 1969）當中並不存在於色相環上的顏色，因此可能是褐色這種無法在色相環上定位的特性讓受試者在進行色彩的平移時難以感覺出大致的位移距離。高誤差色塊集中分布現象的另一種可能性為，HSB 色彩模型並

無法在長波的色相範圍獲得心理等距分布，造成在這部份獲得比較高的偏誤產生。

4.3 後續研究與建議

4.3.1 配色移調能力的訓練

在本研究中，受試者僅能在不跨越色相的條件下做出比較正確的平移距離判斷，這與在音樂上，只要受過訓練就能迅速判斷出音程或是準確進行移調的情況不同。由於參與本研究的 30 位受試者中只有 7 位受過 4 年以上的美術教育與訓練，尚無法證明配色的移調是否能夠像音樂移調一樣藉由訓練來加強的立論，在後續研究當中可以藉由受試者背景的操弄來探討這個問題。

4.3.2 移調後的配色與和諧

音樂移調是爲了讓樂曲的組成更有變化，在設計上如果能應用移調的原理來進行設計，應該能提供在同一主題下進行不同設計發展的快速作業解決方案。舉例來說，一位網頁設計師在進行網站的整體設計時，經常會發展出一套色彩計畫先套用在主頁的配色上，接著再依該色彩計畫發展出不同但卻類似的配色並應用在子項目的網頁中。同樣的情況在工業設計中也經常可以發現。然而，在實際應用配色移調原理來進行色彩計畫的發展

前，應該先探討移調後的配色是否維持和諧這個問題。音樂在移調前後，不論移的音程如何使終能保持和諧，但是這種情況在配色移調上是否通用則需要進一步的研究來闡明。



4.3.3 移調後的配色與感情喚起

音樂移調之後，在旋律上雖會維持不變，但音樂的調性卻能喚起不同的感情，最簡單的例子為大調能表現出快樂、明亮的感覺，小調則表現出悲傷、陰暗的感覺，例如莫札特的 d 小調安魂曲(Requiem Mass in D minor, K. 626)，凱魯碧尼(Luigi Cherubini, 1760-1842)的 c 小調安魂曲(Requiem in C-minor)以及貝多芬(Ludwig van Beethoven, 1770-1827)第三號交響曲(Symphony No.3 in E Flat Major, Op.55)中的第二樂章-

葬禮進行曲（*Marcia funebre: Adagio assai*）也是一首 c 小調的樂曲。有鑑於此，在後續的研究中可以探討配色在移調之後是否也會出現不同種類的情感喚起，或是找出是否具有情感喚起的模式。不過在進行這項後續研究之時必須注意，由於在大調之間移調或在小調之間移調雖然可以保持音程的固定，但是在大調與小調之間進行移調時，移調之後的音程將有所變動，因此在配色移調的實驗上必須做一些修正。

4.3.4 光譜在個體上的差異

在本研究中使用光譜來對應每位受試者進行配色移調時的色相偏移。而從實驗結果中觀察到受試者在色相差距較大的情況下，對於色相位移判斷的誤差偏大之結果，或許是因為每位受試者心中所預設的光譜，其色彩排列的次序與本研究所用的光譜不同。假設存在這種具有個體差異的光譜，自然會導致色相位移判斷的誤差偏大。因此，在後續的研究當中除了可以設法了解，是否我們對於色彩在光譜上排列的位置是不是存有個別的差異以外，也可以透過操弄，使受試者建立一致性的光譜之後再測量配色的移調是否也能反映此一致性。

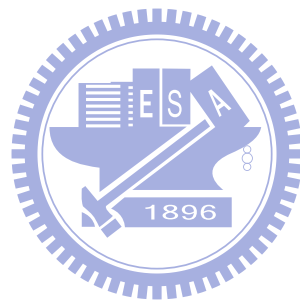
4.4 結語

在色彩與音樂之間的關係中，色彩亮度與音高的關係、視覺節奏與音樂

節奏的關係以及色彩與音樂的冷暖、強烈關係都能夠被我們清楚的感覺到，可以說是色彩與音樂關係中爭議較少的部份；然而經由本文中的文獻探討以及實驗可以得知，色相與音符之間相關聯的實證，至今仍沒有一個令人滿意的解釋。從畢達哥拉斯開始提出音樂在結構上的嚴謹比例關係（*Musica universalis*）之後，理性的思潮從未停止把音樂與色彩相結合。從 18 世紀開始進入高峰的種種研究，雖然目前尚未獲得具體成果卻仍吸引眾多研究人員投入的原因，或許就是色彩與音樂之間所存在的那種看似明顯卻又隱晦難解的關聯吧，這種關係正如顏回讚嘆孔子道學時所說的：「仰之彌高，鑽之彌堅，瞻之在前，忽焉在後」。本研究雖然未能解開色彩與音樂之間關係的謎團，但對於色彩與音樂當中的「移調」現象有進一步的了解，也開啓往後在這方面研究的幾個可能方向。此外，在實驗中所觀察到高誤差值集中於長波的色相範圍之現象，於本研究中已列出幾個可能性，接下來的後續研究除了可以驗證這些臆測之外，也可試圖找出其他可能的原因來探討。

移調在設計方面的應用如 4.3.2 節中所述，能夠快速且大量的進行色彩計畫發展之外，在藝術方面則能夠在總體藝術上有所發揮。總體藝術觀念的提出雖然是在 19 世紀，但是以目前藝術朝向多元媒材、甚至是結合不同領域的趨勢來看，總體藝術仍然能夠在藝術領域上繼續成爲眾所矚目的焦點之一。安海姆曾提到過，儘管 18 與 19 世紀的作家們對於「色彩風琴」的原理寄予厚望，期盼拉默（Jean-Philippe Rameau, 1683-1764）與科烈里（Arcangelo Corelli, 1653-1713）的奏鳴曲在視覺上所帶來的愉悅程度能與在聽覺上所帶

來的愉悅程度相同，然而卻事與願違（**Arnheim, 1986**）。在今日，或許只有 **idiopathic synesthesia** 以及 **acquired synesthesia** 類型的人們才能真正感受到「聽見色彩」或「看見音樂」的奇妙經驗，雖然這個研究尚不足以提出讓一般人也能夠擁有這種奇妙感覺的方案，但希望本研究能在這個領域有所貢獻，並在後人持續累積研究成果之下，有朝一日，真正達成多元而又合一的總體藝術。

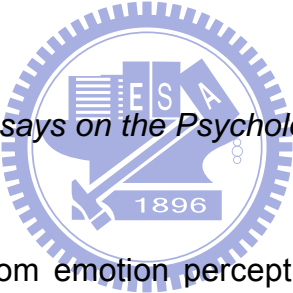


參考文獻

中文部份

- (美)麥克·傅里曼(Michael Freeman)著，數位攝影徹底研究—黑白之部，
沈昶甫譯，旗標出版社，台北，民國九十六年
- 焦元溥著，莫札特音樂 CD 評鑑，聯經出版公司，台北，民國九十五年

英文部分

- 
- Arnheim, R. (1986). *New Essays on the Psychology of Art*. CA: University of California Press.
- Baumgartner, T. (2006). From emotion perception to emotion experience: Emotions evoked by pictures and classical music, *International Journal of Psychophysiology*, 60, 34 – 43.
- Berk, T., Kaufman, A. and Brownston, L. (1982). A human factors study of color notation systems for computer graphics. *Communications of the ACM*, 25(8)
- Berlin, B. and Kay, P. (1991). *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*, CA: University of California Press.
- Boyatzis, C. J., and Varghese, R. (1994). Children's emotional associations with colors. *The Journal of Genetic Psychology*, 155(1), 77.
- Boynton, R. M. (1988). Color Vision, *Annual Review of Psychology*, 39, 69-100.

Butler, D. (1992). *Musician's Guide to Perception and Cognition*, NY: Schirmer Books.

Caivano, J. L. (1994). Color and Sound: Physical and Psychophysical Relations. *Color research and application*, 19

Clark M., Isaacks-Downton G., Wells N., Redlin-Frazier S., Eck C., Hepworth JT., and Chakravarthy B. (2006). Use of Preferred Music to Reduce Emotional Distress and Symptom Activity During Radiation Therapy. *The Journal of Music Therapy*, 43(3), 247-265.

Cytowic, R. E. (2002). *Synesthesia: A Union of the Senses*. The MIT Press.

Foley, J. D., Von Dam, A., Feiner, S. K. and Hughes, J. F. (1990). *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison-Wesley.

Garner, W. (1978). The relationship between colour and music, *Leonardo*, 11, 225-226.

Hall, M. P. (2003). *The Secret Teachings of All Ages*. Murine Press.

Harris, J. E. (2004). *Musique colorée: Synesthetic correspondence in the works of Oliver Messian*, Doctoral dissertation. The University of Iowa. UMI No. 3129298.

Jackson, R., MacDonald, L. and Freeman, K.. (1994). *Computer Generated Colour*, England: John Wiley and Sons Ltd.

Jacobs, G. H., Neitz, M., Deegan, J. F. and Neitz, J. (1996). Trichromatic colour vision in New World monkeys. *Nature*, 382, 156-158.

Jacobs, G. H., Williams, G. A., Cahill, H. and Nathans, J. (2007). Emergence of Novel Color Vision in Mice Engineered to Express a Human Cone Photopigment. *Science*, 315(5819), 1723 – 1725.

Jones, J. D. (2006). Songs Composed for Use in Music Therapy: A Survey of Original Songwriting Practices of Music Therapists. *The Journal of*

Music Therapy, 43(2), 94-110.

Julyan, H. E. (2002). Aesthetics, Dynamics, and Musical Scales: A Golden Connection, *Journal of New Music Research*, 31(1), 51–58.

Levkowitz, H. (1997) . *Color theory and modeling for computer graphics, visualization, and multimedia applications*, Kluwer Academic Publishers.

Lyons, A. (2001). Synaesthesia - A Cognitive Model of Cross Modal Association, *Consciousness, Literature and the Arts*, 2

Martin, J. H. (1991). *Principles of Neural Science*, NY: Elsevier.

Mills, C. B., Boteler, E. H. and Larcombe, G. K. (2003). "Seeing things in my head": A synesthete's images for music and notes. *Perception*, 32, 1359-1376

Newton, I. (1730) . *Opticks*, NY: Prometheus Books.

Pelletier, C. L. (2004). The Effect of Music on Decreasing Arousal Due to Stress: A Meta-Analysis. *The Journal of Music Therapy*, 41(3), 192-214

Pridmore, R. W. (1992). *Music and Color: Music and color: Relations in the psychophysical perspective*, *Color research and application*, 17(1), 57-61.

Purves, D. and Lotto R. B. (2003). *Why We See What We Do: An Empirical Theory of Vision*, MA: Sinauer Associates

Scherer, K. R. (2004). Which Emotions Can be Induced by Music? What Are the Underlying Mechanisms? And How Can We Measure Them?, *Journal of New Music Research*, 33(3), 239–251.

Schwartz, S. H. (1994). *Visual perception: a clinical orientation*. Appleton & Lange.

Sebba, R. (1991). Structural Correspondence Between Music and Color.

Color research and application, 16.

Sepper, D. L. (1994). *Newton's Optical Writings: A Guided Study*, NJ: Rutgers University Press

Shaw-Miller, S. (2000)., Skriabin and Obukhov: *Mysterium & La livre de vie*
The concept of artistic synthesis., *Consciousness, Literature and the Arts Archive*, 1(3).

Stone, I. and Stone, J. (1995). *Dear Theo: The Autobiography of Vincent Van Gogh*, NY: Plume

Wells, A. (1980) . Music and visual color: A Proposed correlation, *Leonardo*, 13, 101-107

Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L. and Lederman, S. J. (2005). *Sensation and Perception*, MA: Sinauer Associates Incorporated

Yamawaki, K. and Shiizuka, H. (2004). Correlation of Synesthesia and Common Recognition Concerning Music and Color, Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on, vol.1, pp. 350-357, 10-13.

附錄一 第一組色盤之所有受試者實驗數據

	參考色			受試者01			受試者02			受試者03			受試者04			受試者05			受試者06			受試者07			受試者08							
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B		
1	147	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77					
2	17	72	60	19	83	64	30	93	58	23	84	60	32	96	67	17	69	80	24	81	85	16	84	63	23	72	56					
3	199	90	69	204	67	59	161	72	58	193	90	61	167	82	69	198	68	86	172	70	70	179	96	74	197	94	64					
4	278	97	48	265	73	47	241	77	51	276	99	50	273	83	77	245	51	88	272	72	65	314	90	51	275	87	49					
5	226	34	83	263	36	59	194	26	71	198	43	79	82	9	56	199	20	81	40	10	71	105	38	77	225	32	79					
6	96	89	78	73	77	77	75	79	80	113	86	85	77	69	86	94	48	81	91	77	80	74	91	87	103	79	72					
7	45	57	40	25	52	47	34	82	59	5	44	44	58	62	45	45	21	56	70	65	42	51	71	56	50	69	44					
8	294	26	60	314	45	60	255	23	66	247	34	63	5	46	86	292	35	91	13	43	83	47	34	37	291	30	68					
9	23	87	99	26	81	93	6	77	99	35	99	99	43	95	94	42	99	95	43	99	88	53	99	99	29	89	97					
10	320	68	91	329	77	94	288	81	93	297	95	95	338	86	92	336	56	99	354	53	99	359	64	99	326	62	97					
11	251	37	47	268	41	45	185	34	41	246	47	57	13	23	34	265	70	75	309	16	37	279	77	63	245	30	41					
12	161	90	69	147	62	67	131	66	70	178	87	71	109	66	77	140	71	90	135	50	83	121	74	78	161	75	70					
13	82	85	95	74	84	97	52	91	89	69	89	97	63	69	97	88	48	97	77	99	91	65	99	99	82	83	94					
14	205	23	31	137	24	31	81	34	30	188	42	42	30	9	22	41	9	70	44	38	31	97	60	38	209	38	31					
15	150	50	51	129	44	48	83	44	49	144	72	64	96	32	45	112	52	84	74	61	47	105	66	67	154	42	49					
16	110	73	60	87	66	60	104	78	71	109	85	69	80	60	65	76	81	67	94	66	72	72	99	64	101	69	54					
受試者09																																
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77
22	81	75	33	83	73	25	62	70	8	69	76	35	87	63	9	68	75	359	91	79	0	80	53									
200	66	67	92	44	71	216	61	93	188	89	77	170	69	71	218	85	90	198	87	95	164	78	63									
274	67	72	264	99	83	292	99	58	267	91	57	280	72	76	269	75	54	262	52	96	246	85	45									
181	34	70	191	62	76	226	29	99	208	37	80	241	27	86	182	18	66	234	43	99	187	42	74									
153	90	84	67	66	71	127	83	99	81	72	76	86	84	93	88	90	94	144	86	88	72	84	69									
29	75	54	53	84	51	63	56	49	59	53	45	21	84	75	39	77	46	26	64	92	26	61	42									
283	38	83	359	52	71	306	18	67	277	27	60	359	60	72	305	46	59	289	20	95	275	21	52									
34	82	88	42	72	99	40	86	85	35	89	93	29	92	99	24	99	94	27	80	99	1	87	89									
324	51	93	338	99	89	332	41	86	298	74	91	346	61	97	308	92	99	317	86	99	291	70	78									
261	19	49	298	48	71	259	23	47	234	42	46	278	58	50	260	53	45	262	77	88	236	38	38									
113	47	71	148	49	74	107	62	79	145	66	68	175	72	85	123	45	67	134	53	90	130	69	59									
65	58	83	55	28	99	73	69	95	71	91	93	69	99	99	69	93	99	87	61	96	62	90	84									
2	4	36	108	52	32	198	24	44	191	29	32	149	11	44	195	88	33	240	75	77	174	21	30									
103	66	54	161	74	66	111	53	66	123	44	53	134	79	73	155	89	57	149	96	83	120	42	48									
112	60	59	116	48	71	112	76	90	96	76	63	92	79	75	98	99	96	128	76	91	89	83	63									
受試者17																																
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77			
0	63	59	20	92	69	15	57	56	24	70	59	19	80	68	359	70	69	47	70	55	0	39	55									
169	65	64	156	65	70	197	41	68	204	80	74	189	65	59	212	62	85	229	89	77	197	99	68									
246	66	68	269	91	59	243	30	72	247	62	42	255	90	60	273	90	86	314	53	39	268	88	49									
204	22	73	184	9	67	253	4	71	231	31	78	218	53	99	218	47	95	240	55	76	211	40	72									
83	65	87	98	92	98	133	71	80	77	69	72	77	98	71	125	69	99	120	77	83	107	80	87									
56	24	43	56	99	47	68	21	40	59	84	40	14	48	42	37	59	89	30	64	44	32	79	62									
249	9	62	258	27	62	298	45	66	297	31	59	255	40	51	248	15	71	283	43	52	304	35	68									
40	77	88	48	95	85	17	67	99	38	99	82	18	99	81	33	59	83	49	99	99	26	80	81									
359	50	99	285	73	84	312	63	99	8	80	83	295	74	88	306	49	93	302	91	86	320	69	83									
290	45	46	220	45	57	288	33	50	273	90	66	215	53	56	267	61	64	218	54	38	240	29	38									
80	80	70	132	77	88	138	56	70	93	88	79	100	65	72	141	36	76	177	71	71	93	55	65									
89	69	99	68	84	91	94	56	99	74	99	99	63	78	84	99	44	88	94	69	92	101	64	82									
193	43	42	191	6	38	151	29	46	66	27	31	160	18	26	0	0	52	240	8	43	172	15	26									
134	57	70	104	37	56	138	39	65	108	64	65	119	59	53	93	45	69	184	82	54	145	55	47									
89	71	70	86	70	83	108	58	76	110	90	60	83	81	57	110	66	77	143	93	62	122	85	50									
受試者25																																
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B												
95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77	95	76	77												
40	82	59	35	99	59	0	50	65	318	95	40	38	72	60	20	65	57															
203	71	90	178	76	56	208	74	95	143	97	49	210	79	53	203	82	91															
264	54	73	259	55	44	273	73	83	229	96	41	295	86	41	300	58	54															
288	36	88	205	51	78	204	26	87	175	81	56	247	30	66	246	54	99															
109	46	94	81	99	75	91	39	76	69	99	72	141	78	79	133	50	96															
2	57	71	55	56	40	37	61	74	48	99	51	64	98	47	64	33	51															
296	44	89	263	20	64	317	25	74	236	67	49	296	48	60	320	39	86															
43	59	79	42	99	79	18	57	86	4	99	74	38	87	89	359	62	99															
276	49	88	336	69	84	321	45	93	262	99	70	316	92	95	294	34	99															
246	35	46	309	22	37	252	79	82	220	80	38	272	63	47	266	42	71															
115	57	78	144	75	68	134	54	76	117	85	63	177	75	64	103	64	79															
116	41	86	67	99	74	82	50	91	58	91	85	91	98	93	83	53	99															
273	22	54	122	30	26	142	6	40	148	69	22	232	27	34	199	26	53															
191	34	80	108	39	38	171	84	69	109	87	56	159	54	53	143	90	78															
83	52	81	77	90	50	86	84	69	84	93	58	128	70	61	131	64	81															

附錄二 第二組色盤之所有受試者實驗數據

	參考色			受試者01			受試者02			受試者03			受試者04			受試者05			受試者06			受試者07			受試者08							
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B		
	294	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36
1	41	50	93	94	55	99	230	60	96	5	49	99	214	39	84	21	1	40	219	56	99	117	49	58	40	48	90					
2	30	86	76	73	78	60	220	71	69	8	75	77	167	87	58	86	27	43	223	70	80	219	75	53	30	94	72					
3	257	61	46	195	60	44	48	70	40	201	66	36	44	94	62	203	76	26	166	74	50	299	73	26	254	56	47					
4	183	16	64	114	16	56	21	23	64	268	21	67	9	9	72	253	19	39	341	30	58	312	44	61	172	18	60					
5	155	20	91	103	20	79	359	25	99	129	20	84	30	24	85	246	19	86	298	19	78	322	19	78	163	23	81					
6	167	63	86	126	56	77	359	64	87	128	67	89	39	65	91	273	26	80	301	37	77	292	90	84	168	66	83					
7	58	57	91	132	59	99	266	68	88	39	56	99	200	50	95	130	58	48	192	60	92	155	69	79	57	57	93					
8	58	56	46	119	55	46	260	48	45	68	50	40	292	41	42	265	63	60	2	52	61	126	53	36	58	55	50					
9	0	87	79	63	99	71	150	99	80	226	98	98	126	98	97	30	75	61	145	82	85	252	99	39	0	99	80					
10	114	89	33	193	77	34	326	99	35	41	96	40	16	97	44	30	97	79	358	63	54	27	99	60	98	98	33					
11	292	86	96	264	84	99	77	91	99	262	90	99	172	97	96	189	65	82	120	50	83	168	84	89	307	67	89					
12	79	44	92	115	51	87	346	44	86	85	49	99	11	36	87	198	30	73	0	22	89	51	61	85	72	46	82					
13	155	58	64	209	49	57	350	61	68	117	56	60	316	43	68	43	26	57	282	43	64	28	64	71	152	52	65					
14	319	60	88	258	57	90	64	63	84	214	71	91	94	66	88	171	46	62	156	51	63	205	52	89	321	54	89					
15	76	41	75	148	48	65	265	31	75	149	32	77	226	22	66	51	31	84	128	38	66	38	73	81	66	43	66					
1896																																
			受試者09			受試者10			受試者11			受試者12			受試者13			受試者14			受試者15			受試者16								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55			
22	81	75	242	42	58	76	39	70	262	49	86	238	29	71	161	79	87	170	67	62	0	43	47									
200	66	67	108	89	58	98	46	47	266	99	70	247	52	65	205	68	64	249	58	79	275	57	64									
274	67	72	58	77	74	212	75	40	53	63	51	52	99	27	92	73	25	2	61	75	143	63	51									
181	34	70	0	19	49	203	45	67	13	17	60	17	29	63	292	39	71	54	44	72	105	26	63									
153	90	84	359	10	80	159	28	86	326	18	81	305	31	64	323	42	93	51	9	71	78	37	78									
29	75	54	323	66	82	59	45	74	294	56	82	359	38	68	298	87	92	47	82	91	58	40	75									
283	38	83	277	52	74	31	60	77	232	56	95	238	37	77	186	79	68	109	62	78	0	71	87									
34	82	88	307	49	34	25	49	43	261	51	55	256	50	55	344	62	48	254	51	66	344	58	48									
324	51	93	124	74	83	308	77	50	157	83	76	117	78	47	94	82	60	134	92	63	263	99	83									
261	19	49	359	73	46	55	76	29	313	83	42	359	99	58	359	99	48	0	88	88	25	99	38									
113	47	71	209	66	88	250	67	75	89	73	86	110	73	85	89	91	81	118	61	58	187	85	94									
65	58	83	335	39	65	43	42	87	334	41	89	268	40	82	201	77	81	85	57	60	0	53	80									
2	4	36	18	42	59	76	63	58	337	46	67	20	55	66	313	90	70	0	44	74	29	72	66									
103	66	54	181	63	72	254	59	81	68	57	86	167	53	62	156	64	61	128	45	79	235	59	91									
112	60	59	236	22	65	42	33	63	6	30	75	261	27	62	286	70	55	54	16	46	0	62	62									
1896																																
			受試者17			受試者18			受試者19			受試者20			受試者21			受試者22			受試者23			受試者24								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55			
55	43	81	52	33	75	111	34	74	184	46	66	135	49	80	0	47	70	252	43	78	70	39	73									
48	65	84	282	3	99	359	74	68	129	66	49	115	83	55	0	72	55	99	87	64	45	70	54									
217	71	52	159	76	72	179	88	42	234	87	40	353	58	39	147	45	39	326	64	46	217	70	52									
57	15	46	215	97	56	96	34	53	185	17	59	291	25	49	92	16	59	354	18	57	94	21	50									
135	26	75	351	29	50	310	14	68	163	22	84	277	24	79	68	19	73	311	26	84	104	29	73									
125	51	84	22	52	66	277	36	78	168	65	77	276	54	77	100	54	81	232	55	83	169	43	82									
26	51	83	121	63	45	29	75	97	63	57	91	160	55	87	20	62	79	95	51	92	90	55	75									
32	52	54	258	66	68	260	12	41	99	57	55	150	39	45	11	57	43	142	36	43	92	23	57									
287	80	71	296	77	35	270	92	67	249	99	76	95	90	67	0	60	76	60	99	86	284	66	67									
63	70	39	47	33	74	225	99	60	107	99	33	215	71	31	65	85	32	179	99	37	179	99	32									
253	81	93	103	62	86	50	74	86	205	99	99	10	65	78	246	68	81	344	95	91	221	57	73									
37	22	83	188	31	99	221	17	84	77	47	92	175	30	80	25	41	73	175	33	73	110	45	87									
92	35	55	329	99	53	280	42	59	160	64	59	258	44	60	108	60	62	194	67	62	208	33	58									
259	65	86	215	43	61	72	52	62	210	65	46	27	58	81	251	61	81	266	71	80	210	39	65									
45	16	61	208	58	75	227	8	67	97	41	70	176	22	65	15	30	67	257	43	58	359	37	73									
1896																																
			受試者25			受試者26			受試者27			受試者28			受試者29			受試者30														
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B												
184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55	184	36	55												
359	20	65	7	38	98	0	44	97	57	45	75	40	48	90	65	51	75															
336	57	63	31	87	51	0	74	75	52	91	54	30	94	72	359	77	83															
51	46	58	256	93	28	156	99	49	333	75	50	254	56	47	220	81	38															
0	9	51	217	18	66	93	19	60	251	18	49	172	18	60	232	12	32															
40	19	70	223	24	96	40	21	87	263	29	63	163	23	81	177	15	26															
13	47	66	151	51	99	57	72	84	235	62	71	168	66	83	125	50	88															
250	47	78	43	46	99	27	45	93	94	63	84	57	57	93	359	56	87															
287	41	52	67	48	38	0	66	49	88	64	43	58	55	50	129	25	45															
0	59	57	345	99	88	251	91	73	39	90	62	0	99	80	36	86	85															
70	57	52	123	77	30	20	99	29	183	95	35	98	98	33	71	68	66															
181	57	61	263	78	94	206	97	93	359	78	68	307	67	89	242	53	75															
316	47	69	280	45	99	0	43	90	118	45	83	72	46	82	40	45	83															
32	20	52	138	51	63	27	61	66	206	71	61	152	52	65	59	45	63															
149	35	62	303	71	76	199</																										

附錄四 第四組色盤之所有受試者實驗數據

	參考色			受試者01			受試者02			受試者03			受試者04			受試者05			受試者06			受試者07			受試者08																												
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B																							
1	186	77	24	37	79	31	1	82	14	328	74	44	17	42	38	35	41	53	346	81	32	278	94	41	182	98	15																										
2	56	73	68	284	71	61	203	84	52	197	61	66	198	48	34	232	29	56	1	52	76	209	60	63	55	71	58																										
3	241	25	93	68	22	84	71	31	95	69	54	92	103	41	76	59	27	82	85	20	77	172	25	69	243	26	86																										
4	107	87	12	300	88	14	0	0	99	0	32	12	5	55	12	359	99	43	13	94	18	309	99	15	106	93	12																										
5	268	66	47	37	61	50	39	96	60	97	84	63	50	73	60	51	64	89	130	60	45	176	86	30	269	75	40																										
6	359	100	67	124	99	76	141	87	71	151	93	81	117	84	49	131	99	65	219	96	82	254	99	89	0	99	68																										
7	35	77	84	230	93	84	270	76	99	219	84	90	201	54	58	213	74	98	179	84	80	203	99	80	38	88	84																										
8	162	56	100	324	52	99	0	56	99	0	66	99	309	40	94	320	36	98	291	39	99	301	63	99	165	56	94																										
9	73	36	60	242	38	75	337	33	63	281	46	66	294	33	52	289	33	67	271	42	66	199	39	55	65	46	65																										
10	92	21	88	260	28	99	328	26	87	234	35	99	150	14	67	0	0	70	276	15	86	185	55	99	78	30	89																										
11	203	74	50	0	60	53	51	68	68	44	71	70	296	46	46	55	55	76	301	53	49	306	94	51	202	79	48																										
12	239	58	80	3	61	77	53	72	99	37	67	74	314	46	63	35	65	91	3	51	72	189	68	45	244	65	84																										
13	134	75	36	302	88	35	348	99	40	2	74	55	358	70	52	359	99	72	359	81	49	333	93	64	127	83	32																										
14	229	81	93	345	99	81	57	90	94	68	82	85	329	79	66	55	97	99	65	99	57	8	98	77	228	80	87																										
15	52	91	71	239	97	76	219	79	66	262	93	87	203	95	60	253	77	89	300	74	71	213	65	61	54	98	73																										
受試者09 受試者10 受試者11 受試者12 受試者13 受試者14 受試者15 受試者16																																																					
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B																										
70	50	23	342	67	45	61	82	20	18	65	62	0	46	22	239	75	33	15	66	51	0	99	18	7	45	44	220	50	48	219	74	56	246	81	51	230	31	57	183	81	64	256	19	52	254	78	58						
9	23	62	67	28	54	106	33	91	52	25	47	58	38	63	10	74	77	33	42	74	38	24	80	59	0	2	346	62	15	278	84	9	0	84	14	0	90	231	96	17	0	89	36	305	99	7							
33	63	32	64	81	49	137	61	37	95	66	43	55	84	74	49	94	42	110	39	43	73	66	41	129	77	78	110	79	53	209	99	60	92	99	68	110	99	81	84	99	68	172	67	65	122	99	63						
166	76	79	250	61	66	314	78	74	261	70	89	249	60	83	81	66	70	165	54	64	242	75	71	290	36	82	55	42	97	286	41	88	57	51	95	307	45	88	302	93	99	316	59	80	344	48	92						
182	39	73	185	17	53	333	37	54	331	39	55	247	46	81	192	44	68	113	31	32	323	38	59	266	19	84	216	21	86	333	21	76	12	25	78	303	21	99	37	7	83	32	9	67	299	23	99						
285	58	35	8	56	52	35	86	47	55	72	45	45	68	53	264	67	54	0	45	39	23	70	46	353	65	91	359	46	58	102	53	69	37	54	73	39	55	75	329	75	62	0	43	68	64	61	78						
243	77	34	346	95	45	291	88	34	15	82	32	0	79	53	219	99	69	344	54	49	328	99	35	309	91	71	51	96	82	42	93	75	55	99	84	27	89	84	354	85	80	45	66	93	53	80	80						
164	59	87	235	73	58	209	56	56	257	79	67	219	81	65	134	84	69	185	42	63	270	89	71																														
受試者17 受試者18 受試者19 受試者20 受試者21 受試者22 受試者23 受試者24																																																					
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B																										
0	83	20	100	91	27	359	61	23	157	28	20	359	66	14	76	69	16	294	90	27	0	73	40	349	70	51	103	94	78	216	33	53	199	64	38	265	68	50	0	52	64	132	73	64	206	35	44						
85	36	71	148	32	72	51	66	59	74	53	82	39	23	76	177	21	76	325	19	85	65	52	61	359	79	7	87	99	42	7	79	11	0	0	99	325	99	9	43	80	7	280	91	10	0	0	0						
100	89	56	110	99	45	49	95	37	79	84	65	43	65	35	204	75	31	40	75	40	59	49	56	159	99	63	65	92	90	130	99	39	141	99	84	179	93	64	0	57	41	63	93	71	115	69	43						
337	78	64	101	86	76	205	88	47	201	90	71	193	87	74	0	76	66	142	85	72	197	53	44	23	49	93	125	84	99	0	36	88	9	62	99	346	59	97	73	50	95	250	61	99	197	46	64						
359	36	56	108	51	63	353	7	38	208	50	52	276	36	55	16	35	54	168	36	52	192	63	53	0	21	85	104	25	26	280	0	51	149	24	99	266	20	71	20	15	86	260	21	75	195	23	69						
32	64	44	102	56	34	15	83	50	67	31	48	15	60	39	111	58	32	264	60	49	64	61	52	73	63	62	100	63	53	51	99	64	67	97	79	28	68	74	154	54	65	287	71	97	84	32	46						
0	69	30	116	86	70	0	84	44	0	86	43	335	70	31	48	61	27	197	90	33	0	78	60	46	91	64	181	99	52	20	90	80	56	99	87	27	84	76	144	81	64	291	81	82	37	74	67						
353	62	75	109	71	59	309	50	48	210	89	56	229	99	64	0	78	61	90	91	73	190	99	58																														
受試者25 受試者26 受試者27 受試者28 受試者29 受試者30																																																					
	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B																										
359	70	16	43	58	21	321	99	17	261	99	40	84	75	25	33	71	56	291	59	52	338	44	42	206	69	58	4	77	63	2	75	65	251	22	53	0	18	72	67	29	83	15	27	99	169	38	56	165	42	68	134	76	70
59	55	63	29	34	8	269	99	10	268	99	13	38	99	21	57	78	18	169	56	36	45	78	54	42	86	43	167	89	50	142	53	39	103	92	25	143	85	49	134	99	56	115	99	59	77	75	54	216	93	73	219	64	63
261	52	59	270	79	56	176	88	88	0	47	52	3	77	69	317	60	71	355	50	73	354	78	96	293	59	99	296	78	81	84	57	88	47	63	99	359	38	47	284	56	99	210	34	53	36	92	50	11	44	64	0	58	59
193	44	54	266	28	87	219	23	99	0	21	55	10	25	95	227	29	82	91	26	40	32	85	40	318	99	45	226	47	47	119	75	55	17	94	61	96	44	36	8	81	77	359	72	97	185	93	48	140	62	77	156	51	82
299	31	50	5	85	70	254	74	32	254	64	68	46	88	41	304	93	45	105	50	56	30	99	87	354	76	95	170	45	45	142	84	90	102	72	74	293	54	67	309	99	86	168	97	68	14	99	53	11	88	73	289	48	68

