

森林総合研究所 平成 16 年度 研究成果選集

目 次

ア 森林における生物多様性の保全に関する研究

ー外来生物にいどむー①

小笠原の固有生物を外来生物から救うために…………… 4

本土から 1000km 離れた太平洋上の小笠原諸島は、独自に進化した貴重な固有生物が豊富ですが、人間が不用意に持ち込んだ外来生物が固有種を絶滅の淵に追いやってます。彼らを絶滅から救うための研究を紹介します。

ー外来生物にいどむー②

外来哺乳類の分布拡大と対策…………… 6

外来哺乳類タイワンリスの分布拡大予測に基づき、対策の優先地域を選定し、分布拡大の足場となる緑地管理の重要性を提案しました。また、外来マングースによる希少種への捕食影響や、希少種生息地での侵入状況を明らかにし、対策とモニタリングの必要性を提案します。

シカとネズミとササはどのように樹木の死亡に関わるか？…………… 8

奈良県大台ヶ原では、シカによる森林への被害が問題となっていますが、シカにはマイナスの効果ばかりではなく、ササの量を減らして森林の再生に役立つというプラスの効果もあることがわかりました。

絶滅危惧種ヤツガタケトウヒの地理的分布と遺伝的多様性……………10

ハヶ岳周辺に生息し絶滅危惧植物であるヤツガタケトウヒは、12 の生育地で約 1000 個体の母樹があり、現在の保存林だけでは遺伝的な特性を保てないことが解りました。

最終氷期に逃避地として生き残ったスギ天然林は高い遺伝的多様性を保持している……………12

最終氷期（約 18000 年前）に温暖な地域に逃げ延び現在に至っているスギ天然林を DNA マーカーを用いて調査したところ、氷期後に形成されたスギ天然林よりも高い遺伝的多様性を保持していることが明らかになりました。

イ 森林の国土保全、水資源かん養、生活環境保全機能の高度発揮に関する研究

森林の有機物成分の簡単なはかり方ー近赤外分光分析法ー…………… 14

食品、農業、畜産等の分野で用いられてきた近赤外分光分析法を森林の有機物分析に応用し、葉や堆積有機物の分解中のリグニンやホロセルロース等森林有機物を簡便に把握することが可能になりました。

根圏微生物の相乗効果を活用した森林再生…………… 16

樹木根圏に棲息する微生物を組み合わせオオバヤシャブシに接種すると、オオバヤシャブシの成長が相乗的に向上しました。自然災害地における森林再生に植物とその共生微生物の利用が期待されます。

都市の人間活動による森林への影響

ー渓流水中の硝酸イオン濃度は森林の満腹サイン？ー…………… 18

大都市圏の人間活動による窒素の排出が、関東平野周辺の森林への窒素の過剰供給となり、森林から流出する渓流水の硝酸イオン濃度を高めていることを明らかにしました。

ウ 森林に対する生物被害、気象災害等の回避・防除技術に関する研究

カシノナガキクイムシ集合フェロモンの構造解明

ーナラ類集団枯死の回避を目指してー…………… 20

ナラ類を集団で枯らすカシノナガキクイムシが、寄主の幹に集団で穿入する際に用いている集合フェロモンの化学構造を決定し、野外での誘引性を確認しました。枯死を減らすための利用法開発が期待されます。

マツノザイセンチュウのセルラーゼ遺伝子の発見

ーマツノザイセンチュウはカビから遺伝子をもらった？ー…………… 22

松枯れの元凶マツノザイセンチュウから発見したセルラーゼの遺伝子は、これまでに知られている植物寄生線虫のセルラーゼとは異なり、菌類のものと酷似していました。このことはマツノザイセンチュウが進化の過程で菌からセルラーゼ遺伝子を得た可能性を示しています。

新植地におけるニホンジカ被害を予測するハザードマップ作り……………	24
ニホンジカによる森林被害は深刻な状況が続いています。そこで、ニホンジカによる新植地被害の発生を予測し未然に防ぐことを目的としてハザードマップを作成しました。	

エ 多様な公益的機能の総合発揮に関する研究

間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか？……………	26
20～66年間にわたって計測した国有林内の間伐比較試験地21ヶ所のデータを解析したところ、無間伐林よりも間伐林のほうが地上部のバイオマス成長量が多い場合が多く、二酸化炭素の吸収固定の面からも間伐が有効であることがわかりました。	
集材時における残存立木被害の発生パターンとその軽減策—スイングヤーダ集材の場合—……………	28
スイングヤーダ集材を対象に、集材による損傷の発生状況を分析した結果、主索から水平5m、地表高1mまでの位置に被害が多く発生することが判明しました。また、被害軽減には点状伐採より列状伐採の方が有利である結果が示されました。	

オ 地球環境変動下における森林の保全・再生に関する研究

マングローブ林の炭素の貯え……………	30
ミクロネシアと東南アジアでマングローブ林の炭素蓄積量と蓄積速度を調べたところ、この林では陸上の森林に負けない大きさ、速さでしかも湿った地下部には泥炭として多量の炭素を貯えていることがわかりました。	
国際的基準に基づいて森林をどのようににはかるか？……………	32
将来にわたって森林を利用する目的で、国際的基準に基づいて森林を測定し、適切な管理をすることになりました。そこで他の国々と話し合いながら、日本の国土の67%を占める森林の多様性や健全性を測る手法を開発しました。	
熱帯の極限的荒廃地を緑にする……………	34
自然にまかせた回復が難しい熱帯荒廃地での森林修復を行うために、植栽地の厳しい環境に対して、生理学的に順応した新しい葉を出せる樹種（タイプ）が有望であることを示しました。	
地球の陸上植物が固定する炭素量を知る……………	36
地球全体を観測しているノア衛星データから大気中のチリなどの影響を取り除く手法と日射量に基づいて植物が固定する炭素量を推定する方法を開発した結果、地球全体の植物が固定している炭素量を精度良く推定することが可能になりました。	
さまざまな森林土壌からの温室効果ガスの放出・吸収量を調べる方法……………	38
様々な場所の森林土壌から温室効果ガスであるメタンや亜酸化窒素の放出・吸収量を同一基準で比較的簡便に測定できる方法を開発しました。	
少雪でトドマツが枯れる……………	40
1999年から2002年にかけて、道東のトドマツ人工林に大規模な枯損被害が発生した。調査した結果、土壌深く凍結し早春の時期に蒸散によって樹体が著しく乾燥したことがわかりました。	

カ 効率的生産システムの構築に関する研究

伐出コストを推計するコスト算定プログラムを開発……………	42
多くの伐出用作業機械に適用でき、様々な機械の組み合わせや作業条件に対応可能な対話型のコスト算定プログラムを開発しました。本ソフトはウィンドウズ上で作動し、ほとんどのパソコンで使用できます。	
機械化施業による林地への影響を調べる —機械化施業データベースの開発……………	44
林業機械を使った森林施業から3～5年たった跡地において、土壌の保全性や植生の多様性への影響を調べる全国調査を実施しました。調査結果にもとづいて機械化施業データベースを構築しました。	

キ 森林の新たな利用を推進し、山村振興に資する研究

森林セラピー効果を初めて生理的手法で解明した……………	46
森林セラピー効果を世界で始めて生理的手法で解明しました。森林浴によって、脳（前頭前野）活動が鎮静化し、ストレスホルモン濃度が低下し、血圧も下がり、生体が生理的にリラックスすることがわかりました。	

ク 木質資源の環境調和・循環利用技術の開発に関する研究

ここまで分かった、我が国の木材資源フロー…………… 48
我が国の木材資源フローを国産素材・外材、輸出入製品から、製材・合板等一次加工、建築・家具等二次加工、最終製品の廃棄、再利用まで、製造残材・使用済み廃材を含んだ形で定量的に明らかにしました。

ヒノキチップ量のダニ防除効果と木材の香り成分の人へのリラックス効果…………… 50
ヒノキチップを原料とした量の香り成分にはダニ防除効果があること、ならびに木材の主要な香り成分（ α -ピネン、リモネン）には人をリラックスさせる効果があることがわかりました。

ケ 安全・快適性の向上を目指した木質材料の加工・利用技術の開発に関する研究

—スギ高速乾燥①—
スギ心持ち材の乾燥割れを防ぎ、短時間で乾かす方法を開発…………… 52
住宅建築工法の変化によって、針葉樹心持ち柱材についてこれまで考えられなかったほどの高速乾燥が求められるようになりました。温度を高くすれば速く乾燥できますが、割れ、変色等の問題が起こります。これらを解決する新しい乾燥処理方法を開発しました。

—スギ高速乾燥②—
高温乾燥の仕方によってスギ材の強度と耐久性はどう変わるか？…………… 54
異なる条件で乾燥したスギ構造材の強度および耐久性の比較試験の結果、乾燥条件によっては強度および耐久性が低下することが明らかになりました。

—スギ高速乾燥③—
スギ人工乾燥材で強い構造物をつくる…………… 56
乾燥が難しいと言われているスギですが、人工的に上手に乾燥すれば木造建築の接合部に用いられる材料として優れた強度性能を発揮することがわかりました。

コ 生物機能の解明と新素材の開発に向けた研究

ポプラの環境ストレス関連遺伝子の大規模収集に成功…………… 58
ポプラの完全長 cDNA を世界で初めて大規模収集しました。乾燥や高塩濃度などの環境ストレスに応答する遺伝子が多数含まれおり、樹木の環境ストレス応答機構の解明や環境ストレス耐性樹木の創出への応用が期待されます。

ヒノキの効率的な個体再生技術の開発…………… 60
不定胚形成によるヒノキの効率的な個体再生技術を開発しました。この技術では、種子 1 個から数万本のクローン苗を短期間に得ることが可能で、遺伝子組換えヒノキの作出や有用品種の大量増殖への応用が期待されます。

マツタケの個体識別が可能に—人工栽培技術の開発へ第一歩—…………… 62
マツタケの個体識別法を開発し、マツタケが遺伝的に多様な生物種であることを証明しました。マツタケの個体識別ができることにより、未だ出来ていない人工栽培法の開発に適した菌株の選抜や栽培化試験の事後評価が可能になります。

サ 森林・林業・木材産業政策の企画立案に資する研究

木材製品や紙製品の需要に影響する要因を探る…………… 64
本研究では、世界主要国の木材製品と紙製品の需要に影響する要因を探りました。その結果、ほとんどの製品において、製品価格がマイナスに、国内総生産がプラスに影響することがわかりました。

－ 外 来 生 物 に い ど む －①

小笠原の固有生物を外来生物から救うために

森林森林遺伝研究領域	生態遺伝研究室	吉丸 博志
	ゲノム解析研究室	谷 尚樹
北海道支所	森林育成研究グループ	河原 孝行
企画調整部	企画科長	大河内 勇
九州支所	南西諸島保全担当チーム長	佐藤 大樹

背景と目的

本土から隔たること 1000km、太平洋に浮かぶ小笠原諸島は、そこで進化した貴重な固有生物がたくさん見られるため「日本のガラパゴス」とも呼ばれるほどです。しかし世界の多くの島々同様、人間が不用意に持ち込んだ生物が固有種を絶滅の淵に追いやっています。私たちは小笠原の固有生物の危機的な現状を調べ、その原因を明らかにし、彼らを絶滅から救うための方法を開発するため研究を行ってきました。ここではオガサワラグワと陸産貝類の例をご紹介します。

成 果

雑種化の危機

オガサワラグワは成長すると樹高 15m、幹の直径 2m の大木となる固有植物です（図 1）。しかし、明治以降の開拓期の乱伐の後に、沖縄からシマグワ が養蚕用に持ち込まれた結果、オガサワラグワとシマグワの雑種が出現して増えてしまいました。こうした現象は「遺伝的汚染」と呼ばれ、生物保全上の重大問題です。しかし雑種個体と純粋個体を見分けるのは難しく（図 2）、純粋な個体がどこにどれだけ残っているのかわかりませんでした。

そこで識別に使える DNA マーカーを開発してくまなく調べた結果（図 3）、純粋個体は約 150 本の成木が父島、母島、弟島の 3 島に散在するのみという危機的な実態が明らかになりました。若木が育たず成木の枯死が現在のペースで続くと、10 年後には 100 本程度になってしまふ恐れがあります。絶滅を防ぐには純粋な種子を得て植栽することが必要です。

侵入捕食者による危機

小笠原からは 100 種以上の陸産貝類（カタツムリ）が記録されており、そのほぼ 9 割は固有種と言われています（図 4）。しかし 1980 年代以降、とくに父島において、陸産貝類は急激に絶滅し、あるいは生息数がひ

どく減ってしまいました（図 5）。原因には諸説ありましたが、私たちの研究によって、人間が持ち込んだニューギニアヤリガタリクウズムシという扁形動物（プラナリア）の一種（図 6）が原因であることが突き止められました。陸産貝類の捕食者として世界中で悪名の高い生物です。この捕食者はすでに父島のいたる所に広がり、駆除することは現実的に不可能です。そこで、この天敵が入り込めない装置を作り、その中で固有陸産貝類を育てる方法を開発しました（図 7）。プラナリアは塩水に弱いことに着目し、周囲に塩水の「お濠」をめぐるした装置です。この装置の内部で固有種を飼育する一方、まだプラナリアが侵入していない島へ人間が持ち込むことがないように、徹底した配慮が必要なのです。

本研究は環境省公害防止等研究費「帰化生物の影響排除による小笠原森林生態系の復元研究」による成果です。

詳しくは Tani, N., Kawahara, T., Yoshimaru, H., Hoshi, Y.: (2003) Conservation Genetics 4:605-612. および Okochi, I., Sato, H., and Ohbayashi, T.. (2004) Biodiversity and Conservation 13: 1465-1475. をご覧下さい。



図1 オガサワラグワ 純粋
個体の成木（上）と明
治以降の開拓期に切り
倒された大木の切株
（下）



図4 固有陸産貝類の1種コ
ガネカタマイマイ



図6 侵入した捕食性天敵ニューギ
ニアヤリガタリクウズムシ



図2 オガサワラグワ（上段）とシマグワ（下段）の葉
（両種の雑種と純粋なオガサワラグワとの識別は外見だけでは難しい。）

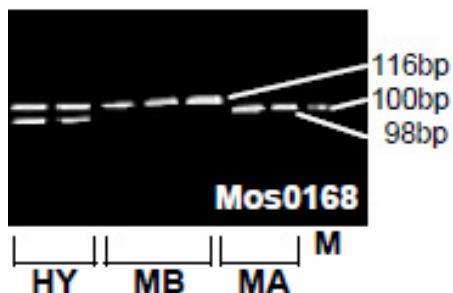


図3 雑種識別のために開発した DNA マーカーの電気泳動像
（MB：オガサワラグワ、MA：シマグワ、HY：雑種）

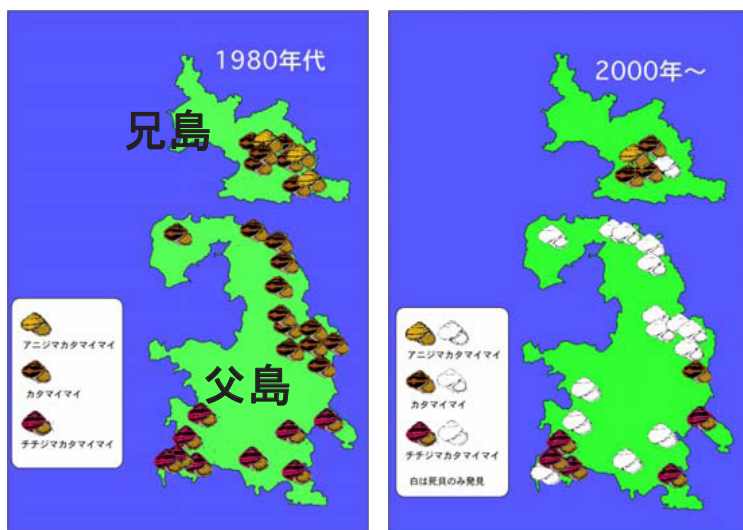


図5 固有陸産貝類が発見された場所
（右図白色は死貝のみ発見。20 年間に父島の生息地は激減し
ました。）



図7 天敵排除型飼育装置
（飼育箱の枠に塩水を入れた
溝をつけ、塩分の苦手な天
敵をシャットアウト）

－ 外 来 生 物 に い ど む －②

外来哺乳類の分布拡大と対策

多摩森林科学園	教育的資源研究グループ	林 典子
野生動物研究領域	鳥獣生態研究室	山田 文雄
森林管理研究領域	環境計画研究室	宮本 麻子
企画調整部	研究情報科長	杉村 乾

背景と目的

わが国に住む 105 種の哺乳類のうち、約 30%が外来種で占められています。2004 年 6 月、本来の生態系に大きな影響や被害をもたらす外来生物に対処するため、「特定外来生物法」が制定され、具体的対策が始まりました。早くから外来哺乳類の影響と対策研究を進めてきた森林総合研究所の成果は法律策定や現地対策に大きな貢献をしてきました。

成 果

拡大するペット由来のタイワンリス

外国から持ち込まれたペット（愛玩動物）が野生化して定着し、産業や生態系におおきな影響を与えています。タイワンリスもその一つで、中国、台湾、インドシナ半島などに分布していますが、1930 年以降日本各地に持ち込まれ、2003 年には 12 箇所定着が確認されています（図 1）。神奈川県南東部では、野生化が始まった 1950 年代以降、個体数の増加に伴って急激に分布域が拡大していることが明らかになりました（図 2）。本種は、森林面積が 10ha 以上あり、常緑広葉樹が多く、周囲が閑静な田畑で囲まれている環境で生息する可能性が高いようで、現在生息している区域から更に分布を広げていく可能性があります（図 3）。特に、在来のニホンリスはじめ鳥類や植物の貴重な生息地である西側の山塊（No.1、2）に侵入すると、在来生態系への影響が危惧されます。

対策として最も重要なのは、西側の山塊への移動経路にあたる相模川流域（No.3）や相模湾岸（No.4）の緑地で駆除を徹底することです。また、市街地の公園や緑地では、下刈りをしたり、植栽間隔を疎らにするなどによって、タイワンリスが分布を拡げる足場とならない環境に変えていくことも有効です。関係行政機関や住民の理解を得ながら、こうした対策を取っていくことが在来種や生態系を守るうえで必要です。

本格的駆除が開始されたマングース

「誤った天敵導入」の代表的事例として、マングース問題があります。マングース（正確にはジャワマングース）はアラビア、インド、中国南部、東南アジアを原産地とする食肉類で、雑食性で環境適応力や繁殖力に優れています。わが国へは、南西諸島に生息する毒蛇ハブ駆除のために、沖縄本島に 1910 年、奄美大島に 1979 年ごろに導入されましたが、農業被害や家禽被害を起こしています。われわれの調査から、マングースは昼行性のため夜行性のハブと出会うことはなくハブ駆除には役立たないこと、アマミノクロウサギなどの希少種を襲い、地域的絶滅を起こしていることなどを自動カメラによる生息調査などで明らかにしました（図 4）。マングースは希少種の生息地である谷間や山奥などに侵入し、アマミノクロウサギの保育用巣穴などを襲っています（図 5）。外来種対策には早期発見、迅速対応が解決のための必須条件です。これまで実施されている駆除方法を改善し、有効な駆除対策を立てるために、一層の継続的なモニタリング調査や駆除対策の研究が必要です。

詳しくは :Miyamoto, A., Tamura, N. Sugimura, K., and Yamada. F., 2004. Global Environmental Research, 8(1): 13-21. Yamada, F. and K. Sugimura. 2004. Global Environmental Research, 8(2): 117-124. をご覧下さい。

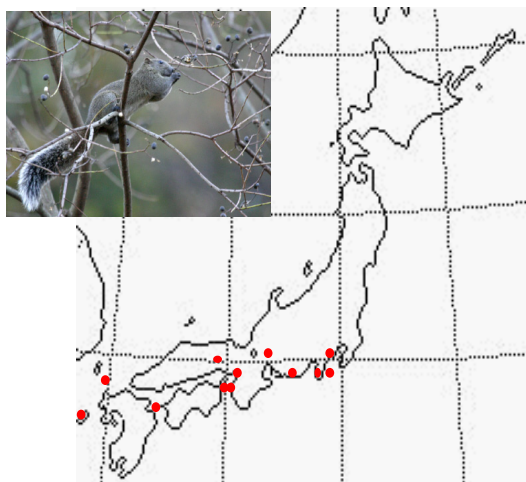
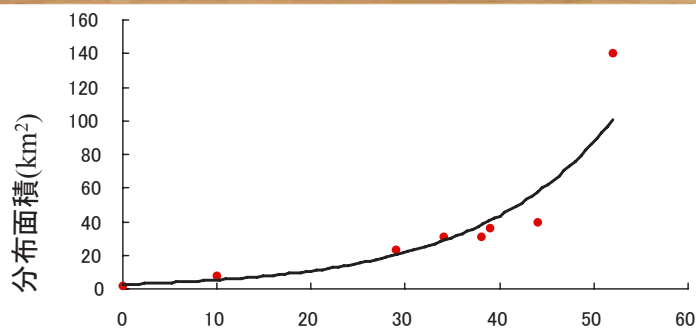


図1 2003年現在における台湾リスの分布地域
(神奈川県南東部、東京都伊豆大島、静岡県東伊豆町、
浜松市、岐阜県金華山、大阪市、和歌山市、和歌山県
友ヶ島、姫路市、大分県高島、長崎県壱岐、福江島)



1950年からの経過年数
図2 神奈川県東部における外来台湾リスの
分布面積の増加

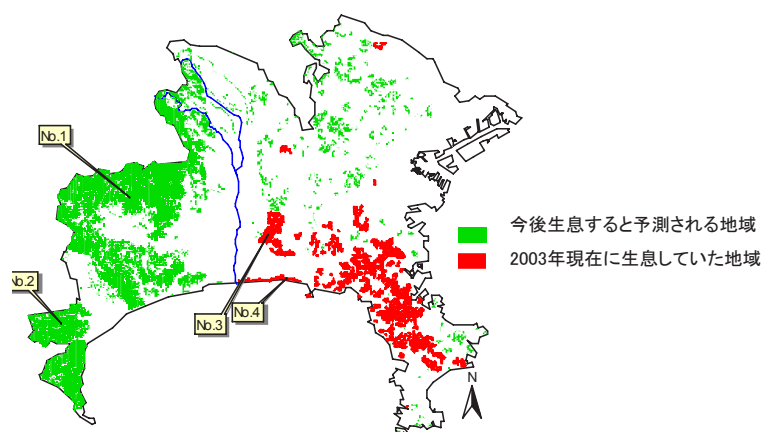


図3 神奈川県における2003年現在の台湾
リス生息地と今後の生息予測

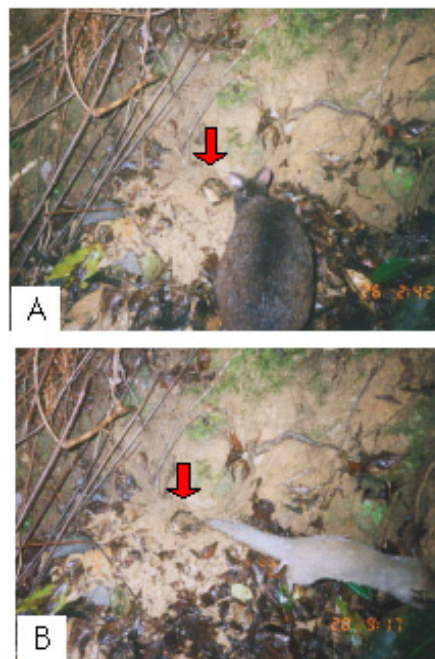


図5 アマミノクロウサギの繁殖巣穴を襲う外来
マングース (矢印は繁殖巣穴)。

(Aは夜間に保育のために繁殖巣穴に来た親クロウ
サギ、Bは昼間にこの繁殖巣穴に入り出ていくマ
ングース)

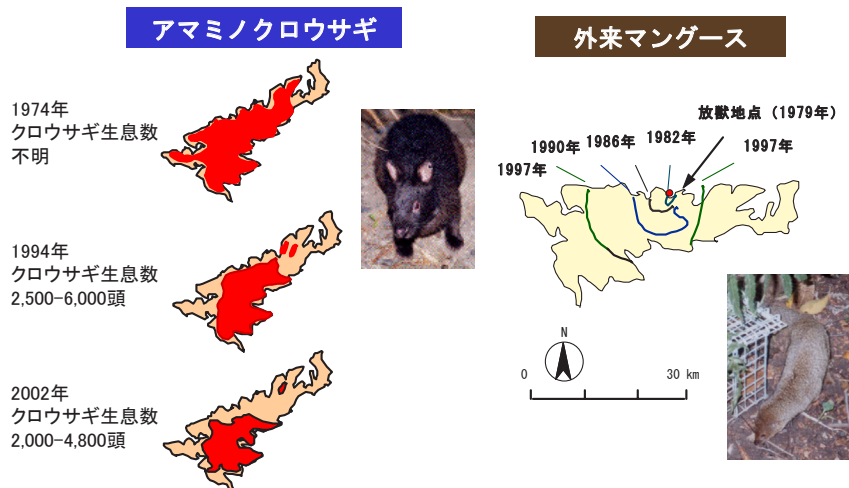


図4 奄美大島における減少す
るアマミノクロウサギの
生息数と分布域 (左) と
外来マングースの分布拡
大

(1990年代以降の減少は外来マ
ングースの捕食影響)

シカとネズミとササはどのように樹木の死亡に関わるか？

関西支所 森林生態研究グループ 伊東 宏樹
野生鳥獣類管理チーム長 日野 輝明

背景と目的

日本各地でニホンジカ（以下、シカ）が増え、樹木の実生（みしょう；種子から発芽して育ってきた芽生えのこと）や樹皮の採食による森林の衰退が心配されています。奈良・三重県境にある大台ヶ原もそのような場所の一つで、シカの個体数調整を行いながら森林を再生する自然再生のための対策が環境省によって進められています。しかしながら、森林生態系の中で生物はさまざまな相互作用を通して複雑に結びついており、この相互作用ネットワークの理解なしには樹木を含めた自然再生を効率的に進めていくことはできません。

本研究では、大台ヶ原におけるシカ、ネズミ類、ミヤコザサ（以下、ササ）、樹木の实生との関係（図 1）を実験的に明らかにすることを目的に行いました。

成 果

野外実験

大台ヶ原の森林内にシカの排除、ネズミの排除、ササの刈り取りの 3 つの処理を組み合わせた実験区を設置し、1997 年から 8 年間、ササの量の変化と、樹木（ウラジロモミ、アオダモ、ブナなど）の実生の発生と生残を調べてきました。まず、シカとネズミはともにササを食べ、ササの量を減らすものの、その影響はシカの方がはるかに大きいことが分かりました（図 2）。ネズミによる実生への影響は、発生後の生残については認められませんでした。いくつかの樹種では発生数を減らしていました。種子を食べて減らしたのかもしれませんが。

樹種による違い

発生後の実生はその多くが、シカに食べられたり、ササによって日光をさえぎられたりして死んでいきますが、その影響の受け方は樹種によってさまざまに違っていました（図 3）。たとえば、針葉樹のウラジロモミではシカが、広葉樹のアオダモやブナではササが、それぞれより大きく影響をおよぼしていました。シカの好みや、生残に必要な日光の量の違いが樹種によって異なる

ためではないかと考えられます。興味深いことに、アオダモやブナでは、シカがササを食べることにより実生が生き残る確率が高くなることがわかりました。これは逆に言うと、シカがいなくなるとササが密生して、実生の生残にとってはかえって不利になったことを意味しています。

このように樹木の更新をめぐる生物間相互作用は複雑ですが、シカもネズミもササも多すぎず少なすぎず互いの関係をとおしてバランスよく存在することが、樹木の实生の生存にとって最も好ましいことを本研究の結果は示しています。

本研究の一部は、環境省地球環境保全等試験研究費「生物間相互作用ネットワークの動態解析にもとづく孤立化した森林生態系の修復技術に関する研究」による成果です。

詳しくは：Itô, H. & Hino, T. (2005) Ecological Research 20：121-128 をご覧下さい。

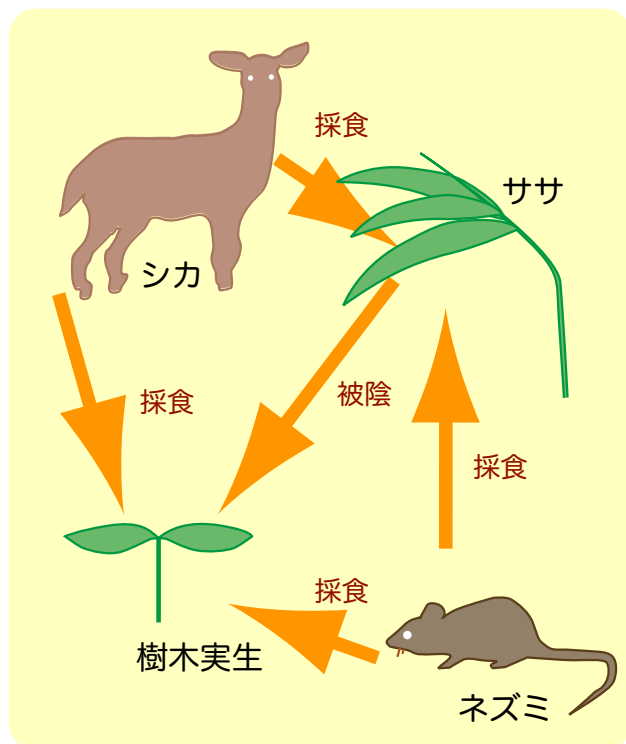


図1 シカ・ネズミ・ササ・樹木実生の相互間に想定される関係

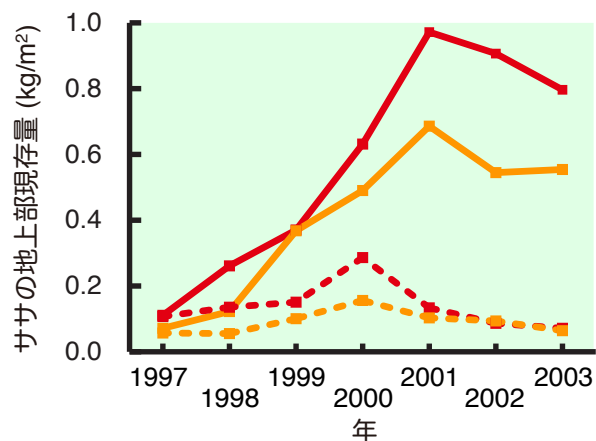
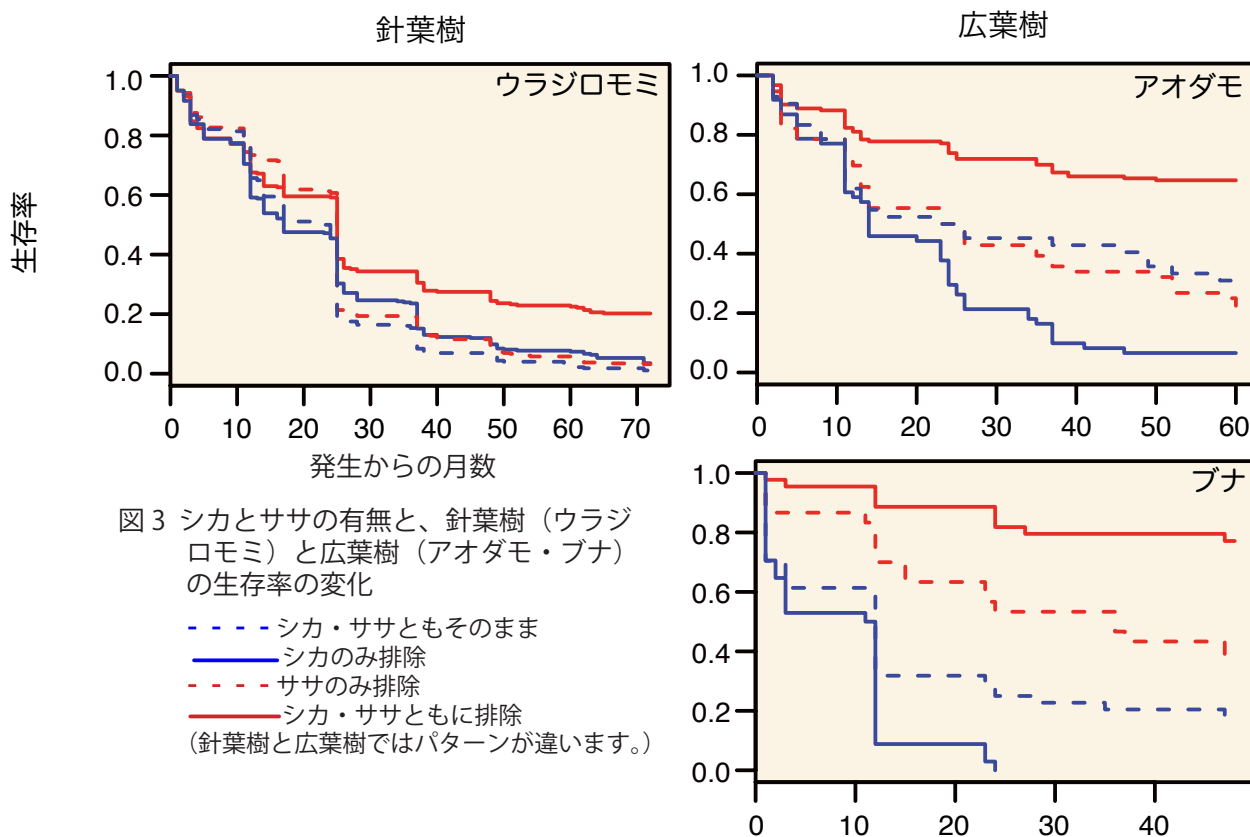


図2 シカとネズミの有無とササの回復との関係

- - - シカ・ササともそのまま
 — シカのみ排除
 - - - ネズミのみ排除
 — シカ・ネズミともに排除
 (シカがいなくてササは素早く回復します。)



絶滅危惧種ヤツガタケトウヒの地理的分布と 遺伝的多様性

多摩森林科学園 教育的資源研究グループ 勝木 俊雄
森林遺伝研究領域 生態遺伝研究室 吉丸 博志、島田 健一

背景と目的

ヤツガタケトウヒ（写真 1）はエゾマツやアカエゾマツなどと同じマツ科トウヒ属に分類される樹木ですが、生育地（写真 2）と個体数が限られ、環境省レッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類に指定されています。約 2 万年前の最終氷期には東日本に広く分布していたことが化石資料などで知られていますが、現代では 1911 年に長野県八ヶ岳西部で発見された後、さらに南アルプスの一部の生育地が知られているのみでした。そこで生育地の現状を調査するとともに、集団がもつ遺伝的な多様性について調べてみました。

成 果

ヤツガタケトウヒの現状

ヤツガタケトウヒの生育地については、新たな発見も含めて 12 か所で確認されました（図 1）。母樹（胸高直径 20cm 以上）の総数は 1,000 本程度と推測されましたが、多くの生育地で樹高 1m に満たない若木はあまり見られず、次世代の更新の成否は不明です。

遺伝的多様性を調べると

次に、古くから知られていた八ヶ岳西部の 2 集団（カラムツ沢とフウキ沢）と南アルプスの天主岩の集団、および新しく発見された南アルプス大平の集団について、酵素多型（アロザイム）を利用して遺伝的多様性を調査しました（表 1）。遺伝的多様性の量を示す平均ヘテロ接合体（He）の値は、カラムツ沢以外の 3 集団では比較的大きく（0.185 ～ 0.196）、これは個体数の非常に多いスギやヒノキで調べられた値とほぼ同程度であり、集団の中に様々な遺伝的性質の個体が含まれていること

を示します。一方、カラムツ沢集団の He は明らかに小さい（0.136）もので、集団の中の個体がやや均質である傾向を示します。

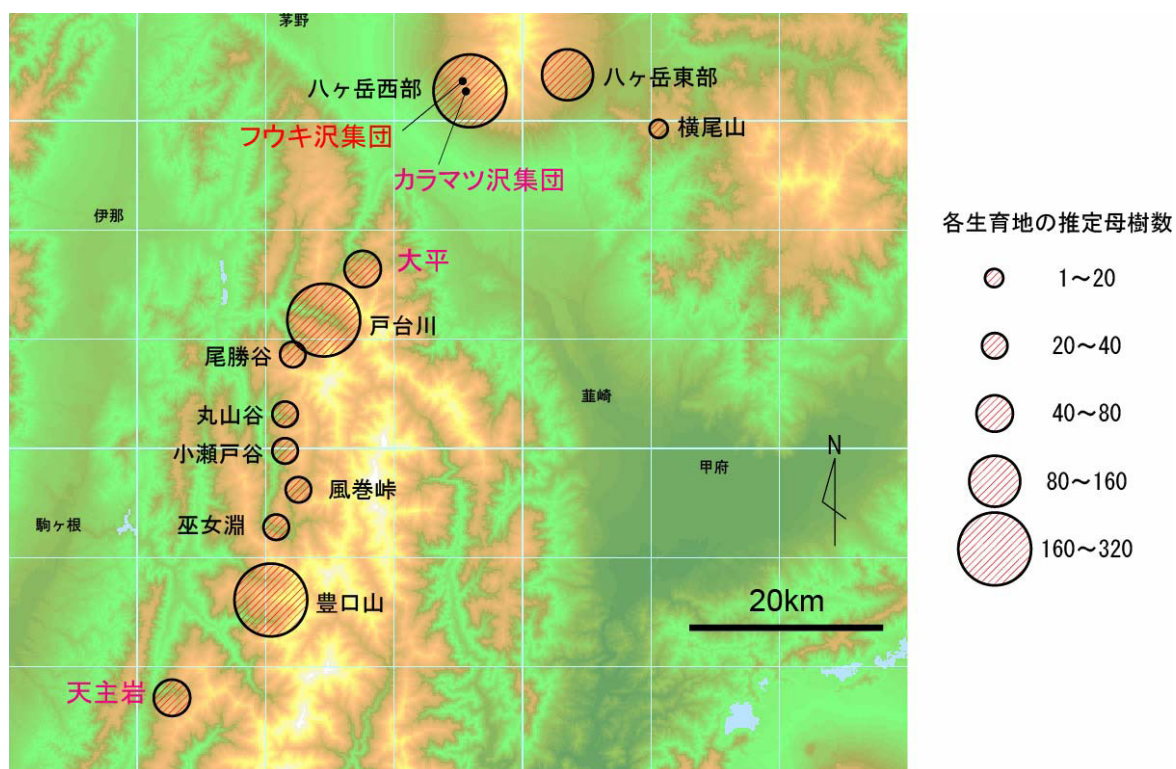
遺伝子資源保存林だけでは不十分

カラムツ沢の集団は樹高 20m を超える堂々とした大木が林立して遺伝子資源保存林として重要視されていますが、この集団がもつ遺伝的な多様性は見た目よりも少ないのです。したがってヤツガタケトウヒを健全に保全するためには、このカラムツ沢の集団だけではなく、さらに出来るだけ多くの生育地における保全が重要であると考えられました。今回の調査結果に基づいて大平や天主岩のヤツガタケトウヒについては保護林の指定や種子を採取しての増殖などが国や県によって検討されています。

詳 し く は：Katsuki, T., et al. (2004) Acta. Phytotax. Geobot. 55:19-28 をご覧下さい。



写真1 ヤツガタケトウヒの葉と球果

写真2 ヤツガタケトウヒの生育地
(長野県大鹿村天主岩)図1 ヤツガタケトウヒの生育地
(赤文字は遺伝的多様性を解析した集団)と推定母樹数

山域	集団	He
ハケ岳	ハケ岳西部 (フウキ沢)	0.196
	ハケ岳西部 (カラムツ沢)	0.136
南アルプス	大平	0.185
	天主岩	0.196
参考	スギ	0.189
	ヒノキ	0.193

表1 ヤツガタケトウヒ 4 集団とスギ・ヒノキの平均ヘテロ接合度 (He)

最終氷期に逃避地として生き残ったスギ天然林は 高い遺伝的多様性を保持している

森林遺伝研究領域 ゲノム解析研究室 津村 義彦、谷 尚樹
新潟大学 自然科学研究科 高橋 友和、平 英彰

背景と目的

地球規模の気候変動によって、この数十万年の間に日本を始めヨーロッパ、北アメリカでは何回もの氷期を経験しています。この氷期には平均気温が現在よりも 7℃ほど低く、多くの生物がこの寒さを避けるため、温暖な海岸線近くに逃げていたようです。森林植物も、その多くは温暖な地域(逃避地)に逃げ延びていました。再び温暖な気候になると、森林は生育が可能な地域まで分布を北方に拡大していきました。そのため、北方にある森林は、氷期に温暖な地域にあった森林が起源となって二次的に形成されたことになります。そのため過去の氷期の時期に大きな森林であった集団は、現在でも高い遺伝的多様性を保持している可能性があります。また逆に、氷期の終わりとともに二次的に形成された森林は、その起源集団と比較すると低い遺伝的多様性しか持っていない可能性があります。最近ではこれらを調べるための多型性の高い DNA マーカーが開発されています。この研究では化石花粉の分析から過去の森林の分布及びその大きさがよく研究されているスギを事例として、現在の森林の遺伝的多様性を調査してこの説を検証してみました。

成 果

全国のスギ天然林の遺伝的多様性を調べると

スギの天然林は、北は青森県から南は屋久島まで分布し、屋久島以外はその多くが山奥に小面積しか残っていません(図 1、図 2、図 3、図 4)。これらのスギ天然林 28 カ所から材料を集めて、マイクロサテライトマーカー*と呼ばれる多型性の高い DNA マーカーを使ってスギ天然林集団の遺伝的多様性の調査を行いました。

遺伝的に多様な場所の特徴は

その結果、屋久島をはじめとして、現在では小集団となった愛鷹山(静岡県)、隠岐島、伊豆半島のスギ天然林でも、最終氷期のスギ逃避地近く天然林では、現在でもそれ以外のスギ天然林には存在しない遺伝子を保有しており、高い遺伝的変

異を維持していることが明らかになりました(図 5)。これらは遺伝資源として将来に残すべき貴重な森林と言えるでしょう。

本研究は、環境省地球環境保全等試験研究費「屋久島森林生態系の固有生物集団と遺伝的多様性の保全に関する研究」及び科学研究費補助金「稀少な森林となっている主要針葉樹天然林の保全遺伝学的研究」による成果です。

詳しくは：Takahashi et al. (2005) Journal of Plant Research (印刷中) をご覧下さい。

*については、巻末の用語解説をご覧下さい。

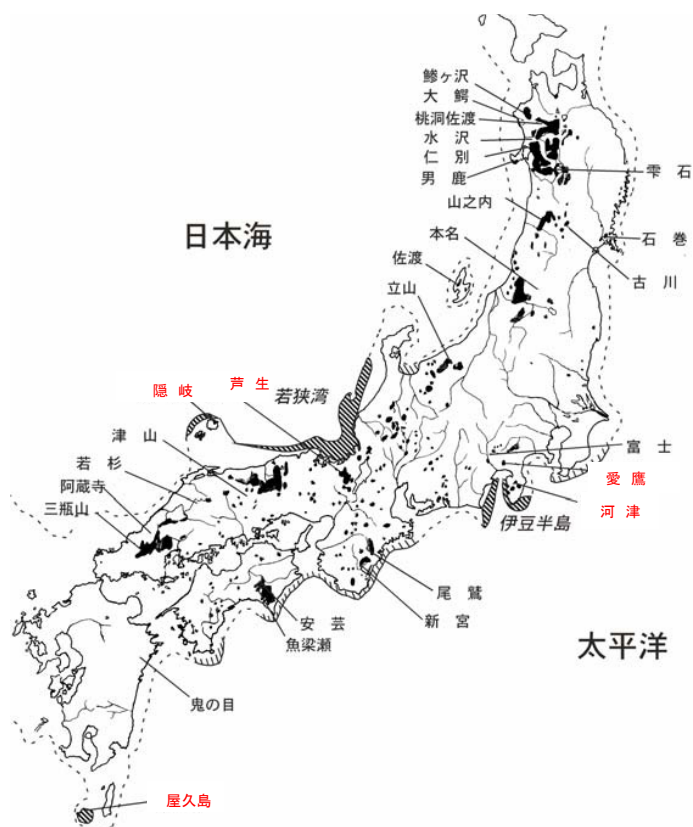


図1 スギ天然林の分布（黒塗り；林 1951）
と調査した 25 地域のスギ天然林。

（点線は最終氷期（約 18000 年前）の海岸線を示し、
網線（伊豆半島周辺、若狭湾周辺、隠岐、屋久島）
は当時のスギの逃避地を示しています（Tsukada
1982）。）

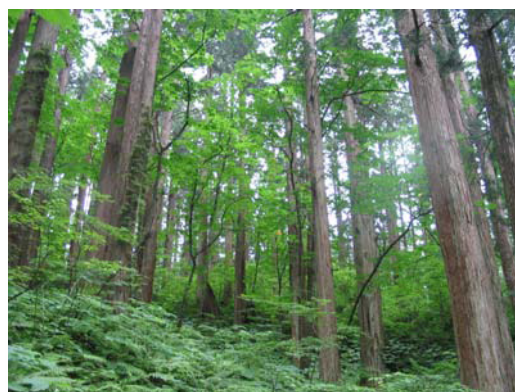
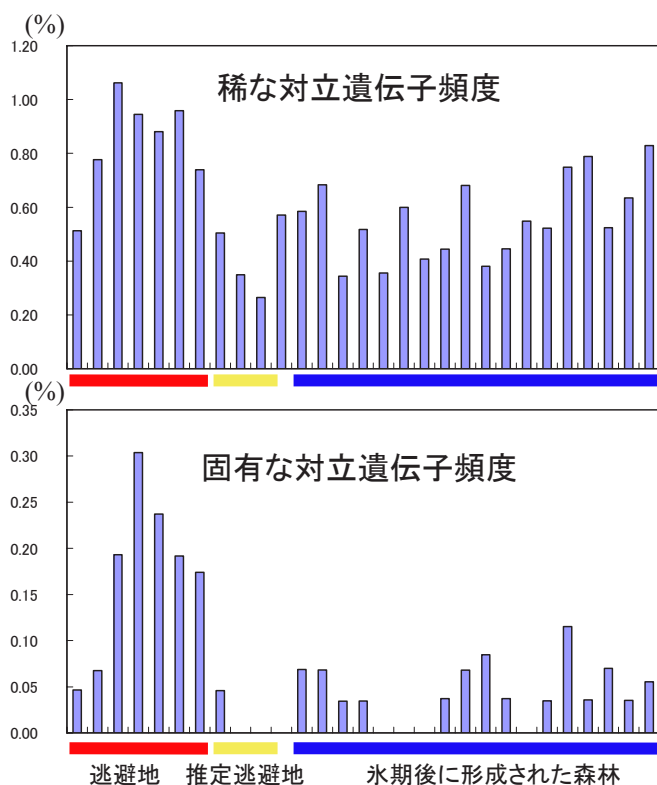


図2 秋田県仁別天然スギ



図3 屋久島黒味岳天然スギ



図4 屋久島花ノ江河天然スギ

図5 3つに分類した森林タイプ（逃避地、
推定逃避地、氷期後に形成された森
林（Tsukada 1982））でのそれぞ
れの森林の遺伝的多様性。

（最終氷期にスギの逃避地となった森林が現
在でも比較的高い遺伝的多様性を維持して
います。稀な対立遺伝子は全体で1%以下
のものを示し、固有な対立遺伝子はその集
団だけが保有するものを示します。）

森林の有機物成分の簡単なはかり方 ー近赤外分光分析法ー

立地環境研究領域	土壌資源評価研究室	小野 賢二
きのこ・微生物研究領域	きのこ研究室	平出 政和
農業・生物系特定技術研究機構		
畜産草地研究所	畜産環境部	排泄物制御研究室
		甘利 雅弘

背景と目的

植物の体は、リグニン、セルロース、タンパク質、樹脂などさまざまな有機物でできています。これまでの研究によって、枯れて林床に落ちた葉や枝（これらは一般にリターと言います。）の分解には、リターの化学成分が影響することが明らかになっています。そのため、リターが分解するにつれて、有機物がどのように変化していくのか、多くの研究者が注目し研究しています。従来、有機物の成分分析には、試料を有機溶媒や酸で処理し、有機物成分を順番に抽出する分析法が用いられてきました。しかし、この方法は、実験操作がはげつで、多量の薬品を使い、大変時間がかかるものでした。そこで、私たちは、短い時間でたくさんの試料を簡便で正確に分析できる方法として近赤外分光分析法（以下、「NIR」という。）に着目し、その方法が森林の有機物成分の分析に導入できるかどうかを検討しました。

成 果

近赤外分光分析法とは

農業、食品、医療などの分野では、物質に含まれる化学成分を簡単に測るために NIR を用いています。NIR はメロンやリンゴなどの果物の糖度を非破壊的に測る時や BSE の原因物質である肉骨粉が畜産飼料に混入していないか調べる時などに使われています。有機物を形作っているそれぞれ分子は近赤外光のうちある特定の波長の光を吸収する性質を持っています。NIR はこのような有機物の性質を利用して成分量を調べる方法です。私たちは図 1 のような近赤外分光分析装置を用いて測定を行いました。

リター有機物への応用

いろいろな木の葉に対して近赤外光を照射し、近赤外反射スペクトルを測定します（図 2）。得られた近赤外スペクトルと従来用いられてきた分析法から求めたいいろいろな有機物成分の濃度とを比較、解析し、各成分に特異的な波長を選定して定量式を作りました。また、定量式より求めた NIR 測定値と従来法による化学分析値を比較し、各成分に対する分析精度を調べました。図 3 は

リグニン成分に対する比較の結果です。NIR 測定値と従来法による値はよく一致していました。リグニンに限らずいろいろな森林の有機物成分について、NIR 測定値と化学分析値は高い相関性を示し、また誤差も小さいことから、NIR は高い精度で迅速に成分量を測定できることが明らかとなりました。

NIR は①再現性が高い、②低エネルギーの光を用いるため試料を変性させず、他の分析に再利用可能、③薬品を使用しないため有害な廃液が出ない、④固体、粉体、液体、溶液など多様な試料に適用可能、⑤迅速、簡便、正確に多成分を同時に分析可能、などの優れた特徴を持っています。今後、NIR は実験操作が煩雑だった従来法に代わって、森林の有機物成分を簡単に測定する方法になり、リターの分解過程の解明などに役立つものと考えられます。

詳しくは Ono, K., Hiraide, M., and Amari, M. (2003) Journal of Forest Research 8(3) : 191-198. をご覧下さい。

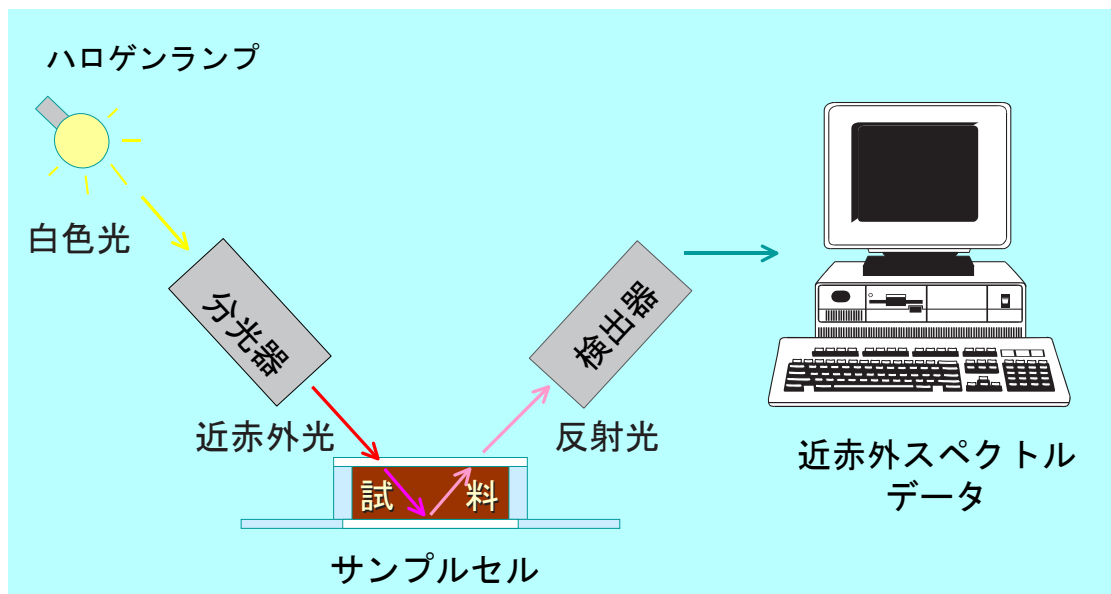


図1 近赤外分光分析装置

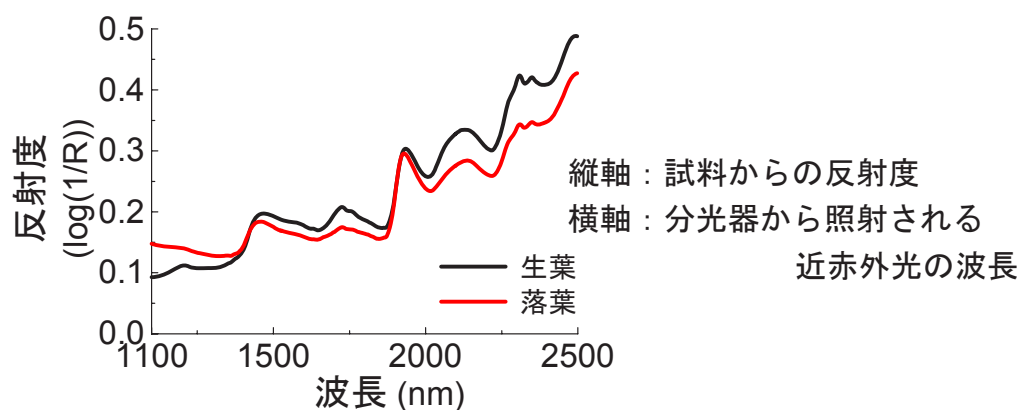
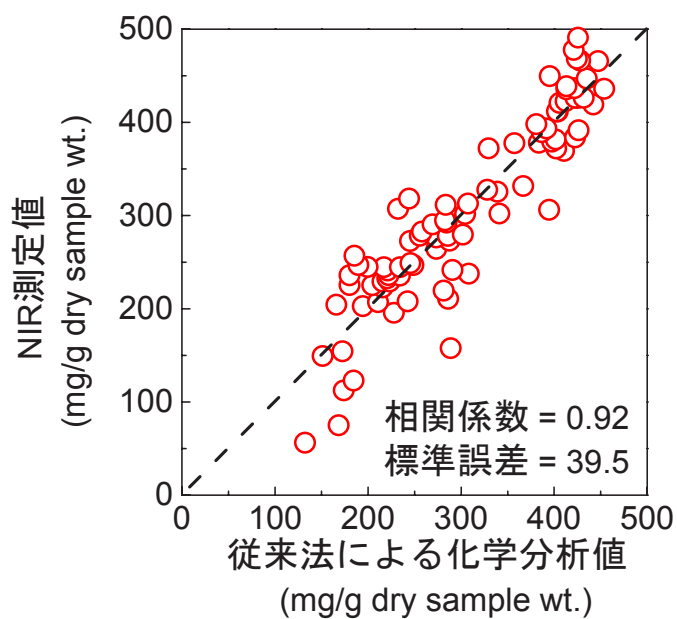


図2 スギの生葉と落葉における近赤外反射スペクトル

図3 従来法における分析値と NIR 測定値との比較
(リグニン量)

根圏微生物の相乗効果を活用した 森林再生

森林微生物研究領域微生物生態研究室 山中 高史、岡部 宏秋、赤間 慶子

背景と目的

カバノキ科の樹木であるオオバヤシャブシは、窒素養分が少ないやせた土地でも良く育つことから、崩壊地などの治山造林に多く用いられます。これはこの樹木の根に作られたサンゴ状の組織（根粒：写真）の中に存在する微生物のフランキア菌が、大気中の窒素を固定し、その窒素を樹木が利用するからです。つまり、オオバヤシャブシは、フランキア菌との共生により、成長に必要な栄養分を自ら獲得するのです。こうして育った樹木の葉や枝が地面に落ち、その分解により、窒素は土壌へ与えられ、土壌の栄養条件が改善されます。そのため、オオバヤシャブシは、その後の植物群落の遷移や植生回復にも大きな影響を及ぼします。このほか、オオバヤシャブシの根には土壌中からの栄養や水分の吸収を助ける微生物（菌根菌）や、土壌中の無機養分を溶かして樹木の根が吸収しやすくさせる根圏細菌（蛍光性シュードモナス細菌）などがいます。今回、これらの根圏微生物を複数組み合わせせて接種し、オオバヤシャブシへの成長の効果を調査しました。

成 果

根圏微生物を接種すると

オオバヤシャブシの成長は根にフランキア菌を接種することで約 4 倍に飛躍的に向上しました。菌根菌や根圏に生息する細菌をあわせて接種するとオオバヤシャブシの成長はさらに 1.3 倍向上しました。空気中の窒素を固定する能力は、フランキア菌を接種したときにのみ見られました。

窒素を供給する根粒菌、養分や水分の吸収効率を高める菌根菌、ミネラルの可溶化を促進させる根圏細菌の組み合わせによりその機能が相乗的に発揮されることが明らかになりました。

森林再生への応用

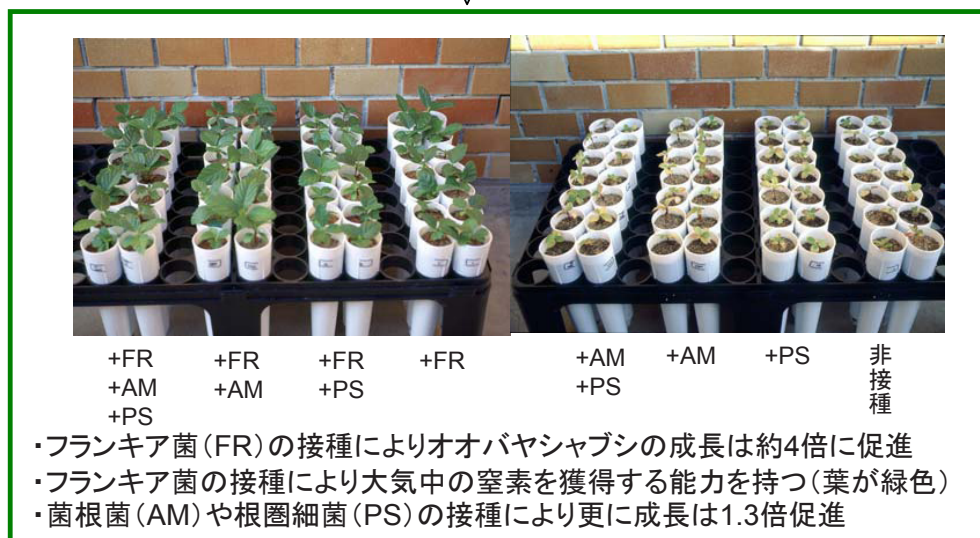
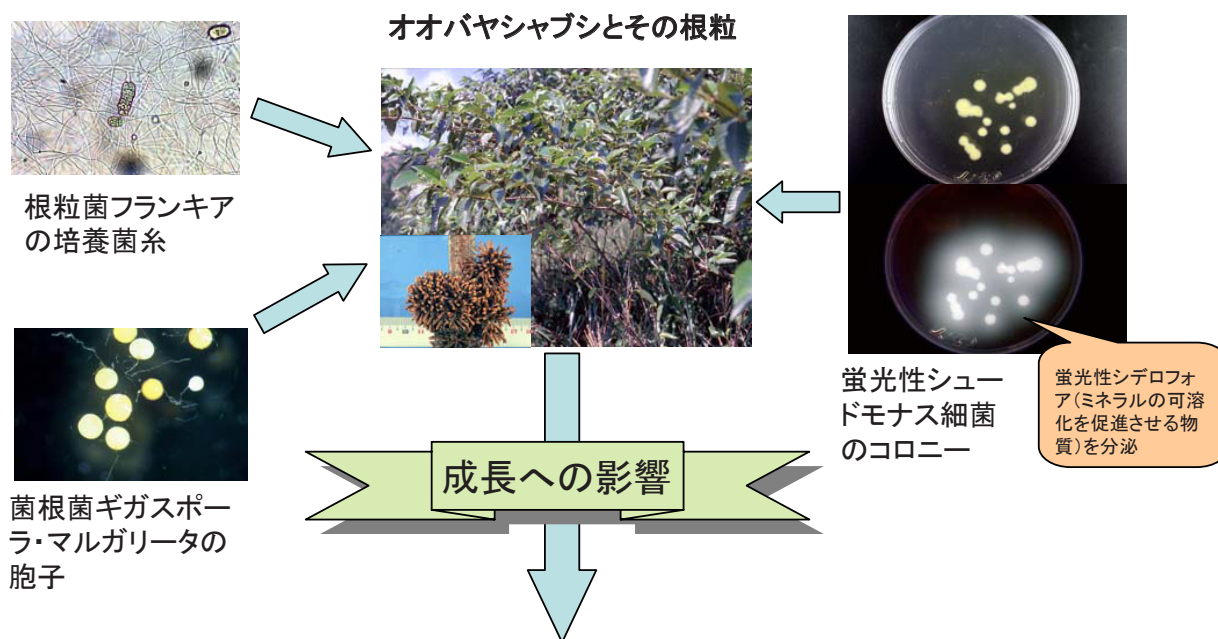
オオバヤシャブシは、関東以西の太平洋岸に多く自生しています。2000 年に噴火した伊豆諸島三宅島においても、過去の噴火による被災地を中心に広く分布していました。噴火によって厚く堆積した火山灰や有毒な二

酸化硫黄の噴出により、三宅島の植生は壊滅的な被害を受けてしまいました。森林再生は、島の復興にとって不可欠です。その際、もともと、この島で先駆樹種として育っていたオオバヤシャブシと共生する様々な微生物の利用は、島の生態系の保全にとっても重要であり、相乗効果をもたらす組み合わせ接種は森林再生技術として有効であると考えられます。

本研究は、交付金プロジェクト「多重共生系における各菌の生育様式と宿主の生育への影響の解明」による成果です。

詳しくは：Yamanaka, T. et al. (2005) Journal of Forest Research 10 (1) : 21-26 をご覧下さい。

根圏微生物の相乗効果を活用した森林再生



微生物の相乗効果

植物と微生物を利用した森林再生

都市の人間活動による森林への影響 ー渓流水中の硝酸イオン濃度は森林の満腹サイン？ー

立地環境研究領域 土壌特性研究室

東北支所

研究管理官

森林環境研究グループ長

伊藤 優子、吉永秀一郎

三浦 覚

加藤 正樹

背景と目的

窒素は樹木の成長に最も重要な養分のひとつです。従来、森林生態系において窒素は不足しがちな元素なので、森林に入ってきた窒素の多くは植物によって吸収されてしまい、渓流水に溶けこんで森林から出ていくものは少ないとされてきました。近年、地球規模で化石燃料（石油や石炭など）や化学肥料が大量に消費され、大気中にも窒素化合物が多く排出されています。都市では特に自動車からの窒素化合物の排出量が増加しています。大気へ放出された窒素化合物は雨に溶け込むことなどによって、森林にも供給されます。窒素が森林に過剰に供給されると、植物に吸収しきれない窒素は森林から流れ出て、地下水汚染、河川や湖沼の富栄養化の原因となります。そこで、都市域の人間活動による窒素の排出が周辺の森林へ及ぼす影響を明らかにするため、関東地方、中部地方および東北地方南部の森林から流出する渓流水の水質を調査しました。

成 果

硝酸イオンの分布を見ると

関東地方、中部地方および東北地方南部の森林 270 地点から流出する渓流水における硝酸イオン*（渓流水に含まれる窒素の多くは硝酸イオンで存在しています）濃度は $0.00 \sim 8.45 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲にあり、中央値は 1.06 mg L^{-1} でした。今回調査をした、ほぼ半数の地点では硝酸イオン濃度が 1.0 mg L^{-1} 以下と低い濃度でした。しかし、非常に高い濃度を示す地点も認められ、それらの地点が伊豆半島から茨城県にかけて関東平野を取り囲むように広範囲に分布していました（図 1）。

そのわけは

大都市圏から排出された窒素化合物を多く含む大気は、内陸へ向かう気流によって関東平野の周辺へ移動します。そして、窒素を多く含む雨やガス、エアロゾルとして森林に供給されます。しかし、森林の植物が利用しきれなかった窒素は渓流水に溶け込んで森林から流出してしまいます。そのため、都市周辺の森林で渓流水中の硝酸イオン濃度が高くなっ

たと考えられます（図 2）。森林の渓流水中の硝酸イオン濃度は、都市域の人間活動による影響を示すサインの一つと言えます。

森林への窒素の過剰な供給は河川やダム湖の水質を悪化させるだけでなく、将来的に森林生態系における物質循環のリズムを乱す一因になると考えられます。また、人間活動による森林への影響は、今後、大都市の周辺だけでなく、さらにその周辺へと広がる可能性があるため、これからも継続して森林の渓流水の水質をモニタリングしていく必要があります。

本研究は、農林水産省受託費「流域圏における水循環・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発」による成果です。

詳しくは：伊藤優子、三浦覚、加藤正樹、吉永秀一郎（2004）日本林学会誌 86(3)：275-278 をご覧下さい。

*については、巻末の用語解説をご覧ください。

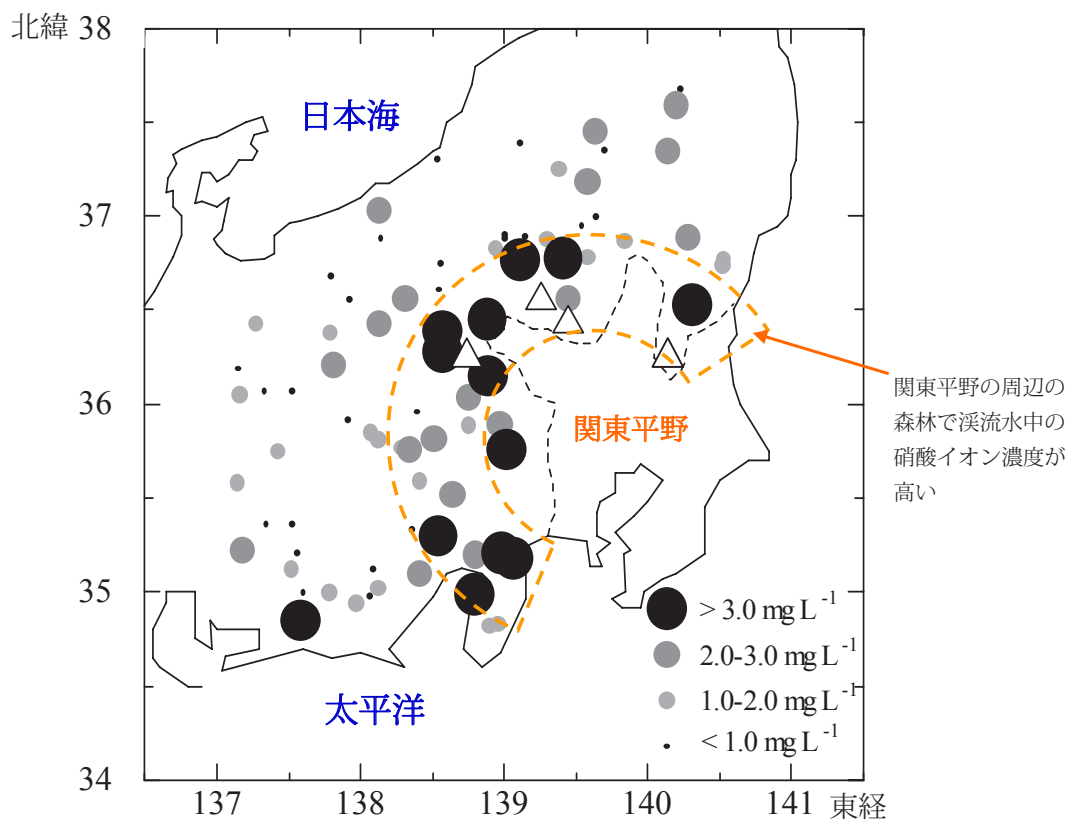


図1 関東地方、中部地方、東北地方南部の渓流水中の硝酸イオン濃度の分布

●は水質調査の結果です。●が大きいほうが濃度が高いことを示しています。
△は過去の調査で渓流水中の硝酸イオン濃度が高いと報告された地点です。

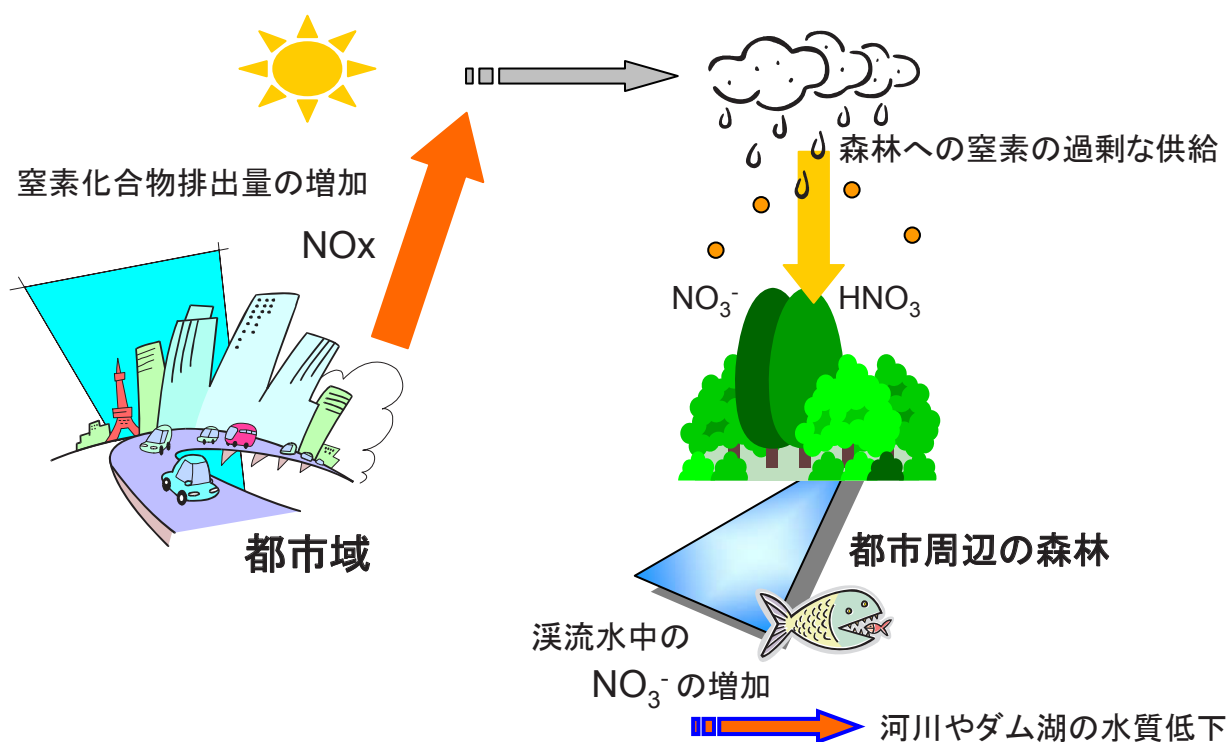


図2 都市域の周辺森林への影響

カシノナガキクイムシ集合フェロモンの構造解明 ーナラ類集団枯死の回避を目指してー

森林昆虫研究領域 昆虫管理研究室
関西支所 生物被害研究グループ
山形県森林研究研修センター
京都府林業試験場

中島 忠一、所 雅彦
衣浦 晴生
齊藤 正一
小林 正秀

背景と目的

ミズナラなどが次々に枯れてゆくナラ類の集団枯死は、1980 年以降 2004 年までに 1 府 17 県（図 1）で確認されています。この被害はカシノナガキクイムシ（以下カシナガ、図 2）という昆虫が病原菌を樹から樹へ伝染させることによって起こります。枯れた木で増殖した大量のカシナガがさらに周辺のナラ類へ広がっていくことで集団的な枯死被害が生じるのです。ここ数年急激に被害が拡大しており（図 3）、ミズナラ資源が無くなってしまふことが危惧されています。

多数のカシナガがミズナラなどに集中的に孔を開けて樹幹に入り込み繁殖のための長い孔道を作ります。たくさん仲間を集めることから、集合フェロモンを利用していることが推察されました。その集合フェロモンを上手く利用すればミズナラの枯死を減少させることが可能になると考え、集合フェロモンの存在確認とその化学構造を明らかにする研究を行いました。

成 果

雄が出す集合フェロモン

カシナガの雄は、雌より先に寄主となる樹木の幹に穿入して数センチだけの孔道を掘ります。そして孔道を掘るときに出る木屑を入り口付近に堆積させるように外に押し出します。その時に腹部末端から液体を分泌し木屑に染みこませると、それにひかれて雌雄のカシナガがたくさん木に集まってきます。このような行動から、雄が作った集合フェロモンを分泌液として放出していると推察しました。

集合フェロモンの化学構造

雄の分泌液が染みこんだ木屑から揮発成分を集めて分析したところ、複数の成分が検出されました。昆虫は触角にある受容器官を使って揮発成分を感じます。どの成分をカシナガが感じているかを明らかにするため、触角の受容器官の反応を電気生理学的に調べた（図 4）ところ、いちばん量の多い成分が触角で受容される情報伝達物質であることが明らかになりました（図 5）。さらにその化学構造は、モノテルペンアルコールの一種である trans-1-methyl-4-methylethyl-2-cyclohexen-1-ol（図 6）と決定されました。

合成した集合フェロモンの野外誘引試験

化学構造を決定した物質が実際にカシナガを誘引するかどうかを確認するため、合成化合物を誘引源とした野外捕獲試験を山形県と京都府の被害林において実施しました。その結果、雌雄の成虫が多数誘引されたので、雄が作っているこの化合物は雌だけを集める性フェロモンではなく、集合フェロモンであることが明らかになりました。

この研究により集合フェロモンの化学構造が決定され、その物質がカシナガを誘引できることが明らかになりました。今後は集合フェロモンを効果的に利用して、カシナガを大量に集めて防除するなど、ナラ類の集団枯死被害を減らす技術の開発に向けた研究を行います。

本研究は一般研究費「集団的萎凋病の対策技術の開発」による成果です。

なお集合フェロモンの化学構造と機能に関する成果については特許出願中です。

国土地理院認証 平成 13 総複 第 367 号

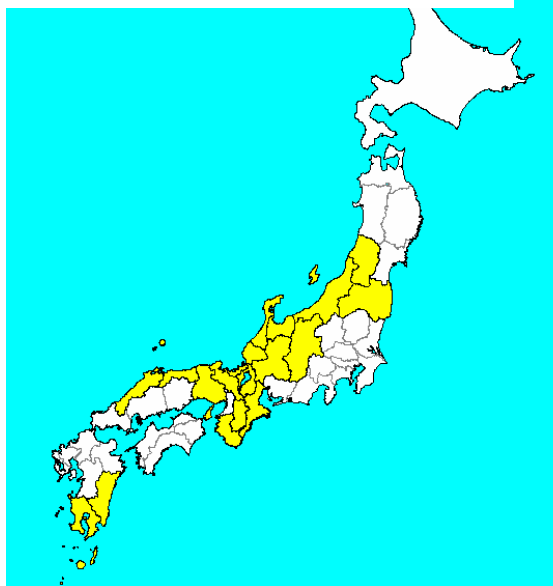


図 1 1980 年以降、ナラ類集団枯死被害が確認された地域 (黄色の府県)



図 2 カシノナガキクイムシ (体長約 5mm)

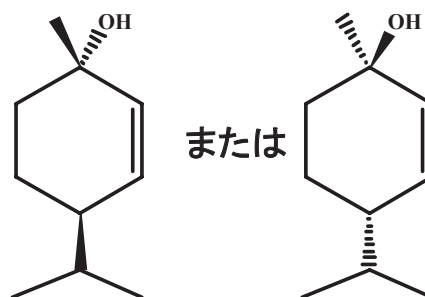


図 6 集合フェロモンの化学構造

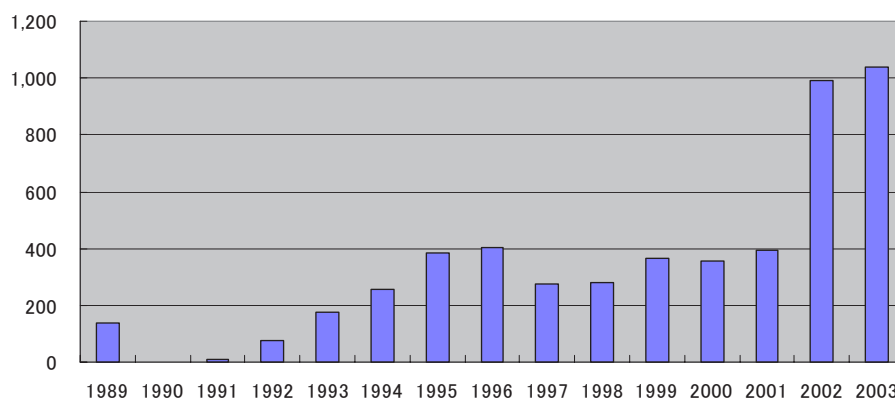


図 3 全国のナラ類集団枯死面積 (全国) の推移 (単位 :ha 林野庁業務資料)

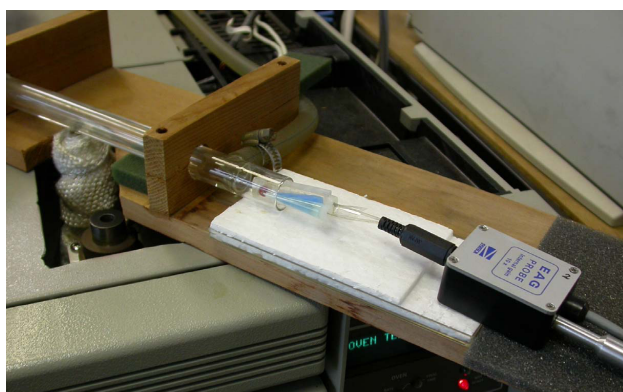


図 4 接触を用いた電気生理学的試験

(中央に見えるのが触角を乗せた電極、ガスクロマトグラフで分けられた物質がガラス管の中に出されて触角に触れる。物質が触角の受容器に受け止められたときに生じる電流を測定する。)

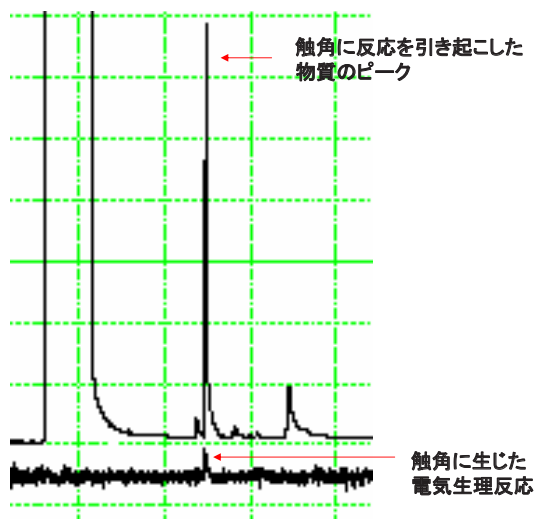


図 5 木屑揮発成分の分析

(上のグラフが物質の量を示し, 下のグラフは触角の反応の大きさを示す。)

マツノザイセンチュウのセルラーゼ遺伝子の発見 ーマツノザイセンチュウはカビから遺伝子をもらった？ー

森林微生物研究領域 森林病理研究室 菊地 泰生

背景と目的

マツノザイセンチュウはマツの樹体に寄生し、マツ材線虫病（いわゆる「松枯れ」）を引き起こします。その被害は甚大で、いまだに毎年日本各地で多くのマツが枯死しています。被害を食い止めるため薬剤散布を中心として防除が行われてきましたが、最近では環境にやさしい対策がもとめられています。私たちは材線虫がマツにどのように寄生し樹体内に広がり、枯死させるのか、そのメカニズムを深く理解するため、マツノザイセンチュウの遺伝子を網羅的に解析し、寄生メカニズムを分子レベルで探ることが必要と判断し、寄生に関与する遺伝子を探索する研究に取り組んできました。

成 果

セルラーゼ遺伝子の発見

遺伝子探索の過程で、マツノザイセンチュウからセルラーゼ（植物細胞壁の分解に関与する酵素）の遺伝子を発見しました（図 1）。詳しく調べたところ、このセルラーゼは線虫の体内で生産され、口針から分泌されていることが明らかになりました（図 2）。つまりマツノザイセンチュウはこのセルラーゼをマツの樹体内で分泌して植物細胞壁を柔らかくし、寄生しやすくしているのです。

セルラーゼ遺伝子はどこからきたか

マツノザイセンチュウのセルラーゼはファミリー 45 というグループに分類されるものでした。このファミリーのセルラーゼは、これまでに他の植物寄生線虫で発見されているセルラーゼとは全く異なるタイプのもので、線虫類として最初の発見であることが分かりました。さらに興味深いことに、このセルラーゼは菌類（いわゆるカビの仲間）のセルラーゼと大変よく似ており（図 3）、このセルラーゼ遺伝子が進化の過程で種の壁を越えて菌類から線虫へ移動してきた（水平転移した）可能性が考えられま

した。これまで知られていた植物寄生線虫（ネコブセンチュウ、シストセンチュウなど）のセルラーゼもやはり植物寄生に関与していますが、そのセルラーゼはカビではなくバクテリアのものとよく似ており、バクテリアからの遺伝子水平転移によって獲得されたと考えられています。

このように、マツノザイセンチュウは植物に寄生する能力に関して、他の植物寄生線虫とは異なる進化過程を経たこと、さらに線虫の植物寄生能力の進化には遺伝子の水平転移が関与しているらしいことが分かりました。この研究成果は、生物進化（特に寄生能力の進化）やマツ材線虫病の発病メカニズムの理解に貢献するものと期待されます。

本研究は、交付金プロジェクト「マツノザイセンチュウ EST プロジェクト」による成果です。

詳しくは：Kikuchi, T., Jones, J. T., Aikawa, T., Kosaka, H., and Ogura, N. (2004). FEBS Letters. 572, 201-205 をご覧下さい。

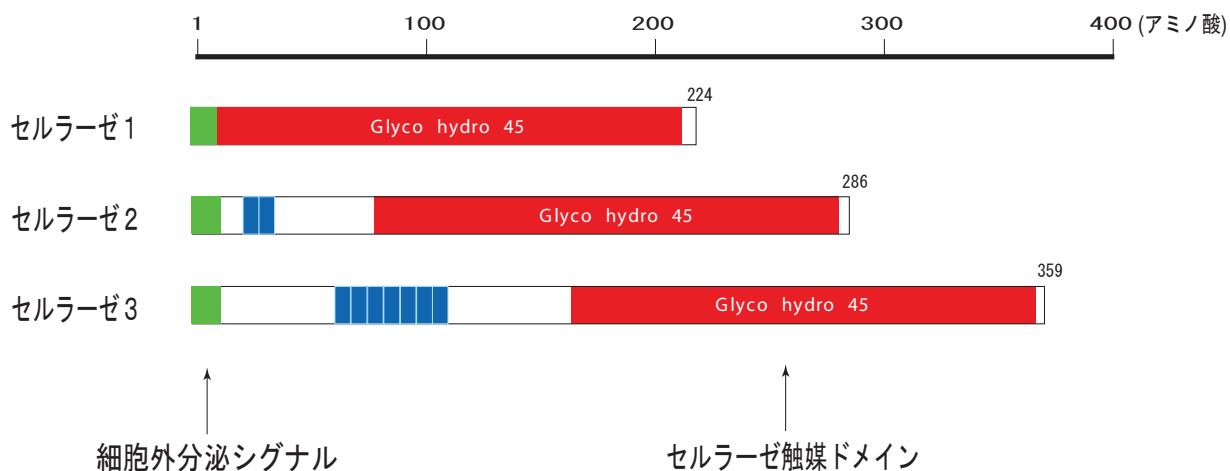


図1 発見されたマツノザイセンチュウのセルラーゼの構造

(マツノザイセンチュウから3つのセルラーゼ遺伝子が発見されました。いずれもセルラーゼの触媒ドメイン、細胞外への分泌シグナル及びそれらをつなぐ部位から構成されていました。)

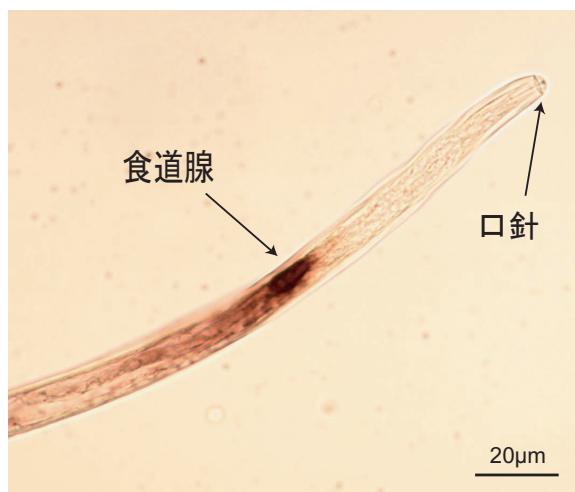


図2 セルラーゼの生産されている部位の染色

(マツノザイセンチュウは線虫体内（食道腺）でセルラーゼを生産しています。)

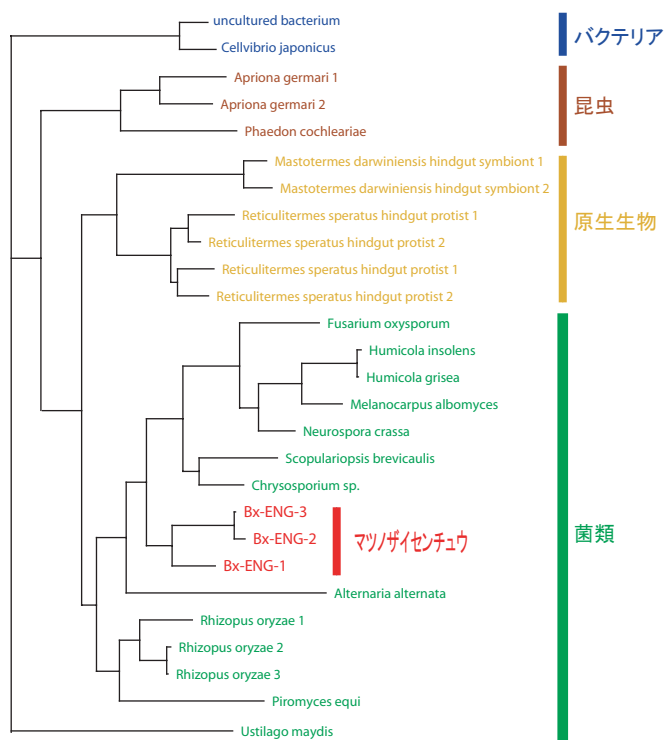


図3 ファミリー 45 に属するセルラーゼの系統樹

(マツノザイセンチュウのセルラーゼは菌類のものによく似ています。)

新植地におけるニホンジカ被害を予測する ハザードマップ作り

関西支所	森林資源管理研究グループ	近藤 洋史
福岡県森林林業技術センター		池田 浩一
野生動物研究領域	野生動物管理チーム長	小泉 透
九州大学		村上 拓彦
九州大学		吉田茂二郎

背景と目的

ほ乳動物による森林への被害は、依然として深刻な状況が続いています。中でも、ニホンジカによる枝葉や樹皮の食害やはく皮等は、ほ乳動物による被害面積の約 50%を占めており、早急な対策が求められています。しかし、被害地における森林を修復するにはたいへんな労力がかかります。そこで、被害の発生を予測し未然に防ぐことを目的として、新植地被害の発生を予測したハザードマップを作成しました。

成 果

被害発生の実態解析

新植地の被害発生状況を調査し、被害発生地の立地特性を分析し、その特徴にもとづいて被害発生を予測しました。まず、被害発生地の立地特性を分析するため、50 × 50m 区画を単位としてさまざまな要因のデータベースをつくりました。この地域では多くの場所でニホンジカの生息密度が調べられていましたが、調査地点は不規則に配置されていたためにそのままでは要因分析に用いることができませんでした。そこで、地理情報システム (GIS) の手法を用いて連続した生息密度分布図を作成しました (図 1)。これは、ポテンシャルマップと呼ばれ、これを作成することによりどこでニホンジカの生息密度が高いかをビジュアルに把握することも可能になりました。

被害発生要因は

要因分析の結果、この地域ではニホンジカの生息密度と標高が被害発生に関係していることが分かりました。図 2 には林齢 5 年以下のスギもしくはヒノキ人工林における被害発生率と標高との関係を示しました。この地域

では、標高が高くなると被害発生率も高くなる傾向が見られました。特に、標高 250m 以上の被害箇所は全被害箇所の約 90% を超えていました。

ハザードマップへ

これらの結果をもとに、ニホンジカ被害の発生危険度を推定し地図の上に示しました (図 3)。これにより、苗木を植える前にその場所のニホンジカ被害の発生確率を予測することが可能になりました。被害の起きてしまった森林を再生するためには大変な労力がかかります。ニホンジカの生息する地域では、こうしたハザードマップを参考にしながらより慎重な造林を進めることが必要になっています。

本研究は運営交付金「ニホンジカの密度管理技術の開発と植生への影響」による成果です。

詳しくは：Kondoh, H., Ikeda, K., Koizumi, T., Murakami, T., and Yoshida, S. (2005) Japan Society of Forest Planning Press (in printing) をご覧ください。

ニホンジカ被害を予測するハザードマップをつくる

① 被害発生の実態を調査する



② 被害発生に関わる要因を分析する

実際の調査にもとづいて連続したシカ生息密度分布図を作成し被害との関連を調べました。

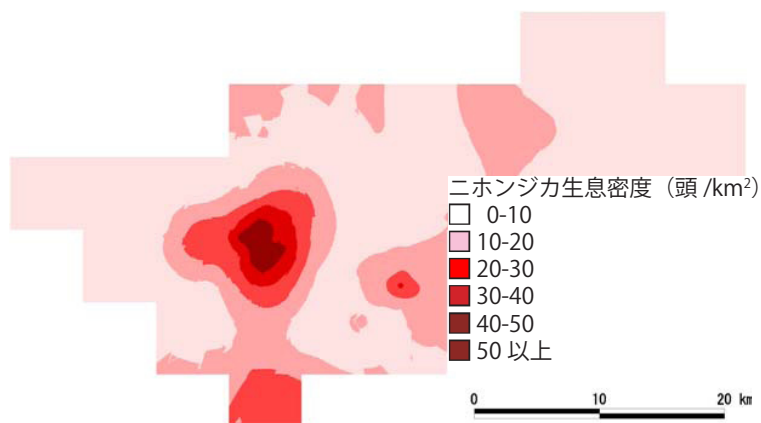


図1 ニホンジカ生息密度ポテンシャルマップ

その他のさまざまな要因についても被害との関連を調べました。

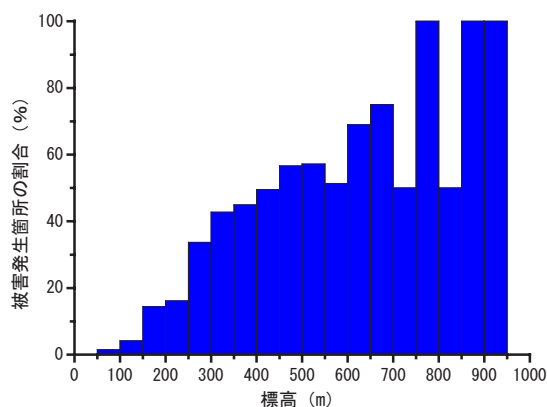


図2 ニホンジカによる被害発生箇所と標高との関係

この地域ではニホンジカの生息密度と標高が密接に関係していました。

③ 被害発生を予測する

ニホンジカの生息密度と標高から被害発生の危険度を示す地図を作りました。

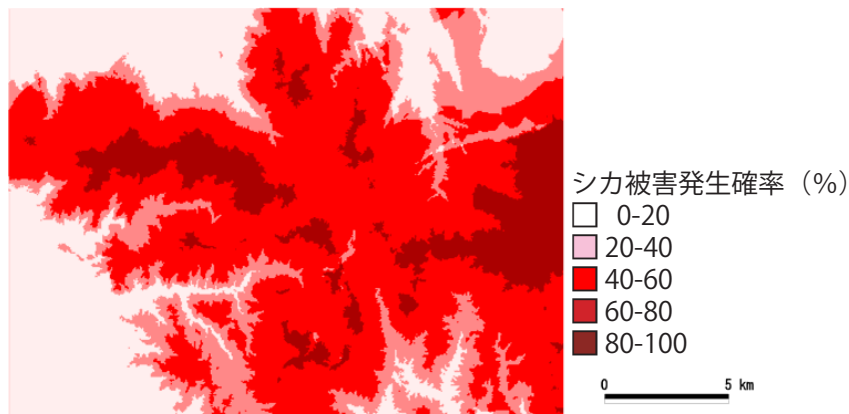


図3 ニホンジカの新植地におけるハザードマップ

間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか？

森林管理研究領域

資源解析研究室

細田和男、家原敏郎

林業経営・政策研究領域

林業システム研究室

松本光朗

四国支所

流域森林保全研究グループ

小谷英司

背景と目的

間伐は人工林の経済的な価値を高めるのに不可欠な作業です。また風害や雪害に遭う危険性を減らしたり、林床植生を繁茂させて表層土壌を保護し、山地災害防止や水源かん養など森林の多面的機能の発揮に役立つといわれています。さらに近年、地球温暖化問題に関連して、森林が二酸化炭素を吸収し固定する役割や、森林バイオマスのエネルギー利用にも注目が集まるようになりました。

このような新しい観点からみた場合、間伐はどのような効果をもたらしているのでしょうか。全国各地の国有林において、20～66年間にわたり計測され続けている21ヶ所の間伐比較試験地のデータから、地上部バイオマス（生きている樹木の幹・枝・葉の乾燥重量）の成長量を比較しました（図1、写真1）。なお、バイオマスの50%は炭素であり、バイオマス成長量が大きいほど二酸化炭素の吸収固定量が大きいことになります。

成 果

間伐後5～10年では

21ヶ所の間伐比較試験地において、間伐を行った林（間伐林）と間伐を行わなかった林（無間伐林）の、間伐前後における一定期間のバイオマス成長量を、比較可能な19の間伐事例で解析しました（図2）。その結果、間伐直後は一時的に無間伐林に比べ間伐林の成長が劣ってしまいますが、間伐後5年以降の期間では逆転して間伐林のほうが優勢になる場合が多いことがわかりました。つまり、間伐後5年から10数年程度の期間でみれば、間伐がバイオマス成長を、言い換えれば二酸化炭素の吸収固定を促進しているといえます。

全期間では

次に植林から現在までのバイオマス成長量を比較しました（図3）。まず生立木（せいりゅうぼく：現時点で生存している樹木）だけで見ると、ほとんどの試験地で無間伐林のほうが大きくなっていました。しか

し、間伐によって過去に収穫された量を加算すると、21試験地中18試験地で逆に間伐林のほうが大きくなっていました。つまり間伐をすると生立木は減るものの、間伐木も含めて考えれば、無間伐林より間伐林のほうがバイオマス成長量が大きい場合がほとんどだったのです。

間伐は二酸化炭素固定に有効

間伐木を運び出して木材として有効に利用すれば、そのあいだ建築物や木製品の中に炭素が貯えられているので、二酸化炭素を固定し続けていると考えることができます。すなわち、植林から皆伐までの長期間を評価した場合でも、間伐は二酸化炭素の吸収固定を促進しているといえるでしょう。

本研究は環境省地球環境保全試験研究費「透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究」による成果です。



図1 研究対象にした試験地の位置

写真1 静岡県にある大代ヒノキ試験地

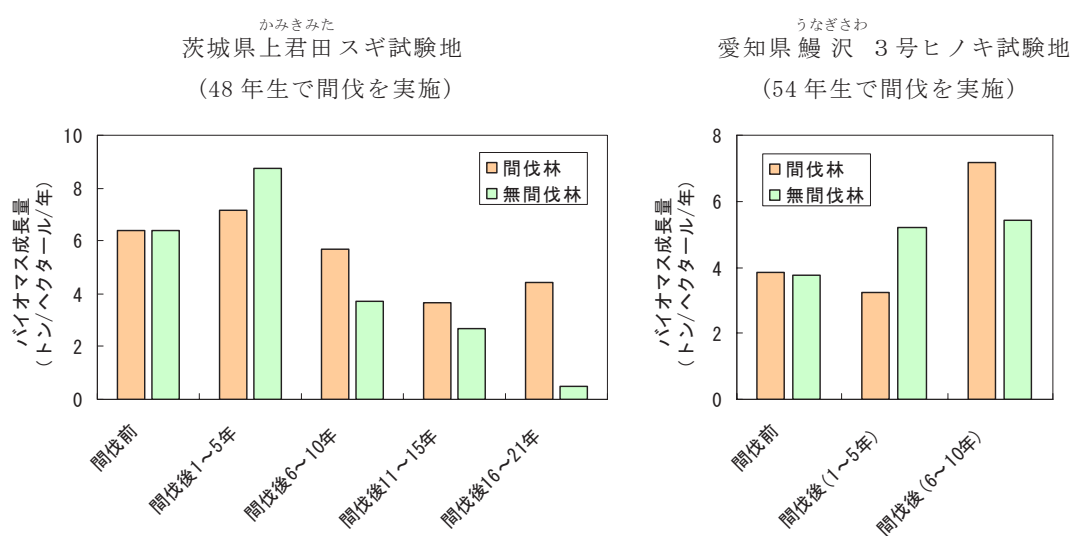


図2 間伐前後における一定期間の年平均成長量を比較（代表的な例）

（間伐の直後は無間伐林のほうが成長がよいのですが、その後逆転して間伐林のほうが優勢になる場合が多い。）

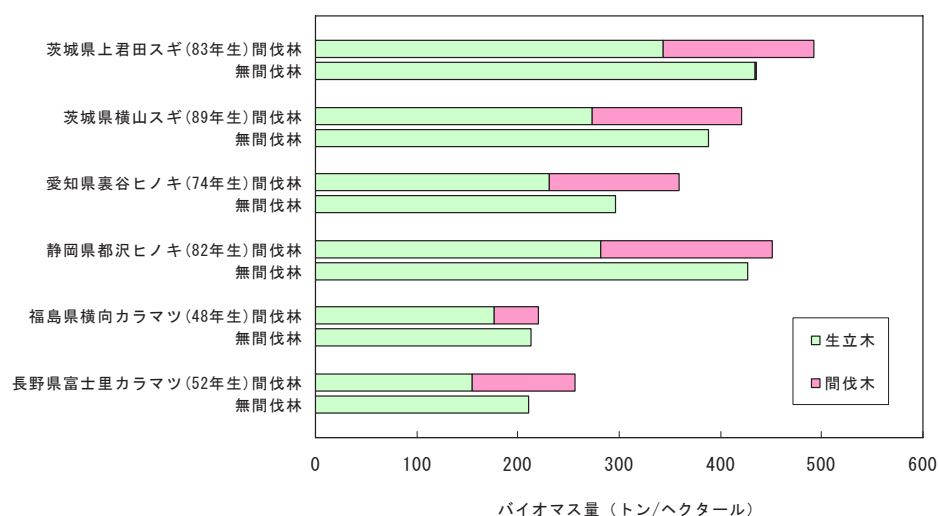


図3 植林から現在までの成長量を比較（代表的な例）

（生立木だけでは無間伐林のほうが大きいのですが、間伐木も含めると間伐林のほうが大きい場合がほとんどでした。）

集材時における残存立木損傷の発生パターンとその軽減策 —スイングヤーダ集材の場合—

森林作業研究領域	作業計画担当チーム長	岡 勝
	作業技術研究室	近藤 耕次、吉田智佳史
林業機械研究領域	領域長	井上 源基
	造林機械研究室	佐々木達也

背景と目的

間伐作業では立木を残しながら、伐採や木材搬出が行われます。通常、これらの作業は労働負担の軽減や作業の安全性・効率性を確保するため機械を用いて行われます。そのため、機械や集材木が立木に接触し、立木に損傷を与えることがあり、大切な残存木の価値を下げる場合もあります。伐採や木材搬出には細心の注意が払われますが、現場条件や作業手順によっては、避けられない場合もあります。残存木の損傷を少なくするには、いつ、どこに、どのような損傷が発生してきたかを明確にして今後の改善に活かす必要があります。例えば、集材時における損傷木の発生予測ができれば、事前に防護策を講じることで損傷を軽減することも可能になります。ここでは、急傾斜地で用いられるスイングヤーダ集材作業を対象に、損傷木の分布や伐採方法の違いによる立木への影響を明らかにしました。

成 果

損傷木は架線（主索）に近いほど多くなる

損傷木には樹皮はく離、材損傷、幹折れなど 8 タイプの形態があります。中でも最も多いのが樹皮はく離(写真 1)で、全体の 8 割以上でした。その主な原因は、立木と集材木との擦れによるものです。架線集材では、主索*から水平距離 5 m の範囲内にある立木は損傷の危険性が高いことがわかりました(図 1)。また、山腹斜面にタワーヤーダ*を設置する場合、架線の高さをあまり高くすることができない場合があります(写真 2)。このような箇所では、集材木は地曳き状態で行われる場合が多く、地表高 1 m までの低位置に損傷が多く発生する結果となりました(図 2)。

損傷を少なくするための方法

損傷を少なくするには、損傷木の分布だけでなく損傷の主要な原因を明らかにする必要があります。ここでは、立木密度、地形傾斜、伐採方法、横取方向など 8 要因を取り上げ分析しました。その結果、伐採方法の影響

が最も大きく、損傷を少なくするには、伐採木が林内に分散される点状伐採より、伐採木が直線状に配置される列状伐採の方が有利であるという結果が得られました(図 3)。次いで横取方向(集材木を引寄せる方向)の影響が大きく、最急傾斜方向に集材する方が等高線方向に行くより、材の転がりが抑制され損傷は少なくなることが推察されます。これらの知見から、現地の状態にもよりますが列状間伐を積極的に実施するとともに、事前に防護具(写真 3)を架線付近の損傷木発生の危険性が高い箇所に設置するなど、現場でより効果的な防護策が講じられることが期待されます。

詳しくは：岡 勝ほか(2005)日本林学会関東支部大会論文集 56：79-80 をご覧下さい。

*については、巻末の用語解説をご覧下さい。



写真1 被害状況（樹皮はく離）
（集材木との擦れにより、樹皮はく離した状況）



写真2 スイングヤーダによる集材（列状間伐）
（枝葉が付いた状態で木材を搬出中。架線の高さがあまり高くありません。）

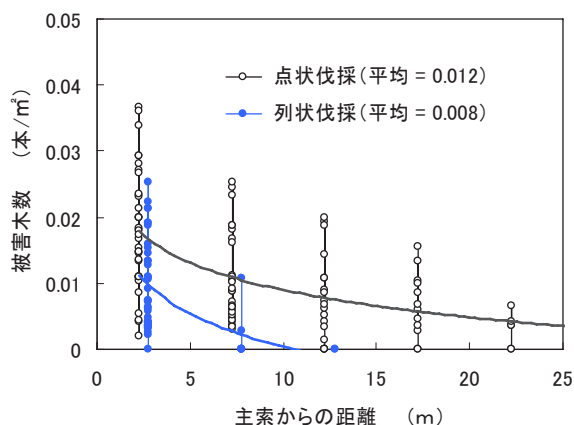


図1 損傷木の水平分布（主索からの距離）
（主索から5mまでの範囲に多く発生しました。被害本数は列状伐採より点状伐採が大きい。）

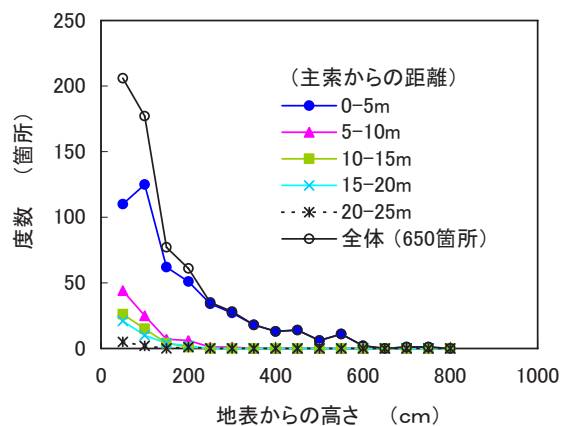


図2 損傷箇所の垂直分布（地表高）
（損傷は地表高1mまでの範囲に集中し、主索付近の区域では高さ6mまで分布しました。）

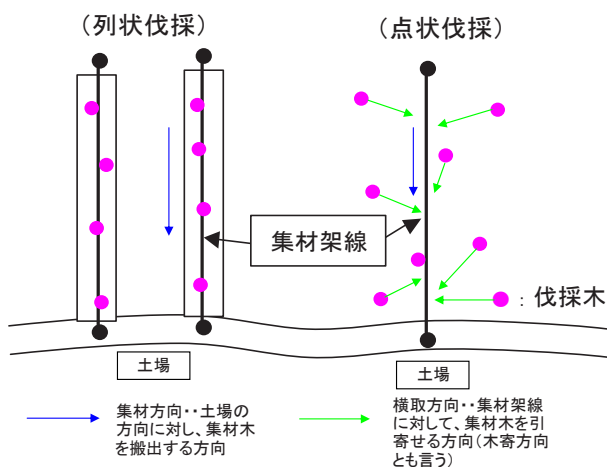


図3 列状伐採と点状伐採の違い
（列状伐採では伐採木が直線状に配置されますが、点状伐採では広範囲に分散します。）

効果的な損傷木の軽減に向けて

損傷発生の高
危険性の高い箇
所の予測



防護具の敷設



写真3 防護具の例（土木用ポリ排水管）

（損傷危険性の高い箇所に写真のような簡易な防護具を敷設すれば、損傷木をより軽減することが期待されます。）

マングローブ林の炭素の貯え

多摩森林科学園 教育資源研究グループ長 田淵 隆一

背景と目的

近年森林には炭素を貯えて大気中の二酸化炭素濃度を減らし、温暖化を抑える役割が強く求められています。湿地林、中でも熱帯～亜熱帯の海岸など潮が満ちれば水に浸かる場所に育つマングローブ林が、炭素を貯めておく機能が高いことが判ってきました。マングローブ林面積は世界で 20 万平方 km 弱、熱帯林の 1.5% にも足りません。しかし、マングローブ林は泥が深く河や雨から得られる淡水が多いなどの良い条件が揃うと、陸上の森林に負けない速さで成長し炭素を蓄える働きが見直されています。またマングローブ林は頻繁に水に浸かるため、死んだ根も湿った泥の中では分解せず泥炭として多量の炭素を貯えておくことができるのです。この大切なマングローブ林を保全していくため、どのくらいの速さで毎年炭素を貯えているのかを、東南アジアではマレー半島部西岸のタイとマレーシアで、ミクロネシアではポンペイ島で調べています。

成 果

2つのマングローブ林

タイやマレーシアなど東南アジアのマングローブ林は 30～40 年毎に製炭用に収穫して利用され、天然更新で再生するパターンを繰り返してきました。一方海洋島のポンペイ島では人口が少ないこともあり、マングローブ林はほぼ天然のまま残されてきました。推定した炭素量（ヘクタール当りの立木総重量を炭素に換算した値）は、林のタイプによっても違いますがポンペイ島でおよそ 160～300 トン、7 年～50 年程度の比較的若い東南アジアの若い林でおよそ 40～290 トン程度でした（図 1）。また炭素の蓄積速度はポンペイ島で年当たりおよそ 0～3 トン、東南アジアで 0～9 トン程度でした（図 2）。

古い林と使われている林

森林は成長すると面積当りの本数（立木密度）が減り、林全体の総重量は大きくなっていきます。し

かし東南アジアに比べてポンペイ島では同じ立木密度でも何倍も大きな立木総重量であることがわかります。これはこの島の林が長い時間あまり伐られずにいたためです。また古い林では泥炭として貯まった炭素量も高く、ヘクタール当たりで 2,000 トン程度にもなる林があります。泥炭をもたない陸上の熱帯林では、地下部も含めて炭素で 500 トン程度が最大とされるのと比べて極めて大きいことが明らかになりました。マングローブ林は直接的に沿岸住民の暮らしを支えるだけでなく、このように温暖化抑止にとっても高い価値を持っています。世界で年間約 1,000 平方 km といわれるマングローブ林の減少を食い止め、再生させていかなければなりません。

本研究は、科学研究費補助金「マングローブ天然林の炭素固定機能および有機物分解機能の評価」による成果です。



写真1 ミクロネシアのマングローブ（ヤエヤマヒルギ）

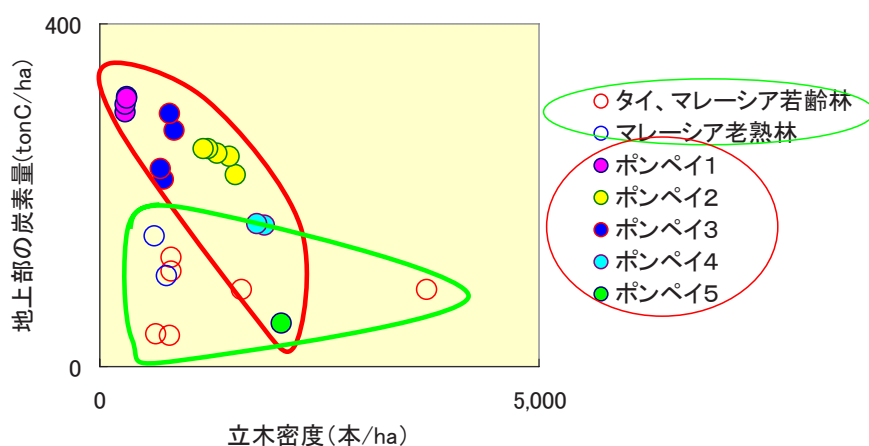


図1 東南アジアとミクロネシアのポンペイ島におけるマングローブ林の混み方（立木密度）と地上部炭素量の関係

（同じ密度でもポンペイ島のマングローブは東南アジアのもの（若い林が多い）に比べて炭素量が多い）

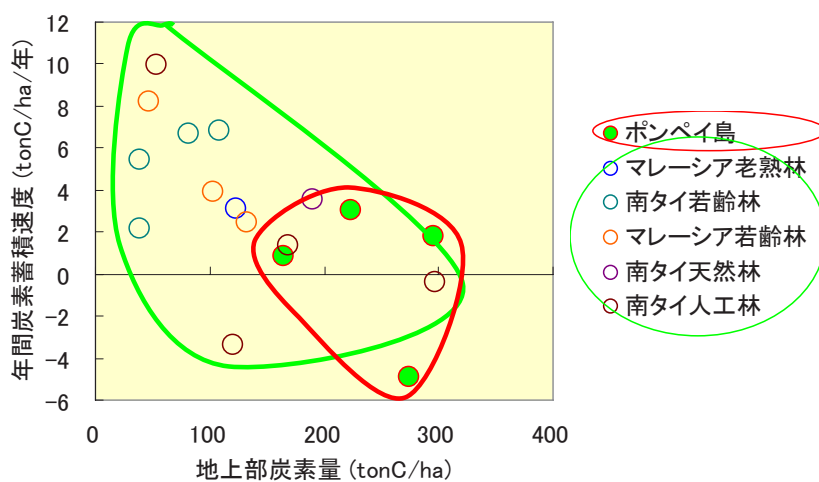


図2 東南アジアとミクロネシアのポンペイ島におけるマングローブ林の地上部炭素量と年間の炭素蓄積速度

（蓄積速度は大きな木が枯れるとマイナスになることがある。若い林（炭素量が少ない）の蓄積速度は大きかった。）

国際的基準に基づいて森林をどのようににはかるか？

森林昆虫研究領域	領域長	牧野 俊一
	昆虫多様性担当チーム長	大河内 勇
	昆虫生態研究室	岡部貴美子
植物生態研究領域	植物多様性担当チーム長	田中 浩
	北海道支所	飯田 滋生
	針葉樹長伐期担当グループ長	山口 岳弘
森林国際基準担当グループ長	森林国際基準担当グループ長	山口 岳弘
	生物被害グループ長	黒田 慶子
関西支所		

背景と目的

森林は水や酸素を供給し、土を作り、様々な生き物を育み、人の心に潤いをもたらす、私たちの生活にとってかけがえのないものです。森林の重要性に気づいた世界各国は各グループごとに、末永く森林の恩恵に浴するため国際的な合意に基づいた森林の管理が必要であるという共同声明を出しました。日本はそのうちの一つ、モントリオールプロセスというグループに所属しています。このグループは国際的な6つの基準を作り、それぞれが自国の森林を継続して測定することを提案しました。そこで私たちは他の国々と議論しながら、国際基準に基づいた日本の森林の測定方法を開発しました。

成 果

全てを測らずに代表を測る

森林には気が遠くなるほどたくさんの生き物がいます。数十mの樹高を持つ巨木から目に見えない微生物まで全てを測ることは不可能です。そこで、私たちは林の年齢がわかればどんな生物がいるのかが予測できるのではないかと考え、植物、昆虫、きのこの種類数を測ってみました。すると伐採跡地では草本やチョウの種類が多く100年を超える林では少ないが、樹木やきのこ、甲虫はむしろ老齢林で多いなど、林の年齢と生息する生物には関連があることがわかりました。つまり、林の年齢や木の太さで森林の多様性を大まかに測れることがわかったのです。

一度に広い範囲を測定する

日本の全ての森林生物を測定するのは大変な仕事です。そこで私たちは、まず北方の比較的単純な天然林施業地域ならば広範囲に測定できるのではと考えました。そこでは、行われた作業の種類によって植物の種数が異なることがわかったの

で、衛星画像から択伐などの作業の種類を読み取る方法を開発しました。この方法だと、一枚の画像で人が歩くよりも遙かに簡単に、広い地域の植物多様性を測れることがわかりました。

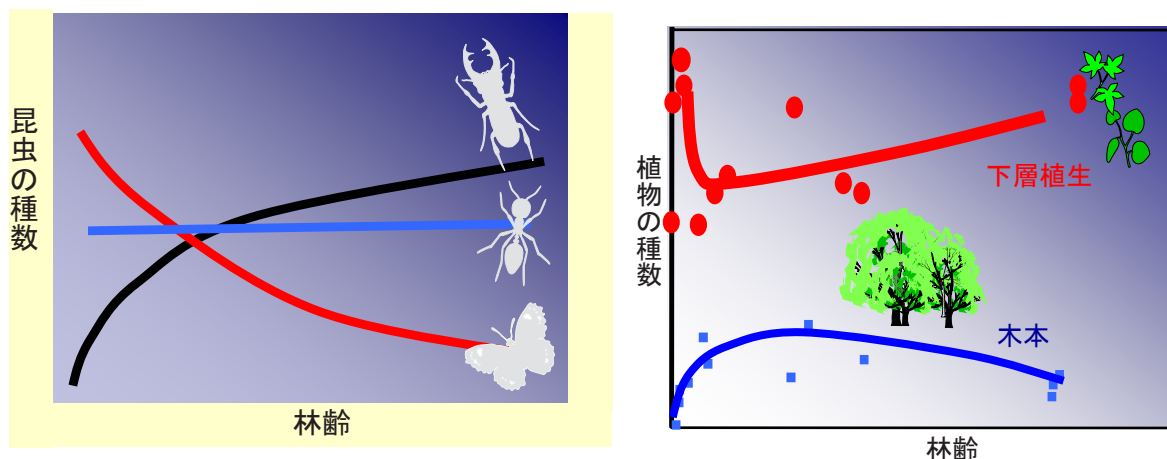
外見から健康かどうか判断する

森林の1本1本の木の健康診断は時間も手間もかかる仕事です。そこで、森林や木の外見から判断できないかと考えました。遠くから森林のこずえを見ることにより、葉の枯れ方から森林の健康度を測れることがわかりました。

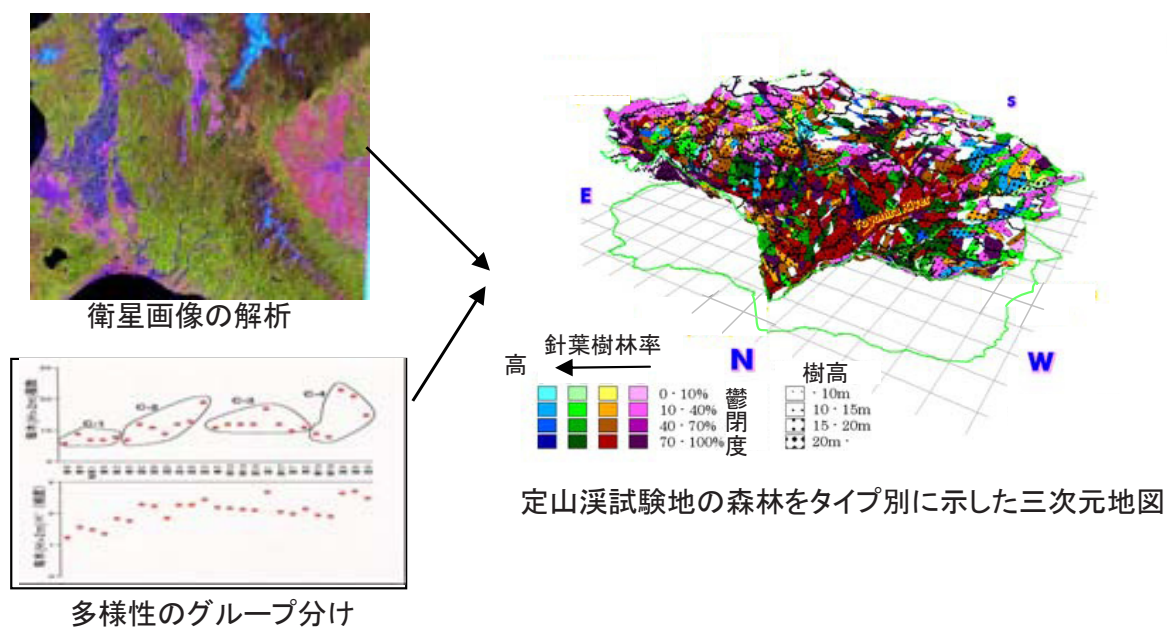
これらのアイデアをもっと発展させ、将来は世界で共有できる森林の健康診断マニュアルが作れるようになると考えています。

本研究は、交付金プロジェクト「国際的基準に基づく持続的森林管理指針に関する国際共同研究」による成果です。

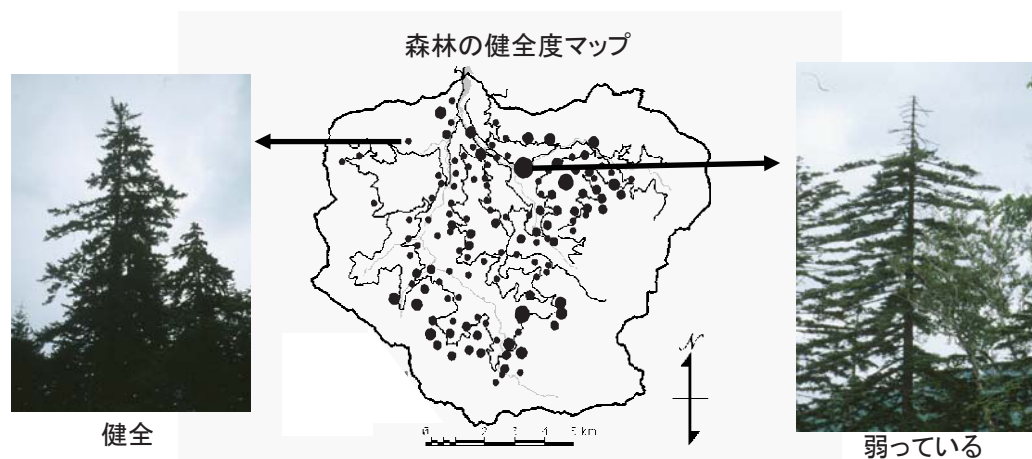
1. 全てを測らず代表を測る（林齢と多様性との関係を調べます）



2. 一度に広い範囲を測る（リモートセンシングを利用し調査します。）



3. 外見から健全かどうか判断する（針葉樹の先端の葉の枯れ方から判断します。）



（黒丸が大きいほど林の中に弱った木が多いことを示す。定山溪試験地のどの地域に弱った林が多く、どの地域は健全かがわかります。）

熱帯の極限的荒廃地を緑にする

海外研究領域	領域長	松本 陽介
日本学術振興会	特別研究員	米田 令仁
北海道支所	植物土壌系研究グループ	丸山 温、北尾 光俊

背景と目的

熱帯地域では森林伐採はじめ様々な人為的要因によって、その面積が減少し続けています。利用された後の森林は、ゆっくりともとの状態へと回復します。しかし、あまりにひどい被害を受けた時には、その後の森林の回復が難しくなることもあります。そのような場合は、土地の改良や木を植えることで回復を促す必要があります。

しかし、これまで行われた熱帯地域の植林は、主に良質な木材がとれる木や、成長がはやくパルプや合板に用いられる木を対象としており、「極限的に荒廃地した森林を回復させる」という目的での植林は依然として少ない状況にあります。

そこでこの研究では、森林が寸断され、しかも自然にまかせた回復が難しい場所において、鳥や動物が果実を好む木（触媒効果木とよんでいます）を中心に植栽することで、森林の回復を鳥や動物による種子の運び込みによって手伝ってもらおう（このことを触媒効果とよんでいます）という試みをしています。

成 果

どのような木を植えればいいのか？

熱帯地域で植栽が必要な場所は、強い直射光と、高温にさらされる裸地で、土壌の状態が悪いため水を保つ能力が低く、雨が降ってもすぐに乾燥するなど、植物が生育するには厳しい環境のところ です。このため、植栽する前にどの木がこのような厳しい環境に耐えるかを調べました。この研究では植物が生きていくために必要な「光合成」と「水利用」と「強い光に耐えるか」という生理的な視点と、鳥や動物が果実を好むかどうかという視点から、「厳しい環境にも対応できる木」と「厳しい環境のもとではやや生育に影響がある木」から触媒効果木を選びました（図1）。

実際に植えてみる

選んだ木を実際に植栽し、苗の生長や、苗の生理状態を継続的に測定しました（図2）。その結果、① 厳しい環境にも対応でき、植栽後の環境に順応した新しい葉をだすタイプ（*Callerya atropurpurea*）、② 葉の寿命が短く新しい環境に対応できる葉をすぐにだすことができるが、乾燥に弱いタイプ（*Canarium pilosum*）、③ 植栽した環境に順応できない、もしくは順応するには時間がかかるタイプ（*Cynometra*

cauliflora）など、いくつかのタイプに分かれました。「厳しい環境にも対応できる」と予想された①のタイプの樹種は、植栽後も光合成速度は増加し、高い成長量を示しました。それに対し、「乾燥に弱い」と考えられた②のタイプの樹種は、降水量の少ない時期に光合成速度は減少し、その間は成長量も減少しました（図3）。これらのことから、木の生理的特性をあらかじめ調べておけば、多大な経費と長期間要する植林試験の結果を待たなくとも、植栽した木の成長を予測することも不可能ではありません。

しかしながら、植栽した木が実際に果実をつけ、鳥や動物が来て種子を運んでくれるのか、またそれに伴って、自然の森からも種子を運んでくれるかについては、今後、根気よく開花結実を待つて調べていく必要があります（図4、5）。

本研究は、地球環境研究総合推進費「荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究」による成果です。

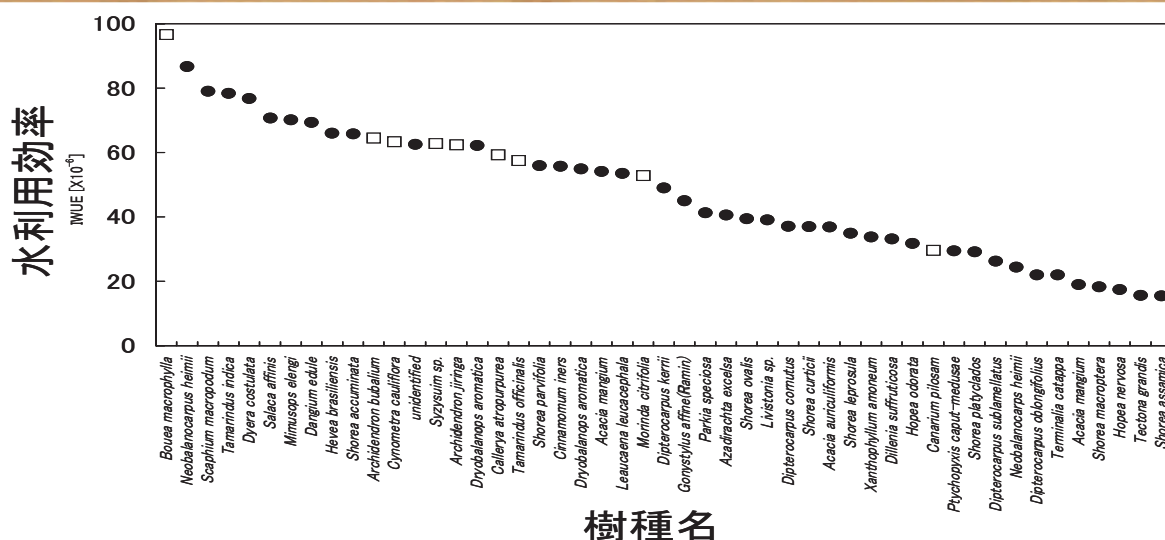


図1 熱帯樹木49樹種の水利用効率の比較 (□が実際に植栽した樹種)

(水利用効率値が高いほど水消費を抑え、効率よく光合成をおこない、乾燥に強いことを示します。)

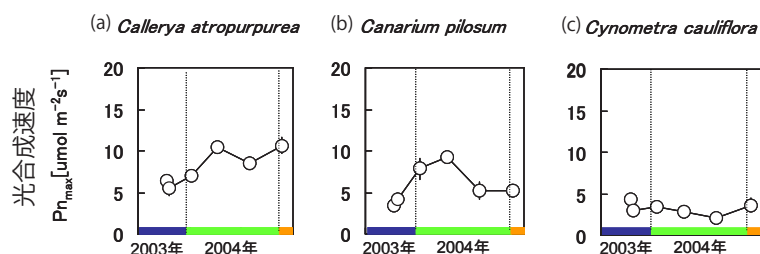


図2 植栽後の最大光合成速度 (Pn_{max}) の変化 (2003年10月～2005年1月)

(光合成の値が増え続ける樹種(a)、途中から減少してしまう樹種(b)、あまり変わらない樹種(c)がありました。)

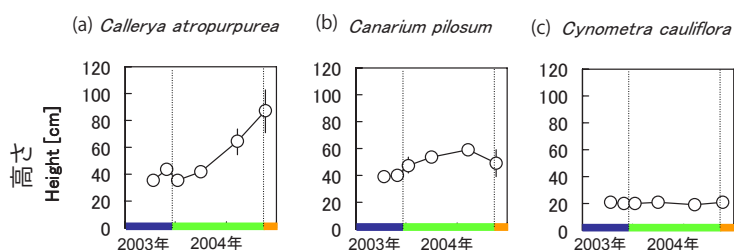


図3 植栽後の苗の成長 (2003年10月～2005年1月)

(*Canarium pilosum*(b)の高さが減少したのは苗の先端枯れ(苗は枯れていない)のためです。)



図4 植栽前の状況 (2002年10月)

(宅地開発業者により違法に森林が伐採され谷を埋め立てられた人工造成地。土壌は貧栄養で堅い。)



図5 植栽後の状況 (2004年12月)

(中程の列の木が試験植栽した触媒効果を期待して植えた木。左右端の丸い樹形の木は比較のため同時に植えた早生樹のマンギウム・アカシア。)

地球の陸上植物が固定する炭素量を知る

森林管理研究領域
四国支所

環境変動モニタリング担当チーム長
流域保全森林研究グループ

栗屋 善雄
小谷 英司

背景と目的

大気中の二酸化炭素 (CO_2) がもつ温室効果のため、 CO_2 の量が増えると地球の気温が上昇して温暖化すると危惧されています。植物は太陽光を利用して CO_2 から炭素を固定し、酸素を大気中に放出しますので、炭素の固定量は大気中の CO_2 の濃度変化に影響しますが、気候の変化によっても植物の成長量が変化します。そこで温暖化に関連の深い陸上植物の炭素固定量の経年変化を人工衛星のデータを使って全球レベルで推定する研究を行いました。

成 果

推定方法

1982 年以降、気象衛星ノアのデータが保管されていて、地球全体の陸上植物の実態を解析できます。ノアデータで計算される指標と日射量データを利用すると植物が吸収する光の量を計算でき、これに気温や土壌水分などの条件を組み込むと植物が成長によって固定する炭素量を推定できます。ノアデータは 1991 年 6 月のピナツボ火山の噴煙の影響などのため記録されている値（輝度値）が不正確なので、輝度値を補正して精度を向上させてから植物が固定する炭素量を推定しました。

炭素固定量の経年変化

図 1 は 1988 年から 1993 年までの炭素固定量の推定結果で、噴煙の影響を補正した場合と補正していない場合の推定値を示しています。年間の炭素固定量は約 55 ペタグラム（1 Pg = 10 億トン）ですが、未補正の場合は 1992 年で約 51Pg と、平年より 10% も少なくなります。これは地球規模で植物に異変が生じたことを示唆しますが、世界の農作物の収穫量にはこれほどの変化はありませんでした（国連食糧農業機関の報告による）。一方、噴煙の影響を補正した場合は 1991 年で 57Pg とやや過大ですが、未補正の場合より推定精度が高く経年変化を把握できると考えられました。

炭素固定量の分布

図 2 は 1988 年と 1993 年の年間の炭素固定量の分布図です。湿潤温暖で 1 年を通じて植物が成長できる赤道付近で炭素固定量が大きく、乾燥地域が広がる南北緯 20 ～ 30 度周辺では固定量が非常に小さいことが分かります。北米のような湿潤な海岸沿いでは高緯度ほど固定量が小さくなります。1988 年と 1993 年とではカナダ内陸部や東欧、アフリカ南東部などで分布に変化が見られます。このように地域ごとの炭素固定量とその経年変化が分かるようになりました。

本研究で開発した解析方法を利用することで、さらに長期間での植物の炭素固定量の変化や、異常気象が植物生産に及ぼす影響を地球規模で解明できるようになります。

本研究は文部科学省総合研究「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」による成果です。

詳しくは Awaya et al. (2004) International Journal of Remote Sensing 25(9):1597-1613 をご覧下さい。

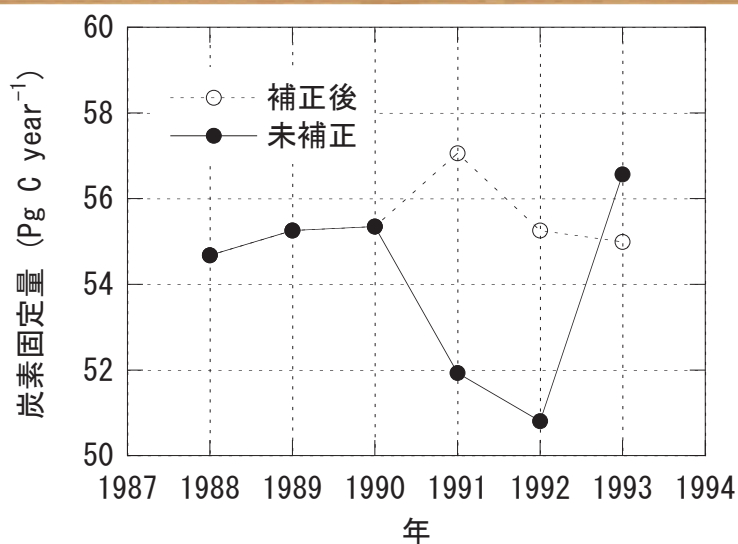


図1 植生による炭素固定量の経年変化

(未補正：ピナツボ火山の噴煙の影響を補正しなかった場合、補正後：補正した場合。ピナツボ火山の噴煙は成層圏に達し、その後2年以上に渡って大気の混濁度を高くしました。この異常な混濁度の影響をほぼ補正できました。)

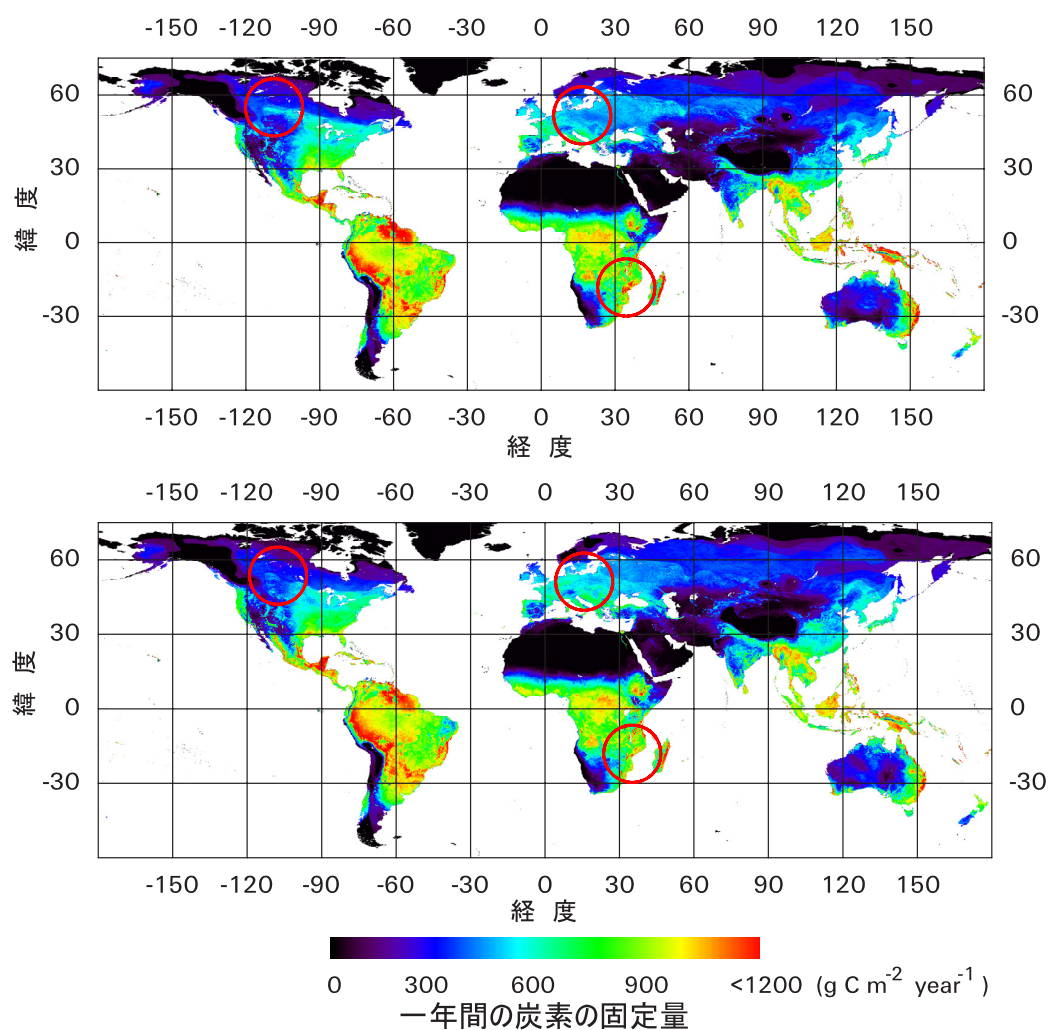


図2 植生による炭素固定量の分布

(上：1988年、下：1993年。赤丸は1988年と1993年で変化が比較的是っきり分かるエリアを示します。)

さまざまな森林土壌からの温室効果ガスの 放出・吸収量を調べる方法

立地環境研究領域 養分環境研究室 阪田 匡司、森下 智陽、高橋 正通
北海道支所 植物土壌系グループ 石塚 成宏

背景と目的

森林が関与する温室効果ガスとして、二酸化炭素・メタン・亜酸化窒素があります。二酸化炭素は植物の光合成によって吸収されるだけでなく、根の呼吸や有機物の分解などによって土壌から多量に放出されます。また、メタンと亜酸化窒素はほとんど全てが土壌中の微生物などの反応により、放出・吸収されています。そのため、どのような森林がどのくらい温室効果ガスを放出・吸収するかを明らかにするためには、さまざまな森林において土壌からの温室効果ガスの放出・吸収量を知る必要があります。しかし、それらの放出・吸収量は正確に把握されておらず、特にメタン・亜酸化窒素については、測定例自体が非常に少ないのが現状です。そこで、遠隔地にある森林でも比較的簡便かつ安価に土壌からの温室効果ガスの放出・吸収量を測定できる方法の開発を試みました。

成 果

さまざまな森林に適用できる測定方法の開発

人里離れた遠隔地のさまざまな森林で温室効果ガスの吸収・放出量を観測するためには、できるだけ簡単な装置で行う必要があります。そのため、本法では複雑な装置を必要とせず比較的簡便に測定できる密閉静置チャンバー法を採用しました。

できるだけ多くの森林に適用でき、かつ精度良く測定できるよう、調査・分析条件を検討し、観測時間（0～40分）、採取ガス量（40mL）、チャンバーの大きさ（内径40cm）や材質などを選定しました。大気や森林土壌中のメタン・亜酸化窒素の濃度は低く、その放出・吸収量も小さいため、ガスの採取・保存・運搬に細心の注意が必要であることから、保存性や耐久性などの確認をおこない、信頼性の高い容器（真空バイアルおよびブチル製ゴム栓）を用いました。さらに試験地の設定や機材の設置・操作方法、採取したガスの運搬・分析・再調整方法などの一連の手法を確立しました（図1、図2）。

本方法の利点

この方法は装置の設置が容易で低価格であり、電源のない遠隔地でも適用できるため、多数の地点での測定が可能です。現在、全国50試験地でこの方法を用い、森林土壌からの温室効果ガスの放出・吸収量の実態調査をおこなうとともに、伐採や間伐などの森林施業が放出・吸収量におよぼす影響を調べています（図3）。

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」による成果です。

詳しくは：阪田匡司・石塚成宏・高橋正通（2004）森林総合研究所研究報告 3(3):259-265 をご覧ください。



図1 現地での温室効果ガスの放出・吸収量の測定作業
(チャンバーの設置(左)、ガス採取(中央)、採取ガスの封入(右))

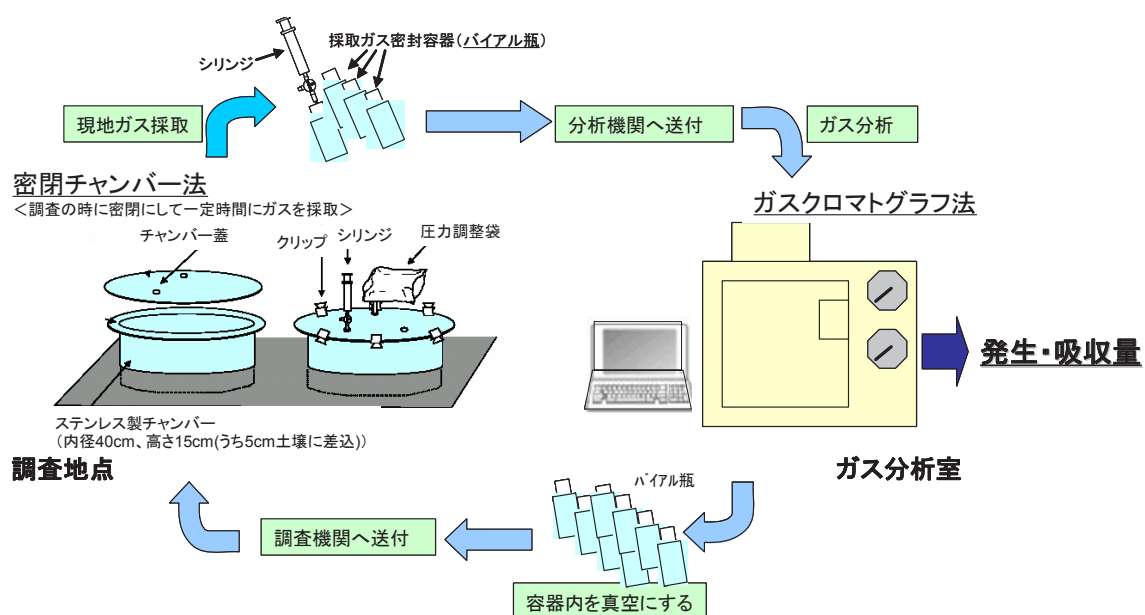


図2 遠隔地の森林土壌からの温室効果ガスの放出・吸収量測定手順

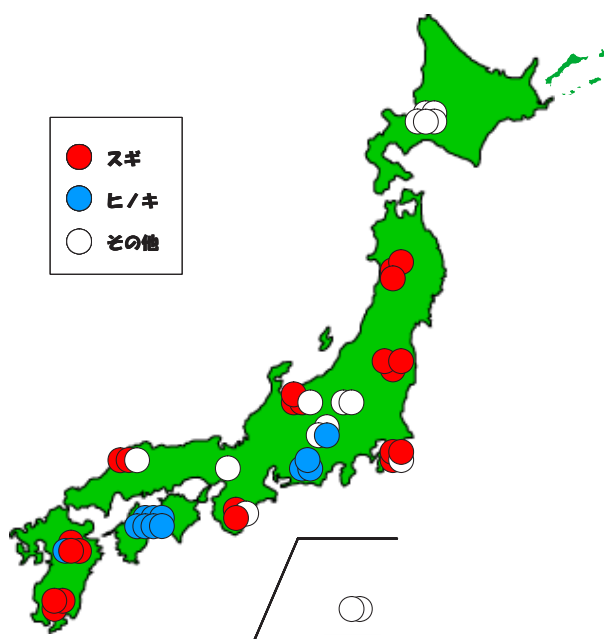


図3 本法を用いて温室効果ガス放出・吸収量の実態調査や
森林施業の影響調査が行われている地点

少雪でトドマツが枯れる

北海道支所	植物土壌系研究グループ	丸山 温、北尾光俊、飛田 博順
	寒地環境保全研究グループ	中井裕一郎
	天然林択伐担当チーム長	石橋 聡
	森林国際基準担当チーム長	山口 岳広

背景と目的

1999 年から 2002 年にかけて、道東地方において樹齢 60 年以上のトドマツ人工林で大規模な枯損被害が発生しました（写真 1）。植栽後十数年程度までの若いトドマツ林では冬季の凍害や乾燥害でこのような被害が発生する場合がありますが、壮齢林で今回のような枯損被害が発生したことは記録にありません。本研究では、被害のメカニズムを明らかにし、被害林分の取り扱いなど対応策を提案することを目的としました。

成 果

原因は？

北海道支所では、多分野の研究者が調査に参画して原因の究明にあたりました。当初は原因として病虫害が疑われましたが、病気の感染は認められず、虫の侵入跡が少し見られましたが枯れてから後のものでした。幹を切断して内部の状態を調べたところ、水の通り道で通常は湿っているはずの辺材部分がかさかさ乾いており、水が上がっていなかったことがわかりました。この原因として乾燥が考えられますが、被害が発現した初夏は北海道ではまだ涼しく、枯れに結びつくような強い乾燥は考えられません。そこで冬の気象条件に着目してみました。

気象条件に着目

冬季に氷点下の気温が続く北海道では、毎年のように土壌凍結が発生します。積雪が深いと保温効果で土壌凍結は止まりますが、浅いとどんどん進行します（図－1）。2001 年と 2002 年に被害が発生した地域では、被害発生前の冬は特に雪が少なく、深くまで土壌が凍結していたことがわかりました（図－2）。土壌が凍結した状態で蒸散が起これば、根から吸水できないため樹体が乾燥し、幹や枝の水が抜けて水上げの機能が低下します。その結果、蒸散が増える初夏に吸水が追いつかなくて枯れが発生したと考えました（図－3）。

土壌凍結原因は

被害が発生した林では 20 ～ 30 年前から急速に成長が低下し、被害発生時は成長がほとんど止まって樹勢がかなり衰えていたことがわかりました。成長が低下すると新しい木部（水の通り道）が形成されないため、水上

げの機能が低下します。そこへ土壌凍結による樹体の著しい乾燥が起こったため、水上げ機能が一気に悪化して被害発生に至ったと考えられます。

この地域はもともとナラやカシワの林で、トドマツを植栽するのに適した立地でなかった可能性もあります。被害林分の今後の取り扱いとして、本来この地域に分布していた広葉樹の林に誘導することがまず上げられます。ただし、この方法では成林に長期間を要します。短期間で成林させるために人工植栽を行う場合、ネズミによる食害の問題がありますが、成長が早く冬季に葉を落とすカラマツが無難と思われます。

本研究は、交付金プロジェクト「壮齢トドマツ人工林枯損被害の緊急実態調査と原因の解明」による成果です。



写真 1 1999 年に被害が発生した阿寒町仁士別の 2004 年の状況

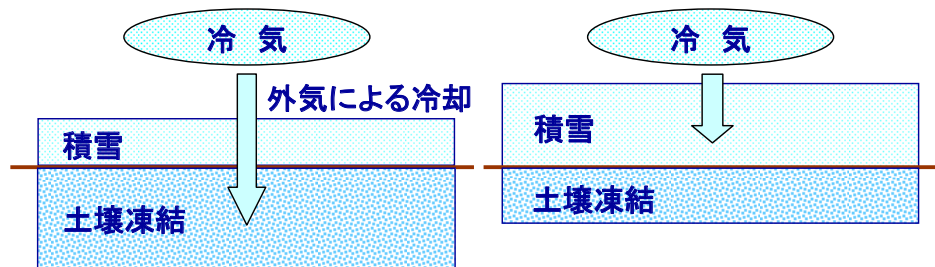


図1 雪の深さと土壌凍結の関係

(積雪が少ないと外気の冷却で土壌の凍結が進むが(左)、多いと雪の保温効果で凍結は進みません(右)。)

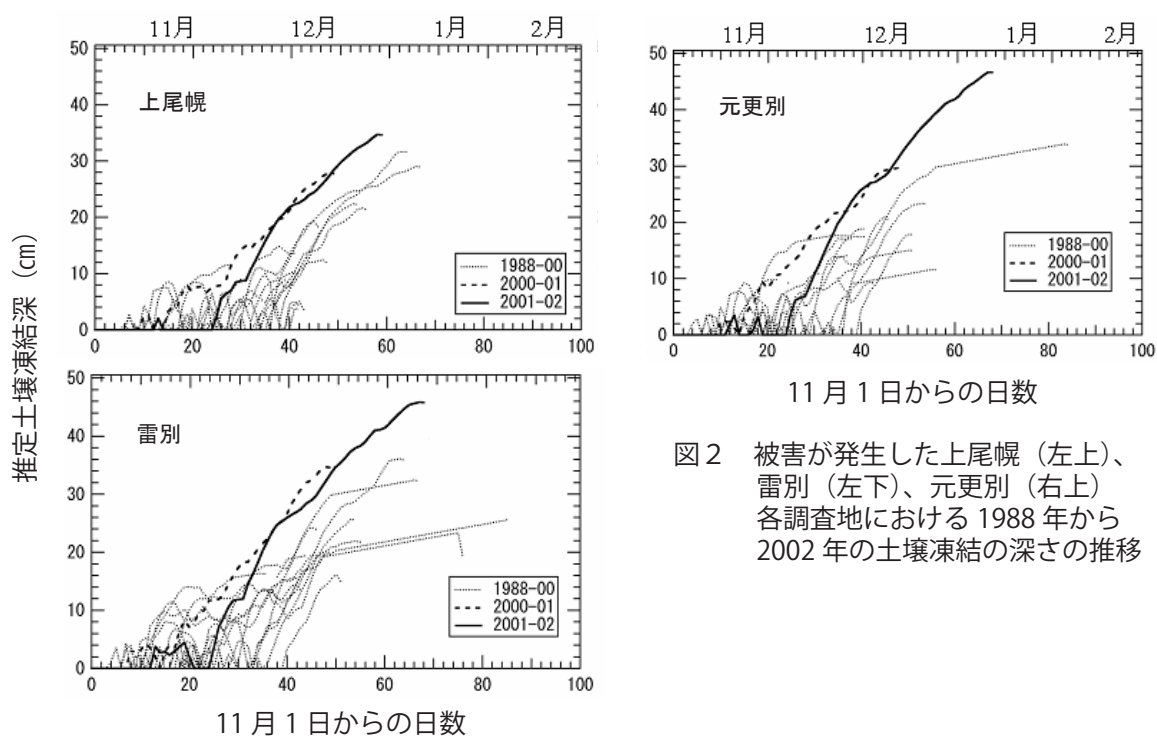


図2 被害が発生した上尾幌(左上)、
雷別(左下)、元更別(右上)
各調査地における1988年から
2002年の土壌凍結の深さの推移

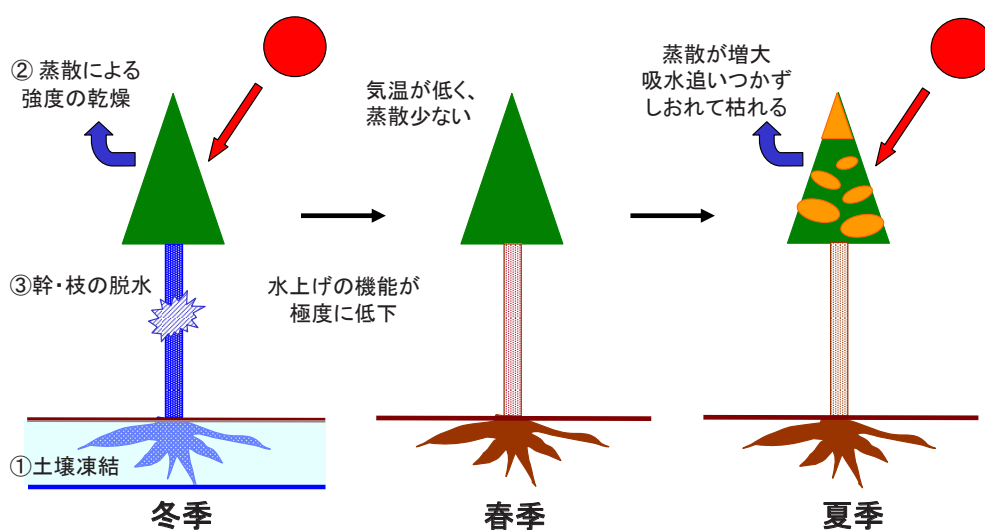


図3 枯損被害の推定メカニズム

- ・①冬季に土壌凍結が深い状態で②蒸散が起こり③吸水できずに幹・枝から水が抜け落ちました(左)。
- ・春季は蒸散が少ないため、かろうじて蒸散に見合った水分を供給(中)
- ・夏季に蒸散が増えて吸水が追いつかず、しおれて枯れが発生(右)

伐出コストを推計するコスト算定プログラムを開発

森林作業研究領域	作業計画担当チーム長	岡 勝
	作業技術研究室	吉田智佳史
林業機械研究領域	領域長	井上 源基
	伐出機械研究室	田中 良明

背景と目的

わが国の林業経営は、立木価格の低迷により大変厳しい状況にあります。こうした逆境の中で持続的な森林管理を進めていくには、森林整備の種々の過程で経費を削減する合理的な作業方法の選定が必要となります。例えば、木材の伐採・搬出を行う場合、対象地の地況、林況、路網状況などをみて、最適な機械台数や搬出ルートを選択します。このような意思決定には、かなりの経験と勘が必要とされます。また、選んだ方法の経済性を評価するには、コスト計算が必要で、かなりの時間と労力を要します。これまでのコスト計算ソフトでは、対象機械や作業条件が制限されていました。

そこで、多くの作業機械に適用でき、機械の組み合わせや作業条件に対応可能なコスト算定プログラムを開発しました。これにより、効率的な作業計画を立てやすくなります。

成 果

プログラムの概要と特徴

プログラムは M.S.Windows 上で作動し、ほとんどのパソコンに対応可能です。コスト計算は、画面の案内に従い、作業条件、工程毎の使用機械の種類や生産性、作業人員、労賃単価、路網作設の有無などを対話形式で入力していきます。生産性がよく解らない場合、既定値として組み込まれた標準的な値を使用することができます。こうして、複雑なコスト計算の結果が瞬時に表示されます。結果が期待通りでない場合は、入力画面に立ち返り、条件の変更ができます。また、費用項目別割合や収益性を求めるための損益分岐図も表示されます。

ムを起動させると、図 2 に示したように、初期画面（作業条件設定）を経て、工程ごとに機械選択や作業人員等を設定する画面、副作業の入力画面、労賃等経費関連入力画面へと進みます。これで入力は終わりです。OK ボタンを押すと計算結果と経費内訳等の図が即座に表示されます（図 3、4）。機械の組み合わせや作業条件、生産性、作業人数などを色々試すことにより、現場に応じたシステム選択や事前のコスト予測に活用されることが期待されます。

本研究は、一般研究費「伐出および育林コストに及ぼす諸要因の検討」による成果です。

計算の手順

コスト計算の流れは図 1 のとおりです。プログラ

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

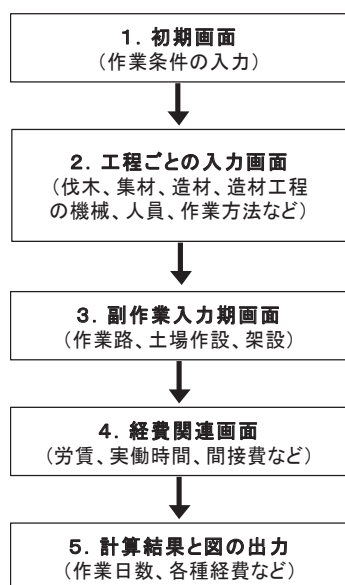


図1 プログラム操作の流れ

対話型
入力

作業条件 伐採箇所の条件を入力してください

出材種(立方米) 100
面積(ha) 1.25
径級(cm) 20
材長(m) 18
既設道から伐区までの距離(m) 100
地形傾斜(度) 15

集材のタイプ
☐ フォワーダ系集材
☐ スキッダ系集材
☒ 架線系集材

作業形態
☐ 独立作業
☐ 先行伐採
☐ 後行土場
☒ 連携作業

戻る 次へ キャンセル

図2 初期画面

(出力量、面積、地形傾斜、集材タイプなどを入力します。)

生産コストの算定表 (千円)

作業工程	人員 単価	作業 日数	労務費	機械経費 固定費 実働費	小計	合計 (生産性)
直接経費						
伐木工程 (0: 2)		2.78	97.2	4.2	14.5	118.0 (6.00)
集材工程 (1: 2)		6.25	849.7	71.1	41.4	458.2 (2.67)
土場工程 (1: 0)		0.93	18.5	119.4	13.7	151.7 (18.00)
小計 (2: 4)		4.42	459.5	194.8	69.6	729.3 (3.77)
間接経費						
踏査運木 (0: 0)		(0.00)	(0.0)	---	---	0.0
架設撤去 (1: 0)		0.00	0.0	5.4	0.0	5.4
道付け (0: 0)		0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
土場作設 (0: 0)		0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
小計 (1: 0)		0.00	0.0	5.4	0.0	5.4
計 3: 4		4.42	459.5	200.1	69.6	729.3
間接経費						
機械運搬	50.0	---	---	---	0.0	0.0
人員輸送	7.5	(0.00)	0.0	0.0	0.0	0.0
車庫管理	2.0	---	---	---	0.0	0.0
諸経費	729.3	---	---	---	145.9	145.9 (f1=0.20)
現場監督	20.0	(0.00)	0.0	---	---	0.0
付帯人件	459.5	(4.42)	0.0	---	---	0.0 (f2=0.55)
計	---	---	0.0	0.0	0.0	145.9
合計	---	---	459.5	200.1	215.5	875.1

図3 計算結果画面

生産コストの算定表、費用項目別割合、損益分岐点などが画面に出力されます。

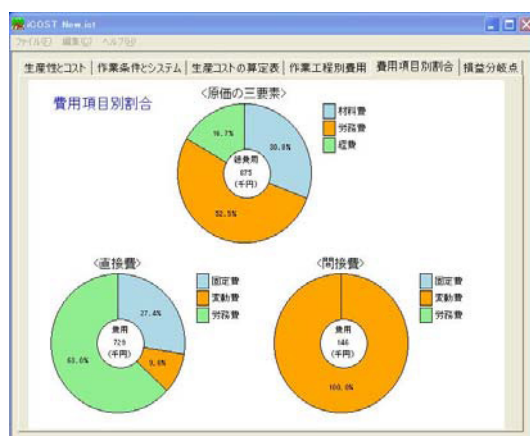


図4 計算結果画面（費用項目別割合）

(原価の三要素、直接費、間接費の内訳が図示されます。)

フォワーダ*
スキッダ*
架線系*

本プログラムを用いて色々な作業条件、機械の組み合わせを想定したコスト計算を対話的に行うことが出来ます。

計算結果は、事前のコスト予測やシステム改善に活用できます。

機械化施業による林地への影響を調べる —機械化施業データベースの開発—

林業機械研究領域 伐出機械研究室 田中 良明、山口 浩和、上村 巧、毛綱 昌弘、
陣川 雅樹
林業機械研究領域 領域長 井上 源基
森林作業研究領域 作業技術研究室 今富 裕樹、岡 勝、吉田智佳史、近藤 耕治

背景と目的

立木価格の低下により大変厳しい状況にあるわが国の林業では、コスト削減の切り札として、平成元年頃から、これまでにない新しいタイプの林業機械の導入が始まりました。こうした機械の中には、いままでに用いられてきた林業機械とは異なり、森林の中を走行しながら立木を伐倒するものがあります。また、土木工事などで用いられるパワーショベルにウインチを装備して、手間がかかる架線集材を簡易に行うものもあります。森林の伐採には山を荒らすというイメージが付きまとうのですが、こうした新しい林業機械を導入した森林施業は森林の植生や土壌にどのような影響を与えているのでしょうか。

成 果

機械化施業が土壌保全性や植生多様性に与える影響

調査は全国規模で行われ、伐採から 3~5 年経過した跡地において、100 m² の調査プロットを設けて行いました。地表や植生の状態などを調べ、林業機械による作業システムや伐採方法との関係を調べました(図 1)。車両や木材の移動によって生じた、地表の締め固めや土の流失した部分を影響域として定め、その面積を計測しました。

その結果、この影響域の面積は、点状間伐や列状間伐のほうが皆伐を行った場合よりも小さいこと、架線系、特に軽架線を用いるシステムが車両タイプの林業機械を導入したシステムよりも小さいことがわかりました(図 2、3)。また、調査プロットにおいて植生多様性について 5 段階評価による主観的評価を行った結果が、この影響域と関係があることもわかりました。つまり、この影響域の面積が小さいほど植生多様性の評価が高くなることが示されました(図 4)。機械化された施業であっても、森林の地表面の状態に注意して作業を進めれば植生も豊かに回復するのです。逆に、皆伐や車両系を使った作業を行う場合には土壌の保全を十分に考慮する必要があります。

機械化施業データベース

林業機械による機械化施業が森林にどのような影響をあたえるかについて全国的に行われた調査は、今回が初めてです。データには調査プロットの傾斜といった地形条件、植生の種類、土の状態なども含まれています。わが国で行われているほとんどのタイプの機械化施業の調査事例が網羅されているので、環境により適合した森林作業を実現するためのデータとして活用することができます。また、これらのデータは、どのような地域で、どのような条件のところで、どのような林業機械が使われているのかといった別の視点からのデータとしても活用できるはずです。そのため調査結果をデータベース化しました(図 5)。森林総合研究所では林業機械や森林作業に関する様々なデータを保有しており、今後もこのデータベースを充実させていきます。

本研究は、社団法人林業機械化協会の委託をうけて、北海道、岩手、宮城、新潟、栃木、長野、岐阜、和歌山、愛媛、山口、福岡の各県と共同で実施しました成果です。

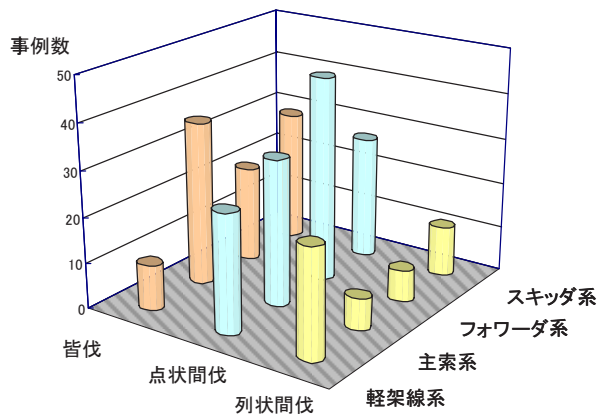


図1 調査事例の集計

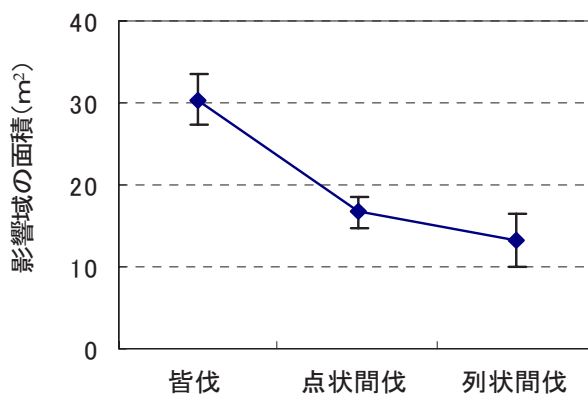


図2 伐採方法と影響域の面積

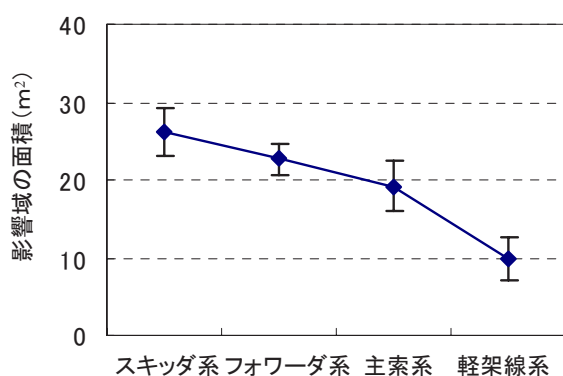


図3 作業システムと影響域の面積

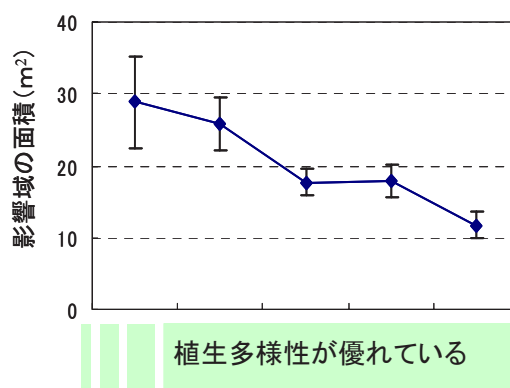


図4 影響域の面積と植生多様性の評価

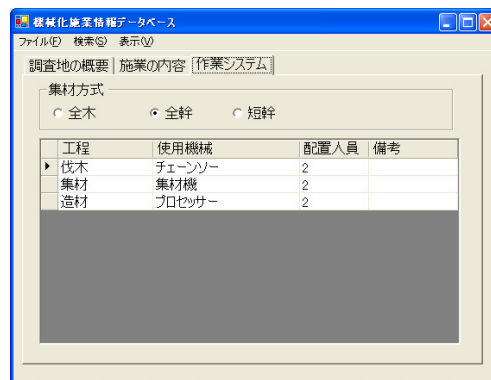


図5 機械化施業情報データベース

森林セラピー効果を初めて生理的手法で解明した

樹木化学研究領域	生理活性担当チーム	宮崎 良文、朴 範鎮
構造利用研究領域	木質構造居住環境研究室	恒次 祐子
森林管理研究領域	環境計画研究室	香川 隆英
千葉県森林研究センター		綴谷 珠美

背景と目的

「森林浴」という言葉は 1982 年に林野庁によって提唱されました。現代のストレス社会において、そのセラピー効果に国民の期待が集まっていますが、効果に関する生理データはほとんどありません。しかし、ここ 1～2 年の急速な生理的評価技術の進歩を受け、データが蓄積されつつあります。本研究の目的は、森林セラピー効果を森林浴実験および実験室実験から生理的手法で明らかにすることです。

成 果

森林浴実験

千葉県立清和県民の森および千葉駅前において、被験者 12 名を使って実施しました。近赤外分光法*を用いて前頭前野の活動を測定したところ、森林浴によって鎮静化(図・左)することがわかりました。森林内における前頭前野*の絶対値濃度の計測は世界で初めて行われたものです。また、ストレスホルモン濃度(図・中)も、血圧も低下しており、体全体がリラックスしていました。

実験室実験

森林風景、せせらぎ音、木の香り等の感覚ごとの刺激によるリラックス効果を調べました。森林風景においては、血圧の低下(図・右)ならびに前頭前野の活動の鎮静化が認められました。小川のせせらぎ音、木の香りにおいても生体がリラックスすることがわかりました。

成果の活用

このように、森林のセラピー効果はフィールド実験においても室内実験においても認められまし

た。

昨年、林野庁による「森林セラピー基地」構想が発表され、今春、全国の 31 力所がその候補地になっています。4 月以降、森林総合研究所による生理評価実験が実施されます。各「森林セラピー基地」におけるセラピー効果が明らかにされることにより、国民の森林利用が新たな観点から活発化すると考えられます。さらに本構想は厚生労働省の参加も得ており、予防医学的な見地から医療費の削減に繋がることが期待されています。

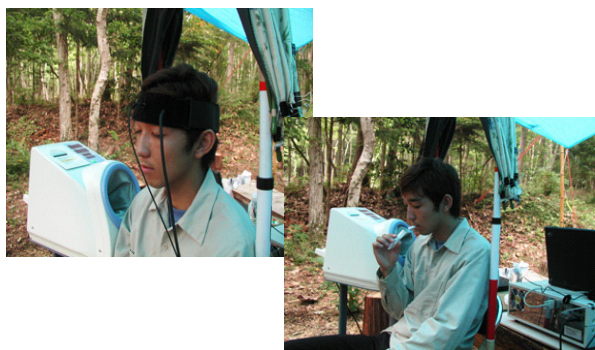
本研究は、農林水産技術会議受託費「森林系環境要素がもたらす人の生理的効果の解明」および共同研究「光を用いた脳機能計測による人の状態の評価(浜松ホトニクス(株))」による成果です。

なお、本成果の生理的効果の測定と評価法は、特許出願中です。

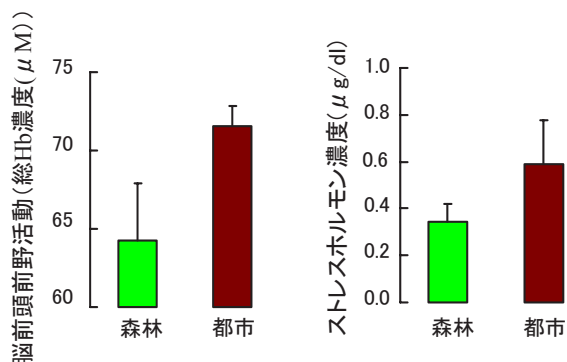
*については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林セラピー効果の科学的検証

フィールド試験



前脳前野鎮静化 ストレスホルモン低下



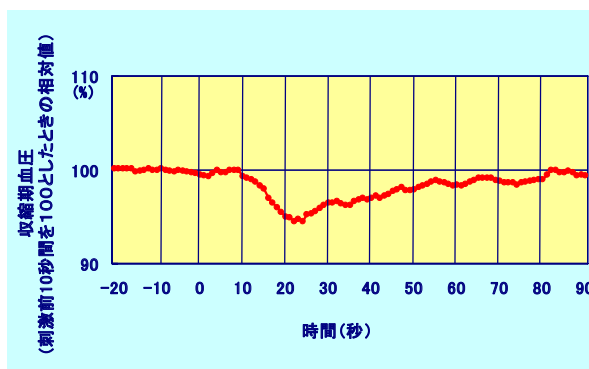
脳活動がリラックス ストレスの軽減

室内試験

(視覚・聴覚等感覚別刺激実験)



血圧低下



生体がリラックス

リラックス効果の生理的解明とその活用

ここまで分かった、我が国の木材資源フロー

木材特性研究領域 物性研究室

外崎真理雄

構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室

恒次 祐子

加工技術研究領域 木材機械加工研究室

伊神 裕司、村田 光司

日本木材総合情報センター

武田 八郎、高木 真由、岡野 健

背景と目的

木材は樹木が大気から吸収した炭素で、それを建物等に長く使うと「炭素貯蔵効果」、木材製品は作るときのエネルギーが少ないので「省エネ効果」、木材炭素は再生産で循環するので化石燃料の代わりに使う「エネルギー代替効果」により地球温暖化の原因とされる大気中のCO₂を減らすことができます。また「循環型社会」構築のため、廃棄物を減らし資源の無駄遣いをしない社会が求められています。これらを計画的・効率的に実現するため、国内における木材資源フローを明らかにすることが必要です。

成 果

これまで分からなかったこと

人はお金で買う物、売る物についてはきちんと記録しておきますが、ゴミとして捨てる物には関心が少ないし、大勢の人が少量ずつ捨てた物の記録を全部とるのは難しいことです。また輸入製品は関税を取る所までの記録はありますが、その後、誰に売られたかは分かりません。そこで色々な業界が独自に調べたデータを集めたり、アンケート調査をしたり、複数の資料を組み合わせることで特定の物の流れを推計したりする必要があります。

調べた結果

図は我が国の木質系残廃材を含めた木材フローの全体像を表しています。もっと詳しく、製材品・合板など製品ごとの流れや、残廃材の種類ごとにも分かっています。図は平成 13 年のものですが、例えば今年のフローを書くこともできます。ただし、各数値は最も確からしい資料のものを使っているため、数値間の矛盾が少しあったり、多種多様な木製品利用からの残廃材の全ては調べきれないなど、まだ問題はあります。

結果から分かること

フロー図から我が国の木材がどのように使われているのかが分かります。例えば木材を一番使っているのは 3,600 万 m³ を消費する紙部門ですが、解体材チップはわずかししか使っていないことや、木材一次製品の 6 割にあたる 2,200 万 m³ が投入される建築部門で、例えば建築木造率 35% が最大の 70% になったら建築木材需要は 1.6 倍の 3,500 万 m³ になり、その結果素材需要はさらにその倍近くに増えることなどです。また製材工場など木材工業の残材は 94% が何らかの再資源化がされていますが、建築解体材などの木材製品利用残廃材はおそらく 1,500 万 m³ 以上が、平成 13 年時点では無駄に焼かれたり埋められており、今後エネルギー利用に振り向けられる可能性なども分かります。

本研究は農林水産技術会議受託費、「農林水産バイオリサイクル研究」及び「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」による成果です。

資源投入

平成13年データ
単位: 1000m³
(記載のあるものを除く)

製品・半製品輸入	
製材	14,969
合板	8,980
集成材	4,559
ブロックボード	498
加工木材	355
単板	265
木炭	166
	146

製品生産	
製材出荷	20,753
合板生産	15,485
集成材生産	4,187
LVL生産	1,030
	51

素材生産量	
国産	32,589
製材用	15,774
合板用	1,766
チップ用	182
外材	3,826
製材用	16,815
合板用	12,110
チップ用	4,469
	236

副産物
燃料
2,694

工場残材	
製材木くず	15,547
合板木くず	13,298
集成材木くず	1,822
プレカット木くず	138
LVL木くず	273
	16

チップ用
4,821

国産チップ生産量	
素材から	9,384
工場残材	3,890
林地残材	4,881
(解体材・廃材)	35
チップ輸入	1,438

チップ輸入
26,133

木製品・紙・パルプ 生産

製品輸出	
チップ	0.17(千t)
丸太	2(千m ³)
製材	10(千m ³)
薄板・単板	5238(千m ²)
加工木材	0.5(千m ³)
削片板	1(千m ³)
繊維板	5(千t)
合板	3(千m ³)
フローリング等	10(千m ³)
パルプ・紙・板紙	1,237(千t)
古紙	1,466(千t)

ボード輸入	
削片板	957
繊維板	387
HB	570
MDF	44
IB	525
	1

売却
その他
5,035

焼却棄却
939

残材
825

木質系
ボード部門
チップ入荷
(2,603)

解体材
廃材
1,547

国産ボード出荷

削片板
2,027

繊維板
1,164

HB
863

MDF
72

IB
369

紙・パルプ生産(千t)

パルプ
30,717

紙
10,813

板紙
18,385

古紙回収率
62%

紙・パルプ輸入(千t)

パルプ
4,213

紙
2,671

板紙
1,162

古紙
220

214

木製品 利用

製品輸入	
家具	1,180

国内利用への投入	
建築	37,218
家具・建具	22,230
土木	4,776
パレット・梱包	3,294
家電	4,431
楽器	330
自動車	164
その他	34
	1,959

副産物・廃棄物

副産物及び廃棄物	
建築解体材	19,841
新築残材	6,933
土木(伐採樹木含む)	2,978
パレット廃材	2,200
梱包廃材	2,802
家具残材	1,759
家具廃材	600
	2,569

再利用	
埋立・縮減・棄却	5,030
燃料 その他	1,189
	1,806

☑ 我が国の木材フロー（平成13年）

(石膏ボード工場、
染色工場など)

ヒノキチップ畳のダニ防除効果と 木材の香り成分の人へのリラックス効果

構複合材料研究領域	積層接着研究室	平松	靖
構造利用研究領域	木質構造居住環境研究室	森川	岳、恒次 祐子
樹木化学研究領域	生理活性担当チーム長	宮崎	良文

背景と目的

家の中に生息するヤケヒョウヒダニなどのチリダニ類、ならびにそれらのフン（写真 1）や死骸は、アトピー性皮膚炎や気管支喘息などのアレルギー性疾患を引き起こすことが知られています。ダニが原因となるアレルギー性疾患を防ぐためには、家の中のダニ数を減少させ、ダニと接触する機会を減らすことが重要であり、近年、天然物である木材の香り成分を利用したダニ防除に注目が集まっています。また、木材の香りが人に快適感を与えることは経験的に知られていますが、その効果を有効利用するためには、香り成分が人に与える効果を科学的に明らかにし、データを蓄積することが必要です。

そこで本研究では、ヒノキチップを原料とした畳床を用いて、木材の香り成分のダニ防除効果を調べ、さらに木材の主要な香り成分を用いて、それらが人の快適感におよぼす生理的效果について調べました。

成 果

ヒノキ畳のダニ防除効果

ヒノキチップを圧縮・成型・縫製して作製した畳床（ヒノキ畳）（写真 2）を用いて、ダニの行動抑制実験を行いました。図 1 は作製してから 6 週間経過したヒノキ畳を用いて行った実験の結果です。実験開始から 5 日後には動いているダニは見られず、ヒノキ畳から揮発する香り成分には強いダニ行動抑制効果があることがわかりました。さらに、その効果は、8 ヶ月間持続することもわかっています。

木材の香り成分の人へのリラックス効果

木材の主要な香り成分である α -ピネンとリモネンを、人がかいだときに「弱いにおい」と感じる程度の濃度に調製しました。それらを 17 名の男子大学生に吸入してもらい（写真 3）、そのときの血圧を 1 秒ごとに測定しました。 α -ピネンあるいはリモネンを吸入したときには、収縮期血圧（最高血圧）が、吸入前

に比べて低下することがわかりました（図 2）。この結果は、木材の香り成分が人にリラックス感をもたらすことを示しています。

以上から、木材の香り成分は、①ダニを防除するはたらきをもつこと、②人に対して生理的快適性増進効果をもたらすことがわかりました。これらの成果は、日常生活において木材の香り成分を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。

本研究は、交付金プロジェクト「木質建材から放散される揮発性有機化合物と快適性増進効果の解明」および飛騨フォレスト（株）との共同研究「木材チップを用いた畳のダニ防除効果の解明」による成果です。

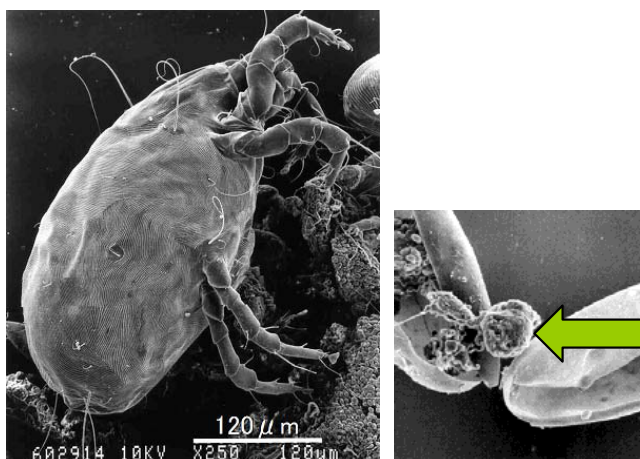


写真1 ヤケヒョウヒダニのメス（体長約0.4mm）（左）とそのフン（矢印で示す。約0.03mm）（右）
（どちらもアレルギー性疾患の主要な原因です。）



写真3 人工気候室内における木材の香り成分の吸入実験風景

（木材の香り成分は、写真手前の容器から一定量ずつ押し出され、パイプを通して胸元の器具から放出されます。）

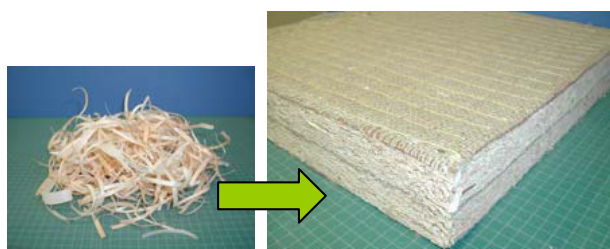


写真2 ヒノキ材チップ（左）とヒノキ畳床（右）
（ヒノキチップを圧縮、成型、縫製することによって畳床を作製します。畳床に畳表（イグサ）と縁（ヘリ）をつければ畳が完成です。）

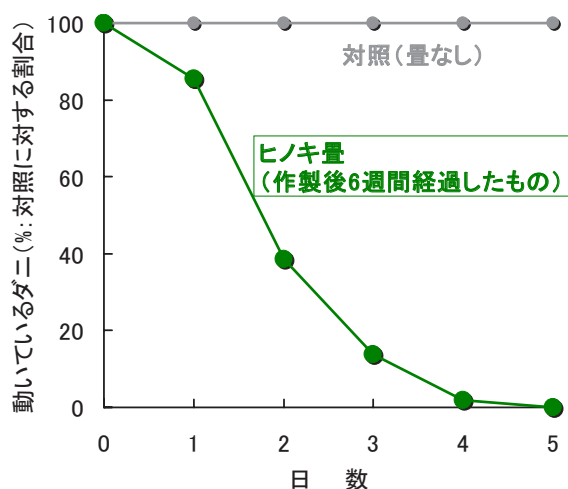


図1 ヒノキ畳の香り成分がヤケヒョウヒダニの行動におよぼす影響
（作製後6週間経過しても、ヒノキ畳には強いダニ行動抑制効果が見られました。）

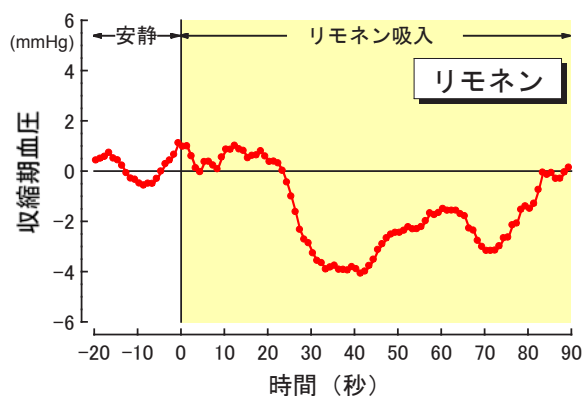
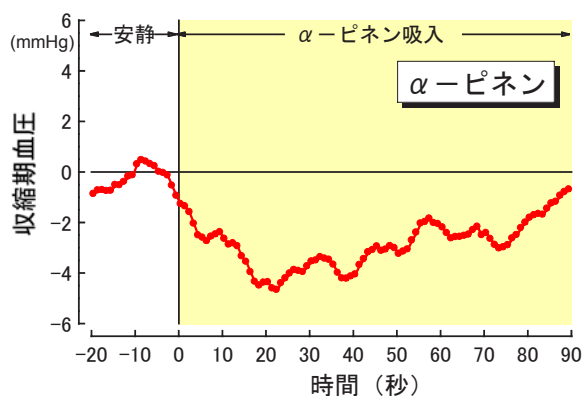


図2 α -ピネン（上）ならびにリモネン（下）を吸入したときの収縮期血圧（最高血圧）の変動

（ α -ピネン、リモネンを吸入したとき（図の黄色部分）、どちらも収縮期血圧（最高血圧）の低下が見られ、人がリラックスすることがわかりました。）

－ スギの高速乾燥 －①

スギ心持ち材の乾燥割れを防ぎ、速く乾かす方法を開発

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

背景と目的

スギ材の主な用途は柱材や造作材等の住宅建築向けで、かつては熟練の大工さんが未乾燥材を現場で寸法合わせをして時間をかけながら家を建てていました。現在は工場において部材の加工や組み立てを行うので、加工後に寸法が狂わないように前もって乾燥処理を施す必要があります。スギ丸太の含水率は他樹種と較べて高く個体差も大きいので製材品の乾燥処理には時間がかかり、その結果乾燥コストが高くなります。また、柱材や桁材の多くが割れやすい性質の心持ち材であるのも問題です。そこで、心持ち材であっても割れが生じないようにする処理方法や、より短時間で乾燥するための処理方法を開発しました。

成 果

材面の割れ防止

心持ちの柱材を自然に乾燥させると、材面に大きな割れが発生します。自然乾燥する前に、写真 1 に示すような熱処理装置を用い、100℃以上の高温で湿気を含む雰囲気（過熱蒸気）の中でごく短時間の熱処理をしたところ、図 1 に示すように自然乾燥中に生じる材面割れの発生を防止することができました。この割れ防止の効果は、高温での乾燥処理によって材面に寸法変化の固定（ドラインセット）が生じることによるものです。

乾燥時間の短縮

次に、図 2 に示すように、温度 130℃で、圧力を制御することによって湿度を 100% から徐々に下げながら、含水率が十分に低くなるまで乾燥する場合、初期の含水率が 90%程度の柱材でも約 3 日で仕上がる事が分かりました。しかも、材内部にも材面にも割れがほとんど認められませんでした。一般に普及している蒸気式乾燥法（乾燥温度 80～90℃）の標準乾燥日数は 10～14 日ですから、この方法によれば乾燥時

間を 1/4 に短縮できるわけです。しかし、写真 2 に示すように、このような高温下での処理では変色（暗色化）が著しく、材の劣化も危惧されますので、処理材の用途は限られることになるでしょう。

過度の劣化の抑制

急速乾燥法の一つとして減圧乾燥法が一般的に知られていますが、これによると写真 3 に示すように変色は少ないのですが表面割れが多く発生してしまいます。そこで、乾燥時間の短縮を図りつつ、割れを抑制し、同時に過度の変色を抑えるため、図 3 に示すような過熱蒸気による短時間の高温熱処理と減圧乾燥とを組み合わせた乾燥処理を行いました。これによると、割れは少なく、乾燥時間も 3～4 日と短く、写真 4 に示すように過度の変色を抑制することができました。

本研究は交付金プロジェクト「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」による成果です。



写真1 試験装置

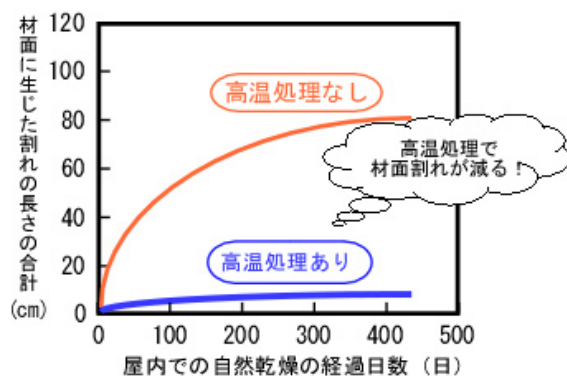


図1 過熱蒸気による高熱処理と材面割れ
(処理材と無処理材を屋内で自然乾燥して割れの発生を比べました。)

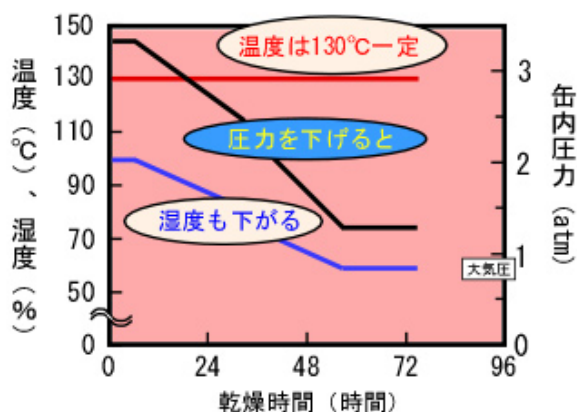


図2 130℃で湿度を徐々に下げる乾燥条件
(処理時間：72 時間)

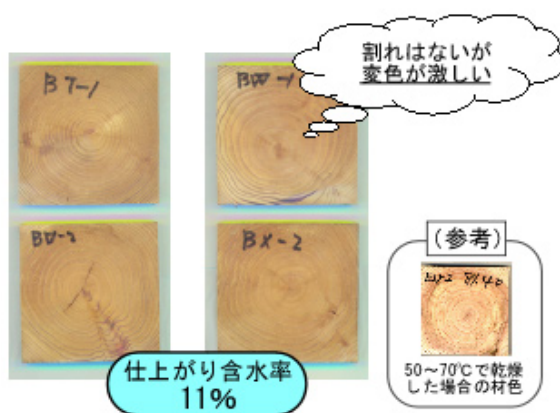


写真2 130℃で湿度を徐々に下げる乾燥条件
による木材断面

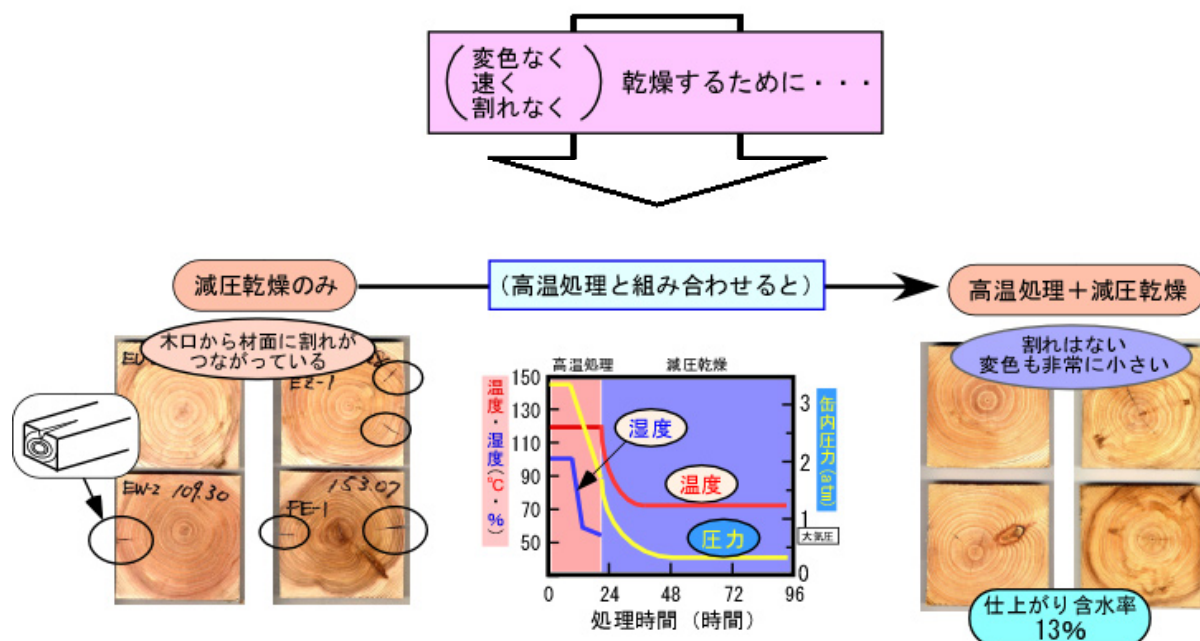


写真3 減圧乾燥で発生する割れの例

図3 短時間の過熱蒸気処理と減圧乾燥の組み合わせ
(処理時間：88 時間)

写真4 短時間の過熱蒸気処理と減圧乾燥の組み合わせによる木材断面

－ スギ の 高 速 乾 燥 －②

高温乾燥の仕方によってスギ材の強度と耐久性はどう変わるか？

構造利用研究領域 材料接合研究室

加藤 英雄、井道 裕史

構造利用研究領域 強度性能評価担当チーム長

長尾 博文

木材改質研究領域 木材保存研究室

桃原 郁夫、大村和香子

背景と目的

乾燥していない木材を使って短期間に住宅を建てたとき、きしみが起きたり、壁に亀裂が入ったり、ドアの開け閉めに不具合が生じたりします。そのため、寸法の変化が少ないなど、品質が優れた建築用部材が求められています。これに対応する方法の一つとして高温乾燥があります。この特徴として、乾燥時間が短縮できるというメリットが挙げられますが、内部割れが多い、強度や耐久性が低下するなどの懸念もあります。そこで、3つの乾燥条件【中温乾燥 1 条件 (85 ～ 95℃、90℃と略す)、高温乾燥 2 条件 (120℃一定、135℃一定)】を設定し、含水率が 12%になるまで乾燥させたスギ構造材の強度および耐久性を比較試験しました。

成 果

乾燥材の強さを計ってみると

住宅の梁などの強さの指標となる曲げ強さは、90℃乾燥と 120℃乾燥でほとんど違いがありませんでしたが、135℃乾燥が他よりも明らかに低下しました（図 1）。一方、柱などの強さの指標となる縦圧縮強さは、曲げ強さとは異なり乾燥温度が高いほど低くなる傾向でした（図 2）。縦圧縮強さとは力がかかる向きが逆の縦引張り強さは、曲げ試験と似た傾向でした（図 3）。せん断強さを求めるには、曲げ式といす式がありますが、いずれの方法も 135℃乾燥におけるせん断強さが他よりも低いことが明らかになりました（図 4、図 5）。

乾燥温度で強さもちがう

このように、強度に対する乾燥条件の影響は力のかかり方によって異なりますが、135℃で乾燥した場合には概して強度の低いことが明らかです。

また、内部割れの最大長さが長くなるに従っていす式のせん断強さが低下することから、乾燥条件のほかに内部割れが影響することも分かりました（図 6）。

シロアリに対する強さの指標となる耐蟻性は、心材では乾燥条件の影響がほとんど認められませんでした（図 7）、腐朽菌に対する強さの指標となる耐朽性は、乾燥温度が高くなるに従って少しずつ低下し辺材に近くなる傾向でした（図 8）。

このように、スギ材の乾燥時間が短くなったとしても乾燥温度が高ければ、条件によっては強度と耐久性が低下することが明らかになりました。

本研究は、交付金プロジェクト「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」による成果です。

***については、巻末の用語解説をご覧ください。**

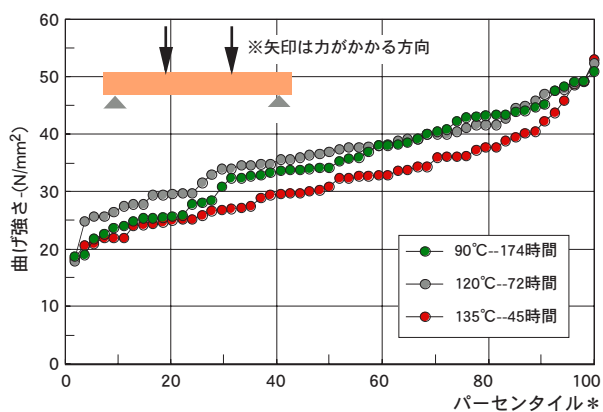


図1 曲げ強さ

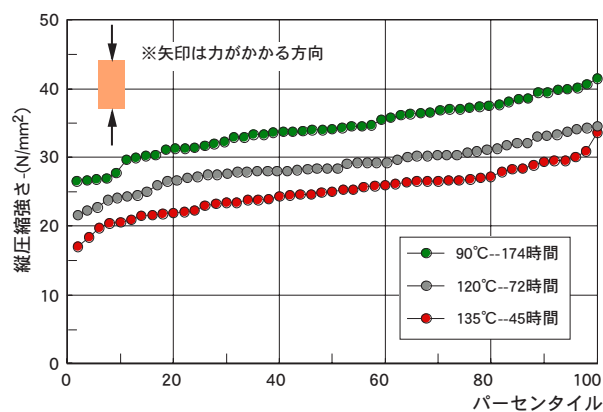


図2 縦圧縮強さ

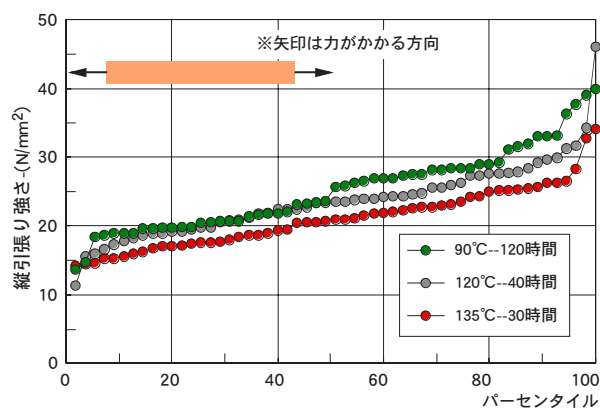


図3 縦引張り強さ

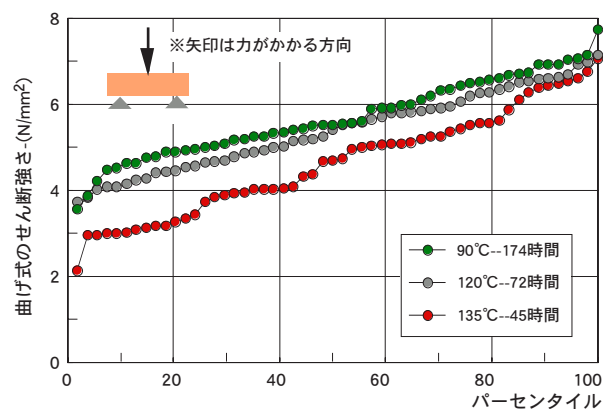


図4 曲げ式のせん断強さ

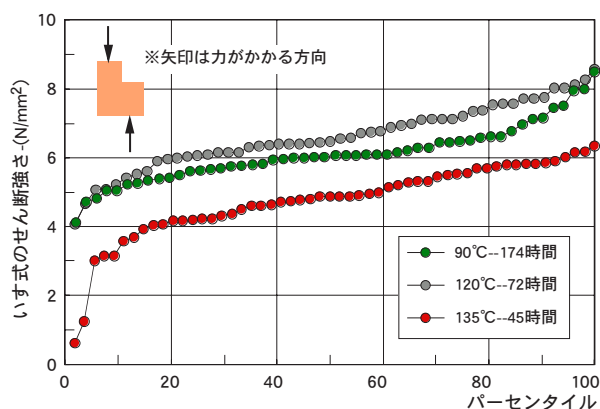


図5 いす式のせん断強さ

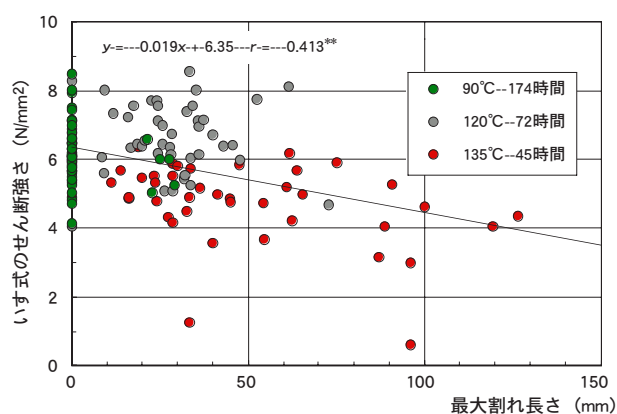


図6 最大割れ長さといす式のせん断強さ

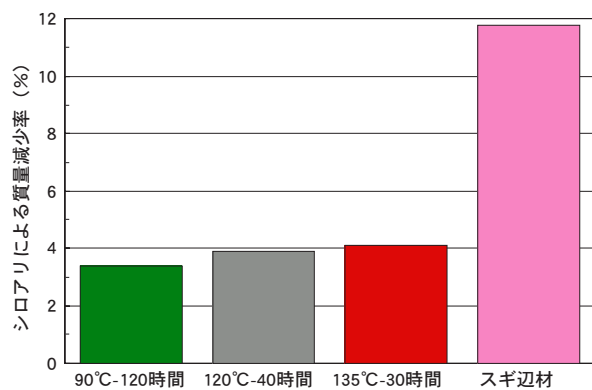


図7 乾燥条件とシロアリによる耐蟻性

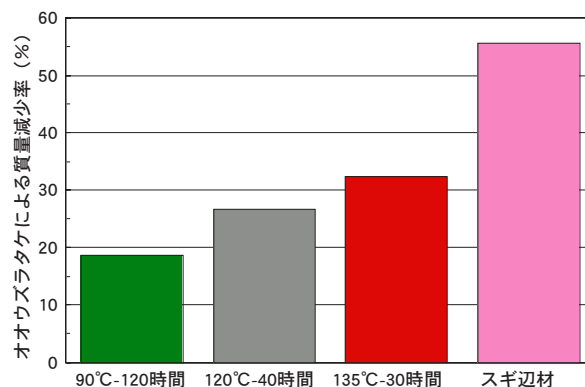


図8 乾燥条件と腐朽菌による耐朽性

－ スギの高速乾燥－③

スギ人工乾燥材で強い構造物をつくる

構構造利用研究領域 材料接合研究室 原田 真樹、軽部 正彦、林 知行
 構造性能評価担当チーム長 杉本 健一
 木質構造居住環境研究室 三井 信宏、青井 秀樹

背景と目的

「スギは乾燥が難しい」とよく言われます。これは、スギがその内部に非常に多くの水分を含んでおり、しかもそれが抜けにくく、乾燥によって内部割れなど生じやすくなるためです。この乾燥の難しいスギを、高温で効率よく人工的に乾燥させる技術が開発されてきました。しかし一方では、高温で乾燥させると材が傷んで強度性能が低下するのではないかと、いった声も聞かれます。そこで、スギの人工乾燥材と乾燥させていない材（生材）を用いて、いろいろな接合部と壁を作製し、その強度性能を比較しました。

成 果

人工乾燥材を組んでみると

乾燥程度の異なったスギ人工乾燥材 2 種類とスギ生材を用いてボルトの接合部と釘の接合部を作製し、強さおよび剛性（変形のしにくさを示す値）を比較しました。その結果、人工乾燥材を用いた接合部は、生材に比べて、強さは変わらず、変形もしにくいことがわかりました（図 1）。

スギを柱として使う場合を想定し、割れのある人工乾燥材、割れていない人工乾燥材、生材の 3 種類を用い、梁として集成材を用いた金物接合部を作製して、強さおよび剛性を比較しました。その結果、人工乾燥材を柱とする接合部は、割れがあっても生材を柱とする接合部よりも強いが若干変形しやすくなることがわかりました（図 2）。

さらに時間がたつと

土台と柱の接合部を、人工乾燥材および自然の状態で乾燥させた材料（天然乾燥材）で作製し、1 年間風雨にさらした（屋外暴露試験）後に強さを測定しましたが、いずれの接合部についても用いた金物それぞれに対して定められている強さ以上の値を示

しました。

一方、乾燥していないスギの柱と梁を用いて壁を作製し、時間経過による強さと剛性の変化を調べました。その結果、壁の強さは時間が経過して材料が乾くのにともなって人工乾燥材の柱を用いた壁とほぼ同じ値まで増加しましたが、剛性は製作してから半年（図 3、矢印）で急激に低下し、その後時間が経過して材料が乾燥しても低い値のままでした（図 3）。

これらの結果から、スギ材でも乾燥条件を適切に設定すれば、接合部を構成する材料として生材以上の性能を発揮すること、そして、乾燥の不十分な材料を用いて壁を作ると、強さは時間とともに増加するものの変形しやすい壁となることがわかりました。

乾燥の難しいスギですが、上手に乾燥させることによってより優れた構造物材料となるのです。

本研究は、交付金プロジェクト「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」による成果です。

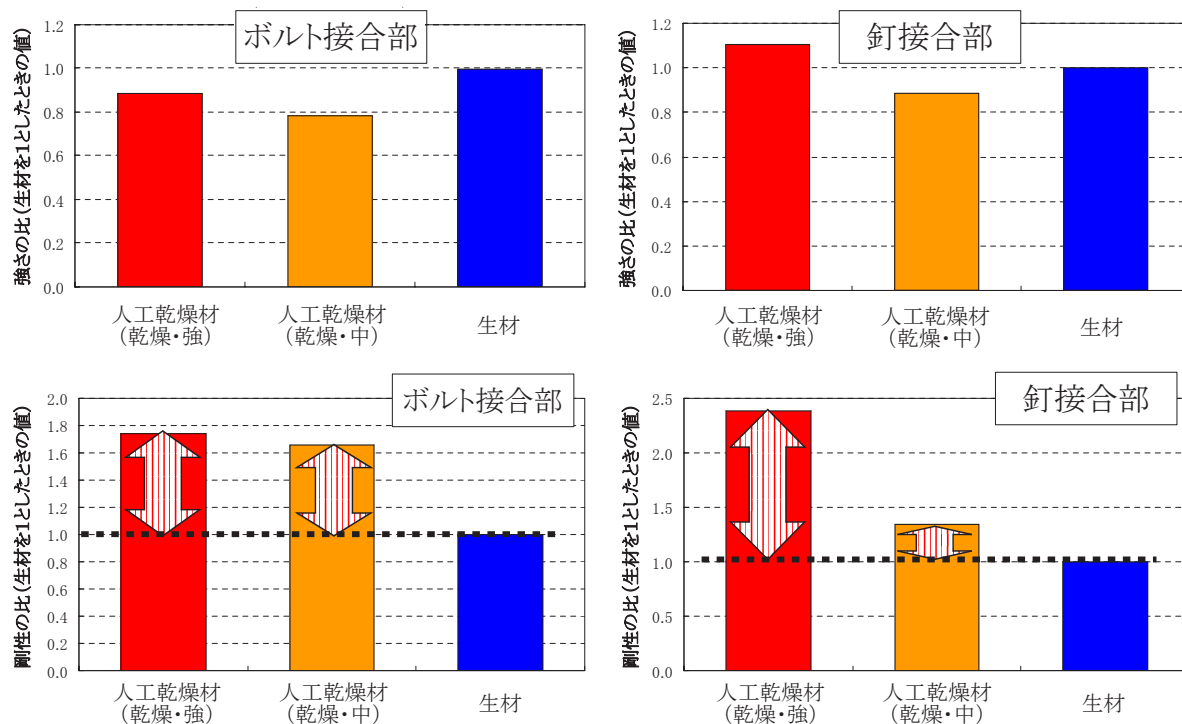


図1 人工乾燥材と生材の強さの比較（左図：ボルト接合部の結果、右図：釘接合部の結果）

（剛性は、変形のしにくさを表すもので、値が大きいほど変形しにくいことを意味します。）

（人工乾燥材を用いた接合部の強さは生材と変わりませんし（上図）、変形しにくいことがわかります（下図）。）

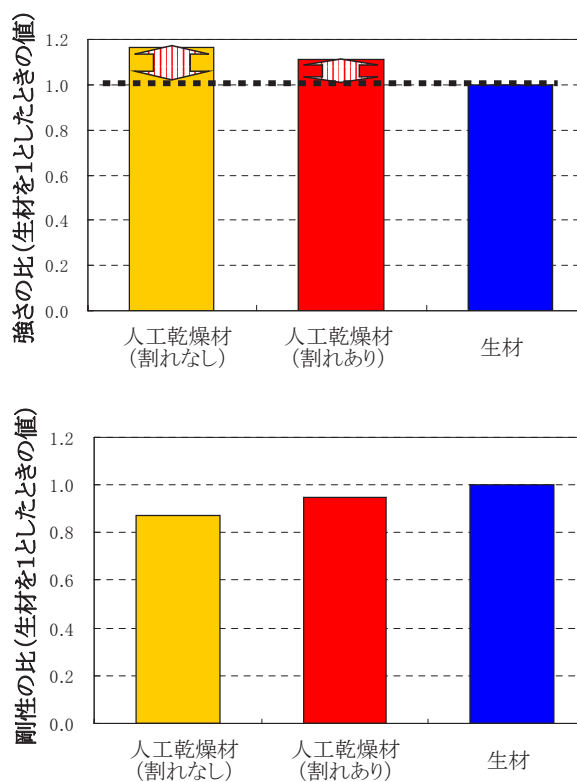


図2 柱-梁接合部の性能

（乾燥材を柱とする接合部は、生材よりも強くなり（上図）、逆に若干変形しやすくなる（下図）。）

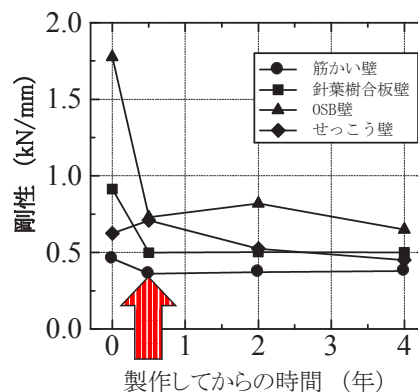
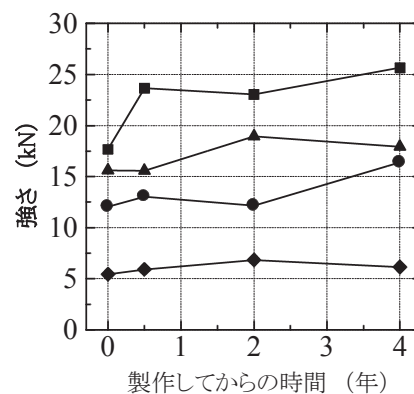


図3 生材を用いた壁の性能変化

（生材を用いて製作した壁は、時間の経過と共に耐力が増加して強くなりますが（上図）、壁の種類にかかわらず剛性は半年で急激に低下し、変形しやすくなる（下図）。）

ポプラの環境ストレス関連遺伝子の大規模収集に成功

生物工学研究領域 形質転換研究室 楠城 時彦
樹木分子生物研究室 二村 典宏、西口 満、伊ヶ崎知弘
生物工学領域長 領域長 篠原 健司

背景と目的

樹木の環境ストレス応答機構や耐性機構の解明は、乾燥地の緑化など環境の保全や修復のための基礎として重要な課題です。米国を中心とする研究グループは、平成 16 年 9 月に、木本植物で初めてポプラの全ゲノムの塩基配列を解読しました。その結果、ゲノム情報をもとに展開されるポストゲノム研究において、ポプラは有望な「モデル樹木」と位置付けられました。しかし、樹木の生理機能を分子レベルで理解するためには、単なる塩基配列の羅列にすぎないゲノム情報だけでは不十分であり、細胞内で機能する遺伝子群の収集とそれら遺伝子群の発現解析が必要となります。私たちは、樹木の環境ストレス応答機構や耐性機構の解明を目指して、細胞内で働く遺伝子を反映した cDNA をポプラから大量に収集しました。

成 果

完全長 cDNA ライブラリーの作成

乾燥、高塩濃度や低温などの環境ストレス処理をしたポプラ（セイヨウハコヤナギ、*Populus nigra* var. *italica*）の葉を用い、完全長 cDNA ライブラリー（図 1）を作製しました。完全長 cDNA は、遺伝子の機能解析や組換え体の作出にとって有用なバイオリソース（生物資源）です。これまでに植物界では、シロイヌナズナ、イネやヒメツリガネゴケなどの完全長 cDNA が収集されています。30,000 個以上のポプラ cDNA の塩基配列を解析した結果、様々な機能を持つ約 4,500 種の遺伝子を同定しました（図 2）。このような大規模な完全長 cDNA の収集は、樹木では世界で初めての報告です。

多様の環境ストレス関連遺伝子が

また、ポプラ cDNA の中には多数の環境ストレス関連遺伝子が含まれていました。ポプラ完全長 cDNA は、ポプラゲノムの正確な解析に有効な情報

をもたらすだけでなく、樹木のポストゲノム研究に大きく貢献します。さらに、本研究で得られたポプラの環境ストレス関連遺伝子群は、遺伝子組換えによる環境ストレス耐性樹木の開発や、遺伝子マーカーとして用いることで耐性樹木の選抜などにも利用可能です。

今後は、ポプラの遺伝子コレクションをさらに充実させ、樹木の環境ストレス応答機構や耐性機構を解明する予定です。また、環境ストレス耐性樹木の創出に挑戦し、持続的な地球環境の保全に貢献したいと考えています。

本研究は、交付金プロジェクト「ポプラ完全長 cDNA ライブラリーコレクションの整備」による成果です。

詳しくは、Nanjo et al. (2004) *Plant and Cell Physiology* 45(12):1738-1748 をご覧下さい。

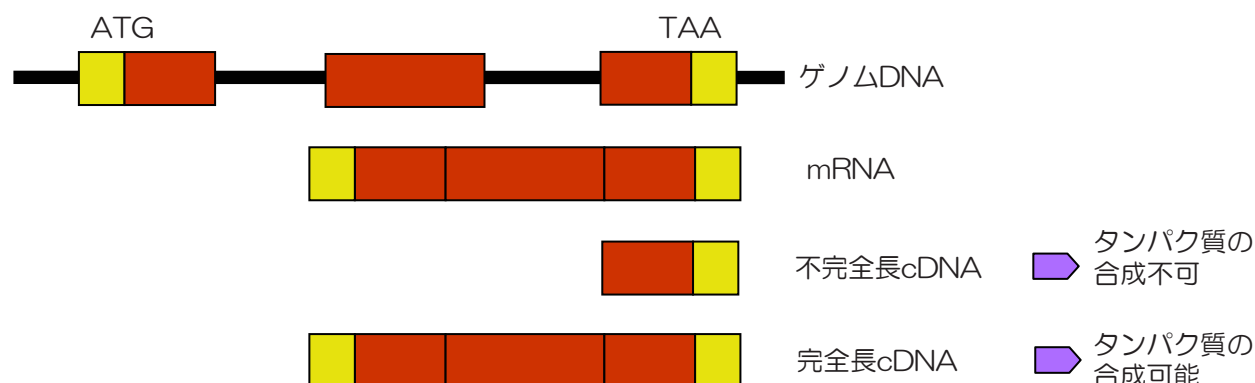


図1 完全長 cDNA の利点

cDNA とは、タンパク質の合成に必要な遺伝情報物質である mRNA（メッセンジャー RNA）を鋳型にして作られた DNA です。完全長 cDNA は、不完全長 cDNA と異なり、タンパク質合成に必要な全ての情報を保持し、完全長のタンパク質の合成、遺伝子のプロモーター領域の探索、ゲノム解析などに有効利用できます。完全長 cDNA ライブラリーは、完全長 cDNA を高効率で含むライブラリーです。

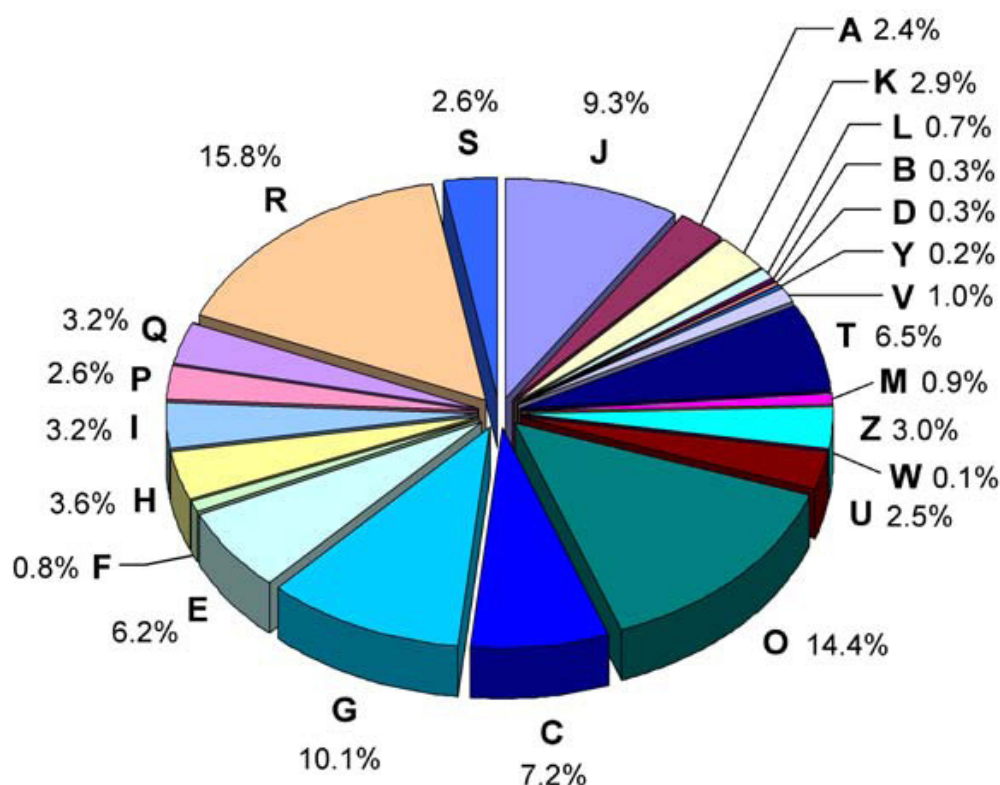


図2 ポプラ完全長 cDNA の機能分類

ポプラ完全長 cDNA をそれぞれの塩基配列がコードするタンパク質の機能によって分類しました。

J：タンパク質の翻訳，A：RNA のプロセッシングと修飾，K：転写，L：DNA の複製・組換え・修復，B：クロマチンの構造変換，D：細胞周期・細胞分裂の制御，Y：核構造，V：防御機構，T：シグナル伝達，M：細胞壁・細胞膜の合成，Z：細胞骨格，W：細胞外構造，U：細胞内輸送・分泌，O：タンパク質の翻訳後修飾・代謝，C：エネルギー生産・変換，G：炭水化物の輸送・代謝，E：アミノ酸の輸送・代謝，F：核酸の輸送・代謝，H：補酵素の輸送・代謝，I：脂質の輸送・代謝，P：無機イオンの輸送・代謝，Q：二次代謝産物の合成・輸送，R・S：不明

ヒノキの効率的な個体再生技術の開発

生物工学研究領域 形質転換研究室 丸山エミリオ毅、細井 佳久、石井 克明

背景と目的

外来遺伝子を導入した細胞から多数の成熟個体をつくりだす技術は、樹木の遺伝子組換えを成功させる要となる重要な技術です。針葉樹ヒノキでは、これまで効率的な個体再生技術はほとんど報告がありませんでした。そこで、基本培地や植物成長調節物質の種類及び濃度の変化、炭素源類やアミノ酸類の濃度、さらに活性炭、浸透圧調節剤やアブシジン酸等の添加の有無により、様々な組織培養条件を検索することで、未熟種子から不定胚（受精によらずに体細胞から生ずる胚、いわば種子の胚に相当する組織）を誘導し、大量のクローンヒノキを再生する技術を開発しました。

成 果

未成熟な球果から不定胚、幼木へ

研究材料として、ヒノキの中でも特に材質や成長の良い個体（茨城県林業技術センター精英樹）を選びました。この個体から未成熟な状態の球果（図 1 A）を 7 月上旬に採取し、表面殺菌した後、無菌的に未熟種子を取り出し、微量の植物ホルモン（ベンジルアミノプリンと 2, 4-ジクロロ酢酸）を添加した培地で培養しました。すると、活発に増殖する不定胚に分化可能な細胞が得られました（図 1 B、C）。そこで、この細胞を糖のマルトース、高分子物質の 1 種ポリエチレングリコール、活性炭、植物ホルモンのアブシジン酸を添加した培地で培養すると、不定胚が形成され、成長していきました（図 1 D、E、F、G、H）。さらに、成熟した不定胚を、植物ホルモンを添加しない培地で発芽させると、多数のヒノキ幼植物体が再生しました（図 1 I、J、K、L）。

1 つの種子から数万本のクローン苗が

この不定胚を経由した個体再生技術では、種子 1 個から数万本のクローン苗を短期間に得ることが可能です。再生したヒノキは苗畑で健全に育ちました。なお、不定胚形成細胞を液体窒素中（-196℃）に保存することで、分化能力を保持させたまま低温保存する技術も開発しました。

この不定胚を経由した個体再生系は、ヒノキの遺伝子組換えの基盤技術として、花粉アレルギーを生産しないヒノキや、病虫害に強いヒノキ等の作出への応用が期待されます。また、ヒノキ有用品種の大量増殖にも利用できます。一方、不定胚形成細胞の低温保存技術の開発は、長期にわたる森林遺伝資源の保存と供給を可能にします。

詳しくは、Maruyama, E. et al. (2005) Journal of Forest Research 10(1):73-77 をご覧下さい。

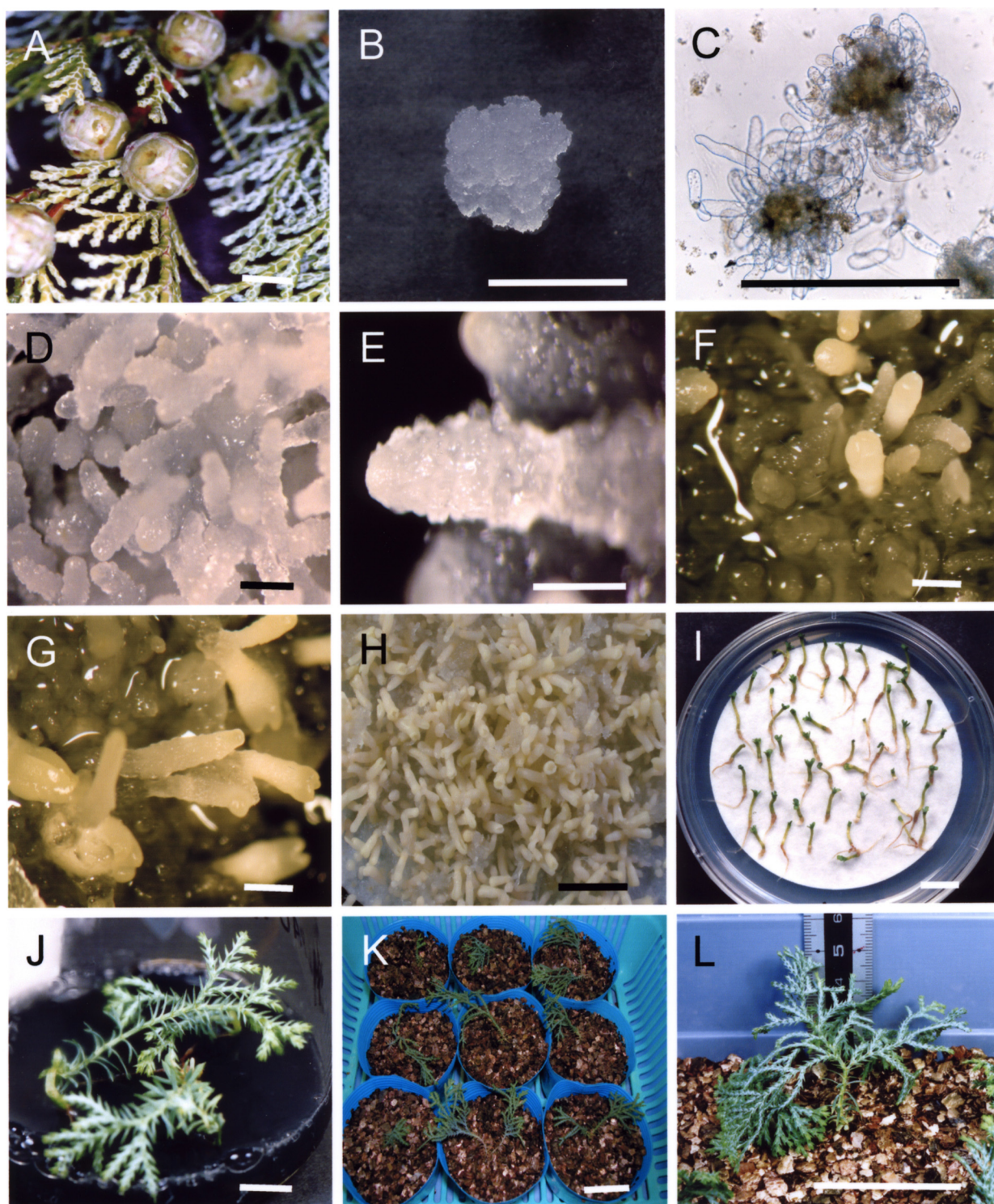


図1 不定胚を経由したヒノキ個体再生系

A：未熟球果 B、C：不定胚形成細胞 D、E、F、G、H：不定胚の成熟過程 I：不定胚の発芽
J：幼植物体 K、L：順化植物
スケール（C、D、E、F、G：1mm； A、B、H、I、J：1cm； K、L：5cm）

マツタケの個体識別が可能に —人工栽培技術の開発へ第一歩—

きのこ・微生物研究領域 きのこ研究室 村田 仁

背景と目的

マツタケは、樹木の根圏に作るマツタケ菌糸の集落「シロ」*の成長過程で子実体をつくります（図1）。マツタケの人工栽培法は未だ開発できていません。その要因の一つとして、これまでマツタケの個体識別法が確立されていなかったため、個々のマツタケ菌株の特性が把握できなかった点があげられます。農作物では、優良系統の選抜育種を経て、栽培可能な品種が作出されます。個体識別ができると、今までひとくくりにされていたマツタケの中から人工栽培に適した菌株を選抜することが可能になります。本研究では、生物の染色体進化に深く関係するレトロエレメント*を DNA マーカーに用いたマツタケの個体識別法を開発しました。

成 果

DNA マーカ選び

マツタケの染色体に数多く存在するレトロエレメント（marY1）の DNA マーカーとしての有用性に着目しました。核を有する生物は、非常に多くのレトロエレメントのコピーを染色体にもちます。同一生物種でも、個体間で生育環境の違いなどから染色体に異なる進化がおこるため、レトロエレメントの配置特性が異なります。つまり、レトロエレメントは個体識別に有効な DNA マーカーです。

個体識別が可能に

今回、marY1 の染色体上での配置特性を調べることで、マツタケの個体識別が可能になりました（図2）。この手法を用いると、2つの異なる個体を誤って同一と認識する確率は、理論的にほとんど無いと考えられます。たとえば、岩手県から山口県に至る日本産マツタケを調べると様々な個体群が存在し、単一のシロで

も複数の個体群が混在していることが明らかになりました。また、同様の傾向は、韓国、北朝鮮、中国、ブータン、さらにはモロッコやメキシコなど海外からのマツタケでも見られました。この結果、マツタケが遺伝的に多様な生物種であることが明らかになりました。

マツタケの個体識別ができることによって、人工栽培法の開発に適した菌株の選抜や栽培化試験の事後評価が可能になります。そして、菌株ごとに適したマツタケの生育環境や共生関係にある樹木との相性などを明らかにすることができるようになります。つまり、マツタケの多様性を踏まえた新たな人工栽培技術の開発の第一歩が開けたのです。

詳しくは、Murata, H., Babasaki, K., and Yamada, A. (2004) Mycorrhiza (online version) 16

*については、巻末の用語解説をご覧ください。

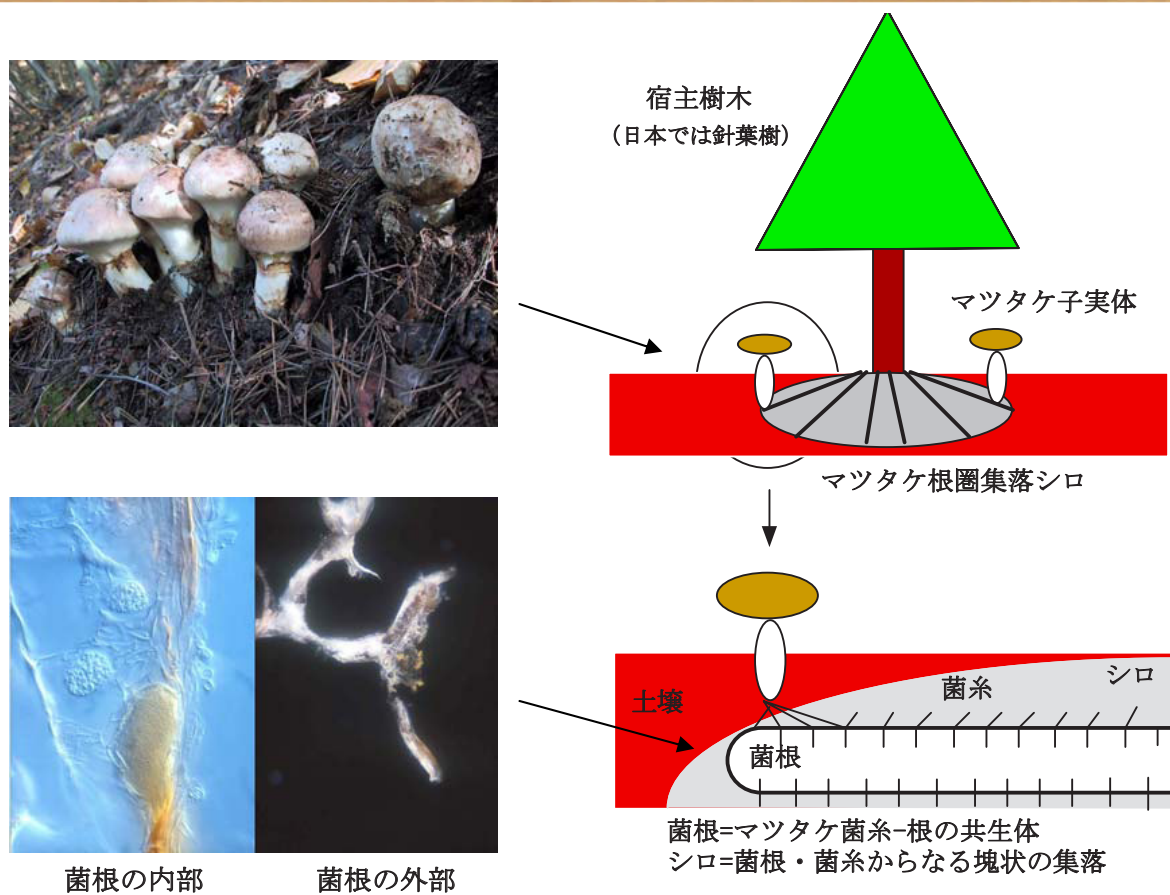


図1 マツタケ集落：菌根*とシロ

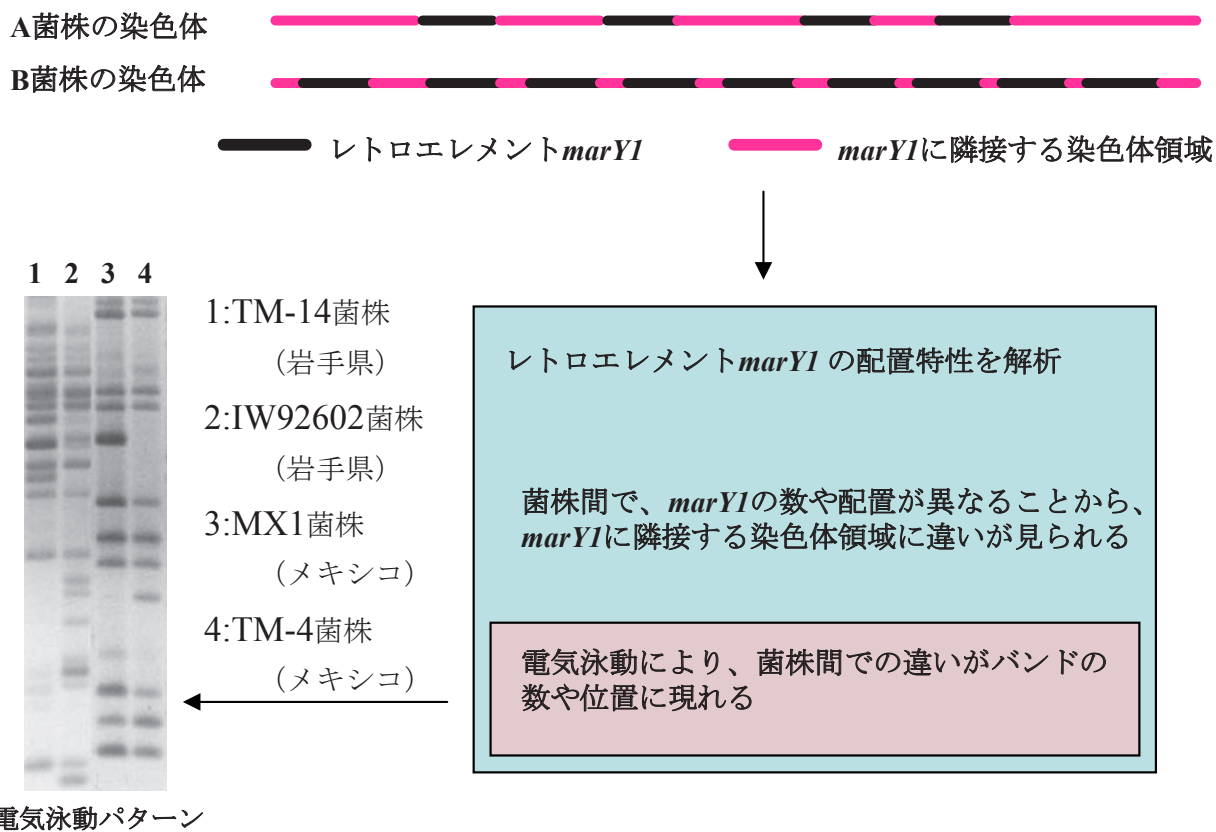


図2 レトロエレメントをDNAマーカーにした個体識別法

木材製品や紙製品の需要に影響する要因を探る

林業経営・政策研究領域 林業動向解析研究室 立花 敏
 関西支所 ランドスケープ管理担当チーム長 岡 裕泰
 林業経営・政策研究領域 林業システム研究室 田村 和也

背景と目的

私たちの生活は、地球上に存在する様々な資源を活用することにより成り立っています。例えば、木材製品や紙製品は森林資源を利用して作られ、私たちの生活に大きく役立っています。資源の無秩序な利用はその早期枯渇や地球環境悪化をもたらしますが、森林は適切に保全・活用すれば枯渇することのない資源であり、私たちの生活環境や地球環境の保全にも貢献します。

木材製品や紙製品に対する需要は、昔に比べると大きく増えていますが、それはどのような要因に影響されるのでしょうか。このことを考える手始めとして、世界主要国の木材製品や紙製品の需要に焦点を当て、価格、経済水準、及び人口の影響を探ってみました。例えば、製品の価格が上昇すれば購入しようとする人（需要者）は買う量を減らしますし、所得が高まればより製品を多く購入するでしょう。人口が増加すると製品の需要量が増えます。それらの要因が確かに影響するのか、どの程度影響すると考えられるのかを示します。このことにより、将来需要の予測や、それに応える資源造成や加工施設整備を計画的に行うことも可能となります。

成 果

どうやって探るか

対象は、製材、合板、ボード（削片板や木質繊維板）、紙の原料となるパルプ、及び紙とし、それぞれの需要に影響を与えられとされる価格、所得、及び人口を取り上げて分析します。データには、1992～2000年の国連食糧農業機関（FAO）などの公表データを用い、主要な生産国と消費国として日本、アメリカ、ロシア、中国などの合計21カ国を対象に、時系列データと国データとを組み合わせデータセットを作成し、パネル分析の方法を採用しました。

分析の結果は

需要量を国の総量と国民一人当たり量でとり、所得水準を国内総生産と国民一人当たりで考えます。分析結果の主なものを図にしました。この中では価格と国内総生産の総数で見た図1、一人当たりで見た図2の結果が比較的良好と判断できます。

価格については、ボードやパルプ、紙に対する推定で、マイナス0.08～0.38の弾性値を得ました（図1、図2）。つまり、価格が1%高まったときに、その国の需要

量が0.08～0.38%減少することを表します。紙を例にとると、総需要量は、価格が1%高まると0.38%減少し、国内総生産が1%高まると0.58%増加するという結果です（図1）。また、人口については、1%増加すると、合板、ボード、パルプ、紙が1.3～4.7%増加するという結果です（図3）。人口の1%増加に対して、需要が1%程度で増加すると期待されますので、はるかに大きい推定結果です。対象とする国が大小様々でかつ期間が9年間と短いため、推定が不安定になった可能性があります。

かつて行われた諸外国の関連研究に比べると、価格や所得の影響は小さめに推定されましたが、1990年代においても主要国の林産物需要に価格や所得が有意に影響したことや林産物によりその程度が異なることが分かりました。今後はさらに精緻な分析を進め、将来需要の予測へと結び付けていきます。

本研究は、交付金プロジェクト「森林・林業の資源的、社会経済的長期見通し手法の開発」による成果です。

この部分に焦点を当てます

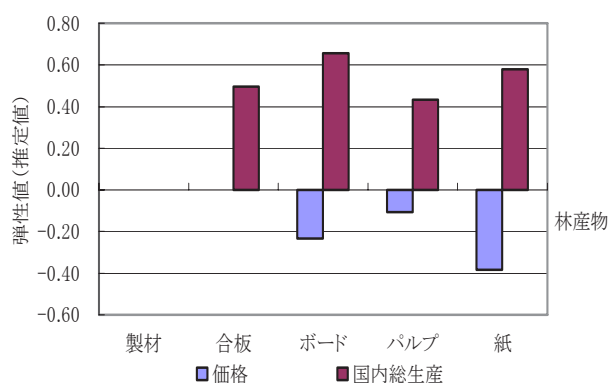


図1 製品別総需要量への価格と国内総生産の影響

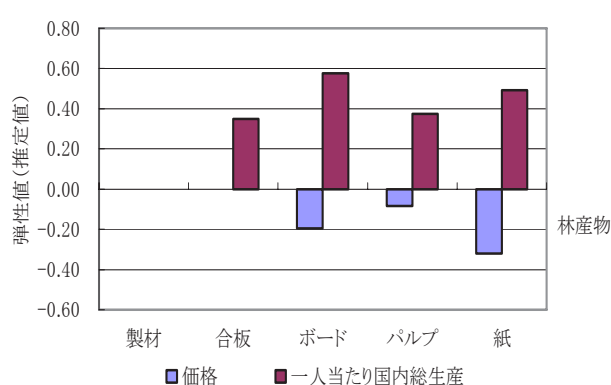


図2 製品別一人当たり需要量への価格と国内総生産の影響

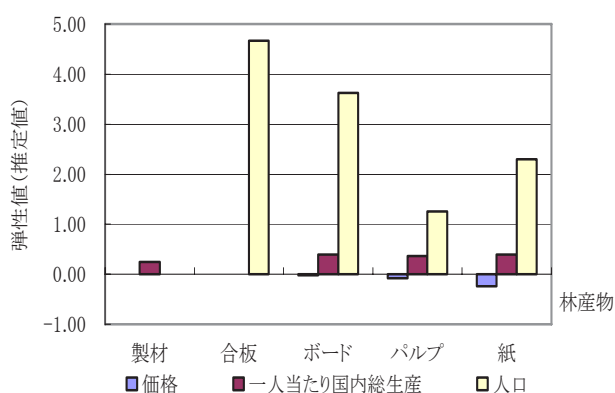


図3 製品別総需要量への価格と国内総生産と人口の影響

注1:これらの推定は、統計学の検定に基づき、固定効果(ダミー変数を持つ最小2乗法)モデルを用いました。

注2:図中の数値は各要因の需要量への影響を表します。-0.5であればマイナス50%の影響があるという推定結果になります。

注3:当てはまりの良さを示す R^2 は全ての林産物で0.97以上であり、このモデルで97%以上説明されています。図1や図2の製材の場合、ダミー変数(国ごとの差異や年の違い)により説明されたと考えられます。

用語解説

マイクロサテライトマーカー

親子鑑定や近縁関係の調査の際に、用いられる DNA マーカーです。この DNA マーカーは個体識別能力が非常に高いため、効率的にしかも高い確率で近縁関係の推定を行うことができます。

硝酸

窒素化合物の一種（化学式は HNO_3 ）。通常、水中では硝酸イオン態で存在しています（化学式は NO_3^- ）。 mg L^{-1} ：ミリグラムパーリットル。水 1 リットル中に含まれる物質の量（mg）を示しています。

主索

空中に張り渡したワイヤーロープの上を走行する搬器により木材を吊り下げて運搬する作業システムのことです。

タワーヤーダ

簡便に架線集材できる人工支柱を装備した移動可能な集材機です。急傾斜地での作業に向いています。

フォワーダ

木材を荷台に積載して運び出す、車両型の林業機械のことです。

スキッダ

木材をけん引して運び出す、車両型の林業機械のことです。

架線系

支柱を備えたタワー式の車両や、ウインチを装備した車両からくりだしたワイヤーロープにより木材を運搬するシステムのことです。

近赤外分光法

脳波に代わり、ここ数年、急速に進歩してきた近赤外光を使った脳活動測定法。脳に酸素を供給する血液の状態を 1 秒ごとに測定することにより、リアルタイムで脳の活動状態を知ることができます。

前頭前野

人間の脳の中で高次機能を担っている部分。例えば、暗算等によって活動します。リラックスしたときには、その活動が鎮静化します。

パーセンタイル

パーセンタイルとは、測定値の分布（ばらつき）を小さい方から並べてパーセントで見た数字で、例えば、5 パーセンタイル値は、100 の測定値の中で低い方から 5 番目以内の測定値のことです。

シロ

マツタケの根圏集落。菌根と気中菌糸が根圏で発達して出来た塊のことです。

レトロエレメント

染色体上のある位置における DNA がいったん RNA に転写され、RNA が逆転写酵素の働きで相補的 DNA に写しかえられて染色体上の他の位置に再挿入される場合の、この転移する DNA の総称のことです。

菌根

植物の根に菌類が侵入して形成される構造のことです。

表紙写真の樹種

- 1 ブナ
- 2 サキシマフヨウ
- 3 ミズナラ
- 4 コアジサイ
- 5 ノリウツギ
- 6 バクチノキ
- 7 サクラツツジ
- 8 ホナガタツナミ
- 9 イヌシデ
- 10 ガマズミ
- 11 ウツギ



平成 16 年度 森林総合研究所 研究成果選集

発行日	平成 17 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	企画調整部研究情報科
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	

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。

