

県産材の流通実態とスギ材の利用法に関する研究

2009年度～2011年度

鈴木祥仁・小笠原祐介・大林育志

要 旨

県産材の流通実態を調査するためアンケート調査を実施するとともに、原木市場の取扱量を調査した。その結果、素材生産者・原木市場・製材業者における流通の大部分が県内で行われており、黒心材・年輪幅不揃い材について、素材生産者・原木市場の多くが一般の材と同様に取り扱っていた一方、製材業者では区別したり、取り扱わない割合が大きかった。スギ材の材質特性について調査したところ、材中心に近い未成熟材部と成熟材部とで大きく異なり、成熟材部では曲げヤング係数、曲げ強さは密度との相関が高かった。年輪幅の広さは密度、曲げヤング係数に対して負の相関が、中心からの年数は曲げヤング係数に対して正の相関が認められたが、いずれも相関は弱く、原木間の変動が材特性の大部分を決定していた。低質材の利用法として、ヤング係数の低いラミナを構成に含めた集成材を試作したところ、規定の曲げ強さを有していた。黒心材の利用開発のため、心材抽出液を注入した木材の対腐朽性能を調査したところ、ヘキサンによる抽出液を注入した木材の腐朽が小さかった。

I はじめに

三河山間地域は、本県の木材供給地として重要な役割を果たしている。しかし、県産材の流通実態は不明な点が多く、流通実態について明らかにすることは、木材の地産地消を推進する上で重要である。また、本県では標準伐期齢以上のスギの蓄積が増大しているが、年輪幅の不揃いや黒心材などの市場価値が低いとされる材も少なくなっている。スギ材の年輪幅と木材強度との関係は、一般には年輪幅が広いと強度が劣るとの認識が多くあり、日本農林規格（JAS）の目視等級区分においても平均年輪幅による基準が設けられている。既往の研究においても関係があるとするもの（宮崎ら，2007）とないとするもの（雉子谷ら，2005）があるなど明確になっていない。

黒心材は赤心材より耐久性が高いことが示唆されており（尾崎ら，2008）、その特性に応じた利用開発が期待される。そこで、県産材の流通実態を

調査するとともに、スギ材の材質について調査を行い、低質なスギ材の特性に応じた利用法の検討を行った。

II 方法

1. 県産材の流通実態調査

県内の素材生産者78社、原木市場15社、製材業者321社、計378社（兼業があるため内訳と計は一致しない）を対象にアンケート調査を実施した。設問は、2008年の県産材の流通、黒心材や年輪幅不揃い材（10mmを超える年輪幅を含む材）の取扱い方法とした。また、三河材流通加工事業協同組合の原木市場を対象に、2007年度から2009年度の取扱量を調査した。原木市場の出荷者及び買上者について、属性別、地域別に集計した。

2. スギ材の材質調査

(1) 年輪幅と材特性の実態把握

2009年12月から2010年1月に森林・林業技術セ

ンター試験林で伐採したスギ4 m原木22本（末口径16～26cm）から、芯持ちの正角（105, 120mm）、平角（120×150～210mm）を製材し、重量を測定した後、木材乾燥装置で中温人工乾燥を行った。乾燥は85℃で蒸煮後、湿球温度を56℃とし乾球温度を62℃から70℃に上昇させるスケジュールで20日間行い、乾燥中盤以降は間欠運転とした。乾燥の進行は長さ1.05mのモニタ材の重量により測定した。屋内で約1年保管後、試験材から1 m材を切り出し、断面を20mm角に分割した小試験体を調製した。試験体の平均年輪幅、材中心からの年輪数、密度を測定し、JIS Z2101:2009の方法に準じて支点間距離280mmの3点荷重による曲げ試験を実施した。荷重速度は5 mm/minとし、6.3N/mm²及び25.2N/mm²における荷重及び変位からみかけの曲げヤング係数を求めた。試験体636体の測定結果から、年輪幅、中心からの年数と密度、曲げヤング係数、曲げ強さとの関係を解析した。

試験材の残りの3 m部分についてJAS目視等級区分を行うとともに、3等分点4点荷重により実大曲げ試験を行った。支点間距離は材せいの18倍とし、満たない場合は材長の範囲で最大の距離とした。加力は10mm/minの荷重速度で行い、最大荷重の10%及び40%における荷重及び変位から曲げヤング係数を求めた。目視等級区分及び曲げヤング係数から求めたJAS機械等級区分ごとに、曲げ強さの比較を行った。

（2）黒心材の特性解明

森林・林業技術センター構内で暗色枝枯病の病徴が認められるスギ4本を伐採し材料とした。伐採木を3番玉まで造材し、12本の原木（末口径10～40cm）を得た。原木を厚さ34mmの板に丸挽きし、2番玉及び3番玉から製材された板の元口から長さ1.02mの板を採取した。根元からの採取位置としては、2番玉は約4～5 m、3番玉は9～10mに相当する。そのうち髓を通り心材が含まれる板

を試験材料とした。気乾含水率に乾燥させた後、心材部を20mm角の正割に製材し、色彩色差計（ミノルタCR-300）により4面を10cm間隔で測定した。

心材色を測定した材について、JIS Z2101:2009の方法に準じて木材腐朽菌に対する耐久性試験を行った。供試菌はオオウズラタケ（*Fomitopsis palustris*）、カワラタケ（*Trametes versicolor*）とした。培養基として石英砂300 gを900ml広口ガラス瓶に入れ、培養液（ブドウ糖4%、ペプトン0.3%、麦芽エキス乾燥粉末1.5%）を100ml加え、120℃で30分滅菌を行った培地に、PDA培地で培養した供試菌を接種したものを使用した。材から20×20×10mmの試験体を各12個作成し、瓶中の培養基に置き、温度27℃、湿度70%以上の恒温恒湿器内で60日間培養させた後、質量減少率を求めた。

3. スギ材の利用開発

（1）スギ低質材の利用開発

2.（1）の試験材と同じ原木から得られたラミナを用いて集成材を製作し、その強度性能を調査した。ラミナの厚さは24mmとし、5枚積層して120mm角の正角を作成した。ラミナの曲げヤング係数を測定し、同一等級構成集成材を4体、対称異等級構成集成材を3体作成した。接着面にレゾルシノール樹脂接着剤を250 g/m²塗布し、コールドプレスで約600kPaの圧力で20時間圧縮した。養生後、曲げ試験を行い2（2）と同様に曲げヤング係数、曲げ強さを求めた。

（2）黒心材抽出物の利用開発

2.（2）の残りの心材部分を原木別に未乾燥のままオガ粉製造機でオガ粉に調製し、目開き2.83mmのふるいの通過分を抽出用の材料とした。抽出溶媒は水、エタノール、メタノール、アセトン、ヘキサントシ、オガ粉湿重50 gに対し溶媒250mlを加え、毎秒90回の振とう下で3日間抽出した。抽出後、ろ紙（TOYO 6 B）でろ過した。

2種類の原木から得た抽出液をスギ辺材から作

成した20×20×10mmの試験体各9個に減圧注入し、JIS K1571:2010に準じて防腐性能試験を行った。試験体をビーカーに入れ真空デシケーター内で減圧度0.09Mpaを5分間継続し脱気した後、ビーカー内に抽出液を注入し約30分間置いた。注入前の試験体質量に対する注入した抽出液質量を示す注入率は、水溶性試料は250%、油性試料は200%を目標とした。注入後の試験体を十分風乾した後、耐候操作を10回行い、2.(2)と同様の培養条件下で抗菌操作を行った。培養期間は90日間とし、乾燥後質量を測定し、質量減少率を求めた。

Ⅲ 結果と考察

1. 県産材の流通実態調査

アンケートは、125社から回答があり、内訳は素材生産者が33社、原木市場が15社、製材業者が90社であった。このうち素材生産者と原木市場の兼

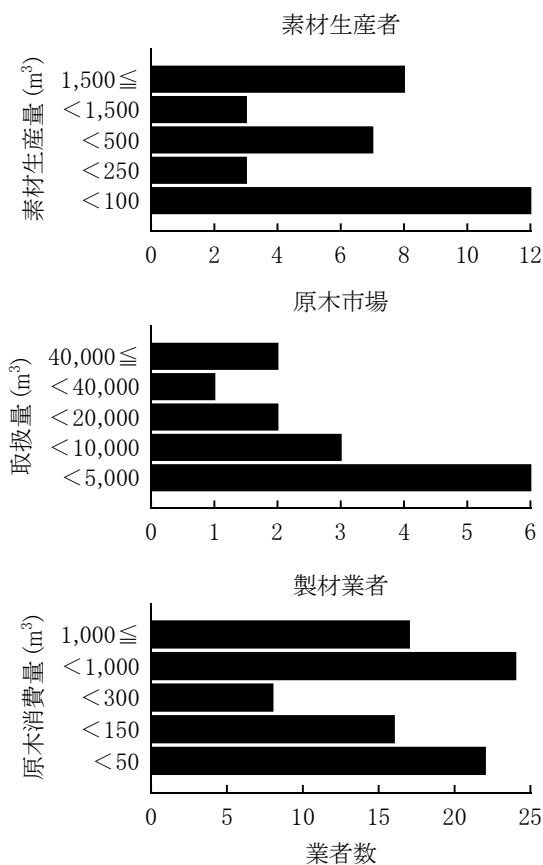


図-1 アンケート回答者の取扱量

業が4社、素材生産者と製材業者の兼業が5社、原木市場と製材業者の兼業が4社であった。各業者の取扱量別分布は図-1のとおりである。素材生産者の出荷先は、スギでは77%、ヒノキでは83%の業者が県内原木市場に出荷していた(図-2)。原木市場の入荷先は、スギで40%、ヒノキで31%の業者が県内のみから、スギで60%、ヒノキで46%の業者が県内及び県外から入荷していた(図-3)。製材工場の入荷先は、スギで83%、ヒノキで86%の業者が県内市場から入荷していた(図-4)。以

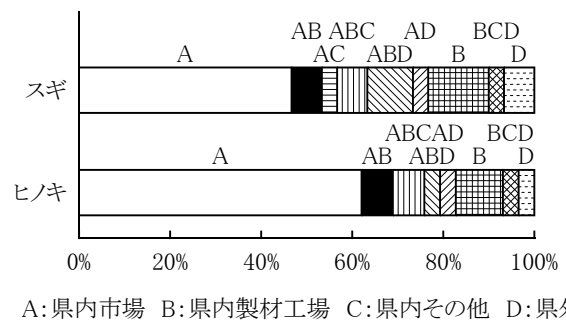


図-2 素材生産者の出荷先

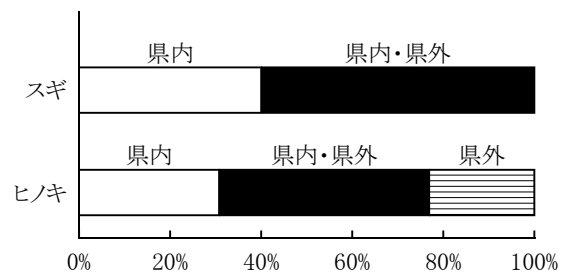


図-3 原木市場の国産材入荷先

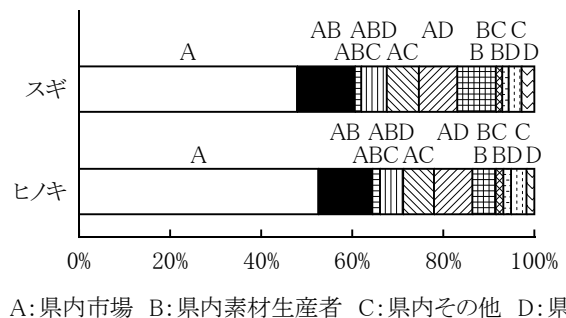


図-4 製材業者の国産材入荷先

上のことから、県内原木市場が県産材の流通において重要な役割を果たしていると考えられた。黒心材と年輪幅不揃い材の取扱いは、素材生産者、原木市場と比較して、製材業者では黒心材及び年輪幅不揃い材を取り扱わなかったり、区別している割合が高かったが(図-5)、規模による違いは明確には認められなかった。製材業者が区別した取扱いをしている理由として、生産品目に応じた

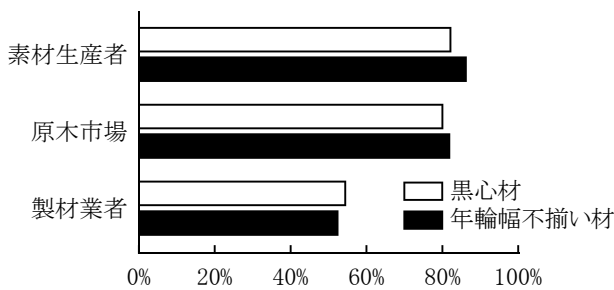


図-5 一般の材と同様に取扱う割合

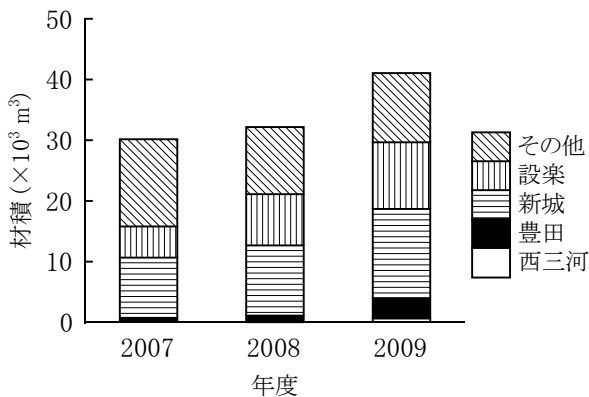


図-6 市場取扱量及び地区別森林組合出荷量

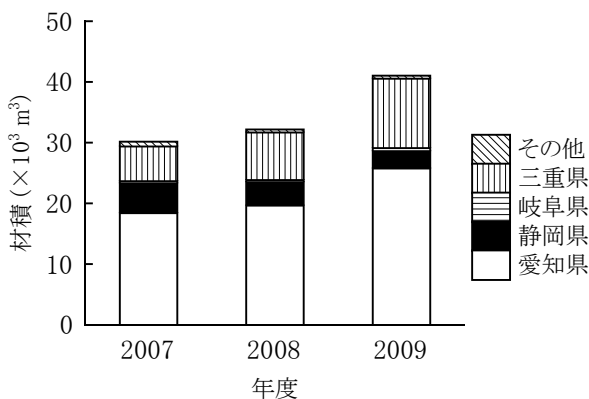


図-7 市場買上者の県別取扱量

材料の仕入れを行っているためと考えられた。

原木市場の年間取扱量は2007年度30,000m³、2008年度32,000m³で微増であったが、2009年度は41,000m³に増加した(図-6)。また、各地域の森林組合の出荷量は年々増加傾向で、増加分のほとんどは特売の扱いであった。このことから、原木市場を通じた製材工場への直送が増加しているものと推察された。なお、2009年度に取扱量が特に増加した原因として、新東名高速道路建設に伴う支障木伐採の影響が考えられた。買上者の地域別割合では愛知県が65%程度を占め、静岡県が減少傾向であるのに対し、三重県が増加傾向であった(図-7)。

2. スギ材の材質調査

(1) 年輪幅と材特性の実態把握

小試験体の平均年輪幅は中心からの年数が増加するに従い指数関数的に減少する関係が認められた(図-8)。これは、直径成長がMitscherlichの法則に従うとされる(鈴木, 1979)ことから明らかであるといえる。密度、曲げヤング係数、曲げ強さは、いずれも原木間に有意な差があり(One-Way ANOVA, $p \leq 0.001$)、中心からの年数との関係では、原木間のばらつきが大きいものの約10年を境に傾向の違いがみられた(図-9)。この違いは、中心から10~15年程度は形成層の未成熟期に形成された未成熟材(古野ら, 1994)である

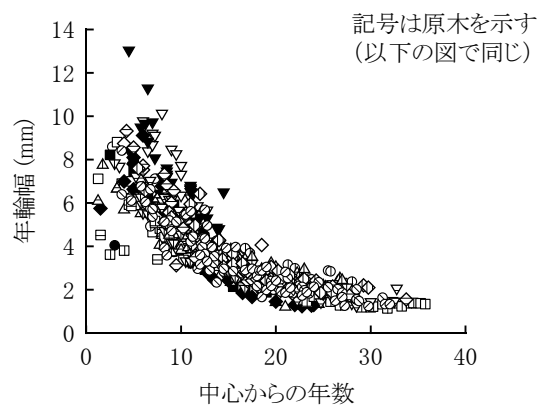


図-8 中心からの年数と年輪幅

ためであると判断された。そこで、年輪幅及び中心からの年数と材特性との関係については、10年以下を未成熟材とし、これを除く試験体438体について解析した。年輪幅については中心からの年数との関係を除去するため、中心からの年数で回帰した予測値に対する年輪幅の比を「年輪幅比」とした。年輪幅の回帰式は次のとおりで ($r^2 = 0.712$, $p \leq 0.001$)、求めた年輪幅比と中心からの年数との間には相関は認められなかった ($p > 0.05$)。

$$w = 12.195558 \times 0.8869434^y + 1.2856369$$

w: 年輪幅 y: 中心からの年数

材特性の密度及び曲げヤング係数、曲げ強さ間の関係では、曲げヤング係数、曲げ強さともに密度との相関が高く、曲げヤング係数と曲げ強さ間の相関は密度に起因することが示唆された (図-10)。密度、曲げヤング係数、曲げ強さについて、

年輪幅比及び中心からの年数の2変数を説明変数とし、重回帰分析を行った。その結果、密度及び曲げ強さでは年輪幅比と負の相関 (偏相関係数 -0.354 , -0.270) が認められたが ($p \leq 0.001$)、自由度調整済み決定係数は0.1前後で影響はごく弱かった。曲げヤング係数では年輪幅比と負の相関 (偏相関係数 -0.479) 及び中心からの年数と正の相関 (同 0.272) が認められ ($p \leq 0.001$)、自由度調整済み決定係数は0.276で弱い影響があった (図-11)。いずれの材特性においても年輪幅比及び中心からの年数の影響が弱かったことから、さらに原木の違いをダミー変数として説明変数に加えて重回帰分析を行った。その結果、いずれの材特性の回帰結果においても自由度調整済み決定係数が約0.5増加したことから (図-12)、材特性の約半分は原木間の変動が影響していることが示された。

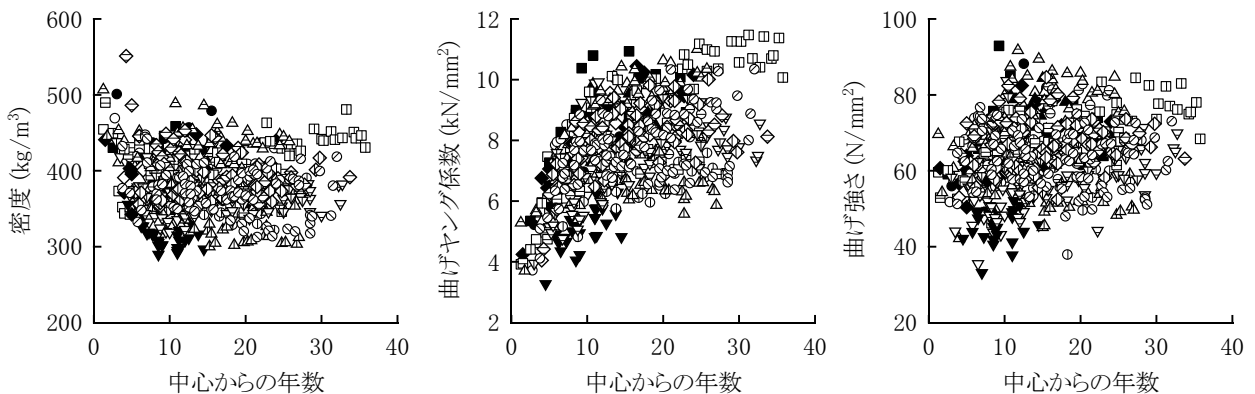


図-9 中心からの年数と材特性

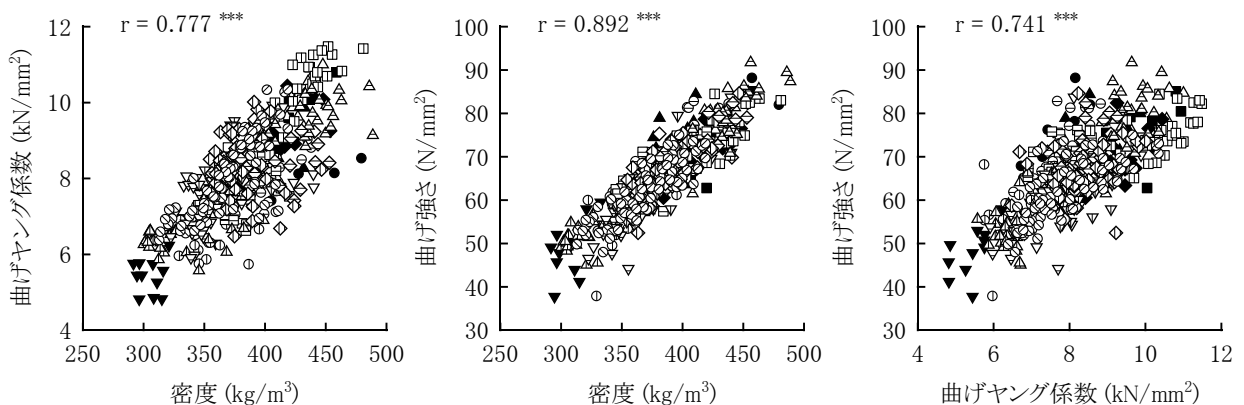


図-10 未成熟材部を除く材特性

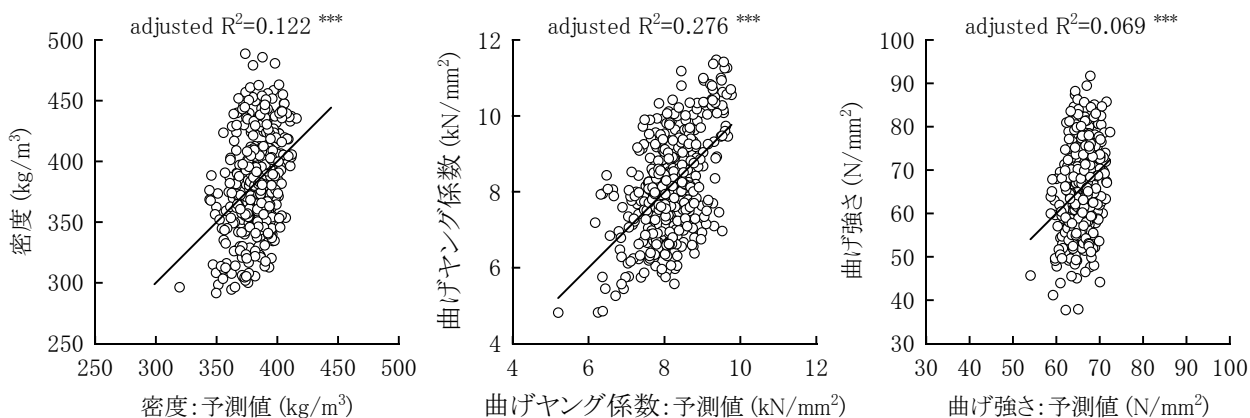


図-11 年輪幅比・中心からの年数による材特性の重回帰結果

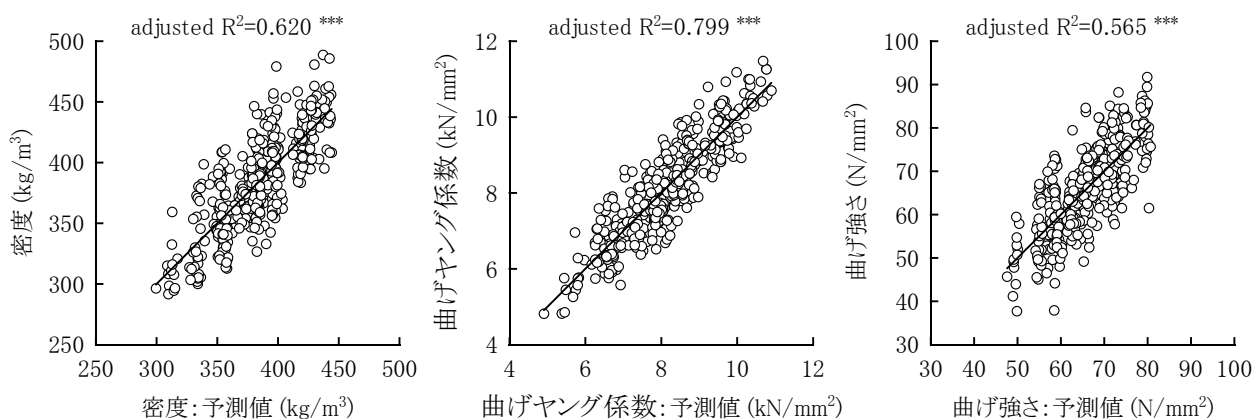


図-12 原木を説明変数に加えた材特性の重回帰結果

実大材の試験体のうち1体は内部に著しい腐朽が認められたためデータから除外した。実大材の密度と曲げヤング係数との相関は小試験体での相関より大幅に弱く、曲げ強さとの相関もやや弱かった(図-13)。これは、実大材が芯持ちであったため、密度が高く曲げヤング係数が低い未成熟材

の特性が影響しているものと考えられた。一方、曲げ強さは曲げヤング係数との相関が密度との相関より強かった(図-13)。これは、未成熟材では曲げ強さは密度より曲げヤング係数との相関が高いためであると考えられた。

密度と曲げヤング係数により曲げ強さの重回帰

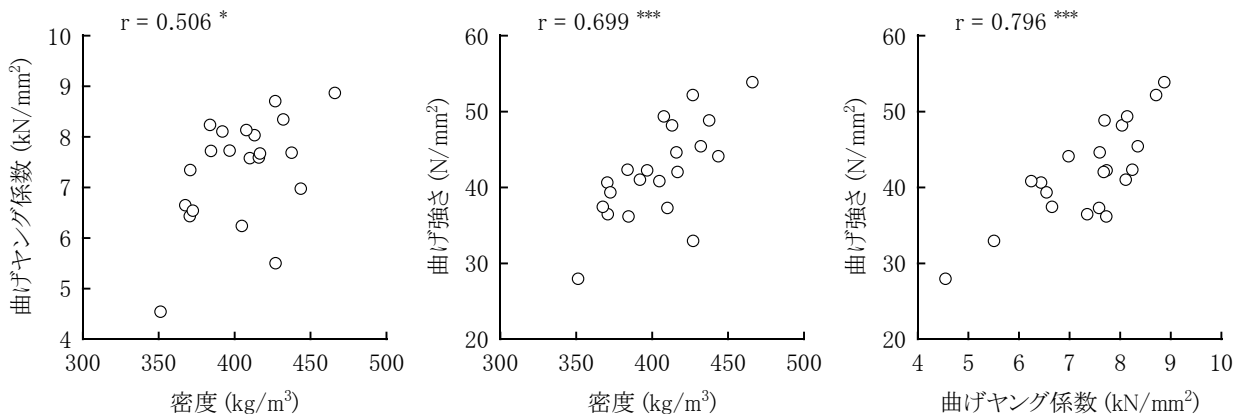


図-13 実大材の材特性

を行ったところ、比較的高い決定係数が得られた ($\text{adjusted } R^2 = 0.723, p \leq 0.001$)。したがって、実大材の曲げ強さは密度及び曲げヤング係数によりおおよそ説明可能であることが示された。また、試験材についてJAS目視等級区分間の曲げ強さに有意な差は認められなかったが (Kruskal-Wallis Test, $p > 0.05$)、機械等級区分間では有意な差が認められた (同, $p \leq 0.01$) (図-14)。

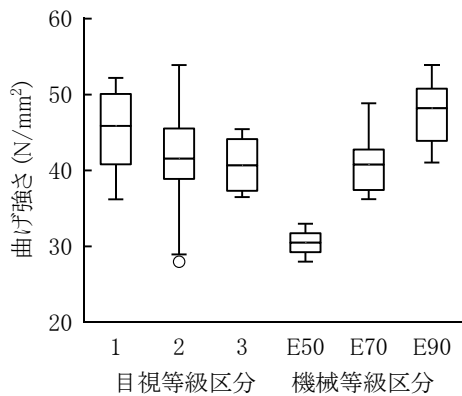


図-14 等級区分別の曲げ強さ

以上のことから、中心から10年を超える成熟材については、年輪幅が相対的に広いと密度、曲げヤング係数及び曲げ強さが減少し、中心からの年数の経過により曲げヤング係数が増加するといういずれも弱い関係が認められるものの、材特性の大部分は原木間の変動により決定されることが明らかになった。また、成熟材では密度と強度性能との相関が高く、曲げ強さを推定するうえで、曲げヤング係数に加えて密度を測定することの有用性が示された。したがって、強度性能の評価のためには、原木ごとに成熟材の密度、ヤング係数の測定が必要であると考えられた。一方、未成熟材部の年輪幅が広い材は強度性能の劣る部分が大きくなり、実大材の強度性能に影響すると考えられた。

(2) 黒心材の特性解明

生材時の目視による心材色は、梢端に近い3番玉では暗色枝枯病による黒色を示していた。2番

玉では暗色枝枯病の影響が一部みられたほかは、赤心材に近い赤色から黒心材に区分される暗赤色まで認められた。明度 L^* は2番玉と比較して3番玉は低かった ($t\text{-test}, p \leq 0.001$) (図-15)。色度 a^* 、 b^* は2番玉よりも3番玉で低く、色相は差が認められなかったが (同, $p > 0.05$)、彩度は3番玉が2番玉より低かった (同, $p \leq 0.001$) (図-16)。これらのことから、暗色枝枯病による黒心材は、2番玉で認められたような一般的な黒心材と比較して明度、彩度ともに低いことが示された。

黒心材の耐久試験の結果、試験片の質量減少率がオオウズラタケでは1.0%、カワラタケでは1.4%と小さかった。試験体間の質量減少率についてはいずれの供試菌においても有意な差が認められ (One-Way ANOVA, $p \leq 0.001$)、対象とした辺材との平均値の差を比較したところオオウズラタケ

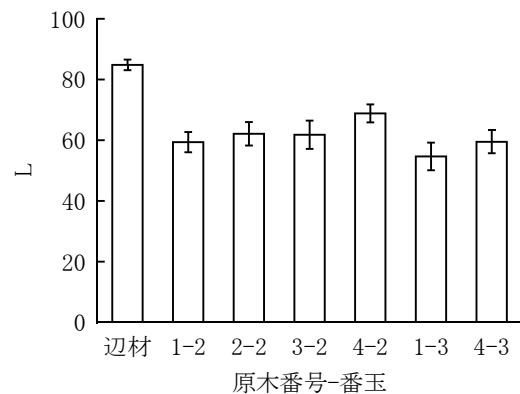


図-15 心材色の明度(±s.d.)

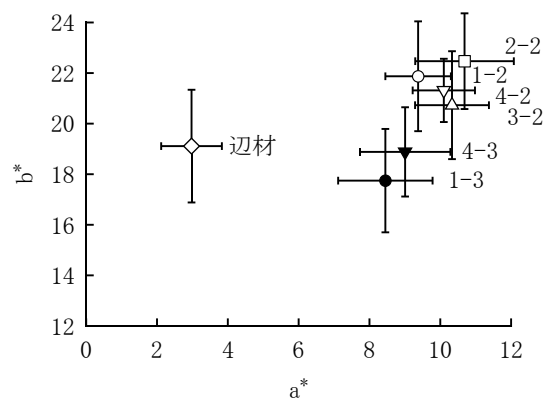


図-16 心材色の色度(±s.d.)

では1体の減少率が大きく (Dunnet test, $p \leq 0.01$)、カワラタケでは2番玉からの試験片2体の減少率が少なかった (同, $p \leq 0.001$, $p \leq 0.05$) (図-17)。しかし、オオウズラタケでは試験片への菌糸蔓延が不明瞭で、辺材の質量減少率が0.7%であり、菌糸の活性又は培養条件による菌糸の伸長が不良であったと考えられた。カワラタケでは対腐朽性を有するものが認められたものの、辺材の質量減少

率が3.8%であったことから、黒心材の耐久性の評価までには至らなかった。耐久性を明らかにするためには、培養期間をより長く設定し精査を行う必要がある。

3. スギ材の利用開発

(1) スギ低質材の利用開発

ラミナの曲げヤング係数を測定した結果、L50からL100までの等級に区分された。曲げヤング係数の分布は実大材より約 1 kN/mm^2 高くなったが、材の外周部からラミナを採取したことによると考えられた。同一等級構成の内層に、ラミナの制約上等級の高いラミナを一部使用するとともに、対称異等級構成の1体は最外層ラミナに対し中間層及び内層に1等級低いラミナを使用したもの (以下規定外という) を作成した。

曲げ試験の結果、全ての試験体でJAS規定の曲げヤング係数下限値及び平均値、曲げ強さの下限値を上回り、規定外の試験体も最外層ラミナが同一の等級とほぼ同じ結果となった (表-1)。測定値の下限値に対する倍率では、同一等級構成と比較して対称異等級構成の倍率が高い傾向がみられたが、構成枚数が5層と少なく、対称異等級構成において内層ラミナの比率が少なかったことの影響

が推測された。構成の別に係わらず、曲げヤング係数は最外層ラミナの等級区分と高い相関が認められ ($r=0.983$, $p \leq 0.001$)、曲げ強さにおいても相関が認められた ($r=0.788$, $p \leq 0.05$)。このことは、集成材の強度性能は外側のラミナの等級が大きく影響しており、異等級構成では内層にヤング係数の低いラミナを使用できることから、低質材の有

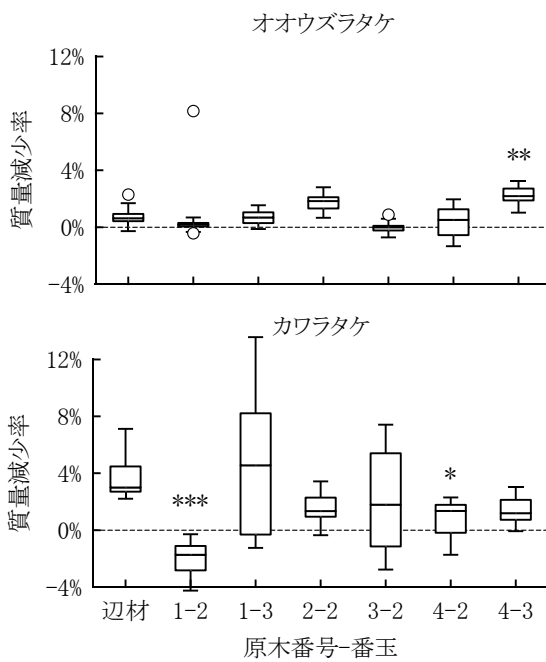


図-17 耐久性試験における質量減少率

表-1 集成材の構成と曲げ試験結果

集成材の構成	同一等級				対称異等級		
	E85- F300	E75- F270	E65- F255	E55- F225	E85- F255	E75- F240	規定外
規定ラミナ等級構成	L90	L80	L70	L60	L100	L90	
	L90	L80	L70	L60	L80	L70	
	L90	L80	L70	L60	L60	L50	
	L90	L80	L70	L60	L80	L70	
	L90	L80	L70	L60	L100	L90	
製作ラミナ等級構成	L90	L80	L70	L60	L100	L90	L100
	L90	L80	L70	L60	L80	L70	L70
	L100	L80	L70	L70	L60	L50	L50
	L90	L80	L70	L60	L80	L70	L70
	L90	L80	L70	L60	L100	L90	L100
測定値							
曲げヤング係数 kN/mm^2	9.752	8.882	7.589	7.199	10.630	9.583	11.213
曲げ強さ N/mm^2	45.52	42.46	38.71	44.60	54.18	46.84	54.92
測定値のJAS曲げ性能との比							
曲げヤング係数平均	1.147	1.184	1.168	1.309	1.251	1.278	
曲げヤング係数下限	1.393	1.367	1.380	1.600	1.519	1.474	
曲げ強さ下限	1.580	1.638	1.581	2.065	1.967	1.807	

効利用の面で有利であると考えられた。

(2) 黒心材抽出物の利用開発

注入処理を行った黒心材抽出液の試験体への吸収率は水では259%とJISの水溶性試料の基準を満たしたが、エタノール、メタノール、アセトンではいずれも約220%から230%、ヘキサンでは約160%で、基準を満たさなかった。これは、規定の吸収率が質量基準であり、密度が小さい抽出溶媒では基準の吸収率を満たすのは困難であるためと考えられた。なお、吸収量を容積換算し、試験体の容積に対する注入した抽出液の吸収率を求めたところ、水及びヘキサンでは80%、エタノール、メタノール、アセトンでは84%から88%となり、木材組織の空隙のほぼ全てに注入されていると判断された。

耐候操作の初期において、ヘキサン以外の試験体では水溶液が抽出液の色を薄く示したことから、注入した抽出液が溶脱していることが推測された。注入処理前の質量に対する耐候操作後の質量の変化率では、ヘキサン抽出液では2.9%の増加を示したのに対し、それ以外の抽出液では減少を示しており、特に水抽出液では1.4%と他の抽出液より減少が大きかった。このことから、ヘキサン抽出液の溶脱が他より少なかったことが考えられた。

抗菌操作後の質量変化率では、オオウズラタケではいずれの試験体も減少を示さず、逆に1%から2%増加した。これは、供試菌による腐朽分解がなかったことに加え、培養基の成分が吸収されたためであると考えられた。試験に使用した菌株の活性が不良であったと考えられ、オオウズラタケに対する耐腐朽性能は確認できなかった。カワラタケでは対照区の未注入辺材の質量減少率が18%となりJISの規定を満たした。各注入試験体の質量減少率では、対照の辺材と比較して水抽出液の減少率が大きく (Dunnet test, $p \leq 0.001$)、ヘキサン抽出液の減少率が低かったが (同, $p \leq 0.05$)

(図-18)、JISに定める木材保存剤の性能基準である3%以下は満たさなかった。ヘキサン抽出液の質量減少率が低かったことから、抽出液に含まれる耐腐朽成分として疎水性のテルペン類が推測された。一方、ヘキサン以外の溶媒により抽出された心材色成分は耐候操作において溶脱し、耐腐朽性能を示さなかったものと考えられた。したがって、今後、木材保存剤への利用ではヘキサン抽出液が有望であると考えられた。

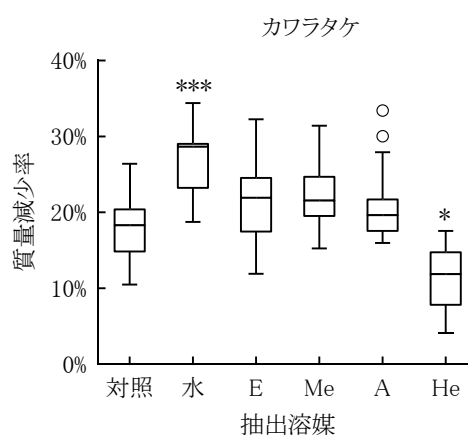


図-18 抗菌操作における質量減少率

引用文献

- 雉子谷佳男・北原龍士 (2005) スギ実大材曲げ性能への木材材質指標の影響. 材料54(4) : 377-380.
- 古野毅・澤辺攻 (1994) 木材科学講座2 組織と材質. 190pp, 海青社, 大津.
- 宮崎茂雄・平國俊昭 (2007) 県産材の材質特性及び品質管理技術の確立に関する研究. 山口林指セ研究年報平成16年度 : 28-58.
- 尾崎健一朗・鴨下直史・山本高也・大林育志 (2008) スギ、ヒノキ材の環境調和型木材保存技術の開発. 愛知森林セ報46 : 33-38.
- 鈴木太七 (1979) 森林経理学. 191pp, 朝倉書店, 東京.