

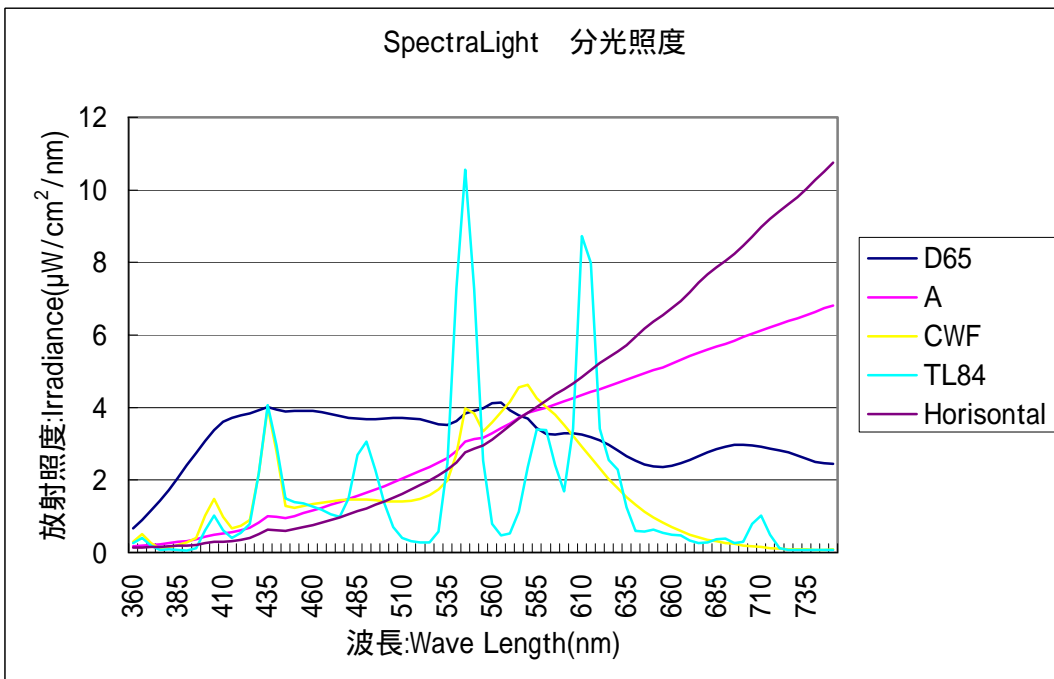
光アライアンス記事

はじめに

人が色を知覚するときは、照明(Light Source)のエネルギーが観察している物体(Object)にあたり、物体で(選択)吸収を受けたエネルギーが目に入り、S/M/Lの各垂体が刺激を脳へ送る必要があります。

照明と目視による評価

人の目が知覚できる照明は可視光領域に限られます。一般的に可視光は 400nm ~ 700nm(ASTMでは 380~780nm)の波長のエネルギーを持ち、人が知覚しうるエネルギー(輝度:Luminance)はおよそ $10^6 \sim 100,000 \text{cd/m}^2$ です。中天の太陽のエネルギーは約 $150,000 \text{cd/m}^2$ で、このときの色温度はCCT=5600Kです。目の受光器は、色を感知できるが感度の低い垂体と感度は高いが色を感知できない(分色できない)桿体で構成されています。垂体にはS/M/Lの3種があり、入射光を3つに分色することで色情報を得ます。垂体と桿体の感度により見えには3種類のモードが存在します。明るいほうから、 3cd/m^2 以上のときは垂体で見る明順応視:Photopic、 $10^{-3} \sim 3 \text{cd/m}^2$ のときは垂体と桿体の両方で見ると中間順応視(薄明視):Mesopic、 10^{-3}cd/m^2 以下のときは桿体のみで見る暗順応視:Scotopicの3種です。同一の物体の色は条件がPhotopicとMesopicのときでは異なって見えます。Scotopicのときは色は見えず白黒です。また、桿体は $30,000 \text{cd/m}^2$ でサーチュレートします。製造目標の色見本と製造物を並べて目視評価する場合、ある照明のもとで両者の色が一致して見えても、別の照明のもとでは異なって見えることがあります。これを条件等色(Metamerism)といいます。製造工場で一致していた色が、納品場所で異なって見えるために返品となり大きなクレームとなることがあります。これは主に色見本の色を構成している原色(ColorantかPigment)と製造で使われた原色の組み合わせが異なっているために起こります。同じ原色を使用できれば問題ありませんが、色見本がプリンタによる印刷物で、製造物がプラスチック形成品の場合等は同じ原色が使用できません。同じ原色が使えないケースは多々見受けられます。この場合は目視評価する照明を製造工場と納品場所で一致させる必要があります。照明の種別は光源色(Illuminant Color)として主要機関により規定されています。一般物の目視評価に使用する照明はCIE(国際照明委員会)が規定するD6500が使われます。(図1)また、グラフィックアーツで使用する照明はISOが規定するD5000を使います。またメタメリズムをチェックするための参照光としてA(Incandescent:2856K)、F2(Cool White Fluorescent:4150K)、TL84(Narrow Band Fluorescent:4100K)などが用いられます(図1)。Aは白熱電球として、F2は一般の蛍光灯として、TL84は条件等色の起こりやすいMetamericな光として使用されますが、食品業界ではTL84の代わりに30U(電球色蛍光灯:3000k)が使われます。また、人の目は上記のどの光源の元においても白を白として認識しますが、白として認識できない夕暮れ光(Horizonta:2300K)もデザイン分野を中心に重視されています。



(図1)SpectraLight 分光照度

- 照明条件は分光照度計を用いて測定します。



(写真 1)LightSpex

(写真 1)は GretagMacbeth 社の分光照度計 LightSpex と LightSpofitPlus です。LightSpex を用いることで 360 ~ 750nm/5nm ステップの分光照度を測定できます。またパソコンと接続し LightSoftPlus ソフトウェアを用いることで、分光照度データの色彩値(L*u*v*等)変換や各種の演色性評価指数への変換が出来ます。

- 製造工場と納品場所の目視環境を統一するために標準光源装置が用いられます。



(写真 2)SpectraLight III

(写真 2)は GretagMacbeth 社の標準光源装置 SpectraLight です。SpectraLight を用いることで CIE(国際照明委員会)が規定する D6500 光を中心に A、F2、TL84、Horizontal を切り替えて目視評価できます。これを用いて製造工場と納品場所で目視環境を一致させます。SpectraLight の D5000 タイプはグラフィックアーツ分野で使われています。

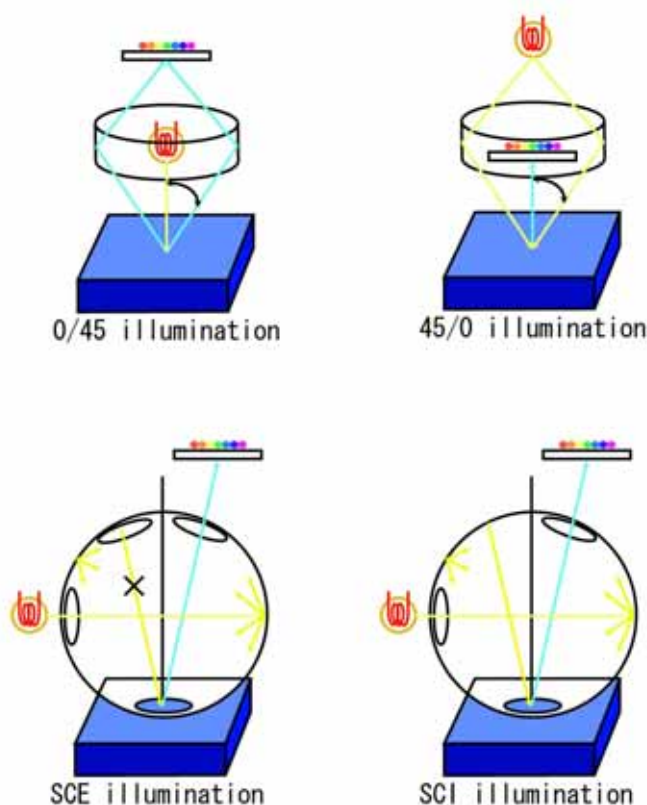
物体の評価

通常、物体(サンプル)の色を測定するための測色機として分光光度計が用いられます。物体の色を測る測色機には他にも安価な色彩色差計がありますが、人の目の S/M/L 垂体の特性を模倣した 3 種の三刺激値フィルター(XYZ フィルター)というワイドバンドフィルターを用いるため、同一機種間においても必要とされる互換性が出ません(微妙な室温の変化で吸収特性等が変化します)。RGB フィルタータイプは産業用としては使えません。現在の分光光度計は反射型回折格子による 20 ~ 40 分割の分光を行い、その個々は非常にナローバンドであるため十分な互換性があります。また、自動車業界や化粧品業界などの非常にシビアな色管理を行うために、凹面回折格子を 2 つ装備し 1 つはサンプルの測定、もう 1 つは照明光を測定するダブルビーム方式があります。凹面とすることと入射スリットで波長に

よる半値巾(ある波長で反射率 50%の時の波長方向の巾)の変動を抑え、8nm 以下を達成しています。
 分光光度計はランプを持っておりこの光(Light Source)で物体を照明し反射してきた光を各々の手法で受光します。
 ランプは CIE の A 光源に近いタングステンハロゲンランプか、非常に大きなエネルギーを持つ Xe フラッシュランプを
 CIE の D6500 などに色温度変換した物が使われます。Graphic Arts 用の ISO 規格に Light Source を CIE の
 D5000 に規定しているものがありますが、現在これをもつ測色機はありません。また分光光度計のランプを設計する
 ときには、Chromasity(黒体放射と実測の差)と Emissivity(黒体の方が全放射エネルギーが大きい)を考慮する必要が
 あります。

(図 2)サンプルを照明する方法は主に 2 種類に分類されます。一つは積分球方式で、もう一つは 45/0°あるいは
 0/45°方式です。積分球方式は物体表面にあらゆる方向から光を与え、ある 1 つの方向に反射光を取り出します。こ
 の方法は SCI(表面光沢成分含む:Specular Components Include)と呼ばれ、この方式から正反射光成分だけを除
 いたものを SCE(表面光沢成分除く:Specular Components Exclude)と呼びます。同一サンプルの半分を光沢仕上
 げ、あとの半分を無光沢仕上げとしたとき両者に生じる色差が最も小さいのが SCI です。SCI はサンプルの表面状態
 に対して感度が低いためコンピュータカラーマッチング(CCM)やペイント、樹脂成型品、化粧品等 Graphic Arts 以外
 の品質管理分野で使われています。SCE は人の目の見えに近いといわれています。同一サンプルを SCI と SCE で
 測定した場合、明るさの L 値のみが異なり、色を表す色度の a/b 値はほとんど同じです。SCI は色のみ、SCE は色と
 見えのうちの光沢成分を測定するため、海外では例えば色のみ SCI で $\Delta E < 0.3$ 、光沢を含めて SCE で $\Delta E < 0.6$
 の両方で品質管理するような基準を持っている企業もありますが、国内では積分球方式の殆どが SCI で使用されてい
 ます。

45/0°あるいは 0/45°方式は主にハンドヘルドの小さな測色機が必要な Graphic Arts 分野で使われます。この方式は
 SCE よりも非常に多くの表面光沢成分を除去します。そのため積分球方式で測定した測色値と比べて L 値以外に
 a/b 値まで異なる場合があります。45/0°と 0/45°方式の違いはサンプル - 受光器間でお互いの映り込みの有無の差
 です。Φ5mm 以下の小さな測定口(aperture)を作りやすく、機械本体も 1kg 以下、片手で取り扱え非常に多くの測
 定を行う ICC Profile の作成に役立ちます。またこの作成を自動化する測定テーブルもあります。



(図 2) 光学系

現在の分光光度計の Monochrometer(分光器)は入射スリットと回折格子(Grating)と 1D-CCD か 2D-CCD で構成さ
 れます。波長合せは Hg アークや He ランプの輝線かレーザーが用いられます。回折格子を用いた反射型
 Monochrometer ではプリズムを用いた透過型と比べて波長ごとの偏向角の変化がなだらかではなく階段状に変化し

ますが、物体色の測定では通常無視できます。

分光光度計は起動後、まずキャリブレーションを行います。これは分光光度計に固有の各波長ごとの白と黒の感度を記憶させる作業です。通常白のキャリブレーションにはセラミックタイルが用いられます。絶対白(可視光全領域で反射率が 100%)はBaSO₄やMgOの粉体を固めたものがありますが粉体であるため表面状態を作るのが非常に難しいことと湿度の影響を受けるため、標準のキャリブレーション板としては用いられません。また、セラミックよりさらに白いHalon樹脂がありますが硬度が低く静電気を帯びるため実用には向きません。黒のキャリブレーションは、ランプを点灯せずに測定する方法、セラミックタイルを用いる方法、Black Trapを用いる方法があります。高級機ではセラミックタイルかBlack Trapが用いられます。サンプルを測定したときに得られる分光反射率や分光透過率は一般にそのまま使うことは無く、CIE規定の光源(Illuminant:D65 等)と視野(Observer:10°等)の重荷係数と掛け合わせて加算しX/Y/Zの値を求めます。このX/Y/Zの値をCIE L*a*b*の色差式へ導入しL*/a*/b*を得ます。基準とサンプルの差 $\Delta L^*/\Delta a^*/\Delta b^*$ を求め、これらの直交する3次元の距離を求めることで総合色差 ΔE を得ます。色差式には他にもHunter、FMC-、CMC、BFDなどがありそれぞれの用途で用いられます。例えばHunterはPreCoated Metalで、FMC-は繊維業界で、CMC/BFDはより目視における色差判定に近い色差式として用いられます。

- 一般製造物の色評価は積分球方式の分光光度計で行います。



(写真 3)CE-7000A 積分球方式分光光度計

(写真 3)は積分球方式の分光光度計 CE-7000A です。自動車、化粧品、樹脂形成、ペイント業界等でリファレンス機として使用されている GretagMacbeth 社のフラッグシップモデルです。凹面回折格子を用いたダブル Monochrometer 方式で、測定波長域は 360 ~ 750nm、測定間隔は 10nm、読み取り精度は 0.001%です。SCI/SCE 切り替え、照明の UV 成分の Include/Exclude 切り替えが可能です。

- Graphic Arts の色評価は 45/0°あるいは 0/45°方式の分光光度計で行います。



(写真 4)45/0° 方式分光光度計 SpectroEye,Spectrolino

(写真 4)は 45/0°リング照明方式の分光光度計 SpectroEye(左)と、 Spectrolino を自動測定テーブル SpectroscanT に搭載したものです。Graphic Arts 分野で SpectroEye は印刷物の品質管理に、 Spectrolino と Spectroscan(T)は印刷物やスキャナー、モニターのカラーマネージメントを行うための ICC Profile 作成に用いられています。両者とも平面回折格子を用いたシングル Monochrometer 方式で、測定波長域は 380 ~ 730nm、測定間隔は 10nm、読み取り精度は 0.01%です。SpectroEye は Spectrolino よりも高エネルギーのタングステンハロゲンランプで照明するため高濃度サンプル測定での安定がよく、 Spectrolino は濃度域で 1.8 程度の安定度ですが ICC Profile 作成で 1.5 以上の濃度はありませんので、各々用途ごとに十分な性能を持っているといえます。

色彩の参考文献

Fundamentals of Color and Appearance
Principles of Color Technology
Color Science Second Edition
光学用語辞典

<http://www.munsell.com>
ISBN 0 471 19459 X
ISBN 0 471 02106-7
ISBN 4 900474 49 5 C3555

ホームページ

サカタインクスエンジニアリング株式会社 <http://www.inx-eng.co.jp/>
GretagMacbeth社 <http://www.gretagmacbeth.com/>