

## 木製座卓による視覚刺激がもたらす生理学的効果

千葉大学環境健康フィールド科学センター

池井 晴美

宮崎 良文

千葉大学環境健康フィールド科学センターと東京木材問屋協同組合との共同研究において、「木材会館」を研究素材としたフィールド実験を継続的に実施しております。

今回は、最初の試みとして、「木材会館」の和室に設置されている木製座卓を見たときの生理的なりラックス効果を明らかにすることを目的とした実験を実施しました。

その成果は、2023年7月10日にInternational Journal of Environmental Research and Public Health (環境研究ならびに公衆衛生に関する国際誌)において、Physiological Effects of Visual Stimulation by a Japanese Low Wooden Table : A Crossover Field Experiment (日本の木製座卓による視覚刺激が及ぼす生理的影響：クロスオーバーフィールド実験)というタイトルで掲載されました。

本原稿においては、上記の英語論文の概略を和文にて紹介致します。

### はじめに

室内環境下での人の快適性については、これまで温熱、空気質、音響、照明等を対象とし、人に負の影響を与える要素の除去に重きが置かれてきました。近年、室内環境分野においても生活の質 (Quality of life) 向上等といった正の効果の獲得に関心が高まっており、ウェルビーイングに焦点を当てた研究が取り組まれ始めています。木材は、室内環境を構成する天然素材の1つであり、家、オフィス、公共施設等のさまざまな建築物において、構造体部材としてのみならず、直接目にして触れられる内装仕上げ材としても使用されており、人に対して快適さや好ましき等の正の印象をもたらすことが知られています。

一方、生理指標を用いたデータの蓄積に関しては、まだまだ不十分ですが、最近の生理計測技術の確立に伴い、日本からの報告を中心に、木材由来の刺激が人の脳活動、自律神経活動、内分泌活動、ならびに免疫活動に関するデータ蓄積が進められつつあります。

従来報告においては、温湿度が調整可能な防音機能を有する人工気候室にて、脳活動および自律神経活動の同時計測が行われ、成人を対象とした一連の報告がなされてきました。木材由来の視覚刺激が人に及ぼす生理的影響に関しては、臨場感のある視覚刺激の提示が可能な大型ディスプレイを用いた木材壁画像実験が行われています。Nakamuraらは、20代の若い女性を対象に、ラミナをそれぞれ縦方向と横方向に配置した2種類の壁画像を用いて、脳活動と自律神経活動に及ぼす影響を調べました。その結果、木材壁画像による90秒間の視覚刺激は、対照条件であるグレー画像と比較して、左右前頭前野酸化ヘモグロビン濃度を有意に減少させることが示されました。また、Ikeiらは、有節材と無節材でそれぞれ構成された2種類の壁画像を用いて、同じく20歳代の女性を被験者とし、脳活動と自律神経活動

に及ぼす影響を調べています。その結果、(1)有節材による視覚刺激は、左前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の有意な低下と交感神経活動の有意な抑制、(2)無節材による視覚刺激は、右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の有意な低下と副交感神経活動の有意な亢進をそれぞれもたらすことを報告しています。木材壁画像による視覚刺激は、脳前頭前野活動の鎮静化、副交感神経活動の亢進、交感神経活動の抑制という生理的リラックス効果をもたらすことが分かりました。その他、嗅覚刺激および触覚刺激に関しても被験者実験が行われ、視覚刺激と同様、脳前頭前野の鎮静化、リラックス時に高まる副交感神経活動の亢進、ストレス時に高まる交感神経活動の抑制等といった一連の生理的リラックス効果をもたらすことが明らかにされています。このように、実験室実験においては、木材由来の視覚、嗅覚、触覚刺激が人の生理応答に及ぼす影響に関する多くの報告がなされていますが、実際の建物内を対象とした研究は存在しておりません。

近年、「持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals : SDGs)」の観点からも、木材の利活用が注目されています。持続可能な森林の経営(目標15)によって生産される木材の利用は、持続可能な生産・消費形態の確保をうたっている「目標12:つくる責任つかう責任」に直結します。木材は、他素材に比べて製造や加工に必要なエネルギーが少なく、建築や家具等の素材として利用することによって炭素貯蔵の機能を持ちます。そのため、木材は、建築物を温室効果ガスの排出源から吸収源へと転換させる素材として、期待されています。

日本においては、主として、防火の観点から、建築物の規模や用途、立地に応じて木材の利用が制限されてきましたが、近年、木質耐火部材やCLT(直交集成板)等の技術開発が進み、中高層ビルディングへの木材利用が推進されつつあります。2009年に東京港の貯木場である新木場(東京都江東区)に建設されたオフィスビル「木材会館」は、建て地上7階地下1階からなり、建物の内装、外装、および一部の構造には、日本の代表的な針葉樹であるヒノキ材を中心に、1000㎡以上の国産材が使用されています。日本の伝統的な木造工法と木質耐火部材などの最新技術を組み合わせた本ビルディングは広く注目を集め、日本建築学会作品選奨、日本建築家協会賞などを受賞しています。

木材会館は、オフィス用スペースの他に、ホール、会議室、ならびに日本の伝統的な木造建築の要素として、和室を有しています。現代の和室の原型は、約700年前に確立し、以降、日本人にとって馴染み深い居住空間として使用されてきました。和室の内装は、基本的に木材等の自然素材で構成されており、床は、畳と呼ばれる草製の敷物が全面に敷き詰められ、一般的に素足で過ごします。テーブルは、座卓と呼ばれる足の低い木製机が用いられます。第二次世界大戦以降、経済の高度成長とともに生活様式も洋風化し、床に座る生活から椅子の生活に変化しましたが、住環境研究所が20~40歳代の単世帯家族を対象に実施した間取り調査によると、新築における畳の採用率は、2016年時点で74.7%であり、全体の3/4近くが和室を生活に取り入れています。このように、和室は、日本文化に深く根ざしていると言えます。しかし、実際に使用されている木質空間におけるフィールド実験にて、木材由来の視覚刺激が人の脳活動・自律神経活動に及ぼす影響を明らかにした研究例は報告されていません。

従来室内実験において、種々の木材由来の刺激により、前頭前野活動の鎮静化、リラックス状態を反映する副交感神経活動の亢進、ストレス状態を反映する交感神経活動の抑制がもたされることが報告されています。そこで本研究では、木材会館内の和室に設置された木製座卓の視覚刺激が人に及ぼす生

理的影響を明らかにすることを目的とし、これらの生理指標を用いて、フィールド実験を実施しました。

## 2. 方法

### 2.1 参加者(被験者)

研究に参加したのは、日本人の男子大学生と大学院生です。当初は28名の学生としましたが、2名が研究当日に参加できなかったため、最終的に合計26名の男子学生が実験に参加しました。対象者は、慢性鼻炎、喘息、不整脈がなく、非習慣的喫煙者であり、ランドルト環視力に基づく視力が0.3以上(コンタクトレンズまたは眼鏡を装着している場合は、その矯正を含む)としました。表1に参加者の身体的特徴を示します。各参加者の体温は実験当日に測定しました。研究を実施する前に、すべての参加者に研究の目的と手順について十分な説明を行い、その後、参加者から書面による同意を得ました。本研究は、ヘルシンキ宣言のガイドラインに準拠して実施され、実験計画書は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理委員会の承認を受け(承認番号:56)、大学病院医療情報ネットワークに登録されました(ID:UMIN000047569)。

表1 参加者の情報(参加者数=26)

指標(単位)	平均±標準偏差
年齢(歳)	22.3±0.4
身長(cm)	172.8±6.3
体重(kg)	62.0±2.1
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.7±0.5
視力	左:0.9±0.3,右:0.9±0.3

### 2.2 視覚刺激

図2に視覚刺激風景を示しました。同様の形状のテーブルを2卓用意し、1つは木材視覚刺激用、もう一つは対照用として用いました。視覚刺激は、木曽ヒノキで作られた木製座卓を用いました。ヒノキは、日本における代表的な銘木の一つであり、座卓の天板としても広く用いられています。木製座卓のサイズは、長さ1,815mm×幅875mm×高さ380mm(図1左)とし、対照は、白い布で覆われた同じサイズの座卓としました(図1右)。参加者から視覚刺激までの距離は、約100cmとしました。



図1 視覚刺激実験風景

## 2.3 生理評価法

### 2.3.1 脳活動—近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy : NIRS)

脳活動の指標として、NIRSを使って計測した左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を使用しました。脳の神経活動に伴う局所的な脳血流は、NIRSを用いたヘモグロビン濃度値と相関します。このツールは、医学、心理学、社会科学などの分野にまたがるさまざまな研究分野で、脳の活動を測定するために広く応用されています。

2チャンネルのポータブルNIRS装置 (PocketNIRS Duo、ダイナセンス社製) を使用しました。NIRSの2つのプローブを参加者の額に左右対称に装着し、前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を計測しました。視覚刺激中の90秒間のデータは、視覚刺激直前の安静30秒間の平均値との差分として算出しました。

### 2.3.2 自律神経活動—心拍変動 (Heart rate variability : HRV) と心拍数 (Heart rate : HR)

HRVとHRを自律神経活動指標として使用しました。HRVにおいては、連続するR波とR波の間隔を周波数解析することによって、ストレス時に高まる交感神経活動とリラックス時に高まる副交感神経活動に分けて計測することができます。ポータブル心電計 (Activtracer AC-301A、GMS社製) を用いて心電図を記録しました。HRVの高域成分 (HF ; 0.15 ~ 0.40Hz) および低域成分 (LF ; 0.04 ~ 0.15Hz) のパワーは、最大エントロピー法 (MemCalc/Win、GMS社製) を用いて算出しました。HF成分は副交感神経活動を示し、LF/HFは交感神経活動を示します。本研究では、HFとLF/HFの自然対数値 ( $\ln(\text{HF})$ 、 $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ ) を用いて、参加者のHRVデータを正規化しました。

さらに、呼吸の変化はHRVデータに影響を与える可能性があるため、呼吸数を推定しました。呼吸数は、HRVパワースペクトルから推定できます。

## 2.4 主観評価法

視覚刺激によって引き起こされる印象と気分状態の変化は、簡易セマンティック・ディファレンシャル (SD) 法と気分プロフィール検査2 (POMS2) 短縮版を用いた質問紙によって評価しました。簡易SD法は、3つの対となる形容詞のペア (快適な-不快な、リラックスした-覚醒的な、自然な-人工的な) を用いて、13段階で主観的に印象を評価するものです。POMS2短縮版は、5つの負の気分状態尺度 (怒り-敵意、混乱-当惑、抑うつ-落込み、疲労-無気力、緊張-不安) と2つの正の気分状態尺度 (活気-活力、友好) からなる35項目の質問により気分状態を評価します。さらに、5つの負の気分状態尺度の合計得点から「活気-活力」の得点を差し引くことで、「総合気分状態」を算出しました。「総合気分状態」の得点が小さいほど、気分の状態がポジティブであることを示します。

## 2.5 実験の流れ

実験は、東京木材問屋協同組合木材会館 (東京都江東区新木場) の和室で実施しました。部屋の温度、相対湿度、照度は、それぞれ  $22.8 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 、 $54.0 \pm 8.3\%$ 、 $130 \sim 140\text{lx}$  でした。参加者は、控室で実験の概要と手順に関する説明を受け、同意書に署名した後、実験室に移動しました。参加者が実験室に入る前

に、木製座卓と対照は白い布で覆われており、両机を覆っていた白い布は、対照机に用いたものと同一素材としました。参加者は部屋に入ると、テーブルの前の椅子に座りました。実験者は生理学的計測用センサーを取り付け、実験手順の説明を行いました。

まず、参加者は白い布を敷いたテーブルを見ながら60秒間安静をとり、その後、実験者が布を外し、参加者は木製座卓または対照を90秒間見ました。生理応答の計測は、安静開始から視覚刺激終了まで連続して行いました。刺激の順番については、カウンターバランスをとり、順序効果を相殺しました。視覚刺激終了後、主観評価の質問紙に記入しました。

## 2.6 統計解析

統計解析にはSPSS (バージョン21.0、IBM社製) を用い、有意水準5%以下において、統計的有意性を示すと判断しました。生理的データにおいては、対応のあるt検定、心理的データにおいては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いました。

## 3. 結果

### 3.1 生理的影響

#### 3.1.1 NIRS

図2は、左右の前頭前野活動を示します。図2左は、木製座卓と対照を90秒間視覚刺激したときの左前頭前野の変化分(刺激時-刺激前:  $\Delta$ 酸素化ヘモグロビン濃度)を示しているのですが、木製座卓への視覚刺激によって、対照に比べて $\Delta$ 酸素化ヘモグロビン濃度が有意に減少しました(木製座卓:  $-0.45 \pm 0.23 \mu\text{M}$ , 対照:  $0.11 \pm 0.17 \mu\text{M}$ ,  $p=0.020$ )。右前頭前野においても、同様の傾向を示しましたが、木製座卓と対照間に有意差は認められませんでした(木製座卓:  $-0.46 \pm 0.25 \mu\text{M}$ , 対照:  $-0.00 \pm 0.15 \mu\text{M}$ ,  $p=0.067$ , 図2右)。この結果から、木製座卓の視覚刺激によって、対照と比べて、左前頭前野活動が鎮静化することが分かりました。

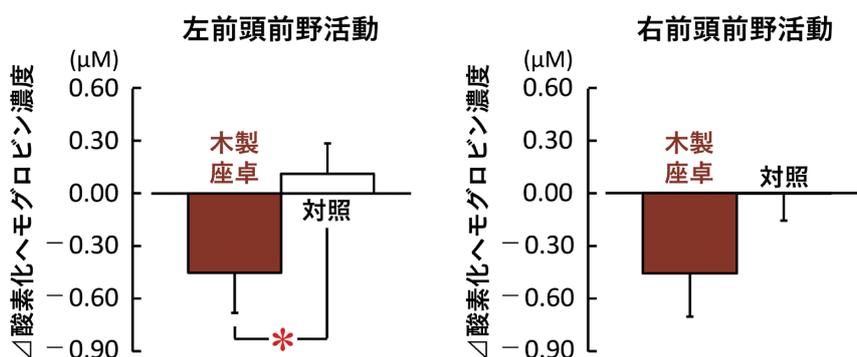


図2 木製座卓と対照の90秒間の視覚刺激による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の変化. 被験者数 = 26, 平均 ± 標準誤差, \* $p < 0.05$  (木製座卓 vs. 対照), 対応のあるt検定.

#### 3.1.2 心拍変動性と心拍数

HRVデータに影響を及ぼす可能性があるため、視覚刺激中の呼吸数において、大きな変化を示した参加者1名は除外し、分析しました。

図3にストレス時に高まることが知られている交感神経活動( $\ln(LF/HF)$ )を示します。木製座卓(-0.82±0.22)への90秒間の視覚刺激によって、対照(-0.14±0.22)に比べて、交感神経活動が有意に低下することが明らかとなりました( $p=0.042$ )。

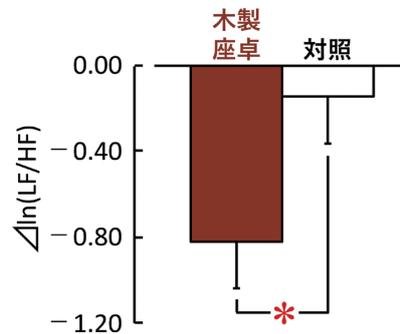


図3 木製座卓と対照の90秒間の視覚刺激による交感神経活動の変化.被験者数=25, 平均±標準誤差, \* $p<0.05$  (木製座卓 vs. 対照), 対応のあるt検定.

副交感神経活動を反映する $\ln(HF)$ 、ならびに心拍数については、木製座卓と対照の間に有意差は観察されませんでした。

### 3.2 主観評価

#### 3.2.1 簡易SD法

図4は、簡易SD法による「快適感」、「リラックス感」ならびに「自然感」の結果です。「快適感」では、木製座卓に対して、「やや快適」から「かなり快適」の間と評価されましたが、対照においては「どちらでもない」と評価され、有意な差がありました( $p<0.01$ )。「リラックス感」においては、木製座卓では「ややリラックス」から「かなりリラックス」したと評価されましたが、対照では「どちらでもない」と感じられており、有意差を認めました( $p<0.01$ )。「自然感」については、木製座卓では「やや自然」から「かなり自然」という印象を持たれていましたが、対照では「どちらでもない」から「やや人工的」と評価され、有意差がありました( $p<0.01$ )。

これらの結果から、木製座卓を見た時には、対照に比べて、より快適で、リラックスし、自然な印象をもつことが明らかになりました。

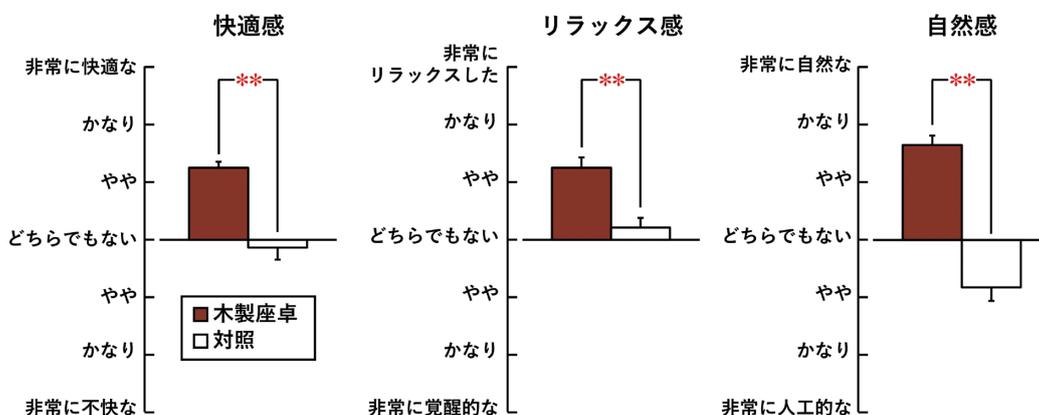


図4 簡易SD法を用いた木製座卓と対照における「快適感」「リラックス感」「自然感」の変化.被験者数=26, 平均±標準誤差, \*\* $p<0.01$  (木製座卓 vs. 対照), ウィルコクソンの符号付順位和検定.

### 3.2.2 気分プロフィール検査 2 (POMS 2)

図5にPOMS2の結果をします。負の気分状態尺度である「怒り-敵意」、「混乱-当惑」、「抑うつ-落込み」、「疲労-無気力」および「緊張-不安」においては、木製座卓の方が対照に比べて、有意に低いことがわかりました ( $p < 0.05$ )。

逆に、ポジティブな正の気分状態尺度である「活気-活力」と「友好」は、木製座卓の方が対照に比べて、有意に高いことが明らかとなりました ( $p < 0.01$ )。

「総合気分状態」も木製座卓の方が対照に比べて、有意に低いことが明らかとなりました ( $p < 0.01$ )。

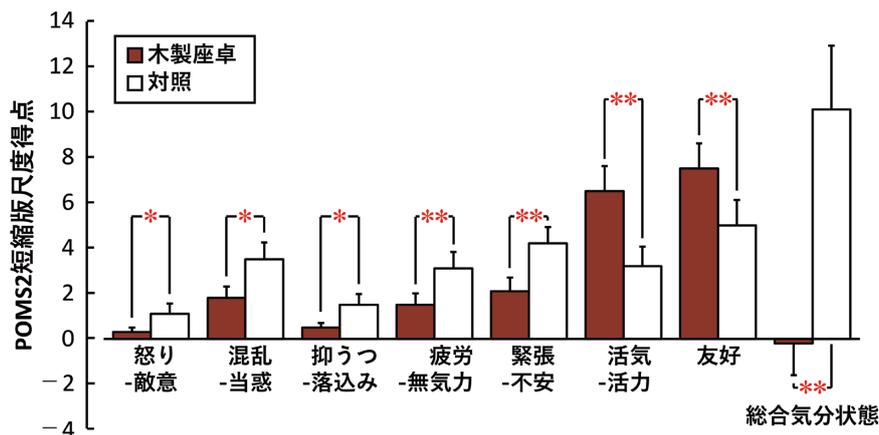


図5 POMS 2による各気分状態尺度の変化.被験者数=26, 平均±標準誤差, \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$ (木製座卓 vs.対照), ウィルコクソンの符号付順位和検定.

## 4. 考察

本研究では、木材会館の和室にある木製の低いテーブルを用いて、視覚刺激が前頭前野活動および自律神経活動に及ぼす影響を評価することを目的としました。20歳代の若年男性を対象として、NIRSによる酸素化ヘモグロビン濃度計測とHRVによる交感・副交感神経活動計測を行い、木材会館内の和室における座卓の視覚刺激が脳前頭前野活動と自律神経活動に及ぼす生理的影響を調べました。また、生理応答の傍証として、主観評価によって心理的影響を合わせて検討しました。和室内における木製座卓の90秒間の観察は、対照である布被覆座卓と比べて、左前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させるとともに、交感神経活動の指標である  $\ln(LF/HF)$  を有意に低下させ、主観評価においても、対照と比較して、快適感、リラックス感、自然感を有意に高め、全体的な気分状態を改善しました。

木材由来の視覚刺激が人の生理応答に及ぼす影響に関する先行研究として、Ikeiらは、20歳代の若年女性を対象に、温湿度・照度を一定に調整可能な防音機能を有する実験室内にて、大型ディスプレイによる木材壁画像実験を実施しています。木材壁画像は、有節と無節の2種類を用い、対照はグレー画像を用いました。実物大壁画像を90秒間提示した結果、(1)有節の壁画像において、右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の有意な低下 (vs.対照) と副交感神経活動の有意な上昇 (vs.前値)、(2)無節の壁画像において、左前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の有意な低下 (vs.対照) と交感神経活動の有意な低下 (vs.前値) が示されました。節の有無によって、左右の前頭前野活動ならびに交感・副交感神経活動の反応の違いが観察されたのですが、両者ともリラックス状態を示しました。また、Nakamuraらは、同一の実験プロトコルにて、無節の杉材を縦貼および横貼にて構成した実物大壁画像による視覚刺激を実施し、

縦貼・横貼ともに若年女性の左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させることを明らかにしました (vs. 対照)。若年男性を対象に実施した今回のフィールド実験においても、対照と比較して、左前頭前野活動の鎮静化および交感神経活動の抑制という一連の生理的リラックス効果が観察され、若年女性を対象とした実験室実験での先行研究と良い一致を示しました。

主観評価の結果は、脳活動および自律神経活動と一致していました。簡易SD法による印象評価では、木製座卓の方が、対照である布被覆座卓よりも、有意に「快適」で「リラックス」し、「自然」であると評価されました。POMS2による気分評価では、木製座卓は、対照に比べ、「怒り-敵意」、「混乱-当惑」、「抑うつ-落込み」、「疲労-無気力」および「緊張-不安」の負の気分尺度と「総合気分状態」尺度が有意に低く、「活気-活力」および「友好」の正の気分尺度が有意に高いことが明らかになりました。本研究の結果は、実験室実験にて大型ディスプレイを用いて行った木材壁画像に関する先行研究と良い一致を示しました。また、パネルやウッドデッキ等の実物の木材を対象とした先行研究においては、節の有無に関わらず、材面を見たときに人が感じる「協調性」と「活力性」のバランスが良い材が好まれること、有節材においては、節の「均一性」や「均等性」が高いものが好まれることが報告されています。本研究にて使用した座卓は、節の大きさが「均一」で、「均等」に配置されていたため、主観評価において好ましく評価されたと推察されます。

実際の建物内に設置されている座卓の視覚刺激が及ぼす影響について、脳活動と自律神経活動を調べた研究はこれまでに存在しません。本研究においては、1) 生理学的データの蓄積が乏しいフィールド実験において、木材を多用した日本の代表的な中高層ビルディングである「木材会館」を対象とし、野外実験による生理学的データが乏しいこの分野の研究に貢献したこと、2) 典型的な日本の居室様式である和室内の座卓による視覚刺激がもたらす生理的効果について検討したこと、3) 脳前頭前野活動と交感・副交感神経活動を同時計測することにより、その生理的リラックス効果を初めて明らかにした点に新規性があります。

木材由来の視覚刺激が人の生理応答に及ぼす影響に関する研究は、日本の研究チームを中心とした実験室実験によって科学的データの蓄積が進められつつあるのですが、実際の本質居室空間を対象とした報告はされておらず、未だ黎明期にあります。今後、実際に使用されているオフィスや住宅等を対象としたフィールド実験を行い、科学データの蓄積を進める必要があります。今回は20代の若年男性を被験者としていましたが、本研究から得られた知見を一般化するためには、男女別ならびに年齢別の検討が必要となります。さらに、現代の高ストレス社会を勘案した場合、種々の精神疾患や発達障害者等の高ストレス者を対象としたデータ蓄積が求められています。

## 5. 結論

木材会館内の和室における木製座卓の90秒間の視覚刺激は、対照である布被覆座卓と比較して、左前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、交感神経活動を有意に抑制させることが明らかとなりました。また、簡易SD法による印象評価によって、主観的快適感、リラックス感、自然感が有意に高まり、POMS2短縮版による気分評価によって負の気分状態が低下し、正の気分状態が上昇することが示されました。これは脳前頭前野活動および自律神経活動で観察された変化と良い一致を示しました。

結論として、「木材会館」の和室に設置されている木製座卓の視覚刺激は、生理的ならびに心理的なりラックス効果をもたらすことが明らかになりました。

#### 掲載論文

Ikei, H. ; Jo, H. ; Miyazaki, Y. Physiological Effects of Visual Stimulation by a Japanese Low Wooden Table : A Crossover Field Experiment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 6351. <https://doi.org/10.3390/ijerph20146351>

#### 参考文献

1. Djongyang, N.; Tchinda, R.; Njomo, D. Thermal comfort: a review paper. *Renew Sustain Energy Rev* 2010, 14, 2626–2640. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>
2. Tham, K.W. Indoor air quality and its effects on humans—a review of challenges and developments in the last 30 years. *Energy Build* 2016, 130, 637–650. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.071>
3. Andargie, M.S.; Touchie, M.; O'Brien, W. A review of factors affecting occupant comfort in multi-unit residential buildings. *Build Environ* 2019, 160, 106182. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106182>
4. McArthur, J.J.; Powell, C. Health and wellness in commercial buildings : systematic review of sustainable building rating systems and alignment with contemporary research. *Build Environ* 2020, 171, 106635. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106635>
5. Alapieti, T.; Mikkola, R.; Pasanen, P.; Salonen, H. The influence of wooden interior materials on indoor environment : a review. *Eur J Wood Prod* 2020, 78, 617–634. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01532-x>
6. Lipovac, D.; Burnard, M.D. Effects of visual exposure to wood on human affective states, physiological arousal and cognitive performance : A systematic review of randomized trials. *Indoor Built Environ* 2021, 30, 1021–1041. <https://doi.org/10.1177/1420326X20927437>
7. Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y.; Sato, H. The visual effects of wooden interiors in actual-size living rooms on the autonomic nervous activities. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci* 2002, 21, 297–300. <https://doi.org/10.2114/jpa.21.297>. PMID: 12612402.
8. Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y.; Sato, H. Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses. *Build Environ* 2005, 40, 1341–1346.
9. Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y.; Sato, H. Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities. *J Wood Sci* 2007, 53, 11–16. <https://doi.org/10.1007/s10086-006-0812-5>
10. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans : a review. *J Wood Sci* 2017, 63, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1597-9>
11. Nakamura, M.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual stimulation with full-scale wall images composed of vertically and horizontally arranged wooden elements. *J Wood Sci* 2019, 65, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1834-0>
12. Ikei, H.; Nakamura, M.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual stimulation using knotty and clear wood images among young women. *Sustainability* 2020, 12, 9898. <https://doi.org/10.3390/su12239898>
13. Joungh, D.; Song, C.; Ikei, H.; Okuda, T.; Igarashi, M.; Koizumi, H.; Park, B.J.; Yamaguchi, T.; Takagaki, M.; Miyazaki, Y. Physiological and psychological effects of olfactory stimulation with D-limonene. *Adv Horticult Sci* 2014, 28, 90–94.
14. Ikei, H.; Song, C.; Lee, J.; Miyazaki, Y. Comparison of the effects of olfactory stimulation by air-dried and high-temperature-dried wood chips of hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) on prefrontal cortex activity. *J Wood Sci* 2015, 61, 537–540. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1495-6>
15. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effect of olfactory stimulation by Hinoki cypress

- (*Chamaecyparis obtusa*) leaf oil. J Physiol Anthropol 2015, 34, 44. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0082-2>
16. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation by  $\alpha$ -pinene on autonomic nervous activity. J Wood Sci 2016, 62, 568–572. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1576-1>
  17. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching wood. Int J Environ Res Public Health 2017, 14, 801. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070801>
  18. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching coated wood. Int J Environ Res Public Health 2017, 14, 773. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070773>
  19. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*). J Wood Sci 2018, 64, 226–236. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1691-7>
  20. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the palm of the hand. J Wood Sci 2019, 65, 48. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1827-z>
  21. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching the wood of hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) with the soles of the feet. Int J Environ Res Public Health 2018, 15, 2135. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102135>
  22. Ikei, H.; Miyazaki, Y. Positive physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the sole of the feet. J Wood Sci 2020, 66, 29. <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01876-1>
  23. United Nations sustainable development goals. Available online: (accessed on March 15, 2023).
  24. Viholainen, N.; Kylkilähti, E.; Autio, M.; Pöyhönen, J.; Toppinen, A. Bringing ecosystem thinking to sustainability-driven wooden construction business. J Clean Prod 2021, 292, 126029. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126029>
  25. Geng, A.; Yang, H.; Chen, J.; Hong, Y. Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. For Policy Econ 2017, 85, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.007>
  26. Amiri, A.; Ottelin, J.; Sorvari, J.; Junnila, S. Cities as carbon sinks – classification of wooden buildings. Environ Res Lett 2020, 15, 094076. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba134>
  27. Forestry Agency. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, annual report on forest and forestry in Japan, fiscal year 2021. Japan. Available online: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r3hakusyo/attach/pdf/index-2.pdf> (accessed on March 15, 2023).
  28. Anagnostou, G. The Influence of Traditional Japanese Timber Design and Construction Techniques on Contemporary Architecture and Its Relevance to Modern Timber Construction. Available online: [https://gottsteintrust.org/upload/documents/projects-reports/210609023723\\_GAnagnostou\\_Gottstein-Report10181.pdf](https://gottsteintrust.org/upload/documents/projects-reports/210609023723_GAnagnostou_Gottstein-Report10181.pdf) (accessed on March 15, 2023). In [Gottstein Fellowship report]; Gottstein Trust: Sydney, Australia, 2018.
  29. Patchell, J.; Hayter, R. Japanese precious wood and the paradoxes of added value. Geogr Rev 1997, 87, 375–395. <https://doi.org/10.2307/216036>
  30. Omote, M. “Home circle with having family meal together” in the woman’s magazine and the general magazine in the Meiji era. J Home Econ Jpn. 2006, 57, 369–378 [in Japanese with English abstract: <https://doi.org/10.11428/jhej.57.369>].
  31. EnviroLife Research Institute Co., Ltd. Report of “Fact-Finding Survey on Floor Plans for Households in Their 20s to 40s.”; EnviroLife Research Institute Co., Ltd: Tokyo, Japan, 2019 [in Japanese].
  32. ISO 8596:2017, Ophthalmic Optics—Visual Acuity Testing—Standard and Clinical Optotypes and Their Presentation, 3rd ed; The International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 2017.
  33. Fox, P.T.; Raichle, M.E. Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. Proc Natl. Acad Sci U S A 1986, 83, 1140–1144.
  34. Pinti, P.; Tachtsidis, I.; Hamilton, A.; Hirsch, J.; Aichelburg, C.; Gilbert, S.; Burgess, P.W. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. Ann N Y Acad Sci 2020, 1464, 5–29. <https://doi.org/10.1111/nyas.13948>

35. Quaresima, V. ; Ferrari, M. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for assessing cerebral cortex function during human behavior in natural/social situations: A concise review. *Organ Res Methods* 2019, 22, 46–68. <https://doi.org/10.1177/1094428116658959>
36. Watanabe, T. ; Mizuno, T. ; Shikayama, T. ; Miwa, M. Development of a wireless near-infrared tissue oxygen monitor system with high sampling rate. In *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging*; Optical Society of America: Miami, FL, 2012.
37. Task Force of the European Society of Cardiology ; the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European Society of Cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>.
38. Kobayashi, H. ; Ishibashi, K. ; Noguchi, H. Heart rate variability ; an index for monitoring and analyzing human auto-nomic activities. *Appl Human Sci* 1999, 18, 53–59.
39. Kanaya, N. ; Hirata, N. ; Kurosawa, S. ; Nakayama, M. ; Namiki, A. Differential effects of propofol and sevoflurane on heart rate variability. *Anesthesiology* 2003, 98, 34–40.
40. Sawada, Y. ; Ohtomo, N. ; Tanaka, Y. ; Tanaka, G. ; Yamakoshi, K. ; Terachi, S. ; Shimamoto, K. ; Nakagawa, M. ; Satoh, S. ; Kuroda, S. ; Iimura, O. New technique for time series analysis combining the maximum entropy method and non-linear least squares method: its value in heart rate variability analysis. *Med Biol Eng Comput* 1997, 35, 318–322. <https://doi.org/10.1007/BF02534083>.
41. Kobayashi, H. ; Park, B.J. ; Miyazaki, Y. Normative references of heart rate variability and salivary alpha amylase in a healthy young male population. *J Physiol Anthropol* 2012., 31, 9. <https://doi.org/10.1186/1880>
42. Schäfer, A. ; Kratky, K.W. Estimation of breathing rate from respiratory sinus arrhythmia : comparison of various methods. *Ann Biomed Eng* 2008, 36, 476–485.
43. McCrady, J.D.; Vallbona, C.; Hoff, H.E. Neural origin of the respiratory–heart rate response. *Am J Physiol* 1966, 211, 323–328. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1966.211.2.323>.
44. Kobayashi, H. Normalization of respiratory sinus arrhythmia by factoring in tidal volume. *Appl Human Sci* 1998, 17, 207–213. <https://doi.org/10.2114/jpa.17.207>.
45. Osgood, C.E. ; Suci, G.J. ; Tannenbaum, P., *The Measurement of Meaning* ; University of Illinois Press: Urbana, IL, 1957.
46. Heuchert, J.P.; McNair, D.M.; *POMS 2, Profile of Mood States, 2nd ed.*; Multi-Health Systems Inc.: New York, NY, 2012.
47. Heuchert, J.P.; McNair, D.M., *Japanese Translation of POMS2: Profile of Mood States*; Yokoyama, K., Watanabe, K., Eds.; Kaneko Shobo: Tokyo, Japan, 2015, pp. 1–156.
48. Cohen, J., *Statistical Power for the Behavioral Sciences, 2nd ed.* ; Erlbaum : Hillsdale, NJ, ISBN 0–8058–0283–5, 1988, pp. 1–579.
49. Grissom, R.J. ; Kim, J.J., *Effect Sizes for Research : Univariate and Multivariate Applications, 2nd ed.*; Routledge: New York, NY, 2012, pp. 1–456.
50. Nakamura, M.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Effects of visual stimulation using wooden-wall images with different amounts of knots on psychological and physiological responses. *Wood Sci Technol* 2022, 56, 1869–1886. <https://doi.org/10.1007/s00226-022-01419-5>
51. Broman, N.O. Aesthetic properties in knotty wood surfaces and their connection with people's preferences. *J Wood Sci* 2001, 47, 192–198. <https://doi.org/10.1007/BF01171221>
52. Nyrud, A.Q. ; Roos, A. ; Rødbotten, M. Product attributes affecting consumer preference for residential deck materials. *Can J For Res* 2008, 38, 1385–1396. <https://doi.org/10.1139/X07-188>
53. Høibø, O. ; Nyrud, A.Q. Consumer perception of wood surfaces : the relationship between stated preferences and visual homogeneity. *J Wood Sci* 2010, 56, 276–283. <https://doi.org/10.1007/s10086-009-1104-7>
54. Manuel, A.; Leonhart, R.; Broman, O.; Becker, G. How do consumers express their appreciation of wood surfaces? Norway spruce floors in Germany as an example. *Ann For Sci* 2016, 73, 703–712.

<https://doi.org/10.1007/s13595-016-0558-1>

55. O' Grady, M.A.; Meinecke, L. Silence: because what's missing is too absent to ignore. *J Societ Cult Res* 2015, 1, 1-25.
56. Miyazaki, Y., *Shinrin-Yoku : the Japanese Way of Forest Bathing for Health and Relaxation* ; Octopus Publishing Group: London, 2018.
57. Hansen, M.M. ; Jones, R. ; Tocchini, K. *Shinrin-Yoku (Forest Bathing) and Nature Therapy : A State-of-the-Art Review*. *Int J Environ Res Public Health* 2017, 14, 851.
58. Song, C. ; Ikei, H. ; Miyazaki, Y. *Physiological effects of nature therapy : a review of the research in Japan*. *Int J Environ Res Public Health* 2016, 13, 781.
59. Churkina, G.; Organschi, A.; Reyer, C.P.O.; Ruff, A.; Vinke, K.; Liu, Z.; Reck, B.K.; Graedel, T.E.; Schellnhuber, H.J. Buildings as a global carbon sink. *Nat Sustain* 2020, 3, 269-276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
60. Himes, A. ; Busby, G. Wood buildings as a climate solution. *Environment* 2020, 4, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100030>
61. Pauliuk, S.; Heeren, N.; Berrill, P.; Fishman, T.; Nistad, A.; Tu, Q.; Wolfram, P.; Hertwich, E.G. Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars. *Nat Commun* 2021, 12, 5097. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25300-4>