

カラーユニバーサルデザインのための 色弱シミュレーション

中内茂樹

Simulation of Color-Vision Deficiency for Color Universal Design

Shigeki NAKAUCHI

Color-vision deficiency is a relatively common genetic condition, which often leads to the obstruction of necessary information in colored images. It is important to minimize such inconvenient effects in communication using colored images. This article summarizes simulation method of color-vision deficiency for color universal design, which helps us to detect color combinations in a given image that would confuse color dichromats, and to modify them to make the image easily distinguishable for both normal and dichromatic observers.

Key words: color vision deficiency; color universal design; simulation

色情報は対象物を区別するため、また観察者の注意を引き付けるための効果的な視覚属性である。テレビ、プリンターなど、ほぼすべての視覚メディアはカラー対応となり、それに伴って、Web ページや書類中のグラフ、図などがカラー化されている。しかしながら、色情報を用いることは、必ずしもすべてのユーザーに対してアクセシビリティを上げることにつながるとは限らない。特に、色弱者に対しては、むしろ色情報を用いることによって伝えるべき情報の伝達が妨げられる場合があることは、驚くほど知られていないのが現状である。

私たちの色覚は、光を感受する視細胞のうち明所視で働く3種類の錐体細胞に始まる。それぞれ、短波長帯(約420 nm)、中波長帯(約530 nm)および長波長帯(約560 nm)に最大感度をもち¹⁾、通常、S (short-wavelength) 錐体、M (middle-wavelength) 錐体、L (long-wavelength) 錐体とよばれ、網膜に照射された光はこれら3種類の錐体応答として視覚系に取り込まれることになる。私たちが任意の色を赤、緑、青の3原色で等色できるのは、錐体応答さえ同じにすることができれば、分光的に異なってもそれらを区別できないためである。

色弱は基本的には錐体(正確には錐体視物質)の欠損で

説明される。3種類のうち1種類の錐体が欠損した2色覚(dichromatism)は、欠損した錐体の種類によって分類され、L錐体が欠損した色覚は1型2色覚(protanopia)、M錐体欠損は2型2色覚(deutanopia)、S錐体欠損は3型2色覚(tritanopia)とよばれる。一般にはあまり知られていないが、色弱(2色覚および異常3色覚を合わせて)はきわめて高い頻度で生じる。例えば日本の場合、男性の約5%が、また北米あるいは欧州では8%が色弱といわれている²⁾。日本全体で見れば約300万人もの色弱者が生活している計算になる。なお、色弱のうち、そのほとんどが1型ないしは2型(総称としてred-green color vision deficiency、赤緑色覚異常とよばれる)であり、3型は全体の0.001%程度である。このことから、色弱者はいわゆる異常や障害ではなく、色覚タイプの一つであるという考え方、および色覚タイプによらず情報を適切に伝えるカラーユニバーサルデザインの重要性³⁾が理解されよう。

本稿では、今日のカラーユニバーサルデザインに対する関心のきっかけともなった色弱シミュレーション技術について概説する。あまりに日常的な「色」という存在に対し、一般と異なる色弱という色感覚を理解することは意外と難しい。色弱者が日本に300万人以上もいることが一般

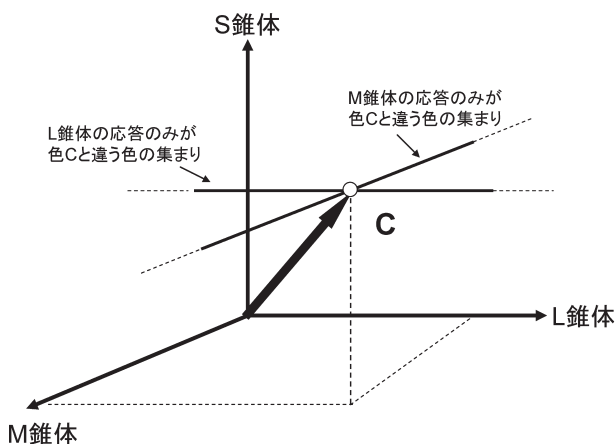


図1 錐体応答と混同色線.

にはあまり知られていないことも、そのことを物語っている。カラーユニバーサルデザインが正しい理解のもと普及・認知されるためにも、色弱とそのシミュレーション原理を理解することは重要であり、本稿がその一助となれば幸いである。

1. 色弱と混同色

2色覚は錐体欠損により特定の色の組み合わせを区別することが3色覚に比べて難しい。3種類の錐体をもつ3色覚の場合、色はS、M、L錐体応答の組み合わせで表される。これを図1に示すようにLMS錐体応答を軸とする三次元空間内のベクトル C として表現しよう。この C に対して、例えばL錐体の応答のみが変化する色はちょうどL軸と平行な直線を形成する。同様にM錐体の応答のみが変化する場合はM軸と平行な直線上に位置する。これら直線上の色群はL錐体あるいはM錐体が欠損した色覚には区別できず、すべて同じ色に見えることになる。こうした直線を混同色線 (color confusion line) とよぶ。したがって、2色覚者にとって色は二次元平面上の1点として表されることになり、2つの原色の混色によって、あらゆる色と等色することができる。

2色覚者にとって区別できない色を表すLMS錐体空間の直線は、それと線形関係にあるCIEXYZ色空間においても直線を形成する。その射影平面であるxy色度図において混同色軌跡を示したものが図2である。1型および2型は欠損する錐体が異なるものの、およそ550~560nmあたりの緑から長波長側の赤色に至る単色光については、いずれの色覚タイプに対してもちょうど混同色線上に乗っており、これらの色の違いを区別することが難しく、赤緑色覚異常とよばれる所以である。したがって、最近使われることが多いLED光源の場合、携帯電話やノートPCの

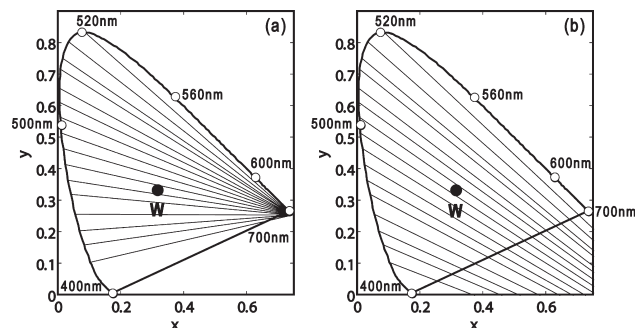


図2 混同色軌跡。(a) 1型2色覚 (protanopia), (b) 2型2色覚 (deuteranopia).

充電の状態を表すために使われている赤、オレンジ、緑などは、色弱者にとっては区別することは難しい色の組み合わせとなっていることがわかる。ただし、1型 (L錐体欠損) と2型 (M錐体欠損) では輝度特性に違いがあり、L錐体欠損の1型2色覚の場合は長波長側の感度が一般色覚に比べて低下することが知られている。

2. 色弱シミュレーションの原理

2.1 色弁別と色の見え

混同色線は、色弱者にとってどのような色の組み合わせが見分けにくいのか、という情報を提供している。しかし、「色弱者はどのような色彩世界を見ているのだろうか」という素朴な問題と混同されやすいことも事実である。混同色線からは例えば赤と緑は色弱者にとっては区別しにくく、同じような色に見えることはわかるが、何色に見えるのかはわからない。一般色覚者にも色弱者にとっても区別しやすい配色を提供するという観点からすれば、混同しやすい色についての情報で十分であるように思われるが、色に関する情報はしばしば色名を伴って提供されることもあり、色の弁別に加えて色の見えの情報も有用である場合が多い。

色弱者の色の見えを「体感」するためには、色弱者の感じている色を一般色覚者の感じている色、すなわち色彩値に変換する必要がある。しかし、このことは予想以上に根源的な問題と関連している。色弱者の色の見えをシミュレートするためには、一般色覚者の感じる色の範囲、すなわちCIEの色空間内において、色弱者の感じた色と「主観的に等価な」色を見つけないといけない。したがって、「主観的に等価」であることを判断する観察者が、色弱者の色と一般色覚者の色を「同時に」感じ、比較することができなければならない。したがって常識的に考えれば、そもそも色弱者の色の見えをシミュレートすることは不可能である。

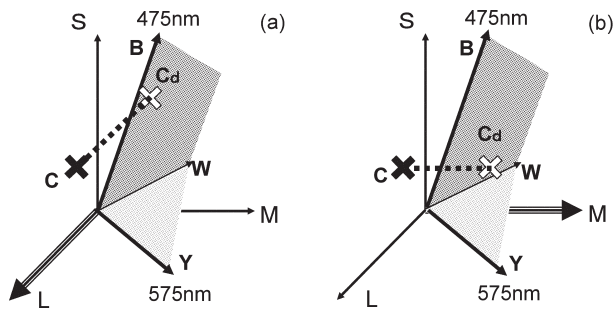


図3 色弱シミュレーションの原理. (a) 1型2色覚 (protanopia), (b) 2型2色覚 (deutanopia).

しかしながら、同一人物が一般色覚者と色弱者の色の見えを比較することが可能な例が存在する。それは片眼だけが色弱の場合 (unilateral color blindness) であり、かなり古くからその存在が報告されている⁴⁾。一般色覚の眼には連続スペクトル光が連続的に変化する7色に感じられるが、1型あるいは2型の色弱眼には青色から黄色に変化しているようにしか見えないという⁵⁾。さらに、青から黄に切り替わるあたりの波長の光に対しては色は感じず、白っぽい太陽光のように感じられる。こうした点は中性点 (neutral point) とよばれ、一般色覚にはみられない現象である。

この中性点については、先に述べた混同色線の結果とも符合する。図2を見ると、白色点を通る混同色線がスペクトル軌跡と交わる点があり、1型2色覚と2型2色覚でわずかな波長の違いがある。ここが中性点であり、白色と区別できないところが連続スペクトル光に存在することと対応する。先に述べたように、混同色線は「白色点と中性点は区別できないほど似た色である」ということを示しているだけであり、「何色に見えているか」という問題には一切答えていない。例えば、中性点も白色点も同様に (一般色覚者のいうところの) 黄色に見えているかもしれない。それは混同色線のみからではわからないのである。片眼が一般色覚、他眼が色弱という観察者の存在によって初めて、連続スペクトル上の中性点も白色点も同様に白色に見える、ということがわかったのである。

さらに一般色覚の眼と色弱の眼で色の見え方が変わらない波長があり、それが475 nmあたりの青と575 nmあたりの黄の2点存在する⁴⁾。3種類の錐体に取り込まれた信号は比較的初期の視覚経路で輝度情報と色情報に分けて処理されることが知られており、色情報はさらにL錐体とM錐体のバランスで決まる赤-緑成分と、S錐体とL、M錐体のバランスで決まる青-黄成分のいわゆる反対色成分として伝達されることが知られている。一般色覚と色弱で色の見えが変わらない波長は、ちょうど赤-緑チャンネル

の応答がゼロとなるところであり、一般色覚者にとっても赤も緑もどちらもまったく感じないきわめて純粋な青と黄 (ユニーク青, ユニーク黄とよばれる) を感じる波長とほぼ一致する。したがって、赤-緑成分の信号強度が小さな色弱者であっても、そもそもそのチャンネルの応答がゼロになる波長の光に対しては一般色覚者と同様の色の見え方をすると説明することができる。

2.2 色弱シミュレーションの原理

色弱シミュレーションとは、色弱者の感じた色と「主観的に等価な」色に変換することである。いくつかの仮定を置き、先に述べた観察事実「白, 青 (475 nm), 黄 (575 nm) については一般色覚者と色弱者で見え方が変わらない」を補間するためのモデルとして、現時点で多くの人に受け入れられている Brettel-Vienot-Mollon の方法^{6,7)} について述べる。

先に述べたように2色覚者の感じる色の範囲は、三次元のLMS錐体空間内に二次元の部分空間 (平面) を形成することになる。したがって、一般色覚者の感じる三次元空間内の色ベクトルはすべてこの二次元部分空間へ射影されることになる。色弱者の知覚する色を対応する一般色覚者の色 (すなわち色彩値) へ変換するためには、この射影の仕方を求めればよい。

図3に色弱シミュレーションの原理を示す。まず、白色W, 475 nmの青B, 575 nmの黄Yは一般色覚者と色弱者で変わらない、すなわち、これら3色に対応するLMS錐体空間における色ベクトルは、変換前後で変化しないと仮定する。次に、白色ベクトルWと青ベクトルBで張られる平面と白色ベクトルWと黄ベクトルYで張られる平面を合わせたものを色弱者の感じる色空間である二次元部分空間として規定する。これら2つの平面は、一般色覚者と色弱者が同じ色を知覚する点の集合であり、白色, 青, 黄の点をLMS錐体空間で補間したものとなっている。最後に、一般色覚者が感じる色を表すベクトルCをこの折れ曲がった平面へ射影して色弱者の色ベクトルCdを得る。この際、L錐体が欠損した1型2色覚に対してはCからL軸と平行に、M錐体が欠損した2型2色覚に対してはCからM軸と平行に、この二次元部分空間へ射影した点をCdとする。

CとCdを結ぶ直線上の色は色弱者にとってはすべて混同色であり、これらを区別できないが、「これら光刺激に対してどのような色を見ているか」という問いに対する答えとしてCdを与えており、これは先に述べた unilateral color blind の観察結果を補間して推測したものである。

図4に色相環に対する色弱シミュレーション結果を示す。図4(b), (c)においては、赤色と緑色がいずれも黄色(ないしは茶色)に近い色に変換されており、両者の区別が図4(a)と比較して難しくなっている様子がわかる。また、図4(b)に示す1型2色覚(L錐体欠損)では、赤色が暗く見える様子も再現されている。

変換前後の色 C と Cd は1型, 2型それぞれの混同色線に乗っているため, 1型2色覚者にとっては図4(a)と(b)が, 2型2色覚者にとっては図4(a)と(c)が区別できないはずである。実際に2色覚者にシミュレーション前後の画像を比較してもらえば, 混同色への射影精度については確認することができるが, 2色覚者の「色の見え」がどの程度正しくシミュレートできているかについては, やはり一般色覚と2色覚による感覚を同時に比較する以外に方法はない。とはいえ, このシミュレーション結果も2色覚者の色の見えをまったく反映していないというわけではない。例えば, 色相環の色はおおよそ黄色と青色の2つの色相のみが感じられる点や色みを感じられない点(中性点)が存在する(緑と青色の間, 紫と赤色の間)など, これまでの観察結果を定性的にはよく再現している。もちろん, どの色の組み合わせを区別しやすい/しにくいのかという, カラーユニバーサルデザインを実践するための情報を得るにはきわめて有効である。

3. カラーユニバーサルデザインの支援ツール

3.1 色弱シミュレーションソフトウェア

色弱者にとって区別が難しい配色を見つけ出すことは, カラーユニバーサルデザイン実践の第一歩である。混同色線は確かにそのための情報を提供するが, 実際の対象と図2に示したような混同色線のグラフを見比べながら作業することはきわめて効率が悪く, 事実上不可能であろう。そのためにも色弱者の色の見えをシミュレートした画像は直感的にもわかりやすいし, そもそもカラーユニバーサルデザインの重要性もよく理解できる。

現在, 数種類のシミュレーターが公開されているが, フリーでよく知られているもののひとつにVischeck⁹⁾がある。Webページ上のオンラインデモやPhotoshopプラグインが公開されており, シミュレーションアルゴリズムも先に述べたBrettel-Vienot-Mollon法^{6,7)}に基づくものである。

その他, 研究段階ではあるが, 色弱シミュレーションのみならず, 混同しやすい配色を自動的に検出・修正する手法^{9,10)}も報告されている。例えば, 筆者らが開発したアルゴリズム¹⁰⁾はUDing¹¹⁾というソフトウェアに実装されて

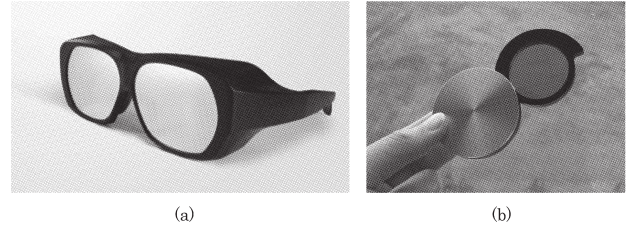


図6 色弱模擬フィルター。(a)眼鏡タイプ, (b)ルーペタイプ。

おり, 元画像中の混同しやすい部分を自動的に検出するとともに, 一般色覚者と2色覚者の双方にとって区別が容易な色に自動的に修正する機能を有している(図5)。

このようなコンピューターシミュレーションによる再現画像を用いる方法は, 当然のことながら再現カラーデバイス, また撮像カラーデバイスのキャリブレーションの精度が十分でなければ正確にシミュレートできないことに注意しなければならない。こうした問題を解決するひとつの方法として, 最近では色変換機能をハードウェアとして内蔵した液晶ディスプレイなども開発されている。

3.2 色弱模擬フィルター

最近筆者らは, より簡便に色覚シミュレーションを行うツールとして, 特殊な分光フィルターによる色弱模擬フィルターを開発した^{12,13)}(平成17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「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」の成果。管理法人:株式会社サイエンス・クリエイト; 研究開発メンバー:豊橋技術科学大学中内研究室, 高知工科大学篠森研究室, 伊藤光学工業(株))。このフィルターは一般色覚者がそれを装着することによって, 色弱者の色弁別特性に近づくように装着者の色覚特性を修飾するものであり, リアルタイム性, 可搬性に優れ, 簡便に色弱者の色弁別特性を擬似体験することができる(図6)。

このフィルターの開発を思いついた契機は, カラーユニバーサルデザインの普及と実践に関する, ある地域行政のユニバーサルデザイン担当者との懇談であった。カラーユニバーサルデザインは, 市や県などの配布物, 教科書, 地図など, 公共性の高いものほどスムーズに普及するだろうと考えていた。というのも, いわゆるエレベーターやスロープなどのインフラ整備とは違い, 莫大な予算が必要でもなく, 先に述べたような気の利いたシミュレーションツールさえあれば, すぐにでも始められるからである。しかしながら, 実際にはそう簡単ではなく, 画像データの取り込み, 処理・表示というソフトウェアの使い方を覚えるといった何でもなさそうなことでさえ, 普及の障壁になることをそのときに学んだ。もちろん, ほかにさまざまな事情

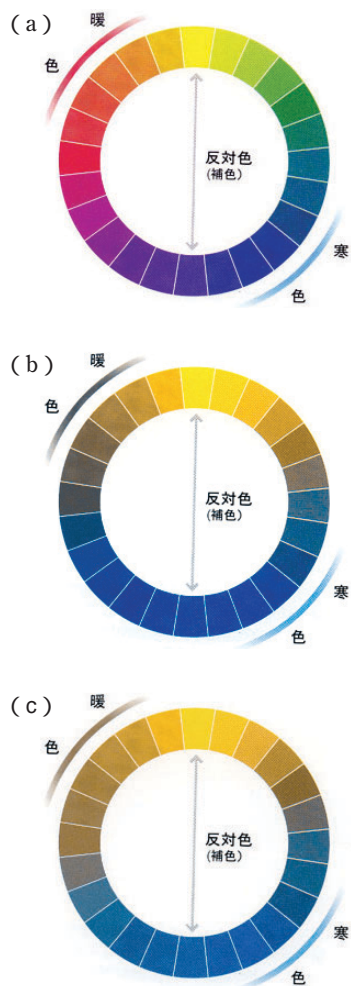


図4 色弱シミュレーション結果例。(a) 一般色覚, (b) 1型2色覚 (protanopia), (c) 2型2色覚 (deuteranopia)。

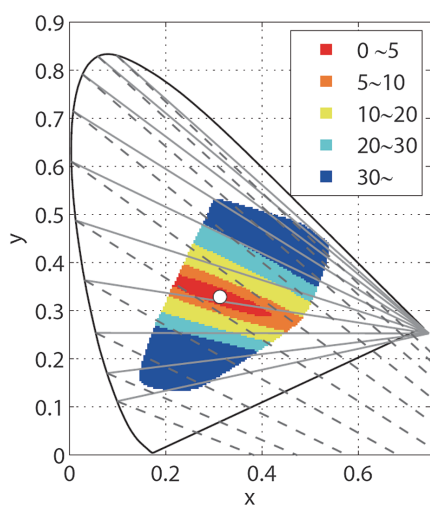


図7 色弱模擬フィルターの色弁別模擬特性。フィルター透過後の白色点 (O) との色差を擬似カラー表示している。赤部分はほぼ白色に見える色領域であり、楕円状に延びた形状となっている。楕円の方向が色の弁別が低下する色の方向となる。実線は1型2色覚、点線は2型2色覚の混同色線。

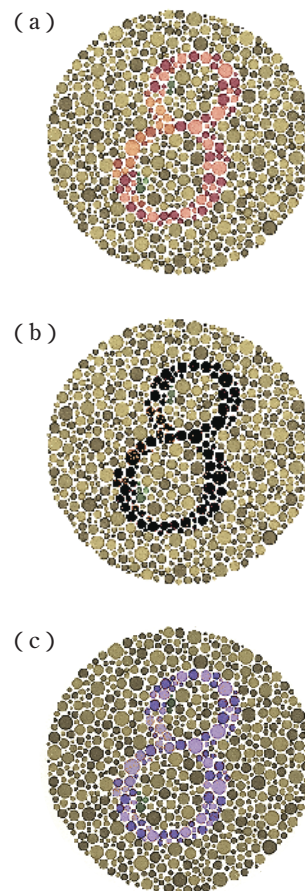


図5 カラーユニバーサルデザイン支援ツールによる混同色検出と修正^{10,11)}。(a) 元画像, (b) 混同する配色の検出, (c) 配色修正。

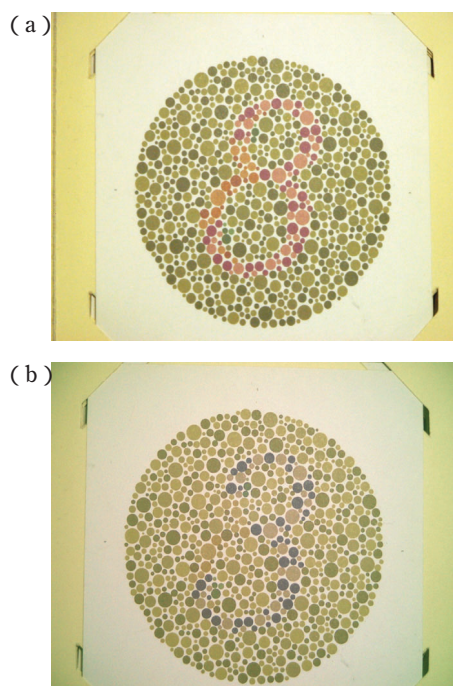


図8 色弱模擬フィルターの効果。(a) 元画像 (フィルターなし), (b) フィルター装着結果。

があり、「話としては結構だが、実際に使うとなると…」という類の話に何度も閉口した。

こうした問題の根幹には、そもそも色弱に対する直感的で体感的な理解に欠けているために起こる意思疎通の不全がある。混同色線の理論ではなく、シミュレーションツールによってさまざまな画像をシミュレートした結果を示せば、ずいぶんと体感してもらえるものと思っていたため、この反応には予想外のところもあった。それならば、ということで、眼鏡のようにかけるだけで色弱シミュレーションが可能なフィルターを開発することになった。

コンピューターシミュレーションと違い、分光フィルターによる方法はさまざまな制約がある。特に、画素単位の色の変換が不可能であることは本質的である。画像中のある領域の色はそのまま、ある領域だけ変える、ということとはできない。また、L錐体とM錐体の分光感度特性は非常に似通っているため⁹⁾、いずれか一方のみの特性をカットすることも不可能である。もちろん、L錐体ないしはM錐体の応答をゼロにすることが2色覚の特性をシミュレートすることにならないのは、図3からも自明である。

そこで、筆者らは任意の2色の組み合わせに対して、その弁別特性をフィルターによってシミュレートするように、フィルターの分光透過率を設計した。具体的には、物体色の分光特性の統計モデルを用いて、そこから任意の2色をピックアップし、フィルター透過後の色差を求め、それがBrettel-Vienot-Mollon法により計算された色差に近づくように、分光透過率を最適化した。色の見えそのものではなく色差を模擬することは、パッシブなフィルターであるという制約の下でも、ユニバーサルデザインの支援ツールとしての性能を実現するために重要なポイントとなった。なお、色の見えに関しても、フィルター透過前後でなるべく白色点が変わらない、という制約だけは入れて設計している。

また、1型、2型の色覚タイプの違いについても、ツールとしての役割を考えれば、フィルターを装着した一般色覚者にとって、1型2型いずれかの2色覚者にとって区別しにくい色を、区別しにくいと感じることができればよい。すなわち、このフィルターを装着して区別しにくい配色は、1型ないしは2型の色覚者が区別しにくいものである、と判断できるツールとなるように設計した。

その結果、できあがった色弱模擬フィルターは、きわめて色弁別模擬の性能も高く、物体色の2色の組み合わせのうち、1型ないしは2型2色覚者にとって区別が難しい配色を見逃す率は3%未満に抑えることができた。

図7はフィルターによる色弁別模擬特性を示しており、

白色点(○)とそれ以外のフィルター透過後の色差を擬似カラー表示している。赤部分は白色と色差が5以下に見える色領域であり、楕円状に延びた形状となっている。楕円の方向はこの場合白色との弁別が低下する方向であり、実線で示した1型2色覚、点線で示した2型2色覚の混同色線のほぼ中間方向を向いていることがわかる。

図8はデジタルカメラの前にフィルターを装着して石原式色覚異常検査表を撮影したものである。カメラの色特性に依存するため、実際にフィルターを装着して観察した場合と若干色が異なるものの、フィルターの効果を説明するために参考までに掲載する。図8(a)に示すように、フィルターがない場合は一般色覚者には中央に8という数字が読めるが、フィルターを装着すると、図8(b)のように3という数字しか読めない(あるいは数字が読めない)。この状況は実際に色弱者の内観と同じである。この例に限らず、他の石原票、パネルD15テストなど、本フィルター装着によって色判別行動においても、色弁別特性においても、色弱者の特性を精度よく模擬できることを確認している。

4. 課題と展望

カラーユニバーサルデザインの実線において、色弱シミュレーションの原理について解説した。もちろん、より精度の高い評価を行うためには、実際に色弱者にチェックを依頼する方法が望ましく、そうした活動を行っているNPO法人³⁾もある。しかしながら、今後ますます多くのカラー原稿が溢れてくる状況において、すべての原稿を色弱者の目視によってカラーユニバーサル化されているかをチェックするのは非常に難しくなるであろう。色弱者によるチェック、計算機シミュレーション、色弱模擬フィルター、配色チェック・修正ソフトウェアには、それぞれ精度と簡便性の点でメリット、デメリットがあり、目的によってこれらさまざまな手法を複合的に利用することが、今後カラーユニバーサルデザインを普及・実践するうえで重要と考えられる。

なお、色弱シミュレーション技術そのものにも、まだ多くの課題がある。最近、その利用が爆発的に伸びているLED光源は、それを撮像するカメラの色域、またそれを再現するディスプレイデバイスの色域を超えるものが多い。現状のシミュレーターはLED光源に対してはいつでも正確に色を計算することができず¹⁴⁾、誤った判断を引き起こすとも限らない。LED光源の配色に対する要望が増えていくなかで、これらに対するカラーユニバーサルデザインを支援するツールの開発は重要な課題となるだろう。

また、色弱シミュレーションの技術的な問題に限らず、より根源的な問題である色弱者の色覚特性、特に色名応答との関係については、まだまだ不明な点が多い。一般色覚者が図4に示したようなシミュレーション画像を見たときの印象は、色弱者はほとんど黄と青の世界に生きている、というものであろう。しかしながら、実際の2色者の色名応答はシミュレーション結果から想像されるよりもはるかに豊かであり、条件によってはほとんど一般色覚者と変わらない色名応答さえ得られることもある¹⁵⁾。色の見えと色名の関係は、科学的にもまだまだ未知の部分が多く、また、色によるコミュニケーション手段にとって色名は欠かせないことから、応用という観点からも非常に重要な問題を提起している。

色覚、より一般的にいえば視覚という、外の世界とヒトの内なる世界を繋ぐメディア情報は、科学者と技術者が共通の関心とそれぞれ独自の手法を持ち寄って、よりグローバルに連携して取り組むべき知と技術の宝庫のように思われる¹⁶⁾。

文 献

- 1) A. Stockman, D. I. A. MacLeod and N. E. Johnson: "Spectral sensitivities of the human cones," *J. Opt. Soc. Am. A*, **10** (1993) 2491-2512.
- 2) L. T. Sharpe, A. Stockman, H. Jagle and J. Nathans: "Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness," *Color Vision: From Genes to Perception*, eds. K. R. Gegenfurtner and L. T. Sharpe (Cambridge University Press, New York, 1999) pp. 3-51.

- 3) カラーユニバーサルデザイン機構 (<http://www.cudo.jp/>).
- 4) D. B. Judd: "Color perceptions of Deuteranopic and Protanopic observers," *J. Res. Natl. Bur. Stand. U.S.A.*, **41** (1948) 247-271.
- 5) D. B. Judd: "Facts of color-blindness," *J. Opt. Soc. Am.*, **33** (1943) 294-307.
- 6) F. Vienot, H. Brettel, L. Ott, A. B. M'Barek and J. D. Mollon: "What do colour-blind people see?," *Nature*, **376** (1995) 127-128.
- 7) H. Brettel, F. Vienot and J. D. Mollon: "Computerized simulation of color appearance for dichromats," *J. Opt. Soc. Am. A*, **14** (1997) 2647-2655.
- 8) Vischeck (<http://www.vischeck.com/>).
- 9) K. Rasche, R. Geist and J. Westall: "Detail preserving reproduction of color images for monochromats and dichromats," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, **25** (2005) 22-30.
- 10) S. Nakauchi and T. Onouchi: "Detection and modification of confusing color combinations for red-green dichromats to achieve a color universal design," *Color Res. Appl.*, **33** (2008) 203-211.
- 11) UDing (<http://www.toyoink.co.jp/ud/index.html>)
- 12) K. Miyazawa, T. Onouchi, H. Oda, K. Shinomori and S. Nakauchi: "Functional spectral filter optically simulating colour discrimination property of dichromats," *29th European Conference on Visual Perception*, St Petersburg (2006), *Perception*, **35**, Suppl. (2006) 197-198.
- 13) 色弱模擬フィルタ Variantor (<http://www.variantor.com>)
- 14) 鶴見俊輔, 中内茂樹: "分光情報に基づく色弱シミュレーション手法の提案", 日本視覚学会 2008 年冬季大会, *Vision*, **20**, Suppl. (2008) 54.
- 15) 小峰央志, 中内茂樹, 篠森敬三: "色弱者における色の見えとカテゴリカル色知覚の関係", カラーフォーラム JAPAN 2007 論文集, pp. 89-92.
- 16) S. Nakauchi: "Meeting Reports: Universal design for visual communications," *Color Res. Appl.*, **32** (2007) 240-241.

(2008 年 5 月 8 日受理)