

知っておきたいキーワード

色空間

横井 健司[†]

[†] 防衛大学校 応用物理学科

"Color Space" by Kenji Yokoi (Department of Applied Physics, National Defense Academy, Kanagawa)

キーワード：表色系，色度図，測色，色覚

まえがき

色は私たちにとって大変身近な存在であり、ファッションや芸術といった感性的な分野から製品設計・印刷塗装といった工業的分野までさまざまな場

面で扱われています。この色の区別については、日常生活であれば「赤」や「青」といった表現でも十分に意思疎通できますが、実際には私たち人間は数百万色以上を識別できるとも言われており、上に挙げたような専門的な

分野では、ちょっとした色の違いが大きな問題となってしまうことが多々あります。そこで大切になってくるのが色空間といった色を定量的・客観的に表すための道具なのです。

人間の色覚

そもそも私たちがさまざまな色を識別することができるのは、網膜に光の波長に対する感度が異なる3種類の視細胞（錐体）が存在するためです。図1は、これら3種類の視細胞（それぞれL錐体・M錐体・S錐体と呼びます）の分光感度を表しており、可視光全域をカバーしているのがわかります。

ここで、3種類と聞くと「光の3原色」を思い浮かべる人もいるでしょう。この言葉は赤・緑・青の3色の光を適切

に重ね合わせることですべての色を再現できることを意味しており、ディスプレイやプロジェクタなどは、これらわずか3色から色鮮やかな映像を作り出すことができます。実はこのことも、人間の視細胞が3種類あるということに由来しています。ただし、それぞれの視細胞が赤・緑・青の直接的なセンサになっているわけではないことに注意が必要です。図からも明らかとなり、互いの分光感度には多くの重なりがあり、私たちはそれら全体の出力比率から色を認識しているのです。

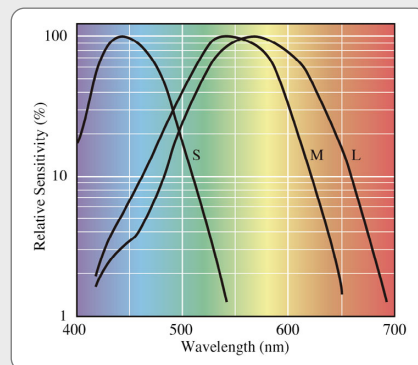


図1 錐体の相対分光感度

色空間

私たちが視細胞からの三つの出力を基に色を識別しているということは、何らかの三つのパラメータ (X, Y, Z) によってすべての色が表現できることを意味します。したがって、図2のようにこれらを基本軸として空間を構成すると、任意の色はこの空間内のベクトル (Q) として表現できます。このような色を表すための空間を色空間と呼びます (当然ながら、どのような三つのパラメータを軸とするのかによって色空間も変わってきますが、これについては後で説明します)。

さて、このようにすべての色は色空間内で表現できるのですが、立体のま

までは図示し辛く、扱いにくいという欠点があります。そこで、地球儀の代わりに地図を活用するのと同じように、色空間の代わりに平面上に色を表すことができれば便利なのですが、3次元のものを2次元に変換するのですから、何らかの情報を省略しなければなりません。任意の色は空間内のベクトルとして表されているわけですが、ベクトルの長さは色光の強さ (明るさ) に対応し、色相や彩度といったいわゆる色成分とは関係ないと考えると省略できそうです。そこで、ベクトルの長さは無視して、各軸の基準となる点を結んだ単位面とベクトルの交点を求め、これをさらにXY平面上に射影すると、直交座標上の点 (x, y) として色

を表すことができるようになります。

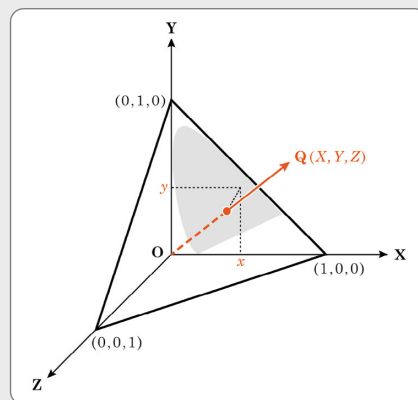


図2 色空間によるベクトル表現と平面への変換

色度図

このようにして作られた平面座標系を色度図と呼びます。図3は、CIE (国際照明委員会) により1931年に定められたxy色度図と呼ばれるもので、基本的な色度図として現在でも幅広く活用されています。大まかには、左下が青 (紫)、上が緑、右が赤の領域になります。なお、半楕円形に一部だけ色が塗られています。世の中に実在するすべての色は、この範囲中にプロットされ、これより外に出ることはありません。これは、図1で説明したとおり、視細胞の分光感度には重なりがあり完全に独立ではないためです。

図中に三つの三角形が書かれていますが、これはディスプレイなどの各規

格の色再現域 (ガマット) を表しており、頂点がそれぞれの3原色に対応します。先ほど、赤・緑・青の3原色ですべての色を再現できると書きましたが、厳密には、3原色で囲われた範囲内の色しか再現できません。そのため同じ写真や映像であっても、それを見るデバイスや規格の違いによって色の再現性が異なってくるのです。

なお、図3に限らず、色度図の背景に色が塗られている場合がよくありますが、あくまでもイメージであり、各点が正にその色度座標の色を表しているわけではないことに注意してください。印刷物、ディスプレイ画面いずれにおいても、そもそも特定のインクや原色により再構成されているわけですから、正確に塗ろうとすると、それぞ

れの色再現域の中しか塗れなくなってしまいます (この辺りは、カラーマッチングという話題と関係してきます)。

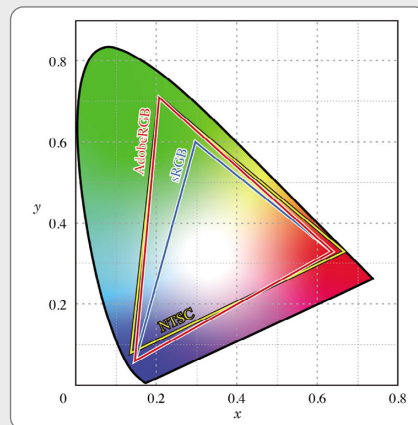


図3 xy色度図と各規格の色再現域

さまざまな表色系

色空間や色度図は、どのようなパラメータや計算式を用いるかによっていろいろな種類がありますが、このパラメータの取り方や計算方法を体系化したものを表色系と呼びます。図2の色空間も正確にはXYZ表色系と呼ばれるもので、xy色度図とともに測色の基礎

となっています。

ただ、これらには均等性に問題があり、色空間内の距離と実際の色の変化量 (色差) が、場所によって大きく異なっています (図3で相対的に緑の領域が広いのもxy色度図が均等ではないためです)。そこで、計算方法を改良し均等性を高めた色空間の一つが、1976年に定められたL*a*b*表色系

(一般にCIELABとも呼びます) で、L*が明度、a*とb*が色成分を表します (図4)。このように、色空間内の距離が色の変化量と同じになるような色空間を、特に均等色空間と呼び、XYZ表色系に比べ均等性は大きく改善されましたが、まだ完全ではなく、現在もより完全な均等色空間の構築に向けた取り組みが進められています。☞

さて、これまでに紹介してきた表色系は、光の3原色に代表されるように、色光を重ね合わせたときにどのように見えるのかという混色実験を基に構築されているため、表色系の中でも大きく分けて混色系と呼ばれています。この混色系は色覚の基礎的なメカニズムとの関連性が強いので、数値的に扱うことが容易なのが特徴です。機器で測定したり、表色系間で変換したりということも比較的楽なので、工業分野でよく用いられていますが、色そのものの見えが、直感的にわかりにくいという欠点があります。

これとは逆に、色の3属性(色相・彩度・明度)のように色の見えそのものに基づいた表色系を、顕色系と呼びます。マンセル表色系は、顕色系の代表

的なもので、元々は1905年、アメリカの画家マンセルにより考案されたましたが、その後アメリカ光学学会による修正を経て現在の形になりました。この色空間はH(色相)・V(明度)・C(彩度)のパラメータを元に作られた色票(図5)により構成されているため、色の見え

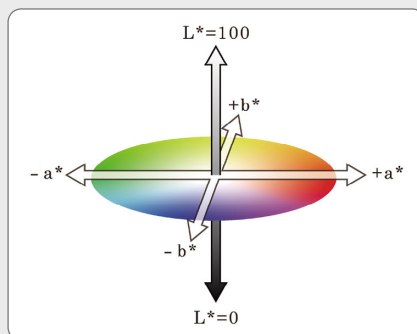


図4 L*a*b*色空間

を直接把握することができ、デザインなどの感性的な分野で広く用いられています。しかし、用意された色票以外の色を表すためには、色票を視覚的に補間しなければならないため、計算的に扱いにくいという問題があります。



図5 マンセル表色系に基づいたJIS標準色票

むすび

色空間について簡単に説明しましたが、今回紹介した以外にもさまざまな色空間が存在します。本当は一つの色空間で済めば良いのですが、そもそも多数の色空間が存在する根本的理由は、

色が単なる物理的な特性ではなく、人間の高度で複雑な色覚処理に基づいた心理量であるためなのです。そのため、色空間の三つのパラメータがたとえ同じであっても、視対象の形状や周辺背景、照明などによって色の見えは大きく変わってしまいます。色空間を正し

く扱うためには、それぞれの特徴や適用範囲を理解しておくとともに、観察する環境などにも注意する必要があることを是非とも覚えておいてください。

(2011年8月5日受付)



横井 健司 2002年、東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。同年、同大学院助手。2004年、産業技術総合研究所特別研究員。2006年、東京大学先端科学技術研究センター特任助手。2007年、防衛大学校助教。2010年、同講師。主に、視覚メカニズムに関する研究に従事。博士(工学)。

キーワード募集中

この企画で解説して欲しいキーワードを会員の皆様から募集します。ホームページ (<http://www.ite.or.jp>) の会員の声より入力可能です。また電子メール (ite@ite.or.jp)、FAX (03-3432-4675) 等でも受け付けますので、是非、編集部までお寄せください。