

平成5年度 農林水産省補助事業
(財)日本住宅・木材技術センター事業

普及資料

木質材料と環境

平成6年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

序

最近、木造建築物が脚光を浴びつつある。木材は古くさく、近代化とは縁の遠い材料として疎まれた時期もあったが、空間構成材料として、多様な可能性を持つ新しい材料として、そして環境に優しい材料として見直されてきている。

特に、木の環境が居住者の健康、生理、心理に及ぼす優れた効果が注目されるようになってきている。

本書は、そうした動向に対応し、木材や木造建築に関わる方々に、木材の居住性に係るこれまでの研究蓄積をダイジェスト的にまとめ、情報として提供しようとするものである。

内容は、第1章では、木材の組織・構造と材料としての特性について、第2章では、木材の住宅内気候（温度、湿度）の調節について、第3章では、木材がもつ感覚的（視覚、触覚、衝撃、聴感覚、臭覚）な特性について解説している。

取り纏めにあたっては、可能な限り短く、かつ分かりやすくという原則で纏めたが、結果的にはやや専門知識的が必要な部分も含まれてい。しかし、そうした部分は、飛ばして読んでいただいても内容は十分理解いただけると思われる。

木材を有効に生かすために、この小冊子が幅広く活用され、またそれによってさらに木材が生活の中に幅広く生かされることを期待している。

なお、本書の取り纏めに当たって、執筆は則元 京氏（京都大学木材科学研究所）を煩わし、指導を岡野 健氏（東京大学）にお願いした。ここに両氏に心からお礼申し上げる。

平成 6 年 3 月
（財）日本住宅・木材技術センター

目次

序	頁
1. 木材の構造と材料としての特性	1
1-1. 木材の構造	1
針葉樹材と広葉樹材	1
木材の巨視的構造	1
木材の微細構造	2
1-2. 木材の特性	4
材料としての卓越性	4
材料としての弱点	5
文献	9
2. 木材と室内気候	10
2-1. 温度と木材	10
人と温度	10
熱と木材	12
木材の調湿作用	14
木質住宅の温熱的特徴	15
木材の断熱性	16
2-2. 湿度と木材	17
人と湿度	17
木材の吸湿性と透湿性	19
木材の調湿作用	20
結露	24
文献	25
3. 木材の感覚特性	26
3-1. 視覚と木材	26
木材の反射と吸収	26
木材の色調	28
木目模様	29
3-2. 触覚・衝撃と木材	30
木材の硬さと摩擦	30
木材の温冷感	31
木材の硬軟感	31
木材の乾湿感	33
木材の粗滑感	33
3-3. 聴感覚と木材	33
木材と音	33
木材の遮音と吸音	35
木材床の衝撃音	37
3-4. 嗅覚と木材	38
人と嗅覚	38
木材のにおい	39
文献	40

1. 木材の構造と材料としての特性

木材は、軽くて強い構造材料としての性質と、見て美しく、暖かみがあり、適度に硬くて安全で、安心感を与える内装材料としての性質の両方を備えている。これらの性質は、木材のもつ微細構造から巨視的構造に至る複雑で巧妙な複合構造に基づいている。

1-1. 木材の構造

針葉樹材と広葉樹材

樹木には、葉の細いか鱗状の針葉樹と、葉の広い広葉樹がある。後者は、前者に比べ、進化した植物である。ヒノキ、スギ、アカマツなどは、針葉樹であり、ケヤキ、キリ、ブナ、ミズナラなどは、温帯の広葉樹、チーク、ラワン、アピトンなどは、熱帯の広葉樹である。

表1-1 に、建築、家具、建具に用いられる木材を示している。¹⁾

木材は、細胞で構成されている。針葉樹材を構成する細胞の約95%は、樹幹の軸方向に配列した仮道管である。残りは、放射方向に連なる放射柔細胞などである。(図1-2 左図) 広葉樹材を構成する細胞は、軸方向に沿って存在する円筒状の道管と、細長い厚壁の木繊維が主体で、その外、放射方向に沿って存在する放射柔細胞からなっている。(図1-2 右図)

表1-1 建築、家具、建具に用いられる木材
(出典：佐道健、1990¹⁾)

建築用材	柱	ヒノキ、スギ、ツガ、ヒバ、エゾマツ、トドマツ、ベイツガ、ベイヒ、スプルースなど
	土台	ヒノキ、ヒバ、クリ、カラマツ、ベイツガ、アピトンなど
	梁、桁 枠組壁工法用材	アカマツ、ベイツガ、ペイマツなど ペイマツ、ベイツガなど
	床板	フローリング：ブナ、ミズナラ、アピトン、イタヤカエデなど各種広葉樹材やこれらの単板をオーバーレイした合板など 畳敷き：スギ、ヒノキ、ヒバ、合板、パーティクルボードなど
	壁パネル	ベイツガ、スプルース、カラマツ、合板、パーティクルボードなど
	天井板 台所、浴室	スギ、ヒノキ、ベイスギ、サワラ、モミ、キリなど ヒノキ、ヒバなど
家具	なげし 床柱 鴨居 敷居	スギ、ベイスギ、ヒノキなど スギを主とする磨き丸太、コクタン、シタンなどの唐木 ヒノキ、スギ、ヒバ、ツガ、エゾマツ、トドマツ、ベイツガ、ベイヒ、スプルースなど マカンバ、ミズメ、アカマツ、ヒノキ、ツガなど
	和家具	たんす：キリ、ケヤキ、クワ、唐木、チーク、クスノキなど 鏡台：カツラ、ハンノキ、クワ、キリなど 茶だんす：ケヤキ、クロガキ、クワなど 座卓：ケヤキ、サクラ、センノキ、唐木など
	洋家具	ブナ、ミズナラ、ヤチダモ、センノキ、シオジ、ミズメ、マカンバ、ラワン、チーク、マホガニー、マトアなど
建具	和建具	スギ、ヒノキ、ヒメコマツ、エゾマツ、サワラ、モミ、トウヒ、ヒバ、ベイヒ、ペイモミ、ベイスギ、スプルースなど
	洋建具	ラワン、ミズナラ、ペイマツ、広葉樹材合板など

木材の巨視的構造

建築や家具に用いる木材

は、主に、樹幹部分である。図1-1 に、樹幹の構造を示している。²⁾ 樹幹の横断面には、同心円状に年輪（成長輪）が見られる。樹幹の周辺部は、白っぽく、中心部は、樹種特有の美しい色調に着色している。前者を辺材、後者を心材と呼ぶ。

樹幹の軸方向を繊維方向（L方向）、樹幹の中心から外に向かう方向を放射方向（R方向）、年輪に接する方向を接線方向（T方向）と呼ぶ。繊維方向と接線方向とが作る面を板目面、繊維方向と放射方向が作る面を柾目面、接線方向と放射方向が作る面を木口面と呼ぶ。これらの材面には、木材を構成する細胞や組織によって、様々な模様（木目）が現れる。装飾価値のあるものをもく（空）と呼んでいる。一般に、柾目面には、年輪が平行線状に現

われ、板目面には、年輪が円錐曲線を描き、中央に双曲線状の山形が、左右に緩曲線～直線が現れる。樹種によって、特有のもくが現れる。

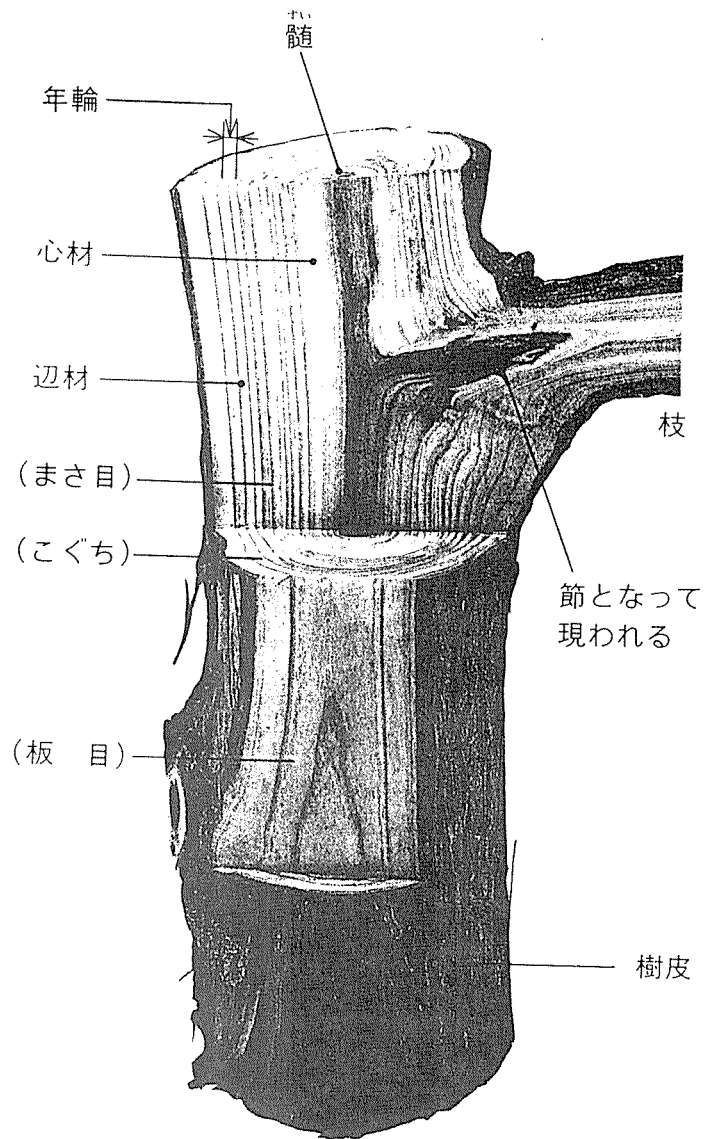
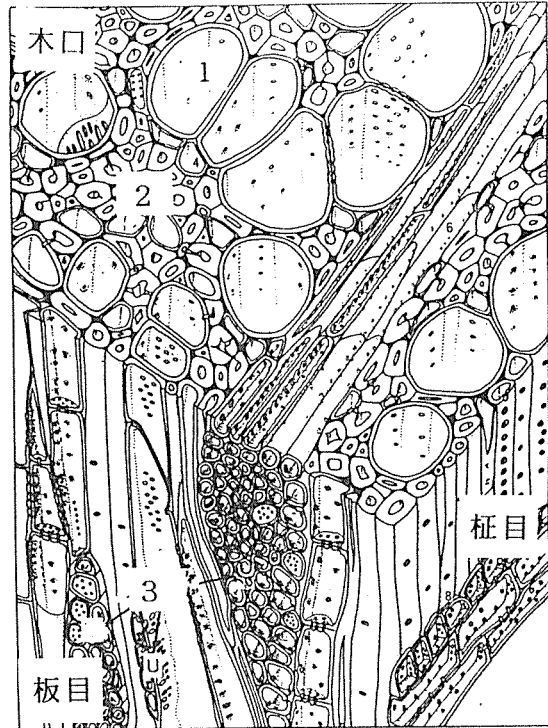
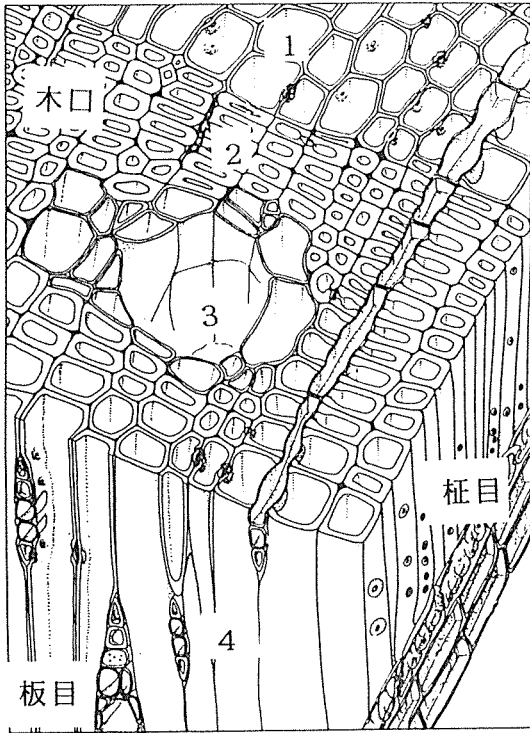


図1-1 樹幹（スギ）の構造
（出典：渡辺 茂、1984²⁾）

木材の微細構造

光学顕微鏡や走査電子顕微鏡で見える針葉樹材（アカマツ、左図）と広葉樹材（ブナ、右図）の組織構造を図1-2 に、透過電子顕微鏡で見える構造を図1-3 に示している。³⁾

細胞壁は、層を成す。隣接する細胞間の共通部分を細胞間層、その内側の層を一次壁、その内側の層を二次壁と呼ぶ。二次壁は、細胞の外側より外層、中層、内層と呼ぶ三層より成る。これらの層の内、二次壁中層は、細胞壁の大半（70～80%）を占め、木材の物理的性質に大きな影響を及ぼす。二次壁中層は、鉄筋コンクリートに似た構造をもつ。鉄筋



- 1 : 仮道管 (早材部)
- 2 : 仮道管 (晩材部)
- 3 : 軸方向樹脂道
- 4 : 放射柔細胞

- 1 : 道管
- 2 : 木繊維 (繊維状仮道管)
- 3 : 放射組織

図1-2 針葉樹材 (アカマツ、左図) と広葉樹材 (ブナ、右図) の組織構造
(出典: 佐伯 浩、1982³⁾)

に当たるのは、セルロースという直鎖状の結晶した高分子の束 (マイクロフィブリル) で、これが細胞の長軸方向から少し傾いて無数に配列している。鉄筋と鉄筋の間は、コンクリートに当たる無定形の橋かけのある高分子のリグニンで充填されている。鉄筋とコンクリートをなじみよくするために、非結晶性の鎖状高分子であるヘミセルロースが鉄筋の表面に沈着している。ヘミセルロースとリグニンを合わせてマトリックスと呼ぶ。二次壁では、マイクロフィブリルとマトリックスの占める割合は、同程度である。外層および内層では、鉄筋は、横方向に走向している。細胞間層や一次壁では、マトリックスの占める割合が多い。

細胞の配列や形態、細胞壁の構造が方向によって異なるため、木材の性質の多くは、3 主軸方向や主軸がつくる3断面で異なる。

1-2. 木材の特性

材料としての優位性

まず、軽くて強いことが上げられる。木材は、中空の細胞で構成されているため、空隙を多く含むので、密度は小さい。木材の密度は、バルサ材の約 0.1g/cm^3 からリグナムバイタ材の約 1.3g/cm^3 の範囲にある。細胞の壁の密度は、樹種によらず約 1.5g/cm^3 であるので、木材において空隙の占める割合（空隙率）は、93～13%の範囲にある。スギ材では、密度を 0.35g/cm^3 と

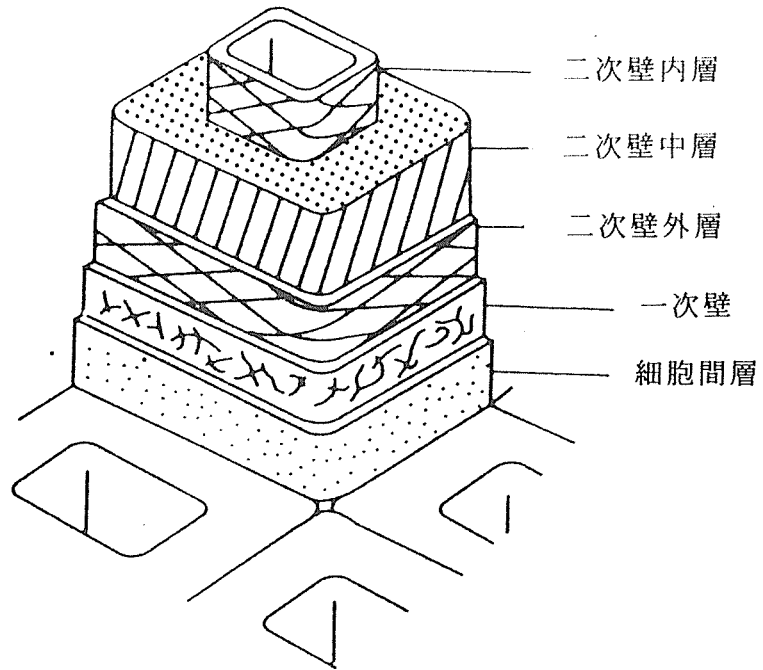


図1-3 細胞壁の構造³⁾

表1-2 種々の材料の密度⁴⁾

材 料	密度 (g/cm^3)	材 料	密度 (g/cm^3)
木材	0.1～1.3	大理石	1.52～2.86
ガラス	2.4～2.6	ポリ塩化ビニル	1.2～1.6
コンクリート	2.4	アルミニウム	2.69
レンガ	1.2～2.2	鉄	7.86

すると、空隙率は77%である。表1-2 に、各種材料の密度を比較している。⁴⁾

住宅の構造材料として、木材が用いられるのは、木材の繊維方向の比強度（密度当たりの強度）が大きいためである。柱には、圧縮の力が、梁には、曲げの力が作用するが、木材を柱や梁に用いた場合、繊維方向に力が作用する。細胞壁の大半を占める二次壁中層では、鉄筋に当たる長さ方向に強靱なマイクロフィブリルが繊維方向に近い方向に走向しているので、木材の繊維方向の強度は大きい。また、密度が小さいので、比強度は、著しく大きい。表1-3 に、各種建築材料の引張および圧縮の強度と比強度を比較している。⁵⁾ 木材の繊維方向の比強度は、鉄やコンクリートのそれに比べ、圧縮、引張ともに大きい。

次に、優れた加工性が上げられる。木材は、容易に鋸で切ったり、刃物で削ったり、釘

表1-3 建築材料の強度 (MPa)と比強度 (MPa/(g/cm³))

(出典：大岸 佐吉外、1981⁵⁾)

材 料	引張強度	比引張強度	圧縮強度	比圧縮強度
スギ L	55	170	27	83
スギ R	6.9	21		4.1
スギ T	2.5	7.5		2.1
アカマツ L	130	250	40	79
アカマツ R	9.3	18		4.8
アカマツ T	3.9	7.7		3.4
ケヤキ L	120	170	55	78
ケヤキ R	17	24		9.5
ケヤキ T	12	18		7.3
鉄筋	380~520	49~67	380~520	49~67
アルミニウム	310	116	310	116
コンクリート	1.8	0.71	18	7.1
大理石	5.4	2.0	120	44
ガラス	29~78	12~31	490~93	200~370
ポリエステル	25~62	18~45	150	110

1 MPa=10.20 kgf/cm²

で接合したり、接着剤で接着したり、加工性に極めて優れている。

木材の特に卓越した点として、室内気候調節機能や優れた感覚特性をもつなど居住性に優れていることが上げられる。室内気候調節機能については、2章で、感覚特性については、3章で述べる。

木材は、生産、加工、利用、再利用、廃棄の全ての段階において、無公害で環境負担が少なく、環境と調和したエコマテリアルである。コンクリートやプラスチック類の廃棄の問題が深刻化してきているが、木材は、生産→利用→再利用→廃棄→再生産の循環系を形成し得る材料で、未来型の資源と考えることができる。

材料としての弱点

木材には、材質に個体差があり、寸法にも制約がある。建築材料には、性能の均一性、高信頼性、寸法に制約のないことが要求される。最近、工業材料としての木質材料（エン

ジニャードウッド)、例えば、LVL、集成材、パララム、OSBなどの研究開発が活発に進められている。

LVLは、単板を繊維方向をお互いに平行して積層・接着したもので、家具部材、住宅内装材料や構造材料に用いられる。集成材は、挽板あるいは小角材を要素とし、その繊維方向をお互いに平行して、長さ、幅および厚さの方向に積層・接着したもので、大型構造物の耐力部材、住宅の柱、長押、框などに用いられる。パララムは、針葉樹単板を繊維方向に長いストリップに切断し、それにフェノール樹脂を塗布し、繊維方向にならべて、マイクロ波加熱を併用した連続プレスで成形したもので、構造部材や工芸品に用いられる。OSBは、薄くて細長い削片に接着剤を噴霧した後、機械的または電氣的に配向させてマットにし、それを熱圧したもので、床、屋根、壁下地などに用いられる。

木材は、吸湿性の高い材料で、通常水分を含んでいる。水分の量は、含水率で表わす。重さW(g)の木材を、換気の良い炉を使って、100~105℃の温度で重さが増えなくなるまで乾燥した状態(全乾状態)にし、そのときの重さW₀(g)を測定すると、含水率は、次式で求められる。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100$$

含水率をこのようにして求める方法を全乾重量法と呼ぶ。この方法は、測定に時間がかかることや、製品の各部位を非破壊的に求めることは、実際には困難であったりする。そこで、迅速に含水率を推定するため、直流抵抗式水分計や高周波容量型水分計などの電気式水分計が用いられている。これらは、水分の量によって木材の抵抗や容量が変化することを利用したものである。

立木または伐倒直後(生材状態)の木材の含水率(生材含水率)は、樹種によって、あるいは同一樹種であっても、産地など生育している場所によって異なる。しかし、目安として一例を示すと、スギでは、辺材で150%、心材で80%程度、ミズナラでは、辺材、心材ともに90%程度である。一般に、針葉樹材では、辺材の含水率が心材のそれより高く、広葉樹材では、両者の差は少ない。

生材状態の木材を通常の大気条件に長く放置すると、乾燥が進み、その条件と平衡した状態に達する。この状態を気乾状態、このときの含水率を気乾含水率と呼ぶ。気乾含水率は、日本では15%程度、欧米では12%程度である。

木材中の水は、それが存在している位置と状態によって、結合水と自由水に分類される。結合水は、木材の細胞壁の内部に散在し、木材の膨張・収縮や力学的性質に影響を与える水である。自由水は、細胞の内こうなどの空隙に液状で存在する水である。生材状態では、結合水と自由水の両方が存在する。乾燥が進むと、まず自由水が蒸発していき、やがて自由水がなくなり、細胞壁が結合水で飽和した状態(繊維飽和点、含水率25~35%)を経て、気乾燥状態に至る。

結合水は、壁を膨張させているので、乾燥によってその量が減少すると、木材は収縮し、吸湿して増加すると、膨張する。自由水は、一般に、木材の膨張・収縮には影響を与えない。細胞壁は、鉄筋コンクリートに似た構造をしていて、細胞壁の大半を占めている二次壁中層では、鉄筋が繊維方向に対し少し傾いて走向している。(図1-3 参照) 結合水は、鉄筋(ミクロフィブリル)の内部には入ることができず、その表面や、コンクリート(マトリックス)の中に入って、それを膨張させ、鉄筋相互の間隔を広げるので、木材は、一般に、繊維方向にはほとんど膨張せず、繊維に直角方向に膨張する。直角方向では、放射方向に配列している放射組織の存在や放射方向と接線方向で細胞の配列の仕方が異なることなどによって、膨張・収縮の程度が異なる。木材の収縮・膨張量の比率は、接線方向、放射方向、繊維方向で、10:5:1~0.5程度である。表1-4に、国産材数種の生材から全乾状態までの収縮率(全収縮率)を示している。⁶⁾ 収縮率は、一般に、比重が大きくなると大きくなる。木材の膨張・収縮の量が方向によって異なるので、木材が乾燥したり、吸湿したりすると、そりやねじれなどの狂いが生じる原因となる。

表1-4 木材の全収縮率
(出典：岡野 健、1988⁶⁾)

樹 種	気乾密度 (g/cm ³)	接線方向 (%)	放射方向 (%)	繊維方向 (%)
スギ	0.37	6.57	2.68	0.19
ヒノキ	0.41	6.43	3.07	0.25
アカマツ	0.58	8.93	4.82	0.20
キリ	0.29	5.16	1.43	0.17
ケヤキ	0.62	6.29	3.70	0.65
ブナ	0.68	11.50	5.02	0.37
シラカシ	0.99	14.07	5.39	0.43

十分に乾燥していない木材を住宅部材に使用すると、乾燥するに伴って、床なり、割れ、狂いや隙間が開くなど、問題が生じる。一方、木材が吸湿性に富むことは、住宅内の湿度を調節する機能をもつ。十分に乾燥している木材を使用することが重要であり、湿度調節が十分発揮され、しかも割れや狂いが生じないような設計、施工が必要である。

最近、木材を化学処理して木材の寸法安定性を向上させる研究が活発に行われ、既にいくつか実用化されている。一例として、アセチル化処理がある。これは、木材と無水酢酸を反応させて、木材中の親水性の水酸基を疎水性でかさ高いアセチル基で置換し、細胞壁

を膨らして、細胞壁を膨張しないようにする処理である。風呂場の壁材や扉材、アセチル化処理した後、樹脂処理して床材料などに用いられている。

木材は、乾燥していると、腐朽や白蟻による食害は起こらない。壁内や押入れなどで結露が生じたり、床下などで長期間高湿度になると、生物劣化が生じる。従来から、生物劣化を防止するため、木材に薬剤塗布や注入が行われてきたが、最近では、木材を化学処理し、耐生物劣化性を向上させる研究が行われている。

木材は、可燃性であることが欠点とされてきた。口火を近づけると引火する温度を引火点、着火・燃焼する温度を着火点、口火なしに引火して燃焼する温度を発火点という。木材の引火点、着火点、発火点は、それぞれ、220～260℃、260～290℃、330～470℃である。

木材を加熱していくと、木材成分のヘミセルロースが熱分解を始め、次いで、リグニンが緩やかな分解を始め、その後、セルロースが急激な分解を始め、最後に、リグニンが分解する。分解する温度は、ヘミセルロースで220～260℃、セルロースで240～350℃、

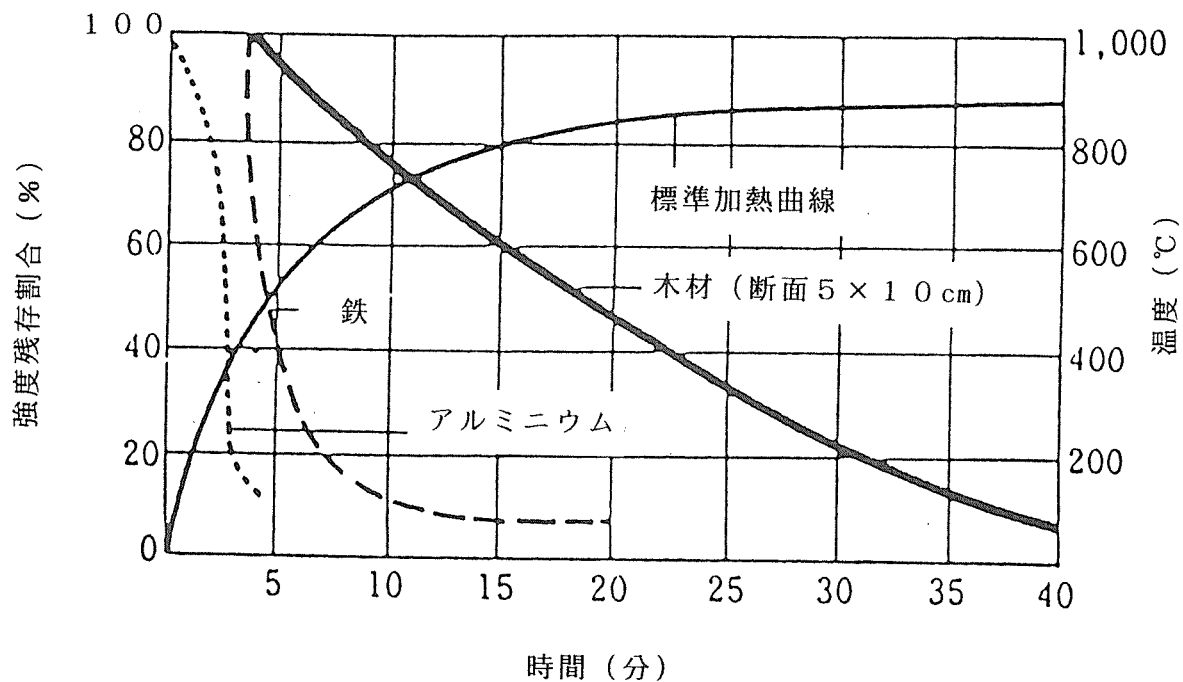


図1-4 木材、鉄、アルミニウムの加熱による強度の低下
(出典：Tompson, H. E., 1958⁷⁾)

リグニンで280～500℃である。木材は、セルロースが熱分解しだすと、燃焼ガスが多量に発生し、発火する。

木材を燃やしたとき、断面の小さなものはすぐに燃えるのに対し、太い丸太や断面の大きな角材などは、熱容量が大きく、温度の上昇が遅く、着火し、燃えるのに時間がかかる。また、着火しても表層に炭化層が形成され、それが断熱の働きをするので、燃焼が遅れ

る。図1-4 に、木材と鉄が加熱されたときの強度の低下の経時変化を示している。⁷⁾ 鉄では、10分以内に著しい強度の低下が見られるが、木材では、15分経過しても、60%程度の強度を維持している。火災時において、断面の大きな柱や梁を用いた木造では、構造体としての強さは鉄骨造より長時間維持されるので、避難時間が十分あること、消化活動が長く行えることから、安全性が高く評価されている。

木材を難燃化するのに、従来より難燃薬剤を塗布したり注入することが行われてきたが、最近、木材中に無機塩などを形成させる新しい方法が開発され、既に扉などに使用されている。

文献

- 1) 佐道 健：「木を学ぶ木に学ぶ」、海青社、(1990)
- 2) 渡辺 茂編：「技術・家庭上」、開隆堂、(1984)
- 3) 島地 謙外6名：「木材の科学1、木材の構造」、文永堂、(1985)
- 4) 国立天文台編：「理科年表」、丸善、(1991)
- 5) 大岸佐吉外2名：「現代建築材料工学」、オーム社、(1981)
- 6) 岡野 健：「木材のおはなし」、日本規格協会、(1988)
- 7) 住木センター：木材利用啓発推進調査事業報告書（温度編）、(1989)

2. 木材と室内気候

木材は、吸放湿性に富み、比熱が大きく、熱伝導率が小さい。これらの性質によって、木材で囲まれた空間の温度と湿度の変動は、外周のそれらに比べて小さくなり、気候調節が行われる。住宅が優れた気候調節機能を備えていることは、居住性に重要である。また、木材の優れた断熱性は、色々な用途に活用されている。

1-1. 温度と木材

人と温度

人間の快適さに影響する気候要素は、第一に温度で、加えて、風速、相対湿度、熱放射である。快適感覚を表すカテゴリースケールには、非常に不快、不快、少し不快、快適があり、温度感覚のそれには、暑い、暖かい、少し暖かい、中立、少し涼しい、涼しい、寒いがある。快適とは、暑くもなく、寒くもないと感じる環境のことで、中立の温度感覚のことである。人間の気候条件に対する快不快感を示す多くの指標が提出されている。この中で、不快指数、新有効温度、PMV基準値などが代表的なものである。

Bosenらによる不快指数は、次式で示される。

$$\text{不快指数} = 0.81 \times \text{気温} + 0.01 \times \text{相対湿度} \times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3$$

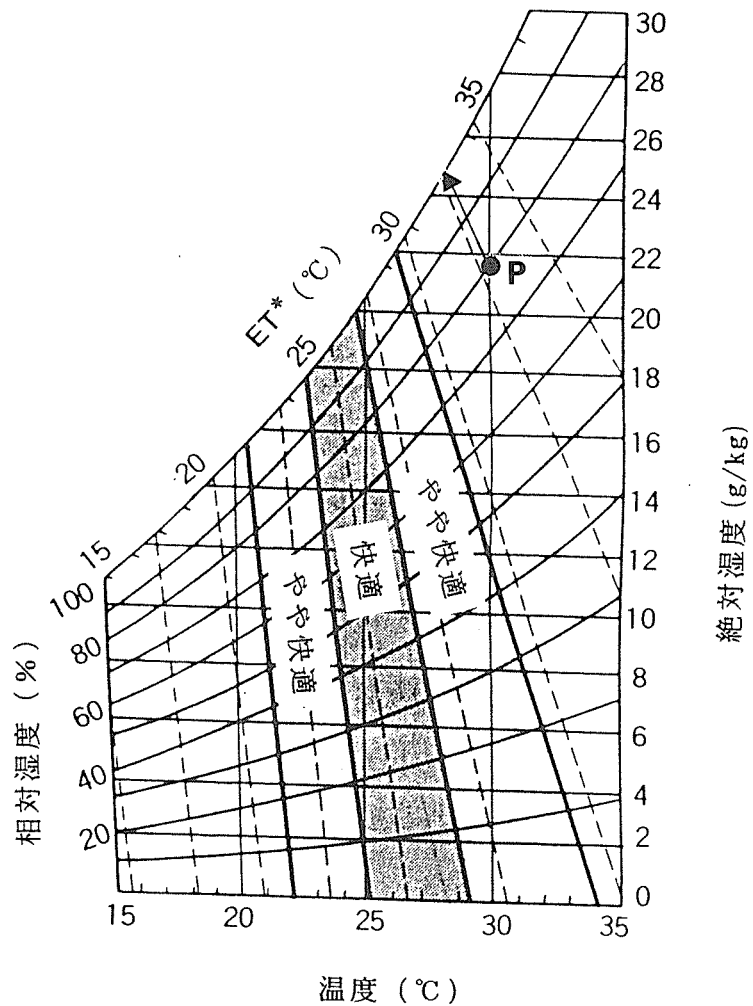


図2-1 新有効温度 (ET*) と快適範囲¹⁾

風速 < 0.25 m/s, 軽装

ここに、気温、相対湿度は、15時における値を用いる。日本人の体感では、不快指数が75以上になると、やや暑い、80以上になると、暑くて汗が出、85以上になると、暑くてたまらないと感じる。

図2-1 には¹⁾、新有効温度(ET*)と快適範囲を示している。図中の点線は、快適さの程度が同じ点を結んだものである。例えば、温度30℃で相対湿度80%の環境(図中のP点)と、温度33℃で相対湿度50%の環境は、快適さが同じである。新有効温度 ET*は、等感覚に感じる相対湿度50%の部屋の温度で表すので、P点で示す環境のET*は、33℃である。温度25℃で相対湿度20%の環境と、温度24℃で相対湿度50%の環境は、快適さが同じであるので、温度25℃で相対湿度20%の環境のET*は、24℃である。

PMV 基準値は、気温、相対湿度、気流、放射、作業量、着衣量を変数とした快適方程式より計算される。温度感覚と PMVの値の関係は、暑いが3で、寒くなるにつれて数値が整数で減少し、中立で0、寒いで-3となる。

人体内では、熱は糖質、蛋白質、脂質の代謝によって発生し、化学的に調節される。一方、体表からの放熱は、対流、放射、蒸発によりなされ、皮膚血流、発汗、着衣により、物理的に調節される。体温調節は、快適な環境では、血流調節により行われる。熱バランスがくずれると、ふるえによって熱の発生を増加したり、発汗によって放熱を増加させる。心理的な快適状態と、熱バランスがとれ、体温調節にかかる負担が最も少ない生理的快適状態とは、普通一致する。最適温度条件は、人間の健康、快感、能率に必須である。

最小死亡率は、平均気温が16~21℃、平均相対湿度60~80%に現れる。工業生産高、知的・社会的業績もこの条件の気候や季節に最高となる。常に暑い条件では、消化器系疾患が、寒い条件では、呼吸器系疾病が増加の傾向を示す。温度に対する直接の生理的反応が、鼻、口腔粘膜や消化器粘膜の細菌侵入に対する抵抗力を支配するためと考えられている。²⁾

熱と木材

住宅の室内と屋外との間の熱の移動は、主に、隙間からの流出入と壁などを通しての熱貫流によって行われる。室内から壁を通して、外に熱が流出する場合を考えると、熱は、室内空気から壁の表面に伝達され、壁の材料を熱伝導によって伝わり、壁の表面より屋外空気に伝達する。壁の表面には、薄い空気層が付着していて、熱が伝わりにくくなっている。この空気の層を通しての熱伝達の程度を表す量は、表面熱伝達率と呼ばれ、風速や壁表面の放射率によって大きく変動する。壁の熱伝導は、壁を構成する材料の熱の伝え易さと厚さによって影響される。厚さ1mの材料の両側に1℃の温度差があるとき、材料の1m²の面を1秒間に流れる熱量(W)を熱伝導率(λ :W/m²℃)と呼び、それによって、材料の熱伝導の大きさを表す。

室内の温度が t_1 (℃)、外気温が t_0 (℃)で、 $t_1 > t_0$ のとき、壁の面積 A m² を1秒当たり通る熱量($W=J/s$)は、次式で求められる。

表2-1 各種材料の密度、熱伝導率、比熱¹⁾

分類	材 料	密度 ρ (kg/m ³)	熱伝導率 λ (W/m ² °C)	比熱 C (kJ/kg°C)
金属・ガラス	鋼材	7,860	45	0.48
	アルミニウム、及びその合金	2,700	210	0.90
	板ガラス	2,540	0.78	0.77
セメント・石	ALC	600	0.15	1.10
	モルタル	2,000	1.3	0.80
	かわら・スレート	2,000	0.96	0.76
	タイル	2,400	1.3	0.84
	岩石	2,800	3.5	0.84
土・アスファルト・プラスチック	京壁	1,300	0.68	0.88
	畳	230	0.11	2.30
	カーベット類	400	0.073	0.82
	アスファルト屋根材	1,150	0.11	0.92
	壁・天井仕上用クロス	550	0.13	1.39
	防湿紙類	700	0.21	1.30
繊維材	グラスウール保温板	10~16	0.051~0.044	0.84
	岩綿保温材(ロックウール)	40~160	0.038	0.84
木質繊維	軟質繊維板	200~300	0.046	1.30
	硬質繊維板	1,050	0.18	1.30
	パーテクルボード	400~700	0.15	1.30
木質材	合板	550	0.15	1.30
	木材(杉)	450	0.10	1.76
	木材(びのき)	530	0.10	1.76
バーライト・石こう	石こう板・ラスボード	710~1,110	0.14	1.30
	石綿セメントけい酸カルシウム板	600~900	0.12	0.76
	バルブセメント板	1,100	0.2	...
	石綿スレート	1,500	0.96	1.2
プラスチックフォーム	フォームポリスチレン	20	0.041	1.0~1.5
	硬質ウレタンフォーム保温板	30~40	0.024	1.0~1.5
その他	水	998	0.6	4.2
	霜	100	0.06	1.80
	空気	1.3	0.022	1.00

$$\text{熱量} = KA (t_1 - t_0)$$

ここに、 $K(\text{W}/\text{m}^2\text{℃})$ は、熱貫流率と呼ばれ、熱の移動の難易（断熱性）の度合いを表す。 K は、次式によって求められる。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_0} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_1}$$

ここに、 α_0 と α_1 は、それぞれ、屋外側表面熱伝達率と室内側表面熱伝達率であり、 $d_i(\text{m})$ および $\lambda_i(\text{W}/\text{m}^2\text{℃})$ は、 i 層目の壁材料の厚さおよび熱伝導率である。また $1/K$ を熱貫流抵抗、 $1/\alpha$ を表面熱伝達抵抗、 d_i/λ_i を熱抵抗と呼ぶ。

材料に熱を与えると、温度が上昇するが、与えた熱量を上昇した温度で割った、温度 1℃ 上昇当たりの熱量を熱容量という。また、熱容量を物体の質量で割った、物体 1g を 1℃ 上昇させるのに必要な熱量を比熱 ($c : \text{J}/\text{kg℃}$) という。熱伝導率は、物体中を熱が伝わる速さを表す。温度の伝わる速さは、 $\lambda/(c\rho)$ (熱拡散率) で決まり、熱伝導率だけでなく、比熱や密度 ($\rho : \text{kg}/\text{m}^3$) にも関係する。

表2-1 に、諸材料の密度、比熱、熱伝導率を示している。¹⁾ 木材の熱伝導率は、 $0.10\text{W}/\text{m℃}$ で、コンクリートの $1.3\text{W}/\text{m}^2\text{℃}$ 、ガラスの $0.78\text{W}/\text{m}^2\text{℃}$ 、金属（鋼）の $45\text{W}/\text{m}^2\text{℃}$ に比べて小さい。室温で、手で触れると、コンクリートや金属が冷たく、木材が温かく感じられるのは、このためである。木材（密度 $450\text{kg}/\text{m}^3$ ）の熱拡散率は、 $1.7 \times 10^{-4}\text{Wm}^2/\text{kJ}$ 、コンクリート、ガラス、鋼のそれは、それぞれ 8.1×10^{-4} 、 4.0×10^{-4} 、 $1.2 \times 10^{-2}\text{Wm}^2/\text{kJ}$ であり、木材は、熱拡散率が小さく、温度の伝わる速さは小さい。

木材の調温作用

空間が物質で囲まれていて、外部の温度が変化するとき、その影響が内部に及ぶ程度は、空間を囲む物質の温度が伝わる速さ（熱拡散率）に関係する。外部の温度の変化変化量に対する内部のその比（室温変動比：外気の一日の最高温度と最低温度の差（温度日較

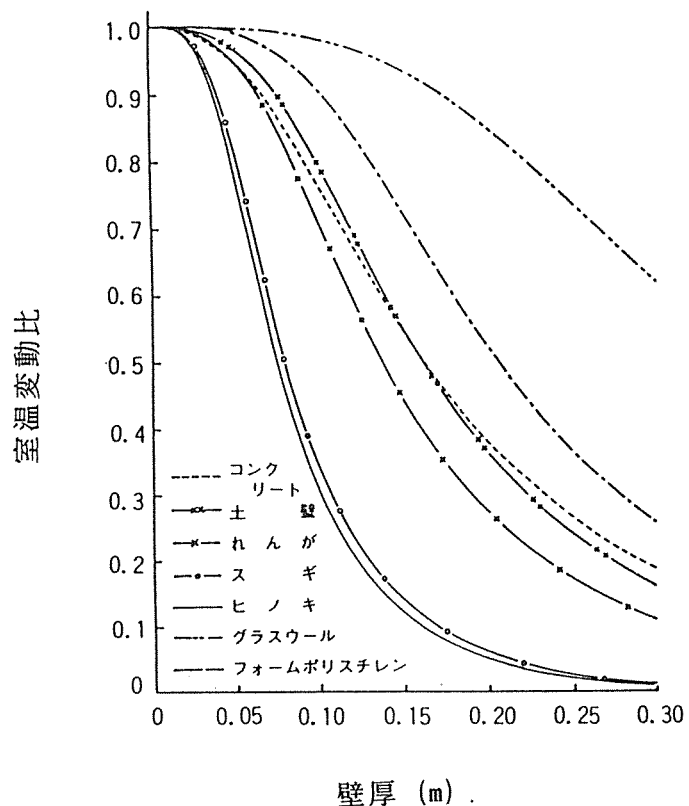


図2-2 室温変動比と材料の厚さの関係
(出典：岡部外、1985³⁾)

差) に対する材料で囲まれた空間のその比である) 室温変動比は、空間を囲んでいる物質の熱拡散率と厚さを用いて計算できる。1の場合、空間の温度が外気と同じ変化を示し、0の場合、外気に変動があるにもかかわらず、変動が生じない。各種材料の熱拡散率から求めた室温変動比(日較差比)と材料の厚さの関係を図2-2に示している。³⁾ 同じ厚さで比べると、木材の室温変動比は、コンクリートやグラスウールおよびフォームポリスチレンのそれに比べ著しく小さく、木材は、優れた温度調節作用を示す。これを調温作用と呼ぶ。木材がコンクリートに比べて調温作用に勝るのは、木材の熱伝導率がコンクリートのそれに比べて小さいことに、グラスウールやフォームポリスチレンに勝るのは、木材の密度と比熱の積(容積比熱)が大きいことによる。

木質住宅の温熱的特徴

日本は、南北に細長い島国である。図2-3に、ニューヨーク、ロンドン、マニラと東京の年間の気候図(温度と相対湿度の関係)を比較している。一般に、日本の気候は、夏において気温、相対湿度とも高く、マニラなみの気候であり、冬において温度、相対湿度ともに低いのが特徴である。従来、一部の地域を除き、日本の住宅では、夏の蒸し暑さを緩和するように、開口部が広くして風通しをよくし、軒先を長くして日射を避けるように工夫されてきた。近年、洋式の住宅様式が取り入れられ、冷暖房設備の発達と普及によって、気密性に優れた住宅が多くなってきた。

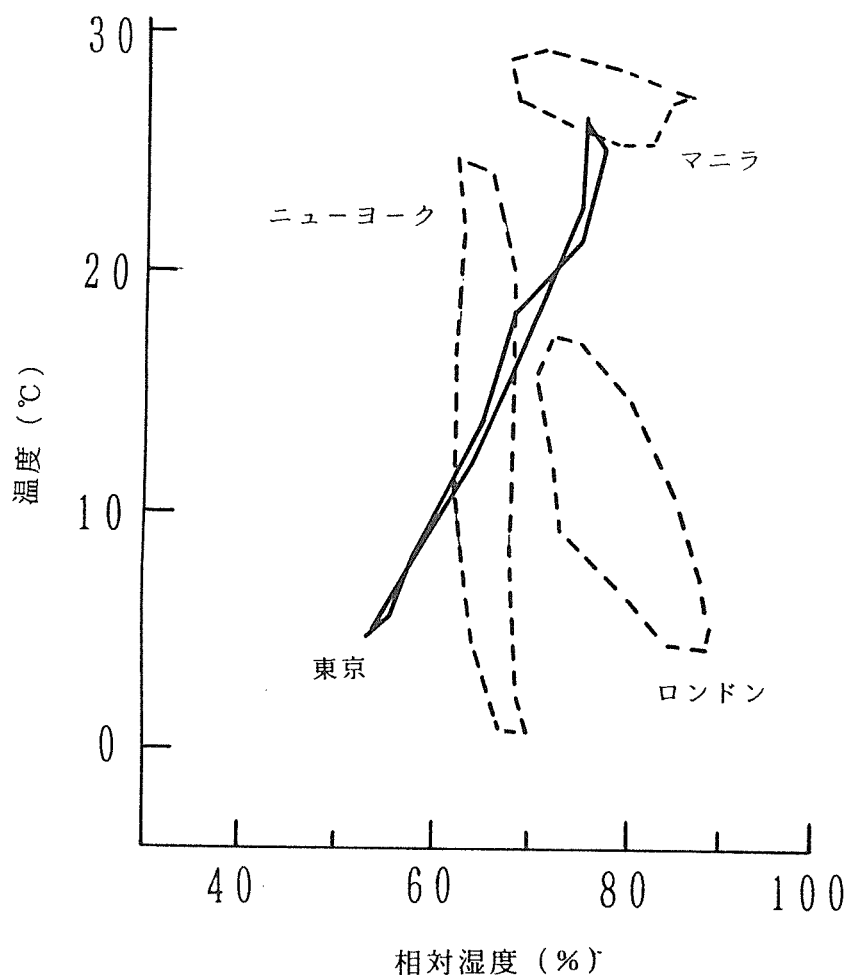


図2-3 各国の気候図⁴⁾

住宅の調温作用の程度を評価する方法として、室温変動比の外に、6時、14時、22時における温度、最高および最低温度、住宅内外の温度日較差と最高温度となる時刻の差(位相差)、室内気候図、熱損失の度合いなどが用いられる。一般に、外気に比べ、住宅内の日平均温度は大きく、日温度較差が小さく、温度変化の時刻は遅れる。この温度較差や

位相の遅れの程度は、住宅の熱容量、気密性、方位などによって異なる。図2-4に、1年間の14時における外気と木造住宅および鉄筋コンクリート造住宅内の温度の変化を示している。³⁾ 外気温の年最高温度と最低温度の差（温度年較差）に比べて、住宅内のそれは小さくなっている。また、日平均温度の変動も小さくなっている。住宅の調温作用が認められる。鉄筋コンクリート造では、木造に比べ、温度年較差は小さく、年最低温度が高いが、年最高温度も高く、外気温度よりも若干高くなっている。また、室内日平均温度の変動も小さくなっている。表2-2に、木造と鉄筋コンクリート造（RC造）住宅の温熱的特徴を比較している。

木材は、コンクリートに比べて、調温作用に優れているが、木造と鉄筋コンクリート造の住宅を比べると、後者が前者に比べて調温作用に優れている。これは、木造住宅の壁が十分な厚さの木材のみで構成されているのではなく、気密性が悪いことや、熱容量が小さいことによる。鉄筋コンクリート造の住宅に比べ、木造住宅では、冬において平均室内温度が低く、夏において夜間の室内温度の低下が大きいのが特徴である。

木材の断熱性

木材の熱的性質の特徴は、熱伝導率が低く、比熱が高いことである。木材の熱伝導率が小さいことを利用して、調理道具の取っ手や柄、寒冷地におけるガラス戸やドアの取っ手に用いられる。十分な断熱性と強度があり、熱膨張、収縮が小さいことから、液化天然ガスを運搬するタンカーの貯蔵庫の主要部材としても使用されている。また、断熱性が高く、軽量で、組み立てが容易なことから、南極越冬基地における建物にも木造パネル工法による木造が使用されている。この外、木材の断熱性を利用したものに、木製サッシ、木製デッキ、サウナ風呂の内

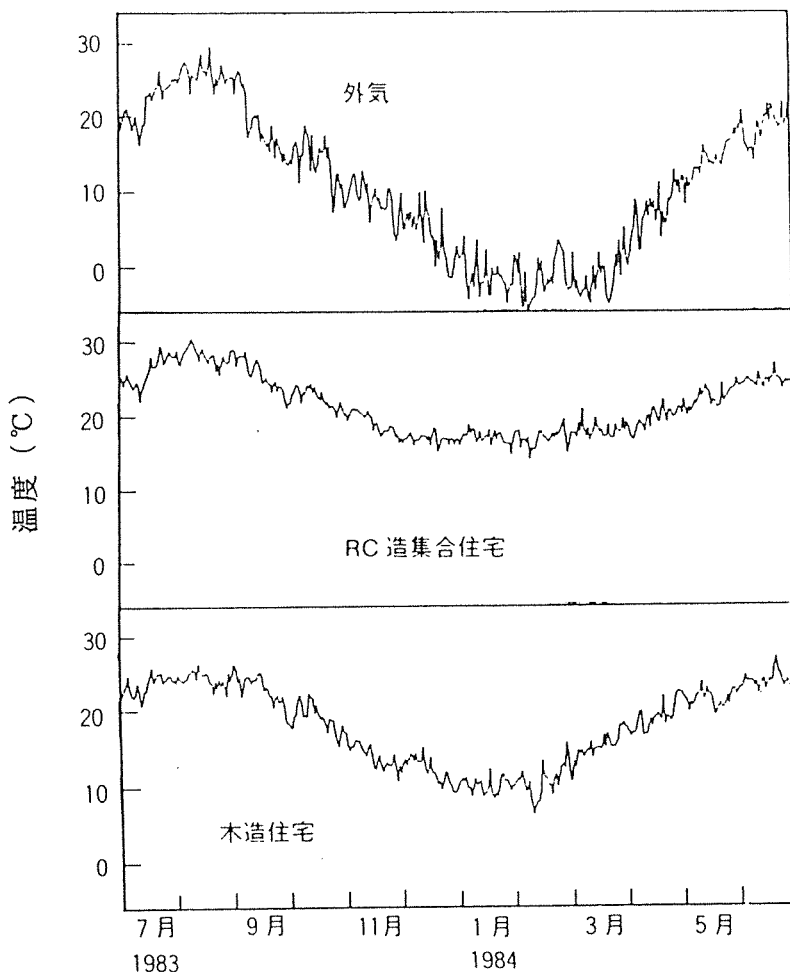


図2-4 1年間の外気と室内の温度変化
(出典：平井信之、1987³⁾)

装などがある。

表2-2 木造、RC造の温熱的特徴

	熱容量	気密性	温度日較差	冬平均気温	夏夜間気温
RC造	大	大	小	大	大
木造	小	小	大	小	小

1-2. 湿度と木材

人と湿度

人間の快適さに最も影響する気候要素は、温度であるが、風速、相対湿度も無関係ではない。温度、風速をいかに調節しても、相対湿度が極端に高いと快適ではない。

室内に生息する細菌類、カビ類、ダニ類などの微生物の繁殖は、温度、湿度条件と深く関係する。

細菌類は、室内塵とともにカーペットなどの内部に潜んでいるが、人の歩行などによって、空中に舞い上がって浮遊菌となる。浮遊菌は、相対湿度が50%のとき、数分以内に大半が死滅するのに対し、高湿度あるいは低湿度では、長時間生存し続ける。

カビ類は、食品類を腐敗させ、猛毒の化学物質や発ガン物質を生産したり、人体の呼吸器や脳に寄生したりして、人体に悪い影響を及ぼす。また、コンクリート壁面、押入の衣服類のカビによる汚損や、床下、壁内における木材の腐朽などもカビ類が原因である。相対湿度の好適範囲 100~90%のものを好湿性カビ類、90~80%のものを中湿性カビ類、80%以下のものを好乾性カビ類と呼ぶ。室内塵中の菌としては、アオカビ

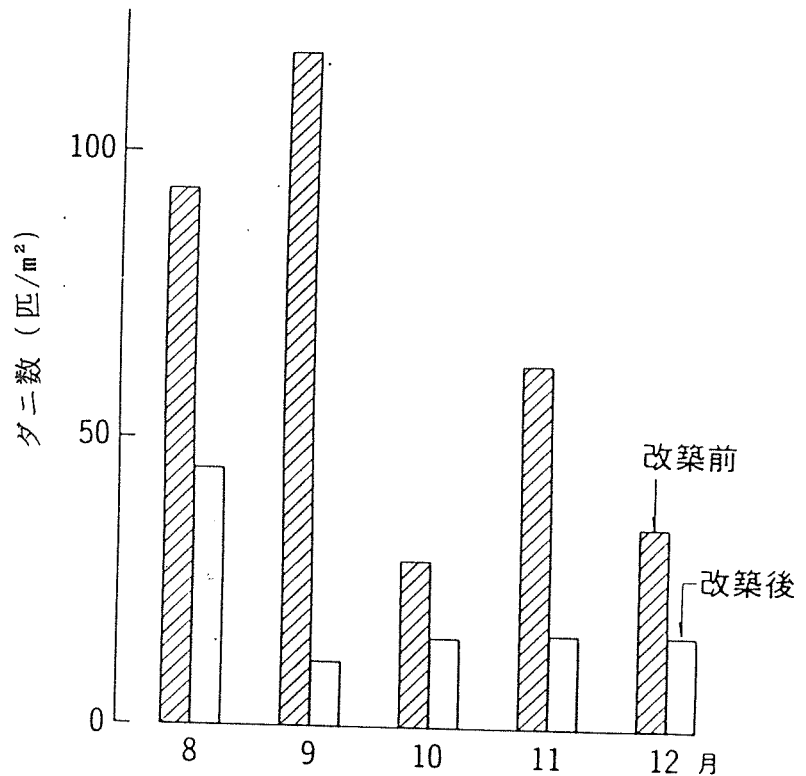


図2-5 床改装前後のダニ生息数
(出典：高野健人、1987⁵⁾)

類、コウジカビ類、クロカビ類、アカカビ類、ススカビ類が代表的である。

屋内のダニは、塵の中に生息するもの、食品類、建材類に発生するもの、これらを捕食するものに分けられる。前2者として、チリダニ類、コナダニ類、ニクダニ類が、後者として、ツメダニ類が代表的である。チリダニ類は、屋内で発見されるダニの中で、最も多く、その中でコナヒョウヒダニとヤケヒョウヒダニが圧倒的に多い。ヒョウヒダニの好適生育条件は、温度25℃、相対湿度85%である。ダニや菌類の異常発生を防止するには、室内の相対湿度を70%以下に保つことが重要である。

じゅうたんを木材の床に取り替えると、ダニは減少する。図2-5は、コンクリート集合住宅のリビング、寝室、子供部屋のじゅうたん（下地は合板）と畳を、ナラ材の床に替えた前後のダニ生息数を比較したものである。8、9月にダニが多く、ダニ相は、チリダニ科である。改装後のダニ数は、各月別で減少している。⁵⁾

微生物の異常発生を防止するためには、餌となる室内塵の除去、それらが長時間保有されるカーペット、ソファー、寝具などの定期的な清掃が重要である。しかし、基本的には、コンクリート造、アルミサッシなどの採用から、住宅の気密性が高くなっているために、風通しが悪く、微生物の異常な発生を促している場合がほとんどである。住宅様式の問題、壁、床の材質などの選択が重要であるとともに、生活様式について絶えず注意を払う必要がある。

皮膚、鼻、咽頭の粘膜の血管は、低温の刺激を受けると反射的に収縮し、その部分の温度が低下する。その結果、抵抗力が下がり、炎症が生じやすくなるが、この場合の抵抗力

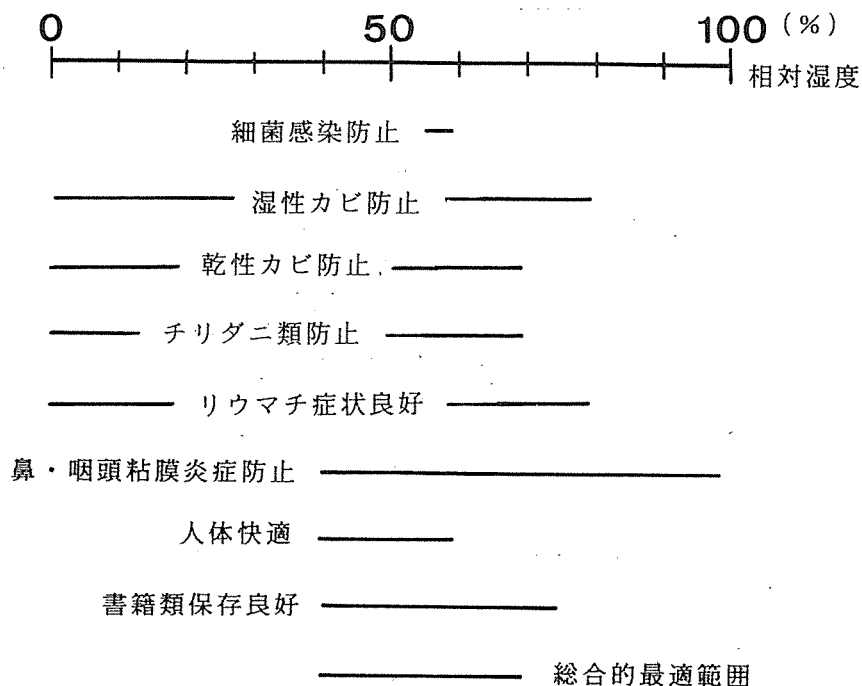


図2-6 望ましい相対湿度範囲

の減退に相対湿度が大きく影響している。冬季において、部屋の相対湿度が下がり過ぎないことが重要である。

ダニがアレルギーのアレルゲンとなることが知られ、小児アレルギーの約 3分の2 がダニと関係している。チリダニは、それ自身のみならず、その断片や糞が小児喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎などの原因になる。ツメダニによる虫咬症の症状としては、首、腹部、足などに、直径0.5 ～ 1 cmの赤色丘疹が見られ、1週間位猛烈な痒みが持続する。

図2-6 は、以上の結果をもとに、望ましい湿度の範囲をまとめたものである。住宅内の相対湿度は、40～70%の範囲にあることが望ましい。

木材の吸湿性と透湿性

大気の温度が一定で、含まれる水蒸気の量が増減すると、相対湿度は増減する。大気に含まれる水蒸気の量が一定であっても、温度が変化すると、相対湿度は変化する。木材のある温度、相対湿度の条件に置くと、木材は、吸放湿して、含水率は、その条件に平衡した値（平衡含水率）となる。図2-7 に、温度と相対湿度の条件によって決まる木材の平衡含水率を示している。⁶⁾ 木材の平衡含水率は、樹種によって余り変わらない。温度や相対湿度は、地域や季節などによって変化し、住宅においても場所によって異なるので、住宅部材用木材や木製品については、使用する場所に応じた含水率に仕上げるのが、狂いの防止に重要である。

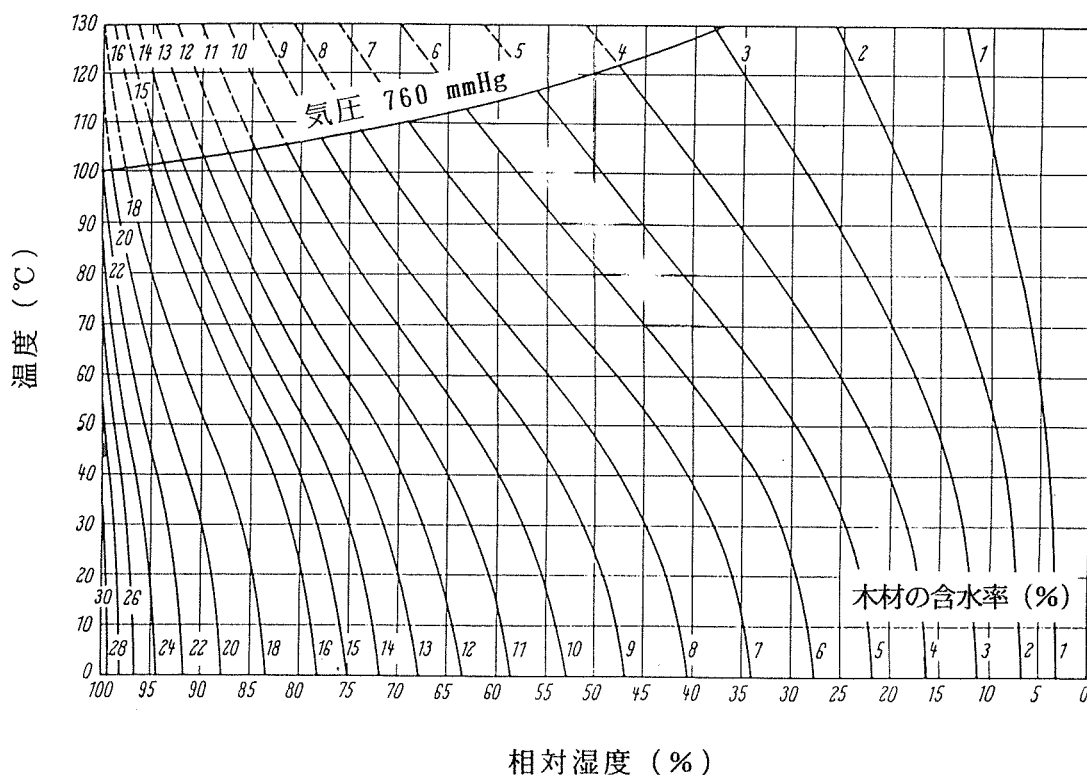


図2-7 木材の平衡含水率
(出典：Kollmann, F.、1956⁶⁾)

空間が湿気を通す材料で仕切られていて、両側の水蒸気圧に差があると、水蒸気圧の高い方から低い方に湿気が移動する。この現象を透湿という。住宅では、間仕切りを通して、隣室、床下、小屋裏などへ透湿する。両側の水蒸気圧が異なる大きさを一定に保たれていて、透湿する湿気の量が一定の値になったとき、水蒸気圧差 Δf (mmHg) と材料 1 m^2 を 1 時間に透湿する湿気の量 W ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) との間に次の関係がある。

$$W = \frac{\Delta f}{R}$$

R ($\text{m}^2\text{hmmHg}/\text{g}$) を透湿抵抗、その逆数を透湿係数という。材料が均質な場合、透湿抵抗を材料の厚さで割ったものを透湿比抵抗、その逆数を透湿率という。透湿は、住宅の壁の中の結露や住宅内の長期間周期で見られる調湿作用と関係する。

木材の調湿作用

吸放湿性に富む材料が住宅の内装仕上げ材料として豊富に使用されていると、吸放湿性に乏しい材料が使用されている場合に比べて、住宅内の相対湿度の変動は少ない。湿度が高くなると、材料が吸湿してそれを低下させ、低くなると、放湿してそれを高めるためである。吸湿性の材料がその周囲の湿度を調節する働きを調湿作用と呼んでいる。

一室平屋建 6 畳 ($2.7 \times 3.6\text{m}$ 、気積：内装時 21 m^3) の住宅 2 棟を用い、窓 ($0.9 \times 1.$

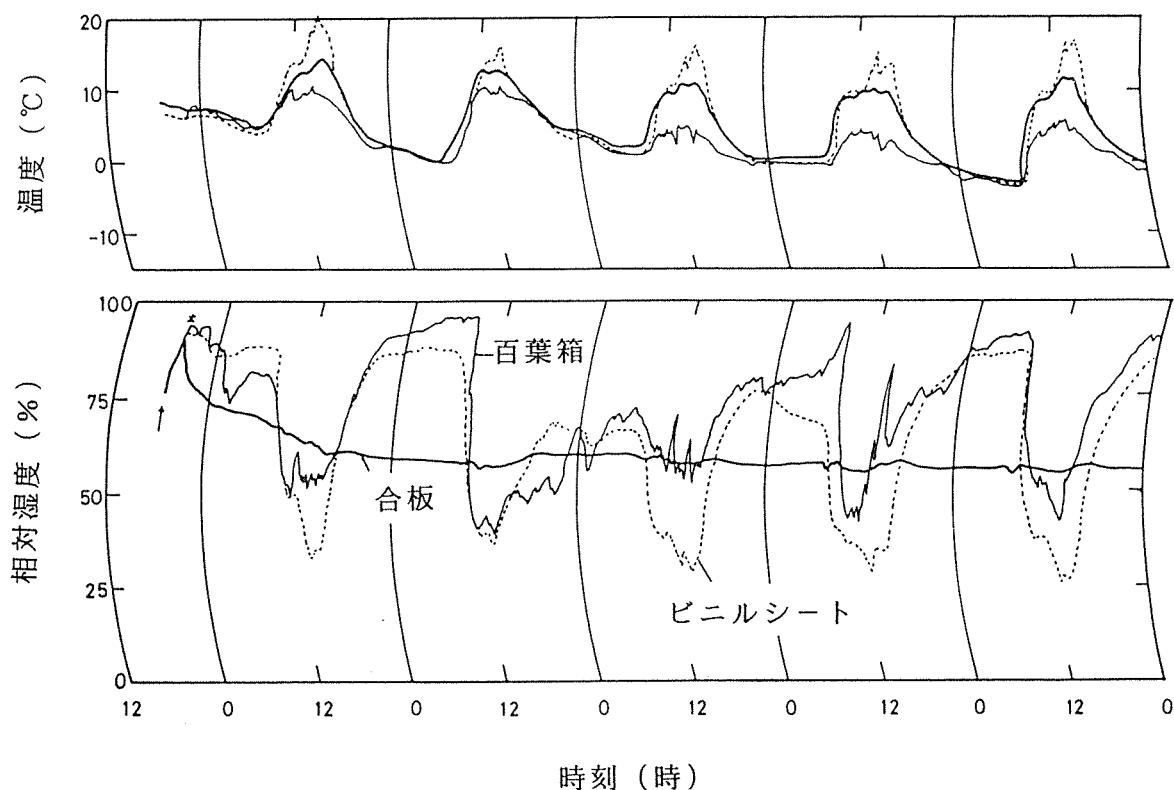


図2-8 住宅内の温度、相対湿度の変化

(出典：則元 京外、1977⁸⁾)

8m) およびドア (0.7×1.7m) を除く内面に、一方には5mm厚さの合板を、他方には0.1mmのビニルシート (ビニルシートの場合に限り全内壁面を内装) を内装し、住宅内および百葉箱内の温度と湿度を観測した結果を図2-8に示している。⁷⁾ 矢印の時点 (雨天) で窓を開けて水蒸気を流入させ、*印の時点で窓を閉めた後の温度、湿度の変化を示したものである。合板内装では、窓開放時に、湿度は、89%に達するが、窓閉鎖後急激に減衰して約1日後に55~60%のほぼ一定値になる。ビニルシート内装では、湿度は窓開放時に91%に達し、窓閉鎖後温度の変動に対応して、著しい変動を示し、時には夜間90%以上に、日中25%以下になる場合もある。

住宅内の湿度が変動する原因には、外気温の変動や冷暖房による住宅内温度の変動、水蒸気の窓や換気口からの出入り、換気扇や除湿機による排出、壁体からの透過、暖房や加湿機からの発生、炊事場や風呂場からの流入などが考えられる。しかし、これらの原因は、2つに大別できる。1つ

は、温度変動に、他は、水蒸気の発生または流出入に基づくものである。温度変動に基づくものが基本であって、水蒸気発生や換気などによるものは、付加的なものと考えてよい。我々は、炊事時には換気扇を回し、雨天時には窓を閉じ、晴天時には窓を開けて、これらの湿度変動の付加的原因に対応している。したがって、材料による調湿性能を評価する場合、基本的には温度変動に基づく湿度変動を考えることが重要である。

湿度を調節する性能を測定するのに、スチール製の箱 (20×20×30cm) の内面の所定の面積を内装材料で張ったものを用いる。この供試体を定温器に入れ、供試体の上面中央に開けた穴を通して、温度、湿度受感

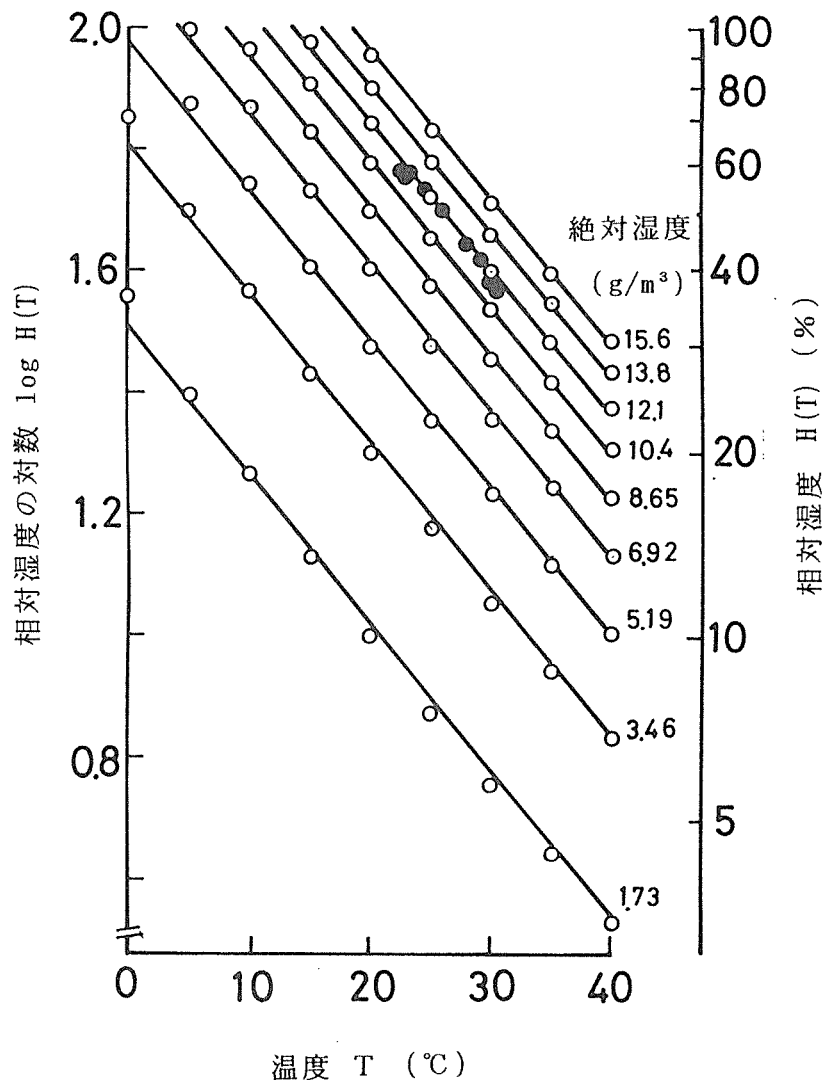


図2-9 一定絶対湿度で温度を変化させたときの相対湿度の変化 (出典: 則元 京外, 1990⁹⁾)

部を挿入する。受感部とそれを挿入した穴との間隙は、パラフィンで封鎖する。その後、定温器内の温度を変化させ、供試体内中央の温度と相対湿度を経時的に測定し、温度 T に対して相対湿度の対数 $\log H(T)$ を目盛る。内壁から吸放湿が全くない場合には、相対湿度の対数 $\log H(T)$ と温度 T の関係は、図2-9 のようになる。⁸⁾ 白丸印は、絶対湿度 $1.73 \sim 15.6 \text{ g/m}^3$ の範囲で一定に保って、 T を変化させたときの $H(T)$ および $\log H(T)$ の計算値を示す。各絶対湿度に対し、 $\log H(T)$ と T の関係を直線式で近似してその勾配を決定し、それらの平均値を求めると、 -0.0245 となる。黒丸印は、スチール製の箱を用いて、一定の絶対湿度を保って温度を変化させ、湿度を測定した結果を示す。内装材が張ってあれば、直線の勾配が緩くなり、湿度が全く変化しなければ、勾配は 0 となる。吸放湿性に著しく富む材料が過剰に内装されている場合、 B が正の値となることもある。勾配 B で調湿性能を表すことができる。 B が 0 に近い方が材料の調湿性能は優れている。内装材の調湿性能の大小は、スチール箱を用いた測定によって、比較的容易に知ることができる。

種々の内装材で内装したスチール箱を用いて測定した B 値とスチール箱の容積 $V \text{ (m}^3\text{)}$ に対する内装材の面積 $A \text{ (m}^2\text{)}$ A/V の関係を図2-10に示している⁹⁾。温度変化のパターンは

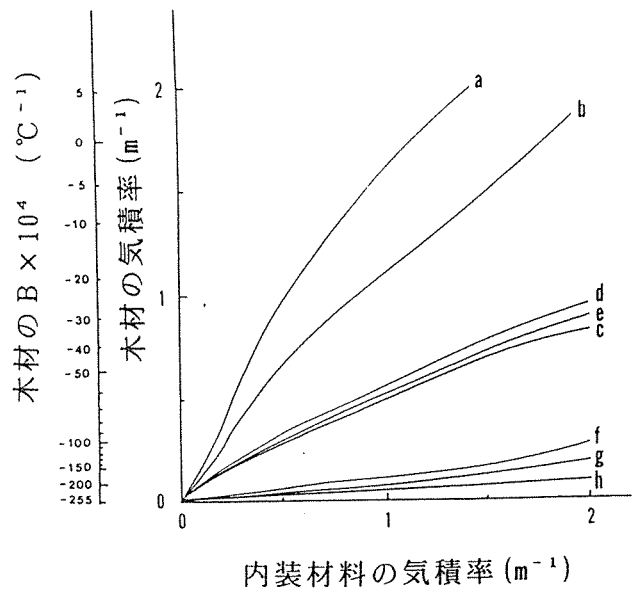
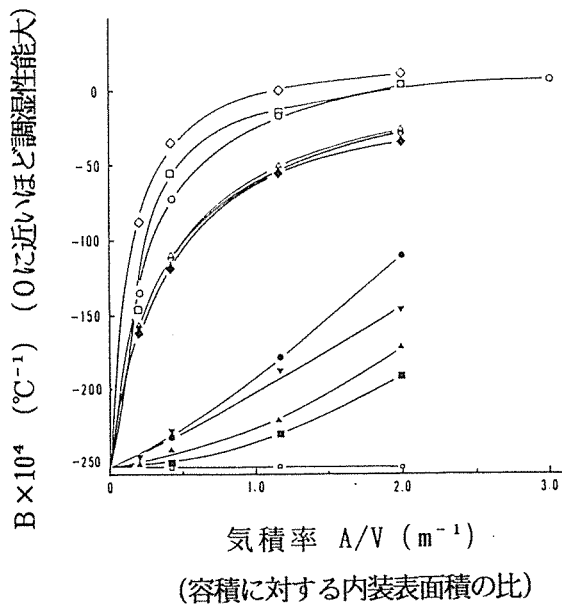


図2-10 内装材の B 値と気積率の関係 図2-11 内装材と木材の気積率の関係

(出典：大釜敏正外、1992⁹⁾)

- ◇, a : インシュレーションボード, □, b : 布壁紙 (合板下地), ○ : 天然木化粧合板 (無塗装), ◆, c : ロックウール, △, d : 布壁紙 (石膏ボード下地), ▽, e : 布壁紙 (コンクリート下地), ●, f : 天然木化粧合板 (塗装有), ▲, h : ビニル壁紙 (石膏ボード下地), ■, h : ビニル壁紙 (合板下地), ▼, g : ビニル壁紙 (コンクリート下地), □ : ポリエステル化粧合板, Pタイル

、住宅内で実際に観測されたものを基本形にして、外周の最低温度が15℃、最高温度が25℃となるように、若干の修正を加えたものを用いている。木材のB値は、 A/V の値の小さい領域で急激に変化し、 A/V の値が 1.5m^{-1} 以上になると、湿度の変動は、ほとんど認められなくなる。

ある材料の調湿効果を木材のそれで換算するには、B値が等しければ調湿効果も同じであるという考え方から、等しいB値となる気積率の関係を、木材を基準にして求める。この関係を示したのが図2-11である。天井、壁および床を構成する各材料の気積率に対応する木材の気積率を読み取り、それらの和を求める。その和を気積率とする木材のB値を読み取れば、それが求めるみかけのB値の推定値である。求めた推定値と実測値はよく一致し、各種材料で内装されている場合の調湿効果を推定することが可能である。求めた結果と実際の住宅で測定した結果は、比較的よく一致するので、無居住、密閉状態に限れば、住宅が備えている調湿性能を、実験室規模の実験から推定できる。

例えば、6畳間に相当する気積率 A/V が 1.99m^{-1} （天井および床： 0.417m^{-1} 、壁： 1.16m^{-1} ）について、調湿性能に優れた材料の組み合わせであるインシュレーションボード（天井）と天然木化粧合板（ナラ・塗装無）（壁および床）、および劣った材料の組み合わせであるポリエステル化粧合板（天井）、ビニル壁紙（石膏ボード下地）（壁）、Pタイル（床）の場合を考えてみる。スチール箱を用いた実験から、前者では4の、後者では-226のB値が得られる。住宅内の1日の温度変化が10℃で平均相対湿度が60%として、これらのB値から、1日の相対湿度較差を計算すると、前者では1%以下、後者では31%となる。次に、図2-10より、それぞれの材料の A/V に対するBを求め、そのB値と等しくなる木材の A/V を求めることができる。この関係を示したのが図2-11である。前者の組み合わせについて、各材料の A/V を木材の A/V に換算し、それを加えて、それに対応するBを求めると6となり、上に示した直接実験で求めた4と極めて近い値が得られる。後者の組み合わせでは、-222の値が得られ、実験値の-226とほぼ等しい。

結露

空気中の水蒸気が過飽和状態にあるとき、凝縮が起こる。住居では、冬期に窓や壁の外気側が夜間冷えると、次第に内側の温度も低下し、それに接する空気層の温度も下がる。薄い空気層の温度が露点になると、水蒸気の凝縮が起こる。材料表面では、水滴が生じるので、これを結露と呼んでいる。壁表面での結露を表面結露、積層構造の壁の内部において異種材料間で生じる結露を内部結露と呼ぶ。

最近、住宅で一般化してきている断熱施工は、室内側の壁表面温度を高めるため、室内側の表面結露を防止する上で効果が上がっている。しかし、断熱材を壁内に挿入すると、壁内で大きな温度差が生じることになるので、もし、水蒸気が壁内に侵入することを防ぐ防湿層の施工が不完全であると、断熱材内部、断熱材と家屋躯体、または断熱材と表面仕上げ材との間で結露する可能性がある。結露は、住宅の断熱性の低下ばかりでなく、その

耐久性の低下にもつながる重要な問題である。したがって、断熱することと防湿は結露に深く関わるので、両者は一体の問題として捉える必要がある。一般に、木質系の住宅では、断熱材を壁内に挿入して断熱性能を高める工法をとる。この場合、透湿による水蒸気の壁内部への侵入や滞留を防ぐことが壁内結露防止に必要である。そのためには、室内を高湿度にしない。炊事、洗濯、入浴などで水蒸気が多く出るときは、換気か除湿を行う。壁内断熱材の室内側に防湿層を全面に設け、室内からの水蒸気の透湿を防ぐ。断熱材は、隙間なく入れる。熱の冷橋（壁や天井を鉄やアルミなど熱を通し易い材料で骨組みすると、骨組み以外をいくら断熱材で埋めても、骨の金属部分があたかも橋のように熱の渡り道になり、その部分が結露し易い）をなくし、材料の表面温度を低下させない。室内側の仕上げ材料に吸放湿性材料を使う。防湿層の完全な施工は困難なため、断熱材内部で結露が生じたとき、水蒸気を外気へ逃すための処置として、断熱材の外気側は、水蒸気の放湿が可能な材料とする。断熱材の外気側には、上下が外気に通じる通気層を設ける。¹⁰⁾

文献

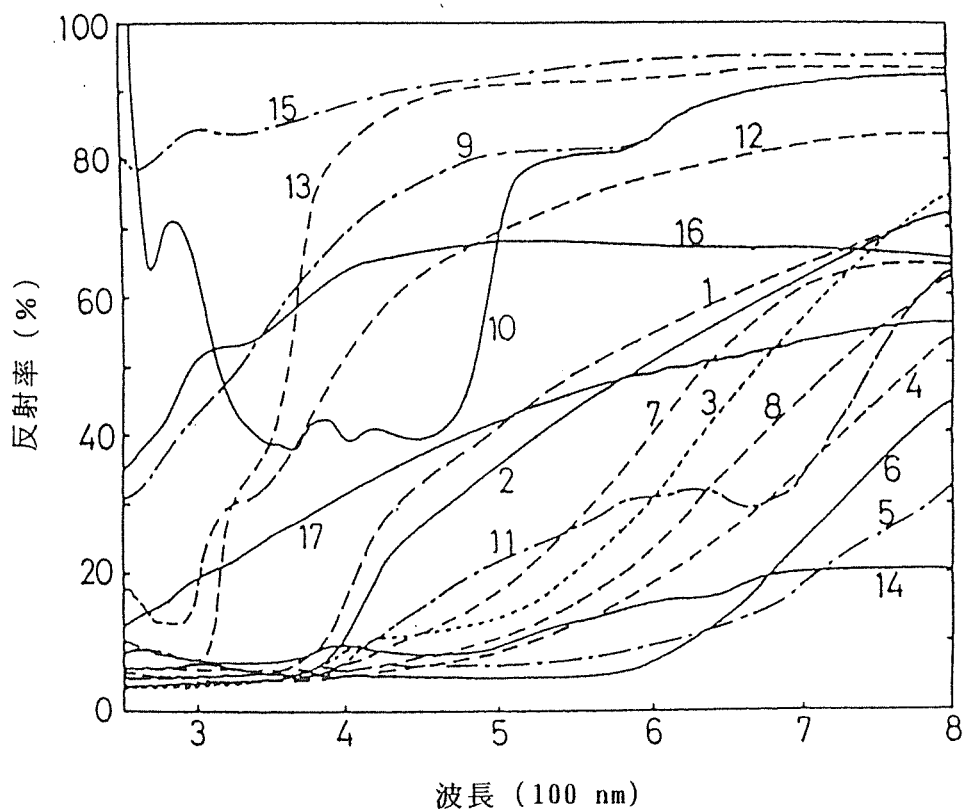
- 1) 松下電工総合技術研究所編：「インテリアのアメニティ設計」、松下電工、(1987)
- 2) Winslow, C.-E.A. et al. : 「温度と人間」、人間と技術社、(1974)
- 3) 山田 正編：「木質環境の科学」、海青社、(1987)
- 4) 前田 博外2名編：「セミナー健康住居学」、清文社、(1988)
- 5) 高野健人：農林水産省特別試験研究報告書、(1987)
- 6) Kollmann, F. : 「Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe」、Munchen、(1956)
- 7) 則元 京、山田 正：木材研究資料、No.11、17(1977)
- 8) 則元 京外2名：木材学会誌、36、341(1990)
- 9) 大釜敏正外2名：木材研究・資料、No.28、48(1992)
- 10) 住木センター：木材利用啓発推進調査事業報告書（温度編）、(1989)

3. 木材と感覚特性

木材の色は、黄赤に属し、暖かい感じを与え、色の濃淡や木目模様のゆらぎは、適度に不規則で、自然で快い感じを与える。木材からの反射光には、紫外線が少なく、赤外線が多く、光の反射は、方向によって異なり、木材特有の光沢と質感を与える。また、木材は、適度に硬く、すべりにくいので、安全で安心感を与える。さらに、木材は、低音から高音までの音を適当に吸収し、木材の香りは、気分を爽快にさせる。

2-2. 視覚と木材

木材の反射と吸収



- 1: ヒノキ板目ツキ板塗装無、2: ヒノキ板目ツキ板塗装有、
 3: メラント (赤) 柾目塗装無、4: チーク板目塗装無、
 5: ローズウッド柾目塗装無、6: ウルシ仕上げ・朱合塗・春慶塗、
 7: W.P.C.合板、8: コルクタイル・ワックス焼き込み、9: 白紙、
 10: 白紙 + 黄色蛍光マーカー塗、11: 畳、12: 絹、13: 人工絹 (シルック)、
 14: 人工スエード、15: 石膏、16: 大理石、17: ステンレス
 縦軸の反射率は、硫酸バリウムの反射を100とした相対値

図3-1 各種材料の分光反射曲線

(出典: 増田 稔、1988¹⁾)

光は、人間が目を感じる波長 380～780 nmの電磁波のエネルギーの流れ（放射）である。単位時間当たりの光のエネルギーの流れを放射束(W)、これを目の感度によって表した量（光の量）を光束(lm：ルーメン)という。受光面の単位面積当たりの光束を照度(lx：ルクス)、点光源からある方向へ、その点光源を頂点とする単位立体角（球面上の球の半径の2乗に等しい面積に対する中心立体角、sr：ステラジアン）当たりに出る光束を光度(cd = lm/sr：カンデラ)、光源からある方向への光度を、その方向への光源の見掛けの面積（投影面積）で割った量（光源を見たときの輝きの程度）を輝度(cd/m²)という。

入射光のエネルギーに対する反射光のエネルギーの比が反射率である。図3-1には、硫酸バリウムの反射を100として、相対値で示した各種材料の反射率と波長の関係を示している。¹⁾ 木材は、紫外線をよく吸収し、赤外線をかなりよく反射するので、木材からの反

表3-1 木材の色調²⁾
(出典：佐道 健、1985²⁾)

樹 種	色
明るい淡色の材 A. エゾマツ、B. トドマツ、C. シナノキ、 D. ラミン、E. サンバ	H : 8.5YR-1.0Y V : 6.8-8.0 C : 3.5-5.0
褐色～黄褐色の針葉樹材 a. カラマツ、b. タイヒ、c. ベイマツ、 d. シベリアカラマツ、e. ベニマツ	H : 6.5YR-8.5YR V : 6.0-7.0 C : 5.0-6.0
褐色の広葉樹材 m. ミズナラ、n. クリ、p. ヤチダモ、 q. ホワイトセラヤ	H : 7.0YR-1.0Y V : 5.7-6.6 C : 3.5-5.0
赤褐色～濃赤褐色の材 K. アピトン、L. ダークレッドメランチ、 M. サペリ、N. マコレ	H : 3.5YR-6.0YR V : 3.8-5.5 C : 3.9-4.7
濃い暗色の材 P. コクタン、Q. タガヤサン、 R. ローズウッド	H : 7.5R-8.0YR V : 2.0-4.0 C : 1.2-3.6

射光は、目に優しい。

非金属材料の反射には、物質の境界面で反射する表皮反射と、内部の層で散乱され、境界面を通りぬけて戻る層内反射がある。前者は、照射光をそのまま反射し、後者は、材料の物体色を反射する。中空の細長い細胞の集合体である木材では、細胞が切断されてできる凹凸による光の散乱があり、この程度が入射光の方向によって異なり（反射、散乱の異方性）、木材特有の質感を与える。木材特有の光沢は、木材の表面で切断された無数の細胞の内こうがつくる小さな凹面による。

木材の色調

色の属性として、色相、明度、彩度がある。色相は、赤みや青みの感じを、明度は、色の明暗を、彩度は、色の鮮やかさを表す。色の3属性を表示するのに、マンセル表色系や $L^*a^*b^*$ 表色系などがある。マンセル表色系では、知覚的にほぼ等間隔に、色相（H：ヒュー）、明度（V：バリュー）、彩度（C：クロマ）を円筒座標で表示し、 HV/C の形で表す。色相は、R（赤）、Y（黄）、G（緑）、B（青）、P（紫）およびその中間色の10色相を円環上に並べ、それら各色相を10分割して表す。明度は、白を10、黒を0として10段階で表す。彩度は、無彩色を0とし、最大10～15までで表す。

$L^*a^*b^*$ 表色系では、 L^* 軸に明度をとり、値が大きくなるほど明るいように、 a^*b^* 面では、無彩色を原点にとり、 a^* 軸では、正の値が増すと赤味が増し、負の値が増すと緑味が増すように、 b^* 軸では、正の値が増すと黄味が増し、負の値が増すと青味が増すように、尺度が視覚と一致するように配置されている。この座標で、色差は、座標間の距離で表すことができる。

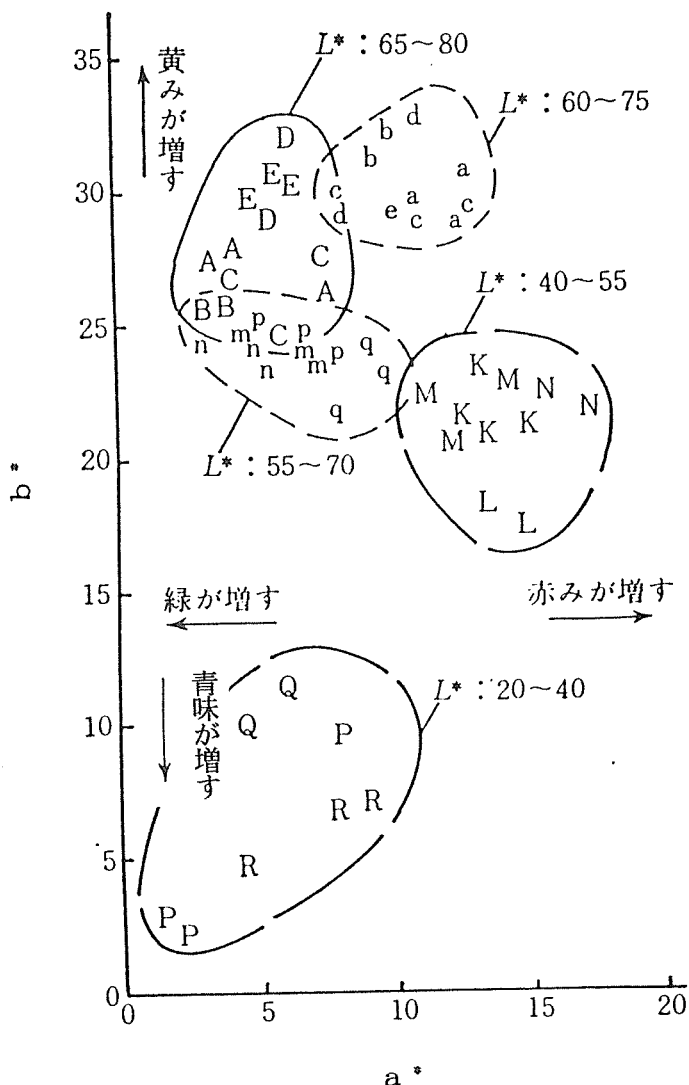


図3-2 木材の $L^*a^*b^*$ 表色系で表した色調
図中の記号については、表3-1を参照、（出典：佐道 健、1985²¹）

表3-1 に、マンセル表色系で表示した各種木材の色調を示している。²⁾ 木材の色相は、R (赤) と Y (黄) までの範囲に限られる。図3-2 に、L*a*b*表色系で表示した各種木材の色調を示している。²⁾ 色相のみが異なる原紙にチーク材の柾目を印刷したパネルを用いて暖かみの変化をアンケート調査した結果によると、色相が青から黄赤に変化するにつれて、心理的に暖かく感じられる。⁵⁾

木材の色相のほとんどは、黄赤で、暖かく感じられる。また、ワインレッドの色相をもつ木材は、豪華な感じを与える。明度の高い木材、たとえばエゾマツ、トドマツ、シナノキなどは、明るい、美しい、すっきりした、派手な感じを、明度の低い木材、たとえばコクタン、タガヤサン、ローズウッドなどは、深みのある、重厚な、落ち着いた感じのある、渋い、豪華な感じを与える。彩度の高い木材は、派手な、刺激的な、豪華な感じを、彩度の低い木材は、渋い、重厚な、深みのある、落ち着いた感じを与える。コンクリートは、冷たく、暗いイメージを与える。³⁾

住宅内で木材色の占める割合が増すと、暖かく、重厚で自然なイメージの程度が増し、コンクリートの占める割合が増すと、感じがよくない、暗い、冷たいイメージの程度が増す。

木目模様

木目模様の特徴として、交差しないほぼ平行な線で構成されている、幅や濃淡に適当なゆらぎがあり、それらのコントラストも適当である、微細なオーダーから巨視的オーダーに至るまで異なるオーダーのパターンで構成されているなどが上げられる。

色や模様などのゆらぎの不規則性を調べるのに、パワースペクトルが用いられる。例えば、図3-3 に示したレッドウッドの木目模様の色の濃淡の波形を種々の周波数 (周期) の正弦あるいは余弦の成分波に分解したとき、その成分波の強度

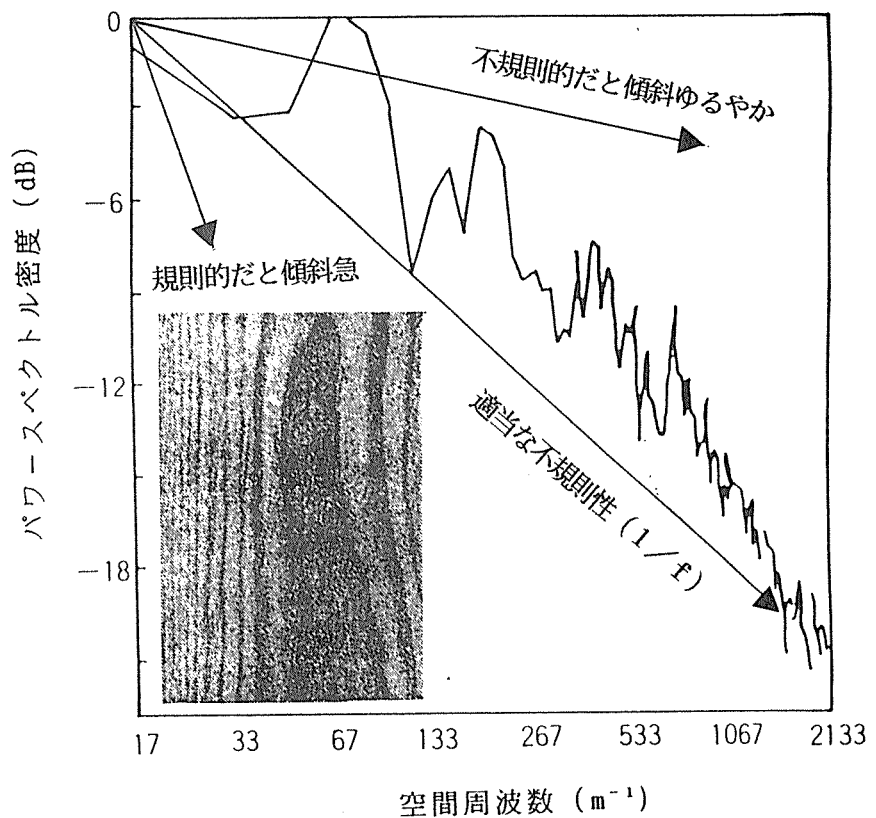


図3-3 木材板目面の色の濃淡のパワースペクトル密度 (1mの距離に渡り濃淡の波形を求め、それを周波数分析した時の各周波数の波の振幅の分布) (出典：山田 正、1987⁵⁾)

の対数と1m 当りに含まれる成分波の数（空間周波数）の対数との関係をパワースペクトルと呼んでいる。このスペクトルの勾配は、不規則性の程度を示している。ゆらぎの不規則性が増すと、スペクトルは水平に近くなり、不規則性が少なくなると、右下がりの傾斜をもつ。傾斜が-2となるゆらぎを $1/f^2$ のゆらぎと呼ぶが、これは、規則性が大きいので、ゆらぎに変化が乏しく、単調で退屈な印象を与える。傾斜が0に近くなると、不規則性が強く、意味をもたない意外性ばかりで、いろいろ感を与える。傾斜が-1となるゆらぎを $1/f$ のゆらぎと呼ぶが、これは、適度に不規則性を含むので、自然で快い印象を与える。心拍数や脳波など生体に固有なゆらぎは、 $1/f$ のゆらぎをもつ。扇風機の回転数に $1/f$ のゆらぎをもたせると、自然に近い風が得られる。木材の色の濃淡や木目模様は、全く規則的でも不規則的でもなく、スペクトルの傾斜が-1に近いものが多い。 $1/f$ ゆらぎの縦縞、ランダムな縦縞、等間隔の縦縞、伝統的な縦縞についてのアンケート調査によると、 $1/f$ ゆらぎの縦縞は、自然で快い感じを、等間隔や伝統的な縦縞は、人工的な感じを、ランダムな縦縞は、自然であるが不快な感じを与える。⁵⁾

3-2. 触覚・衝撃と木材

木材の硬さと摩擦

人が転倒したときの衝撃力は、200 kgf 以上であるといわれている。床、壁、家具に用いる材料の硬さは、人が転倒したり衝突したときの安全性、歩行感、触感に深く係る。

材料の硬さは、砂を詰めた割れ易いガラス玉を落下させ、割れる高さで評価できる。図3-4 に、各種材料についての結果を示している。⁶⁾ 割れるときの高さが高い材料ほど柔らかく感じ、衝撃を吸収する能力がある。木材は、プラスチックや大理石より2~3倍も衝撃を吸収し、安全である。

物体を滑らせようとしたとき、これを妨げようとする摩擦力が作用する。物体が滑りだそうするとき、この力が最大 F_s となる。また、物体が滑っているとき、これを妨げるように作用している力を滑り摩擦力 F_a と呼ぶ。 F_s および F_a ともに物体に垂直に作用する力

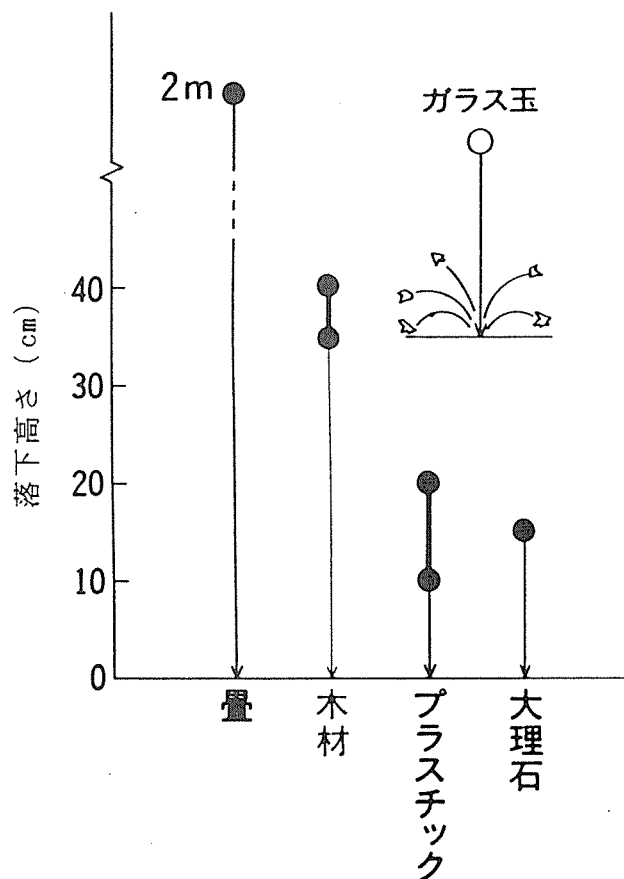


図3-4 ガラス玉のわれる高さ
(出典：宇野英隆、1986⁶⁾)

Fに比例する。

$$F_s = \mu_s F, \quad F_a = \mu_a F$$

比例定数 μ_s および μ_a を、それぞれ静止摩擦係数および滑り摩擦係数（動摩擦係数）という。床材料表面の摩擦の大きさは、歩行感や安全性に大きな影響を与える。滑りやすさは、摩擦係数と高い相関がある。表3-2 に、種々の下地材料の摩擦係数を示している。

表3-2 材料の静摩擦係数 μ_s と動摩擦係数 μ_a ⁷⁾

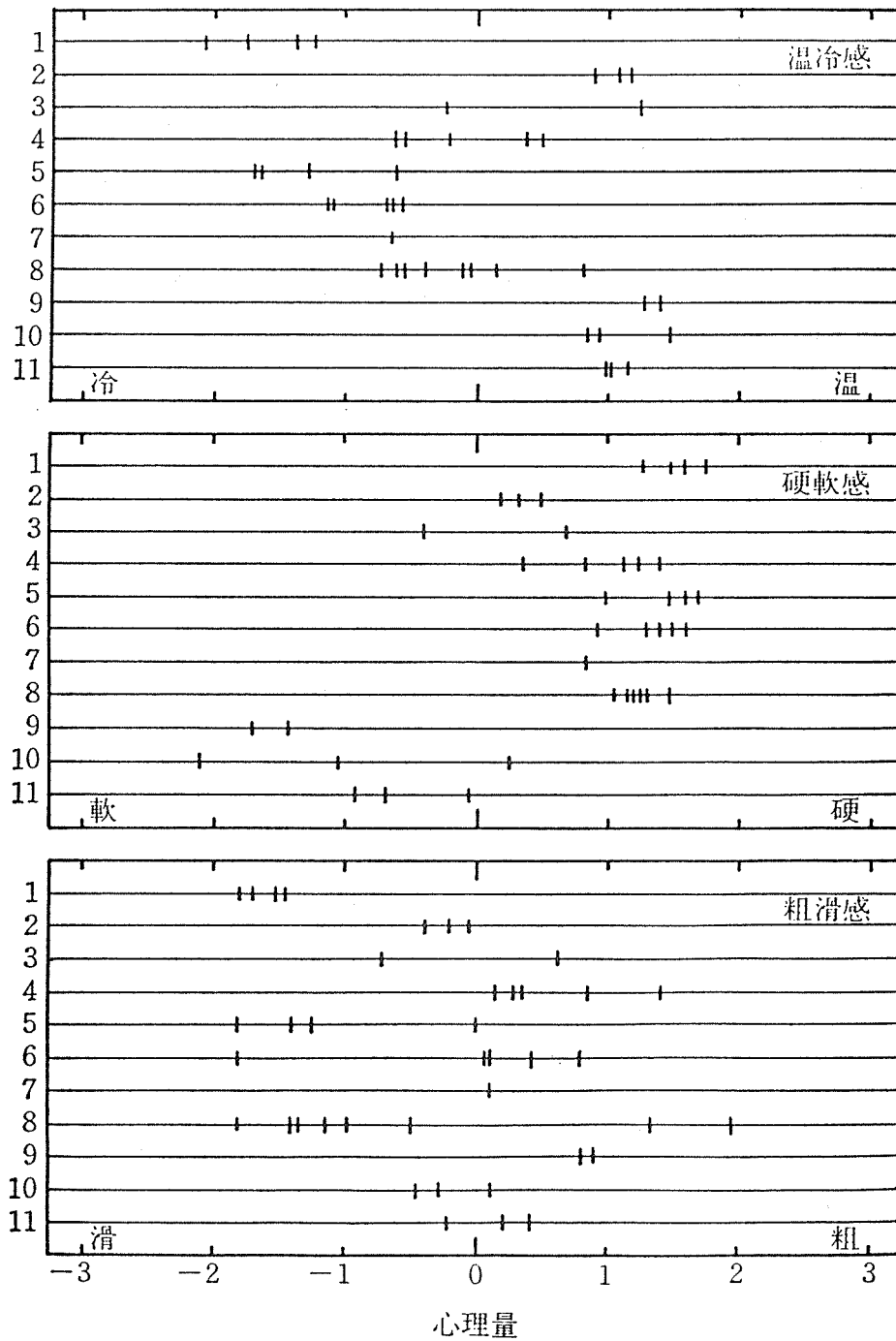
表面材料	下地材料	μ_s	μ_a	μ_s / μ_a
カーペット	コンクリート		0.80	
アルミニウム	コンクリート	0.40	0.34	1.2
塩化ビニルタイル	コンクリート	0.34	0.20	1.7
塩化ビニルタイル	合板	0.43	0.34	1.3
ヒノキ	合板	0.42	0.39	1.1
カエデ(モザイクバケット)	合板	0.39	0.33	1.2
乾式ハードボード	合板	0.33	0.23	1.4
カバ床板	合板	0.28	0.25	1.1

すべり感覚は、摩擦係数と相関が高い。たとえば、床の歩行感については、床の摩擦係数が大き過ぎると、疲労が増し、小さ過ぎると、すべりやすくなり、静摩擦係数と動摩擦係数の差が小さいほど歩きやすく感じられる。表3-2 に、各種材料の静摩擦係数と動摩擦係数を示している。⁷⁾ 木材の摩擦係数は、適度に大きく、静摩擦係数と動摩擦係数の差がほとんどなく、ビニルタイルに比べて、歩行にとって好ましい条件を備えている。床のすべり感覚は、床面の水分状態によっても変化する。ビニルタイルでは、床面が濡れていると、すべりやすくなるが、木材では、すべりやすくない。

木材の温冷感

温冷感には、物質の熱伝導率が関係する。熱伝導率が高いものは冷たく、低いものは温かく感じる。木材は、金属、コンクリート、ガラスに比べて、熱伝導率の小さい材料である。図3-5 の上段に、各種材料の温冷感の心理量を比較している。^{3, 7)} 木材は、やや温かく、金属は、やや冷たく感じられる。

足の甲の温度の低下は、疲労と関係する。床材料の違いによる足の甲の皮膚温度の時間



1: 金属, 2: 木材, 3: 木質ボード, 4: セメント, 5: 石材, 6: ガラス・陶磁器, 7: 石こう板, 8: プラスチック, 9: 繊維, 10: 皮革・毛皮, 11: たたみ・ござ.

図3-5 各種材料の触感

(出典: 岡島達雄、1981²⁾)

変化を図3-6 に示している。⁸⁾ 室温が低いと、コンクリート、ビニルタイル床では、時間とともに皮膚温度の低下が大きいのに対し、木材床では、温度低下が少ない。

木材の硬軟感

物質の硬軟感は、圧縮ヤング率に関係する。図3-5 の中段に、各種材料の硬軟感の心理量を比較している。^{3, 7)} 木材は、中間あるいはやや硬い部類に属している。床の硬軟感は、その表面の材料だけでなく、下地材料や床構造によっても異なる。カーペットを敷いた場合でも、合板下地は、コンクリート下地より柔らかく感じられる。

木材は、衝撃力を比較的吸収する性質をもつ。床や家具類に木材が用られていると、転倒しても怪我が少ない。体育館の床には、木造床とコンクリート床の上にラテックスとコルクを混ぜ合わせたものを塗った塗床がある。各種スポーツ選手を対象に行われたアンケート調査によると、木造床については、適度な弾力性があるため競技しやすく、転倒しても怪我をしにくいと高く評価されている。体育館の床に木材が用いられていて、しかも、床が適度の弾力性をもつ場合、障害発生率は、極めて少なくなる。⁹⁾

木材の乾湿感

乾湿感は、温冷感や粗滑感と相関が高い。温かく感じるものや滑らかに感じるものは、乾燥しているように、冷たく感じるものや粗く感じるものは、湿っているように感じる。ガラス、石、アルミニウムなどは、湿っているように、木材や繊維は、乾燥しているように感じる。⁷⁾

木材の粗滑感

粗滑感は、材料の表面粗さと関係する。図3-5 の下段に、各種材料の粗滑感の心理量を比較している。^{3, 7)} 木材は、適度の粗滑感を与える。

3-3. 聴覚と木材

木材と音

音は、空気や木材などが振動すると発生し、音波として伝わる。音波は、エネルギーをもっている。進行方向に垂直な 1 m^2 の面積を通過して、1 秒間に流れるエネルギーを音の強さ (W/m^2)、 1 m^2 に作用する平均的な力を音圧 (Pa) と呼ぶ。人間は、音波の強さや周波数がある範囲にあるものを

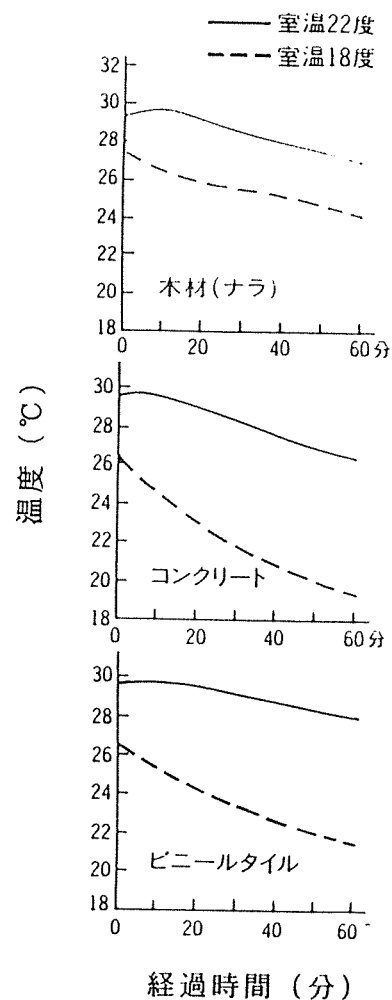


図3-6 床材料と足の甲の皮膚温度
(出典：山本孝外、1966⁸⁾)

音として感じる。人間の感覚の心理量は、刺激エネルギーの対数に比例する（Weber-Fechner の法則）ので、音の強さは、一般に音圧レベル（dB）で表す。

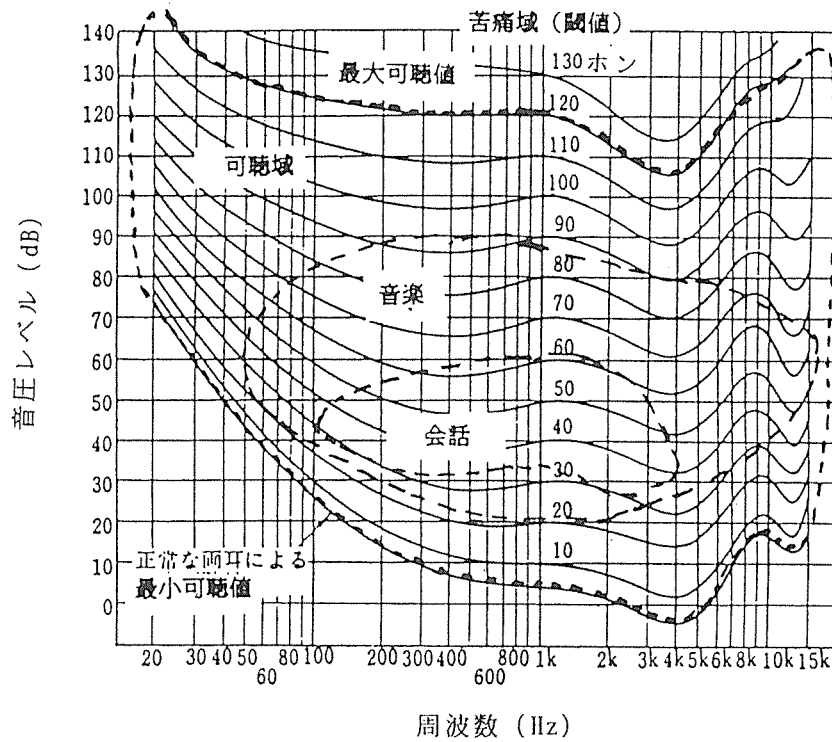


図3-7 純音に対する等感度曲線と可聴域、音楽、会話の範囲¹⁰⁾

$$\text{音圧レベル} = 10 \log_{10} \frac{\text{音の強さ}}{10^{-12}} = 20 \log_{10} \frac{\text{音圧}}{2 \times 10^{-5}}$$

ここに、 $10^{-12} (\text{W/m}^2)$ と $2 \times 10^{-5} (\text{Pa})$ は、音の強さと音圧の基準値で、それぞれ周波数1,000Hzにおいて、人間の耳に聞き得る最小の音の強さと音圧である。図3-7に、純音（単一周波数の音波）に対する等感度曲線（実線）と可聴域、音楽、会話の範囲を示している。¹⁰⁾人間が感じる音の大きさを比較するため、その音と同じ大きさに感じる1,000Hzの純音の音圧レベルの値を用いる。この値を音の大きさのレベル（ホン）という。

音波が物体（媒質）を伝わると、物体の微小部分（粒子）が運動する。運動の方向が伝わる方向と同じ音波は、縦波である。音の伝わる速度 $c (\text{m/s})$ は、媒質の密度 $\rho (\text{kg/m}^3)$ と体積弾性率 $K (\text{Pa})$ に関係する。

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

音波の波長に比べて十分細い木材などの棒の中を、音波が伝わる場合、音波が伝わる方向以外の棒の伸縮を無視すると、棒の音波が伝わる方向の弾性率を $E (\text{Pa})$ とすると、音速は、 $c = \sqrt{E/\rho}$ で求められる。この関係を用いて、弾性率 E を測定することができる。

木材の遮音と吸音

騒音は、伝わり方によって、空気伝播音と固体伝播音に分類される。前者は、空気中を伝わってくる音で、後者は、住宅で床や壁を伝わってくる音である。空気伝播音を遮断することが遮音である。音が材料に入射したとき、材料の内部で音波のエネルギーを熱エネルギーに変えて、音の反射を減少させることが吸音である。外部からの音を防止するのが遮音であり、内部の音を防止するのが防音である。

物体に入射した音は、一部物体の表面で反射し、一部物体に吸収され、一部物体を透過する。入射音のエネルギー（強さ）を $I_I (W/m^2)$ 、反射する音のエネルギーを $I_R (W/m^2)$ 、物体に吸収されるエネルギーを $I_A (W/m^2)$ 、透過するエネルギーを $I_T (W/m^2)$ とすると、反射率 r 、吸収率 a 、透過率 τ および吸音率 α は、次式で定義される。

$$r = \frac{I_R}{I_I} \quad , \quad a = \frac{I_A}{I_I} \quad , \quad \tau = \frac{I_T}{I_I} \quad , \quad \alpha = 1 - r$$

音が物体を透過する程度として、透過率の外に、入射音の音圧レベルと透過音の音圧レベルの差で定義される透過損失 TL がある。

$$TL = 10 \log_{10} I_I - 10 \log_{10} I_T = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau}$$

透過損失を等級化して、壁材料などの遮音性能を評価する方法（JIS A 1419-1978）が定められている。これは、図3-8 に示すように、部屋間の音圧レベル差（D 値）で評価するもので、D 値の大きい方が遮音性能がよい。音波が壁に入射したとき、壁が屈曲運動を生じ、その伝播速度と音波の伝播速度との間にある関係が成立すると、壁の振動の振幅が大きくなり、音が透過し易くなる。この現象をコインシデンス効果と呼ぶ。

一方、室内の音響効果を表す量として、内装面全体の平均吸音率や残響時間が使われる。残響時間は、音を止めた後、音圧レベルが音を止める前より 60dB 低下するま

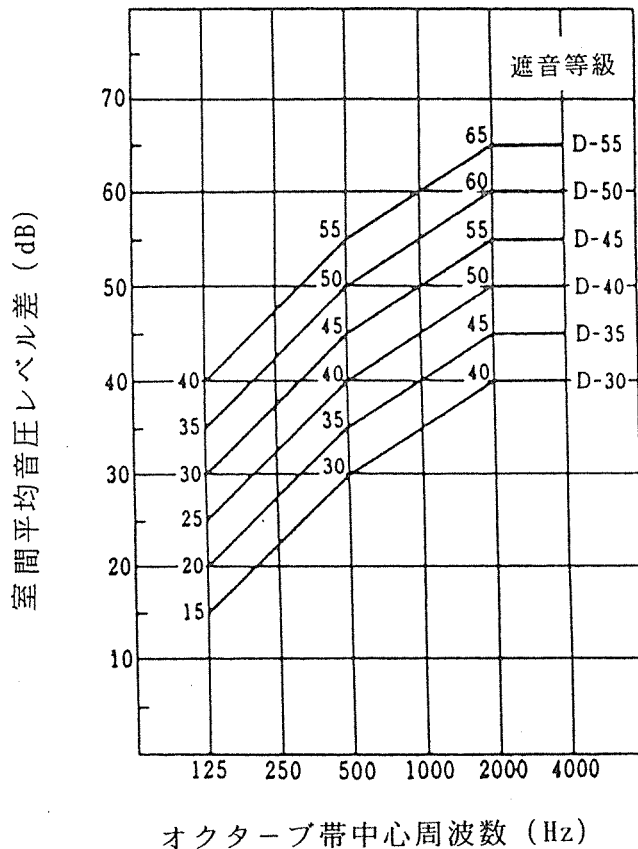


図3-8 遮音等級の基準周波数特性

での時間(s) で表す。

表3-4 には、各種材料の各周波数における吸音率を示している。¹⁾ 畳や木材は低音から

表3-4 内装材料の吸音率¹⁾

材 料	周波数 (Hz)					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
合板壁 (6mm、中空)	0.20	0.20	0.10	0.08	0.08	0.08
和風しっくい壁 (18mm)	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
畳	0.31	0.41	0.58	0.50	0.43	0.34
ヒノキフローリング	0.10	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
石膏 仕上げコンクリート壁	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
ビニル 仕上げコンクリート床	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
リノリウム	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
カーペット (コンクリート上)	0.09	0.06	0.24	0.24	0.24	0.11

高音に至るまで吸音率が比較的高く、室内の音を適度に吸収するが、コンクリート壁や床は、吸音率が低いので、音がいつまでも残る。木材は、吸音率が比較的大きいので、吸音性能に対しては、さほど問題にならないが、透過損失が小さいので、遮音性能に劣り、壁構造に工夫が必要である。木造住宅における遮音性能を向上させるためには、比重の高い材質を用い、空気層をもつ多重構造の壁とし、隙間を減らすことが必要である。

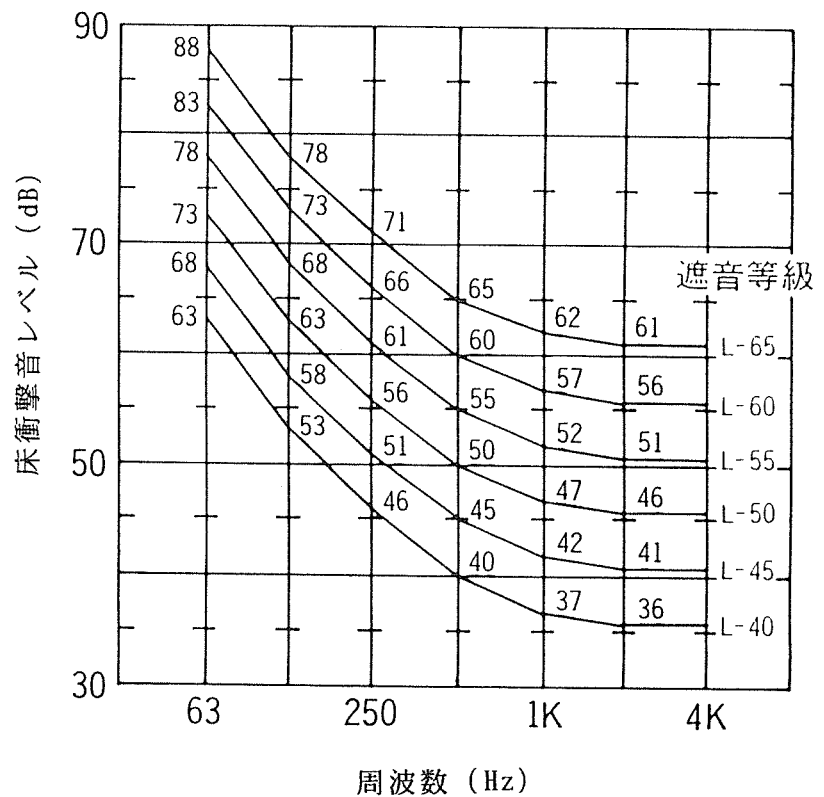


図3-9 床衝撃音の遮音等級基準曲線¹⁾

3-4. 嗅覚と木材

人と嗅覚

嗅覚は、大気中の化学物質の刺激で嗅覚器官に起こる感覚である。嗅覚の受容器は、鼻の内腔の奥の嗅粘膜の中にある嗅細胞である。通常の呼吸で鼻孔に入った空気の大部分は、下鼻道を通して気管から肺に入るが、一部は、上鼻道から嗅粘膜の粘液層を通嗅毛に至る。ここで嗅細胞は、においの刺激を電気信号に変えて嗅覚中枢に送る。嗅覚は、健康状

表3-5 国産樹種の材油成分¹³⁾

樹種	含有率 (%)	主な成分
ヒノキアスナロ	1~0.5	ツヨブセン、ヒノキチオール、クバレン、ドラブリン
クスノキ	2~2.3	カンファー、1、8-シネオール、サフロール、リモネン
ツガ	~0.2	α -ピネン、カンフェン、サクサンボルニル、ボルネオール
ヒマラヤスギ	~2.5	1-メチル-3-テトラヒドロアセトフェノン、 α -アトラントン
コウヤマキ	~2.0	セドレン、セドロール、ジテルペン
スギ	0.1~1.0	クリプトメリオール、クリプトメリジオール、 δ -カジネン、 β -オイデスモール
ヒノキ	1~3.0	α -ピネン、ボルネオール、 γ -カジネン、 α -カジニール
サワラ	0.5~2.0	α -カジネン、 α -カジニール、 δ -カジニール
ネズコ	0.7~1.0	α -ピネン、カンフェン、フェンケン、ボルネオール、ヒノキチオール
コノデガシワ	~0.2	ツヨブセン、ヒノキチオール、 γ -ツヤプリシン、セドロール

態、年齢、ホルモンなどに影響され、肉体が疲労したり、年齢とともに、嗅覚の感度が低下する。なお、快感を与えるにおいを香りまたは匂いといい、不快なおいを臭いという。

木材のにおい

新築の木造住宅から匂う木材の香りは、心をなごませてくれる。特に、古くから使用されてきたスギやヒノキ材の香りは、なじみ深い。スギ材の香りは、ストレスをやしてくれ、ヒノキ材の香りは、安らぎを与えてくれる。これら木材の香りの成分は

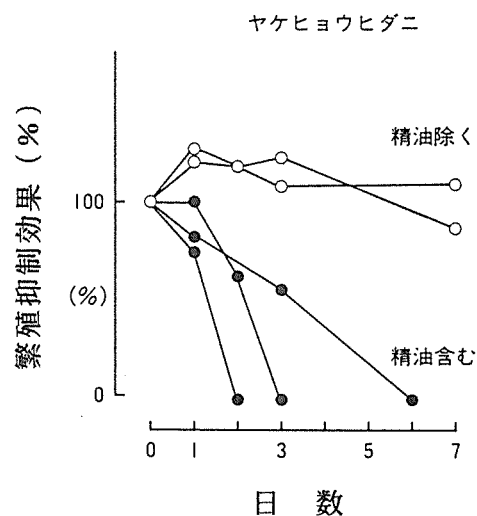


図3-11 ヒノキ精油のダニ繁殖抑制効果 (出典：高岡正敏、1987¹⁴⁾)

、精油である。表3-5 に、国産樹種の材油成分を示している。¹³⁾

これらには、消臭作用、防ダニ作用、殺虫作用、防カビ・抗菌作用などのあることが知られている。ヒノキ材は、腐朽しにくい材として知られているが、含まれる抗菌成分は、 α -カジノールやヒノキオールである。ヒバやネズコには、強い抗菌成分であるヒノキチオールが含まれている。ヒバ材は、白蟻に食害されにくい。図3-11に、ヒノキ精油のダニ繁殖抑制効果を示している。

木材の香りには、これらの作用の外、気分を爽快にしたり、ストレスによる精神的発汗を抑え、脈拍数を安定させ、疲労を軽減させる。図3-12、13に、木材の香りがマウスの運動量に及ぼす影響の研究事例を示す。

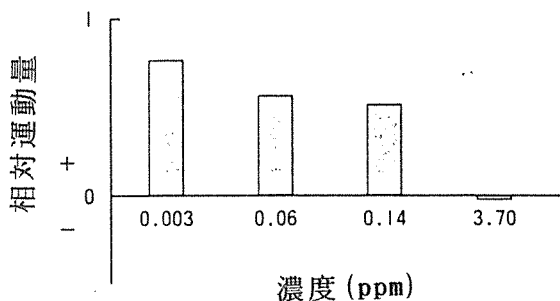


図3-12 ヒノキの香りがマウスの運動量に及ぼす影響¹⁵⁾

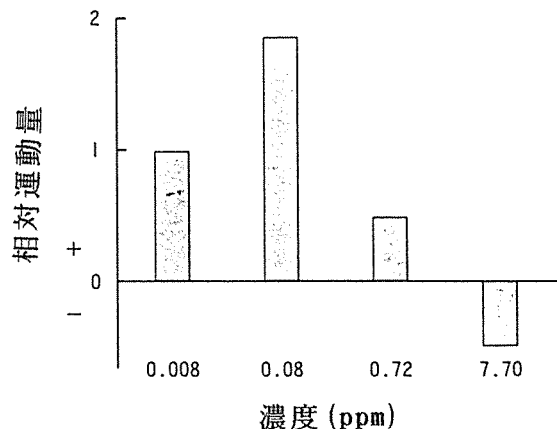


図3-13 トドマツの香りがマウスの運動量に及ぼす影響¹⁵⁾

$$\text{相対運動量} = \frac{\text{各濃度における運動量} - \text{コントロールの運動量}}{\text{コントロールの運動量}}$$

(出典：谷田貝光克、1985¹⁵⁾)

文献

- 1) 増田 稔：ウッドミック、6(5)、42(1988)
- 2) 伏谷賢美外8名：「木材の科学2、木材の物理」、文永堂、(1985)
- 3) 増田 稔：材料、34、972(1985)
- 4) 増田 稔、山本尚美：京大農演習林報、No.60、285(1988)
- 5) 山田 正編：「木質環境の科学」、海青社、(1987)
- 6) 宇野英隆：「建築アラカルト」鹿島出版会、(1968)
- 7) 住木センター：木材利用啓発推進調査事業報告書(すべり・触感覚編)、(1991)
- 8) 山本 孝、鈴木昭弘、上田 実：木材工業、22、22(1966)
- 9) 小野英哲：日本建築学会論文報告書、No.181,187、(1971)
- 10) 住木センター：木材利用啓発推進調査事業報告書(音編)、(1990)
- 11) 林業試験場編：「木材工業ハンドブック」、丸善、(1973)

- 12) 高橋 徹：農林水産省特別試験研究報告書、(1985)
- 13) 住木センター：木材利用啓発推進調査事業報告書（芳香物質編）、(1992)
- 14) 高岡正敏：「住宅と木材」、10(112)、(1987)
- 15) 谷田貝光克：木材学会誌、31(5)、(1985)