

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560031

研究課題名(和文) 色覚障害者を考慮したユニバーサルカラー画像処理

研究課題名(英文) Universal Color Image Processing for Color Deficiencies

研究代表者

矢口 博久 (YAGUCHI HIROHISA)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：30134844

研究成果の概要(和文)：

色覚障害者には2色覚, 異常3色覚, それぞれに強度, 弱度と個人差が多い。本研究ではこのような多様な色覚障害者の見えのシミュレーションの方法を開発し, 実際の色覚障害者によりその有効性を実証した。

研究成果の概要(英文)：

There are many types of color deficiencies, such as dichromats and anomalous trichromats. We developed the method to simulate color appearance for many types of color deficiencies, and evaluated the validity of our method by the psychophysical experiments by color deficient subjects.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：視覚工学, 色彩工学

科研費の分科・細目：応用光学・量子工学

キーワード：カラーユニバーサルデザイン, 色覚異常, 色弁別

1. 研究開始当初の背景

我々は日常生活において多くの情報を視覚から得ている。その中でも色彩情報はものの認識や危険の予防に用いられており、重要な役割を担っている。現在社会において色彩は様々な分野で積極的に活用され、電車の路線図、交通信号灯、道路標識など色の違いによる視覚情報の呈示に役立てられている。しかし、その視認性や識別性などは基本的に色覚正常者を対象にしており、色覚障害者への配慮がなされているものは少ないと言える。

人間の目の網膜には3種類の錐体細胞があり、それらは可視域の長波長、中波長、短

波長に感じる視物質をもっており、それぞれ L, M, S 錐体と呼ばれている。これら3種類の錐体がどれだけ光を吸収したか、その3つの比率によって見えている光の色が決まる。この3種類のうち、どれかの視物質が損なわれた時に色覚異常が生じる。3種類のうち1種類の錐体が欠如している、または1種類の分光感度曲線がずれて他の分光感度に近づいている場合、残った錐体の出力の差を利用して大半の色は見分けることができるが、特定の範囲の色については識別が困難になる。例えば、L錐体を欠如した2色型第1色覚異常の場合、赤と緑、黄緑と緑などが識別しに

くくなる。

色覚異常者は遺伝性の先天性色覚異常だけに限っても、日本人では男性の約 5%、女性の約 0.2%、またヨーロッパでは男性の約 8%、女性の約 0.5%という出現頻度が報告されている。現在のところ外科的手術や訓練などを施しても、色覚機能は回復せず、色覚機能回復のための有効な手段は存在しない。

一方、色覚異常者は特定の範囲の色の識別が困難であるものの、正常者と変わらない色名をもっているという報告もある。つまり、色の識別ができなくても、色の認識ができる場合もある。このことは、人間の視覚情報処理過程において色を識別するレベルと色を認識するレベルが異なることを意味している。色覚正常者の場合、色の認識がものの認識の手がかりとなるが、色覚異常者の場合、ものの認識が先で、その結果、そのものが何色であるかを認識しているとも考えられる。色の識別は困難でも、学習など様々な手がかりにより色を判断できていると考えられる。我々を取り巻く自然環境の色は生まれてから自然に学習されてきており、色を知ることができるので、大きな問題は生じない。しかし、路線図、ディスプレイの色文字のような人為的に作られた色の組合せ、初めて見るものについては色の認識が困難になると考えられる。

先天性色覚異常者にとって環境の色がどのように見えているかをシミュレーションすることは非常に難しい問題である。これにはいくつかの理由があるが、第1の理由は、色覚異常者にも種々のタイプ、識別能力の程度の違いがあることである。第2の理由は、色覚異常者に限らず、他の人が見ている色が自分の感じている色と同じであるかどうかを確認する方法がないことである。例えばバナナの色を黄色と表現するが、「黄」という色の名前を使って表現しているにすぎず、その「黄」を他の人がどのような色として見ているかは分からない。Brettleら(J.Opt.Soc.Am.A, 14, 2647-2655 (1997))は色覚異常者の色の見えのシミュレーション手法を提案しているが、第1の理由については、2色型色覚異常者を対象とした。第2の理由については、一方の眼は色覚異常であるが、他方の眼が3色型正常である被験者の実験データをもとにした。つまり、色覚異常の眼で見える色を他方の正常眼で見た色に置き換えることによって、色覚異常の色の見えのシミュレーションを行った。我々は、Brettleらの手法によるシミュレーションを基に、色覚異常者にとっての色差式を提案し、色覚異常者の色の識別能力を色差で評価する方法を開発した。このシミュレーションの手法と色覚異常者の色差評価により、与えられた画像に対し、何らかの色変換を施した場

合の画像が色覚異常者にとってどの程度みやすくなったかの評価が可能になった。

色覚異常者にとって色を識別しやすくする色変換方法には2つの方法が考えられる。第1の方法は2色型色覚異常の場合、残された色識別の機能を効率良く利用する方法である。第2の方法は、欠損された色識別機能でも、識別能力の程度があるので、欠損された色識別機能で見る色差を強調する手法である。色覚モデルでは、錐体細胞からの情報は次の水平細胞以降は、輝度情報(A)と赤/緑反対色情報(T)、黄/青反対色情報(D)に変換され、より高次のレベルに流れていく。

赤/緑反対色情報はL錐体とM錐体の差の情報となっているので、L錐体の欠如している2色型第1色覚異常、M錐体の欠如による2色型第2色覚異常の場合どちらも赤/緑反対色情報の識別が困難になる。S錐体の欠如している第3色覚異常は数万人に1人という出現頻度であるので、まずは第1、第2色覚異常が対象となる。我々は第1の方法の残された黄/青反対色情報を強調する手法により、その有効性を示した。

我々の研究を含め従来の研究では、画像の空間周波数成分など空間的構成は考慮せず、単に色変換のみを行ってきた。しかし、人間の視覚特性は輝度情報と反対色情報の識別特性には空間周波数特性がおおきく異なることが知られている。輝度変化は帯域通過型のコントラスト感度を持ち、一方反対色方向の変化については低域通過型のコントラスト感度関数を持つ。この視覚特性を利用して、画像の空間構成に依存した画像処理方法も考えられる。輝度の差がなく色の差だけでできた境界線は色覚異常者にとっては非常に識別しにくいものであるが、輝度成分あるいは色成分のエッジ強調により見やすい画像となることが期待される。

また、これまでの研究では色覚異常者を被験者にしたシミュレーションの評価が不十分であった。前にも述べたように、色覚異常者の識別能力の程度は個人差が大きい。したがって、色覚のタイプ、識別能力に対応できるような柔軟な画像処理方法が望まれるところである。

2. 研究の目的

以上の背景から、色覚障害者にも識別しやすい環境のデザイン(カラーユニバーサルデザイン)の重要性が指摘されている。本研究の目的は、色覚障害者の視覚特性を考慮した画像処理方法を開発し、色覚障害者にも色が識別しやすい画像を再現するシステムを構築することである。

3. 研究の方法

本研究では、以上のことを考慮し、以下の

ような特色・独創性をもつ方法で研究を進めた。

- ① 色情報以外の手がかりがない対象について有効な色変換方法を開発する。
- ② 人間の色覚メカニズムを十分に考慮した色変換方法を開発する。
- ③ 色覚異常の程度に対応できる柔軟な色変換方法を開発する。
- ④ 画像の空間構成に依存した画像処理方法を開発する。
- ⑤ 種々のタイプ、程度の色覚異常者に被験者として実験に参加してもらい、色覚特性の測定、変換画像の見やすさの評価を行う。

4. 研究成果

Brettel らは、LMS 錐体刺激値が同エネルギーとなるような点を E として、原点 0 から E へのベクトル OE 上では色覚正常者と二色覚者の色知覚が同じであると仮定した。そこで、代表色 A として 475nm と 575nm (一型、二型の場合) を決定し、与えられた刺激 Q をベクトル OE と代表色 A で構成される平面上に投影することで二色覚者が知覚する刺激 Q' を再現した(図 1)。

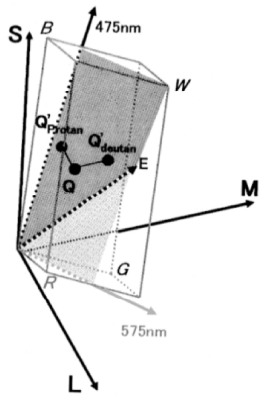


図 1 Brettel らの二色覚モデル

本研究では、異常三色覚は Brettel らの二色覚モデルと同様に投影によって再現できると仮定し、異常三色覚者の知覚する刺激 Q'' を式(1)のように表す。

$$Q'' = Q' + k(Q - Q') \quad (1)$$

k は 1~0 の数値であり、0 の時には二色覚、 $0 < k < 1$ の時には異常三色覚、1 の時には三色覚の色の見えをそれぞれ再現する。以降 k は、説明の簡略化のために「変調係数」として扱う。

変調係数 k は Q と Q' の間の割合を示し、二色覚において欠損しているとされる錐体が残っており反応を示す割合となる(図 2)。

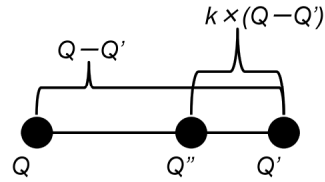


図 2 提案手法の原理

提案手法の妥当性を調べるために、被験者実験を行った。

図 3 のように呈示された 2 つの刺激の右側を左側と同じ色になるように被験者が変調係数 k を調整する実験を、暗室環境、視距離 70cm, 両眼視という環境で行った。

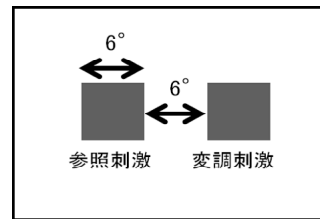


図 3 実験概要

実験の刺激色には、Macbeth Color Checker から抜粋し、これまでの研究で再現度が低いという結果を得た Bluish Green (BG), Orange (OR), Moderate Red (MR), Yellow Green (YG), Orange Yellow (OY), Green (G), Red (R), Magenta (M) の計 8 色を用いた。

被験者は異常三色覚の色覚異常者 2 名 (YN: 一型, AS: 二型), 色覚正常者 2 名 (HO, KS). それぞれ、石原表, パネル D-15, SPP, アノマロスコプを用いて色覚検査を行った。

図 4 に各被験者の結果を示す。横軸は呈示色、縦軸は変調係数 k を示し、変調係数が高いほど正常な見えに近く、低いほど二色覚の見えに近くなっている。エラーバーは応答した変調係数。k の幅を示している。

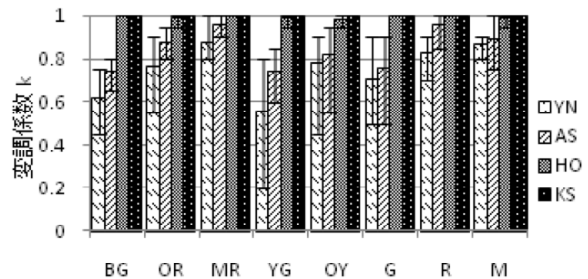


図 4 実験結果

色覚正常の 2 名の結果は全ての色に対してほぼ 1.0 (=三色覚) を示しているが、異常三色覚の 2 名は 1.0 からは離れた値を多く示して

いる。

異常三色覚の2名は色によって変調係数 k に個人差はあったが、赤系の変調係数は大きく、緑系の変調係数が小さくなるという同様の傾向を示した。

結果より、一型、二型に関らず、赤系は変調係数 k が高くても違う色と知覚したが、緑系は変調係数 k が比較的小さく、より二色覚に見えが近いということが分かる。

赤系と緑系の結果に差が生じた原因を調べるため色差 ΔE_{ab} と明度差 ΔL を求めた(図5, 図6)。

図5より、赤系の色差が小さく、緑系の色差が大きいことがわかる。これより、変調係数と色差の間には同様の関係性があることがわかる。

図6より、赤系は変調係数 k が小さくなると明度は減少し、緑系は変調係数 k が大きくなると明度が増加していることがわかる。これより、色覚異常者は明度が増加する方向の感度が低いということが示唆された。

また、色覚異常者の被験者それぞれに必要な変調強度が異なった事から、個人差に応じた色再現の必要性が示唆された。

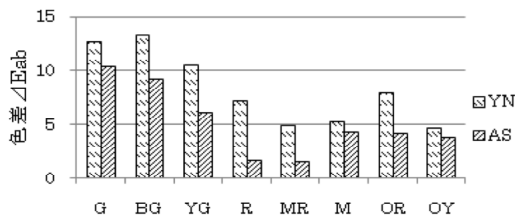


図5 参照刺激との色差

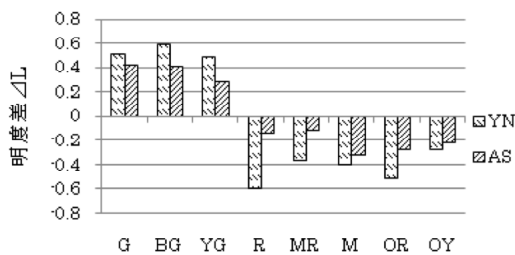


図6 参照刺激との明度差

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4件)

- ①. T. Inamura, S. Shioiri, S. Tsujimura, H. Yaguchi, Nonlinear two-stage model for color discrimination, J. Opt. Soc. Am. A, 28, 704-712 (2011)
- ②. Y. Mizokami and H. Yaguchi, Perception of Colorfulness Influenced by Chromatic Variance in Indoor Environments, J. Light & Vis. Env.,

Vol. 34, 2, 69-75 (2010)

- ③. 喜多靖, 永瀬達也, 佐野一賢, 溝上陽子, 矢口博久, HIDと白色LEDにおける光源色の見えと測色値の不一致, 照明学会誌, Vol. 93, 92-99 (2010)
 - ④. Koichi Shimono, Satoshi Shioiri, Hirohisa Yaguchi, Psychophysical evidence for a purely binocular color system, Vision Research, Vol. 49, 202-210 (2009)
- [学会発表] (計5件)
- ①. 香川由佳里, 矢口博久, 溝上陽子, 観察条件の違いによる色覚異常者のカテゴリカル色知覚の変化, 日本色彩学会全国大会, 千葉, 2011. 5. 14
 - ②. 香川由佳里, 溝上陽子, 矢口博久, 色覚異常者のカテゴリカル色知覚, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会, 東京, 2010. 9. 18
 - ③. K. Ogawa, H. Yaguchi and Y. Mizokami, Color discrimination on various test of color deficiency, 6th Asia-Pacific Conference on Vision, Taipei, 2010. 7. 22
 - ④. 小川香里, 矢口博久, 溝上陽子, 二型色覚者の色弁別特性, 日本色彩学会第40回全国大会, 日吉, 2009. 5. 16
 - ⑤. 大田尚, 矢口博久, 溝上陽子, 異常三色覚者の色の見えの再現方法に関する検証, 日本色彩学会全国大会, 岐阜, 2010. 5. 15

[図書] (計1件)

新編色彩科学ハンドブック, 第3版(分担),

日本色彩学会編, 東京大学出版会, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢口 博久 (YAGUCHI HIROHISA)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号: 30184844

(2) 研究分担者

溝上 陽子 (MIZOKAMI YOKO)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 40436340