

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500253

研究課題名(和文) 視覚系の生理的特性が及ぼす色覚の個人差の定量的評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on the quantitative method to evaluate individual difference in color vision based on the physiological properties of visual mechanism

研究代表者

山内 泰樹 (Yamauchi, Yasuki)

山形大学・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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：黄斑色素濃度，及びL/M錐体比といった生理学的特性を実験的に測定する手法を確立し，多数の被験者を用いてデータを採取することにより，日本人の生理学的特性に関するデータベースを構築することに成功した．特に，L/M錐体比の分布が日本人と欧米人種において異なるという知見は本研究によって新しく得られたものである．また，色覚特性として，等色関数を測定できるコンパクトな装置を開発し，その装置を用いて簡便に且つ正確に等色関数を測定出来る手法を検討した．生理学的特性を測定した被験者での色覚特性として，等色関数の測定を行い，その両者に相関がないことを実験的に示したことが，本研究の成果として挙げられる．

研究成果の概要(英文)： I have succeeded in building a database of the physiological properties of Japanese subjects on the distribution of the macular pigment density and the distribution of L/M cone ratio. First I built an apparatus that can measure the macular pigment density, and also one that can estimate L/M cone ratio by way of ERG flicker photometry. It turned out that the distribution of the macular pigment density of Japanese is similar to other races, but the L/M cone ratio of Japanese showed a significant different distribution from that of the American. This was a new finding through this research. Moreover, I have developed a simple and small apparatus that can measure color matching functions (CMFs), measuring the CMFs of the subjects whose physiological properties were measured with my apparatus.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学

キーワード：色覚 個人差 心理物理実験 黄斑色素濃度 錐体比 等色関数

1. 研究開始当初の背景

分光分布を測定した色を色度図上に表記する際には、等色関数と呼ばれる関数を用いて測色値を算出する。等色関数は、各波長の単色光と等色するのに必要な三つの原刺激（一般的には R, G, B）の強度を表したものであり、1931年に国際照明委員会（CIE）が17名の英国人被験者の等色実験結果の平均値を用いて制定したものが標準観測者の感度（等色関数）として用いられる。しかしながら、色覚には個人差があることが知られ、等色関数にも特に短波長領域に個人差が見られることがこれまでに報告されている。しかし、この個人差がなぜ生じているか、どのようなメカニズムで生じているか、という問題は解決されていない。

一方で、視覚情報の入力系である眼光学系においても、個人差が生じることが知られている。特に、中心窩の手前に存在する黄斑色素濃度（網膜を紫外線から保護する役割を果たす）や、L/M 錐体の比率や錐体のピーク感度といった生理学的な特性においても、個人差が存在することが報告されている。しかしながら、これらの視覚系の生理的特性の個人差と色の見えとの関連性については、定量的に扱った研究はみられない。

また、L/M 錐体比に関しては、欧米人においては、多数の被験者に対する実験結果により頻度分布が求められているが、日本人でどのような錐体比の分布をするかが知られていない。過去に行った研究代表者が行った3名の日本人に対する予備実験では、錐体比は欧米人種よりも低い傾向が得られた。これがたまたまのサンプル空間に依存なのか、実は統計的にも錐体分布に人種間で有意な違いがあるのかはまだ分かっていない。

2. 研究の目的

本研究は、心理物理的、生理学的に行われた色覚の個人差に関して、両者を直接的に結びつけて色覚の個人差を定量的に評価する試みを行うことである。特に、黄斑色素濃度や錐体のピーク感度、錐体の比率などと等色関数の個人差との関係を解明することである。そのため、本研究では、以下のような点を目的とした。

- (1) 黄斑色素濃度の測定を多数の被験者に対して行い、濃度分布、並びに頻度分布がどの程度であるかを定量的に把握すること
- (2) 錐体比を測定するために、網膜電位法に注目し、そのシステムを構築し、そのシステムを用いて錐体比を測定すること。また日本人被験者での錐体比の分布が

どのようになっているかを定量的に把握すること

- (3) 黄斑色素濃度と錐体比が測定された被験者に対して、等色関数を測定し、等色関数の個人差が生理的特性により説明できるか、を解明すること。
- (4) 等色実験を行う条件として、周辺条件に着目し、それによって等色条件がどのような影響を受けるかを明らかにすること。

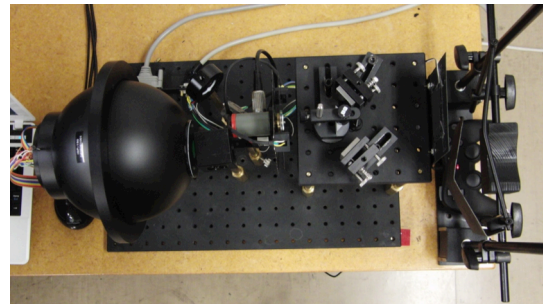


図 1(a) LED を用いた等色関数測定装置

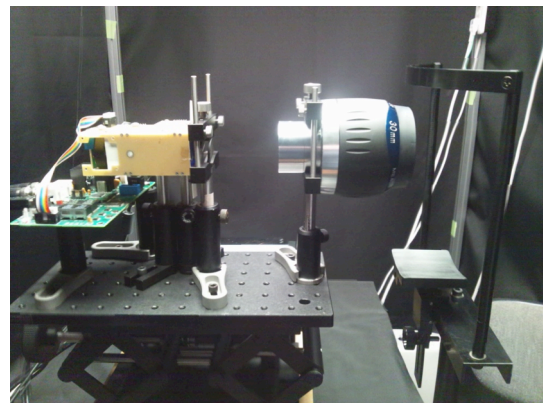


図 1 (b) ERG を用いた L/M 比測定装置

3. 研究の方法

本研究では、眼光学系の特性や視細胞のピーク感度などの生理学的特性を測定した被験者に対して心理物理的色知覚実験を行い、両者にどんな関係が存在するかを直接的に比較した。眼光学系の特性として、黄斑色素濃度と、錐体比を測定した。前者については、中心視と周辺視での応答の違いが黄斑色素により吸収されたと仮定し、黄斑色素濃度を推定した。錐体比に関しては、錐体のピーク感度を遺伝子解析により推定し、さらに刺激光に対する網膜からの電気応答から錐体比を推定する方法を採用した。心理物理的色知覚実験としては、等色関数を測定した。また、等色実験において重要になる、色の表示条件

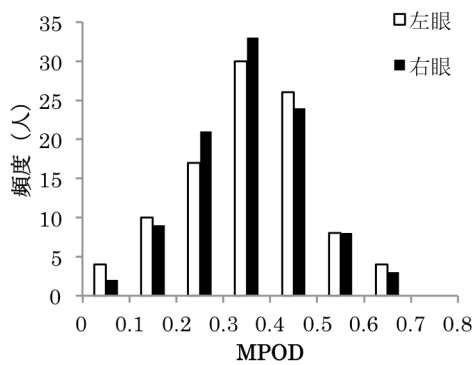


図2 黄斑色素濃度分布

においても、周辺条件が異なる数種類の条件で実験を行い、その精度に関する検討を行った。

本研究では、図1(a)に示したLEDを用いた等色関数を測定する装置、並びに図1(b)に示したERGを用いた錐体比測定システムを構築した。これらを用いて実験を行った。

4. 研究成果

上記の研究方法により、日本人被験者の視覚特性を求めた。

1) 黄斑色素濃度について

黄斑色素濃度を100名の日本人被験者に対して測定した結果を図2に示す。

図2から明らかなように、黄斑色素濃度に

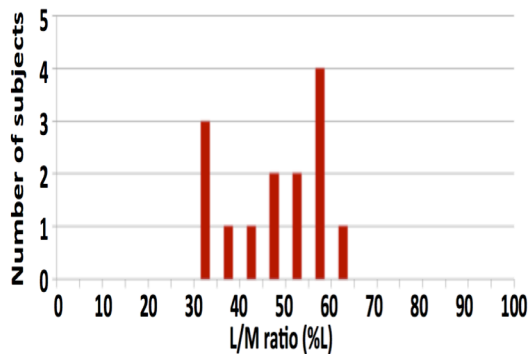


図3 日本人のL/M錐体比

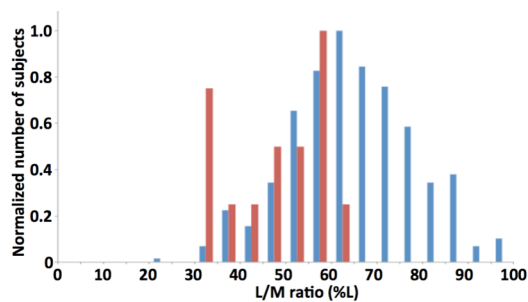


図4 日本人と欧米人のL/M錐体比

は個人差が見られた。この分布はほぼ正規分布に従う。ただし、この分布は、先行研究によって報告されている他人種の分布とほぼ同様の傾向となっており、黄斑色素濃度には人種依存性がほとんど見られないことを示唆する結果である。

2) L/M錐体比について

ERGと遺伝子解析を用いて実施したL/M錐体比の推定を14名の被験者に対して実施した。その結果を図3に示す。また、米国で同じ方法を用いて測定された欧米人と日本人との比較を図4に示す。赤シンボルが日本人のデータである。被験者総数が異なるため、最大頻度値を1として正規化したものである。

図4から明らかなように、日本人の錐体比の分布は欧米人の分布よりも、低いところにピークがある。これは、本研究を通じて初めて明らかになった成果であり、人種と視覚特性との関係を今後更に調べる必要があることを示唆する結果である。

3) 等色関数について

LEDを用いた小型で簡単な構成の等色関数測定装置を試作し、それで等色関数を測定した。その結果を図5に示す。図5には、調整法と呼ばれる被験者が自由にRGBの3原色を混色する手法を用いた結果を示す。また、高齢者や等色という概念に不慣れな被験者の色覚特性を考えると、色を“作り出す”ことは難しい。そのために、より簡易的な計測方法の検討を行った。その一例が図5に示した、6者選択法である。被験者は呈示された候補色の中から徐々に等色条件を満たしている

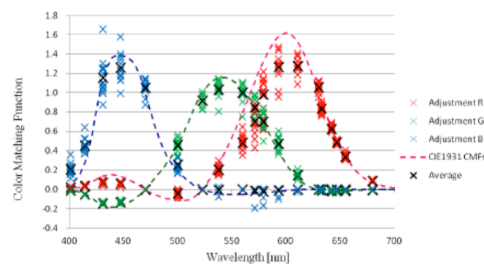


図5 被験者13名の等色関数

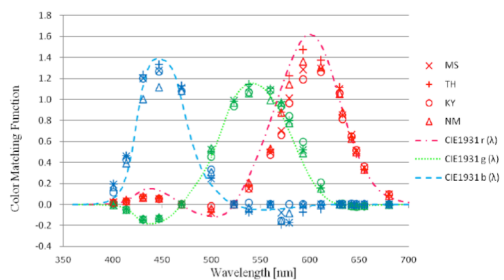


図6 6者選択法を用いた4名の結果

色票を見つけていく手法である。両者では、あまり結果の差は見られなかったため、このように候補色から被験者が選択するという方法は、有用であると思われるが、その一方で、色は三次元に展開するので、候補色をどのように選択するか、またどの程度の細かさで表示するかで呈示刺激総数が変わり、実験の精度も含め問題になってくる可能性がある。また、被験者は刺激を観察するだけという受動的な応答にしても、数が多くなるとストレスに感じてくるのが予想されるので、実験条件を今後検討し続けることが必要であろう。

また、我々は近年市販されるようになってきたプログラブル光源と呼ばれる任意の波長成分を任意の強度で表示出来る装置をも用いて等色関数を測定する試みも行った。実験条件も含め、技術的にまだ解決しなくては行けない問題点を明らかにすることができたが、このような市販の装置をうまく利用することができれば、等色関数を容易に測定できるようになることが期待される。

等色関数は、現在でもその不備が声高に言われているにもかかわらず、改訂がなされていないものである。その理由としては、計測器にその関数が規定されているので、等色関数を変更した場合には非常にインパクトが大きいためである。本研究の成果により、容易に等色関数を測定可能となり、等色関数の改訂や補正の仕方などの提案につながるような継続した活動が必要である。

4) 等色関数と視覚特性との相関

上記実験により、初めて本研究の本来の目的である「視覚特性が既知の被験者に対して、色覚特性を測定し、視覚特性の影響があるかどうか調べる」ことが可能になった。図7に示したのは、特に黄斑色素濃度が感度を有する短波長領域の等色関数と、その被験者の黄斑色素濃度をプロットしたものである。

図を見ると、両者には相関が見えないことがわかる。このことは、色光に対する感度である等色関数に対して、黄斑色素濃度は影響を及ぼさないということである。

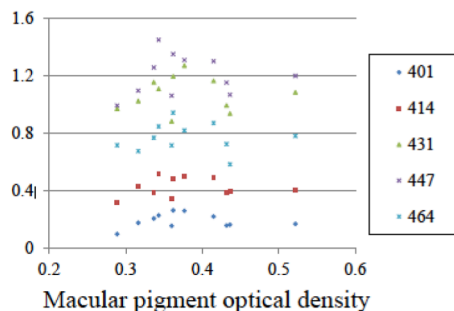


図7 黄斑色素濃度と等色関数 (縦軸)

黄斑色素濃度は日常生活においても、食事や喫煙によりその濃度が変わることが知られているが、その変化が生じて、我々は色の見えの変化には気づかない。色光の変化に対する人間の順応効果で、この変化が説明出来る可能性が高い。そう考えると、本実験の結果も説明が可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. 川島 祐貴, 永井 岳大, 山内 泰樹: 日本人の黄斑色素濃度分布の測定, *Vision*, 査読無, 26, 82-85 (2014)
2. 山内 泰樹, 河原 勇美, 内川 恵二: 条件等色に対する周辺刺激の影響, *Vision*, 査読有, 24, 45-56 (2012)

[学会発表] (計13件)

1. 谷津 圭祐, 川島 祐貴, 永井 岳大, 山内 泰樹, J. Kuchenbecker, M. Neitz, J. Neitz: 網膜電図を用いた日本人の L/M 錐体比の推定, 日本視覚学会 2013 年夏季大会, 2013 年 7 月 24 日
2. 川島 祐貴, 永井 岳大, 山内 泰樹: 日本人の黄斑色素濃度分布の測定, 日本視覚学会 2013 年夏季大会, 2013 年 7 月 24 日
3. Yamauchi, Y., Suzuki, M., Suzuki, T. and Okajima, K.: Measurement of Colour Matching Region to Infer Individual Colour Matching Functions, AIC2013 (2013), 2013 年 7 月 * 日
4. Yamauchi, Y., Yatsu, K., Kuchenbecker, J., Neitz, M. and Neitz, J.: L:M cone ratio of Japanese derived with ERG flicker photometry method, ARVO2013, 2013 年 5 月 6 日
5. 鈴木 実, 山内 泰樹, 鈴木 敬明, 岡嶋 克典: 等色と知覚される領域の測定, 日本視覚学会 2013 年冬季大会, 2013 年 1 月 25 日
6. 森島 直大, 鈴木 実, 山内 泰樹: プログラブル光源を用いた等色関数の測定, 日本視覚学会 2013 年冬季大会, 2013 年 1 月 25 日
7. 早坂 孝志, 山内 泰樹: 黄斑色素濃度の個人差と色知覚 (第二報), 日本視覚学会 2013 年冬季大会, 2013 年 1 月 25 日
8. Suzuki, M., Yamauchi, Y., Suzuki, T. and Okajima, K.: A Novel Method to Measure Color-Matching Functions, AIC2012, 2012 年 9 月 22 日
9. Hayasaka, T. and Yamauchi, Y.: Individual differences in macular

- pigment optical density and color perception, AIC2012, 2012年9月22日
10. 鈴木 実, 山内 泰樹, 鈴木 敬明, 岡嶋 克典: 強制選択法による等色関数測定手法の検討, 日本視覚学会 2012年夏季大会, 2012年8月7日
 11. 鈴木 実, 山内 泰樹, 鈴木 敬明, 岡嶋 克典: 一次元調整法による等色関数測定手法の検討, 日本視覚学会 2012年冬季大会, 2012年1月20日
 12. 早坂 孝志, 山内 泰樹: 黄斑色素濃度の個人差と色知覚, 日本視覚学会 2012年冬季大会, 2012年1月20日
 13. Suzuki, T., Suzuki, M., Yamauchi, Y., and Okajima, K. : Development of simple color bipartite apparatus using single light source with LEDs and measurement of individual color matching functions, AIC 2011 Midterm Meeting, 2011年6月8日
 14. 鈴木 実, 山内 泰樹, 鈴木 敬明, 岡嶋 克典: LED 光源の時間制御による二分視野刺激呈示システムの構築と等色関数の計測, 日本色彩学会全国大会, 2011年5月14日

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし