

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K21817

研究課題名（和文）2色覚の3色覚類似応答の獲得の学習過程

研究課題名（英文）Learning process of trichromatic-like color name responses of dichromats

研究代表者

須長 正治（Sunaga, Shoji）

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：60294998

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：2色覚は、見分けられない色があり、3色覚とは異なる色を知覚しているにもかかわらず、比較的大きい刺激を比較的時間観察すると、3色覚と類似した色名応答を示す。しかし、このメカニズムは、まだ明らかになっていない点が多い。そこで、本研究では、3色覚が使用する色名と2色覚自らが知覚している何らかの色彩特徴とを結びつけながら学習していった結果として得られたものあると考え、その学習過程を検討することを目的とした。その結果、学習効果が飽和していた可能性があるためか、20代の被験者では、学習効果であるという確固たる結果を得ることができなかった。低年齢の2色覚に対し、今後、実験を行う必要があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2色覚は3色覚とは異なる色を知覚しているため、色名によるコミュニケーションにおいて齟齬が生じる場合がある。しかしながら、刺激が大きく、呈示時間が長いと、2色覚は3色覚と類似した色名応答を示すことが知られており、このメカニズムを明らかにすることは、今後の2色覚と3色覚の間での色彩コミュニケーションの齟齬を減少させる手がかりとなる。本研究では、学習効果を測定することと内因性光感受性神経節細胞の寄与を検討することで、このメカニズムの解明を試みた。しかしながら、学習効果および内因性光感受性神経節細胞が2色覚の3色覚類似色名応答に貢献しているという根拠を得ることができなかった。新たな方法が必要となる。

研究成果の概要（英文）：Dichromats have colors that they cannot distinguish, and despite perceiving colors differently from trichromats, they show color-naming responses similar to trichromats for large stimuli with long duration. However, this mechanism remains unclear. Therefore, this study aimed to examine the learning process by linking the color names used by trichromats with the color features that dichromats themselves perceive. As a result, it was not possible to obtain definitive evidence of a learning effect in participants in their 20s, possibly due to saturation of the learning effect. It was suggested that future experiments should be conducted with young dichromats to further investigate this.

研究分野：色彩・視覚科学

キーワード：2色覚 色覚異常 色名応答 学習 内因性光感受性神経節細胞

1. 研究開始当初の背景

人間の色覚特性には、多様性があることが知られている。大方の人の色覚は3色覚と呼ばれ、網膜のあるL錐体、M錐体、L錐体という3種類の錐体の神経応答に基づき脳内にて色彩が創発されている。これに対し、3種類のうち1種類の錐体の分光感度が異なる場合(異常3色覚)、あるいは2種類の錐体に基づく場合(2色覚)の色覚は、「色覚異常」と呼ばれ、多かれ少なかれ、3色覚とは異なる色が創発されている。2色覚に代表される「色覚異常」には、混同色と呼ばれる見分けられない色の組み合わせがあるという大きな特徴がある。2色覚は、3色覚とは異なる色名を使う場合もあるが、色刺激が比較的大きく、さらに、比較的長時間観察すると、見分けられない色の対しても、3色覚と類似した色名を応答することができる(Montag, 1994; Paramei, 1996)。あまりにも極端に刺激が小さい、呈示時間が短いという場合でなければ、このような現象は3色覚では観察されない。この2色覚の3色覚類似色名応答は、桿体の寄与として考えられてきたが(MontagとBoynton, 1987)、その後、桿体の寄与では説明できないことも明らかになっている(Montag, 1994)。しかし、桿体の寄与ではないものの、明るさの違いが手掛かりになっているとの報告もある(Parameiら, 1998; 西田ら, 2013)。2色覚の3色覚類似色名応答には、色刺激を比較的大きく、さらに、長時間呈示することが必要なことから、空間定数が大きく、そして、時定数が長いメカニズムを想定する必要がある。しかしながら、明るさの大部分を決める輝度メカニズムは、空間定数および時定数とも小さく、想定するメカニズムとは、その特性が大きくかけ離れている。むしろ、色情報の彩度情報のような明るさに寄与するメカニズムの関与を想定しなければならない。果たして、2色覚においてそのようなメカニズムが存在するのかどうかは明らかになっていない。このように、2色覚の3色覚類似色名応答に関しては、まだ不明な点が多く、解決されていない問題である。

2. 研究の目的

2色覚の3色覚類似色名応答は、3色覚が使用する色名と2色覚自らが知覚している何らかの色彩特徴とを結びつけながら学習していった結果として得られたものと考え、その学習過程を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

2色覚の3色覚類似色名応答の学習過程を検討するにあたり、研究開始当初、以下の3つの実験を行う計画であった。

- (1) 2色覚の3色覚類似色名応答の学習効果はあるのか?
- (2) 2色覚の3色覚類似色名応答において、どのような手がかりが学習効果をもたらすのか?
- (1), (2)の実験の結果に応じて、
- (3) 機械学習などによって、2色覚の3色覚類似色名応答の学習効果をシミュレートすることが可能か?

また、研究を進めるにあたり、(1)と(2)の実験を並行して行った。

(1) 学習効果の測定

学習フェーズと検査フェーズと繰り返すことによって、学習効果を測定した。

実験装置として、コンピュータで制御した24インチの有機ELディスプレイを用いた。色刺激として、基本11色カテゴリ(赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫, 茶, 桃, 黒, 灰, 白)に水色を加えた12色のカテゴリに含まれる色を各5色、計60色用意した。各カテゴリに対して、5色を選び出し、そのうち3色を、色名を学習するための学習フェーズで、残りの2色を、学習効果を評価するための検査フェーズで使用した。

学習フェーズ、検査フェーズとも、D65色度で輝度20cd/m²の背景上に2度四方の色刺激が0.8秒間呈示された。学習フェーズでは、12カテゴリから3色ずつの計36色が順次呈示された。被験者の課題は、呈示された色刺激の色カテゴリを12色のカテゴリから選択することであった。応答後、3色覚による色カテゴリがディスプレイ後に呈示され、被験者は、自分の色名応答が3色覚の色名応答と一致したかどうかを知ることができる。また、検査フェーズでは、各色カテゴリの色刺激として、検査フェーズ用の2色と学習フェーズで使用された1色が呈示された。

学習前に、学習前データとして、検査フェーズを行い、その後、学習フェーズを3回、そして、検査フェーズを1回実施した。さらに、3回の学習フェーズと1回の検査フェーズを3回繰り返し、学習フェーズ後の検査フェーズでの3色覚の色カテゴリとの一致度を測定した。この手法は、実験心理学の分野での学習効果を測定する一般的な方法である。もし、学習フェーズ後の検査フェーズでの3色覚の色カテゴリとの一致度は、学習フェーズ前の検査フェーズの一致度よりも高くなるのであれば、学習効果があると結論づけることができる。被験者は、21歳の2型2色覚1名であった。

(2) 2色覚の3色覚類似色名応答の手がかり

学習効果とは別に、なぜ、2色覚の3色覚類似色名応答には、色刺激を比較的大きく、さらに、長時間呈示することが必要なのかを検討する実験も行った。輝度メカニズム以外の明るさ知覚

に寄与する可能性があるのが、最近になって発見された第 5 の光受容細胞である内因性光感受性網膜神経節細胞（以下、ipRGC）である。ipRGC は、概日リズムや瞳孔制御に関わるとされてきたが、明るさ知覚にも寄与することがわかってきており、しかも、網膜にまばらにしか存在せず、また、時間解像度も低い(Yamakawa ら, 2019)。すなわち、ipRGC からの出力が 2 色覚の 3 色覚類似色名応答に寄与する可能性があるといえる。3 色覚では、色情報が色名応答を決めてしまうため、色名応答に ipRGC が寄与することはないが、2 色覚では、その可能性を否定することはできない。そこで、ipRGC 刺激量と L 錐体刺激量または M 錐体刺激量とを変化させ、色の見えの測定を行った。もし、ipRGC が 2 色覚の 3 色覚類似色名応答に寄与しているならば、ipRGC 刺激量に応じて、色の見えが変化すると推測される。

実験装置として、2 台の CRT ディスプレイを用いた。1 台の CRT は通常の RGB の 3 原色とし、もう 1 台の CRT には、青緑のカラーフィルタを画面の前に置き、これら 2 台の CRT の画面をハーフミラーで重ねることにより、4 原色ディスプレイとした。4 原色とすることで、3 種類の錐体刺激量と ipRGC 刺激量を独立に変化させた。被験者の課題は、呈示された色刺激（2 度または 10 度）に対し、赤、薄い赤、緑、薄い緑、それ以外の色の 5 択からひとつ回答することであった。各色刺激に対し、3 回の測定を行った。被験者は 2 型色覚 4 名であった。

4. 研究成果

(1) 学習効果の測定

図 1 に 2 型 2 色覚 1 名の学習効果の測定結果を示す。横軸は、学習フェーズと検査フェーズの時系列を、縦軸は 3 色覚の色カテゴリとの一致度である。

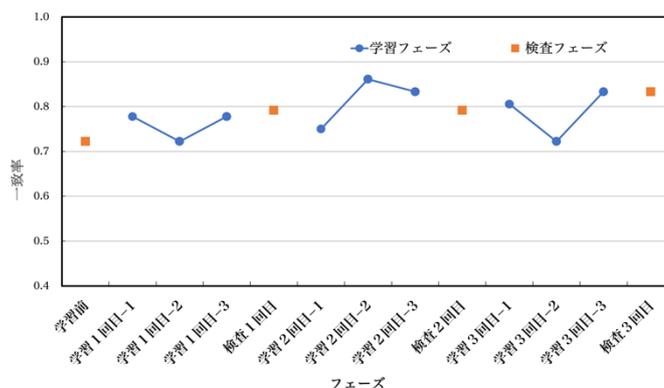


図 1 学習効果の測定結果

3 色覚の色カテゴリとの一致度は、学習前では、0.72 であったものの、3 回の学習フェーズと 3 回の検査フェーズを繰り返すことにより、途中の学習フェーズでは学習前と同等の一致度を示したものの、3 回目の検査フェーズ 0.83 まで上昇した。しかしながら、この一致率の上昇は統計検定した結果 $t(11)=1.95$, $p=0.07$ で有意傾向であるものの有意な上昇ではないことが示された。すなわち、有意な学習効果が得られなかったと結論づけられる。この理由として、3 色覚との色カテゴリ名との一致度がすでに学習前で 0.72 という比較的高い値を示していたため、学習の天井効果により、一致度の有意な上昇が認められなかったかもしれない。もし、3 色覚の類似色名応答が学習によるものであるという仮定の下、この天井効果の影響を検討するためには、まだ、日常生活での学習があまり進んでいないと推測される 10 歳前後の被験者に対して実験を行うことで、3 色覚類似色名応答の学習効果を有無やその過程を明らかにすることができるであろう。

(2) 2 色覚の 3 色覚類似色名応答の手がかり

図 2 に刺激サイズ 10 度の色名応答結果を示す。横軸は、白色背景の M 錐体刺激値に対する色刺激の M 錐体刺激値であり、縦軸は、白色背景の ipRGC 刺激値に対する色刺激の ipRGC 刺激値である。また、L 錐体刺激値は一定のままとした。3 回の測定のうち、3 回とも異なる応答をした場合、「不定」とし、2 回以上の応答をその刺激に対する色名とした。もし、ipRGC が「赤」や「緑」という 3 色覚類似色名応答に寄与するならば、縦軸に沿って、色名が「赤」から「緑」、または「緑」から「赤」というように色名応答が変化することになる。しかしながら、図 2 の結果を見ると、そのような傾向は認められず、被験者 MS 以外では、M 錐体刺激値に変化に応じて「赤」や「緑」という応答が得られており、錐体刺激値が 3 色覚類似色名応答に貢献していることが見て取れる。さらに、M 錐体を保持しないと 2 型色覚でも M 錐体刺激値の変化に応じて、「赤」や「緑」と回答することができるといふ不思議な結果でもあった。一方、被験者 MS は、そもそも 3 色覚類似色名応答を示さない被験者であったが、ここでも、ipRGC 刺激値が 3 色覚類似色名応答の手がかりとはなっていないことがわかる。ただし、今回、用いた実験装置では、大きな ipRGC 刺激値コントラストを呈示することができなかつたため、今後、ipRGC 刺激値コントラストを大きく変化させることができる実験装置を用いて、再度、検討してみる必要があるかもしれない。

また、被験者 MS のように 3 色覚類似色名応答を示さない 2 色覚と他の被験者のように示すことができる 2 色覚との違いについても、未解明のままである。

(3) 機械学習による 2 色覚の 3 色覚類似色名応答の学習効果をシミュレーション

本研究では、学習効果の測定し、学習効果の情報源を明らかにしたのちに、機械学習にシミュレーションを行う計画であったが、明確な学習効果が得られなかったこと、さらに、ipRGC 刺激値が 2 色覚の 3 色覚類似色名応答に貢献しているという仮説が立証できなかつたことから、機械学習による 2 色覚の 3 色覚類似色名応答の学習効果をシミュレーションすることには至らなかつた。

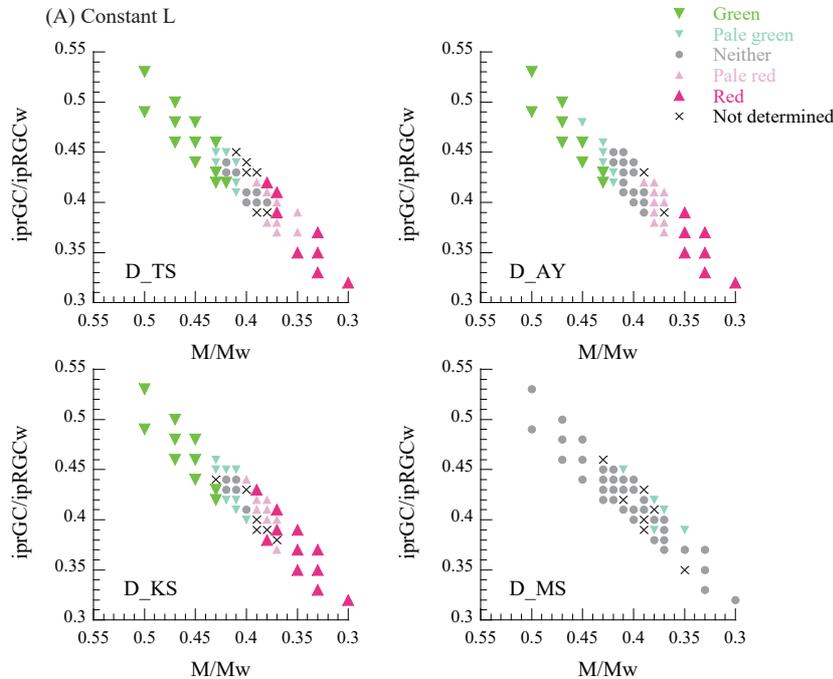


図2 2型2色覚の応答結果

(4) まとめ

2 色覚は、見分けられない色の組み合わせがあるものの、大きい刺激を長く観察すると「赤」や「緑」と回答することがあることが知られており、そのメカニズムは未だに明らかになってはいない。本研究では、ipRGC がその手がかりになっており、その手がかりを学習することによって、3 色覚類似色名応答が成し遂げているとの仮説を検証することを行った。しかしながら、この仮説を立証することができず、この問題は未解明のままである。

<引用文献>

Montag, E. D., & Boynton, R. M. (1987). Rod influence in dichromatic surface color perception. *Vision Research*, 27(12), 2153-2162. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(87\)90129-5](https://doi.org/10.1016/0042-6989(87)90129-5)

Montag, E. D. (1994). Surface color naming in dichromats. *Vision Research*, 34(16), 2137-2151. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90323-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90323-9)

西田 浩聡, 福田 一帆, 内川 恵二 (2013). 2 色覚者のカテゴリカルカラーネーミングに及ぼす視覚的手掛かり, *視覚の科学*, 34, 34-147. <https://doi.org/10.11432/jpnjvissci.34.134>

Paramei, G. V., Bimler, D. L., & Cavonius, C. (1998). Effect of luminance on color perception of protanopes. *Vision Research*, 38(21), 3397-3401. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00454-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00454-9)

Paramei, G.V. (1996). Color Space of Normally Sighted and Color-Deficient Observers Reconstructed from Color Naming. *Psychological Science*, 7, 311 - 317.

Yamakawa, T., Tsujimura, S., & Okajima, K. (2019). A quantitative analysis of the contribution of melanopsin to brightness perception. *Scientific Reports*, 9, 7568. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44035-3>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 須長正治, 米田 睦, 佐藤雅之
2. 発表標題 2色覚の赤-緑色応答へのipRGC刺激量の影響
3. 学会等名 日本色彩学会第51回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須長正治, 清水郁哉, 天野夏希, 佐藤雅之
2. 発表標題 2色覚の記憶色再生
3. 学会等名 日本色彩学会第50回全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------