

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13032

研究課題名(和文)快適かつ健康な生活リズムを実現する室内照明環境制御法の開発

研究課題名(英文)Development of control method for indoor lighting environment to maintain comfortable and healthy life rhythm

研究代表者

岡野 俊行 (Okano, Toshiyuki)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40272471

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：光はヒトの概日時計に作用し、睡眠・覚醒リズムのみならず、全身において恒常性の維持に多大な影響を及ぼす。夜間の光は、生活リズムの混乱と同時に莫大な電力の消費を引き起こしている。一方、光環境への生理応答作用に関する基礎研究から得られる知見を生活リズムの改善に利用する研究は少ない。そこで本研究では、体内時計の調節、快適健康な生活環境の実現と電力エネルギー消費の抑制等を目標とし、視覚の生理応答特性を利用した光環境制御技術の開発を目指した。その結果、光量変動を意識させないまま減光することを可能にする光制御方法を考案することができた。

研究成果の概要(英文)：Light acts on the human circadian clock, and has a great influence not only on sleep/awake rhythms but also on maintaining homeostasis throughout the body. Light during the nighttime causes an undesired phase shift internal circadian clock and at the same time causing enormous loss of electric power. On the other hand, there are few studies that use knowledge obtained from basic research on physiological responses to the photic environment to improve lifestyle such as sleep/awake rhythms.

Therefore, in this research, we aimed to develop light environment control technology utilizing visual physiological response characteristics in order to adjust the body clock, achieve a comfortable healthy living environment and suppress energy consumption. As a result, we developed a light control method that makes it possible to dim the light without being conscious of variation of light intensity.

研究分野：光生物学

キーワード：概日リズム 照明 体内時計 生体恒常性 光受容 節電

1. 研究開始当初の背景

心臓発作による突然死、あるいは知的活動の成績など、多くの事象に時刻依存性が存在する。近年の体内時計研究の結果から、体内時計を適切に調節することが、病気の予防につながることで強く示唆されている。たとえば、時差ボケや季節性情動障害といったような体内時計の適応不良には、あらかじめ行動スケジュールにあわせて体内時計を調整しておくことで、不具合を予防できる。シフトワークのような顕著な例でなくとも、通常の生活をしている人において社会的時差ぼけ (Social Jetlag) とよばれる休日の生活リズムシフトによって、休業明けの仕事の能率低下が引き起こされていると考えられるようになってきた [Haraszi et al. Chronobiol Int (2013)]。また、人工光環境の影響でヒトのリズムが変化することも知られている [Wright et al. Curr Biol (2013)]。このような社会的損失を最小限とし、さらに知的活動のピーク時刻を自在に設定できるような生活管理を可能とすることによって、より高いクオリティの仕事が可能になり、ひいては生産性の向上が期待できる。

加えて、国内におけるエネルギー消費は、2011年の東日本大震災を機にこれまで以上に節約が期待されている。白熱電球から蛍光灯へ、蛍光灯から LED 電球に照明光源が効率化されてはいるものの、家庭における電気使用量に閉める夜間照明のための電力エネルギー損失は無視できない。

2. 研究の目的

上記の問題を解決するためには、夜間照明を適度に減光する、あるいは色調を変化させることが有効と考えられる。

ヒトの視覚感度は、周囲の光環境や光の波長分布、さらにその時間的なパターンに依存して大きく変化する。その理由は、視覚に関わる視細胞に桿体と錐体があり、光に対する応答特性 (波長特性、光強度依存性、応答速度) が大きく異なることが挙げられる。古くからの心理学的研究から、明所から暗所へ移動した際の光応答性の時間経過は、暗順応曲線としてよく知られており、錐体に由来する早い順応と、桿体に由来する遅い順応の2相性があることが知られている (図1)。

また、概日時計の調節には、上記の視細胞だけでなく、光感受性の網膜神経節細胞が関与することも知られている。ここには、青色光感受性の光受容分子メラノプシンが発現しており、ブルーライト問題を含む青色光による様々な生理作用と深く関連している。

上記を鑑みると、視覚の感度上昇に合わせて適当なパターンで照明を減光すれば、光強度が不変のように感じられると予想される。しかしながら、照明の光量を変化させた際には、順応機構そのものが影響を受けると予想されるため、どのようなパターンで減光するのが適切であるかは予想できない。さらに、

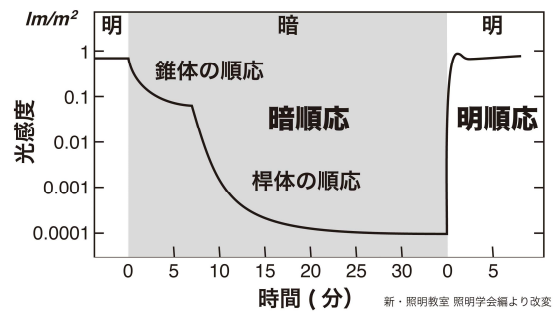


図1 視覚の暗順応曲線

光順応には、視細胞以外に虹彩の収縮なども関わっており、ここにはメラノプシンが関与している。

このような状況を踏まえて本研究では、生活環境をより高度に IT 化し、体内リズムを調節するために適した住環境の実現に向けた照明制御方法を検討した。すなわち、日中の光に代表される明るい空間から、入眠前の室内に適した環境への移動を想定し、その移動後に光強度を変化させて、体内時計の乱れを防止することを想定した (図2)。具体的には、視細胞の光暗順応の時間変化曲線より算出した錐体の順応曲線を元に、独自の減光パターンを検討した。

3. 研究の方法

まず、予備実験により、住環境の快適さを損なわない明るさを実験の光条件として決定した。すなわち、読書や家事などといった、精密さを伴わないものの、帰宅後の生活において通常行うことが想定される活動に必要な最低限の照度を考え、70ルクス程度と設定した。波長分布は、メラノプシンを介した虹彩の収縮や睡眠誘発ホルモンであるメラトニンの合成を阻害する青色光をできるだけ抑えるよう配慮し、夜間に過ごしやすいスペクトル分布の電球色系の光を実験光として設定した。

次に、外部被験者を対象とした実験に際し、[1] 実験者によるバイアスの防止、[2] 被験者の個人情報保護、[3] 実験者による不正操作の防止および実験記録の担保、の3点に細心の注意を払いつつ実験系を構築した。[1]に関しては、恣意性を排除するため2重盲検化し、実験者・被験者いずれも実験条件がわからないようにした上で、データ解析がすべて終了した後に、対応表を解読して比較・集計を行なった。一方、[2]および[3]に関しては、個人情報の削除等により実験者の悪意によ

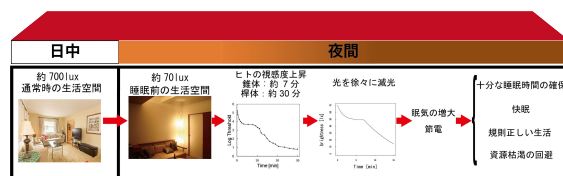


図2 本研究のコンセプト

る不正防止が困難となるという相反があり、これを解決するため3名以上の実験者が決められた手順でデータをやりとりすること、実験装置内に実験条件データが物理的に残存するよう工夫するによって、証拠を保全する方法とした。特に、照明装置に関しては、通常のコンピュータ制御の実験装置では、実験記録の保全が難しいため、照明のLEDを独立したマイコンチップによる制御とし、実験ごとにチップを交換、保存することによって上記の[1]-[3]の全てを満たすようにした。

個々の比較実験では、比較したい2種類の光量パターン(たとえば および)を順不同(→ または →)で実現するようプログラムしたマイコンチップを人数分準備し、30名程度の被験者に対して、別の実験者が作成した暗号表にしたがって2条件のいずれかが被験者に与えられるようにした。実験中の脳波および自作スイッチボックスによる光量変化知覚、および実験後のアンケートによる主観調査を行なった(図3)。複数の減光パターンを準備し、その2つずつに対して30名程度の被験者を対象とし、のべ200人以上の早稲田大学の学生を被験者として実験を行なった。実験は、1日あたり最大2名とし、比較したい日数分のデータが完了したのちにまとめてデータ処理を行なった。

なお、本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理規程」に従い、人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認の下で行なった。



図3 人を対象とした実験デザイン

4. 研究成果

「直線的な変化」および「減衰カーブによる変化」各々に関して、最終的に減光する割合を数種類用意し、上に記載の方法で、各パターンの比較実験を行なった。その結果、光量が十分な空間から薄暗い環境に移動し、錐体の光順応曲線に基づいた独自の減衰曲線により、7分間の間に70%程度まで光量を減少させたプログラムにおいて、減光しているにもかかわらず、光量を一定にした際と感覚的に有意な差の見られないという結果となった。

このように、今回得られたデータより、特

定の条件において、減光を意識せずに光量を減少させる減光パターンを決定することに成功したことは、睡眠前に生活の質を低下させずスムーズに入眠に導くために有効と期待される。

将来的には、本研究の減光パターンを実装することによりエネルギー消費の抑制にも寄与すると期待できる。照明機器の電力消費は、家庭における電気使用量において第2位であり、全電気使用量の約13.4%を占める[資源エネルギー庁経済産業省(2012)「トップランナー基準の現状等について」]と言われており、夜間の家庭用照明電力の30%を削減することができれば、石油をはじめとする枯渇性資源の大幅な節約に寄与する可能性がある。

環境光への視覚の順応は、上に述べたように、薄暗がりに移動してから概ね5-10分以内に起こる錐体の順応に加え、5-10分以降に訪れる桿体の順応がある。生活環境下で桿体の順応曲線を利用した減光が有効であるかは興味深い問題であり、遅いタイミングで減光することにより、さらに効果的な節電が実現できる可能性がある。

本実験は、光刺激が眼に入りやすいよう自作の卓上型照明光源を用いた。生活環境への実装に際しては、天井照明に拡張して、部屋全体の明るさを制御して効果を確かめることがきわめて重要である。照明制御にはDALI規格が普及しつつあるが、本実験で開発したような精密な機器の動作には不十分であり、規格の拡張が必要と感じられる。IoTの進歩と相まって、より高度な制御を可能とする規格の開発が望まれる。

また、本実験中には、被験者の脳波データや明るさ感覚情報がリアルタイムで得ることができる。現在のところ、データはロガーに記録し、個人情報を消去したのちに解析処理を行っている。今後は、リアルタイムで得られるデータを元に、光の強度や色調などを変化させることによって、より効果的に眠気を誘発させる、あるいは気分を改善するといった利用が可能かもしれない。実験方法の改良も含めた基礎研究が望まれる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

伊藤正晴、清水勇志、竹村唯、岡野恵子、岡野俊行、ヒト視覚の暗順応特性を考慮した効率的な照明制御法の検討、情報処理学会第80回全国大会講演論文集、査読有、2018、7ZF-08、<https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/>

岡野俊行、光と生物、科学と教育、査読有、65巻、2017、286-289、https://www.jstage.jst.go.jp/article/kyoshi/65/6/65_286/_pdf/

〔学会発表〕(計 1件)

伊藤正晴、清水勇志、竹村唯、岡野恵子、岡野俊行、ヒト視覚の暗順応特性を考慮した効率的な照明制御法の検討、情報処理学会第80回全国大会 東京、2018

<https://www.gakkai-web.net/gakkai/ipsj/80program/data/pdf/7ZF-08.html>

6. 研究組織

研究代表者

岡野 俊行 (OKANO, Toshiyuki)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40272471