

覚醒向上を促す青色光源のまぶしさに関する実験研究

宮崎 大輔^{*1} 上田 樹美^{*1} 川本 聡真^{*1} 竹川 和佳子^{*1}
石井 裕剛^{*1} 下田 宏^{*1}

An Experimental Study on Glare of Blue Light Leading to Improve Arousal

Daisuke Miyazaki^{*1}, Kimi Ueda^{*1}, Souma Kawamoto^{*1}, Wakako Takekawa^{*1},
Hirotake Ishii^{*1} and Hiroshi Shimoda^{*1}

Abstract – It is known that blue light exposure to the eyes improves our arousal level. It is expected that exposure of office workers to blue light can maintain their concentration on their intellectual work and it may improve efficiency of their work. When blue light is exposed enough to improve arousal, however, it may cause feeling of dazzling and disturb their concentration on the contrary. In previous studies that were hypothesized and evaluated that the awakening improvement effect by blue light exposure leads to an increase in concentration on intellectual work, the intellectual concentration improvement effect was not found because of glare. Another experiment was therefore conducted to evaluate what kind of light conditions would interfere with intellectual work due to glare when changing the intensity of luminance and luminous area of blue light source. In this experiment, the participants performed cognitive tasks where blue light source was placed on their desks under one of four blue light conditions. As the result, it was found that the reasons why they felt dazzling were not only asymmetrical intense light exposure but also large luminous area.

Keywords: Arousal, Glare, Blue light, Intellectual concentration

1. はじめに

近年、オフィス環境を改善することにより知的生産性を向上させようという取り組みが行われている。これまで、オフィス作業における知的生産性の向上方法に関する研究は数多くなされてきた[1][2]。光と知的生産性の関係に着目した研究では、知的生産性向上のための照明環境を提案した研究がなされている[3]。光の中でも青色光が人の覚醒を向上させるという研究報告があり[4]、覚醒の向上が知的集中の向上につながるという仮説を立て、青色光曝露による知的集中向上効果の実験研究もなされている[5]。しかし、覚醒を向上させるのに十分な光量の青色光を曝露すると、そのまぶしさにより知的作業が阻害される可能性が示唆された。青色光曝露による覚醒向上効果を維持しつつ、まぶしさを低減するためには、青色光の輝度を下げつつ発光面積を大きくすれば同じ光量を曝露することができる。そこで本研究は、曝露する青色光の光量を変化させずに青色光の輝度と発光面積を変化させたときの、まぶしいと感じる条件、および知的作業を阻害する条件を実験により見つけ出すことを目的とする。

2. 知的集中向上のための青色光曝露環境の提案

2.1 青色光曝露による知的集中向上の原理

これまで人間の網膜内に存在する光受容体は桿体細胞および錐体細胞の2種類だと考えられていたが、近年第

三の光受容体としてメラノプシン細胞と呼ばれる視細胞が発見された[6]。このメラノプシン細胞の分光感度を図1に示す。図1より、メラノプシン細胞は波長が480nm付近つまり青色光波長付近に分光感度のピークを持つ。よって、メラノプシン細胞は青色光の刺激に強い反応を示すと考えられる。

関連する既往研究では、メラノプシン細胞が刺激を受けると覚醒の方向に導かれることが解明されている[4]。この研究結果から、青色光が網膜に入射するとメラノプシン細胞が刺激され、覚醒が向上すると考えられる。覚醒とは脳が活発に活動している状態であることを踏まえると、知的作業は脳活動を必要とするため、覚醒状態によって知的作業における集中度を向上させることが期待できる。以上より、青色光曝露により覚醒が向上し、その結果、知的集中が向上するという仮説を立てた。

2.2 青色光源の設計

青色光源を設計するにあたり、実際にデスクワークなどで知的作業をする際に使用する場面を想定し、設置した際に幅95mm、高さ200mm、奥行100mmとなるように青色光源を設計した。発光面は縦145mm、横幅80mmの長方形とした。青色光の強度に関しては、図1に示したメラノプシン細胞の分光感度をもとに、照度3000lx、色温度5000Kの白色光に対してメラノプシン細胞が受容する刺激と同等の刺激となるように青色LEDの強度を定めた。ここで、ウェーバー・フェヒナーの法則により、人間は外部刺激の強度の対数に比例した感覚量で外部刺激を知覚する。よって輝度を指数的に増加させるような光条件を設定することで、それぞれの光条件において知覚

*1: 京都大学大学院エネルギー科学研究科

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

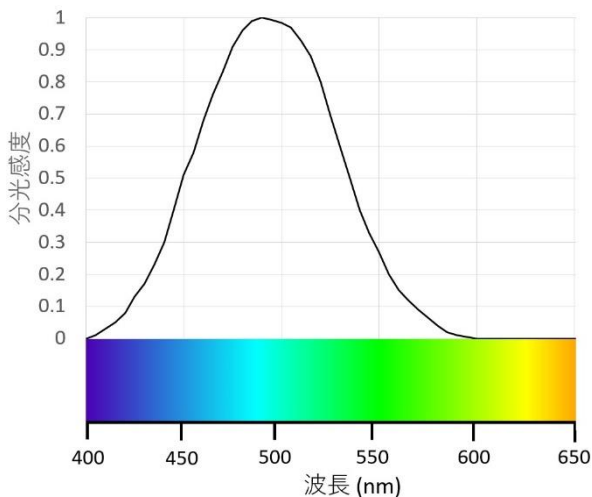


図1 メラノプシン細胞の分光感度および色と波長の関係

Fig.1 Spectral Sensitivity of Melanopsin Cells and Wavelength of Color[7].

される明るさの差を一定にできると考えられる。このことから、青色光の輝度は、光源の最大出力の輝度を 100% として、100%、50%、25%、12.5%の4段階に出力を変更できるように設計した。参加者の左斜め前方に輝度 100% 出力の光源を 1 台配置する光条件（1 台輝度 100% 出力）を含め、(a)1 台輝度 100% 出力、(b)2 台輝度 50% 出力、(c)4 台輝度 25% 出力、(d)8 台輝度 12.5% 出力の 4 つの光条件を設定した。これらの 4 条件は台数が異なるためそれぞれ発光面積が異なるが、網膜に入射する光量は条件間で等しくなる。4 つの光条件における作業機の風景を図 2 に示す。

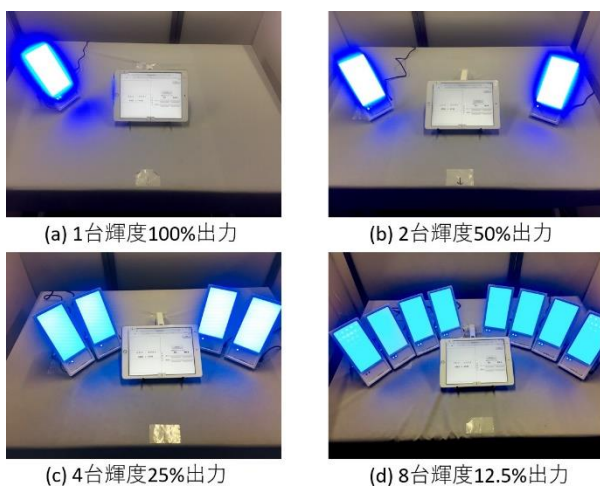


図2 4 つの光条件における青色光源の配置
Fig.2 Placement of blue light sources under each condition.

3. グレア評価実験

3.1 実験の目的と概要

本実験は、どのような光条件が人の知的作業を阻害するのかを調べることを目的とする。実験は 2018 年 11 月 22 日から 26 日までの期間に京都大学内の環境制御実験

室で行った。実験条件として、図 2 に示す 4 つの光条件を設定し、各実験参加者はそれぞれの光条件下で、本研究室で開発した比較問題[8]と呼ばれる認知課題を行い、全 4 セットにおいてランダムな順序で 4 つの光条件を全て体験した。各セット終了時には各光条件における光のまぶしさを主観的に評価するアンケートを行った。実験終了時には、どの光条件が作業中に意識がとられるのか、またどの光条件が作業をする上で許容できないのかを選択式で回答し、それぞれの理由を記述式で回答する終了時アンケートを行った。

3.2 実験の方法

まぶしさの主観評価を測定するための知的作業として、実際のオフィス作業で必要とされる言語処理能力と数字処理能力を要する比較問題という認知課題を実験参加者に課した。比較問題の問題画面を図 3 に示す。比較問題は、iPad に表示される 2 つの単語の意味の比較と 2 つの数字の大小比較を同時に行う認知課題である。単語比較では、地名、人工物、動物、植物の 4 つの意味カテゴリーのどれかに属する単語が 2 つ表示され、それらの単語が同じカテゴリーに属するものか、異なるカテゴリーに属するものかを判断する。一方数字比較では、4 桁の数字 2 つが不等号で繋がれて表示され、その不等式が正しいか誤りかを判断する。これら 2 つの比較結果の組み合わせに相当するボタンをタップすると次の問題へ移る。参加者には解答時間が終了するまで次々と解き進めてもらった。

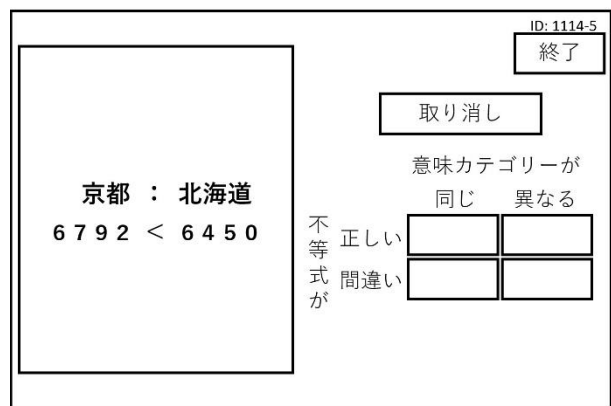


図3 比較問題の問題画面
Fig.3 Screen of Comparison Task.

実験環境条件を表 1 に示す。実験室内の環境条件は、空調機器および除湿器を用いて温度および湿度が一定に保たれるように制御し、サーキュレータ 4 台を実験室内の四隅に置いて空気を攪拌することで室内の温度や湿度にむらがないようにした。また、二酸化炭素濃度が 1,200 ppm を超えないように換気を制御した。

表1 実験室の環境条件
Table 1 Environmental Conditions of Experimental Room.

環境要素	値
温度	23.5±0.5℃
湿度	35±5%
二酸化炭素濃度	1,200ppm 以下
騒音	60dB 以下
机上面照度	650±50lx

実験スケジュールを図4に示す。最初の5分間の練習セットでは、比較問題を行いながらすべての光条件を輝度の小さい光条件から順にそれぞれ約1分間体験しつつ、参加者が比較問題に慣れることを目的としている。各セット終了時には経過アンケートおよびまぶしさアンケートに回答してもらった。全セット終了後、再度すべての光条件を自由な順番で体験してもらい、終了時アンケートに答えてもらった。なお、光条件は4種類あるため、各セットでの光条件の順番は参加者ごとに異なるよう24通りに設定した。ただし、参加者が25名であったため、SET1に1台、SET2に2台、SET3に4台、SET4に8台、の順序の実験条件のみは2名の参加者が体験した。



図4 実験スケジュール
Fig.4 Schedule of Experiment.

評価指標として、まぶしさの程度を評価するための主観的グレア(まぶしさアンケート)、各光条件間にて身体の影響に差異があるか調べるための主観的疲労、頭のスッキリ度、集中度(経過アンケート)を計測した。主観的グレアは、主観的なまぶしさを9段階で評価するものである。主に英国で用いられているグレア評価法であるBGI(British Daylight Glare Index)ではまぶしさを9段階で評価しており、これを参考にアンケートを作成した。「1: 感じない, 3: 感じられる, 5: 気になる, 7: 不快である, 9: 耐えられない」の5箇所を数字の表すまぶしさの程度についての表記があり、各セット終了時にそのセットで体験した光条件のまぶしさについて1から9までの9つの数字のいずれかに丸をつけて回答するアンケートである。経過アンケートとは、各セット開始前と終了後に、その時点での主観的疲労度、頭のスッキリ度、集中度に関して、それぞれ0~100の数値で回答するアンケートで

ある。経過アンケートでは、回答者が実験開始時から各回答時まで回答した履歴を見ることができ、自らが過去の数値と比較して回答できるようになっている。疲労度に関しては「0: 全く疲労を感じない, 100: これ以上作業を継続できないほどの疲労感」、頭のスッキリ度に関しては「0: これ以上ない程眠い, 100: これ以上ない程頭がスッキリしている」、集中度に関しては「0: 全く集中できない(できなかった), 100: これ以上ない程の集中ができそう(できた)」とそれぞれ表記した。

実験終了時には、全ての光条件を再度自由な順番で体験するように参加者に教示し、終了時アンケートを実施した。終了時アンケートは、どの光条件が作業中に意識がとられるか、またどの光条件が作業する上で許容できないかを選択式で回答し、それぞれに対する理由を回答するアンケートである。

実験参加者は京都大学の大学生および大学院生25名であり、この25名全員を解析対象とした。時間経過による差異および光条件による差異を考えるため、各アンケート項目についてセットごとおよび光条件ごとに集計を行った。

3.3 結果

まぶしさアンケートの参加者の回答の平均値をセット間で比較した結果を図5に、光条件間で比較した結果を図6に示す。セット間比較では、SET1において最大値となり、SET1からSET3までは減少傾向にあるが、SET3からSET4では少し増加している。台数間比較では、1台輝度100%出力の光条件において最大値となり、2台輝度50%出力の光条件では最小値、4台輝度25%出力と8台輝度12.5%出力の2条件ではほぼ同じ値をとった。セット間比較および光条件間比較のどちらにおいても一元配置分散分析によるF検定で有意差は見られなかったが、光条件間比較において、1台輝度100%出力の光条件と2台輝度50%出力の光条件間で大きな差が見られた。

経過アンケートの各項目の参加者の回答の平均値について、セット間比較および台数間比較の双方において一元配置分散分析によるF検定で有意差は見られなかった。

終了時アンケートの回答および回答理由について、「どの光条件が作業中に意識がとられるか」に関しては、1台輝度100%出力の光条件を選択した人が最も多く、台数が増えるほどその人数は減少する傾向となった。この設問に続く記述回答によると、1台輝度100%出力の光条件の場合、左側前方のみから非対称的に強い光が入射するため作業中に気を取られてしまうという意見が多く見られた。続いて「どの光条件が作業をする上で許容できないか」に関しては、1台輝度100%出力の光条件を選択した人が最も多く、続いて8台輝度12.5%出力の光条件の回答数が多かった。1台輝度100%出力の光条件が許容できない理由については先述の設問における回答理由と同じく、片側から非対称的に入射してくる光が許容できない

という意見が多く見られたが、光の強さが理由で許容できないと答えた人も多かった。一方で 8 台輝度 12.5%出力の光条件が許容できない理由については、発光面積が大きく、入射してくる光の量が多いと感じることが主な理由であった。なお、2 台輝度 50%出力の光条件が許容できないと回答した人は全光条件の中で最も少なかった。

3.4 考察

まぶしさアンケートに関して、セット間比較においては SET1 で最大値を示したが、SET1 では直前の練習の 5 分間でしか青色光曝露を体験していないため、本実験で使用した青色光に未だ慣れていない状態での回答となり、過剰にまぶしく感じた可能性が高いと考えられる。台数間比較においては、有意差は見られなかったが、1 台輝度 100%出力の光条件と 2 台輝度 50%出力の光条件の間で大きな差が見られた。

経過アンケートに関して、光条件間の疲労、集中度、頭のスッキリ度に与える影響の差異はほぼ見られなかったと考えられる。

終了時アンケートに関して、1 台の光条件が許容できないと回答した参加者が最も多く、2 台輝度 50%出力の光条件が許容できないと回答した参加者が最も少ないという結果は、まぶしさアンケートにおいて 1 台輝度 100%出力の光条件で最大値をとり 2 台輝度 50%出力の光条件で最小値をとった結果と合致している。参加者が 1 台輝度 100%出力の光条件で「作業中に意識がとられる」または「作業する上で許容できない」と回答した参加者が挙げた理由としては、片側から非対称的に光が入射するため、光が強くまぶしいためという 2 つが多く見られた。よって、片側からの光および輝度の高い光は作業を阻害すると考えられる。また、8 台輝度 12.5%出力の光条件については、「発光面積が大きく不快」という意見が多くみられた。よって、発光面積の大きな光は作業を阻害する要因となると考えられる。

以上のまぶしさアンケートおよび終了時アンケートの結果から、青色光曝露環境において知的作業を阻害しないためには、視界の両側から対称的に輝度の小さな光を照射し、かつ発光面積を小さくする必要があると考えられる。しかし、まぶしさを低減するために青色光の輝度や発光面積を小さくすると、青色光曝露による覚醒の効果が薄れる可能性がある。そのため、知的集中向上のための青色光曝露環境を提案するためには、青色光曝露による覚醒の効果が得られ、かつまぶしいと感じさせない範囲で青色光の輝度および発光面積を適切な値に設定する必要がある。

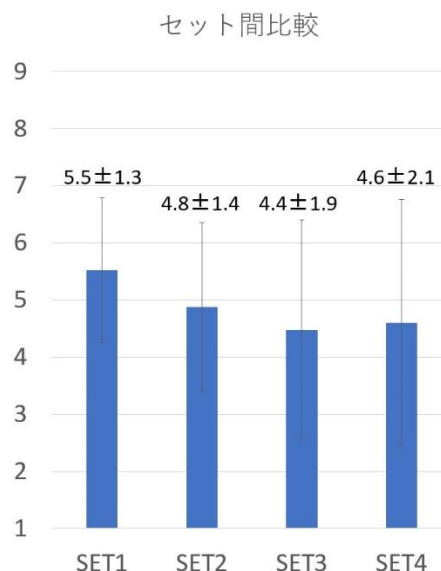


図5 まぶしさアンケートのセット間比較結果
Fig.5 The Comparison Result among SETs of Glare Questionnaire.

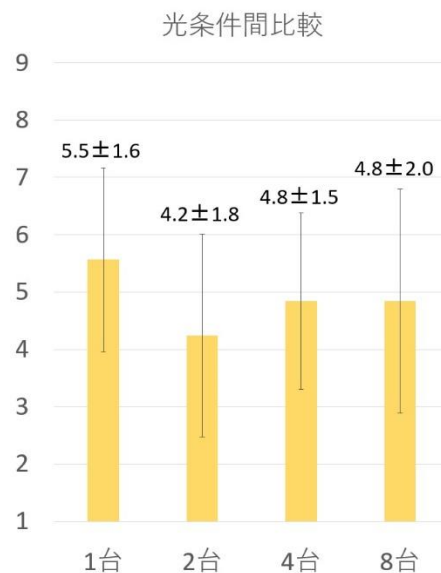


図6 まぶしさアンケートの光条件間比較結果
Fig.6 The Comparison Result among Light Conditions of Glare Questionnaire.

4. 結論

本研究では、どのような光条件が知的作業を阻害するのかを調べるためにまぶしさの主観評価を測定する実験を実施した。その結果、まぶしいと感じる要因として、輝度、発光面積、光の非対称的な照射の 3 点が考えられた。輝度が高い、または発光面積が大きい、または光が非対称的に入射してくるとまぶしいと感じることがわかった。よって、知的作業を阻害しない光条件は、輝度がある程度低く、発光面積が小さく、かつ光を対称的に照射する必要があると考えられる。今後は、この実験結果を参考に光条件を設定し、青色光曝露による知的集中向上効果の評価実験を行いたい。

5. 参考文献

- [1] Haneda, M., Nishihara, N., Kawaguchi, G., Tanabe, S.: Productivity in Office with Elevated Preset Temperature in Summer -Improvement of thermal satisfaction by cooling methods and its effect on performance and fatigue-; *J. Envision, Eng. AIJ*, **Vol. 74**, No. 646, pp. 132-1337 (2009).
- [2] Virginia, L., Caroline, P., Georgia, G.: Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment.; *Journal of Environmental Horticulture*, **Vol. 14**, No. 2, pp. 97--100 (1996).
- [3] Obayashi, F., Ishii, H., Shimoda, H.: Intellectual Concentration Index and Concentration-Improvement Lighting.; *Panasonic Technical Journal*, **Vol. 62**, No. 1 (2016).
- [4] Yuda, E., Ogasawara, H., Yoshida, Y., Hayano, J.: Enhancement of autonomic and psychomotor arousal by exposures to blue wavelength light: importance of both absolute and relative contents of melanopic component.; *Journal of Physiological Anthropology*, 36:13 (2017).
- [5] Miyazaki, D., Ueda, K., Kawamoto, S., Takekawa, W., Ishii, H., Shimoda, H., Yabuki, J., Uchida, T., Noguchi, H.: An Experimental Study on Intelligent Concentration Improvement by Blue Light Exposure; *Human Interface Symposium 2018* (2018).
- [6] Provencio, I., Jiang, G., Grip, W., Hayes, W., Rollag, D.: Melanopsin: An opsin in melanophores, brain and eye.; *PNAS*, **Vol. 95**, No. 1, pp. 340-345 (1998).
- [7] Mark, W. H., Stuart, N. P., Russell, G. F.: Melanopsin: an exciting photopigment; *Trends in Neurosciences*, **Vol. 31**, Issue 1, pp. 27-36 (2008).
- [8] Ueda, K., Shimoda, H., Ishii, H., Obayashi, F., Taniguchi, K.: Development of a new cognitive task to measure intellectual concentration affected by room environment; *Human Interface Symposium 2016* (2016).