

INSTRUMENT

計測システム事業部

【事例集】色を測る



色を測る

色とは何か

当社ではイメージング分光器ImSpectorを用いた測定装置の製作販売を行なっていますが、この測定装置の重要な応用分野として測色に関係した分野があります。私たちは色を感覚的なものとしてとらえ、直感的に理解できま

色とは何か

色とは何かの研究はギリシャ時代にすでに始まっていたと言われますが、色が波長の異なる光に対する生体の知覚反応であることがわかったのは、17世紀後半にニュートンが光分散実験を行ったときからで、長い間本質がわかりませんでした。その後、色の測定が標準化されるようになるのは、20世紀に入ってからです。これまでの研究により、色の知覚は以下に行われることが明らかになっています。眼球に入射する色々な波長成分を持った光が網膜に分布する3種の視細胞を刺激し、これが3種の生体信号に変換され、大脳皮質の視覚中枢に到達して、色が認識される。光の波長と人間が感ずる色名の関係および対応する色をカラー表示すると表のようになります。

色を測定するには

上述の知見から色を測定するには、1) 眼球に入射する光の各波長成分の強度 (スペクトル)、2) スペクトルと三刺激値との関係、および3) 三刺激値の大きさと色認識との関係を定量的に明らかにする必要があります。1)については、近年では分光器を用いて容易に測定可能です。2)、3)については、国際照明委員会(CIE)の下で、52人の標準観測者による実験で応答関数が求められ、等色関数としてデータの入手が可能です。表1のカラー表示は、左欄の波長域で反射率が1の物体を仮定し、この等色関数を使ってRGBの強度を計算し、表示したものです。

波長(nm)	色名	英文名	記号	カラー表示
380~430	青みの紫	bluish Purple	bP	
430~467	紫みの青	purplish Blue	pB	
467~483	青	Blue	B	
483~488	緑みの青	greenish Blue	gB	
488~493	青緑	Blue Green	BG	
493~498	青みの緑	bluish Green	bG	
498~530	緑	Green	G	
530~558	黄みの緑	yellowish Green	yG	
558~569	黄緑	Yellow Green	YG	
569~573	緑みの黄	greenish Yellow	gY	
573~578	黄	Yellow	Y	
578~586	黄みの黄赤	yellowish Orange	yO	
586~597	黄赤	Orange	O	
597~640	赤みの黄赤	reddish Orange	rO	
640~780	赤	Red	R	

表1 光の波長と色名の関係

色の数値的表示方法

色を定量的に測るには、先ず色を数値的に表現する必要があります。

RGB表色系

私たちは、色々な色光を混合すると、もとの色光と異なる色を知覚します。この現象を実験的に詳しく調べると、次のような性質があることが分かります。① 赤、緑、青のように基本的な3つの色光の明るさを調節して混合すると、任意な色を一次的に再現できる。② 色光を複数混合した場合、個々の色光を上記の基本的な3つの色の成分(原刺激と呼びます)に分け、それぞれを加えた値が同じになれば、混合する色光が異なっても同じ色になる。

上述の①の性質を利用して、波長700.0nm(赤)、546.1nm(緑)、435.8nm(青)の色光を原刺激R、G、Bとして定義し、任意の色光がそれぞれの単位原刺激の何倍の量を含むかを3つの数値で一次的に表すことができます。この方法がRGB表色系です。

等色関数

上述の①と②の性質を利用して、ある色光のスペクトルが測ればその色光のRGBを求めることができます。そのためには、各波長λにおける色光(単色光)の原刺激の大きさr_λ、g_λ、b_λを知る必要があります。図1に示すような方法で実験的に求められます。国際照明委員会(CIE)による測定結果をグラフで示すと図2のようになり、等色関数と呼ばれています。等色関数は各波長の光のRGBへの寄与の大きさを示しており、例えば波長600nmの赤に近い光のRGBへの寄与の大きさはr_λ=0.34、g_λ=0.06、b_λ=0.00となります。ある光のスペクトルが分かれば、各波長の強度にこの寄与の大きさを掛けて、足し算をすることにより、RGBの3刺激値が原理的に計算できるわけです。RGB表色系の問題は、等色関数に負の部分があり、直感的に色を類推できないなどの不都合があることです。そこでRGB表色系に代わるXYZ表色系が考案されました。

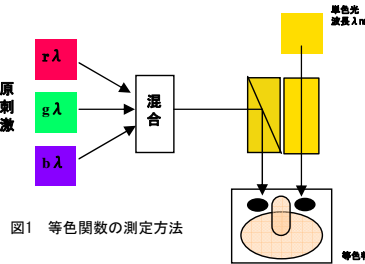


図1 等色関数の測定方法

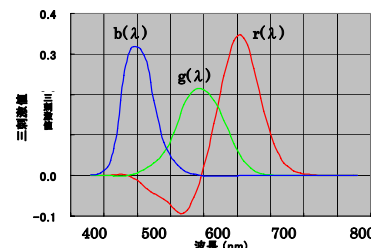


図2 RGB表色系の等色関数

XYZ表色系と色差の数値化

XYZ表色系

RGB表色系の問題点を改善するためにXYZ表色系が考案されました。3つの原刺激として別なX、Y、Zを選び、1) 等色関数が負にならない、2) Yに明るさの情報をもたせるなど、表色や後の計算に都合の良い性質もたせようというものです。数学の3次元の座標変換と同じ原理で、一組の座標変換式が決定され RGBからXYZへ変換されます。この結果、XYZ表色系の等色関数は図3となり、負の部分なくなるなど改善されていることが分かります。XYZ表色系で、具体的なX、Y、Zの値と実際の色との関係がどうなっているかを知るためにパソコンで計算し、表現してみました。図4がその結果で、X+Y+Z=1で表される平面上に図示してあり、色度図と言われています。X、Y、Zの値が大きくなるとそれぞれ赤、緑、青の成分が大きくなることが分かります。このXYZ表色系は1931年に国際照明委員会(CIE)で標準の表色系として採択されています。

均等色空間(L*a*b*表色系)

さて、このように構築されたXYZ表色系は、図4で緑色の領域が大きいことから分かるように、2つの色の差を見た場合、人が感じる差と色空間の距離の差が同じでない不都合があります。そこで人が感じる差と色空間の距離の差が比例するような、すなわち均等色空間を持った表色系が次に導出されました。その一つがL*a*b*表色系です。XYZ表色系から一組の関数変換式で変換できます。L*a*b*の値と実際の色との関係をパソコンで計算した結果を図5に図示しました。図4と比較して、均等色空間になっているのが分かります。色差ΔEはL*、a*、b*空間の2点の距離、 $\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ で表されます。

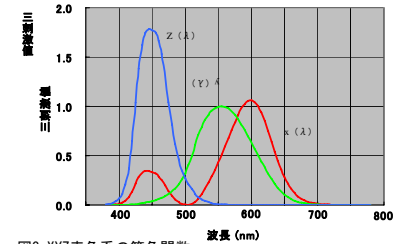


図3 XYZ表色系の等色関数

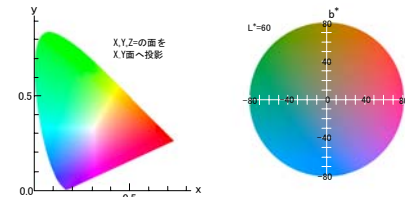


図4 XYZ表色系の色度

図5 L*a*b*表色系の色の表現例

L*が明るさ、a*、b*が色合いを表す。
図はL*=60のときのa*、b*による色の変化を示す。

イメージング分光器による色の測定

物体色の測定

これまでの話で、眼に入る光のスペクトルが判れば、色の標準の表現方法であるXYZ表色系の3つの値を決定できることを述べました。物体の色を測るには、照明光を当てて、物体からの反射光のスペクトルを測定する必要がありますが、その結果に影響を与える因子として、照明光のスペクトル、照射角度、反射光受光角度、視野角などがあります。色の測定に関する規格JIS Z 8722等では、これらの測定条件が標準化されています。代表的な照明光としては、平均的な昼光を意味する標準光D65が用いられます。

イメージング分光器による色の測定

当社が製造販売しているイメージング分光システムは二次元に広がる物体の個々の点から来る光のスペクトルを迅速に測定することができます。そこで、上述のJISの測定条件と同じようにして、物体の分光反射率を測定することにより、物体の各部の色を決定することが可能になります。実際には、ハロゲンランプを照明光にし、標準白色板と物体を交互に比較測定し、標準白色板に対する物体の分光反射率を算出し、標準光D65のスペクトルデータを使って照射光のスペクトルを補正します。図6は、人間の指先の250×500点から来る個々の光のスペクトルを測定し、RGBに変換してカラー表示したものです。左の図は通常の指先、右の図は腕を圧迫してうっ血状態にした指先です。うっ血した指先の色合いがやや暗くなっています。図のA、B点のスペクトルを図7に示しますが、酸素化および脱酸素化したヘモグロビンの特徴的なスペクトルになっています。このスペクトルからXYZおよびL*a*b*を求める表2になります。うっ血の有無による指先の色差ΔEはこの例では3.84であったことが分かります。このようにイメージング分光器によって、微妙な色の違いや二次元分布を定量的に測定することができます。応用分野としては、印刷物の検査、種々の製品の色検査、医療診断への応用等が考えられます。

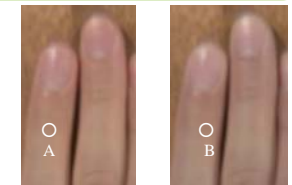


図6 指先のイメージング分光測定例 (RGB合成図)

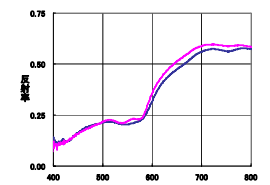


図7 A、B点の分光反射率(矢印部に極小値がある)

表色系	A	B
X	28.58	26.65
Y	26.10	24.56
Z	17.78	18.14
L*	58.13	56.64
a*	15.47	14.19
b*	18.52	15.22
ΔE	3.84	

表2 A、B点のXYZおよびL*a*b*の値