

色温度環境が注意の持続に及ぼす影響 -実験前の心理状態の影響の検討-

The effects of color temperature on sustained attention -Considering psychological states before the start of experiment-

大西 夏子*1 田中美里*2 福島 亜梨花*1 田中 美寿穂*3 若村 智子*3
Natsuko ONISHI Misato TANAKA Arika FUKUSHIMA Mizuho TANAKA Tomoko WAKAMURA

山本 詩子*4 廣安 知之*4
Utako YAMAMOTO Tomoyuki HIROYASU

*1同志社大学大学院 生命医科学研究科

Graduate school of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto

*2同志社大学大学院 工学研究科

Graduate school of Engineering, Doshisha University, Kyoto

*3京都大学大学院 医学研究科

Graduate school of Medicine, Kyoto University, Kyoto

*4同志社大学 生命医科学部

Department of Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto

【Purpose】 This study aims to derive appropriate light environments for work efficiency. We investigated the effect of color temperature on sustained attention from the point of view of brain function using functional near-infrared spectroscopy. We focused on psychological state before the start of experiment. 【Methods】 To investigate brain activity during sustained attention, subjects performed GO/NOGO task. Thirty-four healthy young men (age, 21.5 ± 0.5 years) participated in this study. They completed the Short form of Profile of Mood States before performing GO/NOGO Task. 【Results】 The distribution of RT significantly faster than on high color temperature ($p < .05$). IFG activity was higher in the vigorous subjects during GO/NOGO task. 【Conclusions】 This study reveal that the effect of color temperature is different between psychological state. This results suggests that high color temperature is more effective in sustained attention for vigorous subjects.

1. はじめに

近年、オフィスにおける知的生産性および快適性の向上が求められている。先行研究では、オフィス環境の一つである光環境が改善されることにより、知的生産性の向上が図れることが報告されている [Hattori 06]。光環境を構成する要因である、照明の色温度が執務者の知的生産性および心理的・生理的要因に影響を与えることが報告されている [Michimori 10][Sarah 12][Anca 06]。色温度とは、完全黒体が光を放射するときの黒体の温度で、光源が発する光の色の数値的な尺度である。色温度が与える影響は、執務者の心理的要因により異なると考えられるが、これらの研究では作業前の執務者の心理状態による違いは検討されていない。

そこで本研究では、POMS(Profile of Mood States)に基づく心理状態の調査を行った後、2種類の色温度環境下における作業成績および作業時の脳活動を調査した。脳の神経活動時には、局所血流が増加することにより、ヘモグロビンの酸化還元率も変化するとされている。本研究では、被験者に自然に近い状態で実験を行うため、非侵襲性、低拘束性、可搬性を備えた fNIRS(functional Near-infrared Spectroscopy) を用いて作業時の脳血流量変化を計測した。fNIRS とは生体を透過しやすしい近赤外光を用いて、大脳皮質における神経活動の際の脳血流量変化を計測する装置である。本稿では、作業前の被験者の心理状態を POMS に基づき評価し、被験者の心理状態の差異により、照明の色温度が作業に及ぼす影響が異なることを示す。

2. POMS を用いた心理状態の評価

本研究では、実験開始前に被験者 34 名に対して、心理状態の評価の指標として POMS 日本語版 (短縮版) を用いてアンケート調査を行った。POMS 日本語版には、65 項目版 (正規版) と 30 項目版 (短縮版) がある。本研究では、被験者の回答に対する負担軽減のため、短縮版を用いてアンケート調査を行った。なお、短縮版は大規模な集団で実施し標準化されたもので、正規版と同様の測定結果が得られることが証明されている [Curran 95]。次節に POMS の詳細を示す。

2.1 POMS(Profile of Mood States)

POMS は、気分を評価する質問紙法の一つとして McNair により米国で開発された [Lampont 03]。対象者がおかれた条件により変化する一時的な気分、感情の状態を計測できるという特徴を有する。対象者の気分や感情を測定し、生理的変化と心理的変化の関連や音楽・トレーニングなどの介入効果について検討が行われている [Cassileht 85]。POMS では、「緊張-不安 (Tention-Anxiety)」、「抑うつ-落ち込み (Depression-Dejection)」、「怒り-敵意 (Anger-Hostility)」、「活気 (Vigor)」、「疲労 (Fatigue)」、「混乱 (Confusion)」の 6 つの気分尺度を同時に評価することが可能である。6 つの尺度に分類される気分は、表 1 に示す 30 項目の質問により評価を行う。被験者は、提示された各項目ごとに「まったくなかった (0 点)」から「非常に多くあった (4 点)」までの 5 段階 (0~4 点) のいずれか一つを選択する。採点は全ての項目が記入されたことを確認した後、尺度ごとに項目の合計得点を算出する。

連絡先: 大西 夏子, 同志社大学大学院 生命医科学研究科, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6130, nonishi@mis.doshisha.ac.jp

表 1: 質問項目一覧

緊張-不安 (Tention-Anxiety)	活気 (Vigor)
気がはりつめる	生き生きする
落ち着かない	積極的な気分だ
不安だ	精力がみなぎる
緊張する	元気がいっぱいだ
あれこれ心配だ	活気がわいてくる
抑うつ-落ち込み (Depression-Dejection)	疲労 (Fatigue)
悲しい	ぐったりする
自分がほめられるに値しないと感ずる	疲れた
がっかりしてやる気をなくす	へとへとだ
孤独でさびしい	だるい
気持ちが沈んで暗い	うんざりだ
怒り-敵意 (Anger-Hostility)	混乱 (Confusion)
怒る	頭が混乱する
ふきげんだ	考えがまとまらない
迷惑をかけられて困る	途方に暮れる
激しい怒りを感じる	物事がてきぱきできる気がする
すぐかっとなる	どうも忘れっぽい

2.2 アンケート結果に基づく被験者分類

図 1 に POMS の各尺度における被験者の得点分布と年齢階級別得点を示す。各尺度に対して年齢階級別得点の平均値±標準偏差を「正常」として評価 [Yokoyama 12] を行ったところ、「活気」の尺度において有意に低い結果が得られた。この結果より、本研究では「活気」に着目し、正常値であった被験者群を「活気群 (n=8)」, それ以外を「不活気群 (n=25)」として検討を行った。なお、平均値+標準偏差の値を著しく上回った被験者 1 名を検討から除いた。

3. 色温度と注意の持続

光環境が人体に与える影響の研究が進められており、色温度が高い光環境において注意の持続^{*1}をはかる課題のパフォーマンス向上が確認されている [Sarah 12][Peter 07]。本研究は、高低 2 種類の色温度環境下での被験者実験を通じて、心理状態が作業成績と脳活動に及ぼす影響の検討を目的とする。

3.1 実験概要

本実験では、fNIRS 装置に 2 チャンネルの HOT121-B(日立製作所製)を用いた。実験は 8~12 時の時間帯に行い、被験者は成人男性 34 名 (21.5 ± 0.5 歳) であった。被験者は、実験前に実施した POMS のアンケート結果により、活気群 (n=8) と不活気群 (n=25) に群分けを行った。

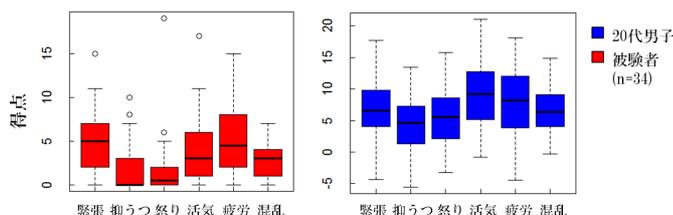


図 1: 20 代男性と被験者の各尺度における得点

*1 一定の連続的な時間に活動を続ける時や繰り返す時に、一貫して集中が維持され続ける能力

計測部位は注意の持続を司るとされる左右下前頭回付近で、国際 10/20 法を参考に設置箇所を定めた。実験は高低 2 種類の色温度環境 (以下、高色温度は Blue, 低色温度は Red とする) のもとで行った。照明は調光式学びライト LED(ベネッセコーポレーション製)を使用し、それ以外の照明は消灯した。実験環境の詳細を表 2 に示す。

注意の持続をはかる課題として、GO/NOGOTask^{*2}を用いた。本実験では、刺激に音を用い、GO 信号を 1000 Hz, NOGO 信号を 1100 Hz の正弦波とし、反応は Enter キーを押すこととした。実験設計は、図 2 に示すように GO/NOGO Task を 120 秒間行い、その前後にはそれぞれ 30 秒間、1000 Hz の音を提示し続け、被験者に安静状態を保つよう指示した。課題中の刺激は 1~3 秒毎に提示され、刺激提示時間は 0.5 秒間であった。なお、課題内容は活気群と不活気群で同一であり、光環境の順序はカウンターバランスを考慮し、被験者毎に設定を行った。

3.2 検討方法

知的生産性の評価の指標として、GO/NOGO Task の反応時間および脳血流変化量を用いて、色温度環境が注意の持続に

表 2: 実験環境

光環境	色温度 [K]	照度 [lux]
Red	3226 ± 28	270 ± 4.7
Blue	7966 ± 65	914 ± 52

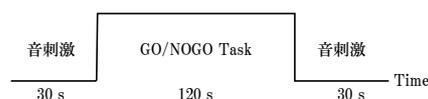


図 2: 実験設計

*2 2 種類の提示刺激 (GO 信号および NOGO 信号) に対し、GO 信号のみに素早く反応し、NOGO 信号には反応しない課題

及ぼす影響の検討を行った。以下に各検討項目に関する詳細を示す。

● 反応時間

反応時間は、刺激が提示されてから被験者が反応するまでの時間とした。エラーは、反応時間が 500 ms 以上のものと NOGO 信号提示の際に誤って反応したものととした。平均反応時間は、エラーの場合を除く反応時間の平均とした。また、全反応時間のうち反応が早いものの 10% の平均値を fast10% とした。

● 脳血流変化

脳の神経活動に伴い増加するとされる Total-Hb 濃度変化量を用いて検討を行った。fNIRS 装置より得られる脳血流データは相対値である。課題時の脳血流変化を明確にするため、課題開始時を基準として、左右のデータのゼロ点補正を行った。また、被験者間の血流量を比較するため、ゼロ点補正後にデータの標準化を行った。その後、各群および色温度間の脳血流増加量を比較するため、課題時の脳血流変化量の積分値を求めた。

4. 実験結果

4.1 作業成績

4.1.1 平均反応時間

被験者群別の GO/NOGO Task の平均反応時間を図 3, fast10% を図 4 に示す。活気群と不活気群の各色温度環境下における反応時間を比較すると、いずれにおいても群間で大きな差異は見られなかった ($p>.05$)。しかし、fast10% においては、両色温度環境で活気群の方が反応が早く、活気群内では被験者 1 名を除いて、Red よりも Blue の方が反応が早い結果となった。

4.1.2 反応時間の時系列変化

GO/NOGO Task の反応時間の時系列変化について、被験者群別データを図 5 および 6 に示す。不活気群は Blue と Red の

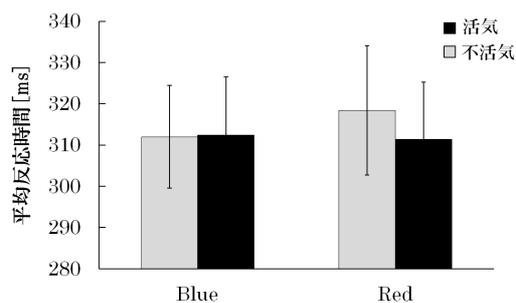


図 3: 平均反応時間 (All)

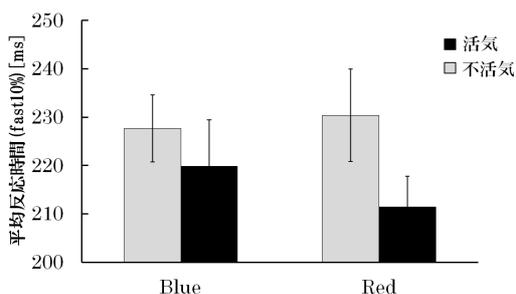


図 4: 平均反応時間 (fast10%)

反応時間の分散が大きく異なることが分かる。各群において色温度間の反応時間の分散を比較すると、活気群に関しては、色温度間に有意な差を認めることができなかった ($p>.05, F=1.47$)。しかし、不活気群に関して色温度間に有意な差が認められた ($p<.05, F=1.81$)。

4.2 脳血流変化

活気群と不活気群の課題時における脳血流変化量を図 7 に示す。図 7 より、Blue において、活気群は左右ともに課題時に血流量の大きな上昇が見られ、Red と比較して有意に上昇していることが分かった ($p>.05$) また、Blue に関しては、左右共に不活気群より有意な上昇であることが確認された ($p<.05$)。不活気群では、両色温度環境で血流量は減少もしくはほとんど上昇が見られない結果となった。

5. 考察

課題中の脳血流量より、Blue の環境下で活気群は脳血流が上昇し、不活気群は減少もしくは大きな変化が見られなかった。また、平均反応時間 (fast10%) より、両色温度で活気群の方が反応時間が早く、被験者 1 名を除いて、Blue の方が反応時

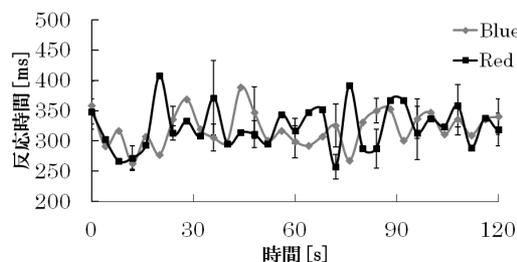


図 5: 反応時間の時系列変化 (活気群)

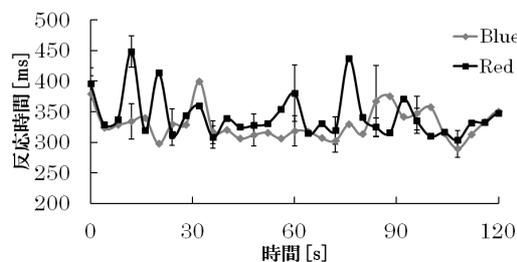


図 6: 反応時間の時系列変化 (不活気群)

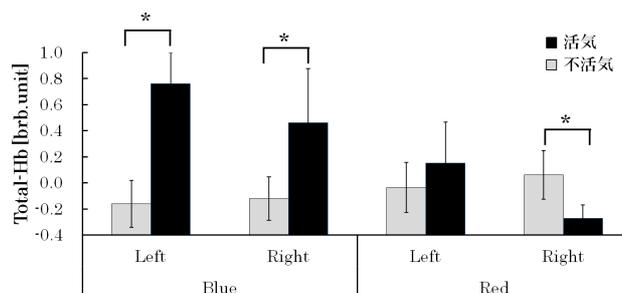


図 7: 課題中の脳血流増加量

間が早い結果となった。高色温度の環境下では、覚醒度が向上し、作業効率が向上する報告 [Sarah 12] があることから、活気群に関しては、先行研究を支持する結果が示された。このことより、高色温度の照明は活気のある被験者に対して脳活動を促進し、作業効率を向上させることが示唆された。また、不活気群に関しては、Red は Blue に対して反応時間が有意にばらついていることが分かった。図 6 より、Red ではタスク開始から中盤あたりまでのばらつきが大きく、タスクに慣れるまで時間がかかったことが考えられる。これらのことより、Blue は Red と比較してよりタスクに集中でき、不活気群に関しては、Red において集中するまでに時間がかかることが示唆された。

不活気群の脳活動が促進されなかった原因として、活気以外の心理状態の影響を受けている可能性が考えられる。そこで、被験者群間の POMS の各尺度の平均得点の比較を行った。図 8 より、「疲労」の尺度において、不活気群は活気群と比較して有意に大きいことが分かった。式 1 により算出される Spearman の順位相関係数より、「活気」と「疲労」に相関は見られなかったものの ($\rho = -0.23$)、疲労が大きいと脳血流が減少する報告 [Suda 09] より、不活気群は、疲労により両色温度環境下でも脳活動が促進されなかったことが示唆された。

さらに各群に関して因子間の相関関係を見ると、活気群は、「疲労」と「緊張-不安」($\rho = 0.76$)、「疲労」と「怒り-敵意」($\rho = 0.83$) の間に強い正の相関関係が見られた。不活気群は、活気以外のすべての因子で相互に正の相関関係があり、特に「混乱」と「抑うつ-落ち込み」の間で強い相関関係 ($\rho = 0.71$) が見られた。このことより不活気群は、何らかのストレスを感じると、疲労や不安など様々な他のストレス感情を引き起こしやすくなる可能性が示唆された。

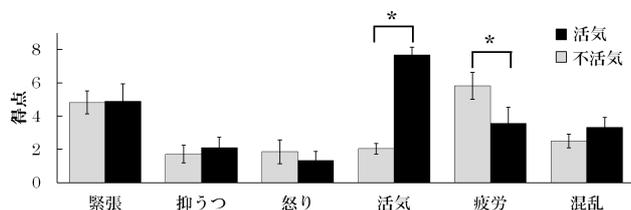


図 8: POMS の各尺度における群間の平均得点の比較

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

6. まとめ

本研究では、作業開始時における被験者の心理状態を調査した後、2 種類の色温度環境下で注意の持続をはかる課題を行った。POMS のアンケート結果に基づき、心理状態による被験者の分類を行ったのち、作業成績および課題時の脳血流量に関して評価を行った。実験の結果、平均反応時間にはほとんど差が見られなかったものの、反応時間の時系列変化では、不活気群で Red で有意に反応がばらつき、課題に集中するまでに時間がかかったことが示唆された。

脳血流量に関しては、Blue で活気群が課題時に血流が増加、不活気群は両色温度で減少する傾向が見られた。注意の持続をする際には、Blue の環境のもとで作業成績の向上が報告されているが、不活気群に関しては課題時にほとんど血流の増加が

見られなかった。POMS の「疲労」の尺度が高得点であったことから、課題中の脳血流が減少したことが考えられる。

本研究により、被験者の心理状態により、同じ色温度環境下においても及ぼす影響は異なることが示された。また、作業成績および脳血流変化量の結果より、活気のある被験者において Blue の光環境が有用であることが示唆された。

参考文献

- [Hattori 06] Youko Hattori, Misa Kawauchi, and Fumiaki Obayashi, A study on environmental control, Human Interface Symposium, 1(1322), 2006.
- [Michimori 10] Akihiro Michimori, Kazunori Araki, Hiroyuki Inbe, Hiroshi Hagiwara, and Toshihiko Sakaguchi, Effects of Color Temperature of Light on the Alertness Level, The illuminating Engineering Institute of Japan, 2010.
- [Sarah 12] Sarah L. Chellappa, Roland Steiner, Peter Blatner, Peter Oelhafen, Thomas Gotz, and Christian Cajochen, Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert?, PLoS ONE, 6(1), 2012.
- [Anca 06] Anca D. Galasiu and Jennifer A. Veitch, Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, Energy and Buildings, 38, 728-742, 2006.
- [Curran 95] Curran SL, Andrykowski MA, and Studts JL, Short Form of the Profile of Mood States (POMS-SF): Psychometric information, Psychol Assess, 7, 80-83, 1995.
- [Yokoyama 12] 横山和仁, POMS 短縮版 手引きと事例解説, 金子書房, 2012.
- [Lampert 03] McNair DM, Lorr M, and Droppleman LF: Profile of Mood States Technical Update, Multi Health System Inc, 2003.
- [Cassileth 85] Cassileth BR, Lusk EJ, Brown LL, and Cross PA, "Psychosocial status of cancer patients and next of kin: Normative data from the Profile of Mood States, Psychosoc Oncol, 3, 99-105, 1985.
- [Peter 07] Peter R Mills, Susannah C Tomkins, and Luc JM Schlangen, The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance, Journal of Circadian Rhythms, 5(2), 12-21, 2007.
- [Suda 09] Masashi Suda, Masato Fukuda, Toshimasa Sato, Shinya Iwata, Mingqiao Song, Masaki Kameyama, and Masahiko Mikuni, Subjective feeling of psychological fatigue is related to decreased reactivity in ventrolateral prefrontal cortex, Brain Research, 1252, 152-160, 2009.