

2025年度 修士学位請求論文

色選択インタフェースにおける錯視問題の検証と
その改善

明治大学大学院先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻

小林 沙利

Master's Thesis

Examining Visual Illusions in Color Selection
Interfaces and Designing Improvements

Frontier Media Science Program,
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,
Meiji University

Sari Kobayashi

概要

色はデザインにおいてメッセージの強調や視認性の向上などの役割を持ち、その選択には主に色選択インターフェースが用いられる。ここで、色選択インターフェース上で選択した色とキャンバス上に塗られる色でイメージが異なることがある。その原因として色選択インターフェースが起こす錯視が考えられる。例えば、キャンバスの背景色とインターフェース上の背景色が異なることによって同じ色が表示されているにもかかわらず色の見え方が異なってしまう。錯視によって本来ユーザが想定していた色と異なる色が描画されると、意図や直感と反するうえ、その修正においてユーザの手間を増加させてしまう。そのため、錯視を考慮した色選択インターフェースは、ユーザの意図に沿った色選択を行ううえで重要であるといえる。

そこで本研究は、錯視を考慮した色選択インターフェースの実現を目的とする。具体的には、色選択インターフェースにおいて錯視が発生する要因を検証し、その改善を目指した。

まず、色の見かけの明るさが周辺の明るさに応じて変わる現象である明るさの対比現象に着目して調査を行った。実験では、ターゲット色と選ぶとする色の周辺色が異なる状態で色合わせタスクを実施し、その誤差を検証した。その結果、周辺色の明度が低い条件では、選ぶとする色が明るく見えるためターゲットより暗い色を選択し、周辺色の明度が高い条件では、選ぶとする色が暗く見えるためターゲットより明るい色を選択することが明らかになり、色選択における明るさの対比現象が確認された。このことから、色選択インターフェースにおいて選ぶとする色の周辺にある色が色選択を阻害している可能性が示された。

次に、選択される色が表示される大きさとその周辺色の色相が色選択に及ぼす影響について調査するために再度色合わせタスクによる実験を行った。実験の結果、周辺色の色相について、黄色と緑に分類されるグループで平均誤差が最も小さかったものの、特徴は大きく表れなかった。一方、表示される大きさについて、ターゲットより面積が小さくなるほどターゲットとの誤差が大きくなることが明らかになった。そのため、カラータイルが小さく表示されるパレットはユーザにとっての色の見え方とずれが発生している可能性が示された。これらの結果により、選ぶとする色の周辺色と表示面積が色選

択インタフェースにおける錯視の要因であることが示された。

そして、これらの知見を活かして、錯視を考慮した色選択インタフェースを PowerPoint 上で実装した。具体的には、インタフェースそのものの背景色を透明にすることで、カラータイルをキャンバス上に直接かざすことでインタフェースの周辺色に影響されずに色の見え方を確認できるようにした。また、カラータイルを大きく表示することで面積の小ささによる色選択の障害が発生しないようにした。提案手法の効果を検証するために、周辺色や背景色が異なる状況における色合わせタスクを実施した。実験の結果、提案手法によるパレットは、錯視が発生するパレットと比較してタスクの正答率が高く、色の選択回数が少なくなることがわかり、ユーザの意図した色選択を行ううえで有用である可能性が示された。特に、背景色上にあるオブジェクトに色を塗りつぶしたい場合に、より正確に色を選べることが明らかになった。

以上の実験と分析から、色選択インタフェースはそのデザインによって錯視が発生するため、表示色や面積の設計を考慮する必要があること、また、錯視を考慮したインタフェースによって正確で修正の手間が少ない色選択を行える効果が期待されることが示された。色選択インタフェースにおける錯視の改善は、意図した色表示によってユーザの負荷を軽減させ、さらなる色の検討を促すことが期待される。

Abstract

Color plays a vital role in design, such as emphasizing messages and improving visibility, and color selection interfaces are primarily used to choose these colors. However, the color selected on the interface may appear different from the color actually applied to the canvas. One possible cause of this discrepancy is an optical illusion caused by the interface itself. For example, if the background color of the interface differs from that of the canvas, the same color may be perceived differently. When an optical illusion results in a color different from what the user intended, it contradicts their intuition and increases the effort required for corrections. Therefore, a color selection interface that accounts for optical illusions is essential for enabling color selection that aligns with user intent.

This research aims to realize a color selection interface that considers these optical illusions. Specifically, we investigated the factors that cause optical illusions in color selection interfaces and aimed to improve them.

First, we conducted an investigation focusing on the brightness contrast phenomenon, where the apparent brightness of a color changes depending on the surrounding brightness. In the experiment, participants performed a color matching task where the target color and the surrounding color of the selection area were different, and the resulting errors were analyzed. The results revealed that under conditions with low-surrounding brightness, participants selected a darker color because the selection appeared brighter. Conversely, under conditions with high-surrounding brightness, they selected a lighter color because the selection appeared darker. This confirmed the occurrence of brightness contrast in color selection, suggesting that colors surrounding the selection area can hinder accurate color choice.

Next, we conducted another color matching experiment to investigate how the display size of the selected color and the hue of the surrounding colors affect color selection. Regarding the hue of surrounding colors, although the groups categorized as yellow and green showed the smallest average errors, no significant characteristics were found. On the other hand, regarding display size, it became clear that as the area became smaller than the target, the error increased.

This suggests that palettes with small color tiles may cause a discrepancy in how users perceive colors. These results indicate that both the surrounding colors and the display area are key factors causing optical illusions in color selection interfaces.

Based on these findings, we implemented a color selection interface that accounts for optical illusions on PowerPoint. Specifically, by making the background of the interface itself transparent, users can hover color tiles directly over the canvas to check the color's appearance without being influenced by the interface's surrounding colors. Additionally, the color tiles are displayed larger to prevent the interference caused by small surface areas. To verify the effectiveness of the proposed method, we conducted a color matching task under conditions with varying surrounding and background colors. The results showed that the palette using the proposed method had a higher accuracy rate and required fewer selection attempts compared to palettes where optical illusions occur, suggesting its utility in achieving user-intended color selection. In particular, it proved more accurate when users wanted to fill objects on a specific background color.

Through these experiments and analyses, it was demonstrated that color selection interfaces can cause optical illusions due to their design, necessitating careful consideration of display color and area. Furthermore, it is expected that interfaces designed with optical illusions in mind will enable accurate color selection with less effort for corrections. Improving optical illusions in color selection interfaces is expected to reduce user workload through intended color representation and encourage further exploration of color choices.

目次

第1章	はじめに	1
1.1	デザイン作成における色選択	1
1.2	色選択インタフェースと錯視	1
1.3	本研究の目的	2
1.4	本稿の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	色彩の錯視に関する研究	4
2.2	色選択の支援に関する研究	4
2.3	色選択インタフェースに関する研究	5
第3章	周辺色が色選択に及ぼす影響の調査	8
3.1	実験	8
3.1.1	実験設計	8
3.1.2	実験手順	9
3.2	結果	10
3.3	考察	12
3.3.1	誤差に関する考察	12
3.3.2	色選択の軌跡に関する考察	13
第4章	選択色が表示される大きさとその周辺色の色相が色選択に及ぼす影響の調査	14
4.1	実験	14
4.1.1	実験設計	14
4.2	実験結果	16
4.2.1	周辺色ごとの平均誤差	17
4.2.2	表示される大きさごとの誤差	18
4.3	考察	18

4.3.1	周辺色に関する考察	19
4.3.2	選択色が表示される大きさに関する考察	19
4.3.3	選択変更回数	21
4.3.4	実験協力者ごとの誤差	22
4.3.5	試行が進むごとの誤差の変化	23
第5章	錯視を考慮した色選択インタフェースの実装とその検証	24
5.1	提案システム	24
5.1.1	アプローチの必要要件	24
5.1.2	実装と利用方法	25
5.2	実験	26
5.2.1	実験概要	26
5.2.2	実験設計	27
5.2.3	実験手順	28
5.3	結果	29
5.3.1	正答率	29
5.3.2	選択回数	29
5.3.3	解答時間	29
5.3.4	アンケート結果	30
5.4	考察	31
5.4.1	タスクごとの結果に関する考察	31
5.4.2	解答時間に関する考察	33
5.4.3	アンケートの結果に関する考察	34
5.4.4	ターゲット色ごとの正答率	34
5.4.5	提案手法での色選択行動	35
第6章	総合考察と今後の展望	37
6.1	総合考察	37
6.2	本研究の課題	38
6.3	本研究の応用方法	39
第7章	結論	40

第1章 はじめに

1.1 デザイン作成における色選択

色はデザインにおける重要な要素であり，作品のメッセージの強調や視認性の向上などの役割を持つ [1]．デザイン制作に関して，資料収集や色彩設計，試作など多くの工程を必要とすることが明らかにされており [2, 3]，その過程で色の選択は何度も行われ，色選択はデザイン制作に密接に結びついていると考えられる．また，プレゼン資料やイラスト作成などを通じて色の選択は日常的に行われている．

1.2 色選択インタフェースと錯視

色を選択するインタフェースには様々なものがあり，色空間から色を選ぶカラーピッカーや，組み込まれたセットから色を選ぶカラーパレットなどが使用されている（図1[4]および図2[5]）．一般的にこれらの色選択インタフェースは，カラータイル上に選ぶと表示される色が表示され，操作によってその色がキャンバス上のオブジェクトに塗られる．例えば，図1のインタフェースでは，色空間内で色を選択すると，インタフェースの左上に位置するプレビューに色が表示され，キャンバス上でブラシを動かすことによってその色が塗られる．また，図2では，カラータイルの中から選択した色にオブジェクトの色が変更される．

ここで，色選択インタフェース上で選ぶと表示される色と，キャンバス上に塗られる色で見え目の印象が異なることがある．図1に示すインタフェースは，背景色が暗い灰色で囲まれているため，プレビューの色は実際よりも明度が高く見える一方で，選んだ色を実際に塗るキャンバスの背景色は白色である．そのため，インタフェースの左上に位置するプレビュー内の色と，図左に位置するキャンバス上のオブジェクトの色は同一にもかかわらず，異なる色に見える．色選択インタフェース間でも同様の現象は発生し，図3に示すように，2つの色選択インタフェースで表示されている赤色は，数値上は同じ色だが，周囲の色によって明るさの印象が異なる．これらの現象の原因として色選択インタフェースが起こす錯視が考えられる．上に述べた2つの事例では，色の印象が周囲の



図1: MediBang Paint のカラーピッカー

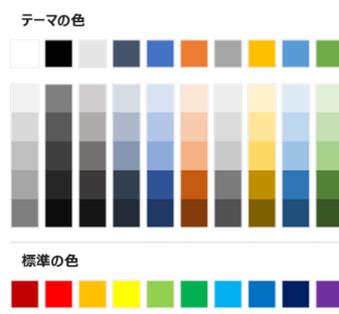


図2: PowerPoint のパレット

色に影響される明るさの対比現象（図4）が関連しているために、同じ色でも見た目の印象が異なっていると考えられる。

色選択インターフェースが錯視現象を起こすと、選ぶとすると色と実際に塗りたい色の印象が異なってしまう。また、本来ユーザが想定していた色と異なる色が描画されると、直感と反するうえ、その修正においてユーザの手間を増加させてしまう。そのため、錯視を考慮した色選択インターフェースは、ユーザの意図に沿った色選択を行ううえで重要であるといえる。

1.3 本研究の目的

本研究は、色選択インターフェースにおける錯視が色選択を阻害しているという問題に着目し、錯視を考慮した色選択インターフェースの実現を目的とする。具体的には、色選択インターフェースにおいて錯視が発生する要因を検証し、その改善を目指す。

まず、錯視を考慮した、より正確に色を選べる色選択インターフェースの実現への基礎検討として、色選択における錯視の影響について調査する。その第一段階として、選ぶ



図3: 同じ色を表示している色選択インターフェース

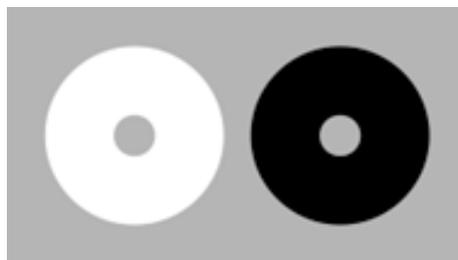


図4: 明るさの対比

とする色の周辺に明度が異なる色がある状態での色選択について、明るさの対比が発生するのかを明らかにする。次に、選ぶとする色の大きさとその周辺にある色の色相が色選択に及ぼす影響について調査を行う。

これらの結果を踏まえ、錯視を考慮した色選択インターフェースとして、背景色が透明で、カラータイルを大きく提示したパレットを提案し、その効果を検証する。

1.4 本稿の構成

本稿は、本章を含む全7章から構成される。まず本章で、色選択インターフェースが持つ錯視の問題を述べ、本研究の目的を説明した。2章では本研究の関連研究について述べる。3章では、色選択インターフェースが起こす錯視現象の調査として、無彩色の周辺色が色選択に及ぼす影響の調査を行い、その結果について述べる。4章では、選択される色が表示される大きさとその周辺色の色相が色選択に及ぼす影響の調査を行い、その結果を述べる。5章では、これまでの結果に基づいた錯視を考慮した色選択インターフェースを提案および実装し、その有用性を検証する。6章では本研究の総合的な考察と今後の展望について述べ、最後に7章で本研究の結論を述べる。

第2章 関連研究

2.1 色彩の錯視に関する研究

錯視現象について、模様や色彩の種類に関係なく色彩の錯視が発生し、対象の印象や知覚は変化することが知られている [6, 7, 8, 9, 10]. それらの現象に対して、物体の操作 [11, 12] や、色補正処理 [13] を行うことで錯視量を減少する手法が提案されており、その効果が示されている。また、明るさの錯視を予測するモデル [14] や、写真における見かけの色を予測するモデル [15] が構築されており、ユーザの知覚を考慮したカラーピッカーへの利用可能性を示している。一方で、これらは特定の模様が発生する状況における錯視への対策や、完成したデザインへの処理に着目した研究であることから、デザインを制作する過程で操作する色選択インタフェースの側面からの改善が重要であると考えられる。本研究は、色選択インタフェースの錯視について調査を行い、錯視を考慮した色選択インタフェースの可能性について検討する。

2.2 色選択の支援に関する研究

色選択を支援する研究として様々なアプローチがされている。例えば、Web 上で提供されている配色提案サービス [16, 17, 18, 19] は、配色の提示に加え、提示された色味の調整や固定色を選択したうえでの配色の再生成など、インタラクティブな色変更も行うことができる。Tigwell ら [20] は、配色の調和とコントラストを両立したパレット設計ツールを提案し、既存の配色作成ツールと比べてパフォーマンスが高く、負荷が低くなったことを示している。Guosheng ら [21] は、色彩調和理論に基づいた配色支援ツールを提案し、決められた色から選択したいデザイン初心者や、イメージしたデザインが調和しているか検証したいプロにとってツールが適している可能性を示した。Shi ら [22] も同様に色の関係性を考慮した配色パレットを提案し、グラフィックデザインの初心者のアイデア生成において有用であると示している。玉置ら [23] は、レイヤ名の単語やフレーズに基づいて、その単語のイメージに合う色候補を提示するパレットを提案している。提案手法と汎用的なパレットで画像に色塗りを行うタスクにより、ユーザの創造性を支援す

ることを明らかにしている。さらに、Moritaら[24]は、性別や年齢などの個人差を考慮した配色推薦システムを提案しており、一律な配色提案よりも主観的な満足度が高くなることを示している。配色のランダム生成のほかに、画像から色を抽出し、色の組み合わせを作成する手法も提案されている。Delonら[25]は、任意の画像に対して代表的な色を含むパレットを生成することを目指し、色相と彩度成分を重視した階層的アルゴリズムを用いたシステムを実装した。Shiら[26]は、画像内の色配置と面積が画像の空間配置を反映したパレットを提案し、画像の再彩色に関して既存のパレットと比較して自由な設計が可能であることを示している。Jeongら[27]は、画像に分布する色に対して階層的クラスタリングを適用する手法を提案し、既存のパレット抽出方法と比較して、画像内の領域の大きさに捉われないカラーモデルの抽出を行える可能性を示した。また、ユーザのインタラクティブな操作を通じて色の分布を分割および統合する機能は、既存手法より精微に対象色を指定することが示された。このモデルを使用して実装された、ノードリンク図による色の探索を可能とするシステムは、画像から満足できる5色のパレットを作成するタスクにおいて、効率と柔軟性の2つに関して優れた結果を示した[28]。これらの画像を用いた抽出は、ユーザが理想とする色のイメージを探索する際の支援手法になると考えている。実際に、Web検索エンジンからクロールした画像の色を抽出することで与えられたキーワードに関連する色を提示するうえで効果的であることを明らかにしている[29]。

これらの研究は、選択する色の候補をあらかじめ用意することにより、ユーザがより適切な色を選べるよう支援している。しかし、デザイン制作では、配色された色に加え自らがインタフェース上で色を選択する状況も考えられる。そのため本研究は、インタフェースに着目してユーザが意図に沿った色を選ぶ支援を目指している。

2.3 色選択インタフェースに関する研究

色選択の支援ツールが提案される一方で、色選択インタフェースのデザインは使いやすさを向上させるうえで重要であり、色空間の利用や選択色のフィードバック手法、ひとの色知覚の理解において改善の余地があることが指摘されている[30, 31, 32]。具体的には、カラーピッカーにおける色の表示方法が作品に使用される色の種類、タスク完了時間、満足度に与える影響について検証がされている[33, 34, 35, 36, 37]。さらに、デザイン制作において作業を早く行うために全ての工程を同一の画面で行う手段が求められていることも明らかになっている[2]ことから、意図した色を選べることによる色選択の速

度の向上も重要であると考えられる。これについて操作性の面からいくつかアプローチがなされており、Zhouら[38]は、空中ジェスチャにおける手の動作を活用した色選択インタフェースを提案し、従来のカラーピッカーより色合わせタスクの完了時間が早くなることを示している。指操作で色の調整を行う手法も提案されており、マルチタッチ対応のカラーピッカーであるBiCEPは、2本の指でカラーホイールと明度バーを操作し、色相・彩度と明度の同時調整を可能とした[39]。Ebbinasonら[40]が提案するColorFingersも同様に、2本の指で色相、彩度、明度を個別に操作できる。さらに、移動可能なカラーホイールと選択している色をカラーホイールの周囲に表示するフィードバックも実装し、既存のモデルと比較して色選択にかかる時間と精度を改善した結果を示している。そのほか、Jalalら[41]は、色選択に関するデザイナーへのインタビューにおいて、色は周囲の色や隣接する要素をもとに選択されており、色同士の関係性を探求できる設計は色選択に重要な要素のひとつであることを示唆しており、色の関係性に着目した手法が提案されている。Meierら[42]は、色の知覚が背景や隣接する色に影響を受けることに着目し、参照する画像に使用されている色を操作し、その組み合わせと配置を試すことができるシステムであるInteractive Palette Toolを提案している。Nicolasら[43]は、色の関係性を考慮し、ユーザが色を操作した際に、調和した色になるように他の色を変換するパレットを提案している。Henryら[44]は、ディスプレイ上で色を選ぶ経験の浅いユーザにとって画面上の色と印刷された色の関係性を理解することが創造性を向上させる可能性があるとし、使いながら学ぶインタフェースデザインを提案している。

また、色の範囲を制限するインタフェースも提案されている。Broekら[45]は、色による検索を実現する過程で、ユーザが直感的に色を選択できるように、11種類の基本的な色をベースとし、表示する色の数を少なくすることで各色の面積を大きくする手法を提案している。Gramazioら[46]は、ユーザが色相の範囲や識別性の重みを決定できるカラーパレットであるColorgoricalを提案し、既存のパレットと比較して評価を行った結果、ユーザの好みや識別性を重視するパレットであると評価されたことを明らかにしている。Sandonesら[47]は、Webデザインにおいてテキストと背景のコントラストが十分でない問題に着目し、選択した色とのコントラスト比がガイドラインを満たす色候補を提示する手法を提案した。Wijffelaarsら[48]は、指定した条件を満たす範囲のみを表示することで視覚化のためのパレット生成を支援するモデルを提案し、専門家が作成したパレットと近い評価を得たことを明らかにしている。

色選択により創造性を支援するインタフェースも提案されており、油絵や水彩絵の具で

行われる色の混合をデジタル機能で拡張したインタフェースである Playful Palette や、色サンプル同士でのグラデーション作成および操作により色を視覚化する Color Builder は、ユーザの創造性を増幅するうえで効果的であることを示した [1, 3] ほか、画材の書き心地や描画の質感を再現したシステムも提案されている [49, 50].

このように様々なインタフェースによる色選択の支援が試みられているが、本研究は錯視を考慮したインタフェースによって色選択を支援する手法を検証している.

第3章 周辺色が色選択に及ぼす影響の調査

錯視を考慮した色選択インタフェースを実現するために、色選択インタフェースがもたらす錯視の影響を調査する必要がある。そこで1つ目の調査として、色彩の錯視のなかで代表的なものであり、特に色選択に影響すると考えられる、明るさの対比に着目した。

明るさの対比は、色の見かけの明るさが周辺の明るさに応じて変わる現象である。しかし、色選択インタフェースにおいて明るさの対比が色選択の錯視の要因となっているかはまだ十分に明らかになっていない。そこで本研究では、色を選択する場合に発生する明るさの対比の影響を、カラータイトルの周辺色を多段階に変更することで検証する。

3.1 実験

3.1.1 実験設計

実験では、「ターゲット色と選択色の周辺にある色が異なると、色を選択する際に明るさの対比が発生する」という仮説を検証するため、明るさの対比が発生し得る状況での色合わせタスクを用意する。具体的には、ターゲット色と同じだと思える色をカラーピッカー上で選択してもらい、カラータイトル上に表示される選択した色を確認しつつ、色を決定するというものである。ここで、ターゲット色と選んだ色の明度差により、その特徴を明らかにする。色を構成する要素には明度、彩度、色相があり、これらの要素は見かけの印象に互いに影響している。そこで本研究では、これらの要素を絞るため、対象とする色は明度のみを操作できるグレースケールに限定する。

Processing を使用して実装した実験システムを図5に示す。画面上部にターゲット色が表示されており、右下にあるカラーピッカーで選択した色が、周辺色に囲まれた状態で左下に表示されるようにした。実験では、ターゲット色をランダムに提示しつつ、実験協力者に色を選択してもらおう。なお、色の表示には、明度が0-100で表現されるHSV方式を採用する。

周辺色の明度について、本実験では、明度0-100を8分割したうちの、明度0、明度50、明度100を除いた明度13、明度25、明度38、明度63、明度75、明度88の6条件を選定

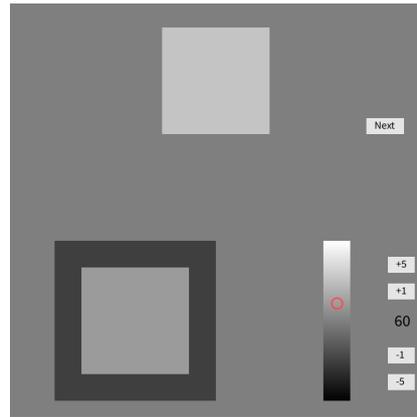


図5: 実験システム。画面上部にターゲット色が表示されており、右下にあるカラーピッカーで選択した色が、周辺色に囲まれた状態で左下に表示されている。

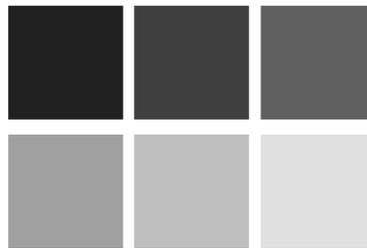


図6: 周辺色の明度（左上から順に明度13, 明度25, 明度38, 明度63, 明度75, 明度88条件）

した。ここで明度0, 50, 100を除いた理由は、パイロットテストにおいて0, 50, 100を検証した際、明度0や100は特定の範囲において色選択が困難であることが確認されたためである。また、実験システムの背景色が50であったため、ターゲットと選択色の周辺色が一致する明度50については条件から除外した。実験システムの背景色およびターゲットの周辺色が明度50のため、明度13, 25, 38条件はターゲットの周辺色より暗く、明度63, 75, 88条件はターゲットの周辺色より明るくなる。各条件の明度を図6に示す。

なお、選択色の周辺色による色選択への影響を調査するため、カラーピッカーに関しては周辺色を提示しなかった。

3.1.2 実験手順

実験協力者には、ターゲットと選択色が一致するようにスライダーをクリックで動かすほか、スライダーの右にある調整ボタンを押して明度を調整し、2つの色が一致したと思ったタイミングで画面右上に表示されているNextボタンを押すよう指示した。なお、Nextボタンが押されるとターゲット色に変更され、次の試行に進むようにした。このとき、直前の試行の選択色が次の試行に与える影響を小さくするため、次の試行に進んだ

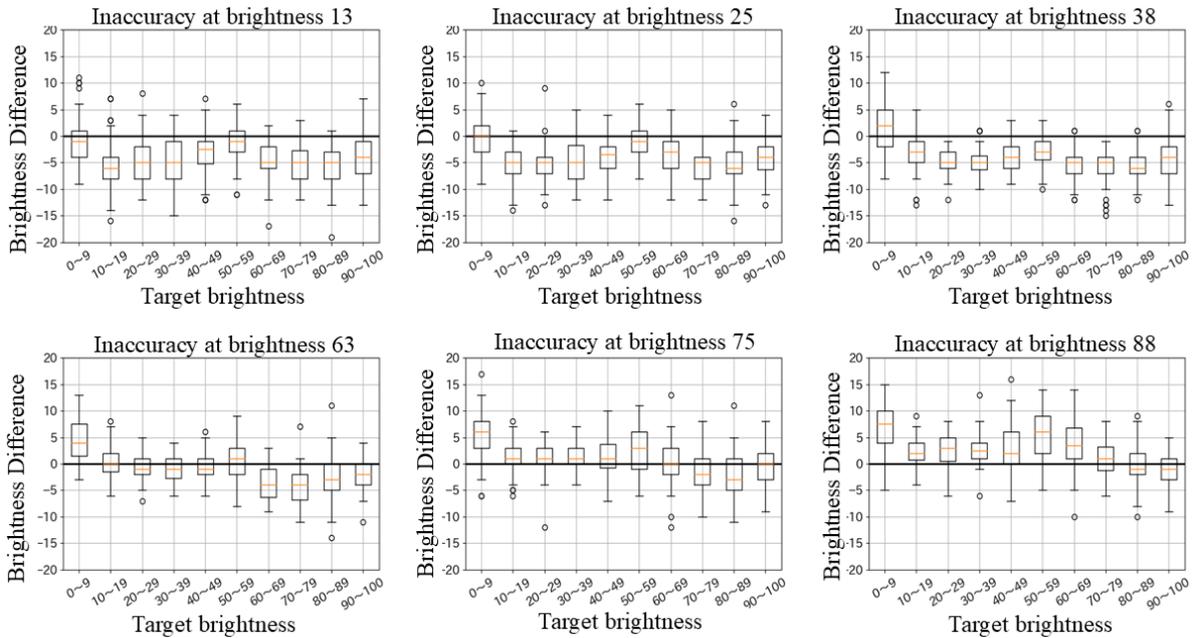


図7: 各条件におけるターゲットと選択色の誤差

際に表示されるデフォルトの選択色は明度 100 になるようにした。この操作を各条件 30 試行ずつ行った。条件間での明度の大きな変化が選択色に影響を及ぼすことを防止するため、すべての実験協力者が明度 13、明度 25、明度 38、明度 63、明度 75、明度 88 の順で取り組んでもらった。また、各条件間では適宜休憩を取ってもらった。実験協力者は、十分な明るさの室内で、27 インチの非光沢液晶ディスプレイ（2560 × 1440, 109dpi）から一定距離を置いた正面に座り実験に取り組んだ。実験協力者は大学生および大学院生 20 名（男性 12 名、女性 8 名）であった。

3.2 結果

各条件のターゲット色の明度（以下、正解値）と選択色の明度（以下、選択値とする）の差をそれぞれ図7に示す。図の横軸はターゲット色の明度を、縦軸は全実験協力者の正解値と選択値のずれの分布を表す。ここで、値が 0 より大きい場合は選択色がターゲット色より明るく、0 より小さい場合は選択色がターゲット色より暗いことを示す。図7より、明度 13、25、38 条件の選択値は正解値より低い傾向にあり、ターゲット色より暗い色を選んでいることが明らかになった。一方、明度 75、88 条件の選択値は正解値より高い傾向にあり、ターゲット色より明るい色を選んでいることが明らかになった。

総合的な誤差について、各条件の正解値と選択値の差の絶対値を表1に示す。表1よ

表 1: ターゲットと選択色の絶対誤差

	Average Inaccuracy
Brightness 13	4.81
Brightness 25	4.57
Brightness 38	4.70
Brightness 63	3.09
Brightness 75	3.21
Brightness 88	4.00

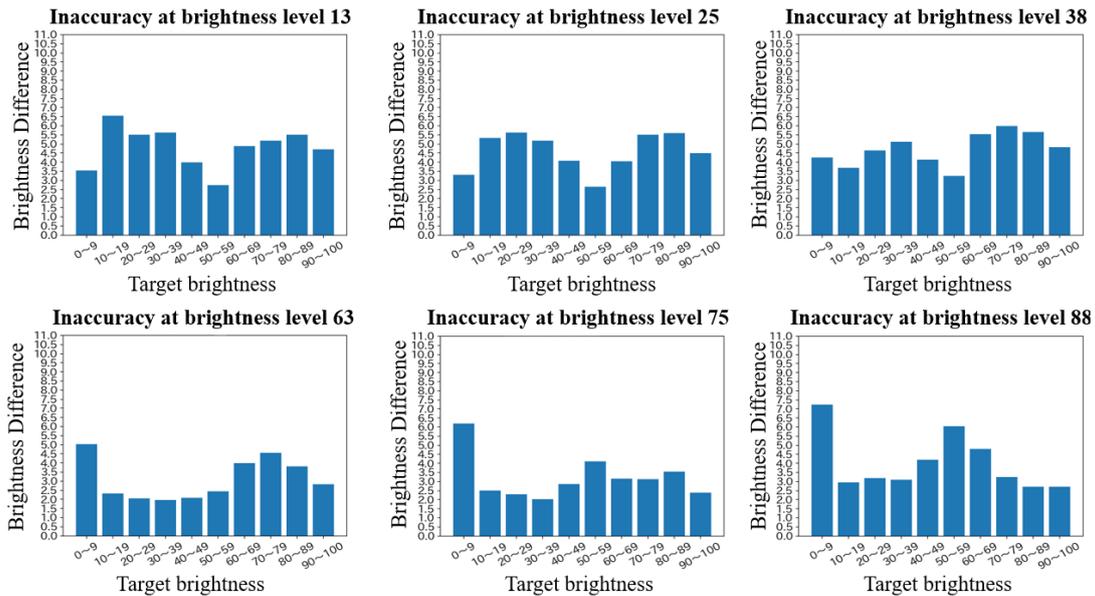


図 8: 各条件におけるターゲットの明度ごとの誤差

り、明度 63 条件の平均誤差が最も小さいことがわかる。

また、各条件において正解値の明度を 10 ごとに区切り、選択値との差を表したものを図 8 に示す。正解値 10-49 と 60-100 において明度 38 以下の条件で誤差が大きく、正解値 50-59 においては明度 75 以上の条件で誤差が大きいがわかる。このことから、ターゲットの周辺色より明度が低い条件は明度が中程度の色を選ぶ際に誤差が小さく、ターゲットの周辺色より明度が高い条件は明度が低いまたは高い色を選ぶ際に誤差が小さいことがわかる。

3.3 考察

3.3.1 誤差に関する考察

図7より、暗い背景色条件ではターゲット色より暗い色を、明るい背景色条件ではターゲット色より明るい色を選ぶ傾向にあった。この結果より、色選択においても明るさの対比と同様の現象が発生することが確認され、選ぶようとする色の周辺の色によって見た目の印象が変化することが明らかとなった。そのため、「ターゲット色と選択色の周辺にある色が異なると、色を選択する際に明るさの対比が発生する」という仮説が支持された。

ここで、ひとが刺激の違いに気づける程度を表す Just Noticeable Difference (以下、JND とする) に着目すると、JND は中程度の輝度範囲における 1-2%程度とされている [51]。本実験の明度は 0-100 の 101 段階で表されており、便宜上明度 1 段階の差を 1JND とすると、表1より、ターゲットと選択色の絶対誤差は 3-5 程度であることから、いずれの条件においても 3-5JND のずれに相当し、ひとが知覚する明度の違いを上回る誤差が生じていることがわかる。

そのため、色選択インタフェースによって発生する錯視は色選択に影響を及ぼしていると考えられる。本実験で提示したカラータイルの周辺色は、実際の色選択インタフェースにおける背景色の役割を持つ。例えば、ペイントソフトのいくつかは、黒を基調とした表示機能であるダークモードで表示される色選択インタフェースを実装している。ダークモードの色選択インタフェースで色を選択すると、本章で示したような色選択のずれが発生し、意図しない色が塗られてしまう可能性がある。そのため、ダークモードは色選択インタフェースを設計するうえで好ましくない可能性が示唆された。

表1より、明度 63 条件は全条件の中で最も平均誤差が小さかった。一方、正解値 0-9 において明度 13 条件は全条件の中で最も誤差が小さかった。これは、周辺色の明度が低い条件で、選択色の明度が低くても周辺色との明るさの違いを感じやすくなっている。そのため、明度 13 条件は他条件よりも誤差が小さくなったと考えられる。同様に、明度 90-100 においても、明度 88 条件が最も誤差が小さかった。周辺色の明度が高い条件は、周辺色と選択色との明るさの違いが分かりやすかったために誤差に気づいた実験協力者が多くなったと考えられる。

さらに、各条件において誤差が最も小さかった実験協力者の人数とその平均誤差を表2に示す。表2より、明度 63 条件において誤差が小さい人数が最も多かったが、明度 13 条件の平均誤差が最も小さかった。また、いずれの実験協力者も、その条件から明度が離れた条件ほど誤差が大きくなる傾向にあった。これらのことから、周辺色の明度や実験協

表 2: 各実験協力者内で最も誤差が小さかった条件の分布とその平均誤差

	誤差が最も小さい人数 (人)	平均誤差
明度 13	2	2.31
明度 25	0	—
明度 38	1	3.24
明度 63	8	2.51
明度 75	7	2.53
明度 88	2	3.45

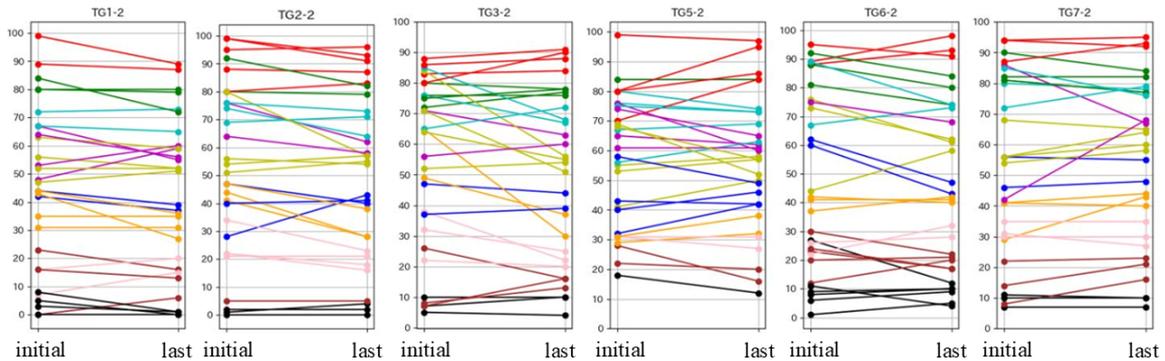


図 9: 錯視の影響を受けている色選択の軌跡の例 (左から順に, 明度 13, 25, 38, 63, 75, 88 条件). グラフの始点をはじめに選んだ色の明度, 終点が決定的に決定した色の明度を表している.

力者によって, その誤差の程度は異なることがわかる. そのため, 色選択インターフェースにおいて, 特定の周辺色が異なるユーザや錯視に適応できるとは限らないと考えられる.

3.3.2 色選択の軌跡に関する考察

各条件において, ある実験協力者がはじめに選択した色と最終的に決定した色の選択値を結んだ軌跡を図 9 に示す. 図 9 より, 明度 13 条件において初期値から選択値にかけて明度を減少させたことや, 明度 88 条件において初期値から選択値にかけて明度を増加させたことがわかる. また, 明度 13 条件において選択値はすべて 90 未満の値であり, 明度 88 条件において選択値はすべて 5 以上の値であった. このように, 錯視の影響を受けて最終的な選択色が変更されたことがわかる.

第4章 選択色が表示される大きさとその周辺色の色相が色選択に及ぼす影響の調査

3章では、色選択インタフェース上で発生する明るさの対比に着目し、表示される色の周囲に明るさの異なる色がある場合における明るさの対比の影響について述べた。

ここで、2つ目の調査として、周辺色の色相と選択色の表示面積に着目した。色選択インタフェースの多くはその周辺および背景色が無彩色で構成されているが、有彩色であった場合における色選択への影響はまだ十分に検証されていない。また、色選択インタフェースで選択された色が表示される大きさは、カラーピッカーや他の候補色とスペースを共有しており、色選択インタフェースそのものの面積に対して小さいことが多い。そのため、選択色の表示面積の小ささがユーザのイメージに合った色選択を阻害するのではないかと考えられる。そこで、選択した色の周囲に有彩色の周辺色があり、その大きさが変わることによる色選択行動の変化を調査する。具体的には「選択色の周辺にある色相が色選択の誤差に影響を与える」と、「選択色の表示面積が色選択の誤差に影響を与える」という仮説をもとに、周辺色と表示される大きさによる色選択行動の特性を明らかにする。

4.1 実験

4.1.1 実験設計

実験では、ターゲットの周辺の色と異なる色が周囲にある状態での色合わせタスクを用意した。タスクは実験1と同様に、ターゲット色と同じだと思える色をカラーピッカー上で選択してもらい、カラータイル上に表示される選択した色を確認しつつ、色を決定するというものである。この実験における、ターゲット色と、ユーザが選択した色との誤差により、その特徴を明らかにする。色の表示には、色相が0-360、明度と彩度が0-100で表現されるHSV方式を採用した。Processingを用いて実装した実験システムを図10に示す。本実験は、3章で述べた実験をもとに再設計した。基本的な実験設計や手順は同様であるため、本節では変更した点について述べる。

まず、ターゲットの周辺色とターゲット色のコントラストが小さすぎることを防ぐた

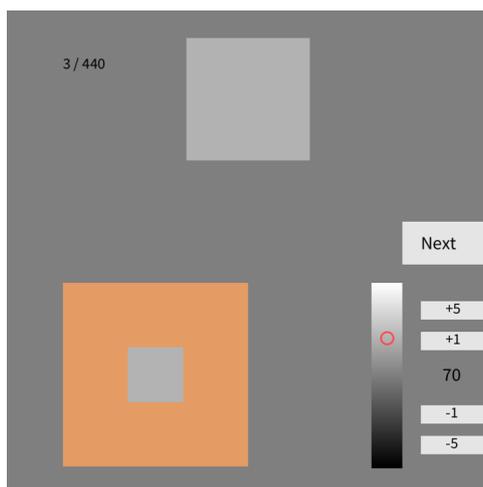


図 10: 実験システム。画面上部にターゲット色が表示されており、右下にあるカラーピッカーで選択した色が、有彩色の周辺色に囲まれた状態で左下に表示される。

め、ターゲット色から明度 48-52 は除いた。また、ターゲット色について、実験 1 では、ターゲットの明度を 0-100 までの範囲に設定していたが、極端に暗い色もしくは明るい色は明度の異なる色においても識別が困難であり、誤差の検証において好ましくないことが判明した。そこで本実験では、ターゲットの明度を 10-89 に設定した。さらに、ランダムでターゲット色を提示した際に、表示回数が特定の明度の範囲に偏ってしまうことを防ぐため、明度 10-89 を 10 単位で区切り、8 段階の異なる明度レベルとして設定したうえで、各段階の合計表示回数が統一されるようにした。

周辺色について、有彩色は色相ごとに最高彩度や明度が異なるため、明度と彩度の値が一致していても色相によって見た目の印象が変わる。例えば、黄色と青色は明度と彩度の値が一致していても黄色の方が明るく、青色の方が暗く見える。そのため、本実験では見た目の印象が近くなるように色を設定した。具体的には、マンセル表色系 [52] に基づいた主要 10 色相 (R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, RP) の明度 7, 彩度 8 と分類される色を選定した。また、試行を繰り返すことによる目の慣れをリセットする目的や、周辺色の段階的な明度変化が色選択に及ぼす影響を調査するために明度 100 から 0 までグラデーション状に塗りつぶした無彩色の周辺色がランダムで表示されるようにした。使用した色の一覧と、グラデーション条件での見え方を表 3, 図 11 に示す。

また、選択色の大きさについて、1 辺の長さ 300px の 10%, 30%, 50%, 70%, 90% に該当する 30px, 90px, 150px, 210px, 270px の 5 条件を選定した。使用した大きさの一覧を図 12 に示す。これらを組み合わせた 440 通り (周辺色 11 色 × 表示面積 5 条件 × ターゲット色の明度 8 段階) を実験協力者 1 人あたりの試行数とした。実験協力者は事前に簡易

表3: 周辺色の一覧

	HSV 値	実際の色
R	(3, 39, 93)	
YR	(26, 56, 90)	
Y	(47, 67, 78)	
GY	(74, 58, 72)	
G	(153, 56, 76)	
BG	(174, 78, 76)	
B	(190, 71, 85)	
PB	(214, 67, 72)	
P	(274, 25, 85)	
RP	(342, 39, 99)	
Grad		図 11 を参照

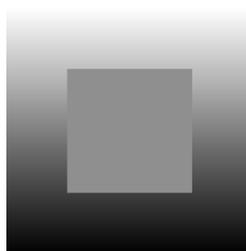


図 11: Grad 条件での見え方

的な色覚検査を受けた後、すべての試行に取り組んだ。なお、100 試行行うたびに 30-60 秒程度の休憩を設けるようにした。実験協力者は、十分な明るさの室内で、27 インチの非光沢液晶ディスプレイ (LCD-GCQ271UD; アイ・オー・データ機器) から一定距離を置いた正面に座り実験に取り組んだ。実験協力者は大学生および大学院生 20 名 (男性 10 名, 女性 10 名) であった。

4.2 実験結果

結果を分析するにあたり、ターゲットと選択した色の明度の差 (以下、誤差とする) から外れ値 (mean \pm 3SD) を除外した。また、1 名の実験協力者の実験実施時間が全実験協力者の外れ値 (mean-2SD 以下) であったため、データの分析対象者から除外し、最終的に 19 人を分析対象とした。その結果、分析対象となったデータ数は 8229 件となった。

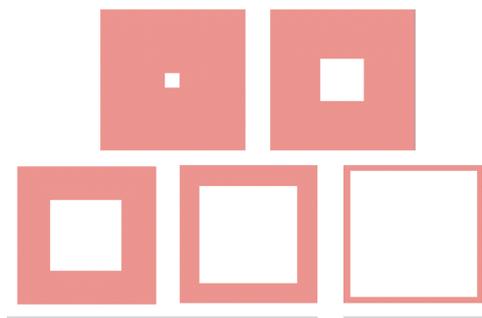


図 12: 表示される大きさの一覧 (ターゲットの一边の長さ 300px の 10%, 30%, 50%, 70%, 90%とした.)

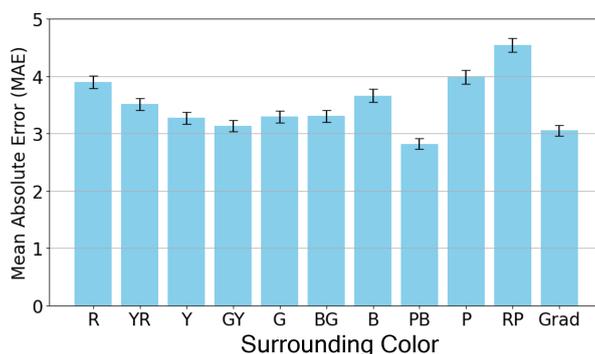


図 13: 周辺色ごとの平均絶対誤差. 横軸は周辺色の色相, 縦軸はターゲットと選択色の明度の絶対誤差を表す.

4.2.1 周辺色ごとの平均誤差

周辺色ごとの平均誤差を図 13 に示す. 横軸は周辺色を, 縦軸はターゲットと選択色の明度の絶対誤差を表している. 図 13 より, PB 条件が 2.82 で最も誤差が小さく, Grad 条件が 3.05 で 2 番目に誤差が小さかった. 一方, RP 条件が 4.54 で最も誤差が大きく, P 条件が 3.98 で 2 番目に誤差が大きかった. この結果について一元配置分散分析を行ったところ, 一部の色相の組み合わせで有意差は認められたものの, 色相ごとの特徴は表れなかった. そのため, 色選択インタフェース周辺の色相の違いが色選択の誤差に影響を与えにくいことがわかった. また, 大まかな色ごとの誤差の傾向を見るために, 3 条件ごとにグループ化し, その平均誤差を検証した結果, Y, GY, G グループが 3.23 となり最も誤差が小さかった (表 4).

表 4: 周辺色のグループごとの誤差

色のグループ	絶対誤差
R, YR, Y	3.56
Y, GY, G	3.23
G, BG, B	3.41
B, PB, P	3.48
P, RP, R	4.14

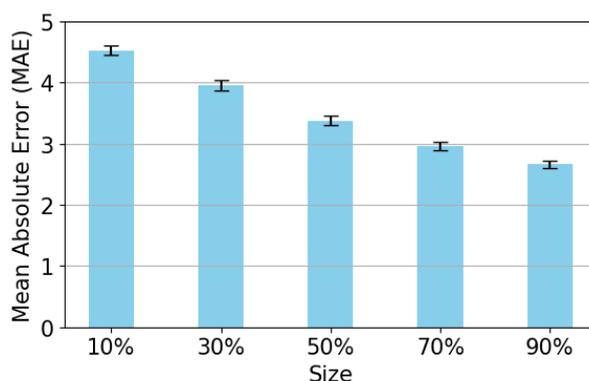


図 14: 表示される大きさごとの平均誤差

4.2.2 表示される大きさごとの誤差

選択色が表示される大きさごとの平均絶対誤差を図 14 に示す。横軸は選択色の大きさを、縦軸は誤差の絶対値を表している。図 14 より、誤差について、10%条件では 4.76、90%条件では 2.82 となり、選択色の大きさがターゲットより小さいほど誤差は大きいことがわかる。この結果について一元配置分散分析を行ったところ、平均絶対誤差に有意な差が認められた。また、各条件の標準偏差について、10%条件では 4.65、90%条件では 3.40 となり、表示される大きさが小さいほど標準偏差が大きいことがわかる。そのため、色が表示される大きさは色選択の誤差に影響を与えることがわかった。

4.3 考察

結果より、「選択色の周辺にある色相が色選択の誤差に影響を与える」という仮説は支持されなかったが、「選択色の表示面積が色選択の誤差に影響を与える」という仮説が支持された。具体的には、表示面積が小さいほど誤差が大きくなることが明らかになった。本節では、結果の分析をさらに行うことで、色選択行動の特性を検証する。

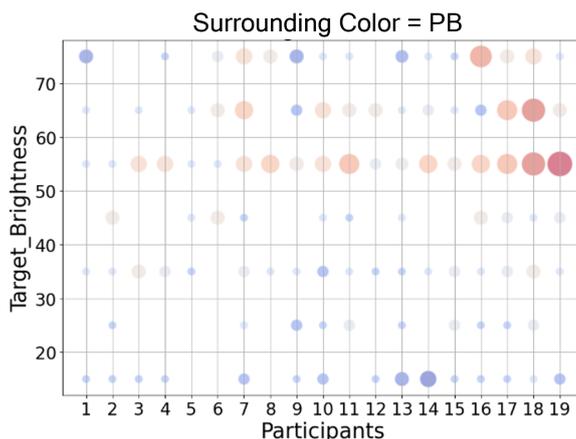


図 15: PB 条件の各ターゲットの明度段階における誤差の中央値。赤色の円はターゲットより明度が高い色を選んだことを、青色の円はターゲットより明度が低い色を選んだことを示す。また、誤差が大きくなるほど円が大きくなり、色が濃くなるように表示している。

4.3.1 周辺色に関する考察

結果より、PB 条件や Y, GY, G の 3 条件のグループにおいて誤差が小さかったが、周辺色の色相が色選択の誤差に影響を与えることは示されなかった。ここで、PB 条件、GY 条件および Grad 条件の各ターゲットの明度段階における誤差の中央値を図 15、図 16、および図 17 に示す。図の横軸は各実験協力者を、縦軸はターゲットの明度を示す。赤色の円はターゲットより明度が高い色を選んだことを、青色の円はターゲットより明度が低い色を選んだことを示す。また、誤差が大きくなるほど円が大きくなり、色が濃くなるように表示している。図 15、16 のように、ターゲット色の明度が低いと選択色もターゲットより低い明度を、ターゲット色の明度が高いと選択色もターゲットより高い明度を選ぶ傾向があり、3 章で述べた実験と同様の傾向が表れた。このことから、無彩色を選ぶ状況において、選択色の周辺が有彩色であっても無彩色であっても色の選択傾向には大きな違いはないと考えられる。一方で、図 17 が示すように、Grad 条件ではターゲットの明度と誤差の正負に強い相関は無かった。Grad 条件は、周辺の色が白色から黒色へグラデーション状であるため、表示される色の見た目も近くの色に合わせて変化する。そのため、他条件とは異なる誤差の傾向が表れたと考えられる。

4.3.2 選択色が表示される大きさに関する考察

結果より、選択色を表示する色の大きさが小さくなるごとに色選択の誤差は大きくなった。これは、表示される色の大きさが小さいほどターゲット色と比較しづらく、その色

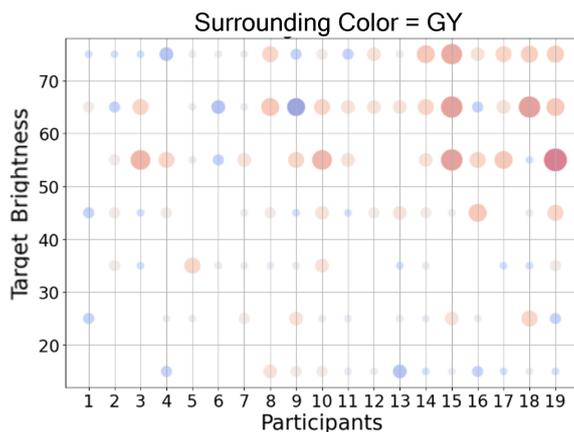


図 16: GY 条件での誤差

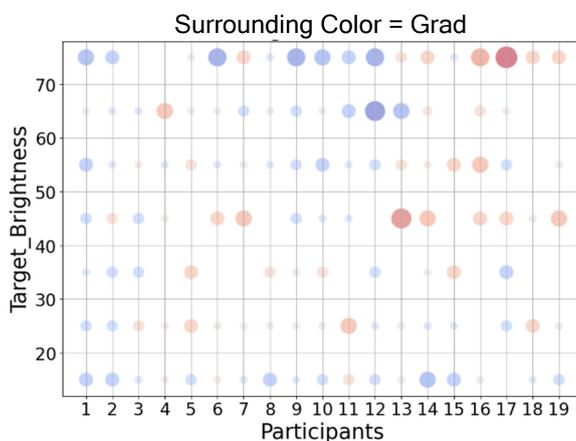


図 17: Grad 条件での誤差

の違いにも気づきづらいために誤差が大きくなったと考えられる。

ここで、色選択インターフェースにおいて、選択された色が表示される大きさは、カラーピッカーや他の色とスペースを共有しているため、色選択インターフェースそのものの大きさに対して小さいことが多い。そのため、実際に色を選んで塗る際も、表示される色の小ささが誤差を大きくしている可能性が考えられる。

また、色選択インターフェースには、選択された色の周囲に、選択されていることを示す枠を表示することがある。例えば、図 18 では、選択された色の周囲が赤色や青色の細かい枠で囲まれている。しかし、表示される大きさに対して枠の大きさが小さいと誤差が小さかったことから、これらの枠は色選択に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

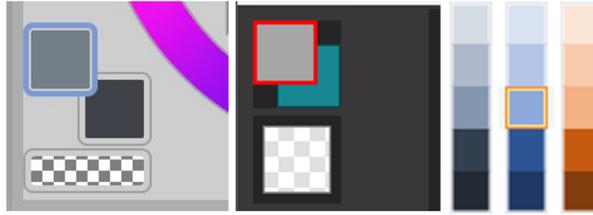


図 18: 選択した色を表示するカラータイルが色のついた枠で囲まれている例

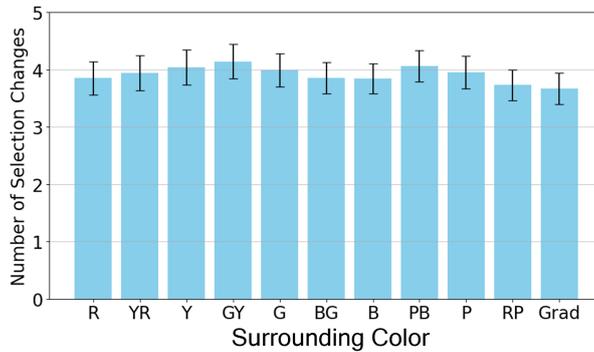


図 19: 周辺色ごとの選択変更回数

4.3.3 選択変更回数

1回の試行において最終的に色を決定するまでに色を変更した回数を選択変更回数とし、色ごとの選択変更回数の平均を図 19 に示す。図 19 より、最も変更回数が少ないのは Grad 条件の 3.67 回で、最も変更回数が多いのは GY 条件の 4.14 回であった。色ごとの選択変更回数と誤差の相関係数を求めたところ、 -0.51 となり色ごとの選択変更回数と誤差には負の相関がみられた。表示される大きさごとの選択変更回数を図 20 に示す。図 20 より、最も変更回数が少ないのは 10% 条件の 3.28 回であり、最も変更回数が多いのは 90% 条件の 4.28 回であった。大きさごとの選択変更回数と誤差の相関係数を求めたところ、 -0.99 と強い負の相関がみられた。

また、図 20 が示すように色の表示面積が小さいと色の選択変更回数が減っており、選択した色を小さく表示すると見えづらさから色の違いを認識しづらくなり、ターゲットとずれた状態でも選択を終えてしまったほか、色を調整する意欲を減退させたと考えられる。そのため、デザイン制作において色を模索するような状況においても、色の表示面積の小ささにより、イメージした色の探索を諦めてしまう可能性が示された。

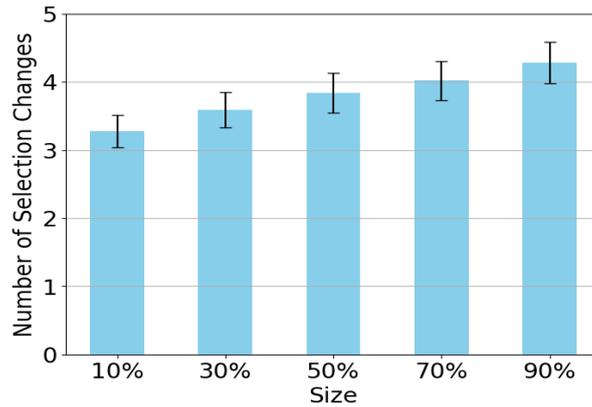


図 20: 表示される大きさごとの選択変更回数

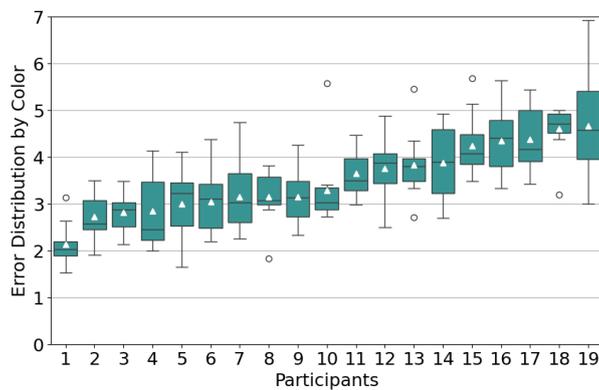


図 21: 各実験協力者の色ごとの誤差の分布

4.3.4 実験協力者ごとの誤差

各実験協力者の色ごとの誤差の分布を、誤差の平均が小さい順に並べたものを図 21 に示す。図 21 より、四分位範囲と誤差の大きさとの間に強い相関は認められなかった。また、実験協力者ごとに着目しても、周辺色の色相によって誤差が大きく変化する人は少ない傾向にあった。例えば、R 条件（赤に分類される色）と補色関係にある G 条件（緑に分類される色）とで誤差が大きく異なる人はいなかった。そのため、実験協力者ごとに見ても色相は色選択の誤差に大きく影響を及ぼさない可能性が示された。

また、実験協力者ごとの誤差と選択変更回数の相関係数は 0.25 となり、弱い正の相関があった。誤差が小さい実験協力者ほど選択変更回数が多い傾向があったことから、色を調整しようとするほどターゲット色に近づいたと考えられる。

4.3.5 試行が進むごとの誤差の変化

本実験は、実験協力者1人あたり440試行を行ってもらった。そこで、実験中の慣れを検証するために440試行を1-110試行、111-220試行、221-330試行、331-440試行の4つに分け各段階の誤差を正負別に検証した。その結果、ターゲットより高い明度を選んだ場合の誤差の平均について、1-110試行では3.56、331-440試行は4.05となり、t検定を行った結果、5%水準での有意差が確認された。ターゲットより低い明度を選んだ場合の誤差について、1-110試行では-2.50、331-440試行は-2.70となり、有意差は認められなかった。これらのことから、試行が進むごとに明度が高い方へ誤差が大きくなった。また、試行回数が進むごとの選択回数の変化について、1-110試行では4.15回、111-220試行で3.63回、221-330試行で3.64回、331-440試行は3.79回であり、最初の110試行のみ0.5回程度選択回数が多かった。このように、試行が進むほど選択回数の減少および誤差の増加が確認された。そのため、実際のデザイン制作においても連続して色を選び続ける疲れが錯視による誤差を大きくする可能性が考えられる。

第5章 錯視を考慮した色選択インタフェースの実装とその検証

これまでの調査結果より、色選択インタフェースにおける周辺色と面積の設計が色選択の正確性に影響を与えるという結果が明らかになった。そのため、色選択インタフェースは人の見え方に合わせた設計が重要であると考えられる。その考察を踏まえ、本稿では錯視を考慮した色選択インタフェースの提案およびシステムの実装について述べる。

5.1 提案システム

本節では錯視を考慮した色選択インタフェースの必要要件およびアプローチについて説明したうえで、その実装と利用方法について述べる。

5.1.1 アプローチの必要要件

色選択インタフェースそのものがもつ背景色と選ぶとする色の関係性によって錯視が発生する。その結果、選択した色と実際にキャンバス上に塗った色の印象が異なり、正確な色選択が出来なくなってしまう。この問題を解決するために、インタフェースがもつ要素によって選択する色の印象を変化させない設計が求められる。

また、カラータイルの表示面積が小さくなるほど色の印象がずれてしまい、色選択の誤差が大きくなってしまう。そのため、表示面積の小ささによる色の印象のずれを抑える必要がある。

以上のことより、以下の2つのアプローチをとる。

1. インタフェースの背景色を透明にし、選ぶとする色をキャンバス上においたときの色の見え方を確認できるようにする
2. 色系統パレットを小さく提示し、実際に彩色に利用可能なカラータイルを大きく提示する

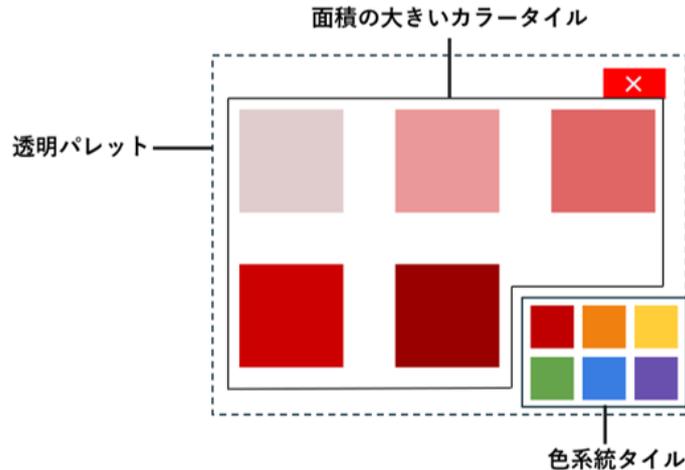


図 22: 提案システム. 背景色が透明であることにより, 選ぶようとする色をキャンバス上においたときの色の見え方を確認できることとカラータイルを大きく提示し, 表示面積の小ささによる色の印象のずれを抑えるアプローチを取っている.

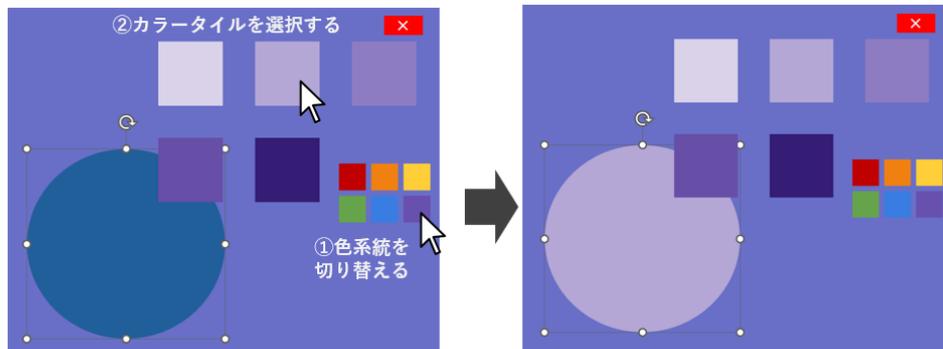


図 23: 提案システムの使用イメージ. 右下の色系統タイルによって表示する色系統を切り替え, カラータイルを選択するとオブジェクトの色を変更できる.

5.1.2 実装と利用方法

提案システムを Microsoft Office 製品のプラグインである Visual Basic for Applications を使用し, PowerPoint 上で動作するよう実装した. 提案システムを図 22 に, 使用イメージを図 23 に示す.

本システムは, PowerPoint のスライド上にある図形などのオブジェクトを選択したあとにカラータイルを選択すると色を変更することが出来る. カラータイルは色系統ごとに 5 つ表示され, システム右下にある色系統タイルを左クリックすると表示する色系統を切り替えることが出来る. カラータイルの大きさは一辺 60pt (144dpi のディスプレイで約 120px), 色系統タイルは一辺 25pt (同ディスプレイで約 50px) である. カラータイルは, Microsoft Office 製品で表示されるパレットの色をもとに, 色系統 6 種類 (赤, オレンジ,

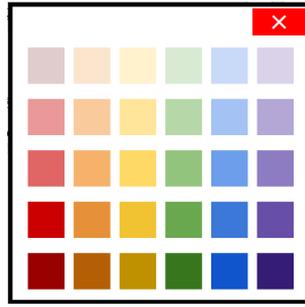


図 24: ベースラインシステム。PowerPoint のパレットを模倣しており、インターフェースの背景色が白色であることと、カラータイルが提案システムより小さいことが特徴である。

黄、緑、青、紫) ×色の段階5種類の計30色を選定した。また、背景色が透明であるため、塗る対象の周辺色にパレットの周辺色を合わせられる。そこで、カラータイルを右クリックでドラッグすることによりインターフェースを移動させることができるようにした。この操作により、選択したい色がデザイン上にどう反映されるかを確認したうえで色選択を行えると期待される。

5.2 実験

5.2.1 実験概要

提案手法が正確かつ迷いの少ない色を選択できるかを検証するために、ターゲットに合わせて色選択をしてもらった実験を行う。実験では、提案手法と、既存の Microsoft Office 製品で用いられるパレットを模したシステム(図 24, 以下, ベースライン手法とする)を実験者内比較することでその有効性を検証する。

ベースライン手法は、インターフェースそのものの背景色として白色を設定しているため、カラータイル上の色と錯視が発生するようになっている。また、カラータイルは色系統にかかわらずすべて表示されているが、ひとつあたりの表示面積は 25pt と提案システムより小さい。さらに、パレットの位置は固定されているため、塗る対象にカラータイルを重ねて色を確認することができない。

ここで提案手法では、カラータイルをデザイン上に当てはめられるため、色合わせタスクにおいて正答率が高くなり、色を選び直す回数が少なくなると考えられる。これらの要因により、ベースライン手法より短時間で色選択を行えるようになるほか、作業負荷が低いと評価されると考えられる。そこで、下記のように仮説を設定した。

H1: 提案手法はベースライン手法に比べ、タスクの正答率が高い



図 25: 実験に使用した PowerPoint の画面とタスク。左上からタスク 1, 2, 3, 4 の順に並んでいる。

- H2:** 提案手法はベースライン手法に比べ、色を決定するまでの選択回数が少ない
- H3:** 提案手法はベースライン手法に比べ、短時間で色選択を行える
- H4:** 提案手法はベースライン手法に比べ、作業負荷が低い

5.2.2 実験設計

実験では、提案手法とベースライン手法を用いてデザイン制作に近い状況を選定した 4 種類のタスクを 6 問ずつ（合計 24 問）行ってもらい、タスクの種類を以下に示す。

タスク 1: 黒背景上に提示された色を合わせるタスク

タスク 2: 模様の色を合わせるタスク

タスク 3: 画像上で色を合わせるタスク

タスク 4: 背景色上で文字色を合わせるタスク

いずれもターゲットがスライドの右半分に表示され、左半分に表示されている図形や文字を選択して色変更する操作を行うものとした（図 25）。タスク 2 については、色の変更箇所は複数あるが、該当箇所を 1 つ選択し色を変更すると、すべての箇所の色が変わるようにした。

また、それぞれのタスクは 1 問につき解答は 1 色のみとし、最短 1 回の色選択で解答できるものとした。なお、デザイン制作における色選択では、特定の色に合わせるだけでなく、イメージした色を塗る状況も考えられるが、本実験では客観的な指標から手法の効果を評価するために、正解の色が存在する問題を設定した。

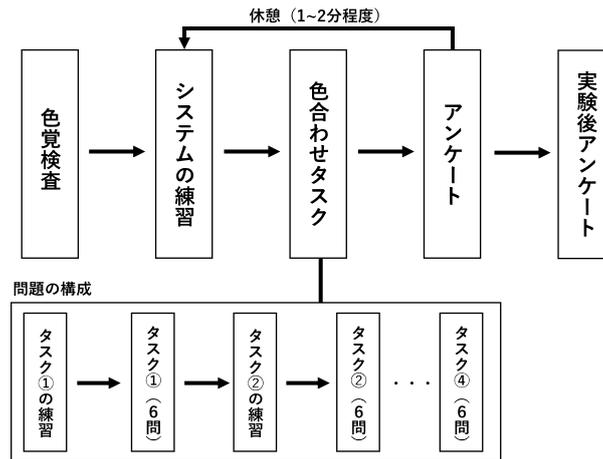


図 26: 実験手順と問題の構成. システムの利用順序はランダムとした.

5.2.3 実験手順

実験は、PowerPoint のプレビューモードで実施し、問題をスライド 1 枚ごとに 1 問表示した。スライドの構成と実験手順を図 26 に示す。

実験ではまず、参加前に簡易的な色覚検査を行い、色覚多様性と診断されなかった者を対象者とした。実験協力者は、実験の手順について説明を受け、システムに慣れてもらうための練習を行ってもらった。本試行では、タスクについて説明と練習を行った後、6 問の類似問題に解答してもらうことを各タスク分繰り返してもらった。その際、実験協力者は納得するまで色を選び直すことができるようにした。各タスクは順番に提示し、問題の順序は統一した。ただし、順序効果を排除するためにシステムの利用順序は実験協力者ごとにランダムとし、手法間で 1-2 分程度の休憩を挟んだ。また、各手法でのタスク終了後に、作業負荷を測定するため NASA-TLX（重み付けあり）[53] に回答してもらった。さらに、実験が終了した後に表 5 に示すアンケートに回答してもらった。

実験環境は十分な明るさの室内で、ディスプレイ（1920 × 1200, 144dpi）から一定距離を置いた正面に座り実験に取り組んでもらった。実験協力者は、プレゼン資料作成などで PowerPoint を使用した経験のある大学生および大学院生 35 名（男性 25 名、女性 10 名）であった。

収集したデータは、選択した色、解答時間、色選択やスライド切替時のタイムスタンプ、実験中の画面録画である。なお、解答時間は選んだ色が正しいか迷う時間も考慮するため、各問題のスライドに切り替えてから次のスライドに移動するまでの時間も計測した。

表5: 実験後アンケート. Q1,2は各手法のパレットを画像で提示し, Q3は5段階のリッカート尺度で回答してもらった.

Q1	画像のパレットにおいて最も難しいと感じた問題の種類を選んでください.	ベースライン手法について, 難しいと感じたタスクの種類を選択
Q2	画像のパレットにおいて最も難しいと感じた問題の種類を選んでください.	提案手法について, 難しいと感じたタスクの種類を選択
Q3	普段, プレゼン資料作成などのデザイン制作を行う際に, 色にこだわりがある	5段階 (1: 全くない~5: とてもある)
Q4	その他, システムへの感想や意見などあれば教えてください.	自由記述

5.3 結果

5.3.1 正答率

各条件における正答率の結果を, 図27に示す. 図27より提案手法で95.3%, ベースライン手法で81.8%となり, 提案手法において正答率が高かった. この結果について対応のあるt検定を行ったところ, 提案手法の正答率が有意に高いことが示された ($p < .001$). このことから, H1「提案手法はベースライン手法に比べ, タスクの正答率が高い」について, 仮説通りの結果となった.

また, 正答率が100%の実験協力者は, ベースライン手法は35名中0名であったのに対して, 提案手法では35名中15名存在した.

5.3.2 選択回数

各手法における1問ごとの平均選択回数を図28に示す. 図28より, 提案手法で1.1回, ベースライン手法で1.8回であり, 提案手法において選択回数が少なかった. この結果について対応のあるt検定を行ったところ, 提案手法の選択回数が有意に少ないことが示された ($p < .001$). また, 標準偏差は, 提案手法は0.13, ベースライン手法は0.75であり, 提案手法の方が選択回数のばらつきが少なかった. これらのことから, H2「提案手法はベースライン手法に比べ, 色を決定するまでの選択回数が少ない」について, 仮説通りの結果となった.

5.3.3 解答時間

各手法における1問ごとの平均解答時間を図29に示す. 図29より, 提案手法で10.77秒, ベースライン手法で8.93秒であり, 提案手法において解答時間が長くなった. この結果について対応のあるt検定を行ったところ, 提案手法の解答時間が有意に長いことが示された ($p < .001$). このことから, H3「提案手法はベースライン手法に比べ, 短時間で色選択を行える」について, 仮説を支持する結果とはならなかった.

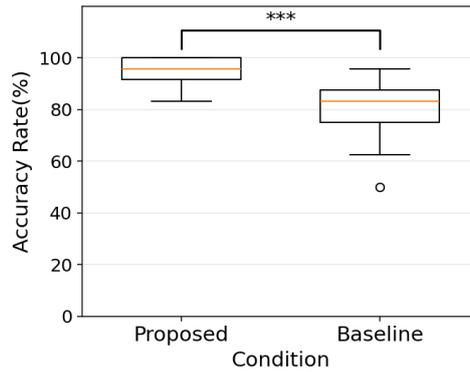


図 27: 条件ごとの正答率

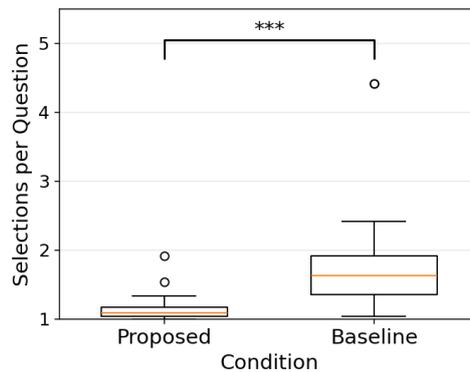


図 28: 条件ごとの選択回数

5.3.4 アンケート結果

NASA-TLX のアンケートにて、各手法について負荷の評価を行った結果を表 6 に示す。表 6 より、身体的要求は提案手法の方が負荷が高いものの、知覚的要求、努力、総合スコアにおいては提案手法の方が負荷が低いという結果であった。この結果について対応のある t 検定を行ったところ、提案手法の負荷が有意に低いことが示された ($p < .05$)。このことから、H4「提案手法はベースライン手法に比べ、作業負荷が低い」について、仮説通りの結果となった。

実験終了後に行ったアンケートの結果について、最も難しいと感じたタスクの種類にタスク 4 を回答した実験協力者が、ベースライン手法では 91.4%、提案手法では 51.4% と多く存在し、多くの実験協力者がパレットと背景色が異なり、細い文字を塗る状況に難しさを感じるようになった。

また、「スライド作成などのデザイン制作において色にこだわるか」という質問に対して、35 人中 25 人の実験協力者が 5 段階中 4 段階目以上 (1: 全くない~5: とてもある) を選択し、多くの実験協力者が色にこだわるということがわかった。そこで、色へのこだわりが

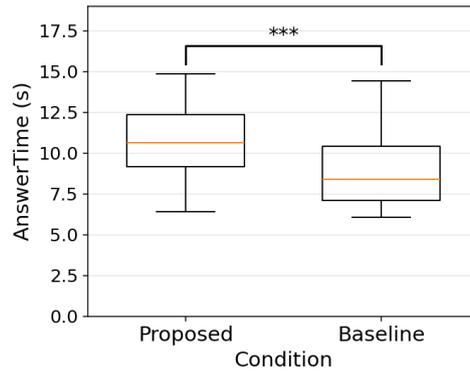


図 29: 条件ごとの解答時間

表 6: 条件ごとの NASA-TLX の結果

項目名	提案手法		ベースライン手法		<i>p</i>	sig	Δ Score	d_z
	平均	標準偏差	平均	標準偏差				
知的・知覚的要求	6.73	6.33	15.74	9.02	0.00001	***	-9.01	-0.91
身体的要求	9.76	8.87	3.87	4.15	0.00041	***	5.89	0.67
タイムプレッシャー	0.69	1.66	0.98	1.87	0.193	n.s.	-0.29	-0.23
作業成績	4.90	7.85	7.09	6.99	0.0125	n.s.	-2.19	-0.27
努力	8.07	7.23	12.15	8.63	0.00030	***	-4.25	-0.55
フラストレーション	5.24	7.50	5.55	10.75	0.811	n.s.	-0.32	-0.04
合計スコア	35.38	22.35	45.31	17.90	0.0158	*	-9.93	-0.44

Δ Score は提案手法-ベースライン手法, sig: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, n.s.=非有意.

あるひとのなかで結果に差はあるか確かめるために、4段階目以上を選択した実験協力者について正答率を求めたところ、全実験協力者の結果と差が無かった。そのため、色のこだわりがある実験協力者でも、手法によって正答率に差が出たことが明らかになった。

5.4 考察

結果より、提案手法はベースライン手法より正答率が高く、選択回数が少なく、負荷が低かったことがわかり、H1, H2, H4 が支持された。そのため、提案手法を用いると色選択の正確性が上がり、迷いが少なくなることが明らかになった。一方、解答時間はベースライン手法の方が短く、H3 は支持されなかった。

5.4.1 タスクごとの結果に関する考察

提案手法の有用性をさらに検証するため、タスクごとの正答率と選択回数を求めた結果を図 30 と図 31 に示す。図 30 より、タスク 1, 4 において提案手法とベースライン手法における正答率の差があることが示された。ベースライン手法は背景色が白色のパレット

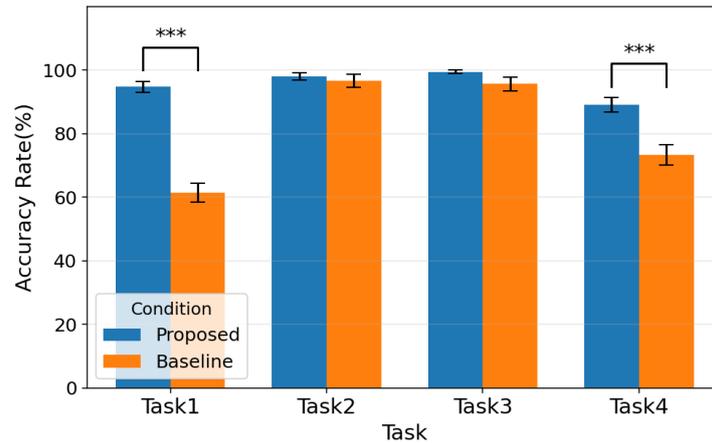


図 30: 条件とタスクごとの正答率

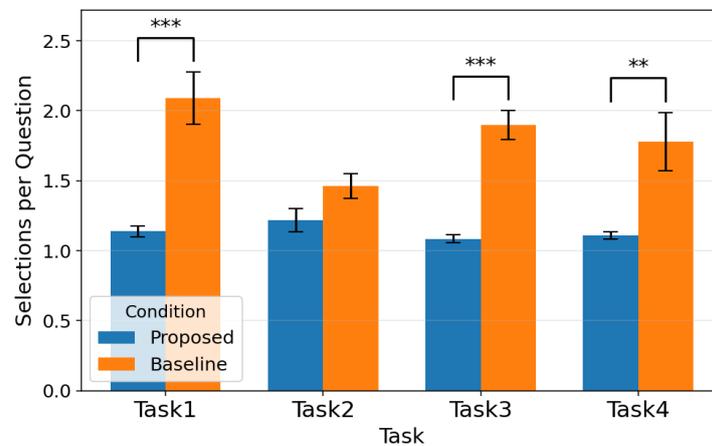


図 31: 条件とタスクごとの選択回数

であったため、タスク 1, 4 のようなパレットの背景色と異なる色の上で色選択を行う状況において錯視が発生し、正答率が低くなったと考えられる。特に、タスク 1 については黒色の背景色上にあり、白色のパレット上では錯視と色選択の誤りを引き起こしやすい状況であったため、正答率に差が表れたと考えられる。さらに図 31 より、タスク 1, 3, 4 の選択回数は、ベースライン手法では平均 1.5 回を越えているのに対して、提案手法では 1.2 回を下回った。これは、錯視を引き起こすパレットであったら塗り直してしまうような状況について、提案手法では修正の手間を省けたと考えられる。以上のように、塗る対象の周辺に色がある状況において、提案手法での色選択が有効である可能性が示された。

一方、同じようにパレットの背景色と異なる背景色上で色を選択する状況を設定したタスク 3 において正答率に差が表れなかったのは、ターゲットの背景色とパレットの背景色である白色に大きく差異が無かったためであると考えられる。また、タスク 2 につい

て、正答率と選択回数のいずれも手法間で差が表れなかった。このことから、パレットの背景色と異なる色が隣り合っているが、塗る対象と周辺色の表示面積に差が無い場合は、提案手法による効果は小さい可能性が示された。

提案手法におけるタスク別の正答率について、タスク4の正答率が他タスクより低い結果となった。これは、細い線である文字の色を変更するものであったため、パレットの色をターゲットに当てはめても色が一致しているか分かりづらかったことが原因として考えられる。各手法での誤答について、ベースライン手法では色の段階を間違えているような錯視の影響を受けた解答が多くみられた一方で、提案手法では色の系統を間違えた解答がみられた。これは、選択した色系統のみを表示するシステムであったために、一度選んだ色系統以外を検討しようとしなかったためであると考えられる。これらのことから、塗る対象の面積に合わせた色面積を表示し、異なる色系統のカラータイルも検討できるような工夫が必要であると考えられる。

総じて、背景が透明であることは本実験で実施したタスクすべてにおいて色選択を阻害する効果は起こさないといえる。一方で、選択色の面積が大きいことは、タスク1のように、ターゲットの面積が大きい場合には有用であった。そのため、2つの手法が効果的だったタスク1において最も提案手法とベースライン手法の差が大きくなったと考えられる。

5.4.2 解答時間に関する考察

解答時間はベースライン手法の方が短く、H3は支持されなかった。これは、提案システムの習熟度の低さが表れた可能性がある。実験後アンケートでは「右クリックだけ慣れていなかったので使いにくかったように感じました」といった、カラータイルを右ドラッグで移動する操作の使いづらさを指摘する意見が得られた。そのため、移動操作の改善や、システムに十分慣れた状態での検証を行っていく必要がある。本実験におけるシステム利用順序はランダムとしたが、提案手法を先に使用した実験協力者の解答時間は、提案手法が11.84秒、ベースライン手法が8.26秒であった。一方、ベースライン手法を先に使用した実験協力者の解答時間は提案手法が9.67秒、ベースライン手法が9.63秒であった。つまり、順序による影響を排除したにもかかわらず、順序によって解答時間の傾向が異なった。そのため、提案手法のシステムに対する習熟度の低さが解答時間の差に表れたと考えられる。

また、本実験は色選択の正確さを検証するために、色合わせタスクを設計した。提案手

法では答えの色を確認する動作を行ったために、解答時間が長くなった可能性が考えられる。そのため、提案手法を色合わせではない色選択を行う状況に適用する場合は、既存のパレットよりも選択時間が短くなる可能性がある。

なお、問題の進行度と解答時間に強い相関関係は表れなかったため、問題への慣れが結果に影響した可能性は低いと考えられる。

5.4.3 アンケートの結果に関する考察

負荷の評価について、提案手法の負荷がベースライン手法より小さかった。また、知的・知覚的要求と努力について、ベースライン手法より提案手法の負荷が小さかったことより、提案手法での色選択を簡単に感じたためではないかと考えられる。実際に実験後アンケートでは、「実際の色の上に乗っけてできるから、やりやすい」「パレットを動かされると色合わせがしやすかった」など、透明なパレットによる色の合わせやすさが評価されていた。ただし、提案手法を基に実装したパレットは、ベースライン手法のパレットより面積が大きく、画面占有面積が大きいため知覚的負荷に影響した可能性がある。一方、身体的要求は提案手法の方が負荷が大きくなっている。これは、ベースライン手法はパレットの位置が固定されていたのに対して、提案手法はマウスでパレットを動かして色をかざす操作が行われていたため、マウスを動かす負荷が大きくなったことが身体的要求の負荷が高くなった要因であると考えられる。

以上のように、提案手法は色選択インタフェース自体の色で錯視が発生するようなパレットと比較して負荷を軽減することが明らかになったが、色をかざすためにマウスを動かす負荷を軽減する機能が必要であることが示された。実際にアンケートにおいて、「二つ目（ベースライン手法）の方が縦に並んでるので選びやすかった」「手法の方はそれぞれの色がもうちょっと近くても良い」「拡大縮小などを組み合わせればもっと選びやすくなりそうだった」など、配置や表示の大きさに関する改善点がいくつかあげられた。そのため、システムの表示方法を改善することでさらに負荷が軽減すると考えられる。

5.4.4 ターゲット色ごとの正答率

ターゲット色の種類ごとの正答率を表7および8に示す。表7および8より、提案手法ではどの色の種類も正答率が高く、特に、オレンジ、黄、緑、紫およびパレット3段目と5段目の色において、手法間で正答率に差が表れていることがわかる。このことから、ベースライン手法のような錯視が発生するパレットでは、使用する色の組み合わせによっ

表7: ターゲット色の系統ごとの正答率(%)

	提案手法	ベースライン手法
赤	95.0	94.2
オレンジ	97.1	70.7
黄	91.4	77.1
緑	99.3	81.4
青	97.1	95.7
紫	92.1	71.4

表8: ターゲット色の段階ごとの正答率(%)

	提案手法	ベースライン手法
1 段目 (明るい)	90.7	85.7
2 段目	98.2	89.7
3 段目	93.8	64.7
4 段目	96.7	95.7
5 段目 (暗い)	97.1	69.5

て選択する色が提案手法では色の種類にかかわらず正確性の高い色選択を行える可能性が示された。

5.4.5 提案手法での色選択行動

提案システムの使用例を図32および図33に示す。図32の実験協力者は、パレットをターゲットの近くに置き、その都度カラータイルをかざして色を確認することで、ベースライン手法より平均1.3回少ない選択回数で色選択を行っていた。一方、図33のようにパレットを画面上部に置き、ターゲットとカラータイルの周辺色が必ずしも一致しない状態で色を選んでいった実験協力者は、選択回数がベースライン手法とで変わらなかった。このように、提案手法はオブジェクトの周辺色とカラータイルの周辺色を比較できる状態であれば迷いの少ない色選択を実現できると期待される。

また、問題が表示されてから最初に色を選択するまでの時間は、提案手法が7.28秒（解答時間の65%）、ベースライン手法が4.35秒（解答時間の49%）であった。これは、ベースライン手法は色を選んでからその色が正しいか確認するのに対して、提案手法は色が正しいか確認してから選ぶという色選択行動の傾向が表れたためだと考えられる。

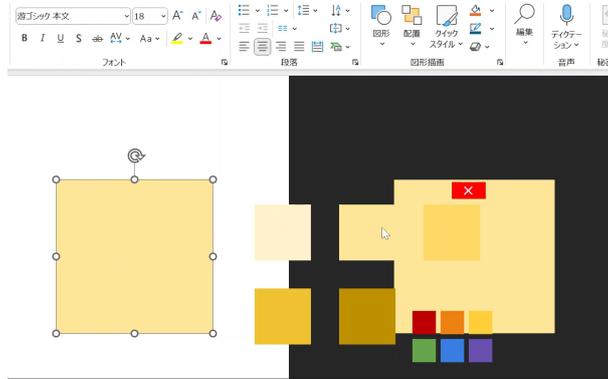


図 32: 選択回数が少なかった実験協力者. ターゲット色とパレット上にあるカラータイルの背景が一致している

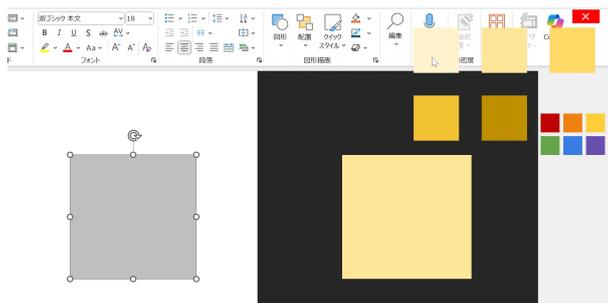


図 33: 選択回数が多かった実験協力者. ターゲット色とパレット上にあるカラータイルの背景が一致していない

第6章 総合考察と今後の展望

6.1 総合考察

本章では、これまでに行った実験やその結果を通して、本研究の目的である「錯視を考慮した色選択インタフェースの実現」を行えたかについて総合的な考察を行う。

まず、色選択インタフェースにおいて錯視が発生する要因を検証した。3章では、明るさの対比現象に着目し、選ぼうとする色を表示するカラータイルの周辺色が色選択に及ぼす影響について調査した。その結果、ターゲットと選択色の周辺の色が異なる場合に明度がずれた色選択を行ってしまうことが明らかになった。4章では、周辺色の色相と選択色が表示される大きさに着目し、これらの表示方法が色選択に及ぼす影響について調査した。その結果、無彩色を選ぶ場合において、周辺の色相によって誤差の程度が異なることは示されなかったが、色を表示する大きさがターゲットより小さいほど誤差が大きくなることが明らかになった。これらのことから、色選択インタフェースにおいて錯視が発生し、色の見え方および選択に影響を及ぼしていることが明らかになった。また、その要因としてインタフェースの背景色やカラータイルの大きさがあげられることが示された。

5章ではこれらの知見を活かして、インタフェースの背景色を透明にし、インタフェースが持つ背景色による色の印象の変化を防ぐことと、カラータイルを大きく提示し、表示面積の小ささによる色の印象の変化を抑えることという2つのアプローチを提案した。また、錯視を考慮した色選択インタフェースとしてそれらのアプローチを PowerPoint のシステムとして実装し、色合わせタスクによって既存のパレットと比較した。その結果、既存のパレットを模したシステムに比べ、色合わせタスクの正答率が高く、色を決定するまでの選択回数が少なく、作業負荷が低いことが明らかになった。一方で、表示面積が大きいことは必ずしも正確な色選択の助けにならない可能性が示された。例えば、ある程度の面積を持つ図形の色選択に関して提案手法の正答率は高かったが、文字のような細い線の色は大きな面積で表示された色と一致しているか分かりづらかったという問題があった。また、色をかざして確認することや、色系統をクリックで変更することが

負荷となっている欠点も示された。

これらのことから、錯視が発生する要因の検証により明らかになった知見や、提案したアプローチは色選択インタフェースで発生する錯視を改善する助けになると期待される。

以上のことより本研究の目的は概ね達成されたといえる。しかし、色選択インタフェースにおける錯視問題の検証や錯視を考慮した色選択インタフェースを実現するうえでいくつか課題があるほか、さらなる検証が必要であると考えられる。

6.2 本研究の課題

実験結果より、色選択インタフェースで発生する錯視の要因を検証し、それらの知見に基づくアプローチによって錯視の改善は可能であることが示された。しかし、これらの調査および提案手法にはいくつか課題が存在することを認めたい。

1つ目は、錯視現象の要因を完全には解明していない点である。具体的には、3, 4章で示された結果は明度のみの誤差であり、ターゲット色に色相、彩度を含む場合はまた異なる誤差の傾向が表れると考えられる。また、実験システムそのものの背景色は統一されていたが、実際のデザイン制作では多様な背景色の上に色を塗るため、本調査の結果で得た誤差の傾向が全てのキャンバス上で当てはまるとは限らないと考えられる。さらに、環境統制を行ったため、特定の状況における錯視の影響は確認されたが、実際の色選択では、ディスプレイの輝度や部屋の照明など様々な要因が色の見え方に関わる。そのため、本調査での結果は、色選択インタフェースにおける錯視現象とそれによって発生する色選択の誤りの傾向を示すものであり、定量的な色選択の誤差を明らかにするものではないといえる。

2つ目は、実験協力者の属性の狭さである。本研究の実験協力者はデザインを専門としていない学生である。環境統制を行ったものの、色彩感覚は人によって異なるため、色の誤差が幅広いユーザに当てはまるかは明らかになっていない。特に、プロのデザイナーは、デザイン制作の経験が豊富であるため、色選択インタフェースにおける錯視の影響を理解したうえで色を選んでいる可能性がある。ただし、プロのデザイナーにとっても、色選択は多くの工程に関わる作業であることから [2][3]、錯視を考慮した色選択ツールは正確性や作業効率を高めるために重要であると考えられる。

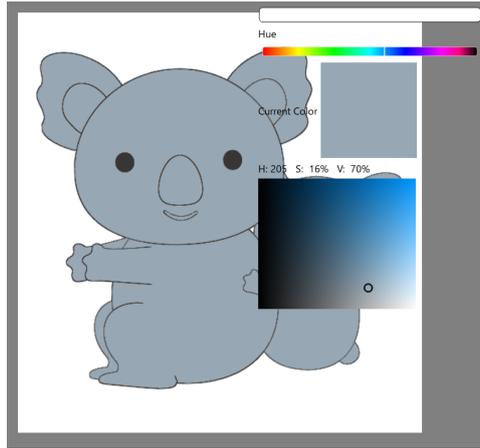


図 34: 色空間を含む色選択インタフェースへの応用例

6.3 本研究の応用方法

最後に、錯視を考慮した色選択インタフェースの応用方法について述べる。まず、5章で提案および実装した色選択インタフェースは、背景色が透明であり、カラータイルを大きく表示したパレットであった。このインタフェースの応用先に、階調を変化させた色選択があげられる。5章より、提案手法がベースライン手法より色を区別して色選択を行えることがわかった。そのため、色選択インタフェースそのものの色とキャンバスの色との間で錯視が発生すると区別しづらくなるような、階調を変化させた色選択に応用できると考えられる。例えば、スライドのデザインを作成する際に、スライドの背景デザインより少し濃い色を選びたいときや、Excelのセルなどマス目を塗って、色の調和を保ちつつある事柄と別の事柄の情報を区別したいときに用いられると考えられる。

また、イラスト制作などの適切な色を模索する状況での応用も考えられる。色を模索する際には、一般的には色空間やパラメータを操作し [41]、選択された色がカラータイル上にプレビューとして表示される。プレビューの表示方法が最終的に選択する色に影響するため、5章で提案したアプローチは色空間を含むインタフェースへの活用も期待される。例えば、図 34 のように、色空間内で選択した色がプレビューとして表示されるような色選択インタフェースにおいて応用できると考えられる。

さらに、これまでの研究で提案された色選択インタフェースにも応用できると考えられる。2章で述べた色選択を支援するインタフェースでは、生成した色やユーザによって作られた色を提示していた。そのため、これらのインタフェースをキャンバス上で用いるときも錯視の問題が発生し得る可能性がある。そこで、本研究でのアプローチを用いることによってよりユーザの意図に沿った色選択が行えると考えられる。

第7章 結論

本研究では、色選択インタフェースにおける錯視が色選択を阻害する問題に着目し、その要因の検証と改善を行った。

まず、表示される色の周辺にある色が色選択に及ぼす影響を色合わせタスクによって調査し、色選択における明るさの対比現象および色選択インタフェースの背景色によって意図した色を選べない可能性を確認した。

次に、インタフェースにおけるカラータイルの大きさが色選択に影響を及ぼしているかを調査するために、選ぼうとする色が表示される大きさを変えた状態で色合わせタスクを行った。その結果、選択色の表示される大きさがターゲットより小さいほど色の誤差が大きくなることおよび色選択インタフェースにおけるカラータイルの小ささが色選択の誤りをもたらす可能性が明らかになった。

これらの結果を踏まえて、錯視を考慮した色選択インタフェースとして背景色が透明であり、カラータイルを大きく表示した色選択インタフェースを PowerPoint 上で実装した。この有用性を検証するために、彩色実験を行った。その結果、提案手法は正答率が高く、色選択回数が少なくなり、色選択における錯視が起こる状況について正確性が高く迷いが少なくなることが明らかになった。

以上の実験より、色選択インタフェースはそのデザインによって錯視が発生するため、その表示色や面積の設計について見え方を考慮する必要があること、また、錯視を考慮したインタフェースが正確で修正の手間が少ない色選択を行える効果が期待されることが示された。色選択における錯視の解決はユーザの負荷を軽減させ、さらなる色の検討を起こすことが期待される。

本研究によって、ユーザが意図した色選択を行えることを望む。

謝辞

本研究に際して、お世話になった方々にこの場を借りて感謝を申し上げます。はじめに、研究について多くの丁寧なご指導をいただいた中村聡史先生に深く感謝いたします。中村研究室での日々を通して、学会参加をはじめとした非常に多くの貴重な経験をさせていただきました。中村研究室に所属したからこそ成長できたことが多くあると思っています。改めて心より感謝申し上げます。

また、研究に際して多大なるご協力をいただきました、中村研究室の皆様には感謝いたします。皆様のおかげで楽しく充実した日々を過ごせました。

さらに、AI技術の発展に感謝と敬意を示します。変化し続ける時代に身を置き、より興味深い学生時代を経験できたと考えます。

そして、ここまで応援し支えてくれた家族のおかげで、実りある学生生活を送ることができました。本当にありがとうございました。

最後に、支えてくださったすべての皆様には感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] Maria Shugrina, Jingwan Lu, and Stephen Diverdi. Playful palette: An interactive parametric color mixer for artists. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 36, No. 4, pp. 4207–4216, 2017.
- [2] Lena Hegemann and Antti Oulasvirta. Palette, purpose, prototype: The three ps of color design and how designers navigate them. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No. 147 in CHI '24, 2024.
- [3] Maria Shugrina, Wenjia Zhang, Fanny Chevalier, Sanja Fidler, and Karan Singh. Color builder: A direct manipulation interface for versatile color theme authoring. CHI '19, pp. 1–12, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [4] 株式会社 MediBang. Medibang paint, 2014. <https://medibangpaint.com/app-download/>.
- [5] Microsoft. Powerpoint. <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/powerpoint>. Accessed: 2025-12-16.
- [6] Jeffrey Heer and Maureen Stone. Color naming models for color selection, image editing and palette design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, p. 1007–1016, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [7] T. Kanematsu and K. Koida. Large enhancement of simultaneous color contrast by white flanking contours. *Scientific Reports*, Vol. 10, No. 1, p. 20136, 2020.
- [8] Baingio Pinna, Daniele Porcheddu, and Katia Deiana. Illusion and illusoriness of color and coloration. *Journal of Imaging*, Vol. 4, p. 30, 2018.
- [9] J. J. Harris, D. S. Schwarzkopf, C. Song, B. Bahrami, and G Rees. Contextual illusions reveal the limit of unconscious visual processing. In *Psychological Science*, vol. 22, no. 3, pp. 399–405, 2005.

-
- [10] A McClain, Wouter van den Bos, Donna Matheson, Manisha Desai, Samuel M. McClure, and Thomas Robinson. Visual illusions and plate design: the effects of plate rim widths and rim coloring on perceived food portion size. pp. 657–662, 2013.
- [11] E. H. Adelson. Perceptual organization and the judgment of brightness. *Science*, Vol. 262, No. 5142, pp. 2042–2044, 1993.
- [12] S. Mittelstädt, A. Stoffel, and D. A. Keim. Methods for compensating contrast effects in information visualization. In *Proceedings of the 16th Eurographics Conference on Visualization*, EuroVis '14, p. 231–240. Eurographics Association, 2014.
- [13] 後藤杏菜, 伊藤貴之. 色差による色錯視を考慮した画像合成時の色補正処理. 第 84 回全国大会講演論文集, Vol. 2022, No. 1, pp. 241–242, 2022.
- [14] Kai Man Raymond Ho, Guihua Cui, and Ronnier Luo. Evaluation of colour differences against different coloured backgrounds. In *Color and Imaging Conference*, Vol. 15, pp. 60–65, 2007.
- [15] Yuki Kubota, Shigeo Yoshida, and Masahiko Inami. Apparent color picker: Color prediction model to extract apparent color in photos. *Frontiers in Signal Processing*, Vol. 3, p. 1133210, 2023.
- [16] Colormind. Colormind: Ai-powered color palette generator. <http://colormind.io/>, 2017. Accessed: 2025-05-22.
- [17] Gal Shir. Color Hunt: Beautiful color palettes curated by designers. <https://colorhunt.co/>, 2015. Accessed: 2025-05-22.
- [18] Adobe. Adobe color: Create and discover color palettes. <https://color.adobe.com>, 2006. Accessed: 2025-05-22.
- [19] Paletton. Paletton: The color scheme designer. <https://paletton.com/>. Accessed: 2025-05-22.
- [20] Garreth W. Tigwell, David R. Flatla, and Neil D. Archibald. Ace: A colour palette design tool for balancing aesthetics and accessibility. *ACM Trans. Access. Comput.*, Vol. 9, No. 2, January 2017.

-
- [21] Guosheng Hu, Zhigeng Pan, Mingmin Zhang, De Chen, Wenzhen Yang, and Jian Chen. An interactive method for generating harmonious color schemes. *Color Research & Application*, Vol. 39, No. 1, pp. 70–78, 2014.
- [22] Xinyu Shi, Ziqi Zhou, Jing Wen Zhang, Ali Neshati, Anjul Kumar Tyagi, Ryan Rossi, Shunan Guo, Fan Du, and Jian Zhao. De-stijl: Facilitating graphics design with interactive 2d color palette recommendation. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23. Association for Computing Machinery, 2023.
- [23] 玉置尚吾, 北直樹, 斎藤隆文. グラフィックデザインのためのセマンティクスを考慮したスマートな色提案. 第82回全国大会講演論文集, pp. 171–172, 2020.
- [24] Ikuya Morita, Shigeo Takahashi, Yui Komo, Satoshi Nishimura, Masatoshi Arikawa, and Kazuo Misue. Color recommendations based on individual differences. In *Proceedings of the 17th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, VINCI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [25] Julie Delon, Agnes Desolneux, Jose Luis Lisani, and Ana Belen Petro. Automatic color palette. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Vol. 2, pp. II–706. IEEE, 2005.
- [26] Xinyu Shi, Mingyu Liu, Ziqi Zhou, Ali Neshati, Ryan Rossi, and Jian Zhao. Exploring interactive color palettes for abstraction-driven exploratory image colorization. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–16, 2024.
- [27] Taehong Jeong, Myunghyun Yang, and Hyun Joon Shin. Succinct palette and color model generation and manipulation using hierarchical representation. *Computer Graphics Forum*, 2019.
- [28] Raja Mubashar Karim, Taehong Jeong, Hyoji Ha, Jaejong Ho, Kyungwon Lee, and Hyun Joon Shin. Improving user experience of color palette extraction by using interactive visualization based on hierarchical color model. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 169, p. 102924, 2023.

-
- [29] Long Xu, Su Jin Park, and Sangwon Lee. Color2Vec: Web-Based Modeling of Word-Color Association with Sociocultural Contexts. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Vol. 30, No. 4, 2023.
- [30] Philip K. Robertson. Visualizing color gamuts: a user interface for the effective use of perceptual color spaces in data displays. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 8, pp. 50–64, 1988.
- [31] Phil M Henry, Stephen Westland, and Tsz Lock Vien Cheung. An intuitive color-selection tool. In *Color and Imaging Conference*, Vol. 14, pp. 144–147. Society of Imaging Science and Technology, 2006.
- [32] Penny F. Bauersfeld and Jodi L. Slater. User-oriented color interface design: direct manipulation of color in context. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '91, p. 417–418, New York, NY, USA, 1991. Association for Computing Machinery.
- [33] Yingxin Wu and Masahiro Takatsuka. Three dimensional colour pickers. Vol. 45, pp. 107–114, 01 2005.
- [34] Marylyn Alex, Danielle Lottridge, Jisu Lee, Stefan Marks, and Burkhard Wüensche. Discrete versus continuous colour pickers impact colour selection in virtual reality art-making. In *Proceedings of the 32nd Australian Conference on Human-Computer Interaction*, OzCHI '20, pp. 158–169, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [35] Kristian Brathovde, Mads Brændeland Farner, Fredrik Krag Brun, and Frode Eika Sandnes. Effectiveness of color-picking interfaces among non-designers. In *International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering*, pp. 181–189. Springer, 2019.
- [36] Min Zhang, Guoping Qiu, Natasha Alechina, and Sarah Atkinson. A comparison of five hsv color selection interfaces for mobile painting search. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*, pp. 265–273, Berlin, Heidelberg, 2015. Springer-Verlag.
- [37] Trevor Canham, I. Scott, Richard F. Murray, and Michael S. Brown. The effect of perceptual optimization on color space navigability. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2023.

-
- [38] Wei Zhou, Tiemeng Li, Suwen Li, and Yangyang Zhu. Color-in-fist: a metaphor for color selection with mid-air interaction. *Journal of Visualization*, Vol. 25, No. 1, pp. 207–218, 2022.
- [39] Berto Gonzalez and Celine Latulipe. Bicep: bimanual color exploration plugin. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 1483–1488, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [40] A. J. George Ebbinason and B. Rajesh Kanna. Colorfingers: improved multi-touch color picker. In *SIGGRAPH Asia 2014 Technical Briefs*, SA '14, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [41] Ghita Jalal, Nolwenn Maudet, and Wendy E. Mackay. Color portraits: From color picking to interacting with color. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 4207–4216, 2015.
- [42] B. J. Meier, A. M. Spalter, and D. B Karelitz. Interactive color palette tools. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 64–72, 2004.
- [43] Nicolas Mellado, David Vanderhaeghe, Charlotte Hoarau, Sidonie Christophe, Mathieu Brédif, and Loic Barthe. Constrained palette-space exploration. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 36, No. 4, July 2017.
- [44] P. Henry, Stephen Westland, and Vien Cheung. Colour selection strategies in colour design. 07 2013.
- [45] Broek, E.L. van den, Vuurpijl, L.G., Kisters, P. M. F., and Schmid, J.C.M. von. Content-based image retrieval: Color-selection exploited. In *Proceedings of the Dutch-Belgian Information Retrieval Workshop*, Vol. 3, pp. 38–47, 2002.
- [46] Connor C. Gramazio, David H. Laidlaw, and Karen B. Schloss. Colorgorical: Creating discriminable and preferable color palettes for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 23, No. 1, pp. 521–530, jan 2017.
- [47] Frode Eika Sandnes and Anqi Zhao. An interactive color picker that ensures wcag2.0 compliant color contrast levels. *Procedia Computer Science*, Vol. 67, pp. 87–94, 2015. Proceedings of the 6th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion.

-
- [48] Martijn Wijffelaars, Roel Vliegen, Jarke J. Van Wijk, and Erik-Jan Van Der Linden. Generating color palettes using intuitive parameters. *Computer Graphics Forum*, Vol. 27, No. 3, pp. 743–750, 2008.
- [49] Peter Vandoren, Tom Van Laerhoven, Luc Claesen, Johannes Taelman, Chris Raymaekers, and Frank Van Reeth. Intupaint: Bridging the gap between physical and digital painting. In *2008 3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems*, pp. 65–72, 2008.
- [50] Anthony M. Blatner, James A. Ferwerda, Benjamin A. Darling, and Reynold J. Bailey. Tangipaint: A tangible digital painting system. *Color and Imaging Conference*, Vol. 19, No. 1, pp. 102–102, 2011.
- [51] Yury Petrov. Luminance correlations define human sensitivity to contrast resolution in natural images. *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 22, No. 4, pp. 587–592, Apr 2005.
- [52] Munsell Color Company. How color notation works, n.d. <https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works/>.
- [53] 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定. *人間工学*, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79, 1996.

研究業績

- [1] 小林沙利, 植木里帆, 関口祐豊, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築: デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が筆算の正答率に及ぼす影響, HCG シンポジウム 2022, No.C-5-5, pp. 1–8 (2022).
- [2] Kobayashi, S., Sekiguchi, Y., Ueki, R., Nakamura, S. and Kake, A.: Does Representing Pen Pressure Improve Handwritten Calculation Accuracy?, in *29th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems*, Vol. 270, pp. 2808–2817 (2025).
- [3] 宮崎勇輝, 小林沙利, 中村聡史, 掛晃幸: デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が図形問題の解答に及ぼす影響の調査, HCG シンポジウム 2023, No.B-1-6 (2023).
- [4] 津田紗宮良, 宮崎勇輝, 小林沙利, 中村聡史, 掛晃幸: デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が算数問題の理解に及ぼす影響の調査, 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2025-HCI-211, No. 28, pp. 1–8 (2025).
- [5] 能宗巧, 瀬崎夕陽, 小林沙利, 関口祐豊, 中村聡史, 近藤葉乃香, 梅澤侑己, 橋本忠樹: 書き心地の改善に向けたペン先の摩擦が筆記のブレに及ぼす影響, 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2025-HCI-211, No. 15, pp. 1–8 (2025).
- [6] 江森柁哉, 津田紗宮良, 宮崎勇輝, 小林沙利, 中川由貴, 中村聡史, 掛晃幸: デジタルペンの筆圧による濃淡表現の有無が観察学習時の観察力に及ぼす影響の調査, 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2025-HCI-215, No. 22, pp. 1–8 (2025).
- [7] 小林沙利, 中村聡史: 色選択インタフェースにおける錯視の影響の調査, 情報処理学会 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol.2024-HCI-206, No. 16, pp. 1–8 (2024).

-
- [8] 小林沙利, 中村聡史：色選択インタフェースの枠の色と大きさによる色選択誤差の調査, 信学技報, Vol.124, No.161, HCS2024-51, pp. 96–101 (2024).
- [9] 小林沙利, 中村聡史：錯視の影響を考慮した透明パレットによる色選択手法とその検証, 情報処理学会 研究報告 エンタテインメントコンピューティング (EC) , Vol.2025-EC-77, No. 2, pp. 1–8 (2025).
- [10] Kobayashi, S. and Nakamura, S.: Seeing Isn't Believing: How Visual Illusions Distort Color Selection, in *37th Australian Conference on Human-Computer Interaction (OzCHI 2025)*, pp. 150–162 (2025).