

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12017

研究課題名(和文) 生理的個人差に着目した人種間の色覚の多様性とその機序の解明

研究課題名(英文) Diversity of color vision based on the physiological individual differences

研究代表者

山内 泰樹 (Yamauchi, Yasuki)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60550994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：新型コロナウイルスによる活動制限の影響により、等色実験に関する検討を主としておこなった。等色関数を直接測定することが困難であることから、簡便に測定可能であり、等色関数の個人差と相関がある色覚特性についての初期検討を行い、明るさ知覚に着目し、両者の相関を求めたが、あまり高い相関は見られなかった。

また、等色実験における調整に要する時間や熟練度に関する問題を解決するために、被験者が候補色群から等色点を選択できるような方法を考案し、段階的に候補色群の範囲を狭めていく方法により、等色精度をほぼ維持したまま実験の所要時間を4割程度削減することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

等色関数の簡便な測定方法を提案し、その有効性を示すことができたことは、従来複雑な測定装置を用いて被験者の熟練や所要時間が長い実験が不要になり、数多くの被験者のデータを収集しやすくなったことは学術的意義があることである。等色関数に代わり色の見えの個人差を表す指標を簡易な心理物理実験で行えれば、個人ごとのカラーマネジメントを行うことができれば、さらに高画質な色再現技術が市場に導入可能であり社会的意義も大きいと思われる。本研究ではその可能性までは示すことができたが、確固たるデータの提示までには至らなかった。

研究成果の概要(英文)：Due to the constraint of the research activities caused by COVID-19, the activities were focused on the improvement of the measurement of the color matching functions (CMFs), mainly to seek the efficient and easy method of the measurement, and to find an alternative index that well describe the individual differences in CMFs.

For the alternative index, B/L, which has been reported to have large individual differences especially in short-wavelength range, was measured in the same dominant wavelength as CMFs. Certain levels of correlations were observed, but the extent of the correlation was not so high. In order to conduct an efficient and easy experiment, the selection method was proposed, in which the subject could choose the best matched color among the multiple candidate color sets. The reduction time was about 40% compared with the conventional adjustment method of three primaries.

研究分野：感性情報学

キーワード：色覚 等色関数 個人差 心理物理学

1. 研究開始当初の背景

我々は、日常生活において色情報を当たり前のように用いているが、色の知覚は心理的な応答であり、皆が完全に同じ色を知覚しているとは限らない。例えば、反射物体である色票の色をディスプレイ上で被験者に再現させると、個人によって再現される色度は異なる。このように、色覚メカニズムには個人差が見られるが、観察する刺激の色の応答を行うカラーネーミング実験では、個人間の差はさほど見られず、また人種間でもほとんど差がないことが報告されている。その一方で、等色関数と呼ばれる単波長光と等色するのに必要な RGB 光（原色）の量や、色光の知覚される明るさなどには大きな個人差が存在する。一律に「色覚の個人差」と称した場合、何が要因で色の見えの個人差を生み出しており、この要因がどの程度個人差に寄与しているか、はまだ解明されていない。

個人差を生み出す要因は、視覚系のハードウェアである眼光学系、ソフトウェアである色覚メカニズムの両面に存在する。前者は水晶体透過率、黄斑色素濃度、光を電気信号に変換する錐体のピーク感度や三種類の錐体の網膜上での構成比率、光が視細胞に吸収されるまでの過程で生じ、後者は入力された信号を神経系で処理する過程で生じる。入力色信号に応じて色応答が変化する色覚の可塑性に関する報告が行なわれているが、色の知覚の個人差が残存している以上、この可塑性は不完全である。また、色覚の可塑性は、高次的な文化的、経験的側面によっても作用する可能性もあるが、定量的に解析した研究はまだ報告されていない。

上述したように、色覚の個人差と生理的視覚特性との間の直接の関係、色覚の個人差と地域性との関係について、これまで直接的に取り扱われたことがない。既存の報告でも、人種間の特性の違いについて言及しているものの、生理的視覚特性と色の知覚、という両者を総括した上で個人差を解明するものは存在しない。

2. 研究の目的

人間の視覚情報処理系に存在する種々の個人差と色知覚との関係は、生理的視覚系の個人差では説明ができない結果が得られる。しかも、それらの個人差がどの程度、人種による生理的な特性や生活空間や生活文化、経験に帰着できるかどうかについての総括的な検討はなされていない。本研究はグローバルに心理物理実験および眼光学特性を同一条件下で求め、各地の文化的背景も含めた包括的な解析を行い、色覚特性の多様性と共通性を明らかにし、色覚の個人差が生じる要因を明らかにすることを当初の目的とした。

しかしながら、新型コロナウイルス蔓延による研究活動制限により、研究期間において中核をなすグローバルな実験はおろか、国内でも被験者を用いた実験についても実施の制限が生じた。そのため、本研究では、色覚の個人差の定量的測定方法の向上を図ることを目的とした。等色関数の測定には、1) 専用の実験装置が必要、2) 実験時間が長い、3) 被験者の熟練が必要、などの問題点がある。本研究では、具体的には

- (1) 等色関数測定に代わって個人差が評価できる色覚特性の検討
- (2) 色覚特性測定実験の工夫（特に Naïve な被験者における実験の改善）

の2点についての検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 等色関数に代わる色覚特性の検討

等色関数の個人差は特に短波長成分で大きい。被験者が等色の判断を行うときは、参照刺激とテスト刺激の明るさ、色みに関する情報を用いているはずである。このうち、明るさ知覚に関しては、個人差が大きいことが報告されている。本研究では、明るさ知覚の個人差が等色関数の個人差を生み出している可能性について検討し、等色関数を求めた被験者に対し、明るさ知覚特性として明るさ効率 (B/L) を求め、両者の相関を求める。もしも、両者に高い相関が認められるのであれば、等色関数を直接求めることなく、明るさ効率を求めることで、その被験者の等色関数をおおまかにではあるが推定できるはずで、個人に合った色補正を行うにしても、複雑で時間がかかる等色関数の測定を行う必要がなくなる。また、明るさ効率を求める実験はディスプレイを用いて簡単にできるので、汎用性をも有する。

実験は、図1に示すような色度図上の複数の点の色度をテスト刺激とし、白色参照刺激との間で明るさマッチングを行うことにより、明るさ効率を求める実験を行った。テスト刺激の色は調整はコンピュータマウスとキーボードを用いて行った。また、本実験に参加した全ての被験者は別途等色関数を求める実験を行っている。

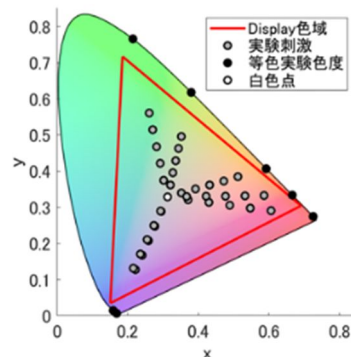


図1 明るさマッチング実験に用いた刺激

9名の被験者が実験に参加した。

(2) 等色実験方法の工夫

一般的に等色関数を求めるには、原刺激と呼ばれるRGB光の強度を調整してテスト刺激と等色させる(調整法)。被験者の調整する自由度は3であり、RGBが各軸をなす3次元空間内でテスト刺激と一致する点を求めることを行なっていることと等しい。しかしながら、RGBが波長としては独立であるが、色の見えの成分としては必ずしも独立でなく、例えば黄色みを変化させようとするとRG成分を両方変化させる必要があり、G光の強度を変化させると緑み以外の色みにも影響を与えてしまう。そのため、テスト刺激と参照刺激を等色させるために、RGB光の強度をどのように変化させればよいか、ということは経験的に習得する必要があり、特に初めて実験に参加する被験者にとっては、負荷が大きく、実験に要する時間も長い。Naïveな被験者にとっても、負担が少なく、一定の精度が保証される実験方法があれば、被験者の拘束時間も少なく、熟練するための訓練も不要になり、実験効率の向上が期待できる。

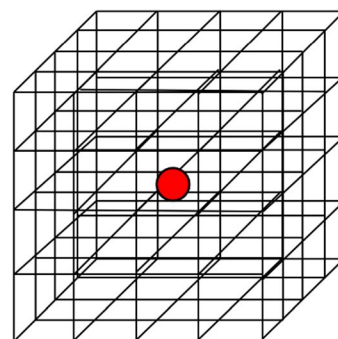


図2 等色実験に用いた候補刺激

本研究では、上記問題を解決するために、選択法を用いることを検討した。これは、図2に示すように、RGB色空間内での等色点を含むように、あらかじめ格子状に候補となる色を複数用意しておき、被験者には個々の格子点に相当する色を呈示し、その候補色の中から等色しているように知覚できた色を等色点として選択するという方法である。これならば、RGB色のどの要素を増加/減少させ、その他の色みにどのように影響を及ぼすか、などといった色彩に関する知識も要求しないため、より多くの被験者に対する実験が可能になる。

実際の実験では、申請者が過去に蓄積した10名の被験者の平均値と標準偏差を元に、平均値を格子の中心、格子の間隔を標準偏差の1.2倍として候補色を作成した。

予備実験を行った結果、最適な候補色を記憶しておくことが難しい(最良な刺激との比較を行ないたい)、刺激の格子間隔が大きいため最適な点が見つけれられない、等の意見があったため、改善策として1)候補とする最良刺激を都度呈示できるように保存、2)2段階の選択とし、1段階目では粗い格子間隔を取り、大まかな領域を見出した上で、細かい格子間隔として微調整をできるようにする、という方法を採用して実験を行った。

被験者は、6名とし、従来の調整法による等色実験を行なった後に、本選択法を行なったグループと、本選択法で初めて等色実験を行い、その後に調整法により等色関数を求めるグループで実験を行なった。

4. 研究成果

(1) 9名の被験者の等色関数を求め、さらにB/Lを求めた結果との相関を求めたものを図3に示す。短波長、中波長で中程度の正の相関が見られたが、全体としてはあまり高めの相関は見られなかった。

一方では、交照法と等色関数の間には、ほぼ全てで正の相関が見られたが、相関係数の値としてはさほど高くなかった。

本研究の結果から、等色関数の個人差を生み出しているメカニズムと、明るさ知覚の個人差とは同じものではないことが示唆される。等色関数の判断が明るさだけでないため、色チャンネルや輝度チャンネルなどの寄与が異なることが考えられる。

(2) 1名の被験者の調整法による等色関数と、選択法による等色関数の結果を例として図4に示す。各色に対して3回の試行を行い、その平均値を示すが、各方法においても、

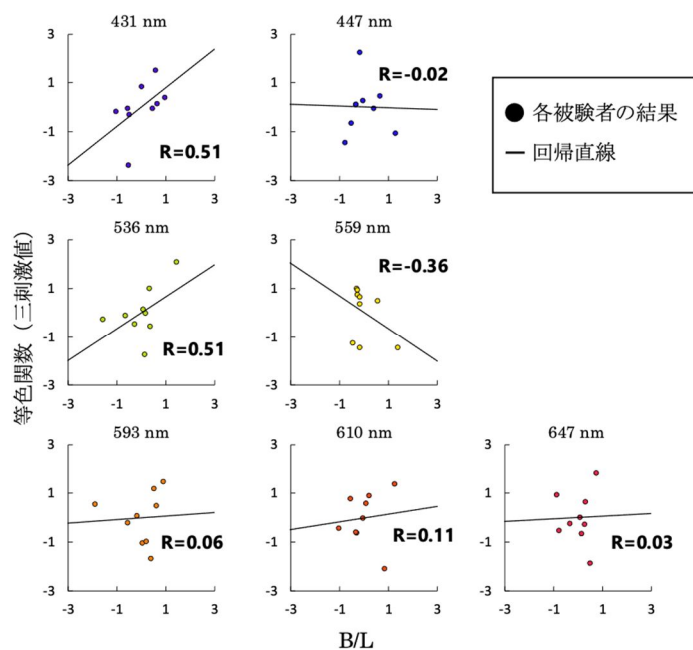


図3 B/Lと等色関数

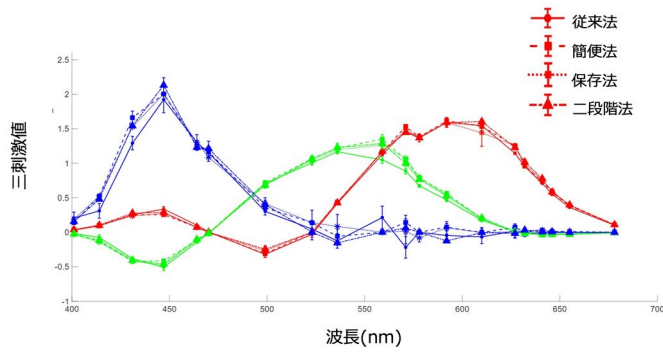


図4 実験手法の異なる等色関数の結果

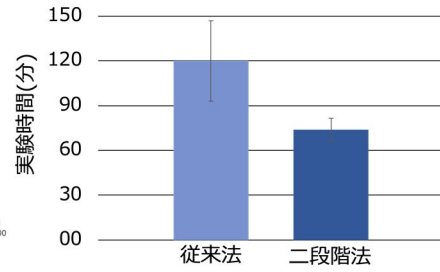


図5 実験時間の比較

調整法とほぼ変わらない結果が得られていることがわかる。これは、全被験者に関して同じ傾向であった。被験者の内観としても、色を選択するだけで良いので判断が容易であるということであった。

調整法による所要時間と本手法での実験時間を比較したものが図5である。これを見ると、調整法（従来法）に対して、本提案手法（二段階で等色点の候補色の格子サイズを変化させ、粗調整・微調整を行う）においても40%程度の改善が見られることがわかり、本手法が有効であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Morimoto, T., Yamauchi, Y., & Uchikawa, K	4. 巻 23
2. 論文標題 Invariant categorical color regions across illuminant change coincide with focal colors.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1167/jov.23.2.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hayasaka, M., Nagai, T., Yamauchi, Y., Sato, T. and Kuriki, I.	4. 巻 47
2. 論文標題 Luminance contrast detection is optimized for the large-scale luminance texture of the surround.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 COLOR Research and Application	6. 最初と最後の頁 271-287
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/col.22723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagai, T., Kakuta, K., & Yamauchi, Y	4. 巻 22
2. 論文標題 Luminance dependency of perceived color shift after color contrast adaptation caused by higher-order color channels.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1167/jov.22.7.8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kiyokawa, H., Nagai, T. and Yamauchi, Y.	4. 巻 205
2. 論文標題 The perception of translucency from surface gloss	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 108140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/J.visres.2022.10840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 神村友規, 田代知範, 山内泰樹
2. 発表標題 等色関数と明るさ効率の相関関係についての検討
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内泰樹
2. 発表標題 色覚の個人差の要因とその定量的評価
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuki Yamauchi, Yuki Kamimura, Ruiyan Liu
2. 発表標題 A simple method for the measurement of the color matching functions
3. 学会等名 Fall Vision Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuki Yamauchi, Yuta Terashima, Yukiya Konnta
2. 発表標題 Trendlines: Evaluation of consistent color appearance
3. 学会等名 Color& Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本視覚学会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 360
3. 書名 図説 視覚の事典	

〔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
---------	---------