

訓練學生，學生則根據题目的語句、文字重建老師所要訓練或測驗的概念。由於文字與概念之間的關係非一對一，因此會出現學生所重建的题目的心理模型與老師的心理模型不一致的情形，造成題意理解錯誤及解題失敗（如前面所舉的事例）。此時，出題者必須瞭解學生根據題目文字所重建的心理模型與其設計時所依據的心理模型不一致的地方，並據此做必要的修正，直到題目與心理模型之間的關係變成一對一後，才能避免題意難懂或被誤解，以及解題失敗的情形。

依據這個概念架構，一個好的題目應該如同一項設計得宜的產品一樣，讓人一看就明白如何使用與如何解題。因此，出題的人不但不應該故意設計難懂的題目，更要刻意研究避免題目有文字表述不當的情形。套用因人心理學的說法，就是要設計具有「使用者親和力」(user friendly) 的題目，如此方能發揮题目的真正功效。同樣地，這個概念架構也充分說明了教的研究與學的研究必須互為表裡，彼此學習，才能共同研究出一套有助於教學的辦法來。

認知科學在現代生活中的影響與日俱增。我們在思考它的應用層面時需要有創意，從各種不同的角度切入。這有賴結合理論界和實務界的不同專家一起共同討論和激盪。「產、官、學合作」這個大家耳熟能詳的運作模式並非某些特定學科領域的專利。認知科學若也能引進這種模式，必有助於提升台灣社會追求現代化的位階。亦即，現代化不能只停留在物質文明的增進，更要進一步地追求人的價值這種精神文明的躍升。認知心理學和認知科學經由對人的研究和瞭解，產生對人的重視，所以可以在以物質文明為主導的現代化過程中注入更多人的因素和人的考量。認知心理學和認知科學家寧非任重而道遠嗎？（2000年5月4日收件，作者為中正大學心理系暨認知科學研究中心教授及本刊編輯委員）

• 作者回應 •

色彩視覺的三色論：相關現象與解釋

葉素玲 陳一平

感謝張寅教授對〈色彩視覺的三色論及其應用〉一文的指教與補充。在原文中，繼簡介了色彩的功能及色彩研究的特色之後，我們指出，「由於色彩研究的廣度與深度實非一篇論文所能涵蓋，本文將集中焦點於與螢幕或其他電子展示的設計等當代色彩應用有關的研究」（頁 120）。基於此，我們當初原無意針對為何大多數動物

沒有色彩視覺以及人類色盲，色弱等的原因作進一步的探討。不過張文的確也指出一個重要的關聯，亦即這些原因都與三色論有關。在此我們樂意提出一些補充說明。

在原文介紹了三色論的理論推導之後，我們簡述了由色彩配對實驗中發現某人若至少需三色方能達成配對，代表內在有三套系統（此即為一般正常人的情況），若兩色便能達成配對，則有兩套系統，依此類推。而少於三套系統者，我們採用了色障這個名詞來統稱那些所見色彩與正常色彩視覺者不同的人。事實上，即使是具有三套系統的人，同一人也會因刺激呈現的大小、相對於中央窩的位置等等因素而將同一刺激看成不同的顏色，而不同人更可能因為其水晶體對短波的吸收率不同以及黃斑色素的改變（誠如張文所言），而將同一大小、位置的刺激看成不同的顏色。近年來分子生物的研究更發現即便是正常人的光色素（photopigment），不同人的基因表現型也會有所不同，而導致所見互異。就此觀點視之，人類的色彩視覺存在著各種變異，因此真正可稱為色盲（color blindness）者應該僅限於那些完全看不到不同顏色（只見不同程度的灰階）的人。有兩種情況符合所謂色盲的稱呼：一是完全沒有視錐細胞者（rod monochromat），另一是只具有一種視錐細胞者（cone monochromat）。兩者的差別在於前者還有畏光、視力差、眼球抖動等症狀。

對一般具有正常色彩視覺的人而言，其三種分別對短、中與長波敏感的視錐光色素（cone photopigment）最靈敏的波長大約在 419nm, 531nm 與 558nm 處。若仍有三種視錐光色素，但這三種光色素中有兩種彼此間的差異（通常是對長波敏感與對中波敏感的光色素）比正常人小，導致其色彩視覺與正常三色視覺有差異者（通常是辨色能力變差），我們稱之為異常三色視覺者（anomalous trichromat）。至於為何會有此類異常現象，則是由於控制人類光色素的基因中有若干不同的表現型所致。這些人雖然辨色能力比正常人略差，但基本上仍具有三種光色素，只是由於不同的基因表現型而導致與正常人有著不同的色彩空間。最極端的例子可想成這兩種光色素對波長的靈敏曲線幾乎相同（到達無法分別出為兩種的程度），則相當於兩者可視為同一種，這即是兩色視覺者（dichromat）的情況。一般認為兩色視覺者是由於缺少其中一種光色素所致，例如著名的化學家 John Dalton 即為此例之一，由於他留下自己的眼睛供後世研究，之後發現他的視網膜中缺乏對中波敏感的光色素。

由於哺乳類中已知僅有靈長類與人類具有三種視錐光色素，其他則頂多具有兩種光色素，因此這些哺乳類動物的辨色能力比起人類而言要來得差得多，其原因就像上述人類的兩色視覺者或者色盲。然而人類並非辨色能力最好的動物，有些昆蟲、鳥類、魚類等就具有比人類更好的色彩視覺，這是由於它們相當於具有三

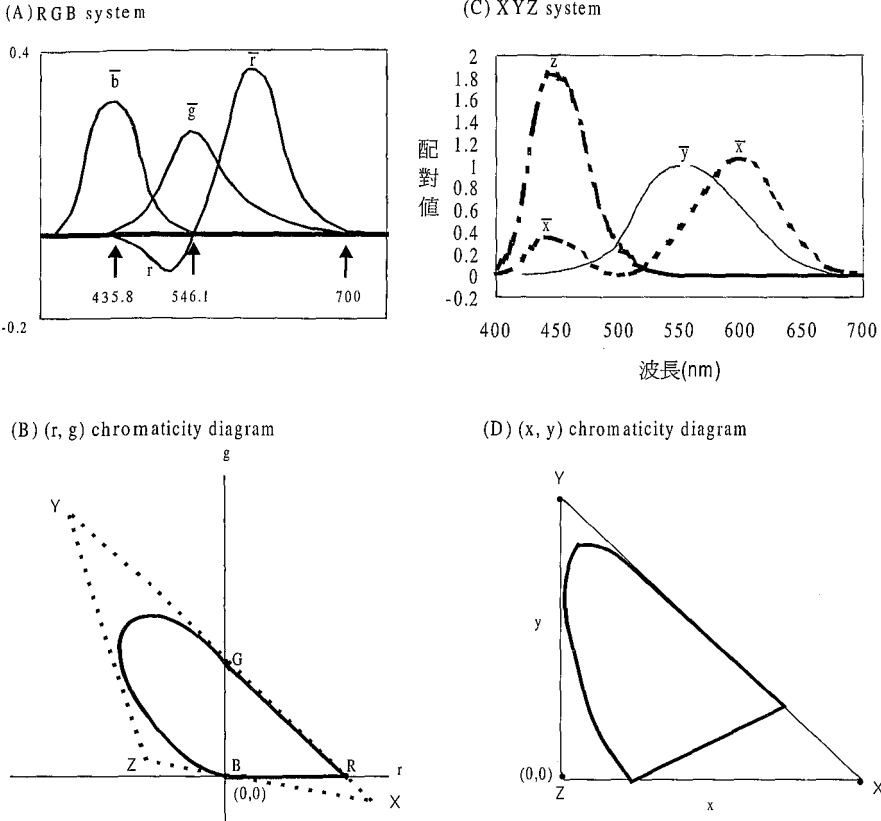


圖 1 RGB 系統與 XYZ 系統的關係 (改畫自 Wright, 1991)

種以上可對不同波長敏感的系统。關於各種動物色彩視覺能力的詳細資料，請參閱 Jacobs (1981) 的 *Comparative Color Vision* 一書。

至於 RGB 系統與 XYZ 系統的關係與來源則簡要補充如下。RGB 系統所採用的三種原色光 $R=435.8\text{nm}$ ， $G=546.1\text{nm}$ ， $B=700.0\text{nm}$ 都是物理上實存的單色光，利用色彩配對具線性加成的特性，可依式子 $t(T) \equiv r(R) + g(G) + b(B)$ 配出各種可見光 T ，其中 t, r, g, b 為各色光的單位量。由於 $r+g+b=1$ ，因此只需標定 r 與 g 兩值便可 (b 值則可由 $b=1-r-g$ 得知)，此即為 RGB 系統的二度空間座標值 (r, g) 。而針對各單色光而言，所需 RGB 三種原色光的比例可得出如圖 1(A)，由此函數圖可知有些數值是負值 (如左方的 r 曲線)，為免除負值在使用上的不方便，才有 CIE XYZ 系統的發展 (見下文)。圖 1 (B) 則列出 RGB 系統的 (r, g)



座標系，粗線所顯示的便是所有單色光的位置（spectrum locus），只有圈在此粗線範圍內的光線方為人眼可見的色光。

XYZ 系統則採用三種物理上非真實存在的色光，見圖 1 (B) 的 X, Y, Z 三點所示。選擇 XYZ 三點時的主要考量之一，便是所有的單色光均能包含於其所界定的三角形範圍內，如此可使最後計算所得的可見單色光都有正的座標值，以方便工業界使用。另一方面，XZ 線段的明度值為零，因此單由 Y 色光便可決定明度值。由於 XYZ 點都落在圖 1 (B) 的粗線範圍外，為物理上不存在的色光，但由其在 (r, g) 座標系上的位置，可將 XYZ 三色光分別想像成是超飽和的紅光、綠光與藍光。基於色彩配對的線性加成特性，可利用一組三原色光所得的配對結果轉換成另一組三原色光所得的配對值，在數學上只是改變座標值而已。RGB 系統與 XYZ 系統的互相轉換便是基於此原理。（原則上，當然可以有各種轉換其他三原色光的可能性，只是 CIE 1931 基於上述目的選擇了一套非物理實存色光的 XYZ 系統）。圖 1 (C) 便是 RGB 系統經過數學轉換後所得的 XYZ 系統，此時所有的配對值都是正值，而 Y 色光的配對函數即為明度敏感曲線。將此三色配對函數轉成二度空間座標值（同理， $x+y+z=1$ ，因此只需 x, y 兩值即可），便可得現在一般工業界所使用的 CIE 色彩圖，座標值為 (x, y)。在此 (x, y) 座標系中所有可見光的座標值都會是正值，見圖 1 (D)。以上只是概念性的說明，對其中的數學推導過程以及深入細節討論有興趣的讀者可參閱 Wyszecki 與 Stiles (1982) 的 *Color Science* 以及 Hunt (1987) 的 *Measuring Colour* 這兩本書。（2000 年 4 月 20 日收件，作者葉素玲為台灣大學心理系副教授，陳一平為陽明大學通識教育中心副教授，二人為〈色彩視覺的三色論及其應用〉一文的共同作者）

飛航安全：座艙自動化的人因議題

葉怡玉

自動化的引進在許多領域都造成工作的重大改變。誠如回應文（見本期第 14 頁〈知覺與注意力在飛機座艙自動化系統中的角色因應〉）作者蔡秋月博士所說，就飛行員而言，最大的改變便是從「操作者」變成「監控者」。也因為這樣的角色改變，飛行員與自動化系統互動裡的人為因素議題，一直是飛行員、飛航安全專家、以及學者認為是「玻璃座艙」（Glass Cockpit，意指先進科技引進自動系統於設計與製造飛機系統，以區隔於傳統的機械性的座艙）裡的重要議題之一。