

室内照明が与える睡眠状態やメンタルヘルスへの影響

松尾 周汰^{1,a)} 原嶋 春輝¹ 荒川 豊¹

概要：現代のオフィスワーカーの多くは、午前中から日が落ちた後に一日中蛍光灯の光に晒され続けている。毎日規則正しい生活リズムを刻むためには、日中は明るく、夜には暗くなるという自然界における一日の光の変化が重要な役割を担っている。本研究では、約 24 時間周期の生体リズムに合わせて光の調整を行うサーカディアンリズム機能 VTL (Visual Timing Light) を搭載した LED 照明、ラヴィゴ (Lavigo) と、通常の蛍光灯照明が学生の睡眠の質やストレス状態に与える影響の評価実験を行った。睡眠状態の測定と主観的なストレスチェックのための簡易アンケートにはスマートウォッチ Fitbit を用いた。また、医学的観点からの客観的なストレス値の測定には唾液アミラーゼモニターを用いた。実験期間は 4 週間とし、2 群 (各群 3 名) に対して、週毎に、蛍光灯と Lavigo を切り替えながら、通常作業を行ってももらった。実験の結果、ストレス値の有意な差は見られなかったが、Lavigo を使用した週に限り、有意に、睡眠時の覚醒時間が減ったり、深い睡眠が増加する被験者がいたことを確認した。また、そうした被験者は、共通して不規則な生活を送っていることがわかった。

キーワード：睡眠, メンタルヘルス, 照明, サーカディアンリズム

1. はじめに

人間をはじめとするほとんどの生物にはサーカディアンリズムと呼ばれる、体内で刻まれている約 24 時間周期の生体リズムを持っており、睡眠状態やホルモン分泌などの生命活動に影響を与えている。毎日規則正しいリズムを刻むためには、日中は明るく、夜には暗くなるという自然界における一日の光の変化が重要な役割を担っている [1]。

脳で生成されるメラトニンはサーカディアンリズムの調整作用を持つ。明るい光を浴びるとメラトニンの分泌は抑制されるため、日中にはメラトニン分泌が低く、夜間に分泌量が十数倍に増加する明瞭な日内変動がある。ただし昼夜の区別のない環境においても、体内時計からの神経出力によって日内の変動は続く。反対に、夜間であってもコンビニ店内などの強い光を浴びるとメラトニン分泌量は低下する。すなわちメラトニンは体内時計と環境光の両方から調節を受けている^{*1}。このサーカディアンリズムのずれは高血圧、血管代謝の悪化、肥満、生理的機能などの身体的機能への悪影響や、覚醒度や認知能力などの生産性に関係する能力の低下を引き起こす [2], [3], [4], [5]。

現代のオフィスワーカーの多くは、午前中から日が落ち

た後に一日中蛍光灯の光に晒され続けている。そのため、夕方以降にかけても強い光の暴露量は変わらないため、夜間のメラトニンの分泌が抑制され、睡眠に影響を与えサーカディアンリズムのずれに繋がる。我々は、これまで九州大学内の研究室をリビングラボとして、オフィスワーカーのウェルビーイングを高める研究を実施 [6] しており、照明として、独 Waldmann 社のサーカディアンリズム機能 VTL (Visual Timing Light) を搭載した LED 照明、ラヴィゴ (Lavigo)^{*2}を全面的に導入している。VTL は、太陽のリズムをシュミレートし、午前中は色温度の低い強い光、夕方以降は色温度の高い柔らかい光に切り替えることでオフィス内を自然な環境に近いものにする。これまでに、ドイツやイタリアの病院において評価されており、入院により昼夜逆転してしまった患者の睡眠時の覚醒時間が減ったことが報告されている [7]。

今回の評価実験は、オフィス環境かつ健常者に対して、Lavigo を使用した際にも同様の効果が得られるであろうという仮説を検証するものである。実験は 2020 年 12 月～2021 年 1 月にかけ、4 週間にわたり実施した。研究室の半分を蛍光灯、残り半分を Lavigo という形で運用し、被験者には指定の環境において 1 日 6 時間以上、作業を行ってもらった。被験者は 6 名であり、3 名ずつ、2 群に分け、週毎に指定位置を切り替えた。被験者に対しては、睡眠計測

¹ 九州大学大学院システム情報科学研究院

^{a)} matsuo.shuta@arakawa-lab.com

^{*1} <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/heart/yk-062.html>

^{*2} <https://www.capind.co.jp/product/detail.php?id=100>

のために Fitbit^{*3} Versa 3 を配布した。Fitbit のデータは、研究室で開発した WorkerSense [8] を通じて収集する。また、睡眠状況に加えて、ストレスへの影響も同時に測定する。ストレスの測定は、筆者が開発した Fitbit 用アプリ [9] を通じて主観的な値を収集するとともに、唾液アミラーゼモニター^{*4}を用いて、医学的観点からの客観的なストレス値も計測した。

実験の結果、照明と睡眠に関して、被験者全体の t-検定では、19 時以降に Lavigo 下で作業すると睡眠中の覚醒割合が小さくなるという有意な差が出た。被験者個人の t-検定では、Lavigo 下での作業で覚醒時間割合が有意に小さい人がいる、深い睡眠時間の回数と割合が有意に多い人がいることがわかった。また、19 時以降の Lavigo 下の作業で、覚醒時間の割合が有意に小さい人がいることを確認した。照明とストレスに関しては、Fitbit の簡易アンケートと唾液アミラーゼモニターで測定したストレス値はどちらも、照明が変わることによる値の有意な差は見られなかった。照明の評価において有意な差が出た被験者は共通して生活リズムが不規則であった。このことから、Lavigo には生活習慣を矯正する、すなわちサーカディアンリズムを調整する役割があると言える。

2. 関連研究

2.1 照明とサーカディアンリズムの関係

23 人の被験者を対象にした、明るい光がサーカディアンリズムの位相シフトが睡眠に与える影響を調査する 11 日間の実験 [10] では、明るい光にさらされる時間を午前、夕方、午後とする 3 つのグループに分け、ベースの睡眠と覚醒の評価、3 日間の明るい光への暴露、暴露後の睡眠と覚醒の評価がなされている。その結果、朝のグループでは体温リズムの位相が 1.23 時間進み、夕方のグループでは 1.62 時間遅れ、有意ではないが午後のグループでは 0.5 時間進んだ。しかし、3 つのグループのいずれにおいても、これらの位相のズレは睡眠のパラメータに有意な影響を与えるほど大きくはなかったため、睡眠の質に影響を与えるような照明の設定や暴露時間などについて考慮する余地がある。

250 名の 18~31 歳の若者と 56 名の 59~75 歳の高齢者を対象にした、3000 ルクスの白色光の照射と睡眠覚醒サイクルの測定によるサーカディアンリズム位相との関係の調査 [11] では、年齢や性別に関係なく、最大で 3 時間の位相差を誘発すると評価された。また、位相をシフトさせる最適な光を照射するタイミングは被験者ごとに異なり、午後 4 時付近の区間では、どの年齢層でも有意差のある位相シフトは起こらないことも分かった。これより、強い光がサーカディアンリズムに作用し、睡眠へ影響を与えること

がわかったが、夕方以降の光を太陽光に近い弱いものに調節することによるサーカディアンリズムに与える影響の検証はなされていない。

Waldmann の VTL に関しては、病院や介護施設などで入院によって生活リズムが乱れている入院患者を対象とした評価が報告されている。2007 年から 2009 年に行われたドイツの介護施設における実験において、昼夜逆転している 12 名の患者の夜中の目覚めが大きく減ったことが報告されている [12]。また、2010 年のイタリアの病院で検証した研究 [7] では、肝硬変による入院によって昼夜が逆転しまった患者に対して、病室の照明を変えた実験を行ったところ、夜中の覚醒が 7~8 回から 3 回程度に減少するとともに、昼間の眠気を表すカロリンスカ眠気尺度^{*5}の値も 8 点台から 5 点台に下がったという結果が報告されている。

住宅環境での照明光のブルーライト成分が睡眠覚醒に及ぼす影響についての研究 [13] では、夜間の就寝前、人口照明からのブルーライトを遮光することにより、メラトニンが増加し、眠気が有意に増すことが報告された。しかし、日が落ちた夕方の時間帯での実験やオフィスなどを想定した作業環境での遮光実験は行われていない。

2.2 照明とストレスの関係

6 名の若年男性を対象に、単純計算作業をさせた時の心理、生理反応の日内変動を測定した研究 [14] では、色温度を 5000K に固定し、照度を 750 ルクスと 3000 ルクスの 2 水準に設定して朝、夕、晩の 3 回実験を行なっている。ストレスの尺度として心拍変動を用いて評価をした結果、照度条件に関わらず、時間経過に伴いストレスが増大する傾向が見られた。この実験では、作業が 1 回 15 分ほどと短く、1 日のみの測定のため、連続した作業環境での長期的な観察は行われていない。また色温度が固定のため、太陽光に合わせた色温度のシミュレートも検証されていない。

20 代前半の男子大学生 10 人に対して行われた、作業時の照度の違いが作業時のストレスにどのような影響を与えるのかを検証する実験 [15] では、窓のないオフィスを模した空間で、一定のルールに基づき足し算を繰り返す作業をした後、照明に関するアンケートを行った。また、心電図から取得した心拍変動によりストレス値の計測を行なっている。作業実験やアンケートの結果、快適と感じる照度や、ストレスが小さくなる照度は人によって異なることが明らかになった。しかし、この実験もまた、15 分程度の作業を 3 回繰り返すのみで、長期的な作業との関連は明らかになっていない。

2.3 本研究の位置づけ

上記研究は、短時間作業中の照度を変更させたり、1 日

^{*3} <https://www.fitbit.com/global/jp/technology/sleep>

^{*4} https://med.nipro.co.jp/med_eq_category_detail?id=a1U1000000b535GEAQ

^{*5} 1「非常にはっきり目覚めている」から 9「とても眠いの段階を表す尺度で表される尺度」

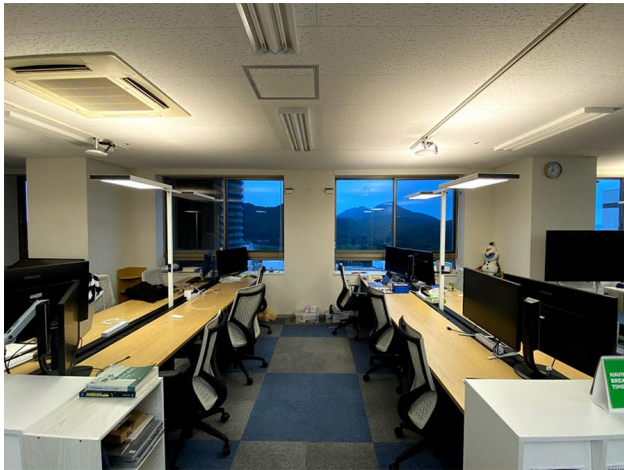


図 1 実験環境における Lavigo

数回の実験にとどまっているものが多く、実際のオフィスなどでの長時間、長期間の作業は想定されていない。よって、これらの研究では、時間帯によって変動する色温度や照度、1 日内の連続した作業が与えるサーカディアンリズムへの影響とストレスの変化を追従できないという問題点が挙げられる。そこで、本研究では、最適な色温度や照度に自動調整される照明を、オフィス環境の作業下で長期間使用した場合の効果測定する。

3. 照明実験

3.1 使用機器

本研究では、自然光を再現する LED 照明として、独 Waldmann 社の Lavigo、睡眠状況の測定と簡易ストレスチェックのために液晶タッチスクリーン付きのスマートウォッチである Fitbit Versa 3、客観的データ取得のため、医療機器である唾液アミラーゼモニターを用いた。以下、詳細を説明する。

3.1.1 Lavigo

Lavigo は、スタンド型の LED 照明器具であるが、人感センサと太陽レベルを検知するデイトライトセンサの装備、太陽のリズムをシミュレートし、自然な環境をオフィス内に作り出す VTL (Visual Timing Light) 機能が搭載されている。VTL は、一般的にはサーカディアンリズムコントロールライトとも呼ばれ、過去にオカムラやパナソニックなどから発売されている。近年では、Dyson 社からも Lightcycle^{*6}というデスクライトが発売されている。関連研究で示したような研究成果 [7] をもとに開発された Lavigo には、さまざまなセンサが搭載されており、時間や外光、周辺の明るさに応じて、照度と色温度を自動調整する機能を有する。本実験環境では図 1 のように 6 人で一つの島の中央にダブルヘッド型の Lavigo を設置している。

^{*6} <https://www.dyson.co.jp/lighting/lightcycle.aspx>

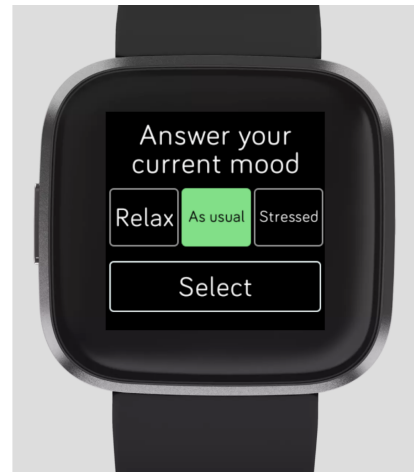


図 2 アンケートアプリ画面

3.1.2 Fitbit

Fitbit Versa 3 の利点として、タッチ画面付きのためボタンによる回答選択ができる点、バッテリー駆動時間が長く頻繁に充電を行う必要がない点、活動量計として心拍、睡眠、歩数などのあらゆる運動データを取得できる点がある。さらに、同等の機能を有する Apple Watch や Android Watch と比較して安価であり、独自のアプリケーションの開発と配布が容易にできるという点もある。また、API (Application Programming Interface) を通じてデータ収集が可能であることも利点である。我々の研究室では、Fitbit データを収集するためのアプリケーション WorkerSense [8] や Fitbit Versa 3 用のアンケートアプリ [9] を開発済みであり、それらを活用したデータ収集を行う。

Fitbit から得られる睡眠情報としては、入眠時間や起床時間に加え、睡眠ステージ情報もある。ステージは、目覚めた (覚醒) 状態、レム睡眠、浅い睡眠、深い睡眠の 4 種類である。今回の実験に用いた、主観的なストレスを測定するために簡易アンケートアプリの画面を図 2 に示す。今回、Relax, Middle, High という 3 つのボタンを用意しており、被験者は 1 日 3 回、そのときに感じている主観的なストレスを回答する。

3.1.3 唾液アミラーゼ

唾液アミラーゼモニターとは、唾液を専用のチップで採取し、唾液中に含まれるアミラーゼを測定する医療機器である。この測定値は IU と呼ばれる生体に対する効力の量を表す国際単位で示される。測定範囲は 0~200kIU/L であり、ストレス値の判定基準を表 1 に示す。本実験ではこの指標に基づき、客観的なストレス値を測定する。

3.2 実験手順

本実験は被験者が研究室に在室している平日 5 日間を 1 週とし、4 週間 にわたり、対象照明を蛍光灯と Lavigo で切り替えながら睡眠の測定とストレスチェックを行った。切り替え順番による影響の有無を確認するため、被験者 6 名

表 1 ストレス判定の基準

唾液アミラーゼ値	ストレス判定
0 ~ 30kIU/L	ほぼなし
31 ~ 45kIU/L	ややあり
46 ~ 60kIU/L	あり
61kIU/L ~	だいぶあり

表 2 各グループの対応照明

グループ	第 1 週	第 2 週	冬休み	第 3 週	第 4 週
A	Lavigo	蛍光灯		蛍光灯	Lavigo
B	蛍光灯	Lavigo		Lavigo	蛍光灯

を A グループ、B グループの 2 群に分けた。表 2 に各グループの週に対応する使用照明を示す。どちらのグループも、Lavigo を 1 週間使用した後に蛍光灯を 1 週間利用するパターンと、蛍光灯を 1 週間使用した後に Lavigo を 1 週間使用するパターンの両方を、冬休みの前後で実施した。冬休みは大学は閉鎖されるため、リセット期間となる。

実験期間中（平日 5 日間）は被験者に以下の制約を設けた。なお、本実験は、九州大学倫理審査委員会に承認を得た上で実施しており、被験者には実験内容の説明と傘下への同意を得ている。また実験はいつでも離脱可能としている。

- (1) 1 日最低 6 時間は対象照明下での作業を行う
- (2) 作業開始時刻、休憩時間、作業終了時刻を記録する
- (3) 11:00, 14:00, 17:00 に、Fitbit 上アプリケーションで主観的なストレスアンケートへの回答と、唾液アミラーゼモニターによるストレスチェックを行う
- (4) 睡眠データの取得のために Fitbit を着用したまま睡眠する

4. 評価と考察

本照明実験を睡眠の質への影響とストレスへの影響との観点から評価する。

4.1 照明による睡眠の質への影響

被験者全体とそれぞれの被験者個人での分析結果を評価する、

4.1.1 被験者全体に見える特徴

Lavigo 下で作業した全被験者のデータを、19 時前に作業が終了した群（Day）と、19 時以降に作業が終了した群（Night）の 2 群に分割し t-検定を行った。その結果、図 3 に示す睡眠中における覚醒時間と、図 4 に示す睡眠中における覚醒時間の割合が平均で 18.9% から 14.9% に減少しており、有意差が認められた。この傾向は蛍光灯下で作業した被験者には見られず、Lavigo 下で作業した被験者特有であった。これより、19 時以降に Lavigo 下で作業すると、その夜の睡眠中の覚醒割合が小さくなることがわかった。

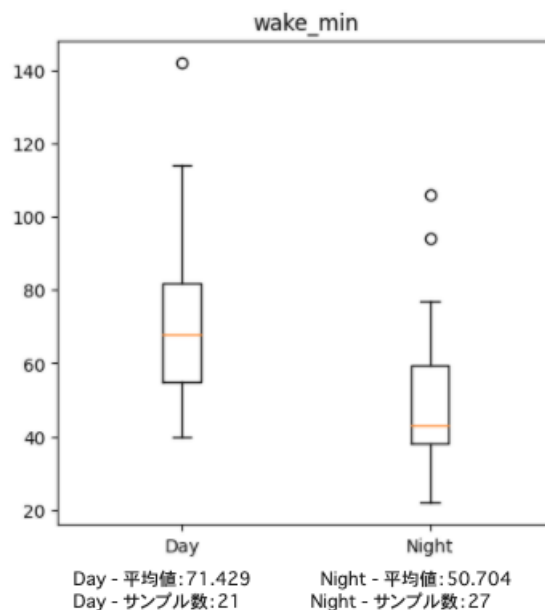


図 3 Lavigo グループの睡眠中の覚醒時間の分布

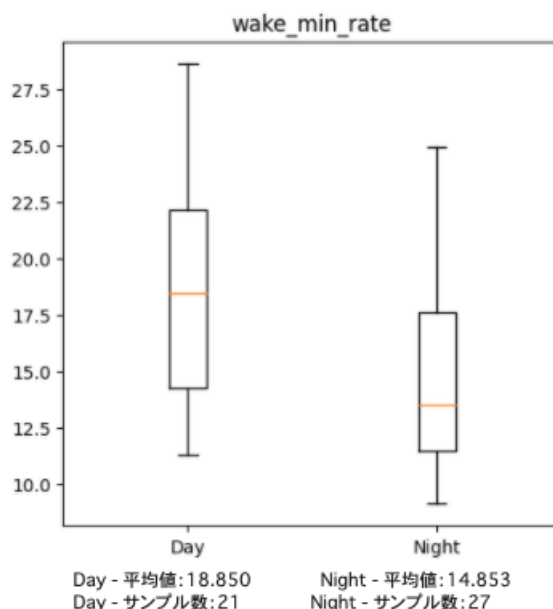


図 4 Lavigo グループの睡眠中の覚醒時間割合の分布

4.1.2 被験者個人に見える特徴

Lavigo 群と蛍光灯群の 2 群に分割し t-検定を行った結果、Lavigo 下で作業した週の睡眠中における覚醒時間の割合に平均で 8.5% の減少が見られ、有意に小さくなった人があることを確認した（図 5）。また、Lavigo 下で作業した週に、深い睡眠の回数が平均で 1.3 回有意に増加し、割合が平均で 2.1% 有意に増加した人があることも確認した（図 6, 図 7）。さらに、19 時以降に作業した被験者のデータを、Lavigo 群と蛍光灯群の 2 群に分割し t-検定を行った結果、蛍光灯作業週に比べて、Lavigo 作業週は覚醒時間の割合に平均で 15.7% の減少が見られ、有意に小さくなった人があることを確認した（図 8）。

以上の評価により、Lavigo 下の作業でも昼間と夜の作業

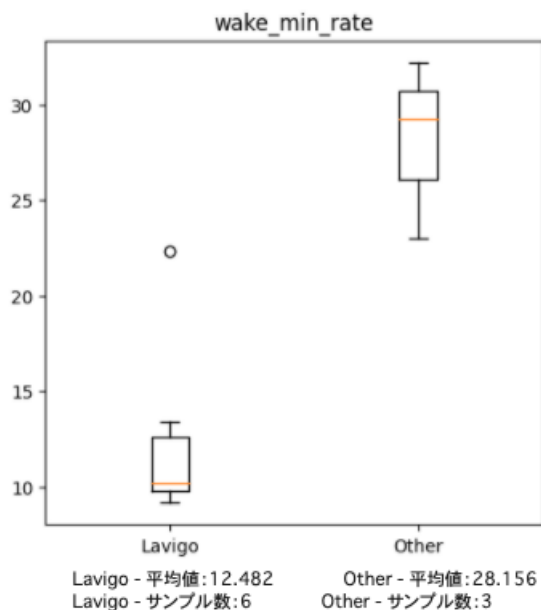


図 5 ある被験者の睡眠中の覚醒時間割合の分布

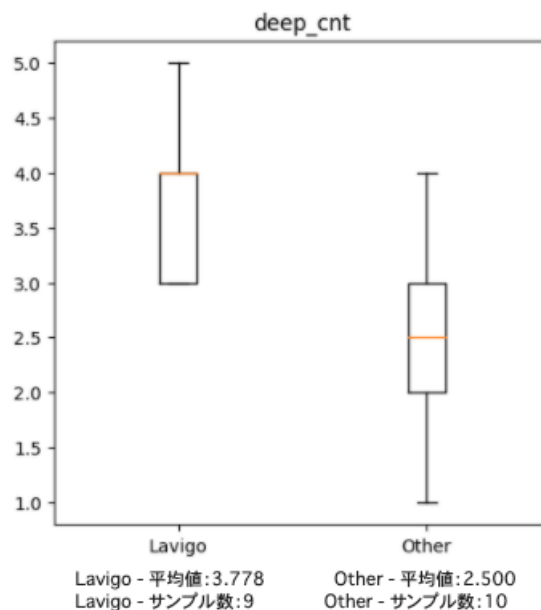


図 6 ある被験者の深い睡眠時間の回数の分布

によって睡眠の質に差が出るということがわかった。また、被験者によっては、蛍光灯下と Lavigo 下での作業で睡眠の質に差が出ることもわかった。この結果の理由として、夜間の作業が増えると、蛍光灯ではなく太陽のリズムに沿って調整された Lavigo の光を浴びる時間が増えるため、メラトニンの分泌が盛んになり、睡眠の質が向上したと考えられる。また、被験者によって差が出た理由として、普段から朝日を浴び、夕方以降には強い蛍光灯の光を浴びる時間が少ない人は、そもそもサーカディアンリズムが整っているため、十分に効果が出なかったからと考えられる。このことから、Lavigo は、夜型や生活リズムが不規則な人に対してのみ、睡眠の質向上の効果を見込むことができると言える。

4.2 照明によるストレスへの影響

A グループ全体、B グループ全体、被験者各個人のストレス値の変動についてそれぞれ t 検定を行ったが、Fitbit で取得した主観的なストレス値とアミラーゼで取得した客観的なストレス値、ともに有意な差は見られなかった。これから、照明の種類は被験者のメンタルヘルスに直接与える影響がないことが示された。この結果は、人がストレスを感じる原因は照明以外にも様々なものがあり、照明という単一の指標ではストレス状態の決定はなされないからであると考えられる。

また、睡眠とストレスの両方に関して、A グループと B グループで t 検定の結果に有意な差が出なかったことから、照明の切り替えの順番は睡眠やストレスに影響を与えていないこともわかった。

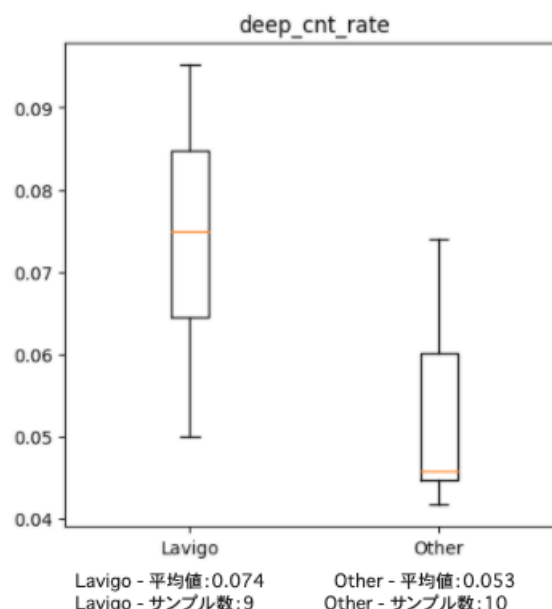


図 7 ある被験者の深い睡眠時間の割合の分布

5. おわりに

本論では、20~30 代の男性 6 名の被験者の、通常蛍光灯下での作業とサーカディアンリズム機能を搭載した LED 照明 Lavigo 下での作業時の、睡眠データやストレスデータの収集を行った。被験者を A グループと B グループに分け、照明の種類を切り替えながら 4 週間、計 19 日にわたり実験を行なった。照明が睡眠に与える有意な t 検定の結果として、被験者全体を見ると夜に Lavigo 下で作業すると睡眠中の覚醒割合が小さくなることを確認した。また、被験者個人で見ると、蛍光灯作業に比べて覚醒時間割合が小さい人がある、蛍光灯作業に比べて深い睡眠時間の回数と

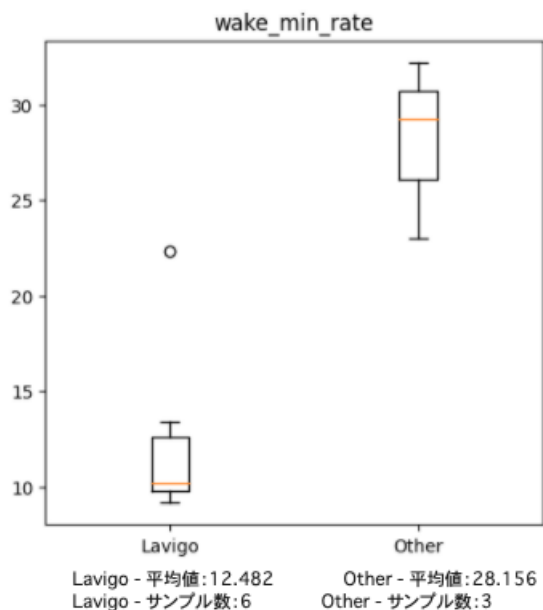


図 8 ある被験者の夜に作業した日の睡眠中の覚醒時間割合の分布

割合が多い人がある、夜の蛍光灯作業に比べて夜の Lavigo 作業は覚醒時間の割合が小さい人があることを確認した。照明がストレスに与える影響については、主観的、客観的どちらの場合にも有意な差は見られなかった。分析の評価として、生活リズムが乱れている、もしくは夜型の被験者にとっては睡眠中の覚醒時間割合が減少するなどの改善が見られ、Lavigo がサーカディアンリズムの調整の役割を果たしたと結論づけることができる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H03233 の支援のもと実施された。また、実験に協力していただいた独 Waldmann 社および株式会社キャプテンインダストリーズに感謝する。

参考文献

- [1] Charles A Czeisler, Jeanne F Duffy, Theresa L Shannah, Emery N Brown, Jude F Mitchell, David W Rimmer, Joseph M Ronda, Edward J Silva, James S Allan, Jonathan S Emens, et al. Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, Vol. 284, No. 5423, pp. 2177–2181, 1999.
- [2] Masao Doi, Yukari Takahashi, Rie Komatsu, Fumiyoshi Yamazaki, Hiroyuki Yamada, Shogo Haraguchi, Noriaki Emoto, Yasushi Okuno, Gozoh Tsujimoto, Akihiro Kanematsu, et al. Salt-sensitive hypertension in circadian clock-deficient cry-null mice involves dysregulated adrenal hsd3b6. *Nature medicine*, Vol. 16, No. 1, pp. 67–74, 2010.
- [3] Frank AJL Scheer, Michael F Hilton, Christos S Mantzoros, and Steven A Shea. Adverse metabolic and cardiovascular consequences of circadian misalignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, No. 11, pp. 4453–4458, 2009.
- [4] Deanna M Arble, Joseph Bass, Aaron D Laposky, Martha H Vitaterna, and Fred W Turek. Circadian timing of food intake contributes to weight gain. *Obesity*, Vol. 17, No. 11, pp. 2100–2102, 2009.
- [5] Christian Cajochen, Sylvia Frey, Doreen Anders, Jakob Späti, Matthias Bues, Achim Pross, Ralph Mager, Anna Wirz-Justice, and Oliver Stefani. Evening exposure to a light-emitting diodes (led)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of applied physiology*, Vol. 110, No. 5, pp. 1432–1438, 2011.
- [6] Yutaka Arakawa. [invited paper] sensing and changing human behavior for workplace wellness. *Journal of Information Processing*, Vol. 27, pp. 614–623, 2019.
- [7] Michele De Rui, Silvia Gaiani, Benita Middleton, Debra J Skene, Sami Schiff, Angelo Gatta, Carlo Merkel, Piero Amodio, and Sara Montagnese. Bright times for patients with cirrhosis and delayed sleep habits: a case report on the beneficial effect of light therapy. *The American journal of gastroenterology*, Vol. 106, No. 11, p. 2048, 2011.
- [8] Yuri Tani, Shuichi Fukuda, Yuki Matsuda, Sozo Inoue, and Yutaka Arakawa. Workersense: Mobile sensing platform for collecting physiological, mental, and environmental state of office workers. In *PerHealth 2020: 5th IEEE PerCom Workshop on Pervasive Health Technologies (PerHealth 2020)*, 2020.
- [9] 松尾周汰, 荒川豊, 石田繁巳. 継続的なストレスチェックを実現するためのスマートウォッチアプリケーションの設計と実装. 情報処理学会第 82 回全国大会, 2020.
- [10] Julie Carrier and Marie Dumont. Sleep propensity and sleep architecture after bright light exposure at three different times of day. *Journal of sleep research*, Vol. 4, No. 4, pp. 202–211, 1995.
- [11] Daniel F Kripke, Jeffrey A Elliott, Shawn D Youngstedt, and Katharine M Rex. Circadian phase response curves to light in older and young women and men. *Journal of Circadian Rhythms*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–13, 2007.
- [12] DeSorientiert, Demenz Support Stuttgart, 2010. https://www.demenz-support.de/media/dessjournal_1_2010_korr_licht.pdf.
- [13] 綾木雅彦, 森田健, 坪田一男. 住宅照明中のブルーライトが体内時計と睡眠覚醒に与える影響すこやかな概日リズムを保つための住宅環境照明の提案. 住総研研究論文集, Vol. 42, pp. 85–95, 2016.
- [14] 垣鍔直, 竹内達哉, 石井仁, 吉永美香. 一定照明条件で計算作業をした時のストレスの日内変動に関する実験的研究. 人間-生活環境系シンポジウム報告集 第 41 回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp. 201–202. 人間-生活環境系学会, 2017.
- [15] 平井友樹, 三木光範, 伊藤稔, 中村誠司ほか. 照明の照度が作業によるストレスに与える影響の検証. 同志社大学ハリス理化学研究報告, Vol. 60, No. 1, pp. 8–13, 2019.