

【助成 39-24】

Tailor-made color filter -色覚異常の多様性を考慮するデジタルカラーフィルタ

代表研究者 香川大学創造工学部 准教授 佐藤 敬子

〔研究の概要〕

着色フィルタは、色覚異常者にとって区別しづらい色に輝度差を生じさせることで弁別性を高める効果があり、商業用メガネ等に応用されてきた。本研究では、色覚異常の型と強度を考慮したデジタルカラーフィルタを提案するため、RGB 色空間から LMS 色空間への変換行列に着目し、型と強度別にフィルタの分光透過率を導出した。導出したデジタルカラーフィルタを評価するため、1 型及び 2 型の赤緑色覚異常者 9 名に対して、色相配列テストを実施し、色弁別性に及ぼす効果を検証した。その結果、提案したデジタルカラーフィルタにより弁別パフォーマンスは向上した。本研究で提案したデジタルカラーフィルタは、色覚異常者が表示デバイスを利用する際、色を混同してしまう不便さを解消する可能性を示唆した。

〔研究経過および成果〕

色覚異常者は特定色の組み合わせを混同することがあるため、路線図の色識別など、日常生活で不便さを感じているだけではなく、職業制限を受けることもある。このような不便さを解決するデバイスとして、古くから着色フィルタが研究されてきた。着色フィルタのコンセプトは、1837 年に Seebeck によって提案され、Maxwell が赤緑色覚異常のための眼鏡として設計した歴史がある。着色レンズは、光の通過帯域を変えることで網膜の錐体刺激量が変化し、区別しづらい色の組み合わせに輝度や色味の差が生じることを利用している。

研究者らは、これまで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、その有効性を検証してきた。デジタルカラーフィルタは着色レンズの原理を表示デバイスに応用する試みであり、一部の色を変換する既存手法よりもシンプルな手法で簡便に実装できる。カラーフィルタは色覚異常者の色弁別性を向上させることは示していた一方で、異常の

型や強度によって効果が様々であり、型の多様性、異常強度の連続性といった異なる特性を考慮できるフィルタの設計が必要であった。

そこで本研究では、個々の異常特性に合わせた最適なフィルタを構築するため、色覚異常の型と強度に基づく錐体感度関数を利用して、最適化手法によりフィルタの透過率を算出する手法を提案し、さらにフィルタの有効性を実験によって示した。

提案手法について説明する。まず正常色覚者の 3 種類の錐体を表す LMS 基本感度関数を異常の型や強度に沿ってシフトさせ、色覚異常者の錐体感度関数を表現した。さらに、この感度関数で表現される色覚異常者の錐体色空間を、カラーフィルタを通して観測することで、空間での色域を拡大するように、次に示す式を達成するカラーフィルタの分光透過率を求めた。具体的には、色覚異常者がデジタルカラーフィルタを通して観測したときの錐体色空間 LMS の変換行列 T_F を、正常色覚者の変換行列 T_N に一致させるようにフィルタの分光透過率を求めた。

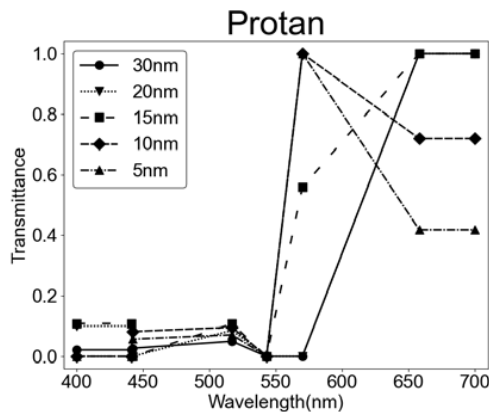


図1 1型色覚異常者に最適化されたフィルタ

$$T_F = \begin{pmatrix} L_r^* & M_r^* & S_r^* \\ L_g^* & M_g^* & S_g^* \\ L_b^* & M_b^* & S_b^* \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} L_r & L_g & L_b \\ M_r & M_g & M_b \\ S_r & S_g & S_b \end{pmatrix} = T_N$$

各波長における分光透過率を、制約付き非線形最小2乗法を用いて求め、各型及び異常強度(シフト量)別で導出した。1型色覚異常の結果を図1に示す。

求めたフィルタの効果を検証するため、図2に示すような、色を色相順に並び替える色相配列検査(D-15テスト)を赤緑色覚異常者9名に対して実施した。フィルタの無い条件とフィルタがある条件において並び替えた結果について色損失の程度を表すConfusion index(C-index)を算出した結果を図2に示す。結果、フィルタの種類によって色損失のばらつきはあるものの、フィルタの有無による色弁別パフォーマンス向上が認められた [$t(8) = 2.851, p = .021$]。

本研究における最適化手法や評価実験設定の限界として、導出するフィルタの分光透過率の波長を経験的に決定したことが挙げられる。また、実験結果から型と異常強度に沿ったフィルタとしては不十分な点も見られた。現在、設計パラメータや目標関数の設定を再検討するとともに、実験参加者の型や強度のばらつきについて分析している。このフィルタを表示デバイスの色調整等に反映させることで、色を混同して

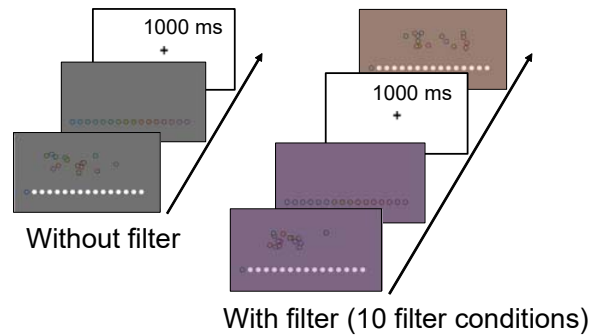


図2 実験の流れ(色相配列検査)

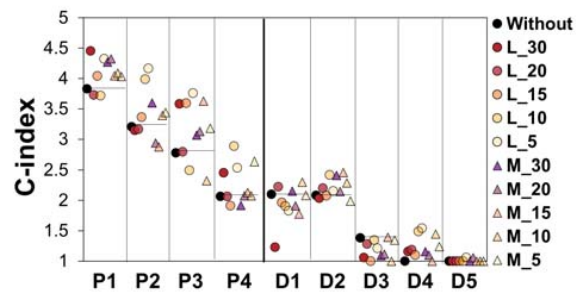


図3 色相配列検査の結果

(C-index は色損失の程度を示す)

しまう不便さを解消できると考えられる。

[発表論文]

1. Saito, S. and Sato, K. Effect of digitally generated colored filters on Farnsworth-Munsell 100 hue test by red-green color vision-deficient observers, Proc. IS&T 29th Color and Imaging Conf., 2021.
2. 武村知樹・佐藤敬子. 色覚異常者は色表現においてハンデを抱えるか?, 日本視覚学会 2022 冬季大会, 2022
3. 武村知樹・佐藤敬子. 色覚異常者の色塗り作業において物体の親密度はどのような影響を及ぼすか, 2022 年電気学会 C 部門大会講演論文集, pp.639-643, 2022