



KONICA MINOLTA

# 色を読む話

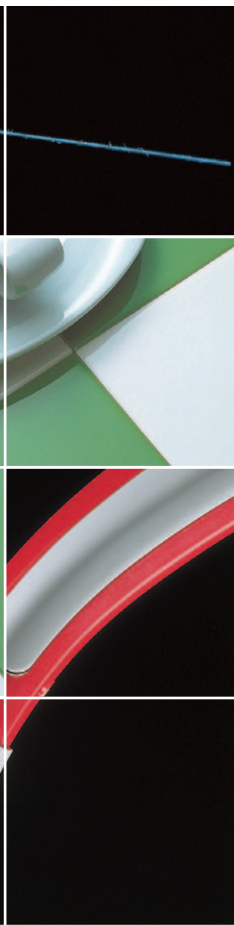
——色彩管理は「感覚」から「知覚」へ——



The Standard in Measuring Color & Light

Giving Shape to Ideas





# 色を知る。色で知る。 今、あらゆる環境で 「色」が注目されています。

私達をとりまく生活環境の中には、無数の色が存在しています。色は、購買意欲や嗜好、食欲などの感覚を左右するのはもちろん、顔の色から健康状態を知るといったことにいたるまで、広範囲にわたって大きな役割を担っています。ところが、それほど色の重要性が増しているにもかかわらず、色の知識や管理が十分でないために、製品色の決定や取引上のトラブルなどが、多方面で数多く起こっているのも事実です。色は、人間のカンや経験に頼って判定される場合が多いため、共通に統一された基準で誰もが管理できるというものではありません。いま、色※を正確に表現し、その色を他の人に伝え、再現してもらうためにはどんな方法があるのか。製造業をはじめ、あらゆる分野で円滑な色彩コミュニケーションを交すためにはどうしたらよいのか。私達は、色に関するさまざまな情報や知識をもっと知っておく必要があるのではないのでしょうか。

※本書では物体色についての説明を行っています。

## PART I

---

- なぜ、りんごは赤く見えるの? ……P4
- 人間は、特定の波長を色として感じることができます。 ……P6
- このりんごは、どんな色? ……P8
- ふたつの赤い球。この色の違いを、誰かに正確に伝えてください。 ……P10
- 「色あい」「明るさ」「あざやかさ」。色の世界は、3つの要素の組み合わせ。 ……P 12
- 色相、明度、彩度。色彩の世界を立体で見ると。 ……P14
- 色相、明度、彩度に目盛りをつけると、色のモノサシ（数値化）ができます。 ……P16
- 測色計を使えば、色の数値化が簡単にできます。 ……P17
- 色の数値化には、表色系を使用します。 ……P18
- 微妙な色の違い（色差）を伝えることも、測色計は得意です。 ……P22
- 人間の目では同じように見えても、測色計で測ってみると微妙に違っていることがわかります。 ……P24

## PART II

---

- 私たちが色を感じるプロセスと測色計の違いについて。 ……P28
- 光（色）の成分はどうなっているのか、実際に見てみましょう。 ……P30
- 測色計を使って、いろいろな色を測ってみましょう。 ……P32
- 同じ色のはずなのにどうして違って見えるの? ……P34
- 光源が変わると、色の見え方はこんなに変わります。 ……P36
- ちょっと複雑な「条件等色」（メタメリズム）の問題。 ……P38
- 対象物や環境条件が違っても、色の見え方は変わります。 ……P40
- 分光測色計を使うと、こんなに簡単に問題を解決できます。 ……P43
- 仕様表から読み取れる大切なこと ……P44
- 特殊な色の測定 ……P52
- 測定に際しての注意（測定物の状態、環境条件） ……P54

## PART III

---

- 新しい色差式（CIE DE2000）について ……P55

## PART IV

---

- 色の用語いろいろ ……P59

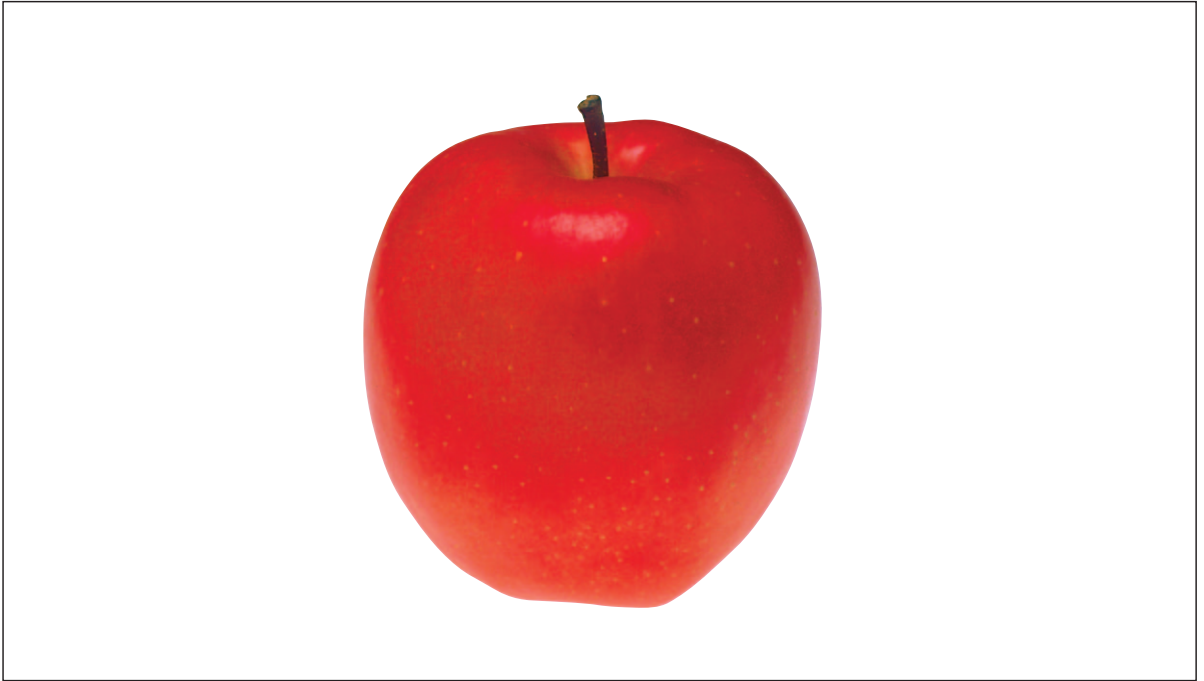
# 色について、 いっしょに 勉強してみましよう。

あたりを見回しただけでも、わたしたちの目には、いろいろな色が飛び込んできます。色は、わたしたちのまわりに無意識のうちに存在していますが、同時に、長さや重さのようにスケールや単位をもっていませんので、だれもが一つの表現で共通にコミュニケーションすることができません。例えば、「青い海」や「青い空」と言っても、個人個人によって感じ方が異なるため、いろいろな青があるはずです。そこに、色のむずかしさがあります。

また、「りんごはなぜ赤く見えるのだろうか？」といった、ごく当たり前のように思えることが、案外よく分からないものです。

では、わたしたちは色についてどのような知識をもてばよいのでしょうか。

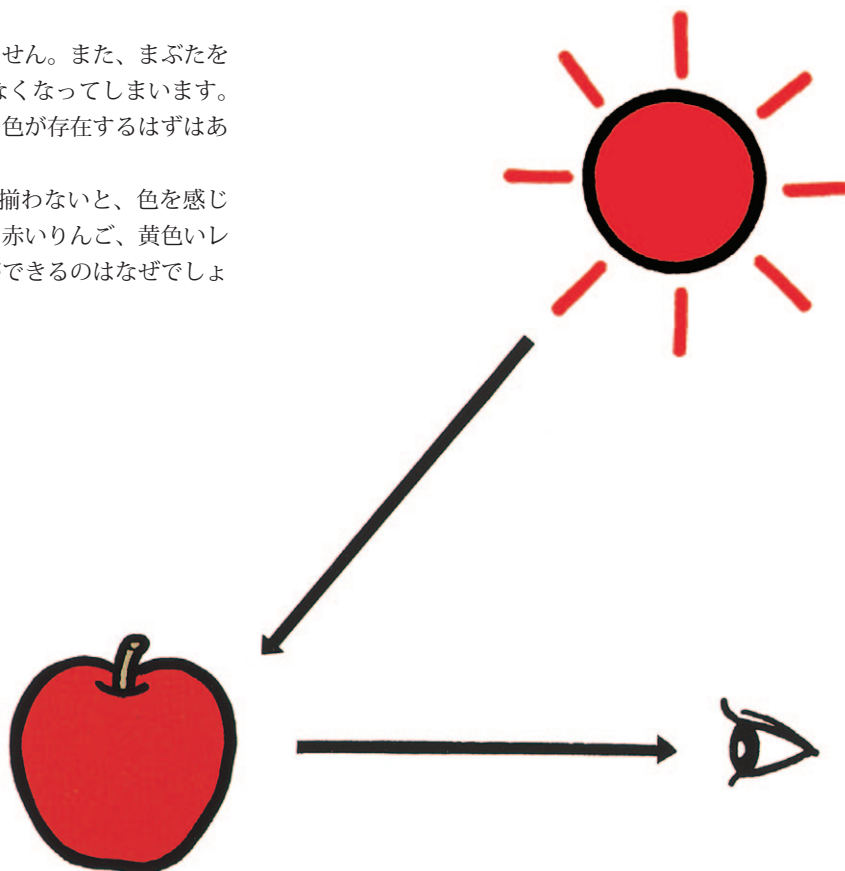
なぜ、りんごは赤く見えるの？



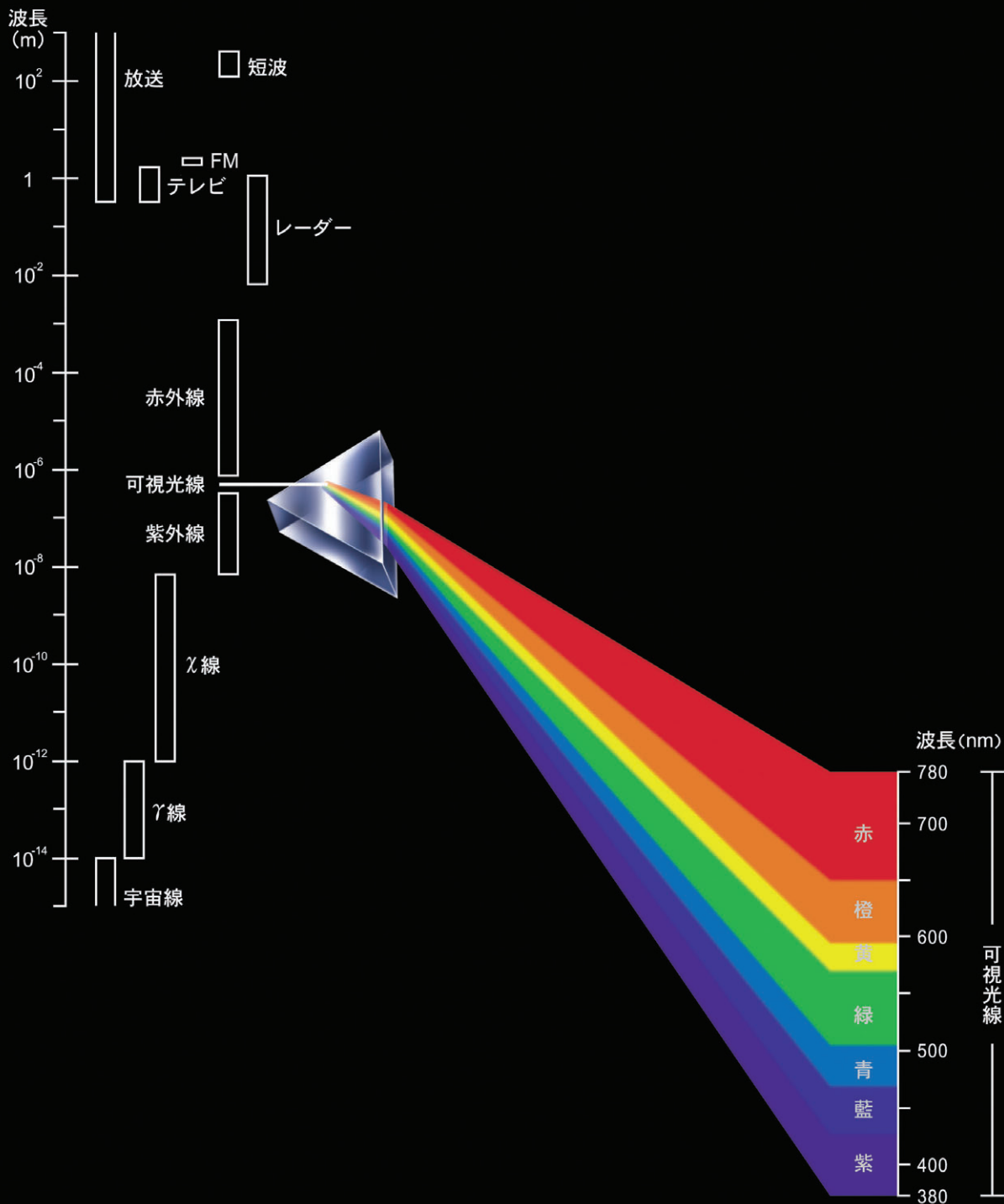
# 光がなければ色はない。 わたしたちが物体の色を感じるには、 「光源」「物体」「視覚」の三要素が必要です。

真っ暗闇の中では、色はわかりません。また、まぶたを閉じてしまえば物体の色は見えなくなってしまいます。さらに、肝心の物体がなければ、色が存在するはずはありません。

「光源」「物体」「視覚」の三つが揃わないと、色を感じることができないのです。では、赤いりんご、黄色いレモン…という具合に、色の違いができるのはなぜでしょうか。



# 人間は、特定の波長を 色として感じることができます。





# 光を波長成分に分けることを「分光」といいます。 分けた光の強弱(混ざり具合)によって、 さまざまな色ができるのです。

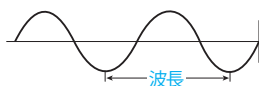
太陽の光をプリズムに通すと、虹のような色の帯ができることをご存知の方が多いでしょう。このことを発見したのは、万有引力を発見したI. ニュートンです。この色の帯をスペクトルと呼び、光をスペクトル(波長成分)に分けることを「分光」といいます。

スペクトルが人間の目で見えるということは、この特定の波長が、人間の網膜に刺激を与えて色として感じさせているわけです。スペクトルは赤・橙・黄・緑・青・藍・紫の順に並んでいますが、これはそれぞれの波長の長さが違うために生じる現象で、光の中で最も波長の長い部分が赤く見え、短い部分が紫に見えるのです。この、人間の目で見える領域の光を「可視光線」と呼びます。この領域からさらに波長が長くなると、赤外線域になり、逆に波長が短くなっていくと紫外線域になりますが、この領域は人間の目には見えません。

さて、「波長<sup>※1</sup>」という言葉がでてきたことでもわかるように、光は空中を飛び交っている様々な電磁波の内の

ひとつです。電磁波の中には波長が数千 km にも及ぶ電波から、十億分の 1 mm 以下の  $\gamma$  (ガンマ) 線まで、さまざまな種類がありますが、「可視光線」はおよそ 380 nm ~ 780 nm <sup>※2</sup> (ナノメートル) の範囲です。物体で反射され、視覚で色として認識される光は、(単一波長の人工光を除いて) さまざまな波長成分の光が混じり合っています。

※1：波長…光は波の性質を持っており、波の谷から谷(山から山)までの距離を波長といいます。



※2：nm (ナノメートル) …波長の単位として使われます。また、 $\mu\text{m}$  (マイクロメートル) も使用されます。

●  $1\text{ nm}=10^{-6}\text{ mm}=10^{-3}\mu\text{m}$

●  $1\mu\text{m}=10^{-3}\text{ mm}=10^3\text{ nm}$



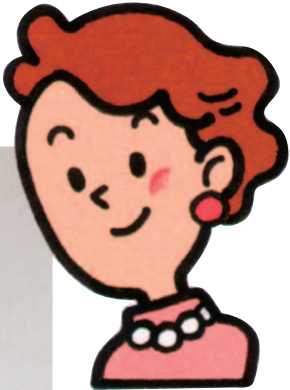
※虹は太陽光が空気中に浮かんだ細かな水滴をプリズムとして通ってきたスペクトルです。

このりんごは、どんな色？



あか

燃えるような  
赤ね！



いわゆる  
その色  
紅色だね



あざやかな  
赤かな？



# 色の表現は、十人十色。色を伝えるって意外にむずかしいものなんです。

4人に、ひとつのりんごを見せて色を聞くと、それぞれ違う答えが返ってきました。

同じりんごを見ているのに、みんなそれぞれのことばで色を言い表していますね。しかもずいぶん感覚的な表現です。このように、表現のしかたが人によってまちまちでは、色を伝えることは非常にむずかしく、あいまいになってしまいます。この場にはいない人が「燃えるような赤いりんご」と言われて、まちがいがなくこの色を再現することができるのでしょうか。

それほど、色を言い表すということは、複雑でむずかしいことなのです。

でも、もしここに、誰もが理解できる共通の表現方法があれば、色のコミュニケーションはもっとスムーズになり、正確になるのではないのでしょうか。正しく伝えあうことができれば、色のトラブルもきっと解消できることでしょう。

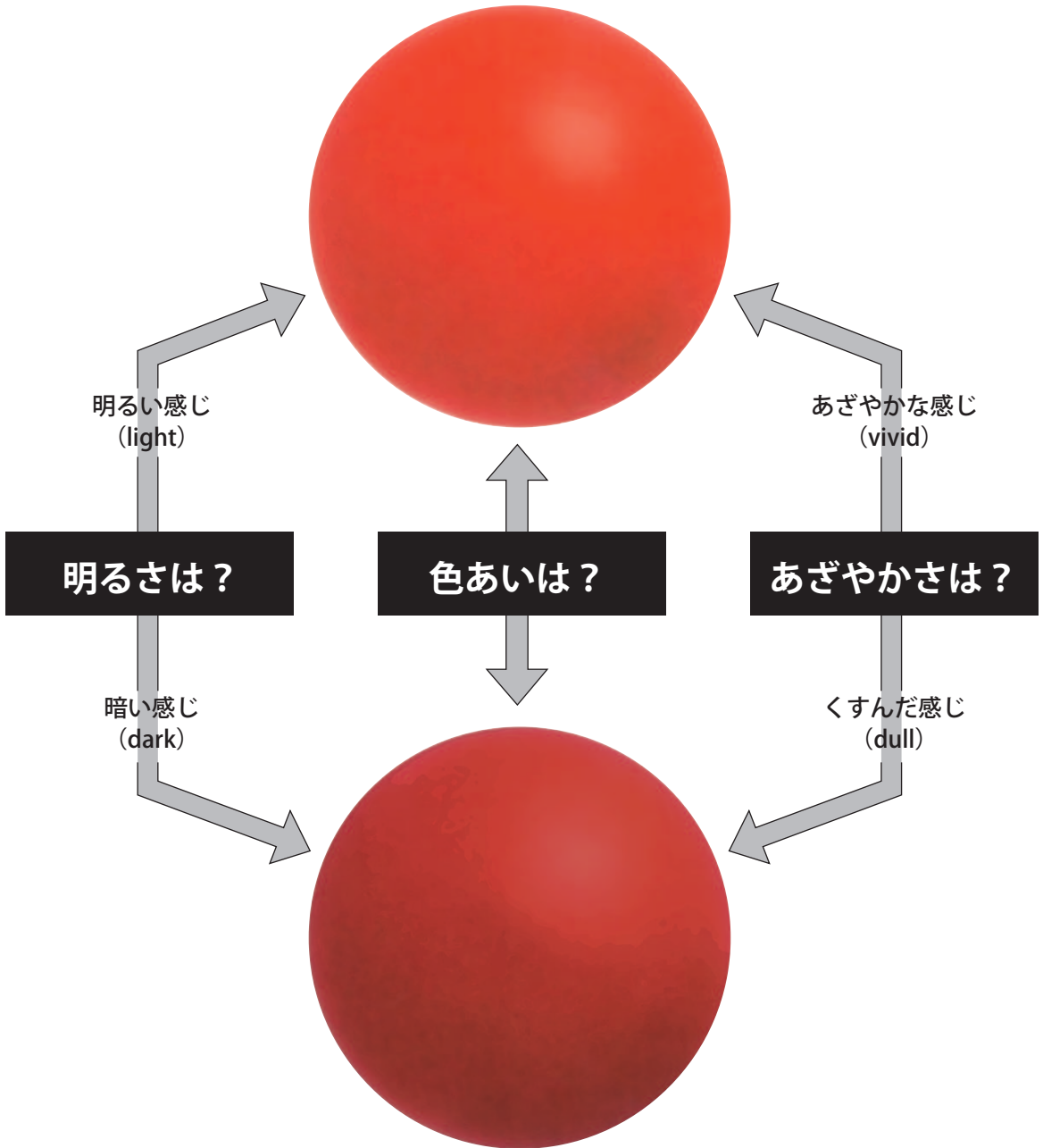
## ことばは、どこまで色を表現できるのでしょうか。 慣用色名と系統色名。

色を言い表すことばには、昔から独特のものがあり、時代によって変化しています。いまお話ししている赤を例にとっても、珊瑚色、紅梅色、胭脂、茜色、朱色などのほかに、ローズ、ストロベリー、スカーレットなどの呼び名があり、これらを**慣用色名**と呼んでいます。さらに、色の調子を分析し、あざやかな、くすんだ、濃い…などの形容詞によって、より正確に表す方法が使われています。先ほど、男性が「あざやかな赤」と言ったのがこれで、**系統色名**と呼んでいます。このように、色をことばで伝える工夫はいろいろありますが、紅色や、あざやかな赤、だけでは、人によって受け取り方が違い、色の表現としてはまだまだ不十分です。では、色を誤解のないように言い表すには、どうすればよいのでしょうか。

長さや重さを計るモノサシはあるのに  
色を計るモノサシはないのかな？



ふたつの赤い球。  
この色の違いを、誰かに  
正確に伝えてください。



# 色を正確に表現し、伝えるために ちょっと色彩の世界をのぞいてみましょう。

赤い色、いろいろ。よく似ているふたつの赤はどう違うのでしょうか。

ここにふたつの赤い球があります。一見、同じ赤と言えなくもないのですが、よく見くらべてみると、いくつかの違いに気づきます。色あいはふたつとも赤ですが、上の球の方が明るく、下の球は暗い感じですね。またあざやかさは上の球の方がまさっています。

同じように見える赤でも、これだけ違うのです。整理してみると、「色あい」、「明るさ」、「あざやかさ」の3つが、色を表現するために必要な要素だということがわかります。

# 「色あい」「明るさ」「あざやかさ」。 色の世界は、3つの要素の組み合わせ。

図1 色相環

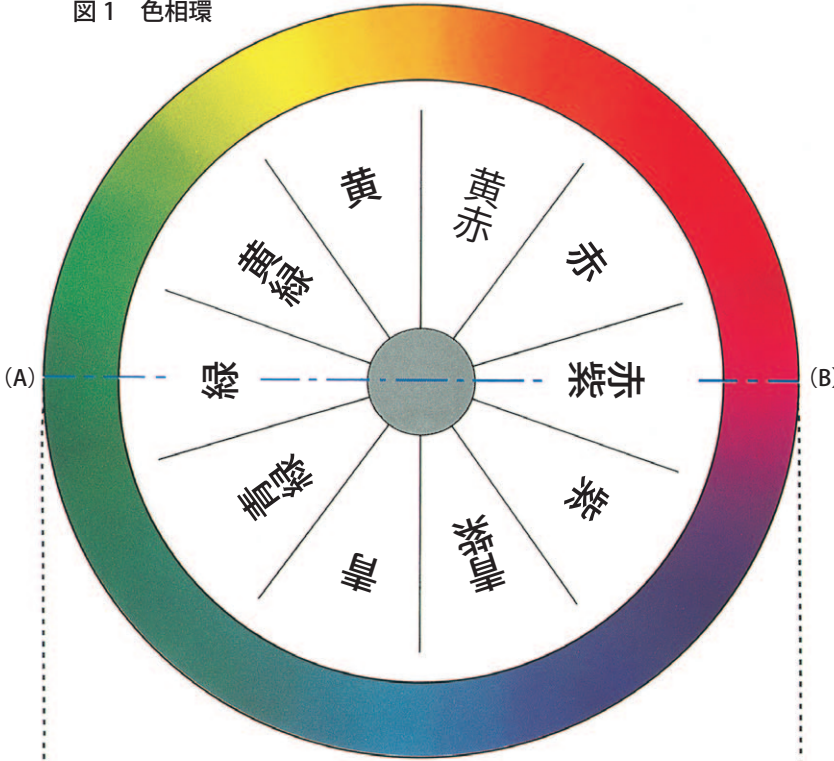


図2 赤紫と緑の明度と彩度の変化

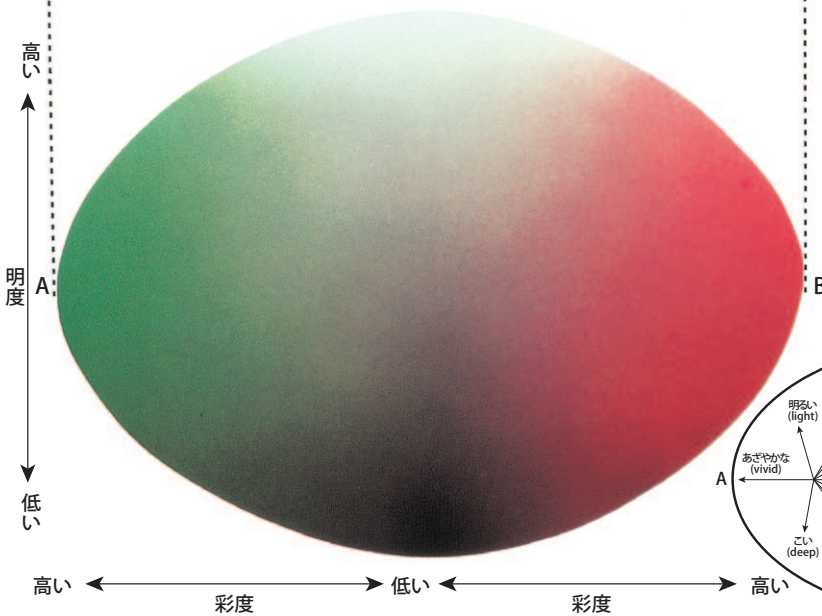
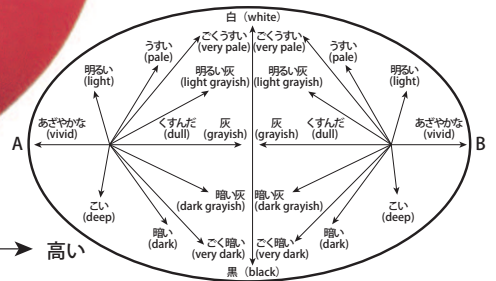


図3 色調の呼び方



# 色あい、明るさ、あざやかさ、 これが色彩の世界です。

## し き そ う 色相 H (Hue)

「赤」「黄」「緑」「青」……。  
“色あい”は色彩の輪をつくっています。

りんごの色は赤、レモンの色は黄、空の色は青…というように、誰でもその「色あい」を思い浮かべることができます。この赤、黄、青というように、それぞれ区別される「色あい」を色相といいます。さらに赤と黄といえば、

全く別の色相ですが、赤と黄の絵の具をまぜると黄赤ができ、黄と緑なら黄緑、緑と青なら青緑…というように色相は図1のようにつながりあって、ひとつの輪を作ります。これを色相環といいます。

## め い ど 明度 V (Value)

明るい色と暗い色。  
“明るさ”の度合いはタテに変化します。

色と色を比較して、明るい色とか暗い色というように、色には「明るさ」の度合いがあります。たとえばレモンの黄色とグレープフルーツの黄色では、レモンの黄色のほうが、より明るいですね。それではレモンの黄色とあずきの赤ではどうでしょう。やはり、レモンの黄色のほ

うが明るい色ですね。このように色相に関係なく比較できる「明るさ」の度合いを明度と呼んでいます。図2を見てください。これは図1の色相環を、緑(A) - 赤紫(B)で切った断面にあたります。明度がタテ方向に変化して上へ行くほど色が明るく、下へ行くほど暗くなるのがわかりますね。

## さ い ど 彩度 C (Chroma)

あざやかな色、くすんだ色。  
“あざやかさ”の度合いは中心から広がって変化します。

同じ黄色でも、レモンと梨でくらべてみるとどうでしょう。「明るさ」というよりも、レモンはあざやかな黄色で、梨はにぶい黄色というように、「あざやかさ」に大きな違いがあることがわかります。このように、色相や明度とはまた別に「あざやかさ」の度合いを示す性質を彩度と呼んでいます。図2を見ると、赤紫と緑それぞれ

の色相で、中心からヨコ方向に彩度が変化しています。中央へ向かうほど、くすんだ色(灰色)になっているのわかりますか?図3には、明度と彩度を表す色調(トーン)に関する一般的な呼び方(修飾語)を示しています。ことばにすると、どのような表現になるか、一度、図2と見くらべてください。

# 色相、明度、彩度。色彩の世界を立体で見ると…………。

色相の輪、明度のタテ軸、彩度は中心からのヨコ軸。  
3つの要素を組み合わせると…………。

色相、明度、彩度。この3つの要素は色の三属性と呼ばれ、図4のように色相を外周、明度をタテ軸、彩度を中心からのヨコ軸とした立体として考えることができます。図4で表した、三属性でつくられる立体に実際の色を配してみると、図5のような色立体になります。彩度の段階が色相と明度ごとにそれぞれ異なるため、色立体は複雑な形をしています。色相、明度、彩度が変化していく様子が良くわかります。

図4 色相、明度、彩度の立体図

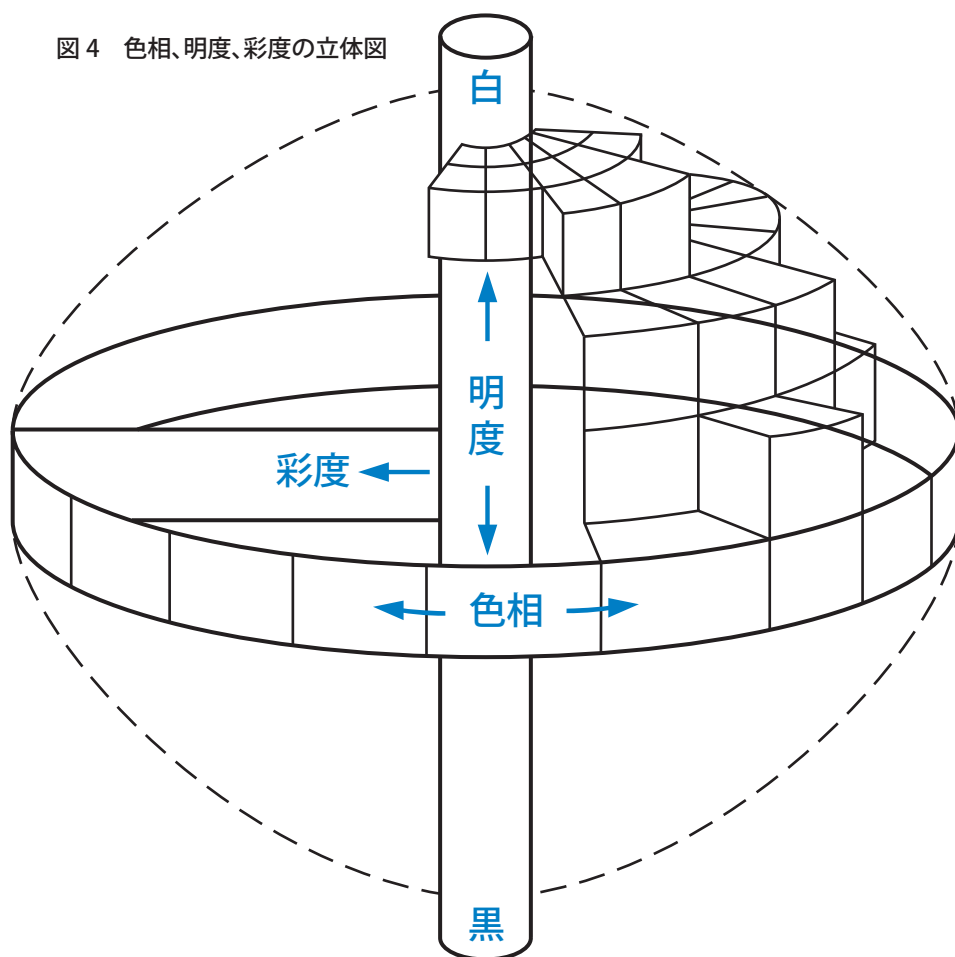
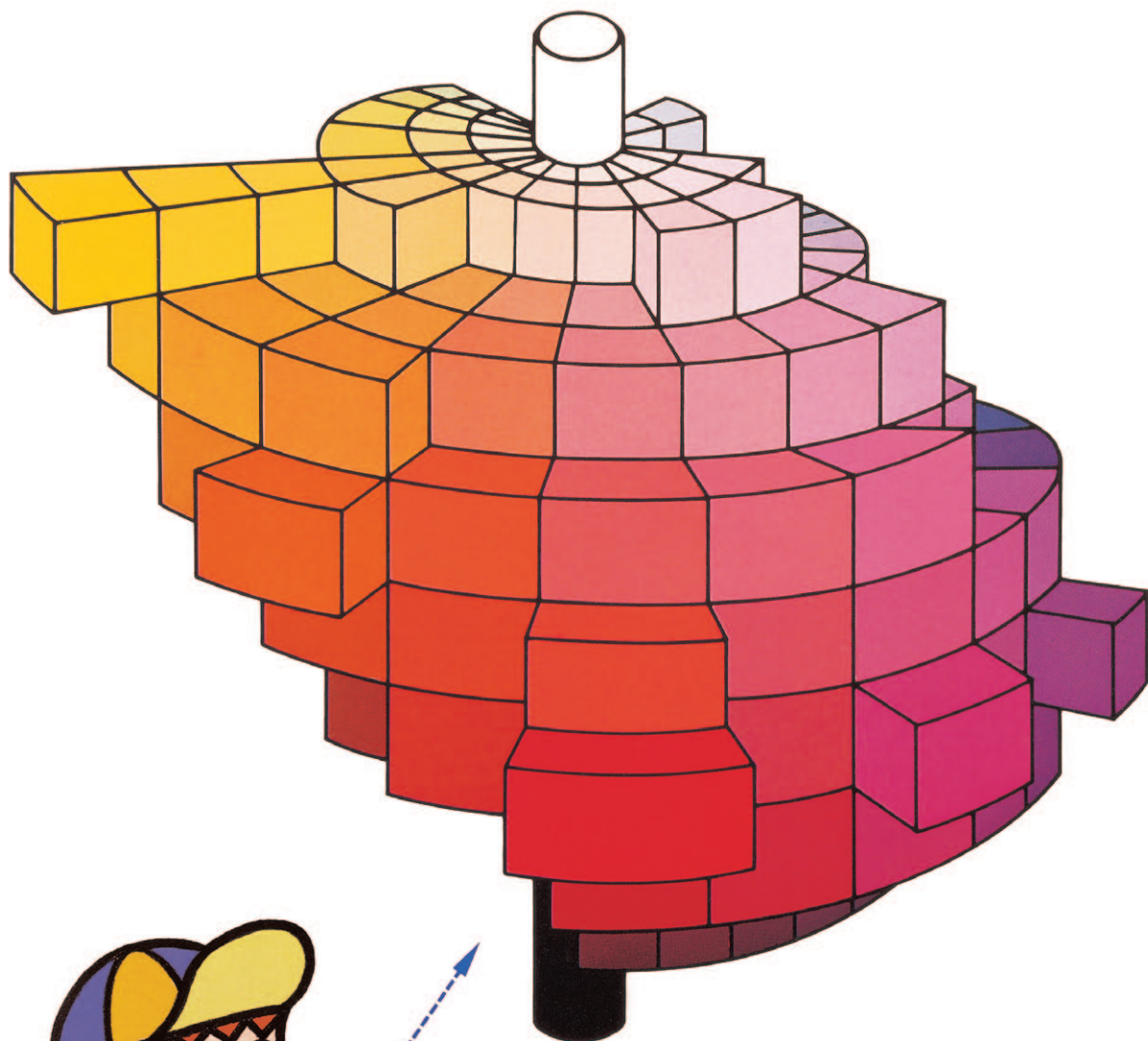




図5 色立体



色立体でりんごの色をしてみると、  
色相、明度、彩度が交わる  
赤色の部分に近いことがわかります。

# 色相、明度、彩度に目盛りをつけると、色のモノサシ(数値化)ができます。

## 色の数値化の歴史

誰もがもっと簡単に、もっと確実に色を伝え合いたい。色彩の歴史の中では、さまざまな人々が独自の方法で、色を定量的に表そうと試みて来ました。長さや重さと同じように色を数値で表す方法を考案したのです。

例えば、1905年米国人の画家アルパート・H・マンセルは、「色相」、「明度」、「彩度」の異なる数多くの色紙を作り、これを目で見比べて分類しながら色を表現する方法を考案しました。現在は修正マンセル表色系(一般にはマンセル表色系)と呼ばれ、色相(H)、明度(V)、彩度(C)で分類した色票(マンセル色票)を使って色を記号で読み取ることができます。

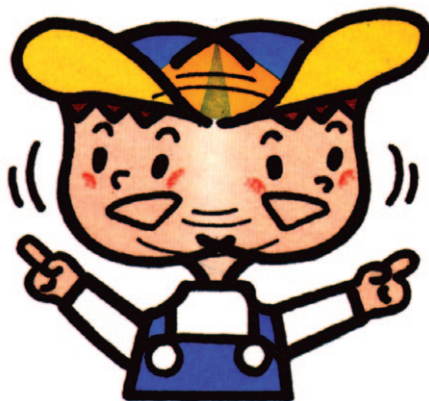
また、色や光に関してのさまざまな国際的な取り決めを行う機関として、国際照明委員会が組織されました。この国際照明委員会(Commission Internationale de l'Eclairage、略称:CIE)では、色を数値で表す方法として、1931年にXYZ(Yxy)表色系、1976年には $L^*a^*b^*$ 色空間が制定されました。

これらの表色系<sup>\*</sup>はその後いろいろと改良が加えられ、現在では色彩コミュニケーションのルールとして世界共通で使用されています。

<sup>\*</sup>表色系・色空間(ひょうしよくけい・いろくわかん):

一般に、物体の色や光源の色を数値や記号で表現する方法を言います。また、色を表現する3つの要素で示される空間のことを、色空間と言います。

色の数値化が  
できると便利だな!



# 測色計を使えば、 色の数値化が簡単にできます。

色彩計を使えば、各種表色系で瞬時に答えがでます。  
数値表示ですから、だれとでも共通にコミュニケーションできます。

リンゴの色を測ってみると、  
次のような数値表示になりました。



エルスター・エスター・ビスター

**$L^*a^*b^*$  色空間**

$L^* = 43.31$   
 $a^* = 47.63$   
 $b^* = 14.12$

エル・シー・エッチ

**$L^*C^*h$  色空間**

$L^* = 43.31$   
 $C^* = 49.68$   
 $h = 16.5$

エクス・ワイ・ゼット (ワイ・エックス・ワイ)

**$XYZ (Yxy)$  表色系**

$Y = 13.37$   
 $x = 0.4832$   
 $y = 0.3045$

# 色の数値化には、表色系を使用します。

## L\*a\*b\* 色空間

L\*a\*b\* 色空間は、物体の色を表すのに、現在あらゆる分野で最もポピュラーに使用されている表色系です。1976年に国際照明委員会（CIE）で規格化され、日本でもJIS（JIS Z 8781-4）において採用されています。L\*a\*b\* 色空間では、明度をL\*、色相と彩度を示す色度をa\*、b\*で表します。図6は、L\*a\*b\* 色空間色度図です。図からわかるように、a\*、b\*は、色の方向を示しており、a\*は赤方向、-a\*は緑方向、そしてb\*は黄方向、-b\*は青方向を示しています。数値が大きくなるに従って色あざやかになり、中心になるに従ってくすんだ色になります。また、図8は、L\*a\*b\* 色空間を立体的にイメージしたものです。図6は図8を水平方向（緑方向—赤方向）に切った断面図に当たります。

りんごの色をL\*a\*b\* 色空間で測定すると、次のような数値になりました。



L\* = 43.31  
a\* = 47.63  
b\* = 14.12

この数値がどんな色をしているのかを見てみましょう。まず図6から、a\*=47.63と、b\*=14.12が交差する(A)点がこのりんごの色度になるわけです。また、図7は色調（明度と彩度\*）を示したものです。この図から、このりんごの明度L\*=43.31の(B)点がわかります。ことばでこのりんごの色を言い表すと、「赤方向の色相で、あざやかな色」というところでしょうか。

※彩度(C\*) =  $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$  です。

図6 L\*a\*b\* 色空間色度図(色相と彩度)

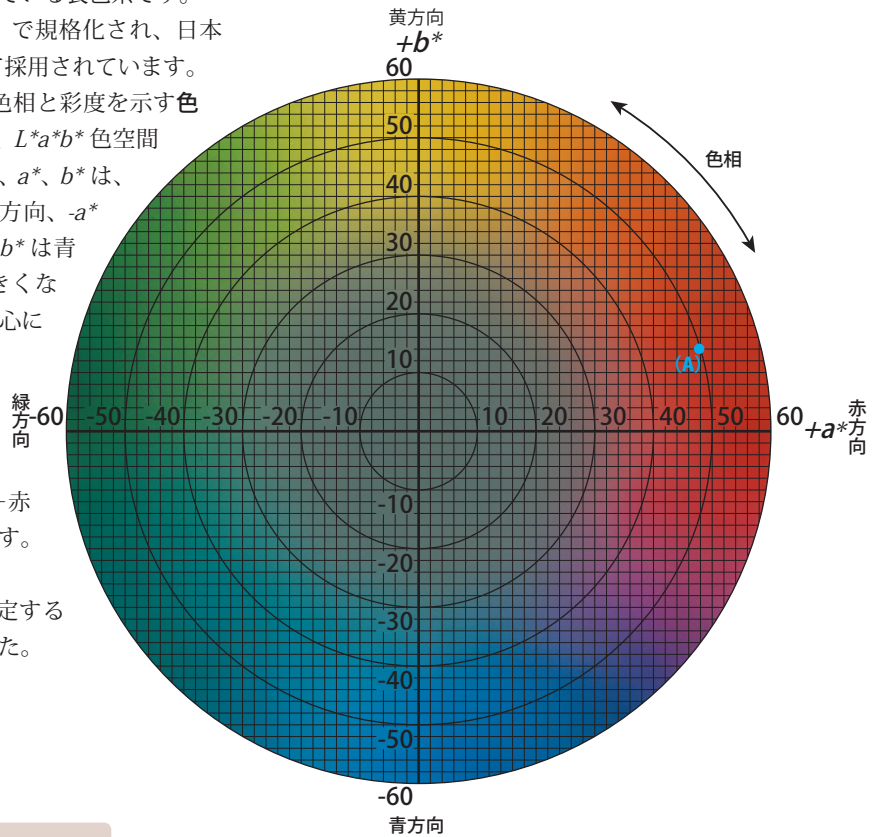


図7 L\*a\*b\* 色調図(明度と彩度\*)

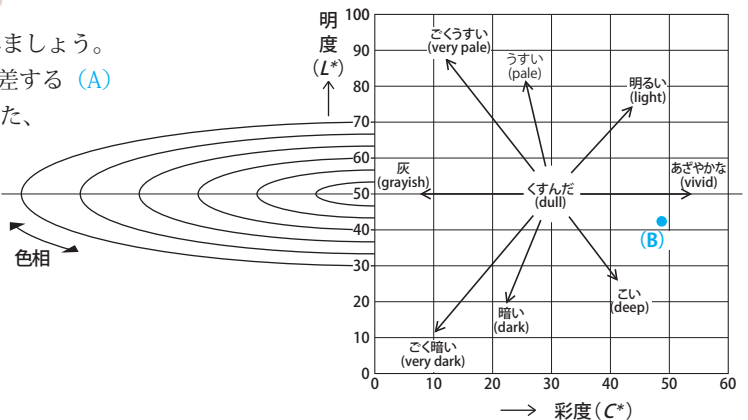
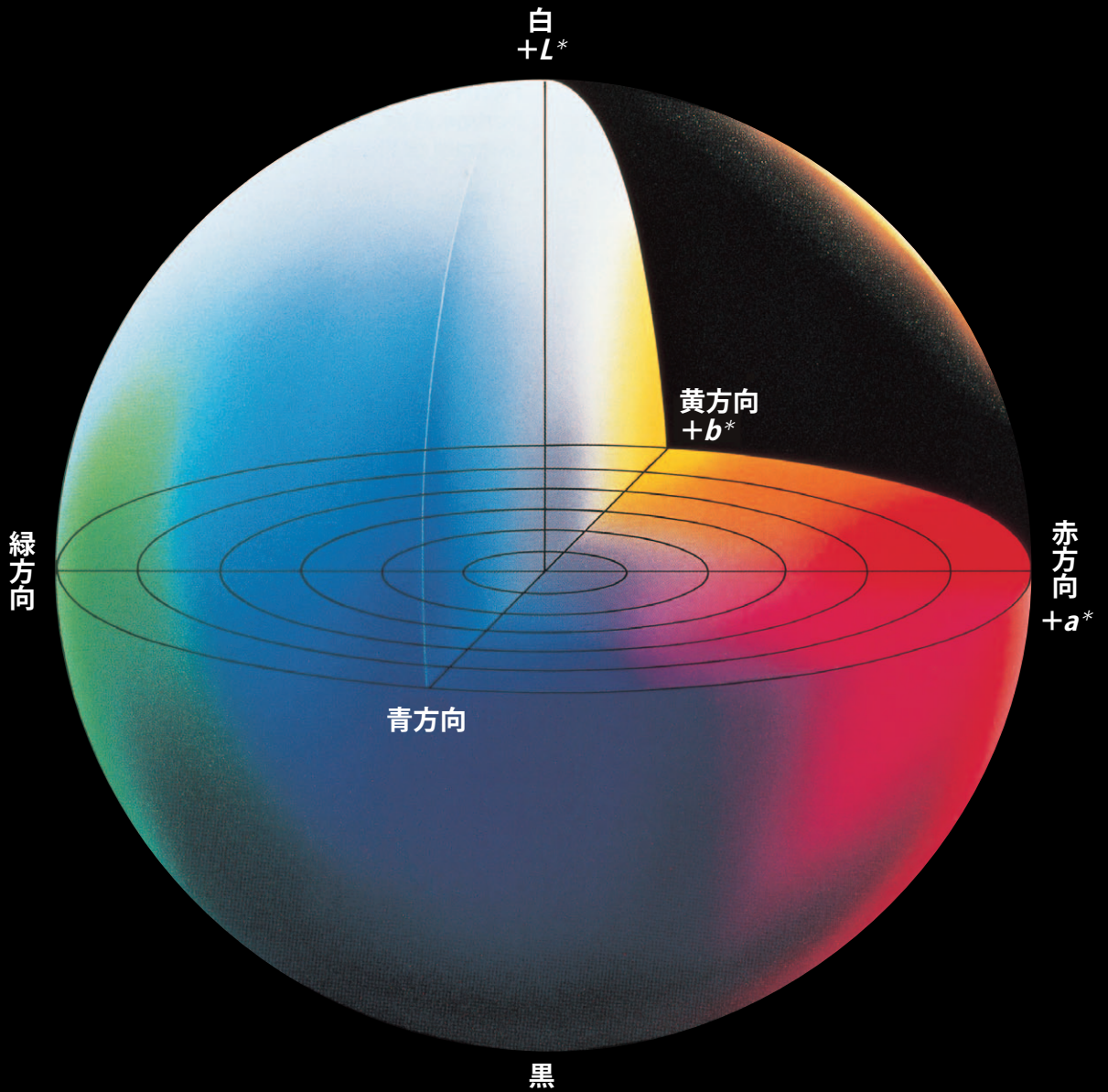


図8  $L^*a^*b^*$ 色空間立体イメージ



# L\*a\*b\* 色空間

L\*a\*b\* 色空間をベースに考え出された表色系ですから、L\*は明度を表しています。C\*は彩度を表しており、C\*の値が大きいと円の外側に位置するのであざやかさが増し、C\*の値が小さいと、円の中心に近づくため、くすんだ色になります。hは色相角度を表しており、図9のようにa\*赤方向の軸を0°として、ここから反時計方向の色相に対して移動した角度で、色の位置がわかるようになっています。例えば、90°であれば黄方向、180°であれば、緑方向…ということになります。

りんごの色をL\*a\*b\*色空間で測定してみると、次のような数値になりました。彩度C\*=49.68、色相角度h=16.5°です。この数値を図9で見ると、(A)点であることがわかります。明度L\*=43.31ですから、L\*a\*b\*色空間と同じです。



L\* = 43.31  
C\* = 49.68  
h = 16.5

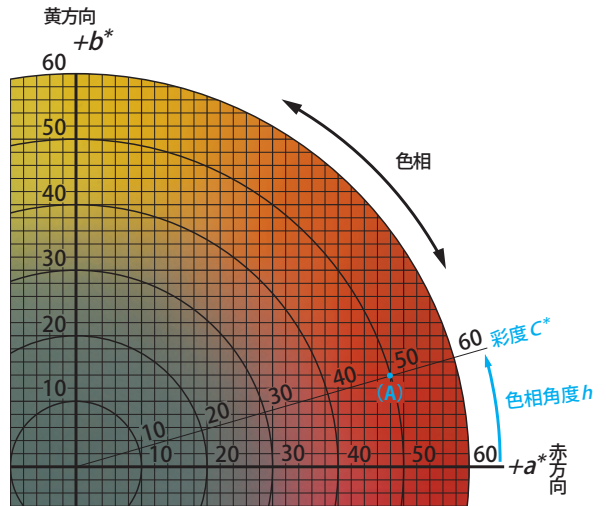
※彩度C\*は、次の式で求められます。

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

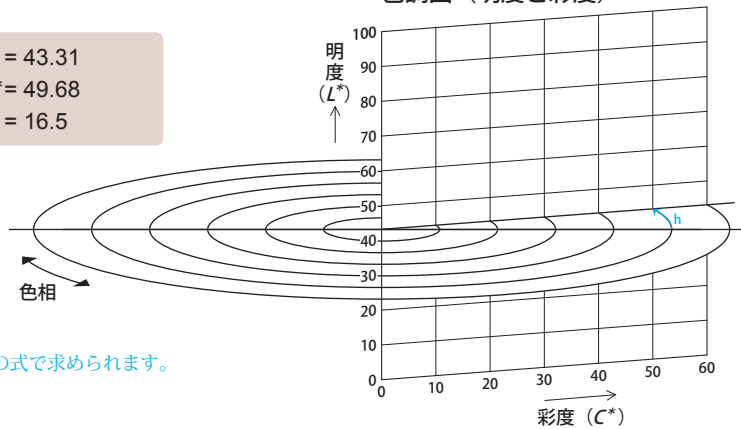
※色相角度hを求める場合は、次の式で求められます。

$$h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

図9 L\*a\*b\*色空間色度図(図6の部分拡大図)



色調図 (明度と彩度)



# XYZ 表色系

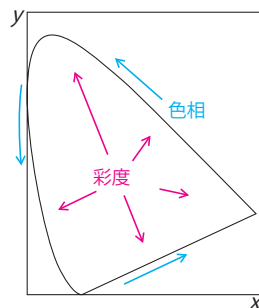
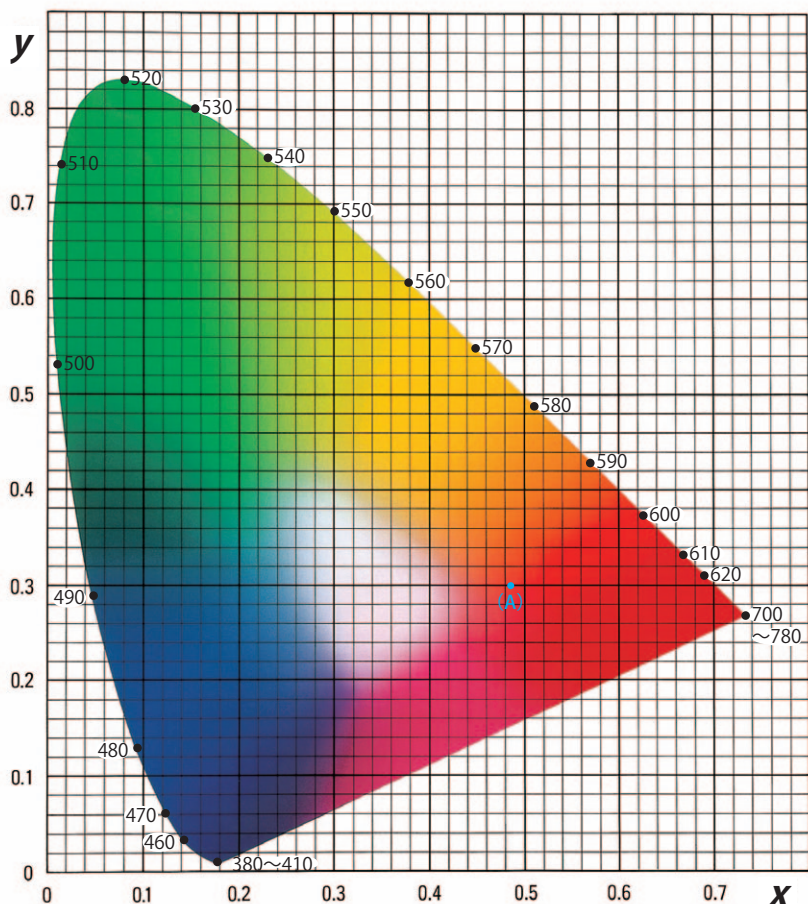
XYZ 表色系は、現在 CIE 標準表色系として各表色系の基礎となっています。物理学者の T. ヤングが発見し、のちに H. ヘルムホルツが拡充した光の三原色 (R= 赤、G= 緑、B= 青紫) の加法混色の原理に基づいて発展したもので、色度図を使って色を  $Yxy$  の 3 つの値で表します。 $Y$  が反射率で明度に対応し、 $xy$  が色度になります。図 10 は XYZ 表色系色度図です。図からわかるように、横軸方向が  $x$ 、縦軸方向が  $y$  です。また、無彩色は色度図の中心にあり、彩度は周辺になるほど高くなります。

りんごの色を測定して見ると、次のような数値になりました。この数値がどんな色を示しているのかを見てみましょう。図 10 から、 $x=0.4832$ 、 $y=0.3045$  の交点 (A) がこのりんごの色度になるわけです。反射率は  $Y=13.37\%$  になっており、これは  $L^*a^*b^*$  色空間の明度  $L^*$  に相当します。

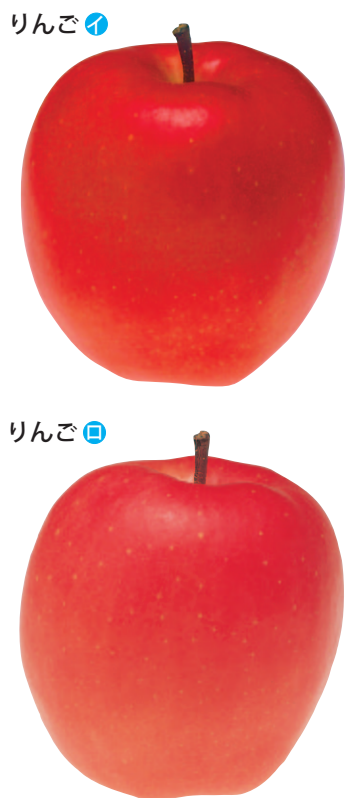


Y= 13.37  
x= 0.4832  
y= 0.3045

図 10  $Yxy$  色度図



# 微妙な色の違い(色差)を伝えることも、測色計は得意です。



数値で違いがわかります。

## 色差

「色」を使う現場でいちばん問題になるのは、微妙な色の違い(色差)です。測色計があれば、色と色との微妙な違いも、数値で表すことができます。では、2つのりんごの色差を  $L^*a^*b^*$  色空間と  $L^*C^*h$  色空間で見てみましょう。

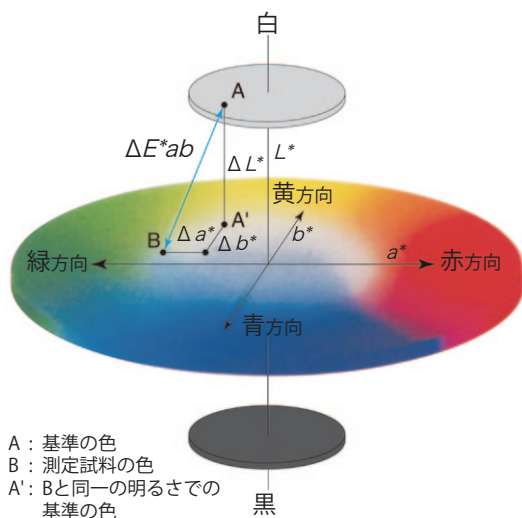
はじめに、 $L^*a^*b^*$  色空間でりんご ① ( $L^*=43.31$   $a^*=47.63$   $b^*=14.12$ ) の色を基準にして、別のりんご ② ( $L^*=47.34$   $a^*=44.58$   $b^*=15.16$ ) との色差を測定すると **A** の表示になりました。図 12 で見てみると、その違いがわかります。また、図 11 (参考) は色差についての概念を簡単に説明したものです。

**A**色差 ( $L^*a^*b^*$  色空間の場合)    **B**色差 ( $L^*C^*h$  色空間の場合)

$\Delta L^* = +4.03$   
 $\Delta a^* = -3.05$   
 $\Delta b^* = +1.04$   
 $\Delta E^* = 5.16$

$\Delta L^* = +4.03$   
 $\Delta C^* = -2.59$   
 $\Delta H^* = +1.92$   
 $\Delta E^* = 5.16$

図 11 (参考)  $L^*a^*b^*$  色空間の色差図



$L^*a^*b^*$  色空間の場合、 $\Delta E^*_{ab}$  (デルタ・イースター・エー・ビー)※の数値で色差を表します。二つの色の、方向の違いはわかりませんが、色差を一つの数値で表すことができます。**A** の場合、 $\Delta L^*=4.03$   $\Delta a^*=-3.05$   $\Delta b^*=1.04$   $\Delta E^*_{ab}=5.16$  です。これを計算式で表すと、 $\Delta E^*_{ab}=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$  となります。

一方、 $L^*C^*h$  色空間で測定した場合の色差は **B** のようになりました。

明度差  $\Delta L^*$  は、 $L^*a^*b^*$  色空間と同じですが、彩度差  $\Delta C^*=-2.59$ 、色相差  $\Delta H^*=1.92$  で、図 12 から、彩度がマイナスになり、色相は  $b^*$  方向へ変化しています。また、図 13 から、**②** は **①** に比べて「多少うすい色」ということがわかります。これらを総合的に見て、りんご **②** の色をりんご **①** と比べて、ことばで言い表すとすれば「赤系の色相で多少うすい色」といったところでしょうか。

※ $\Delta$  (デルタ) は、差を表すときの記号として使われます。



図 12  $L^*a^*b^*$  色空間色度図(色相と彩度)

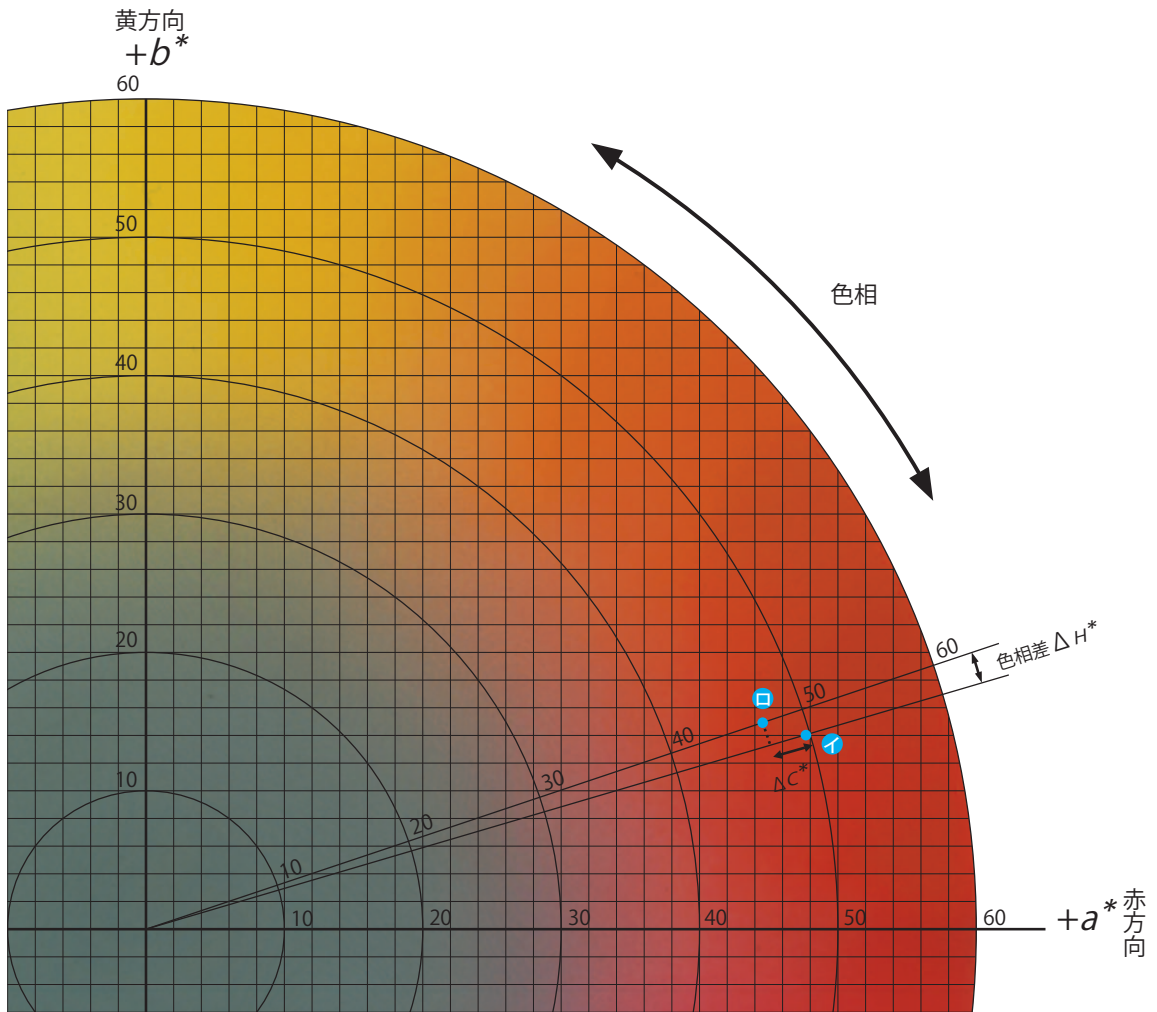
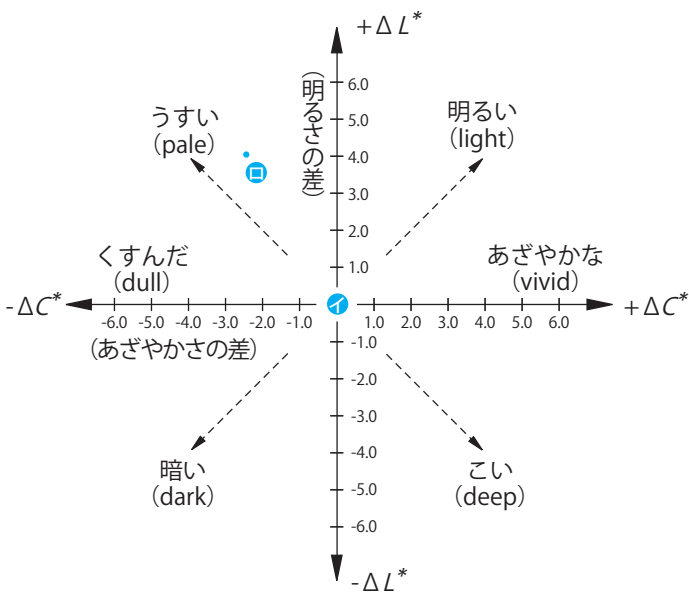


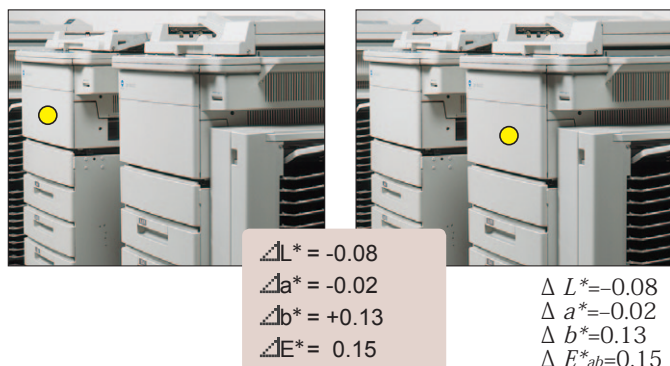
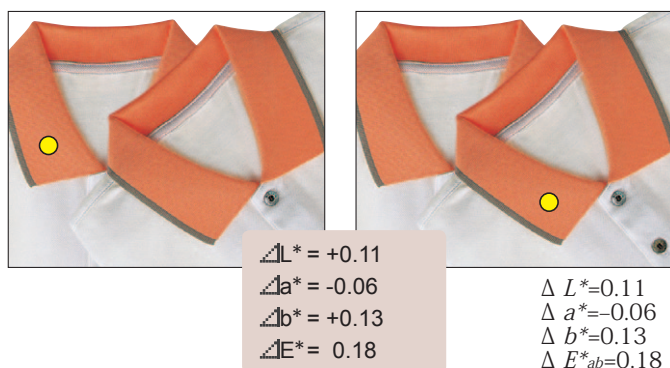
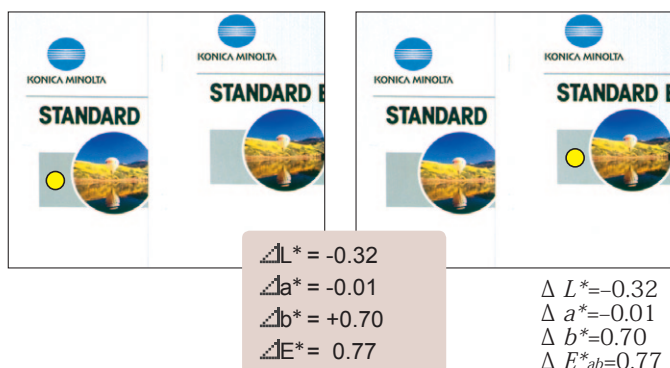
図 13 色調図(明度差と彩度差)



# 人間の目では同じように見えても、 測色計で測ってみると 微妙に違っていることがわかります。

人間の目ではほとんど同じような色に見える2つのりんごも、実際に測色計で測ってみると、微妙な色の違いがあることがわかりました。このように、測色計は、色の違いをはっきりと数値で示してくれます。

もし万一、商品の色が違ったままで気付かずに出荷され、トラブルが起こったとしたら…。販売部門はもとより、流通部門、生産部門だけにとどまらず会社全体に大きなダメージを与えてしまうことにもなりかねません。このようなことを未然に防ぐためにも、色彩管理は、とても大切な役割を担っているのです。



●このマークは測定箇所を示しています。

# (例) 測色計による色の品質管理

では、測色計を使った色彩管理が、どのように役立っているのかを見てみましょう。

## K 社の場合

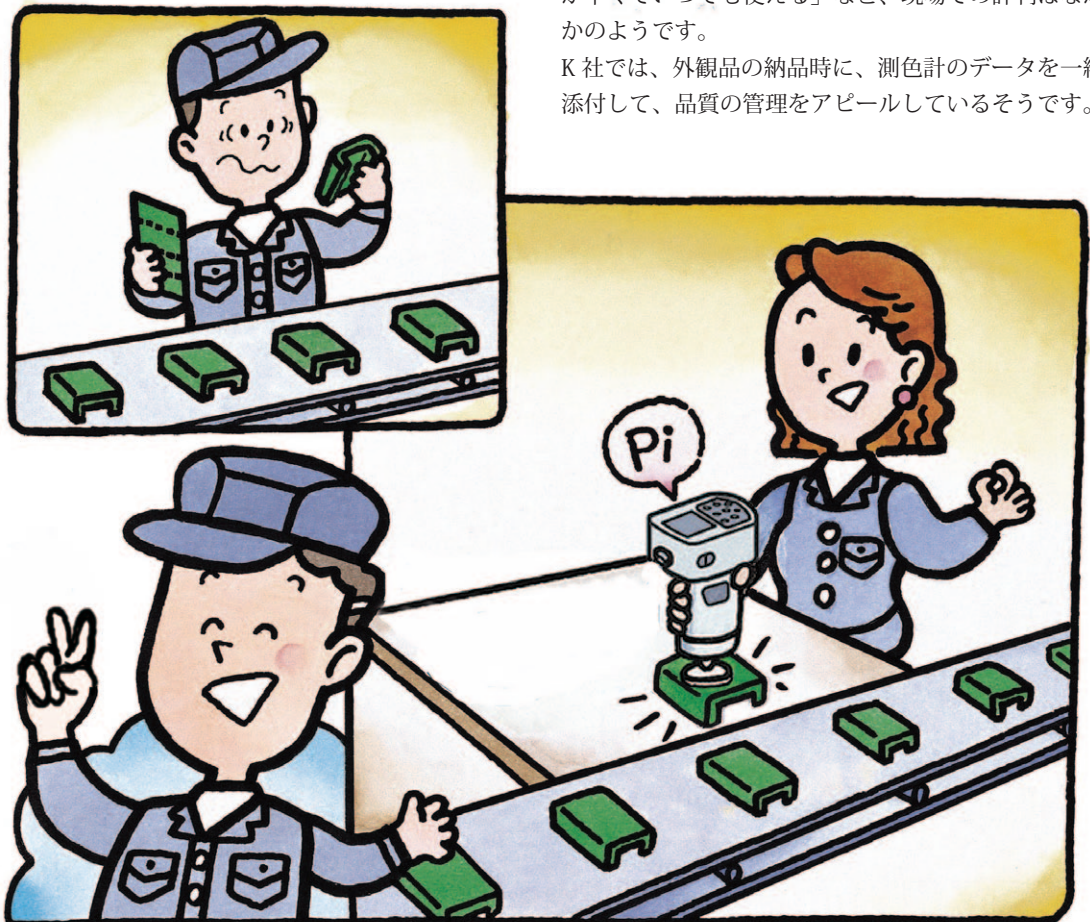
K 社では、プラスチック外観品を発注先から受けて生産を行っています。発注先は、K 社以外の会社にも同様の外観品の生産を依頼しています。

K 社では、生産ラインでの製品色管理を専任の検査スタッフが担当し、製品の色見本による目視検査（もくしけんさ）で、製品の色チェックを行っていました。目視検査は、熟練した人間の目によって、外観品が見本色の許容範囲に収まっているかどうかをチェックする作業です。

この作業は、人材に限られており、誰でもすぐにできるというわけにはいきません。また、人間の目でチェックしますから、作業時間にも限度があり、年齢やその時の体調によっても評価が違ってきます。ときには、K 社が納品した外観品と、他社から納品された外観品との色の違いを発注先から指摘され、K 社に返品されてくることもありました。

そこで K 社では、生産ラインの製品色管理に測色計を採用することにしました。「ハンディなので生産ラインでもすぐに使える」、「簡単に誰でも使える」、「チェックが早くていつでも使える」など、現場での評判はなかなかのようです。

K 社では、外観品の納品時に、測色計のデータを一緒に添付して、品質の管理をアピールしているそうです。





# 測色計を選ぶための 基礎知識

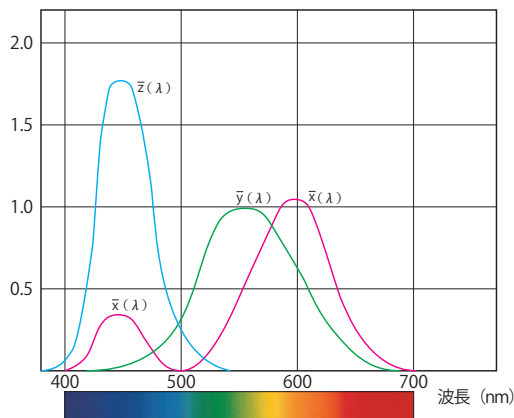
これまで色について勉強して来たように、測色計を使えば色の数値化ができ、色についてのコミュニケーションがスムーズに行えること、色についていろいろな角度から分析できることがわかりました。ここでは、測色計を選ぶための基礎知識を中心に、測定結果に影響をおよぼす特殊な色や条件について勉強してみましょう。

# 私たちが色を感じるプロセスと測色計の違いについて。

人間の目に見えるのは可視光線領域の波長の光ですが、光は色そのものではありません。「目の網膜を刺激して、視覚を起こすことのできる放射」と定義づけられている通り、目に入ってきた光に対して、目の網膜が刺激を受け、脳が反応することによって初めて「色」という概念が生まれるのです。スペクトル（赤・橙・黄…）の中の「赤」・「緑」・「青」の3つの色が一般に、**光の三原色**と呼ばれています。人間が色を知覚できるのは、この三原色の光に対応した感覚（センサー）が、人間の目にあるからと考えられています。

図 14 は、人間の目に対応する分光応答度（色を見分ける3つの応答度）を示したものです。これを等色関数と呼び、 $\bar{x}(\lambda)$ （エックス・バー・ラムダ）は、赤の波長域に大きな応答度を持ち、 $\bar{y}(\lambda)$ （ワイ・バー・ラムダ）は、緑の波長域に大きな応答度を持っています。また、 $\bar{z}(\lambda)$ （ゼット・バー・ラムダ）は、青の波長域に大きな応答度を持っています。これが、物体からの光を受け  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  の割合（刺激）の変化によって、種々の色になるわけです。この分光応答度は、CIE（国際照明委員会）で標準観察者の分光応答度として規定されています。

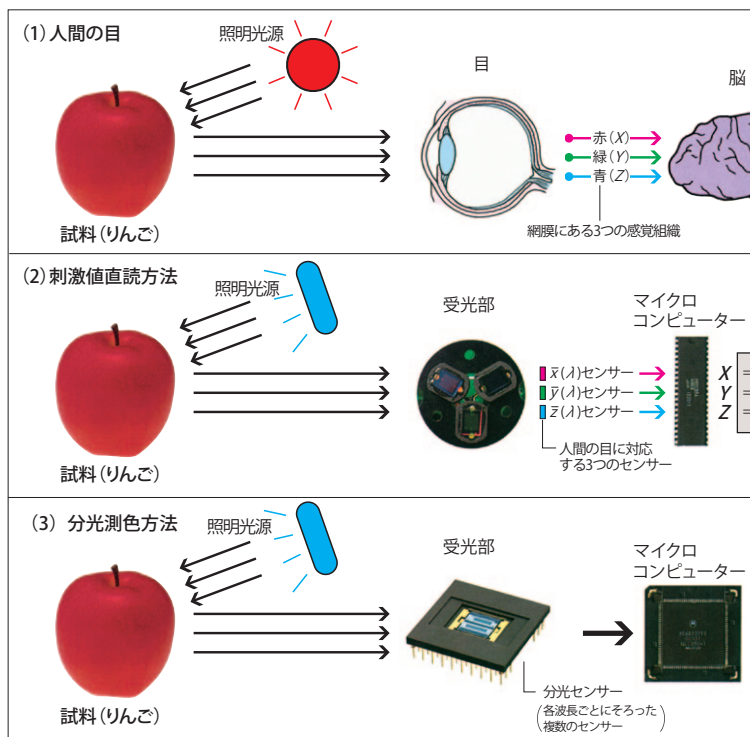
図 14 人間の目に対応する分光応答度（等色関数）



## 刺激値直読方法と分光測色方法

刺激値直読方法とは、図 15-（2）のように、この、人間の目に対応する分光応答度とほぼ同一の応答度を持つ三つのセンサー  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  で試料を測定し、直接「三刺激値」と呼ばれる  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  の3つの値を測定する方法を言います。一方、分光測色方法は図 15-（3）のように、試料から反射された光を回折格子等で分光し、これを複数\*のセンサーで受光して、各波長の反射率を測定します。そして、そのデータをもとにマイコン部で積分計算を行い、三刺激値  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  の3つの値を算出します。ここでは、試料（りんご）の値がそれぞれ  $X=21.21$ 、 $Y=13.37$ 、 $Z=9.32$  になっています。この3つの数値をもとにして  $L^*a^*b^*$  などの各種表色系による色の数値表示が行われるわけです。

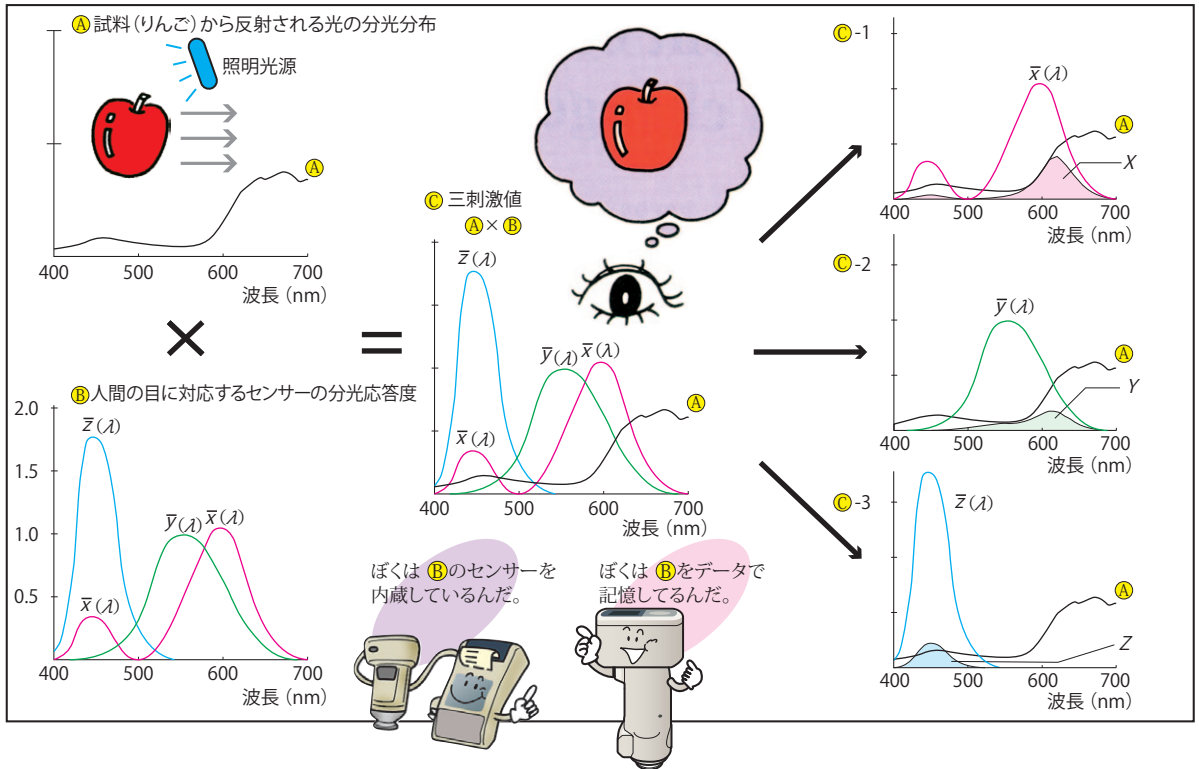
図 15 人間の目と刺激値直読方法 / 分光測色方法の測定原理



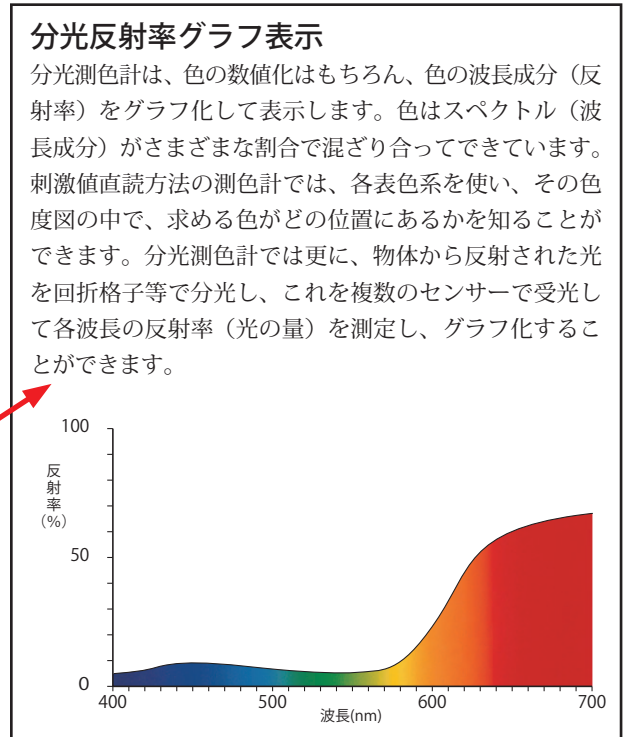
\*コニカミノルタ製「分光測色計 CM-700d」は、試料からの反射光を 36 個のセンサーで受光します。

図 16 は、色彩測定における三刺激値 (X、Y、Z) の求め方の原理を表したものです。図 16 で、**A** 試料 (りんご) からの反射光 (分光分布) が **B** センサーに入ると、それぞれ 3 色に分解され、**C** 三刺激値 (X、Y、Z) がわかります。**C** = **A** × **B** で求められます。**C** を各分光応答度別に見てみると、**C**-1 :  $\bar{x}(\lambda)$ 、**C**-2 :  $\bar{y}(\lambda)$ 、**C**-3 :  $\bar{z}(\lambda)$  のようになります。それぞれ斜線部 (X、Y、Z) を積分計算で求めた値が三刺激値になります。

図 16 色彩測定における三刺激値の求め方の原理



<p>赤いと知覚</p> <p>ぼくはりんごの色をこんなふうに見てるんだ。</p>	<p>人間の目は色と色を比較する能力に優れていますが、個人差があり、また記録性に問題があります。</p>
<p>数値表示</p> <p>21.21 13.37 9.32</p> <p>ぼくはこんなふうの色を測っているんだよ。人間と同じなんだよ。</p>	<p>刺激値直読方法の測色計は、小型で携帯性に優れており、比較的彩度の低い色の比較に十分な機能と性能を備えています。</p>
<p>三刺激値表示</p> <p>X=2121 Y=1337 Z=932</p> <p>ぼくは複数 (36個) のセンサーでもっと高精度に測っているんだ。</p> <p>分光グラフ表示</p>	<p>分光測色方法の測色計は、測定物の分光反射率から、様々な条件を変えて測定結果を得られます。彩度の高い色でも高精度に測定できます。</p>



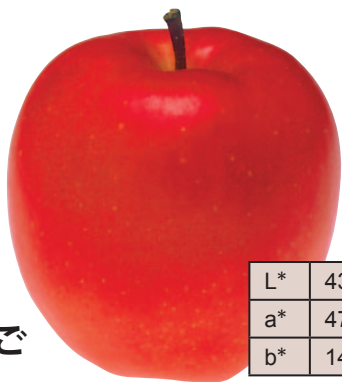
# 光(色)の成分はどうなっているのか、 実際に見てみましょう。

物体は、光源からの光の一部を吸収し、残りを反射します。この反射される部分が人間の目に入り、「色」として認識されるわけですが、光のどの部分をどれだけ吸収し、どれだけ反射するかは物体によって違うため、それぞれが固有の色を持つことになるのです。





## りんご



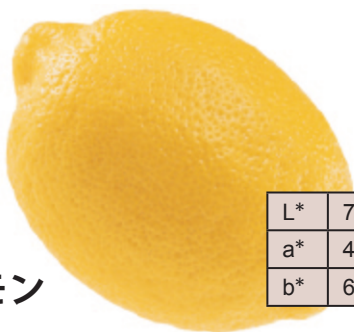
L*	43.31
a*	47.63
b*	14.12

りんごを測定すると、図 17- (1) のような分光反射率グラフになりました。あらゆる波長の光が混ざり合って、さまざまな色が含まれていることがよくわかりますね。さらにこのグラフから赤系の波長成分の反射率が高く（光の量が多く）、他の波長成分の反射率が低い（光の量が少ない）ことが分かります。これは図 17- (2) で示すように、りんごが橙や赤の波長成分を反射して、紫や藍、青、緑の波長成分を吸収しているということを意味しています。このように、分光測色計で測定すると、分光反射率グラフによって、**りんごの色の正体**をみることができるのです。

可視光線領域に配置された、分光測色計の複数（36 個）\*のセンサーが、それぞれの波長成分をきちんと見て測定しているというわけです。だから、人間の目では感じられない色の要素をすべて測定できるのです。

※コニカミノルタ製「分光測色計 CM-700d」の場合

## レモン



L*	75.34
a*	4.11
b*	68.54

レモンを測定してみると、図 18- (1) のような分光反射率グラフになりました。このグラフから、黄系と赤系の波長成分の反射率が高く（光の量が多く）、紫、藍の波長成分の反射率が低く（光の量が少なく）なっていることがわかります。これも、図 18- (2) で示すように、レモンが黄や緑、赤の波長成分を反射して、紫や藍の波長成分を吸収しているということを意味しています。すなわち、これが**レモンの色の正体**です。

図 17- (1) りんごの分光反射率グラフ

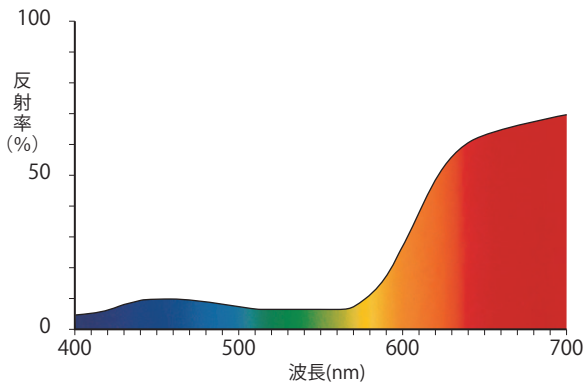


図 17- (2)

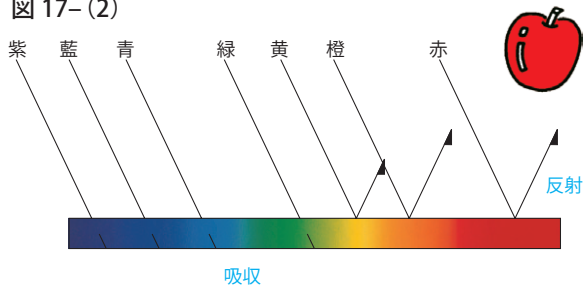


図 18- (1) レモンの分光反射率グラフ

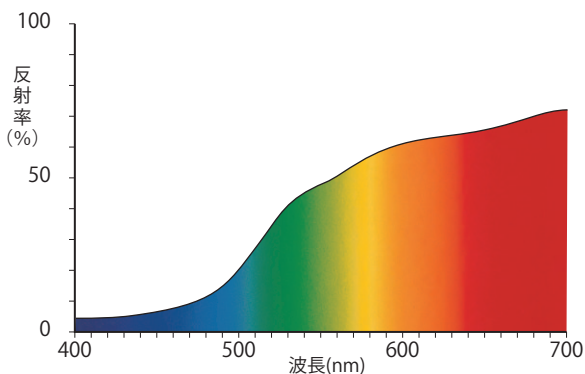
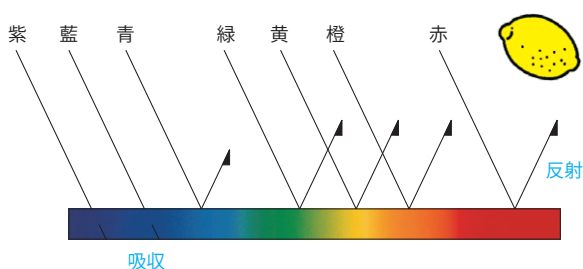


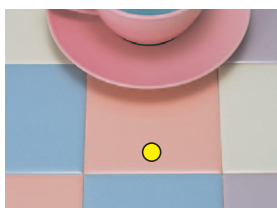
図 18- (2)



# 測色計を使って、 いろいろな色を測ってみましょう。

測色計を使うと色の数値化ができます。分光測色計を使えば、数値化だけでなく、分光反射率グラフで色を見ることが出来ます。また、分光測色計は精密なセンサーやさまざまな照明光源情報などを内蔵しており、いろいろな照明光源下の色の数値化が可能です。

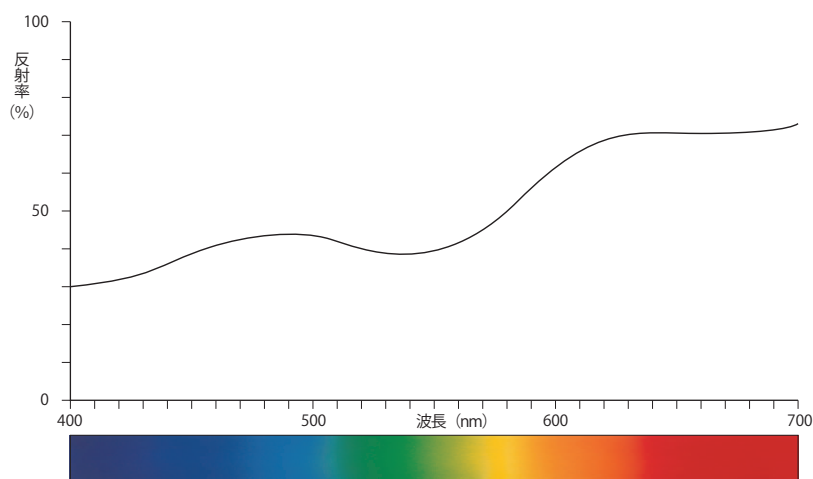
## (例) A：タイル



●このマークは測定箇所を示しています。

L*	74.72
a*	15.34
b*	10.21

ピンクのタイルを測定しています。分光反射率グラフでは、このタイルが全波長域の成分を含んでいることがわかります。さらに、600 nm 以上（橙～赤系）の波長成分の反射率が一段と高いこともわかります。



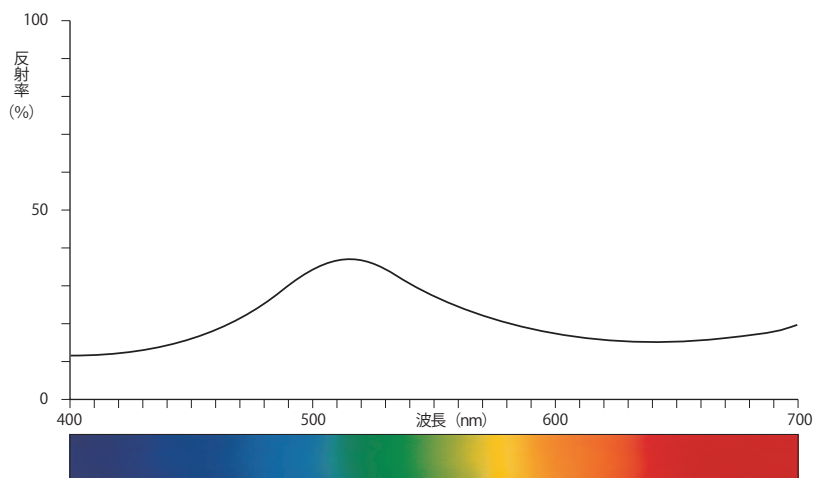
## (例) B：繊維



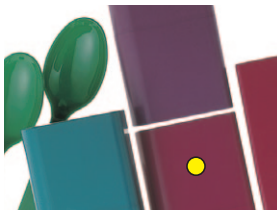
●このマークは測定箇所を示しています。

L*	64.51
a*	-36.87
b*	54.69

グリーンの繊維部分を測定しています。分光反射率は全体に低くなっていますが 520 nm 付近がピークです。450 nm 以下と 600 nm 以上で低くなっており、青系および赤系の波長成分が吸収されていることがわかります。



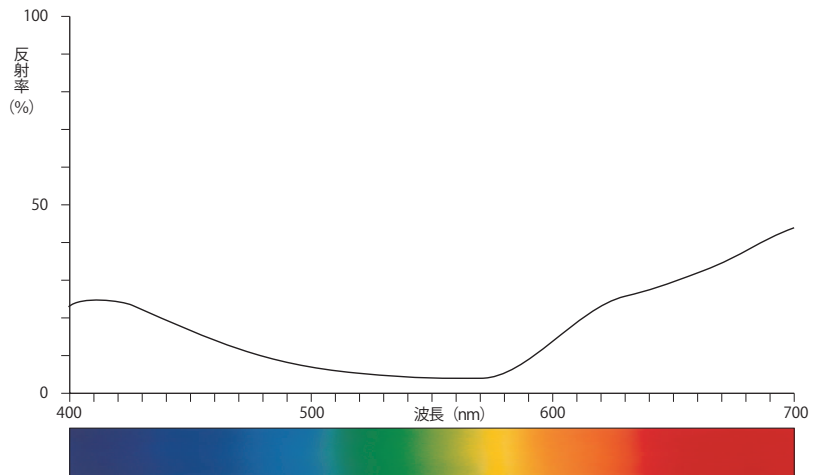
## (例) C：プラスチック



●このマークは測定箇所を示しています。

L*	34.27
a*	44.53
b*	-21.92

赤紫色のプラスチック製品を測定しています。400 nm と 700 nm 付近で反射率が高くなっており、500 nm ～ 600 nm（緑～黄系）の波長成分の反射率が低く、吸収されていることがわかります。



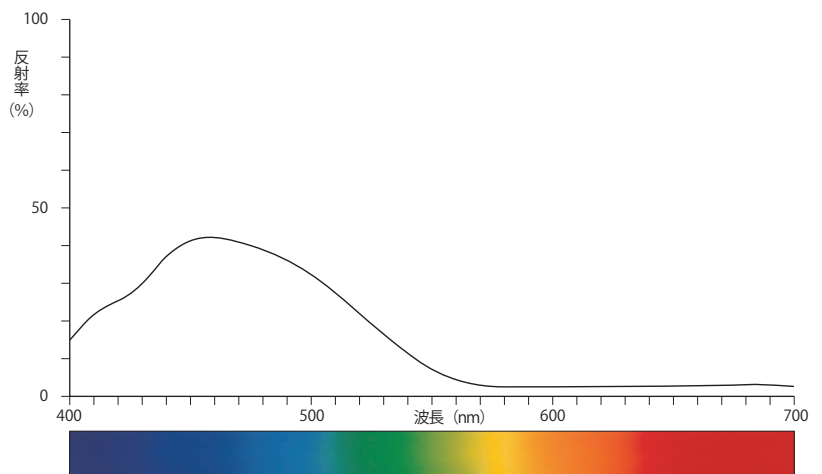
## (例) D：ゴム



●このマークは測定箇所を示しています。

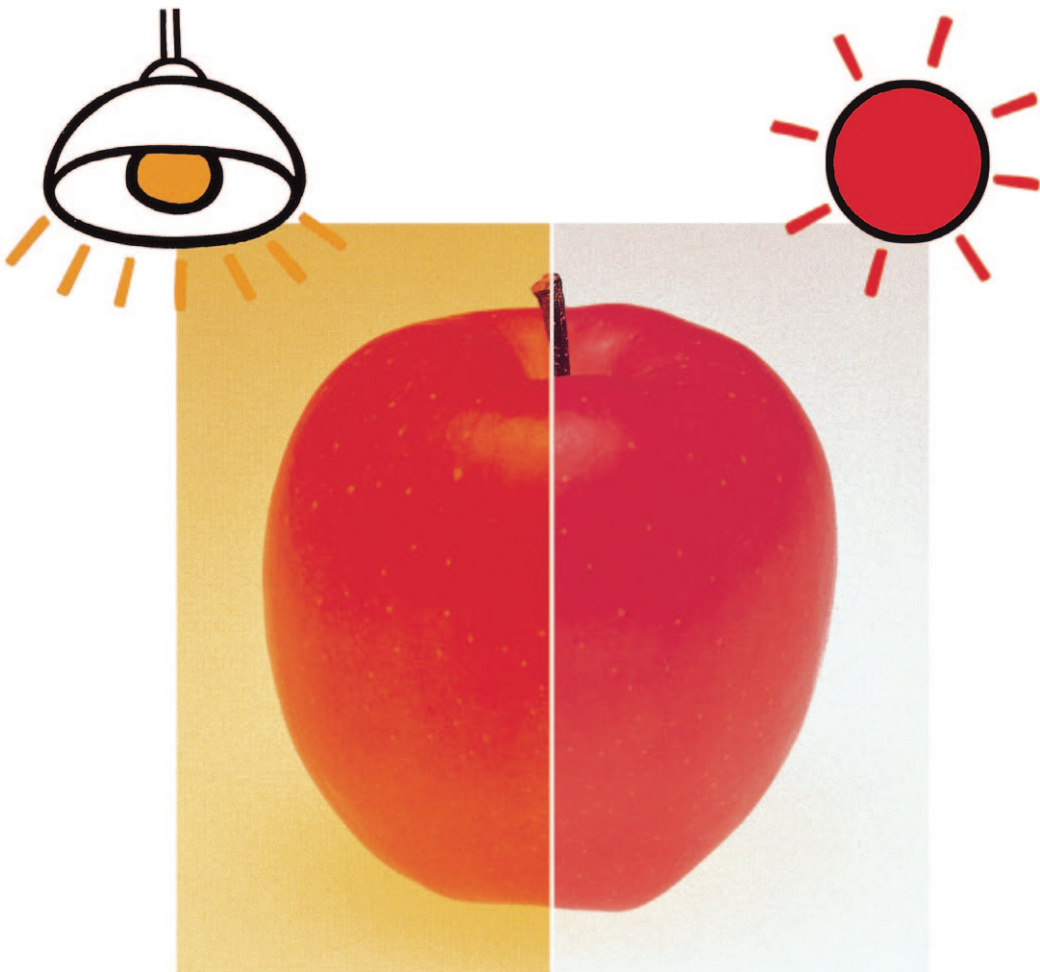
L*	37.47
a*	7.07
b*	-47.77

鮮やかなブルーです。400 nm ～ 500 nm（藍～青系）の波長成分の反射率が高く、逆に 550 nm 以上の波長成分は低く、ほとんど吸収されています。



# 同じ色のはずなのに どうして違って見えるの？

ここまで見てきたように、測色計を使えば色の数値化ができ、また分光測色計によって色を分光反射率グラフで見ることができます。数値化やグラフ化は色のコミュニケーション手段として有効なのですが、色を扱う現場では、色に関する様々な問題を抱えており、それを解決する手段としても測色計は役に立つのです。例えば皆さんは、異なる光源の下では色が違って見える、、、という経験はありませんか？



# 色の見え方は、いろいろな条件によって左右されます。

## 光源の違い

八百屋さんの店先では真っ赤でおいしそうだったりんごが、家の蛍光灯の下ではなんとなくおいしそうに見えない…。こんな経験はありませんか？太陽光、蛍光灯、白熱電灯…など、それぞれ照明光源の違いによって、同じりんごでも違う色に見えてしまいます。

## 対象物や環境条件の違い

### ・表面状態の違い

例えば、滑らかなプラスチック板の表面をサンドペーパーで擦ってキズを付けると、色が白っぽく見える…。こんな経験はありませんか？表面状態の違いによって、同じものでも違う色に見えてしまいます。

### ・見る方向や照明の位置の違い

一般に物の色は、見る角度がほんの少し違っただけでも、明るい色に見えたり、暗い感じに見えたりします。透明感のある色や金属感のある色などは特にこの傾向が強いようです。色を正しく伝えるためには、見る方向も一定にしなければなりません。また、光の当たる方向（照明光源の位置）が違っていても、色の見え方は違ってきます。

## 錯覚や個人差による違い

### ・大きさの違い

小さな色見本を見て気に入った壁紙も、実際に買って壁に貼ってみると、少し派手すぎるように感じる場合があります。面積の大きい色は、小さい色に比べて明るくあざやかに見える傾向があり、これを色の「面積効果」といいます。大きな面積のものを、小さな色見本で決めてしまうと失敗することもあります。

### ・背景の違い

たとえば、りんごを明るい背景の前に置くと、暗い背景の前に置いた時に比べて、くすんだ感じに見えます。これは色の「対比効果」といわれるもので、色を正確に判断するためには好ましくありません。

### ・観察者の違い

色を判断する場合、人間の目の感度にはそれぞれ個人差があり、色覚が正常とされている人でも、ほとんどは赤色か青色にわずかに感度が偏ることが知られています。また、年齢とともに視力にも変化が現れてきます。このように、観察者の違いによっても色の見え方は違ってくるのです。

色を観察するときの条件を決めておくことが大切なんだね。



# 光源が変わると、色の見え方はこんなに変わります。

測色計（刺激値直読方法 / 分光測色方法ともに）には測定用照明光源が内蔵されていますが、物体の色は照明する光源によって違って見えます。したがって物体の色を測定するためには、各種の光源の代表的な特性を規定しておく必要があります、これらはCIE（国際照明委員会）やJISなどで定められています。図19は、代表的な光源の分光分布です。分光測色計には図19の照明光源データが内蔵されており、それぞれ目的に応じた照明光源によって、色彩値の測定ができます。同時に、ある製品が「さまざまな照明光源下においてどのように見えるか」といったシミュレーションを行うこともできます。刺激値直読方法の測色計は一般的に、測色用標準イルミネラントD<sub>65</sub>/測色用補助イルミネラントCのどちらか1種類で測定します。

図19 代表的な光源の分光分布

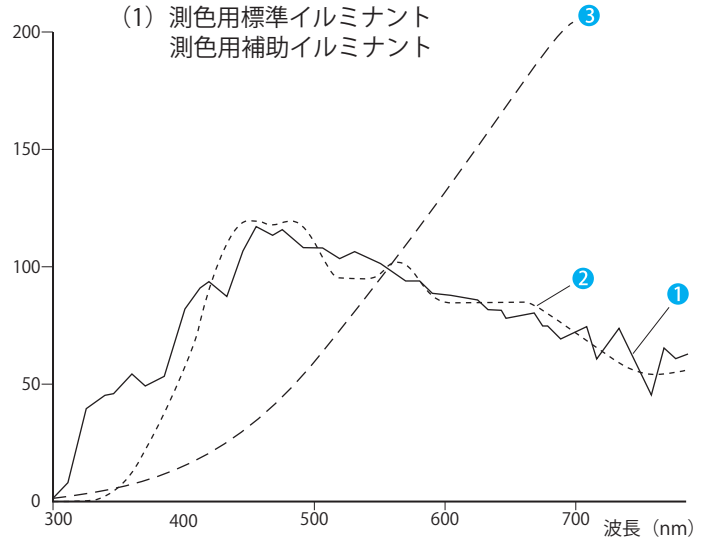


図19- (1) 標準の光

- ① 測色用標準イルミネラント D<sub>65</sub>…紫外域を含む昼光で照らされている、物体色の測定用光源です。CIE、ISOの基準光です。色温度は6504 Kです。
- ② 測色用補助イルミネラント C…昼光で照らされている、物体色の測定用光源です。色温度は6774 Kです。
- ③ 測色用標準イルミネラント A…白熱電球で照らされている物体色の測定用光源です。色温度は2856 Kです。

図19- (2) 代表的な蛍光ランプ(国内)

- ④ F6…白色
- ⑤ F8…演色AAA 昼白色
- ⑥ F10…3波長形昼白色

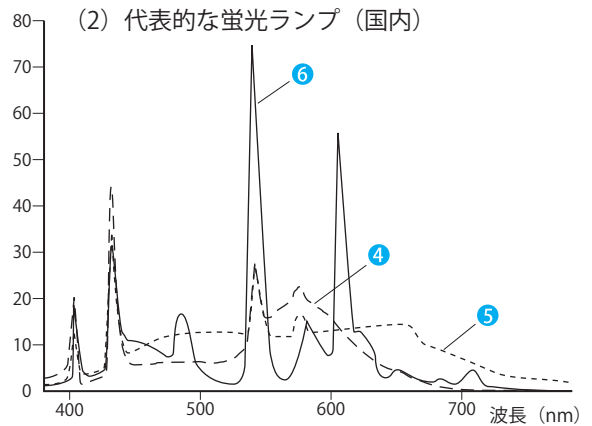
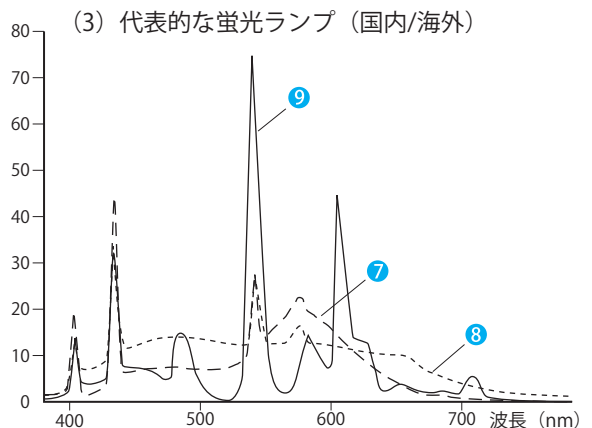


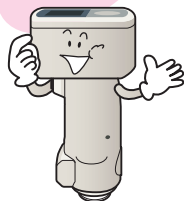
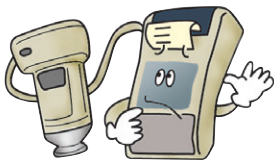
図19- (3) 代表的な蛍光ランプ(国内/海外)

- ⑦ F2…白色(CWF)
- ⑧ F7…演色A 昼白色
- ⑨ F11…3波長形白色(TL84)



ぼくは①と②だけしか内蔵されていないんだ。

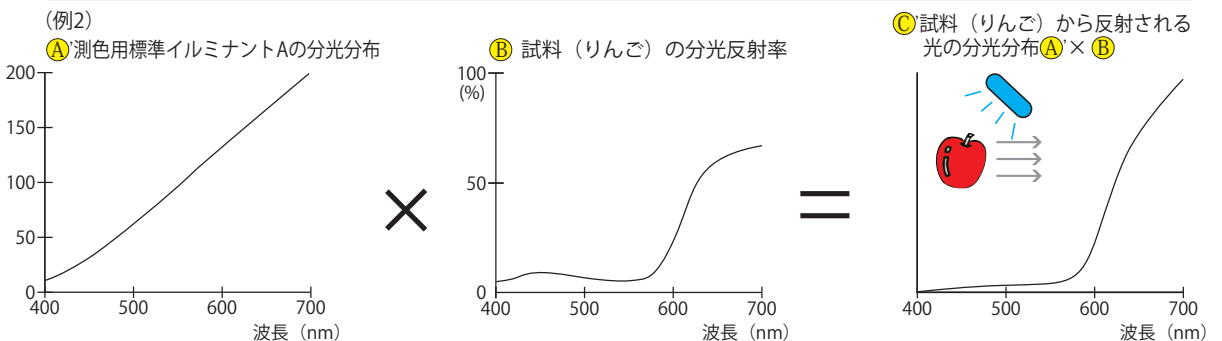
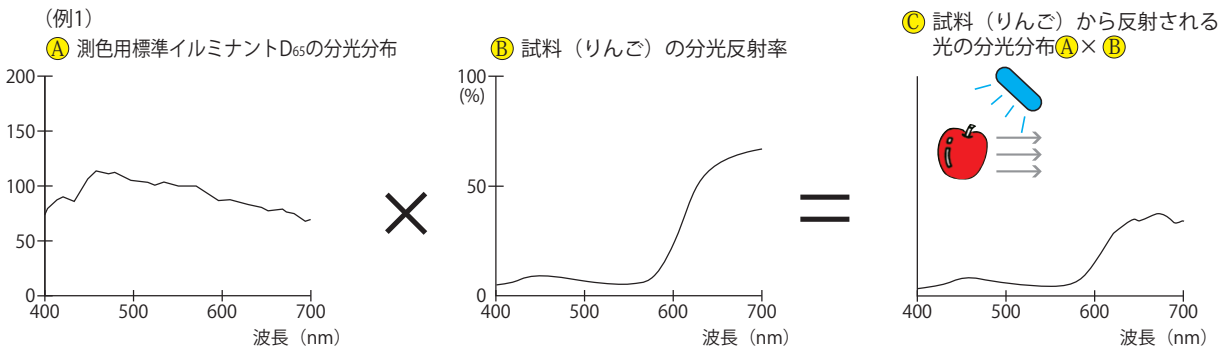
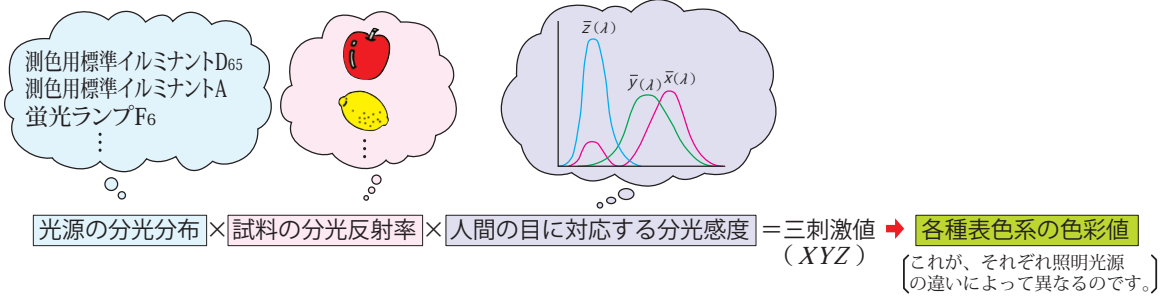
ぼくは①～⑨までせんぶデータとして内蔵しているんだよ。



例えば、分光測色計の測色用標準イルミナント D65 で試料（りんご）を測定した場合（例 1）と測色用標準イルミナント A で試料（りんご）を測定した場合（例 2）の比較を見てみましょう。

（例 1）で、**A** は測色用標準イルミナント D65 の分光分布グラフです。**B** は試料（りんご）の分光反射率グラフです。**C** は試料（りんご）から反射される光の分光分布で、 $A \times B = C$  となります。（例 2）の **A** は測色用標準イルミナント A の分光分布グラフです。**B** は（例 1）と同じ、試料（りんご）の分光反射率グラフです。

**C'** は試料（りんご）から反射される光の分光分布で、 $A' \times B = C'$  となります。P29 図 16 の **A** が **C**、**(C')** にあたるわけです。**C** と **C'** を比べてみると、**C'** の方が赤成分の光が強くなっていますね。「赤みの強いりんご」というふうに見えるはずですが、このように、物体の色は、照明光源の違いによっていろいろと変化して見えるのです。分光測色計は、実際には **B** 試料の分光反射率を測定し、本体にメモリーされている各種光源の分光分布データと人間の目に対応する分光感度データから、各種光源下での色彩値を演算して表示します。



# ちょっと複雑な「条件等色」 (メタメリズム)の問題。

物体の色は照明光源の違いによって、いろいろと変化して見えるということが分かりました。ところで、例えば「太陽の下で同じ色に見えていた2つの試料が、室内に入って見たら違う色に見える」という場合があります。図20を見てください。試料Aと試料A'を分光測色計で測定すると、分光反射率グラフで分かるように、分光反射率がそれぞれ違っています。また、測色用標準イルミナントD65で測定した値( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )は同じですが、測色用標準イルミナントAで測定した値( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )は違っています。このように、分光反射率が異なる2つの色が特定の光源下で同じ色に見えることを、**条件等色(メタメリズム)**と呼んでいます。条件等色(メタメリズム)は、着色材(顔料、染料)の種類が異なっていると起こりやすくなります。不思議ですね。では、この「条件等色」の問題を解決するためにはどうすればよいのでしょうか。

条件等色の評価は、測色用標準イルミナントD65と測色用標準イルミナントAのように、発光特性の大きく違う2種類以上の光源で測定する必要があります。刺激値直読方法の測色計には、1種類の光源しか内蔵されていません。したがって、条件等色を測定することができないのです。

その点、分光測色計には、たくさんの照明光源のデータが内蔵されていますから、条件等色を測定することができます。さらに、分光測色計の大きな特徴でもある分光グラフ表示機能によって、二つの色の違い(波長成分の違い)をグラフによってはっきりと示してくれるのです。

※この誌面では印刷処理によって違いをイメージとして説明していますが、実際の条件等色の見え方とは異なりますのでご了承ください。

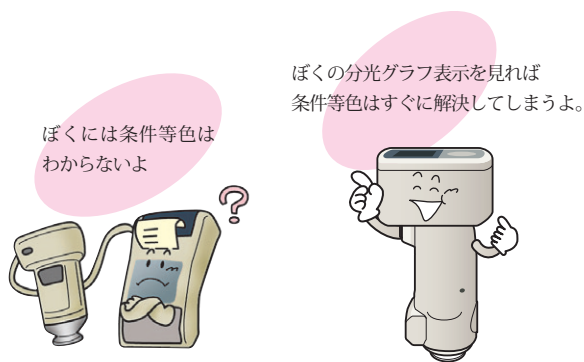
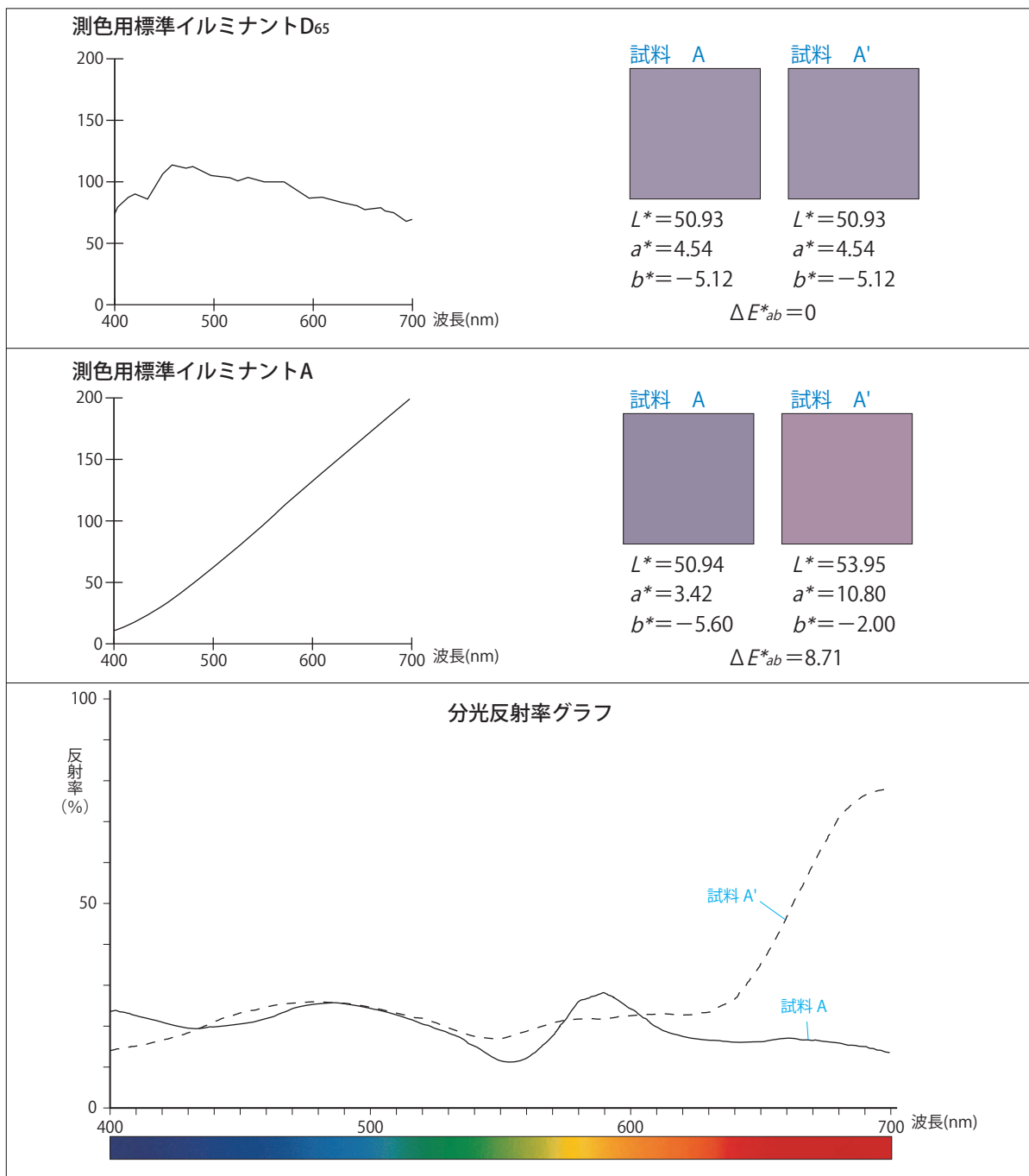




図 20

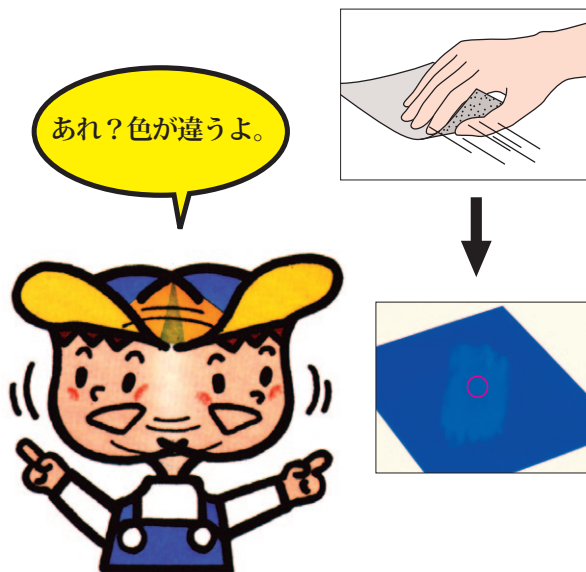


# 対象物や環境条件が違ってても、色の見え方は変わります。

## 表面状態の違い

同じ素材でできている物でも、表面の光沢の違いで違った色に見える場合があります。

例えば、つやつやな表面（高光沢）の青いプラスチックをサンドペーパーでこすると、白く濁った青色に見えます。これは、サンドペーパーで表面をこすることによって表面状態が変化し、照明光源からの光が表面上で拡散するため起こります。



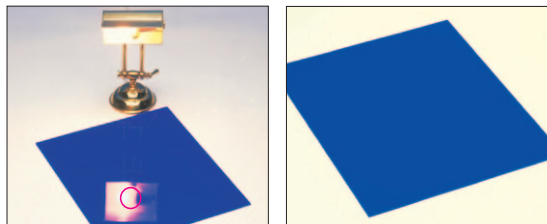
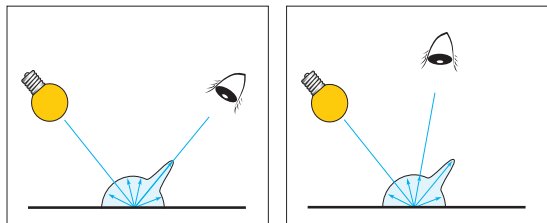
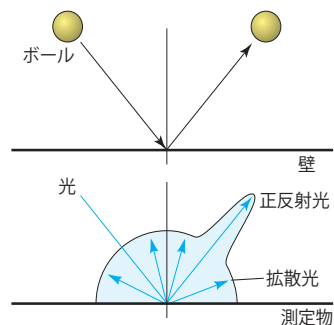
### <正反射光と拡散光>

ボールが壁にぶつかってはね返る場合、ボールが飛んできた角度と逆方向の同じ角度ではね返るように、光源から照明された角度と逆方向の同じ角度にはね返った光を正反射光と言います。

正反射光は、鏡のように反射する光のことです。逆に、正反射でなく、いろいろな方向へ拡散して反射する光を拡散光と言います。

つやつやした表面の物は、正反射光が強く、拡散光が弱くなります。ざらざらした表面（低光沢）の物は、正反射光が弱く、拡散光が強くなります。電球などで照らされているつやつやな表面の青いプラスチックを正反射光の方向から見ると、光源の色が強く見え、プラスチックの青い色はよく見えません。光沢の違いによって色の見え方が違うというのは、拡散光の強さが違うということなのです。

通常、人が物の色を見る時は、正反射光がない角度で見えています。つまり、人が物の色を見るのと同じように色を測るためには、正反射光を除いて、拡散光だけを測ればよいということになります。

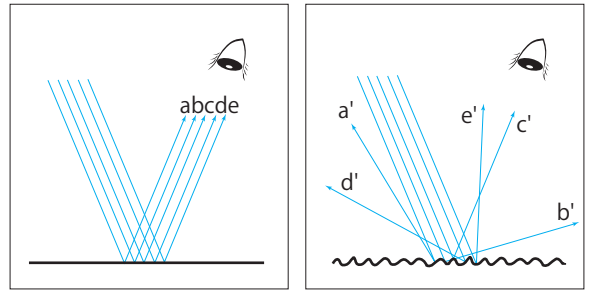


## < SCE（正反射光除去）方式と SCI（正反射光含む）方式 >

人が物の色を見る時は、拡散反射光を見ています。表面状態が変わると色が違って見えますが、素材の色は変わっていないはず。では、素材の色はどうすればわかるのでしょうか？

拡散反射光には、物体内部からの反射光と表面からの反射光があります。物体内部からの拡散反射光の量は表面状態が変わっても変化しませんが、表面からの拡散反射光の量は変化し、正反射光との量の割合が変化します。ただ、表面からの拡散反射光と正反射光とを合わせた光の量は同じなのです。つやつやな表面の青いプラスチックをサンドペーパーでこ

すると表面からの拡散反射光の量は増しますが、逆に正反射光の量は同じ量だけ減っているのです。つまり、表面状態に関係なく素材の色を測るためには、正反射光と拡散反射光をすべて測ればいいのです。



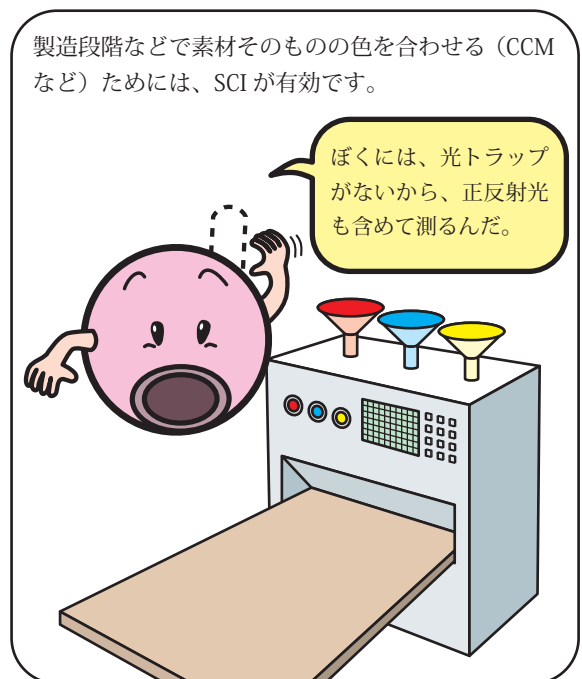
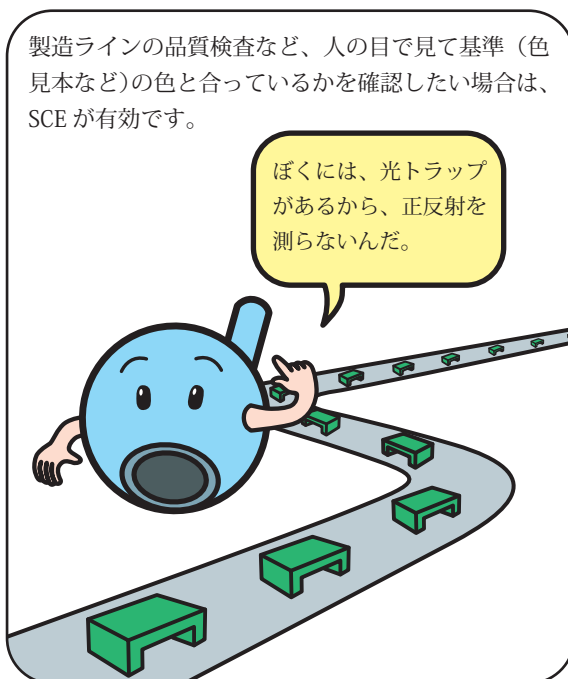
$$a+b+c+d+e=a'+b'+c'+d'+e'$$

ということだね。

次ページの図 21 「条件 c」「条件 d」にある光トラップは、正反射光を除去するためのものです。このような正反射光を除去して色を測る方法を SCE(正反射光除去)方式といい、光トラップがなく正反射光を除去せずに色を測る方法を SCI(正反射光込み)方式といいます。

SCE方式では、正反射光を除去し、拡散反射光だけを測定しているので、目視に近い色の評価となります。45°:n, n:45°は、正反射光を含まないので、SCEに近似した結果になります。

SCI方式では、正反射光を含んで測定するので、表面状態に関係なく素材そのものの色の評価となります。



# 見る方向や照明の位置の違い

一般に物体の色は見る角度がほんの少し違っただけでも、明るい色に見えたり、暗い感じに見えたりします。透明感のある色や金属感のある色などは特にこの傾向が強いようです。色を正しく伝えるために

は、見る方向も一定にしなければなりません。また、光の当たる方向（照明光源の位置）が違っていても、色の見え方は違ってきます。

## <照明・受光光学系(ジオメトリー)>

色は見る方向や照明する方向によって違って見えます。測色計で色を測定する場合、センサーで受光する方向と光源によって照明する光の入射方向の条件を「照明および受光の幾何学条件」と言い、CIE（国際照明委員会）やJISなどで定められています。

図 21 照明受光方式

### 単方向照明方式

一方向(角度)から照明する方式です。45°:n(45°:0°)では、試料面の法線に対して45°±2°の角度から照明し、法線方向(0°±10°)で受光します。

n:45°(0°:45°)では、試料面の法線方向(0°±10°)から照明し、法線に対して45°±2°の角度で受光します。

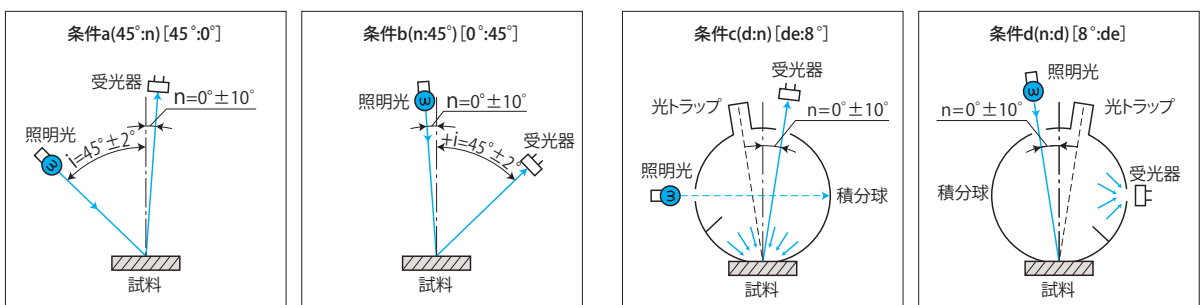
なお45°:nの場合、光源が円周状に配置されている円環照明(45°a:0°)、放射状に間隔をおいて配置されている環状照明(45°c:0°)、および、一方向照明(45°x:0°)などがあります。

### 拡散照明(積分球)方式

積分球などを使って、試料をあらゆる方向から均等に照明する方法です。(積分球は、光をほぼ完全に拡散反射する硫酸バリウムなどの白い塗料で内面を塗布した球です)

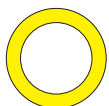
d:n(de:8°)、D:n(di:8°)では、試料をあらゆる方向から均等に照明し、試料面の法線方向(0°±10°)で受光します。

n:d(8°:de)、n:D(8°:di)では、試料面の法線方向(0°±10°)から試料を照明し、あらゆる方向に反射する光を集積して受光します。

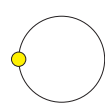


様々な45°:0°(光源の配置)

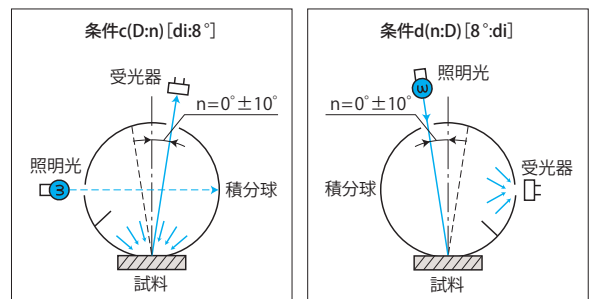
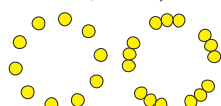
円環照明(45°a:0°)



一方向照明(45°x:0°)



環状照明(45°c:0°)



# 分光測色計を使うと、 こんなに簡単に問題を解決できます。

分光測色計には、色彩測定のための優れた精度とさまざまな機能が搭載されており、色の数値化だけでなく分光反射率グラフで色を見ることができます。また、さまざまな照明光源データなどを内蔵していますから、刺激値直読方法の測色計では解決できなかった演色性（光源による見え方の違い）や条件等色（メタメリズム）、その他の問題（表面状態の違い）も解決することができるのです。

## <分光測色計の主な機能と特長>

※写真はコニカミノルタ製「分光測色計 CM-700d」です。

### 光源条件 (照明光源)

JISなどの規格に規定されている特性と等価な各種光源データをメモリーしていますから、さまざまな光源条件下での測定データが得られます。

### 色の記憶

正確に記憶することができます。

### 通信機能

Bluetooth® もしくは USB でパソコンと通信して、各種データの出力、信号入力が可能です。

### 分光反射率グラフ

色の波長成分（反射率）をグラフ化して表示します。

### 観察者の違い

JISなどの規格に近似させた受光部（センサー）を内蔵していますから、常に同じ条件で測定できます。

### 背景 ／大きさの違い

人間の目と違い、錯覚を起こしませんから、常に同じ条件で測定できます。

### 色差の判断

数値表示で瞬時に分かります。  
分光反射率グラフでも表示されます。

### 見る方向の違い (照明角度)

常に、JISなどの規格に規定されている同じ条件で測定できます。

### 受光部

受光部に分光センサーを搭載しており、高精度な測定が可能です。

### 各種表色系

XYZ、L\*、a\*、b\*、ハンターLab、マンセルなどさまざまな表色系で表示できます。

# 仕様表から読み取れる大切なこと

測色計を製造しているメーカーはいくつかあり、同じメーカーでも測定対象物や用途によっていろいろな種類があります。その中から自分の用途に適した測色計をどうやって選ぶのか？

例えば、測定時に持ち運びが多い場合は、カタログの仕様表にある「大きさ・質量」に着目し、なるべく小さく軽いものを選んだ方がいいのかもしれませんが。複数の工場で複数台使用する場合は、仕様表の「器差」に着目し、器差の小さな機種を選ぶべきかもしれません。

測色計を選ぶ際、カタログの仕様表をどのように読み解けばいいのか？

仕様表にある「半値幅」や「繰返し性」からは何がわかるのか？

このページでは、仕様表から読み取れる大切なことをご紹介します。

吹き出しのある項目についての詳細説明をご覧ください。

	型式	CM-700d	CM-600d
照明・受光光学系について	照明・受光光学系	di: 8°, de: 8° (拡散照明・8°方向受光)、SCI(正反射光含む) / SCE(正反射光除去) 自動切替機構付き (DIN5033 Teil7、JIS Z 8722 条件 c、ISO7724/1、CIE No.15、ASTM E 1164 に準拠)	
	積分球サイズ	φ 40 mm	
	受光素子	デュアル 36 素子シリコンフォトダイオードアレイ	
測定波長範囲について	分光手段	平面回折格子	
	測定波長範囲	400 nm ~ 700 nm	
	測定波長間隔	10 nm	
測定波長間隔・半値幅とは？	半値幅	約 10 nm	
	反射率測定範囲	0 ~ 175%、表示分解能：0.01%	
	測定用光源	パルスキセノンランプ (UV カットフィルター付き)	
繰返し性とは？	測定時間	約 1 秒	
	最短測定可能間隔	約 2 秒 (SCI または SCE 測定時)	
	測定可能回数	アルカリ乾電池使用時：約 2,000 回 *単体測定かつ SCI または SCE 固定の条件で 10 秒間隔にて連続測定、23°C	
器差とは？	測定径 / 照明径	MAV: φ 8 mm / φ 11 mm SAV: φ 3 mm / φ 6 mm *ターゲットマスク交換およびレンズ位置切替えにより変更可能	MAV: φ 8 mm / φ 11 mm のみ
	繰返し性	分光反射率：標準偏差 0.1% 以内 色彩値：標準偏差 ΔE*ab 0.04 以内 *白色校正後、白色校正板を 10 秒間隔で 30 回測定したとき	
	器差	ΔE*ab 0.2 以内 (MAV/SCI) ※マスタボディを基準とし、BCRA シリーズ II 12 色測定時の平均値、23°C	
大きさ・質量について	平均化測定回数	1 ~ 10 回 (自動平均)、1 ~ 30 回 (手動平均)	
	表示ディスプレイ	2.36 型 TFT カラー液晶	
	インターフェイス	USB1.1 および Bluetooth® 標準規格 Ver2.1+EDR ※	
	観察条件	2°視野、10°視野	
	観察光源	A、C、D50、D65、F2、F6、F7、F8、F10、F11、F12 (2 種類の光源での同時評価可能)	
	表示	分光数値、分光グラフ、色彩値、色差値、色差グラフ、OK / NG 判定、擬似カラー、色味方向	
	表色系・色空間	L*a*b*、L*C*h、ハンター Lab、Yxy、XYZ、マンセル、および各色差 (マンセルは除く)	
	表色値	Ml、Wl(ASTM E313-73/E313-96)、Yl(ASTM E313-73/ASTM D1925)、ISO ブライトネス、8°グロス値	
	色差式	ΔE*ab (CIE1976)、ΔE*94 (CIE1994)、ΔE00 (CIE 2000)、CMC (l: c)、ハンター ΔE	
	格納データ数	測定値データ 4,000 データ / 色差基準色データ 1,000 データ	
	合否判定	各色彩値 (マンセルは除く) と各色差値および各表色値 (8°グロス値は除く) それぞれに限界値を設定可能	
	電源	専用 AC アダプター、単 3 形アルカリ乾電池またはニッケル水素充電電池 4 本	
大きさ	73 (幅) × 211.5 (高さ) × 107 (奥行) mm		
質量	約 550 g (白色校正キャップと電池を除く)		
使用温湿度範囲	5 ~ 40°C、相対湿度 80% 以下 (35°C のとき)、結露しないこと		
保管温湿度範囲	0 ~ 45°C、相対湿度 80% 以下 (35°C のとき)、結露しないこと		

## 照明・受光光学系

色を測定するためには、試料に光を照射し、試料から反射してきた光を測らねばなりません。その為に、測色計には、光を発する光源、反射してきた光を電気信号へ変換するセンサーが内蔵されています。

光を試料にあてる方法やセンサーで光を受ける方法にはさまざまな種類があり、その方法によって測定値が大きく異なります。ひとつの方向から光を当てるのか、多くの方向から当てるのか。正反射光を含めて受光するのか、除いて受光するのか、など、多くの測定方法があります。

測定する試料の種類や形状、測定する目的や用途に応じて使い分ける必要があります。詳しくは、P42 <照明・受光光学系（ジオメトリー）>、P41 <SCE（正反射光除去）方式とSCI（正反射光含む）方式>をご覧ください。

## 大きさ・質量

ハンディタイプの測色計では、小さくて軽いほうが明らかに便利です。持ち運びが楽なだけでなく、測定作業を繰り返し行った場合は、疲労度がずいぶん異なってきます。

ただし、表示部や操作ボタンが小さすぎると使い難くなりますので、操作性との兼ね合いが必要です。また、単に大きさだけでなく、握る部分の太さや指の掛かり具合など、握りやすいデザインであることも重要です。さらに重心も重要な要素で、バランスが悪いと測色計がふらついて安定性が悪くなり、疲労度にも影響を及ぼします。

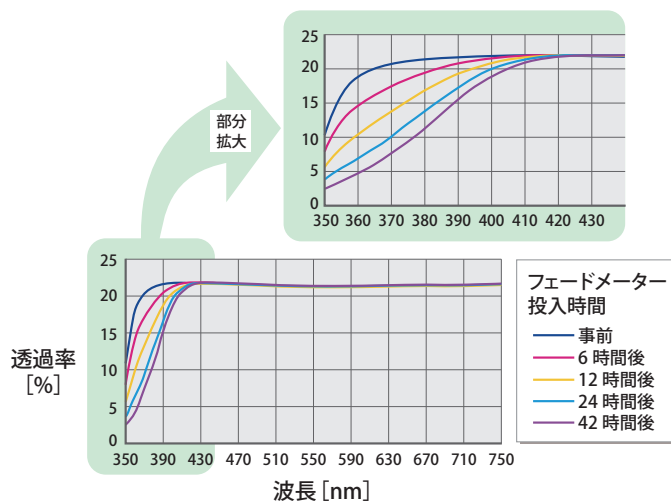
一方、据え置きタイプの測色計ですが、こちらも大きさや質量は重要です。据え置きタイプは色彩以外の計測機器と共に検査室に設置されることが多いのですが、たくさんの機器が並んでいますので、少しでも小さいほうが設置性に優れます。また、質量も軽いほうが移動をさせる際に有利となります。

## 測定波長範囲

測定波長範囲とは、その機種が測定できる波長範囲のことです。測定波長範囲は分光タイプ of 測色計において主に“400 nm～700 nm”，“360 nm～740 nm”の2種類あります。コニカミノルタの測色計において、これら測定波長範囲の違いは測色値にあまり関係ありません。

しかし、“360 nm～740 nm”の測定波長範囲をもつ測色計であれば、図22のように樹脂やフィルターの紫外線による黄変など、400 nm以下の波長域で発現する変化をスペクトルデータにより確認することができるため、特定波長での反射率・透過率測定による品質管理への適用も可能です。

図22 UV照射による樹脂の透過スペクトルへの影響



ちなみに、蛍光増白剤などを含んだ測定対象物の場合、図23-(1)のように照射光に含まれる紫外光により蛍光が発せられます。こういった試料の測定を行う場合、主に“360 nm～740 nm”の測定範囲をもつ弊社測色計ではUV調整機能を搭載しているため、測定対象物の蛍光を加味した測色が可能です。例えば紙・パルプなど蛍光を含んだ試料を測定する場合、図23-(2)に示した標準イルミナント D<sub>65</sub>光源下での測定が規格化されており、その照明条件下における蛍光量を考慮した測定値が要求されるため、上記測定値を出力する機能を備えた測色計の使用が必要となります。

図23-(1) 蛍光増白剤による蛍光

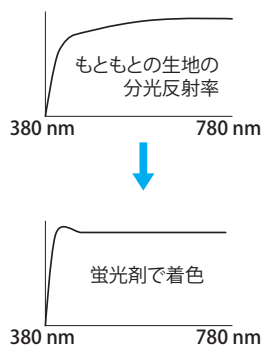
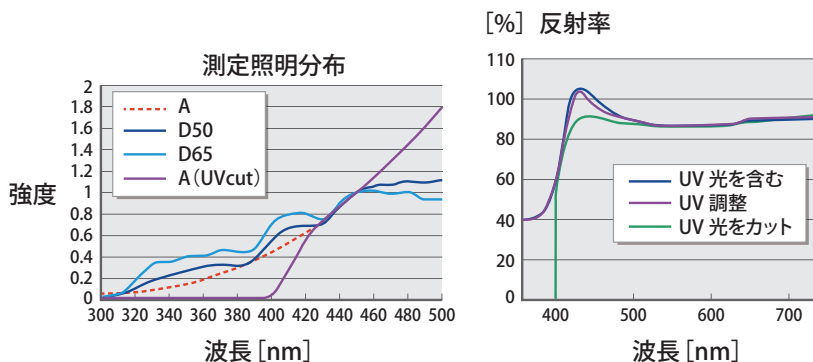


図23-(2) UV光・蛍光を考慮したスペクトル処理イメージ図





## 測定波長間隔・半値幅

測定波長間隔とは、分光タイプの測色計がどれだけ細かい波長間隔で測定可能かを示す値です。間隔を狭くするほどに詳細な分光データが得られます。しかし、測定波長間隔は狭ければ狭いほど良いというわけではありません。測色計で扱うような試料の色、つまり物体色であれば、その分光特性はなだらかであることが多いため、測定波長間隔は 10 nm で充分であり、それより細かく設定する必要はありません。

分光タイプの測色計は、単一波長ごとの光を観測するセンサーを有しますが、このセンサーの感度には図 24 に示すように波長方向（グラフの横軸方向）に広がりがあります。半値幅とは、センサーの感度がピーク値の半分となる波長の幅であり、センサーの感度が波長方向にどれだけ広がっているかを示す値です。感度がピーク値となる波長を中心に、半値幅の分だけ幅を持たせた波長域を、模式的にそのセンサーの守備域と捉えます。図 24 の場合、半値幅は 10 nm であり、540 nm を分担するセンサーは 535 nm ~ 545 nm の波長域を観測すると捉えます。

センサーの半値幅が大きいと広い波長域を観測するため、得られる測定結果は鈍った波形になってしまいます。本来の分光特性を正確に測定するためには、半値幅を小さくする必要があります。つまり測色計における半値幅は“単色光を測る力”と言い換えることができます。

これを模式的に表したものが図 25 です。測定波長間隔が 10 nm、半値幅が 10 nm の測色計の 540 nm、550 nm での測定値は、それぞれ 535 nm ~ 545 nm、545 nm ~ 555 nm の波長域を観測したものである一方、測定波長間隔が 10 nm、半値幅が 20 nm の測色計の 540 nm、550 nm での測定値は、それぞれ 530 nm ~ 550 nm、540 nm ~ 560 nm の波長域を観測したものです。隣のセンサーの守備域まで一緒に測定していることになり、得られる測定結果が鈍った波形になることに繋がります。

なお、一般に、半値幅を狭めると測定精度が向上する一方で、センサーに届く光量が少なくなり S/N 比の悪化を招くため、単純に半値幅を狭くすれば良いわけではありません。

測定波長間隔と半値幅がほぼ同じであることが適切だと言えます。

図 24 半値幅とは

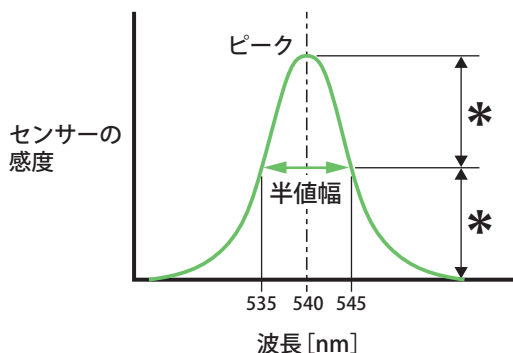
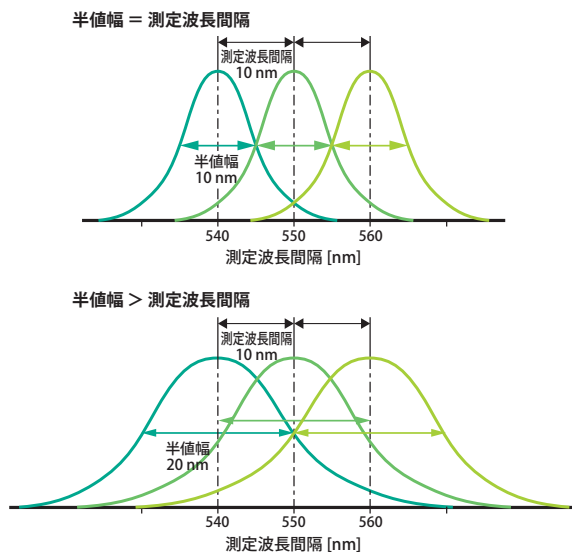


図 25 半値幅と測定波長間隔との関係



## 繰返し性

同じ試料を同じ条件で繰り返し測った時のわずかな測定誤差のことです。この値が小さいほど、測定値の信頼性が高いことになります。もしこの値が大きければ、信頼できる測定値を得るために、何度も測定を繰り返し、平均値を求めることになります。

「長さ」のようなシンプルな物理量は、簡単な仕組みで測定できますので測定誤差は少ないですが、「色彩」は複雑な仕組みで測りますので誤差を生む要因がたくさん存在します。

そこで、カタログ等の「仕様値」には、さまざまな誤差要因を排除した測色計本来の測定誤差が掲載されています。まず白色校正を行った後、白色校正板を一定間隔で繰り返し測定し（例えば 10 秒間隔で 30 回測定）、測定値の標準偏差を求めます。測定の際に発生するさまざまな誤差要因を排除する為に、測色計に白色校正板をセットした後は、手を一切触れずに自動で測定を繰り返します。これが測色計本来の測定誤差ですが、回路の設計手法や光源の発熱などにより、機種間で優劣が生まれます。特に光源による発熱の影響が大きく、ハロゲンのような発熱量の大きな光源を使用する測色計は、一般的に繰返し性が不利になります。

一方、実際の試料を測定した場合の繰返し性には様々な誤差要因が加わりもっと大きな値になります。実用上問題となるのはこちらの繰返し性です。特に、場所ムラがある試料や立体的な試料で大きくなりますが、測色計の設計時の工夫によって誤差を小さくし、繰返し性を改善させることができます。

では、どのような誤差要因があり、設計時にどのように工夫されているのかを見てみましょう。

### ① 位置誤差

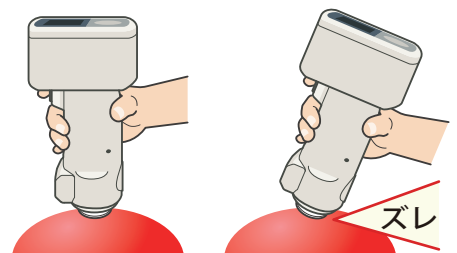
場所ムラがある試料では、測定場所が少しでも異なると測定値が変化し、繰返し性が悪くなります。そこで、測定場所を確認しやすいデザインにすることで、できるだけ同じ場所を測定できるようにします。また、場所ムラが特に大きな試料では、例えば CR-410 のように大きな測定径を持つ測色計を使えば、繰り返し測る回数を減らすことができます。

### ② 高さ変動

立体的な試料では、測色計が真っ直ぐに当てられず傾いてしまうと、測定開口部と試料との距離が変化します（高さ変動）。距離が変化すると、照明・受光光学系がずれてしまい、測定値に誤差を生じます。

そこで、持ち易く、立体的な試料にもあてがいがい易いデザインにすることで、測色計の傾きを防止します。

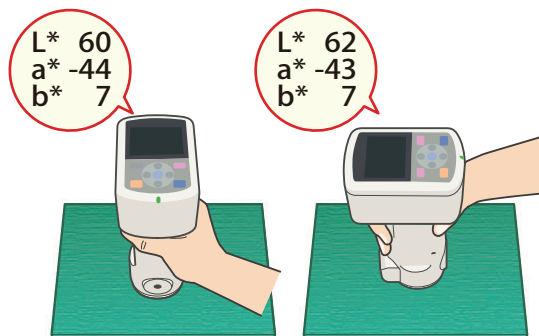
また、測色計が重ければ、腕が疲れてぐらつき易くなります。一方、照明・受光光学系の設計を工夫することにより、高さ変動の影響を受けにくくすることも重要です。



### ③ 回転誤差

測色計によっては、図のように測色計をあてがう方向によって測定値が異なってしまいます（回転誤差）。これは、光源の照明分布が均一でない測色計を使って、場所ムラがあるような試料を測定した場合に発生します。また、試料に反射した光をセンサーに導く光路が原因の場合もあります。

このような測色計で安定性良く測定するためには、測色計をあてがう方向を厳密に管理する必要がありますので、使いにくくなります。



さて、複数の機種の一貫性を比較する場合、カタログに掲載されている「仕様値」だけで比較してはいけません。測色計メーカーによって「仕様値」の考え方が異なり、実力と同じくらいの場合もあれば、実力よりはるかに大きな値を「仕様値」にしている場合もあります。デモ器などを借用し、ご自分の手で各機種の実力を試されることをおすすめします。

# 器差

複数台の同一機種の見色計で、同じ試料を同じ条件で見った時に、見色計間でわずかに発生する測定誤差のことです。見色計を量産する際にはたくさんの部品を使用しますが、光学系の部品や電子部品の寸法や性能がわずかにばらつくことにより発生する誤差のことです。

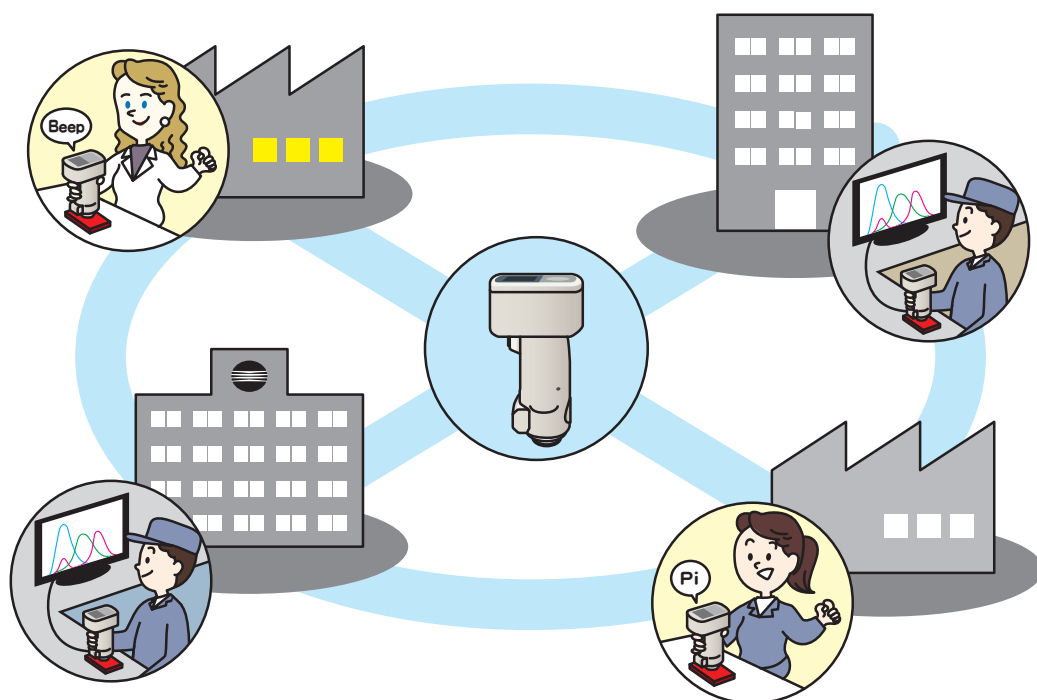
カタログ等の「仕様値」には、繰返し性の項で挙げたさまざまな測定誤差要因や温度による影響を排除した見色計本来の器差が掲載されています。温度管理された部屋でまず白色校正を行った後、測定場所を一定にする治具を用いて BCRA タイルを見測定します。これが見色計本来の器差で、メーカーや機種によって大小ありますが、設計手法や製造手法を工夫することにより、小さくすることができます。

## ①設計の工夫

まず、光学部品の寸法公差を限りなく小さく指定することが考えられます。しかし、加工精度を高めると製造コストが跳ね上がってしまいますので、部品の寸法誤差が波長ずれなどの誤差に影響が出ないように設計を工夫します。一方、電気回路にも器差を生じる要因がありますので、例えば光源を安定して発光させる回路や、センサーで受けた光を歪みなく電気信号へ変換する回路などを工夫します。

## ②製造的工夫

見色計を量産する為と同じ光学部品をたくさん製造しますので、それらの部品を全数検査し、部品同士の誤差を打ち消す組み合わせを選定します。さらに、組み上がった見色計を適切に調整することにより、器差を抑え込みます。



このような工夫によって器差が小さくなっていても、測定する際の様々な誤差要因で測定値がずれてしまいますので、できるだけ温度管理された環境下で、場所ムラ等の影響を受けないように測定してください。

さて、器差が小さい機種で測定された値は信頼性が高くなりますので、測定値を色情報としてインターネット等を通じて遠隔地にいる相手へ伝えることができます。つまり、色見本等の実物を送ることなく、測定値を送信することにより、色情報を伝達することができるのです。

一方、入出荷色管理などで厳しい色管理を行う場合は、器差が小さくてもその影響を受けないようにしなければなりません。具体的には、色差を計算する際の基準色の値として、他の測色計で測定した値を使用しないことです。もし使用してしまうと、基準色値と比較試料の測定値に器差による誤差が乗ってしまい、正しい色差を測定することができません。また、目視による評価と結果が異なってしまうこともあります。

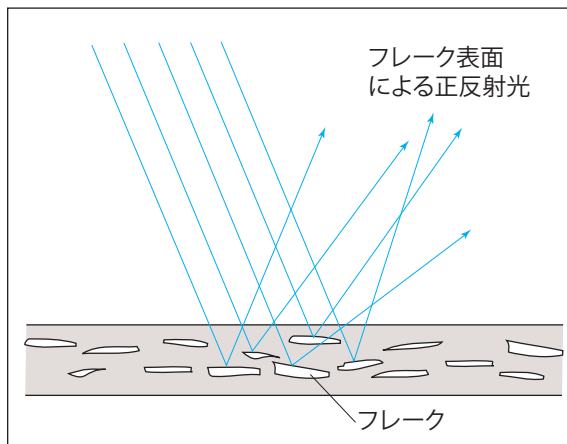
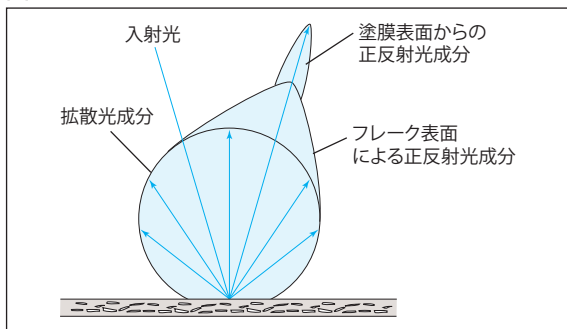
したがって、正確な色管理を行うためには、基準色も比較試料も、同じ測色計で測定しなければならないのです。

# 特殊な色の測定

## <メタリック色>

自動車用のメタリック塗料には、アルミやマイカのフレーク（微小な薄片）が混ぜられています。このフレークは、ほぼ同じ方向に面を向けながらもある程度のバラツキを持たせているため、正反射光がいろいろな角度に反射します。このため正反射光成分（正反射光の総光量）と拡散光成分（拡散光の総光量）が図 26 のようになります。フレーク表面による正反射光が存在する方向（ハイライト）では、正反射光の光量が見る角度によって、異なるため、人の目にもかなり見え方が違って見えるのです。一般的に、メタリック色の物を測色計で測る場合は、正反射光の影響を受けない方向（シェード）を含めた複数方向（具体的には、正反射方向に対して、25°、45°、75°、または 15°、45°、110° の方向）から測定し、評価すると有効であると言われています。

図 26

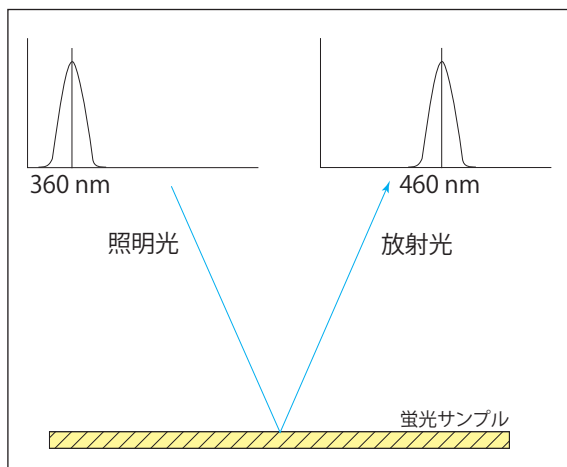


## <蛍光色>

蛍光という言葉はよく耳にし、実際に蛍光色のものを目にしたことがあると思います。蛍光色の物を見ると、光源でもないのに、あたかもその物が輝いているかのように見えますね。

蛍光色の物体に光があたったとき、その光のうち紫外域の光線や紫や青い波長域の光線が吸収されて、別の可視域で放出されます。可視光線とは、およそ 380 nm~780 nm の電磁波です。例えば、蛍光増白のように 360 nm の電磁波が吸収され、460 nm で放出されるとき、460 nm の反射率の測定値が 100% を超えてしまう場合があります。このとき人の目には、そのものが輝いているように見えるのです。

蛍光色を測色計で測定する場合、紫外域を含めた照明光の分光強度をコントロールする必要があります。



## こんなところに蛍光!?

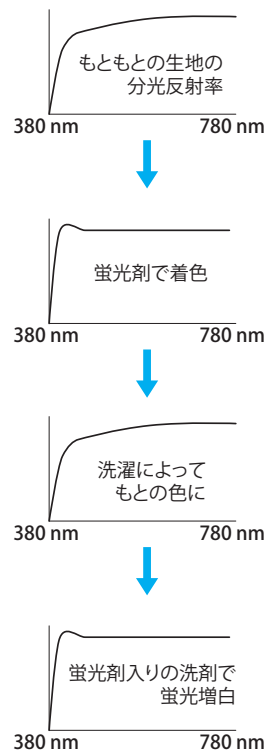
薄暗く、紫色の照明で照らされた部屋などで、白いシャツや白い靴下、壁の模様などが紫に光って見え、なんとも幻想的でおしゃれな感じがする場所を経験したことはありませんか？

その場所は「ブラックライト」という照明で照らされているのです。ブラックライトは、見た目には紫色の暗い照明で、最近では「蛍光のジグソーパズル」を照らすといった用途で市販されたりもしています。実は、このブラックライトというのは、紫外域の光の照明であり、ブラックライトに照らされて光って見えるものには、蛍光剤が含まれているのです。

白という色は、可視域のすべての波長の光を100%に近い、高い率で拡散反射する色です。しかし、白を作り出すのは、大変難しいので、一般的には反射率の低い波長を蛍光剤で補って、白く見えるようにしていることが多いのです。

だから、白い服などが、紫外域の光を多く含んでいるブラックライトに照らされると、光って見えるのです。

また、白い服を何度も繰り返して洗っているうちに、だんだん黄ばんでくることがありますね。これは、黄色い色が付いて汚れているのではなく、蛍光剤が洗い流されて、もともとの生地の色が浮かび上がってきているのです。黄ばんだ服を蛍光剤の入った洗剤で洗い、再び真っ白に戻す「蛍光増白」というのも、これで納得。



# 測定に際しての注意 (測定物の状態、環境条件)

## 粉体の測定

粉状のものを測色計で測定する場合、粉の密度（つまり方）や、表面の状態によって測定値が変化します。それを防ぐために、例えば、粉を一定の形・大きさの容器に一定量入れて同じ容積にし、表面を一定に保って測定するなどの工夫が必要となります。

また、粒の粒子が大きい場合は、測定径の大きな測色計で測ると、測定面が平均されて、安定した測定値が得られます。

## 模様のある測定物

模様のあるものを測定する場合は、測定面積が小さいと測定する場所（模様の状態）によって測定値が違ってきます。できるだけ大きな測定面積の測色計を使うか、場所を変えて複数回測定し、平均計算で測定値を求める必要があります。

## 透過性のある測定物

紙などのように透過性のあるものは、透過する光の量が問題となります。紙などの色を測定したい場合は、十分な枚数を重ねて光が透過しないようにするか、測定面の反対側に光を透過しない白い板を付けて測定する等の工夫をします。また、背景の影響を受けないように測定したい場合は、黒い板を背景に付けて測定します。

## 温度条件による影響

同じ物でも温度が変われば、色は違って見えます。この現象をサーモクロミズムといいます。測色計で精度よく色を計るときは、一定の温度に保った部屋で、測定物を部屋の温度に充分なじませた状態で測定する必要があります。

BCRA カラータイルを常温付近で 10℃変化させたときの温度特性 ( $\Delta E^*_{ab}$ )  
(コニカミノルタ試験条件による)

$\Delta E^*_{ab}$

White	0.01
Pale grey	0.02
Mid grey	0.05
Dif grey	0.05
Deep grey	0.05
Deep pink	0.60
Orange	1.52
Red	1.32
Yellow	0.92
Green	0.92
Dif green	0.91
Cyan	0.46
Deep blue	0.17
Black	0.02



# 新しい色差式 (CIE DE2000)について

測色計によって色を数値化することにより、色や色の違い（色差）を正確に伝え合うことができるようになりました。ところが、実際の色管理の現場では、目視検査の結果と測色計による測定結果が合わないことが、起こっています。それはなぜでしょうか。またそれを解決する方法はないのでしょうか。

実は、解決策はあります。それがこれからお話する新色差式「CIE DE2000」です。

# CIE LAB ( $L^*a^*b^*$ 色空間) の問題点

CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間) は、色を、明度  $L^*$  とクロマネティクス指数  $a^*$ 、 $b^*$  からなる均等色空間上の座標で表したものです。人の目の色覚を元に計算式が定義されましたが、色によっては、色差  $\Delta E^*_{ab}$  と人の目による評価が異なるという問題がありました。

これは、人の目の色識別域の形状が、CIE LAB で定義されている色差範囲  $\Delta E^*_{ab}$  や  $\Delta a^*b^*$  の形状と、大きく異なっているために起こります。

## 人の目の色識別域

人の目には、ある色を基準にしたとき、色が異なるにも関わらずその色の違いを識別できない範囲が存在します。これを、色識別域と呼んでいます。

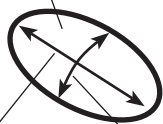
右図は、CIE LAB 色空間を表す  $a^*b^*$  色度図の一部を図式化したものです。色度図上に描かれた白い楕円は、各彩度および色相における、人の目の色識別域を表しています。つまり、この白い楕円の範囲に含まれる色は、人の目では色に違いがあっても識別できません。

この白い楕円に注目してみると、CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間) の色空間 (色度図) 上では、人の目が色の違いを識別する能力に、次の4つの特長があることがわかります。

- 1) 彩度の高い色では色の違いに対する感度が低く、色の違いを識別しにくくなる (彩度依存性が高い)

全体的に、彩度が低い色では真円に近い形状ですが、彩度が高くなるごとに、色相方向に狭く彩度方向に広く伸びた楕円形状となります。つまり、彩度が高いと、少々色差が大きくても、人の目には区別ができません。

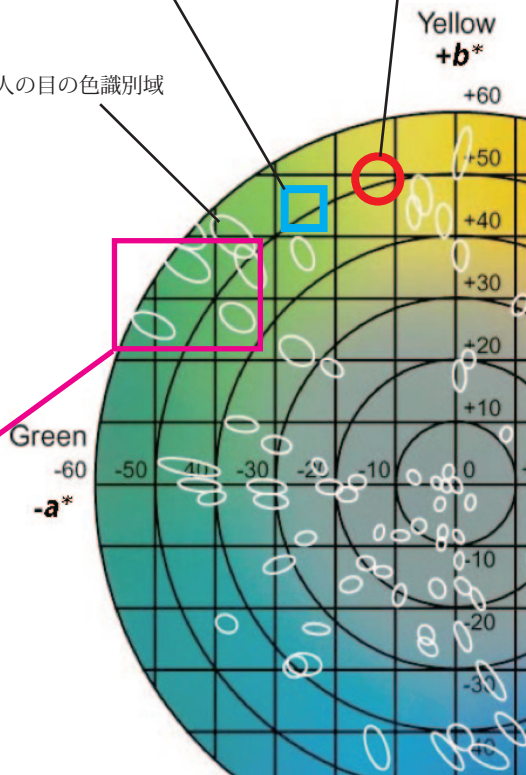
この範囲内の色は、色に違いがあることを識別できない



彩度方向は広い (色の違いを識別しにくい)      色相方向は狭い (色の違いを識別しやすい)

クロマネティクス指数差  $\Delta a^*b^*$  に基づく評価範囲      色差  $\Delta E^*_{ab}$  に基づく評価範囲

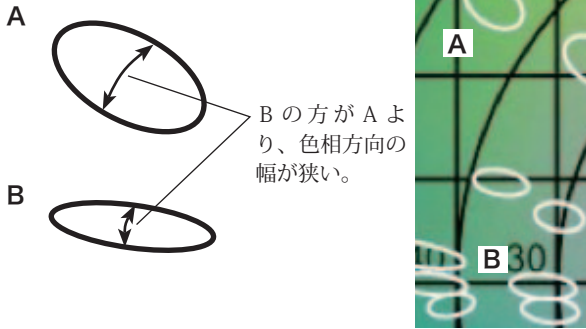
人の目の色識別域



※P.56～P.57で使用している人の目の色識別域の白い楕円形状を含む絵図は、2001年10月に刊行されたCOLOR research and application誌、No.5 (Volume 26) のP341に掲載されている、M.R.Luo、G. Cui、B.Riggらの研究に基づく論文「The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIE DE2000」より、同誌および同氏らの協力・了解を得て図1を抜粋し、模式的に表示・掲載しています。なお、同誌P341、図1の著作権および版権は、John Wiley & Sons, Inc. に帰属します。

2) 色相方向の色の違いに対する感度が、色相によって異なる

図中の白円AとBを見てください。色相角 120 度付近（黄緑色）のAと色相角 180 度付近（緑色）のBとでは、彩度は同じくらいの色でも、色相方向の幅がAでは広くBでは狭くなり、より細長い楕円になっていることが分かります。つまり、AよりBのほうが、色相の違いによる色の違いに敏感になります。



3) 明度方向の色の違いに対する感度が、明度によって異なる

残念ながら右図では、明度は紙面を貫く法線で表されるため確認いただけませんが、明度 50 の辺りが一番感度が高く、明度が低くても高くても感度が低くなると言われています。

4) 青色では、色識別域の方向がゆがむ

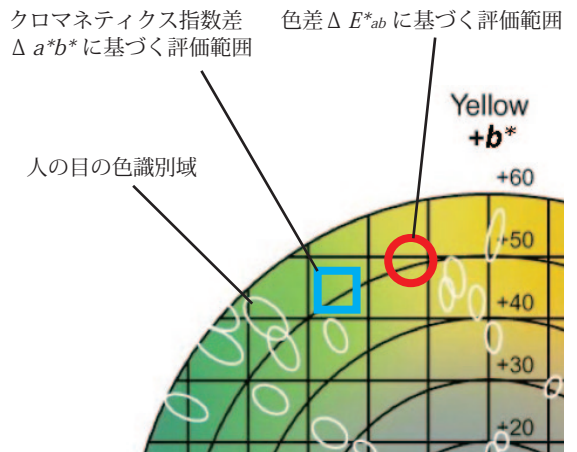
図中の青色付近の白円は、図の中心から彩度方向へ伸ばしたラインに対して傾きを生じ、彩度方向を長軸とする楕円形状になっていないことがお分かりいただけると思います。



実はこれらの特徴が、測色計による色差判定と人の目による評価に違いを生じさせる原因となっています。

CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間) での色差判定に一般的に用いられる色差  $\Delta E^*_{ab}$  は、右図中○で示しているように、どの彩度、色相においても同様に真円で示されます。また、こちらもよく用いられるクロマネティクス指数差  $\Delta a^*b^*$  も、図中□で示されるように方形状をしており、人の目による色識別域の形状（白い楕円形状）と大きく異なっていることが分かります。

これらの形状の違いが、計算結果に基づく色差判定結果と人の目による評価との違いとなって表れるのです。



# 色差式「CIE DE2000」の特長

人の目の色識別域との形状、大きさの違いにより生じる目視評価との違い、この問題点の解決策として登場したのが CIE DE2000 色差式です。

CIE DE2000 色差式では、人の目の色識別域の幅が均等になる表色系の構築を目指すという試みではなく、計算に基づく色差が、CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間)の色空間上での人の目の色識別域に近似するように計算式を定義しています。

具体的には、明度差  $\Delta L^*$ 、彩度差  $\Delta C^*$ 、色相差  $\Delta H^*$  をもとに、重係数  $S_L$ 、 $S_C$ 、 $S_H$  で重み付けを行います。重係数  $S_L$ 、 $S_C$ 、 $S_H$  は、明度  $L^*$ 、彩度  $C^*$  および色相角  $h$  の影響が加味されており、CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間)の色空間上での人の目の色識別域の特長、1) 彩度依存性、2) 色相依存性、および、3) 明度依存性を考慮した計算式となっています。

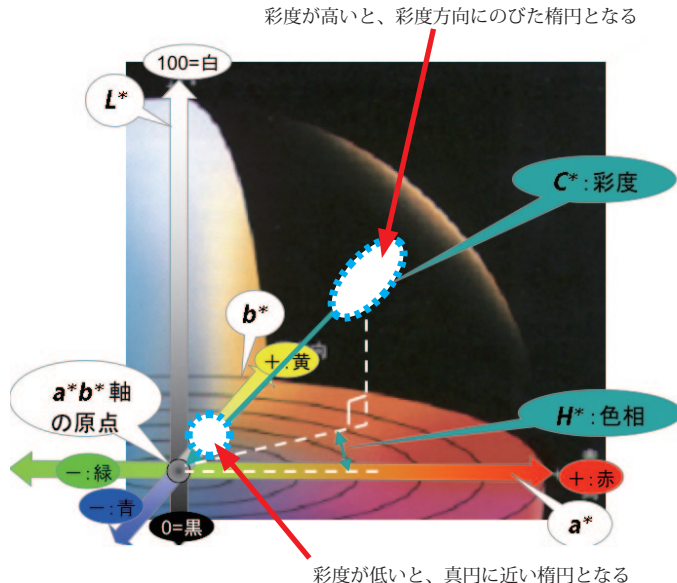
※具体的な計算式は、次章「色の用語いろいろ」を参照してください。

CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間)での色差  $\Delta E^*_{ab}$ 、クロマネティクス指数差  $\Delta a^*b^*$  が表す色差評価範囲が、 $L^*a^*b^*$  色空間上で真円もしくは方形状であったのに対し、CIE DE2000 色差式での色差  $\Delta E_{00}$  は、彩度方向を長軸とする楕円形状となり、人の目の色識別域の形状に近似しているのが特長です。彩度が低いほど重係数  $S_L$ 、 $S_C$ 、 $S_H$  がそれぞれ 1 に近づき、色識別域を表す楕円が真円に近くなります。

逆に彩度が高くなると重係数  $S_L$ 、 $S_C$ 、 $S_H$  のうち  $S_C$  の値がほかの  $S_L$  や  $S_H$  に比べて大きくなり、彩度方向に色識別域がのびた(感度が低い)楕円形状となります。

更に CIE DE2000 色差式では、色相角に対する影響にも配慮されており、CIE LAB ( $L^*a^*b^*$  色空間)の色空間上での人の目の色識別域の特長の一つ、4) 色相角 270 度付近(青色)での色識別域のゆがみ(彩度方向からのずれ)にも対応しています。

なお計算式にはパラメトリック係数と呼ばれる定数  $k_L$ 、 $k_C$ 、 $k_H$  が含まれています。使用者側でこの値を自由に設定することにより、様々な測定物の色管理に対応できる柔軟性も持ち合わせています。



# 色の用語いろいろ

ここでは、色に関する用語を中心に、詳しく解説していますが、JIS（日本工業規格）に基づいた文章表現でまとめているので、今までの文章に比べてむつかしい言葉や計算式等が多くでてきます。したがって、ここでは色に関する参考資料としてご一読いただければと思います。

## 慣用色名

慣用的な呼び方で表した色名。

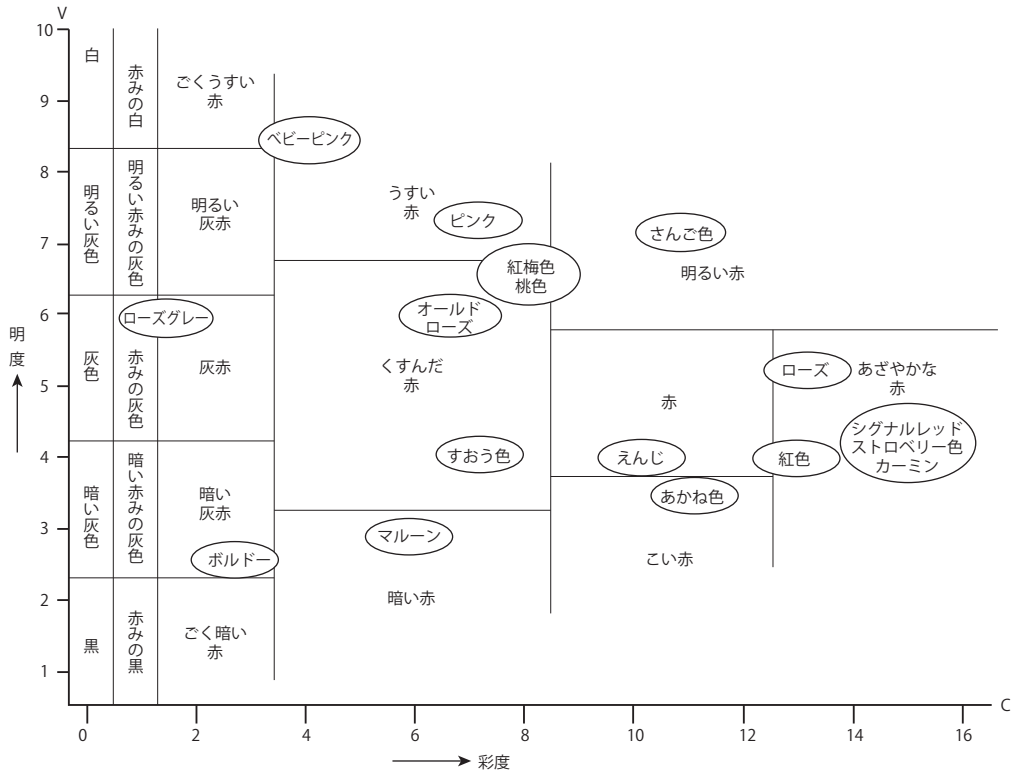
## 系統色名

あらゆる色を系統的に分類して表現できるようにした色名。

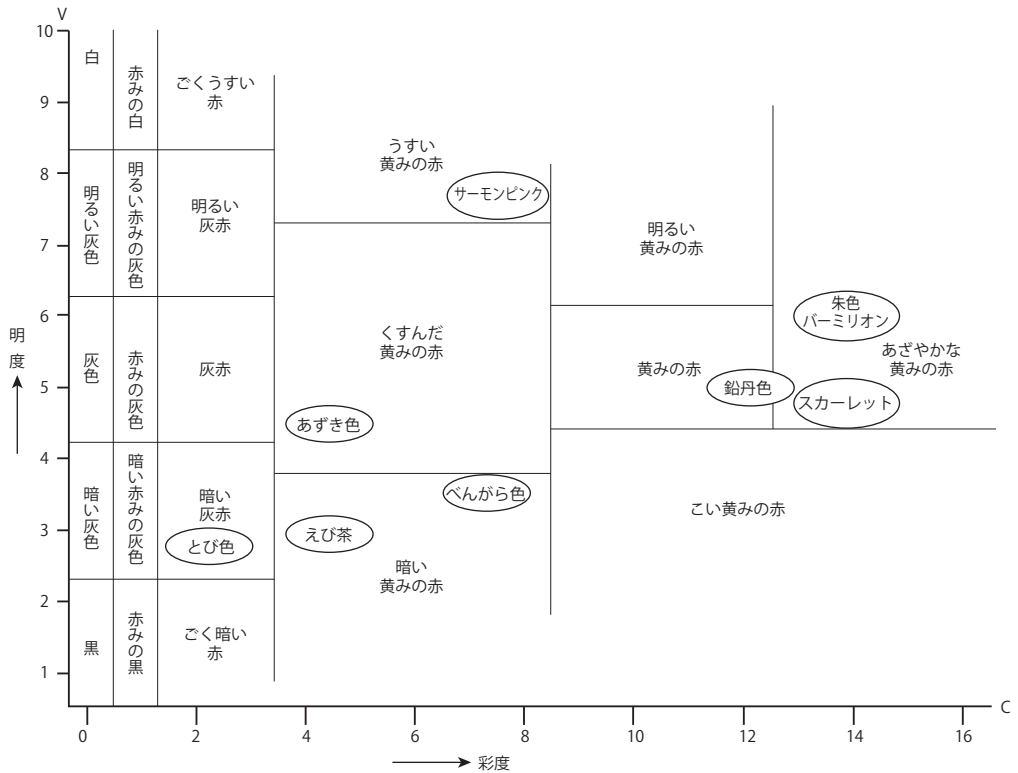
### (例) 慣用色名と対応する系統色名による表示

慣用色名	対応する系統色名による表示	代表的な色の参属性による表示 (参考)	対応英語 (参考)
オールドローズ	くすんだ赤	1R 6/6.5	old rose
ローズ	あざやかな赤	1R 5/14	rose
ストロベリー	あざやかな赤	1R 4/14	strawberry
さんご (珊瑚) 色	明るい赤	2.5R 7/11	coral pink
ピンク	うすい赤	2.5R 7/7	pink
桃色	くすんだ赤	2.5R 6.5/8	
紅梅色	くすんだ赤	2.5R 6.5/7.5	
ボルドー	暗い灰赤	2.5R 2.5/3	Bordeaux
紅 (べに) 色	あざやかな赤	3R 4/14	
ベビーピンク	うすい赤	4R 8.5/4	baby pink
シグナルレッド	あざやかな赤	4R 4.5/14	signal red
カーミン (又はカーマイン)	あざやかな赤	4R 4/14	carmine
えんじ (臙脂)	赤	4R 4/11	madder red
すおう (蘇芳)	くすんだ赤	4R 4/7	
あかね (茜) 色	こい赤	4R 3.5/11	madder red
マルーン	暗い赤	5R 2.5/6	maroon
朱色 (又はバーミリオン)	あざやかな黄みの赤	6R 5.5/14	vermilion
スカーレット	あざやかな黄みの赤	7R 5/14	scarlet
紅赤	あざやかな黄みの赤	7R 5/14	
鉛丹 (えんたん) 色	黄みの赤	7.5R 5/12	
サーモンピンク	うすい黄みの赤	8R 7.5/7.5	salmon pink
あずき (小豆) 色	くすんだ黄みの赤	8R 4.5/4.5	
べんがら (紅殻、弁柄)	暗い黄みの赤	8R 3.5/7	
えび (蝦) 茶	暗い黄みの赤	8R 3/4.5	
とび (鷹) 色	暗い灰赤	8R 3/2	
金赤	あざやかな黄赤	9R 5.5/14	bronze red
赤さび (あか錆) 色	暗い黄赤	9R 3.5/8.5	
かき (柿) 色	黄赤	10R 5.5/12	
につけい (肉桂) 色	くすんだ黄赤	10R 5.5/6	cinnamon
かば (樺) 色	こい黄赤	10R 4.5/11	
バートンシェンナ	くすんだ黄赤	10R 4.5/7.5	burnt sienna
れんが (煉瓦) 色	暗い黄赤	10R 4/7	brick red
さび (錆) 色	暗い灰黄赤	10R 3/3.5	
チョコレート色	暗い灰黄赤	10R 2.5/2.5	chocolate
ココア色		2YR 3.5/4	cocoa
くり (栗) 色		2YR 3.5/4	chestnut brown
		2.5YR 5/8.5	

(例) 色の三属性による表示と系統色名の関係 赤 (1R ~ 6R 未満)

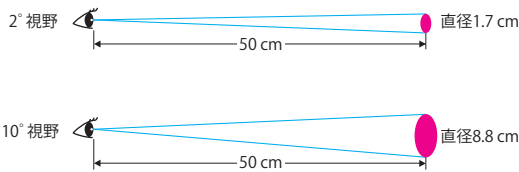


(例) 色の三属性による表示と系統色名の関係 黄みの赤 (6R ~ 9R 未満)



## 2° 視野と 10° 視野

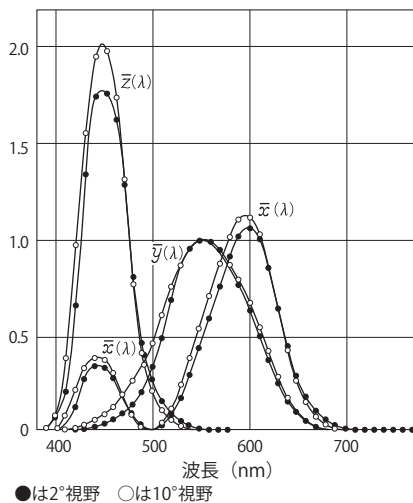
本書でも説明したように、人間の色感覚には、それぞれ個人差がありますが、視角（物体の大きさ）が変わっても色感覚は変化します。したがって、色測定の際には人間の色感覚を規制する必要があり、2° 視野と 10° 視野の分光感度が CIE や JIS で決められています。例えば、観察者が 50 cm の位置で直径 1.7 cm の試料を観察し、色を判定する場合は 2° 視野で、同様の距離で直径 8.8 cm の試料を観察する場合は 10° 視野です。2° 視野は視角が 1° ~ 4° 用で、10° 視野は視角が 4° 以上の場合に用います。



## 等色関数

W.G.Wright と J.Guild の等色実験に基づき、CIE で定められた等エネルギースペクトルに対する目の感度をスペクトル刺激値といい、この感度曲線を等色関数といいます。本書では、P28 でこれを「人間の目に対応する分光応答度」（等色関数）と説明しています。等色関数は 2° 視野と 10° 視野の場合が CIE で採用されています。

### 2° 視野および 10° 視野に基づく等色関数の比較



## XYZ 表色系 (CIE 1931 表色系)

CIE で 1931 年に採択した等色関数  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  に基づく三色表色系です。(2° 視野 XYZ 表色系ともいいます。)

観測視野が視角 4° 以下の場合に適用します。XYZ 表色系における、反射による物体色の三刺激値  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  は次の式によって求められます。

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

ここで、

$S(\lambda)$  : 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$\bar{x}(\lambda)$   $\bar{y}(\lambda)$   $\bar{z}(\lambda)$  : XYZ 表色系における等色関数

$R(\lambda)$  : 分光立体角反射率

## $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系 (CIE 1964 表色系)

CIE で 1964 年に採択した等色関数  $\bar{x}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{y}_{10}(\lambda)$ 、 $\bar{z}_{10}(\lambda)$  に基づく三色表色系です。(10° 視野 XYZ 表色系ともいいます。)

観測視野が視角 4° を超える場合に適用します。

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$  表色系における反射による物体色の三刺激値  $X_{10}Y_{10}Z_{10}$  は次の式によって、求められます。

$$X_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda}$$

ここで、

$S(\lambda)$  : 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$\bar{x}_{10}(\lambda)$   $\bar{y}_{10}(\lambda)$   $\bar{z}_{10}(\lambda)$  :  $X_{10}Y_{10}Z_{10}$  表色系における等色関数

$R(\lambda)$  : 分光立体角反射率



## 色度座標

三刺激値  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  から、例えば XYZ 表色系では色度座標  $x$ 、 $y$ 、 $z$  は次の式によって定義されます。

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

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

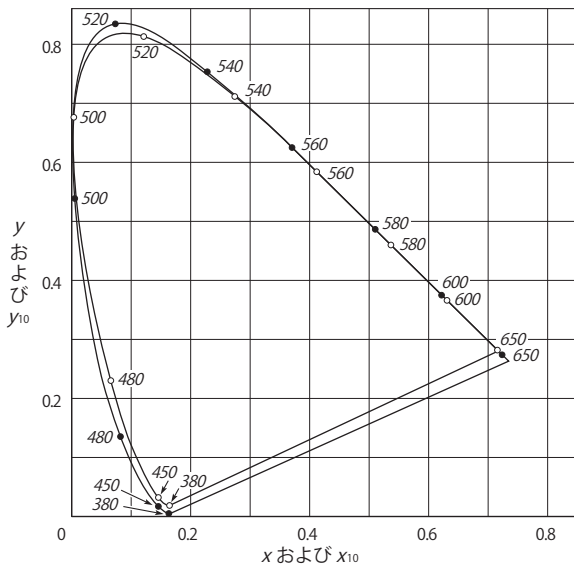
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$  表色系の色度座標は  $x_{10}$ 、 $y_{10}$ 、 $z_{10}$  を用います。

## 色度図

色度座標を平面上に示す図です。XYZ 表色系（2° 視野）および  $X_{10}Y_{10}Z_{10}$  表色系（10° 視野）においては、原則として色度座標  $x$ 、 $y$  または、 $x_{10}$ 、 $y_{10}$  による直角座標を用い、それぞれ CIE 1931 色度図および CIE 1964 色度図といいます。また、 $xy$  色度図および、 $x_{10}$ 、 $y_{10}$  色度図ともいいます。P21 で説明している図は、XYZ 表色系（2° 視野）の  $xy$  色度図です。

### 2° 視野および 10° 視野に基づく色度図の比較



- はXYZ表色系（2°視野）
- は $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系（10°視野）

## $L^*a^*b^*$ 色空間（CIE 1976）

CIE が 1976 年に定めた均等色空間のひとつです。次の三次元直角座標を用いる色空間を  $L^*a^*b^*$  色空間または CIE LAB（シー・アイ・イー・エル・エー・ビーまたはシーラブと呼びます）色空間といいます。本書では、P18 で説明しています。

明度指数： $L^*$

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

クロマティクネス指数： $a^*b^*$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$\text{ただし } \frac{Y}{Y_n} > \left( \frac{24}{116} \right)^3$$

$$\frac{X}{X_n} > \left( \frac{24}{116} \right)^3$$

$$\frac{Z}{Z_n} > \left( \frac{24}{116} \right)^3$$

（※ JIS Z 8781-4 では 0.008856）

ここで、

$X$ 、 $Y$ 、 $Z$  は試料の XYZ 表色系における三刺激値です。 $X_{10}$ 、 $Y_{10}$ 、 $Z_{10}$  表色系についても同様の式で計算します。 $X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$  は完全拡散反射面の三刺激値。 $X/X_n$ 、 $Y/Y_n$ 、 $Z/Z_n$  に  $(24/116)^3$  以下のものがある場合は、左式で対応する立方根の項をそれぞれ以下の式に置き換えて計算します。

$$\left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \rightarrow \frac{841}{108} \left( \frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \rightarrow \frac{841}{108} \left( \frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \rightarrow \frac{841}{108} \left( \frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116}$$

（※ JIS Z 8781-4 では 7.78）

## 均等色空間

等しい大きさに知覚される色差が、空間内の等しい距離  $S$  に対応するように意図した色空間をいいます。

## L\*a\*b\* 色差 (CIE 1976)

L\*a\*b\* 色空間における座標 L\*, a\*, b\* の差である ΔL\*, Δa\*, Δb\* によって定義される二つの試料 (色刺激) の間の色差です。本書 P22 でも説明したように、量記号は ΔE\*<sub>ab</sub> で表します。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

## L\*C\*h

明度指数 L\* は、L\*a\*b\* 色空間の L\* と同じです。Metric Chroma (彩度) C\* と Metric Hue-Angle (色相角) h を次の式で求めます。(本書 P20 参照)

$$\text{Metric Chroma (彩度)} : C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Metric Hue-Angle (色相角)} : h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \text{ [degree]}$$

ここで、a\*, b\* は L\*a\*b\* 色空間のクロマティックネス指数です。Metric Hue-Difference (色相差) は ΔH\* です。L\*a\*b\* 色空間における色差基準色のデータを (L\*t, a\*t, b\*t)、試料の測定値を (L\*, a\*, b\*) とし、また二つのデータ間の色差を ΔE\*<sub>ab</sub> とすると、次の計算式で求めます。

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$= \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^* - L^*_t$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} - \sqrt{(a^*_t)^2 + (b^*_t)^2} = C^* - C^*_t$$

## CIE DE2000 色差式

本書 P49 で説明した通り、L\*a\*b\* 色空間の弱点である測定結果と視感評価との相違を補正した最も新しい色差式です。明度差 ΔL\*, 彩度差 ΔC\*, 色相差 ΔH\* をもとに、重係数 (S<sub>L</sub>, S<sub>C</sub>, S<sub>H</sub>) やパラメトリック係数と呼ばれる定数 (k<sub>L</sub>, k<sub>C</sub>, k<sub>H</sub>) などの補正を加え、以下のように算出します。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left( \frac{\Delta L'}{k_L \cdot S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H} \right)^2 + \left( R_T \left( \frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C} \right) \left( \frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H} \right) \right)}$$

ここで、

$$L' = L^* \quad a' = a^* (1 + G) \quad G = 0.5 \left( 1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^*_{ab}{}^7}{\bar{C}^*_{ab}{}^7 + 25^7}} \right)$$

$$b' = b^* \quad C' = \sqrt{(a')^2 + (b')^2} \quad h' = \tan^{-1} \left( \frac{b'}{a'} \right)$$

重係数の値は、以下の式での算出が定義されています。

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}^* - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}^* - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0.045\bar{C}^* \quad S_H = 1 + 0.015\bar{C}^* T$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h} - 30) + 0.24 \cos(2\bar{h}) + 0.32 \cos(3\bar{h} + 6) - 0.20 \cos(4\bar{h} - 63)$$

また、RT (ローテーション関数) の値は、以下の式での算出が定義されています。

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) R_C \quad \Delta\theta = 30 \exp\left(-\left(\frac{\bar{h}' - 275}{25}\right)^2\right)$$

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}^*{}^7}{\bar{C}^*{}^7 + 25^7}} \quad \text{色相角と}\theta\text{の値の単位は、度を使用します。}$$

注1: 記号の上にバーの付加している値は、2色の色差対の平均値を表します。

注2: パラメトリック係数 k<sub>L</sub>, k<sub>C</sub>, k<sub>H</sub> は、試験条件によって異なり、標準条件下では、全て1に設定します。

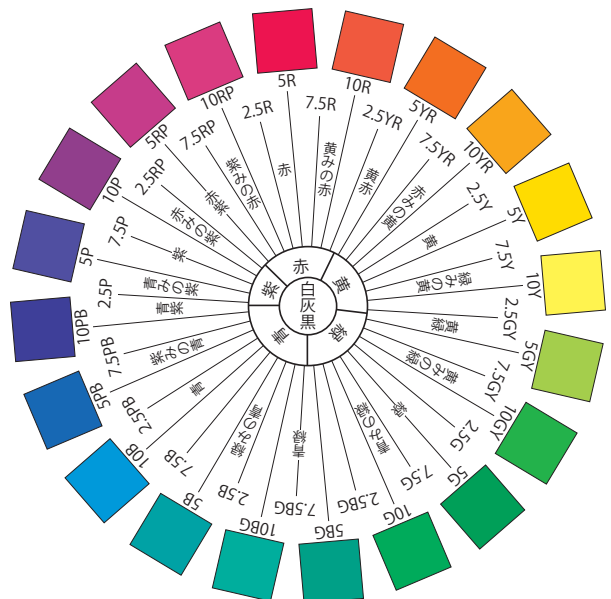
## マンセル表色系

マンセル (A.H.Munsell) の考案による色票集に基づき、1943年に米国光学会 (Optical Society of America) の測色委員会で尺度を修正した表色系です。

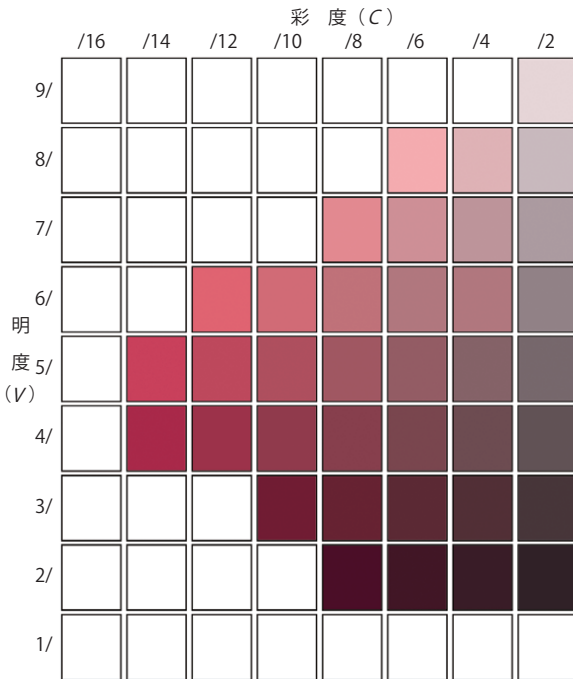
マンセルヒュー (H:色相)、マンセルバリュー (V:明度)、マンセルクロマ (C:彩度) によって表面色を表します。表示方法は、HV/C の順に表します。

(例) : 5.0R 4.0/14.0 (H : 5.0, V : 4.0, C : 14.0)

### マンセルの色相環



## マンセル色票(2.5Rの明度と彩度)



## L\*u\*v\*色空間 (CIE 1976)

CIEが1976年に定めた均等色空間のひとつで、次の三次元直交座標を用いる色空間をL\*u\*v\*色空間またはCIE LUV(シー・アイ・イー・エル・ユー・ブイ)色空間といいます。

明度指数:  $L^*$

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad \text{ただし} \quad \frac{Y}{Y_0} > \left( \frac{24}{116} \right)^3$$

クロマティクネス指数:  $u^*$ 、 $v^*$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_0) \quad v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

ここで、 $Y$ は三刺激値の $Y$ または $Y_{10}$ です。 $u'$ 、 $v'$ はCIE 1976 UCS色度座標です。

$Y_0$ 、 $u'_0$ 、 $v'_0$ は完全拡散反射面の $Y$ および $u'v'$ 座標です。

## L\*u\*v\*色差 (CIE 1976)

L\*u\*v\*色空間における座標L\*u\*v\*の差である $\Delta L^*$ 、 $\Delta u^*$ 、 $\Delta v^*$ によって定義される二つの試料(色刺激)の間の色差です。

量記号は $\Delta E^*_{uv}$ で表します。

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2}$$

## CIE 1976 UCS 色度図

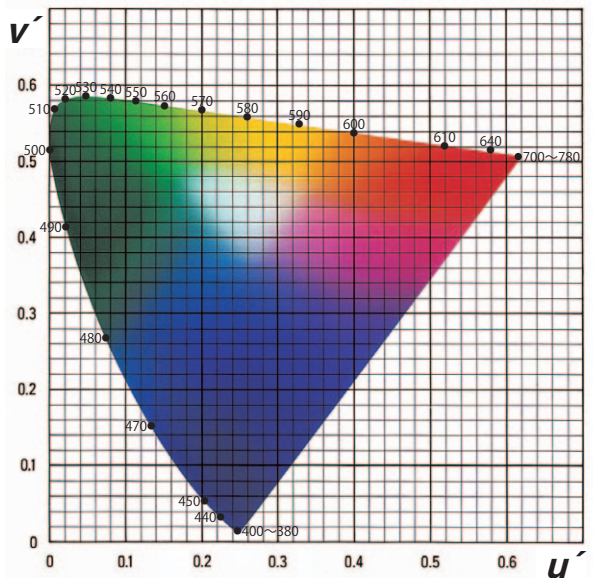
CIEで1976年に定められました。色度図上の全ての箇所において、輝度の等しい色の感覚差が図上の幾何学的距離にほぼ比例するように意図して目盛を定めた色度図です。XYZ表色系の三刺激値 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ または色度座標 $x$ 、 $y$ から次の式によって得られる $u'v'$ の直交座標をいいます。

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系については、同様の式によって得られる $u'_{10}$ 、 $v'_{10}$ の直交座標を用います。

## CIE 1976 UCS 色度図(2°視野)



# 物体色と光源色の違いについて。

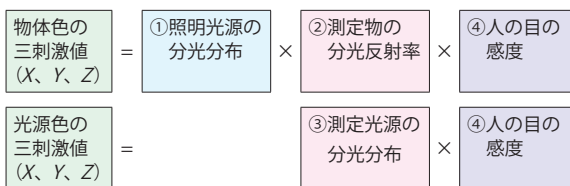
これまで、光が物体で反射したときの色（物体色）について述べてきましたが、電球などのようにそのもの自身が発光している光源の色（光源色）は、物体色とは異なります。

ここでは、物体色と光源色の違いについて、簡単に触れてみます。

## 定義式の違い

人は物体の色を見る場合、①物体を照らしている光源の色、②物体そのものの色、④人の目の感度の三つの要素が関係しています。それに対して、光源の色は、③光源のそのものの色と④人の目の感度の二つの要素が関係しているのです。

このため、人が感じるのと同じように色を数値で表すための定義式は、物体色と光源色で異なります。



物体色の場合、物体を照らすための照明光源が必要です。また、照明光源が違えば色が違って見えることから光源の色、すなわち照明光源の分光分布を決めて評価する必要があります。

光源色の場合、光源そのものの色が知りたいのですから、照明光源は必要ありません。

## 照明および受光の幾何学条件の違い

物体色は見る角度によって見え方が違うことから、「照明および受光の幾何学条件」について CIE や JIS などでは定められている 6 種類の条件を紹介しました。光源色では、こういった条件が定められていません。ただし、LCD のように光源の種類によっては、見る角度によってかなり色味が変わる「角度特性」を持っているものがあります。この場合は、見る角度を一定にするなどの工夫が必要です。

### 物体色の定義式

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

ここで、

$S(\lambda)$  : 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  : XYZ 表色系における等色関数

$R(\lambda)$  : 分光立体角反射率

### 光源色の定義式

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

ここで、

$S(\lambda)$  : 光源の放射量の相対分光分布

$\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  : XYZ 表色系における等色関数

$K$  : 比例係数

(三刺激値 Y の値が測光量に一致するよう定める)

(XYZ 表色系において、 $S(\lambda)$  が分光放射密度の絶対値である場合、測光量の絶対値を求めるには、 $K=683 \text{ lm/w}$  を用いる)

## 光源色を表す表色系

一般的に、光源色を数値で表す場合、 $xy$  座標系や CIE 1976 UCS 色度図 ( $u'$ ,  $v'$ )、「色温度」\* が多く用いられています。

\*色温度は、光源色特有の表示方法で、詳しくは、右のページを参照してください。

また、 $L^*u^*v^*$  色空間 (CIE LUV) を用いられることもあります。

ただし、 $L^*u^*v^*$  色空間は、完全拡散反射面の色を原点にした色空間なので、光源色で用いる場合は、基準光を決める必要があります。

## 色温度

黒体（完全放射体）というエネルギーを完全に吸収する理想的な物体は、温度が上昇していくと、発する光の色が赤→黄→白と変化していきます。このときの絶対温度  $T$ [K] を色温度といいます。また、この温度と色の軌跡（黒体軌跡）を  $xy$  色度図上で表すと、図 27 のようになります。

さらに、 $xy$  色度図上に黒体軌跡と等色温度線・等偏差線を描くと、図 28 のようになります。

光源の色が黒体軌跡上にある場合、完全に一致しないが最も近似の黒体の温度を「相関色温度」といいます。

一般的に相関色温度は黒体軌跡からの偏差 ( $\Delta uv$ ) と共に表されます。

図 27  $xy$  色度図上の黒体軌跡

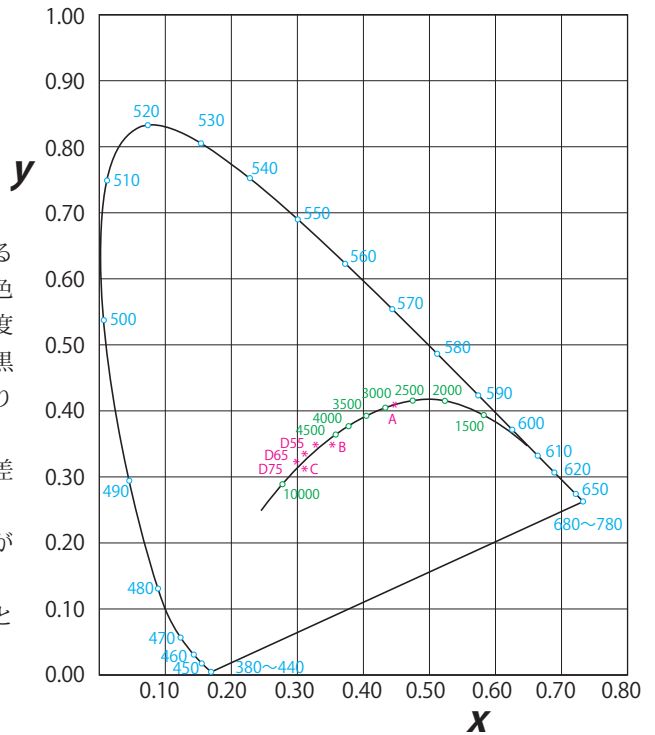
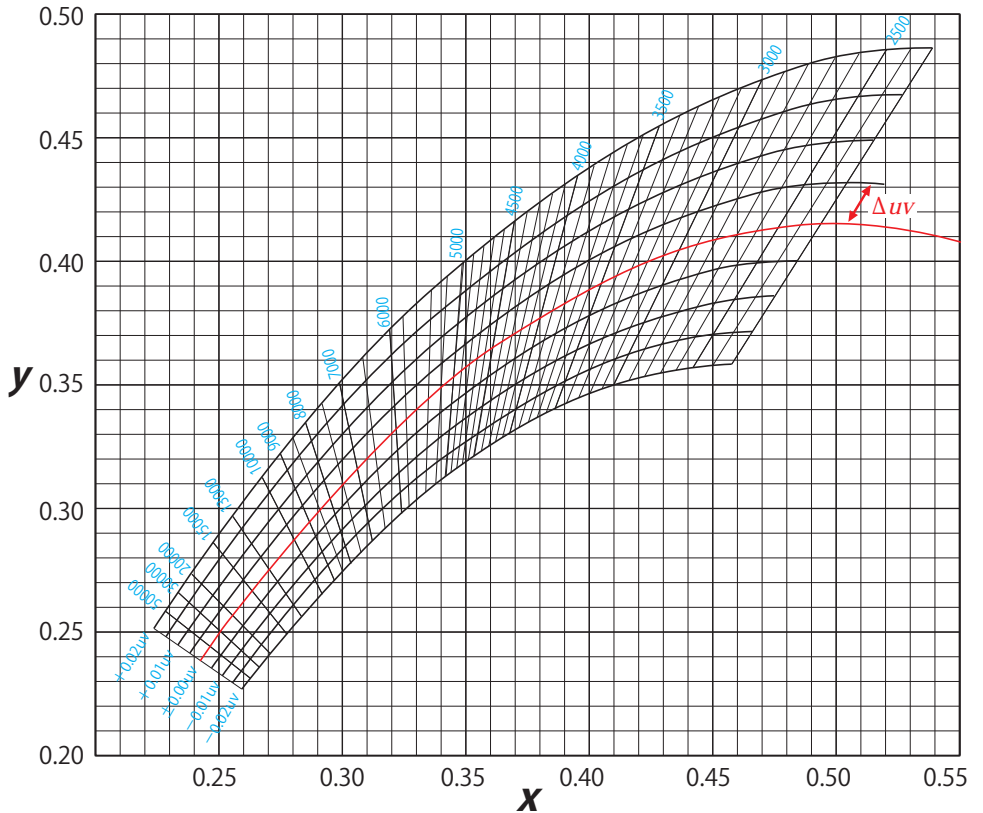


図 28  $xy$  色度図上の黒体軌跡と等色温度線・等偏差線



# MEMO





**KONICA MINOLTA**

本資料の著作権は、弊社または弊社にライセンスを許諾している第三者に帰属します。本資料の配布は、本資料に関する著作権その他一切の権利をお客様に許諾するものではありません。弊社の事前の書面による許諾を得ることなく、本資料の全部または一部を複製（個人的な使用に必要な範囲の複製を除く）・配布・転用・改変その他使用することを禁じます。