

# カラマツ材におけるヤニツボの性状とヤニの化学成分 —ヤニ滲出防止の向上技術に向けての基礎的情報—

性能部 保存グループ 関 一人

## 1. はじめに

カラマツは、1870年代において、当時の北海道開拓使の米国人招聘技師であったホーレス・ケプロンによる造林奨励と、その後の調査などから寒冷地においても初期成長が早いことが認められ、1890年代に内務省北海道庁により自生地である長野県から道内へ造林木として導入されています<sup>1)</sup>。その後、カラマツは、戦後の1950年代から1970年代にかけて、燃料革命を遠因とする国の拡大造林政策により、1万ha/年以上（最大4万ha/年）もの大規模な植林が行われ、産炭地のための坑木用材やパルプ用材の確保を目指しました<sup>2)</sup>。北海道におけるカラマツ材の利用は、1995年までの石炭産業の終えんなどの地域経済構造の大きな変化により、それ以降は梱包・仕組材、パルプ、合板、集成材などが中心となってきました<sup>2)</sup>。このような経緯をたどり、現在では、北海道においてカラマツはトドマツと並んで9～12齢級を主体として伐採適齢期を迎えており、2016年（平成28年）の年間素材生産量は道産樹種の中で最も多く、193万m<sup>3</sup>にも達しています<sup>3)</sup>。

農林水産省は2009年に、木材自給率50%を掲げた当時の民主党政権のマニフェストのもとで<sup>4)</sup>、「森林・林業再生プラン～コンクリート社会から木の社会へ～」を公表して<sup>5)</sup>、住宅・公共施設等への国産材利用の推進を主導してきました。最近では国産針葉樹材を用いた建築用構造材であるCLT（直交集成板）<sup>6,7)</sup>の全国における普及にも努めています<sup>8)</sup>。また、今年2018年には、建築基準法の大幅な改正があり<sup>9)</sup>、国産材の建築用材としての利用が容易になってきています。このような新規政策や法律改正の流れを受けて、2020年に開催予定の東京オリンピック・パラリンピック競技大会では、新設競技場への国産材の積極的な利用が計画されています<sup>10)</sup>。さらに、北海道でも循環型社会を目指した“地材地消”など、地場のカラマツをはじめとする木材資源を有効に活用する機運が高まってきています<sup>11)</sup>。

カラマツ材は、国産針葉樹材の中において、耐朽性は中程度で、密度や強度は高いことが認められています<sup>12,13)</sup>。また、北海道において伐採適齢期とな

り、大径材の生産量の増加がシミュレーション分析で予測されています<sup>14)</sup>。そのため、正角材、平角材、集成材、CLTなどの建築用構造材としての大規模な利用が今後期待されています。

カラマツ材の短所としては、特に髄（心）から15年輪くらいまでの未成熟材部では仮道管などの繊維細胞・組織の繊維傾斜が大きいことを原因とする、乾燥後の“ねじれ”があるため、長年にわたり建築用構造材として利用するうえで問題となってきました<sup>13,15)</sup>。しかし近年、林産試験場では、心持ちの正角材や平角材の乾燥・加工技術である“コアドライ<sup>®</sup>”を開発・実用化し、上記の問題をほぼ解決したことから<sup>16,17)</sup>、最近では木造住宅での柱材、梁・桁材としての利用が徐々に進みつつあります。

もう一つの短所としては、材中に隙間ができてヤニが溜まったヤニツボ<sup>18)</sup>がまれに出現していることがあり、ヤニの流動性が高いなどの条件によっては滲出して周囲を汚染することです<sup>13,15)</sup>（**図1**）。林産試験場では1970年代に、カラマツ材のヤニ汚染対策として、蒸煮式乾燥装置を用いて、木材乾燥に先立ち初期蒸煮を行う方法<sup>19)</sup>を応用した、カラマツ・ラミナの“脱脂乾燥法”を開発しています<sup>20,21)</sup>。それ以降、当該技術は国産針葉樹材の一般的なヤニ滲出防止技術として全国的にも普及・定着が図られています。しかしながら、今後、集成材用のラミナよりも材厚の大きい正角材や平角材の流通量が多くなると、これまでの脱脂乾燥法では対応が難しくなる恐れがあります。そのため、さらに効率的なヤニ滲出防止技術を開発するためにも、ヤニツボの性状やヤニの化学成分とその性質を把握することは重要なことと言えます。

## 2. カラマツ材のヤニツボの性状

ごく最近の詳細な調査事例によると<sup>22,23)</sup>、カラマツ製材におけるヤニツボは、年輪に沿うように出現し（**図1**）、木口面での大きさは平均で長さ×幅：約12×1.5mm、垂直長さは長いものでも50mm以下（私信：折橋 健氏）（**図1**）、出現頻度は大小を含めて約400個/m<sup>3</sup>、となっています。



図1 カラマツ材中（上面：柁目面，垂直面：木口面）のヤニツボ（白矢印，目盛数値はcm）

針葉樹の製材中におけるヤニツボやヤニ滲出による汚染は、アカマツ<sup>24</sup>やラジアータパイン<sup>25, 26</sup>においても以前から問題となっていました。ニュージーランド産ラジアータパインでは、ヤニツボの形成要因は、成長過程における暴露要因（風，水分，日射）による継続的なストレス<sup>25, 26</sup>や遺伝<sup>26</sup>であると推定されています。また，ラジアータパインのヤニツボの出現の一般的な特徴としては，カラマツと同様に（図1），年輪内においておおむね同心円状に形成されることが認められています<sup>26</sup>。さらに，ヤニツボの内面にはカルス（癒合組織）が形成され，ヤニが誘導的に生産されるとともにヤニツボの空隙内に徐々に蓄積されることが報告されています<sup>26</sup>。

カラマツもラジアータパインと同様に，継続的な外的ストレスや遺伝的要因により，空隙状のヤニツボが発生すると，その内面にカルスが形成され，カルス内で分化した柔細胞やさらに分化した内分泌細胞（エピセリウム細胞）<sup>18, 27, 28</sup>においてヤニが生産されていると推測されます。このように樹木体内部でヤニツボのような傷害部が生じると誘導的にヤニが生産されますが，この様な現象は病虫害に対抗するための，進化の過程で獲得された化学的防御であると考えられています<sup>27</sup>。

### 3. ヤニの化学成分について

針葉樹のヤニツボで生産されるヤニは，一般的には松脂（または“オレオレジン”）とも呼ばれ，室温で揮発性のある液体の精油と固体のロジンの混合物です<sup>27</sup>。精油の主要成分は炭素数5個の化合物であるイソプレノイド・ユニットから構成された，炭素数10個のモノテルペノイドおよび炭素数15個のセスキテルペノイドであり，ロジンの主要成分は炭素数20個のジテルペノイドであることが分かっています<sup>27</sup>。したがって，ヤニツボからのヤニ滲出・垂れは，精油成分が多い場合や，気温が高くヤニの粘性が低くなった場合に，ヤニの流動性が高くなって生じることがしばしば観察されています<sup>13</sup>。

話は若干それますが，松脂はかなり以前から，重要な化学工業原料として大規模に利用されてきました。具体的には，クラフトパルプの製造工程副産物，産業的に採取される生松ヤニ，松材の溶媒抽出物などから，精留操作により精油成分であるテレピン油とロジンを分離精製させたのち，印刷インキ，接着剤，洗剤，合成ゴム，製紙，プラスチック，食品，化粧品，農業・医療用製品など多用途に利用されています。そのため，松脂を扱うこれら一連の化学工業は「パイン・ケミカル」と呼ばれています<sup>29</sup>。

### 4. カラマツ材のヤニの化学成分の分析

カラマツ材のヤニの化学成分を調べるために，その主要成分であるテルペノイド分析には，ガスクロマトグラフィー-質量分析計（GC-MS）を用いました。GC-MS分析は，沸点300°C程度までの化合物の混合物を分離するとともに，各化合物に真空中で，一定高電圧を加えて一部を分解・イオン化して，その分解パターンと質量スペクトルを測定する方法で，化合物の同定などに有効な分析方法です。また，ヤニの化学成分の同定は，ヤニ成分，市販標準試薬，単離精製物<sup>30</sup>のGC-MS分析結果や，化合物の質量スペクトルの公開データベース<sup>31</sup>との比較で行いました。まず，揮発性の精油成分であるモノテルペノイドおよびセスキテルペノイドを分析するため，ヤニツボ（図1）からヤニを採取し，酢酸エチルなどの有機溶媒で適宜希釈して分析試料を調製し，GC-MSに導入しました。一方，ロジン成分であるジテルペノイドについては，不揮発性成分が多くを占めるため，既報<sup>30, 32</sup>にしたがって，メチル誘導体化して，沸点を低下させた化合物に変換してからGC-MSに導入しました。

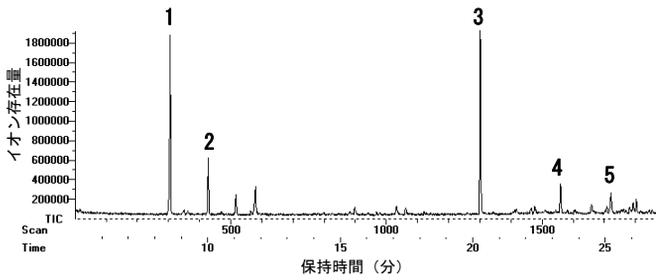


図2 カラマツ材のヤニのモノテルペノイド、セスキテルペノイドのGC-MSトータルイオンクロマトグラム  
1:  $\alpha$ -ピネン, 2:  $\beta$ -ピネン, 3: 内部標準物質,  
4: ロングイフォレン, 5: ゲルマクレン-D

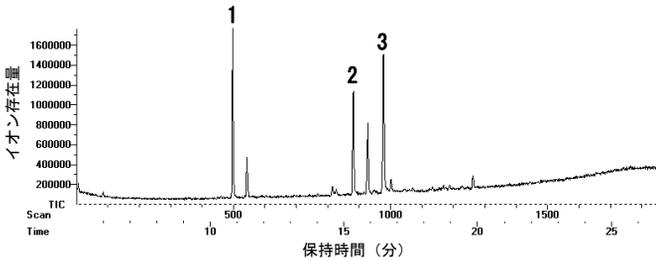


図3 カラマツ材のヤニのジテルペノイドのGC-MSトータルイオンクロマトグラム  
1: 内部標準物質, 2: イソピマール酸メチル,  
3: アビエチン酸メチル

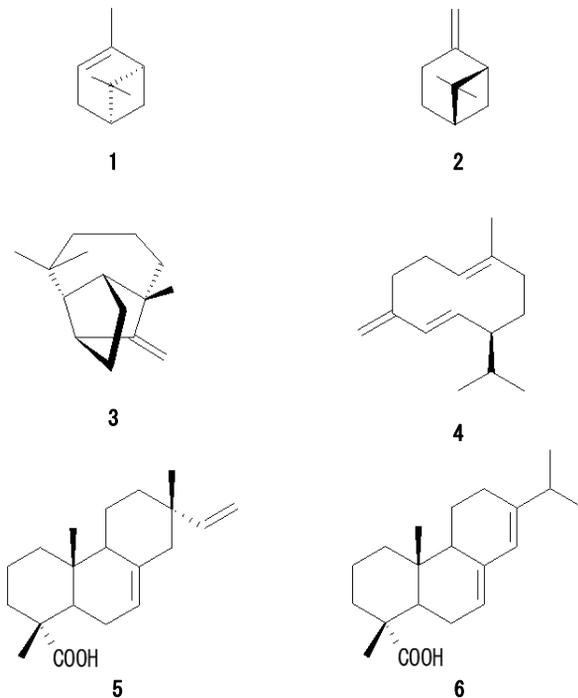


図4 カラマツ材のヤニに含まれる主要成分の化学構造

- 1:  $\alpha$ -ピネン, 2:  $\beta$ -ピネン, 3: ロングイフォレン,  
4: ゲルマクレン-D, 5: イソピマール酸,  
6: アビエチン酸

ヤニ成分中の精油成分のGC-MS分析の結果 (図2), 主要モノテルペノイドは $\alpha$ -ピネン (図4-1),  $\beta$ -ピネン (図4-2) で, それよりだいぶ少量となりますが, 主要セスキテルペノイドはロングイフォレン (図4-3), ゲルマクレン-D (図4-4) であることが認められました。また, ロジン成分のGC-MS分析の結果 (図3), 主要ジテルペノイドはイソピマール酸 (図4-5), アビエチン酸 (図4-6) であることが示されました。以上の結果を総合すると, カラマツ材のヤニにおける化学成分のおおまかな量的組成としては,  $\alpha$ -ピネンや $\beta$ -ピネンなどの精油成分と, イソピマール酸やアビエチン酸などのロジン成分から成るといえることが言えます (図5)。

追加情報になりますが, カラマツの材と樹皮に含まれるヤニにおける, それぞれのモノテルペノイド, セスキテルペノイド (関, 未発表), ジテルペノイド<sup>32, 33)</sup>の化学組成は近似していることが今回分かりました。また, 今回の結果は, カラマツの葉に含まれる精油<sup>34, 35)</sup>と材に含まれる松脂<sup>36)</sup>に関する既報とほぼ同じ傾向を示しました。そのため, カラマツではテルペノイド生産の部位は異なっても, その生合成経路における代謝の流れはほぼ同じであることが示唆されました。

### 5. カラマツ材のヤニの化学成分と滲出防止技術

カラマツ材のヤニ滲出防止技術については, これまでに1960年代からいくつか検討されてきました<sup>37, 38)</sup>。前述したように, 林産試験場ではヤニの化学組成や物性に着目し, 蒸煮することにより室温で液体の精油成分を共沸させて除去し, 固体のロジン成分を残留させてヤニ滲出を防止する脱脂乾燥技術を開発しました<sup>20, 21)</sup>。例えば, 精油成分の共沸現象に関しては, ラベンダーの精油の採取にはかなり以前より水蒸気蒸留法という方法が用いられていますが, 花に



図5 カラマツ材のヤニと含まれる主要成分

- ①: ヤニ, ②:  $\alpha$ -ピネン, ③:  $\beta$ -ピネン, ④: イソピマール酸  
⑤: アビエチン酸, ②, ③, ⑤: 市販試薬, ④: 単離精製物<sup>30)</sup>

含まれる主要モノテルペノイドであるリナロールの沸点（198℃）よりも低い温度の水蒸気（≒100℃）を用いて、精油を容易に採取することができます<sup>39)</sup>。この原理をカラマツ材のヤニに応用すると、水分が多い生に近い製材を蒸煮することにより、精油の主要成分である $\alpha$ -ピネン（沸点156℃）や $\beta$ -ピネン（沸点165℃）は共沸・除去され、ロジンの主要成分であるイソピマール酸（沸点417℃）やアビエチン酸（沸点440℃）は残留します。そのため、流動性が無くなり、ヤニがそれ以上滲出しにくくなります（図6）。

## 6. おわりに

本稿では、カラマツ材におけるヤニツボの性状、形成要因、ヤニの成分組成とその性質、これまでに林産試験場が開発・普及してきた木材乾燥法による合理的なヤニ滲出防止法とその原理<sup>13)</sup>について紹介しました。今後、伐採適齢期を迎えたカラマツ大径材の出材量の増加が予想されるとともに<sup>14)</sup>、コアドライ<sup>®</sup>のような乾燥・加工技術<sup>16, 17)</sup>や新たな構造材であるCLTが普及しつつあることから<sup>6-8)</sup>、それにとともなうカラマツ材の建築用構造材への利用の増加が期待されています。

しかしながら、製材の深部にあるヤニツボでは蒸煮乾燥を行っても、精油成分が十分に除去されない場合があることが分かってきています<sup>22, 23)</sup>。最近、柱材や梁材を“あらかし仕様”にした木造住宅が増えていますが、ごくまれに、材表面からそのようなヤニツボまで微細な割れなどが発生すると、温度条件などによってはヤニ滲出・垂れが発生して問題となることがあります。したがって、材厚の大きな製材の深部に存在するヤニツボの精油成分をいかにして除去するかということが、今後の課題のひとつに

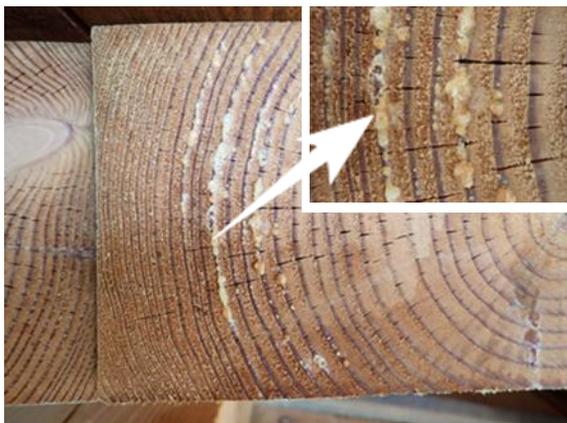


図6 カラマツ平角材の木口における蒸煮乾燥後のロジンの残留状態（右上は拡大図）

なっています。そのため、今回述べてきた情報をもとにして、カラマツのヤニ滲出・垂れ防止のさらなる向上技術の検討を進めていきたいと考えています。

本研究の一部は、（独）日本学術振興会・科学研究費補助金（課題番号 25450221）の助成を受けて実施しました。

## 7. 引用文献

- 1) 高橋松尾：カラマツ林業総説，第2版．日本林業技術協会，東京，（1960）．
- 2) 和 孝雄ほか：北海道大学農学部演習林研究報告，55，97-112，（1998）．
- 3) 北海道：平成28年度北海道木材需給実績，札幌，（2018）．
- 4) 石井 寛：林業経済，63，9-11，（2010）．
- 5) 農林水産省：<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/pdf/saisei-plan-honbun.pdf>，（2009）．
- 6) 大橋義徳：林産試だより，12月号，1-5，（2016）．
- 7) 北海道：平成29年度北海道森林づくり白書，札幌，（2018）．
- 8) 林野庁，国土交通省：<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/mokusan/pdf/141111-01.pdf>，（2014）．
- 9) 国土交通省：[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_tk\\_000097.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000097.html)，（2018）．
- 10) 内閣官房：[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tokyo2020\\_suishin\\_honbu/kankeikaigi/mokuzai/dai4/siryoul.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tokyo2020_suishin_honbu/kankeikaigi/mokuzai/dai4/siryoul.pdf)，（2018）．
- 11) 北海道：<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/chizai/index.htm>，（2018）
- 12) 森林総合研究所監修：木材工業ハンドブック，第4版．丸善，東京，（2004）．
- 13) 北海道立林産試験場：カラマツ活用ハンドブック，旭川，（2005）．
- 14) 津田高明：北海道立総合研究機構 戦略研究報告書“「新たな住まい」と森林資源循環による持続可能な地域の形成”，60-72，（2015）．
- 15) 中嶋 厚：林産試だより，5月号，8-10，（2001）．
- 16) 斎藤直人：林産試だより，2月号，1-4，（2016）．
- 17) 斎藤直人：林産試だより，9月号，1-3，（2017）．
- 18) 深澤和三：樹木の解剖；しくみから働きを探る，海青社，大津市，（1997）．
- 19) 寺沢 真，小林拓治郎：木材工業，29，327-331，（1974）．
- 20) 種田健造ほか：林産試月報，285，1-5，（1975）．

- 21) 大山幸夫ほか：林産試月報, 307, 1-5, (1976).
- 22) 折橋 健：林産試だより, 2月号, 3-5, (2017).
- 23) 折橋 健ほか：林産試験場報, 564, 15-19, (2018).
- 24) 谷内博規ほか：岩手県林業技術センター研究報告, No. 26, 1-4, (2018).
- 25) Woollons, R., et al.: New Zealand Journal of Forest Science, 38, 323-333, (2009).
- 26) Cown, D. J., et al.: New Zealand Journal of Forest Science, 41, 41-60, (2011).
- 27) Langenheim, J. H.: Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany. Timber Press, Portland, (2003).
- 28) Evert, R. F.: Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body; their structure, function, and development, 3rd ed., Wiley, Hoboken, (2006).
- 29) ハリマ化成グループ：  
[https://www.harima.co.jp/pine\\_chemicals/](https://www.harima.co.jp/pine_chemicals/), (2018).
- 30) Seki, K., et al.: Journal of Wood Science, 58, 437-445, (2012).
- 31) NIST: <https://webbook.nist.gov/chemistry/>, (2017).
- 32) Sato, M., et al.: Journal of Wood Science, 55, 32-40, (2009).
- 33) 関 一人：林産試だより, 12月号, 5-8, (2013).
- 34) Yatagai, M., Sato, T.: Biochemical Systematics and Ecology, 14, 469-478, (1986).
- 35) Holm, Y., Hiltunen, R.: Flavour and Fragrance Journal, 12, 335-339 (1997).
- 36) Mills, J. S.: Phytochemistry, 12, 2407-2412, (1973).
- 37) 長野県工業試験場：木材工業, 19, 58-62, (1964).
- 38) 橋爪丈夫, 三村典彦：昭和53年度長野県林業指導所業務報告, 49-51, (1978).
- 39) Barazandeh, M., M.: Journal of Essential Oil Research, 14, 103-104, (2002).