

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14807

研究課題名（和文）ヒトの概日リズムと覚醒度を考慮した室内環境の検討：照明と室内配色の関係

研究課題名（英文）Investigation of indoor environment considering human circadian rhythm and arousal level: Relationship between electric lighting and wall color scheme

研究代表者

李 相逸 (LEE, SANG-IL)

北海道大学・工学研究院・助教

研究者番号：70738880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、照明の色温度と壁の配色の組み合わせによる室内光環境の違いがヒトの非視覚的反応に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。同じ照明下でも壁の配色によって室内光環境（照度、各光波長エネルギー量）が大きく変わることを確認した。ヒトの視線方向、照明と壁との位置関係が非視覚的反応に及ぼす影響の違いを数値化（m-EDI）した。また、照明の色温度、壁の配色、光暴露位置に対する瞳孔の対光反射の違いやm-EDIとの相関関係について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室内照明がヒトの非視覚的反応に及ぼす影響において、光刺激の特徴（照度、波長構成など）だけでなく、壁の光反射特性も重要なファクターであることが示唆された。ヒトの視線方向、照明の色温度、光暴露位置がヒトの非視覚的反応に与える影響を推定（m-EDI）し、図式化することができた。本研究で得られたデータや知見は、ヒトの生理的健康および視覚的快適性を考慮した室内光環境を設計するための予測モデル（室内光マップ）を開発するに基礎となりうる。また、屋内で長時間滞在する際の照明環境を設計に役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to investigate the effect of the difference in indoor light environment due to the combination of lighting color temperature and wall color scheme on non-visual response in humans. We found that the color scheme of the wall is an important factor affecting the indoor light environment (illuminance and irradiance of each light wavelength) regardless of lighting color temperature. We estimated the difference in the non-visual response caused by the direction of the sight and the light exposure position between the lighting and the wall. We also demonstrated the difference in the pupillary light reflex in response to the lighting color temperature, the wall color scheme, and the light exposure position.

研究分野：環境人間工学

キーワード：光環境 照明 反射光 壁 非視覚的作用 e-EDI 瞳孔の対光反射

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現代人の多くは一日のほとんどを屋内で過ごしている。そのため、室内の光環境に依存性が高い。一日の光環境はヒトの体内時計の位相調節に関与し、覚醒度、睡眠、メラトニンの分泌などの生理的機能の日内変動に非常に重要な要因である(光の非視覚的作用)。

一方で、夜に浴びる光は体内時計の位相を後退させ、大人だけでなく子供の生活の夜型化を促すことが懸念されている。入眠時刻の遅延は朝の出勤や通学などに合わせた起床時刻によって睡眠不足をきたし、社会的生産性や学業などのパフォーマンスの低下につながる。また、夜の光はメラトニンの合成と分泌を抑制するが、これは特に交代制労働者において糖尿病やがん発症リスクを高める要因として考えられている。これらの問題を緩和する最も確実な方法は夜に照明の使用を極力避けることかもしれない。しかし、照明の使用は現代人の生活において欠かせないことであり、現代人のライフスタイルを侵害しない範囲での新たな対策が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、室内の壁からの反射光がヒトの非視覚的反応に与える影響に着目した。室内の光環境は照明の特徴(照度、波長構成など)だけでなく、壁の光反射特性(壁の配色)によって大きく変わる。しかし、照明と壁の配色の組み合わせがヒトの非視覚的反応に与える影響については十分に理解できていない。当初はメラトニンの光抑制や概日リズムの位相(dim light melatonin onset: DLMO)を従属変数とした研究を行う予定であったが、新型コロナウイルスの流行により研究計画を大幅修正した。そのため、比較的短時間で簡単に測定できる瞳孔の対光反射を従属変数とし、照明と壁の配色に対するヒトの非視覚的反応について検討した。また、特定空間における光環境の非視覚的作用に対する理解を深める目的で、m-EDI(非視覚的反応への影響を考慮した光単位)を用いて、ヒトと照明や壁との位置関係、ヒトの視線方向の複合的效果などについて検討した。以下に研究期間中に実施した各実験の目的を示す。

【実験1】壁の配色と距離による光の明るさや波長成分の違いがヒトの瞳孔の対光反射に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

【実験2】照明の色温度(K)と壁の配色の組み合わせによる室内の光環境の違いが瞳孔の対光反射に与える影響を明らかにすることを目的とした。

【実験3】特定空間における光環境がヒトの非視覚的反応に及ぼす影響について、照明の色温度、壁の配色、ヒトと照明や壁との位置関係、ヒトの視線方向を独立変数として推定することを目的とした。

3. 研究の方法

【実験1】健康な男子大学生15名(22.2±1.2歳)が本研究の被験者として参加した。実験はクロスオーバーデザインで、3色の同素材の壁紙(白、青、ピンク)と4つの距離(20、40、60、80cm)に対する被験者の瞳孔測定(各5秒間2~3回)を行った。壁のサイズは900mm×900mmとし、机の上に設置した。机の上は同素材の黒色の壁紙を貼り付け、反射光を抑えた。

白色光(5500K)のLED照明(HH-CC1485A、Panasonic社)を実験室の天井に設置した。被験者の目の高さで測定した照度は、壁を設置していない状態で約75lxで、壁を設置すると、白壁では184lx(距離:80cm)~433lx(距離:20cm)、青壁では79lx~99lx、ピンク壁では100lx~155lxであった。被験者は座位で光源の真下に位置させた。実験中に被験者は暗順応および休憩時間(色条件の間で3分間)以外では頭をあげ台に固定した。実験手順は、10分間の暗順応後(光感受性の回復)、壁なしで5分間の光暴露に対する瞳孔面積を測定した(Baseline)。その後、各壁の色条件を距離の遠い順から呈示(各2分)し、各距離条件に対する瞳孔面積の測定を行った。壁色は被験者ごとにランダムに呈示した。

【実験2】健康な男子大学生14名(22.0±1.0歳)が実験に参加した。光源(LED照明、HH-CC1485A、Panasonic社)は、低色温度(2500K、暖色光)と高色温度(5500K、白色光)の2条件にした。被験者は照明の真下に座り、机の上に壁(900×900mm)を設置し、被験者の顔面から約60cm離れるようにした。壁の配色条件は、黒、白、赤、青、緑の5色とした。実験では、薄暗い光環境(<30lx、壁なし)に2~3分間曝露した後の瞳孔径を測定し(baseline)、実験条件(照明+壁)に5分間曝露した後の瞳孔径を測定した。この流れを1セットとし、壁色条件ごとに繰り返した。照明の色温度条件と壁色条件は被験者ごとにランダムに呈示した。

【実験3】実験室(幅2.6m×奥行2.6m×高さ2.2m)の天井にLED照明(Panasonic, HH-CC1485A)を設置し、4面の壁に同色の壁紙を張り付けた。実験条件は、色温度2条件(5500Kと2500K)、壁の配色4条件(白、黄、青、赤)とした。測定は、照明の照度(高さ1.2mの水平面照度約850lx)は固定し、位置が6箇所(照明を基準に部屋を15等分し、重ならない6箇所)で、さらに水平8方向に対して実施した(計48通り)。測定高さを2条件(床から1.2m、1.5m)とした。照度は両色温度条件とも同じ値になるように調節した。

4. 研究成果

【実験1】本報告書では、Baseline(壁なし条件)の瞳孔面積を基準に求めた瞳孔の縮瞳率(%)の結果について示す(図1)。瞳孔の縮瞳率は、白色の壁条件においてもっとも大きく、すべての距離条件において青色の壁とピンク色の壁条件での瞳孔の縮瞳率は小さかった(各 $p < .01$)。しかし、どの距離条件においても青色とピンク色条件間の縮瞳率の差はみられなかった。距離による縮瞳率は、青色条件とピンク色条件では距離が遠くなるにつれて減少傾向を示す反面、白色条件では距離による違いがみられにくいことが確認された。

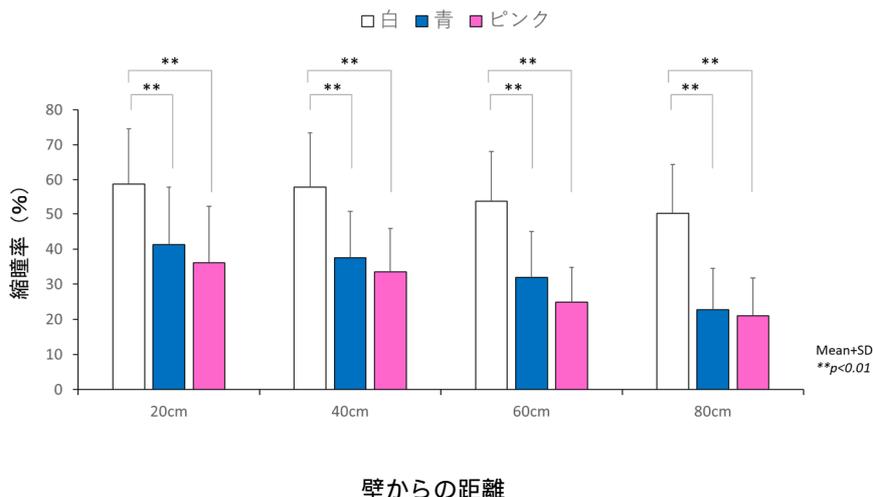


図1. 壁の配色と壁からの距離に対する瞳孔の縮瞳率

【実験2】主な結果を図2に示す。瞳孔の縮瞳率は、色温度条件に関わらず、白壁条件でもっとも大きく縮瞳した。また、低色温度条件下で赤、青、緑壁の条件間の瞳孔の縮瞳率に有意な差が認められなかった反面、高色温度条件下では、赤壁条件に比べて、青、緑壁条件下で有意に大きく縮瞳していた(各 $p < .01$)。このことから、室内光環境に対する瞳孔の対光反射は照明だけでなく壁の配色にも影響を受けること、その影響の度合いは照明の色温度に大きく依存することが明らかになった。瞳孔の縮瞳率の測定結果を「高色温度・白壁」の条件を基準に比較すると、照明の色温度のみを変えた場合(つまり、低色温度・白壁)瞳孔の縮瞳を約20%抑えることができるが、壁の配色を変えることで瞳孔の縮瞳を約50%以上抑えられることが確認できた。

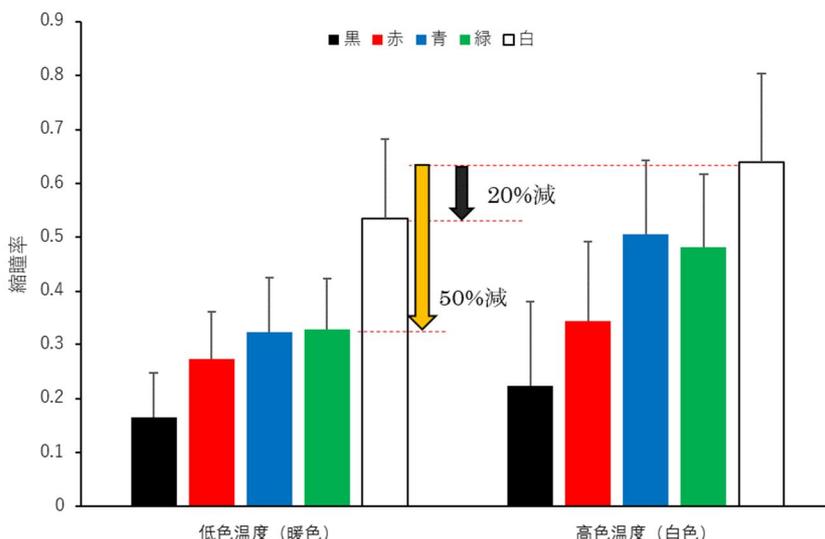


図2. 壁の配色と照明の色温度離に対する瞳孔の縮瞳率

【実験3】壁の配色、測定位置、視線方向、照明の色温度によって m-EDI が異なることを確認し、視覚化することができた。すべての壁条件で共通に、光源方向と壁方向の m-EDI の差が特に大きいことがわかった(図3)。また、図4に白壁での m-EDI の値を基準(100%)として、その他の壁色で m-EDI がどれだけ減衰しているかを表す。この結果より、壁の配色による m-EDI の減衰効果は光源方向(真ん中の赤色の点線)に近いほど弱まることが確認できた。

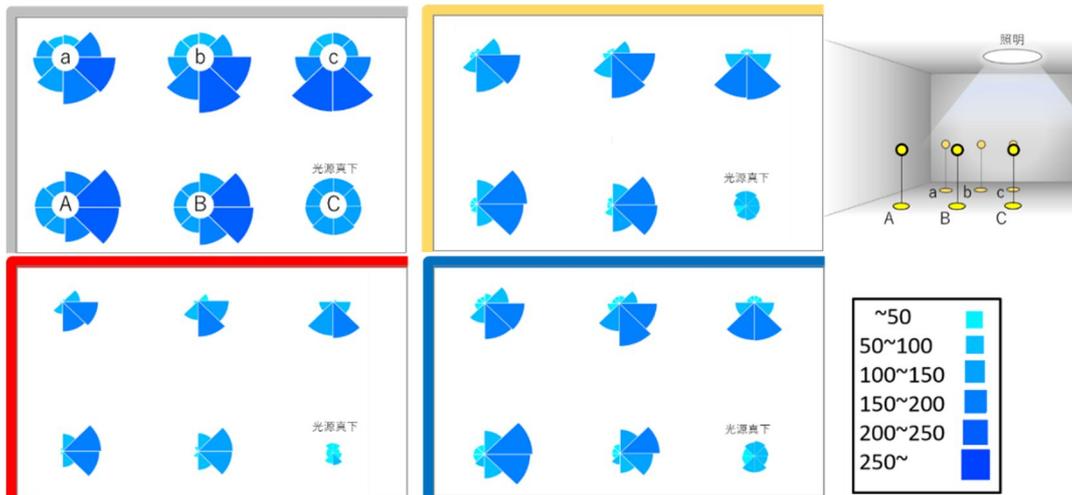


図3. 各壁の配色、光暴露位置、視線方向に対する m-EDI (照明: 5500K、白色光)(左上: 白色壁、右上: 黄色壁、左下: 赤色壁、右下: 青色壁) 測定位置については右上の図を参照

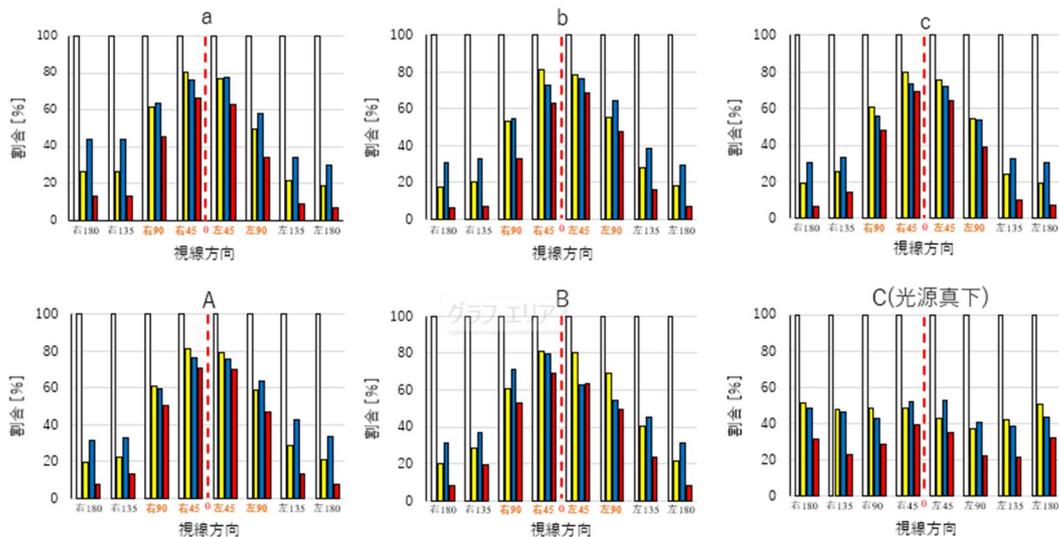


図4. 白色壁における m-EDI を基準とした各壁色条件での m-EDI の変化率 (照明: 5500K、白色光) 真ん中の赤色の点線は照明を向けた角度 0° を示す、測定位置については図3の右上の図を参照

以上の結果より、室内光環境がヒトの非視覚的反応に与える影響は、照明の仕様だけでなく、壁の配色にも依存することが示唆された。白色壁による反射光は、明るさ(照度)を確保する面では優れているが、ヒトの非視覚的反応の観点ではネガティブな影響を与える可能性が考えられる。一方で、黄色の壁は明るさを確保しながら非視覚的反応への影響を抑える可能性が考えられる。また、室内光環境がヒトに及ぼす影響において光暴露位置や視線方向が強力な要因であることが示唆された。今後は、メラトニンの光抑制や概日リズムの位相、睡眠などを従属変数としたさらなる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 李相逸
2. 発表標題 夜の光曝露によるメラトニンの抑制を緩和するための工夫
3. 学会等名 札幌睡眠フォーラム第4回学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李相逸、桶谷康祐、佐藤信吾、岡田健、濱田靖弘
2. 発表標題 照明の色温度、壁の配色、空間的位置関係による屋内光環境の違いがヒトの生理的機能に及ぼす影響 - 瞳孔の対光反応
3. 学会等名 空気調和衛生工学会北海道支部第55回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李相逸
2. 発表標題 室内環境とヒトの生理特性に関する研究
3. 学会等名 第31回廃棄物資源循環学会研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桶谷康祐、佐藤信吾、岡田健、李相逸、濱田靖弘
2. 発表標題 照明の色温度と壁の配色によるメラノピックルクスの違いと簡易的算出方法の提案
3. 学会等名 日本生理人類学会第81回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤信吾, 桶谷康祐, 李相逸, 李スミン, 濱田靖弘
2. 発表標題 照明の色温度と壁の配色の組み合わせがヒトの瞳孔の対光反射に与える影響
3. 学会等名 日本生理人類学会第81回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李相逸, 桶谷康祐
2. 発表標題 室内における反射光の波長成分の違いがヒトの瞳孔の光反射に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生理人類学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤信吾, 李相逸, 桶谷康祐, 李スミン, 濱田靖弘
2. 発表標題 照明の色温度と壁の配色の組み合わせによる室内光環境の違いがヒトの生理的機能に及ぼす影響
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会北海道支部第54回学術講演会
4. 発表年 2020年

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------