

木材由来の嗅覚および触覚刺激が
人に及ぼす生理的影響の解明

2018年1月

千葉大学大学院園芸学研究科
環境園芸学専攻 緑地環境学コース

池井 晴美

(千葉大学審査学位論文)

木材由来の嗅覚および触覚刺激が
人に及ぼす生理的影響の解明

2018年1月

千葉大学大学院園芸学研究科
環境園芸学専攻 緑地環境学コース

池井 晴美

目次

第1章 序論	2
第1節 はじめに	4
1. 自然が人にもたらすリラックス効果	4
2. 主観評価の問題点	5
3. ソマテック・マーカー仮説	6
4. 研究仮説とストレスの定義	7
5. 生理応答評価指標	8
6. 自然が人にもたらす生理的リラックス効果	11
7. 本論文の目的	13
8. 引用文献	15
第2節 木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究	20
1. 文献収集法	20
2. 嗅覚刺激	26
3. 視覚刺激	29
4. 聴覚刺激	31
5. 触覚刺激	31
6. 既往研究における課題	32
7. 引用文献	34
第3節 実験計画	39
1. 被験者内計画 (Within subject design)	39
2. 被験者の選定	40
3. 実験スケジュールの詳細	41
4. 引用文献	42
第2章 木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響	43
第1節 序論	45
引用文献	47
第2節 木材由来揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激	49
1. はじめに	49
2. 材料と方法	49
3. 結果	57

4. 考察	64
5. 結論	65
6. 引用文献	66
第3節 ヒノキ葉油の嗅覚刺激	69
1. はじめに	69
2. 材料と方法	69
3. 結果	79
4. 考察	86
5. 結論	88
6. 引用文献	89
第4節 ヒノキ材チップの嗅覚刺激	95
1. はじめに	95
2. 材料と方法	96
3. 結果	105
4. 考察	111
5. 結論	112
6. 引用文献	113
第5節 まとめ	115
第3章 木材由来の触覚刺激が及ぼす生理的影響	117
第1節 序論	119
引用文献	121
第2節 ホワイトオーク材への手掌接触: 他素材との比較	123
1. はじめに	123
2. 材料と方法	124
3. 結果	133
4. 考察	142
5. 結論	145
6. 引用文献	146
第3節 ホワイトオーク材への手掌接触: 塗装材間の比較	151
1. はじめに	151
2. 材料と方法	152
3. 結果	161
4. 考察	171

5. 結論	175
6. 引用文献	176
第4節 まとめ	179
第4章 総括と今後の課題	181
1. 総括	183
2. 今後の課題	187
業績リスト	191
謝辞	195

第 1 章 序論

本序論は、以下の3節から構成されている。

第1節では、本論文の研究背景として、(1) 自然由来の刺激が人にもたらすリラクセス効果に関する研究の基盤的な考え方と初期の研究について紹介し、(2) 主観評価の問題点と生理応答計測の必要性を整理する。次に、(3) ストレス反応の経路および(4) 一般的な生理応答の評価指標を紹介する。最後に、(5) 自然が人にもたらす生理的リラクセス効果に関する近年の研究現状を示し、(6) 本論文の目的について述べる。

第2節では、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究について、(1) 蓄積された査読論文を中心に、木材由来の刺激が五感を介して及ぼす生理的影響に関して報告し、(2) 既往研究から得られた課題を整理する。

第3節では、実験計画として、(1) 被験者内計画 (Within subject design) について説明し、(2) 被験者属性を20代成人女性に設定した理由を述べ、(3) 1日のスケジュールの詳細について記載する。

第1節 はじめに

1. 自然が人にもたらすリラクセス効果

人は、約700万年前に人間となり[1]、現代に到るまでの進化の過程99.99%以上を自然環境下で過ごしてきた。そのため、我々の生体は、自然対応用に作られていると考えられている[2,3]。産業革命以降の人工化・都市化された環境下で過ごした時間は、0.01%以下に過ぎないため、自然対応用の生理機能を持った現代人は、環境に適応することができず、日常的に高いストレス状態にある[2,3]。さらに、1984年には、アメリカの心理学者 Brod C によって、コンピュ

ーターや科学技術に囲まれた環境下での労働により生じる精神的ストレスとして「テクノストレス (Technostress) [4]」という言葉が提唱された。この四半世紀において、第二期の人工化に踏み込んだと思われる。このような状況下、自然環境あるいは自然由来の刺激が人にもたらすリラックス効果に注目が集まり、1980年代以降、主観評価を中心として、いくつかの研究が行われてきた[5-7]。

Kaplan R [5]は、仕事中に自然景観を眺めることが労働者に及ぼす影響を調査した結果、デスクから自然景観が見える従業員においては、自然景観が見えない従業員と比較して、主観的ストレス状態を軽減させ、仕事に対する満足度を高めることを明らかにした。また、Ulrich RS[6]は、病室から見える外の景色が外科手術を受けた患者に及ぼす影響を検討した結果、自然景観が見える病室に入院した患者においては、人工物が見える病室に入院した患者と比較して、主観的ストレス状態が軽減され、入院期間が短く、鎮痛剤の量ならびに合併症の件数が少ないことを示した。さらに、Kuo FEら[7]は、都市の公営住宅居住者145名にインタビュー調査を行った結果、樹木や草花等による植栽のある公共空間が隣接している居住者においては、植栽のない公共空間が隣接している居住者と比較して、近隣住民との交流が多く、主観的安心感が高いことを報告した。

2. 主観評価の問題点

一方、アンケートやインタビュー調査等の主観評価においては、いくつかの問題点がある。

第一に、自分の状態を正しく解釈したうえで、言語に直して表現することは、困難である。Nisbett R と Wilson T[8]は、認知プロセスに関する研究を概観し、自らの行動の意図を意識的に内証できる範囲が限られているため、一般には自己の選好や判断等について言語化することができないことを指摘している。

第二に、言語で表現した場合、その言葉の持つ意味が人によって異なる場合がある。国や地域といった文化的な背景、年齢の違いによる表現能力の差、男女による性差等によって、同一の言葉であっても意味や程度が変化してしまう可能性がある。

第三に、刺激による反応が無意識化で生じている場合、その変化を感じ取ることとはできない。私たちは、五感を通して、外部環境からの刺激を常に受けており、膨大な情報の中から無意識のうちに必要な情報を選択し、注意を向けている。この時、その他の情報は、意識にのぼらないため、言語評価を行うことができない。

3. ソマテック・マーカー仮説

米国の研究者である Damasio A[9,10]は、人間の脳と身体が分かつことのできない一個の有機体として構成され、総体として環境と相互作用をしているという「ソマテック・マーカー仮説 (Somatic marker hypothesis)」を提唱している。本仮説について、宮崎[11]は、以下のように整理している。「1) 情動、動機付けには常に身体的、内臓系の反応が付随し、そのような身体的、内臓系の反応を『ソマテック反応』と呼ぶ。2) 外的な刺激とそれに伴う情動、動機付けを結合する場所は前頭前野腹内側部である。3) 前頭前野腹内側部とそれに関連した扁桃体が身体、内臓系に信号を出し、ソマテック反応が生じ、それが体性感覚皮質に送られ意識的なものとなる。4) その反応は前頭前野腹内側部にマークされており、そのマーク機能は意志決定を効率的にするように作用する、というものである。さらに、ダマシオはこれを拡張したアイデアを示す。つまり、1) 前記したように、実際にソマテック反応を介するシステムと 2) 身体がバイパスされ、前頭前野腹内側部と扁桃体が体性感覚皮質に対し、本来生じていたはずの活動パターンを作り出すように、直接命じるシステムである」

ダマシオは、諸々の事象が人に対して意識外で作用することもあり、我々がネガティブな決断を選択する可能性を減らすことにより、推論なしに問題解決へ向かうというメカニズムが「直観」の源泉であると述べている。また、宮崎[11]は、「感性」について、「非論理的、直観的な能力の特性。ゆえに、その処理過程を言葉では表現することができず、生理的評価によってのみアプローチが可能なもの」と定義している。個体における意思決定は、常に「合理的・論理的」なものではなく、「非論理的・直観的」に行われ、合理的・社会的思考や説明は、その後行われるのである。

生体内のメカニズムの説明の一つである「ソマテック・マーカー仮説」を勘案すると、自然環境が人に及ぼすリラックス効果について明らかにするためには、主観評価のような論理的な判断を介するのではなく、生理反応を計測・評価することが重要であると考えられる。

4. 研究仮説とストレスの定義

千葉大学環境健康フィールド科学センター自然セラピー研究室においては、“Back-to-nature” theory [2,3]を仮説とし、研究を進めている。

人間は、人間となって 99.99%以上を自然環境の中で過ごしてきたため、私たちの生体は自然対応用になってきている。そのため、産業革命以降の急激な都市化・人工化された環境に対応できず、交感神経活動、血圧、心拍数、ストレスホルモン濃度等の上昇と副交感神経活動の低下、ならびに前頭前野活動の上昇として示される「生理的ストレス状態」を生じていると考えている。

このような状況において、自然環境あるいは自然由来の刺激に触れると、人間としての本来の適正な状態に近づくため、交感神経活動、血圧、心拍数、ストレスホルモン濃度の低下と副交感神経活動の上昇、ならびに前頭前野活動の鎮静

化として示される「生理的リラックス状態」がもたらされるというセオリーである。

1936年に Selye H [12]は、「有害な因子によって体に生じた歪みと、それに対する防衛・適応反応」を「ストレス」と考え、「ストレスを引き起こす外部環境からの刺激」を「ストレッサー」と定義した。ストレス応答は、外界からの刺激（ストレッサー）により、バランスが崩れた際に生じる生体の防衛・回復反応である。ストレッサーに晒されると、大脳皮質や大脳辺縁系を經由して視床下部に情報伝達され、ストレス反応系である「視床下部－交感神経－副腎髄質系（SAM系, Sympathetic-adrenal-medullary axis）」と「視床下部－下垂体前葉－副腎皮質系（HPA系, Hypothalamic-pituitary-adrenal axis）」を活性化させる。これに免疫系の調節機能も加わり、恒常性（ホメオスタシス）が維持されている。SAM系が活性化されると、血液中にカテコールアミンが放出され、血圧の上昇、発汗、血糖値の上昇等の反応が導かれる。HPA系が活性化されると、血液中に糖質コルチコイド（コルチゾール等）が放出され、血圧の上昇、血糖値の上昇（糖新生の増加）、心収縮力の上昇、心拍出量の上昇、免疫系の炎症抑制反応等を生じ、様々な生体の機能に影響を与える。

5. 生理応答評価指標

一般的な生理応答の評価指標として、(1) 脳活動、(2) 自律神経活動、(3) 内分泌活動、(4) 免疫活動が挙げられる[13-17]。

脳活動評価においては、近赤外分光法（Near-infrared spectroscopy; NIRS）を用いた酸素化ヘモグロビン濃度計測が最近の主流である。近赤外分光法とは、血中に存在する酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの近赤外光吸収特性を利用し、経時的に脳活動計測する方法である。ヘモグロビンは、血液中で酸素を運搬する役割を

しており、動脈血中において酸素と結びつき、多くが酸素化ヘモグロビンとして存在している。酸素化ヘモグロビン濃度は、組織に供給される酸素を反映しており、活動時には上昇し、リラックス時には低下する。近赤外分光法による脳活動計測においては、暗算等により上昇し、リラックス時には低下する「前頭前野」が用いられることが多い。毛髪がないため計測が容易であるという利点もある。被験者の前額部表面に両面テープにてプローブを装着し、そこから近赤外光を照射して戻ってきた光を検出する。本手法は、脳波と比較し、被験者への拘束や負担が少なく、測定部位の活動状態を毎秒計測できるという利点がある。また、最近では、絶対値を計測できる近赤外時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) や野外高照度環境下でも計測可能な携帯型 NIRS 計測が行われるようになった。

自律神経活動においては、交感神経活動と副交感神経活動を独立して計測できる心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) 計測が最近の主流となっている。図 1 に一拍の心電図波形を模式的に示す。心臓が収縮する際、つまり脈を打つ際に検出されるのが R 波である。心臓は、規則正しく脈を打っているように思われるが、実際は 1 拍ごとの心拍間隔 (RR 間隔; R-R interval; RRI) にゆらぎ (変動性) がある (図 2)。このゆらぎは、心拍変動性と呼ばれている。RRI データを周波数解析することにより、高周波 (High-frequency; HF) 成分と低周波 (Low-frequency; LF) 成分のピークが検出される。HF はリラックス時に高まる副交感神経活動を反映し、LF/HF あるいは LF/(LF+HF) はストレス・覚醒時に高まる交感神経活動を反映することが知られている。心拍間隔の計測は、携帯型心電図計を用い、胸に三点の電極を装着する方法がよく用いられている。近年においては、小型機器や、指先脈波機器も開発され、研究の目的に応じて使い分けられている。

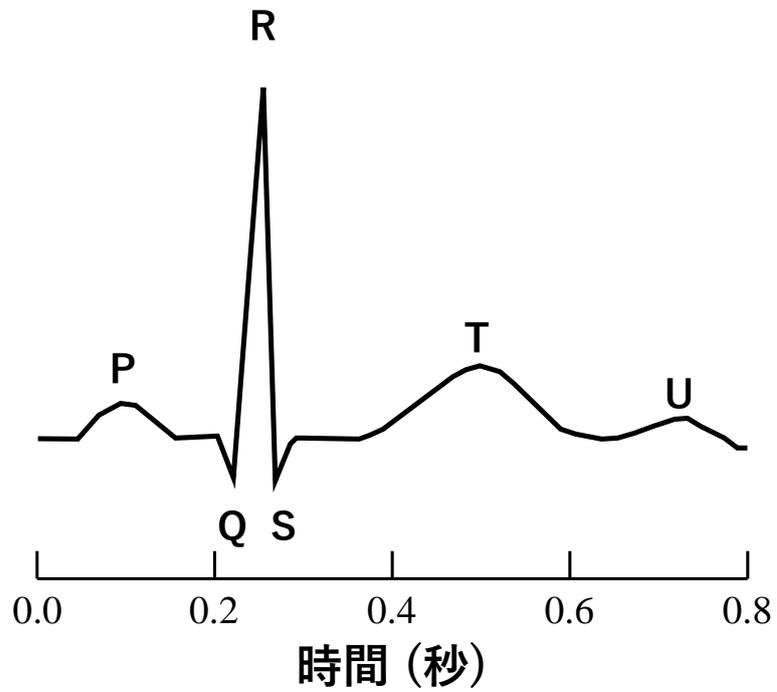


図 1. 一拍の心電図波形の模式図

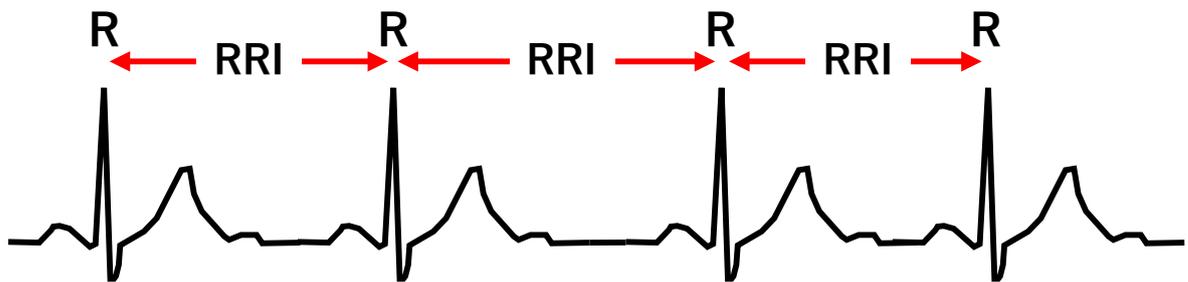


図 2. 心電図波形の模式図

内分泌指標においては、これまで血液を用いる必要であったが、分析技術の向上により、唾液を用いた評価が可能となった。快適性評価研究においては、唾液中コルチゾール濃度を指標とする場合が多く、血中濃度と唾液中濃度間に高い相関が確認されている。一方、コルチゾールは、大きな日内変動を持つため、サンプリング時刻には留意する必要がある。

免疫活動指標においては、ナチュラルキラー（Natural killer; NK）細胞活性が良く用いられるが、血液のサンプリングが必須であるという問題点がある。NK細胞は、がんの発生や感染症の防止等において重要な役割を担っており、免疫活動の指標として有用であることが知られている。一方、唾液中免疫グロブリン A を木材がもたらす免疫活動評価に用いる試みもなされており、今後の進展が期待される。

6. 自然が人にもたらす生理的リラックス効果

自然環境が人にもたらすリラックス効果に関する先行研究の多くは、アンケートやインタビュー調査等による心理学的検討が中心であったが、ここ十数年程度の生理応答計測技術の急速な進歩に伴い、近年、生理指標を用いた評価が可能となった。

自然環境の中でも、特に森林を対象とした研究が数多く行われている[18-29]。森林環境下にて座って景色を眺めたとき（座観時）の生理応答に関して、多くの報告がなされており[18-25]、脳活動においては、前頭前野における総ヘモグロビン濃度を指標とし、脳活動の鎮静化[18]がもたらされることが明らかにされている。自律神経活動においては、心拍変動性、心拍数（あるいは脈拍数）、血圧等の指標を用いて検討しており、15分間の森林内座観は、都市に比べ、リラックス時に高まる副交感神経活動の亢進[19-24]、ストレス時に高まる交感神経活

動の抑制[19-23]、血圧の低下[20-22,25]、心拍数あるいは脈拍数の低下[20-22,24,25]をもたらすことが示されている。また、唾液中コルチゾール濃度が低下することが報告されている[18,20,21,23-25]。森林環境下での歩行に関しても、都市と比較し、脳活動の鎮静化[18]、副交感神経活動の亢進[20-22,26]、交感神経活動の抑制[20-22,26]、血圧の低下[20-22]、心拍数あるいは脈拍数の低下[20-22,26]、コルチゾール濃度の低下[18,20,21]がもたらされ、生体が生理的にリラックスすることが明らかとなっている。また、Liらは、森林セラピーによって、低下していたナチュラルキラー細胞活性が高まり、免疫機能が改善されることを示し[27]、その改善効果は、約1か月間持続することを報告している[28,29]。上述した既往研究から、自然との触れ合いによって生理的リラックス効果が得られ、低下していた免疫機能が改善されるという予防医学的効果がもたらされることが示されている。

また、現代社会においては、森林等の自然環境と定期的に触れ合うことが難しい人々が多いと考えられる。花きや観葉植物は、家庭、学校および職場等の室内環境に取り入れられる身近な自然要素のひとつである。花き・観葉植物が人の生理応答に及ぼす影響に関して、いくつかの報告がなされている[30-37]。視覚刺激に関しては、バラ生花[30-33]、パンジー生花[34]、及びドラセナ観葉植物[35]を対象として実施されており、花き・観葉植物を見ることは、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の低下[30]、リラックス時に高まる副交感神経活動の亢進[31-33,25]、ストレス時に高まる交感神経活動の抑制[32,34,35]がもたらされることが示されている。また、嗅覚刺激については、バラ生花[36]、バラ花油およびオレンジ果皮油[37]を対象として実施されており、花き等の香りを嗅ぐことは、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の低下[37]および副交感神経活動の亢進[36]がもたらされることが明らかになっている。

室内環境において、木材は、古くから建材や内装材として使用されており、身近で馴染み深い自然素材のひとつである。内閣府が実施した木材に関する意識調査[38]においては、「温もりを感じる」、「気持ちが落ち着く」、「心が安らぐ」等の意見が挙げられており、森林と生活に関する意識調査[39]においては、回答者の約 8 割が「非木造よりも木造住宅を選択したい」と回答している。近年では、林野庁による木材利用の促進が進められており、その一環として「木育」の取組が広がっている[40,41]。木材が人の生理応答に及ぼす影響に関しては、1992 年に宮崎ら[42,43]によってタイワンヒノキ材油の嗅覚刺激が及ぼす影響に関する論文が報告されているが、Evidence-Based Medicine (EBM) [44]に基づいた科学的データの蓄積は少なく、エビデンスの蓄積が待たれているのが現状である。木材が有するリラックス効果に関しては、当初、温度と湿度に関連した研究が進められてきた[45-48]。その後、五感を介した刺激がもたらす影響について、主観評価指標を用いた研究が進められ[49-54]、最近になって、各種生理応答指標を用いた検討が行われつつある。

7. 本論文の目的

本論文においては、第一に、木材がもたらす生理的影響に関する現状を概観するため、木材由来の嗅覚・視覚・触覚刺激等が人の生理応答に及ぼす影響に関して、生理指標を用いた査読論文を収集した。その結果、既往研究においては、

- 1) 血圧等の単一指標による評価しかなされていない研究が多く存在すること、
- 2) 対照刺激を設定せず、前値を対照としている等、実験デザインに不備のある研究が多く存在することが明らかになった。詳細に関しては、次節（第 2 節 木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究）を参照いただきたい。

そこで本論文においては、五感の中では、比較的報告の多い嗅覚刺激と極めて少ない触覚刺激に着目し、近年進歩の著しい脳活動・自律神経活動指標を用いて、実験デザインに留意した上で、木材が人にもたらす生理的影響を明らかにすることを目的とした。

生理指標としては、脳活動では、近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を用い、自律神経活動では、心拍変動性による副交感・交感神経活動を用いた。

刺激としては、1) 嗅覚刺激においては、日本の代表的な針葉樹であるヒノキの①主要揮発成分である α -ピネン、②枝葉の精油、③材チップを用いた。2) 触覚刺激においては、住宅の内装材として一般的に用いられているホワイトオーク材を用いて、①各種他素材との比較、②各種塗装間の比較を行った。

8. 引用文献

1. Brunet M.; Guy F.; Pilbeam D., Mackaye H.T., Likius A., Ahounta D., Beauvilain A., Blondel C., Bocherens H., Boisserie J.R., et al. A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature*. 2002, 418:141-151.
2. O'Grady, M.A. Silence: because what's missing is too absent to ignore. *J. Soc. Cult. Res.* 2015, 1:1-25.
3. Miyazaki, Y.; Park, B.J.; Lee, J. Nature therapy. In *Designing Our Future: Local Perspectives on Bioproduction, Ecosystems and Humanity*; Osaki, M.; Braimoh, A.; Nakagami, K.; Eds.; United Nations University Press: New York, NY, USA, 2011; pp. 407–412.
4. Brod, C. *Technostress: The Human Cost of the Computer Revolution*; Addison Wesley: Boston, MA, USA, 1984.
5. Kaplan, R. The Role of Nature in the Context of the Workplace. *Landsc. Urban Plan.* 1993, 26:193-201.
6. Ulrich, R.S. View through a window may influence recovery from surgery. *Science*. 1984, 224(4647):420-421.
7. Kuo, F.E.; Sullivan, W.C.; Coley, R.L.; Brunson, L. Fertile Ground for Community: Inner-City Neighborhood Common Spaces. *Am. J. Community Psychol.* 1998, 26(6):823-851.
8. Nisbett, R.E.; Wilson, T.D. Telling More than We Can Know: Verbal Reports on Mental Processes. *Psychol. Rev.* 1977, 84(3):231-259.
9. Damasio, A. *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*; Penguin Books: London, UK, 1994.
10. アントニオ・ダマシオ (原著), 田中三彦 (翻訳). 生存する脳—心と脳と身体
の神秘; 講談社: 東京, 1994.
11. 宮崎良文. 感性とソマテック・マーカ—仮説. 日本生理人類学会 (編). *カラダの百科事典*; 丸善: 東京, pp. 227-228, 2009.
12. Selye H. A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*. 1936, 138:32.
13. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
14. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 27–37.
15. 恒次祐子, 松原恵理, 杉山真樹 (2017) 木質居住環境が人間にもたらす影響の評価手法. *木材学会誌* 63(1):1-13.

16. 日本生理人類学会計測研究部会. 人間科学計測ハンドブック. 技報堂出版; 東京, 日本, 1996.
17. 宮崎良文. 自然セラピーの科学: 予防医学的効果の検証と解明. 朝倉書店; 東京, 日本, 2006.
18. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Sato, M.; Miyazaki, Y. Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest)—Using salivary cortisol and cerebral activity as indicators. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26, 123–128.
19. Tsunetsugu, Y.; Lee, J.; Park, B.J.; Tyrväinen, L.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements. *Landsc. Urban Plan.* 2013, 113, 90–93.
20. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 18–26.
21. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Ishii, H.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of “Shinrin-yoku” (taking in the atmosphere of the forest) in an old-growth broadleaf forest in Yamagata prefecture, Japan. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26, 135–142.
22. Park, B.J.; Kasetani, T.; Morikawa, T.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of forest recreation in a young conifer forest in Hinokage Town, Japan. *Silva. Fenn.* 2009, 43, 291–301.
23. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ohira, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects. *Public Health* 2011, 125, 93–100.
24. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ishii, H.; Furuhashi, S.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) in a mixed forest in Shinano Town, Japan. *Scand. J. For. Res.* 2008, 23, 278–283.
25. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The restorative effects of viewing real forest landscapes: Based on a comparison with urban landscapes. *Scand. J. For. Res.* 2009, 24, 227–234.
26. Lee, J.; Tsunetsugu, Y.; Takayama, N.; Park, B.J.; Li, Q.; Song, C.; Komatsu, M.; Ikei, H.; Tyrväinen, L.; Kagawa, T.; et al. Influence of forest therapy on cardiovascular relaxation in young adults. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2014.

27. Li, Q.; Morimoto, K.; Nakadai, A.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Shimizu, T.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Suzuki, H.; Miyazaki, Y.; et al. Forest bathing enhances human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2007, 20, 3–8.
28. Li, Q.; Morimoto, K.; Kobayashi, M.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Suzuki, H.; Li, Y.J.; Wakayama, Y.; et al. Visiting a forest, but not a city, increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2008, 21, 117–127.
29. Li, Q.; Morimoto, K.; Kobayashi, M.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Li, Y.J.; Wakayama, Y.; et al. A forest bathing trip increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents* 2008, 22, 45–55.
30. Song C.; Igarashi, M.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Physiological effects of viewing fresh red roses. *Complement. Ther. Med.* 2017, 35:78-84.
31. Ikei, H.; Komatsu, M.; Song, C.; Himoro, E.; Miyazaki, Y. The physiological and psychological relaxing effects of viewing rose flowers in office workers. *J. Physiol. Anthropol.* 2014, doi: 10.1186/1880-6805-33-6.
32. 池井晴美, 李宙営, 宋チョロン, 小松実紗子, 日諸恵利, 宮崎良文 (2013) バラ生花の視覚刺激がもたらす生理的リラックス効果 : 高校生を対象として. *日本生理人類学会誌* 18 (3):97-103.
33. 小松実紗子, 松永慶子, 李宙営, 池井晴美, 宋チョロン, 日諸恵利, 宮崎良文 (2013) バラ生花の視覚刺激が医療従事者にもたらす生理的・心理的リラックス効果. *日本生理人類学会誌* 18 (1):1-7.
34. Igarashi, M.; Aga, M.; Ikei, H.; Namekawa, T.; Miyazaki, T. Physiological and psychological effects on high school students of viewing real and artificial pansies. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2015, 12:2521-2531.
35. Ikei, H.; Song, C.; Igarashi, M.; Namekawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological and psychological relaxing effects of visual stimulation with foliage plants in high school students. *Adv. Hortic. Sci.* 2014, 28:111-116.
36. Igarashi, M.; Song, C.; Ikei, H.; Ohira, T.; Miyazaki, Y. Effect of olfactory stimulation by fresh rose flowers on autonomic nervous activity. *J. Altern. Complement. Med.* 2014, 20:727-731.
37. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22:1027-1031.

38. 木材に関する意識調査, 国政モニター月報 2018 年 6 月号, 内閣府大臣官房政府広報室, 2008, pp. 1-49.
39. 内閣府: 森林と生活に関する世論調査(平成 23 年 12 月調査), <http://survey.gov-online.go.jp/h23/h23-sinrin/index.html>, 2017 年 12 月 31 日参照
40. 林野庁. 第 4 章: 木材需給と木材利用. 平成 26 年度森林・林業白書; 林野庁林政部: 東京, pp. 136-167, 2015.
41. 宮崎良文. 感性とソマテック・マーカー仮説. 日本生理人類学会 (編). カラダの百科事典; 丸善: 東京, pp. 227-228, 2009.
42. 日刊木材新聞. 木材が生活の質を高める: 木材と人の関係を科学で解く. 2017 年 3 月 7 日付, 第 4 面.
43. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. 日本木材学会誌 38 (10):909-913.
44. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-1-瞳孔光反射・作業能率・官能評価・感情プロフィール検査に及ぼす影響. 日本木材学会誌 38 (10):903-908.
45. Guyatt, G. Evidence-based medicine—a new approach to teaching the practice of medicine. JAMA 1992, 268:2420–2425
46. 原田浩. 木質パネル壁住宅の温度調節機能. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 255-264, 1987.
47. 平井信之. 木質住宅の温度調整機能. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 265-279, 1987.
48. 三輪雄四朗. 調湿. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 295-312, 1987.
49. 山田正. 木質内装材による調湿. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 313-340, 1987.
50. 佐道健. 木材の接触感特性. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 195-206, 1987.
51. 小野英哲. 床の歩行・運動感. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 207-218, 1987.
52. 岡島達雄. 感覚的評価. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 233-243, 1987.
53. 吉田正昭. 視触聴感の多変量解析. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 242-250, 1987.
54. 大釜敏正. 木のニオイの嗜好調査. 山田正 (編). 木質環境の科学; 海青社: 滋賀, pp. 355-364, 1987.

55. 仲村匡司 (2012) 木材の見えと木質内装. 木材学会誌 58 (1):1-10.
doi:10.2488/jwrs.58.1.

第 2 節 木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究

1. 文献収集法

文献の選択基準は、(1) 英語あるいは日本語にて出版されていること、(2) 文献検索実施時である 2015 年 3 月までに発刊されていること、(3) 人を対象とした生理的影響に関する報告であることである。

関連する論文の検索は、Web of Science、PubMed、CiNii、J-STAGE データベースにて行われた。以下の「木材や木材由来の成分に関連する用語」と「生理的効果に関連する用語」の組み合わせによる検索を実施した。1) 木材や木材由来の成分に関連する用語; 「木 (wood)」、「木材 (wood material)」、「天然木材 (natural wooden material)」、「ヒノキ (Japanese cypress)」、「スギ (Japanese cedar)」、「ヒノキ (Hinoki)」、「スギ (Sugi)」、「ヒバ (Hiba)」、「 α -ピネン (α -pinene)」、「リモネン (limonene)」および「セドロール (cedrol)」。2) 生理的効果に関連する用語; 「脳活動 (brain activity)」、「自律神経活動 (autonomic nervous activity)」、「内分泌活動 (endocrine activity)」、「免疫活動 (immune activity)」、「生理的影響 (physiological effects)」および「生理的リラックス (physiological relaxation)」。加えて、収集した論文に引用されている他の出版物を調べ、関連する文献を追加した。

上記の基準を適用し、33 報の査読論文 (内、総説 6 報) を抽出した (表 1)。

表 1. 木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究の概要 (業績 1) を改変

年	著者	五感	生理指標	結果	刺激 / 対照	(刺激呈示時間)	被験者	論文区分	引用番号
2014	Joung et al.	嗅覚	自律神経活動	副交感神経活動の亢進 (HRV 計測) 心拍数の低下 *対照との比較	D-リモネン / 空気	(90 秒)	女子大学生 n = 13	原著	9
2014	Matsubara and Kawai	嗅覚	自律神経活動	計算タスク (内田クレペリンテスト) 実施後 唾液中クロモグラニン A 上昇: スギ材パネルなし 変化なし: スギ材パネルあり †前値との比較	スギ材パネルあり / なし	(45 分)	男子大学生 n = 16	原著	4
2012	Hori et al.	吸入 (下気道)	脳活動	左右海馬における rCBF の上昇 (SPET 計測) †前値との比較	セドロール	(10 分)	完全喉頭切除男性患者 n = 11	短報	14
2011	Matsubara et al.	嗅覚	脳活動	VDT 持続タスク実施後 α 波帯域の低下 θ 波帯域の上昇 *対照との比較	シベリアアモミ葉油 / 空気	(40 分)	男子大学生 n = 9	原著	15
			自律神経活動	VDT 持続タスク実施後 心拍数の低下 *対照との比較					
2011	Matsubara et al.	嗅覚	脳活動	VDT 持続タスク実施後 θ 波帯域の上昇: 低・高濃度 *対照との比較	(-)-酢酸ボルニル (低・高濃度) / 空気	(40 分)	男子大学生 n = 9	原著	16
			自律神経活動	VDT 持続タスク実施中 心拍数の低下 *対照との比較 VDT 持続タスク実施後 交感神経活動の抑制 心拍数の低下 †タスク実施中 30 分間との比較					

年	著者	五感	生理指標	結果	刺激 / 対照	(刺激呈示時間)	被験者	論文区分	引用番号
2011	Matsubara et al.	嗅覚	自律神経活動	VDT 持続タスク実施中 心拍数の上昇: 低・高濃度 *対照との比較	ゲッケイジュ葉油 / 空気	(45 分)	男子大学生 n = 9	原著	17
			その他	VDT 持続タスク実施中 正解率の上昇: 低濃度 *対照との比較					
2011	木村ら	嗅覚・視覚 (複合)	自律神経活動	唾液中アミラーゼの低下 : 木質居室 (木材率 20.6%) *対照との比較 収縮期・拡張期血圧の低下 : 木質居室 (20.6、42.8、68.0%) †前値との比較	ヒバ材内装居室 (木材率 20.6%、42.8%、68.0%) / ヒバ材なし居室 (0.0%)	(180 秒)	大学生 n = 14 (男女各 n = 7)	原著	25
2010	恒次ら	嗅覚	脳活動	前頭前野における 酸素化ヘモグロビン濃度の低下 (NIRS 計測) 総ヘモグロビン濃度の低下 (NIRS 計測) †前値との比較	ヤマザクラ材チップ	(2 分)	20 代男性 n = 20	原著	8
			自律神経活動	脈拍数の低下 唾液中アミラーゼの低下 †前値との比較					
2009	Li et al.	嗅覚	免疫活動	ナチュラルキラー細胞活性の上昇 †前値との比較	ヒノキ材油	(3 泊)	成人男性 n = 12	原著	3
			内分泌活動	尿中アドレナリン濃度の低下 尿中ノルアドレナリン濃度の低下 †前値との比較					
2008	Sakuragawa et al.	触覚	自律神経活動	収縮期血圧 上昇: アルミニウム、アクリル樹脂、 加温アクリル樹脂 変化なし: スギ、ヒノキ、ナラ材 低下: 冷やしたナラ材 †前値との比較	ヒノキ、スギ、ナラ材 アクリル樹脂、 アルミニウム (冷却・常温・加温)	(60 秒)	男子大学生 n = 13	原著	33

年	著者	五感	生理指標	結果	刺激 / 対照	(刺激呈示時間)	被験者	論文区分	引用番号
2008	Umeno et al.	吸入 (下気道)	自律神経活動	収縮期・拡張期血圧の低下 交感神経活動の抑制 (HRV 計測) 副交感神経活動の亢進 (SBPV・DBPV 計測) †前値との比較	セドロール	(10分)	完全喉頭切除男性患者 n = 11	原著	13
2007	Sadachi et al.	嗅覚	自律神経活動	縮腫率の上昇 †前値との比較	セドロール	(60秒)	アメリカ人女性 n = 142	原著	12
2007	Yada et al.	嗅覚	自律神経活動	縮腫率の上昇 †前値との比較	セドロール	(60秒)	女性 n = 178 (日本人 n = 64, タイ人 n = 57, ノルウェー人 n = 57)	原著	11
			脳活動	前頭前野総ヘモグロビン濃度 (NIRS 計測) 上昇: 居室 (木材率 0、90%) 変化なし: 居室 (45%) †前値との比較					
2007	Tsunetsugu et al.	視覚	自律神経活動	脈拍数 上昇: 居室 (木材率 45%) 変化なし: 居室 (0、90%) 収縮期血圧 低下: 居室 (90%) 変化なし: 居室 (0、45%) 拡張期血圧 低下: 居室 (0%、45%、90%) †前値との比較	居室 (13 m ²) (木材率 0%、45%、90%)	(90秒)	男子大学生 n = 15	原著	24
2005	Sakuragawa et al.	視覚	自律神経活動	収縮期血圧 ヒノキ材パネルの主観的評価 「好き」群 (n = 5): 低下 「嫌い」群 (n = 5): 変化なし 白色スチールパネルの主観的評価 「嫌い」群 (n = 9): 上昇 †前値との比較	ヒノキ材パネル / 白色スチールパネル	(90秒)	男子大学生 n = 14	原著	21

年	著者	五感	生理指標	結果	刺激 / 対照	(刺激呈示時間)	被験者	論文区分	引用番号
2005	Tsunetsugu et al.	視覚	脳活動 自律神経活動	前頭前野総ヘモグロビン濃度 (NIRS 計測) 上昇: 標準木質居室 ↑前値との比較 脈拍数 低下: 標準木質居室 上昇: デザイン木質居室 拡張期血圧 変化なし: デザイン木質居室 低下: 標準木質居室 ↑前値との比較	標準木質居室、 デザイン木質居室	(90 秒)	男子大学生 n=15	原著	23
2004	Sueyoshi et al.	聴覚	自律神経活動	収縮期血圧 上昇: 60、80 dBA ↑前値との比較	タッピングマシンによる床 衝撃音 (60、80 dBA) / 衝撃音なし (暗騒音 47dBA)	(5 分)	20 代男性 n = 9	原著	29
2004	Sueyoshi et al.	聴覚	自律神経活動	収縮期血圧 上昇: 50cm、100cm、150cm 抹消血流 低下: 50cm、100cm、150cm ↑前値との比較	自動車タイヤ落下による 単一床衝撃音 (2 階の床上 50、100、150 cm)	(60 秒)	20 代男性 n = 10	原著	30
2003	Dayawansa et al.	嗅覚	自律神経活動	心拍数の低下 収縮期・拡張期血圧の低下 交感神経活動の抑制 (HRV 計測) 副交感神経活動の亢進 (HRV 計測) *対照との比較	セドロール / 空気	(10 分)	成人 n = 26 (男性 n = 10、 女性 n = 16)	原著	10
2002	Tsunetsugu et al.	視覚	自律神経活動	脈拍数の低下 *対照との比較	標準木質居室 / デザイン木質居室	(90 秒)	男子大学生 n = 10	原著	22
2002	Hiruma et al.	嗅覚	脳活動	初期および後期 CNV 成分振幅の上昇 *対照との比較	ヒバ精油 / 空気	(30 分)	20 代女性 n = 16	原著	6
1998	Morikawa et al.	触覚	自律神経活動	収縮期血圧および脈拍数 小さな変動: ヒノキ、スギ材 大きな変動: ステンレス、デニム生地	ヒノキ材、スギ材、 ステンレス材、 デニム生地	(60 秒)	女子大学生 n = 19	短報	32

年	著者	五感	生理指標	結果	刺激 / 対照	(刺激呈示時間)	被験者	論文区分	引用番号
1996	寺内ら	嗅覚	脳活動	Fzにおける初期 CNV 振幅 低下: 7種の針葉樹木粉 Czにおける α/β 波比 上昇: ヒバ木粉 *対照との比較	7種の針葉樹木粉 / 空気	(記載なし)	大学生 n = 10 (男女各 n = 5)	原著	5
1995	Sueyoshi and Miyazaki	聴覚	脳活動	脳波における α 波 低下: 74、78dBA 脳波における θ 波 低下: 63 dBA *対照との比較	タッピングマシンによる 床衝撃音 (54、63、73、78 dBA) / 衝撃音なし (暗騒音 47 dBA)	(90 秒)	女性 n = 14	原著	28
			その他	作業能率 (文字削除テスト) 削除ミスの上昇: 65 dBA *対照との比較					
1995	福田と金子	嗅覚	脳活動	脳波における α 波の出現率 上昇: コウヤマキ、ヒメコマツ、ケヤキ ↑前値との比較	日本の主要樹木 15 種の 木材標本	(2 分)	大学生 n = 50 (男女各 n = 25)	原著	7
1994	宮崎ら	嗅覚	自律神経活動	拡張期血圧 低下: タイワンヒノキ材油「強い」におい 瞳孔最大収縮加速度 上昇: タイワンヒノキ材油「強い」におい *対照との比較	台湾ヒノキ材油 (感覚強度: 「弱い」「楽に 感じる」「強い」におい) / 空気	(記載なし)	女子大学生 n = 6	原著	2
1992	宮崎ら	嗅覚	自律神経活動	収縮期血圧 低下: タイワンヒノキ材油 脈拍数 上昇: オイゲノール ↑前値との比較	台湾ヒノキ材油、 オイゲノール	(30 分)	男子大学生 n = 6	原著	1

略語: CNV, 随伴陰性変動; DBPV, 拡張期血圧変動性; HRV, 心拍変動性; NIRS, 近赤外分光法; rCBF, 局在脳血流; SBPV, 収縮期血圧変動性; SPET, 単一光子放射断層撮影; TRS, 近赤外時間分解分光法; VDT, 視覚的表示装置.

2. 嗅覚刺激

従来から、木材の嗅覚刺激がリラックス効果を有することは経験的に知られていたが、人間の生理応答にもたらす影響に関するデータ蓄積は最近始まった。

1992年に、宮崎ら[1]は、タイワンヒノキ材油とオイゲノールによる嗅覚刺激が、血圧と作業能率に及ぼす影響を調べている。6名の男子大学生を被験者とし、温度25℃、湿度60%の室内環境にて実施している。感覚強度は「匂いを感じる程度」から「楽を感じる程度」に設定し、刺激時間は30分間とした。その結果、タイワンヒノキ材油においては、収縮期血圧が刺激前に比べ6%低下し、作業能率（文字消去率）が上昇する傾向にあることを明らかにしている。一方、丁子油の成分で歯科消毒材として用いられ、不快であると感じられていたオイゲノールにおいては、脈拍数が上昇することを示している。また、宮崎ら[2]は、1994年には濃度の異なるタイワンヒノキ材油の嗅覚刺激がもたらす影響について、血圧、瞳孔対光反射、作業能率を指標として調べている。6名の女子大学生を被験者とし、感覚強度を「弱いにおい」「楽を感じるにおい」「強いにおい」に設定した。温度25℃、湿度60%、照度50lxに調整した防音機能を有した人工気候室内にて実施し、拡張期血圧が対照（空気）に比べ、「強いにおい」において、8%低下し、縮瞳最大加速度も、同じく「強いにおい」において、17%上昇することを示した。さらに、Liら[3]は、ヒノキ材油の嗅覚刺激が免疫活動ならびに内分泌活動に及ぼす影響を調べている。大学に勤務する37～60歳の男性職員を被験者とし、ヒノキ材油を噴霧した首都圏内のホテル室内に3泊滞在させた。その結果、低下していたナチュラルキラー細胞活性の上昇、尿中のアドレナリンおよびノルアドレナリン濃度の低下が示された。ヒノキ材油の嗅覚刺激は、免疫機能の改善効果を有することが明らかとなった。

日本において代表的な針葉樹であるスギの嗅覚刺激に関して、Matsubara and Kawai [4]は、作業負荷のかかった状態において、スギ内壁パネルから揮発する嗅覚刺激がもたらす影響について調べている。男子大学生 16 名を被験者とし、スギ内壁パネルが設置された居室において、内田-クレペリンテストを実施した。対照はスギ内壁パネルなし居室における同様の作業とした。その結果、対照において、唾液中クロモグラニン A 濃度の有意な上昇を示したことに對し、スギ内壁パネルが設置された居室内での作業において、有意な上昇は観察されなかった。

ヒバについては、木粉および精油を嗅覚刺激として用いた研究が存在する。寺内らは[5]、ヒバの木粉による嗅覚刺激が脳波に及ぼす影響について調べた。「楽に検知できるにせい」程度のヒバ木粉による嗅覚刺激により、前頭中央部 (Fz) における随伴陰性変動 (CNV) 前期成分の振幅低下と脳波 α/β 波比率の上昇が観察され、ヒバ木粉の嗅覚刺激は生理的リラックス効果をもたらすことが示された。一方、Hiruma らは[6]、ヒバ精油の嗅覚刺激が随伴陰性変動に及ぼす影響を調べ、対照 (空気) と比較して、前期・後期成分の振幅が上昇し、覚醒効果をもたらすことを報告しており、他の報告とは異なる。感覚強度が示されていないが、吸入濃度が高かった可能性を否定できない。

福田と金子は[7]、国産主要樹木 15 種の木材標本による嗅覚刺激が脳波に及ぼす影響について調べ、コウヤマキ、ヒメコマツ、ケヤキ材の嗅覚刺激は、前値と比較し、 α 波の出現率を上昇させ、鎮静効果をもたらすことを報告している。また、恒次らは[8]、ヤマザクラ材チップの嗅覚刺激がもたらす影響を調べ、前頭前野活動が鎮静化し、脈拍数および唾液中アミラーゼ活性が低下することを示している。

主要な木材揮発成分のひとつである D-リモネン単独の嗅覚刺激については、心拍変動性 (HRV) を指標とした検証がなされている。Joung ら[9]は、13 名の女子大学生を被験者とし、D-リモネンの嗅覚刺激を 90 秒間呈示した。その結果、D-リモネン単独の嗅覚刺激は、対照 (空気) と比較し、副交感神経活動の亢進ならびに心拍数の低下を示し、生体が生理的にリラックスすることを明らかにした。

スギ材主要成分であるセドロールの吸入が自律神経活動に及ぼす影響についても、いくつかの報告がなされている[10-14]。Dayawansa らは[10]、日本人男女 26 名を被験者とし、10 分間セドロールの嗅覚刺激を呈示した。その結果、セドロールの嗅覚刺激は、対照 (空気) と比較し、心拍数の低下、収縮期・拡張期血圧の低下、交感神経活動の抑制ならびに副交感活動の亢進を示した。Yada ら[11]は、ノルウェー人、タイ人、および日本人女性を被験者とし、セドロールの嗅覚刺激が自律神経活動に及ぼす影響を調べた。セドロール吸入前後において、瞳孔光反射による縮瞳率 (初期瞳孔径に対する光刺激後の瞳孔径の変化の割合) を計測した。いずれの国の被験者群においても、セドロールの嗅覚刺激呈示後において縮瞳率が上昇し、副交感神経活動が亢進することが明らかになった。Sadachi ら[12]は、上記した Yada ら[11]と同様の実験デザインにて、アメリカ人女性を被験者とし、セドロールの嗅覚刺激が副交感神経活動を亢進させることを報告している。また、Umeno ら[13]は、完全喉頭切除患者 11 名を被験者とし、下部気道からのセドロールの直接吸入が自律神経活動に及ぼす影響を調べた。その結果、セドロール 10 分間の吸入は、前値 (空気吸入時) と比較し、収縮期・拡張期血圧の低下、交感神経活動の抑制ならびに副交感神経活動の亢進をもたらすことが示された。セドロールの吸入が脳活動に及ぼす影響についても、上記した Umeno ら[13]と同様の実験デザインにて明らかにされている[14]。Hori ら

は[14]、完全喉頭切除患者 11 名を対象とし、単一光子放射断層撮影 (SPECT) を用いて調べた。その結果、セドロールの吸入は、前値 (空気吸入時) と比較し、左右海馬における局在脳血流量 (rCBF) を上昇させることが示された。

樹木の葉由来の嗅覚刺激がもたらす影響についても、検討がなされている。Matsubara ら[15]は、視覚分別課題時におけるモミ葉油の嗅覚刺激が脳波および心拍数に及ぼす影響を調べている。その結果、対照 (空気) との比較により、 α 波含有率の低下、 θ 波含有率の上昇、ならびに心拍数の低下を観察し、モミ葉油の嗅覚刺激が生理的リラックス効果をもたらすことを明らかにしている。また、モミの葉に含まれる主要成分である(-)-酢酸ボルニルの嗅覚刺激についても、同様の実験デザイン[15]によって調べた結果、対照 (空気) と比較し、課題後における θ 波含有率の上昇および交感神経活動の抑制を認め、リラックス効果をもたらされることを明らかにしている[16]。一方、ゲッケイジュ葉の嗅覚刺激は、対照 (空気) と比較し、心拍数が上昇することが報告されている[17]。

なお、嗅覚刺激に関するいくつかの総説が報告されている[18-20]。

3. 視覚刺激

木材の視覚刺激がもたらす影響に関しては、木材パネルを用いた実験が行われている。Sakuragawa ら[21]は、有節ヒノキ材パネルの視覚刺激がもたらす影響について、収縮期・拡張期血圧を指標として調べた。被験者は男子大学生 14 名とし、対照は白色スチールパネルとした。その結果、全体群では有意差がみられなかったが、ヒノキ壁パネルを「好き」と評価した被験者群においては収縮期血圧が低下し、「嫌い」と評価した被験者群においては血圧が変化しないことを明らかにした。

室内居室の木材視覚刺激における生理的变化についても、報告がなされている。Tsunetsugu ら[22-24]は、実際の居室（8 畳間）を作成し、その部屋の木材率やデザインを変えた場合の視覚影響がもたらす影響を調べた。被験者は、男子大学生 15 名とし、内装の視覚刺激を 90 秒間受けた。生理指標として、収縮期・拡張期血圧および脈拍数を用いた。現在、市販されている木質居室の木材率は、ほぼ 30%程度であるため、通常の木質居室（木材率 30%）、壁に木材を加えた木材率の多い居室（45%）が比較された。その結果、30%居室の視覚刺激によって、脈拍数、拡張期血圧が低下し、45%居室においては、脈拍数が上昇することが報告された。30%居室に梁と柱を追加したデザインの異なる居室（木材率 40%）においても、45%居室と同様に脈拍数が上昇し、生理的に覚醒状態になることが示された。木造居室における木材率やデザインの違いにより、生理的な変化が生じ、一般的に用いられる木材率 30%という木質居室においては、生体が生理的にリラックスすることが示された。

木村らは[25]、ヒバ材による被覆率がそれぞれ異なる 4 つの居室（6 畳間）を用いて、各部屋の視覚刺激および嗅覚刺激が 14 名の大学生にもたらす影響を調べた。生理指標は、収縮期・拡張期血圧、脈拍数および唾液中アミラーゼ活性を用いた。その結果、各居室において、刺激前と比べ、収縮期・拡張期血圧が低下した。また、ヒバ材被覆率 20.6%部屋の視覚刺激は、対照（ヒバ材被覆率 0%居室）と比較し、唾液中アミラーゼ濃度の低下が認められた。内装へのヒバ材使用量の違いは、自律神経活動に影響を及ぼすことを示した。一方、この実験では、視覚および嗅覚刺激を同時に与えているため、各刺激の寄与の程度は不明である。

なお、視覚刺激に関するいくつかの総説が報告されている[20,26,27]。

4. 聴覚刺激

木材の聴覚刺激が生理応答に及ぼす影響に関しては、建物内の床衝撃音を対象とした報告がなされている。Sueyoshi ら[28-30]は、軽量床衝撃音が及ぼす影響について、脳波および収縮期・拡張期血圧を指標として調べた。タッピングマシンを用いて 2 階床を打撃することにより軽量床衝撃音を発生させ、1 階にいる被験者に 5 分間連続して聞かせた。その結果、1) 騒音の程度により α 波・ θ 波含有率に差があること[28]、2) 騒音のレベルが高いほど収縮期血圧が大きく上昇すること[29]が明らかとなった。さらに Sueyoshi らは[30]、JIS に定められている床衝撃音レベル試験法に基づき、自動車のタイヤを落下させることによって 2 階において単発の重量床衝撃音を発生させ、1 階にいる被験者への生理的影響について、収縮期血圧ならびに末梢血流量を指標として検討している。50cm、100cm、150cm の高さからのタイヤの落下により、血圧は上昇し、末梢血流は低下し、生理的ストレス状態がもたらされることを明らかにしている。

なお、聴覚刺激に関するいくつかの総説が報告されている[27,31]。

5. 触覚刺激

木材への接触が生理応答にもたらす効果を調べた既往研究は、少ないのが現状である。Morikawa ら[32]は木材ならびに人工物等への接触が収縮期血圧および脈拍数に及ぼす影響について、女子大学生 19 名を被験者として調べた。その結果、ステンレス板・デニムにおいては収縮期血圧および脈拍数の変動が大きく、ヒノキ材においては小さいことを報告している。また、Sakuragawa ら[33]は、材料の温度による影響について、血圧を指標として明らかにした。男子大学生 13 名を被験者とし、閉眼にて材に手掌接触させた結果、1) 金属板への手掌接触は血圧を上昇させるが、金属を温めるとその上昇は抑制されること、2) アクリ

ル板への手掌接触は血圧を上昇させ、アクリル板を冷やすと上昇率は大きくなること、3) スギ材、ヒノキ材、ナラ材への手掌接触によって、血圧は、接触直後の一過性の変化を除いて、上昇せず、冷やしたナラ材への接触においても、血圧は上昇しないことを報告している。人工物である金属やアクリル板への手掌接触による血圧上昇は、温度条件が大きく影響するが、木材への接触においては、室温においても冷却時においても、血圧上昇という生理的ストレスはもたらさず、木材という自然由来の素材の持つ優位性が示された。

なお、触覚刺激に関するいくつかの総説が報告されている[20]。

6. 既往研究における課題

木材が人にもたらす生理的影響に関する既往研究を紹介した。全体を通して、木材あるいは木材由来の嗅覚・視覚・触覚刺激は、脳活動の鎮静化、交感神経活動の抑制、副交感神経活動の亢進、血圧の低下、心拍数の低下、ストレスホルモン濃度の低下を示し、生体が生理的にリラックスすることを報告している。

しかし、既往研究においては、いくつかの課題が存在する。第一に、血圧等の単一指標による評価しかなされていない研究が多く存在する。生体内における複数の機能が協調的に変化するという「全身的協関」の観点から、複数の生理応答指標を同時に用い、木材由来の刺激が人の生理応答に及ぼす影響を評価することが必要である。第二に、対照刺激を設定せず、前値を対照としている等、実験デザインに不備のある既往研究が多く存在する。適切な実験デザインに基づいたデータならびに日常生活に外挿できるデータの蓄積が必要となる。

なお、2017年10月現在において、同様の手順にて文献検索を実施し、2015年4月から2017年10月までの約2年半の間に発表された査読論文13報[34-47]（内、総説7報[40-46]）を収集した。総説を除いた6報の内、筆者らの論文5報

[34-38] (嗅覚刺激: 木材由来揮発成分 α -ピネン[34]; ヒノキ葉油[35]; ヒノキ材チップ[36], 触覚刺激: ホワイトオーク材・他素材との比較[37]; 塗装材間の比較[38]) に関しては、本博士論文をご参照いただきたい。

Matsubara ら[39]は、成人男性 9 名を被験者として内田-クレペリンテストを実施し、スギ材油が噴霧された居室においては、唾液中デヒドロエピアンドロステロンサルフェート濃度が変化することを報告している。

全体として、2017 年 10 月 20 日現在、嗅覚刺激 22 報、視覚刺激 5 報、触覚刺激 4 報、聴覚刺激 3 報、総説 13 報、合計 46 報の査読論文が発表されている。

7. 引用文献

1. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. 日本木材学会誌 38 (10):909-913.
2. 宮崎良文, 島上和則, 小林茂雄 (1994) 異なる濃度のタイワンヒノキ材油の吸入が自律神経反射と作業能率に及ぼす影響. 感情心理学研究 1(2):75-81.
3. Li, Q.; Kobayashi, M.; Wakayama, Y.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Kawada, T.; Ohira, T.; et al. Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2009, 22, 951–959.
4. Matsubara, E.; Kawai, S. VOCs emitted from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) interior walls induce physiological relaxation. *Build. Environ.* 2014, 72, 125–130.
5. 寺内文雄, 久保光徳, 大釜敏正, 青木弘行 (1996) 針葉樹材のニオイが随伴性陰性変動(CNV)に及ぼす影響. 材料 45 (4):397-402.
6. Hiruma T, Yabe H, Sato Y, Sutoh T, Kaneko S (2002) Differential effects of the hiba odor on CNV and MMN. *Biol Psychol* 61 (3):321-331
7. 福田英昭, 金子智彰 (1995) ニオイを尺度として測った木材の評価-ニオイの嗜好の評定値および脳波の検討. 木材工業 50 (6):266-268.
8. 恒次祐子, 総谷珠美, 朴範鎮, 香川隆英, 宮崎良文 (2010) 里山の植物を用いた嗅覚刺激による生理的・心理的効果. アロマセラピー学雑誌 10 (1):64-72.
9. Joung, 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. Hortic. Sci.* 2014, 28, 90–94.
10. Dayawansa, S.; Umeno, K.; Takakura, H.; Hori, E.; Tabuchi, E.; Nagashima, Y.; Oosu, H.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Autonomic responses during inhalation of natural fragrance of Cedrol in humans. *Auton Neurosci.* 2003, 108:79–86
11. Yada, Y.; Sadachi, H.; Nagashima, Y.; Suzuki, T. Overseas survey of the effect of cedrol on the autonomic nervous system in three countries. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26:349–354.
12. Sadachi, H.; Nagashima, Y.; Tojo, S. Effects of cedrol on the autonomic nervous system and survey of sleep and stress in USA. *J. Jpn. Cosmetic. Sci. Soc.* 2017, 31:148–152.
13. Umeno, K.; Hori, E.; Tsubota, M.; Shojaku, H.; Miwa, T.; Nagashima, Y.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Effects of direct cedrol inhalation into the lower

- airway on autonomic nervous activity in totally laryngectomized subjects. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 2008, 65:188–196.
14. Hori, E.; Shojaku, H.; Watanabe, N.; Kawasaki, Y.; Suzuki, M.; de Araujo, M.F.; Nagashima, Y.; Yada, Y.; Ono, T.; Nishijo, H. Effects of direct cedrol inhalation into the lower airway on brain hemodynamics in totally laryngectomized subjects. *Auton. Neurosci.* 2012, 168:88–92.
 15. Matsubara, E.; Fukagawa, M.; Okamoto, T.; Ohnuki, K.; Shimizu, K.; Kondo, R. The essential oil of *Abies sibirica* (Pinaceae) reduces arousal levels after visual display terminal work. *Flavour Frag. J.* 2011, 26:204–210.
 16. Matsubara, E.; Fukagawa, M.; Okamoto, T.; Ohnuki, K.; Shimizu, K.; Kondo, R. (–)-Bornyl acetate induces autonomic relaxation and reduces arousal level after visual display terminal work without any influences of task performance in low-dose condition. *Biomed. Res.* 2011, 32:151–157.
 17. Matsubara, E.; Fukagawa, M.; Okamoto, T.; Fukuda, A.; Hayashi, C.; Ohnuki, K.; Shimizu, K.; Kondo, R. Volatiles emitted from the leaves of *Laurus nobilis* L. improve vigilance performance in visual discrimination task. *Biomed. Res.* 2011, 32:19–28.
 18. 宮崎良文 (1993) 木材のこちよさ: 嗅覚と生理作用. *木材工業* 48 (11):532-536.
 19. 宮崎良文 (1998) 感性に訴える木材 —その生理学的評価と主観評価について〔Ⅱ〕—. *木材工業* 53(1):2-6.
 20. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 27–37.
 21. Sakuragawa, S.; Miyazaki, Y.; Kaneko, T.; Makita, T. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J. Wood Sci.* 2005, 51, 136–140.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. 木村彰孝, 杉山浩之, 佐々木靖, 谷田貝光克 (2011) ヒバ材を用いた室内空間での視覚・嗅覚刺激が人の心理・生理面に与える影響. *日本木材学会誌*

- 57 (3):150-159.
26. 宮崎良文, 李宙堂, 朴範鎮, 恒次祐子, 松永慶子 (2011) 自然セラピーの予防医学的効果. 日本衛生学雑誌 66 (4):651-656.
 27. 恒次祐子, 宮崎良文 (2007) 生理応答に基づく森林環境・森林系環境要素の快適性評.
 28. Sueyoshi, S.; Miyazaki, Y. Physiological and Psychological Responses to Light Floor-Impact Sounds Generated by a Tapping Machine in a Wooden House. *Mokuzai Gakkaishi* 1995, 41(3), 293–300.
 29. Sueyoshi, S.; Miyazaki, Y.; Morikawa, T. Physiological and psychological responses to prolonged light floor-impact sounds generated by a tapping machine in a wooden house. *J. Wood Sci.* 2004, 50(6), 494–497.
 30. Sueyoshi, S.; Miyazaki, Y.; Morikawa, T. Physiological and psychological responses to a heavy floor-impact sound generated by dropping an automobile tire in a wooden house. *J. Wood Sci.* 2004, 50(6), 490–493.
 31. 末吉修三 (2004) 木造建物の床衝撃音遮断性能評価. 日本木材学会誌 50 (5):285-293
 32. Morikawa, T.; Miyazaki, Y.; Kobayashi, S. Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J. Wood Sci.* 1998, 44, 495–497.
 33. Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* 2008, 54, 107–113.
 34. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity. *J. Wood Sci.* 2016, 62, 568–572.
 35. 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.
 36. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effect of olfactory stimulation by hinoki cypress (*chamaecyparis obtusa*) leaf oil. *J. Physiol. Anthropol.* 2015, 34, 44.
 37. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching wood. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14(7), 801; doi:10.3390/ijerph14070801.
 38. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching coated wood. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14(7), 773; doi:10.3390/ijerph14070773.
 39. Matsubara, E.; Tsunetsugu, Y.; Ohira, T.; Sugiyama, M. Essential oil of Japanese cedar (*cryptomeria japonica*) wood increases salivary dehydroepiandrosterone sulfate levels after monotonous work. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14(1), 97; doi:10.3390/ijerph14010097.

40. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
41. 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.
42. Burnard, M.D.; Kutnar, A. Wood and human stress in the built indoor environment: a review. *Wood Sci. Technol.* 2015, 49, 969–986.
43. 恒次 祐子, 松原 恵理, 杉山 真樹 (2017) 木質居住環境が人間にもたらす影響の評価手法. *木材学会誌* 63 (1):1-13.
44. 宮崎良文, 宋チョロン, 池井晴美 (2015) 自然セラピーの予防医学的効果とその個人差. *日本生理人類学会誌* 20 (1):19-32.
45. 信田聡 (2015) *Wood/human relations* 研究-居住性研究の未来のために. *木材学会誌* 61 (3):141-147.
46. 杉山真樹 (2015) 20年後の木材産業のために「木材と人の科学」を活かす方策. *木材学会誌* 61 (3):148-153.

第3節 実験計画

1. 被験者内計画 (Within subject design)

本論文においては、被験者内計画 (Within subject design) に則り、被験者実験を実施した。

人を対象とした実験計画においては、被験者内計画 (Within subject design) と被験者間計画 (Between subject design) の2つが挙げられる。被験者内計画においては、同一の被験者が全ての刺激条件を経験する。対して、被験者間計画においては、被験者を群分けし、それぞれの群が異なる刺激条件を経験する。両者には、それぞれ相対するメリット・デメリットが存在する。

被験者内計画のメリット・デメリットを以下に整理する。

(1) メリット

- 1) 被験者数は、20名前後と少なくても良い。

例えば、刺激条件と対照条件でそれぞれデータを20個得ようとする場合、被験者内計画では20名、被験者間計画では40名必要となる。

- 2) 群分けのための事前処理は、必要ない。

事前調査によって、身長・体重・年齢等の情報を集め、各群の被験者の条件が等しくなるよう割り振るといった等質化の処理は、行わなくてよい。

- 3) 剰余変数の交絡を統制することが可能である。

研究の対象となっている独立変数 (例: 木材の香り) 以外で、従属変数 (例: 脳活動) の変動に影響を及ぼす変数 (例: 被験者各人の性質) を削除することができる。

(2) デメリット

- 1) 攪乱要因が混入しやすい。

刺激条件の数が多い場合は、実験時間が長くなるため、被験者が疲労してしまう。また、刺激間の休憩時間が短かったり、呈示する刺激の強度が強かったりする場合は、直前の刺激条件による影響が、次の刺激条件の結果に反映されてしまう。

2) 順序効果がある。

順序効果とは、刺激本来の効果ではなく、刺激の提示順序によって生じる効果のことを指す。順序効果を除去するためには、刺激の呈示順序についてカウンターバランスをとり、相殺することが必要である。例えば、被験者 24 名に A・B・C の 3 つの刺激条件を提示する場合、刺激の呈示順序は、A→B→C、A→C→B、B→A→C、B→C→A、C→A→B、ならびに C→B→A の 6 通りあるため、4 名ずつ振り分けることによって、順序効果を相殺することができる。

2. 被験者の選定

木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究[1]の多くは、成人男性を被験者としているため、成人女性を対象とした検討を行う必要があると考えた。そのため、本論文においては、被験者属性として、20 代（20～29 歳）の成人女性を選択した。

女性を被験者とする場合、月経周期の位相に注意する必要がある。月経周期とは、月経開始日から次の月経の前日までの約 25～38 日間を指す。月経周期はホルモンの相互作用によって調節されており、卵胞期、排卵期、および黄体期の 3 つの位相に分けることができる。自律神経活動においては、副交感神経活動と卵巣ホルモンとの関連についていくつかの報告がなされており、卵巣ホルモンの一種であるエストラジオールの上昇によって、副交感神経活動が亢進すること

が報告されている[2,3]。また、嗅覚閾値については、排卵期において、感受性が高まることが示されている[4,5]。

本論文においては、月経周期の位相を合わせるため、月経期にある被験者は除外した。

3. 実験スケジュールの詳細

温湿度及び照度を一定に調整することが可能な人工気候室にて、被験者実験を実施した。嗅覚刺激においては(1) 主要揮発成分 α -ピネン実験、(2) ヒノキ葉油実験、ならびに(3) ヒノキチップ実験の3回、触覚刺激実験においては(1) 他素材との比較実験、ならびに(2) 塗装材間の比較実験の2回、合計5回実施した。1回の実験につき、1日に4~5名、2時間毎に1名ずつ実施し、予備日を含めて合計5~7日間行った。

1日のスケジュールの例を以下に示す。実験者は、朝8時に集合し、実験室と控え室の準備を行った。1人目の被験者の到着後、控え室にて実験の説明を行い、実験参加の同意書に署名を依頼した。署名後、質問紙への回答練習を実施させた後、人工気候室に移動させた。人工気候室にて、生理計測用のセンサーを装着させ、椅子に座らせた。計測手順の説明を実施後、ダミー刺激を用いて、本番と同様の手順にて練習を行った。練習終了後、本番の計測を実施した。刺激と刺激の間には、休憩時間を設け、換気を実施しながら雑談を行った。被験者に疲労や眠気がある場合は、雑談に加え、腕や肩を動かす等の簡単なストレッチを実施させた。すべての計測終了後、生理応答計測用のセンサーを取り外し、控え室に移動させた。控え室にて、謝金用書類に記入させ、内容に間違いがないことを確認した後、帰宅させた。2人目以降についても、1人目と同様の手順にて、実施した。

4. 引用文献

1. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
2. Kuo, T.B.; Lin, T.; Yang, C.C.; Li, C.L.; Chen, C.F.; Chou, P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *Am. J. Physiol.* 1999, 277:H2233–H2239.
3. Saeki, Y.; Atogami, F.; Hiraishi, M.; Furuta, N.; Yoshizawa, T. Impairment of autonomic function induced by posture change in postmenopausal women. *J. Womens Health* 1998, 7(5), 575–582.
4. Vierling, J.S.; Rock, J. Variations in olfactory sensitivity to exaltolide during the menstrual cycle, *J. Appl. Physiol.* 1967, 22, 311–315.
5. Doty, R.L.; Snyder, P.J.; Huggins, G.R.; Lowry, L.D. Endocrine, cardiovascular, and psychological correlated of olfactory sensitivity changes during the human menstrual cycle. *J. Comp. Physiol. Psychol.* 1981, 95(1), 45–60.

第 2 章 木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響

第1節 序論

近年、木材が人にもたらすリラックス効果に対する関心・期待が高まっており、科学的根拠に基づいたデータの報告が待たれている。筆者らは、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する研究の現状を概観するため、文献検索を実施した[1]。その結果、木材が人にもたらす生理的影響に関する既往研究は、1992年に報告された台湾ヒノキ材油の嗅覚刺激に関する報告[2]が初出であり、近年の生理計測技術の発展を受け、少しずつ蓄積されてきていることが明らかとなった[1]。

木材あるいは木材由来の嗅覚刺激がもたらす生理的リラックス効果に関しては、いくつかの報告がなされている[2-6]。台湾ヒノキ材油の嗅覚刺激は、刺激前に比べて、収縮期血圧を低下させ、作業能率（文字消去率）が上昇する傾向にあることが明らかにされている[2]。スギ材内装壁から放出される揮発性成分を含む空気の吸入は、唾液中アミラーゼおよびクロモグラニン A の分泌を抑制させることが示されている[3]。スギ材チップの嗅覚刺激は、収縮期血圧を低下させるとともに、前頭前野活動を鎮静化させることが明らかとなっている[4]。また、ヒノキやスギ等の針葉樹に含まれる主要成分の一つである D-リモネンの嗅覚刺激は、副交感神経活動を亢進させ、心拍数を低下させるとともに、「快適である」と評価されることが報告されている[5]。スギの材油抽出成分であるセドロールの嗅覚刺激は、副交感神経活動の亢進および交感神経活動の抑制をもたらすことが示されている[6]。

日本の代表的な針葉樹であるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) は、世界最古の木造建築物である法隆寺といった寺社仏閣の建築用材として、古くから用いられている。今日においては、住宅の床や壁等の内装材および机等の家具材として使用されており、日常的に接触の機会が多い素材である。また、葉や枝から抽

出される精油は、石鹸、歯磨き粉および化粧品に香料あるいは機能性添加物として用いられており、身近な樹木の一つといえる。

一方、ヒノキの嗅覚刺激が生理応答に及ぼす影響に関する報告は、極めて少ないのが現状である。先行研究として、Liら[7]は、ヒノキ材油の嗅覚刺激が内分泌活動ならびに免疫活動に及ぼす影響を検討している。被験者は37～60歳の成人男性12名とし、ヒノキ材油を発散させたホテル室内に3泊させた。その結果、低下していたナチュラルキラー細胞活性の上昇、ならびに尿中アドレナリン・ノルアドレナリン濃度の低下がもたらされることが示された[7]。しかし、ヒノキ由来の嗅覚刺激が脳活動ならびに自律神経活動に及ぼす影響に関しては、報告がなされていない。

そこで、本章においては、ヒノキ由来の嗅覚刺激が脳活動・自律神経活動に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

(1) 生理指標においては、1) 脳活動として、近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度、2) 自律神経活動として、心拍変動性による副交感・交感神経活動を用いた。

(2) 嗅覚刺激においては、ヒノキの1) 主要揮発成分である α -ピネン、2) 枝葉から抽出した精油、3) 材チップを用いた。

引用文献

1. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
2. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. *日本木材学会誌* 38 (10):909-913.
3. Matsubara, E.; Kawai, S. VOCs emitted from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) interior walls induce physiological relaxation. *Build. Environ.* 2014, 72, 125–130.
4. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual, olfactory, auditory, and tactile factors in the forest environment. In *Forest Medicine*; Li, Q., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: New York, NY, USA, 2012; pp. 169–181.
5. Joung, 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. Hort. Sci.* 2014, 28, 90–94.
6. Dayawansa, S.; Umeno, K.; Takakura, H.; Hori, E.; Tabuchi, E.; Nagashima, Y.; Oosu, H.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Autonomic responses during inhalation of natural fragrance of Cedrol in humans. *Auton Neurosci.* 2003, 108, 79–86
7. Li, Q.; Kobayashi, M.; Wakayama, Y.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Kawada, T.; Ohira, T.; et al. Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2009, 22, 951–959.

第2節 木材由来揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激

1. はじめに

α -ピネンは、建材や内装材として一般的に用いられるヒノキやスギ[1]に含まれる主要揮発成分の一つであり、針葉樹林の大気中に含まれることも報告されている[2]。 α -ピネンが生体に及ぼす影響に関しては、ラットやマウス等の動物実験による報告がいくつかなされている[3,4]。人を対象とした既往研究としては、血圧を指標とした報告がなされている。Tsunetsugu ら[5]は、15名の男子大学生に α -ピネンを90秒間吸入させた結果、感覚強度において「かすかに感じる」と評価された α -ピネンの嗅覚刺激は、収縮期血圧を低下させ、「快適である」と感じられていることを報告している[5]。しかし、脳活動ならびに自律神経活動を同時に計測した報告は、なされていない。

本研究においては、 α -ピネンの嗅覚刺激がもたらす生理的影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1. 被験者

被験者は、千葉大学および千葉大学大学院の女子学生13名（ 21.5 ± 1.0 歳）とした。現在治療中の疾患を有する者および月経期の者は外した。計測前に、実験の目的、計測の流れおよび測定指標について説明し、被験者全員から自署による署名のある同意書を得た。なお、本実験は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理審査委員会の承認（承認番号5番）を得て実施された。

2.2. 計測手順

計測は、室温約 25°C、湿度約 50%、照度約 230lux に設定した人工気候室内にて 1 月上旬から下旬にかけて行った。控室にて実験の説明を受けた後、人工気候室内に移動した。生理計測用のセンサーならびににおい供給装置を装着し、椅坐位にて測定手順の説明を受けた。次に、ダミー刺激（緑茶のにおい）を用いて、嗅覚刺激の練習を行った。手順は以下の通りである。被験者は、閉眼にて椅坐位安静状態をとった。その後、90 秒間嗅覚刺激を受けた（図 1）。嗅覚刺激終了後、主観評価の質問紙に記入した。図 2 に実験スケジュールを示す。

嗅覚刺激の呈示順は、順序効果を除くため、カウンターバランスをとった。6 名の被験者は、第一に対照（空気）、第二に α -ピネンの嗅覚刺激を受けた。残りの 7 名の被験者は、第一に α -ピネン、第二に対照の順で刺激を受けた。なお、生理応答の計測は、連続して行った。



図 1. 実験風景 業績 2) を改変

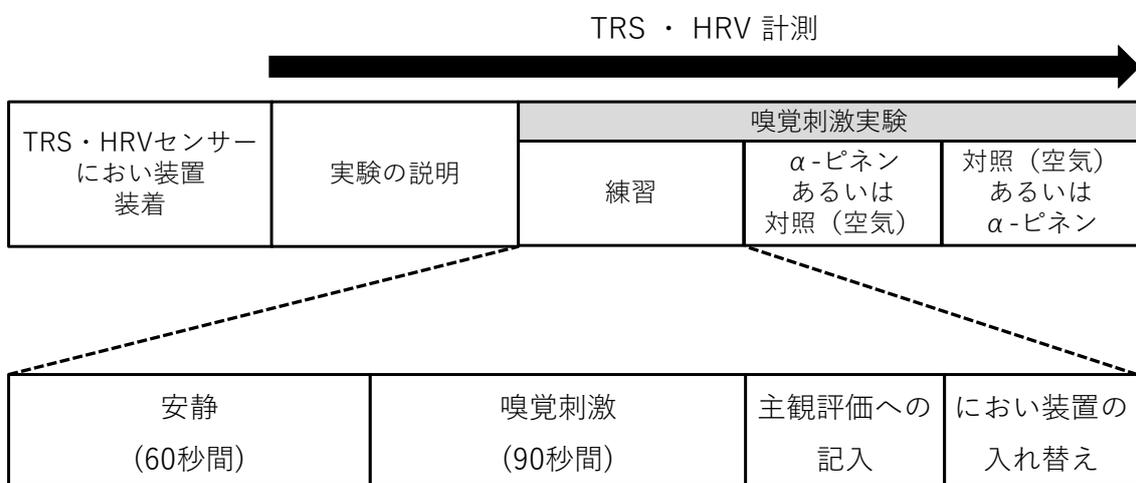


図 2. 実験スケジュール 業績 2) を改変

2.3. 嗅覚刺激

嗅覚刺激は、 α -ピネン（東京化成工業株式会社製，東京，日本，図3）とし、対照は空気とした。無臭性のにおい袋（Flek-Sampler; 近江オドエアーサービス株式会社製，京都，日本）に外気を24L注入し、 α -ピネン20 μ lを投入した。 α -ピネンを袋内に拡散させるため、ドライヤーにて気化させた後、1時間程度室温で放置した。この袋を特注のにおい発生装置内（図1右の円筒容器）に設置し、被験者の鼻下約10cmから3.0L/分にてにおい刺激を呈示した。においの濃度は、感覚強度として「弱いにおい」から「楽に感じるにおい」になるよう調整した。

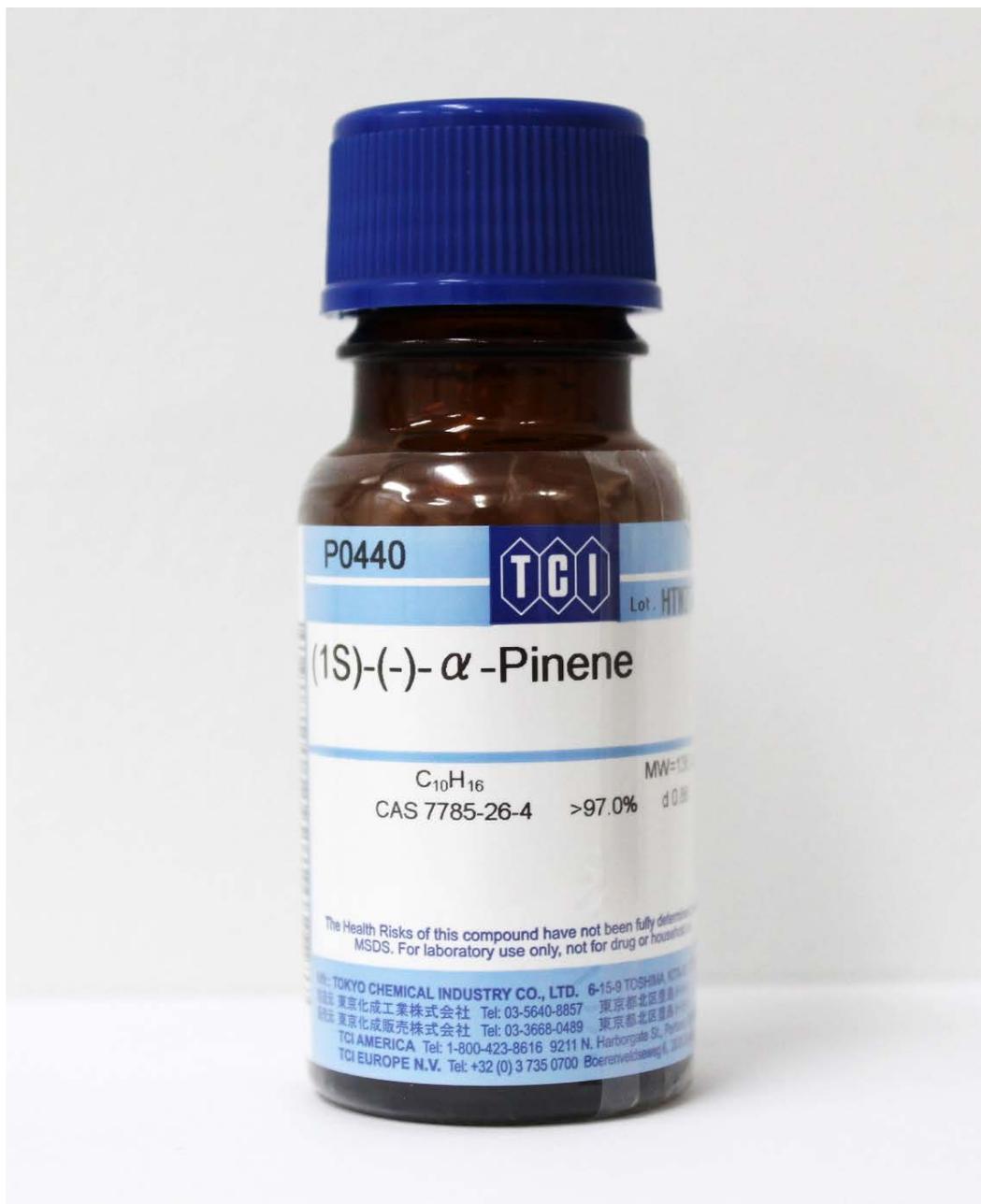


図 3. α -ピネン (東京化成工業株式会社, 東京)

2.4. 生理指標

2.4.1. 近赤外時間分解分光法

脳活動の指標として、近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy; NIRS) の一手法である時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) を用いた。センサーを前額部に装着し、左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した (TRS-20; 浜松ホトニクス株式会社製, 静岡, 日本) [6-8]。以前の研究 [9,10] から、自然由来の刺激によって、主観的リラクセス感が高まった場合に、前頭前野活動が鎮静化することが分かっている。左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、嗅覚刺激呈示前 (測定前条件) から嗅覚刺激呈示中 90 秒間 (測定後条件) において、連続的に測定した。なお、TRS-20 によって取得されるデータの多くは、約 1.0-1.2 秒間隔で計測されるため、データを線形補正した上で 1 秒毎のデータとして用い、前値 10 秒間の平均値との差分とした。

2.4.2. 心拍変動性、心拍数

自律神経活動の指標として、心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) および心拍数を用いた。R-R 間隔は、携帯用の心電図モニター (Activtracer AC-301A; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本) を用いて計測した [11,12]。最大エントロピー法により R-R 間隔のスペクトル解析を実施し (Memcalc/Win; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本)、低周波 (low-frequency; LF) 成分 (0.04-0.15 Hz)、高周波 (High-frequency; HF) 成分 (0.15-0.40 Hz) を算出した。HF 成分を副交感神経活動の指標とし、LF/HF を交感神経活動の指標とした [13,14]。HRV パラメータを正規化するために、自然対数変換値を用いた [15]。ln(HF)、ln(LF/HF)ならびに心拍数は、30 秒毎の経時的変化および 90 秒間の平均値を算出した。

2.5. 主観評価

α -ピネンの嗅覚刺激がもたらす心理的影響を評価するため、心理指標として、簡易型セマンティック・ディファレンシャル (Semantic Differential; SD) 法 [16] を用いた。SD 法は、対立する形容詞対を両端に並べ 13 段階の印象評価を行う質問紙である。形容詞対として、「快適な—不快な」、「リラックスした—覚醒的な」、「自然な—人工的な」を用いた。

2.6. 統計検定

統計検定には SPSS20.0 (IBM 社製, アーモンク, ニューヨーク, アメリカ) を用いた。 α -ピネンと対照との比較のため、生理指標においては、対応のある t 検定、主観評価においては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を実施した。いずれの統計処理においても、有意水準は $P < 0.05$ とした。本研究においては、「木材に含まれる揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激により生理的・心理的にリラックスする」という仮説の基、片側検定を行った。

3. 結果

3.1. 生理的影響

3.1.1. TRS

α -ピネンの嗅覚刺激による左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度においては、対照との間に、差異はなかった（左前頭前野: α -ピネン; $0.35 \pm 0.18 \mu\text{M}$, 対照: $0.56 \pm 0.12 \mu\text{M}$, 右前頭前野: α -ピネン; $0.22 \pm 0.21 \mu\text{M}$, 対照: $0.46 \pm 0.18 \mu\text{M}$ ）。

3.1.2. HRV、心拍数

副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ の経時的変化を図 4A に示す。前値 30 秒間における $\ln(\text{HF})$ は、 α -ピネンにおいて $6.23 \pm 0.25 \ln\text{ms}^2$ 、対照において $6.18 \pm 0.28 \ln\text{ms}^2$ であり、両者間に有意な差はなかった。 α -ピネンの嗅覚刺激における $\ln(\text{HF})$ は、嗅覚刺激呈示直後に上昇し、前値ならびに対照に比べ高く推移していた。一方、対照においては、殆ど変化しなかった (図 4A)。

嗅覚刺激 90 秒間の平均値を図 4B に示す。 α -ピネンの嗅覚刺激時の $\ln(\text{HF})$ は、対照に比べ、有意に上昇した (α -ピネン: $6.62 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$, 対照: $6.15 \pm 0.23 \ln\text{ms}^2$, 図 4B, $P < 0.05$)。

一方、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ (α -ピネン -1.08 ± 0.28 , 対照: -0.79 ± 0.34) においては、両者間に有意な差は認められなかった。

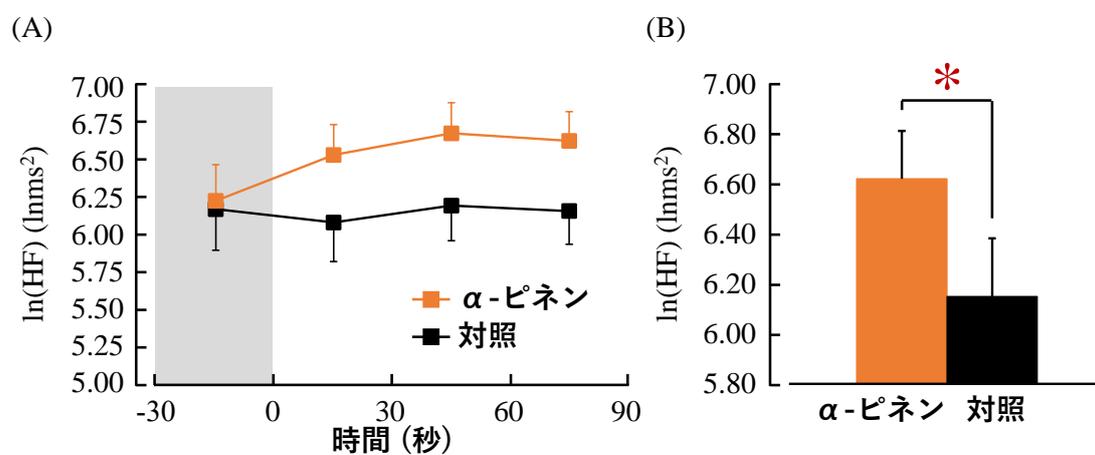


図 4. α-ピネンの嗅覚刺激による ln(HF) の変化. 平均 ± 標準誤差, N=13.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. * $P < 0.05$; 対応のある t 検定. 業績 2) を改変

心拍数における経時的変化を図 5A に示す。前値 30 秒間における心拍数は、 α -ピネンにおいて 73.28 ± 2.23 拍/分、対照において 74.49 ± 2.63 拍/分であり、両者間に有意な差はなかった。 α -ピネンの嗅覚刺激における $\ln(\text{HF})$ は、嗅覚刺激呈示直後に低下し、前値ならびに対照に比べ低く推移していた。対照においては、僅かな低下を示した (図 5A)。

嗅覚刺激 90 秒間の平均値を図 5B に示す。 α -ピネンの嗅覚刺激時の心拍数は、対照に比べ、有意に低下した (α -ピネン: 71.97 ± 2.30 拍/分, 対照: 74.12 ± 2.58 拍/分, 図 5B, $P < 0.05$)。

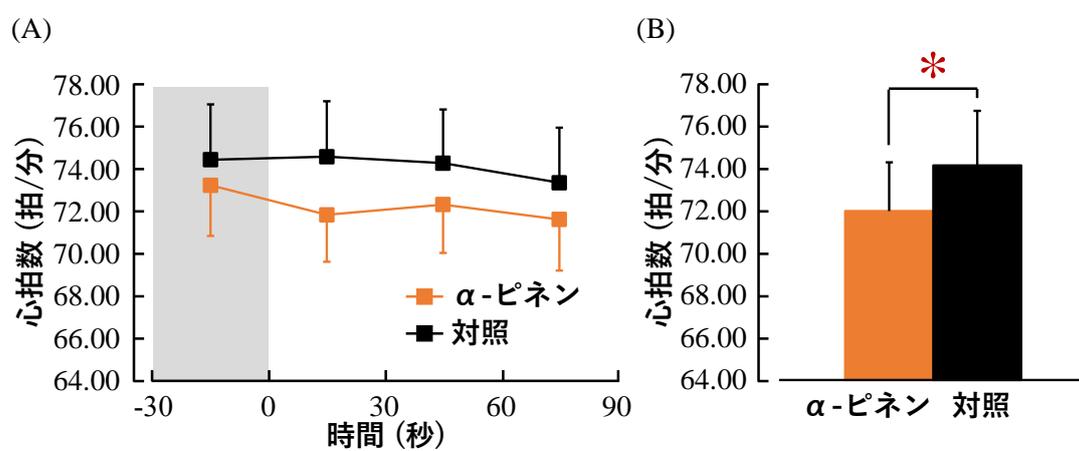


図 5. α -ピネンの嗅覚刺激による心拍数の変化. 平均 \pm 標準誤差, N=13.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. * $P < 0.05$; 対応のある t 検定. 業績 2) を改変

3.2. 心理的影響

簡易型の SD 法の結果を図 6 に示す。「快適感」において、 α -ピネンは「やや快適である～かなり快適である」と印象され、「どちらでもない～やや快適である」と評価された対照と比較し、有意に快適であると感じられていた（図 6 左, $P < 0.05$ ）。また「リラックス感」において、 α -ピネンは対照に比べ、有意差はないが、リラックスすると感じられる傾向にあった（図 6 中央, $P = 0.077$ ）。「自然感」においても、 α -ピネンは対照に比べ、有意差はないが、自然であると感じられる傾向にあった（図 6 右, $P = 0.097$ ）。

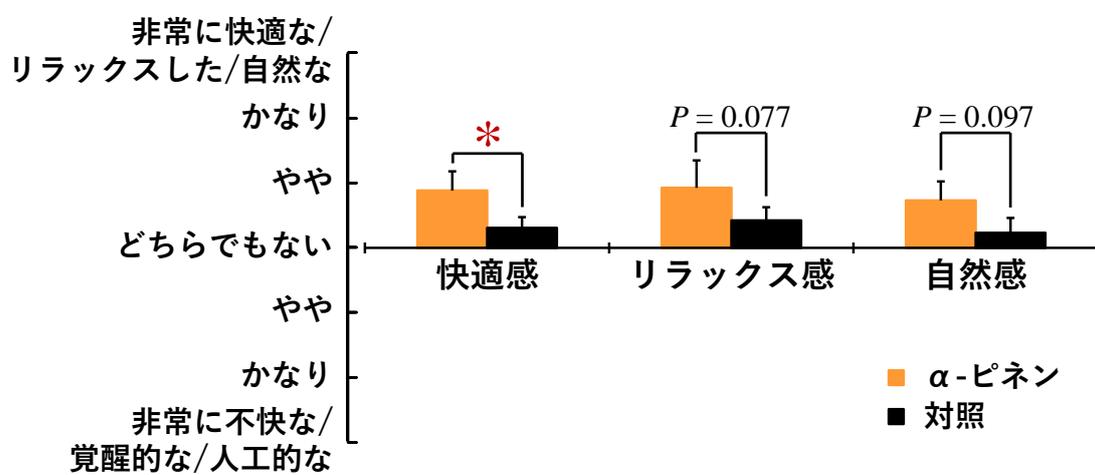


図 6. α-ピネンの印象評価. 平均 ± 標準誤差, N=13,

* $P < 0.05$; ウィルコクソンの符号付順位和検定 (片側). 業績 2)を改変

4. 考察

本研究においては、 α -ピネンの嗅覚刺激が人の生理応答にもたらす影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。その結果、 α -ピネンの嗅覚刺激は、副交感神経活動の亢進ならびに心拍数の低下をもたらすことが示された。

一方、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ においては、有意な差は認められなかった。これまで我々は、自然由来の刺激が自律神経活動に及ぼす影響に関して、心拍変動性を用いた検討を行い、いくつかの報告をしており、それらのうち、13~37名の被験者を対象とした室内実験[17,18]においては、本研究と同様に、副交感神経活動指標には有意差があり、交感神経活動指標においては有意差がみられなかった。625名という大規模なサンプルサイズを対象に森林セラピー実験を行った結果においては、副交感神経活動では、都市部に比べ80%の被験者が亢進を示すが、交感神経活動では64%の抑制に留まるという結果を得ている[19]。これらの知見より、心拍変動性における副交感神経活動の指標は、交感神経活動の指標に比べ、鋭敏に反応していると考えられる。

簡易SD法による印象評価において、 α -ピネンの嗅覚刺激は、対照（空気）と比較し、快適であると評価された。既往研究において、「かすかに感じるに
おい (slight odor)」と評価された α -ピネンの嗅覚刺激は、主観的に「快適である」と評価されることが報告されており[5]、本研究結果と一致した。また、他の木材由来成分であるD-リモネン[20]の嗅覚刺激に対する印象評価の結果とも良い一致を示した。

居住環境内において、建材や内装材として使用される木材は、身近な自然素材のひとつである。木材あるいは木材由来の刺激がもたらす生理的リラックス

効果に関しては、におい[5, 20-24]、見た目[25-28]、手触り[29,30]等、データの蓄積が進みつつある。

本研究においては、木材由来の揮発成分である α -ピネンの嗅覚刺激がもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。今後、 α -ピネン等、木材由来の揮発成分がもたらす生理的影響に関する科学的エビデンスを蓄積し、木質居住空間がもたらす生理的リラックス効果を明らかにしていくことで、現代人の「生活の質 (Quality of life)」の向上に寄与することができるであろう。

研究の限界として、以下の三点が挙げられる。1) 本研究では脳活動動ならびに自律神経活動を生理指標として用いたが、今後は、コルチゾール等のストレスホルモンについても同時計測し、 α -ピネンの嗅覚刺激を受けた際の人の生理応答について総合的に評価することが重要な課題となる。2) 今回は 20 代の成人女性を対象としたが、男性、未成年者、高齢者等、異なる属性を対象とした検討が求められる。3) 本研究においては、90 秒間という短時間の嗅覚刺激が人にもたらす生理的影響を明らかにした。今後は、日常生活を想定した長時間の嗅覚刺激が人の生理応答に及ぼす影響についても明らかにする必要がある。

5. 結論

結論として、 α -ピネンの嗅覚刺激は、副交感神経活動の亢進ならびに心拍数の低下をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

6. 引用文献

1. Ohira, T.; Park, B.J.; Kurosumi, Y.; Miyazaki, Y. Evaluation of dried-wood odors: comparison between analytical and sensory data on odors from dried sugi (*Cryptomeria japonica*) wood. *J. Wood Sci.* 2008, 55, 144–148
2. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ohira, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects. *Public Health* 2011, 125, 93–100.
3. Akutsu, H.; Kikusui, T.; Takeuchi, Y.; Sano, K.; Hatanaka, A.; Mori, Y. Alleviating effects of plant-derived fragrances on stress-induced hyperthermia in rats. *Physiol. Behav.* 2001, 75, 355–360
4. Kusahara, M.; Urakami, K.; Masuda, Y.; Zangiacomi, V.; Ishii, H.; Tai, S.; Maruyama, K.; Yamaguchi, K. Fragrant environment with α -pinene decreases tumor growth in mice. *Biomed. Res.* 2012, 33, 57–61
5. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 27–37.
6. Ohmae, E.; Ouchi, Y.; Oda, M.; Suzuki, T.; Nobesawa, S.; Kanno, T.; Yoshikawa, E.; Futatsubashi, M.; Ueda, Y.; Okada, H.; et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006, 29, 697–705.
7. Ohmae, E.; Oda, M.; Suzuki, T.; Yamashita, Y.; Kakihana, Y.; Matsunaga, A.; Kanmura, Y.; Tamura, M. Clinical evaluation of Near-infrared time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J. Biomed. Opt.* 2007, 12, 9.
8. Torricelli, A.; Contini, D.; Pilled, A.; Caffini, M.; Re, R.; Zucchelli, L.; Spinelli, L. Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 2014, 85, 28–50.
9. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
10. Park, S.A.; Song, C.; Choi, J.Y.; Son, K.C.; Miyazaki, Y. Foliage plants cause physiological and psychological relaxation-as evidenced by measurements of prefrontal cortex activity and profile of mood states. *HortScience* 2016, 51, 1308–1312.

11. Camm, A.J.; Malik, M.; Bigger, J.T.; Breithardt, G.; Cerutti, S.; Cohen, R.J.; Coumel, P.; Fallen, E.L.; Kennedy, H.L.; Kleiger, R.E.; et al. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
12. Kobayashi, H.; Ishibashi, K.; Noguchi, H. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Appl. Human Sci.* 1999, 18, 53–59.
13. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
14. Pagani, M.; Lombardi, F.; Guzzetti, S.; Rimoldi, O.; Furlan, R.; Pizzinelli, P.; Sandrone, G.; Malfatto, G.; Dell’Orto, S.; Piccaluga, E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 1986, 59, 178–193.
15. 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.
16. Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P. *The Measurement of Meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA, 1957.
17. Igarashi, M.; Song, C.; Ikei, H.; Ohira, T.; Miyazaki, Y. Effect of olfactory stimulation by fresh rose flowers on autonomic nervous activity. *J. Altern. Complement. Med.* 2014, 20, 727–731.
18. Ikei, H.; Komatsu, M.; Song, C.; Himoro, E.; Miyazaki, Y. The physiological and psychological relaxing effects of viewing rose flowers in office workers. *J. Physiol. Anthropol.* 2014.
19. Kobayashi, H.; Song, C.; Ikei, H.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Analysis of individual variations in autonomic responses to urban and forest environments. *Evid Based Complement Alternat Me* 2015, 671094
20. Joung, 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. Hort. Sci.* 2014, 28, 90–94.
21. Matsubara, E.; Kawai, S. VOCs emitted from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) interior walls induce physiological relaxation. *Build. Environ.* 2014, 72, 125–130.
22. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual, olfactory, auditory, and tactile factors in the forest environment. In *Forest Medicine*; Li, Q., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: New York, NY, USA, 2012; pp. 169–181.

23. Li, Q.; Kobayashi, M.; Wakayama, Y.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Kawada, T.; Ohira, T.; et al. Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2009, 22, 951–959.
24. Dayawansa, S.; Umeno, K.; Takakura, H.; Hori, E.; Tabuchi, E.; Nagashima, Y.; Oosu, H.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Autonomic responses during inhalation of natural fragrance of Cedrol in humans. *Auton Neurosci.* 2003, 108:79–86
25. 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.* 2001, 21, 297–300.
26. 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.
27. 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.
28. Sakuragawa, S.; Miyazaki, Y.; Kaneko, T.; Makita, T. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J. Wood Sci.* 2005, 51, 136–140.
29. Morikawa, T.; Miyazaki, Y.; Kobayashi, S. Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J. Wood Sci.* 1998, 44, 495–497.
30. Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* 2008, 54, 107–113.

第3節 ヒノキ葉油の嗅覚刺激

1. はじめに

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) は、古くから建築および家具の材料として利用され、葉や枝から抽出される精油（以下、葉油）は、石鹸、歯磨き粉および化粧品に香料あるいは機能性添加物として用いられており、身近な樹木の一つといえる。

既往研究において、ヒノキの葉油やその抽出成分は、食品媒介病原体の増殖を抑制すること[1]、防腐・抗菌効果を有すること[2,3]、コメゾウムシ[4]および蚊の幼虫[5]に対し殺虫効果を有すること、ヒョウヒダニ[6,7]に対し殺ダニ効果を有すること等、多くの報告がなされている。しかし、ヒノキ葉油が人の脳活動および自律神経活動に及ぼす影響に関しては、報告がなされていない。

本研究においては、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 葉油の嗅覚刺激がもたらす生理的影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1. 被験者

被験者は、千葉大学および千葉大学大学院の女子学生 13 名 (21.5 ± 1.0 歳) とした。現在治療中の疾患を有する者および月経期の者は外した。計測前に、実験の目的、計測の流れおよび測定指標について説明し、被験者全員から自署による署名のある同意書を得た。なお、本実験は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理審査委員会の承認（承認番号 5 番）を得て実施された。

2.2. 計測手順

計測は、室温約 25°C、湿度約 50%、照度約 230lux に設定した人工気候室内にて 1 月上旬から下旬にかけて行った。控室にて実験の説明を受けた後、人工気候室内に移動した。生理計測用のセンサーならびににおい供給装置を装着し、椅坐位にて測定手順の説明を受けた。次に、ダミー刺激（緑茶のにおい）を用いて、嗅覚刺激の練習を行った。手順は以下の通りである。被験者は、閉眼にて椅坐位安静状態をとった。その後、90 秒間嗅覚刺激を受けた（図 1）。嗅覚刺激終了後、主観評価の質問紙に記入した。図 2 に実験スケジュールを示す。

嗅覚刺激の呈示順は、順序効果を除くため、カウンターバランスをとった。6 名の被験者は、第一に対照、第二にヒノキ葉油の嗅覚刺激を受けた。残りの 7 名の被験者は、第一にヒノキ葉油、第二に対照の順で刺激を受けた。なお、生理応答の計測は、連続して行った。



図 1. 実験風景 業績 3)

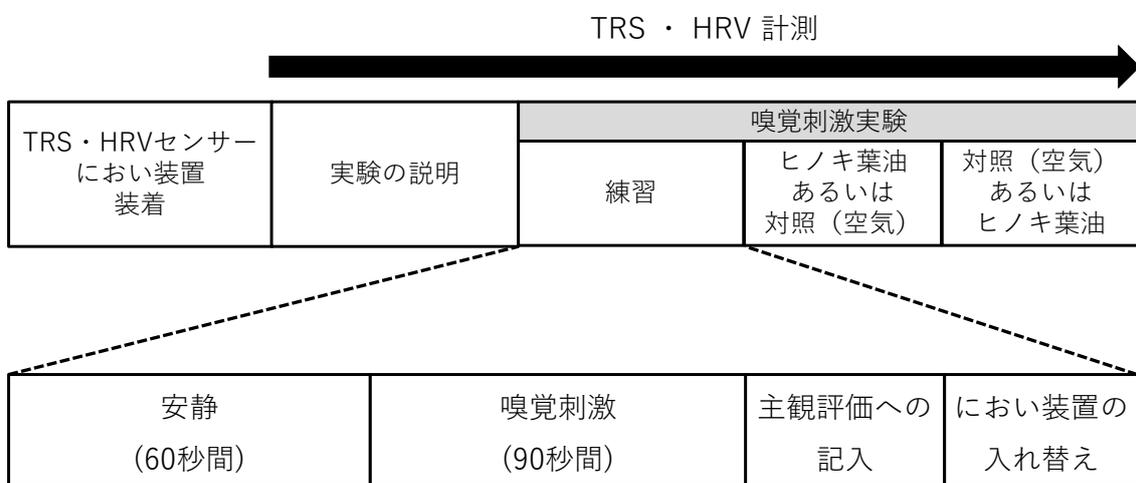


図 2. 実験スケジュール 業績 3) を改変

2.3. 嗅覚刺激

嗅覚刺激は、和歌山県産ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の葉 (図 3) から水蒸気蒸留にて抽出した精油 (以下、ヒノキ葉油; キセイテック株式会社製, 和歌山県, 日本, 図 4) とし、対照は空気とした。無臭性のにおい袋 (Flek-Sampler; 近江オドエアーサービス株式会社製, 京都, 日本) に外気を 24L 注入し、ヒノキ葉油 2 μ l を投入した。精油を袋内に拡散させるため、ドライヤーで気化させた後、1 時間程度室温で放置した。この袋を特注のにおい発生装置内 (図 5 の円筒容器) に設置し、被験者の鼻下約 10cm から 3.0L/分にて、におい刺激を呈示した。においの濃度は、感覚強度として「弱いにおい」から「楽に感じるにおい」になるよう調整した。



図 3. ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の葉



図 4. ヒノキ葉油（キセイテック株式会社，和歌山県）



図 5. におい装置 業績 3)を改変

2.4. 生理指標

2.4.1. 近赤外時間分解分光法

脳活動の指標として、近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy; NIRS) の一手法である時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) を用いた。センサーを前額部に装着し、左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した (TRS-20; 浜松ホトニクス株式会社製, 静岡, 日本) [8-10]。以前の研究 [11,12] から、自然由来の刺激によって、主観的リラックス感が高まった場合に、前頭前野活動が鎮静化することが分かっている。左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、嗅覚刺激呈示前 (測定前条件) から嗅覚刺激呈示中 90 秒間 (測定後条件) において、連続的に測定した。なお、TRS-20 によって取得されるデータの多くは、約 1.0-1.2 秒間隔で計測されるため、データを線形補正した上で 1 秒毎のデータとして用い、前値 10 秒間の平均値との差分とした。

2.4.2. 心拍変動性、心拍数

自律神経活動の指標として、心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) および心拍数を用いた。R-R 間隔は、携帯用の心電図モニター (Activtrac AC-301A; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本) を用いて計測した [13,14]。最大エントロピー法により R-R 間隔のスペクトル解析を実施し (Memcalc/Win; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本)、低周波 (low-frequency; LF) 成分 (0.04-0.15 Hz)、高周波 (High-frequency; HF) 成分 (0.15-0.40 Hz) を算出した。HF 成分を副交感神経活動の指標とし、LF/HF を交感神経活動の指標とした [15,16]。HRV パラメータを正規化するために、自然対数変換値を用いた [17]。ln(HF)、ln(LF/HF) ならびに心拍数は、30 秒毎の経時的変化および 90 秒間の平均値を算出した。

2.5. 主観評価

ヒノキ葉油の嗅覚刺激がもたらす心理的影響を評価するため、心理指標として、簡易型セマンティック・ディファレンシャル (Semantic Differential; SD) 法 [18]を用いた。SD 法は、対立する形容詞対を両端に並べ 13 段階の印象評価を行う質問紙である。形容詞対として、「快適な－不快な」、「自然な－人工的な」、「リラックスした－覚醒的な」を用いた。

2.6. 統計検定

統計検定には SPSS20.0 (IBM 社製, アーモンク, ニューヨーク, アメリカ) を用いた。ヒノキ葉油と対照との比較のため、生理指標においては、対応のある t 検定、主観評価においては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を実施した。いずれの統計処理においても、有意水準は $P < 0.05$ とした。本研究においては、「ヒノキ葉油の嗅覚刺激により生理的・心理的にリラックスする」という仮説の基、片側検定を行った。

3. 結果

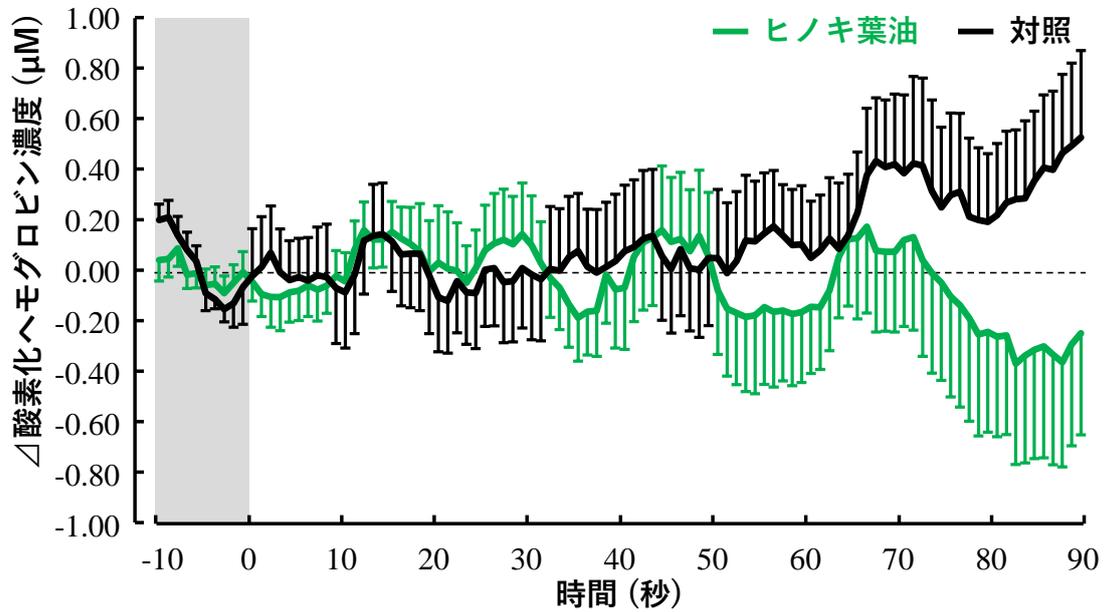
3.1. 生理的影響

3.1.1. TRS

ヒノキ葉油の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の経時的変化を図 6 に示す。ヒノキ葉油の嗅覚刺激呈示時における左右前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度は、対照に比べ低く推移し、前値に比べ徐々に低下していることがわかった。一方、対照においては徐々に上昇していることが示された。

嗅覚刺激 90 秒間の平均値を図 7 に示す。ヒノキ葉油の嗅覚刺激によって、右前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度が低下するのに対し、対照においては上昇し、両者間に有意差が認められた（ヒノキ葉油: $-0.10 \pm 0.20 \mu\text{M}$ 、対照: $0.18 \pm 0.20 \mu\text{M}$, 図 7 右, $P < 0.05$)。左前頭前野においては、有意差はないが、ヒノキ葉油の嗅覚刺激によって、酸素化ヘモグロビン濃度が低下する傾向にあった（ヒノキ葉油: $-0.04 \pm 0.20 \mu\text{M}$ 、対照: $0.14 \pm 0.20 \mu\text{M}$, 図 7 左, $P = 0.100$)。

左前頭前野



右前頭前野

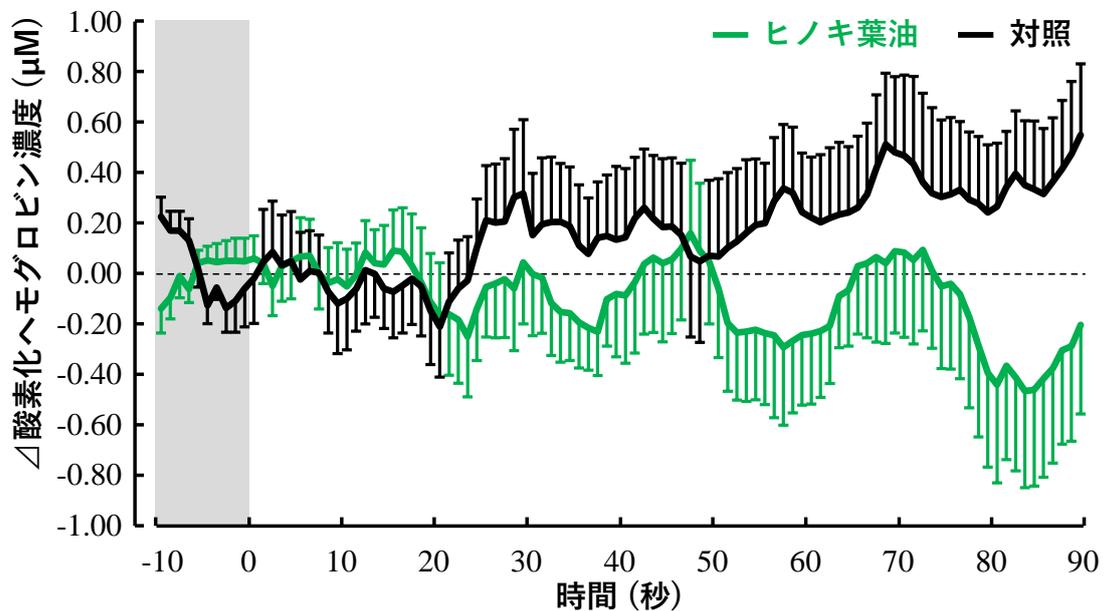


図 6. ヒノキ葉油の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の経時的变化.前値 10 秒間との差分, 平均 ± 標準誤差, N=13. 業績 3)を改変

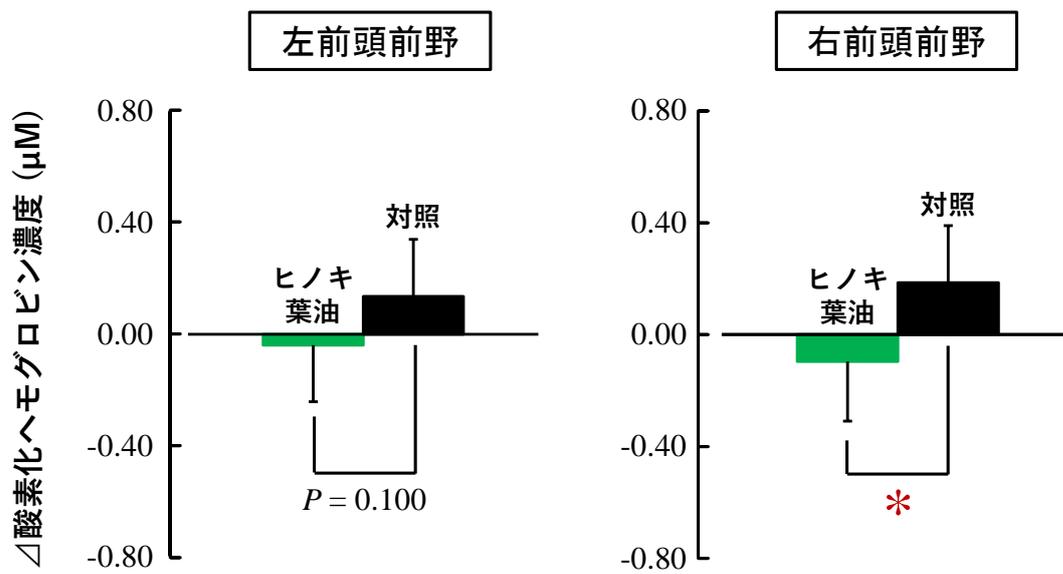


図 7. ヒノキ葉油の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の
 平均値. 前値 10 秒間との差分, 平均 ± 標準誤差, N=13.

* $P < 0.05$; 対応のある t 検定 (片側). 業績 3) を改変

3.1.2. HRV、心拍数

副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ の経時的変化を図 8A に示す。前値 30 秒間における $\ln(\text{HF})$ は、ヒノキ葉油において $6.16 \pm 0.22 \ln\text{ms}^2$ 、対照において $6.01 \pm 0.26 \ln\text{ms}^2$ であり、両者間に有意な差はなかった。ヒノキ葉油の嗅覚刺激における $\ln(\text{HF})$ は、嗅覚刺激呈示直後に上昇し、前値ならびに対照に比べ高く推移していた。一方、対照においては、殆ど変化しなかった (図 8A)。

嗅覚刺激 90 秒間の平均値を図 8B に示す。ヒノキ葉油の嗅覚刺激時の $\ln(\text{HF})$ は、対照に比べ、有意に上昇した (ヒノキ葉油: $6.32 \pm 0.26 \ln\text{ms}^2$, 対照: $6.10 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$, 図 8B, $P < 0.05$)。

一方、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ (ヒノキ葉油: -0.43 ± 0.30 , 対照: -0.37 ± 0.24) ならびに心拍数 (ヒノキ葉油: 73.5 ± 2.2 拍/分, 対照: 74.2 ± 2.4 拍/分) においては、両者間に有意な差は認められなかった。

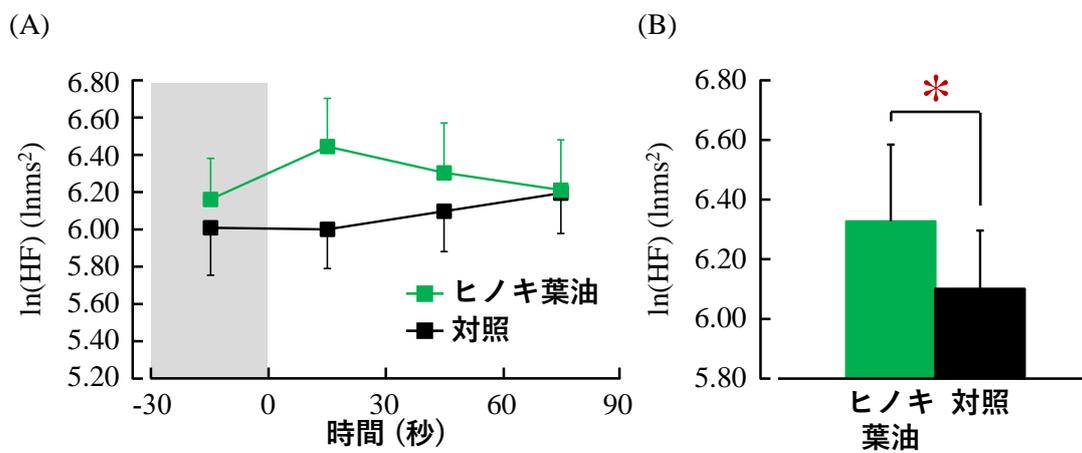


図 8. ヒノキ葉油の嗅覚刺激による $\ln(\text{HF})$ の変化. 平均 \pm 標準誤差, $N=13$.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. $*P < 0.05$; 対応のある t 検定. 業績 3) を改変

3.2. 心理的影響

簡易型のSD法の結果を図9に示す。「快適感」において、ヒノキ葉油は「やや快適である～かなり快適である」と印象され、「どちらでもない～やや快適である」と評価された対照と比較し、有意に快適であると感じられていた(図9左, $P < 0.05$)。また「自然感」において、ヒノキ葉油は対照に比べ、有意差はないが、自然であると感じられる傾向にあった(図9中央, $P = 0.090$)。一方、「リラックス感」においては、有意差は認められなかった(図9右)。

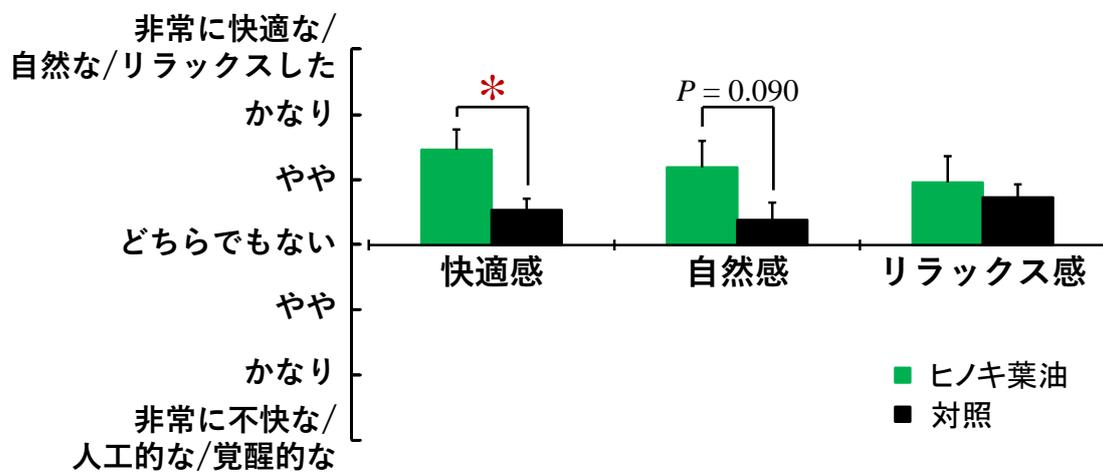


図 9. ヒノキ葉油の印象評価. 平均 ± 標準誤差, N=13,

* $P < 0.05$; ウィルコクソンの符号付順位和検定 (片側). 業績 3)を改変

4. 考察

本研究においては、ヒノキ葉油の嗅覚刺激が人の生理応答にもたらす影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。その結果、ヒノキ葉油の嗅覚刺激は、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらすことが示された。

脳活動において、スギ材チップの嗅覚刺激は、前頭前野における総ヘモグロビン濃度を低下させることが示されている[19]。また、自律神経活動において、ヒノキ葉油の主要成分の一つであるリモネンの嗅覚刺激は、副交感神経活動を亢進させ、心拍数を低下させることが報告されている[20]。スギの材油抽出成分であるセドロールの嗅覚刺激は、副交感神経活動の亢進および交感神経活動の抑制をもたらすことが示されている[21]。本研究結果は、上記した既往研究と良い一致を示した。

主観評価においては、有意に快適であると評価されたが、リラックス感においては有意差が見られなかった。我々の既往研究において、バラおよびオレンジの嗅覚刺激は、有意に快適でリラックスすると評価されることを報告している[22]。一方、本研究においては、リラックス感において有意差が見られなかった。その理由は明らかでないが、ヒノキ葉油の主成分の一つであるサビネン[23]はコショウに含まれる辛み成分のひとつであり[24]、それが関係しているのかもしれない。また、被験者各人の感覚強度と主観的リラックス感の相関関係を調べたところ、感覚強度が低下すると、リラックス感が高まる傾向にあることがわかった ($r = -0.523$, $P = 0.066$)。ヒノキ葉油の濃度を低くすれば、主観的リラックス感が得られる可能性があることが示唆された。

いくつかの既往研究は、森林環境下への滞在により、生理的リラックス効果をもたらされ[26-34]、低下していた免疫機能が改善すること[35-37]を明らかにしている。しかし、多忙な生活を余儀なくされる現代人にとって、日常的に森林へ赴くことは難しいと考えられる。

樹木由来の精油は、日常生活の中に容易に取り入れることができる。近年では、アロマセラピーが人気を集め、一般的なリラックス法のひとつとして認識され、広く普及している[38]。自然由来のにおいが人にもたらすリラックス効果に関して、木材[39-44]を対象とし、Evidence-Based Medicine の観点からデータ蓄積が進められつつある。本研究においては、ヒノキ葉油の嗅覚刺激がもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。今後、ヒノキ葉油等、自然由来のにおい成分がもたらす生理的影響に関する科学的エビデンスを蓄積していくことにより、現代人の「生活の質 (Quality of life)」向上に寄与することができるであろう。

研究の限界として、以下の三点が挙げられる。1) 本研究では脳活動ならびに自律神経活動を生理指標として用いたが、今後は、コルチゾール等のストレスホルモンについても同時計測し、ヒノキ葉油の嗅覚刺激を受けた際の人の生理応答について総合的に評価することが重要な課題となる。2) 今回は 20 代の成人女性を対象としたが、男性、未成年者、高齢者等、異なる属性を対象とした検討が求められる。3) 本研究においては、90 秒間という短時間の嗅覚刺激が人にもたらす生理的影響を明らかにした。今後は、日常生活を想定した長時間の嗅覚刺激が人の生理応答に及ぼす影響についても明らかにする必要がある。

5. 結論

結論として、ヒノキ葉油の嗅覚刺激は、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

6. 引用文献

1. Park, M.J.; Choi, W.S.; Kang, H.Y.; Lee, G.S.; Jeung, E.B.; Choi, I.G. Inhibitory effect of the essential oil from *Chamaecyparis obtusa* on the growth of food-borne pathogens. *J. Microbiol.* 2010, 48, 496–501.
2. Yang, J.K.; Choi, M.S.; Seo, W.T.; Rinker, D.L.; Han, S.W.; Cheong, G.W. Chemical composition and antimicrobial activity of *Chamaecyparis obtusa* leaf essential oil. *Fitoterapia.* 2007, 78, 149–152.
3. Lee, J.H.; Lee, B.K.; Kim, J.H.; Lee, S.H.; Hong, S.K. Comparison of chemical compositions and antimicrobial activities of essential oils from three conifer trees; *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica*, and *Chamaecyparis obtusa*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2009, 19, 391–396.
4. Park, I.K.; Lee, S.G.; Choi, D.H.; Park, J.D.; Ahn, Y.J. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored. Prod. Res.* 2003, 39, 375–384.
5. Jang, Y.S.; Jeon, J.H.; Lee, H.S. Mosquito larvicidal activity of active constituent derived from *Chamaecyparis obtusa* leaves against 3 mosquito species. *J. Am. Mosq. Control. Assoc.* 2005, 21, 400–403.
6. Jang, Y.S.; Lee, C.H.; Kim, M.K.; Kim, J.H.; Lee, S.H.; Lee, H.S. Acaricidal activity of active constituent isolated in *Chamaecyparis obtusa* leaves against *Dermatophagoides* spp. *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53, 1935–1937.
7. Miyazaki, Y.; Yatagai, M.; Takaoka, M. Effect of essential oils on the activity of house dust mites, Japan. *Jpn. J. Biometeor.* 1989, 26, 105–108.
8. Ohmae, E.; Ouchi, Y.; Oda, M.; Suzuki, T.; Nobesawa, S.; Kanno, T.; Yoshikawa, E.; Futatsubashi, M.; Ueda, Y.; Okada, H.; et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006, 29, 697–705.
9. Ohmae, E.; Oda, M.; Suzuki, T.; Yamashita, Y.; Kakihana, Y.; Matsunaga, A.; Kanmura, Y.; Tamura, M. Clinical evaluation of Near-infrared time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J. Biomed. Opt.* 2007, 12, 9.
10. Torricelli, A.; Contini, D.; Pilled, A.; Caffini, M.; Re, R.; Zucchelli, L.; Spinelli, L. Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 2014, 85, 28–50.

11. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
12. Park, S.A.; Song, C.; Choi, J.Y.; Son, K.C.; Miyazaki, Y. Foliage plants cause physiological and psychological relaxation-as evidenced by measurements of prefrontal cortex activity and profile of mood states. *HortScience* 2016, 51, 1308–1312.
13. Camm, A.J.; Malik, M.; Bigger, J.T.; Breithardt, G.; Cerutti, S.; Cohen, R.J.; Coumel, P.; Fallen, E.L.; Kennedy, H.L.; Kleiger, R.E.; et al. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
14. Kobayashi, H.; Ishibashi, K.; Noguchi, H. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Appl. Human Sci.* 1999, 18, 53–59.
15. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
16. Pagani, M.; Lombardi, F.; Guzzetti, S.; Rimoldi, O.; Furlan, R.; Pizzinelli, P.; Sandrone, G.; Malfatto, G.; Dell’Orto, S.; Piccaluga, E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 1986, 59, 178–193.
17. 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.
18. Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P. *The Measurement of Meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA, 1957.
19. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual, olfactory, auditory, and tactile factors in the forest environment. In *Forest Medicine*; Li, Q., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: New York, NY, USA, 2012; pp. 169–181.
20. Joung, 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. Hort. Sci.* 2014, 28, 90–94.
21. Dayawansa, S.; Umeno, K.; Takakura, H.; Hori, E.; Tabuchi, E.; Nagashima, Y.; Oosu, H.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Autonomic responses during inhalation of natural fragrance of Cedrol in humans. *Auton Neurosci.* 2003, 108, 79–86

22. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
23. Park, B.J.; Ono, K.; Yoshinami, Y.; Miyazaki, Y. Physiological effects of orange essential oil inhalation in humans. *Adv. Hortic. Sci.* 2014, 28, 225–230
24. Hayashi, S.; Yano, K.; Matsuura, T. The Monoterpene Constituents of the Essential Oil of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.). *Bull. Chem. Soc. Japan* 1967, 37(5), 680–683. DOI: 10.1246/bcsj.37.680
25. Kapoor, I.P.S.; Singh, B.; Singh, G., De, Heluani, C.S.; De, Lampasona, M.P.; Catalan, C.A. Chemistry and in vitro antioxidant activity of volatile oil and oleoresins of black pepper (*Piper nigrum*). *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 5358–5364.
26. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Sato, M.; Miyazaki, Y. Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest)—Using salivary cortisol and cerebral activity as indicators. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26, 123–128.
27. Tsunetsugu, Y.; Lee, J.; Park, B.J.; Tyrväinen, L.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements. *Landsc. Urban Plan.* 2013, 113, 90–93.
28. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 18–26.
29. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Ishii, H.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of “Shinrin-yoku” (taking in the atmosphere of the forest) in an old-growth broadleaf forest in Yamagata prefecture, Japan. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26, 135–142.
30. Park, B.J.; Kasetani, T.; Morikawa, T.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of forest recreation in a young conifer forest in Hinokage Town, Japan. *Silva. Fenn.* 2009, 43, 291–301.
31. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ohira, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects. *Public Health* 2011, 125, 93–100.
32. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ishii, H.; Furuhashi, S.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) in a mixed forest in Shinano Town, Japan. *Scand. J. For. Res.* 2008, 23, 278–283.

33. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The restorative effects of viewing real forest landscapes: Based on a comparison with urban landscapes. *Scand. J. For. Res.* 2009, 24, 227–234.
34. Lee, J.; Tsunetsugu, Y.; Takayama, N.; Park, B.J.; Li, Q.; Song, C.; Komatsu, M.; Ikei, H.; Tyrväinen, L.; Kagawa, T.; et al. Influence of forest therapy on cardiovascular relaxation in young adults. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2014.
35. Li, Q.; Morimoto, K.; Nakadai, A.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Shimizu, T.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Suzuki, H.; Miyazaki, Y.; et al. Forest bathing enhances human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2007, 20, 3–8.
36. Li, Q.; Morimoto, K.; Kobayashi, M.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Suzuki, H.; Li, Y.J.; Wakayama, Y.; et al. Visiting a forest, but not a city, increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2008, 21, 117–127.
37. Li, Q.; Morimoto, K.; Kobayashi, M.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Li, Y.J.; Wakayama, Y.; et al. A forest bathing trip increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents* 2008, 22, 45–55.
38. Cooke, B.; Ernst, E. Aromatherapy: a systematic review. *Br. J. Gen. Pract.* 2000, 50: 493–496.
39. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity. *J. Wood Sci.* 2016, 62, 568–572.
40. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual, olfactory, auditory, and tactile factors in the forest environment. In *Forest Medicine*; Li, Q., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: New York, NY, USA, 2012; pp. 169–181.
41. Dayawansa, S.; Umeno, K.; Takakura, H.; Hori, E.; Tabuchi, E.; Nagashima, Y.; Oosu, H.; Yada, Y.; Suzuki, T.; Ono, T.; Nishijo, H. Autonomic responses during inhalation of natural fragrance of Cedrol in humans. *Auton Neurosci.* 2003, 108, 79–86
42. Joung, 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. Hort. Sci.* 2014, 28, 90–94.
43. Bensafi, M.; Rouby, C.; Farget, V.; Bertrand, B.; Vigouroux, M.; Holley, A. Autonomic nervous system responses to odours: the role of pleasantness and arousal. *Chem. Senses.* 2002, 27, 703–709.

44. Li, Q.; Kobayashi, M.; Wakayama, Y.; Inagaki, H.; Katsumata, M.; Hirata, Y.; Hirata, K.; Shimizu, T.; Kawada, T.; Ohira, T.; et al. Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* 2009, 22, 951–959.

第4節 ヒノキ材チップの嗅覚刺激

1. はじめに

木材は、その使用に当たり変形や収縮を防止するため乾燥が必要であり、近年においては、温湿度及び風量が調整可能な乾燥庫にて人工的な処理を施した人工乾燥材の利用が増加している[1]。従来の乾燥法である天然乾燥においては、乾燥期間が半年以上必要であるが、人工乾燥においては、通常1週間～2週間程度という短期間で乾燥が可能である。また、人工乾燥においては、材の外側から内部まで、比較的均一に乾燥させることが可能であるため、寸法安定性の高い材を生み出すことができる。しかし、人工的に熱をかけることによる木材成分の変質や低沸点部の消失が報告されており[2]、「木材本来のにおい」に変化が生じる可能性があると考えられる。

Ohiraら[2]は、乾燥法の異なる木材の嗅覚刺激が人に及ぼす影響について、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) を対象として調査した結果、天然乾燥を施したスギ材の嗅覚刺激は、高温処理を施したスギ材と比較して、主観的鎮静感が高まることを報告している。一方、乾燥法の異なる木材の嗅覚刺激の違いが人に及ぼす生理的影響については、報告がなされていない。

本研究においては、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の天然乾燥材および高温処理材チップの嗅覚刺激がもたらす生理的影響の違いについて、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1. 被験者

被験者は、千葉大学および千葉大学大学院の女子大学生 19 名 (22.5 ± 1.6 歳) とした。現在治療中の疾患を有する者および月経期の者は外した。計測前に、実験の目的、計測の流れおよび測定指標について説明し、被験者全員から自署による署名のある同意書を得た。なお、本実験は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理審査委員会の承認（承認番号 5 番）を得て実施された。

2.2. 計測手順

計測は、室温約 25°C、湿度約 50%、照度約 230lux に設定した人工気候室内にて 6 月上旬から中旬にかけて行った。控室にて実験の説明を受けた後、人工気候室内に移動した。生理計測用のセンサーならびににおい供給装置を装着し、椅坐位にて測定手順の説明を受けた。次に、ダミー刺激（緑茶のにおい）を用いて、嗅覚刺激の練習を行った。手順は以下の通りである。被験者は、閉眼にて椅坐位安静状態をとった後、90 秒間嗅覚刺激を受けた（図 1）。嗅覚刺激終了後、被験者は主観評価の質問紙に記入した。図 2 に実験スケジュールを示す。

嗅覚刺激の呈示順は、順序効果を除くためにカウンターバランスをとった。10 名の被験者は、第一に天然乾燥材、第二に高温処理材の嗅覚刺激を受けた。残りの 9 名の被験者は、第一に高温処理材、第二に天然乾燥材の順で刺激を受けた。なお、生理応答の計測は、連続して行った。



図 1. 実験風景 業績 4)

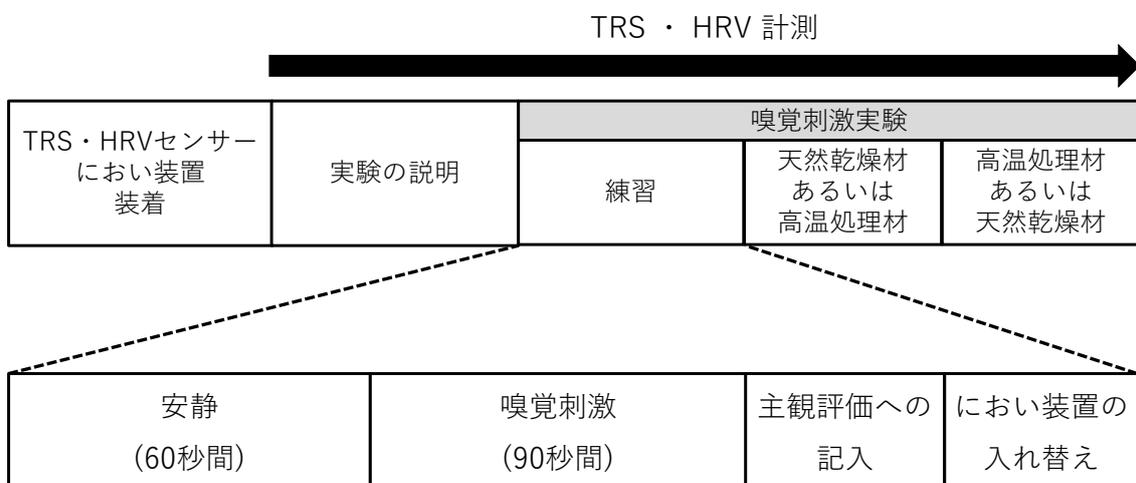


図 2. 実験スケジュール 業績 4) を改変

2.3. 嗅覚刺激

試料であるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) は、熊本県産の心材を用いた。

製材後3年間自然乾燥したヒノキを「天然乾燥材 (図3左)」とし、高温・急速乾燥したヒノキを「高温処理材 (図3右)」とした。高温処理スケジュールを表1に示す。

チップ化したヒノキ材 (80g) をそれぞれ無臭性のにおい袋 (Flek-Sampler; 近江オドエアーサービス株式会社製, 京都, 日本) に投入した。におい袋に外気を24L 注入し、におい成分を袋内に飽和させるため、1時間程度室温で放置した。この袋を特注のにおい発生装置内 (図4の円筒容器) に設置し、被験者の鼻下約10cm から3.0L/分にてにおい刺激を呈示した。においの濃度は、感覚強度として「かすかに感じるにおい」から「弱いにおい」になるよう調整した。



天然乾燥材



高温処理材

図 3. ヒノキ材チップ

表 1. 高温処理スケジュール 業績 4)を改変

時間	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)
0-6	90	90
6-18	90	90
18-42	120	95
42-82	110	90
82-112	105	85
112-120	50	45



図 4. におい装置 業績 4) を改変

2.4. 生理指標

2.4.1. 近赤外時間分解分光法

脳活動の指標として、近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy; NIRS) の一手法である時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) を用いた。センサーを前額部に装着し、左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した (TRS-20; 浜松ホトニクス株式会社製, 静岡, 日本) [3-5]。以前の研究[6,7]から、自然由来の刺激によって、主観的リラクセス感が高まった場合に、前頭前野活動が鎮静化することが分かっている。左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、嗅覚刺激呈示前 (測定前条件) から嗅覚刺激呈示中 90 秒間 (測定後条件) において、連続的に測定した。なお、TRS-20 によって取得されるデータの多くは、約 1.0-1.2 秒間隔で計測されるため、データを線形補正した上で 1 秒毎のデータとして用い、前値 10 秒間の平均値との差分とした。

2.4.2. 心拍変動性、心拍数

自律神経活動の指標として、心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) および心拍数を用いた。R-R 間隔は、携帯用の心電図モニター (Activtracer AC-301A; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本) を用いて計測した[8,9]。最大エントロピー法により R-R 間隔のスペクトル解析を実施し (Memcalc/Win; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本)、低周波 (low-frequency; LF) 成分 (0.04-0.15 Hz)、高周波 (High-frequency; HF) 成分 (0.15-0.40 Hz) を算出した。HF 成分を副交感神経活動の指標とし、LF/HF を交感神経活動の指標とした[10,11]。HRV パラメータを正規化するために、自然対数変換値を用いた[12]。ln(HF)、ln(LF/HF)ならびに心拍数は、30 秒毎の経時的変化および 90 秒間の平均値を算出した。

2.5. 主観評価

ヒノキ天然乾燥材ならびに高温処理材の嗅覚刺激がもたらす心理的影響を評価するため、心理指標として、簡易型セマンティック・ディファレンシャル (Semantic Differential; SD) 法[13]を用いた。SD 法は、対立する形容詞対を両端に並べ 13 段階の印象評価を行う質問紙である。形容詞対として、「自然な－人工的な」、「快適な－不快な」、「リラックスした－覚醒的な」を用いた。

2.6. 統計検定

統計検定には SPSS20.0 (IBM 社製, アーモンク, ニューヨーク, アメリカ) を用いた。天然乾燥材と高温処理材間の比較のため、生理指標においては、対応のある t 検定、主観評価においては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を実施した。いずれの統計処理においても、有意水準は $P < 0.05$ とした。

3. 結果

3.1. 生理的影響

3.1.1. TRS

ヒノキ天然乾燥材ならびに高温処理材の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の経時的変化を図 5 に示す。天然乾燥材の嗅覚刺激時における左右前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度は、高温処理材に比べ低く推移し、前値に比べ徐々に低下していることがわかった。一方、高温処理材においては、ほぼ横ばいに推移した。

嗅覚刺激 90 秒間の平均値を図 6 に示す。天然乾燥材の嗅覚刺激によって、左前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度が低下するのに対し、高温処理材においては変化がなく、両者間に有意差が認められた（天然乾燥材: $-0.35 \pm 0.61 \mu\text{M}$, 高温処理材: $0.01 \pm 0.64 \mu\text{M}$, 図 6 左, $P < 0.01$ ）。右前頭前野においても同様に、天然乾燥材は $-0.32 \pm 0.87 \mu\text{M}$ 、高温処理材は $-0.03 \pm 0.72 \mu\text{M}$ となり、両者間に有意差が認められた（図 6 右, $P < 0.01$ ）。

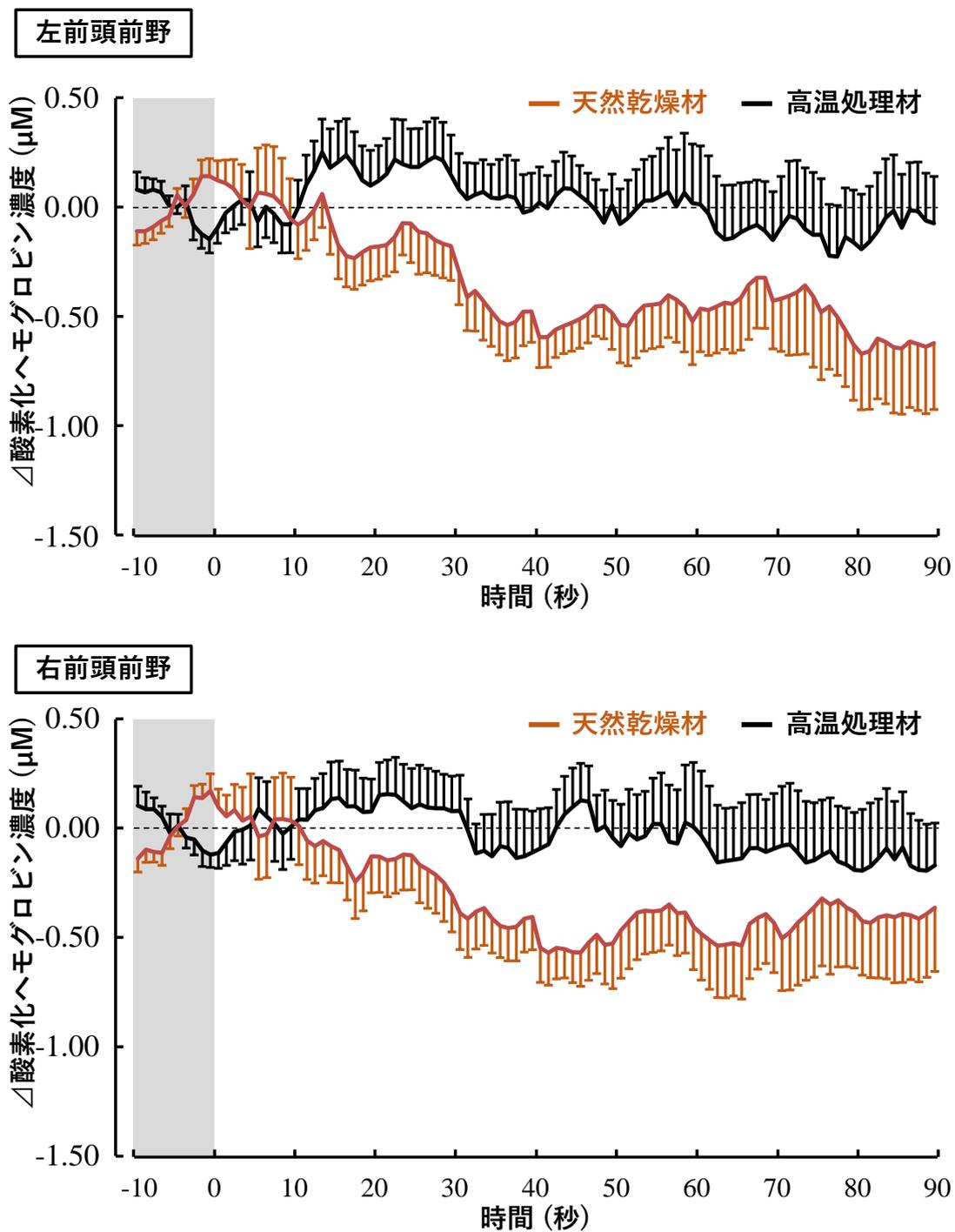


図 5. ヒノキ天然乾燥材ならびに高温処理材の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の経時的変化.前値 10 秒間との差分, 平均±標準誤差, N=19.

業績 4)を改変

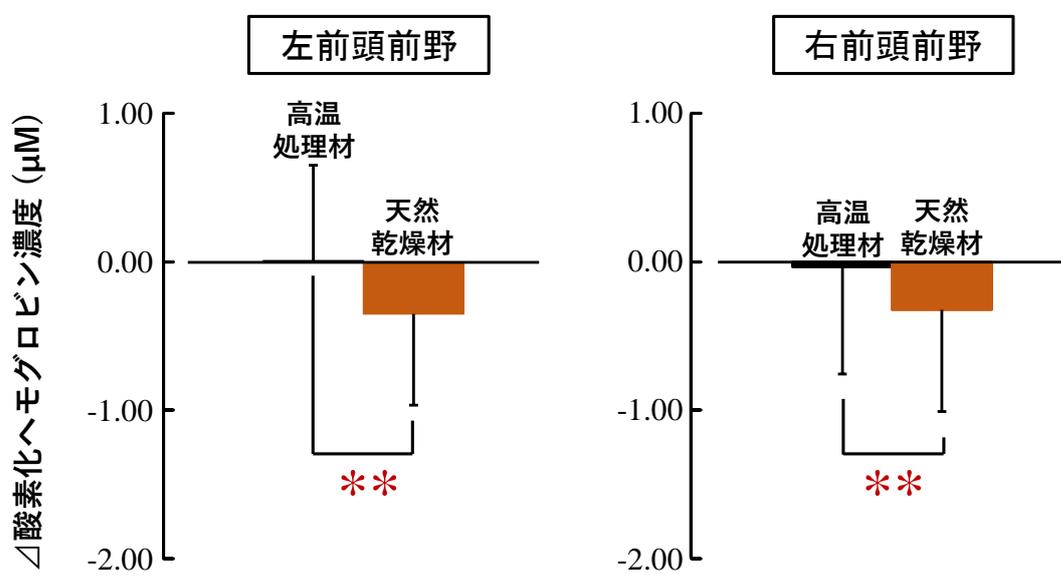


図 6. ヒノキ天然乾燥材ならびに高温処理材の嗅覚刺激による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の平均値.

前値 10 秒間との差分, 平均 ± 標準誤差, N=19. ** $P < 0.01$; 対応のある t 検定.

業績 4) を改変

3.1.2. HRV、心拍数

一方、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ (天然乾燥材: $5.51 \pm 0.23 \ln\text{ms}^2$ 、高温処理材: $5.45 \pm 0.27 \ln\text{ms}^2$)、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ (天然乾燥材: 0.11 ± 0.31 、高温処理材: -0.01 ± 0.35) ならびに心拍数 (天然乾燥材: 70.37 ± 2.20 拍/分、高温処理材: 70.71 ± 2.45 拍/分) においては、両者間に有意な差は認められなかった。

3.2. 心理的影響

簡易型のSD法による印象評価の結果を図7に示す。

「自然感」において、ヒノキ天然乾燥材は「やや自然である～かなり自然である」と印象され、「どちらでもない～やや自然である」と評価された高温処理材と比較し、有意に快適であると感じられていた（図7左, $P < 0.05$ ）。一方、「快適感」ならびに「リラックス感」においては、有意差は認められなかった（図7中央および右）。

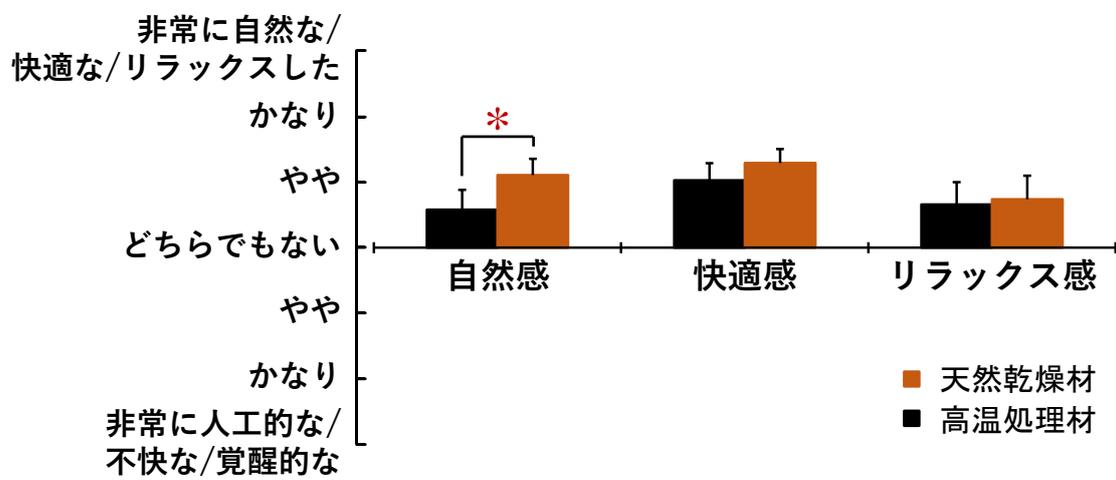


図 7. ヒノキ天然乾燥材ならびに高温処理材の印象評価. 平均 ± 標準誤差, N=19,

* $P < 0.05$; ウィルコクソンの符号付順位和検定. 業績 4) を改変

4. 考察

本研究においては、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の天然乾燥材および高温処理材チップの嗅覚刺激がもたらす生理的影響の違いについて、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。その結果、ヒノキ天然乾燥材の嗅覚刺激は、高温処理材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化をもたらすことが示された。

既往研究において、Tsunetsugu ら[14]は、スギ材チップの嗅覚刺激によって、対照（空気）に比べ、脳前頭前野における総ヘモグロビン濃度が有意に低下し、脳活動が鎮静化することを明らかにしている。その他の自然由来の嗅覚刺激についても、脳前頭前野活動が鎮静化することが報告されており[15-17]、本研究における天然乾燥材の結果と良い一致を示した。

また、既往研究において、木材由来の揮発成分である α -ピネンおよびリモネンの吸入は、収縮期血圧を低下させること[18]、D-リモネンの吸入は、副交感神経活動を亢進させ、心拍数を低下させること[19]が報告されている。乾燥法の異なる木材の揮発成分に関して、Ohira ら[2]はスギの天然乾燥材および高温処理材の揮発成分と主観評価の関係を検討した。その結果、高温処理材において、一般的に悪臭として認識される酢酸が検出され、主観的鎮静感が低下することを明らかにした[2]。本研究においては、天然乾燥と高温処理による揮発成分の違いが前頭前野活動に違いをもたらしたと考えているが、今回は、揮発成分における成分分析を実施しなかったため、その関係については、不明である。今後の課題としたい。

天然乾燥材の嗅覚刺激は、前頭前野活動を鎮静化させ、生理的リラックス効果をもたらすことが示された。一方、高温処理材においては、変化がみられなか

った。木材という自然由来の刺激であっても、乾燥法の違いによって、生体は異なる反応を示すことが明らかとなった。

今後は、木材における乾燥法の違いが及ぼす生理的影響に関して、自律神経活動、内分泌活動等の複数指標を用いて、多面的に検討していく必要があると考えられる。また、今回は、高温・急速に乾燥した材チップを用いたが、実際に現場にて使用されている低温・中温乾燥法によって作製した材チップの嗅覚刺激が生理応答に及ぼす影響についても、検討する必要がある。

5. 結論

結論として、ヒノキ天然乾燥材の嗅覚刺激は、高温処理材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

6. 引用文献

1. Forestry Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan (2013) Annual report on forest and forestry in Japan Fiscal Year 2013 (summary). <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/pdf/h25summary.pdf>. Accessed 1 December 2014
2. Ohira, T.; Park, B.J.; Kurosumi, Y.; Miyazaki, Y. Evaluation of dried-wood odors: comparison between analytical and sensory data on odors from dried sugi (*Cryptomeria japonica*) wood. *J. Wood Sci.* 2008, 55, 144–148
3. Ohmae, E.; Ouchi, Y.; Oda, M.; Suzuki, T.; Nobesawa, S.; Kanno, T.; Yoshikawa, E.; Futatsubashi, M.; Ueda, Y.; Okada, H.; et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006, 29, 697–705.
4. Ohmae, E.; Oda, M.; Suzuki, T.; Yamashita, Y.; Kakihana, Y.; Matsunaga, A.; Kanmura, Y.; Tamura, M. Clinical evaluation of Near-infrared time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J. Biomed. Opt.* 2007, 12, 9.
5. Torricelli, A.; Contini, D.; Pilled, A.; Caffini, M.; Re, R.; Zucchelli, L.; Spinelli, L. Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 2014, 85, 28–50.
6. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
7. Park, S.A.; Song, C.; Choi, J.Y.; Son, K.C.; Miyazaki, Y. Foliage plants cause physiological and psychological relaxation-as evidenced by measurements of prefrontal cortex activity and profile of mood states. *HortScience* 2016, 51, 1308–1312.
8. Camm, A.J.; Malik, M.; Bigger, J.T.; Breithardt, G.; Cerutti, S.; Cohen, R.J.; Coumel, P.; Fallen, E.L.; Kennedy, H.L.; Kleiger, R.E.; et al. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
9. Kobayashi, H.; Ishibashi, K.; Noguchi, H. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Appl. Human Sci.* 1999, 18, 53–59.

10. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
11. Pagani, M.; Lombardi, F.; Guzzetti, S.; Rimoldi, O.; Furlan, R.; Pizzinelli, P.; Sandrone, G.; Malfatto, G.; Dell’Orto, S.; Piccaluga, E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 1986, 59, 178–193.
12. 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.
13. Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P. *The Measurement of Meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA, 1957.
14. Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y. Measurement of absolute hemoglobin concentrations of prefrontal region by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy Examples of experiments and prospects. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.* 2005, 24:469–472
15. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
16. Igarashi, M.; Song, C.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with perilla essential oil on prefrontal cortex activity. *J. Altern. Complement. Med.* 2014, 20, 545–549.
17. Igarashi, M.; Yamamoto, T.; Lee, J.; Song, C.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Effects of stimulation by three-dimensional natural images on prefrontal cortex and autonomic nerve activity: A comparison with stimulation using two-dimensional images. *Cogn. Process.* 2014, 15, 551–556.
18. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Physiological effects of visual, olfactory, auditory, and tactile factors in the forest environment. In *Forest Medicine*; Li, Q., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: New York, NY, USA, 2012; pp. 169–181.
19. Joung, 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. Hort. Sci.* 2014, 28, 90–94.

第5節 まとめ

本章においては、ヒノキ由来の嗅覚刺激が脳活動・自律神経活動に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、(1) 生理指標においては、1) 脳活動として、近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度、2) 自律神経活動として、心拍変動性による副交感・交感神経活動、(2) 嗅覚刺激においては、ヒノキの 1) 主要揮発成分である α -ピネン、2) 枝葉から抽出した精油、3) 材チップを用いた。

その結果、(1) 主要揮発成分 α -ピネンによる 90 秒間の嗅覚刺激は、対照（空気）と比較し、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に上昇させ、心拍数を有意に低下させること、(2) ヒノキ葉油による 90 秒間の嗅覚刺激は、対照（空気）と比較し、右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に上昇させること、(3) ヒノキ天然乾燥材による 90 秒間の嗅覚刺激は、高温処理材と比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させることが示された。

結論として、ヒノキ由来の嗅覚刺激は、脳前頭前野活動の鎮静化、副交感神経活動の亢進、ならびに心拍数の低下をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

第 3 章 木材由来の触覚刺激が及ぼす生理的影響

第1節 序論

近年、木材が人にもたらすリラックス効果に対する関心・期待が高まっており、科学的根拠に基づいたデータの報告が待たれている。筆者らは、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する研究の現状を概観するため、文献検索を実施した[1]。その結果、木材が人にもたらす生理的影響に関する既往研究は、1992年に報告されたタイワンヒノキ材油の嗅覚刺激に関する報告[2]が初出であり、近年の生理計測技術の発展を受け、少しずつ蓄積されてきていることが明らかとなった[1]。

一方、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究においては、そのほとんどが嗅覚刺激を対象としており、触覚刺激に関する報告は極めて少ないのが現状である。

触覚刺激における先行研究として、Morikawaら[3]は、人工物においては収縮期血圧の変動が大きく、ヒノキ材においては小さいことを報告している。Sakuragawaら[4]は、材料の温度による影響について調べた結果、1) 金属板への接触は血圧を上昇させるが、金属を暖めるとその上昇は抑制されること、2) アクリル板への接触は血圧を上昇させ、アクリル板を冷やすと上昇率は大きくなること、3) スギ材、ヒノキ材、ナラ材への接触によって、血圧は接触直後の一過性の変化を除いて上昇せず、冷やしたナラ材への接触においても血圧は上昇しないことを明らかにしている。上記した2報は、木材への手掌接触が人の生理応答に及ぼす影響に関する先駆的研究であるが、生理応答の計測においては、自律神経活動の指標である血圧のみを用いている。

そこで、本章においては、木材への手掌接触が脳活動・自律神経活動に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

(1) 生理指標においては、1) 脳活動として、近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度、2) 自律神経活動として、心拍変動性による副交感・交感神経活動を用いた。

(2) 触覚刺激においては、床等の内装材として一般的に用いられているホワイトオーク材を用い、1) タイル、大理石及びステンレスといった他の素材との比較、および (2) オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、およびウレタン塗装厚塗りといった塗装材間の比較を実施した。

引用文献

1. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
2. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. *日本木材学会誌* 38 (10): 909-913.
3. Morikawa, T.; Miyazaki, Y.; Kobayashi, S. Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J. Wood Sci.* 1998, 44, 495–497.
4. Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* 2008, 54, 107–113.

第2節 ホワイトオーク材への手掌接触: 他素材との比較

1. はじめに

木材は、古くから家屋や家具に使用されている身近でなじみ深い自然素材であり、人に対してリラックス効果をもたらすことが経験的に知られている。日本において、新設住宅着工戸数に占める木造住宅の割合（木造率）は、2014年では過半数の55%であり、そのうち、一戸建住宅における木造率は88%と高い水準にある[1]。2015年に農林水産省が実施した「森林資源の循環利用に関する意識・意向調査」において、「今後住宅を建てたり、買ったりする場合に選びたい住宅」として約8割が「木造住宅」を挙げている[1]。近年では、林野庁による木材利用の促進が進められておりその一環として「木育」の取組が広がっている[1]。「木育」とは、2004年に初めて用いられた造語である[1]。これまで、「子どもをはじめとするすべての人が木とふれあい、木に学び、木と生きる取組（木育推進プロジェクトチーム[1]）」、「材料としての木材の良さやその利用の意義を学ぶ木材利用に関する教育活動（林野庁[1]）」等、いくつかの定義がなされてきた。一方、宮崎は、「木によって育てられ、生活の質（Quality of Life, QOL）が向上すること」「木に触れることで生理的にリラックスし、免疫機能が高まること」という新しい概念を提案している[2]。

上述したように、近年木材が人にもたらすリラックス効果に対する関心・期待が高まっており、科学的根拠に基づいたデータの報告が待たれている。筆者らは、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する研究の現状を概観するため、文献検索を実施した[3]。その結果、木材が人にもたらす生理的影響に関する既往研究は、1992年に報告されたタイワンヒノキ材油の嗅覚刺激に関する報告[4]が初出であり、近年の生理計測技術の発展を受け、少しずつ蓄積されてきてい

ることが明らかとなった[3]。一方、木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究においては、そのほとんどが嗅覚刺激を対象としており、触覚刺激に関する報告は極めて少ないのが現状である[5,6]。

そこで、本研究においては、木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標とし、他の素材との比較により明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1. 被験者

被験者は、千葉大学および千葉大学大学院の女子学生 18 名（ 21.7 ± 1.6 歳）とした。喫煙者、現在治療中の疾患を有する者および月経期の者は外した。計測前に、実験の目的、計測の流れおよび測定指標について説明し、被験者全員から自署による署名のある同意書を得た。なお、本実験は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理審査委員会の承認（承認番号 5 番）を得て実施された。

2.2. 計測手順

計測は、室温約 25°C、湿度約 50%、照度約 230lux に設定した人工気候室内にて 2 月中旬から 3 月上旬にかけて行った。控室にて実験の説明を受けた後、人工気候室内に移動した。生理計測用のセンサーを装着し、椅坐位にて測定手順の説明を受けた。次に、ダミー試料（シートフロア材）を用いて、手掌接触の練習を行った。手順は以下の通りである。閉眼にて椅坐位安静状態をとった（図 1 左）。その後、実験者からの合図を受け、肘を支点として右の前腕を動かし、試

料上に手のひらを置き、撫でる等の動作はせずに 90 秒間接触した (図 1 右)。接触終了後、実験者の指示により手を元の位置に戻した (図 1 左)。実験者は、次の試料を設置し、試料に布を掛けた後、被験者に目を開くよう指示した。その後、被験者は主観評価の質問紙に記入した。図 2 に実験スケジュールを示す。接触刺激の順序による影響を削除するため、試料の呈示順序はカウンターバランスを取った。なお、生理応答の計測は、連続して行った。



図 1. 実験風景 業績 5) を変更

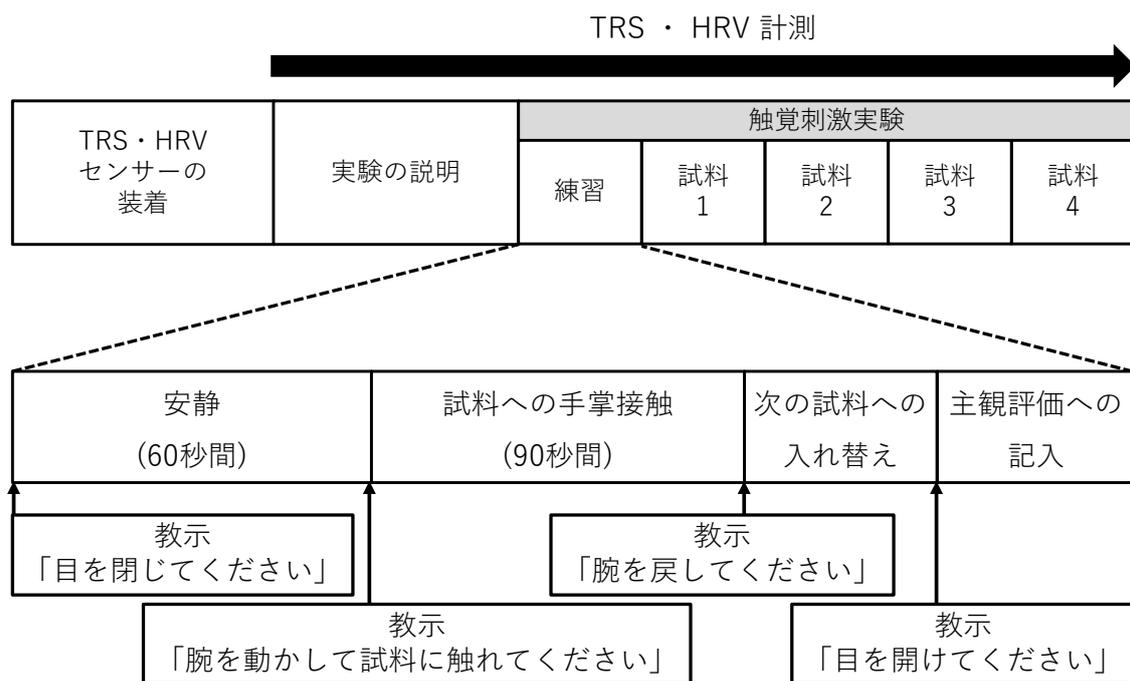


図 2. 実験スケジュール 業績 5) を改変

2.3. 触覚刺激

木材は、床材等の内装材として一般的に用いられている広葉樹であるホワイトオーク (*Quercus alba*) を用いた。縦つぎなしのひき板 (寸法: 縦 300× 横 60× 厚さ 15 mm) 5 枚を幅方向に接着し、曲がり防止のためスギ合板 (縦 300× 横 300× 厚さ 28 mm) の上に二次接着し、43 mm とした。表面は、無塗装ブラッシング仕上げとした。以下、これを「ホワイトオーク」とする (図 3A)。

比較のための素材として、建材として一般的に使用されている大理石 (図 3B) とタイル (図 3C) を用いた。さらに、代表的な人工物としてステンレス (図 3D) を用いた。大きさは、全て 300×300mm とした。厚さは、大理石 15mm、タイル 8mm、ステンレス 5mm であった。被験者に呈示する試料の厚さを 43mm に統一するため、スギ合板を各試料の下に接着した。手掌接触面は、バフ研磨仕上げとし、タイルにおいてはワックス塗装を施した。

なお、全ての材料は室温に保った。各試料の物性値を表 1 に示す。

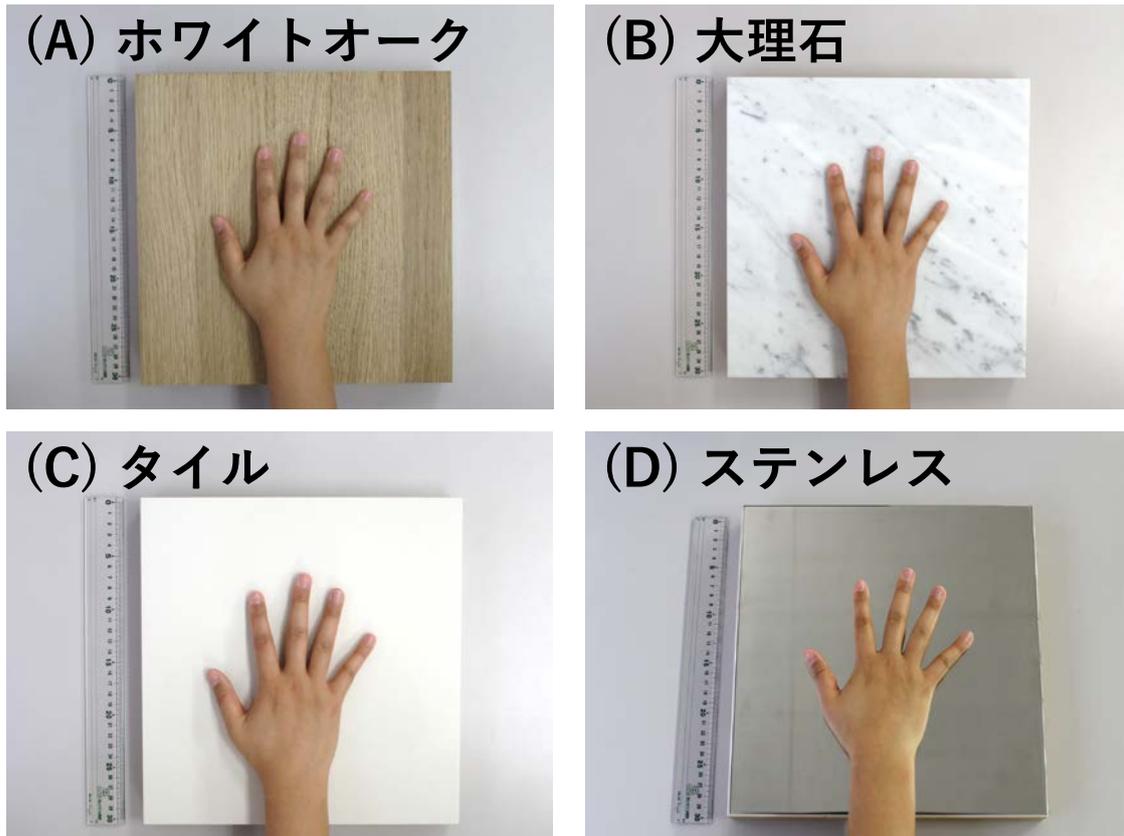


図 3. 用いた試料. 業績 5) を改変

(A) 無塗装ホワイトオーク材; (B) 大理石; (C) タイル; (D) ステンレス.

表 1. 各試料の物性値 業績 5)を改変

試料	h (mm)	λ (W/(m · k)) ¹	Ra (μm) ²	仕上げ
ホワイトオーク	15 (+ JCP 28)	0.120	57.10	ブラッシング仕上げ
大理石	15 (+ JCP 28)	0.146	0.09	バフ研磨仕上げ
タイル	8 (+ JCP 35)	0.144	0.09	バフ研磨・ワックス仕上げ
ステンレス	5 (+ JCP 38)	0.336	0.02	バフ研磨仕上げ

h , 試料の厚さ; λ , 熱伝導率; Ra , 算術平均粗さ; *JCP*: スギ合板

¹ ASTM C518-10 [7]及び ISO8301 [8] に準拠したヒートフローメーター (HFM 436 Lambda; NETZSCH 社製, ゼルプ, ドイツ) を用いた。熱流方向は鉛直下向きであり、高・低温熱板の温度をそれぞれ 35°C、15°Cとし、平均材温 25°Cでの熱伝導率を算出した。なお、試験体は、スギ合板を接着した状態にて用いた。

²接触式表面粗さ測定器 (SE3500; 株式会社小坂研究所製, 東京, 日本) を用い、ダイヤモンド針により測定した。評価長さは 50mm とし、試料の中央部分を上から 50mm 毎 5 回計測し、平均値を算出した。

2.4. 生理指標

2.4.1. 近赤外時間分解分光法

脳活動の指標として、近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy; NIRS) の一手法である時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) を用いた。センサーを前額部に装着し、左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した (TRS-20; 浜松ホトニクス株式会社製, 静岡, 日本) [9-11]。以前の研究 [12,13] から、自然由来の刺激によって、主観的リラクセス感が高まった場合に、前頭前野活動が鎮静化することが分かっている。左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、試料接触前 (測定前条件) から試料接触中 90 秒間 (測定後条件) において、連続的に測定した。なお、TRS-20 によって取得されるデータの多くは、約 1.0-1.2 秒間隔で計測されるため、データを線形補正した上で 1 秒毎のデータとして用い、前値 10 秒間の平均値との差分とした。

2.4.2. 心拍変動性、心拍数

自律神経活動の指標として、心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) および心拍数を用いた。R-R 間隔は、携帯用の心電図モニター (Activtracer AC-301A; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本) を用いて計測した [14,15]。最大エントロピー法により R-R 間隔のスペクトル解析を実施し (Memcalc/Win; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本)、低周波 (low-frequency; LF) 成分 (0.04-0.15 Hz)、高周波 (High-frequency; HF) 成分 (0.15-0.40 Hz) を算出した。HF 成分を副交感神経活動の指標とし、LF/HF を交感神経活動の指標とした [16,17]。HRV パラメータを正規化するために、自然対数変換値を用いた [18]。ln(HF)、ln(LF/HF) ならびに心拍数は、30 秒毎の経時的変化および 90 秒間の平均値を算出し、前値 30 秒間との差分とした。

2.5. 主観評価

試料への接触がもたらす心理的影響を評価するため、心理指標として、簡易型セマンティック・ディファレンシャル (Semantic Differential; SD) 法[19]を用いた。SD 法は、対立する形容詞対を両端に並べ 13 段階の印象評価を行う質問紙である。形容詞対として、「快適な－不快な」、「リラックスした－覚醒的な」、「自然な－人工的な」、「あたたかい－つめたい」、「凹凸した－平らな」、「乾燥した－湿った」を用いた。

POMS は、その時の気分状態を「緊張－不安」、「抑うつ－落込み」、「怒り－敵意」、「疲労」、「混乱」および「活気」の 6 つの尺度にわけて評価する質問紙である[20-22]。また「緊張－不安」、「抑うつ－落込み」、「怒り－敵意」、「疲労」および「混乱」という 5 つの負の感情尺度得点の合計から、「活気」という正の感情尺度得点を差し引くことによって、「総合感情障害 (Total Mood Disturbance; TMD)」を算出した。TMD 得点が低いほど、より良い感情状態であることを示す[23]。被検者の負担を軽減するため、30 項目の POMS 短縮版を使用した[24]。

2.6. 統計検定

統計検定には SPSS20.0 (IBM 社製, アーモンク, ニューヨーク, アメリカ) を用いた。ホワイトオークと他素材 (大理石、タイル、ステンレス) 間の比較のため、生理指標においては、対応のある t 検定、主観評価においては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を実施し、Holm 補正を行った。いずれの統計処理においても、有意水準は $P < 0.05$ とした。本研究においては「木材への手掌接触は、他素材と比較し、生理的・心理的にリラックスする」という仮説の基、片側検定を行った。

3. 結果

3.1. 生理的影響

3.1.1. TRS

左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の経時的変化を図 4 に示す。前値 10 秒間における左前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度は、ホワイトオーク $43.61 \pm 0.81 \mu\text{M}$ (平均±標準誤差, 以下同)、大理石 $43.44 \pm 0.87 \mu\text{M}$ 、タイル $43.24 \pm 0.87 \mu\text{M}$ 、ステンレス $43.03 \pm 0.83 \mu\text{M}$ であり、4 つの刺激間に有意な差はなかった。右前頭前野においても同様に有意差はなかった (ホワイトオーク: $43.29 \pm 1.10 \mu\text{M}$, 大理石: $43.29 \pm 1.15 \mu\text{M}$, タイル: $43.32 \pm 1.11 \mu\text{M}$, ステンレス: $43.21 \pm 1.09 \mu\text{M}$)。

ホワイトオークへの手掌接触における左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、接触直後から低下し、接触終了まで前値より低く推移していた。ステンレスにおいては徐々に上昇していた。大理石およびタイルにおいては、ホワイトオークとステンレスの間の変化を示した。

接触 90 秒間の左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の差分(接触後-接触前)の平均値を図 5 に示す。ホワイトオーク接触時の左前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、大理石、タイルおよびステンレスと比較し、有意に低下することが認められた (ホワイトオーク: $-0.37 \pm 0.10 \mu\text{M}$, 大理石: $-0.18 \pm 0.07 \mu\text{M}$, タイル: $-0.12 \pm 0.11 \mu\text{M}$, ステンレス: $0.11 \pm 0.10 \mu\text{M}$; 図 5 左, $P < 0.05$)。右前頭前野においても同様に、ホワイトオーク接触時の酸素化ヘモグロビン濃度は $-0.38 \pm 0.10 \mu\text{M}$ となり、他の素材 (大理石: $-0.21 \pm 0.08 \mu\text{M}$, タイル: $-0.03 \pm 0.11 \mu\text{M}$, ステンレス: $0.19 \pm 0.09 \mu\text{M}$) と比較し、有意な低下を示した (図 5 右, $P < 0.05$)。

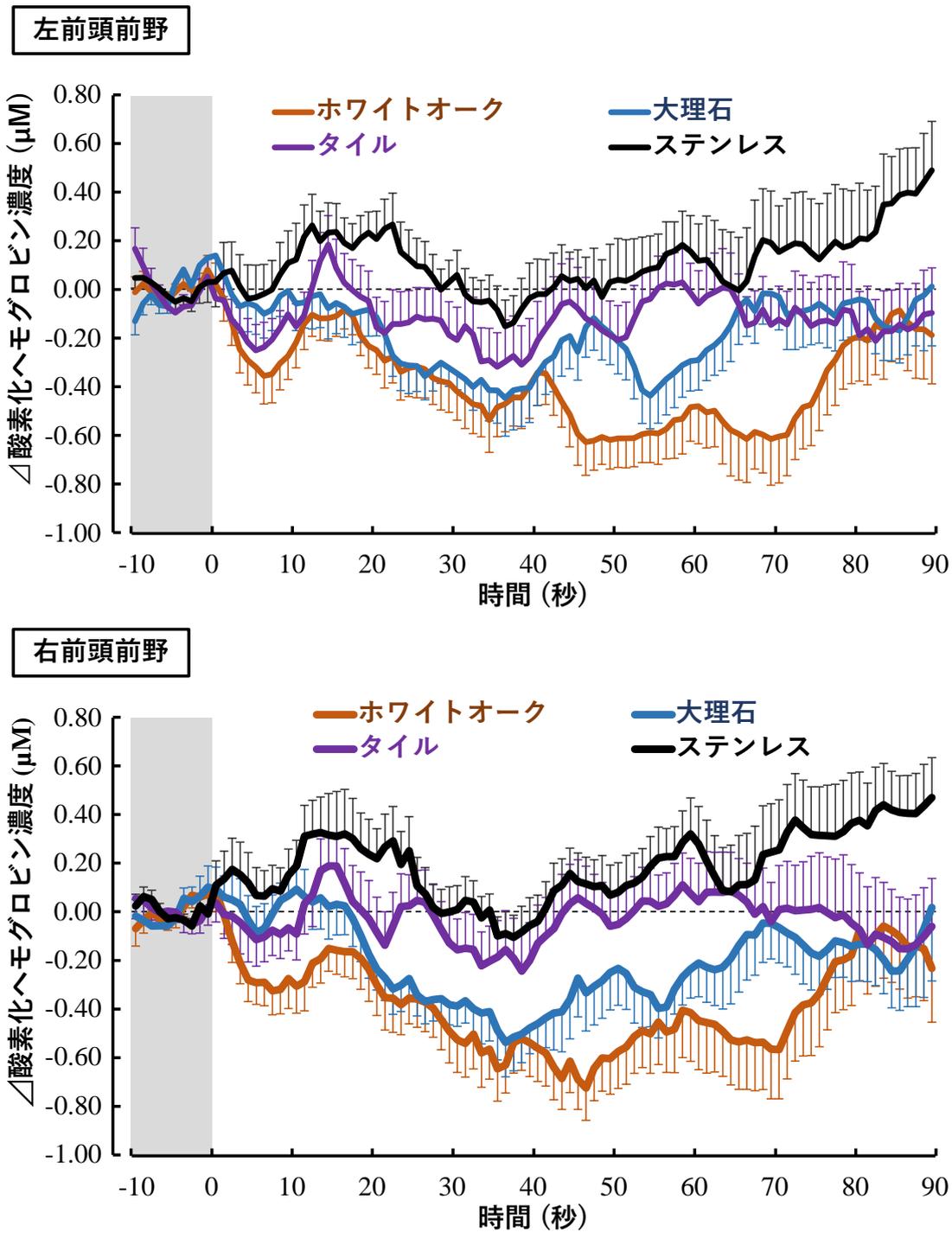


図 4. ホワイトオークおよび他の素材（大理石、タイル、ステンレス）への手掌接触による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の経時的変化.前値 10 秒間との差分, 平均±標準誤差, N=18. 業績 5)を改変

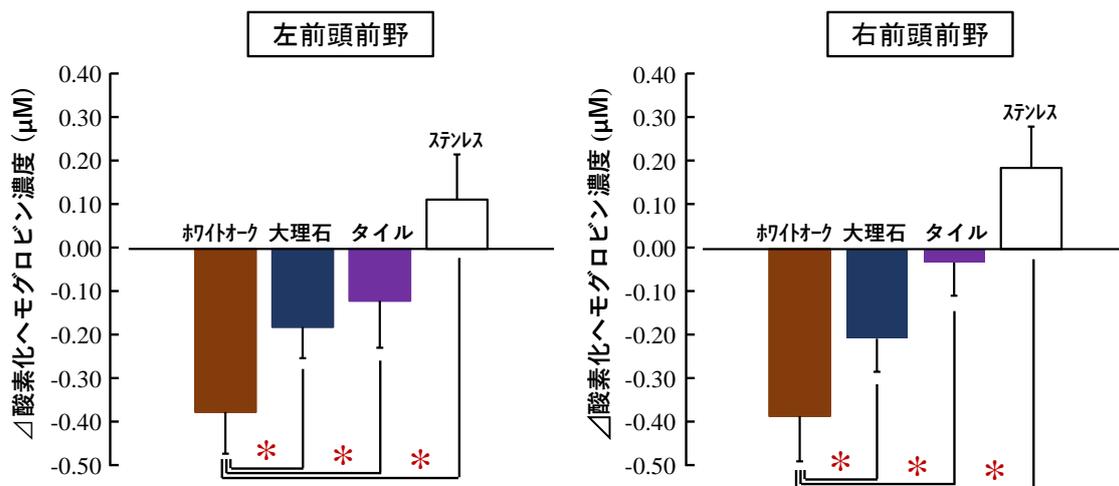


図 5. ホワイトオークおよび他の素材（大理石、タイル、ステンレス）への手掌接触による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の平均値。前値 10 秒間との差分，平均±標準誤差，N=18。* $P < 0.05$ ；対応のある t 検定（Holm 補正）。業績 5) を改変

3.1.2. HRV、心拍数

副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ における経時的変化を図 6A に示す。前値 30 秒間における $\ln(\text{HF})$ は、ホワイトオーク $5.56 \pm 0.18 \ln\text{ms}^2$ 、大理石 $5.67 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$ 、タイル $5.56 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$ 、ステンレス $5.61 \pm 0.21 \ln\text{ms}^2$ であり、4 つの刺激間に有意な差はなかった。ホワイトオークへの手掌接触における $\ln(\text{HF})$ は、接触直後から上昇し、接触終了まで高く推移していた。一方、他の素材（大理石、タイルおよびステンレス）においては、小さな変化であった。

90 秒間における差分の平均値を図 6B に示す。ホワイトオーク接触時における $\ln(\text{HF})$ は、大理石およびステンレスに比べ、有意に上昇した（ホワイトオーク: $0.48 \pm 0.12 \ln\text{ms}^2$ 、大理石: $0.05 \pm 0.08 \ln\text{ms}^2$ 、ステンレス: $0.01 \pm 0.10 \ln\text{ms}^2$ 、図 6B, $P < 0.05$ ）。

一方、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ （ホワイトオーク: -0.84 ± 0.24 、大理石: -0.47 ± 0.21 、タイル: -0.14 ± 0.25 ステンレス: 0.08 ± 0.22 ）ならびに心拍数（ホワイトオーク: -2.00 ± 0.77 拍/分、大理石: -2.11 ± 0.67 拍/分、タイル: -3.41 ± 1.46 拍/分、ステンレス: 0.65 ± 1.32 拍/分）においては、有意な差は認められなかった。

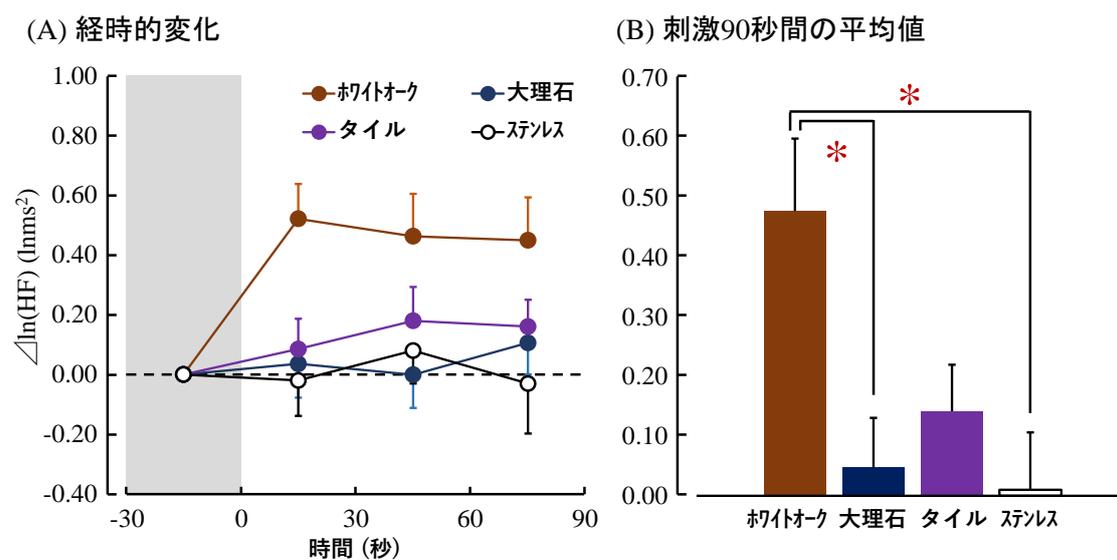


図 6. ホワイトオークおよび他の素材（大理石、タイル、ステンレス）への手掌接触による $\ln(\text{HF})$ の変化. 前値 30 秒間との差分, 平均 \pm 標準誤差, $N=18$.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. * $P < 0.05$; 対応のある t 検定 (Holm 補正). 業績 5) を改変

3.2. 心理的影響

簡易型 SD 法による印象評価を図 7 に示す。

「快適感」において、ホワイトオークは「やや快適である」と印象され、「どちらでもない～やや不快である」と評価された他の素材（大理石、タイルおよびステンレス）と比較し、有意に快適であると感じられていた（図 7A, $P < 0.05$ ）。

「リラックス感」においても、ホワイトオークは「ややリラックスする」と印象され、「どちらでもない～やや覚醒的である」と評価されたタイルならびに「やや～かなり覚醒的である」と評価された大理石およびステンレスと比較し、有意にリラックスすると感じられていた（図 7B, $P < 0.05$ ）。同様に、「自然感」において、ホワイトオークは「やや自然である」と印象され、「かなり～非常に人工的である」と評価された他の素材と比較し、有意に自然であると感じられていた（図 7C, $P < 0.05$ ）。さらに、「温冷感」「粗滑感」「乾湿感」において、ホワイトオーク材は「どちらでもない～ややあたたかい」「やや凹凸した」「やや乾燥した」と印象され、「かなり～非常につめたい」「かなり～非常に平らな」「やや湿った」と評価された他の素材と比較し、有意な差が認められた（図 7D-F, $P < 0.05$ ）。

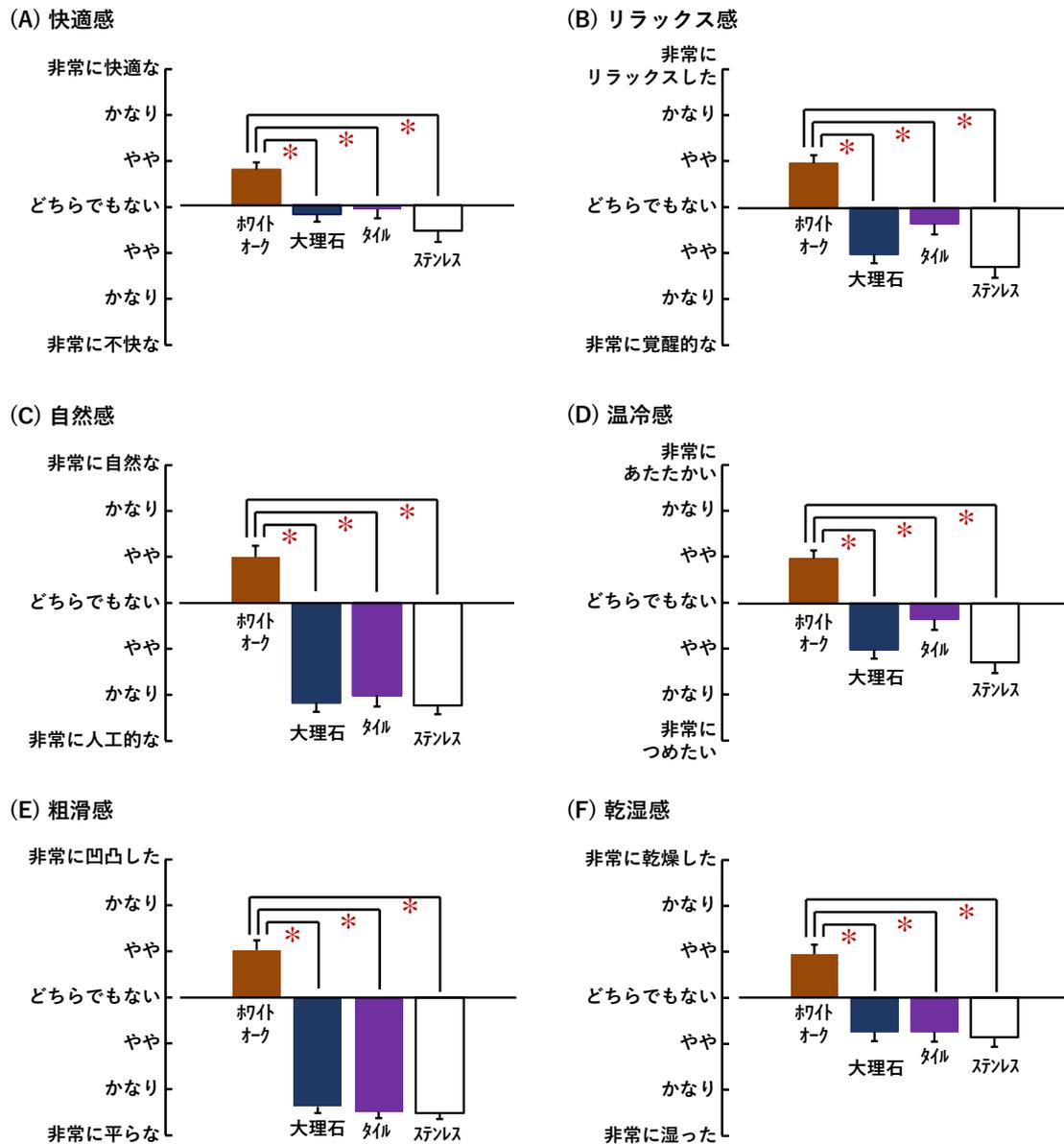


図 7. ホワイトオークおよび他の素材（大理石、タイル、ステンレス）の印象評価。
 (A) 快適感; (B) リラックス感; (C) 自然感; (D) 温冷感; (E) 粗滑感; (F) 乾湿感。
 平均 ± 標準誤差, N=18,
 * $P < 0.05$; ウィルコクソンの符号付順位和検定 (Holm 補正) . 業績 5) を改変

POMS 短縮版における気分状態を図 8 に示す。ホワイトオーク接触時における「緊張－不安」尺度得点は、他の素材と比較し、有意に低い値を示した（図 8A, $P < 0.05$ ）。また、「総合感情障害」においても、ホワイトオークと他の素材との間に有意な差が認められた（図 8B, $P > 0.05$ ）。一方、「抑うつ－落込み」、「怒り－敵意」、「疲労」、「混乱」および「活気」尺度においては、有意な差はなかった。

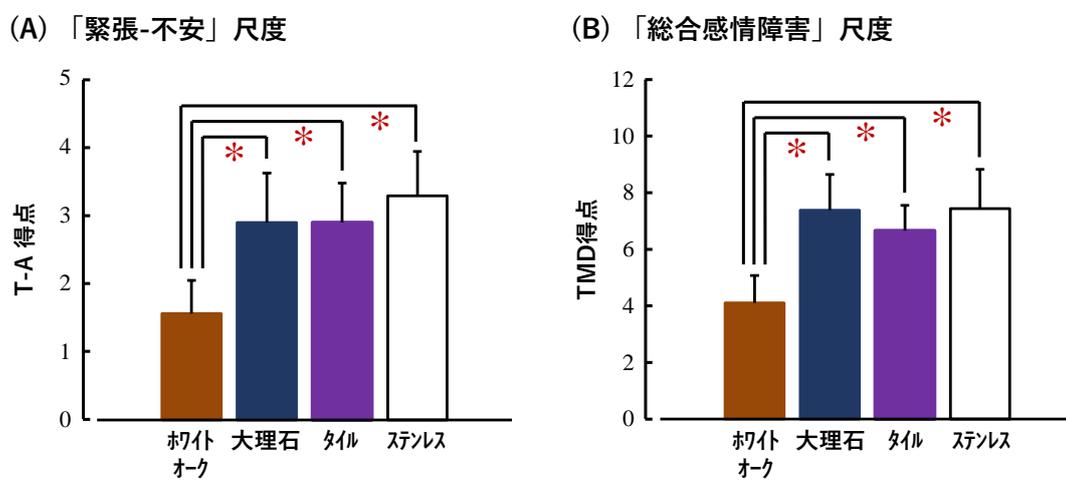


図 8. ホワイトオークおよび他の素材（大理石、タイル、ステンレス）への手掌接触後の POMS 短縮版得点. (A)「緊張-不安 (T-A)」尺度; (B)「総合感情障害 (TMD)」尺度. 平均 ± 標準誤差, N=18,

*P < 0.05; ウィルコクソンの符号付順位和検定 (Holm 補正). 業績 5) を改変

4. 考察

本研究においては、木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにするため、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標とし、他素材との比較を行った。その結果、ホワイトオークへの手掌接触は、他の素材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらすことが示された。

代表的な自然である森林環境がもたらす生理的影響に関する既往研究において、森林環境下での滞在は、都市と比較し、前頭前野総ヘモグロビン濃度の低下[24]、副交感神経活動の亢進[25-28]、心拍数あるいは脈拍数の低下[25,27,30]をもたらすことが報告されている。自然素材である木材の触覚刺激に特化して検討した本研究結果と、良い一致を示した。

木材の嗅覚刺激がもたらす生理的影響についても、近年いくつかの報告がなされている。代表的な針葉樹であるヒノキに関しては、異なる乾燥法にて処理された材チップの嗅覚刺激が脳前頭前野活動にもたらす影響について調べられている[31]。製材後45ヶ月間自然乾燥したものを「天然乾燥材」、高温・急速乾燥したものを「高温処理材」としたところ、天然乾燥材は、高温処理材と比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、脳前頭前野活動を鎮静化させることが示された。また、ヒノキ葉油の嗅覚刺激が脳前頭前野活動および自律神経活動に及ぼす影響に関しても、対照（空気）と比較し、左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、副交感神経活動の指標である HF 成分を有意に上昇させ、生体を生理的にリラックスさせることが示された[32]。ヒノキ等に含まれる主要な成分である α -ピネンに関しても、対照（空気）と比較し、副交感神経活動の指標である HF 成分の有意な上

昇および心拍数の有意な低下が認められた[33]。木材由来の主要な成分の一つである D-リモネンについても、対照（空気）に比べて、副交感神経活動の指標である HF 成分を有意に亢進させ、心拍数を低下させることが明らかになっている[34]。また、木材への手掌接触が血圧に及ぼす影響に関して、Sakuragawa ら[6]は、男子大学生 13 名を被験者とし、木材を含む各試料手掌にて掌接触させた結果、1) ナラ、スギおよびヒノキ材において、血圧は接触直後の一過性の上昇を示すが、その後、変化しないこと、2) 金属およびアクリルという他素材において、血圧は一過性の上昇後も高値を示すことが明らかにしている。このような現象について、宮崎は、“Back-to-nature” theory [35,36]” を唱えている。人間はその進化の過程において、99.99%以上を自然環境の中で過ごしてきたため、生体は自然対応用に作られているが、産業革命以降の急激な都市化・人工化された環境に対応できないため、日常的にストレス状態にある。このような状況において、自然環境・自然由来の刺激に触れるとリラックスし、人間としての本来の適正な状態に近づくというセオリーである。木材は、人間にとって身近で代表的な「自然素材」であるため、手掌を介した触覚刺激が生理リラックス効果をもたらしたと考えられる。

また、主観評価において、ホワイトオークは、他の素材と比較し、快適でリラックスし自然であり、あたたかく凸凹があり乾燥していると評価されていた。本研究において、脳活動・自律神経活動による生理応答、主観評価による材の印象評価、ならびに表面粗さ・熱流量による物性値は、良い一致を示した。木材に触れた際の主観評価と物性値の関係については古くから検討されており、特に、主観的温冷感と材の熱的特性に着目した既往研究が数多く存在する。Wang ら [37] は、主観的温冷感と材の熱浸透係数との間に有意な相関があることを報告している。Sadoh と Nakato[38]は、木材の熱伝導率および木材-手掌間の熱流束が

主観的温冷感に影響をもたらすことを明らかにしている。櫻川ら[39]は、木材および他素材（アルミニウム等）を用い、試料-手掌間の熱流束と主観的温冷感の間に相関があることを明らかにしている。加えて、他の素材と比べて、木材への手掌接触による主観的快適感が高まる要因の一つとして、手掌の放熱熱流束と木材-手掌間の熱流束値が等しいことを挙げている。また、Sakuragawa ら[6]は、各素材の熱流束の影響を削除するため、冷却・常温・加温した試料を用い、血圧を指標として、木材への手掌接触がもたらす生理的影響について調べ、冷却した木材との接触においても、収縮期血圧は上昇しないこと、主観的「粗さ-自然感」を高めることを報告している。一方、室温のアルミニウムとの接触は、血圧の上昇、「危険-不快感」および「平滑-人工感」を高めた。したがって、木材は、他の素材と異なり、冷却状態であっても、接触による生理的ストレスを生じさせない素材であることを示した。

今回は他素材との比較により、木材への手掌接触がもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。しかし、本研究にはいくつかの限界がある。1) 今回は無塗装木材と他素材の比較を行ったが、日常生活に用いられる木材の多くは塗装材であるため、今後は各種塗装材への接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにする必要がある。2) 今回は手掌にて接触した際の影響を明らかにしたが、木材は床材としても多く用いられるため、足裏接触についても研究することが求められる。3) 本研究においては、試料の上に掌を置くという接触がもたらす生理的効果を明らかにしたが、今後は、撫でる等の能動的な接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

5. 結論

結論として、無塗装ホワイトオーク材への手掌接触は、他の素材（大理石、タイル、ステンレス）と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

6. 引用文献

1. 林野庁. 第4章: 木材需給と木材利用. 平成26年度森林・林業白書; 林野庁林政部: 東京, 日本, 2015; pp. 136–167.
2. 日刊木材新聞. 木材が生活の質を高める: 木材と人の関係を科学で解く. 2017年3月7日付, 第4面.
3. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
4. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. *日本木材学会誌* 38 (10): 909–913.
5. Morikawa, T.; Miyazaki, Y.; Kobayashi, S. Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J. Wood Sci.* 1998, 44, 495–497. [Google Scholar]
6. Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* 2008, 54, 107–113.
7. ASTM. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2003.
8. ISO. Thermal Insulation Determination of Steady-State Thermal Resistance and Related Properties Heat Flow Meter Apparatus; ISO: Geneva, Switzerland, 1991.
9. Ohmae, E.; Ouchi, Y.; Oda, M.; Suzuki, T.; Nobesawa, S.; Kanno, T.; Yoshikawa, E.; Futatsubashi, M.; Ueda, Y.; Okada, H.; et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006, 29, 697–705.
10. Ohmae, E.; Oda, M.; Suzuki, T.; Yamashita, Y.; Kakihana, Y.; Matsunaga, A.; Kanmura, Y.; Tamura, M. Clinical evaluation of Near-infrared time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J. Biomed. Opt.* 2007, 12, 9.
11. Torricelli, A.; Contini, D.; Pilled, A.; Caffini, M.; Re, R.; Zucchelli, L.; Spinelli, L. Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 2014, 85, 28–50.
12. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.

13. Park, S.A.; Song, C.; Choi, J.Y.; Son, K.C.; Miyazaki, Y. Foliage plants cause physiological and psychological relaxation-as evidenced by measurements of prefrontal cortex activity and profile of mood states. *HortScience* 2016, 51, 1308–1312.
14. Camm, A.J.; Malik, M.; Bigger, J.T.; Breithardt, G.; Cerutti, S.; Cohen, R.J.; Coumel, P.; Fallen, E.L.; Kennedy, H.L.; Kleiger, R.E.; et al. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
15. Kobayashi, H.; Ishibashi, K.; Noguchi, H. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Appl. Human Sci.* 1999, 18, 53–59.
16. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
17. Pagani, M.; Lombardi, F.; Guzzetti, S.; Rimoldi, O.; Furlan, R.; Pizzinelli, P.; Sandrone, G.; Malfatto, G.; Dell’Orto, S.; Piccaluga, E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 1986, 59, 178–193.
18. 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.
19. Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P. *The Measurement of Meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA, 1957.
20. McNair, D.M.; Lorr, M. An analysis of mood in neurotics. *J. Abnorm. Psychol.* 1964, 69, 620–627.
21. McNair, D.M.; Lorr, M.; Droppleman, L. *Profile of Mood States Manual*; Educational and Industrial Testing Services: San Diego, CA, USA, 1964. Yokoyama, K. *POMS Shortened Version-Manual and Commentary on Cases*; Kaneko Syoboh: Tokyo, Japan, 2005.
22. Baker, F.; Denniston, M.; Zabora, J.; Polland, A.; Dudley, W.N. A POMS short form for cancer patients: Psychometric and structural evaluation. *Psycho-Oncology* 2002, 11, 273–281.
23. McNair, D.M.; Lorr, M.; Droppleman, L.F. *Manual for the Profile of Mood States*; Educational and Industrial Testing Service: SanDiego, CA, USA, 1992.
24. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Hirano, H.; Kagawa, T.; Sadoh, T.; Miyazaki, Y. Physiological effects of shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest)—

- Using salivary cortisol and cerebral activity as indicators. *J. Physiol. Anthropol.* 2007, 26, 123–128.
25. Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Kasetani, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The physiological effects of shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 18–26.
 26. Lee, J.; Park, B.J.; Tsunetsugu, Y.; Ohira, T.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects. *Public Health* 2011, 125, 93–100.
 27. Tsunetsugu, Y.; Lee, J.; Park, B.-J.; Tyrvaenen, L.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements. *Landsc. Urban Plan.* 2013, 113, 90–93.
 28. Lee, J.; Tsunetsugu, Y.; Takayama, N.; Park, B.J.; Li, Q.; Song, C.; Komatsu, M.; Ikei, H.; Tyrvaenen, L.; Kagawa, T.; et al. Influence of forest therapy on cardiovascular relaxation in young adults. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2014, 2014, 834360.
 29. Lee, J.; Park, B.-J.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. The restorative effects of viewing real forest landscapes: Based on a comparison with urban landscapes. *Scand. J. For. Res.* 2009, 24, 227–234.
 30. Tsunetsugu, Y.; Park, B.J.; Miyazaki, Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. *Environ. Health Prev. Med.* 2010, 15, 27–37.
 31. 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.
 32. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effect of olfactory stimulation by hinoki cypress (*chamaecyparis obtusa*) leaf oil. *J. Physiol. Anthropol.* 2015, 34, 44.
 33. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity. *J. Wood Sci.* 2016, 62, 568–572.
 34. Joung, 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. Hortic. Sci.* 2014, 28, 90–94.
 35. Miyazaki, Y.; Park, B.-J.; Lee, J. Nature therapy. In *Designing Our Future: Perspectives on Bioproduction, Ecosystems and Humanity*; Osaki, M.B.A.,

- Nakagami, K., Eds.; United Nations University Press: Tokyo, Japan, 2011; Volume 4, pp. 407–412.
36. O’Grady, M.A.; Meinecke, L. Silence: Because what’s missing is too absent to ignore. *J. Soc. Cultur. Res.* 2015, 1, 1–25.
 37. Wang, S.Y.; Lin, F.C.; Lin, M.Y. Thermal properties of interior decorative material and contacted sensory cold-warmth I: Relation between skin temperature and contacted sensory cold-warmth. *J. Wood Sci.* 2000, 46, 357–363.
 38. Sadoh, T.; Nakato, K. Surface-properties of wood in physical and sensory aspects. *Wood Sci. Technol.* 1987, 21, 111–120.
 39. 櫻川智史, 丸山則義, 平井信之 (1991) 熱流速度による床の接触温冷感の評価. *木材学会誌* 37(8): 753–757.

第3節 ホワイトオーク材への手掌接触: 塗装材間の比較

1. はじめに

木材は、家屋や家具に使用されている身近で馴染み深い自然素材であり、人に対してリラックス効果をもたらすことが経験的に知られている。近年、木材が人にもたらすリラックス効果に対する関心が高まっており、科学的根拠に基づいたデータの報告が待たれている。木材が人の生理応答に及ぼす影響に関する既往研究を取りまとめた総説[1]において、嗅覚刺激については、近年の生理応答計測技術の発展を受け、データの蓄積が少しずつ進んでいることが示されている。1992年のタイワンヒノキ材油[2]の吸入実験以降、いくつかの報告がなされており、近年ではヒノキ天然乾燥材チップ[3]、スギ・ヒノキ等の針葉樹に含まれる代表的な成分である α -ピネン[4]、D-リモネン[5]等の嗅覚刺激がもたらす生理的リラックス効果が明らかになっている。視覚刺激に関しても、木材率の異なる居室[6-8]や大型パネル[9]を用いた検討がなされている。

しかし、触覚刺激に関する検討は、極めて少ないのが現状である。木材への触覚刺激が生理応答に及ぼす影響において、Morikawaら[10]及びSakuragawaら[11]は、血圧を指標として検討しているが、脳活動等の他の生理応答に及ぼす影響に関する報告はなされていない。そのため、筆者ら[12]は、既往研究において、脳活動の指標として近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を用い、自律神経活動の指標として心拍変動性による副交感・交感神経活動を用いて、木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響を調べた。ホワイトオーク材への手掌接触は、タイル、ステンレス、大理石等の他の素材と比較し、前頭前野活動を有意に低下させ、副交感神経活動を亢進させ、生理的リラックス効果をもたらすことが明らかになった[12]。

次のステップとして、日常生活に用いられる木材の多くは塗装材であるため、各種塗装材への手掌接触がもたらす影響を明らかにすることが必要である。塗装木材への接触がもたらす心理的影響に関しては、いくつかの報告がなされている。Bhatta ら[13]は、各種の仕上げを施した塗装木材（マツおよびオーク）を用い、指先での能動接触を実施させた結果、自然で滑らかな仕上げ材は、ニスおよびワックス塗装材よりも、主観的な快適感やリラックス感を上昇させることを明らかにした。また、Berger ら[14]は、代表的な木質内装材を用い、手掌ならびに足裏接触させた結果、オイル塗装材は、ラッカー塗装材や積層床板よりも主観的に好まれることを報告した。一方、各種塗装材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響に関して調査した既往研究は存在しない。

そこで、本研究においては、各種塗装木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2.1. 被験者

被験者は、千葉大学および千葉大学大学院の女子学生 18 名（ 21.7 ± 1.6 歳）とした。喫煙者、現在治療中の疾患を有する者および月経期の者は外した。計測前に、実験の目的、計測の流れおよび測定指標について説明し、被験者全員から自署による署名のある同意書を得た。なお、本実験は千葉大学環境健康フィールド科学センター倫理審査委員会の承認（承認番号 5 番）を得て実施された。

2.2. 計測手順

計測は、室温約 25°C、湿度約 50%、照度約 230lux に設定した人工気候室内にて 2 月中旬から 3 月上旬にかけて行った。控室にて実験の説明を受けた後、人工気候室内に移動した。生理計測用のセンサーを装着し、椅坐位にて測定手順の説明を受けた。次に、ダミー試料（シートフロア材）を用いて、手掌接触の練習を行った。手順は以下の通りである。閉眼にて椅坐位安静状態をとった（図 1 左）。その後、実験者からの合図を受け、肘を支点として右の前腕を動かし、試料上に手のひらを置き、撫でる等の動作はせずに 90 秒間接触した（図 1 右）。90 秒間の接触終了後、実験者の指示により手を元の位置に戻した（図 1 左）。実験者は、次の試料を設置し、試料に布を掛けた後、被験者に目を開くよう指示した。その後、被験者は主観評価の質問紙に記入した。図 2 に実験スケジュールを示す。接触刺激の順序による影響を削除するため、試料の呈示順序はカウンターバランスを取った。なお、生理応答の計測は、連続して行った。



図 1. 実験風景 業績 6) を 改 変

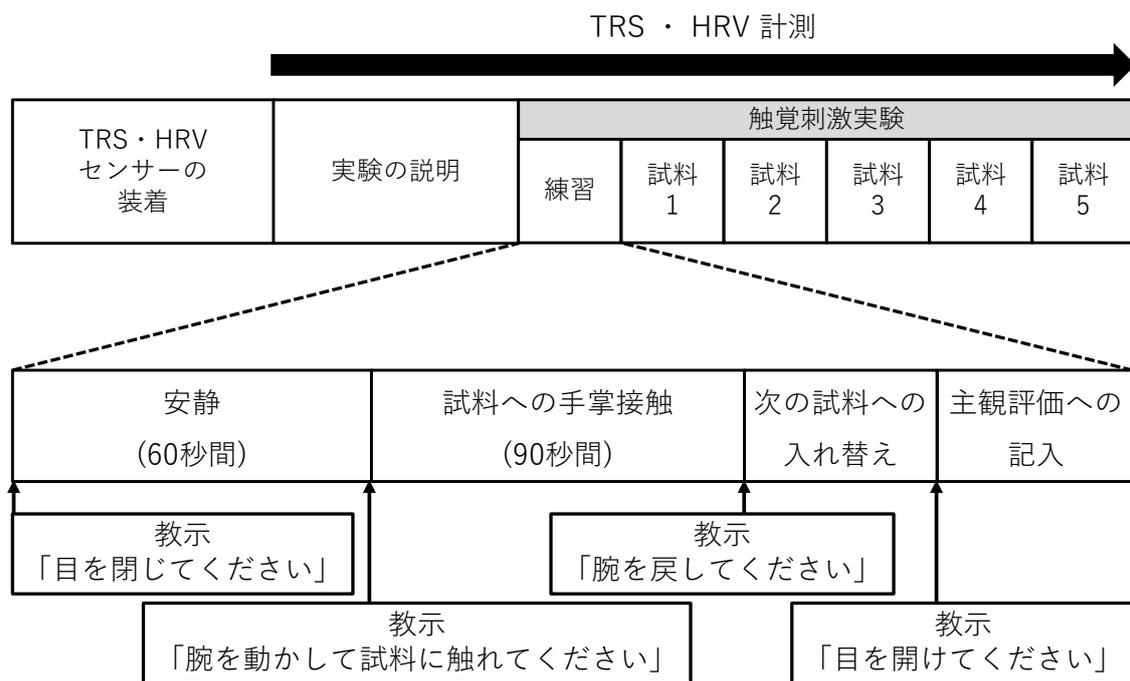


図 2. 実験スケジュール 業績 6) を改変

2.3. 触覚刺激

木材は、床材等の内装材として一般的に用いられている広葉樹であるホワイトオーク (*Quercus alba*) を用いた。縦つぎなしのひき板 (寸法: 縦 300× 横 60× 厚さ 15 mm) 5 枚を幅方向に接着し、曲がり防止のためスギ合板 (縦 300× 横 300× 厚さ 28 mm) の上に二次接着し、43 mm とした。

接触面の研削は、ステンレスワイヤーブラシによるブラッシング仕上げとし、1) 塗装を施していない材 (以下、無塗装材、図 3A)、2) ロールコーターを用い、エゴマ油等を主要成分とする植物オイルにて上塗り 1 回を施したオープンポア仕上げ材 (以下、オイル塗装材、図 3B)、3) 刷毛を用い、ガラスフィニッシュにて下塗り 2 回および上塗り 1 回を施したオープンポア仕上げ材 (以下、ガラス塗装材、図 3C)、4) スプレーを用い、硝化綿塗料にて下塗り 1 回、二液型ポリウレタン樹脂塗料にて上塗り 1 回を施したセミオープンポア仕上げ材 (以下、ウレタン塗装材、図 3D) の 4 種類を用意した。上記 4 種類は、住宅の床や壁等の内装材に一般的に用いられる材として、選定した。

加えて、ピアノ等に用いられるような強い塗装を施した試料として、5) 接触面の研削は、ベルトサンダー#240 によるサンダー仕上げとし、スプレーを用い硝化綿塗料にて下塗りし、ベルトサンダー#320 にて研削を 5 回繰り返した後、ウレタン樹脂系塗料にて上塗り 1 回を施したクローズポア仕上げ材 (以下、ウレタン塗装(厚塗)材、図 3E) も用いた。

なお、全ての材料は、室温に保った。各試料の物性値を表 1 に示す。

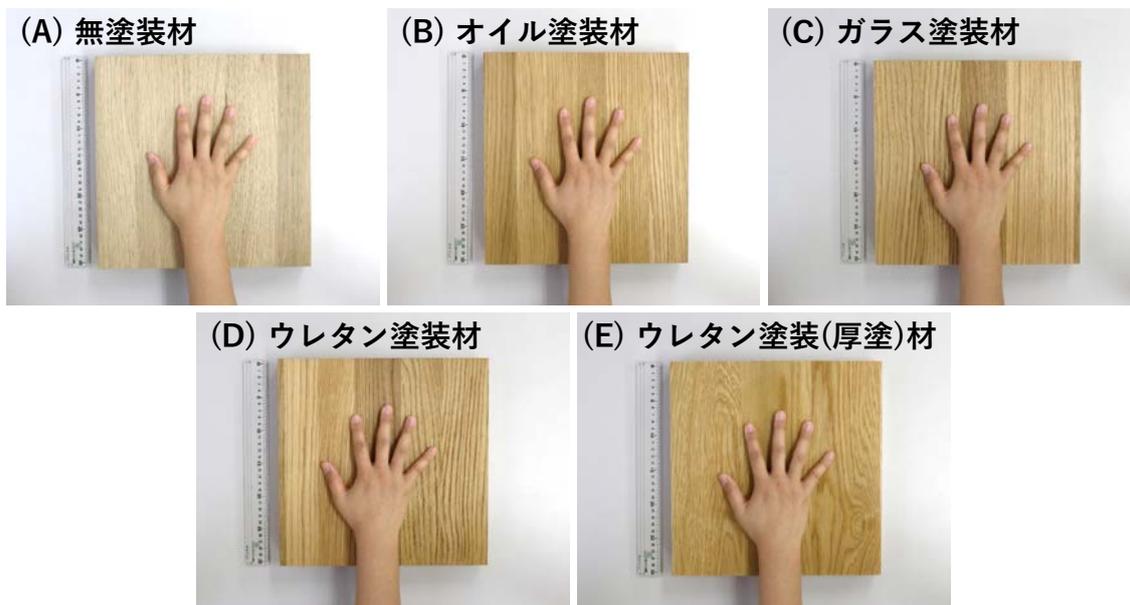


図 3. 用いた試料. 業績 6)を改変

(A)無塗装材; (B) オイル塗装材; (C) ガラス塗装材;
(D) ウレタン塗装材; (E) ウレタン塗装(厚塗)材.

表 1. 各試料の物性値 業績 6) を改変

試料	h (mm)	λ (W/(m · k)) ¹	Ra (μm) ²	塗布量 (g/m ²)
無塗装材	15 (+ JCP 28)	0.120	57.10	塗布なし
オイル塗装材	15 (+ JCP 28)	0.128	56.80	30
ガラス塗装材	15 (+ JCP 28)	0.122	57.72	100
ウレタン塗装材	15 (+ JCP 28)	0.119	36.75	644
ウレタン塗装(厚塗)材	15 (+ JCP 28)	0.119	0.12	1400

h , 試料の厚さ; λ , 熱伝導率; Ra , 算術平均粗さ; *JCP*: スギ合板

¹ ASTM C518-10 [15] 及び ISO8301 [16] に準拠したヒートフローメーター (HFM 436 Lambda; NETZSCH 社製, ゼルプ, ドイツ) を用いた。熱流方向は鉛直下向きであり、高・低温熱板の温度をそれぞれ 35°C、15°C とし、平均材温 25°C での熱伝導率を算出した。なお、試験体は、スギ合板を接着した状態にて用いた。

² 接触式表面粗さ測定器 (SE3500; 株式会社小坂研究所製, 東京, 日本) を用い、ダイヤモンド針により測定した。評価長さは 50mm とし、試料の中央部分を上から 50mm 毎 5 回計測し、平均値を算出した。

2.4. 生理指標

2.4.1. 近赤外時間分解分光法

脳活動の指標として、近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy; NIRS) の一手法である時間分解分光法 (Near-infrared time-resolved spectroscopy; TRS) を用いた。センサーを前額部に装着し、左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した (TRS-20; 浜松ホトニクス株式会社製, 静岡, 日本) [17-19]。左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、試料接触前 (測定前条件) から試料接触中 90 秒間 (測定後条件) において、連続的に測定した。なお、TRS-20 によって取得されるデータの多くは、約 1.0-1.2 秒間隔で計測されるため、データを線形補正した上で 1 秒毎のデータとして用い、前値 10 秒間の平均値との差分とした。

2.4.2. 心拍変動性、心拍数

自律神経活動の指標として、心拍変動性 (Heart rate variability; HRV) および心拍数を用いた。R-R 間隔は、携帯用の心電図モニター (Activtracer AC-301A; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本) を用いて計測した[20,21]。最大エントロピー法により R-R 間隔のスペクトル解析を実施し (Memcalc/Win; 株式会社 GMS 製, 東京, 日本)、低周波 (low-frequency; LF) 成分 (0.04-0.15 Hz)、高周波 (High-frequency; HF) 成分 (0.15-0.40 Hz) を算出した。HF 成分を副交感神経活動の指標とし、LF/HF を交感神経活動の指標とした[22,23]。HRV パラメータを正規化するために、自然対数変換値を用いた[24]。ln(HF)、ln(LF/HF)ならびに心拍数は、30 秒毎の経時的変化および 90 秒間の平均値を算出し、前値 30 秒間との差分とした。

2.5. 主観評価

試料への接触がもたらす心理的影響を評価するため、心理指標として、簡易型セマンティック・ディファレンシャル (Semantic Differential; SD) 法[25]を用いた。SD 法は、対立する形容詞対を両端に並べ 13 段階の印象評価を行う質問紙である。形容詞対として、「快適な－不快な」、「リラックスした－覚醒的な」、「自然な－人工的な」、「あたたかい－つめたい」、「凹凸した－平らな」、「乾いた－湿った」を用いた。

2.6. 統計検定

統計検定には SPSS20.0 (IBM 社製, アーモンク, ニューヨーク, アメリカ) を用いた。接触前後の比較および 5 種類の試料 (無塗装材、オイル塗装材、ガラス塗装材、ウレタン塗装材、ウレタン塗装(厚塗)材) 間の比較のため、生理指標においては、対応のある t 検定、主観評価においては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を実施し、多重比較には Holm 補正を用いた。いずれの統計処理においても、有意水準は $P < 0.05$ とした。

3. 結果

3.1. 生理的影響

3.1.1. TRS

左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の経時的変化を図 4 に示す。前値 10 秒間における左前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度は、無塗装材 $43.23 \pm 0.95 \mu\text{M}$ (平均 \pm 標準誤差, 以下同)、オイル塗装材 $43.38 \pm 0.92 \mu\text{M}$ 、ガラス塗装材 $43.53 \pm 0.92 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装材 $43.36 \pm 0.87 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装(厚塗)材 $42.97 \pm 0.89 \mu\text{M}$ であり、5 つの試料間に有意な差はなかった。右前頭前野においても同様に有意差はなかった (無塗装材: $43.76 \pm 1.23 \mu\text{M}$, オイル塗装材: $43.13 \pm 1.14 \mu\text{M}$, ガラス塗装材: $42.83 \pm 1.17 \mu\text{M}$, ウレタン塗装材: $43.41 \pm 1.12 \mu\text{M}$, ウレタン塗装(厚塗)材: $43.13 \pm 1.13 \mu\text{M}$)。

無塗装材への手掌接触における左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度は、接触直後から低下し、接触終了まで前値より低く推移していた。ウレタン塗装(厚塗)材においては徐々に上昇していた。オイル、ガラスおよびウレタン塗装材においては、無塗装材とウレタン塗装(厚塗)材の間の変化を示した。

接触 90 秒間の左右前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の差分(接触後-接触前)の平均値を図 5 に示す。左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度は、無塗装材 $-0.20 \pm 0.12 \mu\text{M}$ 、オイル塗装材 $-0.02 \pm 0.08 \mu\text{M}$ 、ガラス塗装材 $-0.11 \pm 0.09 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装材 $0.12 \pm 0.13 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装(厚塗)材 $0.12 \pm 0.13 \mu\text{M}$ であった (図 5 左)。接触前後の比較において、ウレタン塗装(厚塗)材接触時の酸素化ヘモグロビン濃度は、前値と比較し、有意に上昇した (図 5 左, $P < 0.05$)。また、試料間の比較において、無塗装材、オイル塗装材およびガラス塗装材接触

時の酸素化ヘモグロビン濃度は、ウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意に低下することが認められた (図 5 左, $P < 0.05$)。

右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度は、無塗装材: $-0.34 \pm 0.13 \mu\text{M}$ 、オイル塗装材: $-0.03 \pm 0.10 \mu\text{M}$ 、ガラス塗装材: $-0.07 \pm 0.08 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装材: $0.07 \pm 0.09 \mu\text{M}$ 、ウレタン塗装(厚塗)材: $0.19 \pm 0.13 \mu\text{M}$ であった(図 5 右)。接触前後の比較において、無塗装材接触時の酸素化ヘモグロビン濃度は、前値と比較し、有意に低下した (図 5 右, $P < 0.05$)。また、試料間の比較においても、無塗装材接触時の酸素化ヘモグロビン濃度は、ウレタン塗装材およびウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意差が認められた (図 5 右, $P < 0.05$)。

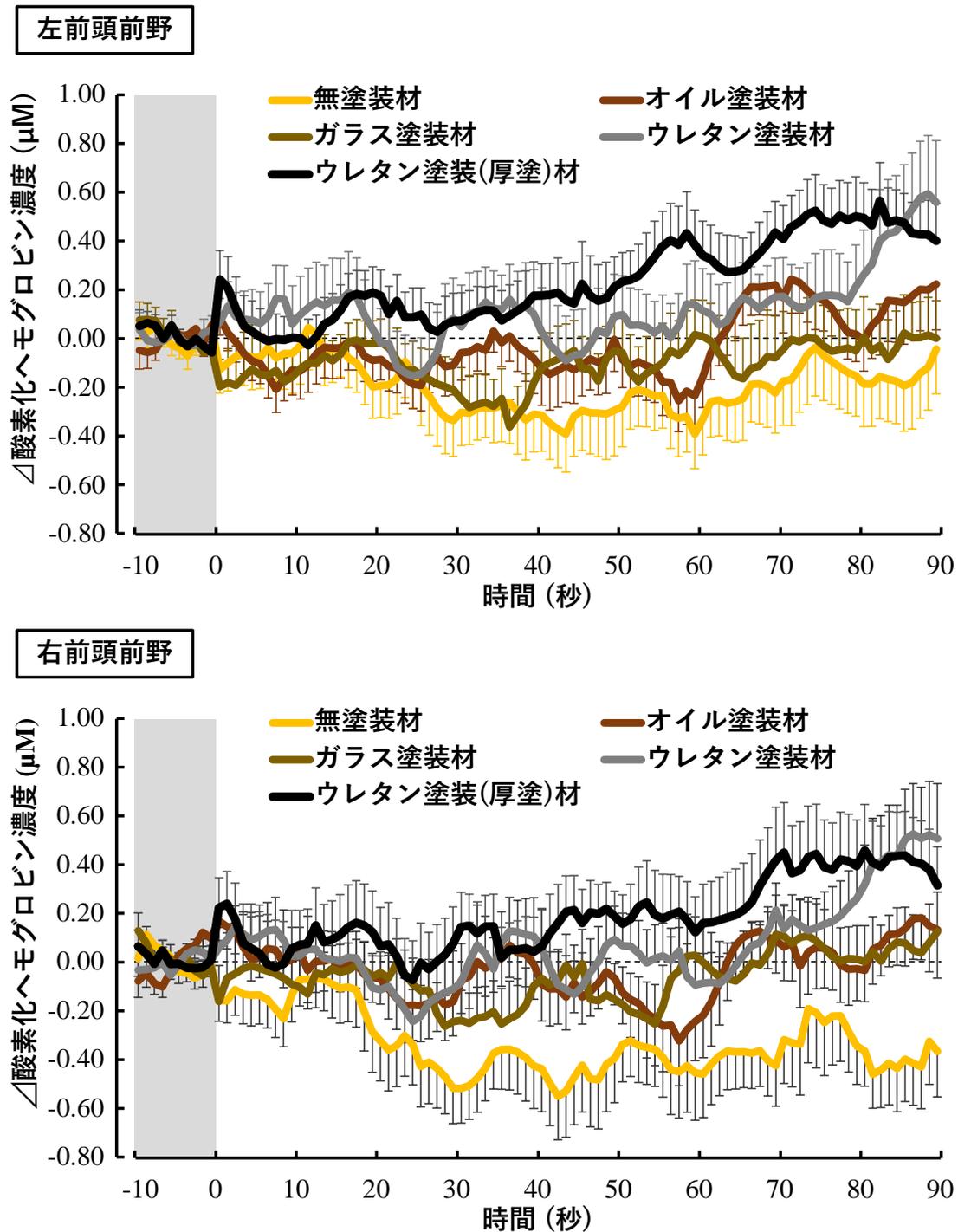


図 4. ホワイトオーク材（無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装（厚塗））への手掌接触による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の経時変化. 前値 10 秒間との差分, 平均 ± 標準誤差, N=18. 業績 6) を改変

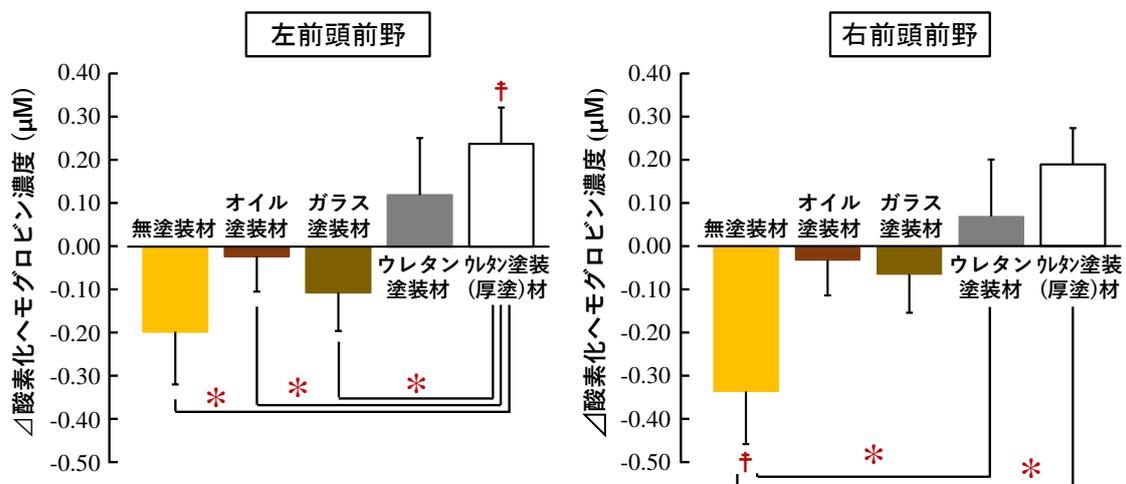


図 5. ホワイトオーク材（無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装（厚塗））への手掌接触による左右前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の平均値、前値 10 秒間との差分、平均±標準誤差, N=18. † $P < 0.05$ （接触前後の比較）；対応のある t 検定, * $P < 0.05$ （試料間の比較）；対応のある t 検定（Holm 補正）. 業績 6)を改変

3.1.2. HRV、心拍数

副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ における経時的変化を図 6A に示す。前値 30 秒間における $\ln(\text{HF})$ は、無塗装材 $5.56 \pm 0.23 \ln\text{ms}^2$ 、オイル塗装材 $5.69 \pm 0.21 \ln\text{ms}^2$ 、ガラス塗装材 $5.67 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$ 、ウレタン塗装材 $5.80 \pm 0.19 \ln\text{ms}^2$ 、ウレタン塗装(厚塗)材 $5.65 \pm 0.22 \ln\text{ms}^2$ であり、5 つの刺激間に有意な差はなかった。無塗装材への手掌接触における $\ln(\text{HF})$ は、接触直後から上昇し、他の材料に比べ、最も高く推移していた。

接触 90 秒間における差分の平均値を図 6B に示す。 $\ln(\text{HF})$ は、無塗装材: $0.49 \pm 0.14 \ln\text{ms}^2$ 、オイル塗装: $0.25 \pm 0.09 \ln\text{ms}^2$ 、ガラス塗装材: $0.02 \pm 0.14 \ln\text{ms}^2$ 、ウレタン塗装材: $0.08 \pm 0.08 \ln\text{ms}^2$ 、ウレタン塗装(厚塗)材: $0.09 \pm 0.17 \ln\text{ms}^2$ であった。接触前後の比較において、無塗装材およびオイル塗装材接触時の $\ln(\text{HF})$ は、前値と比較し、有意に上昇した (図 6B, $P < 0.05$)。また、試料間の比較において、無塗装材接触時の $\ln(\text{HF})$ は、ガラス塗装、ウレタン塗装材およびウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意に上昇することが認められた (図 6B, $P < 0.05$)。

一方、交感神経活動の指標である $\ln(\text{LF}/\text{HF})$ においては、有意な差は認められなかった (無塗装材: -0.69 ± 0.31 , オイル塗装材: 0.15 ± 0.23 , ガラス塗装材: -0.05 ± 0.18 , ウレタン塗装材: -0.40 ± 0.20 , ウレタン塗装(厚塗)材: 0.14 ± 0.25)。

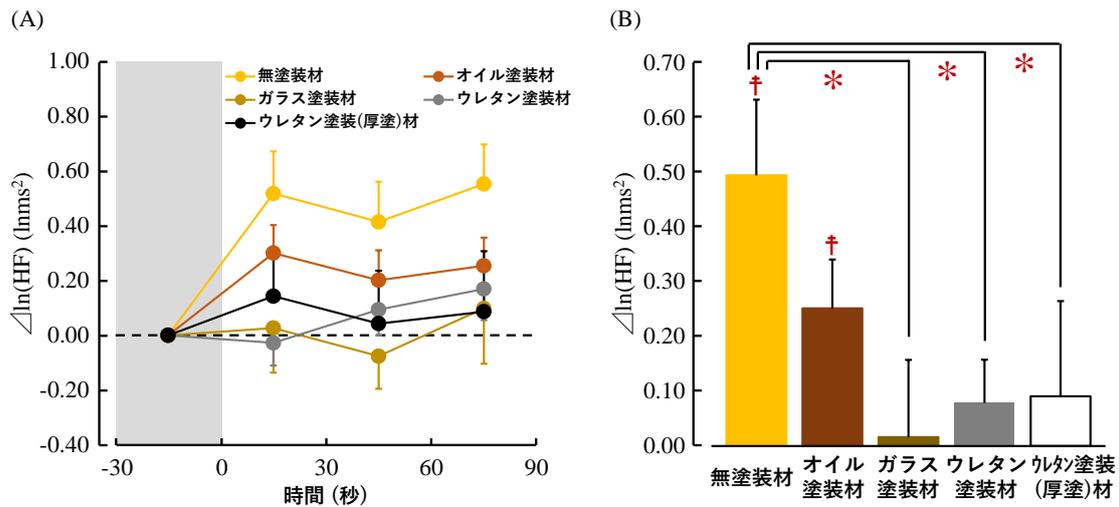


図 6. ホワイトオーク材（無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装（厚塗））への手掌接触による $\ln(\text{HF})$ の変化. 前値 30 秒間との差分, 平均 \pm 標準誤差, $N=18$.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. † $P < 0.05$ (接触前後の比較) ; 対応のある t 検定,

* $P < 0.05$ (試料間の比較) ; 対応のある t 検定 (Holm 補正). 業績 6) を改変

心拍数における経時的変化を図 7A に示す。前値 30 秒間における心拍数は、無塗装材 72.81 ± 2.30 拍/分、オイル塗装材 72.12 ± 2.28 拍/分、ガラス塗装材 73.01 ± 2.05 拍/分、ウレタン塗装材 72.07 ± 2.06 拍/分、ウレタン塗装(厚塗)材 71.72 ± 2.11 拍/分であり、5 つの刺激間に有意な差はなかった。ウレタン塗装(厚塗)材への手掌接触における心拍数は、接触直後から上昇し、最も高く推移していた。その他の刺激に関しては、接触後、前値より低く推移していた。

90 秒間における差分の平均値を図 7B に示す。心拍数は、無塗装材 -1.62 ± 0.60 拍/分、オイル塗装材 -1.54 ± 0.46 拍/分、ガラス塗装材 -1.48 ± 0.49 拍/分、ウレタン塗装材 -1.31 ± 0.74 拍/分、ウレタン塗装(厚塗)材 0.77 ± 0.87 拍/分であった。接触前後の比較において、無塗装材、オイル塗装材およびガラス塗装接触時の心拍数は、前値と比較して有意に低下し (図 7B, $P < 0.05$)、試料間の比較においても、ウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意な差が認められた (図 7B, $P < 0.05$)。

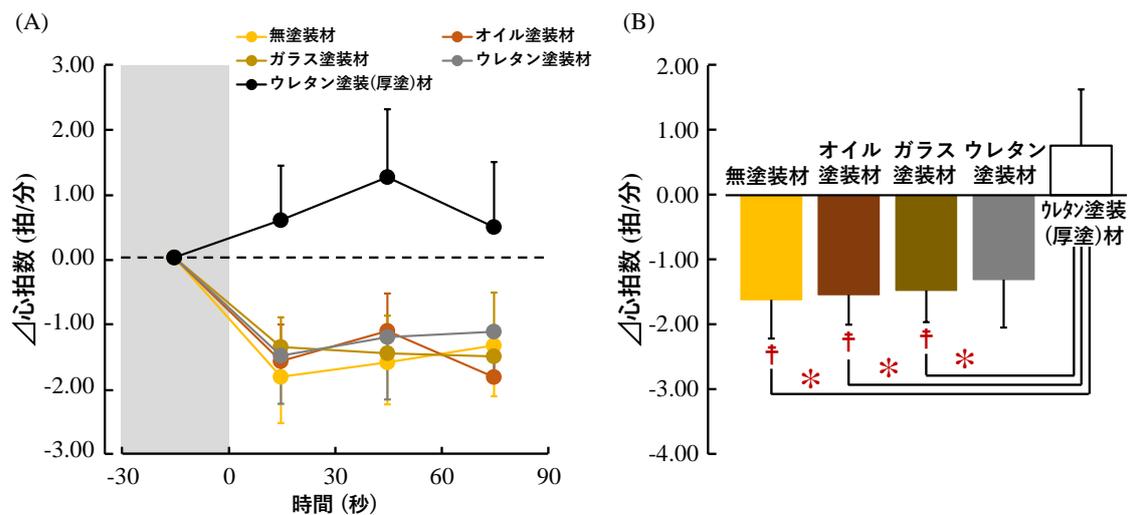


図 7. ホワイトオーク材（無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装（厚塗））への手掌接触による心拍数の変化. 前値 30 秒間との差分, 平均 ± 標準誤差, N=18.

(A) 30 秒間毎の経時的変化.

(B) 90 秒間の平均値. † $P < 0.05$ (接触前後の比較); 対応のある t 検定,

* $P < 0.05$ (試料間の比較); 対応のある t 検定 (Holm 補正). 業績 6) を改変

3.2. 心理的影響

簡易型 SD 法による印象評価を図 8 に示す。

「快適感 (図 8A)」および「リラックス感 (図 8B)」において、5 種類の試料間に差異はなかった ($P > 0.05$)。

「自然感」において、無塗装材およびオイル塗装材は、「どちらでもない～やや自然である」と印象され、「やや～かなり人工的である」と評価されたウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意に自然であると感じられていた(図 8C, $P < 0.05$)。また、ガラス塗装およびウレタン塗装材とウレタン塗装(厚塗)材との間にも有意な差が示された (図 8C, $P < 0.05$)。

「温冷感」において、無塗装材およびオイル塗装材は、「どちらでもない～やや冷たい」と印象され、「やや～かなり冷たい」と評価されたウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意な差が認められた (図 8D, $P < 0.05$)。

「粗滑感」において、無塗装材、オイル塗装材およびガラス塗装材は、「やや凹凸した」、ウレタン塗装材は、「どちらでもない～やや凹凸した」と印象され、「かなり～非常に平らな」と評価されたウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意な差が認められた (図 8E, $P < 0.05$)。また、無塗装材とウレタン塗装材との間にも、有意な差が示された (図 8E, $P < 0.05$)。

「乾湿感」において、無塗装材およびオイル塗装は「どちらでもない～やや乾燥した」と印象され、「どちらでもない～やや湿った」と評価されたウレタン塗装(厚塗)材と比較し、有意な差が認められた (図 8F, $P < 0.05$)。

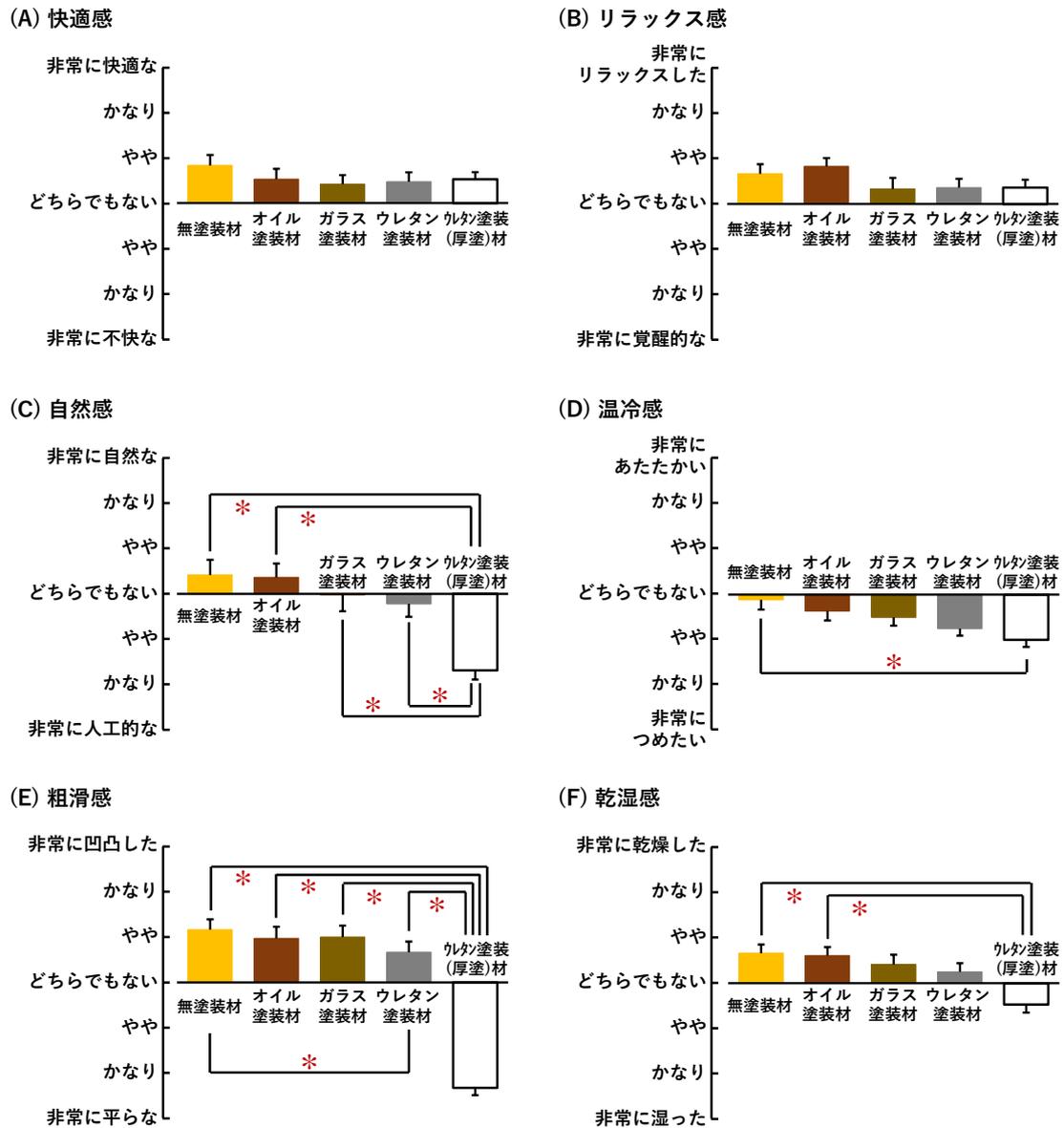


図 8. 簡易型 SD 法によるホワイトオーク材（無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装(厚塗)）の印象評価. (A) 快適感; (B) リラックス感; (C) 自然感; (D) 温冷感; (E) 粗滑感; (F) 乾湿感. 平均 ± 標準誤差, N=18, * $P < 0.05$; ウィルコクソンの符号付順位和検定 (Holm 補正). 業績 6) を改変

4. 考察

本研究においては、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として用い、塗装木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにした。その結果、(1) 無塗装材への接触は、1) ウレタン塗装(厚塗)材と比較し、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、2) ウレタン塗装材と比較し、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、3) ガラス、ウレタンおよびウレタン塗装(厚塗)材と比較し、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に上昇させること、4) ウレタン塗装(厚塗)材と比較し、心拍数を有意に低下させることが示され、生理的リラックス効果をもたらすことが明らかになった。また、(2) オイルおよびガラス塗装材への接触は、ウレタン塗装(厚塗)材と比較し、1) 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こと、2) 心拍数を有意に低下させることが示された。(3) 主観評価における自然感、温冷感、粗滑感、および乾湿感においては、塗装材間に差異が認められ、生理応答とも良い一致を示した。一方、主観評価として重要な意味を持つ心理的快適感および主観的リラックス感においては、差異が認められなかった。このことから、木材が人にもたらす影響に関する生理的評価手法の有用性が明らかとなった。

本研究において、左前頭前野においては、無塗装、オイル塗装、ガラス塗装とウレタン塗装(厚塗)材の間に有意差が認められたが、右前頭前野活動においては、無塗装とウレタン塗装ならびに無塗装とウレタン塗装(厚塗)材の間のみ、有意差があった。左右前頭前野活動の反応においては、違いがあることがわかった。自然由来の刺激が前頭前野活動に及ぼす影響については、いくつかの既往研究が存在する。バラおよびオレンジ[26]とヒノキ葉油[27]の嗅覚刺激を用いた研究に

においては、右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の低下が認められたが、左前頭前野活動において有意差はないことを示している。また、実物の観葉植物[28]やスイレンの 3D 画像[29]の視覚刺激に関しても、嗅覚刺激と同様に右前頭前野においては鎮静化するが、左前頭前野活動において有意な変化を示さないことが報告されている。一方、触覚刺激に関しては、ヒノキ材の接触によって左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度が有意に低下するが、右前頭前野においては差がないことが明らかになっている[30]。本研究の結果においても、右前頭前野より、左前頭前野において有意な影響が観察されており、既往研究結果と部分的に一致した。これらの結果から、触覚刺激に関しては、左前頭前野における反応が大きい可能性が示唆されたが、そのメカニズムは不明である。今後、データを蓄積して、左右前頭前野における反応の違いについて明らかにする必要があると考えられる。

木材由来の触覚刺激が生理応答に及ぼす影響に関する既往研究として、Ikei ら[12]は、木材への手掌接触が脳活動ならびに自律神経活動に及ぼす影響に関して、無塗装ホワイトオーク材と他素材（大理石、タイルおよびステンレス）の比較を実施している。椅坐位閉眼にて 90 秒間各試料に接触させた結果、無塗装ホワイトオーク材への手掌接触は、他の素材と比較し、1) 左右前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、2) 副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に亢進させるという生理的リラックス効果をもたらすことが明らかになっている。また、血圧に及ぼす影響に関して、Sakuragawa ら[11]は、木材を含む各試料に手掌接触させた結果、1) ナラ、スギおよびヒノキ材において、血圧は接触直後の一過性の上昇を示すが、その後、変化しないこと、2) 金属およびアクリルという他素材において、血圧は一過性の上昇後も高値を示すことを報告している。

木材由来の刺激がもたらす生理的影響について、科学的データの蓄積が多くなされている嗅覚刺激においても、同様の結果が報告されている。代表的な針葉樹であるヒノキ材に関しては、製材後45ヶ月間自然乾燥したものを「天然乾燥材」、高温・急速乾燥したものを「高温処理材」としたところ、天然乾燥材は、高温処理材と比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、脳前頭前野活動を鎮静化させることが示された[3]。また、ヒノキ葉油に関しても、対照（空気）と比較し、左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、副交感神経活動の指標であるHF成分を有意に上昇させ、生体を生理的にリラックスさせることが示された[27]。木材に含まれる主要な成分である α -ピネン[4]およびD-リモネン[5]に関しても、対照（空気）に比べて、副交感神経活動の指標であるHF成分を有意に上昇させ、心拍数を低下させることが明らかになっている。

本研究における無塗装材接触時の生理応答の結果は、上述した木材由来触覚および嗅覚刺激の実験結果と良い一致を示しており、木材への手掌接触がもたらす生理的リラックス効果が明らかになった。

本研究において、ウレタン塗装(厚塗)材と比較した場合、無垢の木材である無塗装材のみならず、オイルおよびガラス塗装材において、脳前頭前野活動の鎮静化ならびに心拍数の低下が観察された理由のひとつとして、塗料の特性[31,32]が挙げられる。熱伝導率および表面粗さといった物理的特性においても、オイル・ガラス塗装の測定値は、無塗装に近い値が計測された。つまり、オイルならびにガラス塗装は、ウレタン塗装と比べ、木材本来の風合いが残る塗装であったため、手掌を介した触覚刺激が生理的リラックス効果をもたらした可能性がある。このような現象がみられる原因として、現代を生きる我々の体が自然対応にできていることに起因すると考えている。我々は自然対応の生理

機能を持って、現代の都市化・人工化された社会を生きているため、ストレス状態に置かれており、木材のような自然由来の刺激に触れることにより、本来のあるべき姿に戻り、生理的にリラックスすると考えている。なお、このような考え方は、“Back-to-nature” theory と呼ばれている[33,34]。

本研究においては、建築環境内で用いられている塗装が生体にもたらす影響を調べた。その結果、自然由来の素材である無垢材あるいは無垢材に近い塗装材への手掌接触は、生理的リラックス効果をもたらすことを明らかにした。本成果は、実際の建築環境を想定した木材利用における科学的根拠となる。一方、主観的快適感とリラックス感において、4種類の塗装材間に差異は認められなかった。これは、生体影響評価における生理計測の進歩と有用性を示していると考えられる。

今回は、無塗装、オイルおよびガラス塗装材への手掌接触がもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。しかし、本研究にはいくつかの限界がある。1) 今回は、手掌にて接触した際の影響を明らかにしたが、木材は床材としても多く用いられるため、足裏接触についても研究することが求められる。2) 本研究においては、試料の上に掌を置くという接触がもたらす生理的効果を明らかにしたが、今後は、撫でる等の能動的な接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにする必要がある。3) 今回は 20 代の若年女性を被験者としたが、今後は男性や高齢者といった異なる属性も対象とすることが求められる。

5. 結論

結論として、(1) 無塗装材への接触は、前頭前野活動の鎮静化（ウレタン・ウレタン塗装(厚塗)材との比較）、副交感神経活動の亢進（ガラス、ウレタン、ウレタン塗装(厚塗)材との比較）および心拍数の低下（ウレタン塗装(厚塗)材との比較）をもたらし、生理的リラックス効果をもたらすことがわかった、さらに、(2) オイルおよびガラス塗装材への接触は、ウレタン塗装(厚塗)材と比べ、左前頭前野活動の鎮静化および心拍数の低下をもたらすことが明らかになった。一方、(3) 「快適感」および「リラックス感」においては、5つの試料間に差異はなかった。

6. 引用文献

1. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of wood on humans: A review. *J. Wood Sci.* 2017, 63, 1–23.
2. 宮崎良文, 本橋豊, 小林茂雄 (1992) 精油の吸入による気分の変化-2-血圧, 脈搏, R-R 間隔, 作業能率, 官能評価, 感情プロフィール検査に及ぼす影響. *日本木材学会誌* 38 (10):909–913.
3. 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.
4. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity. *J. Wood Sci.* 2016, 62, 568–572.
5. Joung, 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. Hortic. Sci.* 2014, 28, 90–94.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Sakuragawa, S.; Miyazaki, Y.; Kaneko, T.; Makita, T. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J. Wood Sci.* 2005, 51, 136–140.
10. Morikawa, T.; Miyazaki, Y.; Kobayashi, S. Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J. Wood Sci.* 1998, 44, 495–497.
11. Sakuragawa, S.; Kaneko, T.; Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* 2008, 54, 107–113.
12. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching wood. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14(7), 801; doi:10.3390/ijerph14070801.
13. Bhatta, S.R.; Tiippana, K.; Vahtikari, K.; Hughes, M.; Kyttä, M. Sensory and Emotional Perception of Wooden Surfaces through Fingertip Touch. *Front. Psychol.* 2017.

14. Berger, G.; Katz, H.; Petutschnigg, A.J. What consumers feel and prefer: Haptic perception of various wood flooring surface. *For. Prod. J.* 2006, 56, 42–47.
15. ASTM C518–10. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2003.
16. ISO 8301. Thermal Insulation Determination of Steady-State Thermal Resistance and Related Properties Heat Flow Meter Apparatus; ISO: Geneva, Switzerland, 1991.
17. Ohmae, E.; Ouchi, Y.; Oda, M.; Suzuki, T.; Nobesawa, S.; Kanno, T.; Yoshikawa, E.; Futatsubashi, M.; Ueda, Y.; Okada, H.; et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared Near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006, 29, 697–705.
18. Ohmae, E.; Oda, M.; Suzuki, T.; Yamashita, Y.; Kakihana, Y.; Matsunaga, A.; Kanmura, Y.; Tamura, M. Clinical evaluation of Near-infrared time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J. Biomed. Opt.* 2007, 12, 9.
19. Torricelli, A.; Contini, D.; Pilled, A.; Caffini, M.; Re, R.; Zucchelli, L.; Spinelli, L. Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 2014, 85, 28–50.
20. Camm, A.J.; Malik, M.; Bigger, J.T.; Breithardt, G.; Cerutti, S.; Cohen, R.J.; Coumel, P.; Fallen, E.L.; Kennedy, H.L.; Kleiger, R.E.; et al. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
21. Kobayashi, H.; Ishibashi, K.; Noguchi, H. Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Appl. Hum. Sci.* 1999, 18, 53–59.
22. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996, 93, 1043–1065.
23. Pagani, M.; Lombardi, F.; Guzzetti, S.; Rimoldi, O.; Furlan, R.; Pizzinelli, P.; Sandrone, G.; Malfatto, G.; Dell’Orto, S.; Piccaluga, E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympath o-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 1986, 59, 178–193.
24. 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.

25. Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P. *The Measurement of Meaning*; University of Illinois Press: Urbana, IL, USA, 1957.
26. Igarashi, M.; Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Effects of olfactory stimulation with rose and orange oil on prefrontal cortex activity. *Complement. Ther. Med.* 2014, 22, 1027–1031.
27. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effect of olfactory stimulation by hinoki cypress (*chamaecyparis obtusa*) leaf oil. *J. Physiol. Anthropol.* 2015, 34, 44.
28. Park, S.A.; Song, C.; Choi, J.Y.; Son, K.C.; Miyazaki, Y. Foliage plants cause physiological and psychological relaxation as evidenced by measurements of prefrontal cortex activity and profile of mood states. *HortScience* 2016, 51, 1308–1312.
29. Igarashi, M.; Yamamoto, T.; Lee, J.; Song, C.; Ikei, H.; Miyazaki, Y. Effects of stimulation by three-dimensional natural images on prefrontal cortex and autonomic nerve activity: A comparison with stimulation using two-dimensional images. *Cogn. Process.* 2014, 15, 551–556.
30. Ikei, H.; Song, C.; Miyazaki, Y. Physiological effects of touching hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *J. Wood. Sci.* 2018, doi:10.1007/s10086-017-1691-7.
31. JIS 5500: 2000. *Glossary of Terms for Coating Materials*; JIS: Tokyo, Japan, 2000.
32. ISO/DIS 4618-1. *Paints and Varnishes—Terms and Definitions for Coating Materials—Part 1: General Terms*; ISO: Geneva, Switzerland, 1997.
33. Miyazaki, Y.; Park, B.J.; Lee, J. Nature therapy. In *Designing Our Future: Perspectives on Bioproduction, Ecosystems and Humanity*; Osaki, M., Braimoh, A., Nakagami, K., Eds.; United Nations University Press: Tokyo, Japan, 2011; Sustainability Science Volume 4, ISBN 9789280811834.
34. O’Grady, M.A.; Meinecke, L. Silence: Because what’s missing is too absent to ignore. *J. Surg. Case Rep.* 2015, 1, 1–25.

第4節 まとめ

本章においては、木材への手掌接触が脳活動・自律神経活動に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、(1) 生理指標においては、1) 脳活動として、近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度、2) 自律神経活動として、心拍変動性による副交感・交感神経活動を用い、(2) 触覚刺激においては、床等の内装材として一般的に用いられているホワイトオーク材を用い、1) タイル、大理石及びステンレスといった他の素材との比較、および(2) オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、およびウレタン塗装厚塗りといった塗装材間の比較を実施した。

その結果、(1) 他素材との比較において、ホワイトオーク材への90秒間の手掌接触は、1) 大理石、タイルおよびステンレスと比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させること、2) ステンレスおよび大理石と比較し、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に亢進させることが示された。また、(2) 塗装材間の比較において、1) 無塗装材への90秒間の手掌接触は、前頭前野活動の鎮静化（ウレタン・ウレタン塗装(厚塗)材との比較）、副交感神経活動の亢進（ガラス、ウレタン、ウレタン塗装(厚塗)材との比較）および心拍数の低下（ウレタン塗装(厚塗)材との比較）をもたらし、生理的リラックス効果をもたらすことがわかった。さらに、2) オイルおよびガラス塗装材への90秒間の手掌接触は、ウレタン塗装(厚塗)材と比べ、左前頭前野活動の鎮静化および心拍数の低下をもたらすことが明らかになった。一方、3) 「快適感」および「リラックス感」においては、5つの試料間に差異はなかった。

結論として、木材への手掌接触は、(1) 他の素材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらし、生体を生理的にリラックスさせること、(2) 塗装材間の比較において、主観的快適感には塗装材間に差異はな

いが、自然由来の素材である無垢材あるいは無垢材に近い塗装材への手掌接触は、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

第4章 総括と今後の課題

1. 総括

1.1. 木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響

1.1.1. 木材由来揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激

木材由来揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激をもたらす生理的影響について、脳活動（近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度）および自律神経活動（心拍変動性による副交感・交感神経活動）を指標として明らかにすることを目的とした。

被験者は女子大学生 13 名（ 21.5 ± 1.0 歳）とした。脳活動の指標として、近赤外時間分解分光法を用い、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した。自律神経活動の指標として、心拍変動性を用い、副交感神経活動を反映する HF および交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。嗅覚刺激は、 α -ピネンとし、対照は、空気とした。被験者は、閉眼安静後、90 秒間 α -ピネンあるいは対照の嗅覚刺激を受けた。

その結果、 α -ピネンによる 90 秒間の嗅覚刺激は、対照（空気）と比較し、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に上昇させ、心拍数を有意に低下させることが示された。

結論として、木材由来揮発成分 α -ピネンの嗅覚刺激は、副交感神経活動の亢進ならびに心拍数の低下をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

1.1.2. ヒノキ葉油の嗅覚刺激

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の枝葉から抽出した精油 (以下、葉油) の嗅覚刺激がもたらす生理的影響について、脳活動 (近赤外時間分解分光法による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度) および自律神経活動 (心拍変動性による副交感・交感神経活動) を指標として明らかにすることを目的とした。

被験者は女子大学生 13 名 (21.5 ± 1.0 歳) とした。脳活動の指標として、近赤外時間分解分光法を用い、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した。自律神経活動の指標として、心拍変動性を用い、副交感神経活動を反映する HF および交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。試料であるヒノキ葉油は、和歌山県産のヒノキ枝葉から水蒸気蒸留により抽出したものをを用いた。対照は、空気とした。被験者は、閉眼安静後、90 秒間ヒノキ葉油あるいは対照の嗅覚刺激を受けた。

その結果、ヒノキ葉油による 90 秒間の嗅覚刺激は、対照 (空気) と比較し、右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させ、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に上昇させることが示された。

結論として、ヒノキ葉油の嗅覚刺激は、脳前頭前野活動の鎮静化ならびに副交感神経活動の亢進をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

1.1.3. ヒノキ材チップの嗅覚刺激

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の天然乾燥材および高温処理材チップの嗅覚刺激がもたらす生理的影響の違いについて、脳活動 (近赤外時間分解分光法

による前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度) および自律神経活動 (心拍変動性による副交感・交感神経活動) を指標として明らかにすることを目的とした。

被験者は女子大学生 19 名 (22.5±1.6 歳) とした。脳活動の指標として、近赤外時間分解分光法を用い、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した。自律神経活動の指標として、心拍変動性を用い、副交感神経活動を反映する HF および交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。試料であるヒノキは、熊本県産の心材を用いた。製材後 3 年間自然乾燥したヒノキを「天然乾燥材」とし、高温・急速乾燥したヒノキを「高温処理材」とした。被験者は、閉眼安静後、90 秒間ヒノキ天然乾燥材あるいは高温処理材の嗅覚刺激を受けた。

その結果、ヒノキ天然乾燥材による 90 秒間の嗅覚刺激は、高温処理材と比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させることが示された。

結論として、ヒノキ天然乾燥材の嗅覚刺激は、高温処理材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

1.2. 木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響

1.2.1. ホワイトオーク材への手掌接触: 他素材との比較

木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響について、脳活動および自律神経活動を指標とし、他の素材との比較により明らかにすることを目的とした。

被験者は女子大学生 18 名 (21.7±1.6 歳) とした。脳活動の指標として、近赤外時間分解分光法を用い、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した。自律神経活動の指標として、心拍変動性を用い、副交感神経活動を反映する HF および交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。試料であるヒノキは、熊本県産の心材を用いた。製材後 3 年間自然乾燥したヒノキを「天然乾燥材」とし、高温・急速乾燥したヒノキを「高温処理材」とした。被験者は、閉眼安静後、90 秒間ヒノキ天然乾燥材あるいは高温処理材の嗅覚刺激を受けた。

よび交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。試料として、無塗装ホワイトオーク材、大理石、タイルおよびステンレスの平板（縦 300×横 300mm）を用いた。被験者は、閉眼安静後、90 秒間材に接触した。

その結果、ホワイトオーク材への 90 秒間の手掌接触は、(1) 大理石、タイルおよびステンレスと比較し、左右前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を有意に低下させること、(2) ステンレスおよび大理石と比較し、副交感神経活動の指標である $\ln(\text{HF})$ を有意に亢進させることが示された。

結論として、木材への手掌接触は、他の素材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらし、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

1.2.2. ホワイトオーク材への手掌接触: 塗装材間の比較

各種塗装木材への手掌接触が生理応答に及ぼす影響の違いについて、脳活動および自律神経活動を指標として明らかにすることを目的とした。

被験者は女子大学生 18 名 (21.7 ± 1.6 歳) とした。脳活動の指標として、近赤外時間分解分光法を用い、前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度を計測した。自律神経活動の指標として、心拍変動性を用い、副交感神経活動を反映する HF および交感神経活動を反映する LF/HF を算出した。試料はホワイトオークとし、無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装およびウレタン塗装(厚塗)材の 5 種の平板を用いた。被験者は、座った状態にて 1 分間の閉眼安静後、手のひらで 90 秒間材に接触した。

その結果、(1) 無塗装材への 90 秒間の手掌接触は、前頭前野活動の鎮静化 (ウレタン・ウレタン塗装(厚塗)材との比較)、副交感神経活動の亢進 (ガラス、ウ

レタン、ウレタン塗装(厚塗)材との比較) および心拍数の低下 (ウレタン塗装(厚塗)材との比較) をもたらし、生理的リラックス効果をもたらすことがわかった。さらに、(2) オイルおよびガラス塗装材への 90 秒間の手掌接触は、ウレタン塗装(厚塗)材と比べ、左前頭前野活動の鎮静化および心拍数の低下をもたらすことが明らかになった。一方、(3) 「快適感」 および 「リラックス感」 においては、5 つの試料間に差異はなかった。

結論として、主観的快適感においては塗装材間に差異はないが、自然由来の素材である無垢材あるいは無垢材に近い塗装材への手掌接触は、生体を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

1.3. まとめ

木材由来の嗅覚刺激及び触覚刺激が生理応答に及ぼす影響を明らかにするため、脳活動および自律神経活動を指標とし、被験者実験を実施した。その結果、木材由来の嗅覚及び触覚刺激は、脳前頭前野の鎮静化、副交感神経活動の亢進、および心拍数の低下をもたらすことが示された。本研究によって、“Back-to-nature” theory を支持する科学的データが蓄積された。

2. 今後の課題

2.1. 木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響

本研究においては、木材の嗅覚刺激が生理応答に及ぼす影響について、日本の代表的な樹木であるヒノキに着目し、その材チップ、葉油、揮発成分が人の脳活動および自律神経活動にもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。

しかし、本研究においては、いくつかの課題がある。1) 本研究における被験者は、すべて 20 代の成人女子大学生だった。今後は、①20 代の成人男子大学生を対象とした性差の検討、②未成年、中年者、高齢者等を対象とした年齢別の検討、さらに③脊髄損傷者、高齢リハビリ患者およびうつ病患者等、日常的に強いストレス状態にある未病者を対象とした検討が必要である。2) 本研究においては、脳活動および自律神経活動を指標とした。今後は、唾液中コルチゾール濃度等の内分泌指標も合わせて用いることにより、生体内における複数の機能が協調的に変化するという「全身的協関」の観点から木材由来の嗅覚刺激が及ぼす生理的影響を調べるのが重要である。3) 本研究においては、90 秒間という短時間の嗅覚刺激が生理応答に及ぼす影響を明らかにした。今後は、日常生活を想定し、30 分間～半日等の長時間あるいは 1 週間毎の定期的な嗅覚刺激の呈示が生理応答に及ぼす影響も、明らかにしたい。

2.2. 木材由来の触覚刺激が及ぼす生理的影響

本研究においては、木材の触覚刺激が生理応答に及ぼす影響について、住宅の内装材として一般的に用いられているホワイトオーク材に着目し、各種他素材との比較ならびに各種塗装間の比較を実施した結果、無垢材（無塗装材）あるいは無垢材に近い塗装材（オイル・ガラス塗装）への手掌接触が人の脳活動および自律神経活動にもたらす生理的リラックス効果を明らかにした。

しかし、本研究においては、いくつかの課題がある。1) 本研究における被験者は、すべて 20 代の成人女子大学生だった。今後は、①20 代の成人男子大学生を対象とした性差の検討、②未成年、中年者、高齢者等を対象とした年齢別の検討、さらに③脊髄損傷者、高齢リハビリ患者およびうつ病患者等、日常的に強いストレス状態にある未病者を対象とした検討が必要である。2) 本研究におい

ては、手掌にて接触した際の影響を明らかにしたが、木材は床材としても多く用いられるため、足裏接触についても研究することが求められる。3) 本研究においては、試料の上に掌を置くという接触がもたらす生理的効果を明らかにしたが、今後は、撫でる等の能動的な接触が生理応答に及ぼす影響を明らかにする必要がある。4) 本研究における試料は、広葉樹であるホワイトオーク材を用いた。今後は、日本の代表的な針葉樹であるヒノキおよびスギ材への接触が生理応答に及ぼす影響も、明らかにしたい。

業績リスト

1. 既公表論文（著者名、論文名、発表誌、巻、号、頁、発表年月・本文記載順）

- 1) Physiological effects of wood on humans: A review.
Journal of Wood Science (IF: 1.165)
第 63 卷 1 号 1 頁－23 頁 (2016 年 12 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

- 2) Effects of olfactory stimulation by α -pinene on autonomic nervous activity.
Journal of Wood Science (IF: 1.165)
第 62 卷 6 号 568 頁－572 頁 (2016 年 8 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

- 3) Physiological effect of olfactory stimulation by hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) leaf oil.
Journal of Physiological Anthropology (IF: 1.250)
第 34 卷 44 号 doi: 10.1186/s40101-015-0082-2 (2015 年 12 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

- 4) 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.
Journal of Wood Science (IF: 1.165)
第 61 卷 5 号 537 頁－540 頁 (2015 年 7 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Juyoung Lee, Yoshifumi Miyazaki

- 5) Physiological Effects of Touching Wood.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 14 卷 7 号 801, doi: 10.3390/ijerph14070801 (2017 年 7 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

- 6) Physiological Effects of Touching Coated Wood.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 14 卷 7 号 773, doi:10.3390/ijerph14070773 (2017 年 7 月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

2. 参考論文（著者名、論文名、発表誌、巻、号、頁、発表年月）

英文誌: 15報

- 1) Physiological effects of touching hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*).
Journal of Wood Science (IF: 1.165)
doi: 10.1007/s10086-017-1691-7 (2018年1月掲載)
Harumi Ikei, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki

- 2) Physiological Effects of Visual Stimulation with Forest Imagery.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第15巻2号213 (2018年1月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei (co-first author)**, Yoshifumi Miyazaki

- 3) Sustained effects of a forest therapy program on the blood pressure of office workers.
Urban Forestry and Urban Greening (IF: 2.113)
第27巻246頁-252頁 (2017年10月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei (co-first author)**, Yoshifumi Miyazaki

- 4) Effects of viewing forest landscape on middle-aged hypertensive men.
Urban Forestry and Urban Greening (IF: 2.113)
第21巻247頁-252頁 (2017年1月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei (co-first author)**, Maiko Kobayashi, Takashi Miura,
Qing Li, Takahide Kagawa, Sigeyoshi Kumeda, Michiko Imai, Yoshifumi Miyazaki

- 5) Physiological and Psychological Effects of a Forest Therapy Program on Middle-Aged Females.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第12巻12号15222頁-15232頁 (2015年12月掲載)
Hiroko Ochiai, **Harumi Ikei (co-first author)**, Chorong Song, Maiko Kobayashi,
Takashi Miura, Takahide Kagawa, Qing Li, Sigeyoshi Kumeda,
Michiko Imai, Yoshifumi Miyazaki

- 6) Effects of Visual Stimulation with Bonsai Trees on Adult Male Patients with Spinal Cord Injury.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 14 卷 9 号 doi: 10.3390/ijerph14091017 (2017 年 9 月掲載)
Hiroko Ochiai, Chorong Song, **Harumi Ikei (co-first author)**,
Michiko Imai, Yoshifumi Miyazaki
- 7) Physiological effects of viewing fresh red roses.
Complementary Therapies in Medicine (IF: 2.013)
第 35 卷 78 頁-84 頁 (2017 年 12 月掲載)
Chorong Song, Miho Igarashi, **Harumi Ikei**, Yoshifumi Miyazaki
- 8) Evaluating the relaxation effects of emerging forest-therapy tourism:
A multidisciplinary approach.
Tourism Management (IF: 4.707)
第 62 卷 322 頁-334 頁 (2017 年 10 月掲載)
Yasuo Ohe, **Harumi Ikei**, Chorong Song, Yoshifumi Miyazaki
- 9) Diurnal Changes in Distribution Characteristics of Salivary Cortisol and Immunoglobulin A Concentrations.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 14 卷 9 号 987, doi:10.3390/ijerph14090987 (2017 年 8 月掲載)
Hiromitsu Kobayashi, Chorong Song, **Harumi Ikei**, Bum-Jin Park,
Takahide Kagawa, Yoshifumi Miyazaki
- 10) Population-Based Study on the Effect of a Forest Environment on Salivary Cortisol Concentration.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 14 卷 8 号 801, doi:10.3390/ijerph14080931 (2017 年 8 月掲載)
Hiromitsu Kobayashi, Chorong Song, **Harumi Ikei**, Bum-Jin Park,
Lee Juyoung, Takahide Kagawa, Yoshifumi Miyazaki
- 11) Physiological Effects of Nature Therapy: A Review of the Research in Japan.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 13 卷 8 号 781, doi: 10.3390/ijerph13080781 (2016 年 8 月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei**, Yoshifumi Miyazaki

- 12) Physiological and Psychological Effects of a Walk in Urban Parks in Fall.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 12 卷 11 号 142160 頁-14228 頁 (2015 年 11 月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei**, Miho Igarashi, Takagaki Michiko, Yoshifumi Miyazaki
- 13) Analysis of Individual Variations in Autonomic Responses to Urban
and Forest Environments.
Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine (IF: 1.740)
第 2015 卷 2015 号 671094, doi:10.1155/2015/671094 (2015 年 9 月掲載)
Hiromitsu Kobayashi, Chorong Song, **Harumi Ikei**,
Takahide Kagawa, Yoshifumi Miyazaki
- 14) Physiological and Psychological Effects of Viewing a Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*
'Hayward') Orchard Landscape in Summer in Japan.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 12 卷 6 号 6657 頁-6668 頁 (2015 年 6 月掲載)
Miho Igarashi, Masayuki Miwa, **Harumi Ikei**, Chorong Song,
Michiko Takagaki, Yoshifumi Miyazaki
- 15) Elucidation of a Physiological Adjustment Effect in a Forest Environment:
A Pilot Study.
International Journal of Environmental Research and Public Health (IF: 2.101)
第 12 卷 4 号 4247 頁-4255 頁 (2015 年 4 月掲載)
Chorong Song, **Harumi Ikei**, Yoshifumi Miyazaki

和文誌: 2 報

- 1) 社会人を対象とした森林セラピープログラムの主観的効果.
日本衛生学雑誌 第 70 卷 2 号 161 頁-166 頁 (2015 年 5 月掲載)
池井晴美, 小泉春佳, 宋チョロン, 上月光則, 寺谷誠一郎,
佐久間高広, 宮崎良文
- 2) 自然セラピーの予防医学的効果とその個人差.
日本生理人類学会誌 第 20 卷 1 号 19 頁-32 頁 (2015 年 7 月掲載)
宮崎良文, 宋チョロン, **池井晴美**

謝辞

本論文は、筆者が千葉大学大学院園芸学研究科博士前期課程を修了後、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所に在籍するとともに、同大学大学院自然セラピー研究室にて博士後期課程の学生として研究を実施し、得られた成果を取りまとめたものです。

本論文の審査は、主査・高垣美智子教授、副査・木庭卓人教授、大江靖雄教授、下村義弘教授、宮崎良文教授によって行われました。審査においては、論文全体の構成及び序論の重要性等に関してご指導頂きました。特に、序論に関しては、実験計画の設計、生理応答指標、ならびに感性に関する詳細な記載の追加等のご指摘を頂きました。先生方には、お忙しい中、俯瞰的かつ多面的な視点から細やかにご指導頂き、心から深く感謝申し上げます。

千葉大学環境健康フィールド科学センター 教授 宮崎良文先生には、自然セラピー学研究室に配属された学部3年生の頃から現在に至る7年もの間、懇切なご指導ならびに貴重なご教示を頂きました。自然セラピー学および生理学の基礎的知識に加え、研究活動に対して真摯に向き合うことの重要性、研究者が社会から求められている使命等、研究者になる上での基盤となる心構えについてもご指導を頂きました。深く御礼申し上げますとともに、これからもご指導ご鞭撻いただきますよう、お願い申し上げます。

千葉大学環境健康フィールド科学センター 特任助教 宋チョロン先生には、実験や研究に関するご指導のみならず、日常生活においても、多くの支えを頂きました。職場と大学院の両立で悩んだり、はじめての社会人生活で失敗を繰り返したり、研究に行き詰ったりした際には、いつも優しく励ましてくださり、加えて、冷静な視線からの的確なご助言をくださいました。宋先生のあたたかなご指導ご鞭撻に、深く感謝申し上げます。

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所の諸先輩方から、木材および木質構造に係る基礎知識について、ご指導頂きました。現・四国支所長原田寿郎氏（前・構造利用研究領域長）ならびに構造利用研究領域長 軽部正彦氏からは、所内業務の進め方や研究活動に係るご助言等、日々細やかにご指導頂きました。複合材料研究領域 領域長 渋沢龍也氏、同領域 複合化研究室 室長 宮本康太氏ならびに木材加工・特性研究領域 木材機械加工研究室 主任研究員 松村ゆかり氏からは、熱伝導率や表面粗さ等の物性に関して、基礎的知識から計測手法まで、幅広くご指導頂きました。また、構造利用研究領域の皆様からは、筆者の研究遂行に対して、いつもあたたかなご支援・ご配慮を頂きました。厚く御礼申し上げます。

最後に、研究者になるという私の夢を応援してくれた家族に、心から感謝いたします。父からは、精神的にも経済的にも、辛抱強く支援してもらいました。母からは、手紙や電話によって、いつもあたたかく励ましてもらいました。また、弟には、帰省のたびに激励してもらい、とても心強く感じていました。家族に改めて、感謝の意を表したいと思います。

2018年3月1日

池井晴美