

黒色部を含むスギ材の材質評価(2)

樹齢約100年以上のスギ心材の材色と耐朽性・耐蟻性・かび抵抗性・液体浸透性

誌名	奈良県森林技術センター研究報告
ISSN	13459864
著者名	酒井, 温子 岩本, 頼子 矢杉, 瑠美 久保, 友佳子
発行元	奈良県森林技術センター
巻/号	50号
巻号補足	
掲載ページ	p. 57-67
発行年月	2021年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



黒色部を含むスギ材の材質評価 (第2報) *¹

—樹齢約 100 年以上のスギ心材の材色と耐朽性・耐蟻性・かび抵抗性・液体浸透性—

酒井温子・岩本頼子・矢杉瑠美*²・久保友佳子*³

黒色部を含むスギ材の特徴を把握し、その利用を促進するために、奈良県吉野郡で生育した樹齢約 100 年もしくはそれ以上のスギ 16 本について、心材色で 3 グループに分け、各心材の耐朽性、耐蟻性および液体浸透性を調べた。また、一部の材料でかび抵抗性試験も実施した。さらに、各心材に含まれるアセトン抽出成分および無機成分の分析を行った。

その結果、年輪ごとに色に濃淡がある材「縞」は、耐朽性およびかび抵抗性に劣るが、濃色部以外は液体浸透性が高かった。抽出成分が少ないために、これらの特徴が発現したと考えられた。一方、心材色が均一に黒い材「色黒」は、均一に赤い材「色赤」と同程度に耐朽性に優れ、かびへの抵抗性も有していたが、液体浸透性は個体間で差があった。抽出成分を多く含むことが、これらの性質に影響を与えていると考えられた。シロアリ被害は多くの試験体で軽度であったが、グループ間の差は明確ではなかった。

3 グループには、それぞれ特徴が見い出されたことから、各長所を生かした使い方が望まれる。

1. はじめに

吉野スギに代表される奈良県産スギ材は、美観が求められる用途、たとえば、現して使用する構造材、造作材、建具等に好んで利用されることから、材の選定にあたっては材色も重要な要素となる。

スギ心材の材色は、個体や部位によりピンク～赤～褐～黒色と差があり、材の価格にも影響を与える。一般にピンク～赤色は優良とされ高価格に、黒色は低価格となることが多い。材色は伐採後あるいは製材後にしかわからないが、長い年月をかけて育てた貴重な森林由来の資源であり、材色が優良でなかった場合は、材色以外の長所を生かして、有効に活用する手段が求められている。

ところで、心材色は、その部分に含まれる微量成分により決定される。心材の微量成分は、樹木生育中に辺材から心材への移行時に放射柔細胞で作られる¹⁾。水や有機液体に溶出することから抽出成分とも呼ばれ、通常心材部に数%含有される²⁾。木材に含まれる抽出成分の種類は樹種ごとに特有であるが、奈良県内のスギについては実生苗の植栽が中心であることから、個体によって生産される抽出成分の量が、遺伝的に異なる可能性がある。また、生育時の気候や土壌等の環境もなんらかの影響を与える可能性がある。さらに、抽出成分には、樹木として生育中に虫や菌による攻撃を受けた際に、樹木の自己防御的な生理反応物質や、侵入した他の生物(虫、菌)

が生成した物質を含む可能性もある。

一方、抽出成分は材色だけではなく材質にも関係する。抽出成分には、抗菌性や防虫性を有する化合物が含まれており、その木材の耐朽性や耐蟻性に影響を与えることが知られている³⁾。また、抽出成分は、細胞内腔や壁孔を充填することもあり、乾燥性や液体浸透性にも関与する^{4,5)}。

第1報では⁶⁾、奈良県吉野郡で、同一環境と見なせる狭い区域内で生育した樹齢約 60 年のスギ 8 本を対象に、心材色、抽出成分および耐朽性の関係を調査した。その結果、抽出成分が多いと腐朽しにくいという傾向がみられたが、心材色と抽出成分量、および心材色と耐朽性の間には明確な関係は見られなかった。

第2報となる今回は、奈良県吉野郡で生育した樹齢約 100 年もしくはそれ以上のスギ 16 本について、心材色で 3 グループに分け、含有成分としてアセトン抽出成分および無機成分を調査するとともに、それらに影響を受ける可能性のある材質として、耐朽性、耐蟻性、かび抵抗性および液体浸透性を評価した。

2. 材料と方法

2.1 材料

奈良県吉野郡で生育し、2019 年の冬～春にかけて奈良県内の原木市場で取引されたスギ丸太 16 本を、厚さ 35

*1 本研究の一部は第 71 回日本木材学会大会(東京 2021)において発表した。

*2 奈良県 水循環・森林・景観環境部 奈良の木ブランド課

*3 奈良県産業振興総合センター(現:環境政策課)

～40mmの板に製材し、6カ月以上天然乾燥した後に使用した。いずれも樹齢は100年程度もしくはそれ以上で、元玉または2番玉であった。表1に、材料入手時に聞き取った産地、寸法および丸太の木口面で読み取った年輪数を示した。

まず、これら16本を心材色により3グループに分類した。すなわち、心材部分において年輪ごとに色に濃淡がある材で、吉野郡ではニエキまたはネキと呼ばれる材（以降「縞」と呼ぶ）4本、均一に黒い材（以降「色黒」と呼ぶ）9本、均一に赤い材（以降「色赤」と呼ぶ）3本とした。この材色による分類は、長年、吉野郡のスギを取り扱ってきた吉野製材工業協同組合員により行われた。表1に、各心材の最外部のまさ目面で直径8mmの範囲の材色を併記した。材色は、分光色差計（日本電色工業

（株）スペクトロフォトメーターNF333）による測定値である。「色赤」は、 L^* と a^* の値が共に高いことから、明度が高く赤味が強いといえる。それに対して、「色黒」は、 L^* 、 a^* もしくはこの両方が「色赤」よりも低い値となっている。また、「縞」は測定カ所により値が大きく変動したので、数値を記載しなかった。図1に天然乾燥後にブレンナーで表面を切削した材料について、各グループから2体ずつを選んで示した。

試験体は各心材の最外部で採取し、2.2の試験に供した。今回、試験に供した心材の最外部は、一般に心材の中で抽出成分がもっとも多く含まれる部位である¹⁾。

また、比較のために、2019年に奈良県内の原木市場で購入されたスギ丸太から切り出したスギ辺材も使用した。

表1 材料

グループ名	番号	産地(市町村名)	長さ(m)	末口直径(cm)	年輪数	心材色※		
						L^*	a^*	b^*
縞 (ニエキ・ネキ)	No. 1	黒滝村	3	34	145	—	—	—
	2	川上村	2	58	115	—	—	—
	3	吉野町	2	48	126	—	—	—
	4	吉野町	2	60	121	—	—	—
色黒	11	吉野町	4	32	80	60.3	7.3	22.0
	12	吉野町	4	34	85	54.2	7.9	21.1
	13	黒滝村	3	38	97	60.0	7.9	21.2
	14	川上村	3	36	86	54.5	14.0	23.3
	15	黒滝村	3	38	78	53.4	9.9	21.4
	16	川上村	3	44	80	59.8	10.6	24.2
	17	黒滝村	3	36	95	62.5	7.6	22.2
	18	吉野町	3	38	92	56.6	9.6	23.9
	19	吉野町	4	40	113	48.6	12.1	17.4
色赤	21	東吉野村	4	36	53	60.9	12.7	23.6
	22	五條市	3	44	101	64.1	10.6	24.1
	23	東吉野村	4	48	95	63.9	10.6	23.5

※：「縞」は、部位により材色が異なるため非表示とした。

「色黒」および「色赤」の心材色は、心材最外部のまさ目面において直径8mmの範囲の値。

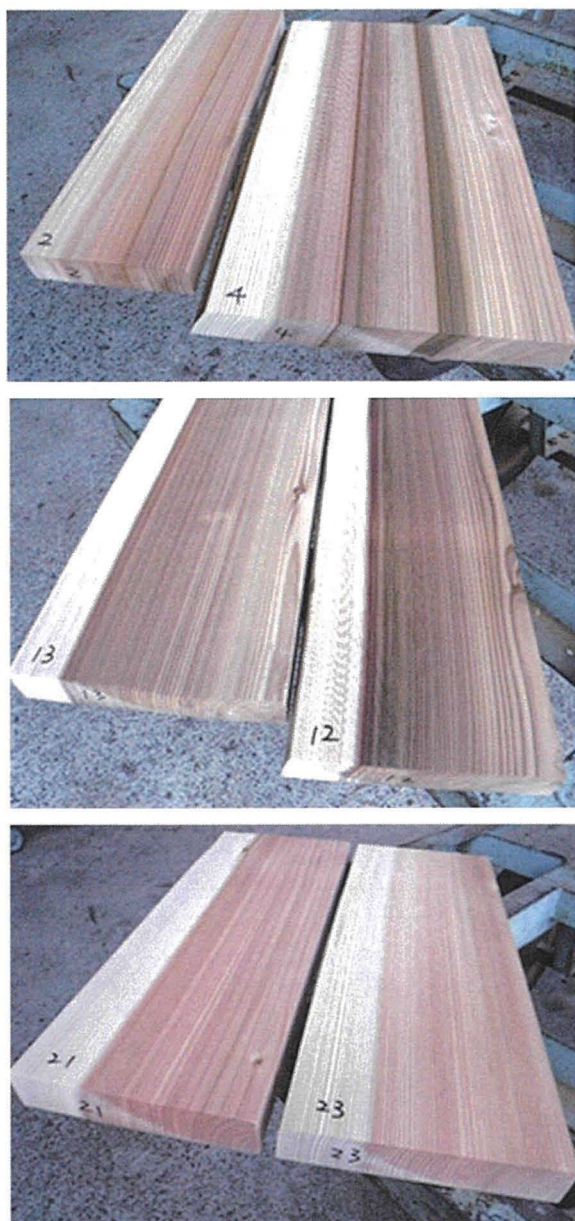


図1 供試材料の一部

上:「縞」 No. 2 と No. 4
 中:「色黒」 No. 12 と No. 13
 下:「色赤」 No. 21 と No. 23

2.2 方法

2.2.1 アセトン抽出成分の分析

16本の心材および辺材から削り出した木片各5.0gをアセトン30mLに浸せし、適時攪拌しながら5日間室温で放置した後、抽出液の上澄みを希釈せずに、ガスクロマトグラフ質量分析計（島津製作所製 GCMS-QP2010 Ultra）で定性分析した。分析条件は表2の通りである。また、シミラリティ検索により、検出された化合物の名称を類似度から推定した。

表2 GC/MS 条件（液打ち法）

カラム	DB-5MS (30m×0.25mm: 膜厚 0.25μm)
キャリアガス	He
全流量	29mL/min
注入口温度	250℃
注入モード	スプリット（スプリット比 1/25）
注入量	1μL
昇温条件	80℃ (2min) → 5℃/min → 250℃ (9min)
イオン化法	EI
イオン源温	250℃
イオン化電圧	70eV

さらに、抽出成分量を概数で把握するために、検出強度が高い上位10化合物について、それらの強度の合計も算出した。その際、強度はピークの高さではなく面積で取り扱った。

2.2.2 無機成分の分析

2.2.1で用いた材料と繊維方向に連続した位置で、蛍光X線分析装置（リガク製 RIX2000）により、まさ目面の直径10mmの領域に含まれる元素を簡易法により定量分析した。この装置の検出可能な元素の範囲は、原子番号がフッ素以上のものである。

2.2.3 室内耐朽性試験

JIS Z 2101:2009「木材の試験方法」26 耐朽性試験に準じて行った。

具体的には、試験体の大きさは一辺が20mmの立方体とし、2.2.1で用いた材料と繊維方向に連続した位置で切り出した。試験体数は、各材料からそれぞれ24体とし、オオウズラタケおよびカワラタケに対して12体ずつ使用した。対照のスギ辺材試験体も、同じ大きさとし両菌に対して12体ずつ使用した。

容積900mLの培養瓶内であらかじめオオウズラタケおよびカワラタケを培養し、60℃恒量を測定した試験体を、エチレンオキシドガスで滅菌処理をしてから、培養瓶内に3体ずつ設置した。培養瓶は、温度27℃、相対湿度約70%の培養室内に静置した。

60日経過後、試験体を培養瓶から取り出し表面に付着した菌糸を取り除いてから、再び60℃恒量を測定した。以上の抗菌操作に伴う重量減少率は、式1により算出した。

重量減少率(%) =

$$\frac{(\text{抗菌操作前の60℃恒量} - \text{抗菌操作後の60℃恒量})}{\text{抗菌操作前の60℃恒量}} \times 100 \quad (\text{式1})$$

2.2.4 野外耐蟻性試験

JIS K 1571 : 2010「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」、5.3防蟻性能 5.3.2 野外試験に準じて実施した。

試験体は木口面 30×30mm、長さ 350mm とし、一端を約 50mm 削って杭状とした。試験体数は各 5 体とした。試験地はイエシロアリが生息している和歌山県日高郡煙樹ヶ浜の松林内で、各試験体間の間隔は約 0.3m とし、深さ 0.3m まで垂直に打ち込んだ。また、シロアリの活性確認のために、試験体の周辺に同じ大きさのスプルー杭を 27 本埋設した。図 2 に試験地の様子を示す。埋設期間は 2020 年 2 月 14 日から 2020 年 12 月 17 日の約 10 カ月間とした。シロアリ食害による被害度の測定は、この試験規格に準じて、表 3 により試験体ごとに地中部において目視により 5 段階で行った。さらに、式 2~4 により、食害指数を算出した。



図 2 野外試験の様子(和歌山県日高郡美浜町煙樹ヶ浜)

表 3 野外試験におけるシロアリ食害度の評価基準

食害度	状 態
0	健全
10	表面の一部に浅い食害
30	表面の一部に内部までの食害
50	内部の広い範囲に食害
100	食害によって形が崩れる

JIS K 1571 : 2010「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」5.3.2 に準拠

$$\text{平均食害度} = \frac{\text{各試験体の食害度}}{5} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{食害発生率 (\%)} = \frac{\text{食害された試験体の個数}}{5} \times 100 \quad (\text{式 3})$$

$$\text{食害指数} = \frac{\text{平均食害度} \times \text{食害発生率}}{100} \quad (\text{式 4})$$

また、多くの試験体では腐朽も生じたため、JIS K 1571 : 2010「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」、5.2 防腐性能 5.2.3 野外試験を参考に、表 4 により地中部の腐朽度を 6 段階で評価し平均値を求めた。なお、この基準では、平均値が 2.5 を超えると耐用年数に達したと判断される。

表 4 野外試験における腐朽度の評価基準

腐朽度	状 態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

JIS K 1571 : 2010「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」5.2.3 に準拠

2.2.5 かび抵抗性試験

(公社) 日本木材保存協会規格 JWPAS-MW (2018)「木材用防かび剤の性能基準及びその試験方法」を参考にして実施した。

供試菌は、表 5 に示す 5 種類の菌とした。グルコース 1%、ペプトン 0.3%、麦芽エキス 2%を含む培養液で、27℃ 下で 5 日間振とう培養を行い菌懸濁液を得た。

試験は各グループから 2 材料を選んで実施した。使用したのは、「縞」No.1、No.2、「色黒」No.14、No.18、「色赤」No.22、No.23 および辺材である。試験体の大きさは、繊維方向 40mm、半径方向 20mm、接線方向 3~4mm とした。試験体の表面は、かんなをかけずに、鋭利な丸鋸で切削したままの状態試験に供した。試験体の数は、各菌あたり 6 体とした。木材試験体は、エチレンオキサライドガスで滅菌した後、抗かび操作に供した。

すなわち、殺菌した直径約 90mm の蓋つきのガラスシャーレに、寒天を 2%含む水溶液を約 15mL 注ぎ、固化させた後、調整した菌懸濁液を約 2mL 入れ、その上にブ

プラスチック製の網を置き、さらにその上にガス滅菌済みの木材試験体を3体ずつ設置し、ふたを閉めた。この状態で、27℃で4週間培養した後、ふたを開けて木材試験体へのかびの菌糸の発育状況を実体顕微鏡で観察し、表6により試験体ごとに0～3の4段階で評価した。さらに菌ごとに試験体6体の評価値の平均を求めるとともに、5種類の菌ごとの平均値の和を算出した。

表5 供試したかびの種類

記号	菌種 (本報における呼称)
As	<i>Aspergillus niger</i> NBRC 105649 (アスペルギルス)
Pe	<i>Penicillium funiculosum</i> NBRC 6345 (ペニシリウム)
Rh	<i>Rhizopus oryzae</i> NBRC 31005 (リゾプス)
Au	<i>Aureobasidium pullulans</i> NBRC 6353 (オーレオバシディウム)
Tr	<i>Trichoderma virens</i> NBRC 6355 (トリコデルマ)

(公社)日本木材保存協会規格 JWPAS-MW (2018)「木材用防かび剤の性能基準及びその試験方法」に準拠

表6 かび抵抗性の評価基準

評価値	菌体の発育状態
0	試験体にかびの発育が全く認められない
1	試験体の側面へのみかびの発育が認められる
2	試験体の上面の面積の1/3以下にかびの発育が認められる
3	試験体の上面の面積の1/3以上にかびの発育が認められる

(公社)日本木材保存協会規格 JWPAS-MW (2018)「木材用防かび剤の性能基準及びその試験方法」に準拠

2.2.6 液体浸透性試験

試験体は木口面約30×30mm、長さ約100mmとし、寸法をノギスで測定した後、両木口面をエポキシ樹脂で封じた。液体がもっとも浸透しやすい木口面から繊維方向への液体浸透を止めたことで、接線方向および半径方向への浸透の容易さを知ることができる。試験体数は各材料から2体ずつとした。液体浸透性の評価にあたっては、青色染料(住友化学工業株式会社製 商品名:Patent Pure Blue VX150%)を約0.5%溶解させた水溶液を使用した。注入前に試験体の重量を測定してから、耐圧の注入缶に試験体と染料水溶液を入れ、約40hPaの減圧下に1時間、続いて1.3MPaの加圧下に2時間置いた。解圧後、試験体は染料水溶液から取り出して軽く拭いた後、注入後の重量を測定した。木材体積あたりの注入量を、式5により算出した。2日間自然に乾燥させた後、60℃で3日間乾燥させ、注入前の重量を下回ったことを確認した上で、試験体のほぼ中央で横方向に切断し内部への染料の浸潤状況を観察した。

$$\text{注入量 (kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{注入前重量} - \text{注入後重量})}{\text{体積}} \quad (\text{式} 5)$$

3. 結果と考察

3.1 各心材に含有されるアセトン抽出成分

図3に抽出成分の分析結果を、「縞」「色黒」「色赤」の各心材および辺材について、各グループから1材料を代表して、トータルイオンクロマトグラムで示した。横軸は保持時間、縦軸は検出強度である。材料ごとに縦軸の単位が異なることに注意されたい。

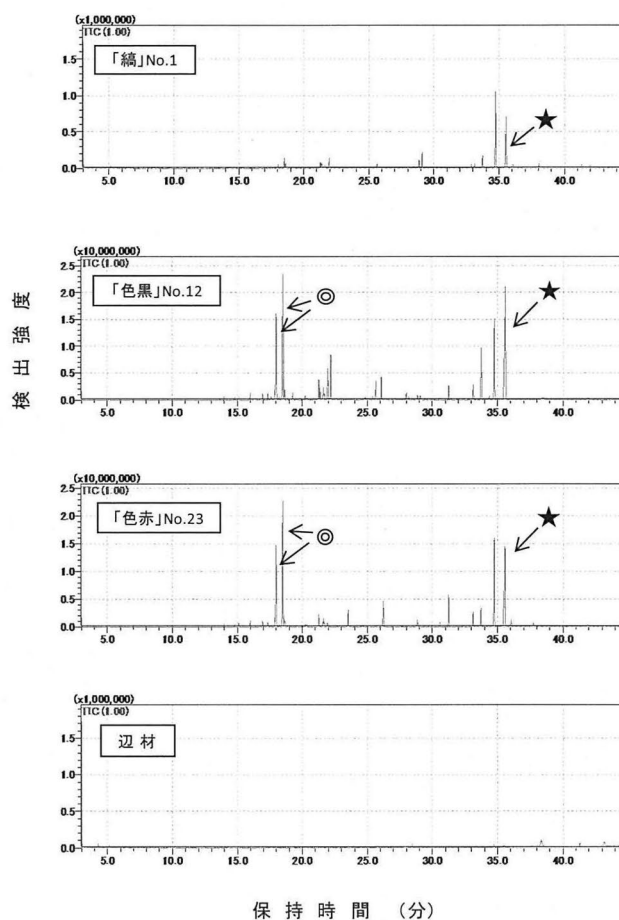


図3 ガスクロマトグラムによるアセトン抽出成分の分析結果

◎: クベドールおよび4-エピクベドール
★: フェルギノール

検出される化合物は、辺材にはほとんどなく、「色黒」9個体「色赤」3個体の心材間では共通していたが、各ピークの高さや面積は個体により異なった。これらの成分は、第1報で供試材料としたスギ心材にも共通して検出

されており、スギという種が心材成分として通常持ち合わせていると考えられる。

一方、「縞」の心材では、検出される化合物の種類が少なく、また検出強度も低かった。

共通して顕著に検出された成分の中で、保持時間 18.0 分および 18.5 分付近に現れる 2 つのピーク（図中◎）はクベドールおよび 4-エピ-クベドールと推定された。これらは、セスキテルペンアルコール類に属し、一般に抗菌性の高い成分であることが知られている³⁾。一方、保持時間 35.5 分付近のピーク（図中★）はフェルギノールで、ジカルボン酸に属する。この成分も、シロアリや菌に抵抗性があることがすでに報告されている^{7, 10)}。

次に、検出強度の高い上位 10 位までの化合物の合計値を図 4 に示した。

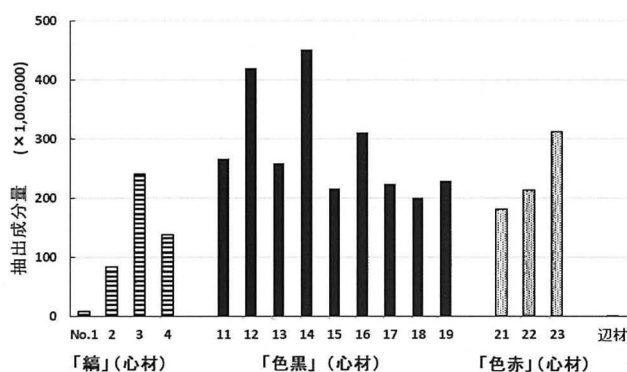


図 4 アセトン抽出成分の量

「縞」No.1、2 および 4 は、「色黒」「色赤」に比べて、アセトン抽出成分の量が少ないことが分かる。一方、「色黒」と「色赤」は、全般的には抽出成分量が多いが、個体差もあり、今回の結果からは、どちらの含有量がより多いかは明らかではなかった。

尾頭らは、心材色と抽出成分の一部であるノルリグナンの関係を調べ、ノルリグナンが量的質的に同等であってもスギ心材色は多様であり、一方心材色が同等であっても、ノルリグナンは量的質的に多様であることを示したが¹¹⁾、今回の結果も類似している。

また、単離される抽出成分そのものは、無色または淡色であることが多く、抽出成分と心材色との関わりについては、生成された後の二次的な変化（酸化重合等）を想定する必要があると言われている¹⁾。

3.2 各心材に含有される無機成分

表 7 に蛍光 X 線分析で検出された元素を示した。ここでは各材料でもっとも含有量が多い元素を太字としている。

表 7 検出された無機元素

		(%)				
試験体		マグネシウム	イオウ	カリウム	カルシウム	鉄
縞 (心材)	No. 1	0.077	0.008	0.222	0.282	0.005
	2	0.066	0.009	0.062	0.702	—
	3	—	0.007	0.329	0.125	—
	4	0.044	0.009	0.025	0.282	—
色黒 (心材)	11	0.047	0.012	0.540	0.137	—
	12	—	0.009	0.484	0.111	—
	13	0.028	0.011	0.550	0.063	—
	14	—	0.011	0.491	0.055	—
	15	—	0.009	0.627	0.112	—
	16	—	0.019	0.469	0.054	—
	17	—	0.010	0.478	0.067	0.005
	18	—	0.008	0.348	0.071	—
	19	—	0.008	0.770	0.054	—
色赤 (心材)	21	—	0.018	0.415	0.092	—
	22	—	0.010	0.252	0.069	—
	23	—	0.025	0.229	0.065	—
辺材	31	—	0.011	0.039	0.093	—

太字は、各材料でもっとも含有量が多い元素を示す。

—は、検出限界以下を示す。

「色黒」は、鉄を含んでいるために暗色なのではないかという意見があるが、今回の分析結果では、いずれの材にも鉄は検出限界以下か、検出されてもごく少量であった。また、検出された鉄は、樹木生育時から含有されていた可能性も否定はできないが、製材時の切削刃物等に由来する可能性もある。いずれにしても、「色黒」の材色は鉄の含有が原因ではないといえる。

一方、カリウムは、心材化に伴って増加する成分として知られ、心材化に関与していると予想されているが¹²⁾、「色黒」および「色赤」がカリウムを多く含むのに対して、辺材と「縞」No.1、2 および 4 は、カリウムよりもカルシウムを多く含んでいた。

「縞」No.1、2 および 4 は、3.1 で述べたようにアセトン抽出成分の含有量が少ないが、カリウム含有量が少ないことを考え合わせると、心材成分の形成が部分的であった可能性がある。

また、試験体 No.3 は、今回は「縞」に区分しているが、材色が全体に黒い上に縞を有しており、すなわち、「色黒」と「縞」の両方の特徴を併せ持っており、3.1 および 3.2 の結果では、「色黒」の性質が強く表れたと考えられる。

3.3 耐朽性

図 5 に室内耐朽性試験の終了時の様子について、各グループを代表して No.1、12、23 および辺材を示した。いずれの腐朽菌も、辺材と「縞」No.1、および図 5 には示されていないが No.2 と 4 の試験体の全面を厚く覆った。オオウズラタケはこれらの試験体の表面で子実体を形成している場合もあった。その他の試験体、すなわち

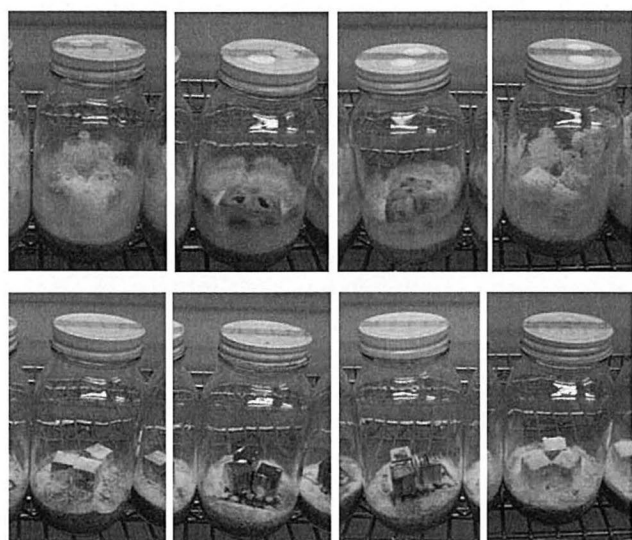


図5 室内耐朽性試験の終了時の様子

左から、「縞」No.1、「色黒」No.12、「色赤」No.23、辺材
 上段：オオウズラタケによる腐朽
 下段：カワラタケによる腐朽

「縞」No.3 と「色黒」「色赤」については、腐朽菌の被覆は部分的もしくは厚さが薄かった。

オオウズラタケおよびカワラタケによる腐朽で生じた木材試験体の重量減少率について、試験体 12 体の平均値および標準偏差を表 8 に示した。辺材の重量減少率は 51%と 19%で、高い値を示したことから、今回の実験で供試菌の活性は高かったと判断した。

一方、「色黒」と「色赤」の重量減少率はいずれも約 1%かそれ以下であったことから、これらは高い耐朽性を有していたと言える。既往の報告では、ヒノキ心材の両菌による重量減少率は 2.4%および 1.6%であることから¹³⁾、今回の「色黒」と「色赤」の耐朽性は一般的なヒノキ心材に匹敵するといえる。

それに対して、「縞」No.1、2 および 4 については、オオウズラタケによる重量減少率が 32~39%、カワラタケによるそれは 11~16%であり、辺材よりも値は小さいものの、「色黒」および「色赤」よりも耐朽性が顕著に低か

表 8 耐朽性および耐蟻性

試験体		室内耐朽性試験による 平均重量減少率(%) ^{※1}		野外試験の結果 ^{※2}			
				シロアリによる被害			腐朽による被害
		オオウズラタケ	カワラタケ	平均食害度 ^{※3}	発生率(%)	食害指数	平均腐朽度 ^{※4}
縞 (心材)	No.1	32.3 (5.5)	15.8 (1.5)	18	60	11	2.6
	2	32.9 (3.0)	11.3 (1.1)	34	100	34	2.8
	3	-1.1 (1.0)	-0.6 (0.2)	12	80	10	0.4
	4	39.1 (4.3)	11.1 (2.2)	24	80	19	3.0
色黒 (心材)	11	-2.1 (0.6)	-0.6 (0.3)	10	60	6	0.6
	12	-2.2 (0.5)	-0.3 (0.5)	6	60	4	0.8
	13	-1.8 (0.9)	-0.7 (0.6)	10	100	10	0.6
	14	-0.8 (0.3)	1.1 (0.3)	6	60	4	0.2
	15	-1.3 (0.8)	-0.6 (0.4)	10	60	6	1.0
	16	-1.3 (0.4)	0.6 (0.6)	22	100	22	0.6
	17	-2.2 (0.5)	-0.7 (0.4)	10	100	10	0.8
	18	-0.6 (1.1)	-0.3 (0.3)	12	80	10	1.2
	19	-1.7 (0.7)	-0.3 (0.3)	8	80	6	1.0
色赤 (心材)	21	1.2 (3.4)	-0.4 (0.4)	10	100	10	1.6
	22	-1.4 (0.8)	-0.4 (0.3)	8	40	3	0.6
	23	0.7 (4.6)	-0.7 (0.3)	10	60	6	1.0
辺材	31	50.9 (5.3)	18.7 (3.8)	12	80	10	3.4

※1：試験体 12 個の平均値、括弧内は標準偏差

※2：埋設期間 2020 年 2 月 14 日～2020 年 12 月 17 日。場所 和歌山県日高郡美山町 煙樹ヶ浜
 試験体周辺に設置した 27 体のスプルス杭の平均食害度は 51

※3：シロアリによる地中部の食害程度を、表 3 に基づき試験体ごとに判定し、5 個の平均値で表示

※4：地中部の腐朽の程度を、表 4 に基づき試験体ごとに判定し、5 個の平均値で表示

った。図 6 に、「縞」No.2 の試験前後の試験体を示した。矢印で示す色の濃い部分では、腐朽した様子は見られなかったが、その周囲の色の薄い部分では腐朽による変色や脆弱化が観察された。このように、「縞」では、耐朽性の高い部分と低い部分が混在していた。

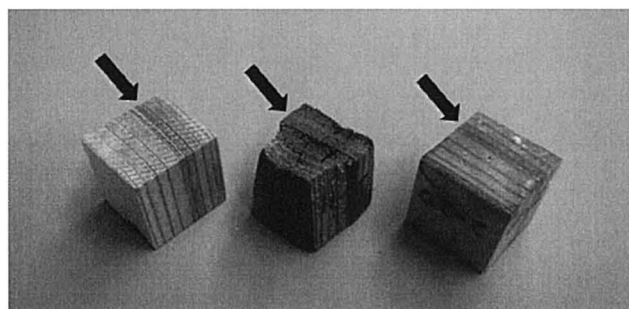


図 6 室内耐朽性試験における試験前後の「縞」No. 2 の様子

左：試験前、中：オオウズラタケによる腐朽後、
右：カワラタケによる腐朽後
矢印：濃色の縞の部分

次に、木材の耐朽性と抽出成分の関係を知るために、図 4 に示したアセトン抽出成分の量とオオウズラタケによる重量減少率との関係を図 7 に示した。ここでは、第 1 報で示した 8 個体の結果も併せて記載した⁶⁾。この図から、抽出成分が一定量以上含まれると、腐朽が起こりにくいことがわかる。木材に含まれる抽出成分量は、経年とともに揮散や溶脱により減少すると予想され、初期に耐朽性が高くても、抽出成分が一定量以下になると腐朽が始まると考えられるが、初期の抽出成分量が多いと腐朽の開始が遅れる、すなわち長期間の耐用年数が期待できる。

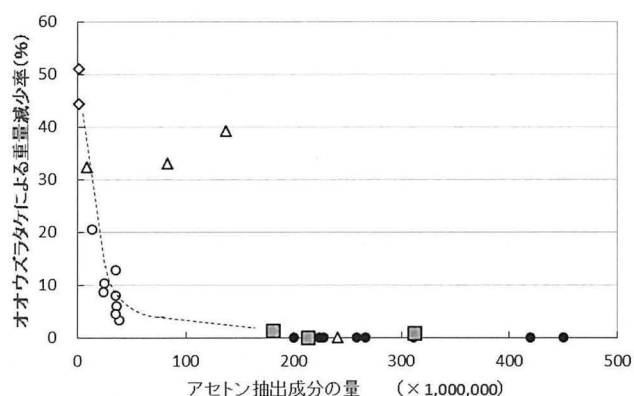


図 7 アセトン抽出成分の量とオオウズラタケによる重量減少率の関係

△：「縞」
●：「色黒」
■：「色赤」
◇：辺材
○：既報⁶⁾

また、第 1 報で示した 8 個体は、今回の材料と同じ吉野郡で生育したにもかかわらず、アセトン抽出成分量が少なく、腐朽による重量減少率が 3~20%であったが、樹齢が約 60 年と若かったことが関係している可能性がある。既往の報告では、スギ心材の両菌による重量減少率は 7.8%および 6.4%であり¹³⁾、同様の状況にあったスギ材の試験結果と考えられる。さらに、図 7 において「縞」No.2 および 4 は、他の個体と離れた位置にあり、この図からも「縞」が特殊な材であることがわかる。

なお、セスキテルペンアルコール類やフェルギノールは、抗菌性があることが知られているが⁷⁻¹⁰⁾、アセトン抽出成分の中のどの化合物が耐朽性発現に主に寄与しているかは、今後の検討課題である。

3.4 耐蟻性

図 8 に野外試験終了時の試験体の様子を、試験体各 5 本の内の 1 本を代表して示した。また、スプルーースも代表して 5 本を示した。試験体の周囲に活性確認のために設置した 27 本のスプルーースの杭の多くに、シロアリによる甚大な被害が見られ、平均食害度は 51 であったことから、この試験地はシロアリの活性が高いといえる。また、捕獲されたシロアリの兵蟻の形態等から、加害したのはイエシロアリと推定された。

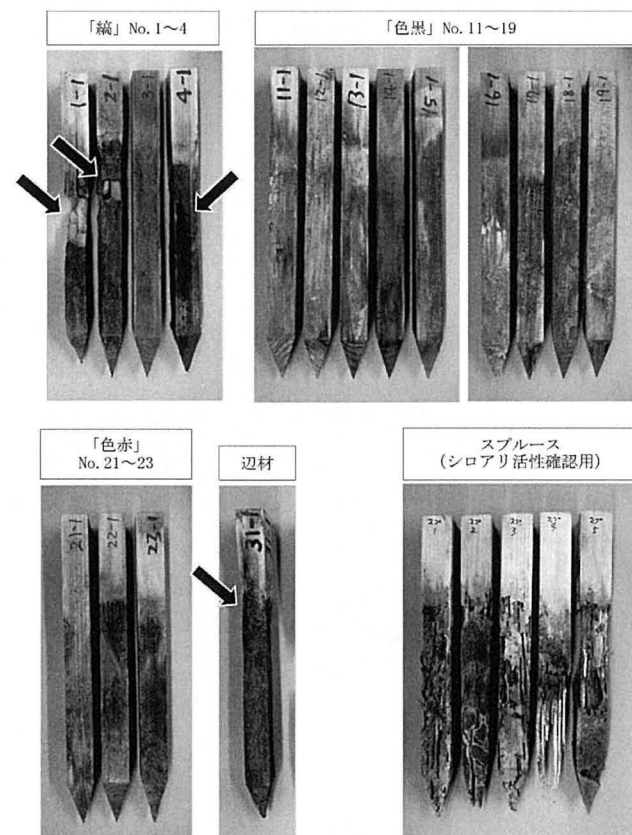


図 8 野外試験終了時の試験体の様子

矢印は腐朽による変形や割れを示す。

表 8 では、シロアリによる食害度と腐朽度について、試験体 5 体の平均値で示した。蟻害は大なり小なり多くの試験体で発生した。特に、試験体 No.2、4 および 16 では、部分的に試験体内部に到達する食害痕が観察された。しかし、それら以外の試験体では、食害痕の多くが試験体表面に限定されていたことから、材料が元々持ち合わせた防蟻成分が、シロアリの木材内部への侵入を防いだと考えられるが、アセトン抽出成分の量と食害度との関係は明確ではなかった。野外耐蟻性試験の進捗は、地中におけるシロアリの自由な活動に委ねられており、試験体の含水率が高くなると腐朽が先行しシロアリの食害が起こりにくくなる等、コントロールしにくい手法である。今回の試験結果から、「縞」「色黒」「色赤」の耐蟻性は、すでに判定されているようにいずれも「中」程度と¹³⁾考えることが適当である。

なお、今回の野外試験では蟻害とともに腐朽も生じており、平均腐朽度が 2.5 を超えたのは、辺材と「縞」No.1、2 および 4 であった。図 8 からこれらの被害の様子を確認することができる。室内耐蟻性試験でもこの 4 材料には大きな重量減少が見られたことから、両試験の結果はよく対応している。

3.5 かび抵抗性

表 9 に結果を示した。

オーレオバシディウム (Au) は、すべての心材で発育が抑制された。また、No.14、18、23 では、リゾープス (Rh) は木材試験体の表面のみならず、寒天上にもほとんど生育しなかった。シャーレという閉鎖空間で、材料の持つ揮散成分が、かびの生育を抑制した可能性がある。

各グループから選ばれた 2 材料ずつの試験結果ではあ

るが、木材表面でのかびの発育のしやすさは、辺材、「縞」、「色赤」、「色黒」の順であった。

一般に木材上に生育するかびは、木材そのものよりも、付着したホコリや汚れを栄養とする場合がある。また、シャーレという閉鎖空間で 4 週間という短期間において性能が認められても、開放的な空間で長期にわたってこのような特徴が見られるかどうかはわからないが、材料が持つ元々の特徴として解釈することとする。

3.6 液体浸透性

図 9 に青色染料水溶液を注入後に試験体を中央部で切断した様子を示した。また、図 10 に注入量を示した。

「縞」No.1、2 および 4 の試験体では、濃色の部分は染料の浸潤が不良であるが、それ以外の部分はほぼ均一な浸潤状況であった。

吉野地域ではスギ材で酒樽を作ってきた歴史があるが、「縞」で酒樽を作ると酒がしみ出して漏れるということが経験的に知られており、試験結果と関連する現象として大変興味深い。

一方、「色黒」と「色赤」は、浸潤状況の良い材と悪い材があり、個体間の差が大きかった。

図 11 に、アセトン抽出成分の量と注入量の関係を示した。抽出成分は、細胞内腔や壁孔を充填し液体の通路を閉鎖することが知られている^{4,5)}。両者には、やや低いながらも相関関係が見られた ($R^2=0.52$)。今回の試験では、アセトン抽出成分を分析した部分と、液体浸透性を調べた部分は、いずれも心材の最外部ではあるが、繊維方向に連続した位置ではなかった。この点も、相関関係をやや低くした要因であった可能性がある。

表 9 かびの発育状況

試験体		菌種 [※] ごとの平均評価値					A1～A5の合計
		A1 (As)	A2 (Pe)	A3 (Rh)	A4 (Au)	A5 (Tr)	
縞 (心材)	No.1	3.00	3.00	3.00	0.00	3.00	12.00
	2	3.00	3.00	3.00	1.33	3.00	13.33
色黒 (心材)	14	1.83	0.33	0.00	0.00	3.00	5.16
	18	2.33	0.16	0.00	0.00	1.66	4.15
色赤 (心材)	22	3.00	1.33	2.50	0.00	3.00	9.83
	23	3.00	1.00	0.33	0.00	3.00	7.33
辺材	31	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	15.00

※：菌種は表 5 参照



左から、辺材、「縞」No. 1、No. 2、No. 3、No. 4



左から、「色黒」No. 11、No. 12、No. 13、No. 14、No. 15



左から、「色赤」No. 21、No. 22、No. 23

図9 染料の試験体内部への浸潤状況

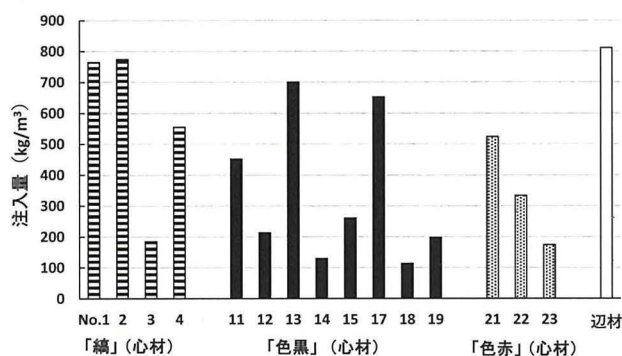


図10 注入量

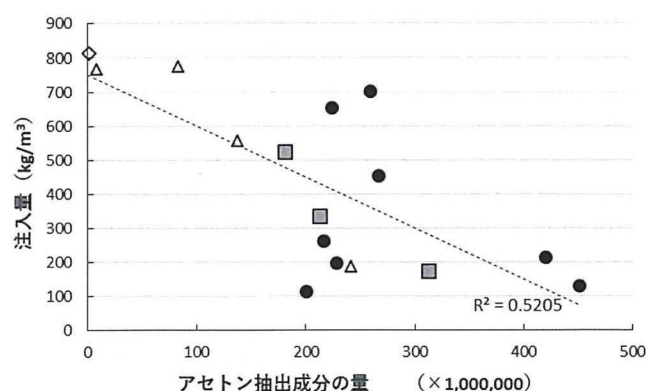


図11 アセトン抽出成分の量と注入量の関係

△●□は図7参照

4. まとめ

奈良県吉野郡で生育した樹齢約 100 年以上のスギ 16 本について、心材色で 3 グループに分けて、含有される微量成分と、耐朽性、耐蟻性、かび抵抗性および液体浸透性を調査した。

その結果、「縞」は耐朽性およびかび抵抗性に劣るが、濃色部以外の液体浸透性は高かった。また、「色黒」と「色赤」は耐朽性が高く、かびにも抵抗性が見られたが、液体浸透性は個体間で差があった。耐蟻性については、今回の試験では 3 グループ間の差は明確ではなく、いずれも中程度であった。徳島県産スギでは、黒心材は赤心材と比較して耐朽性や耐蟻性が同等もしくはやや高いことが報告されているが^{14,15)}、奈良県産スギにおいても「色黒」と「色赤」の材質の差は明確ではなかった。

今後は、3 グループのそれぞれの特徴を生かした用途を検討していく必要がある。たとえば、「縞」は液体浸透性の良さを活かして、薬剤処理用、たとえば不燃木材の材料に利用できる可能性がある。また、「色黒」は耐朽性の高さを活かして、建築部材の中でも壁の中に隠れる材料として、あるいは木堀等の野外利用も検討の余地があると思われる。

材質試験に関しても、今回はいずれの試験体も心材の最外部から採取したが、同一個体内での材質のばらつきについて、今後確認する必要がある。

謝辞

吉野製材工業協同組合より、奈良県産スギ材の提供を受けました。ここに記し、感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 今井貴規：心材形成の化学. 木材学会誌. 58(1), 11-22 (2012)
- 2) 今村博之ほか編：“6 章 木材加工と抽出成分”. 木材利用の化学. 東京, 共立出版株式会社, 1983, 76-88.
- 3) 澁谷 栄：抽出成分による木材の生物劣化抵抗性. 木材保存. 34(2), 48-54 (2008)
- 4) 酒井温子, 中村嘉明：防腐処理木材に見られる薬剤難浸透部の組織構造. 奈良県林試木材加工資料. 21, 31-33 (1992)
- 5) 高橋 徹, 中山義雄：“2.6 液体浸透性”. 木材科学講座 3 物理. 大津, 海青社, 1992, 36-37.

- 6) 酒井温子, 久保友佳子: 黒色部を含むスギ材の材質評価 (第1報). 奈良県森林技術研報. 49, 5-9 (2020)
- 7) 中島 健, 善本知孝, 福住俊郎: スギ材中のシイタケ菌阻害成分. 木材学会誌. 26(10), 698-702 (1980)
- 8) 河内進策, 目黒貞利, 稲田聡子: スギ木粉によるシイタケの栽培-フェルギノールによるシイタケ菌糸成長阻害. 木材学会誌. 37(10), 971-975 (1991)
- 9) 山内正信, 吉留竜仁, 越智久尚, 進藤三幸: 木質系廃棄物の有効利用に関する研究-樹皮の抗菌成分の抽出とその物性. 平成14年度愛媛衛環研年報. 5, 51-57 (2002)
- 10) 芦谷竜矢: 樹木含有テルペノイドの酸化反応と生物活性. 木科学情報. 19(2), 21-24 (2012)
- 11) 尾頭信昌ほか5名: 第60回日本木材学会大会研究発表要旨集. 宮崎, 2010, M180930 (CD-ROM)
- 12) 中田了五: 心材形成研究の最新の進歩. 木材学会誌. 64(2), 45-58 (2018)
- 13) 奈良県森林技術センター: “VII保存”. 木材加工技術ハンドブック. 奈良, 2000, 281-344.
- 14) 網田克明ほか6名: 徳島スギ黒心材の特性について-新たな抗蟻成分の単離と優れた抗菌活性. 第19回日本木材保存協会年次大会論文集. 東京, 2003, 16-21
- 15) 在原重信ほか8名: スギ黒心材の殺蟻成分. 木材学会誌. 50(6), 413-421 (2004)

(2021年4月8日 受理)