

色覚バリアフリーのための色弱シミュレータの開発

前川満良* 伊藤啓** 米光潤郎*** 小野正貴*** 高橋哲郎****

色が氾濫する現代社会では，色弱者にとって見えにくい看板サインや Web などが増加しており，色覚バリアフリーが社会的な要求事項となっている。しかし，色弱者の見え方が分からなければ，その対応を考えることも難しくなるため，色弱者の見え方を再現する色弱シミュレータが要望されている。そこでまず，色覚変換理論の変数を調整できる色変換ソフトウェアを開発し，被験者実験を繰り返して色弱の色覚特性を調査した。その結果，個々人の特性に近い見え方に画像を変換できる色弱シミュレータが開発できた。次に，ソフトウェアによる画像変換では，変換時間が長く色覚バリアのチェック作業の効率が良くないことから，このソフトウェアを組込んだモニター版色弱シミュレータを開発した。

キーワード：色覚バリアフリー，色弱，シミュレータ

Development of Colorblind Vision Simulator for Colorblind Barrier-free

Mitsuyoshi MAEKAWA, Kei ITO, Junro YONEMITSU, Masaki ONO and Tetsuro TAKAHASHI

A colorblind barrier-free society is one of today's social demands. However, it is difficult for a designer with non-colorblind color vision to identify problematic color usage if they do not understand the vision of colorblind people. To address this problem, we developed a simulator of the color vision that those people have. First, we developed a color conversion program with some variables of the colorblind algorithm. The simulator we developed is able to accommodate a variety of color vision types by evaluating test subjects with various types of color deficiency. Next, we developed a monitor-type simulator with this color conversion program in order to efficiently check barriers for colorblind people.

Keywords : colorblind barrier-free, colorblind people, simulator

1. はじめに

近年，パソコンやインターネットの普及にともない，カラフルな印刷物やホームページなどが増加している。このように色が溢れる現代社会では，モノクロ時代にデザインしてきた明度やテクスチャなどへの気遣いが少なくなり，色だけに頼った情報が増えている。一方，その情報を見る人の色見え方は多様で，日本人男性の約 5% (20 人に 1 人)，白人男性の約 8% が赤や緑の混じった特定の範囲の色について差を感じにくいという色覚特性を持っている¹⁾。このため，このような色覚特性を持つ色弱者にとって，色だけに頼った情報が増えることは日常生活のバリアの増加につながっている。

したがって，1 人でも多くの人に知らせることを目的にしている広告媒体などは，様々な色覚特性に対する配慮が重要となる。さらに，公的機関が発信

する緊急・災害情報などは，全ての人に正確に伝えるべきであり，この対応は必須といえる。

このような色覚バリアへの対応(色覚バリアフリー)には，2つの方法が考えられる。1つは，多様な色覚特性の見え方を再現するシステムにより，デザイン段階で見えにくさをチェックし，身の周りのバリアを取り除いていく方法である。もう1つは，見えにくい配色に対して色相や明度などを自動的に変化させるシステムにより，見えにくいものを見えやすくする方法である。前者は多様な色覚特性の見え方およびその特性を理解し，その見え方を再現する色弱シミュレータの開発が必要となる。後者の場合も，システム開発には「何が見えにくいか」，「どのように見えているか」といった色覚特性を理解することが基本となる。

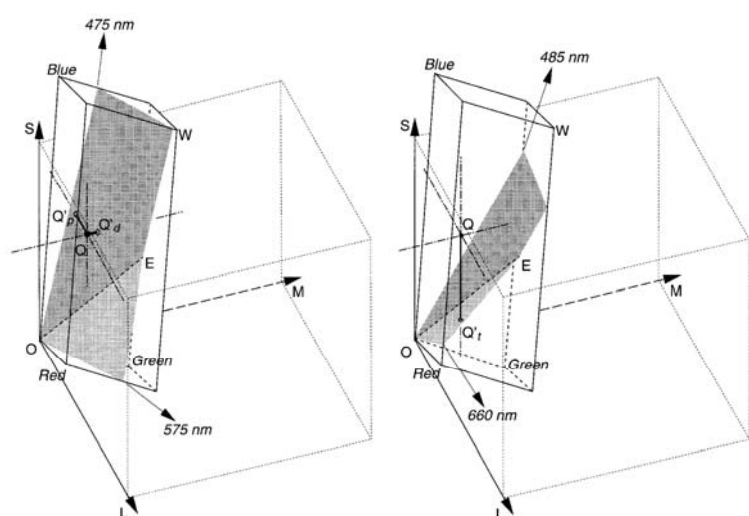
本研究では，多様な色覚特性の中でも色覚異常的に絞りを絞る，その特性を調査するために色変換式を調

*電子情報部 **東京大学 ***株ナナオ ****維維生活部

整できる色弱シミュレータ(ソフトウェア版)を開発した。このソフトウェアで被験者実験を進め、各人の特性に近い見え方に画像を変換することが可能となった。また、ソフトウェアでの色覚変換では、色弱の見え方を再現する効率が良くないことから、LCD モニター(以下、モニター)内蔵の ASIC で実時間に色覚変換するモニター版色弱シミュレータを開発し、その有効性を検証した。

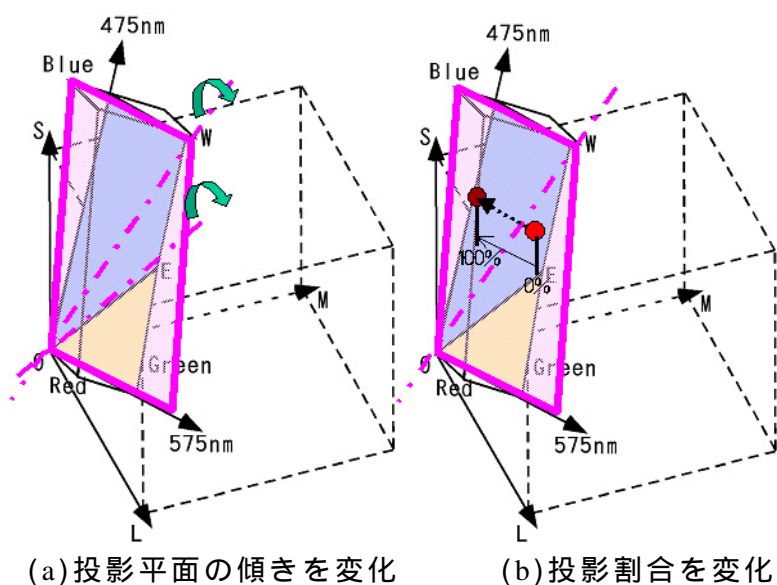
2. ソフトウェア版色弱シミュレータの開発

これまでに色弱者が見分けにくい色を結ぶ混同線が示されていたが、どんな色に見えるかは示されていなかった。1997年にモロンはコンピュータ上の画像を3種類の色弱者の見え方に色変換する方法を発表した²⁾。この方法は図1に示すように、第1異常、第2異常の場合は、「点Qの色は、欠損した錐体の軸に沿ってLMS空間内のある平面に投影された点Q'の色に見える」としている。ここで「投影される平面は2つの平面で構成され、LMS空間の位置によ



(a)第1,第2異常の場合 (b)第3異常の場合

図1 モロンの色覚異常の見え方への色変換方法



(a)投影平面の傾きを変化 (b)投影割合を変化

図2 色変換の調整方法

って投影される平面が異なる。その後、演算処理を容易にできるように1つの平面に投影し、近似する方法も提案されている³⁾。しかし、いずれの方法も各色弱者の強度の見え方であり、弱度の見え方については示されていない。

我々はこのモロンの理論に基づき、モニターの色特性の個体差などを考慮したソフトウェア版色弱シミュレータを開発した。このソフトウェアは、図2のように投影平面をOW軸やOE軸中心に回転させる機能や投影平面への投影割合を変化させる機能を加えた。このため、この機能で変換後の色を調整し、被験者に最も近い見え方を求めることができる。

3. 色覚変換の評価実験

3.1 実験方法

ソフトウェア版色弱シミュレータによって変換された各色が色弱者の見え方として許容できる範囲であるかを被験者実験により評価した。

評価方法は、変換前後の色画像を図3のように上下に配し、被験者に「同じ色: ○」、「ほぼ許容できる色: △」、「同じ色と言えない: ×」の3段階の回答を求めた。呈示から回答までの時間は2秒を目安とした。評価した色画像は、変換後の色の変化が大きいHSB(Hue:色相, Saturation:彩度, Brightness:明度)色空間で色相角度15°間隔, 彩度80%, 明度100%の計24画像である。1つの色画像に対して、投影平面の傾きや投影割合を変更した複数の変換後の色画像を評価した。

被験者は、第1異常強3名, 第2異常強4名, 第1異常弱1名, 第2異常弱7名で、専門医療機関の診断を受けていなかった人には、事前に色覚検査表とパネルD-15による色覚検査を行った。

3.2 評価結果と考察

15人の中から4人の評価結果を表1~4に示す。表1, 2は、同じ第1異常強の人に投影平面の傾きを変

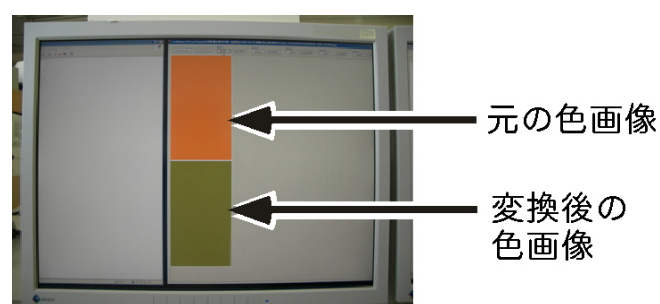


図3 色覚変換前後の色画像評価画面

化させて評価した結果である。表 3, 4 は, 強弱各 1 人に投影割合を変化させて評価した結果である。

まず, 表 1, 2 について考察する。傾斜変数は投影平面の傾きを示すもので, 傾斜変数 0 はモロンの理論通りということになる。

被験者 A は, 傾斜変数 0 の場合に色相角度 0° (赤) 周辺で評価が悪くなる。それに対して傾斜変数 0.3 の場合には全ての色で評価が良好となる。つまり被験者 A にとっては傾斜変数 0.3 が最も許容できる

表 1. 第 1 異常強の見え方の例(1)
被験者 A: 第 1 異常強(2 色型), 40 歳代, 男性

色相角度 傾斜変数	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	
-0.1	×	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	×	△	△	×	△
0.0	×	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×	×
0.1	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	○	○
0.2	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.4																									
0.5																									
0.6																									
0.7																									
0.8																									

表 2. 第 1 異常強の見え方の例(2)
被験者 B: 第 1 異常強(2 色型), 30 歳代, 男性

色相角度 傾斜変数	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345		
-0.1	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	
0.0	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
0.1	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
0.2	×	○	○	○	○	△	△	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
0.3	×	○	○	○	○	△	△	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
0.4	×																								×	×
0.5	×																								×	×
0.6	×																								×	×
0.7	×																								△	×
0.8	×																								○	×

表 3. 第 1 異常強の見え方の例(3)
被験者 C: 第 1 異常強(2 色型), 40 歳代, 男性

色相角度 強弱変数	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	
0.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.4	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.5	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.6	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.7	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
0.8	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
0.9	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×
1.0	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×

表 4. 第 2 異常弱の見え方の例(4)
被験者 D: 第 2 異常弱 50 歳代, 男性

色相角度 強弱変数	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	
0.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.2	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.3	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.4	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.5	×	×	×	○	○	○	△	△	△	×	×	×	×	△	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
0.6	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
0.7																									
0.8																									
0.9																									
1.0																									



(a)元画像 (b)被験者D(弱度)の見え方
一見して分からないがワインなどの赤の彩度が若干低い

図 4 第 1 異常弱の見え方

色覚変換といえる。

被験者 B は, いずれの傾斜変数でも色相角度 0° 周辺で許容できる色覚変換を得ることができなかった。つまり, 被験者 B の色覚変換としては, 投影平面の傾きの調整だけでは限界があることが分かった。

この様に被験者 A と B は同じ強度に分類されるが, 表 1, 2 の結果から個人差が大きいことが分かる。

次に, 表 3, 4 について考察する。表 3, 4 の強弱変数は投影割合を示すもので, 強弱変数 0.0 は元画像そのもので, 1.0 は投影平面上の色となる。つまり, 変数が大きくなるにつれて色の変化が大きくなる。元画像からの変化量が少なければ当然同じ色に見えるので傾斜変数を変化させた場合と異なり, 全てに「同じ色」と回答した変数が求める解ではない。強弱変数を変化させた場合は, 色の違いを感じる境界を求める必要がある。

被験者 C は, 色相角度 0° 周辺以外では投影平面まで投影しても「同じ色」と回答しており, この領域以外は最も強度な見え方といえる。

被験者 D は, 色相角度 0°, 強弱変数 0.2 で色の変化を感じはじめ, 0.4 で「同じ色と言えない」色が現れはじめた。色相角度 60° および 240° 周辺は強弱変数を変化させても色の変化が少ない色であることも合わせて考えると, 強弱変数 0.3 が最も元画像と差を感じにくい限界といえる。この評価結果から得られた弱度の被験者 D の見え方を図 4 に示す。

この様に色覚障害といってもその見え方は多様で, 見え方を再現するには各人の見え方を調査する必要がある。

4. モニター版色弱シミュレータの開発

これまでに色弱者の見え方を再現するものとして, 米国製 Vischeck を代表にいくつか開発されている。

しかし、いずれもソフトウェアであるために変換時間が長く(Vischeck の場合 1MB の画像で約 7 秒)、また変換作業も煩わしかった。そこで、(株)ナナオ製 LCD モニター Flex Scan L985EX の ASIC に、本研究の色変換機能を組込んだモニター版の色弱シミュレータを開発した⁴⁾。色弱シミュレータではソフトウェア版やモニター版のいずれでも、調整機能による各人の見え方に近づけることが可能であり、モニター版の場合には色覚異常のタイプを外部入力信号によって切替えることができる(図 5)。

これにより各人の見え方をこのシミュレータで再現し、色弱者の立場になって各人の見えにくい箇所をチェックすることで可能となった。

5. モニター版色弱シミュレータの有効性

色変換の時間を比較すると、モニター版色弱シミュレータでは画像のサイズに関係なく毎フラッシュレート時内での表示が可能であるのに対して、その他のソフトウェアでは数秒を要し、さらに画像サイズに応じて長くなる。

したがって、このモニター版の有効性の 1 つに、色覚バリアのチェック作業の効率化が考えられる。そこで、実際に Web でのチェック作業を行い、その有効性を検証した。チェック作業の題材は、工業試験場の Web 版技術ニュース 1 号分で、比較対照として Vischeck を使用した。使用した Web 閲覧ソフトウェアは Internet Explorer で、Window サイズは約 1000 × 1000Pixel とした。

この Web は 11 ページだが、Window のサイズにより Vischeck では画面を分割しなければならず、チェック画面は 17 ページになった。このような作業手順の増加などから、チェック作業時間は Vischeck が 581 秒、モニター版が 44 秒と 1/13 以下に短縮できた。

また、他の Web のチェック作業でも、モニター版



図 5 色覚バリア・チェックモニター

の有効性を示す機能があったので、以下に列挙する。

- ・プリンク機能(「New」などの文字・図の点滅)
- ・マウスオーバー機能(マウスによる図の変化)
- ・動画機能(Flash などの動画)

6. まとめ

色覚バリアフリーを推進する道具として、色弱者の多様な見え方を調査し、その見え方を再現するソフトウェア版色弱シミュレータを開発した。さらに、色覚バリアのチェック作業を効率よく行うために、この色弱シミュレータをモニターに搭載したモニター版色弱シミュレータを開発した。これにより、Web のチェック作業が 1/13 以下になった。さらに、動的な Web に対してもチェック作業が容易になった。

今後は、このモニター版色弱シミュレータを利用して看板サインや Web などの改善指導を進めながら、その対処方法をまとめる。さらに、その対処法を取り入れた自動的に見えやすくするシステムへ展開していく予定である。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、カラーユニバーサルデザイン機構および同機構を通じて実験に協力していただいた被験者の皆様、石川県内で実験に協力していただいた皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 岡部正隆, 伊藤啓. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション-色覚の原理と色盲のメカニズム-. 細胞工学. Vol.21, No.7, 2002. p. 763-745.
- 2) H.Brettell, F.Vienot, J.D.Mollon. Computerized simulation of color appearance for dichromats. Journal of the Optical Society of America. Vol.14, No.10, 1997, p.2647-2655.
- 3) F.Vienot, H.Brettell, J.D.Mollon. Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Display by Dichromats. COLOR research and application. Vol. 24, No. 4, 1999, p. 243-252.
- 4) 前川満良, 米光潤郎, 小野正貴, 伊藤啓, 田中陽介, 高橋哲郎. 色覚バリアフリーのためのチェックモニターの開発. 第 31 回感覚代行シンポジウム講演論文集. 2005. p. 73-76.

カラー原稿は下記のホームページでご覧いただけます。

<http://www.irii.go.jp/theme/theme.htm>