

4月に香り成分の濃度が上昇した
富士吉田森林気象試験地の
アカマツ林（山梨県）

春になると、森の中にはさまざまな香りが漂い始めます。熱帯植物の温室の中のようなイソプレン、レモンのような柑橘系のリモネン、松やニのように針葉樹らしい α -ピネンなど。これらの森の香りはフィトンチッドとも総称され、古くから森林浴を通じて多くの人々に親しまれてきました。

森の香りは近年、私たちのからだだけでなく地球の健康も支える重要な物質として注目されつつあります。森の香りの多くは酸化されやすい物質で、日中の大気中では数分から数十分で酸化物となります。これらの酸化物は微粒子となり、その一部が水蒸気が凝結する核となり雲を増やし、雨を降らせ、地球温暖化に対して日傘のような冷却効果をもたらすと考えられています。

微粒子はまた太陽光を散乱させ、直射日光が届きにくい森の下層の葉にも光を届けて、光合成量（ CO_2 吸収量）を高めているとも考えられています。針葉樹の多くは針葉から気孔を通じて香り成分を放出させ、その放出量は、盛夏にピークとなります。しかし、全国6カ所で毎月行っている定期観測によると、3カ所の森林ではなぜか4〜5月にも香り成分の濃度が上昇しており、現在、この原因究明を進めています。

あるアカマツ林では、4月の地表面に強い香りの放出源が点在していました。春の森には、針葉以外にも地表、樹幹、生殖器官（花）等のどこかに一時的に森の香りを高めている強い放出源が存在している可能性が考えられます。春の森の香りの放出源の探索は、森の香りの年間放出量を高精度に推定する上で重要な研究テーマです。◆

5月に香り成分の濃度が上昇した鹿北流域試験地の
スギ・ヒノキ林（熊本県）

5月に香り成分の濃度が上昇した山城水文試験地の
コナラ・アカマツ林（京都府）

Forestry & Forest Products
Research Institute
No.49 2020

季刊 森林総合研究

特集●

森の香りを科学する

巻頭対談●

世界は、香りに満ちている

東京大学大学院農学生命科学研究科教授 東原 和成 × 大平 辰朗 森林資源化学研究領域長



巻頭●対談

世界は、 香りに満ちている

東京大学農学部・生物化学研究室にて
Photo by Godo Keiko

東京大学大学院農学生命科学研究科教授 **東原 和成** × **大平 辰朗** 森林資源化学研究領域長

匂い物質とその知覚について研究されている嗅覚研究の第一人者・東原和成東大教授と、
香りをはじめとする樹木の機能成分の解明に力を注ぐ大平辰朗森林資源化学研究領域長に、
「匂い」とはどのようなものなのか、幅広く「匂い」をめぐる話をして頂きました。

大平 ●東原先生が、匂いの研究をはじめたきっかけというのは？
東原 ●じつは私、原田知世さんのファンで。「時をかける少女」(大林宣彦監督)という映画を高校生のときに観て、主人公が実験室で嗅いだラベンダーの香りが引き金となって時空間をさ迷う。「香りってこんな力があるんだ」と思ったのが、そもそものはじまりで……。
大平 ●香りが、人間に何かしらの生理的な反応を引き起こすということはありますね。森林総研も、五感を通じた刺激が癒し効果につながるという研究を行っています。
東原 ●大学では建築志望だったので、空間が人間に与える影響にすごく興味があったんです。香りやフェロモンは、空間にあるものです。たとえば森林では、ある動物はここに棲んで、ある植物はここに生えてという生態系が作り上げられている。生物たちは、匂いを頼りにエサやパートナーを求め、天敵と駆け引きをしながら、棲み分けをしている。野生生物の世界は、匂いでコントロールされていて、じつは環境を作っているのは、匂いといってもいいくらいです。人間の暮らしも、五感からの信号で成り立っていて、とくに匂いが果たす役割は大きいと思っています。
大平 ●森に行くときと漂ってくる木々の香りに癒やされますね。そもそも、匂いとはどういったものなのでしょう？
東原 ●「匂い物質」は、世の中に数十万種類あるといわれています。たとえば、お茶の香りも300〜400種類ぐらいの「匂い物質」の混合で、わたしたちはそれらを全体として

CONTENTS

Forestry & Forest Products Research Institute

No.49 2020



表紙写真

(Photo by rai / iStock)

新緑の季節、森林からはさまざまな香りの成分が放出され、わたしたちの心を落ち着かせてくれる(本文8〜15ページを参照)。

巻頭●対談 世界は、 香りに満ちている

東原 和成 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

×

大平 辰朗 森林資源化学研究領域長……………3

特集●

森の香りを科学する

……………8

研究の森から●

ヒノキの香りって、どんな香り？……………14

松井 直之 (研究管理科)

木を原料にしてお酒をつくる……………16

野尻 昌信 (森林資源化学研究領域)

森林講座瓦版●

木製の樽を利用するメリット……………18

河村 文郎 (森林資源化学研究領域)

インフォメーション●……………19

プレスリリース 森林総合研究所研究報告

自然探訪●

森香る春……………20

深山 貴文 (森林防災研究領域)

特集担当●

眞柄 謙吾

大平 辰朗

編集委員●

尾崎 研一 (編集委員長)

桃原 郁夫

片岡 厚

田原 恒

井道 裕史

高梨 琢磨



<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/kikan/index.html>

▲既刊号は、上記サイトにてPDFでお読み頂けます。
二次元バーコードまたは、アドレスにてアクセスください。

季刊「森林総研」 2020 (令和2) 年6月12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。



東原 和成 (とうはら かずしげ)

1966年東京都生まれ。1989年東京大学農学部農芸化学科卒業。1993年ニューヨーク州立大学化学科博士課程修了。Ph.D. in Biological Chemistry。1998年神戸大学バイオシグナル研究センター助手等を経て2009年より東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命化学専攻生物化学研究室 教授。ERATO東原化学感覚シグナルプロジェクト研究総括。

「神社は植物の香りを含んだ、いい「気」が流れていて好きな嗅覚空間です。いい飲み屋も「気」を嗅ぎとって見つけます。」

巻頭●対談

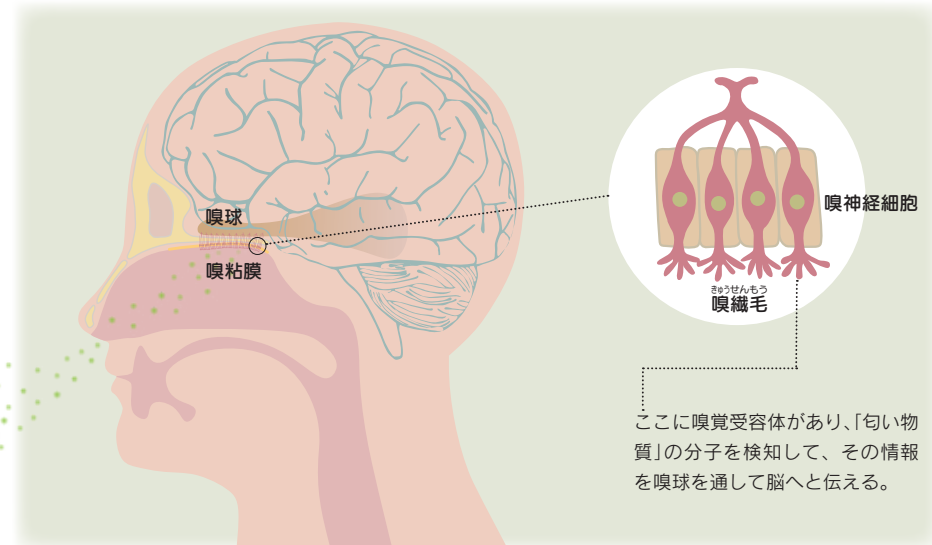
イヌはおよそ 800 種類で、ネズミが 1000 種類くらい。いちばん嗅覚受容体が多いのがアフリカゾウです。

東原 ●やはり食文化など、どういう香りを経験して育ったかは、非常に大きいですね。
大平 ●匂いの記憶ということでしょうか？
東原 ●そうですね。たとえば納豆や出汁の香りは大方の日本人にとっていい匂いですね。でも外国の人にとっては、腐臭や生臭さを感じるようです。それはやはりそうした食文化で育っていないからです。逆に日本人があまり好まないのは、たとえば香水とか、教会の香り。もちろん人によりますが、どちらかというと日本人は、教会よりお寺の匂いに安らぎを感じるようです。ヒノキの香りは、圧倒的に日本人が好みますね。
大平 ●それは昔から身近にあつて、記憶に刻まれているわけですね。お寺から漂うお香とか、どんど焼きの匂いとか。
東原 ●そうそう、お香の匂いは国によってちがいますが、日本人にとってお寺とお香のつながりは、馴染み深い匂いですね。
大平 ●森の産物でいうと、松茸の香りは日本人にとって高級感のある香りです。フィンランドでも松茸はたくさんでるそうですが、現地の方はあまり興味を示さない。これは身近にあるけど食の経験がないからでしょうか？
東原 ●日本では高級食材として子どもの頃から「これはすごく美味しくて高級なもの」と刷り込まれるわけです。そうした記憶と結びついた香りなんですね。ところが、そういう食文化のない人にとっては、あれは単なるキノコくさい、土臭い匂いに感じるわけです。逆にヨーロッパの人はトリュフはおいしいキノコで、すごくいい匂いなわけです。日本人

にはトリュフの香りは、馴染みが薄いわけではじめて嗅ぐと違和感がある。
大平 ●トリュフは豚が匂いで探すそうですね。
東原 ●なんで豚が探すかという点、トリュフの匂いに豚のフェロモンと同じ物質が入っているからなんです。それで雌豚が反応する。
大平 ●そういうことですか！
東原 ●豚のオスの唾液から出るフェロモンで、それをメスが感じるとお尻を突き出して受け入れ行動をとるんです。
大平 ●フェロモンと匂い物質というのは、どのように区分けしてるのでしょうか？
東原 ●匂い物質は、分子量的に300以下ぐらゐの低分子で、揮発して鼻の中に入ると、センサーで匂いとして感じている。フェロモンも同様ですが、ある個体が出した物質が微量でも遠くまで届いて、同種の別の個体が受け取り、ある行動あるいは生理的な変化を引き起こす。そうした画一的な作用をする物質をフェロモンと呼んでいます。また、必ずしも鼻で感知するわけでもありません。だからフェロモンは匂わなくてもいいんです。たとえば、有名なカイコガのメスがオスを引きつけるボンビコールというフェロモン物質、あれはヒトにはほとんど匂わないですね。カイコは触角でボンビコールを感じとります。
大平 ●匂いの識別は生まれたばかりの赤ちゃんでも、本能的にできるのでしょうか？
東原 ●生まれる前からできてるようです。フランスの有名な研究があつて、妊娠しているお母さんたちの実験で、フランス人がよく使うアニスをふんだんに使った料理を食べつづ

*Key Words 嗅覚受容体

「匂い物質」が鼻の中に入ると、嗅粘膜にある嗅神経細胞からでている嗅繊毛でキャッチされる。嗅繊毛の先端には、嗅覚受容体とよばれる「匂い物質」の分子を認識するタンパク質があり、センサーの役目を果たしている。さまざまな匂いを嗅ぎ分ける能力は、その生物がもっている嗅覚受容体の種類と数によって決まる。

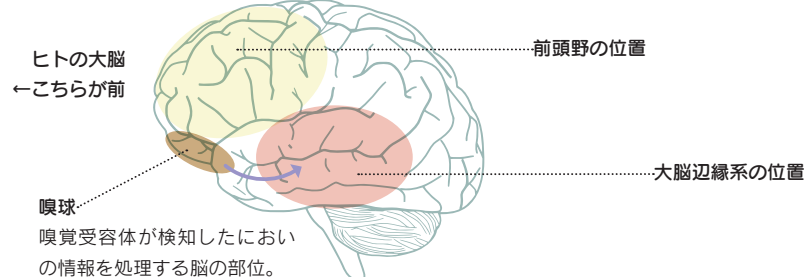


ひとつの「匂い」と感じているわけです。一つひとつの「匂い物質」は、鼻の中の嗅覚受容体*というセンサーで認識されています。人間には約400種類のセンサーがあつて、「匂い物質」とセンサーが多対多の関係で識別されます。約400種類の組み合わせで、計算上では1万とか数十万種類の「匂い」を識別できるわけですね*。その識別のシグナルが脳に伝わって認識されるわけです。
大平 ●匂いを嗅ぐと、瞬間的に記憶が呼び覚まされることがありますね。
東原 ●ヒトは脳を発達させた生物ですが、脳の根幹に辺縁系*と呼ばれるところがあります。鼻に入ってきた匂いの信号は一回神経を乗り換えるだけで辺縁系に非常に短距離で入って行きます。扁桃体や視床下部といった情動や気持ちを左右する場所に入力され、さらに記憶を司る海馬にも入る。また、前頭野*で何の匂いかを認知する。本能行動を司る辺縁系に短距離で入力されるので、瞬間的に内分泌に影響を与えて生理効果としてからだに現れるわけです。匂いを嗅ぐと昔のことを思い出すのは、海馬との結びつきですね。匂いは、脳の根幹部分で認識されるので、生理効果や記憶とストレートに結びつき、情動を変化させる、そういう力を持っているわけです。こうしたしくみが、明らかにになってきたのは、この30年ほどのことです。
大平 ●嗅覚受容体の種類数は、他の動物たとえばイヌとかはヒトより多いのですね。
東原 ●イヌはおよそ800種類で、ネズミが1000種類くらいでしょうか。いちばん嗅

覚受容体が多いのがアフリカゾウです。
大平 ●アフリカゾウ？！
東原 ●約2000種類あります。生物の中で最大ですね。アフリカゾウは非常に匂いの識別能力が高い。感度がいいというより、センサーが多い分、識別能力が上がるわけです。
大平 ●じつは私の参加している研究チームで木材の外敵のシロアリがどこにいるか特定するのに、シロアリ探知犬を使つて説明しようという研究を今年から始めたんです。イヌは、シロアリのいるところに、すぐ反応するんです。あれは、イヌにとってはシロアリがエサとか、遊びとかに結びつくのでしょうか？
東原 ●おそらく、それは麻薬探知犬と同じで、ハンドラー（犬を扱う飼い主）との信頼関係ですね。シロアリの匂いを覚えて、それを見つけると飼い主と遊んでもらえる、ご褒美をもらえる。その喜びですね。そういうトレーニングをするわけです。
大平 ●何回か試験したのですが、イヌがここにシロアリがいるといつても、我々人間にはまったく匂わないんですよ。それはやはりセンサーの数の違いでしょうか。
東原 ●それもですが、イヌは嗅上皮自体が人間より数十倍広くて、さらに嗅神経細胞から出ている嗅繊毛が太いんです。なので嗅覚受容体の密度が高くなっているのかなと。
大平 ●最近アロマがブームで、国産材の精油を見直そうとか、海外からもいろいろ輸入されてくる中で、日本人が好きな香り、他の国の方が好きな香りというのがそれぞれがうみたいですね。

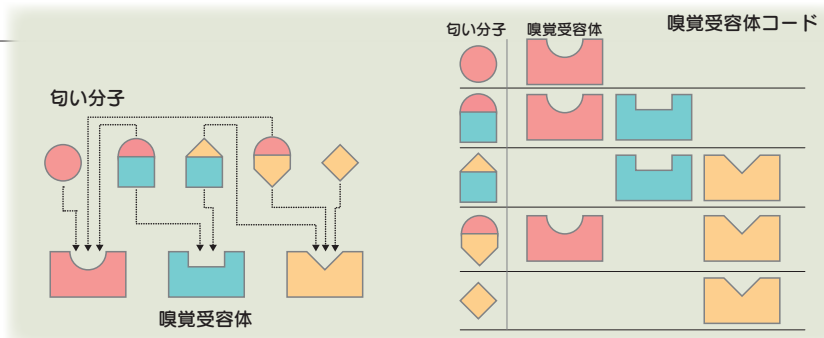
*Key Words 前頭野と辺縁系

前頭野は知能や理性など思考を司り、情動とのバランスをとる脳部位と考えられている。哺乳類で大きく進化し、とくにヒトでは脳の30%ほどを占めることから、ヒトをヒトたらしめている中枢といえる。それに対して、脳辺縁系には本能や情動などを司る扁桃体、視床下部、海馬などがあり、ホルモンを分泌する内分泌系や内臓機能を調節する自律神経系に直接働きかける。



*Key Words 「匂い」の識別

「匂い物質」の分子と嗅覚受容体との関係は、図のように、複数の匂い分子が1つの嗅覚受容体で検知される一方、1つの匂い分子を複数の嗅覚受容体で検知するという、多対多の関係となっている。1つの匂い分子が、いくつかの嗅覚受容体によって検知された信号の組み合わせを「嗅覚受容体コード」といい、そのコードごとにひとつの「匂い」として認識される。ヒトでは嗅覚受容体が400種類ほどあるので、その組み合わせは、数十万種類の匂い物質を嗅ぎ分けるのに十分な能力を持っている。





古い本は、バニラの匂い

生物化学研究室の初代教授がビタミンB1を発見した鈴木梅太郎先生で、先生の古い本の匂いを嗅ぐと、バニラの香りがした。調べるとバニラの香り成分のバニリンが検出される。木にはフェノールやベンゼン系の物質が含まれていて、それが長い年月をかけてバニラの香りを作りだす。ワイン樽なども、樽木が熟成とともにバニラなど甘い香りを作りだし、ワインに香りがつくと考えられる。

大平 辰朗（おおひら たつろう）

1963年愛知県生まれ。静岡大学農学部林産学科卒業。林野庁入庁、林業試験場林産化学部研究員、森林総合研究所生物機能開発部主任研究官、同所樹木抽出成分研究室室長、同所森林資源化学研究領域長、関西支所長、現在に至る。農学博士（筑波大学）。東京大学、名古屋大学大学院非常勤講師。専門分野：天然物化学、バイオマス化学。植物由来の生物活性物質に関する研究に従事。



「何気ない生活の中で体験する香りは「ときめき」や「安らぎ」などを感じさせてくれ、平凡な毎日のアクセントになっています。」



巻頭●対談

温泉は、長い時間をかけて雨水が土壌にしみこんだものなので、そこに木由来の物質があってあたりまえなのでしょうね。

けた母親と、全くアニスを食べなかった母親とで比べると、アニスを食べた母親から生まれた子どもは、生まれた後にアニスの香りを嗅がせても嫌がらないけれど、アニスを食べなかった母親から生まれた子どもは、アニスの香りを嫌がるそうです。胎児の時からお母さんがどういふものを食べているかを記憶しているということですね。で、生まれるとお母さんの母乳の記憶を持つ。なので、別の母親の母乳と自分の母親の母乳を与えて選べると母親の母乳を選ぶそうです。

大平●匂いは奥深いですね。現代社会において人間は、あまり匂いを意識しなくなったと言われるけれども、じつは無意識に匂いが大きな影響を与えているのでしょうか。

東原●ありますね。植物の匂いも新緑の季節でうわあーっと出ない限りは、あんまり意識しないですが、植物の匂いはふだんからそこら中にあるわけで、世界は香りに満ちています。認知まではされないけれど、検知はしている。鼻には情報が入ってきています。だから実験で完全に匂いを遮断しちゃうと、そのことに気づいて、非常に不安感を感じるんです。

調香師さんとか匂いを嗅ぎつつける仕事をする人は、鼻が疲れてくると匂いがわからなくなる。そんなとき彼らが鼻をリセットするためにするのが、自分の匂いを嗅ぐことなんです。これで元に戻すんです。自分の匂いなんてそんなに匂わない。でも、じつはいっぱい匂いが出てるんですよ。人って何気なく鼻をこすることがありますね。あれも、自分の匂いを嗅いでリラックスしているんです。

大平●質が変わるというのは、物質は同じだけれどそれを受ける側のパターンが変わる？

東原●そうですね。たとえばジャスミンの匂いに含まれる香りにインドールというのがありますが、あれは薄いとジャスミンらしい香りですが、濃くなると動物のフンの匂いになります。それは受容体のパターンが、変化することで、匂いの質がちがうものとして認識されるということなわけです。

大平●森林などを散策すると、木だけじゃなくて土とか苔とかいろんなものの匂いがありますよね。これまで数十カ所の森林の香りを調べてきましたが、検出されるものは葉から出ているもの以外にたくさんあって、土の香りとか、腐葉土の香りとかいろんな微生物も出していて、BVOC*といいますが……。

アンケート調査によると、日本人はヒノキの香りが好きで、これは身近にあったということも大きいのでしょうか。ヒノキ風呂とか桶とか身近に使ってきましたから。

東原●そう、記憶ですね。いい記憶とやはり結びついている。ヒノキの匂いを嗅ぎながら温泉に入ってリラックスして気持ちよくなるという刷り込みもあるのだと思います。

大平●温泉の成分を調べていくとなんと、その周りがある木々の成分が微量ですが検出されたんです。温泉は、長い時間をかけて雨水が土壌にしみこんだものなので、そこに木由来の物質があってあたりまえなのでしょうね。また、静岡県沖の深層海層水を調べた先生がいて、すると富士山麓のスギの成分が含まれていたそうです。

大平●そういうことなんだ！

東原●自分の匂いを嗅ぐと、安心するんです。科学的な根拠があるわけではないんだけど。

大平●先生の発見かと思いました。

東原●いやいや（笑）。匂わなくても無意識のうちにいろんな匂いの信号は入っているということですね。

大平●一定の値を超えたものと超えないもので反応がちがうということでしょうか。

東原●まず無意識に検知している。その次の段階としてなんか匂うけれどなんの匂いかわからない。さらに濃くなると、たとえばカレーの匂いだとか、認知する、そういういくつかの段階に分かれますね。

大平●ものすごく強い匂いとそれが薄まった時のほわっとした匂いがありますよね。その濃度も関係あるんですか？ たとえば、犬はものすごく嗅覚が良くて、強い匂いでも弱い匂いでも全然平気なわけですよ。

東原●探知犬とかは、薄い匂いと濃い匂いの両方覚えさせているんです。薄い匂いだけだと、濃い匂いは検知できなかったりする。なぜかというと、味覚は、濃くても薄くても甘いものは甘い。甘みのセンサーは一種類しかないからです。でも、匂いの場合には数百種類あって、その組み合わせで認識しています。そうすると、濃度によってセンサーが受け取るパターンが違ってきます。だから匂いの質も変わる。つまり匂いは薄い時と濃い時とは、質が変わるんです。それで麻薬探知犬には、麻薬の匂いの濃度を変えて、いろんなパターンで覚えさせるわけです。

東原●ミネラルウォーターの中にも何か検出されるんですか、そうした匂い物質が？

大平●可能性はあると思います。いまの話がまさにその証明になると思うんです。

東原●非常に微量かもしれませんが、どこにいてもわたしたちの暮らしは、そうした樹木の香りで満たされているということですね。

大平●針葉樹は、テルペン類が多い。広葉樹は炭化水素系のものが多いかな。主となる物質がそれぞれ異なっています。日本は木材でお椀を作ったり、割り箸を作ったり、クロモジで爪楊枝を作ったり。醤油や味噌などの調味料やお酒など、木材で作った樽を使って作ってきた。

東原●当然、なんらかの香りが影響を与えますよね。

大平●森林総研の最近の研究では、木材を使った空気の浄化や、木材そのものからお酒を作るといような研究もやっています。

東原●それは、面白いですね。樹木にはそれぞれに特徴的な成分が含まれていますから、さまざまな面で活用できるでしょうね。

匂い物質ですが、そうした樹木たちが持っているさまざまな成分は、文明を支えてきた貴重な遺伝資源ですね。それらのさらなる解明はとても重要な研究です。最近目は先の成果ばかりを求める風潮も強いですが、森林総研にはぜひ長期的な視点で、環境問題や、森林、農業といった分野に貢献できるような基礎研究の場をしっかりと維持してもらえと心強いと思っています。

◎東原和成先生の
の本



左から

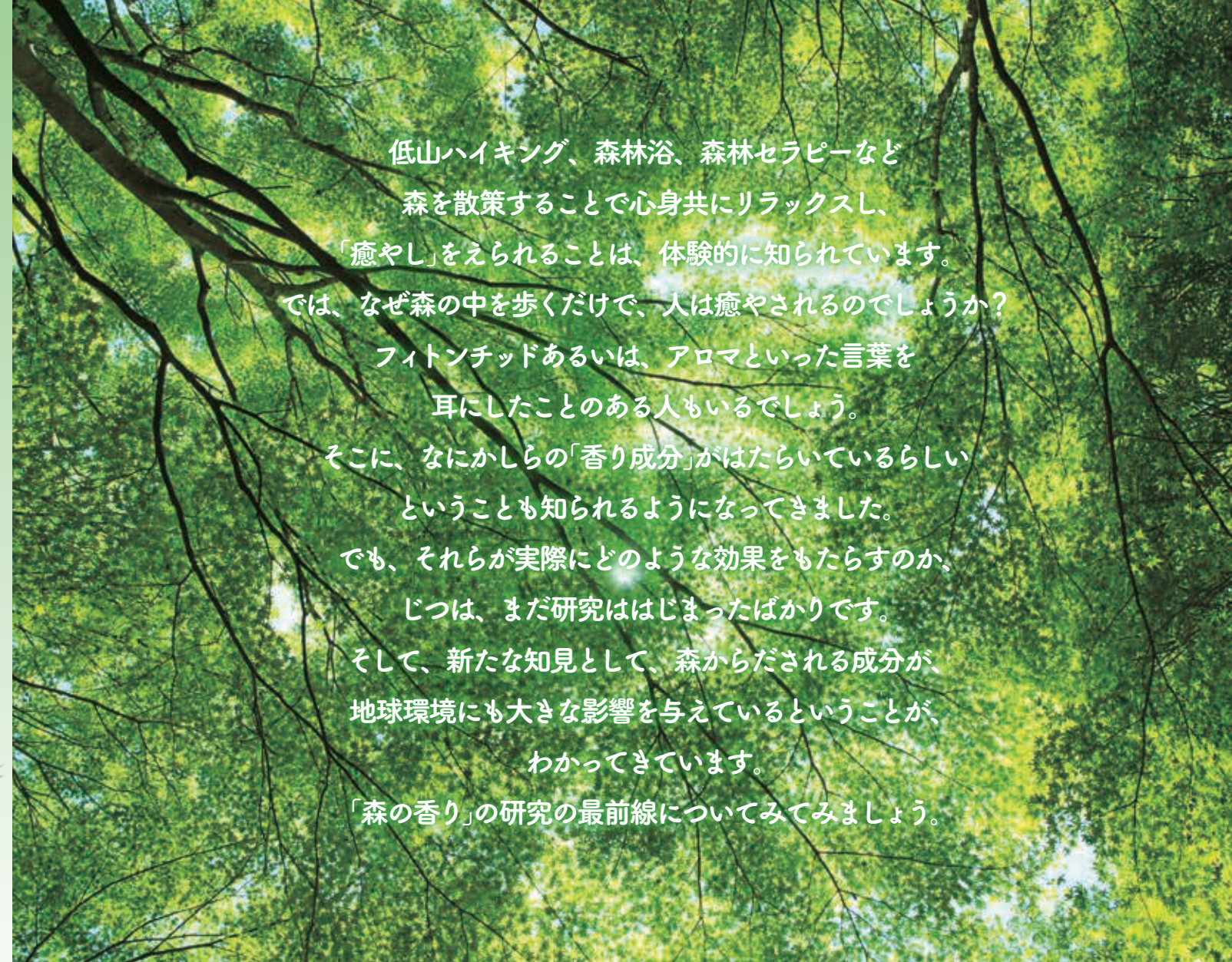
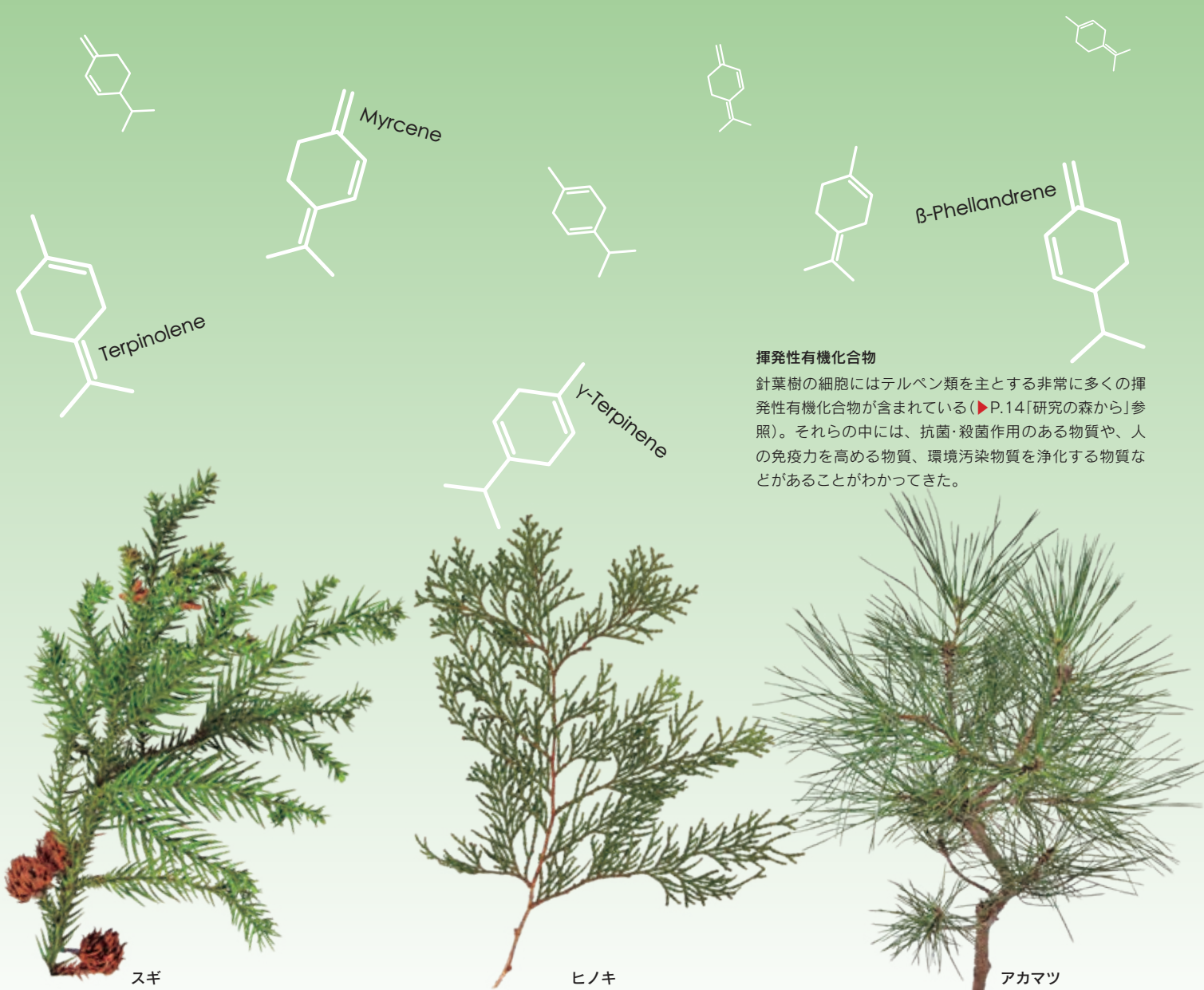
『化学受容の科学』(化学同人)

『生きものたちをつなぐ「かおり」』(共著 フレグランスジャーナル社)

『ワインの香り』(共著 虹有社)

*Key Words BVOC(生物起源揮発性有機化合物)

Biogenic Volatile Organic Compound の略で、常温で揮発する有機化合物のこと。近年の研究では、森林をはじめとして多くの植物がBVOCを放出していることがわかっていく。また、海や土壌、人為的な発生もあり、地球規模での環境問題への影響が研究・解明されつつある。



低山ハイキング、森林浴、森林セラピーなど森を散策することで心身共にリラックスし、「癒やし」をえられることは、体験的に知られています。では、なぜ森の中を歩くだけで、人は癒やされるのでしょうか？

フィトンチッドあるいは、アロマといった言葉を耳にしたことのある人もいるでしょう。

そこに、なにかしらの「香り成分」がはたらいているらしいということも知られるようになってきました。

でも、それらが実際にどのような効果をもたらすのか、じつは、まだ研究ははじまったばかりです。

そして、新たな知見として、森からだされる成分が、地球環境にも大きな影響を与えているということが、わかってきています。

「森の香り」の研究の最前線についてみてみましょう。

新緑の季節の森林の心地よさは、だれしもがいちどは味わったことがあるのではないのでしょうか？ 木漏れ日や新緑の色彩の美しさと相まって、さわやかな風にのった樹木の香りが、自然と心をリラックスさせてくれます。

この「森林の香り」は、樹木たちが放出している化学物質(揮発性有機化合物)によるものであることがわかっています。

「森林の香り」を構成する化学物質は、樹木等を水蒸気で蒸留することで液体として回収できます。その液体は「精油」(エッセンシャルオイル)と呼ばれ、香り(アロマ)の元となっています。精油の香りは私たちを癒やしてくれますが、好きな香りを用いることで心身の健全化を図る行為をアロマセラピー(香り療法)と呼んでいます。

この「森林の香り」は、別の表現としてフィトンチッドとも呼ばれています。

フィトンチッドは、1930年頃にロシアの生物学者ボリス・P・トーキンが発見した植物成分の抗菌作用について命名した造語で、植物を意味する「フィトン」と、殺菌するという意味の「チッド」という言葉から成り立っています。当初は殺菌作用とされていましたが、その後の研究により、フィトンチッドの有する効果は殺菌以外にも防虫、殺虫、リラックス

アロマ？ フィトンチッド？

特集●

森の香りを科学する

特集●

森の香りを科学する

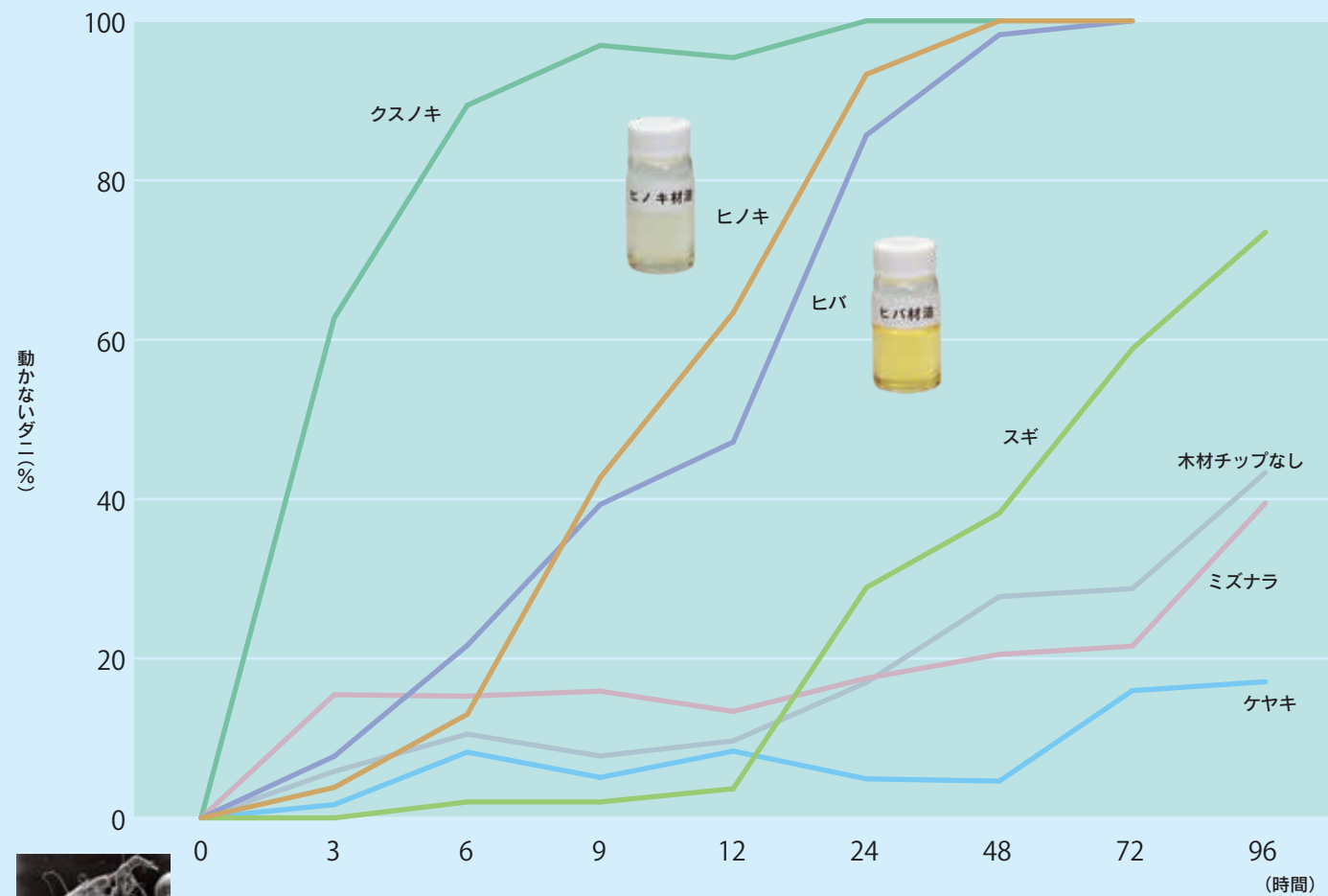


※「匂い」を意味する言葉

英語で「匂い」を表す単語には、smell、aroma、perfume、odor、fragranceなどたくさんある。日本語でも、臭い、香り、薫り、芳り、馨り、薫香、芳香、香気、臭み、臭気などの言葉があって、それぞれにイメージするところが微妙にちがう。「匂い」が生物の原体験を形成する複雑な感覚であることが、こうした表現を生みだしているのかもしれない(▶P.4)。

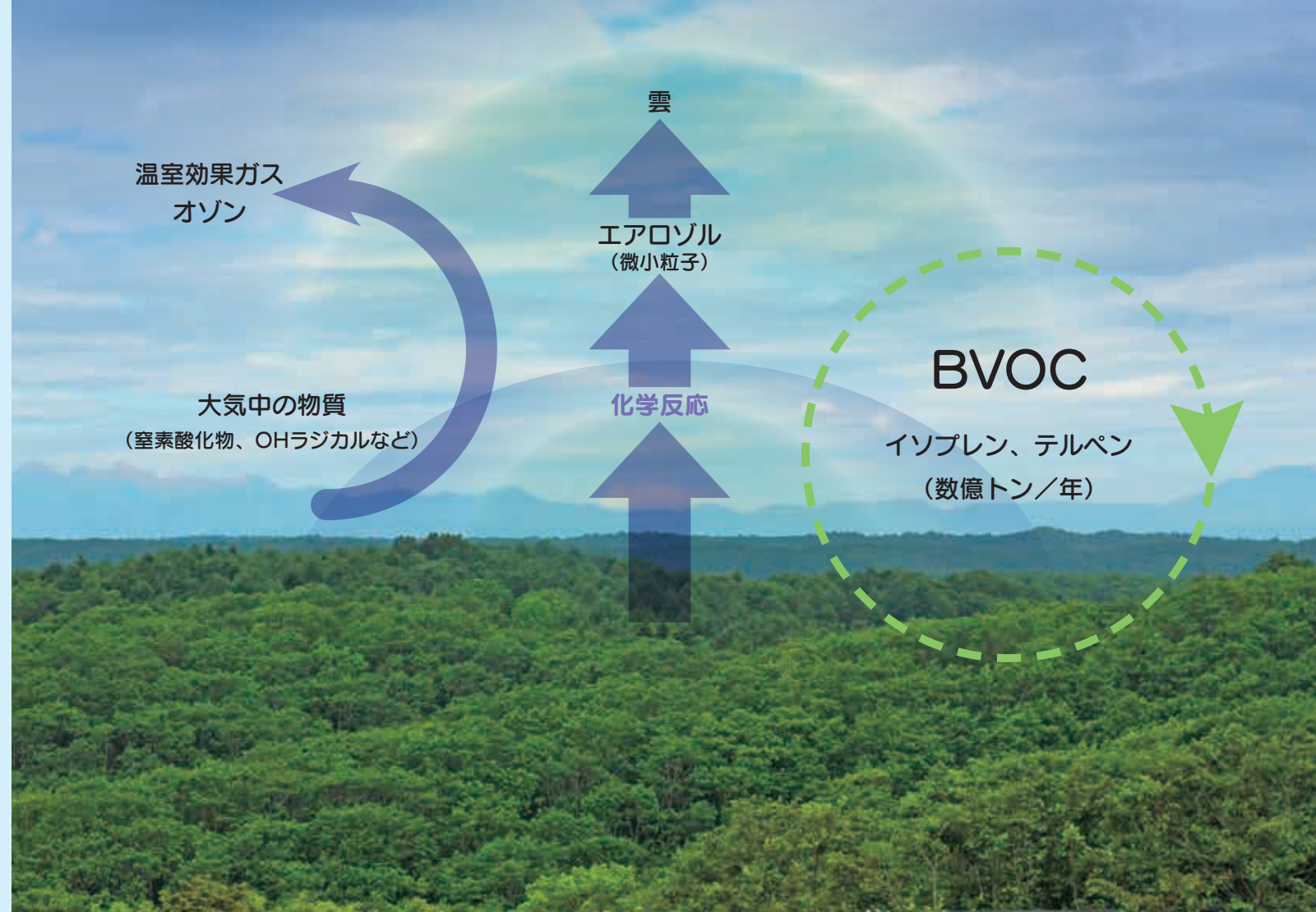


クスノキ



各樹種のチップの揮発成分によるダニの行動抑制効果

クスノキの揮発成分は、ほぼ24時間で100%のダニを動かなくする。クスノキにふくまれるモノテルペン類は、むかしから樟脳(カンフル)として防虫剤等に使われてきた。(Y.Hiramatsu and Y.Miyazaki, J.Wood Sci., 47(1), 13-17 (2001)を改変)
左の写真は実験に使われたヤケヒョウヒダニのメス (写真提供: 千葉大学 宮崎良文)。



BVOCと環境との相互作用

森林からのイソプレンやテルペンなどBVOCの放出は、地球全体で年間数億トンにのぼり、大気中の物質との化学反応で、地球環境を生み出す大きな要因となっている。

クスなど生物に何らかの作用を及ぼす揮発性有機化合物と拡大解釈されています。では、それらの揮発性有機成分とは、いったいどのようなものなのでしょう？ 最新の研究をみてみましょう。

生物起源揮発性有機化合物

生物が放出するメタン以外の揮発性有機化合物のことをBVOC(▼P.6)といいます。

揮発性有機化合物(VOC)の研究は、人為的に排出した窒素酸化物やフロンなどの物質が、光化学スモッグの生成やオゾン層の破壊、地球温暖化など、どのように地球環境に影響しているかを調べる中で研究が進められてきました。やがて、草や樹木、海藻や微生物などの生物がVOCを放出していることがわかり、それを生物起源揮発性有機化合物(BVOC)と呼ぶようになりました。

たとえば、スギやヒノキなどの針葉樹では、針葉の内部の細胞に精油が含まれており、必要に応じて気孔などから放出しています(▼P.14「研究の森から」参照)。また、材などの内部には松ヤニのような粘性を有する樹脂が含まれている細胞があります。樹脂は、植物が傷ついたときに、菌類や細菌などの微生物に冒されないように抗菌作用を発揮したり、傷をふさぐ役割を持っています。この樹脂には

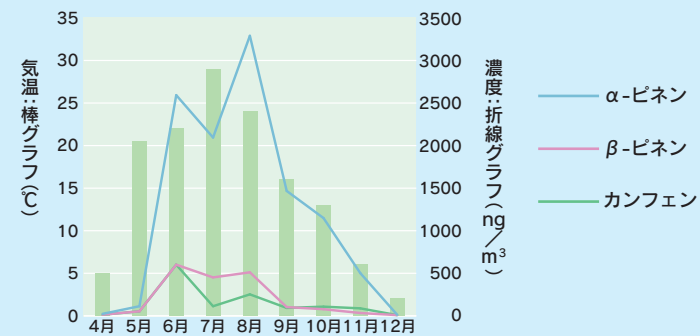
針葉中の精油のように揮発性の高い成分も含まれています。これらの揮発性の高い、すなわち常温でも気体になりやすい成分が大気中に漂い、BVOCとなっています。では、植物は、なぜ、わざわざ自分の体のまわりの環境にBVOCを放出しているのでしょうか？

生物は自分で環境をつくりだす？

樹木から得られる精油などの成分には、病気をもたらす菌類や細菌などの微生物に対する抗菌・殺菌作用があることがわかっています。また、ダニなどに対しての忌避作用があることも森林総研の研究で解明されました。

樹木は、自らつくりだした樹脂で直接的に外敵からの攻撃を防ぐとともに、BVOCなどを放出することによって、森林内を浄化しているともいえるかもしれません。

ブルーヘイズという現象があります。夏の日に遠くの山に青いモヤがかかったようにみえる現象です。これは、BVOCが大気に放出されると大気中でさまざまな反応が生じ、やがて微小粒子となり、それが太陽の光を乱反射させることで青いモヤがかかったようにみえると考えられています。この現象は、夏の暑い日に微小粒子をふやしてモヤのようにすること



樹木から放出されたBVOCの測定例(季節変動)

気温の高い夏の時期に、揮発性の高いα-ピネンなどのBVOCの濃度が高まり、気温の低い冬の時期には、ほとんど放出されていないことがわかった。アカマツ林内にて測定。
出典：大平辰朗、森林の香り、木材の香り(八十一出版)

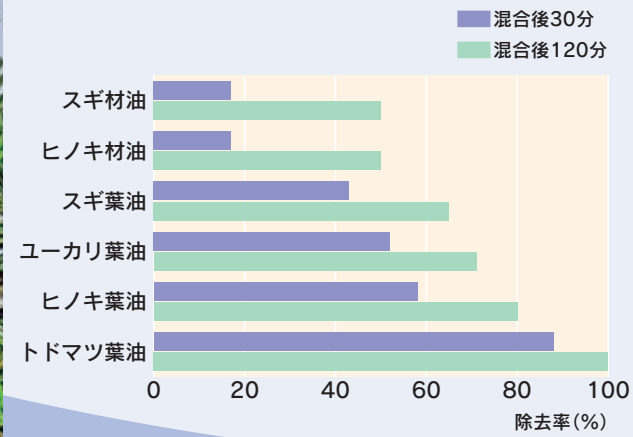
特集

森の香りを科学する



ブルーヘイズ

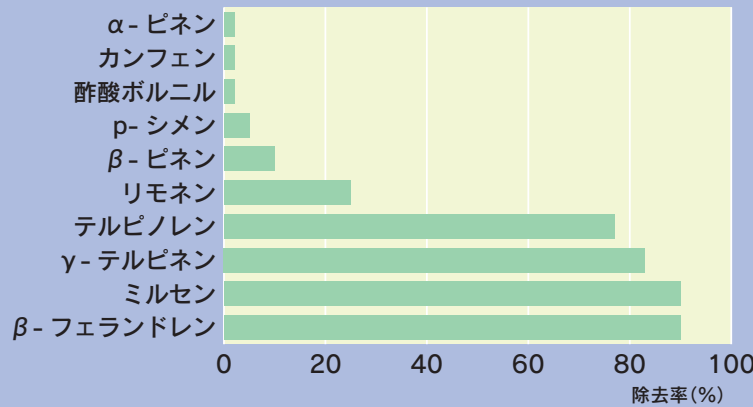
遠くの山なみが青くみえるのは、エアロゾル(微小粒子)が、太陽の光を乱反射させているためだ。



各種樹木精油の二酸化窒素浄化能

濃度 7ppm の二酸化窒素の中に、さまざまな樹種の精油を混合させたところ、グラフのような割合で二酸化窒素を除去することがわかった。

出典：大平辰朗、木材学会誌、61(3)、226-231(2015)



トドマツ精油の構成物質の二酸化窒素浄化能

さらに、二酸化窒素浄化能の高かったトドマツ精油を構成する物質のうち、どの物質の浄化能が高いかを調べたところ、テルピノレン、γ-テルピネン、ミルセン、β-フェランドレンなどの浄化能が高かった。

出典：大平辰朗、木材学会誌、61(3)、226-231(2015)

用することで、こうした樹木の精油成分のもつ機能性を活かすことができたなら、多角的な林業へ向けての新たな資源として寄与できるかもしれません。

環境問題への貢献と課題

樹木が放出するBVOCについては、まだわかっていないことがたくさんあります。ただひとつ言えることは、BVOCは、地球の環境に何らかの影響を与えているということです。たとえば、BVOCと紫外線などの化学的な反応によりエアロゾルやオゾンなどが生成することが見出されています。

地球の肺と呼ばれる熱帯林だけでなく、さまざまな森林が地球の気候を形づくる上でとても大きな役割を果たしているということが、BVOCの研究を通してしだいにみえてきています。

アロマやフィトンチッドなどは、人間の生理や微気象に影響を与えると同時に、地球規模での気候変動にも大きな影響をおよぼしているのです。

遺伝資源としての森林の多様性を保全するとともに、バイオマスとしての利用や、精油成分などの機能性を研究することで、人間はこれからも森林という関係を保ち続けることができるでしょう。



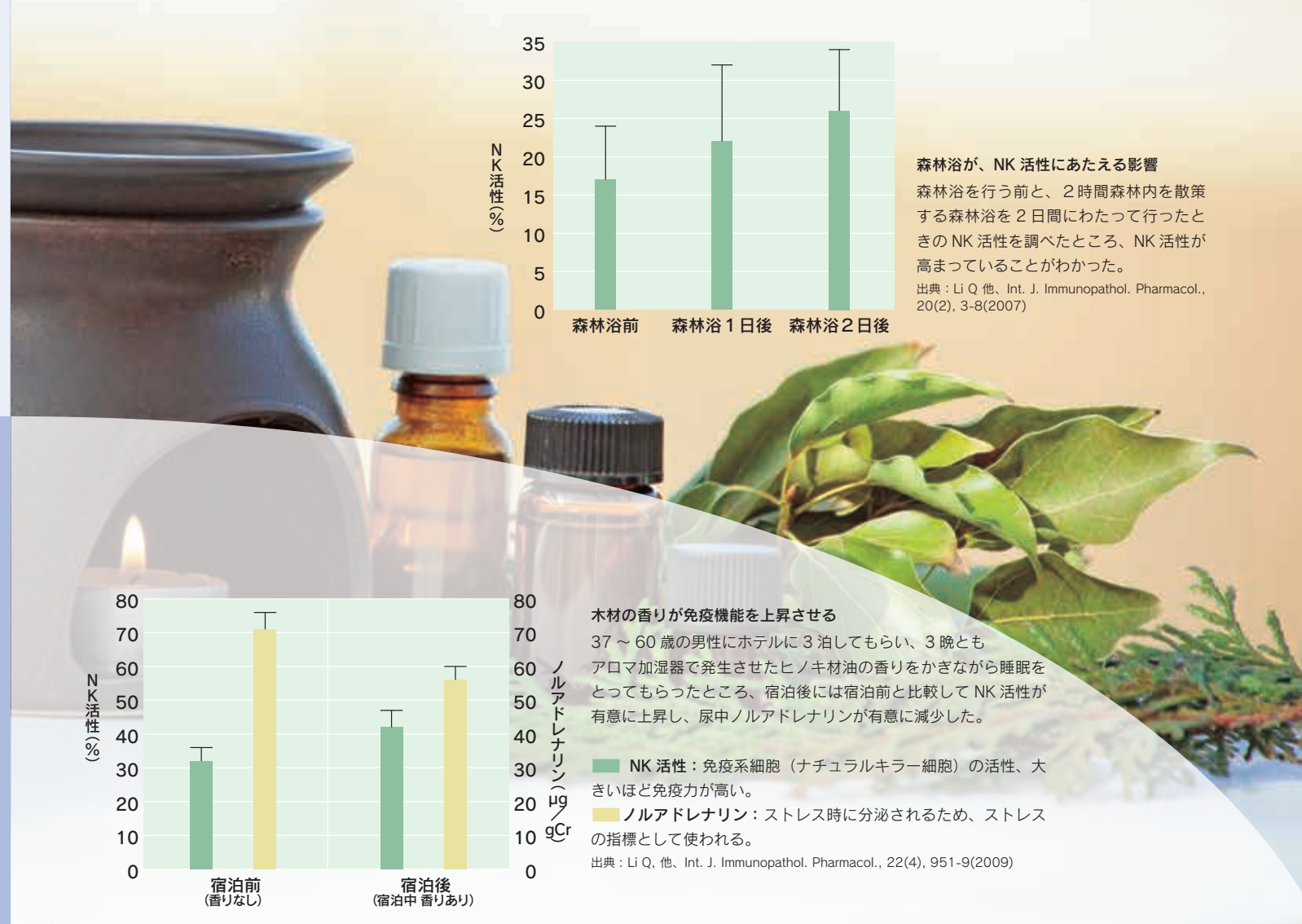
特集

森の香りを科学する



左から宿泊施設用消臭剤(エステートレーディング)、ペット用消臭剤(ユニチャーム)、空気浄化剤&花粉症対策剤(エステー)

これらの商品群はエステーグループの日本かおり研究所と(国研)森林研究・整備機構とが



で、森林内の温度が上がりにすぎないようにする日よけの役割を果たしているとも考えられます。夏でも森林の中では、涼しく感じる体験をした人も多いでしょう。

また、BVOCが日光を乱反射させることで、森林の下層の層にまで散乱光が届かせ、下層の葉の光合成を助けているとも考えられています。

しかし、BVOCは放出量の多い樹木もあれば、ほとんど放出しない樹木もあることから、なぜ植物がBVOCを放出するのか、まだそのほんとうの答えが解明されているとはいえません。これから研究に期待したいところです。

香気物質の利用と研究成果

森林の中で樹木が放出するBVOCの中には、人の免疫力を高める成分も含まれていることがわかってきています。たとえば木材の香りは、免疫力を高めるナチュラルキラー(NK)細胞を活性化させているという研究報告があります。

また、これまでの研究によって樹木から抽出した精油成分には、抗菌、防虫、抗酸化、癒し効果の他、有害・悪臭物質に対する浄化機能があることが明らかになってきています。たとえばトドマツ葉の精油などには、環境汚染物質である空素酸化物を除去する優れた効果があります。伐採後の枝葉などの未利用資源を利



精油の抽出残渣から開発した消臭剤(エステー、ダイキン、イオン)

共同開発したもので「クリアフォレスト」という共通ブランドになっている。

樹木の機能性成分の利用

樹木の樹液にふくまれる物質は、これまで伝統的にさまざまな形で利用されてきている。前号で紹介した漆液や、カエデの樹液のメーブルシロップ、パラゴムの木のラテックスなどだ。さらに、木材のセルロースを粉砕して糖化し、エタノールをつくりだす研究も進められている。バイオマスからのエタノール生産では、ブラジルのトウモロコシなどの例もあるが、森林総合研究所では、木を原料としたお酒をつくることに成功した(▶P.16「研究の森から」参照)。

研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

小学校の学級文庫に学研の「〇〇のひみつ」シリーズが揃っていて、片っ端から読みながら「世の中には不思議なことがいっぱいあるんだ!」と思ったあたり…でしょうか。高校生の頃には既に研究者志望だったと思います。

Q2. 影響を受けた本や人など

これまで出会ったすべての人から何らかの刺激を受けている、とは思っていますが、大学で研究指導を受けた先生方の存在は特別のものがあります。

Q3. 研究の魅力とは？

いままでわからなかったこと、わかっていなかったことに対して「ひょっとしてこうなんじゃないか？」とヒントらしきものが見えたとき（ほんとうに『わかった!』と言えるのはたいてい、ずいぶんと先の話ですが）。

Q4. 若い人へ

雑学というか、いろいろな知識を持っておくことは決して無駄ではないと思います。かつて聞いた助言で、新聞を全ページ隅から隅まで漏さず読んでみるといういろいろな発見がある、というものがありました。実践するのはなかなかしんどいですが、世の中のさまざまな情報に対する見え方が少し変わるかもしれません。



松井 直之 Matsui Naoyuki

研究管理科

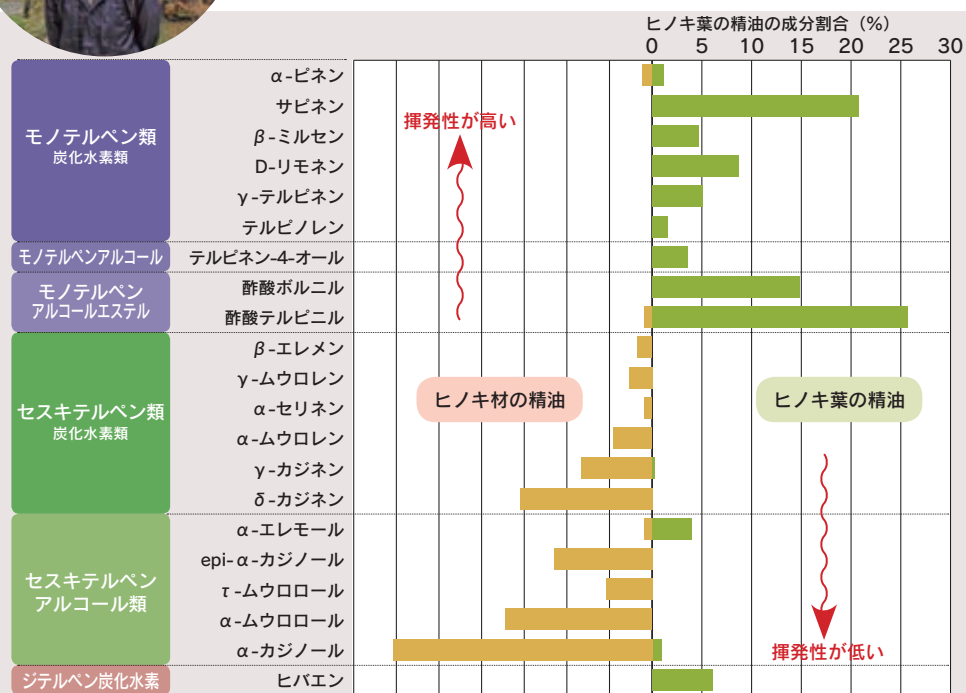


図2 ヒノキの木材と葉から得られた精油の成分比較

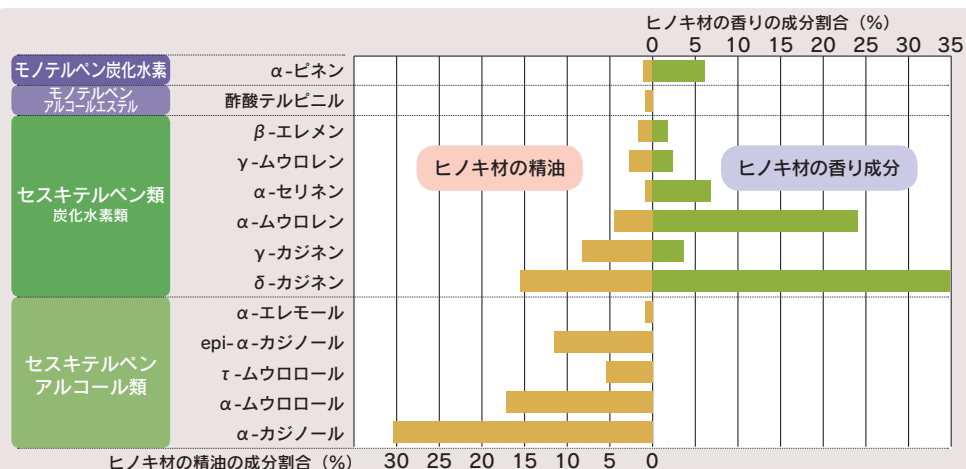


図3 ヒノキの材の精油と、香り成分との成分比較

最終的な評価は、人間の鼻
では、ヒノキの香りの主役はこの中で特に量が多い成分（δ-カジネンなど）なのでしょう。じつは、さまざまな精油の成分一つひとつに対して、同じ濃度でも人間の鼻が感じる香りの強さは大きく異なっています。ですから、たくさん含まれている成分が強い香りをもっていても必ずしもいえず、逆にほんの少量しか含まれない成分でも、香り全体に大きく影響する場合がありうるのです。

こうしたことから、機器分析技術の発達した現在でも、香りの最終的な評価は人間の鼻（嗅覚）を使って行われることが多くあるほど、香りの研究には難しい面が残されています。

状態でヒノキの香りを評価するために、におい分析用の袋にヒノキの木材を入れて密封し、その中の香りを含んだ空気を特殊な吸着管に通して香り成分のみを採取し（写真2）、その組成を分析してみました。この空気の成分をヒノキ材の精油と比較したところ（図3）、空気中に漂っている成分には揮発性の低いセスキテルペンアルコール類はほとんど含まれず、精油全体の組成とは異なっていることがわかりました。このようにヒノキの香りは精油に含まれる揮発性の高い物質がまざりあっ

ヒノキの香りって、どんな香り？

木材の香りを生み出す精油
木材、特に針葉樹材の多くには特有の香りがあります。中でも日本人に特に馴染みが深いのがヒノキの香りではないでしょうか。

木材の香りの多くは、含まれている精油によるものです。精油の主成分はテルペン類と呼ばれるグループの物質で、分子の大きさによってモノテルペン類（炭素原子10個の骨格でできている）や、セスキテルペン類（炭素原子15個の骨格でできている）などに分類されています（図1）。では、ヒノキの香りは一体どのような成分からできているのでしょうか。



写真1 ヒノキの材と葉

木材と葉の精油成分のちがい
ヒノキの木材と葉（写真1）から採取した精油の主な成分をそれぞれガスクロマトグラフ法で分離して調べた結果を（図2）に示しました。精油は非常に多くのテルペン類の混合物でできています。これらは同じヒノキから採った試料ですが、木材と葉では精油の成分の構成が、まったくといってよいほど違っていることがわかります。葉の精油は（図2）の上半分の成分が多いのに対して、木材の精油は逆に下半分の成分が多くみられました。このグラフでは、上にある成分ほど揮発性が高い、つまり、蒸発して気体になりやすい性質を持っています。

葉の精油には、揮発性の高いモノテルペン類が多くを占めており、独特のさわやかな香りを構成しています。一方、木材の精油にはモノテルペン類は少なく、分子のより大きなセスキテルペン類が主体となることで、やや落ち着いた香りとなっていることがわかります。

木材にふくまれる精油成分と香り成分
じつは、ここまで述べた成分はヒノキの精油全体についてのものです。実際にわたしたちの鼻で感じる香りの成分は、精油が空気中に揮発して漂っている状態ですので、精油そのものの成分とはややちがってきます。

そこで、実際に鼻で感じる香りに近い



写真2 ヒノキ材の香り（揮発）成分の捕集

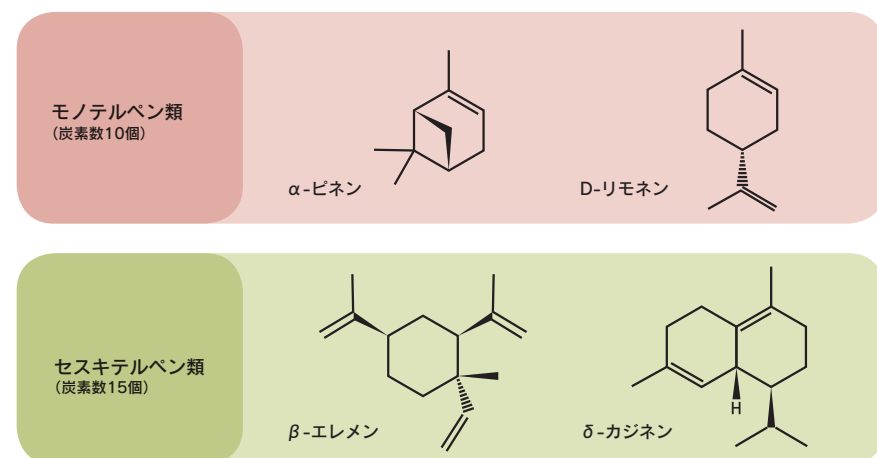


図1 精油成分（テルペン類）の例

研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

世の中に役立つモノを作りたいという思いは、ずっとありました。そして、新しいモノを作り出したいといういろいろやっているうちに研究者になっていた感じです。

Q2. 影響を受けた本や人など

大学4年生の時にお世話になった大学院の先輩です。右も左も分からない私に実験のやり方を時に厳しく指導いただき、結果が出た時のワクワク感が下地になっていると思います。

Q3. いまホットなマイテーマは？

自分が酒好きということもありますが、ここで取り上げた「木の酒」の開発は、とても魅力的なテーマだと感じています。将来、いろいろな山村にできた「木の酒蔵」めぐりがしたいと思っています。

Q4. 若い人へ

物事を不思議がること、何でそうなのか、どうしてなのか、普段からそういう思考でいることだと思います。小学生でも立派な研究者はたくさんいます。いつでも研究は開始できると思います。



野尻 昌信 Nojiri Masanobu

森林資源化学研究領域

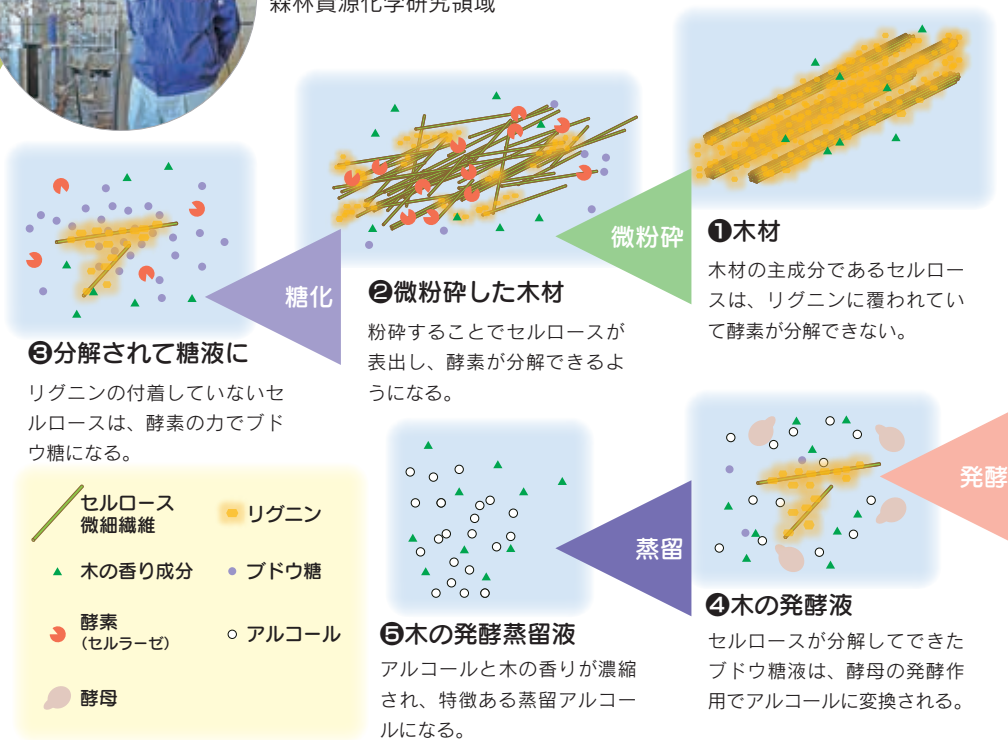


図2 木材からお酒をつくるための工程

長い間、お酒と木は相性の良い組み合わせとして親しまれてきました。ウイスキー、ブランデー、ワイン、日本酒などは、木の樽で熟成することで、木材の香りや成分を活かしたお酒になります。

そこで、この粉碎技術を活用して、木の香りや成分をダイレクトに含んだお酒ができるのではないかと考えました。

中山間地域の林業の活性化へ向けて

正直、最初から良いものができるとは考えず、試しに作ってみたというのが研究のはじまりでした。

まずスギで試作したところ、杉樽の香りのする発酵液ができました(写真1)。つぎに広葉樹のシラカンバで試作したところ、フルーティーな香りのする発酵液が得られました(写真2)、ともに実験をしていた大塚主任研究員と「これならいけるぞ」と開発への手ごたえを確認しあったことを思い出します。

すぐに、税務署での手続きに入り、試験醸造の免許を取得して、本格的に開発を進めることになりました。現在は、製造法の検討や成分の解明を進めるとともに、飲用のための安全性試験を行っています。

中山間地域の森林を活用して、地酒ならぬ地木酒を地域ブランドとして生産販売できたなら、林業の六次産業化が進み、雇用の創出など地域経済の活性化につながるにちがいありません。

木を原料にして お酒をつくる



写真1 左からスギ、スギの発酵液、スギの蒸留酒

木は、お酒の原料となる糖でできている

人類は、文明を築く中でお酒を発見し、文明とともにお酒の文化を発展させてきました。最も古いとされるお酒は、紀元前4000年頃のメソポタミア地方で作られていた果実酒といわれています。また、古代エジプトの壁画にはビールの製法などが描かれています。

日本では、アニメ映画「君の名は」で、巫女が米を噛んで造る口噛み酒が登場しますが、古代の酒造法を伝承したものと思われる。このように世界中で古くからたくさんのお酒が造られてきました。原料には穀物や果実、珍しいものでは乳などが使われてきましたが、これまで、木が使われた例はありません。

お酒のアルコールは、微生物の酵母が発酵によって糖を原料として作り出すものです。したがって、糖分を含む甘い果実は、すぐにお酒の原料となります。また穀物の主成分であるデンプンは、麦芽や唾液、麴に含まれるアミラーゼという酵素によって分解されて糖に変換されます。そのため穀物もまた、お酒の原料として選ばれてきました。

じつは、木も糖の集合体です。光合成によって二酸化炭素と水から作られた糖が結合し、セルロースという物質となり、木の半分を構成しています。しかし、木のセルロースはリグニンという成分によって硬く固められているので、容易には分解できない構造となっています。そのため、長い人類の歴史を通じて、木をお酒の原料にすることはできなかったのです。

木材を微粉化して酵素で分解する

糖はさまざまな用途で利用することができます。そこで、木のセルロースを糖という基本単位に分解して利用する研究が進められてきました。この研究を通して、木材を1μm程度にまで細かく粉碎すると、木材を構成しているセルロースをセルラーゼという酵素で容易に糖に分解できることがわかってきました。

この方法を使うと木材の香りなどが残ったままの糖を得ることができます。



図3 木のお酒ができるまで

木からつくったアルコールの特徴

- サクラ** 甘い花の香り
サクラの葉の香り
- スギ** スギの樽酒のような香り
- シラカンバ** 甘く熟した
ウイスキーのような香り

図1 樹種それぞれの香りの特徴



写真3 発酵タンク
1回に木材2kgを仕込む



写真2 木の酒のイメージ
商品化をイメージして瓶に入れてみた。

使用量こそ少ないものの、木樽や木桶は、スギ樽酒、酒類の熟成、酒類、醤油、味噌等の醸造、酒類の蒸留等、多様な用途に使用されています。

木桶で日本酒やウイスキー等を醸造すると、木桶にすみついた乳酸菌の影響でマイルドな独特の風味が得られます。神社等への献酒として菰に包まれた樽酒をよく見かけます（写真）。樽酒用のスギ樽は、奈良県吉野地方のスギの甲付材を使用したものが最も高級といわれています。甲付材は、心材（赤い部分）と辺材（白い部分）の両方を含む材で、樽は心材を内側に向くように並べて作られますので、心材から豊かな香りや成分（味）が日本酒に溶け出します。

ワインやウイスキーの熟成はローストした（内側を焼いた）オーク樽を使用するのに対し、樽酒用のスギ樽では、ローストを行いません。オーク材とは異なり、スギ心材は、セキリン・Cとアガサレジノール



河村 文郎 Kawamura Fumio
森林資源化学研究領域

木製の樽を利用するメリット

ルというポリフェノール（例 カテキン等）に似た成分を多く含んでいます。これらは熱に弱く分解しやすい性質を持っていますが、樽酒ではローストを行わないため、壊れることなく、日本酒の中に溶け出すことができます。これらの成分の効能を調べたところ、ヒトの老化防止に役立つ効果があることがわかりました。少量の飲酒であれば、日本酒自体に含まれるGABA（γ-アミノ酪酸）やエタノールによってリラックス（気分・睡眠改善）効果が得られ、スギ心材から溶け出したセキリン・Cとアガサレジノールもささやかながら老化防止に貢献します。

目には見えませんが、そんな世界がスギ樽酒の中では繰り広げられているのです。（2018年7月27日開催講座より）



▲写真：熱田神宮（名古屋市熱田区）における献酒

森林講座のお知らせ

7月15日（水曜日）
「知っている！木造建築が
おもしろくなる集成材とCLT」
平松 靖（複合材料研究領域）

9月17日（木曜日）
「ナノのちからで木材を長く美しく」
石川 敦子（木材改質研究領域）

11月6日（金曜日）
「長生きのこ「サルノコシカケ」の秘密」
服部 力（きのこ・森林微生物研究領域）

12月11日（金曜日）
「アロマでいっぱい森の土」
森下 智陽（東北支所）

1月15日（金曜日）
「乾燥に強いスギをみきわめる」
高島 有哉（林木育種センター）

2月10日（水曜日）
「木をつくり換える
——ポプラのバイオテクノロジー」
毛利 武（樹木分子遺伝研究領域）

3月5日（金曜日）
「未知なる道の世界
——森の中につくられた様々な道」
鈴木 秀典（林業工学研究領域）

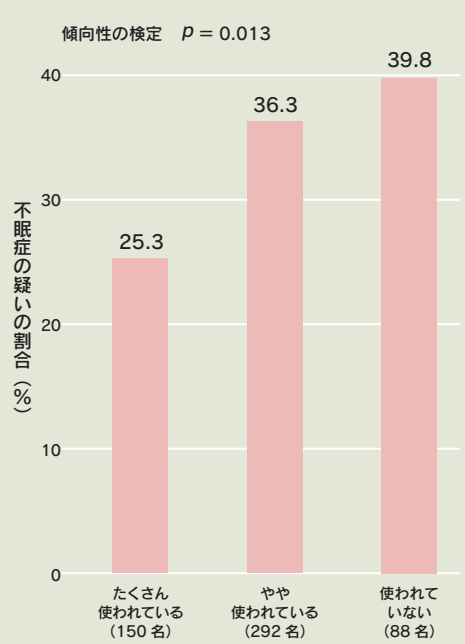
会場●多摩森林科学園 森の科学館
時間●13時15分～15時
受講料●無料

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。なお、新型コロナウイルスの感染拡大防止の観点から開催日時を変更する場合はホームページでご案内します。
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>

◆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
HP：<https://www.ffpri.affrc.go.jp/tmk/index.html>
Email：shinrinkouza@ffpri.affrc.go.jp



◀電子メール送付先
二次元バーコード



寝室内で木材・木質がどの程度使われているのか*
（家具、建具を含む） *アンケートによる回答

図1 寝室の木材・木質量の不眠症の疑いの割合

●2020年2月18日掲載
木のぬくもりあふれる寝室でよい眠りを——木材・木質の内装や家具が多い寝室では不眠症の疑いが少ない

森林総合研究所プレスリリース

下げ、副交感神経の働きを活性化することなどがこれまでの研究からわかっています。このことから、木材・木質材料に囲まれた住環境で眠ると、よい眠りが得られる可能性があると考えられます。

森林科学、睡眠医学、産業精神医学（働く人たちの心の健康を守る医学分野）の研究者の共同研究により、木材・木質に囲まれた住環境が睡眠によりかとうかを検証してみました。

2016～2017年に、茨城県と東京都の4つの職場で働いている人（男性298名、女性373名、年齢22～68歳）を対象に、睡眠計測とアンケート調査を行いました。アンケート調査では、家屋の住環境や自身の寝室、睡眠の状態、生活習慣等に関する質問に回答していただきました。アンケートを統計的に解析した結果、寝室に木材・木質材料が多いと回答した人たちは、少ないと回答した人よりも、不眠症の疑いのある人が少ないことがわかりました（図1）。さらに、寝室に木材・木質が多いと回答

した人たちは、寝室で安らぎや落ち着きを感じる割合もより高いことが明らかになりました。

睡眠を改善するためには、生活習慣を見直すことが重要ですが、そのことに加え、本研究は木材・木質材料の多い寝室、つまり住環境が睡眠を改善する可能性を示しました。

日本の森林は伐つて利用する時期にきています。住環境により多くの木材を使うことは、林業の活性化ばかりでなく人びとの健康増進にもつながることが期待されます。

森林総合研究所研究報告

▼論文
人口減少社会における国内林業の将来見通し
田村 和也

集約的に管理されたスギ高齢複層林における植栽木の成長の健全性評価
宮本 和樹、大谷 達也、酒井 敦、酒井 武、奥田 史郎

日本における2種のトリュフ（アジアクロセイウシヨウロおよびホンセイヨウシヨウロ）の生息地の土壌特性
古澤 仁美、山中 高史、木下 晃彦、仲野 翔太、野口 享太郎、小長谷 啓介

積載量が異なるフォワードを用いた長尺材集材生産性
鈴木 秀典、山口 智、宗岡 寛子、佐々木 達也、田中 良明、猪俣 雄太、伊藤 崇之、毛綱 昌弘、上田 明良



◀森林総合研究所研究報告
Vol. 19 No. 1（通巻453号）
2020年3月
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/453/index.htm>

瀧 誠志郎、上村 巧、有水 賢吾、吉田 智佳史、山口 浩和、中澤 昌彦、陣川 雅樹、関子 光太郎
製材品の曲げ強度における寸法効果パラメータの検討
井道 裕史、加藤 英雄、長尾 博文

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、国連の持続的な開発目標（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。

