

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650362

研究課題名(和文)色覚障害者に配慮した均等色空間および色差式の確立にむけた基礎研究

研究課題名(英文) Exploratory research on uniform color space and color-difference formula with consideration to color vision deficiency

研究代表者

坂本 隆 (SAKAMOTO, TAKASHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：90357111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：先天性色覚異常は遺伝的多型によって生じ、いわゆる赤緑色盲と呼ばれる1型と2型色覚は、日本人男性の5%、女性の0.2%、合わせて約320万人と、多数の者がこれに該当する。これらの色覚異常を有する者は、色の識別に困難を感じる事が多く、特に赤と緑、ピンクと空色、青緑と灰色など、混同色と呼ばれる色の区別が付きにくい。

色覚異常の場合に、どの程度まで色の差異を知覚できるのか正確に評価するためには、色の差異を定量化する色空間と、定量化のための色差式が必要である。しかしこれらは未だ明らかにされていない。そこで本研究は、色覚異常を考慮した均等色空間と色差式を提案し、これらの有効性について検証した。

研究成果の概要(英文)：Congenital color vision deficiencies (e.g., protan and deutan, commonly known as red-green color blindness) are caused by particular genetic factors and affect a significant percentage of the population. In Japan, for example, approximately 5% of males and 0.5% of females suffer from either protan or deutan color vision deficiency. Such people have difficulty distinguishing particular sets of colors. For example, protan and deutan people confuse red with green, deep-red with black, pink with sky blue, and blue-green with gray. These particular sets of colors are called confusion colors. To evaluate discriminability of colors from the viewpoint of people with color vision deficiency, a uniform color space and a color-difference formula are required, but they haven't been established yet. This study proposes a uniform color space and a color-difference formula with consideration to color vision deficiencies, and also verifies effectiveness of proposed color space and formula.

研究分野：福祉情報工学，色彩科学，視覚科学

キーワード：色覚異常 均等色空間 色差 1型2色覚 2型2色覚

1. 研究開始当初の背景

(1) 私たちの身の周りに存在する視覚表示は、色が重要な役割をはたしていることが多い。色を識別できなければ、視覚表示の意味が分からなかったり、見落としてしまったりする恐れもある。それゆえ視覚表示は、できるだけ多くの者が識別できるように配慮されるべきである。しかし実際には、色覚障害（例えば、赤緑色盲と呼ばれることもある1型色覚や2型色覚）の場合、視覚表示が見づらかったり、識別できなかったりすることがある。例えばカレンダーの日祝日を表す赤色インクの印刷は、1型色覚や2型色覚には黒色に見えてしまい、平日と日祝日の識別できない場合がある。こうした色識別が困難となる事例は、枚挙に遑がないほど存在する。

(2) 先天色覚異常を有する者にも、視覚表示を不自由なく識別できるようにする技術は、ここ10年くらいの間に研究が進み、国内外において成果が出つつある。様々な技術的アイデアが提案され、実用化に向けた取り組みもなされている。その一方で、視覚表示の視認性を色覚障害者の色覚特性に基づき客観的に評価し、これを視覚表示の改善に結び付けるための基準は、未だ確立されていない。

(3) 例えば色差と呼ばれる色の差異を表す基準は、視覚表示の視認性を評価する際に不可欠であり、測色値に基づいて色差を計算することで、視覚表示の視認性の良し悪しを客観的に評価することができる。この色差は、JIS規格等で規定されている $L^*a^*b^*$ や $L^*u^*v^*$ 等の均等色空間と色差式を用いて計算することができる。しかしJIS規格等で規定されている色差（および均等色空間と色差式）は標準観測者、すなわち色覚健常者をモデルに想定したものであり、1型色覚や2型色覚などの色覚異常については考慮されていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、1型色覚や2型色覚などの色覚異常を考慮した均等色空間と色差式の提案である。前節（1. 研究開始当初の背景）で解説をしたように、色差と呼ばれる色の差異を表す基準は、視覚表示の視認性を評価する際に不可欠である。特に色の識別に障害を有する色覚異常を対象とした色差の評価・計算法の確立は、喫緊の課題である。

(2) 均等色空間は、色差を定義する上で重要な役割をする。2つの異なる色が存在するとき、これらを均等色空間の中の2点として表現し、その2点間の距離（ユークリッド距離）を色差とするのが、JIS規格等で規定されている色差の定義である。またユークリッド距離を計算するための数式が、すなわち色差式である。JIS規格等で規定されて均等色空間も、色差式も、現状では色覚異常を扱えない。本研究はこれらの問題解決に取り組む。

3. 研究の方法

(1) 色覚異常を有する者が知覚する色差を疑似的に定量化する方法は、従来研究において幾つか散見される。それらは、色覚健常（3色覚）の見える画像から、2色覚の見えるシミュレーション画像を生成し、そのシミュレーション画像に対して、JIS規格等で規定されている（3色覚の）色差を適用するというものである。この方法の問題点として、

2色覚の見えるシミュレーション画像は、通常のRGB画像（つまり3色覚の見える画像）を用いて2色覚の見えるを表現するため、幾つかの拘束条件を仮定して疑似的に計算されるが、シミュレーションの手法や拘束条件の差異により、シミュレーション結果が異なること

3色覚の標準観測者に基づく色差が、2色覚の色差を考慮していないこと
の2つを指摘することができる。これらが原因で色差評価が上手くできない事例は、次節（4. 研究成果）において示す。

(2) 本研究では、人の網膜に存在する色の違いを捉える3種類の錐体細胞に着目し、これらの錐体細胞が感受する刺激強度を表現し得る錐体色空間（LMS色空間）から、直接色差を計算する手法を提案する。LMS色空間の均等化は、 $L^*a^*b^*$ や $L^*u^*v^*$ 色空間をXYZ三刺激値から計算する際の、明度に関する非線形変換式をLMSの各軸に対し適用することで実現する：

$$L^\# = 116 f(L) - 16$$

$$M^\# = 116 f(M) - 16$$

$$S^\# = 116 f(S) - 16$$

ここで $L^\#$, $M^\#$, $S^\#$ はLMSの各軸を非線形変換によって均等化した軸を表す。 $L^\#$, $M^\#$, $S^\#$ の最大値はそれぞれ100であるが、LMS軸はそれぞれ最大値1に正規化されていることに注意が必要である。また非線形関数 $f(x)$ は、次式で与えられるものとする：

$$f(x) = \begin{cases} x^{1/3} & x > 0.008856 \\ 7.787x + 0.1379 & \text{otherwise} \end{cases}$$

LMS色空間は、Hunt-Pointer-Estevézの変換行列をXYZ三刺激値に施すことによって求める。こうすることによって、sRGBと同じD65標準白色を想定することができる。1型2色覚の場合、網膜にL錐体が存在しないと考えられるため、1型2色覚が知覚する色は $M^\#$ と $S^\#$ のみで表現されると考えるのが妥当である。同じように、2型2色覚の場合、網膜にM錐体が存在しないと考えられるため、2型2色覚が知覚する色は $L^\#$ と $S^\#$ のみで表現されると考えるのが妥当である。

(3)本研究では、LMS 色空間からさらに色の属性（色相／彩度，明度）を分離して，2色覚が知覚する色属性に基づく均等色空間の構築も試みる．LMS の3軸のうち，明度知覚にS錐体は関与しないとする説が優勢であるが，本研究でもS錐体は明度知覚に関与しないという立場をとる．その場合，1型2色覚の明度知覚はM錐体だけで，また2型2色覚の明度知覚はL錐体だけで決まることになる．そこで明度知覚の軸を

$$\alpha = \begin{cases} 116(\lambda/\lambda_{\max})^{1/3} - 16 & \lambda/\lambda_{\max} > 0.008856 \\ 903.29(\lambda/\lambda_{\max}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

と定義することにする．ここで μ はL軸もしくはM軸を表す．また色相／彩度の知覚には，1型2色覚の場合はM値とS値の比，2型2色覚の場合はL値とS値の比だけが関与することから，

$$\beta = \arctan(\mu/\nu) - \arctan(\mu_E/\nu_E)$$

で定義することにする．ここで μ/ν は，1型2色覚の場合はM値とS値の比を，2型2色覚の場合はL値とS値の比を表す．また添字 E は μ と ν が等エネルギーとなる値を表す．なお μ と ν が張る2次元色空間の均等性については，研究を進める過程で色々と議論を重ねたが，まだ結論は出ていない．今後も論考と検証を継続して行く予定である．

4. 研究成果

(1)図1は2通りの2色覚シミュレーションの結果を，L*a*b*色空間(a*b*色平面)に図示したものである．

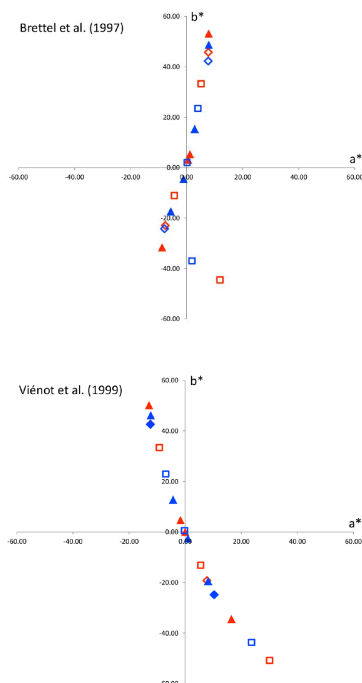


図1 2通りの2色覚シミュレーション結果

図1上は Brettel et al. (1997) が提案したシミュレーション技法を用いて推定した2色覚の見えを，図1下は Viénot et al. (1999) が提案したシミュレーション技法を用いて推定した2色覚の見えを図示している（赤が1型2色覚，青が2型2色覚）．a*b*色平面における色分布が，両者で大きく異なっていることが明らかである．この相違は，シミュレーションをする際に仮定した拘束条件の違いによって生じたと考えられる．もしこのまま L*a*b*色空間内に分布させた各点間の距離を計算するならば，両者から計算される色差にはかなり大きな食い違いが生じると考えられる．またいずれのシミュレーション技法も，拘束条件を設けることで疑似的に2色覚の見えを表現しているが，それらは近似計算であり，精緻な推定結果ではないことも，食い違いの原因の一つと考えられる．

(2)図2は M#と S#（1型2色覚），L#と S#（2型2色覚）を用いて，2色覚の見えを均等色空間の中に図示したものである．各色点間のユークリッド距離がそのまま色差に一致し，2色覚シミュレーションを用いたときのような技法の違いによる差異や，近似計算による誤差を含んでいない．図2の \times や \circ はそれぞれ異なる色を表しているが，例えば赤丸で囲んだ部分の \times は，よりも互いの距離が近いこと，すなわち色差が小さく知覚されるということが分かる．

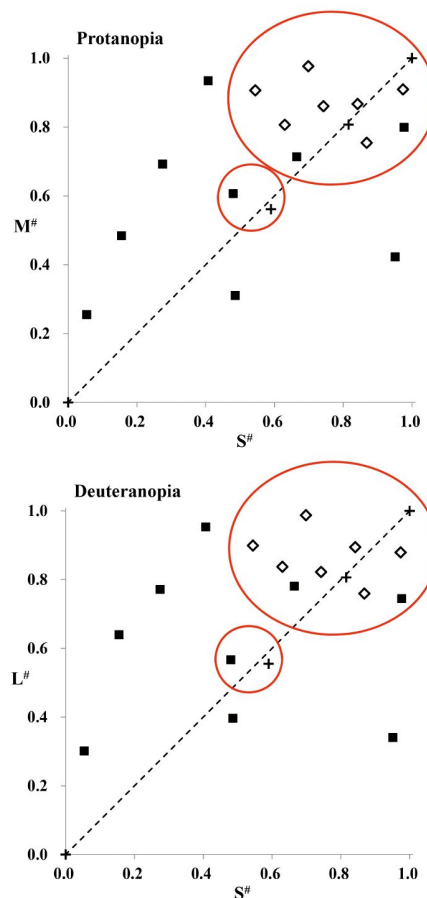


図2 2色覚の見えを L#M#S#を用いて図示

このように、本研究の成果を用いることによって、色覚異常の者が知覚する色差を定量的に評価し、またこれを図示して確認することが可能になった。

<引用文献>

Brettel, H., Viénot, F., Mollon, J. D., Computerized simulation of color appearance for dichromats, *The Journal of the Optical Society of America A*, 14(10), 2647-2655 (1997)
Viénot, F., Brettel, H., Mollon, J. D., Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats, *Color Research and Application* 24(4): 243-252 (1999)

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3件)

Sakamoto, T., Image color reduction method for color-defective observers using a color palette composed of 20 particular colors, *Proc. SPIE*, **9395**, 2015, 939514, 1-6

DOI: 10.1117/12.2078839

Tamura, S., Okamoto, Y., Nakazawa, S., Sakamoto, T., Shigeri, Y., Practical color barrier-free illumination for deuteranopia using LEDs, *Color Research and Application*, **40**(3), 2015, 218-223

DOI: 10.1002/col.21884

坂本隆，色覚バリアフリー技術 シミュレーション、色変換、情報保障，ヒューマンインタフェース学会誌，**16**(4)，2014，269-274

[学会発表](計5件)

Sakamoto, T. and Tamura, S., Theoretical analysis of Ishihara color plates under some special illuminations, AIC Interim Meeting, 2014/10.

Sakamoto, T. and Tamura, S., Why Special Illumination Conditions Yield Better Distinction of Panel D-15 Test for Color Vision Defects, 2nd Asian Color Association, 2014/9.

Sakamoto, T., Colour Space to Express Colour Attributes of Dichromatism: A Trial Study, AIC Colour 2013, (12th Congress), 2013/7.

坂本隆，特殊 LED 光源下における 2 型 2 色覚者の視え: CIELAB を用いた分析，視覚情報基礎研究会，2014/6.

坂本隆，色覚障がい者（特に 2 色覚）が知覚する色差式の必要性和導出の試み，日本色彩学会大会，2013/11.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 隆 (SAKAMOTO Takashi)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：90357111