

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：16201
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2019
課題番号：17K17928
研究課題名(和文)色覚デジタルカラーフィルタ：色覚異常者のための色覚バリアフリーな呈示手法の提案

研究課題名(英文)Digital colored filter for color perception of red-green color vision deficient observers

研究代表者
佐藤 敬子 (Sato, Keiko)
香川大学・創造工学部・講師

研究者番号：30647889
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：色覚異常者のためのバリアフリーシステムとして、表示デバイスに実装可能な「色覚デジタルカラーフィルタ」を提案した。研究期間内において、(課題1)カラーフィルタにより色覚異常者の弁別性が向上するメカニズムを解明し、(課題2)そのメカニズムに基づき1型色覚異常に有効なカラーフィルタを作成し、(課題3)フィルタの有効性を視覚実験により示した。その結果、フィルタを通した色覚異常者の色知覚がどのようなメカニズムで向上したのかを解明し、カラーフィルタ作成のための方針と理論を得ることができた。また、提案したフィルタは、1型色覚者の色弁別能力を向上させるには効果的な手法である可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

着色レンズの原理をデジタルフィルタに応用した試みの新規性、さらに、弁別性がどのようなメカニズムで向上するかを明らかにしたことは、色覚異常者の視覚特性、特に、異常の型による特性差について重要な知見を示したと考えられる。また、提案したフィルタを、今後普及が見込まれる透過型ヘッドマウントディスプレイやヘッドアップディスプレイ等の表示デバイスに適用することによって、より効果的な色覚バリアフリー化が可能である。これにより、色覚異常者が多様な色を弁別できるようになるだけでなく、より多様な職業を選択できる機会が得られる可能性も広がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：As a supporting system for people with color blindness, a digital colored filter for color perception that can be implemented in a display device was proposed. During our research period, we carried out following three tasks: we elucidated the mechanism by which the colored filter improves the discrimination performance of colors by red-green deficient observers, we developed a colored filter based on the mechanism, and we demonstrated the effectiveness of the proposed filter by visual experiments. As a result, we were able to elucidate the mechanism by which the color perception of color deficient individuals through the filter was enhanced, and to obtain a theory for generating a colored filter. We also showed that the proposed filter may be an effective method to improve the color discrimination ability of color vision deficient individuals with protan type.

研究分野：感覚知覚情報処理

キーワード：色覚異常 色知覚 カラーバリアフリー 表示デバイス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本における色覚異常者の割合は男性の約 5%、女性の約 0.2%であり、特定の範囲の色に対する応答や色の識別が困難である。現在、強制の色覚検査は廃止されているが、成人後異常に気づく人が少なくないことから、検査を再開する動きもある。色覚異常者は、日常生活の中で色の見分けがつかないといった問題を抱えており、強度色覚異常の場合は、職種の制限を受けることもある。特に、赤と緑を混同する赤緑色覚異常者(1型及び2型色覚異常)が最も多く、LもしくはM錐体の機能に異常を抱えることにより、この2つの錐体応答の割合によって処理されるL-M応答(赤緑反対色応答)が等しくなることがあり、その範囲の色同士を混同する。

色覚異常者の色知覚を補助するための装置として、補正メガネやコンタクトレンズ等[1]が存在する。これは、着色されたレンズが、短中波長帯を吸収、長波長帯を透過することで、錐体応答割合が変化し、その結果、識別しづらい色の組み合わせに輝度差(知覚される色の明るさの差)が生じて弁別しやすくなるため、と考えられている。しかし、異常の型や強度によって効果は様々で、その原理については解明すべき点が残る。さらに、着色レンズは、ある範囲の色の識別を改善できる一方で、暗所での色識別を難しくするなどの欠点から、使用環境が限定されるため、日常生活で使用するには不便である。

一方、表示デバイスにおける、色覚異常者のためのバリアフリーシステムとして、弁別が困難な色を別の色に変える、テクスチャや点滅で差をつける、などの手法が存在する。しかし、このような手法では、画像のイメージが損なわれる、色数が多い場合リアルタイムで処理できない等、問題点が多い。しかし、今後普及が見込まれる透過型ヘッドマウントディスプレイ等は、視野に直接情報を呈示することができるため、物理的な着色レンズより便利で効果的なバリアフリー化が可能である。

2. 研究の目的

本課題では表示デバイスに実装可能な「色覚デジタルカラーフィルタ」を提案する。これは、着色レンズの原理を表示デバイスに応用する新しい試みであり、画像にカラーフィルタを合成することで、識別困難な色合わせに輝度差を生じさせ、弁別性を向上させるものである。一部の色を変換する既存手法とは違い、より自然な補正が可能な新しい概念の色覚バリアフリー化と考えられる。さらにフィルタ合成は画像補正としてシンプルな手法であり、既存のディスプレイにも簡便に実装できる。これまでに研究代表者は、色覚異常者の色知覚について成果を発表しており、すでにカラーフィルタの作成に着手していた。第1段階として、着色レンズの分光透過率から作成したカラーフィルタにより、2型強度色覚異常者の弁別能力が向上することを確認したが、1型に対しては効果が見られなかった。本課題では、異常の型や強度にあわせた色覚デジタルカラーフィルタを提案するために、【課題1】2型色覚異常者の弁別性が向上したのはどのようなメカニズムによるものかを解明し、【課題2】その理論に基づいて異なる型に対応するカラーフィルタを作成し、【課題3】フィルタの有効性を示す必要があった。

3. 研究の方法

本課題では、色覚異常の型ごとに効果的な「色覚デジタルカラーフィルタ」の作成を目指して、3年の研究期間内において、3つの課題を設定して研究を進めた。具体的には、

- ・(課題1) カラーフィルタにより色覚異常者の弁別性が向上するメカニズムを解明し、
- ・(課題2) そのメカニズムに基づき1型色覚異常に有効なカラーフィルタを作成し、
- ・(課題3) フィルタの有効性を2種類の視覚実験により示す。

ことであった。上記3つの課題に取り組むことにより、既存の色覚バリアフリーシステムとは異なる概念に基づいた、新しい、より自然な視環境の提供を可能にするカラーフィルタ理論の確立を目指した。

平成29年度は、研究代表者らが既に作成したデジタルカラーフィルタによって2型強度色覚異常者の弁別能力がどのようなメカニズムで向上したのかを解明するための視覚実験と分析を行った。これにより、1型色覚異常に対応するカラーフィルタ作成のための方針と理論を得た。平成30~31年度は、課題1で明らかにしたフィルタによる弁別性向上のメカニズムに基づき、主に1型色覚異常に対して有効なフィルタを作成し、提案したフィルタの実用性を評価するための視覚実験を行った。

4. 研究成果

(1) 課題1の成果

まず、物理的に眼前に装着するレンズ用フィルタの分光透過率を基にデジタルカラーフィルタとして再現し、フィルタによる色覚異常者の色弁別性について理論的に検証した。具体的には、X-Chrom レンズに類似したレンズの分光透過率に基づいてフィルタとしてモニタ上に再現した。そ

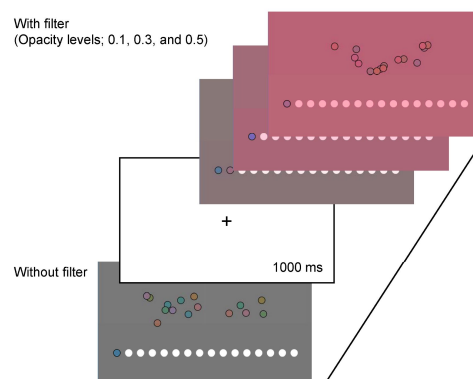


図1 視覚実験(D-15テスト)の流れ

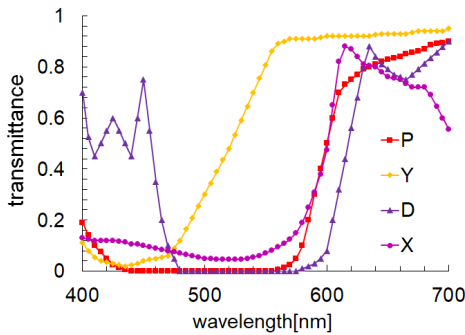


図2 着色レンズの分光透過率

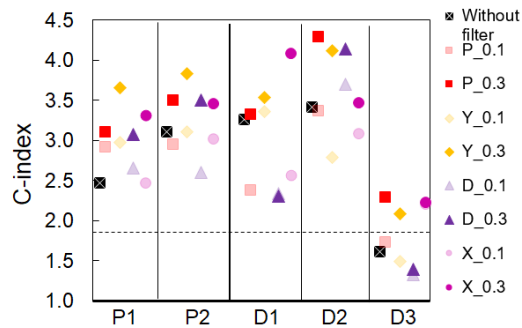


図3 各フィルタ条件における C-index

して色弁別性を評価するため、色覚異常者 14 名を対象にして、マンセル D-15 テストにより、着色フィルタの効果を検査した。

その結果 2 型色覚者の色弁別能力は向上したが、1 型色覚者の色弁別能力は向上しなかった。また、人の色知覚モデルに基づく分析から、2 型ではフィルタによって色間の輝度コントラストが増加していたのに対して、1 型では減少していることを示した。この結果の問題点として、D-15 テストでは色覚異常者の色弁別性を十分に評価できなかった可能性があげられた。

この問題点を踏まえ、1 型色覚者の色弁別能力を向上させる着色フィルタについてさらに調査を行った。具体的には、先の研究[2]で用いたフィルタに加え、Moreland et al.の研究[3]で用いられた異なる 3 種類のレンズ用フィルタの分光透過率に基づいてモニタ上にフィルタを再現した。参照した着色レンズの分光透過率を図 2 に示す。また、色弁別性の評価にはより詳細な色弁別性を見るため、マンセル 100-hue test を用いた。実験は色覚異常者 5 名に対して行われた。

図 3 に実験参加者ごとの各フィルタ条件での 2 回分の C-index 平均値を示す。C-index は、色票の並び替え位置によって求められる指標であり、色覚異常の強度を表し、値が大きいと色弁別能力が低く、値が小さいと色弁別能力が高いことを示す。色票が順番通りに並び替えられた場合の値は 1 となり、1.8 程度までが正常色覚、1.8 程度より大きくなると色覚異常に分類される。

1 型の結果を見ると、P1 ではフィルタなし条件と比較して、どのフィルタあり条件でも色弁別能力は向上しなかったが、P2 では、2 型と同様、フィルタなし条件と比較して透明度 0.1 のフィルタあり条件において色弁別能力が向上した。その中でも特に D フィルタの効果が高かった。この結果から、1 型色覚者では Y フィルタを除く、3 種類のフィルタが色弁別能力を向上させる効果が示唆された。まとめると、1 型色覚者に対しては、長波長帯 (600 nm ~ 700 nm) を透過し、中波長 (500 nm ~ 600 nm) を吸収するフィルタが色弁別性を向上させる可能性を示唆した。

(2)課題 2 および課題 3 の成果

課題 1 の結果に基づき、課題 2 では、赤緑色覚異常の型や強度に合わせたデジタルカラーフィルタ (以降 DCF と略記) の提案を行った。DCF を提案するにあたって、Kovács et al.の手法[4]を参考にし、1 型色覚者の異常強度を考慮した DCF を提案した。課題 3 として、提案した DCF の効果を検証するため、色弁別性を D-15 テストによって、色名応答性を色命名テストにより評価した。

Kovács et al.は、色覚異常者がフィルタを通して観測した際の RGB 色空間から LMS 色空間への変換行列を、正常色覚の場合の変換行列に一致させるようにフィルタを求める手法を提案している[4]。方法としては、まず目標とする正常色覚者の変換行列を、正常色覚者の錐体感度関数とモニタの分光分布に基づいて求めた。次に、色覚異常者の場合の変換行列を求めるが、正常色覚とは錐体感度関数が異なるため、例えば 1 型の錐体感度関数は、L 錐体の波長シフト量を $\Delta\lambda$ として、M 錐体側にシフトさせることで表現する。この錐体感度関数とモニタの分光分布から、1 型色覚異常の変換行列が求まる。この変換行列と正常色覚者の変換行列が一致するように DCF の分光透過率 $F(\lambda)$ を求めることで、DCF を通した際に、色覚異常者が正常色覚者と同様の錐体刺激を得ることができる。これを達成するために、非線形最小二乗法 (LM 法) を採用して求めた結果、図 4 に示すような分光透過率を異常強度別に求めることができた。

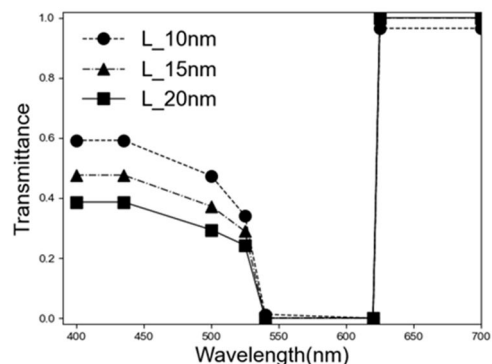


図4 提案した DCF の分光透過率

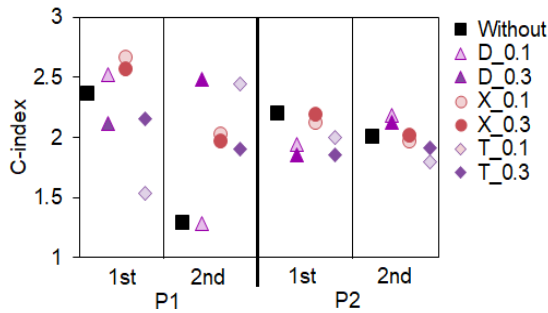


図5 各参加者の C-index 値

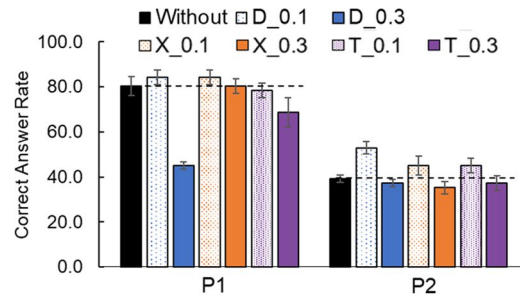


図6 各参加者の色名正答率

提案したフィルタの有効性を示すため、課題1で用いたフィルタ(D, Xフィルタ)を含む3種類のフィルタ条件で視覚実験を実施した。実験は1型色覚異常者2名を対象にして、課題1の実験同様モニタ上で行われた。色弁別性の評価のためにD-15テストを、色命名の評価のために色命名テストを実施した。

図5に、参加者ごとの各フィルタ条件での2回分のC-index値を示す。提案したTフィルタ条件については、P1の2回目の結果を除いて色弁別性が向上した。Tフィルタを通して観測された時に、色弁別性が向上した理由の一つとして、弁別しづらかった混同色線上の色刺激の色度に変化し、弁別可能になったことが挙げられるだろう。

また、色命名テストの結果については、正常色覚者において応答率が最も高い色名を正答として正答率を求めた。図6に、参加者ごとの各フィルタ条件での正答率を示す。フィルタの透明度0.3のDフィルタにおいてP1の正答数が大きく悪化したことを除けば、顕著な変化は見られなかった。

実験より、課題2で提案したDCFは、1型色覚者の色弁別能力を向上させるには効果的な手法である可能性が示された。しかし、異常強度が低いもしくは中程度の1型色覚者や2型色覚者の異常強度別においても色弁別能力を向上させるのかはまだ不明な部分が多い。今後は、提案したDCFが赤緑色覚異常の型と異常強度を考慮できるのか更に検討する必要がある。

<引用文献>

- [1] Zelter, H.I. (1971). The X-Chrom lens. *Journal of the American Optometric Association* 42, 933-937.
- [2] Sato, K. et al. (2019). Discrimination of colors by red-green color vision-deficient observers through digitally generated red filter. *Visual Neuroscience* 36, 1-9.
- [3] Moreland, J.D. et al. (2010). Quantitative assessment of commercial filter 'aids' for red-green colour defectives. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(5), 685-692.
- [4] Kovács, G. et al. (2001). Enhancing color representation for anomalous trichromats on CRT monitors. *Color Research & Application*, 26(S1), S273-S276.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sato Keiko, Inoue Takaaki, Tamura Shuto, Takimoto Hironori	4. 巻 36
2. 論文標題 Discrimination of colors by red-green color vision-deficient observers through digitally generated red filter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Visual Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） http://dx.doi.org/10.1017/S0952523818000068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HINO Yoshitaka, SATO Keiko	4. 巻 17
2. 論文標題 The Effects of Aging and Illuminance on Perceived Saturation: Direct Scaling and Paired Comparison Scaling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Affective Engineering	6. 最初と最後の頁 205~211
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-17-00037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shuto Tamura and Keiko Sato
2. 発表標題 Age-related differences in visual search for color targets manipulated based on cone-contrast model
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西谷和雅・佐藤敬子
2. 発表標題 異常3色覚の強度測定を目的とした最適なシミュレート手法の比較と評価
3. 学会等名 平成30年電気学会産業計測制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村柸人・佐藤敬子
2. 発表標題 加齢が視覚的注意に与える影響 - 色特徴を用いた視覚探索課題による検討 -
3. 学会等名 日本心理学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村柸人・井上貴晶・佐藤敬子・滝本裕則
2. 発表標題 モニタ上の赤フィルタを通じた色覚特性者の色弁別特性
3. 学会等名 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村柸人・佐藤敬子
2. 発表標題 視覚探索課題を用いた高齢者の視覚的注意に関する実験的検討
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会(基礎・境界/NOLTA)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiko Sato, Kazumasa Nishitani, and Hironori Takimoto
2. 発表標題 Verification of the color appearance model for anomalous trichromats based on the shift of cone spectral sensitivities
3. 学会等名 25th Symposium of the International Colour Vision Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村柸人・國峰聡将・佐藤敬子
2. 発表標題 分断色のコントラスト操作による隠蔽効果 - 自然テクスチャ画像を用いた視覚探索に基づく検討 -
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤俊馬・佐藤敬子・滝本裕則
2. 発表標題 デジタルカラーフィルタを通した赤緑色覚異常者の弁別
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村柸人・佐藤敬子
2. 発表標題 錐体コントラストモデルに基づく色の操作が視覚的注意に与える影響
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤敬子
2. 発表標題 色覚の多様性からとらえる個の色知覚と色覚バリアフリーへの応用
3. 学会等名 第20回情報フォトニクス研究グループ研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----