色覚特性を考慮したゲームの有利不利制御の Among Us を用いた検証

藤原優花†1　　中村聡史†1

オンラインゲームにおいて，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．我々はこれまでの研究において，D 型模擬フィルタを実現し，選択肢の中で異なる 1 色を選択してもらう実験や背景色を考慮した実験を行い，一般色覚者と D 型色覚者両者にとって識別しやすい色や両者にとって識別する時間が近い色を明らかにした．しかし，実際のゲームにおいて有効かどうかを明らかにしていなかった．そこで本研究では，これまでの我々の研究で得られた結果から仮説をたて，Among Us を用いた実験を実施し，色のハンディキャップにおける制御が可能かに関する検討を行った．その結果，配色次第では一般色覚者も色覚多様性者もゲームの有利不利制御が可能であることがわかった．

1. はじめに

コンピュータおよびインターネットを介した対戦型ゲームの人気が高まり，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 の影響により自宅でできる娯楽が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るため，そのユーザ間にハンディキャップが存在していることがある．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．我々はその中でも，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の問題に注目している．

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，色覚サポート機能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[5]では，敵・味方のインクを色で区別している．この敵・味方の色の識別性をあげるため，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

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©2018 SEGA ぷよぷよ

†1 明治大学
Meiji University

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

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 型色覚の人が一般色覚の人に比べて識別容易となる色があるかについて調査に取り組んできた[6][7]．その結果，注目するべき対象の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 D 型色覚者の両者にとって識別しやすい公平色になりうる要因であることがわかった．しかし，これまでの研究で得られた要素が実際のゲームにおいて有利不利の制御が可能かは検証されていなかった．

そこで本研究では，D 型（Deuteranope）色覚者に焦点を当て，色覚特性を考慮したゲームの有利不利が制御可能かについて実験により明らかにする．具体的には，リアルタイムに色覚タイプをシミュレート可能なシステムを実装し，Among Us[8]を用いて，一般色覚群と色覚多様性群に分かれてゲームをプレイしてもらう実験を繰り返し行う．その際，これまでの研究で得られた要素を踏まえた 3 つの仮説（4 章に後述）を立て，検証を行う．

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[9]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[10]．

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生じる．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[11-13]．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により生じる色覚多様性は，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[13]．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[14]．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[15]．

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

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）[16]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[17]．

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[18]や Brettel ら[19]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，浅田[20]の提案手法で使用した変換計算を参考に，リアルタイムでゲーム画面を D 型色覚者の色の見え方をシミュレートするものである．

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[21]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り，このシステムを通して色覚多様性者の色認識に対して理解を促進させる．また宮澤ら[22]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[23]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[24]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はなく，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．

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

3. リアルタイム色変換システム

我々は一般色覚者が色覚多様性者と比べて識別しにくい色や，一般色覚者と色覚多様性者にとって識別しやすい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（図 2）．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[13]，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，これまでの研究[6][7]で得られた識別容易色となりうる要素を踏まえて，実際のゲームを用いてリアルタイムに色覚タイプをシミュレート可能なシステムを実装し，そのシステムを用いて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，ゲームにおける有利不利の制御が可能かを調査する．

システムは 1 台の PC で完結するようにするため，メインディスプレイのほかにサブディスプレイを用意し，サブディスプレイ上にゲームを起動する．また，システムはサブディスプレイを常時キャプチャーし，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 値に変換する．この D 型模擬フィルタを実現するため，浅田[20]が行った色の変換計算を参考に過去の研究[6][7]で使用した計算を用いる（図 3）．この変換を行った RGB 値をもとにメインディスプレイで表示する．また，ユーザのマウスやキーボードなどの操作はサブディスプレイ上に直接送られ，ゲームの操作を可能とする．システムは Processing を用いて実装した．

フィルタがかかっていない元の状態と，計算した後のフィルタがかかった状態の画面を図 4 に示す. Dell の CPU が Core i7，メモリが 16GB，GPU が 4GB，解像度が 1920*1080 の場合，遅延時間は 20ms 前後であった．

4. 実験

4.1 実験概要

実験では一般色覚者と色覚多様性者とが色において有利不利になるような条件を作り，ゲームを用いて検証を行う．ここで，様々な色を検証するには，それなりに色を使用しておりゲームの進行上色の識別が重要である必要がある．また我々の実装したリアルタイム色変換システムの遅延が 20ms であることから，多少の遅延が許される必要がある．

ここで，宇宙人狼ゲームである Among Us[8]は多人数で行うゲームであり，色の識別を行う必要と色に着目したミニゲームをこなしていく必要がある．また，討論の場で色をどう認識したかがわかる必要があるなど，色が重要なゲームである．さらに，多少の遅延は許容できるという特徴がある．そのため，本実験では Among Us[8]を用い，色を変更しつつ，リアルタイム色変換システムを使いつつ後述する仮説を検証する．

4.2 Among Us

Among Us の本質的なルールは人狼と同じで，クルー（村人側）とインポスター（人狼側）に分かれてゲームが進行する．クルー側の勝利条件は「宙船内のすべてのタスクを完了すること」か「インポスターの正体を突き止め全員追

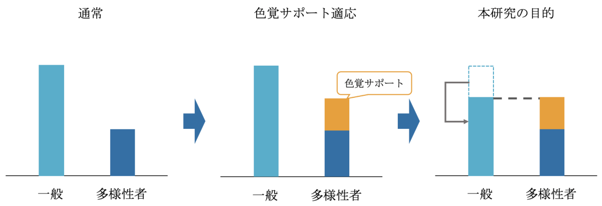

図 2　本研究の最終目的

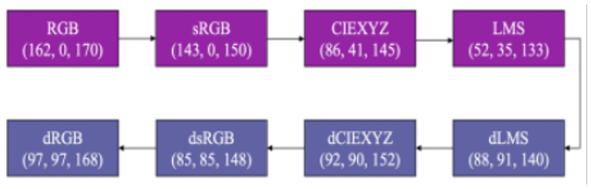

図 3　実験で用いるフィルタの色変換手順

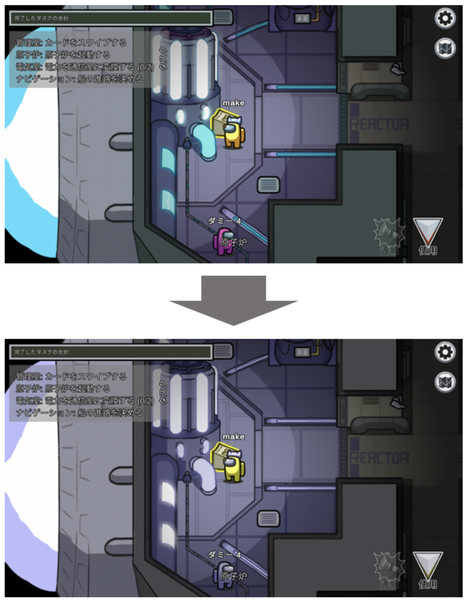

図 4　一般色覚色（上）と D 型色覚色（下）
©2018 Among Us

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

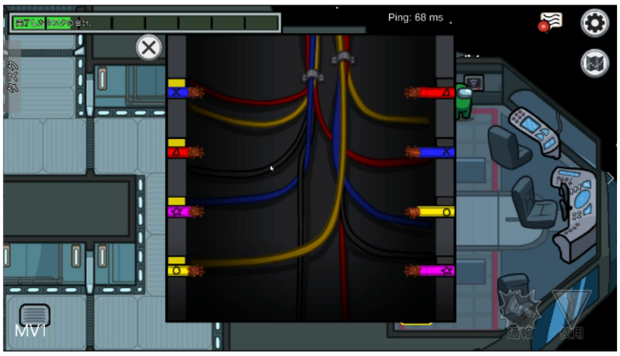

図 5　配線修正タスク（タスク開始前）

©2018 Among Us

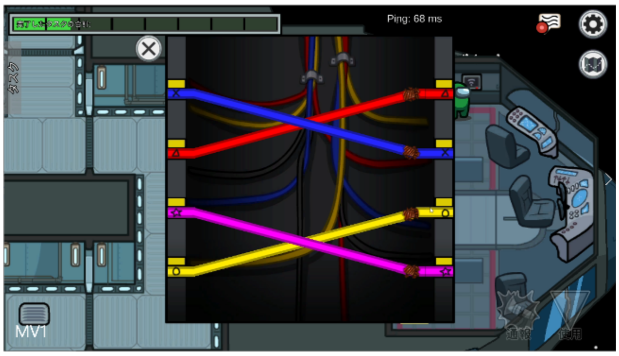

図 6　配線修正タスク（タスク完了）

©2018 Among Us

図 7　インポスターの操作画面 ©2018 Among Us

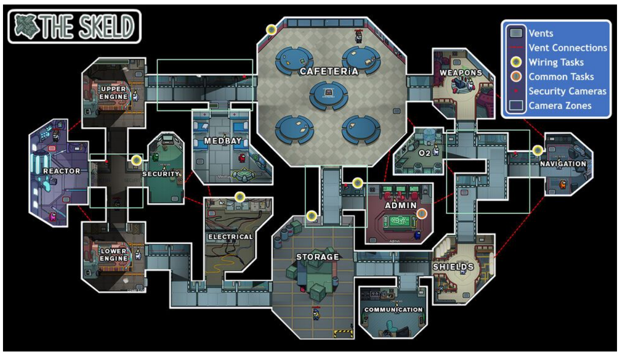

図 8　The Skeld のマップ

©2018 Among Us

放すること」かのどちらかである．タスクとは，「宇宙船内に起こっているトラブルの修理」を指す．タスクの内容はどれも直感的な操作でクリアできるミニゲームが多い．また基本的にはプレイヤごとに専用のタスクが課されており，自分以外のプレイヤには自分が課されているタスクは伏せられる．ここで，実験で着目する配線修正タスクは，図 5 のような状態から，画面の左側から右側に両端の色が同じ色になるようにワイヤーを接続するものである（図 6）．

一方，インポスター側の勝利条件は「クルーをインポスターの同数まで殺害すること」か「クルーの脱出を妨害すること」のどちらかである．クルーを殺害するには，クルーと一定の範囲内に入り，図 7 の右下にあるキルボタンを押すことで可能となる．脱出を妨害する行為として，図 7 の右下にあるサボタージュボタンを押すことで通路を塞いだり，すぐにタスクをこなさないとインポスターが勝ってしまう緊急タスクを起こすことなどがある．

ゲームは「作業フェーズ」と「議論フェーズ」に分かれている．ゲームは常に「作業フェーズ」から開始され，プレイヤはそれぞれの役割に沿って自分のタスクの実行・殺害の実行などを目的とし，宇宙船内を歩き回る．作業フェーズとはプレイヤが各々でマップ内を自由に動き回れるターン，議論フェーズとはプレイヤが集まりテキストチャットやボイスチャットで議論し，多数決で追放者を決めるターンのことである．

プレイヤの中で殺されたものや，追放されたものは，そのゲームが終了するまで幽霊としてプレイすることができる．ここで幽霊同士は姿を視認できるが，生きているプレイヤからは見えない．また幽霊となった後も，各々がもつタスクをこなすことやインポスターがクルーの行動を妨害するなどの役割をこなすための行動が可能となっている．

4.3 実験の仮説と色の選定

Among Us はキャラクタの色の識別，また討論が重要になるため，本実験では以下の仮説を立て検証する．

- 仮説 1：全体において，識別しやすい色のキャラクタは識別しにくい色のキャラクタに対して討論の場での会話量が多くなる．
- 仮説 2：全体において，識別しやすい色のキャラクタが識別しにくい色のキャラクタよりも討論の場での色の表現のバリエーションが少なくなる．
- 仮説 3：色に着目したタスクにおいて，識別しにくい色のタスクは識別しやすい色のタスクに対してこなす時間が長くなる．

ここで表 1 は，これまでの研究[6][7]において得られた結果をもとに，著者により Among Us で利用されるキャラクタの色（12 色）の組み合わせについて，識別しやすい色・識別しにくい色と考えられるものを対応付けたものである．

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

表 1　識別する時間の差がない色の組み合わせ

	オレンジ	グリーン	シアン	パープル	ピンク	レッド	マルーン	ブルー	ホワイト	ブラック	イエロー	ライム
オレンジ		F	F	F	F	F	F	F	F	F	×	C
グリーン	F		F	F	F	C	C	F	F	F	F	F
シアン	F	F		F	F	F	F	F	C	F	F	F
パープル	F	F	F		D	F	F	×	F	F	F	F
ピンク	F	F	F	D		F	F	F	C	F	F	F
レッド	F	C	F	F	F		C	F	F	F	F	F
マルーン	F	C	F	F	F	C		F	F	C	F	F
ブルー	F	F	F	×	F	F	F		F	F	F	F
ホワイト	F	F	C	F	C	F	F	F		F	F	F
ブラック	F	F	F	F	F	F	C	F	F		F	F
イエロー	×	F	F	F	F	F	F	F	F	F		C
ライム	C	F	F	F	F	F	F	F	F	F	C	

F：どちらも識別できる　　C：一般色覚者が早く識別できる　　D：D 型色覚者が早く識別できる　　×：どちらも識別できない

ここで F は両者共に識別しやすい，C は一般色覚者が早く識別できる，D は D 型色覚者が早く識別できる，×は両者ともに識別しにくい色を示している．

仮説に対応する識別しやすい色・識別しにくい色は Among Us で使用するプレイヤの色を選定するにあたり表 1 を参考に，特に背景が黄色の組み合わせに着目して選定を行った．本実験で使用したプレイヤの色の名称と HSV を表 2 に示す．

4.4　実験手順

本手法では宇宙人狼ゲームである Among Us[8]を用いて擬似的に一般色覚者と D 型色覚者が混じったゲームを行ってもらう．また，ゲームの色をリアルタイムで D 型色覚者の色の見え方に擬似的に変換し，実際に実験で提示した．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，討論の会話やゲーム中のタスクを行った時間の短さで有利不利を判定する．

実験では，一般色覚者である男性 10 人に実験協力を依頼した．実験協力者の 10 人のうち，4 人は D 型模擬フィルタを用いているフィルタあり群，残りの 6 人は一般色覚色であるフィルタなし群として実験を行った．なお，表 1 の黒丸（●）は D 型模擬フィルタを用いているフィルタあり群，白丸（○）は一般色覚色であるフィルタなし群を示している．プレイヤの色はランダムで被らないように割り当てを行った．ゲームマップは The Skeld を使用し（図 8），ゲーム内のタスクは通常タスクを 2 つ，ロングタスクを 3 つ，ショートタスクを 4 つに設定した．

実験における諸注意として，ゲーム画面をフルスクリーン設定にすること，バックグラウンドで動いているものはなるべく停止させること，プレイ中に表示されるプレイヤ名はひらがな 4 文字に設定することを実験協力者に事前に伝えた．プレイヤ名をひらがな 4 文字に固定した理由は，名前の文字数が多いことで壁を突き抜けて見えてしまい，名前による他者の認識を防ぐためである．

フィルタあり群ではゲーム開始前に本システムを実行してもらい，Among Us を通常通りにプレイしてもらった．Among Us のプラアットフォームは PC に限定し，キーボードとマウスを使用してもらった．

4.5　実験結果

実験は全部で 4 戦分を行った．また実験終了後，録画したプレイ動画を実験協力者から収集し，分析を行った．なお，D 型模擬フィルタを利用する実験協力者は毎回ランダムに選定する予定であったが，システムのスペックなどの都合で十分に動作しない実験協力者がいたため，ある程度固定の実験協力者がフィルタあり群として設定された．

表 3 に配線修正タスクにおける全体，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 10 人のタスクをこなした時間の平均と，収集したタスク数とそのミス数を示す．タスクをこなす平均時間については，フィルタあり条件が 7.33 秒，フィルタなし条件が 4.78 秒となり，フィルタなし条件の方がタスクをこなす時間が短くなった．

インポスターに割り当てられた色とフィルタあり条件かどうかの結果を表 4 に示す．1 ゲームごとにインポスターは 2 人割り当てられ，インポスターになったホワイトは 4 戦中 3 戦であった．このようなインポスターの偏りはゲームの仕組み上，立てたゲームサーバにおいて連続でゲームを行うと同じ色がインポスターになることが原因と考えられる．ホワイトがインポスターだった 3 戦は全て別の実験協力者に割り当てられたが，全て議論フェーズで追放されていた．

次に，1 戦ごとの（色名を喋った数）/（全会話数）の割

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

合を表 5 に示す．どの試合においてもフィルタありの方がフィルタなしに比べ色に関する発話数の割合が少ないものとなっていた．また，全体的に会話の 5 割は色に関する発言が見られた．なお 3 戦目の割合が低い結果となった理由は，Among Us に慣れており進行役をしていたプレイヤが死んでしまったため，どう会話を進めればいいか進行する人が無くなったことが考えられる．

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，4.1 節で記述した仮説をもとに，色における有利不利が制御可能か実験を行った．

まず仮説 3「色に着目したタスクにおいて，識別しにくい色のタスクは識別しやすい色のタスクに対してこなす時間が長くなる」について考察を行う．このタスク時間については，配線修正タスクで用いられている色を検証することで確認できると考えられる．Among Us における配線修正タスクで用いられている色は「青」,「赤」,「ピンク」,「黄色」の 4 色である．これらの色は一般色覚者にとって識別することが可能であるが，D 型色覚者にとっては「赤」と「黄色」,「青」と「ピンク」が同じように見えてしまう（図 9）．実際フィルタあり条件における配線修正タスク 24 回分のうち，2 回のミスが見られていた（表 3）．これらのミスはどちらも赤の配線と黄色の配線を間違えて繋いだものであり，その間違いにも気づけていない様子が見られた．また，フィルタあり群はフィルタなし群と比べ，色を認識する時間が長いことが表 3 からわかる．討論の場においても「配線修正タスクの色が似すぎて時間がかかる」などの発言があった．そのため色覚多様性者が識別しにくい色が用いられていた場合，タスクをこなす時間が長くなっていることが確認できた．

次に，仮説 1「全体において，識別しやすい色のキャラクタは識別しにくい色のキャラクタに対して討論の場での会話量が多くなる」，仮説 2「全体において，識別しやすい色のキャラクタが識別しにくい色のキャラクタよりも討論の場での色の表現のバリエーションが少なくなる」について，該当するシチュエーションごとに整理し，考察を行う．

1 つ目のシチュエーションは，オレンジのプレイヤの死体を発見した際に死体の周辺にいたプレイヤがオレンジを含めて 5 人いたという状況に関する討論である．このシチュエーションにおいて，フィルタあり群であるパープルはピンクを視認した発言をしたが，フィルタなし群のマルーンはピンクを認識していなかった．このことから，一般色覚者（フィルタなし群）の方が実際のゲームの中においてもピンクを識別しにくい可能性がある．

2 つ目のシチュエーションは，オレンジのプレイヤが死んだ後の墓場での会話である．オレンジが幽霊視点で「ピ

表 2　実験で用いた色と HSV

	HSV	1戦目	2戦目	3戦目	4戦目
オレンジ	30, 89, 100	●		○	
グリーン	135, 87, 50	○		●	
シアン	177, 73, 100	●	●	○	○
パープル	264, 71, 82	●	○	○	●
ピンク	320, 65, 93	○	○	●	○
レッド	0, 91, 77	○	○	●	●
マルーン	343, 60, 42	○	○	○	●
ブルー	231, 91, 82	●	●	○	○
ホワイト	202, 9, 100	○	●	○	○
ブラック	204, 21, 37	○	○	●	○
イエロー	60, 64, 96		●		○
ライム	112, 76, 94		○		●

表 3　配線修正タスクをこなした平均時間とミス数

	全体	あり群	なし群
平均時間(s)	5.73	7.33	4.78
ミス数/タスク数	2/64	2/24	0/40

表 4　インポスターの配色とフィルタ条件の有無

	インポスターの色	フィルタあり
1戦目	パープル	○
	マルーン	
2戦目	ブルー	○
	ホワイト	○
3戦目	レッド	○
	ホワイト	
4戦目	イエロー	
	ホワイト	

表 5　全会話数に対する色名を喋った数の割合

	フィルタあり	フィルタ無し
1戦目	0.519	0.534
2戦目	0.681	0.684
3戦目	0.323	0.433
4戦目	0.617	0.631

ンクが白に見える」と発言したが，これは死んだあとの画面が生きている時の画面と比べて視界が晴れていることが影響している（図 10・図 11）．このように，視界の明度の差が他の色を認識する上で重要な要因であることがわかる．

3 つ目のシチュエーションは，全員が生きている状況でのフィルタあり群の発言である．1 戦目から 4 戦目まで，

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

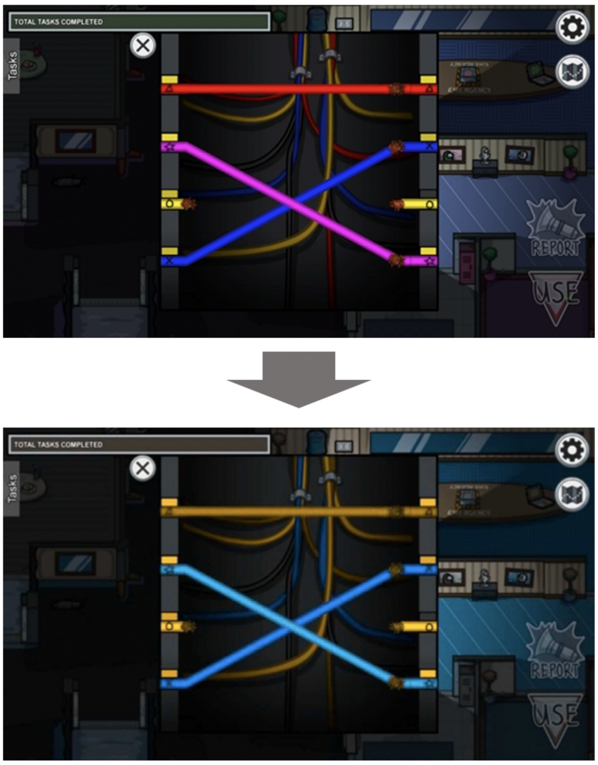

図 9　一般色覚色（上）と D 型色覚色（下）の配線修正タスク©2018 Among Us

図 10　生存している時のプレイヤの視界 ©2018 Among Us

図 11　死んだ後のプレイヤの視界 ©2018 Among Us

実験協力者がそれぞれ識別しやすい色や似ている色について発言していた．フィルタあり群は「ピンクとシアンとホワイト」，「マルーンとブラック」，「イエローとライム」，「グリーンとレッドとオレンジ」，「パープルとブルー」を識別しにくい色として挙げていた．また，フィルタなし群は「パープルとブルー」を識別しにくい色として挙げていた．これらの発言から 4.1 節で述べた仮説のうち，「パープルとブルー」はどちらの条件においても識別しにくい色であり，さらに色のハンディキャップを広げてしまう色の組み合わせであると考える．また「イエローとライム」の組み合わせは，D 型色覚者にとって最も識別しにくい色として，さらに色のハンディキャップを広げてしまう色の組み合わせであると考える．しかし，4 戦目ではどちらの条件においても「レッド」は他の色と比べて似ている色はないと発言していた．これより，赤という色は一般色覚者にとっても色覚多様性者にとっても識別できる色として，本研究の目的を達成できる要因であると考える．ただし，グリーンが参加している 1 戦目と 3 戦目では「レッドとグリーンはほぼ同じ」という意見が多くあり，用いる色によっては識別しにくい色になってしまう．

4 つ目のシチュエーションは，インポスターのブルー（フィルタあり群）がインポスターのホワイト（フィルタあり群）を庇う嘘をついた討論である．マップの左側でホワイトがキルをした状況で，左側にはホワイト 1 人しかいないと議論になった時，ブルーが「右側にホワイトいた気がするんだよな」と庇うように発言していた．しかし，シアン（フィルタあり群）とレッド（フィルタなし群）はその発言に対し，「ホワイトは絶対いなかった」と強く反論していた．つまり，ホワイトはどちらの条件においても識別しにくい色は無く，自信をもって識別できる公平色であることがわかる．この討論が行われたゲーム終了後に改めてシアンとレッドに振り返ってもらったところ，「何色かは確証が無かったが，ホワイトだけは見てないって絶対の自信をもって言えた」と回答している．そのため，白は一般色覚者においても色覚多様性者においても識別しやすいと考えられる．しかし，ブラックについては「マルーン」と識別しにくいとの意見が多く，こちらは仮説に反する結果となっていた．

以上のことより，配色次第では一般色覚者も色覚多様性者もゲームの有利不利制御が可能であることがわかった．

6. 展望

本研究では Among Us を用いた一般色覚と D 型色覚間の有利不利が制御可能か仮説を立てて検証した．しかし，今回の実験では仮説を検証するには不十分だったといえる．

その理由として，1 つ目にインポスターとなったプレイヤの色の偏りが考えられる．今回インポスターの色が 4 戦

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

中 3 戦ホワイトに割り当てられており，クルー側の発言などが十分に収集することができなかった．この対策として，ゲームごとにゲームサーバを立て替え，色の偏りをなくす必要がある．

2 つ目に統計的に検証するための実施回数が不十分であったことが考えられる．今回の実験では全てのパターンを網羅できていないため，配線修正タスクの完了までの平均時間のみしか結果として示せず，スコアのような数値的な指標での比較ができなかった．今後は統計的に有利不利の制御が可能かを測るため，相手の操作の影響がなく，他人とスコアが比較できるランキング形式のゲームで比較することを考えている．具体的には落ち物パズルゲームのような一人でゲームを行い，スコアがプレイヤ間で比較可能なゲームを検討している．

7. 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,「色に着目した色に着目したタスクにおいて，識別しにくい色のタスクは識別しやすい色のタスクに対してこなす時間が長くなる」,「全体において，識別しやすい色のキャラクタは識別しにくい色のキャラクタに対して討論の場での会話量が多くなる」,「全体において，識別しやすい色のキャラクタが識別しにくい色のキャラクタよりも討論の場での色の表現のバリエーションが少なくなる」という仮説をもとに Among Us を用いた実験を実施し，色のハンディキャップにおける制御が可能かに関する検討を行った．

実験の結果より,「色に着目したタスクにおいて，識別しにくい色のタスクは識別しやすい色のタスクに対してこなす時間が長くなる」という様子が確認でき，配色次第では一般色覚者も色覚多様性者もゲームの有利不利が変わることがわかった．一方で「全体において，識別しやすい色のキャラクタが識別しにくい色のキャラクタよりも討論の場での色の表現のバリエーションが多くなる」,「全体において，識別しやすい色のキャラクタは識別しにくい色のキャラクタに対して討論の場での会話量が多くなる」という仮説は部分的にその様子が確認できただけであった．今回実験で使用した Among Us では，1 人で与えられたタスクをこなしている間に色やプレイヤ名の認識をし，討論の際に自分の行動を話すための記憶が重要になる．そのため，その時はどの色が通ったなどと覚えているが，どれくらい記憶できるかは個人差が生じる．今回の実験では色を識別すること以外の要因が影響を及ぼした可能性も考えられる．

今後の展望として，パズルゲームのような競技性が高く，瞬発力が必要とされるゲームで同様の実験を行い，両者における識別容易色の検討をさらに行う．また，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の組み合わせを活用できるようにすることを目指す．具体的には，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，色のハンディキャップの有利不利を制御する手法の細分化を行い，ゲームを製作する際のガイドラインや，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することを目指す．

参考文献

[1] "esports". https://www.bauhutte.jp/bauhutte-life/e-sports/（参照 2022-7-4）

[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 2022-7-4）

[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 2022-7-4）

[5] "Splatoon". https://www.nintendo.co.jp/switch/aab6a/about/index.html（参照 2022-7-4）

[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 (IFIP ICEC 2021), 2021, vol.LNCS 13056, pp.127-138.

[7] 藤原 優花, 中村 聡史. 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, 第 14 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 2022.

[8] "Among Us". http://www.h2int.com/games/among-us/（参照 2022-7-4）

[9] 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.

[10] D. A. McIntyre. Colour Blindness: Causes and Effects, Dalton Publishing, 2002, vol.79, no.8, pp. 476-477.

[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 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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 2022-7-4）

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

[16] 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）
[17] 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.
[18] 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.
[19] 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.
[20] 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.
[21] 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.
[22] 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.
[23] 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.
[24] 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.

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan