

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

Dichromatic spectacles for color universal design

## 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

**Dichromatic spectacles for color universal design**

宮澤 佳苗

Kanae Miyazawa

伊藤光学工業株式会社

Itoh Optical Industrial Co.,Ltd.

中内 茂樹

Shigeki Nakauchi

豊橋技術科学大学情報工学系

FacultyDepartment of Information & Computer Sciences,Toyohashi University of Technology

篠森 敬三

Keizo Shinomori

高知工科大学工学部情報システム工学教室

Department of Information Systems Engineering, Kochi University of Technology

## 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

## Dichromatic spectacles for color universal design

宮澤 佳苗	Kanae Miyazawa	伊藤光学工業株式会社	Itoh Optical Industrial Co.,Ltd.
中内 茂樹	Shigeki Nakauchi	豊橋技術科学大学情報工学系	
		Department of Information & Computer Sciences, Toyohashi University of Technology	
篠森 敬三	Keizo Shinomori	高知工科大学工学部情報システム工学教室	
		Department of Information Systems Engineering, Kochi University of Technology	

### 1. はじめに

私たちは人工的にデザインされたモノに囲まれて暮らしており、それらはたいてい「若くて健康で右利きの男性」が使うことを想定して作られている<sup>1)</sup>。20世紀の大量生産方式が生み出したこの画一的なユーザー像により、その枠に当てはまらないユーザーは不便を強いられることとなった。バリアフリーとは現存するこうした不便を取り除こうという考え方であり、ユニバーサルデザインとはあらゆるユーザーを想定して最初から不便がないように機器、建築、空間、サービス等を設計しようとする考え方である。

前述の枠に当てはまらないユーザーとして、高齢者、子ども、車椅子利用者等がすぐに思い浮かぶが、外見ではわからない特性を持つ人もおり、対応は容易ではない。最近では、その特性を自ら公表し、周囲に配慮を求めるケースもある。お腹の目立たない妊娠初期の女性が、優先席で配慮を求めるためマタニティマークを身につけるのがその一例である<sup>2)</sup>。

一方、特性を公表することが難しく、周囲の知識も充分ではないため対応が遅れるケースがある。特定の色の見分けを苦手とする色弱者<sup>\*1)</sup>に対する配慮「カラーユニバーサルデザイン」は、多様な色覚を持つさまざまな人に配慮して、なるべく全ての人に情報がきちんと伝わるように利用者側の視点に立ってデザインを作ろうとする考え方<sup>3)</sup>で、最近目が向けられるようになってきたが、まだまだ社会に浸透しているとは言い難い。

\*1 現在の眼科学用語では、このような方々はその色覚特性にもとづいて「2色覚者」あるいは「異常3色覚者」と呼ばれるが、本項では文献3、4の考え方に従い両者を「色弱者」と称する。

本稿では、カラーユニバーサルデザインと、我々のグループが開発したカラーユニバーサルデザイン支援ツールとしての色弱模擬フィルタ「バリエントール」について紹介する。

### 2. カラーユニバーサルデザイン

#### 2.1 カラフルな現代社会

近年、色はますます重要な情報伝達手段になっている。カラー印刷技術の発達により、白黒だった教科書や新聞が当たり前のようにカラーになり、路線図や時刻表では線や文字がさまざまな色で塗り分けられるようになった。病院等の公共施設や展示会場ではエリアごとに色分けされている。私たちも学会の発表スライドやポスターを作るとき、色を使って美し

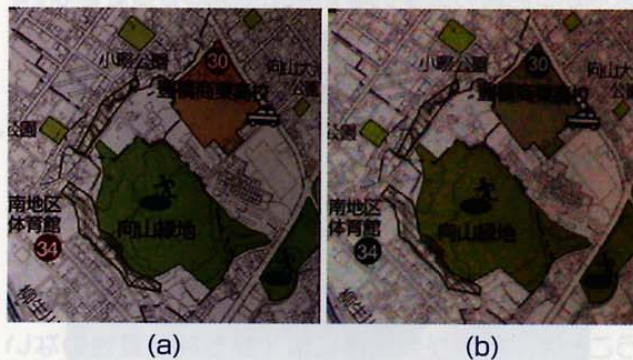


図1: ある自治体の防災地図。(a)一般色覚者、(b)色弱者の見えをシミュレートしたもの。上部の高校(橙色)は食料配布所、下部の緑地(緑色)は一時避難所であるが、(b)では区別しにくいことがわかる。(印刷の関係上、表示された色は必ずしも正しくない)

く見栄えの良いものに仕上げる。白黒ではみすぼらしく見える時代である<sup>3)</sup>。

これらのカラフルな表示は、一般的な色覚の人には見やすいように設計されていることが多いが、一方では図1に示す防災地図のように色弱者が情報を読み取りにくく不便を感じるケースも増えている。これは、一般色覚者には十分に区別可能であっても、色弱者にとっては区別するのが困難な「混同しやすい配色」が使用されているためである。色で情報を伝える世の中になって、色弱者にとっては逆に暮らしにくくなっていると言える。

## 2.2 色覚の多様性<sup>4)</sup>

色弱が生じるのは、ほとんどの場合、遺伝的な理由による。人間の網膜には、分光感度の異なる3種類の錐体、すなわちL錐体、M錐体、S錐体がある。その3種を組み合わせた反対色信号(L錐体信号-M錐体信号など)を作ることにより、光の分光的特徴をおおよそ求めることが出来る。これを人間は色として知覚している。

3種類の錐体のうち、1種類が他の錐体とほとんど同じ、あるいは全く同じ感度を持つ場合があり、反対色信号をうまく構築できなくなる。これが色弱である。L錐体が機能していない場合をP型(1型)、M錐体の場合はD型(2型)、S錐体の場合はT型(3型)と呼ぶ。P型かD型の場合がほとんどである。程度には個人差があり、どの錐体が機能しないかによって特定の色の組み合わせが、見分けづらくなったり、見分けられなくなったりする。日本人の場合、男性の20人に1人、女性の500人に1人、全国で300万人が該当する。遺伝的理由により女性の色弱者は極端に少ない。またT型には性差はないが10万人に1名程度といわれている。残念ながら色弱の医学的な治療法は見つかっていない。

## 2.3 カラーユニバーサルデザインの実践

以上に鑑み、色覚に関わらずできるだけ多くの人に情報が正しく伝わるように色使いに配慮することが、カラーユニバーサルデザインである。カラーユニバーサルデザインは決して、「一部の色弱者のためだけの特殊なデザインで、一般の人にはむしろ見にくいもの」ではない。色弱者に配慮してデザインするということは、色数が無秩序に増えがちで一貫性のない色彩設計を一から吟味しなおし、伝えたい情報の優先順位を考え、情報の受け手が感じる印象や心理を考慮しながらデザインをするということである。創り手の美意識や感性だけでなく、利用者の視点に立って使いやすさを追求したデザインである。これは結果とし

て、一般の人にとっても「整理された見やすいデザイン」になる。カラーユニバーサルデザインは色弱者のためだけでなく、全ての人に価値あるものといえる<sup>3)</sup>。

カラーユニバーサルデザインの実践は、段差にスロープを付けるといった対応とは異なり、敷居が高いと感じる人が少なくない。なぜなら、色弱者にとってどの配色が見分けにくいのか、どのような場面で不便を感じるのか、一般色覚者には想像しがたいからである。カラーユニバーサルデザインを実際に行うためには、色弱者の感ずる色をパソコン上でシミュレートするソフトウェア<sup>5-7)</sup>やハードウェア<sup>8)</sup>、色弱を疑似体験するメガネ<sup>9)</sup>、色弱者本人によるチェック<sup>3)</sup>等をうまく使い分け、問題の所在を明らかにした上で、配色を工夫する等の対応が必要である。

次章では、カラーユニバーサルデザインを支援するツールの1つである、筆者らが開発した色弱模擬フィルタ「バリエーション」を紹介する。

## 3. 色弱模擬フィルタの開発

### 3.1 開発の指針

色弱模擬フィルタは、「一般色覚者(3色覚者)がそれを通して見るだけで、色弱者(ここでは2色覚者)にとっての色判別の不自由さが体験できるように開発した、色弱疑似体験メガネ」である。色弱者の色の見えかた、すなわち「何色に見えているか(appearance)」を模擬するのではなく、「どの色とどの色が見分けにくいか(discrimination)」を模擬するところがポイントである。

色弱(2色覚)はどの錐体が欠損しているかによって3つのタイプに分類されるが、ここではカラーユニバーサルデザイン支援ツールとして用いることを念頭に、2色覚者の大多数を占める2つのタイプ、すなわちP型強度(1型2色覚)とD型強度(2型2色覚)の両者に見分けにくい配色を、1種類のフィルタで検出できるように設計した。つまり、このフィルタを一般色覚者(3色覚者)がかけた状態とはずした状態で対象物を見たとき、いずれの状態でも見分けにくい配色がなければ、一般色覚、P型強度(1型2色覚)、D型強度(2型2色覚)に加え、P型弱度(1型3色覚)、D型弱度(2型3色覚)も含めたほぼすべての色覚の人に見やすい配色になる。

申し添えると、色弱模擬フィルタはカラーユニバーサルデザイン支援ツールとして用いるために、あえて強度の色弱(2色覚)を模擬するように設計したが、実際の色弱者は約3分の2が弱度の色弱(異常3色覚)である。また、色弱模擬フィルタはP型強度とD

型強度の見分けにくさを加味しており、ある特定の色弱タイプを模擬しているのではない。以上のことから、フィルタを装着した一般色覚者のほうが実際の色弱者よりも、より見分けにくさが増すと考えられる。

### 3.2 フィルタの設計

色弱模擬フィルタの分光透過特性は、図2に示すように、一般色覚者がフィルタを通してある色群を見た場合と、色弱者が同じ色群を見た場合の、全ての色の組み合わせに対する色差を計算し、これらの色差マトリクスの類似度を表す評価量を最大化するよう最適化計算により求めた<sup>10)</sup>。色群にはPanel D-15テストよりリファレンスキャップを含めた16色、照明光にはD65光源を用いた。

フィルタ設計過程の概要は以下の通りである。

[STEP 1] フィルタのモデル化

→設計を効率化するため、フィルタの分光透過特性をパラメータで記述

[STEP 2] カラーアピアランスの計算<sup>11)</sup>

→一般色覚者、色弱者の知覚する色をそれぞれ計算

[STEP 3] 色群間の色差の計算

→16色すべての組み合わせについて計算

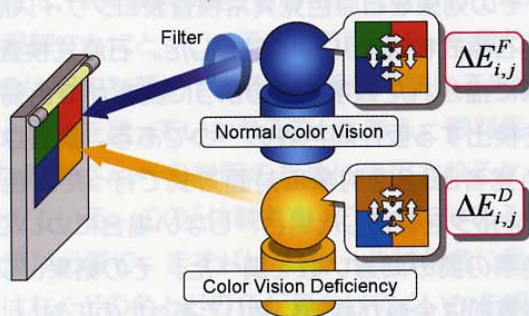


図2：フィルタ設計法

[STEP 4] 評価関数Eを計算

$$E = - \sum_{i,j=1 \leq i < j \leq N} \frac{|\Delta E_{i,j}^D - \Delta E_{i,j}^F|}{\Delta E_{i,j}^D + \varepsilon}$$

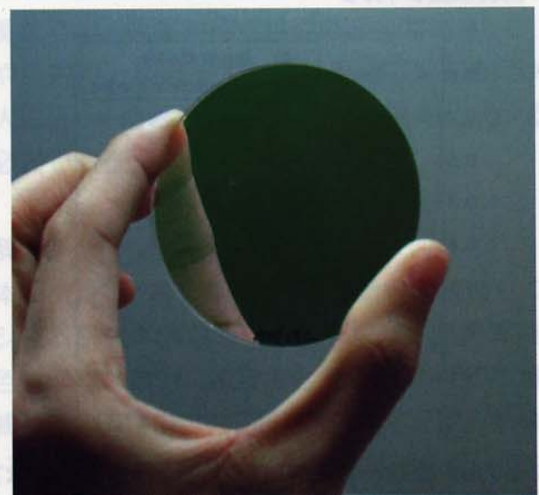
ここで、 $\Delta E_{i,j}^F$ は一般色覚者がフィルタを通して色群を見たときの色差、 $\Delta E_{i,j}^D$ は色弱者が同じ色群を見たときの色差、 $\varepsilon$ は計算の発散(ゼロ割)を防ぐための正の小数であり、ここでは本手法を実装した計算機のマシンイプシロン( $\varepsilon=2.2204 \times 10^{-16}$ )とした。最適化ループは評価関数Eがある値より大きくなるまで繰り返した。なお、 $\Delta E_{i,j}^D$ は本フィルタの目的より、P型強度・D型強度の色差を比較し、小さいほうを採用した。なお、フィルタ設計の最終的な調整段階では、色群としてD65照明下でのマンセル色票1269色も用いて色差を計算した。

### 3.3 真空蒸着による光学フィルタの実現

理論設計したフィルタの分光透過特性は、真空蒸着技術により光学フィルタとして実現した。フィルタ成膜に先立ち、まず、ガラス基板上に交互に積層する2種の材料・膜厚・膜層数を決定した。専用の光学多層膜シミュレーションソフトウェア(The Essential Macleod, Thin Film Center Inc. USA)を用いて最適化計算を行った結果、膜材料は $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ 、各層の平均膜厚は約100nm、計30層程度積層することで、理論設計に近似した分光特性が得られた。その後、図3(a)に示す真空蒸着機を用いて実際に蒸着を行った。ここでは、高温環境・高温高湿度環境においても分光特性がシフトしない、シフトレス膜の成膜に用いられるイオンビームアシスト蒸着(Ion-beam Assisted Deposition : IAD)法<sup>12)</sup>を用いた。IAD法とは、材料の付着強度や膜質を良くするために、真空蒸着の成



(a)



(b)

図3：(a)真空蒸着機 (b)作製した光学フィルタ

膜プロセス中に、電氣的に加速させたAr、O<sub>2</sub>等のガスイオンをイオン銃で基板にたたきつける成膜法である。IAD法によって得られた膜は、一般に緻密で強度が高く、平滑になる利点がある。安定した膜構造が得られることから、温度・湿度に対する耐環境性能が向上し、物理的な強度が得られ、さらには高精度な膜厚制御が可能となることが知られている。欠点は、通常の真空蒸着装置よりも設備コストが高いことや、要求する性能にもよるが成膜時間が通常の2～3倍となることが挙げられる。

作製した光学フィルタ(図3(b))は、専用のメガネフレームにはめ込み、容易に装着できるようにした(図4)。本フレームの特徴は、(1)視力矯正用メガネの上から装着できるオーバークラスタイプであること、(2)顔の大きさや鼻の高さによってツルや鼻パッドを付け替えられること、(3)フィルタ機能を最大限発揮するよう外光の入射を防ぐ構造であること、である。

### 3.4 フィルタの評価

まず、理論設計したフィルタの特性を評価した。図5は、白色点を中心とする色相の異なる12色について、フィルタを透過する前・後の色度値をそれぞれ○・△としてxy色度図にプロットしたものである。一般色覚者に見分けられる色が、フィルタをかけるこ



図4: 色弱模擬フィルタ

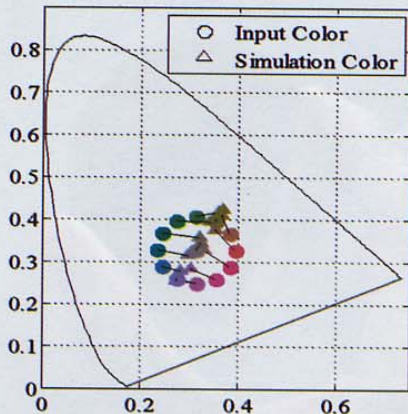


図5: フィルタ透過前後における色度値の変化。○はフィルタ透過前の色度、△は透過後の色度を表す。

とにより混同すること、色の見えは特定の色相(黄-青)に偏ることが読み取れる。また、白色点はフィルタ透過後もほぼ移動せず、白色を保持している。このことは、フィルタ装着による目への負担を軽減すると同時に、順応を起こりにくくするためフィルタの効果を持続させるメリットがある。

図6は、白色点と色度図上の任意の点の色差が、フィルタリングによってどのような値をとるか可視化したものである。データは印刷物など物体色の色域内の色を対象にしており、混同色線は実線がP型、破線がD型である。白丸で示す白色点から離れるにつれ、色差は0～5、5～10、10～20と増加していくことがわかる。また、等色差の領域は楕円様の形状を描いており、その傾きから、P型とD型の間中間的な特性であることが読み取れる。このことは、一般色覚者がフィルタを装着することによって色弱者の色弁別特性が体験でき、その混同色線の傾きはP型とD型のあいだを通ることを示している。

なお、このフィルタは印刷物などの物体色に対して性能を発揮するが、LEDのように極端に狭帯域で演色性の低い光に対しては、完全に性能を保証することは難しい。

最後に、作製したメガネ型色弱模擬フィルタを装着し、その効果を石原色覚異常検査表コンサイス版(以下、石原式検査表)により評価した。石原式検査表は、色票に描かれた数字をどのように読むかで色弱の傾向を検出する仮性同色表の一つである。調査は、一般色覚者88名を対象に対面方式で行った。色弱模擬フィルタを装着した場合、しない場合について9枚の色票の読み間違い数を調べた。その結果、フィルタ装着前は全員が間違い数0であったのに対し、フィルタ装着後は間違い数が大幅に増加した(図7)。また、視力矯正眼鏡の上から装着してもフィルタの効

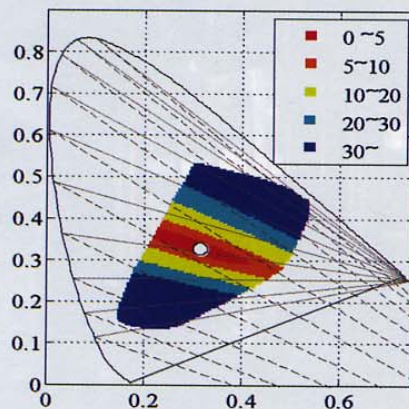


図6: フィルタ透過後の色差楕円。中央の白色点と色度図上の任意の点との色差を5段階で表す。

果が減少することはなかった。石原式検査表の成績判定表に基づいて閾値を決めたところ、全被験者が間違い数4以上で色弱と判定された。

#### 4. 使用例

色弱模擬フィルタ「バリエーション」は現在インターネットで入手可能である<sup>9)</sup>。開発して以来、「誰がどのように使っているのか」というご質問をよくいただく。そこで、以下に使用例をご紹介します。

まず始めは「研究用」である。色覚の仕組みを知っている人ほど色弱を模擬するフィルタは実現不可能、と考える。実際、色弱を模擬する光学フィルタの開発はこれが世界で初めてであった。そのため、大学や研究所等の方が研究目的で使用されている。

次に、「カラーユニバーサルデザイン実践用」である。カラーユニバーサルデザインは安全・安心にもつながるため、家電、自動車、航空、印刷、出版、広告、マスコミ等々、幅広い分野の方が比較的早い次期に導入された。企業の社会的責任(CSR)を果たすことに加え、ブランドイメージ向上も魅力のひとつである。子どもの教材や家電のデザイン、CSR報告書や自治体の街づくりなどに活用されている。

最後に、「体験共有用」である。色弱のお子さんを持つ親御さんにとって、子どもの目でモノを見たいというのは切実な願いである。ご両親で訪ねて来られ、切々と思いを語っていかれることもある。眼科医がこうした親御さんへの説明のために使用されるケースも増えている。この「体験共有」の場合にはある程度の注意が必要で、まずバリエーションは何色に見えるかではなくどの色とどの色が見分けにくいかを模擬している点と、さらに3.1章でも記したようにバリエーションをかけて体験する色彩世界は「強度」の色弱であ

り、しかもP型とD型の複合型である点である。この点をご理解いただければ、体験共有に十分使用できると考えている。

最近では、小中学校の先生に色弱について正しい知識を持ち、教育環境に配慮してもらうための勉強会も開いている。色弱者への配慮は、学校の配布物や掲示物にカラーユニバーサルデザインを取り入れる「ハード面」だけでなく、色弱者がどのような場面で不便さを感じるのか、色を使ったコミュニケーションを苦手とすることなどを実際に体験し気持ちを共有する「ソフト面」が大切である。学校の先生には特に、色弱者のほうが一般色覚者よりも見分けを得意とする配色があること等を知っておいただくと、色弱をひとつの個性として捉えることができ、ひいては社会が成熟していくのではないかと考える。

#### 5. おわりに

最後に1つのエピソードを紹介したい。このフィルタを紹介していた展示会にて、「色弱を模擬するメガネを作って何の意味があるのか」という色弱の方からのご意見を伺う機会があった。しかし趣旨を充分にご理解いただくと、「そういうことなら是非がんばってください、応援しています」と言って頂いた。そんな経験がこの1年で何度もあった。ユニバーサルデザインの原点は、相手の立場に立って考えることである。カラーユニバーサルデザインを普及させるためには、シミュレーションソフト、ディスプレイ、メガネ等、色弱者の立場に立つことを助けるツールを、目的に応じて使い分けことが望ましい。今回紹介した色弱模擬フィルタも、カラーユニバーサルデザインの普及・推進の一役を担うことができればと願ってやまない。また、視覚のユニバーサルデザインという観点では、色弱対応だけでは充分ではない。高齢者や白内障、視野狭窄などを含め、できるだけ多くの人に正しく情報が伝わるデザインを考え続けることが必要であろう。

#### 謝辞

本研究は、平成17年度経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業(17C4020「光学薄膜技術と色覚理論の融合による機能性分光フィルタの開発」、豊橋技術科学大学 中内研究室、伊藤光学工業株式会社、高知工科大学 篠森研究室、株式会社サイエンス・クリエイト(管理法人))として実施されたものである。

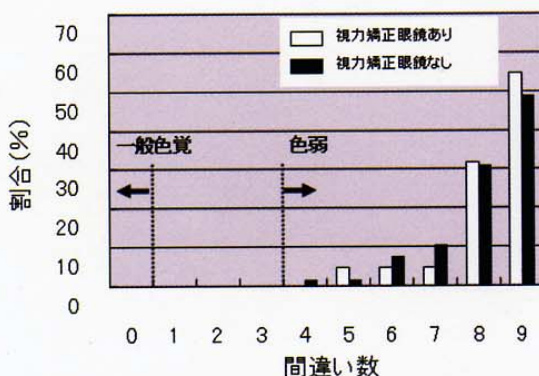


図7：石原式検査表の結果(間違い数の分布)。被験者は88名。

また論文作成においては、日本私立学校振興・共済事業団から私立大学等経常補助金の特別補助によって一部援助を受けた。

参考文献

(1) 中川聰, ユニバーサルデザインの教科書(増補改訂版), 日経BP社, pp.56-57(2005).  
 (2) 厚生労働省: マタニティマーク, [http://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/03/h\\_0301-1.htm](http://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/03/h_0301-1.htm)  
 (3) NPO法人カラーユニバーサルデザイン機構, <http://www.cudo.jp/>  
 (4) 篠森敬三, 色弱(先天色覚異常)(内川恵二, 篠森敬三(編集), 視覚I), 朝倉書店, 176-186(2007).  
 (5) Vischeck, <http://www.vischeck.com/>  
 (6) UDing, <http://www.toyoink.co.jp/ud/>  
 (7) カラー UDパレット, [http://www.chiri.com/plugx\\_colorudpalette.htm](http://www.chiri.com/plugx_colorudpalette.htm)  
 (8) 色覚シミュレーションディスプレイ, <http://www.eizo.co.jp/products/u/>

(9) 色弱模擬フィルタ「バリエントール」, <http://www.variantor.com/>  
 (10) Miyazawa K., Onouchi T., Oda H., Shinomori K., Nakauchi S., Functional spectral filter optically simulating color discrimination property of dichromats, in Proceedings of 29th European Conference on Visual Perception: ECVP2006 (St.Petersburg, Russia), Perception 35 Supplement, pp. 197-198 (2006).  
 (11) Brettel H., Vienot F., Mollon J. D. Computerized simulation of color appearance for dichromats. Journal of the Optical Society of America A, Vol. 14, pp. 2647-2655 (1997).  
 (12) 小倉繁太郎, 生産現場における光学薄膜の設計・作製・評価技術, 株式会社技術情報協会, 90-95 (2001).

