

---

# 色彩の基礎知識と皮膚色の測定および定量化

秋本眞喜雄

SAMPLE

---

SAMPLE

## はじめに

皮膚の色ほど生活の一部となっている分野はない。カラーテレビ、写真、印刷、絵画、自然の色など生活の一部に溶け込み気の付くことが少ない日常生活である。衣食住を始め学術研究に至る幅広い分野に皮膚の色彩が関わっている。皮膚は目に見え触れることのできる臓器であり、最も実感的な生体表面である。表面の生体膜としては非常に乾燥しており、機械的・化学的にも強い抵抗力を持っている。さらに、機械的・化学的保護作用だけでなく、熱の放散や光の吸収に対する調節機能や物質の移動も他の生体膜に見られない皮膚特有の機能である。皮膚の最外層の角質層などは細胞の堆積であり、表面と内部の複合膜として相互に保護を受け、生体としての機能を果たしている。皮膚の性状は個人差だけでなく、加齢、季節、体調変化など取り巻く環境によって大きく変化し、表面の光反射特性が大きく影響している。特に皮膚の表面は一様に平滑ではなく、多数の細かい凹凸成分から形成されているため複雑な見え方をする。このため皮膚表面を測定し、その程度を的確に把握することは美容皮膚科学の大きな関心のひとつであった。さらに、色の違いを製品の品質管理に活用することは美容皮膚科学において極めて便利な方法であり、色の測定技術が重要な要素となる。色を定量的に表現するには、色を数値で表現する必要があるが、色を数値で表現することは不思議な感じがする。この色の定量化には、ギリシャ時代やローマ時代の先人達の探求心までさかのぼる。色彩学は生理光学の学問分野として主にヨーロッパを中心に古代ギリシャやローマ時代の古くから発展してきた。美容の分野では、例えば、美にまつわる伝説を持つエジプトの女王・クレオパトラはあまりにも有名である。クレオパトラは紀元前69年頃に、エジプトの王家に生まれた。また、フェルメールの真珠の耳飾りの少女（1665年）は皮膚の色を忠実に再現した最初の作品としても有名である。2003年にイギリスで映画も製作され、2004年には第76回 アカデミー賞を受賞しており、鑑賞すると皮膚色の表現の難しさが理解できる。日本の古いことわざの「百聞は一見にしかず」はまさに見ることは最大の情報源であることの意味を的確に表現している。また、「色の白いは七難隠す」がある。色の白い人は他にさまざまな欠点があっても、色白で目立たないということであり、美容に関係した内容である。さらに、色彩ほど広い分野にまたがる学門も珍しい。芸術や科学、心理学などあらゆる分野において色彩が利用されている。医学・医療の分野にも色彩の知識が活用されている。

本書は美容皮膚科学において色を定量的に扱う業務のための色彩科学の基礎知識や色彩の品質管理をわかりやすく学ぶためのテキストを狙いとしている。まず皮膚色の歴史から始まり、色の表示方法や測定原理、さらには色の応用技術について解説した。しかし、本書は色彩の解説書であるが、色刷りの部分はない。読者の方々には内容を理解するのにご不便をおかけするものと考え、その分なるべく多くの図や表を随所に挿入したので、理解の手助けになればと考えている。色彩科学の重要な用語や語句は強調文字とし、該当する英語の表現を括弧内に示した。さらに、本書は、文部科学省後援の色彩検定やカラーコーディ

ネーターの色彩能力検定試験および各種の資格試験の参考書としても最適である。近年、国際整合性の観点から、規格や用語の改定が実施されている。日本工業規格 (Japan Industrial Standards、略称：JIS) の日本語名称が2019年7月1日より日本産業規格に変更となった。英語名称や略称は変更がなく、従来通りである。日本工業規格の名称は長く親しんできた読者も多いと考えるが、本書では変更後の用語を記載した。

画像による色の測定方法の開発や研究、皮膚科臨床への糸口を切り開いたのは浅枝設計事務所の浅枝暉雄博士に負うところが大きい。ここに感謝申し上げる。また、開発した装置を活用して皮膚科治療への応用に関しては、高野医科クリニックの畑三恵子院長、クイーンズスクエア・皮膚科・アレルギー科／日本医科大学の尾見徳弥客員教授およびニュー上田クリニックの上田由紀子院長には大変お世話になった。ここに感謝を申し上げます。また、東京工科大学応用生物学部の前田憲寿教授には色彩の教育・研究の遂行において大変お世話になった。感謝を申し上げます。さらに、本書の出版に際し (株) R&D 支援センターの関係各位に感謝の意を表したい。特に業務担当の加藤ゆり香氏には本書の構成など細かい箇所までご指摘いただいた。ここに御礼申し上げます。

本書は、著者の長年の色彩教育・研究の集大成である。色の知識は物理学や心理学、生理学を含む境界領域を対象としており、これまで多くの方々から貴重なご意見をいただいた。ここに関係各位に感謝する。本書をまとめるにあたって、妻・佳子には、大変苦勞をかけた。資料の整理から校正に至る随所で協力いただいた。ここに、本書を捧げるとともに感謝する。

## 目次

はじめに	3
<b>第1章 色彩の文化と歴史</b>	<b>11</b>
1.1 欧米の色彩文化	11
1.2 日本の色彩文化	14
1.3 皮膚色研究の歴史	18
1.4 色彩科学の過去・現在から未来へ	18
<b>第2章 皮膚の構造と機能</b>	<b>21</b>
2.1 皮膚の構造	21
2.2 皮膚の保護機能	24
2.2.1 角層の構造による保護機能	24
2.2.2 表皮のpH維持機能	24
2.2.3 紫外線に対する防御機能	25
<b>第3章 光の定義および眼の機能</b>	<b>30</b>
3.1 光の定義	30
3.2 物理量と心理物理量	31
3.3 分光分布の性質	37
3.4 加法混色と減法混色	39
3.5 光の反射の方向性	41
3.6 眼球の構造	42
3.7 眼球から脳への情報伝達	47
<b>第4章 色の表示方法</b>	<b>49</b>
4.1 色の三属性	49
4.2 カラーオーダーシステム	50
4.2.1 マンセル表色系による表示	50
4.2.2 オストワルト表色系による表示	54
4.2.3 NCS表色系による表示	57
4.2.4 日本色研配色体系による表示	59
4.3 色名	61
4.3.1 慣用色名	61
4.3.2 系統色名	62

<b>第5章 RGBからXYZ表色系への変換</b>	64
5.1 CIE表色系による表示	64
5.2 XYZ系への変換	67
5.3 デジタル画像の色の表示	71
5.4 視野の大きさ	75
5.5 主波長と刺激純度	76
5.6 照明光と色温度	77
5.7 標準イルミネント	80
<b>第6章 均等色空間による色表示</b>	84
6.1 均等色度図	84
6.2 均等色空間の定義と色差式	86
6.3 心理量との相関量	96
<b>第7章 色の測定方法と心理的評価法</b>	101
7.1 色の測定方法の分類	101
7.2 視感的測色法	101
7.2.1 標準色票と比較する方法	101
7.2.2 混色による測色方法	103
7.3 物理測色方法	103
7.4 測色技術の活用	109
7.4.1 許容色差の有用性	109
7.5 測定精度と誤差	110
7.6 測色と計算の例	113
<b>第8章 皮膚色の測定原理と測定例</b>	120
8.1 皮膚の光学特性	120
8.2 皮膚色の測定例	125
8.2.1 標準色票による皮膚色の評価	125
8.2.2 機器による皮膚色の測定方法	127
8.3 皮膚色測定の実施例	132
<b>第9章 色の心理的評価法と官能評価</b>	139
9.1 心理的評価方法	139
9.2 心理物理学的測定法	142
9.3 官能検査の方法と例	143

<b>第10章 光源の演色性評価方法</b>	145
10.1 照明光による色の変化	145
10.2 演色性の計算方法	145
<b>第11章 照明用光源の種類と性質</b>	153
11.1 室内照明用光源の種類	153
11.2 室内照明用光源の特徴	154
<b>第12章 画像解析技術を支える基本要素</b>	163
12.1 画像技術における撮像素子	163
<b>第13章 色彩科学の発展</b>	167
13.1 色の見え方の変化	167
13.1.1 心理的な見えによる色の分類	167
13.2 色の見え方の変化	169
13.3 画像による色見えモデル	172
13.4 色覚異常	173
13.4.1 色覚異常研究の歴史	173
13.4.2 色覚の分類	173
13.4.3 色覚異常の視覚変化	175
13.4.4 色覚異常の検査法	176
13.5 ファッションの色彩	176
13.6 色のユニバーサルデザイン	179
13.7 皮膚測定におけるソフトウェアの種類と特徴	180
<b>第14章 皮膚計測技術への応用</b>	182
14.1 肌スコープを活用した皮膚計測技術	182
14.1.1 水分量の測定	183
14.1.2 皮脂量の測定	187
14.1.3 キメおよびシミの定量化	188
14.1.4 シワの定量化	191
14.1.5 ポルフィリン発光個数の測定	192
14.1.6 皮膚色の測定	194
14.2 センサ技術による皮膚計測技術	196
14.2.1 皮膚のバリア機能の測定	196
14.2.2 皮膚の柔軟性・弾力性の測定	197
14.3 画像技術の遠隔美容医療への発展	200

<b>第15章 色彩の法的規制</b>	202
15.1 被験者の人権擁護	202
15.2 色彩の国際標準化	202
15.3 色に関する日本産業規格 (JIS)	204
15.4 品質マネジメント規格	207
図表出典	208
参考文献	209

---

付録	213
A-1 順列および組み合わせ	213
A-2 行列および行列式	213
A-3 指数と対数	215
A-4 白色LEDランプの明るさによる表示	217
A-5 基礎定数	217
A-6 SI基本単位・補助単位および心理物理量の単位	218
A-7 角度の定義	218
A-8 基本単位への接頭語	219
A-9 ギリシャ文字	219
A-10 付表	220

---

人名索引	245
事項索引	248
著者紹介	255



色彩の基礎知識と皮膚色の測定および定量化

SAMPLE

SAMPLE

# 第1章 色彩の文化と歴史

## 1.1 欧米の色彩文化

色彩学の歴史には色の現象の発見から始まり、色がどうして見えるのかという色覚探究の時代、どのように色を定量的に表現するかという色の表示方法や色の測定の時へと広がっていった。色とは何か、色の本質などの探究は紀元前500年頃におけるギリシャ時代のプラトンやアリストテレスにまでさかのぼり、人類最初の色彩論を書き残している。ローマ時代には多種多様な色彩材料を発見し、多彩な表現技術を発展させて色彩文化を向上させた。モザイク細工やポンペイ遺跡の壁画などはその典型的な例である。これらの色彩論は長い間にわたって後世のヨーロッパの色彩文化に影響を与えたとされている。

中世から近世ヨーロッパはキリスト教の信仰によってさまざまな物質を混合して人為的に色を作ることが中心的な考えであった。このため天然緑青のマラカイトグリーンなど天然の緑の染料や顔料が多く発見されている。ルネッサンス時代にはレオナルド・ダ・ヴィンチやミケランジェロなど多くの画家が活躍した時代である。ルネッサンスとは文芸から自然科学に至る広範囲な分野で人間中心の色彩文化が盛んになった時代のひとつである。色彩表現にも遠近法が生まれ、明暗や濃淡の違いによって立体感を写実的に表現する画法が工夫され、ヨーロッパ独特の発展を遂げてきた。大航海時代も始まり、いろいろな資源がヨーロッパにもたらされた。コチニール介殻虫を原料とするカーマイン染料などの着色原料が発明され、絵画には絵の具や染料の種類、その混色技法、色彩の対比現象、色彩調和についての考えが始まった。さらに、ゲーテンベルクによる活版印刷が発明（1447年）され、大量の印刷物が普及した。中国、朝鮮、日本などの東洋では、木版印刷が長く続いた。活版印刷は羅針盤、火薬と共にルネッサンスの三大発明のひとつである。活版印刷とは、金属製の活字を作り、枠に収めてインクを付け紙に印刷する技法である。活版印刷はその後急速に普及し、出版・新聞などの普及など大きな情報革命となった。近代文明は活版印刷によって発展してきたが、20世紀末に急速に普及したコンピュータによって、活字利用が後退してきている。

17世紀になると主に光の科学的な探究が始まり、ケプラー、ホイヘンス、スネルなど光の波動の原理や反射などの法則が発見された。スネルは光が屈折率の異なる物質の境界に入射した場合の入射角と屈折角および物質の屈折率の関係を表わす法則を導き、スネルの法則として知られている。さらに、ニュートンによりスペクトルが発見（1666年）され、人間が色を感じる仕組みには主に光の刺激が関係していることが明らかになった。ニュートンは太陽光をプリズムに透過させると光が分離することを発見した。これは光のスペクトルと呼ばれ、白色光がさまざまな色の光の重ね合わせによるものであることを示している。このスペクトルの発見により、分光学が誕生し、現代においてもいろいろな物性の評価に利用されている分光法に発展した。さらに、光に対す

## 第1章 色彩の文化と歴史

る関心は、ジョルジュ・ド・ラ・トゥールやレンブラント、フェルメールなどのバロック美術に発展した。バロック美術とは宗教改革を経たカトリック教会の反宗教改革運動や絶対王政の確立を背景にした美術様式である。16世紀末から18世紀初頭にかけてヨーロッパ各国に広まった絵画や彫刻などの美術のことである。ルネサンス時代の美術の理想とされた均衡のある構成より、意図的にバランスを崩した動的な表現が好まれ、光と闇、陰影の対比など光の存在が認められる表現が登場した。例えば、ラトゥールの「大工の聖ヨセフ」(1640年)やレンブラントの「夜警」(1642年)、フェルメールの「天文学者」(1668年)などの作品で知られているが、「真珠の耳飾りの少女」(1665年)は肌色を忠実に再現した最初の作品としても有名である。フェルメールの作品で使用されている色数は少なく、基本的に青と黄色で構成されている。少女の服装の中で鮮やかなターバンには、ウルトラマリンの顔料が重ねられている。フェルメールがこの群青色を愛用したことにより、フェルメール・ブルーとも呼ばれている。

18世紀は啓蒙主義の時代であり、美術や工芸に代表するようなロココ様式が全盛となった。ロココ様式とは、18世紀に西欧で流行した美術様式であり、繊細さと優美さを特徴とし、曲線の多様や複雑な構成からなっている。また、ニュートンの著書の『光学』(1704年)はその後の色彩科学に大きな影響を与えた。ニュートンは、プリズムという三角形のガラスに太陽の光を当て色の違う光の帯を壁に映し出し、光の中に含まれている色を分解した。この光の帯をスペクトルと名付け、赤、橙、黄、緑、青、藍、堇(紫)の7色に分類した。スペクトル光を用いた混色実験が実施されるようになり補色の概念が生まれた。また、色料の混合から経験的に三原色を考え、18世紀前半に印刷業者ルブロンが初めて赤、黄、青の三原色による印刷に成功(1732年)した。

19世紀に入るとフランス革命やイギリス産業革命によって自然科学が急速に発展し、新しい文明の幕開けである。色の測定技術や客観的な色の表現など科学技術を基礎として色彩科学が発達した。19世紀の始め頃は主に人間の視覚に向けられ、主観的な色彩現象に注目したゲーテの『色彩論』(1810年)やショペンハウエルの『視覚と色彩』(1816年)などの多くの色彩論が発表された。特にゲーテはニュートンの実験科学による物理的事実に対して生理学や心理学を含めた経験科学的方法論で色彩を捉えた。ニュートンはスペクトルなど物理学的に色彩を考えたが、ゲーテは主観的な色の見え方も存在することを主張した。19世紀の中頃にはヤングの三原色説(1802年)を発展させたヘルムホルツが活躍した。現在は、この三原色説はヤング・ヘルムホルツの色覚理論(1868年)として知られている。光の3原色の赤・緑・青の加法混色で色が作り出せる事実を踏まえて、人間にはそれらに応答する3種類の神経細胞の組み合わせで色が認識できる考え方である。一方、ヘリングは反対色説(1874年)を発表した。赤・黄・緑・青の4色の赤と緑、青と黄を互いに対立した色として知覚される考え方である。また、眼の網膜に存在する視細胞の分光感度が明るい所と暗い所で異なることにより、色の見え方が異なるチェコスロバキアの生理学者プルキンエによるプルキンエ現象(1825年)もこの時代の主要な成果である。プルキンエ現象は錐体と桿体の違いによって生じる

現象である。錐体は明るい所で働く細胞であり、杆体は暗い所で働く細胞である。明るいときに見える色は錐体細胞が働いているが、暗くなるにつれて杆体細胞の働きが強くなる。錐体細胞と杆体細胞はどの波長をどのくらい吸収するのかの分光感度が異なるので色相の見え方に変化を生じる。これがプルキンエ現象である。さらに、ルードは著書『現代色彩学』（1879年）で、色見え方が絵画の色彩表現に大きな影響を与えた。自然の中での色彩は、人間にとって最もなじみのある配色であり調和すると説明した。シュブルールはゴブラン織りの絨毯の品質管理の観点から『色彩の同時対比の法則』（1839年）の著書を発表し、色彩による品質管理の重要性を主張した。シュブルールは類似の調和と対比の調和の2つの観点から色彩の調和論を展開した。類似の調和とは、色が似ているものどうしは調和するという法則である。対比の調和とは、色が反対なものどうしは調和する法則であり、現在の色彩調和の基礎を築いたとされている。スーラーは、19世紀後半に新印象主義を創始したフランスの画家である。新印象主義とは、印象派から発展した美術運動であり、体験的だった印象派の色彩理論を科学的に追求し、光学的理論を取り入れた独自の絵画方法である点描技法を追求した。点描技法では、例えば黄色と赤色の小さな点を多数並置すると、遠くから見ると鮮やかな橙色に見える。これは加法混色のひとつである並置混色と呼ばれる。スーラーの点描技法の代表作、「グランド・ジャット島の日曜日の午後」（1884～86年）は、縦2m、横3mの大きさである。ブリュースターやマクスウェル、グラスマンも色覚理論や混色原理を展開した研究者である。ブリュースターは光の偏光を利用して物質の屈折率を求める研究で知られている。屈折率の異なる2つの物質の界面にある角度で光が入射するとき、電界の振動方向が入射面に平行な偏光成分（p偏光）と、垂直な偏光成分（s偏光）とでは反射率が異なる。入射角を0度から徐々に増加するとp偏光の反射率は減少し、ある角度で0となり、その後増加する。このp偏光の反射光強度が0になる入射角のことをブリュースター角と呼び、表面の屈折率がブリュースター角から求めることができる。例えば、屈折率1の空気中から屈折率が1.5のガラスに入射する光のブルースター角は約56度である。この屈折率の測定の原理は1815年にブルースターにより提唱されたものである。この時代の代表的な科学者のひとりにマクスウェルがいる。マクスウェルはスコットランドのエジンバラに育った。エジンバラはスコットランドの学術の中心地である。マクスウェルには2つの顔がある。第一は、電磁波理論の提唱である。電磁波とは電気現象と磁気現象が互いに関連している現象である。電界、磁界ともに光速の波動となって伝搬するため、これが電磁波と呼ばれる由縁である。電磁波の速度は光速と一致するため、光は電磁波であると予想した理論体系である。電磁波の存在は1888年にヘルツによって実験により実証された。現在、ヘルツは周波数の単位として知られている。さらに、1897年にはマルコーニがイギリス - フランス間の無線電信に成功し、無線通信時代の幕開けとなった。第二の顔は、色彩科学に大きく貢献したことである。人間の眼は光の偏光には感じないが、網膜の中心にある黄斑部には偏光性がある。そのため偏光した光を見ると特異なパターンが見える。ブリュースターは眼の角膜や水晶体

## 第1章 色彩の文化と歴史

の偏光により生じると主張したが、マクスウェルは1856年に黄斑説を証明した。マクスウェルは1858年に回転円盤に分割した色紙を貼り付け、高速で回転すると混ざり合っ  
て1つの色に見えることを発見し、分割する割合を変化すると色の測定ができることを  
示した。これは混色による色の測定原理であり、測色の開発者としても知られている。  
回転円板は色紙を使うという点では最も手近な混色装置であり、色紙を分割した円板  
を高速で回転すると色紙の色が融合して混色する。円板に切り込みを入れて両者をか  
み合わせるにより、混合比を自由に調整できるように工夫したものである。円板は  
二重同心円となっており、内側と外側の円に別々の混色を作ると同時に両者の比較が  
できるようになっている。内側と外側の両者の混色比を調整して同じ色に見えるよう  
にする実験を繰り返し実施している。これは、回転円板の回転速度によって内側と外  
側の色の見え方を常に一定に保つことが困難であることによる。このため、測定精度  
を高めるために、何度も繰り返し実験したと考えられている。例えば、内側は白と黒、  
外側はパーミリオン（赤）、エメラルドグリーン（緑）、ウルトラ・マリーン（青紫）と  
し、両者の混色を比較し調整して、これが同じに見えるようにする色合わせなどの実  
験である。この場合、内側の円は白黒だから混色すれば灰色となる。外側の三色はマ  
クスウェルが三原色として選んだ色であり、適当に混色すれば灰色となる。どんな色  
でも3つの色の加法混色によって作り出されるというものである。加法というのは光を  
加え合わせているからである。カラーライドなどは減法混色である。プロジェクター  
の光は白色であるが、これがフィルムに入り、ある光が吸収されて残ったものが透過  
されて出てくるが、これは白色ではない。光を吸収によって減らすことにより色を作り  
出すため、減法混色と呼ぶ。また、グラスマンは加法混色の基本的原理について整理し、  
その法則性を見いだした。一方、19世紀は化学染料（合成染料）の開発の幕開けであり、  
多種多様の化学染料が合成された。パーキンはモーブ（1856年）と名付けた世界最初  
の紫色の合成染料を開発した。現在は伝統的な植物染料の藍や茜も化学染料に代わり、  
着色材料のほとんどが化学染料に変わってきた。

20世紀から現在は全ての色を体系的に分類する表色系や色の測定技術の開発が発展  
した時代である。アメリカ人の画家・美術教育家のマンセルが色彩表記法を開発した。  
客観的な色の表示方法のマンセル表色系（1905年）は国際的な色の標準に用いられて  
いる。色票集も作製されており、色彩の教育や研究に活用されている。また、ドイツ  
人のオストワルトもオストワルト表色系を開発し、マンセル表色系と合わせていろい  
ろな分野で用いられている。

## 1.2 日本の色彩文化

日本における大和時代や飛鳥時代は、当時、先進国であった中国の文化を積極的に  
取り入れた外来文化摂取時代である。中国は早くから文化の進んだ国であり、日本か  
ら遣隋使や遣唐使を派遣して中国文化を受け入れてきた。学問、思想、芸術などさま