

徳島1

## 第2章

# 徳島すぎの特性



～徳島県徳島市  
徳島県立徳島博物館

徳島は、古くは「徳島郡」として知られ、その歴史は古く、大和政権の支配下にあった。その歴史は、古くは「徳島郡」として知られ、その歴史は古く、大和政権の支配下にあった。その歴史は、古くは「徳島郡」として知られ、その歴史は古く、大和政権の支配下にあった。

徳島は、古くは「徳島郡」として知られ、その歴史は古く、大和政権の支配下にあった。その歴史は、古くは「徳島郡」として知られ、その歴史は古く、大和政権の支配下にあった。

## 1 概説

徳島県では昭和50年代から、増大するスギ資源の利用に対応し、木材利用研究を充実させてきた。昭和59年度（1984）には県内林業者らとスギ梁材の実大破壊試験を国林試で初めて実施し、それがきっかけとなって、昭和61年度（1986）に20トンの曲げ試験に対応した実大強度試験機を備えた実大強度試験棟を整備し、住宅構造材の性能試験に取り組んできた。また昭和60年代には、スギ丸太の付加価値を高めるための葉枯らし乾燥試験を全国に先駆けて実施し、切匂や伐採方法等を科学的に裏付け、その成果を「葉枯らし乾燥マニュアル」としてまとめた。

こうした基礎データの蓄積から、木造住宅にスギを使う機運が高まり、明石海峡大橋開通に対応した戦略プロジェクト「県産木造住宅（平成3年度基本構想）」が動きだし、これを技術的に支援するため、平成4～5年度には研究所内に化学処理加工施設や人工乾燥機、各種性能評価機器を備えた新技術試験棟が、平成14年度（2002）には面内せん断試験装置等を備えた住宅資材性能試験棟が建設された。実大強度試験棟とあわせた3棟は木材需要開発センターと呼ばれ、開放型試験施設（オープンラボラトリー）として関連業界と連携した技術開発が進められている。

こうしたなか、平成7年度（1995）以降には、徳島すぎを用いた家づくりグループ（TSウッドハウス、那賀川スギ共販、スーパーウッドシステムなど）が組織化され、全国にスギ梁桁等をふんだんに用いた「徳島すぎの家」が販売展開され、木材需要開発センターは住空間の安全・安心の信頼性確保に向けた技術開発の場として役目を果たしている。



木材需要開発センター  
（住宅資材性能試験棟）

この間、県内外の大学との研究ネットワークも広がった。徳島大学総合科学部との木構造試験や足場板自主基準づくり、京都大学木質科学研究所（現、生存圏研究所）との構造・耐久性試験をはじめ、平成12年度（2000）に徳島大学工学部や徳島文理大学薬学部らが加わった「徳島すぎ高度利用技術研究会」では、これまで未利用とされたスギ黒心材の商品開発に取り組み、黒心材の優れた殺蟻性や抗菌性を明らかにした。その成果はこれまで価値の低かった黒心材の再評価にとどまらず、徳島で先鞭をつけた葉枯らし乾燥材の優位性を証明することとなった。さらに、この研究会が中心となり国農林水産技術会議の採択を受け実施した「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」（平成15～17年度）では、環境規制強化から用途開発が課題となっていたスギパークについて研究を進め、農業資材等への利用に道をつけた。

一方、平成15年度（2003）にはTSウッドハウスと森林林業研究所が、秋田木高研、金沢工大、京大防災研らと大規模な古民家倒壊実験（旧海部町）を実施し、スギ伝統構法の耐久・耐震性能について解析を試みた。そもそも徳島すぎの実大強度試験の発端は、県南の民家でのスギの使われ方であり、その意味でも意義のある実験となった。

なお、徳島県では住宅性能表示制度に対応して、平成13年度（2001）に「徳島すぎスパン表」を作成、その後も、スパン表を補完するため、前述家づくりグループで組織する「徳島県木の家

づくり協会」らと県産木造住宅工法について接合強度試験を実施し、構造的な信頼性評価を行っている。その基礎として、これまでに蓄積した徳島すぎの強度試験データがあることは言うまでもない。

さて、本県においては平成17年度（2005）に「徳島県間伐材等推進計画3カ年計画」がスタートしたと同時に全国に先がけて、「林業再生」をキーワードとしたプロジェクトを始めた。この林業再生プロジェクトは、山での低コストの搬出間伐を増やすために、小型スウィングヤード、小型プロセッサ、フォワーダで構成される「新間伐システム」の導入と現場への定着を行うとともに、間伐材を合板工場へ大量かつ安定供給する仕組みを構築し、木材の販売代金をできるだけ森林所有者へ返していこうとするものである。

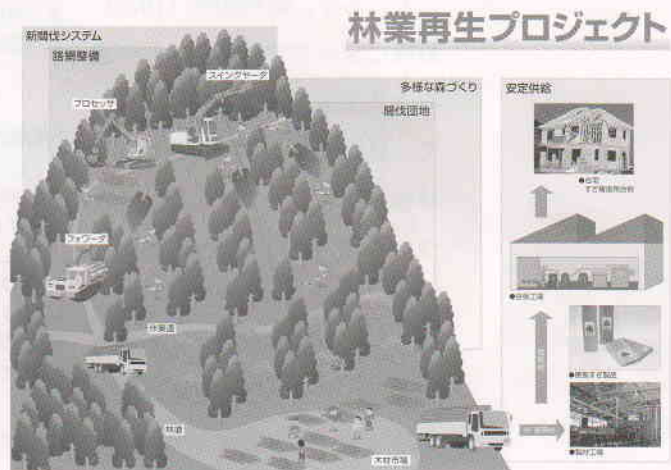
こうしたなか、森林林業研究所では、スギ合板の性能試験を分担するとともに、間伐材の用途開発を進めている。平成16年度（2004）には、国土交通省四国地方整備局や四国四県の道路・林業行政担当者や研究機関からなる「四国木製防護柵技術検討会」で四国木製防護柵仕様書（四国スタンダード）がまとめられた。その開発にあたっては、木材需要開発センターで流域ごとのスギ丸太の曲げ試験や保存処理材の含浸試験を実施した。今後、「林業再生プロジェクト」が円滑に推進するには、スギ間伐丸太の需要開発が成功の鍵を握ることとなることから、木材需要開発センターを中心とした研究サイドの技術開発の役割は大きい。

この第2章では、徳島すぎの材質特性を中心に解説し、続く第3章「徳島すぎの技術・商品開発事例」では、現在進めている研究最前線のデータを掲載した。今後の商品開発のヒントになれば幸いである。（網田）



古民家の倒壊実験

全国に先がけて、「林業再生」をキーワードとしたプロジェクトを始めた。この林業再生プロジェクトは、山での低コストの搬出間伐を増やすために、小型スウィングヤード、小型プロセッサ、フォワーダで構成される「新間伐システム」の導入と現場への定着を行うとともに、間伐材を合板工場へ大量かつ安定供給する仕組みを構築し、木材の販売代金をできるだけ森林所有者へ返していこうとするものである。



林業再生プロジェクトのイメージ図

## 2 徳島すぎの強度

### (1) スギの実大強度試験

建築基準法において木材の許容応力度は、基準強度に必要な応じて係数をかけた値を用いている。(表1, 2)

昭和50年代まで、木材の強さの基準は、小さな無欠点小試験体から求められた値が使われ、スギは米マツ等より低い許容応力値が設定されていた。

ところが、昭和50年(1975)以降にカナダで発表された一連の実大材強度試験に端を発して、日本国内でも始まった実大材強度試験により、スギ強度については大きく見直されることとなった。

表1の甲種構造材(梁桁等の横架材)でみると、市場に多く

流通している2級材でべいまつとすぎを比べた場合、圧縮・引張・曲げ強度ともすぎがべいまつを上回る。全国の試験データの分析から、実際の製品寸法では、スギはマツ等に比べ節等の影響を受けにくい樹種であることがわかったからである。

我が国におけるこうした実大材実験に徳島県は大きく関わってきた。本県の特に南部では、古くから杉を梁や桁等の横架材として使ってきており、経験的に杉が強いことが知られていた。そこで、昭和59年(1984)に林業クラブ青年部(現:徳島すぎクラブ)がその強さを実証しようと、60~70年生の杉中目丸太(丸太径18~32cm)から採材した平角材等124体を国立林業試験場に持ち込んだスギ平角(12cm×24cmなど)の曲げ強度と曲げヤング係数の平均値は、それぞれ419kgf/cm<sup>2</sup>、92.1tf/cm<sup>2</sup>であった。これらは、いずれも建築基準法施行令及び日本建築学会で示された基準値(曲げ強度225kgf/cm<sup>2</sup>、曲げヤング係数70tf/cm<sup>2</sup>)を大きく上回ることとなった。(国林試中井ら1985)

スギでこのような大断面での実験は全国でも初めてであり、中目材の用途についてはどこの林業

表1 木材の基準強度

樹種	区分	等級	基準強度 (単位 N/mm <sup>2</sup> )			
			Fc(圧縮)	Ft(引張)	Fb(曲げ)	Fs(せん断)
べいまつ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	2.4
		2級	18.0	13.8	22.8	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	18.0	10.8	18.0	
		3級	13.8	8.4	13.8	
すぎ	甲種構造材	1級	21.6	16.2	27.0	1.8
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.0	13.8	22.2	
	乙種構造材	1級	21.6	13.2	21.6	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.0	10.8	18.0	

注) H12建告1452 建築基準法に基づく告示(木材の基準強度 Fc、Ft、Fb 及び Fs を定める件)による

表2 木材の許容応力度(建築基準法 施行令第89条)

長期に生ずる力に対する許容応力度 (単位 N/mm <sup>2</sup> )				短期に生ずる力に対する許容応力度 (単位 N/mm <sup>2</sup> )			
圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
$\frac{1.1Fc}{3}$	$\frac{1.1Ft}{3}$	$\frac{1.1Fb}{3}$	$\frac{1.1Fs}{3}$	$\frac{2Fc}{3}$	$\frac{2Ft}{3}$	$\frac{2Fb}{3}$	$\frac{2Fs}{3}$

この表において、Fc、Ft、Fb 及び Fs は、それぞれ木材の種類及び品質に応じて国土交通大臣が定める圧縮、引張り、曲げ及びせん断に対する基準強度(単位 N/mm<sup>2</sup>)を表すものとする。

注) ただし積雪時の構造計画で、長期許容応力度は1.3を、短期許容応力度は0.8を乗じた数値

表3 無等級木材の基準強度

樹種	樹種	基準強度 (単位 N/mm <sup>2</sup> )			
		Fc	Ft	Fb	Fs
針葉樹	あかまつ、くろまつ及びべいまつ	22.2	17.7	28.2	2.4
	からまつ、ひば、ひのき及びべいひ	20.7	16.2	26.7	2.1
	つが及びべいつが	19.2	14.7	25.2	2.1
	もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ及びスプルス	17.7	13.5	22.2	1.8
広葉樹	かし	27.0	24.0	38.4	4.2
	くり、なら、ぶな、けやき	21.0	18.0	29.4	3.0



産地でも課題となっていたことから、画期的な試験となった。

## (2) 徳島すぎ(梁材)の曲げ強度実験結果

徳島すぎについて県下の主要な河川流域(吉野川、勝浦川、那賀川)の市場等から無作為に抽出したものと、品質管理されたもの(伐期60年生以上で葉枯らし乾燥され、梁材として選別されたもの)について、それぞれ実大材(梁せい24~30cm長さ4m)の曲げ試験を実施した。

全データの379体の曲げ強度について平均値、標準偏差等を計算し、ヒストグラム(度数分布)を示した。分布形として①正規分布②対数正規分布③ワイブル分布(2母数、3母数)をあてはめ、最も適合する分布形から信頼率75%の5%下側許容限界を求めた。

全データの分布を図1に示す。なお、379体を曲げヤング係数ごとに分けた場合、その分布はE50(6%)、E70(39%)、E90(46%)、E110(9%)となり、E70とE90が全体の85%を占めた(図2)。

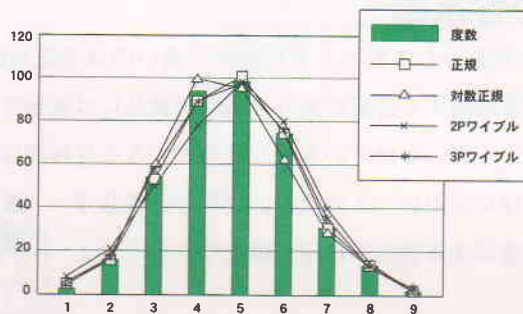


図1 徳島全データの統計分析

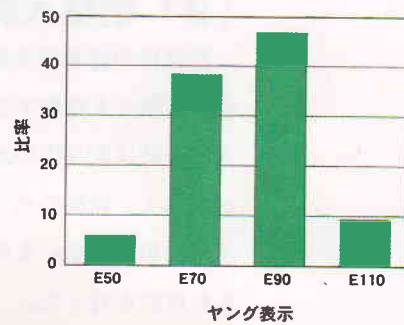


図2 徳島全データのヤング係数の分布

試験結果から求めた下限値を、告示された基準値(表3)との比較を表4に示した。徳島全データ379体の曲げ強度下限値は25.5N/mm<sup>2</sup>であった。この値は、告示のすぎ無等級材の基準強度22.2N/mm<sup>2</sup>を満たしていた。また、品質管理された60年生以上の高齢級材83体の下限値は31.8N/mm<sup>2</sup>であり、さらに高い値を示した。

平成13年度(2001)に作成された「徳島すぎスパン表」では安全性を優先し、計算に用いた下限値は無等級材の告示値が採用された。(坂田)

表4 試験結果から求めた下限値と告示された基準値

機械等級	データ数	平均値(N/mm <sup>2</sup> )	標準偏差(N/mm <sup>2</sup> )	変動係数(%)	下限値(N/mm <sup>2</sup> )	60年生以上(N/mm <sup>2</sup> )	告示値(N/mm <sup>2</sup> )
E50(6%)	22	28.25	4.88	17.3	18.8	—	24.0
E70(39%)	145	32.96	4.75	14.4	24.7	28.8	29.4
E90(46%)	177	39.44	5.17	13.1	30.5	33.6	34.8
E110(9%)	35	46.12	4.77	10.3	37.2	41.0	40.8
全体	379	36.93	6.76	18.3	25.5	31.8(n=83)	22.2(無等級)

### 【参考・引用文献】

- 1 『構造用木材の強度試験法』(財)日本住宅・木材技術センター 2000.3
- 2 『徳島すぎスパン表』徳島県木材協同組合連合会 2002.3

## 3 徳島すぎの乾燥

### (1) 木材乾燥の取り組み

徳島すぎの乾燥は天然乾燥が中心で、人工乾燥が盛んに行われるようになったのは最近である。人工乾燥機が導入されたのは、昭和60年代になって集成材ラミナの乾燥が行われたのを除けば、平成に入ってからである。平成3年度(1991)に産官学からなる徳島県乾燥材供給対策協議会で検討がなされ、当初は割柱銘木の乾燥から取り組みが始まり、さらに平成7年度(1995)頃から住宅構造用梁材の強度試験と平行して平角の人工乾燥が進められた。また、足場板が転じて、実(さね)加工された内装材としての利用が始まる平成13年(2001)頃からは、寸法精度への要求から乾燥材が求められるようになり、那賀川流域を中心に人工乾燥技術の向上が図られている。

### (2) 割柱天乾材の含水率

乾燥材の含水率を測定する方法としてもっとも信頼性の高いのは全乾重量法であるが、この場合、試験片を採取するため材を切断する必要があるが、実際の製品には適用できない。一方、高周波含水率計は取り扱いが簡単でよく用いられているが、断面の大きな柱材等は測定部位で、ばらつきが大きく、精度の点で十分とはいえない。このため、割角など製品寸法の種類が少ないものは、重量による含水率推定が確実であると考えられ検討を行った。

徳島すぎ割柱材10.5cm角22本を2か月間天然乾燥し、重量を測定し全乾重量法により含水率を求め、重量と含水率の関係を調べた。

その結果、重量と含水率の間には高い相関関係が認められ、信頼水準68%、標準誤差10.8%で含水率早見表を作成した。(表1)

また、天然乾燥では、辺材部の乾燥が早いものの、それぞれの材の平均含水率は心材部の含水率に大きく影響されることがわかった。

表1 柱材含水率早見表

重量 (kg)	含水率 (%)
15	46
16	52
17	59
18	65
19	71
20	77
21	84
22	90
23	96
24	102
25	109

寸法：10.75×10.75×301.1cm

### (3) 平角の人工乾燥

徳島すぎ平角を、蒸気加熱式インターナルファン型木材乾燥機を用い、表2のスケジュールで中温乾燥し、初期含水率40~90%の材を12日間で平均含水率19.2% (12.5~40.5%)に乾燥させた。

乾燥スケジュールはスギ材の乾燥に関する既往の資料をもとに、乾燥温度を20℃高め、大断面に対応させた。また、乾燥開始時における材温上昇の遅れを考慮し、立ち上げ時間を長めにとった。乾燥中期で乾燥温度を80℃から85℃に上げたところ表面割れが生じた。

表2 平角乾燥スケジュール

含水率 (%) (時間)	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)
(2 hr)	50	2
(2 hr)	60	2
(2 hr)	70	2
(2 hr)	80	2
~70	80	3
70~65	80	4
65~60	80	5
60~55	80	5
55~50	80	6
50~45	80	6
45~40	80	8
40~35	80	10
35~30	80	10
30~25	85	12
25~20	90	14
(6 hr)	90	3

### (4) 平角人工乾燥材の収縮率

断面の大きな製材品を乾燥させた場合、表層から乾燥が始まり徐々に内部の含水率が低下する。乾燥終期においても表層と内部の含水率傾斜は大きく、表層では十分低くなっている。そのため、

含水率の低下した表層部によって形状を固定し、全体の寸法変化を抑制することが考えられる。

徳島スギ50年生、木口寸法12cm×24cmの平角38本を、蒸気加熱式インターナルファン型人工乾燥機を用いて、乾燥したのち、室内で棧積みし、実際の住宅で使用されている状態で放置した。その間、乾燥終了直後、2か月後、6か月後および26か月後の時点で材の幅と厚さを測定し、乾燥終了直後の寸法を基準に収縮率を算出した。その結果、つぎのことがわかった。

- ・人工乾燥後の時間の経過にともなう含水率は、6か月経過後に含水率のバラツキが小さくなり、一体を除いて含水率が25%以下に低下した。
- ・2か月経過後では、ほとんど収縮は起きなかった。26か月後は含水率15%から25%の範囲で仕上がり含水率にほぼ比例して収縮率が増加し、25%以上ではほぼ一定の増加を示した。収縮率を0.5%以下にとどめるには仕上がり含水率を15%以下にすることが必要であった。
- ・厚さ方向の収縮率をみると幅方向の収縮率に比較して小さく、仕上がり含水率30%程度でも収縮率の増加は0.5%以内に収まった。

### (5) スギ厚板の簡易乾燥スケジュール(タイムスケジュールによる)

足場板を転用したスギ厚板を住宅内装材として使うには、ある程度の乾燥が必要とされる。しかし、もともと工事現場の足場用として使われることから、人工乾燥など含水率の管理はほとんど行われてこなかったのが実状である。このことから初めて人工乾燥に取り組む場合を考慮し、スギ厚板の簡易乾燥スケジュールを作成した。

ねらいとしては、乾燥させる材の寸法がある程度決まっており、何時間後にどの程度の含水率になるかが経験的(実験的)にわかっているならば、時間経過によって含水率の変化が予測可能である。サンプル材を用いたスケジュールに比べ、ある程度幅を持たせてあるため精度は悪くなるが、毎日サンプル材の含水率を測って条件を変えるという作業から開放されることである。そこで、過去に森林林業研究所で行った足場板の人工乾燥の試験結果から、最小公倍数的なタイムスケジュールの作成を試みた。乾燥温度は、従来型の乾燥機でも対応できるように60℃までにとどめた。ただし、温湿度コントロール装置および加湿装置は、最低限装備されているものとした。

決定したスケジュールは、表3のとおりである。乾燥初期の緩やかな条件は短めに、乾燥後期の厳しい条件を長めにとっている。初期含水率のばらつきをある程度無視しているため、乾燥末期でイコーライジングを兼ねている。乾燥時間は合計142時間(約6日間)とした。このスケジュールで乾燥試験を行った結果、初期の含水率低下は遅いが、仕上がり含水率は11.9%と内装材としての含水率を十分満足した。(仁木)

表3 足場板簡易乾燥スケジュール

時間	乾球温度(℃)	乾湿球温度差(℃)
6	60	2
24	60	4
24	60	6
36	60	8
46	60	10
6	60	3

#### 【参考・引用文献】

- 1 『徳島スギの乾燥に対する研究(第1報)―スギ柱材の重量による含水率推定について―』仁木龍祐 徳島県林業総合技術センター研究報告第31号 1993.12
- 2 『徳島スギの乾燥に関する研究(第2報)―構造用製材梁用平角の高温乾燥について―』仁木龍祐ら 徳島県林業総合技術センター研究報告第32号 1996.3
- 3 『徳島スギの低コスト急速乾燥技術の開発―徳島スギ平角人工乾燥材の仕上がり含水率の違いによる収縮率の変化―』仁木龍祐ら 徳島県林業総合技術センター研究報告第36号 2000.3

## 4 徳島すぎ土台角の耐蟻性

### (1) 徳島すぎを土台に

住宅の土台角としては、ヒノキが好まれるが、耐久性を比べた場合、スギがヒノキと比べて大きく劣っているわけではない。例えば、心材の耐朽性の区分でヒノキはⅡ（大）に、スギはⅢ（中）に区分されている<sup>1</sup>。一方、耐蟻性の分類ではヒノキ、スギともに中にランク付けされている<sup>1</sup>。また、土壌に設置した場合の主な樹種の心材の耐用年数では、ヒノキが7年、スギが6年と大差がない<sup>1</sup>。

そこで、実際に土台に使用されている木材（スギ、ヒノキ、その他）をイエシロアリに食害させ、耐蟻性を比較した。

### (2) 実験の方法

供試材料にはスギ心材及び辺材、ヒノキ心材、ベイマツ心材、ベイツガ心材を用いた。

試験体数は各10体、試験体形状を木口面100mm×100mm、長さ100mmとし、京大生存圏研究所内のイエシロアリ飼育槽上に3か月間設置した。この飼育槽内の環境条件は、気温28℃、湿度75～80%、1飼育槽内におけるイエシロアリの個体数は50～100万頭である。

その間、1か月毎に目視観察による被害度及び被害面数の測定を行うとともに質量減少率を求めた。被害度は被害度の区分（表1）により評価した。

表1 被害度の区分

区分	被害状況
0	被害無し、痕跡
1	部分的に軽微な被害
2	全体的に軽微な被害
3	2に加え、部分的に激しい被害
4	全体的に激しい被害
5	被害により形が崩れる

### (3) 実験結果

図1は平均被害度を示している。

スギ心材とヒノキ心材はシロアリの食痕が痕跡程度であり、ほぼ無被害であった。

スギ辺材については、平均被害度2.2であるが、材中に含まれる心材部分はほとんど食害を受けていなかった。

ベイマツは、スギ辺材とほぼ同じ平均被害度2.1であるが、被害の特徴としては接地部分に被害が多いことがあげられ、ベイツガは平均被害度3.6で今回の試験では最も大きな被害が確認された。

図2は平均被害面数を示している。平均被害度の結果と同様の傾向であり、スギ心材は0.6面、ヒノキ心材は0.5面と同程度であった。ベイツガは5.2面と最も被害面数が多く、最初の1ヶ月間でほとんどの面で被害を受けていたことがわかる。

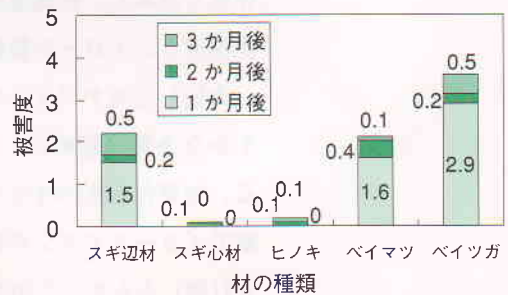


図1 目視による平均被害度

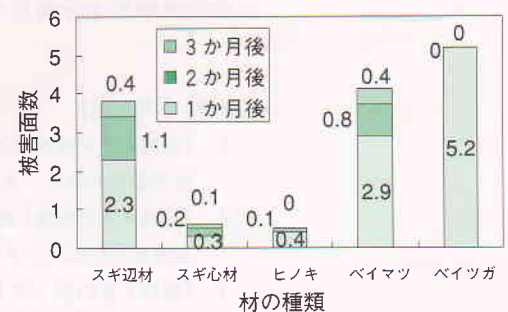


図2 目視による平均被害面数



図3は推定質量減少率を示している。スギ心材、ヒノキ心材は低い減少率であることがわかった。一方、ベイツガは3か月後では約40%まで減少し、大きく食害される危険性があると考えられる。

木材の耐蟻性による分類は、試験法やシロアリの種類によってその順位が変動しやすく、一般的な分類は困難とされている。

しかし、今回の試験結果においては、スギ及びヒノキの心材ともに食痕が痕跡程度であり、ほとんど被害を受けておらず、耐蟻性に関しては同程度の性能を期待できることが推測される。(橋本)



図3 含水率15%と仮定したときの推定質量減少率

【参考・引用文献】

- 1 『改訂3版木材工業ハンドブック』改訂3版木材工業ハンドブック編集委員会 丸善(株) 1982
- 2 『シロアリの生態-熱帯の生態学入門』安部琢哉 東京大学出版会 1989
- 3 『木材科学講座12 保存・耐久性』屋我嗣良ら 海青社 1997

コラム 4

五感で感じる木材② スギの細胞



熱伝導率が高い材料では人の皮膚から熱が逃げやすくなる。熱が逃げると皮膚の温度が低下するので冷たく感じられる。スギの熱伝導率はコンクリートの1/12、鉄の1/483と小さいことから、触ったとき温かく感じられる。

外の温度変化に対する室内の温度変化の比を室温変動比という。木材の室温変動比はコンクリートやガラスウールと比べ、著しく小さいが、これは木材の熱伝導率が小さく体積あたりの熱容量が大きいからである。

写真は木材の電子顕微鏡写真である。木材は熱伝導率の低い空気を多量に含み、木材を構成する成分自身も熱伝導率が低くなっている。熱伝導率の低さはこのような細胞構造による。特にスギは、木材の中でも熱伝導率が小さく暖かく感じられる。

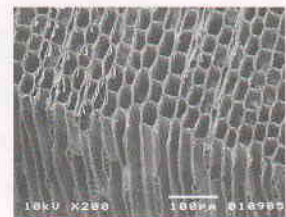


写真 徳島すぎの細胞断面 (徳島森林研 仁木 2001)



## 5 徳島すぎ黒心材の性能

### (1) 徳島すぎの黒心を評価する

スギ心材のなかでも黒心（心材が黒味を帯びた茶褐色を呈する材）は、色艶が悪いことから市場での評価が低いものとなっている。ところが、地域によっては黒心が耐蟻・耐朽性に富むとも言われており、実際に徳島すぎの黒心材で製材された土台角が、シロアリが多く生息する沖縄県や南九州にも出荷されていた。このように、経験的に耐久性に富むとされる黒心材、さらにはスギ心材の特性について検証した。

### (2) 実験結果

イエシロアリ (*Coptotermes formosanus* SHIRAKI) を用いた抗蟻試験の結果、徳島すぎ黒心材には cryptomerione など新たな抗蟻活性成分が存在することが分かった(図1)。また、成分抽出試験では、黒心材に ferruginol などの抗菌成分が赤心材よりも多く存在し、黄色ブドウ球菌 (*S.aureus*) に対する最小発育阻止濃度 (MIC) の値は小さく、優れた抗菌活性を示した(図2)。

また、徳島すぎ黒心材と赤心材について表面の殺菌効果を調べた。大腸菌 (*E.coli* K12W3110) で汚染した標準培地を用いて残存生菌数を測定した結果、黒心材は30分後に、赤心材は60分後にはほぼ殺菌し(図3)。これらのことから、黒心材が天然の抗菌材料としての機能を発揮していることが分かった。

さらに、徳島すぎ黒心材と赤心材の耐蟻性を比較するため、イエシロアリを用いた強制食害試験を行った。その結果、それぞれの平均質量減少率は、黒心材が4.5%、赤心材が4.9%であり、スギ辺材では25.2%であった。このことから、徳島すぎ心材は黒心、赤心とも高い耐蟻性を有していることが分かった。

### (3) 結果を踏まえて

今回の試験に用いた材料は高齢級材 (80~90年生) で3か月間、山で葉枯らしした後、棧積乾燥されたものである。人工乾燥による加熱は行っておらず、成分抽出は生薬の研究で通常行われる方法を用いた。すなわち、スギ心材に揮発性成分が含まれていることから、加熱あるいは水系の溶剤を使用する逆相系のクロマトグラフィーではそうした成分が消失する可能性がある。そこで、成分精製では順相クロマトグラフィーを用い、セスキテルペン、ジテルペン等を単離した。

今回の試験結果は、高齢級のそれも自然乾燥材に有益な成分が木材中に保持される可能性を示唆するものである。今後、そうした成分がどの時点で揮発するのか、樹齢による分量に差があるのかなどを確かめる必要がある。そして、この徳島すぎ黒心材の高い抗菌・殺菌作用を活かした商品開発を進めるとともに、乾燥技術においてもその知見を活かす必要がある。(橋本)

#### 【参考・引用文献】

- 1 『RSP 可能性試験結果報告書』2003.3
- 2 『公立林業試験研究機関研究成果選集 No.1』2004.3
- 3 『日本木材保存協会第19回年次大会研究発表論文集』2003.5

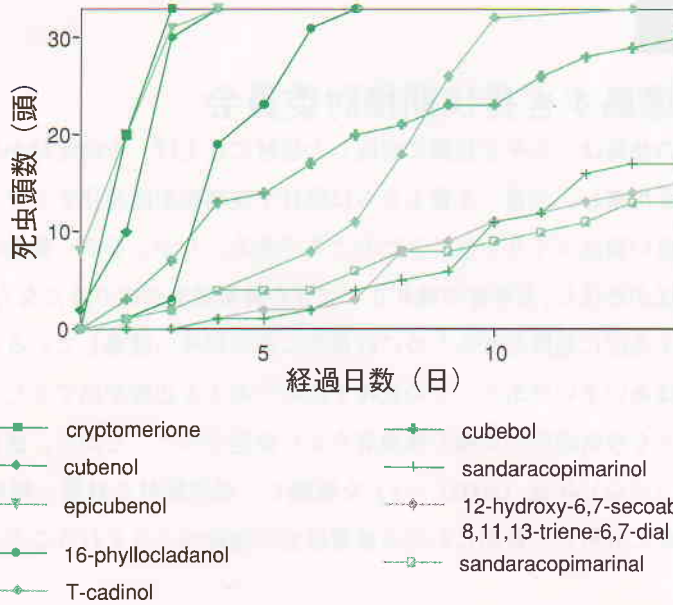


図1 スギ黒心材抽出成分によるイエシロアリ (*Coptotermes formosanus* SHIRAKI) の死虫頭数の推移

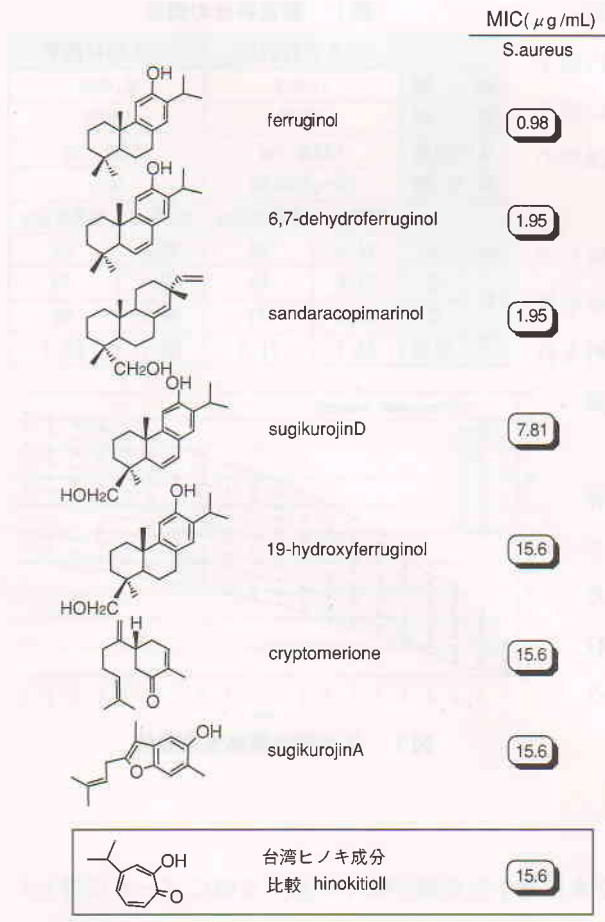


図2 スギ黒心材抽出成分の黄色ブドウ球菌 (*S.aureus*) に対する最小発育阻止濃度

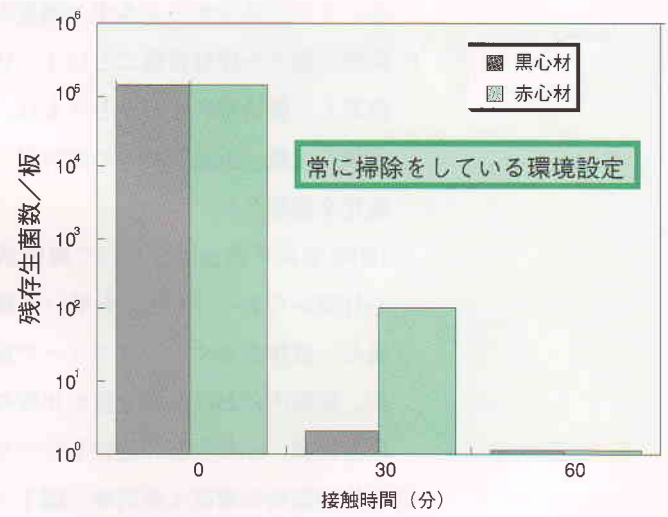


図3 スギ心材表面の大腸菌に対する殺菌作用標準培地 (NB) で汚染した大腸菌 (*E.coli* K12W3110) を黒心材及び赤心材に転写した場合の残存細菌数

## 6 長伐期材の性能

### (1) 徳島すぎ長伐期検討委員会

徳島県の林業は、スギを長期に育成し大径材に仕上げ、その元材から割柱や鴨居長押などのいわゆる役物を生産し、2番・3番玉からは梁材や足場板を商品化するなど、高樹齢材を素材としてバランスの良い製品づくりをしてきたところである。しかしながら最近の需要ニーズの変化から役物製品の市況が悪化し、大径材で成り立ってきた林業経営が成り立たなくなっている。こうした中で、森林機能を高度に発揮させるために政策的に長伐期林へ誘導しているものの、伐採齢など長伐期施業の定義はあいまいであり、その意味を改めて考える必要が出てきた。

このような技術課題が現場の林業者らから提起されたことから、徳島県では「徳島すぎ長伐期検討委員会（平成15年度（2003）～）」を組織し、長伐期材を材質・利用・経営等の視点から総合的かつ科学的に分析し、長期にわたる林業経営の指針づくりを行うこととした。

### (2) 調査方法

①表1のとおり那賀町沢谷の100年生スギ林と那賀町木頭字折宇の130年生スギ林を対象林分とし、2つの林分から3本ずつ調査木を選定し、

伐根位置から採材位置ごとに4～10個の円盤を採取し、樹幹解析を行うとともに、加齢に伴う容積密度数、仮道管細胞の放射径、接線径等の変化を観察した。

②130年生スギ調査木について樹幹解析に供した心材部からn-ヘキサンをを用いて精油成分を抽出し、液体クロマトグラフィーで成分分析を行い、樹幹内における成分量の比較や別途採取した48、80年生との比較を行った。

③地位指数別の樹高生長曲線（図1：徳島林総セ 宇水2001）と南近畿・四国地方スギ林分密度管理図から樹齢ごとの成立本数及び立木材積を求め、育林経費と収穫時の収益予想をし、経営シミュレーションを試みた。

表1 調査林分の概況

		旧木沢村沢谷		旧木頭村折宇	
面積		1.3ha		0.4ha	
樹齢		100年		130年	
立木密度		133本/ha		218本/ha	
間伐歴		20～30年毎		なし	
		樹高m	胸高直径cm	樹高m	胸高直径cm
試料木	A	34.9	80	32.2	63
	B	33.6	64	40.7	79
	C	30.7	70	34.3	46
	平均	33.1	71.3	35.7	62.7

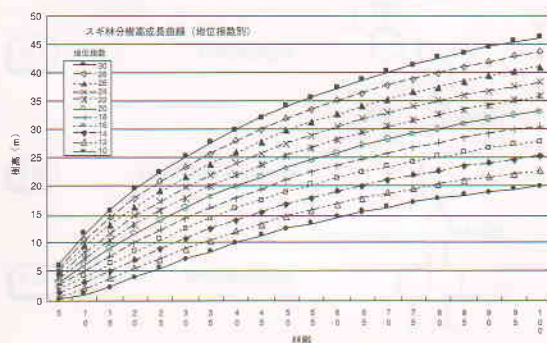


図1 スギ林分樹高生長曲線

### (3) 試験結果と考察

①樹幹解析の結果、100年生林分の調査木2本は連年生長量が60年を過ぎる頃にピークに達した後、横ばいに転じ、100年生を越える頃に平均生長量の曲線に近づいた。1本は100年を越えても両曲線は交わらなかった。(図2)

②130年生林分では、調査木は樹齢40～80年生で連年生長量が最大となり、100年生まで平均生長量を上回った。そのうち2本は100年を越すと両曲線が交わり連年生長量は平均生長量を下回ったが、1本は130年を越えても両曲線は交わらなかった。(図3)



③調査木の容積密度数は加齢に伴い漸減

しつつも極端な低下は見られなかった。細胞の接線径については樹齢100年生までは緩やかに増加し、その後横ばいで推移する傾向が見られた。

④成分分析の結果、130年生の高樹齢材は48年生、80年生の材に比べてヘキササン抽出量が多かった。(図4)

また、抗蟻成分のセスキテルペン(cryptomerione、16-phyllocladanol)は心材外層に向かって増加する傾向が見られたが、抗菌成分であるジテルペン(ferruginol、sandaracopimarinol)は部位によって多寡の傾向が異なった。(図5、6)

高樹齢材に殺蟻活性、抗菌活性に富む成分が多いということは、長伐期材の優位性となり、商品の差別化につながるものである。また抽出成分の樹幹内分布は、スギ材の適材適所の利用において重要な示唆を与えるものである。

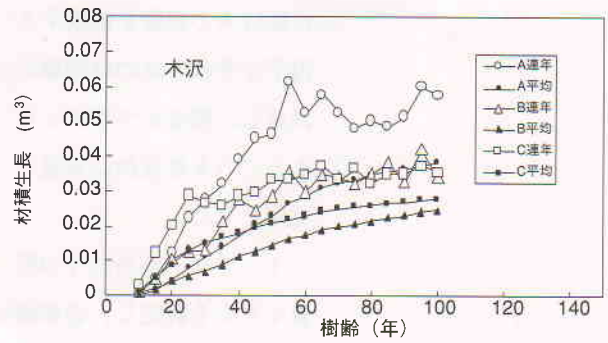


図2 100年生スギの生長曲線

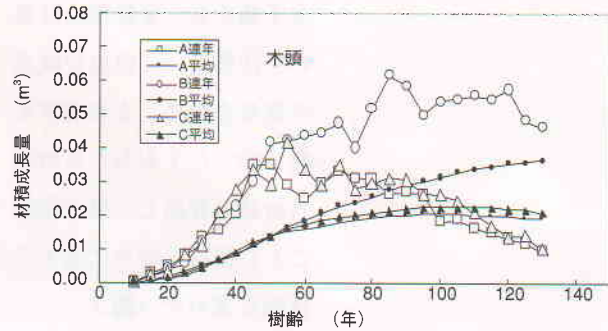


図3 130年生スギの生長曲線

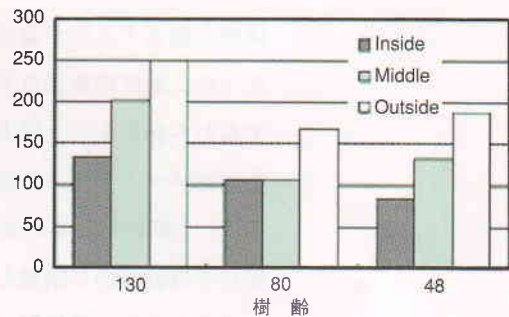


図4 樹齢別のヘキササン抽出量

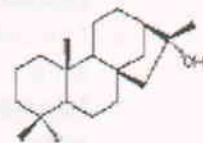
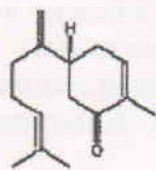
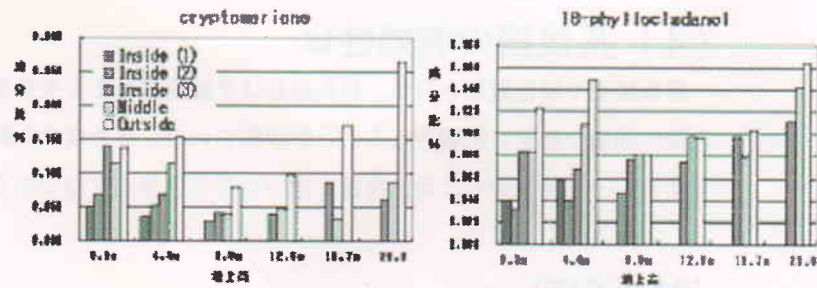


図5 殺蟻活性成分の樹幹内変動

⑤伐採収入と経費を構成する因子をそれぞれの時期毎に試算し、利益がプラスになるところを経営的に最適な伐期とした。

1ヘクタールあたりの経費モデルを設定し、必要経費と伐採収益から将来の収支予測をし、変動損益計算の手法を用いて損益分岐点生産量を求め、立木成立本数で除した1本あたりの素材材積を算出し、地位指数ごとに損益分岐点に達する林齢を求めた。(図7)

⑥その結果、地位指数22~26の中の上クラスでは100年伐期を設定するのが適当であった。地位指数16以下、すなわち40年生で上層木の樹高16メートル以下の森林では、100年生までの長伐期化では経済的に困難となる可能性が高いことがわかった。

このように、長伐期にわたる施策方針を決める際には、地位指数を用いて40年生時の樹高から将来の収支見込みを判断することが有効である。

#### (4) 長伐期の有効性は

樹幹解析や細胞観察からは、長伐期林は年齢を重ねても生長を続けていることが確認されたが、周囲の環境や施業に影響されることが示唆された。また成分分析からは長伐期材の優位性が、経営シミュレーションからは地位指数を用いた経営予測が有効であることが明らかになった。(網田)

##### 【参考・引用文献】

- 1 『徳島県木頭地方における100年生スギの成長と材質』 三好悠・野淵正 第115回日本林学会大会 2004
- 2 『スギ心材成分含有量の樹幹内での比較—その1 徳島県産樹齢130年スギについて』 辻 直樹、梅山明美、吉川和子、在原重信、網田克明 第55回日本木材学会大会 2005
- 3 『長伐期林を解明する』—第3章 徳島県長伐期検討会の中間報告から— 網田克明、市瀬雅志 林業普及双書 2006.3

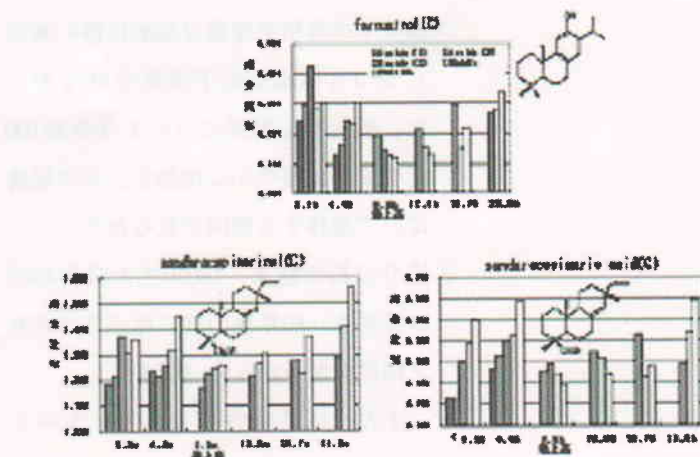


図6 抗菌活性成分の樹幹内変動

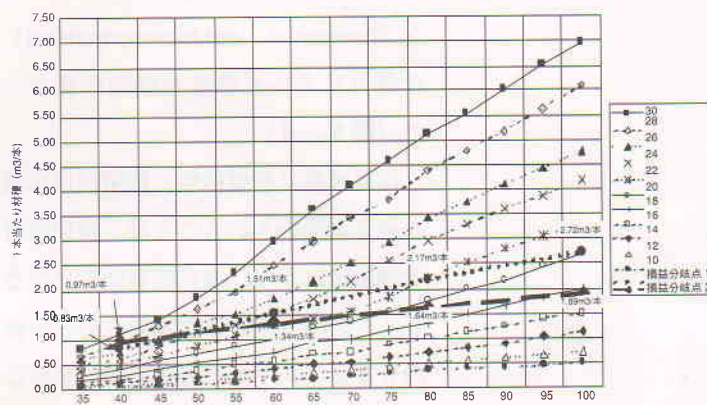


図7 スギ人工林成立本数と立木材積

## 7 徳島すぎ内装材の快適性

### (1) はじめに

温かさなどの快適性評価にはPMV (Predicted mean vote) 値が使われる。これは人体の熱的中立温度を予測する快適方程式により算出された温熱環境指標である。温熱状態を大多数の人の感覚的評価に合うように、0 (暑くも寒くもない状態、中立値) を中心に+3 (暑い) ~ -3 (寒い) の7段階に分け、 $\pm 0.5$ の範囲が快適とされる。PMVの算定にあたっては居住者の代謝量、着衣量を定め、室内の作用温度、湿度、気流速度を測定して求める。ここで作用温度とは、気温と平均放射温度の影響を勘案した総合的な温熱指標である。ヒトが感じる体感温度は部屋の気温ではなく身体からの熱の逃げであることから、作用温度で評価するのが有効である。

表1 温冷感のカテゴリースケール

PMVのスケール	温冷感カテゴリー	
+3	かなり暑い	hot
+2	暑い	warm
+1	やや暑い	slightly warm
0	中立	neutral
-1	やや寒い	slightly cool
-2	寒い	cool
-3	かなり寒い	cold

### (2) オフィスビルでの実験

快適性の測定を徳島市内のオフィスビルで実施した。壁面がモルタル仕上げ、床がビニールアスベストタイルの部屋 (以下、隣室と呼ぶ) と、徳島すぎ厚板 $30\text{mm}$ の表面熱圧処理材 (床との間に $30\text{mm}$ の根太を施工) を施工し、壁には杉集成材 (厚さ $10\text{mm}$ ) と和紙クロスを貼った部屋 (以下、木の部屋と呼ぶ) とで室内気候を比較した。

測定は、平成12年2月7日~2月8日の2日間で行った。2月7日は日平均気温は $7.1\text{C}$ と比較的暖かい日となった。翌2月8日には冬型の気圧配置が強まり、徳島県内に寒気が流れ込み小雪のちらつく天候となった。

2月7日午前11時から10分間、木の部屋のPMV値は $-0.5$ から $+0.5$ 近くまで上昇した。一方、隣室は11時30分から10分間、 $-0.5$ ~中立値0の範囲で推移した(図1)。翌日、午前10時から10分間、木の部屋のPMV値は $0$ ~ $+0.5$ の範囲で推移した。一方、隣室のPMV値は10時30分から10分間、 $-0.5$ を上限に、低めに推移した。つまりやや寒い状態であった(図2)。

図3は2月7日の2つの部屋の床・壁の表面温度と作用温度との関係をあらわしたものである。



徳島すぎで内装した室内

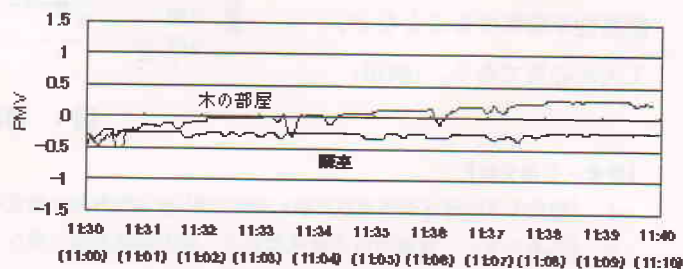


図1 二つの部屋の快適性 (冬期: 暖房あり)





図2 二つの部屋の快適性 (冬期)

この日は翌日に比べだいぶ暖かかったが、木の部屋と隣室との差が明らかである。

すなわち、木の部屋では床・壁の表面温度が高く、作用温度も高くなっている。一方、コンクリートで囲まれた隣室は、床・壁の表面温度が低く、作用温度も低くなった。表面温度が作用温度に影響したものと推察される。

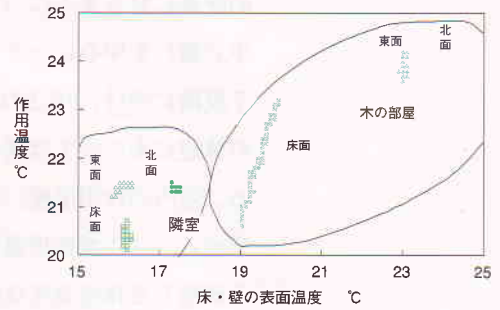


図3 床・壁表面温度と作用温度の関係

注) 木の部屋 (床: 杉厚板、壁北面: 和紙クロス、壁東面: 杉集成材) 隣室 (床: P タイル、壁: モルタル)

### (3) 徳島すぎの熱的特性

今回の施工材料として用いた徳島すぎ厚板30<sup>ミリ</sup>に

ついて、熱伝導率を測定した。その結果、白太材 (辺材部) に比べて赤身材 (心材部)、あるいは無処理材に比べて熱圧処理材の熱伝導率はさほど低下しなかった。しかし、その値は従来から用いられるスギ材の値の範囲内であった。

表2 徳島すぎの熱伝導率

単位: W/m・K (°C)

材種	熱圧処理	測定温度条件			含水率 (%)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )
		40°C	20°C	0°C		
赤身 (心材)	①有	0.110 (40.4)	0.100 (19.8)	0.088 (-0.3)	419	14.8
	②無	0.108 (40.7)	0.095 (20.0)	0.086 (-0.4)		
白太 (辺材)	③有	0.100 (40.7)	0.088 (20.0)	0.081 (-0.6)	298	13.8
	④無	0.100 (40.6)	0.087 (20.0)	0.078 ( 0.0)		

注1) JISA1412-2 : 1999「熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第2部: 熱流計法 (HFM法)」により、(財) 日本建築総合試験所で測定

注2) 1 kcal/m<sup>2</sup>・h・°C = 1.163W/m<sup>2</sup>・K

建築材料としてスギの需要展開を図るためには、スギ厚板を供給できる林業地のメリットを強調するとともに、熱伝導率の値だけでなく、物理的な厚みや施工性等により断熱性を確保することなど、工夫が必要である。(網田)

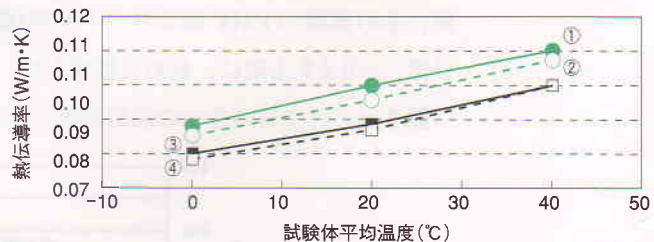


図4 徳島すぎの熱伝導率の測定

#### 【参考・引用文献】

- 『徳島すぎ内装材の快適性評価』 網田克明 徳島県林総セ研究報告36号 2001.3
- 『エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発』 自立循環型住宅開発委員会報告書 (財) 建築環境・省エネルギー機構 2004.3