

知っておきたいキーワード

色表現とキャリブレーション

兼松 圭†,††

† 九州大学 芸術工学研究院

†† 九州大学 芸術工学研究院 応用知覚研究センター

"Color Description and Calibration" by Tama Kanematsu (Faculty of Design, Kyushu University, Fukuoka/Research Center for Applied Perceptual Science, Faculty of Design, Kyushu University, Fukuoka)

キーワード：色, 色表現, キャリブレーション, 等色関数, 色彩科学

まえがき

ディスプレイやタブレットを使って実験や試験を行うとき、色をどのように定義すべきか迷ったことはないで

しょうか？ 先行研究で使われている色を再現したいけど、どうすればよいかわからない…といった状況もあるでしょう。本稿では主流な色の表記方法から、ディスプレイに表示する色の

キャリブレーション方法、ディスプレイ使用時のよくある注意点、の三つを簡単に解説します。

色の表記方法

色の表記方法は、①色名表示、②RGB値表示、③色度表示が主流です。

①の色名表示は、赤、緑、青などの三原色、それらの中間色である黄色や水色といった代表的な色を示すときに有効です。色名は簡便に表記できる利点がありますが、微妙な色合いの表現には向きません。また、色名から想起する色が個人ごとに異なる点にも注意が必要です。標準化されたマンセル表色系などの色名を用いることで、これらの問題は軽減しますが、やはり厳密な色の定義には向きません。

②のRGB値表示は、三原色で構成されるディスプレイの入力値を示す方法です。①の色名表示と合わせてRGB値を表記することもあります。RGB値表記は色合いを表現できる利点があります。例えば、黄みがかった赤を表記したい場合には、 $RGB = (255, 100, 0)$ のように記載します。しかし、混色の経験が少ない場合には数値を見ても黄みがかった赤であると理解しにくいでしょう。

③の色度表示では、標準化された色度空間内の座標で色を定義します。色度とは、三原色で表現される色を平面上の座標で表す方法です。例えば、

CIE1931 xy色度図における色は、 $x, y = (0.3127, 0.3290)$ のように表記します。RGB値は輝度も情報に含みますが、色度は色のみを示します。論文などでは色度と輝度の併記が一般的です。また、色度を使うことで個々のディスプレイによらない色の表現が“ある程度”は可能になります。よく使われる色度空間は、国際照明委員会 (CIE) が定めたCIE1931 xy色度、CIE1976 xy色度やCIE1976 $L^*a^*b^*$ 色度などです。色度空間ごとに特徴があるので、研究目的や実験設計に合わせて適切な色空間を用いることが重要です。

色をディスプレイに表示する

先の項目で述べたように、色表記は①色名、②RGB値、③色度の3種類がありました。それぞれで表記された色を手持ちのディスプレイに表示する方法をご紹介します。

●色名の場合

色名しか情報がない場合は、自分で色名に相当する色を決めなければなりません。赤や青といった代表的な色名はあまり問題ないですが、黄緑やピンクといった中間色は色を定義しにくいでしょう。参考先として、マンセル表色系で定義された色相や、JISで定義された慣用色名とRGB値などがあります。

●RGB値の場合

RGB値で表記されていた場合、そのRGB値の色を手持ちのディスプレイにそのまま表示します。しかし、ディスプレイが変わると表示される色も異なることに注意が必要です。例えば、白を表示したとしても、スマートフォンとノートパソコン間でその明るさや色みが違うことに気が付きます。この違いは、ディスプレイの輝度範囲やガンマ値、色域がディスプレイ間で異なるためです。そのため、例えばRGB値が同じであっても過去の文献と同じ色は表示できません。文章には、ディスプレイの型番と世代やグレードを付記したノートPC名など、使用する機材の詳細を正確に記載することが大切です。

●色度の場合

色度の場合、その色度をディスプレイのRGB強度値に変換しなければなりません。変換方法に進む前に、はじめに色空間の概略を説明します。人間の視覚は、長波長・中波長・短波長光に感度をもつ3種類の錐体視細胞(L・M・S錐体)の応答に基づいているため、3色の光をさまざまな割合で混合することで多彩な色を知覚します。この割合を可視光の波長範囲で測定すると等色関数が得られます。図1はCIE1931 RGB色空間の等色関数を

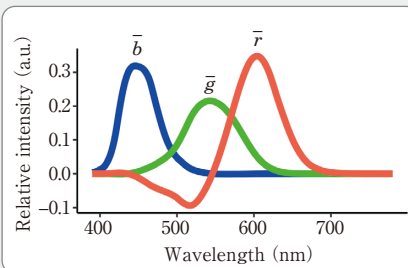


図1 CIE1931 RGB 等色関数

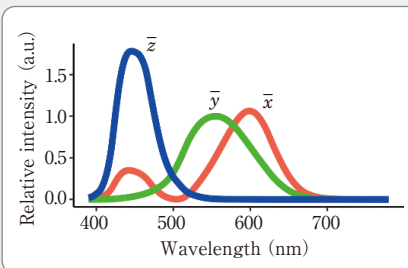


図2 CIE1931 XYZ 等色関数

示します。 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ はそれぞれ長波長光、中波長光、短波長光にピークがある三つの単色光の混合割合を示します。負値があるRGB色空間はなにかと不便だったため、現在では改善されたCIE1931 XYZ(図2)がよく使われます。

ここで、可視光範囲に放射強度をもつ光を $\bar{p}(\lambda)$ として、 $\bar{p}(\lambda)$ を表現する等色関数の各関数の強度を求めます。この強度を三刺激値といいます。刺激値は各関数と $\bar{p}(\lambda)$ の一致面積を示し、数式では、

$$X = \int_{\lambda} \bar{p}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

と表現されます。 $\bar{p}(\lambda)$ がディスプレイの光ならば三つの単色光で構成されるので、

$$\bar{p}(\lambda) = \bar{p}_r(\lambda)R + \bar{p}_g(\lambda)G + \bar{p}_b(\lambda)B \quad (2)$$

となります。ここで、 $\bar{p}_r(\lambda)$ 、 $\bar{p}_g(\lambda)$ 、 $\bar{p}_b(\lambda)$ はそれぞれ各単色光のスペクトル、 R 、 G 、 B それぞれは、0から1で表現されるディスプレイの単色光強度です。式(1)は Y と Z でも同様であるので、式(2)とあわせて三刺激値XYZは行列式で表現できます。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = T^t P \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 T と P はそれぞれXYZ等色関数、ディスプレイの各単色光のスペクトルを列方向に配置した行列です。つまり、三刺激値は簡単な行列計算で求めることができます。

ここで、三刺激値 Y は輝度であること、かつ三次元表現が直観的に把握しにくいいため、式(4)の通り変換を行います。

$$\begin{aligned} x &= X / (X + Y + Z) \\ y &= Y / (X + Y + Z) \\ z &= Z / (X + Y + Z) \end{aligned} \quad (4)$$

この x と y が色空間における色度です。三刺激値 Y が輝度なので、 x と y の色度とあわせて xyY 色空間と呼ぶこともあます。

あるXYZに相当するRGBの三刺激値は、 $T^t P$ を M と置いた変換行列の逆行列から次のように求められます。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(5)によって、任意の xy 色度を表示するために必要なディスプレイのRGB強度が求められます。このRGB強度は0から1に正規化された輝度で表現されているので、ディスプレイの最高輝度とガンマ値からディスプレイの入力値へ変換してください。

XYZ等色関数はWebから入手可能です¹⁾。一方、ディスプレイの分光特性は分光放射計で測定しなければならず、入手が難しい場合があります。そのような場合でも、ディスプレイの各単色光の xy 色度と輝度がわかれば変換行列 M を求められます。 xy 色度と輝度は色彩計で測定できます。色彩計は精度が少し悪くなるものの比較的安価なため、入手しやすい利点があります。

xy 色度と輝度から変換行列 M について求めます。例えば、赤の三刺激値では、

式 (3) は式 (6) のように表現されます。

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

ここで X_r は測定された赤の xy 色度から求められた XYZ 三刺激値です。緑と青

の刺激値についても同様であるため、変換行列 $\mathbf{M}$ はディスプレイの XYZ 刺激値のみで表現できます (式 (7))。

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \quad (7)$$

最終的に、 xyY 色空間と XYZ 三刺激値の変換は次の通りです。

$$\begin{aligned} X &= Y \frac{x}{y} \\ Y &= \text{輝度} \\ Z &= Y \frac{1-x-y}{y} \end{aligned} \quad (8), (9), (10)$$

色表示の注意点

● 液晶ディスプレイの待機時間

液晶ディスプレイのバックライトは、画面表示開始時から徐々に暗くなり、数十分で明るさが一定になります。測定や実験前には、ディスプレイを一定時間は起動しておき明るさを安定させるとよいでしょう。ディスプレイの特性を知るために、事前に明るさ変化を測定することも重要です。

● ダイナミックコントラストレンジ
一部のディスプレイには、見た目を

よくしたり、発熱や消費電力を抑えるために画面の明るさを動的に調整する機能が搭載されています。機能があるか確認するには、ディスプレイに黒背景と白い矩形を表示し、その矩形サイズを変更してみてください。矩形サイズに応じて画面の明るさが変わる場合は調整機能が働いています。動的に明るさが変わる場合、上記の色度変換は成立しません。大画面テレビや、明るいディスプレイ、有機 EL ディスプレイなどの使用は特に注意が必要です。ディスプレイの設定から機能を停止で

きる場合もあります。

● 広色域ディスプレイ

等色関数には個人差があり、標準化された等色関数と色の見えが一致しないことがあります。特に、狭帯域スペクトルを使用した広色域ディスプレイでは、その個人差が顕著になる可能性が指摘されています²⁾。検証の目的によっては、広色域ディスプレイが適さない場合があります。

むすび

本稿では、色の表記方法から表示方法について、色彩科学のごく一部を抜粋し概説させていただきました。心理物理学的手法と実験・観察に基づいた

色彩科学による色の表現は、議論と精密な検討が重ねられた学問領域です。感覚上の色をどのように定義しどのように表記するか、という点に学問上の面白さがあるでしょう。さらに詳細を知りたい場合は、『色彩工学の基礎』³⁾

といった書籍をおすすめいたします。また、色度変換の変換行列を求める計算過程は一部のみを示しました。詳細は Stockman と Brainard による解説をおすすめいたします⁴⁾。

(2025年7月31日受付)

参考文献

- 1) A. Stockman: "CVRL main", <http://www.cvrll.org/>
- 2) R. Ramanath: "Minimizing observer metamerism in display systems", *Color Research & Application* 34, 391-398 (2009)
- 3) 池田光男: "色彩工学の基礎", 朝倉書店 (1980)
- 4) A. Stockman and D.H. Brainard: "Handbook of Optics: Volume III", In *Color vision mechanisms* (2010), doi:10.1016/0042-6989(84)90032-4



なかまつ たまき
兼松 圭

2022年、豊橋技術科学大学大学院博士課程修了。同年より、九州大学大学院芸術工学研究院メディア設計部門助教(特定プロジェクト教員)。視覚・色覚・錯視、心理物理実験を専門とし、網膜や初期視覚野に注目して色覚メカニズムを解明する研究に従事。博士(工学)。