

第3期中期計画成果集



国立研究開発法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

は じ め に

森林総合研究所は、科学技術の水準の向上を通じて社会に貢献する国立研究開発法人として、森林・林業・木材産業に係わる研究を通じて、豊かで多様な森林の恵みを生かした循環型社会の形成に努め、人類の持続可能な発展に寄与することを研究所のミッションとし、5 年を 1 期間とする中期計画を策定して研究開発に取り組んでおります。

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」

「第 3 期中期計画成果集」の発行にあたっては、計画期間中に得られたすべての研究成果を対象に改めて選定を行いました。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解説しました。

この中期計画成果集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2016 年 10 月

国立研究開発法人 森林総合研究所 理事長 沢田 治雄

森林総合研究所 第3期中期計画成果集

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

コンテナ苗を利用した一貫作業で再造林の低コスト化へ挑戦…………… 6
発芽率の高い選別種子でコンテナ苗を効率的に生産する技術と、木材搬出用機械を造林作業にも使う一貫作業システムの導入により、現場での厳しい作業を省力化・軽減化し、再造林を低コスト化できることが判りました。

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

針葉樹人工林の混交林・広葉樹林化を成功させる …………… 8
針葉樹人工林を混交林・広葉樹林へ誘導する技術を開発するため、針葉樹人工林や皆伐したブナ林等において、天然更新のデータを解析し、稚樹密度や保育作業など、広葉樹更新の鍵となる条件を明らかにしました。

地形から読み解く自然植生の分布特徴 …………… 10
空中写真から判読した自然植生の分布を地形条件と結び付けて統計解析することで、山地における植生タイプごとの分布の特徴や適地を推定できるようになりました。

身近な森林を市民の手で管理していくために…………… 12
身近な自然である都市近郊林が野生生物の生息場所として貴重な存在であることと、それらの役割を果たしていく上での課題を明らかにし、市民の手で都市近郊林を管理していくための要点を明確にしました。

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

欧州の先進的な林業機械だけでなく従来の国産機を上手に使うって高い生産性を実現…………… 14
森林内で伐採作業を行う欧州の先進的な車両系林業機械が各地で導入されています。この海外機と従来の国産機を使って緩～中傾斜地で間伐と皆伐作業を行い、欧州並みの高い生産性が得られることを実証しました。

欧州の先進的なタワーヤーダを使って日本の急峻な地形においても高い生産性を実現…………… 16
欧州の先進的な架線系林業機械を厳しい地形条件で使用するための中間サポート架設技術をマニュアル化し、この機械が日本の厳しい地形条件においても高い生産性を示すことを実証しました。

低コストで林道をつくる…………… 18
高精度地形データを使って、林道の路線選定を対話的に行うプログラムを開発しました。森林土木技術者に条件により変化する土工量を視覚的、定量的に示し、低コストの路線選定を支援するツールとして活用できます。

B 2 国産材の効率的な供給のための林業経営・流通システムの開発

小規模な林業経営と大規模な木材加工業を結ぶ仕組みづくりの鍵…………… 20
木材共同販売組織の設立や強化が進む欧州の実態調査を通じて、小規模な所有者の森林から生産される木材を大規模な製材工場等へ安定的、効率的に販売する仕組みを築く際に重要となる3つの鍵を明らかにしました。

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

スギ大径材の効率的な製材・乾燥技術の開発…………… 24
スギ大径材の材質に応じて大断面製材品の種類を決定し、効率よく生産する選別・製材システムを設計しました。また、大径材から生産される大きな断面の製材品を短時間で少ない割れで乾燥できるようになりました。

ビルも建てられる新たな木質材料、CLTの材料規格をつくる…………… 26
国産スギ材を用いた直交集成板（CLT）の基本的な製造技術について検討するとともに、接着性能や強度性能などの様々な性能を明らかにし、日本農林規格（JAS）の制定に貢献しました。

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

スギ・ヒノキ・カラマツで作るコンクリート型枠用合板 28
スギ・ヒノキ・カラマツなど主要な国産針葉樹材を用い、表面に塗装を施したコンクリート型枠用合板を開発し、各種性能試験及び多くの建築や土木工事での試用を通して、「合板型枠」としての実用性を証明しました。

木材の香りや手触りの良さを科学的に解明する 30
木材の香りによって赤ちゃんがリラックスすることを明らかにしました。また、木材の手触りが人におよぼす影響を調べ、木材の手触りは金属やプラスチックなどの他材料に比較して「やさしい」ことを明らかにしました。

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

木質バイオマス発電の採算性が簡単にわかるツール 32
電力の固定価格買取制度（FIT）の下で、発電規模や燃料の種類を変更した場合、木質バイオマス発電事業の収支がどのように変化するかをシミュレートし、事業採算性を簡単に評価できるツールを開発しました。

D 2 木質バイオマスの変換・総合利用技術の開発

天然物系で最高性能のコンクリート化学混和剤をリグニンから開発 34
スギのリグニンをポリエチレングリコールにより改質し、天然物系のコンクリート用化学混和剤を開発しました。分子構造を精密に設計することで、従来の天然物系製品と比べて10倍の性能を持たせることに成功しました。

次世代炭焼き技術「トレファクション」による高性能木質固形燃料の開発 36
これまでの炭焼き方法を改良することで、発熱量が高く、かつ水に強く扱いやすい高性能な木質固形燃料「トレファクション燃料」を開発し、地域で有効利用するモデルを作りました。

スギからセルロースナノファイバーを一貫製造するシステムの開発 38
スギの細胞壁をほぐすとセルロースナノファイバー（CNF）ができます。CNFは軽くて強い新素材として様々な用途開発が期待されています。森林総合研究所では中山間地で使えるように低環境負荷なCNF製造法を開発しました。

北海道産トドマツ葉から革新的な空気浄化剤を開発 40
未利用資源である北海道産のトドマツの葉から空気をきれいにする成分を発見し、革新的な「空気浄化剤」として実用化に成功しました。さらに、香り成分の抽出残渣の使い道として、消臭剤としての利活用法を開発しました。

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

日本の森林土壌と世界の陸域土壌からの二酸化炭素放出量を独自モデルで推定 44
地球上の炭素循環の中で最も大きな流れの一つである土壌から大気中へ放出される二酸化炭素の量を推定するため、独自のモデルを構築し、日本の森林土壌や世界全体の土壌から放出される二酸化炭素の量を推定しました。

将来予測からみた森林分野の地球温暖化緩和策 46
森林分野での温室効果ガスの排出削減と吸収による緩和策を併せて扱う統合モデルを開発し将来予測を行ったところ、森林による吸収と並んで木材利用による排出削減が地球温暖化対策として重要であることが分かりました。

ブナ林を温暖化から守るための保護区の見直し 48
ブナ林への温暖化の悪影響を軽減するための対策（適応策）としての保護区の見直しを、生育可能な地域（潜在生育域）と自然保護区の位置関係に基づいて提案しました。

E 2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発

- アマゾンの森林炭素量を高精度で測る** 50
森林減少が進むブラジル・アマゾンの森林炭素量を把握するため、多点での地上調査と衛星データを活用した評価手法を開発し、広域で高精度の炭素量分布マップを作成しました。
- 途上国で森林の炭素蓄積量変化を把握する** 52
発展途上国での森林減少と森林劣化による二酸化炭素の排出量を推定するため、リモートセンシングと地上調査を組み合わせ、国レベルでの森林の炭素蓄積量の変化を精度よく把握する手法を開発しました。

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

- 間伐すると森林から流出する水が増える** 54
間伐が水源かん養機能に及ぼす影響を明らかにするため、ヒノキ・スギ人工林で覆われた流域において、降水や流出する水の量を調べた結果、間伐によって蒸発散量が減り、森林からの年間流出量が増えることが分かりました。
- 福島原発事故後の森林内での放射性セシウムの土壌への移行と将来予測** 56
福島原発事故後5年間の調査から、放射性セシウムは樹木から土壌へ移動して、2015年にはほとんどが土壌に存在していました。土壌への移動速度はモデルで予測したようにチェルノブイリ事故後の欧州の場合より速いことを確認しました。

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

- 深層崩壊の前兆をつかまえる** 58
最近、各地で豪雨による深層崩壊が発生しています。私たちは高解像度の地形データや空中写真から崩壊発生前の前兆現象を検出して、深層崩壊の危険箇所を探し出す方法を提案しました。
- 津波で失われた海岸林を再生するために** 60
津波に耐えて残った海岸林の調査や被害地での植栽試験、シミュレーションなどを通じて、津波に対してこれまでより強く、津波被害軽減効果を期待できる海岸林を確実かつ効率的に再生する方法を開発しました。

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

- シカの行動を制御して効率よく捕獲する** 62
伝統的な猟法によらないシカの新しい捕獲方法を開発しました。給餌による誘引に、銃器、森林用ドロップネット、森林用囲いワナを組み合わせることによってシカの効率的な捕獲を可能としました。
- おとり丸太の大量集積によるナラ枯れ防除** 64
伐倒丸太の大量集積による虫の誘引により、生立木の枯死木を減らし、誘引した丸太はチップ化、ペレット化して殺虫するとともに、燃料や製紙用に利用して、駆除費用の大幅コストダウンを実現しました。さらに、伐倒後に多様な広葉樹林を再生する方法を開発しました。

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

- 林業地域の中で生物多様性を保全する広葉樹林** 66
スギやヒノキの人工林が大半を占める林業地において、生物多様性保全に配慮した広葉樹林の配置指針を提示しました。多様な環境（土壌、地形など）に広葉樹林を残すとともに、地域内に100ha以上のまとまった広葉樹林を確保することが有効であることがわかりました。
- ブナ種子の豊凶は窒素が鍵** 68
樹木の種子生産が大きく年変動する豊凶現象の制限要因は、樹体内の炭水化物ではなく窒素であることがわかりました。この成果は、ツキノワグマなどブナの結実に依存する野生生物の保護管理手法の策定など、幅広い分野で応用が期待されます。

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

- マツノサイセンチュウ抵抗性品種の開発** 72
アカマツやクロマツは我が国の森林整備に欠かせませんが、マツ材線虫病により枯死しやすい樹種です。このため、全国から抵抗性品種を選抜し、さらにそれらを交配した抵抗性の高い第二世代品種の開発に取り組んでいます。
- エリートツリーの開発と特定母樹の指定** 74
スギ、ヒノキ及びカラマツについて、成長や材質に優れたエリートツリー（第2世代精英樹）の開発を行いました。この中から、142系統が農林水産大臣の指定する特定母樹に指定されました。

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

- 先端技術を活用してスギの品種改良を高速化する** 76
スギの品種改良と普及には長い年月を要しました。これは成長や材質等の系統評価のために、実際に数十年の育成期間が必要なためです。そこで、ゲノム情報を利用した評価手法等を開発し、品種改良と普及に要する期間を短縮しました。
- 出身地と異なる環境で育成した場合のスギの成長に及ぼす影響** 78
次代検定林の調査データと気候データとをGIS技術を用いて統合的に解析し、スギ精英樹を元々の選抜地（出身地）とは異なった環境で育てた場合の成長に及ぼす影響を明らかにしました。
- ケニア国乾燥地耐性育種プロジェクトにおける優良種苗の開発** 80
ケニアにおいて日本の技術協力による林木育種プロジェクトを実施してきました。技術移転を通じて、郷土樹種であるメリアの優良種苗の開発とその普及を図り、気候変動対策への貢献を目指しています。

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

- アカマツの保全にむけて地理的変異を解明する** 82
日本各地のアカマツ天然林を対象にDNA分析および形態調査を行いました。その結果、西南日本、中部日本及び東北日本で緩やかに遺伝的な組成が異なることや、西南日本から東北日本にかけて球果のサイズ等に地理的な違いが存在す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

- ゲノム情報を利用して成長が早く材質の優れた無花粉スギの苗を作る方法を開発** 84
スギのゲノム情報を利用して、材質、発根性、雄花量に関連する遺伝子を複数検出しました。また、花粉症対策に最も効果の高い無花粉スギを選抜できるDNAマーカーの開発を行いました。
- サクラ栽培品種の分類体系の再編と遺伝資源管理への貢献** 86
遺伝子・形質・履歴から多数のサクラ栽培品種の正確な分類を行い、病害研究の成果とともに各種の特性をデータベース化しました。全国の主要機関が保有する伝統的栽培品種を調査し、遺伝資源の管理に貢献しています。

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

- 広葉樹をマツタケの宿主にすることに成功** 88
針葉樹と共生するマツタケは、DNA解析の結果、潜在的に広葉樹にも共生する可能性が示唆されたため、マツタケが共生できる組織培養しやすい広葉樹を探索した結果、オオシマザクラなどの根に侵入・共生させることに成功しました。

I 4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発

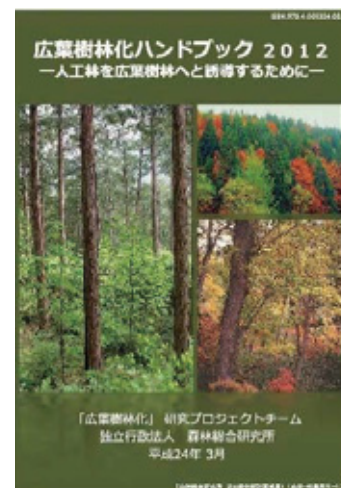
- 遺伝子組換えで作る無花粉スギ** 90
遺伝子組換え技術を用いて導入したRNA分解酵素遺伝子を雄花で働かせることで、スギを無花粉化することに世界で初めて成功しました。

用語解説	92
第3期中期計画 研究成果選集 掲載課題一覧	94

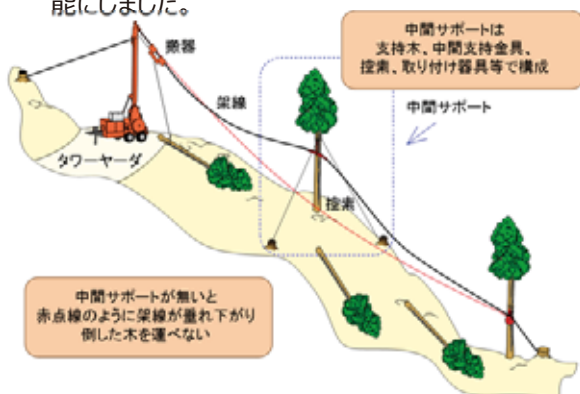
地域に対応した多様な森林管理技術と 新たな素材生産技術等の開発

充実しつつある我が国の森林資源を十分に活用するためには、持続的な森林経営の確立と国産材の安定供給体制を構築し、森林・林業を早急に再生する必要があります。そこで以下の4つの課題を実施しました。

- A1 多様な施業システムに対応した森林管理技術の開発
- A2 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
- B1 路網整備と機械化等による素材生産技術の開発
- B2 国産材の効率的な供給のための林業経営・流通システムの開発



A1の成果の例：【確実な再造林】コンテナ苗を利用した一貫作業で再造林の低コスト化を可能にしました。



B1の成果の例：【木材生産のコスト軽減】タワーヤードを急峻な地形で活用するための手引きを作成し公開しました。

A2の成果の例：【確実な更新と多様化】針葉樹人工林を混交林・広葉樹林化するための冊子を作成しました。



【鍵1】地域密着型の森林技術者



【鍵2】川上川下を結ぶ木材販売の組織化



【鍵3】木材取引リスクの軽減

B2の成果の例：【有利な木材販売】国内の林業経営と木材加工業を結ぶ仕組みづくりの鍵を明らかにしました。

これらの成果により、「国産材の供給拡大と環境に調和した施業の推進」や「素材生産と流通の低コスト・高効率化による国産材の安定供給体制の構築」に貢献しました。

コンテナ苗を利用した一貫作業で造林の低コスト化へ挑戦

植物生態研究領域
林業工学研究領域
東北支所
九州支所
長野県

宇都木 玄、飛田 博順、壁谷 大介
陣川 雅樹
八木橋 勉
重永 英年
大矢 信次郎

北海道支所
関西支所
九州大学
原山 尚徳、上村 章
奥田 史郎
松田 修

要 旨

日本の人工林は主伐期を迎えていますが、高い造林コストが全国的な問題です。伐採直後に造林する一貫作業システムは、低コスト造林の切り札ですが、本研究ではそれにコンテナ苗を組み合わせ、その導入効果を検討しました。まず、コンテナ苗を低コストで生産するため、充実種子判別技術により、発芽率を90%以上に高めました。次に、乾燥や低温による障害に注意すれば、コンテナ苗は裸苗に比べて植栽可能期間が長くなることを確認しました。搬出機械を用いたコンテナ苗の運搬は人力の最大5倍、また専用植栽器具によるコンテナ苗植栽は裸苗の2倍の効率化となりました。一貫作業システムとコンテナ苗を組み合わせることで年間作業の平準化を図り、造林コストを20%程度減らすことが可能となります。

一貫作業システムとコンテナ苗

一貫作業システムとは、主伐作業と連携して造林作業を行うことで(図1)、伐採搬出機械を地持ちえや苗の運搬に使用します。また、伐採直後に植栽するため、雑草や雑木の進入を遅らせ下刈りを軽減する効果もあります。

コンテナ苗とは、筒状の育苗用コンテナを空中に懸架して育てた苗木のことです。コンテナ苗は根巻きが無く、出荷の際の根の痛みや、仮置き時の乾燥が防止できます(図2)。

充実種子の判別

日本の造林用樹種は発芽率が低いため、コンテナ苗の低コスト生産のためには、発芽率の高い充実種子を選別することが必要です。充実種子と不稔種子は外観での区別が困難ですが(図3)、今回開発した近赤外光反射特性を利用すると、正常な構造・成分を備えた充実種子を選別でき、選別種子は休眠や劣化がなければ90%以上の発芽率を示します。今後、休眠を解除する手法を開発し、種子選別技術と組み合わせることで、より高い効率でのコンテナ苗生産が可能となります。

コンテナ苗の活着と成長

北海道のカラマツコンテナ苗は、6～7月植栽以外では良好な活着率(苗が定着する割合)が保たれました(図4)。積雪の多い東北地方では、秋植栽のスギコンテナ苗活着率が94%以上、また関東地方のスギコンテナ苗では、7月を除く季節で高い活着率を示しました。関西のヒノキコンテナ苗では、春～秋の活着率が80%以上でした。先行研究でも九州の挿しスギコンテナ苗の活着率が年間を通じて90%以上であり、裸苗の植栽不適期に行う一貫作業システムにも対応できるといえます。一方、春～夏季の乾燥害や、冬期の寒風害、凍害、霜害の

事例が報告されており(図5)、地域によって植栽不適期や植栽適期、植栽可能期を見きわめることが重要です。

コンテナ苗の成長成績を、カラマツ、スギ、ヒノキについて全国で比べてみました。その結果、樹高や直径の平均成長率は裸苗と同程度でした。現状では、コンテナ苗は裸苗に比べて出荷時の苗高が小さいことが多く、コンテナ苗の利用による下草刈りの軽減には注意が必要です。

一貫作業における^{じさしら}地持ちえ及びコンテナ苗の利用

緩斜面での地持ちえ生産性は、グラップル[※]等の機械を使用することで、人力に比べて2倍近く向上しました。木材を搬出するフォワーダ[※]や架線を利用してコンテナ苗を運搬すると、前者で2000本/人時、後者で9000本/日の効率が得られました。また、スペード[※]等の専用器具を用いた植栽効率も、裸苗(丁寧植え)に比べて約2倍になり(図6)、立位作業のために腰部への負担も減少しました。このように一貫作業システムとコンテナ苗の利用で、現場での厳しい作業を省力化・軽減化することができます。

成果の利活用

日本は自然が豊かなゆえ、地域によって環境条件が大きく異なります。技術導入に当たっては、個別要素技術を地域の中でカスタマイズして利用することが重要です。また、優れた森林プランナーや森林総合監理士[※]による民有林への啓蒙普及を行い、地域一丸となった森林経営によって、効率的・省力的な低コスト林業を進めることができます。

本研究は、農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)」による成果です。

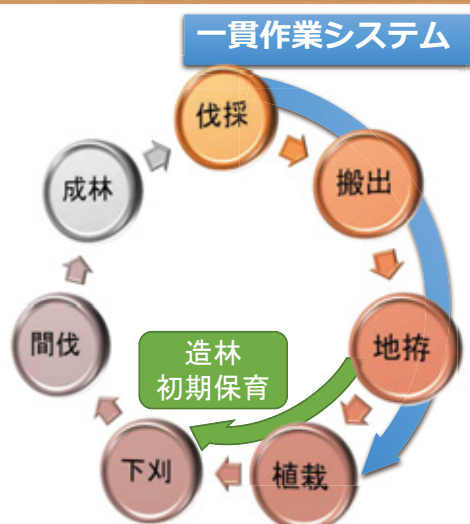


図1 一貫作業システムの概念図

伐採から植栽までを一貫（連続）して作業する事で、作業の効率化を目指します。

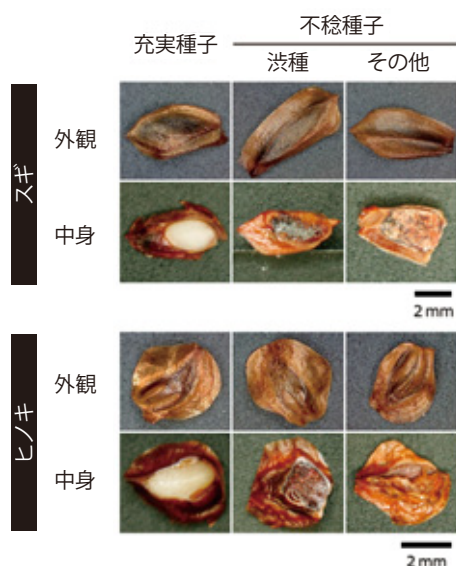


図3 スギとヒノキの充実種子と不稔種子

白い胚乳がある充実種子は解剖しないと目ではわかりませんが、近赤外光を使うと、非破壊的に見分けることができます。



図5 関東地方での寒風害で枯損したスギコンテナ苗
コンテナ苗であっても、極端な乾燥や寒さには注意が必要です。

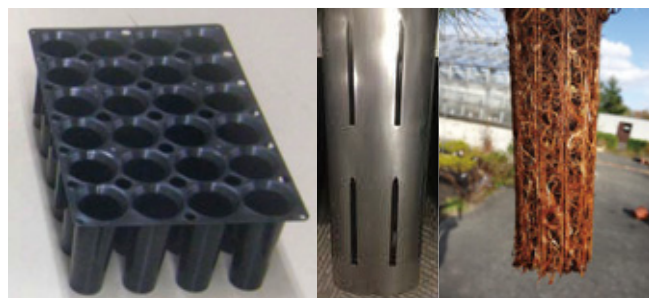


図2 コンテナが連結したマルチキャビティコンテナ（左）、コンテナのスリット（中央）及びスギコンテナ苗の根鉢（右）

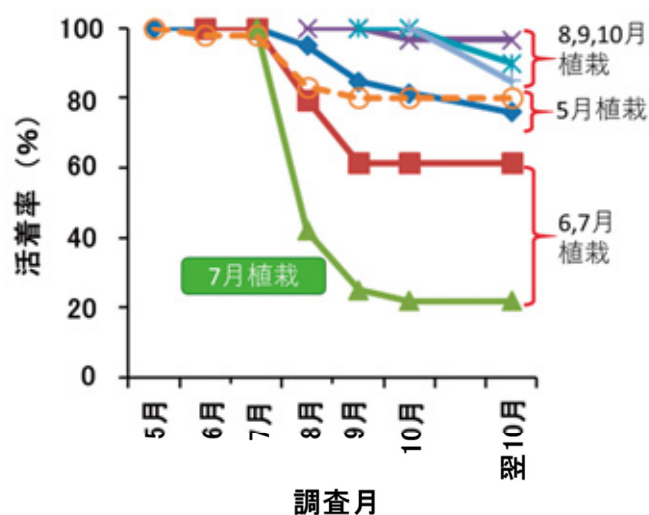


図4 北海道における季節ごとに植栽したカラマツの活着率

6月と7月に植栽した苗木は、翌年10月の活着率が60%以下と低いですが、それ以外の月では高い活着率を示しています。

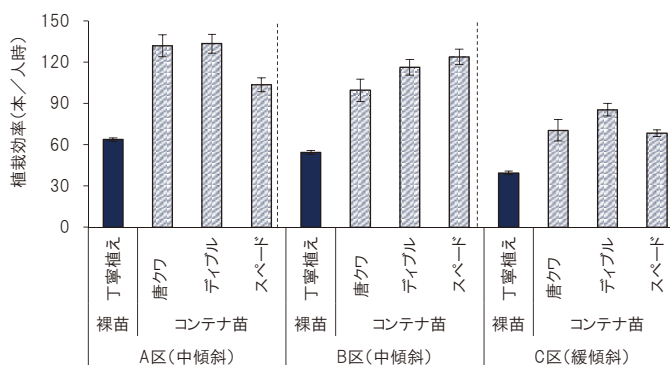


図6 カラマツ裸苗とコンテナ苗の植え付け本数の比較

裸苗（丁寧植え）に比べて、コンテナ苗は、どの植栽器具においても高い植栽効率になります。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

針葉樹人工林の混交林・広葉樹林化を成功させる

森林植生研究領域
東北支所

佐藤 保、酒井 武、正木 隆、平田 晶子
野口 麻穂子

要 旨

森林の公益的機能を維持するため、針葉樹人工林の一部を針広混交林・広葉樹林へ誘導する技術が必要です。広葉樹林化には、広葉樹の稚樹があらかじめ林内で生育していることが重要とされています。本研究で、土壌条件が悪く針葉樹の樹高が低い場所で広葉樹の稚樹が多いこと、広葉樹の稚樹を増やすうえで広めの列状間伐が効果的であることを明らかにしました。また、皆伐したブナ林の30年にわたる記録から、皆伐後の天然更新を成功させるには、皆伐前に林内の稚樹密度を十分に高める作業が必要であることがわかりました。これらの成果は、技術者育成の研修資料として活用されています。

広葉樹林化を成功させる鍵

近年、公益的機能重視の視点から、針葉樹人工林の一部を針広混交林・広葉樹林に誘導することが求められており、科学的な根拠に基づく技術の確立が急がれています。

針葉樹人工林に広葉樹を導入するには、過去に草地だったかどうか、周辺に広葉樹林があるかどうか、などに加え、広葉樹の前生稚樹^{*}の量が重要であると指摘されています。全国の針葉樹人工林を対象に実施した本研究から、間伐が遅れたヒノキ人工林では、下層植生が衰退し、広葉樹の稚樹がみられなくなることが分かりました。一方で、土壌の養分状態が悪くヒノキの成長が劣っている場所では、広葉樹の稚樹が比較的多く、樹種も多様であることが分かりました（図1）。また、保育作業が広葉樹稚樹の数と大きさに与える影響をスギ人工林で調べた結果、草本層より大きな広葉樹の稚樹の育成を新たに図るには、広めの列状間伐（例えば2列伐採）を行うことが効果的と考えられました。

更新成功には多量の前生稚樹が必要

広葉樹林の天然更新に関する知見は、広葉樹林化の技術を考える上で重要な情報となります。苗場山ブナ天然更新試験地では、1978年の皆伐から30年間にわたる稚樹の消失が記録されており、広葉樹の更新過程を解析することができました。

その結果、皆伐後30年目にブナやカンバ類などの広葉樹林が成林する確率は、伐採後4年目の稚樹の高さとha当たり本数（本数密度）、さらに林床のササなど競合する植生の高さから予測できることが分かりました。例

えば、皆伐後の天然更新で広葉樹林が成林する確率を8割に高めるには、競争相手となるササなどの植生高が50cmの場合、伐採後4年目の時点で高さ50cm以上の稚樹が20万本/haも必要です（図2）。この結果は、皆伐前に前生稚樹の密度を高める作業が必要であることを意味しています。

誘導技術は普及しつつあります

各都道府県が作成した「天然更新完了基準書」には、伐採跡地が天然更新で再び成林するのに必要な稚樹の本数などの目安が示されています。この基準書の作成の際に本研究の成果が活用されました。また、広葉樹林化の誘導技術をわかりやすく解説した「広葉樹林化ハンドブック2012」は、森林総合監理士などの研修にも講義資料として利用されています（図3）。この研究の知見は、「広葉樹林化技術の実践的体系化研究（平成26～27）」（攻めの農林水産業の実現に向けた改革的技術緊急展開事業）によって、より実用的なものになりました。これらの成果が森林管理の実践の現場で更に活用されるよう努めていきます。

本研究は、農林水産技術会議実用化プロジェクト「広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」による成果です。

詳しくは、正木隆 他（2012）日本森林学会誌 94: 17-23, 広葉樹林化ハンドブック2012 (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika1.html>) をご覧ください。



図1 ヒノキ人工林における広葉樹稚樹定着の様子

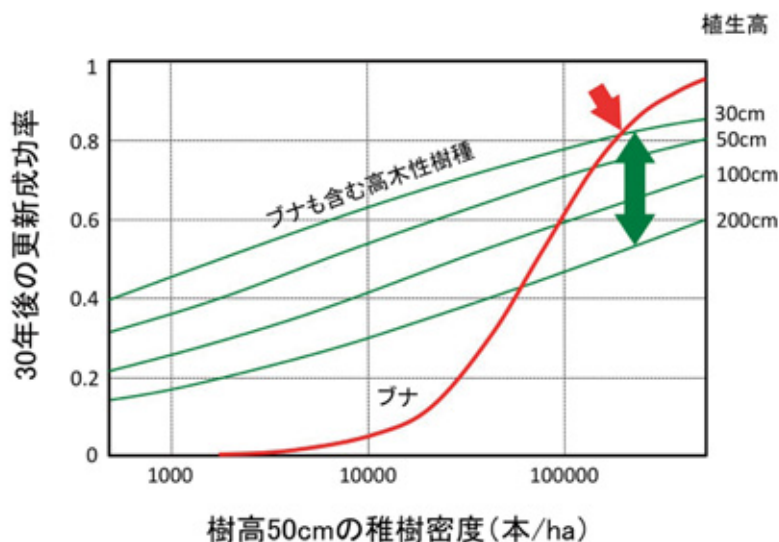
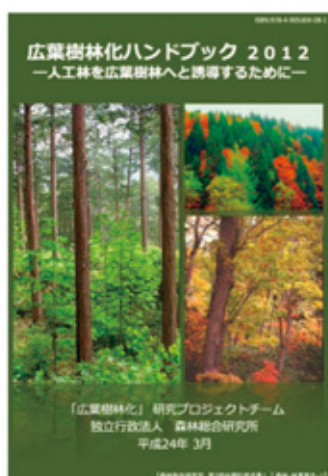


図2 競合する植生高と30年後の更新確率との関係

皆伐後4年目の時点で樹高50cmのブナ稚樹密度が20万本を超えていた場合（赤色矢印）、30年後の更新成功率は8割を超えています。広葉樹の競争相手であるササなどの植生高が高いほど、広葉樹の更新確率は低下してしまいます（緑色矢印）。



（写真提供：関東森林管理局 橋本俊夫氏）

図3 森林管理の現場で生かされる研究成果

広葉樹林化に関する研究成果は、解説書「広葉樹林化ハンドブック2012」として公表するとともに（図左）、技術者育成のための研修にも活用されています（図右）。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

地形から読み解く自然植生の分布特徴

森林管理研究領域
只見町ブナセンター

松浦 俊也
鈴木 和次郎

要 旨

山を歩くと地形に応じて植生が移り変わることがよくあります。このような地形と植生のつながりを定量的に捉えられれば、植生の保全や管理に有効です。そこで、ブナ林などの天然林が広がる東北地方の山地流域を対象に、空中写真や現地踏査によって作成した植生図と、数値標高データ^{*}から求めた様々な地形の特徴をもとに、植生分布と地形との関係を解析しました。その結果、積雪環境などの微気象、斜面の安定性、土壌の湿りぐあいなどに関わりの深い地形条件に応じて自然植生が分布していることを改めて確認し、植生タイプごとに分布しやすい場所を精度よく推定できるようになりました。得られた推定モデルを周囲の人工林や二次林に当てはめれば、元々どのような植生がそこに分布していたかを推定できます。

植生分布と地形

植生分布が地形とよく対応することは古くから知られています。これは、微気象や自然攪乱条件、土壌水分量など、地形に制約を受ける環境条件が多いためと考えられています。しかし、地形条件の定量的な解析が容易でなかったため、国内ではこれまで地形と植生分布の関係を広域かつ定量的に解析した例は限られていました。これに対し、近年、日本全国を約5～10mの解像度で覆う数値標高データ(DEM)が国土地理院から公開され、地理情報システム(GIS)を用いて様々な地形の特徴を比較的容易に計算できるようになりました。

さらに、空中写真を用いて現在だけでなく過去の植生分布を調べることができます。そこで、空中写真から捉えた山地の植生分布と、数値標高データから求めた様々な地形の特徴との統計的な関係を調べ、植生タイプごとの分布適地の推定を試みました。

多雪山地の植生分布と地形特徴

雪深い奥羽山地の脊梁部には、ブナ林、雪崩地、溪畔林がモザイク状に広がる特徴的な植生景観がみられます。このような自然植生が広がる山地流域について、空中写真からの林相判読(樹種、林冠高、樹冠の大きさや粗密など)と現地踏査にもとづく植生図を作成しました(図1)。さらに、数値標高データを用いて、斜面の傾きや方位、斜面の相対位置、土壌の湿りぐあいなどの様々な地形の特徴を捉え(図2)、地すべり分布図や表層地

質図等も重ね合せ、植生タイプごとの地理的な分布の特徴を統計解析により求めました。

その結果、冬の季節風が直接あたる風上側斜面の山頂近くに矮性ブナ林、雪崩のおきやすい風下側の急斜面に草地・低木林、乾燥しやすいやせた尾根に沿ってキタゴヨウ林、谷底や麓部の緩斜面に溪畔林、地すべり地や緩斜面に老齢ブナ林が広がる、多雪地の山地流域における自然植生の分布の特徴をよく捉えられました(図3)。このように、積雪環境や土砂の移動、土壌水分量などに関わりが深い地形条件に応じて植生が分布していることを改めて統計的に確認でき、それぞれの植生タイプがどのような場所に分布するかを精度良く推定できました。

成果の利活用

過去の空中写真と数値標高データは国内のどこでも利用できます。これらのデータを用いて、国内各地の天然林における自然植生の分布の特徴を捉え、人為攪乱を受けた周辺の人工林や二次林にその結果を当てはめれば、地域周辺における本来の自然植生の潜在的な分布域を推定でき、自然植生の復元などへの活用が可能です。

詳 し く は、Matsuura, T., Suzuki, W. (2013) Landscape and Ecological Engineering, 9: 143-155 及び、松浦俊也(2016) 藤本潔・宮城豊彦・西城潔・竹内裕希子 編著「微地形学-人と自然をつなぐ鍵-」, 古今書院, 所収, pp142-147 をご覧下さい。

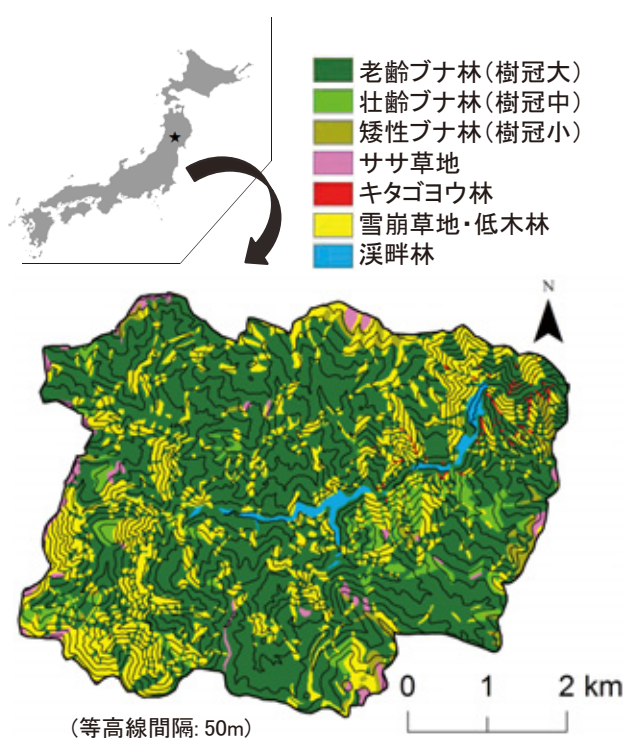


図1 対象地の位置と空中写真判読で作成した多雪地の山地流域における植生図

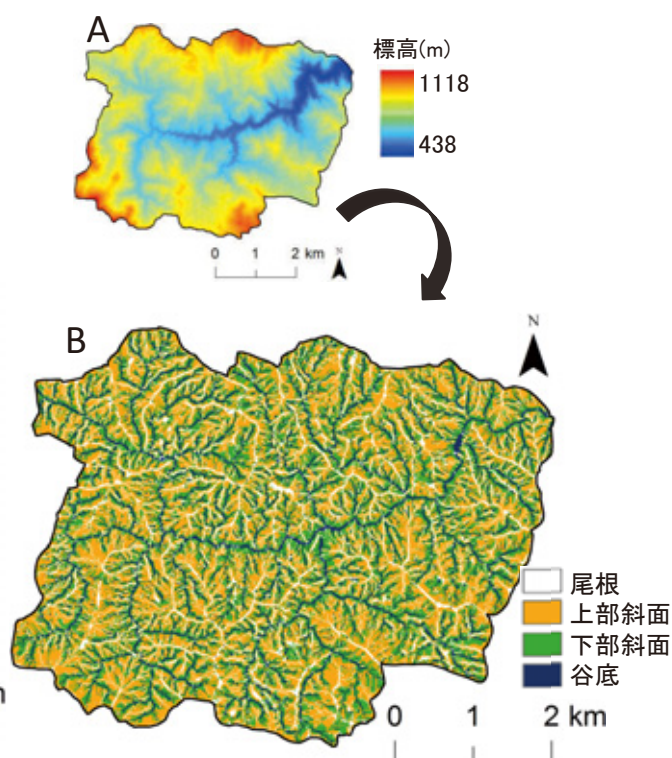


図2 (A)10m 解像度の数値標高データ (10-m DEM) とそれをもとに算出した (B) 斜面位置区分図

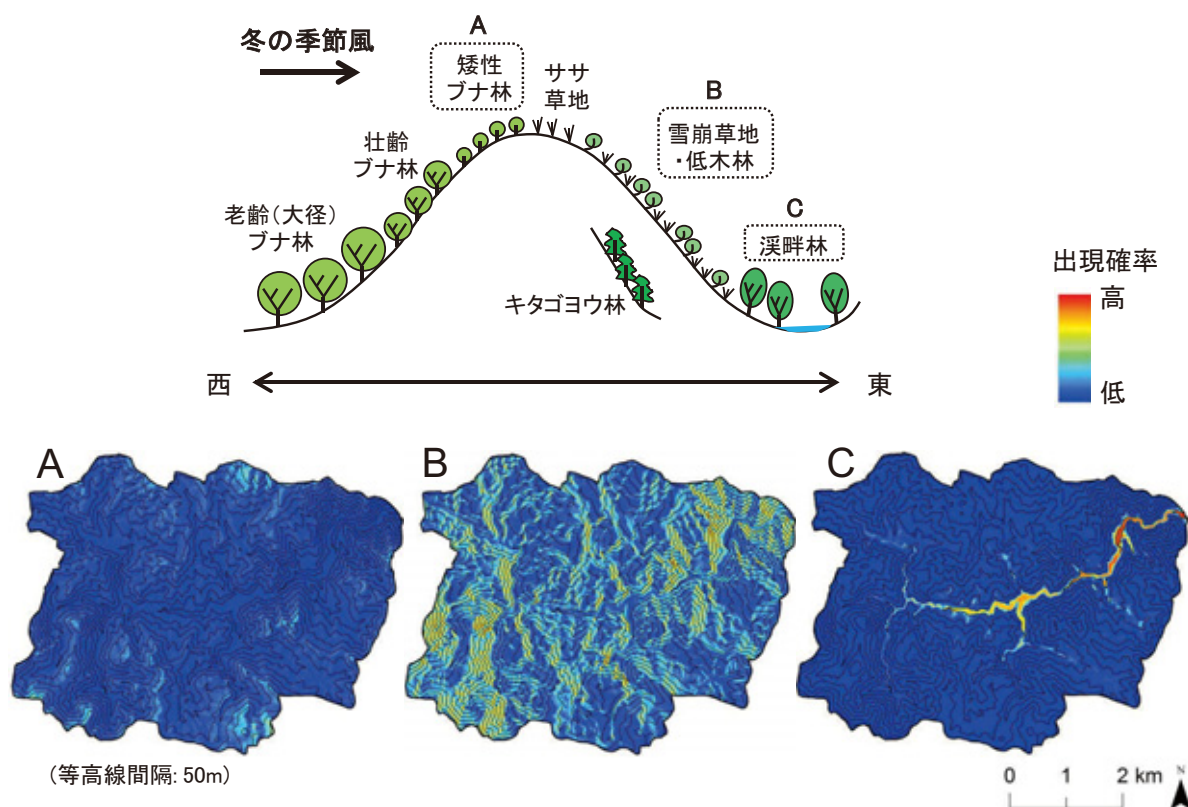


図3 統計モデルにより植生タイプごとの分布特徴を捉えた分布適地図
 (A) 矮性ブナ林、(B) 雪崩草地・低木林、(C) 溪畔林

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

身近な森林を市民の手で管理していくために

多摩森林科学園

大石 康彦、井上 大成、林 典子、勝木 俊雄、
島田 和則、岩本 宏二郎、井上 真理子

要 旨

都市近郊林は、野生生物の生息環境や市民の身近な自然として貴重な存在です。生物相調査からは、生息地の減少のみならず、希少種の減少や外来種の増加といった生物相の変化が確認されました。また、都市近郊林の管理に市民が参加する例が増えるなか、市民が身近な森林の管理に参加した場合の課題も明らかになりました。そこで、市民参加による都市近郊林管理の実効性や継続性を高めるため、生物多様性の維持のための管理手法を試行するとともに、市民参加による都市近郊林管理の考え方を整理した手引き冊子を作成しました。

都市近郊林の現状とその価値

都市近郊林の多くは、かつては農家などが燃料や肥料を採取する場として使われていました。1960年代以降、化石燃料や化学肥料の普及により利用されなくなり、都市化による孤立、小規模化が進んでいます。

こうした環境変化の下での都市近郊林における生物相を調べたところ、都市近郊林が都市域に残された野生生物の貴重な生息場所となっていることがわかりました。例えば、熊本市街地に近い森林総研九州支所の実験林では、絶滅危惧Ⅱ類のチョウ、ウラナミジャノメの生息が確認できました。たほう、東京都西部に位置する多摩森林科学園の試験林では、1970～80年代から2000年代にかけて希少植物種が減少するなどの植生変化にともなって、生息する哺乳類相も大きく変化していることがわかりました。2005年には生息していなかった奥山のイノシシ、外来種のアライグマが7年後の2012年には市街地近くでもしばしば目撃されるようになってきています（図1）。

一方、都市近郊林では市民による様々な利用活動が行われています。東京都西部における都市近郊林の利用活動の調査から、市民の活動場所は都市域に近くアクセスの良い丘陵・低地部の公園や学校林に集中していること、都市近郊林管理への市民参加が進んでいることがわかりました。公園や緑地の管理への市民参加が進んでいる背景にはボランティア受入制度や指定管理者*、アドプト*といった各種制度の導入があげられます。

市民参加による都市近郊林管理にみられる課題

市民団体が都市近郊林を管理している実態を調査したところ、市民団体が管理する面積や参加者数は状況によってまちまちであることがわかりました。また、指導者の不在や作業の判断基準の不備といった問題点、生物相調査に正確性を欠く場合があるなどの課題があることもわかりました。

市民参加による都市近郊林管理を進めるために

市民参加による都市近郊林管理手法として考えられるものの1つとして、森林内に明るい場所を作る小規模な皆伐を試行した結果、チョウ類や哺乳類については生物多様性を維持する短期的効果があることがわかりました（図2）。

以上の研究成果をふまえ、市民参加による都市近郊林管理の考え方の要点やササの繁茂状況など植物相の現状に応じた管理技術の適用要件を明らかにし、冊子「都市近郊林管理の考え方ー市民参加のための手引きー」を作成しました。本冊子は、下記が多摩森林科学園ホームページのウェブサイトからダウンロードできます。また、多摩森林科学園における森林講座や森林教室などでも活用し、研究成果の普及を図っています（図3）。

冊子を御覧になりたい方は、以下のURLからダウンロードしてください。<https://www.ffpri.affrc.go.jp/tmk/introduction/documents/toshikinkorin.pdf>

詳しくは以下の文献をご覧ください。

大石康彦・井上真理子(2015) 市民による都市近郊林管理作業の実態ー東京都多摩地域の16事例からー。関東森林研究, 66(2), 195-198.

林典子・井上大成(2015) 都市近郊林における人工的ギャップ形成が哺乳類の活動に与える影響。森林総合研究所研究報告, 13(4), 173-182.

島田和則・勝木俊雄・岩本宏二郎・大中みちる(2014) 東京多摩地方南西部の都市近郊林における植物相の変遷ー50年間のフロラリストの比較ー。植生学会誌, 31(1), 71-84.

井上真理子・大石康彦(2015) 東京の都市近郊林において市民が森林管理作業へ参加する仕組み。関東森林研究, 66(2), 191-194.

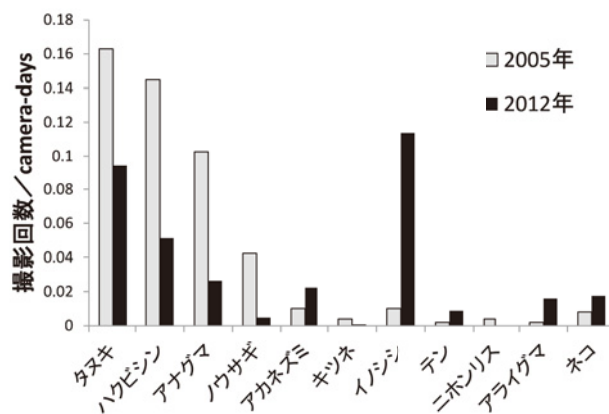


図1 2005年から2012年の哺乳類相変化

都市近郊林の環境変化に伴って、生息する哺乳類相も大きく変化しました。自動撮影カメラの調査によれば2005年には生息していなかった奥山のイノシシや外来種のアライグマが多くなってきました。

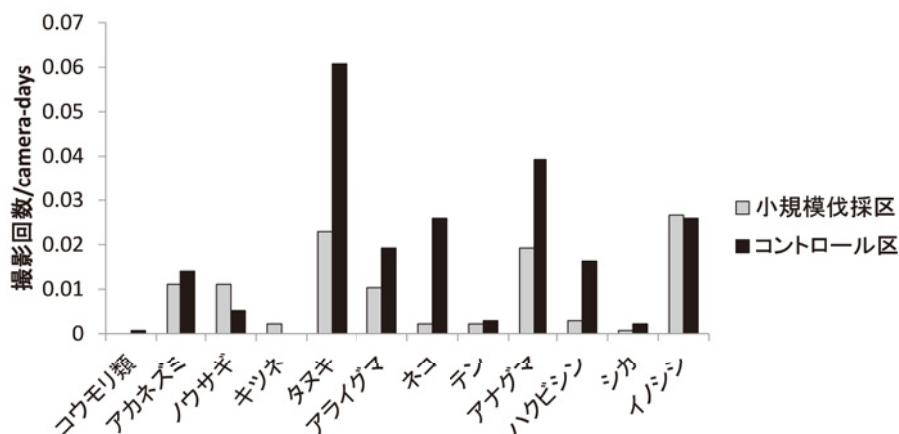


図2 小規模皆伐による哺乳類への影響

小規模皆伐を試行した結果、哺乳類の利用総数は周辺に比べて減少する傾向がみられましたが、アライグマ、ハクビシン、ネコなどの外来生物を除いた在来野生動物種の多様度は、むしろ、小規模伐採区で高くなる傾向が見られました。

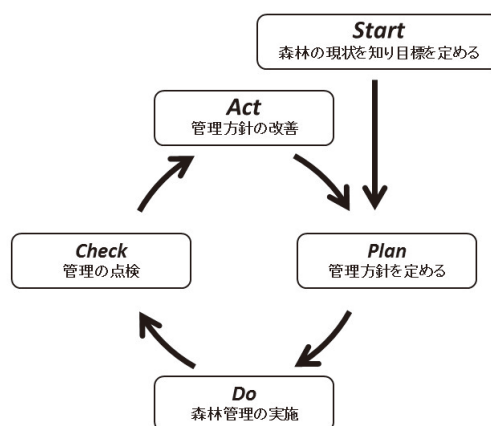


図3 手引き冊子の主な内容・PDCA サイクル

都市近郊林管理へ市民が参加していくために必要な3つの視点と7つのポイントをふまえて、Plan（計画）-Do（実行）-Check（評価）-Action（改善）を繰り返すPDCAサイクルによる継続が重要です。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

欧州の先進的な林業機械だけでなく従来の国産機を 上手に使うって高い生産性を実現

林業工学研究領域

森林植生研究領域

植物生態研究領域

北海道支所

中澤 昌彦、吉田 智佳史、佐々木 達也、上村 巧、

陣川 雅樹、山口 浩和、鈴木 秀典

倉本 恵生

宇都木 玄

佐々木 尚三、津山 幾太郎

要 旨

日本の森林・林業再生には、路網整備と機械化等による新たな素材生産技術の開発が不可欠です。森林内を走る車両系機械によって伐採作業を行う CTL (Cut to Length ; 短幹材集材) 作業システムは、労働の安全性と生産性を両立したシステムとして欧州で高く評価されています。日本では、地形や樹種が異なるため、実証試験による科学的評価が必要です。そこで、長野県と北海道の緩～中傾斜地において、欧州から導入された先進的な海外機と従来の国産機を使って間伐作業と皆伐作業の実証試験を行ったところ、間伐と皆伐のいずれの作業でも地形や樹種によらず欧州並みの高い生産性を実現しました。

研究方法

欧州で普及している CTL 作業システムの日本への適応性を評価するために、実証試験を行いました。間伐については、長野県の緩傾斜地 (約 10 度) における海外機による点状および列状間伐の比較試験と、中傾斜地 (約 20 度) での海外機と国産機による列状間伐の比較試験を行いました。皆伐については、北海道の緩～中傾斜地において、海外機と国産機による帯状皆伐の比較試験を行いました。

CTL システム

CTL とは、Cut To Length の略であり、森林内で伐採木を決まった長さの丸太 (短幹材) に切って集材することです。欧州では、一般にハーベスタで切った丸太をフォワーダで集材する作業システムのことを指します。使用したハーベスタ (図 1) とフォワーダ (図 2) は、欧州で活躍している林業専用の機械です。また、北海道では、国産機を改良した先進的なハーベスタとフォワーダ (図 3) も使用しました。

間伐作業における海外機と国産機の実証試験 (長野県の事例)

緩傾斜地での点状および列状間伐について、海外機は森林内での走行性能等が高く、間伐方法の違いが生産性に与える影響は小さいことが分かりました。労働生産性は、点状間伐と列状間伐ともに $20\text{m}^3/\text{人日}$ 近くとなり、日本の間伐作業の平均的な生産性に比べ非常に高い生産性が得られました (図 4)。一方、中傾斜地での列状間伐の生産性は、緩傾斜地の 0.6 倍と低くなりますが、同じ地形条件であれば国産機より生産性は 1.3 倍高くなりました。さらに、海外機の方が斜面傾斜に対する走破性と操作性が高く、より安全であることが分かりました。

皆伐作業における海外機と国産機の実証試験 (北海道の事例)

緩～中傾斜地での海外機による帯状皆伐の労働生産性は $50\text{m}^3/\text{人日}$ 以上と非常に高いことが分かりました (図 5)。国産機においても、傾斜や樹種等の違いが皆伐作業の生産性に与える影響は小さく、路網を適切に配置して機械を上手に使うと労働生産性は $30\text{m}^3/\text{人日}$ 以上となり、当該地の平均的な生産性に比べ非常に高い生産性が得られました。また、機械の登坂能力から国産機では傾斜約 20 度が適用限界であることも明らかになりました。

CTL 作業システムのわが国への適合性

以上の結果から、CTL 作業システムは日本の緩～中傾斜地への適合性は高く、欧州の先進的な林業機械だけでなく、従来の国産機を上手に使うことで素材の生産性が $30 \sim 50\text{m}^3/\text{人日}$ と欧州並みの高い生産性 (オーストラリアの場合 $30 \sim 60\text{m}^3/\text{人日}$) が得られることを実証しました。また、このシステムを運用するための路網配置指針や森林情報整備手法を提示し、先進的機械作業システムの適否評価手法を開発しました。

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」、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「先進機械を活用した伐採・造林一貫システムによる低コスト人工林管理技術の開発」による成果です。

詳しくは、中澤昌彦 他 (2013) ホイール式小型ハーベスタとフォワーダを用いた間伐作業システムの開発—点状間伐と列状間伐の生産性—, 森林利用学会誌, 28(3):187-192 をご覧下さい。



図1 海外機のハーベスタ

(上：長野県の小型機、下：北海道の大型機)

伐木から造材（丸太づくり）、集積（積み置き）までを1台で行える多工程機械であり、ホイール式で傾斜地や不整地での林内走行性能が高い。



図2 海外機のフォワーダ

(上：長野県の小型機、下：北海道の大型機)

丸太の積み込みから集材、積みおろしまで1台で行える多工程機械であり、ホイール式で傾斜地や不整地での林内走行性能が高い。

図3 国産機のハーベスタとフォワーダ
(上：ハーベスタ、下：フォワーダ)

国産機のハーベスタは建設機械をベースマシンとしている。フォワーダは、ハーフトラック（前輪ホイール、後輪クローラ）で、国内最高速度を誇る。

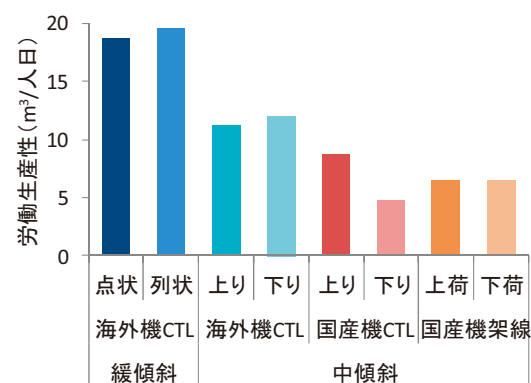


図4 海外機と国産機の間伐生産性

労働生産性は、海外機 CTL >> 国産機 CTL > 国産機 架線の順となる。上り下りの作業方向の影響は、国産機よりも海外機の方が小さい。

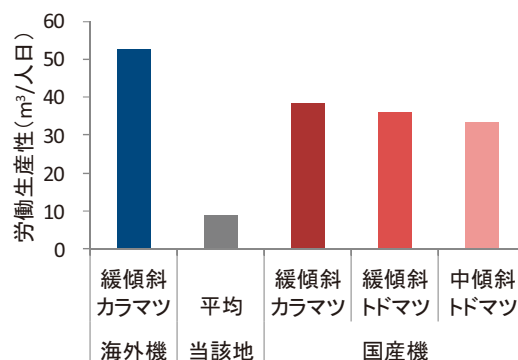


図5 海外機と国産機の皆伐生産性

労働生産性は、海外機 CTL > 国産機 CTL >> 当該地 平均の順となる。傾斜や樹種の影響は小さい。

欧州の先進的なタワーヤードを使って 日本の急峻な地形においても高い生産性を実現

林業工学研究領域

高知県立森林技術センター

中澤 昌彦、吉田 智佳史、佐々木 達也、上村 巧、
陣川 雅樹、田中 良明、鈴木 秀典、伊藤 崇之
山崎 敏彦

要 旨

急峻な地形の森林から木材を集めるためには、架線による集材が必要で、現状では建設機械にウインチをつけたスイングヤードが主流です。しかし、スイングヤードは、集材できる距離が短くパワーも弱いため、高密な作業路網が必須であり、多雨で地形条件の厳しい日本では活躍できる森林は限られてしまいます。そこで、集材距離が長くて十分なパワーを持つ欧州の先進的なタワーヤードに、厳しい地形条件に適用するために必須な中間サポートを組み合わせた架設技術を開発してマニュアル化しました。さらに、この技術を用いた作業システムが日本でも高い生産性を有することを実証しました。

研究方法

国内と国外のタワーヤードの性能比較のために文献調査を行うとともに、欧州の先進的なタワーヤードを用いて、傾斜 25 度以上の急峻で複雑な斜面で間伐作業の実証試験を行いました。

タワーヤードの特徴

タワーヤードとは、伐り倒した木を森林内から道沿いまで集めるための架線系集材機械です（図 1）。トラックやトレーラをベースマシンとして、集材用のウインチとワイヤロープを高く張り上げるためのタワーを装備しています。従来の架線系集材機械に比べて機動性に優れ、必要とする機材が少なく架設が容易です。また、先進的なタワーヤード（以下、先進機）は、本体が高度に電子制御化され、プロセッサの運転席から遠隔操作できるなど、従来機よりも格段に安全性が確保されており、同時に省力化と効率化が図られています。

中間サポート架設技術

タワーヤードは、中間サポートを使用することでワイヤロープが地面につかないように張り高を確保できるため、複雑な地形に対応することができます（図 2）。中間サポートは、架線と支持木との距離や架線を持ち上げたい高さによって種類を選択します。実際に使い勝手が良い中間サポート 4 種類の架設手順と注意点、作業のポイントを「中間サポート架設の手引き」（図 3）にまとめ、この技術の普及を図っています。

タワーヤードによる間伐材の集材作業

架線下の間伐した伐倒木を搬器でつり上げ、上げ荷集材した場合（図 4）、荷掛量（搬器に掛けた材積）は集

材作業時間に影響せず、集材距離が長いほど作業時間が多くかかることが分かりました。また、架線下から離れた横取り部分においても、作業時間と距離との間に同様の関係がありました。搬器の走行速度を従来機と比較すると（図 5）、先進機が荷を掛けていない空走行では 2 倍、荷を吊った実走行では 1.2 倍程度速いことが分かりました。上げ荷集材作業の生産性（図 6）は、同様の作業条件下の従来機と比べると、先進機が架線下では 1.5 倍、横取り部分を含めると 1.8 倍程度の高い生産性が得られることを実証しました。

日本では、過去にタワーヤードを導入したものの、森林資源が未成熟で路網整備や中間サポートの利用技術が不十分であった等の理由から定着しませんでした。現在では、森林資源が成熟してきたことから、大型トラックが走行できる高規格の林業専用道等を整備すれば、先進的なタワーヤードシステムが活躍できます。本研究では、このシステムを導入するための安全で高効率な新しい素材生産技術を開発しました。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「豪雨・急傾斜地帯における低攪乱型人工林管理技術の開発」による成果です。

詳しくは、中澤昌彦 他（2015）先進林業機械として導入されたタワーヤードによる間伐作業システムの開発—架線下における上げ荷集材作業の生産性—、森林利用学会誌, 27（3）：175-178 及び、中澤昌彦 他（2015）欧州製中距離対応型タワーヤードによる間伐作業システムの開発—上げ荷横取り集材作業の生産性—、森林利用学会誌, 30（1）：29-34 をご覧下さい。



図1 集材作業の状況

プロセッサ（造材機械）の運転席から遠隔操作して、搬器を動かしている様子。

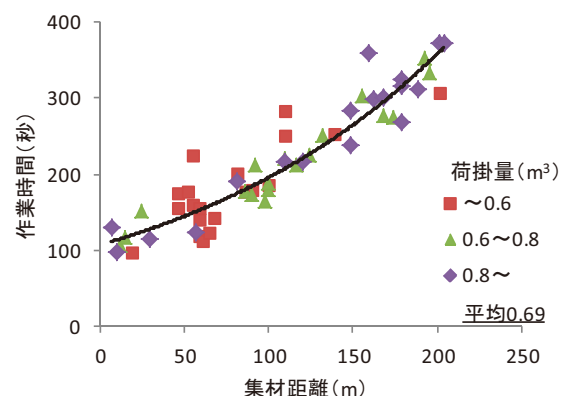


図4 集材距離と作業時間との関係

荷掛量に関係なく、集材距離と作業時間には相関があることが分かります。

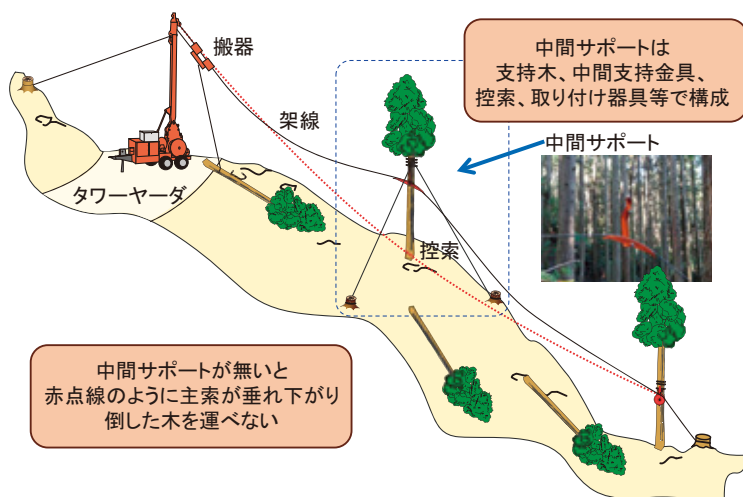


図2 中間サポートを使ったタワーヤーダによる索張り

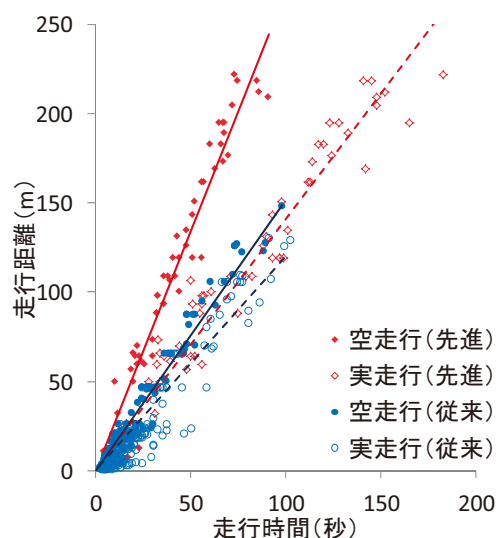


図5 搬器の走行速度

特に空走行で先進機の方が早いことが分かります。



図3 中間サポート架設の手引き

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rdchuukiseika20.html> からダウンロードが可能です。

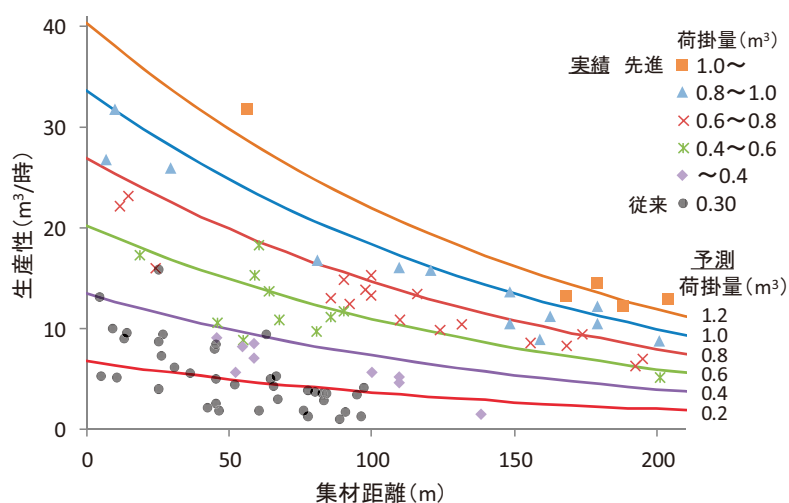


図6 架線下における集材距離と生産性との関係

実績値と図4より求めた集材距離ごとの集材時間から生産性を予測したグラフです。実績値が予測値付近に分布しており、精度の高い生産性予測式といえます。また、先進機が生産性が従来機に比べて、かなり高いことが分かります。

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、宗岡 寛子

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。しかし、こうした道（路網）の作設には、多額の経費が必要になります。そこで、森林路網の低コスト化と木材搬出の効率化を両立させるため、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、対話的に土工量を計算できるソフトウェアを開発しました。その結果、林道の経路、路面の高さ、曲線部の半径といった条件の変化に応じた土工量を提示することによって、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。これによって、土工量を減らすことで、コストを抑えることができます。

低コストの林道

傾斜地に林道をつくるには、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）。移動させる土の量（土工量）が少なければ、林道の作設コストを抑えられます。林野庁の「林業専用道作設指針」にも、林業専用道では、切土高、盛土高は極力抑えること、また切土、盛土の土工量の均衡かつ最小化に努めることとされています。しかし、林道の計画の早い段階で、土工量を定量的に把握することは困難でした。

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容易に入手できるようになりました（図2）。尾根、谷や地形の細かな起伏のみならず、山腹を横切る道も表現されています。このデータを用いて、対話的に林道の土工量を算定するソフトウェアを作成しました。

マウスで路線選定

まず、林道の起点（BP）と終点（EP）をマウスで入力します。林道の平面線形は直線と曲線で構成されます。直線部と直線部の交角点（IP）に円曲線をあてはめます。尾根や谷においてカーブが設置されるよう、IP点を2点（IP1、IP2）選定しました（図3）。

平面線形の決定

各点の入力後、平面線形の計算を実行すると、図4の状態になります。各IP点において円曲線が当てはめられ、直線から円曲線へ切り替わるBC点、中央のMC点、再び円曲線から直線部へ切り替わるEC点が計算されます。また、起点から一定間隔（図では10m）の点を作成、各点の路面の高さが計算されます。

土工量を一発計算

土工量計算を実行すると図5の結果が得られます。4段階のグレーで、濃い方からそれぞれ、切土のり面、切土路面、盛土路面、盛土のり面を表します。図中、左上の図は赤線で示された部分の横断面図です。ソフトウェアは、この横断面図の計算を細かな間隔で繰り返すことで土工量を計算しています。また、右下の図はBPからEPへの縦断面図です。縦断面図をみると、路面の高さがBPからEPへの一定勾配で設定されているのに対して、地形の高さが高い部分があり、そのために切土が多くなっていることがわかります。IPの選定をやり直す、円曲線の半径や路面の勾配を調整することによって、対話的に土工量を計算することができます。

路網の維持管理や森林作業への応用

土工量を計算する過程で得られたのは、森林の地形、路面、のり面をつなぐ三次元の形状モデルです。近年、路面の排水方法として波状縦断勾配^{*}が検討されるなど、路面の勾配は、排水にも影響を与えます。また、森林作業道のような低規格の道に適用すれば、切土のり面や縦断勾配の変化が木材の運搬車両にどのように影響するか検討できます。低コストの道づくりに加えて、今後、路網の維持管理や森林作業にもこのソフトウェアを活用していきます。

詳しくは、田中良明 他（2013）曲線半径、路面の計画高およびIPの平面位置が土工量に与える影響、森林利用学会誌、28-2 及び、宗岡寛子 他（2014）森林作業道における波状縦断勾配による排水の有効性と特徴、森林利用学会誌、29-1 をご覧下さい。



図1 林道の切土のり面、路面、盛土のり面

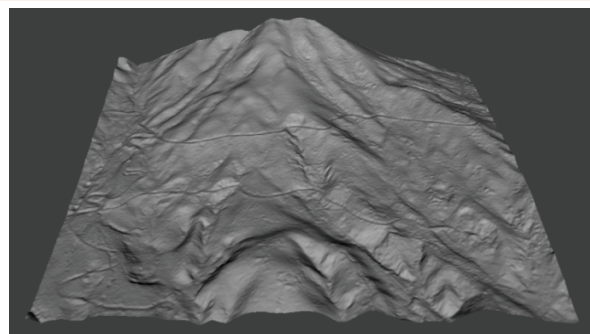


図2 高解像度の数値地形データ
筑波山の北側斜面を北側から見下ろしたものの。

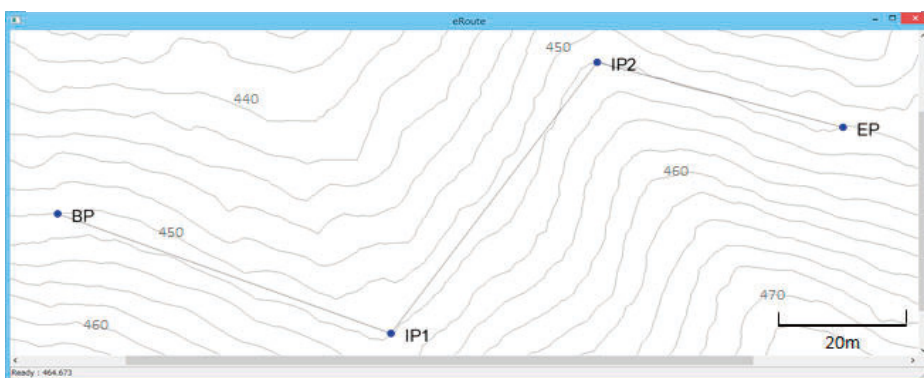


図3 起点(BP) 終点(EP)
交角点(IP)の入力
マウスで各点を入力します。

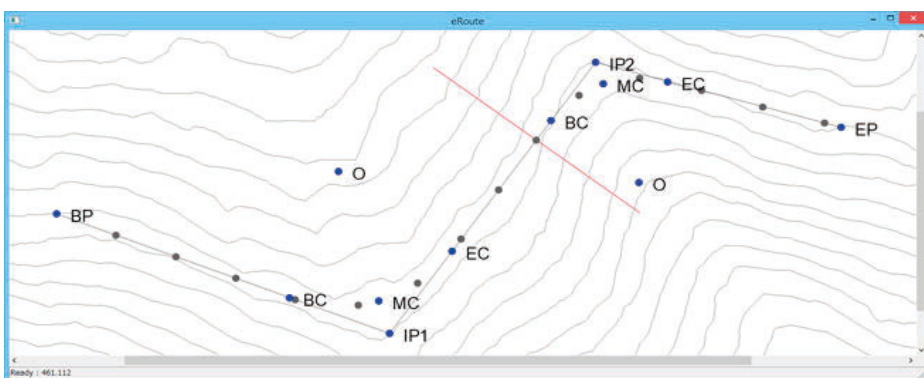


図4 平面線形の計算
円曲線の半径は、マウスによる選択とキーボードで変更できます。路面の高さは、BP、EP間の平均縦断勾配によって初期化されますが、縦断面図を示す画面で変更できます。

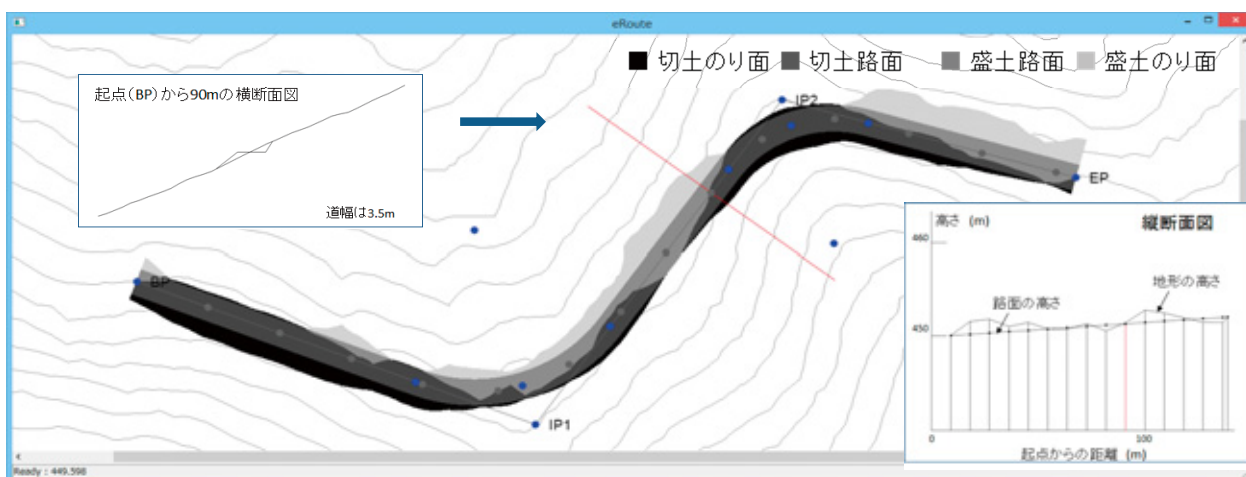


図5 ソフトウェアによる土工量の計算
総延長 142.7(m) 盛土 171.2(m³) 切土 395.6(m³)

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

小規模な林業経営と大規模な木材加工業を結ぶ仕組みづくりの鍵

林業経営・政策研究領域
林野庁

石崎 涼子、久保山 裕史、岡 裕泰
堀 靖人

要 旨

国産材を加工する製材工場等が大規模化する一方で、日本の森林所有者の多くは小規模なままです。小規模な林業経営から生産される木材を大規模な製材工場などへ有利な条件で効率的に供給するためには、何が必要となるのでしょうか。本研究では、日本に先立って木材加工業の大規模化への対応が行われてきた欧州における事例調査から、木材の安定的かつ効率的な供給の秘訣が、「地域に密着した森林技術者によるサービスの提供」、「木材販売の組織化による木材流通の専門性の向上」、「取引リスクの軽減」の3点にあり、これらに留意した組織の整備や強化が重要であることがわかりました。

木材加工業の大規模化に対応した木材供給の仕組みとは？

最近、国産材を加工する大規模な製材工場や合板工場が増えています。日本の森林所有者の多くは小規模なままです。こうした小規模な林業経営から、少量ずつ分散的に生産される木材を有利な条件で効率的に木材加工工場へ供給するには、何が必要となるのでしょうか。日本に先立って、木材加工業の大規模化に対応した仕組みを築いてきた欧州（ドイツ、オーストリア、スイス）の実態調査を通じて、その仕組みづくりの秘訣を探ったところ、3つの鍵があることがわかりました。

第1の鍵：地域に密着した森林技術者によるサービスの提供

欧州では、各地域に、森林の所有者や林木の状況などを熟知する森林官や、森林所有者による組織（森林組合など）の森林技術者がおり、木材生産に関わる助言や指導などを行っています。こうした地域密着型の森林官や森林技術者によって、生産可能な木材の場所や量が正確に把握されており、いつでも彼ら・彼女らと森林所有者とがコンタクトをとれる体制になっています。コンピュータを活用した情報システムに加えて、地域に根ざした知見や人と人との繋がり等の基盤が安定的な木材供給を支えています。

第2の鍵：木材販売の組織化による木材流通の専門性の向上

小規模な林業経営を束ねて木材を供給しようとする場合に、林業経営そのものを共同化しようとしても、交渉をまとめるのは簡単ではありません。そこで欧州では、木材の販売だけを共同で行う形態が広く用いられています。地区別の森林組合などを束ねてつくられた木材共同販売組織は、木材の取扱量を増やして販売先を確保する

だけではなく、木材運搬の手配や丸太の量・質のチェックに責任を持ち、木材流通を専門的に担うことで、木材流通の効率化や大規模な木材加工業者との交渉力の強化を実現しています。

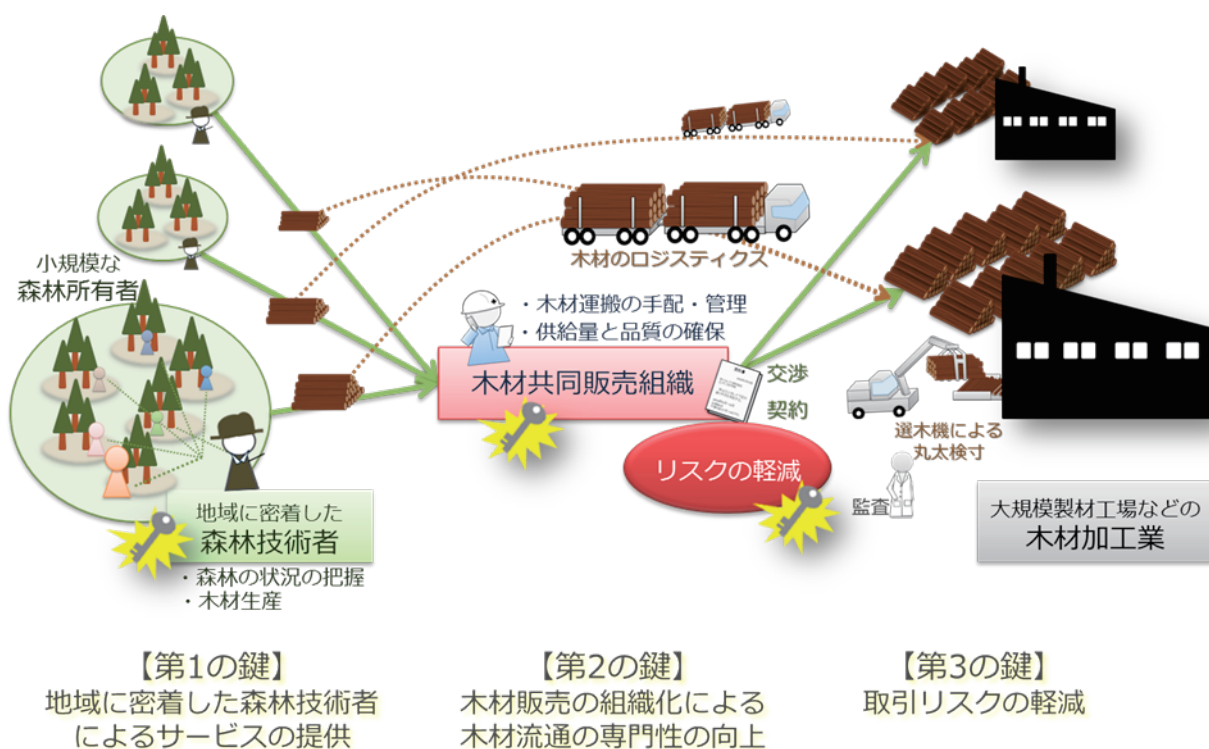
第3の鍵：取引リスクの軽減

木材の取扱量が増えるとリスクも高まります。例えば、木材の販売先が倒産した場合には、代金の回収が困難となります。そうした際のリスクを軽減するために、木材共同販売組織は、有限会社や株式会社などの有限責任の法人形態を採用しています。また、販売する木材に保険をかけることで、森林所有者が木材共同販売組織に加わるメリットを高めている事例もあります。さらに、丸太の価格を左右する検寸（大きさや形の測定）が工場の選木機で行われる場合があります。その際に、検寸する機械の正確性を中立的な専門家が監査する仕組みを整備することで、丸太の売り手と買い手の信頼関係を築いている事例もみられます。

今回の研究で明らかにしたこれらの鍵に留意することで、日本においても小規模な林業経営と大規模な木材加工業を結ぶ安定的かつ効率的な仕組みを築くことができると考えられます。

本研究は、JSPS 科研費（JP23380095）「私有林経営における組織イノベーションに関する国際比較研究」および森林総合研究所交付金プロジェクト「木材需給調整手法の解明と新たな原木流通システムの提案」による成果です。

詳しくは、岡裕泰・石崎涼子 編（2015）森林経営をめぐる組織イノベーション ―諸外国の動きと日本―，広報ブレイス をご覧下さい。



森林技術者の車には、森林管理に必要な様々な道具が常備されています。



契約に基づく確実な木材供給が図られています。



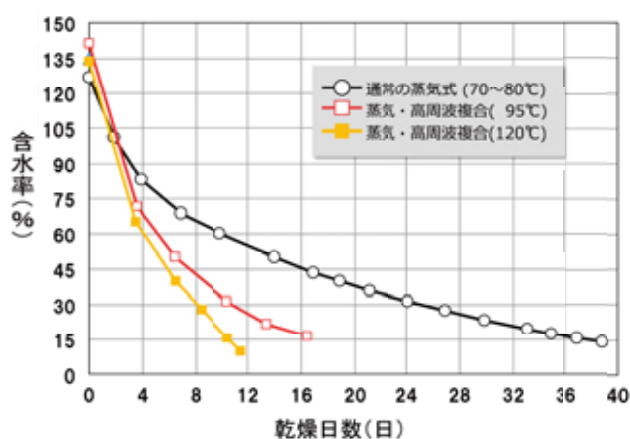
例えば、製材工場にある丸太の検寸を行う機械の側面には、設定が正確であることを示すとともに、その設定が変更されないよう封印するシールが、監査機関によって貼られており、丸太の売り手との信頼関係の構築に役立っています。

図1 小規模な林業経営から大規模な木材加工工場へ安定的かつ効率的に木材を供給するための3つの鍵

林業の再生に対応した木材及び木質資源の利用促進技術の開発

人工林の資源を有効に活用し木材の自給率を高めるためには、様々な分野における木材利用の拡大を図ることが必要です。そこで、以下の4つの課題を実施しました。

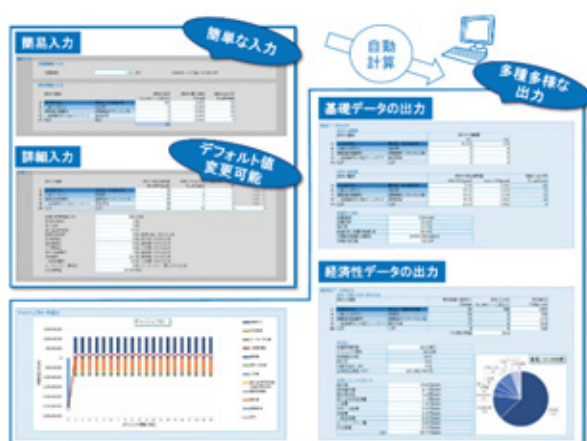
- C1 木材利用促進のための加工システムの高度化
- C2 住宅・公共建築物等の木造・木質化に向けた高信頼・高快適化技術の開発
- D1 木質バイオマスの安定供給と地域利用システムの構築
- D2 木質バイオマスの変換・総合利用技術の開発



C1の成果の例：スギ大径材の効率的な製材・乾燥技術を開発しました。



C2の成果の例：長期載荷試験等を実施し、CLTのJAS規格制定に貢献しました。



D1の成果の例：木質バイオマス発電事業採算性評価ツールを開発し広く配布しました。



D2の成果の例：未利用トドマツ葉から革新的な空気浄化剤を開発しました。

これらの成果により、「木材の需要拡大に向けた利用促進に係る技術の開発」や「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」に貢献しました。

スギ大径材の効率的な製材・乾燥技術の開発

加工技術研究領域
木材特性研究領域
奈良県森林技術センター

伊神 裕司、松村 ゆかり、小林 功、齋藤 周逸、村田 光司
鈴木 養樹
寺西 康浩、成瀬 達哉

要 旨

戦後植林されたスギが順調に成長し、今後は大径材として供給されることが見込まれますが、役物と呼ばれるような高品質な製材品をそこから取るのは難しいと予測されています。そのため、役物に替わる新たな用途の開発と効率的な生産方式の確立が求められています。そこで、スギ大径材から得られる製材品を大規模木造建築物の部材や住宅の横架材として利用するため、含水率とヤング係数(曲がりにくさの指標)に応じた適切な木取り(丸太のどの部分からどのような製材品を生産するか判断すること)方法、蒸気加熱と高周波加熱の組み合わせ乾燥法などを用いて、スギ大径材から大断面の製材品を効率的に生産する製材・乾燥技術を開発しました。

スギ大径材の選別・製材システム

スギ大径材からは、大断面の心持ち^{*}正角^{*}・平角^{*}、さらには心去り^{*}正角・平角などを生産することができ、公共建築物等の大規模木造建築物の部材や住宅の横架材など一般建築用材としての利用が期待されます(図1)。しかし、大断面の製材品の場合は、建築用材として不可欠な乾燥が難しくなるという課題が生じます。そこで、丸太の段階で含水率を測定し、それを木取りに反映させることによって乾燥コストを低減できると考え、電気容量測定に基づく丸太含水率推定手法を開発し、丸太の心材含水率が100%より大きいかなかを判定することを可能にしました。次に、スギ大径材について、丸太の含水率と製材品の含水率、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数との間には高い相関があることを明らかにしました。これらにもとづいて、スギ大径材の選別・製材システムを設計しました(図2)。心材含水率が100%より大きい丸太からは、心持ちの製材品より割れにくく乾燥が容易な心去りの製材品を取ります。また、ヤング係数が7.0GPa以上の丸太からは、より高い強度性能を要求される部位に使用される平角を取ります。このように、丸太の含水率とヤング係数に応じて大断面製材品の種類を決定することによって効率的な生産が可能となります。

大断面製材品の乾燥

大径材から生産できる「心去り平角」は、表面割れが生じにくく、良質な材に仕上げることができますが、断面が大きい従来からの蒸気式乾燥法では乾燥日数が30

～40日と長く、実用化において大きな課題となります。この問題を解決するため、蒸気・高周波複合乾燥法(図3)を検討しました。高周波加熱は極板を木材に接触させて、誘電加熱によって誘電体(水)自体を発熱させる加熱方法で、大断面の製材品でも効率よく加熱・乾燥できます。

蒸気・高周波複合乾燥は、温度を高くすれば乾燥時間は短くなりますが、高すぎると木材の内部に割れ(内部割れ)が生じます。乾燥時間が短く、割れが少ない適切な条件を見いだすため、蒸気・高周波複合乾燥法と従来の蒸気加熱による乾燥法(蒸気式)について、初期含水率130%程度の「スギ心去り平角」が15%に乾燥するまでの日数と内部割れを比較しました(図4、表1)。その結果、温度90～95℃の蒸気・高周波複合乾燥は、蒸気式に比べて乾燥日数は16日と半分以下に短縮し、内部割れも非常に少ない乾燥が可能であることがわかりました。

以上のように、含水率やヤング係数によって丸太を選別し、強度など製材品に要求される性能や乾燥の難易に応じて適切な木取りと乾燥方法を適用することによって、スギ大径材から大断面の製材品を効率的に生産することが可能になります。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「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」および「スギ大径木から一般建築用部材を効率的に生産するための製材・乾燥技術の開発」による成果です。

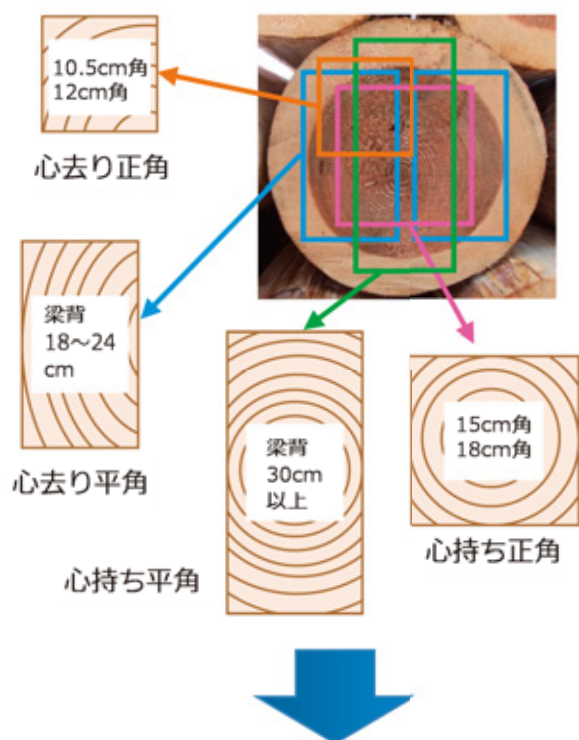


図1 供給増が見込まれるスギ大径材の活用

スギ大径材から生産される大断面の心持ち正角・平角、心去り正角・平角を公共建築物など大規模木造建築物の部材や住宅の梁・桁材として利用することが期待されます。

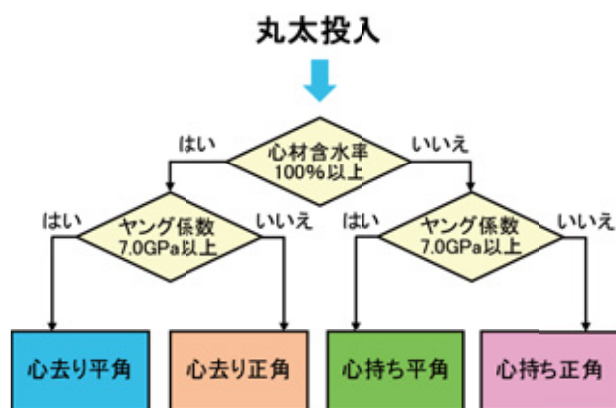


図2 スギ大径材の選別・製材システム

丸太を含水率やヤング係数によって選別し、強度など製材品に要求される性能や乾燥の難易に応じて適切な木取りを適用します。こうすることによって、スギ大径材から大断面の製材品を効率的に生産することが可能になります。



図3 蒸気・高周波複合乾燥装置

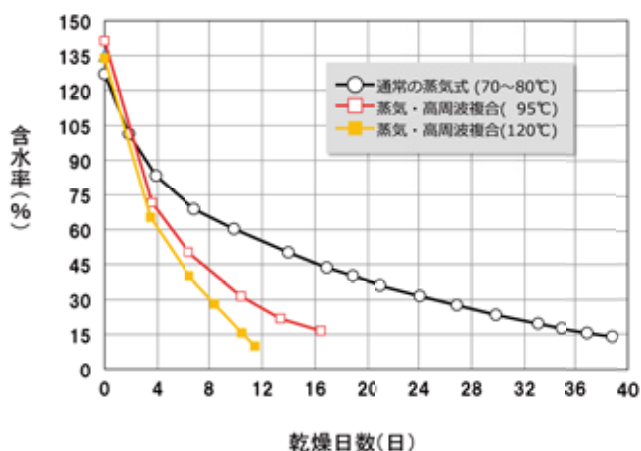


図4 各種乾燥法による試験結果

蒸気・高周波複合によって、乾燥時間が大幅に短縮されました。温度を上げすぎると内部割れが生じるため、上限温度は90～95°と見込まれました。

表1 試験条件と試験結果のまとめ

乾燥方法	乾燥温度℃	乾燥日数	内部割れ
蒸気式(中温)	70-80℃	38日	なし
蒸気・高周波複合	120℃	11日	多
蒸気・高周波複合	95℃	16日	少

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

ビルも建てられる新たな木質材料、CLT の材料規格をつくる

複合材料研究領域	宮武 敦、塔村 真一郎、渋谷 龍也、宮本 康太、平松 靖、新藤 健太
木材特性研究領域	藤原 健、山下 香菜
構造利用研究領域	軽部 正彦、長尾 博文、原田 真樹、加藤 英雄、井道 裕史、小木曾 純子（現林野庁）、宇京 斉一郎、野田 康信、杉本 健一
研究コーディネータ	井上 明生 東京大学 青木 謙治
日本 CLT 協会	秋田県立大学木材高度加工研究所 建築研究所
北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場	広島県立総合技術研究所林業技術センター
富山県農林水産総合技術センター木材研究所	愛媛県農林水産研究所林業研究センター
鹿児島県工業技術センター	

要 旨

欧州では、クロス・ラミネイティド・ティンバー（CLT）と呼ばれる木質材料を用いた大規模木造建築が盛んに建設されています。木材を大量に使用することで低炭素社会の実現に貢献することや中高層の木造建築を可能にすることが高く評価されています。我が国においても、今後人工林からの供給量が増えるスギ大径木の有効活用として、CLT の利用が期待されていますが、肝心の材料そのものの規格が整備されていませんでした。そこで、国産材を用いた CLT の基本的な製造方法について検討するとともに、寸法安定性、接着性能、強度性能などの基礎的な性能を明らかにしました。これらの成果は CLT に関する材料規格である直交集成板の日本農林規格（JAS 規格）の制定に大いに貢献しました。

新しい木質材料 CLT

CLT は、欧州で開発された新しい木質材料です。木材の繊維方向を揃えて並べたものを1層とし、いくつかの層を互いに直交（クロス）させて積層（ラミネイト）し、接着剤で板状に一体化して造られることから、クロス・ラミネイティド・ティンバー（Cross Laminated Timber）と呼ばれます。

寸法変化を評価する

木材は濡れたり乾いたりすると幅方向が繊維方向の4倍大きく変動します。しかし、CLT では長さ方向、幅方向のどちらにも、寸法変化の小さい繊維方向の板材が接着されているため、幅方向の寸法変化は単層の木材の半分に以下に抑制されることがわかりました。

接着性能を評価する

構造材として長期間の使用に耐えるには CLT が接着剤で一体化されていることが大前提です。そこで、その接着性能の評価法を検討した結果、CLT は集成材の接着性能試験方法に準じて評価できることがわかりました（図1）。

強度性能を評価する

CLT で実際の建物の床を設計する場合は、曲げヤング係数^{*}と製品の厚さ及び幅から算出される曲げ剛性が重要です。CLT のひき板の基本的な構成（図2）について

検討した結果、CLT の曲げ剛性は積層数の増加に伴って大きくなることがわかりました（図3）。

材料規格や設計技術の整備のために

CLT の接着性能を評価する技術、そして強度性能の数値をひき板の性能から導く技術は、直交集成板の日本農林規格（JAS 規格）に採用されました。また、JAS 規格に合格した CLT が建築構造材として使用される際に必要となる強度性能などのデータ蓄積を行いました（図4）。

これらの成果は、平成28年3月に発布・施行された「CLT を用いた建築物の一般的な設計法等に関する建築基準法関連告示」に反映されました。引き続き国産材を用いてより効率的に CLT を製造するための技術開発を行う予定です。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「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（平成23～25年度）」、平成25年度補正林野庁委託事業「CLT 等新製品・新技術利用促進事業のうち CLT 実用化促進（強度データの収集・分析）、（長期挙動データの収集・分析）」、平成26年度林野庁委託事業「CLT 等新製品・技術の開発促進事業のうち中高層建築物等に係る技術開発の促進（CLT 強度データの収集）、（CLT 長期挙動データの収集）」、平成27年度林野庁委託事業「CLT 等新製品・技術の開発・普及事業のうち CLT 強度データ収集」による成果です。

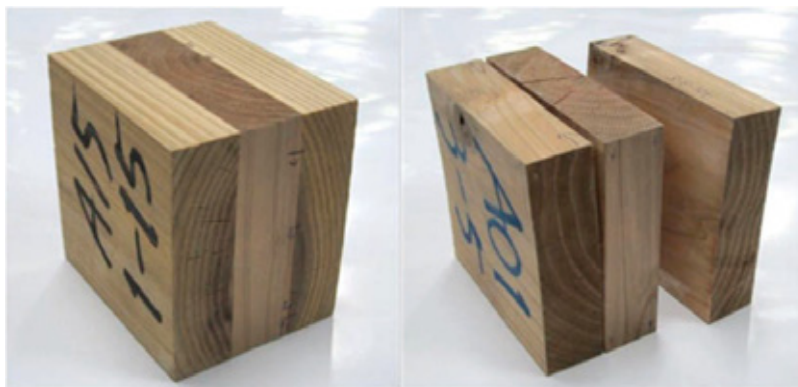


図1 剥離試験による CLT の接着不良の検出

左：剥離なし（接着良好）

右：剥離あり（接着不良）

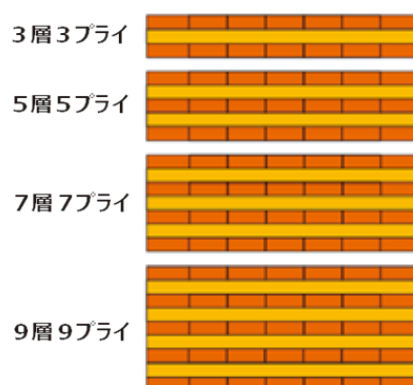


図2 CLT の基本的な層構成

プライ：ひき板をその幅方向に並べたもの
層：1つのプライまたは繊維方向の同じプライを上下に積層して接着したもの

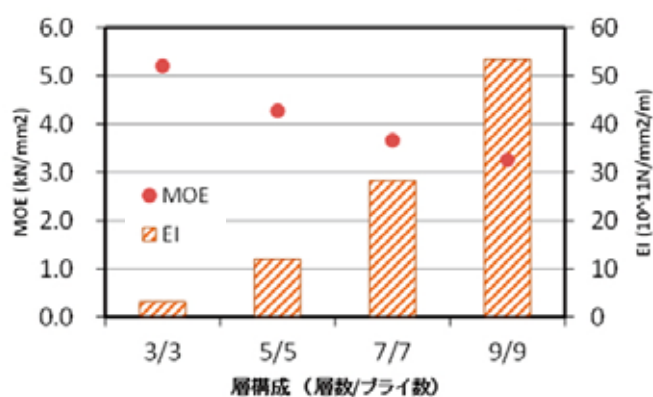


図3 CLT の層構成と曲げヤング係数および曲げ剛性の関係

MOE：曲げヤング係数（たわみにくさに関する係数）

EI：曲げ剛性（部材の厚さや幅を考慮したたわみにくさ）

試算した製品の強度等級は JAS 規格の Mx60 を想定



図4 長期間曲げ荷重を加える CLT の強度性能試験

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

スギ・ヒノキ・カラマツで作るコンクリート型枠用合板

複合材料研究領域
構造利用研究領域
東京大学
日本合板工業組合連合会
(一社)日本建設業連合会
(一社)日本型枠工事業協会
(株)J-ケミカル
(公財)日本合板検査会

渋谷 龍也、宮本 康太
杉本 健一
青木 謙治
川喜多 進
中山 正夫
三野輪 賢二
木下 武幸
尾方 伸次

要 旨

国産針葉樹合板の用途を広げることを目的に、スギ・ヒノキ・カラマツなど主要な国産針葉樹材を用いて、表面に塗装を施したコンクリート型枠用合板を開発しました。使用する木材の樹種や構成を工夫することで、強度・耐久性・耐アルカリ性・接着性能・転用回数（繰り返し使用できる回数）など、南洋材合板と遜色ない性能を発揮できることを性能試験で確認しました。さらに、実際に多くの建築工事・土木工事の現場で試用し、その実用性を証明しました。これらの成果により、国産材を活用したコンクリート型枠用合板はグリーン購入法^{*}の特定調達品目に「合板型枠」として追加指定されました。

コンクリート型枠用合板とは

建築や土木の工事現場でコンクリートを流し込んで固める型のことを「型枠」と呼びます。型枠の中でも、最も多く使われるのが木材を原料とするコンクリート型枠用合板です。コンクリート型枠用合板には、高い強度性能・耐水性能や転用回数（何回繰り返し使用できるか）といった性能が求められます。

これまで型枠用合板の需要量約 80 万 m³ のうち、ほとんどが南洋材（熱帯産広葉樹）の輸入合板で、供給の 1 割にも満たない国内産合板も南洋材を原料としていると推計されています。一方、わが国では戦後造林された針葉樹人工林が利用期を迎え、次世代への持続的な育成のためにも国産材利用の拡大が急務となっています。そこで、国産針葉樹材を用いた型枠用合板の開発を目指しました。

型枠用合板に必要な性能を向上させる

合板は、単板^{たんぱん}と呼ばれる丸太をかつら剥きした薄い板の繊維方向を直交させて貼り合わせた板です。その強度は、木材の樹種や単板構成（単板の枚数や厚さ）などによって変化します。そこで、スギ・ヒノキ・カラマツなど、様々な国産針葉樹材を用いた合板を試作し、強度性能を向上させる方法を検討しました（図 1、2）。さらに、

合板の表面を保護する塗装技術についても検討し、従来の南洋材型枠用合板と比較して遜色のない強度・耐久性・耐アルカリ性・接着性能・転用回数などの性能を達成することができました。

型枠用合板を実際に使用して評価

国産材型枠用合板を実際のマンション、学校の校舎、商業施設、治山工事、道路建設等の工事現場で使用し、検証を行いました。その結果、転用回数が増しても、コンクリート表面のふくらみや凹凸はほとんど見られず、南洋材型枠用合板と同等の性能を有することを実証しました（図 3）。

本課題の成果により、国産針葉樹合板がコンクリート型枠用として「合板の日本農林規格」（JAS 規格）に規定されるとともに、グリーン購入法の特定調達品目へ新規に追加指定されたことなどから、国産材を活用したコンクリート型枠用合板の需要拡大及び木材自給率向上が期待されます。

本研究は、日本合板工業組合連合会と森林総合研究所の共同研究「地域材を用いたコンクリート型枠用合板の開発」による成果です。



全層スギ

全層ヒノキ

カラマツ-スギ複合

南洋材-スギ複合

図1 開発した合板の外観

いろいろな樹種や構成の合板を試作し、その性能を評価しました。



強度性能の評価



耐水性能の評価



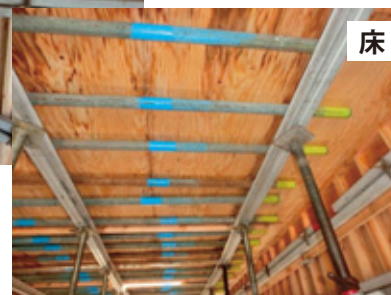
接着性能の評価



塗装の評価

図2 各種性能評価の様子

強度、耐水性、接着性、塗装など、いろいろな性能を評価しました。



建築工事（左：壁、右：床）での使用状況



土木工事（左：谷止工、右：擁壁）での使用状況

図3 コンクリート施工現場での実用性試験の様子

建築工事や土木工事の現場で使用してもらい実用性を確認しました。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

木材の香りや手触りの良さを科学的に解明する

構造利用研究領域
木材特性研究領域
複合材料研究領域
木材改質研究領域
京都大学大学院
ビジョン（株）中央研究所

恒次 祐子、宇京 斉一郎
杉山 真樹
松原 恵理
片岡 厚
仲村 匡司
山下 泰子

要 旨

わたしたちの身の回りには木材で作られたものがたくさんあり、「木は人にやさしい」、「木がある空間はほっとする」というイメージがあります。それでは実際に木のにおいを嗅いだり、触ったりすると、人にはどのような影響があるのでしょうか？本当に人は「ほっとする」のでしょうか？本研究では、木材に対する人間の生理的な反応を測定することによって、「木の良さ」を科学的に明らかにしました。その結果、ある種の木材の香りが赤ちゃんの体を「リラックス」させる可能性があること、木材の手触りが金属やプラスチックなどの他材料に比較して体に「やさしい」ことが分かりました。

「木は落ち着く」は本当？

木材がふんだんに使われた建物に入ると、木の香りや手触り、木目の色などが心地よく感じられます。木材が持つ「温かい」、「ほっとする」などのイメージは多くの人が感じていますが、木材の香りを嗅いだり、木材に触ったりした際に、本当に人間が「ほっと」しているかは分かっていませんでした。これまでにわたしたちは、様々な方法で人の生理的な反応を測り、ある種の木材の香りが血圧を低下させたり、脳の活動を鎮静化させるなど、体を「リラックス」させることを明らかにしてきました。今回は、これまで調べてきた成人以外でも木材の香りで「リラックス」するかどうかについて調べました。これまであまり研究がなかった木材の手触りによる影響についても客観的なデータで明らかにしました。

赤ちゃんも木の香りでリラックス

生後1～3か月の赤ちゃんにヒノキやマツなど、針葉樹に多く含まれる香りの成分である α -ピネンを嗅いでもらう実験を行いました。まずは香りのない状態で2～3分間安静にしてもらった後、 α -ピネンの香りを2～3分間赤ちゃんの鼻の近くで流し、最後にもう一度においのない状態で安静にしてもらいました。この間、赤ちゃんの生理応答として脳の活動と心拍数を連続的に測定しました。

香りを流している間は脳の活動が上昇し、赤ちゃんがおいを感じていたと推測されました（図1）。また、心拍数は減少していたことが分かりました（図2）。赤ちゃんも木の香りで「リラックス」したのではないかと考えられます。この研究成果は、赤ちゃんのにおいに対する反応をとらえる方法を確立したことが高く評価され、キッズデザイン賞^{*}を受賞しました。

木材の手触りによる影響

香りに比べて、木材の手触りについての先行研究はあまり多くありません。しかし、様々な空間や用途において木材の良さをもっと活かすためには、木材の手触りによる影響を科学的に明らかにすることが重要です。そこで、様々な材料で作った手すりを被験者に触ってもらい、その間の生理的な反応を測定しました（図3）。その結果、金属（アルミニウム）、プラスチック（ポリエチレン）の手すりに触ったときには収縮期血圧が上昇しましたが、木材の場合は、針葉樹でも広葉樹でも、また塗装があってもなくても、変化が認められませんでした（図4）。木材への接触は、金属やプラスチックより体に負担をかけない可能性があると考えられます。手触りの研究はまだ始まったばかりであり、今後も研究を続けていきます。

本研究は、JSPS 科研費（JP24570262）「嗅覚刺激に対する乳児における生理反応の経時変化」ならびに森林総合研究所交付金プロジェクト「人間の快適性に及ぼす木材の触覚、視覚及び嗅覚刺激の効果の解明」による成果です。

詳しくは、恒次祐子 他（2013）自然由来のにおい物質による嗅覚刺激に対する乳児の生理応答，日本生理人類学会誌，18 特（1）：118-119 及び、恒次祐子 他（2016）木製手すりへの接触が人間の生理面・心理面に与える影響 その2 異なる材料に対する生理的応答，第66回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD版），G27-05-1645 をご覧下さい。



図1 おいに対する赤ちゃんの生理応答測定の様子
写真は赤ちゃんの模型を使用。

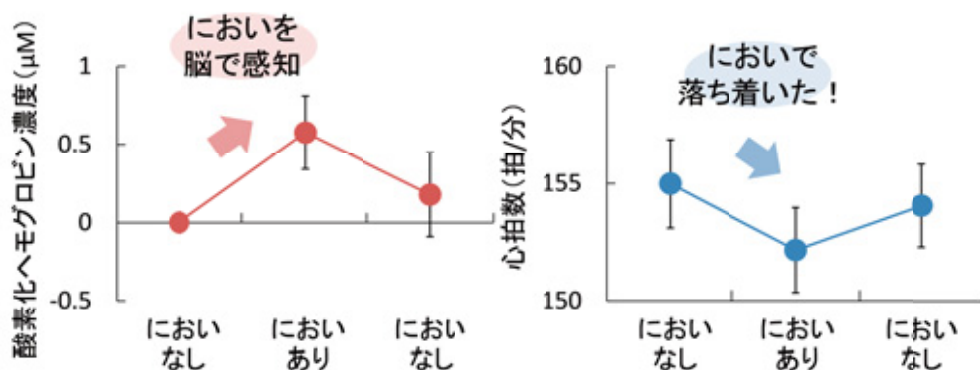


図2 α -ピネンのおいに対する乳児の生理応答
左：脳活動，右：心拍数，N=30，平均値±標準誤差

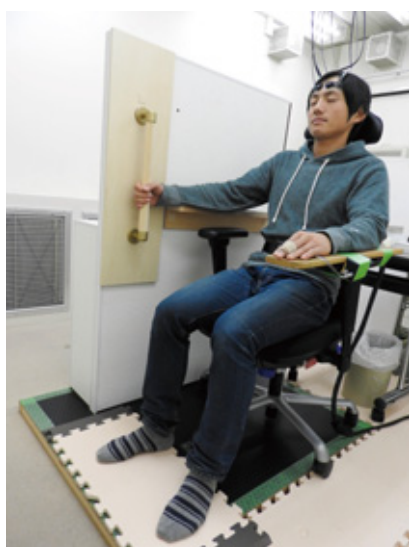


図3 接触実験の様子

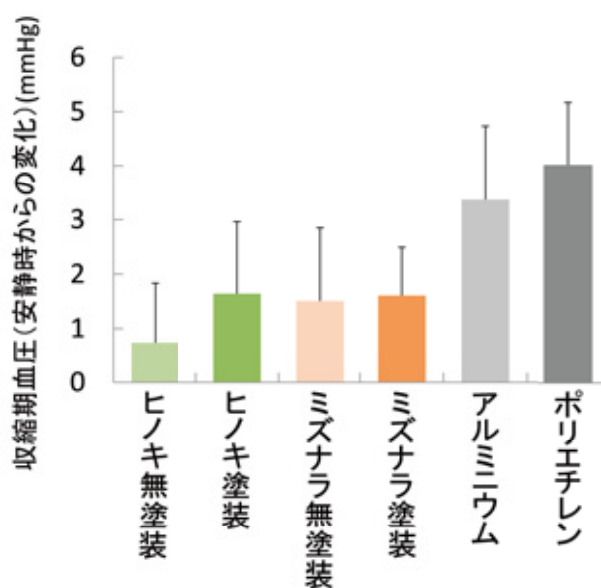


図4 手すりへの接触による収縮期血圧の変化
N=18，平均値±標準誤差

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

木質バイオマス発電の採算性が簡単にわかるツール

加工技術研究領域
林業経営・政策研究領域
林業工学研究領域

柳田 高志
久保山 裕史
陣川 雅樹

要 旨

再生可能エネルギーの導入を促進すべく電力の固定価格買取制度 (FIT)^{*} が始まりました。この制度を利用して、これまでほとんど利用されなかった林地残材や間伐材等を燃料とする発電所の建設が進められています。こうした木質バイオマスを燃料とする発電事業の経済性を評価するには煩雑な計算が必要です。そこで、全国の発電所から収集したデータをもとに、種々のコストを推計・統合して、簡単に経済性評価が行えるツールを開発しました。これにより、発電規模や燃料となる木質バイオマスの種類、買取価格等が違って、発電事業の経済性をシミュレートし、事業採算性を簡単に推計することができるようになりました。

FIT と木質バイオマス発電

2012年7月に電力の固定価格買取制度 (FIT) が始まりました。この制度は、再生可能エネルギー (風力、太陽光、地熱、水力、バイオマス) の利用拡大と技術開発を促進することを目的としています。この制度の下で、再生可能資源である木質バイオマスを燃料とする発電所の建設が全国各地で進められています。木質バイオマスは、未利用材 (間伐材や林地に残された枝葉など)、一般木材 (製材の際の端材など)、リサイクル木材 (建設物から発生する木材など) 等に分類され、燃料として発電した場合の電力の買取価格もそれぞれ異なります。

木質バイオマス発電の経済性

FIT の下では、間伐材等由来の未利用材を燃料とした電力の買取価格は現在 32 円/kWh (2,000kW 以上) です。この価格での売電収入は、例えば、発電規模 5,000 kW (送電端) の発電所で年間 330 日稼働すると、約 12.7 億円と試算されます。この収入と、支出のバランスを比較して、事業の経済性は判断されます。支出の項目は、燃料費、プラントの減価償却費、固定資産税、保守・点検費、人件費、一般管理費、保険費、ユーティリティ費 (薬品費用等)、灰処理費など多岐にわたっています。これらの項目は、発電規模と関連するものが多いので、経済性を評価するためには、発電規模に応じた支出の変化を明らかにする必要があります。

事業採算性評価ツール

そこで、全国規模で木質バイオマス発電の調査を実施し、発電規模と建設費との関係や、発電効率との関係を定式化し、これらの式を統合して、木質バイオマス発電の事業採算性を評価するツールを作成しました (図 1)。このツールを用いれば、発電規模や燃料バイオマスの種類、買取り価格の違い等の条件が様々に異なる多彩な事業評価を簡単にできるようになります。

ツールの活用法

本ツールを使えば、種類が異なる燃料の混合比率を変えながら事業採算性をシミュレーションすることも可能です。例えば、未利用材チップ (9,000 円/t、含水率^{*} 40% 湿量基準) とヤシ殻 (12,000 円/t、含水率 20% 湿量基準) を混合する場合は、未利用材チップの混合割合が高いほど事業採算性が高くなることが確認できました (図 2 左)。また、損益分岐点にある燃料価格を推算することもできるので、事業者にとっては経営が黒字になる木質バイオマスの価格の目安を立てられますし、バイオマスの供給者側も搬出コストの上限が想定できます (図 2 右)。あるいは、将来燃料価格が上昇する場合を想定してシミュレーションすることも可能で、燃料価格の上昇は、事業採算性を著しく悪化させる可能性も示唆されました。このように、本ツールは、事業者や自治体のみならず、木質バイオマス発電事業を検討する際や、既存事業の適正な燃料価格の検討をする際に活用でき、さらに今後の FIT 制度の見直し等でも活用が期待されます。

本ツールとその利用マニュアルを希望される方は、氏名、勤務先名、部署名、役職名、住所、電話番号、メールアドレスを hatsuden@ffpri.affrc.go.jp までご連絡ください。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「木質バイオマスエネルギー事業の評価システムの開発」による成果です。

詳しくは柳田高志 (2014) 木質バイオマス発電と固定価格買取制度, 木材工業 69.424-429 及び、柳田高志他 (2015) 日本エネルギー学会誌 94.311-320 をご覧下さい。

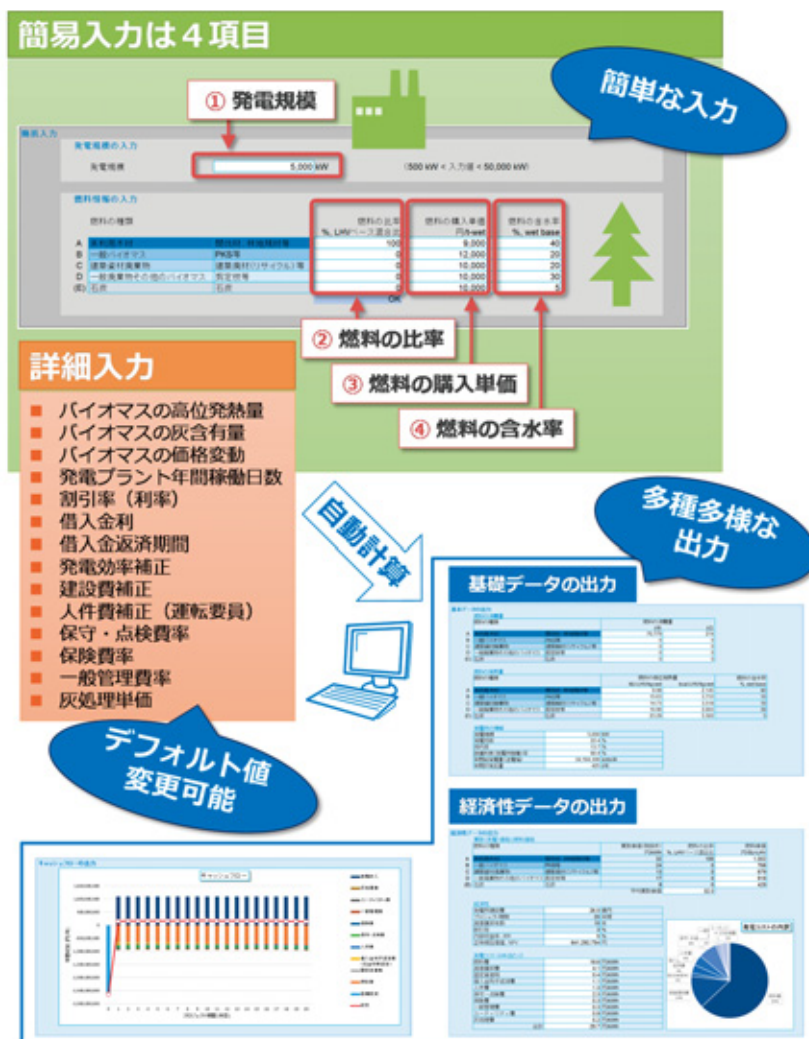


図1 木質バイオマス発電事業採算性評価ツールの画面

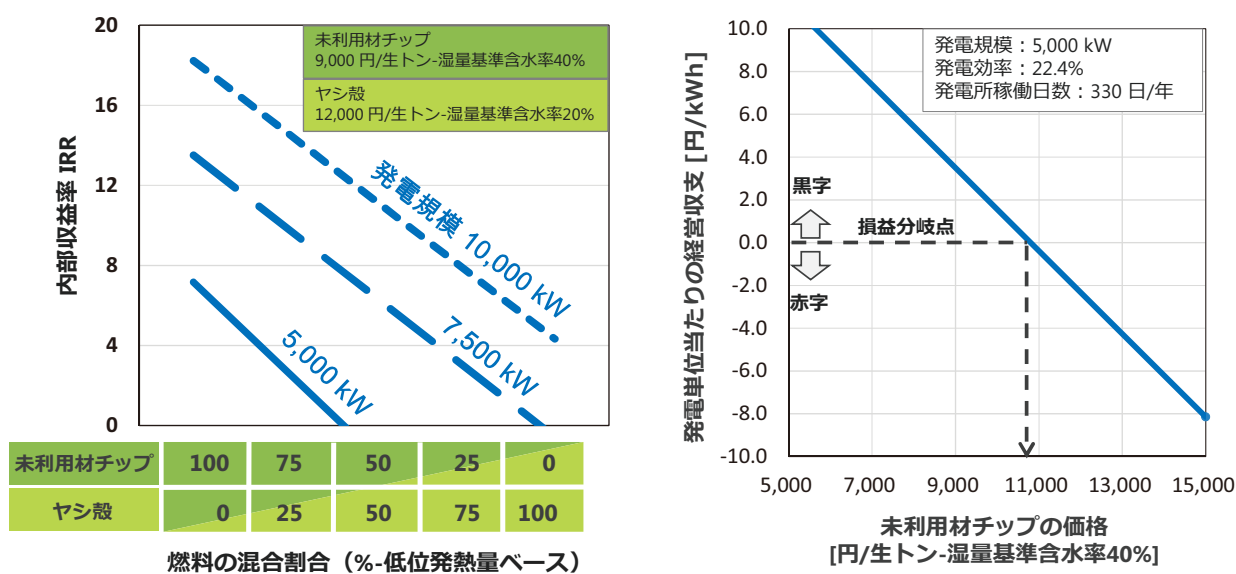


図2 評価ツールを用いた評価事例

左：燃料を混合した場合の経済性評価事例、右：燃料価格と損益分岐点の関係

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

天然物系で最高性能のコンクリート化学混和剤を リグニンから開発

バイオマス化学研究領域

高橋 史帆、山田 竜彦

要 旨

リグニンは、木質バイオマスの約2～3割を占める主要な化学構成成分のひとつで、陸上で最も多く存在する天然物系の芳香族化合物^{*}です。私たちは、スギから取り出したリグニンをポリエチレングリコールという薬剤で改質し、高性能なコンクリート用化学混和剤を開発しました。開発した新タイプのリグニン系混和剤は、減水剤としての機能が従来から使用されている市販天然物系の混和剤より10倍高く、天然物系では最高性能を示しました。この成果は、パルプ産業等の副産物であるリグニンの高付加価値利用を可能にし、林地残材等これまで未利用であった木質バイオマスの新規需要を促進させるものとして期待できます。

リグニンの高付加価値化

リグニンは、木質バイオマスの約2～3割を占める主要な化学構成成分のひとつで、地上で最も多く存在する天然物系の芳香族化合物です。リグニンは、主に紙パルプや木質バイオエタノールの製造工程の副産物として大量に得られますが、燃焼してエネルギー利用されることが多く、化学製品等のマテリアルとしての利用はわずかなのが現状です。

そこで私たちは、ポリエチレングリコール（PEG）を使ってリグニンを付加価値の高い新しい工業原料にする技術の開発を目指しました。一般に、リグニンはそのままでは水に溶けにくいのですが、親水性が高いPEGで改質することで水にも油にも溶ける性質となります（両親媒化といいます）。両親媒化したリグニンは、コンクリート用化学混和剤や活性炭素繊維などに利用することができます。

減水剤とは

減水剤は、コンクリート用化学混和剤のひとつで、セメントの粒子を分散させ、コンクリートの流動性を向上させるために添加する薬品です。コンクリートを扱う現場ではなくてはならないもので、ほぼすべての現場で使用されるため、その市場は大きく、国内だけでも年間約400～500億円の規模があります。

天然物系では最高性能となる減水剤を開発

私たちは、アルカリ処理によってスギ材からパルプを製造する方法でリグニン（スギソーダリグニン）を抽出し、そこからPEGを用いた両親媒化によりスギを原料とした高性能なリグニン系減水剤の開発を行いました（図1）。その過程で、分子の鎖の長さが長いPEGで改質したスギソーダリグニンが、セメントを分散させる力が大きく、コンクリートの流動性向上に有利であることを発見しました。このスギソーダリグニン系減水剤は、市販合成系のナフタレンスルホン酸系減水剤より少量で高い流動性を与えられるうえ、従来から使用されている市販天然物系の減水剤であるリグニンスルホン酸系より10倍性能が高く、天然物系では最高性能をもつ減水剤です（図2）。本成果は、パルプ産業等で副産されるリグニンの高付加価値利用を可能にし、林地残材等これまで未利用であった木質バイオマスの新規需要を促進させるものとして期待できます。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「地域の資源を活用した再生可能エネルギーの生産・利用のためのプロジェクトー木質リグニンからの材料製造技術の開発ー」による成果です。

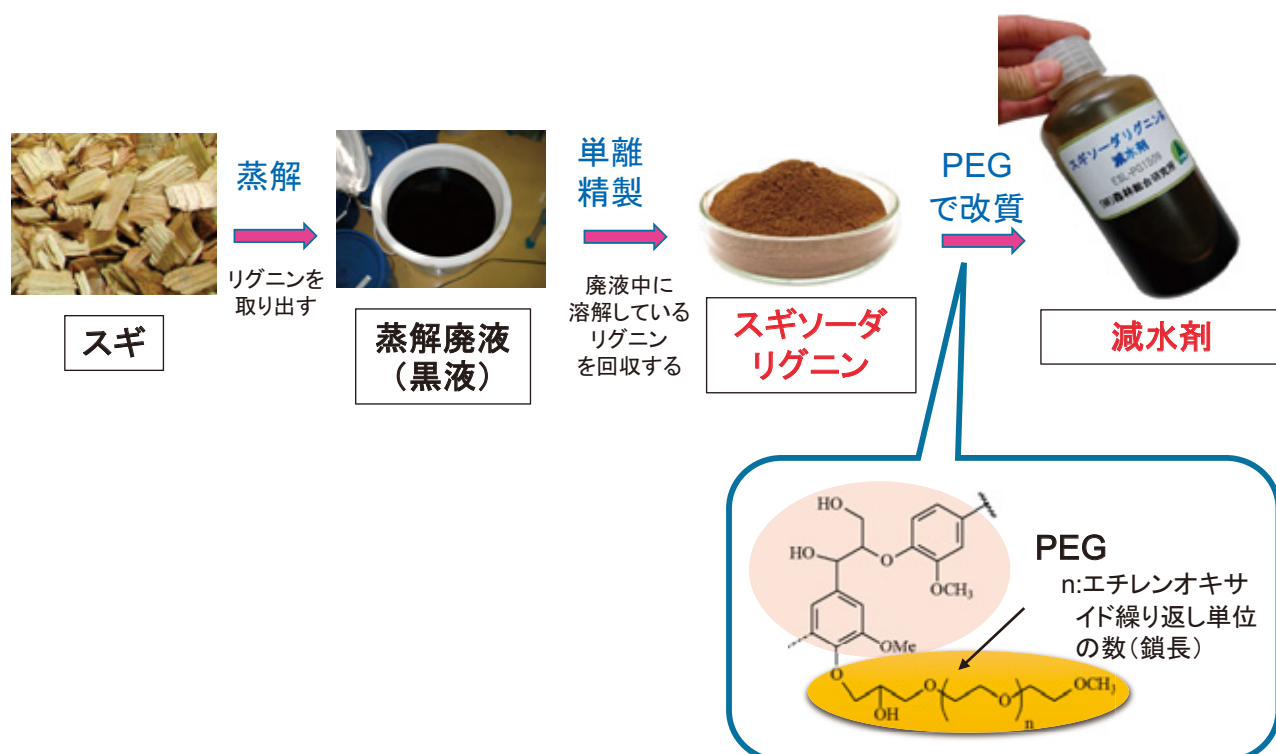


図1 スギソーダリグニン系減水剤の製造工程

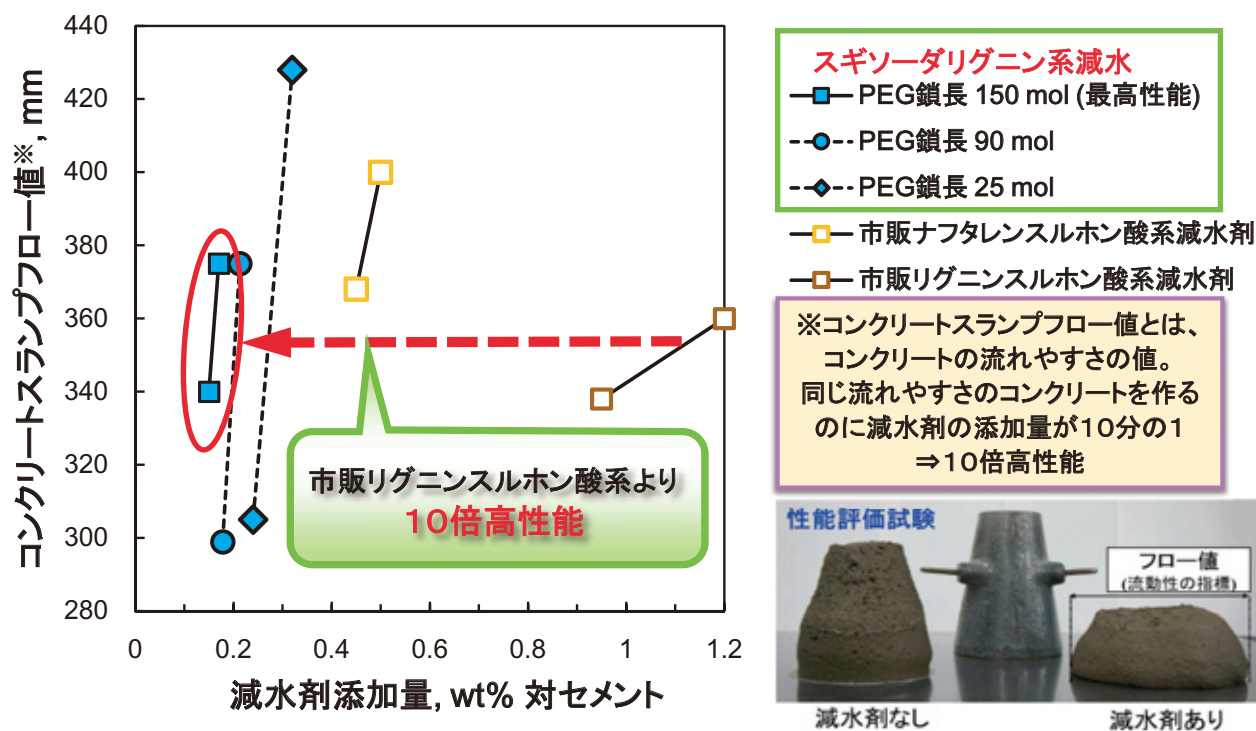


図2 開発したリグニン系減水剤の性能評価 (コンクリート流動性試験)

減水剤を添加するとコンクリートが流れやすくなり、添加しないものより高い流動性（フロー値）を示します。コンクリート流動性試験では、減水剤を添加したときのフロー値を測定し、性能評価を行います。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

次世代炭焼き技術「トレファクション」による 高性能木質固形燃料の開発

加工技術研究領域	吉田 貴紘、柳田 高志	木材特性研究領域	久保島 吉貴、黒田 克史
木材改質研究領域	上川 大輔		
立地環境研究領域	金子 真司、三浦 覚、古澤 仁美、佐野 哲也（現東北工業大学）		
四国支所	垂水 亜紀	多摩森林科学園	井上 真理子
研究コーディネータ	木口 実、大原 誠資（現森林総研フェロー）		
福井県総合グリーンセンター	野村 崇、和多田 浩樹		
株式会社アクトリー	田中 孝二郎、増井 芽		
三洋貿易株式会社	大藪 吉郁、五十嵐 大徳、小林 明央		

要 旨

木質ペレットは、木くずを圧縮して固めた木質バイオマス固形燃料として、木材チップより多くのエネルギー（発熱量）を得られる長所があります。しかし、石油や石炭に比べるとエネルギーが低く、また水に弱いなどの欠点もあります。そこで、古くからの炭焼き方法を改良したトレファクションと呼ばれる半炭化処理と、ペレット成型の組み合わせにより、従来のペレット燃料より 30% 程度高いエネルギーを持ち、かつ水に強く扱いやすい高性能木質固形燃料を開発しました。さらに、実証プラントを建設して、昼夜連続運転によるトレファクション燃料の製造に成功しました。この燃料は、家庭用や農業用など、地域で利活用できる高性能燃料として期待できます。

木を焙じて高性能な燃料をつくる

木質固形燃料の一つである木質ペレット^{*}（図1左）は、小さな円柱状で取扱いやすいものの、灯油や石炭よりエネルギー（発熱量）が低く、水や湿気で簡単に崩れる欠点があります。そのため本研究では、木くずに熱を加えることに着目しました。木材のエネルギーを高める方法には古くから炭化が知られていますが、通常の炭化は 800℃前後の高温で行うため、木材が本来持つエネルギーの 70% 近くが外に逃げてしまいます。そこで、300℃前後の低い温度で「ほどほどに熱をかける」こと（半炭化）にしました。ちょうどお茶やコーヒー豆を「焙じる」イメージです。これにより外へ逃げるエネルギーを抑え、製品のエネルギーを従来の木質ペレットより 30% 程度大きくできます。さらに、木質ペレットと同様に押し固めて加工できることから（図1右）、体積当たりのエネルギー（エネルギー密度）を木炭より高くできるとともに、取扱いやすいので燃焼装置で自動運転ができます。この「焙じる」方法を英語で「トレファクション」^{*}といいます。そこでこの技術を「トレファクション」技術と名付けて研究を進めました。

次世代炭焼き「トレファクション」技術の実証プラント

トレファクション処理をするとエネルギーが大きくなる他に、ペレットに固める際の粉碎エネルギーを最大 90% 程度減らせること、水に対して強いこと、従来のペレットと同様の着火性を示すことなど、様々なメリットを持つことがわかりました。さらに、木炭工場での実験を通じて、外熱式ロータリーキルン^{*}型炭化装置とペ

レット製造機の組み合わせで燃料を量産できる見通しが立ちました。この結果をふまえて、平成 25～26 年度にトレファクション燃料をつくる実証プラントを設計、製作し（図2）、平成 27 年度にはプラントの昼夜連続運転によるトレファクション燃料の製造に成功しました。

付加価値の高い次世代型高性能燃料

トレファクション燃料が持つ、これまでの固形燃料にはない様々なメリットを活かすことにより、薪やチップなどとはひと味違う、さまざまな使い方が期待できます。例えば、石炭火力発電で石炭に混ぜる木材のかわりに木質トレファクション燃料を利用することで、混ぜる割合をこれまでの 10 倍以上に増やすことが可能となり、石炭消費量の削減すなわち二酸化炭素排出量を削減できるとして技術開発が進められています。また、ストーブ（図3）やボイラー等、地域で小規模な熱利用に用いる新たな利用法も見出されています。さらに、保管や携帯しやすいことから、アウトドア、防災燃料用途にも利用できるなど、山村地域に眠る未利用木質バイオマス資源を地域で高性能燃料に加工し、地域内外で多目的に活用できる地域資源利用型の燃料として期待できます（図4）。

本研究は、農林水産省実用技術開発事業「次世代高カロリー燃料『ハイパー木質ペレット』の製造・利用技術の開発」および林野庁木質バイオマス加工・利用システム開発事業「林地残材等のトレファクション燃料化による高性能利用技術の確立」による成果です。



図1 従来ペレット燃料（左）とトレファクション燃料（右）



図2 実証プラント



図3 ペレットストーブ燃焼試験

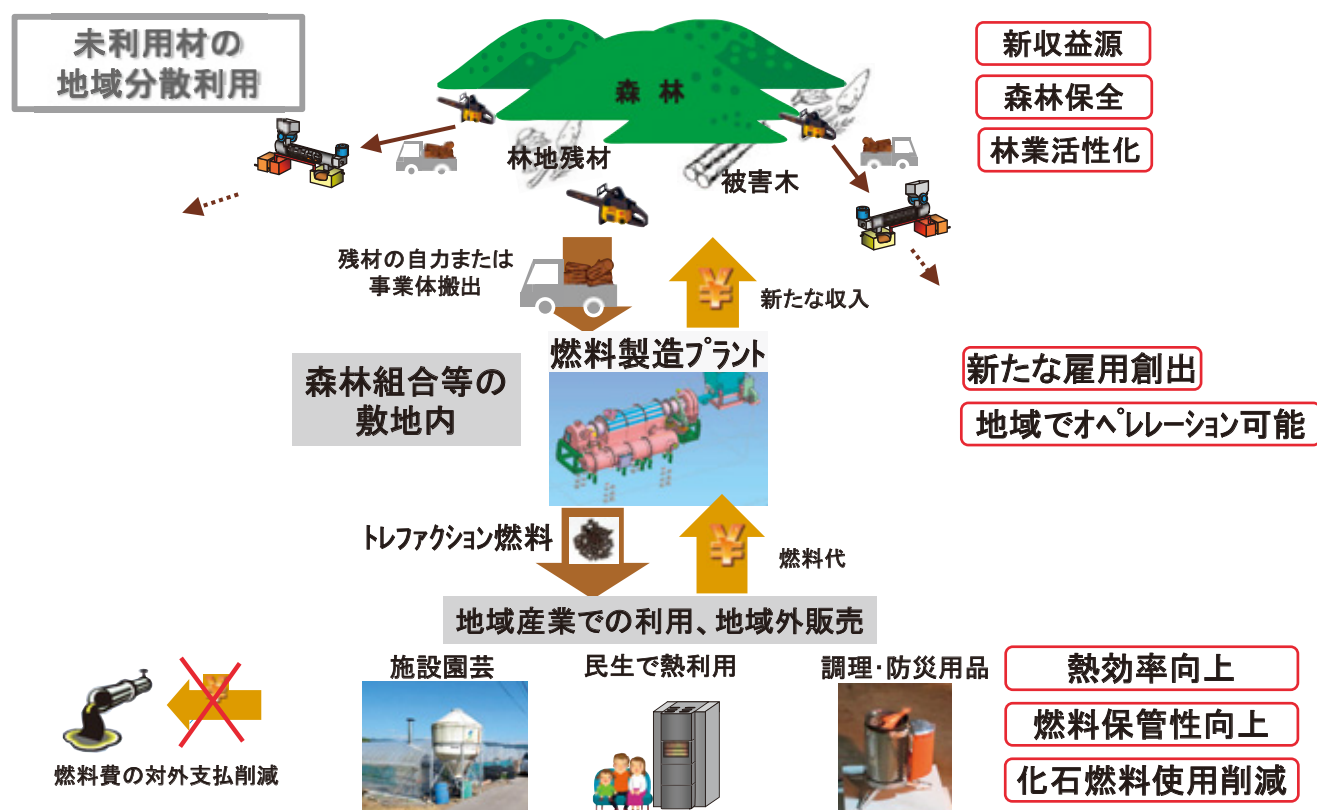


図4 トレファクション燃料利用モデル

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

スギからセルロースナノファイバーを一貫製造するシステムの開発

きのこ・微生物研究領域
バイオマス化学研究領域
木材改質研究領域
研究コーディネータ

林 徳子、下川 知子、野尻 昌信、渋谷 源
眞柄 謙吾、久保 智史、戸川 英二、藤澤 秀次
小林 正彦
木口 実

要 旨

樹木の細胞壁は、幅4ナノメートルの細いセルロース繊維の束からできています。紙の原料となるパルプを究極までほぐすとこのセルロース繊維の1本から数10本の束になります。これが、セルロースナノファイバー（CNF）です。CNFは軽くて強いため、新素材として用途開発が期待されています。物理処理でCNFを生産するには高いエネルギーが必要ですが、水酸化ナトリウムで蒸解するパルプ化及び酵素処理と湿式粉碎の併用によるナノ化を連続して行うことによって、エネルギー消費が少ない低環境負荷なCNF一貫製造工程を開発しました。森林総合研究所内にベンチプラントを建設して、スギを原料としたCNFの製造実証を行うとともに、タケについても食品利用を目的としたCNFの開発研究を行っています。

セルロースはナノファイバー

セルロース、ヘミセルロース、リグニンは植物細胞壁の主要成分で、それぞれ50%、10～20%、20～30%程度含まれています。植物の細胞壁内には、まっすぐなセルロース分子の鎖が規則的に並んで互いに結びついた「セルロースマイクロフィブリル」と呼ばれる幅約3～4ナノメートルの極細の繊維が束になっています。スギなど高等植物のセルロースマイクロフィブリルは、幅3～4nm、長さは数百～数千nmとまさに「ナノファイバー」です。

機械処理と酵素処理を併用するナノファイバー製造

セルロースを1本から数10本のセルロースマイクロフィブリルにほぐしたものがセルロースナノファイバー（CNF）です。セルロースを物理的にCNFまでほぐすには大きなエネルギーが必要であり、高圧ホモジナイザーなどの大型の機械装置やTEMPO酸化などの化学反応を用いた方法で作られています。これらの方法は製紙用のパルプを原料とし、大規模生産を視野に入れたもので中山間地域にそのまま適用するのは困難です。

そこで、私たちは、水酸化ナトリウムによる蒸解法と酵素処理・湿式粉碎の併用法とを組み合わせることによって木材をパルプ化からCNFまで一貫した製造工程を開発しました。通常の粉碎処理では、セルロースが叩き潰されるだけでほぐれませんが、この新しい技術では処理時に水を入れ、セルラーゼという酵素を投入することで、一般に使われる粉碎機を用いてセルロースを微細なCNFにまでほぐすことができます（図1）。

平成26年度林野庁事業において、水酸化ナトリウム蒸解によるパルプ化、漂白、酵素処理とビーズミル等の湿式粉碎処理などの装置を備えたCNF製造ベンチプラントを森林総合研究所敷地内に建設しました（図2）。この製造工程では、チップからCNFを一貫工程で製造

し、現状の製紙工場等で製造されるものより大幅に簡素化されているのが特徴で、規模が小さくとも生産性を上げてCNFの生産コストを低減できることを明らかにしました。本方法で作られたCNFは表面が化学処理されておらず、幅3～100nm、長さ5μm以内で、ヘミセルロースを含んでいるのが特徴です（図3）。

CNFの可能性

戦後70年を過ぎ、日本の森林は用材として利用できる成熟木が増加しており、木材の新規利用を図ることが重要です。一方、里山の荒廃や竹林の放置による竹林の拡大が問題となっていますが、タケを原料にしたCNFも製造可能です。タケの場合、ヘミセルロースの一種のキシラン、アラビノースが多く含まれること、また、CNFがスギよりゲル化しやすい特徴があることがわかりました（図4）。

「CNFは鋼鉄の5分の1の重さで5倍の強さがある」といわれており、プラスチック等の補強材や透明フィルム等への利用研究が行われるなど、将来性の高い素材です。また、さっぱりとした粘性を示すことから増粘剤としての利用も考えられています。CNFを中山間地域で生産することによって、地域産材を利用した新産業を興すことが期待できます。森林総合研究所では、開発したこれらの技術を地方創生として中山間地域等で使ってもらえるところを探しています。

本研究は、林野庁受託事業「木材需要拡大緊急対策事業」、セルロースナノファイバー製造技術実証事業、および、農林水産省受託事業「革新的技術創造促進事業（異分野融合共同研究 計画研究）」、「物理処理と酵素処理を併用した木質材料由来ナノファイバーの食品等への応用」で実施しました。

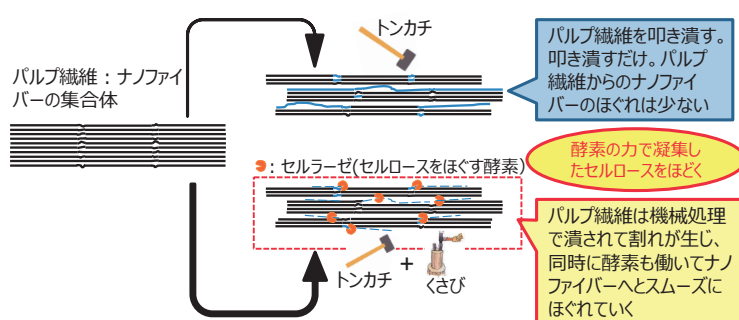


図1 酵素と湿式粉碎を用いたセルロースナノファイバー製造法の原理



図2 セルロースナノファイバー製造技術実施設



図3 スギのチップ、パルプ、漂白パルプおよびセルロースナノファイバー懸濁液（1%）とセルロースナノファイバーの透過電子顕微鏡写真

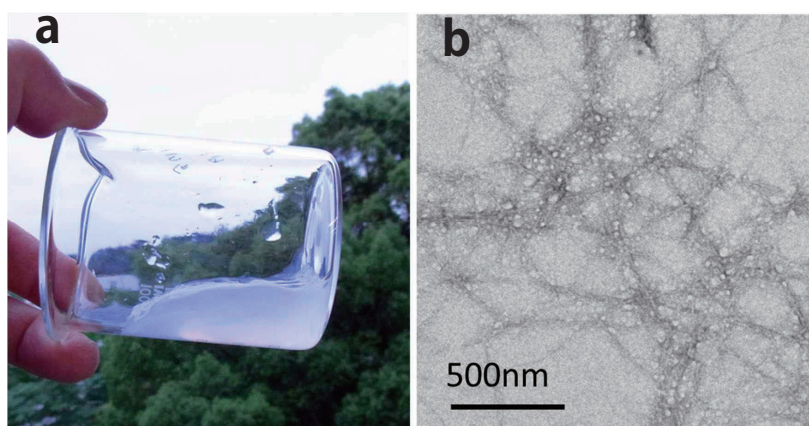
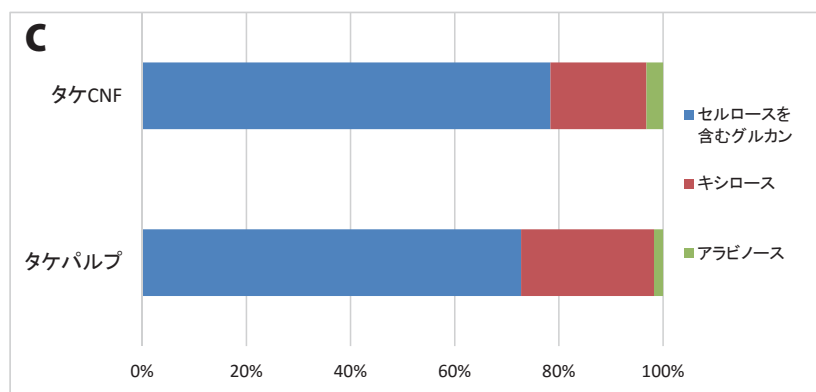


図4 タケ CNF ゲル (a) と含まれる CNF の透過型電子顕微鏡写真 (b) および CNF の糖組成 (c)

CNF にもキシロース、アラビノースなどのヘミセルロース成分が含まれる。



北海道産トドマツ葉から革新的な空気浄化剤を開発

バイオマス化学研究領域
日本かおり研究所株式会社

大平 辰朗、松井 直之
金子 俊彦、田中 雄一

要 旨

トドマツの葉の香り成分には、有害性が危惧されている二酸化窒素等を極めて効率的に除去する機能があることを発見し、その香り成分の元となる活性物質を数種類特定しました。また、この香り成分は、人に対するストレス低減効果、リラックス効果、抗菌・抗ウイルス効果などを持つことも確認できました。この香り成分を有効利用するために、高効率で経済的な「マイクロ波減圧コントロール抽出法」を企業と共同で新たに開発し、革新的な空気浄化剤として様々な商品に結びつけました。さらに、この方法で得られる抽出残渣は、悪臭等の消臭機能に優れていることを見だし、建材や壁紙等へ応用できる機能性素材の開発を行いました。

空気浄化力に優れたトドマツ葉油

排気ガスなどに含まれる二酸化窒素等の環境汚染物質は、人間の様々な疾病の要因になるといわれており、その効果的な除去法を開発することは、我々の健康増進を図る上で極めて重要です。私たちは、樹木、特に葉に含まれる香り成分の機能に着目し、トドマツ葉部に含まれる香り成分（葉油、図1）が二酸化窒素の浄化能力に優れていることを発見し、その活性物質が数種のテルペン類（図2）であることを見出しました。さらに、葉油の極めて効率的な抽出法を新たに開発し、企業と共同で革新的な「空気浄化剤」の商品化を行いました。

精油成分の効率的な抽出法の開発

一般に、植物中の香り成分の量は微量であるため、製造コストが高くなります。そのため、経済的かつ効率的な全く新しい精油抽出法（マイクロ波減圧コントロール抽出法）を企業と共同で開発しました（図3）。この方法は、減圧条件のもとで、マイクロ波を利用して加熱・抽出を行う画期的なもので、省エネルギー型のため精油の抽出に関わるコストを一般的な抽出法の1/5以下に低減できました。抽出原料としては、伐採等で排出された未利用のトドマツ枝葉等の林地残材（図4）を用いました。

革新的な空気浄化剤として商品化

トドマツ葉油は、揮発した状態で空気中の汚染物質をすみやかに浄化でき、かつ人に対するリラックス効果や抗菌・抗ウイルス効果なども確認できています。他の素材にはな

いこれらの働きを活かし、革新的な空気浄化剤を企業と共同開発することで様々な形で商品化しました（図5）。

利用価値の高い抽出残渣

新しく開発したマイクロ波減圧コントロール抽出法では、抽出残渣が乾燥した形で得られ（図6）、前処理なしでその後の利用が容易です。残渣の特性を調べたところ、悪臭等に対して優れた消臭活性を有していることが判明したため、建材や壁紙等へ応用する機能性素材を開発しました。また、抽出残渣は木材とほぼ同等の高いカロリー（4,754kcal/kg）を有していることも判明し、燃料としての利用も可能です。これらにより、未利用であった資源を総合的に余すことなく利活用できます。

さらに、スギなどの葉にもトドマツとは異なった機能性成分が見出されています。それらの機能を活かした活用法が確立できれば、未利用であった様々な樹木の葉等の資源を有効利用する新規ビジネスとして展開可能になり、林業・林産業の新たな収入源にもなり得ます。これを地域特有の資源の有効利用策の一環として展開することで、地域経済の発展に大きな寄与が期待できます。

詳しくは、大平辰朗(2015) 樹木精油成分による空気質の改善, 木材学会誌 61(3), 226-231 及び、大平辰朗(2015) 未利用林地残材を活用した森林ニュービジネスの可能性 - 枝葉から生まれた空気浄化剤 -, 山林 1569, 23-32 をご覧下さい。



図1 二酸化窒素除去活性の高いトドマツ葉油

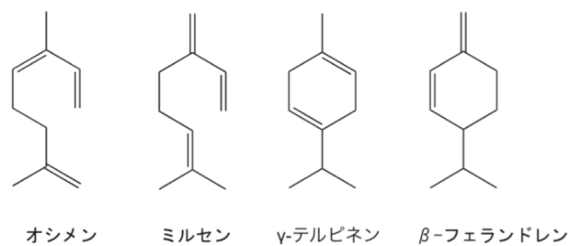


図2 トドマツ葉油中の二酸化窒素除去活性物質



図3 新しく開発したマイクロ波減圧コントロール抽出装置



図4 森林伐採現場等で排出される枝葉等の林地残材



図5 トドマツ葉油等を活用した商品

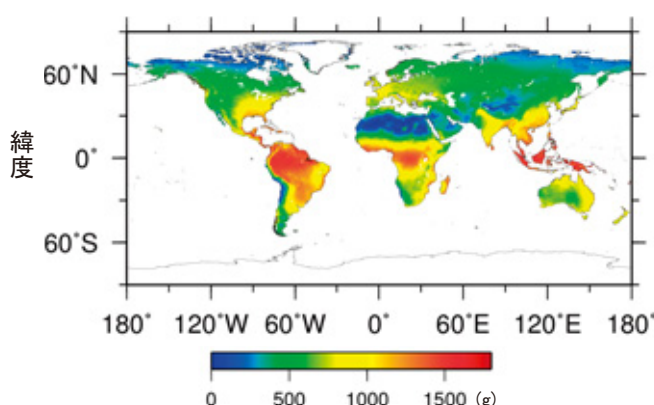


図6 利用価値の高いトドマツ葉の抽出残渣

地球温暖化の防止、水源の涵養、 国土の保全、生物多様性の保全等の 森林の機能発揮に向けた研究

森林のもつ地球温暖化の防止、水源の涵養、国土及び生物多様性の保全など様々な機能を発揮させるための技術開発や対応が求められています。そこで、以下の6つの課題を実施しました。

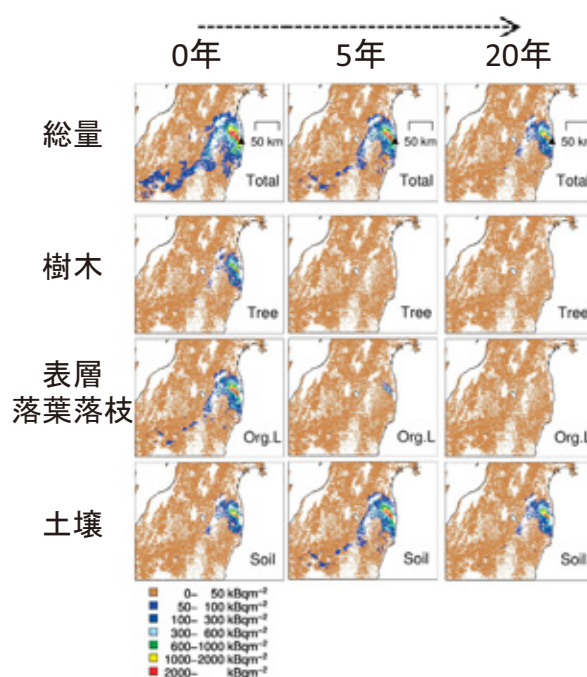
- E1 炭素動態観測手法の精緻化と温暖化適応及び緩和技術の開発
- E2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発
- F1 環境変動・施業方法等が水資源・水質に与える影響評価技術の開発
- F2 多様な手法による森林の山地災害防止機能強化技術の開発
- G1 シカ等生物による被害軽減・共存技術の開発
- G2 生物多様性を保全するための森林管理・利用技術の開発



Eの成果の例：日本及び世界の土壌からの二酸化炭素放出量を推定しました。



Gの成果の例：シカの行動を制御して効率よく捕獲する様々な技術を開発しました。



Fの成果の例：森林内での放射性セシウムの土壌への移行と将来予測を行いました。

これらの成果により、「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」に貢献しました。

日本の森林土壌と世界の陸域土壌からの二酸化炭素放出量を 独自モデルで推定

立地環境研究領域
四国支所
国立環境研究所
Max Planck 研究所

橋本 昌司、阪田 匡司、石塚成宏
森下 智陽
仁科 一哉、伊藤 昭彦
N. Carvalhais、M. Migliavacca、M. Reichstein

要 旨

落ち葉などの分解や根の呼吸を起源として、土壌から大気中へ二酸化炭素が放出されています。その量は、地球上の様々な炭素の流れの中でも特に大きいものの一つです。しかし、広域での放出量推定を行った研究は限られており、よく分かっていませんでした。そこで独自のモデルを開発して推定を行った結果、日本の森林土壌からは炭素換算で年1億3千7百万トンに相当する二酸化炭素が放出されていることがわかりました。さらに、地球上の陸域土壌全体では、炭素換算で910億トンの二酸化炭素が放出されていました。また主に気温上昇の影響によって、放出量が増大していることも明らかになりました。陸域での炭素循環についての理解が進むことで、今後の地球全体での気候変動の予測精度向上に役立つことが期待されます。

気候変動の鍵を握る土壌炭素

地球上では、大気、海洋、陸域（植生・土壌）の間で炭素が循環しています。その炭素循環を化石燃料の消費や森林破壊によって人間がかく乱し、地球温暖化などの気候変動が起きています。土壌には、大気中の2倍以上の炭素が蓄積していると考えられています。土壌から大気へ放出される二酸化炭素は、落ち葉などの分解や根の呼吸を起源とし、地球上の炭素の動きの中で、化石燃料による放出の10倍以上と大きな割合を占めています。私たちは、日本の森林土壌にたまっている炭素量を広域調査でモニタリングするとともに、土壌からの二酸化炭素放出量の観測データを用いて、土壌から放出される二酸化炭素の量を広域で推定してきました。

日本の森林土壌が出す二酸化炭素量

森林総合研究所は、森林土壌から放出される二酸化炭素量について膨大な観測データを蓄積しています。これを用いて、日本の森林土壌における二酸化炭素放出量予測モデルを構築しました。さらに、日本の森林を1km×1kmの解像度で分割し、日本全国の森林土壌における二酸化炭素放出量を評価しました。その結果、日本の森林土壌から放出される二酸化炭素の量は炭素換算で年1億3千7百万トン（1980年から2009年までの平均値）であり（図1）、おもに気温の上昇傾向に影響を受けて、過去30年間（1980～2009年）増大傾向にあることがわかりました。

地球の陸域土壌全体が出す二酸化炭素量

次に、世界の陸域土壌全体を対象に研究を行いました。世界各地で観測された土壌から放出される二酸化炭素に関するデータベースを解析し、気温や降水量を入力条件

とするモデルを構築しました。このモデルを用いて、地球全体の陸域を0.5°×0.5°の解像度で分割し、土壌からの二酸化炭素の放出量を推定したところ、地球の陸域土壌全体での総放出量の推定値は炭素換算で910億トン（1965年から2012年までの平均値）となりました（図2）。世界全体でみても、気候変動による気温上昇の影響を受けて、放出量が増加傾向にあることが示されました（図3）。今回得られた値は、2010年に報告された先行研究より6%程度小さい値です（2008年の推定値と比較）。この先行研究との差は、化石燃料の消費で毎年大気へ放出される二酸化炭素量に匹敵します。

これらの一連の研究は、日本の、そして地球全体の炭素循環についての理解を深め、気候変動の予測精度向上に役立つことが期待されます。今後も観測と解析を継続して、気候変動によって土壌の炭素がどのように変化していくか調べていくことが必要です。

本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト「森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」及び、JSPS 科研費（JP24510025）「ベイズデータ同化技法を活用した全球の森林土壌温室効果ガス吸排出量の新しい推定」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。
森林総合研究所 2016年3月16日プレスリリース「地球上の土壌から放出される二酸化炭素のマップを作成—世界各地の最新の観測データセットに基づく推定—」
Hashimoto, S. *et al.* (2015) Biogeosciences, 12: 4121–4132.
Hashimoto, S. *et al.* (2011) Scientific Reports, 1, 116.
Ugawa, S. *et al.* (2012) Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute, 11: 207–221.

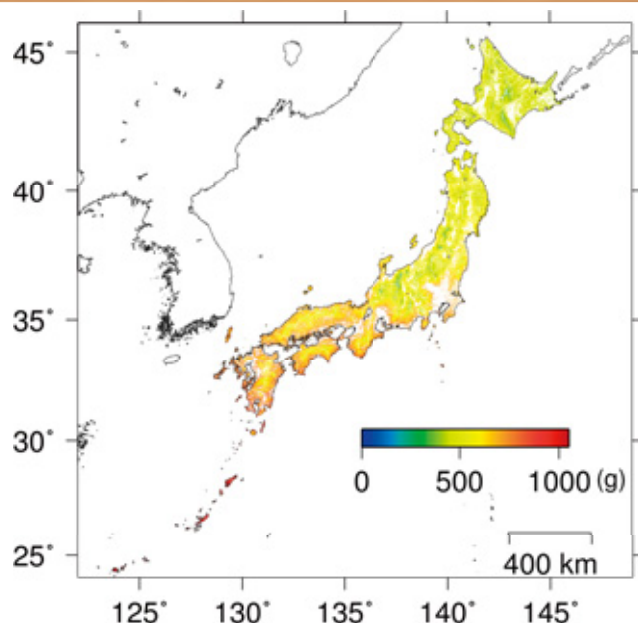


図1 日本の森林土壌から大気へ放出される二酸化炭素量のマップ

1平方メートル当たりの年間の放出量を炭素換算で表示しています。1980～2009年の平均。(Hashimoto *et al.* 2011)

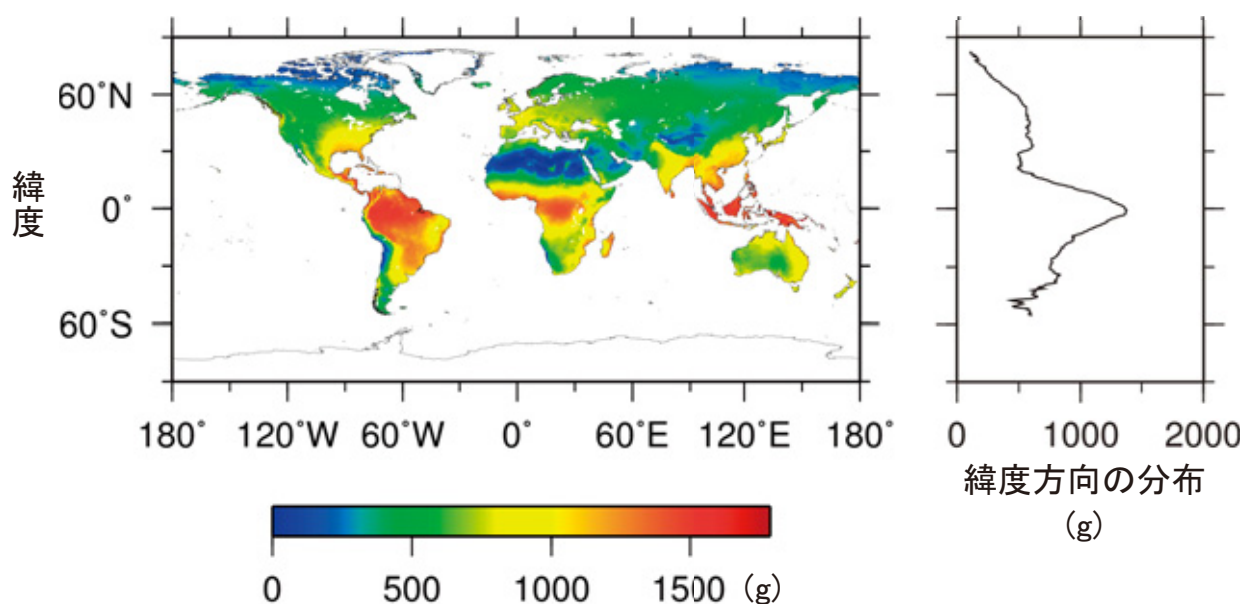


図2 土壌から大気へ放出される二酸化炭素量の陸域全体のマップ（左）と緯度方向の放出量の分布（右）

1平方メートル当たりの年間の放出量を炭素換算で表示しています。1965～2012年の平均。(Hashimoto *et al.* 2015)

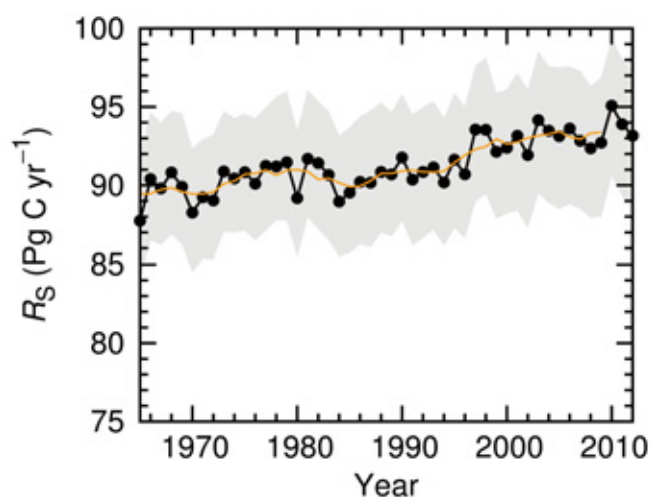


図3 地球上の土壌から放出される二酸化炭素量の経年変化

年ごとの値を炭素換算で表示しています。灰色の影は推定の不確実性を表しています。(Hashimoto *et al.* 2015)

将来予測から見た森林分野の地球温暖化緩和策

研究コーディネータ
林業経営・政策研究領域
構造利用研究領域
北海道支所
四国支所
宮崎大学
東京農工大学

松本 光朗
岡 裕泰、鹿又 秀聡
恒次 祐子
嶋瀬 拓也
外崎 真理雄
光田 靖
加用 千裕

要 旨

森林分野での地球温暖化緩和策を適切に評価するには、森林による二酸化炭素の吸収と、木材利用による二酸化炭素の排出削減を関連づけて評価する必要があります。そこで、森林、林業および木材利用の影響を包括して評価できる森林セクタ炭素統合モデルを開発し、温暖化対策のシナリオに沿った排出削減量の将来予測を行いました。その結果、木材生産を増加し利用を促進すると森林の吸収量は減少するものの、木材利用による排出削減量が増加し、吸収量減少分の多くをカバーできることが分かりました。このことは、地球温暖化対策として森林による吸収と並んで木材利用が重要であることを示しています。

地球温暖化緩和策

温室効果ガスの濃度を下げて地球温暖化の進行を緩やかにする対策を緩和策といいます。森林分野での緩和策には、森林の成長による二酸化炭素の吸収と、製造に高いエネルギーを必要とする材料や化石燃料を木材で代替することで二酸化炭素の排出を削減するという2つのアプローチがあります（図1）。我が国では、この2つのアプローチを使った緩和策はどうあるべきでしょうか。

森林セクタ炭素統合モデルとシナリオ

これに答えるために、森林、林業、木材利用に関連づけて吸排出量を評価できる森林セクタ炭素統合モデル（以後、統合モデル）を開発しました（図2）。このモデルでは、森林による吸収と木材利用による排出削減量を足上げた炭素変化量を緩和効果として評価します。この評価方法は京都議定書による吸収量の算定方法とは異なるものですが、中長期的な傾向をみるのに適しています。

また、将来を予測するに当たって、代表的な林業と木材利用に関わるシナリオを設定しました。ここでは、分かりやすさのため3つのシナリオを取り上げました。まず、現在の施策を延長する「現状シナリオ」、そして伐採量を緩やかに増やす「緩伐採増加シナリオ」、さらに林業生産と木材利用を大幅に促進する「基本計画シナリオ」です（表1）。

将来予測

統合モデルと3つのシナリオを用い、2050年までの

将来予測を行った結果、緩和効果は当初は「現状」、「緩伐採増加」、「基本計画」の順に高かったものの、シナリオ間の差がだんだん小さくなり、2040年を過ぎると「現状」、「基本計画」、「緩伐採増加」の順になることが分かりました（図3）。

また、2050年の時点の緩和効果である炭素変化量の内訳をみると、現状シナリオでは森林による吸収量がほとんどを占めますが、伐採量が多い緩伐採増加シナリオと基本計画シナリオでは、森林による吸収量は減るものの、木材利用による排出削減量の割合が大きくなることが分かりました。特に、基本計画シナリオでは、木材利用による排出削減量の増加が、森林吸収量の減少分の多くをカバーすることが分かりました（図4）。

このことは、今後、地球温暖化対策として森林による吸収とともに、木材利用による排出削減が重要であり、それらのバランスを取りながら緩和策を進めることの重要性を示しています。

本研究は、農林水産技術会議委託、「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト」による成果です。

詳しくは、Mitsuo Matsumoto *et al.* (2016) Potential contributions of forestry and wood use to climate change mitigation in Japan, *Journal of Forest Research*, DOI 10.1007/s10310-016-0527-4 をご覧下さい。



図1 地球温暖化緩和のための森林分野の2つのアプローチ

森林分野の温暖化緩和策には、森林による二酸化炭素吸収と、木材利用による排出削減の2つのアプローチがあります。

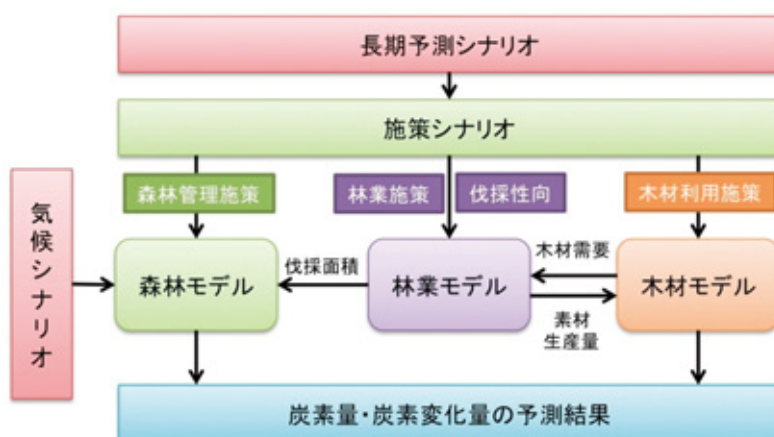


図2 森林・林業・木材利用を通じた森林セクタ炭素統合モデル

森林セクタ炭素統合モデルは、環境要因や立地要因から森林の生産量を推定する森林モデル、伐採面積や伐採量を予測する林業モデル、そして製品別に木材利用量を予測する木材モデルから成っています。

表1 将来予測のためのシナリオと林業・木材利用の指標

シナリオ名	林業の指標			木材利用の指標	
	主伐面積	再造林率	新品種利用	建築・家具	土木
現状	現状面積	現状造林面積	無	現状木造・木製率(35%)	現状利用量100万m ³
緩伐採増加	2050年までに2倍以上	現状率	無	2050年までに木造・木製率50%	2050年までに利用量300万m ³
基本計画	素材生産量大幅増 2020年3900万m ³ 2030年5000万m ³	上昇	2050年までに70%に増加	2050年までに木造・木製率70%	2050年までに利用量600万m ³

将来予測のためのシナリオと、林業・木材利用に関わる具体的な指標を示しました。「現状シナリオ」は現状の施策を延長するもの、「緩伐採増加シナリオ」は緩やかに林業・木材利用を進めるもの、「基本計画シナリオ」は現在の森林林業基本計画(H23)に沿った積極的な林業生産を行うものです。

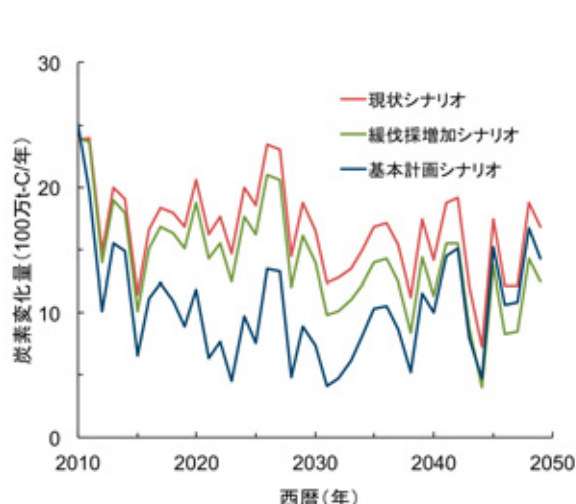


図3 予測された森林と木材利用による緩和効果

森林による吸収量と木材利用による排出削減量を合算した炭素変化量を、総合的な緩和効果として示しました。予測されている将来の気候(MIROC3.2-hires, A1Bシナリオ)により、毎年の炭素変化量は大きく上下します。森林による吸収量が多い現状シナリオが最も緩和効果は高いものの、シナリオ間の差は時間の経過に従い少なくなりました。

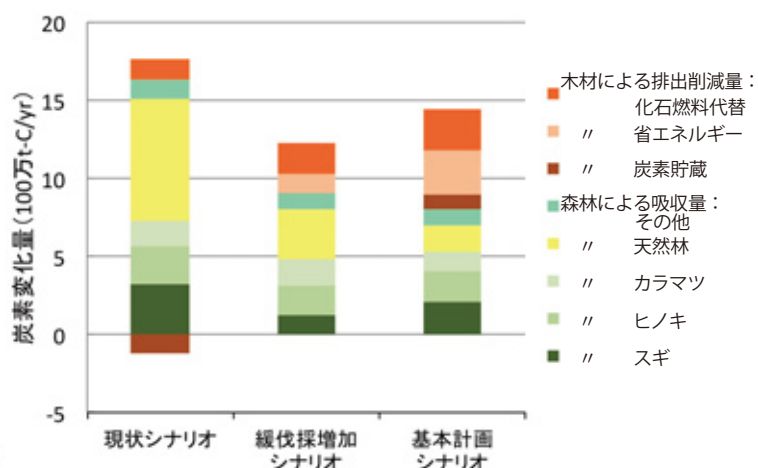


図4 2050年の緩和効果の内訳

緩和効果を表す吸収量と排出削減を合算した炭素変化量は、シナリオ間で余り変わりませんが、その内訳は大きく変わりました。現状シナリオでは森林の吸収量がほとんどを占めているのに対し、木材利用を促進する2つのシナリオでは木材利用による排出削減量が増え、特に基本計画シナリオでは吸収量の低下の多くを排出削減量の増加でカバーしています。このことは、地球温暖化対策として、森林による吸収と並んで木材利用による排出削減が重要である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。

ブナ林を温暖化から守るための保護区の見直し

企画部
植物生態研究領域
北海道支所
森林植生研究領域

田中 信行（現東京農業大学）
松井 哲哉
津山 幾太郎
中尾 勝洋

要 旨

温暖化の悪影響を少なくするための対策（適応策）が、人間社会や自然環境の各分野で求められています。温暖化の影響がよく研究されているブナについて、森林総合研究所が開発した分布予測モデルを用いて、現在と将来の気候条件におけるブナの潜在生育域を推定し、現在の自然保護区との位置関係がどうなるかを解析しました。その結果、北海道や東北では、温暖化が進んだ後も潜在生育域となる地域を保護区として加え、保全を進めることが有効な適応策のひとつと考えられました。一方、西日本などでは潜在生育域がほとんど消失するため、保護区や保護区周辺にブナを植栽するなど積極的に人が関わる管理が必要なことを明らかにしました。

温暖化に備える適応策

地球表面の平均温度は、これまでの約 100 年間に 0.85℃上昇しました。今後 100 年間で、さらに 0.3～4.8℃の上昇が予測されており、動植物の分布や生態系に様々な影響を与えると予想されます。健全な生態系を守るためには、温暖化がもたらす森林の衰退や病虫害の発生などの悪影響を少なくするための対策（適応策）が必要となります。温暖化が進むと、動植物の水平、垂直分布は、その南限や下限の地域では縮小し、一方、北限や上限の地域では拡大すると考えられます。そこで、分布予測モデルを用いて、種の生育可能な地域（潜在生育域）の将来の変化を推定するとともに、実際に進行している森林の変化をモニタリングによって把握し、その結果に基づく適切な適応策を計画し実行することが必要です（図 1）。

ブナ林：日本の代表的自然林

ブナは、北海道南部から九州にかけての冷涼な地域（冷温帯）に広く分布する落葉広葉樹です。ブナ林は、多様な野生動物の生息場所であるだけでなく、水源涵養や炭素貯留など様々な生態系サービスを通して、私たちの生活にも欠かせない存在です。また、白神山地のブナ林が世界遺産に登録されているように、その価値が世界的にも認められています。

温暖化により潜在生育域が大きく縮小

ブナの分布を気候要因に基づいて予測するモデルを作り、IPCC 第 4 次評価報告書で使われている 2081～2100 年の将来気候シナリオを組み込むことで、将来のブナの潜在生育域を予測しました。潜在生育域の面積は、現在の気候下で約 63,000km² ですが、将来の気候シナリオ下では、約 4 割に縮小すると予測されました（図 2b、c）。本州の日本海側から東北や北海道南部では、面積は縮小するものの各地に残存すると考えられます。一方、西日本や本州太平洋側では、潜在生育域の多くが

山地の最上部を占めるため、そのほとんどが消失すると予測されました。

地域で異なる適応策

ブナは、遷移後期の樹種で、成長が遅く、高齢にならないと結実して子孫を残せません。伐採が数十年といった短期間に繰り返行われると、他樹種が繁殖しブナが減少してしまいます。そのため、天然更新可能な高齢のブナを含む自然林の一部は、現在、自然保護区（保護林、国立公園など）に指定され、伐採制限などの保全策が講じられています（図 2a）。しかし、将来にわたってブナ林を保護するには、自然保護区に加えて、潜在生育域を保護区に指定して伐採を適切に管理することが有効な対策となります。

現在の気候下で保護区かつブナの潜在生育域である地域は、温暖化後には約半分（12,000km²）に減ると予測されます。一方、温暖化後も引き続き潜在生育域である地域は、現在の保護区外にも同程度の面積が広がっています。そこで、温暖化後も潜在生育域が保護区外に多く残る本州日本海側から東北、北海道南部では（図 2、図 3 左）、このような場所を保護区に追加指定して保全することが有効な対策となります。一方、潜在生育域がほとんど消失する西日本や本州太平洋側では（図 2、図 3 右）、保護区に追加できるブナ林そのものがなくなっていくため、保護区や保護区の周辺にブナを植栽するなど積極的な管理が必要と考えられます。

本研究は、環境省環境研究総合推進費「S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合研究」による実行課題 E1P07「地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価」による成果です。

詳しくは、Nakao, K. *et al.* (2013) *J for Nature Conservation*, 21: 406-413 をご覧下さい。

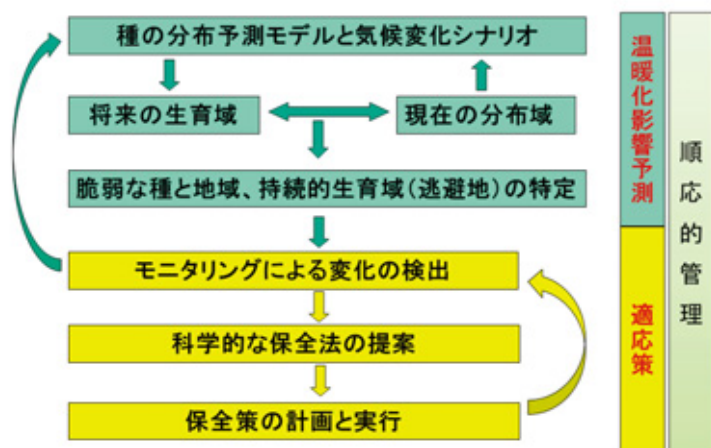


図1 自然生態系における温暖化の影響予測と適応策の関係

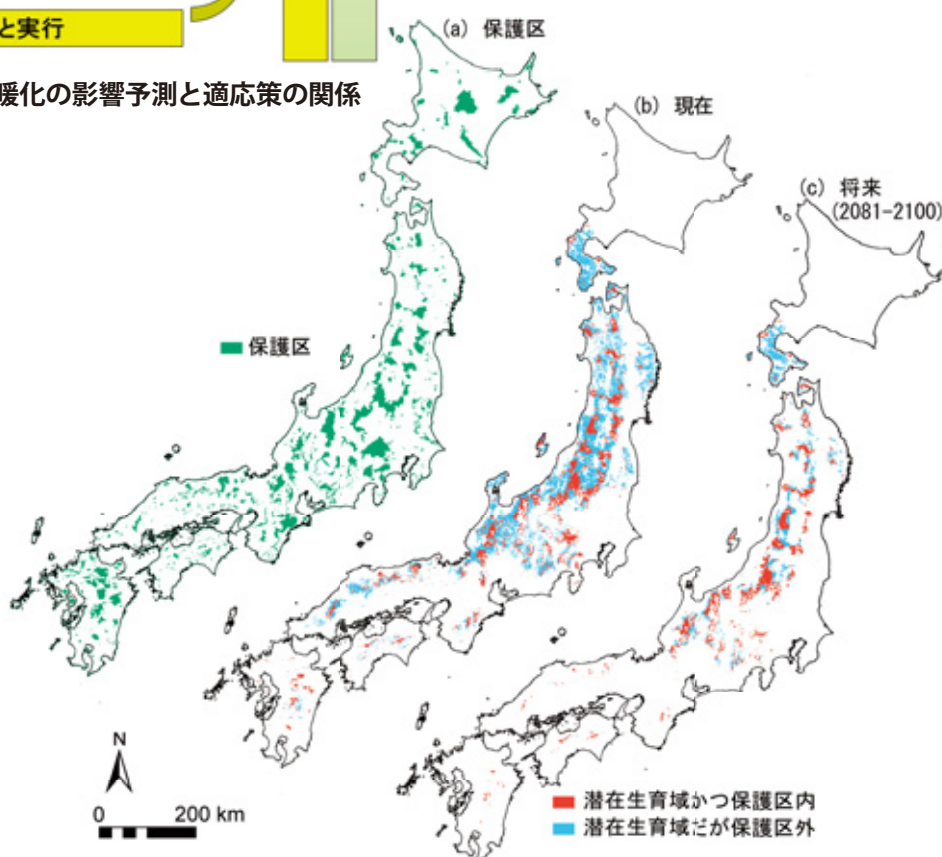


図2 現在および将来のブナの潜在生育域と自然保護区の比較

(a) 保護区、(b) 現在気候下における潜在生育域、(c) 2081～2100年の気候下における潜在生育域 (Nakao et al. 2013 を基に改変)



図3 稚樹や若木があり世代交代が順調な日本海側ブナ林(左)、潜在生育域の辺縁に位置し稚樹や若木が少なく更新が難しい太平洋側低山のブナ林(右)

どちらも冬の様子で、日本海側に多い積雪はブナにとって好適な環境条件です。この異なる状況のブナ林における温暖化への適応策は、前者では保護区の見直し、後者では植栽など積極的管理といった異なる方法が必要です。

アマゾンの森林炭素量を高精度で測る

植物生態研究領域		梶本 卓也、野口 英之（現アジア航測）	
森林植生研究領域	佐藤 保	木材特性研究領域	大橋 伸太
関西支所	諏訪 鎌平	四国支所	大谷 達也
元研究コーディネータ		石塚 森吉（現国際緑化推進センター）	
東京大学		沢田 治雄（現森林総合研究所）、澤田 義人、神藤 恵司	
リモート・センシング技術センター		遠藤 貴宏	

要 旨

REDD+^{*}活動を通して南米アマゾンで進む森林減少や劣化に歯止めをかけるためには、広域での森林の炭素蓄積量を正確に把握する手法が必要です。しかし、広大なアマゾンでは、森林の構造やバイオマス进行调查した事例はまだ限られています。そこで本研究では、奥地を含む合計1200点を超える地点で行った調査と約100本の伐倒・伐根調査から、樹木のバイオマスを推定する式を作成し、平均的な森林炭素量が流域によって違うことを明らかにしました。さらに、衛星データを用いた評価手法を開発して、ブラジル領アマゾン全域の森林炭素分布マップをこれまでにない高精度で作成することに成功しました。

熱帯林の保全のために

南米アマゾンには、世界有数の熱帯林が広がっています。1960年代以降、商業伐採や農地への転換などで急速に減少し続け、今でも東京都を上回る面積の森林が毎年失われています。途上国の森林減少や劣化に伴う二酸化炭素排出の削減策（REDD）を通して、こうした森林破壊に歯止めをかけるためには、森林に貯えられた炭素量を正確に把握し、毎年その変化を継続的にモニタリングすることが求められています。しかし、広大なアマゾンでは、奥地まで現地調査を行い、その実測データを踏まえて森林の炭素量を推定した研究はこれまでありませんでした。

空白域を埋める地上調査

この研究プロジェクトでは、これまでほとんど調査が行われていなかったブラジル・アマゾナス州の8つの地域で、樹木の種類や直径を測定する森林インベントリー（資源台帳）調査を行い、合計1200点を超えるプロットのデータを収集しました（図1）。また、大小約100本の樹木を伐倒して、幹や枝葉、さらに根も掘り出して、樹木のバイオマス（乾燥重量）を直径や樹高から計算できる推定式を作成しました。これにより、ネグロ川流域ではアマゾン川本流域に比べると平均の林分バイオマスがやや小さいなど、地域によって森林の貯蔵炭素量が違うことを明らかにしました（図2）。

広域・高精度の炭素量分布マップの作成

地上調査の結果を、より広い範囲の森林炭素量の推定につなげるためには、衛星データやその解析情報の

活用が欠かせません。そこで、高頻度観測衛星データ（MODIS）の雲なし画像データセットを整備し、また衛星レーザー計測技術（LiDAR）を組み合わせ炭素量推定の誤差（不確実性）を見積もる手法などを開発して、ブラジル領アマゾン全域を網羅した森林の炭素量分布図を作成しました（図3）。今回作成した炭素分布マップは、これまでに報告されたものに比べると、多点での現地調査結果がよく反映されており、とくにアマゾネス州については格段に推定精度が向上しました。

成果の活用と普及

本研究の成果は、日本やブラジル両国で開催した公開講演会や多数のセミナーを通じて一般向けに発信されました。また、広域の森林炭素分布図は、ブラジルの森林減少や劣化防止のキャンペーンなどに活用されています。

本研究は、科学技術振興機構（JST）と国際協力機構（JICA）が実施する地球規模課題対応国際科学技術協力事業プロジェクト「アマゾンの森林における炭素動態の広域評価（略称CDAF）」として、森林総合研究所と東京大学生産技術研究所、ブラジル国立環境研究所（INPA）、宇宙研究所（INPE）との共同研究で行われました。

詳しくは、Lima AJN *et al.* (2012) *Forest Ecology and Management* 277:163-172. Sawada, Y. *et al.* (2015) *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 43:92-101. 梶本卓也・石塚森吉 (2013) *海外の森林と林業* 86:3-8. をご覧下さい。

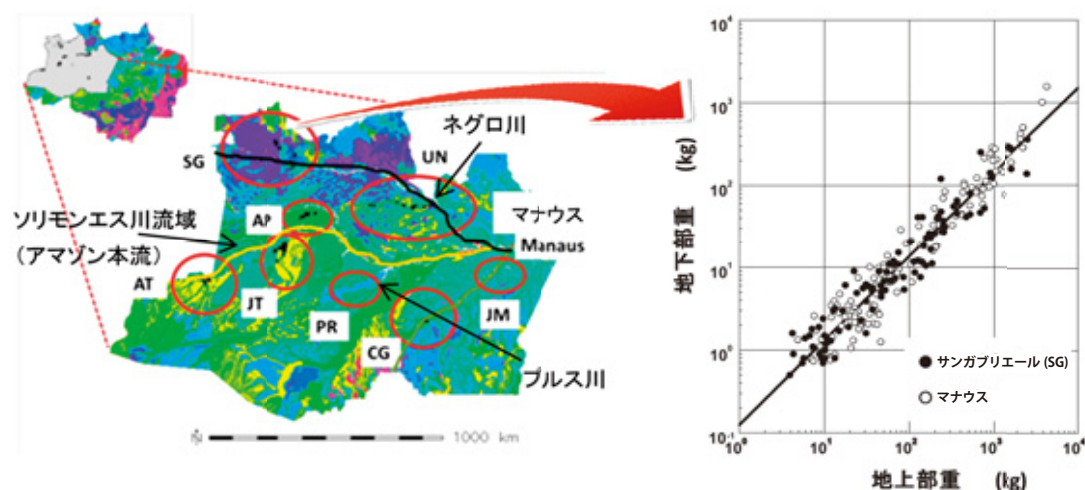


図1 アマゾン州のインベントリー調査を行った8つの地域（左）とネグロ川上流の調査地（SG）の伐倒・伐根データで得られた地上部と地下部（根）重のアロメトリー関係（黒丸）（右）
白丸はマナウス近郊の既存データ。

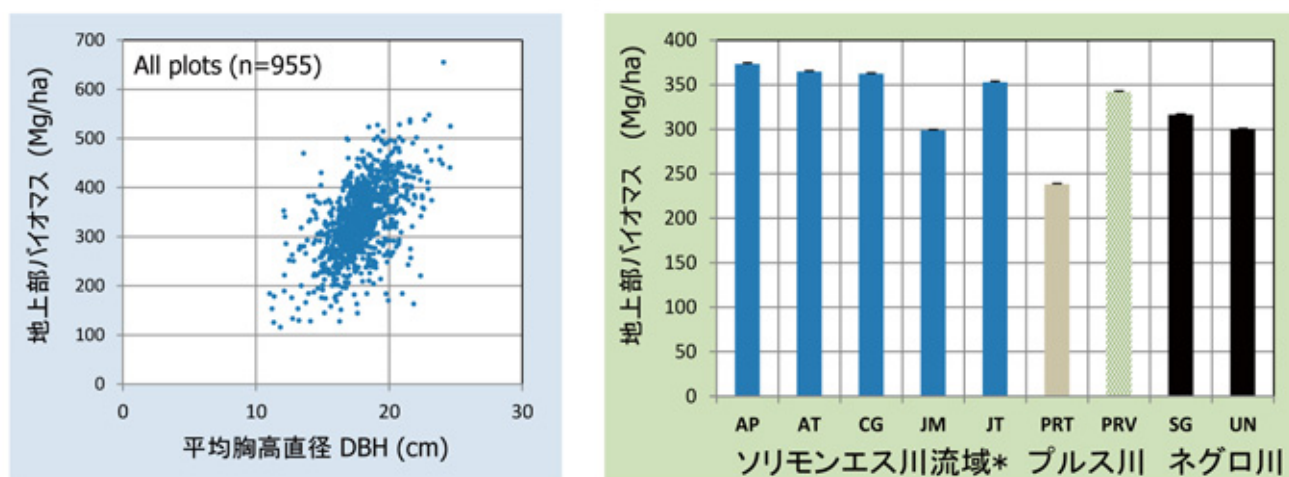


図2 8地域の全調査プロットにおける平均胸高直径と地上部バイオマスとの関係（左）
地域ごとの平均地上部バイオマスの比較（右）
アマゾン本流*（ソリモンエス川流域）の森林の方が、支流のネグロ川流域よりも炭素蓄積量はやや大きい。

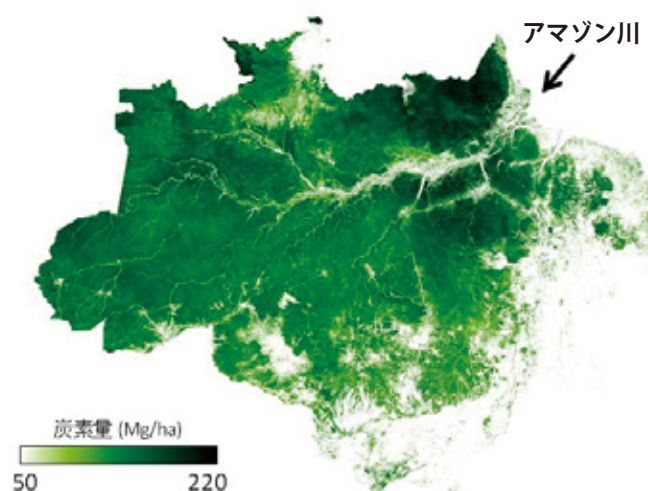


図3 ブラジル領アマゾン全域の森林地上部炭素量の推定分布マップ

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

途上国で森林の炭素蓄積量変化を把握する

温暖化対応推進拠点	平田 泰雅、ルイス・アルベルト・イスワイラス、 門田 有佳子（現京都大学）、齋藤 昌宏		
森林管理研究領域	鷹尾 元、齋藤 英樹、高橋 正義、松浦 俊也		
森林植生研究領域	佐藤 保	植物生態研究領域	清野 嘉之
国際連携推進拠点	新山 馨	九州支所	鳥山 淳平
北海道支所	伊藤 江利子	四国支所	大谷 達也

要 旨

REDD プラス^{*}は、発展途上国の森林減少、森林劣化からの温室効果ガスの排出削減等の努力にインセンティブを与える仕組みで、どの程度排出削減が達成されたかを知るためには、森林の炭素蓄積量の変化を正確に評価することが必要です。そこで、熱帯林を対象として、衛星データから推定した森林タイプ別の面積と、地上調査によって求めたタイプごとの面積当たりの平均炭素蓄積量とを掛け合わせ、国レベルの森林炭素蓄積量を算定する手法を開発しました。衛星利用の障害となる雲や季節性の問題も軽減され、森林タイプに応じた推定式に基づいた炭素蓄積量の推定精度を向上させることができました。ここで開発した手法、REDD プラスの要点や経緯、そして森林炭素計測手法は分かりやすい技術解説書として刊行しました。

REDD プラスに向けたモニタリング

発展途上国での森林の減少や劣化による二酸化炭素の排出は、気候変動の大きな要因となっており、この排出を削減するため、REDD プラスと呼ばれる国際的な取り組みが進められています。REDD プラスは、森林の減少や劣化防止の取り組みによる排出削減量に応じて各国にクレジットを与える仕組みです。そのためには、排出削減量算定の基礎となる国レベルでの森林の炭素蓄積量と、その変化を把握する手法が欠かせません（図1）。

森林タイプ別面積の推定

森林面積を推定するには、衛星画像の利用が有効です。ただし、宇宙からの広域観測では、画像のどこかで雲の影響を受けます。特に、熱帯雨林ではその影響が深刻です。そこで、大量の衛星画像を用い、雲のない状態の画像を作成する手法を開発しました。

一方、熱帯季節林が生育する地域については、太陽光の反射パターンが乾季の進行とともにどのように変化するかを森林タイプごとに調べ、その特徴を利用して森林タイプを精度よく分類できるようにしました（図2）。

これらの手法を用いることで、国レベルでのタイプ別の森林面積およびその面積変化を推定できるようになりました。

アロメトリー式の開発と森林炭素蓄積量の推定

樹木の炭素蓄積量は、胸高直径、あるいは胸高直径と樹高を変数とした推定式（アロメトリー式）を用いて計算する必要があります。しかし、熱帯季節林、乾燥林に

おいては、熱帯雨林と比べてアロメトリー式の開発が遅れていました。そこで、熱帯季節林と乾燥林で伐倒調査を行い、地下部を含めた精度の高いアロメトリー式を開発しました。この式を用いることで、森林タイプ別の単位面積当たりの平均炭素蓄積量を地上調査によって推定できるようになりました（図3）。

こうして得られた値を、衛星画像から得られた国レベルの森林タイプ別面積と掛け合わせることで、各国の森林炭素蓄積や経時的な変化量を算出できるようになりました。

REDD プラス・クックブックの刊行

REDD プラスを実施するためには、科学的なアプローチによって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。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、今回開発した手法を含め、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」を日本語版、英語版、スペイン語版として刊行し、普及に役立てました（図4）。なお、これらの各国版の技術解説書は、以下の URL からダウンロードできます。
http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/index_ja.html

本研究は、林野庁補助事業「REDD プラス推進体制整備事業」による成果です。

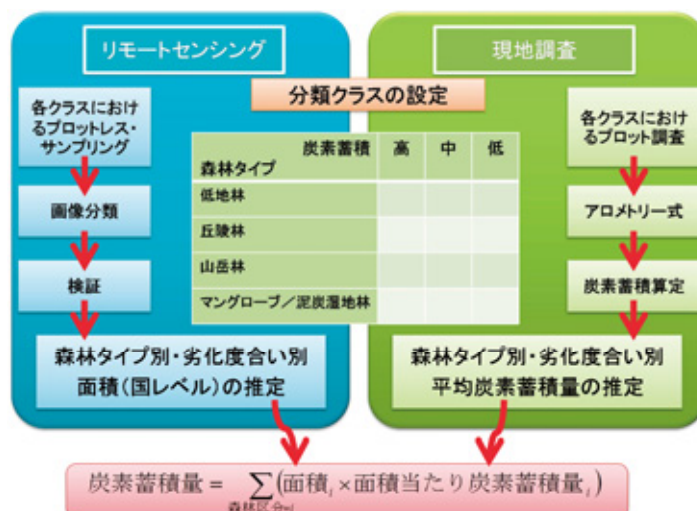


図1 国レベルでの森林の炭素蓄積量を把握する手法

リモートセンシングと現地調査を組み合わせた手法により森林炭素蓄積量を推定することが可能になりました。

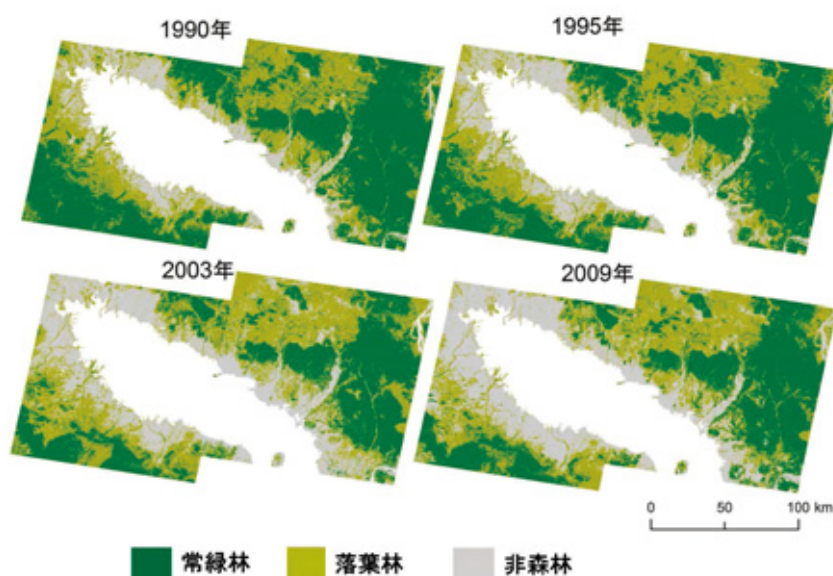


図2 カンボジア中心部の衛星画像で判別した時系列森林分布図

落葉の季節を利用して常緑林と落葉林を区分する技術を開発しました。白い部分はトンレサップ湖です。



図3 パラグアイでのアロメトリー式の作成

地上部、地下部のバイオマスを直接計測し、バイオマスを推定するアロメトリー式を開発しました。



図4 REDD プラス・クックブックの刊行

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。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

間伐すると森林から流出する水が増える

水土保全研究領域
東北支所
北海道支所
研究コーディネータ

玉井 幸治
久保田 多余子
延廣 竜彦
坪山 良夫

要 旨

質の良い木材を生産するためには、樹木を適度に間引く間伐と呼ばれる手入れが必要です。一方、森林には水源かん養機能があります。水源かん養機能を発揮させながら持続的に木材を生産するには、間伐が水源かん養機能に及ぼす影響を明らかにすることが必要です。そこで森林を間伐し、その前後での蒸発散や流出する水の量の変化を観測しました。間伐前後で降水量はほぼ同じでしたが、蒸発散量は6月から10月の樹木が生長する季節に特に減少し、年間流出量が109mm、割合にして約15%増加しました。

森林をめぐる水の動き

森林に降る雨の一部は葉で遮断されて蒸発しますが、多くは林内を降下して林床の土壌に届きます。また、土壌に浸透した水の一部は、樹木の蒸散によって大気中へ戻ります(図1)。つまり、森林に降った雨は、蒸発散(蒸発+蒸散)によって大気中へ戻るか、河川に流出するか、の2つの経路に分かれます。雨水が林床に届く程度や蒸発散と河川への流出に分かれる割合は、森林の状態によって変化します。

そこで、実際のスギ・ヒノキ林で間伐(材積間伐率30%)を行い(図2)、水収支や林内降水量がどのように変わるか調べました。

林床に届く雨の割合の変化

林床に届く雨には、枝葉の間をすり抜ける直達雨、濡れた枝葉からしたたり落ちる滴下雨、幹の表面を伝わる樹幹流の3種類があり、直達雨と滴下雨の合計を樹冠通過雨といいます。ここでは、間伐による葉の量や樹冠の広さの変化と樹幹通過雨の関係を調べました(図3)。

樹冠の広さ(樹冠投影面積^{*})は、間伐によって76%に低下しましたが、間伐から1年後には間伐前の水準に回復しました。それに対して葉の量(葉面積指数^{*})は、間伐によって半減した後、徐々に増加したものの、3年後でも間伐前の水準には回復しませんでした。一方、降水量に対する樹冠通過雨の割合は、間伐前は73~76%でしたが、間伐直後は82~90%に増加し、間伐3年後でも77~90%と、間伐前の水準には戻りませんでした。

間伐に対する水収支の変化

間伐前後3年間の平均値を比べると、年降水量は間伐前で1,697mm、間伐後で1,672mmとほぼ同じでしたが、降水量に対する林内降水量の割合は間伐後に1%増加しました。また蒸発散量が減少したのに対し、年間流出量は109mm増加しました(図4)。蒸発散量の変化を詳しくみると、6月から10月の樹木が生長する季節に蒸発散量が減少したことが分かりました(図5)。

間伐を実施すると林内降水量はほとんど変化しないものの、蒸発散量が減少し、流出量が増加しました。この効果がどの程度持続するかについては、今後のモニタリングで明らかにします。この知見は、木材生産と水資源供給を両立させる技術の開発に生かされます。

本研究は主に農林水産省実用技術開発研究(平成21~24年度)、「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」による成果です。

詳しくは、久保田多余子・坪山良夫・延廣竜彦・澤野真治(2013)常陸太田試験地における間伐による蒸発散量の変化, 日本森林学会誌 95:37-41. 及び、延廣竜彦・坪山良夫・久保田多余子・玉井幸治(2013)茨城県北部のヒノキ林における間伐に伴う林分構造と樹冠通過雨量の変化, 関東森林研究 64(2):41-44. をご覧下さい。

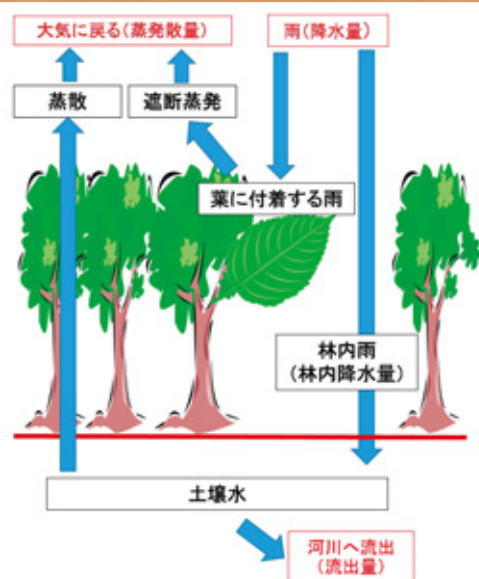


図1 森林をめぐる水の動き

森林に降る雨は、大気への蒸発散と、河川への流出に分かれます。



図2 間伐前後の森林

間伐前（上：立木密度 2,229 本 ha⁻¹）と
間伐後（下：1,132 本 ha⁻¹）の森林の様子。

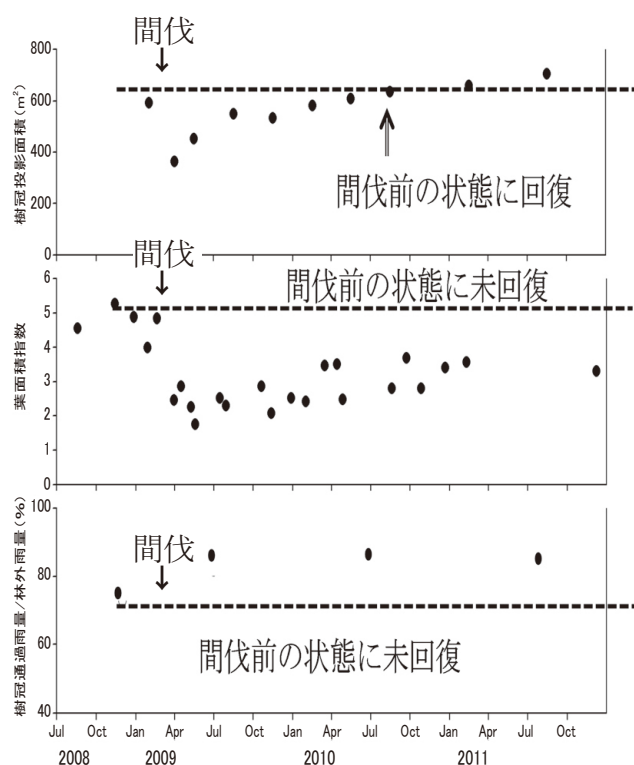


図3 樹冠投影面積（上）、葉面積指数（中）、
樹冠通過雨量率（下）の変化

間伐3年後には、樹冠の広がりや間伐前の状態まで回復しましたが、葉の量、樹冠通過雨量は回復しません。

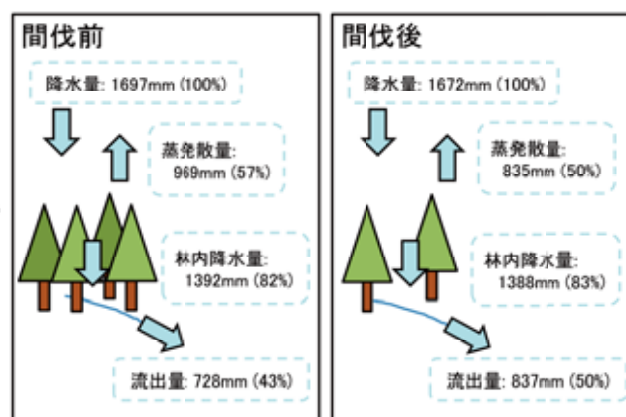


図4 間伐前後の水収支の比較

間伐前後それぞれ3年間の平均値です。()内は降水量に対する比率です。

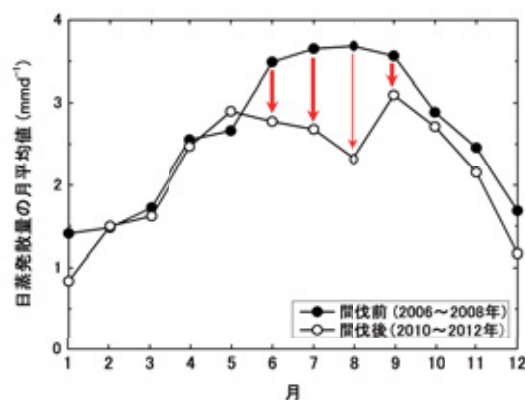


図5 間伐前後での蒸発散量の比較

赤矢印で示すように、6～10月の蒸発散量が減少しました。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

福島原発事故後の森林内での放射性セシウムの 土壌への移行と将来予測

立地環境研究領域
企画部
きのこ・微生物研究領域
木材特性研究領域
東北工業大学

金子 真司、橋本 昌司、池田 重人
高野 勉、小林 政広、赤間 亮夫、今村 直広
小松 雅史
大橋 伸太
佐野 哲也

要 旨

東京電力福島第一原発事故による森林の放射能汚染の実態を明らかにするため、福島県内の3箇所の森林で調査を行いました。事故直後の2011年夏には、葉や枝など樹木にも放射性セシウムが分布し、特に常緑のスギ林では樹木への付着の割合が大きいことが分かりました。調査結果を用いて森林内の放射性物質の動きを予測するモデルを改良し、将来の分布を推定した結果、日本では樹木から土壌への移行がチェルノブイリ事故後の欧州の場合より速く進むと予測されました。調査を継続したところ、2015年夏には森林の放射性セシウムの多くは土壌に分布することが確認されました。

放射性セシウム汚染調査と動態予測モデル

東京電力福島第一原発事故によって放出された放射性セシウム134と137が大量に放出され、東日本の森林は放射能で広範囲に汚染されました。放射性セシウム134と137は半減期（半分の量になるまでの時間）がそれぞれ2年、30年であるため、森林の放射能汚染は長期間続くと予想されました。そこで、原発からの距離が異なる3箇所の森林に調査プロットを設けて、2011年から毎年夏に、樹木の現存量や空間線量率の調査を行ない、樹木（葉、枝、樹皮、辺材、心材）、堆積有機物層（落葉層）、土壌（5cm毎に深さ0-20cm）を採取して、放射性セシウムの汚染状況を調べました（図1）。さらに、2011年および2012年の観測データを用いて、チェルノブイリ事故後に作られた森林内の放射性物質の動きを予測するモデルを改良し、文部科学省の航空機モニタリングデータと組み合わせることで、森林に降下した放射性セシウムの森林内での動態を広域で長期予測しました。

事故後5年間の汚染状況の推移

2011年の調査では、樹木の各部位（葉、枝、樹皮、材）、落葉層、土壌の放射性セシウム濃度が放射性セシウムの降下量に比例して異なることが分かりました。また、常緑樹であるスギの葉の放射性セシウム濃度は、事故当時は展葉していなかった落葉樹のコナラの葉に比べてはるかに高いことが明らかになりました。さらに、樹木内部の材から放射性セシウム134が検出され、事故直後に樹木による放射性セシウムの吸収があったことを確認しました。

2012年以降、葉の放射性セシウム濃度は急激に低下

し、枝や樹皮の濃度も低下する一方で土壌の濃度が増加しました。その結果、樹木に分布する放射性セシウムの割合が低下し、落葉層と土壌の分布割合が増えました（図2）。葉の入れ替わりが早いコナラ林は、葉の寿命が長いスギ林に比べて、樹木の放射性セシウム量の低下が早いなど森林タイプによる違いはあるものの、いずれの林も2015年夏には森林全体の放射性セシウムの80%以上が土壌に分布していました。

東日本における放射能汚染の将来予測

モデルを用いて放射性セシウムの森林内での動態を広域で長期予測した結果、樹木に付着した放射性セシウムは、森林タイプによらず数年以内にほとんどが土壌に移行すること、土壌の放射性セシウム量は自然崩壊によって減少しますが、汚染度の高い地域では高い状態が続くこと、またチェルノブイリ事故後に欧州で観測された結果より日本では放射性セシウムの土壌への移行が速いことなどが示唆されました（図3）。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「放射性セシウムの空間分布及び空間変異メカニズムの解明」と林野庁受託事業「森林内における放射性物質実態把握調査事業」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。

Komatsu, M., *et al.* (2015) J Environ Radioact. 2015 Sep 29. pii: S0265-931X(15)30110-7. doi: 10.1016/j. Hashimoto, S., *et al.* (2013) Scientific Reports, 3, 2564. Hashimoto S., *et al.* (2012) Scientific Reports, 2, 416.



図1 スギの樹皮や材の試料を採取する前の樹皮の剥離作業

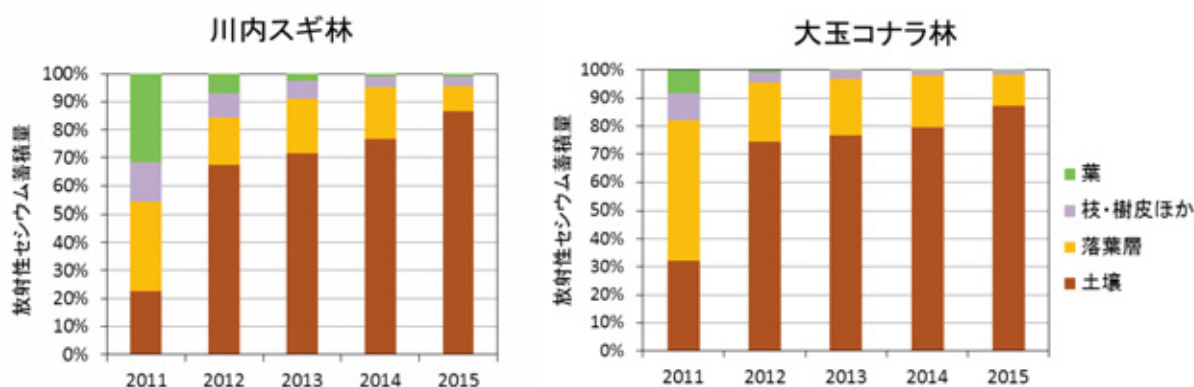


図2 森林内の放射セシウム蓄積量の変化（ここでは川内スギ林と大玉コナラ林の例を示します）

2011年には常緑樹のスギ林（川内スギ）は葉や枝などの割合が大きかったが、年々、落葉層や土壌の割合が高まってくるようになりました。コナラ林（大玉コナラ）では、2011年の時点ですでに落葉層や土壌の割合が大きく、2015年には森林内の放射性セシウムの大半が落葉層や土壌に分布していました。

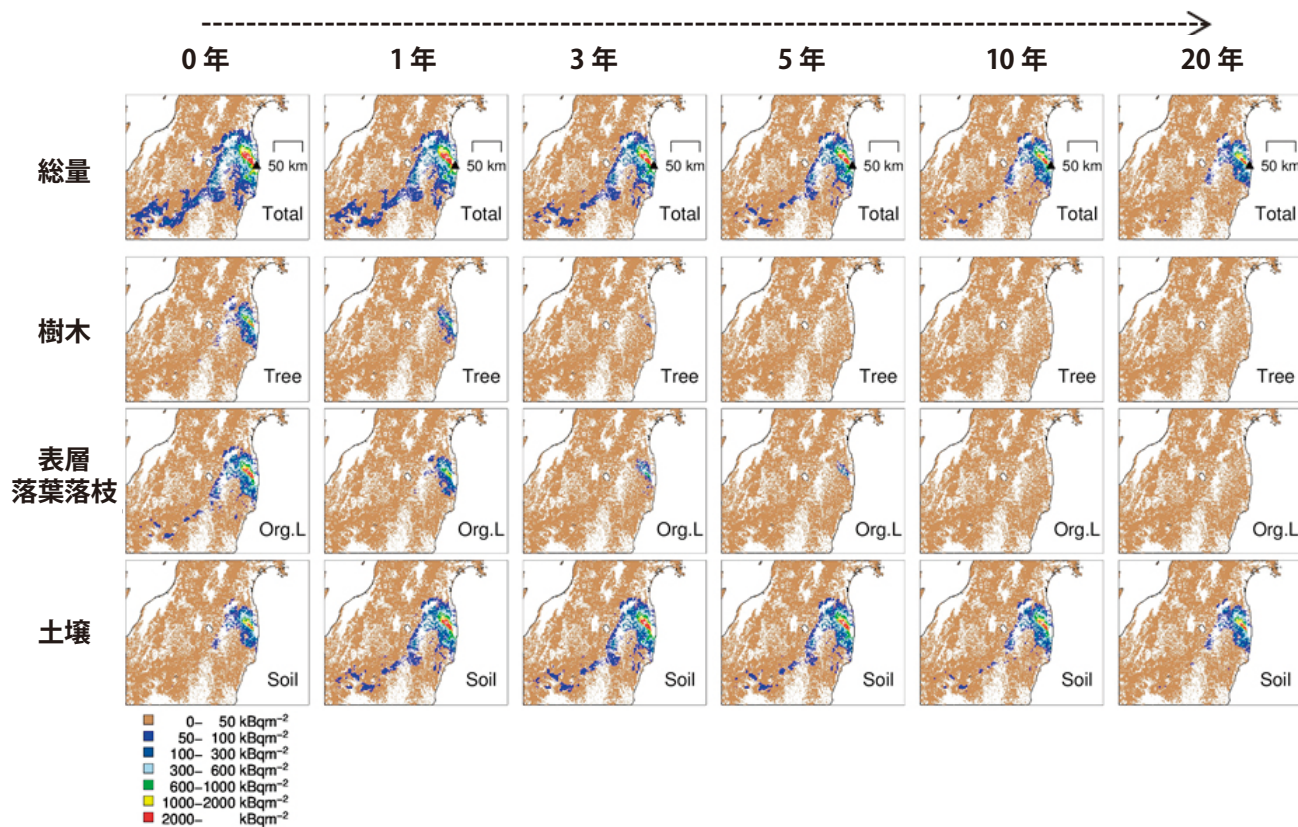


図3 森林内の放射性セシウムの動態の将来予測結果

左から順に時間を表し、単位面積当たりの放射性セシウム量を示しています。上から森林内の総量、樹木（葉、枝、樹皮、材の合計）、表層落葉落枝、土壌が保持する量の順になっています。

深層崩壊の前兆をつかまえる

水土保持研究領域
長野県林業総合センター

大丸 裕武、村上 亘
戸田 堅一郎

要 旨

近年、日本各地で深層崩壊が発生して大きな被害をもたらしています。深層崩壊は、山体が自らの重量で変形（重力変形）し、亀裂の入った岩盤が豪雨や地震で崩れ落ちる現象です。岩手・宮城内陸地震の際の栗原市での斜面の研究から、継続的に変形が進行する山地だけでなく、いつもは安定していて、地震時にだけ変形が進行する山地があることがわかりました。重力変形の際に発生する地割れに起因する地形から、深層崩壊の危険性をある程度推定ができますが、このような地形はきわめて多くみられ、さらに危険斜面を絞り込む必要があります。年代別空中写真の解析から、最近深層崩壊が発生した斜面では、直前に山脚に小崩壊が出現する例が多いことがわかりました。

深層崩壊予測の難しさ

近年、極端な豪雨による深層崩壊が各地で発生しています。深層崩壊は、古くは“地すべり性崩壊”と呼ばれ、その多くは山体が自らの重量で変形する過程で、硬かった岩石に亀裂が入り、豪雨や地震の際に一気に崩落する現象です。科学的には地すべりの一種と考えられますが、普段から動いている地すべりとは異なり、一見安定している斜面で発生するため、事前に発生を予測することは、より難しくなります。深層崩壊が発生する斜面は、岩盤の破壊や変形が進んで緩んでおり、地盤が割れてできる線状凹地^{*}や小さな線状の崖、クラック（亀裂）といった地形がみられるため、ある程度危険地を推定することが可能です（図1）。とくに、線状凹地は地形的特徴が明瞭で、山の中に突然回廊や階段のような地形が現れ、しばしば池や湿地になっています。南アルプスのような非常に急峻な山地では、年ごとにクラックが拡大しており、数年おきに深層崩壊が発生しています。しかし、多くの山地では通常は斜面が安定しており、線状凹地を作るような変形がいつ起きているのかよくわかりませんでした。私たちは、近年登場した航空機レーザー測量技術を用いて、宮城県の山地で2008年の岩手・宮城内陸地震前後の地形を比較したところ、地震によって斜面の変形が進行して線状凹地が広がったことを確認しました（図2）。このように、いつもは安定している山地斜面が大地震や豪雨の時だけに断続的に変形が進行する例がみつかってきました。

とくに活動的な斜面を探し出す

しかし、線状凹地のような地形は山地の中に非常に多くみられ、多くは上述したような地震や豪雨の際にだけ

動く“休眠中の地形”のため、これだけでは危険度が高い斜面を特定することは困難です。そこで、大井川流域で空中写真や衛星写真を時系列的に解析し、近年深層崩壊が発生した斜面の特徴を探りました。その結果、深層崩壊が発生した斜面では、崩壊発生前の前兆として斜面下部に小さな崩壊が出現する傾向が確認されました。これは、不安定化した斜面が少しずつ下方に押し出され、川に面した斜面脚部が不安定化して小崩壊が起きるためだと考えられます（図3）。

また、斜面の重力変形を直接検出できる衛星技術も登場しています。図4は国産衛星ALOS1が捉えた長野県の斜面の変動です。このような衛星による地盤変動の監視情報は国土地理院から提供が開始されており、今後は宇宙から深層崩壊の前兆現象をみつけて早期対策が可能になることが期待できます。

本研究は、JSPS 科研費（JP25560185）「干渉 SAR とレーザー測量による深層崩壊危険斜面ピンポイント検出技術」および農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「大規模崩壊発生時の緊急調査技術の開発」による成果です。また、研究成果の一部は国土地理院との共同研究（科研費）です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。

大丸裕武 他 (2013) 日本地すべり学会誌, 第50巻第1号, 23-36.

今村遼平 他 (1983) 鹿島出版会, p.232.

村上亘 他 (2013) 地形, 34, 55-67.

Nishii, R. et al. (2013) Landslides, 10, 75-82.

戸田堅一郎 (2015) 森林技術, 1512, 12-15.

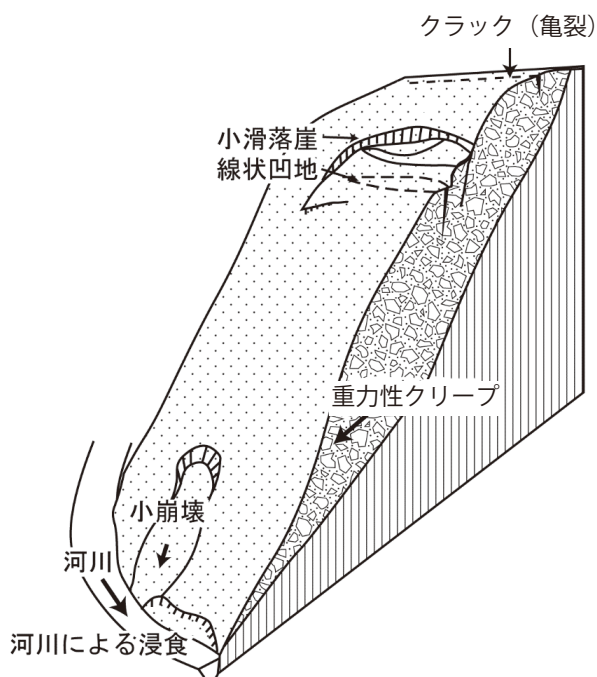


図1 深層崩壊（地すべり性崩壊）危険斜面の特徴

山地表層の亀裂が多い緩んだ岩盤は自らの重みで、常にゆっくりと下方に移動しています（重力性クリープ）。豪雨時には、この緩んだ岩盤が水を含んで、深層崩壊として一気に崩れ落ちることがあります。（今村 他（1983）を改変）

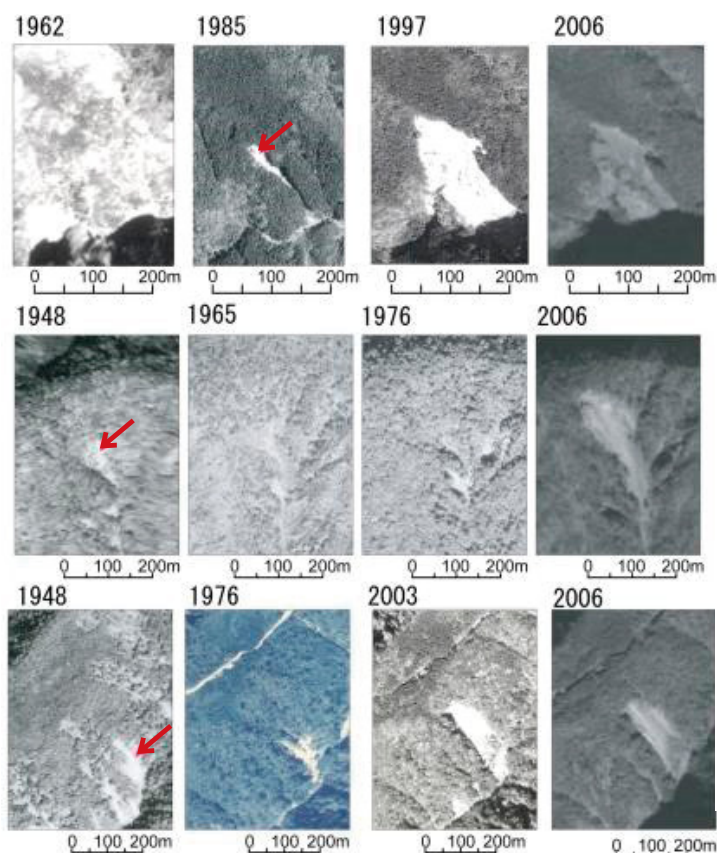


図3 大井川流域で深層崩壊が発生した斜面の時間変化

深層崩壊が発生する前に斜面下部で小規模な崩壊（赤色矢印）が発生していることがわかります。（大丸 他（2013）に加筆）

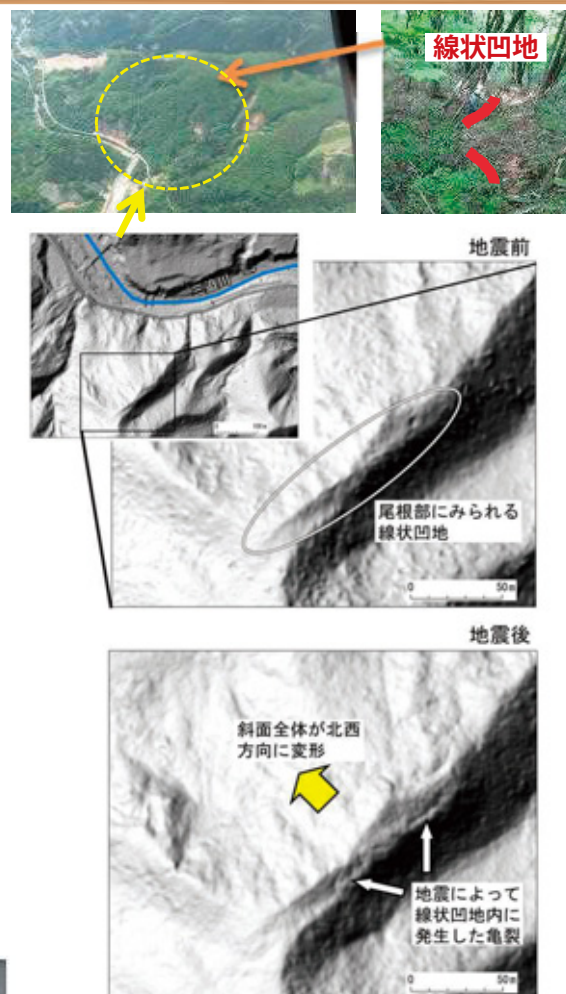


図2 2008年岩手・宮城地震によって変形がみられた宮城県栗原市の斜面
村上 他（2013）に加筆

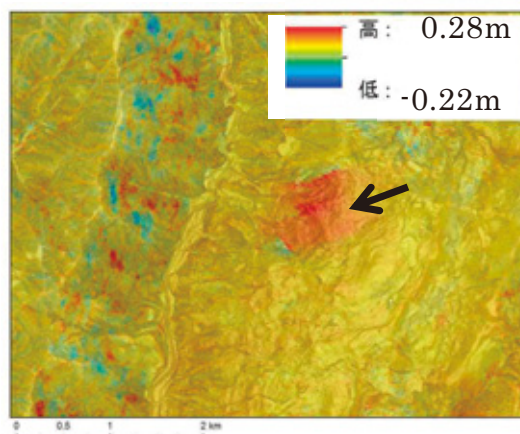


図4 ALOS1の干渉SARセンサーが捉えた長野県大鹿村鹿塩小塩における2008年7月20日～2009年9月7日間の斜面変動（西方への移動量）

矢印付近の赤色が活動的な斜面を示す。（戸田（2015）に加筆）

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

津波で失われた海岸林を再生するために

東北支所	坂本 知己、中村 克典、野口 宏典、小野 賢二、八木橋 勉、 小谷 英司、篠宮 佳樹、相川 拓也、久保田 多余子		
森林微生物研究領域	明間 民央	林業工学研究領域	山田 健、落合 幸仁
立地環境研究領域	平井 敬三	気象環境研究領域	安田 幸生
関西支所	市原 優		
青森県産業技術センター林業研究所	木村 公樹		
石川県農林総合研究センター林業試験場	小倉 晃		

要 旨

津波で失われた海岸林の再生を科学技術面から支援するための調査研究を行いました。津波被害軽減効果を期待できる海岸林を造成する場合も、海風の強い場所ではこれまで通りクロマツの植栽が推奨されます。コンテナ苗を用いることで、植栽可能期間を長くできる上、確実かつ効率的に植えられます。雨によって自然に塩分が抜けているのでとくに除塩は必要ありませんが、将来の津波による塩水害に備えるためには、排水のよい凸地形や排水溝の造成が有効です。適切な防風対策を施すことで、標準的な植栽本数（10,000 本 / ha）を半分以下にできます。クロマツ林の密度管理は、津波被害軽減効果の点からも重要です。クロマツの下層に広葉樹を導入するとより効果的です。

震災復興に欠かせない海岸林の再生

東日本大震災では、多くの海岸林が津波によって失われ、海岸林が果たしていた飛砂、潮害、津波や高潮などを防止または軽減する働きや、憩い・安らぎの場が失われました。被災地の復興に当たって、失われた海岸林を速やかに再生することが欠かせません。その際、これまでより津波に強く、その被害を軽減する海岸林が求められています。

どのような海岸林にするか

植栽試験地での生育状況から、海風の厳しい植栽地ではこれまで通りクロマツを植栽することがよいと分かりました。さらに、津波が入り込んで塩水害を受けた場所であっても、雨などで自然に塩分が抜けるのでクロマツの植栽が可能であること、塩水害を避けるために植栽地に入り込んだ海水が抜けやすいように溝を掘ることや凸地形にすることの有効性を明らかにしました（図 1）。

水路実験、引き倒し試験に基づく数値シミュレーションによって、樹木が津波に耐える力や津波を弱める力を計算した結果、過密林の方が津波の力を弱めるものの、津波が大きくなると被害を受けやすいことから、これまで通り成長に合わせて植栽木を間引き、適正な密度のクロマツ林に仕立てることが現実的です。また、クロマツ林の下層に広葉樹を導入することで、津波をいっそう弱められることも分かりました（図 2）。

効率的で確実な海岸林造成のために

短期間に大面積を植栽するに当たっては、効率的で確実な植栽方法が求められます。柵などによる防風対策を適切に施せば、植栽本数を標準（10,000 本 / ha）の半

分以下に減らせることを明らかにしました。このことは、苗木不足の解消やその後の本数調整作業の軽減に役立ちます。また、コンテナ苗を用いれば、植え付け可能期間を長くできるだけでなく、作業効率が高くなります（図 3）。なおクロマツの場合、水平根の発達の点から、コンテナは内面リブ式よりサイドスリット式が適していることが分かりました（図 4）。

津波で海岸林が失われても、クロマツ苗木の活着・生育を助ける菌根菌が生き残っていることを確認しました。一方、山砂で造成された盛土には、菌根菌がほとんど存在しないことから、少ない手間で菌根菌付きコンテナ苗を作る技術を開発しました。

今後の課題

津波によって根返りした樹木の多くをみると、地下水位が高いため根の発達が不十分でした。そこで、海岸林の再生事業では、根が深くまで張れるように盛土をして植栽しています。しかし、盛土は造り方によっては、根の生育に硬過ぎたり、水が溜まって根腐れを起こしたりする恐れのあることもわかりました。そのため、これらの課題を解決する研究に新たに取り組んでいます。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「東日本大震災で被災した海岸林の復興技術の高度化」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。

野口宏典 他（2012）海岸林学会誌, 11, 47-51
小倉晃・坂本知己（2015）海岸林学会誌, 14（1）, 21-26
小野賢二 他（2014）森林立地, 56, 37-48



図1 生存木の立ち枯れ

津波後、クロマツの針葉は緑色で、健全な状態と考えられました（左：津波から約1ヶ月後：H23.4.5）が、夏ころから針葉が赤褐色になり、その後枯死し針葉が脱落しました（右：約20ヶ月後：H24.11.19）。必ずしも海側の林が枯れたわけではなく、微地形の関係で入り込んだ海水が残りやすいところが枯れました。

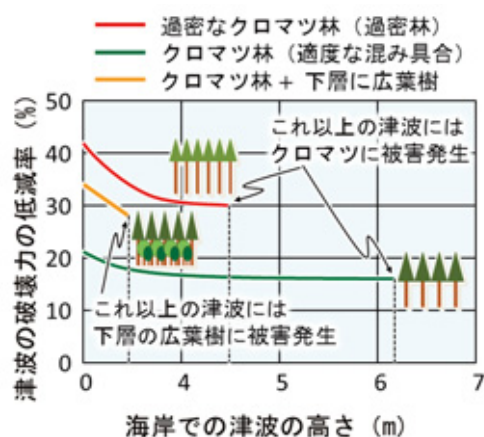


図2 林型による波力減殺効果の違い（海岸線から100～300mの位置に幅200mの海岸林を想定した場合）

津波が海岸林を通過することで津波の破壊力は過密林の方が大きく低減します。ただし、過密林は小さい津波でも被害を受けて機能しなくなります。これに対して、適度な混み具合の海岸林は、幹が太く折れにくく、より大きい津波に対しても機能します。また、クロマツ林の下に広葉樹を導入することで、津波が小さいときの低減率を高めることができます。



図3 コンテナ苗の植栽試験の様子

梅雨明け直後の植栽にも関わらず根付き、順調に生育しています。



図4 コンテナ種類による根系形状の違い

リブ式のコンテナで作った苗の根のほとんどがコンテナの底面で空気根切りされるのに対して、スリット式の場合には側面でも空気根切りされるため、水平根が発達しやすいと考えられました。

シカの行動を制御して効率よく捕獲する

研究コーディネータ
北海道支所
関西支所

小泉 透
松浦 友紀子
高橋 裕史、八代田 千鶴

要 旨

シカは全国で約300万頭が生息し、今後も増加すると予測されています。一方、これまで捕獲の中心的な担い手であった狩猟免許所持者は、この30年間で半分以上に減少し、この傾向は今後も続くとされています。こうした問題に対処するため、少人数で実施可能な新しい捕獲方法を開発しました。一定期間同じ条件で給餌を繰り返すことで、シカを捕獲に適した場所と時間帯に出現させることを可能にしました。給餌による誘引に、銃器による狙撃、森林用ドロップネット、森林用囲いワナによる捕獲を組み合わせることで、効率的な捕獲が可能であることを実証しました。

給餌誘引法

銃器の発砲が許可されている日中にシカを出没させるため、同じ場所に、同じ時間に、同じ人が、少量の餌を置く作業を一定期間繰り返した結果、給餌直後にシカをおびき寄せることができるようになりました(図1)。野生動物と人間との軋轢を未然に防ぐため、長期にわたって野生動物を餌付けしないよう行政指導されていますが、一時的な給餌ではシカの出現は給餌期間中に集中し、給餌終了後にも給餌場周辺にとどまることがないことも確認されました。誘引効果は、シカの餌植物が少ない場所や積雪などによって餌植物が利用できない季節に高くなります。給餌期間中は関係者以外が不必要に立ち入らないなど、シカの警戒心を高めない配慮が必要です。

銃器による狙撃

14種類の銃器を用いて捕獲実験した結果、誘引されたシカを確実に狙撃するには、反動が少なく命中精度の高い6mm口径のボルトアクションのライフル銃が適していることが分かりました。また、一撃で打ち倒すためには、射撃部位は頭、頸、心臓のどれかに限定する必要があります。これを達成するためには、射手は50m先にある直径5cmの標的に5秒間隔で5発撃ち、すべて命中させる技術が必要であることが分かりました。静岡森林管理署富士山国有林では、15回の捕獲で177頭を除去しました。自動撮影カメラによるモニタリングによれば、捕獲前は10日当たり7頭のシカが撮影されたのに対して、捕獲後は1.9頭に減少し、誘引と狙撃の組み合わせが個体数の低減に有効であることが分かりました。

森林用ドロップネット

被害現場で林家が直接シカを捕獲できるよう、持ち運びや設置が簡単で、森の中で使いやすく、安全で捕獲効率のよいワナを開発しました(図2)。遠隔監視や作動に必要な装置を除く本体の資材費は約9万円、重量は約20kg、4人いれば製作は1日、設置は半日でできます。

京都府での稼働試験の結果では、ワナ1基当たりの捕獲数は1日当たり0.60頭となり、箱ワナ[※]などの捕獲効率(おおむね0.40頭)と比べて高いことが分かりました。ワナを設置したまま他の作業をしたい(図3)、他の動物を間違えて捕獲したくないなどの場面で有効です。

森林用囲いワナ

立木を使用することで支柱を不要とし、立木間をつなげたワイヤーにカラビナ[※]でネットを引っかけることによって、森林内で簡便に設置できる森林用囲いワナを開発しました(図4)。タイミングよく捕獲できるよう、入り口をモニターカメラで監視しながら遠隔操作で扉を落下させ、囲い込んだシカは銃器により1頭ずつ確実に捕殺します(図5)。シカを狭い場所に追い込んで捕殺すると、暴れて負傷したりワナを破壊することがあります。このため、シカが自由に動き回れるよう囲いワナの周囲長を100m以上としました。これによって、捕殺にかかる時間は1頭当たり約2分と短くなり、狭いスペースに追い込んで捕殺する場合の1/10の時間で処理することができました。

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「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」、攻めの農林水産業の実現による革新的技術緊急展開事業「ローカライズドマネジメントによる低コストシカ管理システムの開発」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。
森林総合研究所第3期中期計画成果12, 森林総合研究所(2014)

森林総合研究所ホームページに掲載しています。
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika12.html>

森林防疫699号, 全国病虫獣害防除協会(2013)
本研究に関連する10編の論文を掲載しています。



図1 餌付けによるシカの誘引
餌を置いて (9:50) から 26 分後 (10:16) に誘引されました。



図2 森林用ドロップネットによる捕獲
ウェブカメラで監視しながら遠隔操作で網を落とします。



図3 作業道のカーブに設置した森林用ドロップネット
網の高さを調整し、車の通行を妨げないように設置することも可能です。



図4 森林用囲いワナ
立木にワイヤーとカラビナを使用して設置します。



図5 銃器による止めさし
ワナの上から撃ち下ろし、弾が跳ねないようにします。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

おとり丸太の大量集積によるナラ枯れ防除

森林昆虫研究領域	所 雅彦、北島 博、加賀谷 悦子	
関西支所	衣浦 晴生	九州支所 後藤 秀章、近藤 洋史
山形県森林研究研修センター	齊藤 正一	長野県林業総合センター 岡田 充弘
和歌山県林業試験場	栗生 剛、大谷 栄徳	
農業環境技術研究所	山中 武彦	サンケイ化学株式会社 吉濱 健

要 旨

日本中に広がるナラ枯れを防除するための被害軽減・被害材利活用システムを開発しました。ナラ林を計画的に伐倒し、その丸太を被害地周辺のスギ林などに大量集積して、カシノナガキクイムシを誘引するおとり丸太防除法を山形県、福島県、群馬県で実施しました。20m³のナラ材をおとりにすることで1万頭/m³以上のカシナガを誘引し、推計300本のナラを枯死から救うことができました。このおとり丸太は、チップ化、ペレット化して殺虫した後、燃料用、製紙用として利用可能であり、従来の伐倒駆除経費に対して約90%のコストダウンが達成できました。さらに、伐倒したナラ林は、多様な樹種からなる広葉樹林に更新することを確認しました。

“ナラ枯れ”という被害

ナラ枯れは、カシノナガキクイムシ（以後カシナガ）によって病原菌が媒介される樹木の伝染病で、日本海側を中心に日本各地のミズナラ・コナラ等に大量の枯損被害をもたらしています。近年は照葉樹林のシイ・カシ類でも被害が広がり、現在まで32都府県から被害が報告されています。今後関東への被害の広がりが懸念されています。

虫をたくさんおびき寄せて防除

ナラ枯れ被害軽減には、林分内のカシナガの数を大幅に減らす必要があります。そこで、木材利用と森林再生を目的とした効率的なナラ枯れ管理手法として、ナラ林を計画的に伐倒した丸太を利用し、丸太から発散されるカシナガが好む木の匂い（カイロモン）と集合フェロモン剤によって、カシナガを誘引・駆除する大量集積型おとり丸太法を開発しました。

大量集積おとり丸太法

虫が穿孔したおとり丸太は、チップやペレットにして殺虫し、製紙用や燃料用に利用することができます。これまでカシナガ穿孔木は、カシナガが脱出する前に粉碎して4～9割が実際に利用されていることを確認しており、カシナガ脱出後の枯死木も枯死後2～3年までは粉碎利用が可能です。20m³のナラ生立木をおとり丸太にする方法では、丸太の伐採・集積・運搬にかかる防除経費からチップやペレットに加工販売して得られる収入を差し引くと、300本の枯死木を伐り倒して処分する

ための平均駆除経費の約1/10になります（図3）。

森林再生

山形県の事例では、伐採しておとり丸太を採取した林の跡地、16箇所の稚樹調査で、多様な広葉樹の若木が育っており、30cm以上の稚樹が5,000本/ha以上で天然更新完了とする山形県の管理基準を全て満たし、多様な広葉樹林への更新が可能であることも証明できました（図4）。

成果の普及

大量集積型おとり丸太法は、防除対策を進める東北6県、群馬県・東京都（島嶼部）・静岡県・愛知県で行政、事業担当者、市民等に研修を実施して普及してきました。また、以上の成果をもとにマニュアル「ナラ枯れ防除の新展開」を作成しました。<https://www.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika26.html>

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れ低コスト防除技術の開発（平成24～26年度）」（課題番号24030）による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。
JATAFFジャーナル1（5）（2013）
森林防疫 63（6）「ナラ枯れ特集号」（2014）
「ナラ枯れ防除の新展開—面的な管理に向けて—」森林総合研究所第3期中期計画成果26（森林機能発揮-17）（2015）



図1 大量集積おとり丸太の設置例

丸太には寒冷紗で覆いをかぶせ、フェロモン剤を吊るして、被害地付近のスギ林等に設置します。

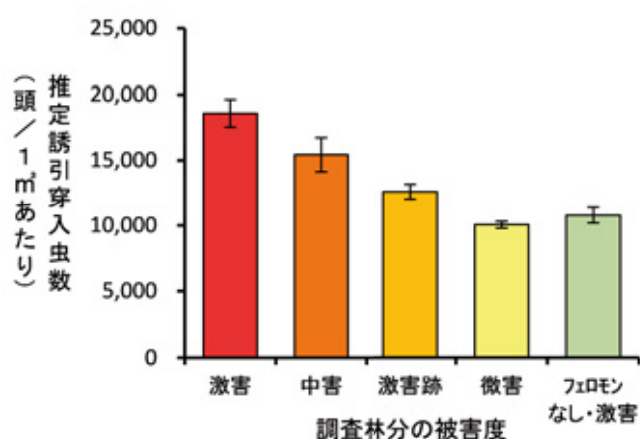
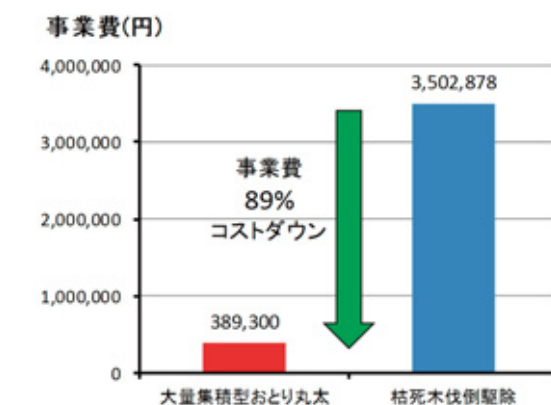


図2 大量集積型おとり丸太へのカシナガ推定穿入虫数



事業数量	①健全丸太 20m³	④枯死木 300本 (114m³)
事業費単価	② 22,075 円 / m³	⑤ 30,727 円 / m³
チップ販売	③ 52,200 円 / 6m³	
経費計算	(①×②) - ③ = 389,300 円	④ × ⑤ = 3,502,878 円

図3 大量集積型おとり丸太法と伐倒駆除の経費比較

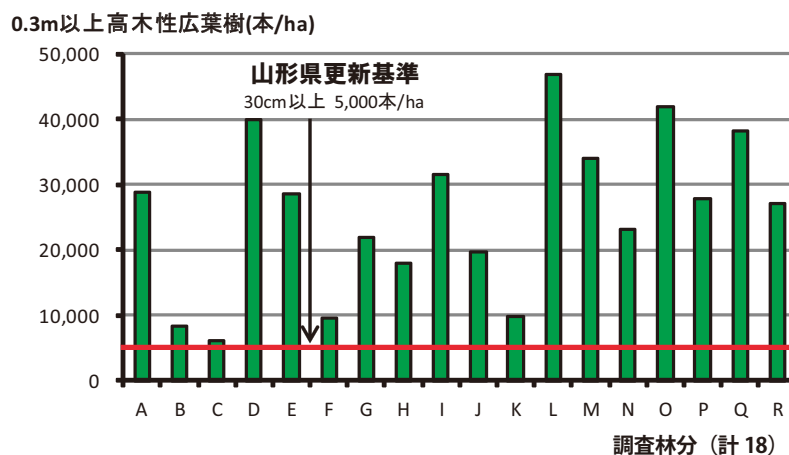


図4 大量集積型おとり丸太を採取した伐採跡地の高木性広葉樹の成立本数 (山形県の事例)

林業地域の中で生物多様性を保全する広葉樹林

森林植生研究領域

森林遺伝研究領域

東北支所

森林微生物研究領域

森林昆虫研究領域

正木 隆、五十嵐 哲也

永光 輝義、菊地 賢

升屋 勇人

神崎 菜摘

長谷川 元洋、加賀谷 悦子、滝 久智

要 旨

スギやヒノキの人工林が森林の大半を占める林業地で生物多様性を保全[※]するための広葉樹林の配置方法を調べました。生態系の健全性を指標する生物群として、土壤動物（落葉分解、物質循環の円滑化）、微生物（病虫害の発生抑制、倒木の分解）、ハナバチ類（花粉運搬、種子生産への貢献）、果実食鳥類（種子運搬、天然更新の促進）、高木種（森林生物の生活基盤）の5つを選びました。土壤動物相や微生物相の多様性保全のためには、多様な地形や土壌をふくむ環境に広葉樹林を残すことが必要であること、またハナバチ類や鳥類の多様性保全や広葉樹林の持続的な更新のためには、おおむね100ha規模のまとまった広葉樹林を残すことが必要であることが明らかになりました。これらの成果を取りまとめ、林業地域での広葉樹林の配置方法等の指針を提示しました。

広葉樹林を活かして生物多様性を保全しよう

スギやヒノキの人工林が分布する林業地で生物多様性を保全し健全な生態系を確保するためには、広葉樹林を要所に配置する必要があります。そこで、林業地域で生物多様性を保全するために広葉樹林をどのように配置すればよいか、その指針を提示することを目的に研究を行いました。調査地は北茨城の林業地内の広葉樹林14箇所に設定しました。

鍵となる生物群

調査対象は、生態系の健全性と密接に関連する下記の5つの生物群です。

土壤動物 = 落葉を分解し生態系内の養分循環を円滑にします。

微生物 = 病虫害の発生を抑制し倒木の分解に寄与します。

ハナバチ類 = 樹木の花粉を運び種子生産に貢献します。

果実食鳥類 = 樹木の種子を運び天然更新を促進します。

高木種 = 森林生態系の核として多様な生物の生活基盤となります。

生物多様性保全のポイント

1) 土壤動物と微生物の多様性を保全するには多様な環境を残す

小・中型土壤動物（ササラダニやトビムシ）の遺伝構造や分布、及び微生物の種数や多様度に周辺の広葉樹林面積の影響はみられませんでした。一方、多様な地形や土壌をふくむ環境に広葉樹林を残すことが土壤動物や微生物の多様性保全に必要と考えられました。

2) ハナバチ類と鳥類の多様性を保全するには広葉樹林を広く残す

周辺5～10ha内の広葉樹林面積および蜜源樹木の本数が増えると、ハナバチの数量も増えました（図1）。ハナバチが花粉を媒介する樹種では、周辺5ha以内の広葉樹林面積が広いと種子の充実率が高く、さらに周辺100～500ha以内の広葉樹林面積が広ければ、花粉親となった木の本数も増えていました（図2）。繁殖期の鳥類については、周辺100ha以内の広葉樹林面積が広いほど、個体数や種数が増えていました（図3）。

3) 周りに広葉樹林がなければ高木種も更新しにくい

広葉樹林内の高木種の稚樹（樹高2m未満）のうち、外部からやってきた種子由来と考えられた本数は、周辺50～100haの広葉樹林面積とともに増えていました。とくに重力散布型と風散布型の稚樹は、周辺に広葉樹林がある程度残っていないと見かけませんでした（図4）。

生物多様性を保全するための広葉樹林の配置は？

このように、微生物や土壤動物の多様性保全には、多様な環境の広葉樹林が必要で、さらにハナバチ類や鳥類の多様性保全や高木種の更新のためには、少なくとも100ha以上の規模でまとまった広葉樹林が必要と考えられます。集約的に林業を行う地域であっても、このような広葉樹林を配置することで、生物多様性が保全された健全な生態系を維持できると考えます。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「林業地域の生物多様性保全に必要な広葉樹林分の面積と配置の指針の提示」（平成23～25年度）による成果です。

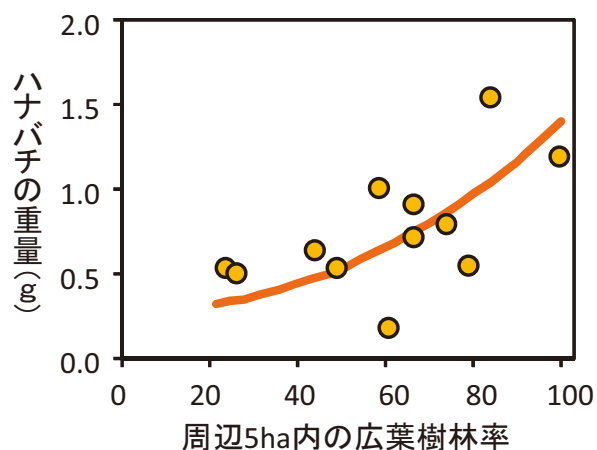


図1 広葉樹林率と捕獲されたハナバチの量の関係

5～9月にかけて各広葉樹林に4つのバケツ型トラップを延べ6週間仕掛け、回収されたハナバチの量を測定しました。

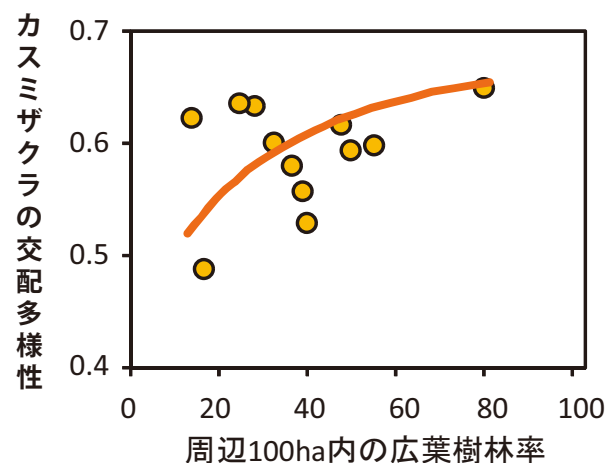


図2 広葉樹林率とカスミザクラの交配の多様性の関係

交配多様性とは、1つの種子にとって花粉元の親となった個体の数を指すものです。

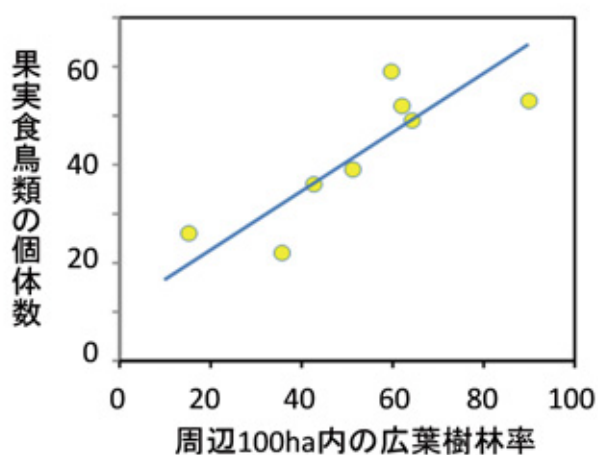


図3 繁殖期（5～8月）に観測された果実食鳥類の個体数と周辺100ha以内の広葉樹林率の関係

日の出から4時間以内に15分間の観測をおこない、半径50m以内に出現した種・個体数を記録しました。この調査を各月2回行い（合計2時間）、記録された個体数を合計しました。

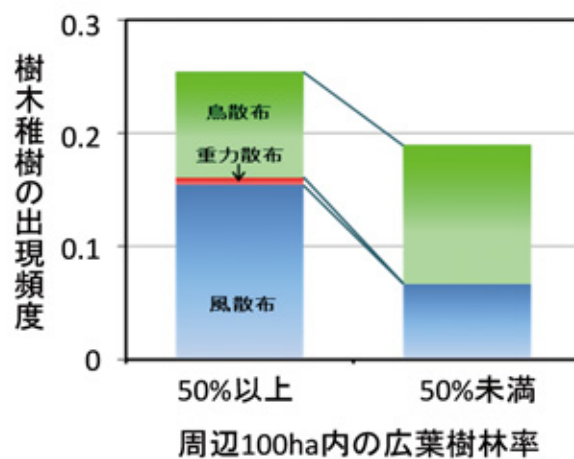


図4 周辺の100ha以内の広葉樹林率と広葉樹の稚樹の出現頻度（1m²の調査枠に稚樹が分布する確率）の関係
種子の散布型ごとに示しました。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

ブナ種子の豊凶は窒素が鍵

北海道支所
植物生態研究領域
四国支所
静岡大学
バーゼル大学

韓 慶民
壁谷 大介
稲垣 善之
飯尾 淳弘
Günter Hoch, Christian Körner

要 旨

多くの樹木で種子生産が大きく年変動する豊凶現象が古くから知られています。しかし、その発生メカニズムはまだよくわかっていません。本研究では、ブナの結実豊凶の制限要因は窒素資源であり、従来考えられてきたような樹体に蓄積された炭水化物の量ではないことを明らかにしました。この成果は、ブナなどの堅果類樹木の結実間隔や着果量の予測に役立つだけでなく、今後の気候変動に対応したブナ林の天然更新や保全技術の開発、さらにはツキノワグマなどブナの堅果を餌とする野生生物の保護管理手法の策定など、幅広い分野で応用が期待されます。

ドングリの結実豊凶現象

近年、秋になると新聞、テレビをにぎわす話題のひとつに、クマの人里への出没があります。そして多くの場合、「ブナ科樹木の堅果が不作であったため、餌を求めて人里まで行動圏を拡げた」と説明されます。このように、身近な話題にもなる樹木の結実豊凶現象（図1、マスティングとも呼ばれる）ですが、これまで樹体内の貯蔵資源（炭水化物）の蓄積と枯渇のバランスがこの現象を引き起こすモデル（図2、資源収支モデル）が広く受け入れられていました。しかし、このモデルの正否は不明のままです。そこで私たちは、ブナにおける樹体内の貯蔵資源を巡る各器官の競争関係を分析して、結実豊凶現象に関与する炭素・窒素資源の役割を検討しました。

種子生産の炭素源

植物では栄養成長と繁殖に利用される炭素資源は、図2に示す貯蔵炭水化物とその年の光合成生産物との二つに分けられます。しかし、繁殖年齢に達した樹高数十メートルの高木では、種子生産にどちらの炭素資源が使われるのかを調べるのはきわめて困難です。そこで、スイスのバーゼル大学と共同で、貯蔵炭水化物を安定同位体でラベリングし、当年の光合成生産から区別できるように工夫しました。その結果、種子生産の炭素源が貯蔵炭水化物ではなく、その年の光合成生産であることを初めて突きとめました（図3）。

不作の原因は窒素不足

この結果は、資源収支モデルの仮定に反して、貯蔵炭水化物は結実豊凶を直接引き起こす資源ではないことを示しています。それでは、何がその引き金になるのでしょうか。種子生産に大きく貢献するその年の光合成生産

は、葉の窒素濃度と正の相関を持つことから、窒素資源が結実豊凶を制限する要因と考えました。種子を作るにはまず花芽が必要ですが、1個の花芽を作るには、葉芽の2倍以上の窒素資源が必要です。また豊作の2005年には、樹冠全体の葉群を作るのに必要な窒素とほぼ同量の窒素が種子生産に使われていました（図4）。つまり、豊作年にはたくさんの窒素資源が優先的に種子生産に配分されるため、花芽分化に必要な窒素資源が不足した結果、翌年は凶作になることがわかりました。

今後の展望

このように2世紀以上にわたり神秘的なベールに包まれていた樹木の結実豊凶現象は、本研究を含めて次第に明らかにされつつあります。今後は、結実の起点となる花芽の分化と窒素等資源量との関係を明らかにすることが、その全貌を解明する鍵の一つとなります。

以上の成果は、ブナなどの堅果類樹木の結実間隔や着果量の予測だけでなく、今後の気候変動に対応したブナ林の天然更新や保全技術の開発、さらにはツキノワグマなどブナの結実に依存する野生生物の保護管理手法の策定など、幅広い分野で応用が期待されます。

本研究は、JSPS 科研費（JP25292094）「ブナ林堅果豊凶メカニズムの解明」および OECD 国際共同プログラムにおける短期在外研究員による成果です。

詳細については、Han, Q. *et al.* (2008) *Tree Physiology* 28, 1269-1276, Han, Q. *et al.* (2014) *Oecologia* 174, 679-687, Hoch, G. *et al.* (2013) *Oecologia* 171, 653-662 をご覧ください。

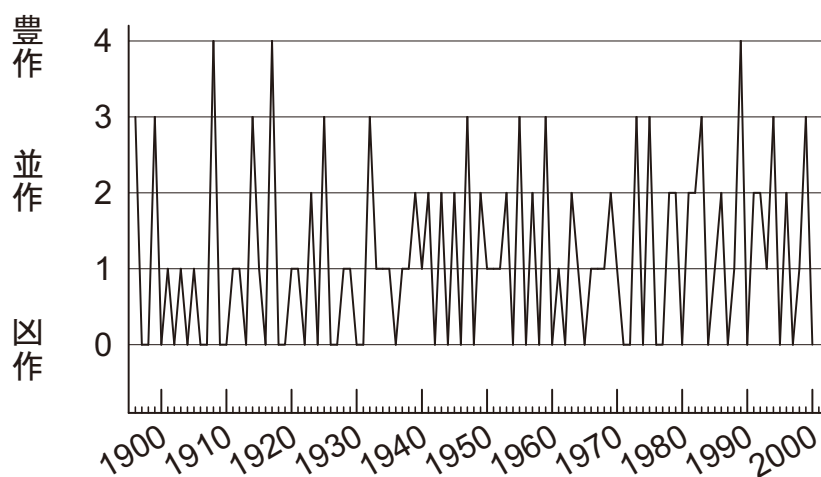


図1 ヨーロッパブナの100年以上にわたる結実量の変化

このように凶作から豊作まで年ごとに大きく変動する現象を、結実豊凶またはマस्टリングと呼びます (Hilton and Packham 2003 Forestry 76:319-328)。

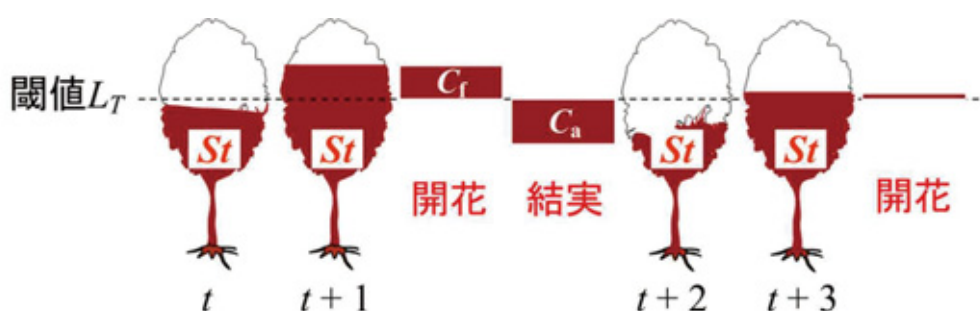


図2 従来提唱されてきた資源収支モデル

毎年の光合成生産のうち、その年 (t) の成長・維持呼吸に使った残り分を余剰生産量として樹体内に貯蔵すると考えます。その貯蔵量 (St) がある閾値 (L_T) を超えると、その超えた分が開花 (年 $t+1$) に利用されると仮定します。さらに、種子生産にも貯蔵資源量が利用され、その再蓄積には一年以上かかる結果、結実豊凶が起こるとされています (Isagi *et al.* 1997 Journal of Theoretical Biology 187:231-239)。

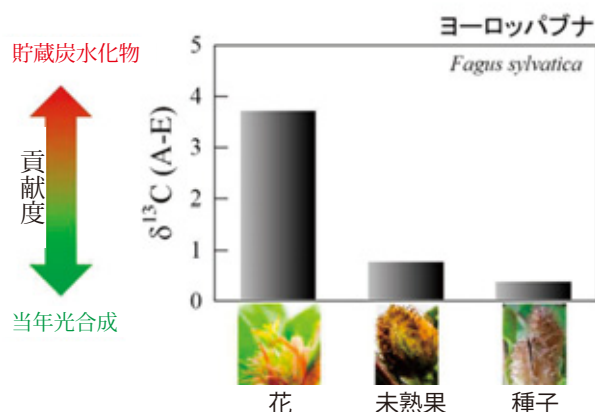


図3 種子生産の炭素源

同位体存在比から種子生産の炭素源は、貯蔵炭水化物ではなく、その年に作られた光合成生産であることが分かります。

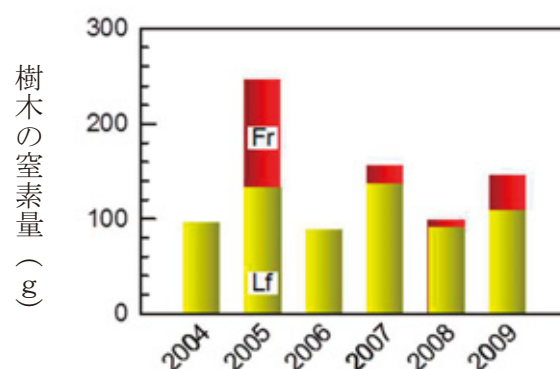


図4 ブナ個体あたりの種子 (Fr) と葉 (Lf) の窒素量

林木の新品種の開発と 森林の生物機能の高度利用に向けた研究

長期間を要する育種の次世代化の促進と多様な新品種の開発や、森林遺伝資源の収集と保存技術、ゲノム情報等の活用や遺伝子組換え技術等生物機能の活用が求められています。そこで、以下の5つの課題を実施しました。

- H1 林業再生と国土・環境保全に資する品種の開発
- H2 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
- I1 林木遺伝資源の収集、保存・評価技術の開発
- I2 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
- I3 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
- I4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発



グイマツ中標津 5
(特定 25-1)
(北海道育種基本区)
53 年次樹高 15.4m
胸高直径 27.1cm

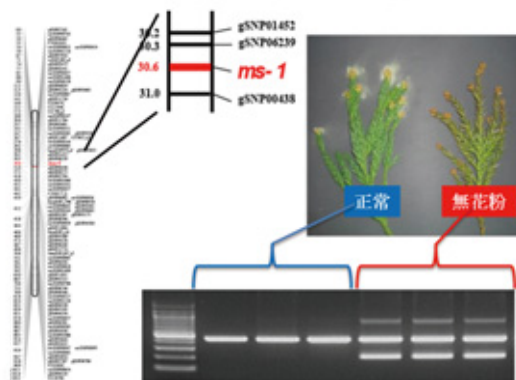


スギ東育 2-7
(特定 26 - 37)
(東北育種基本区)
30 年次樹高 14m
胸高直径 26cm



ヒノキ関育 2-3
(特定 26-65)
(関西育種基本区)
41 年次樹高 15.3m
胸高直径 28cm

第9連鎖群に無花粉となる遺伝子 (*ms1*) を特定

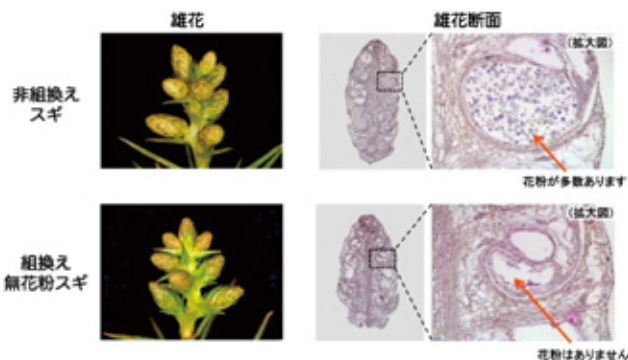


DNAの電気泳動により、無花粉個体を識別が可能に

H1の成果の例：エリートツリー等の系統を開発した中から、特定母樹が指定されました。



I2の成果の例：スギの高密度連鎖地図を作成し雄性不稔遺伝子の地図上の位置の同定に貢献しました。



I3の成果の例：マツタケをオオシマガクラなどの広葉樹と共生させることに成功しました。

I4の成果の例：遺伝子組換えで花粉のないスギを作る技術の開発に成功しました。

これらの成果により、「高速育種等による林木の新品種の開発」や「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」に貢献しました。

マツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発

林木育種センター
九州育種場
東北育種場
関西育種場
森林バイオ研究センター

山野邊 太郎
松永 孝治
井城 泰一
岩泉 正和
平尾 知士

要 旨

アカマツやクロマツは保安林や海岸林の森林整備に欠かすことができませんが、外来侵入生物のマツノザイセンチュウを病原体とするマツ材線虫病で枯死しやすい樹種です。防除のためには、マツノザイセンチュウの蔓延を防ぐための媒介昆虫の駆除とともに、植栽する苗木の抵抗性を高めることが重要です。当研究所では、各県の研究機関と連携・協力して、激害地から選抜した抵抗性候補木の苗木にマツノザイセンチュウを接種して抵抗性を評価することにより、遺伝的に高い抵抗性を持つ品種の開発に全国で取り組んでいます。また、被害の大きい西日本地域では抵抗性の高い第二世代品種の開発に取り組んでいます。今中期計画期間はマツノザイセンチュウ抵抗性品種（第二世代品種を含む）を86品種開発しました。

抵抗性品種の開発方法と開発数

品種開発においては、マツ材線虫病の激害地において健全に生育している個体を抵抗性候補木として選抜し（図1）、ここから種子や穂を採取して苗木を育成し、これらにマツノザイセンチュウ（図2）を接種し、健全率や生存率を調査・評価しています。その際、対照としてマツノザイセンチュウの原産地である北米東部に自生し世界のマツ属の中で最高水準の抵抗性を持つテーダマツ（またはそれと同等の抵抗性を持つ既存の開発品種）を用いることにより、テーダマツと同等以上に枯れにくいマツを「抵抗性品種」としています。今中期計画期間（2011年～2015年）は、「抵抗性品種」を68品種（アカマツ18、クロマツ50）を開発できました（図3）。これまでの累積品種数は378品種（アカマツ225、クロマツ153）になり、ほぼ全国で、抵抗性マツ種苗生産のための採種園の整備が可能となる品種数が確保できつつあります（図4）。

抵抗性クロマツ品種、第二世代へ

マツ材線虫病の被害が大きい西日本地域では、他地域に比べて早くから抵抗性マツ品種を選抜し始めており、現在では、激害地からの選抜による抵抗性品種の開発に加え、抵抗性品種同士の交配により、さらに抵抗性の高い第二世代品種の開発に取り組んでいます。人工交配により得られた苗木に対し、近年新たに被害地から収集したこれまでの接種系統よりも病原性が強い系統のマツノザイセンチュウを接種することなどによって厳しい選抜を行い（図5）、抵抗性の高い個体を選び出しています。今中期計画期間は、16品種のクロマツの第二世代抵抗性品種を開発しました（図3）。これまでに開発された第二世代の抵抗性品種は18品種になりました（図4）。第二世代品種は生存率、健全率などの抵抗性が第一世代品種よりも向上しています（図6）。今後は、クロマツについては交配組み合わせを増やして遺伝的に多様な第二世代品種の開発を進めるとともに、アカマツについても、第二世代抵抗性品種の開発への取り組みを進めることとしています。



図1 激害地残存木からの採種

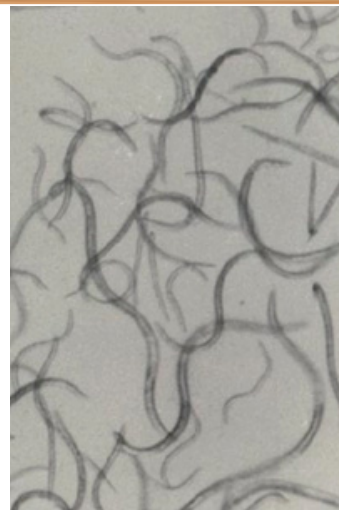


図2 病原体（マツノサイセンチュウ）

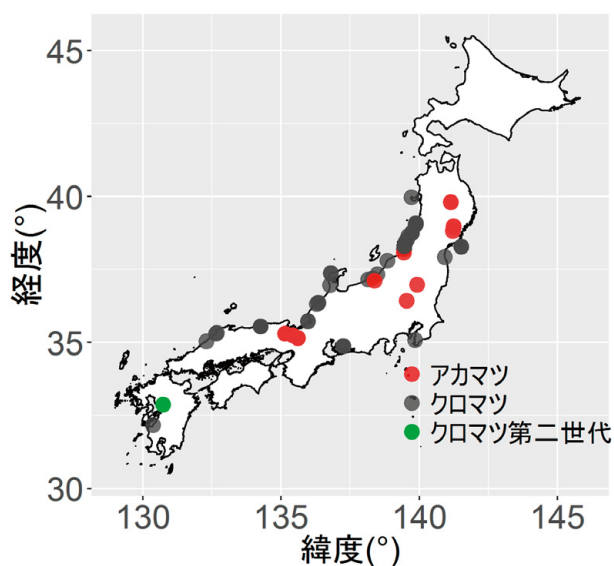


図3 今中期に開発された抵抗性マツ品種の選抜地

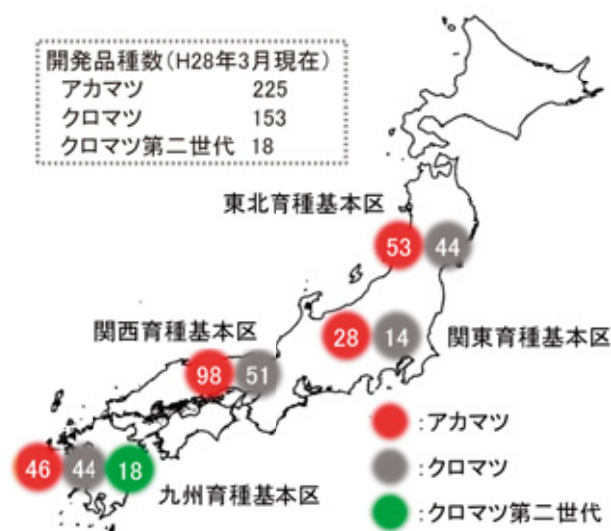


図4 育種基本区ごとの開発品種数



図5 接種試験による判定
左から枯、部分枯れ、健全

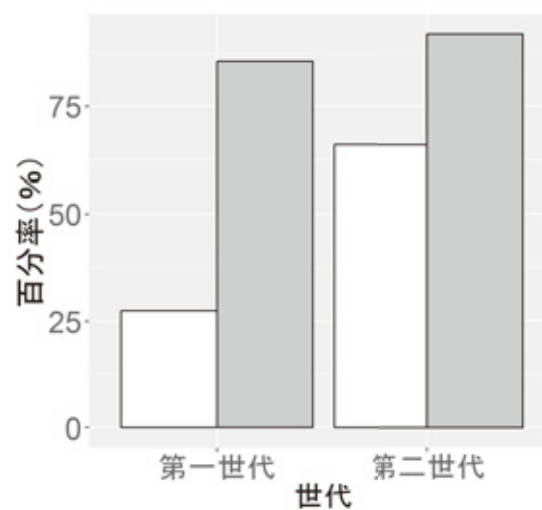


図6 第一世代と第二世代の抵抗性
白が健全率、灰色が生存率

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

エリートツリーの開発と特定母樹の指定

林木育種センター
北海道育種場
東北育種場
関西育種場
九州育種場

加藤 一隆
中田 了五
織部 雄一郎
久保田 正裕
倉本 哲嗣

要 旨

優良な第1世代精英樹同士を交配して得られた実生苗を植栽した育種集団林で、個体の成長や材質、さらにスギやヒノキでは雄花着花量も評価した結果、成長や材質に優れ、かつ雄花着花量も少ないエリートツリー（第2世代精英樹[※]）をスギで377系統、ヒノキで239系統、カラマツで80系統、計696系統開発しました。また、優良な種苗を生産するための種穂の採取に適する樹木として農林水産大臣が指定する「特定母樹」に、グイマツで1系統、スギで110系統、ヒノキで19系統、カラマツで38系統、計168系統が指定され、このうち142系統はエリートツリーです。

エリートツリーの選抜とその基準

エリートツリーは、主に、優良な第1世代精英樹同士の交配による子供（苗木）を植栽した次世代の精英樹を選抜するための試験林（育種集団林）から選抜されています（図1）。

植栽から10年～20年経った育種集団林において、樹高等の成長が5段階評価で4以上（偏差値で65以上であり、概ね上位30%以内に相当）、材の剛性や幹の通直性に著しい欠点がなく、スギ及びヒノキでは雄花着花量が隣接林分の平均値未満である個体をエリートツリーとして選抜し、平成27年度までにスギで377系統、ヒノキで239系統、カラマツで80系統、計696系統開発しました（図2）。各育種基本区では、東北育種基本区でスギ及びカラマツ合わせて79系統、関東育種基本区でスギ、ヒノキ及びカラマツ合わせて182系統、関西育種基本区でスギ及びヒノキ合わせて201系統、九州育種基本区でスギ及びヒノキ合わせて234系統を開発しました（図3）。

エリートツリーの苗木を植栽した場合、東北地方～関西地方の実生造林においては40年で地スギの50年とほぼ同等の林分材積となり、九州地方のさし木造林においては、30年で在来品種の50年とほぼ同等の林分材

積となると試算されています。林分当たりのCO₂吸収量はこれにより大幅に増加するため地球温暖化対策に貢献します。

特定母樹への申請とその基準

平成25年度に改正された「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」において、特に優良な種苗を生産するための種穂の採取に適する樹木として農林水産大臣が指定する「特定母樹」が定められました。特定母樹の指定基準は、成長、剛性及び幹の通直性ではエリートツリーの選抜基準とほぼ同様ですが、スギ及びヒノキにおける雄花着花量は一般的なスギの概ね半分以下でありエリートツリーの指定基準よりも厳しくなっています。これまで開発した系統等から、平成27年度までにグイマツで1系統、スギで110系統、ヒノキで19系統、カラマツで38系統、計168系統が指定されました。このうち142系統（スギ85系統、ヒノキ19系統、カラマツ38系統）はエリートツリーです（図4）。これらの特定母樹は、今後のCO₂の森林吸収源対策に資する新たな造林種苗の母樹としての役割を担うことになっています。



図1 設定された育種集団林(左:栃木県那賀郡那賀川町スギ10年次、右:茨城県北茨城市ヒノキ3年次)

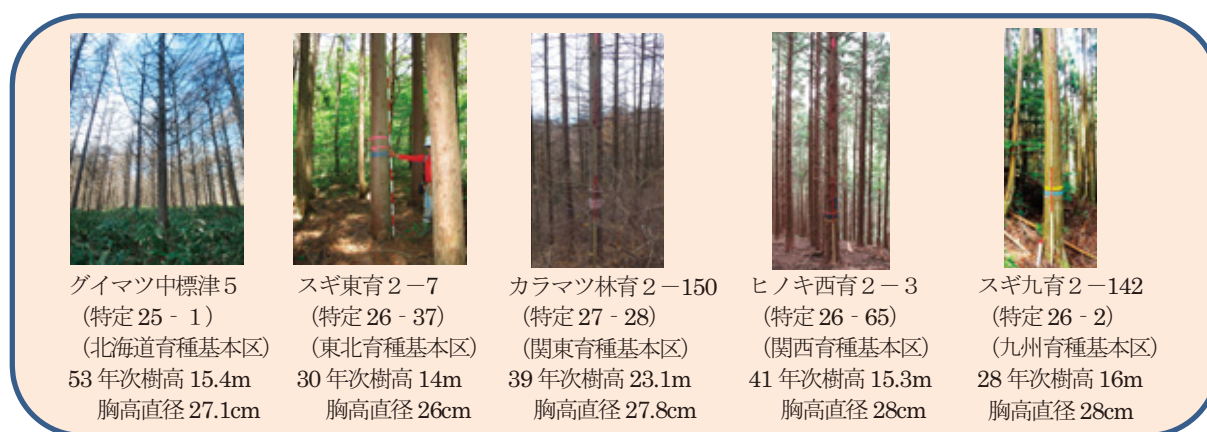


図2 指定された特定母樹(北海道は第一世代精英樹、その他はエリートツリー)



図3 育種基本区別のエリートツリーと森林総合研究所が申請して大臣に指定された特定母樹

樹種	エリートツリー	特定母樹
スギ	377	110 (85)
ヒノキ	239	19 (19)
カラマツ	80	38 (38)
グイマツ	0	1 (0)
計	696	168 (142)

()はエリートツリーの数で内数

図4 樹種別のエリートツリーと森林総合研究所が申請して指定された特定母樹

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

先端技術を活用してスギの品種改良を高速化する

林木育種センター	高橋 誠、平岡 裕一郎、三嶋 賢太郎、能勢 美峰、坪村 美代子、 大平 峰子、花岡 創、山野邊 太郎、高島 有哉、星 比呂志
森林バイオ研究センター	平尾 知士九州育種場 栗田 学、武津 英太郎、倉本 哲嗣
東北育種場	井城 泰一九州大学 渡辺 敦史、田村 美帆
佐賀県林業試験場	宮崎 潤二、挽地 あい子大分県農林水産研究指導センター 佐藤 嘉彦
宮崎県林業技術センター	古澤 英生、世見 淳一鹿児島県森林技術総合センター 宮里 学

要 旨

スギをはじめとする林木の品種改良とその普及には、これまで長い年月が必要でした。それは成長や材質等の系統評価^{*}のために、試験地等でスギの系統を数十年にわたって実際に育成する必要があったためです。また、その後の優良品種の普及にも長い期間が必要でした。そこで、スギの品種開発とその後の普及に要する期間を短縮するために、ゲノム情報を利用した評価手法を開発し、さらにその開発品種を施設内でさし木によって速やかに増殖する技術を開発しました。今後、この高速育種技術によりスギの品種開発とその後の普及に要する期間を大幅に短縮できるようになります。

これまでの林木育種

林木の品種改良（育種）では、成長の旺盛さ、木材に加工した時の性質（材質）に関係する特性、花粉（雄花）が少ないことといった様々な形質について、特性を調査し、優れた個体を優良品種として開発してきましたが、これらの形質を正しく評価するには、試験地等でスギ系統を実際に一定の期間育成する必要があるため、育種には数十年に及ぶ長い年月を要してきました。また、開発品種は都道府県等の採種園や採穂園により普及しますが、採種園等の造成のための苗木（原種苗）を増殖するのに5～7年を必要としてきました。しかし、社会から求められる品種を、より早期に開発・普及するには、育種と普及の両方に要する期間を短縮する、つまり林木育種の「高速化」を行う必要がありました。そこで、ゲノム情報を利用した育種技術開発と原種苗の促成栽培に取り組みました。

ゲノム情報を利用した林木育種

ゲノムとは、生物の設計図であるDNAがもつすべての遺伝情報のことです。そして異なる個体間では、DNAの塩基配列^{*}が少しずつ異なっています（図1）。このDNAの塩基配列の違い（変異）をゲノム全体にわたって分析し、そのDNA変異のありさまと形質の良否の関係性を事前に調べることによって、DNAの情報から成長や材質等の形質を予測する手法が家畜や他の作物で試みられています。そこで、今回の研究では、林木の品種改良に要する期間を短縮するために、この手法を主要な造林樹種であるスギで試みました。

品種開発に要する時間を3分の1以下に短縮

成長や材質などに関係するDNA変異を網羅的に集め

るために、針葉や幹の木部、根等で働いている遺伝子のDNA配列の情報を分析・収集し、約52万のDNA変異を明らかにし、その内約3万のDNA変異を同時に調べる分析システムを作りました。

さらに、この分析システムを使い、さまざまなスギの系統についてDNA変異を明らかにし、そのDNA変異から形質を予測する手法を開発しました。DNA分析による予測手法と5年間の育成試験を組みあわせることで、植栽後20年後の材積について、実際に20年間育成試験を行って改良した場合の約7～9割の改良効果が得られることが分かり、品種改良に要する期間を大幅に短縮可能であることが分かりました（図2：精英樹集団の2例）。

さし木と施設内育成で普及に要する期間を約半分に

品種改良で新しい優れた個体を選抜した時、その個体は最初は1個体（原木）しかありません。その優良個体を普及するためには、さし木などにより本数をふやし、多くの原種苗を育成する必要があります。これまでは、1本の原木から約50本の苗木を増殖するのに5～7年を要してきましたが、温度や光条件などを制御できる施設でさし木の増殖・育成をすることにより（図3）、3年で100本以上の原種苗を増殖することができる技術を開発しました。これにより、普及に要する期間も短縮することができました。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適利用するための技術開発」のうち「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」による成果です。

系統1 AATACGTGATTCCGAGACTTTTCCGA
 系統2 AATACGTATTTCCGCGACTTTTACGA
 系統3 AATACGTATTTCCGAGACTTTTCCGA
 系統4 AATCCGTGATTCCGCGACTTTTCCGA
 系統5 AATACGTGATTCCGCGACTTTTACGA
 系統6 AATACGTGATTGCCGCGACTTTTCCGA
 ...

図1 DNA 変異の例

図に示したように系統1から6のように複数の系統のDNAを分析して塩基配列を比較し、系統間でDNAが異なる箇所（DNA変異がある箇所；図中、黄色で示した箇所）の情報を収集します。

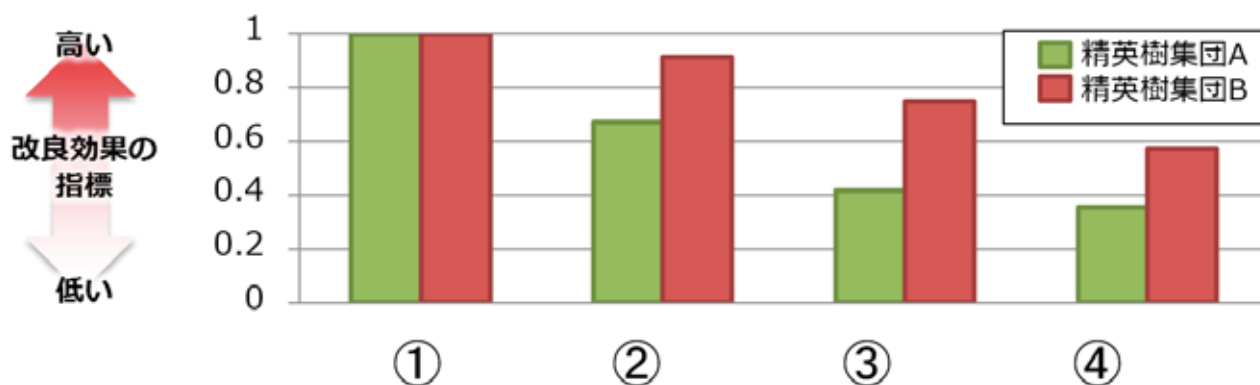


図2 DNA 変異から形質を推定した場合の改良効果

①実際の20年次の材積とDNA変異の情報を使って選抜した場合の改良効果、②実際の5年次の成長とDNA変異の情報を使って選抜した場合の改良効果、③DNA変異の情報のみを使って選抜した場合の改良効果、④実際の5年次の成長の情報のみを使って選抜した場合の改良効果、②の方法で選抜した場合、最良の方法（①）による改良効果の約7～9割の改良効果が得られる。



図3 左) さし木の増殖・育成に用いた施設の外観、右) 施設内でのスギの苗木の育成

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

出身地と異なる環境で育成した場合のスギの成長に及ぼす影響

関西育種場 三浦 真弘
 林木育種センター 花岡 創、平岡 裕一郎、山田 浩雄、磯田 圭哉、千吉良 治、高橋 誠
 北海道育種場 中田 了五 東北育種場 井城 泰一
 関西育種場 久保田 正裕 九州育種場 武津 英太郎、倉本 哲嗣
 九州大学 渡辺 敦史

要 旨

スギ等の林木は、林業種苗法において、種苗を配布できる地域（種苗配布区域）が定められています。スギにおいて種苗の移動が成長に及ぼす影響に関して、GIS 技術を用いて気象環境情報と精英樹^{*}の次代検定林の調査データを統合し解析しました。全国の気象環境の違いは、現在の種苗配布区域の区域分けと概ね対応していました。また精英樹が元々の選抜地（出身地）と異なる環境で生育した場合の成長は、冷涼環境から温暖環境、多雪環境から温暖・寡雪環境へ種苗を移動した場合は同等またはそれ以上なのに対し、逆方向への移動の場合は低下しました。こうした結果は、法律で定められた種苗配布区域間の種苗移動制限が、成長の低下を防ぐことにより林業上の不利益を未然に防止する効果があることを示唆しています。

種苗配布区域

林木はその出身地と異なる環境に植えると成長が低下するおそれがあります。そのため林業種苗法では、種苗が採取または育成された環境の違いに着目し、種苗の配布可能な区域（種苗配布区域）が定められています。スギでは全国が7つに区分され、種苗配布区域と種苗配布区域間の移動可能の方向を定めることによる移動制限が設けられています（図1）。このことについて、種苗配布区域と環境との関係、スギ精英樹の種苗をその出身地から他の区域に移動して育てた場合に成長にどのような影響が生じるかについて、気象庁が公開しているメッシュ気候値データと、精英樹の遺伝的特性や環境適応性を検定する次代検定林のデータとを、GIS 技術を用いて解析しました。

日本の環境区分と種苗配布区域の関係

日平均気温や日降水量等の7つの因子を用いて解析したところ、日本を5つの環境区分に分けることができました。各気候メッシュ（国土を概ね1km²単位に区分したところにおける気候）がどの環境区分に割り振られたかを日本地図上に示すと、環境区分①、②は北海道、東北など冷涼環境、③、④は本州太平洋側、四国、九州など温暖環境、⑤は本州日本海側の多雪環境に相当しています。これらの区分は検定林データから検討したスギの樹高成長の区分と良い対応が見られ、また、現在のスギ種苗配布区域の境界線と比べても概ね一致していることが分かりました（図2）。

異なる環境がスギの成長に及ぼす影響

得られた5つの環境区分と次代検定林の地理情報および調査データを統合して解析することで、ある環境区分出身のスギ精英樹を同じ環境区分で育てた場合の成長と、異なる環境区分で育てた場合の成長とを比較しました。樹高成長について、環境区分①、②の冷涼環境出身の精英樹は、区分③、④の温暖環境では同等か向上する傾向があるのに対し、区分③、④の温暖環境出身の精英樹は、冷涼環境では同等か低下する傾向があることが分かりました。また多雪地域である区分⑤出身の精英樹は、より温暖で寡雪環境である区分③、④では同等か向上する傾向がありました（図3）。また、これらの傾向は、林業種苗法で定められた種苗の移動の方向を守ることによって成長の低下といった不利益を防止できることを示唆しています。

広域での共通系統植栽試験

日本全国から選定した27精英樹のさし木苗木を全国9カ所の苗畑で育てて、その初期成長量を観察しました。その結果、上記のGIS解析で得られた環境が及ぼす影響の結果と同様な傾向が明らかになりました（図4）。さらに、これらの苗木は近隣の造林地に植栽しており、造林地における林木の環境への適応を引き続き調査・研究することとしています。

本研究は、林野庁補助事業「森林環境保全総合対策事業（拡充）」、「造林木の生育環境への適応性の評価」による成果です。



図1 林業種苗法で定められたスギ種苗の採取・育成区域とそれぞれの区域からの配布可能な区域（種苗配布区域）

日本全国を7地域に区分。種苗配布は同一区域内および特定の隣接区域にのみ認められており、寒冷地域から温暖地域、多雪地域から寡雪地域には配布可能であるが逆は禁じられているなど一定の方向性があります（第1区→第3区は配布可であるが、逆は禁じられている等）。

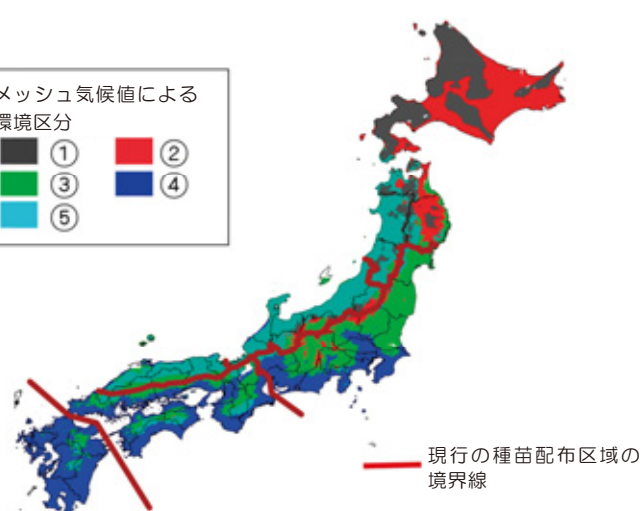


図2 メッシュ気候値による環境区分と種苗配布区域の境界線

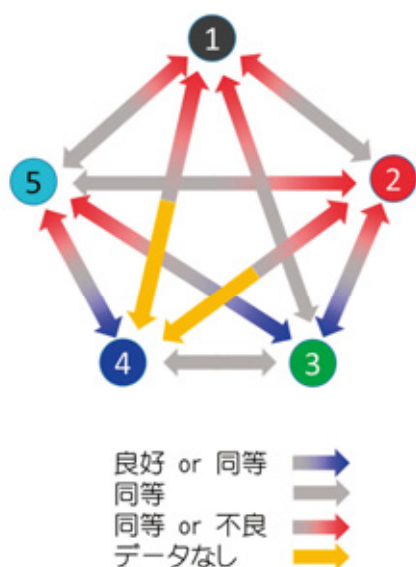


図3 異なる環境区分に種苗を移動した場合の樹高成長の比較

①～⑤は図2を参照。

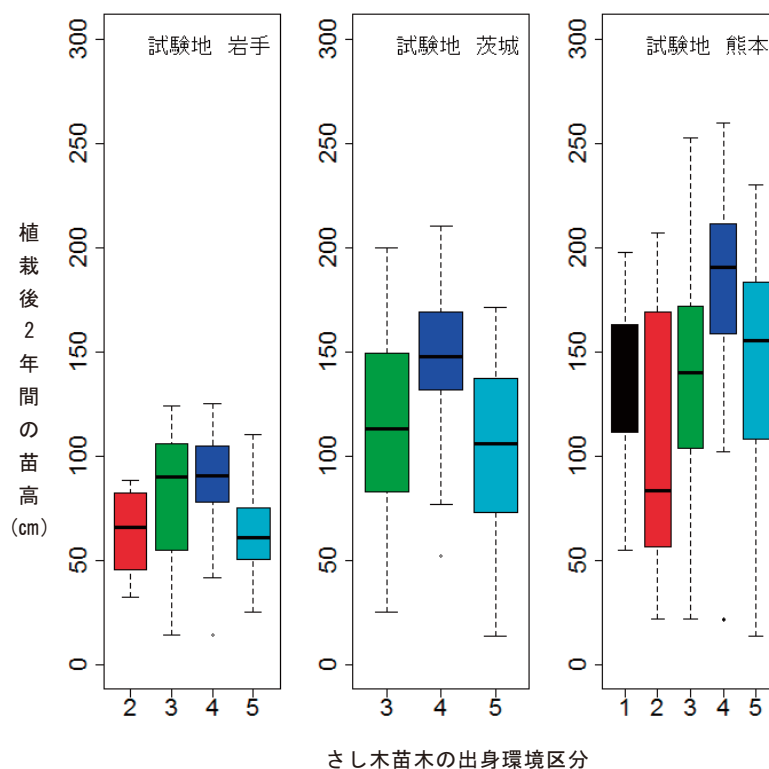


図4 異なる環境区分（①～⑤）で得られた苗木を3か所（岩手、茨城、熊本）の試験地に植えた場合の成長

①～⑤は図2を参照。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

ケニア国乾燥地耐性育種プロジェクトにおける優良種苗の開発

林木育種センター 宮下 久哉、生方 正俊、花岡 創、松下 通也、山野邊 太郎、
坂本 庄生、千葉 信隆、藤原 優理、橋本 光司、山口 秀太郎、
坂井 敏純、上澤上 静雄
九州大学 玉泉 幸一郎、作田 耕太郎、津山 孝人、後藤 栄治

要 旨

アフリカのケニア共和国においては、気候変動に伴う乾燥地の拡大や森林の減少が懸念されています。そのため、ケニア政府からの要請により、郷土樹種である *Melia volkensii* (メリア ヴォルケンシー) を対象に、育種手法による成長量および乾燥地耐性の改良を目的とした JICA 技術協力プロジェクトを実施しています。さらに、対象樹種のケニア国内での母集団の遺伝変異を解析し、地域的な遺伝的分化に配慮した遺伝的多様性保全ガイドラインの作成もこのプロジェクトで進めています。これらの取り組みを通して、林木育種に関するケニア側の研究開発能力を高め、遺伝的多様性の維持に配慮した優良な育種種苗による植林体制をケニアに構築し、気候変動対策に貢献することを目指しています。

ケニアについて

ケニア共和国は東アフリカの赤道直下に位置し、国土の80%以上が半乾燥・乾燥地帯であり森林面積は国土の7%に過ぎません。植生は半乾燥地帯ではサバナが疎な低木林、乾燥地帯では草原か荒野です。また、本プロジェクトにおけるケニア側の協力機関は、ケニア森林研究所 (Kenya Forestry Research Institute) とケニア森林公社 (Kenya Forestry Service) です。

育種対象樹種の特徴

ケニアの郷土樹種である *M. volkensii* は、センダン科センダン属の落葉高木で、樹高は15mに達します。半乾燥地域に分布していて、成長が早くかつ高品質の木材が得られ、現地ではアグロフォレストリー^{*}にも用いられています。

育種プロジェクト (ケニア国「気候変動への適応のための乾燥地耐性育種プロジェクト」)

M. volkensii の分布域内から、成長に優れ病虫害の被害がない精英樹を100本選びました。それらの木をつぎ木によって6,000本に増やし、そのつぎ木苗を用いてケニア国内に2箇所の採種園を造成し、種苗の生産体制を整備しました。採種園においては、植栽2年の段階で樹高が平均4mに育ち (図1)、植栽4年目から種子生産を開始しました (図2)。環境への適応性を評価するため、これらの種子から得られた苗木を用いて分布域内の複数の異なる環境下に12箇所の試験林を造成しました。植栽5ヶ月の段階で成長が良い個体は樹高4mに達し (図3)、樹高に関して系統間の差が出始めました。また、乾燥耐性のメカニズムを解明するため、

乾燥耐性に関する特性調査を進めており、今後、それに基づく選抜方法を開発します。さらに、木材を利用する上で必要となる材料性能を明らかにするための調査も進めており、木材利用促進に活用します。今後、これら研究結果を基に採種園の改良を行い、採種園産種苗の性能向上を図ります (図4)。

遺伝変異の解析

DNAによる系統管理を実現させるため、DNAマーカーを開発しました。それらマーカーを用いて天然林の遺伝変異解析を行い、当樹種の系統をケニア北部、中部、南部に分ける明瞭な遺伝的分化を明らかにしました。この結果に基づき、上記の試験林を設置しています。この他にも、分布情報と気象環境データとを生態ニッチモデル^{*}によって統合し、現在の植栽適地を予測するとともに、気候変動に伴う植栽適地の変化の予測にも着手しています。

優良種苗の普及システム構築

M. volkensii の苗木生産や流通および木材の利用に関する市場調査を実施し、優良種苗普及ガイドラインを作成しました。また、優良種苗の重要性に対する意識向上を図るため、ワークショップや農民を対象としたフィールドスクールを開催しています。この取り組みによって、優良種苗を用いた植林の有用性や優位性に対する認識を高め、優良種苗を使う意思を持たせる効果を期待しています。

本研究は、国際協力機構と締結した「ケニア国気候変動への適応のための乾燥地耐性育種プロジェクトに係る業務委託契約」による成果です。



図1 植栽2年の採種園（樹高平均4m）



図2 採種園における種子生産の開始（植栽4年目）



図3 採種園産種子による成長の良い個体（植栽5ヶ月・樹高4m）

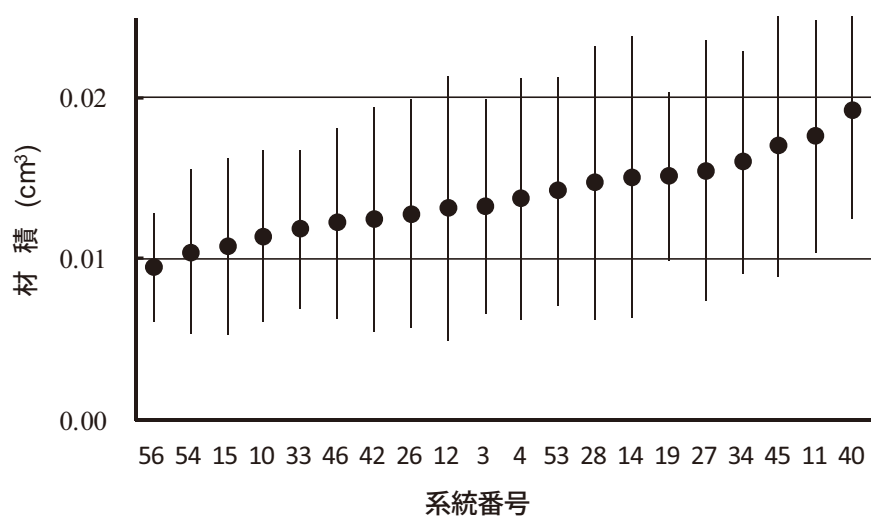


図4 採種園における材積についての系統間差

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

アカマツの保全にむけて地理的変異を解明する

関西育種場

岩泉 正和

要 旨

近年マツ材線虫病による被害が全国各地で進行しており、日本の代表的な針葉樹であるアカマツ林の減少が危惧されています。日本各地でアカマツの遺伝的な多様性を効果的に保全するためには、集団の遺伝的組成の違いや形態形質^{*}の地理的な違いを明らかにし、地域性に配慮した保全方法を確立していく必要があります。こうしたことから、アカマツの分布域全域にわたる天然林を対象に、核 DNA 配列の違いに基づく遺伝的変異や球果形態の変異について調査しました。その結果、西南日本から中部日本、東北日本にかけて遺伝的な組成が緩やかに変化していることが明らかになりました。また、東北日本ほど球果サイズが大きく、球果^{*}あたりの種子の充実率も高いことがわかりました。

アカマツの地理的変異を解明する

アカマツは日本の代表的な針葉樹の一つであり、北は青森県下北半島から南は鹿児島県屋久島まで日本全国に広く分布しています。建築用材や燃料としての利用の他、里山の景観を構成する重要な樹種として古くから日本人の生活に深く結びついてきました。しかし、近年、マツノザイセンチュウによって引き起こされる「マツ材線虫病」の被害が全国各地で進行しており、有名マツといわれる地域品種をはじめとした有用資源の消失が危惧されています（図1）。

日本の重要な樹種であるアカマツを保全する際に注意すべきことは、同じ種類の樹木でも地域により遺伝的な性質が異なっていたり、地域毎の気候・気象条件等に応じて外部形態が異なっていたりすることです。そのため、我が国のアカマツ林を効果的かつ効率的に保全するためには、その遺伝的組成や形態形質の違いを明らかにすることで、地域性に配慮し、どのような地域区分で、どれくらいの集団を保護・保存する必要があるのかについて検討することが重要です。こうしたことから、本課題ではアカマツの地理的変異の解明に取り組み、国内各地の天然林間での遺伝的変異や形態変異について調査しました。

遺伝的変異および形態変異の地理的な傾向

青森県から鹿児島県までのアカマツ林 62 集団を対象に、DNA 分析試料として針葉を採取しました（図2）。

得られた核 DNA の塩基配列を解析し、遺伝的組成の地理的な違いについて解析しました。その結果、西南日本から東北日本にかけて、緩やかに地理的な遺伝的組成の変化が見られ、西南日本、中部日本及び東北日本でそれぞれ異なる遺伝的要素（異なる色で表される）が優占していることが明らかになりました（図3）。また、上記 62 集団のうち図2に示した 28 集団を対象に球果を採取し、球果サイズや種子の稔性等の違いを解析しました。その結果、東北日本では西南日本に比べて全体的に球果サイズが大きく（図4）、また球果あたりの種子の充実率も高いことが分かりました。

アカマツの遺伝的多様性の保全にむけて

本研究の結果から、アカマツは広く日本国内に分布しているものの、地域間で少なからず異なった遺伝的・形態的特性を有していることが明らかになりました。これらの変異には、アカマツの分布の変遷や、気温・日射量等の環境条件の違いといった要因が影響している可能性が考えられます。今回得られた結果は、アカマツの遺伝的多様性を確実に保存していくために必要な地域区分等の検討を進める際の基礎的な情報として活用していきます。

詳しくは、Iwaizumi, M.G., Tsuda, Y., Ohtani, M., Tsumura, Y. and Takahashi, M., 2013. Forest Ecology and Management 304: 407-416. をご覧下さい。



図1 枯損の進む有名アカマツ天然林
高知県のアカマツ地域品種である大道マツの保存林：高知県四万十町

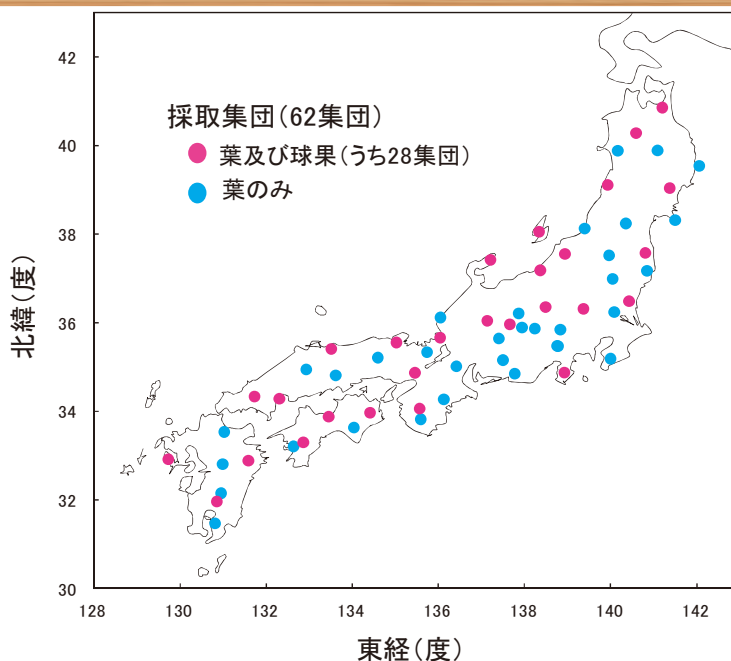
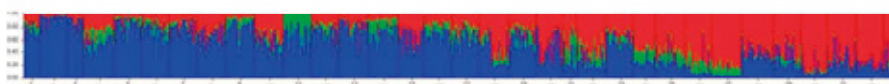
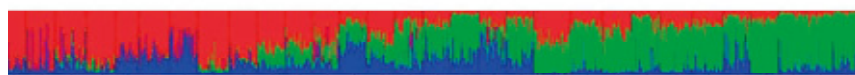


図2 サンプルングを行ったアカマツ天然林の位置



＜-- 九州 --＞＜-- 中国・四国 --＞＜-- 近畿・東海 --＞＜-- 中部 --＞
(下段へ続く)



＜-- 中部 --＞＜-- 関東 --＞＜-- 日本海側北部 --＞＜-- 東北 --＞
(上段より) 側北部 太平洋側

図3 核DNA分析による全国のアカマツ天然林の遺伝的組成

棒グラフの色はそれぞれの地域の各個体が持つ遺伝的な組成を示し、西南日本のアカマツは青色の遺伝的要素を多く持ち、中部日本は赤色の要素を、東北日本は緑色の要素を多く持つことを示しています。

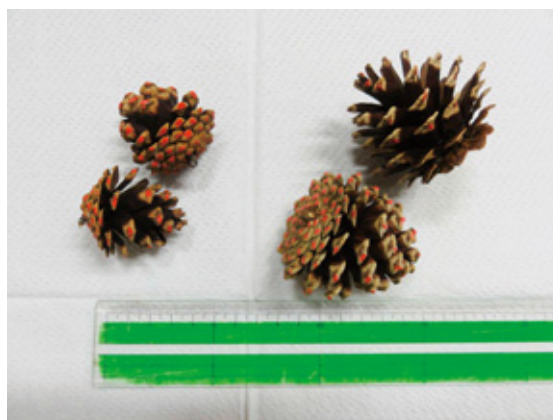


図4 アカマツ集団間の球果サイズの違いの例

西南日本の宮島集団（左：広島県）にくらべ、東北日本の甲地集団（右：青森県）の球果サイズが大きいことがわかります。赤い点は鱗片（松かさ）の数を計測したもの。 ※については、巻末の用語解説をご覧ください。

ゲノム情報を利用して成長が早く材質の優れた 無花粉スギの苗を作る方法を開発

森林遺伝研究領域
生物工学研究領域
林木育種センター
九州大学
東京大学

内山 憲太郎、上野 真義、伊原 徳子、松本 麻子
二村 典宏
木村 恵、三嶋 賢太郎、坪村 美代子、井城 泰一、高橋 誠
渡辺 敦史、舘田 英典
岩田 洋佳

新潟大学
森口 喜成
津村 義彦
篠原 健司

要 旨

長命な林木では、優良な形質を持った個体を選抜するには数十年の時間が必要です。また、スギの花粉症が大きな社会問題となっています。これらの問題を改善するため、スギのゲノム^{*}全体の遺伝子型^{*}を調べ、育種形質との関連解析によって、有用形質を支配する遺伝子を複数検出しました。また、シミュレーションによって、遺伝子型から形質を予測して選抜を行い、育種を進める育種モデルの作成を行いました。さらに、無花粉スギの遺伝子（雄性不稔遺伝子）の位置を染色体上で特定し、無花粉スギ選抜のための DNA マーカーの開発を行いました。これによって、育種に必要な時間を大幅に短縮し、無花粉で成長の良いスギ品種の開発や普及を促進していくことができます。

林木の育種とゲノム情報

長命な林木では、作物や家畜に比べて形質の優れた個体を選抜し、交配するのに長い年月がかかります。特に、選んだ個体が木材として優良かどうかといった評価には、個体が大きくなるまで、少なくとも 20 年は待たなければなりません。この育種期間の長さが、林木育種の大きな課題です。そこで、ゲノムの情報を利用して、優良な苗を早期に選抜する手法を開発しました。

スギのゲノム情報の収集と有用遺伝子の特定

スギのゲノムの情報を収集するため、ゲノム内に存在する 11 万ヶ所の SNP^{*}による DNA 変異を特定し、3570 個の遺伝子について、ゲノム上での遺伝子の位置がわかる地図（連鎖地図）を作成し、ゲノム情報をたやすく引き出せるよう BAC ライブラリー^{*}を作成しました（図 1）。この情報を元に、関東で選抜された精英樹と呼ばれる特に形質の優れたスギ約 500 個体について、雄花の着生量、材質、発根性を測定し、約 6000 個の遺伝子との関連解析（ゲノムワイドアソシエーション解析^{*}）を行いました。その結果、雄花の着生量、材質、発根性との間でそれぞれ 86、65、76 個の遺伝子との関連が検出されました（図 2）。これらの遺伝子は、優良な苗の早期選抜の目印として活用できます。

無花粉スギ遺伝子の特定と選抜 DNA マーカーの開発

無花粉スギは、1992 年に富山県で発見された変異体であり、花粉を全く飛散させないことから、無花粉スギの利用は、花粉症対策に最も効果がある方法の一つといえます。そこで、無花粉スギを育種の材料として有効に活用するため、無花粉を引き起こす遺伝子（雄性不稔遺伝子）のゲノム上での位置を特定しました。ms1^{*}、

ms2^{*}と呼ばれる遺伝子は、それぞれ第 9、第 5 連鎖群（染色体）にありました。無花粉の遺伝子を持っているかどうかは、普通は花が咲くまでわかりません。そこで、この遺伝子の近くの DNA 配列を調べることで、無花粉の遺伝子の有無を識別できる技術を開発しました。この方法により、実生や種子の段階で、将来無花粉になるかどうかを、97% の確率で予測できるようになりました（図 3）。

ゲノム情報を利用した選抜育種のモデルの作成

ゲノムワイドアソシエーション解析の結果、材質や成長といった形質には、多くの遺伝子が関係していることがわかってきました。そこで、そのような多数の遺伝子の動きを一度にとらえて、ゲノム情報から形質を予測するモデルを構築しました。シミュレーションの結果、従来の形質だけを指標に選抜した方法に比べて、単位年度当たりの遺伝的改良効果が約 2 倍となるモデルができました（図 4）。

さらに、ゲノム情報だけではなく、選抜の途中で形質を再評価し、形質のデータをモデルに組み込むことでさらに育種効率が良くなることもわかりました。これらの成果は、新たな林木の育種法として、今後、急速に普及していくと考えられます。

本研究は、生物系特定産業技術研究支援センターイノベーション創出基礎的研究推進事業「スギ優良個体の選抜のためのゲノムワイドアソシエーション研究」による成果です。

詳しくは、Uchiyama, K., *et al.* (2013) PloS one, 8(11): e79866 及び、Moriguchi, Y., *et al.* (2012) BMC Genomics, 13(1): 95 をご覧ください。



高密度連鎖地図の構築(3,570遺伝子座)



BACライブラリーの構築

図1 DNA マーカー選抜に向けたスギのゲノム基盤の整備

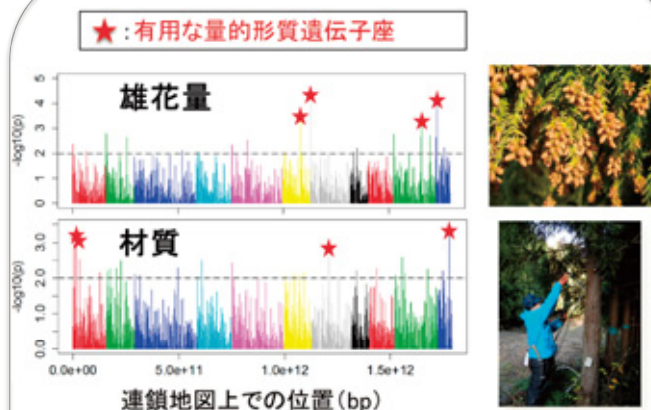


図2 SNP と形質のゲノムワイドアソシエーション解析で検出された遺伝子座

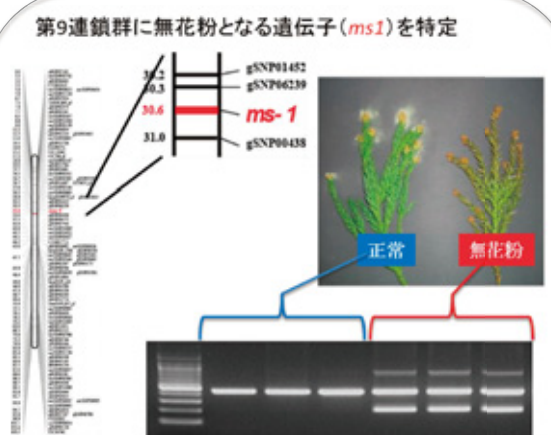


図3 花粉を作らない個体の選抜 DNA マーカー

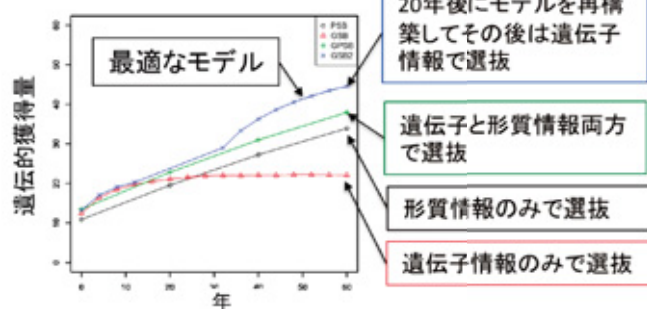


図4 シミュレーションによる効果的な選抜方法の決定

見込まれる波及効果と
今後の展開方向

1. 無花粉スギの効率的な生産
2. 成長や形質の優れたスギ作出のための新たな育種法
3. ヒノキなど他の有用樹種への応用

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

サクラ栽培品種の分類体系の再編と遺伝資源管理への貢献

多摩森林科学園	吉丸 博志、勝木 俊雄、岩本 宏二郎、加藤 珠理	
森林遺伝研究領域	松本 麻子	関西支所
森林微生物研究領域	佐橋 憲生、秋庭 満輝	
森林植生研究領域	伊東 宏樹	北海道支所
九州支所	高畑 義啓	研究コーディネータ
企画部	赤間 亮夫	日本大学
住友林業	石尾 将吾、中村 健太郎	
		長谷川 絵里
		石原 誠
		河原 孝行
		阿部 恭久

要 旨

日本では、野生のサクラをもとに古い時代から様々な栽培品種が育成され、接ぎ木などのクローン増殖で継承されてきました。しかし、長い歴史の中で間違いもあり、品種の分類には混乱が生じていました。そこで、多摩森林科学園等に収集されている1,479個体について、遺伝子・形質・履歴にもとづく正確な再分類や各栽培品種の起源に関与した野生種の推定を行い、病害研究の成果も加えて、各種特性のデータベースとサクラ栽培品種の解説冊子を作成しました。また、全国の主要集植機関の590個体について、遺伝子と形態形質にもとづいて、既知の栽培品種のクローンと一致する410個体と一致しない180個体を見出し、前者では正確な名称を確定し、後者では保存の重要性を指摘できました。

正確な再分類と系統関係の推定

多摩森林科学園、国立遺伝学研究所、新宿御苑の計1479個体について、17座の遺伝子マーカーを用いた正確なクローン識別と形態形質・履歴の情報とを照合することにより、栽培品種の緻密な再分類を行いました。また、26座の遺伝子マーカーを用いて、各栽培品種の起源に関与したと考えられる野生分類群を推定しました(図1)。これらの成果は、学術誌で公表するとともに、一般向けの解説冊子「サクラ保存林ガイド」として刊行しました(図2)。

栽培品種による病害傾向の解析

幼果菌核病の葉への罹患程度は、シナミザクラ、カンヒザクラ、およびマメザクラが関与する栽培品種で高い傾向がみられました。増生病には細菌性こぶ病と連鎖球型かいよう症があり、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栽培品種222本のうち43栽培品種208本に腐朽が確認され、腐朽しやすい4栽培品種を明らかにしました。

サクラ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系統にまとめられました。このうちDNAを分離することができた552系統について、DNA分析の結果を検討して学名などを再編しました。分類情報データについては、約13,000件を226分類群に対応させました。これらの系統の情報はデータベース化して多摩森林科学園のホームページで公開しています(図3)。

重要な集植機関の調査と遺伝資源管理への貢献

北海道松前公園、京都御所、植藤造園など全国の重要なサクラ集植機関で収集している栽培品種のうち590個体について、DNAと形態の解析を行い、先の3機関(多摩森林科学園、国立遺伝学研究所、新宿御苑)にある栽培品種のクローンと一致するものが410個体、異なる栽培品種が180個体という結果になりました。前者は、地域や機関によって様々な名前では呼ばれていましたが、今回の調査で正確な栽培品種名が確定できました。また後者は、今回の調査機関に特有の栽培品種であり、適切に保存することの重要性を指摘できました(図4)。

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」とJSPS科研費(JP24380087)「全国を網羅するサクラ栽培品種の遺伝的識別・系統解析による遺伝資源管理体制の構築」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。

Kato *et al.* (2012) *Breeding Science*, 62:248-255

Kato *et al.* (2014) *Tree Genetics & Genomes*, 10:477-487

勝木俊雄 (2014) 「日本の桜」学研

勝木俊雄 (2015) 「桜」岩波書店

多摩森林科学園 (2014) 「サクラ保存林ガイド」

石尾将吾 他 (2016) 「サクラのクローン識別のためのDNAプライマーセット」特許第5892481号

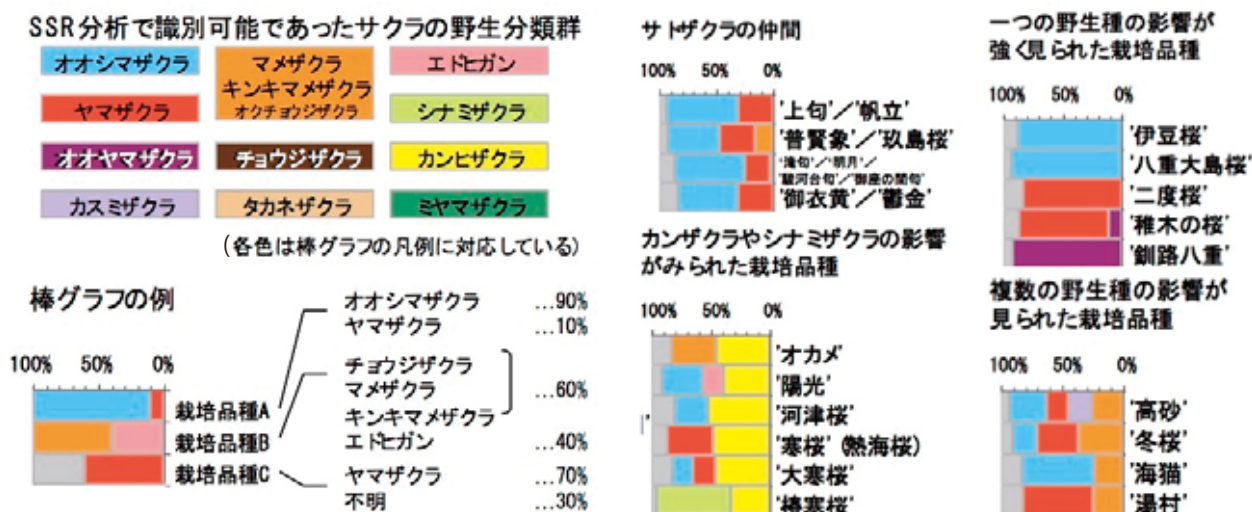


図1 栽培品種の起源に関与した野生種を推定する遺伝子解析の事例
栽培品種名の横にある各色の棒グラフは、各野生種が関与する割合を推測するもの。



図2 解説冊子「桜保存林ガイド」
ISBN978-4-905304-23-4

多摩森林科学園サクラデータベース 検索 検索結果									
検索結果									
栽培タイプ	導入名	種類名	学名	由来	樹体データ	花形データ	遺伝子データ	写真	結果掲載状況
八重の園	サトザクラ'白砂'	Cerasus Sato-zakura Group	'Sirotae' Koidz.	千葉県松戸市八柱宮園	あり	なし	あり	なし	狭小
八重の園	サトザクラ'雪金'	Cerasus Sato-zakura Group	'Grandiflora' A. Wagner	千葉県松戸市八柱宮園	あり	なし	あり	なし	狭小
園	サトザクラ'白雲'	Cerasus Sato-zakura Group	'Sirotae' Miyoshi	千葉県松戸市八柱宮園	あり	なし	あり	なし	狭小
八重の二重	サトザクラ'一重'	Cerasus Sato-zakura Group	'Hsaku' Koehne	千葉県松戸市八柱宮園	あり	なし	あり	なし	狭小
八重の二重	サトザクラ'白砂'	Cerasus Sato-zakura Group	'Sirotae' Koidz.	千葉県松戸市八柱宮園	あり	あり	あり	あり	小

図3 サクラデータベース
<http://db1.ffpri-tmk.affrc.go.jp/sakura/home.php>



図4 森林総合研究所等に保存されているクローンとは別物と判明し、保存の重要性が指摘された事例
左から、松前公園の虎の尾、東京大学日光植物園の越の彼岸、京都御所の御幸の桜。

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
 生物工学研究領域
 森林微生物研究領域
 バイオマス化学研究領域
 信州大学

村田 仁、下川 知子、根田 仁
 丸山 毅、横田 智
 太田 祐子（現日本大学）
 大平 辰朗
 山田 明義

要 旨

DNA を用いてマツタケ近縁種の類縁関係を調べた結果、マツ科針葉樹に共生する仲間とブナ科広葉樹に共生する仲間への分化が最初に起きていたことが分かりました。マツタケは、針葉樹のマツの根に侵入し、菌根^{*}を形成して共生する菌ですが、DNA 解析の結果は広葉樹とも共生する可能性を示唆していました。そこで、組織培養しやすい広葉樹について調べたところ、中南米産の広葉樹セドロ、日本産広葉樹のオオシマザクラやシラカンバなどをマツタケの宿主^{*}とすることに成功しました。この成果は、施設園芸的に扱いやすい広葉樹を用いたマツタケ栽培の可能性のあることを示唆するものであり、今後のマツタケ栽培化研究に新しい道を拓きます。

マツタケ類の分子進化

マツタケはマツ林に発生します（図1）。マツタケ菌糸は、マツの根の表面を被うとともに根組織に侵入し、「菌根」と呼ばれる共生器官（図2）を作って成育します。この菌根から林地に菌糸を広げて「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、マツタケの近縁種の中には、ブナ科広葉樹に菌根を作る種もあります。進化の目印となるレトロトランスポゾン^{*}遺伝子を解析し、マツタケ近縁種の類縁関係を調べた結果、マツ科針葉樹に共生する仲間とブナ科広葉樹に共生する仲間への分化が最初に起きたことが判明しました（図3）。また、オウシュウマツタケは、両者の中間的な位置づけとなりました。このことはマツタケが広葉樹と共生する潜在能力を持つ可能性に示唆を与えました。

マツタケの新しい宿主を発見

広葉樹の中には、組織培養がしやすく、クローン苗を継代して使える樹種があり、このような樹種は施設園芸的に扱いやすいと考えられます。このような樹種を対象に調べたところ、中南米産の広葉樹セドロ（センダン科マホガニーに近縁）がマツタケの宿主に適していることを発見しました。マツタケが好む培養条件で、セドロの苗にマツタケ菌を接種し、他の微生物がいない状態で約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4）。

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4）。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）。

セドロと同様に、無菌培養系でマツタケの宿主になる国産樹種を探したところ、日本の温暖な地域に分布するオオシマザクラや、しばしばアカマツとともに生息するシラカンバの無菌苗の根にもマツタケ菌糸が感染し、シロを形成した後、共生が成立しました。

マツタケ栽培の実現に向けて

本研究から、マツ科樹種を宿主にするマツタケがさまざまな広葉樹の根に侵入し、シロを形成した後、共生が成立することが明らかになりました。また、組織培養苗を用いたマツタケのシロ形成に関わる実験系が、広葉樹を用いることで初めて確立されました。この結果は、マツ以外の樹種を用いたマツタケ栽培の可能性のあることを示唆しています。今後は、施設栽培に適した優良な苗を選抜し、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、公益財団法人発酵研究所一般研究助成「トランスポゾン分子進化に基づくマツタケ類の起源と種分化の解明」および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」による成果です。

詳しくは以下の文献をご覧ください。

- Murata et al. (2013) Mycorrhiza, 23:235-242
 Murata et al. (2013) Mycorrhiza, 23:447-461
 Murata et al. (2013) Mycoscience, 54:438-443
 Murata et al. (2014) Mycorrhiza, 24:315-321
 Murata et al. (2015) Mycorrhiza, 25:237-241



図1 アカマツ林に発生したマツタケ



図2 アカマツマツタケ菌根

白い菌糸が根を包み込んで菌根となります。また、褐変したアカマツの根の内部にも菌糸が侵入しています。



図3 マツタケの仲間の類縁関係

レトロトランスポゾンは、ゲノムの進化に深く関わった遺伝子です。マツタケに特異的な3種類（ σ 、*marY1*、*marY2N*）のレトロトランスポゾンのゲノム中の数と、きのこ特異的レトロトランスポゾン群の配置タイプを解析しました。

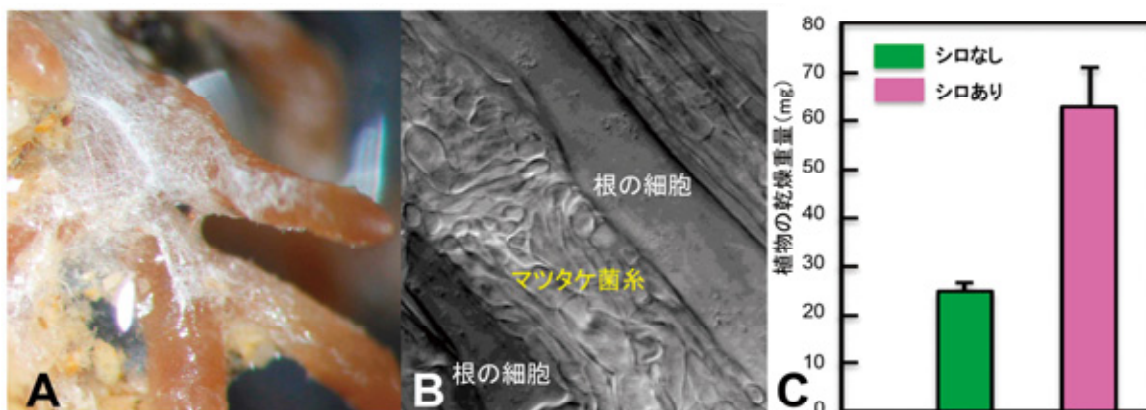


図4 セドローマツタケの共生

A: マツタケ菌糸が覆ったセドロの根、B: セドロの根に侵入したマツタケ菌糸、C: セドロ苗の成長量

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

遺伝子組換えで作る無花粉スギ

森林バイオ研究センター
九州育種場

小長谷 賢一、谷口 亨
栗田 学

要 旨

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の開発が進められていますが、既に存在する優良な品種や、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交配育種によって無花粉化していくには、長い年月がかかります。そこで、短期間で性質を改変することができる遺伝子組換え技術を用いて、スギを無花粉化する技術を開発しました。そして、作製した遺伝子組換え無花粉スギの野外での成長特性や無花粉化遺伝子の効果を調べるため、2015年4月から隔離ほ場での栽培試験を開始しました。

スギ花粉症の解決に向けて

スギ花粉症は国民の4人に1人が悩まされていると言われるほど深刻な社会問題となっています。花粉の発生源を減らすためには、花粉を出さない無花粉スギ等の品種開発と普及が重要です。私たちは無花粉スギを作出する手法として遺伝子組換え技術に着目しました。遺伝子組換え技術は、目的の品種に遺伝子を導入して特定の性質だけを変化させることができるため、短期間で品種を改良することができます。本研究では遺伝子組換えによってスギの花粉形成を抑制する技術の開発を目指しました。

無花粉化の仕組み

花粉は雄花の中で作られますが、雄花の花粉形成に関わる細胞が破壊されると、花粉ができなくなります。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雄しべで働かせて、タンパク質の合成を阻害することにより、無花粉化に成功した研究例があることから、スギへの応用を試みました。

遺伝子組換えによる無花粉スギの作出

バルナーゼ遺伝子をスギの雄花で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。私たちは、スギの雄花だけで働いているプロモーターを発見しました。このプロモーターにバルナーゼ遺伝子を連結し、スギに遺伝子導入しました（図1）。20 cm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、非組換えスギと同様に雄花が着花しました（図2）。しかし、雄花の中を調べたところ、遺伝子組換えスギは花粉を全く作らないことが確認できました（図2）。

野外栽培試験の実施

これまでに遺伝子組換えスギを温室で栽培し、無花粉であることや成長性が非組換えスギと変わらないことを確認してきました。次の段階として、野外においても無花粉性が維持され、非組換えスギと同じように生育するかどうかを明らかにする必要があります。そこで、遺伝子組換えスギが他の植物や微生物に影響を与えないことを確かめたうえで、文部科学大臣と環境大臣の承認を得て、2015年4月に隔離ほ場と呼ばれるフェンスで囲まれたほ場に遺伝子組換えスギを植栽し、野外試験を開始しました（図3）。

本研究で意図した性質を予想通りにスギに付与できたことから、遺伝子組換え技術は花粉症対策以外のスギ品種開発にも役立つ技術となると考えられます。

本研究は、林野庁委託事業「遺伝子組換えによる花粉発生制御技術等の開発事業」、農林水産省委託プロジェクト研究「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（<https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2013/20130321.html>）をご覧ください。

導入した遺伝子

- **バルナーゼ**は細胞の活動に必要なRNAを分解
- 🔑 **プロモーター**は特定の場所で遺伝子を働かせるスイッチ
- ▶ **バルスター**はバルナーゼの働きを阻害

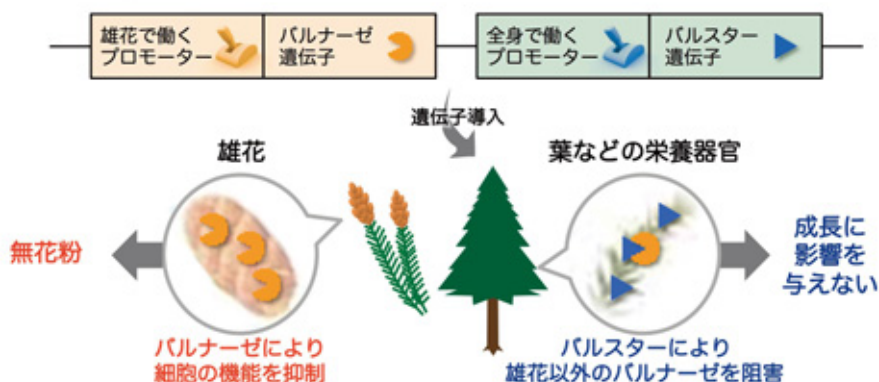


図1 導入した遺伝子の構造（模式図：上）と無花粉化の仕組み（下）

特定の部位で遺伝子を働かせるスイッチ（プロモーター）を使って RNA を分解する酵素（バルナーゼ）の遺伝子を雄花で働かせ、無花粉化します。同時に、バルナーゼの働きを抑えるタンパク質（バルスター）の遺伝子を全身で働かせることで雄花以外でのバルナーゼを阻害し、成長への影響を防止します。

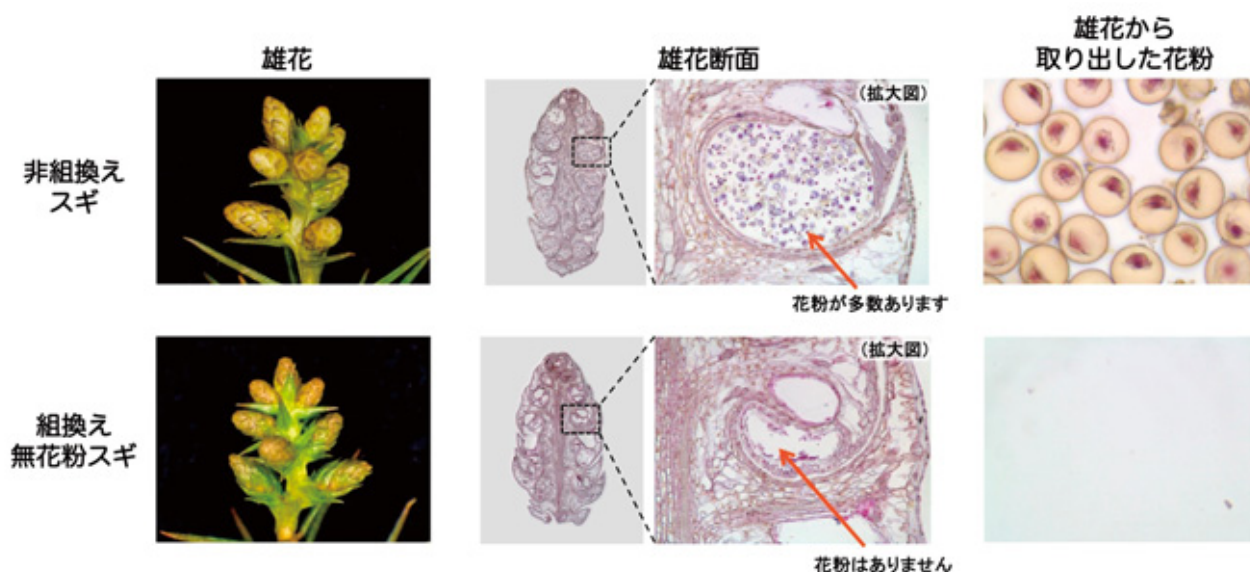


図2 遺伝子組換えスギの雄花と花粉

遺伝子組換えスギは非組換え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。



図3 隔離ほ場へ植栽した遺伝子組換えスギ
(2015年4月撮影)

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

用語解説

グラップル (P6)

木材を掴んで積んだり降ろしたりする林業機械。

フォワーダ (P6)

木材を積んで運搬する林業機械。

スベード (P6)

コンテナ苗の植栽穴を掘る器具の一種で、細長いホームベース状の鉄板で植穴を掘る。

森林総合監理士 (P6) (P8)

長期的・広域的な視点に立って地域の森林づくりを進めることができ、林野庁によって登録される森林・林業技術者。

前生稚樹 (P8)

皆伐などの実施前から林内に生育している稚樹。

数値標高データ (P10)

数値標高モデル (digital elevation model: DEM) と呼ばれ、通常は格子状に標高点が並んだデータをさす。任意の地点における周囲との標高差により、傾斜度、傾斜方位、凹凸、日照、乾湿などさまざまな地形の特徴を求めることができる。

指定管理者 (P12)

地方公共団体が、公の施設の設置目的を効率的に達成するため、指定する法人その他の団体に、施設の管理を行わせる制度 (地方自治法第 244 条)。

アドプト (P12)

行政が市民や民間業者と契約し、公的施設の美化活動を行わせる制度。公的施設を養子、引き受け手を里親とみためた養子縁組 (アドプト) になぞらえて呼ぶ。

波型縦断勾配 (P18)

森林作業道の進行方向の勾配 (縦断勾配) が、波型になるように、上り勾配、下り勾配をこまめに繰り返し、波の底にあたる部分で排水を行うことで、路面上を流れる水を少量ずつ排水、路面の侵食を防ぐことができる。

心持ち (P24)

断面に樹心を含む製材品。

正角 (P24)

断面が正方形の製材品。

平角 (P24)

断面が長方形の製材品。

心去り (P24)

断面に樹心を含まない製材品。

曲げヤング係数 (P26)

MOE: 材料のたわみにくさを示す値、大きいほどたわみにくい。

グリーン購入法 (P28)

「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」。国等の機関にグリーン購入 (環境に配慮した物品の購入) を義務づけるとともに、地方公共団体や事業者・国民にもグリーン購入に努めることを求める制度。

キッズデザイン賞 (P30)

キッズデザイン協議会による顕彰制度。「子どもたちの安全・安心に貢献するデザイン」、「創造性と未来を拓くデザイン」、「子どもたちを産み育てやすいデザイン」という理念のもと、子ども向けの製品・サービス、良質な商品や施設、プログラム、調査研究活動などを対象として授与される。

再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) (P32)

Feed-in Tariff (FIT) とは、再生可能エネルギーの買い取り価格を法律で定める方式の助成制度。

含水率 (P32)

木材の含水率の算出方法は 2 種類あり、湿量基準はエネルギー分野、乾量基準は木材製品や製材分野において使用される。

芳香族化合物 (P34)

ベンゼンを代表とした環状の有機化合物の一群で、各種機能性高分子、医薬品や香料等の原料として利用されている。

木質ペレット (P36)

粉碎した木材をペレタイザーとよばれる装置で円柱状に圧縮、成型した固形燃料で、薪やチップに比べて体積当たりのエネルギーが高く輸送性に優れるほか、扱いやすく、ストーブなどの小型燃焼機器でも自動運転が可能などの特徴がある。

トレファクション (P36)

従来の炭化温度 (600 ~ 1,000℃) よりも低い温度領域 (250 ~ 300℃) で酸素を遮断した条件での熱処理を指します。元来の意味はコーヒー豆などの「焙煎」。

外熱式ロータリーキルン (P36)

円筒を横に倒したような形の加熱装置で、筒の外から熱を加える。目的により炭化、焼却、ガス化などに使われる。

代替効果 (P47)

材料や燃料を木材に代替することで二酸化炭素の排出削減を行う効果のこと。材料代替効果と化石燃料代替効果の 2 つがある。材料代替効果は、製造するときに高いエネルギーを必要とする金属などの材料を低いエネルギーしか必要としない木材で代替することで、エネルギー消費と二酸化炭素排出を削減する効果。化石燃料代替効果は、石油や石炭といった化石燃料を木材などのバイオマスで代替することで、化石燃料の使用と二酸化炭素排出を削減する効果。

REDD プラス (P50) (P52)

「REDD」は Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries の略。途上国での森林減少や劣化が原因で排出される二酸化炭素の量を減らすこと。さらに、森林保全・持続可能な森林経営・炭素吸収の強化を加えて「REDD プラス」と呼ばれる。

樹冠投影面積 (P54)

樹木の葉が茂っている部分を樹冠という。地上から真上を見上げた時、樹冠がある場合と、樹冠ではなく空間がある場合がある。樹冠投影面積は、1 本の木の樹冠が覆っている地面の広さを表す。

葉面積指数 (P54)

一定の土地面積とそこに生育する樹木の葉の面積の合計の比。個々の樹木の樹冠が重なり合っている森林の葉面積指数は、約4～5程度の値となる。

線状凹地 (P58)

山体の変形によって形成された段差状の地形に沿って出来た細長い凹地。主として山地が自らの重力によって変形する際に発生すると考えられており、山地の稜線に平行に走ることが多い。

箱ワナ (P62)

動物が進入したときに出入り口が閉まる構造を持つ箱状のワナ。鳥獣保護法ではワナの上面の水平面の半分以上が金網等で囲われたものを箱ワナとしている。上面が開放されているワナは「囲いワナ」という。

カラビナ (P62)

ゲートと呼ばれる開閉機構を持つ金属リング。本来は、ロッククライミング用具として、ロープとハーネス等をつなぐために使用される。

保全 (P66)

人間が必要に応じて手を加えて生態系等をよい状態に保つ行為を「保全」と言います。よく使われる「保護」は、人間が手を加えることなく状態をそのままに保つことを意味するもので、それとは異なる概念です。

精英樹 (P74) (P78)

品種改良や優良種苗の生産を目的として、成長等が優れた個体を主に人工林から選抜したもの。スギでは北海道～九州の国有林と民有林から約3,700本が選抜されている。

系統評価 (P76)

特定の種類の樹木の成長や木材の性質などを調査して、評価すること。

塩基配列 (P76)

DNAなどの核酸を構成するヌクレオチドの並び順で、A、T、G、Cの4文字で表される。

アグロフォレストリー (Agroforestry) (P80)

主に植栽した木々の間の空間を利用して農作物を育てるという農業 (Agriculture) と林業 (Forestry) を融合させた技術。ケニアの半乾燥地では、農作物を赤道直下の強烈な日射しから守るため、地域に自生している樹種を列状に植林し、その木々の間でマメ科の植物を育てている。植林した木が大きく育った後は、伐採して木材として販売し農家の収入源となる。このように農業と林業の経営を両立させる技術が、25年以上に亘るJICAの支援によって、ケニアに導入されてきた。

生態ニッチモデル (P80)

ある生物が生息できる環境を推定する方法。このプロジェクトでは、*M. volkensii* の天然分布域とその気温や降水量などから地域毎にどれくらい生息に適しているかを確率で表現してその分布地図を作成している。この手法を用いることによって、現在の植栽適地を予測するとともに、将来の気候変動に伴う植栽適地の変化の予測を行う。

形態形質 (P82)

個体の中のある特定の部分の形状や性質。樹木ではよく葉や幹・枝、種子等の特徴を評価する。

球果 (P82)

主にスギ、ヒノキ、マツ等の針葉樹において種子をつくる器官。マツについては「松ぼっくり」ともよばれる。

ゲノム (P84)

生物種が細胞内に持つDNAのセットのこと。

遺伝子型 (P84)

遺伝子のタイプ。

SNP タイピング (P84)

DNAの一塩基の違いを識別する方法。

BAC ライブラリー (P84)

生物種のDNAを断片化させ、大腸菌のゲノム内に取り込ませたもの。遺伝子の単離などに用いる。

ゲノムワイドアソシエーション解析 (P84)

ゲノム全体を網羅したDNAマーカーと形質との関連を解析する手法のこと。

ms1, ms2 (P84)

スギで発見された雄性不稔遺伝子 (ms は male sterility の略)。

菌根 (P88)

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。

宿主 (P88)

菌類などの寄生または共生の対象となる生物

シロ (P88)

菌糸の塊状の集落。

レトロトランスポゾン (P88)

真核生物のゲノムに存在する複製して転移する遺伝子。

RNA (P90)

遺伝子の本体であるDNAを鋳型として合成される核酸の一種。RNAを基に細胞の活動に必要なタンパク質が作られる。

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

重点課題A 地域に対応した多様な森林管理技術の開発

一貫作業システムで地拵え～植栽の大幅な作業効率の向上！	H24-6
針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する	H24-8
再造林の低コスト化をいかに進めるか	H25-6
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	H25-8
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	H25-10
長伐期林へ誘導するための間伐の指針づくり	H26-6
里山管理を始めよう	H26-8
一貫作業システムの切り札 コンテナ苗の植栽試験結果	H27-6
コンテナ苗の低コスト化のための充実種子選別技術	H27-8
市民参加で都市近郊林を管理	H27-10
ここまでやれる多雪地域の再造林の低コスト化	H28-6
森林の持続性を物質循環の指標から評価する	H28-8
天然更新を促進して北方天然林を再生する新たな作業法	H28-10
人工林を安全・確実に広葉樹林へと誘導するための新しいツールを開発	H28-12

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

欧州の先進タワーヤードはわが国の急峻で複雑な地形条件にも適合できる	H24-10
全国の立木幹材積表の値を正確に表示する「幹材積計算プログラム」を開発	H24-12
林内走行機械による根の損傷を減らすために	H25-12
森林に低コストで林道をつくる	H25-14
先進的な車両系林業機械によって欧州並みの高い生産性が実現する	H26-10
チェーンソー用防護服は事業体の経営を守ります	H26-12
小規模な林業経営と大規模な木材加工業を結ぶ仕組みづくりの鍵	H26-14
タワーヤードを活かす中間サポートの作設技術	H27-12
どのように伐れば収益が上がるのか—シミュレーションで探る最適な施業—	H27-14
精度の高い伐採計画の作成をサポートします	H27-16
伐採から再造林までの一貫機械作業でコストを削減	H28-14
木材価格の変動リスクに備えるための異常変動評価と価格予測	H28-16

注：右側の記号は、掲載された冊子の年数とページ数を表しています。

94 ページから 100 ページまでの成果については、森林総合研究所ホームページからダウンロードできます。<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/>

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

地盤改良杭としての間伐材の利用 ―間伐材の土木利用拡大を目指して―	H24-14
「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」が完成	H24-16
スギの材形成に関与する遺伝子の発現を網羅的に解析することが可能になりました	H24-18
森林総研の木材関係の研究成果を実際の建物で検証するための モデル木造住宅が完成しました	H24-20
難燃処理した木材を現場で貼って集成材を耐火集成材にする	H24-22
木材の乾燥効率と品質の向上	H25-16
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	H25-18
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	H25-20
オフィスビルにも使える強固な木造床を開発しました	H25-22
木造でビルが建つ！新しい木質材料 CLT の開発	H26-16
スギ大径木の低コストで効率的な製材技術の開発	H26-18
スギ心去り平角材の乾燥技術の開発	H26-20
膨大な木材の強度データを1つにまとめて利用可能に	H26-22
木材の見た目やにおいが与える影響	H26-24
仏像を壊さずに木の種類を調べる―非破壊的な識別法の開発―	H27-18
国産広葉樹の利用拡大のポイント―チップ製造現場の調査から―	H27-20
劣化機構の解明から木質ボードの高耐久化を目指す	H27-22
間伐材等国産材を用いたコンクリート型枠用合板の開発	H27-24
離れたところからシロアリの居場所を探る ―高性能マイクによる新しいシロアリ食害検出技術―	H27-26
気圧を下げて木材の乾燥時間を半分に	H28-18
重さを測らず、音で木材の密度と強度を知る	H28-20
構造用パーティクルボードを JIS 規格に	H28-22
変わりゆくシロアリ生息地と寒冷地におけるシロアリ対策の必要性	H28-24

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

木質バイオマスの利用で化石燃料を20%カット	H24-24
高性能「ハイパー木質ペレット」の量産と市販ストーブによる利用実証	H24-26
林地残材から開発した空気浄化剤	H24-28
林地残材、こつこつ集めれば立派な副収入に！	H25-24
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	H25-26
林地残材を原料とした木製単層トレイの量産化に成功！	H25-28
地域に眠る木質エネルギーの熱利用で脱温暖化と地域活性化	H26-26
農業的な林業にチャレンジーバイオマス資源作物としてのヤナギの短伐期栽培ー	H26-28
リグニン製品の商用化に向けた低コストのリグニン改質技術	H26-30
木質バイオマス発電事業はもうかるか 事業採算性評価ツールの開発	H27-28
未利用資源の中の宝物ー健康に役立つ抽出成分の機能あれこれー	H27-30
木材の直接メタン発酵技術の開発	
ー放射能汚染バイオマスにも適応可能な新技術ー	H27-32
環境にやさしいセルロースナノファイバー製造技術	
ー叩き潰さずにほぐしますー	H27-34
中小規模木質バイオマス発電施設に対する燃料供給と熱電併給事業の採算性	H28-26
地域産業を創出する現場設置型のリグニン製造システム	H28-28
高性能木質固形燃料「トレファクション燃料」の連続製造に成功	H28-30
あなたの地域でもセルロースナノファイバーがつくれます	H28-32
ヤナギの葉に含まれる物質により木材・プラスチック複合材の耐久性を向上	H28-34

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

森林観測ネットワークで気候変動の影響を探る一タワーを用いた

二酸化炭素吸収量（CO₂）の把握……………H24-30

森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出は、温暖化の影響で増大している……………H24-32

熱帯林の違法伐採を防ぐためのDNAによる樹種・産地識別技術の開発……………H24-34

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……………H25-30

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……………H25-32

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……………H25-34

熱帯林の保全をめざして

ー 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ー……………H25-36

長期観測データが明らかにする森林の動き

～森林の構造や炭素蓄積の変化を見る～……………H26-32

森林によるオゾン吸収量を雨の日でも推定できる新たな手法……………H26-34

ブラジル・アマゾンの森林炭素を測る……………H26-36

マングローブ林のバイオマスを測る

ー人工衛星を利用した広域推定手法の開発ー……………H26-38

気候温暖化のブナ林への悪影響を減らす……………H27-36

将来予測からみた森林分野の地球温暖化緩和策ー木材利用が重要ー……………H27-38

森林減少と劣化を防ぎ、温暖化を防止する……………H27-40

隠れた伐採も見逃さないー宇宙から森林劣化を監視するー……………H27-42

植物が光合成に利用可能な光の量の新たな推定法……………H28-36

枯死木の分解を高精度に予測する新たなモデル……………H28-38

広く、みんなで、着実に。荒廃した熱帯林の修復……………H28-40

熱帯雨林の光合成能力は樹木の高さで決まる……………H28-42

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

森林が使い切れなくなった窒素	H24-36
原子力発電所事故で放出された放射性セシウムの森林内の分布を明らかに	H24-38
東日本大震災の津波による海岸林の被害と津波被害軽減機能	H24-40
間伐による森林からの流量・蒸発散量の変化	H25-38
森林作業道から土砂流出を抑える方法	H25-40
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	H25-42
過去の写真から山地崩壊発生の前兆をつかむ	H25-44
ミミズの放射性セシウム濃度は落葉層より低い	H26-40
間伐による水源かん養機能の増進は樹冠が閉鎖しても継続する	H26-42
津波による海岸クロマツの立ち枯れ被害に地形が影響	H26-44
雪崩発生地点の積雪の状態を気象データから推定する	H26-46
台風でも流れにくい放射性セシウム	H27-44
乾燥常緑林では高木が水循環に大きな役割を果たす	H27-46
樹木の太い根が山崩れを防ぐ	H27-48
海岸林が津波を抑える効果と津波に耐える力	
ークロマツの密度と広葉樹導入が及ぼす影響ー	H27-50
森林の蒸発散量を簡易な手法で広域推定する	H28-44
渓流水のケイ酸濃度が季節によって変わる仕組み	H28-46
海岸林再生に向けたクロマツの通年植栽	H28-48
樹木の被害から竜巻の強さを知る	H28-50

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

侵略的外来種マンガスの根絶にむけてー残存個体の探索・捕獲技術の開発ー	H24-42
林産物としてのシカ肉を衛生的に管理する	H24-44
世界遺産の島・小笠原諸島の森林に復活したハシナガウグイス ークマネズミ根絶がもたらした生物相の回復ー	H24-46
生物多様性の第二の危機を緩和する林業活動	H24-48
カビでスギ花粉の飛散を絶つ防止剤の開発	H25-46
森林用ドロップネットで効率よくシカを捕獲する	H25-48
萌芽の特性を活かして里山二次林を管理する	H25-50
シカの行動を制御して効率よく捕獲する	H26-48
森林の生物多様性を予測する	H26-50
絶滅危惧種レブンアツモリソウの自生地復元・自生環境改善の取り組み	H26-52
林業地域で生物多様性を保全する	H26-54
大量のおとり丸太でナラ枯れ対策	H27-52
忍び猫でシカを減らす	H27-54
動くオスが遺伝子の多様性を守る	H27-56
樹木の種子豊凶のカギは窒素	H27-58
小笠原で急速に広がる樹木病害「南根腐病」の防除に向けた実態解明	H28-52
シカとカモシカの糞をすばやく識別	H28-54
人にも生物多様性にもやさしい森林づくり	H28-56
シカの採食圧で野鳥におこる変化の広がりをとらえる	H28-58

重点課題H 高速育種等による林木の新品種の開発

東北地方等におけるマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種の開発	H24-50
マツノザイセンチュウに対するクロマツの抵抗性の機構解明	H24-52
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	H25-52
テリハボククの遺伝変異を解明する	H25-54
スギ・ヒノキのエリートツリーを開発	H26-56
スギの器官別発現遺伝子の情報を統合～スギの品種改良の高速化に向けて～	H26-58
心材の含水率が低いトドマツ品種の開発	H27-60
スギの生育環境への適応性の評価	H27-62
前方選抜による初期成長に優れた第2世代品種の開発	H28-60
ゲノム情報を利用した育種高速化技術の体系化	H28-62
スギ雄花形成に関わる遺伝子を特定し花粉症対策に活かす	H28-64
抵抗性クロマツで海岸防災林を再生する	H28-66

第3期中期計画 研究成果選集（平成24年版～28年版）掲載課題一覧

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

アカマツの遺伝変異を解明する	H24-54
日本産樹木における DNA バーコード分類システムの開発	H24-56
スギ雄性不稔遺伝子に連鎖する DNA マーカーの開発	
—DNA による無花粉スギ識別の道が拓ける—	 H24-58
ユーカリからアルミニウムを無害化する新しい物質を発見	H24-60
LED 照明を利用したきのこ栽培技術の開発	H24-62
ヒラタケの放射性セシウム吸収を抑えた栽培法を開発	H24-64
スギ花粉に含まれる放射性セシウム濃度の推定手法を開発	H24-66
スギの雄性不稔化に必要な遺伝子プロモーターの開発	H24-68
シラカンバの遺伝変異を解明する	H25-56
サクラ栽培品種の分類体系の再編とデータベース化	H25-58
生産性の高い国産ウルシの育林技術を開発	H25-60
スギの雄性不稔に関連する遺伝子の探索と機能分類	H25-62
広葉樹をマツタケの宿主にすることに成功	H25-64
遺伝子組換えによるスギ花粉形成抑制技術を開発	H25-66
スギ遺伝資源のコアコレクションの作成	 H26-60
スギのゲノム情報を用いて優良な苗を作る	 H26-62
バイオマス高生産樹木を作る	
—組換えによる植物ホルモン合成酵素の活性化—	 H26-64
絶滅危惧種ワダツミノキの薬用成分含量の解明と増殖方法の開発	 H26-66
林木遺伝資源の収集・保存手法の開発	H27-64
全国のサクラ栽培品種の遺伝資源管理に貢献する	 H27-66
国産の「カギカズラ」で漢方薬を作る	
—組織培養で増やし、枝の薬用成分の濃度を探る—	 H27-68
移植試験地でわかったアカマツの地域特性	 H28-68
ストレスで誘導されるガラクチノール合成酵素遺伝子（GolS）は植物の	
気孔開閉に関与することを発見	 H28-70
マツと共生するきのこ、ヌメリイグチがサクラで育つ	 H28-72
イネの遺伝子を使ってポプラの木質バイオマスの増産に成功	 H28-74

森林総合研究所
第3期中期計画成果集

発行日	平成28年10月
編集・発行	国立研究開発法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里1 電話 029(829)8373
お問い合わせ	企画部広報普及科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp/
印刷所	松枝印刷株式会社 茨城県常総市水海道天満町2438 電話 0297(23)2333

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。

第3期中期計画成果集

国立研究開発法人 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/>

