

# 測色の歴史と発展(1)

## 1. 色は、何故測る必要があるのか？

この世に色のないものはない。色は人間の五感の一つにより生ずる感覚である。色を科学的に説明することは非常に難しく、約 160 年前に、英国の J.C.Maxwell の色光の混合実験が始まりと言われている。1931 年の国際照明委員会(CIE)において、現在の CIE 系が考案され、測色学の基礎が確立された。

色を考えたときに、次のような点が問題になる。<sup>1)</sup>

### ① 色は変化する。

1200 年以上の正倉院の御物の色も、100 年以上前のエッフェル塔の色も、今となっては原色を知ることは不可能である。

### ② 人間は色を記憶できない。

今見ている同じ色票を数多くの色票の中から選ぶことは不可能である。

### ③ 人間の視感度は、周囲により変化する。

季節、天候、時間による外光の変化により同じ対象物の色の感じ方は変化する。また、人工光源の種類、タングステンランプ・蛍光灯や LED ランプなどの照明光源によって視感度はかなり影響される。

### ④ 人間の視感度は、個人により異なっている。

CIE (国際照明委員会) が定めた標準観測者は、40 才までの人のうち、2%程度と言われている。同一人でも年齢により異なっているし、人種によっても異なっている。そのため、色を測定し、数値化するということが必要になり、現在にいたっている。このように測色は、色を世界共通の絶対値として、その必要性を表現することができる。

## 2. 色は、どのようにして見えるのか？

人間が色を見るためには、眼・光・対象物が必要である。

### 2.1 眼

肉眼の構造<sup>2)</sup>を図 1 に示す。

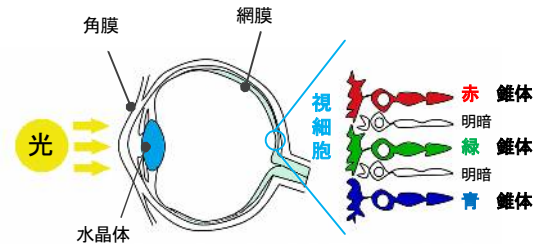


図 1 肉眼の構造

人間は、眼を透して対象物を見ることができる。対象物は水晶体により焦点を合わせられ、眼の網膜上に倒立の実像を結ぶ。網膜上には、光を感じることができる視細胞がある。視細胞には、暗い光にも反応可能だが色を識別できない桿体細胞と、明るい光に反応し色を識別できる錐体細胞があり、桿体細胞は錐体細胞より数が多く、主に網膜の周辺部に多く分布している。これら 2 種類の細胞により網膜に結像した対象物の明暗や色・形をとらえることができる。

桿体細胞(R 桿体)は約 500nm にピークがあり、明暗を判断する。錐体細胞には、光を感じる 3 種類の錐体があり、それぞれ約 560nm、約 530nm、約 430nm のピークを有する赤錐体(L 錐体)、緑錐体(M 錐体)、青錐体(S 錐体)がある (図 2)。

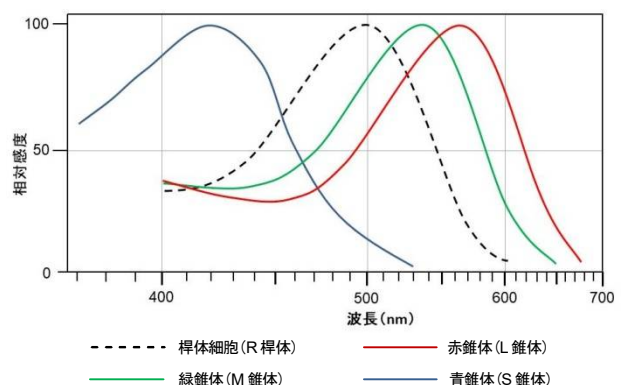


図 2 視細胞の感度特性

明るい環境下では、視神経を通じて脳に送られた刺激の割合を介して、人間は対象物の色を判断する。錐体は、「day vision」とも言われ、通常日中の明るい周囲条件の下で働くが、夕方暗くなってくると人間の目の細胞は自動的に桿体に移動する。桿体は、「night vision」とも言われるように非常に少ない放射エネルギーに反応可能で、月明かりや星明かりのような暗い周囲条件でも対象物を判断できる。ただし、波長に対する感度特性は、約 500nm にピークを持つ一つの波長特性なので明暗の度合いしか感じない。夕方になると、明所視(photopic vision)から暗所視(scotopic vision)の中間の薄明視の状態になり、錐体から桿体に、また桿体から錐体に視覚は常に移行することになる。この条件下では、眼の視覚が安定せずに変化するため、色の判断がしにくくなる。さらに、短波長の青色に近いものが明るく見え、長波長側の赤色のものが暗く見える（プルキニエ現象と呼ばれる）ので、注意が必要である。実生活において交通標識板が青地に白抜き文字になっているのは、桿体は錐体と比較して、周囲が暗くなった時にも感度が良いので、道路標識板の色を判断しやすいためである。また、青色は指示、誘導、安全状態、完了、稼働中を表す色として用いられている。

## 2.2 光

光とは電磁波の一種で、電磁波とは電界と磁界が互いに影響し合いながら空間を光と同じ速さで伝わっていく波をいう。電界と磁界は、波と粒子の性質を合わせもっていて、透過・散乱・屈折・反射や回折・干渉など波長によってはさまざまな波の性質を示す一方、微視的には粒子として個数を数えることもできる。電界とは、電気のプラスとマイナスの極性を持ち、極性の違いにより引き合ったり反発しあったりしている電気の働いている場所をいい、磁界とは、N 極と S 極があり異なる極は引き合い、同じ極は反発しあう磁気の働く場所をいい、お互いに波の進行方向に対して 90° 振幅方向がずれている。電磁波はその周波数により性

質が大きく異なり、一般家庭の交流電源・放送電波・電子レンジ・携帯電話をはじめ衛星放送・赤外線・可視光線・紫外線、さらにレントゲン撮影に用いる X 線・γ線など幅広く利用されていて、その振動数（波長）により分類される。振動数と波長の関係は、次式により求められる。

$$\text{振動数} = \text{光速} / \text{波長}$$

波長とその名称を図 3 に示す。

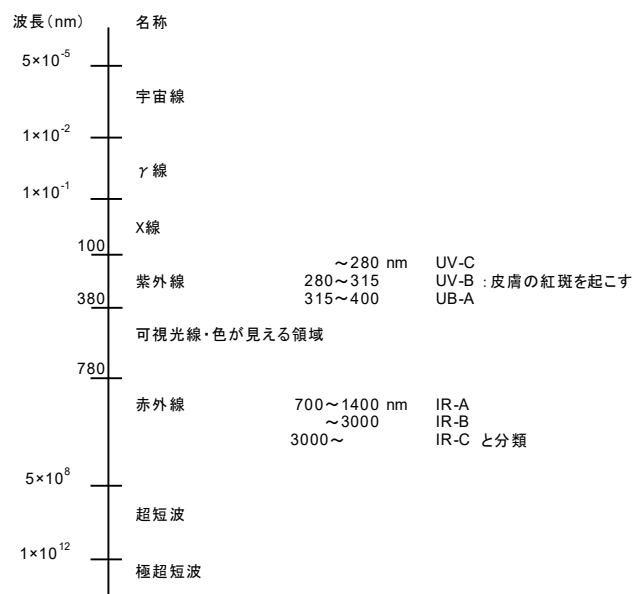


図 3 電磁波の種類と波長の関係

電磁波のうち波長が 100,000nm より長い波長の電磁波は、電波法で「電波」と定義され、BS 放送、FM 放送、中波放送や無線等に用いられる。さらに長い波長の電磁波は送電線に用いられる。紫外線より短い波長の X 線、γ線は物質の原子を電離させることができ、レントゲン写真等に使用されるが、多量に浴びると細胞の遺伝子を損傷し、癌等の原因になることが知られている。

国立天文台編の理科年表では、可視光線の範囲を 0.36 μm から 0.83 μm と記載しており、注釈として JIS Z 8120 : 光学用語を参照している。光学用語の定義では、「目に入って、視覚を起すことができる放射。一般に可視放射の波長範囲の短波長限界は 360~400nm、

長波長限界は 760～830nm にあると考えてよい。」と記載されている。

## 2.3 対象物

この世の中のもので、色がないものはないといって過言ではない。身の回りの衣類、食品、建物を始め、植物の花や葉、絵本、照明などは色によって、人の感情を高め、購買力を増したり、目的に合うように考案されている。対象物は各々固有の分光反射率や透過率をもっており、その差が色の違いに影響する。

## 3. 色の表示

### 3.1 マンセル色票<sup>3)</sup>

色には心理的概念に基づいた知覚色に属する色がある。一例としてマンセル色票と呼ばれる色がある。知覚色は、色の心理的属性、明るさを表す‘明度’とクロマティックネス(色味を表す‘色相’<sup>しきさう</sup>と鮮やかさを表す‘彩度’<sup>さいど</sup>)で表される。マンセル色票は、色の三属性である色相・明度・彩度によって分類されて感覚的に等歩度の色票が配列されている。1929年に発行された Munsell Book of Color における知覚的な等歩度性の不規則性は、米国光学会(OSA: Optical Society of America)の測色委員会で検討修正され、1943年に修正マンセル表色系(Munsell Renotation System)としての一応の結論が得られた。マンセル色票集は、昼光に順応した肉眼で、中明度以上の無彩色面を周辺視野として、標準光源 C で 45° 方向から照明し、ほぼ垂直方向から見る場合(または、この逆)の知覚色を心理的属性(色相・明度・彩度)に従って体系的に配列した色票集と言われている。

マンセル表示は、JIS Z 8721: 色の表示方法—三属性による表示(最新確認 2019/10/21)で規定されているように、有彩色は、色相(H: Hue) 明度(V: Value) 彩度(C: Chroma)を H V/C (例えば 7.5R 5/10)の順序に、無彩色については N Value を NV (例えば N5)のように記載する。各項については、整数または小数

点以下 1 位までとする。図 4 に、マンセル色票の色相環を示す。

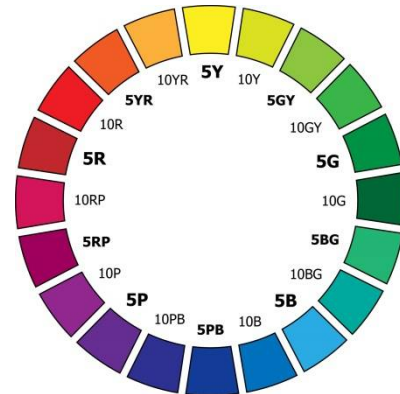


図 4. マンセル色票の色相環

虹の 7 色のように、赤(Red)・黄(Yellow)・緑(Green)・青(Blue)・紫(Purple)の 5 色相に大別され、中間に黄赤(YR: Yellow Red)・黄緑(GY: Green Yellow)・青緑(BG: Blue Green)・青紫(PB: Purple Blue)・赤紫(RP: Red Purple)を加え、10 色相で環を表現している。さらに各色相を 2.5 間隔に 4 分割した各々のマンセル色票の数値が、JIS Z 8721: 色の表示方法—三属性による表示に記載されている。図 5 に、マンセル色票の明度/彩度図の色相 7.5R の一例を示す。

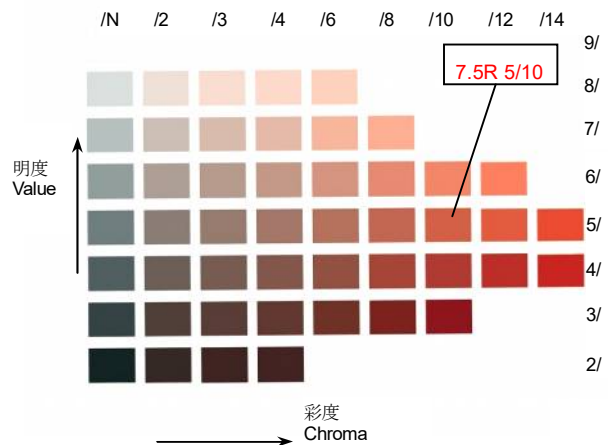


図 5 マンセル色票の明度/彩度図の例 (7.5R の場合)

彩度の高い色は中明度の段階に多く位置し、純色はこの段階にある。また図 6 のように、彩度の高い色(純色)

は色相により異なる明度段階にある。図 6 はマンセル色票の立体図、カラーツリーと呼ばれる全体像である。

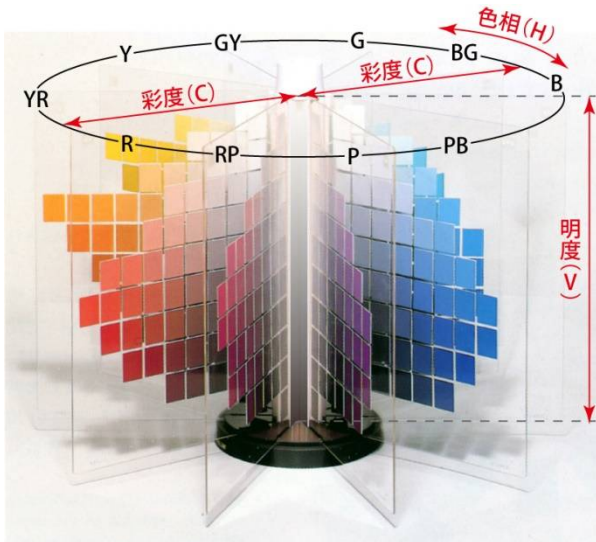


図 6 マンセル色票の色立体

マンセル記号は、色の三属性に基づいているため直感的に分かりやすく、試料の表面とマンセル色票とを参照比較してマンセル記号で表示することができ手軽であることから、広く用いられている。ただし、物体色だけを対象にしているので光源色には用いることができず、色票との対比によるので、小さな色の差を問題にすることには適していない。また照明の条件により結果が異なることもあり、使用できる条件が限られている。

### 3.2 オストワルト表色系

ドイツの科学者オストワルトによって 1920 年頃発表された表色系<sup>4)</sup>で、全ての色は白色量(W)+黒色量(B)+純色(F)により得られるという考えに基づいている。ヘリングの「心理四原色」と呼ばれる「赤-緑」「黄-青」の反対色を対向位置に置き、さらに中間に「橙-青緑」「紫-黄緑」を置き 8 色相にし、さらに各色相を 3 等分した色相環を考え、色相番号として「1~24」を割り当てている。オストワルトの色相環を図 7 に示す。

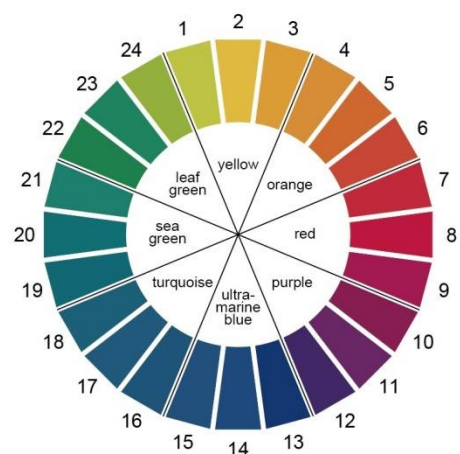


図 7 オストワルトの色相環

また無彩軸と等色相面の一例を図 8 に示す。

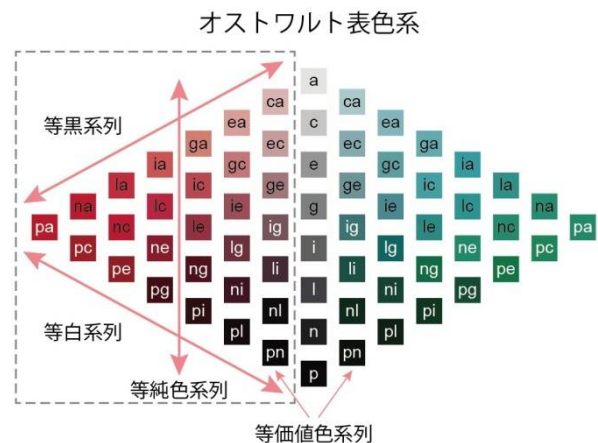


図 8 オストワルト表色系の無彩軸と等色相面

図 8 は等色相三角形と呼ばれ、縦軸は無彩軸で、等色相面は白(a)・黒(p)・純色(pa)を頂点とする三角形を作る。従って有彩色は 28 枚の色票で構成されるように考えられている。無彩色は、a・c・e・g・i・l・n・p の 8 段階で、各色票には、無彩軸の記号が与えられて識別されている。図の等白系列は白色量が等しい黒 p と純色 pa を結んだ線と平行、等黒系列は黒色量が等しい白 a と純色 pa を結んだ線と平行、等純色系列は純色量と白色量の比が等しく、白 a と黒 p を結んだ線と平行な垂直線上に並ぶ色、等価値色系列は、白色量と黒色量が等しいので、色立体を水平に切断すると 28 枚の色票

が同円周上に並び一つの色相環を作る。オストワルトの表色系では白色量や黒色量が等しい色は調和するという考えで考案されているので、調和する配色を簡単に選択することができる。

## 【参考文献】

- 1) Colour スガ試験機(株) 技術資料
- 2) 応用色彩学 D. B. ジャッド/G. ヴイスツェッキー著 ダイヤモンド社
- 3) JIS Z 8721 三属性による色の表示方法
- 4) 色の測定と応用 福田保著 日刊工業新聞社

---

## ★プロフィール紹介

### 木村哲也 <著者>

スガ試験機(株) 元常務取締役技術開発部長・校正部長  
JCSS(計量法校正事業者認定制度)技術委員会 光分科会 委員  
(社)照明学会「分光測光による測光標準用放電ランプ全光束測定」改正委員会 委員  
日本色彩学会 JIS 原案作成委員会 委員  
同上 白色度研究委員会 委員 等を歴任  
科学技術庁長官賞 受賞 「色・透過率測定装置の開発」  
黄綬褒章 受章 「色測定装置の発明考案に精励」 他

### 須賀茂雄 <監修>

スガ試験機(株) 代表取締役社長  
(公財)スガウェザリング技術振興財団 理事長  
CIE/TC2-88 (模擬太陽放射) 議長  
ISO/TC61/SC5 (物理・化学的性質の分析方法) 日本代表  
ISO/TC35/SC9 (塗料/一般試験方法) 日本代表  
ASTM E12 (外観特性) エキスパート 他、国際標準化活動に多数参画  
元日本色彩学会 色彩基準の確立検討会 会長  
ISO Excellence Award 受賞 (3回)  
IEC 1906 賞 受賞 他

---

## 本講座の開設にあたり

今号より新たに「色彩基礎講座」を開設いたします。本講座は、色彩の基礎から測色の歴史と発展について解説していくものです。当社木村哲也が執筆、須賀茂雄が監修を務めます。

本講座をより有意義なものにしていくために連載中、ご意見や掲載内容についてご要望を編集部までお寄せ頂ければ幸いです。  
(編集部 記)