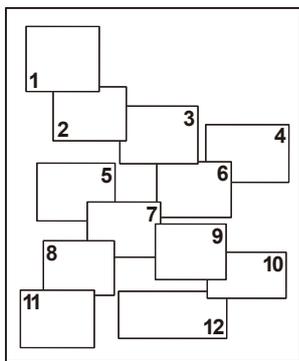


平成25年版

# 研究成果選集

2013





## 表紙写真

- 1 苗場山試験地の 70% 伐採区の現況  
(P.10 広葉樹の確実な天然更新を判断する基準を明らかにする)
- 2 北海道のシラカンバ天然林  
(P.56 シラカンバの遺伝変異を解明する)
- 3 石垣島で防風林として植栽されているテリハボク  
(P.54 テリハボクの遺伝変異を解明する)
- 4 森林用ドロップネットによるシカの捕獲  
(P.48 森林用ドロップネットで効率よくシカを捕獲する)
- 5 木質バイオエタノール製造試験プラント  
(P.26 実用化に一步近づいたスギからのバイオエタノール製造技術)
- 6 重力性変形で破碎が進んだ岩盤  
(P.44 過去の写真から山地崩壊発生の前兆をつかむ)
- 7 グラップル（林業用機械）を用いて路面を枝葉で覆う作業  
(P.40 森林作業道から土砂流出を抑える方法)
- 8 カビの散布によって枯死したスギの雄花  
(P.46 カビでスギ花粉の飛散を絶つ防止剤の開発)
- 9 トドマツ林で根の損傷を減らす走行実験の様子  
(P.12 林内走行機械による根の損傷を減らすために)
- 10  $\pi$ （パイ）型変位計による木材の収縮の測定  
(P.16 木材の乾燥効率と品質の向上)
- 11 アカマツ林に発生したマツタケ  
(P.64 広葉樹をマツタケの宿主にすることに成功)
- 12 深形木製単層トレイ  
(P.28 林地残材を原料とした木製単層トレイの量産化に成功！)

裏表紙の写真：高  $\text{CO}_2$  条件で窒素濃度が低下し、黄色身を帯びた葉（エゾノキヌヤナギ）  
(P.32 将来の高い二酸化炭素濃度によって、森林全体の光合成生産量が増加する)

## はじめに

独立行政法人森林総合研究所「平成25年版研究成果選集」をお届け致します。

森林総合研究所は、研究所のビジョンとして、「日本の将来にとって、なくてはならない先導的研究機関となることを目指します」を掲げております。第3期中期計画（平成23年～27年度）では、森林・林業政策上の優先事項を踏まえ、多様な社会ニーズに対応した研究開発を推進するため、以下の9つの重点課題を設定し、基礎研究と開発研究等とを一体化して、研究成果の社会還元をより効率的に行っています。

- 「地域に対応した多様な森林管理技術の開発」
- 「国産材の安定供給のための新たな素材生産技術及び林業経営システムの開発」
- 「木材の需要拡大に向けた利用促進に係る技術の開発」
- 「新規需要の獲得に向けた木質バイオマスの総合利用技術の開発」
- 「森林への温暖化影響評価の高度化と適応及び緩和技術の開発」
- 「気候変動に対応した水資源保全と山地災害防止技術の開発」
- 「森林の生物多様性の保全と評価・管理・利用技術の開発」
- 「高速育種等による林木の新品種の開発」
- 「森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発」

また、生産現場への技術移転を促進するため「林業新技術－生産現場への普及に向けて－」として重要な技術を毎年選定し、その普及推進を図っているところです。最新版は URL (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/shingijutu/>) に掲載しております。

研究所においては、毎年、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、主要な研究成果を抽出し、研究成果選集としてとりまとめております。今回は、平成25年3月までに得られた研究成果をとりまとめ、ここに「平成25年版研究成果選集」として発行致しました。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ページで解説致しております。できるだけ平易な言葉を用いるように努めましたが、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ました。

この成果選集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2013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/> をご覧下さい。



# 森林総合研究所 平成 25 年版 研究成果選集 目 次

## 重点課題 A 地域に対応した多様な森林管理技術の開発

### A 1 多様な施業システムに対応した森林管理技術の開発

再造林の低コスト化をいかに進めるか ..... 6  
伐採から植栽までを連続して行う一貫作業システムの導入、コンテナ苗の活用、下刈りの省略等により、植林と初期保育にかかるコストを、従来の 2/3 程度までに抑えられます。

森林モニタリングの土壌侵食調査手法を海外普及に向けて発信 ..... 8  
日本全国の様々な森林に対して、林床被覆率（落葉か下草がどれだけ地面を覆っているか）が土壌侵食の有効な診断指標となることを示し、持続可能な森林経営に役立つ調査手法として、海外普及に向けて発信しました。

### A 2 森林の機能発揮のための森林資源情報の活用技術の開発

広葉樹の確実な天然更新を判断する基準を明らかにする ..... 10  
皆伐してから 30 年にわたってブナ林の更新状況を調査した結果、ブナなどの広葉樹の更新が成功するには、皆伐から数年後の時点で高さ 50cm 前後の稚樹が ha あたり 10～20 万本必要であることが明らかになりました。

## 重点課題 B 国産材の安定供給のための新たな素材生産技術及び林業経営システムの開発

### B 1 路網整備と機械化等による素材生産技術の開発

林内走行機械による根の損傷を減らすために ..... 12  
トドマツ林内で林業機械を走行させた場合、トドマツの根の傷は走行回数が増えるとともに増え、回数とともに傷が拡大すること、木から 1メートル未満で走行すると傷が付きやすくなることが分かりました。

森林に低コストで林道をつくる ..... 14  
航空機レーザー測量による数値データを使って、林道の路線選定を対話的に行うソフトウェアを作成しました。林道の経路、路面の高さ、円曲線の半径を適切に選んで、道の作設コストを下げる事が可能になりました。

## 重点課題 C 木材の需要拡大に向けた利用促進に係る技術の開発

### C 1 木材利用促進のための加工システムの高度化

木材の乾燥効率と品質の向上 ..... 16  
木材の乾燥効率と品質を向上させるために、 $\pi$ （パイ）型をした変位計や近赤外線を使って木材表面に生じる力の評価方法を開発しました。さらに、電磁波による原木丸太の水分量評価方法を開発し、さらなる乾燥効率の向上が可能になりました。

### C 2 住宅・公共建築物等の木造・木質化に向けた高信頼・高快適化技術の開発

木質材料からのアセトアルデヒド放散のしくみを明らかに ..... 18  
木質材料からの室内空気汚染物質アセトアルデヒドの発生原因を解明し、材料の放散値から室内濃度を予測することで安全性を評価できるようになりました。

屋外で木材の美しさを長持ちさせる塗装法を開発しました ..... 20  
屋外で長期間木材を使用するためには、木材を保護する塗料の塗り替えが不可欠ですが、長持ちさせる方法として塗り替え前の処理が有効であることがわかりました。

オフィスビルにも使える強固な木造床を開発しました ..... 22  
オフィスビルを木造で建てようとする、地震時や暴風時に受ける力が大きいので、木造住宅よりもずっと強固な床が必要になります。厚い合板を多数の釘で打ち付けた、オフィスビルにも使える強固な木造床を開発しました。

## 重点課題D 新規需要の獲得に向けた木質バイオマスの総合利用技術の開発

### D 1 木質バイオマスの安定供給と地域利用システムの構築

**林地残材、こつこつ集めれば立派な副収入に！** ..... 24  
中山間地域において、林地残材を地域エネルギーに活用する際の収益性を調べました。その結果、軽トラックで残材を近くの集積場所へ運ぶことでも、副収入程度の収益が得られることがわかりました。

### D 2 木質バイオマスの変換・総合利用技術の開発

**実用化に一步近づいたスギからのバイオエタノール製造技術** ..... 26  
人工林の主要樹種であるスギを原料としたバイオエタノール製造技術の開発を目的とした試験プラントでの実証試験が終了し、収量、コスト、エネルギーなどを試算してビジネスモデルに近づけました。

**林地残材を原料とした木製単層トレイの量産化に成功！** ..... 28  
木製単層トレイの量産化装置の開発と自動製造ラインの設計を行い、スギ林地残材を原料として5千枚/日の量産化を可能としました。これにより、環境負荷の低い木製トレイの実用化に近づきました。

## 重点課題E 森林への温暖化影響評価の高度化と適応及び緩和技術の開発

### E 1 炭素動態観測手法の精緻化と温暖化適応及び緩和技術の開発

**全国調査により枯死木・リター・土壌の炭素蓄積の状況を探る** ..... 30  
全国の森林で枯死木・落葉落枝(リター)・深さ30cmまでの土壌の炭素量調査を行いました。それらに樹木の約13倍の炭素が蓄積し、気温だけでなく火山灰の影響の強さが地域分布を決める要因となることを明らかにしました。

**将来の高い二酸化炭素濃度によって、森林全体の光合成生産量が増加する** ..... 32  
二酸化炭素濃度を2倍にしたとき、明るい場所にある葉の光合成能力は低下しました。しかし森の下層(暗い場所)まで考慮した森林全体としては、光合成生産量が増大すると予測されました。

### E 2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発

**衛星からのレーザー観測と高分解能衛星画像により熱帯林の構造とバイオマスを測る** ..... 34  
熱帯林での森林劣化を広域で把握するため、衛星からのレーザー観測による森林の3次元構造をとらえる手法と、高分解能衛星画像を用いて広域で森林バイオマスを推定する手法を開発しました。

**熱帯林の保全をめざして**

**－ REDD プラスのための技術解説書の刊行とクレジット化のためのガイドラインの提案－** ..... 36  
熱帯林保全の新しい仕組み「REDD プラス」の実施のため、技術面での手引きとなる解説書である「REDD プラス・クックブック」を刊行しました。また、炭素のクレジット化のための算定指針を示した「REDD プラス実施ガイドライン」を提案しました。

## 重点課題F 気候変動に対応した水資源保全と山地災害防止技術の開発

### F 1 環境変動・施業等が水資源・水質に与える影響評価技術の開発

間伐による森林からの流量・蒸発散量の変化 ..... 38  
森林を間伐すると、林内に到達する降水量が増加し、蒸発散量が減少するため、流域からの水流出量が増加することを流域スケールで明らかにしました。

森林作業道から土砂流出を抑える方法 ..... 40  
森林作業道から土砂や濁水を流出させない方法を開発し、手引書にまとめました。この手引書では、現場で実行しやすい土砂流出抑制の対策と注意すべきポイントを紹介しています。

森林から流れてくる水に放射性セシウムはほとんど含まれない ..... 42  
福島県内の森林で採取した渓流水の放射性セシウム濃度は多くの場合検出限界以下で、濃度が上昇するのは主に増水して懸濁物質を多く含む時に限られることを明らかにしました。

### F 2 多様な手法による森林の山地災害防止機能強化技術の開発

過去の写真から山地崩壊発生の前兆をつかむ ..... 44  
静岡県で調査した結果、深層崩壊が発生する前に斜面に小さな崩壊が発生する例が多く、拡大崩壊で発生する堆積岩山地の崩壊予測に利用できると考えられます。

## 重点課題G 森林の生物多様性の保全と評価・管理・利用技術の開発

### G 1 シカ等生物による被害軽減・共存技術の開発

カビでスギ花粉の飛散を絶つ防止剤の開発 ..... 46  
花粉症をもたらすスギ花粉の飛散を防止するため、雄花を枯死させるスギ黒点病菌を添加した散布液を新たに開発しました。10月～12月に散布することにより80%以上のスギ雄花を枯死させることに成功しました。

森林用ドロップネットで効率よくシカを捕獲する ..... 48  
シカの被害地において、銃器を用いずにピンポイントでシカを捕獲する方法として、持ち運びも設置も簡単に捕獲効率のよいワナを開発しました。

### G 2 生物多様性を保全するための森林管理・利用技術の開発

萌芽の特性を活かして里山二次林を管理する ..... 50  
ナラ類やサクラ類などは切り株からの萌芽の本数が多く、その能力は地際直径10～20cmで盛んで、40～50cmでほぼ失われます。一方カエデ、シデなどは萌芽本数が少なく、地際直径20～30cmで萌芽しなくなります。萌芽更新を行うには30～40年生での伐採がベストです。

## 重点課題H 高速育種等による林木の新品種の開発

### H 1 林業再生と国土・環境保全に資する品種の開発

第2世代のマツノサイセンチュウ抵抗性品種の新たな品種開発 ..... 52  
マツノサイセンチュウ抵抗性品種同士の子供から、より抵抗性の高い5品種を開発し、第2世代の抵抗性品種の開発が本格化しました。

### H 2 林木育種の高速化及び多様なニーズに対応するための育種技術の開発

テリハボクの遺伝変異を解明する ..... 54  
台湾から沖縄、小笠原諸島のテリハボク島嶼集団についてDNAを分析し、それら3地域間で遺伝的な組成が異なることを明らかにしました。

## 重点課題Ⅰ 森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発

### Ⅰ-1 林木遺伝資源の収集、保存・評価技術の開発

- シラカンバの遺伝変異を解明する ..... 56  
中部地方以北の日本各地に分布するシラカンバ天然林から採取した DNA を分析して、北海道、東北日本および関東・中部日本で集団の持つ遺伝子が大きく異なることを明らかにしました。

### Ⅰ-2 ゲノム情報を活用した森林植物の遺伝的多様性の解明と保全・評価技術の開発

- サクラ栽培品種の分類体系の再編とデータベース化 ..... 58  
200 種類を超える多数のサクラ栽培品種について、形質と遺伝子の解析に基づいて正確な再分類を行いました。さらに、サクラの病害研究の成果も加えて、各クローンの特性を記述するデータベースを作成しました。
- 生産性の高い国産ウルシの育林技術を開発 ..... 60  
国産ウルシの優良系統を選抜しました。また、ウルシの植栽適地を明らかにしました。これら情報を統合し、国産ウルシの持続的管理マニュアルを作成し、漆生産の現場に普及させました。

### Ⅰ-3 樹木及びきのこ等微生物の生物機能の解明と利用技術の開発

- スギの雄性不稔に関連する遺伝子の探索と機能分類 ..... 62  
雄性不稔スギ（無花粉スギ）に正常な花粉ができない理由を探るため、花粉の形成過程を観察し、発現する遺伝子の違いを比較しました。無花粉スギにおける花粉崩壊の過程と関連する遺伝子が明らかになりました。
- 広葉樹をマツタケの宿主にすることに成功 ..... 64  
マツタケは、アカマツなどマツ科の針葉樹と菌根を形成し、根から栄養分をもらって生育しますが、中南米に分布する広葉樹セドロ（センダン科）とも菌根を作り、マツタケ菌糸が土壌中に広がり、セドロも良好に生育しました。

### Ⅰ-4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発

- 遺伝子組換えによるスギ花粉形成抑制技術を開発 ..... 66  
RNA 分解酵素遺伝子を用い、スギ花粉形成抑制技術を開発しました。遺伝子組換えによる無花粉スギの作出は、初めての成功例です。



## 再造林の低コスト化をいかに進めるか

林業工学研究領域	岡 勝 (現 鹿児島大学)、 山田 健、落合 幸仁、 佐々木 達也	九州支所	中村 松三、重永 英年、 野宮 治人、山川 博美
森林管理研究領域	齋藤 英樹、高橋 正義	林木育種センター	藤澤 義武、平岡 裕一郎
林業経営・政策研究領域	鹿又 秀聡、上村 佳奈	九州大学	吉田 茂二郎
四国支所	今富 裕樹 (現 東京農業大学)	宮崎大学	伊藤 哲、平田 令子
		徳島県立農林水産総合技術支援センター	藤井 栄、金磯 牧夫
		高知県立森林技術センター	渡辺 直史

### 要 旨

戦後植栽されたスギやヒノキの人工林の多くが林齢 40～50 年になり、伐採時期を迎えています。しかし、低迷する木材価格に対して植林と保育に必要な経費が高いため、伐採したまま再造林を放棄する事例も見られ問題になっています。伐採とその後の再造林を後押しするため、再造林に必要な経費を削減する低コスト化に取り組みました。その結果、伐採から植栽までを連続して行う「一貫作業システム」を採用し、コンテナ苗の活用、下刈りの省略によって、植林と初期保育にかかる経費を従来の 2/3 程度まで削減できることがわかりました。

#### 一貫作業システムで地拵え・植栽コストを削減

これまでの作業システムで、伐採・搬出と地拵え・植栽を別々の時期に行っていたのに対し、「一貫作業システム」とは、伐採・搬出に使用する車両系機械を活用して、伐採に続けて地拵えや苗木の運搬を行い、植栽までの作業を連続して短期間に行う方法です。このシステムでは、時期を選ばず植栽が可能なコンテナ苗を活用します。コンテナ苗は植栽が容易なため、同じ時間で裸苗の約 2 倍の本数の植え付けが可能でした。一貫作業システムにより、従来の作業方法に比べて労働投入量が 2～3 割ですむという結果が得られました。

#### 下刈りを隔年で実施して経費を圧縮

植栽後 5～6 年の間毎年実施する下刈りは、植栽木が雑草木との競争に負けないように林地を刈り払う大変な作業で、育林コストの半分近くを占めています。スギ植栽木と雑草木との競争の実態を調べ、下刈り回数を減らした時のスギの成長を予測し、下刈り経費を計算しました。その結果、一年おきに下刈りを実施した場合には、従来の毎年下刈りよりいくらか成長は低下しますが、下刈りの総経費が 3 割程度削減され、低コスト化の選択肢の一つとして提案しました。

#### 下刈りを省略してシカ被害を軽減

増えすぎたシカによる植栽木の食害も大きな問題となっています。被害を防ぐためにはシカ柵を張りますが、その設置と維持には多くの費用がかかります。下刈りを省略して雑草木が繁茂すると、柵なしでもスギ苗木の食害が軽減されることを実験的に明らかにしました。雑草木に覆われても比較的良く育つスギ品種の選抜を進め、

「日向署 2 号」などが有望であるという結果を得ました。

#### スギ大苗を効率的に生産

苗高が 120cm を超えるような大苗を植栽すれば、シカによる梢端部の食害の回避や、下刈り回数を減らす効果が期待できます。スギポット大苗の効率的な生産システムの開発に取り組み、播種から 2 年半で最大樹高 120cm のスギ苗を作ることができました。

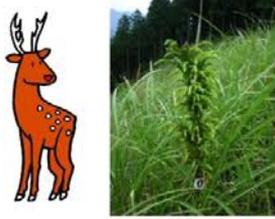
#### 再造林コストを予測して最適な育林方法を選択

これらの成果をもとに、地拵えの方法、苗の種類や下刈り回数等を選ぶ多様な育林方法に対して、地拵えから下刈り期間終了までに必要な経費を計算する育林コストシミュレータを開発しました。これによると、一貫作業システムと隔年下刈りを取り入れた低コスト例 1 の場合には、従来の方法に比べて 36% のコストダウンになります (表 1)。また、施業プランナー等が、様々な育林方法の中から最適な方法を決定する際の支援ツールとして、地位や林道までの距離などの既存の地理情報から GIS を使って再造林適地を判定するシステムと、モバイル端末により現場で簡単にコスト計算が可能なシステムも開発しました。

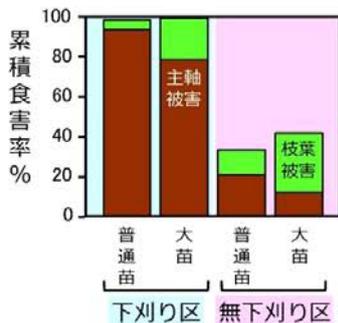
本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「スギ再造林の低コスト化を目的とした育林コスト予測手法及び適地診断システムの開発」による成果です。成果は「低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集」にまとめられています。

(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chukiseika7.pdf>)

下刈りを省略してシカ被害を軽減

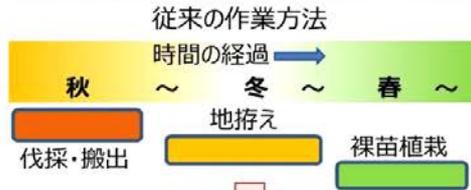


シカ食害を受けたスギ苗木

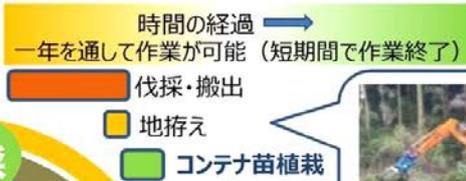


下刈りの有無とシカ食害

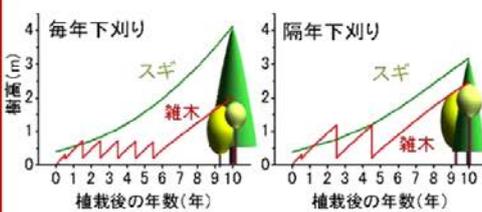
一貫作業システムで地拵え・植栽コストを削減



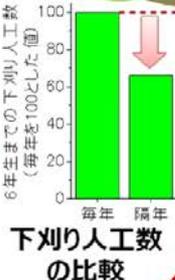
一貫作業システム



下刈りを隔年で実施して経費を圧縮

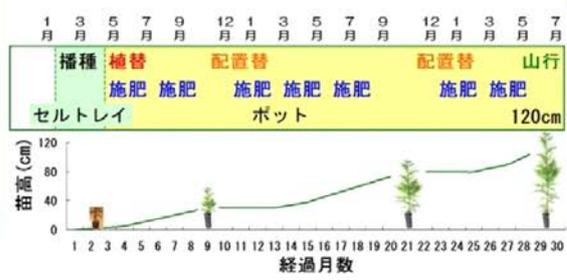


スギの成長シミュレーション



下刈り人工数の比較

スギ大苗を効率的に生産



大苗育苗フロー

図1 再造林コスト削減のポイント

表1 コストシミュレータによる作業例別の再造林コストの試算

	従来式	低コスト例1 緩傾斜地でコンテナ苗	低コスト例2 急傾斜地で大苗
伐採・搬出	伐採：チェーンソー 集材：集材機	伐採：チェーンソー 集材：グラップル	伐採：チェーンソー 集材：スイングヤーダ 造材：プロセッサ
地拵 (土場残材の処理を含む)	人力 林内で造材するため 大量の林地残材処理が必要	グラップル+人力 全木集材のため 林地残材の量は少ない	グラップル+人力 全木集材のため 林地残材の量は少ない
苗木	裸苗	コンテナ苗	大苗
苗木運搬	人力	フォワーダ	フォワーダ スイングヤーダ
下刈	毎年1回で6年間	隔年下刈り	隔年下刈り
再造林コスト	140万円/ha	89万円/ha (36%off)	114万円/ha (19%off)

# 森林モニタリングの土壌侵食調査手法を海外普及に向けて発信

立地環境研究領域  
林野庁

三浦 寛  
永目 伊知郎

## 要 旨

土壌侵食を防いで土壌を守ることは、森林の生産力と公益的機能を維持して、持続的に森林を経営していくために欠かせません。本研究では、代表的な森林タイプでの詳細な土壌侵食の観測から、落葉か下草が地面を覆っているか、いないか（林床被覆率が 100% か、0% か）で、土壌侵食量が 50 倍も違うことを明らかにしました。さらに、林野庁の森林生態系多様性基礎調査による日本全国の数千点の観測データを解析して、北海道から沖縄までの様々な森林でも、林床被覆率は土壌侵食の発生を予測する有効な診断指標として使えることが明らかになりました。国際的な林業協力（モントリオールプロセス）の中でも、森林をモニタリングする有用な指標として活用されることが期待されています。

### 持続可能な森林経営のための森林のモニタリング

森林は、地球環境を守るために重要な役割を果たしています。国際的にも、森林を守り、持続可能な形で利用していくことの大切さは、1992年の国連地球環境サミットをきっかけとして各国の間で共有されてきました。そのためには、まず森林の生育状態を客観的な基準や指標を用いてモニタリングする必要があり、世界各国で精力的にそのための研究や事業が取り組まれています。わが国でも、1999年から林野庁による森林資源モニタリング調査事業（現在の森林生態系多様性基礎調査事業）が開始され、全国約1万5千カ所で森林資源量のほか、植生、生物被害、土壌侵食などの定点観測が続けられています。

### 土壌侵食に対する林床被覆率の指標性を全国規模で確かめる

森林の土壌を守り、養分や土砂が流出しないように管理するためには、土壌侵食の危険性を簡便にモニタリングする指標が必要です。森林での土壌侵食には落葉や下草の有無が関係すると言われてきました。そこで本研究では、まず、スギ林、ヒノキ林、アカマツ林、落葉広葉樹林の4つの森林タイプで林床被覆率（落葉か下草がどれだけ地面を覆っているかの割合、図1）と土壌侵食の関係を詳細に観測しました。その結果、落葉か下草が地面を覆っているか、いないか（つまり、林床被覆率が100%か、0%か）で、土壌侵食量が50倍も違うことを明らかにしました（図2）。さらに、この関係が多様な森林に広く当てはまるかを検討するために全国数千ヶ所

の森林の土壌侵食のモニタリングデータを解析したところ、林床被覆率の大小は、土柱、リル、ガリーなど（図3）の土壌侵食の発生を示す痕跡の出現率に強く関係していることが明らかになりました（図4）。

### 林床被覆率という指標の有効性

森林の土壌を守り、養分や土砂が流出しないように管理するためには、林床被覆率を指標としてモニタリングしながら、落葉や下草による被覆を高く保つことが有効であることが分かりました。下草や落葉による被覆は、間伐して林床を明るくする、広葉樹を混交させるなど、森林の適切な管理を通じてコントロールすることが可能です。林床被覆率を目で見て判定するという簡便な指標は、土壌侵食の危険性をあらかじめ診断し、適切な森林管理につなげる有効な手法であるといえます。

### 海外への成果の普及

林野庁では本研究の成果をもとに、わが国の森林モニタリングで行っている、林床被覆率を指標とする土壌侵食の調査手法を海外に普及するための活動を開始しました。日本を含む温帯林と亜寒帯林諸国での、モントリオール・プロセスという持続可能な森林経営をめざす国際林業協力の場で、この手法の有用性がみとめられ、普及のための方法書として公表されることが決まりました。

本研究は、「予算区分：一般研究費、課題名：健全な物質循環維持のための診断指標の開発」によって行われました。



図1 下草により林床被覆率が高い(91%)林分(上、33年生スギ林)と林床被覆率が著しく低下した(20%)林分(下、26年生ヒノキ林)

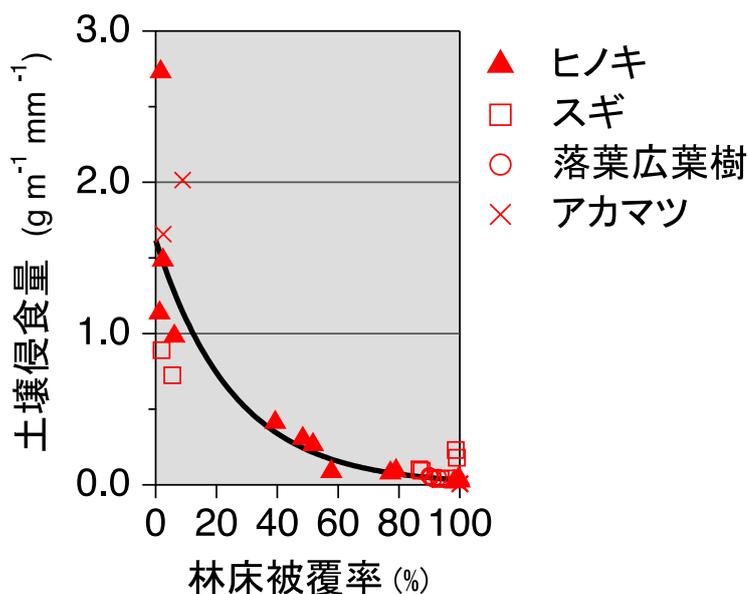


図2 林床被覆率と土壌侵食量の関係

様々な森林で、下草か落葉が地表を覆う割合と土壌侵食量を調べたところ、どのような森林でも、林床被覆率が低下すると土壌侵食量が急増することが分かりました。

縦軸の土壌侵食量：降雨量に応じて移動する細土の量



図3 土壌侵食痕の例(上から、土柱、リル、ガリー)

土壌侵食発生の有無は、土柱(上段、林内の雨滴によって作られる)とリル(中段、地表の流水で作られる溝、深さ30cm未満)やガリー(下段、同、深さ30cm以上)の3つの土壌侵食痕を利用して判定します。

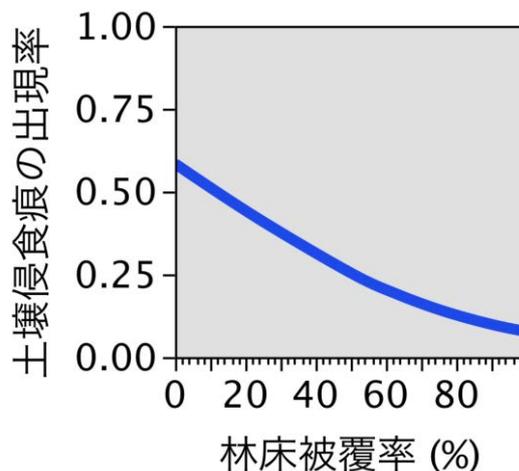


図4 林床被覆率と土壌侵食痕出現率の関係

2009-2011年の全国7,427地点のモニタリングデータを解析した結果、林床被覆率が低下すると土柱、リル、ガリーなどの土壌侵食痕の出現率が増加することが分かりました。

# 広葉樹の確実な天然更新を判断する基準を明らかにする

森林植生研究領域

正木 隆、杉田 久志

## 要 旨

1967年に新潟県の苗場山に設定されたブナ天然更新試験地で、30年前に皆伐された場所の更新状況を再調査しました。その結果、現在ブナ等の広葉樹が更新に成功して優占している場所は、皆伐後数年の時点で高さ30～50cm前後の稚樹がhaあたり10～20万本成立していたことを明らかにしました。従来の天然更新施業で用いられてきた更新完了基準では、皆伐から4～5年後の時点でhaあたり2万～5万本の密度で稚樹が成立していれば十分とみなしていました。また、最近ではhaあたり3,000～5,000本という緩和された基準も用いられていました。しかし、天然更新施業の成否を長期的なデータで検証した結果、これらの基準よりも多くの稚樹が天然更新には必要であることが示されました。

### 広葉樹林への転換

戦後の日本林業は、スギ・ヒノキ・カラマツなどの針葉樹の人工林を中心に経営されてきました。その一方で、人工林の経営に不向きな場所（成長が悪い、地形が急峻で効率よく収穫できない、等）もあることがわかってきています。そのような場所は、本来の公益的機能を発揮させるために元の広葉樹林に戻していくことが妥当と考えられます。

そこで、過去に天然更新施業がおこなわれた森林を再調査し、確実な天然更新を実現するための基準について、改めて検討を行いました。

### 長期試験地の再調査

この目的にかなう長期の観測データが揃っているほとんど唯一の場所が、苗場山ブナ天然更新試験地でした。1967年に設定されたこの試験地では、下刈りや地表掻き起しなどのさまざまな林床処理と、皆伐から無伐採までさまざまな上木保残処理がほどこされており、現実に起こりうる施業パターンのほとんどすべてが、この試験地で再現されています。1978年には、試験地の半分のエリアで皆伐がおこなわれました。初期の成果として、試験開始から1982年までのデータにもとづいて、ブナの確実な天然更新のためには30cm前後の稚樹がhaあたり5万本必要である、という暫定的な更新完了基準が示されています（他の試験地のデータも加味すると30～50cmの稚樹、haあたり2～5万本が妥当とされました）。この試験地を改めて調査することで、皆伐時にどのような状況であればその後の更新が着実に進むか、を明らかにできると考えました。

### 従来の見解をくつがえす結果

調査した結果は、これまでの常識をくつがえすものでした。この試験地の40年にわたるデータを分析したところ、現在ブナが上層を優占し、更新が着実に進みつつある場所というのは、1982年（皆伐から4年後）の時点で、高さ30～50cm前後のブナ稚樹がhaあたり10万本～20万本の密度で成立していた場所でした（図1）。樹種をブナに特定せず、高木性広葉樹なら可としてみても、結果は同様でした。一方、従来それで十分と言われてきたhaあたり2万～5万本の稚樹密度だった場所は、ササや低木が繁茂している状況でした（写真1）。

### 確実な天然更新施業はかえって高コストに

本研究の結果は、H24年3月に林野庁から公表された「天然更新完了基準書作成の手引き（解説編）」に引用され、全国自治体における天然更新完了基準の作成に反映されることとなりました（表1）。種子源が直上にあるともいえる天然林でも、haあたり10万～20万本の稚樹を定着させるには、主要樹種の豊作年に合わせて、入念な下刈り・地表掻き起しをおこない、成立した稚樹群を損傷ないように上木を伐採する、というキメの細かい施業が必要です。このように、人工林、天然林を問わず、広葉樹を確実に天然更新させるためには、かなりのコストがかかることを認識する必要があります。

本研究は森林総合研究所の実行課題A213「天然更新を利用した多様な森林タイプへの誘導技術の検証と高度化」の成果です。

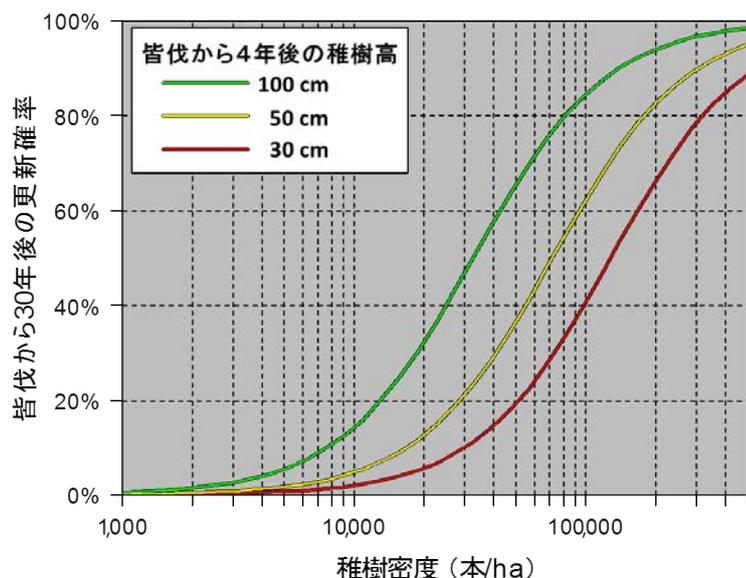


図1 更新完了を判定する時（ここでは皆伐から4年後）のブナ稚樹密度（横軸）と30年後の更新成功率（縦軸）の関係の一例（ここではブナの稚樹高が30cm、50cm、100cmの場合を想定してみました）。



写真1 苗場山試験地の70%伐採区（1978年には残り30%も伐採）の現況  
1982年の頃には更新が順調であると見られていましたが、現在はササが繁茂しています。

表1 本成果にもとづいて林野庁が作成した、更新樹種の成立本数（本/ha）、競合植物の草丈及び更新樹種の稚樹高の関係表（「天然更新完了基準書作成の手引き（解説編）」P.20より引用）  
例えば、成立本数3,000本/ha、競合植物の草丈50cmの場合（黄色塗りの箇所）、更新樹種の稚樹高が150cm以上あれば30年後におおむね成林することが見込まれます。

成立本数（本）	競合植物の草丈（cm）																			
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1,000	70	110	150	190	230	260	290	320	350	380	410	430	460	490	510	540	560	590	610	630
2,000	60	90	120	150	180	210	230	260	280	300	330	350	370	390	410	430	450	470	490	510
3,000	50	80	110	130	150	180	200	230	250	270	290	310	330	340	360	380	400	410	430	450
4,000	50	80	100	120	150	170	190	210	230	240	260	280	300	310	330	350	360	380	390	410
5,000	40	70	90	110	140	160	170	190	210	230	240	260	280	290	310	320	340	350	370	380
6,000	40	70	90	110	130	150	160	180	200	220	230	250	260	280	290	300	320	330	350	360
7,000	40	60	80	100	120	140	160	170	190	210	220	230	250	260	280	290	300	320	330	340
8,000	40	60	80	100	120	130	150	170	180	200	210	220	240	250	260	280	290	300	310	330
9,000	40	60	80	100	110	130	140	160	170	190	200	220	230	240	250	270	280	290	300	320
10,000	40	60	70	90	110	120	140	150	170	180	190	210	220	230	240	260	270	280	290	300
15,000	30	50	70	80	100	110	120	140	150	160	170	180	200	210	220	230	240	250	260	270
20,000	30	50	60	70	90	100	110	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
25,000	30	40	60	70	80	90	100	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
30,000	30	40	50	60	80	90	100	110	110	120	130	140	150	160	160	170	180	190	190	200
40,000	20	40	50	60	80	80	90	100	100	110	120	130	140	140	150	160	160	170	180	180
50,000	20	40	50	60	70	70	80	90	100	110	110	120	130	130	140	150	150	160	170	170
60,000	20	30	40	50	60	70	80	90	90	100	110	110	120	130	130	140	140	150	160	160
70,000	20	30	40	50	60	70	70	80	90	100	100	110	110	120	130	130	140	140	150	160
80,000	20	30	40	50	60	60	70	80	80	90	100	100	110	120	120	130	130	140	140	150
90,000	20	30	40	50	50	60	70	80	80	90	90	100	110	110	120	130	130	140	140	140
100,000	20	30	40	50	50	60	70	70	80	90	90	100	100	110	110	120	120	130	130	140

## 林内走行機械による根の損傷を減らすために

北海道支所

倉本 恵生、山口 岳広、佐々木 尚三

### 要 旨

緩やかな地形の多い北海道では、大型機械を林内走行させ、安全で効率良く木を切り出すことができます。ただし、残す木や土壌を傷めない配慮が欠かせません。しかし、機械の走行と根の損傷との関係は十分に分かっていませんでした。そこで林内で機械を往復させる実験を行ない、往復回数が増えると地表近くの根の傷の数が増えること、一度ついた傷は拡大することを明らかにしました。また、木のそばを機械が通ると傷がつきやすく、機械を木からおよそ1メートル未満まで近づけると特に傷がつきやすくなることが分かりました。これを手がかりに、根の損傷を最小限度に抑える機械作業の方法を提案していきます。

#### 機械を林内に入れて木を収穫する

自走する機械を林内に入れて木の収穫を行う方法は、人が木を切ってワイヤーなどで運び出す方法に比べ、同じ時間ではるかに多くの木を安全に収穫することができます。機械が入りやすい緩やかな地形の多い北海道などではこの作業方法がもっと広まれば、収穫の経費が下がり利益も上がるでしょう。しかし、重くて大きな機械が林の中に直接乗り入れると、残す木に傷がつくことが心配されます。そこで、対策を立てるために、林内での機械の走行と傷との関係を詳しく調べました。

#### 根を傷めない配慮が必要な理由

北海道の主な造林樹種であるトドマツは、傷から侵入した菌による材の腐れが起りやすいとされています。大型機械が林内に乗り入れると地面に強い力がかかるため、水平方向に伸びる地表近くの大きな根が傷つくおそれがあります。根の傷から幹に腐れが進むと材の価値が低下するばかりか、収穫する前に木が倒れてしまう危険も増します。

#### 機械の乗り入れ回数を減らす

根を傷めない作業の手がかりを得るため、私達はほぼ平らなトドマツ林の中でクローラ型（いわゆる「キャタピラ」式）機械（重量約12トン）を同じ速度で何度も

往復させて根の傷つき方を調べました（図1）。まず明らかになったのが、機械が通る回数が増えると根の傷も多くなることでした（図2）。傷の数が増えない場合でも、一度ついた傷の多くは機械の往復とともに拡大し、根が切れたりもします（図3）。根が完全に切れてしまうと、皮がはがれるだけの傷と比べて、菌がより侵入しやすいと考えられています。調査では3往復目から根が切れ始めました。

#### 木との間隔を十分にとる

もうひとつ重要なのが機械と木の間隔です（図1）。木と機械の間隔を1メートル以上にすると、0.5メートルと狭い場合に比べて傷の数と大きさは減少します（図4）。さらに間隔を3メートル以上に広げると、5往復しても傷は発生しませんでした。間隔を広くとることで傷が減る効果は、機械の往復回数が少ないほど大きい（図3）ので、間隔を1メートル以上にとり、回数を2往復以下に減らすことが重要です。

このように機械の走行と根の損傷の関係が数値で明らかになったことから、今後これを手がかりに根の損傷を最小限度に抑える機械作業の方法を提案していきます。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「緩中傾斜地に適した低コスト生産システムの開発」の成果です。

## A. 木と機械の間隔が狭い場合



## B. 木と機械の間隔が広い場合



図1 トドマツ林で林業機械を往復させる実験の様子  
建設用の油圧ショベルの先に、木をはさんで切り倒す器具を取り付けた機械（フェラーバンチャー）を使っています。Aでは機械と木との間隔は左右それぞれ約0.5mと0.3m、Bでは約3.4mと1.1mです。

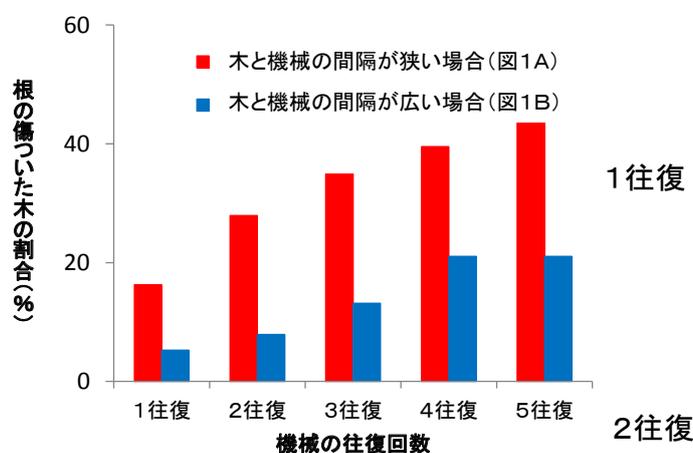


図2 機械の往復とともに根の傷が増える様子  
往復回数が増えるにつれて根の傷む木が増え、機械との間隔が狭いと傷む木も多いことが分かります。木と機械の間隔が1メートル以上あり（図の青棒、図1B参照）機械が1往復しかならない場合は傷つく木の割合は5パーセント以下になります。

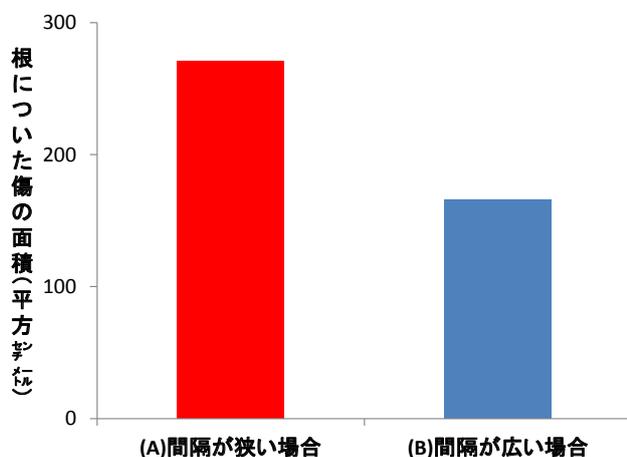


図3 根の傷が機械の往復により拡大していく様子  
同じ木の傷を写しており、左が木の根元を、右が傷ついた根の部分をもっと大きく写したものです。傷ついた根の半数は、3往復後には写真のようにばらばらに切断されてしまいます。

図4 木と機械の間隔と根の傷の大きさ  
木と機械の間隔が狭いほう（A:50cm以下）が、広い場合（B:1m以上）より傷が大きくなる傾向があります（傷の面積は平均値）。

## 森林に低コストで林道をつくる

林業工学研究領域

田中 良明、鈴木 秀典、山口 智

### 要 旨

森林から木材を効率的に運び出すためには、林道や森林作業道といった道のネットワークが必要不可欠ですが、こうした道の作設には多額の経費が必要になります。木材搬出の効率性と森林路網の低コスト化を両立させるために、航空機レーザー測量による精密な地形データを用いて、パソコン画面に路網の設計に必要な条件を表示させながら、対話的に土工量（移動させる土の量）を計算できるソフトウェアを開発しました。その結果、道の経路、路面の高さ、円曲線の半径などを変えることによって、土工量が自動的に計算され、切土、盛土の高さや土工量を抑えた路線選定を対話的に行えるようになりました。これにより、土工量の最小化をはかり、コストを抑えることができます。

### 低コストで道を作る

森林から木材を効率的に運搬するには、林道や森林作業道のネットワーク（森林路網）が必要です。道の作設において、低コスト化が欠かせません。航空機レーザー測量による精密な地形データを用いて、パソコン上で対話的に土工量を計算できるソフトウェアを開発しました。

### 森林に道をつくる

傾斜地に道をつくるには、土を切り取ったり（切土）、盛ったり（盛土）して平らな路面を作る必要があります（図1）。移動させる土（岩を含む）の量を土工量といい、土工量が少なければ、道の作設コストを抑えられます。林道の作設では図2に青線で示した、2本の道の直線部が交わる交差点（I.P）を選んで円曲線をあてはめ、カーブをつくります。土工量はI.Pの配置や路面高の設計で変わります。

### 土工量を計算するソフトウェア

近年、航空機レーザーによる高解像度の数値地形データが入手できるようになりました（図3）。尾根、谷や地形の細かい起伏が表現されています。この数値地形データを用いて、対話的に土工量を算定するソフトウェアを作成しました。数値地形データから得られる2m間隔の地形情報をバイリニア補間法とよばれる方法で10cmまで細かく平面上で分割します。道の断面を想定し、路線位置と路面高の情報から10cm四方の1区画が、路面やのり面に含まれるか判定し、含まれるなら路面やのり面の高さに

置き換えます。この作業を道の起点から終点まで短い間隔で行うと、路面やのり面の立体的な形状が分かります。

### 計算例

図2には図3の矢印で示した尾根の地形が、高さ2m間隔の等高線で示されています。ここでは平坦な道を考えます（図2）。I.Pを尾根線の近くに決め、半径30mのカーブをあてはめると土工量は750m<sup>3</sup>です。I.Pを図中の青矢印の方向に移動させる（図4）と土工量は417m<sup>3</sup>に減り、さらに移動させる（図5）と923m<sup>3</sup>に増えました。一体、どういうことでしょうか？

### 土工量を決める要因

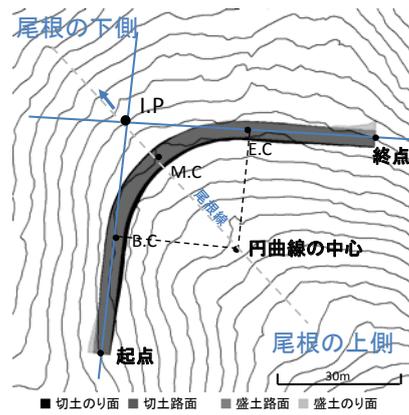
この疑問を解くカギは、道の断面図にあります。図2ではI.Pが起点、終点とほぼ同じ高さにあるため、路面は地面の下を通ることとなり、殆ど切土によって作られます。図4では道がほぼ等高線に沿って走り、切土と盛土が同程度になります。図5では路面が地面より高いところを通り、殆ど盛土でつくられます。路面高一定の条件下では、計算例2（図4）のI.Pが適切であることがわかります。

このように、このソフトウェアを使うと、切土と盛土のバランスをとり、土工量を最少化して道の作設コストを抑えることができます。

本研究は、一般研究費「路網整備と機械化・省力化による低コスト作業システムの開発」による成果です。



図1 施工中の林道



土工量 750 m<sup>3</sup>  
 盛土量 10 m<sup>3</sup>  
 切土量 740 m<sup>3</sup>

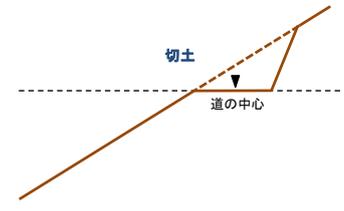


図2 計算例1

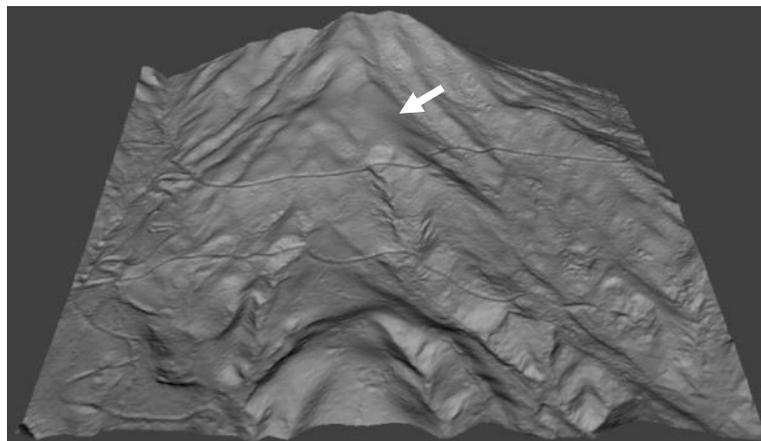
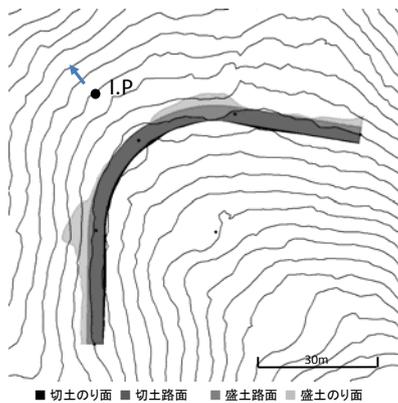


図3 航空機レーザーによる高解像度数値地形モデル



土工量 417 m<sup>3</sup>  
 盛土量 126 m<sup>3</sup>  
 切土量 290 m<sup>3</sup>

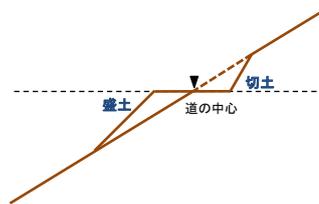
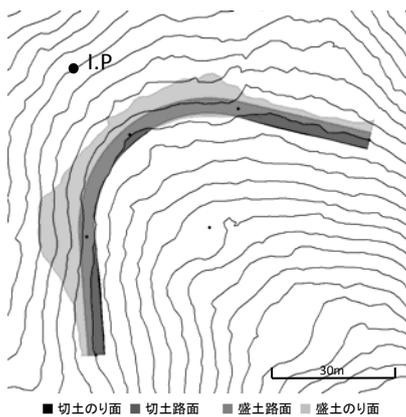


図4 計算例2



土工量 923 m<sup>3</sup>  
 盛土量 860 m<sup>3</sup>  
 切土量 63 m<sup>3</sup>

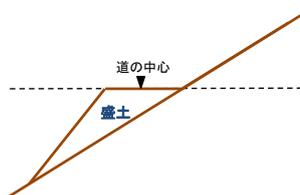


図5 計算例3

## 木材の乾燥効率と品質の向上

木材特性研究領域	鈴木 養樹
加工技術研究領域	村田 光司、伊神 裕司、松村 ゆかり、小林 功、渡辺 憲
静岡県森林・林業研究センター	池田 潔彦
マイクロメジャー（株）	杉山 晃弘

### 要 旨

割れのない品質の良い乾燥材を効率的に生産するためには、乾燥工程で木材表面に発生する力を評価することと、原木段階での丸太の水分量を正確に知ることが重要です。表面の力については、 $\pi$ （パイ）型をした変位計と近赤外線を用いた非破壊的な検出方法を開発しました。これらによって、乾燥中に生じる割れの発生を抑えることができるようになりました。また、含水率計という木材中の水分量測定器の精度を良くするため、近赤外線を使った木材密度の補正方法を開発しました。さらに、原木段階の丸太の水分量がわかれば、水分量でグループ分けすることにより、乾燥効率を飛躍的に向上させることができるため、水分と密接な関係のある電磁波を利用して、丸太全体の水分量だけでなく、内部の水分量もわかる評価法を開発しました。

### はじめに

国産材の需要を拡大するためには、品質のよい乾燥材を安価で安定的に供給することが重要であり、特に割れのない乾燥材が望まれています。木材を割れないように効率よく乾燥するためには、乾燥中の表面に発生する力の状態を知る必要があります。また、乾燥前の原木段階の丸太の水分量を調べて、水分量でグループ分けした後乾燥することにより、乾燥効率を飛躍的に向上させることができます。

### 乾燥途中の木材に発生する力の測り方

割れのない木材製品を生産するためには適切な条件で乾燥する必要があります。乾燥条件は樹種や水分量によって変える必要がありますが、現場では試行錯誤で行われており、製品の品質にばらつきが出てしまうこともあります。そこで、 $\pi$ （パイ）型変位計という簡単な器械を用いて、木材表面の微細な変形を測定し、その変形量から木材表面に発生する力の大きさを検知することにより、割れの生じない適切な乾燥条件を自動的に設定する方法を開発しました。

近赤外線を用いた新しい測定方法によっても、木材に発生する力を評価し、乾燥条件の判定に利用できる可能性があることを見出しました（図2）。また、近赤線を

使って密度を補正する方法を開発し、これにより、木材の水分量を測る含水率計の精度を従来よりも1割向上させることができました。

### 電磁波による丸太水分量の評価方法

丸太の水分量を知るためには、重さを測ることが必要でした。ところが、非常に重いことや手間がかかりすぎる欠点がありました。そこで、水分量と密接な関係のある電磁波の伝わり方の違いを利用して、丸太内部の水分量の評価方法を開発しました（図3）。

これらの技術により、従来経験と試行錯誤により行っていた木材乾燥について、センサーの情報に基づく科学的な技術に進めることができました。

本研究は、課題番号：C111 木材の基礎的特性の解明とそれに基づく品質管理技術の開発、C112 製材工場等の生産性向上に資する製材・乾燥等の技術開発」と「予算区分：森林総合研究所運営費交付金プロジェクト、課題名：スギ造林大径木を公共建築等において利用拡大するための技術開発・スギ造林大径木の効率的な製材システムの開発」および静岡県新成長戦略研究「木造建築用材を外材から県産材へ転換する製品創出技術の開発」による成果です。

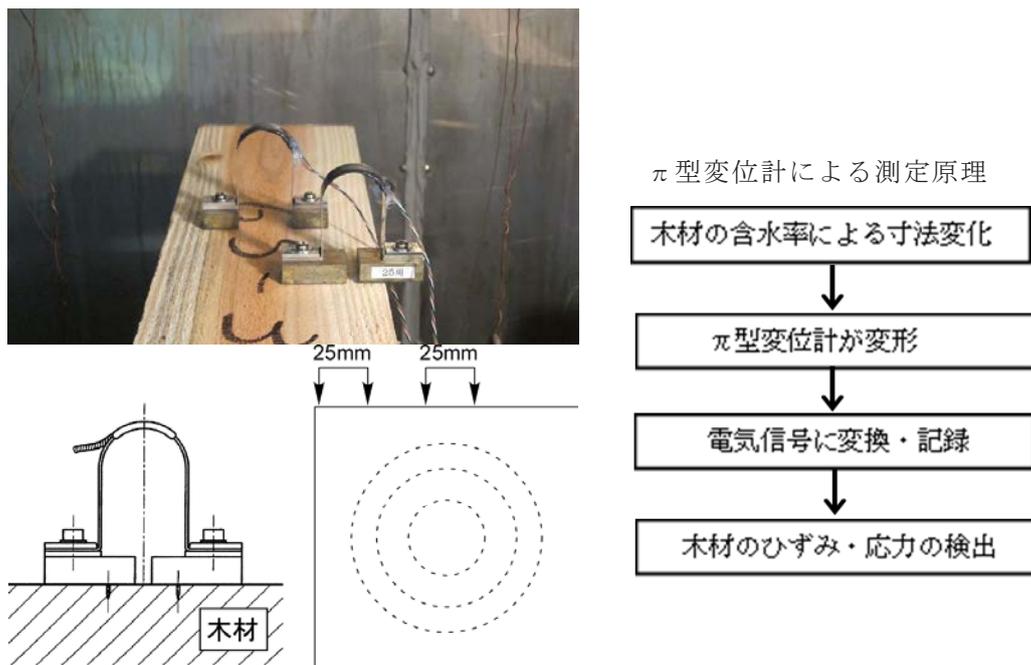


図1 π（パイ）型変位計と設置の仕方

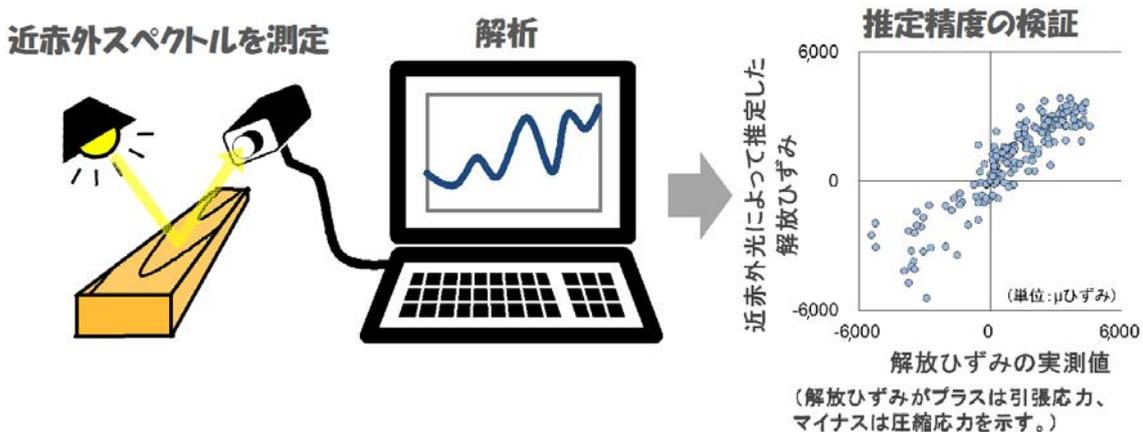


図2 近赤外線による木材表面に発生する力の推定方法



図3 電磁波による水分量測定の様子  
 (今、センサーの間に原木を置こうとしています。センサーは原木の縦方向と同じ向きに上下2つあります。)

## 木質材料からのアセトアルデヒド放散のしくみを明らかに

複合材料研究領域	塔村 真一郎、宮本 康太、井上 明生
バイオマス化学研究領域	大平 辰朗、松井 直之
加工技術研究領域	石川 敦子
北海道立総合研究機構	秋津 裕志、鈴木 昌樹、朝倉 靖弘、伊佐治 信一

### 要 旨

アセトアルデヒドは厚生労働省の室内濃度指針値が策定されている化学物質の一つです。住宅の実態調査では木造住宅で濃度が高くなるとの報告もあったため、木質建材を発生源とする考え方もありましたが、詳しいことはわかっていませんでした。

そこで木質材料からのアセトアルデヒドの発生原因を確かめるため、原料や製造過程の影響について調べました。

その結果、二つの原因がありました。一つは、生きている木材に元々少しだけ含まれていたアセトアルデヒドが放散することです。もう一つは、製造過程で木材にエタノールが加えられると、アセトアルデヒドが発生してくることでした。さらに材料の放散値から室内濃度を予測することで安全性が評価できるようになりました。

### 木材からの発生メカニズム

伐採直後の木材からは微量のアセトアルデヒドが放散されています。これは生きている材に元々少量含まれていたものですが、自然乾燥で速やかに減少しました。

一方、木材に直接エタノールを塗ると、樹種によっては材に含まれているより多くのアセトアルデヒド放散が検出されました。これは主に木材中に残るアルコール脱水素酵素の働きによってアルコールからアセトアルデヒドが作られるためと考えられます(図1)。

### 木質材料製造工程の影響

木質材料の製造中にエタノールが混入するとアセトアルデヒドの発生要因となることが考えられますが、調べてみると接着剤にエタノールが含まれる場合にだけアセトアルデヒドが検出され、これは上記の原因によるものと思われま

す。また、木質ボードなどを製造するときは高温でプレスする必要があるため、プレス中の熱圧温度の影響を調べたところ、温度が高くなるとアセトアルデヒドの発生が多くなることがわかりました。しかし、製造後の製品からの放散量は極めて低い値を示し、製造中の熱圧温度は製品の放散量には影響しないことがわかりました。

### 室内濃度の安全性評価

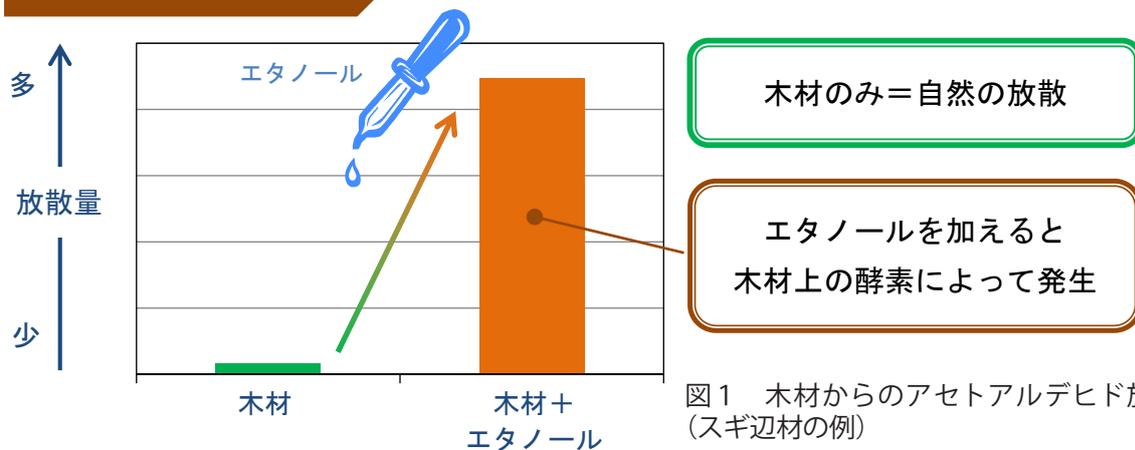
市販の各種木質建材からのアセトアルデヒド放散量を測定した結果、全ての材料で2週間後にはとても少なくなるということがわかりました(図2)。また、アセトアルデヒドの放散は温度と湿度によって多少変化することもわかりました。

これらの材料を内装材として床と壁4面に施工したモデル室内の空気を実測したところ、アセトアルデヒド濃度は、室内濃度指針値を下回り、木質材料を内装に多用した場合でも室内空気は安全であることがわかりました。さらにこの実測値は、各材料の放散値を基にして計算した室内濃度の値とほぼ一致し、材料の測定値から室内濃度の予測が可能になることを明らかにしました(図3)。

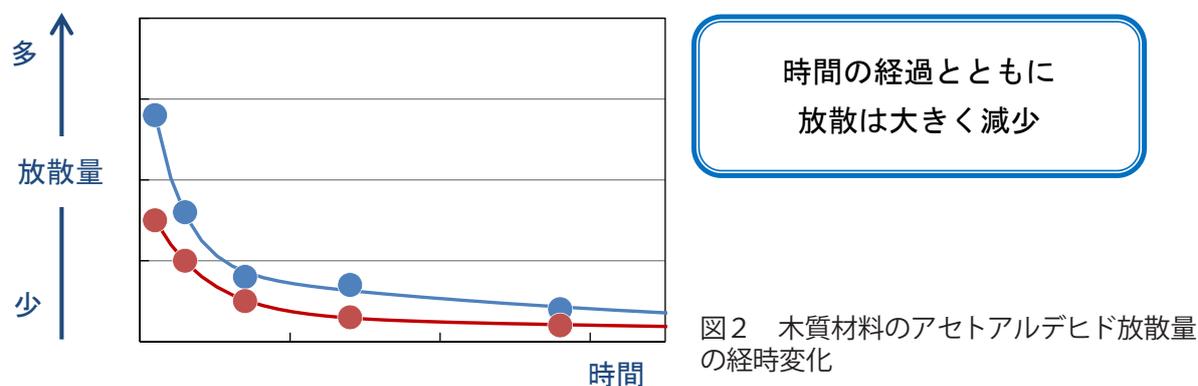
これらの成果は、木造住宅の安全安心を保証するものであり、公共建築物の木造化や内装の木質化等に貢献します。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「木質材料からのアルデヒド類放散特性の解明と安全性評価」の成果です。

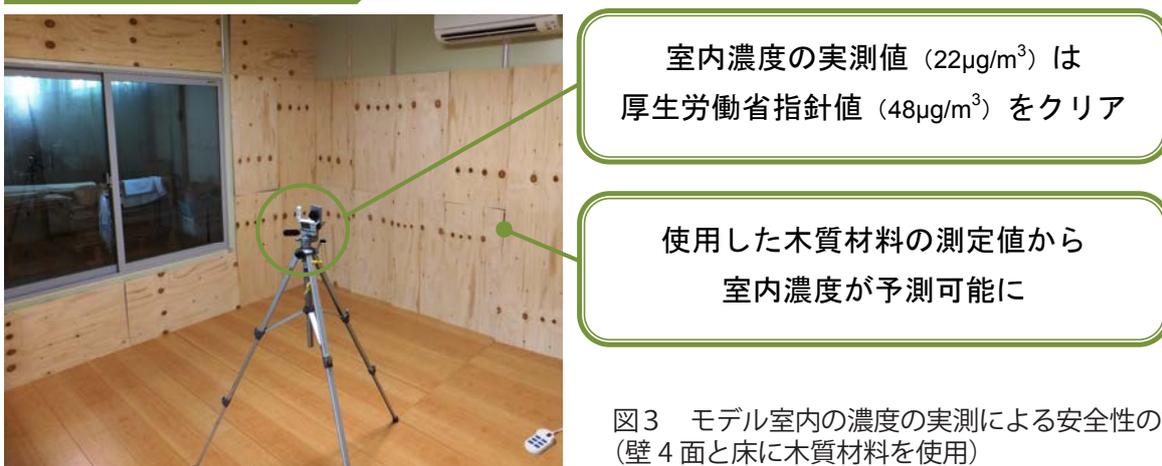
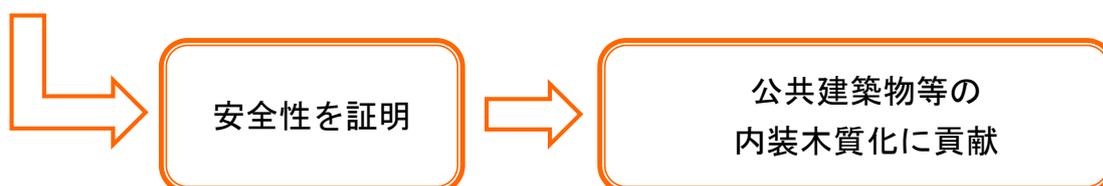
## 木材からの放散

図1 木材からのアセトアルデヒド放散  
(スギ辺材の例)

## 木質材料からの放散

図2 木質材料のアセトアルデヒド放散量の  
経時変化

## 室内濃度の評価

図3 モデル室内の濃度の実測による安全性の評価  
(壁4面と床に木質材料を使用)

## 屋外で木材の美しさを長持ちさせる塗装法を開発しました

木材改質研究領域 片岡 厚、川元 スミレ、小林 正彦、松永 正弘、松永 浩史、木口 実

### 要 旨

屋外で使用する木材を太陽光や風雨などの影響から守るために木材を保護する塗料が用いられます。屋外でも木質感を活かせる塗料は、塗装後も木目を塗りつぶさない仕上がりなので、広く用いられています。しかし、塗り替えなど長期メンテナンスに関する知見が不足しており、その解決が課題となっていました。本研究では、木材保護塗料の塗り替え方法の検討やその後の性能変化の分析を行い、簡単な前処理を行うことで、塗り替え後の性能を向上させ、次の塗り替えまでの期間を延ばす方法を明らかにしました。この成果は、木材保護塗料の長期メンテナンス設計に欠かせない新知見として、塗装木質建材の AQ 認証 \* など公的な基準づくりに活用されています。

### 背景・目的

木材保護塗料は、屋外で使用する木材や木質材料の表面を、太陽光や風雨による劣化から保護するための塗料です。他の屋外用塗料とは異なり、塗装後も木材の表面を塗りつぶさないことから、屋外空間でも木質感を活かせる塗料として好評で、広く使用されています。しかし一般的な塗料として公的に認められ、各種の建築工事に使用され始めたのが僅か数年前という新しいタイプの塗料であるため、塗り替えを含めた長期メンテナンスに必要なノウハウが十分ではありませんでした。

### 塗装性能に及ぼす塗り替えと前処理の効果

本研究では、木材保護塗料の塗り替えなど長期メンテナンスの設計に役立てるため、塗装の前処理の方法と塗り替えの効果について検討しました。実験には木材保護塗料で塗装したスギ試片を用い、屋外で太陽光や風雨に曝す試験（屋外暴露試験）を 2 年間実施した後、初回と同じ塗料で塗り替え、その後再び屋外暴露試験を行って性能の変化を分析しました（図 1）。塗り替えにあたっては、前処理として旧塗装面を研磨してから塗装した場合と、研磨せずに塗り替えた場合とを比較しました。その結果、研磨を行った場合には、塗り替え後の変色が小さく、水をはじく能力が高くなり、塗膜割れなど欠陥発生

も抑制されるなど、塗り替え前と比較して性能が大幅に向上し、性能維持期間が延びることが分かりました（図 2）。これは、最初の屋外暴露試験によって塗装面に微細な凹凸構造が生じ、その凹凸の程度が研磨処理によって程良い具合になり、塗り替え時の塗料の浸透量が増加して、性能向上につながったためと考えられます。

### 今後の展望・活用

本研究では、木材保護塗料の塗り替えや前処理の有無が性能に与える効果について検討し、簡単な前処理を行うことで、塗り替え後の性能を向上させ、次の塗り替えまでの期間（塗装寿命）を延ばせることを明らかにしました。この技術により塗り替え回数を減らし、長期メンテナンスに係るコストを減らすことができます。塗り替え後の屋外暴露試験は継続中ですが、多くの試片は依然として高い性能を維持しており、塗装寿命は塗り替え前の 2 倍かそれ以上に延びる可能性があります。この成果は、塗装木質建材の AQ 認証 \* の基準作成委員会などに受け渡され、基準作成に活用されています。

本研究は「予算区分：一般研究費、課題名：木質部材の耐久化・性能向上技術の高度化」による成果です。

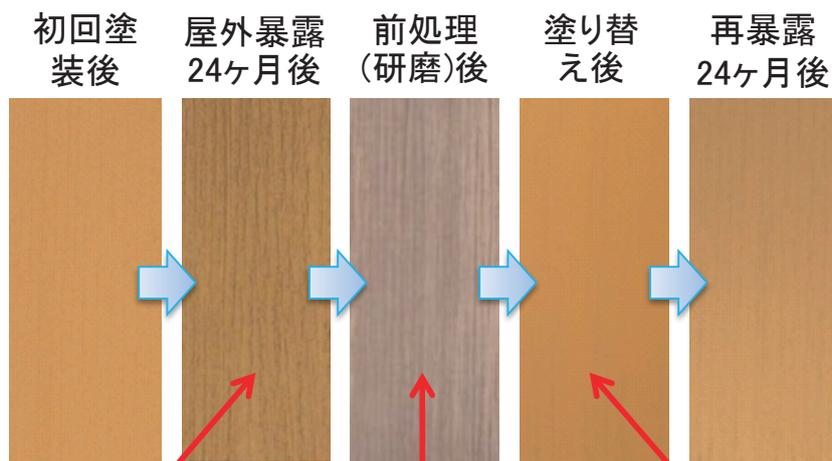


図1 初回塗装～再暴露試験までのスギ心材塗装試片の外観変化(塗料B)

太陽光や風雨の影響で表面構造が変化し、凹凸化する。  
 研磨処理で表面構造を調整し、凹凸の程度を最適化。  
 塗料の浸透量が初回塗装の約2倍に増え、性能向上。

塗り替え後の性能が大幅に向上

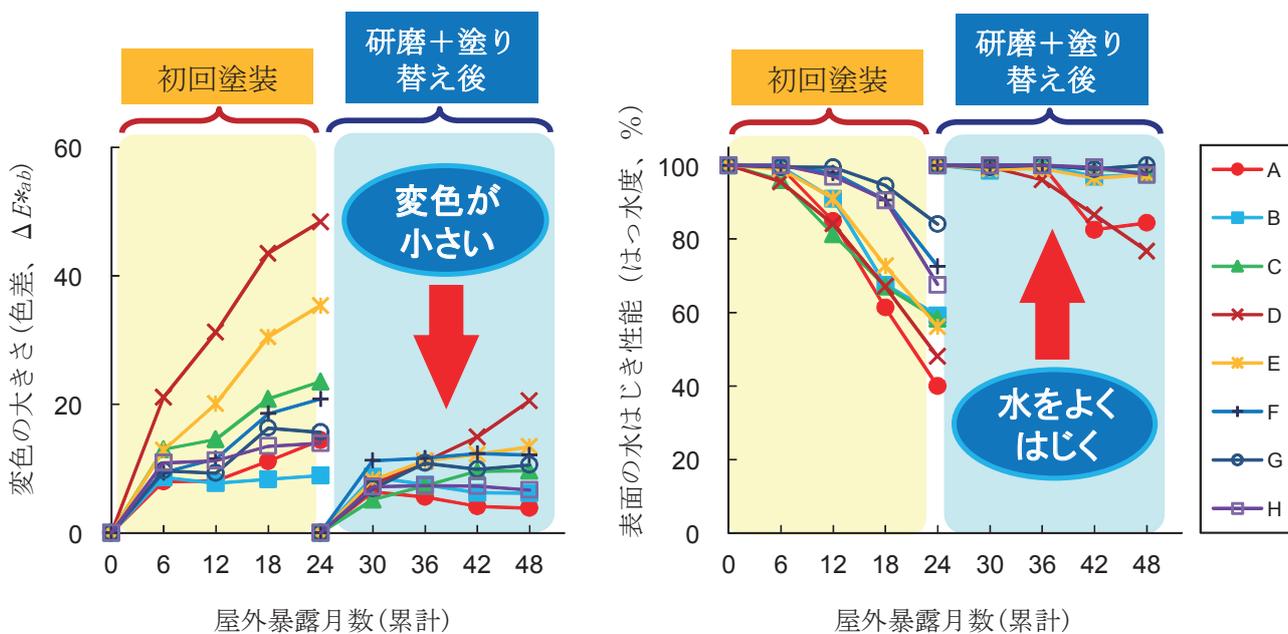


図2 初回塗装後と塗り替え後(前処理有り)の性能変化(塗料A~H)

\*については、巻末の用語解説をご覧ください。

## オフィスビルにも使える強固な木造床を開発しました

構造利用研究領域

杉本 健一、青木 謙治

### 要 旨

ショッピングセンターやオフィスビルを木造で建てようとする、地震時や暴風時に受ける力が大きいので、一般の木造住宅とはレベルの違う、変形しにくい（＝強固な）床が必要になります。そこで、「厚物合板」と呼ばれる 24mm 厚や 28mm 厚の構造用合板を多数の釘で打ち付けた強固な床を開発しました。この床は、一般の木造住宅で「剛床」（ごうしょう）と言われる床の 4～7 倍も強固な“超”「剛床」であることを実験で検証しました。今後は設計時に必要なデータを盛り込んだマニュアルを作成し、設計者の方々に提供します。

### 背景・目的

CO<sub>2</sub> の排出を減らしてエコな社会の実現に向けた木材の利用拡大が求められており、住宅以外の大型建築物の「木造化」が注目されています。そこで、大規模な建物に使用可能な床の開発を進めました。大型のショッピングセンターやオフィスビルなどの大空間の床を木造で作ろうとすると、床の上にかかる鉛直方向の力に対して十分強いことはもちろんですが、地震時や暴風時などにかかる水平方向の力に対しても十分強くなければなりません。一般的な在来軸組構法の木造住宅の場合、火打ちばりという部材を入れ、その上に板材を打ち付けた床（柔床：じゅうしょう）や、構造用合板を張った床（剛床：ごうしょう）が用いられますが、大空間の床では“超”「剛床」とも言うべき、もっと強固な床が必要になります。そこで、「厚物合板」と呼ばれる 24mm 厚や 28mm 厚の構造用合板に、一般的な「剛床」の数倍の密度で釘を打ちつけ、「剛床」の 4～7 倍も強固な床を開発しました。

### 研究成果

開発した床の性能を確認するために、床試験体（表 1）に水平方向に力を加える実験を行いました（図 1）。加力実験は、油圧ジャッキにより、試験体の張間（短い）方向の両側から水平に交互に加力して行いました（図 2）。

図 3 は、スギーカラマツ複合合板を長さ 75mm の釘を用い 50mm 間隔で 2 列打ちした床の試験結果で、グラフの縦軸は加えた力、横軸は変形を表します。図 3 には合板と製材の釘接合部のデータから求めた推定値も示していますが、実験値の傾向をよくとらえており、計算による強度の推定も可能であることがわかります。

表 2 に開発した床の床倍率（設計で用いられる床のつよさの指標）一覧を示します。床倍率とは床の変形しにくさの尺度で、開発した床では 13～22 でした。木造住宅で通常用いられる床の倍率は剛床でも 1.2～3 程度ですので、開発した床は一般的な木造住宅に用いられる床よりはるかに強固な床であることが実験的に実証されました。

### 研究成果の利・活用

開発した“超”「剛性床」を利用すれば、大空間の建築物の木造化が可能になります。今後は産学官連携を通じて、公共建築物等への成果の普及を図っていきます。

本研究は、予算区分：一般研究費、課題名：「木質構造の構造安全性と快適性向上のための構造要素および評価技術の開発」（課題番号 C 2 2 1）による成果で、日本合板工業組合連合会との共同研究により実施しました。

表1 試験体の仕様

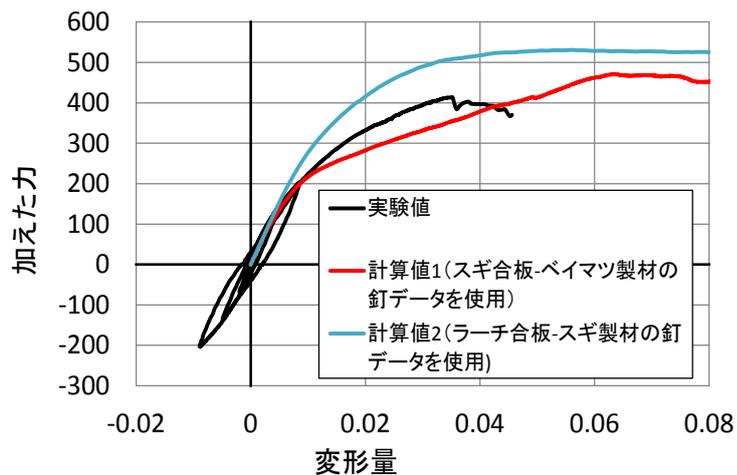
試験体名	試験体の寸法	軸組材	構造用合板(1820mm×910mm) (JAS2級、さねなし)	留付用釘	合板への釘の打ち方 (外周部以外は1列)
No.1	7280mm(桁行方向)、 3640mm(張間方向)	カラマツ 集成材	スギ合板24mm厚	CN75(太め 鉄丸釘、長さ 75mm)	75mm間隔、2列打ち
No.2			スギ合板28mm厚		50mm間隔、2列打ち
No.3			カラマツ-スギ複合合板28mm厚		50mm間隔、2列打ち



図1 床試験体の製作風景



図2 加力の様子



No.3 28mmスギ-カラマツ合板 カラマツ集成材 CN75@2-50mm

図3 試験結果の例(No.3)

表2 床倍率一覧

試験体名	倍率
No.1	13.5
No.2	12.6
No.3	22.4

## 林地残材、こつこつ集めれば立派な副収入に！

四国支所 垂水 亜紀、北原 文章、田内 裕之（客員研究員）  
 加工技術研究領域 吉田 貴紘  
 高知大学 鈴木 保志

### 要 旨

中山間地域において、林地残材を地域エネルギーとして活用するため、間伐残材の収集・運搬方法及び土場\*の場所による収益性の違いを調べました。収集・運搬方法として設定した条件は、個人でできる軽トラック活用型から重機・4トントラック活用型等の4種類で、集積する土場の設定は10～20km程度離れた大規模な場所（大規模土場）に集約する方法と、山林の近くの廃校を利用して小規模な場所（中間土場）に分散する方法の2種類です。その結果、中間土場を設置すれば、軽トラックによる運搬であっても1時間あたり1,000円程度の収益が得られ、自伐林家\*の副収入となる可能性があることが分かりました。

#### 背景・目的

林地残材とは樹木を伐採して丸太にする際、建築用材などに利用出来ない部分で、通常林地に放置される残材です。森林面積が約90%を占める高知県仁淀川町では、それら林地残材を集中的に集めて買取る活動が行われていました。集積地（土場）へ持ち込む人たちは自伐林家を中心とした個人が多く、収集方法や運搬方法も様々です。そこで本研究では、仁淀川町における代表的な4つの収集運搬方法で林地残材を集めたとき、その収益がどのように異なるかを調査しました。また、町近郊の大規模土場へ集約して運搬する場合と、廃校を利用した小規模土場（中間土場）へ分散して運搬する場合とで、収益性がどのように変化するかも調査しました。

#### 4つの収集運搬方法と中間土場

仁淀川町における代表的な搬出方法を表1に示します。軽トラックを用いた小規模な方法から、グラブプル\*や4トントラックのような大型機械を用いる方法など様々です。また、仁淀川町で集めた林地残材は通常、町近郊にある比較的大規模な土場に集められていますが、ここでは小規模な土場（中間土場）を町内に分散配置して集めると仮定しました。この中間土場には町内の廃校（校庭）を活用します。廃校を中間土場と仮定することで、効率的かつ地域の分散的な土場としての機能が見込まれます。

仁淀川町の森林を間伐して一定量の残材が発生したときに、4つの搬出方法の機械に関わる費用（減価償却費、油代、保守管理費等）を必要経費とし、これら2種類の土場（町近郊の大規模土場と最寄りの中間土場）へ収集運搬し、一定金額（ここでは3,500円/生トンと仮定）で残材を売却し、その売上げと経費の差を収益としました。

#### 収益の比較

図1に、木質バイオマスの収集運搬方法の違いによる収益性を示します。容量の大きな4トントラックでは、中間土場を設けることで約5,000円/時の収益を上げることができましたが、土場までの距離が遠く、ある程度の残材量がない場所では赤字収支となってしまい、収益差が大きくリスクが高いことが分かりました。一方で、最も積載容量の小さい軽トラックでは、残材量が増えると何度も往復する必要があり、運搬距離が長くなるほど赤字になることから、中間土場を設ける効果が大きく、運搬距離が短い場合には1,000円/時程度の収益が見込まれました。

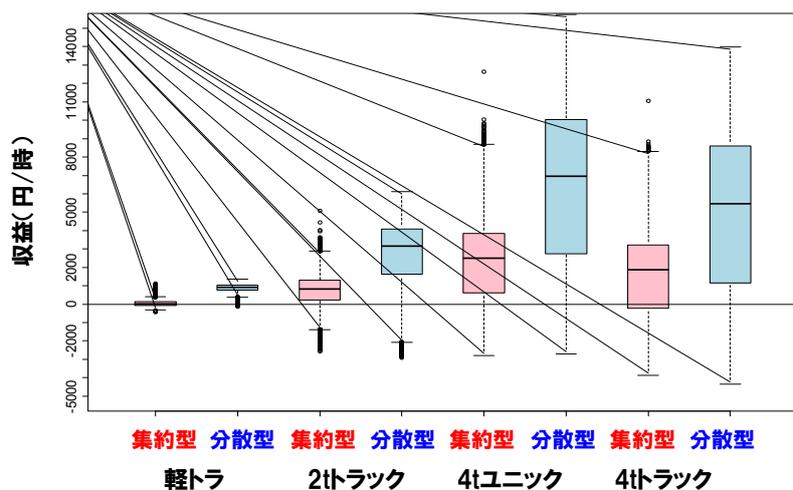
図2に、最も小規模な方法1で収集し、2種類の土場へ持ち込んだときの時間当たりの収益図を示します。軽トラックのように積載容量が小さいものは、近郊の土場へ運搬する距離によって収支の差が明確に表れましたが、中間土場を利用した場合には、ほとんどの地域で黒字化できることが分かりました。

これまで、林地残材のエネルギー活用は望まれていても、収益が見込めないことが課題となっていました。しかし、中間土場を設け、身近な重機や軽トラック等を利用することで、手軽に林地残材を出荷でき、副収入が得られる可能性がみえてきました。

本研究は、高知大学との共同で実施した独立行政法人科学技術振興機構社会技術研究開発センターの「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発プロジェクトによる「Bスタイル:地域資源で循環型生活をする定住社会づくり」の成果です。

表1 高知県仁淀川町における4つの代表的な収集運搬方法

工程\方法	方法1	方法2	方法3	方法4
積み込み	人力	小型グラップル	ユニック付 4トントラック	グラップル
運搬・ 荷下ろし	軽トラック	2トントラック	ユニック付 4トントラック	4トントラック



・高知県仁淀川町の自伐林家の林地残材の収集運搬コストを対象

・積載容量の大きな車両で運搬することでより多くの収益が得られる。

・中間土場を配した分散的な運搬を行うことで、移動距離が少なくなり、積載容量の小さな車両でも収益を改善できる。

図1 木質バイオマスの収集運搬方法の違いによる収益性

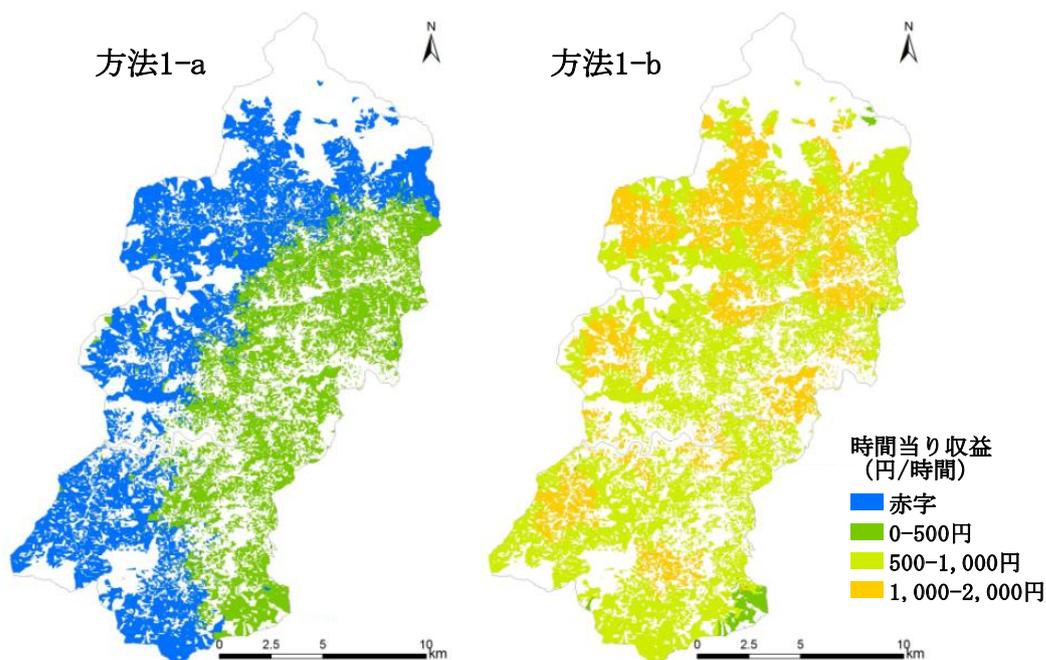


図2 林地残材の収益分布図

注) アルファベットは a が町近郊の大規模土場へ、b が最寄りの中間土場へ運んだことを示しています。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 実用化に一歩近づいたスギからのバイオエタノール製造技術

きのこ・微生物研究領域  
バイオマス化学研究領域

野尻 昌信、渋谷 源  
真柄 謙吾

### 要 旨

北秋田市に木質バイオエタノール製造試験プラントを建設し、5年間の実証試験を行いました。この結果、スギ1トンから約220リットルの収率でエタノールが製造できることを実証しました。また、低コストで糖化用の酵素を生産する技術を開発したことにより、エタノール製造のランニングコストを98円/ℓまで引き下げることができました。原料使用量250t/日の工場を想定し、エネルギー収支を試算した結果、副産物として得られる黒液（リグニン）でバイオエタノール製造に係わる全てのエネルギーを賄うことができることが分かりました。さらに、黒液の約25%が余剰となることから、これをマテリアル原料として利用できることが分かりました。

#### 背景・目的

我が国では利用されず山に残されている林地残材が毎年約800万t（400万炭素t）も発生していると試算されていますが、この未利用森林資源はエネルギーにも化学原料にも変換できる持続的な再生可能資源です。これを活用する技術を開発することによって停滞する山村経済の活性化が期待されています。

#### 木質バイオエタノール製造試験プラント

平成20年、北秋田市にパルプ製造技術にヒントを得て森林総研が開発したスギの前処理法を応用した、糖化酵素の生産からエタノール生産まで一貫生産できる試験プラントを建設しました（写真1）。ここでは収率の向上、低コスト化、生産効率向上を目標に5年間の実証試験を行いました。

#### 低コスト化には酵素生産がカギ

バイオエタノールの実用化にとって最大の問題はコストが高いことです。木質成分であるセルロースの糖化のための酵素分解は反応性が低く、多くの酵素を必要としますが、市販酵素では費用がかかり過ぎるため、実用化のために低コストの酵素生産技術を開発しました。また、酵素生産菌のエサにスギを前処理して作ったパルプを使うとスギパルプの糖化に適した酵素が得られることがわかり、試験プラント内で酵素生産の実証試験を行いました（写真2）。その結果、市販酵素を購入する場合と比較して約8割もコストを削減できることが確認されました（図1）。

#### 実用化へのシナリオとコスト分析

実証試験では、木材からスギパルプを取り出す前処理の収率が44%、スギパルプからグルコースなどの単糖に変換する酵素糖化収率は95%、糖からエタノールに変換する発酵収率は90%となり、1トンのスギチップから216リットルのエタノールが生産できることが実証されました。さらに、前処理のパルプ化を既存パルプ工場の余剰のパルプ生産能力でカバーするシナリオで、1日に250tのスギチップを処理する場合のコストを試算しました。その結果、原材料費などのランニングコストは98円/ℓ、トータルコストで約260円/ℓとなりました（図2）。

#### 製造エネルギーは完全自給、余った黒液は有価物へ

スギの前処理時に発生する黒液はバイオエタノールを製造するためにボイラーで燃やされ、熱と電気に利用されます。そこで、発生エネルギーと消費エネルギーを比較してみました（図3）。その結果、エネルギーは完全に自給可能であることがわかり、スギの成分としては44%がエタノール、42%が製造エネルギーとなり、残りの14%が黒液として余ると試算されました（図3）。現在、この余剰黒液からリグニンを取り出し、付加価値の高い有価物へ変換するための研究を進めています。この全体利用のシステムによって木質バイオエタノールの収支を大きく改善できることを示しました。

本研究は、林野庁森林整備効率化支援機械開発事業「木質バイオマスの大規模利用技術の開発」による成果です。



写真1 木質バイオエタノール製造試験プラント

1時間当たり60kg(乾燥)のスギチップをソーダ・アントラキノン蒸解することができます。蒸解後、黒液(リグニン)を除いたスギは、自前の酵素で糖化され、濃縮後、酵母によって発酵し、バイオエタノールに変換されます。分離された黒液は濃縮後、研究所で加工し、各種有価物への研究に使用しました。



写真2 酵素生産タンク(500ℓ)

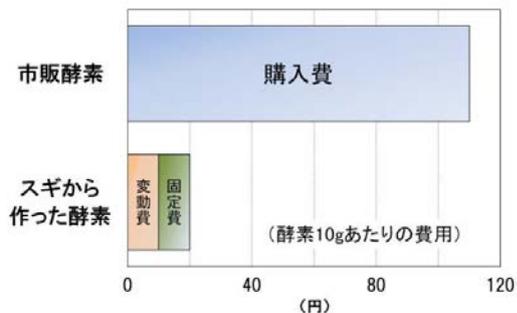


図1 市販酵素とのコスト比較



図2 バイオエタノール製造コスト内訳

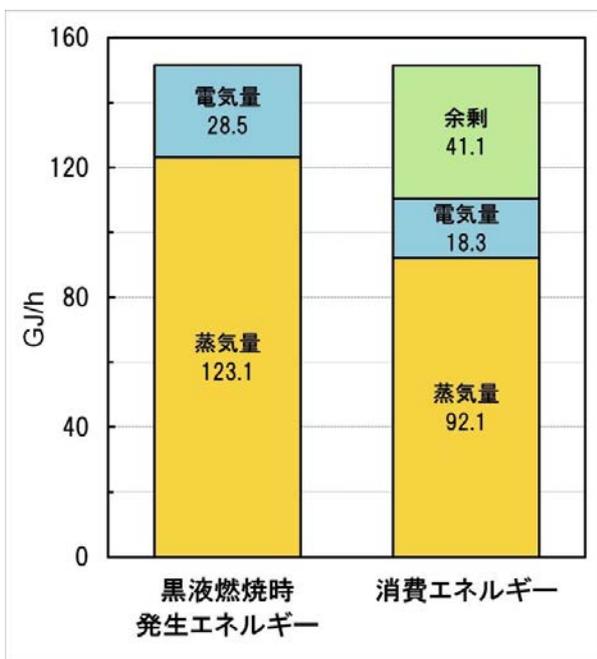


図3 エネルギー収支

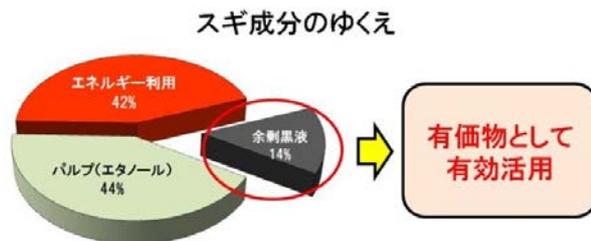


図4 スギ成分の有価物への利用可能割合

## 林地残材を原料とした木製単層トレイの量産化に成功！

木材特性研究領域  
加工技術研究領域  
木材改質研究領域  
企画部  
庄内鉄工株式会社

高野 勉、久保島 吉貴  
村田 光司、藤本 清彦  
木口 実、片岡 厚  
秦野 恭典  
庄内 豊

### 要 旨

かつて経木や折り箱など多くの木製包装用品が用いられていましたが、そのほとんどがプラスチック容器に替わってしまいました。プラスチック容器は成型の容易さなど便利な点もありますが、原料には化石資源が使用されているため、廃棄や製造の際に多くの二酸化炭素が排出されています。そこで、再生可能な資源である木材、特にスギ林地残材（幹の根元の部分）を原料として木製単層トレイの製造技術の開発を進め、約 5 千枚／日の量産化が可能な成型プレス装置等の設備を開発するとともに自動化製造ラインを設計しました。本技術によって、環境負荷の低い木製トレイの実用化に近づきました。

#### 木製単層トレイとは

かつて経木や折り箱など多くの木製包装用品が用いられていましたが、そのほとんどがプラスチック容器に替わりました。プラスチック容器は成型の容易さなど便利な点もありますが、原料には化石資源が使用されているため、廃棄や製造の際に多くの二酸化炭素が排出されています。そこで、再生可能な資源である木材、特にスギ林地残材（幹の根元の部分）を原料として（写真 1）、環境負荷の少ない木製単層トレイの製造技術と量産化技術を開発しました。木製単層トレイとは、厚さ 1～2 mm の薄い板（単板）を、水分を含んだ状態で熱圧成型し、接着剤を使うことなく製造するもので（図 1）、一枚の単板を成型して製品とすることで製造工程を簡略化します。木製トレイは原料自体が二酸化炭素発生源にならないばかりか、製造工程においても原料の輸送から製品の取り出しまでに消費されるエネルギーは 32.4MJ/kg、二酸化炭素排出量は 2.06kg-CO<sub>2</sub>/kg となり、プラスチックトレイ原料となるポリスチレンペーパーと比較して、製造における二酸化炭素排出量を 31%削減できます。食品トレイ市場の 1%程度でも木製トレイが使用されれば、年間 30 億円規模の産業創出が見込まれ、さらに、未利用材の活用による地域材利用振興が進めば、地域経済の活性化に寄与できます。

#### 木製単層トレイの製造工程と製造技術の特徴

量産化を可能とするため、原料軟化のための前処理の

適正化と成型工程までの連続作業を自動化した成型プレス装置等を開発し、作業員 2 名で 1 日あたり 5,000 枚の製造が可能な単層トレイ量産成型自動化ラインを設計しました（図 2）。原料のスギ単板は、25～55%の含水率域で、かつ辺材\*の除去により効率よく成型できます（成功率 70～80%）。

さらに、多様な形状の木製トレイの製造や成型不良率の低減等を図ることを目的に、密閉型プレスを開発し、1 mm 厚さのスギ単板を用いて深形のトレイ（写真 2）が製造できることを示すとともに、木材らしさを現すために木目に沿って表面に凹凸を付ける製造方法を開発しました。

これらにより、環境負荷の低い木製トレイの実用化に近づきました。

#### マーケット調査による木製単層トレイへの評価

消費者に対してモニタリング調査を行ったところ、多くは環境配慮型製品として木製トレイの使用に好意的でした（図 3）。木製トレイの質感及び環境に対する貢献への評価が高いことから、今後は木製単層トレイの環境性能をアピールし、さらに改善して普及を図っていきます。

本研究の一部は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「木製単層トレイの量産化技術の開発」において、庄内鉄工株式会社と共同で実施しました。



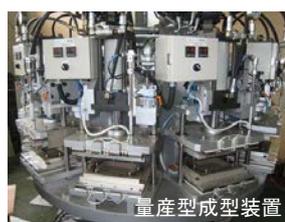
写真1 トレイの原料となるスギ材の根元部分



写真2 深形木製単層トレイ (曲げ角度 60°、深さ 30mm)



薄い板 (単板)



水分と熱による可塑性、成型



木製単層トレ

図1 木製単層トレイの製造工程概要

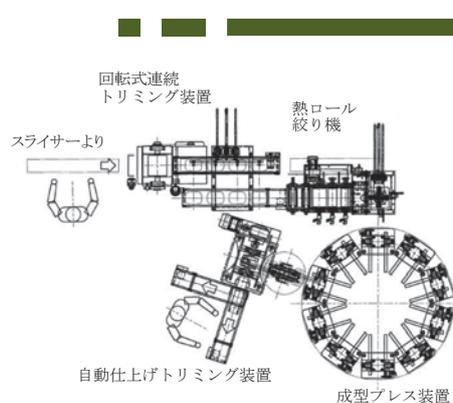


図2 木製単層トレイ量産自動化ラインの一部 (成型ライン)

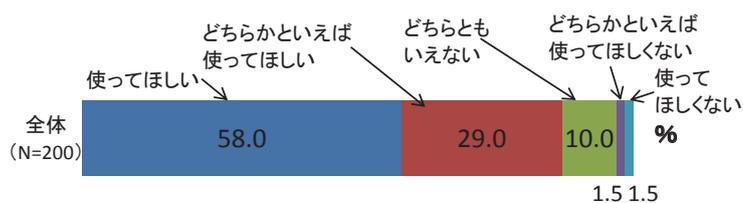


図3 モニタリング調査結果の例  
「お店で木製トレイを使って欲しいか？」に対する消費者の調査結果

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 全国調査により枯死木・リター・土壌の炭素蓄積の状況を探る

立地環境研究領域  
鹿兒島大学

金子 真司、南光 一樹、今矢 明宏  
鶴川 信

### 要 旨

森林には樹木だけでなく、枯れ木（枯死木）や落葉落枝からなる堆積物（リター）、有機物を含んだ土壌が存在します。それらの炭素はゆっくりと分解されていくため、森林の炭素貯留機能に対するそれらの効果を把握する必要があります。そこで国際的な方法に従って枯死木・リター・深さ 30cm までの土壌の炭素量の全国調査を行いました。その結果、わが国の枯死木・リター・深さ 30cm までの土壌の総炭素蓄積量は、樹木の約 1.3 倍であることを明らかにしました。土壌の炭素量は寒冷な地域ほど多く、温暖な地域でも火山灰土壌が分布する地点では特異的に多い炭素量を示しました。気温だけでなく火山灰の影響の強さも地域分布を決める要因であることを明らかにしました。

### 背景・目的

森林内には樹木や下草などのほかに、枯れ木（枯死木）・落葉落枝の堆積物（リター）・土壌有機物が存在し、それぞれが炭素を蓄積しています（図1）。樹木は年を取ると枯れていきますが、若くても台風や雪の被害で倒れたり病気で枯れたりします。地表を覆ったリターは、土壌動物や微生物によって少しずつ分解され、一部の有機物は土壌に残ります。土壌中の根は生死を繰り返しており、死んだ根の一部は有機物として土壌に貯まっています。これら炭素蓄積の量や質が年とともにどのように変化するか地球温暖化防止の点から関心が高まり、世界各地で調査が進められています。

我が国でも 2006 年度から国際的な方法に従って枯死木・リター・深さ 30cm までの土壌の炭素量の全国調査が始まりました（図2）。調査の方法は 2011 年の成果選集をご覧くださいと、ここでは 5 年間の調査で明らかになったことを中心に紹介します。

### 枯死木・リター・土壌の総炭素蓄積量

全国の森林に、枯死木・リター・深さ 30cm までの土壌にそれぞれ 10,500・12,300・174,200 万トンの炭素が存在することを明らかにしました。これらの炭素の総量は森林の樹木（生体バイオマス）の約 1.3 倍に相当し、樹木生育を支える土壌も炭素蓄積の重要な場であることを初めて定量的に示すことができました注）（図3）。

### 全国分布の特徴

枯死木・リター・深さ 30cm までの土壌の炭素量は寒

冷な地域で蓄積量が多い傾向にあり、特に土壌で傾向が明瞭でした。気温が低いと有機物の分解が遅いことが理由であり、他の国でも同様の結果が得られています。しかし温暖な中国地方、九州地方でも火山の東側を中心に土壌の炭素量が特異的に多い場所が存在しました（図4）。火山灰から生成された土壌は炭素と結びつきやすいため、温暖な地域においても炭素蓄積量が多くなることを明らかにしました。火山国である我が国では今後の二酸化炭素吸排出量予測において火山灰の影響を無視することができないことを示唆しています。

### 炭素蓄積量の変化

第一期調査は 2010 年度に終了し 2011 年度から 2 順目に入っています。2011 年度の結果を第一期と比較したところ、両者はほぼ同じ値でした。このことは枯死木・リター・土壌の炭素量は短期間に変化しにくいという従来からの予測を裏付けるものです。

本調査で得られた成果は、京都議定書に対応した炭素吸排出量の国際報告に利用されます。今後はさらに調査を続けて枯死木・リター・土壌の炭素量の変化や炭素蓄積メカニズムなどを明らかにしていく予定です。

本研究は、「予算区分：政府等受託、課題名：森林吸収量把握システムの実用化に関する研究」による成果です。

注）土壌の炭素量は深さ 1m までの蓄積量で評価する場合もあります。その場合の蓄積量は深さ 30cm までの約 2 倍となります。



図1 森林内の炭素蓄積  
森林には生きている樹木だけでなく、枯死木（倒木、根株、立枯木など）やリター（落葉落枝からなる堆積物）や土壌に炭素が存在しています。

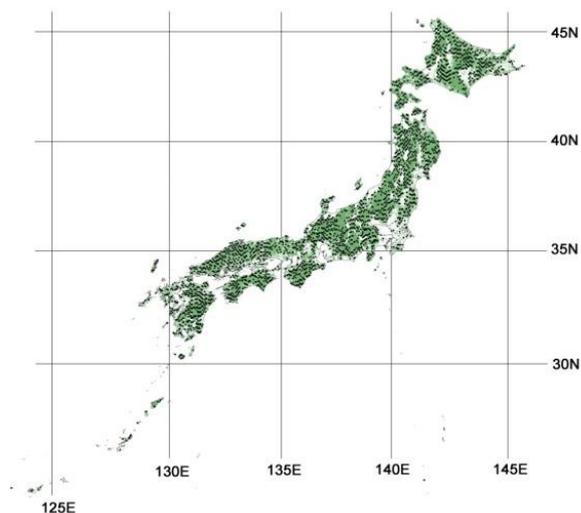


図2 土壌炭素量の全国調査  
日本の森林地域（緑の部分）の約 2,500 箇所（黒点）で調査を行いました。

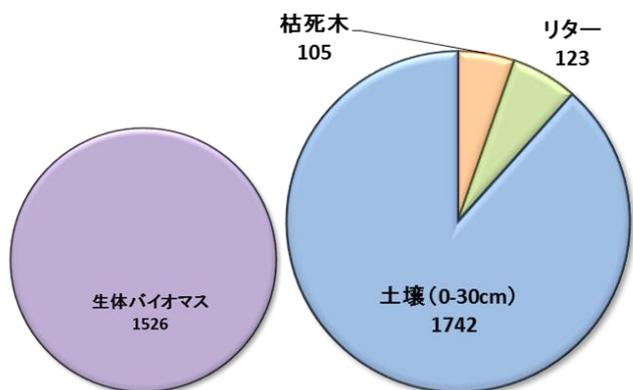


図3 生体バイオマスと枯死木・リター・土壌の総炭素蓄積量の比較  
全国の枯死木とリターと深さ 30cm までの土壌に蓄積する炭素の量は 197,000 万トンであり、これは全国の樹木（生体バイオマス）の炭素蓄積量の約 1.3 倍です。（図の単位は百万トン）

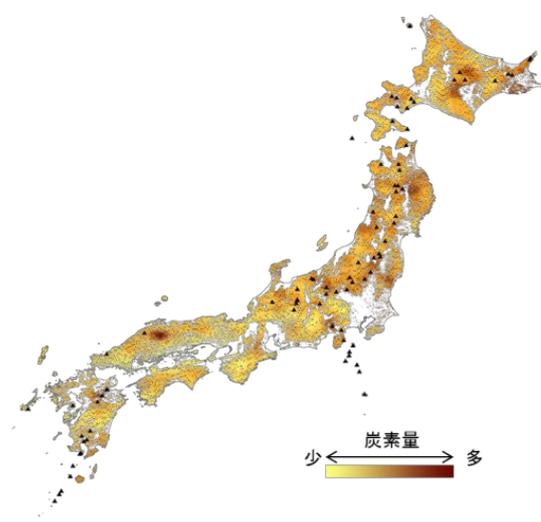


図4 土壌中（深さ 30cm まで）の炭素蓄積量と活火山の関係  
火山周辺（特に東側）の火山灰が堆積する地域では土壌の炭素蓄積量が高い傾向がみられます。

## 将来の高い二酸化炭素濃度によって、 森林全体の光合成生産量が増加する

植物生態領域  
北海道支所

宇都木 玄、飛田 博之  
上村 章、原山 尚徳、北岡 哲

### 要 旨

森林は二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) と水と光エネルギーからデンプンや糖類等の炭水化物等を生産し (光合成)、それは私たち地球上の生物が生存するための根源となります。CO<sub>2</sub> の増加は地球温暖化の原因と言われますが、光合成の基質として見た場合、森林の成長にプラスの影響を及ぼすでしょうか？私たちは実験的に現在の 2 倍の CO<sub>2</sub> 濃度で、北海道の落葉広葉樹林を構成する 5 樹種を栽培しました。すると個葉の光合成能力が低下してしまいました。これは光合成で作られた炭水化物が葉内に蓄積してしまう事が原因でした。しかし光合成に必要な光エネルギーが少ない (暗い) 場所、つまり森林の中・下層では個葉の炭水化物の蓄積が少なく、森林全体としては総生産量が増大する事を明らかにしました。

#### 高い CO<sub>2</sub> 濃度が森林にもたらすもの

産業革命以降 CO<sub>2</sub> 濃度の増加は急激で、地球温暖化の原因と考えられています。こうした将来にわたる CO<sub>2</sub> 濃度の増加は、森林の生産量にどのような影響を与えるのでしょうか。CO<sub>2</sub> は地球温暖化の悪玉である一方、光合成の基質であるため、森林の生産量は増大しそうなのですが？

私たちは北国の落葉広葉樹林を代表するするエゾノキ、ヌナギ、シラカンバ、ミズナラ、イタヤカエデ、ケヤマハンノキを選び、現在の CO<sub>2</sub> 濃度 370ppm (低 CO<sub>2</sub>) と、その約 2 倍の 720ppm (高 CO<sub>2</sub>) で栽培しました。そして CO<sub>2</sub> 濃度の増加が個葉の光合成能力と森林の生産量に与える影響を調べました。明所で育て、CO<sub>2</sub> 条件以外は現在の環境条件と同等としました。光合成能力は、最大カルボキシル化速度 (V<sub>cmax</sub>) で、また生産量は単位時間当たりに吸収した炭素量で評価しました。

#### 個葉の光合成能力と炭水化物の増加

3 ヶ月間にわたる栽培試験の結果、低 CO<sub>2</sub> 条件に比べて高 CO<sub>2</sub> 条件では、全ての樹種で光合成能力は低下しました (図 1)。また低 CO<sub>2</sub> 条件に比べ、高 CO<sub>2</sub> 条件では炭水化物濃度が増加し (図 2)、逆に窒素濃度が低下しました (写真 1)。

次に私たちは質量分析計を用い、葉内の光合成系に関する代謝産物\*を網羅的に調べました。すると高 CO<sub>2</sub> 条

件では、解糖系や TCA 回路といった炭水化物から ATP\* を生成する回路の代謝産物が減少しており、2-オキソグルタミン酸がタンパク質に合成される回路への窒素供給不足が原因であると考えられました。これらのことから、光合成能力低下は、光合成産物からエネルギーを取り出す異化作用の変化に起因していると示唆されました。

#### 森林全体への影響

森林では明所から暗所 (森林上部から下部) まで葉が分布しています。そこで光エネルギーが少ない暗所で光合成能力を調べると、高 CO<sub>2</sub> 条件下でも光合成能力の低下が生じませんでした (炭水化物の蓄積も無い)。つまり、森林の中 / 下層では光合成が光に律速されており、高 CO<sub>2</sub> 条件は個葉の光合成に有利に働くと言えます (図 3)。これらの事をモデル化して計算したところ、森林全体の光合成生産量 (総生産量) は、「温暖化 (最大 4 度) した場合も含め、高 CO<sub>2</sub> 環境条件下で増大する」という結果が得られ (図 4)、これまでの FACE 実験\* と矛盾しませんでした。また、樹種によって増大量は異なっていたことから (図 4)、樹種特性を活かした森林造成により、高 CO<sub>2</sub> 環境下では高い生産量を得られる可能性があります。

本研究は、「(独) 農研機構・生物系特定産業技術支援センターのイノベーション創出基礎的研究推進事業」の成果です。

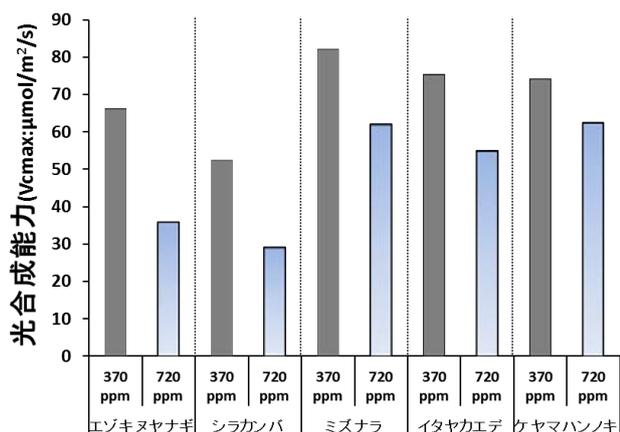


図1 現在のCO<sub>2</sub>濃度370ppmとその2倍の720ppmの2条件が、光合成能力(Vcmax)に与える影響  
CO<sub>2</sub>濃度が増加すると、すべての樹種で光合成能力が低下しました。

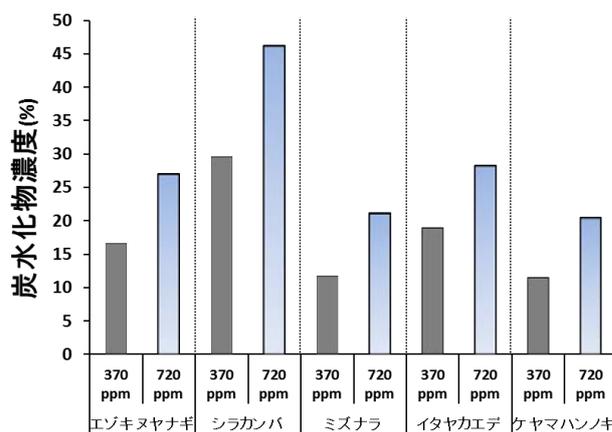


図2 現在のCO<sub>2</sub>濃度370ppmとその2倍の720ppmの2条件が、葉内の炭水化物(デンプンや糖類)に与える影響  
CO<sub>2</sub>濃度が増加すると、すべての樹種で炭水化物濃度が増加しました。

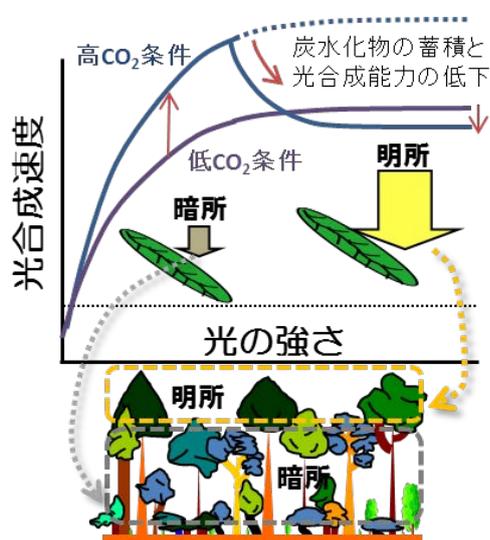


図3 光の強さと光合成速度の関係  
森林の中下層は暗所であり、高CO<sub>2</sub>条件で低CO<sub>2</sub>条件より光合成速度が増加します。一方明所では光合成能力の低下により、光合成速度が減少します。

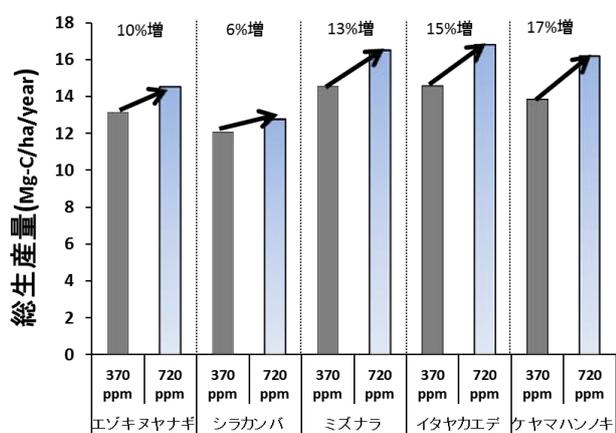


図4 現在のCO<sub>2</sub>濃度370ppmとその2倍の720ppmの2条件が、総生産量に与える影響  
CO<sub>2</sub>濃度が増加すると、すべての樹種で総生産量は増大しますが、樹種によって増大の割合が異なっていました。



写真1 高CO<sub>2</sub>条件の葉では全体的に黄色色を帯びて、窒素濃度が低下していることが目視できます(エゾキヌヤナギ)  
濃度を測定しても、同様のことを示しました。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 衛星からのレーザー観測と高分解能衛星画像により 熱帯林の構造とバイオマスを測る

温暖化対応推進拠点  
森林管理研究領域

平田 泰雅  
齋藤 英樹、松浦 俊也

### 要 旨

熱帯林の減少・劣化の防止が有効な温暖化対策の一つとして注目されており、そのモニタリングのために熱帯林の構造やバイオマス（生物現存量）を広域で計測する技術が必要です。本研究では、人工衛星からのレーザーが森林で反射するパターンを調べ、森林の3次元構造を捉える技術を開発しました。また、林冠を構成する各樹冠を数m以下の地上分解能で観測できる高分解能衛星を用いて、林冠における太陽光の反射に関する情報とともに、林冠を構成する一本一本の立木の樹冠が作り出す太陽のあたる部分と影の部分のコントラストの情報（肌理）や地形の特徴を捉えることで、地上調査では難しい広域での森林のバイオマスを施業履歴の違いを反映しつつマッピングすることが可能となりました。

#### 熱帯林の観測の必要性

東南アジアの熱帯低地の生産林では、高い価値のある大きな木の抜き切り（択伐林施業）により森林劣化が進行しています。択伐林では、大きな樹木の伐採に加え、搬出のために多数の木が伐採され作業道が林内に作られて、これらの影響で森林の構造（樹木の大きさ別の本数や分布）が変化し、バイオマスが減少しています。このような熱帯林の劣化が地球温暖化の一因と考えられていますが、従来の衛星観測でわかりやすい森林の農地転用などと異なり、その把握は困難でした。熱帯林の劣化を防止するためには、森林の構造とバイオマスを広域で把握する技術の開発が求められています。

#### 衛星 LiDAR による森林構造の把握

衛星 LiDAR はレーザーを用いた計測技術で、衛星から照射された近赤外のレーザー光が林冠表面から地表面に到達するまでの間に反射してくるまでの時間と反射の強さを計測することにより森林の3次元構造を推定することができます（図1）。とりわけ、各階層の林冠からの反射の強さを観測できることから、森林の高さの情報に基づいて森林劣化の度合いを評価することが期待されています。そこで、反射の強さを高さごとにプロットした散布図を作成し、地上での1本ごとの樹木の調査結果と比較し、レーザー光の反射強度の波形が森林劣化の状態によりどのように変化するのかを調べました。その結果、成熟した森林では林冠層が高い位置にあるため観測波形

のピークの位置も高く、択伐が進んで劣化した森林では林冠層がまばらになるため観測波形のピークの位置も低くなることがわかりました（図2）。この結果を用いて、地上調査では労力がかかりすぎる熱帯林における劣化の状態を宇宙から広域で判別できるようになりました。

#### 高分解能衛星画像による森林バイオマスの推定

高解像度の衛星画像では一つの樹冠に複数の画素（衛星から地表面を観測する最小単位）が含まれることがあるため、林冠の特徴の類似性を考慮した画像解析法が有効です。林冠の太陽光の反射の平均や散らばりに関する情報とともに林冠の凹凸が作り出す肌理や斜面の位置などの地形の特徴を分析し、現地調査で求めたバイオマス量との関係を比較しました。その結果を用いて、地上調査では難しい広域でのバイオマスを、施業履歴の違いを反映しつつマッピングすることが可能になりました（図3）。

熱帯林の構造やバイオマスを推定し、モニタリングする技術は、持続的に森林を管理・保全する上で欠かせない技術です。ここで開発した技術は、途上国の森林資源管理や REDD プラス（森林保全による排出削減活動）を実施するために必要な森林モニタリングに活用できます。

本研究は、環境省環境研究総合推進費「熱帯林の REDD における生物多様性保護コベネフィットの最大化に関する研究」による成果です。

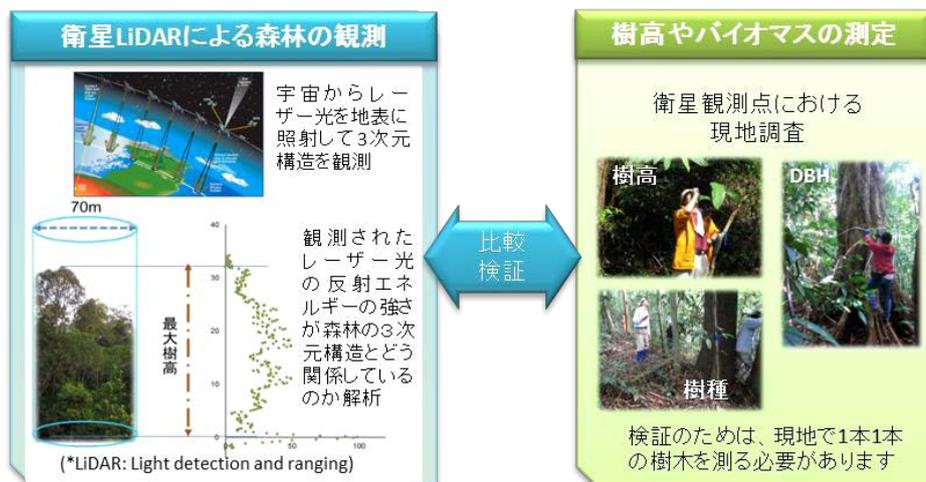


図1 衛星 LiDAR による森林の3次元構造の観測  
衛星 LiDAR は、衛星から照射された近赤外のレーザー光が地表で約 70m の円形に広がり、その円形内の林冠表面から地表面までの各階層で反射して返ってくるまでの時間と反射の強さから地表の3次元構造をとらえることが可能な技術です。ただし、検証には観測点における現地調査が必要です。

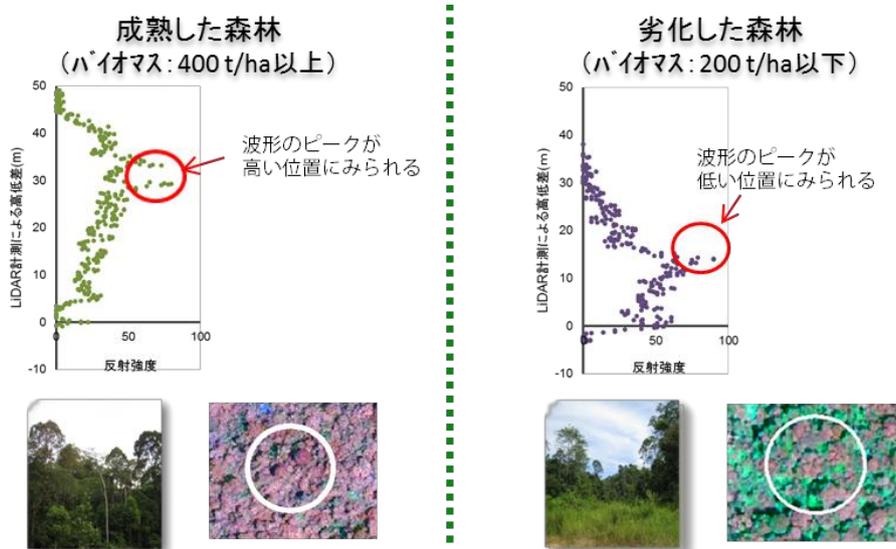


図2 衛星 LiDAR からの森林劣化の把握 (上:衛星 LiDAR の観測波形、左下:現地の様子、右下:高分解衛星画像)  
衛星 LiDAR の観測波形のピーク的位置から森林の劣化状態を把握することが可能になりました。

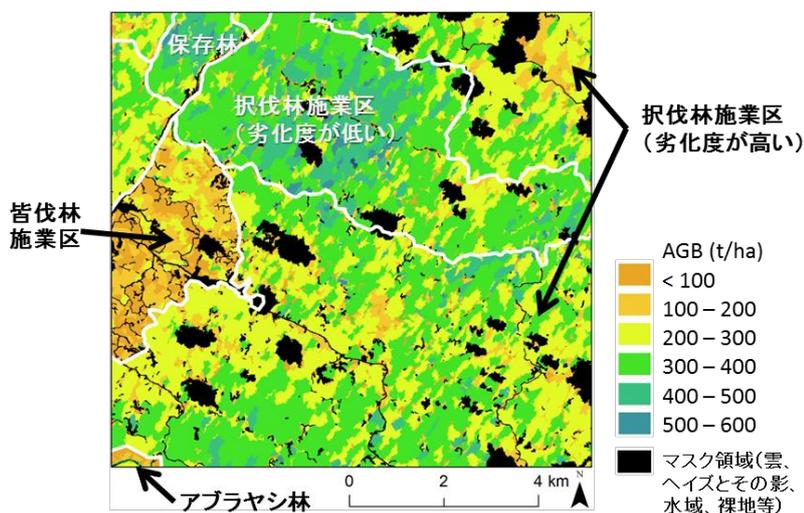


図3 高分解能衛星画像による森林バイオマスの推定  
高分解能衛星から得られる情報と地形情報により、広域での森林のバイオマスをマッピングすることが可能となりました。

# 熱帯林の保全をめざして

## － REDD プラスのための技術解説書の刊行と クレジット化のためのガイドラインの提案－

温暖化対応推進拠点	荒木 誠、平田 泰雅、 塚田 直子、鳥山 淳平	九州支所 北海道支所	横田 康裕 宮本 基杖
森林植生研究領域	佐藤 保	研究コーディネータ（温暖化影響研究）	松本 光朗
森林管理研究領域	鷹尾 元	客員研究員（九州大学）	百村 帝彦

### 要 旨

発展途上国の森林減少や劣化を防いで排出量を削減する仕組みとして「REDD プラス（レッドプラス）」という取り組みが、国際交渉や各国で進められています。しかし、途上国の森林の減少や劣化を評価するために必要な技術解説書が少なく、途上国の政策担当者や現場技術者の対応が遅れていました。また、REDD プラスを実行するには、炭素蓄積量に経済的な価値を与える手法（クレジット化手法）の指針が必要です。そこで、森林総合研究所では、分かりやすい技術解説書「REDD プラス・クックブック」を刊行し、さらにクレジット化のための算定指針を示した「REDD プラス実施ガイドライン」を提案しました。

#### 背景・目的

地球温暖化の主な原因は石油・石炭を使うことで排出される二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）です。しかし、森林減少、特に熱帯林の減少による排出も大きく、全体の2割を占めています。そのため、発展途上国の森林減少や劣化を防いで排出量を削減する仕組みである「REDD プラス（レッドプラス）」を作ろうと、国際交渉や各国で議論や取組が進められています。

#### REDD プラス・クックブックの刊行

REDD プラスは、森林の炭素蓄積量に対して経済的な価値を与えることによって、途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制することや、森林保全などを進めていくという仕組みです。このため、科学的なアプローチによって森林を継続的に計測し、森林の炭素蓄積量の変化を正確に評価することが求められます。

現状では、森林炭素の変化量を継続的に計測する技術を持った途上国はごくわずかであり、現在、国レベルの森林炭素蓄積量の観測体制整備が進められています。しかし、政策担当者や現場技術者が利用できる適切な技術解説書がなく、その推進の妨げになっていました。

そこで、森林総合研究所では、REDD プラスの要点や経緯、そして森林炭素計測手法について、分かりやすく説明した、技術解説書「REDD プラス・クックブック」を開発し、日本語版と英語版を刊行しました（図1）。

この REDD プラス・クックブックでは、REDD プラスについての成り立ちの経緯や、基本的情報について解説するとともに、森林炭素計測手法についてわかりやすく解説しています（図2）。その中では、森林炭素の蓄積量の経年変化を比較する方法（蓄積変化法）による CO<sub>2</sub> 吸

排出量の計測を推奨し、そのためのリモートセンシングによる森林分布の測定手法や、地上調査の方法について解説しています。

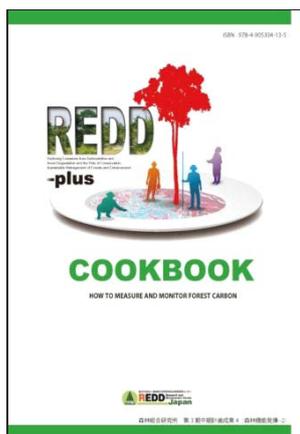
#### REDD プラス実施ガイドラインの策定

我が国は、2013年からの京都議定書第2約束期間には参加しませんが、その期間は独自の排出削減活動を進めることを表明しています。そのひとつとして、二国間オフセット・クレジット制度（JCM/BOCM、以下JCMと略称）を進めています。これは、日本と途上国の二国間の合意のもとで排出削減活動を行い、得られた排出削減量を我が国の目標達成に用いるというものです。REDD プラスを、このJCMの活動の一つとするためには、クレジット化のための排出削減量の算定手法などを決める必要があります。

そのため、クレジット化のための算定・報告手法の指針を示した REDD プラス実施ガイドラインを提案しました（図3）。このガイドラインは、JCMの理念に沿って運用しやすく、しかも信頼性が高くなければなりません。そこで、気候変動枠組条約の関係国で行われている様々な議論や先行して実施されている制度の分析などを踏まえ、REDD プラスの先行事業を進めている団体や専門家を交えたワークショップを開催し、広く意見を求めながらこのガイドラインを提案しました。

今後、REDD プラスがJCMに取り上げられ、世界の REDD プラスの実施に貢献することを期待しています。

本研究は、林野庁の国際林業協力事業の一環として実施されている「REDD 推進体制緊急整備事業」の成果です。



各章の項目はレシピと呼ぶ1つのまとまりから構成されています。それぞれのレシピは上位のレシピから導かれています。概要と本文から構成され、本文の横にあるinfo欄には、本文を補う情報や参考文献を紹介しています。

### 森林モニタリングの計測・報告・検証 (MRV)

この上の Recipe は、Recipe I02 REDD プラスの重要な概念

MRVとは、計測 (Measurement)、報告 (Reporting)、検証 (Verification) の頭文字をとったものであり、気候変動の緩和のための政策の実施状況や約束の遵守状況、クレジットメカニズムの下での排出・吸収量などを客観的に評価可能とするための要件ないしはその仕組みを意味する。REDD プラスのための国レベル・準国レベルでの MRV の仕組みについては現在国際的な検討が続いているが、VCS (Verified Carbon Standard) 等の民間の自主的なクレジット認証システムの下では、クリーン開発メカニズム (Clean Development Mechanism: CDM) 等の制度設計を参考にしつつ、プロジェクトレベルでの MRV の仕組みについて一定の枠組みが示されている。本レシピでは、「計測」、「報告」、「検証」それぞれの意味を概観し、REDD プラスのための森林モニタリングの MRV に求められるであろう要件について述べる。

#### INFO

1) MRV は、2007 年にインドネシア・パリで開催された気候変動枠組条約 COP13 で採択されたパリ行動計画において、気候変動の緩和に関する国内・国際的行動を可視化し、行動の質を保証するために導入された概念である。緩和行動を計測 (Measurement)、報告 (Reporting) し、それを検証 (Verification) する仕組みの、それぞれの頭文字をとって MRV (計測・報告・検証) と略称する。例えば、コパンハーゲン合意における国別報告書 (National Communications: NC) における計測・報告、またそれらを検証する国際評価とレビュー (International Assessment and Review: IAR) が一例である。

#### MRV

MRV の概念は、2007 年の COP13 で合意されたパリ行動計画<sup>1)</sup>で「計測可能 (measurable)、報告可能 (reportable) かつ検証可能 (verifiable) な温室効果ガス削減行動や約束」という形で導入された。しかしながら、MRV とは具体的に何を目的に、誰が、何に対して行うものなのか、ということについては現在も国際的な議論が続いており、結論には至っていない。REDD プラスのための森林モニタリングの MRV のモダリティ (全体的な流れ・大枠) についても 2012 年現在、科学的・技術的助言に関する補助機関 (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice: SBSTA) で検討中である。適切な MRV 設計のもとに行われる排出・吸収量のデータは、REDD プラス活動の効果を評価するときの重要な根拠となろう。

図1 見やすさと使いやすさを追求したクックブックのレイアウト

導入編	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1章 - REDDプラスとは</li> <li>第2章 - 森林モニタリングシステムの設計</li> </ul>	政策立案者とそのパートナー機関
計画編	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3章 - REDDプラス取り組みのための基礎知識</li> <li>第4章 - 森林炭素の計測、報告、検証 (MRV)</li> <li>第5章 - 蓄積変化法によるモニタリング</li> </ul>	REDDプラス活動の計画に取り組み実施者
技術編	<ul style="list-style-type: none"> <li>第6章 - REDDプラス実施における前提</li> <li>第7章 - リモートセンシングを用いた森林面積の推定</li> <li>第8章 - 固定調査プロットを用いた方法</li> <li>第9章 - 林分炭素蓄積推定モデルを用いた方法</li> </ul>	REDDプラス活動に携わる技術者
参照編	<ul style="list-style-type: none"> <li>各章の参考文献情報</li> <li>索引</li> </ul>	より深い情報を求める利用者

図2 REDD プラス・クックブックの目次と想定読者

クックブックは、REDD プラスの成り立ちの経緯やシステム設計を解説した【導入編】、REDD プラスの仕組み森林炭素の計測、報告、検証について解説した【計画編】、森林炭素モニタリングの具体的方法について解説した【技術編】、さらにより深い情報を解説付きで紹介した【参照編】の4編から構成されています。

それぞれの編では、左図のような読者を想定しています。

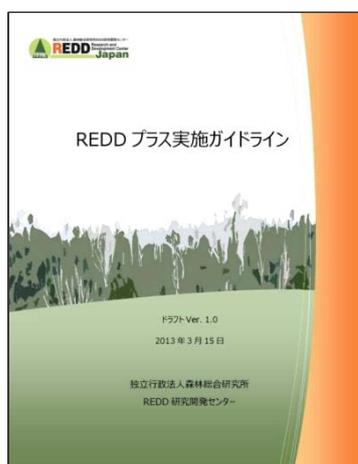


図3 REDD プラス実施ガイドライン

二国間オフセット・クレジット制度 (JCM) での利用を想定し、REDD プラスの制度面、政策面の指針を提案しました。

要点は以下の通り。

- 対象とする REDD プラスの活動は、カンクン合意に基づき、(a) 森林減少からの排出の削減、(b) 森林劣化からの排出の削減、(c) 森林炭素蓄積の保全、(d) 持続可能な森林経営、(e) 森林炭素蓄積の強化、に寄与するものとする。
- 用いる衛星画像の解像度を 30m 以上、森林・非森林の区分精度を 80% 以上とするなどの条件を示した。
- 参照レベルの開発方法として得られるデータ量に応じて3段階の方法を示した。

REDD プラス実施ガイドライン、REDD プラス・クックブックは、森林総合研究所のホームページ内にある REDD 研究開発センターのサイト (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/index.html>) からダウンロードできます。また、REDD プラス・クックブックの印刷版をご希望の方は、REDD 研究開発センター ([red-rd-center@ffpri.affrc.go.jp](mailto:red-rd-center@ffpri.affrc.go.jp)) までご連絡下さい。

## 間伐による森林からの流量・蒸発散量の変化

東北支所  
 水土保持研究領域  
 秋田県森林技術センター

久保田 多余子、野口 正二  
 坪山 良夫、延廣 竜彦  
 金子 智紀、岩谷 綾子

### 要 旨

人工林の間伐によって森林からの水流出量が変わるかどうかを明らかにするために、気象条件の異なる積雪地域と非積雪地域の人工林で、水の循環を調べました。本数率 50% の間伐を行った結果、葉の茂る樹冠の面積割合が減少し、樹冠による雨の遮断が少なくなり、林内に到達する降水量が増えました。積雪地域の場合は、間伐後に積雪が深くなり、春の融雪は早くなりました。非積雪地では、森林の葉量が減ったため夏季の蒸散量の減少が顕著でした。これらの結果、積雪地域と非積雪地域のいずれにおいても、間伐によって流域から流出する水量は増加しました。

### 背景

間伐が実施されない人工林が増加し、森林の公益的機能の低下が危惧されることから、林野庁や都道府県等は間伐対策を推進してきました。しかし、間伐を行うと水保全機能がどう変化するかについて、流域という大規模なスケールで実証することは難しく、わが国で定量的に調査された例はありません。そこで、気象条件が大きく異なる積雪地域と非積雪地域の森林流域の両方で、間伐によって水流出量（流量）が変化するかどうかを調べました。

### 積雪地域における調査

秋田県大館市の長坂試験地で調査を行いました。この試験地はスギ人工林（2006 年時点で約 40 年生）で覆われた 3 つの流域（上の沢・中の沢・下の沢流域）があります。2007 年 2 月～3 月に上の沢と下の沢で、本数率約 50% の間伐を行い（間伐流域）、間伐を行わない中の沢（無間伐流域）と、流出量、積雪深および樹冠通過降水量（木の葉の茂る樹冠を通過し林内に入る降水量）の違いを比較しました（図 1）。間伐流域では無間伐流域に比べ樹冠通過降水量が増加し、特に冬季には積雪が増加しました。また春先の融雪が早くなりました。

このような間伐にともなう流出状況の変化により、1 年間を通した水流出の積算量がどう変わったかを比較しました。年流量を毎年積算し、間伐流域と無間伐流域を比較したところ、間伐後、流量が増加したため、積算値は間伐前の傾きよりやや急で上に分布しました（図 2）。また、無間伐流域に対する間伐流域の流量の比（年流出量比）を見ると（図 3）、間伐直後の 2007 年は、年流量は変化しませんでした。翌年の 2008 年に増加しました。2009 年以降、下の沢では間伐前に戻りつつも、上の沢で

は流量が多い傾向が続き、間伐の影響が残っていました。

### 非積雪地域における調査

茨城県北部にある常陸太田試験地内のヒノキ・スギ人工林の流域（2009 年時点で 22 年生）を 2009 年 3 月～5 月にかけて本数率 50% で間伐しました。間伐前後 3 年間の水収支の変化を調べた結果（図 4）、平均降水量は間伐前 3 年間より 55mm 減少しましたが、林内降水量は間伐後に 4mm 増加しました。これに対し流量は間伐後に 87mm 増加しました。これは間伐により林内降水量が増加しただけでなく、流域全体で蒸散量が減少したため流量が増加したと考えられました。間伐前後の蒸発散量の変化を明らかにするため、無間伐流域（2009 年時点で約 90 年生）と比べたところ（図 5）、間伐後の 2009 年 11 月以降、間伐流域の蒸発散量は無間伐流域に比べて小さい傾向があり、特に夏季を中心にした 5 月～11 月にかけての蒸発散量が小さくなっていました（図 6）。

### おわりに

以上のように、間伐によって積雪地域は冬季に樹冠を通過する雪の量がふえ積雪が深くなる一方、融雪が早まること、非積雪地では夏の蒸散量が顕著に低下することなど、間伐が水循環に及ぼす影響は地域によって異なることがわかりました。さらに、積雪地域と非積雪地域のいずれにおいても、間伐の実施は、流域から流出する水量の増加につながることを明らかにしました。

本研究は「予算区分：農林水産省実用技術開発研究（平成 21～24 年度）、課題名：間伐促進のための低負荷型作業路開設技術と影響評価手法の開発」により秋田県森林技術センターと共同で行いました。

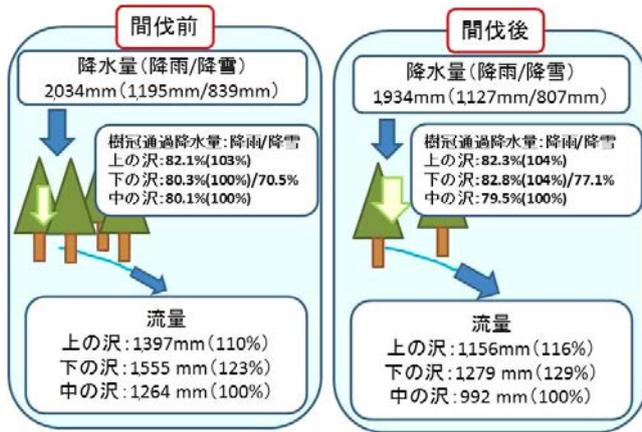
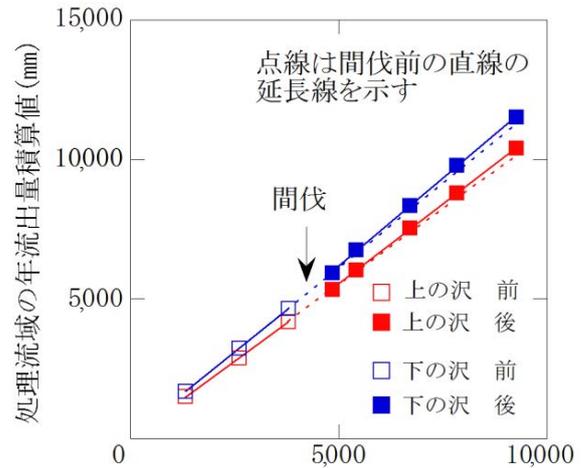


図1 積雪地域における水流出の変化(長坂試験地の例)  
 ()内の数値は中の沢を100%としたときの割合を示します。間伐後の林内降水量は降雨で4%、降雪で約7%増加しました。



基準流域の年流量積算値(mm)  
 図2 間伐による流量の変化(長坂試験地)  
 年流量を積算した値は間伐した流域(処理流域)と間伐していない流域(基準流域)の間で直線関係にあります。間伐後の直線の傾きが点線(間伐前の直線の延長線)の傾きよりも上になっており、間伐により流量が増加したことを示しています。

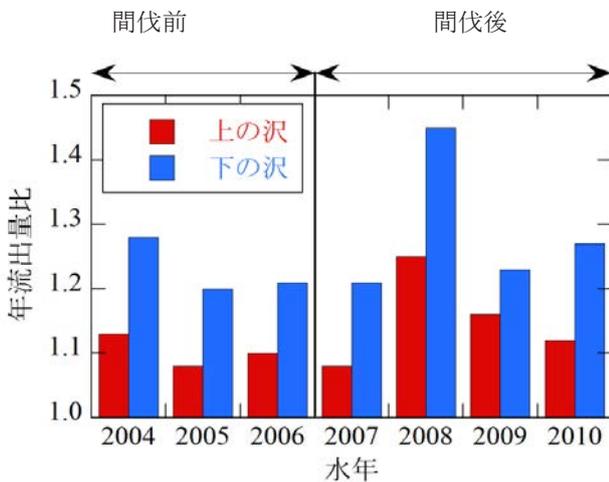


図3 年流量の経年変化(長坂試験地)  
 間伐していない流域に対する間伐した流域の年流量の比を示しています。年流量比は間伐した年の2007年には変化がなく、2008年に増加しました。2009年以降は下の沢では間伐前の流量に戻り、上の沢では流量が多い傾向が続いています。

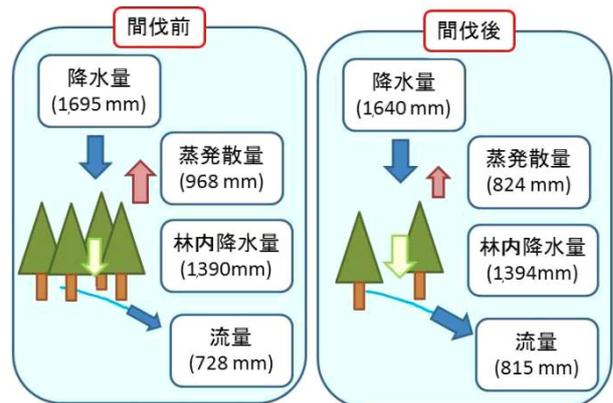


図4 水収支の変化(常陸太田試験地)  
 降水量は間伐後よりも間伐前の方が多ですが、間伐後に林内降水量が増加しました。流域全体の蒸発散量が減少して流量が増加しました。

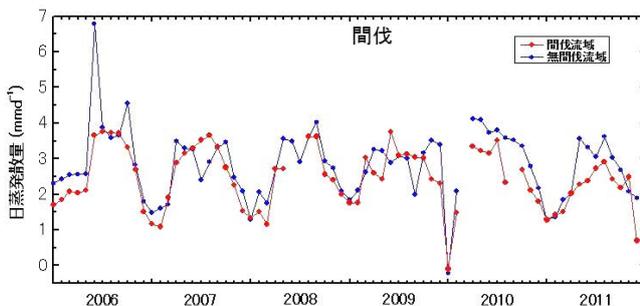


図5 間伐前後の蒸発散量の変動(常陸太田試験地)  
 間伐から約半年経過した2009年11月から間伐流域の蒸発散量は無間伐流域より小さい傾向が続き、間伐によって蒸発散量が減少しました。

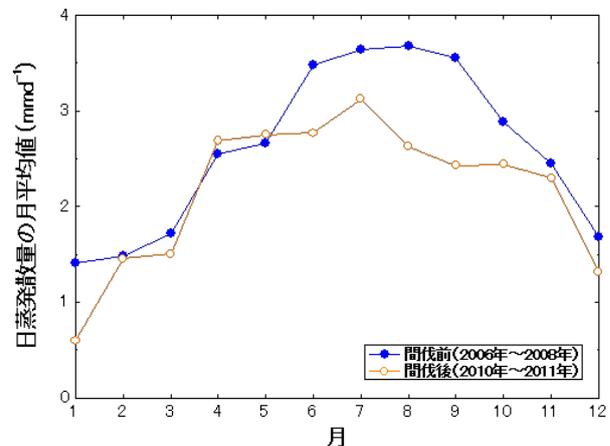


図6 間伐による蒸発散量の変化(常陸太田試験地)  
 間伐後に蒸発散量が減少しましたが、特に5月~11月にかけての蒸発散量が減少していました。

## 森林作業道から土砂流出を抑える方法

林業工学研究領域  
石川県林業試験場  
岐阜県森林研究所

鈴木 秀典、田中 良明、山口 智  
小倉 晃  
臼田 寿生

### 要 旨

林業を活性化するため、各地で森林作業道の開設が進められています。しかし、一部では、渓流水に土砂が流れこみ濁水が発生するなどの問題となることがあります。そこで、濁水の流出を抑える方法を検討し、現場で実行可能な対策をまとめました。また、この対策を現場に広く普及するための手引書を作成しました。この手引書では、それぞれの対策を絵や写真で示しながら、いつ、どのように実施するのか、どうしてその対策が有効なのかといった点をわかりやすく解説しています。さらに参考情報として、対策を実施する際の注意点や土砂流出の発生メカニズムなど科学的知見も紹介し、実践的で発展的な内容となっています。

### 森林作業道の現状

森林作業道（以下、作業道）は、木材の伐採・搬出などにはなくてはならないものです。また、木材を低コストで安定して生産するためには、丈夫で崩れにくい作業道を開設し、適切に維持管理していく必要があります。しかし、一部の作業道では、雨が降ったときに土砂や濁水が流出したり、路面が崩れたりするなど、問題となっています（図 1）。できるだけ土砂の流出を抑え、コストや手間がかからない適切な対策が求められています。

### 計画的な土砂流出対策

土砂の流出を抑える対策については、作業道の計画段階、施工（道の開設工事）・作業の段階、作業終了する段階の 3 つの段階に分けて計画的に考えるとよいでしょう。

計画段階の道をどこに開設するかを検討するにあたって、斜面の形状を考え適切な場所を選ぶことで、作業道からの土砂流出をかなり抑えることができます。例えば、斜面を切り取ってできるのり面から発生する土砂は、のり面が高くなるほど多くなり、また、作業道を開設する斜面が急になるほどそのり面は高くなります。つまり、できるだけ傾斜の緩い斜面に開設できれば、のり面は高くならず、土砂流出を抑えることができます。

このような作業道のルート設計をパソコン上でできる森林作業道支援ソフト（SR+・エスアールプラス）を開発しました（図 2）。このソフトでは、マウスで描いた道ののり面の高さなどを表示し、土工量\*（切土量と盛土量）を算出することができます。ソフトと対話しながら土工量を確認し、ルートを修正しながら、切土のり面高を低く抑え、土砂を流出させない道を計画することができます。

施工・作業の段階では、掘削や走行によって作業道の土壌が攪乱されるので、作業道の表面上を流れる水（表

面流）が河川に到達すると、河川が著しく濁ってしまいます。この場合の有効な対策としては、沈砂池（流水中の土砂を沈殿させて除く人工の池）によって表面流の土砂濃度を下げたり（図 3）、表面流を林地に浸透させたりして濁水を河川へ直接到達させない方法が効果的です。また、道を計画する際に、作業道を河川に近づけないことも有効です。これらの対策単独では、必ずしも効果が発揮されないため、現地の状況を観察しながら方法や場所を適切に組み合わせて実施することが大切です。

作業終了段階でも、作業によって攪乱された路面から土砂が流出します。路面のような裸地では表面流が発生しやすくなり、侵食されて土砂が流出しますが、路面に植生が繁茂すると土砂の流出はほとんどなくなります。植生が繁茂するまでには、おおよそ 3 年程度かかりますので、この間の流出を抑える対策が必要になります。これには、間伐の枝払い作業で発生した枝葉で路面を覆うことが有効と分かりました（図 4）。スギでもヒノキでも、通常の間伐であれば、すべての路面を覆うだけの枝葉は十分に確保できます。

### 手引書のダウンロード

これらの成果を手引書にとりまとめ、「森林作業道開設の手引きー土砂を流出させない道づくりー」を作成し、各地の講習会で説明しました。森林総合研究所のホームページ（<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika2.html>）からダウンロードできます。

本研究は、農林水産技術会議「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」における「間伐促進のための低負荷型作業路開設技術と影響評価手法の開発」の成果です。



図1 森林作業道から流出した土砂  
流出した土砂によって公道の側溝が埋まっています。

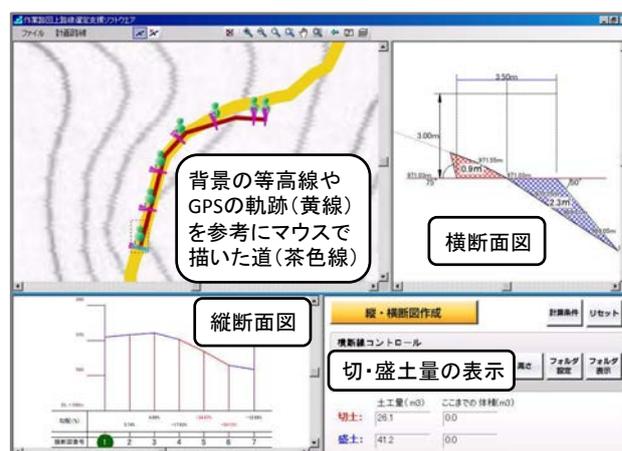


図2 森林作業道支援ソフト（SR+・エスアールプラス）の画面

左上の画面にマウスで描いた道の縦断面図（左下）、横断面図（右上）を表示し、切・盛土量を計算します。これらを参考にして、対話的に道を修正し、土工量が少なく、土砂を流出させない道を計画できます。



図3 横断排水溝による表面流の排水と流末に設置された沈砂池

表面流を沈砂池からあふれさせることで、流速が緩やかになり、表面流の中の土砂が沈砂池内に溜まります。沈砂池を設けることで、表面流の土砂濃度を低減することができます。



図4 グラップルを用いて路面を枝葉で覆う作業  
写真のような機械（グラップル）を使用することで、効率よく枝葉を散布することができます。スギの枝葉では、森林作業道1mあたり20秒程度かかりました。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 森林から流れてくる水に放射性セシウムはほとんど含まれない

水土保全研究領域	坪山 良夫
立地環境研究領域	篠宮 佳樹
企画部	池田 重人
福島県林業研究センター	橋内 雅敏

### 要 旨

2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の事故では周辺の森林にも放射性物質が降下しました。森林の多くは農地や集落の上流の山地にあるため、そこから流出する渓流水に放射性物質が含まれることへの心配がありました。そこで、事故翌年の3月から福島県内6箇所(飯舘、伊達、二本松、広野、郡山、会津若松)の森林で調査を行いました(図1)。2012年3月～4月に、これらの森林を流れる溪流に採水装置を設置しました(写真1)。融雪期の溪流は主に午後から夕方にかけて増水することから、毎日1回午後2時に採水を行いました(以降、この方法で採取した試料を“定時採水試料”と呼ぶことにします)。このうち二本松の調査地では7月まで同様の採水を続けました。また、伊達と飯舘の調査地では同様の採水を10月まで続け、8月からは2台目の採水装置を設置して、採水地点の近くの雨の強さが一定値を越えた時から1時間毎に採水しました(以降、この方法で採取した試料を“降雨時採水試料”と呼ぶことにします)。

### 渓流水の心配

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故では周辺の森林にも放射性物質が降下しました。森林の多くは農地や集落の上流の山地にあるため、そこから流出する渓流水とともに放射性物質も出てくることへの心配がありました。そこで、事故翌年の3月から福島県内の6箇所(飯舘、伊達、二本松、広野、郡山、会津若松)の森林で調査を行いました(図1)。2012年3月～4月に、これらの森林を流れる溪流に採水装置を設置しました(写真1)。融雪期の溪流は主に午後から夕方にかけて増水することから、毎日1回午後2時に採水を行いました(以降、この方法で採取した試料を“定時採水試料”と呼ぶことにします)。このうち二本松の調査地では7月まで同様の採水を続けました。また、伊達と飯舘の調査地では同様の採水を10月まで続け、8月からは2台目の採水装置を設置して、採水地点の近くの雨の強さが一定値を越えた時から1時間毎に採水しました(以降、この方法で採取した試料を“降雨時採水試料”と呼ぶことにします)。

### 調査の方法

福島県内6箇所(飯舘、伊達、二本松、広野、郡山、会津若松)の森林で調査を行いました(図1)。

2012年3月～4月に、これらの森林を流れる溪流に採水装置を設置しました(写真1)。融雪期の溪流は主に午後から夕方にかけて増水することから、毎日1回午後2時に採水を行いました(以降、この方法で採取した試料を“定時採水試料”と呼ぶことにします)。このうち二本松の調査地では7月まで同様の採水を続けました。また、伊達と飯舘の調査地では同様の採水を10月まで続け、8月からは2台目の採水装置を設置して、採水地点の近くの雨の強さが一定値を越えた時から1時間毎に採水しました(以降、この方法で採取した試料を“降雨時採水試料”と呼ぶことにします)。

現地で回収した水試料の放射性セシウム(Cs-134とCs-137)の濃度をゲルマニウム半導体検出器により、検出限界が1Bq(ベクレル)未満となるような条件で測定しました。また、放射性セシウムが検出された水試料は、ガラス繊維フィルター(捕留粒子径0.5 $\mu$ )で濾過し、懸濁物質濃度(SS)と濾液の放射性セシウム濃度を測定しました。なお、食品衛生法に基づく飲料水の放射性セシウムの基準値は10Bq/kg(1kgは1Lに相当)です。

### 放射性セシウムの検出率は低かった

3月～4月の定時採水試料のうち、会津若松、郡山、広野町の3箇所(飯舘、伊達、二本松)で採取した試料からは放射性セシウムが

検出されませんでした。一方、飯舘の調査地では59試料中3試料、伊達では59試料中4試料、二本松では56試料中2試料から1.0～5.9Bq/L(Cs-134とCs-137の合計値、以下同様)の放射性セシウムが検出されました。

5月～7月の定時採水試料については、飯舘では92試料中1試料、伊達では92試料中2試料、二本松では80試料中1試料から1.0～13.1Bq/Lで放射性セシウムが検出されました。8月～10月の定時採水試料については、飯舘では83試料中3試料、伊達では92試料中3試料から1.0～6.8Bq/Lの放射性セシウムが検出されました。

### 放射能の正体は懸濁物質

降雨時試料については、伊達では84試料中12試料から1.1～48.5Bq/L、飯舘では84試料中12試料から1.1～47.3Bq/Lの放射性セシウムが検出されました。

放射性セシウムが検出された試料を濾過して、懸濁物質濃度と濾過後の放射性セシウム濃度を調べました。その結果、懸濁物質濃度が高い試料ほど放射性セシウム濃度が高く(図2)、また、大部分の試料(43試料中41試料)では濾過後には放射性セシウムは検出されませんでした。このことから、濾過前に検出された放射性セシウムは主に懸濁物質に由来するものであることが明らかになりました。

### まとめ

この調査により森林から流れる渓流水とともに放射性セシウムが出てくる機会は限られることが明らかになりました。このことは、並行して行われた森林内の放射性物質の分布調査において、森林全体に蓄積している放射性物質の量が事故当年と翌年で大きく変わっていないことから裏付けられています。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「森林から流出する水等に含まれる放射性物質の挙動の解明」(プロジェクト課題番号F1P06)による成果です。

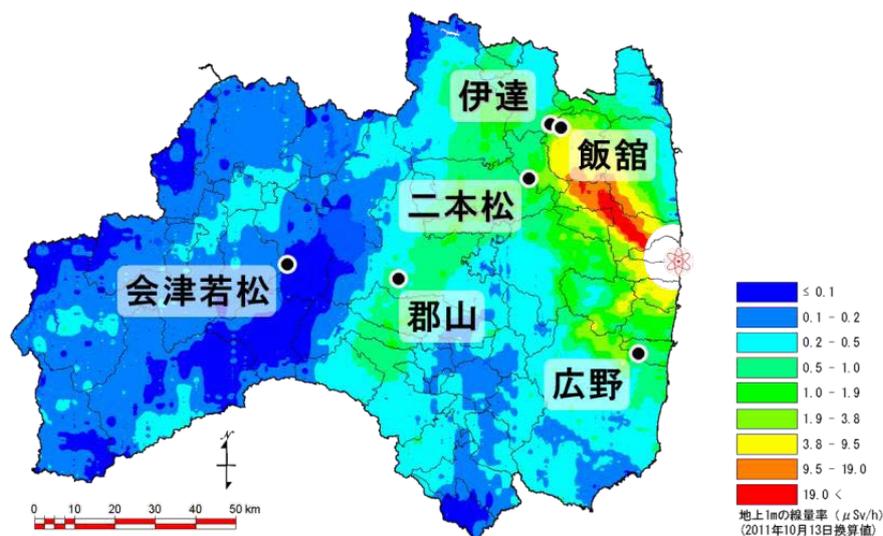


図1 採水調査を行った場所  
福島県内6箇所(会津若松、二本松、郡山、伊達、飯舘、広野)の森林で渓流水を採取しました。背景は、文部科学省の航空機モニタリング調査による高さ1mの空間線量率(2011年10月13日換算値)の分布を示しています。

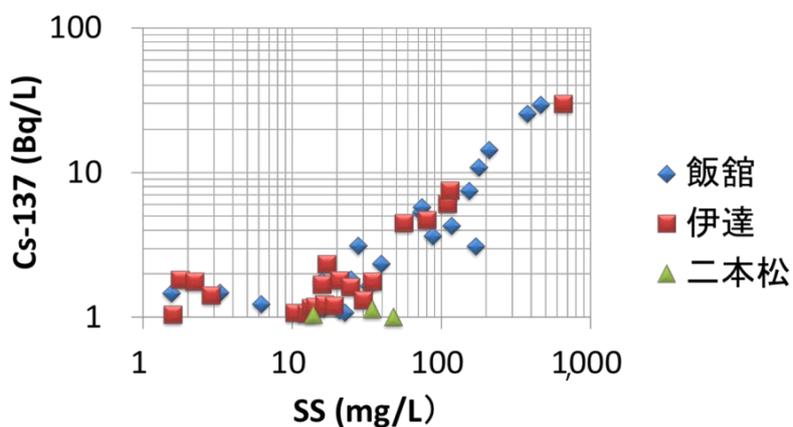


図2 懸濁物質濃度と放射性セシウム濃度の関係  
渓流水に含まれる懸濁物質が多いほど放射性セシウム濃度も高いことがわかりました。



写真1 採水装置  
一定の時間間隔で自動的に渓流水を採取する装置を使用しました。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 過去の写真から山地崩壊発生の前兆をつかむ

水土保全研究領域

大丸 裕武、村上 亘

### 要 旨

山地で発生する深層崩壊は一瞬のうちに崩れて住宅地や農地を飲み込むので、崩壊危険地を事前に察知することが重要です。静岡県千頭地域で最近深層崩壊が発生した斜面について、空中写真や衛星画像を利用して崩壊までの状況を解析しました。その結果、この地域では小さな崩壊地が拡大して大規模な深層崩壊が発生する例が多く、斜面下部に生じる小規模な崩壊を手がかりに、深層崩壊の危険性を予測できることが明らかになりました。

#### 深層崩壊とは

深層崩壊は山体の一部がかたまりとなって急速に崩落する現象です。地表付近の土壌層のみが崩れ落ちる表層崩壊とは異なり、森林や防災施設の力で深層崩壊を食い止めることは、大変難しいものです。このため、地形や地質の特徴を手がかりに、事前に危険な斜面の特徴を把握しておき、豪雨の際の早期避難を促すことが被害を軽減する鍵となります。

#### 成長する崩壊地

図1は大井川の寸又峡周辺で1948年以降に10ha以上の新たな崩壊の発生や崩壊の拡大が見られた5箇所の斜面の空中写真と衛星画像を時間経過に沿って並べたものです。よく見ると、ほとんどの斜面で大きな崩壊が発生する前から、小規模な崩壊が見られることがわかります。崩壊地2については1948年の段階ですでに現在と同程度の大規模な崩壊地が見られますが、これも明治時代の測量で作成された地形図をみると、元々は現在よりもずっと小さな崩壊地だったことがわかります。つまり、この地域で最近発生した大規模な崩壊地はすべて、それ以前からの小さな崩壊地が拡大してできたものと考えられます。

#### 傷だらけの山体で起きる拡大崩壊

このような崩壊の拡大はどうして起きのでしょうか。榛原川流域にある崩壊地2(写真1)を例に考えてみます。この崩壊地の表面に現れた岩盤は縦に走る何本もの断層によって切られていることがわかります(写真2)。また尾根付近の岩盤(写真3)をみると、写真の右側では地層の縞模様ははっきりとわかりますが、左側に行くにつれて地層の縞模様は不明瞭になり、地層が砕けて砂利のようになっていることがわかります。これは、山体が自

らの重さで変形(重力性クリープ)する過程で岩石がバラバラになってほぐれてしまったためです。この地域の山地の岩盤は多くの断層によって切断されたうえに、重力変形によって破碎されて、巨大な積み木細工のような状態になっています。このような山地では、豪雨や川の浸食によって山すそに小さな崩壊が発生すると、その上部の脆くなった岩盤は、下からの支えを無くして、いっそう不安定化になって崩れやすくなります。ちょうど、「将棋崩し」という遊びで、端の駒を一つ抜いただけで、駒の山全体が崩れてしまうのと似ています。実際に崩壊地2の背後でも、尾根の斜面が不安定となり亀裂が発生しています(写真4)。

#### 深層崩壊の前兆現象を見極めるには

このような大規模な深層崩壊に先行する小崩壊は、九州地方でも観察されています。今回、大井川流域でも同様の現象が検証できたことから、他の地域でも前兆現象として利用できる可能性があります。深層崩壊の発生メカニズムは山地の地形や地質に大きく異なります。ゆっくりと重力変形をしている急峻な山地では、このような小崩壊を前兆現象として利用できそうです。ただし、多量の地下水の湧出によって、山体が一気に滑り出すような崩壊の予測は難しいことです。深層崩壊を的確に予測するには、地域毎に崩壊の発生パターンと地形や地質との関係を解析するという地道な努力が必要です。そのためには、林野庁や国土地理院が蓄積した過去の空中写真は無くしてはならない大切な資産です。どんなに高性能な人工衛星が開発されても過去の国土は撮影できないのですから。

本研究は運営費交付金課題「山地災害の被害軽減のための予防・復旧技術の高度化」の成果です。

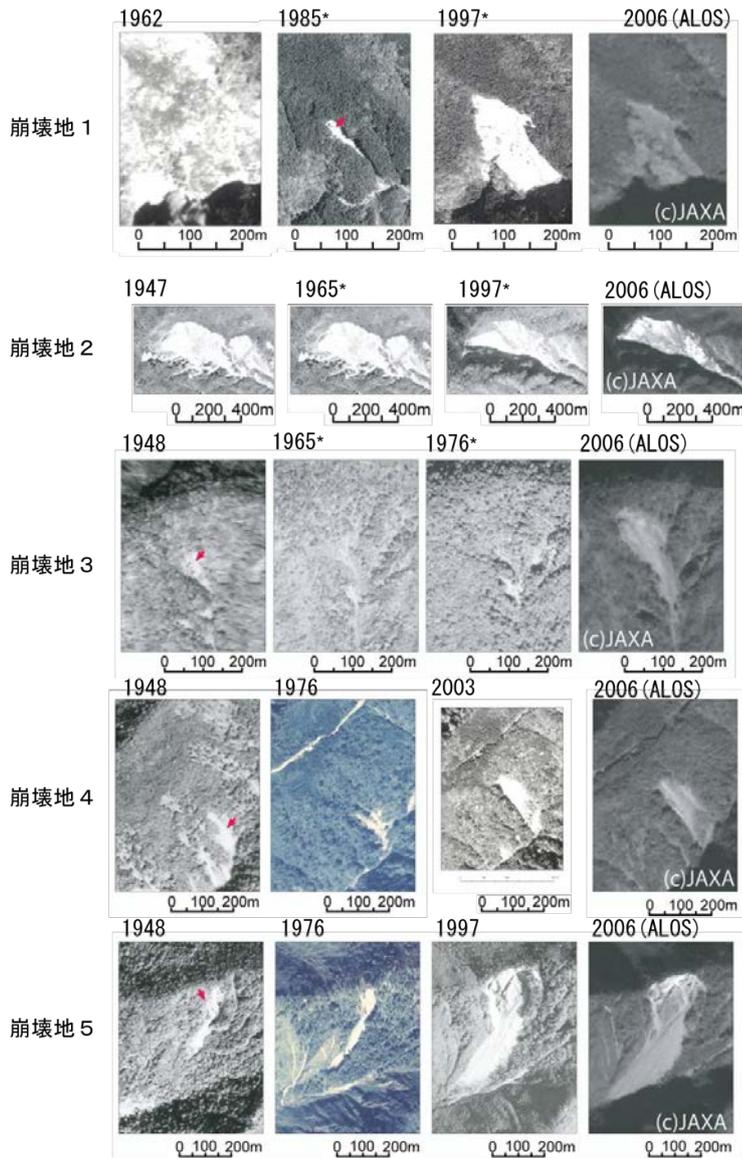


図1 空中写真と衛星画像からみた静岡県千頭地域において最近深層崩壊が発生した斜面の時間変化（大丸他，2013 に加筆）  
写真上の数字は撮影年。2006 年は衛星画像です。

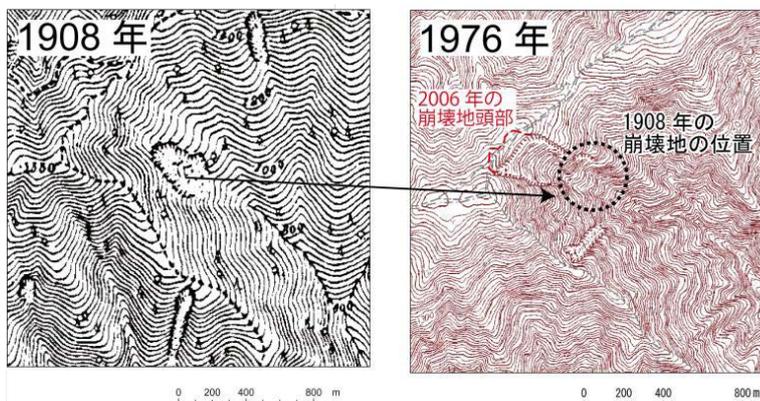


図2 新旧地形図の比較から見た崩壊地2の拡大の状況

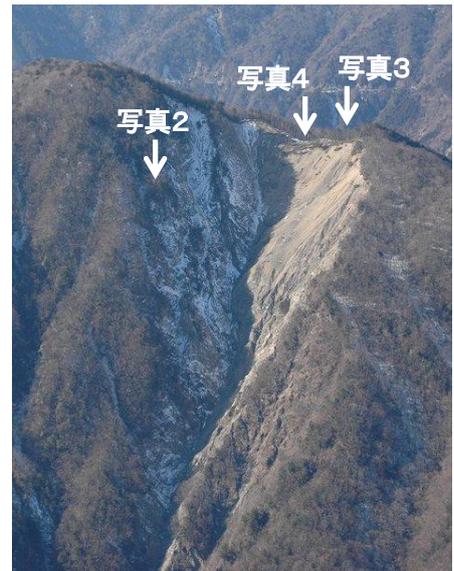


写真1 崩壊地2の空撮写真（関東森林管理局撮影）



写真2 崩壊地2に見られる断層（黄色矢印）



写真3 重力性変形で破砕が進んだ岩盤



写真4 崩壊地2の背後で発生した亀裂

## カビでスギ花粉の飛散を絶つ防止剤の開発

企画部研究評価科  
森林微生物研究領域  
東北支所 生物被害研究グループ  
九州支所 森林微生物管理研究グループ

窪野 高德  
秋庭 満輝、升屋 勇人  
市原 優  
高畑 義啓

### 要 旨

現在、スギ花粉症には早急な対策が求められています。本研究では、自然界に生育するスギ雄花だけを枯死させるカビの一種を利用し、培養したカビの活性が落ちないように処理した散布液を開発しました。この散布液を 10 月～12 月にかけて、成熟した雄花に 1 回だけスプレーしたところ、わずか 2～3 ヶ月の間に 80% 以上の雄花を枯死させることができました。スギ花粉の飛散防止に、即効性があり環境負荷が少ない技術が開発されました。

#### はじめに

2004 年春、福島県西会津町のスギ林において、花粉がまったく飛散しない雄花が発見されました。調べてみると、この雄花はスギの雄花だけに寄生するスギ黒点病菌 (*Sydowia japonica*) というカビに感染していることが分かりました。私たちは、この自然界に普通に生育するカビを利用してスギの雄花を枯死させ、花粉の飛散を抑える方法の開発に着手しました。カビという微生物を利用して花粉の飛散を防止しようとする技術開発は、世界で初めての試みです。

#### 雄花内への侵入機構

カビに感染すると、なぜ雄花が枯死し花粉が飛ばなくなるか。それを明らかにするために、カビの分生子 (胞子体) を雄花に接種しました。分生子は雄花の表面で菌糸を伸ばしながら雄花の外側を被っている鱗片の間から侵入します。そして、花粉が収められている花粉嚢 (のう) という器官に入り込み、花粉 (花粉粒) に感染します (図 1)。この後、カビは花粉を栄養源として繁殖し、雄花の細胞を破壊してしまうため、雄花は開花できずに死んでしまい、花粉が飛散しなくなることが分かりました。

#### 散布液の開発

このカビの分生子を使った散布液を作るため、まず 1 リットルあたり 80 億個という大量の分生子 (図 2) を作ることができる栄養培地を開発しました。次に、分生子を水に入れて散布すると、短時間で乾燥するため、分生

子は雄花に侵入する前に死んでしまいます。そこで、分生子に大豆油と大豆レシチンを混ぜて乳化させた散布液を開発しました。この乳化した散布液を実験林内のスギ林に散布したところ、分生子は約 40 日間の乾燥に耐え (図 3)、雄花に付着した後も菌糸を伸ばす能力を持ち、高い感染力を維持することが分かりました。

#### 薬効試験

スギ雄花は 8 月下旬からできはじめ、10 月に小胞子期という成熟した花粉を持つ雄花になります。植栽された約 30 年生のスギ雄花に対し、9 月から翌年 2 月まで、雄花に対して乳化した散布液を散布しました。その結果、10 月～12 月に散布すると、雄花の枯死率が非常に高くなりました (表 1)。このことから、雄花の成熟に合わせて、散布液を 1 回散布すれば 80% 以上の雄花を枯死させることができることが分かり (図 4)、カビを利用したスギ花粉の飛散防止技術の開発に成功しました。

このカビは農薬登録をしていないので、すぐに使えるようにはなりません。今後、実用化に向けて安全性等を検討していきます。

この研究は、農林水産技術会議 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業課題「菌類を利用したスギ及びヒノキ花粉飛散抑止技術の開発」による成果です。また、福島県林業研究センター、静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター及び石川県農林総合研究センター 林業試験場との共同研究です。

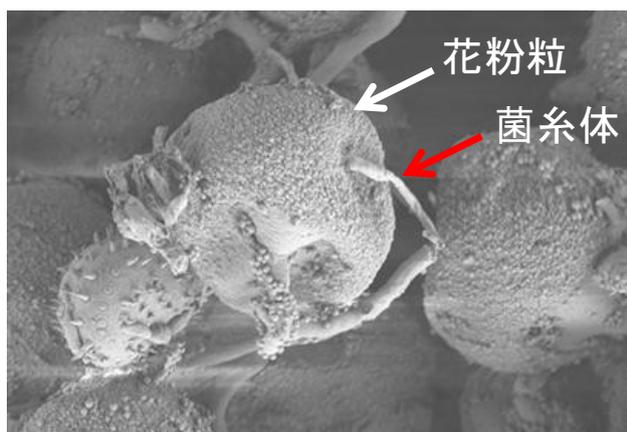


図1 菌糸体の花粉粒への貫入  
花粉嚢に侵入した菌糸は、花粉粒に貫入して、  
栄養を取り花粉内で増殖します。

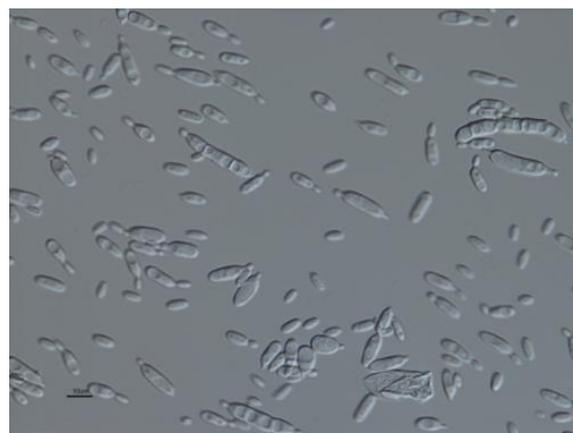


図2 大量の分生子（顕微鏡写真）

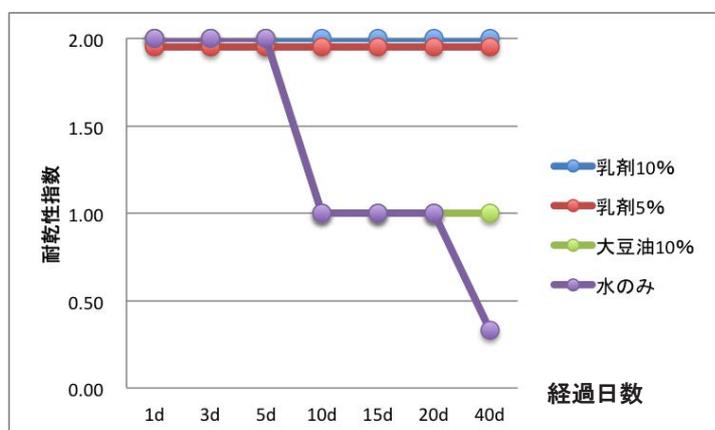


図3 各種添加物を含んだ分生子懸濁液の耐乾性  
大豆レシチンを添加した乳剤で、分生子の耐乾性が最大になり、40日後も高い活性を示しました。

表1. スギ雄花に対する接種試験（分生子乳剤：1回散布）

接種地域	処理方法	供試枝数	10月	11月	12月	1月
			枯死度	枯死度	枯死度	枯死度
茨城	接種区	3	4	4	2	2
	対照区	3	0	0	0	0
熊本	接種区	3	4	4	4	4
	対照区	3	2	0	2	0

注) 雄花枯死度4：枝に形成された雄花のうち、75～100%枯死したものの。



図4. 散布液を散布した雄花が全て枯死し、  
花粉の飛散が抑えられた（枯死度4）

## 森林用ドロップネットで効率よくシカを捕獲する

関西支所	高橋 裕史
京都府森林保全課	井上 徹夫
京都府農林水産技術センター	芝原 淳、野崎 愛、境 米造
京都府猟友会	西村 義一
野生動物研究領域	小泉 透

### 要 旨

増えすぎたシカが各地で深刻な森林被害をもたらしています。これまでシカ捕獲はハンターに依頼するしかありませんでしたが、被害現場で林家等が直接シカを捕獲できるよう、森林の中で使いやすく、持ち運びも設置も簡単で安全に使用でき、捕獲効率のよいワナを開発しました。本体の資材費は約 9 万円、重量は約 20kg、4 人いれば制作日数は 1 日、設置も 1 日でできます。ワナ 1 基で、1 日あたりの捕獲頭数は 0.60 頭となりました。これまで報告のある箱ワナなどの捕獲効率（1 日あたり約 0.40 頭）と比べて高いことがわかりました。ワナを設置したままで他の作業をしたい、シカ以外の危険な動物を間違っ捕獲したくないなどの場面で、安全・確実・効率の良い捕獲ができます。

#### 現場でシカを捕獲する

シカの数が増え分布が広がるにつれて、森林・林業に深刻な被害が起きるようになってきました。多くの自治体でシカ管理計画を作っていますが、被害はいつにも減りません。そのため当研究所をはじめ、数を減らすためにさまざまな新しい捕獲方法を試みています。しかし、銃器を用いる方法ではハンターの人材不足が問題です。そこで、被害がおきている森林・林業の現場で、特殊な資格や技能を要せず、誰にでも繰り返し捕獲できる技術を開発しました。

#### 森林用ドロップネットの開発

ドロップネットとは、空中に網を張り、捕獲したい動物が網の下に来た時に網を落として捕獲するワナです（写真 1）。板や網で作られた囲いの中へ、狭い入口から誘導しなければならぬ囲いワナや箱ワナに比べて、動物に警戒されにくいと考えられています。休耕地や牧草地など平坦で開けた場所では、1 辺が 20 メートルという大きな網を使ったドロップネットが使われていますが、設置場所や資材の運搬を考えると、森林の中では使えません。

このため、持ち運びも設置も簡便で安価なワナを設計しました。まず、立木を支柱にすることで、重い金属製の支柱を設置する手間を省き、網（1 辺 10 メートル）を設置する場所を柔軟に選べるようにしました。自然の立木を利用することは、動物がワナを警戒しなくなるという効果もあります。また、ワナが作動した後に網が巾着状に絞られるようにし、捕獲されたシカを包み込んで逃げないようにするなどの工夫を加えました。さらに、なるべくホームセンターなどで入手できる資材を用いたところ、本体の資材費は約 9 万円、資材重量は約 20kg となり、安価で軽量のワナとなりました。4 人いれば、ワナは 1 日で作ることができ、設置も 1 日ですみます。

ワナ 1 基を稼働させた場合の 1 日あたりの捕獲数は 0.60 頭、これまで報告されている箱ワナなどの捕獲効率（おおむね 0.40 頭）より高くなりました。

#### 使用方法

シカを頻繁に見る、新しい足跡や糞がたくさんある場所を捕獲の候補地を選びます。地面に障害物がなく開けた場所を使えば、資材の運搬、ワナの設置、シカをおびき寄せるための餌やり、捕獲したシカの運び出しなど、さまざまな作業が楽になります。網を車高より高く設置すれば、車が網の下を通過できるため、捕獲の準備だけでなく、周辺で別の作業をしたい時にも邪魔になりません。

ドロップネットでシカを捕獲する時には、ウェブカメラを使ってワナを監視しています。これは手間がかかるように思われますが、クマやイノシシのような危険な動物や、天然記念物のカモシカを間違っ捕獲しないため、さらにシカが網下の中央にいる瞬間に網を落として確実に捕獲する（写真 1）ために、大事なことです。長時間監視を続けるのは大変ですので、前もって餌を置いてシカをワナの下におびき寄せておきます。その様子を別の自動撮影カメラで記録しておき、撮影された写真から、毎日のように、ほぼ同じ時刻に、シカが餌を食べにくるようになるのを確認できたら、捕獲のチャンスなので、監視体制をとり、捕獲します。

この方法によって、山林所有者など銃器を持たない人でも直接シカを捕獲することができるようになりました。なお、シカの捕獲に際しては関連法規を守る必要があります。

本研究は、農林水産省実用技術開発事業「林業被害軽減のためのニホンジカ個体数管理技術の開発」および環境省公害防止等試験研究費「ニホンジカが南アルプス国立公園の自然植生に及ぼす影響とその対策に関する研究」による成果です。

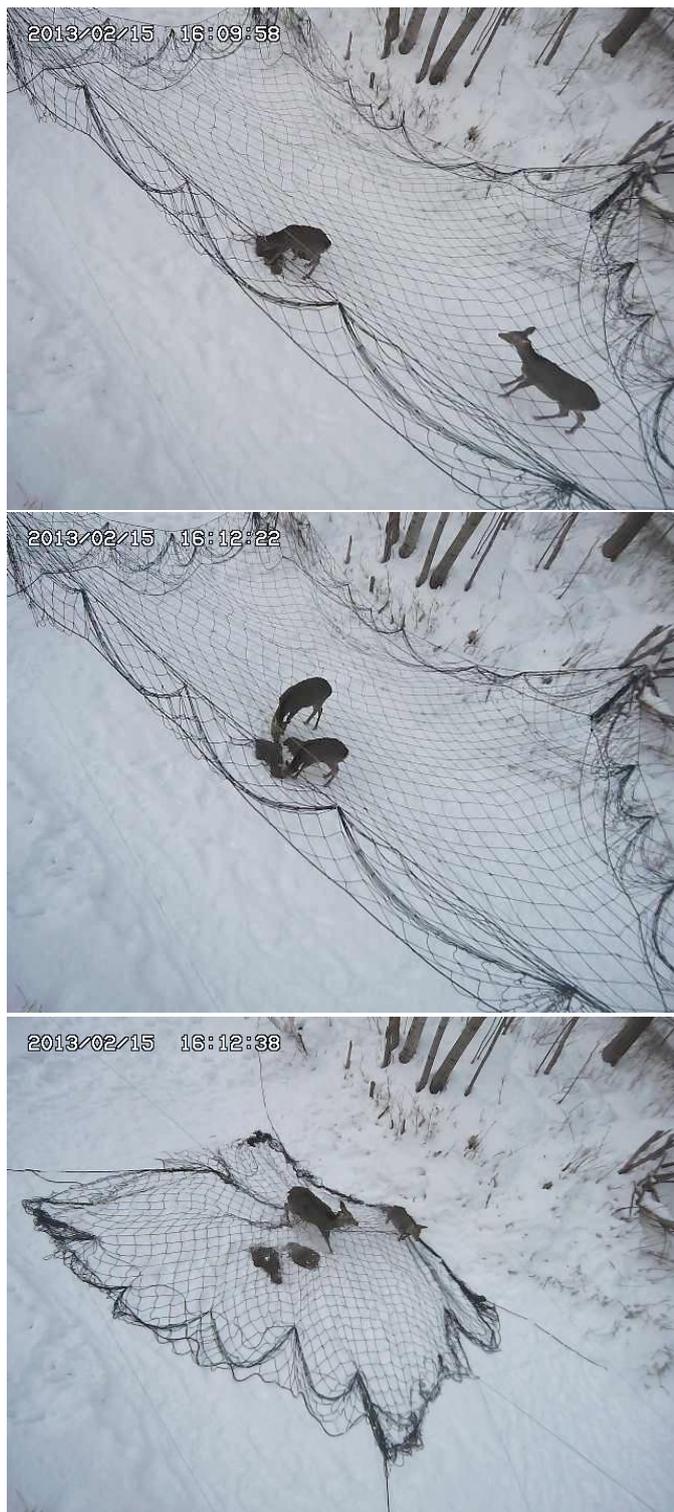


写真1 森林用ドロップネットによる捕獲  
シカが網の端にいるときや警戒中は逃げられやすい  
ため（上）、中央の餌を食べるタイミングを見はから  
い（中）、網を落として（下）捕獲します。無線LAN  
で映像を送ることができるウェブカメラを使って車中  
から監視しました。



写真2 作業道のカーブに設置した森林用  
ドロップネット  
アクセスが良いことから、ワナの運搬や設  
置、シカをおびき寄せるための餌やり、捕  
獲したシカの運び出しなど、様々な作業が  
楽になります。また車が通過できる高さ  
に設置すると通行を妨げないため、長い期  
間にわたって設置することができます。

## 萌芽の特性を活かして里山二次林を管理する

森林植生研究領域  
関西支所

正木 隆、伊東 宏樹、佐藤 保、  
大住 克博

### 要 旨

里山二次林は伐採と萌芽更新を繰り返して管理するのが合理的です。そこで伐採後の萌芽特性をさまざまな樹木で調査しました。この結果、コナラやクリ、カスミザクラ等のナラ属、サクラ属は萌芽本数が多く更新が容易ですが、カエデ属、シデ属、ミズキ、コシアブラなどの樹種は萌芽本数が少なく萌芽更新には不利でした。また、萌芽の本数は伐採から 30～40 年を経過して地際直径が 10～20cm のときに最多となり、50～60 年が過ぎて地際直径が 30～50cm になると萌芽能力を失うことがわかりました。萌芽更新で二次林を維持するには、萌芽更新が容易な樹種が多く生育し、かつ林齢が 50 年未満であることが条件と言えます。

### 里山二次林の危機

かつて里山の二次林は私たちの身近にあり、生活を支える存在でした。また、生物多様性条約 COP10 で設定された愛知目標の推進にも深く関係しています。今、その里山の二次林の手入れ不足が問題となっています。二次林は伐採と萌芽の繰り返しによって低コストかつ持続的に維持することが可能なシステムでしたが、伐採が行われなくなったために木が大きくなり、伐っても萌芽しない可能性が出てきたのです。しかし、萌芽の生態に関する基本的な知見が不十分なため、伐採した後の萌芽更新の成否を事前に予測することが困難でした。

### 切り株の調査

本研究では、二次林にみられる多様な樹種を調査し、萌芽しやすさ、萌芽させるための最適サイズや齢、萌芽の限界サイズや齢、萌芽の成長特性を調べ、伐採の効果を事前に判断できるようになることを目的としました。まず、伐採の翌年の二次林で、切り株からの萌芽を調べました。ナラやクリの仲間（コナラ、ミズナラ、クリ）、サクラの仲間（ウワミズザクラ、カスミザクラ）、カエデの仲間（イタヤカエデ、ウリハダカエデ、オオモミジ）、シデの仲間（イヌシデ、サワシバ）、その他（コシアブラ、ハクウンボク、ホオノキ、ミズキ、リョウブ）の合計 15 種類の伐根を合計 450 株調査し、発生していた萌芽を数え、伐根の直径を測定しました。また、その近辺の林齢 15～50 年の二次林 4 箇所にプロットを設置して樹木の直径調査を行いました。

### 各樹種の個性が明らかに

切り株の調査からは、萌芽しやすい樹種（例：図 1 上）

と萌芽しにくい樹種（例：図 1 下）が区別されました。調査結果を表 1 にまとめると、コナラ・ミズナラ・クリがもっとも萌芽能力が高く、カエデの仲間やミズキ・コシアブラ・リョウブなどの萌芽能力は低いといえました。萌芽本数がピークとなる地際直径は概ね 10～20cm で、萌芽能力が失われる地際直径は 30～50cm でした。萌芽能力の高い樹種ほど、大きい直径まで萌芽能力を保持している傾向がありました。

### 林齢でみると・・・

上述の結果と直径成長のデータから、萌芽能力がピークとなる林齢、萌芽能力が失われる林齢を逆算すると、樹種を問わず、それぞれ 30～40 年、50 年～60 年と推定されました。

### 里山二次林の管理への応用

以上のことから、里山二次林を萌芽更新で維持しようとするのなら、伐採前にナラ類やサクラ類などが多いこと、林齢が 50 年未満であることなどが条件であることがわかります。里山二次林の管理は、樹種の特性をふまえて進めていく必要があります。これらの成果の一部は、H24 年 3 月に林野庁から公表された「天然更新完了基準書作成の手引き（解説編）」に引用され、全国自治体における天然更新完了基準の作成に反映されることとなりました。また、当研究所の「樹木データベース」で樹種ごとのデータを公開しています。

本研究は環境省地球環境保全等試験研究費（公害一括）プロジェクト「種特性に基づいた里山二次林の多様性管理技術の開発」（平成 22～24 年度）による成果です。

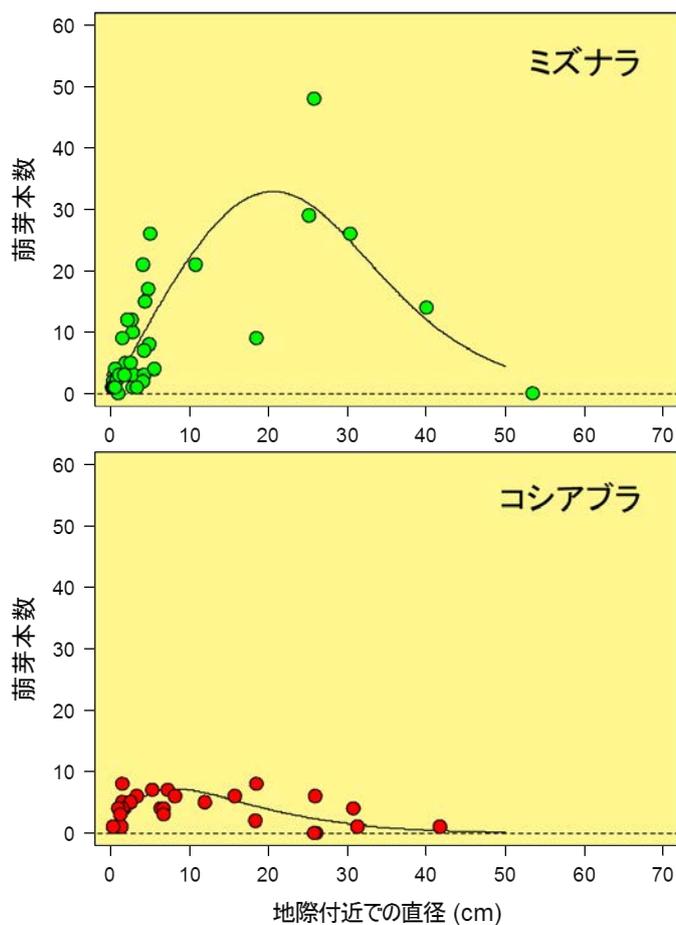


図1 萌芽の本数と地際直径の関係  
ほとんどの樹種で萌芽本数は直径10～20cmでピークに達し、直径40～50cmを超えるとゼロになりました。

表1 各樹種の萌芽特性のまとめ  
コナラ・ミズナラ・クリは最盛時には30本以上の萌芽を発生させるので、萌芽更新に適した性質をもつといえます。

		平均萌芽本数		
		10本	20本	30本以上
萌芽再生能力がピークとなる直径	10cm	ウリハダカエデ オオモミジ コシアブラ ミズキ リョウブ	イタヤカエデ イヌシデ サワシバ ウワミズザクラ カスミザクラ ハクウンボク	コナラ
	20cm		ホオノキ	ミズナラ クリ



写真1 里山二次林とスギ人工林のモザイクとなっている調査地の風景  
最近は二次林の伐採もおこなわれています。

## 第 2 世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種の新たな品種開発

九州育種場  
 林木育種センター育種部

松永 孝治、千吉良 治、倉原 雄二、高橋 誠  
 倉本 哲嗣

### 要 旨

潮風や飛び砂等から生活環境を守る海岸クロマツ林はマツ材線虫病によって深刻な被害を受け続けています。これまでに、病気に強い抵抗性品種の開発に取り組んできましたが、依然として被害が著しい九州地域ではより抵抗性の高い品種の開発が求められています。そこで、これまでに開発されている品種同士の子供（後代）を育成し、より抵抗性の高い第 2 世代品種 5 品種を新たに開発しました。すでに開発していた 2 品種と合わせて 7 品種となり、第 2 世代品種の開発が本格化しました。これらの品種の活用によって、より抵抗性の高い苗木が生産され、海岸クロマツ林の再生に貢献することが期待されます。

#### 海岸クロマツ林とマツ材線虫病

日本は四方を海に囲まれており、沿岸地域の住居や田畑はクロマツ等で構成される海岸林によって海からの潮風や飛び砂から守られてきました。しかしながら、20 世紀初め頃から、クロマツやアカマツの集団枯損をもたらすマツ材線虫病（松くい虫やマツ枯れと呼ぶ場合もあります）が全国に蔓延し始め、各地のクロマツの海岸林が失われています。

#### マツノザイセンチュウ抵抗性品種

九州育種場をはじめ、林木育種センターではマツ材線虫病への対策の一つとして、関係各県の研究機関等と連携して病気に感染しても枯れにくい、マツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発を進めてきました。材線虫病の激害林分において健全であったマツから、接ぎ穂や種子を採取して増殖し、病原体であるマツノザイセンチュウを人工的に接種します（図 1）。その後、枯れの被害が現れずに健全で、病気に強いことが確認されたマツを抵抗性品種としました。クロマツでは平成 25 年 3 月までに全国で 121 品種が第 1 世代の抵抗性品種として選抜されています。

#### クロマツの第 2 世代抵抗性品種の開発

九州地域では依然マツ材線虫病による被害がみられ、さらに抵抗性の高い品種が求められています。そこで、第 1 世代の抵抗性品種同士を人工的に交配して第 2 世代

の抵抗性品種を開発する取り組みを進めてきました（図 2）。これまでの研究成果によって材線虫病に対するマツの抵抗性は遺伝することが分かっているため、抵抗性品種同士の子供には両親の抵抗性を併せ持った、より抵抗性の高いマツが含まれていると考えられます。第 2 世代品種の開発では、従来の抵抗性品種の開発時よりも、高い病原力を持つマツノザイセンチュウを接種して、第 1 世代の抵抗性品種より高い抵抗性を持つ 5 つの品種を新たに開発しました（図 3、図 4）。

#### より抵抗性の高いマツ苗木の生産

今回、開発した第 2 世代の抵抗性品種とこれまでに開発されている 2 品種を合わせると、クロマツの第 2 世代抵抗性品種は 7 品種となり、その開発が本格化してきました。今回開発した品種を抵抗性マツの採種園\*に活用することで、より抵抗性の高い苗木が生産され、マツ材線虫病被害にあった海岸マツ林の再生に貢献することが期待されます。

健全なマツ林を作るには様々な遺伝的な素地を持つ品種からの種子を用いることが望まれます。今後も継続して多様な第 2 世代抵抗性品種の開発に取り組み、より抵抗性の高いクロマツ苗木の生産を目指します。

本研究は、「課題名：国土・環境の保全に資する品種の開発」による成果です。



図1 マツノザイセンチュウの人工接種の様子



図2 人工交配の様子



図3 平成24年度に開発したクロマツの第2世代抵抗性品種  
左より、マツノザイセンチュウ抵抗性 クロマツ（合志）3号、4号、5号、6号、7号です。

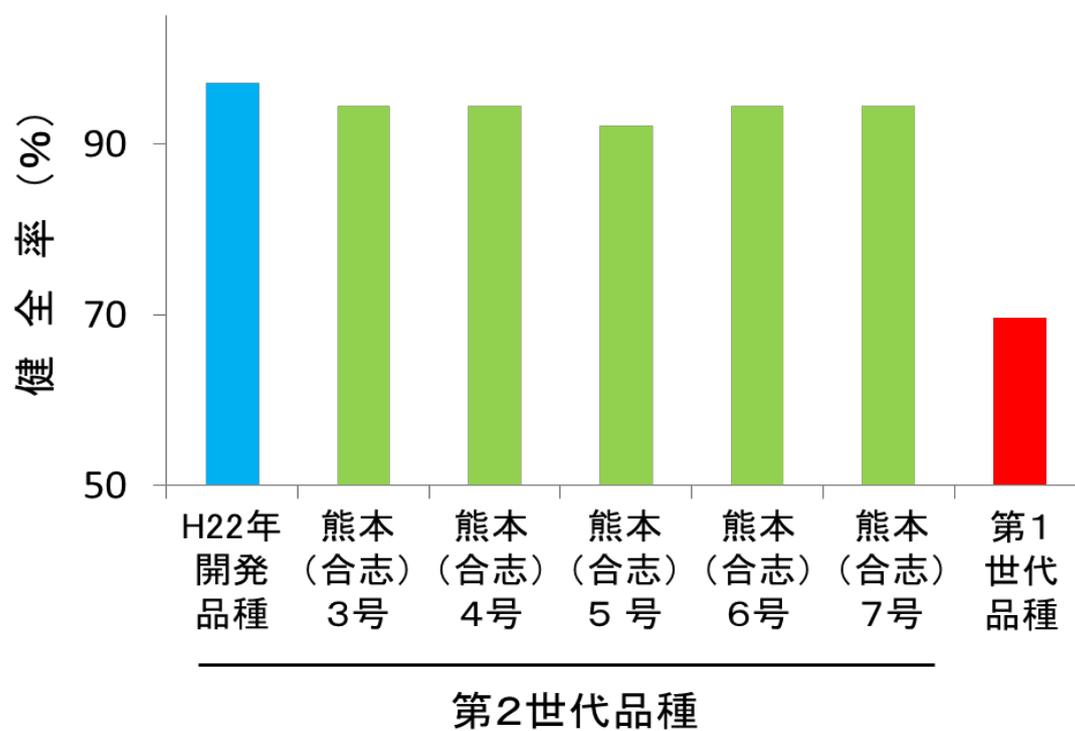


図4 第2世代抵抗性品種の健全率（接ぎ木クローン検定（二次検定）の結果に基づく推定値）  
第2世代の抵抗性品種は第1世代品種に比べて健全率\*が向上しています。

\*については、巻末の用語解説をご覧ください。

## テリハボクの遺伝変異を解明する

林木育種センター海外協力部  
林木育種センター育種部  
森林遺伝研究領域

花岡 創  
加藤 一隆  
鈴木 節子

### 要 旨

テリハボクは熱帯・亜熱帯海岸域に広く分布し、沖縄では防風林として活用されている主要樹種の一つです。林木育種センターでは、国内外のニーズに応えるため、耐風性、耐潮性、成長、材質等に優れたテリハボクの選抜を進めています。また同時に、国内外から広く収集した遺伝資源の保存にも取り組んでおり、遺伝資源の特性評価の一環として DNA マーカーを用いた天然林の遺伝的組成や遺伝的多様性の評価を行っています。台湾、沖縄（先島諸島および南大東島）および小笠原諸島の各島のテリハボク天然個体について調査した結果、これら3つの地域間で遺伝的組成が異なっており、また、遺伝的多様性のレベルにも差があることを明らかにしました。

### テリハボク試料の収集

テリハボクはオトギリソウ科の常緑高木で、ハワイ島、太平洋諸島、東南アジア、インド、マダガスカル、東アフリカなどの熱帯・亜熱帯の海岸域に広く分布します。沖縄では防風林として（図1）、海外では種子オイルの活用が盛んです。林木育種センター海外協力部では耐風性、耐潮性、成長、材質等に優れた系統を選抜するため、過去の多くの台風に耐えてきた大径木や、材としての活用が見込まれる通直性の高い個体から種子を採取して実生を育成し、西表熱帯林育種技術園内にて形質評価を行っています。この育種素材の収集にあたっては、沖縄の全分布域はもとより台湾林業試験所や太平洋共同体事務局と共同研究契約を締結し、台湾、フィジー、バヌアツ、トンガなどの国々からの収集も行いました。これらの取り組みに加え、遺伝資源の特性評価の一環として環太平洋域における天然林の遺伝的組成や多様性の解析に取り組んでおり、この実現に向けて、まずは分布北限域（図2）に分布する多数の個体から DNA 分析用の葉試料を収集しました。

### 遺伝変異の解析

テリハボクの種子は海に流出しても浮揚する能力が高く、海を渡って他地域の海岸域に流れ着いて定着することができる海流散布植物で、移動分散能力が高いと考えられます。上述のテリハボク分布北限地域から収集した試料の DNA を分析して各島での遺伝的組成を調べた結果、各諸島内の島間ではある程度の頻度で遺伝子流動が成立してきた可能性が高いことや、台湾、沖縄（先島諸島および南大東島）、小笠原諸島の3つの地域間では明瞭な遺伝的分化があることがわかりました（図3）。その他、台湾島で遺伝的多様性が比較的高い傾向にあること、小笠原諸島で特に低い傾向にあることがわかりました。また、先島諸島の中でも、近年の農地開発等で個体数が大幅に減少したと考えられる与那国島や波照間島においては、近隣の島よりも遺伝的多様性が低い傾向にあり、島嶼集団における遺伝的多様性の脆弱性が示唆されました。これらの情報はコアコレクション\*を作成して西表熱帯林育種技術園に保存することにも活かされます。

今後は、南太平洋州を中心に、さらに多くの地域から試料を収集し、遺伝変異の解析を進めていきます。

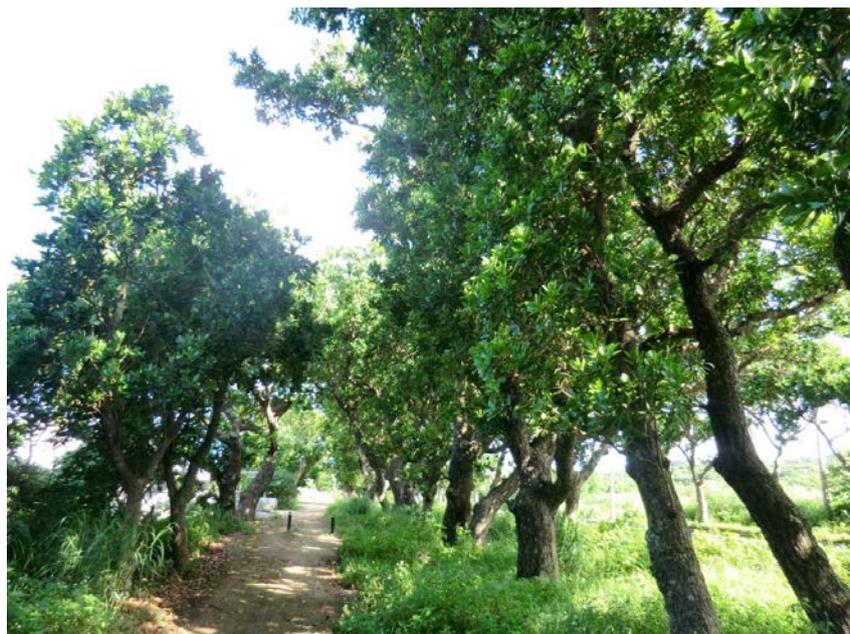


図1 石垣島で防風林として植栽されているテリハボク

図2 これまでに DNA 分析を実施したテリハボクの分布北限域の島々

名前の書いてある全ての島から試料を収集しました。

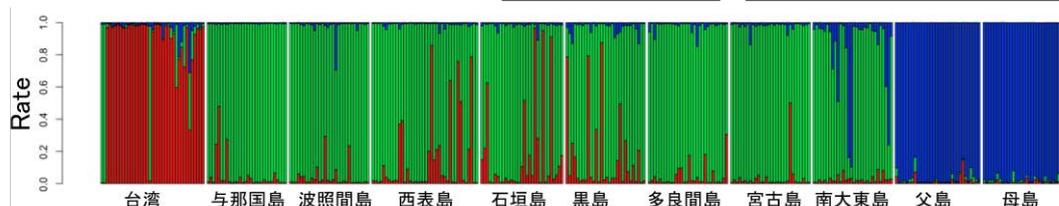
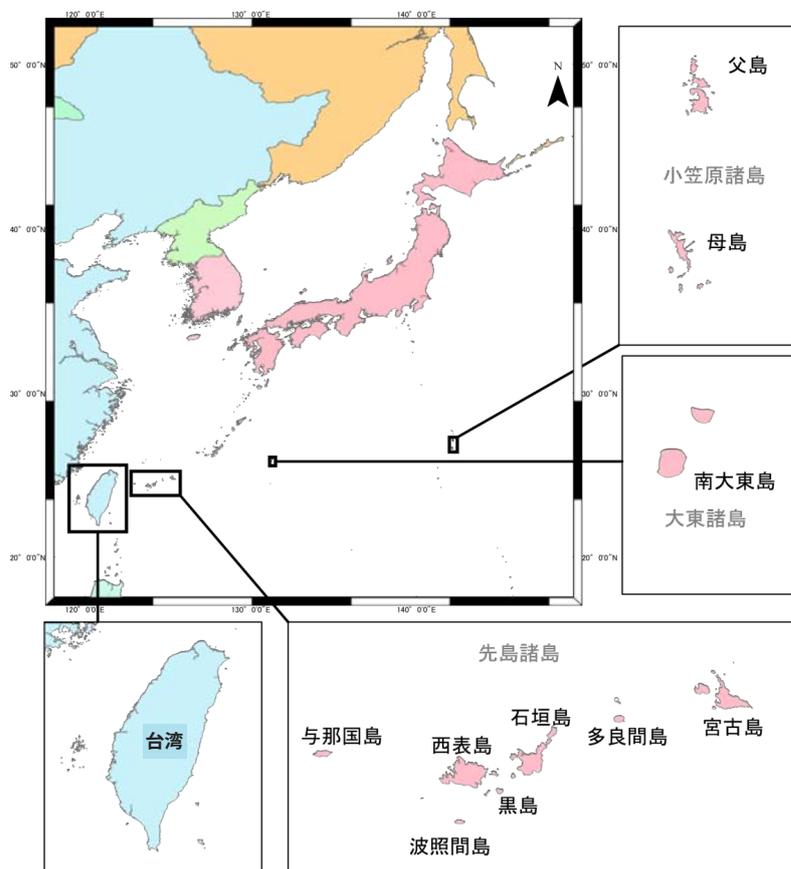


図3 DNA 分析によるテリハボク天然林の遺伝的組成の解析

棒グラフの色は各島の天然林の個体が持つ遺伝的な組成を示し、台湾は赤色の要素を多く持ち、沖縄（先島諸島および南大東島）では緑色の要素を、小笠原諸島では青色の要素を多く持つことを示しています。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## シラカンバの遺伝変異を解明する

林木育種センター 平岡 宏一、那須 仁弥、大谷 雅人、生方 正俊、栗延 晋  
九州育種場 高橋 誠

### 要 旨

成長が速く樹皮が美しいシラカンバは、日本各地に植栽されていますが、そのための種子や苗木の移動に関するルールが定められていないことから、北海道から関東地方へといった広域な種苗の移動が行われた場合、植栽の失敗や地域固有の遺伝変異のかく乱への懸念が指摘されています。シラカンバ種苗の適正な配布区域の策定に向けた基礎情報を集積するため、中部以北の日本各地に分布するシラカンバ天然林の個体から採取した DNA を分析しました。細胞核の DNA を分析したところ、全体的に北海道の集団は本州の集団に比べ遺伝的多様性が高いこと、北海道、東北日本及び関東・中部日本の3つの地域間で集団の持つ遺伝子が大きく異なることが明らかになりました。

#### 日本のシラカンバ

シラカンバは、アジア東北部に広汎に生育していますが、日本では北海道と本州の東北地方及び関東・中部地方の3つの地域に分かれて天然分布しています。北海道では海岸近くの低地から山地にかけて広範囲に生育しているのに対し、本州では、東北地方の山地帯や関東・中部地方の高標高域に分布が限定されています。成長が速く樹皮が白色で美しいことから、各地で盛んに植栽されています。

#### 適正な種苗の配布区域を定める必要性

森林の樹木は他の生物種に比べ、一般的に高いレベルの遺伝的多様性を有しているといわれています。それぞれの地域の集団は、生育する環境に長時間をかけて適応し、その環境に適応した遺伝変異を有していると考えられます。樹木の植栽に際し、地域固有の遺伝変異を無視した種苗を用いた場合、植栽個体の環境不適応（植栽の失敗）や植栽個体と周辺の天然林の個体間で交雑が行われることにより、環境に適した遺伝変異のかく乱（遺伝子かく乱）などといったリスクが高まるとされています。地域固有の遺伝変異に配慮した種苗の選択は、長い進化

の歴史を保全するという観点で重要であるだけでなく、植栽に伴うこうしたリスクを回避することにもつながると期待されます。このようなことから、対象とする樹種に最適な種苗配布区域を定める必要があります。

#### 遺伝的変異の地理的な傾向

シラカンバの日本の天然分布地域を網羅する北海道から岐阜県にかけての天然林 46 集団を対象に、シラカンバの細胞核の DNA を分析し、集団の遺伝的な違いを解析しました。全体的に北海道の集団が本州の集団に比べ遺伝的多様性が高い傾向がみられ、それぞれの集団の持つ遺伝子の割合を日本地図上に表してみると、北海道、東北日本及び関東・中部日本といった3つの天然分布のまとまりに従って大きく異なっていることが明らかになりました（図2）。また、同時に行った葉緑体 DNA の分析の結果でも、北海道で多様性が高いことが明らかになりました。

今回得られた結果は、開葉時期などの生育する環境への適応に直接関係する特性の情報とともに、シラカンバの種苗配布に関するガイドラインの策定に活用していきます。



図1 北海道のシラカンバ天然林  
北海道では低地から山地にかけて広く分布しています。

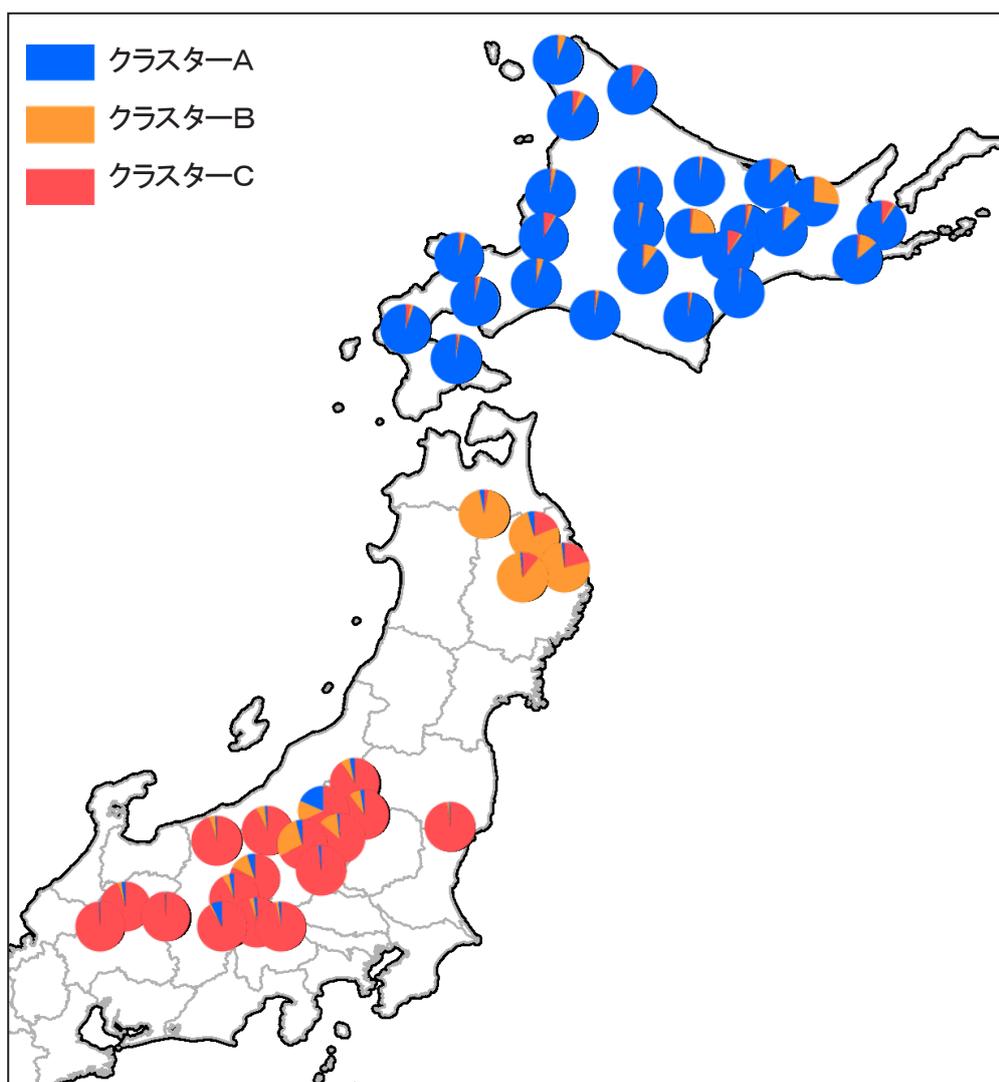


図2 核 DNA の分析によるシラカンバ天然林の遺伝的組成  
円グラフの色はそれぞれの天然林の持つ遺伝的な組成を示しています。北海道のシラカンバは青色の要素を多く持ち、東北日本では黄色の要素を、関東・中部日本では赤色の要素を多く持っています。

## サクラ栽培品種の分類体系の再編とデータベース化

多摩森林科学園	吉丸 博志、勝木 俊雄、 岩本 宏二郎	北海道支所	石原 誠
森林遺伝研究領域	加藤 珠理、松本 麻子	九州支所	高畑 義啓
関西支所	長谷川 絵里	四国支所	河原 孝行
森林微生物研究領域	佐橋 憲生、秋庭 満輝	放射性物質影響評価監	赤間 亮夫
企画部	伊東 宏樹	日本大学	阿部 恭久
		住友林業	石尾 将吾、中村 健太郎

### 要 旨

日本には約 10 種の野生のサクラが自生していますが、これらをもとにして古い時代から、花を觀賞するための様々な栽培品種が育成されてきました。栽培品種は接ぎ木などのクローン増殖により代々保存されてきましたが、長い年月の間には継承の間違いもあり、多くの混乱が生じていました。そこで、多摩森林科学園などに収集されている多数のサクラ栽培品種を対象として、花などの外部形態の詳細な観察と、遺伝子マーカーによる遺伝子型の解析に基づき、正確な再分類を行いました。また、各栽培品種の遺伝子型に基づいて、その栽培品種の成立に関与する野生種の推定も行いました。さらに、サクラの病害研究の成果も加えて、各クローンの特性を記述するデータベース及び一般向けの解説冊子を作成しました。

### 研究の背景

近年、分類と識別に混乱がみられるサクラの伝統的栽培品種を対象に、遺伝子解析により正確に識別する技術を開発しました。この手法を用いて、多摩森林科学園などに収集されている多数の栽培品種について花などの形態形質と遺伝子型を網羅的に解析して、正確な再分類を行いました。

### 遺伝的識別と系統関係

多摩森林科学園のサクラ保存林の他、国立遺伝学研究所や新宿御苑の植栽個体を加えて、計 1,479 個体について、個体の識別能力の高い 17 座の SSR マーカーを用いて DNA 分析を行った結果、222 クローン、215 栽培品種にまとめられました。また、各栽培品種の起源を推定するために、多型性の高い 26 座の SSR マーカーを用いて、その成立に関与したと思われる野生分類群の推定を行いました(図 1)。多くの場合は外部形態に基づく従来の推定をおおよそ反映するものでしたが、外部形態だけでは検出できない関係も示唆されました。

### 系統による病害傾向の解析

幼果菌核病のサクラ各系統の葉への罹病程度は、カラミザクラ、カンヒザクラ、マメザクラの系統に高い傾向が見られました。本病の葉と実の罹病は、開葉時期の早い栽培品種に葉の罹病率が高く、開花の遅い栽培品種に果実の罹病率が高く、開葉と子嚢胞子の飛散及び開花と分生胞子の飛散の時期が合うと罹病率が高まると考えられました。保

存林内で発生している増生病は細菌性こぶ病と連鎖球型かきよう症であり、後者は糸状菌性病害と考えられ、樹体の衰弱への関与が認められました。調査木 44 品種 222 本のうち 43 品種 208 本の樹木に腐朽が確認され、腐朽度の高い品種は「市原虎の尾」など 4 品種でした。16 種の腐朽菌の子実体が同定され、腐朽枝から 37 菌株が分離されました。

### 統合データベースの構築

サクラ保存林の個体データについては、収集時及び現在の個体データをもとに、714 ラインにまとめられました。これらのラインのうち DNA を分析することが出来た 552 ラインについて、遺伝解析の結果を検討し、学名などを再編しました。また、分類情報データについては、およそ 13,000 件を 226 分類群に対応させました。

これらの情報はデータベース化して、ホームページ(<http://db1.ffpri-tmk.affrc.go.jp/sakura/home.php>) で公開しています。また、一般向けの解説冊子「桜の新しい系統保全—形質、遺伝子、病害解析からの取組—」(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chukiseika5.html>) (図 2) を作成しました。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「サクラの系統保全と活用に関する研究」による成果です。詳しくは、Kato et al (2012) *Breeding Science* 62:248-255 をご覧ください。

SSR分析で識別可能であったサクラの野生分類群



各色は棒グラフの凡例に対応している

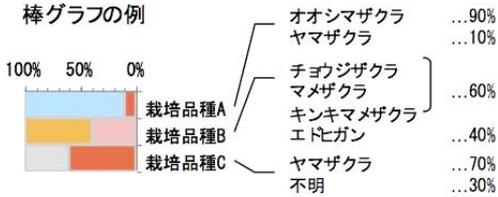
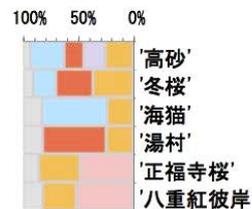


図1 栽培品種の成立に関与した野生種を推定する遺伝子解析  
各色の棒グラフは野生種の割合を推測するものです。

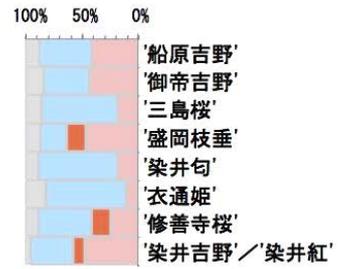
サトザクラの仲間



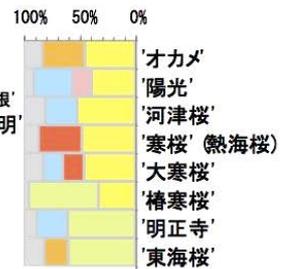
複数の野生種の影響が見られた栽培品種



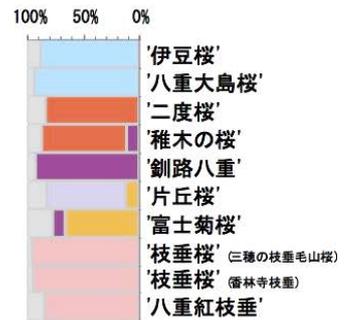
ソメイヨシノの仲間



カンザクラやシナミザクラの影響がみられた栽培品種



一つの野生種の影響が強く見られた栽培品種



有意なq値あるいは、q値 > 0.1のみを表示

図2 一般向けの解説資料の一例

ISBN 978-4-905304-19-7

# 桜の新しい系統保全

形質・遺伝子・病害研究に基づく取組

**「鬱金」** うこん  
Cerasus Sab-zakura Group 'Grandiflora'  
サトザクラの栽培品種。花は黄色で八重咲き。和名は花弁色をショウガ科のワナン(ターメリック)に由来する。「御衣黄」とよく似るが花弁に濃い緑色帯がないことから区別される。

安行の遺業 あんぎょうのあさぎ  
②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「鬱金」 ④安行見本園 埼玉県川口市 ⑤荒川堤にあった遺業と考えられる。しかし荒川堤では初期に遺業は記録されているが後期にはなく、鬱金と区別されていたか不明 ⑥晩春 ⑦中央9

安行の鬱金 あんぎょうのうこん

②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「鬱金」 ④安行見本園 埼玉県川口市 ⑤荒川堤にあった鬱金 ⑥晩春 ⑦中央9

**「普賢象」** ふげんぞう  
Cerasus Sab-zakura Group 'Aibo-rosea'  
サトザクラの栽培品種。和名は普賢菩薩が乗る白象に由来する。花は淡紅色で八重咲き。代表的な八重咲きのサトザクラで、公園などに植栽される。

安行の普賢象 あんぎょうのふげんぞう

②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「普賢象」 ④安行見本園 埼玉県川口市 ⑤荒川堤にあった普賢象(古くは白普賢)と考えられる ⑥晩春 ⑦中央9

弘前桜 ひろさきざくら  
②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「普賢象」 ④弘前公園 青森県弘前市 ⑤江戸時代から植えられていた弘前城のサトザクラのひとつ ⑥晩春 ⑦西8

**「御車返し」** みくるまがえし  
Cerasus Sab-zakura Group 'Mikurumagai'  
サトザクラの栽培品種。薄い淡紅色で大輪一重の花をつける。花弁が6-7枚の花をつける。八重一重とも呼ばれる。和名は花を見た人たちが一重か八重かで争い、引き返して見たことに因む。

京都の桐ヶ谷 きよとのきりがや

②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「御車返し」 ④京都植物園 京都市京都市 ⑤鎌倉の桐ヶ谷にあったという話から桐ヶ谷とも呼ばれる栽培品種としては「御車返し」 ⑥晩春 ⑦西8

京都の御車返し きよとのみくるまがえし  
②ヤマザクラ×オオシマザクラ ③「御車返し」 ④京都植物園 京都市京都市 ⑤手塚として導入したが名称修正 ⑥晩春 ⑦西E10

## 生産性の高い国産ウルシの育林技術を開発

森林微生物研究領域	田端 雅進
立地環境研究領域	平井 敬三
林木育種センター	渡辺 敦史 (現 九州大学)、平岡 裕一郎
青森県産業技術センター林業研究所	飯田 昭光、田中 功二
岩手県林業技術センター	小岩 俊行
新潟県森林研究所	松本 則行
茨城県林業技術センター	高田 守男

### 要 旨

ウルシは高級漆器の製作、国宝や重要文化財などの修理・修復に必要不可欠です。そのため、ウルシの品質や生産性の向上が求められています。DNA マーカーによる遺伝解析と成長量試験の結果から、成長の優れた優良系統を選抜することができました。また、ウルシの成長を異なる土壌で調査した結果、植栽適地は褐色森林土（乾性）であることを明らかにしました。これらの情報を取りまとめて、国産ウルシの持続的管理マニュアル「ウルシの健全な森を育て、良質な漆を生産する」を作成し、漆生産の現場に普及させました。

#### ウルシの優良系統

ウルシ（図 1）は日本や中国に広く分布しており、それから得られる樹液が「漆」（図 2）です。漆は、高級漆器の製作、国宝や重要文化財などの修理・修復に欠かせません。本研究でウルシの個体識別可能な 6 個のマイクロサテライトマーカーを開発し、植栽地約 800 個体に適用した結果、植栽地は 4 個体の母樹由来の実生で構成されていることが明らかになりました。また、これら 4 種類の系統間で成長量を比較したところ、成長の優れた優良系統を選抜することができました（図 3）。

#### ウルシの植栽適地

ウルシの成長を異なる土壌で調査した結果、植栽適地は褐色森林土（乾性）であることを明らかにしました（図 4）。また、土壌と病気の関係性を調べたところ、植栽適地では胴枯性病害（どうがれせいびょうがい）がほとんど見られないことがわかりました。土壌によるウルシ植栽適地の判定は、普及面で容易かつ有効な方法です。

#### 国産ウルシの持続的管理マニュアル「ウルシの健全な森を育て、良質な漆を生産する」

上に述べた成果のほか、漆の生産性に関わる白紋羽病（しろもんばびょう）の診断、漆の品質の指標となるウルシオール量やラッカーゼの活性値などを盛り込んだ国産ウルシの持続的管理マニュアル「ウルシの健全な森を育て、良質な漆を生産する」（図 5）を作成し、漆生産の現場へ普及を図りました。このマニュアルは、森林総合研究所のホームページ (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/index3.html>) からダウンロードできます。

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」の課題「地域活性化を目指した国産ウルシの持続的管理・生産技術の開発（平成 22-24 年度）」の成果であり、果樹研究所、明治大学、青森県産業技術センター林業研究所、岩手県林業技術センター、新潟県森林研究所、茨城県林業技術センターとの共同研究です。



図1 優良系統のウルシ

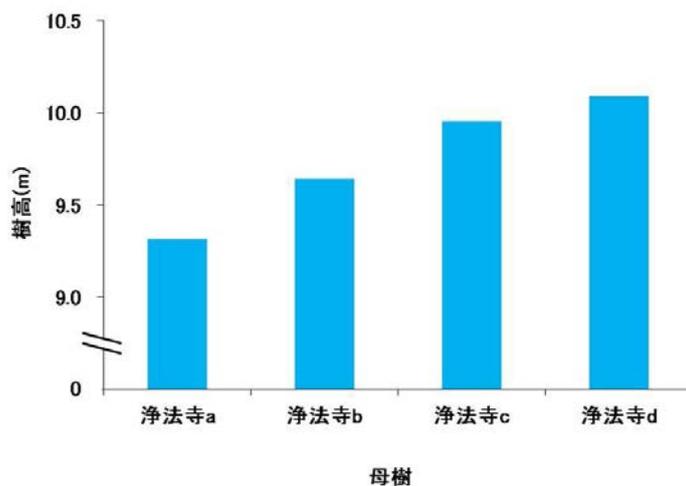


図3 ウルシ優良系統の選抜  
優良系統（浄法寺 d）は成長が優れているため、漆量が多く、早い時期に漆採取が可能です。



図2 採取された初辺漆（はつへんうるし）  
初辺漆は6月中旬～7月中旬に採取した漆です。

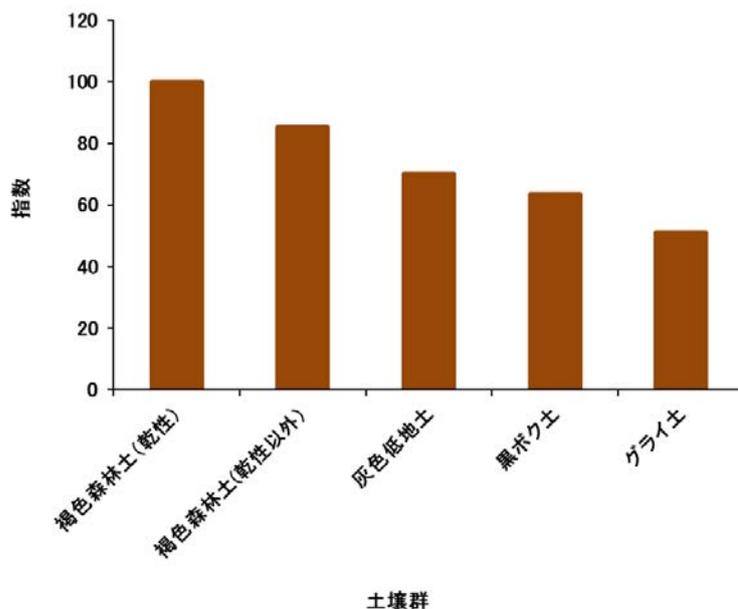


図4 ウルシ植栽適地の選定  
縦軸は年間成長量（樹高）が最も大きかった褐色森林土（乾性）を100とした指数で示しています。



図5 国産ウルシの持続的 management マニュアル

## スギの雄性不稔に関連する遺伝子の探索と機能分類

生物工学研究領域  
研究コーディネータ

二村 典宏  
篠原 健司

### 要 旨

スギ花粉症対策の一環として、各地で雄性不稔スギ（無花粉スギ）が選抜され、利用に向けた取り組みが進んでいます。無花粉スギで花粉が飛散しないのは、花粉が正常に形成されないためですが、その仕組みは明らかになっていません。無花粉スギの特性や遺伝子レベルでの制御機構を明らかにすることは、今後の無花粉スギの利用の拡大や新たな品種の開発につながります。本研究では、3種類の無花粉スギについて、花粉発達のどの過程で異常が生じるのかを観察するとともに、発現する遺伝子の違いを比較しました。これら無花粉スギはそれぞれ異なる発達段階で花粉が崩壊しており、発現量が変動する遺伝子に違いがあることが明らかになりました。

### 研究の背景

スギ花粉症患者の数は近年ますます増加しており、社会問題となっています。花粉症対策のひとつとして、花粉を飛散しないスギ（無花粉スギ）を利用する取り組みが進められています。これまでに23個体の無花粉スギが選抜されていますが、その原因となる遺伝子（雄性不稔遺伝子）は共通ではなく、実態は明らかになっていません。本研究では、富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号という3種類の無花粉スギについて、正常な花粉ができない理由を明らかにするために、花粉の発達に異常が生じる過程を観察し、関係する遺伝子を探索しました。

### 無花粉スギにおける花粉の発達過程の比較

無花粉スギにおいて花粉がどのような発達過程を辿るのかを知るために、雄花の切片を光学顕微鏡や透過型電子顕微鏡で詳細に観察しました。スギ花粉の飛散が開始する約3ヶ月前の雄花の中の未成熟な花粉（小胞子）を観察すると、無花粉スギでは小胞子が崩壊したり変形したりしていることが分かりました（図1）。また、無花粉スギの種類によって、花粉形成に異常が生じる過程は異なることが明らかになりました。

### 無花粉スギの花粉発達過程で働く遺伝子の解析

DNA マイクロアレイ\*を使うと、多数の遺伝子の発現を一度に解析することができます。本研究では、独自に作製したスギ用のDNA マイクロアレイを用いて、約2万2千種類の遺伝子について発現量を解析しました。富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号では、正常な花粉を形成するスギと比較して発現量が2倍以上変動した遺伝子がそれぞれ1,525種、1,852種、765種ありました（図2）。変動した遺伝子には、小胞子への物質の輸送や花粉壁の形成等に関わると見られるものがありました（表1）。これらの遺伝子のなかには、どの無花粉スギにおいても共通して発現量が変化した遺伝子と、特定の無花粉スギのみで発現量が変化した遺伝子があります。共通して発現量が変動した遺伝子は、正常な花粉の発達に関与する遺伝子であると考えられます。特定の無花粉スギで発現量が変動した遺伝子は、雄性不稔遺伝子と密接な関わりのある遺伝子である可能性があります。

本研究によって、無花粉スギにおける花粉崩壊のメカニズムの解明に近づきました。得られた成果は、今後のスギの育種や遺伝子組換えを用いた新たな品種開発に役立つことが期待できます。

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等の開発事業」による成果です。

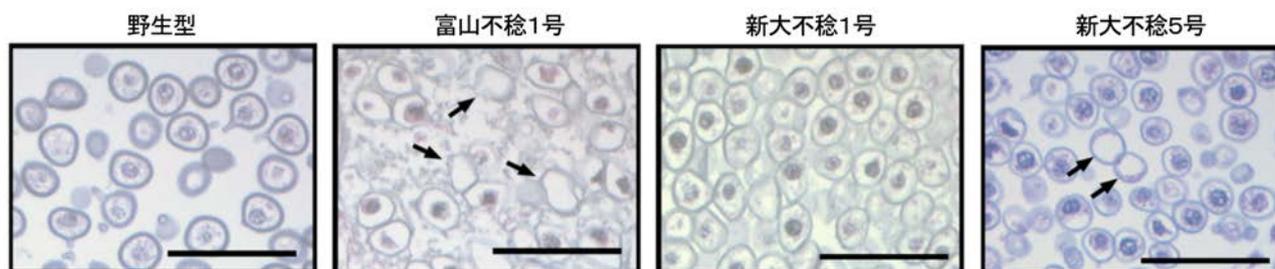


図1 各雄性不稔個体における未成熟な花粉（小孢子）  
矢印は崩壊した小孢子を示しています。富山不稔1号では崩壊がかなり進み、新大不稔5号では崩壊が始まり、新大不稔1号では崩壊は見られないものの小孢子同士が密着し歪んでいます。バーは50 $\mu$ m。

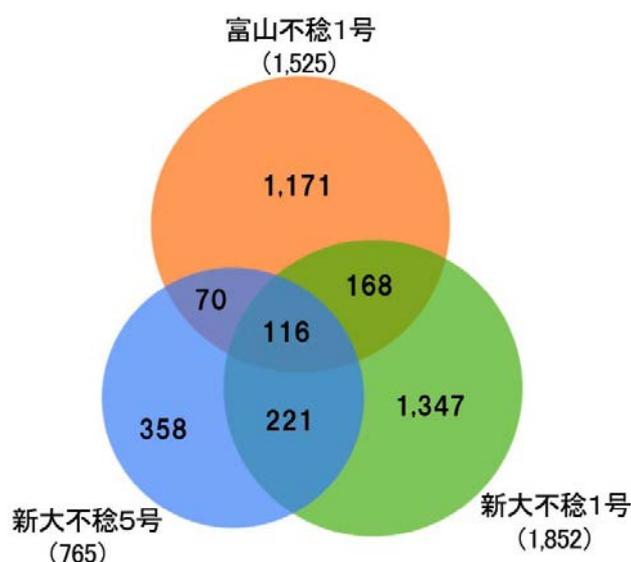


図2 無花粉スギの雄花で発現量が変動した遺伝子数  
富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号の各雄花において、正常な花粉をつける雄花と比較して発現量が変動した遺伝子数。括弧内は、各無花粉スギで発現量が変動した遺伝子数の合計です。

表1 無花粉スギにおいて発現量が変動した遺伝子から推定される代表的なタンパク質の機能

タンパク質の機能	無花粉スギの種類
グリコシダーゼ	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
ホスファターゼ	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
リパーゼ	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
セリンカルボキシペプチダーゼ	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
金属トランスポーター	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
アミノ酸トランスポーター	富山不稔1号、新大不稔1号、新大不稔5号
MYB転写因子	富山不稔1号、新大不稔1号
MtN3/salivaファミリー	富山不稔1号、新大不稔1号
ラッカーゼ	新大不稔1号、新大不稔5号
pfkB型炭水化物キナーゼファミリー	富山不稔1号
ABCトランスポーター	新大不稔1号
グルタチオンペルオキシダーゼ	新大不稔5号

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 広葉樹をマツタケの宿主にすることに成功

きのこ・微生物研究領域 村田 仁、下川 知子、根田 仁  
 生物工学研究領域 丸山 毅  
 バイオマス化学研究領域 大平 辰朗

### 要 旨

針葉樹のマツ類以外の樹木をマツタケの宿主\* とすることに成功しました。マツタケは、宿主である針葉樹のマツの根に感染し、共生関係を結ぶことでその根から栄養をもらって生育します。このため、マツタケ栽培化試験ではこれまでアカマツが宿主に用いられてきましたが、栽培化は成功していません。私たちは、「マツタケはマツ類の樹木としか共生しないのか?」、「アカマツよりも容易に共生する樹木はないのか?」などの疑問を持ち、実験室内で培養しやすい樹木で宿主になる植物を探した結果、熱帯産の広葉樹セドロが適していることがわかりました。本発見により、マツタケ栽培化研究に新しい道を拓きました。

### 研究の背景

マツタケはマツ林に発生します(図1)。木材を分解して生育するシイタケなどとは違い、菌糸はマツの根の表面を被って共生し、「菌根\*」と呼ばれる共生器官を作り、根から栄養をもらって生育します。そして、マツタケは、この菌根から林地に菌糸を広げ「シロ\*」と呼ばれる塊状の菌糸の集団をつくり、そこから子実体(きのこ)を発生させます。このような条件を人工的に作り出すことは難しいため、これまでマツタケの栽培はできませんでした。一方、マツタケを生産していた里山は、手入れ不足やマツ材線虫病の発生などにより衰退が進み、国産マツタケの生産量は激減しています。このような現状から、マツタケの人工栽培化の技術が根強く望まれてきました。

### マツタケの新しい宿主を発見

これまで、本来の宿主植物であるアカマツを用いたマツタケ栽培が試みられてきましたが、成功しませんでした。私たちは、「マツタケはマツ類の樹木にしか共生しないのか?」、「アカマツよりも容易に共生する樹木はないのか?」などの疑問を持ちました。

実験室内で培養しやすい樹木を対象に調べたところ、中南米産の広葉樹セドロ(*Cedrela odorata*、マホガニーと同じセンダン科)がマツタケの宿主に適していることを発見しました。培地には、マツタケが好む花崗岩土壤(山砂)に最低限の栄養源を添加したものをを用い、セドロ

の苗にマツタケ菌を接種し、他の微生物がない状態で約4ヶ月、一緒に培養したところ、マツタケ菌糸はセドロの根と菌根を形成し、シロができました(図2)。

セドロ-マツタケのシロは、アカマツ-マツタケのシロと同様の形態の菌糸塊で、マツタケのシロ独特の香りを発します。セドロの根の表面をマツタケ菌糸が被い、セドロの根はさかんに枝分かれしました。セドロの根に侵入したマツタケ菌糸は、主に根の細胞間隙に侵入します(図3)。そして、菌との共生が成立したセドロは、良好に成長しました(図4)。

### マツタケ栽培の実現に向けて

本研究では、自然界では亜寒帯から温帯に分布する針葉樹のマツ類を宿主にするマツタケが熱帯の広葉樹とも菌根を形成し、シロを作ることが明らかになりました。この結果は、マツ類以外の樹種を用いたマツタケ栽培の可能性を示唆しています。今後は、施設栽培に適したセドロの優良な苗の選抜や、野外での栽培に最適な国内産樹種を見だし、マツタケの人工栽培を実現させたいと考えています。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「マツタケ人工栽培のためのシロ形成技術の開発」による成果で、信州大学農学部・山田明義准教授と連携して推進しました。詳しくは Murata et al. (2013) *Mycorrhiza* 23:235-242 をご覧下さい。



図1 アカマツ林に発生したマツタケ

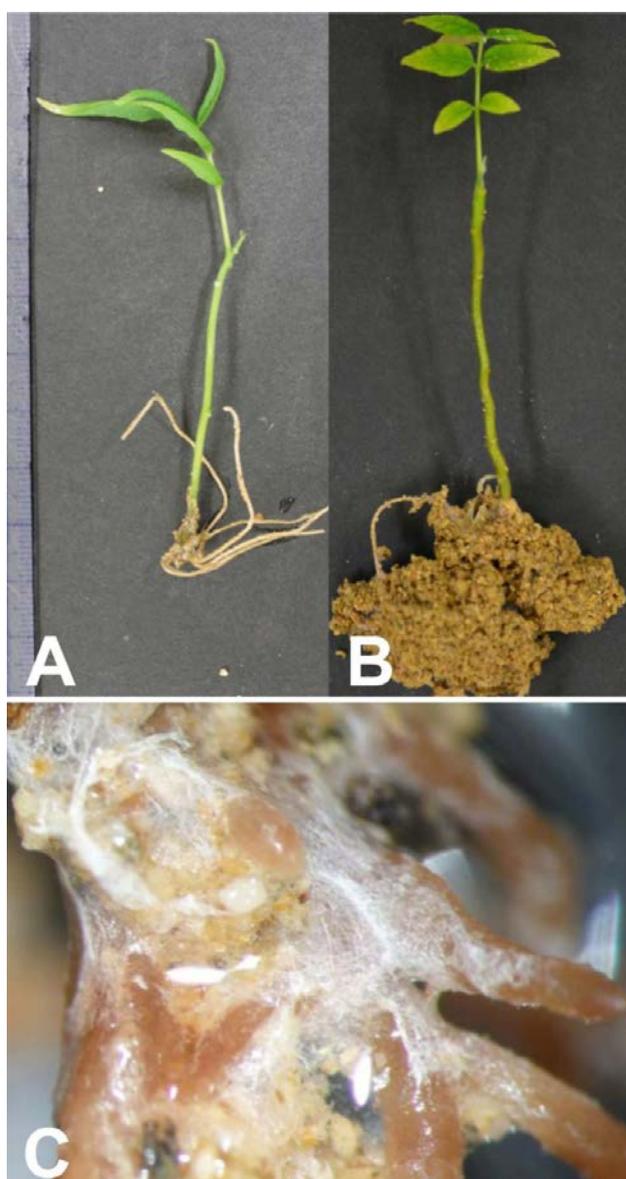


図2 マツタケ菌が感染したセドロ幼苗  
A: 無接種のセドロ、B: マツタケ菌を接種したセドロ、  
C: マツタケ菌とセドロの根で形成した菌根

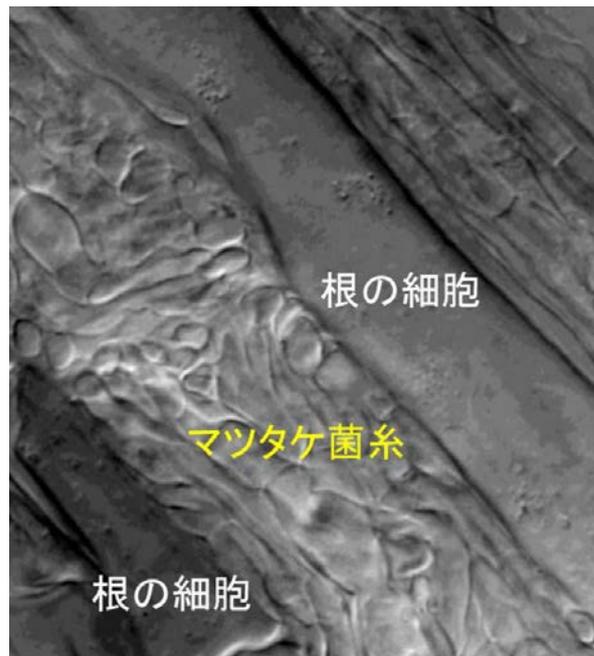


図3 セドロの根に侵入したマツタケ菌糸  
マツタケ菌糸は、根の組織（細胞間隙）に入ります。

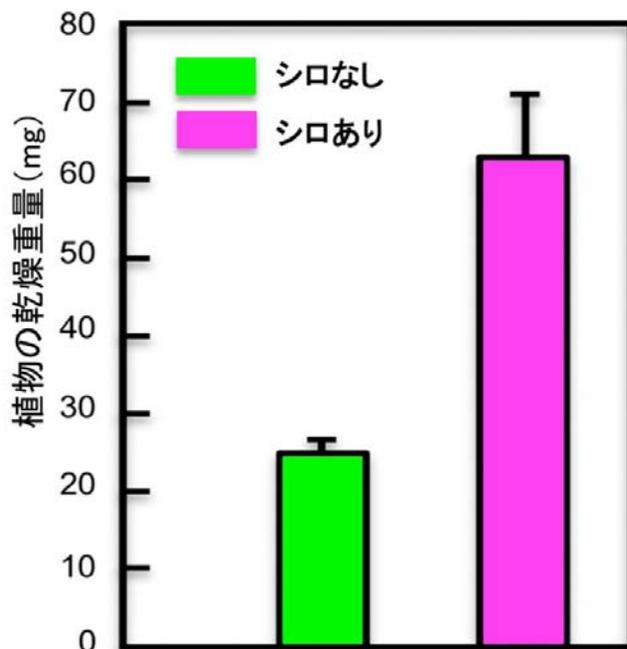


図4. シロ形成とセドロの成長量  
シロができるとセドロは良く育ちました。

\* については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 遺伝子組換えによるスギ花粉形成抑制技術を開発

森林バイオ研究センター  
林木育種センター育種部

小長谷 賢一、谷口 亨  
栗田 学

### 要 旨

スギ花粉症はわが国の深刻なアレルギー疾患となっています。本研究では、花粉発生源対策の一環として、遺伝子組換えによるスギの花粉形成抑制技術を開発しました。この遺伝子組換えでは、スギ花粉を取り囲んでいるタペート層と呼ばれる組織で RNA\* 分解酵素遺伝子を発現させることにより、無花粉スギの作出に成功しました。植物ホルモンのジベレリンを用いて、作出した遺伝子組換えスギの着花を人為的に誘導させたところ、花粉は全く形成しないことが明らかになりました。遺伝子組換え技術による花粉症対策品種の開発は、将来的には花粉症対策の選択肢の一つとなると期待されます。

### 研究の背景

林業分野におけるスギ花粉症対策としては、花粉発生源を減少させることが重要です。現在、無花粉スギ等の花粉症対策品種が開発されていますが、これらは地域的に偏りがあります。また、これまで森林所有者等に受け入れられてきた地域になじんだ品種を無花粉化していくためには、交雑育種による膨大な時間を必要とする問題があります。このため、新たな手法の一つとして、遺伝子組換えにより花粉発生を抑制する技術の開発を進めました。遺伝子組換え技術は目的の品種に特定の形質のみを付与できる利点があるため、大幅な育種年限の短縮化が期待できます。

### 花粉形成抑制技術の仕組み

花粉は、雄花のタペート層と呼ばれる花粉を取り囲む細胞層から養分や物質を受け、発達します(図1)。タペート層が破壊されると、花粉が発達できなくなります。農作物の研究分野では、バルナーゼ\*と呼ばれる RNA を分解する酵素の遺伝子を導入し、タペート層で働かせることで無花粉化に成功した研究例があります。この結果は、バルナーゼの働きにより、細胞の活動に必要なタンパク質が合成されず、タペート層が破壊されたためと考えられます。

### 遺伝子組換えによるスギの花粉形成抑制技術の開発

バルナーゼ遺伝子をスギのタペート層でも働かせるためにはどのようにしたら良いでしょうか?それには遺伝

子がいつどこで働くかを制御しているプロモーター\*と呼ばれるスイッチを利用します。我々は、スギの雄花だけで働いている遺伝子を単離し、これを CjMALE1 遺伝子と命名しました。CjMALE1 遺伝子のプロモーターは、雄花のうちのタペート層や将来花粉となる減数分裂細胞で働くことを確認しました。そこで、このプロモーターにバルナーゼ遺伝子を連結したベクター\* (図2) を構築し、スギに遺伝子導入しました。20cm 程度に成長した苗木に、着花を促進する植物ホルモンであるジベレリンを噴霧したところ、野生型スギと同様に雄花が着花しました(図3)。しかし、花粉形成能力を評価したところ、遺伝子組換えスギは花粉を全く作らないことを確認することができました(図3)。

### 今後の展望

本研究では、遺伝子組換えによるスギ花粉形成抑制技術を開発しました。スギに意図した形質を期待通りに付与できたことは、花粉症対策だけでなく、新たなスギの品種開発の可能性を示しています。しかし、スギの遺伝子組換え技術はまだ実験段階であり、十分な時間をかけてその効果と安全性の検証を行う必要性があります。

本研究は、林野庁「遺伝子組換えによる花粉発生制御技術等の開発事業」、農林水産省「遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究」による成果です。

詳しくは森林総合研究所 2013 年 3 月 21 日付けプレスリリースをご覧ください。

## 成熟途中のスギ雄花

## 雄花断面の模式図

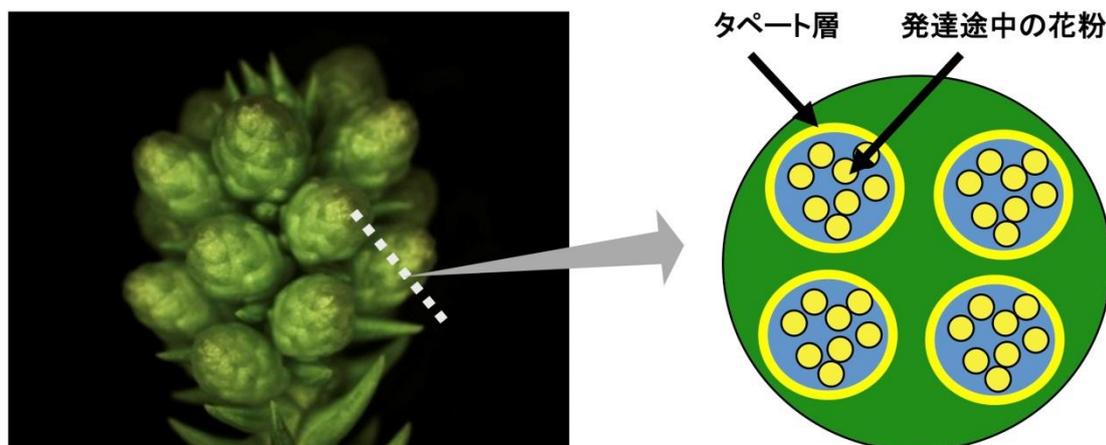


図1 タペート層と花粉の形成

タペート層は花粉を取り囲む細胞層であり、花粉形成に必須の組織です。タペート層が花粉発達に必要な養分や物質を発達途中の花粉に供給します。

雄花でバルナーゼ遺伝子を働かせるためのスイッチ

無花粉化するためのRNA分解酵素(バルナーゼ)を作る遺伝子

植物体全体でバルスター遺伝子を働かせるためのスイッチ

バルナーゼの働きを阻害するバルスターを作る遺伝子

**CjMALE1**遺伝子のプロモーター

バルナーゼ遺伝子

**NOS**遺伝子のプロモーター

バルスター遺伝子

図2 スギに遺伝子導入したベクターの模式図

雄花以外の組織でわずかでもバルナーゼを発現させると形態異常を引き起こす可能性があるため、バルナーゼの働きを阻害するバルスター\*と呼ばれるタンパク質遺伝子を働かせます。

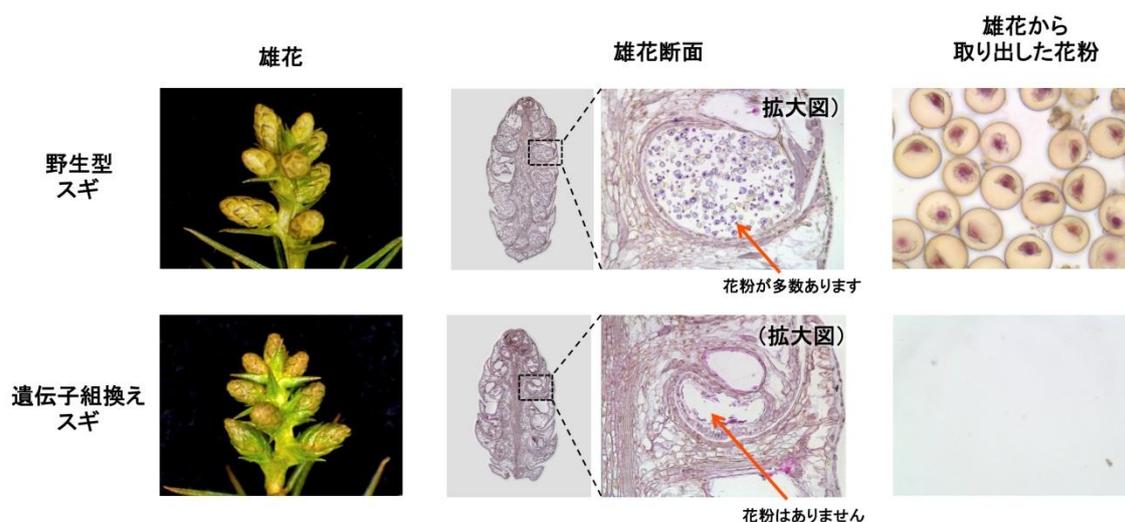


図3 遺伝子組換えスギの雄花と花粉

遺伝子組換えスギは野生型スギと同様に雄花を着花します。しかし、雄花断面を観察すると花粉は検出できませんし、雄花を潰しても花粉は全く出てきません。

\*については、巻末の用語解説をご覧ください。

# 用語解説

## AQ 認証 (P20)

優良木質建材等認証の略称。公益財団法人日本住宅・木材技術センターが、JAS 規格に規定されていない新しい良質な木質建材を消費者に提供するため、学識経験者等で構成する審査委員会による審査を行い、製品の品質性能等について客観的な評価、認証を行っている。

## 土場 (P24)

木材の輸送や保管のために利用する木材の集積場所。

## 自伐林家 (P24)

全て自家労力で林業を行う家族経営的林家。

## グラップル (P24)

丸太をつかむ機能をもつ林業用機械で、油圧ショベルのアームの先端に一对のトンガ（つめ）が付いているもの。

## 辺材 (P28)

幹の外側の部分（内側（中心部分）は心材）で特別な着色がなく、通常含水率が高い。

## 代謝産物 (P32)

生命の維持に必要な化学反応の途中で生成される物質群の事。

## ATP (P32)

アデノシン三リン酸の略で、生物体内エネルギーを司る基礎的な物質。

## FACE 実験 (P32)

野外で CO<sub>2</sub> を多量に暴露して、植物の反応や生長量を調べる実験。

## 土工量 (P40)

開設工事で取り扱う土の量。斜面に道を開設する場合、斜面を切り取る切土と、斜面に土を盛り上げる盛土によって路面を作るが、その工事で発生する土量。

## 懸濁物質 (P42)

細粒の土粒子等、水中に浮遊し、水の濁りや着色として認められる細粒物質。

## 採種園 (P52)

優れた特性を持つ種子を生産するために、遺伝的に優れた特性を持つ品種等を集めて植栽した樹木園。

## 健全率 (P53)

抵抗性の個体を選抜する時に用いる指標の一つ。線虫を接種しても枯れず、なおかつ健全に生育した苗木の割合を表す。

## コアコレクション (P54)

保存遺伝資源の中から選定した代表的な品種・系統のセットのこと。

## DNA マイクロアレイ (P62)

ガラスやプラスチックの基盤上に多数の DNA 断片を配置した分析器具のこと。遺伝子から転写された mRNA を逆転写することにより合成した cDNA を DNA マイクロアレイに結合させることにより、基盤上に配置した DNA 断片に相当する遺伝子の発現量を解析することができる。

## 宿主 (P64)

菌類などの寄主または共生の対象となる生物。

## 菌根 (P64)

植物と菌類との共生形態。菌類の菌糸が植物の根の表面や内部に侵入し、根の細胞から栄養分を受け取る。植物は菌根のはたらきで、水、無機養分の吸収能力が高まる。

## シロ (P64)

菌糸の塊状の集落。

## RNA (P66)

遺伝子の本体である DNA を鋳型として作製されたりボ核酸。RNA を基に細胞の活動に必要なタンパク質が合成される。

## バルネーゼ (P66)

*Bacillus amyloliquefaciens* と呼ばれるバチルス菌（枯草菌や納豆菌の類縁菌）が生産する RNA を分解する酵素。

## プロモーター (P66)

DNA 上に存在している遺伝子発現のスイッチとなる領域。遺伝子が働く時期や場所を制御している。

## ベクター (P66)

遺伝子導入する時に、目的遺伝子を増やしたり、導入したり取り扱いやすいようにコンパクトにまとめた DNA。

## バルスター (P67)

*Bacillus amyloliquefaciens* が生産するバルネーゼの働きを阻害するタンパク質。

森林総合研究所

平成 25 年版 研究成果選集

---

発行日	平成 25 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	<a href="http://www.ffpri.affrc.go.jp">http://www.ffpri.affrc.go.jp</a>
印刷所	大成印刷株式会社 茨城県日立市東多賀町 4-11-7 電話 0294(36)1837(代表)

---

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25年版

# 研究成果選集

2013

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/>

