ISSN 1348-9828

平成20年版

研究成果選集

2008

独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

は　じ　め　に

独立行政法人森林総合研究所「平成 20 年版研究成果選集」をお届けいたします。

森林総合研究所は平成 17 年に百周年を迎え、今後の長期的な方針として、ミッションステートメント「森林・林業・木材産業に係わる研究を通じて、豊かで多様な森林の恵みを生かした循環型社会の形成に努め、人類の持続可能な発展に寄与します」を公表いたしました。

平成 18 年度からは、第 2 期の中期計画 * に入り、より一層の開発研究の重点化とともに、わが国の科学技術の発展と技術立国への貢献として、基礎研究の分野も明確に設定しました。さらに平成 19 年には林木育種センターと統合し、育種事業との連携を強化しました。また、平成 20 年には緑資源機構の事業の一部を経過措置法人として継承しました。

森林総合研究所の研究の中でも、開発研究においては、地球温暖化、国民の安全・安心・快適、新たな林業・木材利用の問題の 3 つの重点分野をとりあげ、川上から川下までを一貫する方向で問題解決に向けた体系としています。

開発研究の重点分野
「地球温暖化対策に向けた研究」
「森林と木材による安全・安心・快適な生活環境の創出に向けた研究」
「社会情勢変化に対応した新たな林業・木材利用に関する研究」
基礎研究の重点分野
「新素材開発に向けた森林生物資源の機能解明」
「森林生態系の構造と機能の解明」

これらの重点分野の下には、さらに 12 の重点課題を設定し、研究を推進しております。研究所においては、毎年実施する重点課題推進会議において各重点課題の進捗状況を点検し、重点課題評価会議において外部評価委員による評価を受けたうえで、主要な成果を抽出し、研究成果選集としてとりまとめております。今回は平成 20 年 3 月までの研究成果をとりまとめ、平成 20 年版として発行しました。目次には表題と概要を掲載するとともに、研究成果ごとに見開き 1 ページで概要を解説いたしております。専門用語につきましては、巻末に用語解説としてとりまとめております。できるだけ簡潔な言葉を用いるように努めているつもりですが、ある程度は専門的な表現が必要なことはご容赦いただきたいと存じます。皆様の参考になれば幸いと存じます。

2008 年 7 月

独立行政法人森林総合研究所　理事長　鈴木和夫

* 中期計画の詳細は、http://ss.ffpri.affrc.go.jp/dokohyo/ckeikak-18.pdf をご覧下さい。

森林総合研究所　平成 20 年版　研究成果選集

目　次

重点分野　アア　地球温暖化対策に向けた研究

アア a 森林への温暖化影響予測及び二酸化炭素吸収源の評価・活用技術の開発

アジアにおけるタワーフラックス観測サイトの現状分析と観測精度向上の取り組み…… 4
地球観測の国際的な統合化の一貫として、アジア地域の 50 ヶ所以上の森林の CO_2 吸収量のタワー観測サイトの情報整備を進めるとともに、観測精度の比較・向上のために必要なポータブル観測システムを開発するなど、アジア観測網体制の強化に貢献しました。

日本の森林土壌は欧米よりも地球温暖化緩和機能が高い…… 6
大学や公立試験研究機関と連携して、全国の代表的な森林土壌で温室効果ガスであるメタンと亜酸化窒素を通年観測し、日本の森林土壌が欧米と比べてメタンの吸収量は 2 倍程度大きく、亜酸化窒素の放出量は半分以下であることを明らかにしました。

地球温暖化により白神山地の気候はブナ林に適さなくなる…… 8
地球温暖化が世界自然遺産である白神山地のブナ林に与える影響を、ブナ林の分布と気温の関係に着目して評価しました。その結果、気候シナリオ（RCM20、CCSR/NIES）による白神山地の 100 年後の気候はブナ林に適さなくなることが判明しました。

熱帯乾燥地に炭素を蓄える……10
乾燥地や塩集積地等、地球上には利用されていない土地（荒漠地）が膨大な面積を占めますが、最適な植林技術によって、熱帯域だけで人間活動による炭素排出量の 20%相当を吸収できることが分かりました。

アア b 木質バイオマスの変換・利用技術及び地域利用システムの開発

鉛電池の充電性能が改善できるリグニンを開発…… 12
鉛電池の充電性能を約 35%アップできるリグニン化合物を見い出しました。

新しい木質系材料「木材・プラスチック再生複合材」の環境 JIS 化…… 14
木質廃材と廃プラスチックとを複合させた新しい木質系材料の諸性質を明らかにすることにより、我が国で 2 番目の環境 JIS A5741:2006 の制定に貢献しました。

樹皮や合板を原料にバイオエタノールを製造する…… 16
アルカリ前処理と酵素糖化を組み合わせた手法で、樹皮が付いたままの端材や接着剤を含む合板を、スギ材と同様にバイオエタノール製造のための原料として利用できるようになりました。

オイルパーム幹の搾汁液からバイオエタノールを製造する…… 18
熱帯産未利用バイオマスであるオイルパーム幹を利用する研究開発から、その樹液がバイオエタノール製造の有力な糖原料となりうることを明らかにしました。

林地残材のエネルギー利用は経済的に成り立つか…… 20
木質バイオマスのエネルギー利用の経済性を評価したところ、チップボイラーによる熱利用が最も高く、生チップ価格が 6 ～ 8 円 / kg（A 重油が 50 円 /L 以上の場合）であれば成り立つことが分かりました。

重点分野　アイ　森林と木材による安全・安心・快適な生活環境の創出に向けた研究

アイ a 生物多様性保全技術及び野生生物等による被害対策技術の開発

小笠原諸島の外来生物管理…… 22
固有種を数多く産する海洋島の小笠原諸島は、外来生物の影響で独自の生態系が被害を受けています。外来生物の生態系への影響を解明し、外来生物制御と固有種保全に関する管理方法を提案しました。

おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの捕殺技術を開発…… 24
誘引殺菌剤の樹幹注入によって枯死予防処理したナラ類立木に、新たに開発した集合フェロモン剤や幹への穴開け処理を行い、カシノナガキクイムシを大量に誘殺する「おとり木トラップ法」を開発しました。

サルを山に帰して被害を防止、「追い上げマニュアル」を作成…… 26
里山に居着いたサルの被害を軽減するため、サルを人間の生活域から遠ざける「追い上げ」技術指針を作成し、マニュアルにまとめました。

アイｂ 水土保全機能の評価及び災害予測・被害軽減技術の開発

地下水の流れる音から山崩れの場所を予測する …… 28
山崩れ災害を防ぎ、国民の生命と生活の安全・安心を守るため、山地斜面で地下水の流れる音の強弱を探知することによって、山崩れの危険性が高い場所を特定する新たな手法を開発しました。

アイｃ 森林の保健・レクリエーション機能等の活用技術の開発

森林浴で免疫能を高め、健康な体を維持する …… 30
東京のサラリーマンに森林浴をしてもらい、健康のバロメーターであるヒト NK（ナチュラル・キラー）活性を測ったところ、旅行前より 50%以上高まり、１ヶ月後にも効果が持続するなど、森林浴の健康増進効果があることが分かりました。

アイｄ 安全で快適な住環境の創出に向けた木質資源利用技術の開発

実際の木造住宅の柱や梁はどのくらいの強度的な余裕があるか？ …… 32
木造住宅の柱や梁が、実際にどれくらいの余裕を持って使われているかは良く分かっていません。この研究では実際に建てられた木造住宅の調査を行い、新材料開発に必要な部材の要求性能値を明らかにしました。

自然エネルギーを利用した快適温熱環境住宅 …… 34
簡易な構造で低価格に製造できる自然エネルギー利用の熱・空気循環構法を開発し、建物内の各所で長期間にわたって温度を測定することでその効果を証明しました。

実大サイズの木材が衝撃力を受けたときの現象が分かった …… 36
落石防護柵や自動車用防護柵などを想定した木材の耐衝撃性を評価する装置と計測システムを開発した結果、力と変形が単調ではなく振動を生じながら増加していく様を捉え、力と変形の伝達機構が分かりました。

重点分野　アウ　社会情勢変化に対応した新たな林業・木材利用に関する研究

アウａ 林業の活力向上に向けた新たな生産技術の開発

林業経営収支予測システム（ＦＯＲＣＡＳ）の開発 …… 38
林分成長、材価評価による収入予測、伐出システムの選択及び地形条件による間伐・主伐のコスト予測を統合し、人工林の間伐から主伐までの収支を予測するパソコン用プログラム（フォーカス）を開発しました。

森林整備施策の立案・実施・評価に不可欠な県民の協力 …… 40
森林整備のために政府が支出する経費について統計分析や実態調査を行ない、2000 年以降に一部の地方自治体では県民との関わりを強めながら自ら財源を確保して森林整備施策を実施していることを明らかにしました。

アウｂ 消費動向に対応したスギ材等林産物の高度利用技術の開発

幅はぎ・台形ラミナを用いて新構造用集成材を開発 …… 42
幅はぎラミナと台形ラミナの強度評価を行うとともに、ラミナと集成材との強度関係を求め、日本農林規格（JAS）の強度基準を満たす構造用集成材が製造できることを明らかにしました。

きのこ栽培の害菌類を調べる診断キットを開発 …… 44
きのこ栽培施設に生息する菌を調べ、主な害菌の侵害力を検定し、害菌の特徴を簡便に検索出来る害菌防除に役立つ診断キットを開発しました。

高周波を活用して寸法や含水率の異なる木材を同時に乾かす …… 46
住宅建築には乾燥材が必要ですが、その種類は様々です。今後、製材工場では寸法は含水率の異なる木材を同時に乾かす必要性が高まることが予想されます。このような需要に応えられる乾燥法を開発しました。

重点分野　イア　新素材開発に向けた森林生物資源の機能解明

イア a 森林生物の生命現象の解明

遺伝子組換え技術を用いてポプラの早期開花に成功！ …… 48
ポプラの花成を促進する遺伝子や抑制する遺伝子を単離しました。遺伝子組換え技術を用いて、それらの遺伝子を制御することで、ポプラを短期間で開花させるなど、花成を自在に制御することに成功しました。

ヒラタケ属きのこ”バイリング”の分類学的位置を明らかに …… 50
2003 年ごろから日本で栽培が始まった中国の栽培きのこバイリングは、生物学的種の概念ではエリンギと同種であり、分子系統学的には中国で独自に進化した変種であることを明らかにして、種苗登録で想定される所属種の問題を解決しました。

イア b 木質系資源の機能及び特性の解明

樹木精油が持つ自律神経系調節作用が明らかに …… 52
タイワンヒノキ材油とレモンユーカリ葉油に顕著な交感神経の活動低減効果、及びヤクスギ材油とヒバ材油に顕著な活動上昇効果を見出した。

心材物質フェルギノールの蓄積と心材の水分布との関係が明らかに …… 54
心材成分フェギノールは移行材の心材に近い部位で合成され、水分の比較的少ない部位から蓄積することを明らかにしました。

重点分野　イイ　森林生態系の構造と機能の解明

イイ a 森林生態系における物質動態の解明

樹木の成長に必要な窒素を、土壌はいつ、どこで、どのくらい供給するのか？ …… 56
植物の成長や渓流水質の形成に深く関わる森林土壌中での窒素無機化量の変動を調べた結果、これまでわずかであるとされてきた冬季や下層土でも多くの窒素が無機化していることを明らかにしました。

森林土壌で水を移動させる粗大孔隙の働き …… 58
豪雨時の土壌からの水流出量を解析した結果、森林土壌中では粗大孔隙が多量の降雨を土壌の深い場所へ迅速に送る機能を持つことで、土壌の保全や養分の流出防止に大きな役割を果たしていることを明らかにしました。

化石花粉が明らかにするシベリアタイガの歴史 …… 60
シベリア南東部バイカル湖の湖底堆積物に含まれる化石花粉を調べた結果、過去 35 万年の間に 1 万年間はマツ属・トウヒ属・カラマツ属を主とするタイガが広がり、その後 10 万年間はタイガが消失するサイクルを繰り返してきたことを明らかにしました。

森林は大気中の鉛を捕捉するフィルターの効果を持っている …… 62
森林における鉛の同位体分析を行った結果、その多くが植物と土壌表層部で循環しており、森林が外部への鉛の流出を防ぎ、環境浄化に大きな役割を果たしていることを明らかにしました。

イイ b 森林生態系における生物群集の動態の解明

島々をつなぐ鳥たちの生息地ネットワーク …… 64
長期的な視点で島嶼間の繁殖個体の交流実態を解明するために、カラスバトとアカヒゲという希少種の遺伝的な変異を分析した結果、島嶼間を移動するネットワーク構造が明らかになり、保全すべき生息地を種ごとに区分できました。

アジアにおけるタワーフラックス観測サイトの現状分析と観測精度向上の取り組み

気象環境研究領域　領域長　大谷 義一
気象研究室　溝口 康子、高梨　聡、中井 裕一郎
東北支所　森林環境研究グループ　安田 幸生

背景と目的

地球温暖化を緩和する世界的な取り組みの一環として、陸域生態系の二酸化炭素吸収量観測がネットワーク化され、現在 50 を超えるアジア地域の森林サイトで、微気象観測タワーを用いた観測（タワーフラックス観測）が行われています。これらの観測成果に関する情報交換、観測に携わる研究者間での最新の情報共有、そして、政策決定者、国民や研究者などのデータユーザを想定したデータ公開に向けて、観測に関わるさまざまな情報の整備とデータ精度向上への取り組みが必要となっています。

このような背景から、森林総合研究所では、今後のデータ利用とアジアにおける観測網の展開を効率的に行うために必要な、アジア地域における観測サイトの現状分析を行うとともに、二酸化炭素吸収量観測値の信頼性を向上するための、比較観測用ポータブルフラックス測定システムを開発しました。

成　果

アジア地域のタワーフラックス観測の現状把握

わが国を含むアジア地域の森林におけるタワーフラックス観測サイトは、熱帯（ケッペンの気候区分 A）、温帯（同 C）、寒帯（同 D）の気候帯に分布し（図 1）、森林タイプとしては、常緑性と落葉性の針葉樹林および広葉樹林にあります。観測期間が 1 年以上のサイトは少なくとも 51 カ所（そのうち、10 カ所は測定終了）存在し、その多くのサイトで森林の二酸化炭素吸収量が観測されていました。その中で、温暖で夏季に多雨、冬季に乾燥する気候下で成立する温帯の常緑広葉樹林（照葉樹林）は、観測地点数が極端に少ないことがわかりました。照葉樹林はアジアを代表する森林タイプであり、今後の観測網の展開において充実が求められます。

ポータブルフラックス測定システムの開発

本研究で開発したポータブルフラックス測定システム（以下、ポータブルシステム）は、閉光路型の赤外線ガス分析計、超音波風速温度計、温度・湿度計、高速サンプリングが可能なデータロガー、赤外線ガス分析計を定時的に校正するための大気吸引経路切り替え器などで構成され、携帯ケースと一体化したことにより、タワーへの携行と設置を容易に行うことができます（図 4）。実用化に向けた最終的な性能試験に続き、実際の比較観測試験を富士吉田試験地で実施しました（図 3）。その結果、ポータブルシステムと経常のタワーフラックス観測システムによる二酸化炭素フラックス測定値の違いは 5% 以下に収まりました（図 2）。このポータブルシステムは、今後、アジア地域のサイトでの比較観測に使用され、観測精度の向上に寄与することが期待されます。

本研究は文部科学省科学技術振興調整費「次世代のアジアフラックスへの先導（平成 17-19 年度）」による成果です。この研究プロジェクトでは、タワーフラックス観測サイトの現状把握やポータブルシステムの開発のほか、農業環境技術研究所、国立環境研究所、産業技術総合研究所と連携して、アジア地域で活躍する研究者向けのトレーニングコースの開催、国際ワークショップの開催や、アジアフラックス・データベースの公開を行いました。

詳しくは、アジアフラックス web ページ http://www.asiaflux.net/ をご覧下さい。

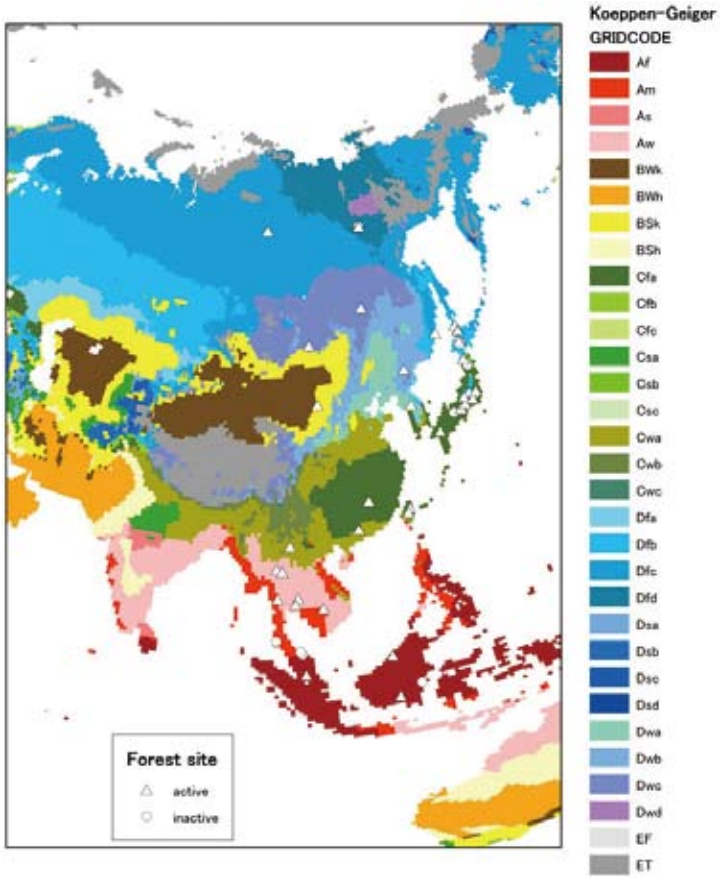


図１　ケッペンの気候区分図上に示したアジア地域の森林タワーフラックス観測サイトの分布（△は現在観測継続中のサイト、○は観測を終了したサイトをそれぞれ示す）

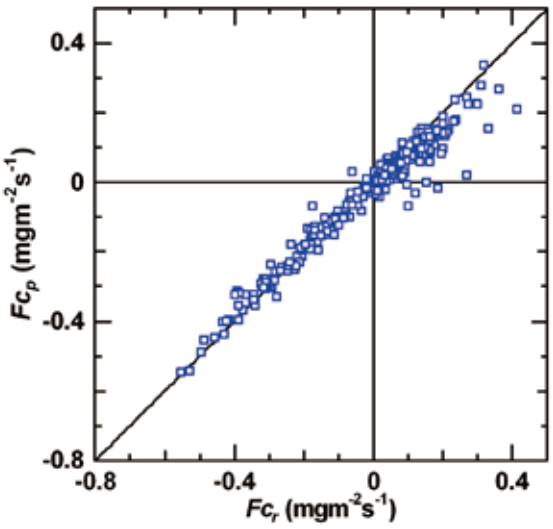


図２　経常のタワーフラックス観測システム (Fcr) とポータブルフラックス測定システム (Fcp) で観測された、二酸化炭素フラックスの比較

図３　森林総合研究所富士吉田試験地における、ポータブルフラックス測定システム (左) を用いた比較観測の様子（右側の測器は経常システムの超音波風速計など）

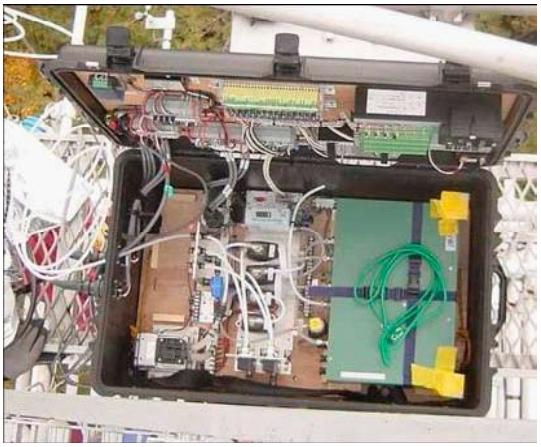


図４　富士吉田試験地にて比較観測に使用中の、本研究で開発したポータブルフラックス測定システムの分析・記録部

日本の森林土壌は欧米よりも地球温暖化緩和機能が高い

立地環境研究領域	養分動態研究室	森下 智陽
	土壌資源研究室	石塚 成宏
北海道支所	植物土壌系研究グループ	阪田 匡司
立地環境研究領域	領域長	高橋 正通
	養分動態研究室長	金子 真司

背景と目的

メタン（CH_4）と亜酸化窒素（N_2O）は、二酸化炭素（CO_2）についで地球温暖化に影響をおよぼす温室効果ガスです。したがって温暖化を予測したり、温室効果ガス排出量を削減したりするためには、これら CO_2 以外のガスについても、吸収・放出量を明らかにすることが重要です。

欧米を中心とした海外の研究から、森林土壌は微生物の働きによって CH_4 を吸収し、N_2O を放出することが明らかにされています。しかし、日本における測定例は少なくその実態が不明でした。そこで本研究では、わが国の代表的な森林を選び土壌における CH_4 吸収量と N_2O 放出量を現地で測定しました。

成　果

メタンを吸収し、亜酸化窒素を放出する日本の森林土壌

本研究は、全国に拡がる森林・林業関係の研究機関、大学との共同観測ネットワークを作り、26 地点で観測を実施しました（図１）。

CH_4 吸収速度は、黒色土で大きい特徴を示しました（図２）。黒色土はおもに火山灰から生成した土壌で、通気性が良いことが知られており大気中の CH_4 が土壌中へ流れ込みやすいことが原因と考えられます。

一方、N_2O 放出速度はスギ林土壌で大きい特徴を示しました（図３）。一般に、スギは斜面下部の比較的湿性な環境に植えられています。湿性な土壌は、N_2O を生成する微生物にとって活動しやすい環境です。そのためスギ林土壌で N_2O 放出量が大きかったものと考えられます。

高い地球温暖化緩和機能をもつ日本の森林土壌

わが国における植生や土壌毎の分布面積から、森林土壌全体の CH_4 吸収量、N_2O 放出量を見積もったところ、炭素換算で、CH_4 吸収量は 94 万炭素トン、N_2O 放出量は 44 万炭素トンとなり、差引で 50 万炭素トンの吸収と見積もられました。これは京都議定書におけるわが国の CO_2 削減目標量の中で、森林における吸収量 1300 万炭素トンの約４％に相当します。

現在の議定書のルールでは、CH_4 吸収量、N_2O 放出量を削減量として利用できませんが、日本の森林土壌は欧米などの今までの報告とくらべて、単位面積あたりの CH_4 吸収量が大きい傾向が明らかになり（表１）、高い地球温暖化緩和機能を持つことがわかりました。

CH_4 吸収、N_2O 放出に関する研究は現在も継続中であり、間伐や皆伐など森林施業がこれらの温室効果ガスの吸収や放出におよぼす影響に着目して研究を進めています。

本研究は、農林水産省先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「森林・林業・木材産業分野における温暖化防止機能の計測・評価手法の開発」および農林水産省委託プロジェクト「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価と高度対策技術の開発」による成果です。

詳しくは、Morishita T. et al.（2007）Soil Science and Plant Nutrition 53 (5): 678-691 をご覧ください。

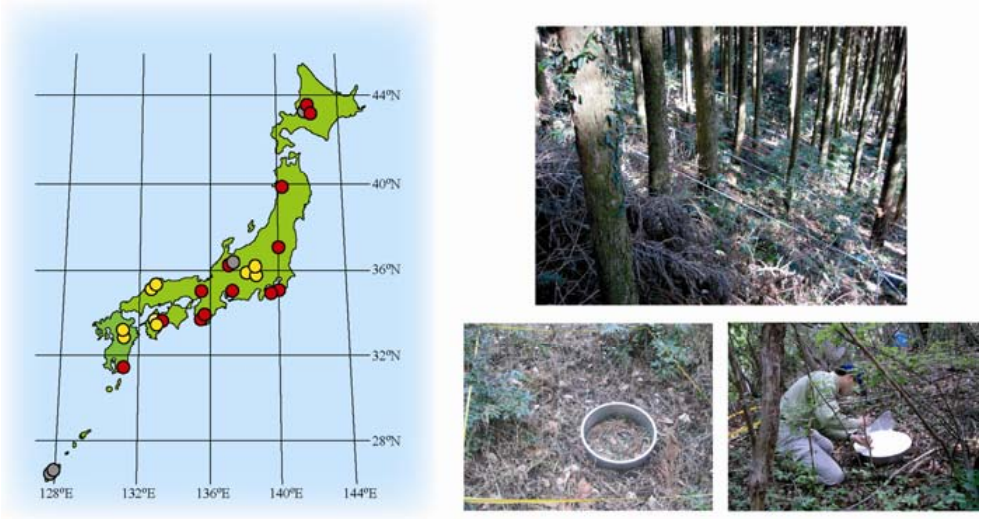


図１　左側地図は、温室効果ガス吸収・放出量の観測地点
黄が黒色土、赤が褐色森林土、灰がその他の土壌。右側写真は観測地および観測の様子。協力研究機関は、北海道、秋田、福島、富山、長野、愛知、愛媛、大分、沖縄県の森林・林業研究機関、および北大、東大、神戸大、島根大、鹿児島大の各大学

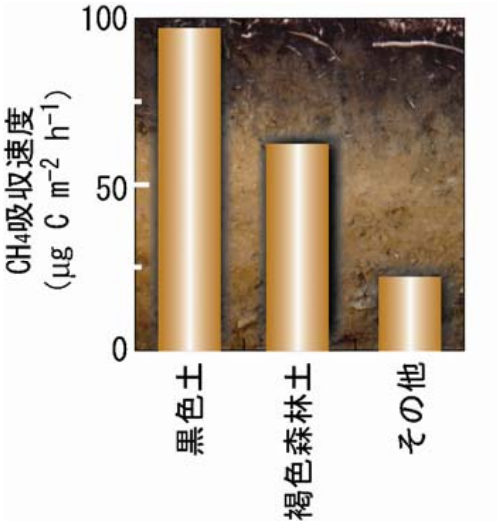


図２　日本の森林土壌における CH_4 吸収速度

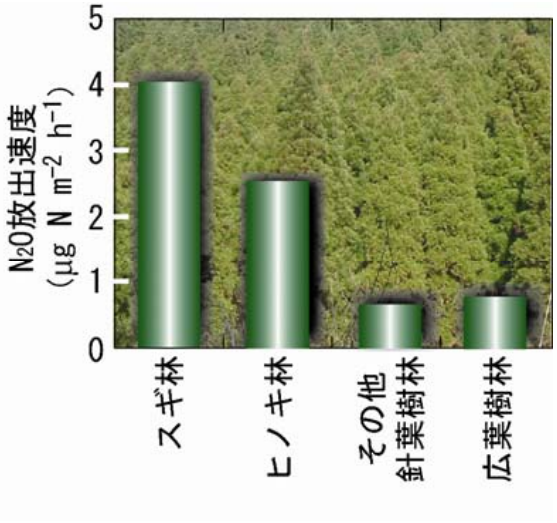


図３　日本の森林土壌における N_2O 放出速度
その他針葉樹は、主にカラマツ、トドマツ、アカマツ

表１　森林土壌における CH_4 吸収量および N_2O 放出量について欧米との比較

	CH_4吸収量	N_2O放出量
	kg/ha/年	
本研究	6.9	0.2
欧米など	3.8	1.2

「欧米」の値は、過去に欧米を中心に発表された約 30 の文献から算出した平均値

地球温暖化により白神山地の気候はブナ林に適さなくなる

北海道支所　森林育成研究グループ　松井 哲哉
植物生態研究領域　環境影響担当チーム長　田中 信行
国際農林水産業研究センター　林業領域　八木橋 勉

背景と目的

日本列島には常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、針葉樹林などの多様な天然林が分布しています。これらの森林の分布を決める要因は主に温度や積雪環境であり、温暖化影響が危惧されています。

ブナ林は、日本を代表する落葉広葉樹林です。青森県と秋田県にまたがる白神山地は、広大なブナ天然林が残っていることが評価されて世界自然遺産に登録されています。本研究ではブナ林の分布と現在の気候要因の関係を解析し分布予測モデルを作り、シミュレーションを行って温暖化が白神山地のブナ林へ与える影響を予測しました。

成　果

山岳地の気温は、標高が 100m 上昇するとともに、およそ 0.6℃ずつ低下します。よって、標高 1,000m の山頂の気温は、海岸よりも約 6℃低くなります。このような気温差のために、白神山地においても海岸付近の低標高域と山頂部分の高標高域では生えている植物の種類や生育密度が異なります。ところが温暖化が起こって、例えば、100 年後に 2.9℃～4.9℃気温が上昇すると、現在は海岸付近にある温度環境が標高約 590m ～900m にまで上昇します。

白神岳の山頂は標高 1,232m です（図１）。白神山地では現在、ブナは標高 140m から 1,120m までの広い範囲に分布しています（図２、写真１）。これはこの範囲の温度が、ブナの生育に適しているからです。このブナに適した温度条件の場所は現在、世界遺産地域の 95 %を占めています（図３上段、ブナの分布適域が赤色の部分）。しかし、温暖化が進行すると、ブナの分布適域は高標高域に移動し、大きく減少することが予測されます。例えば 2.9℃上昇時には白神岳の山頂部周辺と遺産地域外側の山頂部のみに限られてしまいます（図３下段左図）。また 4.9℃上昇時には、現在は標高が高いためブナが分布していない岩木山（標高 1,625 m）の上部を除いて分布適域は消滅してしまいます（図３下段右図）。それ以外の大部分は、ブナに適さない暖かすぎる環境となり、ミズナラ、コナラなどのナラ類やクリなどに適する環境になります。このようにして、ブナの森は、標高の低い場所から徐々に、ブナ高木の枯死後に他の樹種の更新が起こり、ナラ類やクリなどが生育する森林へと変化する可能性があります。

もちろん 100 年後に白神山地のブナ林がすべて消滅してしまうというわけではありません。ブナの寿命は 200 ～ 400 年ありますし、すでに大きく育ったブナは、ある程度の気温上昇に耐えることができます。しかし、温暖化すれば樹木の世代交代を通して徐々にブナが減少することになるでしょう。一方、標高 1,120m から山頂にかけては、現在ブナが生えておらず、低木性のミヤマナラやチシマザサの群落が成立していますが、ここへは温暖化に伴い、ブナが分布を拡大する可能性があります。

本研究は、環境省地球環境研究総合推進費（戦略研究 S-4）で行いました。

詳しくは、松井哲哉・田中信行・八木橋勉 (2007)、日本森林学会誌、89: 7-13 をご覧ください。

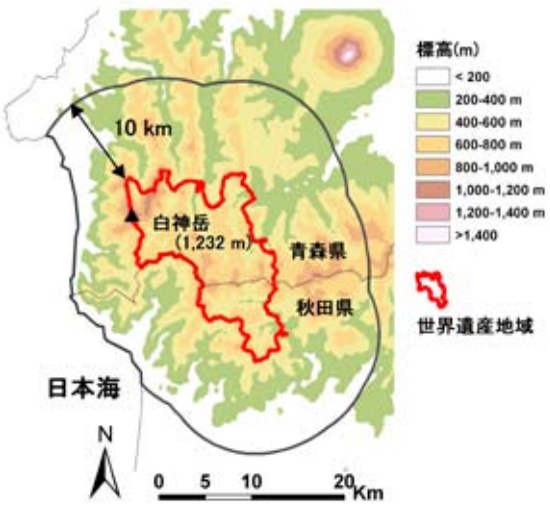


図１：調査地域とその周辺の地形
赤線で囲まれた地域は白神山地世界自然遺産地域。現地調査は遺産地域から 10Km 圏内（曲線より内側）で行った。

写真１：標高 1,120m におけるブナの分布上限個体（左端の小高木）

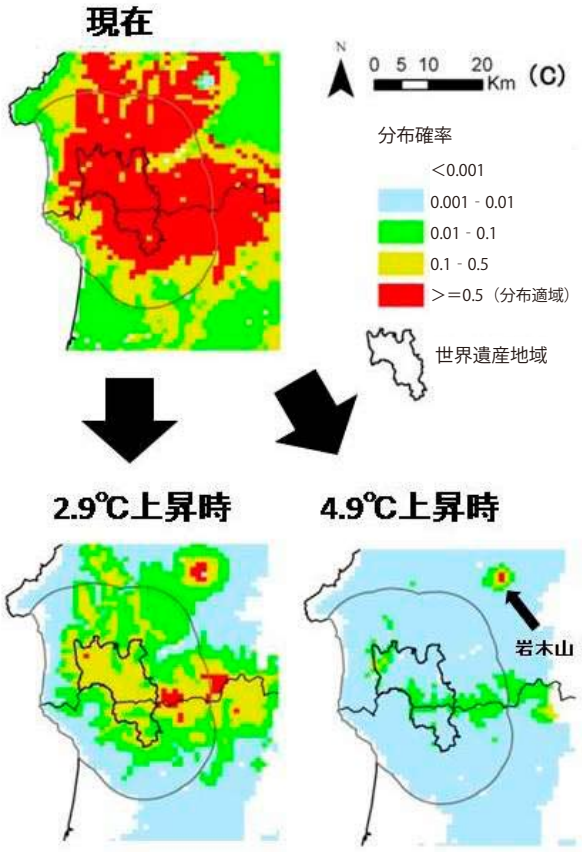


図３：ブナ林の分布確率の変化予測
赤色の地域がブナ林の分布に適した気候条件の地域である。2081-2100 年における気候変化シナリオ RCM20（2.9℃上昇）、CCSR/NIES(4.9℃上昇) に基づく予測。

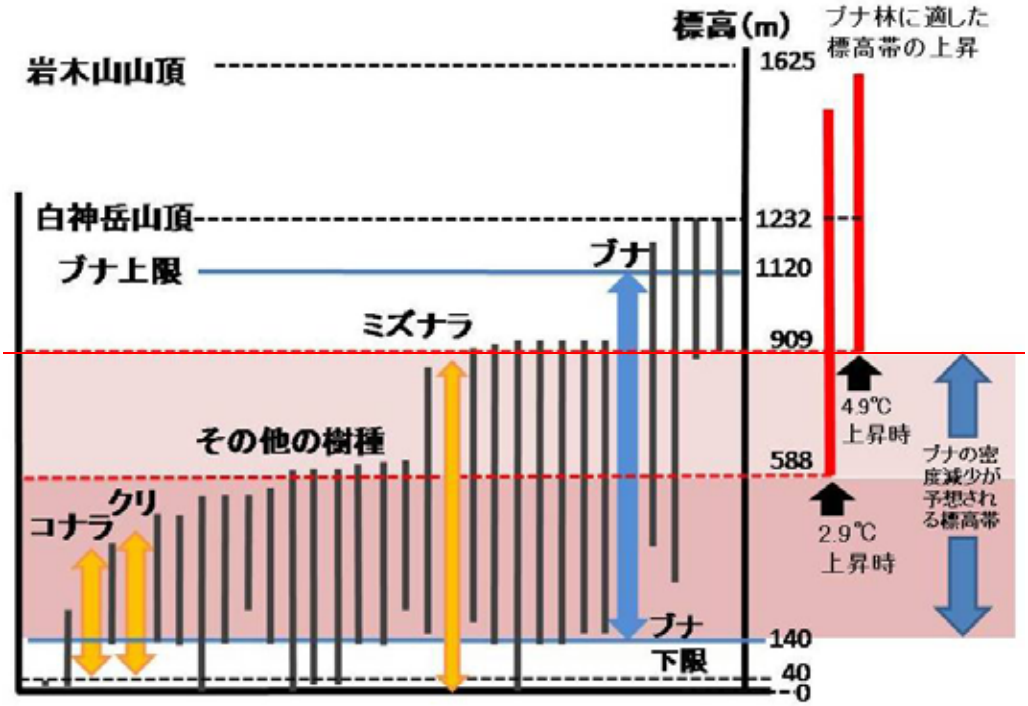


図２：調査地域における主要樹種の垂直分布と，将来のブナ林に適した標高帯の推定

熱帯乾燥地に炭素を蓄える

森林植生研究領域　領域長　田内 裕之
北海道支所　CO_2 収支担当チーム長　宇都木 玄

背景と目的

地球上には、人間が利用していない荒漠地が、乾燥・半乾燥地帯を中心に陸地面積の 30% 以上あります。その多くの原植生は森林でしたが、過剰な農耕や放牧などによって土地が疲弊したため、植生が極めて貧弱な荒漠地へと変化したものです（砂漠化現象）。このような土地では、一層土壌の乾燥化が進んだり、塩類が表層土壌へ集積したりしています。このような乾燥した荒漠地に森林が育成できれば、そこを二酸化炭素の吸収源や炭素の貯留庫として機能させることができます。

我々は、熱帯・亜熱帯地帯にあるオーストラリア内陸部において、(1) 植林に有望な樹種を選定し、(2) 土壌タイプ別の植林技術の開発を行い、この技術によって (3) 植林が可能な面積と炭素固定量の推定を行いました。

成　果

(1) ストレスに強く成長の旺盛な樹木の探索

対象とした荒漠地では、耐乾燥性や耐塩性等を兼ね備えた樹木を植栽することが必要です。そこで、耐乾性の強い樹種を利用し、灌水の塩濃度を上げた時にどれ位の耐性を持つかを調べました。一般に、成長量と耐性との間には反比例の関係が見られるのですが、ユーカリの一種である ***Eucalyptus camaldurensis*** は高い塩濃度でも死なずに成長が旺盛である事が分かりました。

また、塩類集積地では土壌の表層（0 ～ 50cm）に高濃度の塩類が集積します。それより深い層では、樹木が成長できる塩類濃度であるため、根がこの表層土壌を突き抜け深く伸長できる樹種が有望となります。塩類を回避するため、細長い育苗パイプに苗木を植栽したところ、***E. camaldurensis*** は素早く根を 1m 以上伸長させ、パイプに植えられたにもかかわらず成長量 (炭素固定力) が落ちないことが分かりました。これらから、塩類や乾燥というストレスに強く炭素固定能力の高い樹種は ***E. camaldurensis*** である事が分かりました。

(2) ２つの土壌タイプにおける植林方法

対象地域には表土に硬盤が発達するハードパン型土壌と表土に塩類が溜まってくる塩類集積土壌の２つのタイプの荒漠地が存在しました。ハードパン型土壌では、根が伸長できない硬盤層を爆破して土壌の物理性を改善した上で植栽を行うこと、塩類集積地では 1m 程度の長さのパイプに植栽した苗木を植え込む方法が良いことが分かりました。また、植栽本数もいずれの土壌タイプでも 200 本 /ha 程度で十分な成長量を示すことが分かりました。

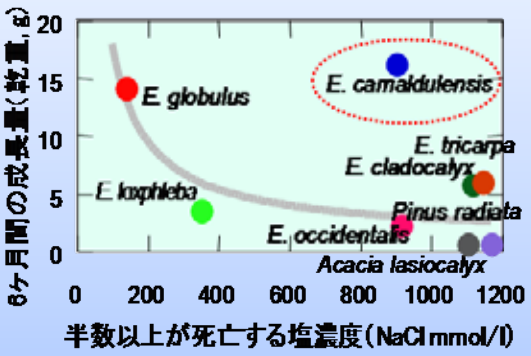
(3) 植林可能な面積と炭素の固定量

この技術の導入によって、乾燥地や塩類集積地においても年間 2.5 ton-C/ha 程度の炭素固定が可能であることが分かりました。今回対象としたハードパン型土壌や塩類集積土壌の分布面積は、乾燥荒漠地にそれぞれ 419.7 および 326.7 百万 ha 存在し、地球上の荒漠地面積の 18%を占めます。この地域での自然の植生による炭素固定量は 0.0 ～ 0.2 ton-C/ha とほぼゼロに等しいため、植林によって新たに吸収・固定される炭素の量のポテンシャルは莫大なものになります。それは、地球上の人間が生活によって排出する炭素（7.1Gton-C/ha/yr）の 26％（1.87Gton-C/ha/yr）に相当します。つまり、現在利用が出来ず放置されている荒漠地は炭素の吸収源、貯留庫として生まれ変わり、地球温暖化に歯止めをかけるものと期待されます。今後は熱帯域以外の異なる土壌タイプの荒漠地においても植林技術の開発を進めて行きます。

本研究は、環境省（GHG-SSCP Project）および NEDO（バイオマスエネルギー転換要素技術開発）プロジェクトの成果の一部です。

詳しくは、Tanouchi, H., et. al. (2006) Journal of Arid Land Studies15:267-270 外をご覧下さい。

(1) 樹種の選択



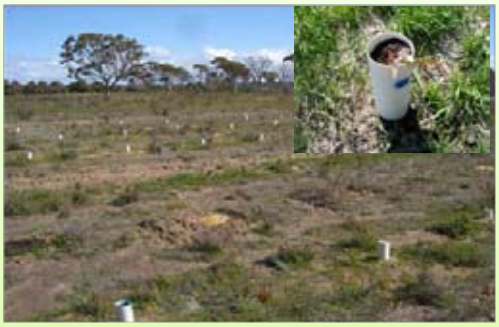
ユーカリ(*E. camaldurensis*)は塩濃度が高くなっても成長量は高かった

細いパイプに植えても
ユーカリは成長が良好

塩類が集積した表層土壌(約50cm)を回避するための育苗パイプ実験

(2) 植林技術

爆砕によって土壌の物理性を改善して低密度で植栽したハードパン型乾燥地



パイプ植栽により森林化を目指している耕作が放棄された塩類集積地

(3) 炭素固定能力

乾燥荒漠地のタイプ別面積と植林による炭素固定能力

荒漠地タイプ	ハードパン型	塩類集積型	単位
面積	419.7	326.7	百万ha
炭素固定量			
自然植生	0.2	0.0	ton-C/ha/yr
炭素固定植林	2.5	2.5	ton-C/ha/yr
植林による炭素固定能力(全球)	1.1	0.8	Gton-C/yr

2タイプの荒漠地で1haあたり年間2.5トンの炭素が固定可能な植林技術を開発しました

陸地の30%を占める荒漠地は莫大な可能性を秘めた炭素の固定および貯留場所です!

鉛電池の充電性能が改善できるリグニンを開発

バイオマス化学研究領域　木材化学研究室　久保 智史、池田　努、眞柄 謙吾

背景と目的

鉛電池は自動車のバッテリーとして広く使用されています。金属鉛からできている鉛電池のマイナス極板には、木材の成分であるリグニンが添加剤として加えられています。リグニンをマイナス極板に添加すると鉛電池の放電力（エンジン始動力）を高めることができるため、私たちは気温の低い冬季でも苦労せずにエンジンを始動させることができます。しかしその反面、リグニンを添加することで電池の充電性能が低下してしまいます。鉛電池のマイナス極板にリグニンを混ぜるだけでなぜこのようなことが起こるのか、残念ながらまだよくわかっていません。

そこで、リグニンが鉛電池の充放電性能にどのように関与しているかを明らかにし、放電力を高める効果を損なうことなく、低下してしまった充電性能を改善できるような化学修飾リグニンを作製することを目的としました。

成　果

鉛電池マイナス極板で起こる化学反応

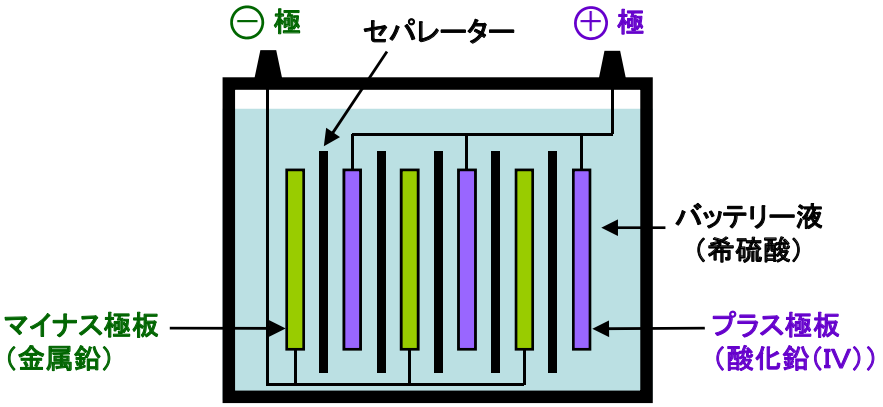
図１に鉛電池の構造と電極板で起こる反応を示しました。鉛電池は、マイナス極板の金属鉛が二価の鉛イオン（鉛 (II) イオン）に酸化される時に放電します。このことから、マイナス極板の金属鉛が酸化され易い条件下では、鉛蓄電池の放電が起こり易く、逆に鉛 (II) イオンが還元され易い条件では、充電に有利であると考えられます。

実際の鉛電池ではマイナス極板にリグニンが添加されていますが、実験室ではバッテリー液中にリグニンを添加し、簡易的にリグニンの添加効果を検証できることが明らかになっています。この方法で鉛の酸化（放電）還元（充電）反応を調べたところ、図２に示すように、リグニンの鉛 (II) イオン吸着力と放電性能の間には密接な関係があり、鉛 (II) イオンをよく吸着するリグニン（表１）があると鉛電池は高い放電力を示すことが分かりました（図２と表１中のリグニンC）。放電が起こるとき、マイナス極板で生じた鉛 (II) イオンはバッテリー液中の硫酸イオンと結合しマイナスの電極表面で安定な硫酸鉛になります。しかしリグニンを添加すると、鉛 (II) イオンがリグニンと強く結合することで、放電の初期ではより安定化されると考えられます。その結果、実際の鉛電池においては図１に示したマイナス電極上での反応が放電側に進みやすくなり（充電側に進みにくくなり）鉛電池の放電力が高くなると考えています。

充電性能を改善できるリグニンの調製

鉛電池の充電性能を改善するためには、マイナス極板で鉛 (II) イオンが還元されやすい条件をつくる必要があります。そのためには、マイナス極板表面で不溶塩として存在する鉛 (II) イオンを硫酸イオンから引き離すことができ、還元反応を手助けできる添加物を開発する必要があります。図３に示すような、鉛 (II) イオンと親和力があり、鉛 (II) イオンの移動を助けることができる添加剤を見つけ出せば、鉛電池の充電性能を改善できるのではないでしょうか。そこで、鉛 (II) イオンと親和力を持つ様々な有機物を検討したところ、図４に構造を示した 1,5- ジアミノアントラキノンの添加が性能改善に有効であることがわかりました。この 1,5- ジアミノアントラキノンを少量添加するだけで、鉛電池の充電性能が無添加条件の充電性能に比べて約 35% 向上できることが分かりました（図４）。現在は、1,5- ジアミノアントラキノンを化学的に導入した化学修飾リグニンを合成し、実電池試験を行うことで実用化に向けた検討を進めています。

本研究は（独）新エネルギー産業技術開発機構の研究助成 (プロジェクト ID:05A48006d) のもの大阪大学との共同研究で行われました。また開発した修飾リグニンの詳細に関しては現在公開中の特許（特許公開 2006-172921）をご覧下さい。



充電（還元） ⇄ 放電（酸化）

マイナス極板：（金属鉛＋硫酸イオン） ⇄ （硫酸鉛＋電子）
プラス極板：　（酸化鉛(IV)＋水素イオン＋硫酸イオン＋電子） ⇄ （硫酸鉛＋水）
全体：　　（金属鉛＋酸化鉛(IV)＋硫酸） ⇄ （硫酸鉛＋水）

図１　鉛電池の構造と極板で起こる反応

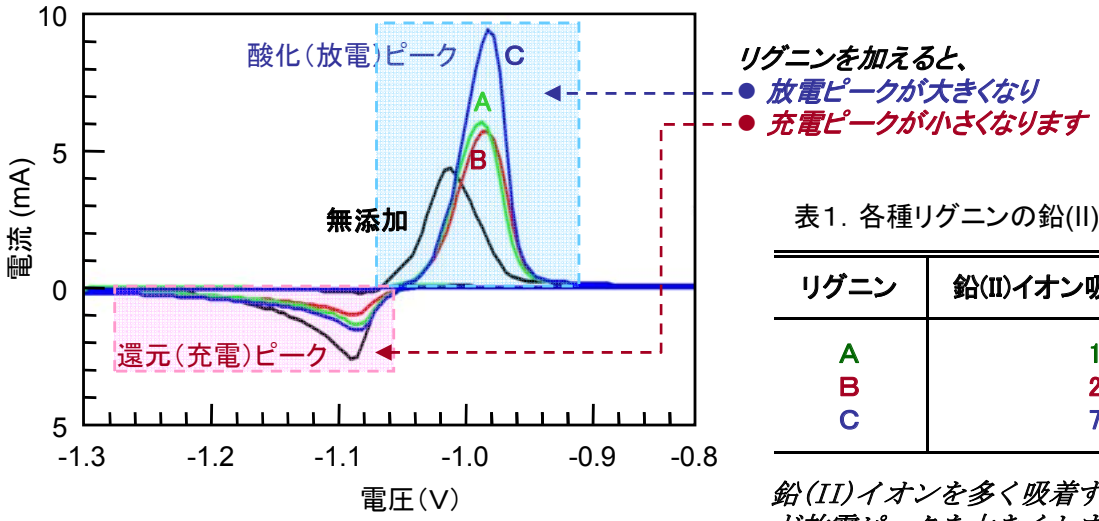


図２．鉛電極の酸化還元反応に対するリグニンの影響

表1．各種リグニンの鉛(II)イオン吸着能

リグニン	鉛(II)イオン吸着量（mg/g）
A	16
B	23
C	74

鉛(II)イオンを多く吸着するリグニンほど放電ピークを大きくします

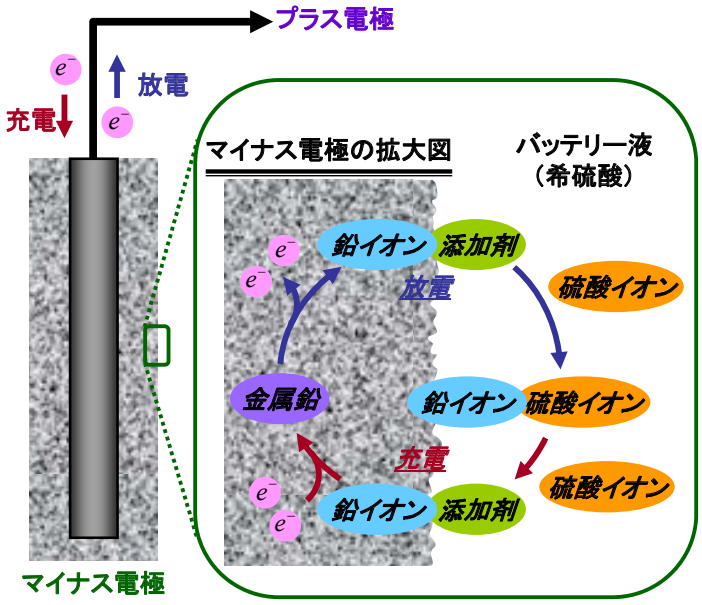


図３．鉛電池マイナス電極上で起こると考えられる反応

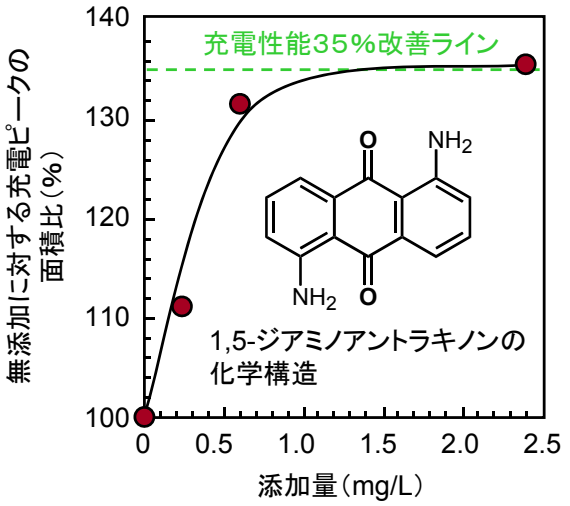


図４．1,5- ジアミノアントラキノン添加による充電性能の改善効果

新しい木質系材料「木材・プラスチック再生複合材」の環境 JIS 化

木材改質研究領域	機能化研究室長	木口　実
	表面劣化制御担当チーム長	片岡　厚
	高耐久化担当チーム長	桃原 郁夫
	木材保存研究室	松永 浩史
	領域長	松井 宏昭

背景と目的

循環型社会の構築を目指して建設リサイクル法などの法律が制定され、材料のリサイクルが促進されています。しかし、年間 500 万トンにも達する木質系建設廃材や樹脂トレイなどの廃プラスチックの再資源化率は低く、有効な再利用化技術が求められています。

木質廃材とプラスチック廃材とを混合し成型により様々な形状の材料となる「木材・プラスチック再生複合材」は、このような環境配慮型の新材料として誕生しました。この新材料の性能やリサイクル性等の情報は、まだ十分に消費者に知られていないことから、新しい環境配慮型の規格である環境 JIS *として 2006 年 4 月に「木材・プラスチック再生複合材；JIS A5741:2006」が制定されました。森林総合研究所では、この再生複合材の諸性質を明らかにし性能の向上を図ることによって、再生複合材の環境 JIS 化に貢献してきました。

成　果

廃材からの木粉と熱可塑性廃プラスチックとを混合させた木材・プラスチック複合材（Woodfiber-Plastic Composites；略して WPC*）は、木質感を持つ様々な形状の製品が製造でき (写真 1)、最近では環境に配慮した材料としても注目されている新しい木質系材料です (写真 2)。WPC は、アメリカでは外構用のデッキ材として年間 100 万トン規模で製造され、ヨーロッパでは自動車用の内装材などを中心に使用されていますが、我が国では市場での認知度が低く公的な規格も無かったため、デッキ材等で利用されてきたものの消費者の関心がまだ低いのが現状です。WPC は原材料として廃棄物が利用でき、更に WPC 自体も使用後にリサイクルできる多回リサイクル性を持つなど、環境に配慮した製品です。そのため、WPC の持つ性能やリサイクル性等を評価して環境 JIS として制定することになりました（表 1、図 1）。

WPC は木材とプラスチックとの配合比でその性質が大きく変わります。デッキ材などのエクステリア用では木材とポリエチレンやポリプロピレン等のプラスチックを質量比 1 ： 1 程度で混合し、押出法により成形します。このようにして製造されたデッキ材は、疎水性や耐久性の高いプラスチックが木粉を保護するため高い耐水性が得られます。ただし耐水性や耐候性は木粉の配合率によって大きく変化し、長期間の劣化環境下では吸湿率の増加や腐朽が生じることもあります (図 2，3)。また、長年風雨にさらされる場所で使用すると、表面の変色やチョーキングと呼ばれる粉をふいたような現象が現れることが分かってきました。このような劣化メカニズムを解明したことによって、複合材の性能を更に向上させることが可能となります。

WPC は再生産可能でカーボンニュートラルな木材を使用しているため、化石資源を用いて製造される石油系プラスチックに置き換わる材料として注目されています。さらに、最近の原油の価格高騰や供給不安により、プラスチックを木質に代替することは環境的にも経済的にも重要となっています。今後は、今回制定された環境 JIS を元に製品の認知度及び性能を高め、新しい用途を開拓していく必要があります。

本研究は、文部科学省科学研究費「木粉・プラスチック複合材の耐候性・耐腐朽性に及ぼす水分の影響の解明」(No.17380109) による成果です。

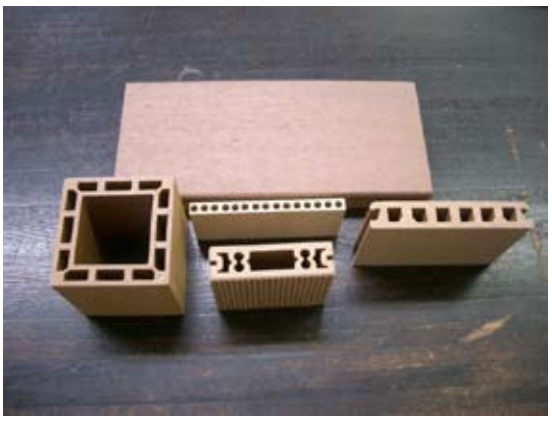


写真１　様々な形状を持つ木材・プラスチック複合材

写真２　木材・プラスチック複合材によるデッキ材

表１　リサイクル材料からの木材・プラスチック複合材の含有率区分及び表示記号（JIS A 5741:2006）

含有率区分	表示記号
40%以上 50%未満	R40
50%以上 60%未満	R50
60%以上 70%未満	R60
70%以上 80%未満	R70
80%以上 90%未満	R80
90%以上	R90

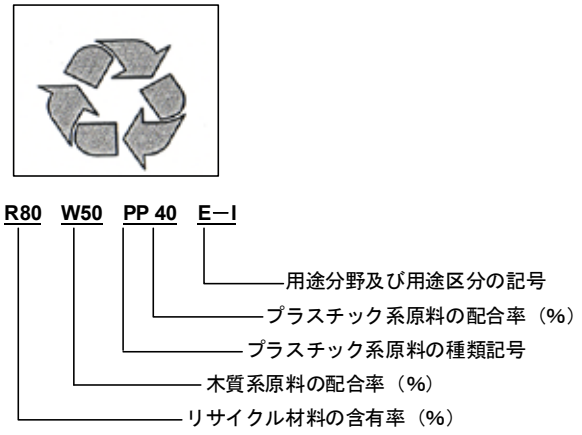


図１　シンボルマークと表示事項例（JIS A 5741:2006）

PP：ポリプロピレン

E-Ⅰ:エクステリア用１類（デッキ等用途）

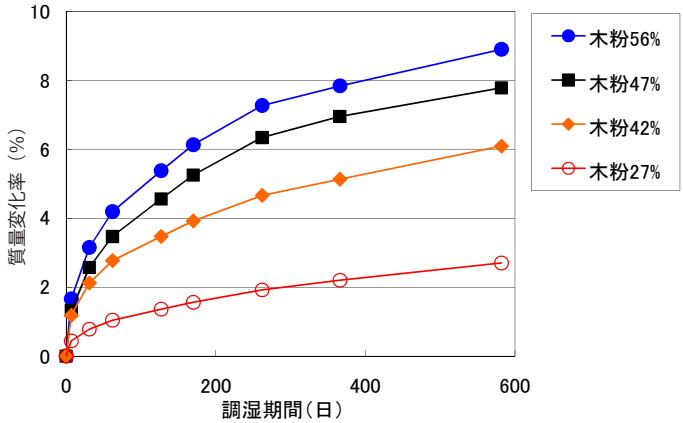


図２　20℃相対湿度 90%における木材・プラスチック複合材の長期吸湿試験例

高湿度下に置くと空気中の水分を吸って次第に質量が増えていきます。その時、木粉含有量が多いほど多くの水分を吸います

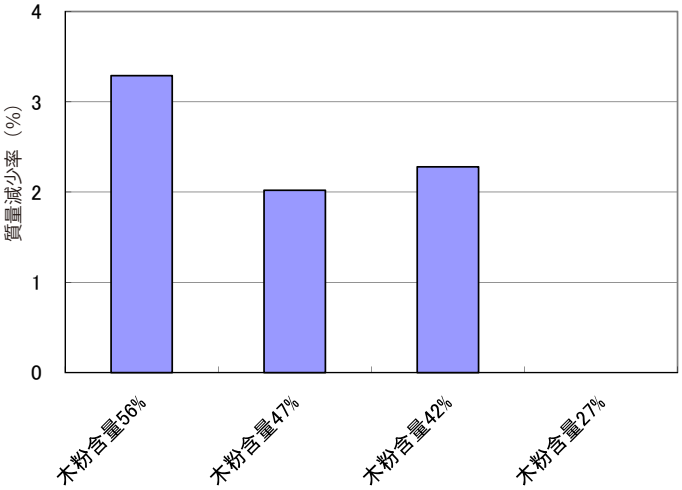


図３　木粉配合比の異なる木材・プラスチック複合材の腐朽例

木材腐朽菌の生息する腐朽槽に混練型木材・プラスチック複合材を 12 ヶ月間入れた結果、木粉含有率が高いと腐朽による質量減少が大きくなり、一方木粉含有率 27% では腐朽は見られませんでした

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

樹皮や合板を原料にバイオエタノールを製造する

バイオマス化学研究領域　木材化学研究室　　池田　努、杉元 倫子、眞柄 謙吾

背景と目的

バイオマス燃料であるバイオエタノールは、環境に優しいエネルギーとして期待され、生産量は年々増えています。しかし、バイオエタノールのほとんどは、サトウキビやトウモロコシのような食用作物から造られているために、バイオエタノールの生産量が増えるにつれ、人間や家畜が食べる穀物が不足するという新たな問題が生じています。

この問題を解決するためには、食用作物以外で、これまで未利用だった資源からバイオエタノールを造れるようにする必要があります。今回私達は、樹皮が付いたままの端材、接着剤を含む針葉樹合板のような、これまで利用されることなく捨てられていた木質系廃棄物を用いて、効率よくバイオエタノールを製造する研究を行いました。

成　果

バイオエタノール生産プロセス

木質系バイオマスからバイオエタノールを製造する方法には、酵素を用いる生物的手法と硫酸を用いる化学的手法がありますが、私達は、自然環境に対する負荷が小さい「アルカリ前処理」と「酵素糖化」を組み合わせた手法を用いています。食用作物や草本類の場合には、すぐに酵素を使うこともできますが、木材のような硬い素材、樹皮や合板のように酵素の働きを阻害する無機物や接着剤が含まれる素材の場合には、酵素が使えるようにするための「前処理」と呼ばれる工程が必要になります。前処理の良し悪しでバイオエタノールの生産コストや自然環境に与える負荷が大きく変わるので、前処理は大変重要な工程です。アルカリ前処理は、木材から紙を作る工程と良く似ており、木材、タケ、稲わら、廃材、古紙など、あらゆる木質系バイオマスからバイオエタノールを製造することができます（図１）。またアルカリ前処理には、残渣として排出されるリグニンを回収してエネルギーとして利用することにより、木質系バイオマスを無駄なく利用することができるという利点があります。

樹皮が含まれる端材や合板の利用

私達は、樹皮が含まれるスギ端材やフェノール樹脂接着剤が含まれる針葉樹合板（図２）のような木質廃棄物に対し様々な条件でアルカリ前処理、酵素糖化を行い、これらが無垢材と同様に、バイオエタノール製造に利用できるかどうか検討しました。

アルカリ前処理で得られたセルロースやヘミセルロースから成る前処理物の収率を比べると、端材や合板は、建築材等に使用される無垢スギ材に比べ 5% 程度低い値でした（表１）。端材や合板は無垢スギ材に比べ無機物や化学物質が多く含まれるために、収率がやや下がると考えられました。しかし、次にアルカリ前処理物の酵素糖化を行った結果、端材、合板ともにグルコースが約 85% という大変高い収率で得られました（図３）。これは無垢スギ材のグルコース収率とほぼ同じ値であり、無機物や化学物質による糖化阻害はほとんど起こらなかったと考えられました。

これらの結果より、「アルカリ前処理」と「酵素糖化」を組み合わせた手法では、樹皮が付いたままの端材や接着剤が含まれる合板を、無垢スギ材と同様に、バイオエタノール製造のための原料として利用できることを明らかにしました。

本研究は、農林水産技術会議委託費「低コストアルカリ処理による木質系バイオマスの酵素糖化前処理法の開発」による成果です。

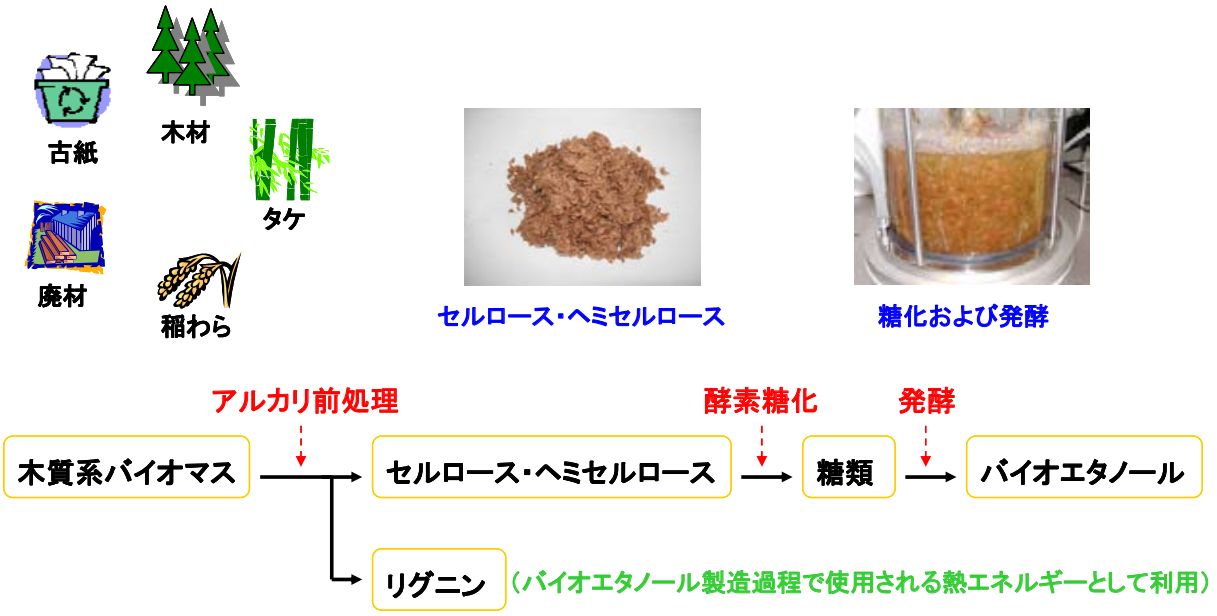


図１　アルカリ前処理と酵素糖化を用いたバイオエタノール生産プロセス

図２　破砕された端材と合板

表１　アルカリ前処理物の収率

	アルカリ前処理物の収率（%）[1)]
端材	41.8
合板	39.4
無垢スギ材	46.2

1) 各原料に対する収率

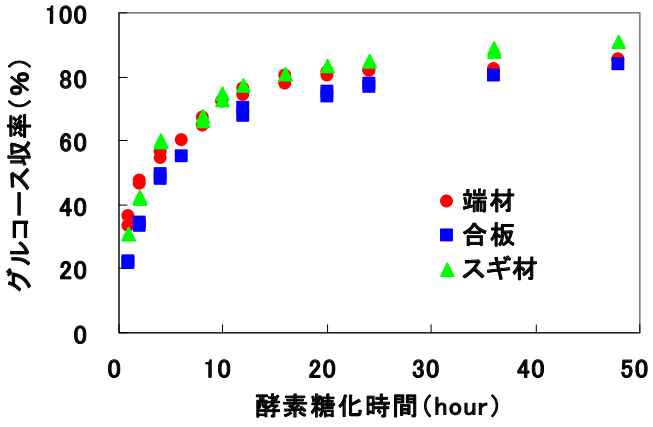


図３　酵素糖化後のグルコース収率

アルカリ前処理物に含まれるグルコースに対する収率

オイルパーム幹の搾汁液からバイオエタノールを製造する

バイオマス化学研究領域　多糖類化学研究室　田中 良平、山田　肇

背景と目的

パームオイルは、世界で最も利用されている植物油脂の一つです。その油を取る実がなるヤシ、すなわちオイルパーム（油ヤシ）はマレーシアなど熱帯諸国で栽培され、20 ～ 25 年ごとに切り倒して植え替えをする必要があります。しかしながら、オイルパームの幹は水分が多く強度のバラツキが大きいために用材としての利用価値が乏しく、未利用のまま放置されているのが現状です。

そこで、幹の水分には糖分が多く含まれていることに着目し、これからバイオエタノールを作る研究開発を進めています。ここでは、幹と樹液に関するこれまでの研究成果と、エタノール原料としての可能性について紹介します。

成　果

オイルパーム幹サンプルの採取

オイルパームは幹から果房を外し、さらに果房から採取した実を搾ってオイルを取ります。幹の太さは 30 ～ 60cm、高さは 12m にも達します（図１）。ここでは植え替えのために伐採された幹（直径約 30cm）から、およそ５センチ厚の円板を切り出して実験用のサンプルとしました。その円板をさらに中心（A）、中間（B）、外側（C）に分けて、それぞれの含水率、糖濃度を測定しました（図２）。

含水率と糖濃度

国産木材の含水率は樹種や部位によって異なるものの、おおよそ 50 ～ 200%（全乾重量基準）の範囲内にあります。一方、オイルパームは、部位A、B、Cの含水率がそれぞれ 502、313、217%と、木材に比べて非常に水分が多いことがわかりました（表１）。次に、試験片をプレス機で押しつぶし幹に含まれる樹液を採取して、樹液中の糖分を測りました。その結果、各部位ともに 1mL 中におよそ 50 ～ 80mg のエタノールに変換しうる糖（シュクロース、グルコース、フルクトースなど）を含むことが明らかになりました。また、その濃度は中心に近いAやBの部分がCよりも高い傾向にあり、幹を部位別に分けることにより、効率よく糖濃度の高い樹液を採取できることが分わかりました。

エタノールへの変換とその生産量

幹の中心部分Aからしぼった樹液を、清酒製造用の酵母によりエタノール発酵を行なったところ、糖に対して重量割合で 50 ～ 60%のエタノールができることがわかりました。仮に一本のオイルパーム幹が直径 40cm、長さ 8m とすると、その重さは約１トンです。これに含まれる糖はおよそ 50kg ですので、25kg（＝ 32L）ほどのエタノールが生産可能です。日本国内でバイオエタノール生産の原料となっているサトウキビの場合、１トン当たりの糖含有量は約 110kg です。つまり、現状では廃棄物にすぎないオイルパームの幹が、サトウキビの半分程度とはいえ糖を大量に含むことから、有望なバイオエタノール原料となりうることが分かりました。今後は、マレーシアにおいてバイオエタノール製造の実証化を進めて行きたいと考えています。

本研究は、NEDO 提案公募型開発支援研究協力事業「マレーシアにおけるオイルパーム幹（トランク）からの効率的燃料用エタノール製造技術の研究開発」による国際農林水産業研究センター、マレーシア理科大学との共同研究成果です。

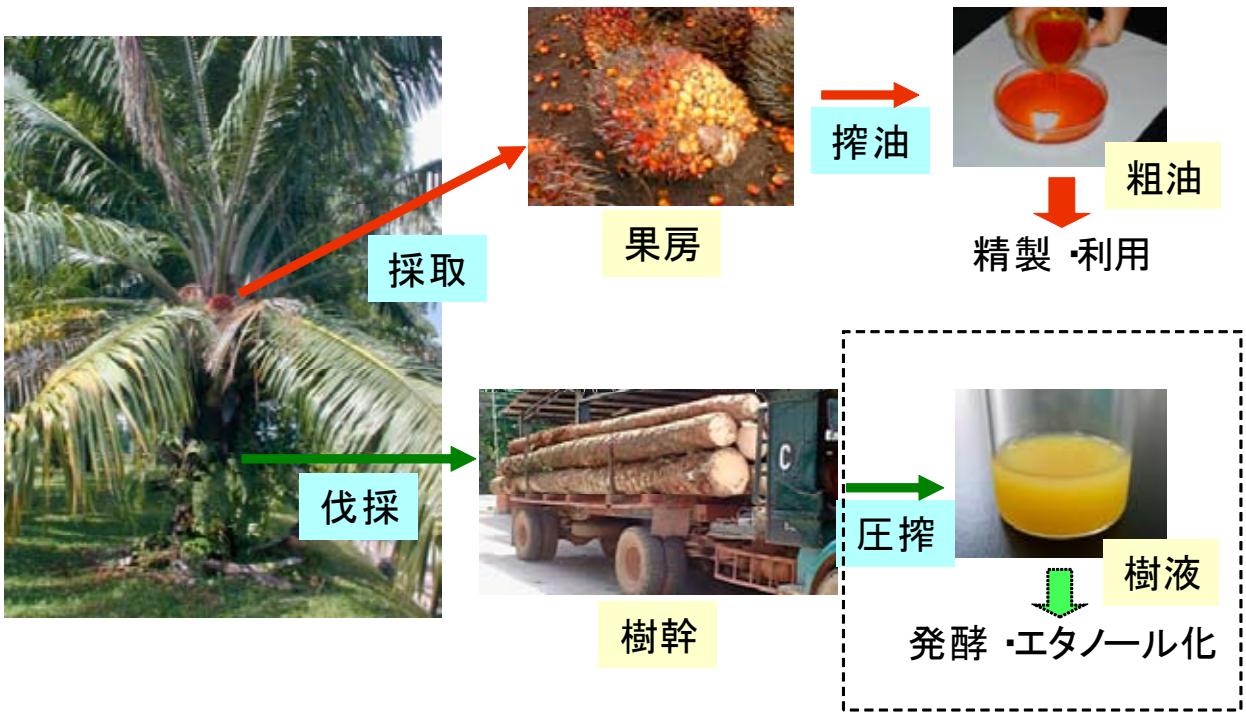


図１．オイルパームの総合利用構想

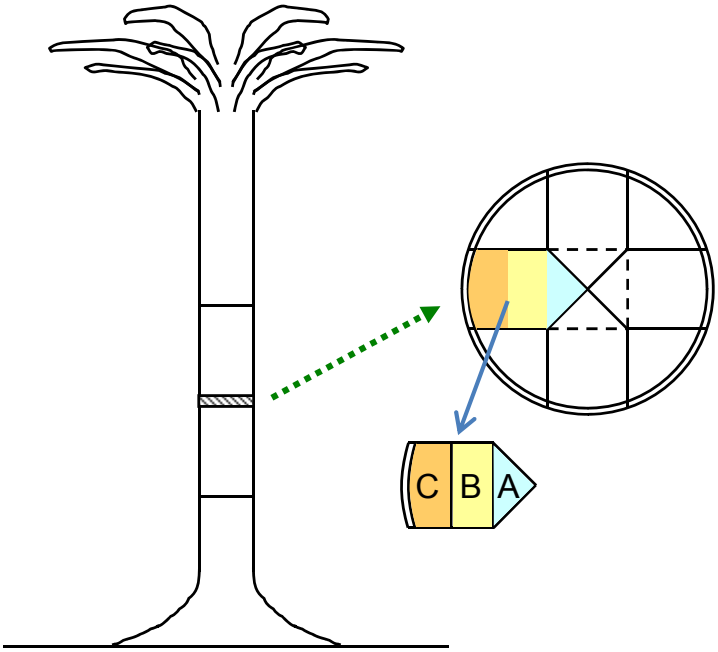


図２．オイルパーム幹からのサンプリング

表１．部位別の含水率と糖濃度

	含水率[1)]（%）	糖濃度（mg/mL）
A	502	67.5
B	313	76.6
C	217	55.4

1) 乾燥重量を基準とする。

林地残材のエネルギー利用は経済的に成り立つか

林業経営・政策研究領域　林業システム研究室　　久保山 裕史
加工技術研究領域　木材乾燥研究室　　高野　勉
林業機械研究領域　バイオマス収穫担当チーム長　陣川 雅樹
温暖化対応推進拠点　温暖化対応推進室長　　松本 光朗

背景と目的

近年、建築廃材の発電利用が急拡大しています。これは、法律改正等によって廃材の処理をきちんと行わなければならなくなったことと、電力会社に新エネルギー電力の買い取りが義務づけられたことや、石油・石炭価格の高騰を背景として木質バイオマス発電施設が相次いで新設されたことによります。一方、林地残材の利用はほとんど拡大していません。それは、林地残材のエネルギー利用が経済的に成り立つかどうかが明らかでないためであると考えられます。

そこで、商業利用段階あるいは実証段階にある木質バイオマスエネルギー機器を利用した場合の経済性と、経済的に成り立つためのチップ価格について評価しました。

成　果

用材丸太は価格が高いので、エネルギー利用すると経済的に成り立ちません。これに対して、用材にならない林地残材を林業活動のついでに収集すれば、安価に供給することができると考えられます。ここでいう林地残材は、写真１のように林業活動に伴って発生する端材（用材にならない短尺材）や枝葉、梢端部ですが、そのままでは扱いにくいので、チップにして利用することを考えます。

林地残材から生産した燃料チップは、(ア) チップボイラー（写真２）、(イ) 小型ガス化電熱併給装置 *)（写真３）、(ウ) 中型ガス化電熱併給装置（写真４）、(エ) 大規模蒸気式発電施設（写真５）で利用が可能です。(ア) では温水や蒸気の熱利用を行い、(イ) と (ウ) は電気と熱の両方を利用し、(エ) は電力のみの利用を行った場合を考えました。

湿量換算で水分を 50%含む、生の状態の燃料チップの価格が変化した場合の経済性を比較した結果を表１に示しました。燃料チップがただで手に入る場合には、すべての利用形態で経済的に成り立ちます。しかし、チップ価格が上昇すると、大規模蒸気式発電、小規模ガス化電熱併給、中規模ガス化電熱併給の順に経済的に成り立たなくなりますが、チップボイラーだけは６円 / kgの燃料でも成り立ちました。なお、林地残材を乾かして水分を 35%以下に落としてからチップにした燃料を用いれば、重量あたりの熱量が増加するので、８～ 11 円 / kgでも成り立ちます。林地残材は不定型であるだけでなく、湿っているため、以前はエネルギー利用には向きませんでしたが、高性能チップボイラーなどを利用すれば経済的であることがわかりました。欧州では、小・中型でも高性能のものが普及しており、林地残材の利用が拡大しています。

次に、高性能チップボイラーを対象として、競争相手である A 重油の価格が変化した場合に、これと対抗できる燃料チップの価格について表２に示しました。A 重油の価格が 70 円 /L と高い場合には、10 円 / kgのチップでも使えますが、40 円 /L に低下した場合には、A 重油と競争するためにはチップ価格を４円 / kgに下げる必要があります。

以上のことから、A 重油が 50 円 /L 以上の時に、生の状態の燃料チップの供給価格が６～８円 / kgであれば、チップボイラーの熱利用は経済的に成り立つことが明らかになりました。今後は、林地残材利用の拡大に向けて、燃料チップの低コスト供給システムの構築と化石燃料ボイラーを補完（代替）する形でのチップボイラーの普及が課題といえます。

本研究は、交付金プロジェクト「木質バイオマス地域利用システムの開発」による成果です。

写真 2．チップボイラー

写真 3．小規模ガス化電熱併給装置*

写真 1．林業現場で発生している林地残材

写真 4．中規模ガス化電熱併給装置

写真 5．大規模蒸気式発電施設

表 1．木質バイオマスエネルギー利用の経済性比較結果

利用形態	チップボイラー	小規模ガス化電熱併給	中規模ガス化電熱併給	大規模蒸気発電
定格出力 / 燃料チップ価格	熱1400kW$_{th}$	電気140kWe および熱270kW$_{th}$	電気2000kWe および熱6800kW$_{th}$	電気10000kWe
0円/kg-50wt%	○	○	○	○
2円　〃	○	○	○	△
4円　〃	○	△	○	×
6円　〃	○	×	△	×

注 1）採算性は、投資回収年数で評価した。「○」は投資回収年が 15 年以下なので経済的に持続可能であり、「△」は単年度黒字ではあるが投資回収年が 15 年を超えているため持続可能でなく、「×」は単年度赤字で採算がとれないことを示している（表 2 も同様）。
注 2）本結果の詳しい解説は、「久保山裕史（2008）木質バイオマス利用の現状と課題、山林№ 1486：p 25-33」を参照してください。
注 3）「50wt%」は、燃料チップの含水率がウェットベースで 50%（ドライベースで 100%）であることを意味している。

表 2．A 重油価格とチップボイラー（熱出力 1400kW）の燃料価格別の経済性との関係

重油価格（円/L）	燃料チップ価格（円/kg-50wt%）			
	4	6	8	10
40	○	△	×	×
50	○	○	×	×
60	○	○	○	×
70	○	○	○	○

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

小笠原諸島の外来生物管理

企画部　　研究企画科長　　大河内　勇

背景と目的

小笠原諸島は独自の生態系を有し、世界自然遺産候補として登録に向けた準備がされています。しかし、一方では、様々な外来生物が小笠原に侵入して、島の固有生物を絶滅に追いやり、生態系を破壊しつつあります。生態系を守り、世界遺産候補としてふさわしくなるためには、外来生物の制御が欠かせませんが、無分別な外来生物駆除はかえって別の外来生物を増やす可能性があるなど、その対策は生態系の理解に基づいて行う必要があります。

本研究では、生態系における生物間相互作用を調べ、適切な外来生物制御、固有種保護に関する戦略を作成し、小笠原の世界自然遺産指定に向けた対策事業を支援するとともに、同じ問題に悩む太平洋の島々に情報を提供することもねらいました。

成　果

グリーンアノールの影響と対策

グリーンアノールは北米原産の樹上性のトカゲで、小笠原の父島・母島に侵入し、オガサワラシジミやトンボ類など多くの固有昆虫を絶滅寸前に追いやりました。ここでは、研究した外来生物のうち、主にグリーンアノールを中心に説明します。

私たちの研究で、グリーンアノールは固有のハナバチ類を滅ぼし、替わりに外来生物のセイヨウミツバチだけが主要な花粉媒介者となった島では、受粉が上手くいかない在来の植物（固有種も含む）があることがわかりました。外来植物の方が花粉媒介では有利になるので、長期的には小笠原の植物相、生態系が外来植物の多い状態に変化してしまうでしょう。セイヨウミツバチは少ないとはいえ、在来の植物の花粉媒介を行っているので、すぐに駆除すべきではありません。今は、外来の植物を駆除し、競争を軽減して在来の植物を増やすことが必要です。

アノールは父島、母島以外には侵入していないため、トンボ類などは周辺の小さな離島に生き残りました。しかし、それらの離島は小さいため、繁殖できる自然の池が少なく、干ばつなどの気候の変動で絶滅する恐れがありました。そこで、固有のトンボ類の繁殖場所の確保のために人工池を設置しました。2004 年には恐れていた干ばつが発生し、自然の池の固有のトンボの個体群はほぼ全滅に近い状態でしたが、設置した人工池では、小笠原固有のトンボ類が生き残り、絶滅を回避することができました。

グリーンアノールの推定個体数は 600 万頭と非常に多く、簡単には排除できません。しかし、アノールの個体群動態モデルを作成して計算すると、フェンスなどで移動を断ち切れば、大量のトラップ設置などの集中的な捕獲で地域的根絶が可能なことがわかりました。現在、この成果に基づき、オガサワラシジミの最後の生息地周辺のグリーンアノールの密度を低減させることや、固有トンボ類の生息する離島などへの拡散を防ぐための港周辺での根絶作戦が行われています。

一方で、グリーンアノール対策はまだ完全でないので、自然のオガサワラシジミは守れない可能性があります。万一の事態に備え、オガサワラシジミを飼育下で増やす研究も行っています。オガサワラシジミやトンボ類は天然記念物に指定されており、文部科学省の許可を得て研究しています。

総合戦略

どの外来生物も、在来の生物や、他の外来生物と様々な関係があります。外来生物の完全な根絶が難しい場合には、グリーンアノールの場合のように、これら生物間の関係を探り、その一つ一つに対して対策を立てる、総合的な保全対策が必要です。私たちはアノール以外の主要な外来種についても研究し、その成果を、世界自然遺産候補地選定科学委員会に提言し、総合的な管理戦略の策定を支援するとともに、環境省の自然再生事業、林野庁の森林生態系保護地域の設定、東京都の兄島のノヤギ対策事業等へも協力しています。

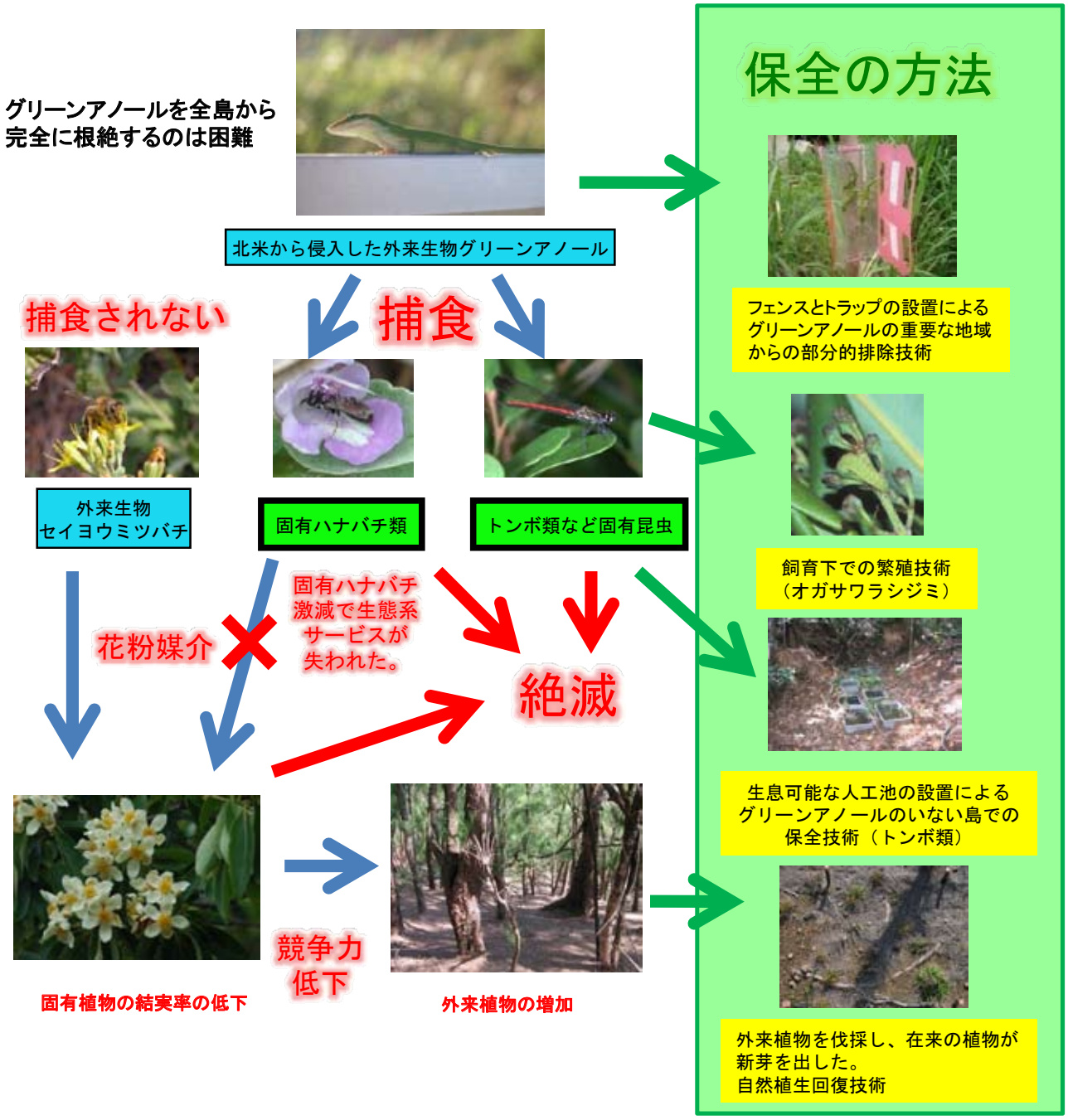


図１．グリーンアノールを例とした外来生物の生態系影響と保全技術

放置すれば青い矢印の生物間相互作用が働き、赤い矢印の方向、絶滅へ向かう。
グリーンアノールの完全な根絶は困難であり、固有生物の絶滅を避けるには、緑の矢印の管理技術を、個別ではなく、総合的に行うことが必要。

おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの捕殺技術を開発

関西支所　生物被害研究グループ　衣浦 晴生
山形県森林研究研修センター　斉藤 正一
長野県林業総合センター　岡田 充弘
京都府立大学　小林 正秀
ヤシマ産業（株）　阿部　豊
森林昆虫研究領域　化学生態研究チーム　所　雅彦
森林昆虫研究領域　昆虫管理研究室　中島 忠一

背景と目的

ナラ・カシ類が集団的に枯死していく被害（ナラ枯れ）が、日本各地の広葉樹林で拡大を続けています。これまでの研究で、ナラ枯れはカシノナガキクイムシが媒介する植物病原菌が樹木内部で繁殖することで枯死に至ることが明らかになっています。しかし、有効な防除手段が少なく、新しい防除技術の開発が求められていました。

近年カシノナガキクイムシの集合フェロモンが明らかになったことから、この集合フェロモンを活用し、病原菌の殺菌処理と組み合わせるという、世界でも例のない方法を用いて、カシノナガキクイムシを大量に誘引捕獲することをめざしました。

成　果

集合フェロモンの利用

防除技術として研究当初は、人工のトラップを用いて多量にカシノナガキクイムシを捕獲することを試みました。しかし合成フェロモン剤の純度や揮散方法など様々な検討を加えましたが、期待したほど捕獲できませんでした。また試験を進める中で、合成フェロモン剤はカシノナガキクイムシの発生初期は効果が高いけれども、カシノナガキクイムシが穿入し始めたナラ類立木の方が、合成フェロモン剤より強い誘引力を発揮することなどもわかってきました。

殺菌剤の利用

このように捕獲方法を検討する一方、山形県森林研究研修センターを中心にして、カシノナガキクイムシの発生前に殺菌剤を立木の樹幹基部から注入し、枯死を予防する方法を開発されました。この方法には２つの効果があります。まず、カシノナガキクイムシがナラ立木の中に持ち込む病原菌の繁殖がおさえられるので、枯死を防ぐことができます。さらに、カシノナガキクイムシは材内で菌類を栽培し、それを食物として生育する虫（養菌性キクイムシ）ですが、殺菌剤はナラを枯らす病原菌だけでなく食料となる菌類の繁殖も防ぐため、穿入したカシノナガキクイムシはえさ不足となり材内で死亡するのです。

おとり木トラップ法

これらの結果を元にして、殺菌剤樹幹注入で枯死予防処理したナラ立木そのものと、合成フェロモンを組み合わせて、カシノナガキクイムシを大量に捕殺する「おとり木トラップ法」を開発しました。つまり、枯死しないように予防しておいたナラを「おとり木」として、合成集合フェロモンでカシノナガキクイムシを誘引して大量に穿入させて「無駄死に」させようと言う訳です。おとり木に穿入したカシノナガキクイムシは自分で集合フェロモンを発散するので、穿入が始まると合成フェロモン剤に天然フェロモンの効果も加わって誘引力が大幅に向上します。また、ナラの幹にドリルで穴を開けておくことで樹木成分が発生して誘引力がさらに上がることもわかりました。

この「おとり木トラップ法」は、殺虫剤を一切使わない上に立木は枯らさず、穿入したカシノナガキクイムシだけが木の中で死ぬことから、伐倒などの後の処理も不要であることなど様々な点で優れており、かつ新規性が高いことから特許申請を行っています。

本研究は、農林水産技術会議先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「ナラ類集団枯死被害防止技術と評価法の開発」による成果です。

おとり木 トラップ法によるカシノナガキクイムシ大量捕獲

1．殺菌剤の樹幹注入によって枯死予防

2．樹幹の穴開け処理で樹木成分を揮散

3．合成集合フェロモンを設置

4．カシノナガキクイムシがおとり木に穿入

微害地域で防除可能

枯死しないナラ立木に大量のカシノナガキクイムシが穿入して死亡する（伐倒などの処理が不要）＝ おとり木トラップ

サルを山に帰して被害を防止、「追い上げ」マニュアルを作成

関西支所　生物多様性研究グループ　大井 徹、高橋 裕史
長野県林業総合センター　岡田 充弘
宇都宮大学農学部　小金澤 正昭
日本獣医生命科学大学　安富 舞、羽山 伸一
東北支所　地域研究監　川路 則友

背景と目的

野生獣類による農業被害が全国的に深刻です。中でもサルは様々な環境への適応能力が高いため、農地ばかりでなく住宅地へ出没して家財や人間に対しても加害することがあります。そのため、柵などで農地を守るだけでは不十分であり、サルと人間の生活域を分けるための積極的な対策が求められています。

その方法の一つとして「追い上げ」という方法が考えられます。「追い上げ」とは、群れの定着が好ましくない農地や住宅地などから、群れを威嚇して人間の生活域から隔たった目標の地域へ積極的に追い立てることです。この方法の基盤となる考え方を明らかにして、技術指針を作成しました

成　果

サルの野生群の行動観察や山への追い上げ実験をもとに、追い上げが可能な群れの条件、追い上げを効果的に行うための技術や配慮事項を整理した「ニホンザルの追い上げマニュアル」を作成しました（http://www.fsm.affrc.go.jp/Nenpou/other/saru-manual_200803.pdf）（図 1）。野外調査は、全国 7 箇所（京都府・滋賀県比叡山、長野県安曇野市、飯田市、栃木県日光市、群馬県富岡市、神奈川県西湘地域、岩手県釜石市）で行い、その結果は、マニュアルの別冊「ニホンザルの追い上げ事例集」としてまとめました（http://www.fsm.affrc.go.jp/Nenpou/other/saru-jireishu_200803.pdf）。

追い上げが可能な条件

人間の生活域に侵入してきたサルの群れに対し、長期間、かつ頻繁にロケット花火やパチンコなどの飛び道具で威嚇することにより、群れの行動域を変え、排除できることが明らかになりました（図 2）。しかし、追い上げは、どのような群れに対しても、どのような場所であっても効果があるわけではありません。例えば、①人やイヌによる群れの追跡が困難な急傾斜地、植生の密生した地域の場合、②群れの追い上げ進路をコントロールしにくい個体数の多い群れの場合（図 3）、③サルの生息にとって好適な追い上げ先がない場合などは追い上げは困難であり、工夫や別の方法の採用が必要です。また、追い上げは効果があがるまでに時間がかかるので、人身被害があるかないかなどの被害対策の緊急度に応じて適用するかどうかを判断する必要があります。マニュアルではこれらの適用条件をチェックシートで示しました。

追い上げの際の配慮事項

効果的な追い上げを行うためには、①行動域の季節変化、移動ルート、農地・集落への侵入頻度の季節変化、群れの大きさ、隣接して他の群がいるかどうかなどを事前に把握すること、②追い上げ要員を複数の班に編成して役割分担すること（図 4）、③追い上げの際の威嚇にはロケット花火、パチンコなど飛び道具を用いること、④サルが出没する里地の林縁の低木や下草を刈り払って見通しをよくし、サルの侵入を発見しやすく、かつ追い上げ要員が歩きやすくすること、⑤訓練したイヌを積極的に活用することなどが挙げられます（図 5）。また、実際に追い上げを行う場合には、このマニュアルを参照しつつも、対象地域の地形、気象、サルの生息実態などに応じた独自の工夫や試行錯誤が必要です。さらに、効果の持続性を確かめるためにモニタリングも必要です。

本成果は、農林水産省・先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「獣害回避のための難馴化忌避技術と生息適地への誘導手法の開発」（平成 17 ～ 19 年度）によるものです。

図 1.　ニホンザルの追い上げマニュアル

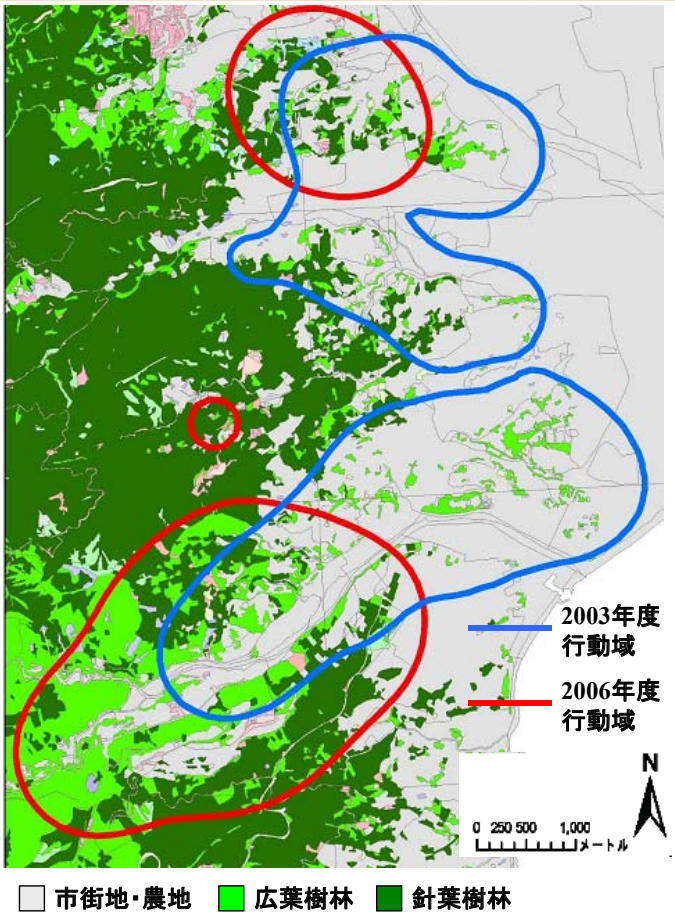


図 2.　神奈川県西湘地域 S 群の行動域変化
長期、頻繁に威嚇しながら追跡することにより、群れの行動域は変化した。

図 3.　大きな群れでは追い上げが困難

図 4.　追い上げは役割分担をした複数の班で行う

図 5.　訓練されたイヌを使うとサルは迅速に遠距離逃走するので効果的

地下水の流れる音から山崩れの場所を予測する

水土保全研究領域　山地災害研究室　　多田 泰之

背景と目的

毎年梅雨や台風等に伴う集中豪雨により山地で山崩れが起こり、尊い命が失われています。また、近年、記録的な集中豪雨がしばしば発生しており、今後とも山崩れ災害を防ぐ対策技術の開発が求められています。山崩れ災害を防ぐためには、山崩れの発生する場所を事前に予測する必要があります。

一般に、山崩れの原因は地形・地質などの因子と降雨や地下水などの水の因子に分けられ、両方の条件が複合して、原地形を維持できない条件に達したときに山崩れが発生します。これまで山崩れの発生しやすい場所は、地形・地質などの因子のみから評価されてきましたが、水の因子はむしろこれらよりも重要なのです。しかし、水の因子である地下水の評価には実用的な技術がなく、これまで評価がほとんど行われてきませんでした。

そこで、地下水が流れるときに発生する「音」の強弱から、簡便に地下水の集中する場所を特定し、山崩れの発生する場所を従来よりも高精度に予測する技術を開発しました。

成　果

1．地下水の流れる場所を調べる

山崩れの多くは大雨が降った時に発生します。これは雨が土に浸透し地下水が発生すると、土の強度が失われ不安定になるためです。広い山の中でこの地下水の発生する場所を知ることが、山崩れが起きる場所を事前に特定する大きな鍵となります。そこで、山崩れの起きるような急勾配の山で、地下水の発生しやすい場所を調べるために「地下流水音探査技術」を開発しました（写真１）。

地下水が岩盤の亀裂や土粒子の間隙（すき間）に入り込むと、間隙中にあった空気を押し出します。このとき、間隙に気泡が生じこれが割れると「コロコロ」・「ボコボコ」・「ゴー」などの曝気音が生じます。これを地下流水音と呼びます。

地下水が多く流れている場所では、土の中の空気と水が盛んに交換されます。つまり、地下水が多く流れている場所ほど大量の気泡がはじけ、地下流水音の強さが大きくなります。地下流水音探査では、高感度な聴診器を使ってこの音の強い場所を探すことで地下水の流れる場所を特定します。

2．山崩れの場所と地下流水音の強さ

山崩れの起きた場所で地下流水音の強さを調べた事例を図１で紹介します。なお、図中のグラフは写真の青色の点線上で測定した音の強さを表しています。また、A、B、C は山崩れの位置を表し、上の写真に対応しています。山崩れの発生した場所では、周囲に比べて地下水流水音が強くなっています。このような結果は、谷型・尾根型などの斜面形状や地質の種類に関係なく多くの斜面で確認されました。山の中で地下水の発生する場所を知ることが、山崩れの場所を予測するのに重要であることが明らかになりました。

3．山崩れの場所を予測する

地下流水音探査により、地下水が集中して崩れる危険性の高い場所を林道のり面で調査しました（写真 2 上）。その結果、のり面には崩れる危険性が高い地下流水音の強い場所が発見されました（図 2 中の矢印の範囲）。この危険と判断された場所は、その後の台風による大雨で実際に崩れ（写真 2 下）、本手法が山崩れの危険性の高い場所を予測するのに有効であることが確認できました。今後は、この手法を広く普及させるために、誰でも地下水の流れる場所を簡単に特定できるように改良する予定です。

本研究は、京都大学防災研究所 COE プログラム、および、文部省科学研究費補助金 (17688007) 地下流水音による斜面崩壊発生場所の予測手法の開発の成果です。また、（株）拓和と共同で特許を申請しています。

詳しくは、「多田泰之ほか（2007）砂防学会誌 60(4) 25-33 をご覧ください。

写真１　地下流水音の測定

地下水の発する音から地下水の流れる場所を特定する方法を開発しました。

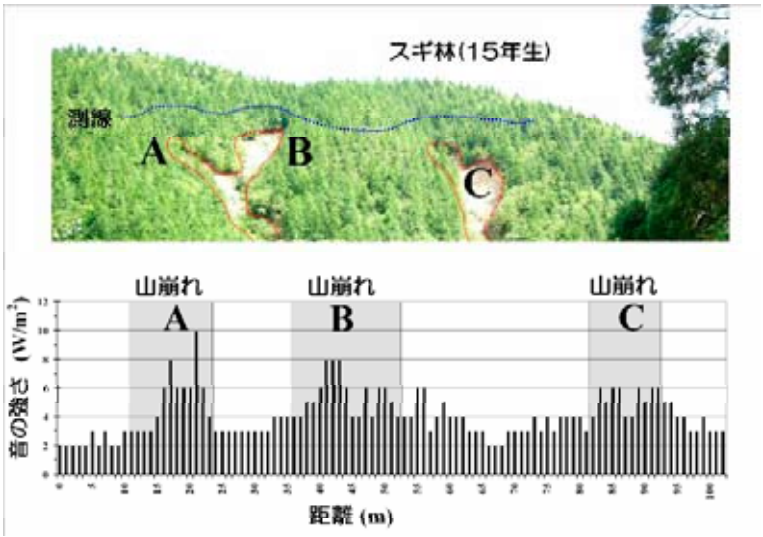
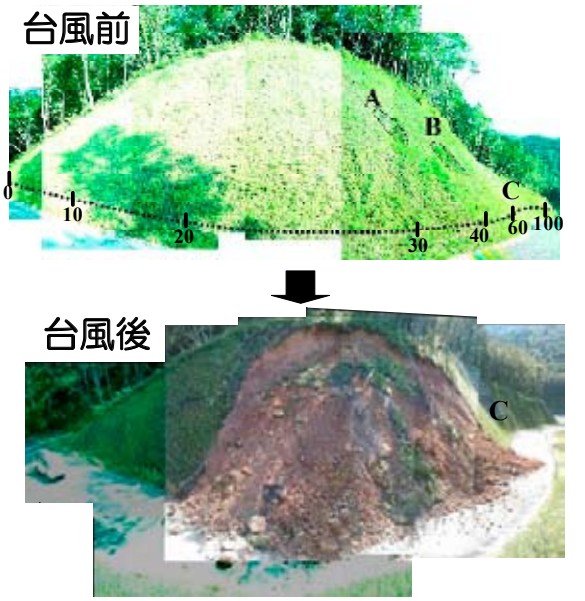


図１　崩壊地での地下流水音の測定例

花崗岩を地質にもつ既に山崩れの起きた斜面で地下流水音探査を実施しました。山崩れの場所では地下流水音が強く、地下水の集中する場所で山崩れが発生することを明らかにしました。



地下流水音の強い場所で崩壊が発生

写真２　台風前後の林道の様子

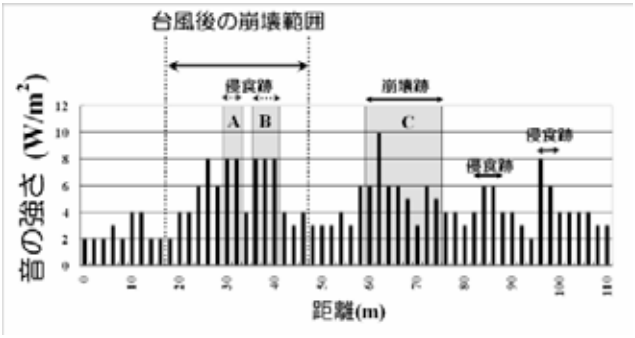


図２　台風前の地下流水音の分布

地下流水音探査により、地下水が集中して崩れる危険性の高い場所を林道のり面で調査しました（写真２上）。その結果、のり面には崩れる危険性が高いと考えられる地下流水音の強い場所が発見されました（図２中の矢印の範囲）。この危険と判断された場所は、その後の大雨で実際に崩れ（写真２下）、本手法が山崩れの危険性の高い場所を探すのに有効であることが確認できました。

森林浴で免疫能を高め、健康な体を維持する

森林管理研究領域　環境計画研究室長　香川 隆英
バイオマス化学研究領域　樹木抽出成分研究室　大平 辰郎、松井 直之
日本医科大学衛生学公衆衛生学講座　李　卿
千葉大学環境健康フィールド科学センター　宮崎 良文、朴 範鎭

背景と目的

森林浴は、ストレス解消や健康増進のためのセルフメディケーション*の手段として、大変関心が高まってきています。一方、森林を維持、保全しながら木材生産以外にも活用し、地域振興を図る手段としても着目されています。この森林浴をさらに普及させるためには、免疫機能の向上など森林浴の医学的な効果を明らかにすることが大切です。

そこで、東京のサラリーマンに２泊３日の森林浴をしてもらい、ヒト NK（ナチュラル・キラー）活性やリンパ球内抗ガンタンパク質が、一般の都市部への観光旅行と比べてどの程度増加し、その結果健康への効能があるかを明らかにしました。

成　果

２泊３日の森林浴の効果

東京の男性サラリーマン 12 名（35 ～ 56 才）に、日本の森林浴発祥の地でもある長野県上松町の赤沢自然休養林で２泊３日の森林浴をしてもらいました (写真１)。午前と午後の２時間程度、休憩しながらゆっくりと森林浴を行い、翌日の朝採血しＮＫ活性、ＮＫ細胞数、細胞内の抗がんタンパク質などを測定します。ここで、ＮＫ活性とはナチュラル・キラー活性のことで、ガン細胞やウイルスを攻撃し破壊するＮＫ細胞の活性のことをいいます。

３日間の森林浴によって、ヒトＮＫ活性が森林浴前に東京で測定した値よりも、１日目で 43%、２日目で 56%の割合で上昇しました。さらに、ＮＫ活性は森林浴後東京に帰り、１週間経ったあとにおいても 45%高いまま維持され、１ヶ月後においても 23%高く持続していることが分かりました (図１、統計的な有意差有り)。そして、ＮＫ細胞がガン細胞などを攻撃する際放出する３種類の抗ガンタンパク質、グラニューライシン、パーフォリン、グランザイム A・B がいずれも増加し、効果が持続することも分かりました。このように、２泊３日の森林浴で都会のサラリーマンは免疫能が５割以上高くなり、１ヶ月間もある程度高いまま効果が持続することが分かったのです。

一般の旅行との比較

一方、同じ東京のサラリーマンの方々に２泊３日で名古屋市の観光旅行に行ってもらいました。文化財の見学などをしてもらい、NK 活性を測ったところ、森林浴のように活性の上昇は認められませんでした。このことから、一般の都市への観光旅行と比較した場合には、森林浴には免疫能を高める効果があると考えられます。森林浴はこのようにＮＫ活性を上昇させることから、ガンの予防効果が期待されます。一方、森の成分の一つであるフィトンチッド（樹木が放出する化学物質）の香りを、被験者の就寝時に嗅いでもらった実験では、血圧の低下が認められたことも分かっています。ストレス過多の都市住民に全国の森林地域で森林浴をしていただき、心身をリラックスさせて免疫能を上げ健康を維持することで、医療費の増大が抑制され、森林の活用・整備や地域の振興も期待されます。

写真１　長野県上松町での森林浴の様子（左）と名古屋市での観光の様子（右）

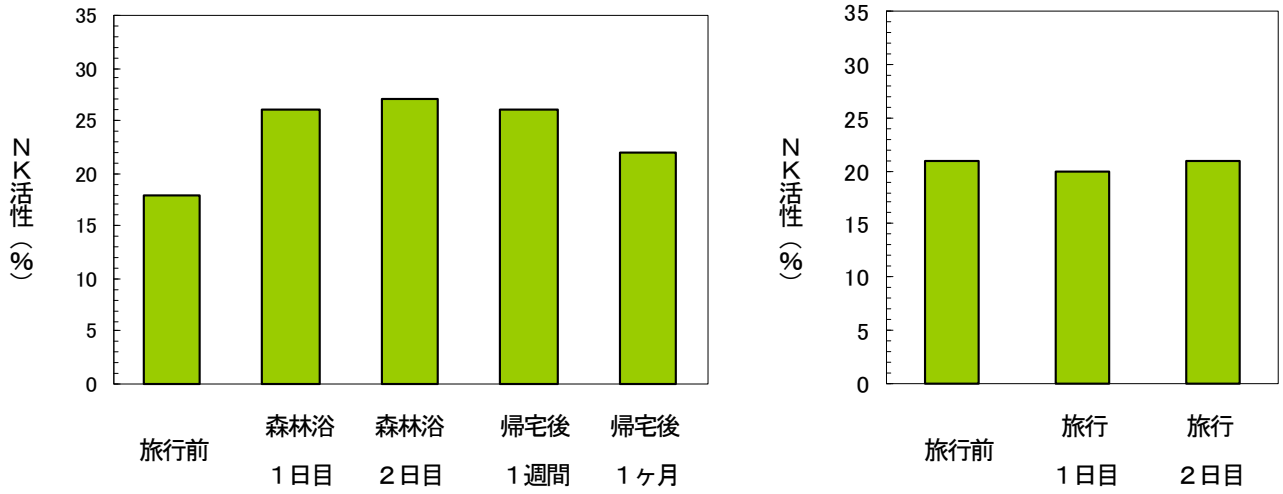


図１　森林浴（左）と一般の観光旅行（右）での免疫能の比較

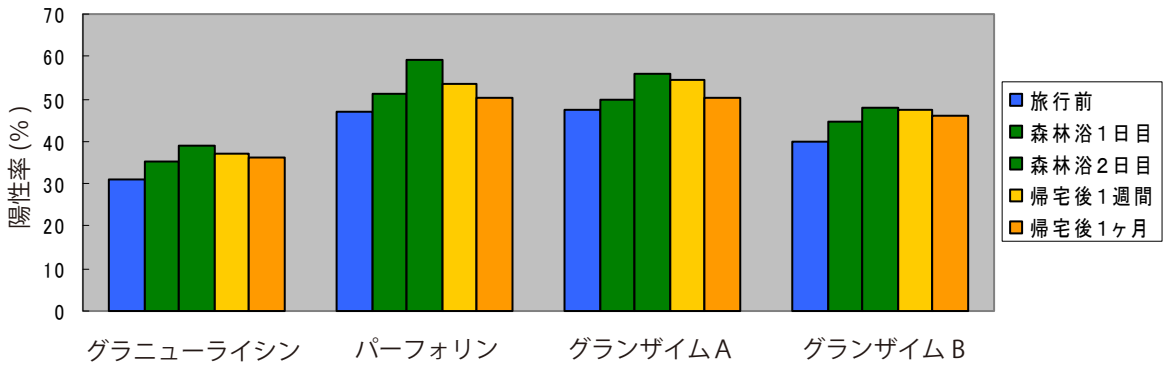


図２ 森林浴による４種類の抗がんタンパク質の増加

＊については、巻末の用語解説をご覧ください。

実際の木造住宅の柱や梁はどのくらいの強度的な余裕があるか？

構造利用研究領域　木質構造居住環境研究室　青井 秀樹
複合材料研究領域　集成加工担当チーム長　宮武　敦
研究コーディネータ　神谷 文夫

背景と目的

木造住宅の柱や梁には、屋根や床などの建物自身だけでなく、タンスや机などの家具や、そこに住む人々の荷重が加わっています。また、地震や台風の際には、短時間ですが大きな力が加わります。いずれの場合でも部材に加わる力を一定以内に留めることで、過度に変形したり、壊れたりしないように設計されています。

しかし実建物では、加わる力や変形量が制限値に対してどのくらいの余裕があるかは良く分かっていません。そこで本研究では実際に建てられた木造住宅の柱と梁を調査してこれらを明らかにし、強度の低い材料でも充分安全に使えるかどうかについて調べました。

成　果

調査は、大手住宅メーカーによって実際に建てられた3棟の木造住宅の構造計算書等を用いて行いました。構造計算書には、通常の状態（長期）、地震時や台風時（短期）、および雪が建物に積もった時（積雪時）における荷重と、それらに基づく力や変形量が各部材について算出してあります。これを用いて、各部材の力やたわみが、使用材料に対して与えられている許容値や部材に対して定められている制限値に対してどのくらいの割合にあるか（これを“負担率”と呼ぶこととします）を求めました。

柱について調査した結果、負担率が 80%を越えるものがいくつかありましたが、それらはごく一部でした。また全体の 80%は負担率が 4 割以下であることから、大部分は充分な余裕があることが分かりました（図1）。

主要な梁について調査した結果、梁の長さによって異なる特徴が見られました。例えば約 2.3m の梁では、梁の中央付近に上階の柱や壁が載る場合があり、それによってせん断による力が許容値近くまで達することがありました。一方で約 3.6m の梁ではたわみが制限値近くに達する傾向にありました。全体として見ると、その長さが 1.3m 以上のものでは、その 69%は負担率が 4 割以下であることから、強度的な余裕は柱と同様に充分確保されていると言えます（図2）。

ところで、力には曲げ、引張、圧縮、せん断の種類があり、部材によってその一部または全部が加わります。今回の調査では、例えばある梁のそれぞれの力による負担率は曲げ：58、引張：0、圧縮：21、せん断：15（%）、およびたわみによる負担率は 30（%）であったとします。この梁の例では曲げ強度が最も高い負担率を示すことから、最も重要な強度となります。従って、集成材のように材料構成を変えて各々の強度を設計できる材料では、主要な用途が分かれば重要な強度のみを強くするなど人為的にコントロールすることが可能です。これにより強度の低い材料も適材適所で有効に利用することが可能になります。本研究ではこのための詳細なデータが得られ、これらが集成材の JAS 規格を改定する際の参考資料として用いられました。

本研究は交付金プロジェクト「スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価」による成果です。

詳しくは：青井秀樹 他（2007）第 57 回日本木材学会大会研究発表要旨集：PH015、PH016、青井秀樹 他（2008）第 58 回日本木材学会大会研究発表要旨集：PH011、PH012 をご覧下さい。

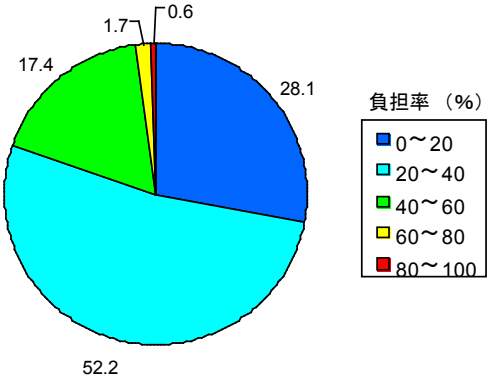


図１　柱の負担率別の割合（%）
（調査した３棟の合計）

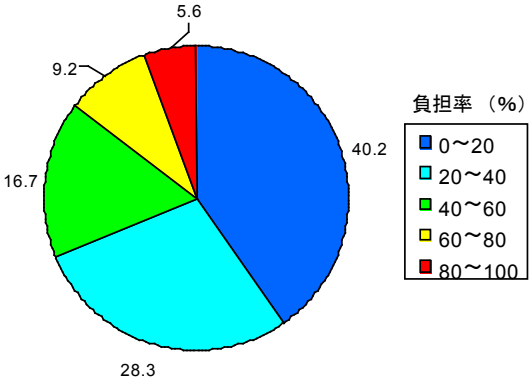


図２　梁の負担率別の割合（%）
（調査した３棟の合計）
ただし長さが 1.3 m以上の梁を対象

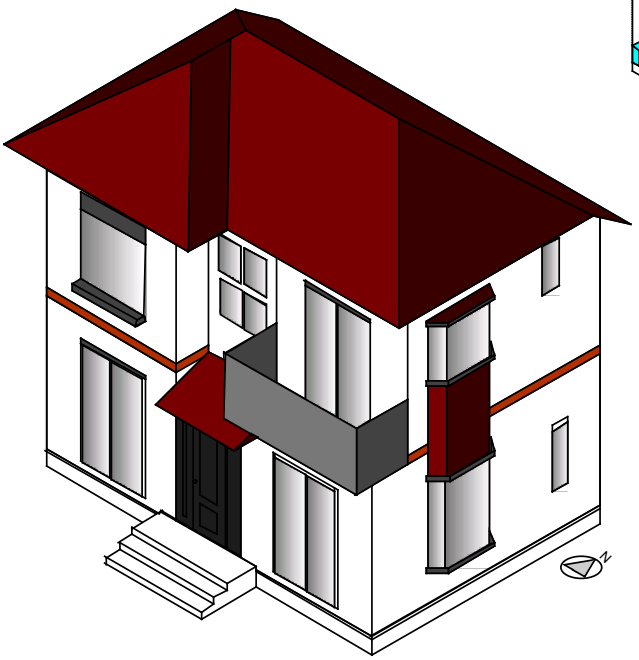


図３　調査対象とした木造住宅のうちの１棟（外観）

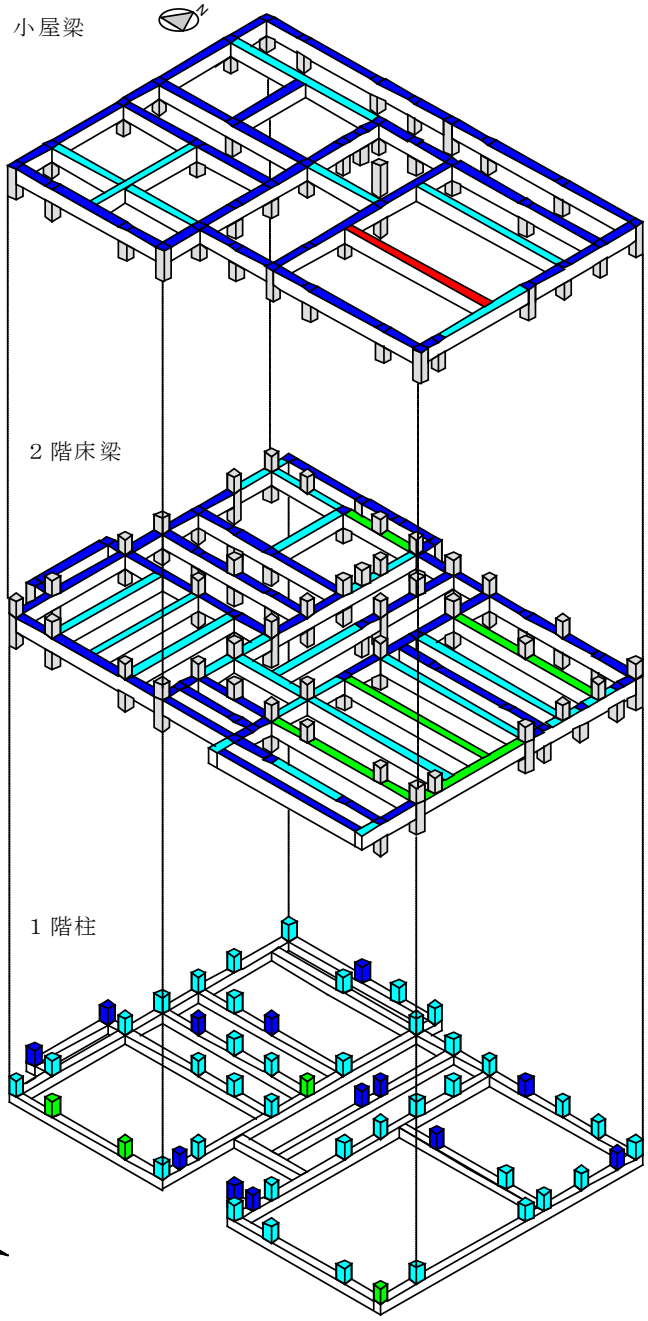


図４　柱と梁の負担率　（調査結果の一例）

0 ≦ 負担率 ≦ 20 (%)
20 ＜ 負担率 ≦ 40 (%)
40 ＜ 負担率 ≦ 60 (%)
60 ＜ 負担率 ≦ 80 (%)
80 ＜ 負担率 ≦ 100 (%)

負担率が大きくなるほど余裕が少なくなります。

自然エネルギーを利用した快適温熱環境住宅

構造利用研究領域　木質構造居住環境研究室　　森川　岳
バイオマス化学研究領域　樹木抽出成分研究室　　塙　藤徳

背景と目的

地球温暖化の要因となる二酸化炭素の排出や電力消費を抑えた冷暖房として、太陽熱や地熱などの自然エネルギーを利用した冷暖房システムが注目を集めています。しかし、これまでに開発されてきた自然エネルギー利用の冷暖房システムは構造が複雑で高価なため、日本での一般住宅への普及は十分に進んでいません。

そこで、簡易な構造で低価格での設置が可能な空気循環式の太陽熱利用冷暖房システム（以下ソーラーシステム）を開発し、その性能について検証しました。

成　果

ソーラーシステムの概要

このソーラーシステムは、①軒先と棟に設けられた通気口をつなぐ屋根下通気層、②日射によって屋根下通気層で暖められた空気の屋内への取り込みと排出を切り替える通気路切替装置、③屋根下通気層と床下をつなぐ縦ダクト、④縦ダクト内の空気の流れを上下方向に作ることができる送風機等を備えた構造となっています（図1）。例えば冬の昼の場合、通気路切替装置で通気路を遮断して日射により屋根下通気層でつくられた暖気が棟通気口から逃げるのを防ぎます。縦ダクトの送風機を下方向に運転することにより、暖気を床下に通して基礎のコンクリートを暖めながら通気口から居室空間に取り込みます。冬の夜は、昼に熱を蓄えたコンクリートで暖められた床下の空気を室内に取り込みます。状況に応じてさまざまな通気経路をつくれること、ならびに太陽熱の給湯利用などの装置を省いている分簡易な構造となっていることが本ソーラーシステムの特徴です。

ソーラーシステムの効果

図 2 にソーラーシステムを運転した 2007 年 2 月 7 日の温度変化を示します。最も寒い季節にも関らず、屋根下通気層の最高温度は 14 時の 42℃まで達しました。縦ダクト内の送風機を下方向に運転した結果、縦ダクト下の温度は屋根下通気層からの暖気によって大きく上昇し、14 時に 26℃に達しました。室内ではやや遅れて 16 時に 22℃まで上昇しました。これは、暖気の循環を 15 時 30 分まで続けたため、14 時を過ぎても上昇し続けたことを示しています。この日の外気の最低温度は午前 7 時に -4℃であったのに対し、室内の最低温度は同時刻の 16℃でした。これらの室内の温度は、人が快適に生活するのに必要な条件を満たしています。

図 3 に 2 月上旬と 2 月下旬の 3 日間における温度変化を示します。2 月下旬はソーラーシステムの運転を停止しました。しかし、太陽が低く日射量が少なかった 2 月上旬の方が太陽が高く日射量が多かった 2 月下旬よりも室内の温度が平均して 2℃程高いことが分かります。すなわち、このソーラーシステムは建物内全体を少なくとも 2℃上昇させる効果があると言えます。

以上の結果を元に計算すると、10 月下旬から 2 月上旬までの運転期間に 1327wkh のエネルギーがソーラーシステムから供給されたことが分かりました。これは 1 世帯当たりの平均的な電力使用量の約 4 ヶ月分に相当することから、このソーラーシステムは十分な省エネルギー効果があると言えます。冬だけでなく夏の間も熱気の排出や地中から得た冷気の利用を工夫すれば、1 年を通じての効果も期待できます。従来の自然エネルギー利用のシステムで太陽熱を給湯にも利用しているものは本研究で用いた建物の場合約 200 万円の導入費用が必要であるのに対し、本ソーラーシステムは冷暖房に特化しているものの導入費用は約 30 万円と見積もられます。本研究の結果から、十分な性能を持つ自然エネルギー利用システムの低価格化が実現できることが示されました。

なお、本研究で開発したソーラーシステムは特許出願中です。

詳しくは、塙藤徳、森川岳 (2007) 太陽／風力エネルギー講演論文集 : 421-424 をご覧下さい。

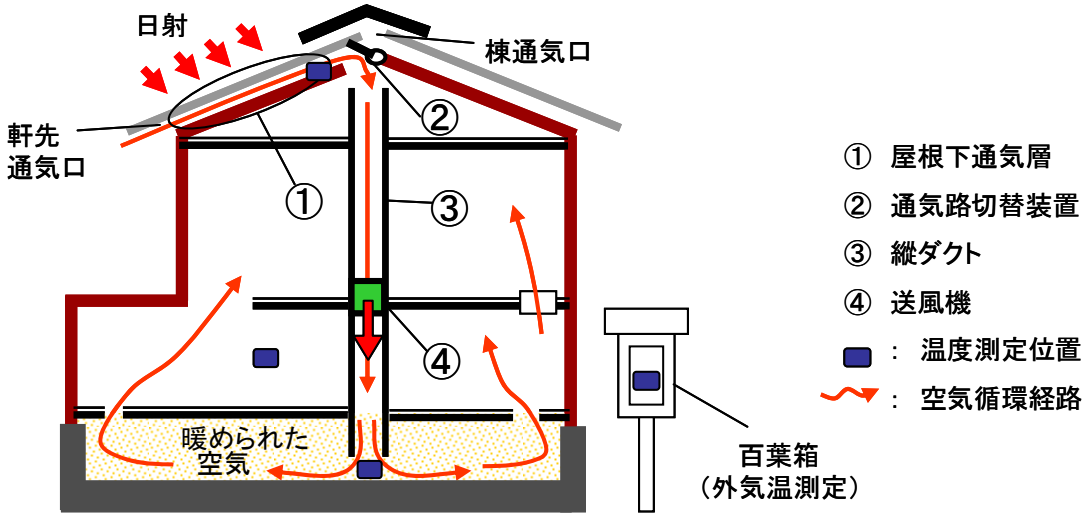


図１　ソーラーシステムの概要と冬の昼における空気循環経路

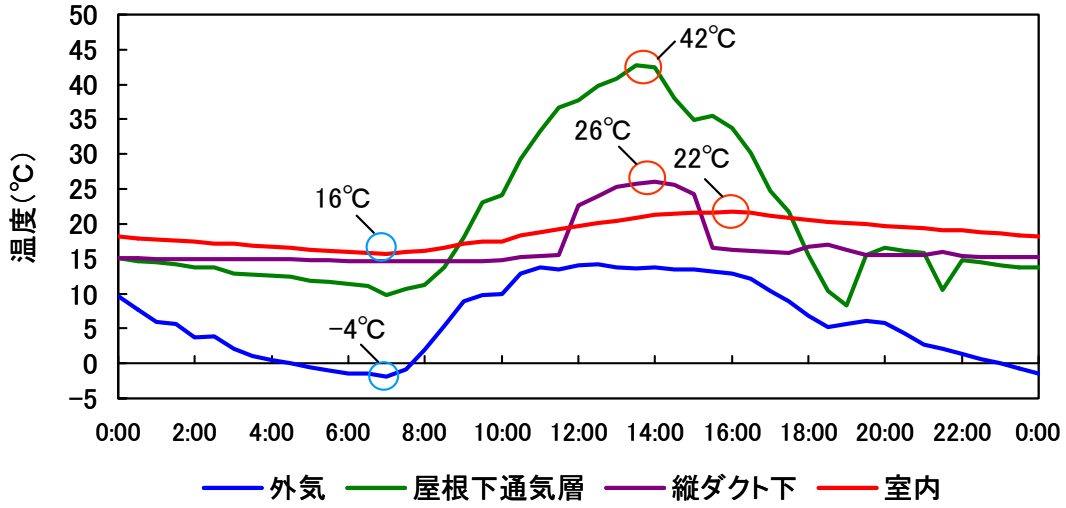


図２　2007 年 2 月 7 日における屋内外の温度（システム運転時）

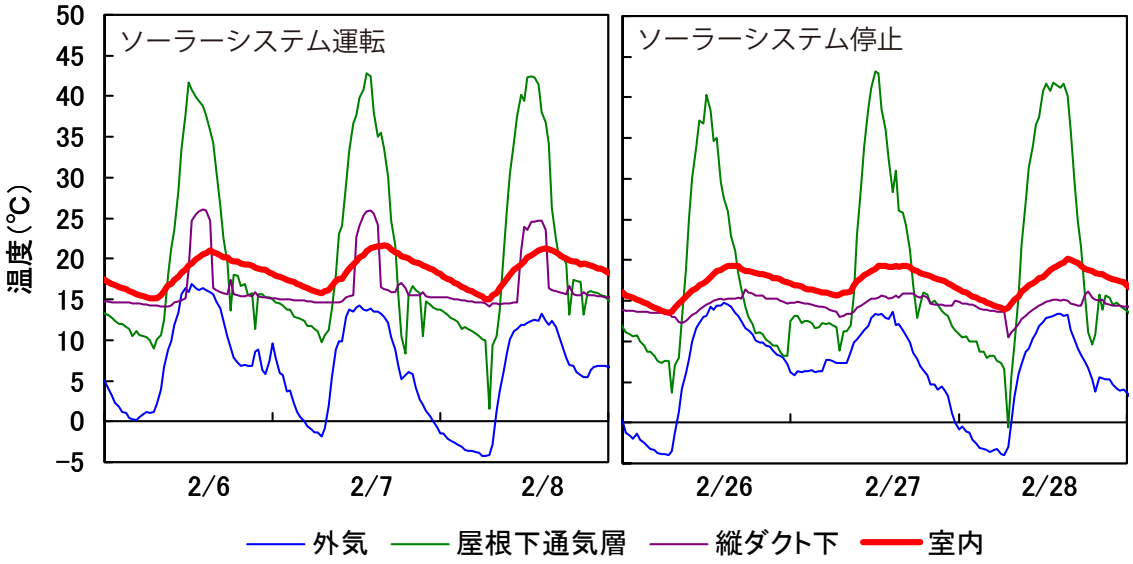


図３　2007 年 2 月上旬のシステム運転時および下旬のシステム停止時における屋内外の温度

実大サイズの木材が衝撃力を受けたときの現象が分かった

構造利用研究領域　材料接合研究室　　加藤 英雄、長尾 博文、井道 裕史
和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場　井戸 聖富

背景と目的

落石防護柵や自動車用防護柵など外構材として、木材を利用する試みが各地で進められています。これらの部材は、衝突のときに曲がることで性能を発揮します。このとき、衝突により発生する部材の変形の仕組みや強さなどの耐衝撃性が重要になります。しかし、これまでは、質量の大きい鋼材やコンクリートで試験は行われてはいるものの、質量の小さい木材についてはほとんど行われていないのが現状です。

そのため、木材に適した耐衝撃性を評価する試験装置と計測システムを開発しました。

成　果

木材の耐衝撃性を評価するには？

耐衝撃性の試験として、図１のように２点で支えた試験体におもりを自由落下させて衝突させる衝撃曲げ試験があります。衝撃現象は、極めて瞬間的であることから、試験装置や計測システムが試験を成功させるかどうかのキーとなりますが、これまでは実大サイズの木材の試験に適する良い方法がありませんでした。そのため、本研究では、1）実大サイズの部材の試験ができる治具を開発すること、2）装置と試験体の挙動を測定できる加速度計とひずみゲージなどのセンサーを適切に選定すること、3）短時間に変化するセンサーからの情報を適切に記録する方法を確立することが重要でした。このようなことを踏まえて開発した方法により、落石防護柵や自動車用防護柵用の円柱加工木材の衝撃曲げ試験を行いました。試験では、1 秒間に 50 万回の割合で加速度とひずみの変化を同時に計測するとともに、1 秒間に２万フレームの割合で試験体の変形の様子を高速度デジタルカメラで撮影することに成功しました。

おもりが衝突したとき、どうなっているか？

木材が破壊するまでの変形挙動は、以下のような過程でした。すなわち、図２のように、おもりが試験体に衝突した直後のＡからＢまでの間、荷重が増加しながらおもりは減速しました。また、試験体はひずみが増加し、変形し始めました。次に、おもりと試験体の間に隙間が生じ始め、Ｂの時点で隙間が最大になりました。このとき、荷重が減少しそれに伴っておもりは再び加速しました。同時に、試験体のひずみは減少し変形が戻る挙動を示しました。変形が元に戻る前に、Ｃのようにおもりが試験体に再び衝突しました。そのため、最初の衝突と同じような挙動が再び発生しましたが、ひずみは完全に元には戻っていないため、更にひずみは大きくなりました。このような挙動が、試験体に破壊が生じるＤまで繰り返されました。このような結果から、耐衝撃性を定量的に評価するには、応力波*や慣性力*の影響が含まれることに考慮して解析する必要があります。

本研究は、和歌山県の戦略的研究開発プラン「木製落石防護柵の開発」の共同研究として実施されました。また、高速度デジタルカメラの撮影は、（株）フォトロンの協力により行いました。

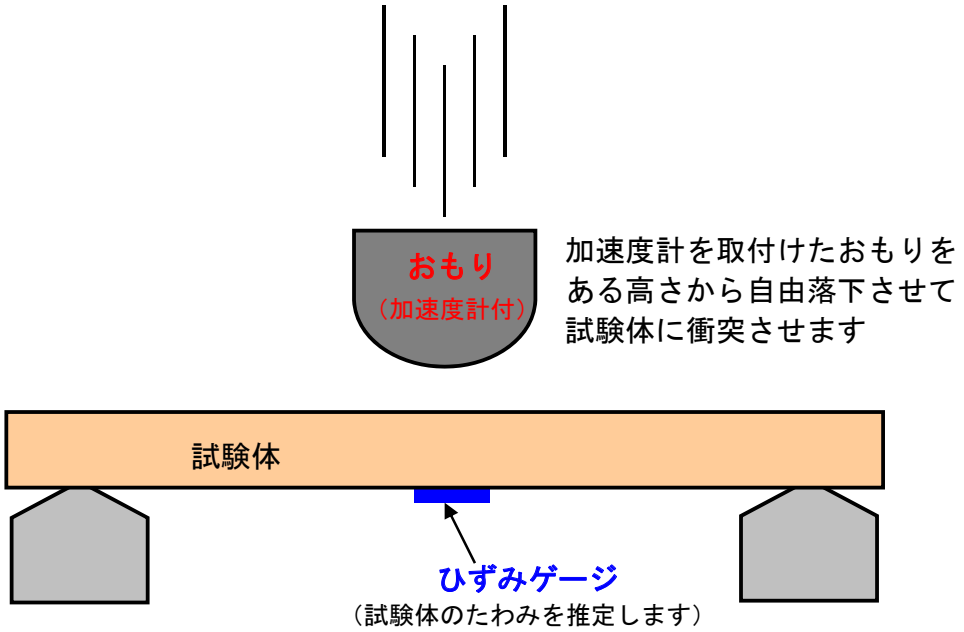


図１　衝撃曲げ試験のイメージ

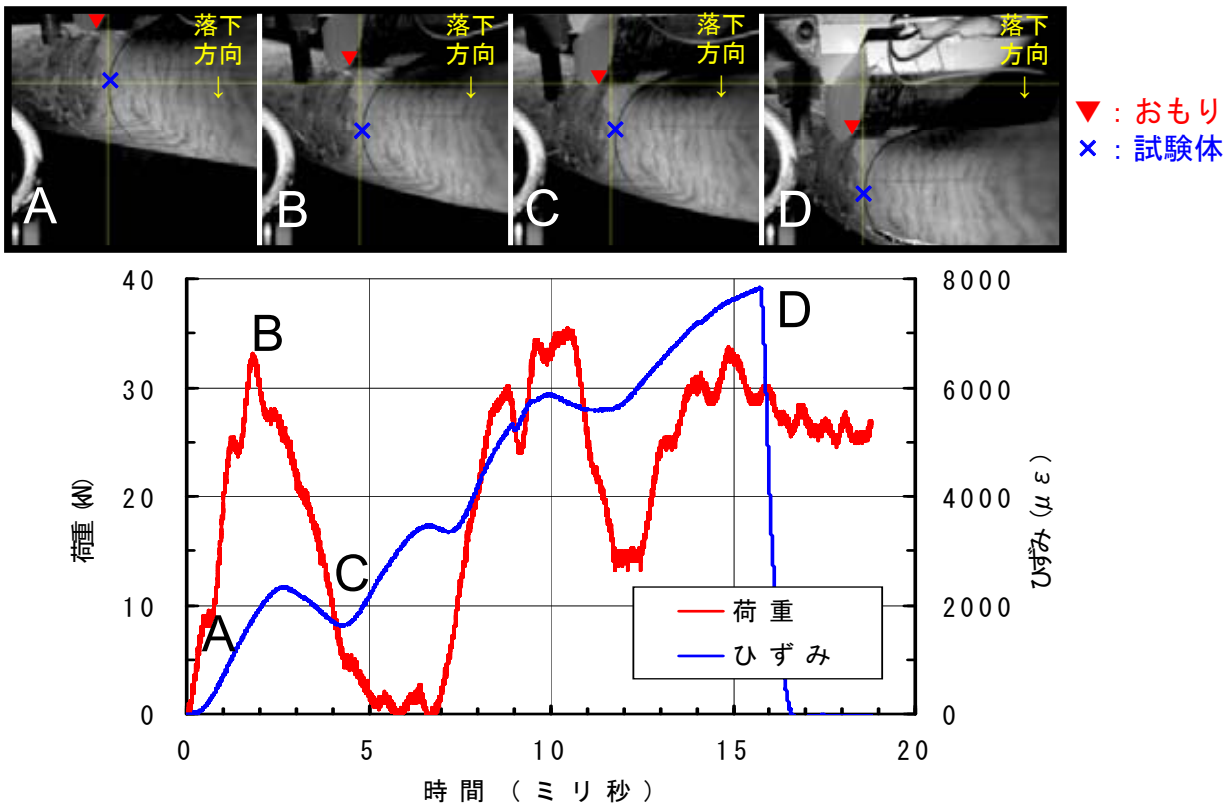


図２　試験体が破壊するまでの衝撃曲げ挙動
（85.4kgのおもりを高さ2.5mから自由落下させた時）
※写真とグラフのアルファベットが対応します

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

林業経営収支予測システム（FORCAS）の開発

温暖化対応推進領域　温暖化対応推進室　松本 光朗
九州支所　森林資源管理グループ　鹿又 秀聡
林業工学領域　収穫システム研究室　岡　勝
森林管理領域　資源解析研究室　細田 和男

背景と目的

スギ、ヒノキ、カラマツといった人工林では、間伐が必要であることは言うまでも無いことですが、間伐による収入と経費のバランスが見合わなければ実行できません。さらに、間伐による一時的な収支だけではなく、主伐までを考えた総合的な収支を予測し、施業計画を立てることが理想です。この時、最近の間伐の傾向をふまえ、強度間伐や列状間伐を含む様々な間伐様式に対応する必要があります。

このような背景から、様々な間伐様式に対応した収穫予測手法と、伐出システムや立地条件による収穫コストの予測を統合し、間伐から主伐までを見通したトータルな収支を予測するパソコン用プログラム FORCAS（FORrest management CAsh forecast System：フォーカス）を開発しました。

成　果

FORCAS のしくみ

FORCAS は、小班レベルの林分を対象として、成長や収穫に伴う収入の予測と、主間伐に伴うコストの予測を並行して行い、そららを合算することにより収支予測を行います。FORCAS はマイクロソフト社のエクセルの上で作動するので、ほとんどの Windows パソコンで利用することが出来ます。

収入予測の基礎となるシステム収穫表 LYCS は、東京大学白石教授の開発したもので、間伐の時期や強度を自由に設定し、収穫表を求めるものです。これを全面的に改良し、より柔軟で使いやすい収入予測モデルを開発しました。適用樹種、地域はスギ（15 地域）、ヒノキ（10 地域）、カラマツ（4 地域）です。

間伐や主伐に関わるコスト予測については、伐出システムと集材距離によりコストを推定するコストモデルを基礎に、伐採面積、平均単木材積、賃金を変数として加え、新たなコスト予測モデルを開発しました。現状で対応している伐出システムは、【林内作業車型：S1】伐採・造材：チェンソー、集材：ウインチ付き林内作業車、【集材機型：S2】伐採：チェンソー、集材：集材機、造材：プロセッサ、【タワーヤーダ型：S3】伐採：チェンソー、集材：タワーヤーダ、造材：プロセッサといった３種類ですが、今後より多くのシステムに対応していく予定です。

FORCAS の使用手順

FORCAS の使用手順を図 1 に示しました。①まず、林分調査の結果を入力します。データが無い場合、省くことができます。②次に、材価と採材方法を入力します。③コストに関わる選択肢として、伐出システムや集材距離、施業面積、労務費を指定します。④主伐の時期、間伐の時期や強度、方法を指定し、実行します。⑤すると、指定に応じた収穫予測結果が表示されます。⑥さらに、収入予測・コスト予測とそれらを合算した収支予測が表示されます。その結果をふまえて、③、④の条件を変えながら予測を繰り返し、希望する施業計画を見つけ出します。

FORCAS による予測例

図 2 は、施業計画の違いと、伐出システムの違いによる収支予測の違いを示したものです。施業計画は定性間伐の長伐期、列状間伐の長伐期、強度間伐、無間伐といった４種類を、伐出システムは先に示した S1 ～ S3 の３種類を用いました。その結果、列状間伐と定性間伐の比較では、間伐収入は列状の方が多いものの、主伐までのトータルの比較では定性間伐の方が有利であることが分かりました。また，集材距離の短いこの条件では、林内作業車型が有利となることが分かりました。このように施業計画やコスト条件を変えて収支予測を簡易かつ迅速に行い、目的に応じて容易に比較検討できることが FORCAS の最大の利点です。

FORCAS の試用をご希望の方は森林総合研究所までお問い合わせ下さい。

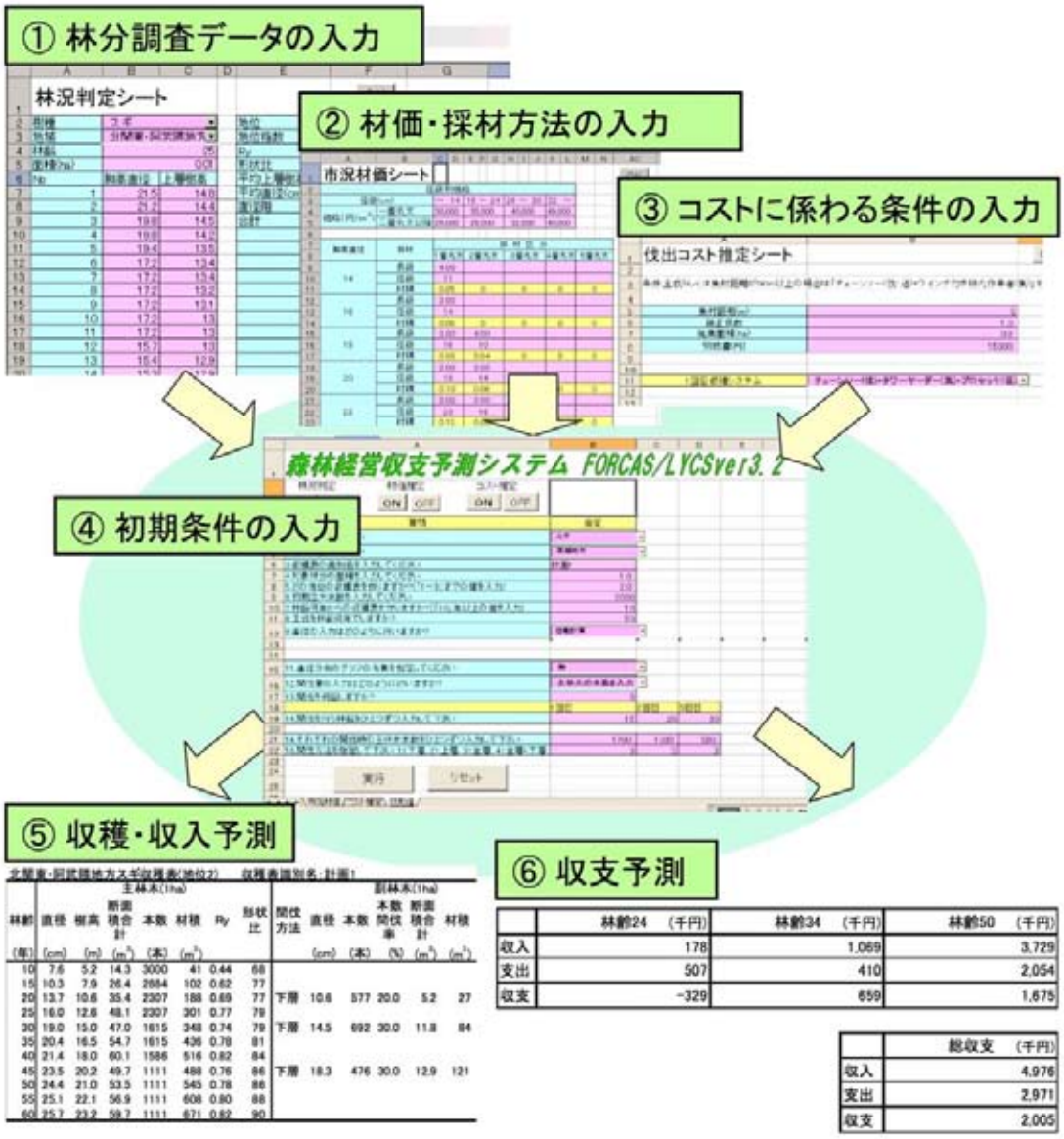


図１　収支予測システム FORCAS の利用の流れ

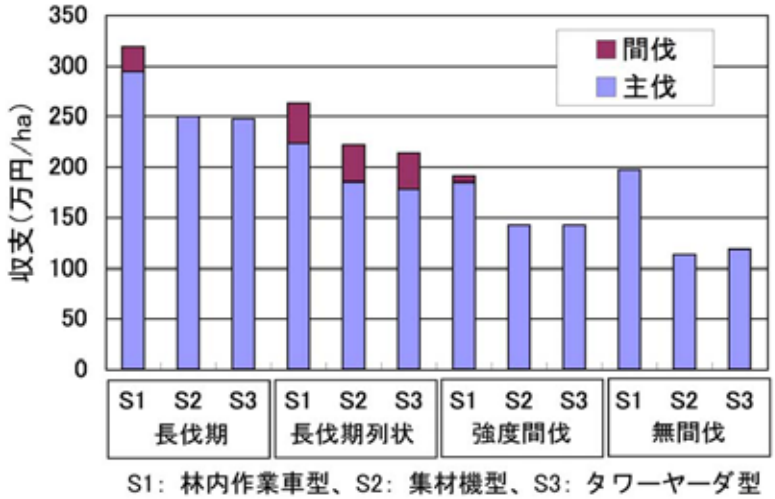


図２　FORCAS で予測された施業・伐出システム別の収支の比較

【比較の条件】　対象林分：茨城地方スギ。地位：標準、面積：3ha。集材距離：50m、労務費：15000 円 / 人・日。　長伐期：60 年伐期、4 回間伐。長伐期列状：60 年伐期、後期 2 回が列状間伐。強度間伐：45 年伐期、3 回間伐。無間伐：45 年伐期、間伐無し。

森林整備施策の立案・実施・評価に不可欠な県民の協力

林業経営・政策研究領域　林業システム研究室　石崎 涼子
四国支所　流域森林保全研究グループ　都築 伸行
九州支所　森林資源管理研究グループ　鹿又 秀郷

背景と目的

2000 年以降、公共事業を行なうための国から地方自治体への支出が全般的に縮小しています。その影響で、県レベルでは間伐や植林といった森林整備施策のための経費について、環境保全や雇用確保などの観点から何とか確保しようとする様々な動きも起こっています。例えば、森林環境税や緑の雇用事業等がそれに当たります。こうした森林整備施策を巡る動きは、林業経営体の行動や持続可能な森林経営のあり様に強く影響を与えます。

そこで本研究では、国による施策が持続可能な森林経営に及ぼす影響を検討するために、2000 年代前半（2000 年～ 2005 年）における財政統計データの分析と実態調査を通じて、森林整備に関わる県レベルの施策がどのように変化してきているのかを明らかにしました。

成　果

森林整備に関わる予算の重点配分

国や地方自治体が民有林に対する諸施策を行なうために支出する経費は、2000 年以降大きく減少しています（図１）。民有林の森林整備に関わる支出は、おおよそ都道府県の「造林」という経費で捉えることができます（図２）。「造林」の事業費も 2000 年代前半（2000 年～ 2005 年）に年々減少していますが、その減少の規模が他の公共事業と比べて緩やかに抑えられています（図３）。この意味で予算が重点的に配分されているといえることが分かりました。また、都道府県別にみると、国からの補助を受けずに行う「造林」の経費を 1990 年代末よりも増額している自治体が少なからずあり、一部の自治体が自ら財源を確保して森林整備施策を拡大していることも分かりました。

森林環境税などによる財源確保

森林整備施策の財源を確保するために課す新税は「森林環境税」と呼ばれており、既に平成 20 年 4 月 1 日現在で 29 県に拡がっています。新税の収入は、多くの場合年間１～８億円程です。これは、各府県が現在自らの財源で行なっている造林の事業費と同程度かそれ以上、自治体によっては数十倍もの額に相当します。多くは、主に所有者が自らは手入れができなくなった森林を公的に整備する事業に充てられます。また、自治体によっては、新税ではなく、他の事業の予算を大幅に削減することで森林整備施策の費用を捻出しています。

森林整備施策に関わる県民

こうした財源確保は、森林・林業に深く関わる関係者のみで実現できるものではありません。幅広い県民の理解と協力が重要となり、森林整備施策の立案・検討、実施、評価の過程には以前より様々な形で居住地域や職業、所属団体等が異なる多様な人々が関わるようになっています（図４）。都市住民が積極的に関わることで、都市と山村との新たな関係を築く契機も生み出されています。

県民と一口に言っても、森林・林業の関わりの濃淡や視点は様々です。なかでも林業事業体などが持つ知見を如何に活用するかは、民間の力を活かして施策の効率や実効性を高めるうえでの鍵を握っています。行政としては、こうした民間の知識や活力を十分に生かせるような協議の場を用意し、施策の実施に反映させていくことが必要でしょう。

詳しくは：石崎涼子 (2008) 公私分担と公共政策（金澤史男編、日本経済評論社）、267-286、石崎涼子 (2007) 山林、1475、62-68 をご覧ください。

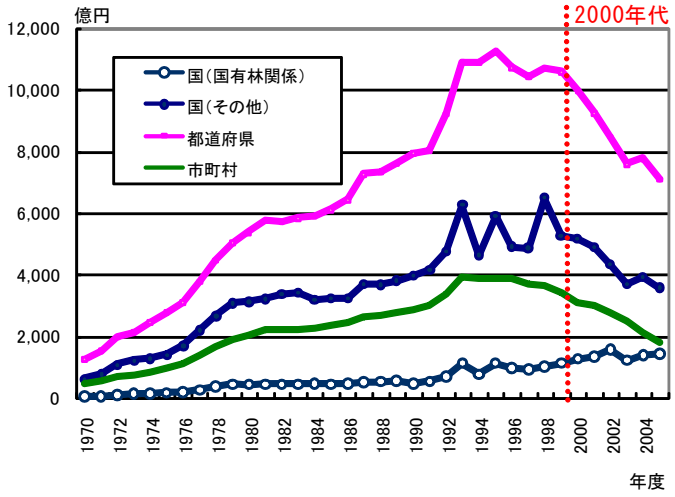


図１　森林・林業に関わる政府支出の推移

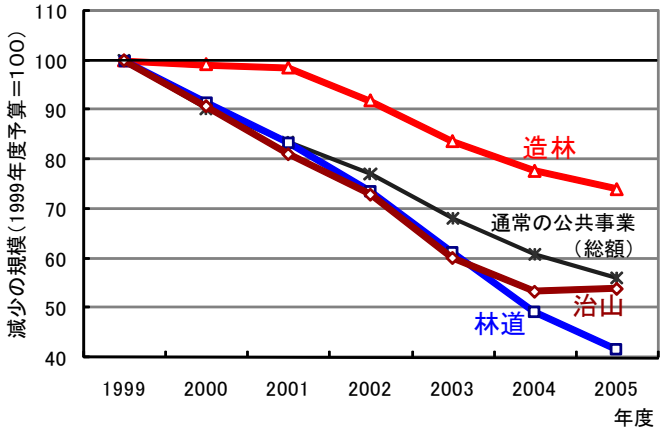


図３　都道府県における事業費の減少

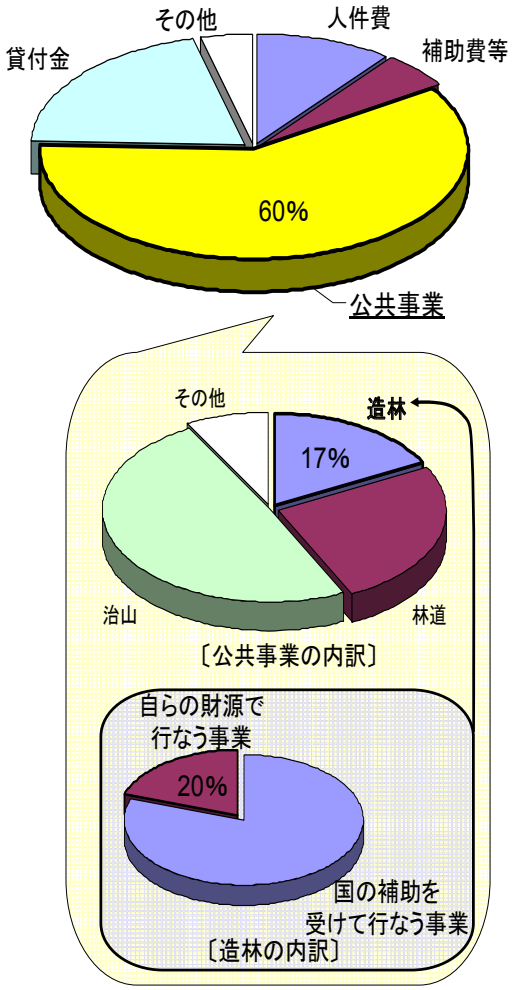


図２　都道府県の林業費（2005 年度）

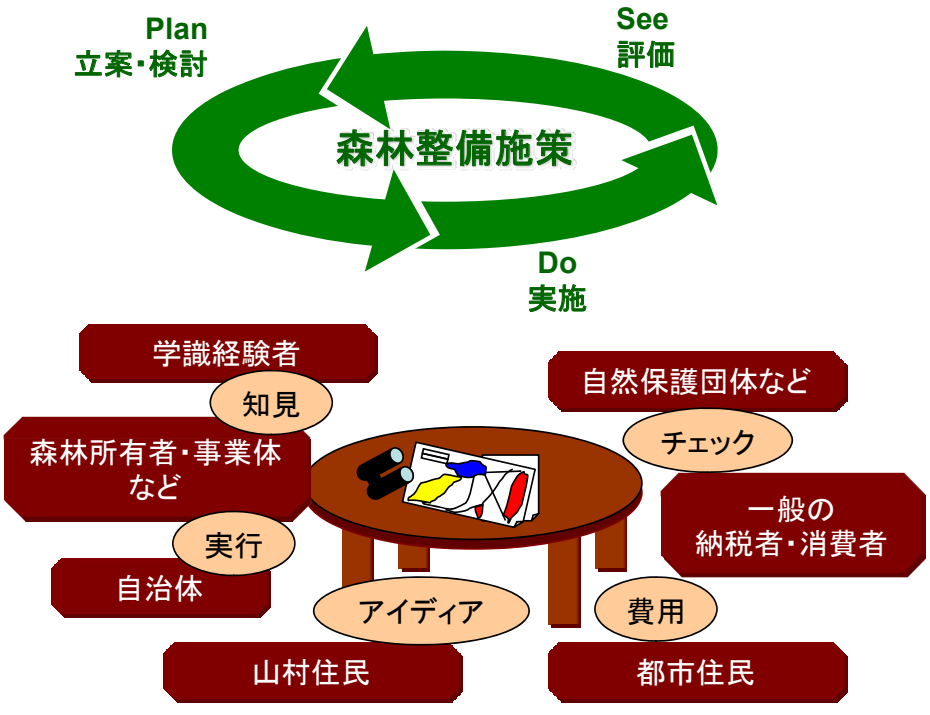


図４　森林整備施策の県民参加のイメージ

幅はぎ・台形ラミナを用いて新構造用集成材を開発

複合材料研究領域	積層接着研究室	平松　靖、新藤 健太
	集成加工担当チーム長	宮武　敦
加工技術研究領域	木材機械加工研究室	藤本 清彦
構造利用研究領域	材料接合研究室	長尾 博文、原田 真樹、加藤 英雄、井道 裕史
	接合性能評価担当チーム長	軽部 正彦
	木材構造木質環境研究室	宇京 斉一郎
研究コーディネータ		神谷 文夫
岡山県木材加工技術センター		野上 英孝、金田 利之

背景と目的

直径の小さい丸太を集成材のラミナ*として有効利用するための技術に、台形材加工や幅はぎ加工があります。台形材加工は、図のように小さい丸太から台形の材を切り出す技術です。四角よりも円に近い形で材を切り出すので、歩留まりが高くなります。幅はぎ加工は木材を幅方向に接着する技術です。角材や台形材を幅はぎすることで、任意の幅のラミナ（幅はぎラミナ、台形ラミナ）を製造することができます。しかし、これらのラミナを日本農林規格（JAS）で定められた強度基準を満たす構造用集成材に利用するための強度や接着強さの評価方法は確立されていません。

そこで、各ラミナの製造方法とヤング係数*、強度との関係を求めるとともに、これらのラミナに対して一般的なラミナで用いられている品質管理方法が適用可能かどうかを調べました。

成　果

幅はぎ・台形ラミナのヤング係数および強度

幅はぎラミナ、台形ラミナは 1 枚のラミナが複数の角材あるいは台形材からできています。そこで、1 枚のラミナの中にある複数の材のヤング係数の違いがラミナのヤング係数にどのような影響を与えるか調べました。その結果、角材あるいは台形材をランダムに組み合わせて作製した幅はぎラミナおよび台形ラミナのヤング係数は、それぞれのラミナを構成する材のヤング係数の平均値とほぼ等しい値をとることが分かりました。また、破壊試験の結果、幅はぎラミナ、台形ラミナのヤング係数と強度との相関が高いことが分かりました。

幅はぎ・台形ラミナを用いた集成材のヤング係数および強度

ヤング係数が明らかな幅はぎラミナ、台形ラミナを JAS に従ったラミナ構成で積層接着して集成材を作製し、破壊試験を行いました。その結果、それらのヤング係数および強度はともに JAS の構造用集成材に求められる基準を満たすことが分かりました。

ラミナの品質管理

一般的なラミナ（1 枚のひき板）を用いて構造用集成材を製造する場合、ラミナをたたいたときの振動特性や、負荷をかけたときのたわみ量を測定することによって、ラミナ 1 枚 1 枚のヤング係数を測定し、ラミナと集成材のヤング係数や強度を管理しています。実験の結果、これらの方法は幅はぎラミナ、台形ラミナを用いて構造用集成材を製造する場合にも、品質管理方法として適用可能であることが分かりました。

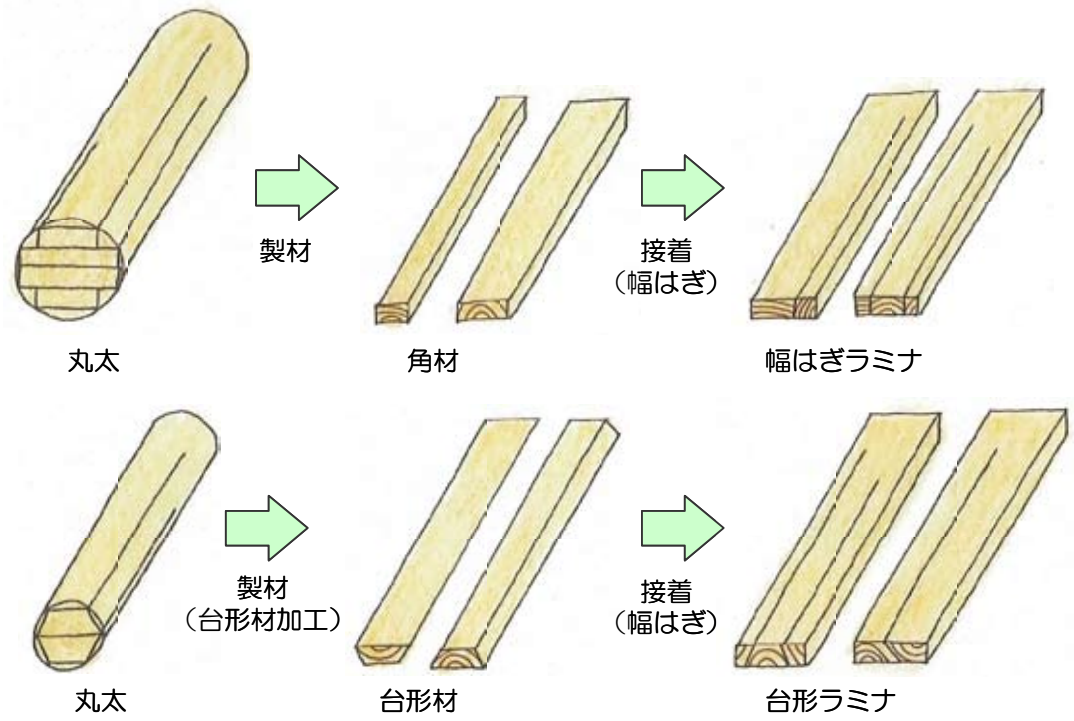
この成果が JAS 等に反映されることによって、直径の小さな丸太から歩留まり高く構造用集成材を製造することが可能になり、地域材の需要拡大に寄与することが期待されます。

台形集成材の製造については、津山国産材加工協同組合にご協力いただきました。

本研究は、交付金プロジェクト「スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価」による成果です。

詳しくは：野上ら、藤本ら、平松ら（2007）日本木材加工技術協会第 25 回年次大会講演要旨集、25-26、27-28、29-30 の 3 報告をご覧下さい。

幅はぎラミナ・台形ラミナの製造

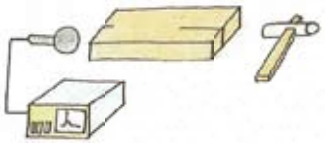


ラミナの強度試験結果
・ヤング係数は平均化される
・ヤング係数と強度の相関は高い

適用可能

ラミナの
積層・接着

ラミナの品質管理方法
（ヤング係数の測定）

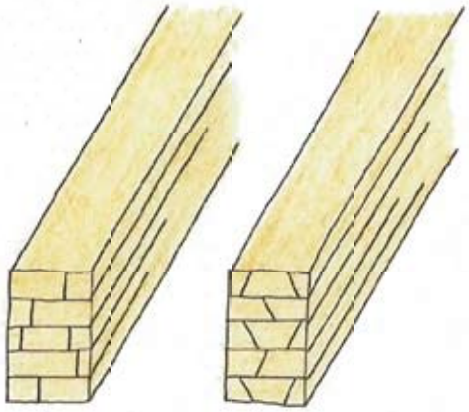


①たたいたときの振動特性の解析

②負荷をかけたときのたわみ量の測定

集成材の品質管理が可能

構造用集成材の製造



幅はぎラミナ集成材　台形集成材

集成材の強度試験結果
・ヤング係数、強度ともに
JAS基準を満たす

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

きのこ栽培の害菌類を調べる診断キットを開発

九州支所　森林微生物管理研究グループ　宮崎 和弘
玉川大学学術研究所　奥田　徹
福岡県森林林業技術センター　川端 良夫
宮崎県林業技術センター　新田　剛

背景と目的

きのこの栽培を行っていると栽培したいきのこ以外の菌（いわゆる害菌類）が培地に混入し、きのこの発生量を減らしてしまうことがあります。被害がひどいときには、生産を断念せざるを得ない状況にまで追い込まれます。害菌類は、培地の放冷や接種作業、培養期間中に混入します。対策を施す上では、どの工程で害菌が培地に混入しているかを把握しておくことが重要になりますが、害菌の胞子や菌糸は小さく、その混入時期を特定することは容易ではありません。

そこで、害菌対策の助けとなるよう、栽培施設のどこに、どんな菌が生息し、その菌はどれくらいきのこを害する可能性があるのかといったことを簡便に判断できる診断キットの開発を試みました。

成　果

調査用培地の改良

施設内に生息する菌を調べる方法として、あらかじめ準備した培地を一定時間解放して、その培地の上で再生してくる菌を数えたり、何が生育してきたかを調べることで、害菌の生息密度や、種類を調べる落下菌調査という方法が用いられています。今回は、この方法で用いる調査用の培地を改良するため、培地に添加するローズベンガルの濃度を変えた実験を行い、害菌類の胞子発芽や、菌糸伸長速度への影響から、従来の 50ppm よりも 25ppm の方が適していることが分かりました。最終的には、表１に示した培地組成を調査用の培地として推奨することとしました。

対峙培養試験による害菌の強さの測定

害菌となる菌類にも様々な種類が存在し、その中にはきのこの菌糸を消化し自分の栄養としてしまう非常に侵害力の強いものから、逆にきのこの菌糸に被圧されてしまうような弱い菌まであります。そのため施設に生息している菌の侵害力を見分けることは、対策を行う必要があるかどうかを判断する上で重要な情報になります。そこで、きのこの菌糸と害菌の菌糸を対峙させて培養したときに、どのように反応するのか（図１）を対峙培養試験により観察し、それぞれの菌のきのこ菌糸に対する侵害力を評価しました。その結果の一部が表２です。強さを５段階に分け、表中の数値が高い方が、きのこの菌糸に対する侵害力が高いことを意味しており、菌の種類によって侵害力に違いがあることが分かります。

害菌検索システムの構築

先に述べた培地組成の培地上に生育した菌を簡易に同定し、その菌の侵害力データを検索できる害菌検索システムを構築しました。インターネットのウェブサイトなどで採用されているＨＴＭＬ形式で、害菌の成長速度や培養コロニーの外観、顕微鏡観察時の細胞の形態画像、前述した侵害力データなどの各種データが相互に検索できるようになっており、主な害菌の同定を簡単に行えるようになりました（図２）。

今後さらにデータの種類や対象とする害菌の種類数を増やし、よりよいシステムに仕上げていく予定です。

本研究は、農林水産省の先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「診断キットを用いたきのこ栽培の害菌被害回避法の開発」の成果です。

詳しくは、宮崎和弘・山下和久・川端良夫・新田　剛（2006）九州森林研究 , 59:275-276、等の関連業績をご覧下さい。

表１　落下菌調査用培地（推奨）

試薬	濃度
ポリペプトン	0.60%
デキストロース	1.00%
KH_2PO_4	0.05%
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.05%
ローズベンガル	25ppm
ストレプトマイシン	40ppm
寒天	1.60%

表２　害菌の侵害力評価結果（対シイタケ）

害菌の種類	侵害力
Trichoderma harzianum	5
Trichoderma atroviride	4
Trichoderma citrinoviride	3
Cladobotryum varium	3
Penicillium fellutanum	1
Rhizopus sp.	2

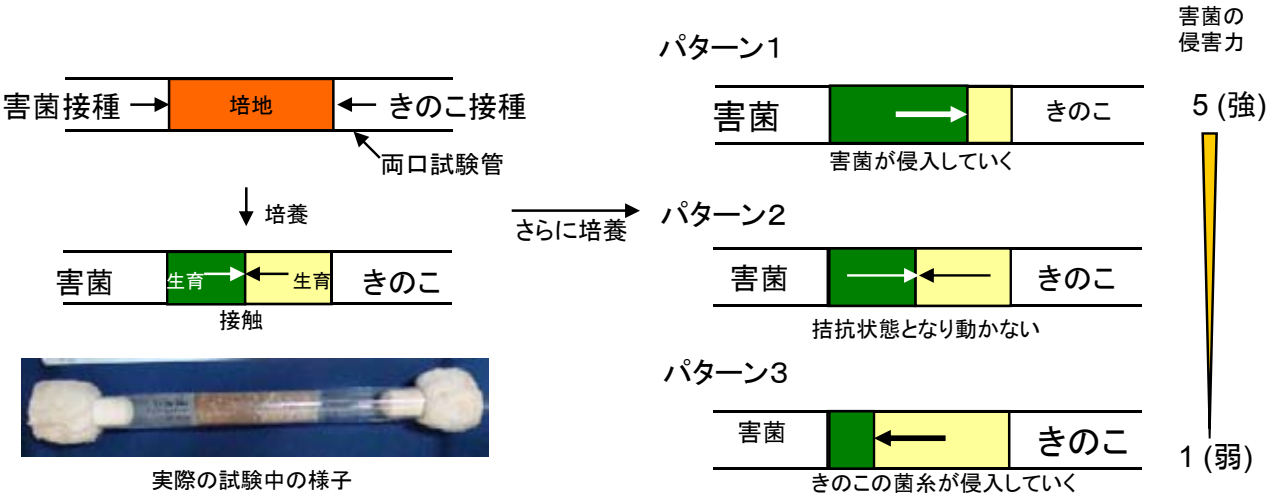


図１　両口試験管による対峙培養試験の方法と侵害力結果のパターン

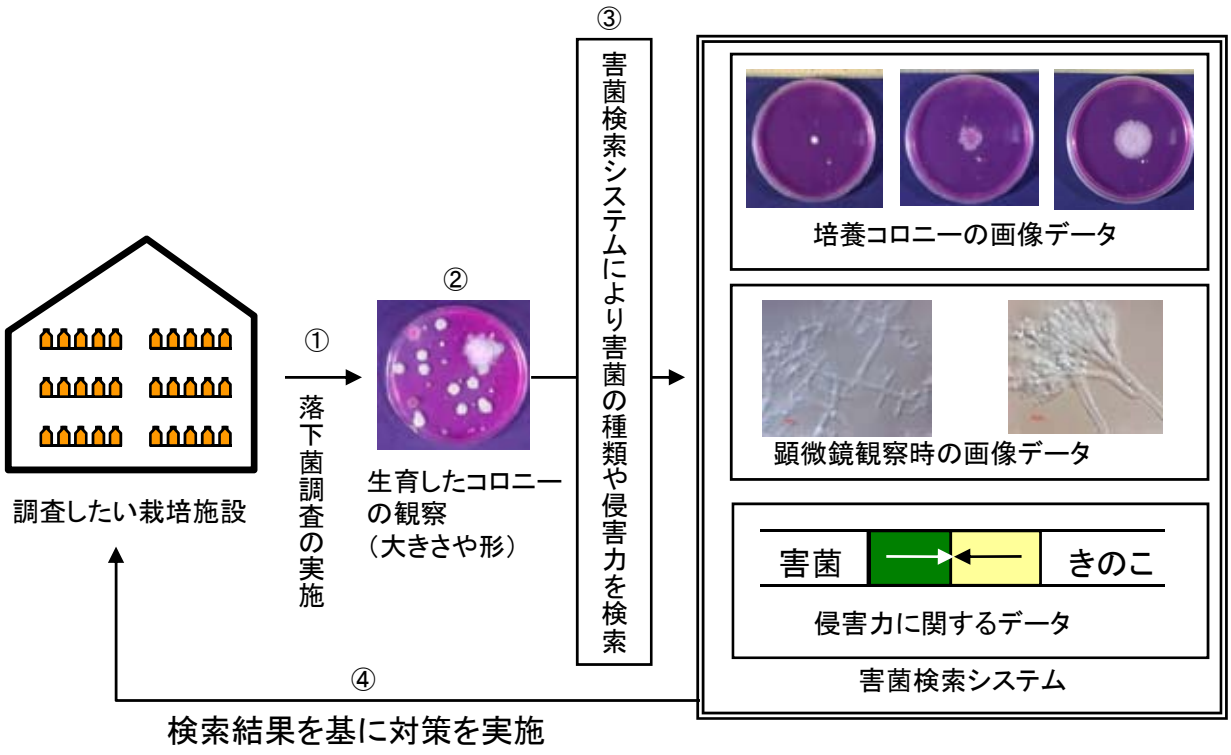


図２　害菌検索システムを利用した調査方法の概念図

高周波を活用して寸法や含水率の異なる木材を同時に乾かす

加工技術研究領域　木材乾燥研究室　小林　功、本田（石川）敦子
領域長　黒田 尚宏

背景と目的

現在、住宅設計の多様化が進み、同じデザインの住宅を大量に生産するといった時代は過ぎつつあります。顧客のニーズにあわせて設計し、使用する木材を一棟分ごとに製材する方式もあるほどです。住宅には乾燥材を使います。工場では含水率や大きさの揃った木材を一度にたくさん乾燥処理するのが効率的ですから、大きな製材工場では、木材の寸法や含水率ごとに乾燥機を変えて乾燥しています。しかし、我が国には乾燥機を１～数機しか持たない小さな製材工場が多く、しかも乾燥には時間がかかるので少量の需要への即時対応は難しい状況にあります。

そこで、一つの乾燥機の中で、寸法や含水率の異なる木材を同時に乾燥できる技術の開発を目指しました。

成　果

乾燥方法の考え方

住宅に使う心持ち * の柱材や梁材は乾燥によって割れやすく、また、含水率が高いほど、断面が大きいほど乾燥に時間がかかりますが、これまでの研究によって130℃くらいの過熱蒸気で加熱すると割れにくくなることや、減圧しながら高周波で加熱する (高周波加熱減圧乾燥法) と、低い温度で速く乾くことが分かっています。そこで、これら二つの加熱方法の利点の組み合わせによって（図１）、寸法や含水率が異なる木材を同時に乾燥することを考えました。

工程１）寸法と含水率によってグループ分けを行う (予備試験)・・割れずに速く乾燥できても、材の寸法によって終了時期がバラバラでは困ります。そこで、寸法が異なっても同時に終了できるよう、含水率によるグループ分けをします。そのため、工程２と３における含水率と必要処理時間との関係を予備試験を行って把握し、含水率のボーダーラインを設定します。

工程２）過熱蒸気で加熱する（前処理）・・工程１で含水率によって分けた木材を、過熱蒸気によって割れ防止のための加熱処理をします。

工程３）高周波加熱減圧乾燥で仕上げる・・高周波加熱減圧乾燥によって乾燥の促進と含水率の均一化を図ります。

グループ分けのための予備試験 (工程１) と乾燥試験（工程２～３）の実施

製材工場の現場を考慮して、柱用サイズの木材 (正角材) と梁用サイズの木材 (平角材) を同時に乾燥する場合について試験を行いました。まず、これまでの研究に基づいて工程２と工程３の処理時間と加熱温度を設定して予備試験を行い、処理前の含水率と必要処理時間との関係を調べて統計処理しました。これによって、「工程３の終了時に柱材と平角材が同時に終了する（含水率18% 以下になる）ため、乾燥を始める前（工程２の開始時点）に含水率でグループ分けするボーダーライン」を設定しました（工程１：図２）。この試験で得た結果は現場に適用できますし、また、乾燥する木材の含水率が今回とは異なる場合でも、同様の試験を一度だけ行ってボーダーラインを再設定すれば同様の乾燥が行えます。

次に、この方法を使って正角材と平角材の乾燥試験を行い、これらが含水率 12 ～ 18 の範囲に同時に仕上がることを確認しました（工程２および３：図３）。また、変色や材内部の割れが少ないことも確認しました（写真１）。

なお、本研究は「交付金プロジェクト、原木供給と最終用途を連携させるスギの一次加工システムの開発」による成果です。

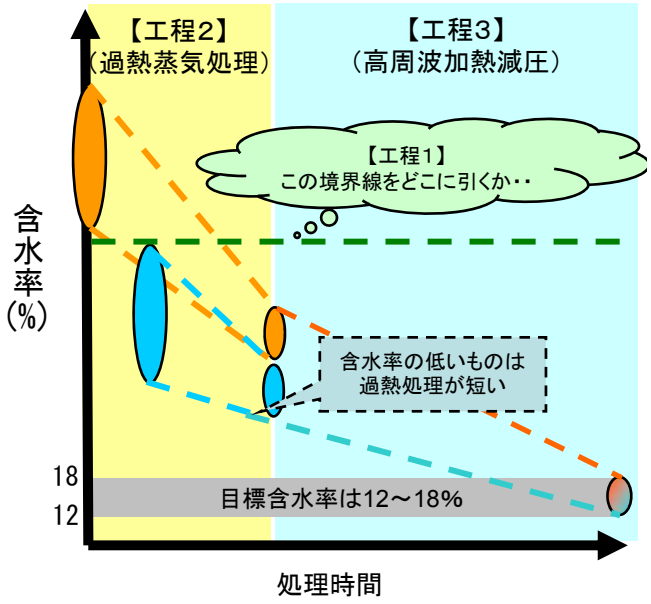


図１．組み合わせ処理法の考え方

【工程１】：含水率によるグループ分け
【工程２】：過熱蒸気処理
【工程３】：高周波加熱減圧乾燥

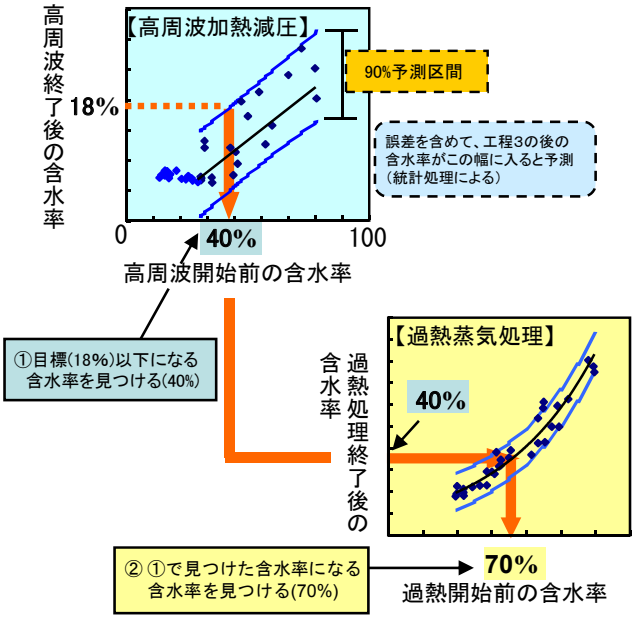


図２．【工程１】でグループ分けする境界の含水率を決める（予備試験）

図の見方
高周波乾燥終了後に目標含水率（18%）以下になるよう過熱蒸気処理の開始前含水率を見つけます。

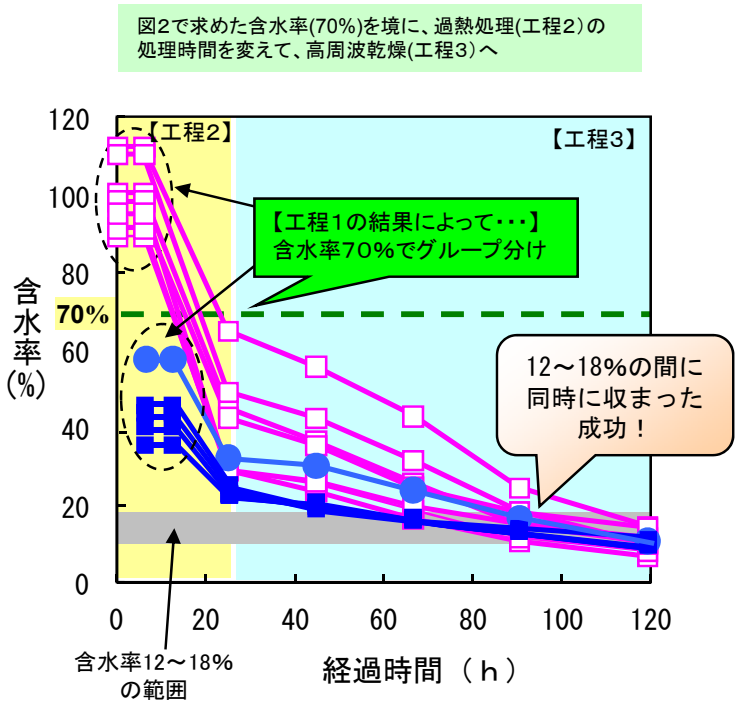


図３．乾燥試験の結果

含水率 12 ～ 18%の範囲へ１本の柱材を除いて、同時に到達した

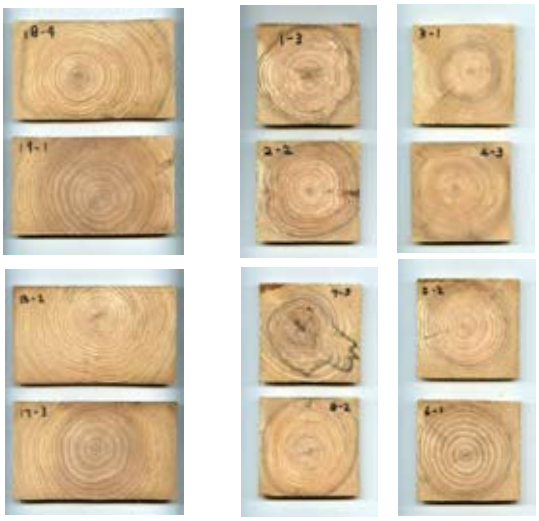


写真１．乾燥試験終了後の断面の様子

内部割れはほとんどなく、色も良好です

＊については、巻末の用語解説をご覧ください。

遺伝子組換え技術を用いてポプラの早期開花に成功！

生物工学研究領域　樹木分子生物研究室　伊ヶ崎 知弘
ストレス応答研究室　西口　満

背景と目的

樹木は、種を播いてから初めて開花・結実するまでに数年から数十年の長い時間を必要とし、効率的に品種改良することが困難です。一方、ひとたび着花するようになると、毎年、大量の花をつけ、スギやヒノキ、シラカバのように花粉症を引き起こす樹種もあります。樹木の育種年限を短縮したり、花粉発生を抑制したりするには、どのようにして樹木の花芽の形成（花成：かせい）が起こるのかを知る必要があります。

そこで、モデル実験樹木としてよく使われるポプラを実験材料に、花成を誘導する役割を持つ遺伝子や抑制する役割を持つ遺伝子を単離し、遺伝子組換え技術を用いてそれらの遺伝子を制御することで、ポプラを短期間で開花させるなど、花成を自在に制御することに成功しました。

成　果

樹木の花成を制御する遺伝子の単離と機能の解析

シロイヌナズナというモデル実験植物では、花成制御メカニズムの解明が進んでいます。そこで、私たちはポプラにも同様の花成制御メカニズムが存在すると仮定し、シロイヌナズナの花成を抑制する *TFL1* と花成を促進する *FT* という構造のよく似た２つの遺伝子に着目し、これらの遺伝子とよく似た構造を持つポプラの遺伝子を探索しました。そして、それらの候補となる９つの遺伝子を単離し、系統学的に解析したところ、２つの遺伝子は *TFL1* と同じ遺伝子グループに分類され、５つの遺伝子は *FT* と同じ遺伝子グループに分類されることが明らかになりました（図１）。

また、それぞれの遺伝子がポプラのどの器官や組織で働いているのか、シロイヌナズナで働かせた場合に花成にどのような影響を及ぼすのかについて調べました。その結果、*PnTFL1* と命名した花成抑制遺伝子は、ポプラの頂芽及び花芽にならない位置の側芽で発現していること（図２a、ｂ）、また、*PnTFL1* を大量に作るように組換えたシロイヌナズナは、顕著に花成が抑制されることがわかりました。一方、*PnFT1* 及び *PnFT2* と命名した花成促進遺伝子は、花が咲く年齢に達したポプラの花成が起こる時期の葉では強く発現しているものの（図２ｂ）、花が咲く年齢に達していない個体の同じ時期の葉ではあまり発現していないこと（図２a）、また、*PnFT1* や *PnFT2* を大量に作るように組換えたシロイヌナズナでは、花成が顕著に促進されることもわかりました。

花成制御遺伝子を利用した早期開花ポプラの作出

花成抑制遺伝子 *PnTFL1* を働かなくしたり、花成促進遺伝子 *PnFT1* や *PnFT2* を大量に作るようにポプラを改変することで、ポプラの開花までの期間を短縮できると考え、遺伝子組換え技術を用いて組換えポプラを作出しました。*PnTFL1* の働きを抑制したポプラは、鉢出し後または挿し木後１ヶ月～５ヶ月程度で開花しました（図３）。また、*PnFT1* を大量に作る組換えポプラも植物ホルモンのジベレリンの合成を阻害する薬剤で処理すると、花芽形成が促進され（図４）、２ヶ月程度で着花しました。

この成果は、スギを初めとする樹木の育種年限の短縮、花粉発生の抑制や遺伝子組換え体からの花粉飛散等による遺伝子攪乱の防止技術等の開発に役立つと考えられます。

本研究は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター基礎研究推進事業「果樹等における花成制御技術の開発」による成果です。

詳しくは：Igasaki, T., Watanabe, Y., Nishiguchi, M., and Kotoda, N. (2008) Plant and Cell Physiology 49(3): 291-300 をご覧ください。

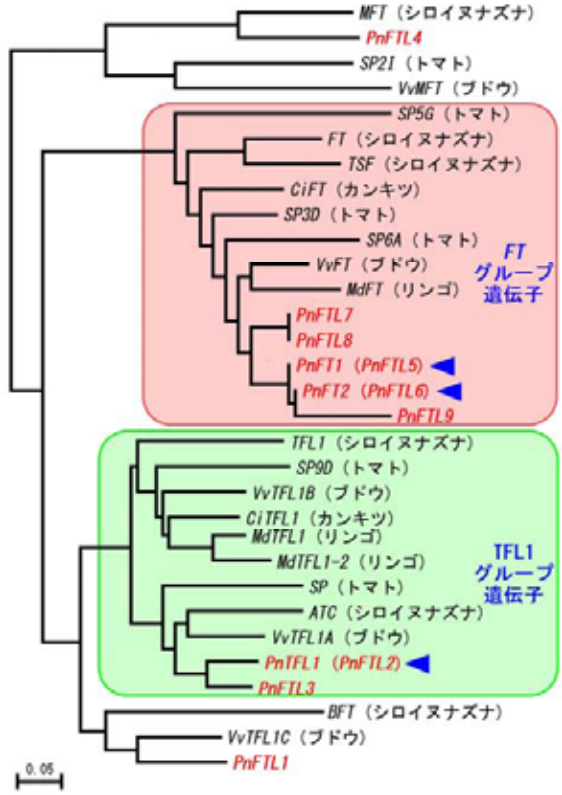


図１ 花成制御遺伝子 *TFL1* 及び *FT* とよく似た構造を持つポプラの遺伝子の系統学的解析
　ポプラから単離した遺伝子（赤文字）を類似の遺伝子と比較した。青矢頭はポプラの花成に関与していることが示唆された遺伝子を示す。赤枠内及び緑枠内の遺伝子は、*FT* グループ遺伝子及び *TFL1* グループ遺伝子を示す。

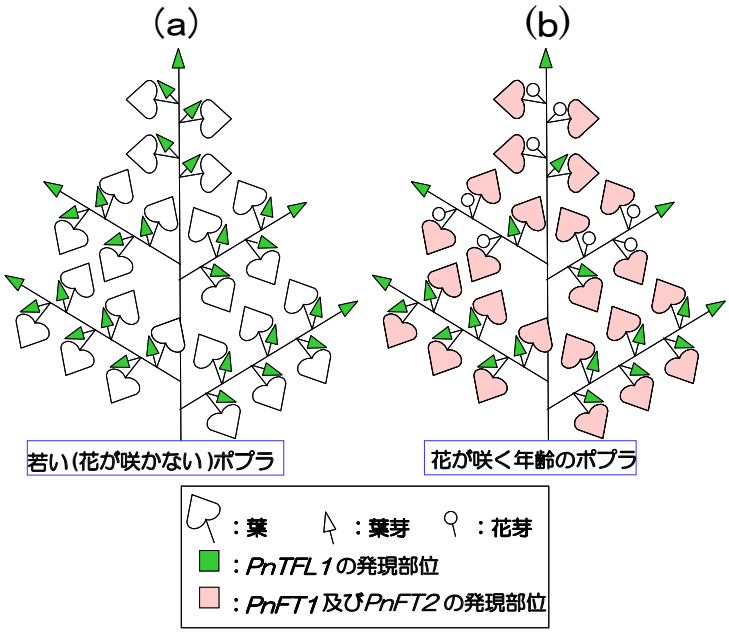


図２ 花成時期のポプラにおける *PnTFL1*、*PnFT1* 及び *PnFT2* の発現部位の模式図

図３ 花成抑制遺伝子 *PnTFL1* の発現を抑制した組換えポプラの開花

図４ 花成促進遺伝子 *PnFT1* を過剰に発現する組換えポプラの花芽形成（薬剤処理との併用で花芽形成を促進させた）

ヒラタケ属きのこ”バイリング”の分類学的位置を明らかに

きのこ微生物研究領域　きのこ研究室長　馬場崎 勝彦
きのこ微生物研究領域　生理生態担当チーム長　根田　仁
旭松食品株式会社　川合 源四郎

背景と目的

新しいきのこの栽培化や品種の開発は、きのこ産業の活力を維持する上で不可欠なものです。国内で栽培化が容易なものが研究し尽くされた感のある今日、諸外国で実績がある栽培種の国内栽培化や、その品種開発は大変注目されています。バイリング（白灵菇：Bai Ling Gu）は、中国新疆ウイグル地区の砂漠に自生するセリ科植物フェルラ属の植物に寄生するヒラタケ属のきのこを元に、中国で栽培化されたエリンギに似たきのこです。日本では 2003 年ごろから栽培が始まりバイリングを含め数種類の商品名で販売されてきましたが、その食品表示や品種登録等を適正に実施する上で、バイリングの分類学的位置が不明なため問題がありました。

そこで、本課題では、分子系統指標等を用いてその分類学的位置を解明しました。

成　果

バイリングの生物学的種分類

エリンギ（*Pleurotus　eryngii*）と同種である

最初に、バイリングの栽培品種の元品種と判断される中国産品種の異同を調べました（図１）。中国で入手した９栽培品種は、中国の主要な２品種に由来することが分かりました。

次に、この２品種の生物学的種分類を行うため対照種としたエリンギと交雑試験を行いました。エリンギは地中海沿岸、東欧、中央アジア等で、バイリング同様、セリ科エリンギウム属およびフェルラ属を寄主として自生するヒラタケ属のきのこです。エリンギウム属を寄主とするものを *P. eryngii* または *P.eryngii* var *eryngii*、フェルラ属を寄主とするものを *P.ferulae* または *P.eryngii* var. *ferulae* と別種または変種と分類されてきました。交雑試験の結果、表１に示す様にバイリング（２品種または２群）とエリンギ（２種または変種）間の交雑の成功率は高い上に、バイリングとエリンギの交雑株である F1 および F2 は子実体を形成することが分かりました（図２）。つまり、中国で栽培されているバイリング２品種はエリンギと生物学的に同種と判定できました。

バイリングは中国で進化したエリンギ変種であり、学名としては *P. eryngii* var. *touliensis* CJ.Mou が適切

バイリングの学名は、1987 年の最初の報告では *P. eryngii* var. *touliensis* CJ.Mou と記載されましたが、一般には、イタリアのシチリア島で収集されたセリ科植物に寄生するヒラタケ属の標本に付けられた学名である *P. nebrodensis* (Inzenga) Quél. が使われることが多く、その真偽を確かめました。まず、*P. nebrodensis* のタイプ標本（図３）の分子系統指標（IGS1* および ITS *領域の部分 DNA シーケンス）を調査しました。タイプ標本の指標は、*P. nebrodesis* と表記されるきのこの内、シチリア島で採取されたきのこ菌株のものと完全に一致しましたが、イタリア半島で採取された *P. nebrodensis* と表記されるきのこ菌株をはじめ、エリンギ、バイリング等のものとは明確に異なりました（図４）。これは、シチリア産菌株のみがタイプ標本と同じグループに属し、エリンギ、バイリングは別のグループであることを示します。次に、シチリア産 *P.nebrodensis* 菌株とエリンギ、バイリングとの交雑試験を行い、三者が相互に交雑でき同種であることを確認しました。これらのことから、バイリングは中国で進化したエリンギ変種であり、シチリア産のエリンギ変種を示す *P. nebrodensis* ではなく、むしろ、最初に付けられた学名 *P. eryngii* var. *touliensis* CJ.Mou を用いることが適切と結論しました。本成果は、きのこの種苗登録行政を円滑に実施する上で必要な基盤的知見として利活用されます。

詳しくは：Kawai G., Babasaki K., Neda H. (2008) Mycoscience 49:75-87 をご覧下さい。

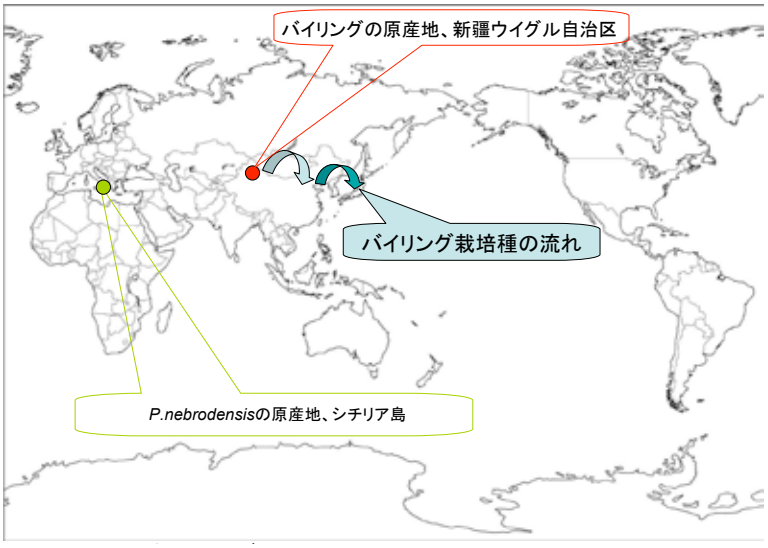


図１　バイリングと *P.nebrodensis* の地理的関係

図２　バイリング（１）、エリンギ（２）、及び両者の交雑株（３）の子実体

図３　*P. nebrodensis* のタイプ標本

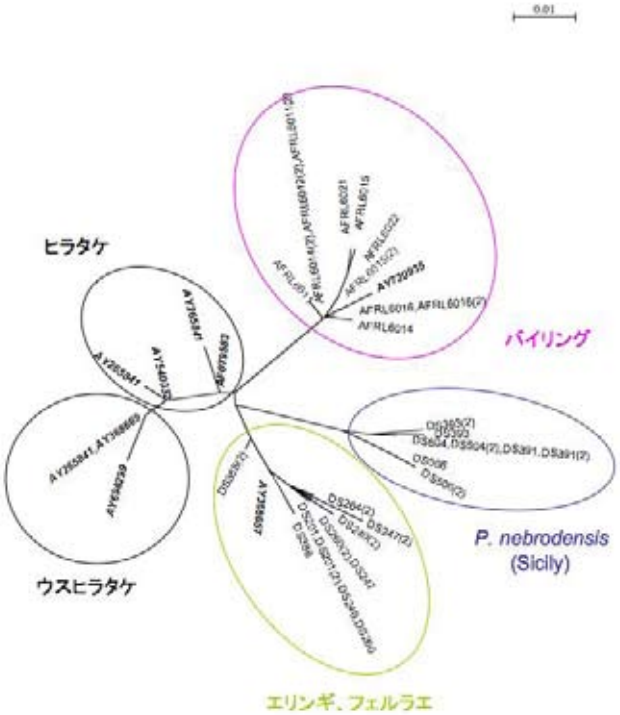


図４　ITS1 の DNA シーケンスを基にした系統樹

表１　バイリングとエリンギ及びその変種との交雑試験

交雑株の親株名	交雑株の親株名	交雑率(%)
バイリング品種１	バイリング品種2	100
バイリング品種1	*P. eryngii*（エリンギ）	65
バイリング品種1	*P. ferulae*（フェルラエ）	82
P. eryngii（エリンギ）	*P. ferulae*（フェルラエ）	98

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

樹木精油が持つ自律神経系調節作用が明らかに

バイオマス化学研究領域　樹木抽出成分研究室　大平 辰朗、松井 直之
株式会社 ANBAS　永井 克也

背景と目的

樹木には様々な成分が含まれており、私たちの生活にとって大変役立つものがたくさんあります。森林総合研究所では、樹木の葉や材に含まれる精油（写真１）に注目し、それらの機能の一つとして自律神経系調節作用について調べています。自律神経活動の変化は生体の生理機能の変化（血糖、血圧、体温、エネルギー代謝など）と密接な関係にあることが知られています。これらの調節ができなくなると肥満や高血圧などの生活習慣病を生じる原因になります。そのため自律神経系を調節する方法の開発が急務となっています。

ここで紹介するものは、木々の香りの元になっている樹木精油の、ラットにおける自律神経系調節作用を調べたものです。

成　果

ウレタン麻酔ラットに樹木精油の香りを吸引させ、各臓器の神経活動を電気生理学的手法（図１）により、各種神経活動を測定しました。精油を吸引させた時の結果を空気のみを吸引させた時の結果（対照）と比較し、表２に示しました。

交感神経活動を低下させる樹木精油

タイワンヒノキ材油、レモンユーカリ葉油には腎臓の交感神経活動を低下させる効果が強いことがわかりました（表２）。腎臓の交感神経活動が低下すると生理機能としては血圧が下降する効果（鎮静効果）が期待できます（表１）。

さらにタイワンヒノキ材油には胃の副交感神経活動を上昇させる効果が強いこともわかりました。胃の副交感神経活動が上昇すると消化吸収能の向上が期待できます。交感神経と副交感神経は拮抗して内臓などに作用しますが、リラックスした状態を生み出すには、副交感神経活動が優位であることが１つの条件です。

交感神経活動を上昇させる樹木精油

ヤクスギ材油、ヒバ材油、ベイヒバ材油などには腎臓の交感神経活動を上昇させる効果が強いことがわかりました（表２）。腎臓の交感神経活動が上昇すると血圧が上昇する効果（元気回復）が期待できます（表１）。タイワンヒノキやヒバは同じヒノキ科ですが、材油の効果が逆に現れています。これは含有成分の違いによるものと考えています。

以上から、樹木精油の中には各種臓器の神経活動に影響を及ぼし、それらと密接に関係している生理機能を変化させることが可能なものがあることがわかりました。これらの成果は、日常生活において樹木精油を健康増進の一助として有効利用するための基礎データとして活用されることが期待できます。

今後は、効果の強かった精油に含まれる有効成分を特定する予定です。

本研究は、一般研究費「樹木抽出成分の機能、作用機構及び機能性材料への変換法の解明」による成果であり、株式会社 ANBAS との共同研究として推進しました。また、本研究は株式会社 ANBAS 動物実験倫理委員会の承認を得て実施されています。

写真１　樹木精油
（葉や材に含まれており、水蒸気蒸留により採取されます）

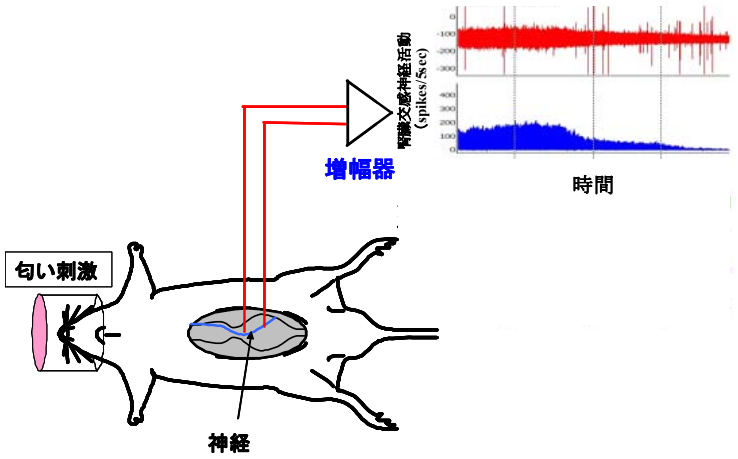


図１　樹木精油の香りの電気生理学的測定
（各種神経を直接測定します）

表１　自律神経の変化と予想される生理機能の変化

交感神経活動		↑	↓
副交感神経活動		↓	↑
部位	脂肪細胞（白色）	脂肪分解	脂肪貯留増加
	腎臓	血圧上昇（元気回復）	血圧下降（鎮静効果）
	胃・腸	消化吸収抑制	消化吸収促進
	脾臓（免疫組織）	免疫機能低下	免疫機能上昇
	体重	減少	増加

↑：上昇　↓：下降　交感神経活動が上昇あるいは副交感神経活動が下降すると、例えば脂肪分解や元気が回復すると考えられます。

表２　各種樹木精油の交感神経活動に及ぼす効果

	腎臓	胃（副交感神経）	
タイワンヒノキ材油	↓	↑	血圧下降（鎮静効果） 消化吸収能向上
レモンユーカリ葉油	↓	―	血圧下降（鎮静効果） 消化吸収能向上
ヒノキ葉油	変化なし	―	
ヤクスギ材油	↑	―	血圧上昇（元気回復）
ヒバ材油	↑	―	血圧上昇（元気回復）
ベイヒバ材油	↑	―	血圧上昇（元気回復）

↑：対照に比べて上昇、　↓：対照に比べて下降　　―：未測定

（矢印の長さは、効果の強さを示す。対照とは空気のみを吸引させた時の結果を示す。）

心材物質フェルギノールの蓄積と心材の水分布との関係が明らかに

木材特性研究領域　組織材質研究室　黒田 克史，藤原　健

背景と目的

スギの心材色や心材含水率は品種やクローンの特徴が現われやすい性質で，赤色の心材は水分量が少なく，黒色の心材は水分量が多いというように心材色と水分量に関係があります。しかし，なぜ心材の色が違うと水分量に違いが生じるのかは分かっていません。また，心材が形成されるときには心材成分と呼ばれる特徴的な化学成分が蓄積します。

この研究では心材形成機構を解明するために，心材が形成されるときの樹木内の水の分布と主要な心材成分であるフェルギノールの蓄積の様子を，同一試料を用いて細胞レベルで可視化する手法により調べました。

成　果

樹木の中の水と心材成分の分布を可視化する

樹木の幹の中の水を観察することは，簡単そうで実は難しいのです。木を切ってしまうと液体の水は元々あった位置から移動してしまうからです。また，樹木の中の成分も空気に触れる，あるいは時間が経つと変化してしまいます。これらの変化を防ぎ樹体中の水と成分の分布を明らかにするために，木が立っている状態で凍らせた後に伐採して試料を採取する立木凍結法が有効です（図 1）。心材が形成されるときの水と心材成分の分布との関係を明らかにするために，この研究では立木凍結法で採取した試料の水分布を低温走査電子顕微鏡（クライオ SEM）で観察し，続いて同じ試料の心材成分の分布を飛行時間型二次イオン質量分析（ToF-SIMS）で解析しました。

スギの心材形成過程における心材成分フェルギノールと水の分布

幹が辺材から心材に変化する部分は移行材と呼ばれ，スギの移行材では一様に含水率が低くなります（図 2）。しかしながら，クライオ SEM で観察すると，水がないのは早材の仮道管だけで，晩材の仮道管では内腔に水が残っていることが分かりました（図 3 左）。一方，含水率が移行材より高い心材を観察すると，この一度空洞化した早材の仮道管内腔に水が再集積していることが分かりました。

心材成分は移行材付近で合成されると考えられています。そこでスギの主要な心材成分であるフェルギノールの分布を ToF-SIMS で調べると、移行材の心材に近い年輪で多いことが分かりました。さらにその年輪内で詳しく調べてみると、早材部には多く、晩材部には少ないという特徴があることが分かりました（図 3 右）。また，同じ年輪の早材でも，仮道管内腔に水がない部位ではフェルギノールが多く，仮道管内腔に水がある部位ではフェルギノールが少ないということが分かりました。これらの結果から、フェルギノールは水が多い部分に蓄積しにくいのではないかと考えています。

今回得られた結果から，フェルギノールは移行材の心材に近い部分で合成され，水の比較的少ない部位から蓄積すると考えられます。今後はこの研究を発展させ，他の心材成分と水との関係を明らかにし，樹木特有の現象である心材形成の機構の解明につなげていきたいと考えています。

本研究は名古屋大学生命農学研究科福島教授，今井准教授，齋藤研究員との共同研究として推進しました。

詳しくは，黒田ら（2008）日本木材学会大会研究発表要旨集 58:A18-1115，Kuroda et al. (2008) Applied Surface Science（印刷中）をご覧ください。

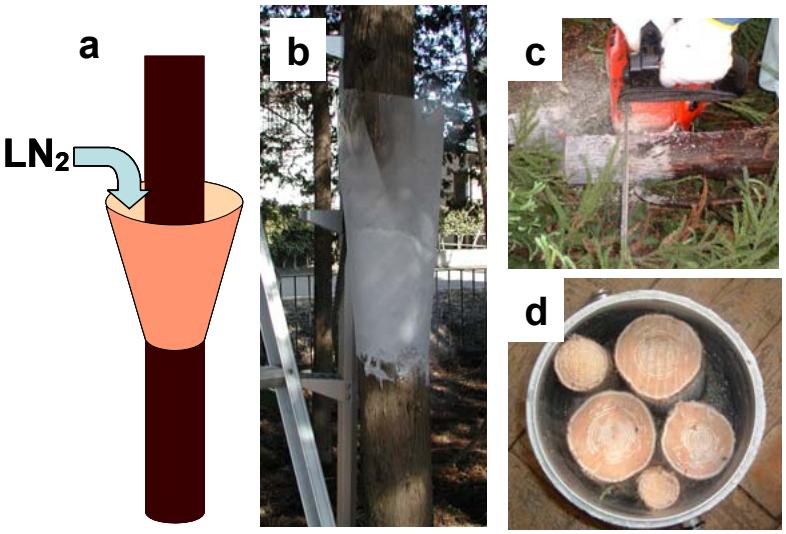


図 1　立木凍結法による試料の採取

（a）立木に容器を付け、（b）液体窒素を注ぎ、（c）幹が凍ったら伐採する。（d）凍結部分を直ちに冷凍庫で保存する。

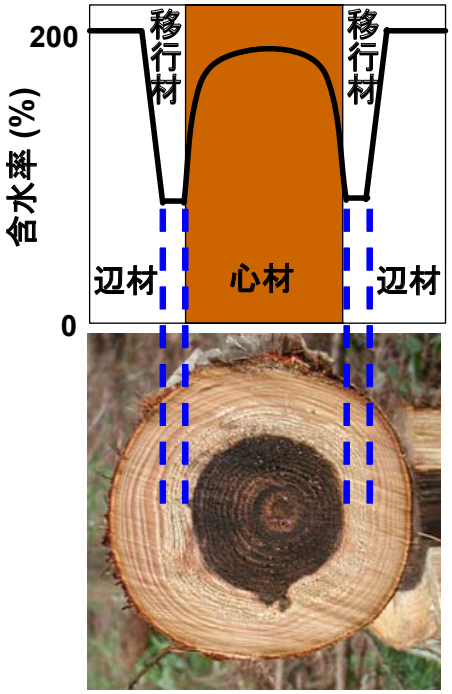


図 2　スギ丸太の切り口と含水率

含水率は辺材では高く、移行材では低い。心材では個体によって様々であるが、含水率が高い心材の色は黒褐色になる傾向がある。

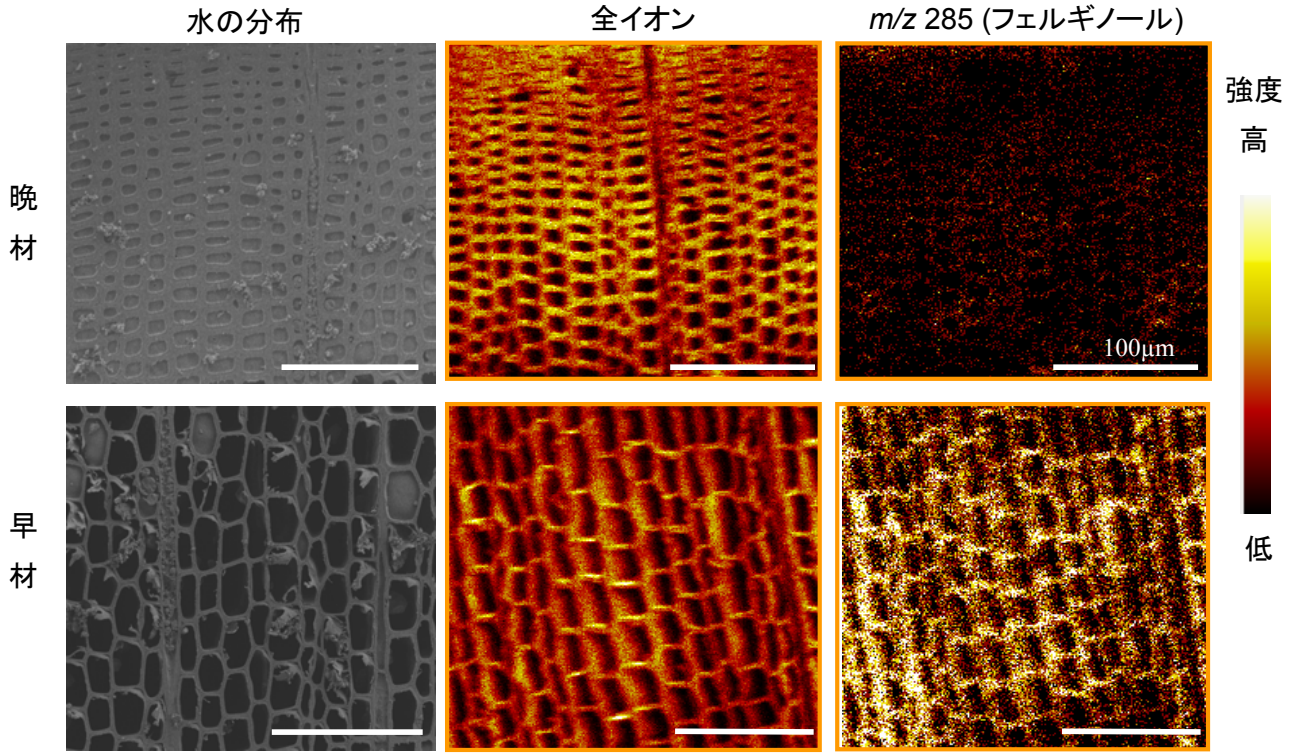


図 3　スギ移行材のクライオ SEM 写真と ToF-SIMS イメージ

晩材（上段左）の仮道管は水で満たされているが，早材（下段左）の仮道管は空洞である。フェルギノールを示すイオン（m/z 285）量は晩材部（上段右）では少ないが，早材部（下段右）では多い。

樹木の成長に必要な窒素を、土壌はいつ、どこで、どのくらい供給するのか？

東北支所　森林環境研究グループ　平井 敬三
立地環境研究領域　養分動態研究室　野口 享太郎　金子 真司
領域長　高橋 正通

背景と目的

大気の約８割をしめる窒素ガスは樹木に必須の養分ですが、窒素を直接固定する生物を除けば利用できません。そのため、樹木は土壌有機物の分解過程である無機化によって土壌中に供給された無機態窒素を根系から吸収します。これまでは土壌を室内で一定条件により培養して得た無機態窒素量を、窒素供給量の指標としていました。では、実際に現地では、土壌は、いつ、どの深さから、どのくらいの窒素を無機化によって供給しているのでしょうか？

そのため、土壌を深さ別に現地で採取して、再びその場に埋め戻す方法を使って、季節及び深さごとの土壌の窒素無機化量を求めました。

成　果

土壌窒素は、いつ、どこで、どのくらいの量が無機化しているか？

調査は茨城県城里町の斜面上部に広葉樹林が、斜面中部から下部にスギ林が分布する小流域で行いました。土壌窒素の無機化量は気温の高い６～８月の夏季に多く、これに９～ 10 月の無機化量を加えると、この期間に年間の 48 ～ 65%が無機化されることがわかりました（図１）。つまり、土壌は樹木の成長が活発なこの時期に多くの窒素を供給する役割を持つといえます。しかし、気温が低く樹木による窒素の吸収が少ない 11 ～２月の冬季にも年間の 10 ～ 32%が無機化していました。

今回は深さ 50cm までを対象として測定しましたが、これまでの研究では 20cm 以深の下層土での窒素無機化がわずかであると想定してほとんど無視され、20cm までの表層土の測定に限られてきました。しかし、今回の測定結果をみると、実は全体の 30 ～ 43%が深さ 20 ～ 50cm の下層土で無機化されていることがわかりました（図２）。

窒素無機化量を季節や深さごとに求めることがなぜ大切なのか？

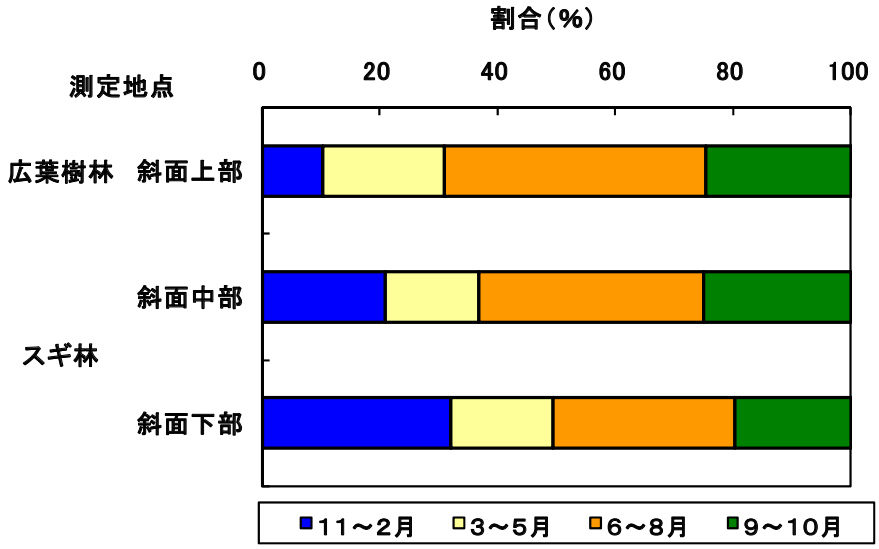
この測定は冬季の気温が比較的高く土壌が凍結しない茨城県中部の低山地域で行いました。そのため、冬季の窒素無機化の割合も相対的に多くなっていました。また、下層土でも多くの窒素が無機化されることがわかりました。このことから、より正確に土壌窒素の無機化を量的に把握するには、冬季や下層土の測定が必要といえます。今回対象とした森林流域では、冬季の渓流水を通じた窒素の流出量は少なく、冬季の降水量も多くありません。したがって、冬季に無機化した窒素はそのまま春まで土壌中に残存して、春先の成長を開始する時期に樹木が吸収していることが考えられます。

このようにこれまであまり注目されてこなかった冬季や下層土で土壌窒素の無機化量を把握し、その量的な変動の重要性を提起したことにより、渓流水の水質形成や樹木吸収メカニズムの解明に新たな視点を示したものといえます。また今回は、“どの時期にどのぐらいの窒素が土壌から供給されるのか “が、わかりました。今後は樹木成長を季節ごとに測定することで、土壌窒素の供給と樹木吸収の季節性の対応関係が明らかになります。

本研究の一部は農林水産技術会議事務局および森林総合研究所交付金プロジェクト「森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発」および一般研究費による成果です。

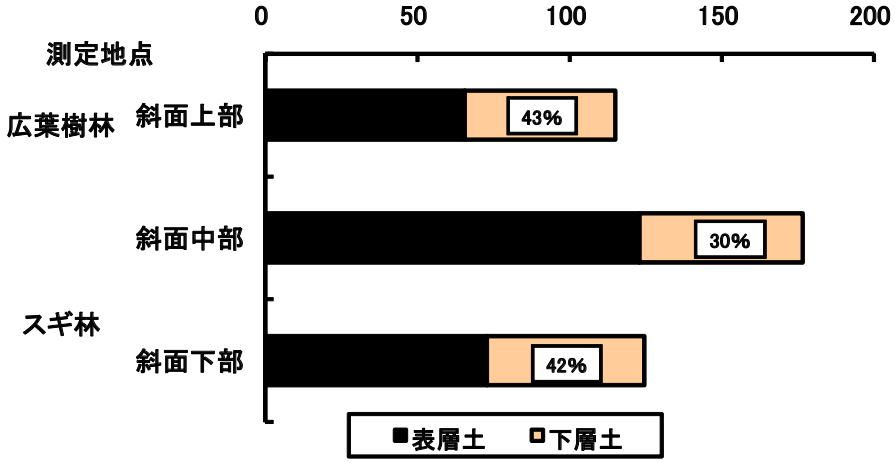
詳しくは平井敬三他 (2007) 森林立地 49(1)：51-59 をご覧下さい。

写真　採取した土壌円筒をその場の土壌断面内に埋め戻す様子 (左) と埋設後に掘り出した土壌円筒 (右)



土壌の窒素無機化量は６～８月の夏に多いのですが、11 ～２月の冬にも年間の 10 ～ 32%が無機化していました。

図１　年間の窒素無機化量に占める測定期間毎の割合



測定した 50cm までに無機化した窒素量のうち、20 ～ 50cm の下層土でも全体の 30 ～ 43%が無機化していました。

図２　表層土と下層土の年間窒素無機化量

本研究では表層土を 0 ～ 20cm、下層土を 20 ～ 50cm としました。
図中の枠内の数字は深さ 50cm までの窒素無機化総量に占める下層土の割合 (%)

森林土壌で水を移動させる粗大孔隙の働き

四国支所　森林生態系変動研究グループ　篠宮 佳樹
立地環境研究領域　土壌特性研究室　　吉永 秀一郎、小林 政広

背景と目的

樹冠を通過して地表に到達した雨水は、森林土壌に浸み込み、やがて渓流水として流出します。森林土壌には大小さまざまな隙間 (ここでは孔隙：こうげきといいます) があり、水はその中を動きます。細かな孔隙では表面張力がより強く働くため、水が引き込まれやすく、水の動く速さは遅くなります。また、細かな孔隙中の水は土の粒子と充分に反応して、いろいろな成分を溶かし込みます。しかし、大きな孔隙の水の動きに対する働きについてはよくわかっていませんでした。

そこで、私たちは高知県の森林で土壌中の水の移動量と貯留量を測定し、豪雨の時の水の動きにおける大きな孔隙の果たす役割を明らかにしました。

成　果

土壌が貯める水の量には限界が・・・

年平均降水量が 2,500mm を超え、また、一雨の降水量が 100mm を超えるような豪雨の回数も多い四国山地の太平洋側には、急傾斜で長大な斜面が広く分布しています。これらの斜面に広がる土壌は、往々にして礫を多く含み、深さ 1m に達しないうちに基盤の岩石が現れるような薄い土壌です。このため、森林土壌自体が有する水貯留量はそれほど多くないと推定されます。私たちが調査した斜面では、土壌の厚さは 60cm 程度でした。この土壌の水貯留量は降水量の増加とともに増えますが、豪雨の時の水貯留量は雨量に換算して 60mm 程度で頭打ちになりました（図 1）。

余った雨水はどこに行ったか

土壌の水貯留量が変化しなくなると、深さ 50cm に設置した採水装置から水が流出し始めるようすが一緒に観測できました。この採水装置は、土壌中にチリトリのようなものを差し込み、それにチューブを繋いだもの（図 2）で、装置直上の土壌が完全に水で満たされたときに初めて水を採取し始めます。そして、採水量は降雨強度が強くなるとすぐに増加し、弱くなるとすぐに減少しました（図 3）。しかし、一雨の降水量が 50mm 以下だと、採水装置からの流出はほとんど起きていません（図 4）。さらに、豪雨時の雨水と採水装置から流出してきた水の電気伝導度を測ったところ、両方の水の電気伝導度はほとんど同じ値でした。つまり、降った雨がそのまま土壌を素通りして下層土から流出していることがわかりました。これらのことは、土壌で貯留できなくなった過剰な雨水が、土壌中を素早く流れて排水されていることを示しています。

水はどこを流れたか

森林土壌には、ミミズのような土壌動物の移動や樹木根の腐朽などによって形成された直径数 mm 程度の粗大孔隙が特に地表近くに多く認められます。豪雨の時にはこれらの粗大孔隙に雨水が吸い込まれるように流れて、土壌流失の原因となる地表流が起きにくくなっています。また、土壌が一定量の雨水を貯留した後には、過剰な雨水を粗大孔隙のネットワークを通じて基岩や斜面下方へと直接流しているのです。このように粗大孔隙のネットワークの存在は、土壌粒子に吸着されている貴重な養分の流失を防ぐとともに、土壌が完全に水浸しになって山崩れが起きることも少なくさせているのです。

詳しくは、篠宮佳樹ほか (2007) 水文・水資源学会誌、21：126-139 をご覧ください。

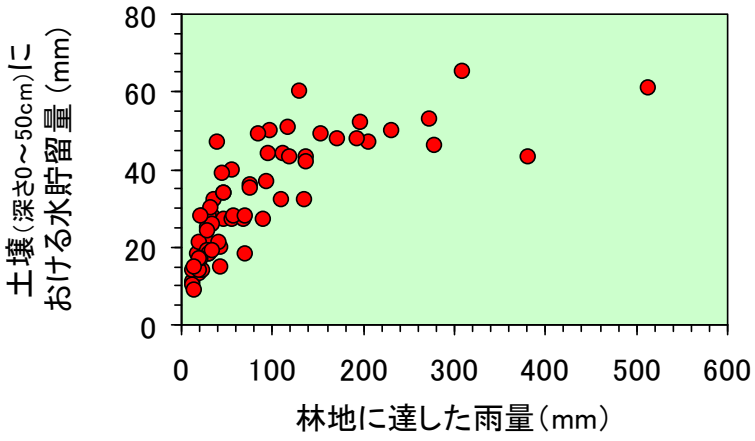
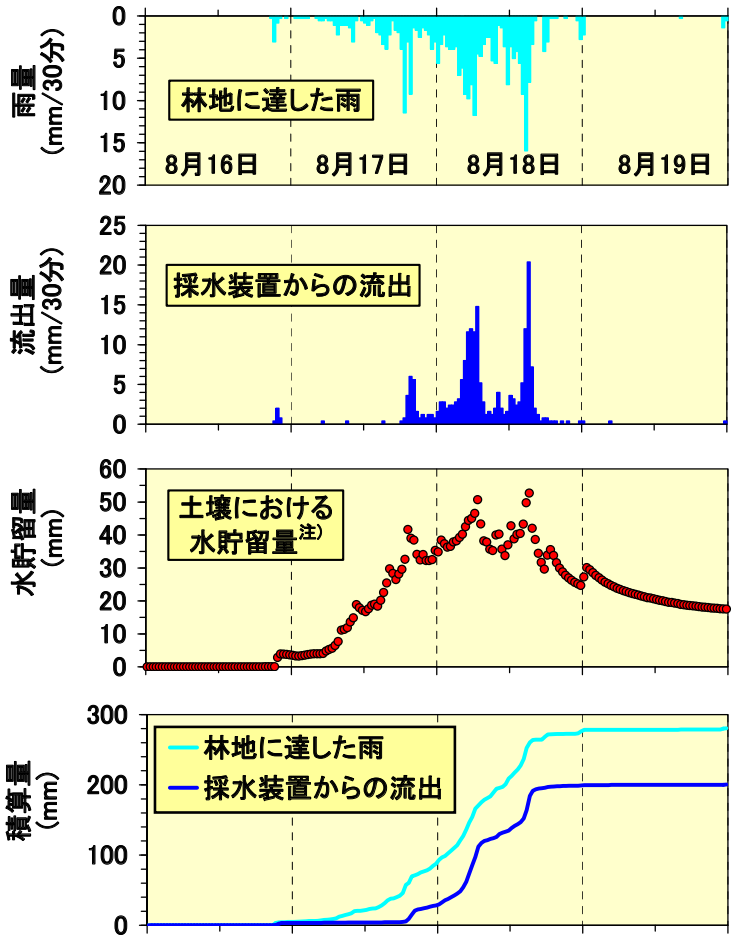


図１　雨量が 100mm を超えると、雨量がさらに増えても、土壌による水貯留量は増えなくなる。
（高知県椙原町鷹取山試験地）

図２　採水装置とその設置状況



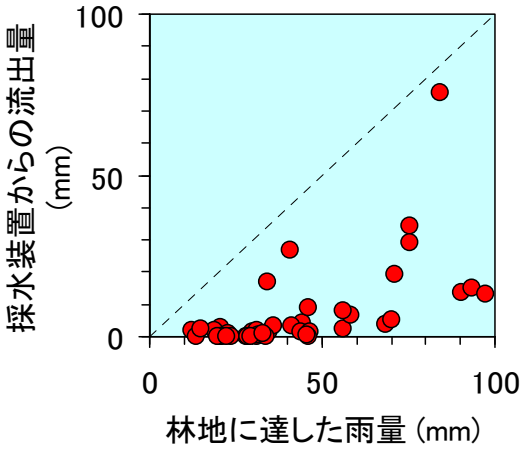


図４　降雨強度の強い雨を除き、50mm くらいまでの雨量では、採水装置からの流出はほとんど起こらない。

図３　2006 年 8 月の豪雨時に観測された雨量、水貯留量、採水装置からの流出量の変化
注）降雨前の水貯留量を 0 として増えた量を示す

雨が降り出してから暫くの間、採水装置からの流出はないが、土壌による貯留量が限界近くになると、雨量の変動に敏感に応答するようになる。

化石花粉が明らかにするシベリアタイガの歴史

東北支所　森林環境研究グループ　志知 幸治
日本林業技術協会　河室 公康
京都府立大学　高原　光
熊本大学　長谷 義隆
海洋研究開発機構　牧　武志
岡山理科大学　三好 教夫

背景と目的

地球温暖化が植生分布に及ぼす影響を評価・予測することは今後の大きな課題の一つです。とりわけ、大きな炭素ストックを持つシベリアタイガに対する温暖化の影響を評価することが世界的に注目されています。気候変化に対する森林分布の変化を予測するためには、地質年代に及ぶ過去の気候と植生の関係を明らかにすることが有効な手段の一つと考えられます。

本研究では、シベリア内陸部のバイカル湖から掘削した湖底堆積物試料を用いて、その中に含まれている化石花粉の種類と量を調べることにより、過去 35 万年間のシベリアタイガの歴史を明らかにしました。また、長期間の植生変遷に対する流域からの炭素供給量の変化について検討しました。

成　果

バイカル湖湖底堆積物の花粉分析

シベリア南東部に位置するバイカル湖は、第三紀・漸新世以来、約 3000 万年の歴史を持ち、常に水を湛えていたことから、湖底にはその間の堆積物が連続してたまっています。現在、地中の氷が一年中溶けない永久凍土がみられるバイカル湖の北部にはカラマツを主とする亜寒帯針葉樹林（タイガ）が、永久凍土が不連続な南部にはシベリアマツ、シベリアモミ等を主とするタイガが分布しており、バイカル湖北部付近がその境界となっています。このため、バイカル湖は過去長期間の気候変動と森林分布の関係を復元するための最適な場所といえます。今回はバイカル湖の二カ所から湖底堆積物試料を掘削し（写真 1、図 1）、過去約 35 万年間（第四紀・中期更新世以降）の化石花粉（写真 2）の種類と量を調べました（花粉分析）。

過去 35 万年間の植生変遷

バイカル湖周辺では約 10 万年周期でマツ属、トウヒ属、カラマツ属を主とするタイガに覆われましたが、それは 1 万年ほどしか続かず、大半の時期は草本類が主体のツンドラ植生やほとんど植生のない状態が広がっていました。さらに、この 10 万年周期の中にも、いくつかの寒冷期と温暖期があったことが知られており、それに対応してタイガの縮小と拡大を繰り返していました（図 2）。このことは地球規模での気候と植生変遷の周期性を示すものであり、本研究はシベリアにおいて植生変遷の周期性を示した初めての報告です。また、バイカル湖の北部地域と南部地域では温暖期の森林の広がりに違いがあり、山岳氷河の拡大が顕著であった北部では南部に比べて森林の拡大が限定的であったことも明らかになりました。

植生変遷に対する流域からの炭素供給量の変化

北部地域の植生変遷（図 2a）を BDP96 コアの全有機炭素含有率の変化（Matsumoto et al. 2000、図 2d）と比較すると、タイガに覆われた時期には全有機炭素含有率が多く、逆にタイガに覆われなかった時期には少なくなっています。バイカル湖という広大な流域で見た場合、温暖期に植生が拡大したことによって、流域から多くの炭素が湖に供給されたことがわかりました。

こうした知見は、今後の気候変化やタイガの変遷を予測するための重要な検証データとなります。

本研究の一部は、科学技術振興調整費（1995-1999）「バイカル湖の湖底泥を用いる長期環境変動に関する国際共同研究」および一般研究費によって行われました。

詳しくは、Shichi et al (2007) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 248：357-375 をご覧ください。

写真 1　バイカル湖の湖底堆積物を採取するための掘削船

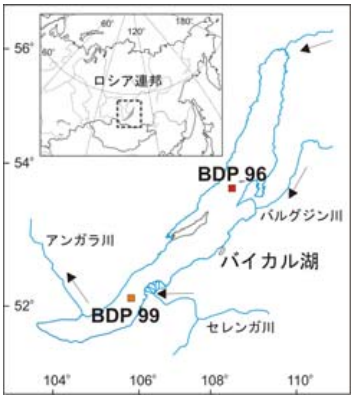
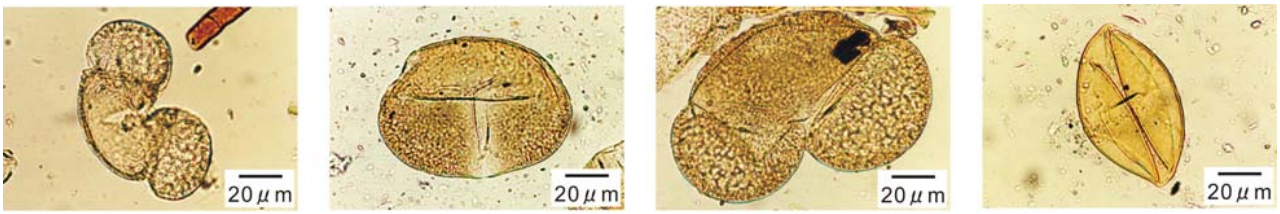


図 1　湖底堆積物コアの掘削位置



マツ属花粉　　トウヒ属花粉　　モミ属花粉　　カラマツ属花粉

写真 2　湖底堆積物コアから産出した化石花粉

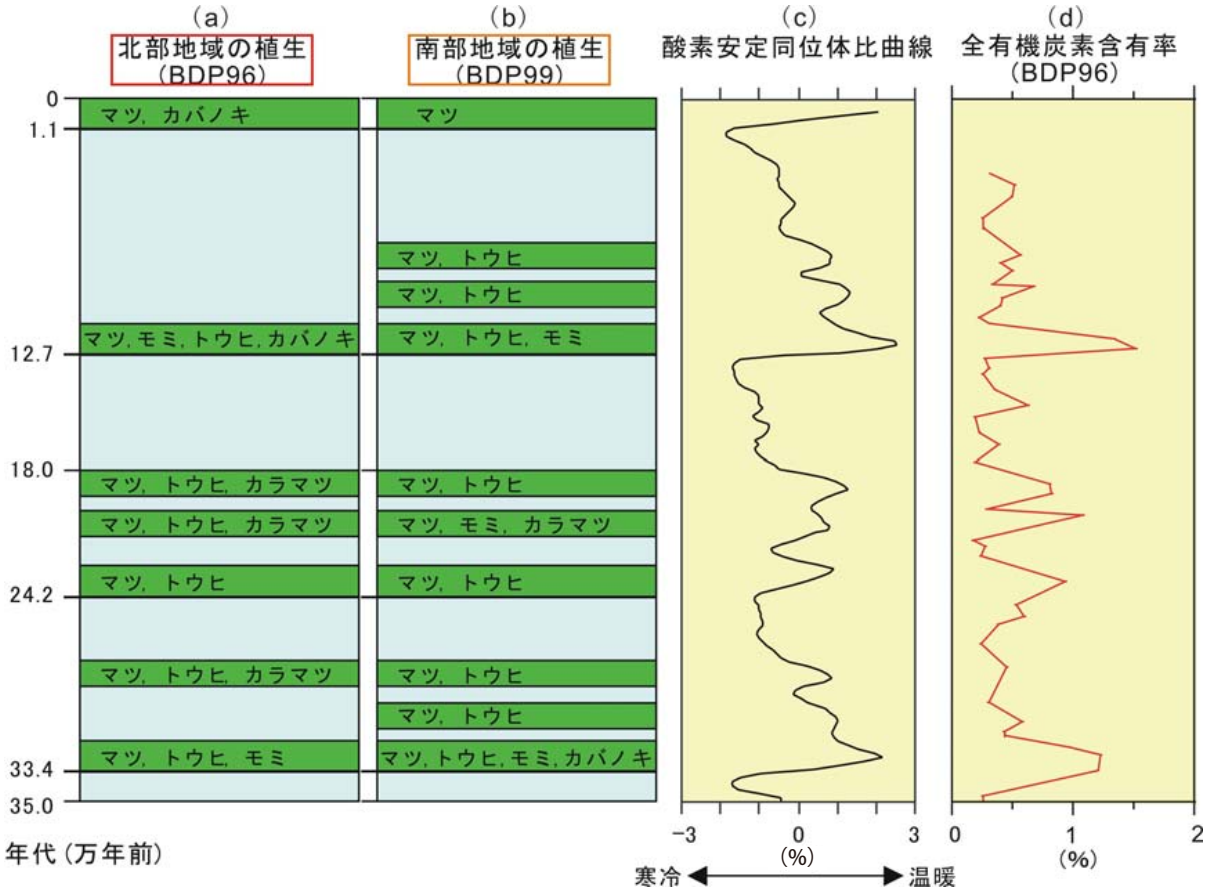


図 2　バイカル湖北部地域 (a) および南部地域 (b) の過去 35 万年間の植生変遷

(a) および (b) 図：緑色はタイガが広がった時期と優占した分類群を、水色はタイガが消失した時期を示します。(c) 図：海底堆積物中の酸素安定同位体比曲線の変化（Bassinot et al. 1994 から作成）、過去の海水温の変動を示します。(d) 図：BDP96 コアの全有機炭素含有率の変化（Matsumoto et al. 2000 から作成）、大まかには陸上植物の繁茂による流域から湖への炭素供給量の大小を示します。

森林は大気中の鉛を捕捉するフィルターの効果を持っている

立地環境研究領域　土壌特性研究室　伊藤 優子
立地環境研究領域　養分動態研究室　野口 享太郎
立地環境研究領域　領域長　高橋 正通
木曽試験地　岡本　透
立地環境研究領域　土壌特性研究室　吉永 秀一郎

背景と目的

20 世紀後半、鉛はガソリンのアンチノック添加剤として大量に使用され、排気ガスとともに大量に大気中に排出されていました。日本はいち早くガソリンの無鉛化の対策を実施しました。それにより大気中への鉛の排出量は減少し、鉛による大気汚染は解決したと思われていますが、現在でも様々な人間活動に由来する鉛が大気中に排出され続けています。

鉛は少量でも生物にとって有害な物質であり、また、一度環境中に排出されると長期間環境中にとどまる物質として知られています。そのため、環境中での鉛の挙動を明らかにすることが必要です。

そこで、大気中に排出された後、降水等で森林にもたらされる鉛の森林生態系の中での挙動を明らかにしました。

成　果

鉛は質量数の異なる 4 種類の安定同位体（Pb204, Pb206, Pb207, Pb208）を持ち、その組成比の違いにより起源や発生源の違いを推定することができます。大気中に含まれる鉛の組成比が、土壌の母材である地質（鉱物）に含まれる鉛の組成比と異なることを利用して、森林生態系に存在する鉛が大気からもたらされたものか、もともとその場所に存在していたものかを区別することができます。

大気中の鉛に対する森林のフィルター効果

私たちは、関東地方のスギ林において降水、土壌、樹木中に含まれる鉛の安定同位体比を分析しました。その結果、大気からもたらされた鉛は樹木（幹、枝、葉、樹皮など）および表層から 10 ～ 15cm 位までの土壌の浅い部分にのみ存在し、それより深いところでほとんど見られないことを明らかにしました。このことは、大気中から森林にもたらされた鉛が、森林の土壌表層で捕捉され蓄積していること、さらに、樹木が土壌中の鉛を吸収し、葉や枝を林床に落とし、鉛が森林内で循環していることを示しています。すなわち、森林は大気や降水に含まれる汚染物質である鉛を捕捉するフィルターの効果をもち、大気からもたらされた鉛の河川への流出を防いでいると言え、樹木と土壌が一体となった森林生態系全体で、環境浄化の機能を発揮していることが科学的に証明されたことになります。

しかしながら、このような森林のフィルターは私たち人間にとっては都合のいい機能かもしれませんが、一方では森林に捕捉された鉛などの環境汚染物質が森林生態系で生活する動植物に悪影響をおよぼす可能性も考えられます。また、蓄積した汚染物質が将来、河川へ流出し水質を悪化させたりする可能性も考えられます。今後は、森林土壌表層に蓄積した鉛がどのように移動したり、広がったりしていくのか、また、鉛の蓄積にともなう森林の動植物への影響などについても研究を進めることが必要と考えられます。

詳しくは Yuko Itoh et al(2007) Applied Gochemistry. 22(6): 1223-1228 をご覧ください。

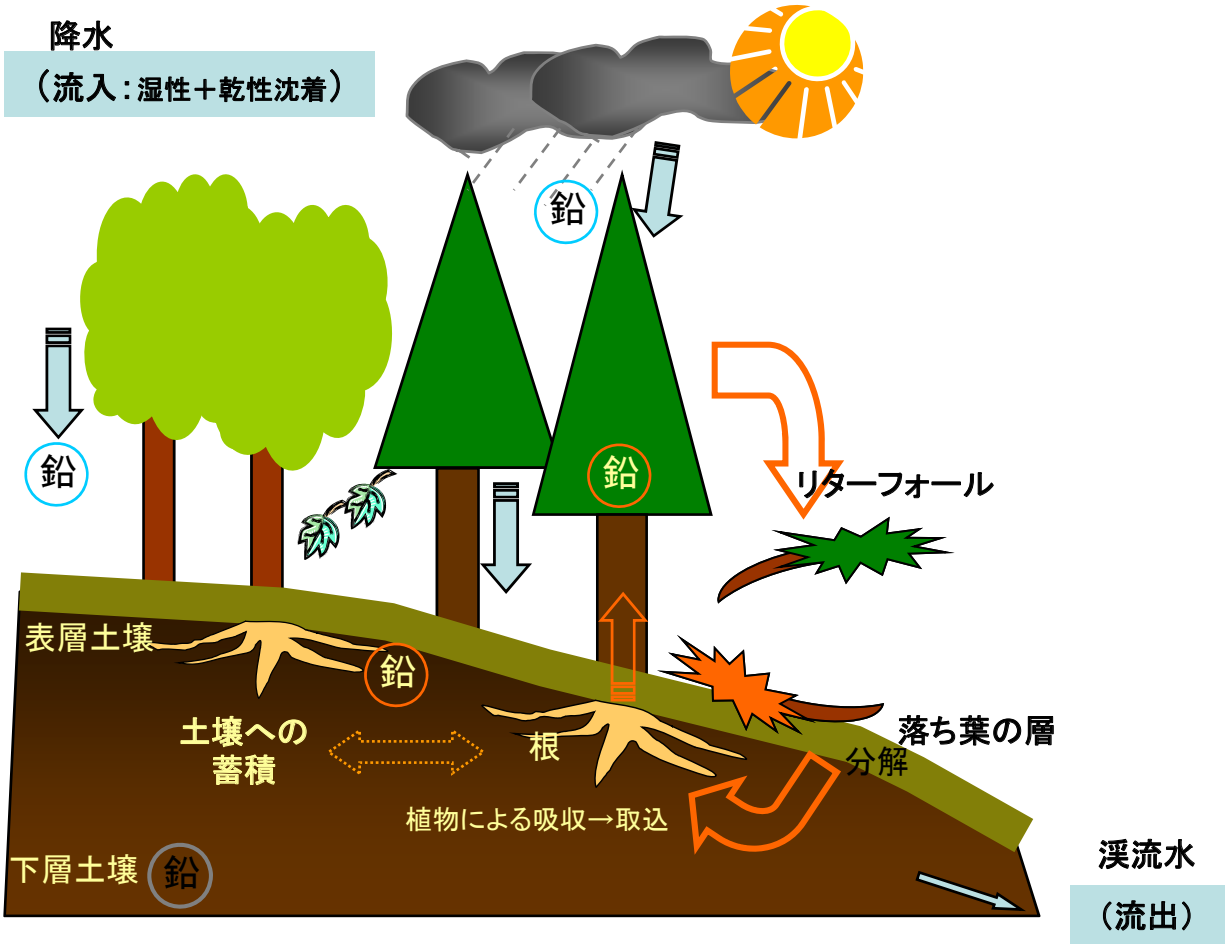


図１　森林生態系内での鉛の循環

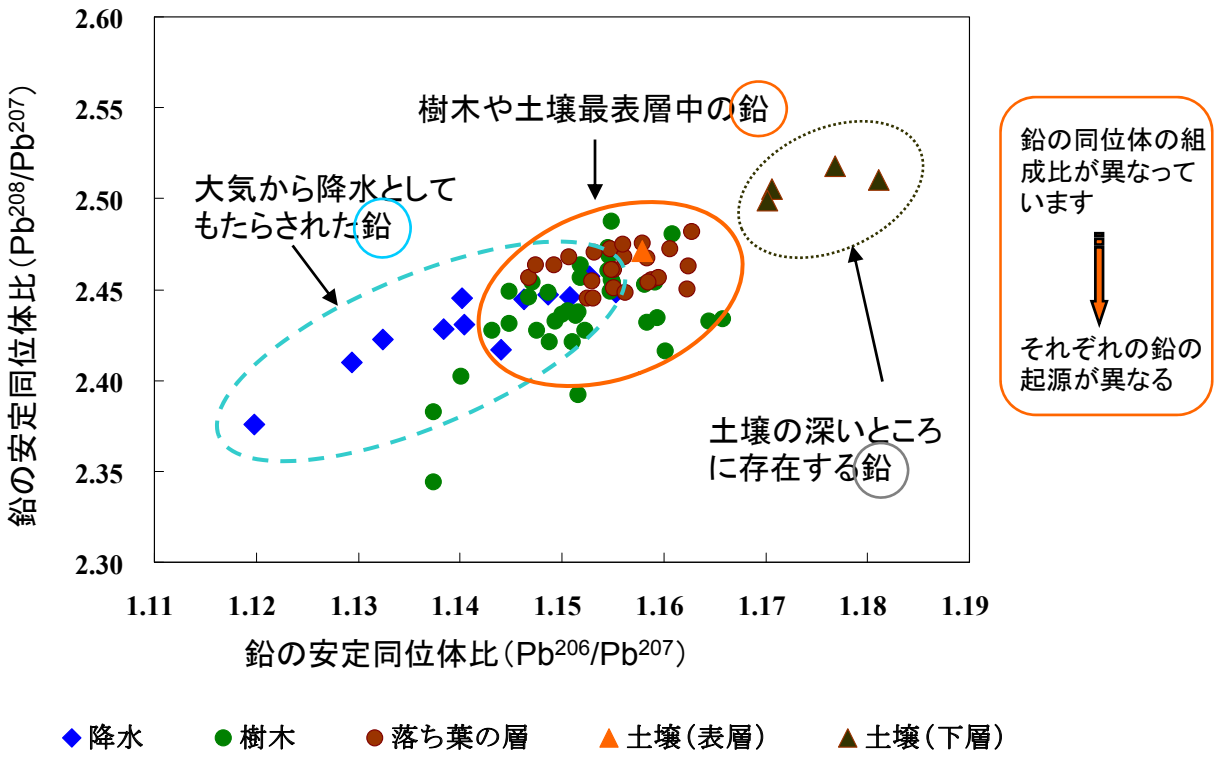


図２　スギ林の雨水、樹木、土壌に含まれる鉛の安定同位体比の比較

島々をつなぐ鳥たちの生息地ネットワーク

九州支所　森林動物研究グループ　　関　伸一

背景と目的

日本の周辺にはたくさんの小さな島が散在しています。こういった小さな島の森林には、そこだけすむ希少な鳥が少なくありません。島にすむ希少鳥類の集団が存続するためには、陸上の森林をつなぐ「緑の回廊」の保全と同じように、飛び石状に散らばる島嶼（とうしょ）の森林が移動可能な距離でネットワーク（以下、生息地ネットワーク）を形成していることが重要だと考えられます。ところが、隣り合う島と島の間でどのくらい繁殖個体の交流があるのか、どのようなスケールで島嶼の生息地ネットワークを保全したら良いのかは、まだよくわかっていません。その一方で、生息地となる島嶼の森林は自然分布が限られ、台風などの強い自然撹乱が起こりやすい立地条件にあり、さらに、大規模な人為撹乱も進行しているのが現状です。ここで、島嶼における鳥類の生息地ネットワークは、地史的な時間スケールで形成されたために、遺伝的な交流頻度に応じて生息地間で特徴的な遺伝的変異の分布パターンが生じている可能性が高いと考えられます。

そこで、島嶼の生息地ネットワークの構造を明らかにするための出発点として、体が大きく行動圏の広いカラスバトと逆に体が小さく行動圏の狭いアカヒゲという２種類の希少鳥類を対象とし、長期的な視点での繁殖個体の交流頻度の指標となる集団間の遺伝的分化の程度を調べました。

成　果

まず、各地で集めた血液や羽毛などの試料から DNA を抽出し、そこからミトコンドリア DNA コントロール領域という種内変異の起こりやすい部分の塩基配列を読み取りました。そして、その配列にもとづき試料ごとに遺伝子型を決定し、遺伝子型同士の類似度とその地理的分布パターンから集団間の遺伝的な分化の程度を調べました。

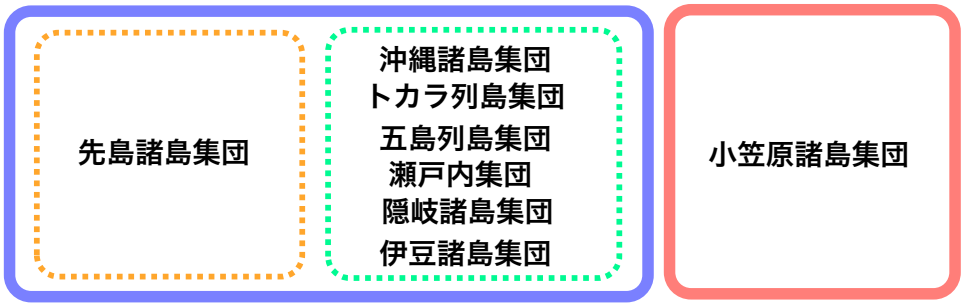
カラスバトでは先島諸島、沖縄諸島、トカラ列島、五島列島、瀬戸内、隠岐諸島、伊豆諸島、小笠原諸島の 8 地域で収集した計 154 試料について、463 塩基の配列を分析したところ、27 の遺伝子型が確認されました。遺伝子型同士の類似度とその分布パターンの解析を行った結果、小笠原をのぞく地域、先島諸島〜伊豆諸島にかけての広汎な地域に生息する集団の間でも遺伝的分化の程度が低いことが明らかになりました。一方で、遺伝的分化の程度は、生息地の空白域の大きさを補正した場合に対象生息地間の距離と強い相関があることが示唆されました。そのため、もともと島が無く生息地の空白が大きい地域、例えば、先島諸島と沖縄諸島の間や、九州北部と隠岐諸島の間では、生息地の消失は希な遺伝的交流のチャンスをさらに減らすなど生息地のネットワーク構造に対する影響が大きいと考えられます。

アカヒゲでは沖縄島、徳之島、奄美大島、悪石島、諏訪之瀬島、平島、中之島、口之島の 8 つの島で採取した 150 試料について、1226 塩基の配列を分析したところ、29 の遺伝子型が確認されました。そして、最南端の沖縄島の集団と徳之島以北の集団とでは、出現する遺伝子型の間の類似度が低く、遺伝子型はそれぞれ独立した系統群に分類され、遺伝的な分化の程度が非常に大きいことが明らかになりました。さらに、徳之島以北の集団の中でも、徳之島・奄美大島・トカラ列島（悪石島〜口之島の 5 島を含む）の 3 グループの間ではわずかながら遺伝的な分化が認められました。このため、アカヒゲの場合には、琉球列島全体を生息地のネットワークとして保全するよりはむしろ、それぞれ遺伝的に分化した集団が生息する 4 つの地域の保全策を独立に検討するのが望ましいと考えられました。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金「島嶼性希少鳥類の遺伝的構造解析を応用した島嶼林ネットワークの評価」および一般研究費による成果です。鳥類の捕獲と試料の採集は環境省および文化庁・各県教育委員会の許可を得て行いました。

詳しくは、Seki et al. (2007a) Molecular Ecology 16(1):101-113 および Seki et al. (2007b) Conservation Genetics 8(5):1109-1121 をご覧下さい。

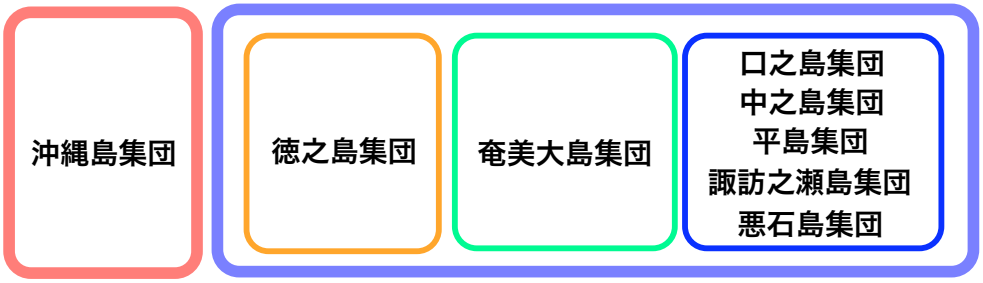
図 1. 研究のイメージ



・広汎な地域に生息する生息する集団間でも遺伝的分化の程度が低い
・もともと島が無く生息地の空白が大きい地域の生息地を重点的に保全

Seki et al.(2007b) のデータをもとに描く

図 2. mtDNA の遺伝子型の分布パターンにもとづく、カラスバトの島嶼集団間の関係



・それぞれ遺伝的に分化した集団が生息する、４地域の保全策を独立に検討する必要

Seki et al.(2007a) のデータをもとに描く

図 3. mtDNA の遺伝子型の分布パターンにもとづく、アカヒゲの島嶼集団間の関係

用　語　解　説

環境 JIS（P14)
循環型社会構築に向けて、日本工業規格（JIS）を制定している日本工業標準調査会環境・資源循環専門委員会が" 環境 JIS 策定アクションプログラム" を定め、環境に配慮した製品に対して制定される環境配慮型規格。第 1 号は 2004 年に制定されたエコセメント（JIS R5214）で、「木材・プラスチック再生複合材」は第 2 号となりました。

WPC（P14)
従来から我が国でも使用されている木材素材にアクリル樹脂などの熱硬化性樹脂を注入して強度や硬度を高めたものも WPC（Wood Plastic Combination）と呼ばれていますが、日本木材学会では従来型の WPC を「注入型 WPC」、木粉と熱可塑性プラスチックとを混練、成形した新しい WPC を「混練型 WPC」と区別する案を提案しています。

電熱併給（CHP）（P20)
電気と熱を同時に生産利用することです。ガス化電熱供給装置は、木材を高温の状態にして取り出した可燃性ガスを用いてガスエンジン（ガスタービン）を回して発電し、高温の排気ガスを用いて蒸気や温水を生産し、熱利用も行います

セルフメディケーション（P30）
生活習慣病を予防するための食生活や運動習慣など、できるだけ自分で健康管理すること。

応力波（P36）
材料が衝撃力を受けたとき発生し、時間の経過に伴い材料内部を伝わっていく力です。

慣性力（P36)
慣性は「止まっているものは止まり続け、等速度で動いているものは等速度で動き続けようとする性質」で、慣性力は質量が慣性を持つために現れる見かけの力です。

ラミナ（P42)
ひき板とも呼ばれます。集成材の一つの層を構成する板で、複数の板を接着によってたて継ぎや幅はぎされたものもあります。

ヤング係数（P42）
材料に負荷を与えたときの変形のしにくさ。材料の強度と統計的な相関関係を有しています。

心持ち材（P46）
角材の中心に樹木の中心部（髄）があるもので、年輪が角材の段目に同心円状に配置します。割れやすい欠点があります。日本の伝統的な木造住宅の柱としてよく用いられます。

IGS1, ITS（P50）
Intergenic Spacer 1,Internal Transcribed Spacer
両者はリゾホーム RNA 遺伝子を繋ぐ DNA 領域の名称。

表紙に掲載された動植物

1 シラカンバ
2 モクレン
3 グリーンアノール
4 ブナ
5 ホソバテンジクメギ
6 ハルニレ
7 ムニンヒメツバキ
8 ヒマラヤスギ
9 ウスノキ
10 コアカゲラ
11 トサノミツバツツジ
12 ニホンザル

森林総合研究所
平成 20 年版　研究成果選集

発　行　日　平成 20 年 7 月
編集・発行　独立行政法人　森林総合研究所
茨城県つくば市松の里 1
電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ　企画部研究情報科
メールアドレス　kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ　http：//www.ffpri.affrc.go.jp
印　刷　所　茨城青写真製本株式会社

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。

裏表紙の写真：ブナ

平成20年版

研究成果選集

2008

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1　URL http://www.ffpri.affrc.go.jp/