

## 多様な色覚者同士が美術的意図を損なわずに配色を伝達する手法

岡崎祥吾\* 鈴木浩之\* 半田隆志\*

Method for Communicating Color Schemes Among Diverse Color Vision  
Without Compromising of Artistic Intent

OKAZAKI Shogo\*, SUZUKI Hiroyuki\*, HANDA Takashi\*

## 抄録

一部の知覚上の色同士の関係性が重要な芸術作品において、標準色覚者の作品は少数色覚者へ美術的意図を十分に伝えられない懸念がある。同様に、少数色覚者の作品は標準色覚者に意図を十分に伝えられない懸念もある。本研究では、広色域なディスプレイを用いて任意の2者間で錐体刺激値が一致するように補償する画像変換手法を開発した。検証においては、被験者である少数色覚の当事者一人に対して芸術的意図の伝達が改善されたことを確認した。

キーワード：色覚多様性，少数色覚，画像変換，配色，高色域ディスプレイ

## 1 はじめに

少数色覚者（かつての色弱・色盲）の色覚補助の方法として一般的なものにColor Universal Design（CUD）が提唱されている。この方法は、少数色覚者が色を識別しやすいように標準色覚者が識別できる配色の一部を制限するものである。ほかの先行研究では、色の識別に焦点を当て、わかりづらい色の情報を明るさの情報に変換するもの、認識しやすい色のグラデーションに色相を回転するものなどが提案されてきた<sup>1,2)</sup>。これらの方法は強度の色覚異常においても色の識別を与えるということには成功してきたが、配色の持つ効果（脳内での色空間の構造の一致）までは伝えられなかった。というのも、これまでの色覚補助の目的が、意味の取り違いや事故の防止ができることであったためと思われる。

しかし、近年では暮らしのデジタル化も進み、娯楽としてのデジタルコンテンツも増えている。これに加えて、液晶ディスプレイの出荷時校正の

---

\* 電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

正確性も増しており、標準色覚者にとっては制作者の意図どおりの配色で鑑賞しているが、一部の少数色覚者にとっては制作者の意図しない配色で鑑賞するという状況が生じている。したがって、これまで色覚の補助手法の対象とされてきた色の識別のみならず、芸術的な意味での配色効果を伝達する方法の開発が必要である。

最終的な目標は、多様な色覚を持つ者たちの間で、芸術的なテクニックが引き起こす神経の反応を一致させることと言い換えられる。ここでの神経の反応とは、個人が主観的に感動したか、どう感じたか等ではなく、同じ視覚機能をもつ者であれば、個人によらず、ある程度同様に反応すると期待される視覚の初期機能（V4野までの反応）のことを言う。なぜならば、第一義的に少数色覚者が色覚の補助に期待することは、同じ色覚で同じ個性であった場合に得られたはずの感動であり、脳の高次機能、すなわち各人の経験や信念に基づいたその作品との相性への介入ではないと思われるからである。

## 2 実験方法

以上の方針により、本研究では、多様な色覚を持つ者の間で一致するべき神経の反応を、色覚の影響が顕著であると思われる色彩の心理的認知に限定した。例えば、標準色覚者にとって明度が均一に見えるカラーチャートが少数色覚者も同様に明度が均一に見えるか等を手法の有効性の指標とする。また、神経反応の計測は電気生理学的な実験（電極による直接測定、脳波解析、血流磁場、それらのディープラーニングによる解析など）を行えないため、検証用の適当な画像とその補正後の画像を比較する設問への回答をもって行う。

色彩の心理的認知を一致させる方法として、視覚の生理学的な機構に基づいた画像補正を検討した。芸術を伝達するのに十分な色に関する心理的情報は、配色、すなわち認知上の色同士の関係性である。色同士の関係性とは色の連続性や色と色の距離感や類似性などであり、この感覚的構造の表現の一例としてマンセル色立体（図1）がある。マンセル色立体は円筒座標系であって、縦軸に知覚する明るさ、中心からの距離により知覚する鮮やかさ、角度によって知覚する色相が表現され、色の連続性及び不連続性、心理的距離感などが表現されている。色と色の識別ができる最小の距離（色分別）などもおおよそ均一となるように定義されている。デジタル上で取り扱いが良く、大域的な色の配置に近い物としては  $L^*a^*b$  色空間がある。

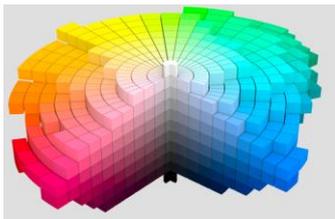


図1 マンセル色立体

File:Munsell 1943 color solid cylindrical coordinates.png:  
SharkD derivative work: Datumizer (CC BY-SA 3.0)

これら色立体で表現されるような知覚上の色の構造は生理学的な知見にも矛盾しない段階説モデルで説明される（図2）。

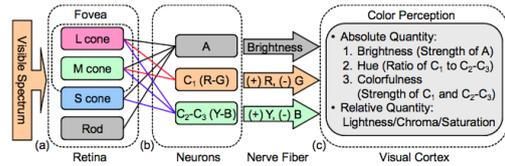


図2 段階説モデルによる色の知覚神経の働き

File:Diagram of the opponent process.png:  
Googolplexbyte - Own work (CC BY-SA 3.0)

この段階説によれば、ある2人が同じ光を見た際の色彩の心理的認知、すなわち段階説のアウトプット（具体的には、図内A,  $C_1(R-G)$ ,  $C_2 - C_3(Y-B)$ ) が異なる場合、この神経回路モデル以前のどこかに差異があるということになる<sup>3)</sup>。実際には色覚の多様性のほとんどは錐体分光感度のピーク位置の違いによりもたらされることが分かっているため、この場合の差異は段階説の最初の段階である3つの錐体の受光時の錐体の反応量が異なることに起因する<sup>4)</sup>。つまり、この差異を補償できれば、多様な色覚を持つ者の間で、色彩のもたらず体験を一致できることが期待される。ただし、段階説以降の脳機能が初期的な色彩の認知に関与していないと断定はできない。そのため、色覚多様性が段階説以降の脳機能に影響を与えていないかについても注意を払いながら検証の組み立てを行う必要がある。例えば錐体刺激値を一致するように刺激の補償を行っても知覚される明度が一致しない等の可能性も否定できない。

具体的な研究成果の例として想定している液晶ディスプレイに当てはめて考える。この場合、標準色覚の者が1ピクセルに表示された色を見る場合の錐体刺激値  $LMS$  と同じ錐体刺激値を、P型3色覚及びD型3色覚の者が得られるようにディスプレイ出力を変換することで  $LMS$  一致の補償をする。ここで、錐体刺激値  $LMS$  は錐体分光感度  $l(\lambda), m(\lambda), s(\lambda)$  とディスプレイ分光輝度  $Rr(\lambda) + Gg(\lambda) + Bb(\lambda)$  の積分によって得られるとする。 $R, G, B$  は液晶ディスプレイの各チャンネル出力（液晶のバックライト透過開度を与える）、 $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$  は各チャンネルのみのときのディスプレイ分光輝度である。補正変換の簡便のため、一度ディスプレイ出力  $RGB$  を色空間  $CIE XYZ$  に

変換したが本質ではない。この計算を標準色覚者とP及びD型3色覚の者で行い補正変換を求める(図3)。

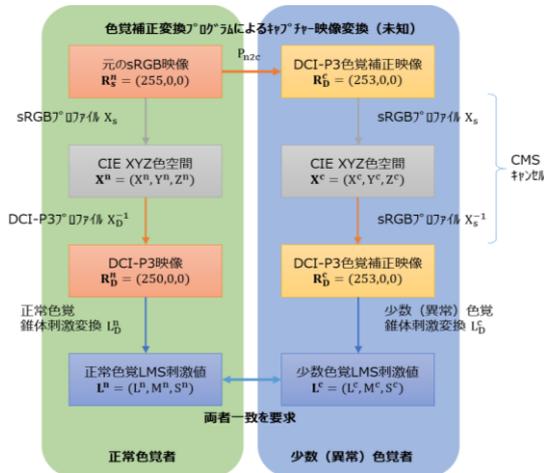


図3 補正変換計算の概略図

この補正変換の性能を検証するため、表1に示す項目に対応する複数枚の画像の変換の前後での、情報の伝達性の効果を測定した。大分類の「機能的効果」は、これまででも少数色覚者にとって不利となる場面における困難さが軽減したかど

うか(意味の伝達性)を問うものである。「審美的効果」については、画像のバランスや印象の改善の程度(配色効果の伝達性)を問う内容となっている。それぞれの設問ごとにスコア付選択肢を用意し、項目ごとに平均スコアを算出した。

官能検査に協力した被験者は産業技術総合センターの職員であり、P型3色覚の者1人と標準色覚の者3人となった。P型3色覚の者には、P型向けの変換、標準色覚の者については、2人はD型、1人はP型の補正を試みた。この効果測定はヘルシンキ宣言にのっとり行った。

### 3 結果及び考察

少数色覚の被験者は1人であるため客観性に欠けているが、少数色覚者(P型3色覚)においては機能的効果、審美的効果ともに改善が見られた(表1)。標準色覚3人については石原検査表と赤い文字の見やすさに改善が見られたが、補正が強いほど審美的には悪化した。

表1 補正変換による効果の検証

検査項目ごとに画像を複数用意し、補正前後の印象について官能試験を行った。被験者列ごとに設問内のスコアの平均を表示している。正が改善、負が悪化を示す。表頭のかっこ内は4人それぞれの被験者の補正変換のパラメータを示しており、l, mはそれぞれ、P、D型色覚に対応している。両者ゼロで正常C型色覚、l=1でP型2色覚、m=1でD型2色覚、両者とも0以上1未満でP及びD型3色覚に対応する補正変換であることを示している。

大分類	小分類	説明	P型3色覚 (l=0.25, m=0)	正常C型 (l=0.05, m=0.05)	正常C型 (l=0.293, m=0)	正常C型 (l=0.08, m=0.4)
機能的効果	石原検査表	標準的な色覚のスクリーニング検査	正答 +0.3 見やすさ+1.2	正答 +0.0 見やすさ+0.2	正答 +0.0 見やすさ+1.1	正答 +0.1 見やすさ+1.2
	赤い文字	P型色覚では見えづらいと知られる	+1.42	+0.25	+0.33	+0.75
	生焼けの肉	P型色覚では生焼けが見えづらい	+0.66	+0.17	±0	-0.5
	色相環 カラー チャート	標準色覚者にとってバランスがよい、逆に少数色覚者にとってバランスが悪い	±0	±0	-0.22	±0
審美的効果	紅葉や桜	P型にとっては赤が見えづらいため、紅葉は鮮やかでなく、桜はかなり白色に見える。	+0.1	±0	-0.2	-0.4
	クリスマス	赤・緑なのでP,D型とも、色の対比が弱くなる。	+1.5	±0	-0.75	-0.75
	パステル	P型は紫やピンクが灰色に見える。	+0.67	±0	±0	-0.22
	原色が効果的なイラスト	P型は赤が引込んで見え原色の対立バランスが崩れて見える。P・D型共に、色相環上均一に分割した配色に見えない	+0.56	+0.55	-0.27	-0.73

本研究は、ある者の色知覚と一致するようである者の色知覚を補償するというものであるため、どのような色覚を持つ者でも識別しやすさや、画像の審美性が改善するというものではない。したがって、標準色覚3人の審美的な見えが悪化したのは想定どおりの結果である。赤い文字の識別性が上がったのは、地の黒と文字の赤でコントラスト比が向上したためと考えられる。

P型3色覚の被験者においては有彩色のグラデーションの一部が灰色でなくシアンに見えるように改善された。また、原色で描かれたイラストの色の対決による作品の印象がより強く感じ取れたことから一定の効果が検証できた。

しかし、さらなる課題も明らかとなった。

1つ目に被験者数の増加が必要である。今回の実験では被験者が少なく客観的な結果とはいえない。

2つ目に設問の改善がある。審美的効果の測定として、「色のバランスが良くなったか」、「印象が良くなったか」という漠然とした選択肢を用意したが、この選択肢によって多分に被験者の主観が入った回答となってしまった。例えば、「リアルではないが、こちらの印象の方が好きだな」という回答があったが、これは知覚上の色の構造を正確に伝えられているかの測定にならない。この問題を解決するには、設問の内容を細分化したほうがよいと考えられる。色のバランスとは、色の知覚上の構造を前提に、審美性をもって色を選択配置したものである。そもそも個人的な主観などの脳の高次機能への介入は補正の対象から除くとしているので、「審美性をもって色を選択し配置した」情報の伝達性は、本検証の設問においても可能な限り切り分けたい。

色の審美的バランス感が伝達される前提には、カラーチャートの均一性や反対色によるハレーション効果、地と図の認識(図4)、色面の群化(図5)などの認識が制作者と鑑賞者で一致する必要がある。このような、作品の印象以前の美術的テクニックの情報伝達は視覚神経機能に担保されていると考えられる。それゆえ、提案手法による美術

的テクニックの伝達性への影響を評価することは、多様な色覚を持つ者における、個人的な主観以前の「色の知覚上の構造」の一致性や、そのほかの周知的な視覚の初期機能への影響の測定になると思われる。その上で検証結果を別の側面からも評価するために、主観的な印象についての設問も加えるのがよいと思われる。



図4 図(物体)と地(背景)

“直接的知覚的経験は両領域の共通の境界線から生じ、1つの領域のみか、一方が他方よりも強く作用する。”  
Joseo Igón - 投稿者自身による著作物(CC表示-継承 4.0改変無)

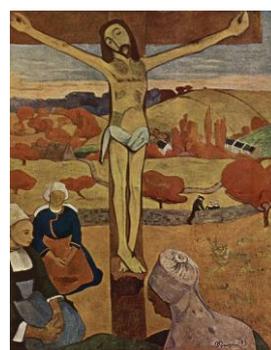


図5 色面の群化(整理)

ポール・ゴーギャンの作品 図の外形線が太く書かれ、強調される。それ以外のか所においては近い色で面がまとめられる(パブリック・ドメイン)

美術的テクニックの伝達確認が、脳の高次機能である主観的な感想を廃して、視覚の初期機能の一致性を測ることになる例を挙げる。例えば図4においては、柱に注目するときには、穴は背景に見えるが、穴が人型であることに注目するときには、柱が背景に見える。もし、多様な色覚を持つ者同士で、図と地の認識が異なる場合、何かしらの視覚機能の差異があると考えられる。もっと固定的な図と地において、補正変換を用いることで、認識が一致するのであれば、補正変換の影響によ

り視覚の初期機能がより近くなったと言えるだろう。また、図 5 や Graffiti Art、カートゥーンでは図（物体）と地（背景）の描写において色面は単純化され、外形線は太い線で描かれる。人間の物体認識能力は、これらの現実からかけ離れたデフォルメに対してもロバストに働く。それどころか、むしろ強い印象を受ける。これらのデフォルメにおける効果の起源は、畳み込みを行う視覚神経との関係が推測される。画家は画面を整理するために、あえて同系色をまとめて大きな色面を構成し、暗に境界線を与え画面の構成を作る。構成内の色味や質感が、構成間の境界線より相対的に小さく評価され、多様な色覚を持つ者の中で画面構成が一致するのであれば、畳み込み神経を含んだ視覚の初期機能の働きが一致しているといえるだろう。この場合も制作者と鑑賞者との間で心理的な視覚の認知機能がより近くなったと言える。

別のアプローチとしては脳や生体反応の計測から同じ認知をしているか否かを判定できるかもしれない。（県内には、非侵襲の主観・感覚・運動の定量的計測を基にした研究を行っている大学がある。この研究室では計測に基づいたインターフェースや製品の開発も行っている。）

3つ目は、補正計算に必要な被験者の錐体分光感度の推定手法についてである。理論上、色覚検査装置のアノマロスコープの検査結果により個人ごとの錐体分光感度を与えられると想定した。（ただし、色覚検査装置のパラメータから錐体分光感度を与える一般式は存在しないため、今回の検証においては色相環が均一に見える補正パラメータを正とした。）しかし、協力を得られた視能訓練士のアドバイスによれば、異常の程度が強いほどアノマロスコープの測定結果である均等範囲（誤差）も大きくなるという意見もあったため、目的に則して錐体分光感度の推定精度がより高い測定手法の提案も望まれる。

#### 4 まとめ

(1) 錐体刺激値を一致させるという新規の色覚補正ツールを作成した。

(2) 当事者である被験者1人に対しては本ツールの一定の有効性を確認した。

(3) 効果の検証方法や補正ツールの計算に必要な錐体分光感度の測定手法についての改善余地が明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 山下雅彦, 横田一正, 株式会社両備システムソリューションズ “色覚異常の人々を補助するソフトウェアの開発”, 26th Fuzzy System Symposium Hiroshima, September 13-15, (2010)
- 2) 大塚作一, 比良祥子 “色相ブレンド法を用いた携帯型2色覚補助ツール” 電子情報通信学会大会講演論文集 (Sep.03,2013)
- 3) 内川恵二, 篠森敬三 “視覚 I 視覚系の構造と初期機能”, 朝倉書店
- 4) 江島義道, “三色過程から反対色過程への変換機序”, 心理学評論, vol.28. no. 1, 87-110 (1985)