

特集「Welcome to the World of Color Science: 色彩学の体験授業・導入教育事例」 Special Issue: Welcome to the World of Color Science: Publishing and archiving of trial lectures on color science

色彩・視覚工学に関する体験型ワークショップ

Hands-on workshops on color and vision science

溝上 陽子
Yoko Mizokami

千葉大学大学院情報学研究院
Graduate School of Informatics, Chiba University

キーワード：色彩工学，視覚工学，ワークショップ，照明，カラーネーミング

Keywords：color science, vision science, workshop, illumination, color naming

1. はじめに

筆者は、所属大学の講義のほかにも、他大学での集中講義や一般向けのセミナーを行う機会が度々ある。多くの場合、講義と体験型の演習を組み合わせで行ってきた。講義でもできる限りデモを含めるようにしているが、視覚や色彩関連分野は、工夫次第で実際に体験できる現象が多くある。自分の目で見て手を動かすことで、楽しみながら視覚・色の知識を深めてもらえるよう、これまで試行してきた。個人的な取り組みの限定的な内容ではあるが、少しでもご参考になれば幸いである。

2. 様々な照明下での色の見え

筆者の主な研究対象が様々な照明下での色の見えであることから、照明を用いたデモを多く行ってきた。分光分布を変えられる照明があれば、様々な照明条件を簡単に再現でき、デモの幅が広がる。分光可変照明がない場合でも、いくつかの異なるタイプの照明条件（蛍光灯、LED ランプ、電球、電球色 LED ランプ、単色 LED 光源等）を用意できれば、多くのデモが可能である。

2.1. 色の恒常性，演色性

カラーチャートや多数の色を含むサンプルやイラスト等を異なる照明の下で観察することで、照明が変化しても物体の色の見えは変化しないという「色の恒常性」を体験できる。例えば、白色照明から電球色照明に変化させて反射光が大きく変化しても、白い物体は白色に、青い物体は青色に見える。また、図1に示すように、同じ照明色でも分光分布の異なる照明下では、ある程度色の恒常性は成立するが、色の見えの差が多少生じる。これらのデモを通して、色順応や色適応性メカニズム、視覚の安定性について知ることができる。

演色性の異なる照明を用意できれば、照明色（白色部分の色）は同じでも、色によっては異なる見えになるという「演色性」のデモができる。演色性とは、

照明が色の見えに与える効果のことを言う。代表的な演色評価指数である平均演色評価数（ R_a ）は、物体の色が自然光下とどの程度近く見えるかの度合いを表したものである。したがって、自然光に近い分光分布の光源は高演色となる。図1では、左の写真が R_a の高い照明、右が R_a の低い照明である。物体の色は、高演色照明下では自然光下と近い色に見えるが、低演色照明下では異なって見える。



図1 異なる分光分布照明下での色の見え

2.2. 照明メタメリズム（条件等色）

色の見えは同じだが異なる分光反射率を持つメタメリズム（条件等色）色サンプルを準備すれば、ある照明下では同じに見えるが、別の照明下では異なった色に見えるという「照明メタメリズム」のデモができる。図2の例に示すように、分光反射率が異なる試料1と2は、D65照明下では同じ色度値になるが、A光源下では異なる色度値となるため、異なる色に見える。図1でも、写真上部の朱色ペアは、左右の写真で色差の見えが異なる。

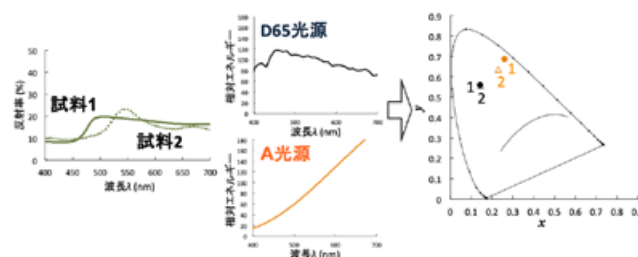


図2 照明メタメリズムの説明

2.3. 単色光下での色の見え

色の恒常性は、日常的な照明下ではおおむね成立するが、低圧ナトリウムランプなどの単色光の下では崩壊する。図3に示すように、低圧ナトリウムランプは波長約 589 nm のみを含むオレンジ色の単色光を発光する。このため、どのような色（分光反射率）の物体であっても、589 nm の単色しか反射しないことになる。個々の物体の見えの違いは、オレンジ色の強度つまり明るさのみとなり、赤や緑、青などの色の違いは分からない。低圧ナトリウムランプがなくても、狭帯域のLED光源を用いれば、同様のデモが可能である。理論的には分かっているが、実際に全く色が分からなくなるのは不思議な体験で、たいてい参加者から驚きの声が上がりが盛り上がる。

また、単色照明下では、背景より明るいサンプルは、光源と同じ色相を示し、背景より暗いサンプルは、光源の補色を示すという「ヘルソン・ジャッド効果」のデモも可能である。例えば、灰色の背景の上に無彩色系列の色票を置き、赤や緑の有彩色照明を当てると、背景より明るい無彩色は照明光と同じ赤や緑がかった色相に、背景より暗い無彩色は照明光の補色である緑や赤っぽい色相に見え、背景と同じ無彩色は灰色に知覚される。

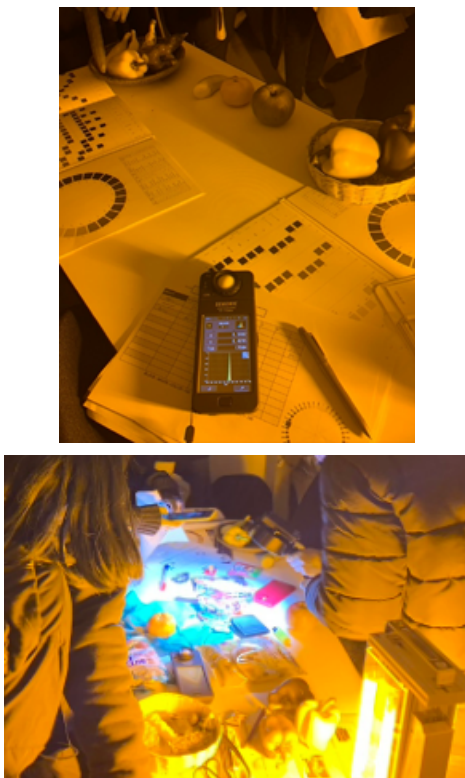


図3 低圧ナトリウムランプ下での物体の見え：分光照度計と物体（上）、一部を白色光源で照らした様子（下）

2.4. 蛍光色の見え

短波長や紫外線を含む光、ブラックライトを当てることで、蛍光色と物体色の差異を見せることもできる。図4の写真中でも、蛍光色が使われている部分が目立っている。通常の物体表面は照明色の変化に伴って反射光が変化するが、蛍光物体は照明色に関わらず同じ色の光を反射するという違いが明確に分かる。



図4 異なる有彩色照明下での蛍光色と物体色の見え

2.5. マクスウェルスポット（マクスウェル斑）

照明をコントロールすることにより、基礎的な眼の特性や視覚メカニズムのデモが可能である。図5に示すように、青背景を数十秒見て順応してから暗い黄色背景に目を移すと、視野の中央に斑点が見える。この現象は「マクスウェルスポット（マクスウェル斑）」と呼ばれ、網膜の中心窩にある黄斑色素部分と周辺部分で、青色光（短波長光）の吸収効率が異なるため、順応状態が変化することが原因といわれている¹⁾。日常生活では黄斑色素の存在に気づかないが、このような特殊な観察条件では認識できる。マクスウェルスポットはモニターでも体験できるが、照明の分光分布をコントロールすることにより興味深いデモができる。図5のグラフ中の照明1と照明2はいずれも白色の照明だが、黄斑色素付近の短波長光の強度が異なる。これらの照明を交互に切り替えて点灯すると、照明色はほとんど変化して見えないのに視野の中央にスポットが浮き上がって見える。

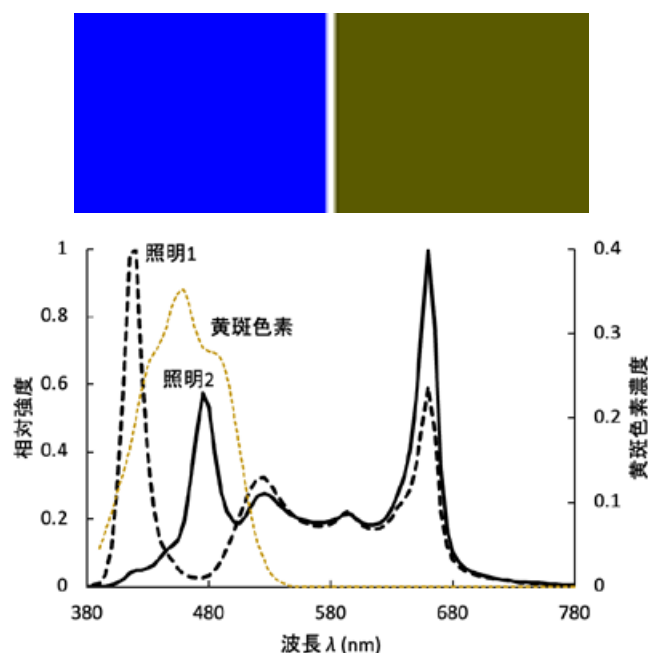


図5 マクスウェルスポットの例：青の背景を数十秒見た後に暗い黄の背景に目を移すと中心にスポットが見える。明るいモニタ全画面で観察すると効果が強い(上)。短波長成分の強度が異なる2種類の白色照明の分光分布と黄斑色素濃度。

2.6. 暗順応とプルキンエ現象

照明点灯時と消灯時（物の形が見える程度の明るさ）に、それぞれカラーチャートや多数の色を含むサンプルやイラスト等を観察することで、明所視と暗所視の見えの違い（色の見え、視力の違い）を確認できる。赤や青、緑系の色相の明るさの見えに注目することで、プルキンエ現象も体験できる。図6のシミュレーション²⁾に示すように、高照度環境では、赤の花の方が緑の葉より明るく見える。一方、低照度環境では、

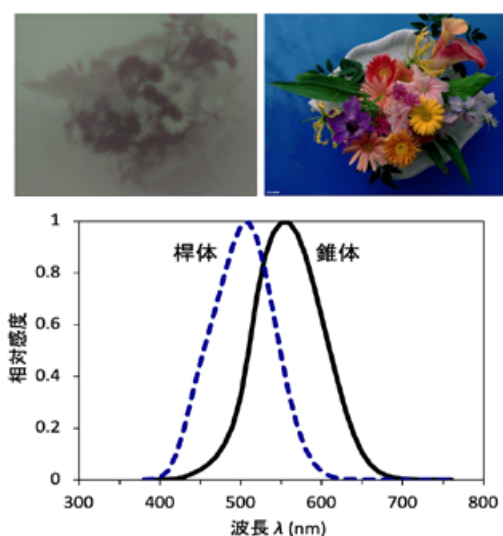


図6 プルキンエ現象の例：照度0.1 lxと1000 lxのシミュレーション画像 2) (上)、錐体と桿体の分光感度 (下)

赤の花は暗く沈んで葉の部分は明るく見える。これは、暗所視で働く桿体は、分光感度が短波長側にシフトして、長波長成分に感度を持たないことが原因である。

また、20~30分の暗順応の時間を取ることができれば、最初何も見えない状態から、徐々に環境や図が分かるようになるという見えの変化を体験できる。

3. 測色とカラーネーミング

色覚や色彩工学のワークショップでは、測色値と色の見えの関係を体感してもらいたいと考えている。色彩研究や色彩産業分野では、どのような条件でどのような物を観察し、それがどのように見えるのかという関係を正確に把握することが大事である。また、測色と色の見え評価を組み合わせることで、前述の様々な視覚現象においても見えの変化を体系的に捉えることができ、理解が深まると考えられる。

3.1. 測光・測色

文系の学生対象に色彩の講義・演習をした際には、色を数値として扱うことができることに驚いたという感想がしばしば得られた。色を測ることができるというイメージも湧かない学生が多かったようである。色彩の知識を多少持っている場合でも、実際に色を測ったことがある人は少なく、測色機器を用いた色や照明の測定演習は好評であった。

分光照度計（照明の分光分布や色を測定）、分光測色計（物体表面の分光反射率や色を測定）、分光放射輝度計（眼への入射光を測定）を用いて測定することで、図7に示すような、照明と物体の反射率、眼への入射光の関係を把握することができる。さらに、それらのデータと人間の錐体感度特性や等色関数を用いれば、LMS錐体刺激値や三刺激値を算出することができる。

演習では、学生に持参してもらった物や様々な色

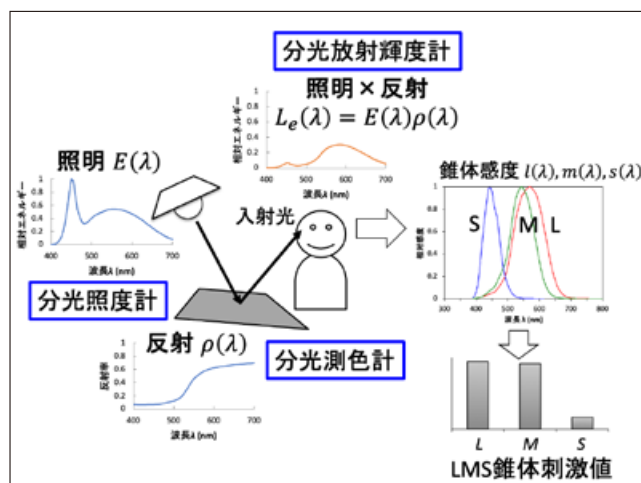


図7 照明・物体・入射光と色覚の関係と測色機器

サンプルの反射率を測定することで、物体の分光反射特性や色度値との対応を体感してもらう。照度計を用いた測定では、窓際での昼光と室内照明の分光分布の違い、室内の場所により照度が異なることなどを体験できる。

3.2. 色の見え評価（カラーネーミング）

色の見えの評価には様々な手法があるが、特殊な実験装置が必要だったり、実験に時間がかかったり、結果の分析が複雑になるものはワークショップには不向きである。筆者は、比較的簡単にできるカラーネーミング法を用いることが多い。

最も簡易的な方法の1つとして、呈示された物体の色を表すのに最も適当である色名を、基本色名11色（白、黒、赤、緑、黄、青、茶、橙、紫、桃、灰）の中から選択して応答するカテゴリカルカラーネーミングがある。カテゴリカルカラーは、日常生活でのカラーコミュニケーションに重要であり、看板や商品など、様々な場面でのカラーコードにも利用されている。また、Berlin & Kay が世界中の言語を調べた結果、基本色名11色は成熟した言語では共通に含まれるという知見を示した³⁾。このことから、基本色名による評価は国際比較研究でもよく用いられており、国際ワークショップで日本人と外国人の色名応答の比較をすることもできる。

もう少し詳しいカラーネーミング法として、エレメンタリーカラーネーミングがある。NCS（ナチュラルカラーシステム）表色系と同様に、ある色を“黒み”、“白み”、“色み”の成分に分け、合計が10点になるように配点する方法である。色みが0でない場合には色相をさらに10分割し、ユニーク色の赤、黄、緑、青がどの割合で含まれているかを応答する。

応答例は、

① 黒み2, 白み3, 色み5 / 色相 緑7, 黄3

② 黒み6, 白み4, 色み0 / 色相 なし

などとなる。分析の際には、黒+白+赤+黄+緑+青=10となるようにする。

上記の例では次の結果となる。

① 黒み2 + 白み3 + 緑み3.5 (7 × 0.5) + 黄み1.5 (3 × 0.5) = 10

② 黒み6 + 白み4 = 10

エレメンタリーカラーネーミングは少し難しいので、例を用いて練習してから行うとよい。

カラーネーミング法は絶対評価であるため、照明条件の異なる部屋やブースを複数準備してマッチングや比較をする必要はなく、1つの部屋で照明条件を変えて測定できる。また、比較実験と異なり、各照明条件に順応した状態での見えを測定できる利点がある。色名応答に用いる色サンプルとしては、マンセル色票

等のカラーチャートを用いると網羅的な評価が可能となる。しかし、色票集は高価なため大量に用意することが難しいと考えられる。筆者は、大人数対象の場合、比較的安価で様々な色相、彩度、明度の色を含むPCCSの配色カードを用いることが多い。学生に持参してもらった物やサンプルを用いたり、Berlin & Kayのカラーチャートを作成したり、印刷でサンプルを作成してもよいと考えられる。また、厳密な色識別の違いを調べるには、小色差の色票ペアセットを準備するなど、目的に応じて色サンプルを工夫するとよい。

4. おわりに

筆者が行ってきた体験型ワークショップの取り組みの例を紹介した。色彩・視覚の分野は様々なデモを作り出せる可能性があり、まだまだ工夫していかなければいけないと考えている。様々な体験を通して視覚・色の楽しさを知ってもらい、多くの人に色彩分野に興味を持っていただければ嬉しい限りである。みなさまも、ぜひいろいろなアイデアで効果的な体験を開発していただければ幸いである。

参考文献

- 1) K. Isobe, K. Motokawa, Functional Structure of the Retinal Fovea and Maxwell's Spot. *Nature*. 1955, 175, pp.306-307.
- 2) 永峯翔, 菅幹生, 溝上陽子, 矢口博久, コントラスト感度を考慮した薄明視における見えのシミュレーション. 日本視覚学会 2009年冬季大会, 2009-01-22, 東京, (VISION, 21-1, p.74)
- 3) B. Berlin, P. Kay, *Basic Color Terms*. Berkeley and Los Angeles: U of California P, 1969.