

特集「測色システムの実際」

測色の実際

Practice for Color Measurement

小松原 仁

Hitoshi Komatsubara

財団法人日本色彩研究所

Japan Color Research Institute

1. はじめに

測色に関する標準的な方法は、CIE No.15:2004 Colorimetry, third edition¹⁾で与えられている。CIE No.15では、以下に示す測色に関する7項目の総括的な説明を与えている。しかし、実際の測定ではCIE No.15の規定だけでは不十分なことから、b)、c)、及びe)の項目に技術的な内容を追加したJIS Z 8722:2000(色の測定方法—反射及び透過物体色)が規定されている。

- a) 照明光と光源の物理的データに関する勧告
- b) 反射標準に関する勧告
- c) 測色の幾何条件に関する勧告
- d) 標準観測者のデータに関する勧告
- e) 三刺激値及び色度座標の計算に関する勧告
- f) 均等色空間及び色差式に関する勧告
- g) その他の測色の実際及び数式に関する勧告

JIS Z 8722で規定されていない上記の項目は、JIS/MODとして個別に、次のJISで規定している。a)及びg)の一部はJIS Z 8720:2000(測色用標準イルミナント(標準の光)及び標準光源)、d)及びg)の一部はJIS Z 8701:1999(色の表示方法—XYZ表色系及び $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系、f)はJIS Z 8729:2004(色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系)及びJIS Z 8730:2002(色の表示方法—物体色の色差)、g)はJIS Z 8719:1996(条件等色指数—照明光条件等色度の評価方法)、JIS Z 8715:1999(色の表示方法—白色度)及びJIS Z 8725:1999(光源の分布温度及び色温度・相関色温度の測定方法)で規定されている。

ここでは、2007年に改正案がまとめられたJIS Z 8722:2009及びJIS Z 8730:2009に関連する事項について解説する。

2. 色の測定方法

2.1 JIS Z 8722:2009の主な改正点

JIS Z 8722の2000年版からの主な改正点を次ぎに示す。

a) 測色機器の開発に対応するために、照明光の照射及び反射・透過光の受光方法が、より細かく規定された。そのため、照射及び受光の幾何条件を追加した。更に、照射及び受光の幾何条件を詳細に表示する必要がある場合を考慮し、附属書A(参考)にその方法が規定された。

b) 三刺激値を計算するための重係数の作成に必要な等色関数、照明光の相対分光分布について、CIE15に規定されている5nmおきのデータを使用することとし、数表が作成された。また、照明光としてJIS Z 8716:1991(表面色の比較に用いる常用光源蛍光ランプ形式及び性能)の数表が追加された。

c) 標準白色面について、計測のトレーサビリティの観点から審議し、DIN 5033を引用した規定から『分光反射率係数が目盛定めされているものとする。この目盛り定めは、国家標準にトレーサブルとなるか、それに準じた方法で行うことが望ましい。』へ改正された。

今回の改正はCIE15の改正に合わせて、照射及び受光の幾何条件を中心に行われたが、追加された照射及び受光の幾何条件の一例を、図1(JIS解説図2-1 条件a)の中央と右に示す。図1は照射方向が45度方向の例であるが、照射方向が0度方向の場合の、受光の幾何条件についても同様に追加されている。また、積分球を利用した幾何条件について、現行JISでは0度方向からの照射又は受光として規定しているが、商品化されている分光測光器の多くが8度方向に設計されているため、8度をデファクトスタンダードとする記述及び表示に改正されている。

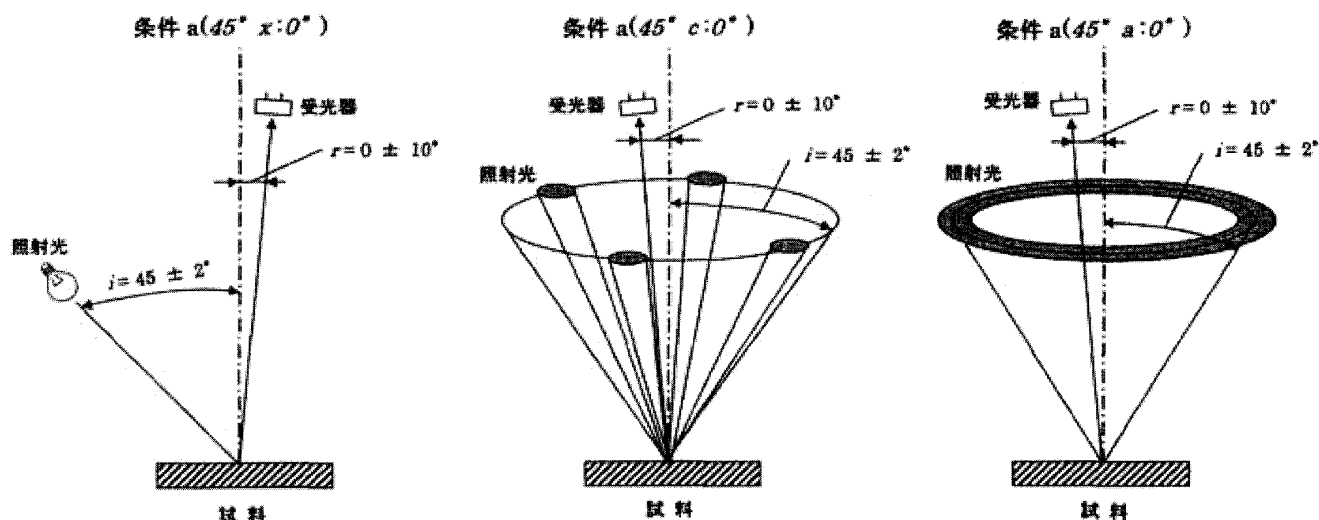


図1 照射及び受光の幾何条件の追加例

JIS Z 8722は測色のための標準的方法を規定しており、この規格に準拠した測定を行うことによって、ある程度の正確さが担保される。しかし、実際の測色においては、JIS Z 8722の規定以外についても、幾つかの注意が必要になる。その事例について以下に示す。

2.2 測色における留意事項

2.2.1 蛍光物体色の測定

蛍光物体色の測定は、JIS Z 8722とは別にJIS Z 8717:1989(蛍光物体色の測定方法)に規定されている。蛍光物体色は図2のように、試料を照射する際に白色光を用いるか単色光を用いるかで大きな違いがでることが広く知られている。図2は、JIS Z 9103:2005(安全色—一般的事項)の参考表1の黄赤の測定例である。安全色のように蛍光でギラギラ発光しているようにも感じられる試料の場合は、測定する技術者も蛍光色であることを認識して測定するので、単色光照明方法が採用されている分光測光器を使った測定をすることはないと考えられる。図3は、マンセル表色系に基づいたM社製標準色票(1976年版)の5YR 4/8の黄赤の測定例である。この色票は、屋光下では蛍光が含まれていることをほとんど認識することができないが、紫外線蛍光ランプを用いると、初めて蛍光が含まれていることが確認される。また、屋光下では、視感で蛍光が含まれていない低彩度の色票と比較しても、彩度の等間隔性に大きな不都合は見られない。しかし、図3のように、白色光照明か単色光照明かによって、分光反射率係数の違いは大きく、蛍光物体色の測定方法に従った測定が必要であることがわ

かる。図3の例のような試料の測定は、今日の工業製品を考えると、日常的に行われていることが想像される。残念ながらJIS Z 8717の測定方法を実現した分光測光器又は方法が普及しているとは言い難い、JIS Z 8717とJIS Z 8722との関係を整理し、実際の測定に利用できるように規定方法を検討することが必要と考えられる。

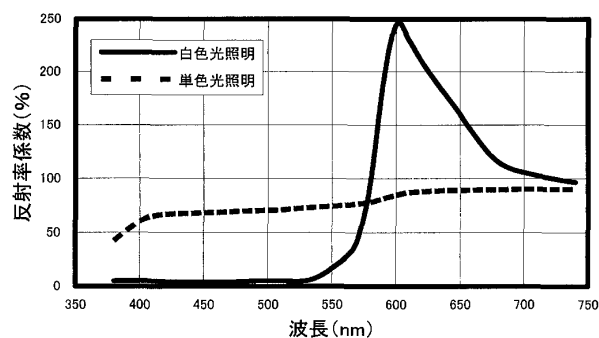


図2 蛍光安全色の測定例

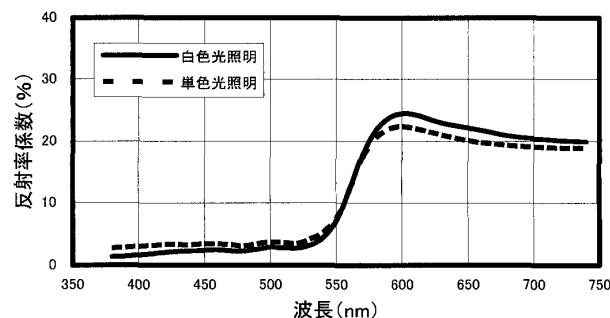


図3 M社製標準色票の測定例

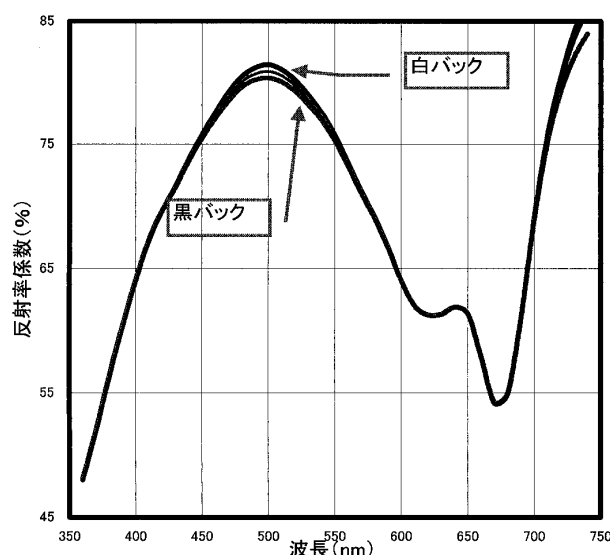


図4 透過・拡散性のある紙の測定例

照明面積：大)と(裏：黒、照明面積：小)では、大きな違いが生じる。

透過・拡散性という不安定な要素のある試料の測定では、測定用試料をどのように作るかの手順を明確にすることが、実際の測定では重要になる。

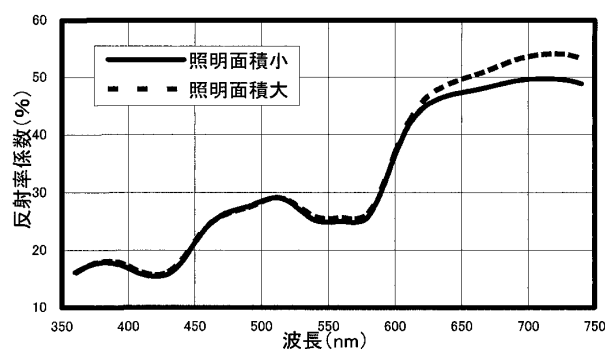


図5 肌色の測定例

2.2.2 不透明性物体色の測定

反射物体色の測定では、不透明な試料を測定することが一般的である。しかし、場合によっては、図4に示した色上質紙のように、光源に透かして紙の裏側に指を添えると、その影が薄く見えるような透過・拡散性のある試料を測定することがある。図4には一枚の上質紙を測定する際に、裏側に白色板(白バック)と黒色紙(黒バック)と異なった裏打ちをあてて測定した結果を示している。結果には、試料を透過した光が裏打ちによって反射又は吸収され、再び試料内に戻る光の影響が現れている。白バックと裏バックの中間に示されている結果は、試料を重ねて黒バックで測定した結果である。3枚以上重ねた結果は、ほぼ同じ値であり、試料を重ねることによって透過性による影響を排除した結果が得られている。その結果は、白バックの結果とも異なることが注目される。

同じような例を図5及び図6に示す。図5は肌色の測定例を示しているが、肌からの反射光を測定している面積を固定しておき、肌を照明する面積をかえて測定したものである。皮膚も透過・拡散物体色の代表的なものといえる。結果は、照明されている測定部位以外の光が皮膚内を拡散しながら透過して進み、測定部位で皮膚の外に出てくる光が照明面積をかえることによって異なることを示している。また、図6は透過・拡散性のある青色プラスチックを裏打ち及び照明面積をかえた測定例を示している。図6の上から(裏：白、照明面積：大)、(裏：白、照明面積：小)、(裏：黒、照明面積：大)、(裏：黒、照明面積：小)の結果で、(裏：白、

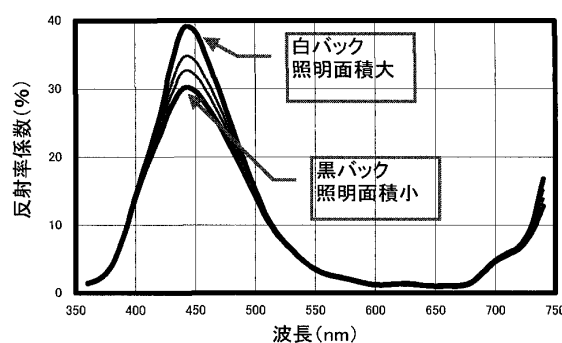


図6 透過・拡散性のあるプラスチックの測定例

3. CIE色差式

分光反射率係数を測定し、三刺激値XYZを得ることが測色の目的であるが、その応用という面からは、2色の色の差を定量的に表すことが求められることが多い。このために、CIEでは1976年に2つの均等色空間と色差式を提案している。2つの内の1つであるCIELABについては、1994年及び2000年に色差式の改訂が行われている。これらの色差式はCIE94²⁾及びCIEDE2000³⁾と呼ばれ、CIE 15ではCIEDE2000をCIE色差式の一つとして規定している。JIS Z 8730:2009でもCIE 15との整合をとるために、CIEDE2000を採用した規定に改正している。CIEDE2000の計算式の詳細については、文献4)に紹介されているので、紙数の関係から省略する。

3.1 CIE色差式の留意事項

3.1.1 均等色空間の歪みによる影響

CIE均等色空間としてCIELAB及びCIELUVの2種類

が提案されているが、反射物体色の色差の計算にはCIELABが使用されることが多い。そのため、ここでは色差計算におけるCIELABの歪みによる影響について紹介する。

マンセル表色系は、色相、明度及び彩度から構成される色知覚空間として知られ、JIS Z 8721で規定された基準値に基づいて作られた標準色票が広く普及している。CIELABのもとになったAdamsの色空間⁵⁾は、マンセル表色系の相関量を与えるように開発されている。このマンセル表色系で色相だけが異なる2色の色差を、CIELABを用いて計算した結果を以下に示す。CIELABへの変換は、JIS Z 8721の基準値 x 、 y 及び Y の値を用いて行った。 C^*_i はメトリッククロマ、 h°_i はメトリック色相角である。

マンセル記号 2.5YR 7/4 :

$$L^*_1 = 70.86 \quad a^*_1 = 12.26 \quad b^*_1 = 16.79$$

$$C^*_1 = 20.79 \quad h^\circ_1 = 53.9$$

マンセル記号 5.0YR 7/4 :

$$L^*_2 = 70.86 \quad a^*_2 = 10.10 \quad b^*_2 = 19.92$$

$$C^*_2 = 22.33 \quad h^\circ_2 = 63.1$$

この値から2色のメトリック量の差及び色差を計算すると次のようになる。

$$\Delta L^* = 0.00 \quad \Delta C^* = 1.54 \quad \Delta H^* = +3.48$$

$$\Delta E^* = 3.80$$

マンセル表色系で色相だけが異なる2色の色差に、色相差だけでなくクロマ差が混入する結果になっている。このクロマ差の混入は、CIELABを用いてマンセル表色系を表したグリッド図(図7)の等彩度線が同心円ではなく、歪んでいることによって生じる。このようなクロマ差の混入は、CIEDE2000のグリッド図

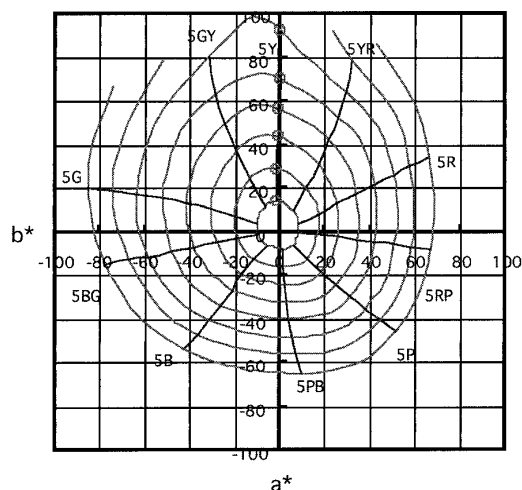


図7 CIELABを用いた明度5のマンセルグリッド

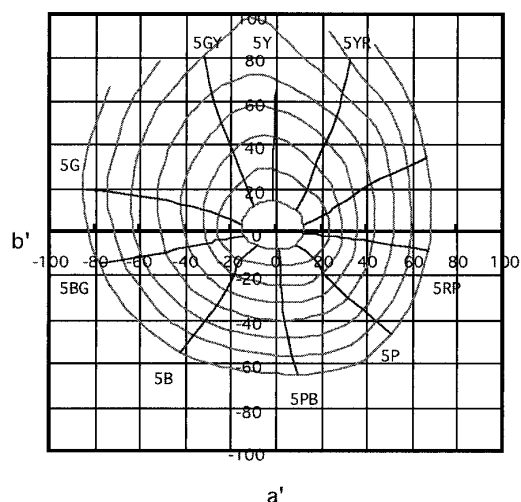


図8 CIEDE2000を用いた明度5のマンセルグリッド

(図8)から、CIEDE2000でもおこる。マンセル表色系はデータ収集や色彩分析に広く利用されている。これらのデータをCIELABの色空間に置き換えて解析するときには注意が必要であることを示唆している。

3.1.1 知覚色差との相関性

灰色の色差対を基準とした比率評定法によって得られた色差データ⁶⁾とCIELABをベースにした3つのCIE色差式との関係を図9に示す。図9の直線及び R^2 は、回帰直線及び決定係数を示す。CIELABとその改良であるCIE94及びCIEDE2000を比較すると、CIE94及びCIEDE2000を用いた色差によって色差データを良好に予測できることが認められる。しかし、CIE94とCIEDE2000の傾向はよく似ており、大きな違いは認められない。決定係数の大きさでは、有意ではないが、僅かにCIE94が上回っている。CIEDE2000をCIEDE2000の式の複雑さと、そこから期待される効果は、かならずしも一致しない結果になっている。

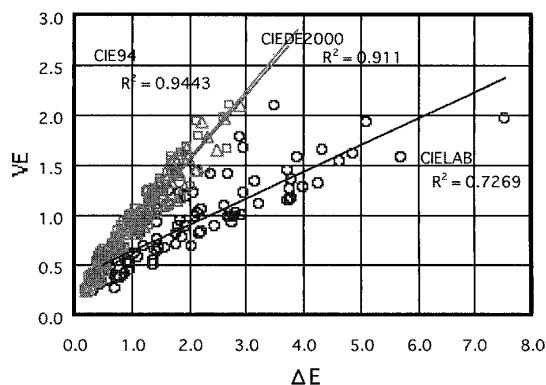


図9 CIE色差式と知覚色差との関係

4. おわりに

最近改正された2つのJISとCIE 15との関係及び改正内容の要点を紹介し、実際の測定における留意点について事例をあげて解説した。JIS Z 8722で規定された測色の標準的方法だけでは、実際の測色には不十分である。しかし、取り上げた事例のように、JISで標準化するには馴染まない要素も多く含まれている。品質保証を目的とした測色では、当事者間の取り決めが重要といえる。

参考文献

- 1) Publication CIE No.15.3 COLORIMETRY (2004)
- 2) Publication CIE No.116 Industrial Colour-difference Evaluation(1995)
- 3) Publication CIE No.142 Improvement to Industrial Colour-difference Evaluation (2001)
- 4) 小松原：カラーフォーラムJAPAN 2008 論文集 (2008)
- 5) D.Nickerson et al : J.Opt.Soc.Amer.,34, 550(1944)
- 6) K.Witt : Color Res.Appl.,24[2],199(1991)