

色覚多様性の評価及び支援システムの開発

システム科学技術学部 情報工学科

1年 土門 快杜

システム科学技術学部 機械工学科

1年 三浦 大和

システム科学技術学部 経営システム工学科

1年 阿部 颯人

指導教員 システム科学技術学部 情報工学科

准教授 石井 雅樹

助教 伊東 嗣功

教授 堂坂 浩二

指導補助 システム科学技術研究科 電子情報システム学専攻

1年 佐藤 響

1. はじめに

現在、日本人女性の500人に1人、男性の場合は20人に1人が先天色覚異常であるとされている。色覚異常とは、正常とされる多数の人とは異なった色を感じ、色の区別が難しい場合がある色覚特性のことである。昨今では、カラーユニバーサルデザイン（CUD）に配慮した製品や色覚異常を持つ方の生活支援を目的とした色覚補助眼鏡などといった補助器具が多々開発されている。本研究グループでは、今回「色覚」についての調査を行い、補助器具を用いることで色覚異常の方の生活をどの程度支援することができるのかについての研究を行った。

2. 色の感じ方について

2-1. LMS 色空間

研究を行うにあたり、色の感じ取り方に関する情報収集を行った。その結果、色覚は人間が持つ3種類の錐体細胞の反応によって感じ取られていることが明らかになった。L錐体（赤錐体）では黄緑色から赤色にかけての光を主に感じており、M錐体（緑錐体）では緑色から橙色の光を主に感じている。また、S錐体（青錐体）では紫色から青色にかけての光を主に感じ取っている[1]。

この錐体細胞の反応にもとづいて表現される色空間をLMS色空間と言う。錐体細胞の応答における波長の長さによって、それぞれL（長波長）・M（中波長）、S（短波長）に分類される。

2-2. 色覚の分類

人間の持つ3種類の錐体細胞の働きによって、色の感じ方には個人差が生じる。こうして生じる差を色覚タイプと呼び、表1のような5つのタイプが存在している[2]。

表1において、「○」は錐体が正常に働いている状態を示している。一方、「△」は錐体が正常に働いていない状態を、「×」は錐体がまったく働いていない状態を示している。「？」で示されている領域は事例が少なく、詳しいことはまだ明らかになっていない。

ここで、C型は一般色覚者であり、正常に色を知覚している状態である。P型、D型、T型はそれぞれ光の三原色にあたる赤、緑、青のうち、1種あるいはいずれか2種の錐体が正常に働いている状態を表している。加えてP型、D型およびT型にはそれぞれに強度と弱度が存在し、強度では1種の錐体が、弱度では2種の錐体が正常に働いていることを表している。残るA型については、3種の錐体の機能が失われている状態を示している。なお、特定非営利活動法人カラーユニバーサルデザイン機構（CUDO）では、P型、D型、T型およびA型を色弱者として定義している[3]。

表1 色覚の種類と感じ方

タイプ	錐体細胞		
	L錐体 (赤錐体)	M錐体 (緑錐体)	S錐体 (青錐体)
C型 (一般色覚者)	○	○	○
P型	強度	×	○
	弱度	△	○
D型	強度	○	×
	弱度	○	△
T型	強度	○	○
	弱度	○	○
A型	×	×	×

3. 周辺分野の調査

本研究では、色弱者の方を支援することが出来るデバイスの製作を最終目的としている。はじめに、個人の色覚特性に合わせた補助器具について調査を行ったところ、表2のような支援ツールが実際に用いられていることが明らかになった。

表2 個人の色覚特性に合わせた支援ツールの例

色覚補助眼鏡	特定の色の判別が困難な方に向けて、レンズで色を変えることによって判断しやすくするための眼鏡。赤色と緑色の区別が困難な場合、赤色を黄色く変化させることで、区別を容易にする。
スマートフォン上で実行可能なアプリケーション	デバイスのカメラを用いて、見ている物体の色の名前を表示したり、個人の色覚特性に合わせて判別が難しい色をほかの色に置換して表示したりすることができる。また、C型（一般色覚者）がデバイスの画面を用いて色弱者の方が感じている視界を疑似的に体験することも可能である。

一方で、表2のような支援ツールには依然としていくつかの課題が残る。色覚補助眼鏡の場合、眼鏡のレンズで色を変化させたことによって新たに判別が困難な色の組み合わせが生じてしまう。また、どちらの支援ツールも自身が色弱者であるという自覚の元、自身の色弱のタイプを把握した上で初めて有効的な使用ができる。つまり、自身の色覚特性を正確に把握していないと適切に使用することができない。

4. 個人の色覚特性を把握するための検討

「3. 周辺分野の調査」において明らかになった課題点を解決すべく、本研究グループでは、使用者の色覚特性にパーソナライズされたデバイスの製作を目標とする。すなわち、使用時にユーザーの色覚特性を調べ、その結果を踏まえたチューニングを個別に行うことで、より良い視覚体験を得ることができるデバイスにしていこうと考えた。

はじめに、最初に使用者の色覚特性を把握する手法について検討する必要があると考え、ユーザーにどの色が見えているのか確認することができるアンケートを作成した。

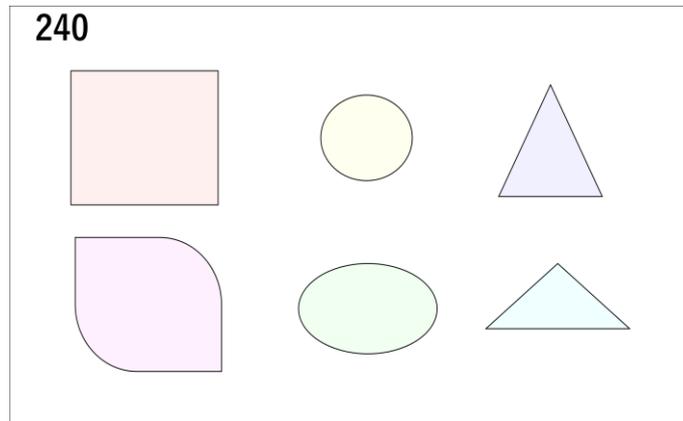


図1 アンケートの内容

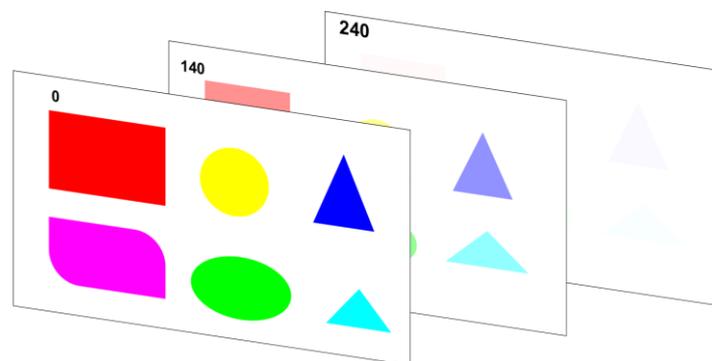


図2 アンケートの提示例

考案したアンケートでは、図1のように単色の背景上へ6種の図形が配置されている。これらの図形のRGB値を変えることで徐々に白色へ近づけ、図形の色を変化させた画像を図2のように1枚ずつ提示する。それぞれの画像において図形の輪郭をなぞってもらう作業をしてもらい、被験者が輪郭に正しく線を引くことができるかどうかを確認する。

この作業では、図形が白色にある程度近づいた際に輪郭が不明瞭となり、明確な線を引くことが困難になることが予測されるため、この閾値から色相や彩度の違いについての分解能を詳しく調査することができると考えた。

5. アンケート調査における課題点と考察

色の表現方法・知覚方法の学習をしていく中で、今回のアンケート手法には複数の改善すべき点が見えてきた。

ひとつは、図形の色を変化せる際に用いた色空間である。本アンケートでは、赤色 (Red)・緑色 (Green)・青色 (Blue)の色度からなるRGB色空間を用いていた。しかし、色相や彩度を変化させる場合、色相 (Hue)・彩度 (Saturation / Chroma)・明度 (Value / Brightness) からなるHSV色空間(図3)のような色空間を用いることが適切であったと考えられる。

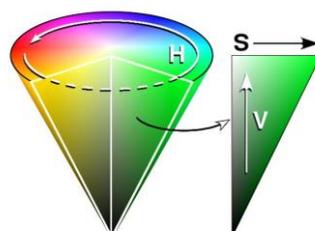


図3 HSV色空間[4]

また、色弱者の方が見えにくい色は表 1 のように L 錐体、M 錐体、S 錐体の働きと密接に関係している。すなわち、判別することが難しい色の組み合わせについてある程度の予測を立てることが可能である。これらの色の組み合わせを何種か提示することによって、個人の色覚特性をより正確に推定することができると考えられる。色の組み合わせについては、スマートフォンやタブレット端末上で実行可能な色弱者の視界を疑似的に体験可能なシミュレーターを用いることで、予測した組み合わせが本当に判別しにくいものになっているのかどうかを今後検証し、アンケートへ取り入れていきたい。

加えて、各図形を同じ配置で続けて問うアンケート形式であったために、色を変化させた画像を提示した際に先入観を与えてしまう恐れがある。そのため、こうした心理的なバイアスへの対策を練る必要があり、生理学や認知心理学的アプローチにおいてもさらなる検討を要する。

6. おわりに

色弱者の方々の生活を補助するデバイスの製作を目指したが、本研究では色覚特性についての情報収集及び調査手法の検討にとどまった。しかしながら、多様な色覚特性についての理解を深めると同時に、今後の研究に備えることができた。

参考文献

- [1] 特定非営利活動法人カラーユニバーサルデザイン機構, “色覚のしくみ 色を感じるセンサー「錐体 (スイタイ) 細胞」”, https://www2.cudo.jp/wp/?page_id=82 (参照日: 2022 年 3 月 30 日)
- [2] 人にやさしい色づかいをすすめる会, “色覚についての基礎知識”, <https://cud.nagoya/basic> (参照日: 2022 年 3 月 30 日)
- [3] 特定非営利活動法人カラーユニバーサルデザイン機構, “色覚の呼称”, https://www2.cudo.jp/wp/?page_id=84 (参照日: 2022 年 3 月 30 日)
- [4] Wapcaplet, “HSV 色空間の円錐”, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=308191> (参照日: 2022 年 3 月 30 日)