

色弱者における色の見えとカラーユニバーサルデザイン

生活環境デザイン学科 橋本 令子

1. はじめに

高齢者や身障者を含むすべての人に、できる限り使用可能であるように製品・建物・環境を配慮する試みは、ユニバーサルデザインと言われ、安心・安全を考慮したデザインが開発されている。日本では2000年に入り、外見からでは判断できない色のバリアフリーへの取り組みが始まり、「カラーユニバーサルデザイン」¹⁾という言葉を目にした、記事を読んだりする機会が多くなった。しかし、実際、カラーユニバーサルデザインについて内容を把握している人は、どれほどあるだろう。特に色の識別に困難が伴う色弱者については、社会での認知度が低く対応が遅れている。

筆者は2007年、日本家政学会色彩・意匠学部会セミナーにおいて、豊橋技術科学大学の中内茂樹氏²⁾より始めてカラーユニバーサルデザインについての講演を聞く機会を得たことから、関心を持つようになった。長年、色彩の授業を担当しているが、色弱者が具体的に見える色情報についての説明は難しい。それは、誰もが他人の目を覗き込んで色を見ることが不可能であるからだ。その後もシンポジウム^{3) 4)}や研究会⁵⁾に参加し、開発された色弱模擬フィルタ⁶⁾を通して、色弱者が見る世界を知ることができた。もう一つ、筆者がカラーユニバーサルデザインに関心を持つようになった理由は、父が色弱者であったからである。幼い時に他界したので詳しいことはわからないが、母の話によると普段は色を識別しているようであったが、色の見えかたに悪い条件が重なったのであろう。確かに青を紫と判断して、色違いの服を購入する場合があったという。

視覚は脳が飛び出た内臓であるといわれ、外界からの刺激を受けとめる大切な働きを担っている。一般色覚者と呼ばれる人たちは、例えば明るい赤、暗い赤、あざやかな赤といった表現し、自分たちが見ている色は、どの人も同じ色に見ていると認識している。しかし、色弱者はそうではないことを理解する必要がある。

ここでは、色弱者についての概要を説明したうえで、カラーユニバーサルデザインの実践例を紹介し、今後の色弱者への取り組みについて考えてみたい。

2. 色覚検査をとりまく環境

かつて小学校、中学校では、色覚検査が行なわれていた。点する小円が集まる中に周辺色と混同する色で数字が書かれており、この数字を読む。これは石原忍⁷⁾が軍医学校教官時代に徴兵検査用に陸軍から依頼されて作成した「色覚検査表」で、色弱者の検査表として長い間、使用されてきた。

1995年、学校保健法改定に伴い色覚検査は石原式検査表に変わって、新しい検査表が開発された。その一つに「色のなかまテスト：CMT」がある。検査表作成に参画した金

子氏⁸⁾は、「色覚異常は、わかったところで矯正できるものではないので、厳しい検査が最適ではない。学校では、黒板のチョークの色や教科書の色刷り図版がわかるかどうかであり、目的に即した許容度の範囲で生徒の能力を認めていく必要がある」と述べている。また、「CMTは検査者と生徒たちが共有体験できるとテストである」と高柳⁹⁾らは、その有効性を説いている。そして、「日常生活では、色のついた現物を用いて色弁別評価を行うことが適切である」と記している。その他には、「標準色覚検査表（SPP-1）」¹⁰⁾や、隣合う色を順次並べていくマンセル100Hueテストをモデルとした「パネルD-15」¹¹⁾がある。

いくつかの検査表や検査器があるなかで、日本では2003年度から色弱者への緩和措置を行い、学校の定期検診から検査は削除されている。ほとんどの小学校で実施されなくなった色覚検査について、進学や就職時のトラブルが生まれるのではないかと話す眼科医もある。事実、色覚検査には賛否両論あるが、色弱者のおかれた環境を考えると、一般色覚者の色弱者に対する知識の無さや、色弱者自身の無自覚が心配される。

3. カラーユニバーサルデザイン

人間の色の感じ方は一様ではなく、遺伝子のタイプの違いによる色弱者や目の疾患（白内障や緑内障、加齢黄斑変性）などにより、色の見え方が一般色覚者と異なる人は、日本に500万人以上存在する⁶⁾。こうした多様な色覚を持つすべての人に、情報が正確に伝達されるよう配慮されたデザインを、カラーユニバーサルデザイン（CUD）と呼ぶ。

具体的には、多くの人に利用される公共施設、駅や空港の表示、学校の教科書や教材、新聞・広告・パンフレット、ATMや券売機、OA機器、家電品、ホームページなど、挙げればきりがないが、利用者側の視点から見やすい色を使い、配色提案を行い改善し、誰もが色識別しやすい社会を作っていくことである。特に、色弱者はこれまで本人からは声に出せず、また声を挙げても聞きいれてもらえない状態であった。しかし、カラーユニバーサルデザイン機構（CUDO）¹²⁾の設立により、一般色覚者が色弱者の色世界に気づき、近年、社会の色が変化し始めた。

4. 色弱者について

日本では男性の20人に1人（5%）、女性の500人に1人（0.2%）が色弱者であるといわれる。女性は0.2%と少ないが、キャリアー（保菌者）として遺伝的に引き継がれる。そして、男子は母親がキャリアーのとき色弱者になる場合がある¹³⁾。

人間の目の網膜には、明るいときに働き色の識別や形の明瞭さに関与する錐体と、暗いときに働き光の明暗を見えに関与する桿体の2種類の視細胞がある。錐体には赤錐体（赤～黄～黄緑の長い波長に感じるL錐体）、緑錐体（緑～青の中間の波長に感じるM錐体）、青錐体（青～紫の短い波長に感じるS錐体）の3種が存在し、3種を組み合わせた状態で色を知覚する。色弱者は錐体のいずれかの機能が損なわれた状態の人のことで、表1のように分類される¹⁴⁾。

従来、3種の錐体のうち、1種類の錐体が欠損してない人を色覚異常、あるいは錐体の

ひとつの分光感度がずれて、十分に機能していない人を色弱者と呼ぶ。しかし、CUDOでは、色覚欠損者全体の25%を占めているL錐体が機能していない人をP型（1型）、全体の75%を占めているM錐体が機能していない人をD型（2型）と呼んでいる。このP型とD型は、色弱者のほとんどを占めている。S錐体が機能していない人はT型（3型）と呼び、10万人に1人以下の割合で存在している。また、2つの錐体が機能していない人や、桿体のみだけの人をA型と呼んでいる。このように色弱者には個人差があり、機能しない錐体により、色の組み合わせが識別できたり、できなかったりすることがわかる。そして、3種の錐体が正常に働いている人は、一般色覚者C型と呼ぶ。

以上のように、カラーユニバーサルデザイン機構（CUDO）では、どの色覚に対しても正常と異常に線引きして呼ぶことはやめ、C型を一般色覚者、P、D、T、A型を色弱者と呼ぶよう推奨している。

表 1. 色覚の呼称とその分類

CUDO		従来		眼科学会
C 型	一般色覚者	色覚正常		色覚正常
P 型(1) 強・弱	色弱者	第 1 色覚異常・第 1 色弱	赤色盲	1 型 2 色覚・3 色覚
D 型(2) 強・弱		第 2 色覚異常・第 2 色弱	緑色盲	2 型 2 色覚・3 色覚
T 型(3)		第 3 色覚異常	青色盲	3 型 2 色覚
A 型		全色盲		1 色覚

5. 色の見えかた

実際に色弱者は、色をどのように見ているのであろうか。一般色覚者の錐体の分光感度を、図 1 に示す。

L錐体とM錐体の分光感度曲線は、視細胞の分光感度が類似し、重複部分が大きい曲線であるため、L錐体またはM錐体が欠損しても、色の見えかたは似ていることから、赤緑色弱と呼んでいる。また、S錐体が欠損すると、青から黄の範囲で色が見えにくくなるのでこれを青黄色弱と呼んでいる。

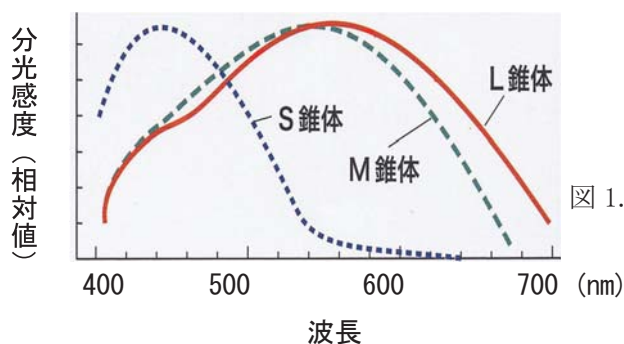


図 1. 錐体の分光感度（相対値）¹⁵⁾

具体的に赤、黄、緑の果物と野菜が入った籠と、前にある青の布を識別した時の色弱者の色の見えかたは、図2に示すとおりである。色識別の様子がわかるであろう。



図2. 色弱者の色の見えかた²⁾

(日本家政学会色彩意匠学部会講演会資料, 中内, 2007年)

P型である赤色弱者とD型である緑色弱者の見えかたは、赤と緑の視細胞が各々欠損している。両方の感度曲線の重複している部分が大きいので、赤のリンゴと緑のウリの色は茶や黒に見え、両者ともに似た識別をして色の差を感じにくくなっている。T型の青色弱者は、青の視細胞が欠損しているので、青の布、黄のバナナやレモンの色は、他のものと色の差を感じにくくなっている。これが、実際の色弱者の見えかたであることを考えると、カラーユニバーサルデザインの取り入れは、必要であることを認識せねばならない。

そこで、印刷物としての鉄道路線図の色と、モニターで提示するグラフの色（円グラフと棒グラフ）の配置について検討した例を紹介する。

6. カラーユニバーサルデザインの実例

6.1 路線図における配色提案¹⁶⁾

普段から多くの人が目にし、色による情報伝達効果が大きい鉄道路線図を取り上げ、提示された色を色弱者が認識できるよう改善提案するため、路線の太さと配色について検討した。

6.1.1 実験方法

路線図の線の幅は、実際の印刷物から2cm、1cm、0.5cm、0.25cmとし、長さを3cmとし面積比を8:4:2:1に設定した。

路線に配する色は、改善しようとする鉄道会社の路線図に示されているdp2（濃い赤）、v5（鮮やかな橙）、p18（薄い青）、b5（明るい橙）、b21（明るい青みの紫）、v23（鮮やかな赤みの紫）、lt18（浅い青）、b17（明るい青）、dp12（濃い緑）、lt12（浅い緑）、p12（薄い緑）、d10（くすんだ黄緑）、v18（鮮やかな青）、dp7（濃い赤みの黄）の色を用い、各2色配色を施した。

被験者は、一般色覚者である本学学生26名である。色弱者が感じる色の見分けにくさを簡単に模擬体験できる色弱模擬フィルタ⁶⁾¹⁷⁾を装着して、北窓自然昼光下で「区別しや

すい」「好き」「明るい」「疲れる」による片側尺度で、4段階評価した。

6.1.2 評価結果

評価語の関係性を分析した結果を、表2に示す。すべての関係において有意な相関が認められた。色が「区別しやすい」は、色弱者にとって重要な要因であり、これは共通して「好き」「明るい」「疲れにくい」ことを意味している。記していないが、面積が小さくなると「疲れる」と評価しており、色弱者の心理的要因に関与することがわかった。

次に「区別しやすい」に対する配色関係を調べ、要因分析した結果、色相、トーン（ $v \cdot p \cdot b \cdot lt \cdot d \cdot dp$ ）ともに影響を及ぼすが、特にトーンについては、全体の色調が明るく、対照関係の配色が区別しやすいことが確認できた。

表2. 相関係数

評価語	区別しやすい	明るい	好き	疲れる
区別しやすい				
明るい	0.342*			
好き	0.369**	0.465**		
疲れる	-0.555**	-0.318*	-0.412**	

有意確率 5%* 1%**

以上より、改善提案した路線図は記載できないが、色弱者は色相の違いを区別することが困難であるため、一般色覚者よりも明度・彩度によるトーンの微妙な変化によって、色を区別している。したがって使用する複数の色に濃淡のトーン差をつけ、微妙な変化でも色が見分けやすいようにする。例えばv5（鮮やかな橙）はb5（明るい橙）、dp12（濃い緑）lt12（明るい緑）、v23（鮮やかな赤紫）はp23（薄い赤紫）のように全体に明るい色を用いると、色弱者にとって見やすく識別しやすくなる。

路線図は、凡例を用いて表示する場合もあるが、使用色が多すぎると全体に識別が難しくなる。そこで、路線脇に路線名を入れ、文字だけでも確実に認識できるよう工夫をしているところが多くある。

6.2 パワーポイントによるグラフ(図)色の配置提案¹⁸⁾

学校や企業などで行う発表や報告には、カラフルな色を使用したプレゼンテーションが作成されようになった。凝った提示が増えたことにより、プレゼンテーションに使用される色数が増え、色弱者から「見にくい、判断しづらい、困ったことがある」という言葉を耳にした。そこで、パワーポイント作成時のグラフ(図)色の配置について検討した。

6.2.1 聞き取り調査

被験者は、パワーポイントを使用している5名（20代男性）であり、全員が色弱者である。調査・実験は、内容を十分説明し同意書を得たうえで行った。

被験者内訳：2名（P型色覚） 3名（D型色覚）

6.2.1 聞き取り調査

- 1) 自分が色弱者であると認識したのは、いつであったか
5名のうち4名が小学校低学年と回答。
 - ・学校の色覚検査で初めて知った。
 - ・親戚内に色覚異常者がいたので、両親に心配され眼科に行ってわかった。
- 2) 色覚検査以外の場面で、自分が色弱者であると認識した状況はあったか
 - ・物の色の名前を間違えて答えてしまった（緑と茶色）。
 - ・ドラえもんの色塗りを周りの子とは違う色で塗っていた。
 - ・パズルゲームの色の区別ができず、遊べなかった。
 - ・幼少期は色弱者に対する知識がないので、自分の世界にある色が、他の人にも同じに見えていると思っていた。周りの友達が話す意味が理解できず、もやもやした。
- 3) 現在、色の見え方に関して困ることはあるか
 - ・リード線の色がわからない
 - ・焼き肉の焼けた色がわからない
 - ・ボールペンの黒と緑の違いがわからない
 - ・洋服を自分一人で選ぶのが不安である
 - ・電車の路線図が分かりにくい
 - ・黒板のチョークの色の区別がつかない
 - ・充電器の完了ランプの緑と充電未完了のオレンジランプの違いがわからない
- 4) 学校の授業等でパワーポイントを使用したことがあるか
全員が使用したことが「ある」と回答。
 - ・「パワーポイント作成時、色の配色やデザインは変えるか」という問いに対し、3名は「変えない」、2名は「変える」と回答。これは自分が見やすいのではなく、内容を理解してもらうために、テーマの色を変更する。
 - ・図のように色の組み合わせとなる配色については、変更していない。
- 5) パワーポイントを使用した発表を聞いて疑問を感じたことはあるか
全員が「ある」と回答。
 - ・「～色を見て下さい」と口頭で説明されても、どこを見ていいのかわからない。
 - ・強調している色が、茶色に見えて強調されているように見えない。
 - ・同じような色が並び、区別がつかない。
- 6) パワーポイントの作成時、どのような点に気を付けているか
 - ・5名のうち4名は、色はあまり使わず、強調させたい部分だけに色を使う。下線を引く。四角で囲む。太字にする。
 - ・提示方法を工夫をし、自分たちに見やすい、わかりやすいパワーポイントを作成する。

以上のように、被験者から日常生活の様子、パワーポイントのプレゼンテーションについて、率直な回答を得た。筆者は、色弱者が一般色覚者には気が付かない点を、自分たちの心中におさめていることを痛感した。また、色弱者は、自分が伝えたい情報を工夫して作成、表現していることを認識することができた。

6.2.2 棒グラフ、円グラフの色配置実験

一般に初期設定されている office 配色、6 色を用い、パワーポイントに棒グラフ、円グラフを提示した。通常、黒は文字色として用いられるため、次に office に設定されている青・赤・オリーブ・紫・アクア・オレンジの色を、棒グラフと円グラフに使用した。使用色はスクリーンに映し出し、色彩輝度計 (CS100-A) を用いて測定した。

図 3 には、CIE 色度図上に P 型の赤錐体と D 型の緑錐体の欠損による色弱者の色度混同線¹⁹⁾を示し、測定値 (x, y) をプロットし、表 3 には、明るさを表す輝度 (Lv) を示した。ここでは、色度混同線の同じ線上に位置する色は、同じ色に見えることを示す。P 型の人には、オレンジとオリーブ、赤と文字色の黒は混同線上に位置し、同じ色に見えており、識別が難しいと推察される。また、青と紫は混同線上にはないが、非常に近い座標位置であることから識別が難しいことがわかった。また、P 型と重複した分光感度を持つ D 型の色度混同線からも識別の様子がうかがえる。

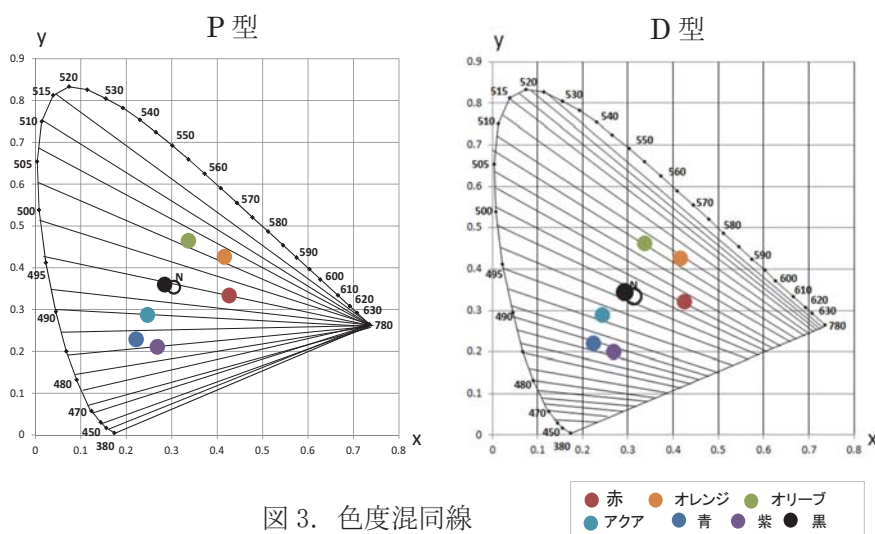


図 3. 色度混同線

表 3. 輝度値 (Lv)

赤	オレンジ	オリーブ	アクア	青	紫	背景色	黒
22.58	49.99	52.85	46.42	27.98	23.73	87.83	11.09

6.2.3 グラフによる色の配置結果

(1) 棒グラフ

5 人の被験者が並べた見やすい棒グラフの色配置は、P 型は (A) のように青・オリーブ・赤・アクア・オレンジ・紫、D 型の被験者は、青・オリーブ・アクア・オレンジ・赤・紫の順に配した。P 型と D 型が配した色を比較すると、青とオリーブ、アクアとオレンジを隣に配した被験者は 5 名中 3 名と 4 名あり、色弱者には見やすい組み合わせであると判断された。また、両端には青と紫が配されている。図 3 の測定値から、青と紫は色相が近く

に位置し、明るさを示す輝度値も低いいため、認識が難しいと考えられる。赤は色度混同線から判断すると無彩色に見え、輝度が低いことから黒っぽく認識している。したがって、青、紫、赤は、アクア、オリーブ、オレンジのように輝度が高い色の間に配されている。

P型とD型は錐体の分光感度が類似しているため、両方を合わせて総合判断すると、図4 (A)のように青・オリーブ・赤・アクア・オレンジ・紫の順に配すると、棒グラフの色は見やすく色認識されやすいことと言える。

(2) 円グラフ

円グラフにおいて見やすい色の配置は、P型は赤・アクア・オリーブ・青・オレンジ・紫、D型は(B)のように赤・紫・アクア・オリーブ・青・オレンジの順に配した。円グラフは、すべての色が環状に配置され、左右に必ず接する色が生ずるため、全体に接する色との識別ができるように配置することが必要である。ここでは、青とオレンジ、青とオリーブ、アクアと紫、またはアクアと赤が隣接して配されている。

P型とD型を合わせて総合判断すると、図4 (B)のように赤・紫・アクア・オリーブ・青・オレンジの順に配した円グラフは、見やすく色認識されやすいと言える。

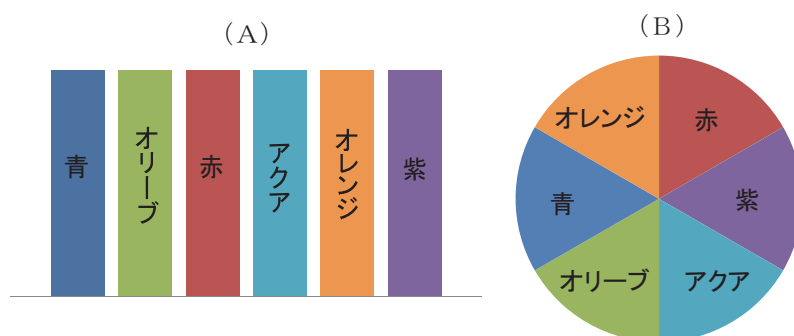


図4. P型とD型の見方を総合判断した見やすい配置例
(office色を使用した場合)

次に、2011年に発表されたNPO法人カラーユニバーサルデザイン機構が推奨している推奨配色セット (CUDO 配色)²⁰⁾を用いて、officeの6色に該当する色を選出し、決定した色を組み合わせる各グラフを作成して、被験者に評価させた。この時、アクアは水色、オリーブは緑を使用した。図5 (A)と(B)に示す。

その結果、全員、officeで呈示された色よりもCUDO配色が見やすいと回答した。ここでの色度混同線は、図を省いたが測定値から判断すると、隣接する色度座標が離れ、輝度値も高低差が大きくなり、色が区別しやすい状態にある。このように推奨色が、officeに入っていれば最良であるが、そうでない場合は、明度差、色相差を考えて色の配置を行うことが良い方法である。一方、一般色覚者は自分が美しいと判断する配置色でも、色弱者にとっては、区別しにくいと感じることもあり、こうした点に十分考慮する必要がある。

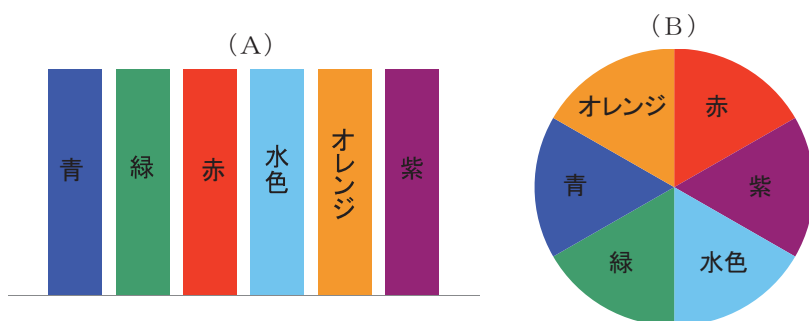


図5 P型とD型の見方を総合判断した見やすい配置例
(CUDO推奨色を使用した場合)

なお、ここで提示した色は、実際にモニター上の光源色で検討した色を示し、印刷により正確な色再現はできていない。しかし、色弱模擬フィルタを装着する機会があれば、一般正常者には、ぜひ装着して日常の色空間を体験してほしい。そうすれば色弱者の色世界を知り、今まで以上に色弱者に対する理解が生まれることになる。

7. おわりに

学校での色覚検査は、2003年度から色覚検査の施行義務はなかったが、2016年度より再び改正され施行される²¹⁾ことが決まっている。ここでは、「色覚の検査を未実施のまま就職等に際し不利益を受けることがないよう保険調査等を通じ、積極的に保護者等への周知を図る」としている。

2003年より色覚検査を行っていない生徒たちは、現在の大学生にあたり、就職時期を迎えている。これまで、色弱者であることを気づかず成長してきた学生もあるに違いない。NPO法人CODOの理事である伊賀公一氏²²⁾は、自らが色弱者であることを明らかにし、「条件が整っていれば自分の身を守るためには、検査を受けた方が良い」と記している。その理由として「現在の世の中は、色弱者のために充分配慮された状況ではないので、色の識別ができないために、例えば交通信号、ハザードマップ、非常用ボタンなど危険な目に遭遇することもある」と述べている。

色弱者に嬉しい話もある。独立行政法人産業技術総合研究所が、国際標準化機構（ISO）の規格として、標品や印刷物、案内表示など、配色を決める際の参考にするよう計画をしていると聞く。そうすれば色弱者の人たちの不便さは、解消されていくであろう。

現在のところ、色弱者については、まだまだ社会に浸透しているとは言い難い。さらに高齢者、ロービジョンと呼ばれる人の特性も考える必要がある。2020年、日本では東京オリンピック、パラリンピックが開催され、多くの外国人が訪れる。そうした環境のなか、誰もがスムーズに認識できるカラーユニバーサルデザインによる効果がいたるところで見られることを期待したい。

引用・参考文献

- 1) カラーユニバーサルデザイン機構：カラーユニバーサルデザイン，ハート出版，2009
- 2) カラーユニバーサルデザイン（コンセプトと実践）：日本家政学会色彩・意匠学部会，中内茂樹，2007.8
- 3) 第1回視覚科学技術とユニバーサルデザイン：視覚技術シンポジウム実行委員会，2008.8
- 4) 第2回視覚科学技術とユニバーサルデザイン：視覚技術シンポジウム実行委員会，2009.3
- 5) 色覚メカニズムとカラーユニバーサルデザイン：日本色彩学会東海支部講演会，中内茂樹，2007.12
- 6) 色弱模擬フィルタ「バリエントール」：伊東光学工業株式会社，2007
- 7) 石原忍：学校用色覚検査表，(株)半田屋商店，1968
- 8) 金子隆芳：新しい学校教育色覚検査表「色のなかまテスト」，日本色彩学会誌，Vol.19-2，71-72，1995
- 9) 高柳泰世・宮尾克・古田真司：教育用色覚検査としてのCMTの有効性，学校保健研究，Vol.52，63-70，2010
- 10) 市川宏・深見喜一郎・田辺詔子・川上元郎：標準色覚検査表第1部，医学書院，1978
- 11) マンセルD-15テスト，サカタインクスエンジニアリング株式会社，2014
- 12) NPO法人カラーユニバーサル機構，<http://www.cudo.jp/>
- 13) 金子隆芳：色覚異常，色彩研究，9-12，2002.1
- 14) 内川恵二・篠森敬三(編集)：視覚Ⅰ 視覚系の構造と初期機能，朝倉書店，176-186，2007
- 15) 伊藤啓：カラーユニバーサルデザイン 色覚バリアフリーを目指して，情報管理，Vol.55-5，307-317，2012
- 16) 村瀬茉美：色弱者に配慮した色彩計画 路線図の改善提案，平成19年度卒業論文，2007
- 17) 宮澤香苗・中内茂樹・篠森敬三：特集カラーユニバーサルデザイン最先端 カラーユニバーサルデザインツールとしての色弱模擬フィルタ，日本色彩学会誌，Vol.32-1，31-36，2008
- 18) 森崎真梨子，森山佳奈：色弱者に配慮したパワーポイントの提案，平成25年度卒業論文，2013
- 19) 山中俊夫：色彩学の基礎，文化書房博文社，209-215，1993
- 20) カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット制作委員会：色覚の多様性に配慮した案内・サイン・図表等用のカラーユニバーサルデザイン推奨配色セット，
<http://jfly.iam.u-tokyo.ac.jp/colorset/> 2013.11
- 21) 日本学校保健会：学校保健，第308号，平成26年9月
- 22) 伊賀公一：色弱が世界を変える，太田出版，2011