

黒色部を含むスギ材の材質評価（第1報） 同一地域で生育したスギの心材色、抽出成分および耐朽性の関係

酒井温子・久保友佳子*

黒色部を含むスギ材の利用を促進するための基礎資料を得るために、同一地区で生育した約60年生のスギを用いて、心材色、抽出成分および耐朽性のそれぞれの関係を調査した。

その結果、抽出成分を多く含むスギ心材は、オオウズラタケによる重量減少率が低くなる傾向がみられたことから、抽出成分量と耐朽性には関連があると推定された。しかし、今回の検討では、心材色と抽出成分量、あるいは心材色と耐朽性の間には、明確な関係は見い出せず、材色からその木材の耐朽性を判断することは困難であった。

1. はじめに

吉野スギに代表される奈良県産優良スギ材は、美観が求められる用途、たとえば、貴賓室の内装材や現して使用する構造材等にしばしば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～黒色と幅があり、材の価格にも影響を与える。一般にピンク～赤色は高価格、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樹木であるため、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⁾。水や有機液体によって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ている可能性がある。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。抽出成分の中には、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⁾。

そこで、今回は同一地域で生育したスギ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ので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材料

奈良県吉野郡川上村大字井光（いかり）の県有林井光経営区にて、1960年に植栽され2019年7月に伐採された樹齢約60年のスギ8本を使用した。これらは、この地区内の距離的に近い位置に、すなわち概ね30m×30mの範囲に植栽され、同様に施業されていた。識別のため、この8本に対して任意にNo.1～8の番号を付けた。

伐採された丸太の元口から長さ方向に2,750mm～3,000mmの範囲を、試験材として持ち帰った。8体の試験材を図1に示す。



図1 試験材

* 奈良県産業振興総合センター（現 水循環・森林・景観環境部 環境政策課）

試験材の末口、すなわち、元々の丸太の元口から長さ方向に 3,000mm の位置で測定した丸太の直径および年輪数を表 1 に示した。いずれも心材色の基調は赤であるが、色がやや薄いものや、部分的に黒色を呈するものもあった。

表 1 供試材料の直径と年輪数
(元口から 3,000mm の位置)

| 丸太番号 | 直径(mm) | 年輪数 | 平均年輪幅(mm) |
|------|---------|-----|-----------|
| No.1 | 210~215 | 36 | 5.9 |
| 2 | 220~230 | 47 | 4.8 |
| 3 | 215 | 43 | 5.0 |
| 4 | 245~275 | 50 | 5.2 |
| 5 | 285~290 | 50 | 5.8 |
| 6 | 275~290 | 46 | 6.2 |
| 7 | 235~240 | 49 | 4.9 |
| 8 | 235~245 | 39 | 6.2 |

試験材は、約 3 カ月間、自然に乾燥させ、10 月に薪割り機で繊維方向に 8 等分に割り出した。図 2 に示すように、両木口面付近の繊維方向 50mm を除き、随付近の未成熟部を避け、心材の最外部において半径方向 30~35mm、年輪数では 5~8 年輪分を以下の試験に供した。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⁾。

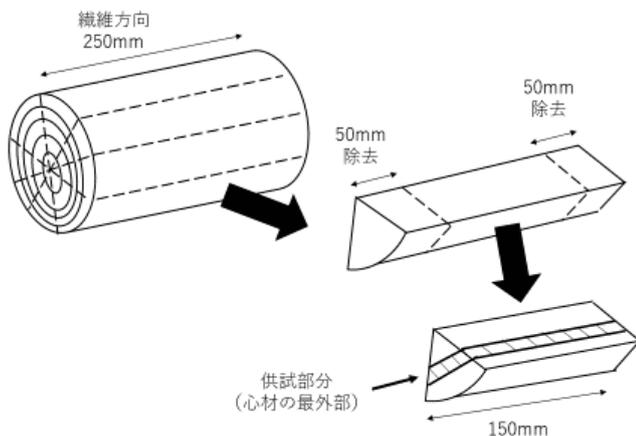


図 2 供試部分

2.2 方法

2.2.1 心材色の測定

材色は、分光色差計（日本電色工業(株)スペクトロフオトメーターNF333）で測定した。測定箇所は、まさ目面の 4 カ所で、測定範囲は直径 8 mm の円とし、L*、a*、b*の測定を行い、それぞれの平均を求めた。

2.2.2 成分分析

2.2.1 で心材色を測定した部位を、カッターナイフを用いて鉛筆を削る様に薄く削り出した。このときの材料

の含水率は 17~23%であった。

得られた木片 5.0g をアセトン 30mL に浸せきし、ときどき攪拌しながら 5 日間室温で放置した後、抽出液の上澄みを希釈せずにそのまま、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。さらに、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判断した。比較のために辺材も同様に分析を行った。

表 2 分析条件（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°C |
| 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°C (2min) → 5°C/min → 250°C (9min) |
| イオン化法 | EI |
| イオン源温 | 250°C |
| イオン化電圧 | 70eV |

2.2.3 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試験を行った。

具体的には、試験体の大きさは、一辺が 20mm の立方体とした。試験体数は、No. 1~8 の試験材から各 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。ここでは、JIS の規格に準じて、オオウズラタケは褐色腐朽菌の代表として、またカワラタケは白色腐朽菌の代表として使用している。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。

あらかじめ培養瓶内でオオウズラタケおよびカワラタケを培養し、試験体をエチレンオキサイド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、気温 27°C、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°C 恒量を測定した。以上の抗菌操作に伴う重量減少率は、次式により算出した。

$$\text{重量減少率(\%)} = (\text{抗菌操作前の } 60^\circ\text{C 恒量} - \text{抗菌操作後の } 60^\circ\text{C 恒量}) / \text{抗菌操作前の } 60^\circ\text{C 恒量} \times 100$$

さらに、本報では、12 体の試験体の平均重量減少率が、オオウズラタケ、カワラタケの両菌に対して共に 5%未

満の場合を耐朽性「大」、一方が5%未満で他方が5~15%未満、もしくは両方が5~15%未満を「中」、一方もしくは両方が15%以上を「小」と区分した。

3. 結果と考察

3.1 心材色

4カ所の測定値の平均を表3に示した。L*値は明るさを表し、a*値は大きいほど赤みが強くなり、b*値は大きいほど黄みが強くなることを示す。

表3 試験体の心材色

| 丸太番号 | 心材色 | | | 目視 |
|------|-------|-------|-------|------|
| | L* ※) | a* ※) | b* ※) | |
| No.1 | 69.61 | 8.97 | 23.09 | 赤 |
| 2 | 69.21 | 5.37 | 23.64 | やや黒 |
| 3 | 71.48 | 5.86 | 22.83 | やや黒 |
| 4 | 71.81 | 4.82 | 22.98 | やや黒 |
| 5 | 75.06 | 6.30 | 23.14 | 赤 |
| 6 | 70.38 | 5.56 | 22.61 | 黒筋含む |
| 7 | 66.79 | 8.15 | 22.53 | 赤 |
| 8 | 62.13 | 7.60 | 20.06 | 黒筋含む |

※) : 4カ所の測定値の平均

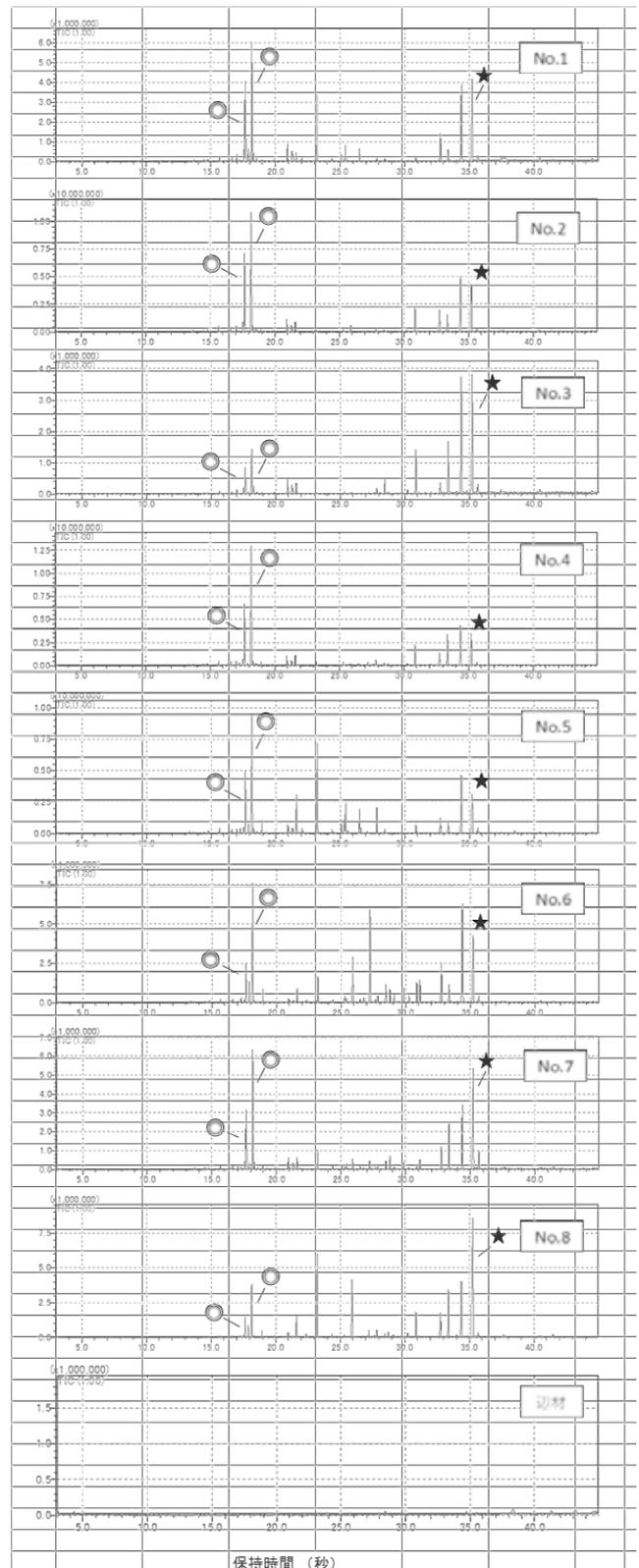
表3より、材色が赤いとa*値が高く、黒いとa*値が低い傾向にあり、今回の8個体の心材色について特徴を表すのは、a*値と考えられる。

3.2 抽出成分

図3に、抽出成分の分析結果を、No.1~8のスキ心材および辺材について、トータルイオンクロマトグラムで示した。試験材ごとに縦軸の目盛りが異なることに注意されたい。

検出される化合物は、辺材にはほとんどなく、8個体の心材間で共通しているものが多いが、各ピークの高さや面積、すなわち検出された量は個体により異なった。以降、本報では、検出量は、各ピークの面積を基準として扱うこととする。

共通して顕著に検出された成分の中で、保持時間17.64~17.66秒および18.15~18.18秒に現れるピーク(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35.21~35.26秒のピーク(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力があることがすでに報告されている⁴⁻⁷⁾。



◎ : クベドールおよび4-エピクベドール
★ : フェルギノール

図3 抽出成分

赤～黒の心材色を表現する a^* 値と、抽出成分量の簡略な表示として、検出量の多い上位 10 位までのピークの合計値との関係を図 4 に示した。両者には明確な関係はなく、心材色が赤いもしくは黒いからといって、抽出成分の量が多いとは言えないことがわかる。また、 a^* 値と各ピークの検出量の間にも関係は見られなかった。

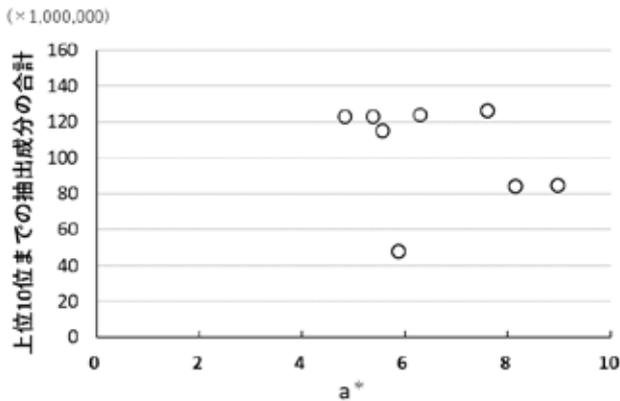


図 4 a^* と抽出成分量 の関係

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⁸⁾、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⁾。

3.3 耐朽性

表 4 に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示した。

表 4 腐朽による重量減少

| 試験体 | 腐朽による重量減少率 (%) * | | 耐朽性区分 |
|---------|------------------|-----------|-------|
| | オオウズラタケ | カワラタケ | |
| No.1 心材 | 10.2 (3.2) | 1.0 (0.1) | 中 |
| No.2 心材 | 12.7 (2.6) | 1.0 (0.2) | 中 |
| No.3 心材 | 20.4 (3.3) | 0.5 (0.1) | 小 |
| No.4 心材 | 6.0 (3.0) | 1.2 (0.1) | 中 |
| No.5 心材 | 3.3 (2.0) | 1.1 (0.3) | 大 |
| No.6 心材 | 8.0 (2.8) | 0.7 (0.1) | 中 |
| No.7 心材 | 8.6 (1.8) | 0.2 (0.3) | 中 |
| No.8 心材 | 4.5 (2.9) | 0.3 (0.3) | 大 |
| 辺材 | 44.2 (3.4) | 9.3 (6.0) | 小 |

* : 12 試験体の平均値、() 内は標準偏差

一般に針葉樹の心材は、カワラタケに対して抵抗力を持つことが多く、腐朽しにくい、もしくは腐朽速度が遅いことが知られている⁹⁾。今回の結果でも、表 4 に示すように、辺材の重量減少率は 9.3% であるが、8 個体の心材は、いずれも重量減少率が 2% 以下の低い値となっており、心材部分ではカワラタケによる腐朽がほとんど生じなかったことがわかる。

一方、オオウズラタケによる重量減少率は、辺材で 44.2%、8 個体の心材で 3.3~20.4% と、個体により顕著な差が見られた。2.2.3 で示した定義によると、8 個体の耐朽性区分は「大」2 体、「中」5 体、「小」1 体であった。この 8 個体は、同一地区で同様に育てられたことから、生育条件が同じでも、得られる木材の耐朽性にばらつきがあることがわかる。

木材の耐朽性と抽出成分の関係を知るために、クベドールと 4-エピークベドールの検出量の合計値、フェルギノールおよび上位 10 位までのピークの合計値について、オオウズラタケによる重量減少率との関係を図 5 に示した。

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³⁻⁷⁾、今回は、それらの量と耐朽性には明確な関係は見られなかった。

オオウズラタケによる重量減少率と、もっとも良好な関係がみられたのは、上位 10 位までのピークの合計値であったことから、スギ心材の耐朽性には、いずれか特定の抗菌力の高い成分が関与するというよりは、複数の抽出成分が総合的に作用する可能性がある。

次に、心材色と耐朽性の関係を知るために、赤～黒の色調を表現する a^* 値とオオウズラタケによる重量減少率との関係を図 6 に示した。しかし、ここでも今回は明確な関係が見られず、心材色が赤いもしくは黒いと耐朽性が高いといった単純な傾向はなかった。

徳島県産のスギ黒心材は、赤心材よりも、大腸菌等に対して殺菌作用があるという報告や¹⁰⁾、シロアリに対して抵抗力があるという報告がある¹¹⁾。今後は、奈良県産スギ材においても、耐朽性だけではなく、心材色とシロアリ抵抗性の関係等についても検討する必要がある。

4. まとめ

心材色、抽出成分および耐朽性について、それぞれの関係を明らかにするために、同一地区で生育した約 60 年生のスギで調査を行った。

その結果、抽出成分の中で検出された上位 10 位までのピークの合計値と、オオウズラタケによる重量減少率の

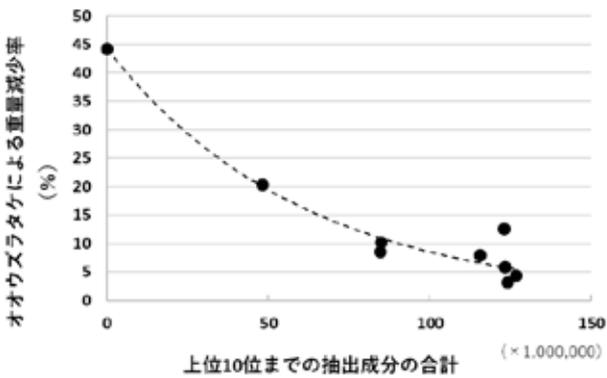
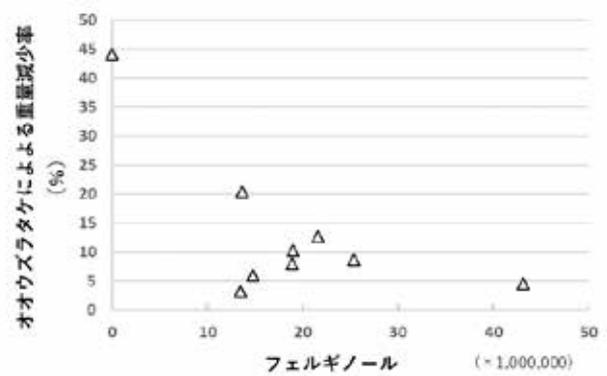
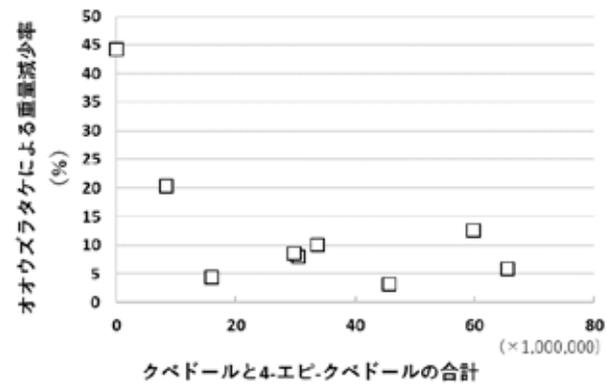


図5 抽出成分量とオオウズラタケによる重量減少率の関係

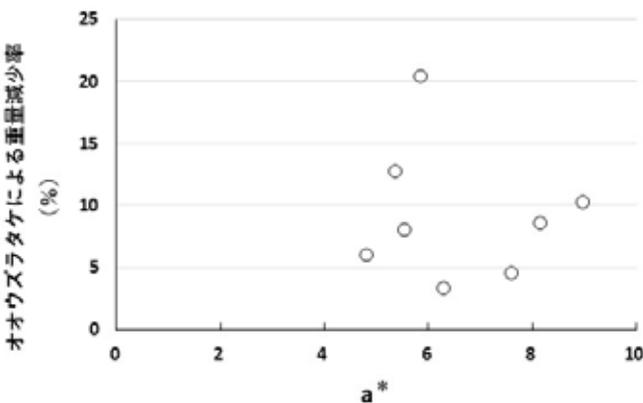


図6 a* と オオウズラタケによる重量減少率 の関係

間に関連が見られ、抽出成分量が多いと木材は腐りにくいという傾向が確認された。しかし、同一地区で育ったスギにおいても、心材色と抽出成分量、あるいは心材色と耐朽性の間には、明確な関係は見い出せなかった。

今回の材料は、いずれも心材色は赤が基調で、材料間に材色の差が少なかったことから、今後は、材色が大きく異なる材料を使用し、心材色、抽出成分および耐朽性の関係について、さらに検証を続けるとともに、シロアリ抵抗性等の材質試験の項目を増やし、材色が原因で低価格となる黒心材等に対して、長所を見つけ利用方法の提案につなげたい。

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) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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.
- 10) 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
- 11) 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)

(2020年4月1日 受理)

