

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 5月30日現在

機関番号：13201  
研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2009～2011  
課題番号：21500514  
研究課題名（和文）視覚バリアフリーのための Web セーフカラー視覚分光輝度データベースの構築  
研究課題名（英文）Construction of Spectral Radiance Database of Web-safe colors for the Visual Barrier-free Environment  
研究代表者  
藤田 徹也（FUJITA TETSUYA）  
富山大学・芸術文化学部・准教授  
研究者番号：70238575

## 研究成果の概要（和文）：

Web セーフカラー216色の輝度、色度、及び分光放射輝度を精密に測定し、データベース化した。このデータベースによって、Web セーフカラーの輝度コントラスト比を多角的に計算することが可能になった。また、年代別分光視感効率に基づき WCAG2.0 を評価した結果、WCAG2.0 達成基準は加齢による感度低下を考慮した場合でも、適切な輝度コントラスト比を確保しているが、青近傍の領域の色を使用する場合は輝度コントラストの減少に注意が必要であることが明らかとなった。

## 研究成果の概要（英文）：

I precisely measured the brightness, chromaticity, and spectral radiance for 216 web-safe colors, and accumulated the measurements into a database. By using this database, it became possible to calculate various types of luminous contrast between web-safe colors. And, as a result of evaluating WCAG2.0 based on age-related spectral efficacy, considering the effect of aging, WCAG2.0 success criteria are mostly suitable for web-safe colors, while we must be careful to use the colors on the blue region due to the decrease of the luminance contrast ratio.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・福祉工学

キーワード：バリアフリー

## 1. 研究開始当初の背景

水晶体の加齢変化は全ての人に起こり得る老化現象の一つである。その程度が進行し、光の透過が阻止される症状が老人性白内障であり、特に短波長領域における分光透過率の現象が著しい。国内の65歳以上の白内障総患者数は約114万人に上り、このような老化による色覚障害への対応は重要な課題の一つとなっている。ところで現在、VDT（情報表示端末）による情報表示が普及し、広く用いられている。VDT画面のデザインおよびインターフェースについては、JIS X 8341 や JIS S 0033 等の高齢者や障害者等に配慮した配色・画面設計の指針が標準化されつつある。しかし、これらの規格がCIE表色系や波長別分光視感効率に基づくものであるのに対し、実際のコンピュータグラフィクスによる配色では256階調のRGB値や、これと同等のHSV表色系が用いられることが多い。このため、VDT画面の設計時に高齢者への配慮が十分でないケースも依然として見受けられるのが現状である。

そこで筆者らは、白内障再現ゴーグルとVDTを用いて、高齢者のHSV色光に対する色覚特性を明らかにする研究を行ってきた。HSV表色系における色相30°間隔の12色に対する感度を測定し、得られた被験者応答値のHSV輝度をCIE明度指数 $L^*$ に変換し、比感度を求めた結果、強度の白内障視環境下では青系統(HSV色相領域210°~270°)での顕著な感度低下が見られた。また、青に対して他の光源色を等分以上の比率で含む色相領域では、感度が改善されることが明らかとなった。この研究では感度測定のため背景は無光(黒)を用いたが、実際の情報提示では黒以外の背景色が用いられることも多いため、HSV色光間のコントラストの定量化が重要となる。特に、近年情報提示やインターフェースとして用いられることの多いWebでの表示色は、ユーザが直接制御することが難しいため、高齢者に配慮した適切なコントラストの確保が求められている。

視覚標示物に対する年代別相対輝度についてはJIS S 0031に定義されており、10~70歳代に対応した視覚的コントラストを計算することが可能であるが、そのためには各色の分光放射輝度が明らかになっている必要がある。また、WCAG2.0ガイドライン1.4では、前景と背景の輝度比が3.5:1(クラスA)あるいは7:1(クラスAA)以上であることとされているが、輝度の計算式はsRGBの定義に基づく理論的なものであり、加齢による分光視感効率の変化、および使用環境による分光輝度の変化は全く考慮されていないのが現状である。このため、標準的な使用環境におけるWebセーフカラーの分光輝度の定

量化と、WCAG2.0達成基準の妥当性の検証が強く求められている。

## 2. 研究の目的

(1)暗室および蛍光灯で照明された標準的な室内環境(机上面照度750lx)において、LCDディスプレイ上の中心に表示されたsRGB表色系に基づくWebセーフカラー216色の、輝度、色度および分光輝度を精密に測定する。収集したデータをデータベース化し、Webセーフカラーの輝度コントラスト比を計算するシステムを構築する。

(2)Webセーフカラー各色の分光放射輝度からJIS S 0031に基づく年代別輝度コントラスト比を求め、WCAG2.0輝度コントラスト比達成基準の妥当性を評価する。この結果を被験者による応答実験により評価する。

## 3. 研究の方法

(1)分光放射輝度測定は、測定視距離50cm、視角1°でWebセーフカラー各216色に対して実施した。LCDディスプレイはsRGBに準拠してあらかじめ較正した。測定で使用する分光放射輝度計は、1nm間隔での測定が可能である。測定した分光放射輝度のデータ例を図1に示す。測定は暗室内にて実施し、各色を5回測定し平均値を採用した。

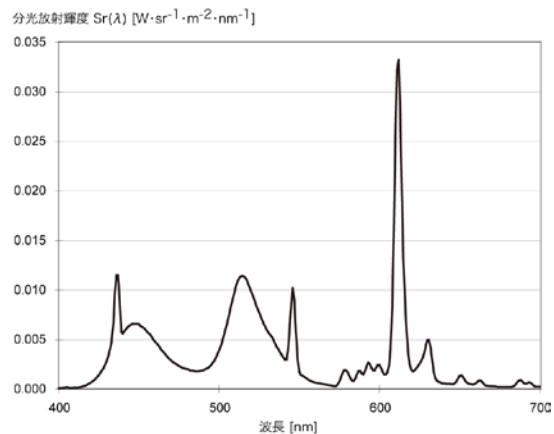


図1 分光放射輝度測定例(白色光)

(2)測定された分光放射輝度から、正規化された年代別相対輝度を導出する。まず、年代別相対輝度 $L_{(a)}$ を計算する。 $L_{(a)}$ は、次式に示したように、計測光の分光放射輝度 $S_r(\lambda)$ と年代別分光視感効率 $V_{(a)}(\lambda)$ との積和である。なお、 $a$ は年代を示すパラメータであり、積和の範囲はJIS S 0031で定められている400~700nmである。

$$L_{(a)} = \sum_{400}^{700} S_r(\lambda) V_{(a)}(\lambda)$$

$V_{(a)}(\lambda)$ は JIS S 0031 付表 1 において、10 歳代から 70 歳代までの値が示されており、 $\lambda = 555\text{nm}$ における値を 1 として正規化されている。次に白色光(#fff)および標準分光視感効率  $V(\lambda)$ による正規化を行う。正規化された年代別相対輝度  $L_{N(a)}$ を、標準分光視感効率下の白色光(#fff)の相対輝度  $L_{w(std)}$ に対する  $L_{(a)}$ の比として定義する。なお、 $V(\lambda)$ は  $\lambda = 555\text{nm}$ における値を 1 として、各  $V_{(a)}(\lambda)$ と対応させている。

$$L_{N(a)} = \frac{L_{(a)}}{L_{w(std)}}$$

上式のように年代別相対輝度を正規化することによって、WCAG2.0と同様の形式で輝度コントラスト比を計算し、その結果を比較することが可能となる。

#### 4. 研究成果

(1) Web セーフカラーの分光放射輝度を精密に測定し、データベース化した。これにより、Web セーフカラーの輝度コントラスト比を、sRGBによる理論値、分光放射輝度計による年代別コントラスト、および  $L^*$ 明度指数の比として多角的に計算することが可能になった。

(2) 分光放射輝度の測定および計算で得られた結果と、WCAG2.0に基づく理論値とを比較するため、その比  $R_{WCAG(a)}$ を、次式のとおり定義した。ここで  $L_{N(a)}$ は正規化された年代別相対輝度であり、 $L_{WCAG}$ はWCAG2.0に基づく相対輝度理論値である。

$$R_{WCAG(a)} = \frac{L_{N(a)}}{L_{WCAG}}$$

図 2 は  $R_{WCAG(a)}$ を HSV 表色系の最高輝度・彩度の Web セーフカラー 30 色 (HSV 色相  $12^\circ$  間隔)についてプロットしたグラフである。図 2 より、青階調値が最大となる HSV 色相領域 ( $180^\circ \sim 300^\circ$ )では  $R_{WCAG(a)}$ の各年代間での差

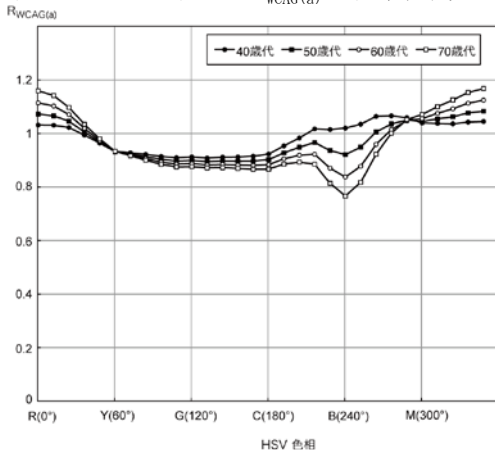


図 2  $R_{WCAG(a)}$ の HSV 色相別分布

が大きく、特に B(HSV 色相  $240^\circ$ ) 近傍において 50 歳代以降の年代における  $R_{WCAG(a)}$ の顕著な低下が見られ、70 歳代では 0.8 未満となることが明らかになった。これは、今回使用した LCD 光源色の分光放射輝度分布における波長の極大値が 612nm (赤)、513nm および 548nm (緑)、436nm (青) であることから、各波長領域における年代別分光視感効率の年代による差が寄与した結果である。

(3) WCAG2.0輝度コントラスト比達成基準の妥当性を検証するため、実測値に基づく年代別輝度コントラスト  $C_{(a)}$ をWCAGに準拠する形で求めた。 $C_{(a)}$ の計算式は次式の通りである。

$$C_{(a)} = \frac{L_{N,high(a)} + 0.05}{L_{N,low(a)} + 0.05}$$

本研究では黒(#000)を背景とした場合の  $C_{(a)}$ と WCAG2.0 の理論値  $C_{WCAG}$ とを比較した。Web セーフカラーのうち少なくともクラス AA に適合する 140 色について、 $C_{WCAG}$ に対する  $C_{(a)}$ の増加率の度数分布を、40 歳代から 70 歳代までの各年代別に集計したヒストグラムとして図 3 に示す。

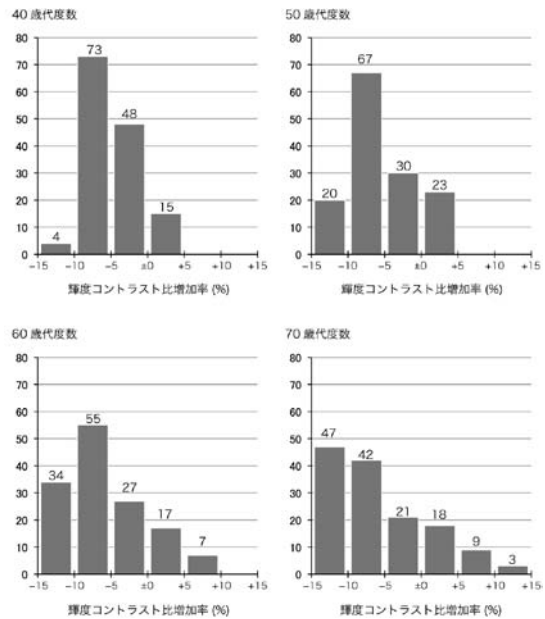
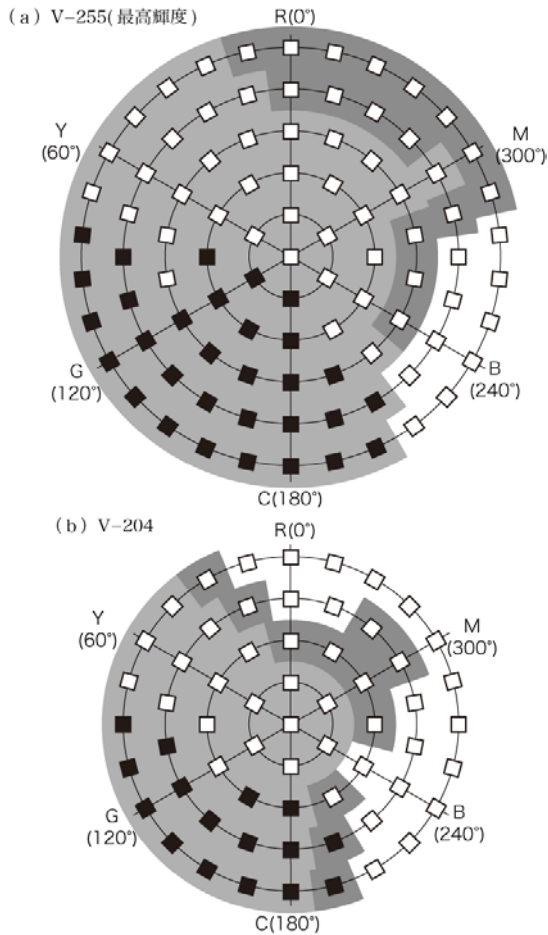


図 3  $C_{(a)}$ の増加率の年代別度数分布

図 3 より、 $C_{(a)}$ の増加率分布は加齢に伴ってより分散の大きいなだらかな分布となり、特に 70 歳代においては、10%以上減少する色が 47 色と多くなっている。

これらの 47 色を図 4 に表示する。図 4 の各円の円周方向は HSV 色相、半径方向は HSV 彩度に対応しており、クラス AAA に適合する色の集合を淡色、クラス AA に適合する色の集合を濃色の領域で示す。各小正方形は Web セーフカラーを表している。このうち、70 歳代における年代別輝度コントラスト比増加



■ : クラス AAA 適合領域 ■ : クラス AA 適合領域  
 図 4 C<sub>(70)</sub>増加率が-10%以上となる 47 色

率が-10%以下である 47 色を黒の塗りつぶしで示す。この 47 色のうち HSV 色相 84° ~ 180° の領域の色では、C<sub>WCAG</sub> が十分大きいため、加齢の影響は小さいと考えられる。一方、HSV 色相 180° を超える 7 色は、C<sub>WCAG</sub> が小さいため、加齢の影響は大きいと考えられる。

次に、加齢により WCAG2.0 適合条件が変化する色の一覧を表 1 に示す。適合条件が変化する色は、クラス AAA 適合色では 98 色中 4 色、クラス AA 適合色では 42 色中 1 色存在する。よって WCAG2.0 輝度コントラスト比達成基準は、加齢による感度低下を考慮したとしても、加齢により適合条件が変化する色が少ないことから、適切な規格であると判断できる。ただし、上述の通り HSV 色相 240° 近傍の領域では、50 歳代以降の年代別輝度コントラスト比の絶対値が低く、かつ減少率が大きいため、この領域の色を使用する場合には注意が必要である。また HSV 輝度が 153 以下の領域では、全年齢に対してクラス AAA に適合する Web セーフカラーが 1 色しか存在しないため、70 歳代以降の高齢者に対して情報提示を行う場合は、黒色の背景に対して HSV 輝度が 204 (cc<sub>16</sub>) 以上の前景色の使用が適切であることが明らかとなった。

クラスAAAからクラスAA適合に変化するWebセーフカラー

16進数表記	色度(CIE 1931XYZ表色系)			年齢(歳代)	輝度コントラスト比		
	Y(cd/m <sup>2</sup> )	x	y		WCAG理論値	測定値	増加率(%)
#69f	100.06	0.2105	0.2055	60	7.57	6.90(60) 6.86(70)	-8.9 -9.4
#999	98.11	0.3149	0.3298	60	7.37	6.96(60) 6.74(70)	-5.6 -8.5
#39f	93.71	0.1924	0.2018	40	7.14	6.89(40) 6.69(50) 6.52(60) 6.38(70)	-3.5 -6.3 -8.7 -10.6
#09f	92.06	0.1872	0.2010	40	7.00	6.78(40) 6.58(50) 6.40(60) 6.25(70)	-3.1 -6.0 -8.6 -10.7

クラスAA適合から不適合に変化するWebセーフカラー

16進数表記	色度(CIE 1931XYZ表色系)			年齢(歳代)	輝度コントラスト比		
	Y(cd/m <sup>2</sup> )	x	y		WCAG理論値	測定値	増減率(%)
#66f	61.55	0.1960	0.1443	70	4.91	4.44	-9.6

表 1 加齢により WCAG2.0 適合条件が変化する Web セーフカラー

(4) 若年被験者と高齢者分光透過率再現メガネを用いた、カラーマッチング法による応答実験の結果、高齢者視環境下においては特に HSV 色相 216° ~ 264°、HSV 彩度 204 以上の青系統の色度領域における大幅な感度低下が見られた。この実験結果は、WCAG 輝度コントラスト比達成基準に関する評価によって得られた結果と一致した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、年代別分光視感効率に基づくWCAG2.0輝度コントラスト比達成基準の評価、日本眼光学学会誌『視覚の科学』、査読有、32巻、2011、67～74

[学会発表] (計6件)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、Evaluation of WCAG 2.0 Success Criteria on Luminance Contrast Ratio Based on Age-Related Spectral Efficacy、IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction、2011年7月25日、アラン・マシオン・ホテル (ローマ市)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、Evaluation of the contrast defined in WCAG2.0 based on age-related spectral radiance、9th Pan-Pacific conference on Ergonomics、2010年11月8日、アンバサダーホテル (高雄市)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、年代別分光視感効率に基づくWCAG2.0輝度コントラスト比の妥当性の検討、平成22年度電気関係学会北陸支部連合大会、2010年9月11日、福井工専 (鯖江市)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、Verification of the appropriate contrast defined in WCAG2.0 based on age-related spectral radiance、3rd Applied Human Factors and Ergonomics International Conference、2010年7月18日、インターコンチネンタルホテル (マイアミ)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、Evaluation of Color Sensitivity of the Elderly in HSV Color System、13th International Conference on Human-Computer Interaction、2009年7月23日、コンベンションセンター (サンディエゴ)

藤田徹也、中嶋芳雄、高松衛、Evaluating Cataractous Color Sensitivity in HSV Color System、Proceedings of 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics、2009年5月27日、メルパルクホール (京都市)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 徹也 (FUJITA TETSUYA)

富山大学・芸術文化学部・准教授

研究者番号：70238575