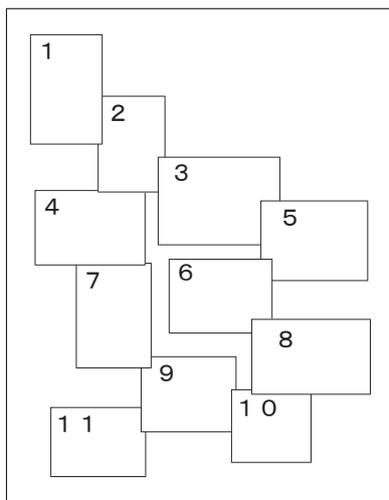


平成27年版

# 研究成果選集

2015





### 表紙写真

- 1 根鉢が形成されたコンテナ苗（右2本）と普通苗（左：裸苗）  
（P.6 一貫作業システムの切り札 コンテナ苗の植栽試験結果）
- 2 組織培養による再生個体  
（P.68 国産の「カギカズラ」で漢方薬を作る）
- 3 京都府立植物園の胡蝶  
（P.66 全国のサクラ栽培品種の遺伝資源管理に貢献する）
- 4 稚樹や若木があり世代交代が順調な日本海側ブナ林  
（P.36 気候温暖化のブナ林への悪影響を減らす）
- 5 屋外暴露試験 つくば市  
（P.22 劣化機構の解明から木質ボードの高耐久化を目指す）
- 6 センサーカメラに撮影されたシカ  
（P.54 忍び獺でシカを減らす）
- 7 中間サポートを通過する搬器  
（P.12 タワーヤードを活かす中間サポートの作設技術）
- 8 土木工事での使用状況  
（P.24 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）
- 9 市民による都市近郊林の管理現場  
（P.10 市民参加で都市近郊林を管理）
- 10 トドマツの木口  
（P.60 心材の含水率が低いトドマツ品種の開発）
- 11 流出水量を観測するための堰  
（P.44 台風でも流れにくい放射性セシウム）

裏表紙の写真：森林総合研究所木材標本庫の木材標本の一例  
（P.18 仏像を壊さずに木の種類を調べる）

## はじめに

国立研究開発法人森林総合研究所「平成 27 年版研究成果選集」をお届け致します。

森林総合研究所は、研究所のビジョンとして、「日本の将来にとって、なくてはならない先導的研究機関となること」を目指してまいりましたが、さらに科学技術の水準の向上を通じて社会に貢献するよう、本年 4 月から研究開発の成果を最大化することを目的とする国立研究開発法人となりました。

第 3 期中長期計画（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」

研究所においては、毎年、重点課題評価会議において外部評価委員による評価を受けたうえで、主要な研究成果を抽出し、研究成果選集としてとりまとめております。今回は、平成 27 年 3 月までに得られた研究成果をとりまとめ、ここに「平成 27 年版研究成果選集」として発行致しました。目次には表題と概要を掲載するとともに、研究成果ごとに見開き 1 ページで解説致しております。できるだけ平易な言葉を用いるように努めましたが、専門用語につきましては巻末に解説しました。

この研究成果選集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2015年7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 平成27年版 研究成果選集 目次

## 重点課題A 地域に対応した多様な森林管理技術の開発

### A 1 多様な施業システムに対応した森林管理技術の開発

一貫作業システムの切り札 コンテナ苗の植栽試験結果 ..... 6  
コンテナ苗の普及・定着に向けて東北地方と関東地方で植栽試験を行い、普通苗との成長比較を行いました。活着率は普通苗と遜色なく、がっしりした苗であれば樹高成長も普通苗と同等以上であることが確認されました。

コンテナ苗の低コスト化のための充実種子選別技術 ..... 8  
コンテナ苗の効率的な生産に欠かせない充実種子の選別技術として、赤外光を照射したときの反射率の違いで充実種子を見分ける方法を開発し、95%の確率で充実種子を選別することが確かめられました。

### 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

市民参加で都市近郊林を管理 ..... 10  
希少な野生生物が生息している場所であり、私たちの身近な自然環境ともなっている都市近郊林を、状況に応じて、市民が適切に管理していくためのポイントを冊子にまとめ、広く公開しました。

## 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

タワーヤーダを活かす中間サポートの作設技術 ..... 12  
タワーヤーダに中間サポートを組み合わせると地形の影響を克服してより遠くから木を集めることができます。その中間サポートの作設技術について取りまとめ、普及に向けた冊子を作成・配布し、webでも公開しました。

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— ..... 14  
人工林から得られる収益は、成長量（材価）や保育・伐採・搬出費によって決まります。開発したシステムではこの収益計算だけではなく、現在の人工林から将来高い収益を得るための施業方法を探索することができます。

### 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

精度の高い伐採計画の作成をサポートします ..... 16  
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

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— ..... 18  
仏像などに使われる貴重な木の種類を調べる際に、木材を傷つけることはできません。そこで、近赤外分光法により、針葉樹材と広葉樹材との区別や、カヤ材を非破壊的に見分ける技術を開発しました。

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— ..... 20  
国産広葉樹チップの利用拡大に役立てるため、国内大手14チップ工場を調査し、実際に取引されている国産チップの品質と、各チップ工場が抱える課題を明らかにしました。

## 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

- 劣化機構の解明から木質ボードの高耐久化を目指す ..... 22  
木質ボードを長期間使用した場合の耐久性能について、その評価方法を開発し、強度低下の原因を明らかにするとともに、それを防ぐ方法を明らかにしました。
- 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 ..... 24  
スギ・カラマツ・ヒノキ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ました。性能試験を行い、実際の建築・土木工事で試用することでその実用性を明らかにしました。
- 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被害検出技術－ ..... 26  
住宅・公共建築物等をシロアリ被害から守って長く安心して使うため、シロアリ被害音の超音波成分を感度よく検出できる高性能マイクロホンを搭載したシロアリ被害検出装置を開発しました。

## 重点課題D 新規需要の獲得に向けた木質バイオマスの総合利用技術の開発

### D 1 木質バイオマスの安定供給と地域利用システムの構築

- 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 ..... 28  
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に、木質バイオマス発電事業の経済性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

- 未利用資源の中の宝物－健康に役立つ抽出成分の機能あれこれ－ ..... 30  
林業で発生する枝葉などの残材はほとんど利用されず、多くは廃棄されていますが、それらの中にはストレス等の軽減効果、有害物質浄化効果など健康に役立つ効果を有する成分が含まれ、高い利用価値を持つことがわかりました。
- 木材の直接メタン発酵技術の開発  
－放射能汚染バイオマスにも適応可能な新技術－ ..... 32  
粉碎処理と酵素処理を組み合わせ、木材から直接メタンを製造することを可能としました。この技術は放射能汚染バイオマスにも適応可能で、除染にも応用できる画期的なグリーンエネルギー技術として期待されています。
- 環境にやさしいセルロースナノファイバー製造技術  
－叩き潰さずにほぐします－ ..... 34  
酵素処理と機械処理とを併用し温和な条件でセルロースナノファイバー（CNF）を創る方法を開発しました。この方法でタケから作ったCNFは、従来のCNFにはない面白い性質を持つことが分かってきました。

## 重点課題E 森林への温暖化影響評価の高度化と適応及び緩和技術の開発

### E 1 炭素動態観測手法の精緻化と温暖化適応及び緩和技術の開発

- 気候温暖化のブナ林への悪影響を減らす ..... 36  
日本の代表的自然林を形成するブナへの気候温暖化の悪影響を軽減するための対策（適応策）を、温暖化に伴って変化する生育可能な地域（潜在生育域）と自然保護区の位置関係に基づき提案します。
- 将来予測からみた森林分野の地球温暖化緩和策－木材利用が重要－ ..... 38  
森林・林業・木材利用を通して温室効果ガス排出削減・吸収対策を検討することができる森林セクタ炭素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重要であることがわかりました。

## E 2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発

- 森林減少と劣化を防ぎ、温暖化を防止する**…………… 40  
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て、国レベルでの森林の炭素蓄積量の変化を精度良く把握する手法を開発しました。
- 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**…………… 42  
これまで検出が困難だった「森林劣化」を高分解能衛星画像により広域で系統的かつ自動的に抽出する技術を開発しました。森林劣化の傾向と原因をこの技術で究明し、森林の持続的利用の回復に貢献します。

## 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

- 台風でも流れにくい放射性セシウム**…………… 44  
東京電力福島第一原子力発電所事故により森林に降下した放射性セシウムは、台風による大きな増水時でも下流へ流出しにくいことがわかりました。
- 乾燥常緑林では高木が水循環に大きな役割を果たす**…………… 46  
カンボジアの乾燥常緑林の蒸散量と樹木の葉温をモデルシミュレーションで推定したところ、高木が蒸散量を増やし地表面温度を下げることに大きく貢献することがわかりました。

### 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

- 樹木の太い根が山崩れを防ぐ**…………… 48  
豪雨による山崩れがヒノキ幼齢林で起こり、壮齢林では防がれた原因を調べました。壮齢林では土壌中の根が太く、幼齢林の4倍の地盤補強強度を持っており、太い根の持つ補強効果が山崩れを防止したと考えられました。
- 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**…………… 50  
クロマツ海岸林が津波を抑える効果や津波への耐性に対して、クロマツの本数密度管理と下層への広葉樹導入がどのような影響を及ぼすのかを、数値シミュレーションによって明らかにしました。

## 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

- 大量のおとり丸太でナラ枯れ対策**…………… 52  
ナラ林を伐採し、丸太を大量に集積しておとりとして、カシノナガキクイムシを誘引する防除法を開発しました。使用した丸太は、使用後チップとして利用して低コスト化につなげ、伐採したナラ林は多様な種からなる広葉樹林に誘導します。
- 忍び猟でシカを減らす**…………… 54  
あらかじめ決められた場所で、2名の捕獲者が3～4ヶ月間「忍び猟」という方法で繰り返しシカを捕獲することにより、3年間でシカを約600頭捕獲し、シカの出現頻度を半分程度まで減少させることができました。

### 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

- 動くオスが遺伝子の多様性を守る**…………… 56  
森林性の哺乳類であるエゾヤチネズミのミトコンドリアDNAの塩基配列を解析したところ、オスが森林内を広く移動することが、エゾヤチネズミ集団全体の遺伝的多様性の維持に役立っていることがわかりました。
- 樹木の種子豊凶のカギは窒素**…………… 58  
ブナの種子生産が大きく年変動する現象（結実豊凶）の制限要因は窒素資源であることがわかりました。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

- 心材の含水率が低いトドマツ品種の開発 ..... 60  
心材含水率が遺伝的に少ない「材質優良トドマツ品種」5品種を開発しました。これらの品種を生産・普及することで、将来の乾燥等のコスト削減と材の高付加価値化が期待できます。

### 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

- スギの生育環境への適応性の評価 ..... 62  
次代検定林の調査データと気象庁が公開している気候データとを統合的に解析することで、スギが元々の生育地と異なる地域で生育した場合に、成長にどのような影響を受けるのかわかりました。

## 重点課題I 森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発

### I 1 林木遺伝資源の収集、保存・評価技術の開発

- 林木遺伝資源の収集・保存手法の開発 ..... 64  
林木ジーンバンク事業の対象となる樹種リストを作成し、成体保存されている遺伝資源を整理するとともに、GIS技術により地図上に「見える化」することで、今後、成体保存の必要性の高い地域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

- 全国のサクラ栽培品種の遺伝資源管理に貢献する ..... 66  
全国の主要なサクラ集植機関が保有する主要な伝統的栽培品種を、DNA解析等により正確に識別分類することにより、全国的なサクラ遺伝資源の管理体制をつくることができました。

### I 4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発

- 国産の「カギカズラ」で漢方薬を作る  
ー組織培養で増やし、枝の薬用成分の濃度を探るー ..... 68  
つる性の樹木であるカギカズラは漢方に使用され、高血圧症や認知症の抑制効果があるとされています。これを組織培養で増殖する方法を開発し、また、薬用成分が枝のどこの部分に多く含まれるかを明らかにしました。

- 用語解説 ..... 70



## 一貫作業システムの切り札 コンテナ苗の植栽試験結果

植物生態研究領域  
林業工学研究領域  
林業経営・政策研究領域  
東北支所  
多摩森林科学園  
四国支所

宇都木 玄、壁谷 大介  
田中 良明  
鹿又 秀聡  
八木橋 勉、駒木 貴彰  
大石 康彦  
北原 文章

### 要 旨

人工林伐採後の再生林を進めるためには植栽経費の削減が課題です。その切り札として、植栽時期を選ばないコンテナ苗が注目されています。しかし、日本におけるコンテナ苗の歴史は浅く、地域や樹種ごとの植栽成績については十分なデータがありません。そこで、東北及び関東地方に植栽されたスギコンテナ苗の植栽成績を調査しました。その結果、活着率は通常時期に植栽の普通苗と比べ遜色ないことがわかりました。また、植栽時の形状比※（苗高 / 直径）がその後の成長に影響することがわかってきました。形状比が小さく、がっしりしたコンテナ苗であれば、普通苗と同等かそれ以上の樹高成長を示すことが確かめられました。

### コンテナ苗の地域に応じた実態

再生林の低コスト化には、伐採から植栽までを一連の作業として行う「一貫作業システム」と、植栽時期を選ばない「コンテナ苗」の組み合わせが有効です。また、衰退する苗木生産を改善する切り札としても、コンテナ苗による生産の効率化と省力化が期待されています。しかし、根が筒状に密集する「根鉢」（写真 1）が形成されるコンテナ苗が、林地でどのような成長を示すか、従来用いられてきた普通苗より成長が劣ることはないか、異なる樹種や地域での成長特性などを明らかにする必要があります。

### コンテナ苗の成長

スギのコンテナ苗と普通苗について、植栽成績の比較調査を東北地方と関東地方で実施しました。東北地方は冬季に積雪に覆われますが、そのような環境でも秋に植栽したコンテナ苗の活着率は 94% 以上であり、普通苗と同等の良好な成績でした。樹高（苗高）成長は、普通苗に比べて悪い場合（雨塚山、宮城県白石市）と良い場合（御山、岩手県二戸市浄法寺町）があります（図 1）。これは植栽直後の成長が、苗木の形に影響されているためと考えられます。苗木の苗高と地際直径の比「形状比」が大きい（細長い）コンテナ苗の場合は、植栽後の樹高成長がよくありません。それに対して、形状比の小さい（がっしりした）場合は、植栽直後から良好な成長を示しました。

一方、関東地方で実施している 20 ヶ所を超える植栽試験地の調査結果でも、普通苗と植栽時期を変えたコン

テナ苗で活着率に差はありませんでした。植栽直後のコンテナ苗の形状比は 75 以上と普通苗よりも大きく、苗の形状は細長いのですが、1 成長期後には普通苗とほとんど同じくらいにがっしりした形状になりました。樹高成長についてみると、コンテナ苗と普通苗はほぼ同等の成長を示しました。これら多くの植栽試験の結果から、植栽時点の形状が細長いコンテナ苗は、成長の初期段階では直径成長を優先させ、ある程度太くなるのを待って、樹高成長を進めることがわかりました。

### コンテナ苗への期待と課題

植栽直後のコンテナ苗の成長を高めるためには、コンテナ苗の形状比を小さく、がっしりした形状にするような配慮が必要です。コンテナ苗は、環境条件を制御したハウス内で、狭いスペースで効率的に多くの苗を生産できる反面、育苗中の苗間が狭く、苗木が細長くなる（形状比が大きくなる）傾向があります（写真 2）。今後、形状比が小さくなるようなコンテナ苗の生産方法を開発し、樹種特性や地域環境に適合したコンテナ苗を、短期間かつ低コストで育苗する技術を開発することで、人工林の再生林を全国的に推進することが期待されます。

本研究は、農食研プロジェクト「多雪地域の森林資源持続に向けた低コスト再生林システムの構築」と農林水産省受託事業「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」のうち「コンテナ苗を活用した低コスト再生林技術の実証研究」の成果です。



写真2 育苗箱で生産されるスギコンテナ苗  
苗同士の間隔が狭く、苗木は細長くなります。

写真1 根鉢が形成されたコンテナ苗（右2本）  
と普通苗（左：裸苗）

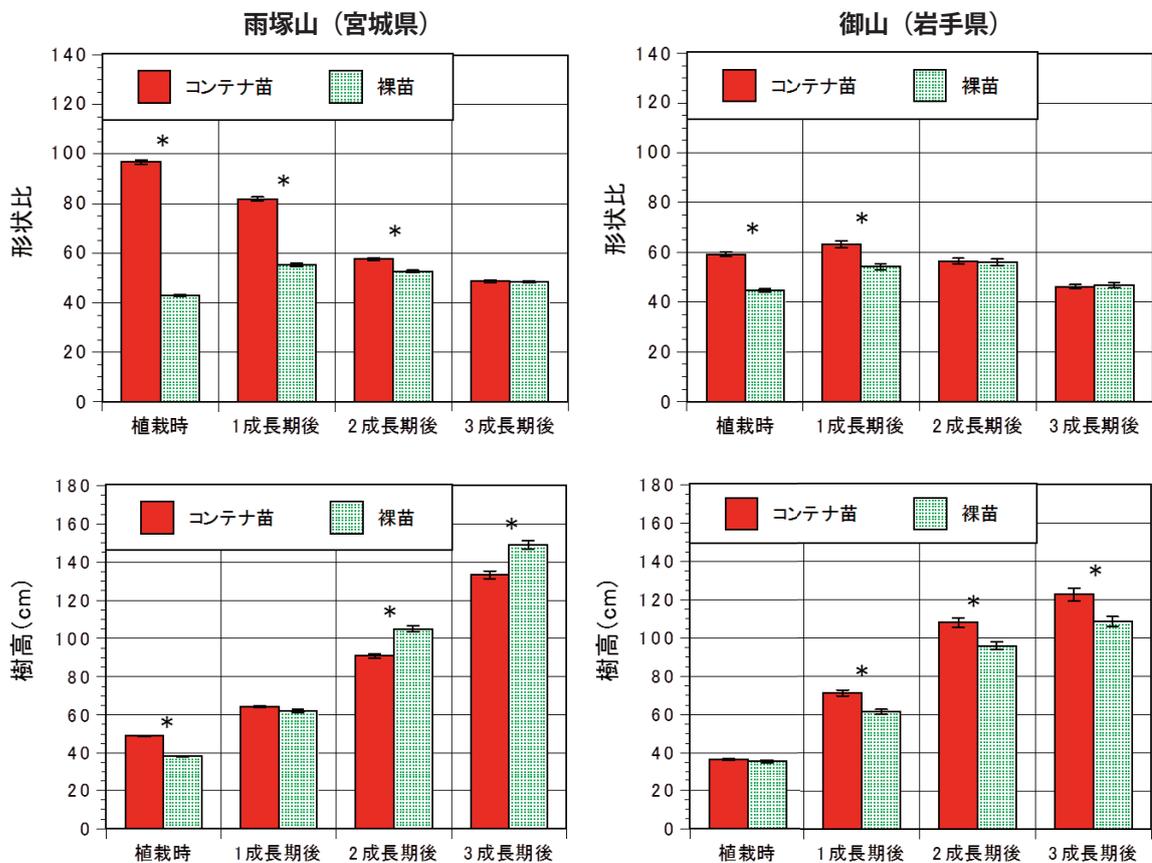


図1 スギコンテナ苗の成長経過（東北地方の事例）

3成長期後に、御山ではコンテナ苗が普通苗の樹高を追い越しましたが、雨塚山では逆の結果でした。植栽時の形状比の違いが影響していると考えられます。\*は有意差があることを示します。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## コンテナ苗の低コスト化のための充実種子選別技術

植物生態研究領域  
九州大学  
住友林業

宇都木 玄、飛田 博順  
松田 修  
原 真司

### 要 旨

従来の苗に比べて植栽適期が広いコンテナ苗は、皆伐に続けて再植林する「一貫作業システム」での利用が期待されていますが、価格が高いという問題がありました。その一因は生産効率の低さです。スギやヒノキなどの種子は発芽率が低く、発芽した苗を植え替えたり、間引く手間が必要でした。本研究では、健全な充実種子と不稔種子とを、特定の波長域の赤外光（1,730 ナノメートル (nm) 付近）を照射したときの反射率の違いから見分ける技術を開発し、充実種子を 95% の確率で選別することに成功しました。発芽率の高い充実種子のみを選別することで、一粒播種<sup>いちりゅうはしゅ</sup>※による安価なコンテナ育苗技術の開発が期待されます。

#### これまでの充実種子の選別法

主要な造林樹種であるスギやヒノキでは、しばしば発芽に必要な構造や成分を欠く不稔種子（発芽しない種）が形成され、また、その頻度は採取地や採取年により大きく変動します。種子の選別は、これまで外観（肉眼選）や大きさ（篩選<sup>しせん</sup>）、さらに重さや比重（水選・塩水選）を手がかりに行われてきました。しかし、健全な充実種子と不稔種子との間でこれらの特性が似ているため、両者を効率的に選別する方法がありませんでした。

#### 赤外光を利用した新しい選別方法

種子を切断すると（図 1）、内部の構造や成分の違いから、充実種子と不稔種子が判断できますが、種子を切断してしまうと発芽能力は失われてしまいます。本研究では、種子内部の違いを非破壊的に検出する方法として赤外光を利用しました。私たちの目に見える可視光の波長は 380～780nm の範囲にありますが、その短波長側が紫外光、長波長側が赤外光とよべれます。赤外光を種子に照射すると、種子を構成する有機物の化学構造に依存した固有の波長の光を吸収します。種子内部の違いを検査する方法として、このような赤外光の性質に着目しました。しかも、赤外光は透過性が高いため、種皮等の薄膜を隔てた内側の性質を調べることに適しています。

その結果、充実種子は不稔種子より 1,730nm 付近の赤外光を吸収し外にはね返しにくい（反射しにくい）性質をもっており、赤外線カメラに「暗く」映る種子ほど、充実種子である可能性が高いことがわかりました（図 2）。そこで 1,730nm 付近の反射率の差を表す指標（充実種子指標：SQI）を考案して解析した結果、95% という高い確率で充実種子を選別することができました（図 3）。

#### 効率的なコンテナ苗生産に向けて

本研究の技術を用いて、充実種子を確実に選別できれば、コンテナ苗を効率的に生産できます。つまり、苗畑で発芽した個体をコンテナに移植したり、コンテナに多めに播種して発芽した個体を間引く等、育苗にかかる時間と労力を軽減することで、苗木の生産性が飛躍的に高まり、植栽適期が広いコンテナ苗を安い価格で供給できます。加えて、一粒播種機などの農業機械を併用すれば、播種から苗木の出荷までの多くの工程を自動化し、更なる低コスト化を実現できる可能性があります。

本研究は、農林水産省受託事業「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」の「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」による成果です。

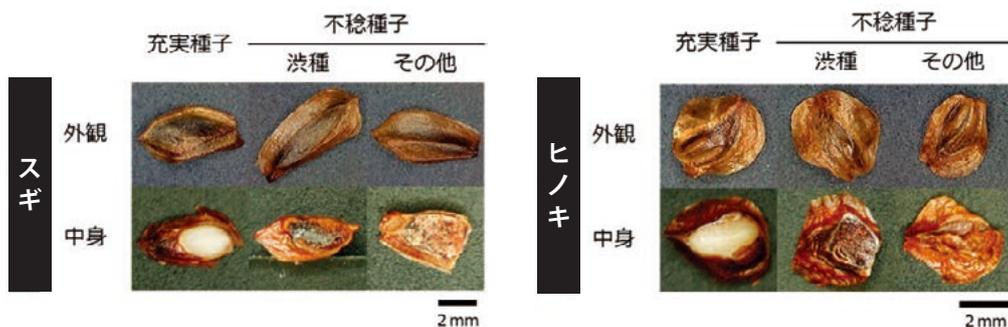


図1 スギ・ヒノキの充実種子と不稔種子の外観と内部状態

外観上は見分けが付きませんが、切断すると胚乳が存在する充実種子と、胚乳が変質・欠落した不稔種子があることがわかります。

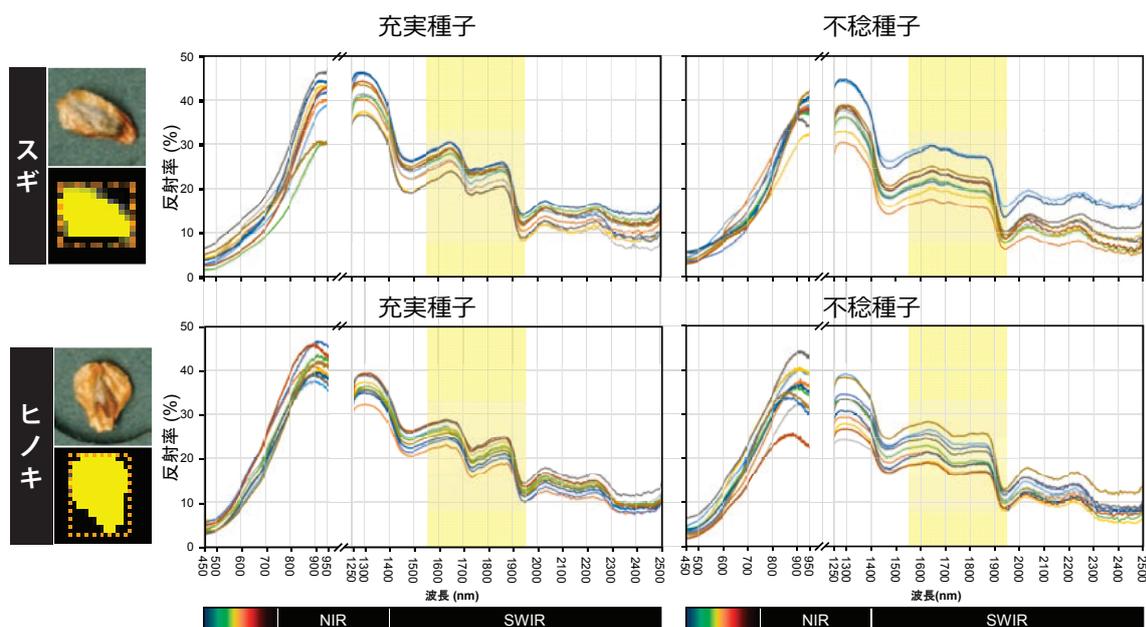


図2 可視光～赤外光波長域におけるスギ・ヒノキの充実および不稔種子の反射率 (%)

スギ・ヒノキにおいて、1,730nm 付近で充実種子と不稔種子の反射率が異なり、充実種子では反射率が下がることがわかります。

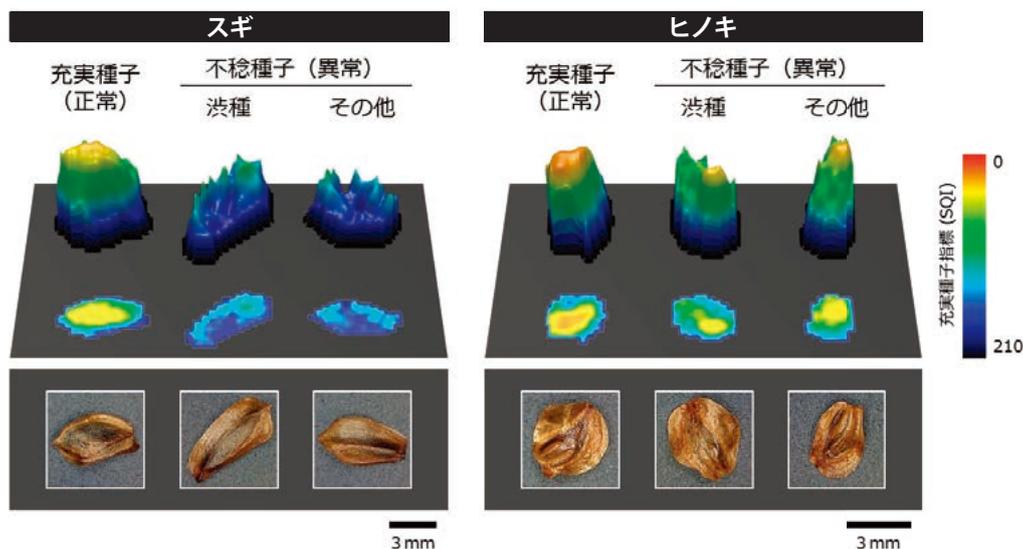


図3 1,730nm 付近の反射率の差を表す指標 (充実種子指標: SQI) の可視化

SQI を立体的に表すことが可能になりました。SQI 値が低い黄色から赤色が多い種子ほど、充実種子であると判断でき、95% の高い確率で充実種子を選別できます。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 市民参加で都市近郊林を管理

多摩森林科学園

大石 康彦  
井上 大成  
林 典子  
島田 和則  
井上 真理子

### 要 旨

都市近郊林は、野生生物が生息する奥山と人間の生活域である市街地の間に残された森林です。近年では、野生生物の生息地が狭まり、希少種が減少する一方、外来種が増加するといった生物相の変化が確認されています。この身近な自然である都市近郊林を「市民参加」で管理する事例を調査した結果、いくつかの解決すべき課題が明らかになりました。そこで、市民が参加して都市近郊林を管理する際の実効性や継続性を高めるために、管理に困ったときに役立つ手引き書を作成し、森林総合研究所のホームページ上で広く公開しました。

### 都市近郊林の今

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が、化石燃料や化学肥料の普及によって利用されなくなりました。その後、都市化とともに分断・孤立し、小面積化が進んでいます。現在は、一部が公園などとして整備・利用される一方で、管理が行き届かず放置され、樹木の径大化、高齢化や過密化が進み、ヤブ化している所も少なくありません。野生動物の生息地としての質も低下し、東京都西部地域に孤立・残存している都市近郊林では、1996年に12カ所であったニホンリスの生息地が、2006年には3カ所に減少しました(図1)。

### 市民参加の管理の課題

都市近郊林を、自然体験の場など身近な自然としてとらえる市民も多く、市民がボランティアで森林管理に協力する例が増えています(図2)。市民参加の活動の対象は、都市公園や緑地保全地域が中心で、活動形態とし

ては、施設管理の業務委託、公的施設の美化活動の他、自治体によるボランティア受入制度などがあります。その管理面積や参加者数は、まちまちです。しかし、そこでの活動の指針となるべき公的な管理計画は、形式的なものが多く、内容も十分ではありません。指導者の不足や、活動の判断基準の不備も問題であり、正確な生物相の調査などが困難なこともあります。

### 市民参加による都市近郊林管理の手引き

こうした現状を踏まえ、市民が参加して都市近郊林を管理する際の実効性や継続性を高めるために、管理のための3つの視点と7つのポイント(図3)を整理するとともに、ササの繁茂状況など植物相の現状に応じた管理技術を整理して、冊子「都市近郊林管理の考え方—市民参加のための手引き—」にまとめました。この冊子は森林総合研究所ウェブサイトからダウンロードできます。  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chuukiseika30.pdf>

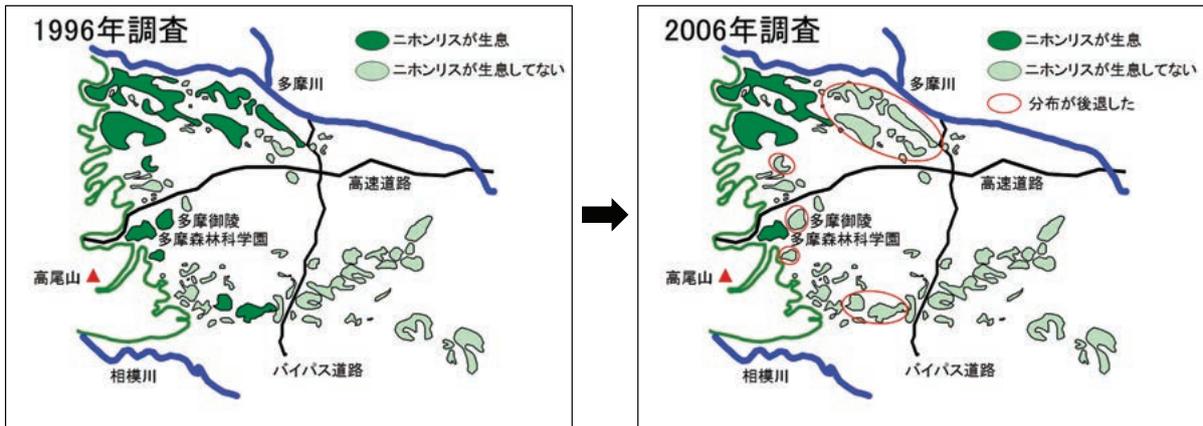


図1 東京都西部地域におけるニホンリスの生息地の減少



図2 市民による都市近郊林の管理現場



都市近郊林管理の考え方—市民参加のための手引き—

3つの視点と7つのポイント

- 視点1：都市近郊林管理に市民が参加するために  
Point1. 森林の所有者・管理者と連携する
- 視点2：都市近郊林管理を行うために  
Point2. 森林の特徴を把握する  
Point3. 森林の特徴を踏まえて管理技術の適用を考える  
Point4. 地域全体を視野に入れて考える
- 視点3：都市近郊林管理を継続するために  
Point5. 多角的・総合的な視点から考える  
Point6. 長期的な視点で考える  
Point7. 点検と修正を考える

※ Point1～6をふまえてPDCAサイクルによる継続を考える

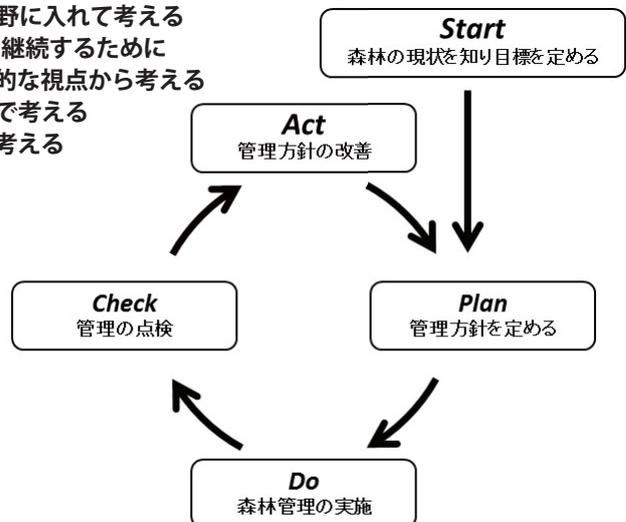


図3 手引き冊子の主な内容

PDCA サイクル

## タワーヤーダを活かす中間サポートの作設技術

林業工学研究領域

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

高知県立森林技術センター  
四国支所

山崎 敏彦  
酒井 寿夫、北原 文章

### 要 旨

急傾斜地で架線を使って切り倒した木を集めるタワーヤーダという機械では、架線の高さを上げ過ぎると効率が悪くなります。逆に低くすると、搬器や木が地面に当たって集めることができません。そこで、地形の凹凸に合わせて中間サポートを設置することで、より遠い場所から効率的に木を集めることが可能となります。タワーヤーダを活かすには、中間サポートを確実に設置する作設技術が不可欠です。プロジェクトでは、多くの種類がある中間サポートについて、使い勝手の良い方法を調査し、作設のポイントを冊子にまとめて配布しました。同時に、冊子の内容を森林総合研究所のホームページ上で公開して、成果の普及に努めました。

#### タワーヤーダとは

タワーヤーダは架線（ワイヤロープ）を張り上げるためのタワー（鉄柱）といくつかのウインチ（巻上機）で構成され、搬器を使って木を集める機械です（図 1）。ロープウェイのように架線を張り、その架線をゴンドラのような搬器が走行して、切り倒した木のところまで行きます。搬器からは、吊り上げるためのフックが降りてきます。そのフックに切り倒した木を取り付けて土場まで引張ってくることができます（図 2、3）。

#### 中間サポートとは

タワーヤーダを使って遠くから木を集めるためには、架線の垂れ下がりや地形の凹凸に合わせて中間サポートを設ける必要があります。ロープウェイでは、地形の変わり目に大きな鉄の支柱を立てますが、タワーヤーダでその役目を担うのが中間サポートです。

中間サポートは、タワーヤーダの架線を途中で持ち上げて高さを確保するために、林内に残っている木を支持木として利用し、中間支持金具、ひかえさく 控索（支持木を支えるロープ）、取り付け器具等を用いて作ります（図 4、5）。オーストリアの架線技術の解説書（文献）では、中間サポートに関する技術に多くのページが割かれています。しかし、国内の技術書や教本には、細かな架設手順や注意点についてはほとんど記載がありません。このプロジェクトでは、タワーヤーダで先進的な取り組みを行っている香美森林組合の技術員班長の体験をもとに、実際に使い勝手が良い中間サポート 4 種類（図 6）の架設手順

と注意点、作業のポイントを調査し、効率的にタワーヤーダを作設できるようにまとめました。

#### 4 種類の中間サポート

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 4 種類から選択します。一般的に、I 型を除いて形が単純であるほど必要な機材が少なく、作設が早くできる特徴があります。また、木に登り高いところに機材を取り付ける必要があるか否かも作設時間に大きく影響します。今回作成した冊子では、それぞれの制約や注意点を踏まえつつ、作設の手順を図解しました。一方、力のかかり方や強度がどうかを判断するための知識や、省力化が可能な控索の張り方についても解説していますので広く活用していただけたと思います。なお、冊子の内容は森林総合研究所の web ページで公開しています。

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika20.html>

本研究は、独立行政法人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撓乱型人工林管理技術の開発」による成果です。

#### 文献

SEILGELÄNDE 4 / METHODISCHE ARBEIT 2003, Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, Wien, 2003



図1 タワーヤーダ  
搬器が木を吊り上げている様子



図2 木を吊り上げる搬器



図3 中間サポートを通過する搬器



図4 中間支持金具  
架線を持ち上げる金具

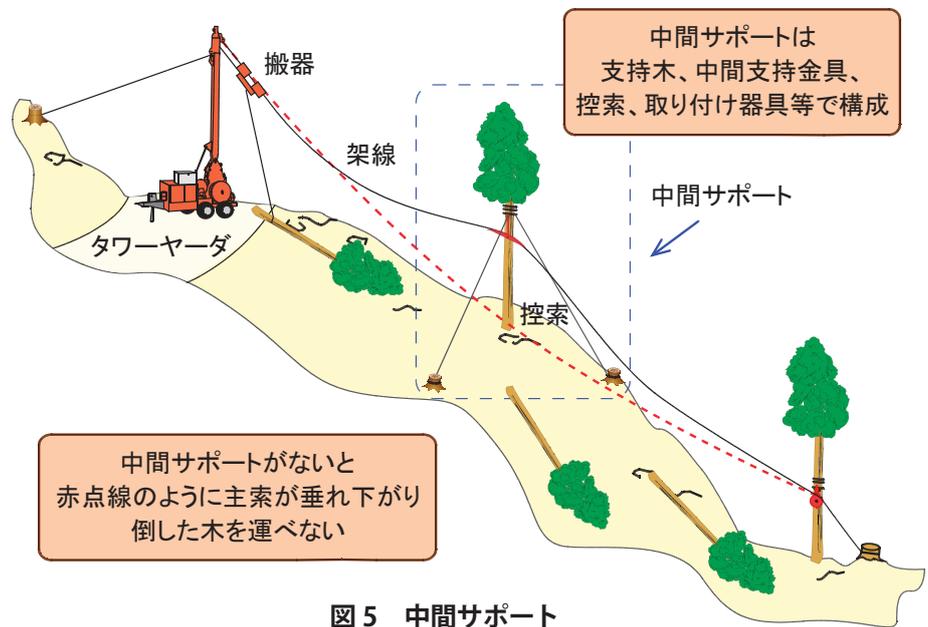


図5 中間サポート

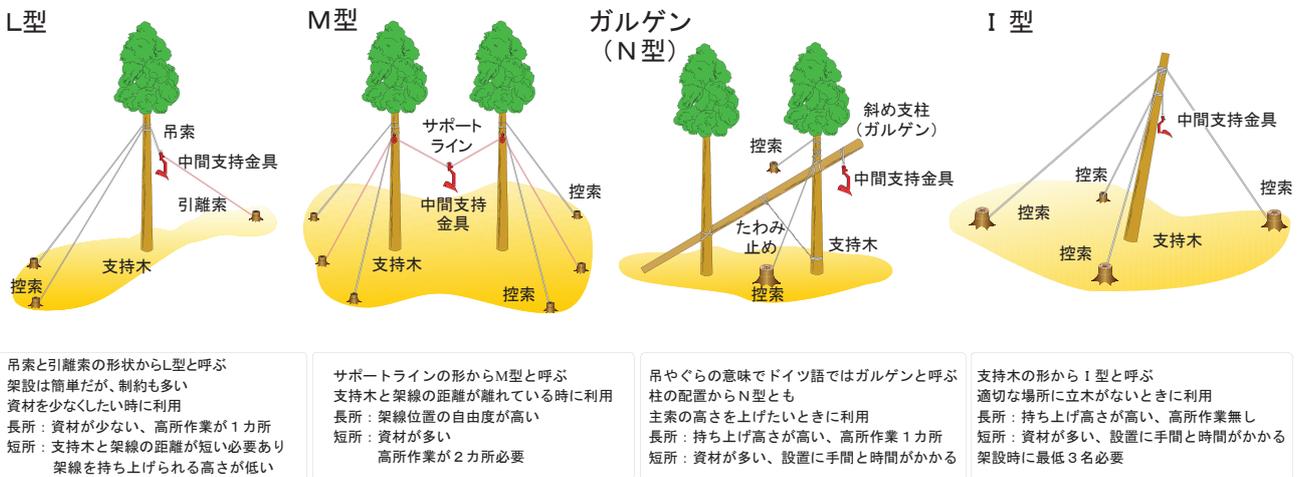


図6 4種類の間サポート (架線は省略して記載)

## 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—

四国支所  
林業工学研究領域  
宮崎大学

北原 文章、酒井 寿夫、宮本 和樹、佐藤 重穂  
田中 良明、吉田 智佳史、中澤 昌彦  
光田 靖

### 要 旨

戦後植栽されたスギやヒノキの人工林の多くは林齢 40 年から 50 年となり、収穫可能な時期を迎えています。しかし、これらの林をどのように間伐し、いつ主伐を行えばよいのかという施業方法は、立地条件や林分の状態、伐出方法によって異なります。そこで、本研究ではさまざまな条件のもとで、人工林をどのように施業すれば少しでも多くの収益を上げられるか探索するシステムを開発しました。50 年生のスギ林を対象に、今後 100 年間の最適な施業方法を探索した結果、現状の木材価格で更新費用を考慮した場合、60 年から 90 年で皆伐を行う施業が欧州型の非皆伐施業や 50 年で皆伐を繰り返す短伐期施業と比べて収益面で有利であることが示されました。

#### 施業シミュレーションシステムの開発とその意義

戦後植栽された人工林の多くが、50 年生前後となり伐期を迎えています。しかし、木材価格の低迷やコスト高のために、伐採を先延ばしにするなど、林業経営を将来的に見通すことが課題となっています。そこで、さまざまな森林施業の組み合わせを想定して、最大の林業収益が得られる施業方法を見つけだすための施業シミュレーションシステムを開発しました。このシステムは、以下のような 2 つのモデルから構成されています (図 1)。

##### (1) 林分成長モデル

林分全体の成長量を気象条件、土地条件 (地位)、林分構造に基づいて推定します。次に、林分全体の成長量を個体間競争の優劣に応じて分配して、個体成長量を推定します。この成長モデルで推定される間伐前後の成長経過は、現実林分のデータによってその再現性が確認できました。

##### (2) 伐出コストモデル

日本で導入されている高性能林業機械 (35 機種) のほか、高知県香美森林組合に導入された欧州型タワヤーダによる伐出作業のコストを算定することができます。立地や林分の条件に応じて機械の生産性が変化することが大きな特徴です。

#### 最適な施業方法探索の事例

日本で行われてきた皆伐施業とドイツ・オーストリアで行われている非皆伐 (将来木) 施業について、同じ 50 年生林分を初期値として 100 年後までに実施される施業シナリオを仮定して、それぞれの期待される収益を比較しました (図 2、表 1)。50 年という比較的短い伐期で 3 回の皆伐・更新を行う場合を除いて、60 年から 90 年伐期の組み合わせで 2 回の皆伐・更新を行う皆伐施業が、非皆伐施業よりも有利という結果になりました。このことから、今ある人工林に対する施業としては、皆伐施業が非皆伐施業よりも有利であり、伐期はこれまでよりもやや長くすることでより収益を得られることが示唆されました。

#### 残された課題

収益面で比較すると、非皆伐施業よりも皆伐施業が有利という結果となりましたが、皆伐による林地保全への影響など、山づくりの視点からの検討も必要です。今後、施業の違いによる下層植生や土壌、山地防災との関係を含めて検討していく必要があります。また、今回は林分レベルでの比較を行いました。施業の違いを団地レベルで考えた場合はどうなるのかという課題も残されています。

本研究は、独立行政法人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。

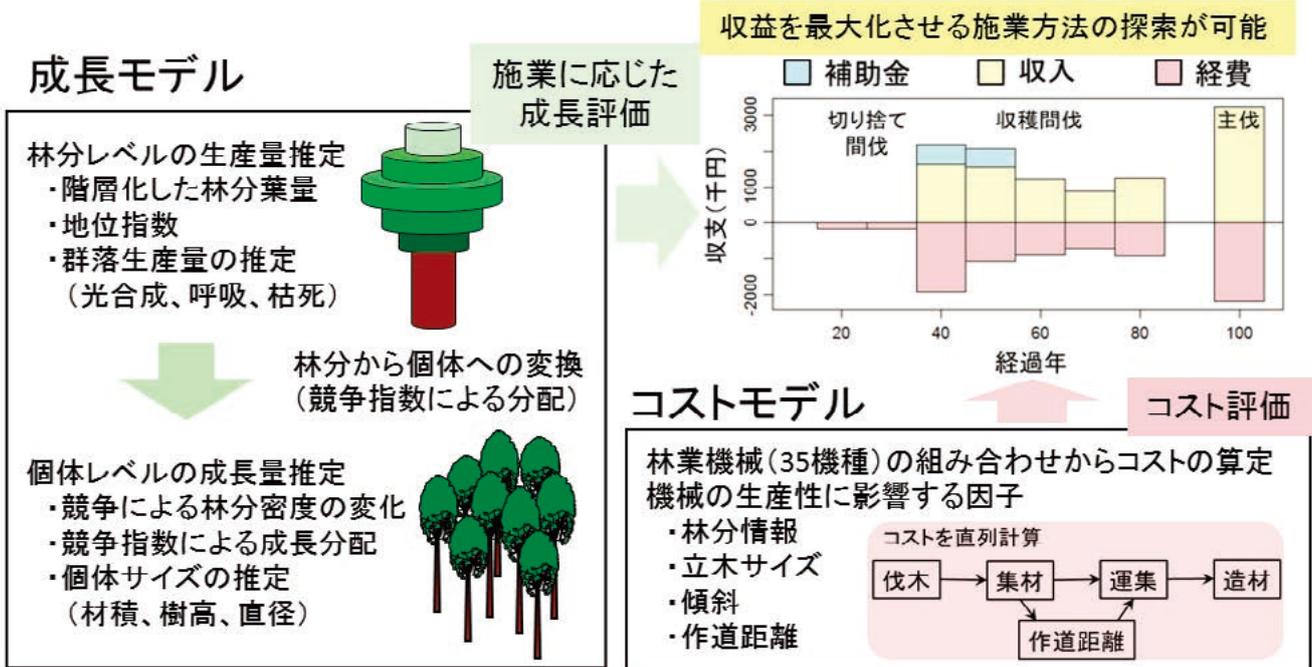


図1 施業シミュレーションシステムの概要

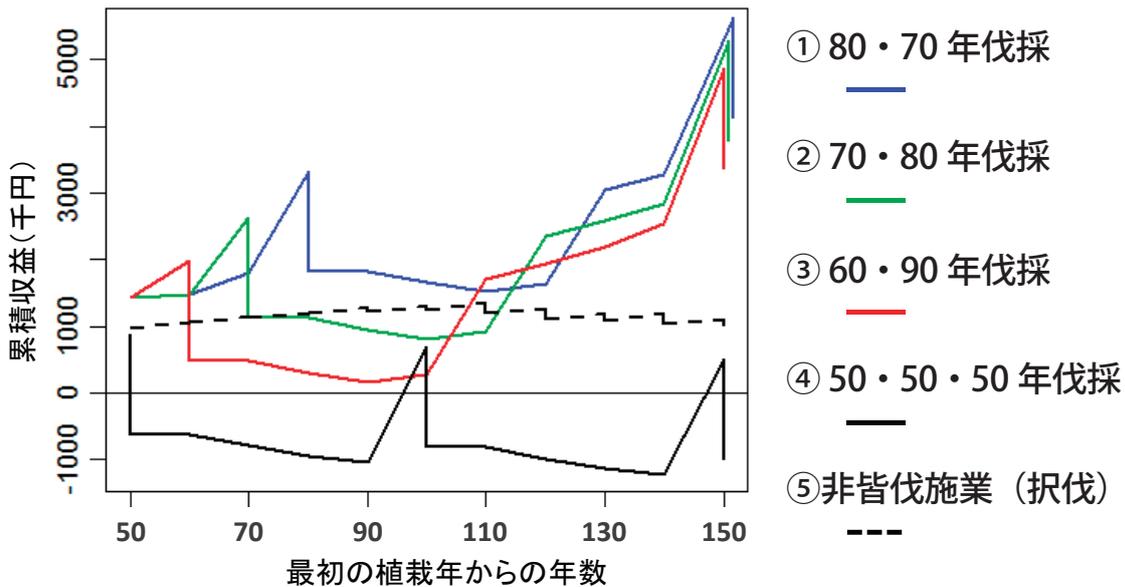


図2 50年生スギ林分に対する100年後までの施業シナリオ別収益の比較

表1 施業シナリオ別の収益 (単位: 千円)

施業シナリオ	伐採齢	収益	更新費用	純収益
皆伐施業	① 80・70	7128	3000	4128
	② 70・80	6785	3000	3785
	③ 60・90	6381	3000	3381
	④ 50・50・50	3501	4500	-999
非皆伐施業	⑤ 択伐	1740	720	1020

50年生スギ林を初期林分として100年後までのシミュレーションです。シナリオ①～④は標記の林齢でそれぞれ皆伐を行い、皆伐後には再造林によって更新します。例えばシナリオ①は、80年生で皆伐して植栽し、次に70年生時点で2回目の皆伐と更新をします。⑤の非皆伐施業は将来木施業です。収穫時まで残す木(将来木)の目標直径を定めた上で、間伐(誘導伐)を続け、目標直径に到達後、収穫伐(択伐)を行います。⑤の更新費用は択伐後の補植費用としています。

## 精度の高い伐採計画の作成をサポートします

林業経営・政策研究領域  
森林管理研究領域  
九州支所

鹿又 秀聡  
細田 和男  
高橋 與明

### 要 旨

伐採計画の立案に必要な情報は森林簿<sup>※</sup>に頼っていますが、森林簿には立木密度（混み具合）の記載がなく、材積等の情報も林齢から画一的に推定してあるなどの問題がありました。そこで、森林簿では不十分であった立木密度と樹高に関する情報をデジタル空中写真の画像解析によって推定することにより、情報を補完する手法を開発しました。こうして補完された森林簿データをもとに、森林成長や伐採における生産性やコストを予測するモデルを組み合わせることによって、間伐率や伐採林齢、丸太の採材方法を選ぶと、伐採本数や収穫材積、伐採の生産性とコスト、新規の林道開設量等を予測できるプログラムを作成しました。

#### 森林経営計画

現在、間伐施業の多くは森林経営計画のもとで実施されています。森林経営計画とは、5年を1期として、数十ha以上のまとまった面積の森林を対象として立てる施業や保護に関する計画です。認定を受けるためには、適正かつ確実な実施にむけた計画立案の正確性が要求されますが、森林データの精度を確保しようとしても、広範囲の森林の現地調査をするには膨大な時間と労力が必要であり、限界があります。

#### 森林資源の把握

森林簿は、伐採計画の作成にとって基本となる情報です。しかし、実際には、立木密度が記載されていない、材積も林齢からの大まかな推定値であるといった欠点があります。そこで、デジタル化された航空写真（デジタル空中写真）の画像解析から、個々のスギ人工林の立木密度を広範囲で推定する技術を開発しました。また、国土地理院が公開している10mメッシュの標高から得られる地形条件と、森林簿に記載されている林齢から、スギ人工林ごとの平均樹高を推定するモデルを作成しました。森林簿に欠けていた立木密度や樹高情報を補完することで、丸太の収穫量をより正確に推定するプログラムが開発できました（図1）。このプログラムを使うと、間伐率や伐採林齢、丸太の採材方法等の計画に応じて、伐採木の本数や立木材積はもちろん、丸太の長さや直径別の丸太材積を予測することができます。

#### 伐採にかかる費用や労働力の把握

森林の伐採にあたっては、林道の開設、立木の伐採、丸太への造材（図2）、運搬といった作業が必要です。伐採計画を作成するためには、こうした作業の経費や労働力を知る必要があります（図3）。このプログラムでは、伐採に際して新たに開設する林道の距離や丸太の運搬距離を、GIS（地理情報システム）<sup>※</sup>を活用して推定します。また、伐採面積、伐採木の大きさ、林業機械による丸太の運搬距離、使用する林業機械の種類等を決めれば、伐採にかかる費用や必要となる労働力を計算できます。さらに、このプログラムでは作業ごとの費用や生産性の推定も可能です。また、木材価格や労賃、補助金等を反映させることができるので、様々な伐採シミュレーションを行い適切な伐採計画を立てることが可能となります（図4）。

#### 今後の課題

今回開発したプログラムは、伐採適期を迎えた日本の人工林の効率的な伐採計画づくりに活用できるものです。プログラムでの試算の妥当性については、福島県および群馬県の一部地域のスギ林ですでに検証していますが、今後は適用する地域や樹種、さらには異なる伐採方法等、地域の状況に即したより多くの現場に対応できるようプログラムの改良にも取り組む必要があります。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「国産材安定供給体制構築のための森林資源供給予測システム及び生産シナリオ評価手法の開発」による成果です。

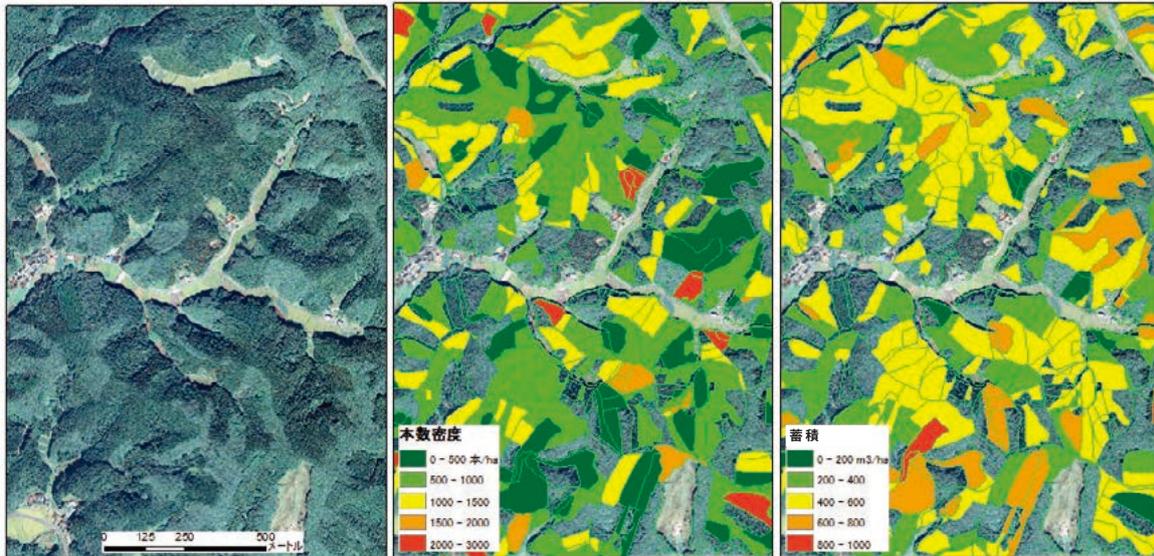


図1 空中写真（左）と本数密度（中央）や材積（右）の推定結果



図2 大径材の造材作業

プロセッサによる造材作業の生産性は、伐採木の幹材積や機械の大きさで変動します。一般に、木が大きいくほど生産性は向上しますが、大きすぎると機械では処理できず人力作業になるので、却って生産性が落ちることもあります。

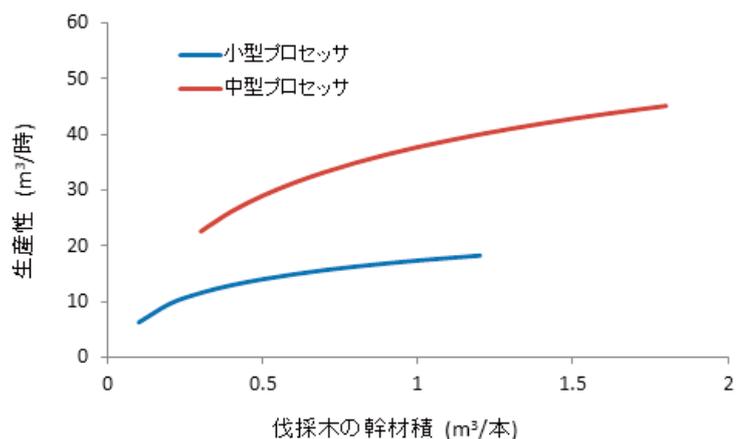


図3 プロセッサの生産性と幹材積の関係

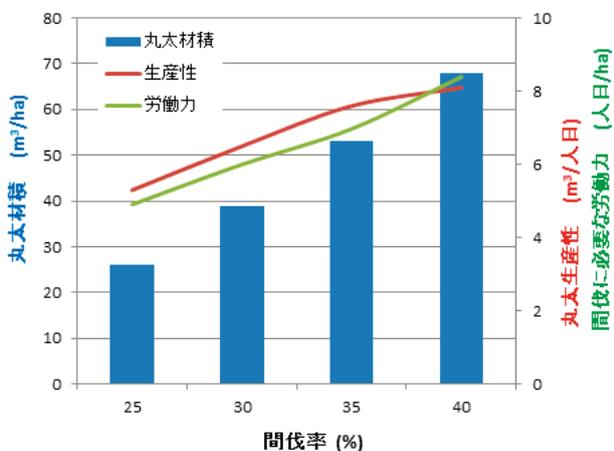


図4 間伐率と丸太材積、生産性、労働力の関係

対象地の平均的な40年生スギ林を間伐した際のシミュレーション結果

定性間伐では、間伐率を上げると丸太材積はもちろんですが、生産性も向上します。しかし、面積当たりの必要労働力も増加するので、労働力が変わらないならば、間伐できる面積は減少します。そのため、間伐の年度計画を立てる際には、面積や材積などの目標設定が実行性を考える上で重要となります。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 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—

木材特性研究領域  
加工技術研究領域  
木材改質研究領域  
成城大学  
東京国立博物館  
興福寺国宝館

安部 久、能城 修一  
渡辺 憲  
石川 敦子  
岩佐 光晴  
和田 浩  
金子 啓明

### 要 旨

古来、木材は日本文化の根本を支えており、国宝など多くの文化財に用いられています。仏像などの文化財を保全・修復する際には、どのような樹種が材料として使われているかを知ることが必要不可欠です。材料の樹種を知るとは、文化財が作られた歴史的・文化的な背景を理解するためにも重要であり、ひいては日本文化を理解する手がかりとなります。文化財の調査は壊さないことが原則であり、木材の樹種を調べる際にも非破壊的方法が求められます。そこで、非破壊方法である近赤外分光法が木材の種類を知るために有効かどうかを検討したところ、近赤外線の変えることによって、針葉樹材と広葉樹材との区別や、カヤ材の判別が可能となりました。

#### 仏像に多く用いられている木材の種類

わが国で仏像などの木彫像に用いられている樹種はある程度限られていることが分かっています。特に、国宝や重要文化財などに指定されている文化的に価値の高い仏像には、ヒノキ、カヤ、クスノキ、カツラ、ケヤキなど特定の樹種が使われています。

#### 近赤外分光法とは

近赤外線は、可視光線と赤外線の間にある波長の光で、目には見えない光です。この光は、①個々の化学成分によって特定の波長の光が吸収される、②物質の中まで光が届く、③対象物への影響が少ない、④水分を含む物体の中にも光が入りやすい、という特徴があり、血中の酸素濃度の測定、農産物の糖度や酸度の測定、空港でのペットボトルの中身の種類を調べる装置など、我々が日常的に目にする非破壊的な計測装置で広く活用されています。近赤外分光法によって木材の種類を調べる場合には、対象となる木材の近赤外線の吸収スペクトルを測定します(図1)。あらかじめ由来のはっきりした標準試料をいくつか用意しておき、その試料の吸収スペクトルの形から木材の種類を分けることができるかを調べます。

#### 由来のはっきりした木材試料

標準となる由来のはっきりした木材試料として、森林総合研究所の木材標本庫の標本を用いました(図2)。森林

総合研究所木材標本庫には、現在、国内外の約8,000種、28,000個体の樹木から得られた木材標本が集められています。これは日本では最多の標本数で、現在も国内外の研究機関と連携して、標本の充実を図っています。

#### 近赤外分光法で木材の種類を分ける

比較的短い波長領域の近赤外線の吸収スペクトルを用いて分析した結果、木彫像に多く用いられているカヤ材は、他の樹種との区別が可能であることが分かりました(図3)。一方、長い波長領域を用いた場合には、針葉樹材と広葉樹材とを区別できることが確認できました(図4)。このように、利用する波長によって、分けることができる樹種のグループが異なることが分かりました。現在、さらに精度良く分けることができる波長領域を探索するほか、この結果が、伐採後長い期間を経て表面が光や熱にさらされた文化財にも実際に応用できるかを検証しています。

本研究は、科学研究費補助金「木彫像の樹種識別技術の高度化」(25292109)による成果です。

#### 文献

安部久 他、(2015) 近赤外分光法を用いた木彫像用材の非破壊的な樹種識別 —木材標本を用いた分析—、木材保存 41(4) 掲載予定

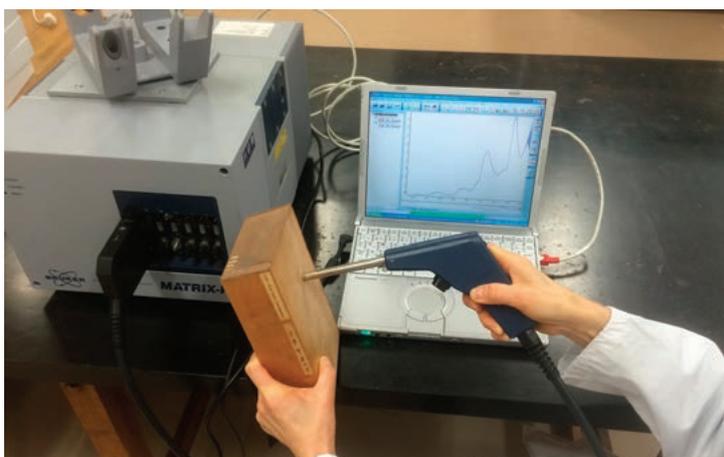


図1 近赤外分光分析法による木材からのスペクトル測定  
光が出るプローブの先端を木材の表面に軽く当てて測定します。



図2 森林総合研究所の木材標本庫と木材標本

約 8,000 種、28,000 個体の由来の明確な樹木から得られた木材標本を所蔵し、所蔵量は日本最大です。

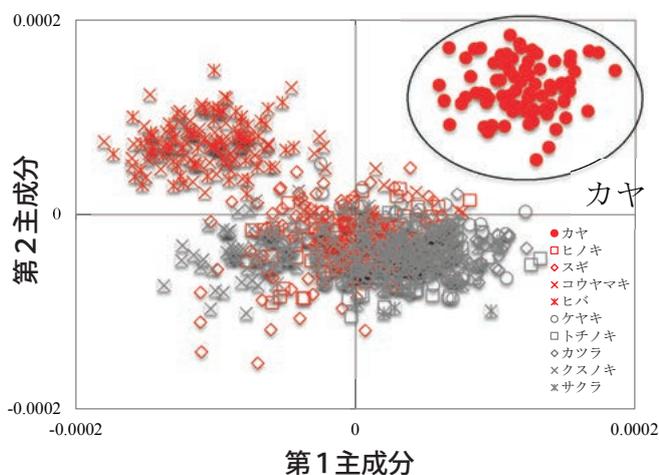


図3 比較的短い波長 (830-1,150 nm) 領域を利用した主成分分析  
カヤが他の樹種と分けられます。

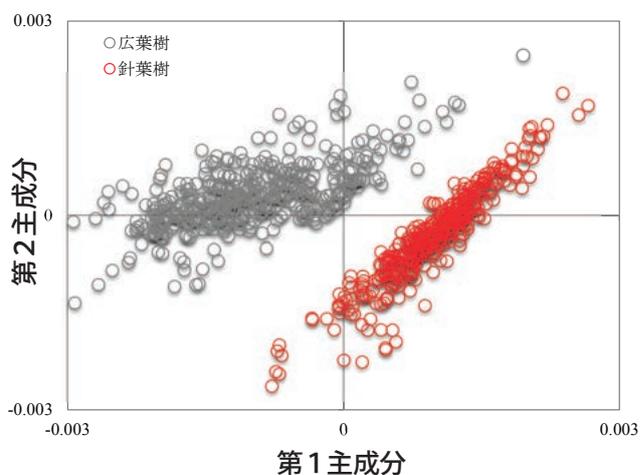


図4 比較的長い波長 (1,300-2,500 nm) の領域を利用した主成分分析  
広葉樹と針葉樹を分けられます。

## 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 —

加工技術研究領域

小林 功、藤本 清彦、松村 ゆかり

### 要 旨

森林を温室効果ガスの発生抑制に役立てるには適正な維持・管理が重要で、そのためには「利用→植林→育林」のサイクルを維持することが必要です。国内の森林のうち約 4 割を占めるとされる広葉樹は、製紙の原料となる「チップ※」としての利用が中心で、その利用量は多いとはいえません。国内 14 の製紙用チップ工場を調査し、製造されているチップの品質と生産体制、原料の丸太の調達及び製紙工場との取引について調査を行い、輸入チップより安い価格で十分な品質のチップが生産されており、原料丸太の安定調達に課題があることを明らかにしました。この成果を活かして適切な対策をとることにより、国産広葉樹チップの利用拡大が促進できます。

#### 国産広葉樹チップの利用を増やすためには何が必要か

かつて広葉樹は薪や炭、家具などの日用品の材料として多く使われましたが、現在は製紙の原料となる「チップ」としての利用が中心です。ただし、現在製紙業界で使われている広葉樹チップの約 9 割は輸入品です。国産チップの価格は 1kg 当たり 17 円（2013 年）と、輸入チップの平均価格 1kg 当たり 22 円に対して優位となっていることから、国産チップが製紙原料に使われない原因は他にあることとなります。この理由を解明し、国産広葉樹チップの利用拡大に役立てるため、国内 14 の大手製紙用チップ工場を対象として、製造しているチップの品質やチップ工場と製紙工場との間のチップの取引に関する実態調査を行いました。

#### 製紙工場が求めるチップの品質基準

各チップ工場が製紙工場と契約しているチップの品質基準について聞き取り調査を行いました（表 1）。製紙工場では薬剤でパルプ※を取り出す処理を均質な材料を用いて短時間で行うため、所定の長さより長いチップ（これをスリーバと呼びます）の混入割合を制限しています。また、白い紙製品に汚れが浮き出るとは商品価値が下がるので、汚れの元になる樹皮や腐れ、異物などの混入も厳しく制限しています。

#### 製造されているチップの品質

国内のチップ工場はこれら製紙工場が課す厳しい品質基準を満たしているのかどうか、工場で製造されたチッ

プを採取して調べた結果が図 1 です。工場ごとに品質基準が少しずつ異なりますが、製紙工場による要求品質を満たしていないチップ工場はありませんでした。

この調査によって、価格だけでなく品質でも国産広葉樹チップは、輸入チップと十分競争できることが明らかになりました。ではなぜ輸入チップに遅れを取っているのでしょうか？

#### 国産広葉樹のチップとしての利用拡大のポイント

国内の原料丸太の産地は海外と比べて個々の生産規模が小さく、また地域によっては樹木の伐採量に大きな季節変動があります。各チップ工場が入手できる原料丸太には限りがあるため、小規模工場が多く、その結果、複数のチップ工場が一つの大規模製紙工場へチップを納品するのが普通です。受け入れや検品、ストックヤードの管理などを考えれば、たとえ少々割高でも一年を通じて大量のチップを安定して入手できる海外チップの方が製紙工場にとって魅力的です。したがって、国産広葉樹チップの利用拡大にはチップ工場の生産能力の増大だけでなく、伐採から集材・搬送に至る原料丸太の供給体制の強化が必要であり、それに付随する多くの課題を一つずつ解決していくことが重要です。

#### 文献

小林功 他、(2015) 国産広葉樹チップ用原木の形質とチップの品質、木材工業、70：112-116

表1 製紙工場が指定するサイズ

項目	製紙工場による 指定範囲	
サイズ	長さ	最小 4~18(10)mm
		最大 18~40(26)mm
	幅	最小 5~17(12)mm
		最大 20~22(21)mm
	厚さ	最小 3~4(3.7)mm
		最大 4~10(6)mm

表2 製紙工場が指定する異物等混入率

許容される 異物等の混入率	スリーバ	0~10(4) %
	樹皮	0~10(2) %
	腐れ	0~10(2) %
	ダスト	0~10(2) %
	異物	全ての工場で 混入不可

かっこ内は14工場の平均値

### 製紙工場のチップ品質の要求は厳しいですが

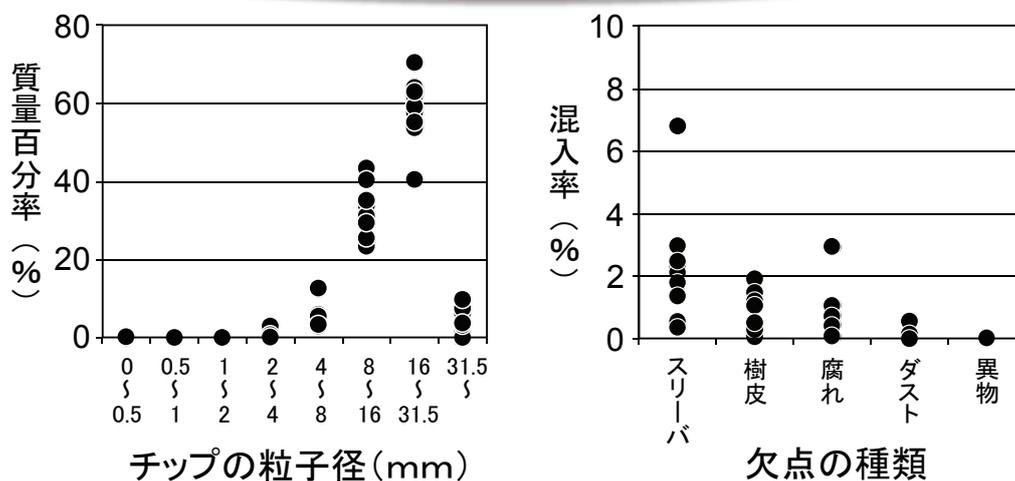


図1 国産広葉樹チップの品質 (左図: サイズ、右図: 異物等の混入率)

調査の結果、国産の広葉樹チップは製紙用チップとして  
高品質であることがわかりました。

原料丸太の供給体制の強化が、  
広葉樹利用拡大にとって重要です。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 劣化機構の解明から木質ボードの高耐久化を目指す

複合材料研究領域

高麗 秀昭

### 要 旨

木質ボードを建築物に利用するためには、強度性能を長期間維持することが求められます。そのためには、強度低下の原因を解明する必要があります。そこで、温水浸せき試験と屋外暴露試験を実施し、木質ボードの強度低下の原因を明らかにしました。木質ボードは水分が浸入することにより圧縮された木材が膨張し、厚くなります。これをスプリングバックといいます。このスプリングバックにより接着点が崩壊すると、強度低下の原因となります。さらに、接着点の崩壊によりボード内部に空隙が生じると、そこが腐朽し易くなります。この腐朽により、ボードの強度はさらに低下します。木材の強度を低下させないためには、ボード内部への水の浸入を阻止し、スプリングバックを防ぐことが有効であることが分かりました。

### 木質ボードの特徴

一般に、木質ボード（以下ボードとよびます）は、細かく粉碎した木片に接着剤を吹き付け、それをホットプレスで高熱をかけながら圧縮し、同時にその熱で接着剤を硬化させて作ります。細かく粉碎した木材を原料とするため、建築解体材なども原料として利用できます。このため、ボードは木材のリサイクルの一翼を担っています。しかし、ボードでは、圧縮された木材にひずみが残り、これが水を吸収すると元に戻ろうとします。これをスプリングバックと呼びますが、スプリングバックにより接着点が崩壊し、ボードの強度を低下させる原因になることが知られています。

### 温水浸せき試験

ボードの耐久性を評価するために、ボードを温水中に浸せきし、スプリングバックを誘発させ、強度低下を評価する試験があります（図 1）。一般的にはボードを温水中で使用することはありませんが、この試験によって短時間でボードの耐久性を推定することができます。

### 屋外暴露試験

従来のボードは室内で使うことを想定しています。しかし、仮にボードが屋外で使用できたらその需要は拡大すると考えられます。そのため、屋外での耐久性について屋外暴露試験を実施し、ボードの強度低下を調べました（図 2）。その結果、屋外暴露により雨水がボード内部に浸入し、温水浸せき試験と同じようにスプリングバックが発生することがわかりました。

### 木質ボードの強度低下の原因

温水浸せきしたボードの強度低下と屋外暴露したボードの強度低下を図 3 に示します。どちらもスプリングバックが大きくなると強度が大きく低下しました。これはスプリングバックにより接着点が崩壊したために強度が低下したためと考えられます。しかし、前者と後者の強度低下には差が認められます。同じスプリングバックの状態でも後者の強度の方がより大きく低下しました。これは屋外暴露したボード内部が腐朽したためです（図 4）。ボードの強度が低下する原因には、スプリングバックの他に、腐朽も原因になることが明らかになりました。

### 木質ボードの強度低下を防ぐには

ボードは、まず水分が浸入することによりスプリングバックが生じ、接着点が崩壊します。このプロセスは温水への浸せき試験と屋外暴露試験でも同じです。従来は温水への浸せきだけでボードの強度の低下を評価しようと考えていましたが、屋外などの環境で使用する場合には腐朽も考えなければならないことがわかりました。また、水のボード内部への浸入を阻止すればボードも屋外でも使用できる可能性が示されました（図 5）。

本研究は、科学研究費助成事業（21380108）により実施した、日本木材学会木質パネル研究会「木質パネル第 2 次耐久性プロジェクト」の成果です。

### 文献

高麗秀昭（2012）屋外暴露した中質繊維板の耐久性、木材学会誌、58：347-356



図1 温水浸せき試験



図2 屋外暴露試験

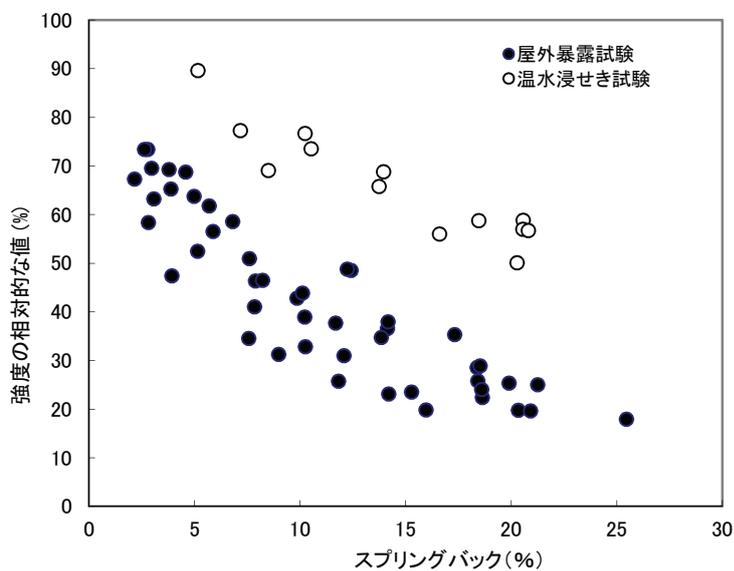


図3 ボードのスプリングバックと強度の関係

温水浸せきより屋外暴露のほうが強度低下が大きくなります。



図4 水が浸入しやすいボード  
激しく腐朽しているのが認められました。



図5 水が浸入しにくいボード  
ほとんど腐朽は認められませんでした。

## 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

複合材料研究領域	渋沢 龍也、宮本 康太
構造利用研究領域	杉本 健一
東京大学大学院	青木 謙治
日本合板工業組合連合会	川喜多 進
(一社)日本建設業連合会	中山 正夫
(一社)日本型枠工事業協会	三野輪 賢二
(株)J-ケミカル	木下 武幸
(公財)日本合板検査会	尾方 伸次

### 要 旨

スギやカラマツ、ヒノキなどの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、従来の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、実際の建築工事や土木工事の現場で試用してもらい、その実用性を明らかにしました。これらの成果により、間伐材等国産材を活用したコンクリート型枠用合板は「合板型枠」としてグリーン購入法<sup>\*</sup>の特定調達品目に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は、コンクリートを一定の型に流し込んで固めますが、この型のことを「型枠」と呼びます。型枠には様々な材料が使われますが、最も多い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。

現在の型枠用合板の需要量約 80 万 m<sup>3</sup>のうち、国内生産量は 1 割に満たず、ほとんどが南洋産広葉樹材と推計されています。一方、わが国では、戦後造林された森林が利用期を迎え、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、様々な樹種の木材を用い、単板構成を変えた合板の性能を評価し、強度性能を向上させる方法を検討しました（図 1、2）。転用回数の向上には、合板の表面を保護することが有効であるため、国産針葉樹材に対応した塗装技術についても検討しました。

その結果、塗装を施した国産材型枠用合板は、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持つことが分かりました。

#### 型枠用合板を実際に使用して評価

実際の 14 階建てのマンションの工事現場で、国産材型枠用合板を間仕切り壁や床のコンクリート施工に使用し、最上階まで転用しながら検証を行いました。その結果、転用回数が増しても、コンクリート壁面のふくらみや凹凸はほとんどみられず、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。さらに、コンクリート擁壁（斜面の崩壊を防ぐための壁）や治山工事、道路建設に使用しても従来の型枠用合板と同様に使用可能であることが明らかになりました（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、平成 26 年度 林野庁補助事業地域材利活用倍増戦略プロジェクト事業（地域材利用促進のうち新規分野木材利用促進事業）に基づく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」の成果です。



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。

## 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—

木材改質研究領域  
構造利用研究領域  
複合材料研究領域  
(一社) 日本非破壊検査工業会

大村 和香子、神原 広平  
原田 真樹、加藤 英雄  
渋谷 龍也  
田代 秀夫

### 要 旨

シロアリが木材をかじっているときに発生する食害音の超音波成分 (=ヒトの耳には聞こえない音) を感度よく検出できる高性能のマイクロホンを搭載したシロアリ被害検出装置を開発しました。この装置は、1m 離れていても従来の機器とほぼ同じ精度で食害音を検出できることから、直接床下に潜ってシロアリ被害が疑われるところまで行かなくても、床下点検口からマイクを向けるだけでシロアリ被害を発見できる可能性があり、被害検出作業を大幅に効率化できます。なお、本成果は「既存住宅売買・リフォームに係る保証・保険制度における技術的ガイドライン」((一社) 日本非破壊検査工業会) に反映されました。

#### なぜ怖い? シロアリ被害

木造の住宅や公共建築物等を長く安心して使い続けるためには、シロアリ等の木材害虫の被害を早期に検出して対策を行う必要があります。シロアリによる被害を知らずに放っておくと、使われている材料がかじられて細くなってしまう、地震などの大きな揺れに耐えきれず倒壊してしまう危険性があります。

#### シロアリから建物を守るために

シロアリによる建物被害は、床下や壁の中など、通常の生活では見えにくいところで発生し、気づかないうちに進行します。被害を最小限に食い止めるためには、‘生きた’シロアリの居場所を探して駆除する必要があります。シロアリ被害を受けた木材は、表面を軽く叩くと空洞音がしたり、表面に小さな穴が開いていたりします。また「<sup>きどう</sup>蟻道」と呼ばれる土やシロアリの糞などで作られるトンネルが見つかることがあります。これまでは、このようなシロアリ被害の兆候を見つけて、さらに木材や蟻道の一部壊して‘生きた’シロアリがいるか確認するために、床下等の狭い場所に直接潜る必要がありました。

#### シロアリの居場所探し

さて、シロアリが木材をかじって食べるときには“音”が出ます。この音には人間には聞こえない音 (20kHz ~ 80kHz の超音波) が混じっていて、この超音波を特異的に検出する

ことで、木をかじっているシロアリの居場所を見つけることができます。シロアリの居場所がわかれば、薬剤等で効率よくシロアリを駆除できます。

#### 画期的! マイクロホンを使った被害検出

そこで超音波を感知できる超高感度のマイクロホンに、さらにマイクロホンを向けた先から聞こえる‘音’だけ検出できるような工夫を組み合わせた新しいシロアリ被害検出装置を開発しました。

実験室内でのテストを経た後、さらに中古住宅や当研究所の実験住宅で本装置の有効性を検証し、1m 程度離れたところからでもシロアリを探知可能であることを実証しました。この装置を使うことによって、床下に潜って作業する必要もなくなり、シロアリ被害検出の作業時間・労力の大幅な短縮が見込めるようになりました。

#### 文献

- (1) H. Nakamura, Y. Nagaoka, H. Tashiro, W. Ohmura (2012) International Acoustic Emission Symposium 21:37-42.
- (2) 高橋弘幸、三浦俊治、田代秀夫、大村和香子、原田真樹、久下幹雄 (2014) 日本木材保存協会年次大会要旨集: 42-43
- (3) 大村和香子、原田真樹、神原広平 (2015) 環動昆 26(1): 11-16



シロアリが木をかじるときに発生する音（超音波）を検出してシロアリを見つける

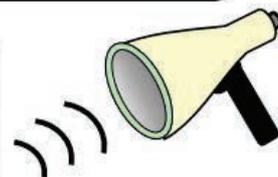


図1 木をかじる音を検出してシロアリを見つける

シロアリが木をかじるときに発生する音の超音波成分を感知できる超高感度のマイクロホンでシロアリの居場所を探します。

#### 目視によるシロアリ被害検出

形成された蟻道 食害を受けた束



- 簡便な被害検出
- × 狭い床下での作業
- × 木材内部のシロアリ検出

#### 機械による‘生きた’シロアリ被害検出

マイクロホン 検出器本体



- ◎ 簡便かつ迅速な検出
- 木材内部のシロアリ検出



### シロアリ被害検出作業の効率化

図2 シロアリ被害検出装置の導入による作業の効率化

床下等の狭い場所に潜らなくてもシロアリがいるか確認できるため、作業時間・労力の大幅な短縮が見込めるようになりました。

## 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

木材特性研究領域	柳田 高志		
林業経営・政策研究領域	久保山 裕史、都築 伸行、山本 伸幸		
加工技術研究領域	吉田 貴紘、伊神 裕司、藤本 清彦		
林業工学研究領域	陣川 雅樹、吉田 智佳史、佐々木 達也、中澤 昌彦		
植物生態研究領域	宇都木 玄	森林管理研究領域	西園 朋広
東北支所	天野 智将	四国支所	垂水 亜紀、北原 文章
九州支所	横田 康裕	研究コーディネータ	木口 実

### 要 旨

再生可能エネルギーの導入を促進するため、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ためには、煩雑な計算が必要です。森林総合研究所では、全国の発電所から収集したデータに基づいて、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、発電規模や燃料バイオマスの種類、買取価格等が違う場合の木質バイオマス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（林地に残された間伐材など）、一般木材（製材の際の残材など）、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、それぞれを燃料として発電した場合の電力の買取価格が異なります。

#### 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FIT 買取価格は32円/kWh（H26年度）です。この価格での売電収入は、例えば、発電規模5,000kW（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（水、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、森林総合研究所では、木質バイオマス発電の調査を全国規模で実施し、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）。このツールを用いることにより、FITにおける木質バイオマス発電に関して、発電規模や燃料バイオマスの種類、買取価格の違い等の初期条件を様々に変えた場合の多彩な事業評価が簡単にできるようになりました。

#### ツールの活用法

本ツールを使うと、複数の燃料の混合比率を変えながら事業採算性を評価することも可能です。例えば、未利用材チップ（8,000円/t-含水率※50%湿量重量基準）とヤシ殻（12,000円/t-含水率10%湿量重量基準）を混合する場合には、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のがシミュレーションによって確認できました。また、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の実施検討や、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。

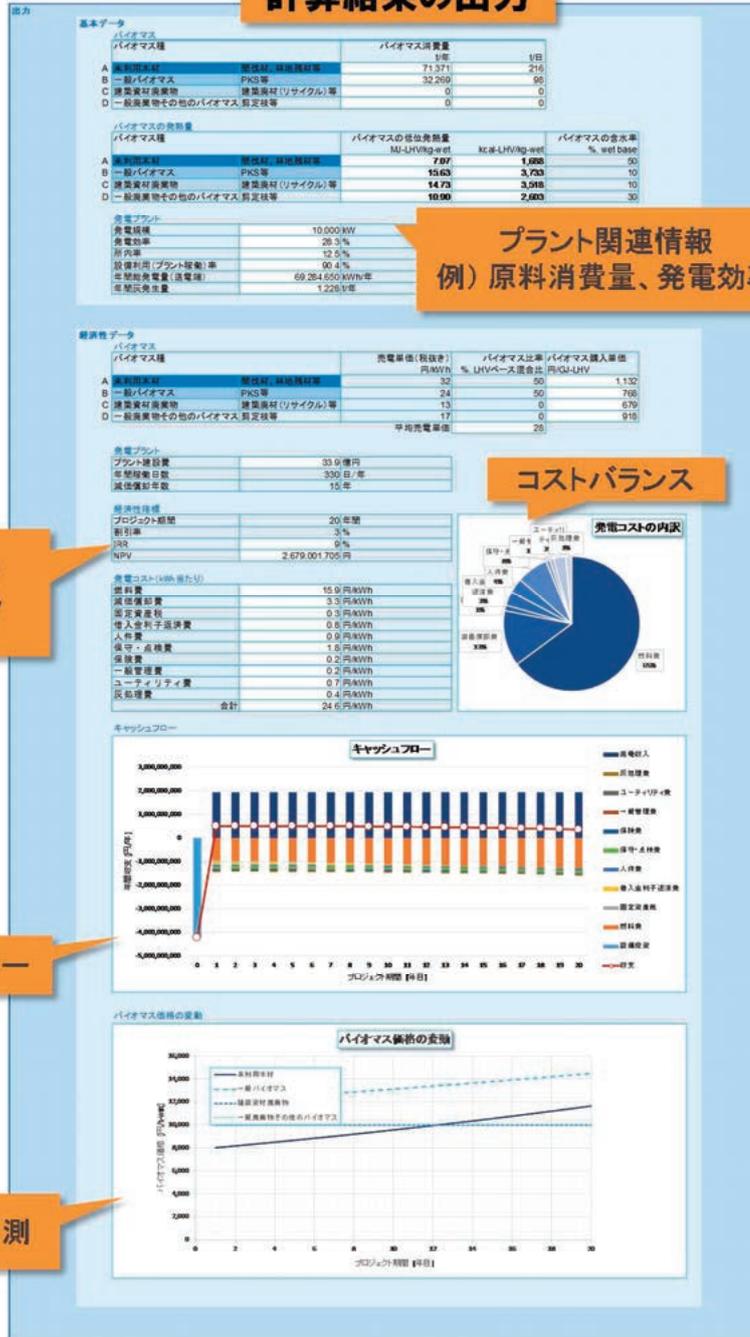
#### 文献

- 柳田（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
- 柳田 他（2015）再生可能エネルギー固定価格買取制度を利用した木質バイオマス発電事業における原料調達価格と損益分岐点の関係、日本エネルギー学会誌 94：311-320

情報入力(ユーザー)

- ・プラント規模
- ・原料(バイオマス)情報

計算結果の出力



経済性評価  
例) IRR, NPV

キャッシュフロー

原料価格上昇予測

図1 木質バイオマス発電事業採算性評価ツールの画面

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 未利用資源の中の宝物 —健康に役立つ抽出成分の機能あれこれ—

バイオマス化学研究領域  
日本かおり研究所(株)

大平 辰朗、松井 直之  
金子 俊彦

### 要 旨

伐採や枝打ちなどの作業からは枝葉など様々な未利用資源が発生します。現状ではそれらのほとんどは廃棄されてしまいます。しかしながら、未利用の枝葉の精油成分とその残渣がどのような機能を持つかを調べた結果、気分・ストレスの改善効果、花粉症の原因となる花粉アレルゲンの活性低減効果、二酸化窒素等の環境汚染物質の浄化効果、アンモニア等の悪臭の浄化作用など、私たちの健康増進に役立つ効果を持つことが明らかとなりました。これまで未利用であった枝葉等が、実は宝の山として役立つことがわかりました。今後の有効利用につながり、林業収入増加の一助となることが期待されます。

#### 精油のにおいでストレス解消

林業の現場では枝葉などの林地残材が大量に発生し、その多くが未利用のまま放置されています。こういった未利用林地残材の有効な利用法の開発を目的として、北海道に生育するトドマツの葉から精油（葉油）を抽出しました。人間がこの精油のにおいを嗅いだときの気分やストレス状態がどのように変化するかを調べたところ、リラクセーション感が向上するとともに不安感が減少して気分状態が改善することがわかりました（図 1）。また、唾液中に含まれるストレスホルモン類が減少したことから、トドマツ葉のにおいにはストレスを解消するはたらきがあることが明らかになりました（図 2）。

#### 精油が花粉症の症状をやわらげる？

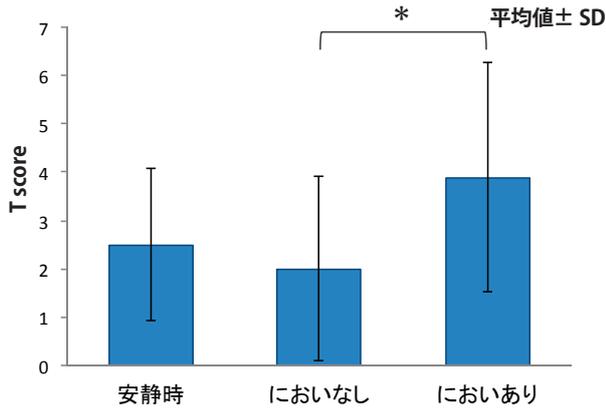
スギ花粉によるアレルギー症状は、花粉が含有するアレルゲンという物質によって発生するといわれています。この症状は、二酸化窒素などの大気汚染物質がアレルゲンとともに存在するとより重篤化します。他方、トドマツ精油とアレルゲンを接触させると、その活性が大きく低減することが判明しました（図 3）。なぜ活性が低減するのかについては、まだ研究中ですが、将来的には花粉症の症状の改善に精油のにおいを役立てられる日が来るかもしれません。

#### 残りものにも福がある

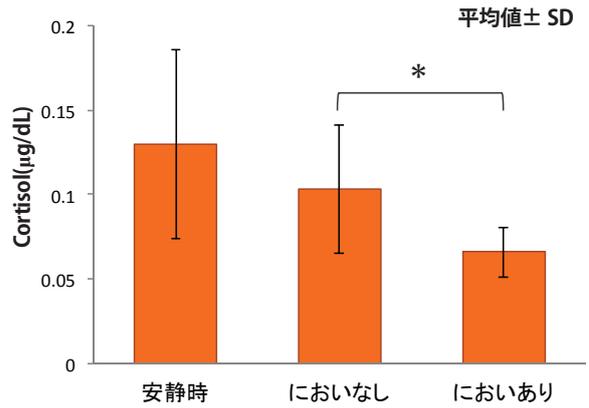
さて、葉から精油を抽出した後は大量の残渣が発生します。トドマツ葉の残渣の特性を調べたところ、アンモニアなどの悪臭を低減する効果の他に、精油と同様に二酸化窒素の除去能力が高いことが明らかになりました。この特徴を応用するため、トドマツ葉残渣の微粉末入りの和紙を試作し（図 4）、残渣を加えない和紙（対照）との間で二酸化窒素除去能力を比較したところ、残渣の添加量を増すと除去能力が向上することがわかりました（図 5）。この残渣は建材への適用も可能であり、居住空間で使用する内装材等への利用により、空気環境を安全で快適なものにすることができると期待されます。

これらの成果は、枝葉等が精油成分としてだけでなく、その残渣までも余すこと無く総合的に利用できることを示しています。このような利用法を拡大することで、廃棄されている枝葉等の有効利用が可能となり、ひいては林業収入増加の一助となることが期待されます。

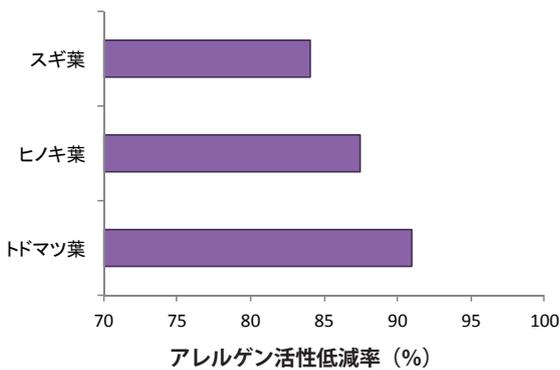
「ストレス軽減効果」の研究は北海道大学との共同研究、「花粉症症状軽減効果」の研究は埼玉大学との共同研究による成果です。また、花粉症症状軽減効果に関しては特許出願中です。



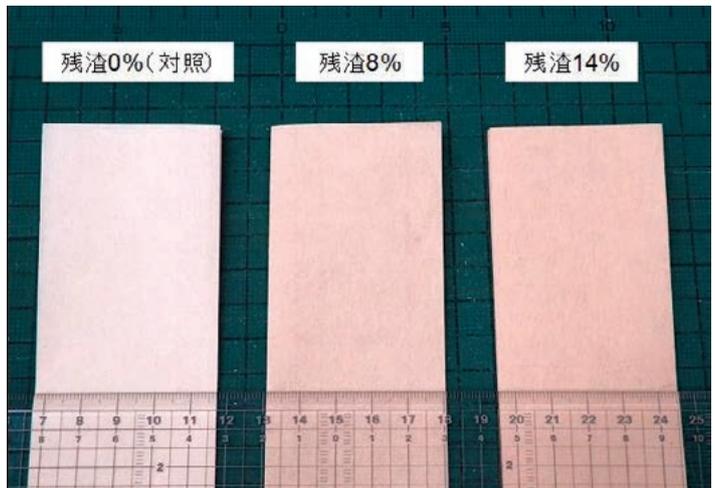
**図1 トドマツ葉精油のにおいによるリラックス効果**  
精油のにおいを嗅いだときに、リラックスの度合いを表す数値 (T score) が増加しました。図中の \* は統計的に有意な差があったことを示します。



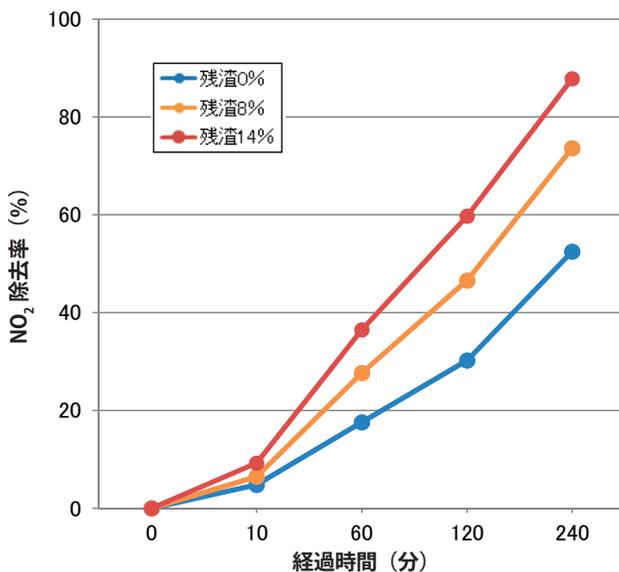
**図2 トドマツ葉精油のにおいによるストレス軽減効果**  
精油のにおいを嗅いだときに、唾液中のストレスホルモン (コルチゾール) の量が減少しました。図中の \* は統計的に有意な差があったことを示します。



**図3 樹木精油によるアレルギー活性低減効果**  
精油のはたらきにより、スギ花粉のアレルギー活性が低減しました。特にトドマツの葉の精油の活性が高かったことがわかります。



**図4 トドマツ葉抽出残渣を添加して製造した和紙**



**図5 トドマツ葉抽出残渣を添加した和紙による二酸化窒素除去の経時的変化**  
和紙だけの試料でも二酸化窒素除去能力を示しますが、トドマツ葉の抽出残渣を添加することでその能力がさらに向上していることがわかります。

## 木材の直接メタン発酵技術の開発 —放射能汚染バイオマスにも適応可能な新技術—

バイオマス化学研究領域  
きのこ・微生物研究領域

大塚 祐一郎、橋田 光  
中村 雅哉

### 要 旨

これまで木材を直接メタン発酵することは困難でした。なぜなら細胞壁の構造が強固でメタン発酵菌が分解できなかったからです。今回森林総合研究所が独自に開発した粉碎処理と酵素処理を組み合わせた湿式ミリングという技術により、わずか 15 分の前処理で木材をそのままメタン発酵できることが明らかとなりました。これは木材から都市ガスと同じ成分のメタンガスを作ることができることを意味します。さらに、放射能汚染された木材や稲わら等にこの技術を適用すると、生産されるメタンガスには全く放射性物質が含まれず、汚染物の体積は十分の一以下になることがわかりました。そのため、除染にも応用できる新たな減容化とグリーンエネルギー生産技術として期待されています。

#### 私達の身近な燃料“メタンガス”

メタンガスをご存知でしょうか。ガスコンロをひねると出てくる都市ガスの成分は 90% 以上がメタンガスであり、私達の生活になくはならない身近な燃料の一つです。今日、私達が使っているメタンガスは、長い年月をかけて地中深くに堆積しているものを掘り出して使っています。そのため、掘り尽くしてしまうとなくなってしまうことが心配されています。近年、日本近海の海底に蓄積したメタンガス（メタンハイドレート）が大量に存在していることがわかり、大きなニュースにもなりましたが、実際に利用するにはまだ多くの時間が必要となっています。

#### 微生物の力を借りてメタンガスを作ることができる

メタンガスは地下や海底にあるものをとってこれるだけでなく、メタン菌という微生物（図 1）の力を借りて自分たちで作ることができます。これまでは飼育されている牛や豚の糞尿を原料としたり、私達の生活から出てくる残飯などの生ごみを原料として、メタン菌に食べさせてメタンガスを作ることが試みられてきました。しかし、これらの原料だけでは生産量が限られています。

#### 木材からメタンガスを作る

そこで、私達は豊富な木材資源を利用してメタンガスを効率よく作ることができないか検討してきました。私達が生活している日本は、国土の約 70% を森林が占める森林大国であり、かつ木材は再生可能な資源であるからです。しかし、これまで木材から直接メタン発酵によってメタンガスを作ることが不可能でした。なぜならメタンガスの原料となる木

材を構成する細胞壁が強固で、メタン菌が全く分解できなかったからです。私達はこれを解決するために、木材中の微細な細胞壁でも効率よくバラバラにする「湿式ミリング」という新たな技術を開発しました（図 2）。これは、小さなビーズを高速回転させてその衝撃で木材を粉碎しつつ、それと同時に酵素パワーで細胞壁成分の一部を分解する森林総合研究所独自の技術です。この新しい技術により、木材の細胞壁がナノレベルにまで粉碎できるようになり、メタン菌が発酵できるようになったのです。日本で最も多く植栽されているスギにおいても、わずか 15 分の湿式ミリング処理でメタン菌が発酵できることが明らかとなりました。

#### 放射能汚染された植物バイオマスにも応用可能

メタン菌が生産したメタンガスは空気よりも軽く、メタン発酵槽から簡単に回収することができます。放射能汚染された植物中の放射性物質は空気よりも重いため、メタンガスと一緒にすることはなく、発酵残渣中に残存したままになることを確認できました。さらに、発酵により体積は元の 1/10 以下になります。木材の直接メタン発酵技術は、放射能汚染バイオマスの減容化技術としても効果的であり、かつ新たなバイオエネルギー生産技術として期待されています。

本研究は、原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ「放射性物質により汚染された植物バイオマスの減量化総合処理システムの開発研究」における広島大学、静岡大学、広島国際学院大学との共同研究による成果です。また、本研究の成果は特許出願中（特願 2015-021988）です。

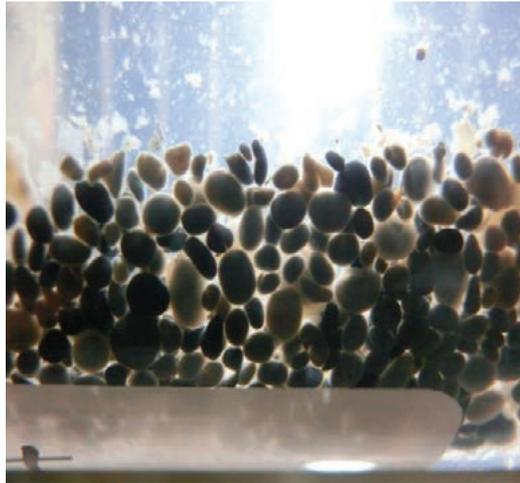


図1 ビーズに固定されたメタン菌 (静岡大学金原研究室提供)

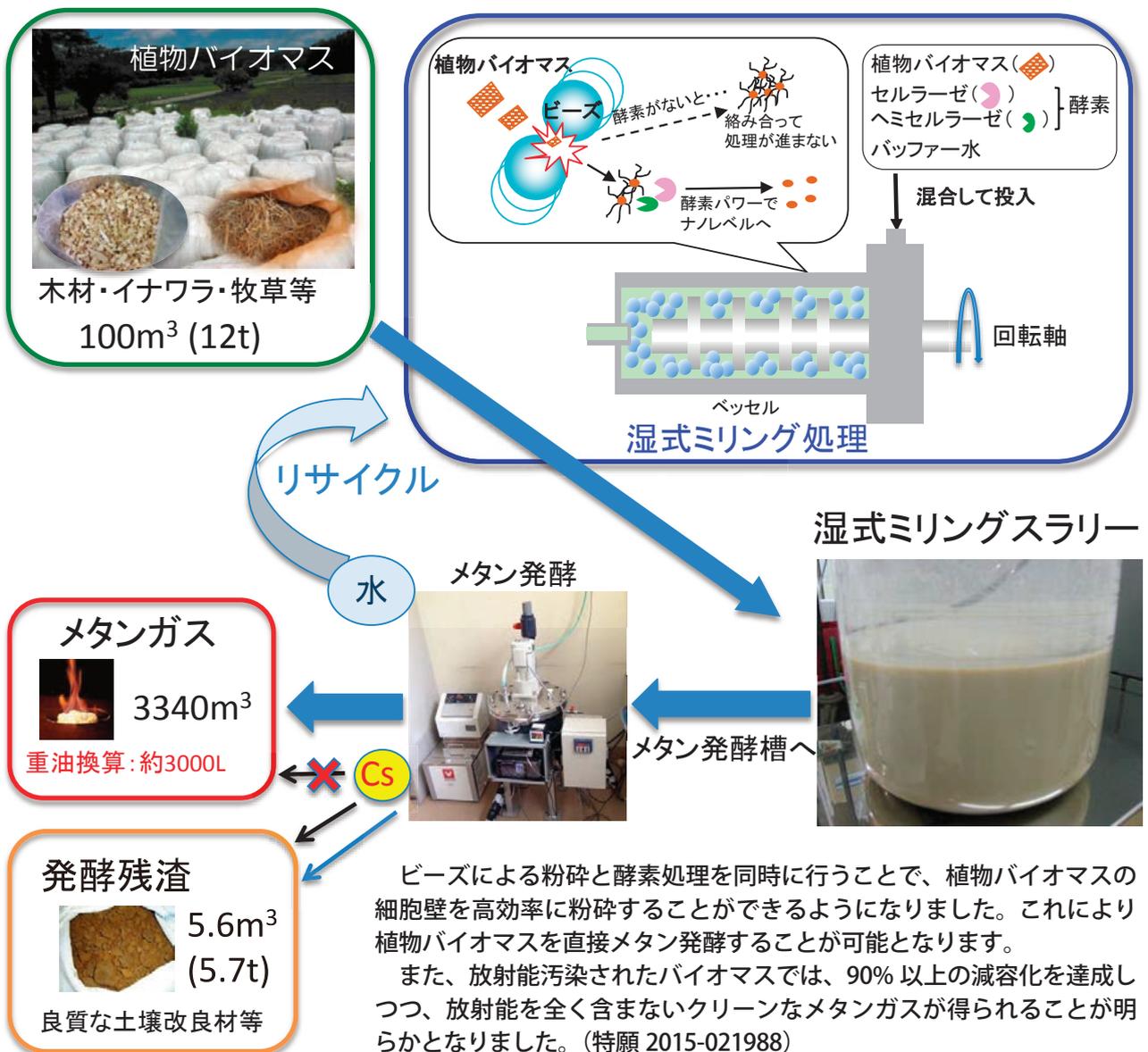


図2 湿式ミリング処理によるメタン発酵の全体図

## 環境にやさしいセルロースナノファイバー製造技術 —叩き潰さずにほぐします—

きのこ・微生物研究領域  
バイオマス化学研究領域

林 徳子、下川 知子、渋谷 源、野尻 昌信  
真柄 謙吾、池田 努、戸川 英二、久保 智史

### 要 旨

植物細胞の骨格は、太さ 4 ナノメートルという細いセルロース繊維が束になったものでできています。セルロース繊維はこれまでも紙などに利用されていましたが、繊維の幅をナノオーダーまで細くすると、表面積の増加、透明性など従来のセルロースでは得られない新しい性質が生まれることが分かってきました。私たちは、この極細の繊維（セルロースナノファイバー：CNF）をつくるために酵素処理と機械処理とを併用する方法を開発しました。この方法では、50℃くらいの温和な条件でナノファイバーを生産することができます。タケを原料にこの方法で CNF を作ると、ゲル化しやすい、カーボンナノファイバーと混ざりやすいといった、これまでの CNF にはない性質が現れることが分かってきました。

#### セルロースナノファイバーとは

セルロースは、ヘミセルロース、リグニンと並んで植物がつくり出す主要な細胞壁成分の一つです。植物の細胞壁では、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「マイクロフィブリル」と呼ばれる約 3～4 ナノメートル幅の極細の繊維を構成し、それが束となって細胞壁の骨格を構成しています（図 1）。植物細胞壁を鉄筋コンクリートに例えると、マイクロフィブリルは鉄筋に相当し、極細の繊維でありながら、鋼鉄に匹敵する強さを持つといわれています。セルロースナノファイバー（以後、CNF）とは、マイクロフィブリルを 1 本から十数本の束になるようにほぐした繊維です。

しかし、セルロースは固まりやすい性質を持っており、木材からリグニンを取り除いてセルロースを取り出したり、乾燥したりすることによって、マイクロフィブリル同士が複雑に絡み合って固まります。この固まりをほぐすためには、大きなエネルギーが必要で、現在は、ノズルからの高圧噴射など特殊で強力な機械を用いた物理的な破碎処理や、酸化触媒を用いた化学的処理によってほぐしています。

#### セルラーゼをセルロースのナノ化に使う

セルラーゼは、セルロースを分解する加水分解酵素の総称です。複雑な構造のセルロースを単糖類のグルコースにまで分解するためには様々な作用が必要で、それぞれの作用をつかさどる様々な種類のセルラーゼがありま

す。そこで、これらの酵素の中からマイクロフィブリル間に作用し、ほぐす性質の強い酵素を選択することで CNF を生産しやすくしました。セルラーゼを用いた反応は、50℃程度の温和な条件下で反応を行うことができ、特別な薬品などを使わないため、環境への負荷が低い方法です。

#### 機械処理と酵素処理を同時に行う

通常の粉碎機処理では、セルロースが叩き潰されるだけでほぐれません。しかし、処理時に水を入れ、セルラーゼを投入することで、通常の粉碎機でもセルロースを微細な CNF にまでほぐすことができます（図 2）。こうしてつくられた CNF は、枝分かれが少なく棒状です。

また、広葉樹のパルプや竹を原料として、本技術で調製した CNF には、ヘミセルロースが約 2 割含まれています。特に、竹の CNF はわずか 1%以下の低濃度でもゼリー状になります（ゲル化、図 3c）が、これはヘミセルロースがあるためと考えられます。また、タケ CNF にはヘミセルロースが残っていることでカーボンナノチューブと良く混ざり合うことも分かってきました。このような性質を活かした新しい素材としての利用開発が期待できます。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「バイオリファイナリーによる竹資源活用に向けた技術開発」（平成 24～26 年度）等による成果です。

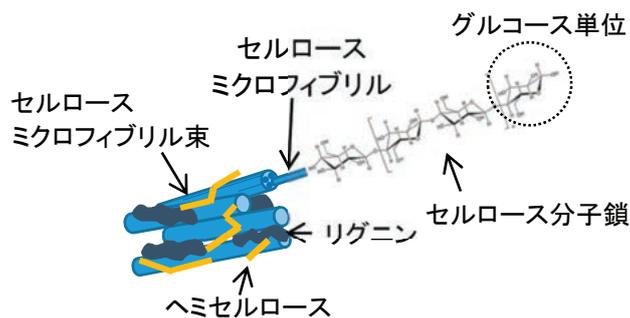


図1 植物細胞壁の構成成分

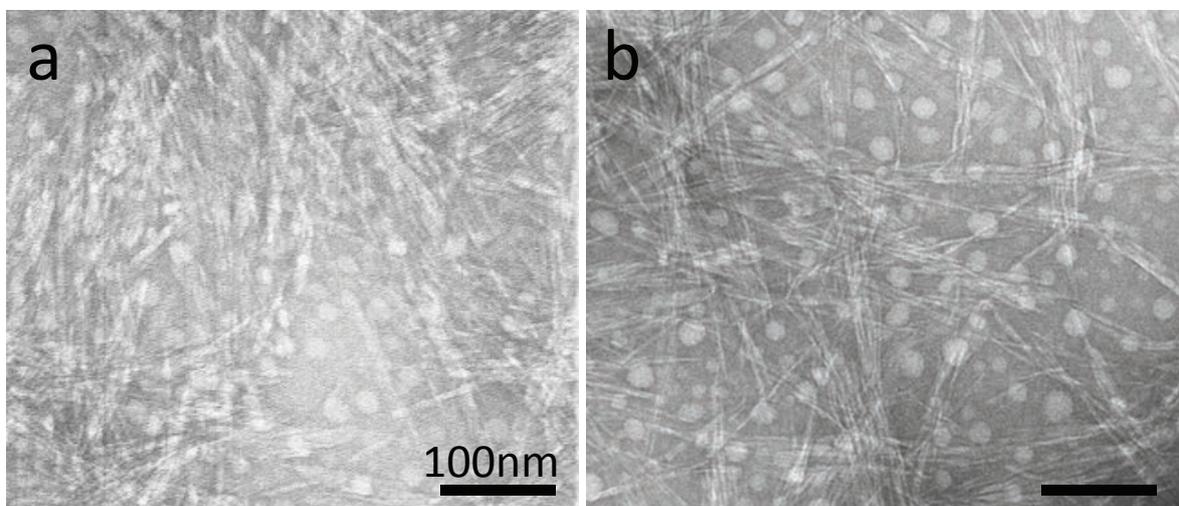


図2 酵素処理と機械処理を併用して得られたセルロースナノファイバー  
セルロース微結晶由来（左）とブナパルプ由来（右）。



図3 酵素処理と機械処理を併用して得られたタケセルロースナノファイバー  
(a) セルロース懸濁液（左から 0.06%、0.6%、1.2%）、(b) フィルム、(c) ゲル

## 気候温暖化のブナ林への悪影響を減らす

北海道支所  
植物生態研究領域

田中 信行、津山 幾太郎  
松井 哲哉、中尾 勝洋

### 要 旨

気候温暖化の悪影響を少なくするための対策（適応策）の必要性が、人間社会や自然環境の各分野で叫ばれています。今回、温暖化の影響がよく研究されているブナについて、適応策の検討を行いました。ブナは、遷移後期の樹種で、短期的な伐採の繰り返しによって他樹種による置き換わりが進みます。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、北海道や東北地域では、温暖化後も持続的に潜在生育域となる地域を保護区に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、植栽などの積極的な管理が必要であることが明らかになりました。

### 温暖化に備える適応策

地球表面の平均温度は、今後 100 年間で 0.3～4.8℃ 上昇すると予測されており、動植物の分布など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、温暖化がもたらす悪影響（森林の衰退や病虫害の発生など）を少なくするための対策（適応策）が必要となります。そのためには、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分布の変化をモニタリングして、それらの結果に基づいて適応策を考えることが有効です（図 1）。

### ブナ林：日本の代表的自然林

日本の代表的な自然林を形成するブナを対象に、温暖化への適応策を検討しました。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。

### 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。その結果、潜在生育域の面積は、現在の気候下で約 63,000km<sup>2</sup> 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。本州の日本海側から東北、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（図 2）。

### 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。現在、高齢のブナを含む自然林の一部は、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。ブナ林を保護するには、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です。現在の気候下で保護区に含まれているブナの潜在生育域は、温暖化後には約半分（12,000km<sup>2</sup>）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、温暖化後に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、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（図 3）。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、保護区に追加できるブナ林そのものがなくなっていくので、ブナを植栽するなど積極的な保護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「5-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合研究」による成果です。

### 文献

Nakao K *et al.* (2013) *Journal for Nature Conservation*, 21: 406-413

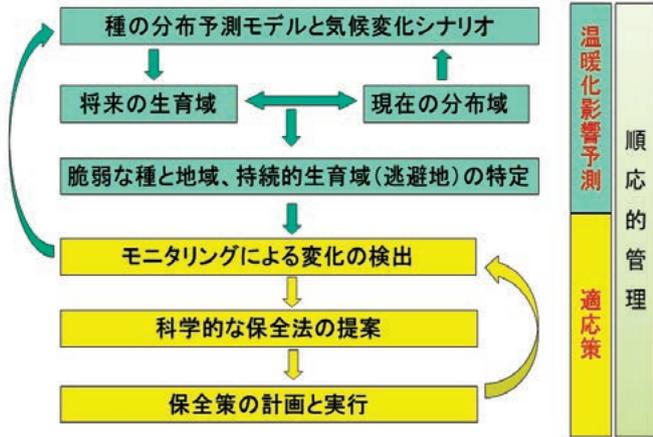


図1 自然生態系における温暖化の影響予測と適応策の関係

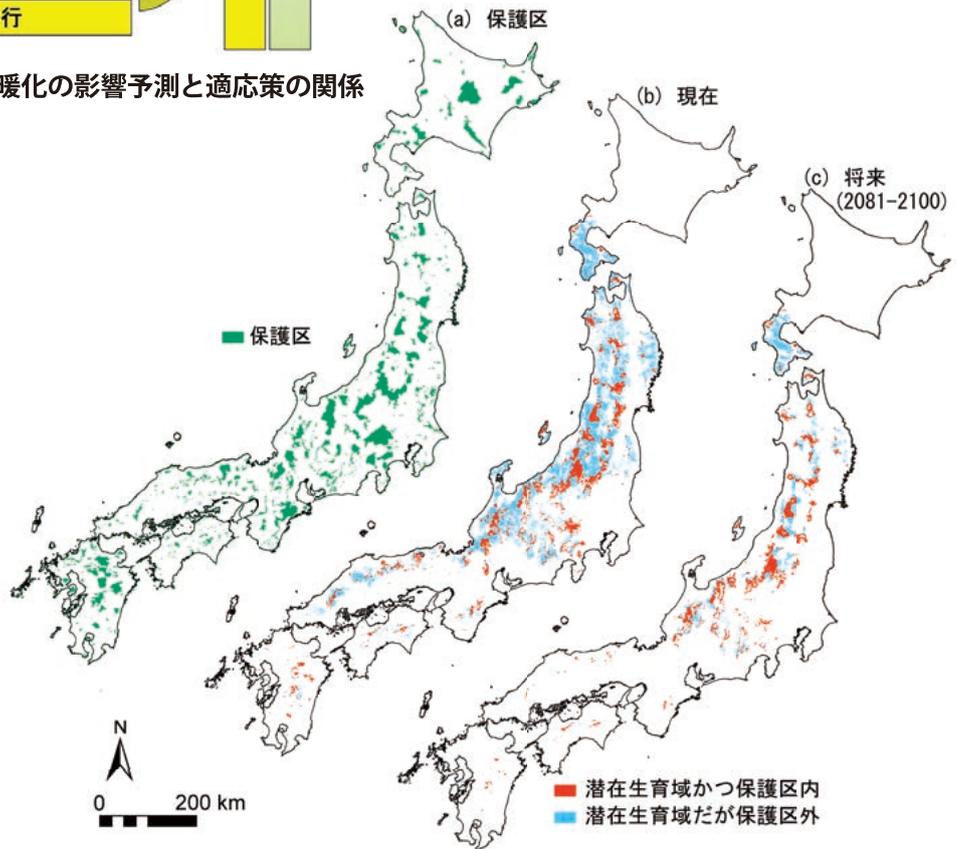


図2 現在および将来のブナの潜在生育域と自然保護区の比較

(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(文献を基に改変)



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。これら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。

## 将来予測からみた森林分野の地球温暖化緩和策 — 木材利用が重要 —

研究コーディネータ	松本 光朗	林業経営・政策研究領域	岡 裕泰、鹿又 秀聡
構造利用研究領域	恒次 祐子	北海道支所	嶋瀬 拓也
四国支所	外崎 真理雄	宮崎大学	光田 靖
東京農工大学	加用 千裕		

### 要 旨

森林分野での温室効果ガスの排出削減や吸収の対策を評価するためには、森林による二酸化炭素の吸収と木材利用による化石燃料からの二酸化炭素の排出削減を同時に考慮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するとともに、温暖化対策の施策シナリオを設定し、将来の森林による吸収量と木材利用による排出削減量を予測しました。その結果、木材生産を増加し木材の利用を促進すると、森林の吸収量は減少する一方で、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、地球温暖化緩和策といいます。森林分野での緩和策には、森林による二酸化炭素の吸収と、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施策シナリオ

これに答えるために、森林、林業、木材利用を関連づけた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策の効果として評価します。ただし、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、中長期的な傾向をみるのに適しています。

また、将来を予測するにあたって、代表的な施策シナリオを開発しました。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す。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つの施策シナリオを用い、2050年ま

での将来予測を行った結果、いずれのシナリオでも森林が排出源になることはなく、シナリオ間の差が小さくなっていくことが分かりました(図3)。

また、2050年の時点の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多くを占めますが、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木材利用が重要であることを示しています。

このように、森林、林業、木材利用を通じた森林セクタ炭素統合モデルを用いることで、森林の吸収量だけでなく、木材利用による排出削減量も含めた、総合的な地球温暖化緩和策を検討することができるようになりました。

本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト「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。

#### 文献

松本光朗(2014) 森林分野のCO<sub>2</sub>吸排出量の将来予測と緩和策、農林水産省平成26年度委託プロジェクト研究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研究成果発表会講演集:3-16



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。

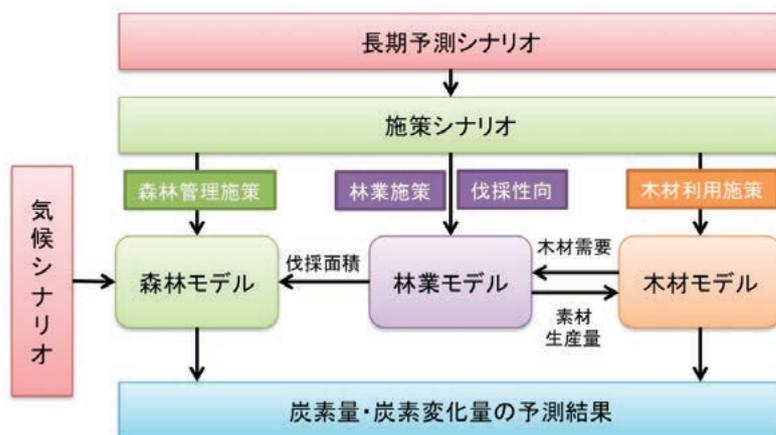


図2 森林、林業、木材利用を通じた森林セクタ炭素統合モデル

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 施策シナリオと具体的な指標

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 <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
基本計画	素材生産量大幅増 2020年3900万m <sup>3</sup> 2030年5000万m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>

将来予測のためのシナリオとその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。

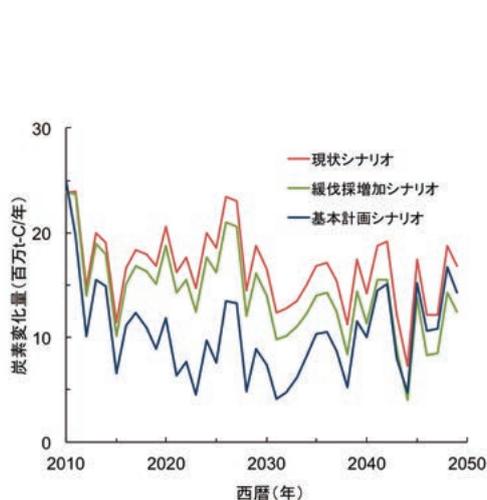


図3 予測された森林と木材利用による炭素変化量

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) の気温と降水量により、毎年の炭素変化量は大きく上下します。

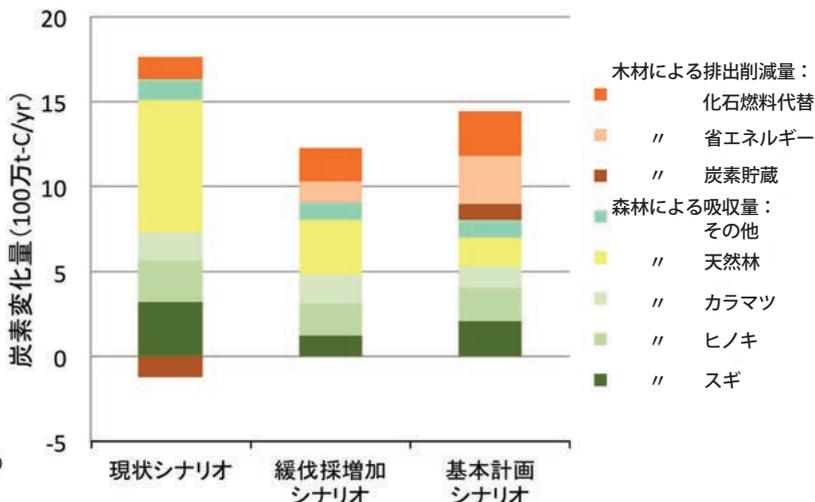


図4 2050年の炭素変化量の将来予測の内訳

現状シナリオでは森林の吸収量がほとんどであるのに対し、木材利用を促進する2つのシナリオでは伐採による森林の吸収量の低下を木材利用による排出削減量がカバーしています。このことは、地球温暖化対策として木材利用が重要であることを示しています。

## 森林減少と劣化を防ぎ、温暖化を防止する

温暖化対応推進拠点	平田 泰雅、鳥山 淳平、門田 有佳子、 ルイス・アルベルト・イスワイラス、齊藤 昌宏
国際連携推進拠点	新山 馨 研究コーディネータ 清野 嘉之
森林植生研究領域	佐藤 保 北海道支所 伊藤 江利子
森林管理研究領域	鷹尾 元、齋藤 英樹、高橋 正義、松浦 俊也
四国支所	大谷 達也

### 要 旨

REDD プラス<sup>※</sup>は、発展途上国における森林の減少や劣化をふせぎ二酸化炭素の排出を削減する取り組みの成果に応じてクレジットを与える仕組みです。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それぞれの森林タイプの単位面積当たりの平均炭素蓄積量とを掛け合わせて国レベルでの森林炭素蓄積量を算定する手法を開発しました。その中で、衛星データ利用を妨げる雲や季節性の問題を軽減する手法を開発し、地域の森林タイプに応じた推定式を作成し、炭素蓄積量の推定精度を向上させることができました。

#### 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、地球温暖化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、国の森林の減少や劣化防止の取り組みの成果に応じてクレジットを与えるため、国レベルでの森林炭素蓄積量の変化を明らかにする必要があります。そこで、熱帯雨林（半島マレーシア）、熱帯季節林（カンボジア）、乾燥林（パラグアイ）を対象として、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を開発しました（図 1）。

#### 森林タイプ別面積の推定

国レベルで森林面積をタイプ別に推定するには、衛星画像の利用が有効です。ただ、宇宙からの広域観測では、どうしても画像のどこかで雲に影響を受けます。特に熱帯雨林ではその影響が顕著です。そこで、大量の Landsat 衛星画像を用い、画素ごとに雲のない時の反射率の変化を分析して雲の下の反射率を推定し、雲のない状態の画像を作成する手法を開発しました（図 2）。

一方、熱帯季節林が生育する地域では、雨季と乾季があり、雲の少ない衛星画像を取得できる乾季には、乾燥の進行とともに落葉が進み、森林タイプの誤分類を生じさせます。そこで、各森林タイプの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 3）。

これらの手法を用い、また過去に撮影された衛星画像を利用することで、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することができました（図 4）。

#### アロメトリ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<sup>※</sup>、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、乾燥林に対するアロメトリ式は、熱帯雨林と比べて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、熱帯季節林と乾燥林に適用できる地下部を含めた精度の高いアロメトリ式を開発しました（図 5）。これらのアロメトリ式を用いることで、地上調査の結果から、森林タイプ別の単位面積当たりの平均炭素蓄積量を推定することが可能になりました。

ここで得られた森林タイプ別の単位面積当たりの平均炭素蓄積量と、衛星画像から得られた国レベルでの森林タイプ別面積を掛け合わせることで、国レベルでの森林炭素蓄積およびその変化量を推定することが可能になりました。

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。

#### 文献

平田泰雅・鷹尾元・佐藤保・鳥山淳平 編 (2012) REDD-plus Cookbook. (独) 森林総合研究所 REDD 研究開発センター, 152pp. 日本語、英語、スペイン語版があります。  
[https://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/cookbook/REDD-plusCookBook\\_20131213.pdf](https://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/cookbook/REDD-plusCookBook_20131213.pdf)

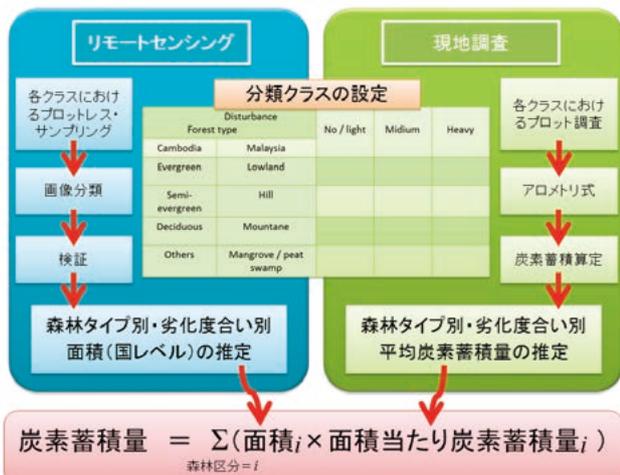


図1 国レベルでの森林の炭素蓄積量を把握する手法の開発

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。

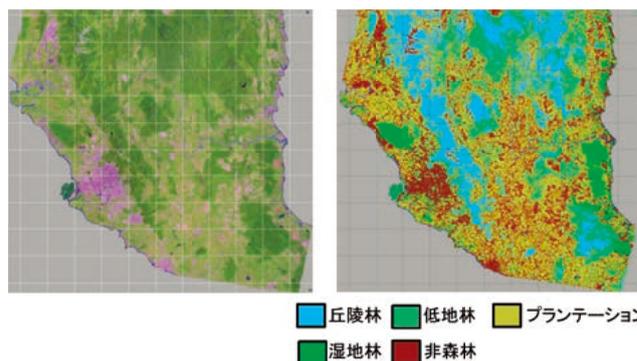


図2 2010年のランドサットの衛星画像(左)と判読した土地被覆分類図(右)

時系列の衛星画像を組み合わせて雲を除去し、雲なし画像から土地被覆分類を推定する技術を開発しました。

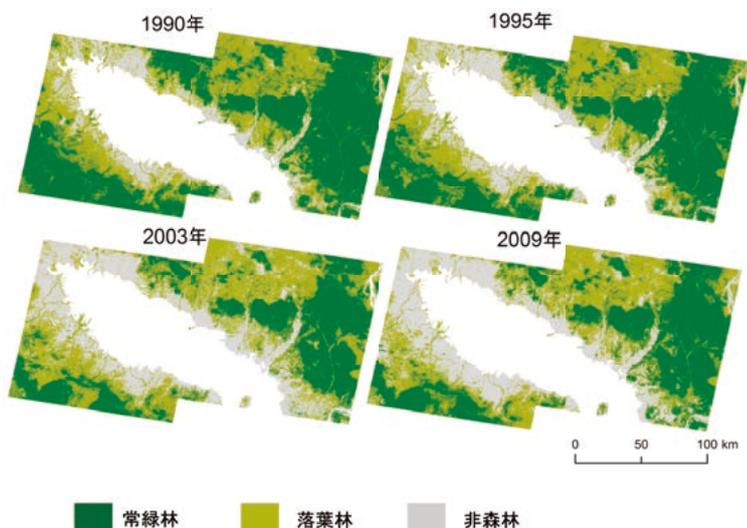


図3 カンボジア中心部の衛星画像で判別した時系列森林分布図

落葉の季節を利用して常緑林と落葉林を区別する技術を開発しました。

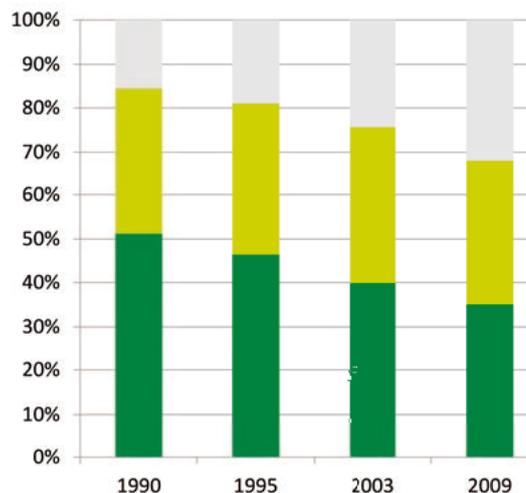


図4 カンボジア中央部の森林面積の変化

衛星画像から1990年以降の急激な森林減少を明らかにしました(凡例は図3と同じです)。



図5 パラグアイでのバイオマス調査の様子

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式を開発しました。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 隠れた伐採も見逃さない —宇宙から森林劣化を監視する—

森林管理研究領域  
北海道支所  
温暖化対応推進拠点

鷹尾 元  
古家 直行  
平田 泰雅

### 要 旨

森林内の一部の樹木が無秩序に伐採されるなどして森林炭素蓄積が低下する「森林劣化」は、森林の持続的利用を妨げる大きな問題ですが、それを広域で把握することはこれまで困難でした。私たちは、時期を変えて撮影した2枚の高分解能衛星画像を比較して、その間に森林内で消失した樹木の樹冠を広域で系統的かつ自動的に抽出する技術を開発しました。この技術を用いてカンボジアの熱帯季節林で検証を行い、一本一本の樹木の消失を抽出することにより、対象地全域で森林劣化が急速に進行していることを明らかにしました。この技術により森林劣化の傾向と原因を究明し、REDD プラス<sup>\*</sup>活動を促進して森林の持続的利用の回復に貢献します。

#### 木が無秩序に伐られて森林が劣化する

「森林劣化」とは、森林内の一部の樹木が無秩序に伐採されるなどして、森林としての姿は残しつつも森林炭素蓄積が低下することを指します。森林資源を持続的に利用し続け、かつ生物多様性の保全など森林の他の機能も維持するためには、科学的に妥当な森林管理計画を関係者の合意のもとに立てて実施する必要があります。しかし、発展途上国には、関係者の合意の無いまま無秩序に、時には違法に伐採が行われ、劣化の進んでいる森林が多くあります。森林の持続的利用を回復するためには、このような森林劣化の現状を正しく把握する必要があります。

#### 宇宙から劣化を監視する

森林が消えてしまう「森林減少」とは異なり、森林劣化はなかなか見つけられませんが、伐られた木のそばまで行かなければ変化がわからないからです(図1)。そこで私たちは、宇宙から一本一本の木の樹冠を見分けることができる高分解能衛星画像を用いて、森林内で消失した樹冠を広域で系統的かつ自動的に抽出する技術を開発しました。

この技術では、テンプレートマッチングという手法を用い、画像上を隈なく走査して樹冠を大きさ別に検出します(図2)。ひとつの森林を異なる時期に撮影した2枚の画像にこの処理を行い、検出結果を比較して古い画像にあった樹冠が新しい画像からなくなった場合には、その樹木は消失したと判定します。

カンボジアの熱帯季節林において、空間分解能が2.5mの人工衛星だいち(ALOS)のPRISM画像を用いて森林劣化の検出を行い、現地の実測データで検証したところ、約76%の検出率で林冠の上層に達した大きな樹木の消失を判定できることが分かりました(図3)。検出されな

かった伐採木の多くは、林冠上部には達していない小さな木で、森林炭素蓄積の変化にはあまり影響のないものでした。木のサイズごとの検出誤差を推定し、その結果を考慮して、研究対象地全域の森林炭素蓄積の減少量を推定したところ、森林面積自体は変化していないにもかかわらず、炭素蓄積の減少が急速に進行していることが明らかになりました。

#### 地域の生活と地球の環境のために

この技術により、地域住民以外には近寄れない奥深くの森林で起きた伐採とそれによる森林劣化を定量的に把握できるようになりました(図4)。この情報は、森林劣化の傾向と原因を究明し、さらなる劣化を未然に防ぐ対策を立てるのに利用できます。そして、REDD プラスと呼ばれる地球温暖化の緩和のために発展途上国の森林を守る活動などを促進して、森林の持続的利用の回復と地域住民の生活向上に貢献します。

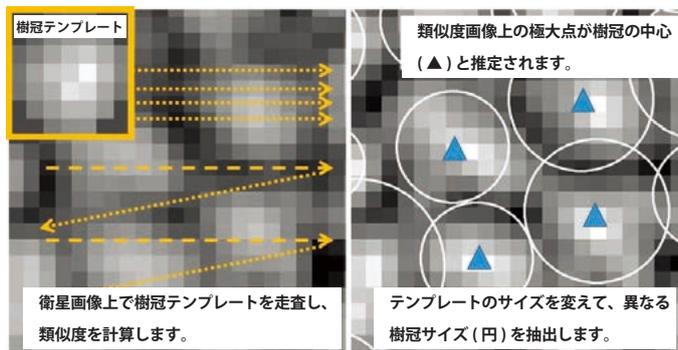
本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト」D-1系「高精度リモートセンシングによるアジア地域熱帯林計測技術の高度化」(平成23～26年度)による成果です。

#### 文献

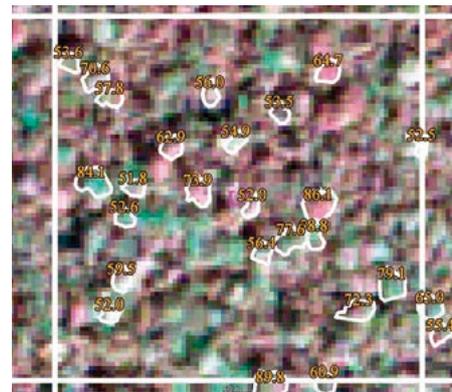
鷹尾元、玉井幸治(2015) REDD プラスのために熱帯林とその炭素蓄積の変化を計測・予測する、農林水産省平成26年度委託プロジェクト研究 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト 研究成果発表会講演集「地球温暖化の中で森林を活かす」: 27-37、森林総合研究所、<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rd-chuukiseika21.html>



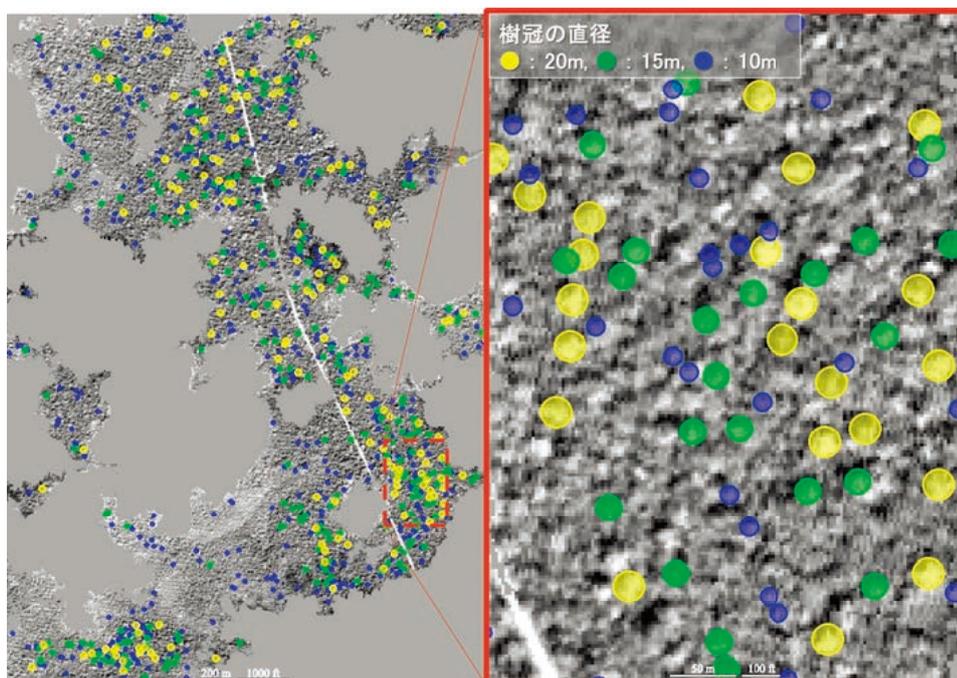
**図1 森林内の抜き伐りの例**  
森林内の抜き伐りを見つけるのは難しい。



**図2 テンプレートマッチングによる樹冠抽出**  
衛星画像の撮影日時の太陽の位置から典型的な樹冠の輝き方を示す樹冠テンプレート画像を作成し、それにうまくあてはまる位置とサイズを画像上で隈なく探します。



**図3 画像上で検出された樹冠の消失**  
画像上で検出された樹冠の消失を現地で検証します。地上で図1のような伐根が確認できれば正しく検出されたことが分かります。現地で伐根のサイズと樹種を確認しました。



**図4 検出された森林劣化**  
点は消失した樹冠の位置とサイズを表します。わずか1年半の間に多くの樹木が伐採されていることが分かりました。また、伐採強度は場所によりまちまちでした。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 台風でも流れにくい放射性セシウム

東北支所  
立地環境研究領域  
水土保持研究領域  
福島県林業研究センター

篠宮 佳樹  
大貫 靖浩、小林 政広  
玉井 幸治、坪山 良夫  
蛭田 利秀（現 福島県森林整備課）

### 要 旨

我が国の森林の多くは雨の多い気候のもと、急峻な山地にあります。東京電力福島第一原子力発電所（以後、福島第一原発）の事故で放射性セシウムが降下した森林では、台風の時に森林から下流に放射性セシウムが大量に流れ出すのではないかと、という心配がありました。そこで私たちは、福島県郡山市の森林に設定した試験地で、2012年の台風4号の大雨時に、渓流水の中に流出する放射性セシウムの量を調査しました。増水時のセシウム137濃度は、流出水量が最大となった時には晴天時の約30倍に上昇しましたが、増水期間を通じたセシウム137の総流出量は、試験流域のセシウム137降下量の0.07%でした。このことから、森林からの（単位面積あたりの）放射性セシウム流出率は、台風の様な大雨の時でもわずかであることが分かりました。

#### 原発事故による放射性セシウムの放出

我が国では水源となる森林の多くは、傾斜が急な山地にあり、台風などの豪雨時には河川が濁流で満たされます。こうしたことから、福島第一原発の事故によって放射性セシウムが降下した森林では、森林に降下した放射性セシウムが台風の時に濁流と共に下流に大量に流れ出すのではないかと、という不安がありました。そこで、福島県の森林に試験地を設け、台風が来た時に集中して渓流水を採水し、森林から流出する放射性セシウムの濃度を調べました。

2012年6月19日から20日にかけて台風4号が通過した際、総雨量168ミリ、1時間当たり最大で34ミリの大雨が降りました。その総雨量は2012年で最大でした。雨の降り始めから雨が止んだ後まで1時間ごとに連続して、その後は少し間隔をあけて合計20回以上渓流水を採集し、セシウム137濃度を測定しました。

#### 渓流水中の放射性セシウム濃度の変動

渓流水のセシウム137濃度と懸濁物質濃度（水の濁り具合の指標）は、流出水量が増えると急激に上昇しました（図1）。1時間当たりの雨量が最大になった時、流出水量も最大になり、セシウム137濃度、懸濁物質濃度も最大になりました。このときセシウム137濃度は、晴天時の濃度の約30倍になっていました。台風が過ぎ去り雨が止んで、流出水量が減り始めると、セシウム137濃度と懸濁物質濃度は、一転して急激に低下しました（写真1）。さらに、増水時でも水に溶けた状態（溶存態）のセシウム137濃度は検出されないか、検出されても極めて低い濃度であることも分かりました。つ

まり、増水時の渓流水に含まれている放射性セシウムは水の濁り成分に主に由来していたのです。

#### 台風に伴う大雨増水時に流出したセシウムの割合

増水の始まり（19日15時）から終わり（20日17時）までの流出水量とセシウム137濃度から、セシウム137流出量を1時間ごとに積算したところ、台風4号にともなう大雨増水で森林1平方メートル当たり72ベクレルのセシウム137が流出したことがわかりました。調査地流域のセシウム137の降下量は、1平方メートル当たり約11万ベクレルと見積もられていますから、この量は調査地に降下したセシウム137の約0.07%に相当します。1回の台風で流出したセシウム137の量は、この地域に降下した量に比べて格段に少なかったのです。

以上のことから、一定の面積あたりで考えた場合、台風による大きな増水であっても森林に降下した放射性セシウムが渓流水を通じて外へ流出する割合は非常にわずかであることがわかりました。

この理由として、森林から流出するセシウム137はほとんどが懸濁物質に由来すること、我が国の森林では植生が繁茂し、地表が落葉で覆われ、かつ土壌の降雨浸透能が高いので、懸濁物質が発生する要因となる雨滴や地表を流れる水流の影響が弱められ、渓流を通じた懸濁物質の流出が少ないことが考えられます。

本研究は、農林水産省農林水産技術会議委託プロジェクト研究費「森林内の放射性物質に由来する影響を低減させる技術の開発」による成果です。

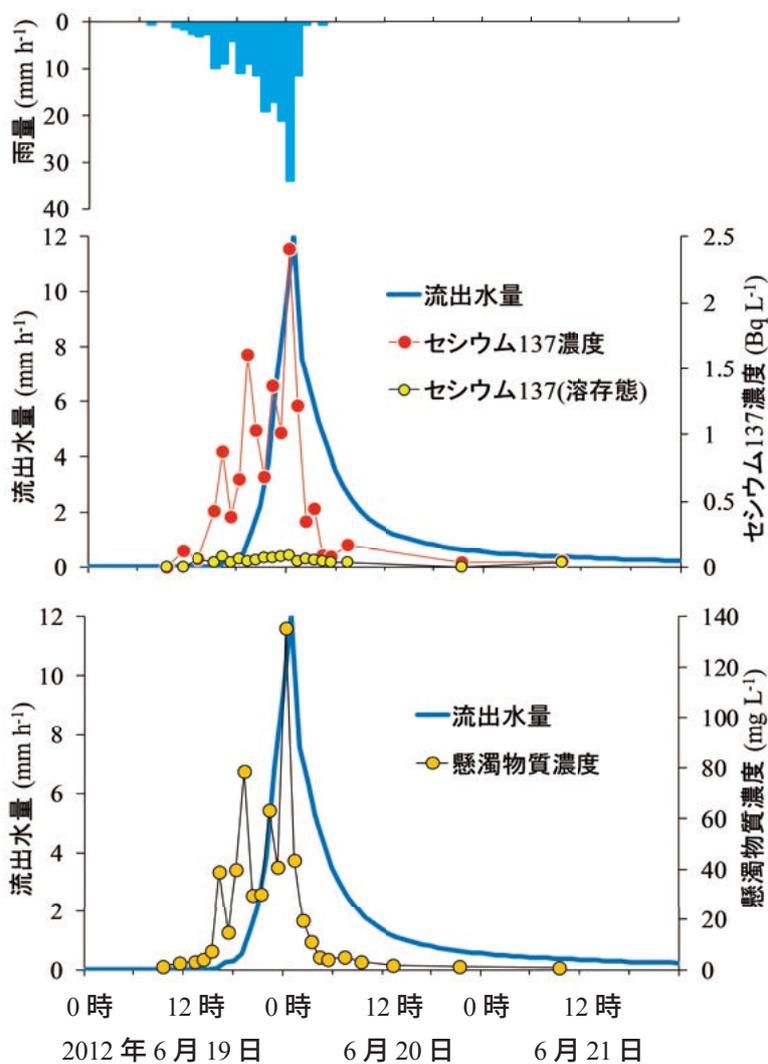


図1 台風に伴う増水時の流出水量、渓流水中のセシウム 137 濃度、懸濁物質濃度の時間変化

渓流水のセシウム 137 濃度と懸濁物質濃度は、流出水量が増えると急激に上昇し、雨が止んで流出水量が減り始めると、今度は一転して急激に低下しました。



写真1 流出水量を観測するための堰

この写真は、図1の雨とは異なりますが、2014年7月の総雨量90ミリの雨が止んだ直後に撮影したものです。流出水量が多くなっていますが、渓流水はほとんど濁っていません。

## 乾燥常緑林では高木が水循環に大きな役割を果たす

水土保持研究領域  
九州支所

玉井 幸治、清水 貴範、飯田 真一  
清水 晃、壁谷 直記

### 要 旨

森林からの蒸散量の減少が大気中の水蒸気量を減少させ、ひいては降水量を減少させている可能性のあることが指摘されています。カンボジアの森林では、乾季にほとんど雨が降らなくても、樹木は土壌深くに保持されている水分を利用して蒸散を続けていることを明らかにしてきました。しかし、このような森林でも、土壌深くまで根を伸ばした大きな樹木（高木）が伐採されると乾季に蒸散を維持できなくなる可能性があります。そこで、カンボジアの森林における高木の伐採が蒸散量変化に及ぼす影響をシミュレーションモデルで推定したところ、乾期の蒸散量が 23% 減少し、葉温（地表面温度）も最大 5℃ 程度増加するという結果が得られ、高木の重要性が明らかになりました。

#### 森林伐採と降水量

陸地に降る雨は、樹木など植物の蒸散や海や湖からの蒸発により、大気へと戻っていきます。大気に戻った水蒸気は、再び雨となって地表に降り注ぎます（図 1）。近年、アマゾンやタイでは降水量の減少が報告されていますが、森林が減少し、森林からの蒸散により大気へと戻る水蒸気量が減少していることが、その一因であるともいわれています。

インドシナ半島の南部に位置するカンボジアには、森林が比較的多く残っていましたが、近年、急速に森林伐採と農地、ゴム林などへの転換が進んでいます（図 2）。そのため、アマゾンやタイと同様に、降水量の減少が危惧されています。そこで、カンボジアの常緑林における伐採後の蒸散量の減少とそれに伴う林冠の葉温（樹木の葉や枝が茂っている部分の温度のことで気象学では「地表面温度」として扱います）の上昇量を予測しました。

#### カンボジアの乾燥常緑林における水循環の特徴

カンボジアには乾季と雨季があります。乾季は 11 月頃から翌年の 4 月頃まで続き、その間に雨はほとんど降りません。カンボジアには、一年を通じて葉をつけ、蒸散と光合成を行っている乾燥常緑林（乾季をもつ地域に分布している常緑林を乾燥常緑林といいます）が広く分布しています。乾季でも盛んに蒸散を行えるのは、大きな樹木（高木）が根を土壌深くまで伸ばし、土壌深部に蓄えられた水分を利用できるためと考えられています。深さ 9m の土壌中にも樹木の根が伸びていることが報告されています。

#### 高木の伐採による蒸散量と葉温（地表面温度）の変化

高さ 20m 以上ある高木は、土壌深部の水分を利用することができます。しかし、高さ数 m の低木は、根が浅く深部土壌中の水分を利用できないため、乾季の蒸散活動が低下することが観測されています。そのため、乾燥常緑林の高木が伐採されると、蒸散によって大気へ戻る水蒸気量が減少し、それに伴う気化熱の減少により葉温（地表面温度）も上昇すると考えられます。

乾季と雨季のそれぞれ 10 日分の気象や土壌水分データなどから、森林が現状で維持された場合と高木が伐採された場合の蒸散量と葉温（地表面温度）とをシミュレーションモデルによって解析しました。その結果、高木がなくなることによって乾季の蒸散量は約 23% にまで減少し（図 3）、それに伴い葉温（地表面温度）も平均で約 2℃ 程度、最大で 4～6℃ 程度上昇するという結果が得られました（図 4）。

カンボジアの森林地域での蒸散量の減少と葉温（地表面温度）の上昇は、雨を降らせる積乱雲などの発生に大きな変化をもたらすと考えられます。この結果は、カンボジアを含むインドシナ半島の降水量の変動を予測するために貢献します。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究（平成 23～26 年度）「アジア地域熱帯林における森林変動の定量評価とシミュレーションモデルの開発」による成果です。

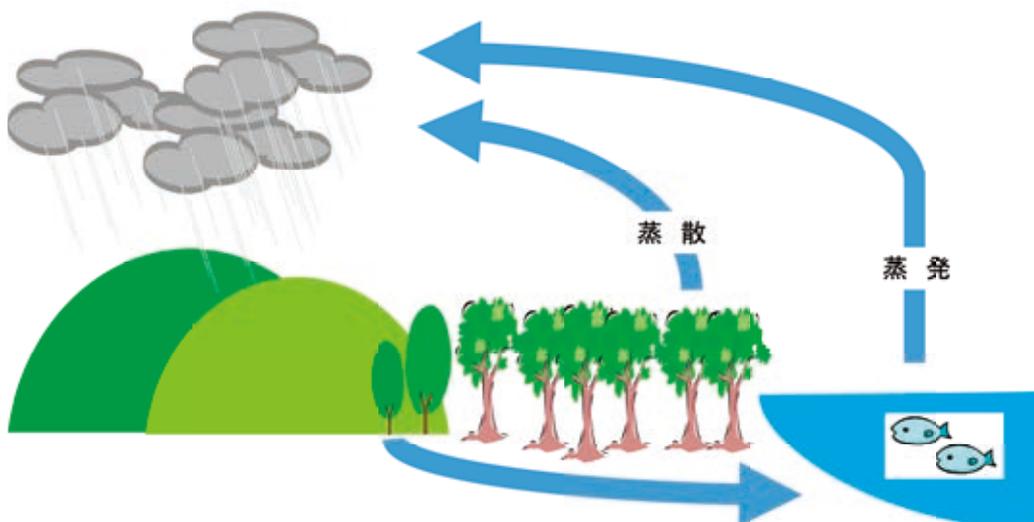


図1 水循環の概念図

陸地に降る雨は、樹木など植物の蒸散や海や湖からの蒸発により、大気へと戻ります。大気に戻った水蒸気は再び雨となって地表に降り注ぎます。



図2 乾燥常緑林が伐採されて農地（左）やゴム林（右）に転換された土地

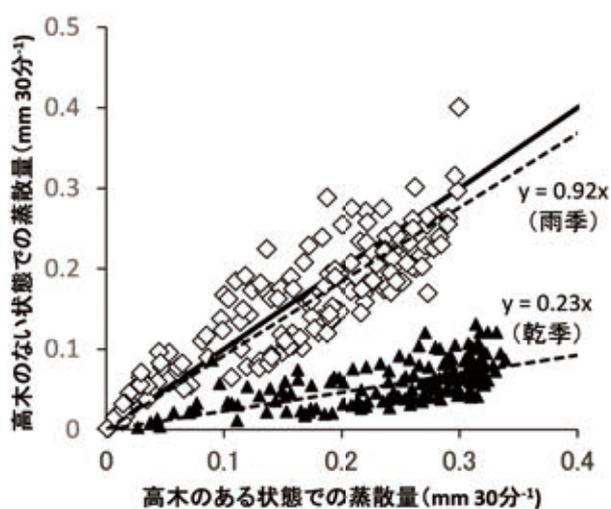


図3 高木のある状態と無い状態での推定蒸散量の比較

◇：雨季、▲：乾季

両者の近似直線（破線）の傾きは乾季で0.23であり、高木が伐採されると蒸散量は1/4以下になります。実線は縦軸と横軸の値が同じ場合です。

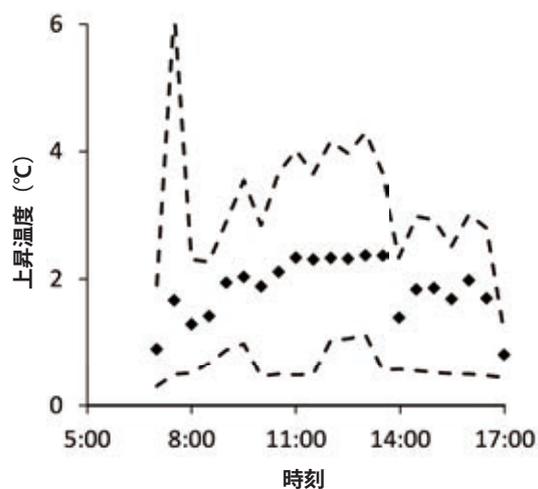


図4 高木伐採による葉温（地表面温度）上昇推定値の日変化（乾季の場合）

◆：平均値、破線：最大値と最小値

11:00～13:00に上昇する温度は、4℃以上になることもあります。

## 樹木の太い根が山崩れを防ぐ

水土保持研究領域  
九州支所

岡田 康彦  
黒川 潮

### 要 旨

平成 22 年の広島県庄原豪雨では約 3km 四方の限られたエリアに 1,000 力所を越える山崩れが発生しました。現場では、崩れの生じた幼齡ヒノキ林に挟まれた無傷の壮齡ヒノキ林がみつかりました。これら二つの林の土壌断面に現れた根の本数、位置、太さなどを調べました。二つの林で根の本数に大きな差はありませんでしたが、根の太さは無傷の壮齡林の方が幼齡林の 2 倍も太く、その結果、斜面を補強する強度が 4 倍程度になると推定されました。斜面の傾斜や土の性質には大きな差が認められなかったことから、壮齡林の太くて補強力の大きい根が、山崩れ防止に効果があったと結論しました。

#### 広島県庄原豪雨災害

2010 年 7 月に梅雨前線の影響により、庄原市の限られたエリアに短期間で 336mm もの降雨があり、1,000 力所を越える山崩れが発生しました。この地域では、年間の平均降水量が 1,467mm であり、その 2 割強に相当する雨が数日で降ったこととなります。山崩れは樹種を限らずいろいろなタイプの森林で発生しました。空中から撮影した写真をみると、山が崩れて地面が剥き出しになった箇所が樹枝状に確認できました（図 1）。崩壊現場を詳細に観察したところ、幼齡ヒノキ林（15 年生）では山が崩れているにも関わらず、これらの幼齡林に挟まれた壮齡ヒノキ林（48 年生）が無傷で残っている現場（図 2）が見つかりました。林齢の違いが崩壊の発生に影響を与えた可能性があるため、詳しい調査を行いました。

#### 樹木の根の調査

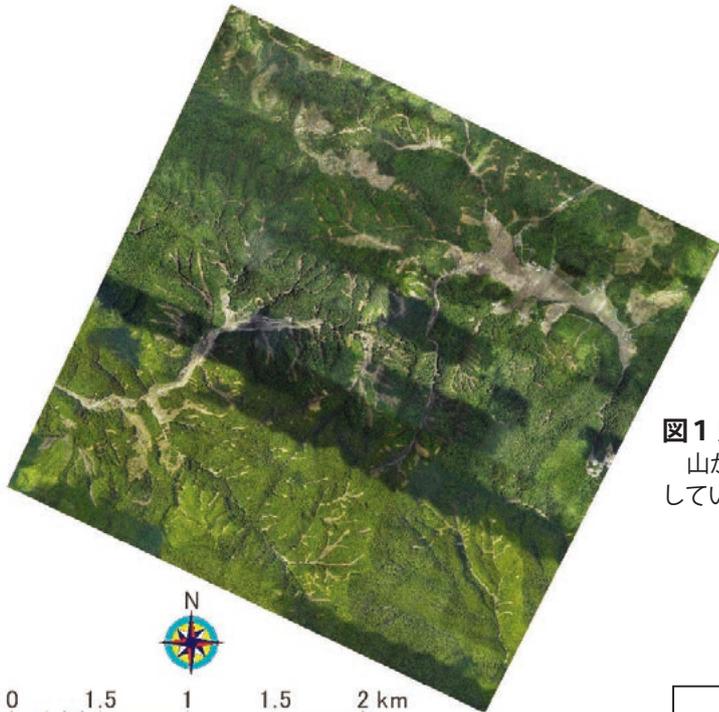
一般に、樹木の根は、斜面を縛るような効果を発揮して山崩れを防ぐと考えられています。そこで、崩壊現場にある幼齡林と壮齡林の二つの林の根を調べて比べることにしました。それぞれの斜面の 2 か所で、縦方向に並ぶ二本の立木（距離は約 1.6m）の中間地点に穴を掘り、幅 1m、深さ 0.7m の断面を作りました。中間地点に穴を掘った理由は、根の量が最小となり、斜面を縛る効果が最も弱い場所と考えられるからです。断面に現れたヒノキ根の位置、太さ、本数、引き抜く時の抵抗などを測りました。また、斜面の性質を調べるため、傾斜や地下水の通りやすさ、土の硬さや破壊のしやすさなども併せて調べました。

#### 太い根が山崩れを防ぐ

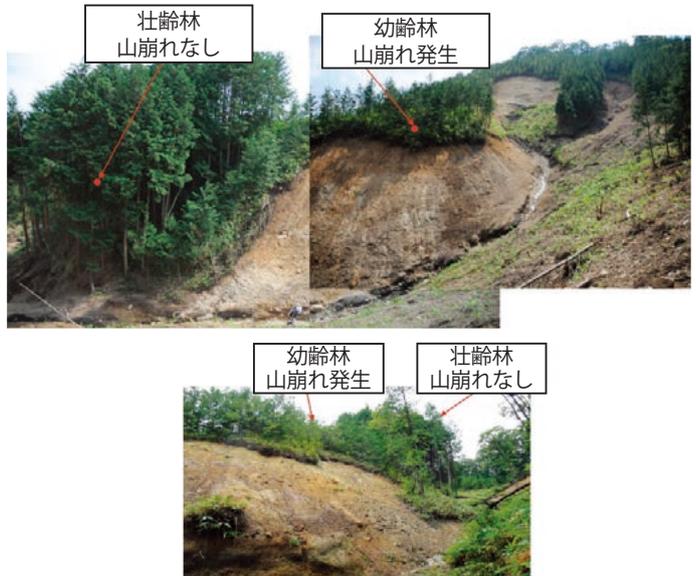
山が崩れた幼齡林と無傷の壮齡林は、両斜面とも傾斜は約 35 度であり、隙間が多く地下水の流れ易い黒色の層が地表から約 35cm 付近までありました。また、その下には相対的に隙間が少なく地下水の流れにくい灰色の層が約 70cm までありました。そして、幼齡林と壮齡林では深さ 70cm 付近の土の硬さや破壊のしやすさに大きな差がないことがわかりました。掘った穴の断面に現れた根の本数は、幼齡林で 37 本と 36 本（平均 36.5 本）、壮齡林では 38 本と 41 本（平均 39.5 本）で大差がありませんでしたが、平均の直径は幼齡林が 2.4mm と 2.5mm であるのに対し、壮齡林では 4.6mm と 5.0mm と、幼齡林の約 2 倍ある（図 3 参照）ことがわかりました。

樹木の根が斜面を補強する力の推定には、根を引き抜く際に発生する抵抗力と根の直径との関係性が広く使われています。庄原市で計測した根の直径とその引き抜き抵抗力との関係も、ヒノキについて従来提案されてきた関係式とほぼ同じになりました。そこで、従来関係式を用いて、穴の断面に現れた根が斜面を補強したと推定される力を算出しました。その結果、根による斜面の補強力は、幼齡林では約 4.7 キロニュートンに留まったのに対し、壮齡林では約 20 キロニュートンと 4 倍程度大きな値になりました。斜面の傾斜や土の性質に大きな違いがないことから、壮齡林では根による斜面の補強力が大きいため山崩れを防いだものと結論しました。

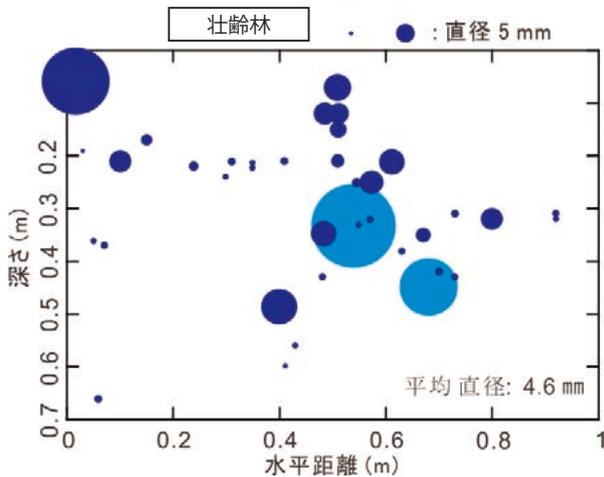
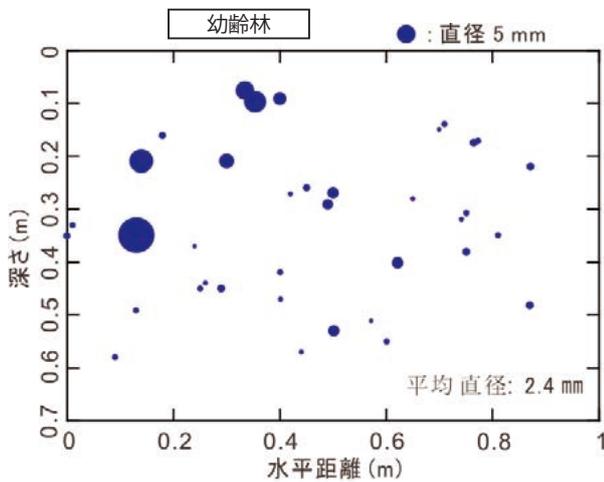
本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト、「新たな「樹木根系の斜面補強機能の数値化技術」の開発」による成果です。



**図1 広島県庄原市豪雨で発生した山崩れの空中写真**  
山が崩れて地面が剥き出しになった箇所が樹枝状に発達している様子が分かります。



**図2 広島県庄原市で発生した山崩れの状況**  
山が崩れた幼齢林と無傷の壮齢林が隣接し（上）、壮齢林のさらに下流側は幼齢林で山が崩れています（下）。



**図3 土壌の断面に現れた根の位置と太さの1例**  
幼齢林では根が細く（上）、壮齢林では太いことが分かります（下）。

## 海岸林が津波を抑える効果と津波に耐える力 —クロマツの密度と広葉樹導入が及ぼす影響—

気象環境研究領域

東北支所

秋田県林業研究研修センター

山形県森林研究研修センター

野口 宏典

坂本 知己

金子 智紀、新田 響平

渡部 公一、上野 満

### 要 旨

2011 年の東日本大震災を契機として、海岸林が津波を抑える効果に対する注目が高まっています。そこで、海岸林の管理（密度管理と下層への広葉樹の導入）が津波を抑える効果に対してどう影響するかを数値シミュレーションによって評価しました。その結果、過密クロマツ林に比べて、密度管理を行なったクロマツ林は、津波を抑える効果は低いものの、より大きな規模の津波に耐えられることが明らかになりました。また、クロマツの下層に導入する広葉樹は、津波への耐性は小さいものの、その存在によってクロマツ林だけの場合よりも津波を抑える効果を高めることを明らかにしました。

#### 津波を抑える効果が高い海岸林とは

東北地方太平洋沖地震津波をきっかけに、海岸林が津波を抑える効果に注目が高まりました。被災した海岸や、将来津波の襲来が懸念される地域の海岸では、海岸林の整備が進められています。整備の現場では、津波を抑える海岸林の効果はどのくらいか、どのような海岸林で効果が高いのかという切実な問いかけがあります。そこで、過密になり細いクロマツ（形状比※ 106）で構成されている林（過密クロマツ林）、密度管理が行われて適正な太さのクロマツ（形状比 60）で構成されている林（管理クロマツ林）、適正な密度のクロマツの下層に広葉樹が導入された林（広葉樹導入クロマツ林）の 3 つの典型的なタイプの海岸林について、津波氾濫流の数値シミュレーションを行い、密度管理と広葉樹の導入がクロマツ林の津波を抑える効果に及ぼす影響を推定しました（表 1）。

#### 管理の異なる海岸林が津波を抑える効果

海岸林が、津波を抑え、水深や線流量※を低下させる効果については、過密クロマツ林と広葉樹導入クロマツ林は同等で、それらに比べて、管理クロマツ林の効果は半分程度であることが分かりました（図 1、図 2）。

#### 樹木の物理的被害の発生しやすさ

同じ規模の津波に対する樹木の物理的被害の発生しやすさは、管理クロマツ林、過密クロマツ林、広葉樹導入クロマツ林の順に大きくなりました（図 3）。ただし、広葉樹導入クロマツ林で被害が発生しやすいのは、主に下層の広葉樹であると考えられます。

#### 密度管理と広葉樹導入の効果

過密クロマツ林に比べて、密度管理を行なったクロマツ林は、津波を抑える効果は低いものの、より大きな規模の津波に耐えられることが明らかになりました。これは、密度管理によって個体が太くなり、耐性が高まったためと考えられます。クロマツの下層に導入する広葉樹は津波への耐性は小さいものの、その存在によってクロマツ林だけの場合よりも津波を抑える効果を高めることを明らかにしました。

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術推進事業（農林水産省）「津波被害軽減効果の高い海岸防災林造成技術の開発」による成果です。

表1 対象とした海岸林の樹高や密度

モデル名	樹高 (m)	胸高直径 (m)	形状比	立木密度 (本/ha)	枝下高 (m)
過密クロマツ	10.1	0.10	106	4033	6.7
管理クロマツ	12.0	0.20	60	730	6.0
広葉樹 (広葉樹導入クロマツ林)	6.0	0.05	120	2500	3.1

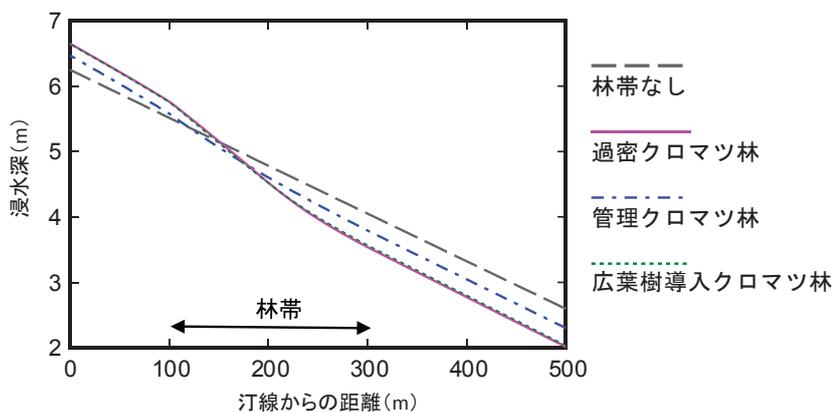


図1 異なるタイプの海岸林を遡上する津波の最高浸水深分布  
林帯より内陸側では、林帯が無い場合よりも浸水深が抑えられています。

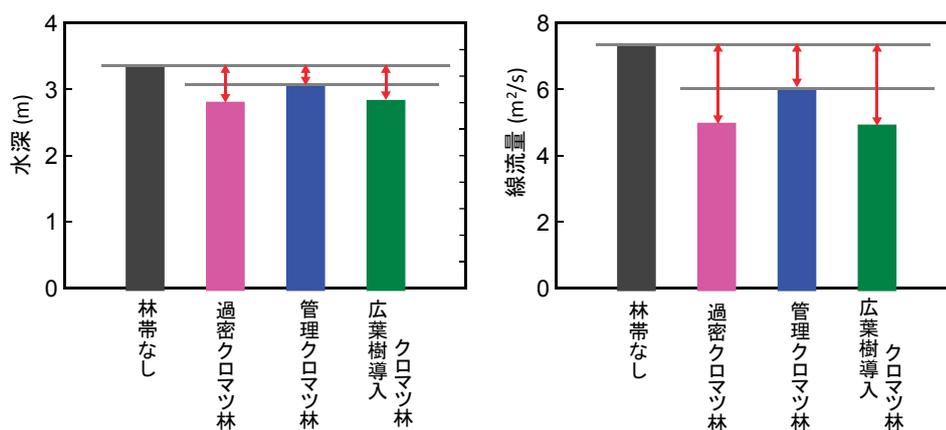


図2 林帯の内陸側での水深（左図）と線流量（右図）

水深、線流量ともに、林帯の存在によって値が抑えられています。管理クロマツ林に比べて、過密クロマツ林、広葉樹導入クロマツ林の方がその効果は大きなものでした。

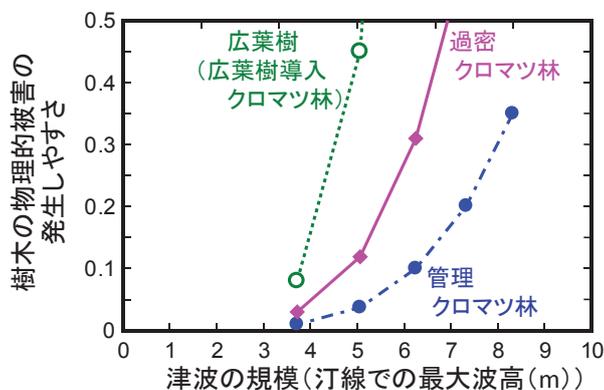


図3 樹木の物理的被害の発生しやすさと津波規模の関係

同じ津波規模に対する被害の発生しやすさは、管理クロマツ林、過密クロマツ林、広葉樹（広葉樹導入クロマツ林）の順に大きくなります。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 大量のおとり丸太でナラ枯れ対策

森林昆虫研究領域  
 関西支所  
 九州支所  
 山形県森林研究研修センター  
 長野県林業総合センター  
 和歌山県林業試験場  
 農業環境技術研究所  
 サンケイ化学株式会社

所 雅彦、北島 博、加賀谷 悦子  
 衣浦 晴生  
 後藤 秀章、近藤 洋史  
 齊藤 正一  
 岡田 充弘  
 栗生 剛、大谷 栄徳  
 山中 武彦  
 吉濱 健

### 要 旨

日本中に広がるナラ枯れを防除するため、ナラ林の一部を伐採し、被害地周辺に大量集積しておとり丸太とし、原因害虫であるカシノナガキクイムシを誘引する防除法を開発しました。おとり丸太は使用後にチップ化、ペレット化して、燃料用、製紙用として利用することにより、これまでの伐倒駆除経費に対して約 90%のコストダウンを達成することができました。さらに伐採後のナラ林は、多様な種からなる広葉樹林に誘導することが可能です。

#### ナラ枯れの被害

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。近年はシイ・カシ類の照葉樹林でも被害が広がり、現在までに 30 都府県で広葉樹資源に損害を与え続けています。

#### ナラ枯れを防除する画期的な方法

ナラ枯れ被害の軽減には、林分内のカシナガの数を大幅に減らすことが必要です。そこで、ナラ林を計画的に伐採し、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

ナラの生立木を春に伐倒し、長さ 2m に切った丸太を、ナラ枯れ被害地近くに 20m<sup>3</sup> 程度に山積みにし（図 1）、この丸太にカシナガを誘引するための集合フェロモン剤を設置しました。丸太からもカシナガの好む匂い成分（カイロモン）が発生しており、これらが合わさってカシナガを多数誘引することができます。中～激害地では、1m<sup>3</sup> あたり 15,000 頭ものカシナガを誘引することができました（図 2）。ミズナラの場合、通常カシナガ 1,000 頭が穿入すると枯れてしまいます。おとり丸太 20m<sup>3</sup>（ナラ約 50 本）で 30 万頭誘引捕獲したカシナガが、健全なナラに穿孔していたら、300 本のナラが枯れていたことになるため、害虫防除により、300 本の枯死を防いだこととなります。

#### 丸太の利活用

カシナガが穿孔したおとり丸太は被害材になってしまいますが、チップやペレットにして燃料用や製紙用原料として利用することができます。チップやペレットからの収入を加えると、20m<sup>3</sup> のナラを伐採して大量集積おとり丸太法を行った場合の駆除経費は、従来の方法で 300 本を伐り倒して処分した場合の駆除経費の約 1 割強でした（図 3）。ただし、カシナガが穿入した丸太は、翌年のカシナガ成虫の羽化脱出前まで遅くとも 5 月中にはチップやペレットにする必要があります。

#### 森林再生

伐採しておとり丸太を採取した林の跡地、18 箇所の稚樹調査では、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満たしていました。この手法で、被害を未然に防ぎ、多様な広葉樹林へと誘導する可能性を示すことができました。

#### 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、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「ナラ枯れ防除の新展開」というマニュアルを作成しました。

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「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」による成果です。



図1 大量集積おとり丸太の設置例

直射日光を避けるため、丸太を寒冷紗※で覆います。丸太の間にフェロモン剤を吊るして、木の匂いと併せてカシナガを誘引します。近くまで飛んできたカシナガによる新たな被害木を増やさないように、被害地付近でナラの木がないスギ林等に設置します。

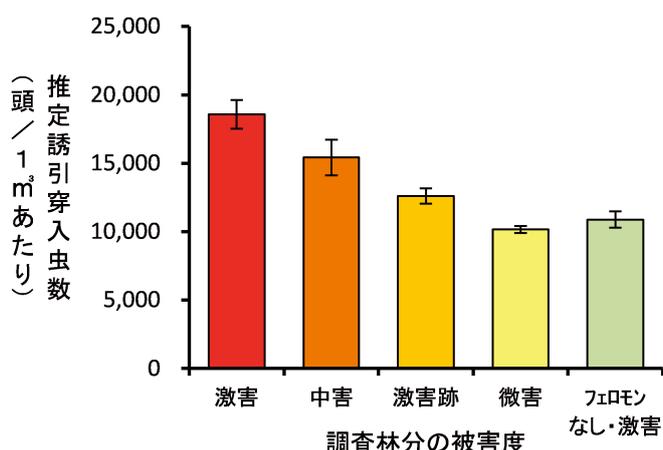
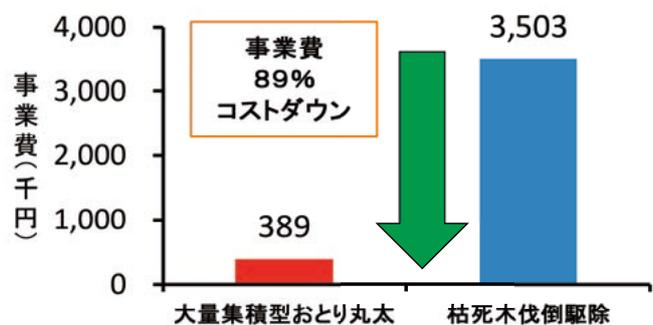


図2 大量集積型おとり丸太へのカシナガ推定穿入虫数

<被害区分>

- 激害：枯死本数 100 本 /ha 以上
- 中害：10 ～ 99 本 /ha
- 微害：10 本 /ha 未満

おとり丸太 1 m<sup>3</sup> に、激害林分で約 18,000 個体、微害林分で約 11,000 個体の成虫が穿孔し、丸太 20m<sup>3</sup> で約 30 万個体以上の成虫を駆除できました。ミズナラ 1 本に約 1,000 個体の成虫が穿孔すると枯死するため、30 万頭駆除でミズナラ 300 本分の枯死を防ぐことになります。



事業数量	健全丸太20m <sup>3</sup>	枯死木300本(114m <sup>3</sup> )
事業費単価	22,075円/m <sup>3</sup>	30,727円/m <sup>3</sup>
チップ販売6m <sup>3</sup>	8,700円/m <sup>3</sup>	—

図3 大量集積型おとり丸太法と伐倒駆除の経費比較

枯死木丸太 1 m<sup>3</sup> の伐倒駆除に約 3 万 1 千円かかり、駆除した 30 万頭のカシナガが枯損させる 300 本分は約 114m<sup>3</sup> で約 350 万円の経費がかかりますが、大量集積おとり丸太 20m<sup>3</sup> の経費は、チップ等販売収入を差し引いて約 39 万円になり、89%のコストダウンとなることが分かりました。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 忍び猟でシカを減らす

研究コーディネータ

静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

静岡森林管理署

NPO法人若葉

小泉 透

大橋 正孝

枝澤 修、松坂 勝士

早川 五男、岩崎 秀志

### 要 旨

シカは全国で約 300 万頭が生息し、その数は今後も増加すると予想されています。一方、捕獲の担い手である狩猟免許所持者数はこの 30 年間で半分に減少し、この傾向は今後も続くとされています。そこで、富士山麓の国有林を管理する静岡森林管理署管内で少人数で効率よく確実にシカを減らす方法として、2012 年から忍び猟によるシカ管理を始めました。あらかじめ捕獲する場所を決め（約 14km<sup>2</sup>）、2 名の捕獲者が 4 ヶ月間忍び猟を繰り返してシカを捕獲することにより、3 年間でシカを約 600 頭捕獲し、シカの出現頻度を半分程度まで減少させることができました。また、捕獲者 1 人 1 日あたりの捕獲数は 0.77 ～ 1.44 頭と捕獲効率も非常に高いことが分かりました。

#### 増えるシカと減るハンター

シカは国土の 50%以上に生息し、個体数は約 300 万頭に達すると推定されています。毎年 40 万頭以上が捕獲されているにも関わらず、今後も個体数は増加すると予測されています。一方、これまでシカ捕獲の担い手であった狩猟免許所持者の数は、平成 24 年度には全国で約 18 万人と 30 年前の半分に減ってしまいました。

#### 巻き猟と忍び猟

ハンターが減った結果、伝統的に行われてきた巻き猟（巻き狩り）によるシカ捕獲ができなくなってしまう地域もでてきました。巻き猟は、隠れているシカを追い出す勢子（せこ）と追い出されたシカを銃器で撃ちとる待ち手に分かれて行うグループ捕獲です。1つのグループの人数は、捕獲目的や場所により異なりますが、10名程度が一般的で、これに 3～5 頭の猟犬が勢子に加わります。

これに対して、忍び猟は捕獲者が単独でシカの痕跡をたどって追跡し、双眼鏡などで捜しながらシカに気づかれないように忍び寄って銃器で捕獲します。日本では巻き猟ほどに一般的ではありませんが、忍び猟は全国各地で行われています。

#### 忍び猟の効率

富士山国有林を管理する静岡森林管理署では、人穴地区（静岡県富士宮市）の約 14km<sup>2</sup>に捕獲地域を定め（図 1）、2012 年から 2 名の捕獲者が毎年約 3～4 ヶ月間忍び猟によるシカ捕獲を行っています。単独または 3 頭以下の群れの場合のみ捕獲することとし、2012 年は 8～11 月の 96 日間で 277 頭、2013 年は 8～12 月の 118

日間で 189 頭、2014 年は 10～12 月の 86 日間で 133 頭を捕獲しました。捕獲効率は（捕獲者 1 人 1 日あたりの捕獲数）は 0.77～1.44 頭/人日となり（図 2）、2012 年に近隣地区で行われた巻き猟（0.24 頭/人日）より高い結果となりました。

#### 忍び猟の効果

捕獲の効果を測定するため、捕獲地域を 1km メッシュに分割し、それぞれのメッシュに 2 台ずつ合計 31 台のセンサーカメラを設置し（図 1）、毎年捕獲が始まる前の 9 日間シカの通過頻度を測定しました（図 3）。総通過数は、2012 年 153 頭、2013 年 79 頭、2014 年 70 頭と減少し（図 4）、同一地点の比較でも 2012 年と 2014 年では通過数が有意に減少していることがわかりました。忍び猟は、シカの行動をかく乱しないように単独または少数の群れだけを繰り返し除去することから、大きな群れができない地域や季節にシカの数減らす有効な捕獲方法といえます。

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（2011～2014 年度）」、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「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（2014～2015 年度）」による成果です。

なお、シカの捕獲は「ニホンジカとの共存に向けた生息環境等整備モデル事業（富士宮市鳥獣被害防止対策協議会）」「富士山地区造林請負事業（静岡森林管理署）」により実施されました。

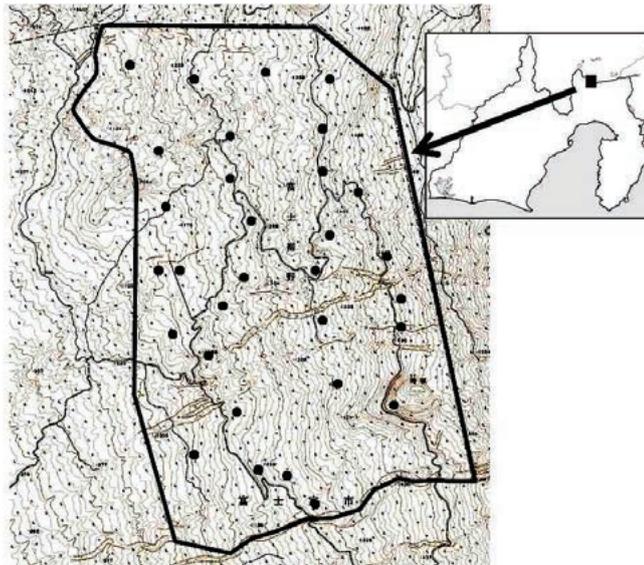


図1 捕獲地域（調査地）位置図  
黒丸はセンサーカメラの位置を示しています。

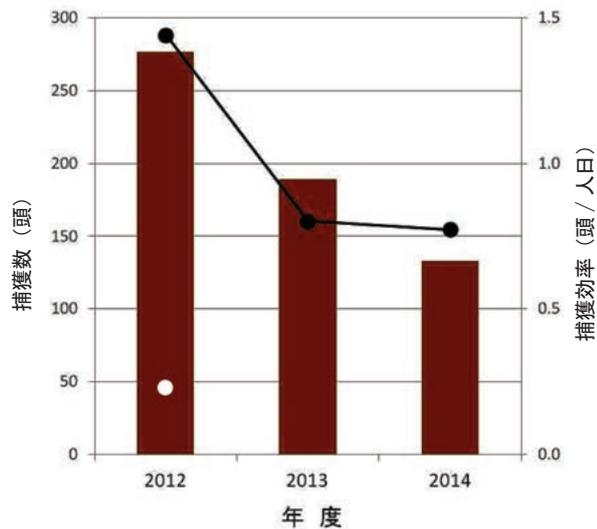


図2 捕獲数（棒グラフ）と捕獲効率（折れ線グラフ）の変化（2012～2014年度）

図3 センサーカメラに撮影されたシカ

白丸は巻き猫の捕獲効率を示しています。

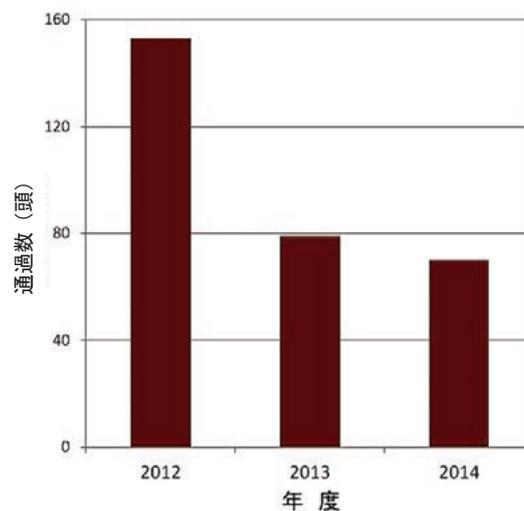


図4 捕獲前9日間のシカ通過数の変化（2012～2014年度）

## 動くオスが遺伝子の多様性を守る

関西支所

石橋 靖幸

### 要 旨

一般に、遺伝子の多様性が低下した集団は絶滅しやすくなるため、生物集団の存続には遺伝子の多様性の維持が重要です。森林に住むエゾヤチネズミのミトコンドリア DNA の多様性の維持にオスとメスの行動の違いが果たす役割を調べたところ、生誕地からあまり動かないメスは、よく移動するオスと比べて場所ごとの多様性が低く、また地域全体をみると、オスに比べて遺伝子の変異の分布が不均一で偏っていました。集団全体の多様性は、オスの移動によって維持されているのです。他の多くの哺乳類でもメスはあまり動かず、オスだけがよく移動します。哺乳類の遺伝的多様性を保全するには、オスが移動できるような環境にすることが重要です。

#### 遺伝的多様性を保全するために

各地で森林の分断が進み、森林に依存して生きる生物のなかには移動できず、狭い地域に閉じ込められているものがあります。森林の分断によって生じた小さい集団では、他の集団との交流がなければ、生物多様性の要素である遺伝子の多様性が次第に低下します。野生生物の遺伝的多様性を保全するためには、個体の移動が多様性の維持にどのように働くのか明らかにする必要があります。そこで、エゾヤチネズミ（写真1）をモデル動物として、生息環境の分断化が進んでいない場所で、雌雄の分散行動が遺伝子の多様性にどのように影響を与えるかを調べました。

#### 雌雄で異なる変異体の分布

海岸林内に2 km に渡って直線的に設置した8つの捕獲区（図1）でエゾヤチネズミ 161 頭を捕獲しました。その筋肉細胞にあるミトコンドリア DNA の塩基配列の一部（約700塩基対）を解読したところ（図2）、異なる配列を持つ変異体が18種類見つかりました。どの捕獲区もオスの方で変異体の種類が多く、メスよりも遺伝的な多様性が高いことがわかりました（図3）。また、変異体の構成の違いを捕獲区の間で調べたところ、メスの方が捕獲区の間での違いが大きく、変異体が林内で不

均一で偏った分布をしていること、それとは対照的にオスでは均一に分布していることがわかりました（図4）。

ミトコンドリア DNA は母親のものだけが子へ遺伝し、父親のものは遺伝しません。どの捕獲区でもオスの多様性がメスより高いということは、生息地が分断されていないこの海岸林では、様々な母親由来のオスが散らばり、各捕獲区に移動したことを意味しています。一方、メスは生誕地の近くに留まるため、捕獲区内では遺伝的に均質化し、多様性も低くなると考えられます。

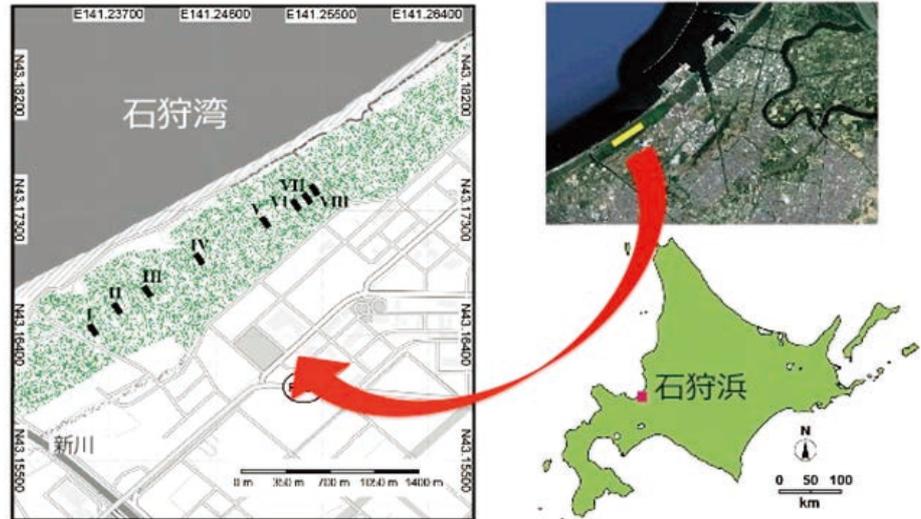
#### 研究の成果が示すこと

多くの哺乳類では、メスは生誕地の近くに留まり、オスは離れたところに移動して繁殖します。この研究の結果は、遺伝的多様性が低い哺乳類の孤立した集団（例えば、西中国山地のツキノワグマ）の多様性を上げるには、まずオスが移動できる経路を作ることで、他の集団との交流を促す必要があることを示しています。

本研究は、科学研究費補助金「エゾヤチネズミ個体群の遺伝的空間構造形成に関わる個体数変動と分散行動の効果」（22370006）による成果です。詳細は Journal of Heredity 104 : 718–724(2013) をご覧ください。

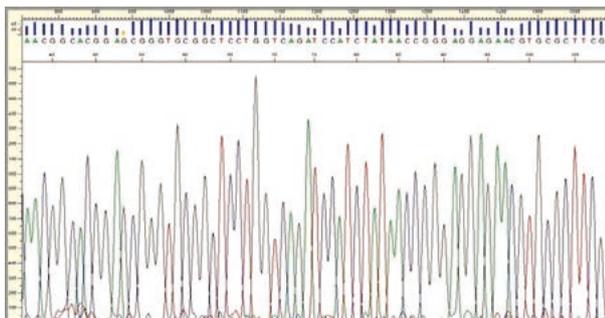


**写真1 エゾヤチネズミ**  
北海道に生息する40グラム程度  
の野ネズミ。

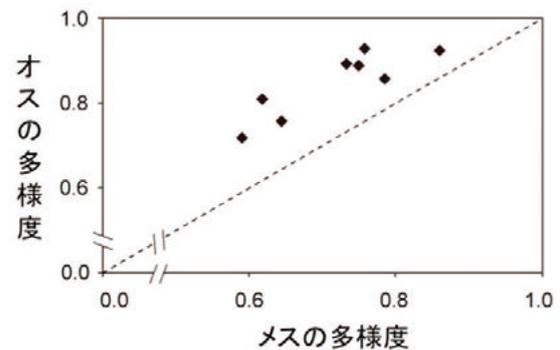


**図1 調査地**

石狩湾に面した海岸林内に0.5ヘクタールの広さの捕獲区を直線状に8つ設置してネズミを捕獲しました。(左: 黒い四角が捕獲区)。最も離れた捕獲区は2kmほど離れています。

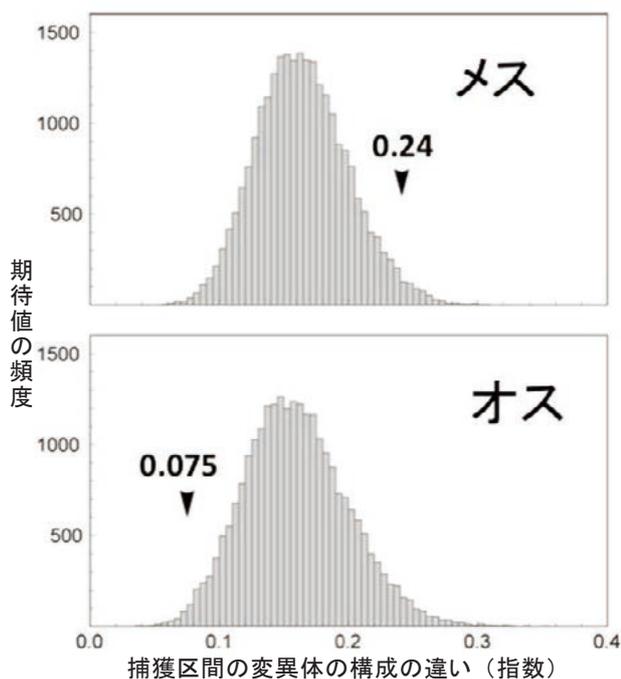


**図2 ミトコンドリア DNA の塩基配列の解読例**  
161個体を調べて18種類の変異体が観察されました。



**図3 各捕獲区における遺伝子多様度のオスとメスの比較**

全ての点が点線よりも上にあるので、どの捕獲区もメスよりオスの多様性が高いことがわかります。



**図4 捕獲区間の変異体の構成の違い (指数)**

捕獲区間でのミトコンドリア DNA 変異体の構成の違いを表す指数の実際の観察値 (矢印の数字) と調査地全体でランダムに分布する場合の期待値の分布 (ヒストグラム)。

指数が大きいほど捕獲区間の違いが大きいことを表します。メスでは観察値が期待値の分布の右端に近く、変異体がとても不均一で偏って分布していたことがわかります。逆にオスでは期待値の左端に近く、均一に分布していたことがわかります。

## 樹木の種子豊凶のカギは窒素

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

ブナなど多くの樹木で種子生産が大きく年変動する現象（結実豊凶）は古くから知られています。しかし、その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が示されました。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。

#### ブナの結実豊凶現象

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、身近な話題にもものぼる樹木の結実豊凶現象（図 1、マスティングとも呼ばれます）ですが、堅果を作るのに必要な樹体内の貯蔵資源（炭水化物）の蓄積と消費のバランスがこの現象を引き起こすという説明（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した。そこで私たちはブナにおける樹体内の貯蔵資源の動きと各器官がどのようにその資源を利用しているかを分析して、結実豊凶現象に関与する炭素・窒素資源の役割を探りました。

#### 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、上記の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、堅果生産にどちらの炭素資源が使われる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、当年の光合成生産物と区別できるように工夫しました。その結果、堅果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物であることを初めて実験的に明らかにしました（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に直接関わる資源ではないことを示しています。では何が、結実豊凶の引き金になるのでしょうか。堅果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ではないかと疑われます。堅果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堅果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堅果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、翌年に凶作になることがわかりました。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結実豊凶現象のメカニズムが、次第に明らかになりつつあります。

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、科学研究費補助金「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 *et al.* (2008) *Tree Physiology* 28 : 1269-1276、Han *et al.* (2014) *Oecologia* 174 : 679-687、Hoch *et al.* (2013) *Oecologia* 171 : 653-662 をご覧ください。

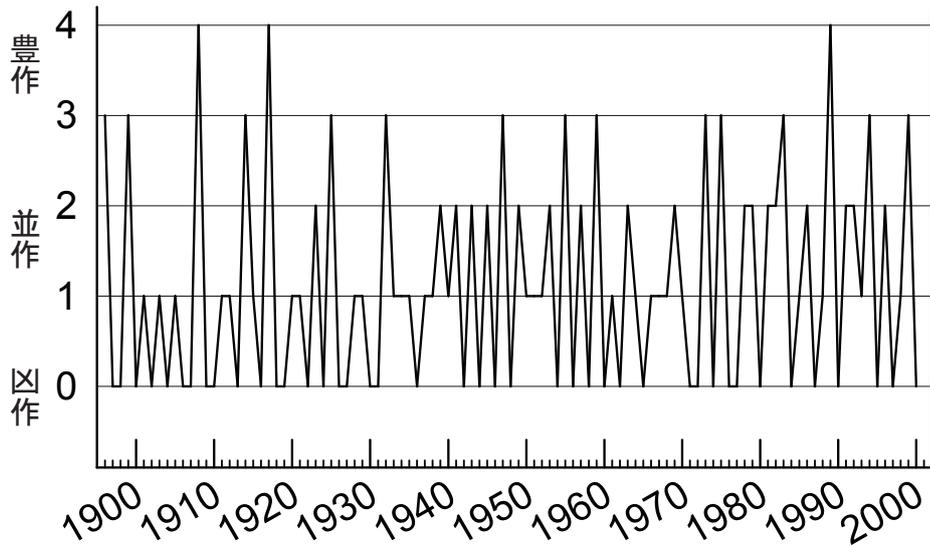


図1 ヨーロッパブナの100年以上にわたる結実量の変化

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ィングと呼びます。

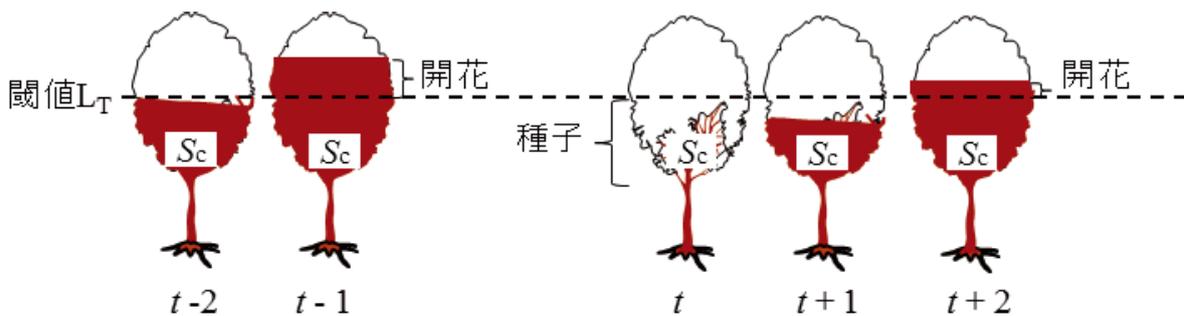


図2 従来提唱されてきた資源収支モデル

毎年の光合成生産のうち、その年 ( $t-2$ ) 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 ( $Sc$ ) 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1年以上かかる結果、結実豊凶が起きるとされています。

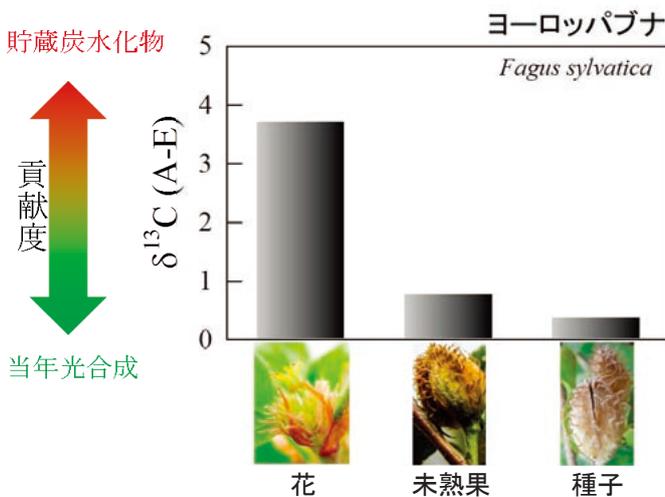


図3 種子生産の炭素源

各発達段階における繁殖器官の安定同位体比の変化を示しています。縦軸の値が大きくなるほど貯蔵炭水化物の種子生産への貢献度が大きくなります。

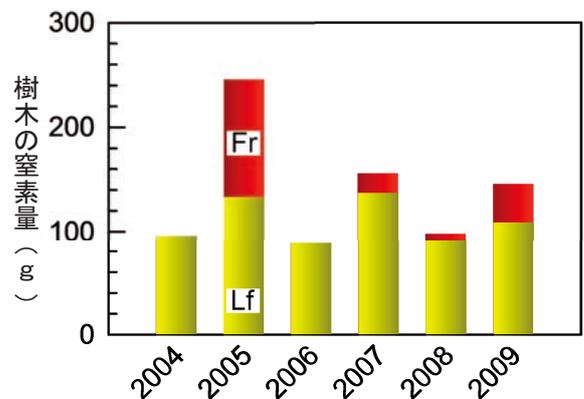


図4 ブナ個体あたりの種子 (Fr) と葉 (Lf) の窒素量

## 心材の含水率が低いトドマツ品種の開発

北海道育種場  
林木育種センター

田村 明、中田 了五、福田 陽子、矢野 慶介  
井城 泰一、生方 正俊、山田 浩雄

### 要 旨

トドマツは、北海道では最も蓄積が多い樹種です。カラマツに次いで主伐期を迎えつつあり、造林量もカラマツに次ぐ北海道の主要な造林樹種です。ただし、トドマツには高い含水率の心材をもつ「水食い材」がみられることがあり、乾燥等のコストがかかるため、材の利用価値を低下させる原因になっています。北海道の西部地域で遺伝的に心材含水率が少ない「材質優良トドマツ品種」5 品種を開発しました。これらの品種から生産される種苗で造林を行うことによって、将来の乾燥等のコスト削減と材の高付加価値化が期待できます。

#### 水食い材とは

何らかの原因で多量の水分が心材に集積している材のことを、水食い材といいます。冬季にトドマツを伐採した木口をみると、水分が集積した部分（水食い）が大きい個体の心材は、銜色の部分が多くなっているのに対して、水食いがほとんどない材の心材は、乾いて白い部分が多くなっています（写真 1）。

#### トドマツの現状と品種開発の必要性

トドマツ材の利用は約 6 割が建築用であり、残り 4 割がパルプチップ用です。建築用では、その約 6 割が羽柄材<sup>※</sup>や板類として利用されています。その理由は、トドマツの心材では、含水率の高い水食い材が生じることがあるため、小断面で乾燥しやすい羽柄材のような板類で利用の方が有利だからです。また、水食い材の程度が激しいとパルプチップ用の丸太としての利用となり、市場価格が、1m<sup>3</sup> 当たり 4,000～5,000 円程度で建築用の丸太の半額以下となってしまいます。このため、伐採による収入が低下し、森林所有者の伐採跡地の再造林意欲を著しく損ねるリスクもあります。このようなことから、トドマツの水食い材の欠点を改良することができれば、トドマツを付加価値の高い用途で利用できるようになり、持続的な林業経営と人工林材の安定供給、木材産業の振興に貢献することができると考えられます。

#### 水食い材の低減に向けた「材質優良トドマツ品種」の開発

心材含水率は伐倒しないと測定できません。そこで、まず、立木状態で非破壊的にトドマツの心材含水率を推定する方法を開発しました（写真 2）。次に、この方法を使って北海道の西部地域にある約 25 年生の精英樹<sup>※</sup>の実生検定林 3 カ所にある 86 家系 1,395 本の心材含水率を測定し、精英樹ごとの心材含水率を求めました。これに、樹高と胸高直径<sup>※</sup>の成長データの解析結果を併せて、心材含水率が小さく成長が平均以上の精英樹を「材質優良トドマツ品種」として 5 品種開発しました（表 1）。

#### 開発された品種の改良効果と利用

開発品種から生産された種苗を使うことで、どの程度心材含水率が改良されるかを試算してみました（表 1）。この結果、最大 12%の改良効果があると試算されました。また、開発品種を活用した山作りを行うことにより、造林地における「水食い材」の割合が相当小さくなるとの予備的な試算結果が得られています。今回の品種開発は、林業経営の改善につながるとともに、今後人工乾燥（KD）材<sup>※</sup>が主流となる中で、製材工場等の経営改善にも貢献できると期待しています。

また、表 1 には、開発品種が植栽されている採種園を記載しました。これらの採種園において開発品種から種子を選択的に採取することによって、開発品種の種苗の普及を開始できると考えています。

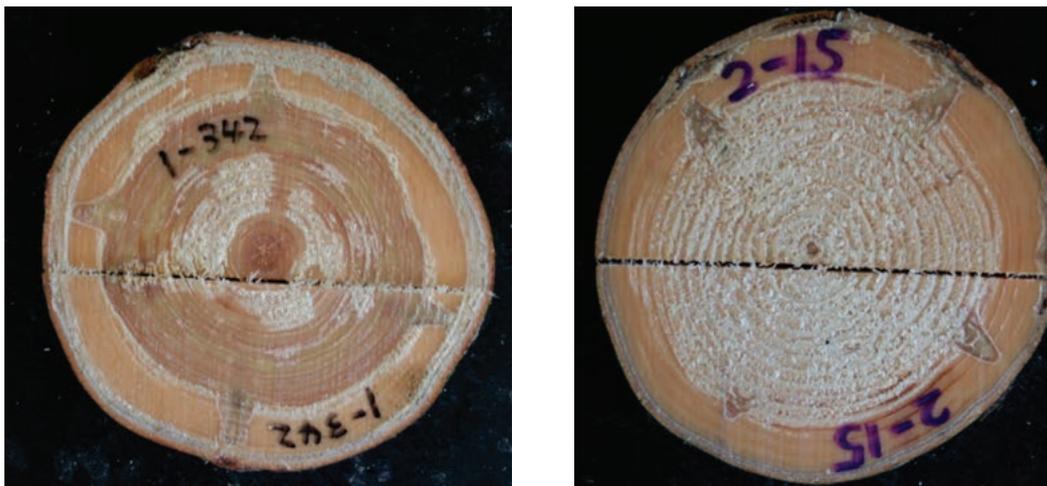


写真1 トドマツの木口

左の個体は水食いの部分が広く、心材含水率は200%です。  
右の個体は水食いの部分が狭く、心材含水率は60%です。



写真2 立木状態で非破壊的に心材含水率を推定している様子

ハンマーで打撃したときの共振周波数と打撃した横断面の直径を使って心材含水率を推定します。

表1 材質優良トドマツの各品種の心材含水率の改良効果と採種が可能な採種園

精英樹	心材含水率の 推定改良効果(%)	開発品種がある採種園		
定山溪 101号	-6	新和(6)	銀山(14)	発足(3)
白老 8号	-12	新和(21)	銀山(17)	発足(18)
大夕張 110号	-8	新和(16)	銀山(15)	発足(7)
芦別 102号	-3	新和(3)	銀山(13)	塩狩(8)
俄虫 104号	-7	銀山(11)	発足(44)	
平均値	-7			

注) ( )内の数値は、採種できる最大本数

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## スギの生育環境への適応性の評価

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

### 要 旨

林木では、林業種苗法において、種苗を配布できる地域（配布区域）の範囲と配布区域間の移動方向が定められています。メッシュ気候値※データを解析したところ、全国の気象環境の違いは、現在のスギ種苗配布区域の区域分けとほぼ一致していることが明らかになりました。また、地理情報システム (GIS) ※を用いた解析手法により、次代検定林の調査データと地理情報を統合的に解析した結果、異なる気象環境にスギを植栽した場合の成長速度は、冷涼環境から温暖環境、多雪環境から温暖・寡雪環境へと種苗を移動した場合は同等またはそれ以上であるのに対し、逆方向に移動した場合には成長速度が低下することが分かりました。このことは、種苗の配布区域間の移動方向にほぼ一致しています。

#### 種苗配布区域

異なる環境に種苗を移動すると苗の成長に悪影響を与えるおそれがあるため、林業種苗法では、環境条件などに基づき全国を区分し、種苗を採取または育成した区域から種苗を配布してもよい区域を定めています。スギでは、環境条件や天然分布の情報をもとに、種苗配布区域が 1934 年に設定され、現在では全国が 7 つの種苗配布区域に区分されています (図 1)。

#### 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など、メッシュ気候値データの 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最適と分かりました。各メッシュがどの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。これらの区分は精英樹※を様々な地域や環境に植栽して、その遺伝的特性や環境適応性を検討する「次代検定林」の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みられます。また、現在のスギ種苗配布区域の境界線と比べても、ほぼ一致していることが分かりました (図 2)。

#### 異なる環境へのスギの適応

5 つの環境区分において、気象庁が公開しているメッシュ気候値データと次代検定林のスギ精英樹のデータ及び次代検定林の位置データを地理情報システム (GIS)

で統合して解析することにより、ある環境区分出身のスギ精英樹を異なる環境区分に植栽した場合の成長を比較することができます。樹高成長についてみると、①、②の冷涼環境出身の精英樹は、③、④の温暖環境へ移動すると成長が同等か向上する傾向があります。これに対して③、④の温暖環境出身の精英樹は、冷涼環境へ移動すると成長が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⑤出身の精英樹は、より温暖で寡雪環境である③、④へ移動すると成長が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の考え方とほぼ一致していることが分かりました。

#### 広域での共通系統植栽試験

日本全国から選定したスギ 27 精英樹から育成したさし木苗木を共通の材料として、全国 9 力所の比較的環境が均質な苗畑試験地に植栽して、実際に初期成長を調べたところ、5 環境区分の間での移動について、上記の GIS システムによる解析結果と同様の初期成長の傾向を示すことが分かりました。

本研究により、スギについて種苗配布区域を実際の植栽試験 (検定林及び広域系統植栽試験) の結果を基に実証的に検討することができました。

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)」のうち「造林木の生育環境への適応性の評価」による成果です。

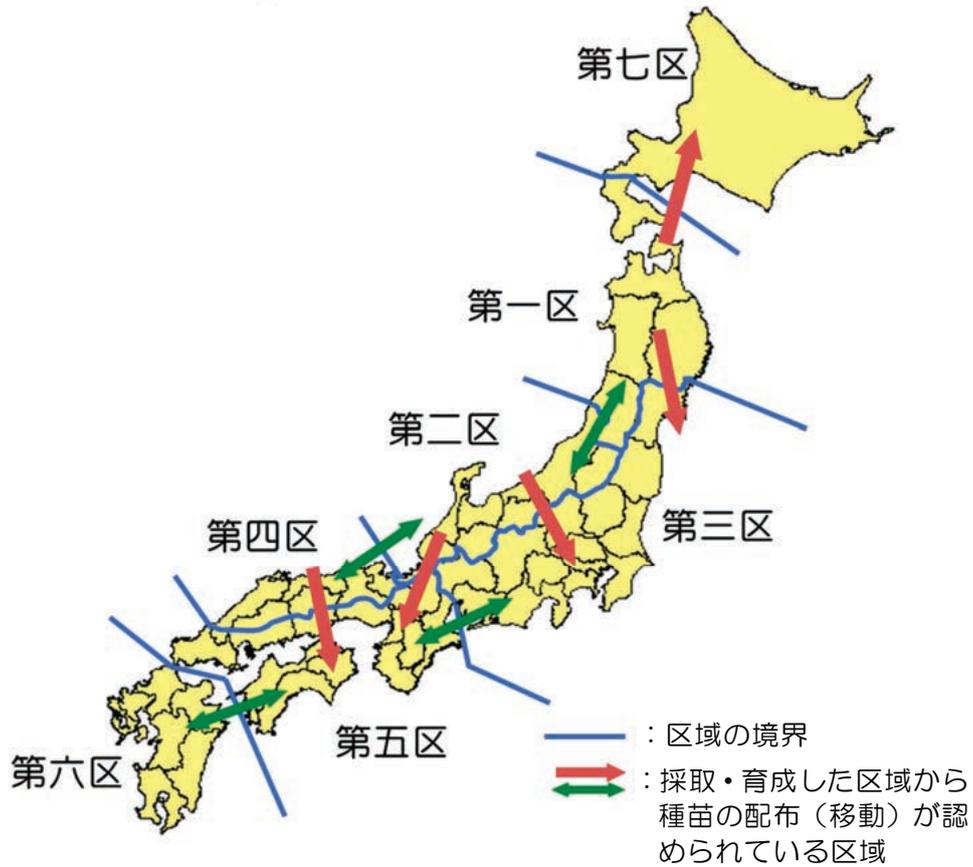


図1 林業種苗法で定められたスギ種苗の採取・育成区域とそれぞれの区域からの配布可能な区域（配布区域）

日本全国を7地域に区分。種苗配布は同一区域内および隣接区域間の特定の方向にのみ認められています。例えば第1区で生産した種苗は第1区のほか第3区等にも配布可能ですが、逆に第3区で生産した種苗は第1区には配布が禁じられています。

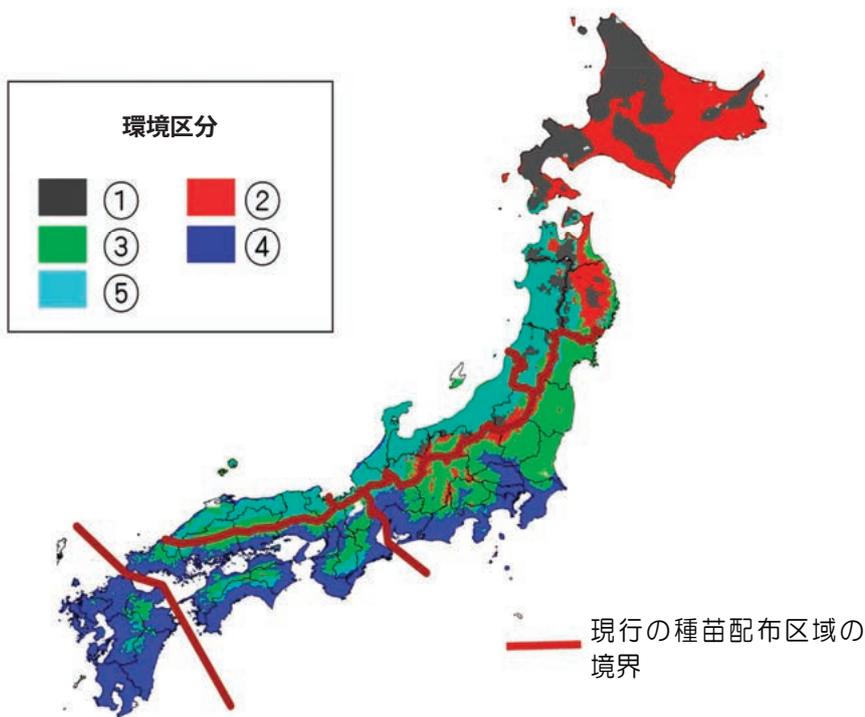


図2 メッシュ気候値データに基づく最適な環境区分と種苗配布区域の境界線

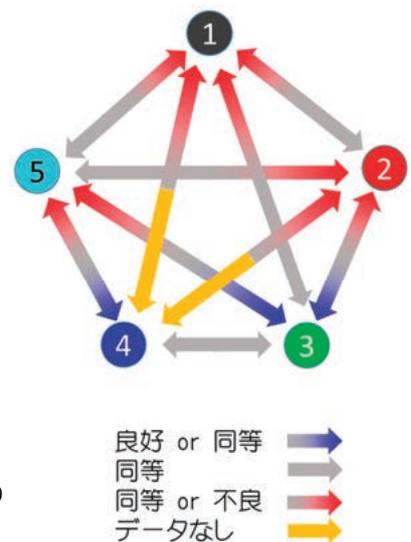


図3 異なる環境区分に種苗を移動した場合の樹高成長の比較

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 林木遺伝資源の収集・保存手法の開発

林木育種センター遺伝資源部

宮本 尚子、那須 仁弥、大谷 雅人  
木村 恵、山田 浩雄、生方 正俊

### 要 旨

有用で貴重な林木遺伝資源を効果的かつ効率的に収集・保存するにあたって、その利便性を向上させるためには、現在までの収集・保存状況を評価し、それらを「見える化」させておくことが大切です。そこで、林木ジーンバンク事業の対象となる樹種リストを作成し、成体保存されているものについて、現在の収集・保存状況の整理を行いました。また、樹木の生育に関係が深い気温や降水量などの気候条件を用いて、成体保存されている遺伝資源と対象種の生育範囲との比較を行い、成体保存の少ない地域や気候条件を GIS<sup>\*</sup>技術により地図上で可視化し、今後、収集・保存に重点を置く必要のある地域を明らかにしました。今回の評価結果は、林木遺伝資源の収集・保存計画の策定に活用されます。

### 林木ジーンバンク事業について

林木のジーンバンク事業は、1985年から「育種素材の供給源の確保」、「絶滅に瀕している種の確保」等を目的に、森林総合研究所が主体となって遺伝資源としての林木を収集・保存する事業で、種子や花粉による保存のほか、2015年度末現在で約2万6千系統の樹木そのものを増殖して保存園などで保存（成体保存）しています。将来にわたって有用で貴重な林木遺伝資源を保存・継承し、新品種の開発や科学技術の発展に寄与する研究材料としての利用に備えるためには、林木遺伝資源の対象となるそれぞれの樹種が、戦略的に収集・保存されていることが求められます。このため、現在までに成体保存されている遺伝資源について、種の分布域に照らし合わせた評価を行いました。

### 収集・保存状況の評価

まず、林木ジーンバンク事業の対象となる日本産樹木について、異名同種等の整理を行い、1,574樹種のリストを作成しました。このリストと現在までに成体保存されている遺伝資源とを照らし合わせた結果、349樹種が収集・保存されていることがわかりました。このうち、100系統以上のまとまった数が保存されている遺伝資源は25樹種でした。この中から、日本に広く分布し、主要な広葉樹であるブナとケヤキの事例を紹介します。

日本におけるブナとケヤキの分布域は、環境省が実施した日本全国の植生調査データと巨樹巨木データから、ブナとケヤキを抽出して作成しました（図1）。この分布域と成体保存されている系統の収集地点とを重ね合わせた結果、ケヤキは分布域を網羅するように収集・保存されているのに対し、ブナは北海道・東北に偏っていることがわかりました。また、気象庁が作成したメッシュ気候値<sup>\*</sup>を用いて、年平均気温と年間降水量のデータを抽出し、分布域の気候条件と収集・保存地点の気候条件を重ね合わせました（図2）。その結果、ケヤキは分布域の気候条件を網羅するように収集・保存されていますが、ブナは分布域の気候条件の中では、気温が高く降水量が少ない地域に偏っていることがわかりました。今後のブナの収集・保存にあたっては、南東北から長野県・岐阜県の北部にかけての地域（図1）や分布域の中の気温の低い地域や降水量の多い地域（図2）、さらには温暖化の影響により消滅が危惧されている西南日本の小集団（図1）からも行うことで、ブナの遺伝資源を幅広く保存できることが明らかとなりました。

今回の評価結果は、林木遺伝資源の効果的で効率的な収集・保存計画の策定に活用できるだけでなく、一般に広く公開することで、遺伝資源の利用者が試験研究に用いる遺伝資源の来歴を地図上で具体的にイメージできるようになり、利便性の向上にも寄与するものと考えています。

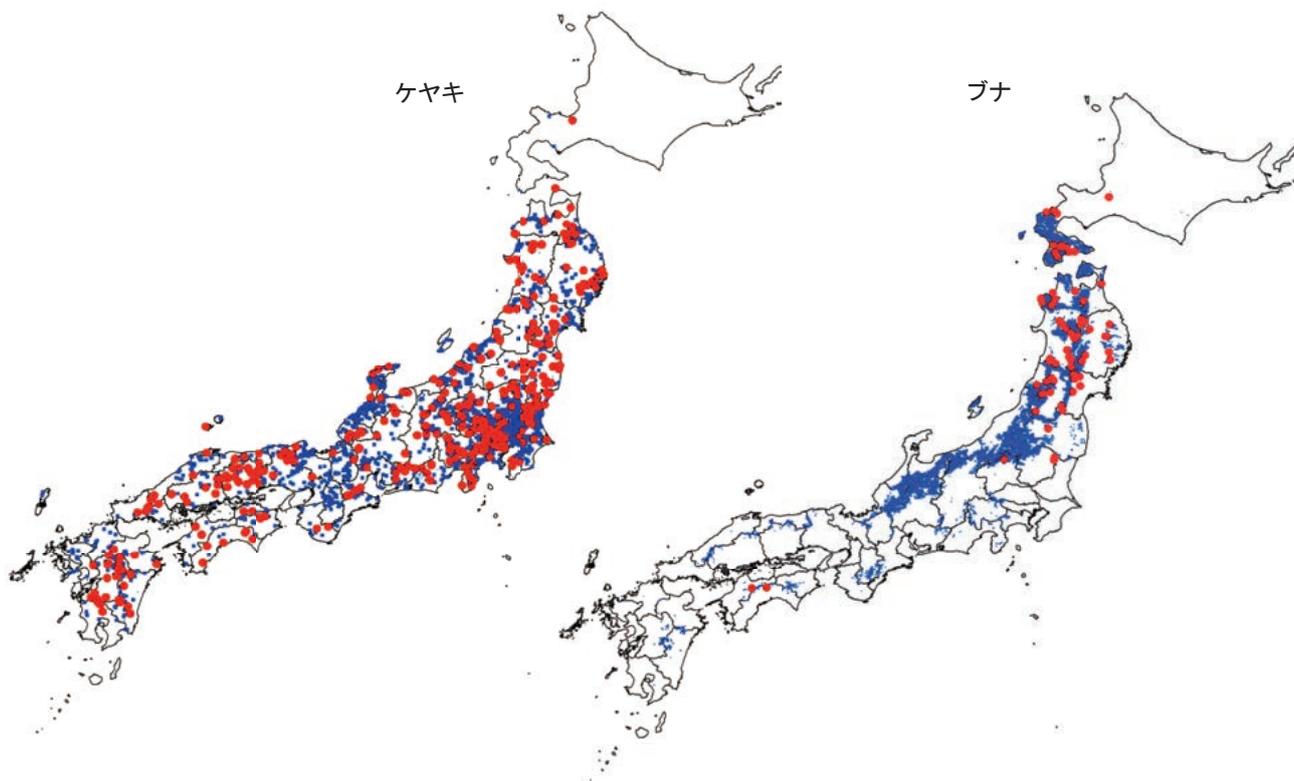


図1 ケヤキ（左）およびブナ（右）の分布域（青）と成体保存されている系統の収集・保存地点（赤）  
ケヤキは分布域を網羅するように収集・保存されているのに対し、ブナは北海道・東北に偏っています。

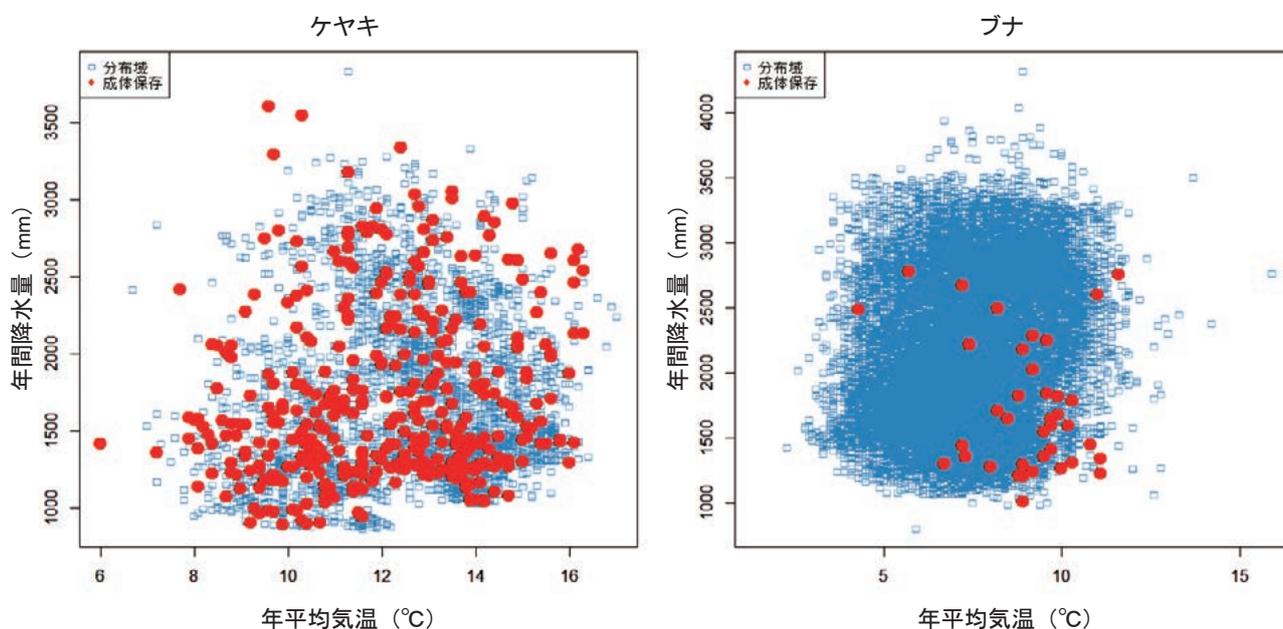


図2 ケヤキ（左）およびブナ（右）の分布域（青）と成体保存された系統の収集・保存地点（赤）の  
年平均気温と年間降水量

ケヤキの収集・保存地点は均等ですが、ブナの収集・保存地点は、気温が高く降水量が少ない地域に偏っていますので、今後、気温の低い地域や降水量の多い地域から収集・保存を行う必要があります。

※については、巻末の用語解説をご覧ください。

## 全国のサクラ栽培品種の遺伝資源管理に貢献する

多摩森林科学園

森林遺伝研究領域

吉丸 博志、勝木 俊雄

岩本 宏二郎、加藤 珠理

松本 麻子

### 要 旨

全国の主要なサクラ集植機関で栽培されている伝統的栽培品種を広く調査し、花などの形態解析と DNA 解析によって正確な識別を行いました。これらの解析を効率的に行うために、過去の研究で用いた多数のマーカーのうち特に多型性が高い 9 つのマーカーを組み合わせることで十分な精度の識別ができることを確認しました。全国の主要なサクラ集植機関から選んだ約 590 の栽培品種個体について、この手法を用いて解析した結果、すでに正確な分類が完了している 3 つの機関の栽培品種のクローンと一致するもの約 410 個体と、そこには保存されていないもの約 180 個体に分類されました。前者については正確な名称が確定し、後者については今後の保存の重要性が指摘できました。

### 研究の背景

長い歴史を持つサクラの伝統的栽培品種については、分類と識別に多くの混乱がみられていました。私たちは、これまでに、花などの形態解析と遺伝子解析を組み合わせた正確な識別技術を開発し、森林総合研究所多摩森林科学園、国立遺伝学研究所、新宿御苑に収集されている多数の栽培品種について正確な分類を実行しました。全国にはこの他にも重要なサクラ集植機関があり、サクラ遺伝資源の正確な識別に基づく適切な管理体制の構築が望まれていました。

### 効果的な DNA マーカーの組合せ

効率よく、正確に識別を行う手法をまず検討しました。これまでは、26 座の DNA マーカーが必要でしたが、特に多型性の高い 9 座のマーカーセットを用いることで、同等の精度の識別が可能であることを確認しました。

### 全国の主要なサクラ集植機関の調査

今回、重要なサクラ集植機関として選んだのは、北海道松前町松前公園、東大日光植物園、日本花の会結城農場、東大小石川植物園、東京都神代植物園、東京都小金井公園、石川県林業試験場、京都府立植物園、京都御所、京都御苑、植藤造園、大阪市大植物園、福岡市植物園、熊本市監物台樹木園などです (図 1)。これらのサ

クラ集植機関で収集している栽培品種のうち約 590 個体について、上記の手法を用いた遺伝子解析および形態解析を行った結果、既に調べた 3 つの機関で保存されている栽培品種のクローンと一致するものが約 410 個体 (図 2)、3 つの機関にある品種とは異なるものが約 180 個体 (図 3) という結果になりました。前者は、地域や機関により様々な名前で呼ばれていましたが、今回の解析で正確な栽培品種名が確定できました。また、後者は、今回調査した機関だけで保存されている栽培品種であることが分かりましたので、それらの品種を絶やさないう保存することの重要性をそれぞれの集植機関に指摘しました。

### サクラ遺伝資源の管理体制の構築

2014 年 2 月に「サクラ系統保全のための集植機関担当者による情報交換会議」を招集して、この研究の意義を広報し、成果の活用法に関する意見交換を行いました。また、メーリングリストを通じて、この研究成果を各機関のサクラ遺伝資源管理に活用できるよう、担当者との間で随時情報交換を開始しました。

本研究は、科学研究費補助金 (24380087)「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。

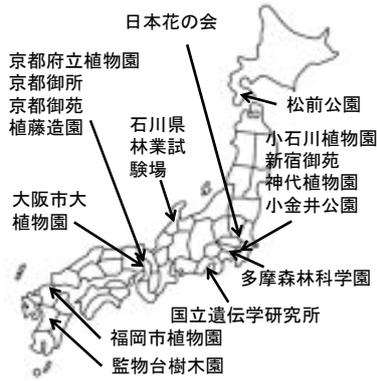


図1 調査対象とした主なサクラ集植機関



植藤造園の胡蝶こちょう 京都府立植物園の胡蝶  
 事例1：植藤造園の胡蝶は‘長州緋桜’、京都府立植物園の胡蝶は‘苔清水’と同じクローンであることがわかりました。



京都府立植物園の大原渚  
 事例2：‘汀桜’と同じクローンであることがわかりました。



京都御苑の有明（八重咲き）



京都御苑の有明（一重咲き）

事例3：八重咲きタイプも一重咲きタイプも‘御室有明’と同じクローンであることがわかりました。

図2 先行研究の3機関に保存されているクローンと同じと判明した個体の事例



松前公園の虎の尾とらのお

事例1：三好が昭和初期の荒川堤で記載した‘虎の尾’の可能性がります。



東大日光植物園の越の彼岸こしひがん

事例2：富山高岡城址のクローンと異なり、小泉が記載した南砺市城端のクローンの可能性がります。



京都御所の大和桜やまとざくら

事例3：三好が昭和初期に記載した「大和桜」と異なり、‘御所大和桜’として新たに記載する必要があります。



京都御所の御幸の桜みゆきの

事例4：香山が昭和初期に記載した「上賀茂神社の御幸の桜」の可能性がります。

図3 先行研究の3機関に保存されているクローンとは別と判明した個体の事例

## 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—

森林バイオ研究センター  
バイオマス化学研究領域  
森林総合研究所フェロー

谷口 亨  
河村 文郎  
石井 克明

### 要 旨

カギカズラは漢方薬の原料として使用されていますが、その全ては中国産です。国内でカギカズラを栽培し、自給率を向上させるためには、薬用成分含有率の高い優良個体の選抜、そのクローン増殖、さらには栽培技術の開発が有効です。本研究では、組織培養によるカギカズラのクローン苗生産方法を開発しました。また、枝の部位による薬用成分の含有率の違いについて解明しました。これらの成果を活用することにより、国産の優良なカギカズラの栽培が可能となり、地域社会の活性化に寄与すると期待できます。

#### つる性常緑樹木カギカズラ

カギカズラはつる性の常緑樹木であり、中国南部と日本（房総半島以南～九州）に自生します（図1A）。カギカズラの枝の葉の付け根には釣り針のような形をした鉤（カギ）があり（図1B）、鉤を付けた枝を乾燥させたものは釣藤鉤（チョウトウコウ）と呼ばれる漢方の原料です。釣藤鉤はアルカロイド類のリンコフィリンやヒルスチンを含有し、神経過敏、不眠などの精神神経症状の他に高血圧症や認知症の改善に効果があるとされることから、今後の需要拡大が期待されます。しかし、釣藤鉤の国内流通品の全ては中国産であり、自給率を高めるためには薬用成分含有率の高いカギカズラを選抜し、そのクローン苗を栽培することが有効と考えられます。そこで、本研究ではクローン苗作製のため、カギカズラの組織培養による増殖方法を検討しました。また、薬用成分含有率の高い個体の選抜の基礎情報とするため、枝の部位別の薬用成分含有率の変異を調べました。

#### カギカズラの組織培養

鉤を付けた枝を栄養分と植物ホルモンを含む培地で人工的に培養すると鉤の先端からシュートが発生しました（図1C）。これを伸長させ（図1D）、発根のための培地に移すと根が出て植物体となります（図1E）。発根率は約90%と高く、また、図1Eの植物体を切り分けて再び発根培地に移すと同様に発根し、1ヶ月での植物体の増殖率を計算すると約7倍となりました。このようにして組織培養で作製した植物体は、土を入れたポットに移植すると良く成長し、温室で4ヶ月間栽培すると80cm程度の苗高のクローン苗となります。

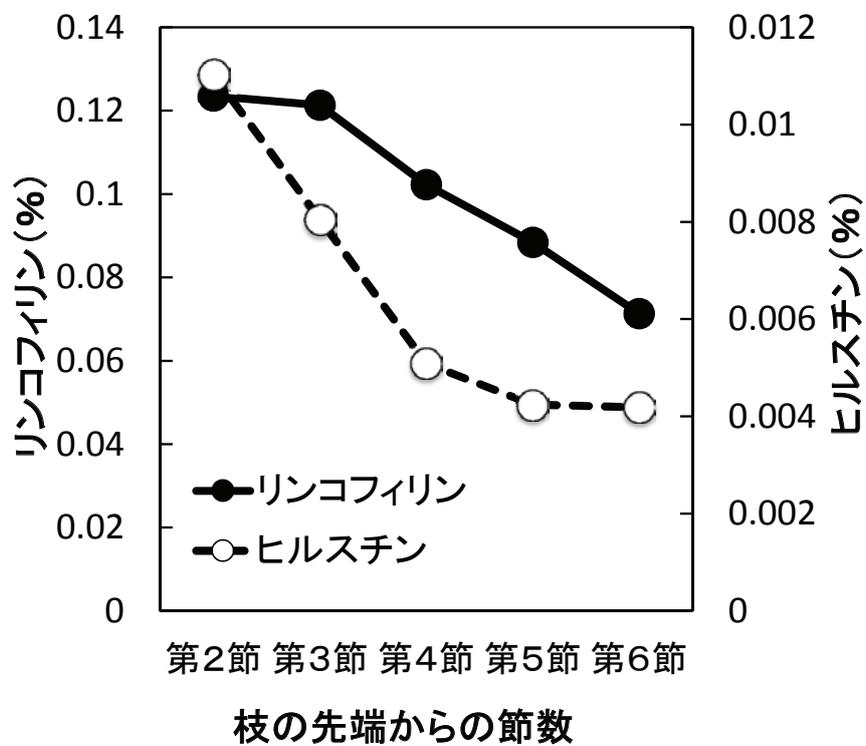
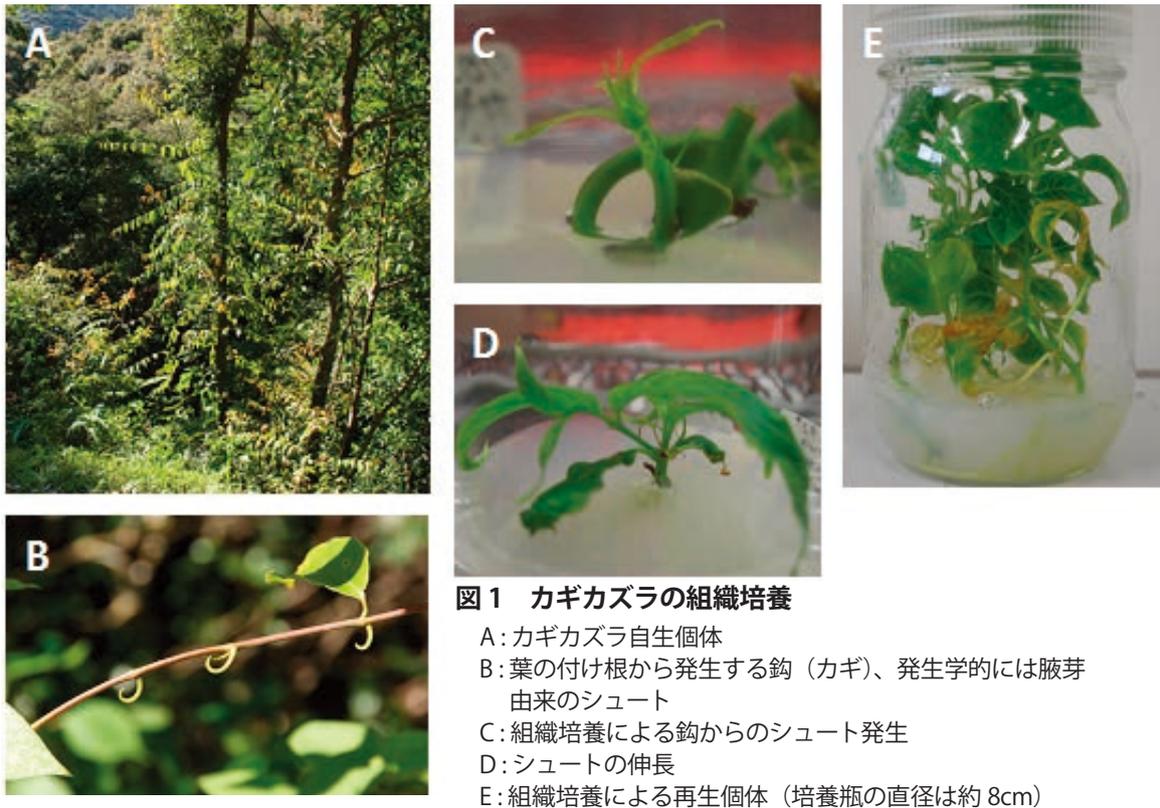
#### 薬用成分含有率

日本薬局方には、釣藤鉤の漢方原料の基準として総アルカロイド（リンコフィリン及びヒルスチンの合計）の含有率が0.03%以上であることと規定されています。組織培養で作製し、温室で4ヶ月間栽培した苗木から鉤を付けた枝を採取し、葉を除去して節毎に切り分け、高速液体クロマトグラフィーでアルカロイドの含有率を分析しました。その結果、リンコフィリンの含有率は、枝の先端部付近で0.12%程度と高く、基部付近でも0.07%程度ありました（図2）。また、ヒルスチンの含有率はリンコフィリンよりも低いですが、リンコフィリンと同様に先端部付近で含有率が高いことを明らかにしました（図2）。

#### 成果の活用

組織培養による増殖技術は、薬用樹木であるカギカズラのクローン増殖に利用できます。また、個体内の薬用成分含有率の変異が明らかになり、測定部位を統一することで含有率の高い個体を正しく効率的に選抜できることがわかりました。本研究成果を活用して、薬用成分含量の高い優良個体を選抜し、それをクローン増殖して栽培することにより、カギカズラ栽培地域の活性化や国産釣藤鉤の供給に役立つことが期待できます。

本研究は、平成26年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「薬用系機能性樹木の生産効率化手法の開発」等による成果です。



**図2 カギカズラの枝の部位別の薬用成分（リンコフィリンとヒルスチン）の含有率の変異**  
 鉤を付けた枝の含有率を測定した結果、枝の先端部で含有率が高いことが明らかになりました。

# 用語解説

## 形状比 (P6) (P50)

樹木の高さを樹木の直径（一般には胸高直径、苗木では根元径）で割った値。

## 一粒播種 (P8)

確実に発芽する種子を使い、コンテナに1粒ずつ播種する事。確実に発芽すれば、コンテナ苗生産における作業工程が大幅に低減するとともに、機械化にも繋がります。

## 森林簿 (P16)

民有林の小班ごとに、所在地、面積、樹種、林齢、材積、機能区分などが記載されたデータベースで、都道府県庁が管理している。

## GIS (地理情報システム) (P16) (P62) (P64)

地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工して、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にするシステム。

## チップ (P20)

木材を小片にしたもの。パルプやパーティクルボードなどの原料になります。

## パルプ (P20)

木材から取り出したセルロースを主成分とした繊維の集合体。紙の原料となります。

## グリーン購入法 (P24)

「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。

## 再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) (P28)

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 (P28)

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

## 胸高直径 (P40) (P60)

胸の高さで測った樹木の直径。

## REDD プラス (P40) (P42)

「REDD」は Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries (途上国における森林減少・劣化からの排出の削減)の略称。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。

## 線流量 (P50)

単位時間あたりに単位幅を通過する体積。

## 寒冷紗 (P53)

夏の暑さを防ぐためや防寒・防風などの目的で用いる木綿やナイロンなどをごく粗めに織った広幅の布。

## 羽柄材 (P60)

柱や土台などの構造材と、表から見える部材の間にある節や色にこだわらない材。

## 精英樹 (P60) (P62)

品種改良や優良種苗の生産を目的として、主として人工林から成長等が優れた個体を選抜したもの。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。

## 人工乾燥 (KD) 材 (P60)

乾燥窯 (Kiln) 等の乾燥機を用いて人工的に乾燥させた (Dried) 木材。強度や形状の安定性の観点から、建築用には十分に乾燥した木材が望ましく、KD材が建築材の主流になりつつある。

## メッシュ気候値 (P62) (P64)

日本全国を約1km四方のメッシュに分割し、各メッシュ内の気候値（月平均気温や月降水量、日照時間など）を推定した数値データ。

●研究成果選集の内容に関するお問い合わせについては、下記までご連絡をお願いいたします。

**本所**

〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1  
Tel: 029-829-8373 Fax: 029-873-0844  
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

**林木育種センター**

**森林バイオ研究センター**  
〒 319-1301 茨城県日立市十王町伊師 3809-1  
Tel: 0294-39-7000

**北海道支所**

〒 062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 7  
Tel: 011-851-4131

**北海道育種場**

〒 069-0836 北海道江別市文京台緑町 561-1  
Tel: 011-386-5087

**東北支所**

〒 020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25  
Tel: 019-641-2150

**東北育種場**

〒 020-0621 岩手県滝沢市大崎 95  
Tel: 019-688-4518

**関西支所**

〒 612-0855 京都府京都市伏見区桃山町永井久太郎 68  
Tel: 075-611-1201

**関西育種場**

〒 709-4335 岡山県勝田郡勝央町植月中 1043  
Tel: 0868-38-5138

**四国支所**

〒 780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915  
Tel: 088-844-1121

**九州育種場**

〒 861-1102 熊本県合志市須屋 2320-5  
Tel: 096-242-3151

**九州支所**

〒 860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 4-11-16  
Tel: 096-343-3168

**多摩森林科学園**

〒 193-0843 東京都八王子市廿里町 1833-81  
Tel: 042-661-1121

森林総合研究所

平成 27 年版 研究成果選集

---

発行日	平成 27 年 7 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	<a href="http://www.ffpri.affrc.go.jp">http://www.ffpri.affrc.go.jp</a>
印刷所	大成印刷株式会社 茨城県日立市東多賀町 4-11-7 電話 0294(36)1837(代表)

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。

---



平成27年版

# 研究成果選集

2015

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/>

リサイクル適性 (A)  
この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。