

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20370098

研究課題名（和文）光の質と個人特性がヒトの生理機能に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effects of Quality of Light and Personal Traits on Human Physiological Functions

研究代表者

勝浦 哲夫（KATSUURA TETSUO）

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00038986

研究成果の概要（和文）：低色温度・低照度環境では特性不安得点と暗算タスク時の拡張期血圧変化に正の相関が認められた。夏期のcore interthreshold zone (CIZ)は冬期より2倍程度大きく、温白色光曝露時のCIZは赤色光や青色光曝露時より大きいことが示された。午前中の単波長光曝露は夜間の睡眠に影響を及ぼし、その光が青色の場合に夜型傾向の強い個人ほど直腸温の低下を抑制することが示された。

研究成果の概要(英文): There was a positive correlation between individual's trait anxiety scores and diastolic blood pressure changes during mental arithmetic task under low color temperature/low illuminance condition. The core interthreshold zone (CIZ) in summer was twice greater than that in winter, and the CIZ under 5000K was also greater than those under red light and blue light conditions. Evening-type individuals had a smaller rectal temperature decrease during nocturnal sleep by a monochromatic light, especially blue light exposure in the morning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：生理人類学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：光環境、中枢神経機能、自律神経機能、体温調節機能、色温度、個人特性

1. 研究開始当初の背景

光はヒトを含むあらゆる生物に様々な影響を与えている。ヒトは他の生物と同様に自然の光の下で進化し、適応してきた。たとえば、高照度光が時差ボケの改善や、季節性感情障害の治療にも有効であることもよく知られている。こうした光の量、すなわち照度等の影響はすでに多くの研究がなされ、ヒトに対する影響も比較的良く知られている。

最近、哺乳類の網膜内に第3の視細胞が発見された(Berson et al., 2002)。これは内因的感光性網膜神経節細胞(ipRGC)といい、松果体におけるメラトニン合成の抑制、瞳孔収縮など、いわゆる非視覚的作用に重要な働きをしている。非視覚的作用は460 nm程度を中心とする短波長光(青色)の効果が大きいことが知られている。また、従来から知られている2種類の視細胞、錐体と杆体からの情報は大脳皮質視覚野に至り、色や形といった視覚的

作用を引き起こす。こうしたことから、光の色温度や分光特性（光色）により自律神経機能、中枢神経機能、体温調節機能などの生理機能に及ぼす影響が異なることが予想される。しかし、光の質に関する研究は生理人類学領域での精力的な研究に限られており、さらに研究を発展させる必要性を痛感していた。

2. 研究の目的

本研究ではこうした最新の知見も踏まえ、光の色温度や分光特性が自律神経機能、中枢神経機能、体温調節機能などの生理機能に及ぼす影響を明らかにすると共に、これらの反応に対する個人の性格特性、形態的特性、行動特性などの影響について検討を加え、生理反応に見られる変異の原因を明らかにするために以下の3つの研究を実施した。

(1) 色温度および照度を組み合わせた光環境が、暗算タスクまたは白色騒音を付加したときの自律神経機能、中枢神経機能に及ぼす影響を明らかにすると共に、被験者の性格特性（STAI特性不安得点など）との関連を検討することを目的とした。

(2) 種々の光環境が体温調節機能の指標であるcore interthreshold zone (CIZ)に及ぼす影響の季節差に注目し照明のCIZへの影響を評価すると共に被験者の体格・体型との関連を検討することを目的とした。

(3) 午前中に暴露した青、赤、緑の単波長光が、その後の夜間睡眠における生理応答に及ぼす影響を明らかにすると共に、被験者の個人特性（朝型・夜型）との関連を検討することを目的とした。

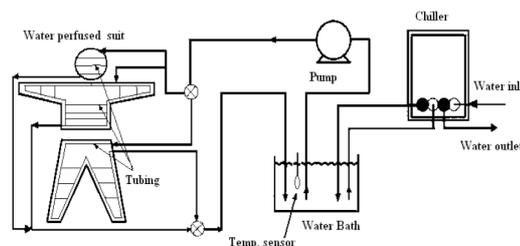
3. 研究の方法

(1) 14名の健康な青年男性（年齢 24 ± 2.5 歳）が実験に参加した。色温度（3000 K, 7500 K）、照度（200 lx, 1500 lx）を組み合わせた4条件の光環境に設定した照明実験室で実験を行った。ストレス負荷条件として、暗算（MA）タスクと白色騒音（WN）暴露（80 dBA）を20分間行った。各被験者は測定開始25分前に5000 K、1000 lxの基準照明条件に設定した照明実験室に入室し、安静にした。この間に測定した値を基準値とした。その後、照明を条件光の1つに設定し、15分間のodd-ballタスク、20分間のMAタスクあるいはWN暴露、15分間の聴覚odd-ballタスクを行った。その後、再び基準照明条件で15分間の安静、基準値測定、条件光での15分間のodd-ballタスク、20分間のWN暴露あるいはMAタスク、15分間のodd-ballタスクを行った。4つの光環境条件の実験は異なる日の同時刻に行った。4つの光環境条件の順序は被験者間でカウンタバランスを取った。

自律神経機能の指標として、収縮期血圧（SBP）、拡張期血圧（DBP）、平均動脈血圧

（MAP）、心拍数（HR）、心拍出量（CO）、一回拍出量（SV）、総末梢血管抵抗（TPR）を基準光条件と20分間のMAタスクあるいはWN暴露時に連続指血圧測定器（Portapres, TNO-TPD BMI）で連続測定した。各測定値は基準値からの変化量（ Δ ）を解析に用いた。また、8名の被験者について中枢神経機能の指標としてodd-ballタスク時のFz, F7, F8, Cz, Pz部位から導出した脳波から事象関連電位のP300を求めた。P300の振幅および潜時はストレス負荷前後の変化量（ Δ ）を解析に用いた。被験者の個人特性として、TypeA行動パターンおよび状態-特性不安検査（STAI）を行った。

(2) 健康な20歳代前半の被験者を対象として、名城大学理工学部の人工気候室を用いて実験を行った。事前に被験者の身体的・心理的特徴を把握するために身体測定及びアンケートを行った。身体的特徴の測定項目として、身長・体重、体型を測定するための身体各部の長さ、径および皮下脂肪厚を計測した。運動能力試験を行い、最大運動負荷50%を測定し、その結果をもとにcore interthreshold zone (CIZ)の測定を行った。



てもらい測定用のセンサーを装着後、冷却循環

図1. 冷水循環スーツの概略図

スーツを着衣してもらった。室内環境は20°C/50%に設定した。冷水スーツ内を循環する水温は供給側を20°Cにコントロールした（図1）。被験者の皮膚温（額、胸、前腕、手甲、大腿、下腿、足甲）と直腸温を自動記録計（KMC-604、ゲム社製）と付属センサーを用いて、実験開始から終了まで連続測定した。被験者にエルゴメータ（EC-C400R, Catye, 日本光電社製）に座ってもらい、平均皮膚温が29°C～30°Cになるまで待ち、その後運動を開始させた。被験者の最大運動負荷の50%負荷を与え、前額の局所発汗を局所発汗計（model SKD-4000, スミス社製）で測定し、発汗が開始するまで運動を継続させた。運動期間は10分～15分程度であった。発汗を確認した時点で運動を中止し、安静にしてもらった。運動中止後、酸素摂取量を代謝計（VO2000, エアソト・エムイ社製）で測定し、値が亢進するまで体冷却を継続した。

照明は蛍光灯を用い、温白色（色温度：5000 K）、赤色、青色で、照度を1000 lx（36 cd/m²）と500 lx（18 cd/m²）とした。実験室内の床面80cmにお

ける照度と周壁の輝度を照度計と輝度計で測定した。

実験は夏期および冬期に行った。

(3) 色覚正常な男子大学院生 9 名(27±3.2 歳)が実験に参加した。被験者は実験期間の 1 週間前から、1:00 から 8:00 までの就寝を義務付けられた。アクティウォッチ (Mini-Mitter Co, Inc., USA) によって睡眠時間を記録した。単波長光は 638 nm(R), 523 nm(G), 465 nm(B) にピークを持つ LED 電球 (A・S・Tech 社製) により曝露された。放射照度は被験者の目の位置でそれぞれ 73.4 μ W/cm²(R), 74.2 μ W/cm²(G), 76.9 μ W/cm²(B) であった。実験は室温 26°C, 相対湿度 50% の睡眠実験室で行った。実験は 1 条件あたり、順応夜、色光曝露、睡眠測定を含み 3 日間を必要とした。実験間隔は 1 週間とし、光条件の順番はカウンタバランスを取った。実験初日は被験者が 8:30 に実験室に入り着替えて直腸温センサ装着後、昼間 (8:00~19:00) は照度 150 lx, 夜間 (19:00~1:00) は照度 30 lx の環境とし、その後 0 lx 環境で睡眠を取った (1:00~8:00)。第 2 日目は 9:00 から 12:00 まで光条件に曝露し、それ以降は実験初日と同様に過ごした。単波長光に曝露中は、被験者は 10 分ごとに 1 分間、アクリル板を透過して拡散された単波長光を直視することを指示された。測定項目は唾液中メラトニン、尿中メラトニン、直腸温、睡眠ポリグラフであった。唾液はストローで睡眠前に 22:00 から 1 時間ごとに採取した。メラトニン濃度は唾液用メラトニン分析キット (IBL 社 Non-Extraction Melatonin Saliva ELISA) を用いた。尿中メラトニンは夜間蓄尿し、睡眠中の総量とした。直腸温は LT-8A (グラム) を用いて 22:00 から 8:00 まで 30 分ごとに測定された。睡眠ポリグラフは Polymatell AP216 (デジテックス研究所) を用いて就寝から起床まで連続測定された。主観的眠気として KSS (Kwansei-gakuin Sleepiness Scale) が測定された。また被験者属性として MEQ (日本語版朝型-夜型質問紙) スコアが測定された。本実験における被験者は、夜型から中間型の分布であった。統計解析では RGB の色ごとに、横軸を MEQ スコア、縦軸を各種生理指標とする相関分析および必要に応じてボンフェローニ法による平均値間の多重比較を行った。すべての有意水準は 5% とした。

4. 研究成果

(1) 精神ストレスである暗算 (MA) を行うことによって、血圧 (SBP, DBP, MAP) と TPR はすべての光環境条件で有意 ($p < 0.05$) に上昇した。しかし、HR, SV, CO には有意な変化は認められなかった。MA タスク時の Δ SBP

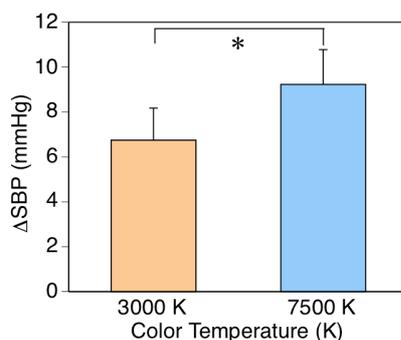


図 2. 暗算タスク時の Δ SBP に対する色温度の効果 (*, $p < 0.05$)

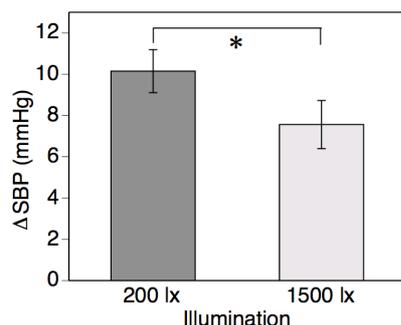


図 3. 白色騒音曝露時の Δ SBP に対する照度の効果 (*, $p < 0.05$)

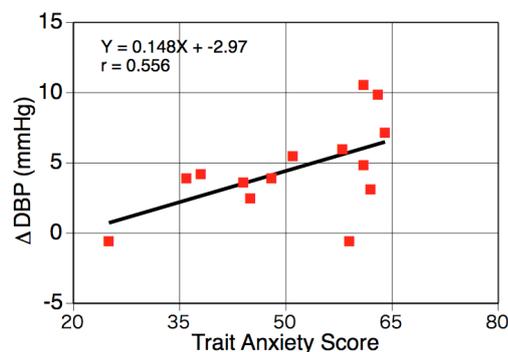


図 4. 被験者の特性不安得点と低色温度・低照度環境下暗算タスク時の Δ DBP の関係

は分散分析の結果、有意な色温度の主効果が認められ、3000 K 条件で 7500 K 条件より有意に低いことが示された (図 2)。同様に Δ DBP, Δ MAP も 3000 K 条件で 7500 K 条件より低い ($p < 0.1$ および $p < 0.05$) ことが示された。一方、 Δ HR, Δ SV, Δ CO, Δ TPR などには有意な色温度、照度の主効果は認められなかった。物理的ストレスである白色騒音 (WN) 曝露によって、血圧 (SBP, DBP, MAP) と TPR はすべての光環境条件で有意に上昇した。HR は 7500 K/200 lx 条件で有意に増加し、SV は 3000 K 条件で増加することが示された。WN 曝露時の Δ SBP, Δ DBP, Δ MAP に有意な照度の主効果が認められ、1500 lx 環境で 200 lx 環

境より有意に低いことが明らかとなった(図3)。さらに、高色温度(7500 K)環境で低色温度環境より ΔHR は有意に増加し、 ΔSV は低下する傾向が示された。

また、被験者の特性不安得点と低色温度・低照度(3000 K/200 lx)環境における ΔDBP に有意な正の相関が認められた(図4)。

中枢神経機能の指標として求めたP300振幅には有意な光環境の効果は認められなかったが、P300潜時は7500 K条件で3000 K条件よりMAタスクによって有意に延長することが示された。

本研究でMAタスク、WN暴露によって血圧が上昇することを確認し、それが主として末梢血管抵抗の上昇によることを明らかにした。MAタスク時の血圧上昇は低色温度条件で抑制されることが示されたが、これは低色温度環境における副交感神経活動の亢進と関連しているものと考えられる。一方、WN暴露時の血圧上昇は高照度光環境で有意に低いことが認められたことは興味深い現象であるが、さらなる検討が必要である。また、事象関連電位のP300潜時は7500 K条件でMAタスクによって延長したことは高色温度環境における精神疲労の増加を意味するものと思われる。本研究で特性不安得点と低色温度・低照度環境におけるMAタスク時の ΔDBP に有意な正の相関が認められた。これは特性不安得点が高い個人ほど痛み刺激による血圧上昇が大きいことを見出したRollnikら(1999)の研究と一致している。彼らは不安のような情動は血圧調節の感度に影響すると仮定した。低色温度・低照度環境では不安感が血圧調節感度に影響するのかもしれない。

(2) 発汗開始時の直腸温と代謝量亢進時の直腸温の差からCIZを求めた。本研究以前の我々の研究の成果と共に表1に示す。照明条件におけるCIZの平均値に注目すると、温白色のCIZは、赤色、青色光のCIZより倍近く大きいことがわかる。また、温白色のCIZと比較すると、500 lxでは夏期・冬期共に赤色と青色のCIZと有意な差は見られないことがわかる。一方、1,000 lxにおいては、夏期は赤色と青色のCIZは有意に小さく、冬期は逆に赤色と青色のCIZは有意に大きくなることを確かめた。1,000 lxにおいて、明らかに赤色と青色のCIZに季節差が見られることが示唆された。

本研究の成果から、照明条件がCIZに影響を及ぼすこととCIZに季節差があることを確

かめた。これまでの研究でCIZは主に体冷却時のふるえの閾値の差が反映されることを確かめている。季節順化の生理的背景を考慮すると、夏期は暑熱曝露への反応(血管拡張や発汗など)が大きく、冬期は寒冷曝露への反応(血管収縮及びふるえなど)が大きいが、逆に夏期は寒冷曝露(冷房環境)、冬期は暑熱曝露(暖房環境)に対して反応が小さい。このような季節順化の特徴が夏期にふるえの閾値が低くなる原因であると考えられる。

照明の色の違いが影響を及ぼすだけではなく、明るさ(輝度)の違いが影響を及ぼす可能性も示唆された。つまり、明るい条件で照明の色の違いがCIZに反映される可能性が高い結果を示した。高次の体温調節反応(体温中枢を介した反応)の結果であるCIZが、この様に照明の影響を受けるメカニズムは不明ではあるが、皮下に光刺激に反応する受容体があることが報告されていることから、これらの受容体からの求心性の信号が体温調節系に影響を及ぼす可能性が考えられる。また、皮下に光刺激に反応する受容体があることや光の受容器が体温調節を司る視床下部に近い視交差上核であることが報告されていることから、受容器からの情報が中枢にて交錯或いは影響し合う可能性は否定し得ないであろう。

冬期の明るい条件での結果を比較すると、赤色のCIZが最も大きいことがわかる。これまでHue-Heat仮説(赤い色は暖かいと感じ、青い色は涼しいと感じる)に注目し、官能検査を実施した研究は多い。仮説に関しては賛否両論あるが、少なくとも視覚情報と体温調節に何らかの関連性があると考えられる研究者は多い。明るい条件では、心理反応の影響も加味された可能性も無視できない。

夏期の明るい条件では、冬期の明るい条件と同様に、温白色のCIZが大きく、赤色、青色のCIZは小さくなることを確かめた。つまり、明るい条件では短波長光の曝露により寒冷に対する反応が強まると解釈できる。一方、冬期の暗い条件では青色のCIZが大きかった。暗所視での視感度がプルキンエ現象により、青色の感度が高くなることが知られている。暗い条件では、青色を他の条件と比較して、より明るいと感じたためにCIZが大きくなったと考えられる。つまり、暗い条件では、色光の違いではなく、明るさの違いが反映されたと言える。しかし、夏期の暗い照明条件では、昼白色のCIZが有意に大きい結果を得て

表1. 各環境条件におけるCIZ(°C)

【照度(lx)/輝度(cd/m ²)】	照明条件					
	1,000lx/36 cd/m ²			500lx/18 cd/m ²		
色及び(色温度)	5,000K	Red	Blue	5,000K	Red	Blue
夏期	0.69±0.29*	0.14±0.19****	0.12±0.23****	0.37±0.17***	0.3±0.13***	0.21±0.10***
冬期	0.37±0.13**	0.67±0.28**	0.52±0.18**	0.18±0.17***	0.18±0.20***	0.26±0.24***

*2004年~2008年の夏期の実験(n=22) **2008年冬期の実験(n=5) ***2009年度の実験(n=10) ****2010年度の実験(n=10)

おり、一概に明るさの違いだけではない結果を示している。また、被験者の体格・体格（身長、体重、体表面積、単位体重当たりの体表面積、Heath-Carterの体型示数など）、暑がり・寒がりりとCIZの関係を検討したところ、CIZと有意な相関が認められたのは暑がり（ $r = 0.587, p < 0.05$ ）のみであった。

(3) 青色条件では赤色よりも夜間の直腸温の値が有意に（ $P < 0.01$ ）高かった（図5）。さらに被験者内における直腸温の低下量（睡眠前の最高値-睡眠中の最低値）では、MEQスコアに対して青色条件で有意な強い正の相関（ $R^2 = 0.73$ ）を示した（図6）。メラトニンについては、唾液中濃度の絶対値および変化量、尿中総量において、平均値と相関ともに有意性は見られなかった。KSSでは何ら傾向は見られなかった。全睡眠期間中の睡眠脳波においては、青色条件で緑色よりもStage2が有意に（ $p < 0.05$ ）増加した（図7）。さらに相関分析ではStage1（図8）およびStage2（図9）で有意または有意傾向であり、すべての光条件で一貫してMEQスコアに対してStage1は正、Stage2は負の相関（ R^2 が0.4から0.6）が見られた。

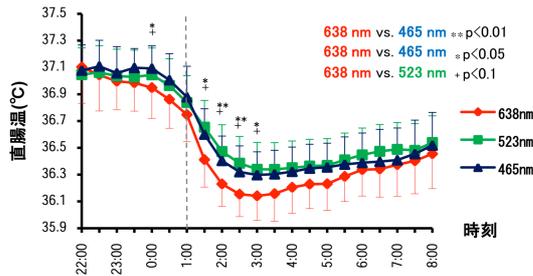


図 5. 直腸温の時系列変化

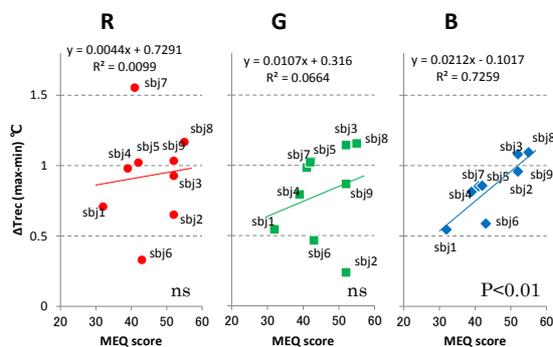


図 6. 直腸温の睡眠時低下量と MEQ の相関

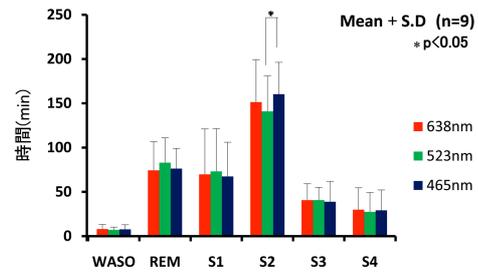


図 7. 睡眠ステージ

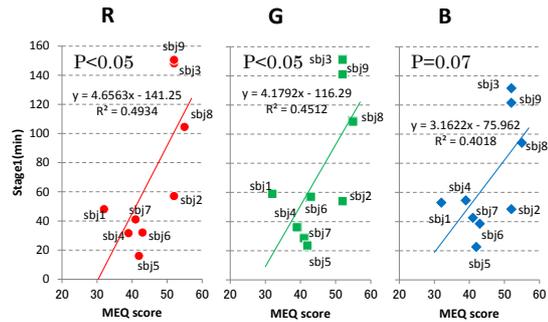


図 8. 睡眠 Stage1 と MEQ の相関

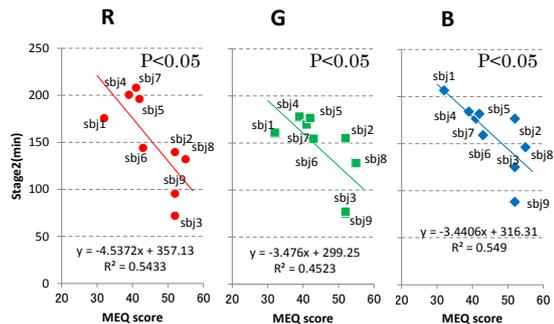


図 9. 睡眠 Stage2 と MEQ の相関

これらの結果から、午前中の青色光曝露は体温調節機構に影響して睡眠深度を浅くし、睡眠周期をも減弱させる可能性があることが示された。また、この影響は夜型傾向であるほど強いことが示された。

光によるサーカディアンリズムへの影響はしばしばメラトニンにより説明される。しかし本実験ではメラトニンの動態には光条件間の差や被験者の特性との明瞭な関連性は見られず、睡眠中の各指標の結果が、松果体におけるメラトニンの前駆体の減少によるものかどうかは不明である。また、有意であった直腸温と睡眠ポリグラフの結果は完全に一致しているわけではなく、全身的協関に深く踏み込む研究が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

1. N. Kakitsuba, I. B. Mekjavic, T. Katsuura
Seasonal Difference in the Core Interthreshold Zone under Two Different Lighting Conditions. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY, 査読有, (Accepted) 2011
2. X. Liu, K. Iwanaga, Y. Shimomura, T. Katsuura, The Reproducibility of Cardiovascular Response to Mental Task. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY, 査読有, 29, 35-41, 2010
3. N. Kakitsuba, I. B. Mekjavic, T. Katsuura
Individual variability in the core interthreshold zone as related to body physique, somatotype, and physical constitution. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY, 査読有, 28, 275-281, 2009

[学会発表] (計 10 件)

1. T. Katsuura, X. Liu, L. Shi, Y. Shimomura, N. Kakitsuba, Effects of color temperature and illuminance of lighting on physiological responses under different stress conditions, International Congress of Physiological Anthropology 2010, 2010年9月11日, Esplanade Hotel Fremantle (Australia)
2. N. Kakitsuba, I. B. Mekjavic, Y. Shimomura, T. Katsuura, Seasonal differences in the core interthreshold zone as related to lighting conditions, International Congress of Physiological Anthropology 2010, 2010年9月11日, Esplanade Hotel Fremantle (Australia)
3. 垣鍔直, 下村義弘, 勝浦哲夫, Core interthreshold zone における季節差と照明条件の影響に関する研究, 日本生理人類学会第 62 回大会, 2010 年 5 月 15 日, 大阪国際大学(大阪府)
4. 劉欣欣, 下村義弘, 勝浦哲夫, 異なる照明条件下の異なる精神ストレスに対する中枢神経系の反応, 日本生理人類学会第 62 回大会, 2010 年 5 月 16 日, 大阪国際大学(大阪府)
5. 垣鍔直, 下村義弘, 勝浦哲夫, 異なる照明条件における Core Interthreshold Zone に関する研究, 日本生理人類学会第 60 回大会, 2009 年 6 月 6 日, 北海道大学 (札幌市)

[その他]

ホームページ等

<http://env.meijo-u.ac.jp/lab/naoshi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝浦 哲夫 (KATSUURA TETSUO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00038986

(2) 研究分担者

垣鍔 直 (KAKITSUBA NAOSHI)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 30259874
下村 義弘 (SHIMOMURA YOSHIHIRO)
研究者番号: 60323432

(3) 連携研究者

なし