

# 光の波長と瞳孔反応の関係

## —光の物理的性質と眩しさの感じ方について—

川上朔, 小池陽乃, 関可菜子, 立石将也  
Saku Kawakami, Hinano Koike, Kanako Seki, Masaya Tateishi  
奈良県立奈良高等学校

### 1. 要約

私たちは光の波長とヒトが感じる眩しさの関係について瞳孔の反応を利用して調べた。先行研究では瞳孔の反応について医学的、心理学的にアプローチしたものが多かったが、本研究では光の波長と瞳孔径の相関関係に着目して研究を行った。単色光3種、単色光を同照度で2種ずつ混合した混合色光3種の計6種類の光を照度を100lxに揃えた上で瞳に照射し、瞳孔の収縮率を測定すると、単色光では赤、緑、青と波長が短くなるほど収縮率が大きくなることが分かった。このことから、単色光においては波長が短い光ほどヒトは眩しく感じるということがわかった。混合色光においては、マゼンタを除いた二色では眩しさとのある程度の相関関係を得られた。

### ABSTRACT

We investigated the relationship between light wavelength and human perception of glare using pupil response. While many previous studies have taken a medical or psychological approach on pupil response, this study focused on the correlation between light wavelength and pupil diameter. The rate of pupil constrictions were measured by irradiating the pupil with a total of six types of light (three monochromatic lights and three mixed-color lights, each consisting of two monochromatic lights mixed at the same illuminance) at an illuminance of 100 lx. The rates were found to increase as the wavelength of the monochromatic light became shorter (red, green, blue). This indicates that in monochromatic light, the shorter the wavelength, the more dazzling the light is perceived by humans. In the mixed-color light, a certain degree of correlation with glare was obtained for two of the mixed-color lights. No correlation was observed for the mixed-color light showing the color magenta.

【キーワード】 瞳孔, 波長, 光エネルギー, 照度  
Key word Pupil, Wavelength, Light energy, Illuminance

### 2. はじめに

これまで、暗所でのヒトの光に対する瞳孔反応に関する研究が多くなされてきた。しかし、その多くが医学的効果や心理的効果に着目したものであり、光の物理的特性に着目した調べている研究は少ないといえる。そこで、私たちは様々な波長の光に対するヒトの瞳孔反応を調べることで、光の特性と眩しさとの関係を調べようと考えた。ここでいう"眩しさ"とは、瞳に入る光の量によってヒトが感じる光の強さであり、それは瞳孔の収縮率によって表せると定義する。

### 3. 目的

この実験では、光の波長(色)とヒトが感じる眩しさの関係を瞳孔の収縮率の大きさとして数値化する。それによって、最終的には日常生活への応用を目指したい。具体的には、眩しく感じないが見えやすい作業灯や、逆に

少ない光量でも目立つ非常灯の開発などである。私達が見た範囲では体の仕組みや心理効果に着目した先行研究は多くあったが光の波長等の光の物理的特性に注目したものは少なかったため、私達は光の波長やエネルギーに着目して実験した。

### 4. 方法

被験者は暗室で電球から30cm離れた場所に座り、目の高さと同じ位置にある電球を真っ直ぐ見る。

まず、電球を点けずに被験者に目を瞑った状態で30秒間待機させ、その後目を開けさせて瞳孔の大きさを測定し、それを今回の実験における瞳孔の最大径と定義する。次に、赤(波長:626.3nm)、緑(波長:518.2nm)、青(波長:443.8nm)、マゼンタ(赤、青の混色光)、シアン(緑、青の混色光)、イエロー(赤、緑の混色光)の順に電球の色を変え、それぞれの色の

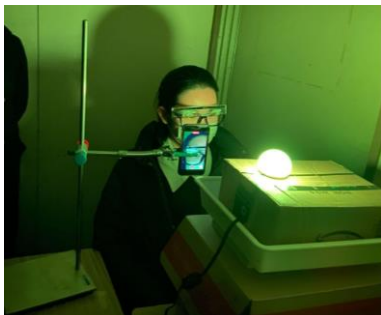
光を 30 秒間見つめその後瞳孔を撮影する。なお、実験に用いた光は全て照度を 100lx に揃えている。また、前回見た光の影響をなくすため、被験者は別の色の光を照射する前に 30 秒間光を消し、目を瞑っている瞳孔が開いた状態にするようにした。また、今回の実験では、混合色光について、赤と青の単色光を同照度で照射し混合した光をマゼンタの光、緑と青の単色光を混合したものをシアンの光、緑と青の単色光を混合したものをイエローの光と定義した。

また、撮影の際に瞳孔を見やすくするため撮影の直前に電球を白色光に変えて撮影照明に用いる。撮影は動画(30fps)を撮って行っており、瞳孔の収縮反射の速度と比較して撮影光の影響は考えなくてもよいといえる。最後に、撮影した瞳孔の大きさを測定し、瞳孔の収縮率を測る。なお瞳孔の収縮率の計算式は下記ようになる。

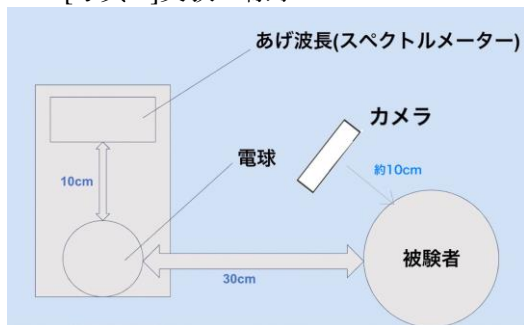
$d$ =(暗所で測定した被験者の瞳孔の最大径)  $d'$ =(各光における被験者の瞳孔径)

$$\text{瞳孔の収縮率} = \frac{d - d'}{d}$$

瞳孔径の測定については、被験者が定規の付いた眼鏡を装着してその状態で写真を撮影し、その定規を対物マイクロメーターのように利用し測定したものである。



[写真 1] 実験の様子



[図 1] 実験に用いた装置の簡略図

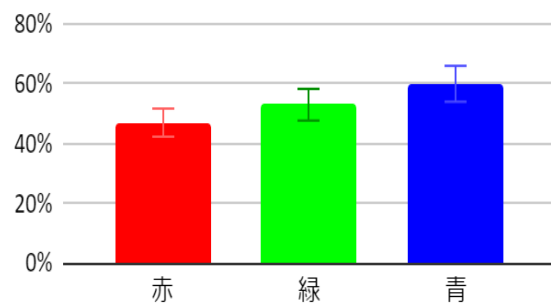
## 5. 結果

瞳孔の平均収縮率は、単色光では赤が 0.47、緑が 0.53、青が 0.60 となり、赤、緑、青の順

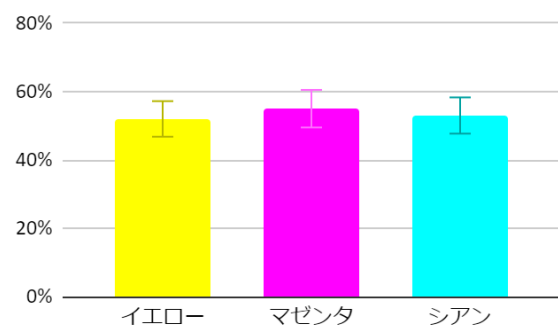
に大きくなるという結果に[表 1, グラフ 1]、混合色光では、イエローが 0.52、シアンが 0.53、マゼンタが 0.55 となり、イエロー、シアン、マゼンタの順に大きくなるという結果になった。しかし、各被験者のデータに着目した場合、単色光では瞳孔の収縮率の順位は平均収縮率と概ね一致するが[グラフ 3]、混合色光では、平均収縮率と順位が一致しないデータも多く見られた。[グラフ 4]

[表 1] 各色における瞳孔の平均収縮率

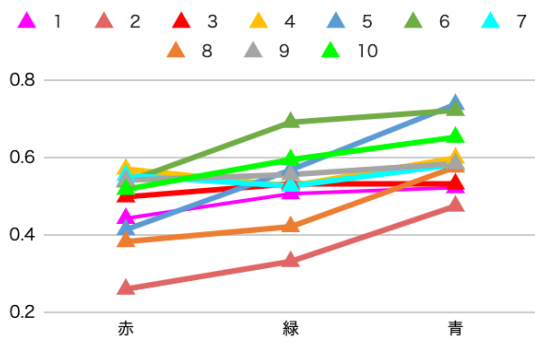
色 (波長)	平均収縮率 (有効数字 2 桁)
赤( $\lambda=626.3\text{nm}$ )	0.47
緑( $\lambda=518.2\text{nm}$ )	0.53
青( $\lambda=452.8\text{nm}$ )	0.60
イエロー(赤+緑)	0.52
マゼンタ(赤+青)	0.55
シアン(緑+青)	0.53



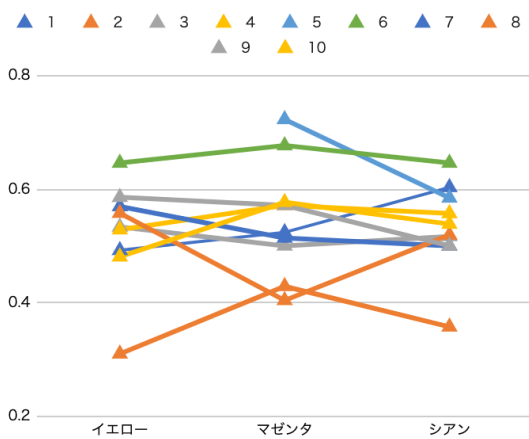
[グラフ 1] 単色光における瞳孔の平均収縮率



[グラフ 2] 混合色光における瞳孔の平均収縮率



[グラフ 3]単色光における被験者別収縮率



[グラフ 4]混合色光における被験者別収縮率

## 6. 考察

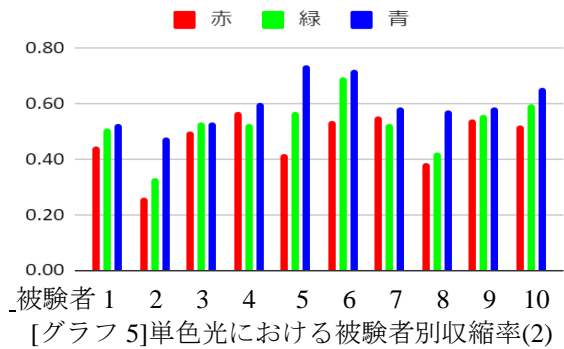
単色光に関しては、平均のデータで見ると光の波長が小さいほど瞳孔がより収縮した。[グラフ 1]

光が持つエネルギーの大きさは下記の式で表され、光の波長が小さいほどエネルギーはより大きくなることが知られている。

$$E=hf=hc/\lambda$$

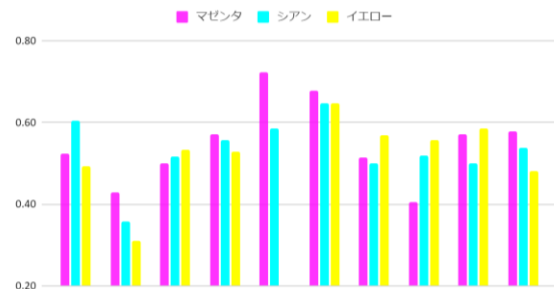
加えて、被験者全員のデータを比較した時も、10人中8人の収縮率が、大きい方から青、緑、赤となった。残りの2人については、(被験者 4,7)どの波長の光を当てても収縮率の差が非常に小さかったため、測定における誤差もしくは個人差と考えることができ、光エネルギーの大きさとヒトが感じる眩しさの関係を否定するものではないといえる。

以上より、単色光において光エネルギーの大きさとヒトが感じる眩しさは正の相関関係にあるといえる。



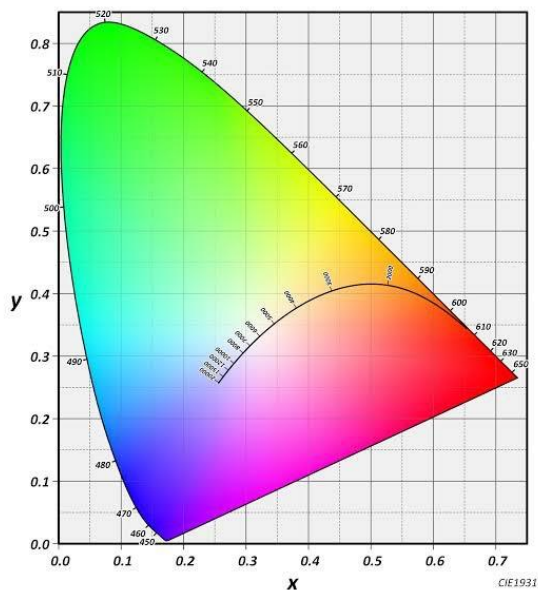
[グラフ 5]単色光における被験者別収縮率(2)

混合色光に関して、平均のデータにおいては波長が短いシヤンのほうがイエローより収縮率が大きくなり、この2色においては波長と収縮率に負の相関関係が見られたが、マゼンタはその相関関係に当てはまらなかった。また、全員のデータを比較したとき被験者によって光の波長と瞳孔の収縮率の順位がかなり違った。その中でも特にマゼンタは被験者によっての収縮率の値や順番の揺らぎが著しかった。[グラフ 2,6]



[グラフ 6]混合色光における被験者別瞳孔収縮率(2)

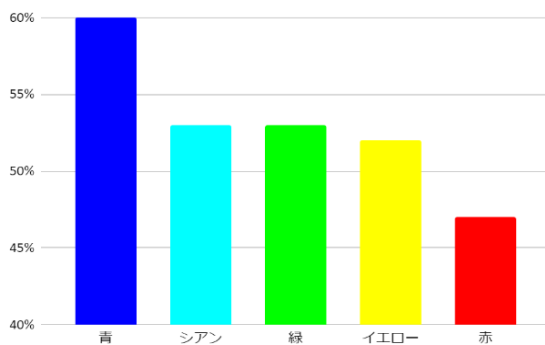
このことについて、イエロー、シアンは混合色光を作成したときに使用した3色のうち、波長の長さ順で並べたときに隣同士になる2色で構成されており(イエローは赤と緑、シアンは緑と青)、可視光線として自然界に存在する。そのため単色光の時と比べて光によって瞳孔が受ける影響に顕著な差はない。しかしマゼンタに関しては使用した3色のうち最も波長が長いものと短いものを組み合わせて作った光であり、対応する可視光線が存在しない。また、下の色度図においてマゼンタは波長を示すスペクトル軌跡上に存在せず、対応する波長は存在しない。このことから、マゼンタは本研究で使用する光として不適切であると判断できる。



[図 2] 色度図

本実験で使用した光のうちマゼンタ以外の5色で考えると、平均収縮率が大きい順に青>シアン=緑>イエロー>赤となった。イエローについては色度図より波長は緑と赤の間であり、赤、イエロー、緑間は波長の長さで収縮率が負の相関関係を持った。

しかし、シアンについては波長は緑と青の間であるが収縮率は緑と一致しており、全体でみた場合収縮率によって示した眩しさの感じやすさと波長の短さが完全な負の相関関係を持つとは言えない。[グラフ 7]



[グラフ 7]マゼンタを除いた平均瞳孔収縮率

そうなった原因は被験者数の少なさにあると考える。シアンと緑の平均収縮率に関して、有効数字を3桁にすると0.532、0.527となり単色光と同様に相関関係を持つといえる結果となった。本実験では有効数字3桁は不正確な数であるため使用できないが、さらに被験者を増やし平均データの正確性をあげることで、

シアンと緑の間にも顕著な収縮率の差が出るのではないかと考える。

## 7.まとめと今後の展望

本研究において、赤、緑、青の単色光については照度が同じ条件でもヒトが感じる眩しさは波長の長さに応じて変化することを示すことができた。この知見により、同じ照度でもヒトが眩しく感じない照明は赤や黄色などの暖色系の光を、少ない光量でも目立つ非常灯は青などの寒色系の光を使うことで実現できることがわかった。

しかし、単色光のスペクトル系の中に波長が位置する混色光にまで拡張するとこの考えを完全に示すことができなかった。今後の展望として、さらに被験者を増やし、データの正確性をより高めることに努めたい。

また、光の物理的な特性だけでなく、光によるヒトへの心理的な効果にも応用したい。例えば、踏切やトイレで使われる青色の照明のように、光が持つヒトへの心理的特性を日常生活に活用したい。

## 謝辞

今回の研究を行うにあたって、多くのご指導ご教授をいただきました奈良高校の先生方に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 川上元郎、荒井俊男、清田芳信(1968)  
「照明の明るさ感と瞳孔の開度」
- 江藤太亮、松森孝平、李相逸、樋口重和(2018)  
「瞳孔の対光反射のスペクトル感度に関する研究：児童と若年成人の比較」