

連載

天体色彩学入門【1】

色彩学を用いたサイエンスデザイン その1

—表色系と xy 色度図と sRGB 規格—

芝田たける、福江 純（大阪教育大学大学院）

1. 天体カラー画像の“色”

近年、パソコンやデジタルカメラなどデジタル情報機器の発達により、様々な教育の現場において着色画像を使うことが多くなった。天文教育の現場においても、カラーの天体写真やカラーのシミュレーション画像などを使い、視覚的な説明がよく行われている（図1）[編集部註：本誌上では、印刷の関係で以下すべての図版について白黒画像となっている。カラー画像は『天文教育』ホームページ <http://tenkyo.net/kaiho.html> に掲載]。

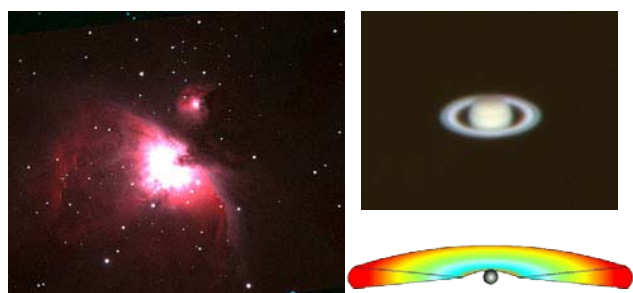


図1 大阪教育大学のホームページに載せてある天体の写真や想像画像

このような美しく印象深い画像がインターネット上ではよく見られる。

(<http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/>)

もちろん、電波・赤外線・紫外線・X線・ガンマ線など、目に見えない電磁波で撮像された天体画像の“色”は、多くの場合、電磁波の強度などを示すもので、実際の色とは異なる意味をもっている。またシミュレーション画像の“色”も、密度など物理量の強さを表していることが多く、人工的な色である。これらの“色”については、注意しておくことは必要だが、視

覚的な色と異なることははっきりしている。

では、カラー天体写真や可視光で撮像された天体画像の“色”は、本当の色合いになっているのだろうか。実際に天文教育の現場において使われている画像を比較してみると、たとえ同じ天体であっても、撮影者（作成者）によって着色の仕方が違い、その印象を大きく変えているものが多いことに気づく。その極端な例として、たとえば、ハッブル宇宙望遠鏡（HST）で有名になった惑星状星雲 NGC6543、通称「キッツアイ星雲」が挙げられるだろう（図2）。

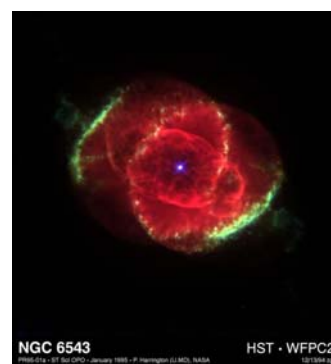


図2 キッツアイ星雲 NGC6543

上はハッブル宇宙望遠鏡が撮像したもので、下はすばる望遠鏡が撮像したもの。

ハッブル宇宙望遠鏡が撮像した画像は、青く輝く中心星の周辺に、赤い星雲が広がり、星雲

の両端は薄緑色の輝きで縁取られていた。その幻想的な美しさに感動を覚えた人も多いだろう。一方、すばる望遠鏡が撮像した画像は、全体に薄緑色で、煌びやかな感じはしない。まったく色合いが異なるのだ。それでは、どちらが真の色合いに近いのだろうか。実は、どちらもかなり真の色合いからはかけ離れているのだ。

ハッブル宇宙望遠鏡のサイトへ行って、説明を読んだ人は知っているだろうが、HSTの画像では、波長 656.3nm の H α 輝線を赤、波長 630.0nm の中性酸素輝線を青、そして 658.4nm の電離窒素輝線を緑に着色したと書いてある。実際の色合いで言えば、中性酸素輝線が橙で他は赤なのだが、見やすく区別するために、違う色に着色しているのだ。しかし、そのような説明を知らなければ、キャッツアイ星雲は実際にあのような綺麗な色をしていると誤解してしまうだろう。さらには、実際に望遠鏡で天体を見たとき、色があまり着いていないことに落胆するだろう。

人工的な着色であることがきちんと説明されていれば、可視光の画像でも人工的に着色して綺麗な画像に仕上げ、人々の目が愉しめること自体は悪いことではないと思う。ただし、同時に、天体画像では、しばしば色が強調されたり人工的な着色が行われていることを知っておくことも必要だ。

したがって、実際の天体が肉眼でどのように色が着いて見えるかということ、きちんと定量的に調べておくことは重要である。果たして本当の色とはどのようなものだろうか。

本連載では、天体の色を定量的に表す方法について、調べたことを紹介していきたい[1]~[6]。連続光を放射する点源の場合、連続光を放射する広がった天体の場合、輝線を放射する天体の場合などについて、紹介していく予定だが、今回は、色彩学の基礎について簡単にまとめておく。以下、2節で色の基本的な性質をまとめ、3節で表色系について説明する。そして4節で xy

色度図を、5節で sRGB 規格を紹介する。

2. 色とは？

人が色を感じる時、その色の周囲の環境や見る人の気分などによって、“同じ色”でも見え方が違ったりする(図3)。「色」の認識には、光などの物理的性質に加え、目の生理的性質や脳の働きなど感覚的・心理的なものがあり、色彩感覚には個人差があるので、色を客観的に評価するのは大変難しい。そのような「色」をなるべく理論的・数値的に考えるのが「色彩科学(color science)」と呼ばれる分野だ。

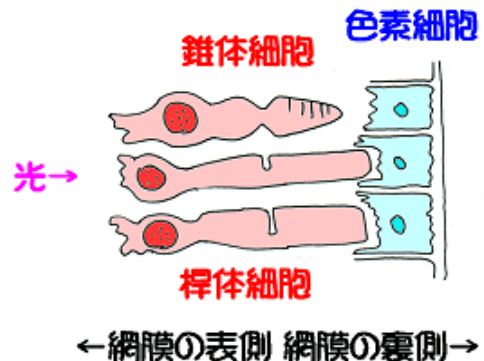


図3 視細胞における光の受容

外界から入ってきた物理的な色情報は、まず網膜に並んだ視細胞のうち、色彩を感じる3種類の錐体細胞で光化学反応を起こす。その刺激は視神経を通して、脳内の視覚野に送られて、やっと色として認識される。物理的な色情報は同じでも、視細胞の光化学反応には個人差があるし(たとえば色覚異常)、また対象の周辺の色情報による影響もあり(錯覚)、さらにそのときの気分や心理状態にも左右される。

2.1 光源色と物体色

色彩科学においては、「色」は、まず光源色と物体色にわけられる(図4)。ロウソクの炎、電球の光、そして太陽や星のように、自ら光っているモノの光の色が「光源色(light source color)」である。光源色は、光源から発する光の成分によって決まる。一方、花の色、鳥の色、

月や惑星の色のように、光で照らされた物の色が「物体色 (object color)」である。物体色は、光源から発する光の成分と、光の一部を吸収する物体表面の色素などの性質で決まる。

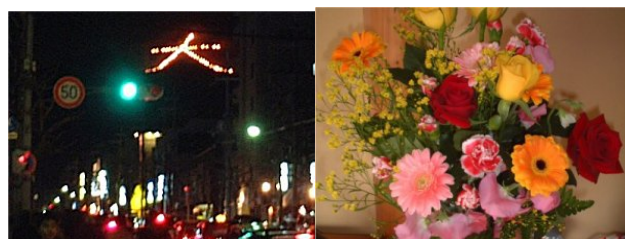


図4 光源色と物体色

本研究で扱う「色」は、星など天体の色をパソコンのディスプレイ上に再現することを目的としているので、光の色の方を指すが、ここでは物の色についても併せてまとめておく(表1)。

表1 物の色と光の色：属性と3原色

	属性	3原色
物の色	色相	青緑(シアン)
	彩度	赤紫(マゼンタ)
	明度	黄(イエロー)
光の色	色相	赤(レッド)
	彩度	緑(グリーン)
		青(ブルー)

2.2 色の3属性

さて、色には色相・彩度・明度という3つの属性がある。このうち「色相 (hue)」は色味を表すもので、赤 (R)、黄赤 (YR)、黄 (Y)、黄



図5 色相環

上から時計回りに、R、YR、Y、YG、G、BG、B、PB、P、RPの順に色が配列してある。

緑 (YG)、緑 (G)、青緑 (BG)、青 (B)、青紫 (PB)、紫 (P)、赤紫 (RP) の10主要色相がある。主要色相や中間色を円環状に配置したものを色相環という(図5)。

また「彩度 (chroma)」は色の鮮やかさ(純度)を表すもので、無彩色(彩度 $0=N$)から鮮やかになるにしたがい彩度が高くなる(図6)。



図6 彩度

さらに「明度 (value)」は色の明るさや暗さを表すもので、真黒(明度0)から真白(明度10)まで11段階で表現する(図7)。

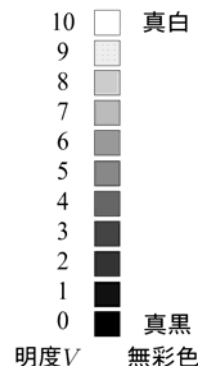


図7 明度

もともと、色相・彩度・明度は、美術的な見地から物の色を表すために考えられたものである。しかし、光の色においては、明度は可変的なため、後述する xy 色度図のように、光の色を色相と彩度(飽和度)のみの属性で表すこともある。

なお、系統的に色を表すシステムのことを「表色系 (color system)」というが、後述する RGB 表色系や XYZ 表色系などを含め、様々な表色系

が考案されている。

たとえば、色相・彩度・明度にもとづいて色を表現する方法が修正マンセル表色系である(図8)。マンセル表色系は、もともとは美術教育家であったマンセル(A. H. Munsell)が1905年に考案したもので、その後様々な修正が加えられ、さらにアメリカ光学会が科学的な考察をもとに修正を加え、1943年、修正マンセル表色系として定めた。日本では、日本工業規格 JIS が1958年に修正マンセル表色系を標準色票として採択した。

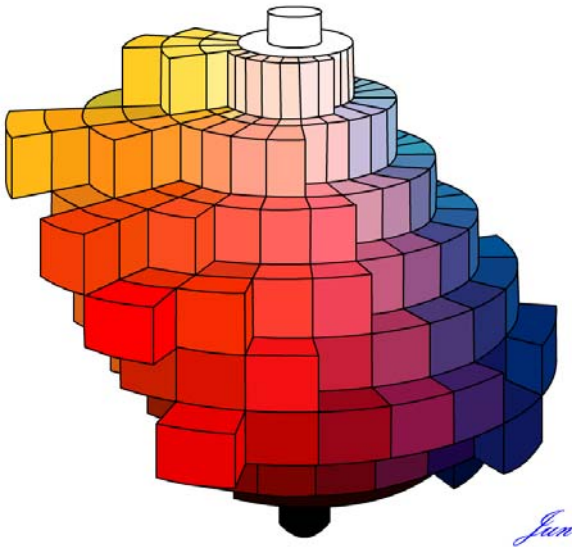


図8 マンセル色立体

2.3 色の3原色

最後に、比較的良好に知られていると思うが、色の3原色について触れておく。可視光にはいろいろな波長の光があるのだが、人間の目の視細胞のうち、色を感じる錐体細胞には、赤色の光で大きな感度をもつもの、緑色の波長帯で感度が最大になるもの、そして青色付近で感度が高いものの3種類しかない(あるいは3種類もある!)(図9)。

人間の眼では、主に感度領域の中央(緑色の光)で明るさを捉え、感度領域の両端(青や赤)で色合いを決めている。そのような生理学的な特徴や心理的な色彩感覚を反映して、3種類の

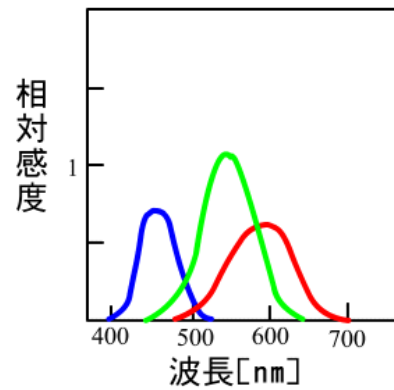


図9 錐体細胞の相対感度

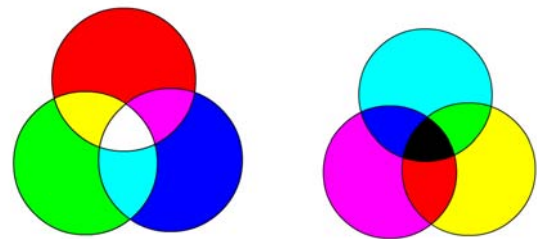


図10 光の3原色(RGB)と色の3原色(CMY)

基本色——「3原色(three primary colors)」が存在するようだ(図10)。

具体的には、「赤(red)」「緑(green)」「青(blue)」を光の3原色(色光または光源色の3原色)という。頭文字で**RGB**とも表す。赤は波長700nmの光、緑は波長546.1nmの光、そして青は波長435.8nmの光になる。

赤と緑を混ぜると黄色に、緑と青でシアンに、青と赤でマゼンタになり、他のすべての色光も3原色を適当な強さで混ぜ合わせることで作れる。色光の3原色を混ぜ合わせると明度が上がるので加法混色と呼ぶ。赤と緑と青を等しい強さで混ぜると白色光になる。

なお、混ぜ合わせると白色になる色どうしを、補色とか余色という。たとえば、赤とシアン、緑と赤紫、青と黄などが補色の関係になる。

一方、「シアン(cyan)」「マゼンタ(magenta)」「イエロー(yellow)」を色の3原色(正確には色料または物体色の3原色)という。頭文字で**CMY**とも表す。物体の色は光の吸収によっ

て生じるもので、青緑色のシアンは赤い光の吸収で、赤紫色のマゼンタは緑色の光の吸収で、そして黄色のイエローは青色の光の吸収で生じる。

シアンとマゼンタを混ぜると青に、マゼンタとイエローで赤に、イエローとシアンで緑になり、他のすべての色料も3原色を適当な割合で混ぜ合わせることで作れる。色料の3原色を混ぜ合わせると明度が下がるので減法混色と呼ぶ。シアンとマゼンタとイエローを等量混ぜると黒色になる。

3. RGB 表色系と XYZ 表色系

本節からは光の色について考えていく。

前節でまとめたように、光の色の3原色(primary color)はRGB(赤・緑・青)で、このRGBの配合の割合により様々な色を作ることができる。また、色光を重ねて混色し色をつくる方法を加法混色(additive color mixing)という。そして、このRGBの尺度で色を表現するシステムが「RGB表色系(RGB color space)」である。現在使われているRGB表色系は、国際照明委員会(CIE: International Commission on Illumination)が1931年に策定した国際表示法で、CIE-RGB表色系(CIE-RGB color space)ともいう。

各波長において光の色の3原色の刺激値(感度)を測定したものを「等色関数(color matching function)」という。あるいは、単色光(スペクトル光)に対する3刺激値であることからスペクトル3刺激値ともいう。

この等色関数を、それぞれ、 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ とすると、図11のようなものになる。

さて入射してきた光の「スペクトル放射強度分布(spectral power distribution)」——天体ではしばしば「比放射強度(specific intensity)」と呼ぶ——が、波長 λ の関数として、 $I(\lambda)$ だったとしよう。このとき、その光源色のRGB値は、放射強度 I をRGB表色系の等色関数 rgb

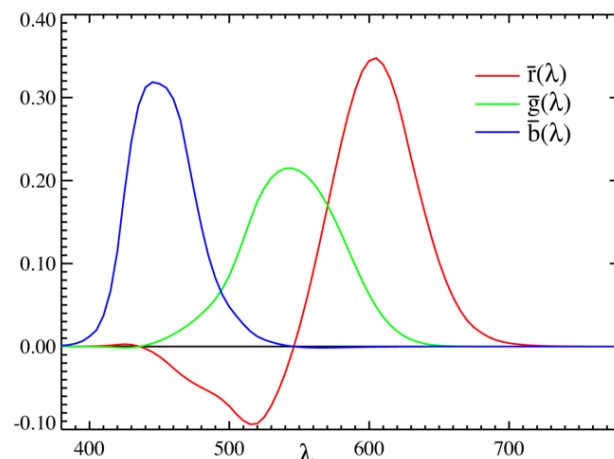


図11 RGB系の等色関数

左から、青 b 、緑 g 、赤 r の関数。赤 r の等色関数の一部が負の値をとっている。

(等色関数のデータ: Colour and Vision Research Labs institute of Ophthalmology, UCL <http://cvision.ucsd.edu/>)

で以下のように畳み込み積分して得られる。

$$R = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

ところで、RGB表色系は、人間の感覚的な3原色にもとづいたもので、その結果、図11からわかるように、RGB表色系の等色関数 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ の値は、波長によっては負になる所も出てくる。そのため、計算などを行うときに不便であることが考えられる。また実際には、感覚的な3原色RGBだけでは表せない色も存在する。

そこで、器械による測色や表色や目の波長感度特性などを詳しく調べて考え出されたのが、「XYZ表色系(XYZ color space)」というものである。現在のXYZ表色系は、CIE(国際照明委員会)が1931年に策定した国際表示法で、CIE-XYZ表色系(CIE-XYZ color space)ともいわれる。

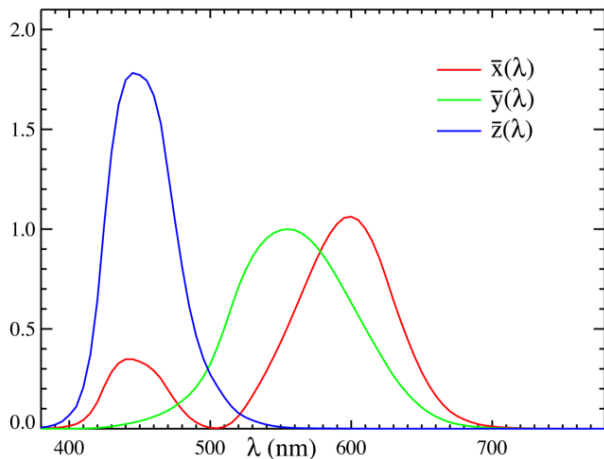


図 12 XYZ 系の等色関数

左の高いピークが青 X 、中央が緑 Y 、左の低いピークと右が赤 Z の関数。等色関数はすべて正の値をとっている。(等色関数のデータ : Colour and Vision Research Labs institute of Ophthalmology, UCL)

XYZ 表色系の等色関数も、RGB 表色系と同じように、 x 、 y 、 z のそれぞれの刺激値について、 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ と表すことができる (図 12)。XYZ 表色系の等色関数は、RGB 表色系の等色関数から変換して得られる。

図 12 でわかるように、XYZ 表色系の等色関数は、すべて正の値になっている。ただし、RGB では表せないような色も表現するシステムなので、赤が 2 山のピーク (図 12 の左の低いピークと右側のピーク) をもつなど、少し変わった形になっている。

入射光の放射強度を $I(\lambda)$ とすると、光源色の XYZ 刺激値は、放射強度 I を XYZ 表色系の等色関数 xyz で以下のように畳み込み積分して得られる。

$$\begin{aligned} X &= \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

あるいは、実用的には、放射強度 $I(\lambda)$ と等色関数 xyz を共に、細かい波長刻みで離散的に与

えておいて、それらの積の和として、スペクトル 3 刺激値 (XYZ) を得ることができる。

$$X = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Z = k \sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

ただしここで、和記号の前の k は正規化のための定数である。

最後に、RGB 値から XYZ 値への変換は、次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

あるいは、展開して、

$$X = 2.77R + 1.75G + 1.13B$$

$$Y = 1.00R + 4.59G + 0.060B$$

$$Z = 0.00R + 0.0565G + 5.59B$$

で変換される。

なお、上の逆変換で、XYZ 値から RGB 値が得られる。

4. 光の色を表す図 : xy 色度図

先にも述べたように、光の明るさは可変なので、光の色を表現するには、最低限、色相と彩度の 2 つの色情報があればよい。実用上も、3 次元色空間 (たとえばマンセル色立体) は表現が難しいが、2 次元色平面にしてしまえば、取り扱いも容易になる。

具体的によく使われるのは、XYZ 表色系において、明度を犠牲にし、3 次元の XYZ 色空間を 2 次元の xy 色平面に落とした「 xy 色度図 (xy color diagram)」である。この xy 色度図も、1931 年に CIE (国際照明委員会) によって策定されたもので、CIE システムとか CIE 色度図ともいう。

この xy 色度図では、XYZ 表色系の 3 刺激値 X 、 Y 、 Z の比率 $X : Y : Z$ と同じ比率の $x : y :$

z (ただし $x+y+z=1$ とする) で表す。具体的には、以下のような式で変換すればよい。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

このような変換で得られた x の値を横軸に、 y の値を縦軸に選んで、あらゆる色を表したものが xy 色度図である (z は自動的に決まるので用いない)。 xy 色度図では、あらゆる色は xy 座標の上で、釣鐘状/馬蹄形の領域で表現される (図 13、図 14)。

色度図の上では、すべての色が表現される。すなわち、図の中央が白色 (無彩色) に対応し、周辺に向かうほど色の鮮やかさが増して、色度図周囲の境界で単色光 (純色) になる。この馬蹄形領域の外側の軌跡をスペクトル軌跡という。一方、底辺部の直線を赤紫線とか純紫軌跡というが、ここは光のスペクトルには存在しない色である。

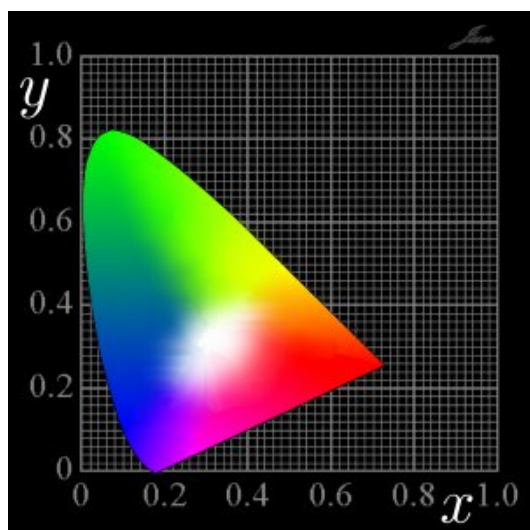


図 13 CIE の xy 色度図

色のついている領域の外側の軌跡をスペクトル軌跡、底辺部の直線を赤紫線という。左方が青、上部が緑、右方が赤の領域になっている。

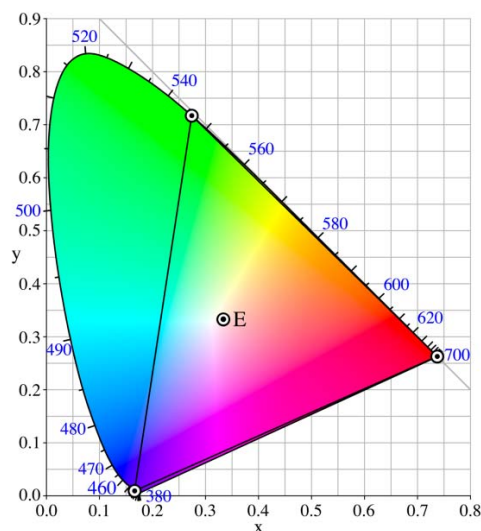


図 14 xy 色度図の上での RGB 領域

スペクトル軌跡に沿って波長が刻んである。右下の◎印が R、上方が G、左下が B、また中央の E が白の位置にあたる。

そして、スペクトル軌跡と純紫軌跡に囲まれた領域 (色のついている領域) の光の色を「リアル・カラー」という。この領域が、一般的に人の見ることのできる光の色の領域となる。一方、スペクトル軌跡の外側の領域の色を「イマジナリー・カラー」という。

また、RGB 表色系は XYZ 表色系の部分集合であって、 xy 色度図の上では図 14 の三角形の領域に相当する。したがって、RGB 表色系ですべての色を表現することは、原理的には不可能である。

なお、ここで注意したいのは、「色度図は色を表さない」ということである。色度座標は混色比のため、人間が直接見る色を表現するものではない。色度図は「同じ色度の色は同じ条件で見れば同じ色に見える」ということを保障しているだけなのだ。しかし、混色の比率からどのような色かをイメージしやすくなるという利点がある。

最後に、RGB 値から xy 値への変換は、

$$x = 0.6R - 0.28G - 0.32B$$

$$y = 0.2R - 0.52G + 0.31B$$

という式になる。ただし、情報を落としているので、この逆変換はできない。

5. sRGB という規格

現在の多くのパソコンは、色を RGB 値に分け、各色を 8bit (0~255) の成分値で表してディスプレイに表示している。色情報として 3 色合計で 24bit を割り振ることにより、肉眼では識別可能な限界である 1677 万 7216 色の表現が可能になった。しかし一方で、数値が同じであっても、表示する機器が異なると、色が違って見えてしまうという問題がある。

そこで様々な機器の色再現域を統一しようとの目的で、「標準色空間 sRGB(standard RGB)」という規格が考え出された。sRGB は 1996 年に Hewlett-Packard と Microsoft が共同で考案し、1999 年に国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission : IEC) の色空間国際規格に採用された。一般的なモニタなどは、この規格に準拠しているため、現在では機器が違ってほぼ同じ色を得られるようになった。

ただし、RGB と同様、sRGB 領域が示せる色というのは、 xy 色度図上の限られた領域である。つまり、sRGB 領域はスペクトル軌跡の内側にあり、領域外の色は表現することができない(図 15)。したがって、パソコンのディスプレイ上で“本物のスペクトルの色”を表現することは、

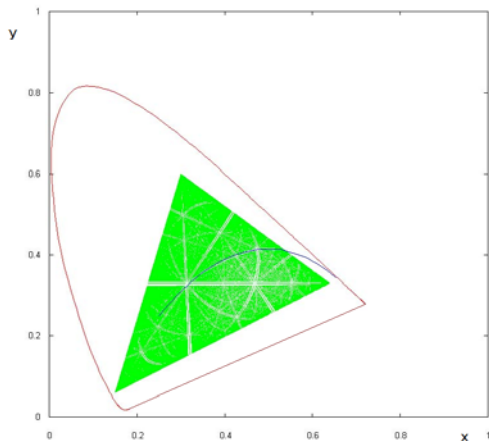


図 15 xy 色度図上の三角形領域が sRGB 領域

原理的に不可能である。

さて、この sRGB 規格を使うことによって、XYZ 表色系から、sRGB 値や RGB 値 (8bit) [パソコンのディスプレイの RGB 値] を求めることができる (注: XYZ 値から求める方法。 xy 値からは求めることはできない)。そのためには、次の 3 段階のステップで変換する [6]。

① XYZ 値から sRGB 値への変換

$$\begin{bmatrix} R_{,RGB} \\ G_{,RGB} \\ B_{,RGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

まず、XYZ 値の線形変換で sRGB 値が得られる。この段階の sRGB 値で、負のものや 1 より大きなものが現れたら、それらは以下の変換で扱えないので、0 あるいは 1 に丸め、0 から 1 の範囲に収まるような調整を行う必要がある。

② sRGB 値からノンリニア sRGB 値 (sR'G'B' 値) への変換

上記で得られた sRGB 値が、

$$R_{,RGB}, G_{,RGB}, B_{,RGB} \leq 0.00304$$

の範囲ならば、

$$R'_{,RGB} = 12.92 \times R_{,RGB}$$

$$G'_{,RGB} = 12.92 \times G_{,RGB}$$

$$B'_{,RGB} = 12.92 \times B_{,RGB}$$

という変換を、もっと大きくて、

ならば、 $R_{,RGB}, G_{,RGB}, B_{,RGB} > 0.00304$

$$R'_{,RGB} = 1.055 \times R_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

$$G'_{,RGB} = 1.055 \times G_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

$$B'_{,RGB} = 1.055 \times B_{,RGB}^{(1.0/2.4)} - 0.055$$

という変換を行う。最初の sRGB 値が 0 から 1 の範囲に収まっていれば、このノンリニア sRGB も自動的に 0 から 1 の範囲になる。

③ ノンリニア sRGB 値 (sR'G'B' 値) から RGB(8bit) 値への変換

$$R_{8bit} = 255.0 \times R'_{sRGB}$$

$$G_{8bit} = 255.0 \times G'_{sRGB}$$

$$B_{8bit} = 255.0 \times B'_{sRGB}$$

最後に、それぞれの値を 255 倍して、パソコンで扱う 0 から 255 の値の範囲の RGB(8bit) 値に変換する。

また逆に、RGB (8bit) から XYZ 値を求めることも次の 3 段階を使ってできる。

(1) RGB(8bit) 値からリニア sRGB 値への変換

$$R'_{sRGB} = R_{8bit} \div 255.0$$

$$G'_{sRGB} = G_{8bit} \div 255.0$$

$$B'_{sRGB} = B_{8bit} \div 255.0$$

(2) ノンリニア sRGB 値から sRGB 値への変換

If $R_{sRGB}, G_{sRGB}, B_{sRGB} \leq 0.03928$

$$R_{sRGB} = R'_{sRGB} + 12.92$$

$$G_{sRGB} = G'_{sRGB} + 12.92$$

$$B_{sRGB} = B'_{sRGB} + 12.92$$

Else $R_{sRGB}, G_{sRGB}, B_{sRGB} > 0.03928$

$$R_{sRGB} = \left[\frac{(R'_{sRGB} + 0.055)}{1.055} \right]^{2.4}$$

$$G_{sRGB} = \left[\frac{(G'_{sRGB} + 0.055)}{1.055} \right]^{2.4}$$

$$B_{sRGB} = \left[\frac{(B'_{sRGB} + 0.055)}{1.055} \right]^{2.4}$$

(3) sRGB 値から XYZ 値への変換

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix}$$

今後はこの sRGB を用いた変換式を基にすべての作業を行い、パソコンのディスプレイに再現される色について紹介していく。

6. To be continued

本文中で述べたように、RGB 表色系や sRGB 規格で、スペクトルの色 (とくに純色) を完全に再現することは原理的には不可能である。ただし、黒体放射に代表される混色は再現できる。それらの点に注意した上で、できるだけ近い色を再現することを考えていきたい。

参考文献

- [1] 福江 純、2004、『最新天文小事典』、東京書籍
- [2] 栗野諭美ほか、2001、『宇宙スペクトル博物館<可視光編> 天空からの虹色の便り』、裳華房
- [3] 金子隆芳、1989、『色彩の科学』、岩波書店
- [4] 池田光男、1980、『色彩工学の基礎』、朝倉書店
- [5] 日本規格協会、2006、『JIS ハンドブック 2006 61 色彩』、日本規格協会
- [6] The International Color Consortium
2007 年 10 月 1 日、<http://www.color.org/>

芝田たける

j079335@ex.osaka-kyoiku.ac.jp

福江 純

fukue@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

※編集部註：カラー画像を掲載した原稿を『天文教育』の Web サイトに掲載してあります。
<http://tenkyo.net/kaiho/kaiho90.html>