

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21973

研究課題名(和文)脳科学と細胞生理学にもとづく照明デザイン

研究課題名(英文)Illumination design based on brain science and cell physiology

研究代表者

藤田 静雄(Fujita, Shizuo)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：20135536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：照明の色デザインは従来「心地よい」、「落ち着く」といった個人の感性をもとに行われてきた。一方、光刺激は神経を通じてタンパク質の合成や脳活動に影響することから、照明の色に対する脳活動を測定することで、照明の効果を医学・生理学的な側面からさらに深く議論できることが期待される。本研究はその第一歩として、細胞生理学的な効果が高いと過去の研究で指摘されている狭帯域LED光源を用い、脳波測定とその解析を行うことで、「リラックスや睡眠」の観点で照明の色の効果を調べた。まだ実験条件の選定が未達であるが、適度な強度のもとでリラックスや睡眠に望ましい色環境を脳波により裏付けられることを示唆する結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

照明は感性を刺激するため、脳波測定等の脳科学を用いて照明環境を解析することは過去に例のない取り組みである。例えば「心地よい」、「落ち着く」という照明環境を脳科学をもとに客観的に理解できれば、感性に訴える照明環境を創り出すことができる。具体的には、睡眠やリラックスに適した部屋の照明、手術後に落ち着く病室の照明、不眠による俳諧を防ぐ高齢者施設の照明、などである。このように、照明を科学的な根拠で設計することで、ヒトがより過ごしやすい場の提供につながれるという社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Lighting color design has traditionally been based on individual sensibilities such as "comfortable" and "calm". On the other hand, light stimulation influences on protein synthesis and brain activity through nerves; therefore it is expected that the effect of lighting can be discussed more deeply from the medical and physiological aspects by measuring brain activity with respect to the color of lighting. As the first step, from the viewpoint of "relaxation and sleep", in this research brain wave measurement and its analysis are performed using a narrow-band LED light sources, which has been pointed out in previous research as having a high cell physiology effect, in terms of the lighting color. Although the selection of experimental conditions has not yet been achieved, the results suggest that brain waves support a selection of a desirable color environment for relaxation and sleep under moderate lighting intensity.

研究分野：光デバイス工学、光応用工学

キーワード：発光ダイオード 脳波測定 アルファ波 タンパク質 照明環境

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

LED 照明が一般化した現在、色調を自由に变化させて、個人の好みや活動目的に応じた住環境を創り出せることが可能となった。極端な一例が航空機の機内照明である。ピンク、青、紫等の純色に近い照明が用いられる場合がある。家庭でも、色温度の調整可能な照明が普及し、橙、黄、青等の照明器具も市販されている。一方で、活動の場に相応しい色調についての照明デザインは、「心地いい」、「落ち着く」といった個人の感性で議論されてきた。

光刺激が神経を通じてタンパク質の合成や脳活動に影響することが知られている。例えば、メラトニン（催眠作用があり、睡眠を促す脳内ホルモン）は昼間はほとんど分泌されず、夜になると分泌が高まり[1]、人の生体リズムの調整に重要な役割を果たしている。また、光により分泌が抑制される。つまり、夜に光を浴びるとメラトニンの分泌が抑制され覚醒する。2003年には、ヒトの網膜にメラノプシンと呼ばれる光受容体を含む神経節細胞である ipRGC が見つかった。メラノプシンは青色光に感受性を持ち、最終的に松果体に作用しメラトニンの分泌を抑制することによって、覚醒を促進することが知られている[2]。これが「夜にスマホを長時間見ると眠れない」といわれる根拠になっている。他にマウスを用いた実験では、青色光は覚醒・睡眠を遅らせるが、緑色光は急速な睡眠誘導をもたらすといった結果が報告されている[3]。また、色温度の高い白色照明のもとでは、朝の太陽光を浴びたときと同様にセロトニンというホルモンが増加し、体内時計がリセットされて「すっきりした寝起き」の感覚をもたらすとされている[4]。このように、照明がもたらす住環境は、脳内ホルモンの分泌に関係し、照明の効果を医学・生理学的な側面からさらに深く議論できることを示唆している。

これを実際の住環境の照明設計の指針とするためには、ヒトにおいて青色光や緑色光の照射が睡眠に与える影響を定量的に比較した研究を行う必要がある。ヒトの睡眠はレム睡眠とノンレム睡眠に分けられる。さらにノンレム睡眠中の脳波を解析することによって睡眠の深さ（睡眠ステージ）を判別することが可能であり、睡眠の深度が深まるにつれてステージ I から IV までが区別される。そこで本研究では、青色や緑色の波長の光を顔面に照射しながら実験参加者に睡眠をとってもらい、その間の脳波を記録する実験を行うことにした。

2. 研究の目的

本研究は、各種照明色の環境下における脳活動を観察し、照明色による活動の変化を明らかにして、部屋の用途・目的に応じて生体の科学に裏付けされた照明デザインの確立を目的とする。とくに寝室等を想定し、リラクスの度合い、心地よさ、入眠に対する効果などに焦点を置いて研究を実施することとした。

3. 研究の方法

(1) 光源には、研究協力者であるミニョンベルクリニックの小笠原医師が開発されたデジタル調光光源 (Mignon Belle LT-1) を用いた。この光源には、市販の LED をベースにバンドパスフィルタと拡散レンズにより半値幅 10 nm に狭帯域化されたユニットが、青色 4 個、緑色 4 個、赤色 3 個組み込まれており、ヒトの頭部への照射に適した光配向を持っている。狭帯域化された光を用いたのは、小笠原医師らの過去の研究において、狭帯域化された光が誘眠効果[5]ほかの生理的な効果に望ましい[6-9]ことが提唱されているためである。

(2) 被験者に脳波計を装着してもらい、青、緑、赤色のいずれかの光を顔面に照射し、そ

の間の脳波の変化を測定した。結果については、 α 波(8~12.8 Hz 帯域に分布する脳波[10])の変化、および脳波を全体的にあるアルゴリズムによって処理したデータをもとに解析した。実際の実験は、高知工科大学において2種の方法、京都大学において1種の方法で実施した。これらを[実験1]、[実験2]、[実験3]と名付ける。

(3) [実験1] 高知工科大学において、健康な大学生12名(男性9名、女性3名)に対して、午後から以下の方法で[実験1]を実施した。ここでは、 α 波が通常閉眼時だけに見られることに注目し、この α 波が閉眼の後開眼時に減衰量が小さいほど、覚醒度が低いと言える[11]ことに注目した。そこで、 α 波の平均パワースペクトルを計測し、閉眼時から開眼時にかけてどのくらい α 波が減衰しているかで覚醒度を求めた。また、覚醒度を光の照射前後で比較することで、光が覚醒度に与える影響について検討した。脳波は、Brain Products社のBrainCap(32ch)を使用して、O1(後頭部左下)とO2(後頭部右下)の計測を行い、Brain Amp MRにより信号を増幅した。被験者には、E-primeによる音声の指示に従って閉眼2分 開眼2分を2セット行った後、特定の色の光(青色:457 nm、緑色:517 nm、赤色:673 nmのいずれか)を10分間見てもらった。その後、もう一度音声による指示に従って閉眼2分 開眼2分を2セット行った。被験者には、開眼中には画面に表示される注視点を見てもらい、照射中はなるべく光を見続けてもらうように指示を出した。解析には、先行研究[11]を参考にして以下の式を用いた。

$$\text{被験者の覚醒度} = (C_1 + C_2) / (O_1 + O_2)$$

ここで、 C は閉眼中の α 波の平均パワースペクトル、 O は開眼中の α 波の平均パワースペクトル、数字は何回目かを表す。被験者12名の照射前と照射後の α 波の平均パワースペクトルを解析した後、色別で被験者の平均をとり、照射前後でどのくらい覚醒しているのかを以下の式にて求めた。この値が大きくなるほど光の照射前よりも照射後の方が覚醒していることになる。

$$\text{覚醒度の変化} = \text{照射後の被験者の覚醒度} / \text{照射前の被験者の覚醒度}$$

(4) [実験2] 高知工科大学では、別の方法として、以下の方法で[実験2]を実施した。これは、実際の睡眠の深さを分析しようとするものである。大学生20名が実験に参加した。実験参加者は青色光群(19 \pm 1.5才)、緑色光群(18.7 \pm 0.9才)に10名ずつランダムに振り分けられた。実験は防音シールドルーム内で行われた。各実験は13時30分または15時40分に開始された。2つの実験開始時間は青色光群、緑色光群でそれぞれ同数とした。参加者に対して実験当日はカフェインの摂取を控えるよう予め要請した。参加者より文書による同意、及び普段の睡眠状況に関する質問紙への回答を得たあと、32チャンネルの脳波電極を参加者の頭部に装着した。脳波電極装着の間、参加者は白色光を15分間注視した。その後、参加者を仰臥位とし、顔面に対して約37 cmの距離から狭帯域LED照明装置より青色光(波長457 nm)または緑色光(波長517 nm)の光照射を開始した。照射する光の強度は、波長による眼瞼の透過率の差を考慮し[12]、青色光9.85 lux、緑色光2.02 lux(それぞれLED照明装置より55 cmの距離で測定)とした。防音シールドルーム内の照明を消灯し、実験参加者の顔面に光を照射したまま、自由に睡眠をとらせるとともに経時的に脳波を記録した。脳波記録開始後60分を経過した時点で実験を終了した。記録した脳波を深層学習に基づいた睡眠ステージ判別器[13]にかけ、睡眠ステージの時間的变化を解析した。

(5) [実験 3] 京都大学では、研究協力者である小笠原正弘医師の勤務地であるミニオンベルクリニックにおいて、実験遂行を株式会社リトルソフトウェアに委託し、下記の方法により[実験 3]を実施した。健康な 10 名（男性 5 名、女性 5 名）の被験者に脳波計：株式会社東芝製 MindTuneBand を着用してもらい、閉眼にて青色光（波長 477 nm, 54 lux または 83 lux）緑色光（530 nm, 118 lux または 176 lux）を 20 分間照射し、脳波測定を行った。実験開始時刻は、10 時、13 時 30 分、または 15 時 30 分である。得られた脳波を株式会社リトルソフトウェア製アプリ LM Logger にて解析し、基本的に α 波の変化をもとにしたアルゴリズムで得られる「リラックス値」を指標として評価した。また、low- α 波（8 Hz ~ 10 Hz）および θ 波の強度および光照射前半と後半における変化率を求め、光の入眠に対する効果を検討した。あわせて、ラッセルの円環モデルにおける感情をアンケートした。

(6) 光の照射のもとで磁気共鳴画像（MRI）測定を行うことで、脳の活動に与える影響を多角的にとらえることが可能である。MRI 装置室に光源を持ち込むことはできないため、MRI の操作室から被験者に照射する方法を考案する必要がある。本研究では、狭帯域化された LED 光をフレネルレンズを用いて整形し、光源から約 3 m の位置においても直径が 100 mm 程度になるビーム光を得ることができた。この光源を用いて、MRI 装置に仰臥した被験者の顔面に光を照射することが可能となった。これによる実験を計画したが、新型コロナウイルスの影響で実際の実験に用いることはできなかった。これは今後の研究の活用する予定である。

4. 研究成果

(1) [実験 1] まず、青色光を 7 名、赤色光を 5 名に照射した結果を比較した。図 1(a) のグラフは、色別による被験者の覚醒度変化の平均である。青色を見ていた被験者は赤色を見ていた被験者よりも覚醒度が低い傾向がみられる。次に、緑色光を 7 名、赤色光を 5 名に照射した結果を比較した。図 1(b) のグラフは、色別による被験者の覚醒度変化の平均である。緑色を見ていた被験者は赤色を見ていた被験者よりも覚醒度が低い傾向がみられる。以上を総合すると、赤色光は最も高い覚醒度をもたらす一方で、青色光と緑色光については直接比較を行えなかった。しかしながら、図 1、図 2 いずれにおいても、t 検定を行ったところ有意な差は認められず、被験者数も多くないことから、現時点での結論は困難である。

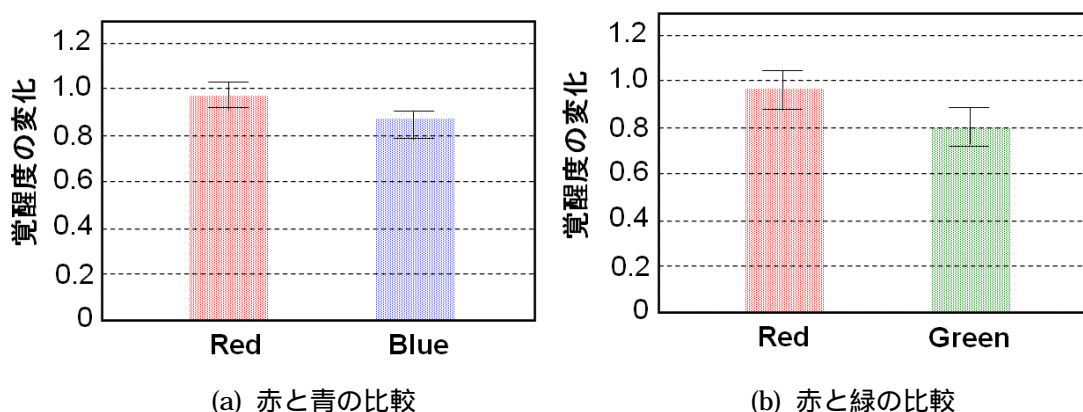


図 1 [実験 1]における覚醒度変化の平均

(2) [実験 2] まず浅い眠り（睡眠ステージ I, II 及び REM 睡眠）と深い眠り（睡眠ステージ III, IV）を合わせた総睡眠時間の平均値を比較すると、青色光群（ 53.15 ± 8.99 分）と緑色光群（ 52.5 ± 8.38 分）との間に有意差はなかった（Mann-Whitney U test）。次に深い眠り（睡眠ステージ III, IV）に最初に到達するまでの時間を比較すると、青色光群（ 29.11

±5.90 分)と緑色光群(27.45±9.59分)との間に有意差はなかった(Mann-Whitney U test)(図2)。ただし青色光群の実験参加者のうち1名は実験時間の60分以内に睡眠ステージIII, IVに到達しなかったため、この解析ではこの実験参加者のデータを除いている。今回の実験では、総睡眠時間、及び深い眠りに到達するまでの時間のいずれにおいても青色光、緑色光の波長の違いによる差は認められなかった。しかし、深い眠りに到達するまでの時間は、青色光照射と比較して緑色光照射の場合の方が短い傾向にあった。特に青色光群の実験参加者のうち1名は実験時間の60分以内に睡眠ステージIII, IVに到達しなかった。従って今回の実験結果をもとにサンプルサイズを設計し、改めて同様の実験を行うことが考えられる。

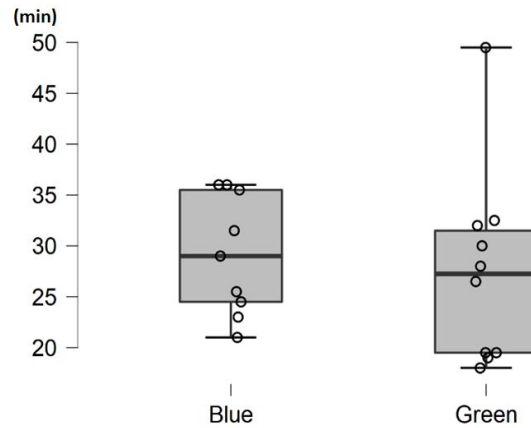


図2 [実験2]における、深い睡眠ステージに最初に到達するまでの時間。

(3) [実験3] 図3(a)は、得られたリラックス値の平均である。光の色による違いはほとんどなく、弱い光の方がリラックス値が高くなっている。図3(b)はlow- α 波の強度である(θ 波の強度も同様の傾向を示したためここでは省略する)。強い光の方がlow- α 波、 θ 波ともに強度が高く、入眠の効果が期待される。実際、20分間の照射中に睡眠に至る被験者

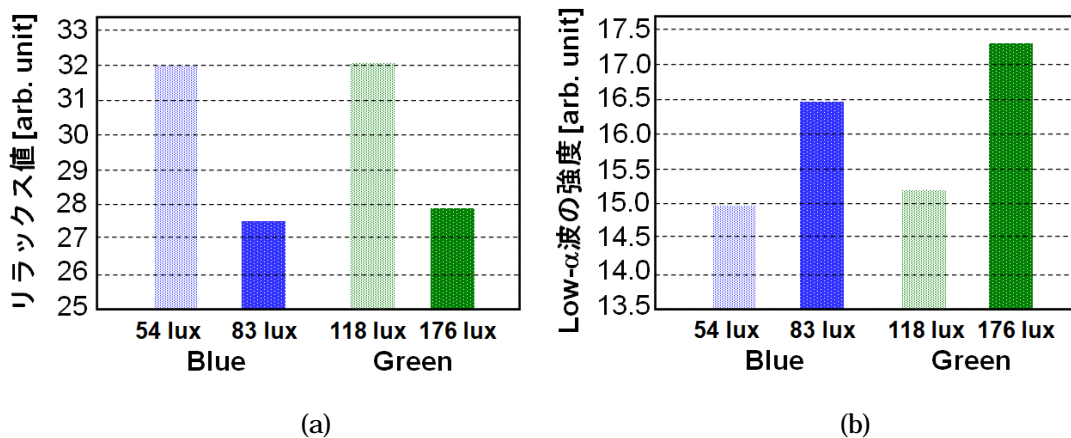


図3 [実験3]における (a) リラックス値の平均、(b) low- α 波の強度。

も複数名いた。ラッセルの円環モデルについてのアンケートでは、強度の高い青色、緑色光に対して眠気および心地よさを感じたとする被験者が大半であった。

(5) 複数の実験において照明の効果を脳波の変化として解析する可能性が示唆された。実験の方法、光の強度などのパラメータを確立する必要があるが、今後照明工学と脳科学との融合による研究分野の開拓につながることを期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	岩田 誠 (Iwata Makoto) (60232683)	高知工科大学・情報学群・教授 (26402)	

	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
研究協力者	中原 潔 (Nakahara Kiyoshi)		
研究協力者	小笠原 正弘 (Ogasawara Masahiro)		
研究協力者	平尾 孝 (Hirao Tskashi)		

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