総 説

[木材学会誌 Vol. 63, No. 1, p. 1-13 (2017)]

木質居住環境が人間にもたらす影響の評価手法*1

恒次祐子*2, 松原恵理*2, 杉山真樹*2

Evaluation of the Impact of Wooden Living Environments on Humans*1

Yuko TSUNETSUGU*2, Eri MATSUBARA*2 and Masaki SUGIYAMA*2

Wooden living environments are widely held to be human-friendly, warm, and relaxing. However, the scientific evidence supporting this social image is still sparse. Recently, there has been a growing desire among industry representatives, policy-makers, and consumers for scientific research that elucidates the positive influences of wood and wooden interiors in structures intended for human occupation. The aim of this review is to provide an overview of relatively recent research that examines human responses to wood in various living environments, with a focus on the methods used in such studies. We also review the methodologies used in several studies that have been conducted in related fields, such as architecture and public health, in terms of their applicability to the evaluation of wooden environments. Based on our review of the current state of research, we further consider future challenges that lie ahead in this field. These include accumulating data on vulnerable groups and individuals for a short-term exposure to wooden environments and exploring approaches to elucidate intermediate and longer-term impacts of wooden environments on health and well-being.

Keywords: indoor environment, comfort, psychological responses, physiological responses.

木質居住環境は「人への親和性」があり、「あたたかみ」、「やすらぎ」を感じさせるとのイメージを持たれているが、近年は科学的な手法による木材の良さの解明に対するニーズが高まっている。本総説ではこれまでに日本木材学会を中心に行われてきた木質居住環境の快適性に関する研究のうち、特に人間を対象とした研究を心理的手法、パフォーマンス評価法、生理的手法といった評価手法の観点から整理した。また他分野における関連研究を概観することで、木質科学分野の居住性研究に導入できる可能性のある評価手法についても検討を加えた。今後の関連研究の方向性として（１）短期的影響について、子どもや高齢者、患者などを含めた様々な被験者群でのデータを蓄積すること、（２）長期的影響を評価するための研究手法を確立することなどが挙げられる。

1. はじめに

木材は古くから人間に身近な材料であり、いわゆる「人への親和性」があるとのイメージを持たれて

いる¹⁾。国土交通省が国土交通行政インターネットモニターを対象に行った調査では、994名の回答者のうち８割弱がすでに木造住宅に住んでいるか、または木造住宅の暮らしに対し「是非やってみたい」「一度はやってみたい」との関心を示したことが報告されている²⁾。また内閣府が平成23年に行った世論調査においても、回答者の約８割が、今後住宅を建てたり買ったりする場合には木造住宅を選びたいと回答している³⁾。この内閣府の調査においては公共施設への木材利用についても設問があり、地方公

*1 Received June 24, 2016; accepted July 21, 2016.

*2 国立研究開発法人森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, 305-8687, Japan

Corresponding author: Y. Tsunetsugu (yukot@ffpri.affrc.go.jp)

共同体が木材を利用する際に望ましいものとして、「小学校や中学校の校舎などの学校施設」、「病院などの医療施設や老人ホームなどの福祉施設」、「幼稚園などや公園にあるすべり台などの遊具」が他の回答を大きく上回っていた。住宅や公共施設など、日常生活の様々な場面において木材を活用した空間への期待が高いことがうかがわれる。

このような期待の高さには、前述の通り「人への親和性」があり、「あたたかみ」、「やすらぎ」を感じさせるという木材のイメージが貢献していると考えられる。木造建築物の供給者（設計者、施工者等）を対象としたアンケートでは、木造の住宅・建築物を計画して良かった点、施主やユーザーに喜ばれた点として、「ぬくもり・落ち着き」に関する回答が圧倒的に多かったという⁴⁾。このような木材に対する感じ方は日本人に限ったものではなく、例えばカナダで行われた調査においても、木材は石材、皮革、プラスチックなどの他材料に比較して、あたたかく、家庭的でリラックス感をもたらすとイメージされていた⁵⁾。一方で、従来のイメージに頼った木材利用（販売）促進から一歩進んで、科学的根拠に基づいて木材の良さをよりアピールしていきたいという要望が行政や産業会を中心に高まっている⁶⁾。もちろん消費者にとっても生活空間と健康との関係は大きな関心事であり、今後木質空間による人間への効果についての科学的根拠をどのように提供していくかということは、関連分野の研究における大きな課題である⁶⁾。木質科学分野における居住性研究の未来に向けて“住みやすさ”の評価手法を整備することが重要である⁷⁾と考えられる所以である。

本稿では、木質居住空間が人間に与える（プラスの）影響を評価する手法に着目し、既往研究を概観することにより、研究の現状と、加えて今後どのように科学的根拠を蓄積していくことができるかという展望を整理することを目的とする。本稿は系統的なレビューではないが、既往研究の整理にあたっては以下のような方針をあらかじめ設定した。

- ・木質を利用した室内空間が人間に与える影響を、人間側の反応を観察することによって明らかにした研究を対象とする。

- ・空間を対象とした研究を主な対象とするが、木材のにおい、手触り、見た目といった五感要素に着目した研究であっても、具体的に空間への利用を想定したものや、空間の評価に適用可能だと思われる手法を用いたものは対象とする。

- ・今後木質空間の評価に適用可能と思われる手法を用いて居住空間の評価を行った研究は、木質空間を

扱っていない対象とする。

木質科学の分野において人間を対象とした研究が行われるようになったのは1970年前後からであるが、以降の研究の流れについては既報で網羅されている^{7, 8)}。本稿では比較的新しい報告を優先して検討の対象とした。また、建築や環境衛生の分野においても、従来多く行われてきた室内の温熱環境、空気質、光環境による人間への悪影響に関する研究から、建築デザインや材料選択による快適性や健康への良い影響を研究すべきであるとの機運が高まっており^{9, 10)}、学ぶべき内容も多くあると考えて、木質に限らず広く既往研究を概観することとした。

人間の反応を観察、測定するために現状で多く用いられている方法は、例えば①アンケートやインタビューなど研究対象者の主観的申告に基づいたもの（心理的手法）、②作業の生産性や成績を指標とするもの（パフォーマンス評価法）、行動や視線の動きを観察するもの（動作観察的手法）、③血圧の変化など生理的な応答を測定するもの（生理的手法）、④寿命や罹患率など何らかの統計または調査データに基づいたもの（疫学的手法）、⑤その他、というように分類できる（本稿では人間工学における評価手法の分類¹¹⁾も参考にして、便宜的に括弧内の通りに呼ぶこととする）。それぞれどのような方法を用いて評価するかは、それぞれの研究が対象としている時間軸でも異なるとされるため、次項以降では短期（数分程度の曝露による影響）、中期（半日程度、主に睡眠時）、長期（数年に渡って繰り返し当該環境に曝露されることによる影響）に分けて検討を進める。

2. 居住環境への短期的曝露による影響の評価

2.1 心理的手法

質問紙による印象評価としては、5段階や7段階の尺度を用いて両端に形容詞対を配置し、当てはまるところに印を付けて回答してもらう評定尺度法が良く用いられる¹²⁾。例えば中立点である「どちらでもない」を0点、「非常に快適な」を+3点、「非常に不快な」を-3点などとして点数化する。または直線上の任意の点に印を付けてもらう方法もあり、Visual analog scale法、略してVAS法と呼ばれている¹³⁾。VAS法では直線の一端からの距離を測って点数とする。目的に応じて、例えば複数の対象物を比較する場合には数値化した印象を比較すればよく、対象物に対する評価の構造を知りたい場合には、さらに因子分析などの解析法を用いることになる。

ヒノキ内装用板材の着色による印象の変化を評価した研究¹⁴⁾では、木材関係のイベント会場にて約850名の来場者を対象に、4種類の供試体について「軽やかな－重厚な」、「女性的な－男性的な」など9対の形容詞対の5段階尺度での評価を実施し、回答者の年齢層により同じ対象物であっても評価が異なることを明らかにした。また因子分析により年齢層によってヒノキ内装用板材に対する評価構造が異なっており、50代や60代では、対象への「親しみ（経験的に馴染みがあるかどうか）」が「落ち着き」や「好き」といった評価につながるという特徴も抽出された。ごく最近の研究としては、トドマツ材を内装に用いた居間の写真を液晶ディスプレイにて呈示し、20代～60代の男女82名を対象に、好き－やや好き－どちらでもない－やや嫌い－嫌いの5段階評価を行ったものがある¹⁵⁾。この研究では4タイプの居間に対し節の面積率の異なるトドマツ内装材の画像を合成し、全部で16種類の画像を評価に供した。解析には節の面積率と居間のタイプを要因、好ましさの得点を従属変数とした二元配置分散分析を用いており、居間のタイプに関わらず節の量が増えるほど好ましさが低下したとの結果が報告されている。居間のタイプによる効果が有意ではなかった点については、「住宅の居間の内装材としての好ましさの評価するように」と教示したことも影響したのではないかと考察されている。

いくつかの対象がある場合、それぞれに順位を付けてもらうことで評価を行うことも可能である。方法としては、数種類の対象物（例えば5種類の写真）を一度に体験してもらい、好ましいと感じる順番に並べてもらう順位法や、2つずつ取り出して比較するということをすべての組み合わせについて行う一対比較法などがある。一般に一対比較の方が回答しやすいが、対象の数が多いと組み合わせ数が膨大になり煩雑になるので注意が必要であると考えられている¹⁶⁾。床材に対する消費者の好みを探ろうとした研究では¹⁷⁾、スプルスフローリング材の写真を2種ずつ呈示してどちらが好きかを尋ねるインターネット調査を行い、423名からの回答を得ている。この研究ではまず事前に専門家がタイプ分けした15種類のフローリング材の写真について、一対比較で「似ているか、似ていないか」を一般消費者に尋ねて7種類のタイプを抽出し（つまり消費者は専門家が考えるより大雑把にフローリングのタイプを捉えていた）、その7種類から2種類を取り出す全組み合わせについて好みを聞くという手順を取っている。これによりフローリングの好みの観点から消費者側に

も7タイプが潜在的に存在し、消費者のタイプによっては、多数の節などこれまで欠点とみなされてきた特徴を持つフローリング材でも受け入れられる可能性があることを明らかにしている。解析の一環として消費者の「非論理的回答（例：aよりb、bよりcを好み、かつcよりaを好むと答える）」を統計的な重み付けを用いて解決しようとしている点も参考となると思われる。

他の質問紙法のうち良く用いられるものとして気分（感情）プロフィール検査（Profile of Mood State, 以下 POMS）¹⁸⁾ が挙げられる。本来は臨床用の質問紙であり、過去1週間ほどの時間単位における気分状態の変化を測定するものであるが、研究用途では対象を経験するごとの気分変化の測定にも応用されている。これまでに日本語版としては65項目のオリジナル版（日本語版 POMS）、30項目の短縮版（日本語版 POMS 短縮版）、そしてこれらの改訂版である POMS2 日本語版（成人用と青少年用に分かれ、どちらも全項目版（成人用65項目、青少年用60項目）、短縮版（35項目）がある）が発行されている。いずれも質問項目に回答することにより「活気」、「緊張－不安」、「抑うつ－落ち込み」、「怒り－敵意」、「疲労」、「混乱」、「友好（POMS2のみ）」という尺度に分けて気分を得点化することができる。

壁4面がビニルクロス貼りの空間と、これに対し2面にスギ板材を貼った空間においてストレス状態からの回復効果を比較した研究では、65項目の日本語版 POMS を20名の被験者に対し実施している¹⁹⁾。多変量分散分析の結果、木質空間においては精神性負荷（内田クレベリンテスト）直後に比較して POMS のネガティブな気分尺度で有意に得点が低下したが、ビニルクロス貼り空間では点数は低下したものの有意な差は認められなかった。他にもヒノキの実大壁（高さ2670 mm × 幅3600 mm）を見る前後で POMS の「抑うつ－落ち込み」が有意に低下したとの報告²⁰⁾、ヒバ材を内装に多用した居室で、ヒバ材を使用しない居室に比較して「疲労」の得点の低下が有意に大きかったとの報告²¹⁾ などもある。

設問が複雑な場合には質問紙を渡して回答してもらうのではなくインタビューを行うことで被験者の感想や考えを引き出しやすいこともある。木質内装を用いた4種類の空間の写真を見せ、その空間でどのような活動をしたいかを調査した研究では、20代～60代の各年代ごとに男女約20名ずつ、計200名を対象にインタビューを実施し、木質内装が使われていない空間は「住みたくない」と評価されたのに対

し、フローリングのみ木質とした空間が最も「住みたい」と評価されたことを明らかにした²²⁾。各空間に対して望むものとして主成分分析によって抽出された「落ち着き」「活動性」の主成分得点は世代によって有意な差があり、特に20代や30代で適度な木材量の空間で「落ち着き」の因子得点が高いことは興味深い。

木質空間に限らず、居住空間の快適性に関する既往研究の数は、本項で取り上げた、短期的影響を心理的手法で明らかにするというカテゴリーが最も多い。近年は後述する生理的な手法に期待が集まっているが、研究問題の設定の仕方や心理的手法のシンプルさを生かすことでまだできることは多いように思われる。またマーケティングという観点から考えると、消費者は自身の主観的な印象や判断に基づき選択を行うのであるから、心理的手法を使う意義は十分にある。後述の生理的手法等、その他の手法を用いて研究を行う際にも、解釈のための参考資料として心理的データを取っておくことは必要である。

2.2 パフォーマンス評価法, 動作観察的手法

例えば木質空間が「落ち着き」「リラックス感」をもたらすとすれば、その環境が疲労やストレス状態の改善を通して、室内で行う作業の正確さや効率を向上させるのではないかと?という発想は不自然ではないだろう。オーストリアで93名を対象に行われたオンライン調査では、木質材料を使った空間と木目プリント材を使った空間の写真を呈示して印象評価を行い、木質材料を使った空間の方が「パフォーマンスを向上させる効果がある」印象が高かったとの結果が出ているが²³⁾、実際に木質空間で作業効率が上昇したという報告例はあまり多くない。内装にスギ材を用いた2490 mm (幅) × 2490 mm (奥行) × 2570 mm (高さ) の実大モデル空間を作成し、二桁の加算、減算作業を16分間行った例²⁴⁾、スギ材を室内に被験者に見えないように設置し、内田クレペリン検査による1桁の加算作業を15分間ずつ2回、計30分間行った例²⁵⁾のどちらも、スギ材の有無による作業成績(一定時間内の回答数、誤答率)への影響は認められなかった。針葉樹精油の成分である α -ピネン、リモネンのおいについても20分間のコンピュータ作業の成績への影響は認められなかったという報告があり²⁶⁾、短時間では木質系内装材の見た目やにおいによる影響は少ないのかもしれない。ただし作業効率の実験では作業の種類や難易度等の条件設定が難しく、また現状では若年成人(大学生)以外のデータがあまりないこともあり、今後も実験例の蓄積が望まれる。

行動観察法は文字通り被験者の行動を観察することにより環境の評価を試みる手法である。木質科学分野ではこれまでに研究例は多くないが、床材にスギ無垢材と木目調シートフロアを貼った空間における母子の行動を解析した研究では、スギ無垢材床で子供があぐら横座の姿勢を取る時間が長く、母親が子供と遊びを継続する時間が長いとの結果であった²⁷⁾。どのような時間軸を対象とした研究でも適用可能な手法であると考えられ、こちらも今後の研究蓄積が期待される。

木質系内装材の視覚的特性の評価を、視線追跡により人がどこを見ているかという観点から行う手法もある。眼電図測定による視線追跡の他、近年では赤外線を用いた非接触的な測定方法が発展し、広く応用されるようになってきている²⁸⁾。木材の節は見た目の印象に影響する大きな要素のひとつであることが様々な研究により明らかになっているが²⁹⁾、視線追跡による定量評価により、節に人の目が引き付けられてしまうこと、そして観察時間全体に占める節への視線の停留時間の割合(停留率)と主観的な節の印象の強さに相関があることが報告されている³⁰⁾。内装材の印象が材面全体ではなく、その人がどこを見ているかに左右されることが良く分かるデータである。内装画像についても木材が柱、梁などの線的な要素として含まれていると視線がその部材に沿って線的に動くことが分かっており³¹⁾、他の評価手法と組み合わせることにより、研究データを部屋の内装デザインに反映させられる可能性が感じられる。

2.3 生理的手法

これまでに述べた言葉を用いた方法や外側からの観察に加えて、最近では対象を経験した際の人の生理的な応答を測定する試みが多くなされるようになってきた。言葉を使う方法では、回答者はまず自分の内的な状態を理解し、次にそれを言葉に置き換えることが必要となるが、その理解や置き換えは、思い込みや価値観、個人による言葉の持つ意味の解釈の違いなどによる影響を受ける。生理的手法を用いた研究が増えている背景として、測定法の技術的な発展とともに、より直接的、客観的なデータを根拠として、木材の良さを説得力をもって説明したいというニーズが挙げられるだろう。

これまでに用いられている生理的な指標には様々なものがあり、同じ指標でもそれを測定する方法にも様々なものがある。ここでは脳活動、自律神経系活動、そして唾液中バイオマーカーに分けて、各種生理指標を用いた研究を概観する。

2.3.1 脳活動の測定

木材の見た目、におい、触り心地といった特性は感覚情報として感覚器から人間に入力され、中枢神経系に送られて情報処理を受ける。対象物に対する判断や親しみや落ち着きを感じるという内的な動きも全て脳で起こることであるので、脳の動きを何らかの方法で測定する試みが多くなされている。

脳活動を測定する手法として最も良く知られているのは脳波であろう。脳の神経活動に伴って発生する電位の変化を頭皮上の電極により測定する手法であり、一定時間に発生した脳波に対し周波数解析を行って周波数帯域ごとの変動を見たり、事象関連電位を指標として注意や覚醒水準を評価することが多い。木質空間において脳波を指標とした評価を行った例はこれまでにほとんど見られないが、ヒバのにおいによる効果を事象関連電位の一種である随伴陰性変動 (contingent negative variation, CNV) を指標として評価した研究例がある³²⁾。若年 (19~22歳) 女性16名を被験者とし、ランプが点灯したらボタンを押すという反応時間課題を行ったところ、ヒバ精油のにおいあり条件下ではにおいなし条件下よりも反応時間が早くなり CNV の振幅も大きくなった。この研究では CNV を覚醒度と運動準備の指標としており、ヒバのにおいが覚醒度や課題への注意を上昇させ、ボタンを押すという運動への準備を促したことにより反応時間を向上させたとの考察がなされている。その他建築分野では、脳波を用いて室内の各種環境条件 (温熱、におい、音) の組み合わせによるストレス状態への影響を評価したり³³⁾、執務室をイメージし、窓の有無、室内の観葉植物や絵画の有無による「リラックス」感を α 帯域、 β 帯域のパワー値を指標に評価する³⁴⁾ などの試みが報告されている。

近年では、脳波に比較して被測定者への拘束やストレス負荷が少ないこと、経時的な変化を追うことが可能であること、測定中にリアルタイムで変化をモニターできることなどの利点から、近赤外分光分析法 (Near Infrared Spectroscopy : NIRS) による脳活動測定法も広まっている。血中に存在する酸素化ヘモグロビンおよび脱酸素化ヘモグロビンの近赤外光吸収特性を使って、脳の神経活動に伴う酸素代謝、血流の変化を捉える方法である。NIRS を用いた研究例として、居室内装への木材利用による生体影響を明らかにしたものがある³⁵⁾。木材率 (床、壁、天井に占める木質材料の面積比) が 0%, 45%, 90% である居室においてそれぞれ90秒間内装を眺めたところ、どの居室でも脳活動が上昇し被験者が室内

環境から情報収集していたことがうかがわれたが、90%でのみ最後に急激な脳活動の低下が認められた。これは被験者が多すぎる木材に「飽きて」しまった結果ではないかと推測されている。今後も同様の研究で再現性等も含めて検討を進めることが期待される。

NIRS で測定される酸素化ヘモグロビン濃度は、測定部位近傍における脳活動の亢進または低下を反映するものと解釈されるが、測定値と恐怖感や嫌悪感³⁶⁾、主観的な幸福感³⁷⁾、不安感³⁸⁾ といった感情状態との関係も研究されている。森林と都市において15分間景色を眺めた際に、森林では前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の低下、都市では上昇が認められたとの報告³⁹⁾、天然乾燥したヒノキ材のにおいでは前頭前野酸素化ヘモグロビンが低下したのに対し、高温乾燥では変化がなかったとの報告⁴⁰⁾ もあり、今後も木質材料、空間の研究における主要な測定法のひとつとなるだろう。一方で皮膚血流による測定値への影響も指摘されており⁴¹⁾、議論を注視していく必要がある。

NIRS と同じく酸素化ヘモグロビンおよび脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化を測定することで脳各部位の賦活状況を測定する方法として機能的磁気共鳴画像法 (Functional Magnetic Resonance Imaging : fMRI) がある。大型の装置を用いること、解析に技術を要することから木質科学分野や建築分野ではこれまでに研究例はほとんど見当たらないが、時間分解能、空間分解能ともに高く、特に NIRS に比較して脳深部の活動を測定できる点で優れた測定法である。これまでに自然景観と都市景観の写真を見た際に賦活する脳機能領域の差異が自然環境に対して感じる快適さ、好ましさと関係しているとの報告⁴²⁾ や、緑地と幹線道路沿いにおけるそれぞれ90分間の歩行前後に fMRI による測定を行い、緑地における歩行時のみで抑うつ症状を悪化させる反芻思考に関係する部位の活動の低下が認められたとの報告がなされている⁴³⁾。これらに習うと、木質空間と非木質空間の写真を数秒ずつ見せたり、木質材料がふんだんに使われた居室と全く使われていない居室で一定時間過ごした後測定を行うなどの研究方法が考えられる。

脳活動の測定法には他にもいくつかの方法があり、それぞれに利点や欠点がある。それぞれの方法について、時間分解性、空間分解性などの観点から比較、整理した論文も多くある^{44, 45)}。

2.3.2 自律神経系の測定

自律神経系は中枢神経系からの指令により生体の

諸器官を動かして外界の変化に対応する調節系のひとつである。自律神経系は交感神経系と副交感神経系から成り、多くの生体器官は交感神経と副交感神経の二重支配を受けている。交感神経系は身体の活動レベルや運動性を上げる方向に作用し、副交感神経系は鎮静化、活動レベル低下の方向に作用する。二重支配を受ける各器官はこの二つの神経系のバランスにより活動の方向性（動くか休むか）や程度が決まる拮抗支配を受けている。

自律神経系は生体の自律的反応とともに精神状態を反映すると言われ、意図的に動かすことが難しいことから、対象物に対する人間の反応（多くはストレス反応）を良く表すものとして古くから測定対象となってきた。バイタルサインとしてもなじみ深い指標として血圧や心拍数（脈拍数）が挙げられる。一般にストレス状態のときには生体はストレスに対抗するために交感神経系優位となり、血圧や心拍数が上昇する。逆にリラックス状態では副交感神経系が優位となりこれらの指標は低下することが予想される。

床がフローリングで壁と天井は白色クロス貼りという標準的な内装の居室と、柱や梁といった要素をあらわして使ったようなデザインを加えた居室において90秒間椅座位にて開眼安静としたところ、標準的な居室で脈拍数は有意に低下し、デザインを加えた居室では有意に上昇した。標準的な居室では拡張期血圧もやや低下したのに対し、デザイン居室では変化が認められなかった⁴⁶⁾。居室の内装を短時間眺めるだけで生体影響が異なる可能性が示唆されている。木造住宅は音の伝搬が問題となる場合があるが、2階で重量床衝撃音や軽量床衝撃音を発生させ、1階で聞いている被験者の生理応答を測定した研究では、どちらの音でも収縮期血圧の上昇が認められた^{47, 48)}。重量衝撃音ではこれもストレス指標として用いられる末梢血流（ストレス時には体幹に血流を集めるため、末梢の血管は収縮し血流量が低下する）の低下も認められており⁴⁷⁾、典型的な闘争-逃走反応⁴⁹⁾が起こったものと解釈されている。ヒノキの実大壁を見た際には、その壁を「好き」と答えた群では収縮期血圧が低下し「嫌い」と答えた群でも血圧の変化がなかったのに対し、白色の金属壁を「嫌い」とした群では血圧が上昇したことや²⁰⁾、収縮期血圧がナラ材への接触では変化せず、室温のアルミニウム材や冷やしたアクリル板では上昇したことも報告されている⁵⁰⁾。建築分野や、その他、生理学、スポーツ科学、労働衛生学など様々な分野では、温熱環境による生体影響、特に暑熱環境下での

作業や運動による影響を心拍数や血圧を指標として評価する研究が数多くなされている^{51, 52)}。これらの研究は室内環境要素が心理的な反応を介さずに生体に与える影響を自律神経系指標で評価した例である。

心臓は規則正しく拍動しているように感じられるが、ミリ秒単位で見ると1拍ごとの時間間隔にゆらぎ（変動性）がある。このゆらぎは不規則なわけではなく、呼吸の他、心臓を動かす交感神経や副交感神経が関連した、いくつかの規則的な大小のゆらぎが重ね合わさって起こっていることが知られている。このことから心拍変動性（Heart Rate Variability: HRV）を周波数解析により分解し、交感神経系、副交感神経系の活動をそれぞれに分けてとらえる手法が確立され、ストレス状態や気分の評価に用いられている⁵³⁾。成人の場合、0.04~0.15 Hzの帯域を低周波成分（Low Frequency: LF）、0.15~0.4 Hzの帯域を高周波成分（High Frequency: HF）とし、HFを副交感神経系、LF/HFを交感神経系の指標とすることが多いが、他にも様々な指標が提案されている。用いる周波数解析の方法など数的な処理により結果が変わることや、呼吸、姿勢の影響など変動要因が複雑であるため、慎重に解釈することが必要であることが指摘されている^{54, 55)}。

木質空間をHRVを用いて評価しようとした研究は現時点では学会発表のレベルに留まっているが⁵⁶⁾、例えば居室のデザインの違い（開口部の有無）によるストレスタスク中およびタスク後の回復期の影響を検討した研究では、開口のある部屋ではHRVにより算出した交感神経系活動が低く、副交感神経系活動は高い傾向にあった。ただし統計的な有意差はなく、著者は自律神経系の活動には影響しなかったと結論づけている⁵⁷⁾。この研究では室内のデザインを壁に開口の映像を投影することにより変えていることから、実際に開口のある空間で行った場合はまた異なった結果となる可能性がある。室内空間の評価ではないが、15分間の観葉植物の植え替え作業とコンピュータ作業をHRVを指標として比較したところ、作業時間の後半で植え替え作業において交感神経系活動が有意に低かったとの報告⁵⁸⁾や、自然景観の写真を見た方が都市景観の写真を見たときよりもストレスタスク負荷後の副交感神経系活動の上昇が大きかったとの報告⁵⁹⁾もある。後者の研究では景観写真の種類はタスク負荷によるストレスの強さには影響せず、回復にのみ影響したことが示されており、木質空間の効果に関しても同じことがいえるのか、興味深いところである。

自律神経系の指標は、他にも瞳孔径、皮膚温、精

神性発汗など様々なものがある。瞳孔径を用いた研究例としてオフィスの光環境改善を想定した照明の評価⁶⁰⁾、皮膚温については、床材の種類、室温と下肢部皮膚温の関係⁶¹⁾、また精神性発汗については、発汗に伴う皮膚電気抵抗の変化を用いた木質空間(木製家具の有無や観葉植物の有無)の評価⁶²⁾などがこれまでになされている。

2.3.3 唾液中バイオマーカーの測定

自律神経系と並ぶもうひとつの調節系が内分泌系である。生体内の内分泌腺で生産されるホルモンが、体液中に分泌されて運ばれ、標的器官や組織、細胞の活動に影響を与える。神経系に比較してゆっくりとした情報伝達により生体の調整を行う系である。ホルモンには様々なものがあるが、副腎皮質ホルモンのひとつであるコルチゾールが、ストレス負荷時に急激に分泌されることが知られており、古くからストレス指標として用いられている。コルチゾールは、血液、尿、唾液などを用いて測定されるが、測定の簡便性から、唾液中コルチゾール濃度が指標として用いられることが多い。ホルモンの多くは分泌に時間的な変動があり、コルチゾールも早朝において濃度が高く、午後から夜は低くなるという変動を持つ⁶³⁾。1日の中で経時的に測定を行った場合などのデータ解釈の際には、ベースラインとしての日内変動を考慮することが必要である。

その他唾液を用いて測定されるストレスの指標として、アミラーゼ活性、クロモグラニン A、免疫グロブリン A などがあり、例えばクロモグラニン A は交感神経系のストレス反応を反映するなど、それぞれの指標によって特性がある⁶⁴⁻⁶⁶⁾。

前出の居室における開口部の有無を検討した研究では唾液中コルチゾールも測定されており、その値はストレスタスク後10分間で最も高くなり、その後はほぼ直線的に低下している⁵⁷⁾。開口部の有無によりこの動態は変わらないが、コルチゾールの値は開口のある居室で開口がない居室よりも継続的に低く推移した。開口部が見えていることで、潜在的にストレスから逃げられると被験者が感じたためと推測されている。同じく前出の、内装にヒバ材を用いた室内空間の研究では唾液アミラーゼ活性が測定されており、複合フローリングに壁、天井は白色クロス貼りという標準的な居室では入室後にアミラーゼ活性が約7%上昇したのに対し、内装の2~4割(面積比)と適度にヒバ材を使用した居室では、入室前に比較して約40~45%の低下が認められている²¹⁾。既報において「落ち着く」ビデオを見た際にアミラーゼが低下したなどの例があることから、これは、い

わゆるヒバ材内装の見た目とにおいが生理的に「落ち着いた」状態をもたらしたものと推測されている。アミラーゼとクロモグラニン A を用いた研究例として、室内に設置したスギ内装材からの放散物質による影響を調べたものがある²⁵⁾。16人の大学生を被験者とし30分の計算課題(内田クレペリンテスト)を実施したところ、スギ材なし条件ではアミラーゼ、クロモグラニン A とともに上昇したのに対し、スギ材を室内に設置(被験者には見えない)した場合には、アミラーゼは低下し、クロモグラニン A は変化がなかった。計算課題による交感神経系の亢進をスギ材から放散された物質が抑制したものと解釈されている。

各種ストレスマーカーには、例えば精神性ストレスには反応するが身体性ストレスには反応しない、社会的なストレスに良く反応するなど、ストレス負荷の種類による反応性の違いや、ストレス付加後どのくらいでピークの値となり、その後どのくらいで分解されるかという時間的な挙動の違いがある。負荷を与えてその後の回復を見るのか、入室前後を比べるのかなども含め、木質空間の評価に最適な指標や実験デザインを今後も探索する必要がある。

3. 居住環境への中期的曝露による影響の評価

室内空間の中期的(半日~数日)な影響評価の手法としては半日居住環境に滞在した際の環境の影響を評価するといったものが考えられるが、日中の環境の差を対象とした研究はあまり多くない。環境や働く人の健康に配慮したいいわゆる「グリーンビル」の環境評価を目的とした研究では、まずは30名のオフィスワーカーが普段通り執務する間の生理応答を2週間継続的に計測し、続いてグリーンビルを模した実験室に6日間オフィスを移して同様の計測を行い比較したところ、室内の二酸化炭素濃度の上昇(換気が良くない状態を模している)と心拍数の増加に相関関係がみられたこと⁶⁷⁾、そして「グリーンビル」条件では認知タスクの点数が上昇したこと⁶⁸⁾が明らかとなった。実空間に近い環境での数日間の影響を明らかにした貴重な研究例である。

半日~数日程度の影響を対象とした研究としては、室内空間による睡眠への影響を対象としたものが多い。これまでに木質空間において睡眠質が向上する可能性が示唆されているが⁶⁹⁾、研究例はまだ少ないのが現状である。一般に睡眠質の評価は睡眠ポリソムノグラフと呼ばれる脳波、心電図、筋電図、眼球運動などを同時計測する方法によって行われるが、より簡易に腕時計型の活動量計にて大まかな睡

眠の傾向を観察する方法も良く用いられている。寝室でエアコンを使うことによる影響を脳波, 眼電図, 筋電図を用いて評価した研究では, 「涼しく快適」な25℃から徐々に温度を上げていく条件では, 入眠が遅くなり, 朝起きた際の主観的な睡眠質も低下したことが明らかになっている⁷⁰⁾。換気による影響をHRV, 質問紙と活動量計を用いて評価した研究では, 活動量計による差異は得られなかったものの, LF/HFが低下したことが報告されている⁷¹⁾。

睡眠そのものではなく, 睡眠時に室内空間に木材のにおいが存在する場合の生体影響を明らかにした貴重な報告もある。30代~60代の男性被験者12名を対象に, ヒノキ材油を揮発させた部屋に3晩宿泊した前後の変化を免疫指標ならびにストレスマーカーにて比較したところ, 免疫細胞であるナチュラルキラー細胞の活性が上昇し, ストレスマーカーである尿中アドレナリン, ノルアドレナリン濃度が低下していたことが明らかになった⁷²⁾。室内空気からは α -ピネンが最も多く検出され, 他に β -ピネン, β -カジネン, リモネンも検出されたため, これらの木材由来成分が免疫活性を上昇させ, ストレス状態を緩和したものと解釈される。

厚生労働省の国民健康・栄養調査⁷³⁾によると, 20歳以上の成人で, 睡眠による休養が十分とれていないとの回答が約20%あった。木質空間が睡眠におよぼす影響は今後研究が望まれる分野のひとつではないかと考える。

4. 居住環境への長期的曝露による影響の評価

短期的, 中期的な研究に比較して, 長期的な研究では条件を統制し, 詳細な測定を行うことは難しくなる。そこでアンケートや統計等の既存データを用いた解析が手法として主流となるが, これらの手法は条件を統制して測定を行う手法に比較して結果のばらつきが大きくなることが予想される。そこで結果の妥当性を担保するために大きなサンプル数が必要となる。

木質空間について大規模な調査を行った事例として良く知られているのは, 学校校舎の構造による学級閉鎖率(閉鎖した学級数/調査対象となった全学級数)が木造校舎において鉄筋コンクリート造校舎よりも有意に少ないとの調査結果⁷⁴⁾であろう。1990年代に3年間にわたり行われた調査であり, サンプル数は木造校舎, 鉄筋コンクリート造校舎, 内装木質校舎がそれぞれ合計287学級, 435学級, 170学級であった。この結果をもって木造校舎では(個人が)インフルエンザに罹患しにくいとは言えない

が(この研究を行った研究者もそのような表現はしていない), 木造校舎ではインフルエンザが広まりにくい可能性があるとの仮説を提示した点で貴重な研究である。このような結果は複合的要因によるものと考えられ, 今後より慎重な研究デザインの元で検証されるべき価値があると思われる。

欠席率を指標とした研究としては, 異なるタイプのオフィス(個室か, オープンタイプかなど)において, 執務者の病欠日数を2年間にわたり調査したものがあ⁷⁵⁾。これは約1万人を対象とした疫学研究の一部として行われた研究で, 全対象者のうち, フルタイムで仕事をしている, 2年間仕事を变えていないなどの条件で絞り込んだ1852人について分析がなされた結果, オープンタイプのオフィスで働く人で, 短期的な病欠の回数が多かったことが明らかとなっている。研究の限界として, 欠勤状況があくまでも本人の申告によるものであったこと, 質問紙で調査したオフィスのタイプ分けがあいまいであったこと, 病欠を健康状態の指標とすることの妥当性(同程度の風邪でも休む人, 休まない人がある)などが挙げられており, 後に続く研究には参考となると思われる。学校における屋内環境と生徒の成績や出席率について既往の報告をレビューした研究では⁷⁶⁾, 学校内の空気質(換気の状態)や温熱環境が成績等に直接影響するとは考えにくい, これらの環境要素が生徒の体調に影響し, それを介して成績に影響しているものと結論付けている。

自然環境と健康の関係については, イギリスで4000万人ほどのデータを解析し, 居住地の近くに緑地がある場合は死亡率が低くなり, 経済格差による死亡率の差が小さくなることが明らかにされている⁷⁷⁾。日本でも都道府県別の森林面積率とがんによる死亡率が負の相関を持つというデータもある⁷⁸⁾。建築分野で良く知られる研究としては, 窓から隣の建物の壁が見える病室と, 街路樹などの景観が見える病室では, 後者に入院した患者の方が手術後の鎮痛剤の投与量が少なく, 入院日数が有意に短かったというものがある⁷⁹⁾。

以上のような疫学的な先行研究に学ぶことで, 木質空間による睡眠への影響や健康影響, 木造校舎や木質内装を使った病室, 福祉施設などにおける生徒, 患者, 利用者, そして職員への影響, または木育が成長後の選択に与える影響など, 様々な仮説を検証するための研究をデザインすることもできるはずである。一方で, 大規模調査の実施には研究資源の投入や関連機関の連携・協力など, 短中期的影響とは異なる枠組みでの取り組みが必要である。広く他分

野と連携しながら研究を進めることが求められる。

5. おわりに

木質居住環境が人間にもたらす影響の評価手法について概観した。現状では研究数は本稿の項目立ての順に少なくなっており、かつ分野全体を俯瞰すると、なされていないことの方が多い印象を受ける。例えば短期的な影響については現状では健康な成人を対象とした研究がほとんどであるが、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律等の社会的な動きを鑑みると、今後子どもや高齢者、患者などいわゆる Vulnerable な（社会的に弱い立場にある）グループを含めた様々な被験者群でのデータが求められていくものと思われる。本稿で述べた心理的手法を用いる場合、被験者には設問を理解し、自分の内面を言葉で表現できることが求められるため、対象とできる被験者群がある程度限られる。一方生理的手法、動作観察的手法や疫学的手法では、言語に頼らない測定が可能であるため、より幅広い被験者群を対象にできる可能性がある。いずれにしても被験者は母集団を適切に反映するようなるべく偏りなく選択し、測定指標に影響を与える可能性のある要因（例えば喫煙や服薬、女性被験者の場合は性周期など）にも留意する必要がある。また被験者に対しては国の指針等にしがたい十分な倫理的配慮を行うことが必須であり、特に健康成人以外の被験者群を対象とする場合には慎重な対応が求められるだろう。中長期の影響については研究規模が大きくなる傾向もあるため、例えば日本木材学会の居住性研究会を中心に研究者間の連携を進めたり、他の多様な分野の研究者の参入を促すような方策も必要となるだろう。すでに述べた通り、大規模調査を実施しようとする際には人的、資金的なリソースの投入や、研究フィールドとなる関連機関の許可・協力など、実験室実験とは異なる面で検討すべき問題も多くあると思われる。このように課題も多い一方で、木質科学における「人の研究」は曲がりなりにも数十年の歴史を持つに至り、小さいながらも確固たる一分野を築いてきたといえる。この分野の体系的な全体像を研究者間で議論し共有しつつ、どのように効率的に研究を進めていくかを考える時期がきているように思われる。

一般的な自然環境の効果に関する考え方と同様に、木質空間の効果も、病気を治すというのではなく、例えば病気になりにくい状態をもたらす、もしくは病気からの回復を早めるというようなものであると考えるのが妥当であろう。もう一点、本稿で

は触れなかった問題として、特に短期、中期的な影響を検討する研究では、個人内変動、個人間変動をどのように扱うかという課題がある。それぞれの指標の特性や統計的な手法を深く理解し、地道に研究に取り組むことで木質空間の良さに関するデータが今後も蓄積されるものと期待する。

文 献

- 1) 増田 稔：複合材料研究と感性-II 木目の親和性はどこから？日本複合材料学会誌19(6), 208-215 (1993).
- 2) 国土交通省：国土交通行政インターネットモニターアンケート調査～未来の「住まい」を考える～』の結果概要について, 2010, p. 9.
- 3) 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> 2016年5月1日参照.
- 4) 木のまち・木のいえ推進フォーラム：第一回中大規模木造建築物に関するアンケート調査結果, 2011, pp. 21-24.
- 5) Rice, J., Kozak, R. A., Meitner, M. J., Cohen, D. H.: Appearance wood products and psychological well-being. *Wood Fiber Sci.* 38(4), 644-659 (2006).
- 6) 杉山真樹：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 (2015).
- 7) 信田 聡：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 (2015).
- 8) 増田 稔：木材学会における居住性・感性研究の動向と雑感. 木材学会誌 51(1), 22-24 (2005).
- 9) Bluysen, P. M.: Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings. *Build. Environ.* 45(4), 808-818 (2010).
- 10) Mitchell, C. S., Zhang, J. J., Sigsgaard, T., Jantunen, M., Liou, P. J., Samson, R., Karol, M. H.: Current state of the science: health effects and indoor environmental quality. *Environ. Health Perspect.* 115(6), 958-64 (2007).
- 11) 人間生活工学研究センター：人間生活工学商品開発実践ガイド, 日本出版サービス, 東京, 2002, p. 33.

- 12) 小松原明哲: 5.3 質問紙・インタビューによる調査. “人間工学ハンドブック”, 伊藤謙治, 桑野園子, 小松原明哲編, 朝倉書店, 東京, 2003, pp. 350-355.
- 13) Aitken, R. C.: Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proc. R. Soc. Med.* **62** (10), 989-993 (1969).
- 14) 野上英孝, 河崎弥生, 藤本登留: ヒノキ内装材の着色が視覚的印象に及ぼす影響. 木材学会誌 **60**(6), 319-327 (2014).
- 15) 松本久美子, 川等恒治, 斎藤直人, 佐々木三公子, 川端康弘: 認知心理学に基づいた木質内装材の好ましさの評価 (第1報) トドマツ材の節の量の違いが住宅の居間の内装材の評価に及ぼす影響. 木材学会誌 **62**(2), 42-48 (2016).
- 16) 増山英太郎: 3.2.3 一対比較法. “センソリーエバリュエーション—官能検査へのいざない—”, 増山英太郎, 小林茂雄共著, 垣内出版, 東京, 1989, pp. 146-180.
- 17) Manuel, A., Leonhart, R., Broman, O., Becker, G.: Consumers' perceptions and preference profiles for wood surfaces tested with pairwise comparison in Germany. *Ann. For. Sci.* **72**(6), 741-751 (2015).
- 18) 横山和仁, 荒記俊一, 川上憲人, 竹下達也: POMS (感情プロフィール検査)日本語版の作成と信頼性および妥当性の検討. 日本公衆衛生雑誌 **37**(11), 913-918 (1990).
- 19) 齋藤ゆみ, 西巻 優, 辰己尚隆, 小野さや香, 木下美絵, 笹山 哲, 齋藤邦明: 木質空間およびビニル空間における疲労・ストレスの緩和効果 生化学的・心理学的指標による比較. 木材学会誌 **55**(2), 101-107 (2009).
- 20) Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T., Makita, T.: Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *J. Wood Sci.* **51**(2), 136-140 (2005).
- 21) 木村彰孝, 杉山浩之, 佐々木靖, 谷田貝光克: 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. 木材学会誌 **57**(3), 150-159 (2011).
- 22) Sakuragawa, S.: Change in the impression of rooms with interior wood finishes arranged differently: questionnaire survey with the use of photographs for the analysis of impressions of rooms concerning living activities. *J. Wood Sci.* **52**(4), 290-294 (2006).
- 23) Jiménez, P., Dunkl, A., Eibel, K., Denk, E., Grote, V., Kelz, C., Moser, M.: Evaluating psychological aspects of wood and laminate products in indoor settings with pictures. *For. Prod. J.* **65**(5-6), 263-271 (2015).
- 24) 木村彰孝, 佐々木靖, 小林大介, 飯島泰男, 谷田貝光克: 室内空間への木材使用量の違いが二桁加算・減算の作業効率に与える影響. 木材学会誌 **57**(3), 160-168 (2011).
- 25) Matsubara, E., Kawai, S.: VOCs emitted from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) interior walls induce physiological relaxation. *Build. Environ.* **72**, 125-130 (2014).
- 26) 恒次祐子, 石橋圭太, 岩永光一: α -ピネン, リモネンによる嗅覚刺激がコンピュータ作業時の生理応答に与える影響. アロマセラピー学雑誌 **14**(1), 1-7 (2014).
- 27) 浅田茂裕, 吉川はる奈, 尾崎裕也, 高田大志, 長南あずさ, 鴻池孝宏: 木質化された空間における母子の行動分析. 第66回日本木材学会大会研究発表要旨集, 名古屋, 2016, G27-05-1415.
- 28) 大野健彦: 視線から何がわかるか—視線測定に基づく高次認知処理の解明. 認知科学 **9**(4), 565-579 (2002).
- 29) 仲村匡司: 木材の見えと木質内装. 木材学会誌 **58**(1), 1-10 (2012).
- 30) Nakamura, M., Kondo, T.: Quantification of visual inducement of knots by eye-tracking. *J. Wood. Sci.* **54**(1), 22-27 (2008).
- 31) 仲村匡司, 増田 稔: 住宅内装における木質部材の存在形態と量が心理的イメージに与える影響. 木材学会誌 **50**(6), 376-383 (2004).
- 32) Hiruma, T., Yabe, H., Sato, Y., Sutoh, T., Kaneko, S.: Differential effects of the hiba odor on CNV and MMN. *Biol. Psychol.* **61** (3), 321-331 (2002).
- 33) Choi, Y., Kim, M., Chun, C.: Measurement of occupants' stress based on electroencephalograms (EEG) in twelve combined environments. *Build. Environ.* **88**(65-72), (2015).
- 34) 佐藤仁人: 室内の窓や植栽・絵画が脳波等に及ぼす影響: 執務空間における視環境の生理心理的影響に関する研究. 日本建築学会計画系論文集 **461**, 87-95 (1994).
- 35) 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.* **53**(1), 11-16 (2007).
- 36) Kochel, A., Schongassner, F., Schienle, A.: Cortical activation during auditory elicitation of fear and disgust: a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Neurosci. Lett.* **549**, 197-200 (2013).
- 37) Oonishi, S., Hori, S., Hoshi, Y., Seiyama, A.: Influence of subjective happiness on the prefrontal brain activity: an fNIRS study. *Adv. Exp. Med. Biol.* **812**, 287-293 (2014).
- 38) Sakatani, K., Fujii, M., Takemura, N., Hirayama, T.: Effects of acupuncture on anxiety levels and prefrontal cortex activity measured by near-infrared spectroscopy: a pilot study. *Adv. Exp. Med. Biol.* **876**, 297-302 (2016).
- 39) Joung, D., Kim, G., Choi, Y., Lim, H., Park, S., Woo, J. M., Park, B. J.: The prefrontal cortex activity and psychological effects of viewing forest landscapes in autumn season. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **12**(7), 7235-7243 (2015).
- 40) Ikei, H., Song, C. R., 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.* **61**(5), 537-540 (2015).
- 41) Tomita, M.: Flow effect impacts NIRS, jeopardizing quantification of tissue hemoglobin. *Neuroimage* **33**(1), 13-16 (2006).
- 42) Kim, G. W., Jeong, G. W., Kim, T. H., Baek, H. S., Oh, S. K., Kang, H. K., Lee, S. G., Kim, Y. S., Song, J. K.: Functional neuroanatomy associated with natural and urban scenic views in the human brain: 3.0T functional MR imaging. *Korean J. Radiol.* **11**(5), 507-513 (2010).
- 43) Bratman, G. N., Hamilton, J. P., Hahn, K. S., Daily, G. C., Gross, J. J.: Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **112**(28), 8567-8572 (2015).
- 44) 例えば, Shibasaki, H.: Human brain mapping: hemodynamic response and electrophysiology. *Clin. Neurophysiol.* **119**(4), 731-743 (2008).
- 45) 例えば, 宮内 哲: 脳を測る: 改訂 ヒトの脳機能の非侵襲的測定. 心理学評論 **56**(3), 414-454 (2013).
- 46) Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., Sato, H.: Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses. *Build. Environ.* **40**(10), 1341-1346 (2005).
- 47) 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.* **50**(6), 490-493 (2004).
- 48) 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.* **50**(6), 494-497 (2004).
- 49) Brown, T. M., Fee, E.: Walter Bradford Cannon - Pioneer physiologist of human emotions. *Am. J. Public Health* **92**(10), 1594-1595 (2002).
- 50) Sakuragawa, S., Kaneko, T., Miyazaki, Y.: Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J. Wood Sci.* **54**(2), 107-113 (2008).
- 51) 例えば, Tian, Z., Zhu, N., Zheng, G., Wei, H.: Experimental study on physiological and psychological effects of heat acclimatization in extreme hot environments. *Build. Environ.* **46**(10), 2033-2041 (2011).
- 52) 例えば, Chan, A. P. C., Wong, F. K. W., Wong, D. P., Lam, E. W. M., Yi, W.: Determining an optimal recovery time after exercising to exhaustion in a controlled climatic environment: Application to construction works. *Build. Environ.* **56**(28-37), (2012).
- 53) Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology: Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* **93**(5), 1043-1065 (1996).
- 54) Billman, G. E.: The LF/HF ratio does not

- accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Front Physiol* 4, 26 (2013).
- 55) 中川千鶴:特集 人間工学のための計測手法(第4部)生体電気現象その他の計測と解析 (5)自律神経系指標の計測と解析. 人間工学 52(1), 6-12 (2016).
- 56) 恒次祐子, 宮本康太, 小林久高, 杉本健一:地域材を内装に用いた居室における生理応答. 第63回日本木材学会大会研究発表要旨集, 盛岡, 2013, G28-P-AM12.
- 57) Fich, L. B., Jonsson, P., Kirkegaard, P. H., Wallergard, M., Garde, A. H., Hansen, A.: Can architectural design alter the physiological reaction to psychosocial stress? A virtual TSST experiment. *Physiol. Behav.* 135, 91-97 (2014).
- 58) Lee, M. S., Lee, J., Park, B. J., Miyazaki, Y.: Interaction with indoor plants may reduce psychological and physiological stress by suppressing autonomic nervous system activity in young adults: a randomized crossover study. *J. Physiol. Anthropol.* 34, 21 (2015).
- 59) Van Den Berg, M. M., Maas, J., Muller, R., Braun, A., Kaandorp, W., Van Lien, R., Van Poppel, M. N., Van Mechelen, W., Van Den Berg, A. E.: Autonomic nervous system responses to viewing green and built settings: differentiating between sympathetic and parasympathetic activity. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12(12), 15860-15874 (2015).
- 60) Choi, J. H., Zhu, R.: Investigation of the potential use of human eye pupil sizes to estimate visual sensations in the workplace environment. *Build. Environ.* 88, 73-81 (2015).
- 61) 山本 孝, 鈴村昭弘, 上田 実: 木材および建築材の居住性について - 人体足部皮膚温度におよぼす床材料の影響 -. 木材工業 22(1), 22-26 (1967).
- 62) Fell, D. R.: Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment. PhD Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2010.
- 63) Stone, A. A., Schwartz, J. E., Smyth, J., Kirschbaum, C., Cohen, S., Hellhammer, D., Grossman, S.: Individual differences in the diurnal cycle of salivary free cortisol: a replication of flattened cycles for some individuals. *Psychoneuroendocrinology* 26(3), 295-306 (2001).
- 64) Soo-Quee Koh, D., Choon-Huat Koh, G.: The use of salivary biomarkers in occupational and environmental medicine. *Occup. Environ. Med.* 64(3), 202-210 (2007).
- 65) Obayashi, K.: Salivary mental stress proteins. *Clin. Chim. Acta.* 21(425), 196-201 (2013).
- 66) 山口 昌: ストレスと生活 2 唾液マーカーでストレスを測る. 日本薬理学雑誌 129(2), 80-84 (2007).
- 67) MacNaughton, P., Spengler, J., Vallarino, J., Santanam, S., Satish, U., Allen, J.: Environmental perceptions and health before and after relocation to a green building. *Build. Environ.* 104 138-144 (2016).
- 68) Allen, J. G., Macnaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., Spengler, J. D.: Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ. Health Perspect.* 124(6), 805-812 (2016).
- 69) Permana, K. E., Okamoto, T., Yamada, Y., Nagano, J., Matsumoto, S., Yamamoto, A., Yamabe, Y., Nakagawa, T., Terui, K., Fujita, K., Kawasaki, A., Sato, N., Fujimoto, N., Shimizu, K., Mitsudo, T., Nakashima, T., Ishikawa, H., Ohnuki, K., Watanabe, Y., Shimazu, H., Yasunari, S.: Electrophysiological characterization of wooden environment during sleep. 第64回日本木材学会研究発表要旨集, 松山, 2014, G13-P-10.
- 70) Liu, Y., Song, C., Wang, Y., Wang, D., Liu, J.: Experimental study and evaluation of the thermal environment for sleeping. *Build. Environ.* 82, 546-555 (2014).
- 71) Lan, L., Lian, Z., Zhou, X., Sun, C., Huang, H., Lin, Y., Zhao, J.: Pilot study on the application of bedside personalized

- ventilation to sleeping people. *Build. Environ.* **67**, 160-166 (2013).
- 72) Li, Q., Kobayashi, M., Wakayama, Y., Inagaki, H., Katsumata, M., Hirata, Y., Hirata, K., Shimizu, T., Kawada, T., Park, B. J., Ohira, T., Kagawa, T., Miyazaki, Y.: Effect of phytoncide from trees on human natural killer cell function. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* **22**(4), 951-959 (2009).
- 73) 厚生労働省：身体活動・運動及び睡眠に関する状況。平成26年国民健康・栄養調査結果の概要, 2016, pp. 20-22.
- 74) “木造校舎の教育環境－公社建築材料が子ども・教師・教育活動に及ぼす影響”, 橘田紘洋編, 日本住宅・木材技術センター, 東京, 2004.
- 75) Bodin Danielsson, C., Chungkham, H. S., Wulff, C., Westerlund, H.: Office design's impact on sick leave rates. *Ergonomics* **57** (2), 139-147 (2014).
- 76) Mendell, M. J., Heath, G. A.: Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* **15**(1), 27-52 (2005).
- 77) Mitchell, R., Popham, F.: Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *Lancet* **372**(9650), 1655-1660 (2008).
- 78) Li, Q., Kobayashi, M., Kawada, T.: Relationships between percentage of forest coverage and standardized mortality ratios (SMR) of cancers in all prefectures in Japan. *Open Public Health J.* **1**, 1-7 (2008).
- 79) Ulrich, R. S.: View through a window may influence recovery from surgery. *Science* **224** (4647), 420-421 (1984).