

Web アクセシビリティを考慮した情報呈示手法の検討 -RGB 値を用いた視認性予測-

Evaluation of information presentation technique considering Web accessibility - Prediction of visibility using RGB value -

○齋藤大輔（芝浦工業大学）、齋藤恵一（東京電機大学）、納富一宏（神奈川工科大学）、

東吉彦，犬井正男（東京工芸大学），齋藤正男（東京大学名誉教授）

Daisuke Saito (Shibaura Institute of Technology),
Keiichi Saito (Tokyo Denki University),
Kazuhiro Notomi (Kanagawa Institute of Technology),
Yoshihiko Azuma, Masao Inui (Tokyo Polytechnic University),
Masao Saito (Professor emeritus at Tokyo University)

Key Words: Web accessibility, RGB value, Prediction of visibility, Simulation filter

1. はじめに

高度情報社会となり、日々情報技術の開発が進んでいる。中でもインターネット技術の進歩は目覚ましく、PC のみではなく、様々な携帯端末（携帯電話、PDA、iPad など）が市販されており、普通の生活の中にインターネットが入り込んでいる。我が国のインターネットの人口普及率は 75 % を超えている⁽¹⁾。さらに、我が国では、急速な少子高齢化に伴い、全人口に対する 65 歳以上の高齢者の割合は、2030 年で 31.8 %、2055 年で 40.5 % になると予測されている⁽²⁾。また、色覚障碍者は、男性の 20 人に 1 人、女性の 500 人に 1 人と、かなり高い割合で存在し、総数で 300 万人以上、その内訳は P 型（1 型 2 色覚、旧名称：第 1 色覚異常）が約 25 %、D 型（2 型 2 色覚、旧名称：第 2 色覚異常）が約 75 % および T 型（3 型 2 色覚、旧名称：第 3 色覚異常）が約 0.02 % といわれている⁽³⁻⁵⁾。高齢者や障碍者のインターネット利用は、従来の生活から自立し、活動範囲を広げる可能性をもっている。

現在では、W3C/WAI(World Wide Web Consortium/ Web Accessibility Initiative)や JIS 規格により Web アクセシビリティガイドラインが定められている。その中で視認性に関しては“背景色と前景色に十分なコントラストをつけ見やすくすること^(6,7)”と示されているだけである。これでは、Web コンテンツ制作者が現場で活用できるデータとはいえず、Web コンテンツ制作に有用となる人間の視覚特性に関するデータが切望されている。

我々はこれまでに、白色背景における Web セーフカラーの視認性を、一対比較法を用いて検討し、コントラストが高くなると視認性が高くなること、コントラストが同程度の場合にはコントラストに加え色度が視認性に影響すること、コントラストが大きすぎると眼精疲労を蓄積させる可能性があることを報告した⁽⁸⁻⁹⁾。さらに、関連情報を示すリンクに用いられる未訪問の標準リンク色（青）と背景色の検討では、高齢者は黄色を強く知覚し、視認性が高いと判定される背景色が増加することを示した⁽¹⁰⁻¹¹⁾。これらの結果は、健常者に関するものであったが、インターネットを利用するのは健常者のみではないことから、障碍者に対する検討も急務となっていた。そこで、高齢者および障碍者の視認性特性を評価するために、市販されている模擬フィルタを用いて視認性評価を行った。その結果、白色背景に

おいては文字色に G 値を含む場合には注意を払う必要があることを報告した⁽¹²⁾。この報告は昨年度の大会で報告した内容であるが、本報告でデータが必要となることから、「3. 模擬フィルタを用いた視認性評価」の章で詳細を示す。

そこで報告では、昨年度報告した健常若年者と模擬フィルタを用いて得た模擬高齢者および模擬色覚障碍者の視認性得点と色差 (ΔE_{00}) の関係をもとに、重回帰分析を行い、視認性予測式を求めた。特に、本発表では目的変数を視認性得点とし、説明変数を RGB 値とした。これにより、情報呈示機器による差異を考慮することなく視認性を予測可能となる。さらに、得られた視認性予測式を用いて、背景色（白色）を除いた残りの Web セーフカラー全色（215 色）を文字色としたときの視認性予測を行い、視認性を判定した。

2. 模擬フィルタ

2-1 高齢者水晶体疑似メガネ

高齢者の見え方を模擬することができるフィルタとして、ジオマテック株式会社より高齢者水晶体疑似フィルタが市販されている。本研究ではこのフィルタを用いた。このフィルタは、水晶体加齢モデル（Two-factor モデル）に基づき、目に疾患のない 75 歳の平均的な水晶体分光透過率を目に疾患のない 32 歳の平均的な水晶体分光透過率で割ったものに近い分光透過率となっている。32 歳以外の年齢の者に適応する場合には、Table 1 に示すような対応関係のフィルタとして使用できる⁽¹³⁾。

2-2 色弱模擬フィルタ

色覚障碍者の見え方を模擬することができるフィルタとして、伊藤光学工業株式会社より色弱模擬フィルタ（Variantor）が市販されている。本研究ではこのフィルタを用いた。このフィルタは、L 錐体のないまたは機能しない P 型強度と M 錐体のないまたは機能しない D 型強度の

Table 1 Corresponding age of simulation

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Age of young person | 20 | 24 | 28 | 32 | 34 | 38 | 41 | 44 | 48 |
| Age of elderly person | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |

両者において見分けにくい配色を、一度に検出できるように設計されている¹⁴⁾。

3. 模擬フィルタを用いた視認性評価

3-1 実験条件および方法

被験者（健常若年者 14 名（平均年齢 22.9 歳））には、インフォームド・コンセントを得た上で実験に参加してもらった。実験は、外部光の影響を排除するために、暗室内で行った。この暗室内に 21 インチ液晶モニタ（株式会社ナオ製 EIZO ColorEdge CG211）を設置し、実験ブース内に取り付けた照明により画面上の照度が 100 lx となるように調整した。モニタには、MS ゴシック 11 pt および間隔を 10 mm の 2 つの左右対称文字列（全本中王木日）を縦表示でモニタにフルスクリーンで呈示した。左右対称文字を用いることで文字による擾乱を排除した。被験者には座位（視距離 800 mm）にてこの刺激を注視させ、より見やすい文字列をマウスの左右ボタンを用いて判定させた。選択時の時間制限は設けなかった。背景色は大手検索サイトや官公庁などの背景色に多く用いられる白色（#FFFFFF：本実験では 16 進 RGB 表記を用い #RRGGBB で示される。各色の値は、00~FF の値をとり、10 進で示すと 0~255 である）、文字色は輝度が異なり #CC, #99, #00（16 進数表記：10 進数表記では 204, 153, 0）を基準とする無彩色 3 色および 6 つの基準色（赤, 緑, 青, シアン, マゼンタ, 黄）ごとに 3 段階の輝度（#FF, #CC, #99）18 色の合計 21 色の Web セーフカラーを用いた。呈示する文字の組合せは、左右の呈示位置の違いも考慮した 420 (=21×20) 組で、刺激の呈示順序は無作為とした。この条件下で、健常若年者、健常若年者に高齢者水晶体疑似メガネを装着した模擬高齢者および健常若年者に色弱模擬フィルタを装着した模擬色覚障碍者の 3 条件について同一の実験を行った。暗室内で眼鏡型のフィルタを用いているが、刺激部の照度が一定に保たれていることから、暗室での影響はないと考える。この 3 条件で得られた一対比較の結果にサーストンの方法を用いて得点化し、視認性得点と ΔE_{00} との関係を示し、比較を行った。

3-2 実験結果

実験により得られた健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の視認性得点と ΔE_{00} の関係を Fig. 1 に示した。Fig. 1 は、(a)に若年者、(b)に模擬高齢者および(c)に模擬色覚障碍者の視認性得点と ΔE_{00} の関係を示した。縦軸は視認性得点を示し、得点が高いほど視認性が高いことを示す。横軸は ΔE_{00} で、値が大きいほど色差が大きいことを示す。

Fig. 1 によると、どの群においても ΔE_{00} が大きくなると、視認性が高くなる傾向を示した。また、全ての群において $\Delta E_{00} \geq 42$ の場合には、視認性得点が全ての群で正の値を示していることから、 ΔE_{00} が 42 以上の値となる場合に若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の全ての群で視認性が高いと判定できる。この視認性が高いと判定された範囲の文字色は、黒、青系、赤系およびマゼンタ系色であり、これらの文字色は白色背景の場合には全ての群において有効であることが示された¹⁵⁾。また、これらの文字色は、RGB 値の G 値を含まない色であったことから、白色背景においては文字色に G 値を含む文字色を用いる場合には注意を払う必要があることがわかった。

4. RGB 値を用いた視認性予測式の算出

健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の視認性

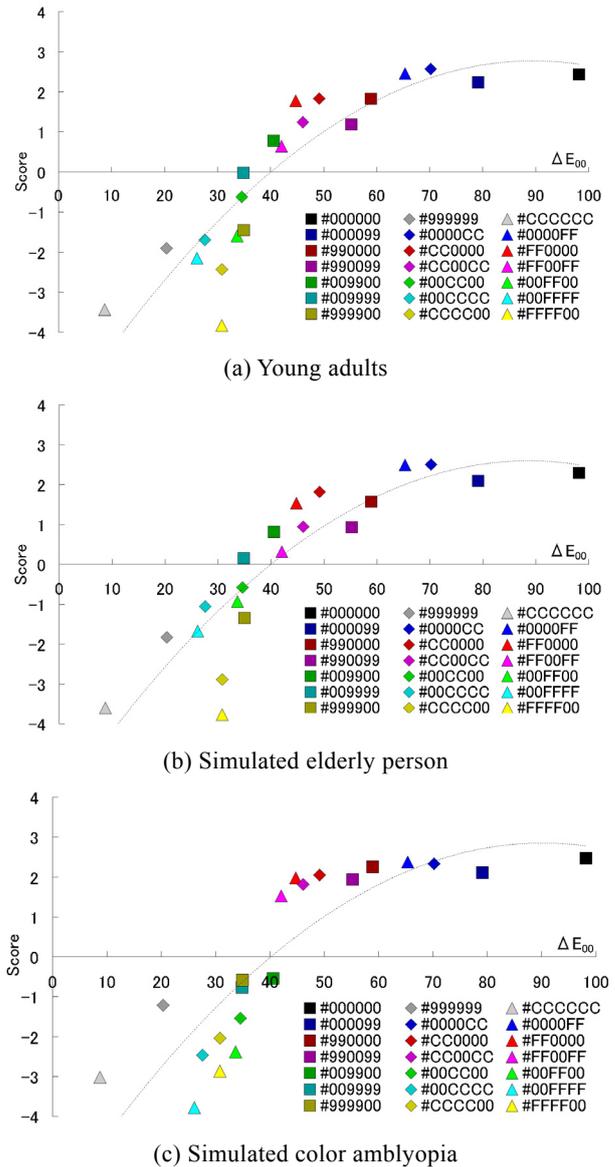


Fig. 1 The relationship between the ΔE_{00} and the score

評価実験の結果をもとに、重回帰分析を用いて視認性予測式の算出を試みた。重回帰分析の説明変数として、RGB 値を用い、背景色と文字色の差分とした。したがって、背景色の RGB 値を R_b, G_b, B_b 、文字色の RGB 値を R_f, G_f, B_f とすると、説明変数は

$$\Delta R = |R_b - R_f| \quad (1)$$

$$\Delta G = |G_b - G_f| \quad (2)$$

$$\Delta B = |B_b - B_f| \quad (3)$$

となる。したがって、目的変数（視認性予測得点）を S としたときの視認性予測式は次式のように表すことができる。

$$S = a\Delta R + b\Delta G + c\Delta B + d \quad (4)$$

ここで、 a, b, c はそれぞれ $\Delta R, \Delta G$ および ΔB の回帰係数で、 d は定数項である。

Fig. 1 に示した視認性得点と背景色と文字色の RGB 値を 16 進数から 10 進数に変換して健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の回帰係数および定数項を算出した。その結果、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障碍者の視認性予測得点をそれぞれ S_Y, S_E および S_C とすると視

認性予測式は次式の通りとなった。

$$S_Y = 0.0076 \Delta R + 0.0192 \Delta G + 0.0030 \Delta B - 4.5091 \quad (5)$$

$$S_E = 0.0090 \Delta R + 0.0177 \Delta G + 0.0028 \Delta B - 4.4426 \quad (6)$$

$$S_C = 0.0022 \Delta R + 0.0211 \Delta G + 0.0030 \Delta B - 3.9724 \quad (7)$$

(5)~(7)式は予測得点が高いほど視認性が高いことを意味し、正の値となるものを視認性の高い配色、負の値となるものを視認性の低い配色と判定する。また、本手法で得られた視認性予測式の精度を確認するため(5)~(7)式を用いて実測値の視認性予測得点を算出し、実測値との正答率（実測値と同一の判定数/配色数）により比較した。その結果、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の予測の正答率はそれぞれ 1.00, 0.95, 1.00 であり、模擬高齢者の視認性予測が一組異なった以外はすべて同一の判定であり、高精度に視認性が予測できることを確認した。

また、得られた(5)~(7)についての偏相関係数を Table 2 にまとめた。これを用いて ΔR , ΔG および ΔB が視認性判定にどの程度関与しているかをみると、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者のどの群においても ΔG の偏相関係数が最も大きい点が共通していた。 ΔR に関しては、健常若年者および模擬高齢者において偏相関係数が大きく、模擬色覚障害者は他と比べて ΔR の偏相関係数が小さいことが示された。 ΔB に関しては、模擬色覚障害者で健常若年者および模擬高齢者に比べて偏相関係数が大きくなる傾向がみられ、健常若年者と模擬高齢者では模擬高齢者で ΔB の偏相関係数が小さくなる傾向がみられた。以上のことから、共通して視認性判定への関与が大きいのは ΔG であり、加齢に関係なく健常者は ΔR も関与が大きいことがわかった。模擬色覚障害者においては、健常者とは異なり、 ΔR よりも ΔB の関与も大きいことが示された。さらに、加齢の影響は、 ΔB の関与が小さくなることが示された。

このことから、色知覚の加齢効果は、 B 値の影響が小さくなる傾向が示された。また、模擬色覚障害者においては、今回用いた色弱模擬フィルタが、 L 錐体（赤-黄緑の色を感じる錐体）がないまたは機能しない P 型強度と M 錐体（緑-橙の色を感じる錐体）がないまたは機能しない D 型強度の見え方を一度に模擬していることから、 P 型強度および D 型強度の視認性を同時に考慮する場合には、健常者に比べ、 B 値を強く意識することが必要であることがわかった。

5. 視認性予測式による視認性判定

算出した(5)~(7)の視認性予測式を用いて背景色（白：#FFFFFF）を除いた Web セーフカラー215 色を文字色としたときの視認性判定を行った。Web セーフカラーは、RGB がそれぞれ 16 進数表記で 00, 33, 66, 99, CC および FF の組合せで表される 216 色の色である。Web セーフカラー全色について 16 進数から 10 進数に変換（00=0, 33=51, 66=102, 99=153, CC=204 および FF=255）し、これらの値を用いて視認性予測得点を算出し、視認性判定を行った。

Fig. 2 と同様に視認性予測結果と ΔE_{00} の関係を Fig. 2 に示す。Fig. 2 の横軸は ΔE_{00} を示し、値が大きくなるにした

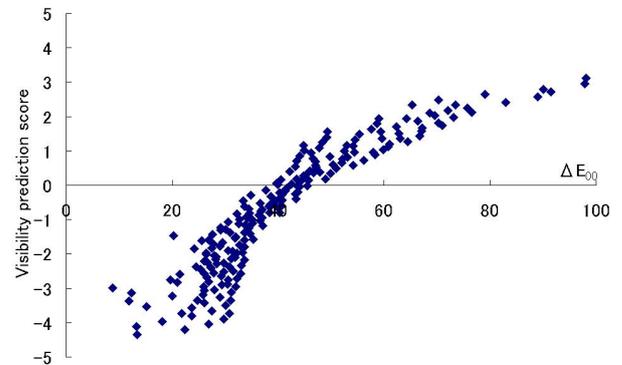
Table 2 Partial correlation coefficient

| | ΔR | ΔG | ΔB |
|---------------------------|------------|------------|------------|
| Young adults | 0.905 | 0.983 | 0.648 |
| Simulated elderly person | 0.905 | 0.973 | 0.553 |
| Simulated color amblyopia | 0.692 | 0.994 | 0.796 |

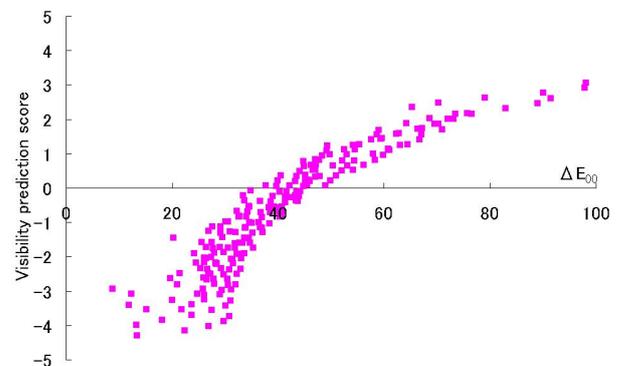
がって色差が大きくなることを示す。縦軸は視認性予測式から算出した視認性予測得点を示し、値が大きいほど視認性が高いことを示す。また、視認性得点が正の値をとったものを視認性が高い文字色、視認性得点が負の値をとったものを視認性が低い文字色と判定した。

Fig. 2 によると、視認性が高いと判定された文字色は、健常若年者で 82 色、模擬高齢者で 81 色および模擬色覚障害者で 87 色であり、色差が大きくなると視認性が高くなる傾向がみられた。また、健常若年者と模擬高齢者では視認性判定式の回帰係数および偏相関係数の値が類似していることから、色差と視認性予測得点の傾向に差はみられなかった。しかし、模擬色覚障害者については、低色差になるにつれて特徴的な傾向がみられた。

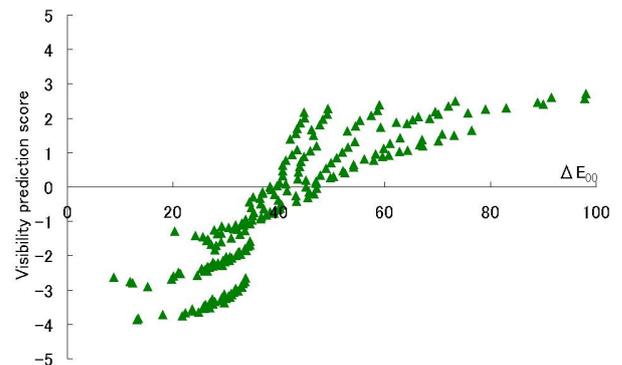
また、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者で視認性判定が異なった文字色と視認判定結果を Table 3 にまとめた。Table 3 によると、20 色の文字色で視認性判定が異なっていた。特徴的であったのは、模擬高齢者と模擬色覚障害者の間の視認性判定では、正反対の視認性判定とな



(a) Young adults



(b) Simulated elderly person



(c) Simulated color amblyopia

Fig. 2 The relationship between the ΔE_{00} and the score

Table 3 Different color of visibility judgmental forecast

| Font color | Young adults | Simulated elderly person | Simulated color amblyopia |
|------------|--------------|--------------------------|---------------------------|
| #0066CC | High | High | Low |
| #0066FF | High | High | Low |
| #009900 | High | High | Low |
| #009933 | High | High | Low |
| #009966 | Low | High | Low |
| #3366CC | High | High | Low |
| #3366FF | Low | High | Low |
| #996600 | Low | Low | High |
| #996633 | Low | Low | High |
| #CC3399 | High | Low | High |
| #CC33CC | Low | Low | High |
| #CC33FF | Low | Low | High |
| #CC6600 | Low | Low | High |
| #FF3300 | Low | High | Low |
| #FF3333 | Low | High | Low |
| #FF3366 | Low | Low | High |
| #FF3399 | Low | Low | High |
| #FF33CC | Low | Low | High |
| #FF33FF | Low | Low | High |
| #FF6600 | Low | Low | High |

っていた。これらの文字色を詳細にみても、全ての文字色は ΔG が中程度から大きい文字色である点は共通していた。しかし、 ΔR が大きい場合には、模擬高齢者で視認性が高く判定され、小さい場合には模擬色覚障害者で視認性判定が高くなる傾向がみられた。さらに、健常若年者においては、模擬高齢者で視認性が低いと判定された文字色でも、 ΔB が大きい場合は視認性が高くなる傾向であった。以上の結果から、Web アクセシビリティを考慮すると、視認性の境界付近での白色背景における文字色は、 ΔG を大きくすることが重要であり、 ΔR には注意を払う必要があると考える。

今回の報告では、健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の視認性評価実験をもとにそれぞれの視認性予測式を算出したが、実際に Web アクセシビリティを考えるためには、それぞれの視覚特性の視認性予測式ではなく、ひとつの視認性予測式で判定を行えるようにする必要がある。さらに、今回は背景色を白色だけで行っており、背景色を他の色にした場合についても検討する必要がある。今後は、白色以外を背景色とした場合の視認性についても検討を行う。さらに、それぞれの群の視認性予測式をもとに、バリアフリーモデルを構築する必要がある。

6. おわりに

健常若年者、模擬高齢者および模擬色覚障害者の視認性評価実験の結果をもとに、視認性予測得点を目的変数、RGB 値を説明変数とした重回帰分析により視認性予測式を求めた。その結果、非常に精度が高い視認性予測式を求めることができた。さらに、得られた視認性予測式を用いて白色背景において白色以外の文字色とした Web セーフカラー215 色を文字色としたときの視認性判定を試みた。視認性判定では、 ΔE_{00} が大きくなると視認性が高くなる傾向が得られたが、視認性境界付近では模擬高齢者と模擬色覚障害者で正反対の視認性判定結果であったが、 ΔG を大きくすることで視認性が高くなる点は全ての群で共通していた。

以上のことから、Web アクセシビリティを考慮すると、

ΔG を大きくすることが重要であり、 ΔR には注意を払う必要があることが示された。今後は、白色以外の背景色の検討をし、バリアフリーモデルについて検討していく予定である。

参考文献

- (1) 総務省, 情報通信白書平成21年度版, ぎょうせい, p. 120, 2009
- (2) 厚生労働省, 厚生労働白書平成21年度版, ぎょうせい, p. 38, 2009
- (3) 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(全3回)第1回 色覚の原理と色盲のメカニズム, 細胞工学, Vol. 21, No. 7, pp. 733-745, 2002
- (4) 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(全3回)第2回 色覚が変化すると, どのように色が見えるのか?, 細胞工学, Vol. 21, No. 8, pp. 909-930, 2002
- (5) 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(全3回)第3回 すべての人に見やすくするためには, どのように配慮すればよいか, 細胞工学, Vol. 21, No. 8, pp. 1080-1104, 2002
- (6) M. G. Paciello, Web Accessibility for People with Disabilities, CMP Books, pp. 47-68, 2000
- (7) JIS X 8341-3 高齢者・障害者等配慮設計指針 -情報通信における機械, ソフトウェア及びサービス- 第3部: ウェブコンテンツ, pp 11-14, 2004
- (8) D. Saito, K. Saito, K. Notomi, M. Saito, A study on visibility estimation of web-safe colors using paired comparison and discriminant analysis, Electrical Engineering in Japan, Vol. 157, Issue 2, pp. 32-39, 2006
- (9) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, 白色背景におけるWebセーフカラーに対する視認性の加齢変化, 日本エム・イー学会 生体医工学, Vol. 43, No. 1, pp. 68-75, 2005
- (10) D. Saito, K. Saito, K. Notomi, M. Saito, Comparison of standard link color visibility between young adults and elderly adults, Electronics and Communications in Japan, Vol. 91, Issue 7, pp. 41-47, 2008
- (11) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, $L^*u^*v^*$ 均等色空間を用いた標準リンク色の視認性評価, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 10, No. 1, pp. 87-92, 2008
- (12) 齋藤大輔, 齋藤恵一, 納富一宏, 齋藤正男, 東吉彦, 犬井正男, 模擬フィルタを用いた高齢者および色覚障害者の視認性評価, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 73-78 (2009)
- (13) 岡嶋克典, 吉田博, 氏原彰, 輝度コントラストの加齢変化に基づく高齢者の色視認性評価法: 計算シミュレーションと高齢者水晶体疑似フィルタ, 日本色彩学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 164-170 (2000)
- (14) 宮澤佳苗, 中内茂樹, 篠森敬三, 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, No. 1, pp. 31-36 (2008)