

林野庁 平成 27 年度

CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業(木造建築物等の健康・省エネ性等データ整備のうち木造建築物の健康・省エネ性等データ収集・分析)

成果報告書

平成 28 年 3 月

株式会社トライ・ウッド

目 次

1. 目的	4
2. 「津江杉」と「非無垢材」を使った居住空間の生理心理学的分析と評価	7
2. 1. 実験棟室内の揮発成分分析	7
2. 2. 実験棟室内の抗菌活性	11
2. 3. 夜間睡眠実験	16
2. 3. 日中課題実験	23
3. 普及啓発	31
4. まとめ	33
5. 今後の課題	34

1. 目的

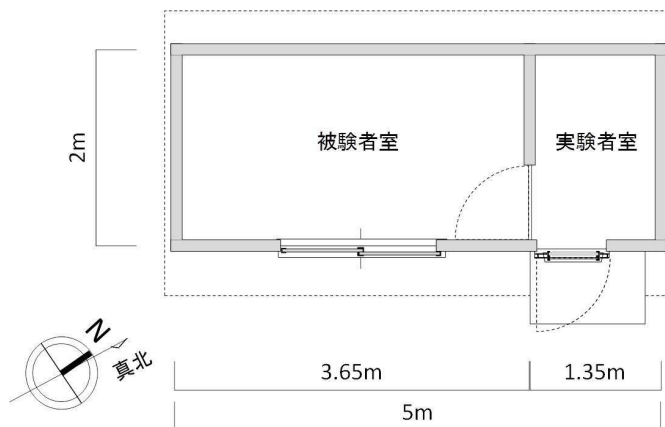
本調査は、林野庁・平成 27 年度 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業(木造建築物等の健康・省エネ性等データ整備のうち木造建築物の健康・省エネ性等データ収集・分析)事業より助成を受けて、「津江杉」を使った居住空間の生理心理学的分析および評価を行ったものである。前年度に引き続き、木造居住空間の人への効果を、化学、物理、生理心理学的な手法を用いて科学的に検証し、用途に応じた木質空間を提案、新たな需要を喚起することで森林政策・経済に寄与、林業の振興、最終的には、我が国の森林の再生を目指すものである。

これまで調査されてきた木質材料を用いた空間の人の生理・心理に及ぼす影響は、木質空間に入る前後における検討が主であった。しかしながら、「森林・林業再生プラン」に基づき、地域材の利用拡大を図るためには、国産の無垢材が人の健康や QOL に、より優れた効果を発揮することを、他の建材と比較して明らかにする必要がある。他の建材にない、優位性を科学的に証明することができれば、国産無垢材利用に対する、消費者の動機づけをより高められるのではないかと。そこで、我々は産業の中でも、木材消費量の多くを占める住宅産業に着目し、無垢材の住環境が人に与える影響を、非木材空間との比較の中で明らかにすることを試みた。

前年度に引き続き、「無垢の天然乾燥材・低温乾燥材（地域材、津江杉）」と「非無垢材」を用いた居住空間における人への影響を比較検討した。研究設備は、これまでの成果報告で用いられたものと同様の実験棟である（平成 24 年建設）。以下、「津江杉」を内装に用いた建物を無垢材棟、表面が塗装やクロスで覆われた非無垢材を用いた建物を非無垢材棟とする。実験棟を用いて、人の日常生活に則した比較実験を行うことで、異なる木質材料が人に与える影響を客観的に評価することが可能となった。

無垢材 (天然・低温域乾燥) 	新建材 (高温乾燥)  ビニルクロスなど
製材・切削・乾燥以外の加工なし	接着剤で結合・化学処理を施す・塗装などの加工
• 手間がかかるため高価 • 天然の木の香りあり • 調湿作用あり	• 安価、丈夫、高寸法安定 • 天然の木の香り無し • 調湿作用は無垢材より弱い

また、トライ・ウッド、安成工務店、九州大学の幅広い専門家が参画したコンソーシアムを形成し、産学連携で推進した研究体制も、前年度から継続し、定着したものである。



内装材および主要構造等

	無垢材棟	新建材棟
床	無垢の杉板 (床材) (厚さ: 15 mm)	表面: UV塗装した床材料 基材: 特殊MDF (中密度繊維板) *1 } 厚さ6 mm ホルムアルデヒド放散量性能区分: F☆☆☆☆*2
壁	無垢の杉板 (壁天井化粧材) (厚さ: 12 mm)	表面: ビニルクロス 下地: パーティクルボード*3 (厚さ: 12.5 mm) ホルムアルデヒド放散量性能区分: F☆☆☆☆*2
天井	無垢の杉板 (壁天井化粧材) (厚さ: 12 mm)	表面: ビニルクロス 下地: パーティクルボード*3 (厚さ: 9.5 mm) ホルムアルデヒド放散量性能区分: F☆☆☆☆*2

*1 木材を繊維化し合成樹脂を加えて成形した繊維板 (ファイバーボード) のうち、密度が0.35-0.80g/cm³のもの。

*2 ホルムアルデヒド放散量平均値0.3mg/L、最大値0.4mg/L以下 (上位等級) であることを示す。

*3 木材の小片を合成樹脂と混合し高温・高圧で成型した木質ボード。

平成 26 年度は、年代別・性別実験の結果を踏まえて、女性を対象とした睡眠実験を重点的に実施してきた。また年代別の比較を試みるため、若年女性と中高年女性の被験者をリクルートして、世代による生理・心理応答の違いを検討してきた。また、年間を通して揮発性成分分析を定期的実施してきたことで、揮発性成分の季節による変動や実験棟間における量的な違いが明らかになった。

平成 26 年度の成果と課題を受けて、平成 27 年度も被験者実験と揮発性成分分析を定期的実施した。年間を通して、異なる年代・性別の被験者のデータが蓄積されることで、人の生理・心理応答と揮発性成分の量や季節変動との関連について、信頼性が高く、より革新的な知見が得られると考えられる。さらに、平成 27 年度は、無垢材の新たな付加価値を探索するために、実験棟内でのハウスダスト・カビ・細菌の抗菌活性についても、定性・定量的な評価を行った。

今年度の実施実験															
年度	平成26年度			平成27年度											
年	2015年												2016年		
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
内容	冬・女性（睡眠）					梅雨・女性（睡眠）		分析					冬・女性（日中）		分析
	揮発性成分				揮発性成分										
						温湿度							温湿度		
							ハウスダスト				ハウスダスト		ハウスダスト		

2. 「津江杉」と「非無垢材」を使った居住空間の生理心理学的分析と評価

本調査では、「津江杉」を使った居住空間の生理心理学的分析とともに、化学的、物理的特徴（揮発成分および温度湿度）についても分析を行った。

2. 1. 実験棟室内の揮発成分分析

1 方法

平成 27 年 5 月から平成 28 年 2 月にかけて毎月 1 回、無垢材棟と非無垢材棟の両棟の室内において揮発性成分の捕集と GC/MS を用いた定量分析を実施した。本分析は平成 26 年度から継続したものであるが、平成 27 年度は平成 26 年度の 2 ヶ月に 1 回の実施から 1 ヶ月に 1 回の実施へと頻度を増やし、より詳細に年間を通した両棟の揮発性成分量の推移を把握することを目指した。また、これまで蓄積されたデータにより、同時期の成分量を平成 26 年度と比較することが可能となり、経年変化による両棟の室内空間の揮発性成分量への影響も把握することができた。

揮発性成分の分析には、微量の揮発性有機化合物を濃縮し分析する場合などによく使用される濃縮採取（試料導入）方法の一つである加熱脱離（チューブ）法を採用した。室内の揮発性成分を吸着させる吸着管として、水やアルコールに対して親和性が小さいため空気中での影響を受けにくいとされる Tenax TA（図 2-1-1）を使用した。

捕集を行うのは各月の中旬頃を原則としたが、大雨の日など悪天候の日や被験者実験が行われている期間は避けた。基本的に捕集は午前 11 時から開始することとした。捕集を行う 25 時間前（前日の 10 時頃）にそれぞれの部屋に実験者 1 名が入室し、窓を開放した状態で換気扇を 1 時間稼働させて部屋の換気を行った。捕集から 24 時間前に、換気扇を止め、窓も締め切った状態で退室し、その後、捕集するまでは室内への人の出入りを制限した。捕集する際は、実験者 1 名が入室し、速やかに吸引ポンプ（ミニポンプ MP-Σ30 型）3 台を図 2-1-2 のように無垢材棟と非無垢材棟の床の中央付近に並べ、吸着管である Tenax TA を吸引ポンプの吸引口に取り付けた。各棟とも 60 分間の捕集（0.15 L/min）を行い、捕集時の温度と湿度をおんどとりを用いて測定した。



図 2-1-1. 吸着管として使用した Tenax TA

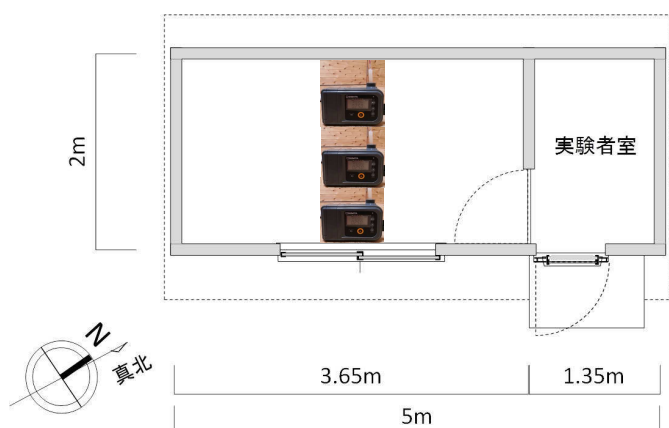


図 2-1-2. 実験棟室内におけるポンプの設置位置

吸着管に吸着させた揮発性成分の測定には、公立大学法人福岡女子大学に設置されている加熱脱離装置付 GC-MS (Agilent 7890 GC / 5975C MS) を使用した。捕集を行った九州大学から測定装置のある福岡女子大学までは吸着管を保冷容器に入れ、冷却材等で保冷しながら運んだ。本分析におけるガスクロマトグラフ質量分析の測定条件は表 2-1-1 の通りである。また揮発性成分の定量分析を行うため、各測定の直前に、内部標準としてベンズアルデヒド 200 μ l (アセトン) を 10 μ l シリンジを用いて吸着管 (Tenax TA、図 2-1-2) に 1 μ l ずつ添加した。得られたピークのマススペクトルおよび RI (retention index) 値を、データベース (Wiley9th+NIST08MassSpectral Library)、Aroma office ソフト (Ver. 3.0, 西川計測(株)製) により解析するとともに、過去の文献値との一致性を考慮することにより各成分を同定した

表 2-1-1. ガスクロマトグラフ質量分析の測定条件

装置 : Gerstel TDU + Agilent 7890A, Agilent 7890 GC / 5975C MS	
カラム	DB-5MS(30 m×0.250 mm×膜厚 0.25 μ m) Agilent J&W
加熱脱着温度	40 $^{\circ}$ C/min-220 $^{\circ}$ C (3 min hold) , 3 ml/min
クライオインジェクション温度	-100 $^{\circ}$ C
オープン温度	60 $^{\circ}$ C (3 min hold)-230 $^{\circ}$ C (30 min hold) , 3 $^{\circ}$ C/min
キャリアーガス	ヘリウム
導入方法	スプリットレス

また検量線の作成のため、検量線作成用混合標準液はβ-カリオフィレン 0、10、50、100、500、1000、2500 μl/ml（各内部標準物質濃度 200 μl/ml、溶媒：アセトン）の濃度を用いた。β-カリオフィレンは木材の主要な揮発性成分であるセスキテルペン炭化水素の一つであり、β-カリオフィレンによる検量線の作成により、セスキテルペン類の量をβ-カリオフィレン当量として算出することができる。得られたピークのマススペクトルおよび RI 値から、β-カリオフィレンとベンズアルデヒドのピークを特定し、ピーク面積値から面積割合を算出して、検量線を作成した。

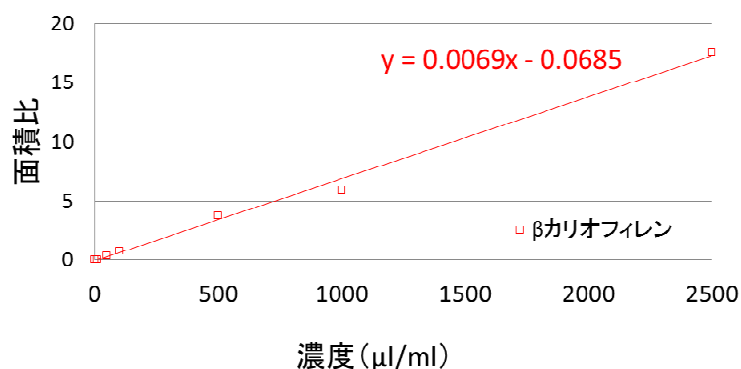


図 2-1-3 β-カリオフィレンによる検量線

2.結果

GC/MS の測定において、図 2-1-4 のようなクロマトグラムが得られた。クロマトグラムの面積値において無垢材棟の方が非無垢材棟よりも大きく、成分の大半を占めたセスキテルペン類量の値は年間を通して無垢材棟の方が 2 倍以上高かった（図 2-1-5）。

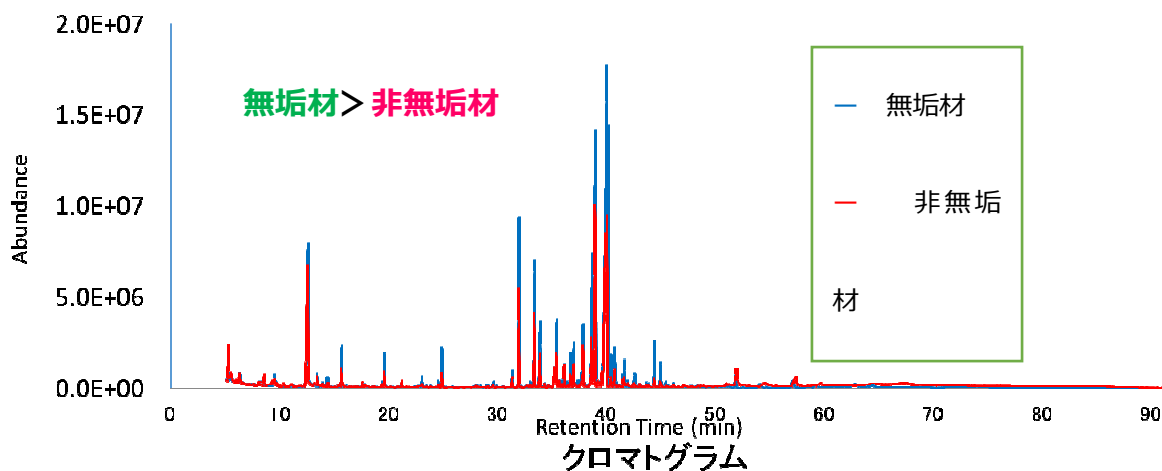


図 2-1-4 無垢材棟と非無垢材棟のクロマトグラムの比較

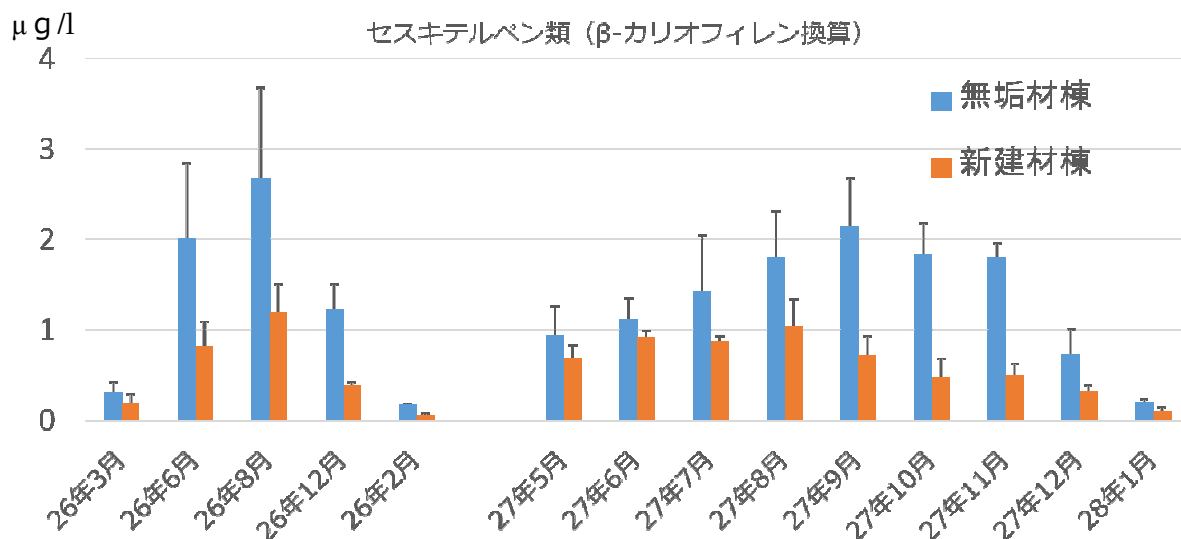


図 2-1-5 セスキテルペン類量の年間推移の比較

3 考察

無垢材棟と非無垢材棟の室内の揮発性成分は、成分全体のおよそ 80%を乾燥木材のかおりの主成分であるセスキテルペン類が占めており、無垢材棟と非無垢材棟では成分の種類については顕著な差が見られなかった。非無垢材棟においても、量的には少ないものの類似成分が検出された理由は、内装材は大きく異なるものの、構造材(土台、柱、梁、桁)においては、無垢材棟では、スギの天然乾燥材もしくは、中低温域乾燥材を用いており、非無垢材棟では、スギの高温乾燥材を用いている。この構造材に共通にスギ由来の素材を用いているため、内装は大きく異なるものの、非無垢材においてもある程度のスギ由来揮発成分が検出されたものと考えられた。

しかしながら、検量線より算出したセスキテルペン類の量の平均は、定期的な調査を行った平成 26 年 3 月から平成 28 年 2 月にかけて、非無垢材棟よりも無垢材棟が常に高かった。また、セスキテルペン類の平均値は無垢材棟と非無垢材棟の両棟において、6 月や 8 月といった気温の高い夏季では高く、2 月や 3 月などの気温の低い冬季では低くなることが確認され、これは平成 26 年度も 27 年度も同じ傾向を示した。

したがって、木材由来のにおいが与える影響も、においの量の変化とともに、季節によって大きく変化することが示唆された。本知見は、今後、木材由来住環境のヒトに及ぼす影響を考える際、常に留意せねばならない重要な情報だと考えられる。

2. 2. 実験棟室内の抗菌活性

2. 2. 1. 自然落下菌測定とシーケンス解析同定

室内の揮発性成分量が大きく異なる無垢材（津江杉）棟と非無垢材棟間での、ハウスダスト（カビ・バクテリア）の量を落下菌測定試験の実施によって検証した。さらに、成長の早かった一部のカビについてはシーケンス解析を実施した。

1 方法

2015年6月15日（無垢材棟の室内温湿度：22.4℃, 70%・非無垢材棟の室内温湿度：21.9℃, 68%）、7月17日（24.9℃, 74%・25.9℃, 73%）、8月27日（25.8℃, 75%・27.7℃, 65%）、および10月22日（19.5℃, 71%・20.6℃・63%）に実施した。実験棟は被験者実験で使用する場合やその前後の掃除（掃除機のみ、雑巾がけはしない）以外は窓を締め、換気扇とエアコンも止めた状態で室内を保っていた。測定前は、24時間以内の入室を規制し、かつエアコンと換気扇は止めた状態にした。測定には標準寒天培地（SA）を入れたシャーレ（直径70 mm）を用いた。

測定は日中（午前9時50分から16時の間）に実施した。手袋を着用して入室し、シャーレの蓋を閉じたまま、各部屋の同じ位置（図2-2-1）に10枚のシャーレを設置した。No1～3は机の上、4～6は布団の上、7～9は室内奥の床の上、No.10は窓辺とした。10枚のシャーレをそれぞれの所定の位置に素早く置いた後にNo1のシャーレから順に蓋を解放した。スタートと同時に時間をタイマーで測り、No1からふたを開けてからは30秒以内で退室した。57分後、控室に入り、59分50秒になるまで待機した後、60分に蓋を閉めることができるタイミングで入室し、30秒以内ですべてのシャーレのふたを閉じた。ふたを閉じた直後の気温と湿度を記録し、蓋にシールをして集め、逆さにした状態でインキュベーターに入れた。14日間培養し、それぞれのシャーレで確認できたコロニーをバクテリアとカビに分けてカウントした。バクテリアとカビの識別は、実顕微鏡も使用して、表面の胞子を確認して行った。無垢材棟と非無垢材棟の間でコロニー数に違いがあるかを確認する為、同日にサンプリングしたカビとバクテリアそれぞれについて、1枚当たりのコロニー数に対して対応のあるt検定を実施し、有意水準は $p < 0.05$ とした。

さらに成長が早かった菌株5つについて糸状菌の分類によく用いられるリボソームDNAのinternal transcribed spacers (ITS) 領域についてシーケンス解析を実施し、属および種の推定を試みた。糸状菌において、ITS領域の相同性が99.0%以上の場合、その菌株同士は同種であると推定される。そこで、取得した各菌株のITS領域のシーケンスについてNational Center for Biotechnology Information (NCBI) のデータベース、および国際菌学会が運営するデータベース MycoBank で相同性検索を行った。

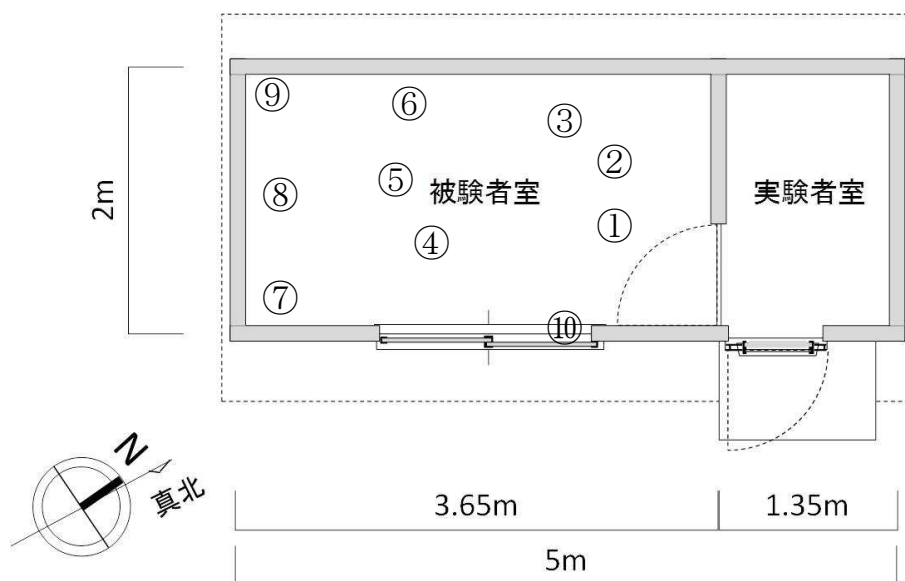


図 2-2-1-1 シャーレを設置した位置

①～③：机の上、④～⑥：布団付近、⑦～⑨：奥の壁、⑩：窓辺

2 結果

1) 自然落下菌測定

カビについては7月の測定において、バクテリアについては6月の測定において、無垢材棟の方が非無垢材棟よりも1枚当たりのコロニー数が統計的に有意に少なかった(図 2-2-1-2)。

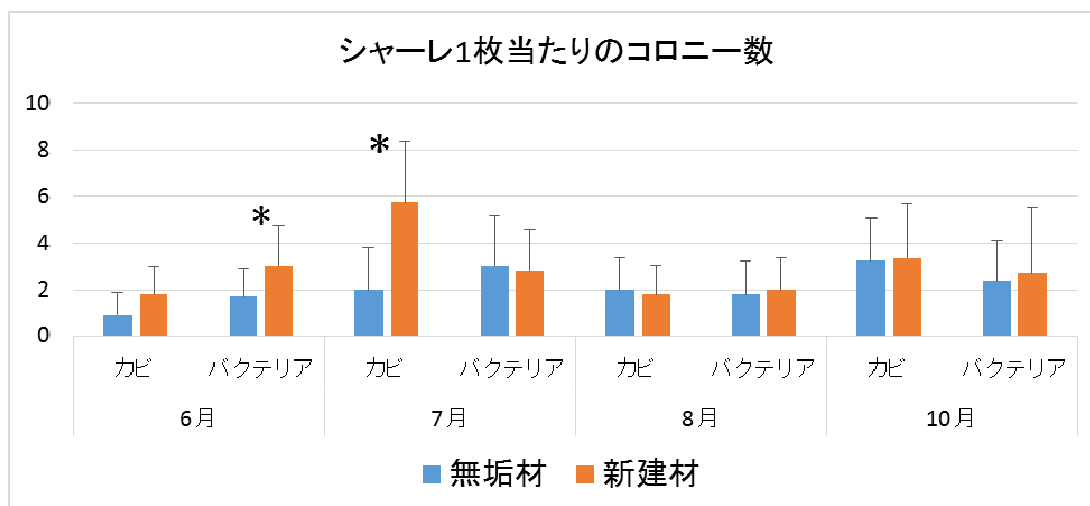


図 2-2-1-2 非無垢材棟と無垢材棟におけるコロニー数の比較

2) シークエンス解析による種の推定

糸状菌の同定によく用いられる ITS 領域にシークエンス解析を実施し、BLAST 検索による種の推定を行い、表 2-2-1-1 のように種が推定された。

表 2-2-1-1 菌株のシークエンス解析結果

菌株名	トップヒット	推定される種
A	<i>Aspergillus versicolor</i> ATCC 9577 ^T (NR131277) 99.6%	<i>Aspergillus versicolor</i>
B	<i>Paraconiothyrium maculicutis</i> CBS101461 95%	<i>Paraconiothyrium</i> sp.
C	<i>Arthrinium malaysianum</i> CBS102053 (KF144896) 93%	<i>Arthrinium</i> sp.
D	<i>Cladosporium colombiae</i> CBS 274.80B ^T (NR119729) 99.8%*	<i>Cladosporium</i> sp.
E	<i>Peniophora cinerea</i> DTO123-A8 95.2%	<i>Peniophora</i> sp.

3 考察

設置した 10 枚全体の平均について、違いが確認できた月が限られるものの、カビのコロニー数とバクテリアのコロニー数の両方において、無垢材棟の方が非無垢材棟よりも少なかった。測定した日時は同じであり、両棟の建つ場所も隣り合っていることから、それぞれの棟の建材の違いが主な原因と考えられた。非無垢材棟にはビニールクロスを貼った建築資材が使用されており、一方無垢材は無垢木材が床や壁に使用されていることから、木材に含まれる物質に抗菌性があり、カビやバクテリアの繁殖を抑えたのではないかと考えられる。また、これまでの研究で無垢材棟の方が非無垢材棟よりも木材由来の揮発性成分の量が多いことが確認されており、材由来の揮発性成分がカビやバクテリアの繁殖を抑えている可能性も考えられる。このように両棟で違いが見られたが、ある月に限った違いであることから、引き続きデータの蓄積が必要だと思われる。また、同じ室内空間でも、ふとんの周辺など、設置場所によって傾向が異なることも示唆され、今後の実施の際には、測定場所や条件をより明確にし、定期的な掃除が必要であると考えている。

またシークエンス解析の結果において、試験菌 A が同定された *Aspergillus subversicolor* は子囊菌の一種であり、麴カビ (*Aspergillus oryzae*) に近縁であり、カビ毒(ルテオスカイリン、ステリグマトシスチン)を生産する種として報告されている。試験菌 B が同定された *Paraconiothyrium* 属は子囊菌の一種であり、一部は空中菌として分離報告があった。試験菌 C が同定された *Arthrinium* 属も子囊菌の一種であり、空中浮遊菌として分離報告がある。また、種の同定はなされていないものの、空中浮遊菌

として登録されたシーケンスと 100%一致しており、普遍的な空中浮遊菌である可能性がある。試験菌 D が同定された *Cladosporium* 属は子囊菌の一種であり、一般的に黒カビとして知られ、普遍的な空中浮遊菌として知られている。試験菌 G が同定された *Peniophora* 属は担子菌の一種であり、同属の菌株が室内から分離されている。したがって、今回用いた試験菌はいずれも普遍的な空中菌に近縁であることが推定された。今後は得られたすべての菌株について同様に同定を進めていく予定である。

2. 2. 2. カビにおけるコロニー培養実験

室内の揮発性成分量が大きく異なる無垢材棟と非無垢材棟において、カビのコロニーの成長速度に違いがみられるかを検証した。

1 方法

前述の自然落下菌測定で実験棟の室内から採取されたカビのうち、成長の早かった 7 つのコロニーを用いた。それぞれのコロニーの一部を単離して PDA 培地で成長させた後、クリーンベンチ内でコルクボールを用いて直径 4 mm の大きさに培地ごとくり抜き、新たに用意した培地 (PDA を 1/2 の濃度に希釈したもの) の中央に置いた。PDA 培地を希釈した理由は培地の養分を薄くするためである)。作成したシャーレを非無垢材棟と無垢材棟のそれぞれの室内に、①部屋の中央の床 (蓋あり)、②部屋の奥の床 (蓋あり)、③奥の床 (蓋なし)、④壁に貼り付け (蓋なし) という条件で設置した (図 2-2-2-1)。2015 年 11 月 25 日に培養を開始し、5 日目の 2015 年 11 月 30 日 (非無垢材棟室内の温湿度 : 13.8°C, 52%・無垢材棟室内の温湿度 : 11.9°C, 73%)、13 日目 2015 年 12 月 8 日 (12.8°C, 76%・12.2°C, 68%)、20 日目 2015 年 12 月 15 日にシャーレ内のコロニーの直径をノギスで計測し、成長を記録した。

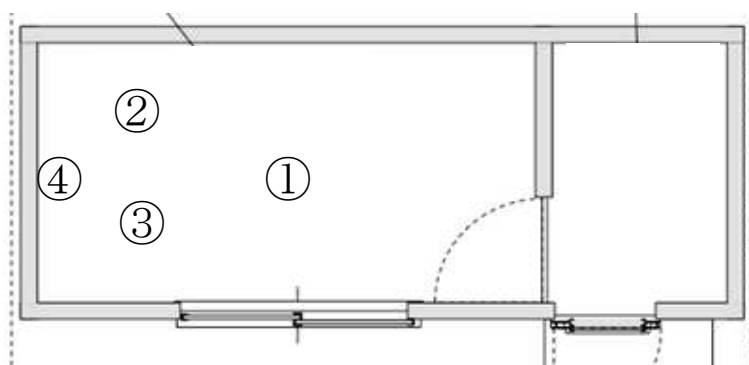


図 2-2-2-1 実験棟室内におけるシャーレの設置場所

2. 結果

試験に用いた7つの菌株のうち3つの菌で成長が観察された。そのうち *Arthriniium* 属の菌株は非無垢材棟に設置したシャーレより無垢材棟に設置したシャーレで成長が遅くなった。一方、*Aspergillus versicolor* は非無垢材棟と無垢材棟に設置した全てのシャーレで成長がほぼ同じであった（図 2-2-2-2）。成長が見られた残り1種については設置した8枚のシャーレの6枚で全く成長が確認できず、比較からははずした。また残り4つの菌株では全てのシャーレで成長が観察されなかった。

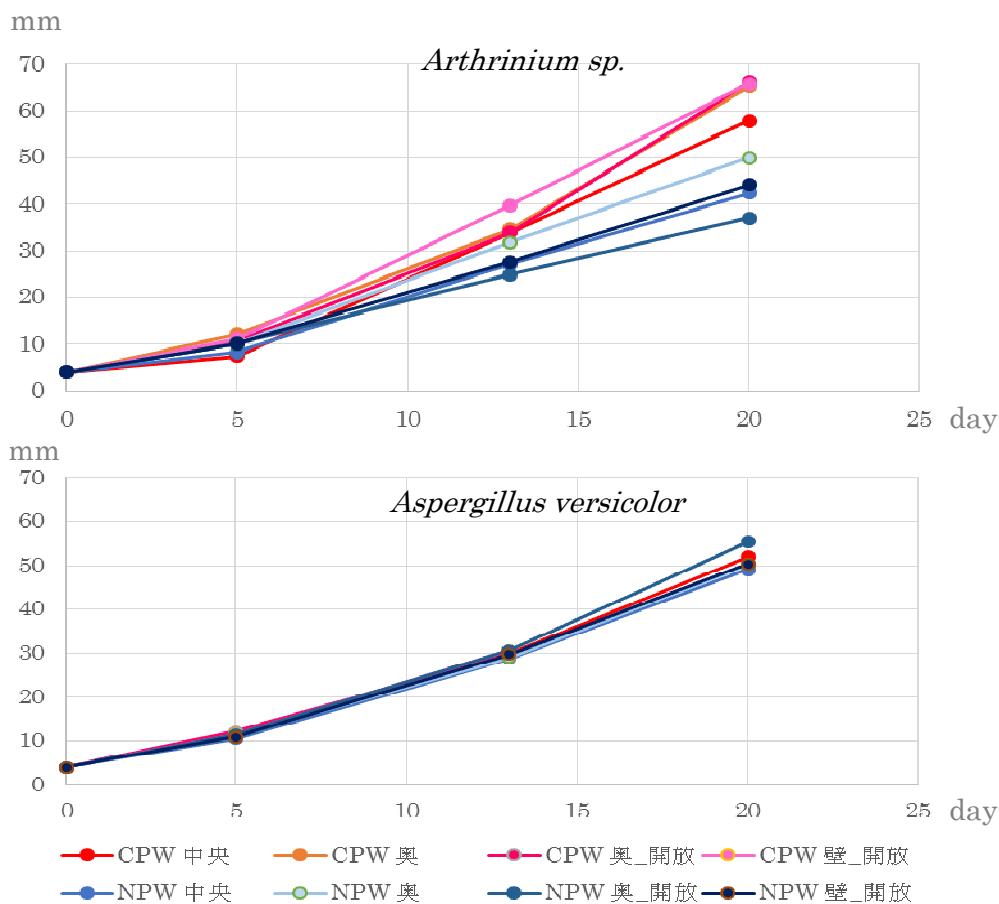


図 2-2-2-2 非無垢材棟 (CPW) と無垢材棟 (NPW) で培養したコロニーの成長(直径)

3 考察

非無垢材棟と無垢材棟で成長がほぼ同じであった菌が観察された一方、非無垢材棟よりも無垢材棟で培養されたときの成長が遅くなる菌も観察された。このことから、実験棟の室内環境の影響を受けやすい菌と受けにくい菌があることが示唆された。また、今回用いた7つの菌株のうち、5枚の菌において十分な成長が見られなかった。これは、本実験を行ったのが気温の低い11月下旬というカビの成長に適切でない時期であったことが考えられ、今後実施時期を変更して再度確認する必要がある。

2. 3. 夜間睡眠実験

1. 方法

1)被験者

被験者は、女子大学生 10 名(平均年齢±標準偏差：21.0±0.9 歳)とし、1)天然・低温乾燥による無垢の木材を使用した木質空間(以下、無垢材棟)と 2)非無垢材を使用した木質空間(以下、非無垢材棟)に各 1 晩宿泊した。各実験棟における睡眠時間は 8 時間とし、1 回目と 2 回目の宿泊は 7 日以上期間を空けた。入室する実験棟の順番についてはカウンターバランスをとった。気象庁発表のデータを参考にして、九州北部における梅雨入りから梅雨明けまでの 2015 年 6 月 2 日から 7 月 29 日までを雨季として設定した。なお、本研究は、九州大学大学院農学研究院等倫理委員会の承認を得て実施され、全被験者から同意書への署名を得た。

2)指標

生理指標は、眠り SCAN による睡眠時の活動量、血圧、唾液中コルチゾールとし、主観評価は、SD 法、POMS 短縮版、OSA 睡眠調査票 MA 版を用いた。さらに肌質の測定も実施した。物理学的な指標としては、無垢材棟ならびに非無垢材棟における被験者在床中の温度・湿度を経時的に記録した。

3)実験スケジュール

被験者は各実験棟に入室後、座位閉眼で 10 分間の安静をとり、唾液採取、血圧測定、主観評価記入、肌質測定を実施された。その後、布団に入り 8 時間の睡眠をとった。被験者が布団に入った際、眠り SCAN による測定を開始し、被験者起床時まで測定した。

8 時間経過後、被験者は起床し、座位閉眼で 10 分間の安静をとり、唾液採取、血圧測定、主観評価記入、肌質測定を実施された。すべての測定が完了した後、被験者は実験棟を退出した。

4)統計処理

生理指標においては対応のある t 検定、主観評価では Wilcoxon の符号付順位和検定を実施した。温度・湿度については、対応のない t 検定を用いて、Bonferroni 法を適用した。各検定における有意水準は、 $p<0.05$ とした。

2. 結果

1)生理学的指標

①眠り SCAN

敷布団の下に設置した眠り SCAN(NN-1100,パラマウントベット睡眠研究所)により、

睡眠・覚醒状態を判別した。眠り SCAN は被験者の体動を感知することにより、睡眠時の活動量を測定する。測定した4分前から2分後までの計7分間の活動量を使用し、アクチグラフでの Cole らの睡眠・覚醒と類似の手法で1分毎に睡眠と覚醒を判別する (Cole RJ et al, 2004)。その妥当性は先行研究で明らかにされており (Takamasa Kogure ら, 2011)、簡便に被験者の睡眠・覚醒状態を判別できる手法として注目を集めている。眠り SCAN の結果を表1に示す。

表 2-3-1. 眠り SCAN による睡眠指標の比較

	Value(Mean ± SE)		paired t-test
	無垢材棟	新建材棟	
入眠潜時(min)	9.5±0.4	9.2±0.4	n.s.
睡眠時間(min)	463.5±3.2	462.3±4.4	n.s.
睡眠効率(%)	96.6±0.0	96.3±0.0	n.s.
中途覚醒時間(min)	7.0±3.2	8.5±4.3	n.s.
中途覚醒回数(n)	3.0±1.1	3.1±1.1	n.s.
最大睡眠持続時間(min)	321.9±39.0	306.0±43.0	n.s.
活動量	21.9±1.9	22.0±2.1	n.s.

(n = 10, 平均±標準誤差 対応のある t 検定)

入眠潜時、睡眠時間、睡眠効率、中途覚醒時間、中途覚醒回数、最大睡眠持続時間、活動量のすべての指標において、無垢材棟と非無垢材棟間で統計的な有意差は認められなかったが、最大睡眠持続時間は無垢材棟の方が非無垢材棟よりも15分程長かった。

② 血圧・脈拍

起床時における血圧測定の結果を図 2-3-1 に示す。

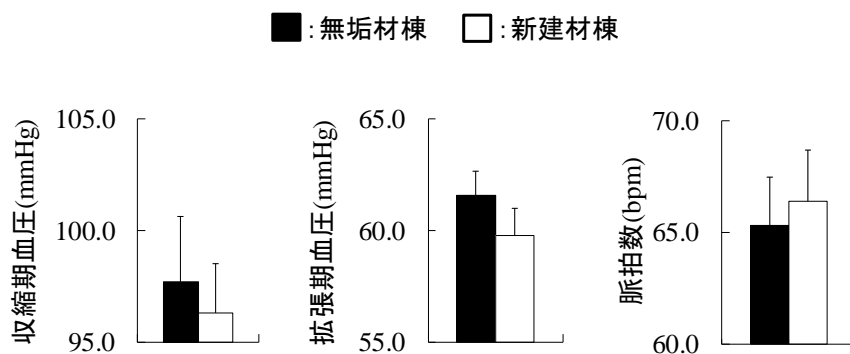


図 2-3-1. 拡張期血圧、収縮期血圧、脈拍数の比較

(n = 10, 平均±標準誤差, 対応のある t 検定)

拡張期血圧、収縮期血圧、脈拍数のすべてにおいて、無垢材棟と非無垢材棟間で有意差は認められなかった。

① 唾液

唾液起床時における唾液中コルチゾール濃度の結果を図 2-3-2 に示す。

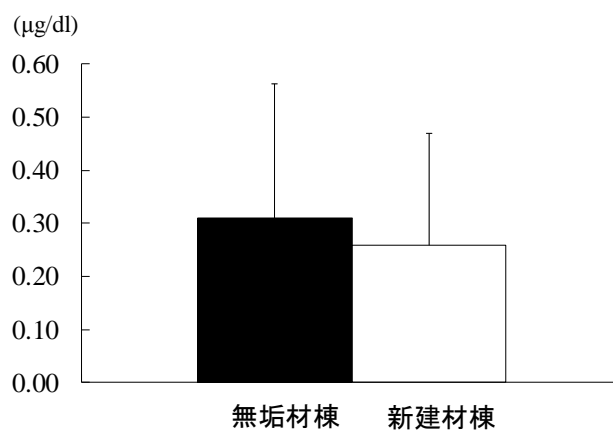


図 2-3-2. 唾液中コルチゾール濃度の比較
(n = 10, 平均±標準誤差, 対応のある t 検定)

起床時の唾液中コルチゾール濃度は無垢材棟と非無垢材棟間で有意差は認められなかった。

2) 心理学的指標

① SD 法

起床時における SD 法の結果を図 2-3-3 に示す。

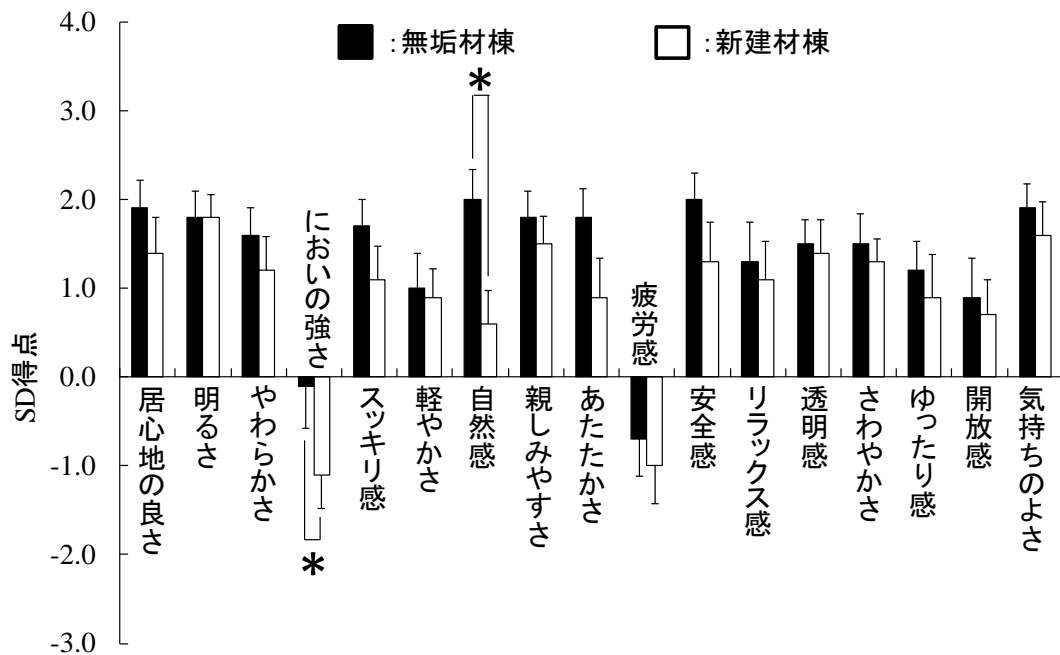


図 3. SD 法の比較(n = 10, 平均±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位和検定, p<0.05)

無垢材棟は非無垢材棟に比べ、有意に「においが強く」「自然である」と評価されていた。その他の項目では統計的な有意差は認められなかったものの、無垢材棟のほうが非無垢材棟よりも「居心地の良さ」「あたたかさ」「安全感」といった項目でSDの得点が高い傾向を示した。

②POMS

起床時における POMS 短縮版の結果を図 2-3-4 に示す。

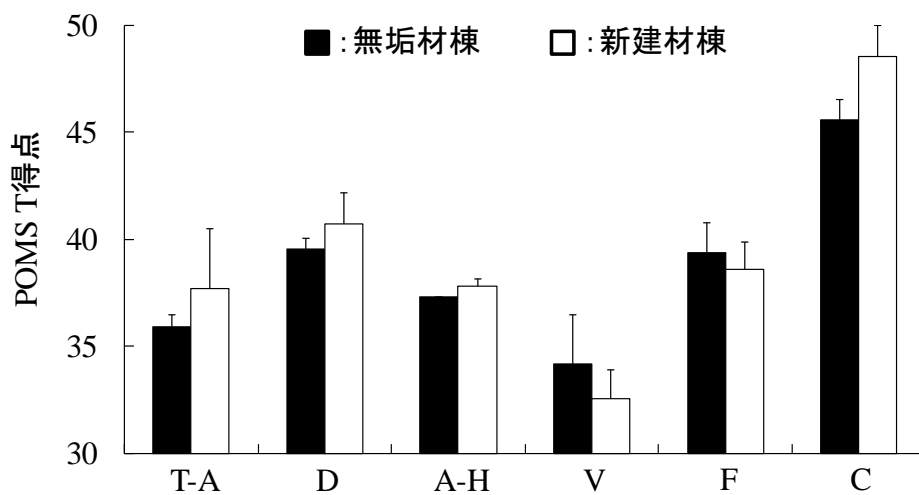


図 2-3-4. POMS 短縮版の比較(n = 10, 平均±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位和検定, T-A : 緊張-不安, D : 抑うつ-落込み, A-H : 怒り-敵意, V : 活気, F : 疲労, C : 混乱)

起床時の無垢材棟と非無垢材棟において、POMS 短縮版による「緊張-不安」、「抑うつ-落込み」、「怒り-敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」に有意差は認められなかったものの、「活気」や「疲労」の項目に関しては無垢材棟がやや高く、「緊張-不安」、「抑うつ-落込み」、「怒り-敵意」、「混乱」の項目では非無垢材棟の方がやや高い傾向が見られた。

③OSA 睡眠調査票 MA 版

起床時における OSA 睡眠調査票 MA 版の結果を図 2-3-5 に示す。

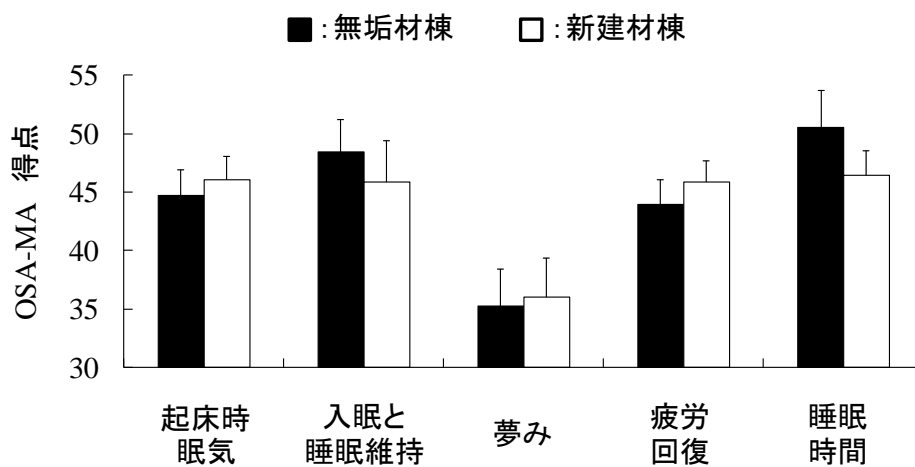


図 2-3-5. OSA 睡眠調査票 MA 版の比較

(n = 10, 平均±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位和検定)

無垢材棟と非無垢材棟において、OSA 睡眠調査票 MA 版による「起床時眠気」、「入眠と睡眠維持」、「夢み」、「疲労回復」、「睡眠時間」に有意差は認められなかった。

3)肌質

①肌質測定

右頬、前額部、左肘内側の水分量・弾力・皮脂量・メラニン量について、肌質測定機(Multi Skin Test Center®MC1000)を用いて測定を行った。測定時の誤差への配慮として、各部位は、全ての項目で3回ずつ測定し、平均値を算出した。それぞれの項目の平均値について、対応のあるt検定(n = 10, 平均±標準誤差)を行ったが、無垢材棟と非無垢材棟間で有意差は認められなかった。

②肌質主観評価

肌質アンケートの結果を図 2-3-6 に示す。

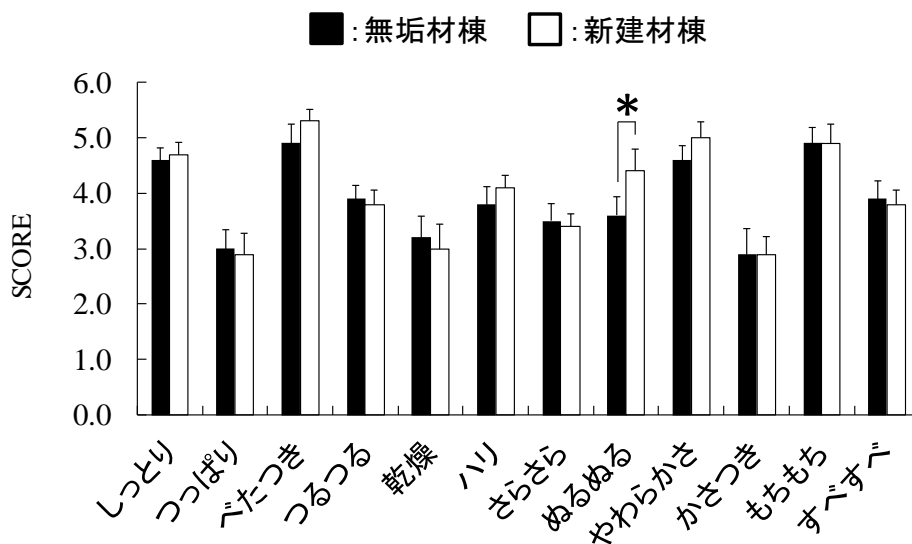


図 2-3-6. 肌質アンケートの比較(n = 10, 平均±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位和検定)

無垢材棟の起床時は非無垢材棟の起床時に比べ、有意に主観的な肌の「ぬるぬる」感が低かった。

4)物理学的指標

①温度・湿度

被験者在床中の室内温度ならびに湿度の結果を図 2-3-7 に示す。

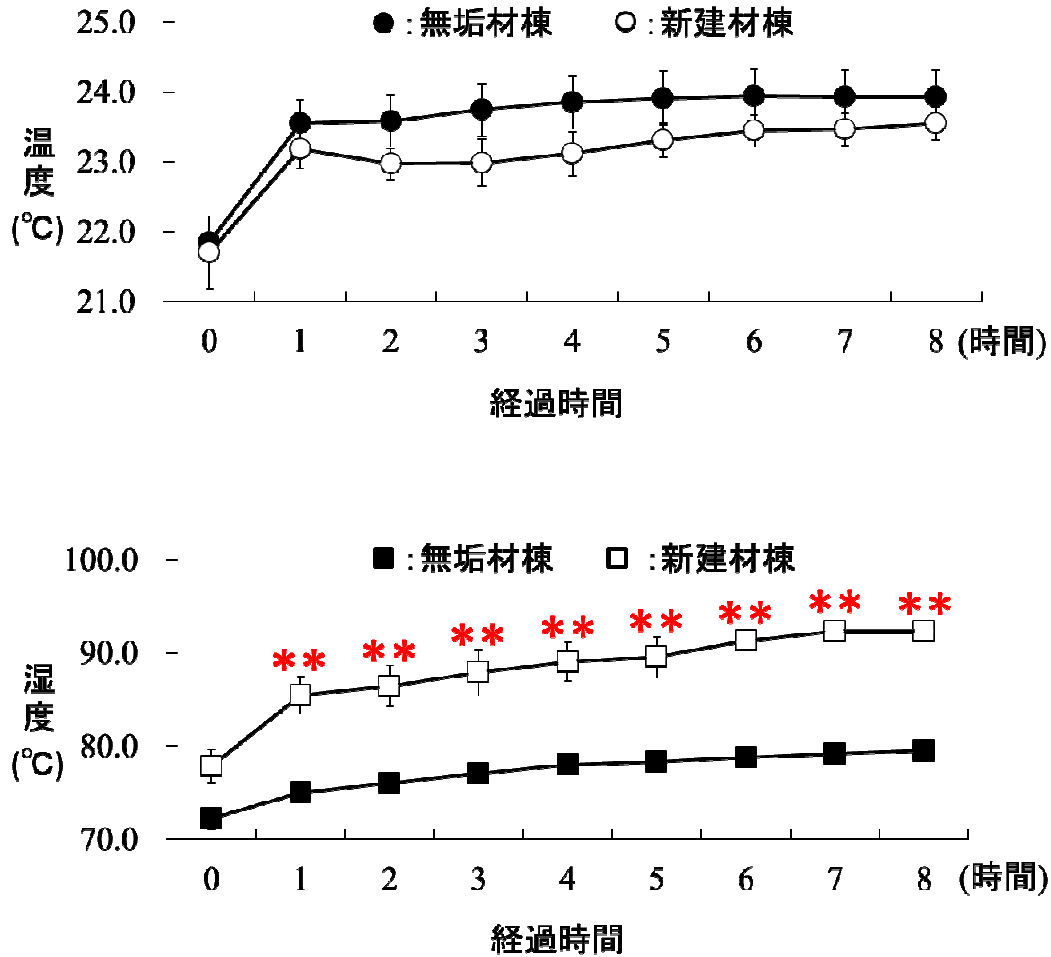


図 2-3-7. 実験棟室内における温湿度の経時的変化 (上：温度、下：湿度)

(左：温度, 右：湿度, 平均±標準誤差, **: $p < 0.01$, 対応のない t 検定, Bonferroni 法)

無垢材棟と非無垢材棟の温度については、被験者在床中の全 8 時間で有意差は認められなかった。湿度に関しては、無垢材棟は非無垢材棟に比べ被験者在床中の全 8 時間で有意に低かった。

3. 考察

雨季の木質空間において、起床時の無垢材棟は非無垢材棟に比べ、①においが強く、②自然であり、③肌質のぬるぬる感が低かった。さらに無垢材棟は非無垢材棟に比べ、被験者睡眠中の全8時間で湿度が低かった。

①においの強さに関しては、異なる季節、属性の被験者を使用したこれまでの本プロジェクトで得られた結果と良い一致を示しており、雨季に若年層の女性を対象とした本研究でも無垢材棟のにおいの強さを明らかにすることができた。我々が平成26年度から継続して実施している揮発性成分分析の結果より、無垢材棟は非無垢材棟に比べ香り成分が量的質的に豊富であることが明らかになっていることを考慮すると、香り成分の質的量的な違いが主観評価にも影響を及ぼした可能性が考えられた。

②自然観についても、異なる季節、属性の被験者を使用したこれまでの研究結果と一致しており、雨季に若年層の女性を対象とした本研究でも無垢材棟の自然感の高さを明らかにすることができた。

③肌質については、無垢材棟は非無垢材棟に比べ、肌質のぬるぬる感が低かった。その原因は明らかにはできないものの、湿度の違いが肌質のぬるぬる感に影響を及ぼした可能性が考えられた。

以上より、雨季の無垢材棟と非無垢材棟では、若年層の女性に与える印象が異なることが明らかになり、その原因として、香り成分や湿度の違いが影響を与えている可能性が考えられた。

2. 4. 日中課題実験

1. 方法

1)被験者

被験者は20代女性10名(平均年齢±標準偏差:21±0.94歳)とし、夜間睡眠実験と同様に、1)天然・低温乾燥による無垢の木材を使用した木質空間(以下、無垢材棟)と2)非無垢材を使用した木質空間(以下、非無垢材棟)を用いた実験を行った。被験者には日中、各実験棟での認知課題試験に取り組んでもらい、その間の生理・心理測定を行った。検査機器の取り付けも含めた実験所要時間は、各日約2時間程度であった。1回目と2回目の実験は7日以上期間を空け、入室する実験棟の順番についてはカウンターバランスをとった。実施時期は、これまでにデータの蓄積がない冬季とした。気象庁発表のデータを参考にして、九州北部における冬季間のうち、2016年1月4日から1月25日で実験を実施した。なお、本研究は、九州大学大学院農学研究院等倫理委員会の承認を得て実施され、全被験者から同意書への署名を得た。

2)指標

生理指標は、脳波、血圧、唾液中コルチゾールとし、主観評価はSD法を用いた。物理学的な指標としては、無垢材棟ならびに非無垢材棟における被験者滞在中の温度・湿度を経時的に記録した。

3)実験手順

被験者入室後、脳波測定用の電極（ポリメイトミニ，ミユキ技研）を装着する。電極装着後、唾液、血圧、心理指標の測定を行う。測定が終わり次第、実験棟の床に大の字にねそべってもらい、10分間の安静の時間をとった。その後、生理測定を開始し、被験者には認知課題試験（オドボール課題）に取り組んでもらった。オドボール課題とは、画面上で次々と映しだされる数種類の画像を見て、指定された画像が現れたときのみボタンを押すものである。課題は、1回10分ずつ3セット実施した。間には、2分の休憩を2度はさんでいる。課題終了後、再度安静の時間を10分とり、生理測定は終了となる。さらに、ポストの唾液、血圧、心理測定を実施する。すべての測定が終了したら、電極を取り外し、被験者に退室してもらった。

4)統計処理

生理指標においては対応のあるt検定、主観評価ではWilcoxonの符号付順位和検定を実施した。温度・湿度については、対応のないt検定を用いて、Bonferroni法を適用した。各検定における有意水準は、 $p < 0.05$ とした。

2. 結果

1)生理指標

①唾液

唾液アミラーゼの結果を図2-4-1-Aに示す。

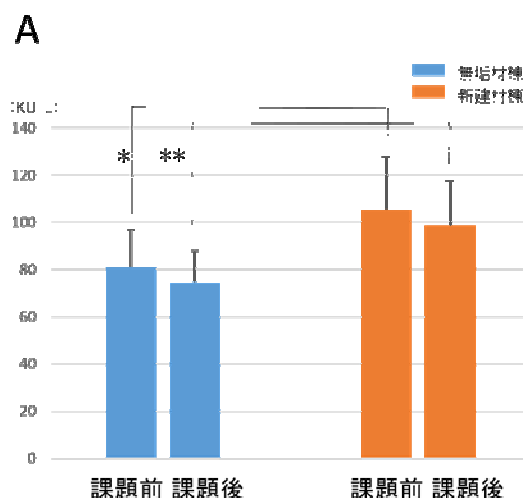


図2-4-1-A. 両棟間における実験前後の唾液アミラーゼ比較

(n = 10, 平均±標準誤差,対応のある t 検定, p<0.05)

無垢材棟と非無垢材棟における唾液アミラーゼ濃度を比較すると、明らかな違いが認められた。入室から約 30 分が経過した時点での唾液中のアミラーゼ濃度を両棟間で比較すると、無垢材棟の方が有意に低値であった (p<0.05)。また、課題後の唾液中のアミラーゼ濃度を両棟間で比較すると、無垢材棟の方が有意に低値であった (p<0.01)。

② 血圧・脈拍

各棟の課題前後における血圧・脈拍の比較を図 2-4-1-B に示す。さらに、両棟間における、血圧、脈拍の比較を図 2-4-1-C に示す。

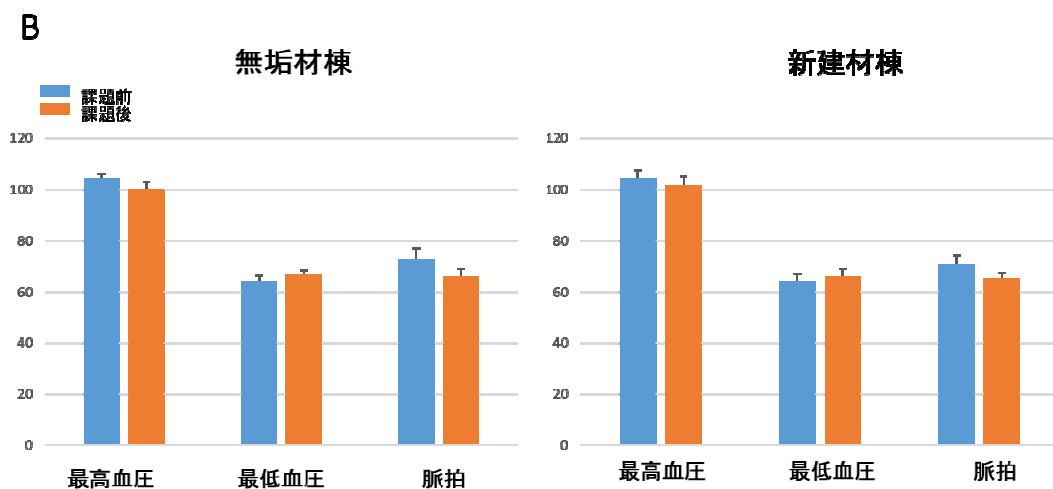


図 2-4-1-B. 課題前後における血圧、脈拍の比較
(n = 10, 平均±標準誤差, 対応のある t 検定)

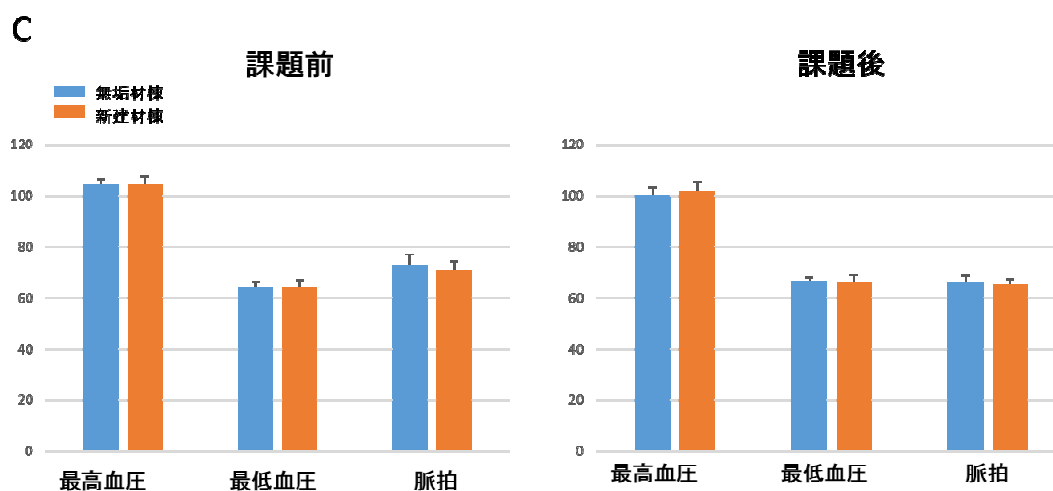


図 2-4-1-C. 両棟間における血圧、脈拍の比較

(n = 10, 平均±標準誤差, 対応のある t 検定)

今回の実験では、同棟内における課題前後比較、および課題前後での両棟間比較のいずれの場合においても、血圧・脈拍の変化に有意差は認められなかった。

③脳波、心電図

結果は現在解析中で、各周波数帯域でのパワーおよび自律神経系の指標となる RR、HF、LF 等の解析を実施する予定である。

2)心理指標

①SD 法

部屋の印象評価は、「居心地の悪い—居心地の良い」「暗い—明るい」「かたい—やわらかい」といった対となる形容詞を用いて、主観的な評価を得るために、SD 法を利用した。評価は、「全く当てはまらない」から「非常に良くあてはまる」の 7 段階評定を採用した。実際に使用した 20 個の対となる形容詞について表 2-4-1 に示す。

表 2-4-1 . 部屋の印象評価質問項目 (SD 法)

居心地の悪い	居心地の良い
暗い	明るい
かたい	やわらかい
不潔な	清潔な
すっきりとしない	すっきりとした
重い	軽やかな
人工的な	自然な
親しみにくい	親しみやすい
つめたい	あたたかい
疲労感が少ない	疲労感が多い
危険な	安全な
覚醒的な	リラックスした
にごった	澄んだ
うっとおしい	さわやかな
きゅうくつな	ゆったりした
圧迫感のある	開放感のある
うるさい	静かな
嫌いな	好きな
落ち着きのない	落ち着きのある
気持ちの悪い	気持ちの良い

各実験棟に入室後、認知課題試験実施前後で SD 法による部屋の印象評価を測定した。無垢材棟および非無垢材棟においてそれぞれ課題前と課題後での各項目における印象評価の結果を比較した。N=10, Wilcoxon の符号付順位和検定, $***0.01 < p < 0.02$, $**0.02 <$

p<0.05, *0.05<p<0.1。p<0.05 を有意差ありとした。SD 法の課題前後の両棟間における比較を図 2-4-2 および図 2-4-3 に示す。

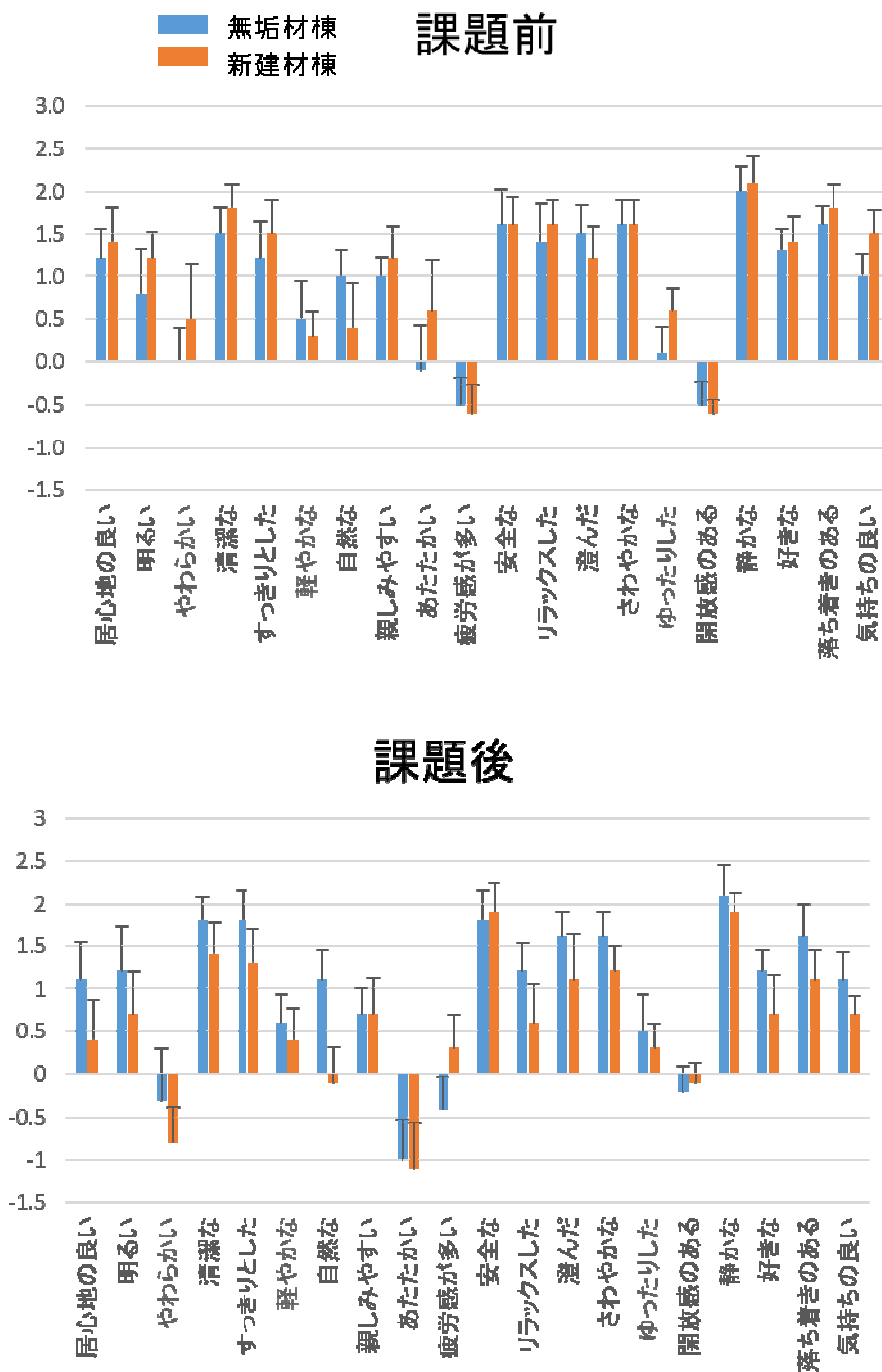
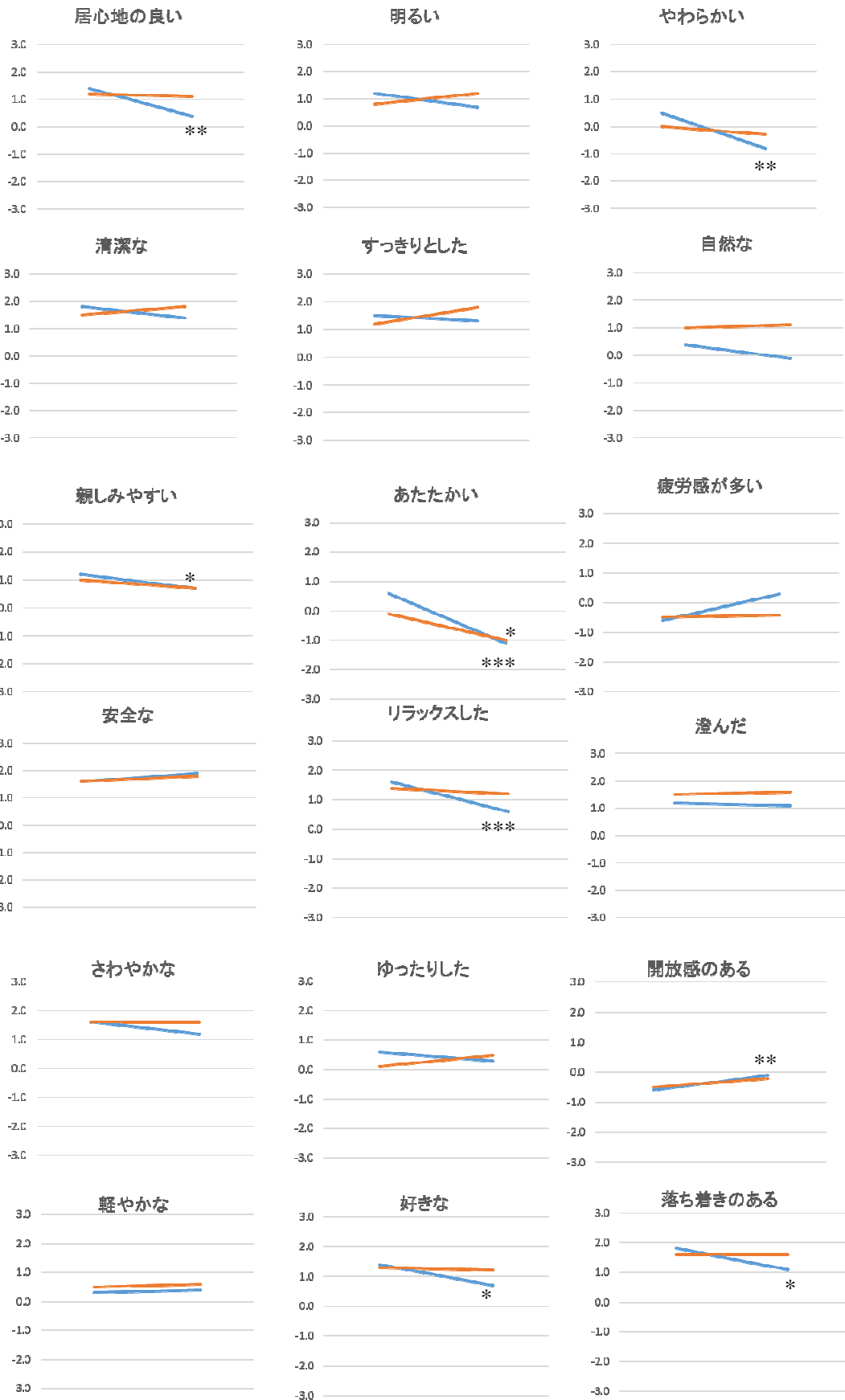


図 2-4-2. SD 法の比較(全項目一覧)

(N=10, 平均値±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位統計)



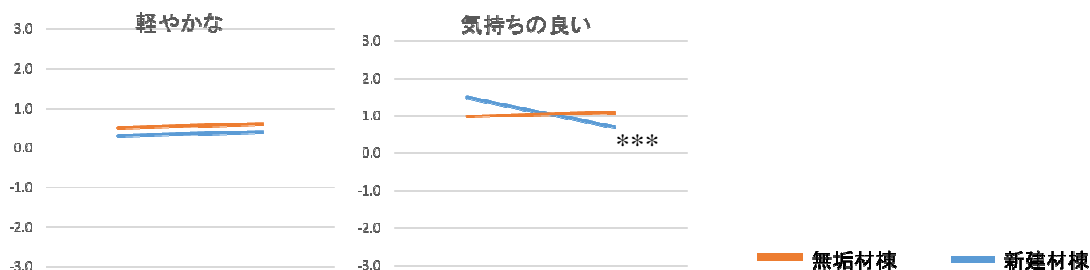


図 2-4-3. SD 法の比較 (項目ごと)

(N=10, 平均値±標準誤差, Wilcoxon の符号付順位統計, 左側の数値が課題前、右側の数値が課題後を表す)

両棟間における部屋の印象評価において、課題前後での印象評価の変化に明らかな違いが認められた。無垢材棟では、「あたたかい」の項目の数値が、課題後に減少傾向にあった ($0.05 < p < 0.1$)。そのほかの項目においては有意な差は認められなかった。

一方、非無垢材棟における部屋の印象評価では、「あたたかい」「リラックスした」「気持ちの良い」の項目で、課題後の数値が課題前より有意に減少していた ($0.01 < p < 0.02$)。さらに、「居心地の良い」「やわらかい」の項目においても、課題後の数値が有意に減少していた ($0.02 < p < 0.05$)。「親しみやすい」「好きな」「落ち着きのある」の項目においては、課題後の数値が減少傾向にあった ($0.05 < p < 0.1$)。さらに、非無垢材棟の「解放感のある」の項目においては、課題後に、数値が有意に増加しており ($0.02 < p < 0.05$)、「疲労感が多い」の項目において数値が増加傾向にあった ($0.05 < p < 0.1$)。

つまり、無垢材棟においては課題実施前後で部屋の印象評価に変化が見られなかったが、非無垢材棟では「あたたかい」「リラックスした」「気持ちの良い」「居心地の良い」「やわらかい」といった項目の印象評価が有意に減少し、「解放感のある」の項目において数値が有意に増加していたと言える。

3. 考察

ストレス状況下において、交感神経系の活性により血中ノルエピネフリン濃度が上昇するが、血中ノルエピネフリン濃度と唾液中 α -アミラーゼには高い相関があることが知られている。そのため、唾液中 α -アミラーゼ濃度はストレスの指標となる。図 2-4-1-A に示したように、入室から約 30 分が経過した時点での唾液中のアミラーゼ濃度を両棟間で比較すると、無垢材棟の方が有意に低値であり ($p < 0.05$)、また、課題後の唾液中の α -アミラーゼ濃度を両棟間で比較すると、無垢材棟の方が有意に低値であった (p

<0.01)。

本研究は、順番によるバイアスを除くために一回目と二回目の実験を行う順番は、一回目に非無垢材棟、二回目に無垢材棟で実験をする被験者と、その逆の順番で実験をする被験者をそれぞれ五名ずつ設定し、カウンターバランスをとって実施している。入室から約 30 分が経過した時点での唾液 α -アミラーゼ濃度において実験棟間で有意に差があり、また、課題後にはより差が認められた。これらのことから、実験で入室する順番ではなく、各居住空間滞在時の影響であると考えられ、非無垢材棟よりも無垢材棟に滞在している間のストレス値が低いことが示唆された。

心理指標として、認知課題試験前および課題試験終了後における部屋の主観的印象評価を、SD 法にて計測した。被験者が部屋に受ける印象という主観評価を通して、心理面から各棟の内装の違いを検討した。図 2-4-2 ならびに 2-4-3 に示したように、両棟間における部屋の印象評価において、課題前後で明らかな違いが認められた。無垢材棟においては「あたたかい」の項目において、減少傾向にあったものの課題実施前後で部屋の印象評価に有意な変化が見られなかった。一方で、非無垢材棟では「あたたかい」「リラックスした」「気持ちの良い」「居心地の良い」「やわらかい」といった項目の印象評価が有意に減少した。また、「開放感のある」の項目においては数値が有意に増加し、「疲労感が多い」の項目において数値が増加傾向にあった。

すなわち、30 分間の認知課題試験（オドボール課題）を通して、被験者に心理学的変化が起こり、部屋の印象評価に影響が出たと考えられる。さらに、その変化は、非無垢材棟で顕著に認められた。非無垢材棟では、認知課題試験による疲労感や心理的負荷が高くなる傾向にあり、「あたたかい」「リラックスした」「気持ちの良い」「居心地の良い」「やわらかい」といった比較的ポジティブな印象が減少しているのではないかと推測される。対して、無垢材棟では課題前後の印象評価に有意な変化が認められなかった。このことから、無垢材棟では認知課題試験による疲労感や心理的負荷を感じにくかったことで、ネガティブな心理的变化が抑制され、課題前の心理状態を維持したと示唆された。

3. 普及啓発

普及啓発活動の一環として、本年度行った活動、実績は以下の通りである。

【受賞】

ウッドデザイン賞 2015 ハートフルデザイン部門 入賞、木の家と健康を科学するプロジェクト

【国際学会発表】

Differences in physiological and psychological response to human, volatile and humidity conditioning effect caused by different wooden environment

Integration of Psychology, Physiology, Education, and Policy For the Forest Healing

22 July, 2015 (Chungbuk, Korea)

Kuniyoshi SHIMIZU (Invited lecture)

Differences in human physiological and psychological response: volatility and humidity conditioning effects caused by different wooden environments

International Symposium on Frontier Researches in Sustainable Humanosphere 2015

November 16th-17th, 2015 (Wood Composite Hall, Uji Campus, Kyoto University, Japan)

Kuniyoshi SHIMIZU (Invited lecture)

【国内学会】

木質空間に使用される素材の違いが室内の各種環境要素に及ぼす影響-雨季の物理・化学的環境要素に着目した検討-

(九大院生資環)○奥田拓(九大院農)鷲岡ゆき、長池淳、吉村友里、井隼経子、藤田弘毅、川崎章恵、佐藤宣子、藤本登留、清水邦義(九大基幹院)岡本剛、山田祐樹、永野純(福岡女子大学)石川洋哉(近畿大学)大貫宏一郎((株)トライ・ウッド)井上伸史、渡邊雄一郎、嶋津久憲((株)安成工務店)安成信次

【シンポジウム・講演等】

『木質内装とヒトの相性について科学する
～木の家と健康を科学するプロジェクトの紹介～』
学校等公共建築物の木造木質化促進シンポジウム
2016年1月26日 福岡市民会館
清水 邦義

『天然素材の多機能性に着目した新商品開発-機能性食品・化粧品・アロマ・快適住空間-』
九大発 産・学・官-交流促進シーズ発表会-
2016年2月9日 ホテルセントラーザ博多
清水邦義

『木の家科学、屋内環境での健康（元気）を宣言』
第22回森の駅市民フォーラム
2015年9月8日 ベニーレ・ベニーレ（東京都原宿）
清水邦義

『ありふれた天然素材の再発見～QOLの向上と新市場の創出』
第11回九州大学学術研究都市情報交流セミナー
2015年7月28日 ANAクラウンプラザホテル福岡（福岡市）
清水邦義

『天然素材利活用のヒント～アロマ、コスメ、薬、食品、トイレタリー、快適住環境、機能性材料～』
第4回ビジネス創造交流会
2015年6月19日 NCBリサーチ&コンサルティング セミナー室（福岡市）
清水邦義

【その他出版物】

清水邦義、藤本登留ほか九州大学ワーキンググループ
木の家と人の健康・快適性
チルチンぴと、84, 115-120(2015)

『Woody Space for Sleep: Evaluation of Woody Environment Using
Physiological Psychology Reaction and Mutivariate Analysis』
The Forefront of Education and Research in Kyushu University
The 14th Exhibition of Latest Research Achievements from P&P
Dec. 1-Dec. 25 (2015) Kyushu University, Hakozaki Campus, Faculty of
Engineering Main Building 3F
Kuniyoshi SHIMIZU

4. まとめ

以上が、平成 27 年度の成果報告である。平成 26 年度から平成 27 年度にかけて実施した被験者実験（夜間睡眠実験、日中課題実験）の計測・解析が進み、実験棟室内の揮発性成分分析や、新たに抗菌活性試験も実施した結果、以下のことが示された。

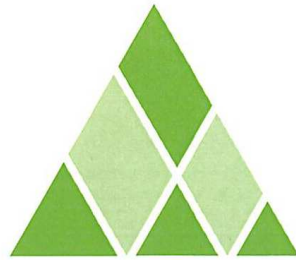
- 1) 毎月 1 回の実験棟室内の揮発性成分分析（定量分析）の結果から、非無垢材棟と比べて無垢材棟では常にセスキテルペン類の量が高いことが示された。また継続的な分析結果により、セスキテルペン類の量には季節ごとの変動があり、夏季での量が高いことが示された。
- 2) ハウスダスト（カビ・バクテリア）の調査で、6 月と 7 月に実施した自然落下菌測定の結果が非無垢材棟に比べ無垢材棟で低い結果が得られた。また、非無垢材棟に比べ無垢材棟で成長が遅くなる菌も確認できた。
- 3) 女子大学生を対象とした雨季の睡眠実験において、無垢材棟と非無垢材棟は異なる印象を与えることが主観評価の結果から示され、その要因として香り成分や湿度の違いが関係していると考えられた。
- 4) 20 代女性を対象とした日中課題実験において、唾液中のアミラーゼ濃度が無垢材棟の方が有意に低値であったことから、無垢材棟に滞在している間のストレス値が低いことが示唆された。また非無垢材棟では、認知課題試験による疲労感や心理的負荷が高くなる傾向にあり、「あたたかい」「リラックスした」「気持ちの良い」「居心地の良い」「やわらかい」といった比較的ポジティブな印象が減少していることが推測された。

5. 今後の課題

- 1) 本プロジェクトで得られた結果については論文を執筆中であり、近日中に査読付の論文に投稿予定である。また次年度も定期的な揮発性成分分析を実施することで経年変化についてのさらなるデータの蓄積を目指している。
- 2) コロニー培養実験においてコロニーの成長が悪く、11月の低い気温が悪い影響を与えていることが懸念された。この気温の影響を取り除くため、カビの成長に適した温度に設定したインキュベーター内に無垢材と非無垢材でできた箱を入れ、その箱の中でコロニーを培養する試験を現在実施している。次年度は無垢材棟と非無垢材棟の揮発性成分の量的な違いがハウスダストに与える影響について直接的に評価できるよう実験を検討している。
- 3) 平成28年3月から春季において、若年男性を対象にした睡眠実験の実施を予定している。

被験者は健康な男子大学生10名である。木質居住空間による睡眠時のヒトへの影響を調べるため、各実験棟で睡眠（11時就寝～翌7時起床）をとってもらい、1人あたり2泊ずつ（21時～翌8時）の実験参加とする。カウンターバランスをとって実験を実施する。睡眠中の生理応答を記録するために、就床中には頭皮上4点の脳波と心電図を計測する。さらに、活動量計および眠りSCANを使用し、入眠潜時、睡眠時間、睡眠効率、中途覚醒時間、中途覚醒回数、最大睡眠持続時間、活動量等を計測する。また、就床前および起床後には唾液の採取および唾液 α アミラーゼの測定、肌質の計測、心理計測として室内の印象評価と肌質の印象評価を実施する。さらに、起床後には起床時睡眠感調査票（OSA-MA版）も実施し、睡眠における主観的評価を行う予定である。採取した唾液から、後日コルチゾール濃度を測定しストレス評価を行う。

以上のような課題を中心に、次年度（平成28年度）は被験者実験や揮発性成分分析、ハウスダストの調査について引き続きデータの蓄積を行い、それぞれの結果を関連付けられるよう研究を進めたいと考えている。また、これまでの結果については近日中に論文文化を行っていく予定である。



JAPAN WOOD DESIGN
AWARD 2015

ウッドデザイン賞 2015

下記の作品は、消費者目線での新たな木づかいを促進する
ウッドデザイン賞に入賞いたしましたので、これを表彰します。

ハートフルデザイン部門

木の家と健康を科学するプロジェクト

九州大学 農学研究院

九州大学

近畿大学

福岡女子大学

安成工務店

トライ・ウッド

平成27年12月10日

ウッドデザイン賞運営事務局

