

色覚多様性のしくみとユニバーサルな教材デザイン —教材にみるカラーバリアフリーの現状と課題—

Why is the universal design significant to teachers:

Current status and issues of teaching materials for diversity in color vision

森田亜矢子（関西大学人間健康学部）

Ayako Morita (Kansai University, Faculty of Health and Well-being)

要旨

本研究では、高等教育におけるカラーバリアフリーの現状と課題を明らかにするため、大学の講義を対象に教材の配色を調査した。その結果、ユニバーサルデザイン化が十分に進んでいない実態が明らかとなった。この結果をふまえて今後の課題を考察し、教育環境の適正化に資することを目的として、色覚多様性が生じるしくみと、教材作成に役立つ色の知識を述べた。

キーワード 色覚多様性、ユニバーサルデザイン、実態調査、スライドの配色 / **Diversity in Color Vision, Universal Design, Fact-Finding Survey, Color Usage in Lecture Slides**

1. 色覚多様性と色のバリアフリー

1.1. 色覚はユニバーサルではない

色覚 (color vision) とは色の知覚のことであり、色覚多様性 (diversity in color vision) とは、色覚の個性を意味する用語である。

21 世紀初頭、日本眼科医会 (2007) は医学用語リストから色盲という表現を削除した。日本遺伝学会 (2017) は、変異と訳してきた variation の訳語に多様性を加え、新用語として色覚多様性を採用¹した。生物多様性 (biodiversity) は、高等学校の生物教育における 251 の最重要語の 1 つである (日本学術会議、2019)。色覚の個性を個人の「障害」とみなす考え方は旧時代の誤りであるとして今日では否定されており、さまざまな色覚の特性は、多様性の一部として再解釈されている²。

色の見え方は 1 つではない。Figure1 は代表的な色覚のシミュレーションである。色鉛筆が A のように見える人もいれば、B のように見える人もいる。A ではない人の割合は、海外では男性の 9%、日本人男性の約 5%、女性の約 0.2% (文部科学省、2009; 日本眼科医会、2019) と報告されており、女性の 15% が保因者であると推定される (Nussbaum et al., 2017 福島訳 2022)。

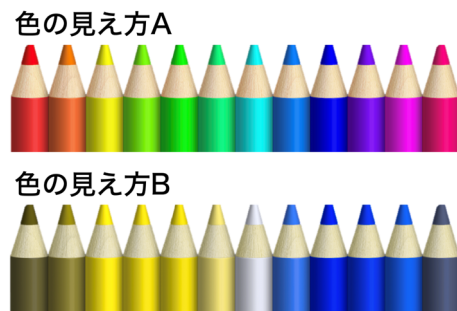


Figure 1. 色の見え方の違い⁶

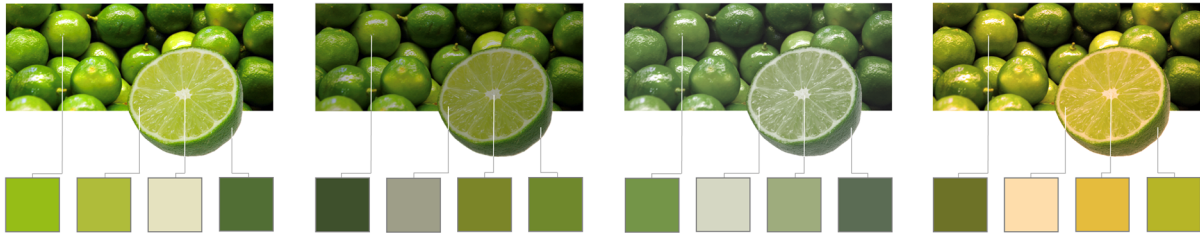
これは相違のシミュレーションであり、色相の見えがこのように固定されることを意味しません。

1.2. 自分では気づきにくい色覚の特徴

色覚の違いに自ら気づくことは、容易ではない。特殊な器具やソフトウェアを使わない限り、個人が体験できる色彩の世界は自分の視界だけであるため、人はつい自分の色の見え方がユニバーサルだと思い込んでしまいやすい。しかし、自分が緑と呼ぶ色を他者も緑と呼ぶからといって、自分と他者が完全に同じ色体験をしているとはいえない。緑という呼称は単なる色の名称であって、見え方そのものではないからである。他者の目に映る色彩を自分が体験することはできないため、両者を比較して確かめることはできない。

ある人々にとって、緑色が、世間でいう黄色や

次の11色のなかに柑橘類のライムを連想させる色はあるだろうか



写真では、どの色もライムに見える

©All Rights Reserved 2023 Ayako Morita Creative Commons BY-SA-NC This image is a modified version of photos below.
©2006 Steve Hopson [wikimedia.org/wiki/File:Limes.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Limes.jpg) ©2011 Evan-Amos [wikimedia.org/wiki/File:Lime-Whole-Split.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lime-Whole-Split.jpg)

Figure 2. 色の恒常性

茶色に似て見えたとしても、幼少時からそれらの色こそ緑色だと学んできた彼らにとって、それらの色を緑と呼ぶこと自体は自然である。色だけに頼らないでものごとを判断する技能を磨いてきた人々は、色覚が他者と違って、日常生活に不便を感じることは少ない。成長するにつれて、他者との違いを意識する機会はさらに減少する。

多数派と色覚が大きく違えば、色覚異常と診断される。しかし、診断とは、問題への対処を意図して便宜的にくだされるものであり、正常と異常を分ける明確なラインは存在しない。そのため、診断基準を満たす程度の色覚の特徴をもつ人物でも、それを自覚せずに成人することもある。

眼科医療機関で先天性色覚異常³と診断された941の症例をまとめた調査(宮浦他、2012a)によれば、本人または家族が「気づいていなかった」と答えた割合は回答数の5割に及び、全体の3割が初診時に高校生以上であった。彼らの受診理由の半数が生活上の不便ではなく就職や仕事の関係と回答していることから、就職に際して色覚検査が課されたものと推測される。色覚検査を入学の要件としない大学ならば、受診の機会を逃したまま大学1年生を迎えるケースがあると予想される。

学校での色覚検査は、平成14年度の学校保健安全法施行規則の改正により定期検診の必須項目から削除された。このことが、自己の色覚の特徴に気づかず成長する人の増加を促したのだろうと

宮浦他(2021a)は考察している。

もし、幼い子どもに顕著な色覚の特徴があれば、身の周りの色に関する会話の中で、周囲の大人が気づくかもしれない。しかし、色覚の特徴が顕著でなければ、色名を使う会話に齟齬があっても、児童の自助努力によってうまく乗り越えられ、些細で日常的な問題に自力で対処する術をいつのまにか身につけた状態で、進学や就職を迎えることも珍しくない。宮浦他(2021a)の調査によれば、本人または保護者が色覚の違いに「気づいていなかった」と回答したケースは、初診時の身分が大学生・短期大学生・専門学校生であった人々に限れば38.1%にのぼる。この値の高さは、診断基準を満たすほど他者と色覚が違うからといって日常生活に支障があるとは限らないことを示している。

1.3. 色彩の見え方と色の恒常性

色覚の違いを意識する状況とは、色だけを頼りになにかを判別しなければならない状況である。しかし、そのような状況は、日常生活では滅多にない。たとえば、信号の色を判別する際に、人は色だけを見るのではなく、周囲の人や車の動きも見ながら直感的に判断を下している。

Figure2の4枚の画像は、同じ画像の色調だけを変化させたものである。それぞれ印象は異なるが、4枚とも柑橘類のライムにしか見えない。Figure2の上部に並ぶ11個の円の色は、いずれも

ライムグリーンではない。しかし、どの色も画像の一部になるとライムの自然な色に見えてくる。この現象は、物体の判別において、色よりも形状や質感の認識が重要な役割を果たしたことを示す。

そも、色だけを頼りに対象を判断することは、生物として適応的とはいえない。自然光の中では、物体の色は一定ではないからである。一枚の白い紙は、光の加減で容易に色を変化させる。屋内外で見る白は、物理的にはまったく異なる光だが、主観的には同じ白に見える。その理由は、光を感じる細胞が自動的に情報を編集するからであり、屋内外で 1000 倍も違う光の強度に対応して感度を変えるからである。また、色覚は知識の影響を受けるため、紙の色は玉虫色に変化しないという暗黙理の世界観も手伝って、人は、実際の色とは異なる色を体験している。このような知覚の働きを、恒常性という。

色彩の見えを安定させる知覚の恒常性は、色や明るさ、形や大きさにも共通し、世界を認識するうえで要の役割を果たす。恒常性を生み出すのは細胞の信号発信から大脳皮質のネットワークに至るまでの情報処理過程である。これを言い換えるならば、色体験は目で生じるのではなく、大脳の広範な領域が関与して生じると言える。すなわち、人は色をありのまま正確に見ているのではなく、自分でも知らぬ間に解釈しているのである。

1.4. 教育関係者が色覚の知識を持つ必要性

授業は、色だけを頼りに情報を判別する機会が頻繁にある特殊な環境である。色を頼りにグラフを読み解いたり、教科書の重要語を文字色で判別したりする場面が、その一例である。近ごろ普及したオンライン授業や ICT を活用する授業で使われるスライドは、黒板より色彩表現の幅が広く、色で情報を区別したり補足したりして、非言葉の情報伝達を行うことが容易になった。しかし、色の見え方は人類共通でないため、人によって判別が困難な色の組み合わせは多い (Figure 3)。

色彩は芸術的表現のひとつであり、好みの色彩で作られたスライドを見るのは楽しい。しかし、

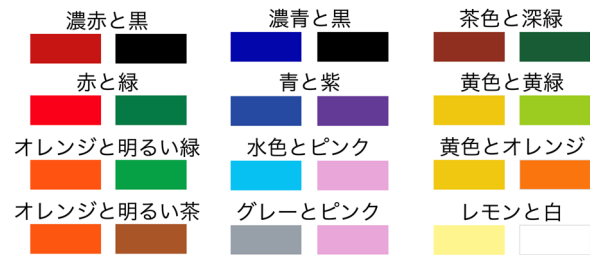


Figure 3. 判別しにくい色の組み合わせ

教育環境は、すべての学習者をサポートするべく整備することが推奨されるのであり、単なる色の見え方の違いが不利益に直結する状況があるならば、改善する取り組みが必要である。

色覚に対する教員の理解不足は、思わぬかたちで受講生の不利益に直結する。教員と違う色覚を持つ受講生が、「赤いカードを選びなさい」と指示された場合、受講生の意思に反して教員の指示に背いてしまうことがある。それを不真面目な態度であると勘違いした教員が、皆の前で叱責したり、成績を低く評価したりするかもしれない⁴。また、教材のなかで重要な情報が色で示されている場合、教員はその配色で情報を伝えられると思い込んで、説明を簡素にする恐れがある。専門分野の学習は知識の積み重ねであるため、ある情報の曖昧さはのちの学習の阻害要因になりうる。学習を妨げる教材の配色は、望ましいとはいえない。

1.5. 教育へのユニバーサルデザインの導入

こうしたことをふまえ、今世紀に入り教育現場へのユニバーサルデザインの導入が推奨されるとともに、学会や公的機関による啓発の取り組みが進められてきた (例として、学校保健会、2017; 神奈川県福祉課、2018; 日本眼科医会、2019; 大阪

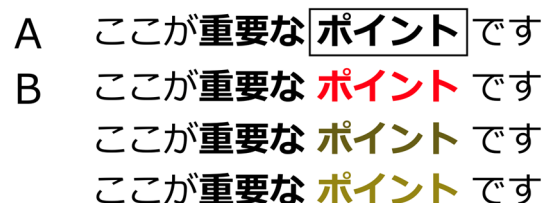


Figure 4. 強調表現の比較

A は、すべての色覚者に対して有効な表現の例であり、B は、上から順に C 型、P 型 (1 型)、D 型 (2 型) の見え方である。

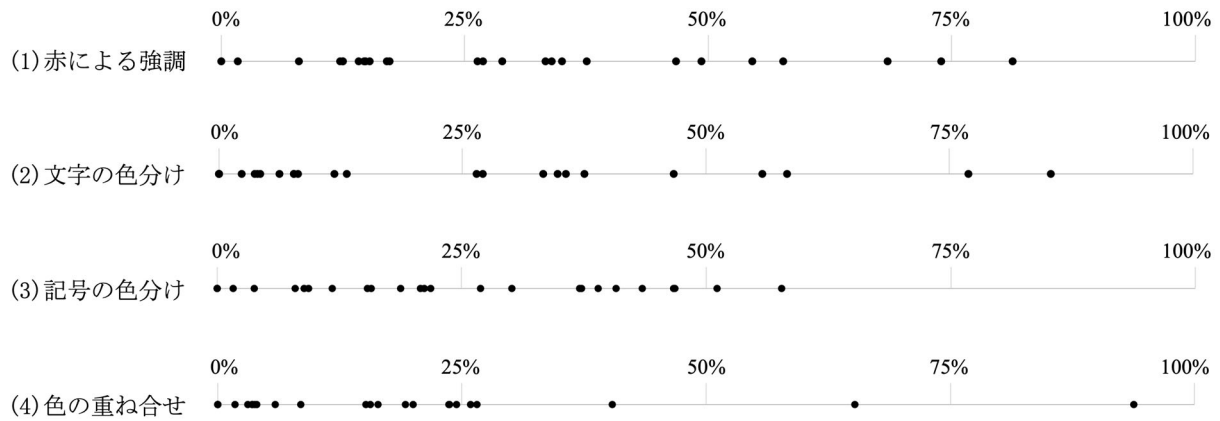


Figure 5. 講義別のスライドにおける色を利用した情報発信の種別と使用率

府、2022)。人工的環境は、色覚の違いが不利益に直結する条件が揃いやすく、教育環境も例外ではない。「色覚に関する指導の資料（文部科学省、2009）」には、「誰でも識別しやすい配色で構成し、色以外の情報も加える工夫」が必要とある。たとえば、Figure 4 が示すように、文字色を赤にする強調表現は推奨されない。日本眼科医会（2019）は、色に頼る表現や特定の色のペアを避けること、色を重ねる場合は明暗の対比を明確にすることを推奨している。

2. 実態調査

2.1. 目的と方法

ユニバーサルデザインは、大学の講義教材に、どの程度普及しているだろうか。この疑問に対する答えを得るため、本研究では、講義スライドの配色に関する調査を行った。対象は、2021 年度から 2022 年度にインターネットで配信された国内の大学の正規科目のうち、2022 年 12 月に視聴が可能であった 27 の講義である。このうち 1 件は、同じ人物によるほぼ同じ内容の講義であったため、科目名称は違ったが、その講義を対象から除外し、残る 26 講義を調査対象とした。講義の所要時間はいずれも 90 分である。講義担当者は、異なる 12 の学部所属する 24 名の大学教員であった。

調査内容は講義スライドにおける色の使い方である。調査項目は次の 4 項目であり、それぞれに該当するスライドの延べ数を記録した。

(1) 赤による強調：文字や記号を赤で示す表現

(2) 文字の色分け：色の違いで用語や文章を区別する表現（ただし（1）を除く）

(3) 記号の色分け：色の違いで記号や図形を区別する表現（ただし（1）を除く）

(4) 色の重ね合せ：色の上に色を重ねる表現

調査にあたり、焦点を当てるべきは色の使用の有無ではなく、情報伝達の手段を色に頼る手法であるという前提に立ち、次のケースは計上しないことにした。(a) 色を完全に消しても情報が損なわれない。(b) 色を黒に置き換えても情報が損なわれない(例として、濃い赤の強調線)。(c) イメージを喚起するためのイラスト(例として、笑顔の人物像)や、デモ動画や操作画像がカラーである、などのケースである。他方で、図表やチャートの情報が色で区別されているケースは計上した⁵。

調査手法は、調査者が実際に受講して 4 項目を数える方法である。視聴した動画数は 24 であり、動画でスライドを見られない 2 つの講義は PDF 形式で配布されたカラスライドを調査した。

2.2. 結果と考察

調査したスライドの総枚数は 1101 枚であり、一講義あたりの平均は 42.35 (SD=18.12)、中央値は 45.50、レンジは 8 から 85 の範囲であった。

もっとも多用された手法は (1) であり、一つを除くすべての講義で赤色が強調に使われていた。

(3) は 88%、(2) と (4) は 81% の講義で使われていた。すべての講義で、4 つのうちのいずれかの手法が使われていた。この結果から、色で情報

を伝える手法の定着率の高さがうかがえる。

すべての講義のスライドの集合を分母にすると、(1)の使用率ももっとも高く、30.2%を占めた。この結果は、文字や記号の強調に赤を使う手法が定番であり、使用頻度も高いことを示している。

(3)は25.9%、(2)は22.8%、(4)は18.2%であった。赤に限らず、文字や記号を色で分類して情報の質的な違いを示す手法も人気が高かった。また、色文字の背景に色をつける手法も使用頻度が高く、情報の重ね合せという難しい表現手法も比較的よく利用されていることがうかがえた。

Figure 5は、各項目の使用率を講義別に示した図である。右端を100%とする4本の軸は数直線であり、その上の黒点は、一講義あたりの使用率である。その数値は、0%から94%まで幅広く分布し、ほとんど色を使わない講義もあれば、非常にカラフルな講義もあった。大半の講義はその中間に位置し、多用する手法には個人差があった。

一講義あたりのスライド枚数の平均が40超であることから、次々と切り替わるスライド情報を受講生が読み取らなければならない場面が、講義中に頻発していることがうかがえる。その状況で、受講生が自分と色覚が異なる教員が発する色情報を読み解くならば、さらに負荷がかかるだろう。講義教材をすべての受講生に対して最適化することは困難である。とはいえ、一部の受講生に負荷が集中する条件があるなら、なるべく避けたいというのが教員に共通の願いであろう。

教材作成は、多大な労力と時間を要する作業である。教員は、よりよく情報を伝えたいと願えばこそ、手間を惜しまず教材に工夫を凝らす。色を使用するのもそうした努力の一環である。色覚の知識は、その目的を達するうえでも有用である。色覚の多様性に対応できる教材のデザインとは、どのようなものだろうか。次節以降では、色覚に多様性が生じるしくみと、色の活用法を概説する。

3. 色覚のしくみと色覚多様性

3.1. 色を感じるしくみ

色覚とは光の波長の違いを色彩として識別する

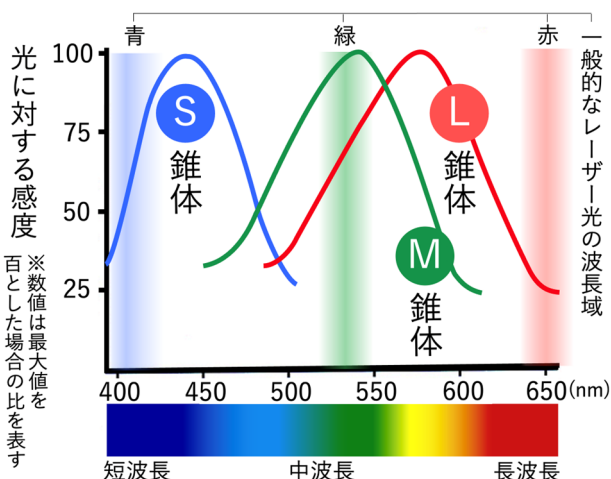


Figure 6. 光のスペクトルと錐体細胞の感度

日本眼科医会より許可を得て「学校関係者のための学校における色のバリアフリー (2019 年)」を改変し、Kandel et al. (2021) および Hall (2016)を参考に作成

感覚のことである。色が見えるという主観的体験は、物理現象でありながら心理現象でもある。

物理的な色の違いは光の分解によって生じる。光が、大気中での散乱や屈折、物体表面における反射や吸収を経て分光し、眼球の奥にある網膜に届くと、特定の波長域に高い感度を持つ視細胞群が光を吸収する (Figure 6)。興奮した視細胞群が発する信号は、視神経を介して大脳の視覚野へと届けられ、異種の視細胞が発した信号バランスが計算されて、色覚が生じる。視覚情報は、段階的に処理されて大脳皮質の高次認知を司る領域へと送られ、記憶や環境の光情報とあわせて総合的に処理された結果、色が見えるという体験が生じる。こうして光は色になる。

光そのものに色はなく、色を知覚するのはひとである。同じ波長の光が同じ視細胞群に届いても、同じ色彩が見えるとは限らない。これは、色彩を見るという体験が心理現象だからである。

3.2. 錐体細胞と桿体細胞

可視光線の波長範囲は380nm～800nmである (Hall, 2016 石川他訳 2018 ; 日本視覚学会、2017 ; 栗木、2021)。この波長範囲は虹のスペクトルで表現される。光を感受する物質を光受容物質と呼び、これを持つ細胞を視細胞と呼ぶ。視細胞は、その機能により桿体細胞と錐体細胞に大別

される。人の網膜の厚みはわずか 0.2mm であるが、そこに 1 億個前後の桿体細胞と、約 600 万個の錐体細胞が並ぶ。桿体細胞は、数個の光子にも反応するほど感度が高く、暗所視を担うが、色ではなく明暗の識別にのみ寄与する。錐体細胞は明所での色の識別を担う。錐体細胞の光受容物質には、それぞれ異なる波長の光に対して高い感度を示すものがあり、発現する光受容物質の種類が視細胞の分光能力を決める。そのため、錐体細胞は、分光能力に応じて L 錐体、M 錐体、S 錐体と呼び分けられている (Figure 6)。

3 種類の錐体細胞のすべてを持つ人もいれば、そうでない人もいる。この違いが色覚の違いを生む。錐体細胞の種類が多ければ、より多くの色を識別できるという推測にもとづいて、かつては、錐体細胞の種類の多寡が優劣と同義に扱われた。しかし、ヒトと動物の関係が進化論の文脈で捉え直され、鳥類は 4 種類、魚類に 8 種類、猿類には 6 種類、爬虫類には 4 種類の錐体細胞を持つ生物が存在すると知られるにつれて、錐体細胞の種類の多さは環境への適応という観点で再解釈され、生き延びるために適した色覚が今日の生物に受け継がれたと考えられるようになった (河村, 2009)。

上述の仮説とは違う見方もある。脳の視覚野にある神経細胞のうち、90%は明暗の知覚に関与し、色の判別に関与するのは 10%程度に過ぎない。この事実をふまえ、色覚の違いは審美感覚を左右するものの、生き残るうえで重要でなく、選択にさらされないと考えられている (Kandel et al., 2021; Nussbaum et al., 2017 福島訳 2022)。

英語文献		和文献	
C型	約91%	C型	約95%
AT型	約9%	P型 強度	約1.5%
P型 (1型)	約1%	(1型) 弱度	約3.5%
D型 (2型)	約1%	D型 強度	約0.001%
T型 (3型)	約0.001%	(2型) 弱度	約0.001%
A型	約0.001%	T型 (3型)	約0.001%
(Kandel, et al., 2021)		A型	約0.001%
		(文部科学省, 2009) 他	

Figure 8. 診断類型別の頻度 (男性)
注) 国内の数値は、文部科学省 (2009)、宮浦他 (2012a)、神奈川県福祉課 (2018) を参照した

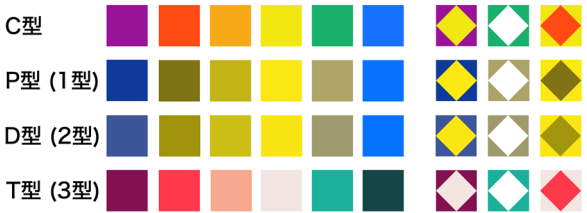


Figure 7. JIS 規格色のシミュレーション⁷
左から並ぶ 8 つの正方形は指定色を示し、右の 3 つのダイヤ柄の正方形は組合せの例である。

3.3. 色覚の診断類型

遺伝子が多様化して機能変化した錐体が L 錐体なら 1 型 (P 型: Protanopia)、M 錐体なら 2 型 (D 型: Deuteranopia)、S 錐体なら 3 型 (T 型: Tritanopia) と呼ばれる。どのタイプも錐体の数はほぼ同じで、1 型 2 色覚では、L 錐体であったはずの視細胞がおおむね M 錐体として機能しており、2 型 2 色覚では逆の変化が生じている。

錐体の光吸収量や感度に応じて、色の見え方に変化が生じる。錐体も桿体も機能しなければ光を感受せず、もし桿体だけが機能すれば視界は明暗の世界となる。このタイプは A 型と呼ばれ、その頻度は 100000 人に 1 人とされる。錐体が 1 種類あれば色彩を感じ、2 種類以上あれば信号に差分が生じて情報が追加され、色相に厚みが生じる。

等色法では、RGB (Red, Green, Blue) を混色して色票と等置する (日本視覚学会, 2017) ため、色の作成に使われる光が RGB 全色なら 3 色覚、2 色なら 2 色覚、1 色なら 1 色覚と分類される。これらを上述の類型と組み合わせて、1 型 3 色覚、1 型 2 色覚、2 型 3 色覚、のように呼び分ける。一般的なのは C 型 (3 色覚) であり、同じ 3 色覚でも色のブレンド率が異なる場合は異常 3 色覚

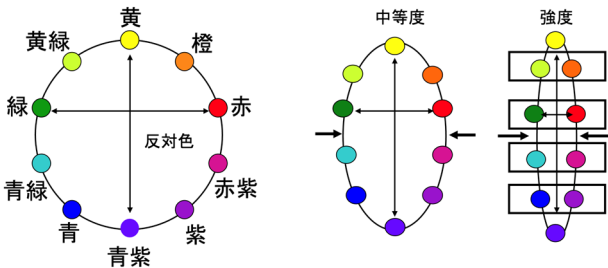


Figure 9. 色覚の変化を構造的に解説した図
日本眼科医会より許可を得て「学校関係者のための学校における色のバリアフリー (2019 年)」より転載



Figure 10. 診断類型別の色の見え方のシミュレーション

Photoshop により筆者が作成。上段は1型 (P 型)、中段は2型 (D 型)、下段はC 型の色覚を表している。

(AT 型: Anomalous Trichromats) と診断される。

海外の報告によれば1型と2型の2色覚の割合は男性の約1%ずつである。色覚の診断類型では、多数派以外は異常となるため、同じ型なら2色覚が強度、3色覚が弱度の異常と診断される。国内では強弱あわせて1型が約1.5%、2型が約3.5%、女性は1%未満である (Figure 8)。C型でない人々の比率の理論値は男性の8%、女性の0.6%と推定される (Nussbaum et al., 2017 福島訳 2022)。1型2色覚は赤と緑の知覚に特徴があり、3型2色覚は青と黄の知覚に特徴がある (Figure 7)。

AT型は、L錐体とM錐体がそれぞれ高い感度を示す波長域の間でもっとも高い感度を示す錐体を持つ。AT型は3色覚だがC型とは色相の判別のしかたが大きく異なる。AT型は男性の約7%であり、1型や2型に属する3色覚の頻度が高い (Kandel, et al., 2021)。AT型は色覚の個人差が特に大きく、2色覚に近いこともある (塩釜・宮本, 2020) と報告される一方で、C型が感じない色調を敏感に察知する可能性も十分に考えられる。

異常とは、本来、任意の基準からの偏位を意味する概念であり、知能検査で高得点を獲得する者もその意味では異常者となる。本論文では本来の意味をふまえて診断名をそのまま用いたが、異常という用語は差別的にも使われることから、診断に携わらない者が積極的に用いるのは控えるべきであろう。また、検査手法は技術の制約から自由ではなく、診断基準は時代や文化の制約を受けることも忘れてはならない。これらを勘案しても、すべてを多様性という一つの用語で表現することは、本論文の構成上でできなかった。本論文の解説は、現行の診断類型に則り記述しているが、例示する色覚の描写を根拠に診断できるわけではない。

3.4. 色覚多様性の生理的基盤と色覚の特徴

3.4.1. 色覚多様性の生理的基盤

ヒトの場合、L錐体は560nm～580nm 付近の長波長の光に対して感度が高く、M錐体は530nm～550nm 付近の中波長、S錐体は420nm～450nm 付近の短波長の光に対して感度が高い (Hall, 2016 石川他訳 2018 ; Kandel, et al., 2021; 日本視覚学会, 2017)。人の色覚多様性は、主にL錐体とM錐体に起因する。その遺伝情報は、X連鎖性の潜性遺伝であるため、生物的理由により、両親が同じでも、女性と男性では表現型が異なる。特徴的な色覚を有する人の割合が男性で高いのは、そのためである。

L錐体とM錐体に関わる遺伝子はX染色体上に複数あるが、すべて発現するわけではないため、大多数と同じ色覚を持つ人物の遺伝子にも多様体は存在しうる。わずかな塩基配列の変動でさえ、錐体細胞が最大感度を示す波長は数nm程度変動する。しかし、その程度では色覚に特徴があるとみなされない。つまり、医学的診断類型としての正常と異常の境目は連続的なのであるが、正常とされる人々の間にも多様性が存在し、全体がスペクトラム状なのである。

3.4.2. 見え方の特徴

L錐体は橙から赤で示される長波長域に対して高い感度を持つ。L錐体がなければ、長波長の光をほぼ感受しない。L錐体があっても光吸収量が少ないと赤の見え方が変わる。ここでいう「赤」とは、大多数が赤と呼ぶ色であり、長波長の光の増分によって増し加わる色味のことである。

これと同様に、M錐体の光吸収量は緑色の知覚の強度を左右する。緑から赤までのスペクトルで

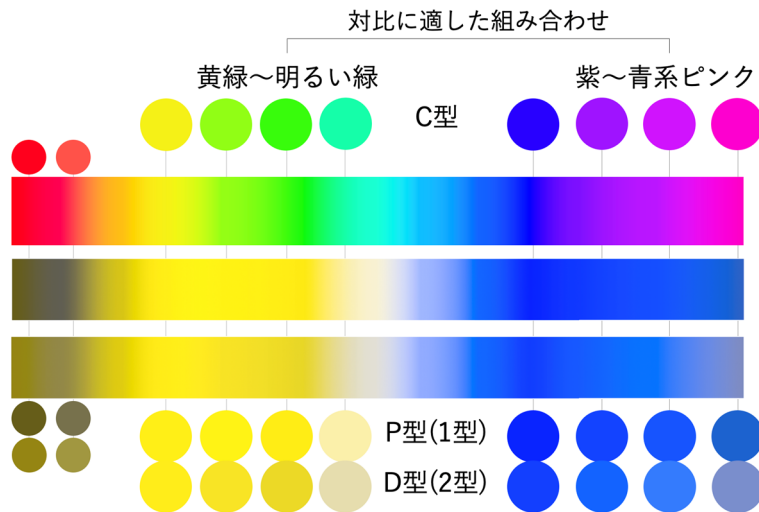


Figure 11. 対比に適した色のペアと色覚シミュレーション⁶
 明度と彩度を一定にすると、「黄緑～明るい緑」と「紫～青系ピンク」のペアは対比が明瞭で判別しやすい。青と黄は3型の人に見えづらい色である。



Figure 13. 有効な対比表現例
 右はグレースケールに変換して色相の対比効果を消した画像である。

表される色彩体験は、主に L 錐体と M 錐体から届く信号バランスを大脳の視覚野が計算した結果であるため、いずれか一方のみを持つケースや、いずれか一方の光吸収量が少ないケースでは、赤から緑にかけての色彩が、世間でいう黄色や茶色と類似して見えやすく、大多数の人には感じられないニュアンスを繊細に感じることもある。

Figure 10 の 1 型と 2 型のシミュレーション⁶には、豊かな青と黄のバリエーションがある。C 型の見え方は、カラフルさが目立つのに対して、1 型と 2 型では、明暗の差が繊細に表現されている。

S 錐体の機能は短波長の光の知覚の強度に影響する。3 型は、赤と緑の見え方が多数派と比較的似ており、青と黄の見え方が異なる点が特徴的である。具体的には、青色の明度が低く感じられ、緑が青緑に近似して見えたり、黄が白っぽく薄紅がかって見えたりしやすい (Figure 7)。

Figure 9 は、1 型と 2 型に共通する色覚の特徴を直感的に表現した図である。円環に配置された色同士の距離は色の類似度を表している。左は、一般的な色の見え方であり、1 型と 2 型の色覚の特徴が強くなるほど円の形状は右の図に近づくと言われる。左から右へ移行するにつれて、黄緑と橙、緑と赤、青と紫の距離が狭まる。縦軸が伸びて青

と黄の距離が広がる傾向も確認されている (大山、2011)。軸が伸びるということは、青から黄にかけての色相の弁別域が小さくなり、色の変化を敏感に知覚できている可能性を示す。

厳密に言えば、青緑と赤紫の距離は狭まらず、対比は明瞭なままである。Figure 11 は、対比色に適した色ペアのシミュレーションの一例である。黄から明るい緑までの色相と、青から青系ピンクまでの色相のペアがすべての色覚者に適しており、明瞭な対比による視認性の向上が期待できる。

C 型と比較すると、1 型と 2 型は色の見え方が共通する。その理由は、L 錐体と M 錐体にある。ヒトの L 錐体と M 錐体がカバーする波長域には重複がある。これは、ヒトの祖先が過去に一度は 2 色覚となり、その後、再び 3 色覚へと変化する過程で、1 つの視細胞が分化して L 錐体と M 錐体になったためだと考えられている。これが制約となって、ヒトは 4 色覚の鳥や魚より少ない色数を見ている (河村、2009) ともいわれる。ただし、波長域の重複には利点もある。2 種の錐体からの信号の差分を取れるため、色相が増える。また、片方が機能しなくても、もう片方の錐体がカバーするため、光を感受できる。その結果として、1 型と 2 型では類似の色体験が生じるのである。

4. ユニバーサルデザインと色のバリアフリー

4.1. 推奨される色使い・推奨されない色づかい

上述の色覚の特性をふまえると、授業スライドに適さない配色が浮かび上がる。これを、色彩の三要素である色相、明度、彩度の観点から述べる。

色相とは色の名称で示される質的な違いを表す概念であり、絵具の色の名前は色相を表している。明度は明るさを表す概念であり、明度が高い色は白っぽく、低い色は黒ずんで見える。彩度は色の鮮やかさや純度を表す概念である。純度の高さは色相の混じり気のなさを表す。

純度が高い色には、狭い波長範囲の光を確実に受け取らなければ知覚できないものがある。3種の錐体は相補的に働くが、純度が高い赤はL錐体に、青はS錐体に感受を頼る色であるため、特に避ける方が望ましい。入手しやすい赤色レーザーの波長は650nm前後の長波長、青色レーザーは400nm前後の短波長であり（Figure 6）、その光が見えづらいと感じる人々がいることをふまえて使用場面を選ぶ必要がある。

一般的に、暖色は寒色よりもポップアウトするため、赤は強調色に多用される。しかし、一部の色覚者にとって、赤は目立ちにくい（Figure 4）。この傾向は赤の純度が高いほど際立つとする事例報告（Oyama & Yamamura, 1960）がある。

信号の赤も比較的純度が高い。しかし、信号は3色しかなく、赤の位置は固定しており、隣には目立つ黄色があるため、安全運転をしていれば、周囲の状況などさまざまな手がかりをもとに判断できる。これに対して、授業では色の意味が不定である。スライド操作の主導権は教員にあるため、受講生は他人のペースで次々と変わるスライドの情報を読み取らなければならない。こうした状況では、適切な色使いがとりわけ必要である。日本学校保健会（2017）は、色に頼らない工夫として、白線で色領域を区分する方法や、色を使わず模様と線で表現するなどの手法を推奨している。

色覚の変化は加齢でも生じる。特に青みの知覚は加齢によって失われやすい。白色とレモン色のような明度が高い色同士の判別もしづらくなる。

白線や明暗の対比で示す

色を使わず模様で示す

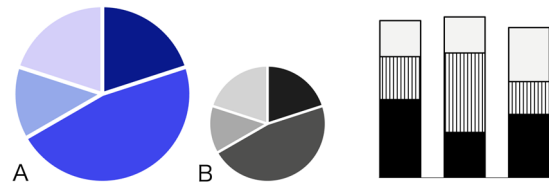


Figure 12. 色を使わずに領域を示すデザイン
円グラフのBは、Aをグレースケールに変換したものである。

このことは、色覚の多様性によって生じる問題がすべての人に関わることを示している。

3種の色覚に共通して際立つ色に青があり（Figure 11）、ホワイトボードの強調色には青が推奨される（日本眼科医会、2019）。ただし、印刷物や液晶画面の青い細文字は輪郭がぼやけやすいため、注意を要する。視覚的な輪郭の検出は明暗の対比によるが、S錐体の数は錐体細胞全体の10%程度と少なく、青い光に対する明暗の感知は相対的に弱くなり、情報も精密でないからである。

Figure 12は、色相に頼らないグラフデザインの例である。円グラフのAは、色相でなく明暗で表現しているため、色の魅力を活かしつつ、領域区分の可読性を保つことに成功している。ただし、Bの画像と比較すると青い領域は輪郭がやや曖昧に見える。よって、青は、面を強調する太文字や飾りに用いて誘引効果を活かすと効果的である。

2018年4月のJIS規格の改正（経済産業省、2019）では、国際規格（ISO）との整合を図り、安全標識や案内板の色が整備された。単色使いでは、赤・青・緑の黄色成分が強められ、2色使いではコントラストが強められている（中野、2018）。

Photoshopによるシミュレーション（Figure 7）は、すべての色覚者に明暗の対比が有効ことを示す。明所での比視感度は色覚によらず540～560nm付近が高く（北原、2017）、中波長の光は明るさを感じさせる。そのため、黒と黄は注意を喚起する配色の第一選択肢となる。

3型の人口は少ないため、カラーバリアフリーの啓発活動で注目されることは少ない。しかし、Figure 7が示すように、1型と2型の色覚者にと

って見やすい青と黄は、3 型の色覚者には見えづらい。これらのことから、岡部他（2003）は、マゼンタ（赤紫）と緑のペアを推奨している。

推奨できない色の組み合わせもある。Figure 3 には、赤と緑、赤と黒、ピンクと水色、橙と黄緑のような、人気の配色が含まれている。

情報の対比を示す手法には、色相、模様、明暗を用いて対比をアピールする方法があり（Figure 13）、適切な配色ならば色彩の効果も期待できる。ただし、確実なのは文字と線で示す手法である。よって、重要な情報は黒の文字と線で伝え、色には演出の効果を期待するのが定石といえよう。

4.2. 配色のポイント

カラフルな配色は、ただでさえ素人には難しい。色覚多様性に対応するデザインを作るとなれば、高い技術とセンスが求められ、さらに難度が増す。

その打開策として国や学会や自治体が示す案には、次の3つの共通点がある。

提案されるデザインに共通するポイント

- シンプルなデザインにする
- 使用する色の数を減らす
- 色だけで伝えない

上記のアイデアは、受講生だけでなく教員側にもメリットをもたらす。たとえば、次の3点である。

教員からみた利点

- デザインを凝らなくて良い
- 配色で悩まなくて良い
- プロのような傑作を作らなくて良い

現行のプレゼンテーションアプリに搭載されたスライドデザインは、美的要素を重視しており、使いこなすにはセンスが必要である。スライドの色使いに拘泥する時間を削減できれば、専門知識を扱う時間の確保につながり、結果的に質の高い授業を行いやすくなると期待する。授業スライドが、商業デザインのような美しさを備えることは必須ではない。伝えるべき情報を確実に伝達するスライドは、それだけで十分優れている。

ここまでの内容にくわえて、色の活用に役立つヒントは、次の3点である。

配色に役立つ応用のヒント

- ① 色の名称を説明に用いない
- ② 純度の高い赤を避ける
- ③ 明暗や色合いの対比を際立たせる

4.3. 街なかのユニバーサルデザイン

ユニバーサルデザインは公共施設を中心に配備が進められている。Figure 14 は公共交通機関の標識である。左上の LED 掲示板では、定番の赤と緑を使用せず、オレンジと青緑を使用して黄と青の対比効果を活用している。左下は改札出口の床の案内図であり、色を重ねず、白の縁取りを施して目立たせている。右上と右下は、明暗の対比をいかし、色数を抑え、情報が溢れる中でも、伝えるべき情報を確実に伝える工夫が施されている。

Figure15 は、JR 天王寺駅構内のホーム案内板の画像をもとに、色彩の効果を確認した図である。大阪環状線のテーマカラーを配した6枚の案内板のうち、本物である a には、赤の類似色のなかで視認性が高い朱赤が使われている。残りの5枚（b、c、d）は、a の色合いを変更した画像である。

ぱっと見ただけでは、視認性は高いままであるように感じられる。もとのデザインが持つ力が色だけではなかったことや、差し替え後の色が定番の配色であるために、素人目にはデザインの魅力が保たれているように見える。純度を高めた b（右）



Figure 14. 公共交通機関の標識デザイン

左上：大阪メトロ駅構内にある JR の発車案内 (LED 掲示板)、右上：JR 駅構内の標識、右下：大阪メトロ駅構内の路線表示、左下：大阪メトロ改札出口の床の案内図

左端は本物を撮影した画像であり、中央と右は偽物である



a. JR天王寺駅構内のホーム案内板

b. 左の案内板の赤色の部分だけを改変した画像

本物に比べて偽物はコントラストが不明瞭である



c. グレースケールに変換したaの画像

d. グレースケールに変換したbの画像

Figure 15. JR 天王寺駅構内に設置されたホーム案内板の配色による視認性の違い

a に比べて b では赤の彩度が強められている。グレースケール変換は Microsoft PowerPoint で行った。

の赤はポップアウトして、むしろ目立って感じるかもしれない。しかし、a と b をグレースケール変換した c と d を比較すると、本物は明暗の対比が明瞭で、視認性の高さを保持している。

身近な公共のデザインは、作り手の高い技術と隠された工夫により、芸術性と視認性を兼ね備えたユニバーサルデザインへと更新されつつある。

4.4. キャンパスにみるユニバーサルデザイン

関西大学キャンパス内の標識は、ユニバーサルデザインへと段階的に更新されている。Figure 16 は、雨上がりの夜に撮影した標識の画像であるが、乏しい光量と、反射する光の中でも、高い視認性を保っている。Figure 17 の上の 2 枚は、明暗のコントラストが生かされたデザインで文字が読み取りやすい標識である。左下は、建造物の透明感に合わせて白い文字を配しつつ、ガラスに映る光や、透けて見える背景の中で文字が浮かび上がるように、青色の縁取りを施している。右下は、腰の高さに設置された小さい標識であるが、注意をひきつける存在感がある。上の 2 枚と右下の 1 枚の共通点は、明瞭なコントラストで視認性を高めている点であるが、色の活用法には違いがある。

上の 2 枚は、目立つ位置に置かれて自然に人目をひくことを前提とするデザインであり、視認性を高く保ちつつ、洒落た素材を用いてニュアンスを出している。一方、右下の 1 枚は、キャンパス

の景観を保護するために低い位置に置かれる小さな標識であることを前提として、シンプルな白い板に文字と記号をすっきりと配して、行き交う人々にアピールしている。これらのデザイン例は、色覚に関する知識をふまえた配色がさまざまな場面での情報伝達の質を高めること、また、望ましい配色のあり方がひとつではないことを示唆している。色や素材の持つ雰囲気を活かして好感度と視認性の両方を高める標識もあれば、視認性の高さを優先して素朴な素材と配色で作られる標識もある。優れたデザインはひとつではなく、色の効果が状況に応じて変化することをふまえ、目的に応じて色を使い分けることが重要である。

4.5. 今後の課題

人の色覚は、網膜に届く光情報に対して一定であるわけではない。色の恒常性が保たれるのは、人が分光分布とその変動に応じて特定の波長に対する感度を調節する能力を持つためでもある（篠田、2021）。しかし、プロジェクターやモニターが放つ安定した光の世界は、生活空間の景色から独立しているため、恒常性を働かせにくい。

色覚検査は、異常性の検出を目的とするため、色覚の違いによる色誤認を誘発しやすい構造で作られている（塩釜・宮本、2020）。色誤認を誘発する条件には、短い提示時間、小さい面積、低い明度などがある。授業スライドにはこれらの条件が

揃いやすい。このうえ見分けづらい色の組合せを使用することは、一部の受講生に過剰な負担を強いることになりかねない。あえて情報が伝わりにくい条件を揃えることは、情報を伝えたい教員の側にとっても好ましくない。

超高精細画質のディスプレイでは、光の帯域を狭くして色域を広くしているため、色覚の個人差が顕著になりやすい（須長他、2018）と指摘される。ICT や BYOD の導入によりモニタ環境が多様化するこれからは、よりよい情報発信を行うために、色覚に関する知識が役立つだろう。

色彩には心理的効果がある（大山、1962）。感覚系が協応して情報を質的に変化させることもあり、色彩を活用してイメージを喚起したり、美的価値を向上させたりもできる。本論文の目的は、生活空間における色彩活用の否定ではなく、教材作りに役立つ知識の記述である。色覚のしくみと特徴を深く知ることは、ユニバーサルデザインを教材に取り入れるうえで役に立つと期待する。

5. まとめ

本論文では、教材にユニバーサルデザインを適用する必要性を述べ、実態調査の結果をもとに現状と課題を示し、色覚のしくみと色覚の多様性を概説するとともに、教材を作成するうえで必要となる知識と色彩活用に向けた示唆を記述した。

従来であれば、受講生の困り事はアンケート等で浮かび上がるものだろう。しかし、自己の色覚の特徴に気づかない人が大半であるという報告は、



雨上がりの夜でも見やすい

Figure 16. 関西大学キャンパス内の標識 (1)
雨上がりの夜でもくっきりとして見やすい



Figure 17. 関西大学キャンパス内の標識 (2)

上：コントラストが明瞭で視認性が高い標識
左下：背景が透けても読みやすい縁取り文字
右下：低い位置でも目立つ標識

自己回答式のアンケート調査が有効でない可能性を示唆する。もし、ある受講生が自覚のないまま不利な状況におかれ続けていたら、その受講生は、自分の理解や認識力を低く評価し、教材の配色に原因を求めないかもしれない。特定の状況で色覚による不利益が生じることは、複数の先行研究が示すとおりである。そこで、実際の教材の配色を調べた結果、ユニバーサルデザインが適用されているとはいえない実態が明らかとなった。

色覚は生理的基盤と心理条件に左右されるため、さまざまある個人的ニーズのすべてに沿うことは困難である。しかし、日常生活に不便を感じない受講生が、色覚だけを理由に不利益を負う状況があるならば、改善の取り組みが必要であろう。

色覚多様性を不利益に直結させやすいのは授業をはじめとする人工的環境である。色覚の違いが人類の生き残りにおいて重要な問題ではなかったとする見方は、この事実と整合的である。自然な個性であるはずの色覚多様性を受け入れない環境を人類が自ら作り出してきたのかもしれない。

ユニバーサルデザインは、こうした問題意識の中から提案されたデザインであり、情報の利便性を向上させるべく生まれたデザインである。教材へのカラーユニバーサルデザインの適用によって、より多くの受講生が学びやすくなると期待する。ICTを活用する授業が普及し、多様性をふまえた

教育の実現が推奨されるなか、教材へのユニバーサルデザインの導入は、重要性を増す課題である。本研究が、今後の教育環境をよりよいものに変える取り組みの一環となれば幸いである。

利益相反について

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

注釈

- 1 日本遺伝学会は、医学的な診断名の「色覚異常」を訳語に採用しない理由として、この形質が「ありふれて」おり「日常生活に特に不便さがない」遺伝形質を異常とは呼べないとして述べている。
- 2 本論文では、診断に関わる記述で必要がある限りにおいて、色覚異常という用語を使用する。
- 3 色覚異常は後天的にも生じるが、本論文の目的は医学的な診断カテゴリの全貌を解説することではないため、これらの網羅的な記述を避ける。
- 4 色覚異常と診断された児童を対象にした調査（宮浦他、2012b）では、教師が色名で指示を出した際に異なる色に反応してしまったせいで「ふざけている」と叱責された事例などが紹介されている。大学生を主な対象とする研究（辻他、2020）では、色覚の違いを理解されずに笑われたり、色の判別にストレスを感じたりするといった当事者のエピソードが紹介されている。
- 5 その他の基準は次のとおりである。
 - (1) スライドの背景デザインに色が使われていても、それが文字や図表に重なって読みにくいなどの支障が生じていなければ、問題としない。
 - (2) 複数枚のスライドにわたって同じ色表現が継続して表示される場合はあわせて1枚と数える。
 - (3) アニメーション効果を意図して複数枚のスライドが連続表示される場合は、最終的に絵が完成するまでの過程をまとめて1枚と数える。
 - (4) アニメーションのような効果の途中でスライドの構成が変化し続け、絵が完成したと言える状態がないまま全要素が次々と新しくなっていく場合、コンテンツが飽和した段階で1枚と数える。

(5) 再掲示されるスライドは、完全に同じスライドである場合を除いて新たにカウントする（位置や大きさを変えて表示されるケースを含む）

(6) 箇条書きの記号が階層別に色分けされている場合は、その色が黒でも支障なく理解できそうであれば数えない。

6 Photoshop ver.23.5.1 を用いて作成。

7 1型と2型は Photoshop ver.23.5.1 を用いて作成。3型は理論に基づき近似色を表現した。

参考文献

- Hall, J. E. (2016) *Guyton and Hall textbook of medical physiology (13th ed.)*, Elsevier Inc. J・E・ホール 石川義弘・岡村康司・尾仲達史・河野憲二（総監訳）（2018）『ガイトン生理学 原著第13版』エルゼビア・ジャパン
- 神奈川県福祉課（2018）『カラーバリアフリー：より伝わりやすい情報にするカラーバリアフリーを目指して（H30年6月）』（<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/28550/signpdf.pdf>）（2023年1月18日）
- 河村正二（2009）「錐体オプシン遺伝子と色覚の進化多様性——魚類と霊長類に注目して——」『比較生理生化学』26(3), 110-116.
- 経済産業省（2019）『平成30年度経済産業省年報』（https://www.meti.go.jp/policy/newmiti/mission/2019/pdf/2_1_5_2.pdf）（2023年2月26日）
- 北原健二（2017）「3.5 色覚異常」日本視覚学会編著『視覚情報処理ハンドブック（新装版）』, pp. 153-159. 朝倉書店.
- 公益社団法人日本学校保健会（2007）『みんなが見やすい色環境』（<https://www.gakkohoken.jp/uploads/books/photos/m00059m4d80367fc8dbc.pdf>）（2023年1月13日）
- 公益社団法人日本学校保健会（2017）『学校における色覚に関する資料』（https://www.gakkohoken.jp/book/ebook/ebook_H270050/H270050.pdf）（2023年1月21日）
- 公益社団法人日本眼科医会（2019）『学校関係者のための学校における色のバリアフリー』（http://www.japaneseophthalmology.com/2019/03/20/20190320_01/）（2023年1月21日）

- ps://www.gankaikai.or.jp/colorvision/detail/post_10.html) (2023年1月18日)
- 栗木一郎 (2021) 「可視スペクトル」 子安増生・丹野義彦・箱田裕二編 現代心理学辞典 有斐閣
- Kandel, E. R., Koestler, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (Eds.), (2021) *Principles of neural science (6th ed.)* New York: The McGraw-Hill Companies.
- 宮浦徹・宇都見義一・柏井真理子・山岸直矢・高野繁 (2012a) 「平成22・23年度における先天性色覚異常の受診者に関する実態調査」『日本の眼科』83(10), 1421-1438.
- 宮浦徹・宇都見義一・柏井真理子・山岸直矢・高野繁 (2012b) 「平成22・23年度における先天性色覚異常の受信者に関する実態調査 (続報)」『日本の眼科』83(11), 1541-1557.
- 文部科学省 (2009) 『色覚に関する指導の資料』(https://www.pref.osaka.la.jp/attach/2470/00004402/sikikaku.pdf) (2023年1月24日)
- 中野豊 (2018) 「改正 JIS Z 9101・JIS Z 9103 の概要及び解説」『セイフティダイジェスト』64(6), 14-20. (https://jsaa.or.jp/wp/wp-content/uploads/2018/07/5adbd5ec14cec6c33b3c5534e9aa52c8.pdf) (2023年2月26日)
- 日本学術会議・基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同生物科学分科会 (2019) 『高等学校の生物教育における重要用語の選定について (改訂)』(https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-h190708.pdf) (2023年1月15日)
- 日本眼科学会 (2007) 『色覚関連用語について』日本医学会医学用語辞典 (https://jams.med.or.jp/dic/colorvision.html) (2023年1月30日)
- 日本遺伝学会『遺伝学用語改訂について』(2017) (https://gsj3.org/wordpress_v2/wp-content/themes/gsj3/assets/docs/pdf/revisionterm_20170911.pdf)
- 日本人類遺伝学会 (2017) 『遺伝学用語改訂のお知らせ』(https://jshg.jp/wp-content/uploads/2017/08/d5fdc84ae83d3a9a6627b7ac249e4db0.pdf) (2023年1月18日)
- 岡部正隆・伊藤啓・橋本知子 (2003) 『ユニバーサルデザインにおける色覚バリアフリーへの提言』(https://www.nig.ac.jp/color/handout1.pdf) (2023年1月18日)
- 大阪府府民文化部府政情報室広報公聴課 (2022) 『色覚障がいのある人に配慮した色使いのガイドライン』(https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/14768/00000000/20220401_R4.4.1_gaido-rain.pdf) (2023年1月18日)
- 大山正 (1962) 「色彩の心理的効果」『照明学会雑誌』46(9), 20-26.
- 大山正 (2011) 「他者の色覚経験を行動より推察する」『心理学評論』59(2), 182-190.
- Oyama, T., & Yamamura, T. (1960). The effect of hue and brightness on the depth perception in normal and color-blind subjects. *Psychologia*, 3, 191-194.
- 篠田博之 (2021) 「色彩工学の基礎知識と活用」『情報の科学と技術』71(3), 94-100.
- 塩釜 (笹川) 裕子・宮本正 (2020) 「「先天性色覚異常の方のための色の確認表」の妥当性の検証」『日本視能訓練士協会誌』49, 205-210.
- 須長正治・桂重仁・谷口博久 (2018) 「広色域ディスプレイにおける異常3色覚の色の見え」『日本色彩学会誌』42(3), 224-227.
- Nussbaum, R. L., McInness, R. R., & Willard, H. F. (2017) *Thompson & Thompson Genetics in medicine (8th ed.)*, Elsevier, Inc. R・L・ナスバウム, R・R・ムクルネス, H・F・ウィラード 福島義光監訳 (2022) 『トンプソン&トンプソン 遺伝医学第2版』メディカルサイエンスインターナショナル
- 辻清佳・須長正治・桂重仁 (2020) 「色覚異常を持つ人のアートへの関心度調査」『日本色彩学会誌』44(3), 207-210.

付記

本論文は、2021年度関西大学学術研究員制度の助成を受けた研究成果の一部です。
web公開版にはカラーで公開しています。