

色覚特性によるゲームの有利不利の制御に向けた D型模擬フィルタを用いた実験による色の基礎検討

藤原優花¹ 二宮洸太¹ 佐々木美香子¹ 中村聡史¹

概要: オンラインゲームでは多種多様なプレイヤーがおり、自他の技量を試しあっている。しかし中には聴覚や視覚のハンディキャップにより、自身の実力と関係ないところで不利になっている人がいる。特に特定の色が見えづらい色覚多様性者は、色の情報の読み取りに時間がかかってしまうため、色による判断が迫られるゲームにおいて、ハンディキャップを背負っている。この問題を解決するために、ゲーム制作者は色覚の多様性に合わせた配色で表示する色覚サポートをゲーム内に実装し対策を行っているが、配色によるハンディキャップを解決しているとは言い難い。また、一般色覚者は色覚による不自由を経験する機会は少なく、自身の視覚を他者に伝えることが難しいため理解が得られづらい。そこで我々は、色の組み合わせにより色覚多様性者と一般色覚者の有利不利を制御可能な仕組みの実現に向け、まずはD型模擬フィルタを用いた実験を実施することで、一般色覚者が識別しにくく、色覚多様性者が識別しやすい色に関する検討を行った。その結果、多様性識別容易色があることがわかり、その色を使用することで有利不利のなだらかな制御の可能性が示唆された。

キーワード: 色覚多様性者、模擬フィルタ、多様性識別容易色、ゲーム

1. はじめに

コンピュータ上での対戦型ゲームの人気の高まり、esports[1]と呼ばれるスポーツの一種として認識されるようになった。esportsの影響で、オンラインゲームの人気の高まっているが、新型コロナウイルス(COVID-19)の影響により多くの人が家で過ごす時間が増え、家でできる娯楽を求められたことから、オンラインゲームの需要はさらに高まっている[2]。

このようなオンラインゲームをプレイするユーザは多種多様であり、中にはハンディキャップをもつ人たちもいる。このハンディキャップとは、弱者から見た強者との差を指す言葉であり、大人と子供や、プロとアマチュアなどの知識や技量の差だけでなく、聴覚が弱い人が、音が聞こえづらいために敵の位置を把握することが困難になってしまったり、視覚において色の識別に難しさを感じる人が色により表現された敵味方の正しい判断ができないなど、オンラインゲームの勝ち負けにおいて不利になってしまう場合がある。ゲームの公平性において、技量による部分は練習により多少なりとも改善することが可能であるが、聴覚や視覚などにまつわる部分については独力では改善が難しいため、可能な限りシステムにより解決することが望ましい。その中でも今回は、一般人と比べて色の見え方が異なる色覚多様性者のゲームにおけるハンディキャップに注目する。

色覚多様性者は、赤や緑などの特定の色が一般色覚者と比べて異なった見え方をする人を指す[3]。一般色覚者とD型(Deuteranope)色覚者の見えている色の例を図1に示す[23]。この場合、D型色覚者は電源ONとOFFを色により区別できない。このように色覚多様性者は、日常生活において信号の色の識別や駅のホームの案内などで苦勞するこ

とが多い。ここで、ゲームをプレイする場面では、敵味方の判断やスキルの効果など、他者に劣らぬ速度でできるだけ早く判断しなければならず、この時に色が要因になるため、特に苦勞することになる。その結果、一般色覚者と色覚多様性者の間でパフォーマンスに差が生まれてしまい、勝率に影響を及ぼしてしまうことが珍しくない。

こうした色のハンディキャップを埋めるため、近年、色覚サポートが実装されているゲームも増えてきている。例えば、3分間でどちらのチームがより多くのインクを塗れるかを競うゲームであるSplatoon[4]では、敵・味方のインクを色で区別している。この中では、オンラインバトルで使用する色を黄色と青色に固定する機能を提供している。これにより、色覚多様性者が見えにくい色の組み合わせに当たることなくゲームをプレイすることが可能であるが、

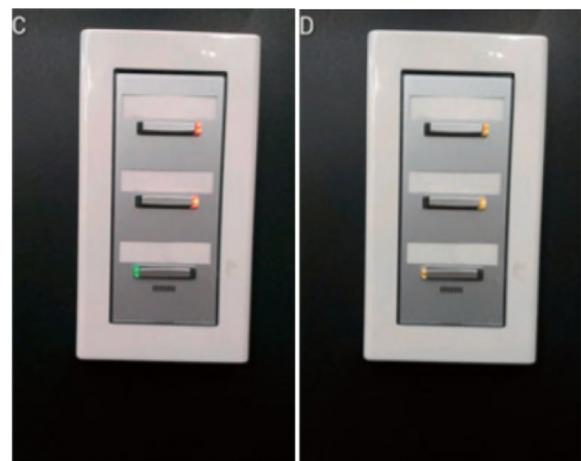


図1 一般色覚者(左)とD型色覚者(右)が見ている照明の電源例

¹ 明治大学
Meiji University

色覚多様性は欠損している錐体細胞によって色覚タイプが異なっているため、上記の例であげた色覚サポートだけでは、全ての色覚多様性者においてサポートができていない。また、色の識別ができるといっても一般色覚者に比べ識別容易性が低いことも多く、どうしても反応速度が遅くなるといった問題がある。

こうした問題をふまえて、我々は様々な特性がある色覚多様性者がゲームをプレイする際の、色によるハンディキャップをなくすことを目指している。具体的には、一般色覚者と色覚多様性者との間で色の識別にまつわる有利不利の制御の可能性について模索する。また、こうした色の識別にまつわる有利不利を制御可能なゲームを製作し、製作したゲームを通して色覚多様性者への啓蒙を目指す。さらに、他のゲームにおいて色のハンディキャップを制御および考慮したいと思った場合に、手軽に利用可能な仕組みの実現を目指す。

ここで色の識別にまつわる有利不利を制御するには、まず色覚多様性者が識別しやすい色、一般色覚者が識別しにくい色を実験によって明らかにする必要がある。また、色覚多様性者にも複数のタイプがあるうえ、「一般色覚者と色覚多様性者」や「色覚多様性者と色覚多様性者」といった組み合わせによって、識別しやすい色は異なるため、色覚多様性のタイプに合わせて様々な色の組み合わせについて調べる必要がある。しかしその色の組み合わせを調査するための軸や指標は存在しない。

そこで本研究では、色覚多様性者の中でも、比較的割合が多いD型(Deuteranope)色覚に焦点を当て、色覚による有利不利を制御するための指標となる色を調査する手法を提案し、実験により明らかにする。具体的には、複数の選択肢の中で一つだけ異なる色を含めた視覚刺激D型模擬フィルタを通して一般色覚者に提示し、その中から異なる色を選択してもらった実験を繰り返し行い、D型色覚者にとって識別しやすい色、また一般色覚者にとって識別しにくい色を明らかにする。

2. 関連研究

2.1 色覚多様性に関する研究

色覚多様性の症状は1798年にDaltonの報告[5]で明らかになり、2002年では日本では男性が約5%、女性が約0.2%の人が色覚多様性者であるといわれている[6]。

色覚多様性が起こるメカニズムには、人間の眼球にある特定の範囲の波長の光に対する感光性を持つLMSの3種類の錐体細胞が大きく関与している[7]。一般色覚者は3つの錐体細胞が正常に存在しているのに対して、色覚多様性者はこの3種類の錐体細胞のうち、どれかが欠けてしまっている、もしくは存在していないことで起こる。また、欠損している錐体細胞の種類によって受け取れない範囲の波

長の光が異なるうえ、錐体細胞の欠け方によって色の見え方の強弱が異なってくるため、同じ色覚多様性のタイプでも見え方に個人差が生じる[8][9][10]。このように色覚多様性のタイプは複数存在し、どのタイプかによって色の見え方も様々である。

このようなメカニズムで起こる色覚多様性は、明度が類似している色の識別が難しいという特性がある[10]。その特性を利用し、色覚異常の有無を検出する石原式色覚検査が、色覚多様性者の検出方法として主流になっている[11]。またデジタル画面や印刷物、塗装など、色を映す媒体によって色覚多様性者の視認性は変化する[12]。

以上のように色覚多様性の特性は様々あり、複雑なものであるため、ゲーム内での色のハンディキャップをなくすためには、様々なパターンの色覚多様性の特性を十分に理解し、それぞれに適した色覚サポートを実装する必要がある。

2.2 色覚シミュレーションに関する研究

近年色覚多様性者に対するバリアフリーとして、カラーユニバーサルデザイン(CUD)[13]という考えが提唱されている。カラーユニバーサルデザインとは、人間の色覚の多様性を考慮し、より多くの人に正しい情報が伝わるような配色を利用したデザインを行う考え方のことである。しかし、一般色覚者にとって、色覚多様性者がどの色とどの色が識別しにくいのか、どういう場面で識別するのが難しいのかといったことを理解できる機会が少ないため、カラーユニバーサルデザインの使い所が認知されず、普及率は低い[14]。

このように、色覚多様性者がどのように色が見えているかわからないという問題を解決するために、色覚シミュレーション手法などの研究は多く存在する。中内[15]やBrettelら[16]は、各色覚タイプにおけるディスプレイ上の色の見え方のシミュレーション手法を提案している。本研究ではディスプレイ上での色のシミュレーションを行うため、浅田[22]の提案手法で使用した変換計算を参考に実験を行う。

本研究では、色のハンディキャップ改善に向け、こうした色のシミュレーションを行う。

2.3 色覚多様性者の支援に関する研究

色覚多様性者の治療法について、現在有効な治療法は見つかっていない。しかし、色覚多様性者の日常生活を支援する研究は様々行われている。

Enricoら[17]は、ヘッドマウントディスプレイであるGoogle GlassをベースにChromaというシステムを開発した。Chromaとは、色覚タイプに応じて見える色を自動で変換することができるウェアラブル拡張実現システムである。また宮澤ら[18]は、カラーユニバーサルデザインのツールとして、世界で初めて光学模擬フィルタを開発した。この光学フィルタを用いて篠森ら[19]は印刷物において問題の

ある配色の発見や色変更の有効性について示唆した。このように色覚多様性者の日常生活を支援するシステムは多く開発されている。

色覚補正のシステム以外にも様々な支援が行われている。前川[20]は色を識別し、その色名を教えてくれるカラートークという携帯型装置の開発を行った。この装置は調べたい色に対して測定点から得られる RGB 値をセンサー部分で測定し、JIS 規格で定められている色名を音声で返すものである。こうした装置は意義深いものであるが、反射的に操作する必要があるリアルタイムゲームに利用することはできない。

本研究では色覚多様性者自身を支援するだけでなく、一般色覚者にとって困難に感じるようなお互いの歩み寄りを可能とするシステムと通して色覚多様性者の支援を行うものである。

3. 提案システム

3.1 色覚間でのハンディキャップ制御を可能とする組み合わせ色判定手法

多様性識別容易色を様々なゲームに適応することで、色のハンディキャップをなくすには、それぞれの色覚多様性者における識別容易色を調べ、その色の組み合わせが一般色覚者と比べて色覚多様性者の方がゲーム内で使用するのに適しているのか調査する。色覚多様性者の割合はその型によってはとても低く[10]、各色覚多様性者を集めて色に関する調査や実験を行うことは困難である。また、色の識別についてもその色同士が隣接しているのか、大きく離れているのか、また大きさはどれくらいなのか、さらに背景色は白なのか黒なのかそれ以外の色なのかなどや、色を見る際の照明の明るさや色、照明が差し込む角度により見え方が異なり、様々な状況や環境で影響が出ると考えられる。

そこで本研究では、一般色覚者に対し、複数のオブジェクトから標的となるオブジェクトを正確かつ速く選択するというタスクにおいて、それぞれの色覚タイプを模擬するフィルタを適用し、フィルタあり条件とフィルタなし条件

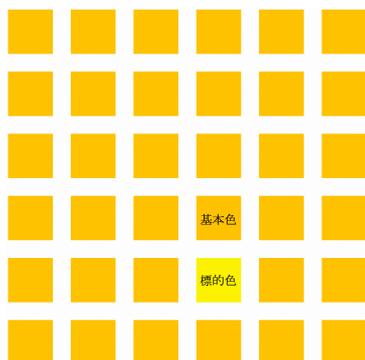


図2 標的色と基本色の例

との差を見ることで適切な色の組み合わせを得る手法を提案する。

本手法では 6×6 に並べた正方形のうち 1 つだけ異なる色に変化させた視覚刺激を提示し、その中で色が異なると思う四角形を 1 つ素早く選択してもらおう。この 1 つだけ異なる色を標的色、その他の選択肢の色を基本色とし、この標的色と基本色のペアに対し、色覚多様性の人が見えているであろう色に擬似的に変換し、実際に実験で提示した例を図 2 に示す。

このシステムで、一般色覚者にフィルタあり条件とフィルタなし条件で操作を行ってもらい、選択を行った時間の短さやエラー率で有利不利を判定するフィルタありのものとして提示する。

3.2 D 型への色変換手法の流れ

画面上の任意の色の RGB 値を D 型色覚者が見ている色の RGB 値に変換し、D 型模擬フィルタを実現する。ここでは、浅田[22]が行った色の変換計算を参考に行う。変換計算の手順を図 3 に示す。

まず RGB の色空間を彩度や明度の情報を含んでいる CIEXYZ の色空間に変換する。この理由として、色覚多様性の色の見え方は、彩度や明度によって変化するものであるが、RGB の色表現方法ではこれらの情報を考慮することができないためである。しかし、RGB はスクリーン上で自然な明るさに表示されるように補正された値であるため、補正前の値である sRGB に変換した後に、CIEXYZ の色空間への変換を行う。その後、CIEXYZ の色空間から色覚多様性のタイプが分かれる要因となる LMS に変換し、その変換した LMS の値に対し、M 錐体の応答値が欠損するような値に変換する。これにより、D 型色覚多様性の錐体応答値を表現することが可能となる。その後、D 型の錐体応答値を RGB 値に戻すため、錐体応答値である LMS から

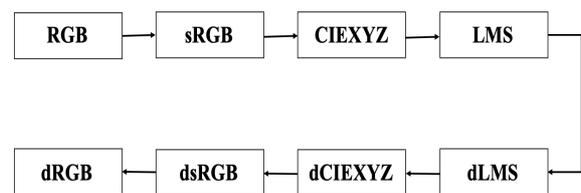


図3 実験で用いるフィルタの色変換手順

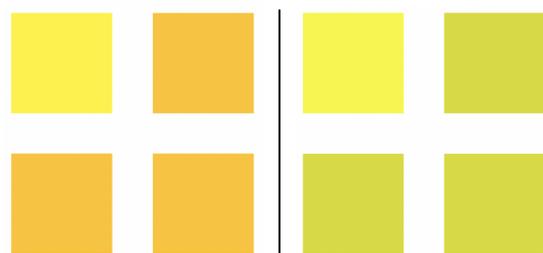


図4 D型色覚色(左)と一般色覚色(右)

表 1 プレ実験で使用した色の組み合わせ (RGB) とフィルタありなし条件での正答率と平均回答時間

	標的色	基本色	実際の色		フィルタ適用		なし条件 正答率	あり条件 正答率	なし条件 平均回答時間	あり条件 平均回答時間	本実験
			標的色	基本色	標的色	基本色					
pair-A	255, 70, 70	255, 100, 80					0.96	0.50	3.06	11.73	
pair-B	255, 100, 80	255, 70, 70					0.98	0.44	3.50	12.34	
pair-C	255, 100, 30	0, 90, 40					1.00	1.00	1.02	1.00	
pair-D	0, 90, 40	255, 100, 30					1.00	1.00	1.00	1.07	
pair-E	205, 75, 100	196, 100, 94					0.98	0.54	1.63	10.85	
pair-F	196, 100, 94	205, 75, 100					1.00	0.82	1.74	7.58	
pair-G	90, 64, 89	98, 55, 85					1.00	0.14	2.92	16.68	○
pair-H	98, 55, 85	90, 64, 89					0.98	0.24	2.11	14.54	○
pair-I	171, 30, 85	164, 38, 92					0.92	0.90	7.80	5.22	
pair-J	164, 38, 92	171, 30, 85					0.62	0.86	14.74	8.27	
pair-K	116, 54, 179	136, 0, 204					0.94	0.66	3.06	8.03	
pair-L	136, 0, 204	116, 54, 179					1.00	0.92	1.91	5.77	
pair-M	77, 0, 0	102, 10, 10					1.00	0.98	2.11	4.90	
pair-N	102, 10, 10	77, 0, 0					1.00	0.96	1.55	3.43	
pair-O	64, 175, 255	0, 184, 240					0.96	0.64	2.85	9.24	
pair-P	0, 184, 240	64, 175, 255					0.96	0.24	2.60	14.37	
pair-Q	154, 227, 82	141, 217, 98					0.92	0.90	4.36	4.46	○
pair-R	141, 217, 98	154, 227, 82					0.94	0.84	7.28	6.36	○
pair-S	230, 138, 184	232, 139, 190					0.10	0.88	15.58	7.70	○
pair-T	232, 139, 190	230, 138, 184					0.20	0.76	13.95	9.46	○
pair-U	152, 217, 207	145, 235, 211					0.98	0.94	2.65	3.42	
pair-V	145, 235, 211	152, 217, 207					0.96	1.00	2.17	3.27	

CIEXYZ, CIEXYZ から sRGB, sRGB から RGB の計算を再び行う。

計算した後のフィルタがかかった状態と、フィルタがかかっていない状態の画面を図 4 に示す。

4. プレ実験

4.1 実験概要

本研究では色覚多様性者がゲームをプレイする際の色のハンディキャップをなくすために、色覚多様性者が識別しやすく、一般色覚者が識別しにくい色（以下、D型における多様性識別容易色とする）を調査することを目的とする。なお色覚多様性者には様々なタイプがあるため、割合の多いD型色覚を本研究では対象とする。

ここで、山中ら[21]の研究より色覚多様性者の Web 上における文字色の視認性は、文字色と背景色の明度の差が大きいほど高くなることが明らかになっている。このことより、本研究で調査する多様性者の識別容易色は、明度の差がある色の組み合わせではないかと考える。そこで本研究では、「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という仮説をたて、その仮説について検証する実験を行う。そのためプレ実験では、本実験で使用する色の組み合わせの選定を目的とする。

標的色と基本色の組み合わせについては表 1 に示す。22

通り用意した。また 1 つの色の組み合わせにおいて、フィルタあり条件とフィルタなし条件の両方について実験を行う。提案システムでも述べたとおり、本システムは実験協力者は一般色覚者に限定したため、D型模擬フィルタを用いることで、色覚多様性者の見え方を再現[22]する。

実験では (色の組み合わせ 22 通り) × (フィルタありとなしの 2 条件) = 44 試行を 1 回分とし、合計 10 回行った。1 試行につき、正解不正解に関わらず、1 度選択を行った場合には次の試行に進むような設計になっている。その際、試行の提示が始まってから実験協力者が 6×6 のものの中から標的をマウスでクリックするまでの時間を取得する。クリックしたものが標的でなかった場合でも、次の試行に進むようになっている。

プレ実験の実験協力者は、一般色覚者 5 名 (男性 2 名、女性 3 名) である。実験協力者にはあらかじめ石原式色覚検査表に基づいて色覚チェック[11]を行い、実験協力者全員が色覚多様性者ではないことを確認した。また実験における諸注意として、身体とディスプレイを 50cm 離すこと、実験中は身体を前のめりにしないこと、正確性を優先に選択を行うことの 3 点を実験協力者に事前に伝えた。

4.2 プレ実験の結果・考察

プレ実験より色の組み合わせにおけるフィルタあり条件とフィルタなし条件での正答率の結果を表 1 に示す。

表 1 から、pair-S や pair-T のようにフィルタあり条件の方がフィルタなし条件よりも正答率が高い色の組み合わせ

表 2 本実験で使用した色の組み合わせ (RGB) とフィルタありなし条件での正答率と平均回答時間

	標的色	基本色	実際の色		フィルタ適用		なし条件 正答率	あり条件 正答率	なし条件 回答時間	あり条件 回答時間
			標的色	基本色	標的色	基本色				
pair-1	171, 145, 0	204, 167, 0					0.99	0.95	1.35	1.59
pair-2	204, 167, 0	171, 145, 0					0.98	1.00	1.42	1.68
pair-3	171, 30, 85	164, 38, 92					0.74	0.80	6.50	5.09
pair-4	164, 38, 92	171, 30, 85					0.72	0.81	5.99	7.47
pair-5	165, 0, 171	180, 0, 204					0.88	0.95	2.97	2.13
pair-6	180, 0, 204	165, 0, 171					0.88	0.94	2.62	1.85
pair-7	230, 138, 184	232, 139, 190					0.15	0.68	10.14	7.20
pair-8	232, 139, 190	230, 138, 184					0.38	0.62	14.75	6.61
pair-9	90, 64, 89	98, 55, 85					0.98	0.36	2.29	12.26
pair-10	98, 55, 85	90, 64, 89					0.98	0.25	1.82	13.20
pair-11	0, 180, 147	0, 210, 167					1.00	0.98	1.82	1.71
pair-12	0, 210, 167	0, 180, 147					0.96	0.95	2.36	2.21
pair-13	154, 227, 82	141, 217, 98					0.83	0.94	3.30	2.90
pair-14	141, 217, 98	0, 210, 167					0.82	0.83	3.56	3.83
pair-15	199, 35, 230	172, 49, 185					0.93	0.97	1.94	2.01
pair-16	172, 49, 185	199, 35, 230					0.97	0.99	1.76	1.54
pair-17	145, 165, 0	135, 168, 0					0.93	0.02	2.84	33.72
pair-18	135, 168, 0	145, 165, 0					0.97	0.05	2.96	7.62
pair-19	0, 0, 168	0, 2, 143					0.91	0.92	2.86	2.91
pair-20	0, 2, 143	0, 0, 168					0.84	0.79	4.78	4.57
pair-21	186, 0, 112	180, 30, 105					0.50	0.56	8.99	9.53
pair-22	180, 30, 105	186, 0, 112					0.33	0.53	11.84	9.49
pair-23	0, 157, 168	0, 149, 161					0.59	0.37	7.74	9.77
pair-24	0, 149, 161	0, 157, 168					0.29	0.47	10.17	8.08
pair-25	99, 94, 0	115, 101, 0					0.97	0.71	2.32	7.27
pair-26	115, 101, 0	99, 94, 0					0.98	0.75	1.93	5.03
pair-27	115, 0, 0	99, 0, 0					0.97	0.84	2.80	5.33
pair-28	99, 0, 0	115, 0, 0					0.83	0.60	4.13	7.36

については、D型色覚多様性者の見えている色の方が一般色覚者の見えている色より正確に色を捉えられていることになる。そのためD型における多様性識別容易色として適切であると考えられる。一方、pair-Uやpair-Vのようにフィルタあり条件とフィルタなし条件のどちらにおいても正答率が高い組み合わせは公平な色のペアであると考え、フィルタあり条件とフィルタなし条件で回答時間に差が生じた場合には、それによりハンディキャップの制御が可能になると期待される。

pair-Cとpair-Dの色の組み合わせに関しては不正解者がおらず、また実験後のインタビューで「pair-Cやpair-Dはどちらの条件でも明らかに色が違い、簡単だった」という意見が多くあったため、公平な色と考え、今回は除外した。その結果、除外されなかったpair-G, pair-H, pair-Q, pair-R, pair-S, pair-Tを明度差が大きい色の組み合わせであり、「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という本研究の仮説に沿っていると考え、本実験ではこの6通りの色の組み合わせを使用する(表1)。

5. 本実験

5.1 実験概要

本実験でも、「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という仮説をもとに、提案システムをプレ実験と同様に6×6に並べた正方形の中にある1つだけ異なる色を素早く選択してもらうという実験を行う。またプレ実験より、明度が低い色の組み合わせほど色覚多様性者の正答率が低く、多様性識別容易色に適していないということが明らかになった。そのため、ある程度明度が高い色の組み合わせから、多様性識別容易色を調査する必要があると考え、プレ実験の結果より選定した8通りと明度が高い色の組み合わせを20通り追加した。つまり本実験では、計28通りの色の組み合わせについて実験を行う。本実験で使用した色の組み合わせを表2に示す。

本実験もプレ実験と同様、事前に色覚チェックを行い、プレ実験の実験協力者とは異なる一般色覚者13名(男性5名、女性8名)を実験協力者とした。また、1つの色の組み合わせにおいて、フィルタあり条件とフィルタなし条件

の両方において実験を行う。そのため実験では、(1条件あたり色の組み合わせ28通り) × (フィルタありとなしの2条件) = 56試行を1回分とし、全部で10回行った。

5.2 本実験の結果

実験結果を分析するにあたり、正答率と回答時間の両方における外れ値 (mean±2SD) をとる実験協力が1名いたため、その数値を除外した12名(男性5名、女性7名)の実験結果を採用する。

表3に全体、フィルタあり条件、フィルタなし条件における実験協力者12名の正答率と平均回答時間を示す。表3より、全体の正答率については、フィルタあり条件が0.700、フィルタなし条件が0.796となり、フィルタなし条件の正答率が高くなった。また全体の平均回答時間については、フィルタあり条件が6.27秒、フィルタなし条件が5.26秒となり、フィルタなし条件の平均回答時間が速くなった。

5.2.1 色の組み合わせごとの結果

ここでは、色の組み合わせごとに分析を行う。表2に色の組み合わせごとにおける実験協力者12名分の正答率を示す。フィルタあり条件とフィルタなし条件の正答率について対応のあるt検定を行ったところ、28通りの色の組み合わせのうち、pair-5, pair-8, pair-13, pair-24, pair-27の5通りについてp<0.05の有意差が見られ、pair-7, pair-9, pair-10, pair-17, pair-18, pair-22, pair-23, pair-25, pair-26, pair-28の10通りについてp<0.01の有意差が見られた。有意差が見られた15通りの中で、フィルタなし条件よりもフィルタあり条件の正答率が高い色の組み合わせはpair-5, pair-7, pair-8, pair-13, pair-22, pair-24の6通りであった。

次に、フィルタあり条件とフィルタなし条件で回答時間について対応のあるt検定を行ったところ、色の組み合わせ28通りのうち4通りについて有意差(p<0.05)、15通りについて有意差(p<0.01)が見られた。有意差が見られた19通りの中で、フィルタなし条件よりフィルタあり条件の方が、平均回答時間が短い色の組み合わせはpair-3, pair-6, pair-7, pair-8, pair-14, pair-24の6通りであった。

5.3 考察

本研究では、ゲームプレイにおける色のハンディキャップを埋めることを目的とし、「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という仮説をもとに、多様性識別容易色を見つける実験を行なった。ここで、ゲームで勝利するためには、素早く適切に色を判断する正確性や素早い判断が必要になる。そのため、本実験で得られた結果からどちらの条件においても正答率が0.7以上であり、また平均回答時間が6秒以下である色の組み合わせに限定して考察を行う。これらの条件に当てはまる色の組み合わせの平均回答時間を図5, 6に示す。ここで図5はフィルタなし条件における平均時間が短い色の組み合わせであり、図6はフィルタなし条件における平均時間が短い色

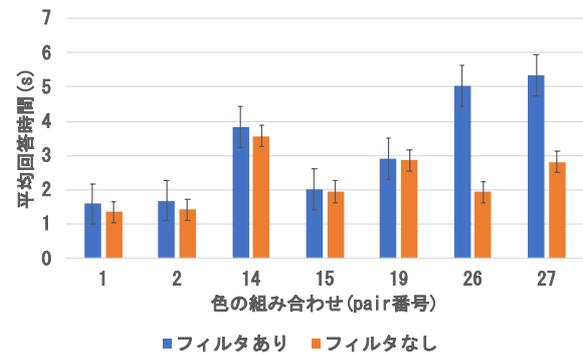


図5 フィルタなし条件における平均回答時間が短い色の組み合わせ

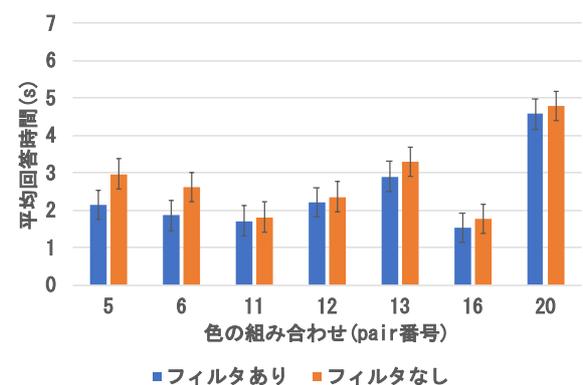


図6 フィルタあり条件における平均回答時間が短い色の組み合わせ

表3 12名分の正答率と平均回答時間

	正答率	平均回答時間(秒)
全体	0.75	6.27
フィルタあり	0.70	7.29
フィルタなし	0.80	5.26

表4 フィルタありなし条件でのHSV

	標的色 フィルタなし	基本色 フィルタなし	標的色 フィルタあり	基本色 フィルタあり
pair-5	297, 100, 67	292, 100, 80	240, 42, 66	240, 46, 79
pair-6	292, 100, 80	297, 100, 67	240, 46, 79	240, 42, 66
pair-11	169, 100, 70	167, 100, 82	60, 0, 58	60, 2, 68
pair-15	290, 84, 90	294, 73, 72	240, 46, 89	240, 39, 71
pair-26	52, 100, 45	56, 100, 38	60, 100, 41	60, 100, 37
pair-27	0, 100, 45	0, 100, 38	60, 100, 26	60, 100, 22

の組み合わせである。また図の縦軸は平均回答時間であり、横軸は色の組み合わせである。これらの色の組み合わせの中で、特に平均回答時間の差が大きかった pair-5, pair-6, pair-26, pair-27 と特に平均回答時間の差が見られなかった pair-11 と pair-15 について考察を行う。

pair-5 と pair-6 は、表2 と図6 より正答率はどちらの条件においても0.85以上であり、平均回答時間はフィルタあり

り条件の方がフィルタなし条件より短いことがわかる。ここで、これらの色の組み合わせが多様性識別容易色として適しているか考察を行うため、pair-5 と pair-6 の RGB を色覚多様性者が色を識別する際の手がかりとなる HSV に変換する。HSV は色相 (Hue), 彩度 (Saturation), 明度 (Value, Brightness) の 3 つの成分からなる色空間である。ここで、本章で考察を行う色の組み合わせについて RGB を HSV に色空間に変換した結果を表 4 に示す。表 4 より、フィルタあり条件とフィルタなし条件それぞれについて標的色と基本色の HSV を比較すると、どちらの条件でも標的色と基本色の明度の差は等しいが、フィルタあり条件においては彩度の値に差が生じていることがわかる。一方で、フィルタなし条件における HSV では、標的色と基本色の間で色相の値にわずかな差が生じていた。これらの結果より、D 型色覚多様性者が一般色覚者より識別しやすい D 型色覚の多様性識別容易色の要素として、彩度と明度の値に差があり、かつ色相の値が同じであることが重要だと考えられる。ただ、正答率に 6~7% の違いがあるため、この差がもう少し縮まることが望ましい。

次に pair-26 と pair-27 については、図 5 よりフィルタなし条件の方がフィルタあり条件よりも平均回答時間が短い組み合わせであることがわかる。そのため、多様性色覚容易色として適していないと考えた。また表 4 より、フィルタあり条件とフィルタなし条件のどちらにおいても、標的色の明度が基本色の明度に比べて高いことがわかる。ここで多様性識別容易色として適している色は、フィルタの有無に関わらず正確に識別ができ、フィルタなし条件よりフィルタあり条件の回答時間が短い色であると考えられる。しかし、pair-26 と pair-27 についてはフィルタなし条件の方が、平均回答時間が短いことから多様性識別容易色として適していないことがわかる。

pair-11 と pair-15 は、図 5, 6 よりフィルタあり条件とフィルタなし条件の間で平均回答時間に差があまり見られなかった。また表 4 より、標的色の明度が基本色の明度と比べて値が高いことがわかる。これらの色の組み合わせは、一般色覚者にとっても色覚多様性者にとっても識別しやすい公平色であると考えられる。つまり pair-11 と pair-15 については多様性識別容易色と一般識別容易色の中間として、一般色覚者と色覚多様性者の間に存在する色のハンディキャップの難易度を制御することができるのではないかと考え

表 5 一般色覚者と D 型色覚多様性者間における有利不利な色の組み合わせ

	一般有利	一般不利
D 型有利	pair-C, pair-D pair-11, pair-15	pair-5, pair-6
D 型不利	pair-25, pair-26	pair-19

る。

以上の結果より、D 型色覚多様性者視点において、注目したい色の明度が周りの色の明度より低い、または同じである場合は色覚多様性者の見えている色の視認性が高いことが明らかになった。この結果から「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という仮説が支持され、色覚多様性者にとって一般色覚者より識別可能である多様性識別容易色の要素として明度の差が重要であることがわかった。また、注目したい色の明度が周りの色の明度と比べて値が高い場合、一般色覚者と色覚多様性者の両者にとって識別しやすい公平色があることがわかった。

表 5 は一般色覚者、D 型色覚多様性者それぞれにおいて有利不利になる色の組み合わせを示す。

6. まとめ

本研究では色覚多様性者がゲームをプレイする際に感じる色のハンディキャップをなくすことを目的とし、「色覚多様性者が正確、かつ速く色の違いを判断することができる色の組み合わせは、明度の差が大きい色の組み合わせである」という仮説を元に、D 型色覚多様性における多様性識別容易色があるかについて調査を行った。具体的には、選択肢の中で 1 つだけ異なる色を選択してもらった実験を行い、一般色覚者を D 型色覚多様性者の見え方に変換する D 型模擬フィルタをかけて行うフィルタあり条件とフィルタなし条件の結果を比較した。実験の結果より、多様性識別容易色として、明度の差だけでなく、彩度の値に差がありかつ色相の値が同じである色の組み合わせが適していることが示唆された。

今後の展望として、まず本研究で調査しきれていない多様性識別容易色に適している明度差の範囲の検討を行う。具体的には、本実験で使用した色の組み合わせを使い、明度を細かく設定し、本研究と同様の実験を行い比較していく。それぞれの色覚多様性者を対象に実験を行い、一般色覚者との違いを最終的には、本研究の目的である多様性識別用意色と通してゲームプレイにおける色のハンディキャップの有利不利を制御する手法について検討する。具体的には、多様性識別容易色を用いた間違い探しのようなゲーム設計を検討している。本研究で対象とするゲームにおいて、本研究で提案する多様性識別容易色を利用することで、一般色覚者に対して色覚多様性者の色の見え方の違いを啓蒙できるのではないかと考える。一方、1 章で述べた Splatoon の色覚サポートでは、必ずしも色覚多様性が見えやすい色であるとはいえない。そこで本手法を広く活用できるようにし、様々なゲームで手軽に適切な色ペアを活用できるようにすることを目指す。

謝辞 本研究の一部は、JST ACCEL（ Grant 番号 JPMJAC1602）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] “esports”. <https://www.bauhutte.jp/bauhutte-life/e-sports/>（参照 2020-12-31）
- [2] Unity, COVID-19’s Impact on the Gaming Industry: 19 Takeaways, <https://create.unity3d.com/COVID-19s-impact-on-the-gaming-industry>（参照 2020-12-31）
- [3] J. Nathans, T.P. Piantanida, R.L. Eddy, T.B. Shows, D.S. Hogness. Molecular genetics of inherited variation in human color vision, *Science*, 1996, no. 232, pp. 203-210.
- [4] “Splatoon”. <https://www.nintendo.co.jp/switch/aab6a/about/index.html>（参照 2020-12-17）
- [5] Dalton. J. Extraordinary facts relating to the vision of colours with observations, *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, 1798, no. 5, pp. 28-45.
- [6] D. McIntyre. *Colour Blindness: Causes and Effects*, Dalton Publishing, 2002, vol. 79, no. 8, pp. 476-477.
- [7] Andrew Stockman, Donald I. A. MacLeod, and Nancy E. Johnson. Spectral sensitivities of the human cones, *Journal of the Optical Society of America A*, 1993, vol. 10, no. 12, pp. 2491-2512.
- [8] 岡部正隆, 伊藤啓. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション（全3回）第1回色覚の原理と色盲のメカニズム, *細胞工学*, 2002, vol. 21, no. 7, pp. 733-745.
- [9] 岡部正隆, 伊藤啓. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション（全3回）第2回色覚が変化すると、どのように色が見えるのか?, *細胞工学*, 2002, vol. 21, no. 8, pp. 909-930. 岡部正隆, 伊藤啓. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション（全3回）第2回色覚が変化すると、どのように色が見えるのか?, *細胞工学*, 2002, vol. 21, no. 8, pp. 909-930.
- [10] 岡部正隆, 伊藤啓. 色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション（全3回）第3回すべての人に見やすくするためには、どのように配慮すればよいか, *細胞工学*, 2002, vol. 21, no. 8, pp. 1080-1104.
- [11] 太田安雄. 色覚検査の歴史(1), *日本色彩学会誌*, 2005, vol. 29, no. 1, pp. 54-63.
- [12] CUD 推奨配色セット ガイドブック第2版 https://jfly.uni-koeln.de/colorset/CUD_color_set_GuideBook_2018.pdf（参照 2020-12-17）
- [13] NPO 法人 カラーユニバーサルデザイン機構 <http://www.cudo.jp/>（参照 2020-12-17）
- [14] 藤井千尋. 色のユニバーサルデザインの普及と課題, *東洋大学社会学部社会文化システム学科卒業論文*, 2014.
- [15] 中内茂樹. 色覚の多様性とカラーユニバーサルデザイン, *照明学会誌*, 2010, vol. 94, no. 3, pp. 181-185.
- [16] H. Brettel, F. Vie´not, and J. D. Mollon. Computerized simulation of color appearance for dichromats, *Journal of the Optical Society of America A*, 1997, vol. 14, no. 10, pp. 2647-2655.
- [17] E. Tanuwidjaja, D. Huynh, K. Koa, C. Nguyen, C. Shao, P. Torbett, C. Emmenegger, N. Weibel. Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness, *Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2014, pp. 799-810.
- [18] 宮澤佳苗, 中内茂樹, 篠森敬三. カラーユニバーサルデザインツールとしての色弱模擬フィルタ, *日本色彩学会誌*, 2008, vol. 32, no. 1, pp. 31-36.
- [19] 篠森敬三, 中内茂樹. 色弱模擬フィルタを用いた印刷におけるカラーユニバーサルデザインの推進, *日本印刷学会誌*, 2016, vol. 53, no. 3, pp. 193-202.
- [20] 前川満良. 色識別装置「カラートーク」の開発とその利用について, 第16回リハ工学カンファレンス, 2001, pp. 77-80.
- [21] 山中仁寛, 西内信之, 日下俊介, 別府邦江. 色覚異常者のためのWEBアクセシビリティの確保と健常者の嗜好性, *日本経営工学会*, 2009, vol. 60, no. 1, pp. 40-47.
- [22] 浅田一憲. 色覚異常者のQOL (Quality of Life) を向上させる色覚ツール, 慶応義塾大学大学院メディアデザイン研究科博士論文, 2010.
- [23] 中村聡史. 失敗から学ぶユーザインタフェース 世界はBADUI(バッド・ユーアイ)であふれている. 技術評論社. 2015.