

色覚特性によるゲームの有利不利の制御に向けた背景色を考慮した 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[†] 中村 聡史[†]

[†]明治大学大学院先端数理科学研究科 〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

E-mail: [†]cs212029@meiji.ac.jp

あらまし オンラインゲームに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るため、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。色覚多様性者のゲームプレイを支援するために、色覚タイプに合わせた配色を使用する色覚サポートのような配慮も行われているが、全ての色覚タイプに対応しておらず、サポートする部分にも限界がある。そのため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。これまでの我々の研究においては選択肢の中で異なる1色を選択してもらう実験を行い、一般色覚者とD型色覚者両者にとって識別しやすい色を明らかにした。しかし、ゲームで使用する事を視野に入れているため、複数色での識別しやすい色を明らかにする必要がある。そこで本研究では、これまでの我々の研究に背景色を加えた実験を実施し、よりゲーム性を持たせた識別容易色に関する検討を行った。その結果、彩度の値に差があれば明度の値が同じ場合でも、両者にとって識別する早さが変わらないことが示唆された。

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。また、COVID-19の影響により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ーは多種多様であり、中にはハンディキャップをもつ人がいる。このハンディキャップとは、弱者から見た強者との差を意味しており、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、聴覚や視覚などの身体面におけるハンディキャップにより、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、聴覚や視覚など身体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。その中でも本研究では、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]。一般色覚者と色覚多様性者の見えているぷよぷよのゲーム画面の例を図1に示す[4]。ゲームをプレイする場面において、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、色も情報を取得する要因の一つになる。しかし、色覚多様性者にとって色から情報を得ることは容易でない。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は珍しくない。

こうした色のハンディキャップを埋めるため、近年では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



図1 一般色覚者と色覚多様性者の見えた方とそれぞれの割合©1991 SEGA ぷよぷよ

のインクを塗れるかを競うゲームである Splatton[5]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。しかし色覚タイプは複数存在するため、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、色覚サポートで使用されている色の組み合わせ自体が、色覚多様性者にとって識別容易性が低いことも多いという問題がある。

こうした問題をふまえ、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ため、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に取り組んできた[6]。しかし、実際のゲームにおける背景色はゲーム場面に合わせて様々存在するが、これまでの我々の研究では背景色を白で固定して実験を行った。

そこで本研究では、D型(Deuteranope)色覚者に焦点を当て、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い実験を繰り返し行う。その際、「緑」「青」「茶色」「オレンジ」「灰色」の5色を背景色に設定し、ランダムで提示し、背景色も含めた識別しやす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[7]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[8]。

色覚多様性は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[9-11]。そのため、色覚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[11]。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[12]。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[13]。

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)[14]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[15]。

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[16]やBrettelら[17]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、色のハンディキャップ改善に向け、浅田[18]の提案手法で使用した変換計算を参考に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

色覚多様性の治療法に関して、現在有効な手段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。

Tanuwidjajaら[19]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[20]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[21]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。

色覚補正システム以外にも様々な支援が行われている。前川[22]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取得し、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. 一般色覚者を対象とした色覚間でのハンディキャップ判定システム

我々は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ことが可能になるのではないかと考える。そのためには、それぞれの色覚タイプに合わせた識別容易色を調べ、その色の組み合わせが一般色覚者にとっても色覚多様性者にとってもゲーム内で識別しやすいのか調査する必要がある。しかし、色覚タイプの割合はその型によってはとても低く[11]、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してきた。

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。また、これまでの我々の研究[6]における実験では背景色を白に固定して行ったが、本稿の実験においては5色の背景色を色の組み合わせごとに対応するように提示する(図2)。

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実験を行ってもらい、選択を行った時間の長さやエラー率で有利不利を判定する。

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[18]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。

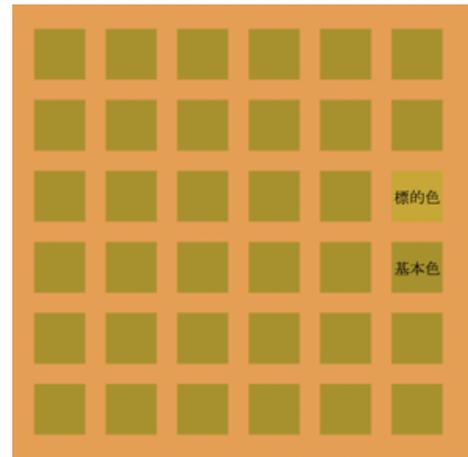


図2 標的色と基本色と背景色の例

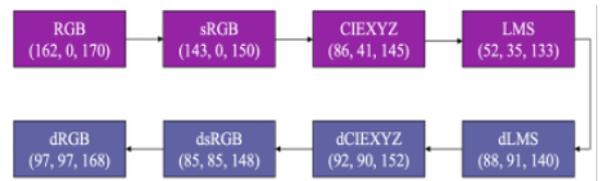


図3 実験で用いるフィルタの色変換手順

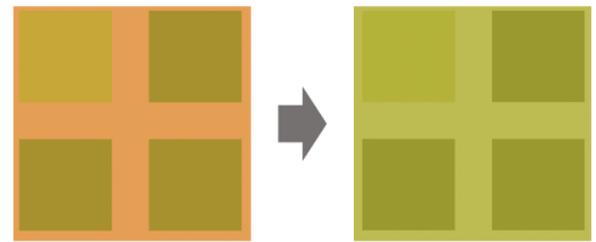


図4 D型色覚色(左)と一般色覚色(右)

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 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. 実験

4.1. 実験概要

実験では、「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」という仮説をもとに行う。またこれまでの我々の研究[6]で使用した色の組み合わせと、浅田[18]が行っていた実験を参考に明度が高い色の組み合わせを 18 通り追加した。そのため、実験では計 30 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 1 に示す。また、使用した背景色は表 2 に示す。

一般色覚者 14 名（男性 6 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 30 通り）×（フィルタありとなしの 2 条件）×（背景色 5 通り）= 300 試行を 1 回分とし、全部で 6 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。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の 2 点を実験協力者に事前に伝えた。また、6 回中 3 回は迷わずに速さを重視した選択を、残りの 3 回は選択肢に迷ったら一度選択を一周見てもらった上で選択を行うように指示をした。

4.2. 実験結果

実験結果を分析するにあたり、色の組み合わせごとの回答時間における外れ値（mean±2SD）を除外した。

表 3 には全体、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 14 名の平均回答時間を、表 4 には正答率を示す。全体の平均回答時間については、フィルタあり条件が 2.72 秒、フィルタなし条件が 1.56 秒となり、フィルタなし条件の方が早く回答していた（表 3）。また全体の正答率については、フィルタあり条件が 0.80、フィルタなし条件が 0.92 となり、フィルタなし条件の方が高くなった（表 4）。

ここでは、色の組み合わせごとに分析を行う。表 5 は色の組み合わせごとにおける実験協力者 14 名分の平均回答時間を示す。フィルタあり条件は D 型模擬フィルタをかけた色で、フィルタなし条件は一般色覚者が見ている色である。また、緑色のセルは平均回答時間が 1 秒以下の良い結果を、赤色のセルは平均回答時間が 3 秒以上の悪い結果を示す。

また、表 6 は色の組み合わせごとにおける実験協力

表 1 実験で使用した色の組み合わせ（RGB）

	標的色	基本色	実際の色		フィルタ適用	
			標的色	基本色	標的色	基本色
pair-1	204, 167, 0	171, 145, 0				
pair-2	171, 145, 0	204, 167, 0				
pair-3	180, 0, 204	165, 0, 171				
pair-4	165, 0, 171	180, 0, 204				
pair-5	0, 210, 167	0, 180, 147				
pair-6	0, 180, 147	0, 210, 167				
pair-7	141, 217, 98	154, 227, 82				
pair-8	154, 227, 82	141, 217, 98				
pair-9	172, 49, 185	199, 35, 230				
pair-10	199, 35, 230	172, 49, 185				
pair-11	0, 2, 143	0, 0, 168				
pair-12	0, 0, 168	0, 2, 143				
pair-13	115, 101, 0	99, 94, 0				
pair-14	99, 94, 0	115, 101, 0				
pair-15	99, 0, 0	115, 0, 0				
pair-16	115, 0, 0	99, 0, 0				
pair-17	0, 90, 40	255, 100, 30				
pair-18	255, 100, 30	0, 90, 40				
pair-19	185, 159, 52	220, 117, 62				
pair-20	220, 117, 62	185, 159, 52				
pair-21	175, 190, 194	183, 156, 189				
pair-22	183, 156, 189	175, 190, 194				
pair-23	148, 102, 118	55, 126, 83				
pair-24	55, 126, 83	148, 102, 118				
pair-25	196, 201, 82	244, 185, 89				
pair-26	244, 185, 89	196, 201, 82				
pair-27	235, 70, 196	255, 64, 255				
pair-28	255, 64, 255	235, 70, 196				
pair-29	130, 111, 105	140, 55, 100				
pair-30	140, 55, 100	130, 111, 105				

表 2 実験で使用した背景色（RGB）

	背景色	実際の色	フィルタ適用
緑	86, 170, 49		
青	26, 50, 200		
茶色	120, 83, 54		
オレンジ	241, 156, 68		
灰色	132, 132, 132		

表 3 14 名分の平均回答時間

	all	fast	correct
全体	2.14	1.61	2.67
フィルタあり	2.72	1.83	3.61
フィルタなし	1.56	1.39	1.73

表 4 14 名分の正答率

	all	fast	correct
全体	0.86	0.80	0.92
フィルタあり	0.80	0.73	0.87
フィルタなし	0.92	0.86	0.97

表5 フィルタあり条件となし条件における14名分の平均回答時間

	背景色									
	フィルタあり	フィルタなし								
pair-1	0.90	0.94	1.60	1.49	1.19	1.26	1.03	1.13	1.08	1.08
pair-2	1.00	1.13	1.54	1.62	1.53	1.34	0.98	0.99	1.28	1.17
pair-3	1.28	2.48	1.19	1.95	1.54	2.68	1.46	2.26	1.12	1.82
pair-4	1.53	2.30	1.32	2.35	1.90	2.09	1.65	2.15	1.11	1.73
pair-5	0.89	0.98	1.75	2.14	1.40	2.03	1.05	1.36	0.95	1.78
pair-6	1.06	1.31	1.50	2.08	1.43	2.18	0.98	1.28	1.18	1.64
pair-7	1.65	1.87	3.59	3.27	2.35	2.58	1.25	2.26	3.09	2.26
pair-8	1.28	1.48	2.61	2.61	1.55	1.55	1.13	1.78	1.72	1.70
pair-9	1.00	1.28	1.17	1.88	1.53	1.93	1.29	1.80	0.94	1.05
pair-10	1.01	1.44	1.25	1.81	1.29	1.30	1.19	2.02	0.92	1.10
pair-11	2.31	2.59	1.48	1.58	1.81	2.16	2.94	2.93	2.26	1.81
pair-12	1.78	2.13	1.68	2.11	1.57	1.67	2.31	2.16	1.75	1.52
pair-13	2.03	1.71	2.01	2.27	1.11	0.97	2.63	2.48	1.76	1.22
pair-14	1.94	1.72	2.53	2.26	1.16	0.99	2.28	2.40	2.20	1.41
pair-15	2.07	2.29	1.97	2.14	1.51	1.62	2.61	3.03	1.80	1.86
pair-16	2.44	1.89	1.86	1.98	1.65	1.35	3.06	2.32	1.72	1.59
pair-17	0.90	0.89	0.89	0.88	0.92	0.82	0.90	0.81	0.83	0.85
pair-18	0.86	0.81	0.84	0.84	0.84	0.80	0.89	0.87	0.83	0.82
pair-19	1.59	0.94	3.72	0.87	3.01	0.87	2.76	0.90	2.64	0.84
pair-20	2.24	0.84	3.48	0.84	3.00	0.89	2.36	0.92	3.31	0.85
pair-21	1.16	1.00	2.83	1.00	1.58	0.93	1.03	0.96	1.16	0.92
pair-22	1.25	0.91	2.07	0.92	1.44	0.96	0.99	0.89	1.23	0.90
pair-23	1.02	0.86	1.39	0.83	1.12	0.90	1.09	0.87	1.15	0.86
pair-24	1.21	0.89	1.40	0.90	1.62	0.87	1.25	0.83	1.03	0.84
pair-25	3.18	1.03	3.55	0.87	3.69	0.90	2.29	0.89	3.29	0.93
pair-26	3.86	0.87	3.90	0.87	3.91	0.90	2.14	1.02	3.21	0.87
pair-27	3.52	0.89	4.36	0.96	3.58	0.98	3.45	0.96	3.56	0.99
pair-28	3.65	0.99	4.03	0.93	3.35	0.92	3.29	0.99	3.18	0.89
pair-29	1.24	0.95	1.07	0.96	0.94	0.89	1.38	0.92	1.00	0.92
pair-30	1.11	0.91	1.12	0.79	0.93	0.86	1.37	0.89	0.96	0.82

表6 フィルタあり条件となし条件における14名分の正答率

	背景色									
	フィルタあり	フィルタなし								
pair-1	1.00	1.00	0.82	0.84	0.92	0.97	0.97	0.92	0.95	0.97
pair-2	1.00	1.00	0.89	0.84	0.79	0.89	1.00	0.97	0.89	0.95
pair-3	0.92	0.58	0.95	0.66	0.79	0.39	0.82	0.50	0.97	0.76
pair-4	0.79	0.74	0.95	0.50	0.79	0.58	0.79	0.45	1.00	0.74
pair-5	1.00	1.00	0.74	0.47	0.92	0.66	0.95	0.92	1.00	0.82
pair-6	1.00	0.95	0.97	0.63	0.92	0.74	1.00	0.95	0.97	0.76
pair-7	0.89	0.79	0.34	0.37	0.71	0.74	1.00	0.74	0.37	0.68
pair-8	0.89	0.89	0.50	0.42	0.92	0.84	1.00	0.79	0.82	0.71
pair-9	1.00	1.00	0.97	0.74	0.89	0.68	0.95	0.62	0.97	1.00
pair-10	1.00	0.89	0.97	0.68	0.87	0.82	1.00	0.76	1.00	0.92
pair-11	0.58	0.37	0.89	0.76	0.76	0.63	0.42	0.34	0.68	0.74
pair-12	0.74	0.66	0.71	0.66	0.78	0.74	0.71	0.63	0.84	0.84
pair-13	0.42	0.76	0.74	0.76	1.00	1.00	0.42	0.58	0.79	0.87
pair-14	0.63	0.82	0.42	0.55	1.00	1.00	0.53	0.61	0.50	0.92
pair-15	0.50	0.50	0.74	0.66	0.79	0.79	0.32	0.55	0.66	0.92
pair-16	0.55	0.68	0.84	0.76	0.61	0.89	0.42	0.55	0.76	0.84
pair-17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
pair-18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
pair-19	0.71	1.00	0.24	0.97	0.39	1.00	0.45	1.00	0.45	1.00
pair-20	0.63	1.00	0.18	1.00	0.16	1.00	0.47	1.00	0.24	1.00
pair-21	0.89	0.97	0.47	1.00	0.89	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00
pair-22	0.95	1.00	0.87	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00
pair-23	1.00	1.00	0.89	1.00	0.92	1.00	0.97	1.00	0.92	1.00
pair-24	0.95	1.00	0.89	1.00	0.92	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00
pair-25	0.29	0.97	0.11	1.00	0.13	1.00	0.61	1.00	0.21	1.00
pair-26	0.24	1.00	0.11	1.00	0.05	1.00	0.66	1.00	0.26	1.00
pair-27	0.18	1.00	0.05	1.00	0.05	0.97	0.18	1.00	0.26	0.97
pair-28	0.13	1.00	0.13	1.00	0.08	1.00	0.05	1.00	0.26	1.00
pair-29	0.84	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00
pair-30	0.95	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.87	1.00	1.00	1.00

者 14 名分の正答率を示す. 緑色のセルは正答率が 0.96 以上の良い結果を, 赤色のセルは正答率が 0.05 以下の悪い結果を示す.

5. 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, 識別容易色を見つける実験を行った. ここで, ゲームにおける平等性を保つためには, 一般色覚者と色覚多様性者の両者にとって識別する時間が近い色の組み合わせが適切になる. そこで, 素早く回答してもらった 3 回の試行におけるフィルタあり条件とフィルタなし条件における平均回答時間の差を見るために, 選択を行った方の結果における色の組み合わせごとの (フィルタあり条件の平均回答時間) ÷ (フィルタなし条件の平均回答時間) の値を表 7 に示す. 緑色のセルは値が 0.95 以上 1.05 以下の差があまりない結果を示す.

その結果, 背景色が緑の場合は 2 パターン, 青の場合は 4 パターン, 茶色の場合は 2 パターン, オレンジの場合は 3 パターン, 灰色の場合は 5 パターンとなった. これらの色の組み合わせは, 両者ともに識別するのにかかった時間に差がなく, ゲーム内で反応するスピードの平等性が保てるのではないかと考えられる.

これらの色をさらに考察していく. 表 8 は差がない色の組み合わせにおけるフィルタ有無条件それぞれの HSV を示している. HSV とは色相 (Hue), 彩度 (Saturation), 明度 (Value, Brightness) の 3 つの成分からなる色空間のことである.

色覚多様性者にとって明度の差がある色の組み合わせは識別することが可能であるが, 明度の差がない色の組み合わせが識別することが困難になる[11]. またこれまでの我々の研究[6]において, 明度の値の差だけでなく, 彩度の値に差がある色の組み合わせが識別しやすいことが示唆された. これらのことから, pair-8 の背景色が青や灰色のような明度と彩度の差が大きい色の組み合わせは両者にとって識別しやすいということがわかる. また, pair-11 や pair-15 のような基本色と標的色の明度の値が同じ色の組み合わせにおいては, 基本色と標準色と背景色の明度の値の差がある場合に識別しやすい結果になった. これらより, 基本色と標準色と背景色の明度の値に差があれば, 彩度の値が同じ場合でも, 両者にとって識別する早さでは変わらないことが明らかになった.

さらに pair-8 において, 良い結果となった背景色は青, 茶色, 灰色の 3 パターンとなった. 背景色が青の

表 7 平均回答時間における (あり条件) ÷ (なし条件) の割合

	背景色				
	緑	青	茶	橙	灰
pair-1	0.957	1.070	0.946	0.914	0.995
pair-2	0.888	0.951	1.136	0.985	1.093
pair-3	0.516	0.609	0.574	0.644	0.613
pair-4	0.667	0.560	0.907	0.767	0.644
pair-5	0.903	0.820	0.689	0.773	0.535
pair-6	0.812	0.720	0.655	0.769	0.721
pair-7	0.881	1.098	0.913	0.555	1.369
pair-8	0.867	1.001	1.002	0.634	1.008
pair-9	0.779	0.621	0.796	0.717	0.892
pair-10	0.700	0.689	0.993	0.589	0.830
pair-11	0.890	0.938	0.838	1.003	1.250
pair-12	0.833	0.799	0.941	1.070	1.152
pair-13	1.187	0.883	1.149	1.061	1.443
pair-14	1.126	1.118	1.166	0.947	1.561
pair-15	0.904	0.921	0.931	0.861	0.964
pair-16	1.290	0.943	1.219	1.321	1.086
pair-17	1.010	1.011	1.119	1.114	0.980
pair-18	1.056	1.002	1.055	1.023	1.017
pair-19	1.696	4.268	3.451	3.064	3.150
pair-20	2.662	4.143	3.365	2.562	3.920
pair-21	1.158	2.836	1.700	1.075	1.262
pair-22	1.366	2.263	1.498	1.103	1.371
pair-23	1.183	1.680	1.250	1.254	1.339
pair-24	1.359	1.567	1.860	1.502	1.220
pair-25	3.074	4.065	4.099	2.561	3.560
pair-26	4.453	4.472	4.344	2.101	3.684
pair-27	3.946	4.553	3.654	3.604	3.611
pair-28	3.664	4.353	3.632	3.336	3.574
pair-29	1.310	1.114	1.051	1.497	1.087
pair-30	1.224	1.416	1.078	1.539	1.170

表 8 表 7 の緑色のセルにおける色の HSV

	標的色 フィルタなし	基本色 フィルタなし	背景色 フィルタなし	標的色 フィルタあり	基本色 フィルタあり	背景色 フィルタあり
	pair-8	90, 64, 89	98, 55, 85	232, 87, 78	60, 58, 81	60, 48, 77
90, 64, 89		98, 55, 85	26, 55, 47	60, 58, 81	60, 48, 77	60, 47, 38
pair-11	239, 100, 56	240, 100, 66	31, 72, 95	240, 99, 56	240, 100, 65	60, 69, 74
pair-15	0, 100, 39	0, 100, 45	0, 0, 52	60, 100, 22	60, 100, 26	0, 0, 52
	147, 100, 35	19, 88, 100	102, 71, 67	60, 42, 29	60, 100, 67	60, 63, 58
pair-17	147, 100, 35	19, 88, 100	232, 87, 78	60, 42, 29	60, 100, 67	240, 79, 78
	147, 100, 35	19, 88, 100	0, 0, 52	60, 42, 29	60, 100, 67	0, 0, 52
pair-18	19, 88, 100	147, 100, 35	232, 87, 78	60, 100, 67	60, 42, 29	240, 79, 78
	19, 88, 100	147, 100, 35	31, 72, 95	60, 100, 67	60, 42, 29	60, 69, 74
	19, 88, 100	147, 100, 35	0, 0, 52	60, 100, 67	60, 42, 29	0, 0, 52

場合, 背景色の明度の値の方が基本色と背景色の明度の値より大きくなっている. 背景色が茶色の場合, 背景色の明度の値と基本色と背景色の明度の値はほぼ変

わらない。背景色が灰色の場合、背景色の明度の値の方が基本色と背景色の明度の値より小さくなっている。これらより、基本色と背景色の色によっては明度の差の大きさによらず、識別しやすいことがわかる。一方で、背景色が緑色の場合にはあまり識別できていない。これらは、フィルタあり条件における背景色の緑色とオレンジ色の色相の値が基本色と標的色の色相の値と同じである。これより、背景色と基本色と標的色の色相の値が異なることで、明度の差の大きさによらずに識別性を高められる可能性がある。これは、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要因の一つになりうるのではないかと考える。

以上の結果より、基本色と標準色と背景色の明度の値に差があれば、彩度の値が同じ場合でも、両者にとって識別する早さでは変わらないことが明らかになった。また、背景色と基本色と標的色の色相の値が異なれば、明度の差の大きさによらずに識別性を高められる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」という仮説は一部が支持された。これは背景色を様々な色に変更したためと考えられる。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。

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」という仮説をもとに、一般色覚者とD型色覚者における識別容易色があるかについて調査を行った。具体的には、5パターンの背景色ごとに選択肢の中で1つだけ異なる色を選択してもらい実験を行い、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、基本色と標準色と背景色の彩度の値に差があれば、明度の値が同じ場合でも、両者にとって識別する早さが変わらないことが示唆された。また、背景色と基本色と標的色の色相の値が異なれば、明度の差の大きさによらずに識別性を高められることが明らかになった。

今後の展望として、今回の実験はゲームでよく使用されるであろう5パターンの背景色を追加した実験を行った。しかし、ゲームで用いることを考慮すると、画面内は動的な描写にする必要がある。そのため、標的色と基本色を動的にした実験を行い、両者における識別容易色の検討を行う。具体的には、本実験で使用した色の組み合わせを使い、本研究の実験の標的色と背景色を動かし、フィルタあり条件とフィルタなし条件を比較していく。また、背景色は本実験を用いることを考えている。

またこれまでの我々の研究や本研究で得られた知見をもとに、実際のゲーム環境に落とし込み、一般色覚者と色覚多様性者間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、既存のゲームに得られた知見の色を適応し、調査を行う。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利用できるようにし、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。

参考文献

- [1] “esports”. <https://www.bauhutte.jp/bauhutte-life/esports/> (参照 2022-1-5)
- [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 2022-1-5)
- [3] J. Nathans, T. P. Piantanida, R. L. Eddy, T. B. Shows and D. S. Hogness. Molecular Genetics of Inherited Variation in Human Color Vision, *Science*, 1986, vol. 232, pp.203-210.
- [4] “ぷよぷよ”. <https://puyo.sega.jp/portal/index.html> (参照 2022-1-5)
- [5] “Splatoon”. <https://www.nintendo.co.jp/switch/aab6a/about/index.html> (参照 2022-1-5)
- [6] Y. Fujiwara, S. Nakamura. Fundamental Study of Color Combinations by Using Deuteranope-Simulation Filter for Controlling the Handicap of Color Vision Diversity in Video Games, 20th IFIP TC14 International Conference on Entertainment Computing, 2021, vol. LNCS 13056, pp. 127-138.
- [7] D. John. 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.
- [8] D. A. McIntyre. *Colour Blindness: Causes and Effects*, Dalton Publishing, 2002, vol.79, no.8, pp. 476-477.
- [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.
- [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.

- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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 2022-1-5）
- [14] 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）
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] E. Tanuwidjaja, D. Huynh, K. Koa, C. Nguyen, C. Shao, P. Torbett, C. Emmenegger and N. Weibel. Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness, *Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2014, pp. 799-810.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.