

Some remarks for the color universal design

MITSUBOSHI Muneo

Key words: color, barrier free, universal design, color universal design

Abstract

The type and the characteristics of the human color vision system were reviewed, and some issues were argued towards the actualization of color universal design. The most difficulty seems to exist in that there are many types of color vision, showing continuous transition in its function.

The following proposals were made:

- a. In order to get out of the confusion lines, add yellow or blue into one of the colors if the colors are seen by the protanope or the deuteranope.
- b. To use the colors of higher luminance difference or higher luminance contrast
- c. To avoid to use a deep red with a black simultaneously for the protanope
- d. To use the separation effect, e.g. by a white line, to avoid the Liebmann effect
- e. To avoid to use the colors of which saturations are near
- f. To use the informations of the design or shape, as well as of color, or of the position just as seen in the traffic signals
- g. To use the auditory informations

カラーユニバーサルデザインの実現に向けて¹⁾

三 星 宗 雄

キーワード：色、色彩、色覚、バリアフリー、ユニバーサルデザイン、
カラーユニバーサルデザイン

はじめに

図1はカラーユニバーサルデザインまたは色覚のバリアフリーの取り組みを示す記事である（読売新聞 2007年7月13日）。このような努力は今の社会でそれほど目立っているわけではないが、確実に進んでいる。

2010年10月30日から11月4日まで浜松市において第3回国際ユニバーサルデザイン会議が開かれた。直前に車のラジオでその開催について知り、偶然6月にある業界団体からの依頼で「ユニバーサルカラー」（カラーユニバーサルデザインと同義）について話をする機会があったこともあり、急きょ大学院生と一緒に参加した。大学の中であれやこれやと「理論」ばかりいじくっている人間にとって、実際の現場で繰り広げられている光景は目を見張るものがあった。目にするどれもこれもすべてが納得であった。と同時に自分がこれまで「いじくってきたこと」に大きな間違いがなく、カラーユニバーサルデザインがどのような方法で解決されようとしているのかあらためて確信を得た。その会議につい



図1 カラーユニバーサルデザインまたは色覚バリアフリーの取り組み（読売新聞 2007年7月13日）

での報告は別な機会に譲り、カラーユニバーサルデザインについて日ごろ考えていることを述べてみることにしたい。

1. ユニバーサルデザイン（UD）とバリアフリー（BF）

1.1 ユニバーサルデザイン（UD）とバリアフリー（BF）

UDは1980年に米国ノースキャロライナ大学のロナルド・メイス教授の提唱によるものとされている。以下はUDを支える有名な7つの

原則である（浜松市の UD 担当パンフレットから）。

- (1) 誰にでも公平に使用できること（公平性）
- (2) 使う上で自由度が高いこと（自由性）
- (3) 使用方法が簡単で直感的に分かるようになっていないこと（単純性）
- (4) 必要な情報がすぐ理解できること（分かりやすさ）
- (5) うっかりエラーや危険につながらないデザインであること（安全性）
- (6) 無理な姿勢や強い力なしで楽に使用できること（省体力）
- (7) 使いやすい寸法・空間になっていること（スペースの確保）

似たような概念にバリアフリー（barrier free）がある。この2つの概念の違いは案外分かりにくい。一般的には UD は BF の後継概念とされているようだ。ここでも浜松市 UD パンフレットが分かりやすい例を示している（図2）。

1.2 UD はどこにあるか

今回の会議に参加して得た最大の収穫は、UD が実際にどのようなところで実現されているかについて知ったことである。UD を考える場合、その必要性のある場所について「気付く」ことが重要である。その手がかりはやはり障害者や高齢者の人々が不便を感じている点に気付くことであろう（三星, 2011 参照）。図3から6にそれを示す（いずれも浜松市 UD 担当パンフレットから）。図3の4に「色のユニバーサルデザイン」の文字が見られる。

1.3 カラーユニバーサルデザイン


浜松市のパンフレットにも「色のユニバーサルデザイン」として取り組むべき課題の1つとなっていた。上の UD7 原則からすると（4）に相当しよう。ただし UD の概念は元来「物」のユニバーサルデザイン

バリアフリーデザインとユニバーサルデザインの違い

ユニバーサルデザイン

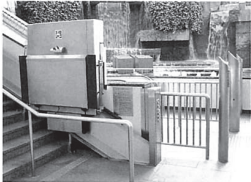
例：エレベーター
車イスの利用者だけでなく、ベビーカーや重い荷物を持った人など、誰でも便利に使用できます。

**特別な人のためだけでなく、
誰でも気軽に使えるのが
ユニバーサルデザインなんだ!**



バリアフリーデザイン

例：昇降機
車イスの利用者が、係員をインターホンで呼んで、操作をしてもらわなければ利用できません。
※エレベーターが設置され、撤去されました。



	ユニバーサルデザイン	バリアフリーデザイン
対象者	ハンディに関係なく誰でも	高齢者・障がい者等ハンディのある人
考え方の	最初からバリアのないように配慮	まちや社会にあるバリアの除去
経済性	妥当な価格、コスト	価格増はやむを得ない

図2 ユニバーサルデザインとバリアフリーの違い（浜松市）

が念頭にあったように思われる。

そこでCUDO（カラーユニバーサルデザイン機構）の3+1原則を紹介しよう（2009年6月発行のCUDOパンフレットから）²⁾。

(1) 実際の照明条件や使用状況を想定して、どのような色覚の人にも

身近なユニバーサルデザイン

(情報・もの)

情報

1 字の大きいパンフレット



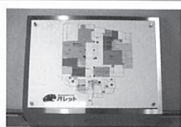
文字が大きく見やすいパンフレットなら、大切なことを伝えることができます。

2 外国語のパンフレット



外国人のために、それぞれの言葉でつくられたパンフレットが必要です。

3 点字案内板



視覚障がい者が利用できる、わかりやすい触知図と点字の案内板です。

4 色のユニバーサルデザイン



誰にでも情報がきちんと伝わるように、色使いや組み合わせ、文字や線の種類などを工夫しています。

5 要約筆記



会議の内容を文字で画面に写し出すので、耳の不自由なだけでなく、誰でも理解できます。

6 大型情報ディスプレイ



市政情報をはじめ、いろいろな情報を大型のディスプレイでお知らせしています。

7 多言語表記の看板



漢字・ひらがな・英語・ポルトガル語で書かれた看板は、より多くの人にわかりやすい表示です。

8 観光案内所



初めて訪問する土地では、人によるやさしい案内がうれしく感じます。

9 ピクトサイン



ひと目見てわかる絵文字のサインは、子どもや外国人にもすぐに理解できます。

10 使いやすいホームページ



浜松市のホームページは、誰にとっても使いやすい、公平に利用できるように作られています。

図3 身近なユニバーサルデザイン (1) (浜松市 UD 担当パンフレットから)



図4 身近なユニバーサルデザイン (2) (浜松市UD担当パンフレットから)

なるべく見分けやすい配色を選ぶ。

- (2) 色だけでなく、形の違い・位置の違い・線種や塗り分けパターンの違いなどを併用し、利用者が色を見分けられない場合にも確実に情報が伝わるようにする。
- (3) 利用者が色名を使ってコミュニケーションすることが予想される場合、色名を明記する。

身近なユニバーサルデザイン

(まち・交通・建物・施設)

まち・交通

1

駅の改札口



幅が広い改札口は、車イスやベビーカー、大きな荷物を持った人にもとても便利です。

2

駅のエレベーター



車イスやベビーカーだけでなく、重い荷物を持っている場合にも楽に移動できます。

3

オムニバス



ノンステップバスは車イスでの利用はもちろん、お年寄りにもやさしい乗り物です。

4

く・る・る



まちなかをきめこまやかに回る、高齢者や足の不自由な人など、誰にでもやさしいバスです。

5

ハイグレードバス停



屋根、風よけ、ベンチ、バスロケーション、音声案内、情報ディスプレイが備えられています。

6

幅広歩道



幅が広くてゆったりと歩ける歩道。傘をさしても楽にすれ違うことができます。

7

街角サイン



歩行者が迷わず、安心して目的地に着くことができるように設置されています。

8

段差のないUDブロック



段差がないので安全です。また、溝が入っているのでも、視覚障がい者も車道と区別できます。

9

広い電話ボックス



中が広いので、車イスや子ども連れの人も、大きな荷物を持った人も便利に利用できます。

10

音響信号機



音響や音声、時間表示が付いた信号機は、視覚障がい者だけでなく、誰にでもわかりやすくなっています。

図5 身近なユニバーサルデザイン (3) (浜松市 UD 担当パンフレットから)



図6 身近なユニバーサルデザイン (4) (浜松市 UD 担当パンフレットから)

(+1) その上で、目に優しく、見て美しいデザインを追及する。

2. 人間の色覚特性

2.1 色覚の型

カラーユニバーサルデザインを実現するには人間の色覚特性を理解す

る必要がある。人間はごく一部のの人々を除き、多かれ少なかれ誰でも色が見えるが、その見え方は同じではない。厳密に言うと、だれ一人として同じに見えていないかも知れない。たとえばどのぐらい短い波長の光から見え始め、どのぐらい長い波長の光まで見えるのか、すなわち可視スペクトルの範囲について測定すると個人によって差が生じる。さらに物理的には同じ波長の光であっても、その光がどのような色に見えるかは通常は知る術がない。したがって色の感覚についての数値はすべて平均値に過ぎない。

しかし一方マクロ的にはその色の見え方によっていくつかの型に分けることができる。かつては色の見え方が他と異なる人々は色盲（color-blind）、色弱（color-weak）あるいは総称して色覚異常者（abnormal color vision）と呼ばれたことがあったが、現在はあまり使われない。また色覚障害者（color deficient）という言葉もこの領域ではあまり用いられない。

現在は色覚の多様性、多様な色覚という観点から「**型」の色覚として扱われることが多い（表1）。表中「型」は文字通り色覚の型（種類）を、強・弱はその程度を表している。ただし程度も必ずしもクリアカットではなく、連続的な移行を示す場合も多い（図18）。実はそこにカラーユニバーサルデザインを構築する上での難しさがある。確かにマ

表1　さまざまな色覚の型と呼称法（CUDO、2009）

CUDO の呼称		従来の呼称			眼科学会の呼称
C 型	一般色覚者	色覚正常			色覚正常
P 型（強・弱）	色弱者	第 1	色盲・色弱 色覚異常 色覚障害	赤緑色盲	1 型 2 色覚・3 色覚
D 型（強・弱）		第 2			2 型 2 色覚・3 色覚
T 型		第 3		黄青色盲	3 型 2 色覚
A 型		全色盲			1 色覚

表 2 色覚の型と色覚異常

	色覚の型	持主	
1. 3色型色覚	trichromacy	(-mat)	
a. 正常3色型	normal trichromacy	(-mat)	
b. 異常3色型	anomalous trichromacy	(-mat)	
・第1異常	protanomaly	(-mat)	<div> </div>
・第2異常	deteranomaly		
・第3異常	tritanomaly		
(第4異常)	tetartanomaly		
2. 2色型色覚	dichromacy	(-mat)	
・第1異常	proteranopia	(-nope)	<div> </div>
・第2異常	deteranopia		
・第3異常	tritanopia		
(第4異常)	tetartanopia		
3. 1色型色覚	monochromacy	(-mat)	
a. 桿体1色型	rod monochromacy	(-mat)	
b. 錐体1色型	cone monochromacy		
・B-錐体1色型	blue-cone monochromacy		
・G-錐体 "	green-cone "		
・R-錐体 "	red-cone "		
上の各種類の先天性色覚異常に 良く似た症状を呈する			<div> </div>

A. Franceschetti, Die Bedeutung der Einstellungsbreite am Anomaloskop für die Diagnose der einzelnen Typen der Farbensinnstörungen, nebst Bemerkungen über ihren Vererbungsmodus. *Schweiz. med. Wschr.*, 58.1273—1279(1928).
 J. Pokorny and V.C. Smith. A variant of red-green color effect. *Vision Res.*, 21, 311—317 (1981).

クロ的には限られた数の型が存在するが、ミクロ的にはほとんど無限の型の色覚が存在するのである。いずれにしても呼称法は実態を良く表していることが大事であろう。本報告では筆者が学んだ当時の呼称法に従うが、できるだけ他の呼称法との対応関係を明らかにしていきたい。

表2は従来の呼称法による色覚の型である（三星、1995）。この表を見ると、表1の中の「従来の呼称法」は不完全な紹介であり、またCUDOのP型、D型、T型と眼科学会の1型、2型、3型という呼称法の出所が分かる。

誤解されやすいのは、三色型、二色型、一色型という呼称法である。二色型異常（CUDOの強度のP、D、T型、眼科学会の1型、2型、3型の2色覚に相当する）が認知できる色相が偶然2色であることから、型の数字はその人が認知できる色相の数を示すと考えられがちな点である。その論理でいけば、正常三色型が認知できるのはわずかに3色ということになる。この呼称法の由来については下で述べるが、CUDOおよび眼科学会が三色型、二色型、一色型という呼称法を用いないのはそこに理由があるのかも知れない。

表にもあるように、色覚障害は病気や事故などの後天的な理由によっても生じる。眼球内の異常による場合は上の第1異常（P型、1型）や第2異常（D型、2型）が多く、視神経以上のレベルでは第3異常（T型、3型）が多いと言われる（三星、1995）。先天性異常と異なるのは、

表3 二色型および三色型第1、第2、第3色覚者の出現率

	二 色 型		三 色 型	
	男	女	男	女
第 1 異 常	1.00	0.02	1.00	0.02
第 2 異 常	1.10	0.01	4.90	0.38
第 3 異 常	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000

病気または事故からの回復が進むにつれて、色覚異常の現象も消えていく点である。

また加齢によっても色の見え方は変化する。眼の水晶体が黄濁し（黄色のサングラスをかけた状態）、その結果黄／白、青／黒等の識別が困難になる。また低コントラストの表示が読みにくくなる（日本人間工学会、2003）。

2.2 出現率

それぞれの型の出現頻度を表3に示す。興味深いのは、色覚の型の分布あるいは色覚異常の出現率が人種によって異なる点である。データによるとアメリカインディアンが約3%でもっとも低く、アフリカ人が4%、日本人は約5%、欧米白人は約8%となっている（三星、1995）。

この表に示されたデータは北米におけるデータであり、我が国とはやや異なっている。我が国では正常三色型以外の、何らかの色覚障害の出現率は男性で約5%、女性で0.2%と言われている。そこで300万人（男性）+12万人（女性）=312万人と言われるゆえんである。他の障害者の数からすると、この数は決して少なくない（表4）。これだけ多くの人々が日常生活の中で何らかの不便を感じているとすれば、その不便さを少しでも軽減する手立てが必要であろう。

表4 多様な生活者（大日本印刷株式会社パンフレットから）

視覚障がい者	約 30 万人
聴覚障がい者	約 35 万人
肢体不自由者	約 175 万人
妊産婦	約 135 万人
外国人	約 150 万人
左利き	約 1000 万人

2.3 各色覚の型の特性

2.3.1 等色関数

色覚の型を定義する特性である。三色型、二色型、一色型の呼称はここから来ている。図6にあるような、円形の光刺激パターンを横（または縦）に二等分したパターンの左（または上）に任意の波長の光を、右（または下）に1、2、または3種類の原色を提示し、各原色の強度を調節して左右または上下のフィールドの色および明るさが等しくなるように色合わせを行う。これを等色実験といい、三色型の色覚の場合赤、緑、青の3つの原色が必要となる（図2）。一方、二色型は2つの原色だけですべての波長（色）と等色させることができる（図3、4）。第1異常（強度のP型、1型2色覚）および第2異常（強度のD型、2型2色覚）

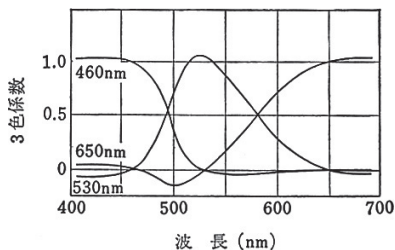


図2 色覚正常者の等色関数 (Wright, 1929)

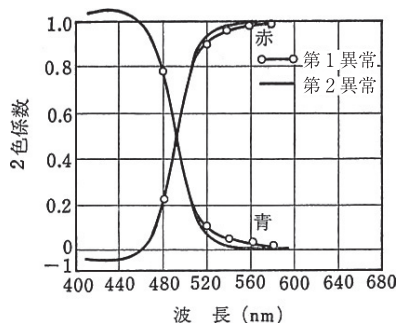


図3 第1異常および第2異常の等色関数 (Pitt, 1935)

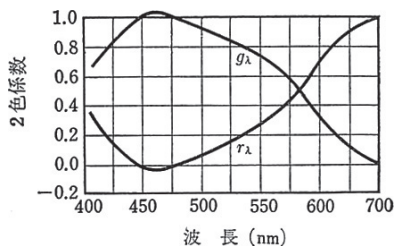


図4 第3異常の等色関数 (Wright, 1952)

では赤と青の原色（図3）、第3異常（強度のT型、3型2色覚）では赤と緑の原色で等色する（図4）。一色型の場合にはある1つの原色だけですべての色と等色してしまうのである。最後のケースは想像しにくいように思われるが、左右または上下のどちらのフィールドも色が見えない。したがって両方とも明暗だけのパターンになっているのでその強度だけを調節すると等色してしまうのである。

2.3.2 視感度曲線

第2の特性は視感度曲線である。これは特に第1異常（強度のP型、1型2色覚）と第2異常（強度のD型、2型2色覚）を区別する特性として挙げられる。図5にあるように、第2異常の視感度曲線は正常三色型とほとんど変わらないが、第1異常ではピーク波長が20 nmほど短波長側にシフトしていることが分かる。したがって第1異常では長波長部における感度の低下が著しい。この長波長部における感度の著しい低下は第1異常の人が赤と黒とを見分けにくい事実（通常の人には赤に見える部分が黒と混同される）を説明する。

2.3.3 波長弁別

図6は正常三色型の波長弁別特性である。黄色部および青緑部におい

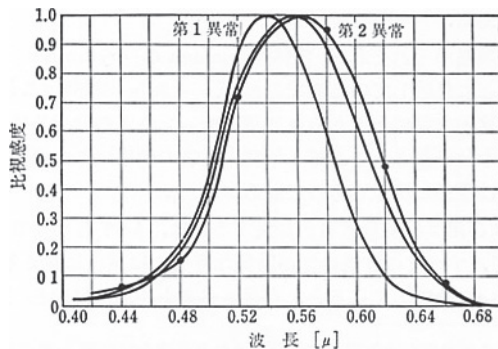


図5 第1および第2色覚異常者の視感度曲線
(Pitt, 1935)

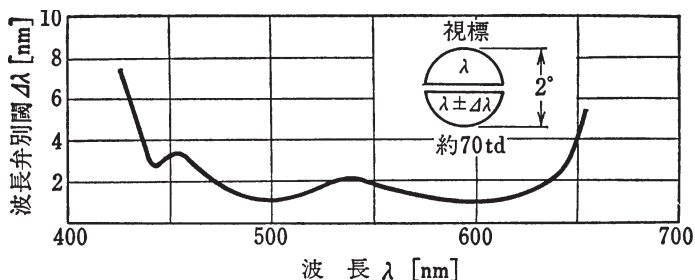


図6 色覚正常者の波長弁別曲線 (W. D. Wright and F. H. G. Pitt, 1934)

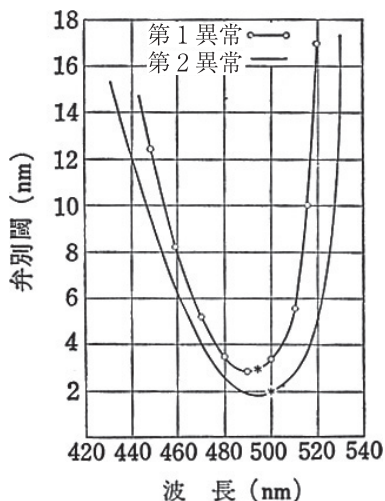


図7 第1異常と第2異常の波長弁別曲線 (Pitt, 1935)

て最も高い弁別力を示し、ほぼ 1 nm ほどの波長のズレまで弁別できる。第1および第2異常の波長弁別曲線を図7に示す。第1異常も第2異常も同じような特性を示す。490 から 500 nm 付近で最小となり、それらの波長から離れるにつれて弁別が悪くなる。それらの波長で弁別力が最高になるのは、そこで知覚される色が変わるからである。

しかしまさにその色相が切り替わる波長においては、通常の人には緑

色に見えるが、第1異常と第2異常の人にとっては白色に見える。そのため中性点 (neutral point) と呼ばれる。スペクトルのこの部位に白色に見える中性点があることが第1、第2異常の大きな特徴である。したがってこの波長部位の色 (緑) は白色と混同される。この中性点 (波長) は厳密には第1と第2で少し異なる。この中性点を与える波長のずれ = 白色と混同される波長のずれは第1と第2を識別する手掛かりの1

つとなる。

中性点より短波長側の波長の光は第1、第2異常ともに青色に、中性点よりも長い波長の光は黄色に見える。したがって彼らが認知できる「色相」は青と黄色の2色である。しかし色相としては2つであるが、図からも分かるように弁別閾は大きいものの、色としては区別している。青領域内および黄領域内の色については彩度の違いに基づいて弁別される。彩度は中性点をはさんで、青領域および黄色領域の中央部あたりで最高になり、スペクトルの端と中性点に近づくにつれて低下すると考えられる（図9、(b)参照）。

2.4 二色型色覚の人が見る色

上に述べたように、他人がどのような色を見ているかを知るのは難しい。三色型の人には、色名（赤、緑、…）によっておおまかな理解は得られるが、各色名が色空間のどの範囲までカバーするかは人によって異なる。同じ色を見ても、ある人は「カーキ色」と呼ぶかも知れないし、別な人は「ベージュ色」と呼ぶかも知れないのである。

二色型の人に見える色を聞くと、三色型の人と全く同じ答えが返ってくる。それは色名は生まれて以来、周囲の人々に教えられて獲得するためである。たとえば、赤信号の色を尋ねると、きちんと「赤」と返答する。実際には彼らには赤には見えていず、おそらく黄色に見えているであろう。しかし周囲の人が「赤信号」と呼ぶのを聞いて、「赤」と学習するのである。

ではどのようにして知ることができるのであろうか。図8は片眼性第2色覚の人の両眼間マッチング（色合わせ）の結果である。片眼性第2色覚というのは片眼だけが二色型第2色覚で、他眼は三色型の人である。したがって第2色覚眼に提示された光の色を、正常な他眼で色合わせを

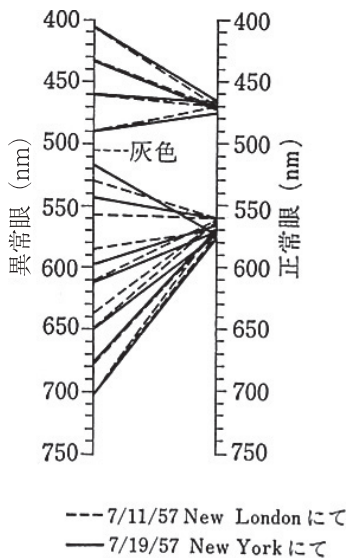


図 8
片眼第 2 色盲，片眼正
常の被験者における兩
眼間の色合わせ
(Graham & Hsia,
1958)

することができるのである。

図から第 2 色覚眼（左）に提示された単色光のうち 400 から 490 nm までの波長の光はすべて三色型の眼（右）では 470 nm 付近の色（青色）で等色する。したがって 400 から 490 nm までの波長の光は第 2 色覚眼ではすべて青色に見えていることになる。同じように、第 2 色覚眼の 515 から 700 nm までの波長の光は三色型の眼の 560 から 570 nm 付近の色（黄色）と等色する。したがってそれらの波長の光はすべて黄色に見えていることが分かる。また図中「灰色」と記されている点は中性点である。このケースでは 505 nm となっている。

図 9 は片眼性第 3 色覚者の結果である（このケースは後天性と言われている）。この場合には、400 から 560 nm（青紫から黄緑）までの色は緑（または青緑）、570 nm 以上の波長の光は、ややバラツキがあるが、概して赤っぽい色と等色している（a）。したがって第 3 色覚の人が認知する色相は緑と赤が主であることが分かる。また中性点が 550 nm 付近に存在する。したがって第 3 色覚者はこの 550 nm（三色型には黄緑色に見える）を無彩色と混同する。知覚する色相の彩度は（b）に示されているように、中性点をはさんで、緑と赤の領域のほぼ中央部で最大となる。興味深いのはその明るさの関係である。中性点付近の波長は第 3 色覚眼の方が明るく見え、そこから

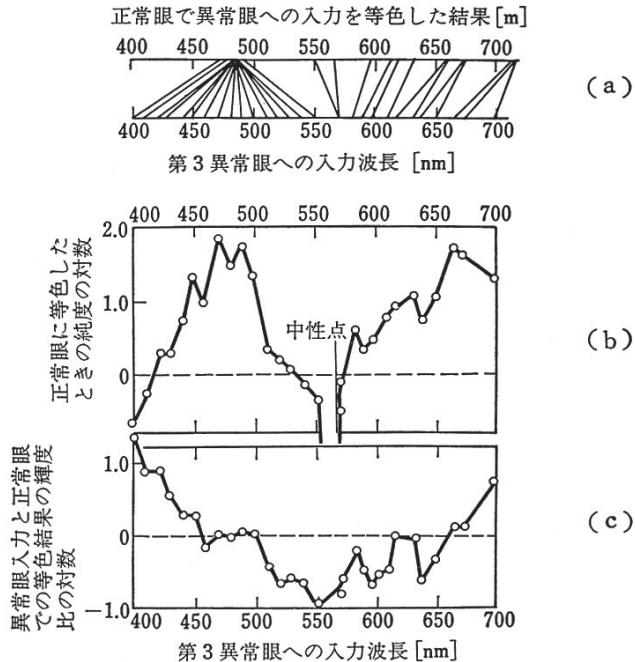


図 9 片眼性第3色覚異常者(後天性)の両眼間マッチングによる波長(a), 純度(b), および輝度(c)の対応関係。(Alpern, K. Kitahara and D. H. Krantz, 1983)

離れるにつれて徐々に明るさが低下している (c)。

3. 色覚のメカニズム

図 10 は現在もっともありそうだと考えられている色覚モデルである。かつては三色説や反対色説に対して、総合説あるいは段階説などと呼ばれていたが、現在ではそうした名称なしで用いられている。しかし現在でも完全とは言えず、弱点も抱えている。

主な色情報の経路は、赤、緑、青の視細胞（錐体細胞）→ r-g、y-b と

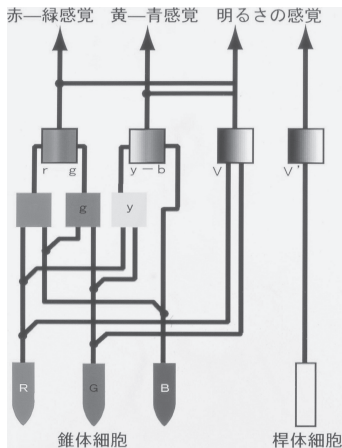


図10 現在の代表的な色覚モデル
(日本色彩研究所、2005)

いう反対色システム（細胞）→大脳という経路である（色チャンネルと呼ばれる）。人間においては色の情報を伝える2対の色チャンネルと明るさ情報を伝えるもう1つの輝度（明るさ）チャンネルの、計3チャンネルで色および明るさの情報を処理していると考えられている。

カラーユニバーサルデザインを考える時、以下の点が重要である。

- (1) 視細胞（錐体細胞）自身は、単独では光の波長については認識しない。どこまでも吸収した光量子（photon）の数に、波長のいかにかわらず、応じて応答するだけである。これを単一変数の原理（Principle of Univariance）と呼ぶ（Naka & Rushton, 1969）。
- (2) したがってただ1種類の視細胞（錐体細胞）だけでは、R、G、Bのどの錐体細胞であろうとも、色の認知はできない。これは一色型の色覚に相当する。
- (3) 光の波長情報（したがって色情報）を認識するためには、吸収した光量子の数を比較する少なくとも分光吸収特性の異なる2種類の錐体細胞が必要である。この「比較器」こそr-g、y-bの色システム（細胞）なのである。
- (4) r-gシステムには、互いに符号が逆の赤（R）錐体と緑（G）錐体からの信号が入力、そこで引き算が行われる。したがって大脳には赤または緑の色信号、または0（ゼロ）、だけが伝えられる。赤と緑の信号が同時に送られることはない。同じようにy-bシス

テムからは黄色または青の色信号、または0（ゼロ）、だけが伝えられる。黄色と青の信号が同時に送られることはない。

その根拠は第1にはそうした応答を示す細胞の存在である (DeValois & DeValois, 1975) が、日常生活では、色のコントラストや残像の色の組み合わせあるいは「赤っぽい緑」や「緑っぽい赤」、「黄色っぽい青」、「青っぽい黄色」の不在、同じことだが、赤（黄色）と緑（青）が同時に感じられる物体の不在などがある（ただしまだら模様などは別である）。

- (5) 黄色（Y）信号は赤（R）と緑（G）の信号の合力によって形成される。
- (6) もし何らかの理由によって、R 錐体が欠損すると、そこから入力を受けている r-g 色システムが欠損する。したがってその人は赤と緑の色が認知できない。結果的に黄色と青の2色（色相）だけとなる。これが二色型第1色覚である。
- (7) もし何らかの理由によって、G 錐体が欠損すると、同じようにそこから入力を受けている r-g 色システムが欠損する。したがってその人もやはり赤と緑の色が認知できない。結果的にこの場合も黄色と青の2色（色相）だけとなる。これが二色型第2色覚である。二色型第1色覚と第2色覚の色の認知特性が似ている理由はここにある。
- (8) 二色型第1色覚が長波長部で感度が低いのは、視感度が主に R 錐体と G 錐体の合力から生成されているため、R 錐体が欠損すると G 錐体のみとなり、感度のピークが短波長側にシフトするためである。しかしその視感度は G 錐体の感度と一致しない。
- (9) もし何らかの理由によって、B 錐体が欠損すると、そこから入力を受けている y-b 色システムが欠損する。したがってその人は黄

色と青の色が認知できない。結果的にこの場合は赤と緑の2色（色相）だけとなる。これが二色型第3色覚である。

- (10) R または G 錐体が欠損しているにもかかわらず黄色（Y）信号が形成されるというのは現在の色覚研究のミステリーである。ここに現在の色覚モデルが最終的なものとは言えない理由がある。

4. 混同色軌跡

二色型色覚者が混同する色を CIE（国際照明委員会）の色度図上で結んだものを混同色軌跡と呼ぶ（図 11, 12）。これらの軌跡上の色は区別できない。図 11 の（a：第1色覚）と（b：第2色覚）は一見して同じように見える。以下その特性である。

- (1) 第1色覚、第2色覚はどちらも、左上（緑）から右下（赤）へ向かう軌跡であり、それと直交する左下（青）から右上（黄色）への軌跡ではない。これは彼らは青色と黄色との識別は問題ないことを意味する。
- (2) 同じように第1色覚も第2色覚も、中性点から上に関してはほぼ同じ軌跡である。これは緑～黄色～橙色～赤という色の領域である、したがって彼らには共通してこれらの色を区別するのが困難である。
- (3) 中性点から下の軌跡に関しては、第1色覚の軌跡は比較的水平であり、一方第2色覚の場合は傾斜がやや大きい。これは青～青緑の色がピンクを含む紫系の色との混同を示すものだが、第2色覚の方がより紫味が強い色と混同されやすいことを意味する。
- (4) W（白色点）を通る軌跡上の色はすべて無彩色に見える。

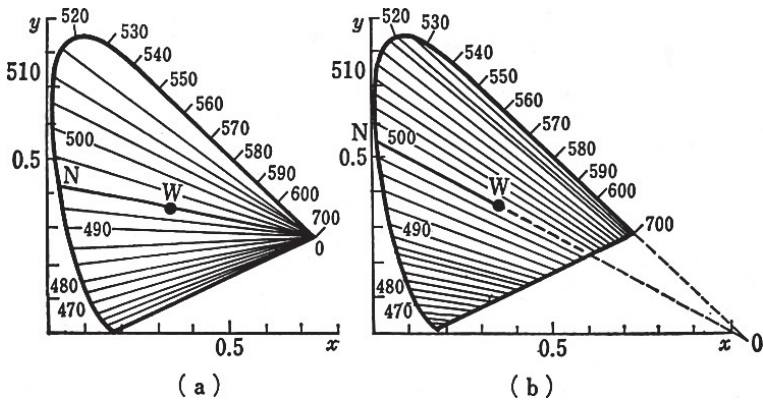


図 11 二色型第 1 (a) および第 2 色覚 (b) の混同色軌跡 (Pitt, 1935)

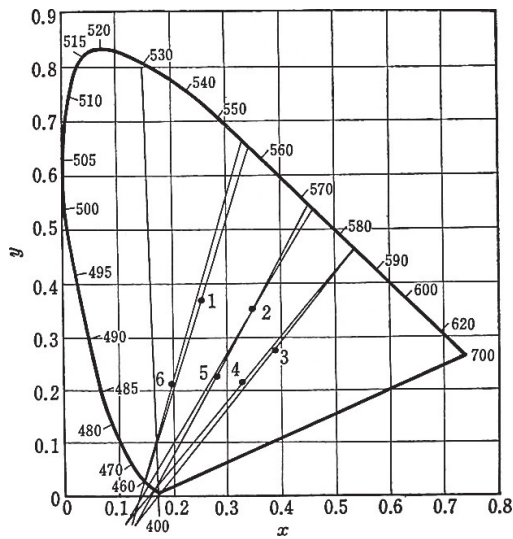


図 12 二色型第 3 色覚の混同色軌跡 (Wright, 1952)

- (5) これらの軌跡から、第 1 色覚、第 2 色覚ともに、中性点から上の色については、どれか 1 つの色に青色を混ぜると混同色軌跡から外れ、一方中性点から下の色についてはどれか 1 色に黄色を混ぜると軌跡から外れ、識別しやすくなると考えられる。

(6) 第3色覚の軌跡は、左下（青）から右上（黄色）へと向かう軌跡となる。したがって彼らは青と黄色の識別が困難である。

(7) この場合、中性点より長波長部では1つの色の赤を、短波長部では緑を加えると混同色軌跡から外れ、より識別しやすくなると考えられる。

5. 一色型色覚

前述したように、一色型は色の区別が困難である。しばしば残存する視細胞の種類によっても、錐体一色型と杆体一色型に分けられる。錐体一色型はさらに R-、G-、B- 錐体一色型に分けられるが、いずれも色の弁別は困難である。

杆体一色型の特性を表5に示す。表中1から5までは杆体の特性である。錐体一色型は6だけが共通している。

6. 検査法

色覚検査にはいろいろな方法がある。最も簡便なものは仮性同色表（pseudo isochromatic color plate）と呼ばれる方法である。代表的なものには主に第1と第2色覚の検出に用いられる石原式と呼ばれるものであ

表5 杆体一色型異常の主な特徴

- | |
|---------------------------------|
| 1. しばしば中心窩暗点（foveal scotoma）がある |
| 2. 眼球振盪（nystamus）を伴うことがある |
| 3. photophobia（嫌光症）である |
| 4. 一般に視力は低い（せいぜい 20/200） |
| 5. 視感度曲線は暗所（杆体）視感度曲線である |
| 6. 色の弁別は不可 |

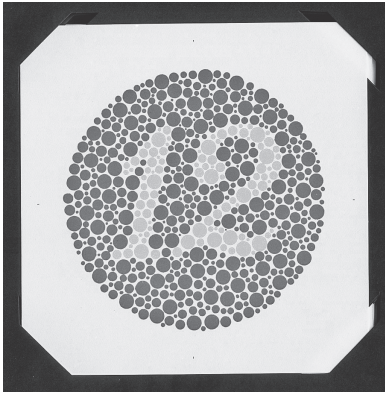


図 13 石原式仮性同色表の 1 つ

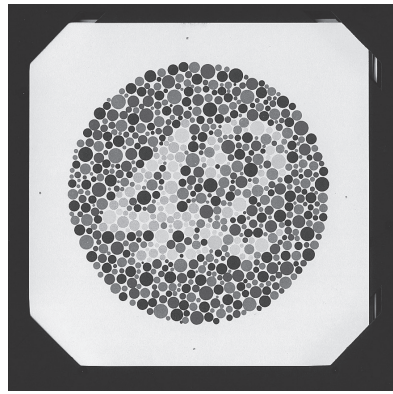


図 14 同

る。仮性同色表とは「間違えて（区別できずに）同じ色に見えてしまう表」という意味である。その例を図 13 に示す。残念ながら本誌はカラー印刷ではないので色については分からないが、数字の 12 はオレンジ色、背景の円はほぼ等明度の水色である。このパターンは三色型だけでなく、第 1、第 2 の人たちも読める。それは上の混同色軌跡の項で触れたように、青と黄色のパターンだからである。

ところが図 14 のように（再び本誌では黒白だが）、背景の円は無彩色、数字の 4 は黄赤、数字の 2 は赤紫色になると、第 1 色覚には 2 に、第 2 色覚には 4 と読まれる。それは前述したように、第 1 と第 2 色覚の混同色軌跡の傾きが異なり、前者は緩やかで中性点と黄赤に近い赤と結ばれているのに対し、後者は傾きが急で中性点と赤紫色が結ばれているためである。

図 15 に仮性同色表の原理を示す。また図 16 は Farnsworth-Munsell 100 Hue Test の原理である。どれも混同色軌跡から色刺激を選んでいることが分かる。

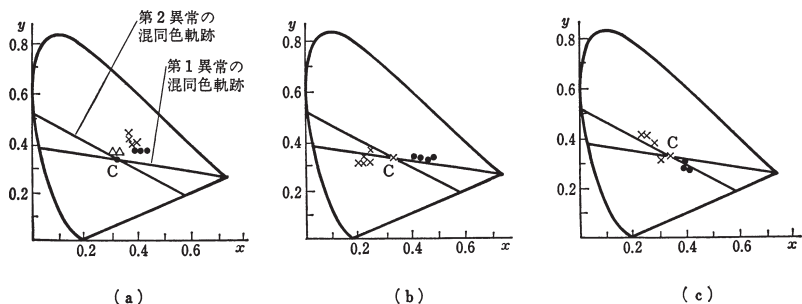


図 15 仮性同色表の原理 (田辺ら、1979)

石原表 (4 類表) (a) および大熊表 (第 1 異常用) (b)、同 (第 2 異常用) (c) の図 (数字等) および背景の色度。いずれも・印が図、×印が背景の色度である。△は検出力を高めるためのマスキング刺激の色度である。

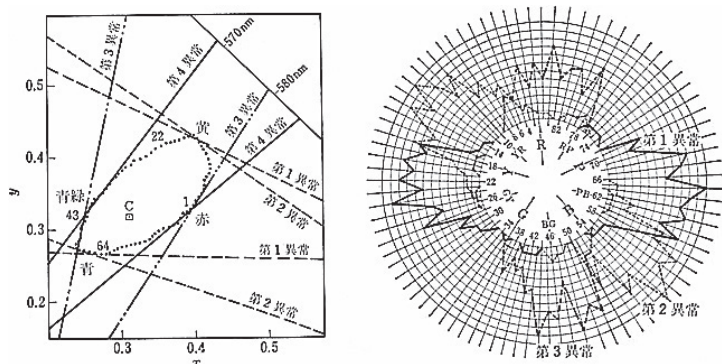


図 16 Farnsworth-Munsell 100 Hue Test の原理 (左) と結果の表記

7. カラーユニバーサルデザイン (CUD) の構築に向けて

7.1 実態と解決策

(1) 緑地に赤の文字の配色

赤色と緑色の混同が生じる。地図上で高速道路を示す緑色を水色に変えたバージョンを作成し、必要に応じて切り替えられるようにした (昭文社 図 1)。このように文字通りのユニバーサル

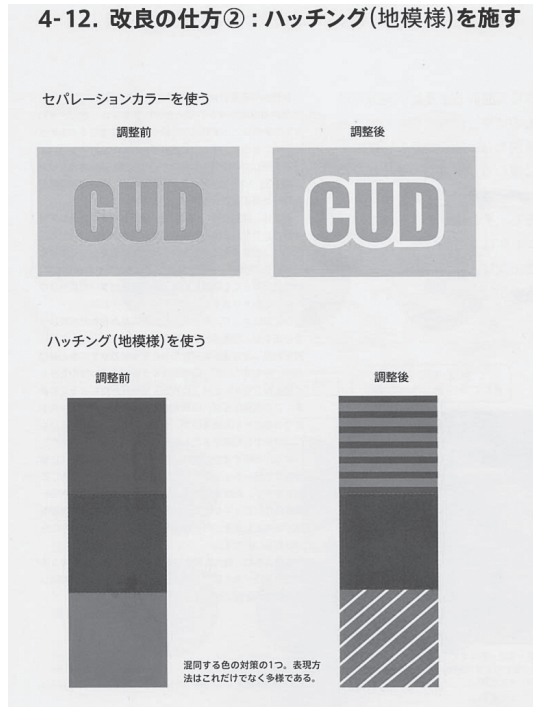


図 17 白い縁取りと地模様による解決 (CUDO、2009)

化が難しい場合には複数の選択肢を設け、必要に応じて選択できるようにすることが推奨される。

(2) 家電製品または事務機に使われる LED の色

二色型の人には紙媒体よりも光の方が見分けにくいようである。コピー機では従来「スタンバイ」と「OK」の区別をボタンの色を赤から緑に変えることによって知らせてきたが、これが分かりにくい。そこで2つのボタンにした(リコー)(図1)。富士ゼロックスでは音声案内ガイド装着も製品化している。

(3) 見分けにくい色には白い縁取りを設けたり、グラフでは項目ごとに斜線などの異なったパターン(地模様)を用いた(埼玉県)。

4-15. 改良の仕方⑤：補助情報を入れる

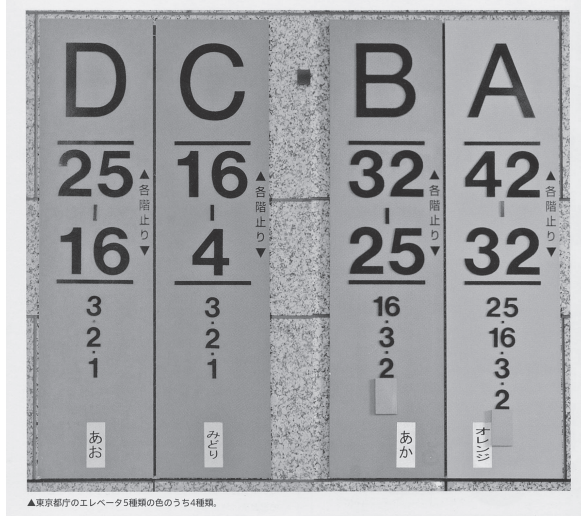


図 18 赤地に黒（またはその逆）は分かりにくい（右から2番目）（CUDO, 2009）

その効果を図 17 に示す（CUDO, 2009）。

- (4) 原材料や調理法などの説明を黒色で印刷したり、絵を使った加工食品を販売（キューピー）（神奈川新聞 2007 年 3 月 5 日）。
- (5) 「重要事項を赤で記す印刷物が多いが、私には分からない」という 40 代の会社員（同）。これは第 1 色覚で、長波長部における感度の低下から赤と黒の区別がつかないケースである。赤に黄色を混ぜてオレンジ色にすると見分けやすくなる。図 18 では右から 2 番目が分かりにくい（CUDO, 2009）。解決策として文字情報を入れることが考えられる
- (6) 二色型の子供でも識別できる赤や青のチョークの開発（日本理化学工業、川崎市）。背景が黒板であれ、「緑板」であれ、赤いチョ

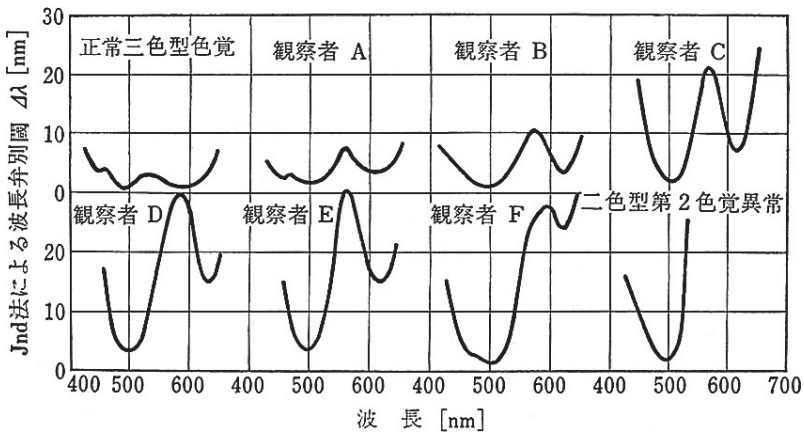


図 19 三色型とさまざまな程度の二色型第2色覚の波長弁別曲線（三星、1995）

ークの色は分かりにくい。こうした教育の現場はカラーユニバーサルデザインが活かされる有望な現場である。

7.2 提言

上に述べてきた人間の色覚特性から、以下のような提言を行いたい。

- (1) カラーユニバーサルデザインとして、用いる色の色相や彩度だけの工夫によって解決するのは難しい。それは色覚の型がマクロ的には離散的でも、ミクロ的には連続的であるからである。図 19 は三色型からさまざまな程度の二色型第2色覚における波長弁別曲線である。どこで線引きをしたら良いか分からない。
- (2) しかしどこまでも色相や彩度を調整してユニバーサル化を図らなければならないとすれば、上に述べたように、1色に黄色または青色を加えて、各色覚型の混同色軌跡から外すことであろう。
- (3) 何といっても重要なのは、明度情報の活用であろう。明度情報はすべての人が利用できる情報であり、また外界または物体の認知という点では色の情報よりもはるかに強力である（三星、1995）。

したがってこの明度情報（明暗のコントラスト）を活用するのは極めて有効である。

(4) 文字情報や音声情報あるいは位置情報（交通信号機）を活用する。

注

- 1) この報告は A・F・T（全国服飾教育者連合会）主催の講演会における内容の一部を修正したものである（2010 年 6 月 12 日東京、同 19 日大阪）。
- 2) 現在はメディアユニバーサルデザイン（MUDO）と呼ばれる。

引用文献

A・F・T 色彩検定 1 級、2 級、3 級公式テキスト。

CUDO（2009）『カラーユニバーサルデザイン』。

大日本印刷株式会社 UD 推進委員会（2008）DNP のユニバーサルデザインへの取り組み。

石原式色覚検査表（国際版）

神奈川新聞、2007 年 5 月。

浜松市 UD 担当 『ユニバーサルデザインのこと もっと知りたい!』

三星宗雄（1995）色覚、（川上元郎・太田登・富家直編）『色彩の事典』、p159-220、朝倉書店。

三星宗雄（2011）ユニバーサルデザインはどこにある、神奈川大学人文研究所報 45、1-21。

人間工学会（編）（2003）『ユニバーサルデザイン実践ガイドライン』、共立出版。

日本色彩研究所編（2005）『色のスライド』、第 1 巻。

NPO カラーユニバーサルデザイン機構 『CUDO』、2009 年 6 月発行。
読売新聞、2007 年 7 月。

（図表の出典元は三星、1995 参照）