

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16169

研究課題名(和文) 遺伝的な色覚の多様性が感性の個人差に与える影響

研究課題名(英文) Effects of the genetic polymorphism of human color vision on individual differences in aesthetic impressions of visual art

研究代表者

平松 千尋 (Hiramatsu, Chihiro)

九州大学・芸術工学研究院・助教

研究者番号：30723275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：遺伝的な色覚の多様性が、視覚的注意を反映する視線行動、視覚対象への印象にどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。様々な色覚を有する参加者を対象とし、絵画鑑賞中の視線計測、絵画に対する感性評価を行った。その結果、画像特徴や色覚型を反映して視覚的注意が異なった。また、色覚の違いは色彩的印象の個人差に大きく影響し、長期間の色覚経験も印象に反映されていることが示唆された。本研究は、先天的な要因が、後天的な要因とも相互作用しながら、多様な行動様式や感性を作り出していることを実験的に示すことに成功した。得られた成果は、多様性に配慮したデザインの制作につながるなど社会への還元が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand how color vision variations derived from genetic polymorphisms influence individual differences in visual attention and aesthetic impressions of images. Participants with various color vision types observed paintings and answered their impression. The gaze during the art appreciation was tracked. The results showed that the visually attended regions were associated with visual features in the paintings and the color vision of the participants. The color vision variations had great effects on the impression of colorfulness, and the impression was also influenced by the long-term experience of a certain color vision. Overall, the results provide the evidence that the genetic variations generate individual differences at behavioral and impression level, and that the interplay between congenital and acquired factors also plays a role to modify the differences. This will be useful to create effective designs for people with various characteristics.

研究分野：視覚学

キーワード：色覚多型 遺伝子 感性 個人差

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの一般的な色覚は、眼球の網膜にある波長感度の異なる3種類の錐体視細胞(S: short, M: middle, L: long)による3色型色覚である。しかし、M錐体とL錐体に発現し、伴性遺伝する赤緑視物質遺伝子の欠損や置換により、男性の約5%は2色型色覚、もしくは2色型に近い3色型色覚を持つ。

多くの2色型色覚は赤-緑軸方向の色弁別が困難である一方で、青緑間の弁別は得意であるなど、2色型色覚者の色弁別特性については多くの知見が蓄積し、色覚模擬フィルターの開発や、カラーユニバーサルデザインの向上など、社会への還元も進んでいる。

色覚が異なることで、一様な色同士の弁別にどのような違いがあるかはよく調べられてきている。しかし、複雑な画像を見たときに注意を向ける場所や、画像から受ける色彩感、快/不快、嗜好、美意識などの印象の個人差にも、色覚の違いが影響するののかについては、ほとんど明らかになっていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、単に色が弁別できるかどうかにとどまらず、複雑な画像を見たときに視線が向かいやすい場所や、画像から受ける印象に、色覚の違いがどのような影響を与えるかを調べることを目的とした。このことによって、遺伝子レベルの違いが感性の個人差の要因となり得るのかについて明らかにできると考えた。

また、本研究の協力研究者である田嶋氏が先行研究で提案している、色覚特性を考慮した画像の顕著性分析による視線の予測が、どの程度実際の視線行動と一致しているかを検証し、顕著性分析法の精緻化につなげることも目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 画像の選定

視覚的注意や感性の個人差が反映されると考えられる複雑な画像として絵画を使用した。絵画の選定のため、まず著作権が消滅した西洋画のデジタル画像を657枚集めた。そして、画像解析により、視覚特徴にバリエーションのある画像セットを選定した。具体的には、各画像について、ピクセルごとの輝度、色度、また各色覚型にとっての顕著性を計算し、それらの統計値を用いた多次元尺度構成法により、全絵画を2次元空間に配置した。その空間を24の区画に分割し、各区画より1枚の画像を選び、合計24枚の刺激画像を得た。画像サイズは、1920×1080ピクセルの解像度のディスプレイで呈示して最大になるように調整した。

### (2) 2色型色覚模擬画像の作成

絵画を見るとき視線や、絵画に対する印象が、遺伝的な制約が大きいと考えられる錐体受容器などの初期レベルの視覚情報処理

に規定されるのか、それとも、経験を通じて可塑的に変化すると考えられる、高次の視覚情報処理にも影響を受けているのかを調べることにした。そのため、2色型色覚の見え方を模擬した画像を、色覚シミュレーションプログラムVischeckを用いて作成し、3色型色覚者に2色型模擬画像を見てもらい、先天的な2色型者と比較し、長期間の経験の影響を検証することにした。

### (3) 参加者

L錐体欠損型のP型2色型を持つ3名、M錐体欠損型のD型2色型を持つ2名、2色型に近い3色型を持つ1名、一般的な3色型色覚を持つ38名、合計44名(9~69歳、男性27名、女性17名、平均年齢28歳、SD=11.2歳)に絵画鑑賞実験に参加いただいた。実験前にインフォームド・コンセントを実施し、実験内容を説明後、同意書を得た。絵画鑑賞前に、石原色覚検査表とアノマロスコープ、及びFarnsworth-Munsell 100 hueテストを用いて参加者の色覚特性を知覚レベルで確認した。

### (4) 実験手順

暗室に有機ELディスプレイ(SONY PVM-2541A、1920×1080ピクセル)を設置し、参加者は顔とディスプレイまでの距離が約70cmとなるように着席した。顔の固定は行わずに、比較的楽な状態で鑑賞できるようにした。各絵画画像は、ディスプレイの大きさである約42.3×24.4°に30秒間呈示した。視線計測には、Tobii Pro X2-60(Tobii)を使用し、サンプリングレート60Hzで視線データを取得した。画像の提示、視線計測装置の制御、データの取得は、MATLAB(Mathworks)プログラミング環境で実行可能なPsychtoolbox-3で作成したカスタムプログラムを用いた。視線計測装置のキャリブレーション後、ディスプレイに呈示された画像を自由に鑑賞するよう参加者に指示し、画像が呈示されている30秒間の視線を計測した。

その後、絵画に対しての印象を意味微分法(通称SD法)により分析するため、23対の形容詞対を評価してもらった。形容詞の評価尺度は7段階とした。形容詞対には、絵画の視覚的要素を反映すると考えられる、‘明るい-暗い’、‘はっきりとした-ぼんやりした’、‘高コントラストの-低コントラストの’、‘奥行きが深い-奥行きが浅い’、‘動的な-静的な’、‘調和した-不調和な’、‘色彩豊かな-単調色の’、‘濃い-薄い’、‘鮮やかな-くすんだ’、‘大胆な-繊細な’、‘複雑な-単調な’、‘派手な-地味な’の12形容詞対と、視覚的な印象から派生する印象を反映すると考えられる、‘硬い-柔らかい’、‘暖かい-冷たい’、‘重い-軽い’、‘鋭い-鈍い’、‘安定した-不安定な’、‘緊張した-緩んだ’、‘力強い-弱い’、‘激しい-穏やかな’、‘陽気な-陰気な’、‘美しい-醜い’、‘好き-嫌いの11の形容詞対を

使用した。

絵画鑑賞と印象評価は画像ごとに行った。画像の呈示順はランダムとした。また、3色型色覚者の半数は、2色型色覚の見え方を模倣した画像を鑑賞した。

絵画鑑賞実験終了後、遺伝子解析のため、綿棒により口内細胞を採取した。

各実験参加者には、参加者コードを割り振り、取得した全電子データは個人情報とは関連づけられない形で保存した。また、口内細胞より抽出したDNAは、九州大学病院メディカル・インフォメーションセンターにて連結可能匿名化されたものを、遺伝子解析に使用した。その後、同センターにて第三者が、視線計測データ、印象評価データと、性別や知覚レベルの色覚型などの参加者情報を、匿名化番号と再連結したものを解析に用いた。

#### (5) 解析

##### ①視線データの解析

2色型色覚グループと3色型色覚グループ、2色型色覚模擬グループに分けて、定性的な視線の解析を行った。まず、得られた視線計測データから、参加者が視線を向けた領域を色覚グループごとに集計し、画像中のピクセルごとに視線の確率密度を算出した。この分布を視線マップとし、画像のどこにより視線が集まったかを示す指標とした。そして、色覚特性を考慮した顕著性分析法による顕著性マップとの相違を解析した。

##### ②印象評価データの解析

3相因子分析によって、印象評価のばらつきを、絵画相1因子、形容詞相3因子、個人相(参加者相)3因子に分解した。

##### ③遺伝子解析

参加者の口内細胞よりDNAを抽出し、赤緑視物質遺伝子の塩基配列を決定することにより、遺伝子レベルで色覚型を調べ、視覚的注意や印象との対応を試みた。具体的には、まず、赤緑視物質の吸収波長に影響を与えるアミノ酸座位が含まれる、エクソン3からエクソン5までを Polymerase Chain Reaction (PCR) で増幅した。その後、塩基配列決定により、吸収波長に影響を与えるアミノ酸座位の塩基を確認した。そして、各遺伝子型の吸収波長を予測し、知覚レベルでの色覚型との整合性を調べた。

上記の①～③の解析より、色覚の違いによって、1) 視覚的注意(視線)を向ける画像領域は異なるか、2) 低次の生理メカニズムに基づく顕著性モデルによって視線の予測は可能か、3) 色覚の違いによって、絵画に対する印象は異なるか、について検討した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 色覚の違いによる視覚的注意の違い

絵画鑑賞開始後5秒間の視線マップを色

覚グループ間で比較したところ、①グループ間で似通った視線マップを示す場合(図1a)、②3色型と2色型グループのみが似た視線マップを示す場合(図1b)、③2色型が、3色型と2色型模擬グループの中間の視線マップを示す場合(図1c)に大きく分類された。

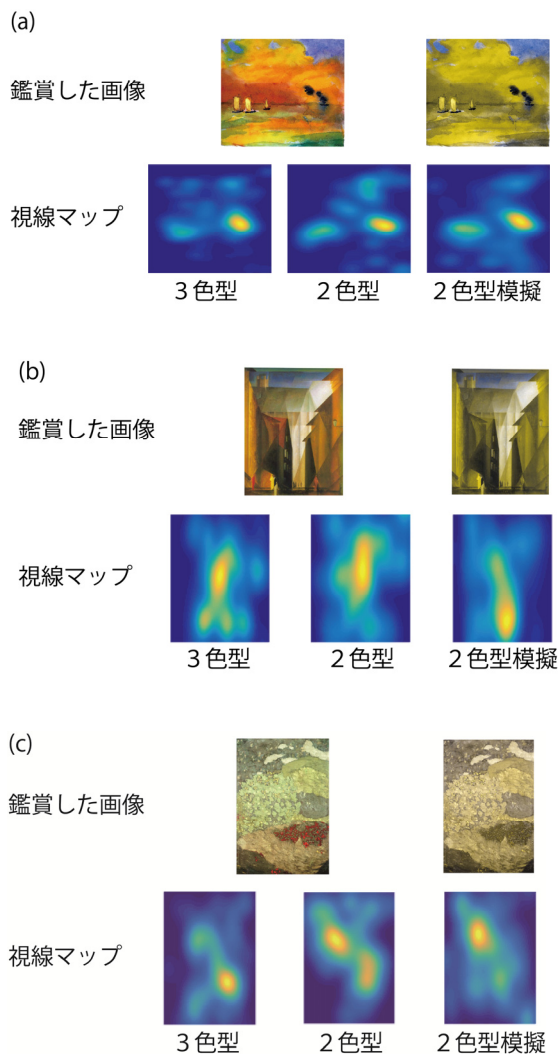


図1. 各色覚グループの視線マップの例

- (a): 全グループが似ている例
- (b): 2色型と3色型グループが似ている例
- (c): 2色型が、3色型と2色型模擬の中間の例

##### (2) 顕著性マップとの比較

色覚特性を考慮した顕著性モデルは、画像によっては、うまく視線を予測できていることが明らかとなった。しかし、ヒトの視線が、画面の中央に向きやすいこと、また、画像中の物体(図)と背景(地)であれば、物体の方に向きやすいこと、などのバイアスを補正する必要があることも明らかとなった。また、画像中の明度コントラストと色コントラストのどちらが視線を集めやすいかについても、定量的に解析することで、顕著性分析法をより精緻化させることができることが示唆された。

### (3) 印象の個人差と色覚の関連

3 相因子分析により、色覚の違いは、色彩印象の個人差に大きな影響を与えることが明らかになった (図 2)。個人相・第 2 因子は形容詞相の色彩因子と負の相関を示す軸であるが、先天的な 2 色型は、3 色型と 2 色型模擬画像を見た 3 色型の中間に分布している。このことは、色彩が絵画の印象に与える影響は、2 色型模擬画像を見た 3 色型よりも先天的な 2 色型で大きく、色彩の印象の基準は長期間経験した色空間において作られることを示唆している。また、3 色型色覚グループの中でも、個人相・第 2 因子に大きなばらつきがあり、色彩印象に個人差があることを示唆している (図 2)。

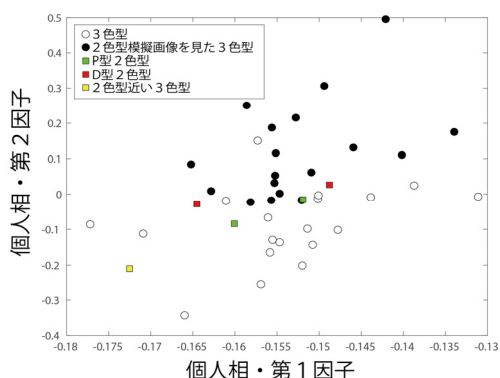


図 2. 色彩印象の個人差  
個人相・第 2 因子の値が低いほど、色彩の印象が、画像の評価に大きな影響を与えていることを示している。各プロットは個人を表す。

### (4) 遺伝子レベルでの色覚型の確定

知覚レベルで、2 色型色覚と判定された参加者の赤緑視物質遺伝子の塩基配列は、ほぼ知覚レベルの判定を反映するものであった。しかし、エクソン 3 とエクソン 5 がシャッフルした遺伝子を持つ 2 色型参加者も見つかり、知覚レベルの判定では見分けることのできない視物質の吸収波長の違いに反映されていると考えられた。

(1) ~ (4) の成果より、遺伝子多型と視覚的注意・感性との関連性についてまとめると、遺伝子多型という先天的要因によってもたらされた色覚の多様性が、光受容器以降の神経メカニズムなど、後天的な要因とも相互に影響を与え合いながら、多様な行動様式や感性を作り出していることを示すことができた。

今後、時系列の視線パターンの解析を行うことにより、より定量的に、視線行動の個人差に、色覚、画像特徴などの要因が関わっているかを詳細に分析する予定である。また、(3) の印象の個人差において、3 色型色覚グループ中で見られた色彩印象の個人差には、遺伝子レベルの多型が関わっているのかについても、検討していく予定である。

本研究で得られた成果は、顕著性分析法の

改良や、各色覚特性に配慮した効果的なデザインの制作などに還元されることが期待される。例えば、一般 3 色型の人が他の色覚型に配慮したデザインを制作する際には、色覚模擬フィルターを参考にするだけでなく、様々な色覚を持つ人々から直接意見を取り入れることで、より効果的なデザインを作ることにつながると考える。

本研究の成果は、遺伝子と行動・感性の関連性を探るモデル研究としても大きな意義を持つであろう。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕 (計 2 件)

- ① 高嶋龍彦、坂口寛明、田嶋達裕、妹尾武治、平松千尋、絵画鑑賞時の視覚的注意に色覚型が及ぼす影響 - 顕著性を用いた予測と視線計測による検証 -、日本生理人類学会研究奨励発表会、2017 年 2 月 11 日、福岡
- ② 坂口寛明、高嶋龍彦、田嶋達裕、妹尾武治、平松千尋、絵画鑑賞における印象と色覚の多様性の関連、日本生理人類学会研究奨励発表会、2017 年 2 月 11 日、福岡

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.design.kyushu-u.ac.jp/~divnse/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平松 千尋 (HIRAMATSU, Chihiro)  
九州大学・芸術工学研究院・助教  
研究者番号：30723275

### (4) 研究協力者

田嶋 達裕 (TAJIMA Satohiro)  
ジュネーヴ大学・研究員

妹尾 武治 (SENO Takeharu)  
九州大学・高等研究院・准教授

高嶋 龍彦 (TAKASHIMA Tatsuhiko)  
九州大学・芸術工学部・学生

坂口 寛明 (SAKAGUCHI Hiroaki)  
九州大学・芸術工学部・学生