

弱視者のオブジェクト認識に有効な視感測色の検討

A study on effective visual colorimetry for object recognition of low-vision individuals

巽 久行⁽¹⁾ 村井 保之⁽²⁾ 小林 真⁽¹⁾
 Hisayuki Tatsumi Yasuyuki Murai Makoto Kobayashi
 関田 巖⁽¹⁾ 宮川 正弘⁽¹⁾
 Iwao Sekita Masahiro Miyakawa

1. はじめに

正常な色覚と比べて色を感じる仕組みが異なっている色覚異常は、色覚以外の視機能には問題がなく、その異常は両眼性である。人の網膜や視神経には、色を区別する組織があるので、それらが正常でない弱視もまた、色を感じる仕組みに異常が見受けられるが、その所見は複雑である。例えば、点字を使用する程度の低視力でも色の区別ができるものがある一方で、拡大した墨字を読める程度の視力があっても色の区別ができにくいものもある。

本研究は、弱視の色度弁別能力を数値化するための視感測色手法を構築することを目標としている。弱視の視認において、空間内での色差を評価することは彼らの許容限界色度を考慮する上で重要である。即ち、事前に被験者の色差を分析しておくことで、物体色を感知しやすい光源色に擬似的に変化させて分光分布を変えることや、偏光効果を暫定的に与えることにより、シーンカメラを通して環境を視たときの視感や視認を向上させる支援を、カメラを接続した PC 上の画像処理で行うことが可能となる。

2. 研究の背景

人は RGB の 3 種受容器で色を知覚するというヤング・ヘルムホルツの三原色説を色体系の前提として、RGB の単波長光 ($R=700\text{nm}$, $G=546.1\text{nm}$, $B=435.8\text{nm}$) を定めて (この定義を CIE RGB と呼ぶ)、等色実験 (三原色を混色して等色に見えたときの各混色量を測る) から等色関数を定義した。しかし、CIE RGB 表色系の等色関数は $440\text{nm} \sim 545\text{nm}$ (青紫～黄緑) の色で負の値が生じる [1] (この色域の単色光を正確に再現できない) という問題が生じ、それを回避するために考えたのが XYZ 表色系である (表色を実在しない色、即ち、虚色 XYZ で定義したと解釈できる)。

各 X, Y, Z は概ね R, G, B に対応した色と考えられるが、XYZ 表色系は定量表示を目的としたため、(1) 試料を照明する光源の分光分布、(2) 試料の分光反射率、(3) 色の見え方 (眼) の標準的感度 (測色標準観測者の等色関数)、の積で定義している。即ち、(1)と(3)を一定にしたときに、(2)の試料色の分光反射率からそれと同じ色になる混色量で色を表示する (但し、XYZ は虚色なので、その混色量からどのような色であるかを判断するのは難しい)。そのため、通常は混色量の比率 (混色比) による色度図で表現される。

この色表示は混合比 (比率を小文字で記すと $x+y+z=1$) なので、色度図上 (もしくは色度座標上) では z を用いずに x と y の 2 つの比率で表示した xy 色度図を使用している。

この xy 色度図 (図 1 参照) は、 x を横軸に、 y を縦軸にした釣鐘形で、主波長 (色相に相当) と刺激純度 (彩度に相当) の 2 つから表現され、明るさ (明度に相当) は表されていない (Y は明るさを表す刺激値となるので xy 色度図で色を表す場合、 Y_{xy} の三要素で明度・色相・彩度の情報を示すことができる)。色相は、スペクトル軌跡 (釣鐘の曲線) 上で赤・橙・黄・緑・青・藍・青紫などに、純紫軌跡 (釣鐘の直線) 上で紫・赤紫などに变化する。 xy 色度図の白色点 (同図中で高と表示) からスペクトル軌跡や純紫軌跡に向かって (同図中で低と表示)、彩度が变化する。XYZ の混色は全て xy 色度図の釣鐘形領域内に位置する。

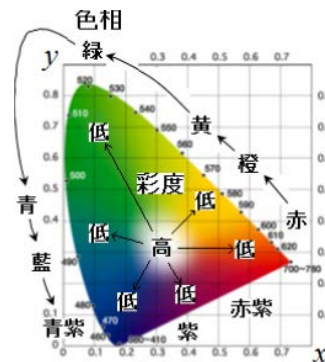
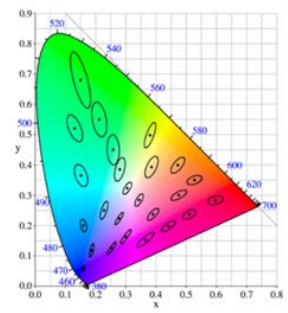
図 1. xy 色度図

図 2. MacAdam の楕円

米国の物理学者であった MacAdam 博士は、 xy 色度図上の 25 点で等色実験を行い、その色を楕円の中心として、区別できない色の範囲を xy 色度図上に表現した色弁別楕円を提唱した [2]。図 2 に色弁別楕円を示す (説明のため、図内では 10 倍の楕円で強調している) [3]。この色弁別楕円は xy 色度図上の色差には不均等性があることを表しており、様々な色 (xy 色度点) に対して、晴眼でも区別がつかない色差の範囲が存在することを示している。例えば、右下の赤色系の部分では楕円が小さいことから見分けられる色差が小さく (即ち、人は赤色の色差に関しては敏感)、一方、左上の緑色系の部分では楕円が大きいため、色差が大きくなければ見分けられないことを意味している。この特質は人の眼に共通であり、当然、弱視者もこの傾向にある。

RGB による測色は CIE RGB 以外にも幾つか提唱されているが、本報告ではテレビ放送の色域として使われてきた

(1) 筑波技術大学, Tsukuba University of Technology

(2) 日本薬科大学, Nihon Pharmaceutical University

NTSC RGB (NTSC: 全米テレビジョン放送方式標準化委員会の定義) を用いて、以下の式

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{M} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \text{ 但し } \mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0.6067 & 0.1736 & 0.2001 \\ 0.2988 & 0.5868 & 0.1144 \\ 0.0 & 0.0661 & 1.115 \end{pmatrix}$$

で RGB 表色系と XYZ 表色系との対応をとる。

3. 弱視者の視感測色について

眼球運動計測装置は瞳孔の動きを解析することで被験者の視点を追跡する機器であり、被験者の目線で空間を捉えた映像 (即ち、シーンカメラによる映像) 内に視点位置を同定することができる (映像内の視点座標が記録される)。著者等は過去に、所属機関に在籍する弱視学生 (矯正視力が 0.1 未満) を被験者として、眼球運動計測装置を用いた屋内屋外歩行時における公共サインの視認具合を調査したことがある [4, 5]。その際に、被験者の中で眼球振動のある学生は瞳孔解析を行えなかったが、眼球振動のない学生は視点の精度を高く望まなければ、瞳孔解析が可能であった。

図3は図書館内のトイレを探す際の、標識を視認する男性弱視者の視点軌跡を示している。同図において、赤線の交点が最終視点位置、青線の折線が過去の視点位置の軌跡である。同図から被験者は至近距離でも視認できていない (視感がない) 様子が分かる。この原因は、男性マークと標識の他領域や背景のタイル壁との色差が殆どないので、男性マークを見つけることが困難であったことを示唆している。図4は、10度視野で可視波長域の平均的な光として、図3内の男性マークの色度 (基準値) とそれ以外の複数個所で測定した色度 (測定値) とに対する xy 色度図上の点を表示したものである。同図から、複数箇所の全ての測定値 (図中でカラーの座標点) は基準値 (図中でグレーの座標点) の座標 (0.303, 0.335) と、殆ど色差がないことが分かる。



図3. トイレ標識の視認

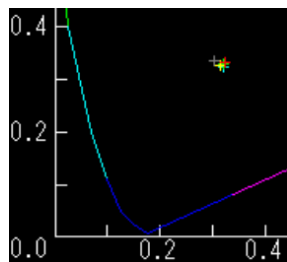


図4. 標識の色度点

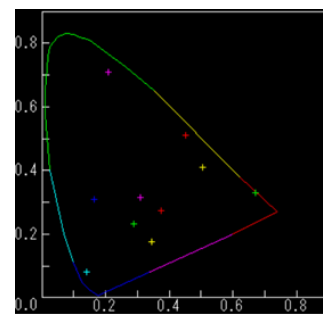
色相 (Hue), 彩度 (Saturation), 明度 (Value) の3つからなる HSV 色空間において、弱視者は色相と彩度の弁別能力が弱いと言われている。即ち、明度の差が色の違いの判断基準となる場合がある (明度を輝度 (Luminance) に置き換えた HSL 色空間でも同様である)。HSV 色空間で色を表す場合、マンセル表色系を用いることが多い。色相は際立った波長の色変化として説明されているが、同じ波長が常に同じ色相に見える訳ではない。マンセル表色系は、色を R (赤), Y (黄), G (緑), B (青), P (紫) の5つに分けて、その中間色に YR (黄赤), GY (黄緑),

BG (青緑), PB (紫青), RP (赤紫) の5つを設けた (さらに、それらを10分割して合計100の色相で表した)。

マンセル表色系 (色相環とも呼ぶ) は G が色相の中心に位置し、この色相域では MacAdam の色弁別楕円も大きい。そこで、G を基準色として他の色を円で描いた図5に対して、各色の xy 色度点と明度を測定した結果を図6に示す。図6より、座標 (0.451, 0.511) にある Y は、白を除けば最も明度が高くして色差のバランスも良いことが分かる。



図5. Gを基準とした色相 (両端に白と黒を追加)



(a) 各色相の xy 色度点



(b) 各色相の明度

図6. 図5に対する xy 色度点と明度

4. まとめ

弱視者が転倒し易い石段などは反射輝度が少ない、即ち、明度差を感じない建造物である。しかしながら、明度が同じであっても色相によって明るく感じる場合がある。これは環境要因や弱視者個人の差もあるので、視点解析データを学習させることで有効な視感測色を計りたいと考えている。色相の変化で視感が上がらない場合は空間周波数を高める、即ち、濃淡の変化を画像に施すのは有効である。

参考文献

- [1] 藤原: <http://w3.kcuu.ac.jp/~fujiiwara/infosci/colorspace/colorspace1.html> (2018-6-29).
- [2] David L. MacAdam: "Visual sensitivities to color differences in daylight", J. Optical Soc. Am, Vol.32, No.5, pp.247-274, 1942.
- [3] <http://k-ichikawa.blog.enjoy.jp/etc/HP/js/CIEXYZ2/cie.html> (2018-6-29).
- [4] 巽, 村井, 関田, 宮川: "弱視の視線追跡による公共サインの視認調査", 第7回情報科学技術フォーラム (FIT2008), Vol.3, No.K-032, pp.587-588, 2008.
- [5] 村井, 河原, 巽, 関田, 宮川: "視線解析による弱視者の視認支援への取り組み", 第9回情報科学技術フォーラム (FIT2010), Vol.3, No.K-055, pp.743-744, 2010.