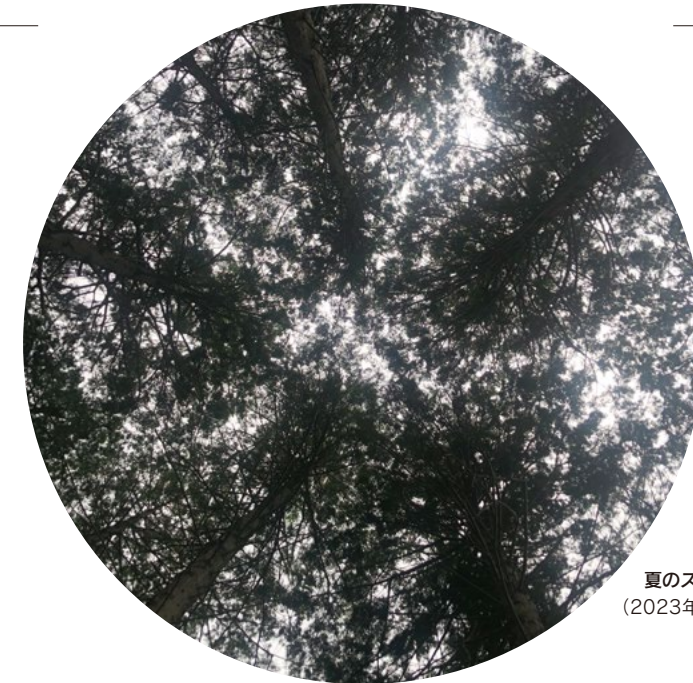


夏のスギ林でリフレッシュしませんか？

文と写真●伊ヶ崎 知弘 Igasaki Tomohiro
樹木分子遺伝研究領域夏のスギ林の中から見上げた空
(2023年6月 撮影)

スギは日本の屋久島から東北地方にまで
広く天然分布する植物です。材の利
便性から日本で最も広く植林されています。
スギ林の中で木々を見上げると、樹冠の葉
が、日光をほどよく遮ぎってくれているの
がわかります。この涼しい影は夏の暑さを
和らげ、森林浴や散策をするのにぴったり
の環境を提供してくれます。

若いスギ林は枝葉が人の通る高さにまで
多くついているので散策には適してい
ません。しかし、やがて木が成長し高くな
ると、林内に光があまり届かない場所がで
き、下の方の枝が枯れ落ちていきます。す
ると林の中に広い空間が生まれます。そし
て、夏になると、スギの木の良い香りが林
の中に広がります。夏のスギ林は自然の中
でリフレッシュしたり、美しい景色を楽し
んだりするのに最適な場所といえそうです。

とはいえ、2月から4月にかけてスギは
たくさんの花粉を風に乘せて広範囲に
散布します。それが原因で、多くの人がス
ギ花粉症のアレルギー症状に悩まされるこ
とになります。スギの雄花は、開花前年の
夏の7月から8月に作られ始めます。しか
し、10月上旬までの雄花の葯の中に花粉は
なく、花粉のもととなる細胞だけがありま
す。そのため、多くのスギ花粉症患者にとっ
ても夏のスギ林は快適な場所となります。

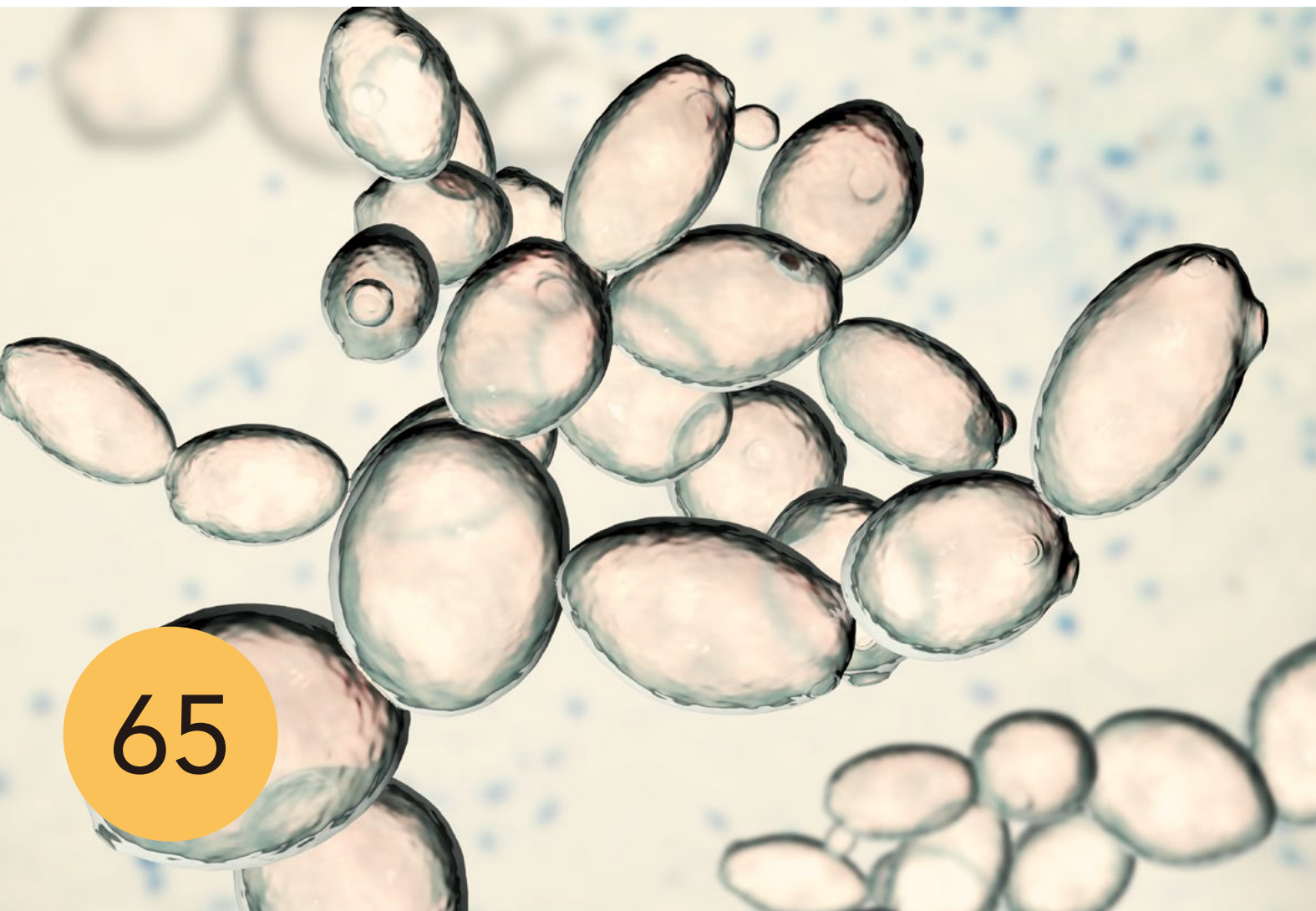
林の中を散策するときは、落枝やスズメ
バチなどに注意が必要ですが、スギ林
に入ることで、心身をリラックスさせたり、
ストレスを軽減させる効果を感じたりする
ことができます。そんな夏のスギ林を楽し
く散策して、リフレッシュしてみるのはい
かがでしょうか？ ◆

新緑の美しい若い樹齢の
スギの木立
(2023年6月 撮影)夏の間に形成が進む
スギの雄花
(2016年10月 撮影)Forestry & Forest Products
Research Institute
No.65 2024

特集●

微生物で
木材を大変身！

巻頭対談●木から生まれた酒は、森の香りがする

ブレンダー
サントリー技術顧問 富岡 伸一 × 大塚 祐一郎 森林資源化学研究領域



巻頭●対談

Tomioka Shinichi

富岡 伸一

ブレンダー、サントリー技術顧問



Ootsuka Yuichiro

大塚 祐一郎

森林資源化学研究領域

木から生まれた酒は、森の香りがする

元サントリーブランデー主席ブレンダーで、森林総合研究所が開発した「木の酒」のアドバイザーでもある富岡伸一さんと「木の酒」の研究開発担当の大塚祐一郎 主任研究員に「木の酒」のこれまでとこれからについて話しあっていただきました。

Studio 5th NAKAMEGURO (東京) にて
Photo by Godo Keiko

大塚 ● 森林総研は、木材を原料に糖化発酵させてお酒をつくるという世界でも例のない画期的な技術を開発しました(▼P.8「特集参照」)。この「木の酒」の実用化へ向けては、まだ解決しなくてはならないさまざまな課題があります。そこで、サントリーで長年ウイスキーやブランデーを生みだしてこられたブレンダーの富岡さんにアドバイザーとして関わっていただき、実用化へ向けた取り組みを始めたところです。

きょうは、あらためて富岡さんにこの「木の酒」をめぐって、お話しをうかがいたいと思います。「木の酒」は、これまでの酒づくりの常識を変えるものですが、最初にこのプロジェクトの話を聞かれたとき、どのような印象を持たれましたか。

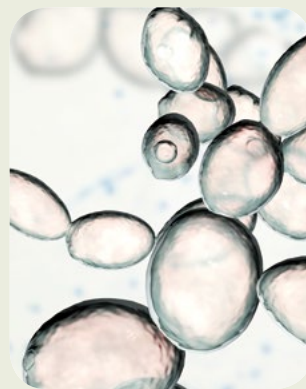
富岡 ● 「まさかー」というのが第一印象です。私の専門のウイスキーやブランデーの場合、木は、できた酒を詰める樽に使うのが基本です。木材そのものから酒をつくるという発想はまったくなかったのですが、まずは驚きが大きかったですね。ところが、試飲してみると木の種類ごとに風味がちがって、これが面白い！それで、お手伝いさせてもらうことにしました。ただ、課題は「木の酒」の場合、アルコール度数をどう高めるかです。

大塚 ● 「木の酒」は、原料の木材に含まれるセルロースを1000分の数ミリ単位にまですりつぶして醸造します。そのときに水を木材の10倍ほど入れる必要があります。水を加えて発酵させるとアルコール度数はスギで約2パーセント、広葉樹だと木が硬くてすりつ

CONTENTS

Forestry & Forest Products Research Institute

No.65 2024



表紙写真

出芽酵母の3Dイラスト

Dr_Microbe / iStock

写真撮影と提供:

P.6 ~ 7、P.8 木の酒: 神戸 圭子

P.6 アメリカのウイスキー工場にならぶ樽:

Ben_Pruchnie_Studio / iStock

P.8 背景の森林: 大塚祐一郎

P.9 木の丸太: LUHUANFENG / iStock

P.10 積まれた丸太: prluka / iStock

特集担当●

久保 智史

下川 知子

大塚 祐一郎

荒木 拓馬

編集委員●

片岡 厚 (編集委員長)

佐藤 重穂

齋藤 隆実

服部 友香子

大木 文明

巻頭●対談

木から生まれた酒は、森の香りがする

富岡 伸一 ブレンダー、サントリー技術顧問

×

大塚 祐一郎 森林資源化学研究領域 3

特集●

微生物で木材を大変身!

微生物機能を活用した木材の実証的利用 8

研究の森から●

「木の酒」の複雑な香りを人の嗅覚で評価する 14

松原 恵理 (複合材料研究領域)

微生物変換で木材からつくりだすバイオマスプラスチック 16

鈴木 悠造 (森林資源化学研究領域)

森林講座瓦版●

未利用の森林の「お宝」を活かすには? 18

松井 直之 (森林資源化学研究領域)

インフォメーション● 19

自然探訪●

夏のスギ林でリフレッシュしませんか? 20

伊ヶ崎 知弘 (樹木分子遺伝研究領域)



誌面アンケート
ご回答いただいた先着
30名様にプレゼント。

上記QRコードからアクセスできる誌面アンケートでご感想やご意見をお寄せください。はがきやFAXの場合は右記の広報普及科へ。2007年の台風で倒れたため、研究に活用された絶滅危惧種ヤツガタケトウヒの余材から作ったはがきとエコバッグをセットで先着30名様に進呈します。



季刊「森林総研」 2024 (令和6) 年6月17日発行



編集●国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 広報誌編集委員会

発行●国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 企画部広報普及科

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地 TEL.029-829-8373 FAX.029-873-0844

URL <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>

企画制作・デザイン●栗山淳編集室

印刷●株式会社光和印刷

©本誌掲載記事及び写真の無断転載を禁じます。



大塚 祐一郎（おおつか ゆういちろう）
1977年 熊本県天草市生まれ。森林資源化学研究領域 主任研究員。東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士後期課程修了 博士（農学）。2006年森林総合研究所入所。2013-2014年米国バージニア工科大学客員研究員（併任）。微生物による木材成分の分解過程の研究、代謝工学技術に応用した木材からの有用物質生産システムの開発に従事。木材の微生物分解を研究する過程で、木材を丸ごと発酵可能にする技術を開発。木材の高付加価値化を目指して、世界初の木を直接発酵してつくる「木の酒」の製造技術開発を開始。

大塚 祐一郎（おおつか ゆういちろう）
1977年 熊本県天草市生まれ。森林資源化学研究領域 主任研究員。東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士後期課程修了 博士（農学）。2006年森林総合研究所入所。2013-2014年米国バージニア工科大学客員研究員（併任）。微生物による木材成分の分解過程の研究、代謝工学技術に応用した木材からの有用物質生産システムの開発に従事。木材の微生物分解を研究する過程で、木材を丸ごと発酵可能にする技術を開発。木材の高付加価値化を目指して、世界初の木を直接発酵してつくる「木の酒」の製造技術開発を開始。

富岡 伸一（とみおか しんいち）
1952年 京都府京都市生まれ。サントリーマーケティング＆コマース（株）品質保証推進部 技術顧問。元サントリーブランドー主席ブレンダー。京都大学農学部食品工学科卒。77年サントリー株式会社 入社。白州ディスティラリーウイスキー醸造技師、サントリーメヒカーナ洋酒・ラーメン工場長、品質保証部・原料部部长、三得利（中国）品質保証センター設立・同センター長（上海）を歴任後、サントリー株式会社品質保証本部品質保証部部长としてサントリーグループ全体の品質保証・リスク管理・危機管理を担当。2012年定年退職に伴い現職。



巻頭●対談

クロモジは爽やかで華やかな柑橘系の香りがしますし、ミズナラは芳醇な香りがします。

新しい銘柄を創造するためには、過去25年間にどんな風味の樽がどれくらいあるかを把握していて、今後25年はどんな銘柄をどれくらいつくれるかということを決める。トータル50年間のマネジメントが必要です。いま自分が使える原酒、つまりこれから設計する酒は先輩がすでにつくってくれています。そして、未来の後輩のために残しておく原酒も考えないといけません。できるだけブレンドのためのバリエーションは多い方がいいので、それもつくり分ける必要があります。

私が1970年代に白州の蒸留所で管理していた時に、出来の悪い原酒の樽がありまして。ところが、それを10年くらい樽に入れておいたら、記憶力が大事です。創造型は新しい銘柄の酒をつくりだす閃きを発揮します。

たとえばウイスキー工場に150万樽の原酒があるとして、これらの原酒は樽ごとに毎日味が変わるわけです。その変化を捉えつつ150万樽の酒をどうまとめていくかを専門にするブレンダーもいます。樽をいくつかのグループにまとめて、それらがどのような香りの変化をしているか、それをわかつたうえで、創造型のブレンダーに、このグループはこれぐらいの量を使えると伝える。新しい銘柄を作るときに必要な風味の樽数が少なければ、商品はできないわけです。ブレンダーは、ただ鼻がいいだけでなく、ある商品を1万本つくりたいとき、この原酒とこの原酒ならできるけど、別の原酒は量が少ないからつくれない、そこで他の樽を提案するといった全体のマネジメントが必要です。

「木の酒」の場合、2回の蒸留で約30〜40パーセントのアルコール度数にできますが、課題は、ご指摘いただいたように、蒸発しない

ぶしにくいので1パーセントほどになってしまします*。

富岡 ●アルコール度数を高めるには、複数回蒸留すればよいわけですが、蒸留すると木が持っている風味が抜けてしまうこともありま

すね。蒸留というのは、揮発成分だけをとりだすわけで、木の成分は意外と揮発しないんです。醸造酒だと木らしい風味が濃厚ですが、蒸留酒にするとかかなりクリアになる*。その

典型がシラカバでつくった「木の酒」です。**大塚** ●そうですね、シラカバならではの香りが薄くなります。

富岡 ●ただ、これは考えようによっては面白さもあって、醸造酒で商品化するものと、蒸留酒にして商品化するものに分けてアイデアを考えるといいわけです。ウォッカは工程としてシラカバの炭でろ過します。です

ので、シラカバのクリアな蒸留酒をシラカバ炭でろ過することを提案したいと思います。すると、よりピュアなシラカバのウォッカができます。原料から炭まで100%シラカバの酒を商品化できるわけです。お酒には、こうしたキャッチーな物語性も必要なんです。

大塚 ●ウメの木からつくった蒸留酒に梅の実をつけると、ウメしか使っていない梅酒ができますし、カエデの木

の蒸留酒にメープルシロップを入れると、カエデだけの甘いリキュールができそうですね。アイデア次第でいろんな可能性を秘めています。

おいたら、面白いブレンドアイテムになったんです。そうしたことを嗅ぎ分けながら、どうするか考えるのが面白いわけです。おいしい酒だけブレンドしても意外とつまらないウイスキーになります。そこに個性的な原酒をちよつとだけ入れると厚みや深みが出る。**大塚** ●キー原酒ですね*。

富岡 ●そう、デコレーションの原酒です。ブレンダー仲間では目薬というのですが、1リットルブレンドするのに、時には1ミリピペットより小さい最後の1滴を入れるかどうかで悩むんです。

「木の酒」の場合は木の醸造酒と木の蒸留酒をブレンドするのもひとつのアイデアですし、木の醸造酒に他の材料、例えば果汁だとか、いろいろ試すことができる幅があります。いろいろなくふうのアイデアの発想を広げられるので非常に興味深いですね。

大塚 ●1樹種から1つの蒸留酒をつくるだけではなくて、樹種のブレンドも考えています。クロモジは爽やかで華やかな柑橘系の香りがしますし、ミズナラは芳醇な香りがします。それぞれの個性を活かしつつ、それを混ぜるとさらに広がりが出る可能性があります。

ゆくゆくは「木の酒」のブレンダーみたいな人も出てきてくれるとうれしいですね。ひとつの里山にスギがこれだけ、ヤマザクラがこれくらいあってクロモジはこれだけ。ミズナラは標高の高いところにちよつとあるとか……その里山ならではの「森の香りがするお酒」をつくるのができたら楽しそうです。木を伐ったら次にどの樹種をどれだけ植

い香りがあって、蒸留で上がってこない香りを生かすことができない。サクラでつくる「木の酒」もおなじで醸造段階では、桜もちのよう

な華やかな香りがありますが、蒸留すると青臭い香りしか上がってこない。そこで、富岡さんのアドバイスから着想を得て、木本来の風味や味わいが残る醸造酒に蒸留酒を加えてアルコール度数を上げるアイデアを、いまいろいろと試作検討しているところです。

酵母がアルコール発酵と同時に木の成分も少し変化させることでとてもまろやかな風味にしてくれます。発酵過程で成分の分子構造が変化することが明らかになっています。そういう意味では木を発酵させたからこそ醸し出されるオリジナルの香りというものが「木の酒」にはありますね。

富岡 ●酵母の力というのは凄くて、ワインのように原料のブドウジュースがあれだけ深みのある風味に変わるわけです。私の専門の蒸留酒のウイスキーブランディングで言うと、やはり酵母があることで、もとの麦芽澱粉にはない、新しい香りと味が生まれてきます。

大塚 ●富岡さんは、ブランドーの主席ブレンダーとして活躍されてきて、蒸留所の設計もされていますが、あらためてブレンダーの仕事についてお話しいただけますか。

富岡 ●ブレンダーにもいろいろありまして、私は検査型、評価型、創造型の3つに分けてます。検査型は、ひとつの銘柄の設計範囲かどうか、つまり商品として正しいかを検査する。評価型はそれぞれのサンプルを毎回同じ言葉で表現して評価できる。どちらも風味の

違いが、つくりだす閃きを発揮します。

たとえばウイスキー工場に150万樽の原酒があるとして、これらの原酒は樽ごとに毎日味が変わるわけです。その変化を捉えつつ150万樽の酒をどうまとめていくかを専門にするブレンダーもいます。樽をいくつかのグループにまとめて、それらがどのような香りの変化をしているか、それをわかつたうえで、創造型のブレンダーに、このグループはこれぐらいの量を使えると伝える。新しい銘柄を作るときに必要な風味の樽数が少なければ、商品

はできないわけです。ブレンダーは、ただ鼻がいいだけでなく、ある商品を1万本つくりたいとき、この原酒とこの原酒ならできるけど、別の原酒は量が少ないからつくれない、そこで他の樽を提案するといった全体のマネジメントが必要です。

私が1970年代に白州の蒸留所で管理していた時に、出来の悪い原酒の樽がありまして。ところが、それを10年くらい樽に入れておいたら、記憶力が大事です。創造型は新しい銘柄の酒をつくりだす閃きを発揮します。

たとえばウイスキー工場に150万樽の原酒があるとして、これらの原酒は樽ごとに毎日味が変わるわけです。その変化を捉えつつ150万樽の酒をどうまとめていくかを専門にするブレンダーもいます。樽をいくつかのグループにまとめて、それらがどのような香りの変化をしているか、それをわかつたうえで、創造型のブレンダーに、このグループはこれぐらいの量を使えると伝える。新しい銘柄を作るときに必要な風味の樽数が少なければ、商品

はできないわけです。ブレンダーは、ただ鼻がいいだけでなく、ある商品を1万本つくりたいとき、この原酒とこの原酒ならできるけど、別の原酒は量が少ないからつくれない、そこで他の樽を提案するといった全体のマネジメントが必要です。

*Key Words 原酒

ウイスキーのブレンドに使う原酒には下記の3種類がある。「ベース原酒」は、モルト原酒（麦芽の単式蒸留）の個性を引きだす出汁の役割を担うグレーン原酒（麦芽とトウモロコシ、ライ麦などの連続式蒸留）。「中核原酒」は、香味のバランスやしつかりとしたボディを構成するモルト原酒。「キー原酒」は、少量の使用で全体のイメージを引っ張る個性的な原酒。（「蒸留酒のブレンドテーシング〜ウイスキーブランデーを中心として」富岡伸一 におい・かおり環境学会誌 48巻4号2017）

*Key Words 醸造酒と蒸留酒

ワインや日本酒など、原料を酵母でアルコール発酵させてから濾しただけのものを醸造酒という。蒸留酒は、ウォッカや焼酎など、醸造した酒に熱を加えて揮発させることで得られるアルコール度数を高めたお酒。ウイスキーやブランデーは、蒸留酒をさらに樽に入れて熟成させることでつくられる。

*Key Words 「木の酒」とアルコール度数

酒づくりでは、原料に含まれるブドウ糖やシヨ糖などを栄養分として酵母がアルコール発酵することで、アルコールと二酸化炭素が生みだされる。原料の糖度の0.6倍のアルコールが産生されるが、歩留まりがあるのでおよそ糖度の半分のアルコール度数となる。木に含まれるセルロースは40〜50パーセントで、それをすりつぶすために水を加えてできる原料の糖度は約4パーセントなので、アルコールは1〜2パーセントの醸造酒となる。



シラカバの木材の細胞壁構造

「木の酒」は、木材の細胞壁を形づくっているセルロースを水中で1000分の数ミリにまですりつぶして、微粉砕することによってつくることが可能となった。



巻頭●対談

それを飲むことで、自分のからだに 100 年分の木の成分が取り込まれ、一部は代謝されて細胞と同化します。



左から、ミズナラ、クロモジ、シラカバ、スギの木材からつくった「木の酒」の醸造酒。



巻頭●対談

ゆったりとした時間を想像して楽しむというのが大切で、お酒にはそういう世界があるんです。

にブレンドしていくとか、林業ですとおじいちゃん植えた苗を伐らせてもらい、孫世代のために木を植えるという……とても相性がいい世界なのかな、という気がします。

えるのか、そうした木の再生を中心とした里山のマネージメントみたいなこともひよっとしたら生まれるかもしれません。

母の発酵が終わってから乳酸発酵します。それによって味が複雑になる。そういった工夫も検討すると面白いかもしれません。

すると時間のストーリーが加わることで、また付加価値がつくわけです。「樹齢100年の木からつくったお酒」です。何しろ木の特徴のひとつとして、伐ると年輪があります。



対談を終えて歓談する富岡さん(右)と、大塚研究員(左)。

★ Key Words 大径木

戦後の復興や高度経済成長の時期に植林した木が成長し、現在、国内の人工林の約半数が樹齢50年を超えている。

★ Key Words 樽に使われる木材

オークと総称されるブナ科コナラ属の樹種が使われることが多い。アメリカでは、樹齢80～100年のホワイトオーク、ヨーロッパでは樹齢100年以上のフレンチオーク、日本ではミズナラが代表的。



アメリカのウイスキー工場にらぶ樽

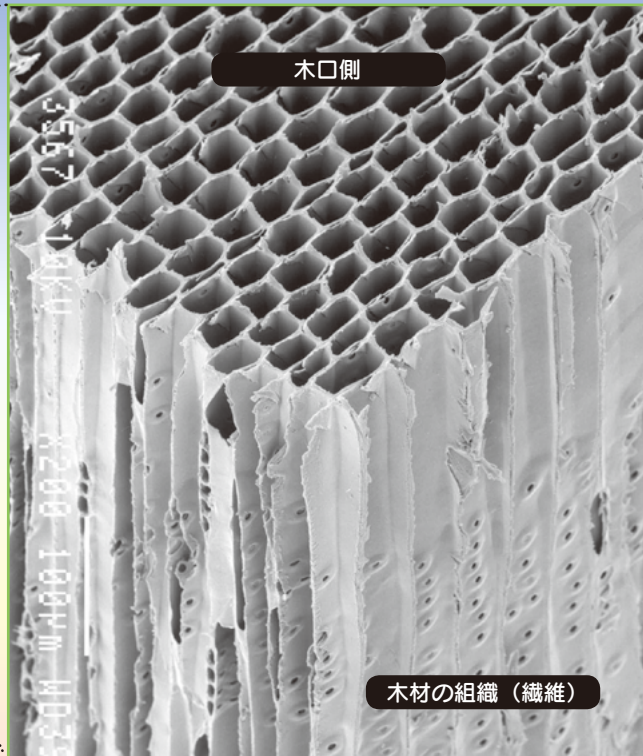
微生物で木材を大変身



木材の木部

木材の組織構造

木材の構造を電子顕微鏡でみてみると、中が空洞の細長い繊維状の組織が連なっているようすがみられる。この繊維状の組織は、木材の強さや樹木内の水の通り道としての働きを担っている。

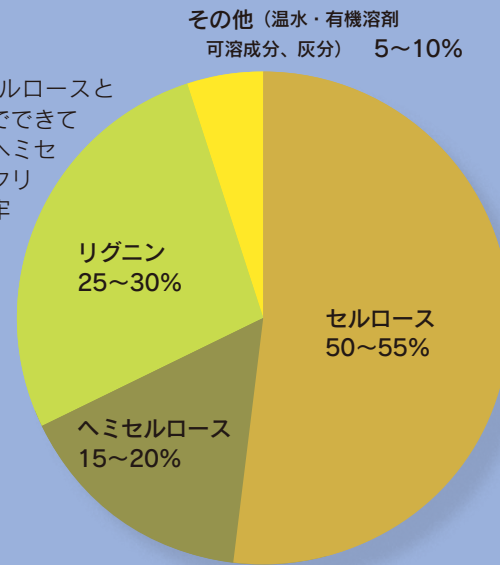


木口側

木材の組織（繊維）

木材の細胞壁は、おもにセルロースとヘミセルロース、リグニンでできている。セルロースを鉄筋、ヘミセルロースやリグニンはコンクリートにたとえられ、この堅牢な構造で大木も支えられている。

参考：『木材化学』（原口隆英ほか 文永堂1985）



代表的な国産針葉樹材の化学成分組成

木材と微生物との関わり

山歩きが好きな人の中には、山道の脇に倒木がある姿を目にされた方も多いと思います。

森の中ではこのような倒木も、ゆっくりとですが微生物などにより分解されます。木はおもに、多糖であるセルロース、ヘミセルロースとフェノール骨格を持つリグニンという化合物で成り立っています。これらの成分はそれぞれ、微生物がつくり出す酵素の働きによって自然界では別々の経路で分解されていきます。酵素は生物の生命活動の基盤となる物質で、生体内外での化学反応に関与しています。現在では多くの酵素が生物体内から取り出され、産業利用もされています。化学薬品に替わって酵素を使うことには、温和な条件下で副反応を抑制した反応が可能になるなどの利点があります。しかしその一方で、反応が遅い点やコスト高になるという欠点を持ち合わせています。

森林総研では、酵素の持つ利点と欠点を考慮したうえで、酵素や微生物そのものを効果的に作用させることで、木材を機能性材料に変換するための研究を行っています。

今回はその中から、実証研究に至った研究や実証に向けて取り組みを進めている研究について紹介します。

各ボトルは、それぞれの木材からつくった「木の酒」の蒸留酒

特集

微生物で木材を大変身！

微生物機能を活用した新たな木材利用に向けて

最新技術を用いることで、いま木材の利用も大きな変化をみせています。これまでの材としての直接的な利用に加え、化学的な変換を加えることで、新しい可能性を切り拓きました。森林総研が開発した微生物機能の活用による、それらの新しい木材の利用技術について、解説します。

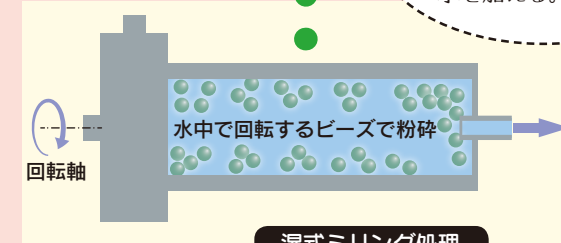
文責＝編集部
監修＝下川 知子
大塚 祐一郎
荒木 拓馬



木の酒の製造プロセス

原料木材

木材をチップ、カッターミル、ハンマミルなどで粉碎して、水を加える。



湿式ミリング処理

食品加工用ビーズミルで、湿式ミリング処理を行い原料の木材をクリーム状のスラリーにすることで、素材としての新しい可能性を切り拓いた。湿式ミリングとは、水の中に小さなビーズと粉碎原料を入れて攪拌することで、セルロースをすりつぶす技術。

木材スラリー

木材スラリーに食品添加用のセルロースやヘミセルロースを分解する酵素（セルラーゼ・ヘミセルラーゼ）とアルコール発酵のための酵母を混ぜて入れ、タンク内で糖化発酵させる。



発酵タンク

タンク内では、酵素による糖への変換と、酵母によるアルコール発酵の2つの反応を行う。

アルコール

発酵もろみ

酵母によってアルコール発酵が行われた状態。

醸造酒

発酵もろみを濾したものの。香り成分が多くふくまれている。

2回蒸留

蒸留を重ねることで、アルコール濃度を高めることができる。反面、揮発しない香り成分は、取りのぞかれる。

蒸留残渣

◀ 森林総合研究所 HP 内の「木の酒」特集ページもご覧ください。

セルロースナノファイバー（CNF）は、木の酒とはべつの酵素を加えて、繊維をナノレベルまで細かくすることで得られる新素材。塗料の下塗りや上塗りに活用することで、紫外線による劣化を抑えることができる。

特集

微生物で木材を大変身



スギパルプから製造された CNF
酵素・湿式粉碎方式により製造された CNF。白濁して粘性がある。

CNFの利用



CNF を身近な木製品に活用
上の写真は、CNF 配合塗料（下塗り）を使用した木製ベンチ。室内用（左側）と室外用（右側）。右の写真は、CNF 配合シーラーを施した木製の器。

木の酒の香り

4 種類の原料樹種からつくった木の酒のそれぞれの香り成分を比較したところ、左の表のような特徴をもつことがわかった。樹種ごとに異なる香りのアルコールが製造できることを示している。また、飲料に関する安全性に関する試験でも、問題はみとめられなかった。今後は、樹種レパートリーを拡大しつつ、全国の山村地域での活用へ向けて技術移転を進めていくことになる。

原料樹種	特徴的な香り成分	左欄の成分を含む食品等 *	香りの説明 *	香り成分の由来原料	変化
スギ	醸造系の特有香に加えて、スギ特有の木の香りなどを含み、その香りは樽酒に近い				
	イソアミルアルコール	ビール、ワイン、ピワ	アルコール臭、バナナ様		○
	安息香酸エチル	ブランデー、マンゴー	フルーティ		○
	1-エピクベノール	ストロベリーグアバ	セスキテルペン系	○	
シラカバ	白ワインのようなフルーティな香りとなっているが、独特な青臭みも有る				
	イソアミルアルコール	ビール、ワイン、ピワ	アルコール臭、バナナ様		○
	1-ヘキサノール	ワイン、豆類、トマト	グリーン、脂肪臭		○
	γ-ノナラクトン	ブランデー、昆布	ココナッツ様		○
ミズナラ	醸造系の特有香に加えて、オークラクトンのウイスキー様の独特な香りが特徴である				
	イソアミルアルコール	ビール、ワイン、ピワ	アルコール臭、バナナ様		○
	カプリル酸	ビール、ミルク、チーズ	せっけん臭、動物臭		○
	オークラクトン	ブランデー、ウイスキー	バナナ系、スウィート	○	
クロモジ	柑橘系とバラ様の香りのする独特な甘く花のような香りが特徴である				
	シトロネロール	焼酎、ブランデー、緑茶	フローラル		○
	リナロール	ビール、緑茶、オレンジ	柑橘系、フローラル	○	
	ゲラニオール	ビール、焼酎、緑茶	ライム臭、バラ様	○	

* 国立医薬品食品衛生研究所 HP 「〈食品中揮発性有機化合物について〉揮発性有機化合物濃度に関する調査結果」を参考

木材から酒をつくる

セルロースは、微生物から取り出したセルラーゼという酵素でブドウ糖に分解できます。しかし、木材の中のセルロースは酵素が作用しにくい成分で取り囲まれているので、木材をそのまま酵素で処理してもほとんど分解しません。木材を粉碎してセルロースを取り囲む成分を破壊することで、セルロースが露出し、酵素のセルラーゼが作用してブドウ糖に分解されます。このブドウ糖に酵母を働かせることで、木材からアルコール（エタノール）をつくりだすことができます。

そのため「木の酒」の研究では、セルラーゼが作用できる数マイクロの大きさまで木材を粉々に砕くことができる湿式ミリング処理という方法を開発する必要がありました。この開発により、木材を特徴付ける香り成分を残したまま、高効率でアルコールに変換することが可能になりました。また「木の酒」の香りは、酵母の働きで木材成分から新たに生み出される香りが、木材の香りと複雑に絡み合ってもたらされることがわかっています。

森林総研は、木材の種類の違いによって特徴的な香りをもつ「木の酒」の実生産に向け、民間企業と共同で大規模生産技術の開発に取り組んでいます。

酵素を活用した

セルロースナノファイバーの製造

セルロースナノファイバー（CNF）は、軽量・高強度などの優れた特性を持つ、木材から製造される新素材です。CNF は幾つかの異なった方法で製造することができますが、森林総研では、微生物の酵素を活用した方法で CNF を製造する研究を行っています。

その研究成果として私たちは、木材のパルプにお酒をつくる際には異なる種類のセルラーゼ（エンドグルカナーゼ）を作用させ、さらに機械的な力を加えて細かくすることで、CNF を高効率で生産する手法を開発しました。エンドグルカナーゼは、木材パルプに含まれる強固なセルロース繊維間の結合を選択的に分解し、繊維同士の結びつきをゆるめる働きを担っています。

この方法で製造される CNF は、木造建築の外壁用塗料に混合した際に、他の CNF に比べて紫外線などによる木材製品の自然劣化を大きく抑制する効果があることが明らかになりました。

民間企業との共同で得られたこれら成果の一部は、実験室規模での基礎的な検討を終え、CNF を配合した木材用の高性能塗料として販売が開始され、実際の建築物への施工例も増えてきています。



バイオエタノールのプラント（2008～2012年度）

林野庁から「平成20年度森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業（大規模低コスト型製造システム）」の委託を受け、秋田県北秋田市に設置された木質バイオエタノール製造実証プラントでは、大規模生産でのエネルギー収支やコストなどのデータを蓄積することで、生産効率の向上へ向けての研究が行われた。今後のバイオエタノールビジネスに貢献する成果となった。



PDCの大規模生産実験

PDCの実用化に向けて、商用レベルの発酵タンクによるPDCの大規模生産実験を進めている。

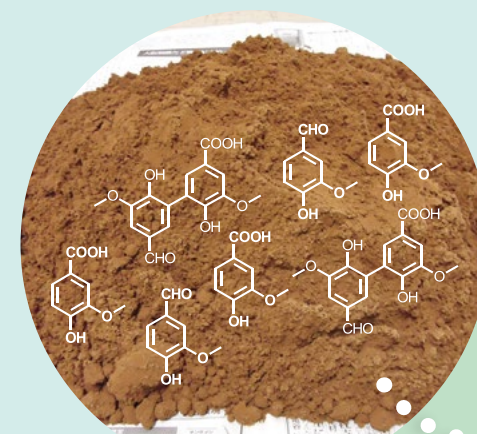
特集

微生物で木材を大変身

木の酒研究棟（2023年度～）



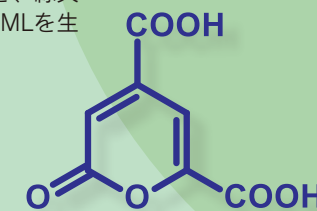
小型プラント（上写真）で研究を続けてきた木の酒を連続的に生産できるプラントを備えた「木の酒研究棟（正式名称：木質バイオマス変換新技術研究棟）」が、2023年に完成した（左写真）。



工業リグニンとリグニン分解物

使用する微生物のちがいや先端バイオテクノロジーである「分子育種」により、リグニンの分解物からポリマー原料を生産する。

代謝を青矢印の方向に誘導するとPDCを生産することができ、緑矢印の方向に誘導すると3CMLを生産することができる。

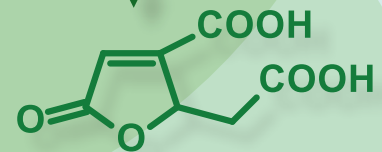


PDC

2-ピロン-4,6-ジカルボン酸

プラスチックフィルムや接着剤といったポリマー素材の原料となる。

代謝



3CML

3-カルボキシメチルピロン-5-カルボン酸

PDCに続きPDC以外の化合物の培養製造の検討を開始

3CMLは、カビの仲間の体内でつくられる。3CMLは新しいポリマー原料として期待されているため、微生物の代謝機能を活用して高収率で生産する研究を行っている。

PDCは石油系の化合物に替わるプラスチック原料として使用できるだけでなく、石油系化合物にない優れた特徴も兼ね備えている。たとえば、金属イオンと強い結合性を持つ化合物であり、金属と金属あるいは金属と他材料間を接着する非常に強力な接着剤の原料としても有望視されている。

リグニンから得られる素材

▶ P.16「研究の森から」も参照ください。

微生物の代謝を利用したポリマー原料の生産

木材には多糖成分の他にリグニンが含まれています。聞きなれないこのリグニンという化合物は、木材に耐水性、耐腐朽性という特性を与えていると考えられています。ここで「考えられている」と紹介したのは、木材の中で実際にリグニンがどのような役割を担っているかは明確にはわかっていないからです。

またこのリグニンは、セルロースやたんばく質などの他の高分子とは異なり規則正しい化学構造を持たないことから、石油化学原料のように構造が明確であることが重要な用途で利用することが難しい化合物です。しかし微生物の代謝機能を活用すれば、ブドウ糖からアルコールをつくるように、多様な構造を持つリグニンからも一つの化合物を選択的に製造することもできます。

森林総研では、リグニンの分解物を微生物で処理することで、PDC（2-ピロン-4,6-ジカルボン酸）や3CML（3-カルボキシメチルピロン-5-カルボン酸）という化合物を製造する培養技術の開発を行っています。これらの化合物は石油代替プラスチック原料としても有望視されていることから、実工業に適合した培養技術の開発に取り組んでいます。

これからの展望

これまでの化学工業は、プロセスの大規模化が可能な石油化学工業の発展とともに進展してきました。その結果いまでは、私たちの身のまわりにプラスチックをはじめとするさまざまな石油化学製品があふれています。

しかし近年では、地球温暖化といった環境に関わるさまざまな問題が提起され、石油化学工業による大量生産・大量消費を見直そうとする社会的な、そして産業的な機運が高まっています。

木材は、太陽からの光エネルギーを利用した光合成によって水と二酸化炭素から生産される環境親和性の高い素材です。森林総研では今回の特集以外にも、発酵技術を利用することで、木材からバイオエタノール（季刊 森林総研 Vol.10）や、メタン（森林総合研究所 平成27年版 研究成果選集）などのバイオマスエネルギーを生産する研究に取り組んできています。

木材そのものの、あるいは木材から製造されるパルプ、リグニンなどを原料としたバイオマスを、従来の化学薬品に頼る手法ではなく、生物が持つ機能を利用して高付加価値化できれば、より環境にやさしい木材利用プロセスが構築できると私たちは考え、これからの研究を続けていきます。

研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

近所に住む大学の先生が、折に触れて研究の楽しさを教えてくれたからでしょうか。

Q2. 影響を受けた人など

修士課程まで所属した研究室の先生には研究のイロハを教えてくださいました。なかでも実験手技に関する厳しい教えは、今でも心に深く刻み込まれています。

Q3. いまホットなマイテーマは？

樹木の香りによる人の心や身体への影響を評価しています。香りは目には見えませんが、上手に活用することで心地良い環境をつくれるかもしれません。そのような環境づくりに少しでも役に立てばと、日々、研究に取り組んでいます。

Q4. 若い人へ

楽しいと感じる研究テーマを見つけれらると良いのかなと思います。



松原 恵理 Matsubara Eri
複合材料研究領域

「木の酒」の複雑な香りを人の嗅覚で評価する

研究の森から

複雑な香りを持つ「木の酒」

木材は樹種によって香り成分の組成が異なることはよく知られています。「木の酒」では、アルコール発酵の過程で生成する成分がさらに混ざり合うことによって、他の酒類とは違う複雑な香りが感じられます。私たちの研究グループでは、さまざまな樹種でつくった「木の酒」と他の酒類との違いを明らかにするための研究に取り組んでいます。

化学分析と官能評価

香りを定量的に評価するには分析機器を使う方法がよく使われます。香りを吸着剤で捕まえて分析することで、香り成分の組成や濃度を明らかにすることができます。この方法を使うことで、「木の酒」の香りは微量かつ多種類の成分の絶妙なバランスで構成されていることがわかってきました。その一方で、酒は香りや味わい、高揚感などを楽しむためのものであり、化学分析による数値だけでその品質や嗜好性を評価することが難しい側面があります。そのため、分析機器に加えて人間の鼻をセンサとした官能評価法での検討も進めることにしました。

官能評価は、前提として試料の特徴や印象を捉えた適切な用語が必要であり、評価者は決められた用語に沿って一つずつ試料を評価します。今回の試料は世界初

精度向上へ向けて

今後の研究において、官能評価の精度向上は第一に取り組むべき課題と考えています。また、鼻から入ってくる香りの評価に加えて、今年度からは試飲調査を実施して、口から鼻に抜ける香りを含む味わいの評価にも取り組んでいます。「木の酒」が持つ魅力の一部を明らかにすることで、地域木材の活用などに少しでも貢献できればと思います。

の「木の酒」です。これまでに「木の酒」の香りを官能評価した先行研究は一つもなく、どのような評価用語を使うべきか？何もないゼロからのスタートという壁が、私たちの前に立ちちはだかりました。そこで、日本酒や洋酒、木材の香りなどに関する文献調査を行うとともに、多くの調査協力者に「木の酒」の香りを実際に嗅いでいただき、用語を収集し選定していくという方法を進めることにしました。これまでに行った調査時の様子を、写真1から写真3に示しています。

香りの特徴を評価する用語確定へ

これまでの調査では、スギやクロモジ、ミズナラ、シラカバ、ヤマザクラを原料とした「木の酒」を試料としました。比較対象には市販の樽酒やブランデー、ウイスキーなどを用いています。調査項目は、品質に関わる「香りの特徴」と嗜好性に関わる「香りの印象」に大きく分けられますが、ここでは一例として、「香りの特徴」に関する結果を紹介します。評価用語として木香・樽香、花様香、果実香、草様・青臭、吟醸香、エステル香、甘酒様香、シェリー様香、老酒様香を掲げて、調査協力者130名に、これらの用語のなかからそれぞれの「木の酒」の特徴を表すと思うものにチェックを入れたいただきました。図1はチェックを入

最後になりましたが、これまでに実施した調査において、延べ320名を超える

方々にご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

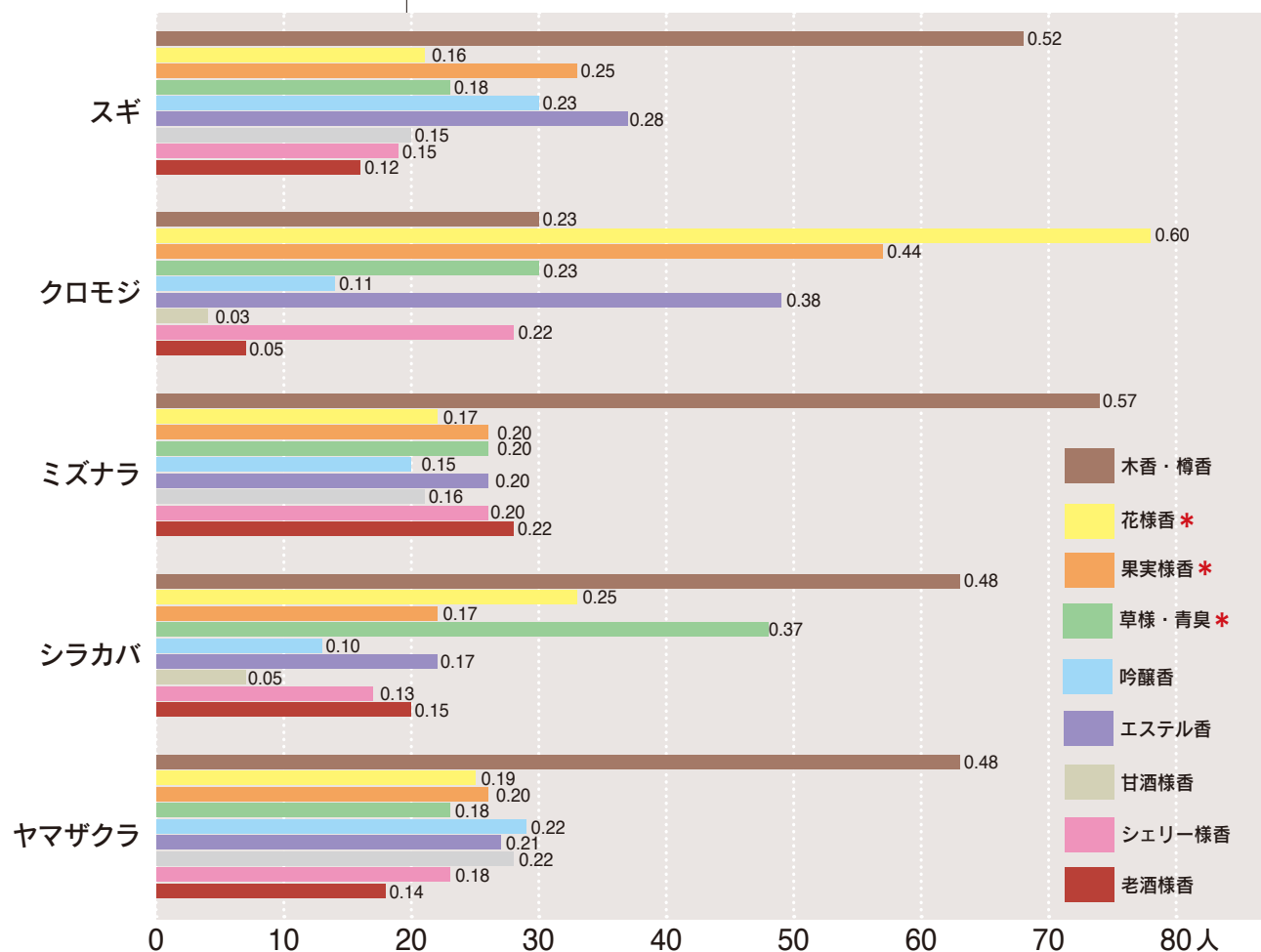


図1 さまざまな樹種でつくった「木の酒」の特徴に関する評価
棒グラフは用語にチェックした人数、数字は比率を示し、*は試料間で統計的な有意差があった主な評価用語を示す。

*肖像権保護のため、画像を加工しています。



写真3 パーテンダーによる調査
飲食や酒造業界の専門家にも調査へのご協力をいただきました。



写真2 多様な調査協力者による調査
HPやFacebookでの募集を見た方々とともに、食に関わる研究者や香料関係の専門家も協力してくださった。

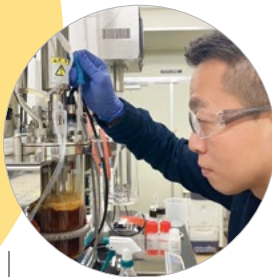


写真1 一般の成人男女を対象にした調査
森林総研のHPやFacebookでの募集を見て多くの方が調査に協力してくださった。

研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

研究が好きで博士課程まで進みましたが、研究職へのこだわりはなく、民間企業に就職して研究から離れた時期がありました。研究以外の仕事をする中で「やはり研究がいちばん面白い！」と思い、いまに至ります。



鈴木 悠造 Suzuki Yuzo

森林資源化学研究領域

Q2. 影響を受けた人など

大学の指導教官です。研究課題を設定する発想力の大切さを学び、研究の面白さを知ることができました。

Q3. 研究の醍醐味は？

リグニンは、植物が進化する過程で地球上に出現した木質成分です。地球の歴史の中で、長い時間をかけて微生物はリグニンを分解できるようになりました。微生物によるリグニン分解に関する研究は、私が取り組んでいるマテリアル利用などの応用に特化した研究だけでなく、微生物の進化の軌跡をたどることができる壮大な研究だと思っています。

Q4. 若い人へ

大学の研究室から直接研究職に就く道があると思いますが、研究から離れても研究を通してできた人とのつながりを大切にし、チャンスがきたときに動ける準備をしておくことをお勧めします。



写真1 PDC生産微生物の培養槽
化学構造の異なるさまざまなリグニン分解物を代謝して、PDCを高濃度で体内に蓄積する微生物の培養に成功した。

木材の主要成分リグニンは、私たちの身近にある材料として、建材や家具材の他に、紙の原料としても広く利用されています。木材から工業的に紙をつくる工程には、木材から紙のもとになるパルプをつくる工程が含まれています。このパルプ化という工程では、化学反応を利用することで、木材が学構造がセルロースやたんぱく質など他の天然高分子と異なり、非常に複雑であるためです。

そこで森林総研では、微生物の代謝機能を利用することで複雑なリグニンの構造を、使いやすい形の単一の化合物に変化させる研究に取り組んでいます。

最初に、リグニンを化学的な方法等で微生物が食べられる大きさまで分解し、その分解物を食べた微生物の体内で構造変化（代謝）させることで単一の化合物（ポリマー原料）を製造する研究を行っています（図1）。

私たちの研究グループでは、化学構造の異なるさまざまなリグニン分解物を代謝して、2-ピロニ-4,6-ジカルボン酸（PDC）という化合物を高濃度で体内に蓄積する微生物をつくり出すことに成功しました（写真1）。このPDCという化合物は、ペットボトルの原料と同じ化学構造をも

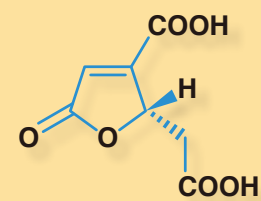
つため、現在は石油資源からつくられているプラスチックフィルムやシート、接着剤などの原料として利用できます（図2）。

新しいポリマー原料3CML

さらにリグニンの利用用途を広げるために、大学（長岡技術科学大学、東京工業大学）等と協力して、PDCに加えて3-カルボキシムコノラクトン（3CML）という化合物を製造するための研究に取り組んでいます（図2）。PDCの製造には細菌という微生物の代謝機能を利用しましたが、3CMLの製造では真菌（カビ）の仲間に分類される微生物の代謝機能を利用しています。

異なる微生物の代謝機能を利用して、リグニンから新たなバイオマスプラスチックの原料になるさまざまな化合物の製造を目指しています。

真菌による中間代謝物

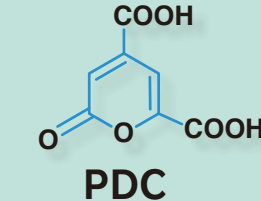


3CML

3-カルボキシムコノラクトン

新しく生産技術を開発

細菌による中間代謝物



PDC

2-ピロニ-4,6-ジカルボン酸



プラスチックフィルム 接着剤

図2 微生物によるリグニンの中間代謝物をポリマー原料に利用する

微生物変換で 木材からつくりだす バイオマスプラスチック

研究の森から

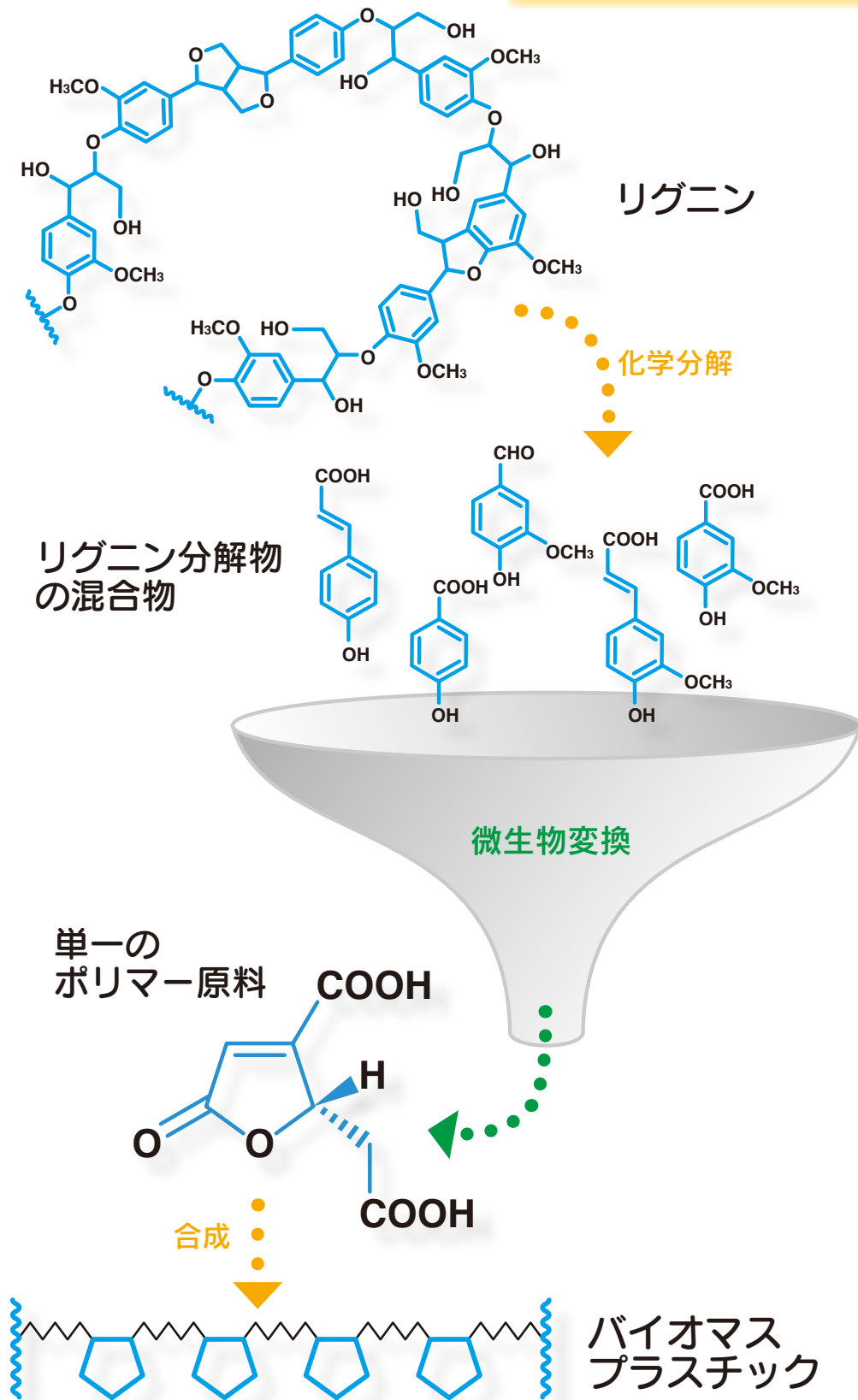


図1 微生物変換でリグニンから単一のポリマー原料をつくる

木材の主要成分リグニンは、私たちの身近にある材料として、建材や家具材の他に、紙の原料としても広く利用されています。木材から工業的に紙をつくる工程には、木材から紙のもとになるパルプをつくる工程が含まれています。このパルプ化という工程では、化学反応を利用することで、木材が

らリグニンという化合物が取り除かれます。パルプ工場では木材から取り除かれたリグニンの多くは、工場の操業に必要なエネルギーを生産するために燃料として利用されていますが、木材を効率的に利用するという考えから、より付加価値の高い材料用途への利用展開も期待されています。

微生物変換でリグニンから単一のポリマー原料をつくる

リグニンは、潜在的にはパルプ工場の廃液から大量生産できますが、実際にリグニンを製造して工業的に利用している例は、製造可能なリグニン全量の2%程度にとどまると言われています。利用が進まない原因のひとつは、リグニンの化

これまで利用の機会が少なかった森林資源にも、じつはさまざまな使い道があります。たとえば、トドマツの枝葉に多量に含まれている精油は、空気中の有害な二酸化窒素を低減させる優れた機能性を有しています。精油抽出後の枝葉の残渣も生活悪臭の消臭効果を示すなど、トドマツ枝葉は利用価値が高い素材です。針葉樹合板の製造工場の乾燥工程で発生する粘度の高い乾燥廃液にも二酸化窒素を強力に低減する効果があるため、空気浄化機能を有する製品素材として利用の可能性があります。また、放置竹林の増加が問題となつていますが、竹から得られた抽出水には大腸菌などに対する抗菌性が認められていることから、消毒資材としての竹の利用が考えられます。樹皮も現状では有効な利用例が少ないですが、機能性の成分に富むものが多いことから、これからの利用が期待されています。

ただ、未利用資源の利用には高い壁が



松井 直之 Matsui Naoyuki
森林資源化学研究領域

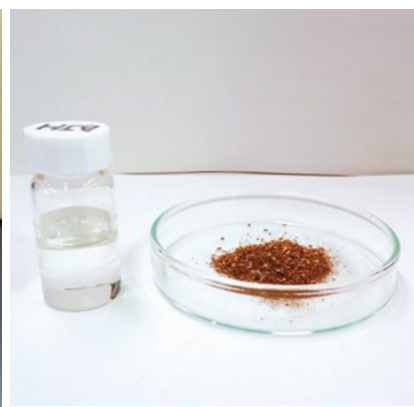
■ 未利用の森林の「お宝」を活かすには？ ■

あるのも事実です。収集・加工のコストが高くなること、天然素材であるがゆえに成分量のばらつきがあること、そしてさまざまな活性を有していても既存の安価な合成品ほど活性が強くはない場合が多いこと、などです。これらの壁を乗り越えるために、新たなアイデアや工夫、ぜひ使いたいと思わせるような優れた付加価値が求められます。

(2023年2月11日開催講座より)



スギ合板工場で発生した乾燥廃液



トドマツ枝葉から得られた精油(左)と抽出残渣粉末(右)

令和6年度 森林講座のお知らせ

7月11日(木曜日)
「木材と心理—木質空間の快適性を考える—」
本山 友衣(構造利用研究領域)

8月22日(木曜日)
「気候変動と森の病気」
升屋 勇人(きのこ・森林微生物研究領域)

9月13日(金曜日)
「野山の楽しみ：多彩なアクティビティの特徴と課題」
松浦 俊也(東北支所)

10月25日(金曜日)
「夢の技術『ゲノム編集』—樹木における現状とその利用—」
谷口 亨(森林バイオ研究センター長)

11月7日(木曜日)
「ウッドショックが残したもの—爪痕と教訓、変化の兆し—」
嶋瀬 拓也(北海道支所)

12月12日(木曜日)
「日本における林野火災の特徴と予防のための注意点」
玉井 幸治(研究ディレクター)

1月17日(金曜日)
「無花粉スギの苗を大量に増やすには？」
鶴田 燃海(樹木分子遺伝研究領域)

2月13日(木曜日)
「ヤナギを育ててカーボンニュートラルを目指す」
原山 尚徳(植物生態研究領域)

会場●多摩森林科学園 森の科学館
時間●13時15分～15時

お申込の受付は各講座開催日の前月の1日から。受付は先着順で、講座開催日の1週間前が締切となります。ご希望の講座名・郵便番号・住所・氏名・電話番号・参加希望者数をご記入の上、往復はがき、または電子メールでお申し込みください。お申込1通に対し、1講座3名までの受付とさせていただきます。最新情報はホームページをご確認ください。

◆お問い合わせ
〒193-0843 東京都八王子市廿里町1833-81
多摩森林科学園
電話番号:042-661-1121



▲森林講座申込み

夏的一般公開のお知らせ

森林総合研究所(茨城県つくば市)では、小中学校の夏休み期間に合わせ7月26日(金)に一般公開を開催します。今回は、研究成果の紹介や体験型イベントを、多数ご用意する予定です。イベント等の最新情報は、森林総合研究所のホームページでご確認ください。



昨年度の一般公開の様子

森林総合研究所プレスリリース

●きのこ原木の放射性セシウム濃度が調査区内でどのようにばらつくのかを解明—放射性セシウム濃度の予測に重要な基盤情報—

2011年に起きた東京電力福島第一原子力発電所の事故により、福島県ではいまだに、きのこ栽培用の原木生産を自粛する地域が広くあります。きのこ原木林の利用再開を将来進めていくためには、原木林の放射性セシウム濃度の予測が欠かせま



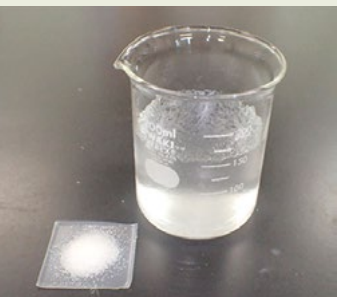
福島県田村市のきのこ原木林(2014年5月)

せん。

今回、原木の放射性セシウム濃度の指標となる当年枝(春以降に新しく伸ばした枝)の濃度について、調査区内での個体のばらつき幅を、統計モデルを使って解析しました。その結果、地域内での調査区(20×40m四方程度)でも、調査区内の個体の当年枝の放射性セシウム濃度のばらつき幅は一定とみなしてよいことがわかりました(95%予測区間の上限と下限との比が23倍程度)。これにより、調査区内のきのこ原木の放射性セシウム濃度の分布を予測するために当年枝を採取する個体数は比較的小数でよく、既往の研究例などもふまえ、5個体あればよいと判断されました。原木林が利用再開できるかどうかは、放射性セシウム濃度の調査の結果次第となります。このため、森林所有者やきのこ原木生産者の方にとって、特定の原木林が将来利用可能かどうかは重要な情報となります。今回の調査結果は、将来的な調



調査用の皿に置いたハイドロジェルベイト剤に群がるアルゼンチンアリ



殺虫剤液剤と砂糖を水に溶かし高吸水性ポリマー(左下の粉末)に吸わせて作成した毒餌剤ハイドロジェルベイト剤。



P.20



P.3



P. 3,8,14,16,18



P. 3,8,14,16,18



P. 3,8,14,16,18
20



◀持続可能な開発目標(SDGs)

森林総合研究所は、森林・林業・木材産業等の幅広い研究を通して、国連の持続可能な開発目標(SDGs)の達成に積極的に貢献しています。該当する目標と記事のページ数は、左記の通りです。

プレスリリース等の最新情報はこちらから→

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/index-r.html>



お問い合わせ
森林総合研究所
企画部 広報普及科 広報係
TEL 029-829-8372
Email kouho@ffpri.affrc.go.jp