

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

伊藤 正晴[†] 清水 勇志[†] 竹村 唯[†] 岡野 恵子[†] 岡野 俊行[†]早稲田大学 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻[†]

1. 背景と目的

人工光源の普及などによる生活環境の変化に伴い、睡眠の量や質は年々低下し、睡眠障害が徐々に社会的課題となりつつある。睡眠障害の原因には、アルコールなどの薬理的原因(1)のほかに、生活環境に由来する光が考えられる。光を用いた睡眠障害の治療は以前から行われている(2)一方、予防を目的とする研究は多くない。そこで本研究では、就寝前の光環境を制御することにより眠気を促進させ、睡眠障害を予防する光制御パターンの開発を目指した。具体的には、光変化を知覚されにくく、眠気を誘発し、電力消費を減少させる光制御法として、ヒトの生理機能である暗順応が利用できると考えた。ヒトの視覚に関わる視細胞には、昼間視に働く錐体と薄明視に働く桿体があり、通常の室内の光環境下では主に錐体を使用している。明所から暗所に移動するとまず錐体の感度上昇がおこるが、約7分程度かけて光感度を暗順応開始前の視感度から約10倍上昇させる(3)。本研究では、このような錐体の暗順応を考慮した減光パターンを用いて、光量の変化を知覚させず、眠気を誘発すること、そして光量を減少させることにより電力消費を抑えることを期待した。被験者には、作成した光パターンを体験してもらい、光量変化の知覚については実験中のスイッチボックス操作を記録し、睡眠やリラックス感を誘発するかに関しては、実験後のアンケート回答により集計・分析した。

2. 実験に使用した器具及び手法

2.1 使用した器具

本研究は、当研究室自作の照明装置を用いて行った(Fig. 1A-D)。この照明装置は、3色のハイパワーフルカラーRGB LED OSTCXB1C1S(OPTOSUPPLY)を4個搭載しており、1チップマイコンPIC16F1939(Microchip)を用いて、PWM制御により各LEDの光量を1024段階で制御できる。本研究では、電球色(Fig. 1A,B)と、覚醒効果を持つことが知られる青白色(Fig. 1C,D)を使用した(4)。

被験者が「明るくなった」または「暗くなった」と知覚したタイミングを調べるため、「明」及び「暗」のスイッチを備えたスイッチボックスを作製した(Fig. 1E)。スイッチの押されたタイミングは、電圧ロガーLR8431(日置電機)を用いて記録した。

2.2 実験条件

実験は、18~40歳の本学の大学生、大学院生を対象に実験を行な

った。ただし、長期の海外旅行から帰ってきた方、シフトワーカー、投薬治療中、薬剤服用者、体調不良者、妊娠中の女性、妊娠の可能性がある女性は被験者より除外した。

実験は、当研究室の暗室内(Fig. 1F)にて、18:00から20:00の間に行い、1回につき1人もしくは2人の被験者が実験に参加した。2人の被験者が実験に参加する場合でも、カーテンで仕切られた独立の小部屋を用い、それぞれの光条件は独立に制御されるようにした。机上に照明装置(Fig. 1A, C)を設置し、被験者には照明装置から100cm離れた位置で椅子に着席し、白色蛍光灯下で事前アンケートに記入してもらった後、あらかじめ準備したレポート用紙を自由に使用してもらいながら15分間の光照射を3回経験してもらった。光照射中に光変化を知覚した場合は、被験者の側に置いたスイッチボックスを操作するよう指示した(Fig. 1E)。

本研究では、2つの光制御法の比較のための交差試験として、2回目と3回目の順番が異なる2つの順番のプログラムほぼ同数ずつ準備し、ランダムに二重盲検下で使用した。すなわち、3分間の青白色光下での休憩時間を挟んで15分間の光照射を3回行い(Fig. 2)、3回の光照射が終了した後、青白色光下でアンケートを記入してもらい実験を終了した(Fig. 2)。ここで、1回目は、実験環境に慣れてもらうための約15分間光量を変化させない「変化なし」のパターンの光照射であり、実験終了後には、2回目と3回目に照射した光変化による結果のみを比較対象とした。

減光パターンは、予備実験の結果を考慮して、錐体の暗順応曲線の傾きに合わせて約7分で初期光量の約30%まで光量を減少させる「30%減少」を準備し、「変化なし」のパターンと比較した。アンケートの解析では、最も眠気を感じた光条件、最もリラックスした光条件の項目では、二項検定を行なった。VAS法及びKSS法を用いた眠気やリラックス感の項目では、対応のあるt検定を行なった。光変化を知覚された人数/割合の項目では、比率の差の検定を行なった。

スイッチボックスを押したタイミングの解析では、光照射開始後7分間、光照射開始後7分から15分後まで、光照射開始後15分間において、明るくなったと知覚された回数、暗くなったと知覚された回数、スイッチを押された総回数をポアソン分布の適合度検定を用いて統計解析した。

3. 実験結果

アンケートによる「30%減少」と「変化なし」の2条件間において比較を行ったところ、VAS法とKSS法を用いて調べた眠気及びリラックス感、最も眠気を感じた光条件の人数比について、いずれも統計学的有意差は見られなかった(Table 1)。この結果から、2条件いずれも眠気の誘発効果を持たない可能性と、両者が共に眠気の誘

Efficient lighting control method considering dark adaptation characteristics of human vision
Masaharu Ito, Yushi Shimizu, Yui Takemura, Keiko Okano, Toshiyuki Okano
[†] Dept. Elect. Eng. And Biosci., Grad. Sch. Adv. Sci. and Eng., Waseda Univ.

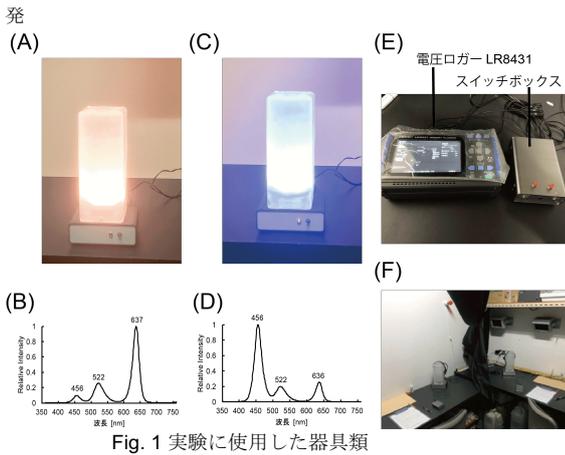


Fig. 1 実験に使用した器具類

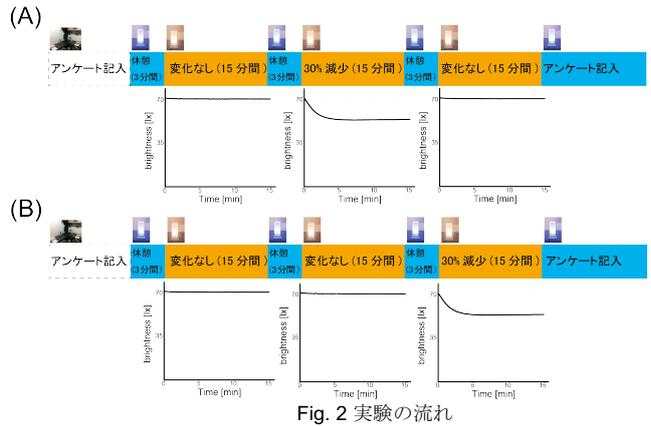


Fig. 2 実験の流れ

Table 1 光条件間でのアンケートの比較

	最も眠気を 感じた人数 [人]	最もリラックスを 感じた人数 [人]	光変化を 感じた人数 [人]	光変化を 感じた割合 [%]	KSS		VAS	
					眠気	リラックス	眠気	リラックス
変化なし (1回目)	6 (1.5)	7 (5.2)	13 (6.7)	43.3	4.90 ± 2.30	5.55 ± 1.71	52.57 ± 23.83	56.83 ± 22.27
30%減少	11 (8.3)	12 (5.7)	22 (13.9)	73.3	5.87 ± 1.98	6.72 ± 1.20	60.67 ± 22.12	69.37 ± 17.70
変化なし	12 (5.7)	11 (5.6)	18 (11.7)	60.0	5.27 ± 2.13	6.48 ± 1.40	58.43 ± 21.89	65.83 ± 19.28

(A pattern, B pattern)

Table 2 光条件間でのスイッチを押した回数の時間別分布

	0分-7分 (光変化中)			7分-15分 (光変化なし)			0-15分		
	明るくなった と感じた回数	暗くなった と感じた回数	スイッチを押した回数	明るくなった と感じた回数	暗くなった と感じた回数	スイッチを押した回数	明るくなった と感じた回数	暗くなった と感じた回数	スイッチを押した回数
変化なし (1回目)	12 (6.6)	15 (5.10)	27 (11.16)	14 (8.6)	4 (2.2)	18 (10.8)	26 (14.12)	19 (7.12)	45 (21.24)
30%減少	16 (8.8)	10 (5.5)	26 (13.13)	20 (11.9)	18 (8.10)	38 (19.19)	36 (19.17)	28 (13.15)	64 (32.32)
変化なし	20 (13.7)	6 (3.3)	26 (16.10)	15 (9.6)	12 (5.7)	27 (14.13)	35 (22.13)	18 (8.10)	53 (30.23)

(A pattern, B pattern)

* : p < 0.05 (ポアソン分布の適合度検定)

効果をもつが、その差が小さいため検出できなかった可能性がある。アンケートにおける光変化の知覚人数において、光条件の間には有意差は見られなかった (Table 1)。スイッチボックスによる光変化の知覚回数を実験条件間で比較したところ (Table 2)、興味深いことに、光照射を行なった 15 分間において「暗くなった」と知覚された回数は「30%減少」が「変化なし」よりも有意に増加したものの、いずれも「明るくなった」と感じた回数よりも少なかった。つまり、「変化なし」では、「明るくなった」と感じた回数 (35 回) が「暗くなった」と知覚された回数 (15 回) より大幅に多いのに比べ、「30%減少」では両者の差 (それぞれ 36 回と 28 回) が縮まった。光変化が起こっている 0-7 分とそれ以降で分けてみた場合、光変化が起こっている 7 分においては、「30%減少」は「変化なし」と比較してすべての項目において統計学的有意差はなかった (Table 2)。以上より、錐体の暗順応曲線に合わせて光量を 30%減少させる「30%減少」の光変化は、「変化なし」と同等もしくはそれ以上に光変化を知覚されにくい光制御法であると考えられた。

4. 考察と今後の展望

本研究では、「30%減少」させることによって、光量を一定に保つのに比べ、眠気の増大やリラクスの効果を期待したが、有意な効果は観察されなかった。一方、「30%減少」は、光変化を知覚されにくい光制御法である可能性が見出された。これは、視覚の順応による感度の上昇が寄与していると推定される。この光変化を日本の全家庭の家庭用照明に反映させることが可能となれば、家庭用照明の電力消費が 30%抑えることが可能となり、単純計算でも 1 世帯

あたり約 62 kWh/年、日本全体では約 3.3 GWh/年の節電が可能となる。たとえば、石油による火力発電の発電効率を 0.42 kWh/L、
「30%減少」の使用時間を睡眠前の 1 時間として試算すると、日本では約 2.9 億 L/年の石油消費の節約が可能となる。これは、電力用の石油消費量の約 1.1%であるため、「30%減少」の家庭用照明への導入は電力消費の削減に大きく貢献できると考えられる。実際、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 (5)。火力発電に用いられるエネルギー資源は枯渇性資源であり、それぞれの可採年数は、石油が 53 年、石炭が 109 年、天然ガスが 56 年と地球からの完全な枯渇が目前に迫っている状況であり (6)、これを削減することは、枯渇性資源を保持し、現在の豊かな社会生活を少しでも長く維持することに貢献するであろう。今後は、卓上照明だけでなく天井照明においても本研究で使用した卓上照明と同様の結果が得られるか検証する必要がある。

5. 参考文献

- Stein, M. D., eta Friedmann, P. D. (2005) Disturbed sleep and its relationship to alcohol use. *Subst. Abus.* **26**, 1-13
- Rosenthal, N. E., Joseph-Vanderpool, J. R., Levendosky, A. A., Johnston, S. H., Allen, R., Kelly, K. A., Souetre, E., Schultz, P. M., eta Starz, K. E. (1990) Phase-shifting effects of bright morning light as treatment for delayed sleep phase syndrome. *Sleep*. **13**, 354-61
- Rushton, W. A. H. (1961) Rhodopsin measurement and dark-adaptation in a subject deficient in cone vision. *J. Physiol.* **156**, 193-205
- Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A., eta Markey, S. P. (1980) Light Suppresses Melatonin Secretion in Humans. *Source Sci. New Ser.* **210**, 1267-1269
- 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」
- BP (2013) 「Stastical Review of World Energy 2013」