

R-02-2009

YIES Research Report

# 山梨県環境科学研究所研究報告書

## 第25号

### 特定研究

### 「木質内装材が人の心と体に与える影響に関する研究」

### 平成21年度

### 山梨県環境科学研究所



R-02-2009

YIES Research Report

# 山梨県環境科学研究所研究報告書

第25号

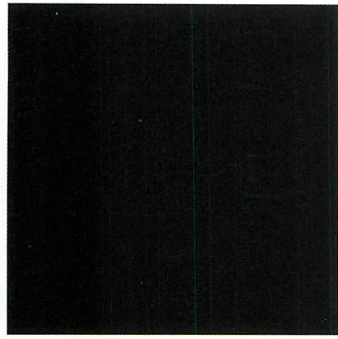
特定研究

「木質内装材が人の心と体に与える影響に関する研究」

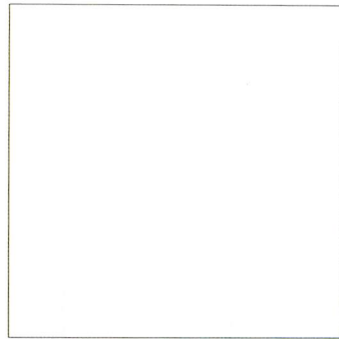
平成21年度

山梨県環境科学研究所

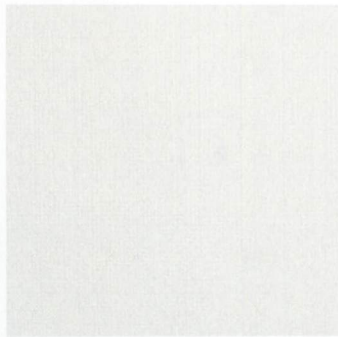




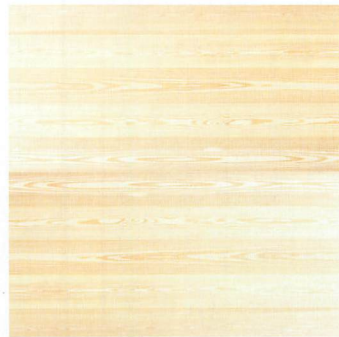
a



b

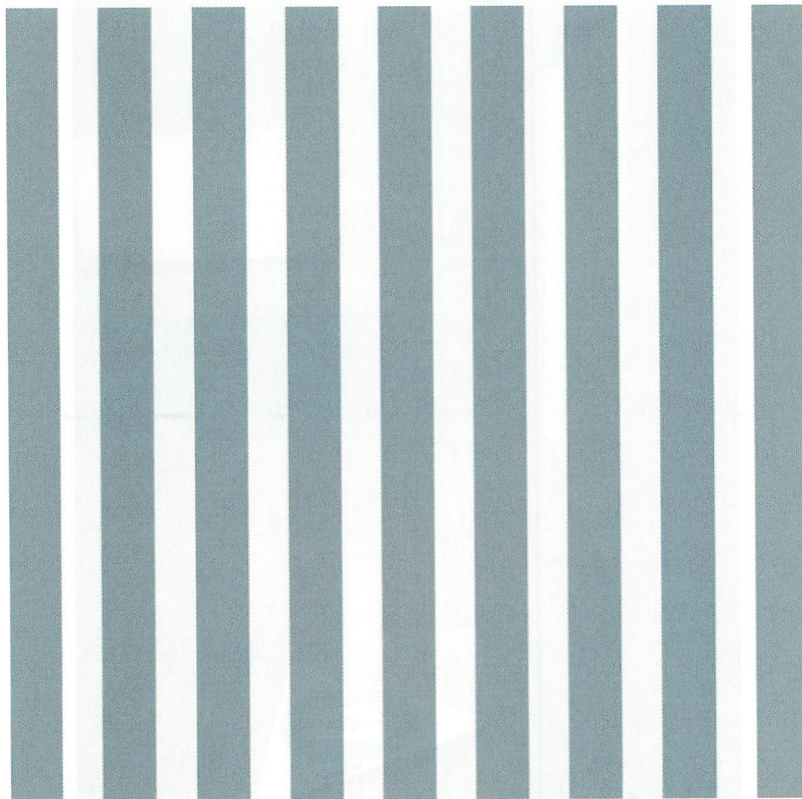


c



d

口絵写真1 バーチャルリアリティによる実験のための画像  
黒しっこい (a)、白しっこい (b)、白クロス (c)、木質材 (d)  
木質材の画像は県産認証カラマツ無垢材から作成した。



口絵写真2 疑似運動感覚（ベクシヨソ知覚）を誘導するために用いた縞画像  
画像の平均輝度が、木質画像と同じになるよう調節している。





口絵写真3 県産認証カラマツ無垢材を使って作成した木質壁  
木質壁は縦 190cm、横 180cm。後ろは実験に用いた白クロス壁。



口絵写真4 富士河口湖町生涯学習館学習室

## は じ め に

山梨県は県土の78%が森林で覆われている森林県です。森林の機能には、「水土保全」、「地球温暖化の防止」、「生物多様性の維持」、「循環型社会構築への寄与」などが期待されています。また、森林を健全に保っていくためには、「林業・木材産業の再構築」という課題にも取り組んでいかななくてはなりません。現在、本県の森林面積の44%を占める人工林では、戦後に植えられた樹木が成長し、木材として利用できる段階に達したカラマツやヒノキなどの割合が年ごとに増加しています。このような森林資源を適切に利用することが、森林の質を維持することにつながります。そのため、循環型社会の構築も視野に入れた上で、地産地消型の木材利用を促進することが求められています。

このような背景から本県では、公共施設に県産材を利用することや、大部分が県産材から成る「甲斐の家」の建設促進などに取り組んでいます。今回報告する「木質内装材が人の心と体に与える影響に関する研究」は、山梨県森林環境部からの要請に基づき、これらの取り組みを支援する目的で行われました。木質内装材の持つ視覚的特性が、人の直立姿勢の維持にどのように影響するかを、他の内装材と比較しながら実験しました。その結果、木質壁には直立姿勢を安定させる効果があることがわかりました。高齢者や妊婦では、転倒が思わぬ事故に結びつくことが少なくありません。直立姿勢が安定化することで、室内での転倒事故を減らせる可能性があります。今回の研究によって、木造家屋の屋内環境が人に与える好ましい影響の一端が明らかになりました。県が行った「森林・林業に関するアンケート調査」（平成15年）では、対象者の89%が新たに住宅を作るとしたら木造の家に住みたいと回答しています。今回報告する研究成果を普及させることで、木造住宅を希望する人がさら増え、県産材への需要が高まることを期待します。

平成21年12月4日

山梨県環境科学研究所

所 長 荒 牧 重 雄





# 目 次

はじめに

## 概要編

### I 特定研究の概要

I-1	研究テーマおよび研究期間	1
I-2	研究体制	1
I-3	研究目的	1
I-4	研究成果の概要	1
I-5	研究成果の発表	2
I-6	研究テーマに関する研修生の受け入れ状況	3
I-7	謝 辞	3

## 本編

### II 研究成果報告

II-1	研究目的	7
II-2	研究の背景	7
	1) 室内における転倒	7
	2) 直立姿勢の維持	7
	3) 直立姿勢に及ぼす身体要因	8
	4) 直立姿勢に及ぼす心理要因	8
II-3	実験方法	8
	1) バーチャルリアリティによる実験	8
	2) 実際の壁材を使った実験	9
	3) 木造家屋内での実験	9
II-4	研究結果	9
	1) バーチャルリアリティによる実験	9
	2) 実際の壁材を使った実験	9
	3) 木造家屋内での実験	9
	4) まとめ	9



# 概要編





# I 特定研究の概要

## I-1 研究テーマおよび研究期間

### 研究テーマ名

「木質内装材が人の心と体に与える影響に関する研究」  
(依頼元：山梨県森林環境部森林環境総務課、同林業振興課)

### 研究期間

平成19年4月～平成21年3月(2カ年)

## I-2 研究体制

### 研究代表者：

山梨県環境科学研究所 特別研究員 永井 正則  
所属研究参加者

山梨県環境科学研究所 環境生理学研究室  
非常勤嘱託 石田 光男  
助手 齋藤 順子

### 所外共同研究者：

日本大学法学部 教授 和田 万紀

## I-3 研究目的

本研究の目的は、木造建築の屋内環境が人に与える好ましい影響を明確に示すことで、県産材の利用促進に結びつけることである。木質材の利用促進を図る上で、学校や図書館、老人保健施設などで率先して木質材が使われることが多い。このような施設で木質材を使用することによって利用者にもたらされる効果を明らかにすることを目指した。

現在、老人保健施設では入居者の転倒が問題視されている。幸いにして転倒が死亡事故に結びつかなかった場合でも、転倒による骨折が寝たきり状態の引き金になることも多い。厚生労働省の統計によると、年間6500人前後の人が転倒や転落により死亡している(表I-1)。しかも、死亡例の50%以上が同一平面上での転倒によって起っている。対象を60歳以上の男女に絞ると、全体の12.4%が自宅内で、11.4%が屋外で1年間に一度またはそれ以上の転倒を経験していた。転倒が骨折に結びついた割合は、男性で6.0%、女性で19.2%であった。高齢者のみでなく、胎児の成長に従って体の重量配分が変わる妊婦においても転倒が起こりやすくなる。妊娠中の女性の13%が転倒を経験している(Jang et al., Clinical Biomechanics 23: 468-476, 2008)。特に、職業を持つ妊娠女性では25%が、就業中に転倒を経験することが報告されている(Dunning et al., American Journal of Indoor Medicine 44: 664-672, 2003)。妊婦の転倒は流産

の誘因となる。高齢者では、転倒によって死に至らなくとも、転倒による骨折が寝たきりの誘因となり、生活の質(QOL: Quality of Life)を著しく低下させることも多い。

転倒を予防するためのひとつの方策として、立ち止まっている時の姿勢(直立姿勢)を安定化させることが有益である。直立姿勢は、視覚と腱や筋に由来する体性感覚、内耳の耳石器官や半規管に由来する平衡感覚の三つの感覚情報を脳が統合して、運動系(筋肉系)へ適切な指令を伝えることによって維持されている(図I-1上)。姿勢維持機能は重心動揺計の上に立つ人の、重心移動距離や重心移動面積を測定することで評価できる。目を閉じるなどして視覚情報を減らすと、直立中の体の重心の移動距離や移動面積が増加し、姿勢が不安定化する(図I-1下)。直立姿勢を安定させるためには、適切な視覚情報が必要である。そこで今回は、木質内装材が立位姿勢の維持に与える影響について実験を行うこととした。特に、木質内装材のもつ視覚的特性が立位姿勢を維持する際の、視覚情報処理を適正化する可能性を検証することを目指した。

## I-4 研究成果の概要

### 1) バーチャルリアリティによる実験結果

被験者の前方1mに2.5m四方の透過型スクリーンを置き、スクリーンの後方から投射される4種類の画像(黒しっくり、白しっくり、白クロス、木質)が立位姿勢に及ぼす効果を比較した(図I-2、口絵写真1)。木質の画像は、県産認証カラマツ無垢材を用いて作成した。スクリーンに向かって直立する被験者に、まず縞模様(口絵写真2)が左右に回転する画像を30秒間見せ、体が動いている感覚(バーチャルな運動感覚)を与えた。次いで4種類の画像の内ひとつを無作為に選び出して60秒間スクリーン上に呈示した。画像が呈示されている60秒間の重心動揺を記録した。重心動揺距離は木質画像の場合に最も小さく、黒しっくり>白しっくり>白クロス>木質の順で小さかった(図I-3)。視覚刺激後に主観的に体の揺れが落ち着いたと感じた時間も、黒しっくり>白しっくり>白クロス>木質の順で小さくなっていった(図I-4)。木質画像を見て立つ場合に、主観的安定感が大きく、実際の重心動揺距離も小さいことが分った。画像への嗜好については、黒しっくりが12.9%、白しっくりが19.4%、白クロスが19.4%、木質画像が48.3%(図I-5)、木質画像への嗜好が最も大きいことが分った。

## 2) 実際の内装材を使った実験結果

4種類の実験条件間（クロス画像、木質画像、白クロス壁、木質壁）の間でデーターを比較した。木質壁は県産認証カラマツ無垢材を用いて作成した（口絵写真3）。クロス画像やクロス壁に比べ、木質画像、木質壁で重心動揺距離が小さかった（図I-6）。壁材への嗜好については、木質壁（50.0%）、白クロス壁（30%）、木質画像（20.0%）の順であった（図I-7）。

## 3) 木造家屋内での実験結果

富士河口湖町生涯学習館の学習室を借用して、床及び壁が木質材からなる家屋内での白クロス壁と木質壁との比較を行った（口絵写真4）。重心動揺距離は木質壁を見て立つ場合が $44.3 \pm 2.1\text{cm}$ （平均値±標準誤差）、白クロス壁を見て立つ場合が $50.1 \pm 3.5\text{cm}$ であった（図I-8）。主観的立ちやすさに基づく壁材の評価は、木質壁が80%、白クロス壁が10%、どちらも同じが10%であった（図I-9）。

## 4) 結果のまとめ

実際の内装材を使った実験と木造家屋内での実験の結果を図I-10にまとめて示した。直立時の重心動揺距離はクロス材と比べ、木質材でより小さかった。木質材のもたらす視覚の手掛かりが、他の内装材と比べて直立姿勢を安定化させることが分った。バーチャルリアリティによる実験では、運動による姿勢変化の直後の立位姿勢が、木質壁を見て立つ時に最も安定することがわかった。

今回の実験により、木質内装材の好ましい特性のひとつを明らかにすることができた。

## I-5 研究成果の発表

### (A) 出版物

- 1) 石田光男、和田万紀、永井正則（2008）視覚刺激時の重心動揺に及ぼす不安の影響。自律神経45：196-199.
- 2) Nagai M., Ishida M., Saitoh J., Hirata Y., Natori H. and Wada M. (2009)  
Characteristics of the control of standing posture during pregnancy.  
Neuroscience Letters 462: 130-134. (doi: 10.1016/j.neulet.2009.06.091)
- 3) 永井正則、石田光男（2009）妊娠中の立位姿勢の維持。自律神経46：565-568.

### (B) 学会発表

- 1) 永井正則、石田光男、齋藤順子、有井良江、名取初美、和田万紀（2007）妊娠中の重心動揺の特性。第25回日本生理心理学会大会、札幌、平成19年7月。

- 2) 石田光男、齋藤順子、永井正則（2007）血圧-拍動間隔の最大相互相関係数による森林浴時の心臓血管系反応の評価。第25回日本生理心理学会大会、札幌、平成19年7月。
- 3) Nagai M. and Ohno H. (2007) Influence of anxiety on postural control in humans standing with moving visual cues. ISAN2007: The 5th International Symposium of Autonomic Neuroscience, Kyoto, October, 2007.
- 4) Nagai M., Ishida M., Saitoh J., Ariei Y., Natori H. and Wada M. (2008) Characteristics of the standing posture and its control in pregnant women. The 85th Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo, March, 2008.
- 5) Ishida M., Saitoh J., Ariei Y., Natori H., Wada M. and Nagai M. (2008)  
Influence of anxiety on the postural control during stance in pregnant women. The 85th Meeting of the Physiological Society of Japan, Tokyo, March, 2008.
- 6) Wada M. and Nagai M. (2008) Anxiety affects body sway during orthostatic standing in college students. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July, 2008.
- 7) Nagai M., Ishida M., Ariei Y., Natori H. and Wada M. (2008) Characteristics of body sway during stance in pregnant women and influence of anxiety during pregnancy on body sway. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July, 2008.
- 8) Ishida M., Nagai M. and Wada M. (2008) Influence of state anxiety on body sway with visual target moving in size. The 29th International Congress of Psychology, Berlin, July, 2008.
- 9) 石田光男、永井正則（2008）香りの嗜好と粘膜免疫応答。第26回日本生理心理学会大会、西原町（沖縄）、平成20年7月。
- 10) 武藤由香里、石田光男、下川俊雄、御園生拓、永井正則、北村真一（2008）河川景観の快適性に関する研究。土木学会全国大会第63回年次学術講演会、仙台、平成20年9月。
- 11) 永井正則、石田光男（2008）妊娠と妊娠中の不安が重心動揺に及ぼす影響。第61回日本自律神経学会総会、横浜、平成20年11月。
- 12) 永井正則、石田光男（2009）妊娠中の立位姿勢の維持と腹囲。第62回日本自律神経学会総会、和歌山、平成21年11月。
- 13) 石田光男、永井正則（2009）予期不安時における姿勢の不安定化。第62回日本自律神経学会総会、和歌山、平成21年11月。



(C) 講演等

- 1) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2007) 県民緑化まつりにおける生理心理指標の測定実習および供覧、韮崎、平成19年4月。
- 2) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2007) 武田の杜ウォーキングにおける生理心理指標の測定実習および供覧、甲府、平成19年5月。
- 3) 永井正則 (2007) 子どもの、あなたのバイオリズムは大丈夫？ 山梨県立看護大学公開講座「地球環境と健康」、甲府、平成19年9月。
- 4) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2007) 吉田恩賜林まつりにおける生理心理指標の測定実習および供覧、富士吉田、平成19年10月。
- 5) 永井正則 (2007) ストレスを解消し、心も身体も健康に、ぴゅあ富士エンパワーメントセミナー「ピュア富士講座」、都留、平成19年11月。
- 6) 永井正則 (2008) 体温調節と熱射病の発生メカニズム。養鶏協会関東甲信越ブロック協議会、石和、平成20年4月。
- 7) 永井正則 (2008) ストレスと健康。富士吉田連合婦人会、富士吉田、平成20年4月。
- 8) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 県民緑化まつり「さわやか森林浴」における生理心理指標の測定実習および供覧、笛吹、平成20年4月。
- 9) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 武田の杜「森林セラピーウォーク」における生理心理指標の測定実習および供覧、甲府、平成20年5月。
- 10) 永井正則 (2008) 森林の利用と健康。山梨県環境科学研究所国際シンポジウム2008、富士吉田、平成20年9月。
- 11) 永井正則 (2008) 森と健康。大学コンソーシアムやまなし、富士吉田、平成20年10月。
- 12) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 金川の森まつりにおける生理心理指標の測定実習および供覧、笛吹、平成20年10月。
- 13) 永井正則、石田光男、齋藤順子 (2008) 吉田恩賜林「森の癒し体験モニターツアー」における生理心理指標の測定実習および供覧、富士吉田、平成20年10月。
- 14) 永井正則 (2008) アロマの効用。ぴゅあ富士エンパワーメントセミナー「アロマキャンドルづくり〜ココロとカラダがほっとするとき」、都留、平成20年12月。
- 15) 永井正則 (2008) 樹木の香りでストレス解消。環境科学講座、富士吉田、平成20年12月。

## I-6 研究テーマに関する研修生の受け入れ状況

平成19年度

山梨大学医学工学総合教育部 1年生 武藤由香里

平成20年度

山梨大学医学工学総合教育部 2年生 武藤由香里

富士吉田市立看護専門学校 3年生 山崎 絢子

## I-7 謝辞

本研究の遂行に必要な被験者の派遣につき、御理解と御協力をいただいた山梨大学、山梨英和大学、県立大学看護学部、健康科学大学、富士吉田市立看護専門学校の先生方並びに関係者各位に深く感謝の意を表します。同時に、学業の合間をぬって、被験者として実験に参加していただいた学生諸君に心から感謝します。

さらに、床と壁が木質材からなる学習室を本実験のために快く提供して下さった富士河口湖町生涯学習センターの五味和代社会教育係長と坂本龍次生涯学習課長に深く感謝します。

表 I－1 不慮の事故による死亡数・死亡率  
(厚生労働省統計)

不慮の事故による死亡数・死亡率 (厚生労働省統計)								
事故の内訳	死亡数				死亡率(10万人当たり)			
	平成13	平成14	平成15	平成16	平成13	平成14	平成15	平成16
同一平面上での転倒	3431	3397	3684	3530	2.7	2.7	2.9	2.8
階段・ステップからの転倒・転落	654	647	672	671	0.5	0.5	0.5	0.5
建物または構造物からの転落	825	774	838	772	0.7	0.6	0.7	0.6
その他の転落	779	820	783	725	0.6	0.7	0.6	0.6
合計	6409	6328	6722	6412	5.1	5.0	5.3	5.1
交通事故総計	12378	11743	10913	10551	9.8	9.3	8.7	8.4

年間6500人前後の人が転倒や転落により死亡している。死亡例の50%以上が同一平面上での転倒によって起きている。

姿勢の維持

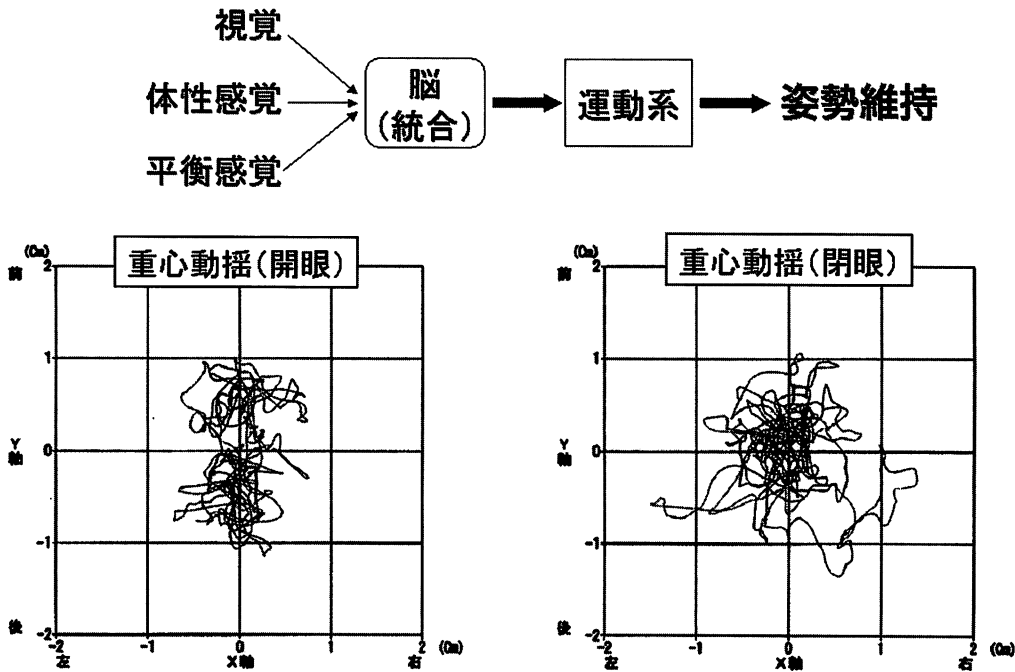


図 I－1 直立姿勢の維持

直立姿勢の維持機構 (図上) と重心動揺に及ぼす閉眼の効果 (図下)。  
目を閉じることで利用できる視覚情報の量が減少することで、重心動揺距離と重心動揺面積が増加する。直立時の重心動揺を1分間記録している。

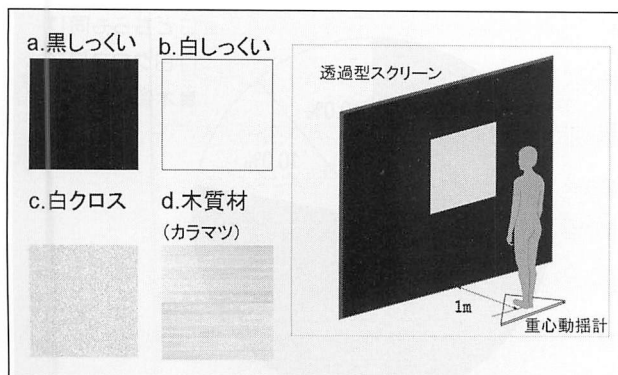


図 I - 2 バーチャルリアリティによる実験の方法

透過型スクリーン (2.5×2.5m) の後方からプロジェクターを用いて4種類の画像(図左、口絵写真1参照)を投射する。被験者はスクリーンから1mの距離で重心動揺計の上に直立する。被験者には縞模様(口絵写真2)が左右に回転する画像を30秒間見せ、疑似運動感覚(ベクション知覚)を引き起こした。その後4種類の画像の内一つを60秒間呈示し、その間の重心動揺を記録した。これを4種類の画像につき、無作為に繰り返した。

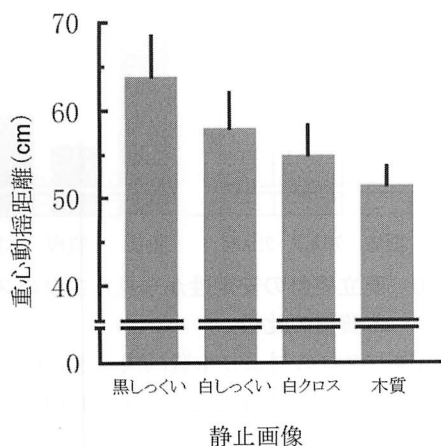


図 I - 3 疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後の直立姿勢の維持 (1)

疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後に静止画像を呈示すると、黒しっくい>白しっくい>白クロス>木質材の順で重心動揺距離が短くなる。成人男女31名のデータ。

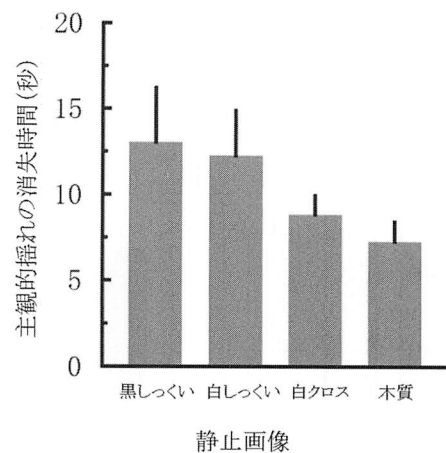


図 I - 4 疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後の直立姿勢の維持 (2)

疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発にともなう動揺感が消失するまでの時間は、黒しっくい>白しっくい>白クロス>木質材の順で短くなる。成人男女31名のデータ。

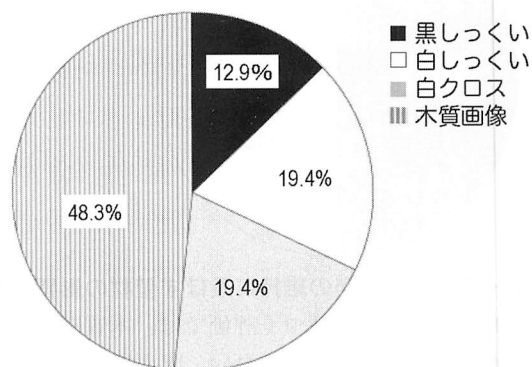


図 I - 5 疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後の直立姿勢の維持 (3)

主観的立ちやすさに基づく画像の評価では、木質材>白クロス=白しっくい>黒しっくいの順で評価が高い。成人男女31名のデータ。

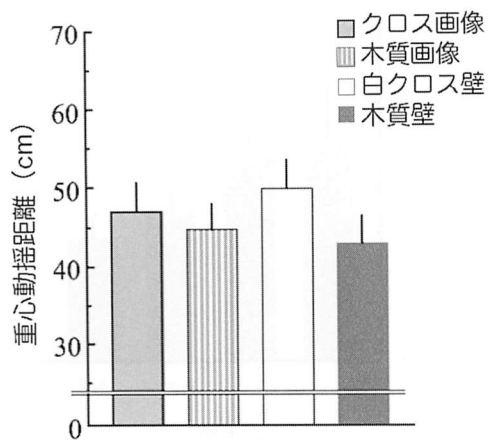


図 I - 6 直立姿勢の維持に及ぼす壁材の影響 (1)  
白クロス壁>白クロス画像>木質画像>木質壁の順で重心動揺が小さくなる。成人男女10名のデータ。

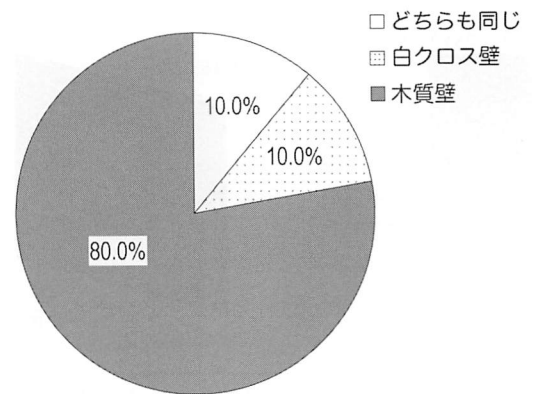


図 I - 9 木造家屋内での木質壁とクロス壁が直立姿勢に及ぼす影響 (2)

主観的立ちやすさに基づく評価では、木質壁が最も立ちやすいと評価された。成人男女10名のデータ。

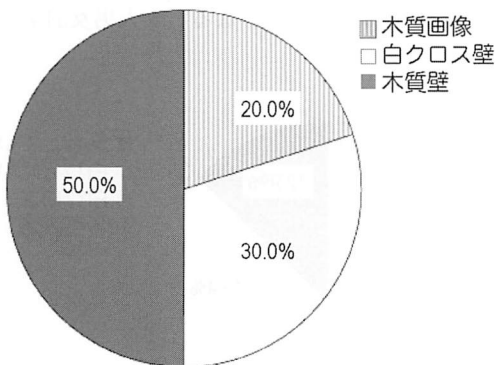


図 I - 7 直立姿勢の維持に及ぼす壁材の影響 (2)  
主観的立ちやすさに基づく評価では、木質壁>白クロス壁>木質画像の順で評価が高い。成人男女10名のデータ。

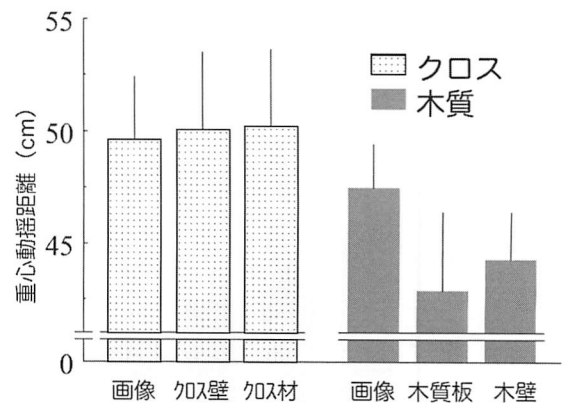


図 I - 10 直立姿勢の安定性から見た白クロス材と木質材の比較

クロス画像、クロス材より木質画像、木質材を見て立つ時の方が重心動揺距離が小さい ( $F(1,49) = 10.79$ ,  $p < 0.002$ )。

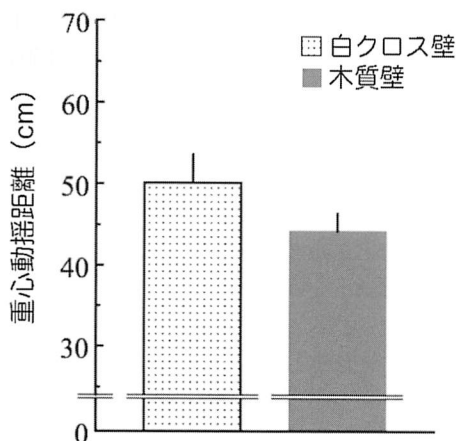


図 I - 8 木造家屋内での木質壁とクロス壁が直立姿勢に及ぼす影響 (1)

木質壁に向かって立つ方が、重心動揺距離が少ない。成人男女10名のデータ。



# 本 編







## Ⅱ 研究成果報告

### Ⅱ－１ 研究目的

本研究の目的は、木造建築の屋内環境が人に与える好ましい影響を明確に示すことで、県産材の利用促進に結びつけることである。木造家屋内の環境のもたらす好ましい点として、今までに表Ⅱ－１のような項目が挙げられている。木質材の物理化学的な性質に注目したものが多く、人への影響について言及した項目 7～9 については、実証が充分とはいえない。

木質材の利用促進を図る上で、学校や図書館、老人保健施設などに木質材が導入されていく可能性が高い。現在、老人保健施設では利用者の転倒が問題視されている。幸いにして転倒が死亡事故に結びつかなかった場合でも、転倒による骨折が寝たきり状態の引き金になることも多い。転倒を予防するためのひとつの方策として、立位姿勢を安定化させることが有益である。このような背景から（詳細はⅡ－２を参照）、木質内装材が立位姿勢の維持に与える影響について実験を行うこととした。特に、木質内装材のもつ視覚的特性が立位姿勢を維持する際の、視覚情報処理を適正化する可能性を検証することを目指した（図Ⅱ－２）。

### Ⅱ－２ 研究の背景

#### １）室内における転倒

厚生労働省の統計によると、年間6500人前後の人が転倒や転落により死亡している（表Ⅱ－２）。交通事故による死亡者が年間 1 万人弱まで減少していることに比べると、その数は少ないとは言えない。しかも、死亡例の50%以上が同一平面上での転倒によって起っている。対象を60歳以上の男女に絞ると、全体の12.4%が自宅内で、11.4%が屋外で 1 年間に一度またはそれ以上の転倒を経験していた。転倒が骨折に結びついた割合は、男性で6.0%、女性で19.2%であった。高齢者のみでなく、胎児の成長に従って体の重量バランスが変わる妊婦においても転倒が起りやすくなる。妊娠中の女性の13%が転倒を経験している（Jang et al., Clinical Biomechanics 23: 468-476, 2008）。特に、職業を持つ妊娠女性では25%が、就業中に転倒を経験することが報告されている（Dunning et al., American Journal of Indoor Medicine 44: 664-672, 2003）。妊娠中の転倒は流産の誘因となる。高齢者では、転倒によって死に至らなくとも、転倒による骨折が寝たきり状態の誘因となり、生活の質（QOL: Quality of Life）を著しく低下させることも多い。そのため、公共施設や老人保健施設では転倒を減らすための試みが求められている。屋外での転倒の50%は道

路上で起こり、屋内での転倒は庭や居間・茶の間・リビングルームで多く起っている。転倒が起こりやすいのは、座位から立位に移行する時と歩行時である。そこで、転倒を予防するためには、いかにして安定な直立姿勢をとりやすくするかということが最も重要と考えられる。

#### ２）直立姿勢の維持

人の直立姿勢は、手足や体幹部、頸部や頭部を伸ばす筋肉（伸筋）とそれらを曲げる筋肉（屈筋）の協調運動によって維持される（図Ⅱ－１）。協調運動の結果としての姿勢の安定度は、立っている時の体の重心の移動（重心動揺）を連続的に測定することで定量的に知ることができる。人は、立位姿勢を維持するために三種類の感覚を用いている（図Ⅱ－２）。ひとつは視覚である。目に映る環境（視環境）の中から水平線や垂直線、規則的な形状などを見出し、それらを目印とすることで姿勢が安定する。二つ目は、体性感覚である。体性感覚とは、筋や腱にどの位負荷がかかっているかを無意識の内に脳へ伝える感覚である。三番目は、平衡感覚である。耳の奥の内耳で発生する感覚で、重力方向に対する頭部の傾きの感覚が耳石器官によって、頭部が回転する場合の回転方向と回転速度の感覚が三半規管によって脳に伝えられる。脳では、これらの三つの感覚が統合され、伸筋と屈筋の協調運動が維持されるように体の各部分の筋肉へ指令が運動神経を介して送られる。これらの三つの感覚のどれかが遮断されると、立位姿勢は不安定化する。例えば、立ちながら目を閉じると、利用できる視覚情報が減るため姿勢が不安定となり、重心の動揺が大きくなる（図Ⅱ－２下）。

視覚と体性感覚、平衡感覚がそれぞれ姿勢の維持にどの位の割合で寄与しているかは、体の状態や立つ環境によって変わってくる。ひとつの感覚が弱くなると、他の感覚がそれを補償するようなことも起こる。立位姿勢を維持する際に、脳がこれら三種類の感覚にどの位の割合で依存しているかは、立位中の重心動揺の周波数を分析することでおおよそ推定することができる（図Ⅱ－３）。一般に重心動揺の周波数は低く、動揺周波数が10Hzを超えることはない。視覚と耳石器官からの平衡感覚によって安定化される（揺れが小さくなる）のは、0.02-0.1Hzの周波数帯の重心動揺であり、1 Hz以上の重心動揺は体性感覚によって安定化される（Redfern et al., Anxiety Disorders 15: 81-89, 2001）。得られる感覚情報の違いや心身の状態に応じて、それぞれの感覚への依存度（重み付け）が変化する。大脳基底核に失調を持つパーキンソン病の患者では、感覚への重み付けを適応的に再調整することが困難である（Bronstein et al.,

Brain 113: 767-779, 1990)。このことから、感覚への重み付けは脳基底核の機能によっていると考えられている (図Ⅱ-4)。

### 3) 直立姿勢の維持に及ぼす身体要因

先に述べたように、妊娠中の女性は転倒しやすくなることが知られている。わたしたちは以前、妊娠後期の女性と同年齢で妊娠していない女性とで、立位維持中の重心動揺を比較する実験を行なった (Nagai et al., Neuroscience Letters 462: 130-134, 2009; Nagai et al., Gait and Posture, submitted)。その結果、妊娠女性では体の前後方向の重心動揺距離が増えていることが分った (図Ⅱ-5右)。体の左右方向の重心動揺には、妊娠の影響は現れなかった (図Ⅱ-5左)。妊娠中には、体重やBMI (Body Mass Index)、腹囲が増大する (表Ⅱ-3)。これらの身体的要因と前後軸の重心動揺距離との関連を分析すると、妊娠女性では腹囲と前後方向の重心動揺距離とが正の相関を示していた (図Ⅱ-6)。この相関は、出産1ヶ月後では見られなくなっていた。この実験から、妊娠女性では腹囲の増大が体の前後軸の重心動揺を増やし、立位姿勢を不安定化させていることが分った。

妊娠中でも体の左右方向の重心動揺には変化がなかったが (図Ⅱ-5左)、左右方向の重心動揺を周波数分析してみると、妊娠女性では1.0Hz以上の周波数成分の全周波数成分に占める割合が小さくなっていた (図Ⅱ-7)。1.0Hz以上の周波数を持つ揺れは体性感覚によって小さくなる (図Ⅱ-3)。したがって、妊娠中は体性感覚への依存度が増していることがわかる。腹囲の増大などの形で現れる妊娠中の体の重量バランスの変化に対応するため、脳が体性感覚への依存度を高めたものと考えられる。体の前後方向の揺れは妊娠中に大きくなっているが、前後方向の揺れの周波数分析を行なうと、1.0Hz以上の周波数成分がやはり小さくなっていた。体性感覚への依存度が高まったはいるものの、前後軸の重心動揺は腹囲の増大につれて大きくなっていることがわかった。

このように身体要因の変化は、立位姿勢の不安定化を招くとともに姿勢の維持機構にも影響を与える。ここでは、妊娠女性の直立姿勢を不安定化させる身体的要因についてのわたしたちの研究結果を紹介したが、高齢者においても視覚や平衡感覚の衰えや関節の可動性の低下などから、姿勢の不安定化が起ることが充分予想される。高齢者を対象にしてわたしたちが行なった予備実験の結果からもこのことは明らかである。しかし、高齢者の場合は、姿勢の不安定化をもたらす要因がひとりひとりで大きく異なることや複数の要因が関与していることなどから、一般化できる結論を導き出すには至っていない。

### 4) 直立姿勢の維持に及ぼす心理要因

不安が高い人は、前傾姿勢をとりがちであることが知られているように (Maki and MacIrray, Journal of Vestibular Research 6: 53-59, 1996)、立位姿勢は心理的な要因によっても影響される。わたしたちは、大学生を対象に不安が立位姿勢の維持に及ぼす影響について調べた (Wada et al., Neuroscience Letters 302: 157-159, 2001; Ohno et al., Neuroscience Letters 364: 37-39, 2004)。その結果、不安が高まった場合には、その不安レベルが正常範囲内であっても、立位中の重心動揺周波数の組成 (パワースペクトル) が変化し (図Ⅱ-9)、立位姿勢が不安定化することを見いだした (図Ⅱ-10)。このような不安の影響は、立位中の被験者が目を閉じることで消失した。このことから、不安はまず視覚情報処理に影響することで立位姿勢を不安定化すると考えられる。

立っている人の前方に置いた視標の大きさを連続的に変えると、人は視標が近づいたり遠ざかったりするように感じ、体の前後方向の揺れが大きくなる。しかし、不安の高い人ではこのような視標の動きに連動した体の揺れは起らない (石田、永井、自律神経 45: 196-199, 2008)。一定の大きさの動かない視標を見て立つと、通常は姿勢が安定する。しかし、不安の高い人では前後方向の重心動揺が大きくなり姿勢が不安定化する。逆に、姿勢を不安定化させる視標の動きに対しては、不安の高い人は反応しない。このことから、不安の高い人とそうでない人では、自己の置かれた環境から抽出する視覚的手掛かりが異なることが予想される。

## Ⅱ-3 実験方法

### 1) バーチャルリアリティによる実験

被験者の前方1mの位置に縦横それぞれ2.5mの透過型スクリーンを立て、スクリーンの後方からプロジェクターを用いて画像を投射した。画像は黒しつ、白しつ、白クロス、木質の4種類とした (口絵写真1)。木質画像は、山梨県産認証カラマツ無垢材から作成した。投射する画像の大きさは、左右、上下とも視覚54.5°となるよう被験者の目の高さに合わせて調整した。これにより、スクリーンまでの距離1mで被験者が前方を見た場合、ほとんど全視野が画像によってカバーされることになる (図Ⅱ-11)。

ロンベルク位 (左右の足を平行に2cm程度離して立つ) で直立する被験者の重心の動きを重心動揺計 (グラビコーダー G-5500、アニマ社製) を用いて記録した。被験者にはまず、縞模様 (口絵写真2) が左右に回転する (角速度12度/秒) 画像を30秒間見せてバーチャルな運動感覚 (疑似運動感覚、ベクション知覚) を引き起こした。運動感覚を引き起こすことで一旦姿勢を不安定化させた後、4種類の静止画像の内から無作為に選んだ

ひとつをスクリーン上に投射し、それを見て直立する被験者の重心動揺を60秒間記録した。4種類の画像について、この作業をランダムに繰り返した。重心動揺を記録するとともに、被験者には一旦惹起された運動感覚に伴う身体の揺れが、静止画像の呈示により停止したと感じた時点を自己申告させた。また、実験終了後、どの画像が最も立位姿勢を容易にしたかを聞き取った。被験者は成人男女31名であった。

## 2) 実際の壁材を使った実験

県産認定カラマツ無垢材を用いた木質壁を作成し、非木質の壁材およびコンピューター画像と比較した。木質壁は190cm×10cmのカラマツ無垢材を18枚並べ、横幅180cmの木質壁を実験室内に作成した(口絵写真3)。白クロス壁は環境科学研究所に用いられている壁を使用した(口絵写真3)。コンピューター画像は、バーチャルリアリティによる実験で用いたものと同じであった。被験者と壁またはスクリーンとの距離は1mとした。ロンベルク位で直立する被験者はまず閉眼させ、30秒経過したところで開眼させその後60秒間の重心動揺を記録した。この作業を4条件(白クロス画像、木質画像、白クロス壁、木質壁)でランダムに繰り返した。実験終了後、どの画像が最も立位姿勢を容易にしたかを聞き取った。被験者数は10名であった。

## 3) 木造家屋内での実験

富士河口湖町生涯学習館の学習室(口絵写真4)を借用して、床および壁が木質材からなる家屋内での白クロス壁と木質壁との比較を行った。借用した学習室の床はカラマツ材、壁はスギ材であった。白クロス壁を見て立つ実験では、学習室の壁に白クロス壁材(アサヒペン、ST-1)を貼付けた(口絵写真4)。ロンベルク位で直立する被験者はまず閉眼させ、30秒経過したところで開眼させその後60秒間の重心動揺を記録した。この作業を2条件(白クロス壁、木質壁)でランダムに繰り返した。実験終了後、どの画像が最も立位姿勢を容易にしたかを聞き取った。被験者数は10名であった。借用した学習室の実験期間中の平均気温は24.2℃、平均体感温度は19.9℃、平均相対湿度は47.1%、平均照度は1111.8ルクスであった。

# II-4 研究結果

## 1) バーチャルリアリティによる実験

30秒間視覚外乱を与え疑似運動感覚(ベクション知覚)を誘発した後1分間の重心動揺を、4種類の画像間(黒しっくり、白しっくり、白クロス、木質)で比較した。重心動揺距離は木質画像の場合に最も小さく、黒しっくり>白しっくり>白クロス>木質の順で小さく

なっていった(図II-12)。分散分析(ANOVA)の結果、画像の違いが統計的に有意であることが分かった( $F(3, 90) = 11.10, p < 0.001$ )。さらに下位検定を行ったところ、黒しっくりとその他の三つの画像および白しっくりと木質画像との間に統計的有意差が認められた( $p < 0.01, p < 0.02$ )。静止画像を呈示した後、主観的に体の揺れが落ち着いたと感じた時間も、黒しっくり>白しっくり>白クロス>木質の順で小さくなっていった(図II-13)。この場合も、画像による差は統計的に有意であるとの傾向が認められた( $F(3, 90) = 2.41, p < 0.08$ )。木質画像を見て立つ場合には、主観的安定感が大きく、実際の重心動揺距離も小さいことが分かった。立ちやすさに基づいた画像の評価は、黒しっくり(12.9%)<白しっくり(19.4%)=白クロス(19.4%)<木質画像(48.3%)の順で大きくなり(図II-14)、木質画像へ向かった時に最も立ちやすさを感じる事が分かった。

## 2) 実際の壁材を使った実験

4種類の実験条件間(白クロス画像、木質画像、白クロス壁、木質壁)の間でデーターを比較した。閉眼時の重心動揺距離は、73.2±4.2cm(白クロス画像)、78.7±5.2cm(木質画像)、80.7±6.0cm(白クロス壁)、78.1±7.1cm(木質壁)で条件間に差はなかった。開眼時では、白クロス壁>白クロス画像>木質画像>木質壁の順で重心動揺距離が小さくなった。(図II-15)。分散分析の結果、条件の違いには有意差が認められた( $F(3, 7) = 3.71, p < 0.03$ )。下位検定の結果、木目画像と白クロスの間および白クロスと木質壁の間に統計的有意差があった( $p < 0.03, P < 0.01$ )。壁材の立ちやすさでの評価は、木質壁(50.0%)、白クロス壁(30%)、木質画像(20.0%)であった(図II-16)。

## 3) 木造家屋内での実験

床及び壁が木質材からなる家屋内で、クロス壁と木質壁との比較を行った(図II-17)。重心動揺距離は木質壁を見て立つ場合が44.3±2.1cm(平均値±標準誤差)、白クロス壁を見て立つ場合が50.1±3.5cmであった( $p = 0.07$ )。壁材の立ちやすさでの評価は、木質壁(80.0%)、白クロス壁(10.0%)、どちらも同じ(10.0%)であった(図II-18)。

## 4) まとめ

実際の内装材を使った実験と木造家屋内での実験の結果を図II-19にまとめて示した。直立時の重心動揺距離はクロス画像とクロス材に比べ、木質画像と木質材でより小さかった( $F(1, 49) = 10.79, p < 0.002$ )。バーチャルリアリティによる実験でも、疑似運動感覚(ベクション知覚)の誘導による姿勢変化の直後の直立姿勢が、白クロス壁画像よりも木質画像を見て立つ時の方が、より

安定していた（図Ⅱ－12）。木質材のもたらす視覚的  
掛かりが、他の内装材と比べて直立姿勢を安定化させる  
ことが分った。主観的な立ちやすさの評価も、常に木質

材の方が高かった（図Ⅱ－14、Ⅱ－16、Ⅱ－18）  
今回の実験により、木質内装材の好ましい特性のひと  
つを明らかにすることができた。

表Ⅱ－1 木造家屋内の環境

1	湿度がほど良く調節される
2	断熱作用・保温作用がある
3	雑菌をよせつけない
4	ダニ・カビの繁殖を抑える
5	衝撃吸収作用がある
6	音がまろやかに聞こえる（吸音効果）
7	目が疲れない（紫外線吸収効果）
8	リラックス効果がある（フィトンチッド）
9	温もりがある（視覚作用、接触作用）

木質材の発する香りが、リラックス効果をもたらすことが項目8に示されている。わたしたちが以前行った実験から、樹木の香りは緊張感や不安感を和らげ、のどや気管を感染から守る免疫タンパク（分泌型免疫グロブリンA）の分泌を促進することが分っている（山梨県環境科学研究所研究報告書第13号、2004）。このことから、樹木の香りは低濃度で揮発成分を吸入する場合や森の中など野外で吸入する場合は、心身に好ましい影響を与えると予想される。しかし、近年の機密性が高い住宅で木質材を使用した場合、樹木の香気成分がシックハウス症候群を起こす濃度まで上昇する可能性が指摘されている。実際、 $\alpha$ -ピネン、 $\beta$ -ピネン、リモネンがシックハウス症候群を起こす揮発性有機化合物（VOC: volatile organic compounds）に指定されている（厚生省生活衛生局、2000年9月）。このことへの対策としては、木材の加工段階で高温の蒸気当て有機化合物を減らす、新築時に室内を暖気して有機化合物を揮発させる（ベイクアウト）などの方法が採られている。

表Ⅱ－2 不慮の事故による死亡数・死亡率（厚生労働省統計）

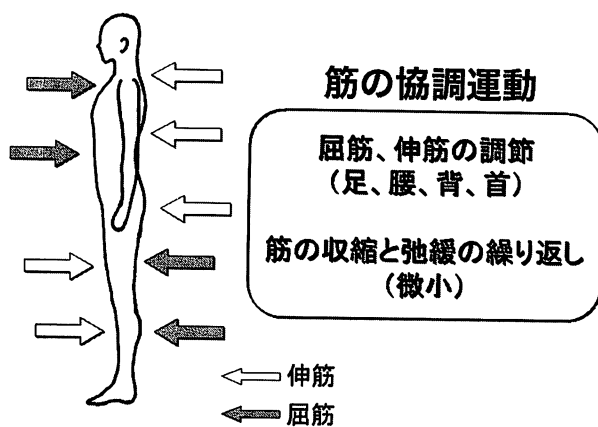
事故の内訳	不慮の事故による死亡数・死亡率（厚生労働省統計）							
	死亡数				死亡率(10万人当たり)			
	平成13	平成14	平成15	平成16	平成13	平成14	平成15	平成16
同一平面上での転倒	3431	3397	3684	3530	2.7	2.7	2.9	2.8
階段・ステップからの転倒・転落	654	647	672	671	0.5	0.5	0.5	0.5
建物または構造物からの転落	825	774	838	772	0.7	0.6	0.7	0.6
その他の転落	779	820	783	725	0.6	0.7	0.6	0.6
合計	6409	6328	6722	6412	5.1	5.0	5.3	5.1
交通事故総計	12378	11743	10913	10551	9.8	9.3	8.7	8.4

年間6500人前後の人が転倒や転落により死亡している。死亡例の50%以上が同一平面上での転倒によって起こっている。

表Ⅱ－3 妊娠中の身体パラメーターの変化

	妊娠週齢 (週)	年齢 (年)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	腹囲 (cm)
出産前	38.0 ±0.4	31.4 ±0.8	155.1 ±1.1	58.4* ±1.0	24.3* ±0.4	90.0* ±0.8
出産後	‡	31.4 ±0.8	155.1 ±1.1	51.4 ±1.0	21.4 ±0.4	73.4 ±1.3

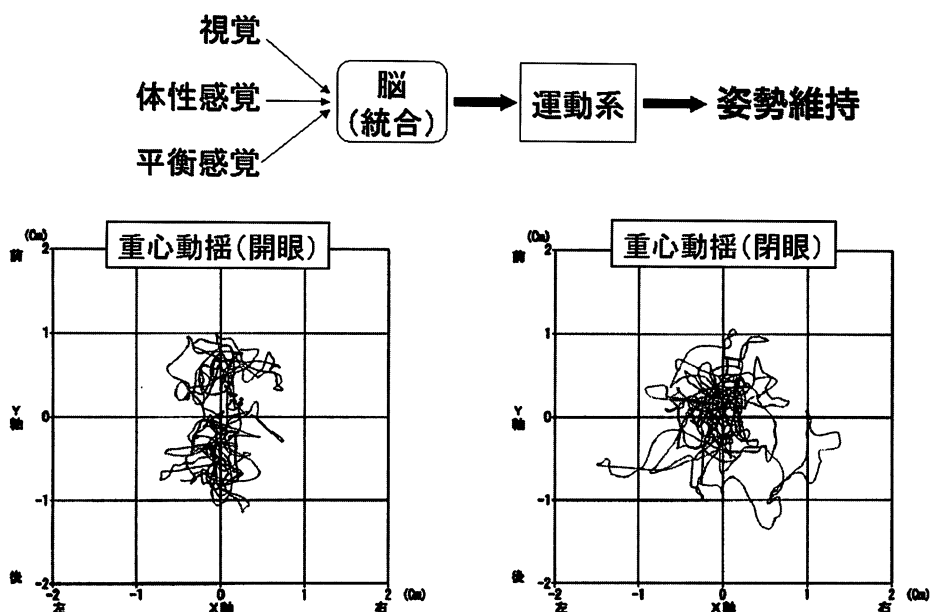
平均値と標準誤差 (n=18) を示す      \* データー間の有意差を示す (p<0.05)  
‡ 出産後1ヶ月



図Ⅱ－１ 直立姿勢の維持

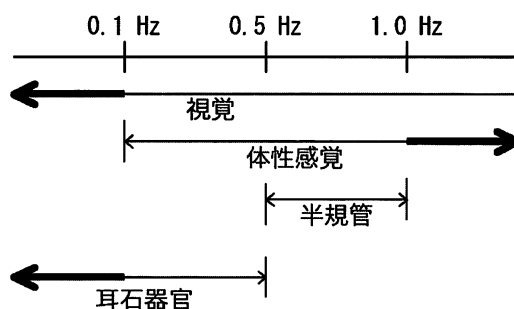
直立姿勢は屈筋と伸筋の協調運動によって保たれる。

## 姿勢の維持



図Ⅱ－２ 直立姿勢の維持機構と視覚情報

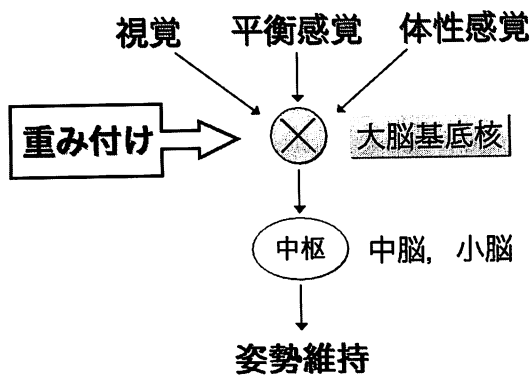
直立姿勢の維持機構（図上）と重心動揺に及ぼす閉眼の効果（図下）。目を閉じることで利用できる視覚情報の量が減少することで、重心動揺距離と重心動揺面積が増加する。直立時の重心動揺を1分間記録している。



Redfern et al. (2001) Anxiety Disorders 15: 81-94.

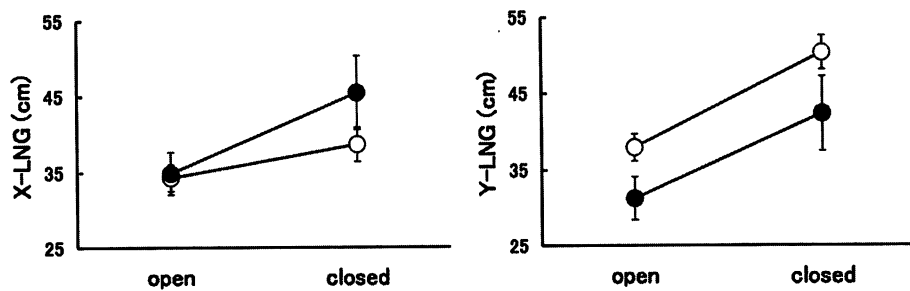
図Ⅱ－３ 重心動揺の周波数と感覚

直立姿勢は、視覚、体性感覚、平衡感覚（耳石器官、半規管）からの情報に基づいて安定化される。それぞれの感覚が安定化作用を発揮する動揺周波数帯は異なる。0.02-0.1Hzの周波数帯の重心動揺は視覚と耳石器官からの平衡感覚によって安定化され（揺れが小さくなる）、1.0Hz以上の重心動揺は体性感覚によって安定化される。



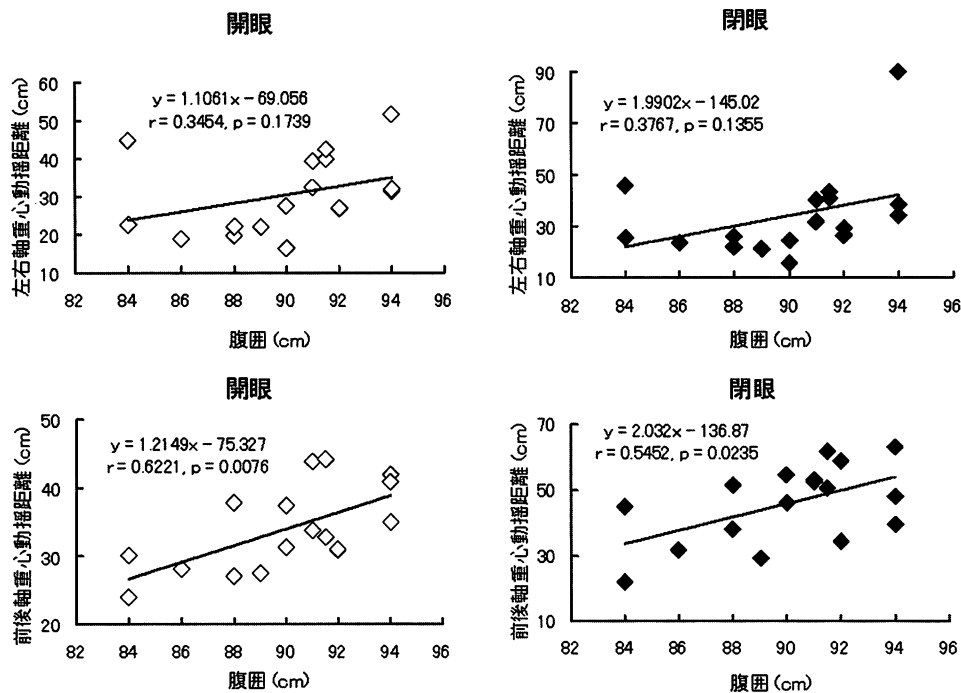
図Ⅱ－４ 感覚への重み付け

姿勢維持に利用される三種類の感覚への依存度は、大脳基底核の機能により決まると考えられている。



図Ⅱ－５ 直立姿勢の維持と体性感覚（妊娠中の重心動揺）

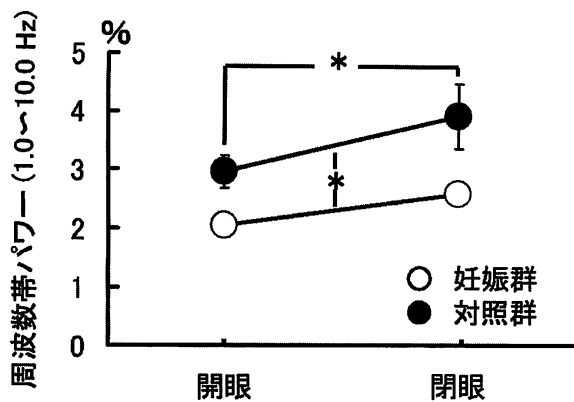
妊娠中の身体バランスの変化が体の前後方向の重心動揺距離を増加させる（右）。体の左右方向の重心動揺距離は変化しない（左）。妊娠30.6±0.6週齢（平均値±標準誤差）の女性35名のデータ。 (Nagai et al., Neuroscience Letters 462: 130-134, 2009)



図Ⅱ－６ 直立姿勢の維持と体性感覚（妊娠中の重心動揺と腹囲）

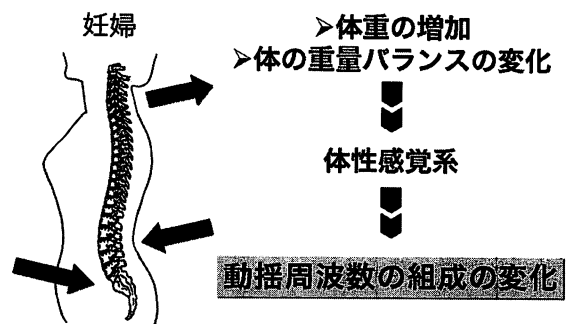
妊娠中の腹囲の増加が体の前後方向の重心動揺距離を増加させる（下）。体の左右方向の重心動揺距離は変化しない（上）。腹囲と体の前後方向の重心動揺距離との相関は、開眼条件（左）でも閉眼条件（右）でも見られる。妊娠38.0±0.4週齢（平均値±標準誤差）の女性18名のデータ。





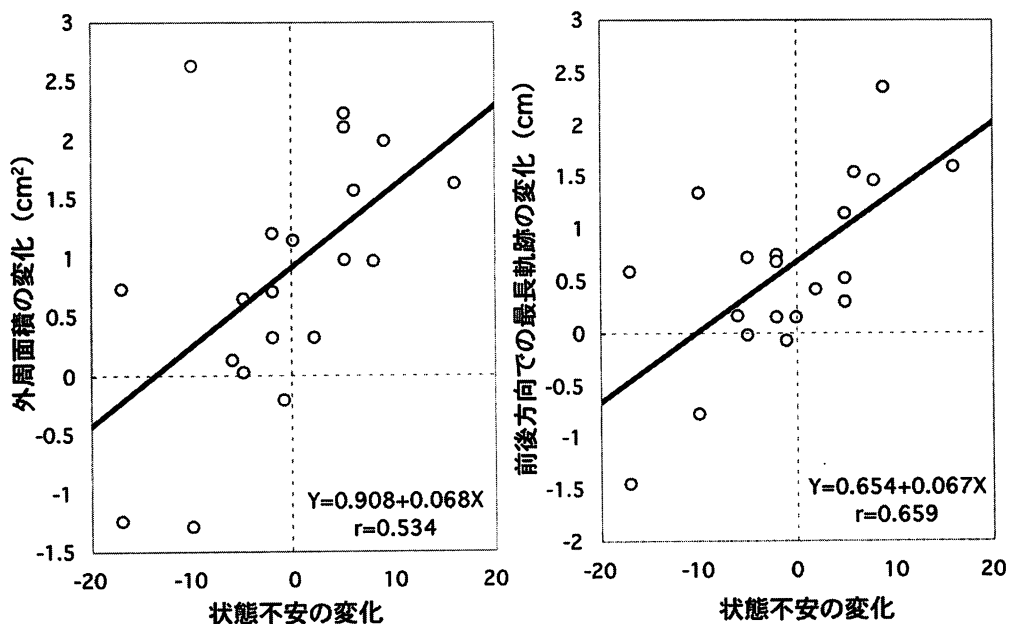
図Ⅱ-7 直立時の重心動揺周波数と体性感覚  
(周波数分析の結果)

体性感覚によって安定化される1.0Hz以上の周波数帯パワーが全体に占める割合は、体の左右方向で妊娠中は小さくなる。体性感覚への依存度を増すことで、妊娠中の身体バランスの変化を相殺している。妊娠 $30.6 \pm 0.6$ 週齢(平均値 $\pm$ 標準誤差)の女性35名のデータ。(Nagai et al., Neuroscience Letters 462: 130-134, 2009)



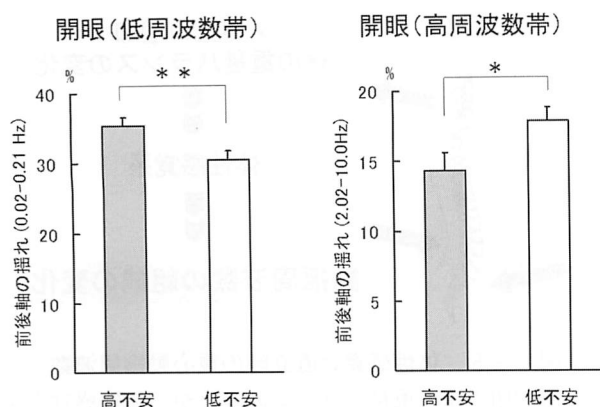
図Ⅱ-8 体性感覚と直立時の重心動揺周波数

体重増加や体の重量バランスの変化が、体性感覚系を介して直立時の重心動揺周波数の組成に変化を起こす。体性感覚と重心動揺の周波数組成との関連を示す典型例を、妊娠中の直立姿勢を分析により見ることができる。



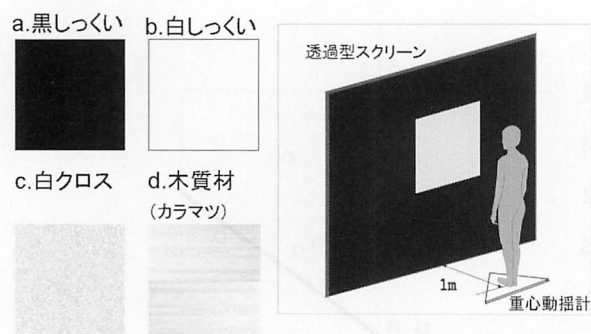
図Ⅱ-10 重心動揺距離と動揺面積に及ぼす不安の影響

不安が高まると、体の前後方向の重心動揺距離が増加し(図右)、重心動揺面積が増加する(図左)。大学生男女20名のデータ。(Ohno et al., Neuroscience Letters 364: 37-39, 2004)



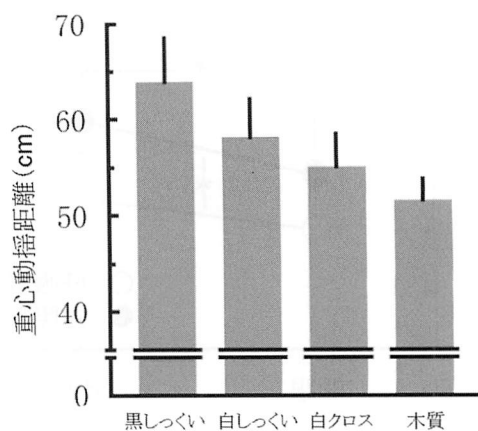
図Ⅱ-9 重心動揺周波数に及ぼす不安の影響

不安が高まると、重心動揺に占める低周波数帯パワーが大きくなり(図左)、高周波数帯パワーが小さくなる(図右)。大学生男女31名のデータ(高不安群16名、低不安群15名)。(Wada et al., Neuroscience Letters 302: 157-159, 2001)



図Ⅱ-11 バーチャルリアリティによる実験方法

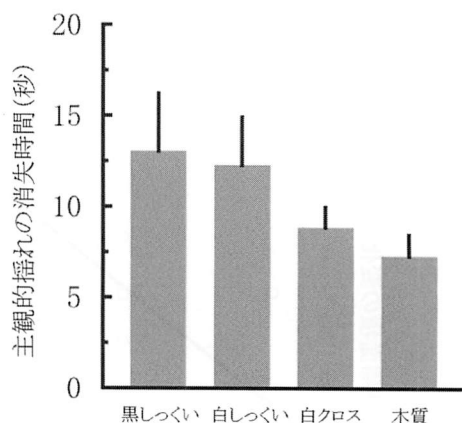
透過型スクリーン(2.5×2.5m)の後方からプロジェクターを用いて4種類の画像(図左、口絵写真1参照)を投射する。被験者はスクリーンから1mの距離で重心動揺計の上に直立する。被験者には縞模様(口絵写真2)が左右に回転する画像を30秒間見せ、疑似運動感覚(ベクション知覚)を引き起こした。その後4種類の画像の内一つを60秒間呈示し、その間の重心動揺を記録した。これを4種類の画像につき、無作為に繰り返した。



静止画像

図Ⅱ-12 疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後の直立姿勢の維持(1)

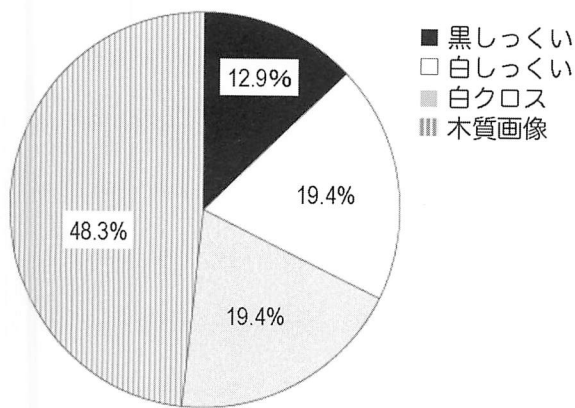
疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後に静止画像を呈示すると、黒しっくい>白しっくい>白クロス>木質材の順で重心同様距離が短くなる。成人男女31名のデータ。



静止画像

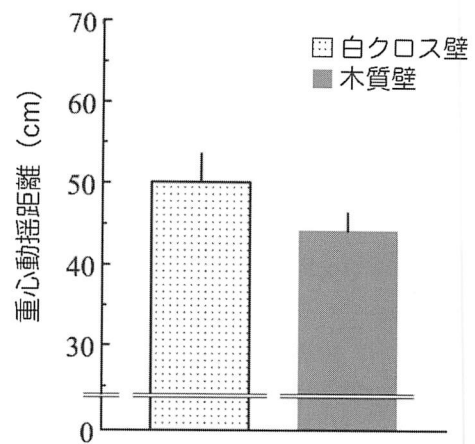
図Ⅱ-13 疑似運動感覚(ベクション知覚)誘発後の直立姿勢の維持(2)

運動感覚(ベクション知覚)誘発にともなう動揺感が消失するまでの時間は、黒しっくい>白しっくい>白クロス>木質材の順で短くなる。成人男女31名のデータ。



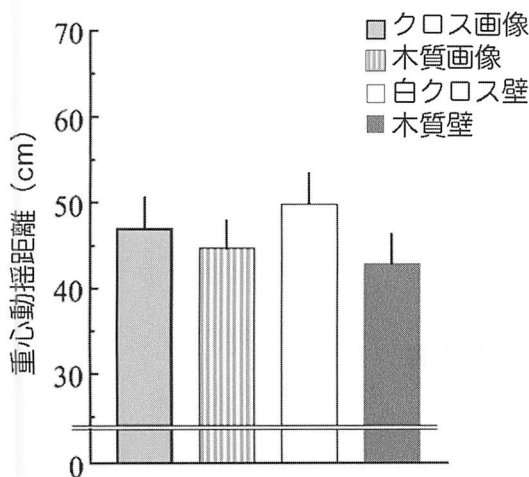
図Ⅱ-14 疑似運動感覚（ベクション知覚）誘発後の直立姿勢の維持 (3)

主観的立ちやすさに基づく画像の評価では、木質材>白クロス=白しっくい>黒しっくいの順で評価が高い。成人男女31名のデーター。



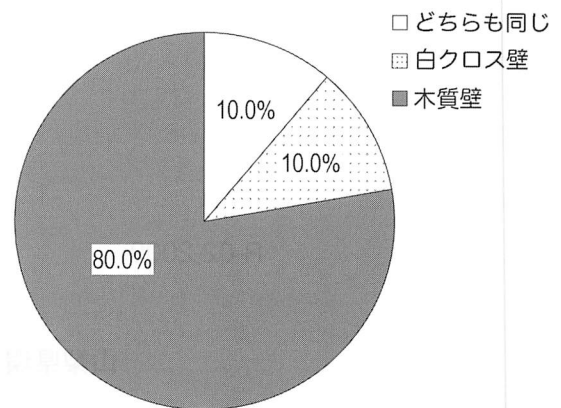
図Ⅱ-17 木造家屋内での木質壁とクロス壁が立位姿勢に及ぼす影響 (1)

木質壁に向かって立つ方が、重心動揺距離が少ない。成人男女10名のデーター。



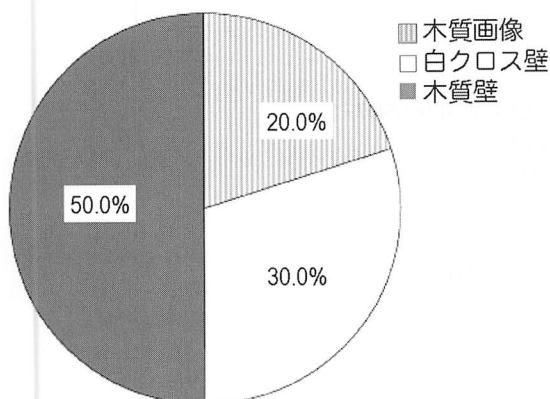
図Ⅱ-15 直立姿勢の維持に及ぼす壁材の影響 (1)

白クロス壁>白クロス画像>木質画像>木質壁の順で重心動揺が小さくなる。成人男女10名のデーター。



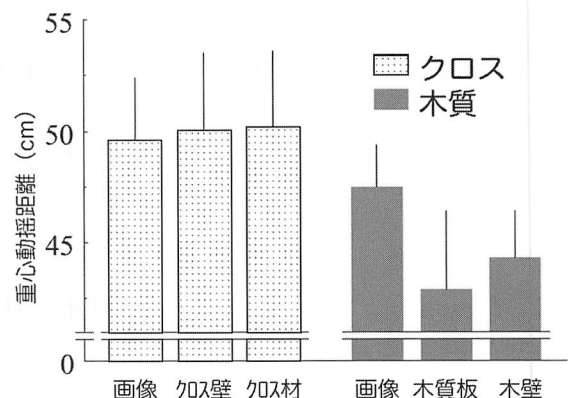
図Ⅱ-18 木造家屋内での木質壁とクロス壁が立位姿勢に及ぼす影響 (2)

主観的立ちやすさに基づく評価では、木質壁が最も立ちやすいと評価された。成人男女10名のデーター。



図Ⅱ-16 直立姿勢の維持に及ぼす壁材の影響 (2)

主観的立ちやすさに基づく評価では、木質壁>白クロス壁>木質画像の順で評価が高い。成人男女10名のデーター。



図Ⅱ-19 直立姿勢の安定性から見た白クロス材と木質材の比較

クロス画像、クロス材より木質画像、木質材を見て立つの方が重心動揺距離が小さい ( $F(1,49) = 10.79$ ,  $p < 0.002$ )。

R-02-2009

平成21年度  
山梨県環境科学研究所研究報告書  
第25号

YIES Research Report

---

2010年3月発行

編集・発行  
山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾5597-1

電話：0555-72-6211

FAX：0555-72-6204

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>

---

印刷 株式会社サンニチ印刷



