

平成22年版

# 研究成果選集

2010



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 22 年版研究成果選集」をお届けいたします。

森林総合研究所が百周年（平成 17 年）を迎えたのを機に、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。これを実現するための研究開発ロードマップ「2050 年の森」\*を平成 20 年 11 月に公開しました。

研究成果の社会還元、産学官連携の一層の推進をはかるために、昨年 1 月に産学官連携推進室を設置し、本年 4 月に、企画部産学官連携推進調整監とその下に産学官連携推進室、さらに四国支所にも産学官連携推進調整監を設置して体制の強化を図りました。

第 2 期中期計画（平成 18-22 年）\*では、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。

開発研究においては、

「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」

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。

基礎研究は、

「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」

の 2 つの重点分野からなっております。

これら 5 つの重点分野の下には、さらに 12 の重点課題を設定しました。

研究所においては、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 22 年 3 月までの、おもに中期計画 4 年目の研究成果をとりまとめ、平成 22 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も用いました。

皆様の参考になれば幸いと存じます。

2010 年 7 月

独立行政法人森林総合研究所 理事長 鈴木和夫

\* 詳細は森林総合研究所 HP <http://www.ffpri.affrc.go.jp/index-j.html> 参照のこと

# 森林総合研究所 平成 22 年版 研究成果選集

## 目 次

### 重点研究

#### 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

台風被害による森林生態系の CO<sub>2</sub> 放出量の増加 ..... 4  
台風被害をうけた落葉広葉樹林において、風害以前は光合成による CO<sub>2</sub> 吸収量が土壌や枯死木による CO<sub>2</sub> 放出量を上回っていました。しかし風害後は両者が逆転し、森林生態系として CO<sub>2</sub> の放出に変化することが判りました。

シベリアのタイガでは下層植生が森林の炭素循環を左右する ..... 6  
中央シベリアの永久凍土地帯の落葉タイガにおいて、林床を覆う地衣やコケなどの下層植生が土壌の温度環境へ及ぼす影響を調べ、森林全体の炭素循環に重要な役割を果たしていることを明らかにしました。

2050 年までのスギ林の炭素吸収量を予測する ..... 8  
森林の炭素循環モデルを開発し、スギ林を対象に 2050 年までの炭素吸収量の変化を予測しました。

針葉樹 11 種の温暖化に対する脆弱性の評価 ..... 10  
日本に分布する針葉樹 11 種について、温暖化が生育地に与える影響を予測し、温暖化に対して脆弱な種と地域を明らかにしました。

REDD+ 実現のため、衛星リモートセンシングと地上観測を組み合わせ、  
熱帯林からの炭素吸排出量をモニタリングする ..... 12  
減少・劣化が進む熱帯林からの炭素吸排出量をモニタリングする手法を開発しました。

##### 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

水にも油にも溶けるリグニンの驚くべき高機能とは ..... 14  
水にも油にも溶ける性質（両親媒性）を付与した「両親媒性リグニン」の製造に成功しました。両親媒性リグニンは、高性能のコンクリート混和剤や木質バイオエタノール製造コストを低減させる酵素安定化剤として利用可能でした。

木質バイオマスの大量収集に適した地域を特定する ..... 16  
林地残材や製材工場残材等の木質バイオマスの発生量と供給コストから供給可能量を推計し、発電所やエタノール工場等の大規模プラントの設置に適した地域を推定しました。

#### 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

沖縄島ヤンバル地域の森の利用と生物多様性 ..... 18  
沖縄島北部「ヤンバル」地域において、原生的な森林の調査と、生物多様性に配慮した施業について調べました。

広葉樹の遺伝的多様性を守るために ..... 20  
広葉樹の遺伝的多様性を保全するために分布域全般の遺伝的多様性や遺伝的な違いを明らかにして、主要広葉樹について種苗の移動範囲を示す遺伝的ガイドラインを提案しました。

菌床しいたけ害虫ナガマドキノコバエを捕らえる LED 誘引捕虫器の開発 ..... 22  
「光」と「匂い」の相乗効果でナガマドキノコバエ成虫を誘引し、強力な粘着シートで捕らえる、「LED 誘引捕虫器」を開発しました。

##### 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

岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴と発生機構 ..... 24  
岩手・宮城内陸地震で発生した崩壊の地質、地形的影響について解析を行い、火山地帯特有の堆積構造が特に影響を与えていることを明らかにしました。この結果をもとに地質・地形別の発生率から危険度マップを作成しました。

荒廃地などの早期緑化に貢献する「菌根形成・管理マニュアル」を作成 ..... 26  
災害跡地などの植生の回復に、菌根菌を感染させた樹木苗を活用するため、菌根菌の採集から、菌の分離、樹木苗への接種方法について、マニュアルにまとめました。



## 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

**森林での体験活動は幅広い環境教育に貢献** ..... 28  
森林体験活動の内容には、レクリエーションなど自然とのふれあい、自然観察など自然環境、林業体験や木工など森林資源、地域の暮らしなど地域文化の、4つの異なる要素が含まれていることを明らかにしました。

**森林生態系が社会にもたらす様々なサービスの評価に関する研究** ..... 30  
広葉樹林には生物多様性が社会に大きな恩恵をもたらす昆虫類が多く、山菜やキノコの採取もさかんです。また、森林資源に依存する地域住民ほど、森林保護よりも利用を重視していることがわかりました。

## 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

**長期優良住宅や公共建築物部材の耐朽性を短期間で見極める** ..... 32  
保存処理木材や保存処理木質材料の耐朽性評価には、これまで長い年月が必要とされていましたが、試験体サイズや評価指標を見直すことで耐朽性評価にかかる年月を大幅に低減させることができました。

**保存処理合板の基準作成に必要とされる諸課題を解決** ..... 34  
保存処理合板は長期優良住宅等の構造部材の一つとして期待されていますが、まだ日本農林規格では規定されていません。そこで、保存処理合板の日本農林規格作成に必要な諸課題について検討し、問題点の解決を図りました。

## 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

**強度間伐作業マニュアルの作成** ..... 36  
間伐遅れ林分に対して強度な間伐を行った場合の、林分成長や材質への影響評価、風害や虫害のリスク評価、伐出コストダウンの推定、安全かつ効率的な作業システムの提言を行い、施業指針として取りまとめました。

**生産性の向上に向けた作業システムの開発** ..... 38  
現地の諸条件に応じ、路網・機械・作業システムが一体となった改良型の伐出システムの試験を3箇所の間伐林分において実施した結果、生産性は各箇所とも目標とした10m<sup>3</sup>/人日を達成し、作業日報による実績調査では15～20m<sup>3</sup>/人日を達成した例が観測されました。

**国産樹種のコンテナ育苗技術の開発** ..... 40  
育苗・造林の省力化・低コスト化のため、国産樹種に適応したコンテナ育苗技術を開発しました。

### 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

**スギで実現、火事に強い耐火集成材の開発**  
ー 14階建て純木造を可能にする2時間耐火構造開発に向けてー ..... 42  
スギ材だけで構成された集成材では初となる1時間耐火構造の柱・梁を開発するとともに、この技術が2時間耐火構造の開発にも適用できることを明らかにしました。

**シイタケのひだ褐変化に関わるラッカーゼ遺伝子の染色体上での位置の決定** ..... 44  
シイタケの収穫後のひだの褐変化は、シイタケの商品価値を著しく下げるため、褐変化のしにくい品種を育成することが求められます。そこで、シイタケのひだの褐変化に影響するラッカーゼ遺伝子の染色体上での位置を決定しました。

## 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

**オゾン耐性遺伝子組換えポプラは耐乾燥性や耐塩性を保持する** ..... 46  
本研究では、大気汚染で問題とされる高濃度のオゾンに耐性を示す遺伝子組換えポプラを作出しました。また、この組換えポプラが耐乾燥性や耐塩性などの他の環境ストレス耐性を保持することを明らかにしました。

**スギ花成制御遺伝子の単離と機能解析** ..... 48  
スギの花形成のメカニズムを明らかにするため、花の形成に関連することが予想される遺伝子群を単離し、それぞれの特性について解析しました。その結果、スギの花形成を制御する2つの遺伝子を特定しました。

**貴重なヒノキ天然林の遺伝的特徴を評価する** ..... 50  
ヒノキの森林面積のうち天然林はごくわずかです。分布範囲全体を網羅するように北限のいわきから南限の屋久島まで、25カ所の天然林の遺伝的な特徴を明らかにしました。



## イア b 木質系資源の機能及び特性の解明

**リグニンの高度利用が可能な同時糖化湿式粉碎法を開発** ..... 52  
木材の主要成分であるリグニンを利用するために、木材中のリグニンをほとんど変性させないまま取り出す「同時糖化湿式粉碎法」という技術を新たに開発しました。

**品種や樹幹内部位によって異なるスギの収縮性** ..... 54  
木材の乾燥で生じる割れや狂いの原因となる収縮率が、スギの品種や樹幹内部位によって異なること、スギでは、細胞壁内のセルロースマイクロフィブリルの配向方向に大きく影響されることを明らかにしました。

## 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

**タワーフラックス観測によるフラックス・気象データの公開** ..... 56  
国内 6 か所の森林で行っている大気から吸収する二酸化炭素の量（フラックス）の観測結果をデータベース化し、森林総合研究所のウェブサイトを通じて公開しました。

**たくさんのイオウを捕まえて放さない火山灰土** ..... 58  
日本を広く覆っている火山灰土は欧米の土壌の数倍ものイオウを貯めており、そのイオウを捕まえる力は火山灰起源の成分に由来していることが分かりました。

### イイ b 森林生態系における生物群集の動態の解明

**森林動物の遺伝的交流を明らかにする** ..... 60  
河川に住む魚類を対象に開発された遺伝的交流の大きさを推定する方法が、森林性の小型哺乳類でも利用できることを明らかにしました。

**生物の種を超えた遺伝子の転移  
—マツノマダラカミキリの常染色体上に寄生細菌ボルバキアの遺伝子を発見—** ..... 62  
マツノマダラカミキリの常染色体上に昆虫類の寄生細菌として知られるボルバキアの遺伝子が大規模に転移していること、すなわち生物の種の壁を超えて遺伝子が水平転移していることを突き止めました。

## 林木育種

**無花粉スギの大量生産技術の開発** ..... 64  
国民的課題となっているスギ花粉症対策への根本的な対策として、花粉を出さないスギ品種の開発を行い、これを組織培養等によって効率的に大量生産するためのシステムを開発しました。

**精英樹 F<sub>1</sub> の成長量はこんなに大きい！** ..... 66  
成長の良い精英樹同士を掛け合わせ、より成長が優れた品種の開発を進めています。中には 5 年生で樹高が 7m に達するほどのすばらしい成長を示すものがあり、下刈省力化等への寄与が期待できます。

**中国でマツノザイセンチュウに強いマツをつくる** ..... 68  
マツ材線虫病の被害が広がっている中国にて、被害の程度が最も深刻な在来樹種のバビショウ (*Pinus massoniana*) に対し、中国安徽省とのマツノザンセンチュウ抵抗性育種の共同研究により、我が国以外では初めて抵抗性検定の合格木を作出できました。

## 台風被害による森林生態系の CO<sub>2</sub> 放出量の増加

北海道支所

気象環境研究領域

宇都木 玄、山野井 克己、溝口 康子、

阪田 匡司、飛田 博順、上村 章

北村 兼三

### 背景と目的

地球温暖化緩和策として森林による二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 吸収機能が期待されていますが、森林が台風などの自然攪乱を受けた場合、攪乱前と同様な CO<sub>2</sub> 吸収機能を発揮できるでしょうか？地球温暖化にともなう台風の大型化が予想されており、森林の CO<sub>2</sub> 収支 (吸収量と放出量のバランス) を評価するうえで、台風被害の影響を無視できません。そこで台風被害を受ける前後の森林生態系 (植物・土壌を含んだ森林全体) の CO<sub>2</sub> 収支を計算したところ、風害前は光合成による吸収量が土壌や枯死木による放出量を上回っていましたが (全体として吸収)、風害後は両者が逆転し、森林生態系として CO<sub>2</sub> の放出に変化することが明らかとなりました。

### 成 果

#### 森林植物の光合成による CO<sub>2</sub> 吸収

2004 年 9 月の台風 18 号によって、森林総合研究所北海道支所の実験林は大きな風害を受けました。特にシラカンバやミズナラを中心とした落葉広葉樹林の約 9% が倒壊しました (図 1)。実験林では風害以前の 2000 年から、タワーを建てて森林生態系の CO<sub>2</sub> 収支を観測してきましたが、台風で壊れたタワーを翌年には再建し、観測を再開しました。森林は光合成によって CO<sub>2</sub> を吸収しますが (総光合成量)、その値は風害前後でそれぞれ年間 48 トン/ha 及び 46 トン/ha であり、両者に大きな差はありませんでした。風害後、ササ群落が著しく成長してきました (図 2)。風害前のササ群落の現存量は、乾燥重量で 5~8 トン/ha でしたが、風害 5 年後の明るい場所では 40 トン/ha を超えていました。計算の結果、ササ群落の光合成量が、倒れた樹木により失われた光合成の減少量を補っている事がわかりました。

#### 生きている樹木からの CO<sub>2</sub> 放出

風害後に生き残った樹木の成長量は、風害前と同じでした。よって風害前後で、幹枝の呼吸による CO<sub>2</sub> 放出量は大きく変化していないと考えられます。

#### 枯死木からの CO<sub>2</sub> 放出

台風による枯死木の容積密度の変化を調べ (図 3)、

CO<sub>2</sub> の放出量を計算しました。樹種によって放出量は異なりますが、平均すると 5 年間で枯死木中に含まれる炭素の 19% が放出されました。この値は、生きている樹木の幹枝の呼吸による CO<sub>2</sub> 放出量の 1.6 倍に相当します。

#### 森林土壌からの CO<sub>2</sub> 放出

風害後の森林土壌からの年間 CO<sub>2</sub> 放出量は、風害前に比べて 1.3 倍大きくなりました。また風害前後で植物の根呼吸による CO<sub>2</sub> 放出量は変化しませんでした。土壌微生物による CO<sub>2</sub> 放出量が大きくなりました。

#### 台風被害後の森林生態系は CO<sub>2</sub> の放出源？

風害前は樹木の総光合成量が、呼吸などによる CO<sub>2</sub> 放出量よりも多く、年間 9.2 トン/ha の CO<sub>2</sub> を森林生態系に吸収していました。一方風害後は倒れた樹木や森林土壌からの CO<sub>2</sub> 放出量が増加し、森林生態系から年間約 6.2 トン/ha の CO<sub>2</sub> が放出されました。つまり台風被害は森林生態系の CO<sub>2</sub> 収支を大きく変えてしまいました (図 4)。今後も被害の進行や回復によって CO<sub>2</sub> 収支がどのように変化するのか、精度の高い観測を継続する必要があります。

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金 (19380095) による成果です。



図1 2004年9月に来襲した台風18号による台風被害の様子。シラカンバやミズナラが根ごと倒れ（根返り）、落葉広葉樹林の9%が全壊、25%が何らかの被害を受けました。



図2 樹木が風害を受けて、明るくなった場所に成長するササ群落。手前のササが無い部分は、調査で刈り取った場所です。



図3 台風被害で枯死木となり、5年間経過したミズナラ。樹種や大きさによって異なりますが、菌類による腐朽が見られます。

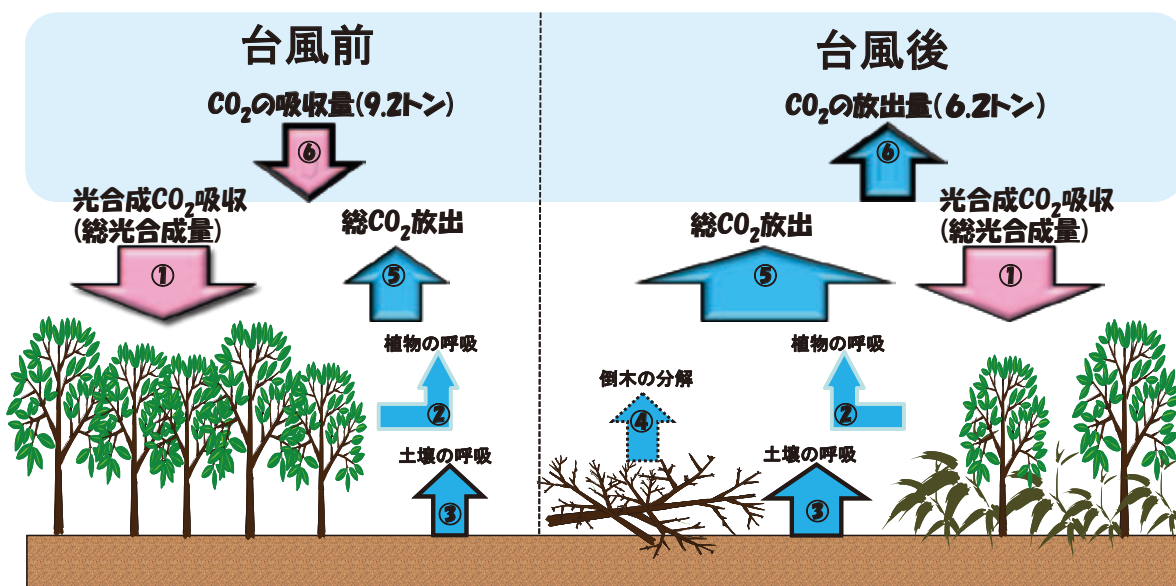


図4 台風被害前後のCO<sub>2</sub>収支。光合成によって吸収されるCO<sub>2</sub>(①)や植物から呼吸によって放出されるCO<sub>2</sub>(②)は台風前後で同じでした。しかし台風後は土壌のCO<sub>2</sub>放出量(③)が増加し、また枯死木からのCO<sub>2</sub>放出量(④)が加わり、総CO<sub>2</sub>放出量(⑤)が増加しました。①と⑤の差し引きの結果、台風前は森林に吸収されていたCO<sub>2</sub>が、台風後は逆に放出されることがわかりました。



## シベリアのタイガでは下層植生が森林の炭素循環を左右する

植物生態研究領域  
立地環境研究領域

梶本 卓也  
松浦 陽次郎、森下 智陽

### 背景と目的

中央シベリアの永久凍土地帯には、落葉針葉樹のグメリニカラムツが優占するタイガ\*が広がっています。ここでは、約 100 年に一度起こる山火事の跡地にカラムツが一斉に更新しますが、森林が発達してくると、林床はやがて地衣やコケ、低木類などで厚く覆われてしまいます。これらの下層植生は、その被覆によって地温の上昇を抑え凍土を融けにくくするなど、土壌の温度環境への影響をとおして、カラムツの成長や森林の炭素循環を大きく左右していると考えられます。しかし、こうした下層植生が凍土地帯の森林で果たす役割については、まだ十分に解明されていません。そこで、この研究では野外で下層植生を人工的に剥ぎ取る試験を行って、土壌の温度環境への影響を調べました。

### 成 果

#### 下層植生の断熱効果

永久凍土と言っても、夏には地面の表層が一部解けます。この毎年融解する部分は活動層と呼ばれ、カラムツや林床の様々な植物は(図 1)、ここに根を張り水分や養分を吸収することで生育できます。林齢が約 100 年生の林で活動層の深さを測定したところ、林内では 60～70cm でした。一方、同じ林で下層植生を剥ぎ取った場所では(図 2)、140～150cm と 2 倍程度に達していました。このことは、下層植生が繁茂すると、その被覆による断熱効果で地温が下がり、凍土の融ける深さが浅くなることを物語っています。

さまざまな林齢の林で活動層の深さを調べてみると、一般に山火事で更新した直後の若い林では深く、その後林齢とともに徐々に浅くなる傾向がみられました(図 3)。さらに、同じ林齢の林でも、下層植生の被覆程度が大きいほど、活動層はより浅いことがわかりました。このように、永久凍土地帯では、活動層、すなわち植物が根を張って生育していくために必要な土壌空間の大きさは、下層植生の発達程度に大きく依存しています。

#### 炭素循環からみた下層植生の役割

私たちが調査したシベリアのタイガでは、カラムツの成

長は更新後しばらく良好ですが、30～40 年経つと急激に衰えます。そして、森林の炭素固定量も著しく低下することがわかっています。このように成長が急に衰える現象は、下層植生が発達してくると、その断熱効果で地温が低下して活動層が浅くなり、養分の吸収も困難になることがおもな原因と考えられます。

シベリアでは、今後温暖化によって樹木や森林の炭素固定能は増大するものの、凍土の融解が進んで土壌の侵食や森林の劣化が起こるなど、悪い影響面も強く懸念されています。こうした影響を正確に予測するためには、下層植生が土壌の温度や養分環境の形成に果たす様々な役割について、さらに理解を深めることが大切です。

本研究は、日本学術振興会二国間(日露)交流事業・共同研究課題「中央シベリア凍土地帯カラムツ林生態系の種多様性と生産力に関する研究」(2008～2009 年度)による成果です。

詳しくは、Osawa A. 他編 (2010) Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests. Ecological Studies Vol. 209, Springer をご覧下さい。

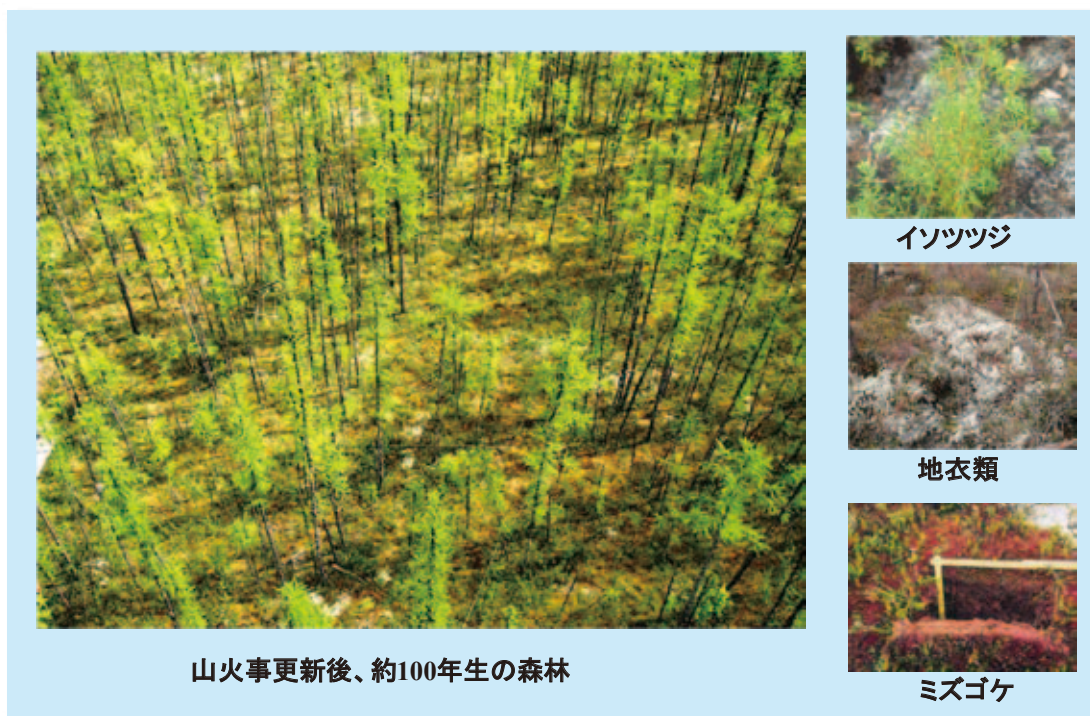


図1 中央シベリアのカラマツ林と林床のおもな下層植生

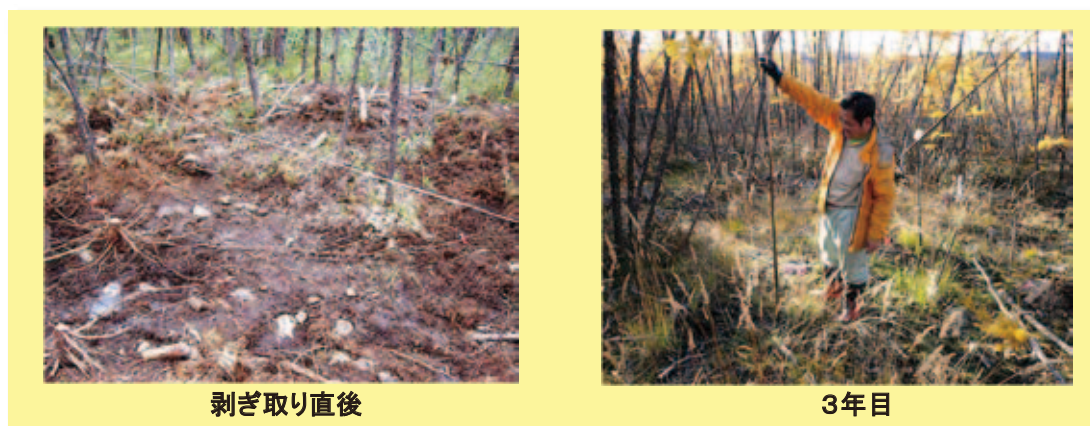


図2 下層植生の剥ぎ取り試験区

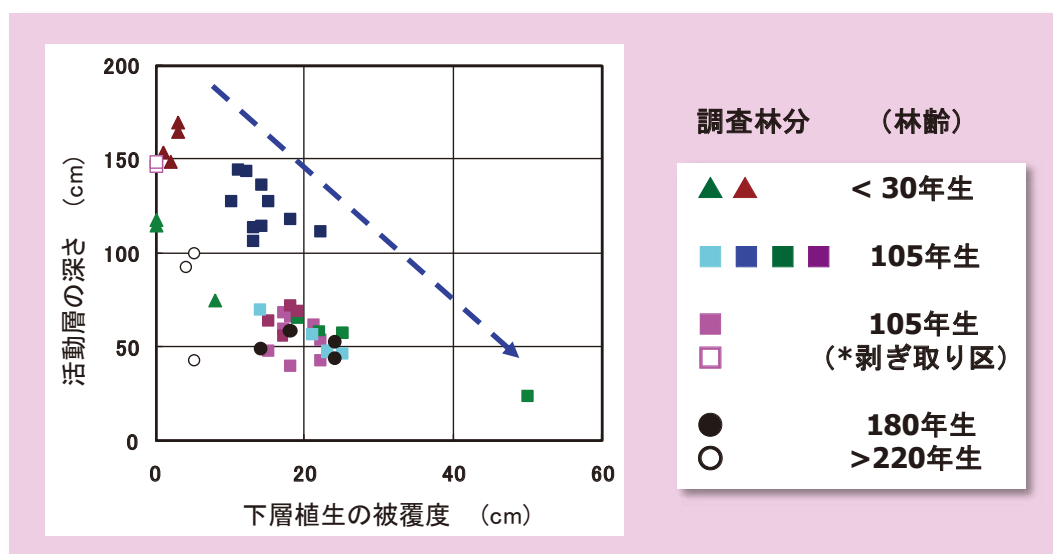


図3 下層植生の被覆度 (Ao 層の厚さ) と活動層の深さの関係



## 2050 年までのスギ林の炭素吸収量を予測する

森林管理研究領域

光田 靖

林業経営・政策研究領域

鹿又 秀聡

温暖化対応推進拠点

松本 光朗

### 背景と目的

地球温暖化問題が大きく取り上げられる中、温暖化を緩和する森林の炭素吸収機能に期待が集まっています。森林の炭素吸収量は気象条件と森林の状態、そして森林の取り扱いに大きく左右されます。今後、森林の炭素吸収量を適切に維持・管理していくためには、温暖化する気候を考慮しながら、長期的な視点に立った有効な林業政策を推進することが必要です。そのためには、気象条件、森林の状態および林業政策の影響を反映しながら炭素吸収量を予測できるモデルと、そのモデルを用いたシミュレーションが不可欠です。そこで、日本全国のスギ林を対象としてモデルを開発し、これを用いて 2050 年までのシミュレーションを行いました。さらに、複数の林業施策シナリオによる炭素吸収量の比較を行いました。

### 成 果

#### 森林炭素循環モデルの開発

森林の炭素吸収量を取り扱うためには、森林植生だけでなく、森林土壌や林業活動を含めた炭素循環を捉える必要があります。そこで、森林データベース、植生・土壌炭素循環モデル、林業モデルおよび気候モデルで構成される森林炭素循環モデルを開発しました（図1）。森林データベースは 1km 解像度メッシュの中にある森林について樹種別、年齢別面積を集約したデータベースです。炭素循環モデルは、森林植生における光合成や呼吸をととした炭素循環や、森林土壌における有機物分解に伴う炭素循環を計算するものです。森林データベースから森林の状態を初期値として受け取り、気候モデルから提供される気象データを入力値としてある年・月の炭素循環を計算し、これを元に森林データベースを更新し次の月に移ります。林業モデルは林業活動（主・間伐面積）を予測するモデルで、この予測に従った主伐・間伐によっても森林データベースを更新します。このように、森林炭素循環モデルは、森林データベースを次々に更新していくことにより、将来の森林全体の炭素蓄積量とその変動量（すなわち吸収量）を予測するという構造になっています。

#### 森林炭素循環モデルを使ったシミュレーション

森林炭素循環モデルを用いて 2005 年から 2050 年まで、日本全国のスギ林を対象として炭素吸収量を予測しました。気候モデルとして、MIROC3.2hi\* を約 1km 解像度に内挿したデータセットを利用しました。林業モデルでは、現状の傾向が継続すると仮定して予測を行いました。これらの条件下でシミュレーションを行ったところ、日本のス

ギ林の総炭素蓄積量は増加を続けるものの、年間の吸収量は次第に小さくなるという結果となりました（図2）。これは、主にスギ人工林の高齢化による成長量の低下が原因と考えられます。

次に、現状を延長した成り行きシナリオに加え、伐採量が半減、2倍になるシナリオ、伐採量が2倍となり再造林率が80%へと増加するシナリオと、4つの林業施策シナリオによる比較を行いました。その結果、伐採量が少ないほど総蓄積量および吸収量は高くなる傾向にありましたが、その一方、伐採量を2倍にし、再造林を促進したシナリオでは、吸収量が減少した後、増加に転じるという他と異なった結果となりました（図3）。このことは長期的な視点からは、主伐の増加と確実な再造林による人工林の更新が、炭素吸収量の維持に重要であることを示唆しており、同時に増産される木材を利用して排出削減を進めることが必要と考えられます。

#### 森林の炭素吸収量を考慮した林業政策を策定するために

本研究で開発した森林炭素循環モデルは、中長期での森林の炭素吸収量の予測をふまえて、適切な林業施策を検討する上で非常に有効です。今後は、対応樹種を拡張し、炭素循環モデルの信頼性を向上させるよう研究を進めていきます。

本研究は、農林水産技術会議プロジェクト研究「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」（平成 19-21 年度）による成果です。



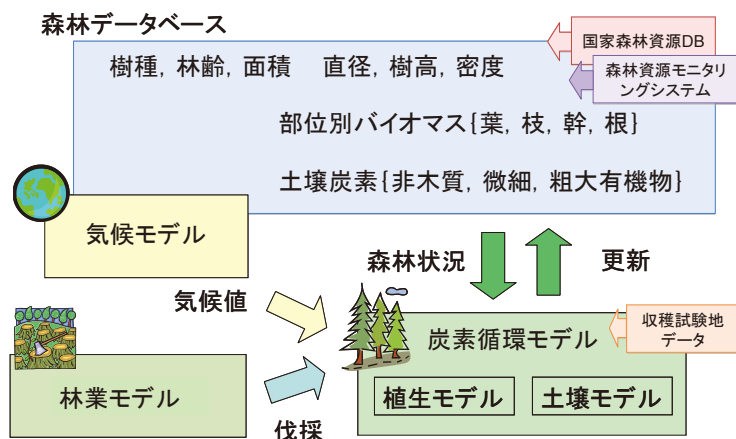
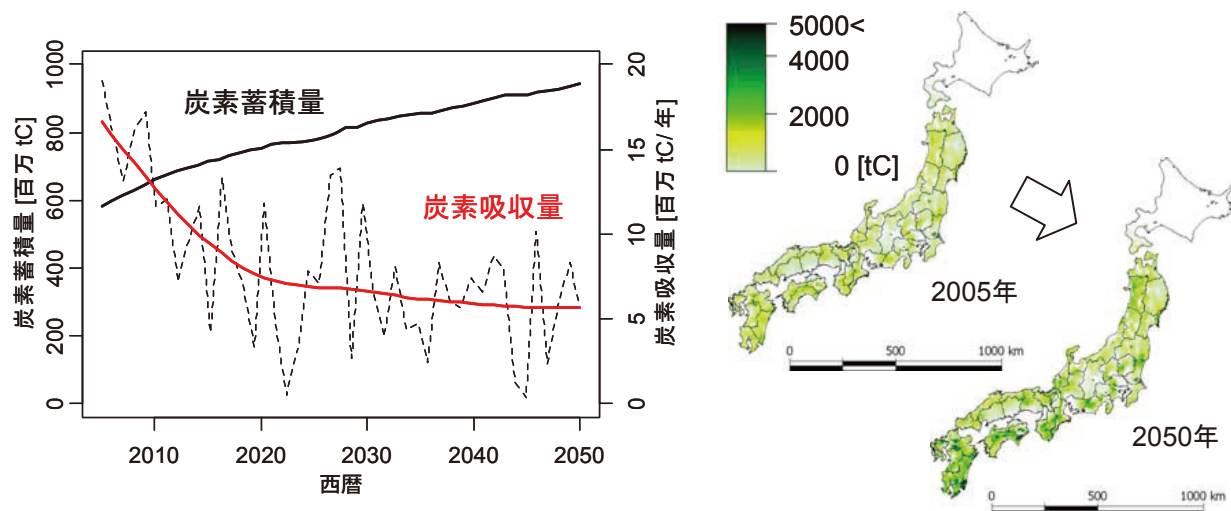


図1 森林炭素循環モデルの全体構造

森林データベースは、林野庁と森林総合研究所が共同開発した国家森林資源データベース、および森林資源モニタリングシステムを元に作成しました。また、炭素循環モデルは、国有林と森林総合研究所が長期間測定を継続している収穫試験地のデータを元に開発しました。



左図：幹、枝および葉の炭素蓄積量を対象とし、黒実線は総蓄積量（左軸、単位は百万炭素トン）、黒点線は年ごとの炭素吸収量（右軸、単位は百万炭素トン／年）、赤実線は炭素吸収量を平滑化したものを示しています。

右図：スギ林の1kmメッシュの総炭素蓄積量（単位は炭素トン）を、2005年と2050年について図化しました。地域的には、九州、四国、紀伊半島と、東北日本海側において、大きな増加が予測されました。

図2 日本全国のスギ林を対象としたシミュレーション結果

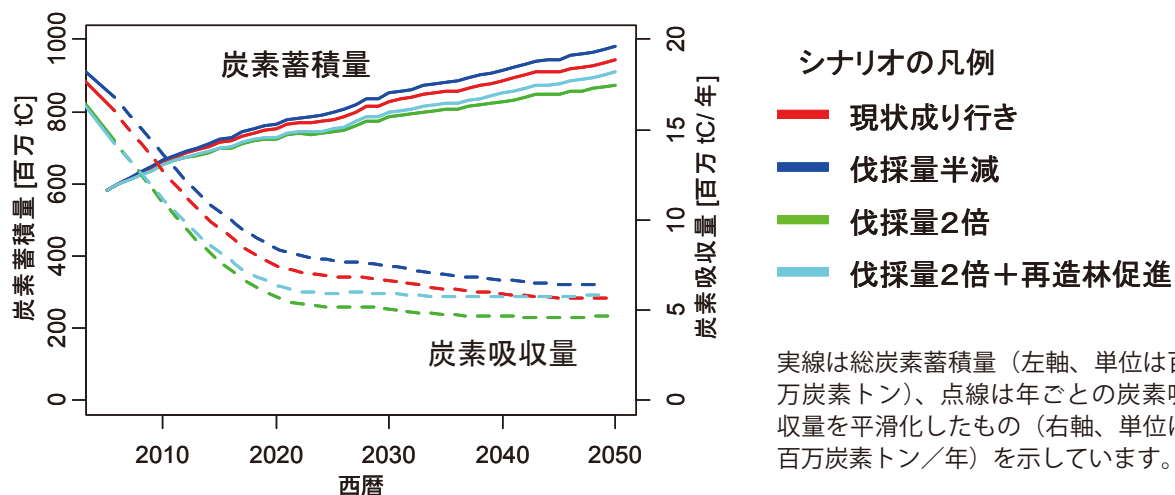


図3 4つの林業シナリオに基づくシミュレーション結果の比較

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 針葉樹 11 種の温暖化に対する脆弱性の評価

植物生態研究領域

田中 信行、中園 悦子、津山 幾太郎、

堀川真弘（現 トヨタ自動車バイオ緑化研究所）

北海道支所

松井 哲哉

### 背景と目的

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第四次報告書（2007）によると、今世紀末には地球の温度は 1.8～4.0℃上昇し、生態系や生物の生息域などに大きな影響を及ぼすことが予測されています。このような大きな気候の変化に、日本の自然林はうまく適応できるのでしょうか。自然林の構成樹種は現在の気候に対応して分布していると考えられますが、温暖化によって自然林の存続が危惧される地域をあらかじめ予測できれば、早めに対策（適応策）を立てることができます。このような目的から、日本の自然林の構成樹種で、暖温带から亜寒帯、高山帯まで異なる分布域をもつ針葉樹 11 種について、現在の分布を気候要因と関係づける統計モデルを作成し、そのモデルに気候変化シナリオを組み込んで将来の生育域を予測しました。

### 成 果

#### 予測の方法

予測の対象とする樹種は、北海道以北に分布するトドマツと本州以南に分布するシラビソ、イヌマキなどの 9 種および本州以北に分布するハイマツとしました。各樹種の分布データと現在の気候（気象庁, 1996）から算出した 4 つの気候変数（暖かさの指数<sup>\*</sup>、最寒月の日最低気温の平均値、夏期（5～9 月）降水量、冬期（12～3 月）降水量）を用いて、分布を気候変数から予測する分類樹モデルを作成し、このモデルに現在の気候（気象庁 1996）と 2 つの気候変化シナリオ（RCM20<sup>\*</sup>、MIROC<sup>\*</sup>）を組み込んで、各樹種の現在の適域（分布確率が予測精度を最大とする閾値以上の地域）を推定するとともに、将来（2081-2100 年）の適域を予測しました。ただし、ハイマツでは、冬期降水量の代わりに最大積雪量と冬期雨量を用いました。

#### 適域の変化

樹木の移動は種子の散布範囲に限られるため、温暖化にともなう樹種の分布の移動は、温暖化による気候帯の移動よりも著しく遅いと考えられます。また、人工林化や土地開発、海などの地形的要因による自然林の分断化が、さらに樹木の移動を困難にしています。そのため、100 年程度では気候が変化しても樹種の分布はほとんど移動しないと仮定すると、温暖化後の樹種毎の適域の面積は、本州以北でハイマツが 15～25%に減少するとともに、北海道でトドマツが 18～52%に、本州以南では亜寒帯樹種のオオシラビソ・シラビソ・コメツガが 0～18%に、冷温带樹種のウラジロモミが 2～18%に、中間温带樹種のモミ・ツガが 9～68%に減少することが予測されました。一方、

暖温带（一部亜熱帯）樹種のイヌマキ・ナギの適域は 86～100%が残存すること、また暖～冷温带性の稀少種トガサワラは 0～1%にまで減少すると予測されました。

#### 温暖化に対して脆弱な樹種と地域

11 種のうち高山帯樹種のハイマツや亜寒帯樹種のオオシラビソ・シラビソ・コメツガ、冷温带樹種のウラジロモミ、稀少種のトガサワラの計 6 種は、適域が全体的に減少するだけでなく、一部の地域からはほとんど消失すると予測されます。これらの樹種は、国立公園などの保護区に指定されている山岳地に現在多く分布しています。温暖化後に残る適域（逃避地）は、ハイマツ、オオシラビソ・シラビソ・ウラジロモミ・コメツガが中部山岳地域です。この地域の森林の保全が温暖化後の種や生態系の維持に重要と考えられます。また、トガサワラの実際の分布域は紀伊半島、四国であり、これらの地域では温暖化後に適域が殆どなくなってしまうことから、将来、絶滅を回避するために何らかの対策が必要になると考えられます。

詳しくは、次の論文をご覧ください。

田中 信行・中園 悦子・津山 幾太郎・松井 哲哉 (2009) 温暖化の日本産針葉樹 10 種の潜在生育域への影響の予測。地球環境, 14(2), 153-164.

Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Matsui, Y. Kominami and N. Tanaka (2009) Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*). Landscape Ecology, 24: 115-128.

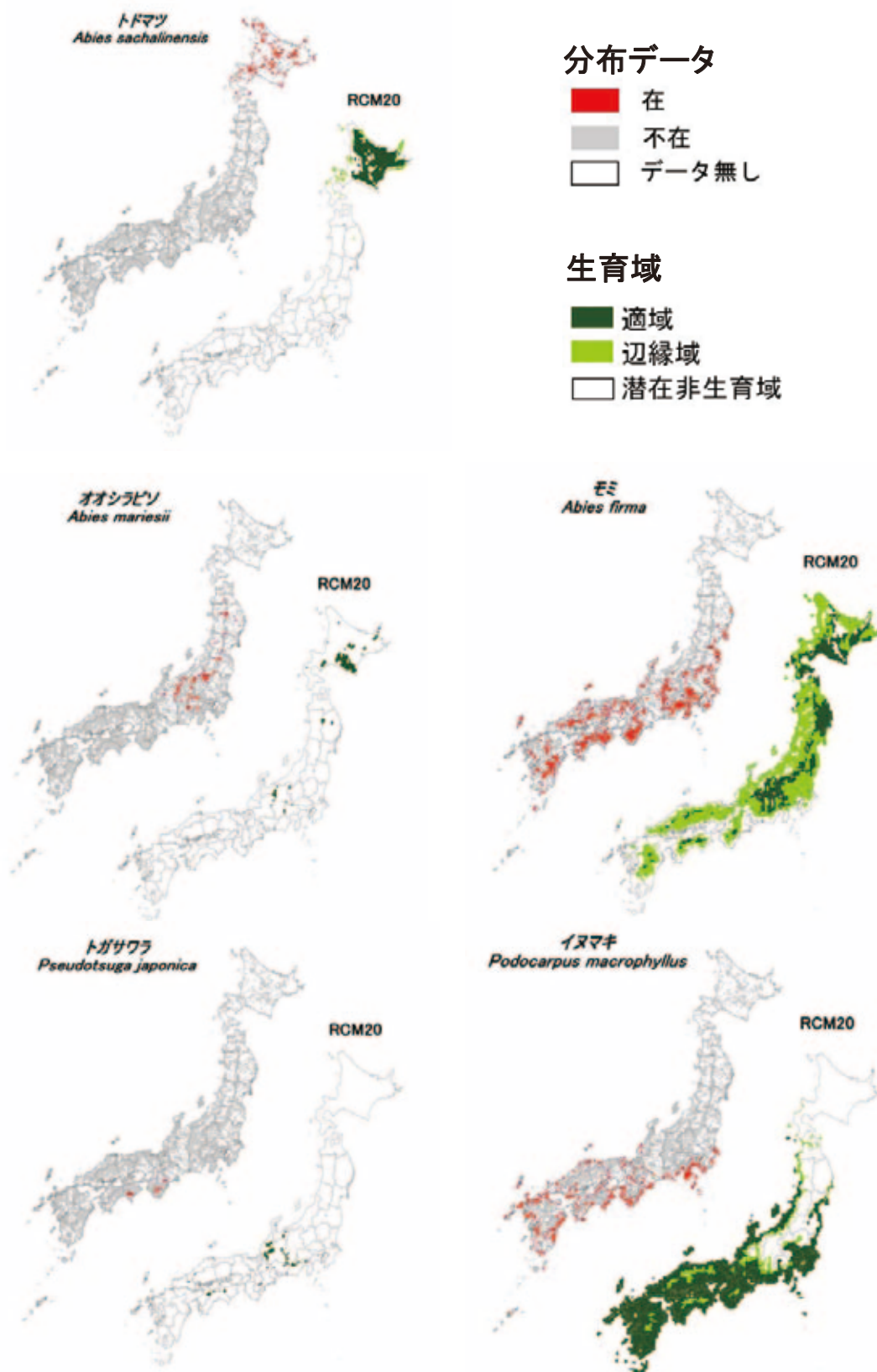


図1 主な5樹種の現在の分布データと、気候変化シナリオ（RCM20）による将来の気候条件における適域（分布確率が予測精度を最大とする閾値以上の地域）とその辺縁域（分布確率1%以上の地域）の予測。例えば、オオシラビソの適域は温暖化後に道内で拡大しますが、実際にはオオシラビソの分布は北海道に及ばず、温暖化後も海峡があるため北海道に分布拡大することは困難と考えられます。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。



## REDD+ 実現のため、衛星リモートセンシングと地上観測を 組み合わせ、熱帯林からの炭素吸排出量をモニタリングする

温暖化対応推進拠点

森林植生研究領域

森林管理研究領域

北海道支所

国際農林水産業研究センター

岐阜大学

清野 嘉之、松本 光朗

佐藤 保

高橋 與明

伊藤 江利子

古家 直行

粟屋 善雄

### 背景と目的

熱帯林の減少・破壊は 1950 年代から増え、今もとどまる気配がありません。排出される温室効果ガス量が膨大であることから、国連が中心になって、途上国の森林からの排出量を減らす新しいしくみ (REDD+ と略称される) (図 1) 作りを進めています。これに資するため、減少・劣化が進む東南アジアの森林を対象に、生態学的視点にもとづき、衛星リモートセンシングと地上観測を組み合わせ、森林からの温室効果ガスの吸排出量をモニタリングする手法を開発しました。

## 成 果

### モニタリングの手順

吸排出量を計測する方法には成長量・損失量法と蓄積変化法があります。前者は、成長による吸収量と伐採など攪乱による損失量との差を吸排出量とするもので、林地生産力や伐採量・森林火災などのデータが必要です。しかし、違法伐採などによる森林劣化では伐採量の把握は困難です。このため、炭素蓄積量の変化を吸排出と捉える蓄積変化法が適切と考え、東南アジアで実行可能と考えられる複数の方法を選んで、取るべき手順を示しました (図 2)。まず、森林タイプ・土地利用タイプをリモートセンシングなどで区分し、各区分の森林面積を把握します。つぎに、各タイプの単位面積当たり炭素蓄積量を 5 つの方法のいずれかで推定します。そして、両者を乗じてタイプ別の炭素蓄積量を把握します。これを、時間をおいて繰り返し、炭素蓄積量の差分から吸排出量を推定します。

### 森林の区分と面積のモニタリング

森林の区分や面積の計測は、中解像度以上のリモートセンシングセンサを用いて実施できます。ただし、光学センサ\* は一年中雲が多い熱帯雨林などではあまり使いません。また、合成開口レーダ\* も急斜面にある森林には使えないので、複数の方法を組み合わせ、弱点を補い合う工夫が必要です。

### 単位面積当たりの炭素蓄積量のモニタリング

単位面積当たりの炭素蓄積量のモニタリングは、森林タイプや森林減少・劣化の原因によって適切な手法が異なりました。すなわち、抜き伐りが行われる大木林に対しては、一つ一つの樹冠を判読できる高分解能のリモートセンサを用い、樹冠をモニタリングして炭素蓄積量の変化を把握できます。焼畑が盛んな地域では、休耕地に成立した二次林に対して、中解像度以上のセンサで焼畑の土地とサイクルを把握し、休耕地年数 (収穫後の年数) をパラメータに炭素蓄積量を推定できます。その他、条件は限られますが、合成開口レーダの後方散乱係数や群落高、固定調査プロットの毎木調査データも炭素蓄積量の推定に利用できます。

### 排出量削減の能力向上の支援のために

排出量削減の新しいしくみでは、途上国自身が森林をモニタリングしていく体制が不可欠です。今回の研究開発にはカンボジアやラオス、インドネシアの研究者が参加しています。それぞれ国の森林・環境政策に深く関わっている人々ですので、この研究で得られた知見が実地でも生かされると期待しています。また、成果の公表により、REDD+ に取り組む世界の人々が知見を利用できるようになります。

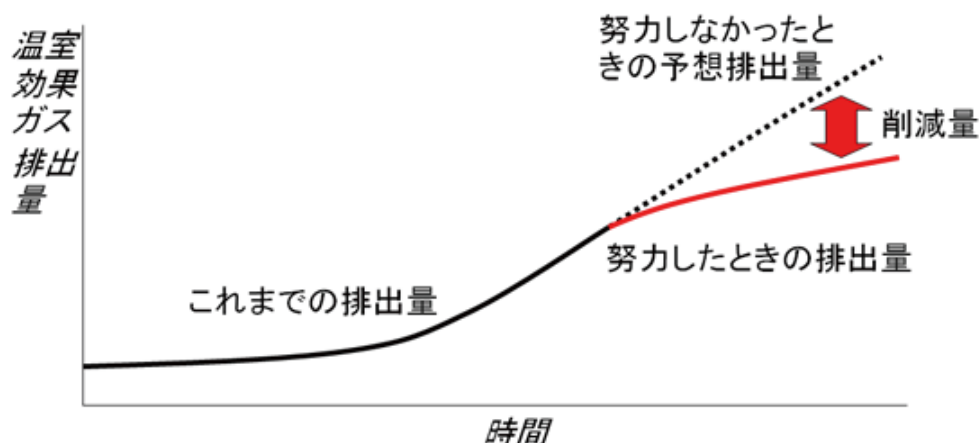


図1 温室効果ガスの排出量から見た、途上国の森林からの排出量を減らす新しいしくみ REDD+ (REDD: Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation)

黒の実線は過去の土地利用変化による温室効果ガス排出量の時間的経過（推定値）、破線は削減努力をしなかったときの予想排出量（推定値）、赤線は削減努力をしたときの排出量（観測値）。ルールは確定していませんが、予想排出量から観測値を差し引いた削減量（赤矢印）に応じて経済的なインセンティブを与える考え方が主流です。対策を取らなかったときの排出量予想技術や、実際の排出量のモニタリング技術、そして対策の見返りの分配方法といった課題があります。



図2 森林減少・劣化による排出量の推定手法

GHG フラックス：温室効果ガスの吸排出量。

本研究は、環境省の地球環境研究総合推進費「森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究」（平成 19-21 年度）、及び「PALSAR を用いた森林劣化の指標の検出と排出量評価手法の開発に関する研究」（平成 20-22 年度）による成果です。

詳しくは環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/earth/suishinhi/> をご覧下さい。

参考文献：Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Itoh E, Araki M, Matsumoto M (2010) Carbon Stock Estimation by Forest Measurement Contributing to Sustainable Forest Management in Cambodia. JARQ 44(1):81-92.

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 水にも油にも溶けるリグニンの驚くべき高機能とは

バイオマス化学研究領域 山田 竜彦、久保 智史  
きのこ・微生物研究領域 野尻 昌信  
北海道大学大学院農学研究院 浦木 康光

### 背景と目的

バイオマスの有効利用の重要性が高まる中、木材中のセルロース等の糖成分からは、糖化発酵法でバイオエタノールが製造できるようになりました。その場合、リグニンは、不必要な物質として分離除去されています。また、リグニンは紙パルプ製造工程でも除去され燃焼されています。除去されたリグニンを有効利用することはできないのでしょうか。リグニンの性質を詳しく調べると、高付加価値な機能性材料となる可能性が見えてきました。その一つの機能性が「両親媒性」です。本研究では、バイオエタノール製造工程で副産するリグニンを両親媒化し、高性能なコンクリート混和剤や、酵素の再利用を可能とする酵素安定化剤としての利用技術開発を目的としました。

### 成 果

#### 両親媒性リグニンの製造に成功

両親媒性は水にも油にも溶ける物質の性質で、身近な両親媒性物質には、石鹸や家庭用洗剤などの界面活性剤があります。リグニンは化学的には主に芳香核という構造から成る有機高分子で、基本的には水に溶け難い物質です（疎水性物質）。今回、比較的容易な方法で、リグニンに水に溶けやすい物質（親水性物質）を結合させることに成功しました。生じたリグニンは水にも油にも溶ける性質（両親媒性）を示し、文字どおり「両親媒性リグニン」の製造が可能となりました（図1）。

#### コンクリート用化学混和剤として機能発揮

両親媒性リグニンの用途の一つに、コンクリート用化学混和剤があります。コンクリート用化学混和剤とは、少量の添加で、コンクリートの施工性等を改質する化合物で、代表的なものに「減水剤」があります。減水剤とは、コンクリートの粒子を分散させ、流動性を与えて、施工性を高める混和剤です。図2にコンクリートのフロー試験（流動性の試験）の結果を示します。今回調製した新規のリグニン系コンクリート混和剤は市販の混和剤と比較して、圧倒的に高い流動性を示しました。流動性の改善はコンクリート施工で最も重要で、ほぼすべてのコンクリートには混和剤が使用され、市場規模は年間 400 ～ 500 億円にのぼります。当成果は大量に副産するリグニンの有効利用法として大いに期待できます。

#### 酵素安定化剤として機能発揮

両親媒性リグニンには、酵素を安定化させる機能があることがわかってきました。木材等セルロース系のバイオマスからバイオエタノールを製造する際に、セルロースを酵素でグルコースに分解します。ところが、酵素はリグニンが存在すると活性を低下させることが知られています。そのため、木質バイオエタノール製造では前もって大部分のリグニンを取り除くのですが、すべてを取り除くことは難しいとされています。残留したリグニンが酵素の活性低下の要因の一つなのですが、ここに両親媒性リグニンを加えて試験した所、酵素の活性の向上が確認されました。更に、酵素反応後に酵素の活性がどのくらい残っているかを調べた結果、酵素の約7割が活性を保っており、酵素の再利用も可能となることがわかりました（図3）。両親媒性リグニンにより酵素のリサイクル利用の可能性が出てきたことで、バイオエタノール製造コストの低減に大きく貢献すると考えられます。

以上の成果は、これまでエネルギー源として以外に利用されてこなかったリグニンの高付加価値利用を可能とするものであり、地球温暖化軽減への貢献が期待されます。当研究は農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」による成果です。



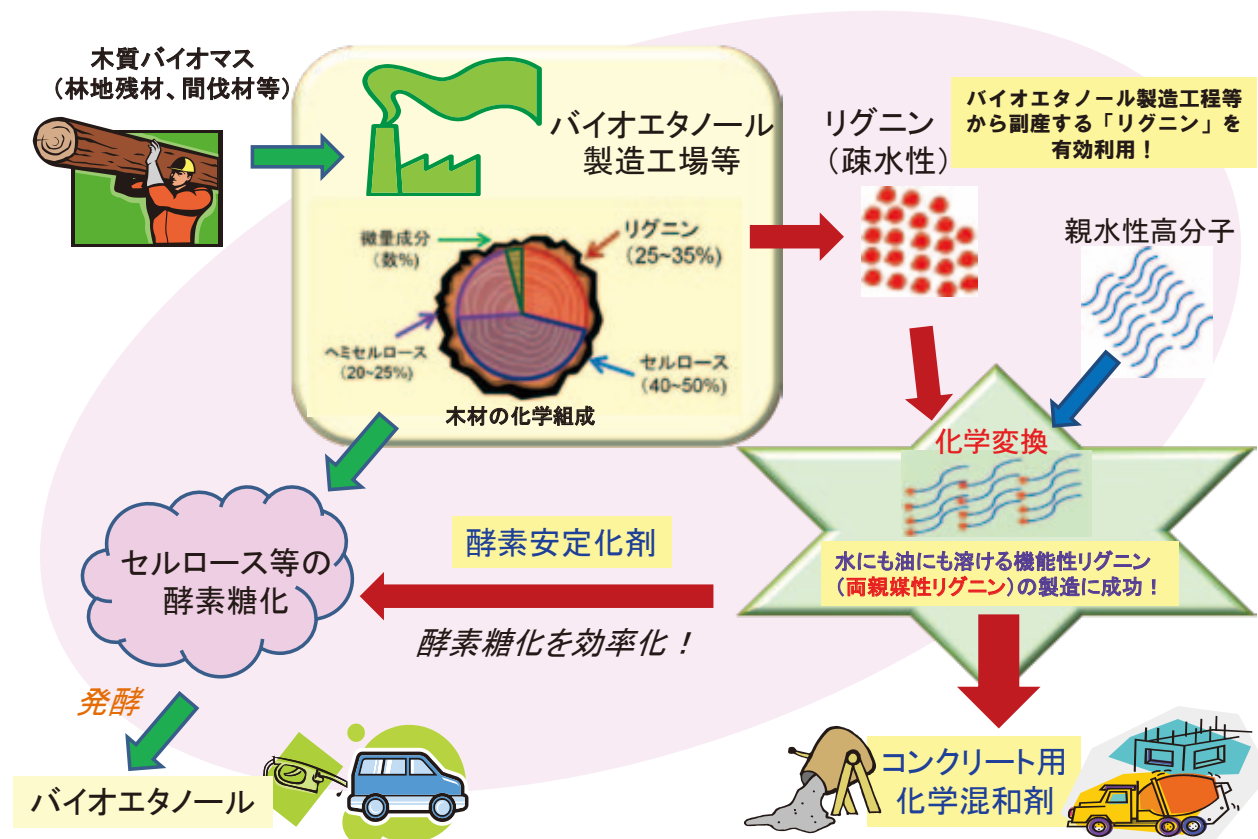


図1 木質バイオマスから生じるリグニンの変換と応用

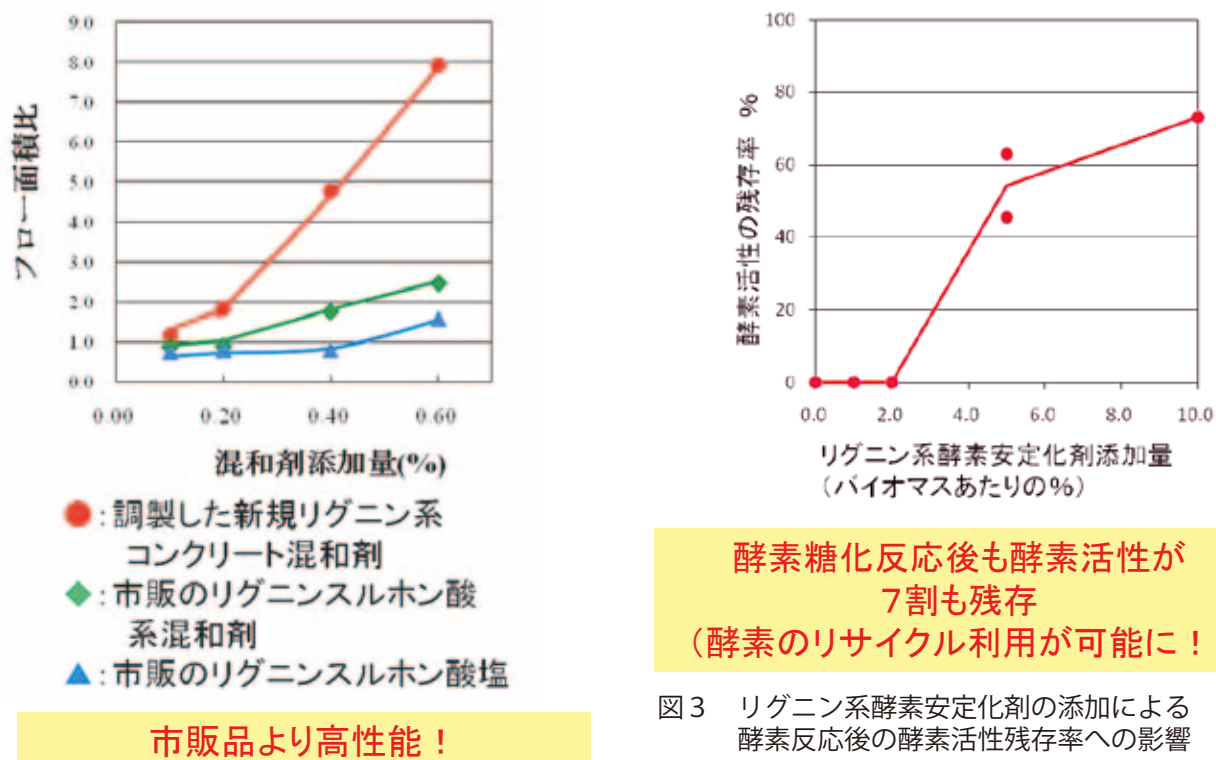


図3 リグニン系酵素安定化剤の添加による酵素反応後の酵素活性残存率への影響

図2 混和剤の添加量に対するコンクリートの流動性 (フロー面積比は減水効果の指標となる。)

## 木質バイオマスの大量収集に適した地域を特定する

林業経営・政策研究領域  
東北支所

久保山 裕史、上村 佳奈  
山本 幸一

### 背景と目的

地球温暖化問題の主な原因として大気中の二酸化炭素の増加があげられています。林業では、光合成によって空気中の二酸化炭素を取り込むことで成長した樹木を利用しており、伐採にともなって発生する林地残材や、丸太の加工で発生する製材残材、家屋の解体で発生する建築廃材等の木質バイオマスを利用しても、大気中の二酸化炭素を増加させません。そのため、化石燃料の代わりに利用すれば温暖化防止に役立ちます。我が国には森林資源が豊富にありますが、林地残材や製材工場等の工場残材をどれだけ実際に供給できるかはよくわかっていません。そこで本研究では、残材の発生場所と供給コストから、木質バイオマスの供給可能性を推定する手法を開発し、大量に供給できる地域を特定しました。

### 成 果

#### 発生量と供給コストの推計

木質バイオマスの発生量を推計するには、林地残材の発生する伐採地の場所と伐採量、また、工場残材が発生する製材工場等の場所と生産規模を知る必要があります。それらの精確な場所は不明なため、政府の統計に基づいて市町村ごとに分布を推定しました。続いて、道路のデータから、図 1 のように 25 km、50 km、75 km、100 km という 4 つの範囲を設定し、日本全国の約 1,750 市町村を対象に、集荷範囲ごとの木質バイオマスの発生量を推計しました（表 1）。

供給コスト（収集、チップ化、輸送を含む）は、現状の機械システム（現状型）と、欧州の高効率のチップパートラック（写真 1）やコンテナートレーラーを用いた場合（欧州型）の 2 つについて、聞き取り調査などから推定しました（表 1）。

#### 供給可能性の推計結果

形態別の発生量と供給コストから、経済性を考慮した木質バイオマスの供給可能性が推計できます。例えば、表 1 において 5 千円 / 生 t（2 生 t（含水率 100%）= 1 乾燥 t）以下で供給可能な木質バイオマスは、供給コストの青色の部分に対応する発生量を合計した 29971 生 t となります。同様にして、7 千、9 千、1 万 1 千円 / 生 t 以下なら、それぞれ、緑色、黄色、オレンジ色の部分までということになります。このようにして、あるコストの下での供給可能性を市町村ごとに推計することが出来ますが、図 2 に示したように、5 千円 / 生 t 以下で 5 万生 t 以上集荷可能な市町村はわずか 13 カ所ですが、9 千円 / 生 t の場合には 1000 カ所以上に急増することがわ

かりました。

7 千円 / 生 t 以下での供給可能性が大きい地域を色分けした結果が図 3 です。現状型では、5 万生 t 以上集荷可能と推計されたのは、製材生産の盛んな 7 つの地域でした。最大となった広島県臨海部には、輸入丸太を利用する大型の製材工場が複数ありますが、そこでは製材の乾燥等に残材の多くを消費しているため、実際の供給可能量は推計値よりも小さい可能性が高いです。他方、欧州型の場合、現状型に比べてコスト低下の大きい林地残材が大幅に増加して、林業・林産業の盛んな 6 つの地域において供給可能量は 20 万生 t を越えました。これらの地域では、大規模プラントの設置可能性が高いと考えられます。なお、欧州型では、大部分の地域で供給可能量は 5 万生 t 以上となり、中小規模の利用であれば全国的に可能であるという結果が示されました。

本手法によって、プラントの設置候補となる市町村を、バイオマスの供給コストを考慮して選定することができました。また、異なる供給コストでシミュレーションすることもできました。本手法では、林業・林産業の盛んな地域において供給可能性の大きな市町村が複数選定されるので、いずれかの市町村に大規模なプラントを設置した場合には、その周辺の市町村の供給可能量は大きく減少することに注意が必要です。また、具体的な検討にあたっては、地域の工場残材の利用状況や、林地残材の発生状況等について詳細な検討を行う必要があります。

本研究は、独）産業技術総合研究所からの委託研究「中小規模雑植性バイオマスエタノール製造における原料供給・利活用モデルに関する研究」による成果です。

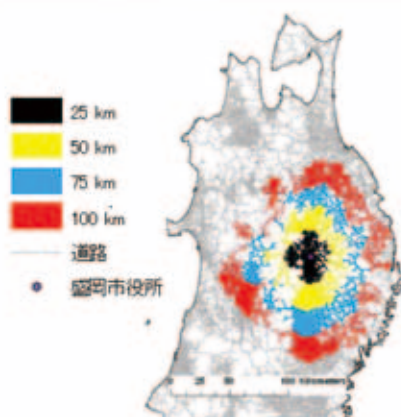


図1 盛岡市からの木質バイオマス集荷範囲



写真1 チップトラック

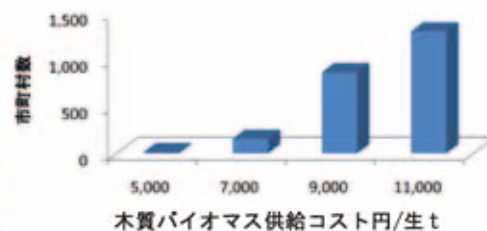


図2 木質バイオマス価格と供給可能量が5万生t以上の市町村数

表1 集荷範囲別の木質バイオマスの発生量と供給コストの推計結果（大分県日田市の例）

発生形態	集荷範囲ごとの木質バイオマス発生量(生t)				集荷方法別の供給コスト(円/生t) <sup>注1)</sup>							
					現状型				欧州型			
	~25km	25~50km	50~75km	75~100km	~25km	25~50km	50~75km	75~100km	~25km	25~50km	50~75km	75~100km
林地												
切り捨て間伐木	21,650	44,478	41,908	43,923	13,656	15,466	16,099	17,766	10,260	11,537	12,099	13,314
針葉樹残材	28,230	44,074	37,643	36,154	7,175	8,984	9,617	11,284	4,725	6,003	6,565	7,780
広葉樹残材	920	3,722	4,450	3,225	5,710	7,520	8,153	9,820	3,893	5,170	5,732	6,948
工場												
針葉樹バーク	14,192	7,979	7,205	5,033	2,229	4,038	4,671	6,338	1,588	2,865	3,427	4,643
広葉樹バーク	354	239	452	1,015	3,179	4,988	5,621	7,288	2,538	3,815	4,377	5,593
木屑・鋸屑	20,639	11,237	9,420	6,852	5,179	6,988	7,621	9,288	4,538	5,815	6,377	7,593
針葉樹チップ	61,118	35,608	34,862	25,045	8,179	9,988	10,621	12,288	7,538	8,815	9,377	10,593
広葉樹チップ	1,158	2,361	4,725	11,815	11,179	12,988	13,621	15,288	10,538	11,815	12,377	13,593
発生量の合計	148,260	149,698	140,666	133,062								

注1) 5千円/生t以下で収集可能なものを青色、同様に、7千円/生t以下を緑色、9千円/生t以下を黄色、1万1千円/生t以下をオレンジ色、それよりも高いものは白色とした。

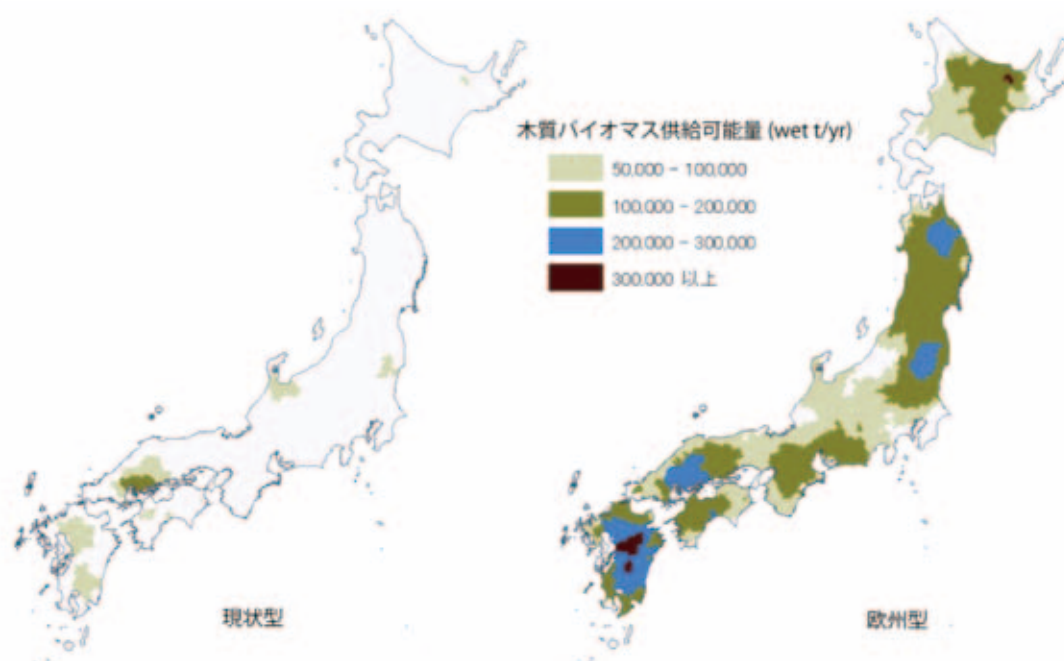


図3 7,000円/生t以下での木質バイオマス供給可能量（左：現状型、右：欧州型）



## 沖縄島ヤンバル地域の森の利用と生物多様性

九州支所	佐藤 大樹、後藤 秀章、小高 信彦、末吉 昌宏、野宮 治人
四国支所	田内 裕之 国際連携推進拠点 杉村 乾
きのこ・微生物研究領域	根田 仁 森林植生研究領域 阿部 眞
木曽試験地	長谷川 元洋 関西支所 服部 力、齋藤 和彦
上席研究員	山田 文雄

### 背景と目的

沖縄島の北部地域ヤンバル（山原）は、絶滅が心配されているヤンバルクイナ、ノグチゲラ、オキナワトゲネズミなど多くの固有生物が生息し、世界自然遺産登録の候補にあげられている生物多様性の高い地域です。一方、この地域は限られた面積の中で、琉球王国の時代から継続して林業の中心地域のため、森林の利活用と生物多様性保全の両立が求められています。そこで、従来の森林の利用の歴史と生物多様性との関係から、よりよい両立の在り方を探りました。

### 成 果

#### 原生的な森林を確定する

ヤンバルの森林の大部分は人間が林業を行い、利用してきた二次林です。残された原生的な森林は、保全のためのコアエリアになります。ヤンバルの生物多様性の保全は中心となるコアエリアの保全と、その周辺での生物多様性に配慮した森林利用によって、住民の経済活動と生物多様性保全の調和を図ることが必要です。

現地の聞き取り調査と 1944～2006 年までの間に撮影された 8 時期の航空写真を解析しヤンバルの森の変遷をたどりました。戦後、建築材や薪炭材として利用するため、海辺の集落から山地方面に向かって伐採を拡大していったことが明らかになりました。しかし、中央の山地にはわずかながら、原生的な森林が残されており、その正確な分布を示すことができました（図 1）。そこでは、近年の報告がなく絶滅が心配されていた、ヤンバルの固有種オキナワトゲネズミ *Tokudaia muenninki*（天然記念物、絶滅危惧 1 A 類 (CR)）（写真 1）が、2008 年と 2009 年に合計 24 頭が捕獲され、30 年ぶりに生息を確認できました。しかし、その生息地の面積は原生的な森林の中でも極めて狭い範囲でした。このような希少種の存在は世界自然遺産にふさわしい価値の証明につながるでしょう。

#### よりよい施業へ

林業は森林を利用するのですから、どのような林業であっても生物多様性に影響は生じます。しかし、生物多様性の保全においては、林分単位で影響があってもそれだけでは問題ではなく、地域全体として計画的な森林利

用を行い、様々な生息地を供給することによりその影響を緩和し、多様性を保全するというのが持続可能な森林管理の考え方です。そのためにも、これまでの利用のあり方を改善する方法を検討しました。

沖縄島では、有用な樹種を育てるために、天然林から不要な樹木を間引く森林管理が広く行われています。これによって、間引かれた倒木が大量に発生し、背の高い木ばかりが多い森林になります（図 2a,b）。このため、倒木をえさにするカミキリムシ類の多様性は一時的に非常に増加し、年の経過と共に低下しました（図 3）。また、リュウキュウキビタキなど森の中間の高さを利用する鳥類は、観察されなくなりました。さらに、次世代の樹木がほとんど育っていませんでした。これらの影響は林分単位にとどまる限り重大な影響ではありませんが、改善できる余地があります。すなわち、林業的にも次世代を担う若い樹木を残すというわずかな工夫で（図 2c）、多様性を保持しつつ森林利用を行うことが可能と考えられます。

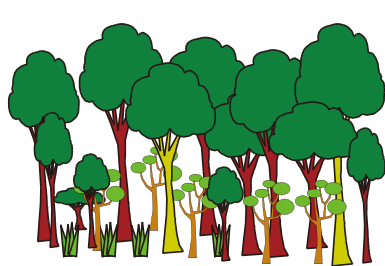
世界自然遺産登録においては、住民との合意形成が重要であり、地域の経済活動を排除するような保全はありません。林業を含んだ森林利用と生物多様性の保全との高いレベルでの両立が必要です。

本研究は環境省地球環境保全等試験研究費による「沖縄ヤンバルの森林の生物多様性に及ぼす人為の影響の評価とその緩和手法の開発」および WWF ジャパン受託研究「沖縄本島産希少哺乳類の生存と分布の確認調査」による成果です。

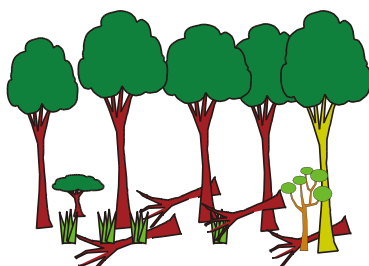


写真1 捕獲によって生息が確認されたオキナワトゲネズミ。

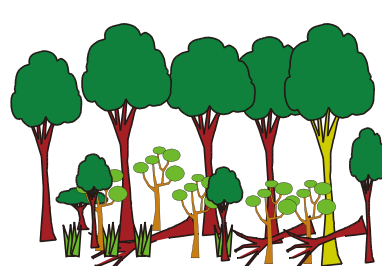
図1 原生的な森林（白く囲まれた部分）。



a 施業前の二次林



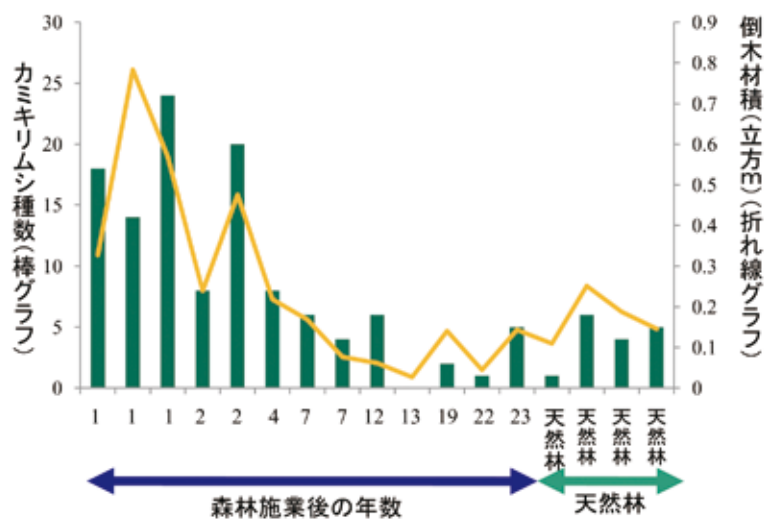
b 従来の森林施業



c 生物多様性に配慮した森林施業

図2 ヤンバルの森林施業

図3 倒木量とカミキリムシ種数との関係



## 広葉樹の遺伝的多様性を守るために

森林遺伝研究領域	津村 義彦、松本 麻子、上野 真義、津田 吉晃、吉丸 博志
林木育種センター	高橋 誠、武津 英太郎
中央農業総合研究センター	岩田 洋佳
東北大学	陶山 佳久
東京大学	斉藤 陽子、井出 雄二
長野県林業総合センター	小山 泰弘
名古屋大学	戸丸 信弘
岐阜大学	向井 譲

### 背景と目的

樹木集団は長期的な気候変動に対応してその分布域を変遷させながら個々の環境に適応して生き残ってきています。そのため同一種でも地理的に遺伝的な違いが生じています。このように遺伝的に異なる集団を人為的に混ぜてしまうことは、これまでに数十万年という長い年月をかけて自然が作り上げた遺伝構造及び遺伝的多様性を壊してしまうことになります(図-1)。有用樹種、特に針葉樹のスギ、ヒノキ、アカマツ、クロマツの場合、林業種苗法で苗木の配布区域の指定があります。これはある程度、我が国の気候帯に則したものです。しかし、広葉樹にはその指定がなく、現状では全国どこへでも苗木を送り植栽することができます。そのため主要広葉樹について遺伝的多様性及び遺伝的な違いについて調査を行い、どの範囲であったら苗木を移動できるかの遺伝的ガイドラインが必要です。

## 成 果

### 遺伝的攪乱の実態

由来の異なるブナの苗木を植栽された森林を調査したところ、日本海側のブナを太平洋側に植栽した場所では、先枯れが高頻度で起こり、生育が悪いことが分かりました(図-2)。また反対に太平洋側のブナを日本海側に植栽した場合も、生育が極端に悪いことが明らかになりました。このように由来の異なる苗木は植栽しても様々な問題が生じる可能性があるため、それぞれの地域にあった苗木を植栽することが望まれます。

の遺伝子のタイプが存在し、東日本集団に比べ遺伝的多様性が高い結果でした。ブナの葉緑体 DNA 多型の解析を行った結果、西日本では多くの遺伝子タイプが見られ、東日本に比べ遺伝的な多様性が高いことが明らかになりました。また核 DNA の解析でも同様に西日本集団が、遺伝的多様性が高い結果が得られています(図-4)。またブナでは地域によって顕著な遺伝的な違いが検出されたことから、種苗の地域性を明らかにできるマーカーとして活用できることが分かりました。

### 広葉樹の地域による遺伝的な違い

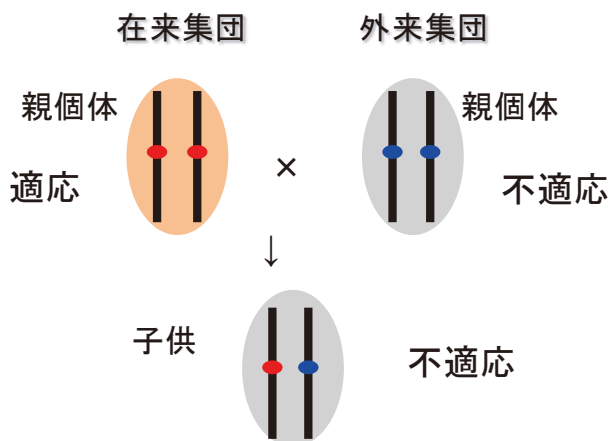
広葉樹種苗の移動の遺伝的ガイドラインを提案するために、主要広葉樹のブナ、クヌギ、スダジイ、ヤマザクラ、ケヤキなど 10 種について分布域から広範に材料を収集し、DNA を解析し遺伝的多様性や地域による遺伝的な違いを調査しました。その結果、例えばヤマザクラでは地域による核 DNA の遺伝的な違いは ( $F_{ST}=0.043$ 、全体の 4.3%が地域間の違い) 低いものでしたが、九州と本州のグループでは遺伝的な違いがあることが分かりました(図-3)。遺伝的多様性は九州集団が本州集団に比べて有意に低い値を示しました。ケヤキについては分布域広範に 42 集団を収集し分析を行ったところ、葉緑体 DNA 多型データの結果では、西日本集団では多く

### 遺伝的ガイドライン

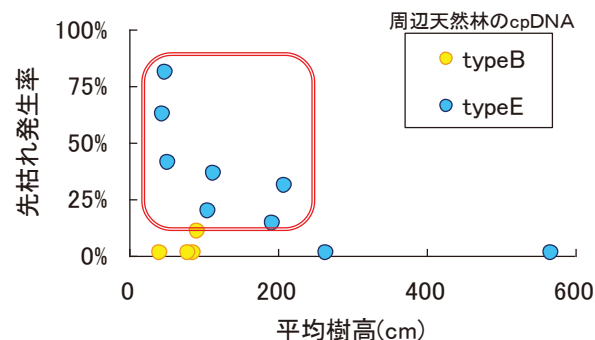
このように DNA の情報をもとに対象の全ての樹種で種苗の移動範囲を示す遺伝的ガイドラインを提案することができました。どの種も地域間の遺伝的な違いは大きくないため、日本全体が 2 から 4 地域程度に分割でき、その地域間では種苗の移動を避けるべきであるということが本研究の結果から示されました。

本研究は「予算区分：環境省地球環境保全等試験研究費、課題名：自然再生事業のための遺伝的多様性の評価技術を用いた植物の遺伝的ガイドラインに関する研究」による成果です。

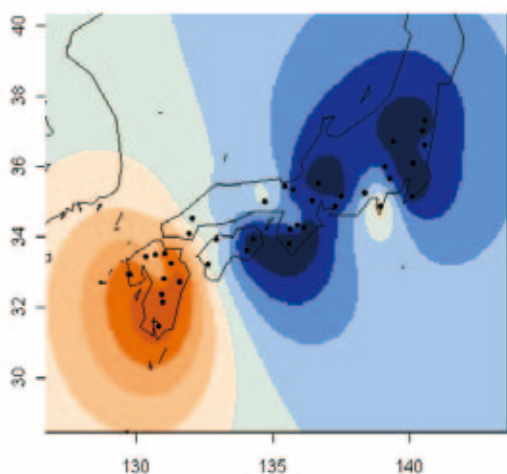




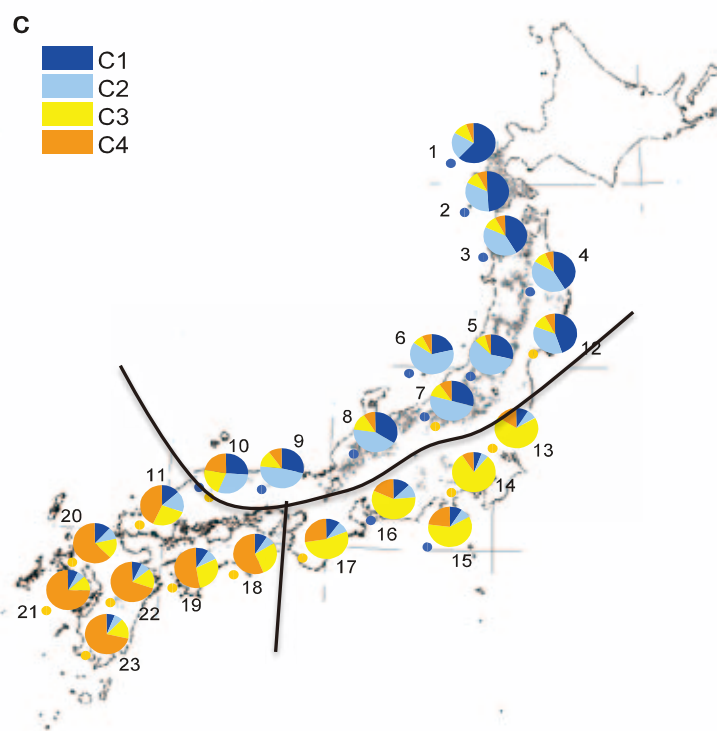
図－１ 外来集団を植林した場合の不適応の一例。在来集団の赤い遺伝子２個で適応する場合、子供では、在来集団の環境では全て不適応になる。



図－２ 日本海側のブナ実生（青色）を太平洋側に植栽した場合に若い苗の段階で先枯れが多い。太平洋側のブナの実生（黄色）では先枯れはほとんど起こらない。



図－３ ヤマザクラの３７集団を核DNAの１３遺伝子座のEST-SSRで解析した結果。九州（オレンジ色で示した遺伝子組成）とそれ以外（青色で示した遺伝子組成）で明瞭な遺伝的な違いが検出された。



図－４ ブナ天然林の核DNAでの遺伝的な違い。円グラフの色はそれぞれの天然林の持つ遺伝的な組成を示し、日本海側のブナは青色要素を多く持ち、太平洋側は黄色要素を、九州及び四国は橙色要素を多く持つ。これらは遺伝的に異なっている。円グラフの下の小さな円は葉緑体DNAのタイプを示す。

## 菌床しいたけ害虫ナガマドキノコバエを捕らえる LED 誘引捕虫器の開発

森林昆虫研究領域

山口県農林総合技術センター

徳島県立農林水産総合技術支援センター森林林業研究所

千葉県農林総合研究センター森林研究所

群馬県林業試験場

みのる産業株式会社

カモ井加工紙株式会社

北島 博、大谷 英児

杉本 博之

阿部 正範、西澤 元

石谷 栄次、藤林 範子、宮川 治郎

川島 祐介、國友 幸夫

陶山 純、本莊 絵未、岡本 武光

薦田 邦晃

### 背景と目的

我が国で生産されるしいたけの8割近くは、菌床栽培によって生産されています。ところが近年、ナガマドキノコバエという害虫が栽培施設内で異常発生して、生産者を悩ませています(図1)。その幼虫が、しいたけを食害したり、商品に混入したりするからです。そこで、本種の異常発生を防ぐために、成虫を効果的に捕らえる LED 誘引捕虫器を開発するとともに、その効果的な使用方法を提言しました。

### 成 果

#### LED 誘引捕虫器の開発

近紫外線 LED (発光ダイオード) の「光」と、乳酸発酵液の「匂い」を誘引源として、ナガマドキノコバエ成虫を強力な粘着シートで捕らえる「LED 誘引捕虫器」を開発しました(図2)。光と匂いの相乗効果によって、乳酸発酵液だけを用いた従来の捕虫器に比べて3倍程度の捕獲を目指しましたが、さらに粘着シートを用いることで捕獲効率が飛躍的に高まり、従来型と比較して6.5倍の成虫を捕らえることが可能になりました。

LED は省電力なので、アルカリ単3乾電池3本で1.5ヶ月間連続点灯できます。またコードレスとしたことで持ち運びが容易で、防水性も抜群です。栽培施設内はしいたけ発生のため高い湿度に保たれていますが、このような環境でも漏電の不安もなく、安心して設置できます。

誘引された成虫は、透明な強力粘着シートで捕らえます。透明シートでも近紫外線の約6割をカットしてしまうので、それを防ぐため、LED を粘着シートの外側に配置しています。

本器はみのる産業株式会社によって、「LED キャッチャー」(特許および意匠登録出願済み)の名称で販売されています。

#### LED 誘引捕虫器の効果的な設置方法

LED 誘引捕虫器は、成虫が多く見られる場所に持ち運んで設置できますが、設置する高さが捕れる成虫の数に影響を与えます。

一般的な栽培施設では、高さ180cm程度の棚の各段に菌床を置きます。棚のさらに上、天井付近には既製の光誘引捕虫器が設置されている場合があります。このような施設では、本器を棚の中段に置くことで、上部の成虫は天井付近の光誘引捕虫器で、棚付近の成虫は本器でと、効率的に捕らえることができます。

一方、天井付近に光誘引捕虫器がない栽培施設では、棚の上部で捕らえた成虫の数が多く、下部では少なくなりました(図3上)。産卵を済ませていない雌成虫を捕れれば高い防除効果が得られると考え、捕らえた雌成虫がおなかの中にもっている卵の数を調べてみました。すると、卵の数は棚の中段と下段で捕らえた雌成虫で多かったことから(図3下)、このような施設では、LED 誘引捕虫器を棚の中段から上部にかけて置けば効率が良いことがわかりました。

このように、従来の捕虫器よりも格段に捕獲能力の高い安全な捕虫器を開発し、商品化に成功したことで、安全・安心、かつ害虫の食べ跡がない良質なしいたけの生産に寄与できます。

これらの成果は、農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業 No.1958「菌床しいたけ害虫ナガマドキノコバエの環境保全型防除技術の開発」によるものです。



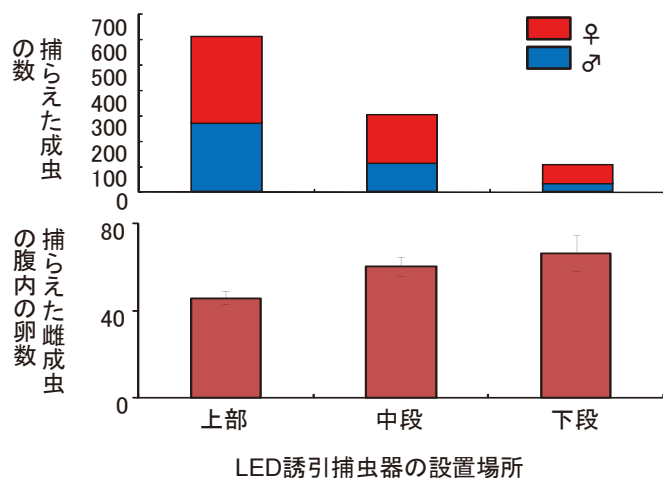
図1 ナガドキノコバエ成虫（左）、幼虫の食害跡（中央）、およびしいたけ傘裏の幼虫（右）

菌床しいたけ栽培施設で異常発生することがあります。幼虫が、しいたけを食害したり、商品に混入したりする被害を引き起こすことがあります。



図2 開発した LED 誘引捕虫器

近紫外線 LED の“光”と、乳酸発酵液の“匂い”で成虫を誘引し、強力な粘着シートで捕らえます。コードレス・防滴仕様なので、どこにでも置くことができ、高湿度な施設内でも漏電の不安もなく安心して使用できます。



LED誘引捕虫器の棚の中段への設置例

図3 天井付近に光誘引捕虫器がない栽培施設内で LED 誘引捕虫器を棚の上部、中段、下段に設置した時の捕らえた成虫の数（グラフ上）と捕らえた雌成虫数がもっていた卵の数（グラフ下）

天井付近に光誘引捕虫器がない栽培施設内では、棚の上部に設置すると成虫を多く捕らえられますが、中段に設置したほうが卵をたくさんもった雌を捕らえられることがわかりました。



## 岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴と発生機構

水土保持研究領域

東北支所

九州支所

三森 利昭、大丸 裕武、岡本 隆、黒川 潮、村上 亘、  
多田 泰之、小川 泰浩、岡田 康彦、大野 泰宏（現鳥取県）

野口 正二、安田 幸生

浅野 志穂

### 背景と目的

2008 年 6 月 14 日午前 8 時 43 分に、岩手県南部の内陸部を震源とする地震 (M7.2) が発生し、死者 17 名、行方不明 6 名という大きな被害が生じました。この地震による災害では、建物への被害は少なく、山地での崩壊とそれに伴う土石流による被害が主でした。今回の地震は、東北内陸部火山地帯での潜在的な活断層の活動によって起きたとされています。このような潜在的な活断層と火山堆積物を主とする地質の組合せは東北地方を始め国内に広く存在することから、災害を未然に防ぐ行政的な観点から研究対応が求められています。このため、本地震災害における土砂災害を集約して地質・地形などの影響を分析し災害のメカニズムを明らかにするとともに、危険度評価技術の開発を行いました。

### 成 果

#### 山地災害データベースの作成

災害直後に撮影した航空写真と ALOS の衛星可視光画像を用いて、岩手・宮城・秋田にまたがる被災区域のほぼ全域から、11,163 箇所、1,372ha の崩壊地を目視によって独自に抽出し、GIS 上に記載しました。これらと地質図、地形図など崩壊の発生に関与する他のデータを重ね合わせることで、各要因の影響解析が可能となる「山地災害データベース」を作成しました。

#### 地質の影響

この GIS データベースを用いて求めた地質別の崩壊発生状況では、「北川溶結凝灰岩及び相当層」と「湖成層」での崩壊発生率が 3% 近くに達しており、両地質での崩壊が突出して多い事が判明しました。地質と崩壊を重ね合わせた図 1 では、特に、南部の一迫川流域から三迫川流域にかけて両層の境界付近で崩壊が多発しているのがわかります。両層は新生代第三紀から第四紀にかけての堆積層で、特に「湖成層」は固結度が低い軟弱な地層であり、地震時の破壊強度も低いことがわかりました。現地調査の結果、上層が堅い「溶結凝灰岩」、下層が柔らかい「湖成層」の構造（キャップロック構造といいます）で急勾配の箇所が崩壊・地すべりを多く発生させていました。更に、詳細な現地調査では、軟質岩中に崩壊には至らない程度のすべ

りが発生している箇所も多数見いだされ、豪雨の際には注意が必要であることも明らかにしました。

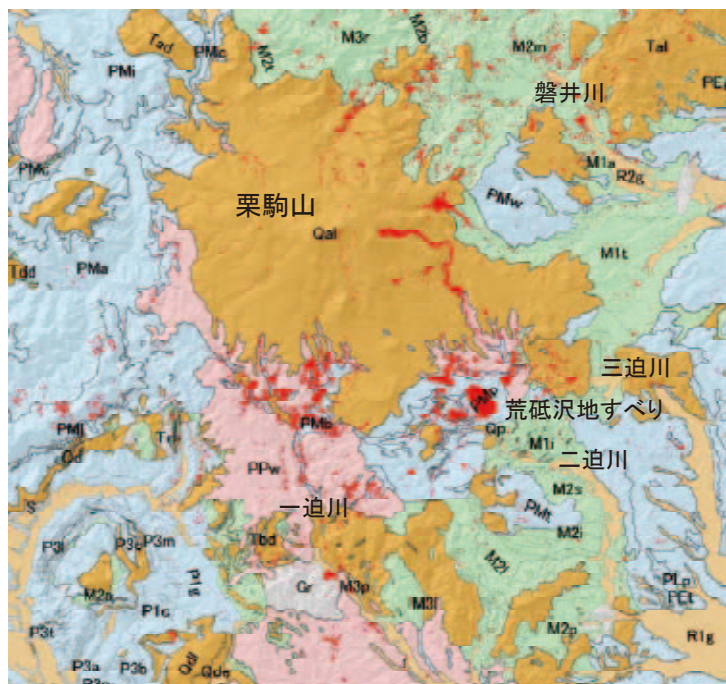
#### 地形の影響

被災した区域は、10 ～ 20 度の傾斜にピークを持つ比較的なだらかな地形でしたが、今回発生した崩壊は、30 ～ 40 度での頻度が最も高く、急勾配で発生しており、従来の地震災害と同様の傾向がありました。傾斜別の崩壊占有率では、荒砥沢地すべりを反映して、0 ～ 4 度の斜面で高い値を示しています。崩壊発生率は 45 度を超える斜面で急増する傾向があり、キャップロック構造を反映した結果となりました。（図 2）

#### 危険度評価技術（危険度マップ）の開発

これらのうち主に崩壊の発生に大きな影響を与えていた地質・地形区分別の崩壊発生率をもとに危険度マップを作成しました（図 3）。この成果は東北森林管理局に提供され災害復旧に役立てられます。

本研究は、「予算区分：交付金プロジェクト、課題名：岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴と発生機構に関する研究」による成果です。



## 凡例

記号	地質
PPw	北川凝灰岩及び相当層
PM, P1, P3	湖成層
M1, M2, M3	海成層
D0, Qd, Qp, Sp, Gr	深成岩・半深成岩
PMw	虎毛山凝灰岩及び相当層
Qal, Ta	安山岩
R1g	沖積層
PEg, PEt	海成層・陸成層
GM, S	変成岩
R2g	上位段丘堆積物
Trl, Trd	流紋岩
PLc, PLp	湖成層・陸成層
Tbl, Tbd	玄武岩
●	地すべり・崩壊

図1 崩壊と地質区分

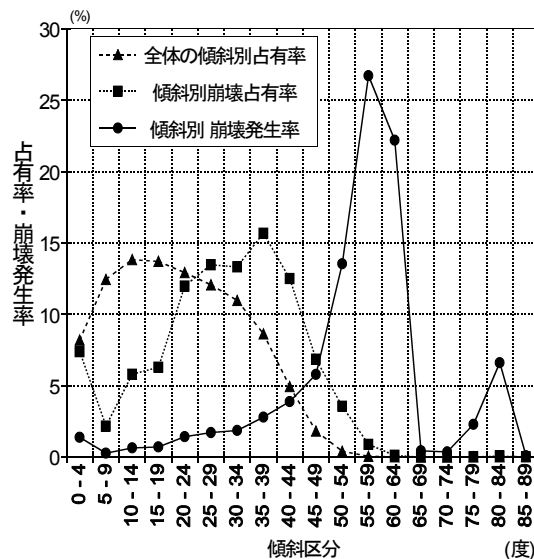
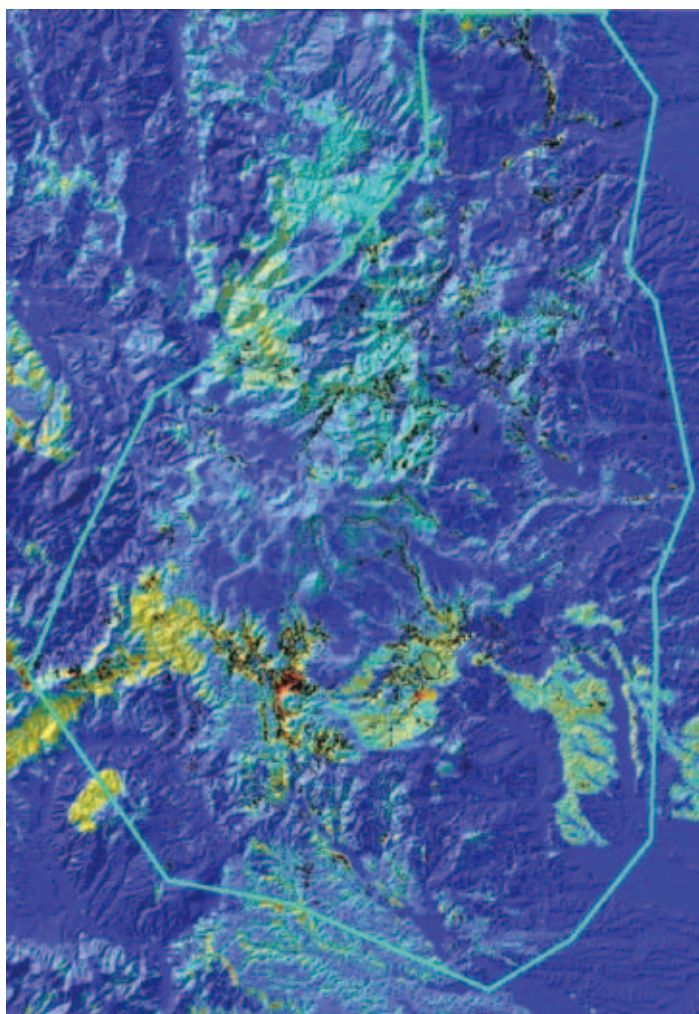


図2 崩壊に与える地形傾斜の影響

図3 今回の地震による崩壊の発生率を示した危険度マップ。青が発生率が低く、黄、赤の順に発生率が高くなります。



## 荒廃地などの早期緑化に貢献する 「菌根形成・管理マニュアル」を作成

森林微生物研究領域

赤間 慶子、山中 高史

### 背景と目的

野外で生育する樹木の細根には、植物の成長を助ける菌が根を覆うように感染して「菌根」(図1)を作ります。菌根を形成する菌は菌根菌と呼ばれ、土壌中に普通に存在しています。しかし、自然災害などの影響を受けて土壌中の菌根菌が消失している場合には、早期緑化のために植栽した苗に菌根が形成されず、苗の生育や定着が不良になるなどの問題が生じる場合があります。そのとき人為的に菌根菌を感染させた苗を用いれば、植物の生育を画期的に向上させることが可能です(図2)。そこで、菌根形成苗を植生回復事業に活用することを目的に、現場から菌根菌を採集し、分離する方法から樹木に接種して菌根を形成させるまでを説明するためのマニュアルを作成しました(図3)。

### 成 果

#### 樹種と菌根菌の選択

荒廃地などの植生回復においては、はじめにどのような樹木と菌根菌を使うかを決めます。樹木については、その場所にもともと育っている樹木を用いるため、過去のデータから、または実際に現地で植生を調べます。細根の表面を覆うタイプの菌根菌は、マツ科、ブナ科、カバノキ科などの樹木に形成されるので、これらの樹木を選択します。

次に、菌根菌の種を決めます。菌根菌にはキノコを発生させる種が多く、森林の遷移段階の早い時期から発生する菌が植生回復に適しています。コツブタケ、ツチグリ、キツネタケ属菌、ニセショウロ属菌、またマツを用いた海岸林の場合にはショウロやヌメリイグチ属菌がこれらに相当します。このようにして選択した樹木と菌によって、菌根苗を作成します(図4)。

#### 菌根菌の接種と培養

菌根苗は、種子を発芽させて得た苗に、野外に発生したキノコから分離した菌を接種して作成します。

以上のように、樹種と菌根菌の選択から、現場からの菌の分離と培養、樹木苗へ接種して菌根を形成させるまでの手法をとりまとめて、「菌根形成・管理マニュアル」を作成し、森林総合研究所のホームページで公開しています(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/chuki-seika/2ki/chukiseika2ki-15.pdf>)。

これまで我が国においては、鹿児島県桜島や長崎県雲仙普賢岳、東京都三宅島などの火山噴火被災地で菌根菌感染苗の植栽試験(図5)が行われ、桜島では菌根菌の感染により苗木の生残率が約1.3倍高くなりました。また滋賀県田上山の斜面崩壊地では、菌根菌の感染によって苗木の成長が1.7～2.4倍程度向上しました。このようにそれぞれの地域で発生したキノコから分離した菌と樹木を活用して、森林の再生や植生の回復を早期に達成することは、防災上だけでなく地域の生物相を保全する上でも重要です。

本成果は、一般研究費「林地斜面・溪畔域の安定・緑化管理技術の開発」による成果です。



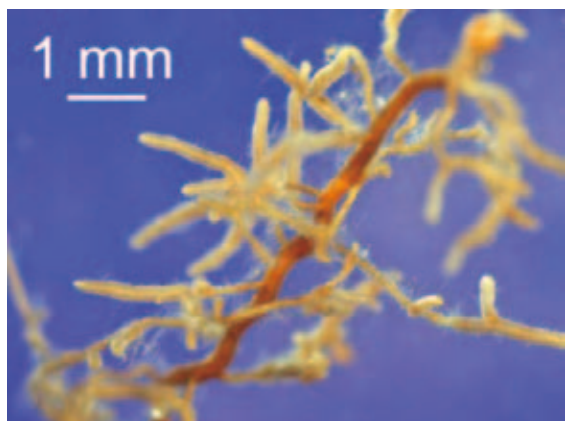


図1 ウラムラサキ菌接種によりコナラ細根に形成された菌根（周囲を菌に覆われてやや肥大した部分）



図2 オオバヤシャブシ成長への菌根菌の接種効果。左、外生菌根菌接種；右、非接種。

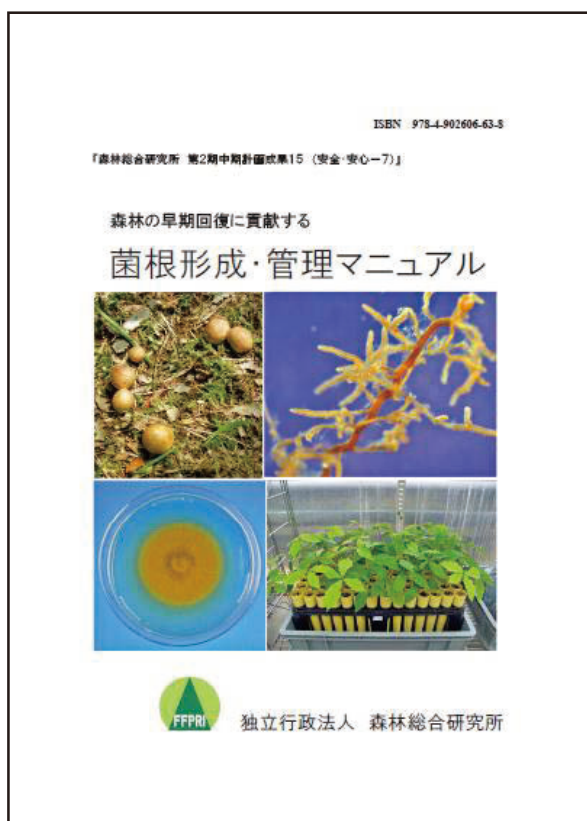


図3 菌根形成・管理マニュアル

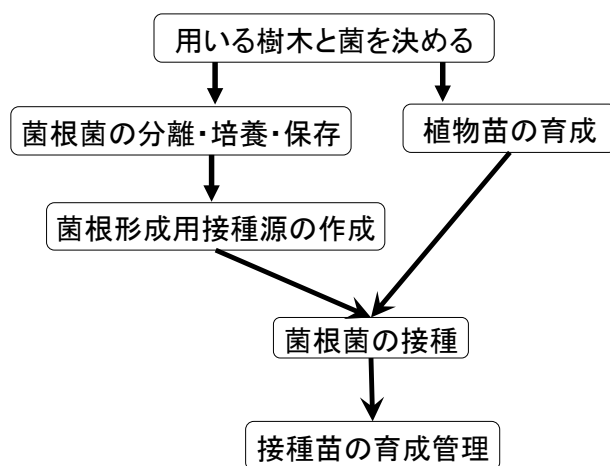


図4 菌根形成苗作成の流れ



図5 菌根菌が感染した植物を現場に移植した2年後の様子。植生回復への菌根菌の有効性が認められている。

## 森林での体験活動は幅広い環境教育に貢献

多摩森林科学園

井上 真理子、大石 康彦

### 背景と目的

森林には、木材生産機能や、生物多様性の保全など環境機能だけではなく、自然体験が不足している子ども達の体験学習の場としての機能も求められています。教育分野では、環境教育、ESD（Education for Sustainable Development; 持続可能な開発のための教育）の推進が国際的に求められ、自然体験活動やキャリア教育、地域連携など、森林分野が貢献できるテーマが重視されています。森林で、学校などにより林業体験活動、自然観察、レクリエーションが行われています。しかし、森林での体験活動にどのような内容が含まれているのか把握されておらず、また環境教育とのつながりも明らかにされていませんでした。

## 成 果

### 森林での体験活動の種類

森林体験活動の実態を明らかにするため、幼稚園、保育園や児童館、小学校、中学校、高校、大学、特別支援学校などの教育・福祉施設や、公園やビジターセンターなど森林・環境関係の公的機関や林業関係団体、観光関係の民間団体、さらに市民グループなどの幅広い団体から協力を得て調査しました。

森林体験活動では、調査の結果から、自然観察・学習（実施率 70%）、自然とのふれあい（森林でのゲームなど、同 67%）が多く行われており、その他にも、キャンプなどの生活、木工などクラフト、植樹や間伐などの林業作業、登山やアスレチックなどのスポーツ、山菜とりなど資源利用目的の採取、観察や学習目的の採取、ゴミ拾いなどの自然環境整備、鳥の巣箱かけなど動植物保護、ハイキングなどの保健休養、歩道づくりなどの施設作設、写生会などの芸術、その他（地域文化活動など）からなる 14 種類に及ぶ多様な内容が行われていました（図 1）。

### 森林教育に含まれる 4 つの要素

森林や木材に関する教育的な活動を総称して森林教育と呼び、既存研究のレビューから森林教育における学習内容を分類すると、以下の 4 つの異なる要素に区分できました。

- 1) 野外活動やレクリエーション、保健休養など自然体験を含む自然とのふれあい
- 2) 自然観察や森林生態系の保全活動などを含む自然環境
- 3) 林業体験や木工など森林資源の利用を含む森林資

源

- 4) 身近なみどりや自然景観、地域の暮らし、祭事などを含む地域文化

先に示したように森林での体験活動には多様な内容が含まれていましたので、これらの体験活動を 4 つの要素に分類することにより、各要素の具体的な構成を明らかにしました（図 1, 2）。

### これからの森林体験活動

このように、森林教育は多様な体験活動からなる複数の要素を含み、これらの要素を用いると、森林体験活動を行う際、どの内容を重視した活動かがはっきりするので、活動目的を明確にすることに役立ちます。例えば、森林体験活動を希望する学校に、活動内容の 4 つの要素を提示して選んでもらえば、指導を依頼された講師が、森林体験活動のプログラムとして学校のニーズにあったものを行うことができます。さらに、森林体験の指導者が森林教育の 4 つの要素を認識することで、ふれあいの要素を重視した自然体験の際に森林資源の話題を盛り込むなど、複数の要素を含む活動とすることができ、幅広い森林、林業の理解を促し、環境教育の推進に役立つと考えられます。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「人と自然のふれあい機能向上を目的とした里山の保全・利活用技術の開発」、科学研究費「高等学校での環境教育と林業教育を統合した新たな森林環境教育の提言」の成果です。

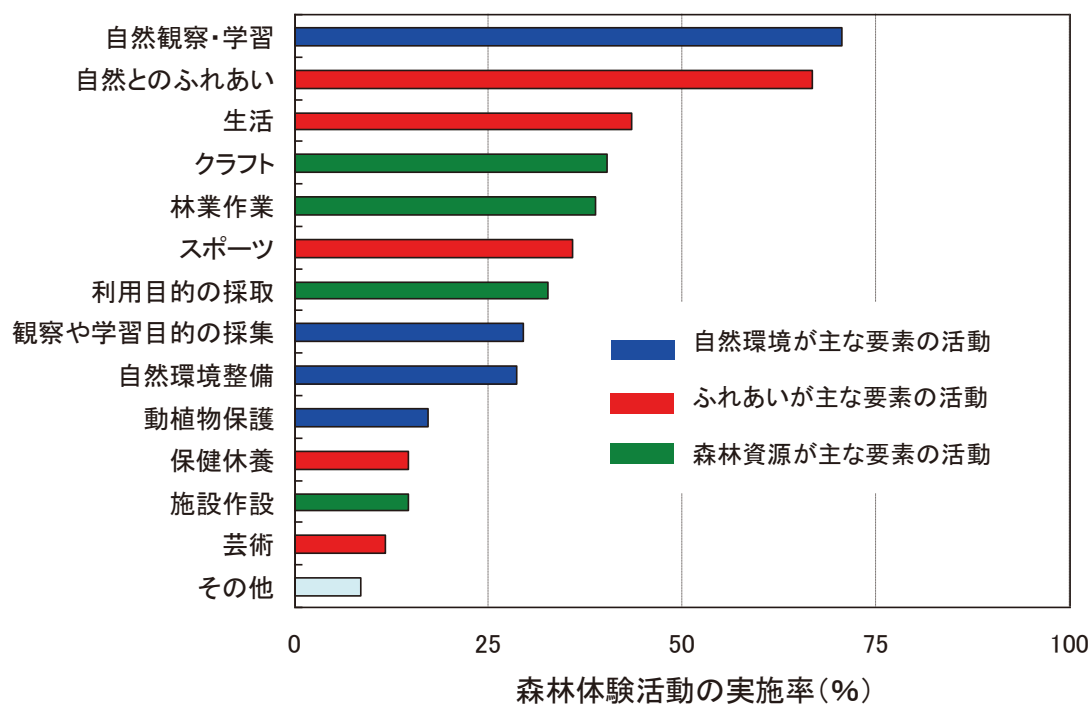


図1 森林体験活動の内容別の実施割合  
(129団体による複数回答。森林では多様な活動が行われています。  
地域文化の要素は、その他に含まれています。)



図2 森林教育が含む内容の4つの要素



## 森林生態系が社会にもたらす様々なサービスの評価に関する研究

国際連携推進拠点

森林植生研究領域

森林昆虫研究領域

関西支所

東北支所

神戸大学

長崎大学

杉村 乾

田中 浩

牧野 俊一、岡部 貴美子、滝 久智、松浦 俊也

吉村 真由美

柴田 銃江

前藤 薫

吉田 謙太郎

### 背景と目的

動植物を食料として利用する、レクリエーションを楽しむ、あるいは農作物の受粉を助けるなど、多様な生物が人間社会にもたらす恵みは生態系サービスと呼ばれています。一方、里山として利用され、親しまれてきた景観は、薪、炭、肥料、家畜の餌の生産など、かつての役割をほぼ終えたことにより、その姿も変わってきました。その間、人工林が拡大する一方で伐採量が減少していますが、それらの変化が生態系サービスに与える影響は明らかにされていません。そこで、この研究では、森林の変化によってどのように生態系サービスが変わるのか、様々なタイプの森林の生物相、人の利用、価値付けなどを調べることによって明らかにしました。

## 成 果

### 生態系サービスを支える昆虫

茨城県北部での調査によれば、花粉を運ぶ昆虫（送粉昆虫）は様々でしたが、中でもハナバチ類の種数が最も多く、送粉の働きはその種数で測るのが適当であると考えられました。その種数はおおむねスギ林に比べて広葉樹林の方が多かったほか、伐採後に多いという傾向も認められました（図1）。

また、茨城県北部においてソバの花を訪れる昆虫の個体数（図2）、ソバが実を結ぶ確率（結実率）、ソバ畑周囲の森林や草地の面積との関係を調べました。花を訪れる昆虫には森林を主な生息地とするものが多く、なかでもニホンミツバチの数は畑周囲の森林面積、ミツバチ以外のハナバチの数は周囲の森林と草地を合わせた面積の増大とともに増加し、ソバの結実率もこれらのハチの数が増えるにしたがって大きくなりました（写真1）。これらのことから、伐採後の広葉樹林に多く見られるハナバチ類はソバの生産に大きな貢献をしていることがわかりました。

### 山菜・キノコ採りなどの供給サービス

森林面積が町全体の約90%を占める福島県只見町において、山に自生する山菜とキノコについて、何をどこに採りに行くかを調べるために、GPS（位置を測る器械）を地元の人達に装着し、種類と量も記録してもらいま

した（図3）。その結果、山菜は沢沿いで（写真2）、キノコは老齢の広葉樹林で多く採られていました。このことから、山菜やキノコの供給源としての沢沿いの植生や老齢林を保護することの重要性がわかりました。

### 森林の価値

人工林面積が小さく、天然広葉樹林の利用がさかんな只見町の人々と全国の一般的な人々の間の森林に対する価値意識の違いを比較するために森林の価値を金銭評価しました。その結果、利用が許されない保護林については両者でほとんど差がなかったのに対し、それ以外の森林については、只見町では全国に比べて約4倍の高さとなりました。このことから、地域住民の森林資源利用の依存状況によって森林の価値意識が大きく異なることがわかりました。

森林の変化が個々の生態系サービスに与える影響を定量的に評価した結果、さまざまなタイプの森林を維持するとともに、森林資源利用に対する住民意識を尊重した森林管理が重要であると言えます。

本研究は環境省地球環境研究総合推進費「里山イニシアティブに資する森林生態系サービスの総合評価手法に関する研究」による成果です。

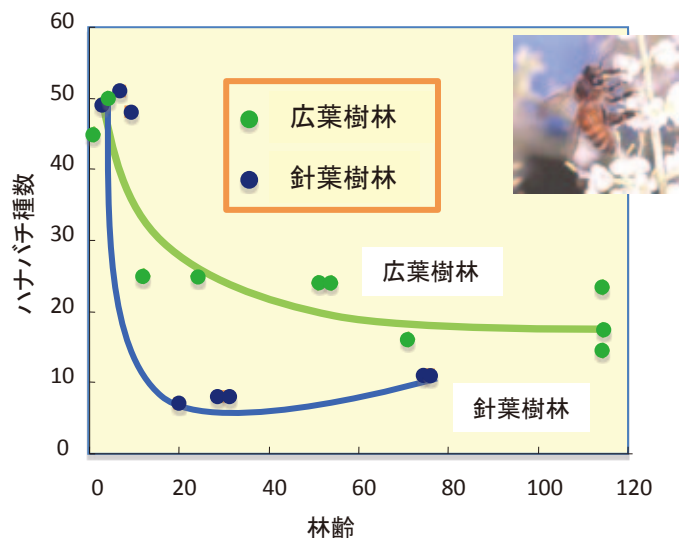


図1 森林タイプと林齢別に数えたハナバチ類の種数

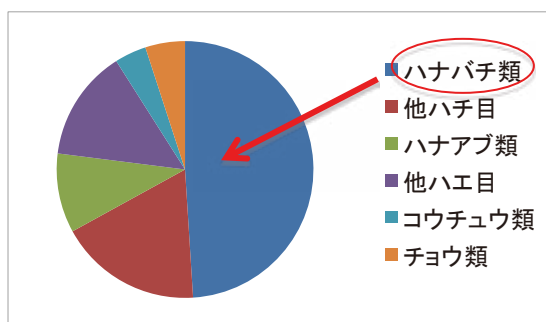


図2 ソバの受粉を助ける昆虫分類群の個体数割合



写真1 森林や草地に囲まれたソバ畑  
ソバの結実率は周辺の森林面積や隣接する森林と草地を合わせた面積と関係がありました。

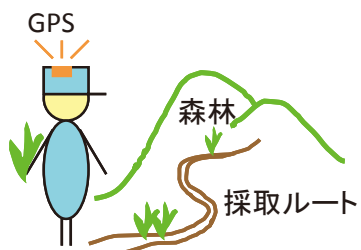


図3 山菜採りの環境条件についての調査  
GPS を付けるとどのあたりに山菜を採りに行ったか、およその場所がわかります



写真2 沢沿いの斜面での山菜採り

# 長期優良住宅や公共建築物部材の耐朽性を短期間で見極める

木材改質研究領域

桃原 郁夫、大村 和香子、西村 健、松永 浩史

## 背景と目的

木造住宅や公共木造建築物を建てていくことが地球温暖化防止につながることが認められていますが、そのためには耐朽性の高い木材・木質材料を正しく選択することが重要となります。本研究ではこれらの耐朽性を短い期間で正しく評価する方法の開発をおこないました。

これまで木材・木質材料の耐朽性を評価する方法として、日本工業規格では土に埋めた杭の腐り方を目で見て評価する方法が記載されていました。この方法は、信頼性がある反面、結果を得るまでに数年から十数年という長い年月が必要であるという問題点が指摘されていました。そこで本研究では、室内腐朽試験で使用するサイズの試験体を土に埋めることにより、信頼性を維持しつつ耐朽性を短期間で評価する方法を開発しました。

## 成 果

### これまでの試験法

木材や木質材料の耐朽性を評価する方法の特徴を表 1 に示します。室内防腐性能試験（写真 1）では、耐朽性を早く評価できる反面、特定の菌に対する性能しか評価できないため信頼性に欠けるという問題点があります。これに対し、ファンガスセラー試験\*（写真 2）や野外試験（写真 3）では、土壌や空気中にいる様々な木材腐朽菌や微生物がいる環境での耐朽性能を評価できるため信頼性は高いのですが、評価にかかる時間が長いという問題点がありました。

### その解決方法

試験期間が短いけれども信頼性に欠ける室内防腐性能試験と、試験期間は長いけれども信頼性が高いファンガスセラー試験や野外試験の長所を取り入れることで、信頼性が高く試験期間の短い評価方法を開発しました。具体的な方法は以下の通りです。

#### 1. 試験体サイズ

試験体サイズを室内防腐性能試験と同じ  $2 \times 2 \times 1$  cm としました。体積に対する表面積の割合を高め、腐朽菌が試験体内部に侵入しやすくすることで、腐朽が早く進行するようになります。

#### 2. 溶脱操作

使用時に水に溶けて木材や木質材料から出ていってし

まう成分や空気中に揮散して失われてしまう成分を予め取り除いておくために、室内防腐性能試験に取り入れられている溶脱操作を行います。

#### 3. 腐朽操作

試験体をファンガスセラーや屋外の土壌に埋め、軽く土を被せます（写真 4）。土に埋めることで、特定の菌に対する性能だけでなく、不特定多数の腐朽菌や微生物によって引き起こされる腐朽に対する効果も確認することが可能となります。

#### 4. 耐朽性評価方法

試験体を定期的に土から掘り出し乾燥します。質量を測定し、腐朽によって元の質量の何%が失われたのかを計算します（図 1）。

ファンガスセラー試験や野外杭試験では専門家が目で見て腐朽の程度を 6 段階に分けていましたが、質量減少率で評価するように変えたことで、誰が評価しても同じ結果が得られるようになると共に、初期の腐朽を精度良く判定できるようになりました。

本成果を活用することで、新規木材保存剤や高耐朽木質材料の耐朽性評価期間を 1 年に短縮することが可能となるため、今後の長期優良住宅や木造公共建築物で使用する高耐朽性部材の開発が加速することが期待されます。



表1 現在使用されている代表的な耐朽性評価方法の特徴

試験方法	試験体サイズ	溶脱操作	使用する菌の数	評価基準	試験期間
室内防腐性能試験	2×2×1cm	有り	2種の菌のみ	質量減少率 (%)	4ヶ月
ファンガスセラー試験	2×2×10cm	有り	不特定多数	目視評価 (6段階)	数年
野外試験	3×3×60cm	無し	不特定多数	目視評価 (6段階)	数～十数年



写真1 室内腐朽試験の様子  
特定の菌に対する性能しか評価できない



写真2 ファンガスセラー試験の様子  
多数の菌に対する性能が評価できるが評価に数年かかる



写真3 野外試験の様子  
最低でも10年程度の試験期間が必要



写真4 今回開発した試験の様子  
この後、試験体に土を被せ試験をおこなう

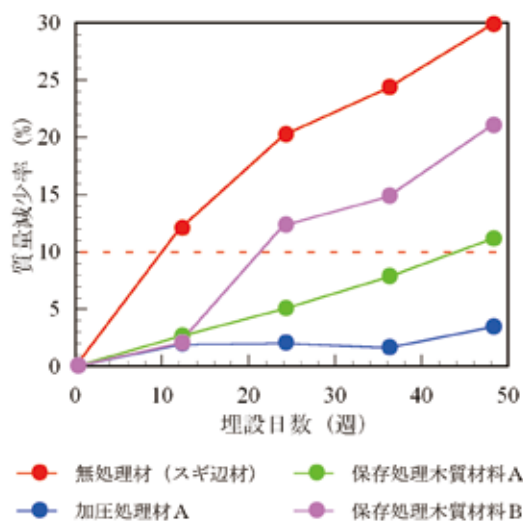


図1 土に埋めた小試験体の質量減少率の経時変化  
無処理材と比較して、保存処理木質材料Aでは2倍程度、保存処理材料Bでは4倍程度、加圧処理材Aではそれ以上の耐朽性が期待できる。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 保存処理合板の基準作成に必要とされる諸課題を解決

木材改質研究領域

複合材料研究領域

北海道立林産試験場

京都大学生存圏研究所

桃原 郁夫、大村 和香子

井上 明夫、宮本 康太、塔村 真一郎、秦野 泰典

宮内 輝久、宮崎 淳子、平林 靖、古田 直之

吉村 剛

### 背景と目的

近年の木造住宅の構法は、柱と筋交いから構成される在来構法から、柱や梁などを面材料で固定する新在来構法へと変わってきました。このため、木造住宅を長期間使用していくためには、土台や柱、筋交いなどの軸材料だけでなく、合板などの面材料についても保存処理することが重要となります。

これまで、軸材料の保存処理については日本農林規格で規定されていましたが、面材料の保存処理についての規格は日本農林規格にありませんでした。そこで代表的な面材料である合板に保存処理を施し保存処理合板として日本農林規格で規定する際に必要となる諸課題を解決すると共に、保存処理合板に含まれる薬剤の分析方法の開発を行いました。

### 成 果

#### 保存処理合板の製造方法

合板は、桂剥き（かつらむき）の要領で木材から薄い単板を切り出し、それを繊維方向が直角となるよう接着剤で貼り合わせて作ります。保存処理合板を製造する場合は、上記工程に加えて木材保存剤を添加する工程が必要となりますが、木材保存剤の添加方法の違いにより大きく3つに分けることができます（図1）。今回、これら3つの方法で製造した保存処理合板の各種性能の評価等をおこないました。

#### 接着耐久性

保存処理合板では、単板や接着剤に木材保存剤を加えたり、製造後の合板に木材保存剤を注入する必要があります。このため、通常の合板よりも接着耐久性が劣り、単板が剥がれやすくなることが懸念されていました。

今回その懸念について検討した結果、単板処理や接着剤混入処理で処理した合板については、製造条件を最適化することで日本農林規格（JAS 規格）の接着強さの基準を満足することが分かりました。また製造後に木材保存剤を注入した場合も接着強さに問題が無い（JAS 規格の基準を満足する）ことも分かりました。

#### 保存剤の定量

保存処理合板に使用する単板は、国産材だけでなく世界中から集められています。このため、様々な樹種に含まれる抽出成分が木材保存剤の分析を妨害するおそれがありました。そこで、木材保存剤の分析方法を工夫し、妨害成分を排除する方法を検討しました。

今回の研究では、JAS 規格で定められている分析の前に、

木材保存剤以外の成分を選択的に取り除く固相抽出処理や、JAS 規格で定められている検出器の種類を変えることで、抽出成分の妨害なしに定量が可能となることを明らかにしました。

#### 防腐・防蟻・防虫性能

保存処理合板の耐久性を評価するために、日本工業規格（JIS）K1571 に準じた防腐性能試験や防蟻性能試験を行いました。また、ヒラタキクイムシに対する防虫性能試験も行いました。

防腐・防蟻性能試験の結果、適切な木材保存剤で処理された保存処理合板であれば、単板処理、接着剤混入処理、製品加圧処理のいずれも JIS 規格の基準を満足することが分かりました。また、防虫性能についても問題ありませんでした。

#### 揮発性有機化合物（VOC）放散特性

広い面積に使用する保存処理合板から VOC が大量に放散されていると、それが室内側に流れ込み、健康被害を引き起こすおそれがあります。そこで、保存処理合板から放散される VOC の量を測定しました。

その結果、適切な接着剤を使用して合板を製造することにより、木材保存剤の種類や保存処理合板の製造方法に関わりなく、VOC 放散量が F☆☆☆☆基準を満足することが明らかになりました。

本研究は、「予算区分：運営費交付金プロジェクト研究、課題名：地域材を活用した保存処理合板の開発（アイ d 114）」による成果です。

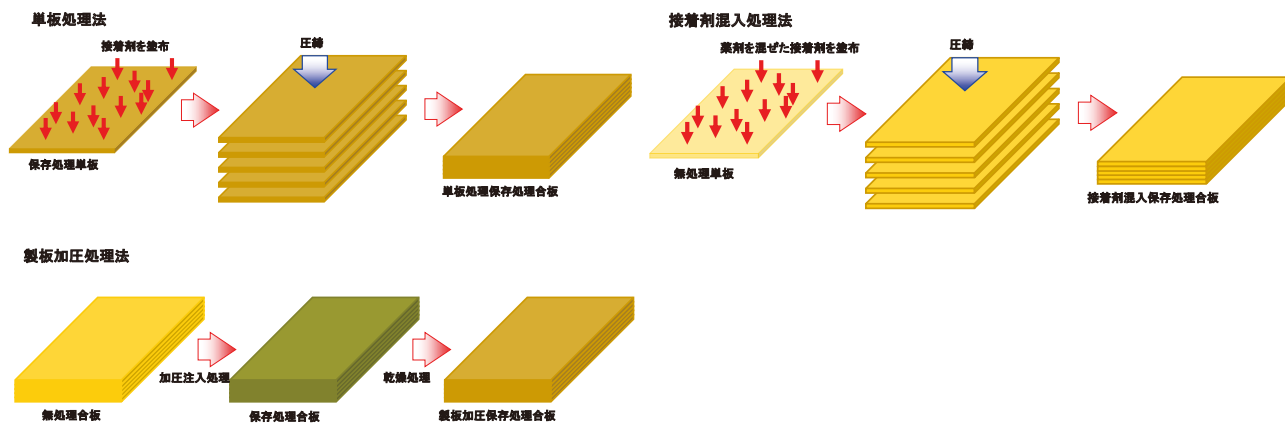


図1 保存処理合板の3つの製造方法

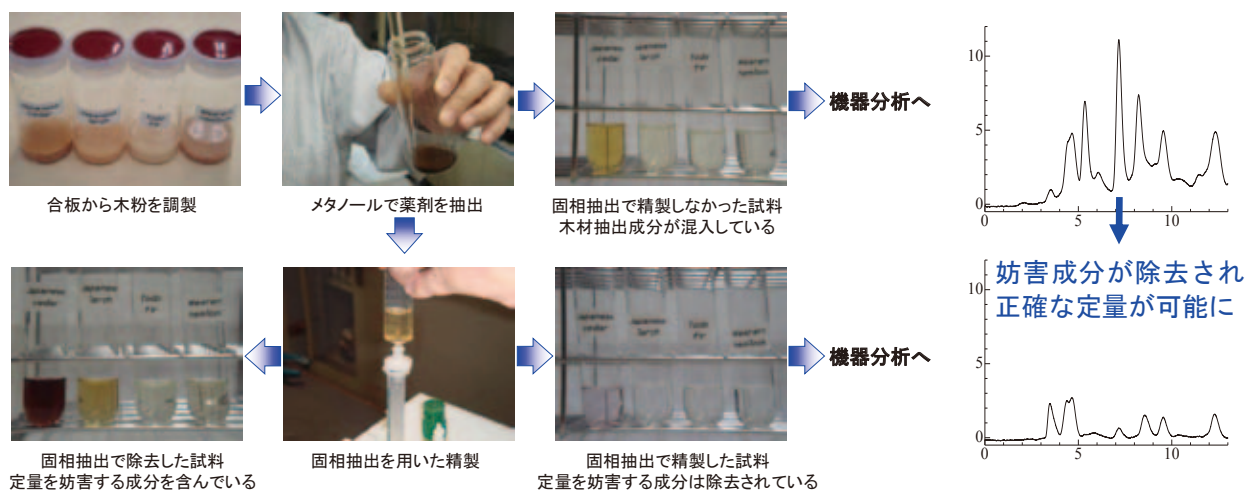
図2 固相抽出を利用した薬剤の定量を妨害する成分の除去  
(左図: 作業の様子、右図: メタノール抽出物のクロマトグラム (上: 固相抽出前、下: 固相抽出後))

表1 各種試験結果のまとめ

処理方法	薬剤略号 (AQ表示)	接着強さ		防腐性能		防蟻性能		防虫性能	ホルムアルデヒド*		4VOC	
		スギ	メランチ	スギ	メランチ	スギ	メランチ	ミズナラ	スギ	メランチ	スギ	メランチ
無処理 (Control)		○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○
製品(合板) 加圧処理	AAC	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ACQ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	CUAZ-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	AZN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
単板加圧処理	ACQ	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○
接着剤混入 処理	IM・IF・OPP (K2用)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	CF・IF・IP (K2用)	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
	N・AZ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	AC・AZ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○: 基準適合、×: 基準不適合

接着性能: 合板のJAS

防腐性能: JIS K 1571 (供試菌: オオウズラタケ)

防蟻性能: JIS K 1571

防虫性能: (社)日本木材保存協会規格

ホルムアルデヒド: 合板のJAS (○: F☆☆☆☆, △: F☆☆☆)

4VOC: トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、4VOC放散速度基準 (建材試験センター)



## 強度間伐作業マニュアルの作成

四国支所

気象環境研究領域

木材特性研究領域

林業工学研究領域

鳥居 厚志、奥田 史郎、佐藤 重穂、今富 裕樹

鈴木 寛

藤原 健

広部 伸二、田中 良明

### 背景と目的

林業の担い手不足や長引く木材不況のために、各地で間伐遅れなど手入れ不足のスギ・ヒノキ人工林が増加しています。人工林を手入れせずに放置すれば、水土保持機能などが損なわれるおそれがあります。そこで近年、本数間伐率 50%程度の強度間伐が実施されるようになりました。ただし強度間伐は、間伐遅れ林分への緊急治療としての実施効果は期待できませんが、その一方で林分成長や材質への影響、虫害や風害のリスクなど解明されていない課題もあります。そこで、それらの不明点を解明するとともに、収益面でのメリットや安全で効率的な作業も検討し、強度間伐作業マニュアルを作成しました。

### 成 果

#### 林分成長や材質への影響

一般的に、間伐を行うと林分成長量はいったん落ち込みますが、その後回復します。強度間伐（間伐率は本数ベースで 40～50%）を行った場合でも間伐後 6 年程度で成長は回復し、通常の間伐（間伐率 30%未満）と比べて成長量の違いはほとんどないか、または増加していました。また、間伐の有無や間伐の前後で材質を比較したところ、材の強度の指標である材密度や動的ヤング率に差は見られませんでした。スギでもヒノキでも通常の間伐と比べて、強度間伐が林木の成長や材質に悪影響を与える可能性はほとんどないと言えます。

#### 虫害や風害のリスク

ヒノキ林で強度間伐を行なうとマスダクロホシタマムシによる立ち枯れが発生することがあります。四国地域で立ち枯れ事例を調査した結果、低標高（海拔 600m 以下）の南向き斜面（特に斜面上部）で立ち枯れの頻度が高いことがわかりました。一方、過密林分を強度間伐すると、強風時には風害リスクが増大するが、間伐率を抑えればリスクを軽減できると予測できました。虫害や風害を受けやすい立地条件では強度間伐を避け、複数回の通常間伐を行なった方がよい場合もあると言えます。

#### 強度間伐施業の生産性とコスト削減

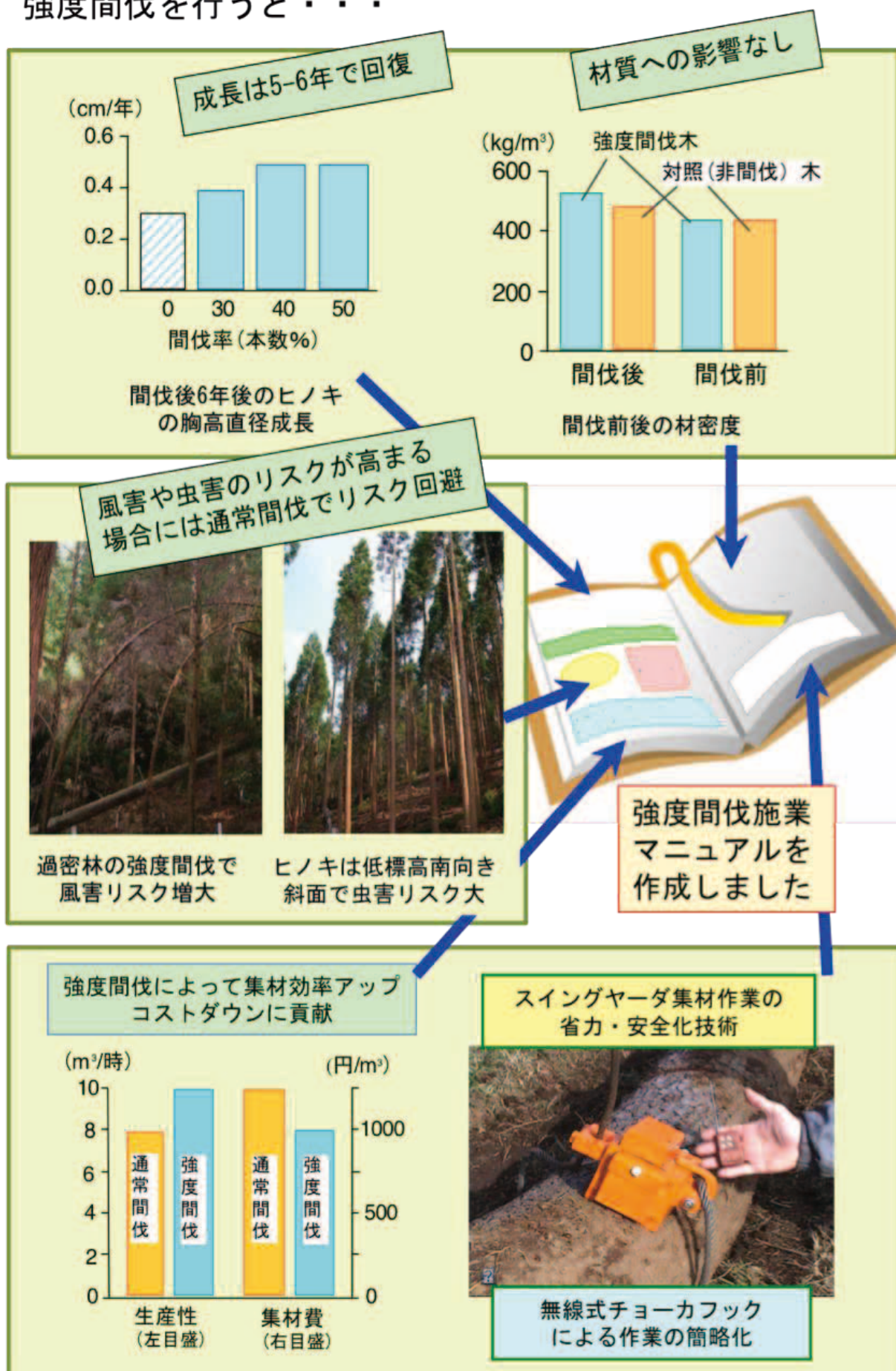
一般に強度間伐における集材作業は、「材の運搬をまとめる効果」が見込めるので、効率化やコストダウンが期待できます。スイングヤーダと H 型架線を使用した作業システムで、伐採率の変化に応じて生産性やコストを計算できる手法を開発しました。試算例では、調査地の条件下で強度間伐を行った場合の生産性は、通常間伐の 8m<sup>3</sup>/時から 10m<sup>3</sup>/時に増加し、また集材費は 1,250 円/m<sup>3</sup>から 1,000 円/m<sup>3</sup>に低下し、20%のコストダウンとなると推定できました。

#### 安全かつ効率的な作業システムの提案

間伐材の搬出作業では、スイングヤーダとプロセッサを組み合わせたシステムが活用されていますが、作業の安全性と生産効率の向上の両立は難しいものです。そこで、スイングヤーダの機体の転倒防止、無線方式を利用した荷はずし、スイングヤーダオペレータの省略を組み合わせた作業体系を提案します。

本研究は、交付金プロジェクト「管理水準低下人工林の機能向上のための強度間伐施業技術の開発」による成果です。

## 強度間伐を行うと・・・



## 生産性の向上に向けた作業システムの開発

林業工学研究領域  
北海道支所

岡 勝、中澤 昌彦  
佐々木 尚三

### 背景と目的

わが国の素材生産性は皆伐で  $5\text{m}^3/\text{人日}$ 、間伐で  $3\text{m}^3/\text{人日}$ （林野庁、H19 年度）であり、近年増加傾向にあるものの、北欧など林業先進林業国に比べ大きく立ち遅れています。こうした中、林野庁では低コストで生産性  $10\text{m}^3/\text{人日}$  を目標にした高効率の作業システムを開発するため、平成 19～21 年度の 3 カ年にわたり耐久性のある路網と高い生産能力を持つ林業機械を組み合わせ、全国 12 箇所にモデル林を設定し、作業システムの開発・実証、OJT 研修を通じた担い手育成に関する事業を実施しました。森林総合研究所では釧路モデル林、静岡モデル林、鹿児島モデル林の 3 箇所の間伐林において高効率な作業システムの開発試験を行いました。

### 成 果

#### 対象とした作業システム

生産性は、人・機械・路網・地形・対象区域などの条件に影響を受けることから、これらの条件に応じた機械の組合せ、路網の整備を進めることが大切です。ここでは、これまでの高性能林業機械をさらに改良した機械を用いて、種々の条件をもとにした作業の機能性という指標に着目し対象システムを選定しました。

釧路モデル林では、素材運搬として「輸送力」に着目し、中～大規模事業地、緩傾斜地に対応可能なフェラーバンチャ、ハーベスタ、スキッダ、フォワーダによる大型機械システムを対象としました。

静岡モデル林では、機械やシステムの小回り・融通性として「機動力」および路網から林内までの「到達力」に着目し、中規模事業地、中～急傾斜地に対応可能なチェーンソー、スーパーロングリーチグラップル、プロセッサ、フォワーダによる中～大型機械システムを対象としました。

鹿児島モデル林では、機械・システムの小回りや融通性として「機動力」に着目し、小～中規模事業地、中傾斜地に対応可能なハーベスタ（チェーンソー併用）、フォワーダによる中型機械システムを対象とし、機械台数の縮減のためハーベスタにウインチを搭載しました。

低コスト作業システムの開発例として鹿児島モデル林を図 1 に、各モデル林中核となる林業機械を図 2 に示します。

#### 生産性はどの程度向上できたか？

生産性は、材の大きさ、木寄距離、集材距離、1 回あ

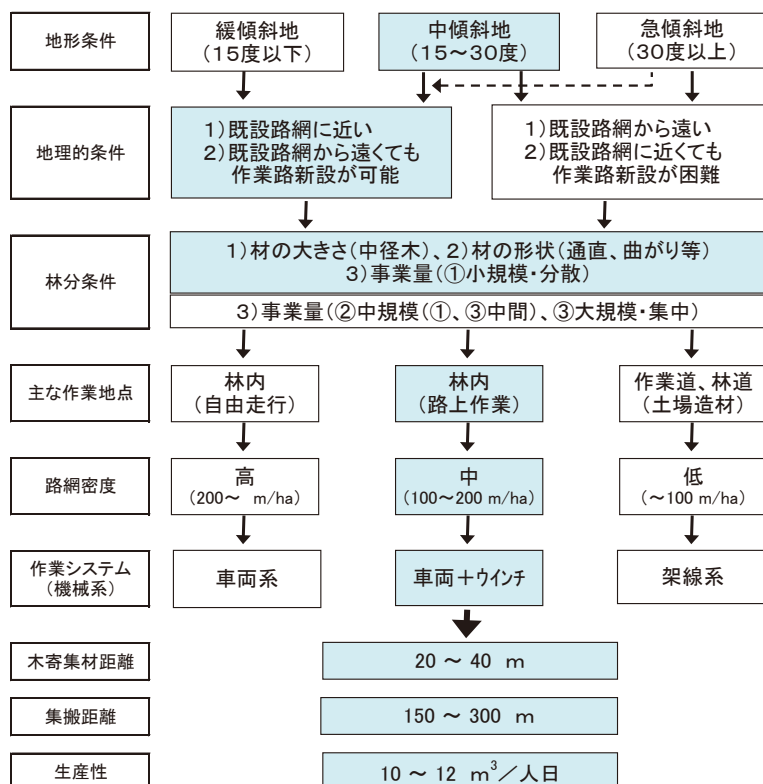
たりの丸太積載量などが大きく影響します。そこで、現場の作業条件などを把握しシステムに応じた目標が必要となります（図 3）。傾斜地で安全に作業を行うためには、路網は欠かせない生産基盤です。近年、間伐推進などにより路網整備が進められていること、小旋回型のベースマシン開発などから、林道や作業道などの道端で使われていたプロセッサが、林内の作業路上網でも実施可能となりました。プロセッサやハーベスタ、フォワーダなどの機械質量は 6～15 トンありますが、フォワーダで丸太を満車状態にしますと 10 トン近くなります。路網、機械、システム運用を改善した結果、生産性は各モデル林でいずれも目標とした  $10\text{m}^3/\text{人日}$  が達成され、作業日報による実績調査では  $15\sim 20\text{m}^3/\text{人日}$  を達成した例もありました。これは、背景と目的で述べた皆伐の値の 2～4 倍、間伐の値 3～6 倍にあたります。3 カ年の研究成果をもとに、各モデルに対応した作業マニュアルを作成しましたが、生産性の向上を図るにはさらなる検証・工夫・改善が必要となるでしょう。また、コスト縮減のためには、年間を通じた高い生産性を持続することが不可欠であり、事業量の安定確保に向けた取り組み、諸条件に応じた路網整備、路網と一体となった機械作業システムの定着・普及などの課題を連携して解明していくことが重要となります。

本研究は、政府外受託研究課題「低コスト作業システム構築のための実証試験」による成果です。





図1 低コスト作業システムの開発例（機動力の向上・鹿児島モデル林）



注) 図中の生産性は1列状間伐を想定したものであり、目標値である

図3 作業システムの目標設定と適用条件の例（鹿児島モデル林）

改良型フェラーバンチャ（釧路モデル林）



■ 改良型フェラーバンチャ（伐倒）

油圧シリンダによる本体回転機能が付加されている。そのため、伐倒方向エリアが左右90度まで拡大し作業性が向上。

スーパーロングリーチグラブプル（静岡モデル林）



■ スーパーロングリーチグラブプル（木寄集材）

山側・谷側共に車体の中心から20m 届く設計。ブーム先端に木寄用のウインチを装着すれば、さらに遠方の木寄集材が可能。

ウインチ付きハーベスタ（鹿児島モデル林）



ウインチ(リモコン機能)

■ ウインチ付きハーベスタ（伐倒、木寄集材、造材）  
伐倒、造材用のハーベスタにウインチ（リモコン機能付き）を装着し、ウインチ付きグラブプル（木寄集材）の代用として使用すれば、システムの機械削減が可能。

図2 各モデル林の作業システムで中核となる林業機械

## 国産樹種のコンテナ育苗技術の開発

林業工学研究領域  
植物生態領域  
北海道支所

山田 健、遠藤 利明  
落合 幸仁  
佐々木 尚三

### 背景と目的

現在国内では、材価の低迷等により林業者の造林意欲が薄れており、再造林放棄地の増大などが大きな問題となっています。森林の保続的利用の基本である造林を促進するために、造林初期の省力化・低コスト化が求められています。

海外では、コンテナ育苗技術が確立され、苗木を低価格で供給することが可能となっています。コンテナ苗は普通苗と比べて少ない労力で高能率に植付けることが可能で、育苗・造林作業を通じて省力・低コスト化を実現することができます。そこで、コンテナ育苗技術を国内に導入することにより、造林初期コストを大幅に低減することが期待されます。しかし、国内林業における主要造林樹種は海外のものと大きく異なるため、海外のコンテナ育苗技術の直接的な導入は困難で、国産樹種に適応したものにアレンジする必要があります。私たちは、コンテナ自体の製作も含め、国産樹種の特性に応じたコンテナ育苗技術を開発しました。

### 成 果

#### ポット苗とコンテナ苗

コンテナ苗に先駆けて、以前より鉢状の容器で育苗するポット苗というものが生産されていましたが、ポット苗には根巻きの問題があることが次第にわかってきました。根巻きとは、ポットの側面と底面の境界で苗木の根が周回する現象です。そんな苗を植栽すると根どうしが絡みあった形状に成長して互いに締め付け合うようになり、根の損傷や最悪の場合枯死に至ります。そこで根巻きを防止するために、内面に根を下方に誘導するリブ(突起)を設け、さらに底面を開放形状にして根端を空気根切りするようにした容器を多数連結したマルチキャビティコンテナが欧州で開発されました。これにより、ポット育苗の問題点を解消し、なおかつ育苗・造林を省力化・低コスト化することが可能となりました。

#### コンテナの開発

私たちは海外から輸入したコンテナで育苗技術を研究するとともに、国産樹種に最適化したコンテナの形状を模索しました。そうして開発されたのが JFA150 および JFA300 コンテナです(図-2)。国産樹種は雑草木による被陰を避けるため大きめの苗を植付ける傾向にあり、海外のコンテナと比べて容量が大きめであるほか、容器上部に灌水を有効利用するための広がり設け、連結部

には過湿害防止のための水抜き穴を設けるなどの工夫をしてあります。培地には土を使わず、保水材と排水材の混合により保水性を調整します。海外ではピートモスを基本とする培地が広く使用されていますが、日本の夏季の高温多湿には適していないことが分かり、安価で安定供給可能な培地材料を探したところ、ヤシ殻破砕物+モミ殻に行き当たりました。樹種によりこの混合比を変えて、樹種特性に合わせます。

#### これからのコンテナ育苗技術開発

国産コンテナと育苗技術の開発により、スギ、ヒノキ、ケヤキ等の国産樹種のコンテナ育苗が可能となりました。現在はアカエゾマツ、トドマツなどの北方樹種についても研究しています。コンテナ苗と専用植付け器具を使用して植付け試験を行い、普通苗と比較したところ、高い植付け作業能率を得ることができました(図-3)。現在国産コンテナは、開発後約3年間で約20,000個、苗木本数にして60～70万本分程度使用されています。今後コンテナ育苗技術が普及することにより、育苗・造林の省力・低コスト化が進展することが期待されます。

なお、育苗コンテナ金型の試作は、林野庁「低コスト新育苗・造林技術開発事業」予算により行われました。



図1 スギコンテナ苗

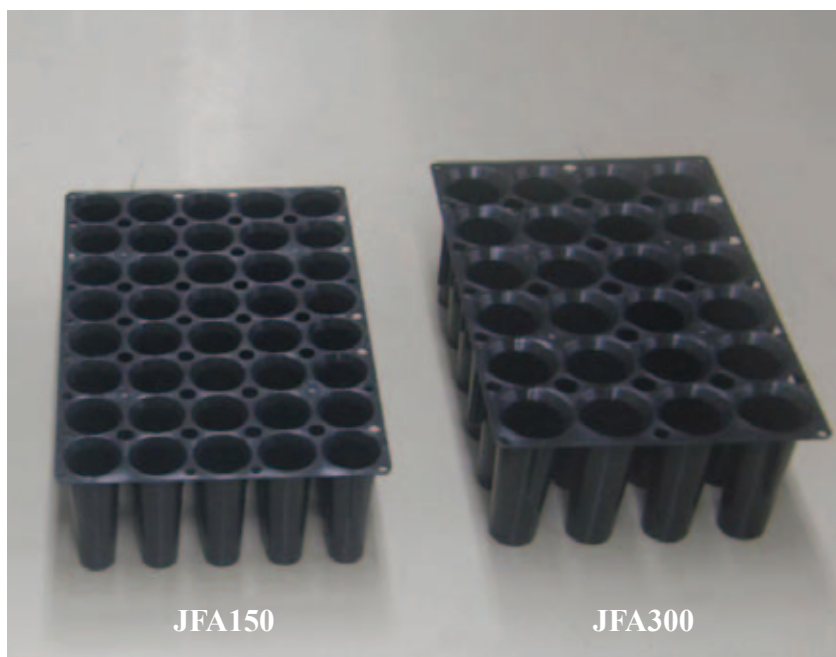


図2 国産樹種用育苗コンテナ

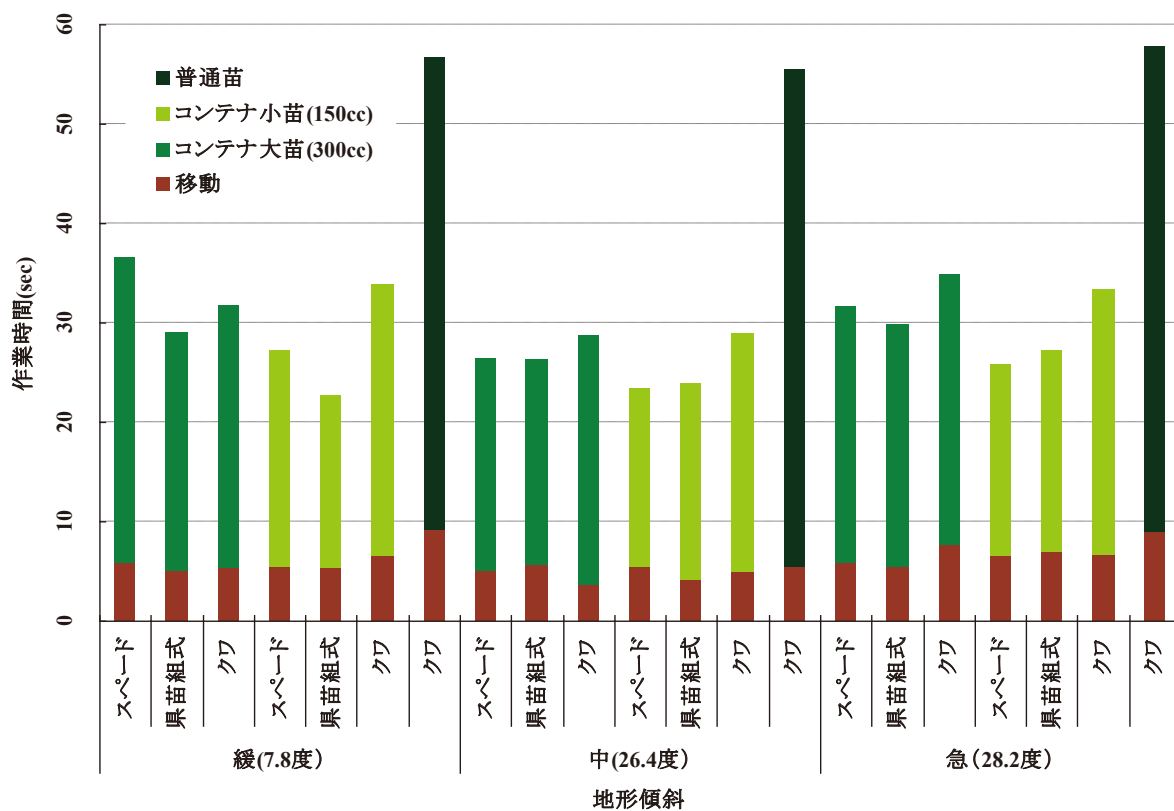


図3 スギコンテナ苗の1本あたり植付け所要時間



## スギで実現、火事に強い耐火集成材の開発 － 1 4 階建て純木造を可能にする 2 時間耐火構造開発に向けて－

木材改質研究領域  
東京農工大学大学院  
鹿島建設（株）

原田 寿郎、上川 大輔  
服部 順昭、安藤 恵介  
宮本 圭一、抱 憲誓、西村 光太、田上 淳、  
久保田 淳、和田 環、田中 裕樹

### 背景と目的

4 階建て以上の建物や防火地域の建物を木造で建設するには、木製の柱や梁を火事に強い耐火構造の材料にする必要があります。木材を石こうボードなどで被覆すれば、耐火構造にできますが、それでは木材が表面に現れず木造には見えません。H 型鋼や角型鋼の周りをカラマツやベイマツの集成材で被覆した柱や梁が 1 時間耐火構造に認定されていますが、鋼材で荷重を負担しているので木質構造とは言えません。その上、スギは耐火加熱試験終了後に燃え止まらないという欠点があり、使用できません。「スギを用いた、どこから見ても木造の耐火構造建築物を造りたい」という夢の実現に向け、集成材の一部を信頼性高く難燃化することで、集成材の柱や梁を耐火構造に変身させる技術を開発しました。

### 成 果

#### 開発のコンセプト

木質系の材料で耐火構造の認定を受けるためには、実大寸法の試験体を用いた耐火加熱試験（写真 1）で、加熱終了後も材料が壊れないことに加え、木材部分の火災が速やかに消え、自然に燃え止まることが求められます。

無処理の木材や集成材は、断面を大きくすれば、1 時間や 2 時間火災にさらされても壊れない材料にすることはできますが、加熱終了後に燃え止まらないので、断面を大きくしただけでは、耐火構造にはできません。

そこで、図 1 に示すように、荷重を支える部分の周りに、難燃薬剤を注入して防火性能を高めた木材を配置することで、火事にあってもその部分で木材が燃え止まる集成材の柱や梁を開発することにしました。一見簡単そうに見えますが、これまで、薬剤の種類や注入方法、燃え止まり層の厚さなど具体的な仕様は提案されておらず、成功例も報告されていませんでした。

本研究では、難燃薬剤として、窒素・リン酸系の薬剤を注入しました。重要な技術的ポイントは、防火性能試験で木材が着火しない程度の薬剤量をムラなく木材に注入することです。このため、薬剤注入に当たっては、木材にあらかじめ CO<sub>2</sub> レーザを用いた穴あけを行っています。

#### 1 時間耐火構造の開発

燃え止まり層の厚さが 60 mm の断面寸法 350 × 350 mm の集成材の柱を作製して 1 時間の耐火加熱試験を行ったところ、集成材は壊れず、加熱終了後に燃え止まり（図 2、写真 2）、1 時間耐火構造の性能を示しました。さらに、鹿島建設が 350 × 700 mm の断面寸法の集成材の柱と梁で性能評価を受け、スギ材のみで構成された集成材としては初となる 1 時間耐火構造の国土交通大臣認定を取得しています。これにより、4 階建ての木造建築物の建設が可能となりました。

#### 2 時間耐火構造達成の可能性

燃え止まり層の厚さが 120 mm、断面寸法 470 × 470 mm の試験体を用いれば、集成材の柱に 2 時間耐火構造の性能があることが確認され、この開発コンセプトで 2 時間耐火構造の開発が可能であることが明らかになりました。

2 時間耐火構造が実現すれば、5 階から 1 4 階建ての木造建築物を建設することが可能となることから、「銀座に中層木造建築物出現」ということも夢ではなくなります。

本研究は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（課題番号 2009）」による成果です。

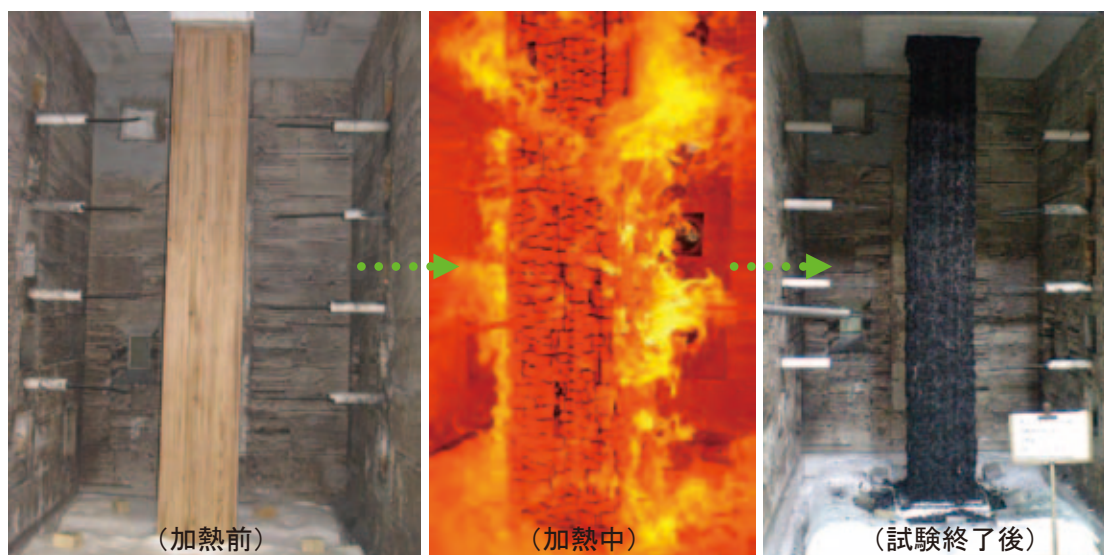
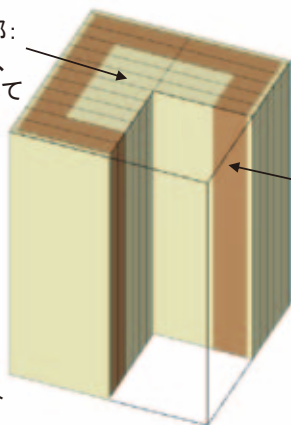


写真1 集成材柱の耐火加熱試験

柱の耐火試験では長さ 3.3m の試験体を加熱します。炉内温度は 1 時間の試験では 945℃、2 時間の試験では 1050℃に達します。

集成材の荷重支持部：  
荷重を支える部分で、  
難燃薬剤は注入されて  
いません。



燃え止まり層：  
難燃薬剤を注入した木材を荷重  
支持部の周りに配置します。  
薬剤をムラなく注入するため、木  
材への薬剤注入は、CO<sub>2</sub>レーザ  
による穴あけ後に行います。

図1 耐火集成材の開発コンセプト

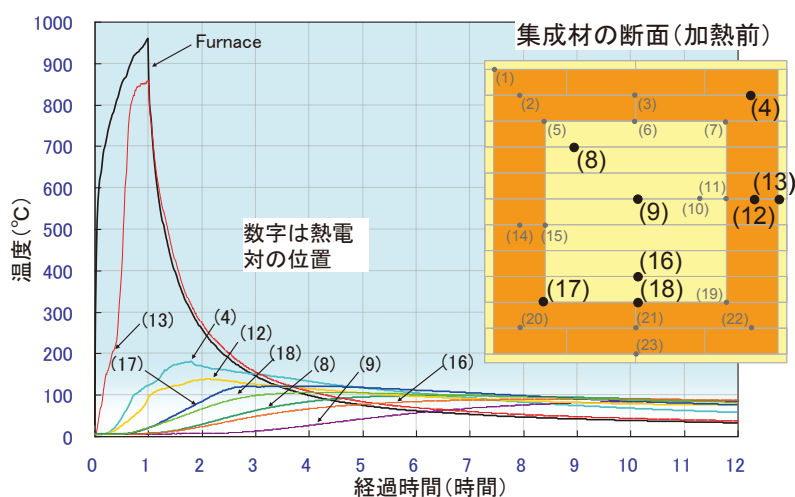
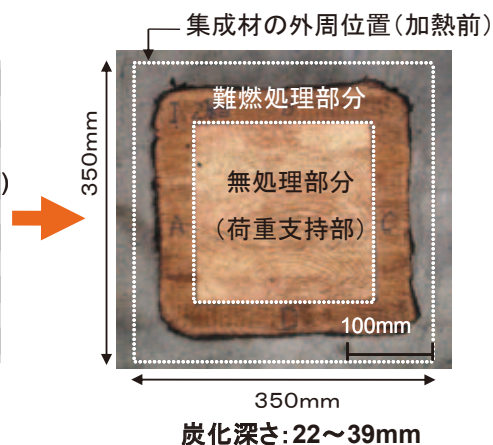


図2 1時間耐火試験での集成材内部の温度変化

試験体は破壊せず、荷重支持部と燃え止まり層との境界部最高温度も 121.4℃と木材の炭化温度 (260℃) に達することなく、耐火性能を示しました。

写真2 1時間耐火試験後の集成材断面  
炭化は表層から 39 mmで止まり、  
燃え止まりが確認されました。

## シイタケのひだ褐変化に関わる ラッカーゼ遺伝子の染色体上での位置の決定

九州支所  
(財) 岩手生物工学研究センター

宮崎 和弘  
坂本 裕一

### 背景と目的

スーパーなどで販売されている生シイタケは、日数の経過とともにひだ部分が褐変化して商品価値が下がっていき、最終的には売り物にならず廃棄されてしまいます。このひだの褐変化を遅らせることが出来れば、生シイタケ商品の日持ちが長くなり、販売上のロスを減らすことにつながります。この収穫後のひだの褐変化は、品種間で差がみられることが観察されており、すでにラッカーゼ酵素が関与していることが報告されています。そこで、より日持ちのよいシイタケ品種を効率的に作っていくことを目的として、シイタケの染色体上にひだの褐変化に関わるラッカーゼ遺伝子を位置づけました。

### 成 果

シイタケの収穫後の褐変化については、品種間で差が見られます(図1)。これまでの研究により、このシイタケのひだの褐変化には、ラッカーゼ\*と呼ばれる酸化酵素の一種が関与していることが分かっています。そこで日持ちのよいシイタケの開発を効率的に行うため、シイタケの生産するラッカーゼ遺伝子の染色体上での位置を決定することとしました。現在までに DNA 配列が解析されている 4 種類のシイタケのラッカーゼ遺伝子(*lcc1* ~ *lcc4*) の DNA 配列情報を基に、それぞれのラッカーゼ遺伝子増幅に用いるプライマー\*を設計しました。次に、そのプライマーを用いて孢子菌株の各ラッカーゼ遺伝子の一部を増幅し、一本鎖 DNA のとる二次構造の違いにより多型を検出する SSCP\* という解析法で、各遺伝子の分離パターンの解析を行いました(図2)。既報のシイタケの連鎖地図\*のデータと照合し、各ラッカーゼ遺伝子の連鎖地図上の位置を決定しました。そうすると、図3に示しましたように、*lcc1* ~ *lcc4* は異なる連鎖群(LG)に位置することが分かりました。つまり、

*lcc1* ~ *lcc4* は同じラッカーゼ活性をもつ酵素の遺伝子にも関わらず、染色体上の位置には関係がないといえます。この結果から、今後ラッカーゼ活性の異なるシイタケを育種する上では、*lcc1* ~ *lcc4* の各遺伝子の集積を行うことは比較的簡単であることが判明しました。また、シイタケのひだの褐変化には、特にこの中の *lcc4* が強く関わっていることから、今後、褐変化の違いに関係している、*lcc4* 遺伝子配列の品種間での違いを特定し、褐変化しにくい品種の早期検定技術の開発につなげていきたいと考えています。

ラッカーゼ遺伝子の位置づけに使用した連鎖地図に関する情報については、Miyazaki et al. (2008) Genetic map of a basidiomycete fungus, *Lentinula edodes* (shiitake mushroom), constructed by tetrad analysis., Breeding Science, 58:23-30 をご参照ください。





図1 シイタケの褐変化の品種間の比較

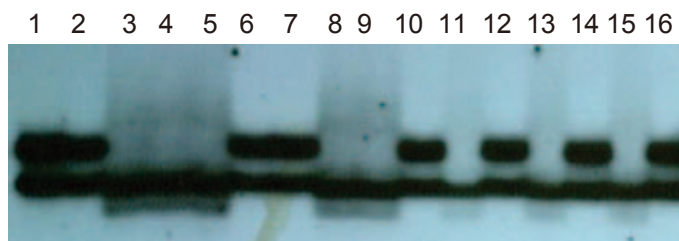


図2 *lcc1* 遺伝子のSSCP解析例  
(泳動パターンの違いから、菌株間の  
*lcc1* 遺伝子の分離パターンを解析  
することが出来る)

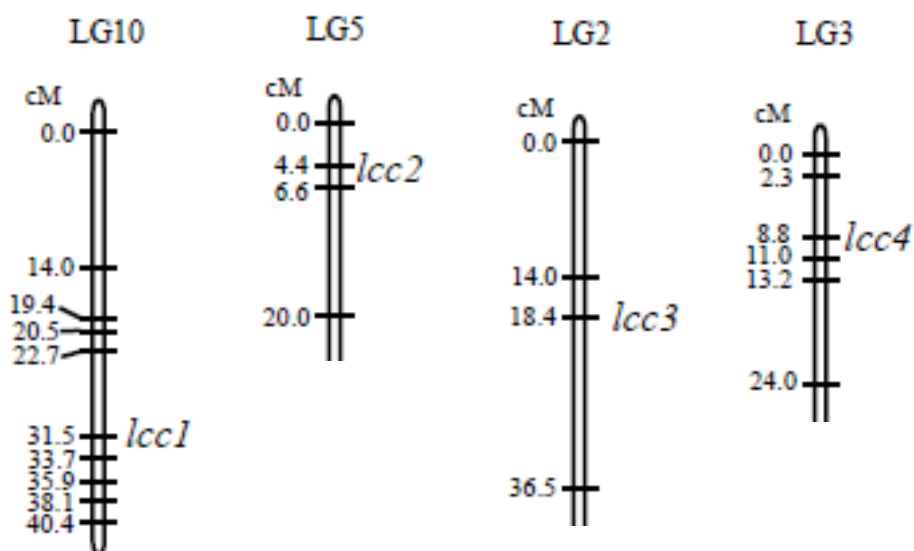


図3 *lcc1* ~ *lcc4* 遺伝子のマッピング結果  
(それぞれの遺伝子が異なる連鎖群: LG に  
位置づけられたことから、異なる染色体上に  
位置していることが予想される)

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

# オゾン耐性遺伝子組換えポプラは耐乾燥性や耐塩性を保持する

生物工学研究領域

毛利 武、古川原 聡、篠原 健司

## 背景と目的

温暖化など地球環境の悪化に伴い、世界の荒漠地（乾燥地や耕作放棄地など）の面積は年々増加し、陸地の約 30%に達しています。荒漠地の緑化には、高環境ストレス耐性を保持したスーパー樹木の開発が期待されています。

本研究では、環境保全に貢献するスーパー樹木の開発を目指して、大気汚染で問題とされる高濃度のオゾンに耐性を示す遺伝子組換えポプラを作出しました。また、この組換えポプラが耐乾燥性や耐塩性などの他の環境ストレス耐性を保持することを明らかにしました。ここで開発した遺伝子組換え技術は、種々の環境ストレスに対応可能なスーパー樹木の開発に役立ちます。

## 成 果

### オゾン耐性遺伝子組換えポプラの作出

硫酸化物やオゾンによる大気汚染は深刻な社会問題です。植物は気孔から大気汚染ガスを取り込み、解毒することができますが、濃度が高い場合には植物自身に傷害が生じ、落葉したり、枯死したりします。この傷害は植物ホルモンのエチレンの合成により起きます。そこで、エチレン合成酵素遺伝子を発現抑制して、エチレン合成を阻害した遺伝子組換えポプラを作出しました（図1）。この組換えポプラはオゾン耐性を示し、高濃度のオゾンに暴露したところ、オゾン暴露による葉の傷害は生じませんでした。反対に、エチレン合成を促進する組換えポプラを作出したところ、こちらはオゾン感受性を示し、低いオゾン濃度でも葉の傷害が観察できました。これらの技術を応用することで、大気汚染に強い緑化木や大気汚染に敏感な環境指標樹木の開発が期待できます。

### 耐乾燥性と耐塩性の評価

遺伝子組換え技術により特定の環境ストレスに対する耐性を向上させたとしても、それだけでは組換え樹木の有用性を議論することはできません。なぜなら、遺伝子組換えにより他の環境ストレス耐性にも影響を及ぼす可能性が生じるからです。そこで、オゾン耐性組換えポプラの乾燥ストレスと塩ストレスに対する応答を解析しました。

野生型ポプラへの水供給を停止し乾燥ストレスを与えると、葉はしおれて褐変し、徐々に枯死に至りますが、組換えポプラでは葉の傷害の発生が抑えられました（図2）。また、根から大量の塩化ナトリウムを吸収させ高塩ストレスを与えた場合にも、野生型ポプラの葉はしおれて褐変しますが、組換えポプラでは葉の傷害の発生が抑えられました（図3）。どちらの環境ストレスも野生型ポプラのエチレン合成を誘導しましたが、オゾン耐性組換えポプラではエチレン合成は低く阻害されたままでした。

以上のことから、環境ストレスによる葉の傷害発生過程にエチレン合成が深く関与し、エチレン合成を抑制することで環境ストレス耐性を獲得したと説明できます。また、エチレン合成を抑制するために適用した遺伝子組換え技術は、オゾン耐性だけではなく、耐乾燥性や耐塩性を高める方法としても有効であることが明らかとなり、種々の環境ストレスに対応可能なスーパー樹木の開発に役立ちます。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「環境保全に貢献するスーパー樹木の創出に向けた基盤技術開発」の成果です。

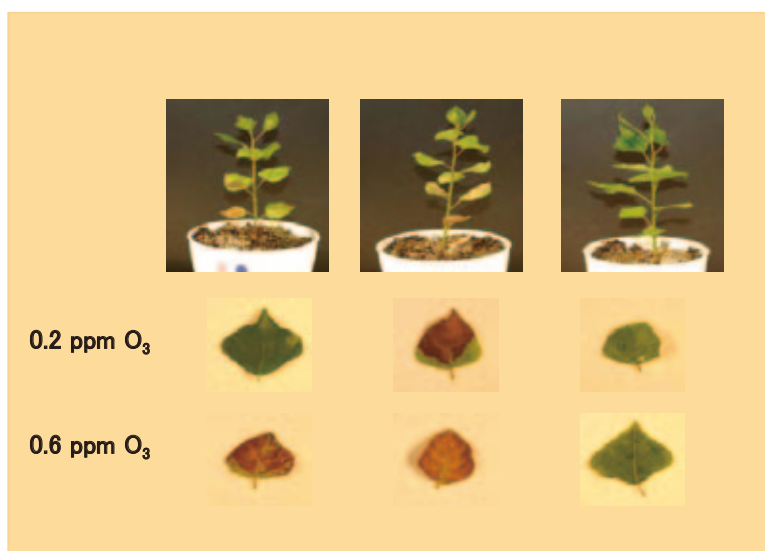


図1 オゾン耐性遺伝子組換えポプラの作製

左列：野生型ポプラ。中央列：エチレン合成酵素遺伝子を過剰発現させた組換えポプラ。右列：同じ遺伝子の発現を抑制した組換えポプラ。エチレン合成を抑制したポプラは強いオゾン耐性を、逆にエチレン合成を促進したポプラは、強い感受性を示します。

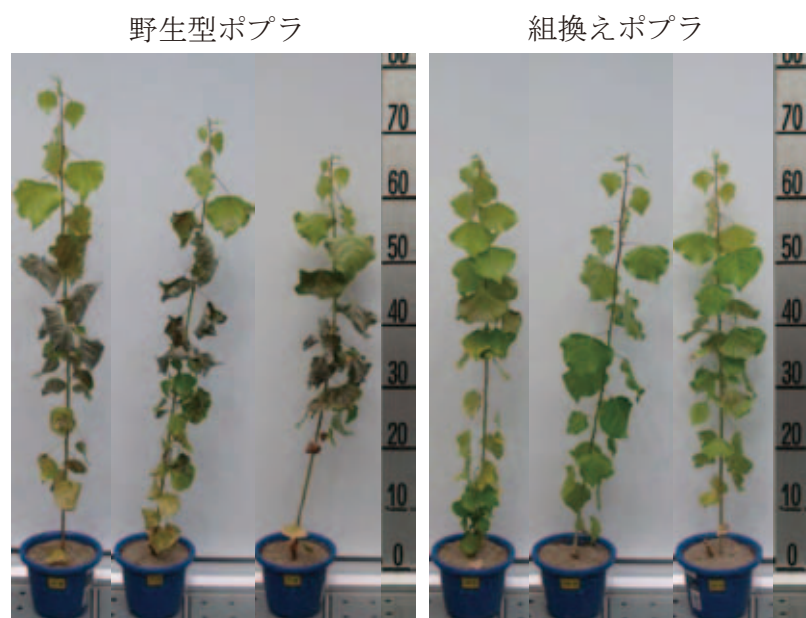


図2 乾燥ストレスに対する応答

水の供給を停止すると、葉はしおれて間もなく褐変が進み、下部の葉から枯れ落ちていきます。エチレン合成を抑制した組換えポプラでは、このような褐変と枯死が緩和されます。

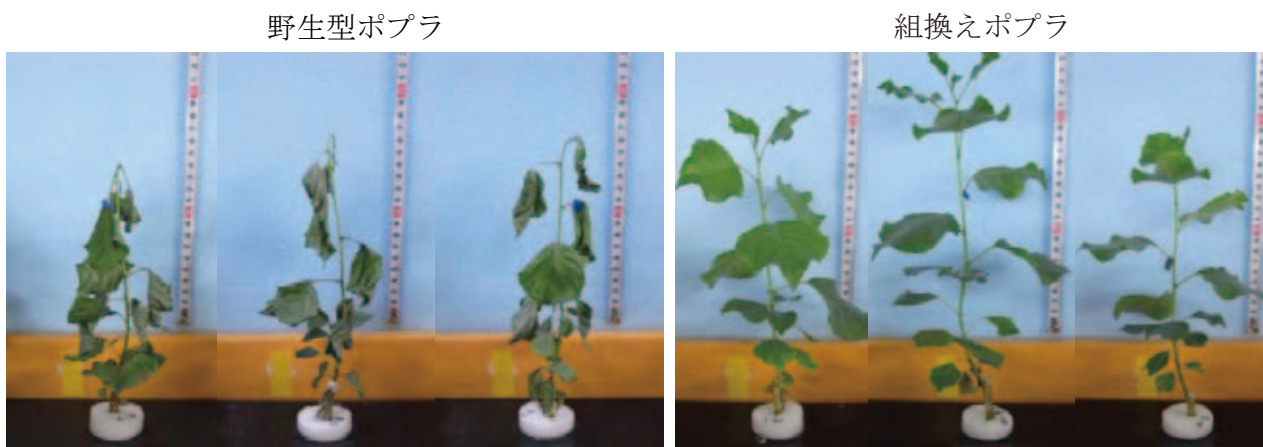


図3 塩ストレスに対する応答

根から大量の塩化ナトリウムを吸収させた野生型ポプラは数日以内に枯死します。エチレン合成を抑制した組換えポプラでは、この期間内に葉が枯れないだけでなく、光合成活性も維持します。



## スギ花成制御遺伝子の単離と機能解析

生物工学研究領域

二村 典宏、片畑 伸一郎、篠原 健司

### 背景と目的

近年、わが国ではスギ花粉症患者が急増し、深刻な社会問題となっています。スギ花粉症対策の一つとして、スギの雄花形成に係る遺伝子の働きを制御した遺伝子組換えスギの開発が進められています。スギの花粉発生を抑制する遺伝子組換え技術を開発するためには、どのような仕組みでスギの花は形成されるのかを理解する必要があります。

本研究では、スギの花の形成（以後、花成とします）に関連する遺伝子群を単離し、それらの遺伝子の役割について調べました。その結果、スギの花成を制御している 2 つの遺伝子を特定することができました。

### 成 果

#### スギの花成に関わる候補遺伝子の単離

モデル実験植物であるシロイヌナズナでは、花成メカニズムの解明が進んでいます。一方、スギなどの裸子植物では花成に関わる遺伝子の存在やその役割についてほとんど分かっていません。シロイヌナズナ等では、花成をはじめとする様々な発達過程に関わる遺伝子として、MADS-box 遺伝子と呼ばれる遺伝子グループの存在が知られています。そこで、これらの遺伝子とよく似た構造を持つ遺伝子について 10,463 種類のスギ雄花完全長 cDNA を探索した結果、12 個のスギ MADS-box 遺伝子を単離しました。

単離したスギ MADS-box 遺伝子が花成制御に関わるかを短期間で検証するため、これらのスギ遺伝子を過剰発現させた遺伝子組換えシロイヌナズナを作しました。その結果、シロイヌナズナの花成を促進するように働くスギ遺伝子が 2 種類あることを明らかにしました（図 1）。系統解析という手法によりこれらの遺伝子を分類したところ、一つは *SOC1* のグループに属する遺伝子、もう一つは *API1/SEP* のグループに属する遺伝子であることから、それぞれ *CjSOC1* 遺伝子と *CjAPI1/SEP* 遺伝子と名付けました（図 2）。

#### スギの花成に関わる遺伝子の特徴

次に、この 2 種類の遺伝子がスギのどの器官で働いているのかを調べました（図 3）。*CjSOC1* 遺伝子

は、花粉以外の全ての器官で発現していました。一方、*CjAPI1/SEP* 遺伝子は、針葉でもわずかに発現していましたが、主に花で発現していることが分かりました。さらに、この 2 種類の遺伝子がスギの花成に及ぼす影響について調べました。スギは通常、種を播いてから開花するまで 10 年～20 年程度かかるといわれていますが、ジベレリンという植物ホルモンを散布すると苗木でも開花させることができます。6 年生のスギ苗木にジベレリンによる花成誘導をおこない、その後の遺伝子発現の経時変化を調べた結果、*CjSOC1* 遺伝子の発現はジベレリン処理後 1 週間で上昇するのに対し、*CjAPI1/SEP* 遺伝子の発現は雄花が肉眼で観察される頃に上昇していました。以上の結果から、2 種類の遺伝子が役割を分担してスギの花成制御に関わっていると考えています。

本研究で得られた成果は、スギ雄花形成の制御による花粉発生抑制技術の開発に役立つと考えられます。また、遺伝子組換え樹木を野外に植える際に、組換え体からの花粉飛散による遺伝子汚染を防止する技術開発にも役立つと考えられます。

本研究は、林野庁事業「遺伝子組換えによる花粉発生制御技術の開発事業」による成果です。

成果の一部は Futamura, N ほか (2008) BMC Genomics 9:383 をご覧ください。

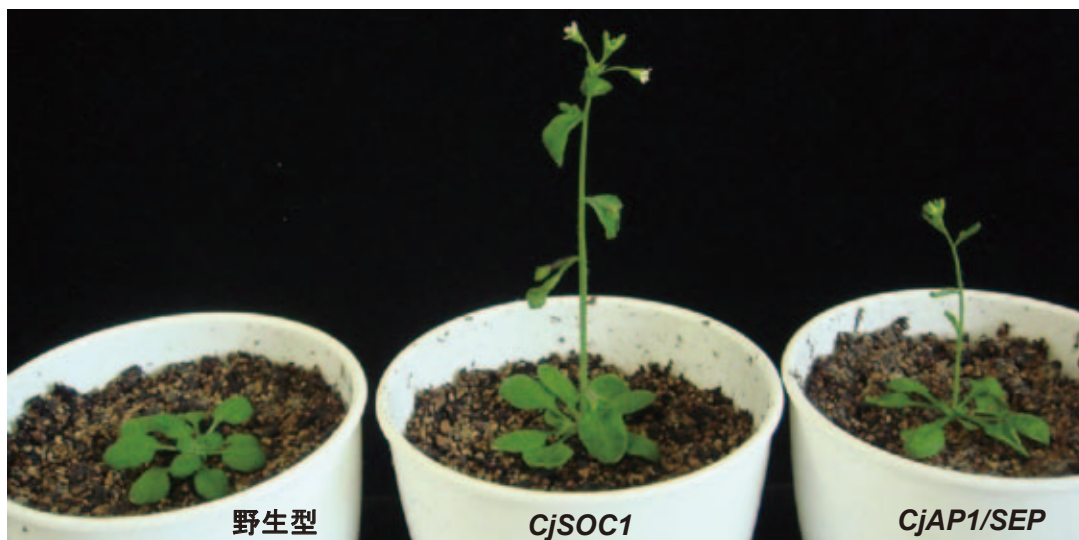


図1 スギ MADS-box 遺伝子を過剰に発現させたシロイヌナズナの開花  
野生型では花芽形成が始まっていない時期（播種 20 日後）に、組換え体では開花します。

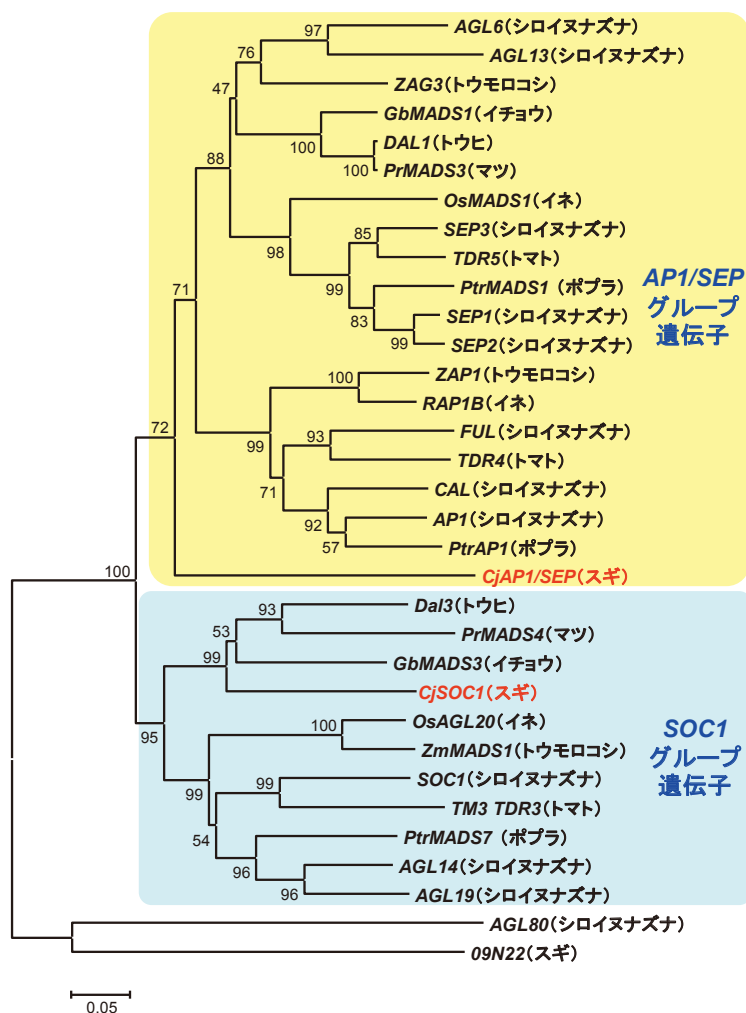


図2 AP1/SEP 遺伝子と SOC1 遺伝子によく似た構造を持つ MADS-box 遺伝子の系統解析

スギから単離した MADS-box 遺伝子（赤文字）を類似の遺伝子と比較しました。黄枠内及び青枠内の遺伝子は、AP1/SEP グループ及び SOC1 遺伝子グループを示します。

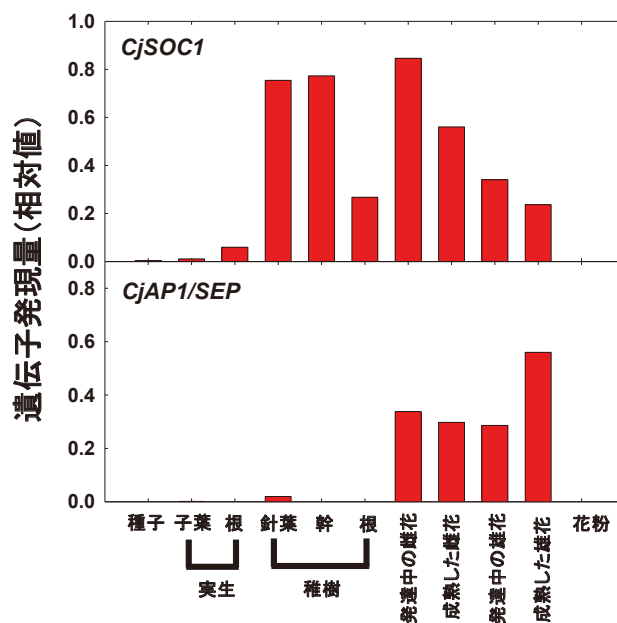


図3 CjSOC1 遺伝子と CjAP1/SEP 遺伝子のスギ各器官での遺伝子発現特性

CjSOC1 遺伝子は花粉以外の全ての器官で発現しています。一方、CjAP1/SEP 遺伝子は針葉でもわずかに発現していますが、花での発現量が多いことが明らかになりました。

## 貴重なヒノキ天然林の遺伝的特徴を評価する

森林遺伝研究領域  
元筑波大学

松本 麻子、津村 義彦、谷 尚樹（現国際農林水産業研究センター）  
内田 煌二

### 背景と目的

ヒノキの森林面積は針葉樹ではスギに続いて広く、資源として十分に蓄積されていると考えられがちです。しかし、その内訳は人工林が大半で、天然林は保護林などとしてごくわずかの面積しか残っていません。ヒノキ天然林は、近年になって伐採の制限などで保護されるようになるまで、強度な伐採が行われてきました。そして現在では、森林の分断化や個体数の減少が進み、天然林は貴重な林となっています。この研究の目的は、ヒノキ天然林の遺伝的な特徴を評価して理解を深め、その保全や将来の遺伝子資源活用のための情報を得ることです。

## 成 果

### 遺伝的多様性の特徴

マイクロサテライトマーカー 13 座を用いて、ヒノキ天然林の分布域（北限の福島県いわきから南限の鹿児島県屋久島まで）から選んだ 25 ヶ所の森林の解析を行いました（図 1）。マイクロサテライトマーカーは核 DNA に存在する多様性に富む DNA マーカーとして、遺伝的な情報の把握に役立つことが期待される DNA マーカーです。解析の結果、各々の天然林の間の遺伝的な違い（遺伝的分化）は小さく、ヒノキ天然林の全体からみて 4.0 % と低いものでした。各々の天然林が遺伝的にどの程度多様性に富んでいるかを調査したところ、分布域の北限のいわきや南限に近い小林で遺伝的多様性が低下していることが分かりました。この結果は、天然林の分断化や過開発が影響していることが考えられます。一方、天然林が広く残っている中部地方では、遺伝的多様性も高い状態で保持されていました。

### 南北で異なる遺伝要素と適応的な遺伝子候補の検出

ヒノキ天然林は地域間の遺伝的分化の程度は低かったものの、遺伝的特徴が南北で異なることが明らかになりました（図 2）。ヒノキ天然林は 4 タイプの遺伝要素が

ら成り立っていて、北限のいわき天然林や南限の屋久島天然林は、他の天然林と全く異なる遺伝的特徴を示しました。それ以外の天然林は、複数タイプの遺伝要素が混合しており、割合が徐々に変化しました。また、マイクロサテライトマーカーの Cos2619 遺伝子座は、自然選択に対して中立な状態から予想される以上に天然林毎の遺伝子頻度が大きく異なっていることがわかり、適応的な遺伝子の候補になり得ると考えられます。

### 資源の保全に向けて

これらの研究結果から、分布域の端および端に近い天然林は、遺伝的多様性が低下していること、および他の地域の天然林と遺伝要素がかなり異なることなどから、今以上に個体数が減少しないように保全する必要があることが分かります。また、個体数が多く多様性が保持されている中部の天然林も、多様な遺伝資源を確保する上で保全の意義が高いといえます。

本研究は「予算区分：科学研究費補助金、課題名：希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。



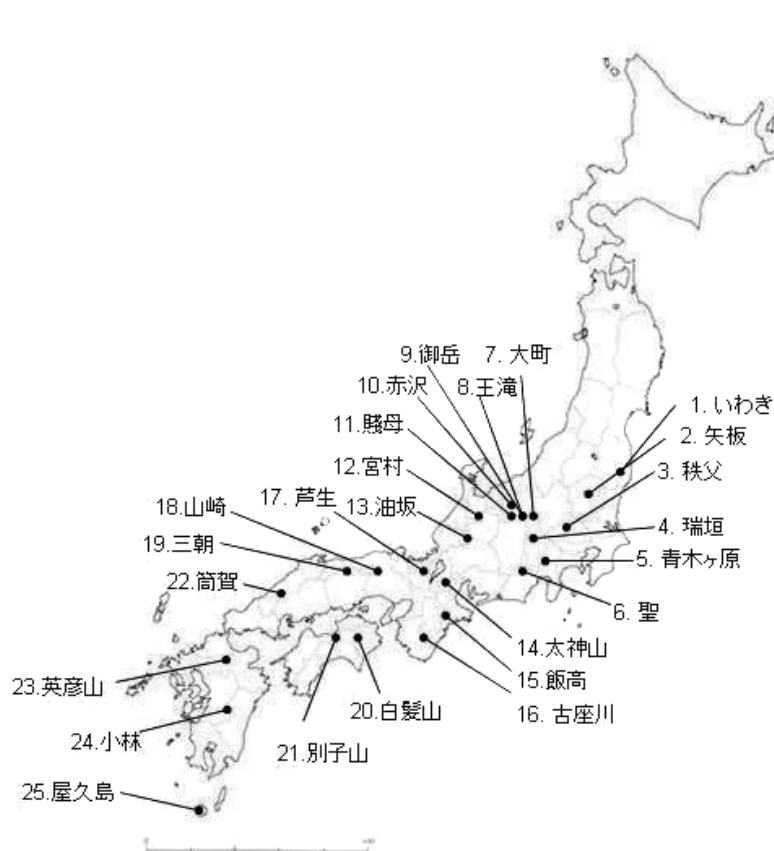


図1 解析したヒノキ天然林

ヒノキの天然林はごく限られた面積となって各地に散在しています。天然分布の範囲を網羅するように、北限のいわきから南限の屋久島まで25カ所の天然林を解析しました。

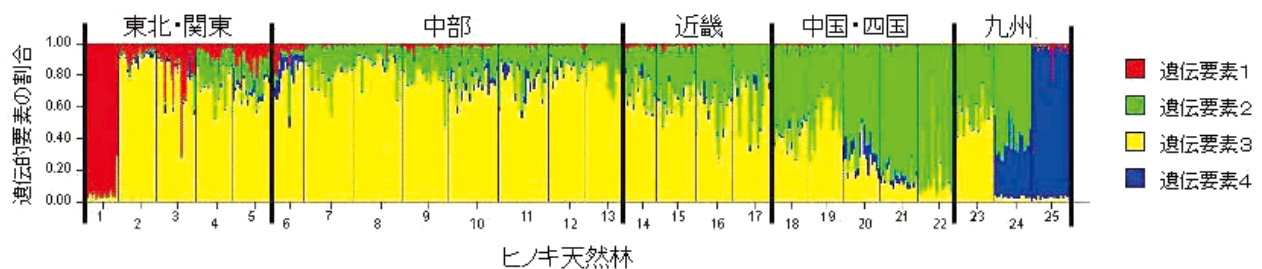


図2 ヒノキ天然林における4タイプの遺伝要素の割合

25カ所の天然林の間の遺伝的関係を推定するために、遺伝要素というものを考えます。実際の天然林はいくつかの遺伝要素が混じり合った状態と考えられ、混じり合いの状態が似ていればそれらの天然林は遺伝的に似ており、混じり合いの状態が似ていなければそれらの天然林は遺伝的な関係が希薄であると考えられます。例えば、北限のいわき(1)は遺伝要素1で占められ、遺伝要素3の割合が多い矢板(2)以南の天然林とは遺伝的にかなり異なっています。また、南限の屋久島(25)は遺伝要素4で占められ、すぐ北にある小林(24)とは3分の1くらい似ていますが、英彦山(23)以北とは全く似ていません。また中間的な位置にある天然林は遺伝要素2と3の割合が徐々に変化し、遠く離れるほど違いが大きくなることがわかります。

# リグニンの高度利用が可能な同時糖化湿式粉碎法を開発

バイオマス化学研究領域  
研究コーディネータ

大塚 祐一郎、中村 雅哉  
大原 誠資

## 背景と目的

リグニンは木材の 20～30% を占める主成分であるにもかかわらず、その有効な利用方法はこれまでほとんど確立されてきませんでした。その理由として、木材からリグニンを取り出す際にリグニンが著しい変性を受け、元々複雑だった構造がより一層複雑になり、利用が困難になっていることが挙げられます。そこで本研究では、新たに同時糖化湿式粉碎法という技術を開発し、木材中のリグニンをほとんど変性させないまま取り出すことを目的としました。

## 成 果

### リグニンとは

木材は主にセルロース（約 50%）、ヘミセルロース（約 20%）、リグニン（約 20～30%）の 3 成分で構成されています。このうちセルロースやヘミセルロースは紙やパルプの原料、甘味料等の食品添加物など高度に利用されているだけでなく、近年ではセルロースからバイオエタノールの発酵生産など燃料への利用も盛んに研究されています。一方リグニンは、現状ではその構造の複雑さから取り扱いが難しく、有効な利用方法が確立していない木の主成分です。

### 同時糖化湿式粉碎法の開発

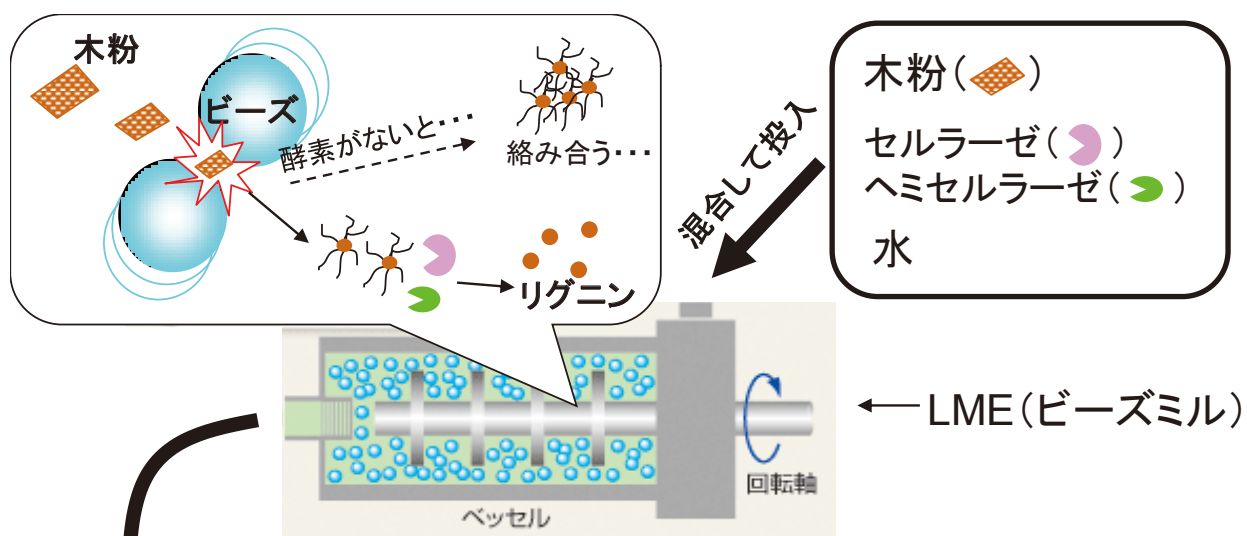
リグニンを利用する為には、まず木材からリグニンを取り出す必要があります。これまでに開発されてきた方法は木材に酸やアルカリを加え、高温で処理する方法です。この方法では木材中のリグニンは縮合という反応によって、より複雑で分解しにくい物質に変性してしまうという問題点がありました。そこで本研究では、同時糖化湿式粉碎法という新たなリグニンを取り出す方法を開発しました。この方法ではセルラーゼ、ヘミセルラーゼといった木材中のセルロース、ヘミセルロースを分解する酵素とビーズミルという粉碎機を使います。木材中でセルロース、ヘミセルロース、リグニンは互いに強固に結合しているため、セルラーゼ、ヘミセルラーゼを効率よく働かせる為には木材を細かく碎いて微粉末にすることが必要です。それは、微粉末化することによりセルロース、ヘミセルロースがむき出しになり酵素が作用できるようになるからです。しかし、むき出しになったセルロース、ヘミセルロースは繊維なので互いに絡み合うため、これまでは約半分のセルロース、ヘミセルロースし

て分解することが出来ませんでした。そこで、木材の粉碎と同時に酵素処理を行うことによりセルロース、ヘミセルロースが絡み合う前に分解することを可能にし、効率を上げることを考えました。酵素処理と粉碎を同時に行うためには酵素が働く水の中で粉碎できることと、酵素が壊れるような高温（60℃以上）や強い衝撃が無いという条件が必要です。これらの条件を満たす粉碎機として、アシザワ・ファインテック社製の LME というビーズミル粉碎機を選定しました。このビーズミルに木材、水、セルラーゼ、ヘミセルラーゼを投入し、粉碎しながら酵素処理を行ったところ、セルロース、ヘミセルロースが絡み合うことなく高効率に分解され、最終的に 90% 以上のセルロース、ヘミセルロースが分解除去されて粉末としてリグニンが残ることが分かりました。これが今回開発した同時糖化湿式粉碎法です（図 1 参照）。

### 同時糖化湿式粉碎法で得られたリグニンの性状

同時糖化湿式粉碎法によって得られるリグニンを酸化分解すると、従来の酸やアルカリを使って得たリグニンと比べて 2 倍以上の低分子酸化分解物が得られ（図 2 参照）、縮合という反応がほとんど起こっていない未変性のリグニンであることが明らかとなりました。今回開発した同時糖化湿式粉碎法を使えばこれまで得ることが難しかった未変性のリグニンを効率よく得ることが出来る為、グリーンプラスチックへの変換など新しいリグニンの高度利用に繋がると考えられます。

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素材への変換法の解明」による成果です。

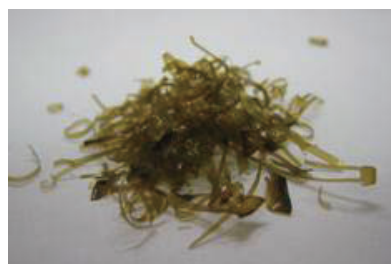


※この中で木粉が粉碎されると同時にセルロース・ヘミセルロースが絡み合う前に酵素により高効率に分解され溶け出します(90%以上)が、リグニンは分解されないのので溶けません。



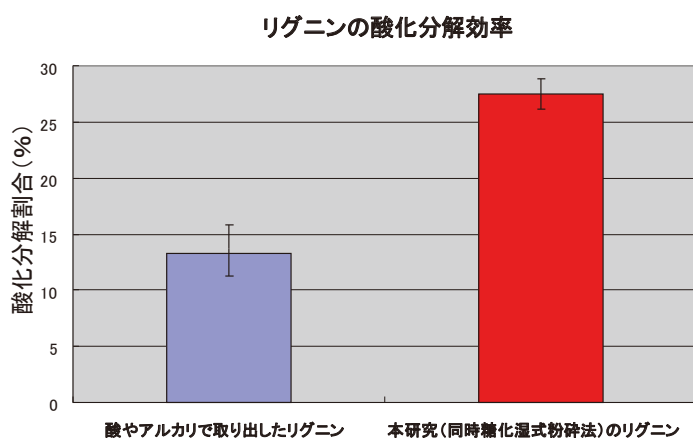
得られた懸濁液の残渣がリグニンです。

水で洗って乾燥



これが未変性のリグニンです。

図1 同時糖化湿式粉碎法



同時糖化湿式粉碎法によって得られるリグニンは、従来のリグニンと比較して2倍以上の分解効率を示しました。

図2 同時糖化湿式粉碎法で得られるリグニンの酸化分解効率



## 品種や樹幹内部位によって異なるスギの収縮特性

木材特性研究領域

山下 香菜

企画部

平川 泰彦

富山県森林水産総合技術センター木材研究所

中谷 浩

熊本県林業研究指導所

池田 元吉

### 背景と目的

近年、スギなどの造林木が使われるとき、寸法や強度が安定している乾燥材が求められるようになりました。様々なやり方で乾燥した場合に、どのような材料が割れやすく、狂いやすいかを明らかにすることが必要です。また、その理由を明らかにすることは、今後どのような木を育てて利用するかを考えるためにも重要です。

乾燥で割れや狂いが生じる主な原因は、木材の縮み方が方向や部材内の位置で異なるためです。そこで、本研究では、スギの在来品種を用いて、品種や樹幹内の部位によって収縮特性がどのように異なるか、また、なぜ異なるかを明らかにすることを目的としました。

## 成 果

### 品種や樹幹内部位による収縮率の違い

スギの在来品種を用いて、樹幹の様々な部分の全収縮率（生材から完全に乾いた材までの収縮率）を比較しました。樹幹の内側と外側、あるいは地上からの高さによって、収縮率が異なることが明らかになりました（図1）。また、品種によって、樹幹内部位による違いが大きいタイプと小さいタイプとがありました。さらに、品種によって収縮率の大きさ自体も異なりました。これらの結果は、同じスギ材であっても、木材の縮み、割れ、狂いが、製材品を切り出す位置あるいは品種によって異なることを示しています。

### セルロースマイクロフィブリル傾角が収縮率に及ぼす影響

木材の収縮は、方向によって大きさが異なり、接線方向＞半径方向＞軸方向の順になっています。この収縮の異方性は、主に細胞壁の骨格にあたるセルロースマイクロフィブリルの並ぶ向き（マイクロフィブリル傾角）によるものです。本研究では、同じスギであっても、樹幹内部位や品種によってマイクロフィブリル傾角が大きく異なり、スギの収縮率の大きさと異方性には、マイクロフィブリル傾角が大きく影響を及ぼすことが明らかになりました（図2）。例えば、細胞分裂して木材になる形成層が若いときにつくられた未成熟材という部分でマイクロフィブリル傾角が特に大きい材料では、軸方向の収縮率が大きいために長さ方向の曲がりが生じやすく、マイクロフィブリル傾角が小さい材料では、接線方向と半径方向の収

縮率が大きいために、縮み量が大きく、割れやすくなる可能性があります。

### ヤング係数と収縮率との関係

構造用材の強さの指標となっているヤング係数（変形しにくさ）は、タッピング法（叩いて音の周波数を測る）で壊さずに調べることができます。ヤング係数は、マイクロフィブリル傾角と関係していますが、スギでは、マイクロフィブリル傾角のバラツキが大きいために、ヤング係数の値にもバラツキがあります。本研究で、ヤング係数と収縮率は相互に関係していることが明らかになりました（図3）。このことは、生材丸太や乾燥前の製材品のヤング係数を測定することによって、収縮率が大きい、つまり割れやすいあるいは狂いやすい材料を選別できる可能性を示しています。今後は、ヤング係数や収縮率に影響を及ぼすマイクロフィブリル傾角などの木材の性質が、木材がつくられる段階で、なぜ樹齢や地上からの高さによって異なるのか、遺伝的にどのようにコントロールされているのかを明らかにしていきます。

本研究は、運営費交付金「主要造林木の間伐木の材質特性に及ぼす未成熟材部の特性解明」による成果です。詳しくは、「K Yamashita et al (2009) Journal of wood science55(1):1-7」「K Yamashita et al (2009) Journal of wood science55(3):161-168」をご覧ください。

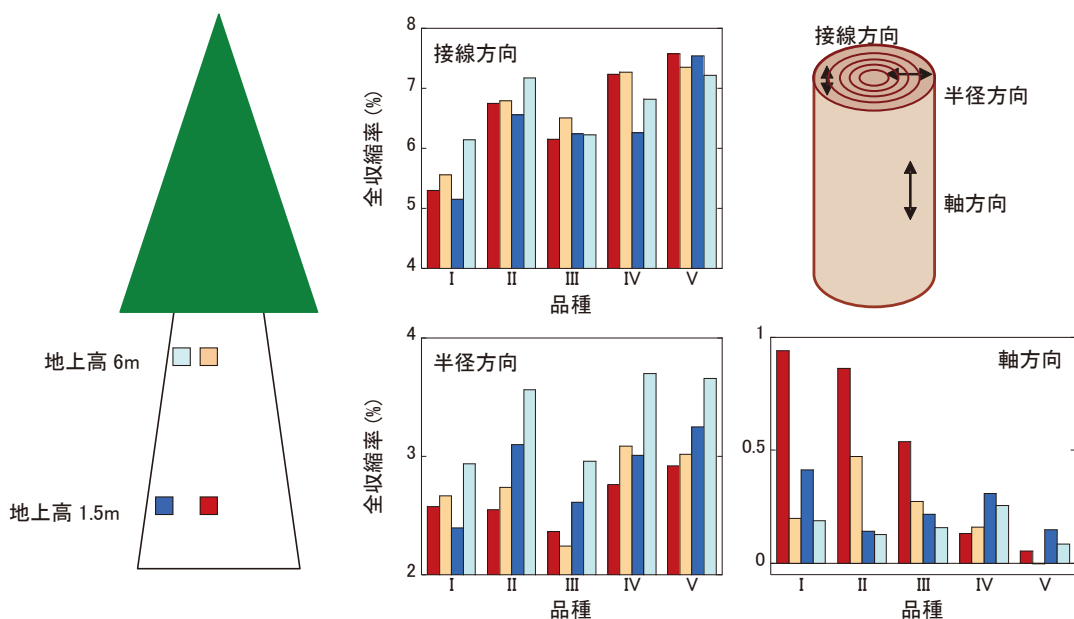


図1 スギ品種と樹幹中の部位による収縮率の違い

スギの収縮率は、樹幹の内側と外側、地上からの高さによって異なりました。また、品種によって異なりました。

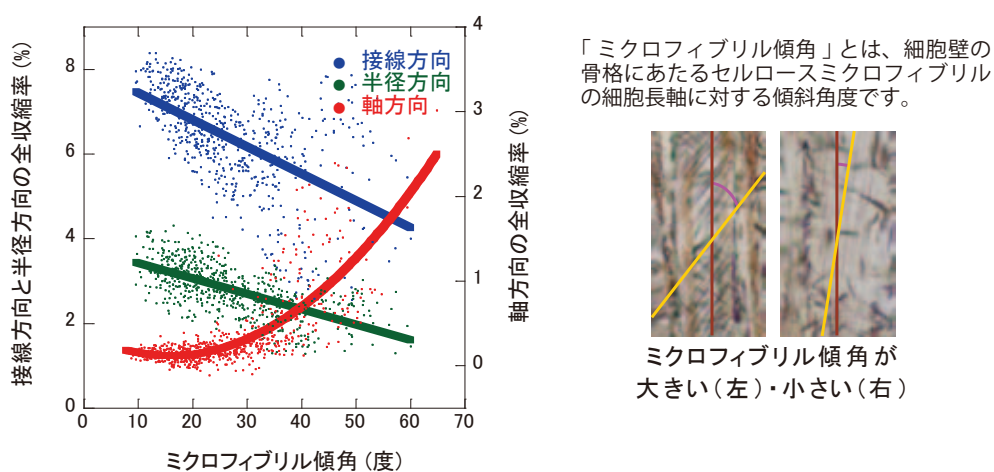


図2 ミクロフィブリル傾角と収縮率との関係

スギの収縮率は、細胞壁中のセルロースマイクロフィブリルが並ぶ向きに影響を受けていました。

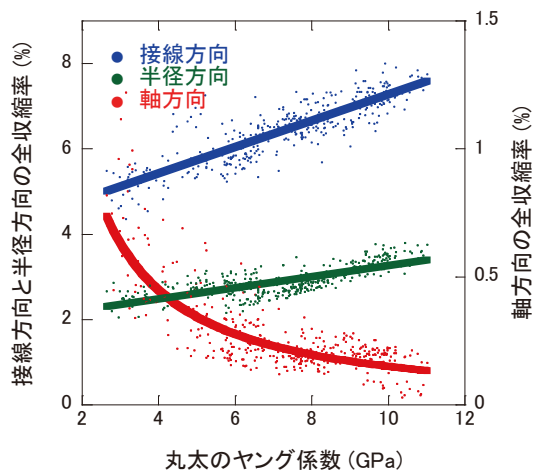


図3 丸太の動的ヤング係数と丸太両端の収縮率との関係

ヤング係数と収縮率は相互に関係していました。

## タワーフラックス観測によるフラックス・気象データの公開

北海道支所

気象環境研究領域

森林総合研究所フラックス観測ネットワーク\*

溝口 康子、山野井 克己

大谷 義一

### 背景と目的

森林を伐採せずに長期・連続観測できる微気象学的手法と呼ばれる方法を用いて、国内 6 か所で森林が大気から吸収する二酸化炭素の量（フラックス）の観測を行い、森林の炭素収支および炭素循環メカニズムの解明に取り組んでいます。これらの観測の中核を担っている森林総合研究所フラックス観測ネットワークでは、2000 年～2003 年までの観測データをデータベース化し、2010 年 3 月より森林総合研究所のウェブサイトで公開を始めました。観測データは、森林と大気間の二酸化炭素のやりとりを推定するさまざまなモデルの構築や検証に不可欠です。データ公開は、森林の炭素動態研究の発展に繋がるものと期待されます。

### 成 果

#### データベースの概要

収録されている森林サイトは北海道から九州にまたがる札幌、安比、川越、富士吉田、山城、鹿北の 6 ヶ所です（図 1、2）。このデータベースは数値データと観測地の概要やフラックス計算方法などの情報ファイルにより構成され、それぞれ 1 年 1 ファイルにまとめられています。数値データは、降水量、気温、日射量などの一般気象データと、顕熱、潜熱、二酸化炭素などのフラックスデータの 19 要素が収録されています（図 3）。情報ファイルには、試験地の位置・植生・土壌の情報、測器・測定高度、フラックスの計算方法などの情報が含まれています。

#### データベース公開の意義

観測データの提供は、これまでも研究者の間で行われてきました。しかし、各研究者それぞれの方法でデータを整理していたため、複数のサイトのデータを直接比較しにくい欠点がありました。今回、データの形式を統一し、自由にデータの利用申請をできるデータベースを構築することにより、今まで観測データ入手する足がかりの無かった研究者も、容易にデータを得ることが可能となります。

また、AsiaFlux や FluxNet などの国際的なフラックス研究ネットワークが運営している気象およびフラックスデータを集約したデータベースと異なり、森林総合研究所のデータベースは、各サイトが共通のシステムで観測を行っていること、観測を行っている研究

者自身がデータベース運用に関わっていることから、データ品質の維持、データユーザへの周辺情報の提供等をスムーズに行えるという利点があります。幅広い研究分野へデータを提供することにより、森林の炭素収支および炭素循環メカニズムの解明に繋がります。

#### データベースの利用

本データベースを利用すれば、さまざまなタイプの森林の二酸化炭素吸収量の特徴を比較することができます。図 4 には、データベースに収録されている 6 サイトの 1 年間の二酸化炭素吸収量の変化を整理した例を示しました。

本成果は、これまでの委託研究および交付金プロジェクト研究による観測データを、データベースにまとめたものです。観測は、北海道支所、東北支所、関西支所、九州支所、気象環境研究領域気象研究室の森林総合研究所フラックス観測ネットワーク\*のメンバーによって行われました。

データベースの数値データを利用するためにはデータ利用申請を行い、あらかじめ個別の ID とパスワードを得る必要があります。利用目的は、研究・教育に限定しています。詳しくは、森林総合研究所フラックス観測ネットワークのホームページ <http://www2.affrc.go.jp/labs/flux/> をご覧ください。



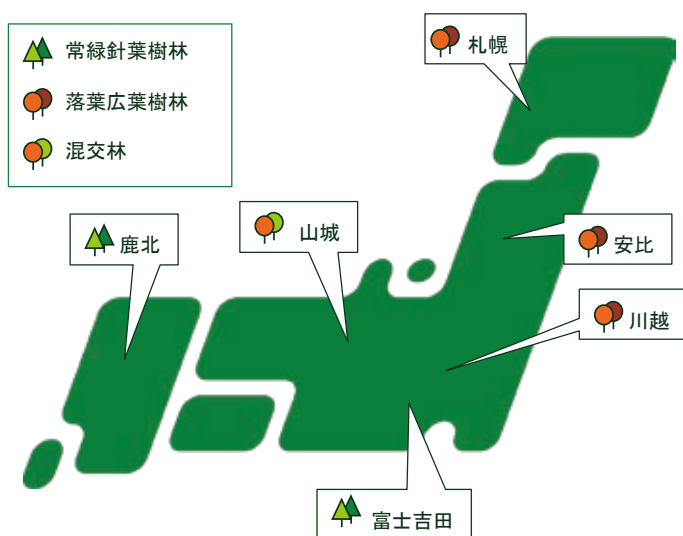


図1 データ収録サイトの位置



図2 各データ収録サイトの様子



図3 データベースの収録要素を示すホームページ

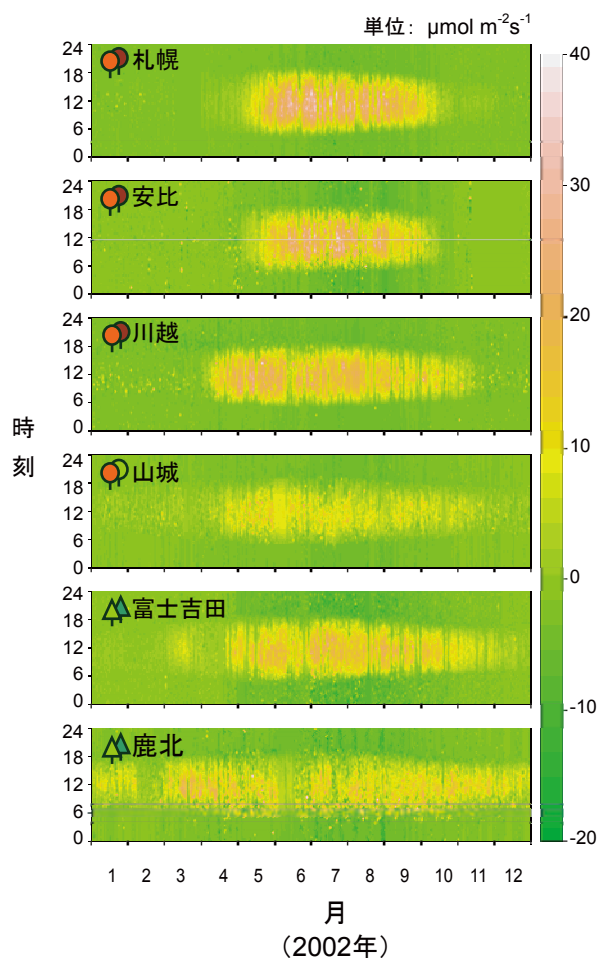


図4 データベースを利用した解析の一例

森林の二酸化炭素吸収量の日変化（縦軸）と季節変化（横軸）を同時に表しています。オレンジ色が濃いほど吸収量が多く、オレンジ色の期間が長いほど二酸化炭素の吸収期間が長いことを示しています。森林のタイプや気候によって、吸収量や吸収期間に大きな違いがあることがわかりました。

## たくさんのイオウを捕まえて放さない火山灰土

関西支所  
立地環境研究領域

谷川 東子  
今矢 明宏

### 背景と目的

産業革命以降、イオウを含む化石燃料を消費することによって大量のイオウが大気に放出されてきました。イオウを溶かし込んだ酸性の雨は、土壌の養分を洗い流し、土壌鉱物の風化を加速させます。なぜなら土壌に蓄えきれなかったイオウが水系へ流亡するとき、イオウは硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) というマイナスの電気を帯びた形態をしているため、電気的中性を保つようにプラスの電気を帯びた養分（カルシウムなど）や有害なアルミニウムを伴うためです（図 1）。「土壌の酸性化」とは、土壌 pH の低下だけでなく、このような養分やアルミニウムが溶脱する現象を意味します。欧米では「土壌の酸性化」が原因とみられる森林衰退がいくつも報告されてきました。一方、わが国にも欧米と同じくらいの量のイオウが雨に含まれて降っていますが、深刻な土壌の酸性化は報告されていません。日本の森林土壌の多くは火山灰を含んでいます。そこで火山灰土にイオウの移動を止める力があるのではないかと考え、イオウが火山灰土に保持される仕組みや保持されている量を調べました。

### 成 果

#### 火山灰土には多量のイオウが含まれていた

土壌に保持されるイオウにはいくつかの仕組みがあり、その中には「土の粒の中に侵入している硫酸イオンの形のイオウ（図 2c）」と「金属と結合して分解しにくい有機物」の中に入っているイオウ」があります。この 2 つのイオウ成分を測定する方法を考案し、関東地方の森林の火山灰土でそれらの量を調べたところ、保持されていたイオウの約 1 割は土の粒の中に侵入している硫酸イオン、2～3 割は金属と結合しているイオウであることが分かりました。また、土壌中のイオウ保持量は土壌 1kg あたり 0.54～2.24g と、欧米の森林土壌のイオウ含量（通常、数十～数百 mg 程度）に比べはるかに多いことが分かりました。林地面積 1 ha 当たり（表層から 1m 深まで）に蓄積しているイオウ量に換算すると、酸性雨による森林被害が最も早く見つかったドイツでは 1～4 トン程度であるのに対し、本研究で対象とした関東地方の森林土壌では最大 9 トンにもなりました（図 3）。

#### どんな成分がイオウを捕えるのか？

火山灰土には鉱物が風化してできた鉄やアルミニウムなどの酸化物（遊離酸化物）がたくさん含まれています。そこでイオウの蓄積量と遊離酸化物の量との関係を解析

したところ、イオウの蓄積量は遊離酸化物の量に依存することがわかりました（図 4）。従って、遊離酸化物を多量に含む日本の火山灰土は、イオウを保持する力が強く、酸性の雨の影響を弱めていると推察されました。

#### 今後もイオウの移動は止め続けられる？

本研究から、わが国に広く分布する火山灰性土壌のイオウの蓄積量は世界有数であり、蓄積していたイオウの多くは、土の中で長く安定して存在できる仕組みをもつことが明らかになりました。ただし、火山の分布は地域による偏りがあるため、火山灰の降下量が少ない地域もあります。このような地域の土壌は、遊離酸化物を少ししか含まないので、イオウの降ってくる量が増加すると土で緩和されず、養分やアルミニウムが流出して土壌の酸性化が起きる危険性があります。本研究の結果は、土壌の遊離酸化物量を指標として用いることで、イオウを含む酸性の雨による土壌や渓流水の酸性化予測が可能になることを示しています。

本研究は「予算区分：科研費、課題名：森林土壌におけるエステル硫酸態イオウの保持機構の解明」による成果です。

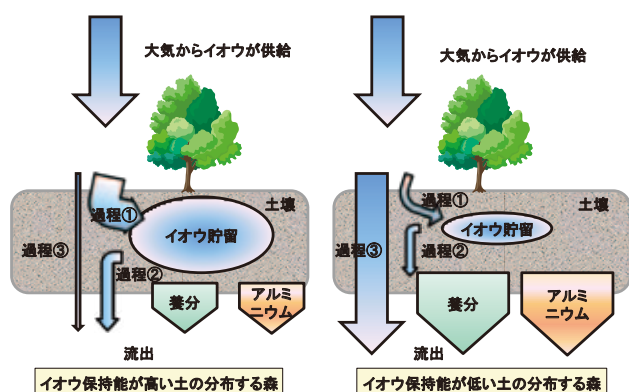


図1 大気から供給されたイオウに対し、イオウ保持能の異なる2タイプの土壌が示す反応

過程①硫酸イオンの吸着、生物による有機化等の反応により、土壌にイオウが貯留される。

過程②硫酸イオンの脱着、無機化等の反応により、土壌からイオウが溶脱する。

過程③土壌による保持反応を経験せずに、イオウが通過する。

②および③の過程で土壌から流出するイオウは、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) の形態をとるため、電気的中性を保つために陽イオンを随伴します。このため、イオウ貯留が大きいと養分・アルミニウムの流失が少なく、逆に小さいとそれらの流出が多くなります。

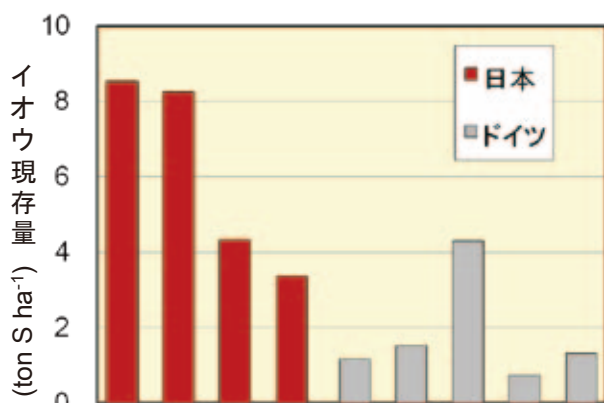


図3 火山灰土（日本）とドイツの土壌のイオウ現存量（1haあたり表層から約1m深まで）

ドイツの数値は Zuckerand Zech (1985)、Prietelet al. (2001) より引用もしくは算出しました。日本の火山灰土は、ドイツの土の数倍の量のイオウを蓄積しています。

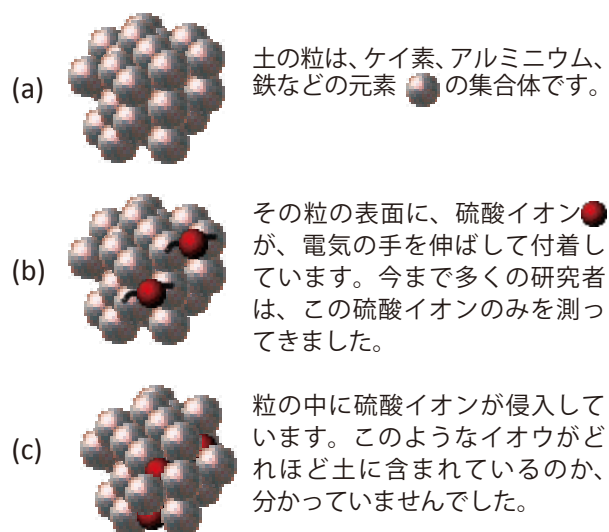


図2 土壌の粒 (a) の表面に付着する硫酸イオン (b) と、粒の中に侵入する硫酸イオン (c)

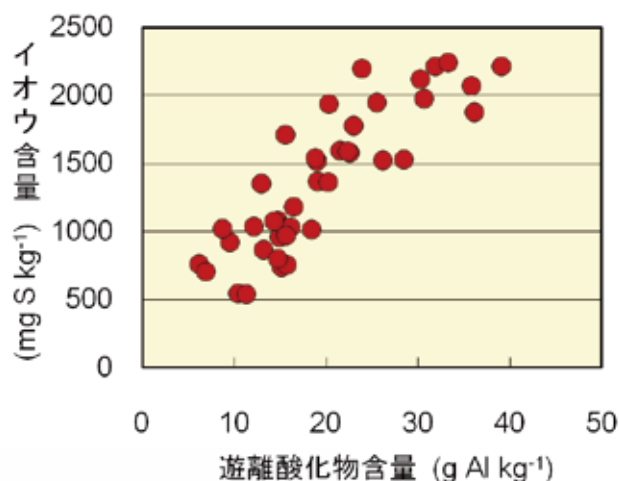


図4 火山灰土における遊離酸化物含量とイオウ含量の関係

ここではジチオナイト抽出アルミニウム含量を用いました。遊離酸化物含量が多ければイオウ含量も多いことが分かります。



## 森林動物の遺伝的交流を明らかにする

北海道支所 石橋 靖幸

### 背景と目的

開発による森林の縮小・分断化が世界各地で進んでいます。森林は陸生の野生動物の主要な生息場所です。森林の縮小・分断化は、遺伝子の交流を妨げるため、やがて遺伝的な劣化により野生動物の地域集団を絶滅に導く可能性があります。最近、河川に住む魚類を対象に遺伝的交流の大きさを推定する方法が開発されました。本研究の目的は、この方法を移動能力の低い小型哺乳類に適用し、解析方法としての有効性を評価するとともに、森林の縮小・分断化が小型哺乳類の遺伝的交流にどのように影響するのか実態を明らかにすることです。

### 成 果

#### エゾヤチネズミ

森林に住む小型哺乳類の代表としてエゾヤチネズミ（写真 1）を研究対象に選びました。北海道全域のササやぶに生息するこの種は、生息密度も高く、短期間の調査でも多くのサンプルを容易に得ることができるため、研究の目的にとっても適した動物です。

#### 遺伝的多様性は低いのか

十勝平野南部の畑作地帯に点在する孤立林（写真 2）に生息するエゾヤチネズミを対象に、（1）両親から子供へ遺伝する常染色体の DNA、（2）母親から子供へ遺伝するミトコンドリアの DNA、（3）父親から息子にオス経由でのみ遺伝する Y 染色体の DNA の 3 種類の遺伝マーカーについて多様性を調べました。遺伝マーカーの多様性は高く、生息場所の大きさ（林の面積）とは関係のないことがわかりました（図 1）。

#### 孤立しているのか

魚類を対象に開発された DPR 法（Decomposed Pairwise Regression analysis）と呼ばれる方法を適用したところ、いくつかの孤立林の集団で孤立化の影響が見られましたが、ほとんどの集団の間には遺伝的な交流があり、孤立していないことがわかりました（図 2）。エ

ゾヤチネズミは畑を通して移動しているようです。

エゾヤチネズミのオスは、メスと比べて生まれた場所から離れたところに移動した後に繁殖する性質があります。これまで、森林の縮小・分断化が進んだ地域では、もっぱらオス経由で遺伝的交流が行われていると考えられてきました。しかし、調査した地域では孤立林同士が比較的近接していたためなのか、予想していた以上にメスが孤立林集団の遺伝的多様性の保持に貢献していました。

#### この研究からいえること

生息地が縮小・分断化されていても、それぞれの生息地の間を移動することができれば、遺伝的な多様性は低下せず、地域集団の存続性が確保されることが確認できました。

また、DPR 法は魚類以外の野生動物においても生息環境の縮小・分断化の状態を評価する方法として有用であることがわかりました。この方法は、孤立・小集団化する希少種の保全計画を立てる際に利用できます。

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金「森林の縮小・分断化が小型哺乳類個体群の分布と遺伝的多様性に及ぼす影響の解明」（No.18380096）による成果です。

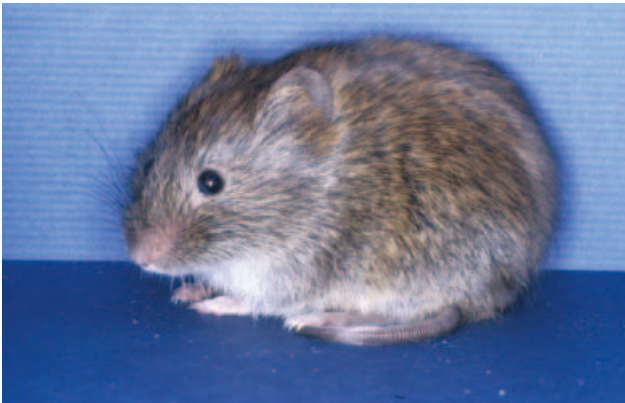


写真1 エゾヤチネズミ  
30～40gの大きさの野ネズミです。



写真2 孤立林 (空中写真)  
十勝平野には防風林が畑の中に孤立した状態で点在しています。

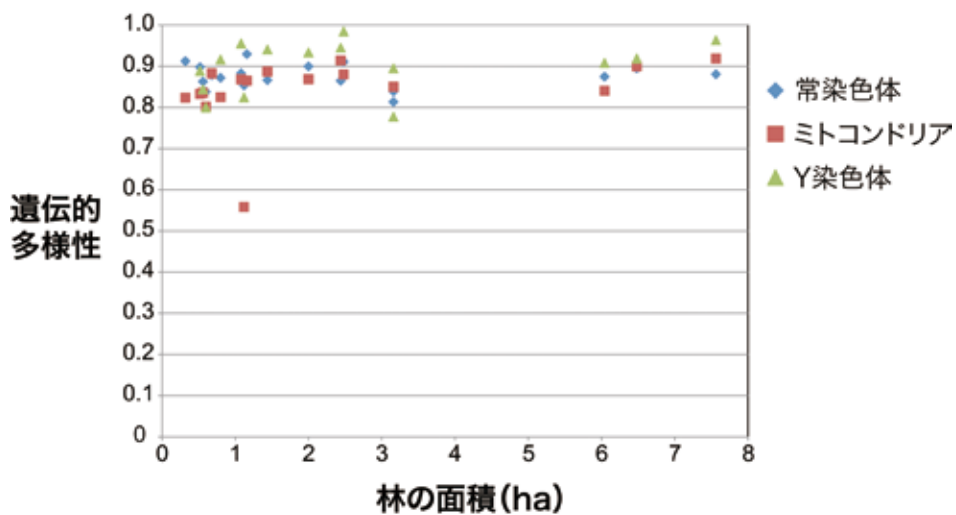


図1 孤立林の面積と遺伝的多様性の関係  
3種類の遺伝マーカーの多様性は、それぞれ高く、孤立林の面積とは関係がありませんでした。

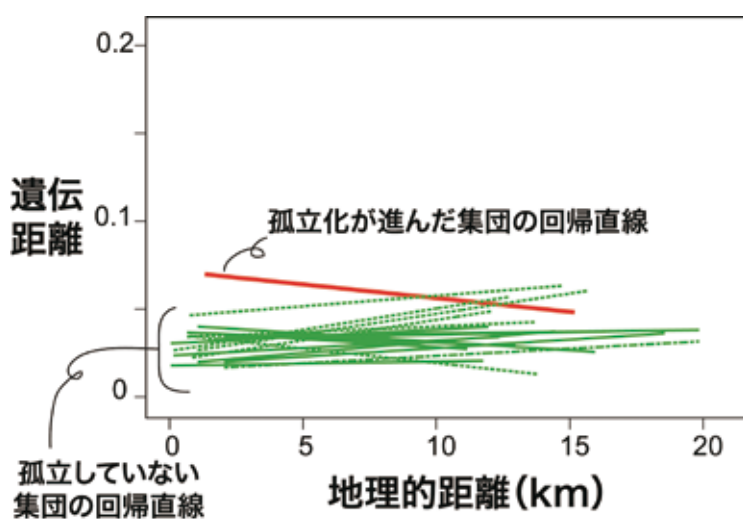


図2 常染色体マーカーのDPR分析  
遺伝的な交流が少ないと集団間の遺伝距離は大きくなります。  
ほとんどの集団は孤立していないことがわかりました。

# 生物の種を超えた遺伝子の転移 —マツノマダラカミキリの常染色体上に寄生細菌ボルバキアの遺伝子を発見—

東北支所	相川 拓也
(独) 産業技術総合研究所	安佛 尚志
放送大学	二河 成男
森林微生物研究領域	菊地 泰生
愛媛大学	柴田 洋
(独) 産業技術総合研究所	深津 武馬

## 背景と目的

ボルバキアは主に昆虫類の細胞内に寄生する細菌で宿主昆虫に生殖異常をもたらします。その異常にはいくつかタイプがあり、子孫が全くできなくなるタイプや、子孫がすべて雌になるタイプなどが知られています。これまでの研究により、マツ材線虫病の媒介昆虫であるマツノマダラカミキリ（写真 1）の体内からもボルバキアの遺伝子が検出されていたことから、マツノマダラカミキリにもボルバキアが感染していることが示唆されていました。本研究は、ボルバキアによるマツノマダラカミキリへの生殖攪乱の影響を解析し、ボルバキアがマツ材線虫病に対する防除素材として利用可能か否かを明らかにすることを目的に進めました。

## 成 果

### メンデルの法則にしたがって遺伝するボルバキア遺伝子

昆虫の細胞内に寄生しているボルバキアは雌から子孫へと感染するのみで雄から子孫へは決して感染しません。ボルバキアの遺伝子が検出されるマツノマダラカミキリ系統（感染系統）と検出されない系統（非感染系統）を用いて 3 世代にわたる交配実験を行ったところ、非感染雄 × 感染雌の組み合わせでは（図 1：A）、他の昆虫で見られるボルバキアの遺伝様式と同様に、母親（G 1）から次世代（G 2）へ完全にボルバキアの遺伝子が移行しましたが、感染雄 × 非感染雌の組み合わせでも（図 1：B）得られた子孫はすべてボルバキアの遺伝子を持っていました（図 1：G2）。すなわち、細胞内寄生細菌ではあり得ないはずの父親から子孫への移行が起こったのです。さらに、ボルバキアの遺伝子が検出された G 2 世代の雌と非感染系統の雄を交配させたところ、今度は感染個体と非感染個体が約 1：1 の比率で出現しました（図 1：G 3）。このボルバキアの遺伝子はまるでマツノマダラカミキリの常染色体と連鎖しているかのように、生物の教科書に載っているメンデルの法則にしたがって遺伝したのです。

### 7 番目の常染色体上に存在したボルバキア遺伝子

本当にボルバキアの遺伝子がマツノマダラカミキリの常染色体上に存在するかどうかを視覚的に確かめたところ、ボルバキアの遺伝子はマツノマダラカミキリの 10 本の染色体のうち 7 番目の常染色体上に存在することが確認できました（写真 2）。このことは、ボルバキアの遺伝子断片が何らかのプロセスによってボルバキアからマツノマダ

ラカミキリの常染色体へ転移した（水平転移した）ことを示しています。

### 大規模に転移していたボルバキア遺伝子

ボルバキアの遺伝子がどれくらいマツノマダラカミキリに転移しているかを調べてみたところ、約 14% のボルバキアの遺伝子がマツノマダラカミキリに転移していることが明らかとなりました（図 2）。昆虫などの高等生物において、大規模な遺伝子の水平転移を具体的に証明した例は世界的に見ても極めて少ないことから、本成果は高等生物の機能や進化に及ぼす遺伝子水平転移の影響を考える上では大変貴重な発見と言えます。

### ボルバキア遺伝子の痕跡の意味

本研究により、細菌としてのボルバキアがマツノマダラカミキリに感染しているのではなく、ボルバキアの一部の遺伝子がマツノマダラカミキリの染色体上に水平転移しているという予想外の事実が明らかとなり、防除素材利用の手がかりは得られませんでした。この“遺伝子の痕跡”は、マツノマダラカミキリが過去にボルバキアによる感染を受けていたことを物語っています。つまり、まだ日本のどこかにボルバキアに感染したマツノマダラカミキリ個体群が存在する可能性があるのです。そのような個体群を発見し、ボルバキアのマツノマダラカミキリに対する影響を明らかにしていくことで、今後、ボルバキアをマツ材線虫病に対して利用するための道が開けてくると考えています。

本研究は科学研究費補助金(19780126)による成果です。





写真1 マツノマダラカミキリ。マツ材線虫病の病原体であるマツノザイセンチュウを媒介する森林害虫。

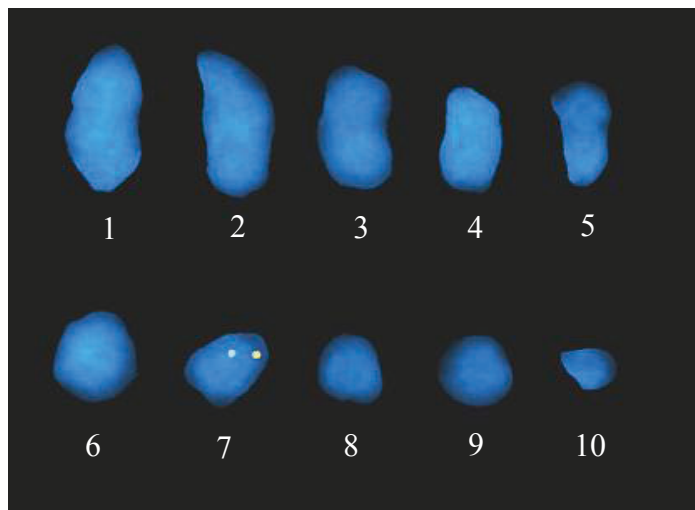


写真2 マツノマダラカミキリの染色体上に存在するボルバキアの遺伝子（減数分裂中期II）。マツノマダラカミキリの10本の染色体（青色）のうち、大きい方から数えて7番目の常染色体上にボルバキアの遺伝子の存在を示す2つの黄色いシグナルが見える。

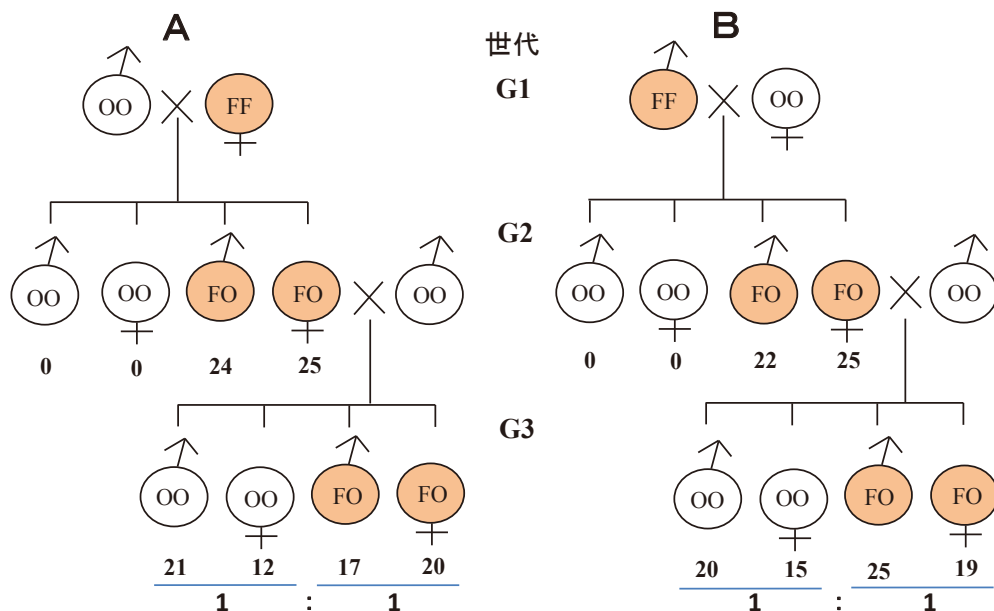


図1 マツノマダラカミキリにおけるボルバキア *ftsZ* 遺伝子の遺伝様式。A: 非感染系統の雄と感染系統の雌の組み合わせ。B: 感染系統の雄と非感染系統の雌の組み合わせ。オレンジ色の雌雄シンボルは *ftsZ* 遺伝子が検出されたことを示す。雌雄シンボルの円中の文字は、*ftsZ* 遺伝子をホモで持つ個体（FF）、*ftsZ* 遺伝子を持たない個体（OO）、*ftsZ* 遺伝子をヘテロで持つ個体（FO）を示す。雌雄シンボル下の数値は得られた子孫数を示す。

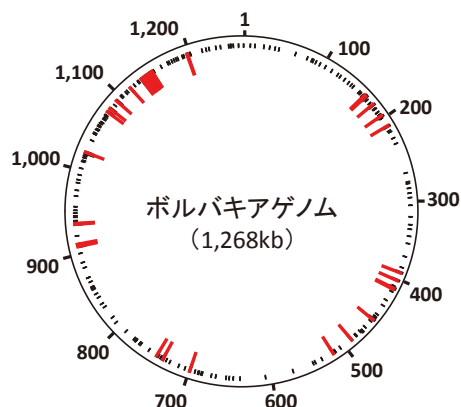


図2 ボルバキアゲノム上にマッピングしたマツノマダラカミキリから検出されたボルバキア遺伝子。ボルバキアが持つ214の遺伝子のうち、31の遺伝子（約14%）がマツノマダラカミキリに転移していた。

— マツノマダラカミキリから検出されたボルバキア遺伝子  
— マツノマダラカミキリから検出されなかったボルバキア遺伝子

## 無花粉スギの大量生産技術の開発

林木育種センター  
森林バイオ研究センター

藤澤 義武、坪村 美代子、植田 守  
谷口 亨

### 背景と目的

スギ花粉症は鼻アレルギー全国疫学調査において、国民の 29.8%が花粉症を有すると報告されるなど、国民的課題となっています（平成 20 年度森林・林業白書）。これに対して各方面から対策が進められており、森林総合研究所でも根本的な花粉症対策として花粉の少ないスギ品種やヒノキ品種を開発するとともに、平成 17 年には究極の花粉症対策品種として花粉を生産しないスギ品種を開発し、「爽春」という名称で品種登録をしました。

この「爽春」はタネで殖やすことができません。そこで、組織培養等によって効率的に大量生産するためのシステムを開発しました。

### 成 果

#### なぜクローンで殖やすのか？

無花粉スギ「爽春」は花粉を生産しませんが、メバナは着けますし、タネもなります。ところが、このタネで苗を育てても無花粉スギにはなりません。無花粉の遺伝子は劣性遺伝子と呼ばれ、メス親と花粉親の双方から無花粉になる遺伝子をもらった場合だけ無花粉スギとなります。

このため、タネで無花粉スギを育てようとする、花粉親が無花粉スギの遺伝子を持っていることを確かめたいと交配するなどの手間のかかる方法をとらなければならぬ。タネの全てが無花粉スギとはならないので、無花粉かどうかを一本一本確かめなければなりません。

これに対して、さし木等のいわゆるクローン苗には親の遺伝子がそのままコピーされるので、苗木は 100%が無花粉スギです。ただし、さし木等では手間がかかります。そこで、クローン苗で「爽春」を殖やすために、効率の良い増殖技術の開発を進めました。

#### 組織培養とマイクロカッティング

技術開発は、組織培養とマイクロカッティングの双方から進めました。組織培養では、培養室の二酸化炭素濃度を通常の大気の 3 倍以上に高め、照明は発根の促進などに効果的な特定の波長の光だけを使い、さらには培養のもととなる外植体を培養瓶の中で育てた無菌状態の幼木から採取するなどの技術改良によって発根率を 90%以上まで高めることができました。

また、植林前には、温室等で外界の環境に慣らす「順化」と呼ばれる作業が必要ですが、これについても野菜等で使われる人工光・閉鎖型苗生産システムと呼ばれる装置を使うことで、順化に必要な期間の短縮や苗が生き残る歩留まり率を向上させることができました（図 1）。

一方、さし木技術では、通常用いる 30cm ～ 40cm の大きな枝に対して、10cm 程度の小さな枝を用いるマイクロカッティング法を採用し、さしつけ床等の改良によって発根率を通常と変わらないまでに高める技術を開発し、小さな幼木からでも多くのさし木苗を生産できるようになりました（図 2）。

これらの技術については「爽春」だけにとどまらず、他のスギ品種への適用が可能です。



図1 組織培養による無花粉スギの大量増殖技術



図2 マイクロカッティングによる無花粉スギの大量増殖技術



## 精英樹 $F_1$ の成長量はこんなに大きい！

林木育種センター

藤澤 義武、河崎 久男、三浦 真弘

林木育種センター九州育種場

山田 浩雄、倉本 哲嗣

### 背景と目的

戦後の造林地が主伐期を迎えるとともに、林野庁が策定した「森林・林業再生プラン」においては木材自給率 50% の目標が設定されており、林業用種苗の生産についてもこれに対応できる体制づくりをしておく必要があります。今後、再造林を進めるためには低コスト造林に寄与する種苗の供給が重要です。そこで、成長の優れた精英樹同士の交配によって成長が格段に優れた精英樹  $F_1$  の開発を進めています。

### 成 果

#### 育種の改良効果

わが国では、これまでに全国の森林から成長が良く、幹が真っ直ぐな木を精英樹として約 9,000 個体選んでいます。それらのタネや穂を使って山行苗の生産が行われており、スギとヒノキの山行苗におけるシェアは約 7 割です。また、検定林と呼ばれる試験林を造成し、成長等の特性を調べ、スギでは従来の苗木に比べ、13% 成長が向上していることが明らかになりました。

#### 精英樹 $F_1$ の改良効果

現在は、さらに成長を良くするため、成長の良い精英樹同士を交配し育成した苗木で  $F_1$  検定林（育種集団林）を造成し、そこからより優れた次の世代の精英樹の選抜を進めています。 $F_1$  検定林はこれまでに 88 箇所造成しており、それらがどの程度優れているのかを、関東地区と九州地区で比較しました（図）。

関東北部地域の 5 箇所の  $F_1$  検定林の 10 年生の林分材積が  $85\text{m}^3/\text{ha}$  であり、それと同じ地域にある 9 箇所の精英樹検定林の林分材積が  $36\text{m}^3/\text{ha}$  でした。また、精英樹検定林の中に対照として植栽されている地

スギは  $24\text{m}^3/\text{ha}$  にしか過ぎず、これを基準にすると  $F_1$  が 355%、精英樹が 151% になりました。また、九州地方における同様の比較では、 $F_1$  検定林の林分材積が  $106\text{m}^3/\text{ha}$ 、精英樹検定林の林分材積が  $75\text{m}^3/\text{ha}$  でした。九州は古くからのさし木林業地帯であり、対照は在来のさし木品種なので一般の地スギに比べて優れています。これを基準にしても、 $F_1$  が 159%、精英樹が 112% になりました。

以上のように成長の良い精英樹同士を交配することで、初期成長が大きく向上することから、低コスト造林に寄与できると考えます。この成果を山行苗生産に活用するために、優良な  $F_1$  を使った次世代の採種園造成の取り組みが今後必要です。

写真は関東地方の 5 年生の  $F_1$  検定林ですが、中には樹高は 7m に達しているものがあり、すばらしい成長を示しています。これは成長に関する優れた遺伝子の集積によると推察されます。この再現性が確認できれば、

下刈りの省力化に寄与できる初期成長の早い品種の開発も期待できます。

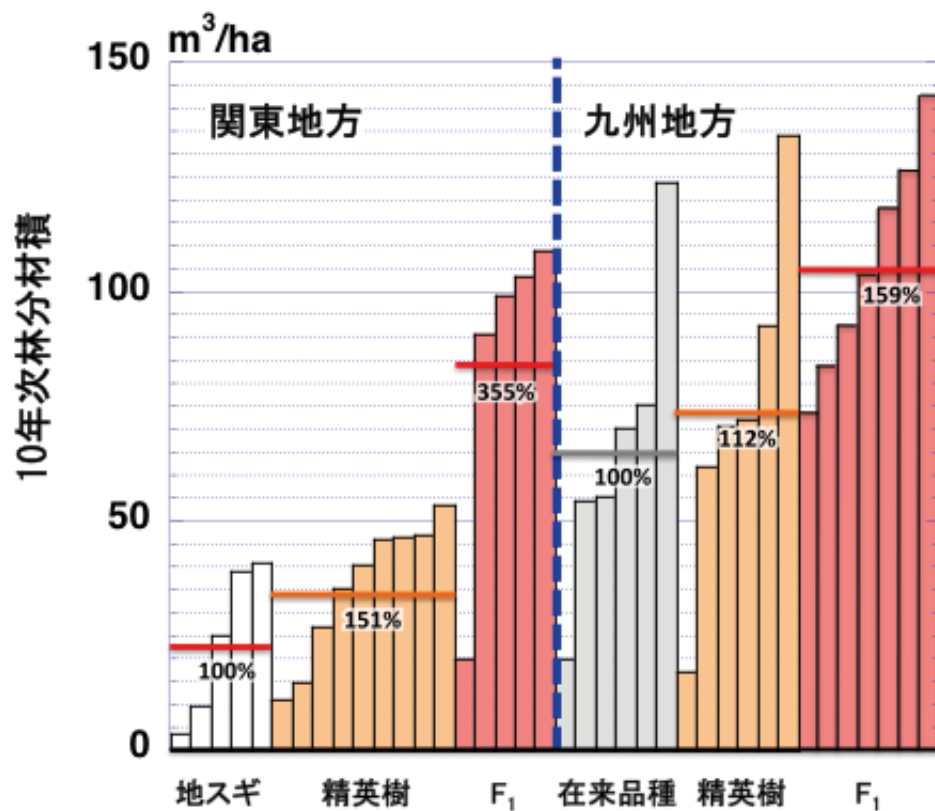


図 精英樹と F<sub>1</sub> との 10 年生の林分材積の比較



写真 5 年生で樹高 7m の F<sub>1</sub> 個体  
(茨城県城里町)

## 中国でマツノザイセンチュウに強いマツをつくる

林木育種センター関西育種場

林木育種センター北海道育種場

中国安徽省松材線虫抵抗性育種センター

岡村 政則

生方 正俊

蔡 衛兵、高 景斌、徐 六一、席 啓俊

### 背景と目的

わが国で猛威を振るっているマツ材線虫病の被害が、中国、韓国、そしてポルトガルでも発生しています。中国では 1982 年に南京で被害が報告されて以降、中南部の各省に広く分布する有用樹種であるバビショウ (*Pinus massoniana*) に被害が拡大しています。被害対策の一環として、2001 年からマツノザイセンチュウ抵抗性育種が開始されている安徽省では、その森林面積 360 万 ha（森林率は、26.1%）の 39.0% を占める 140 万 ha がマツ林で、その大半がバビショウです。日本のマツに関する抵抗性育種の技術（図）を既に開発していた森林総合研究所は、中国側の強い要請を受けて、抵抗性育種研究の開始当初から技術協力を行ってきました。

### 成 果

#### マツ材線虫病と抵抗性育種

カミキリによって運ばれた長さ約 1mm のマツノザイセンチュウがマツの樹体内に侵入し、内部の組織を破壊することでマツが枯れます。マツノザイセンチュウの原産地であるアメリカのマツは抵抗性がありますが、その他の地域では抵抗性のないものが多く、抵抗性のあるマツをつくる必要があります。抵抗性のある木を選ぶには、マツノザイセンチュウを人工的に接種して検定します。

#### マツノザイセンチュウ選別

接種するマツノザイセンチュウの病原力が弱いと、抵抗性が弱いマツも選ばれることになります。接種するマツノザイセンチュウには、強い病原力和高い増殖性が求められます。そのため、安徽省内各地の被害地からマツノザイセンチュウを集め、接種用のマツノザイセンチュウを選び出しました。

#### バビショウの抵抗性育種

写真 1 はマツ材線虫病の被害林分です。このような被害地域で、323 本の母親を選び種子を採取し、44,000

本の実生苗木を育て、2 年目と 3 年目の夏にマツノザイセンチュウを接種し、1,209 本が生存しました。

つぎに、クローン苗による検定を行います。2009 年は、生存個体からつぎ木（写真 2）によって育てた 303 本のクローン苗にマツノザイセンチュウを接種し（写真 3、写真 4）、301 本の合格木を得ました。これは、わが国以外では初めての成果です。

#### 今後の取り組み

クローン苗による検定の必要な生存個体が 906 本残っていますので、今後 2 年間かけて、つぎ木と接種検定を行います。合格木はさらに増えることが期待されます。

一方、被害地では植林用の抵抗性のある苗の供給が求められています。苗木生産用の種子は、優良な母樹を植栽、管理している採種園より供給されますが、今回合格したものをを用いた採種園の造成が既に開始されています。

なお、この取り組みは、森林総合研究所、国際協力機構及び中国安徽省によるものです。



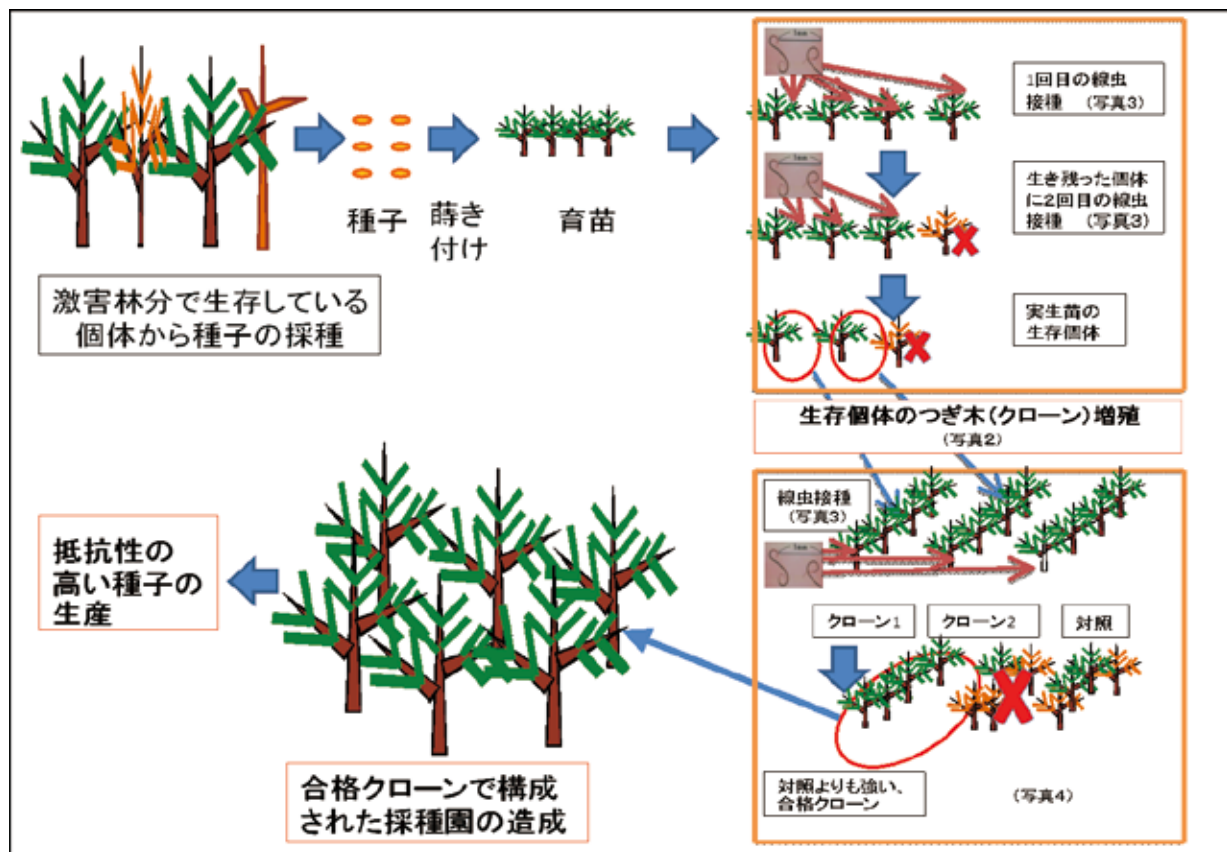


図 マツノザイセンチュウ抵抗性育種のプロセス



写真1 マツ材線虫病の被害状況



写真2 クローン苗育成のためのつぎ木



写真3 マツノザイセンチュウの接種



写真4 接種後の枯損状況

# 用語解説

## MIROC3.2hi (P8)

東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センターが開発した、高分解能大気海洋結合モデルによる将来の気候の出力値。「2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する」では、農業環境技術研究所により元の約 100km 解像度から約 1km 解像度に内挿されたデータセットを用いました。

## 暖かさの指数 (P10)

植物の生育期間の熱量を表し、森林帯の分布と関係があります。

## RCM20 (P10)

日本で開発された気候変化シナリオで、2081～2100年の平均気温は現在気候に比べ 2.8℃上昇します。

## MIROC (P10)

日本で開発された気候変化シナリオで、2081～2100年の平均気温は現在気候に比べ 4.3℃上昇します。

## 光学センサ (P12)

太陽光の反射を計測して地上の状態を知る方法です。一般のカメラなどと同じ原理です。

## 合成開口レーダ (P12)

上空からマイクロ波を発し、地上からの反射を計測して地上の状態を知る方法です。

## ファンガスセラー試験 (P32)

接地状態での耐朽性を、無殺菌土壌を用いて室内で評価する試験方法。試験をおこなう部屋の温度を 25-30

℃に保つことにより、野外でおこなう試験と比較して腐朽が数倍速く進行します。

## ラッカーゼ (P44)

ラッカーゼ (laccase) は、フェノール類を酸化する能力を持つ酸化酵素の一種です。白色腐朽菌が分泌するラッカーゼは、木本植物のリグニン分解などに関与していることが知られています。

## プライマー (P44)

DNA ポリメラーゼを用いて、染色体等に存在する遺伝子の一部分を増幅する PCR 法の増幅起点となる DNA 断片です。

## SSCP (Single Strand Conformation Polyomorphysm、一本鎖高次構造多型) (P44)

DNA 断片の多型解析手法の一種です。高温処理により熱変性させた DNA が分子内で水素結合により高次構造を形成する際に、塩基配列の違いにより高次構造に違いが生じることを利用し、遺伝子の変異や多型を検出する手法を指します。

## 連鎖地図 (P44)

染色体上の近い位置に存在する遺伝子間では、メンデルの独立の法則に従わず、減数分裂の際に一緒に行動する傾向があり、この現象を連鎖と呼びます。連鎖地図は、この遺伝子間の連鎖を利用して作成された染色体地図の一種です。連鎖する遺伝子の一群を、連鎖群 (LG: Linkage Group) と呼びます。十分な数の遺伝子（マーカー遺伝子を含む）で構成された連鎖群は、そのまま染色体に対応します。

## 表紙写真

- 1 ウラムラサキ菌接種によりコナラ細根に形成された菌根  
(P.26 荒地などの早期緑化に貢献する「菌根形成・管理マニュアル」を作成)
- 2 ナガドキノコバエ  
(P.22 菌床しいたけ害虫ナガドキノコバエを捕らえる LED 誘引捕虫器の開発)
- 3 マツノマダラカミキリ  
(P.62 生物の種を超えた遺伝子の転移 ―マツノマダラカミキリの常染色体上に寄生細菌ボルバキアの遺伝子を発見―)
- 4 オキナフトゲネズミ  
(P.18 沖縄島ヤンバル地域の森の利用と生物多様性)
- 5 マツ材線虫病の被害を受けたマツ林  
(P.68 中国でマツノザイセンチュウに強いマツをつくる)
- 6 国産樹種用育苗コンテナ  
(P.40 国産樹種のコンテナ育苗技術の開発)
- 7 中央シベリアのカラマツ林  
(P.6 シベリアのタイガでは下層植生が森林の炭素循環を左右する)
- 8 台風被害によって枯死木となったミズナラ  
(P.4 台風被害による森林生態系の CO<sub>2</sub> 放出量の増加)
- 9 チップトラック  
(P.16 木質バイオマスの大量収集に適した地域を特定する)
- 10 岩手・宮城内陸地震土砂災害の様子  
(P.24 岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴と発生機構)
- 11 スギ人工林  
(P.54 品種や樹幹内部位によって異なるスギの収縮特性)
- 12 耐朽性評価試験の様子  
(P.32 長期優良住宅や公共建築物部材の耐朽性を短期間で見極める)

裏表紙の写真：エゾヤチネズミ  
(P.60 森林動物の遺伝的交流を明らかにする)



## 森林総合研究所

### 平成 22 年版 研究成果選集

発行日	平成 22 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	松枝印刷株式会社 茨城県常総市水海道天満町 2438 電話 0297(23)2333

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。





平成22年版

# 研究成果選集

2010

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/>

リサイクル適性の表示:紙へリサイクル可