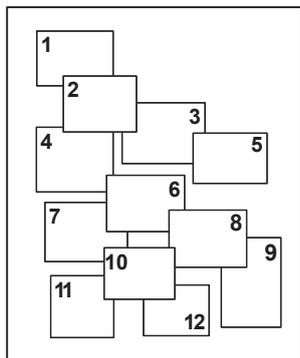


平成26年版

研究成果選集

2014





表紙写真

- 1 茨城県東茨城郡城里町の育種集団林
(P.56 スギ・ヒノキのエリートツリーを開発)
- 2 茨城県内山試験地のヒノキ高齢林(約100年生)
(P.6 長伐期林へ誘導するための間伐の指針づくり)
- 3 関西支所 山城試験地フラックス観測タワー
(P.34 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)
- 4 奄美大島に自生するワダツミノキ
(P.66 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)
- 5 新潟県妙高山域 幕ノ沢源頭部の雪崩発生区
(P.46 雪崩発生地点の積雪の状態を気象データから推定する)
- 6 先進的ハーベスタ(伐採・造材機械)
(P.10 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)
- 7 津波による被災から約20か月経過したクロマツ海岸林の立ち枯れ(青森県)
(P.44 津波による海岸クロマツの立ち枯れ被害に地形が影響)
- 8 農業用マルチ(ビニールシート)を敷いてのヤナギの穂の植栽風景
(P.28 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)
- 9 野生型ポプラ(左)と遺伝子組み換えポプラ(右)の成長比較
(P.64 バイオマス高生産樹木を作るー組換えによる植物ホルモン合成酵素の活性化ー)
- 10 給餌場へのシカの誘引
(P.48 シカの行動を制御して効率よく捕獲する)
- 11 温浴施設に導入された薪ボイラー
(P.26 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)
- 12 福島県のスギ林で調査したミミズ
(P.40 ミミズの放射性セシウム濃度は落葉層より低い)

裏表紙の写真：スギCLT(クロス・ラミネイティド・ティンバー：直交集成板)
(P.16 木造でビルが建つ！新しい木質材料CLTの開発)

はじめに

独立行政法人森林総合研究所「平成26年版研究成果選集」をお届け致します。

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

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

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26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26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。

この成果選集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2014年7月

独立行政法人森林総合研究所 理事長 鈴木和夫

森林総合研究所 平成26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

- 長伐期林へ誘導するための間伐の指針づくり 6
短伐期で育ててきた人工林を、これから大径材生産を目指す長伐期林へ誘導するにはどのような間伐手法が有効か、高齢林の実態調査と成長モデルを用いたシミュレーションにもとづいて指針づくりに取り組みました。

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

- 里山管理を始めよう 8
小面積皆伐と薪による資源利用を組み合わせることで、高齢化が進んで様々な問題を抱えるようになった里山林を若返らせ、地域社会での生活に新たな価値を付け加える実践的な里山林管理手法を提案しました。

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

- 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 10
森林・林業の再生に向け、森林内に入って伐採作業を行う欧州の先進的な林業機械が導入されました。この機械を活用して、平坦地と中傾斜地で間伐作業を行い、欧州並みの高い生産性が得られることを実証しました。

- チェーンソー用防護服は事業者の経営を護ります 12
チェーンソー作業では防護服の着用に努めなければなりません。事故による損失は、防護服の購入費用の比ではありません。

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 14
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

- 木造でビルが建つ！新しい木質材料 CLT の開発 16
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。

- スギ大径木の低コストで効率的な製材技術の開発 18
今後供給増が見込まれるスギ大径木から得られる製材品を公共建築物などの建築用材として利用するために、スギ大径木から大断面の製材品を効率的に生産する製材システムを開発しました。

- スギ心去り平角材の乾燥技術の開発 20
大径木から得られるスギ平角材を木造建築物の梁（はり）等に利用するため、効率的な乾燥技術を開発しました。それは、天日で木材を乾かす天然乾燥法と乾燥装置で乾かす人工乾燥法を組み合わせた省エネ乾燥システムです。

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

- 膨大な木材の強度データを1つにまとめて利用可能に** 22
森林総合研究所がこれまでに実施してきたいろいろな種類の木材に関する膨大な数の強度試験の結果をひとつにまとめ、規格改正等に活用できる「木材の強度データベース」を構築しました。
- 木材の見た目やにおいが与える影響** 24
木材の見た目やにおいが人の体に影響を与えていることを明らかにしました。どのような指標を測ると影響が良くわかるかを調べるとともに、これまでにあまりデータの多くない女性や赤ちゃんの測定に成功しました。

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

- 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** 26
山村で地域住民が手軽に活用できるエネルギーシステムとして、薪ボイラーを流域の温浴施設へ普及させた場合のCO₂排出量やコスト、雇用賃金等を試算し、CO₂削減効果、地域経済への効果があることを示しました。
- 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** 28
地理情報システムを利用して、エネルギー資源作物としてのヤナギ栽培適地を判定しました。また、広域に植栽するためには農業用マルチを用いた防草が有効であることがわかりました。これらから資源作物としてのヤナギの生産コストの試算を行いました。

D 2 木質バイオマスの変換・総合利用技術の開発

- 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** 30
木材の約3割を占める未利用成分であるリグニンから炭素繊維等の高付加価値製品の原料を製造するために、画期的な低コストのリグニン改質方法を開発しました。

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

- 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～** 32
シベリアから熱帯域に至る代表的な森林において森林動態と炭素蓄積に関する長期モニタリングを進め、攪乱後の熱帯雨林の回復過程など短期間の調査ではわかり得ない変化を明らかにしました。
- 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** 34
大気汚染物質であるオゾンによる森林への影響を解明するため、従来は困難であった降雨時及び落葉期のオゾン吸収量を推定する新しい手法を開発し、森林へのオゾン影響を評価しました。

E 2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発

- ブラジル・アマゾンの森林炭素を測る** 36
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、多点での地上調査やバイオマスの伐倒調査と、衛星データを活用した評価手法の開発により、広域でかつ高精度の炭素量分布マップを作成しました。
- 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** 38
陸域生態系の中でも最大級の炭素蓄積能力を有するマングローブ林の地上バイオマスを、高分解能衛星センサで観測される「樹冠サイズ」と衛星LiDARで観測される「林冠高」のそれぞれから広域推定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

ミミズの放射性セシウム濃度は落葉層より低い 40
森林生態系で落葉を食べて生活しているミミズの放射性セシウム濃度の変化を毎年測定したところ、その濃度は年々減少し、餌である落葉からの濃縮はみられないことがわかりました。

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 42
茨城県内のヒノキ林を間伐し、森林樹冠の構造と樹冠通過雨量の変化を調べました。樹冠通過雨量は間伐によって増加し、水源かん養機能を増加させる効果は数年間持続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

津波による海岸クロマツの立ち枯れ被害に地形が影響 44
東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波により、青森県太平洋沿岸の海岸林では広い範囲でクロマツが立ち枯れました。この被害は、侵入した海水が停滞しやすい地形条件の場所で多く起きたことが明らかになりました。

雪崩発生地点の積雪の状態を気象データから推定する 46
雪崩発生地点の積雪状態を気象データと数値モデルで推定し、これまでに観測された5件の雪崩の発生要因を明らかにしました。

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

シカの行動を制御して効率よく捕獲する 48
シカの被害地において給餌による条件付けによりシカの行動を制御する誘引法を開発し、銃器の使用が可能な日中に給餌場へシカを誘引することで効率よく捕獲する方法を確立しました。

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

森林の生物多様性を予測する 50
森林の管理手法の影響により里山地域の森林生物の多様性がどのように変化するかを長期的に予測するシミュレータを作成しました。

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 52
絶滅危惧種保全の先端モデルとして、レブンアツモリソウ保全に関する実証的研究を行いました。共生菌や訪花昆虫とのつながりを考えた自生地復元に成功しました。ススキ刈取りによる自生環境改善の効果を示しました。

林業地域で生物多様性を保全する 54
スギやヒノキの人工林が卓越す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指針を提示しました。多様な環境（立地、基質等）に広葉樹林を残すとともに、100ha規模のまとまった広葉樹林を確保することも必要と考えられました。

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

スギ・ヒノキのエリートツリーを開発 56
精英樹のF₁検定林から、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）を開発し、この中から特定母樹が指定されました。

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

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～ 58
スギについて、器官別、時期別に発現している遺伝子の情報を網羅的に収集し、それらの情報を統合することにより、ゲノム情報を活用して優良個体選抜のための特性評価に要する期間を短縮する、育種の高速化を推進するための基盤情報を整備しました。

重点課題I 森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発

I 1 林木遺伝資源の収集、保存・評価技術の開発

スギ遺伝資源のコアコレクションの作成 60
林木ジーンバンク事業で収集・保存している大量のスギ遺伝資源の中から、遺伝的情報や生育地の環境情報を基に全体を代表する情報量の多いコアコレクション（代表的な品種・系統のセット）を作成しました。

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

スギのゲノム情報を用いて優良な苗を作る 62
スギの育種促進のために遺伝子情報、遺伝子地図、形質データなどのゲノム情報の基盤整備を行いました。これらの情報を用いてスギの優良な苗木を若木のうちから効率的に選抜できるモデルを構築しました。

I 3 樹木及びきのこ等微生物の生物機能の解明と利用技術の開発

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— 64
植物の成長を制御する植物ホルモンのジベレリンを合成する機能を強化した組換えポプラを作出しました。この組換えポプラでは地上部のバイオマス生産量が増加し、成長が促進されました。

I 4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発

絶滅危惧種ワタミノキの薬用成分含量の解明と増殖方法の開発 66
鹿児島県奄美大島に自生する小高木であるワタミノキは抗がん剤の原料成分を含有し、その含有率には個体により大きな差があることを明らかにしました。また、苗木生産のための組織培養による増殖方法を開発しました。

用語解説 68

長伐期林へ誘導するための間伐の指針づくり

植物生態研究領域	梶本 卓也、齊藤 哲、壁谷 大介、飛田 博順
森林植生研究領域	太田 敬之、正木 隆
林業経営政策研究領域	鹿又 秀聡
九州支所	荒木 眞岳
千葉県森林研究所	福島 成樹

要 旨

現在、スギやヒノキの人工林は、その多くが 40～60 年生とちょうど主伐期を迎えています。そのうち、ただちに伐採・収穫しない林分については、伐期をさらに延長して、“長伐期林”として適切に管理することが求められています。その際、どのような間伐をすれば期待する大径材の生産が可能になるのかという長期的な施業の指針が必要になります。この研究では、こうした指針づくりのために、目標林型となる高齢林の実態調査と、成長モデルを用いた異なる施業シナリオの下での将来の大径材本数の予測を行いました。また、伐採までの総収支を試算して比較しました。これらをもとに、通常の下層間伐と将来木の間伐という二つの間伐手法を比較して、長伐期施業のための間伐手法に関する指針を作成しました。

求められる多様な森林施業

スギやヒノキの人工林は、戦後すぐに造成されたものが多く、現在、当初 40～60 年生と想定していた短伐期施業での主伐期を迎えています。日本の林業は、まだ不振から脱却しきれていませんが、植栽時の低コスト化を図って、人工林の皆伐・再造林を進めようとしています。その一方で、間伐などの手入れが不十分なまま、主伐を先送りする林分も多くみられます。こうした人工林を、長伐期林へ適切に誘導するためには、間伐の仕方など、新しい施業の指針が必要です。

樹木の成長は間伐でどれくらい管理可能か

我が国には、江戸から明治時代に植栽された、林齢 100 年を超えるスギやヒノキの人工林がまだ各地に残されています（写真 1）。こうした今後の目標林型となるような高齢林で、立木の直径や成長量を測定して、過去に行われた間伐の履歴との関係を調べました。すると、高齢林の立木個体の直径には、50 年生頃の立木密度や間伐強度の違いが影響していることがわかりました。例えば、高密度（1600 本/ha）の林で強い間伐（伐採率 50%）をしても、残った個体の成長は、当時すでに低密度だった（800 本/ha）林の個体を上回ることはありません（図 1）。また、こうした高齢林のデータ解析からは、隣接する個体同士は、平均 6～7m 程度離れていれば、互いの干渉を受けずに成長が持続できることがわかり、長伐期林へ誘導する際の本数密度の管理の目安が得られました。

仮想林分と成長モデルでシミュレーション

長伐期林に向けた施業の影響を検討するために、個体ごとの光環境に対応して成長が予測できるモデルを開発しました。20 年後の直径の予測では、7割以上の個体について実測値の 30% 以内の誤差に収まりました。このモデルで 50 年生の仮想スギ林分が主伐 100 年時を迎えた時の大径材本数を予測し、さらに伐採時までの総収支を試算しました（図 2）。その際、最初の本数密度やその後の間伐強度・頻度を変えた複数の施業シナリオを設定するとともに、通常の“下層間伐”と、優勢な木を最終的な主伐木に選んでその周囲の個体を早めに伐採する“将来木の間伐”とを比較しました。

その結果、どちらの方法でも、最初に強く間伐した方が、一定の間伐を繰り返すよりも大径材が多くなること、その一方で、主伐時の大径材本数が同じでも、総収支は将来木の間伐がやや上回ることなどが明らかになりました（図 3）。

これからの課題

長伐期林へ誘導するための具体的な施業を現場に提案するためには、今回の指針づくりに用いた予測モデルの精度を向上させて、さまざまな間伐手法を想定した施業シナリオでの将来予測を行い、実測データで検証する作業が必要と考えています。

この研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「人工林施業の長伐期化に対応した将来木選定の指針策定」の成果です。

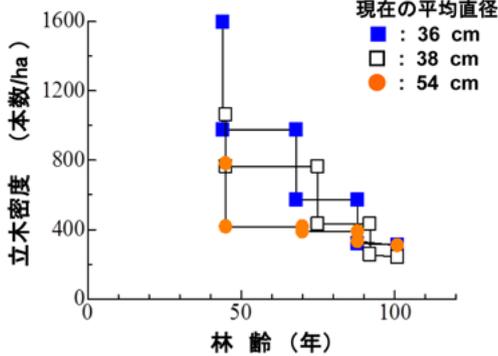


写真1 調査した高齢林試験地の様子
 (左) スギ林 (約 110 年生、添畑沢間伐試験地、秋田県)
 (右) ヒノキ林 (約 100 年生、内山試験地、茨城県)。

図1 ヒノキ高齢林で復元した過去の間伐にともなう立木密度の推移 (茨城県の試験地例)
 現在 (101 年生) の平均直径を比べると (図の右上に示した)、約 50 年生時にかなり高密度だった林分では (■)、その後強度な間伐をしても、当時すでに密度が低かった林分 (●、□) の個体の直径成長を上回ることが難しいことがわかる。

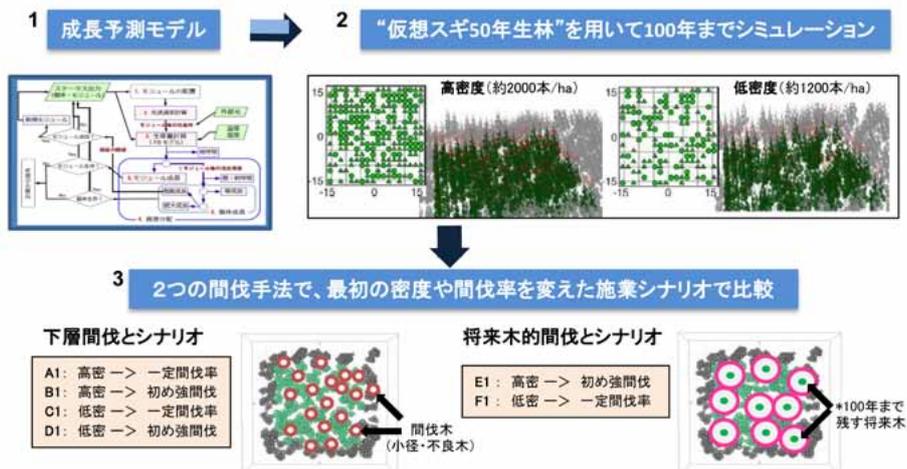


図2 仮想林分に成長モデルを用いた施業シミュレーションの概要
 施業シナリオは、最初 (50 年生時) の本数密度 (高、低) とその後の間伐率 (強度、一定) が異なる組み合わせにより、下層間伐については4通り (A1-D1)、将来木の間伐では2通り (E1, F1) 設定した。また、いずれのシナリオも、10年おきに間伐し、100年生時の主伐木の本数密度が約 300 本 /ha に揃うようにした。

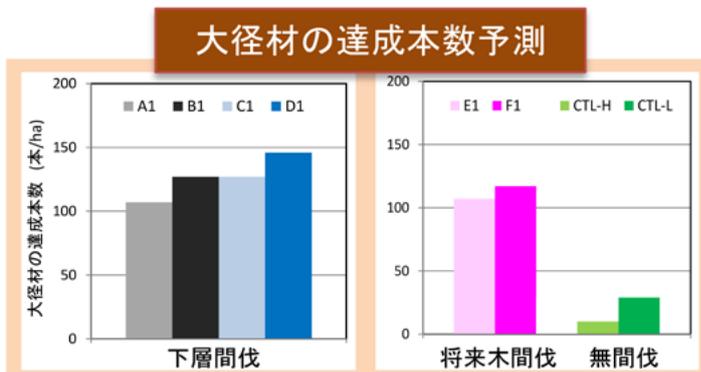


図3 施業シナリオの違いによる主伐 100 年生時の大径材達成本数の予測
 下層間伐、将来木の間伐ともに、大径材の本数は無間伐時と比べると多く、また最初に強度な間伐をする方が (D1, B1)、一定の間伐を繰り返すよりも (C1, A1) やや多くなると予測された。大径材は、直径 50cm 以上とした。なお無間伐は、50 年生時の本数密度が高い場合 (CTL-H) と低い場合 (CTL-L) での予測結果を示す。

里山管理を始めよう

関西支所
神戸大学

大住 克博（現 鳥取大学）、奥 敬一（現 富山大学）
黒田 慶子

要 旨

高度成長期以降、利用が停止したことで高齢化が進んだ里山広葉樹二次林では、ナラ枯れの拡大、生物多様性の劣化、次世代の樹木が育たない、といった様々な問題が生じています。これらの問題を解決するためには、間伐ではなく小面積の皆伐を導入することによって、若い林がモザイク状に混じる里山林へと誘導していく必要があります。5年間にわたり地域社会と研究者との協働で実践してきた社会実験の成果をもとに、小面積皆伐と薪による資源利用を組み合わせ、里山林の若返りとともに地域社会での生活に新たな価値を付け加える里山林管理手法を提案し、その手引きをハンディーな小冊子としてまとめました。

里山林の若返りが求められている

高度成長期以降、薪や柴などを日常的に利用することがなくなって数十年がたち、里山の広葉樹二次林では高林齢化と大径木化が進みました。その結果、里山林では近年様々な問題が生じています。ナラ枯れの被害は、大径木化したナラ林に拡大しています。生物多様性の視点からは、明るく若い林内を生息場所とする動植物が激減しています。また、里山林の広葉樹の多くは、大径化すると萌芽能力が低下するため、森林としての持続性も低下しています。このような状況にある里山林に対しては、小面積の皆伐を可能なところから実施し、積極的に里山林を若返らせる必要があります。

社会実験の試み

そこで、京都府長岡京市と滋賀県大津市の二カ所で、以下の3点を目標として地域社会との協働による里山管理の社会実験を行いました（図1）。

- (1) 小面積皆伐により若い林の混じるモザイク的な里山林を作る
- (2) 伐採材を薪ストーブで使う薪として活用し、里山林を資源として利用する動機を生み出す
- (3) 市民団体や自治体で実施できる管理指針を示す

小面積皆伐による薪の生産には、市民団体や行政担当者、地域住民自身が参加し、かかるコストや労力を調べました。また、対象地域で薪ストーブのモニター家庭を選定して、里山からの薪の利用による生活や意識の変化を調査しました。これらの参加者は伐採後の里山林の更新状況の調査や管理作業にも携わりました。

管理の流れと薪による資源利用の効果

皆伐から更新までの流れは写真1の通りです。伐採と材の収穫後の確実な更新のために、モニタリング調査を実施し、必要に応じて獣害の防止、更新不良箇所への地域産苗木の補植といった管理作業を行って、持続性を確保しました。

全体の作業にかかった費用を積算し、薪の生産コストに換算すると、薪1束（コナラで約10kg程度に相当します）あたり550円前後となりました（図2）。これは概ね市販されている薪の価格と同等です。薪による資源活用で管理費をまかなうことは十分現実的な選択肢と言えるでしょう。

薪ストーブの利用者の視点からは、薪の利用には暖房としての満足感、化石燃料削減効果とともに、生活に豊かさの実感をもたらす効果が認められました（図3）。また、実践の中で、里山林が薪として資源になることが明確に認識されるようになり、地域住民にとって里山林管理参加への有力な動機付けとなりました。

管理手順を手引書にまとめました

以上の成果をもとに、里山林管理のハンディーな手引書を作成しました（図4）。森林総合研究所ウェブサイトからもダウンロードできます。「里山管理を始めよう」で検索してください。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「現代版里山維持システム構築のための実践的研究」（平成21～25年度）による成果です。



図1 社会実験の構成



写真1 皆伐から更新までのプロセス

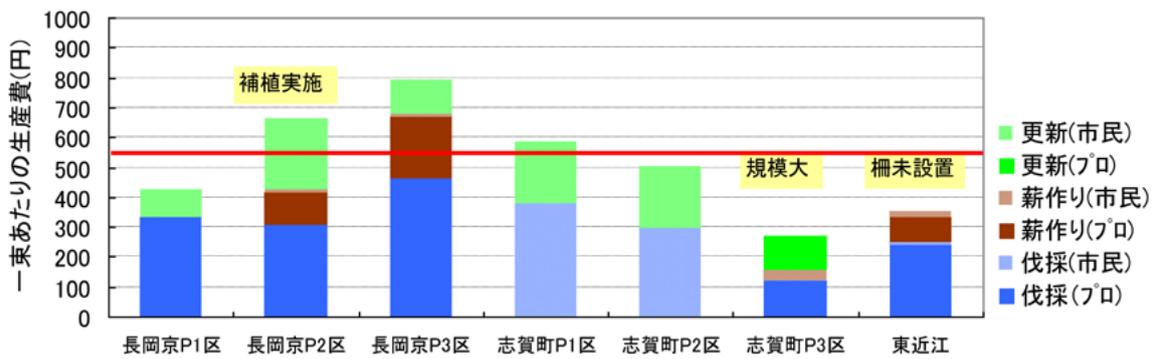


図2 薪の生産コスト

6箇所の小面積皆伐地での実測値。更新費には防鹿柵設置、補植用苗木育成、補植作業が含まれる。「東近江」は他地区での比較事例。赤線は試験地での平均（1束あたり550円）のライン

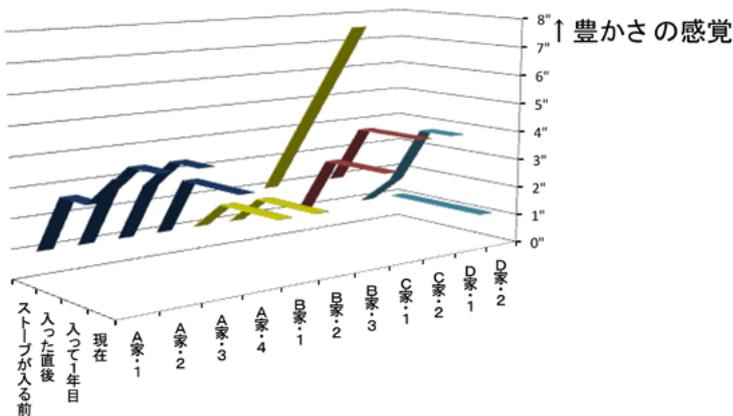


図3 薪ストーブモニター家庭4軒での生活の豊かさの感覚の変化それぞれの家庭の構成員へのヒアリングにもとづく。



図4 里山林管理の手引き書表紙

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

林業工学研究領域 中澤 昌彦、吉田 智佳史、佐々木 達也、
上村 巧、鈴木 秀典、陣川 雅樹
長野県林業総合センター 大矢 信次郎、戸田 堅一郎
長野県 高野 毅

要 旨

わが国の森林・林業再生のために、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求められています。森林内を走る機械によって伐採作業を行う CTL（丸太集材）作業システムは、労働の安全性と生産性が両立されたシステムとして欧州で高く評価されていますが、わが国では地形も樹種も異なるので、実証試験による科学的評価が必要です。そこで、平坦地や中傾斜地において欧州から導入されたホイール式（タイヤ車輪で走行する）の先進的な林業機械による作業システムの実証試験を行ったところ、いずれの作業条件でも欧州並みの高い生産性を実現できました。また、得られた主要パラメータから作業システムの適否を評価する手法を開発しました。

成果

欧州から導入されたホイール式の先進的な林業機械による CTL（Cut To Length；丸太集材）作業システムの生産性を評価するため、平坦地において点状間伐および列状間伐の実証試験と、中傾斜地において従来型システムとの比較試験を列状間伐について行いました。

CTL システム

CTL とは、Cut To Length の略であり、林内で伐採木を決まった長さの丸太に切って集材することですが、欧州では一般にハーベスタ（木を伐り、丸太にする伐木・造材機械）で切った丸太をフォワーダ（丸太を集めて運ぶ集材機械）で集材する作業システムのことを指します（図1）。使用したハーベスタ（図2）とフォワーダ（図3）は、欧州で活躍している小型でハイパワーな林業専用の機械です。

平坦地における点状間伐と列状間伐

従来型のクローラ式（履帯で走行する）ハーベスタの生産性は点状間伐よりも列状間伐の方が 1.5 倍近く高いと報告されています。しかし、先進的な林業機械の性能は高く、間伐方法の違いが伐木・造材工程や集材工程の生産性に与える影響は小さいことがわかりました。システム全体の労働生産性を求めると、点状間伐と列状間伐

ともに $18.6\text{m}^3/\text{人日}$ となり、わが国の間伐作業の平均的な生産性は $3.5\text{m}^3/\text{人日}$ であるので、非常に高い生産性が得られました。

中傾斜地における従来型システムとの比較試験

先進的 CTL システムとクローラ式の従来型 CTL システム、および従来型架線系システムの 3 種類の作業システム（図1）の比較試験を中傾斜地で行いました。その結果を平坦地の労働生産性も含めてまとめると、図4のとおりになりました。中傾斜地での先進的システムの生産性は平坦地の 0.6 倍と低くなりますが、同じ地形条件であれば従来型システムよりも生産性は 1.3 倍高くなりました。また、架線系と比較しても 1.8 倍高くなりました。さらに、上り作業の登坂限界は先進的ハーベスタとフォワーダともに傾斜 23 度、従来型フォワーダは傾斜 12 度であり、先進的機械の方が斜面傾斜に対する適応能力が高く、より安全であることがわかりました。

以上の結果から、地形や森林、路網条件、使用機械など、生産性算出のための主要パラメータとその固有値を明らかにし、生産性を試算する方程式と、機械ごとの登坂限界値とによって、先進的機械作業システムの適否を評価する評価手法を開発しました。

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

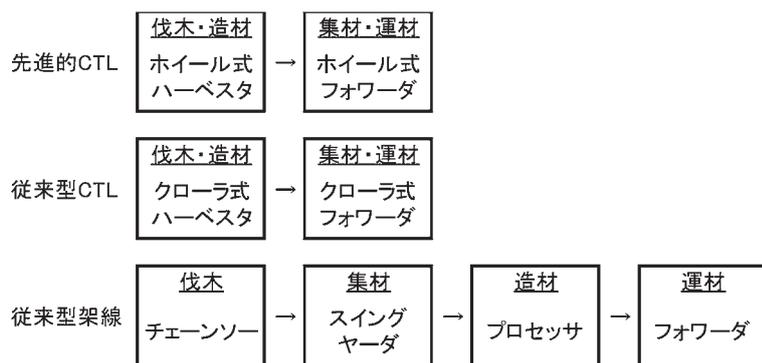


図1 欧州型の先進的 CTL と、比較した従来型作業システム
CTL は、多工程作業が可能なハーベスタとフォワーダを使用して、機械各1台・人員各1人による作業を基本とする省力化された作業システムである。従来型の架線システムは機械4台・人員4人が必要となる。



図2 先進的ハーベスタ

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、小型ハイパワーかつホイール式で林内走行性能が高い。前進時の登坂限界は23度であった。



図3 先進的フォワーダ

丸太の積み込みから集材（輸送）、巻き立て（積みおろし）まで1台で行える多工程機械であり、小型ハイパワーかつホイール式で林内走行性能が高い。前進時の登坂限界は23度であった。

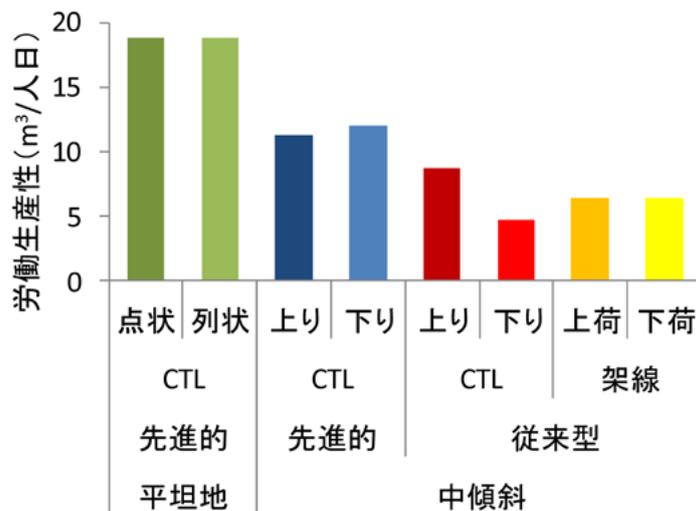


図4 先進型と従来型の労働生産性の比較

労働生産性は、先進的 CTL ≫ 従来型 CTL（上り作業が一般的） > 従来型架線の順となる。作業方向の影響は、従来型よりも先進型の方が小さい。

チェーンソー用防護服は事業体の経営を護ります

林業工学研究領域	鹿島 潤
林業経営・政策研究領域	鹿又 秀聡、都築 伸行
筑波大学	興梠 克久
鹿児島大学	岡 勝

要 旨

チェーンソーによる切創災害で発生する災害コストを算出し、防護服の有無が災害コストに与える影響を検証した結果、防護服着用で見込まれる災害コスト削減額が防護服購入経費を上回り、防護服なしで作業をさせるより防護服を購入して作業者に着用させる方が林業事業体の経営にとって有益であることを明らかにしました。チェーンソー作業で作業者が防護服を着用することは、災害数を減らしケガの程度を軽くする労働災害防止の観点から是非とも必要ですが、林業事業体の経営の観点からも災害コストを削減できる点で有利に働くことがわかりました。

チェーンソーで身体を切るケガは多い

林業は労働災害の発生率が高い職種です。様々な努力により災害発生総数は 10 年間で約 3 割減少しましたが、現在も林業労働者数約 7 万人に対して休業日数 4 日以上の死傷災害は 1 年間に約 2,000 件発生しています。このうち、チェーンソーによる切創災害数は 400～500 件の間で推移しており減少していません。そのため、チェーンソー作業では作業者に防護服を着用させ、災害を予防する取り組みが進められていますが、林業事業体の経営面から見た防護服導入の費用対効果は不明でした。そこで、災害発生が事業体にもたらす人的損害、物的損害、生産損失などのコスト（災害コスト）を試算し、事業体が積極的に防護服を導入することがもたらす経営上の効果を検証しました。

チェーンソーによる切創災害の災害コスト

チェーンソーによる切創災害について、防護服を着用しない場合に見込まれる災害コストのうち事務経費や補償などの 10 項目の試算結果が表 1 です。計算の設定条件を変えると数字は若干変わりますが、一人あたり 1 年間に 16,000～20,000 円の災害コストが見込まれました。

防護服を着用すると着用しないときに比べて約 6 割の切創災害件数を少なくできることがこれまでの研究でわかっています。そこで、防護服を着用するとこれらの災害コストの 6 割を削減できると仮定すると、防護服を使用することで作業員 1 人あたり 1 年間に 1 万円前後の災害コストを削減できることとなります（図 2）。防護服 1 着の価格は 12,000～35,000 円と幅がありますが、一般に 2 年程度で更新しますので、防護服にかかる経費は 1 年あたり 1 万円前後です。このことから、表 1 にあげた項目だけを考えても、防護服着用によって見込まれる災害コスト削減額と防護服にかかる経費はほぼ同額で、事

業体が防護服を購入し作業者に支給しても決して経営的な負担にならないことがわかりました。

このほかの災害コストとして、具体的な災害発生状況を想定して災害が発生して作業が滞り木材生産が減少する現場の損失と、災害が起きた後に実施が想定される再発防止対策経費を試算すると、これらの損失と経費の合計は作業員 1 人あたり 1 年間に最大で 1 万円を超える可能性が示されました。こうした事業損失や経費に加えて、災害を起こすことによる事業体の社会的信用の喪失は事業体経営のマイナス要因として大きくのしかかってきます。しかし、作業員が 2 万円の防護服を着ているだけでこうした損失を防げると期待できるのですから、防護服の導入が林業事業体にとって必要なことは明らかです。

防護服は作業員と事業体の経営を守ります

チェーンソー作業で防護服を常時着用しても災害がゼロになるわけではありません。しかし、防護服は災害を起こす頻度を低下させ、ケガをしてもその程度を軽くしてくれます。これは、作業員にとって健康と生活を守るためにとっても重要なことです。そして、林業事業体にとっては、災害コストを削減させ、災害による事業停滞を少なくして安定した収入を得ることに役立ちます。経営が安定すれば、防護服支給という災害予防に投資する余力も生まれ、それがさらに事業体の経営を安定させる、という良い効果の循環が期待できます。

作業員にも林業事業体にも利益になることの認識が広まればチェーンソー用防護服は事業体経営の必須アイテムとなることでしょう。

本研究は、科学研究費補助金「チェーンソー用防護服導入がもたらす事業体経営への効果」(23580221)により行いました。

表1 防護服を着用しない場合の作業員一人あたりの災害コスト計算例

災害コストの項目(円/年)	作業員人件費*	
	15,000円/日	20,000円/日
休業補償	4,036	5,382
死亡災害回避効果	413	413
救護、搬送に係る人件費	177	235
代替作業員賃金	5,045	6,728
調査、記録に係る経費	468	487
官庁、病院等の連絡、折衝等にかかる人件費	930	930
整理、復旧等の時間に係る人件費	98	98
見舞い、付き添い等の時間に係る人件費	930	930
機械・機具類の損傷、復旧費	3,725	3,725
保険請求の人件費	575	575
計	16,397	19,503

* 人件費には、賃金と保険代などの厚生費が含まれます。

これらの数字は、災害統計資料、調査結果、「災害コストの実際」(中央労働災害防止協会発行)などを参考に算出しました。

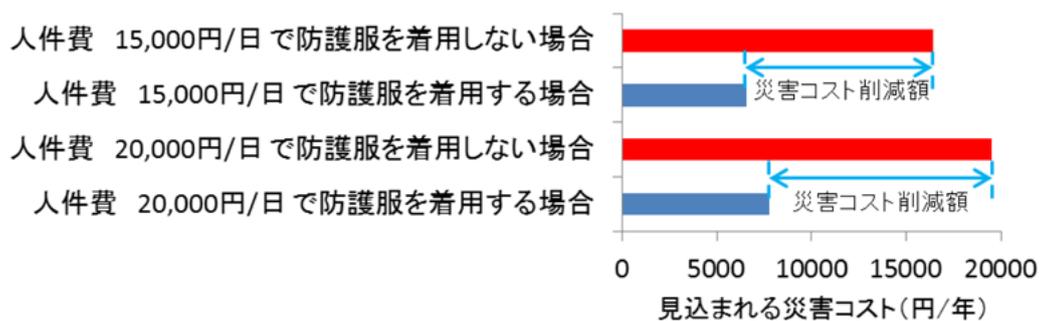


図1 防護服を着用しないの場合と着用した場合に見込まれる災害コストの比較
防護服を着用する効果として災害コストが6割減少すれば、表1の結果をもとに計算すると、作業員1人あたり1年間に1万円前後の補償費や事務経費の災害コスト削減が期待できます。

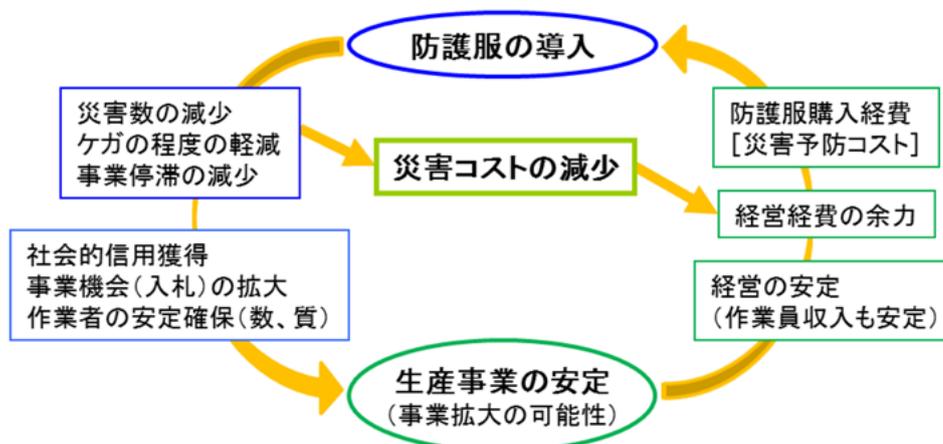


図2 防護服導入により期待される効果の循環
防護服を導入して災害数を減少させることは、経営上有利な効果を生み出し、その結果として生じる経営上の余力を防護服購入経費に使えば、さらに良い効果の循環が期待できます。

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

石崎 涼子、堀 靖人、久保山 裕史、岡 裕泰

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、「木材販売の組織化による木材流通の専門性の向上」、「森林技術者が持つ地域に密着した情報基盤とそれを活用したサービスの提供」、「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。こうした小規模な森林から、たくさんの木材を有利な条件で効率的に木材加工工場へ供給するためには、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において、11の事例（ドイツ、オーストリア、スイス）を調査して、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（図1）。

第1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、林業の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。森林所有者による協同組織（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2の鍵：森林技術者が持つ地域に密着した情報基盤とそれを活用したサービスの提供

一方、市況をもとに木材生産量の調整にあたっているのは、森林所有者による組織などです。欧州では、森林

の所有者や林木の状況などを熟知する森林官や協同組織の森林技術者が各地域にあり、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、いつでも森林所有者とコンタクトが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増加します。木材の販売先が倒産した場合に、回収できなくなった代金の責任を有限にするために、木材共同販売組織は、有限会社や株式会社などの法人形態を採るようになってきています。また、オーストリアの例では、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ます。

日本においては、これらの3つの鍵がまだ十分に整備・活用されてはいません。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ためには、これらに留意した組織の整備や強化が重要です。

本研究は科学研究費補助金「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」(No.23380095)による成果です。

引用：岡ら（2013）ヨーロッパ林業の最前線—組織・制度に焦点をあてて—。森林科学 68

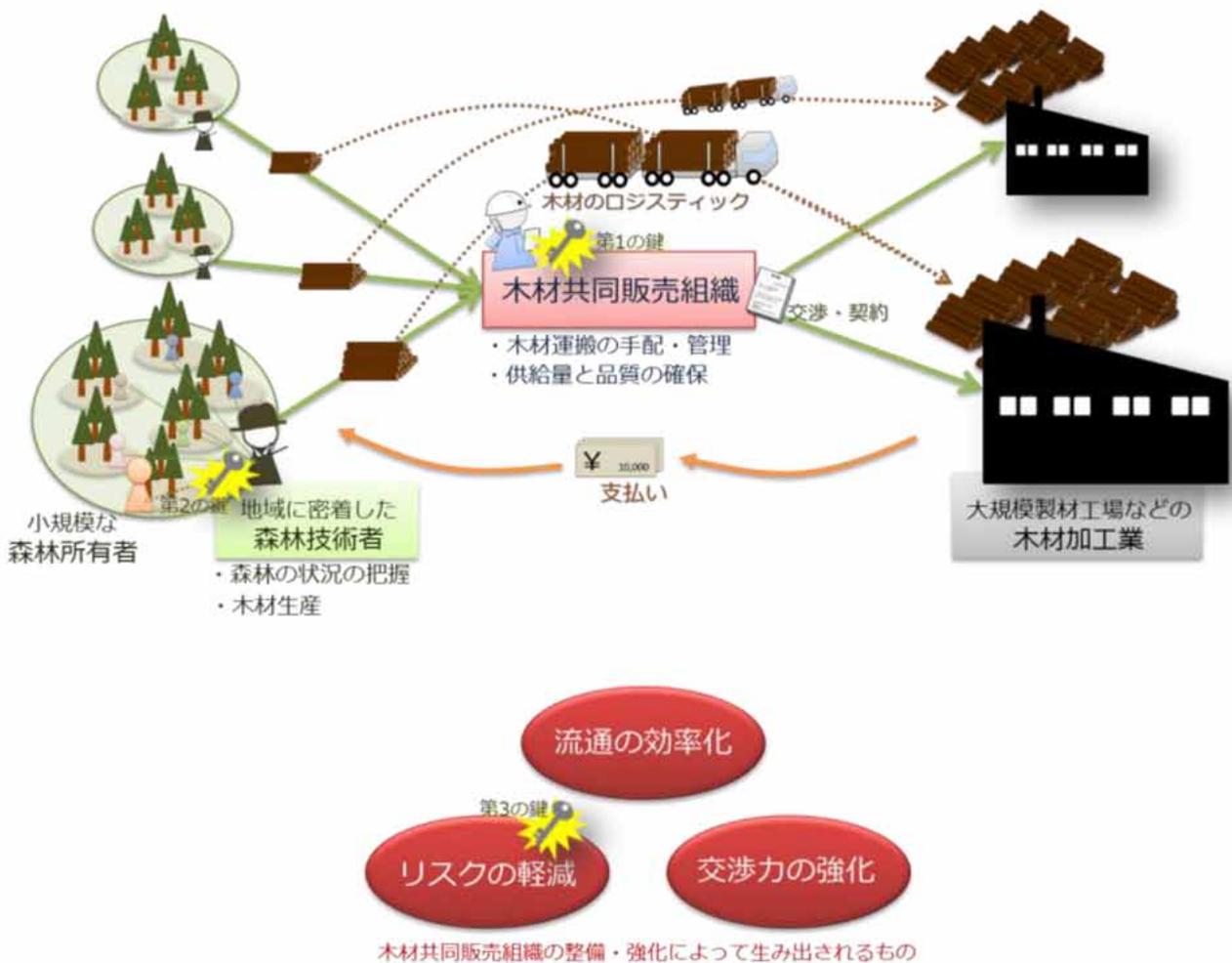


図1 小規模な林業経営から大規模な木材加工工場へ安定的かつ効率的に木材を供給するための秘訣は、「木材販売の組織化による木材流通の専門性の向上」、「森林技術者が持つ地域に密着した情報基盤とそれを活用したサービスの提供」、「取引リスクの軽減」という3つの鍵にあります。

木造でビルが建つ！新しい木質材料 CLT の開発

複合材料研究領域	宮武 敦、塔村 真一郎、渋沢 龍也、平松 靖、新藤 健太、宮本 康太
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、青木 謙治
研究コーディネータ	井上 明生
銘建工業株式会社	孕石 剛志、中島 洋

要 旨

欧州ではクロス・ラミネイティド・ティンバー（CLT：直交集成板）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していることが高く評価されています。我が国においても今後供給量が増えるスギ大径木の有効活用として CLT への利用が期待され、建築工法に関する技術開発が急ピッチで進められています。しかし、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）の制定に大いに貢献しました。

研究の背景

CLT は、欧州で 1990 年代半ばに開発され実用化が進められてきた新しい木質材料です（図 1）。木材の繊維方向に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・ティンバーと呼ばれます（図 2）。欧州では幅 3m、長さ 18m ほどの長大で厚い製品も利用されています。

寸法変化を評価する

木材は濡れたり乾いたりすると寸法が変化しますが、これだけ大きな材料を建築で使用する場合、寸法変化の影響を無視することができません。無垢の木材の場合、水分量の変化に対する寸法変化量は、幅方向が繊維方向の 4 倍も大きくなります。CLT 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木材の半分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。また、寸法変化を抑制する力が接着層に働くため、CLT の接着性能をどのように評価すべきか検討しました。その結果、CLT と同じくひき板を原材料とする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 3）。

強度性能を評価する

木材は繊維直交方向の強度が繊維方向に比べて大変低い材料です。そのため木材の繊維方向を直交させながら積層した CLT の強度性能はその構成によって異なります。

実際の建物の床を設計する場合には、曲げ剛性（たわみにくさ）が重要になります。曲げ剛性は、曲げヤング係数（MOE：たわみにくさにの基準となる係数）と製品の厚さ及び幅によって決まります。CLT のひき板の基本的な構成（図 4）を検討した結果、CLT の MOE は積層数が増えるにしたがって低くなりますが、曲げ剛性は製品厚さの 3 乗に比例して増加するため、積層数の増加に伴って大きくなることわかりました（図 5）。

材料規格や設計技術の整備のために

CLT の基本となる接着性能の評価方法ならびにひき板の構成ごとに算出された強度性能に関するデータについては、直ちに JAS 規格原案作成委員会に提供しました。その結果、「直交集成板の日本農林規格」や「直交集成板の適正製造基準」が平成 25 年 12 月に異例の早さで制定されました。今後は、日本農林規格に合格した 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図るとともに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運営交付金（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」により行いました。



図1 ウィーン市内に建設された CLT を用いた 7 階建ての木造共同住宅
1階は鉄筋コンクリート造、2～7階は CLT 構造である。



図2 スギ CLT の外観



図3 剥離試験による接着不良の検出
左：剥離なし（接着良好）
右：剥離あり（接着不良）

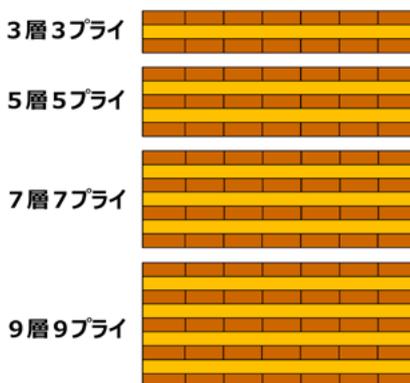


図4 CLT の基本的な層構成

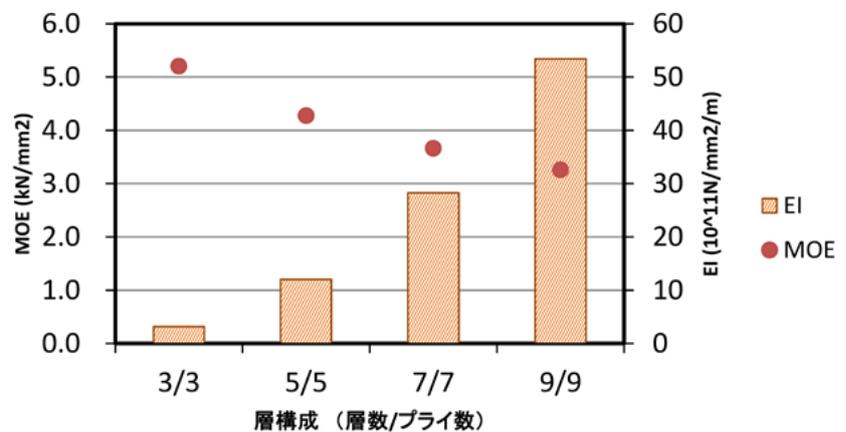


図5 層構成と曲げヤング係数および曲げ剛性の関係
MOE：曲げヤング係数（たわみにくさに関する係数）
EI：曲げ剛性（部材の厚さや幅を考慮したたわみにくさ）
試算した製品の強度等級は JAS 規格の Mx60

スギ大径木の低コストで効率的な製材技術の開発

加工技術研究領域
木材特性研究領域

伊神 裕司、松村 ゆかり、村田 光司
鈴木 養樹

要 旨

戦後植林されたスギが順調に成長し、今後、大径木として供給されることが見込まれますが、高品質なものは少なく、一般的な品質のものが多くと予測されています。そのため、良質な大径木や見た目の良いいわゆる役物（やくもの）と呼ばれる高品質な製材品を生産目標とする製材方式は採用できないと考えられています。そこで、スギ大径木から大断面の製材品を生産して公共建築物など大規模木造建築物の建築用材として利用するため、作業時間の改善による製材作業の効率化を行い、採算のとれる可能性のある製材技術を開発するとともに、含水率とヤング係数（曲がりにくさの指標）に応じた大径木の効率的な選別・製材システムを開発しました。

スギ大径木製材作業の効率化に向けた検討

スギ大径木からは、大断面の心持ち正角や心持ち平角、さらには樹心を含まない心去り平角などを生産することができ、それらを公共建築物など大規模木造建築物の一般建築用材として利用することが期待されます（図1）。スギ大径木の木取り（丸太のどの部分からどんな製材品を生産するか判断すること）は複雑になることが多く、現在普及している単純な木取りのための高能率製材機械では切ることができません。そこで、スギ大径木の製材作業を分析して、作業の改善点を明らかにするとともに製材コストを試算して、スギ大径木製材作業の効率化に向けた検討を行いました。

スギ大径木の製材作業分析の結果、従来の方法では樹心位置を把握して木取りを決定する作業に長時間を費やしていることや、挽き幅が大きい場合には送り速度を遅くする必要があるので作業能率が低下することがわかりました。また、汎用的な製材機械を組み合わせた製材ラインについて製材コストを試算した結果、心去り平角未乾燥材の製材コストは採算の取れる水準の丸太 1 立方メートル当たり 3 万円前半であることがわかりました。

スギ大径木の選別・製材システム

大断面の製材品の場合には、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、電気容量測定による丸太含水率の推定手法を開発し、丸太の心材含水率が 100% より大きいかな否かを判定することを可能にしました。次に、スギ大径木の製材試験を行った結果、丸太と製材品の含水率の間、丸太と製材品のヤング係数の間には高い相関があることがわかりました（図2）。これらに基づき、スギ大径木の効率的な選別・製材システムを設計しました（図3）。含水率の高い丸太からは比較的乾燥の容易な心去り平角を生産し、含水率が低い丸太からはさらにヤング係数に応じて心持ち正角あるいは心持ち平角を生産します。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、製材品に要求される強度などの性能や乾燥の難易に応じて適切な木取りを適用することによって、スギ大径木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。

これらの成果は都道府県の技術者、製材業者及び製材機械メーカーに提供しており、今後は、製材作業改善や大径材に適した製材機械の開発を行うことによって、大径材の需要拡大に貢献して行きます。

本研究は、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」による成果です。

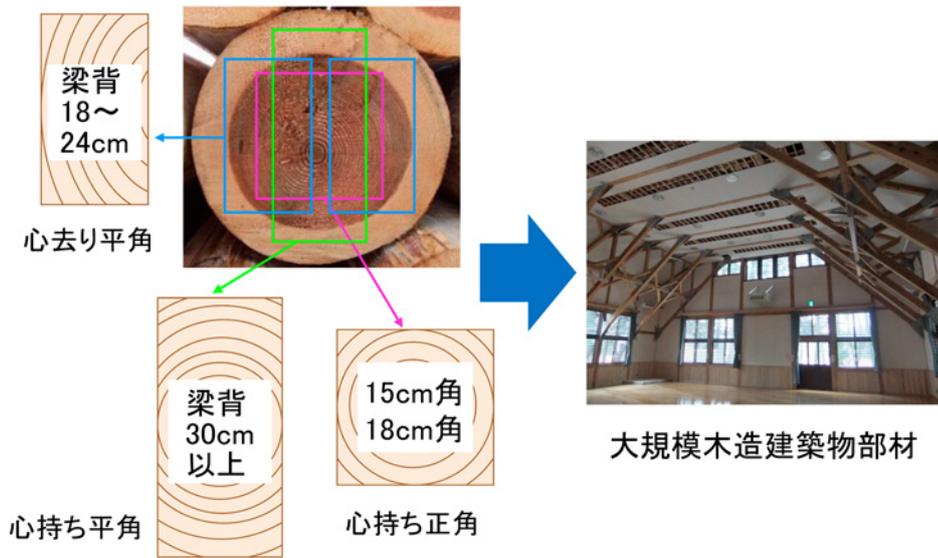


図1 供給増が見込まれるスギ大径木の活用
スギ大径木から生産される大断面の心持ち正角、心持ち平角、心去り平角を公共建築物など大規模木造建築物の部材や住宅の梁・桁材として利用することが期待されます。

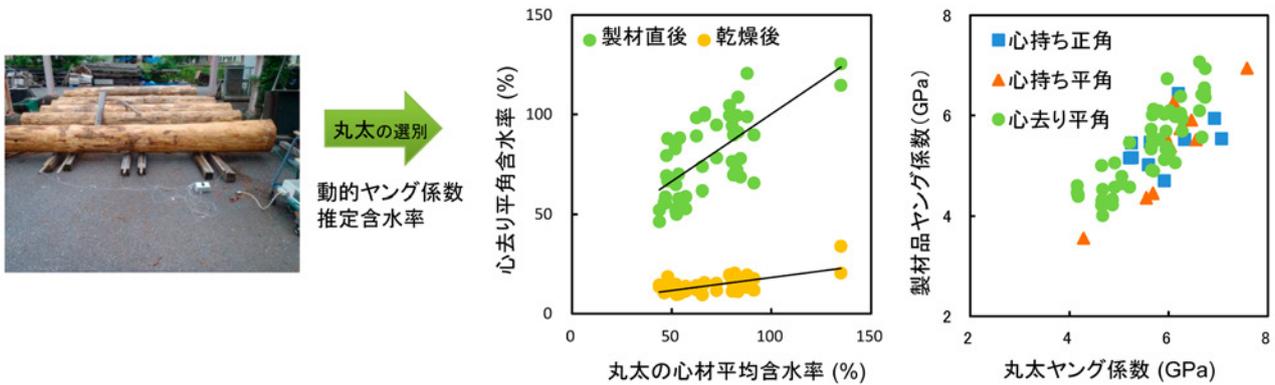


図2 スギ大径木の含水率およびヤング係数による選別
スギ大径木の含水率測定手法を開発し、含水率とヤング係数を測定したスギ大径木の製材試験を行い、丸太の含水率と製材品の含水率、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数との間には高い相関があることがわかりました。

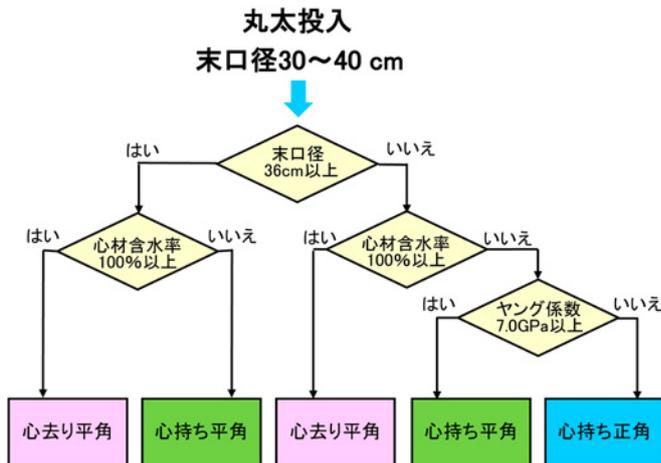


図3 スギ大径木の選別・製材システム
丸太を含水率やヤング係数によって選別し、強度など製材品に要求される性能や乾燥の難易に応じて適切な木取りを適用することによって、スギ大径木から大断面の製材品を効率的に生産することが可能になります。

スギ心去り平角材の乾燥技術の開発

加工技術研究領域

齋藤 周逸、小林 功、渡辺 憲

要 旨

「公共建築物等における木材の利用の促進法」を策定して、伐採時期を迎えつつあるスギ等の国産材を活用するため、木造校舎等へ積極的な利用を図っています。しかし、スギ材を建築用材として利用するためには、割れや反（そ）りを防ぐために木材を乾燥することが必要不可欠です。そこで大規模な木造建築物への利用が期待される平角材（断面が長方形の製材）の効率的な乾燥技術について検討しました。乾燥に必要なコストを考慮して、含水率の減少と含水率を揃える効果を持つ天然乾燥法を行った後に、人工乾燥を組み合わせることによってスギ平角材の低コストで効率的な乾燥システムを開発しました。

はじめに

昭和 30 年代以降に人工造林されたスギ等は確実に成長し、丸太として供給される主体は小・中径木から写真 1 に示すような大径木へと移行してきています。国は「公共建築物等における木材の利用の促進法」により、この成長したスギ等の国産材を木材に加工して木造校舎などの公共建築物等へ積極的に利用しようと考えています。そこで、この施策を推し進めるため、スギ材を利用する上で不可欠な効率的乾燥システムの技術開発を行いました。

心去り平角材とは

直径 36cm を超えるスギ丸太から製材加工される平角材は図 1 のように材の中心部を挟むようにして 2 本採材することができるようになります。樹心部を含まないこのような角材を心去り材と呼びますが、これは樹心部を含む心持ち材に比べて、乾燥による割れの発生は少なく抑えられる特徴があります。

スギ材の特徴

スギ材の特徴でもあるのですが、材中に、大量の水を含むものがあります。木材に含まれる水分量の割合のことを含水率といいますが、未乾燥のスギ平角材の含水率は、多くの材で 60～120% の範囲にあるものの、60% 以下のものや、120% 以上のものもかなりあることがわかりました（図 2）。含水率の低い材は早く乾燥し、高い材はなかなか乾燥しないため、同じ条件で一度に乾燥することはできません。

天然乾燥の長所・短所

屋外で木材を自然に乾燥させる天然乾燥の長所はエネルギーを使わないことで、短所は乾燥に長期間要するということです。例えば、含水率 100% の平角材を含水率

20% までに乾燥するには 1 年以上の時間が必要となります。しかも木材表面に割れが多く発生してしまうという問題もあります。

人工乾燥の長所・短所

人工乾燥は、乾燥室内で空気または木材を加熱して強制的に木材を乾燥させることですが、その長所は乾燥時間を短縮できることです。含水率 100% の平角材を含水率 20% までに乾燥するために必要な日数は、一般的な空気加熱乾燥方式では乾燥温度 90℃ で 40 日程度、高周波加熱減圧乾燥方式では 7 日でした。短所は、加熱のために大量のエネルギーが必要で、エネルギーコストが販売材価の 7 割超にまでなってしまう。

新しい乾燥システムの開発

この研究で開発した乾燥システムは天然乾燥と人工乾燥の長所を取り入れています。まず、数カ月の天然乾燥によって心去り平角材の含水率を 30～50% まで下げるとともに、乾燥前の広範囲であった含水率の幅を小さくします。この程度の含水率であれば、天然乾燥での表面割れも発生しません。次に、この天然乾燥を行った平角材を人工乾燥装置で乾燥します。含水率 50% の平角材を含水率 20% までに乾燥する時間は、空気加熱乾燥方式では 10 日、高周波加熱減圧乾燥方式では 3 日間でした。このときのエネルギーコストは販売材価の 2～3 割（2 万円台前半）に抑えることができました（図 3）。

この乾燥システムは全国の木材乾燥技術者向けの技術資料（講習会テキスト等）を通して技術移転しています。

本研究は、森林総研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」の成果です。



写真1 大径化するスギ材

昭和30年代以降に人工造林されたスギ等の多くは伐期を迎え、丸太として供給される主体は大径木へと移行してきています。

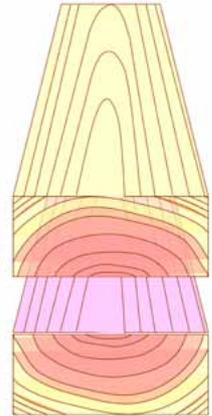


図1 心去り平角

横断面に樹心部分を含まないこのような角材を心去り平角と呼びます。

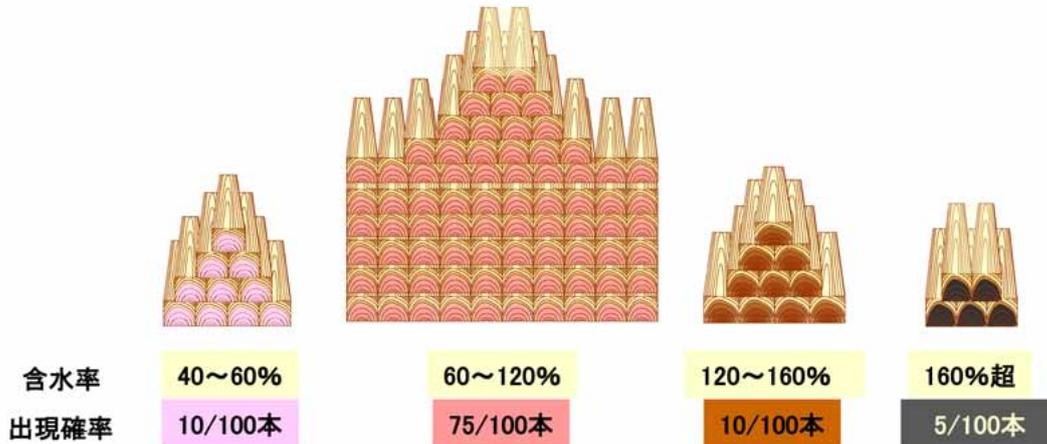


図2 スギ平角材の含水率出現確率分布

未乾燥の平角材の含水率を調べたところ、40~200%に分布し、最も出現率が高いのが60~120%でした。

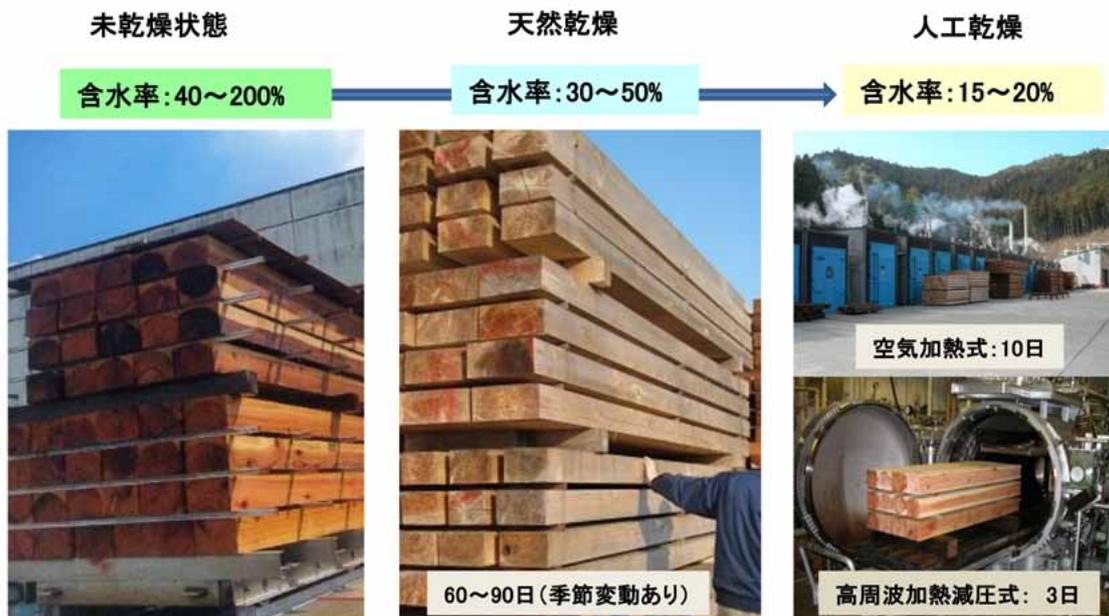


図3 スギ平角材の各処理時間と含水率減少経過

天然乾燥と人工乾燥を組み合わせることによりエネルギーコストを抑えることができました。

膨大な木材の強度データを 1 つにまとめて利用可能に

構造利用研究領域
複合材料研究領域

加藤 英雄、井道 裕史、長尾 博文、小木曾 純子
平松 靖

要 旨

木材の強度試験は、古くは節など欠点のない小さな試験体（無欠点小試験体*）で行っていましたが、現在では、木造の柱や梁（はり）に使用される実大サイズの製材品で評価することが多くなっています。森林総合研究所では、目的に応じて、無欠点小試験体、製材品、ラミナ*（集成材を構成する板）の材料ごとに膨大な数の強度試験を行ってきましたが、これらのデータの活用は各々の実験の目的に限定されていました。そこで、木材の強度に及ぼすと考えられる項目（密度や寸法、加工条件等）を整理するとともに、それぞれのデータを統合して、「木材の強度データベース」を構築しました。この成果は、新たな木質材料の強度性能評価や規格改正に活用されています。

背景・目的

木材の強度試験は、無欠点小試験体、製材品、または、集成材のラミナといった材料ごとに行われてきており、それぞれの膨大な試験結果を一つにまとめたデータベースの構築が以前から求められていました。しかし、木材の強度は試験体の大きさにより変化する（大きくなると強度が低下するという寸法効果がある）ため、無欠点小試験体のデータをそのまま製材品に活用することはできませんでした。また、強度性能に及ぼす木取りや製造条件等を整理して、データベースに加える必要がありました。こうした点を踏まえて、無欠点小試験体、製材品、ラミナに応じた強度データベースを構築するとともに、これらを統合するシステムを検討しました。

研究成果

無欠点小試験体の強度は、木材の強度を知る上で最も基本的なデータで、過去に蓄積されたデータをどのようにデータベース化するかが課題でした。また、原材料は丸太なのか製材品なのか、どの位置から採取したかなど、材料の履歴を関連付ける必要がありました。こうした項目を加えて、過去のデータを電子化し「無欠点小試験体の強度データベース」を構築しました。

一方、「製材品の強度データベース」は、全国の公設試験研究機関の協力を得ながら 1997 年より開発に着手してきています。着手から暫くして、人工乾燥やインサイジング*（保存薬剤を注入するための木材の表面加工）処理などの加工条件が強度低下に影響する可能性があることが次第に明

らかになり、それらの加工条件もデータベースに追加することになりました。

集成材の強度性能を評価するには、構成材料となる板（ラミナ）の強度特性とラミナのたて継ぎ方法（フィンガージョイント*）が影響を及ぼします。フィンガージョイントの加工条件としては、フィンガーの形状や接着剤の種類が重要となります。こうした項目を追加して構築したのが「ラミナの強度データベース」です。

構築した 3 つの強度データベースには、共有可能なデータ項目があるため、これらを関連付けして統合し、相互利用できるようしたものが「木材の強度データベース」です（図参照）。

成果の利・活用

開発したデータベースを用いて得られた解析結果は、ホームページで随時公開するとともに、データ集として取りまとめています。樹種による違いや、柱や梁の断面寸法が強度に及ぼす影響の解明はその一例です。また、このデータベースは日本農林規格（JAS）改正の際に強度等級区分に関する技術資料として活用されました。さらに、海外では、中国の「木構造設計規範」の改訂にも活用され、国産材の輸出という新たな木材需要拡大に貢献しています。

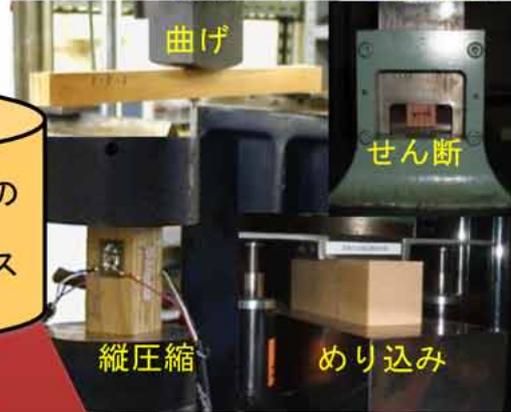
本研究は「予算区分：一般研究費、課題名：木質構造の構造安全性と快適性向上のための構造要素および評価技術の開発」（課題番号：C221）による成果です。

無欠点小試験体の様々な強度試験

様々な加工条件



無欠点小試験体の
強度データベース



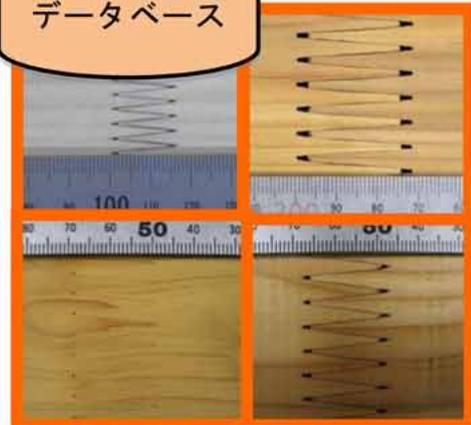
木材の強度
データベース

製材品の強度
データベース



製材品の様々な強度試験

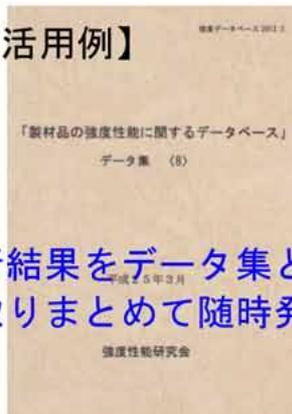
ラミナの強度
データベース



様々なフィンガージョイント
(形や接着剤が違う)

3つのデータベースを統合し相互利用できるシステムを開発

【成果の利・活用例】



解析結果をデータ集として
取りまとめて随時発行

- ・製材
- ・枠組壁工法製材
- ・たて継ぎ材



の見直しや改訂に反映

図 開発した「木材の強度データベース」のイメージ

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

木材の見た目やにおいが与える影響

構造利用研究領域 恒次 祐子

要 旨

人は木の色や香りに「いいな」「ほっとする」という感じを受けるようです。私たちはそのような「木から受ける感じ」を科学的なデータで裏付けることにより、木の良さをもっと発揮できるような使い方ができないかと考えて研究を行っています。

これまでに 20 代の男性を対象とした実験で、木の見た目やにおいが快適で鎮静的な印象を与え、血圧や脈拍数を低下させるなど、体をリラックスさせることがわかってきています。本研究では測定上の難しさからこれまであまりデータの取られてこなかった女性や赤ちゃんを対象として、木が与える影響を測定することができました。

木材から受ける「感じ」

身の回りにはテーブルや本棚、床や壁など、木で作られたものがたくさんあります。そう思っで見渡すと、人間はずいぶん木が好きなのだなと思えてきませんか？ どうも人は木の色や香りに「いいな」「ほっとする」という感じを受けるようです。私たちはそのような木から受ける「感じ」を科学的なデータで裏付けたいと考えて研究を行っています。

人を測る

さて、どうすれば人の「感じ」をデータにできるでしょうか？ 私たちは木材を見たり、そのにおいを嗅いだりしたときに、人の体がどのように反応しているかを測ろうとしています。

人間の体は外界の変化に対して常に変化しながら対応しています。脳は外の変化を察知すると、脳から各器官につながっている自律神経（意志とは無関係に体を調整する神経）を使って指令を伝えます。ストレスを感じると、脳から心臓や血管に指令が送られ、心拍数や血圧が上昇します。これは全身に血液を送り戦いに備えるためだと考えられています。逆にリラックスしているときは各器官を休ませるので心臓はゆっくり動き、心拍数や血圧が下がります。

さて木を見たり、木のにおいを嗅いだりするとどうなるのでしょうか？

木目を見ると

木目模様は同じで色の濃淡が異なるシートが正面・左右の 3 面に貼ってあるブースを作りしました（図 1）。比較用に白いシートを貼ったブースも入っています。これらのブースに 20 代の女性被験者に 1 人ずつ入ってもらい、壁を静かに眺めてもらいました。

全部で 20 名の測定を行ったところ、各ブースを「鎮静的」であると感じた人たちでは、「覚醒的」と感

じた人たちより副交感神経系活動が高く（図 2）、逆に交感神経系活動は低くなっていました。自律神経のうち交感神経はストレス時や活動時に動きが高まり、副交感神経はリラックス時や睡眠時に高まります。この結果が示すのは①同じブースでも人によって反応が異なる、②「落ち着く」と感じているときには体も落ち着いている、③自律神経活動の測定により木目への反応を捉えることができそうである、という 3 点であるといえます。

木のにおいを嗅ぐと

生後 1～4 ヶ月の赤ちゃんに木のにおい成分である α -ピネンのにおいを嗅いでもらいました。2 分間安静にした後に 2 分間においを嗅いでもらったところ、赤ちゃんの心拍数が安静時よりも低下することがわかりました（図 3）。比較のために無臭の空気も嗅いでもらいましたが、心拍数に変化はありませんでした。これまでに大人を対象とした実験で、 α -ピネンなど木のにおいが血圧や脈拍数を低下させることを明らかにしてきました。これは体が「リラックスした」状態になっていると解釈されますが、赤ちゃんも大人と同じように木のにおいで「リラックス」していたことがわかりました。

木目を好きな女性は木を見るとリラックスし、赤ちゃんも木のにおい成分でリラックスすることが科学的データからも明らかになりました。家の内装や身の回りにもっとたくさん木を使って、人の心身の健康に役立てることができるよう、木の良さを科学的に説明するための研究を引き続き進めていきます。

「木の見た目」の研究は大日本印刷（株）との共同研究、「木のにおい」の研究はピジョン（株）との共同研究の成果です。また「木のにおい」は科学研究費補助金「嗅覚刺激に対する乳児における生理反応の経時変化」により行いました。



図1 色の違う木目模様のシートを貼った「ブース」
高さ約 2.1m、幅約 0.9m のブースを作成し、女性被験者に中に入って
壁面を眺めてもらいました。

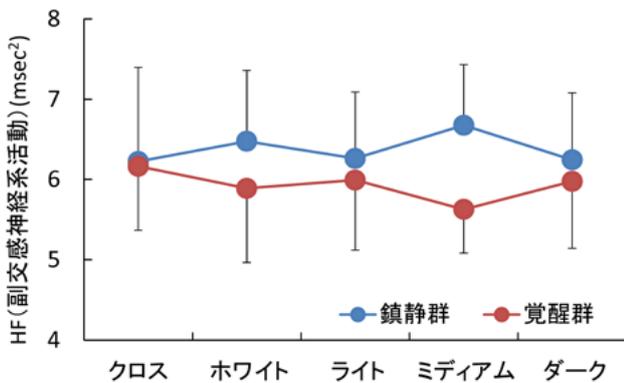


図2 各ブースにおける「鎮静群」と「覚醒群」の副交感神経系活動
各ブースの壁面が鎮静的か覚醒的かを答えてもらったところ、鎮静的であると答えたグループは、覚醒的であると答えたグループよりも副交感神経系活動が常に高いという結果でした。副交感神経系活動は、リラックス時や睡眠時に高まる神経活動です。この結果は壁面が鎮静的だと思っているときに、体も鎮静的な方向に動いていたことを示しています。

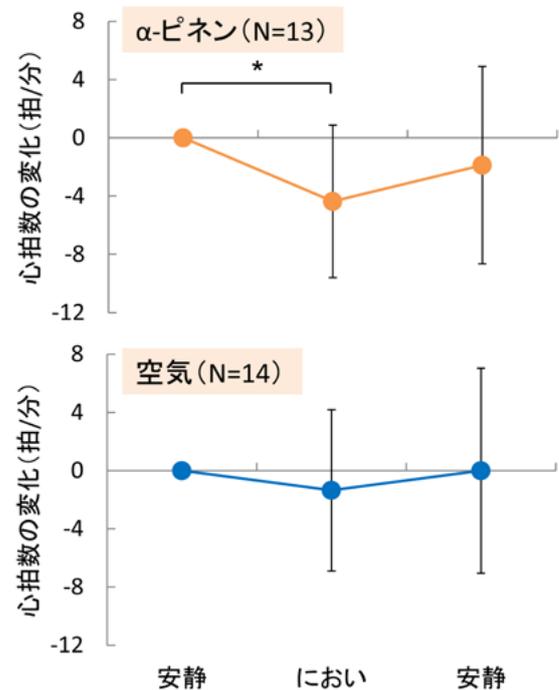


図3 α-ピネンと空気のものによる赤ちゃんの心拍数の変化 (*は統計的に有意な差があったことを示す)
安静を2分取った後ににおいを2分嗅いでもらい、最後に再度2分の安静を取りました。α-ピネンにおいて心拍数が低下しました。これはα-ピネンにおいて赤ちゃんを「リラックス」させたと解釈されます。空気において(無臭)では心拍数の変化はほとんどありませんでした。

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

四国支所

垂水 亜紀、北原 文章
田内 裕之（客員研究員）

加工技術研究領域
高知大学

吉田 貴紘
鈴木 保志

要 旨

日本の山村には豊富な森林資源があり、住民にとって薪は最も身近で、加工が容易なエネルギー源です。そこで、高知県内で実際に薪ボイラーを導入した温浴施設において、従来の灯油ボイラーと比較し、どの程度 CO₂ 削減効果があるのか試算を行うため、木材の伐採から薪の加工、ボイラー投入までの過程についてデータ収集を行いました。また、流域のボイラー利用施設すべてに導入された場合の効果を試算しました。その結果、年間約 1,400 トンの CO₂ 削減が可能となることがわかりました。山村において、エネルギーの地産地消システムを構築する上で、重要な選択肢の一つとなることがわかりました。

成果

温浴施設や園芸等で熱利用する小規模な木質バイオマスボイラーには、近年、薪ボイラーも増えてきました。その理由として、薪は加工するための手間がかからないことや、近年のボイラー性能の向上、さらにボイラーの価格が比較的安価であることなどが挙げられます。本研究では、薪ボイラーを地域の温浴施設に導入した場合、灯油ボイラーを利用するのと比較して、どの程度 CO₂ 削減効果があるのか試算を行い、山村におけるエネルギーの地産地消システムについて検証しました（図 1）。

CO₂ 削減効果

薪ボイラー利用による CO₂ 削減効果は、従来の灯油ボイラー使用時の CO₂ 排出量から、薪の加工・利用時の燃料や電力消費由来の CO₂ 排出量を差し引くことで求められます。算出条件として、出力 70kw の薪ボイラー 3 基を稼働させた場合、年間に必要な原木量はスギで 2,186m³、そのうち薪の製造量・使用量を 210 トン（湿潤重量）としました。その結果、この温浴施設では灯油使用時に比べて、年間 136.5 トンの CO₂ が削減可能との結果が得られました（表 1）。

なお、これ以外の高知県仁淀川流域内でボイラーを設置している温浴施設等が同等の出力の薪ボイラーに置き換えると、28 基分となります。そこで、先ほど試算した薪ボイラー利用による CO₂ 削減量をボイラー 1 基分に換算すると 45.5 トン-CO₂ となることから、仁淀川流域内の温浴施設全てに薪ボイラー（計 31 基）が導入されると仮定すると、その CO₂ 削減効果は約 1,400 トン-CO₂

となります。これは、一般家庭約 300 世帯の年間 CO₂ 排出量に匹敵します。

雇用等所得に及ぼす影響

同条件において、同作業に関わる労働力と各労働分の賃金試算を計算しました（表 2）。これらの労働力に対して支払われる賃金は、単なるコストと捉えられがちですが、すべて地域内での雇用を産み出し、それは地域の人々の所得となり、その所得が消費されることによって、さらなる経済的な波及効果を生みます。

また、エネルギーの支出に関しても、1 施設で海外からの化石資源を年間約 500 万円近く支払って購入していたものが、薪ボイラーにすることで燃料費が約 120 万円（薪代）となり、それは域内の地域所得の増加に繋がります。

薪や小水力発電*の活用など、山村ではエネルギーの地産地消に関して以前よりも身近な選択肢が広がっています。この事例と同規模のシステムを小水力発電とセットにして運用した場合の効果試算図を提示します（図 2）。これらはあくまでも一つの例にすぎません。それぞれの地域にとって最適な解は、住民や行政、研究機関等関係団体が協力して、見つけていくことが重要です。

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



図1 温浴施設に導入された薪ボイラー

表1 薪ボイラー利用による環境および経済効果

項目	丸太生産		薪加工		エネルギー利用
	収集 搬出)	運搬)	製造	運搬	
機器・燃料	チェーンソー等 ガソリン	軽トラック ガソリン	薪割り機 電気	軽トラック ガソリン	薪ボイラー 薪・電力
条件	土場残材玉切り 人力車載	運搬距離10km	薪割り機	運搬距離10km 人力積込 荷降	人力投入 熱利用(温水)
CO2排出量 (t-CO2)	0.1	2.5	≒0	2.5	9.4
灯油ボイラー のCO2排出量 (t-CO2)	1.7 (石油備蓄基地からの運搬)				149.3

注) 機械製造に必要なエネルギー、作業者のエネルギーは考慮しない。

表2 薪ボイラー運用に必要な労働力と賃金

項目	丸太生産		薪加工		エネルギー利用
	収集 搬出)	運搬)	製造	運搬	
機器・燃料	チェーンソー等 ガソリン	軽トラック ガソリン	薪割り機 電気	軽トラック ガソリン	薪ボイラー 薪・電力
条件	土場残材玉切り 人力車載	運搬距離10km	薪割り機	運搬距離10km 人力積込 荷降	人力投入 熱利用(温水)
労働力 (人日)	18.5	82.1	121.2	132.1	75.0
賃金 (万円)	17.9	83.6	62.4	134.6	72.0

注) 賃金は全国農業会議所「農作業料金・農業労賃に関する調査結果」、国土交通省「公共工事設計労務単価(基準額)」より試算。



図2 地域エネルギーによる循環型社会

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

農業的な林業にチャレンジ —バイオマス資源作物としてのヤナギの短伐期栽培—

北海道支所
植物生態研究領域

上村 章、伊藤 江利子、原山 尚徳、韓 慶民
宇都木 玄

要 旨

地理情報システムを用いて、エネルギー資源作物として北海道のヤナギの栽培可能地域を推定したところ、砂礫地の耕作放棄地が有望と判断されました。コストに合う収量を得るためには、ヤナギの生育を妨げる牧草の防除が一番の問題であったため、大型の機械を用いて土壌を改良し、農業用マルチを敷設して防草しました。それらの費用を含め、FIT（再生可能エネルギー固定価格買取制度）* を利用した販売価格を考えると、1 トン当たりの生産コストを 11,500 円以下にし、ha 当たり年間 10 トンの生産力を得ることが必要であることがわかりました。

はじめに

大気中の二酸化炭素濃度の上昇に伴いカーボンニュートラル* な再生可能エネルギーの利用が求められています。我々は挿し穂で植えられ、成長が早く萌芽更新* 可能なエゾノキヌヤナギとオノエヤナギに着目し、エネルギー作物としての大規模栽培方法の研究を進めています。

広域的なヤナギ栽培可能地域とは？

ヤナギの栽培可能な土地は、ヤナギが育つこと（生育条件）とヤナギを植えられること（土地利用）の2点を満たす必要があります。地理情報システム(GIS)を用いて、北海道（下川町）におけるヤナギの分布地域や繁茂状態を分析し、ヤナギ栽培に適した土壌条件を明らかにしました（図1）。これらの生育条件と併せて、耕作放棄地（採草放棄地）のように土地利用条件を満たす立地がヤナギの栽培適地となることがわかりました。

樹木の農業的生産

耕作放棄地は牧草の繁茂が著しく、ヤナギは牧草の陰になり枯れてしまいます。そこで、大面積の防草に有効なマルチシート* を敷設しました（写真1）。一方、砂礫地には礫が多く、マルチ敷設の前処理として大型の岩礫破碎機械（ストーンクラッシャー）を導入する必要がありました。こうした農業的土壌改良によって、より確実なヤナギの収量増大が期待できるようになりました。

コスト

ヤナギを3年周期で2年間収穫した時の栽培にかかるコストの割合を図2に示しました。ヤナギの収量（乾

燥重量）は、系統* によって大きく異なり、年間 ha 当たり 6～10 トンの間でした。そこで、年間の生産量を (A):6 トンと (B):10 トンの2つのパターンについて、乾量 1 トンの生産にかかる栽培コストを試算しました。その結果、機械による土壌改良とマルチ敷設や更にシカによる食害対策まで含めた費用は、(A) で 19,456 円、(B) で 11,405 円と試算されました。また、農業で行われている土壌改良時におけるストーンクラッシャー費用を補助した場合は、(A) で 12,852 円、(B) で 7,534 円となりました。

FIT を利用した場合、木質バイオマス発電の原料となる木質チップの買取価格は、乾量 1 トン当たり 2 万円程度です。ヤナギを収穫した後、チップ化し工場まで運搬するのに乾量 1 トン当たり約 7,000 円程度かかります。そのため、経済的にヤナギの栽培が成立するには、栽培コストを 1 トン当たり 13,000 円以下に抑えることが必要です。土壌改良に補助金を投入した場合には、私達が確立した栽培方法で十分成り立ちますが、補助が無い場合には、下限の ha 当たり 6 トンの生産量を 10 トンまで増加させる必要があります。今後も、さらなるコスト削減や収量の増加を目指して栽培手法の改良を行っていきます。

本研究は、下川町との栽培協定のもとに行われた森林総合研究所一般研究費「北海道における木質バイオマス資源作物生産促進技術開発」による成果です。

本研究の詳細な内容は、北海道支所ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/hkd/research/seikapanf.html> をご覧ください。



写真1 農業用マルチを敷いてのヤナギの穂の植栽風景
黒のマルチと表が白で裏が黒のマルチで成長差が出るか比較しています。

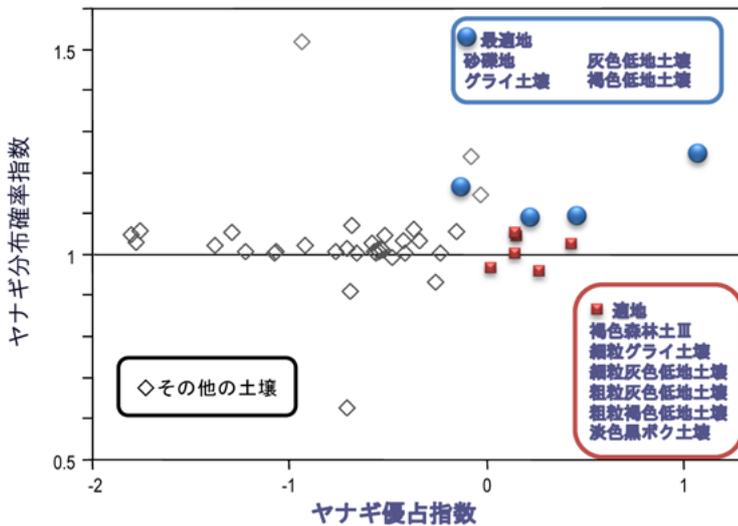


図1 ヤナギ栽培に適した土壌の抽出（北海道版）
横軸は現存植生におけるヤナギ優占度を示した指数、縦軸はヤナギの分布の有無からヤナギ栽培適性を判断する分布確率指数。どちらの指標も大きいほどヤナギ栽培適性は高くなります。ヤナギの生育に適した土壌は水の流れと関連が深い低地土壌に多く見られます。

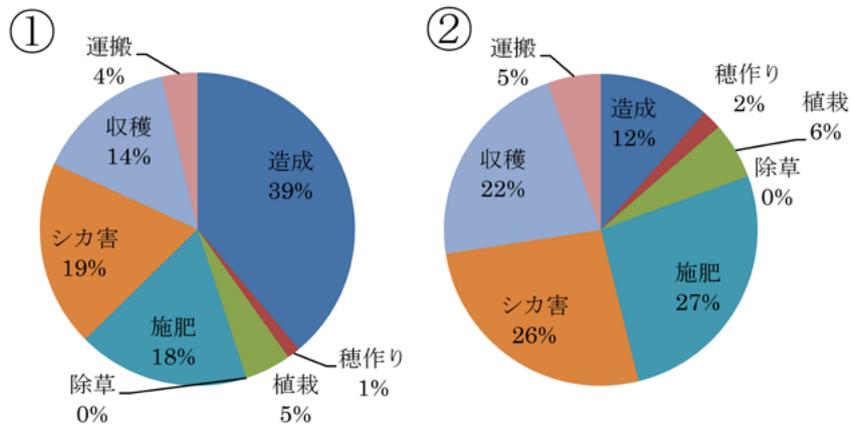


図2 ヤナギ栽培にかかるコストの割合
①は大型機械で土地を造成したときのコストの割合で、②は大型機械の造成費用を補助した場合のコストの割合です。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

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

バイオマス化学研究領域

山田 竜彦、高橋 史帆

要 旨

私たちは、燃料以外に有効利用されていない木材成分である「リグニン」から高い付加価値を持つ製品を製造する技術開発を行っています。ポリエチレングリコール（PEG）という化合物をリグニンに結合させることによってリグニンを改質し、「炭素繊維」や「コンクリート用混和剤」の原料として利用できるのですが、そのためには、エポキシ PEG という高価な化合物を使う必要がありました。今回、私たちは安価な PEG そのものをリグニンに直接結合させる新しい手法の開発に成功しました。これにより、リグニンの改質にかかる薬品のコストを半減させることができ、商用化が近づいてきました。

リグニンの有効利用

木質バイオマスの主成分であるセルロースやヘミセルロースと呼ばれる糖類は、紙やバイオエタノール等に利用できます。一方、糖以外のもう一つの主成分である「リグニン」は、燃やしてエネルギー利用する以外の用途はほとんどありませんでした（図1）。私たちは、リグニンから機能材料を製造して新しい産業を創出することを目的に、リグニンを原料とする炭素繊維やコンクリート混和剤等を製造する技術を開発してきました。これらの技術には、PEG をリグニンに結合させることによってリグニンの性質を変え、リグニンを加工しやすい原料にする必要があります。私たちは、これまで「エポキシ PEG」という化合物を用いてリグニンに PEG を反応させる手法を開発していました（図2）。しかしながら、エポキシ PEG は高価な薬剤であり、製品の商用化のためにも製造コストの低減が必要でした。

新たなリグニン改質法「アルカリ PEG 処理」

今回、エポキシ PEG を利用しない新たな手法の開発に成功しました（図3）。この新手法は、アルカリを用いた紙パルプ製造工程で出てくる廃液に直接使えることを特徴としています。このパルプ製造工程からの廃液は黒液と呼ばれ、リグニンが溶解したアルカリ水溶液です。これを乾燥させて粉末状（黒液粉末）にします。黒液粉末中には、リグニンの他にアルカリ成分として水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムが多く含まれます。この黒液粉末が、そのまま PEG に完全に溶解し、さらにこれを加熱

することで PEG がリグニンと反応することがわかりました。これまでは、PEG のリグニンへの直接導入は難しいと考えられており、そのために高価なエポキシ PEG を使っていました。リグニンとアルカリを含む黒液粉末を原料として用いることで簡単に PEG が導入できることがわかったのです。現在、この画期的な手法を「アルカリ PEG 処理」と呼んでいます。PEG と反応したリグニンを精製してその性質を調べたところ、熱によって柔らかくなることがわかりました。これは、アルカリ PEG 処理したリグニンが炭素繊維等の原料としてそのまま利用できることを示しています。

新手法でコスト半減

PEG は洗剤や化粧品等に用いられる化学薬品であり、比較的安価な化合物です。一方、エポキシ PEG の価格は PEG の数倍以上もする高価な化合物です。アルカリ PEG 処理という手法を見出し、直接 PEG をリグニンに作用させることができるようになったことで、リグニン改質に用いる薬品のコストは少なくとも半減しました。現在、この技術を用いて商用化に向けた研究を進めています。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「地域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」の成果です。



図1 木質バイオマス成分の約3割は未利用なリグニンです。

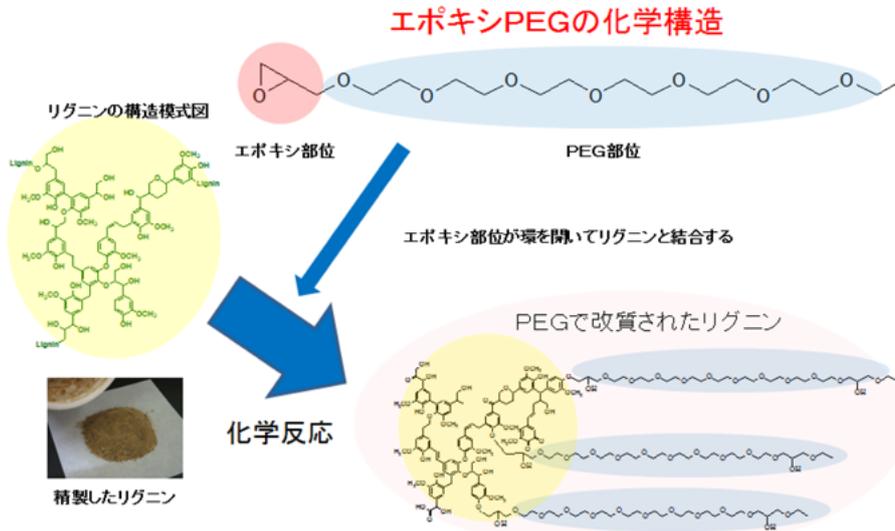


図2 リグニンに PEG を結合させるこれまでの方法（高価なエポキシ PEG を使用する必要があった）

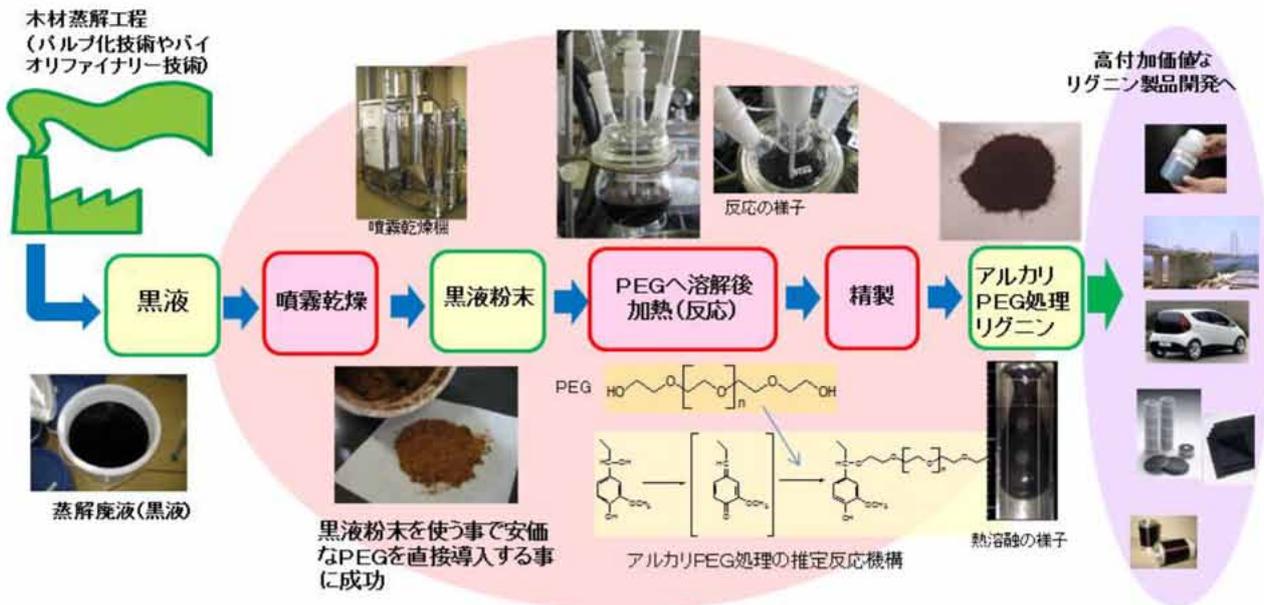


図3 リグニンに PEG を結合させる新手法「アルカリ PEG 処理」の工程

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～

森林植生研究領域	佐藤 保	国際連携推進拠点	新山 馨、松浦 陽次郎、藤間 剛
研究コーディネータ	田中 浩	企画部	田淵 隆一
植物生態研究領域	梶本 卓也、宇都木 玄	東北支所	八木橋 勉、齋藤 智之
立地環境研究領域	平井 敬三	四国支所	野口 享太郎、森下 智陽
ロシア科学アカデミースカチェフ森林研究所			Olga A. Zyryanova、Anatoly S. Prokushkin
カセサート大学			Dokrak Marod、Decha Doungnamol
マレーシア森林研究所			Abd. Rahman Kassim
ムラワルマン大学			Chandra Dewana Boer、Sutedjo、Warsudi
チュラロンコン大学			Pipat Patanaponpaiboon、Sasitorn Pongparn

要 旨

森林総合研究所では、シベリアから熱帯域に至る海外の代表的な森林のモニタリング試験地のネットワークを組織し、海外の研究機関・大学と連携して過去10年以上にわたって森林動態と炭素蓄積に関する長期継続観測を進めています。攪乱と炭素動態の関係を解析した結果、たとえば、択伐と火災攪乱を受けた熱帯降雨林では、択伐後15年以上経過しても炭素蓄積量の回復には至っていないことがわかりました。ネットワーク内の試験地で樹木の生残や成長を長期にモニタリングして相互比較することによって、森林構造や炭素動態について短期間の調査ではわかり得ない変化を把握しました。

なぜ長期モニタリングか？

地球温暖化による生態系への影響が懸念される中、森林の持つ二酸化炭素を吸収・固定する機能に関心が高まっています。森林の炭素蓄積量を知るには、種組成や成長量などを把握する必要がありますが、稀に発生する強風や火災などの攪乱が与える影響を無視することはできません。したがって、森林の状態ならびに炭素蓄積量を、その変化まで含めて正確に把握するためには、より長期にわたる観測（モニタリング）が必要となってきます。

東アジア森林動態試験地ネットワーク

このような考えから森林総合研究所では、海外の研究機関・大学と共同で、森林構造や炭素蓄積量の変化の仕組みを解明することを目的とした長期モニタリング試験地を設定してきました。現在、北方針葉樹林のトゥラ（ロシア）、熱帯季節林のメクロン（タイ）、熱帯降雨林のセマンコック、パソ（ともにマレーシア）、ブキットスハルト（インドネシア）と、熱帯湿地林のラノン、ラムセバイ（ともにタイ）の4カ国7ヶ所（図1）で観測ネットワークを形成し、海外の研究機関・大学と連携してモニタリングとデータの解析を行っています。

見えないものを可視化するモニタリング観測

図2上段に示した試験地群では、モニタリングデータから求めた過去20年ほどの地上部現存量*に大きな変化は認められませんでした。このような年々変動が少ない試験地でも、地上部現存量の水平面的なバラつきは存在しています。林冠層を構成する樹木が枯れることによって、林冠の一部が疎開した「林冠ギャップ」*が形成されます。たとえば、マレーシアのセマンコック試験地

では、大径木（胸高直径70cm以上）が枯れたギャップ下の地上部現存量は閉鎖林冠の3分の1程度まで低下していました（図3）。大面積の試験地を長期にわたって観測することで、このようなギャップや地上部現存量の水平面の細かな変化傾向を把握することが可能となります。

一方、択伐実施後に火災攪乱を受けたインドネシアのブキットスハルト試験地では、択伐後15年以上経過しても地上部現存量の回復に至っておらず、現存量は以前の半分以上以下でした（図2下段）。また、この期間の種組成を見てみると、2012年の全体の種数は新たな種が加わったことによって1997年に比べて増えています。1997年時点で存在していた種の約6割しか残っておらず、種組成が大きく変化していました（図4）。強度の択伐と火災攪乱の影響を受けると種組成の面からも、20-30年程度の短期間では火災による攪乱前の状態に回復するのは難しいことが予想されました。

このように長期モニタリングデータによって、ある一時点の調査のみでは把握できない森林構造や炭素動態の変化をとらえることが可能になります。加えてモニタリングデータの蓄積は、今後の環境変動から森林がどのような影響を受けるのかを予測するための貴重な情報となります。本研究のモニタリングデータの一部は、国内外の研究者・技術者とのデータ共有化を促進するためにプロジェクトホームページ（<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/EA-FDPN/>）にて公開しています。

本研究は環境省地球環境保全試験研究費「温暖化適応策導出のための長期森林動態データを活用した東アジア森林生態系炭素収支観測ネットワークの構築」による成果です。



図1 ネットワークを構成する長期モニタリング試験地
試験地の文字色は森林タイプの違いを表しており、青字は北方針葉樹林、緑地は熱帯季節林、橙字は熱帯降雨林、赤字は熱帯湿地林であることを示しています。

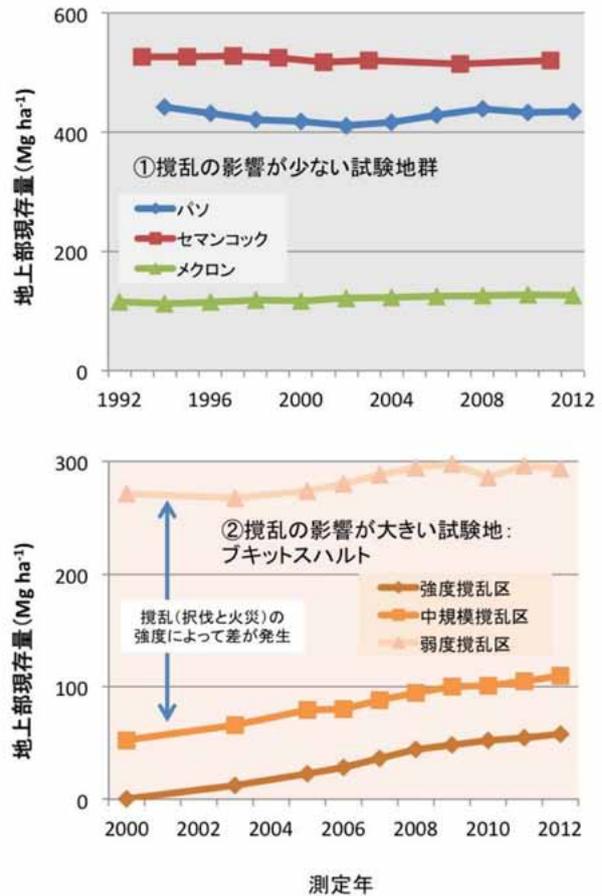


図2 長期モニタリングデータから得られた地上部現存量の年々変動
大きな攪乱が発生しなかった試験地群（上段①）では年々変動は大きくありませんが、択伐と火災による攪乱を受けたブキツスハルト試験地（下段②）では、攪乱の強度によって地上部現存量とその回復過程が大きく異なることを捉えることができました。

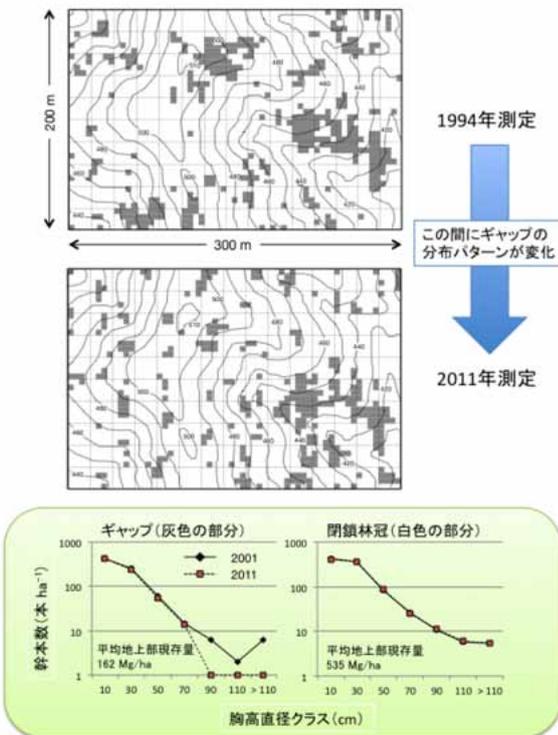


図3 熱帯降雨林の林冠攪乱と地上部現存量の関係（セマンコック試験地）
林冠層を欠く「林冠ギャップ」の水平面の分布パターンは、常に一定ではなく、変化しています。大径木(胸高直径70cm以上)が枯れた林冠ギャップでは、閉鎖林冠に比べて地上部現存量の低下が著しくなります。

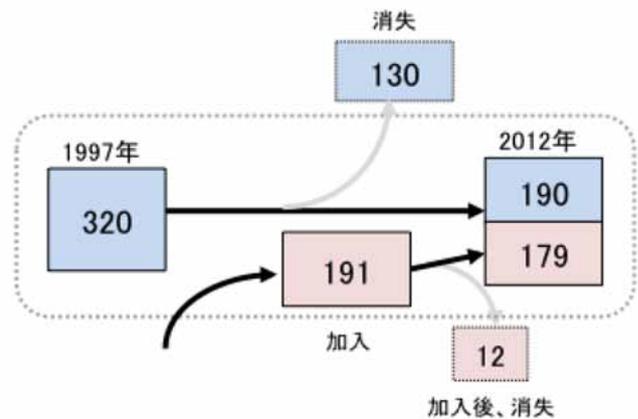


図4 ブキツスハルト試験地の種組成の変化
青の四角は1997年時点で存在していた種、ピンクの四角は1997年以降に新たに加入した種をそれぞれ示しています（未同定の樹種は除く）。2012年の全体の種数は1997年に比べて増えていますが、消失や新たに加入した種があるため、その種組成が大きく変わっていることがわかります。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

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

植物生態研究領域	北尾 光俊
北海道支所	山野井 克己
東北支所	安田 幸生
関西支所	深山 貴文

要 旨

大陸からの越境大気汚染により、我が国の大気オゾン濃度は年々上昇する傾向にあります。大気汚染物質であるオゾンは葉に吸収されることで光合成を低下させ、森林の二酸化炭素吸収を妨げます。森林へのオゾン影響の評価のためには森林レベルでのオゾン吸収量の推定が必要です。しかし、従来の手法では、葉が濡れている時や樹木の一部が落葉している場合には正確な吸収量の推定ができませんでした。本研究では、フラックスタワーで観測された二酸化炭素吸収速度のデータを新たに用いることで、従来は困難であった降雨時および一部の樹木が落葉している時期のオゾン吸収量を推定する手法を開発し、森林へのオゾン影響を評価しました。

成果

大気汚染物質であるオゾンの濃度は世界的に上昇する傾向にあります。我が国においても、東アジアの急速な社会経済の発展に伴い、大陸からの長距離越境汚染によると考えられる光化学スモッグの発生など、オゾン濃度の上昇が再び問題となっています。オゾン濃度の上昇は光合成に悪影響を及ぼし、植物の成長を低下させることが報告されています。その一方で、森林が被るオゾンの影響については研究があまり進んでいません（図1）。

オゾンは、植物の葉の表面にある小さな穴（気孔）を通して葉の中に吸収されることで光合成に悪影響を及ぼします。一方で、気孔が閉じている時はオゾンの吸収量は少なく、光合成への影響は小さくなります。そのため、森林へのオゾン影響を正確に評価するためには、森林上空のオゾン濃度と気孔の開き具合から、森林が吸収したオゾンの量を正確に知る必要があります。

これまで、森林全体の気孔の開き具合（気孔コンダクタンス）を調べる手法はありましたが、従来使われてきたペンマン・モンティス法では、雨が降って葉が濡れている時や、森林の一部の木が落葉している時には気孔コンダクタンスを正確に推定できないという問題がありました。そこで、従来の方法に加えて、気象条件（二酸化炭素濃度と相対湿度）と森林の二酸化炭素吸収速度（総一次生産量）を考慮した Ball-Berry の気孔反応モデルを使うことで、雨の日や森林の一部樹木が落葉している時期の気孔コンダクタンスを推定する新しい手法を開発しました。

京都府にある関西支所山城試験地では、コナラ（落葉広葉樹）とソヨゴ（常緑広葉樹）が優占する暖温帯林が広がっています（図2）。従来の方法で推定すると、コナラが落葉している時期に森林全体の気孔コンダクタンスが高いという不自然な推定結果が出ます。新しい手法では、4月からのコナラの開葉に合わせて気孔コンダクタンスが上昇し、10月の落葉に合わせて低下するという樹木の季節性をよく現した正確な推定が可能となりました。

この新しい手法を用いて、森林総研が蓄積してきたフラックス測定データから、森林レベルでのオゾン吸収量と光合成による二酸化炭素吸収速度との関係を調べました。2004、2005、2009年の平均オゾン濃度は27、30、42 ppbと徐々に上昇しており、開葉が始まる4月から積算した森林のオゾン吸収量（積算オゾン吸収量）もオゾン濃度の上昇にともない多くなりました。各月ごとにオゾンの影響を比較したところ、オゾン吸収量が多い年には、9月以降の二酸化炭素吸収速度が低くなる傾向が見られました（図3）。森林レベルで、オゾンによる葉の老化促進が生じている可能性があります。森林の二酸化炭素吸収機能を十分に発揮させるためには、越境大気汚染によるオゾン濃度の上昇を防ぐ取り組みが必要です。

本研究は環境省環境研究総合推進費「葉のオゾン吸収量に基づいた樹木のオゾン影響評価に関する研究（5B-1105）」による成果です。詳細については、Kitao et al. (2014) *Environmental Pollution* 184, 457-463 をご覧ください。

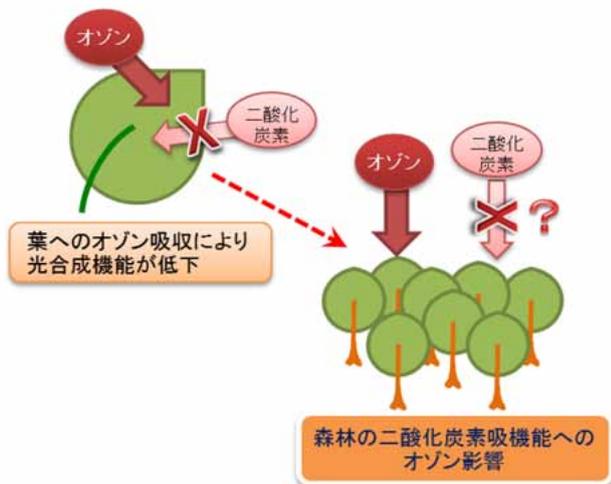


図1 森林へのオゾン影響
 植物の葉にオゾンが吸収されると光合成が阻害されることで二酸化炭素の吸収量が低下します。オゾン濃度の上昇が森林の二酸化炭素吸収機能に与える影響についての研究が必要とされています。

図2 森林総合研究所関西支所 山城試験地フラックス観測タワー
 落葉広葉樹と常緑広葉樹が混在する森林。冬期には落葉広葉樹は葉を落とし、部分的に葉が着いた森林となります。

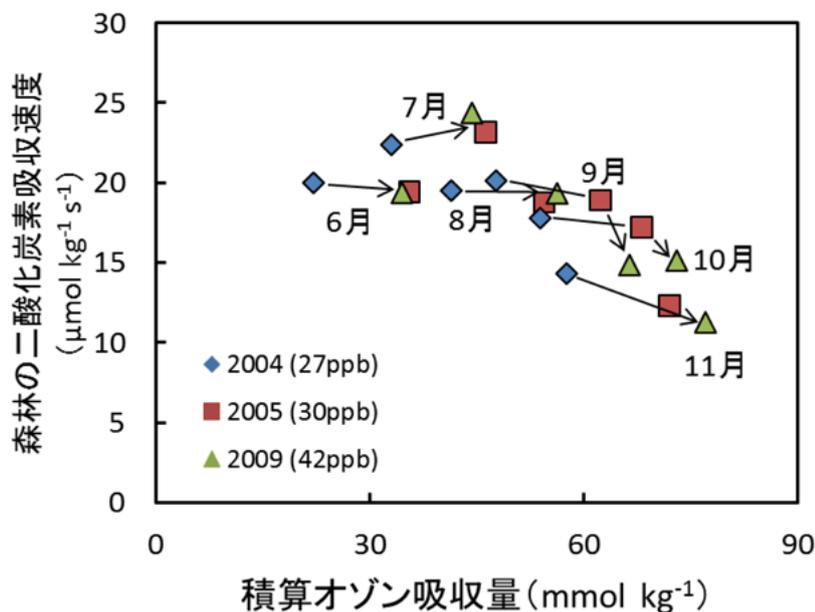


図3 森林レベルでのオゾン吸収量と光合成による二酸化炭素吸収速度との関係
 矢印は月別の変化を示しています。

ブラジル・アマゾンの森林炭素を測る

植物生態研究領域	梶本 卓也、 野口 英之（現アジア航測）、 大橋 伸太	北海道支所 飯田 滋生 関西支所 諏訪 鍊平 東北支所 八木橋 勉
森林植生研究領域	佐藤 保	四国支所 大谷 達也
研究コーディネータ	石塚 森吉（現国際緑化推進センター）	
東京大学生産技術研究所	沢田 治雄、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

ブラジル・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、森林の炭素蓄積量とその動態を、広域でしかも正確に把握する手法が求められています。しかし、広大なアマゾンでは、奥地も含めて森林の構造やバイオマスを調査した例はまだ限られています。この研究では、合計 1,200 点を超えるプロットを設置して現地調査を行い、また約 100 本の伐倒・伐根調査から樹木のバイオマスを計算する式を作成しました。その結果、流域によって平均的な森林炭素量が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、アマゾン全域の森林炭素量分布マップを、従来にない高い精度で作成することに成功しました。

減少するアマゾン熱帯林

アマゾンの森林は、1960 年代以降急速に減少し、最近でも毎年 5,000km² 程度消失し続けています。途上国の森林減少・劣化による CO₂ 排出の削減策 (REDD) を進めて、森林破壊に歯止めをかけるためには、森林の炭素蓄積量を正確に把握する必要があります。しかし、広大なアマゾンでは、奥地も含めて多点で現地調査を行い、そうした実測データを踏まえて森林の炭素量を広域で評価した研究例はまったくありませんでした。

空白域を埋める地上調査

この研究プロジェクトでは、まず、できるだけ多くの森林で樹木の種類や直径、樹高などを測定するインベントリー（資源台帳）調査を行いました。その結果、従来ほとんど調査されてなかったアマゾナス州内の 8 地域で、合計 1,200 点を超えるプロットのデータが収集できました（図 1）。

また、約 100 本の樹木を伐倒して幹や枝・葉、さらに地下部（根）も加えた樹木バイオマス（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。各プロットのバイオマス（炭素量はこの約 50%）の推定結果からは、例えば、ネグロ川流域ではアマゾン川本流域に比べて平均のバイオマスがやや小さいなど、地域によって森林の構造が違うことが明らかになりました（図 2）。

リモートセンシング技術で広域評価

地上調査の結果を、広域での森林炭素量の評価につなげるには、衛星データ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) の雲なし時系列データセットを整備したり、衛星レーザー計測 (LiDAR) も組み合わせ合わせた MODIS の画素単位で炭素量推定の誤差（不確実性）を見積もる手法などを開発して、ブラジル・アマゾン全域を網羅した森林の炭素蓄積量分布図を作成しました（図 3）。これまでに報告された類似のマップに比べると、多数の現地調査結果が反映されている分、とくにアマゾナス州については格段に推定精度が向上しました。

森林破壊の歯止めに貢献

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しました。また、広域森林炭素分布図は、今後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る予定です。

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 CADAF)」の成果で、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。

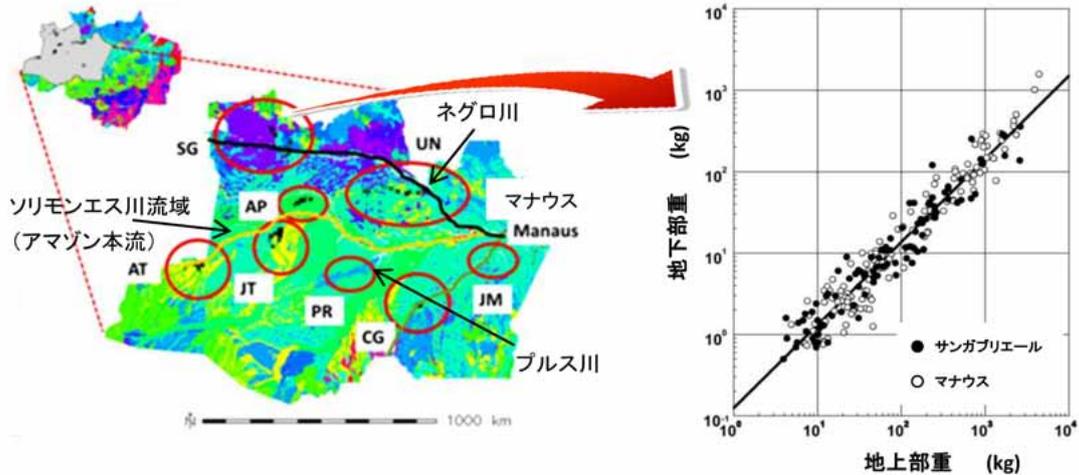


図1 (左) アマゾン州のインベントリー調査を行った8つの地域。各地域で100点以上のプロットが設置された。(右) ネグロ川上流の調査地(SG)の伐倒データで得られた地上部と地下部(根)重のアロメトリー関係(黒丸)。白丸はマナウス近郊の既存データ。

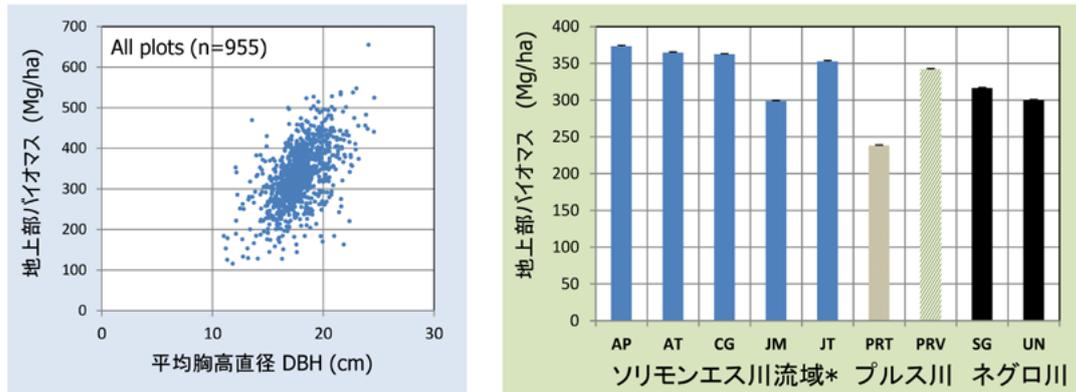


図2 (左) 8地域の実調査プロットにおける平均胸高直径(DBH)と地上部バイオマスの関係。(右) 各地域の平均地上部バイオマスの比較。アマゾン本流*(ソリモンエス川流域)の森林の方が、支流のネグロ川流域よりも炭素蓄積量がやや大きい傾向がみられた。



図3 アマゾン全域の森林地上部炭素量の推定分布図

東部の森林は、潜在的な炭素蓄積量は大きい(河口周辺の濃い緑)、川沿いに開発が進み森林面積は減少している。一方、中央から西部には、バイオマスはやや少ないが、手つかずの熱帯林が残されている様子がわかる。

マングローブ林のバイオマスを測る —人工衛星を利用した広域推定手法の開発—

温暖化対応推進拠点
東北支所

平田 泰雅
小野 賢二

要 旨

マングローブ林*は成長が早く、落ち葉などの有機物を泥炭層に炭素として蓄積することから、高い炭素蓄積能力を有しています。このため、マングローブ林の地上バイオマス（樹体量）を数百 km² レベルの広域で把握することが陸域炭素蓄積量を推定する上で重要な課題です。そこで、高分解能衛星センサで観測される「樹冠サイズ」と衛星 LiDAR で観測される「林冠高」のそれぞれから地上バイオマスを推定する2つの手法を開発しました。ここで開発された高分解能衛星センサによる手法は広域での地上バイオマス推定に威力を発揮し、衛星 LiDAR による手法は地上バイオマス推定精度を向上させることができます。

いまマングローブ林は

熱帯から亜熱帯沿岸域に分布するマングローブ林は、成長が早く、落ち葉などの有機物を泥炭層に炭素として蓄積することから、高い炭素蓄積能力を有しています。しかし現在、薪炭材の利用や養殖池の造成や農地への転換のために多くのマングローブ林が伐採されつつあり、そのことが温暖化の一因ともなっています。マングローブ林を守り、適切に管理するためには、まず現状を知ることが大切です。このため、マングローブ林の地上バイオマス（樹体量）を数百 km² レベルの広域で把握する手法の開発が陸域炭素蓄積量を推定する上で重要な課題です。

「樹冠」からの地上バイオマスの把握

地上を覆い尽くすような根や泥炭で現地での調査が困難なマングローブ林の地上バイオマスを広域に推定するためには、人工衛星に搭載されたセンサを利用した観測が有効です。これまでの研究により、樹木の幹の直径や、幹の直径と樹高を組み合わせることで地上バイオマスを推定していますが、上空からの観測で幹の直径を計測することはできません。そこで、1本1本の木の枝葉の広がり（樹冠）を観測できる高分解能衛星センサを用いて樹冠面積を計測し（図1）、地上調査により求めた樹冠と幹の直径との関係を使って、樹冠面積から1本1本の樹木の幹の直径を推定しました。さらに、得られた幹の直径からそれぞれの樹木のバイオマスを推定し、これらを足し合わせることでマングローブ林の地上バイオマスを推定する式を求めました（図2）。ここで得られた推定式か

ら得られたバイオマスに0.5を乗じることにより炭素蓄積が算出されます。この手法を用いて広域での炭素蓄積をマッピングすることが可能になりました（図3）。

「林冠高」からの地上バイオマスの把握

高分解能衛星センサによる観測では樹冠のサイズから森林の地上バイオマスを推定しましたが、「林冠高」という森林の高さの情報を用いることにより、より精度の高い推定が期待されます。そこで、衛星 LiDAR という森林の高さを計測可能なセンサを用いて森林の地上バイオマスを推定する手法を開発しました。衛星 LiDAR はレーザーを用いた計測技術で、衛星から照射された近赤外のレーザー光が林冠表面から地表面に到達するまでの間に反射してくるまでの時間と反射の強さを計測することにより森林の3次元構造を推定することができます。このレーザーがどの高さでより強く反射されるのかを調べ（図4）、その反射の地上からの高さを用いたモデルを作成して、地上バイオマスを精度よく推定することが可能になりました（図5）。

ここで開発された高分解能衛星センサによる手法は広域での地上バイオマス推定に威力を発揮し、衛星 LiDAR による手法は地上バイオマス推定精度を飛躍的に向上させることができます。

本研究は「予算区分：科学研究費助成事業、課題名：立地環境の異なるマングローブ林の炭素蓄積過程の解明と衛星技術によるその高精度把握」による成果です。

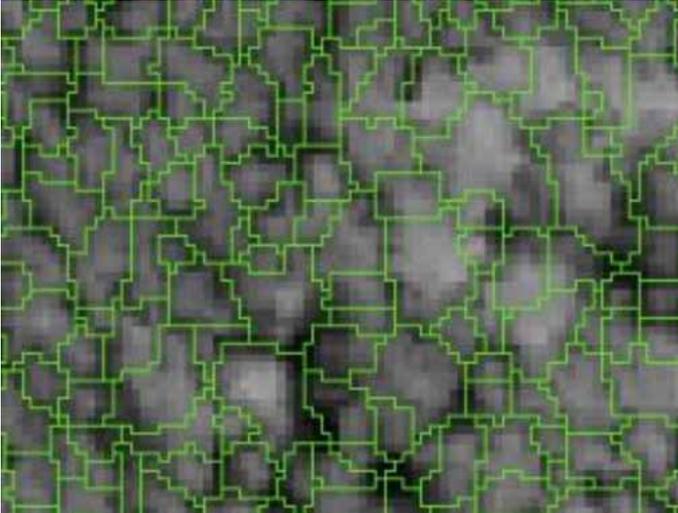


図1 高分解能衛星画像からの樹冠の抽出
高分解能衛星画像では樹冠の判別が可能です。太陽光の反射が樹冠の中心部で大きく、周辺部で小さいという特徴を利用して、自動的に樹冠を抽出することが可能です。

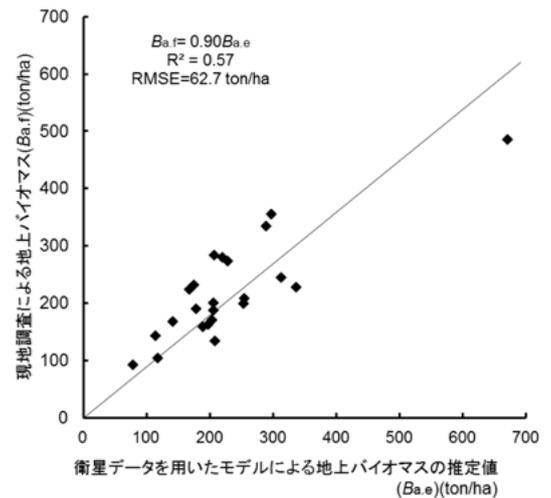
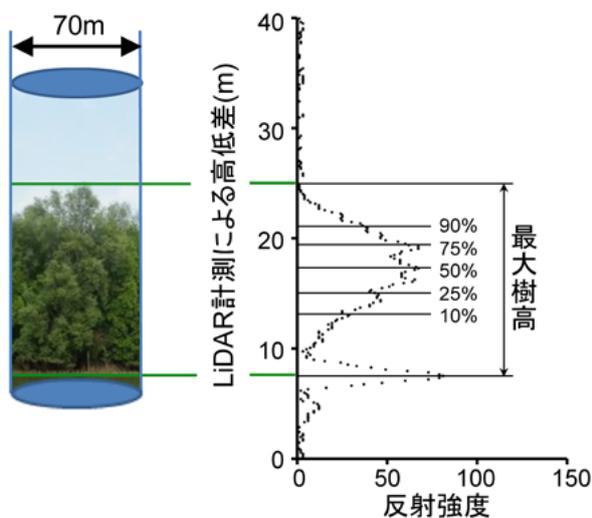


図2 高分解能衛星による地上バイオマスの推定
高分解能衛星から得られる樹冠サイズと現地調査の結果から、高分解能衛星から地上バイオマスを推定するためのモデルを作成しました。



図3 高分解能衛星画像からのマングローブ林の抽出（左図、黄色の線）と
高分解能衛星画像を用いたマングローブ林の炭素蓄積マッピング（右図）



(*LiDAR: Light detection and ranging)

図4 衛星 LiDAR によるマングローブ林の林冠高の情報
衛星から地上に向けて照射されたレーザー光が林冠表面で反射することにより、林冠の高さの情報を得ることが可能です。

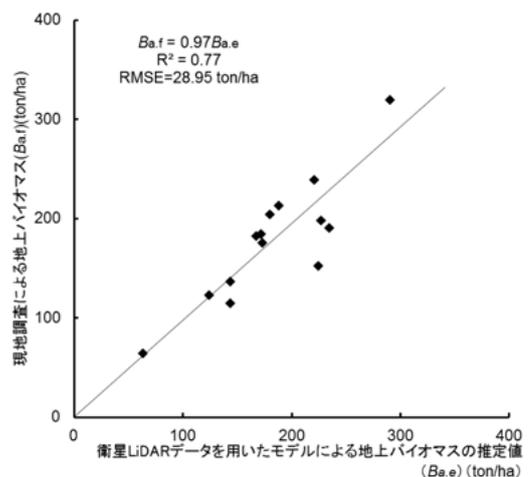


図5 衛星 LiDAR による地上バイオマスの推定
衛星 LiDAR の観測データを用いて地上部バイオマスを推定するための重回帰モデルを作成した結果、地上バイオマスを精度よく推定することが可能になりました。

*については、巻末の用語解説をご覧ください。

ミミズの放射性セシウム濃度は落葉層より低い

森林昆虫研究領域 長谷川 元洋

要 旨

福島原発事故によって放出された放射性セシウムは、森林の落葉層及び土壌に集積していることから、落葉や土壌に生息する生物の放射能汚染や濃縮が懸念されます。そこで、福島県のスギ林で、土壌生物の代表としてミミズに着目し、その放射性セシウム濃度の変化を測定しました。ミミズの放射性セシウム濃度は、生息地の落葉層と土壌の中間の濃度を示しました。さらに、ミミズの放射性セシウム濃度は年々低下し、体内での濃縮は起きていないことがわかりました。

落葉の汚染とミミズの放射性セシウム

福島第一原発の事故後に行った森林総研の調査から、森林の放射性セシウムは、落葉層及び土壌に蓄積しつつあることが明らかになりました。放射線は生物の体外と体内の双方から影響を与えるため、落葉層や土壌に生息するミミズなどの土壌生物に強い影響を及ぼす可能性が考えられます。ミミズ(写真1)は落葉を分解し土壌を作るとともに、他の動物の餌にもなります。ミミズにも多くの種類がありますが、その中でも落葉を主に食べる地表付近に棲む表層性ミミズへの、放射性物質の影響は大きいと予想されます。

ミミズの放射性セシウム濃度は落葉より低い

2011年の原発事故の半年後に、福島県川内村、大玉村、只見町のスギ林でミミズを採取し、放射性セシウム濃度を測定しました。その時のスギ林の空間線量率は、それぞれ毎時3、0.3、0.1マイクロシーベルトで、地域によって大きく異なります。3カ所のミミズの放射性セシウム濃度は、それぞれ採集したスギ林の落葉層と土壌層(0~5cm)の濃度の中間の値を示しました(図1)。このことから、ミミズの放射能汚染は森林の汚染状況に比例していること、また、体内の放射性セシウム濃度は餌と

している落葉の濃度より低いことがわかりました。

ミミズの放射性セシウム濃度は年々減少

ミミズの放射性セシウム濃度を、さらに1年半後、2年半後と継続して調査したところ、その濃度は年々低下していました。放射性セシウムは物理的崩壊(Cs-134の半減期は約2年、Cs-137の半減期は約30年)により自然に濃度が低下しますが、ミミズの放射性セシウム濃度の低下はそれよりも速いことがわかりました(図2)。また、いずれの年の計測においても、ミミズの放射性セシウム濃度は落葉層と土壌層(0~5cm)の中間の値を示し、餌である落葉とミミズの間で放射性セシウムの濃縮は起きていないことが確認できました。

放射性セシウムは森林生態系を循環するといわれています。ミミズ体内の放射性セシウムは捕食する動物(ネズミ、モグラ等)に移行すると考えられます。このことから、森林生態系の樹木、落葉、土壌、そこに生息するミミズや動物の放射性セシウム濃度を長期にわたりモニタリングし、その動態を明らかにする必要があります。

本研究は、林野庁「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。



写真1 調査地のミミズの様子
ミミズは採集後、消化管内の落葉や土壌を除去、乾燥させた後、放射性セシウム濃度を測定します。

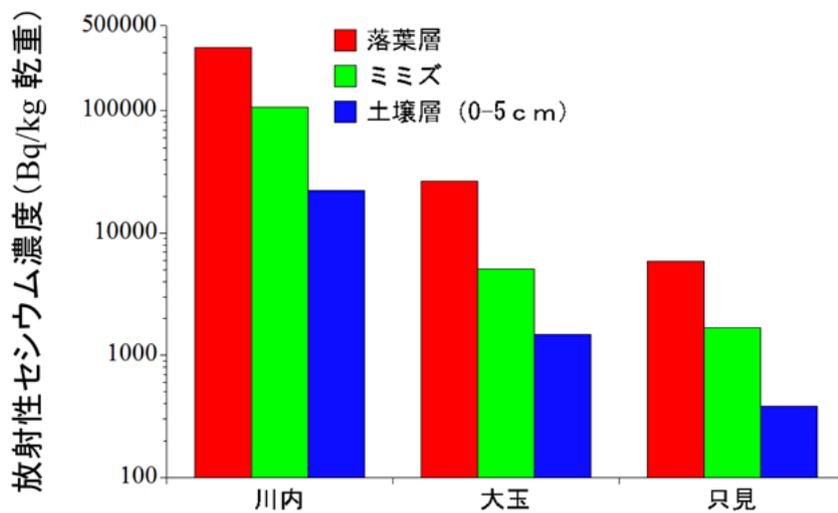


図1 原発事故半年後の福島県の3カ所のスギ林における落葉層、土壌層とミミズの放射性セシウム濃度 (Cs-134+137)
ミミズはいずれの地点でも落葉層と土壌層 (0-5 cm) の中間の放射性セシウム濃度を示しました。

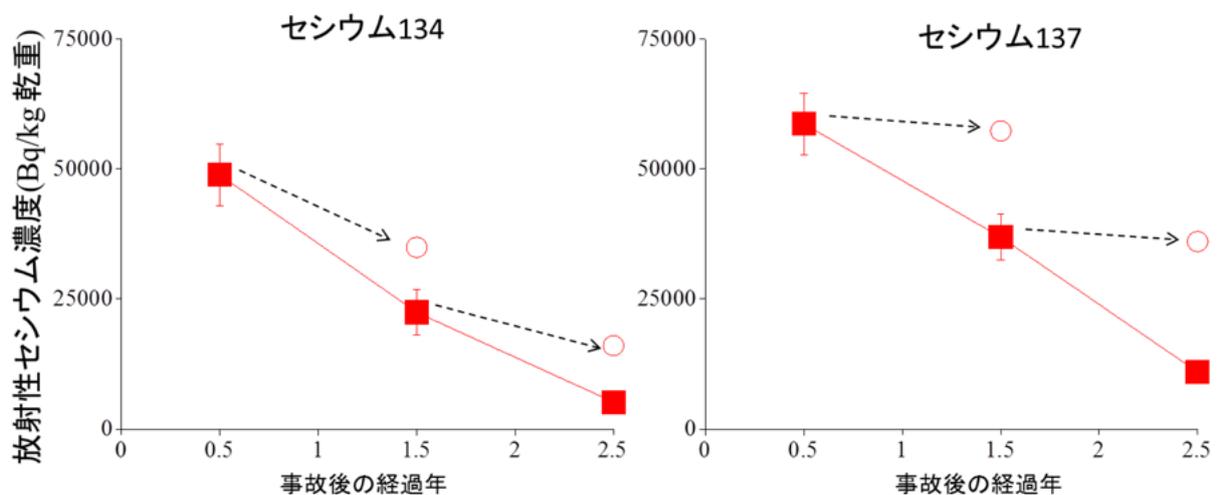


図2 川内村のスギ林におけるミミズの放射性セシウム濃度 (左: Cs-134, 右: Cs-137) の変化
■は実測値、○は前年度の濃度から物理的崩壊 (Cs-134 の半減期は2年、Cs-137 の半減期は約30年) のみによる減少を示した場合の値
ミミズの放射性セシウム濃度は年々低下し、その速度は物理的崩壊による低下を上回ることがわかりました。

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

北海道支所
水土保全研究領域
東北支所

延廣 竜彦
坪山 良夫 玉井 幸治
久保田 多余子

要 旨

間伐などの手入れは水源かん養機能の増進につながることを期待されています。関東北部のヒノキ林において本数率 50%の間伐を行い、樹冠（樹木の葉や枝が茂っている部分）を通過して森林土壌に到達する降雨量（樹冠通過雨量）と、樹冠の投影面積や葉の量を定期的に調査しました。間伐後に減少した樹冠の面積は速やかに回復しましたが、葉の量は間伐後 3 年経っても間伐前の水準に達しませんでした。一方、樹冠通過雨量は間伐により増加し、間伐後 3 年経っても間伐前より多い状態で維持されました。このことから、降雨が森林樹冠に遮断される量は樹冠の面積だけではなく葉の量にも影響を受け、水源かん養機能の増進効果は少なくとも 3 年間は持続することを明らかにしました。

研究の背景

近年、間伐が遅れた人工林が増加していることから、森林の公益的機能の低下が危惧されています。このため、林野庁や都道府県では間伐を促進する施策を講じています。しかし、間伐した後、どのように森林の水源かん養機能に変化するか、その効果はどのくらい持続するかについては調査した事例が少なく、不明な点が多くあります。

雨水は森林土壌に一時的に蓄えられ、河川を流れ下流域で利用されます。森林に降った雨の多くは樹冠を通過し（一部は幹を伝って）地表に到達しますが、降雨の一部は樹冠で遮断され、そのまま蒸発します。そのため、樹冠通過雨量を測定することは下流で利用可能な水量、つまり水源かん養機能の評価につながります。

そこで、主要な樹種であるヒノキ林を対象に、間伐前から間伐後 3 年半にわたり、樹冠の状態と樹冠通過雨量を調査しました。

間伐前後の森林樹冠の変化

調査を行ったのは茨城県常陸太田市にあるヒノキ林（2009 年時点で 22 年生）です。2009 年 3 月から 5 月にかけて本数率で 50%の間伐（2,230 本/ha → 1,132 本/ha）を行いました（図 1）。間伐により樹冠の投影面積

の合計は 76%にまで低下しました（図 2）。その後、面積は徐々に増加し、1 年後には間伐前の水準まで回復していました。これに対して、葉の量を示す指標（葉面積指数）は間伐により半減した後、徐々に増加したものの、3 年経っても間伐前の水準に達しませんでした（図 3）。

間伐が樹冠通過雨量に与える影響

図 4 に間伐前後の樹冠通過雨量の変化を示しました。降雨量に対する樹冠通過雨量の割合は間伐前が 73%であったのに対して、間伐直後には樹冠による遮断が減って 82%に増加しました。その後、樹冠通過雨量は 3 年経っても間伐前より多い状態で維持されました。降雨が樹冠に遮断される量は、樹冠の面的な広がりだけでなく樹冠の葉の量や樹冠の鉛直方向の厚みも影響を受けると考えられます。このことから、調査したヒノキ林では、間伐によって樹冠通過雨量が増加したため森林の水源かん養機能も増加したこと、その効果は間伐後少なくとも 3 年間は持続することがわかりました。

本研究は「予算区分：農林水産省実用技術開発研究（平成 21 ～ 24 年度）、課題名：間伐促進のための低負荷型作業路開設技術と影響評価手法の開発」による成果です。



図1 間伐前（左：2006年3月）と間伐後（右：2009年9月）のヒノキ林の状態と観測機器
間伐後は林内も明るくなり、下草も増加していました。

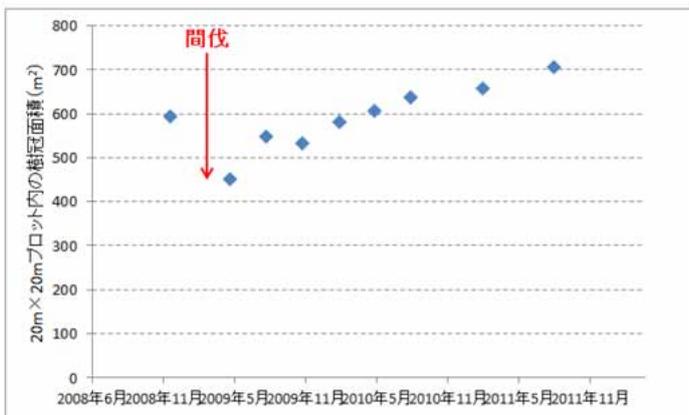


図2 間伐前後の樹冠面積の変化
間伐後、速やかに樹冠面積は増加し、1年後には間伐前の水準まで回復しました。

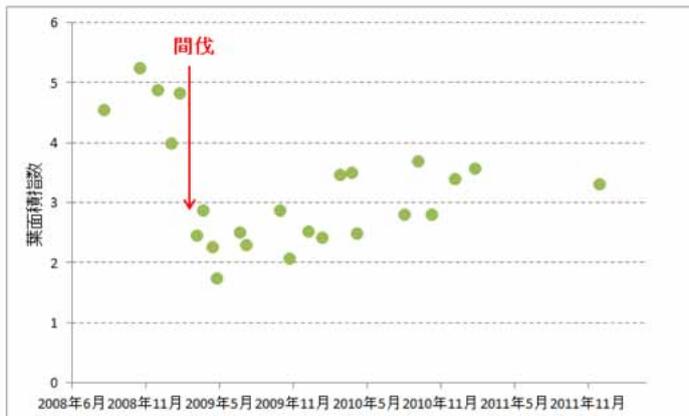


図3 間伐前後の葉面積指数の変化
間伐後、葉面積指数は減少し、時間が経過するにつれて増加していますが、3年経っても間伐前の水準に達していません。



図4 樹冠通過雨量の変化
間伐後に樹冠通過雨量の割合は増加しました。間伐後3年経過した後も間伐前の水準まで回復していません。

津波による海岸クロマツの立ち枯れ被害に地形が影響

東北支所
(地独) 青森県産業技術センター林業研究所

中村 克典
木村 公樹

要 旨

東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波により、青森県太平洋沿岸の海岸林が広範囲に浸水しました。浸水した海岸林のクロマツの多くは、当初は緑の葉を付けて枯れることもなく立っており、津波による被害は他の被災県に比べて格段に少ないと考えられていました。しかし、その年の夏頃から、急にクロマツの葉が赤変し、多くの木が立ち枯れてしまいました。被害の実態とその理由を明らかにするため、現地での樹木被害調査に加え、地形測量とモーターパラグライダーによる上空からの写真撮影を行った結果、被害は凹地形や平坦地形の滞水しやすい場所で集中的に発生したことが明らかになりました。

被害の概要

2011年3月11日、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の地震に伴う巨大津波により、青森県の太平洋沿岸部の海岸林には、前線部を中心に幹折れや根返り、流失が生じましたが、福島、宮城、岩手などの被災県に比べると被害は限定的なものであると認識されていました。しかし、その年の夏頃から、被災直後には被害を免れたと思われていたクロマツ海岸林において、広範囲にわたって急激に針葉が赤枯れ状態となり、その後、多くの木が立ち枯れてしまいました(写真1、2)。

津波後に時間を置いて発生したクロマツの立ち枯れ被害の状況やその原因を明らかにすることは、これまでよりも津波に強い海岸林を再生していくための重要なヒントが得られると考えられます。

調査の方法

立ち枯れの発生状況を把握するため、海岸林に帯状の調査区を設け、被害を一本一本調査するとともに、調査区の周辺を含めて地形測量を行いました(図1)。しかし、地上での調査だけでは調査範囲が限られるため、モーターパラグライダーを用いて上空からも調査することにしました。これらの立ち枯れ被害状況の調査と地形測量の結果を組み合わせる画像処理を行い、海水の停滞に関係する微地形と被害の状況を三次元表示して解析しました(図2)。

枯死被害には地形が影響

青森県太平洋沿岸の海岸林のクロマツにおける津波後の立ち枯れは、林内の微地形に大きく影響され、低地の平坦地や凹地形で被害が大きく、凸地形や傾斜地形では被害が少なかったことが明らかになりました(図1)。地形測量結果を元に浸水域を三次元表示することにより、周囲よりも低く、海水の滞水しやすい場所に被害が集中している様子を視覚的にわかりやすく捉えることができました(図2)。

海岸林に植栽されるクロマツは塩害に強く、津波が通過しただけでは枯れないことが知られています。しかし、低地や窪地など林内に侵入した海水が長時間溜まるような場所では、塩害に強いとされるクロマツでも大きなダメージを受けて枯れたと考えられます。このことから、津波後、速やかに排水される地形をつくることはクロマツの枯死被害を軽減させるのに効果的で、排水を促す水路や盛り土は被害軽減に有効であると期待できます。

青森県では今回の成果を海岸林再生計画に反映させることを検討しています。また、海水の溜まりやすい場所を視覚的に表示する今回の解析方法は、青森県に限らず、水路や盛り土などを配置することで排水を考慮した海岸林の再生・造成計画にあたって強力な支援ツールとなるでしょう。

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」の成果の一部です。

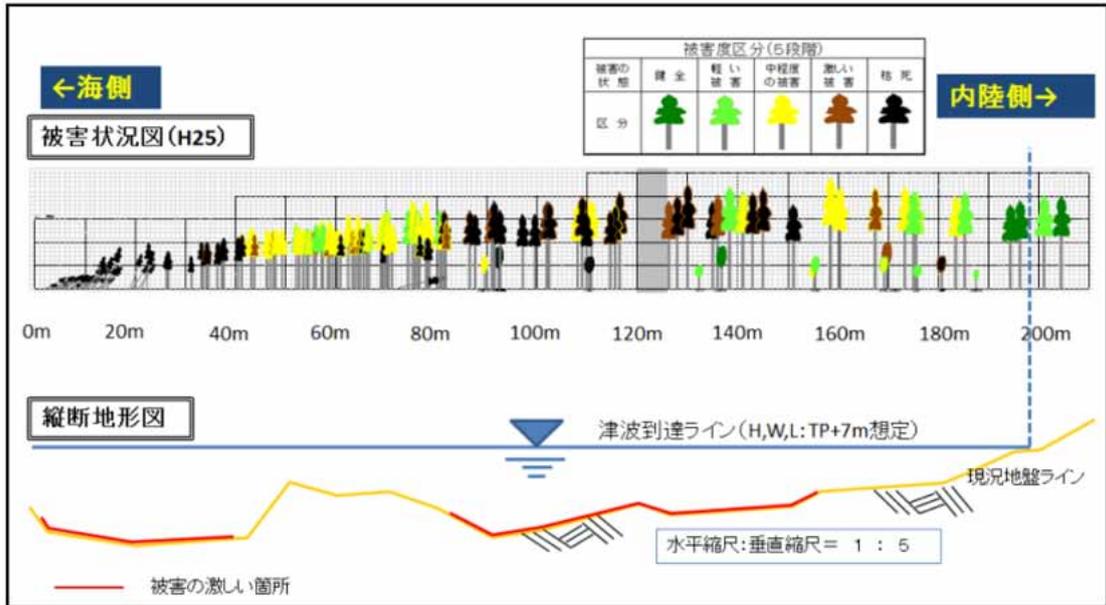


図1 地上調査で確認された被害木の位置と縦断地形（青森県作成）
平坦地形や凹地形に被害が集中し、凸地形や傾斜地で被害が少ないことがわかる。

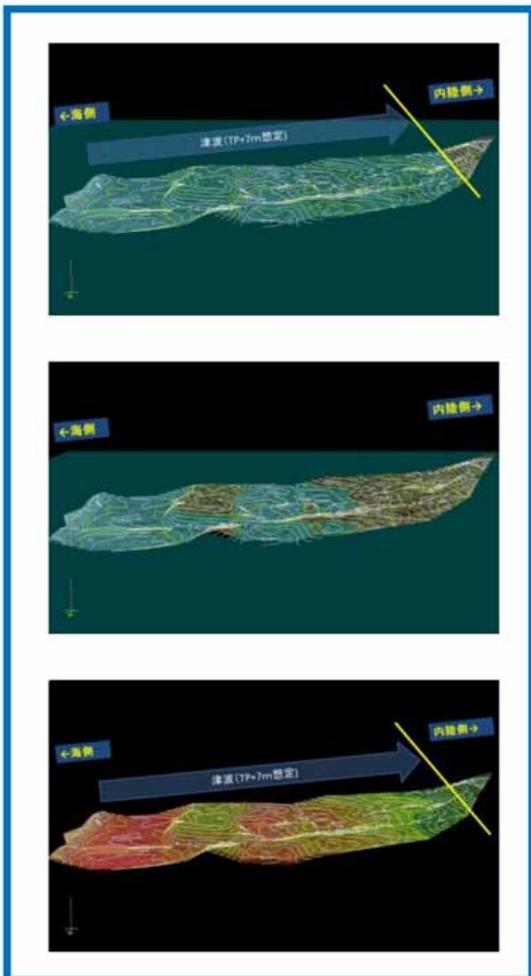


図2 3次元画像処理による浸水域シミュレーションと地形のカラーグラデーション表示（青森県作成）
上段 浸水域シミュレーション（水位7m）
中段 浸水域シミュレーション（水位5m）
下段 標高によるカラーグラデーション表示



写真1 被災から約1か月後（H23.4.5）の状況
クロマツの針葉は緑色で、外観的には健全な状態と考えられていた。



写真2 被災から約20か月後（H24.11.19）の状況
夏頃から針葉が赤褐色になる被害の生じたクロマツの多くが枯死し、針葉が脱落した。

雪崩発生地点の積雪の状態を気象データから推定する

気象環境研究領域
防災科学技術研究所

竹内 由香里
平島 寛行

要 旨

雪崩災害を軽減するには、雪崩の発生要因を明らかにする必要があります。それには積雪状態の調査が必要ですが、雪崩の直後に発生地点へ行き、調査をすることは難しく、危険でもあります。そこで、新潟県妙高山域の幕ノ沢でこれまでに観測した5件の雪崩について、気温や降水量などの気象データと数値モデルから積雪状態の変化を推定し、雪崩の発生要因を解析しました。その結果、5件の雪崩の要因で最も多かったのは、「こしもざらめ雪（積雪内部に霜が発達してできる結合力の弱い雪粒子）」が形成されたことでした。積もったばかりの新雪が滑り落ちたり、雪解けが急に進んで積雪の強度が低下したことが要因と考えられる雪崩もありました。雪崩の観測とモデル解析の事例を積み重ねることで、気象データから雪崩の発生危険度を予測する技術につながります。

妙高・幕ノ沢雪崩試験地の観測

雪崩は斜面の積雪が高速で流下する自然現象で、森林や構造物が破壊されるだけでなく、人的被害も毎年のように発生しています。雪崩がどのように発生するか、どこまで到達するかを知ることは雪崩災害の軽減につながります。そこで、新潟県の妙高山に近い幕ノ沢に、雪崩の発生を検知する観測装置を設置するとともに気象観測を長年続けてきました。この地域は、日本の多雪地域の中でも特に積雪が多く、幕ノ沢では最大積雪深が4 mを超え、2～3年に1度の頻度で2000 m以上の距離を流下する大規模な雪崩が発生しています。

雪崩発生地点の積雪状態の推定

雪崩の発生要因を明らかにするには、雪崩の発生直後に発生地点（発生区）へ行き、積雪を掘って雪の深さや雪質、雪の強度など積雪の状態を詳細に調査する必要があります（図1）。しかし、雪の多い幕ノ沢の雪崩発生区（図2）の調査は非常に危険で困難です。そこで、積雪変質モデルと呼ぶ数値モデルを用いて、雪崩発生区の積雪状態の変化を連続的に推定しました。この方法は、スイスで開発され、日本の雪に合うように改良されたモデルで、幕ノ沢近くで観測した気温や降水量などの気象データ（図3）をもとに、発生区の標高や斜面の向き、傾斜

を考慮して計算しました。

雪崩の発生要因

モデルの計算結果から、これまでに幕ノ沢で観測した5件の雪崩の発生要因を調べました。乾雪表層雪崩の発生要因として最も多かったのは、昼間の温度上昇と夜間の温度低下により積雪内に温度差が生じて霜が発達し、雪粒子の結合が弱い「こしもざらめ雪」という雪が形成されたことでした（図4）。また、短時間に大量に積もった新雪が自重に耐えられずに崩れたと推定された事例もありました。一方、3月に発生した湿雪雪崩では、急激な気温上昇によって生じた融雪水が浸透して、積雪の結合強度が低下したことが原因と推定されました。

このように、数値モデルを利用すると雪崩発生区の積雪状態が推定でき、雪崩の原因を探ることができます。実際の雪崩事例を対象に気象データとモデルの雪質推定にもとづいた要因解析を積み重ねることにより、気象データから雪崩発生危険度をリアルタイムで予測する技術につながります。

本研究は「予算区分：科学研究費補助金、課題名：大規模表層雪崩に対する森林の減勢効果の研究」による成果です。



図1 積雪を掘って、層構造や雪質を調べている様子 (積雪深は 430 cm)



図2 幕ノ沢源頭部の雪崩発生区 (2008年2月)



図3 気象観測 (遠くに見えるのが幕ノ沢源頭部の雪崩発生区)

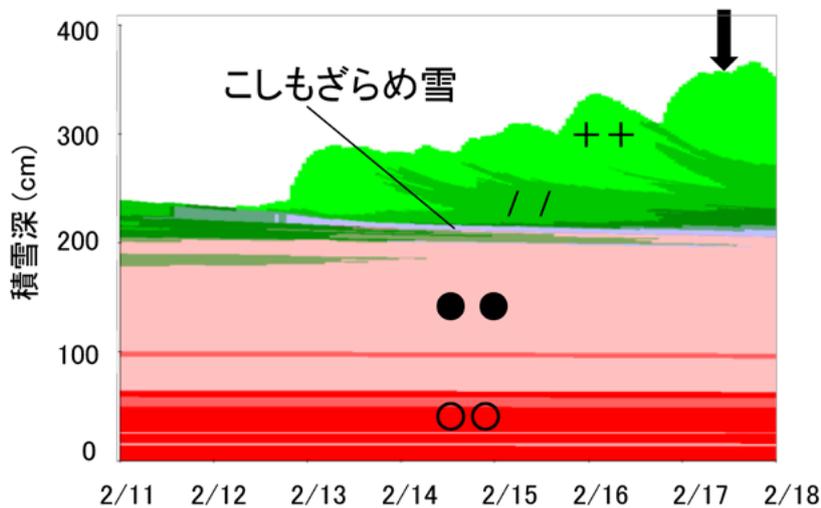


図4 積雪変質モデルで推定した積雪層構造と雪質の変化 (2008年2月)
 矢印は雪崩発生時刻 (2/17 13:48).
 水色の薄い層がこしもざらめ雪。色の違いは雪質の違いを表わし、黄緑 (+) は新雪、薄緑 (／) はこしまり雪、ピンク (●) はしまり雪、赤 (○) はざらめ雪を表わす。

シカの行動を制御して効率よく捕獲する

関西支所
研究コーディネータ

八代田 千鶴
小泉 透

要 旨

全国的にシカが増え、森林・林業被害が深刻になっています。被害軽減には捕獲による個体数管理が有効ですが、狩猟者の減少に対応する必要があります。そこで、少人数で効率よくシカを捕獲するための誘引法を開発しました。この方法は、一定期間同じ条件で給餌作業を繰り返すことで条件付けを行い、銃器の使用が可能な日中に給餌場へシカを出没させる方法です。この誘引法と銃器による狙撃を組み合わせた誘引狙撃法を富士山国有林におけるシカ捕獲事業で実施し、高い捕獲効率を達成しました。同じ場所で短期間に繰り返し捕獲が可能であり、地域を限定してシカの個体数管理を実施する場合に適しています。

新しい捕獲技術の必要性

全国的にシカが増え、森林・林業被害が各地で深刻な問題になっています。これまでは忌避剤の散布や防護柵の設置といった対策が実施されてきました。しかし、林業では生産現場とシカの生息地が重なっているため、被害を軽減するためには捕獲による個体数管理が有効ですが、これまで主に銃器を用いて捕獲を担ってきた狩猟者は減少し続けています。そのため、ワナを用いた新しい捕獲方法も開発されていますが、森林内では機動性が高いなど銃器の利用が適している場合も数多くあります。そこで、少人数の射手で実施できる新しい捕獲技術を開発しました。

誘引法の開発

銃器の使用が可能な日中（日出から日没まで）にシカを誘引するために、一時的に設置した給餌場に同じ人が同じ時間に少量の餌を置く作業を一定期間繰り返し、条件付けによる学習効果を利用したシカの行動制御を試みました。その結果、給餌直後にシカの出没を誘導することができました（写真 1）。また、給餌期間中だけシカが出没することも確認しています（図 1）。この誘引法を用いて給餌場に誘引したシカを、銃器により確実に狙撃する誘引狙撃法では、少人数の射手で効率よく捕獲することが可能です。静岡森林管理署が平成 23 年度から 3 年

間実施した富士山国有林でのシカ捕獲事業では、1 日あたりの捕獲頭数は各年度で 12.2 頭、16.6 頭、11.8 頭と、射手 2 名で非常に高い捕獲効率（これまでの方法の約 40 倍）を達成しました。また、この事業の成果から、誘引狙撃法は特定の範囲内での繰り返し捕獲に適しているといえます。

誘引に影響する要因

誘引狙撃法では、シカを自発的に給餌場へ引き寄せる誘引が重要となります。誘引効果は、シカの餌となる植物の量が少ない場合に高くなります（図 2）。そのため、積雪により餌植物を利用できない時期は強い誘引を持続させることができます。こうした条件を考慮して、給餌場の位置や実施時期を決めることが重要です。また、シカは警戒心が強いいため、イノシシのような他の野生動物が給餌場に頻繁に出てくると誘引効果は低下します（写真 2）。このような場所では、シカ以外の動物を誘引しない餌を選ぶ必要があります。人の気配もシカの警戒心を高めてしまうので、給餌期間中は不必要に立ち入らないなどの配慮も必要となります。

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」による成果です。



写真1 条件付けによる給餌場へのシカの誘引
餌を置いて(9:50)から、26分後(10:16)に野生のシカが自発的に出沒しました。

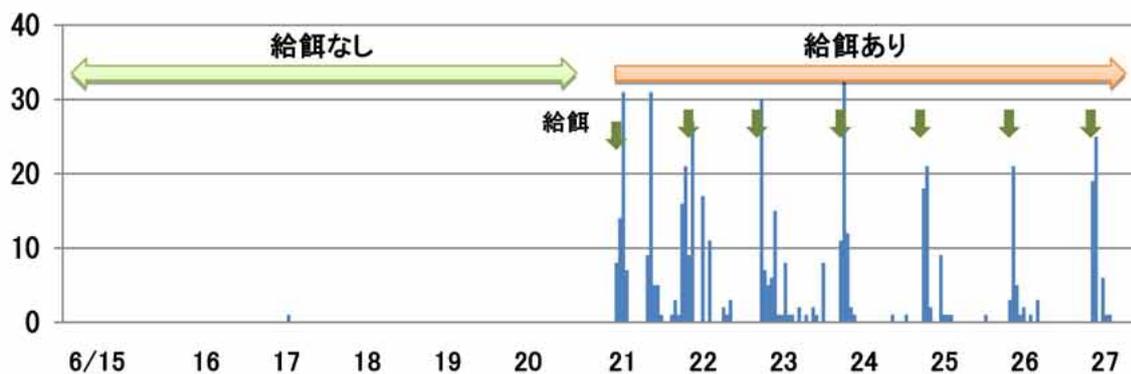


図1 給餌場でのシカ出沒回数の推移
給餌を開始すると出沒回数が増加し、日数の経過に伴って給餌直後に集中するようになりました。

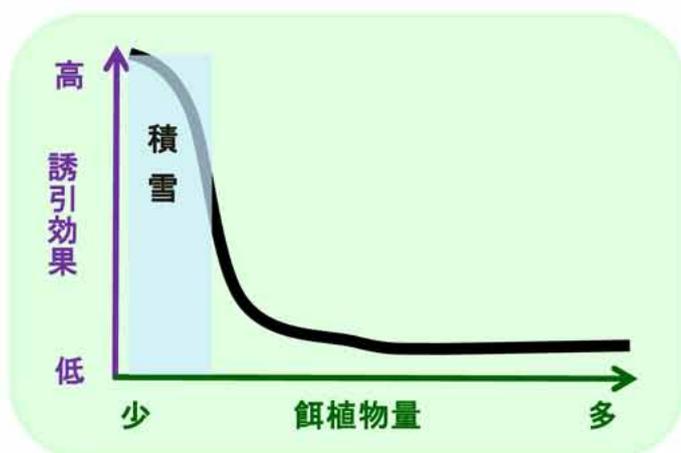


図2 給餌場周辺の餌植物量と誘引効果との関係
餌植物量(横軸)が少ない場合に、誘引効果(縦軸)は高まります。積雪により餌植物が利用できない時期も強い誘引効果が持続します。



写真2 他の野生動物による誘引への影響
シカの親子(左)が採食中の給餌場に現れたイノシシ(右)。シカは警戒心が強いため、他の野生動物が給餌場に頻繁に出てくると誘引効果が低下します。

森林の生物多様性を予測する

森林昆虫研究領域	岡部 貴美子	東北支所	柴田 銃江
森林微生物研究領域	服部 力	四国支所	佐藤 重穂
森林管理研究領域	佐野 真、宮本 麻子	東北大学	中静 透
北海道支所	尾崎 研一		

要 旨

国内外の社会経済情勢によって森林管理手法は変化しますが、森林率の高い日本の生物多様性は、この様な影響を強く受けると考えられます。この研究では、持続可能な森林管理のための生物多様性評価の標準的な指標である森林タイプ、林齢、面積により森林の生物多様性が6つのクラスに分けられることを明らかにし、これらのクラスの位置や割合が森林管理手法によってどのように変化するかを予測するシミュレーションモデルを作成しました。

はじめに

日本は国土の約67%という高い森林率を維持していますが、かつての急激な人工林化と原生林の減少、近年の不十分な森林管理などによって、特に里山地域の生物多様性は大きな影響を受けています。しかし森林の遷移には時間がかかるため、改善の効果をすぐに評価するのも困難です。そこで私たちは100年後の里山の森林生物の多様性を予測するシミュレータを作成し、森林の管理方法の変化による影響を可視化する研究に取り組みました。

森林の生物多様性の示し方

生物多様性は、生物種が豊富なこと（種の多様性）、各個体が遺伝的に異なること（遺伝的多様性）、まとまりのある複数種の生息地（生態系）が多いこと（生態系の多様性）という3つの異なる視点から示すことができます。シミュレータでは一般的で、直感的にわかりやすい「種の多様性」を使って、生物多様性を示すことにしました。

森林タイプ、林齢、面積による種のグループ化

種の多様性はこれまでの研究によって、森林タイプ（人工林・天然林＝植栽していない森林）、林齢、面積によって異なることが知られており、持続可能な森林管理を目標とする国際的グループの多くは、これらを指標として利用しています。そこで日本の様々な森林で出現する生物を比べてみると、図1に示すように林齢と森林タイプから3つのグループ（群集）に分かれることがわかり

ました。また人工林は天然林よりも種数が減少すること、天然林の面積が大きくなると生物種数が増えることもわかりました。これらの結果からシミュレータでは、種の多様性（群集と種数の大小）を森林の指標に対応させ、100ha以上の老齢天然林、100ha未満の老齢天然林、壮齢天然林、広葉樹林化した人工林、若齢林、壮齢・老齢人工林の6つのクラスに色分けして示しました。

生物多様性を予測する

北海道下川町、茨城県北部、高知県四万十川流域で、空中写真やGIS情報等に基づき、現在の種の多様性を地図に示しました（図2）。種の多様性が森林の管理手法によってどのように変化するか、100年後を予想しました。たとえば、人工林はすべて二次林にし、二次林の一部は伐採、残りはそのまま維持すると、図3のように老齢天然林に生息する種が多い森林になると予想されます。逆に全部人工林にしてしまうと、若齢林に生息する種が多い森林へと変化することが予測されます（図4）。このように生物多様性シミュレータでは、森林管理がどのように生物多様性に配慮したらよいか、についてさまざまな提案をすることができます。

本研究は、環境省地球環境保全等試験研究費（公害一括）プロジェクト「生態系保全政策のための森林の生物多様性変動シミュレータの構築」による成果です。



茨城県北部

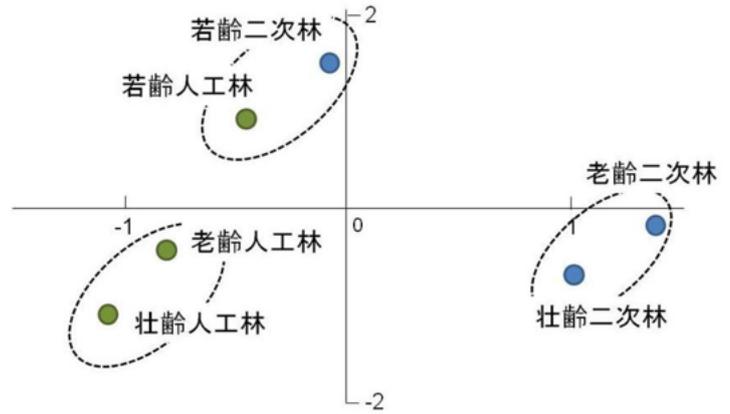
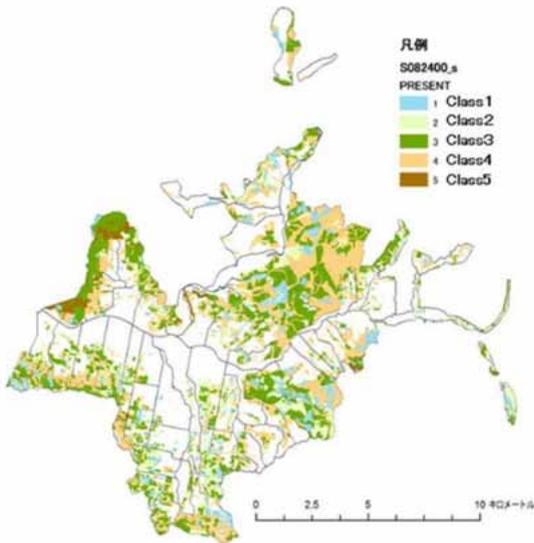


図1 異なる森林タイプおよび林齢の林分での植物、鳥、昆虫、きのこの種の多様性の違い（主成分分析による）
青丸は天然林、緑丸は人工林の種の多様性を示す。
（図の見方：若齢二次林と若齢人工林に生息する種の構成は比較的良好に似ている）



北海道下川町

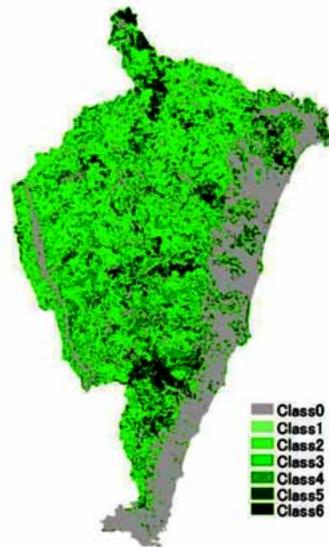
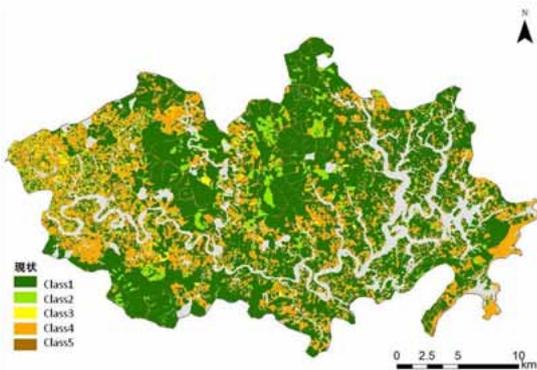


図3 天然林への転換という管理をした時の100年後の生物多様性予測
（最も濃い緑から順に、100ha以上の老齢天然林、100ha未満の老齢天然林、壮齢天然林、広葉樹林化した人工林、若齢林、壮齢・老齢人工林と非森林地帯（灰色）に見られる生物グループの出現を予測している）



高知四万十川流域



図4 人工林化という管理をした時の100年後の生物多様性予測
（図3と比べると薄い色の森林が多く、老齢天然林特有の種が大きく減少するが、若齢林の種はある程度維持されると予測された）

図2 各地の生物多様性予測マップ
現在の状態では100ha以上の原生林は存在しない。また非森林地帯を茨城県北部では灰色（クラス0）、北海道と高知では白色で示している。

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

四国支所	河原 孝行（現 研究コーディネータ）
北海道支所	北村 系子、八巻 一成
北海道大学	幸田 泰則、志村 華子、高橋 英樹、庄子 康
熊本大学	杉浦 直人
礼文町高山植物培養センター	村山 誠治、飯野 拓也

要 旨

日本の植物の 5 種に 1 種が絶滅危惧種になっています。絶滅危惧種に指定されている、北海道礼文島固有のランの 1 種レブンアツモリソウを用いて、現状を調査し、自生地復元、自生環境改善のための実証試験を行いました。レブンアツモリソウは、園芸用採取がほとんどなくなった現在でも個体群が衰退していました。また、種子の生産と発芽には、訪花昆虫や共生菌など共生系の保全が重要でした。自生地復元試験では 3 年以上を経た培養株や鉢上げ株を植栽すると定着率がよいことがわかりました。ススキを刈取って生育環境を改善することにより、開花数が増えるなど、繁殖を促進する効果がありました。これらの成果を行政の保全施策に活かすとともに、絶滅危惧種の調査・保全の注意ポイントとしてまとめました。

レブンアツモリソウの現状調査

絶滅危惧種の保全には、科学的な調査・保全対策が必要です。絶滅危惧種レブンアツモリソウの希少化の主要因は、かつては園芸目的とした違法採取でしたが、監視活動などにより採取がおさまった現在でも十分な回復がみられません。

鉄府保護区内でレブンアツモリソウの個体群動態を継続的に調査した結果、この 12 年間で個体数は約 1/3 に減少していました。特に、新たに発生する実生個体が減少し、小さなサイズの個体が著しく減少していました（図 1）。レブンアツモリソウの個体数を予測する推移確率モデルによると、個体群はこのままでは衰退・消失する可能性があります。このことは、これまでのように保護区を囲って放置しているだけでは回復が見込めないことを示しています。

レブンアツモリソウと共生系

植物が次世代を更新していくためには健全な種子が必要ですが、そのためには花粉を運ぶ訪花昆虫が重要な役割を果たします。レブンアツモリソウではニセハイロマルハナバチが有効な花粉媒介者であることがわかっていましたが、このハチは春にはセンダイハギ、夏にはヒロハクサフジなどのマメ科植物をよく利用していることがわかりました。したがって、これらの植物を保全または移植していくことがニセハイロマルハナバチの一年を通じた生活を保障し、レブンアツモリソウの受粉を促進することにつながります。また、ランは一般にカビの仲間と共生することで発芽し、生育することが知られています。共生菌を使ったレブンアツモリソウの人工発芽、培養システムを確立していましたが、野外ではこの菌が

針葉樹のハイネズとも共生していることがわかりました。したがってレブンアツモリソウを保護・増殖させるためには共生系の利用が重要であることを示しています。

自生地復元と自生環境改善

レブンアツモリソウの自生地復元試験（図 2）では、自生地周辺に 6-8 年生鉢上げ苗や 3-6 年生プラスチック苗（培養容器から直接出した苗）を用いると 2 年後の定着率が 90% と高いことがわかりました。マルハナバチの訪花も確認されました。

レブンアツモリソウが被陰されないようにススキを刈込んで生育環境を改善した結果、レブンアツモリソウの開花個体やマルハナバチを誘引する蜜源植物などの種数が増加する効果が認められました（図 3）。このことは成長だけでなく繁殖を促進させる効果がありました。

成果の普及の取り組み

このように、絶滅危惧種を保全するためには、繁殖から定着、成長にいたる一連のプロセスのどこが不全となっているかを明らかにし、場合によっては積極的に人手をかける必要があります。この成果は行政の保護増殖事業で実践されているほか、他の絶滅危惧種にも応用されつつあります。また、絶滅危惧種の保全を計画する場合に注意すべきポイントを冊子として作成・配布し、考え方や方法の普及を進めています。

本研究は、環境省公害防止等試験研究費「レブンアツモリソウをモデルとした人を含む在来生態系と共生できる絶滅危惧種自生地の復元技術の研究」による成果です。

1m²あたりの出現数

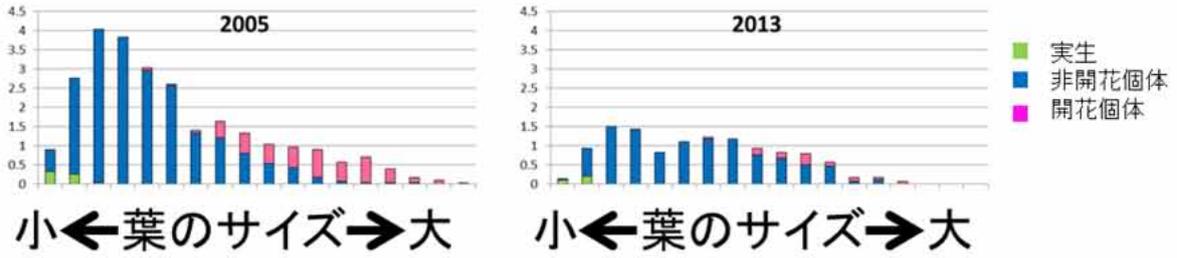


図1 レブナアツモリソウの個体群が衰退している

自生地復元の
必要性

自生環境改善
の必要性



左上: 共生菌培養による移植株
右上: 自生地植え戻し試験
左下: 植え戻した花に飛来する
ニセハイイロマルハナバチ

図2 共生系を考慮した自生地復元試験の実践

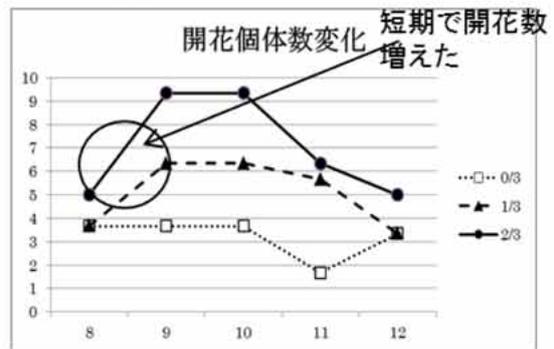


図3 自生地におけるススキ刈込試験
上から 2/3 刈込、1/3 刈込、0/3 刈込なし

定着成功失敗の事例収集

繁殖環境を改善

行政の保全事業・保全ロードマップ作成へ貢献

保全活動の啓蒙・他の絶滅危惧種保全への応用

保全調査・実践のポイントを記したパンフレットの作成



<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/3rdchuukiseika14.html>からダウンロード可能

林業地域で生物多様性を保全する

森林植生研究領域	正木 隆、五十嵐 哲也	森林微生物研究領域	神崎 菜摘
森林遺伝研究領域	永光 輝義、菊地 賢	森林昆虫研究領域	長谷川 元洋、加賀谷 悦子、 滝 久智
東北支所	升屋 勇人		

要 旨

スギやヒノキの人工林が卓越す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指針を提示しました。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、多様な環境（立地、基質等）に広葉樹林を残すことが必要でした。一方、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、概ね 100ha 規模のまとまった広葉樹林を残すことが必要と考えられました。

研究の背景

スギやヒノキの人工林が卓越する林業地で生物多様性を保全し生態系の健全性を確保するためには、広葉樹林も要所に配置することが必要です。そこで、林業地域において生物多様性を保全するための広葉樹林の配置について指針を提示することを目的に研究を行いました。

指標生物群

生態系の健全性と密接に関連する5つの生物群を対象に研究を行いました。

土壤動物＝落葉の分解、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＝花粉を運び種子生産を促進

果実食鳥類＝種子を運び天然更新を促進

高木種＝森林の生物の生活基盤

人工林と広葉樹林がモザイク状に分布する北茨城の約 15,000ha を調査地として選び、その中の広葉樹林で調査を行いました。

土壤動物・微生物

小型土壤動物のササラダニや中型土壤動物のトビムシの遺伝構造や分布に、周辺広葉樹林面積の影響はみられませんでした。空中浮遊菌の分析からも、周辺の広葉樹林面積と微生物の種数・頻度・多様度との間に一定の関係は認められませんでした。土壤動物相や微生物相の多様性保全のためには、面積の広さよりもむしろ多様な環境（立地、基質等）に広葉樹林を残すことが必要と考えられます。

ハナバチ類および鳥類

ハナバチの数量は周辺 5～10ha 内の広葉樹林面積、および蜜源となる樹種の林分内本数と正に相関していました（図1）。ハナバチが花粉を媒介するカスミザクラの種子の遺伝分析から、周辺 5ha 以内の広葉樹林面積が大き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大きいと交配の多様性も高いことがわかりました（図2）。

繁殖期の鳥類の個体数および種数と周辺広葉樹林面積との関係を解析した結果、周辺 100ha 内の広葉樹林面積と正の相関がありました（図3）。一方、渡り期については一定の傾向がみられませんでした。

高木種の更新

林内に生育している高木種の稚樹（樹高 2m 未満）のうち、外部からの種子由来と考えられるものの分布は、周辺 50～100ha の広葉樹林面積と正の相関がありました。周辺の広葉樹林の減少とともに減っていたのは重力散布型および風散布型の樹種の稚樹でした（図4）。

生物多様性を保全するための広葉樹林の配置

以上の結果から指針をまとめると、微生物や土壤動物の多様性の保全のためには多様な環境を含む広葉樹林が必要な一方、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、概ね 100ha 規模のまとまった広葉樹林が必要と考えられます。

本研究は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）に基づく成果です。

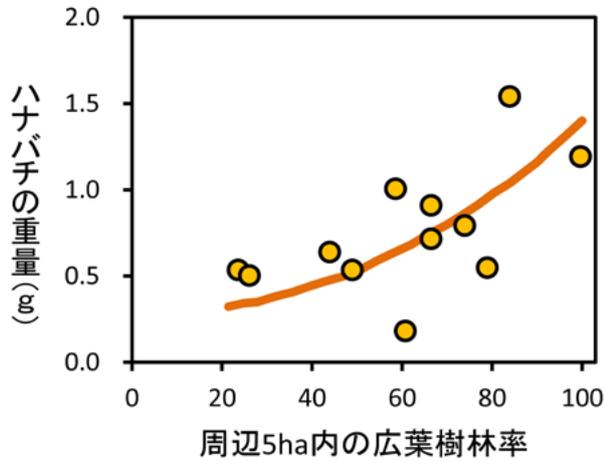


図1 広葉樹林率とハナバチの量の関係
5～9月にかけて各広葉樹林に4つのバケツ型トラップをのべ6週間仕掛け、回収されたハナバチの量を測定しました。

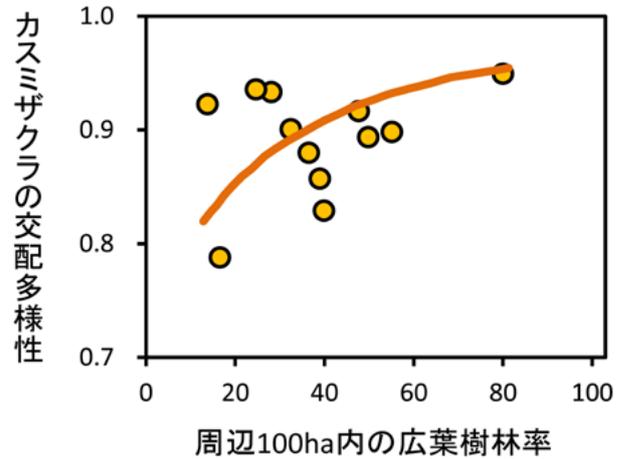


図2 広葉樹林率とカスミザクラの交配の多様性の関係
交配多様性とは、1つの種子にとって花粉親となった個体の数の指標です。

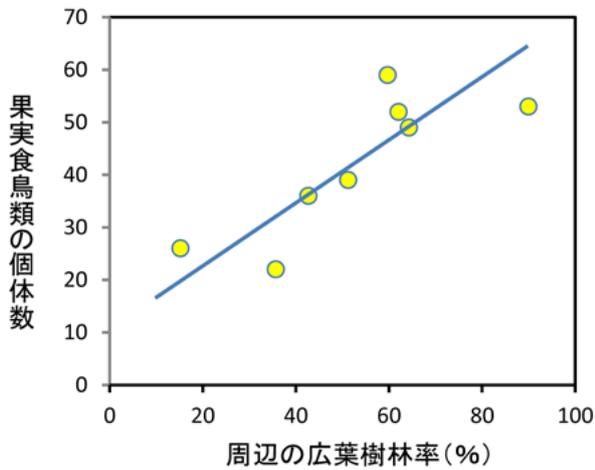


図3 繁殖期（5～8月）に観測された果実食鳥類の個体数と周辺 100ha 以内の広葉樹林率の関係
日の出から4時間以内に15分間の観測を行い、半径50m以内に出現した種・個体数を記録しました。この調査を各月2回行い（合計2時間）、記録された個体数を合計しました。

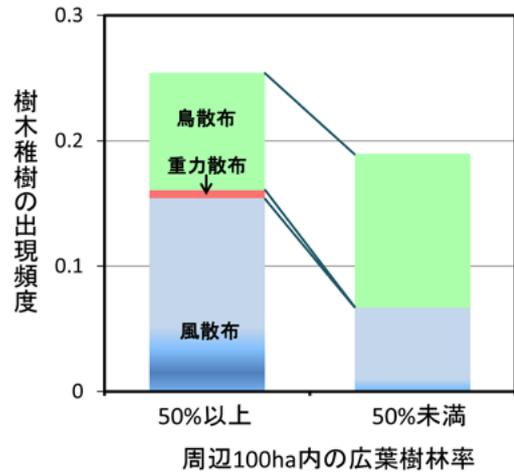


図4 周辺の100ha以内の広葉樹林率と稚樹の出現頻度（1m²の調査枠に稚樹が分布する確率）の関係
種子の散布型ごとに示しました。

スギ・ヒノキのエリートツリーを開発

林木育種センター
東北育種場
関西育種場
九州育種場

加藤 一隆、平岡 裕一郎
織部 雄一郎
久保田 正裕
倉本 哲嗣

要 旨

第 1 世代精英樹の中でも優良なもの同士を交配して得られた F₁ 実生苗を植栽した検定林（育種集団林）において、成長や材質のデータを解析するとともに雄花着花量を評価した結果、成長や材質に優れかつ雄花着花量も少ない第 2 世代精英樹（エリートツリー）をスギで 122 系統、ヒノキで 50 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、これまで開発したエリートツリーの中から 47 系統が指定されました。

精英樹選抜から集団林の造成へ

昭和 29 年度から、森林資源の量的、質的向上を目指すため、林木の遺伝的改良を目的として精英樹選抜育種事業を行い、全国の人工林（一部は天然林）から成長がよく素性のいい個体（第 1 世代精英樹）を約 9,000 系統（スギでは約 3,600 系統、ヒノキ約 940 系統など）選抜しました。一方、当該精英樹が遺伝的に優れているかどうか評価を行うため、さし木またはつぎ木によって精英樹クローンを増殖して採種圃を造成し、ここから得られた実生苗やさし木苗を利用して約 2,000 か所の検定林を造成しました。検定林では、成長形質等の調査を行い、その結果から成長等の形質の成績が上位である優良な精英樹を特定し、これらの優良な精英樹を親とするさらに優れた次世代の精英樹を創出するため、昭和 55 年度から育種集団林造成プロジェクトを開始しました。

エリートツリーの選抜

育種集団林造成プロジェクトでは、まず優良な精英樹間の人工交配を行い、種子採集、まき付け、そして育苗し、これらの実生苗を植栽して育種集団林を造成しました（図 1）。次に、植栽から 10 年～20 年経った育種集団林において、成長形質、材の剛性、幹の通直性が優良な個体を選抜後、雄花着花量も調査し、着花量が少ない個体をエリートツリーとして選抜しました（図 2）。平成 24 年度までに関東育種基本区でスギ 50 系統、関西育種基

本区でスギ 38 系統、九州育種基本区でスギ 58 系統を開発していましたが、平成 25 年度には新たに東北育種基本区でスギ 9 系統、関東育種基本区でスギ 25 系統、関西育種基本区でスギ 38 系統及びヒノキ 27 系統、九州育種基本区でスギ 50 系統及びヒノキ 23 系統を開発しました（図 3）。

試算によれば、エリートツリー採種圃・採穂圃の種穂から生産した苗木を植栽した場合、成長に伴う材積の増加速度がこれまでの品種より大きいと推定され、実生苗では 40 年弱、さし木苗では約 30 年で従来種苗での伐期である 50 年とほぼ同程度の林分材積に達します。したがって、林分当たりの CO₂ 吸収量の大幅な増加によって地球温暖化対策に貢献することができると考えています。

特定母樹への申請

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」に、今まで開発されたエリートツリーの中から 47 系統を申請し指定されました（図 2）。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となります。

本研究は、課題名「国土・環境の保全に資する品種の開発」による成果です。

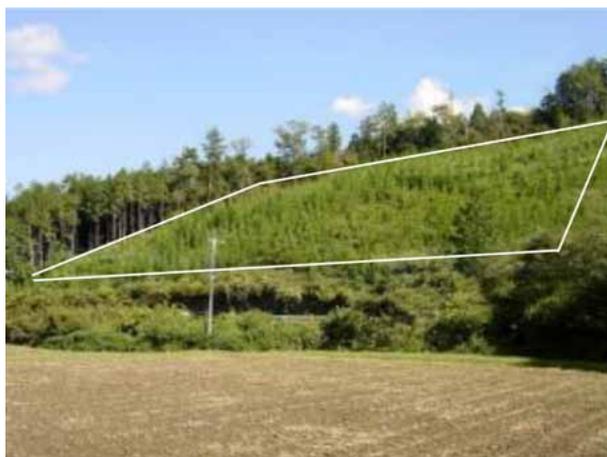


図1 設定した育種集団林（白線の枠内、茨城県東茨城郡城里町の関東 67 号育種集団林）

				
スギ林育 2-190 (関東育種基本区) 15 年次樹高 13.5m 胸高直径 21.5cm	ヒノキ西育 2-31 (関西育種基本区) 34 年次樹高 17m 胸高直径 32cm	スギ九育 2-18 (九州育種基本区) 45 年次樹高 21m 胸高直径 31cm	スギ特定 25-8 (関東育種基本区) 25 年次樹高 18m 胸高直径 27cm	スギ特定 25-19 (関西育種基本区) 30 年次樹高 22m 胸高直径 23.5cm

図2 選抜したエリートツリー（左側 3 本）及び指定された特定母樹（右側 2 本）



図3 各育種基本区におけるこれまでに開発したエリートツリー

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～

林木育種センター

高橋 誠、栗田 学、平岡 裕一郎、井城 泰一、三嶋 賢太郎、

坪村 美代子、能勢 美峰、花岡 創、藤澤 義武

九州大学

渡辺 敦史、田村 美帆

要 旨

スギの成長、材質、雄花着花に関係すると考えられる各器官から、時期別に発現*している遺伝子の部分配列情報を収集し、それらを統合することにより、遺伝子がどの時期にどの組織で発現しているかを明らかにしました。また、発現遺伝子*の塩基配列を異なる個体で比較することにより、一塩基多型 (SNP(スニップ)) * を同定し、SNP マーカーの開発に着手しました。これら発現遺伝子の情報、開発された SNP マーカー等は、スギの育種の高速化を推進するための基盤情報です。今後はこれらの情報を活用し、遺伝子機能の解明や材形成、雄花形成といった生理プロセスの解明等を進め、育種目標に適した DNA マーカーの選定や、それを用いた優良個体の早期選抜技術の開発を進め、スギの育種の高速化を推進するために活用していきます。

スギの品種改良の高速化に向けて

スギの遺伝的改良のために、林業上重要な成長や材質といった特性の把握にこれまで 20～30 年の生育期間が必要でしたが、ゲノム情報を活用した育種によってこの期間を短縮することを目的として、スギの発現遺伝子の基盤情報を整備しました。

異なる器官からの発現遺伝子情報の収集

スギの成長や材質、雄花着花性に関係すると考えられる、頂端、針葉、根系、木部、雄花といったそれぞれの器官 (図 1) から時期別に試料を採取し、それらから RNA を抽出して、RNA から逆転写酵素により cDNA を作成し、cDNA の塩基配列を解析しました。この塩基配列のことを EST(イーエステー)* と呼びますが、25 年度までに 52 万収集しました。(図 2)。これは、世界的にゲノム育種が最も進んでいるテーダマツ等に匹敵する数です。各 EST の塩基配列の相同性に基づいて、元の遺伝子の長い塩基配列情報を再構築しました。これを Isotig(アイソティグ)* といい、ほぼ「遺伝子」全長に近いイメージです。器官ごとの Isotig 数は約 5,000 から約 14,000 となりました (図 2)。

遺伝子の発現パターン

Isotig の情報を活用して、器官別の遺伝子の発現パターンの解析を行いました。図 3 に木部の解析結果を示しました。発現遺伝子は木部の活動期 (早材形成期、晩材形成期) と成長休止期で大きく入れ替わっていること等が明らかになりました。このような現象は他の器官でも同様に見られました。

発現遺伝子情報の統合

異なる器官で共通あるいは特異的に発現している遺伝子を明らかにするため、器官別 Isotig を統合しました。その結果 (図 4)、約 22,000 の発現遺伝子には、各器官で特異的に発現しているもの、複数の器官で発現しているものなど、様々なものが見られました。例えば、木部で特異的に発現している遺伝子は約 5,600 あり、これらは、木部特有の生物学的事象に関連するものと考えられ、材質形質に関する遺伝子などは、この中にある可能性があります。一方、各器官で共通に発現している遺伝子が約 2,600 あり、これらは、樹木の生存に不可欠な代謝関連等の遺伝子であることが考えられます。

さらに、発現遺伝子の塩基配列を異なる個体で比較することにより、Isotig から SNP を同定し、SNP マーカーの開発に着手しました。

統合された発現遺伝子の情報は、効率的な SNP マーカーの開発や遺伝子機能の解明、材形成や雄花形成といった生理プロセスの解明等に活用し、今後のマーカー選抜等に向けての研究を加速する考えです。またこれら基盤となる情報を利用し、育種目標に適した DNA マーカーの選定、マーカーを指標とした優良個体の早期選抜技術の開発を進め、従来、長期間を要していた特性評価にかかる期間を短縮すること等によって、育種の高速化を推進していきます。

本研究は、「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」及び農林水産技術会議委託研究プロジェクト「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。スギの木部における遺伝子発現についての詳細については、Mishima et al. (2014) BMC Genomics 15:219 をご覧下さい。



図1 EST情報を収集した器官とそれらの器官が関係する形質



図2 収集した器官別のEST数とそれらを統合したIsotig数

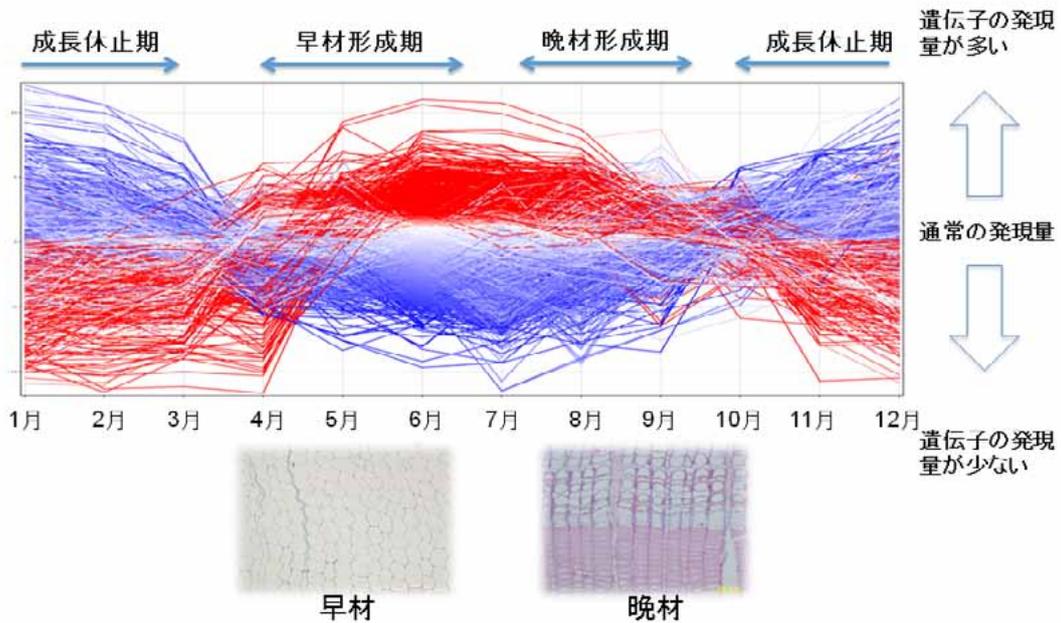


図3 スギ木部形成に関わる遺伝子の発現パターン
グラフの1本1本が一つのIsotigの発現状況を表す。成長休止期に発現量の多いIsotigを青色で、材形成期に発現量の多いIsotigを赤色で示した。

約52万のEST → 22,250 Isotig

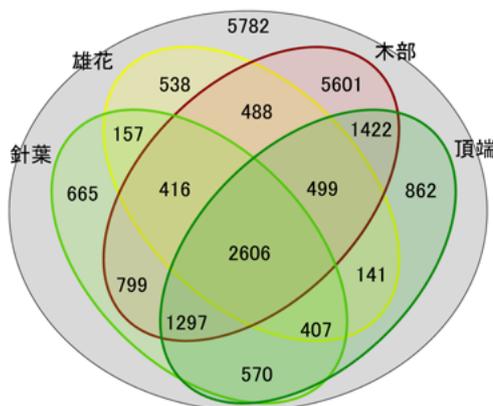


図4 Isotigの器官特異性

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

スギ遺伝資源のコアコレクションの作成

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、
生方 正俊、藤澤 義武

要 旨

日本を代表する針葉樹であるスギは、北海道から鹿児島県まで広く植栽され、地域や個体ごとに様々な変異を持っています。スギの持つ特性を明らかにし、新品種の開発等をより迅速に推進するためには、様々な分野の研究を関連づけ、効率よく研究を進める必要があります。少数の個体でスギ全体を代表できる共通の研究材料の整備・提供が欠かせません。そこで、林木ジーンバンク事業で保存しているスギ遺伝資源約 3,600 系統の中から、それぞれの個体の持つ遺伝的な情報や元々の生育地の環境要因の情報を総合的に解析し、スギ遺伝資源全体を代表する品種・系統のセットである「スギコアコレクション 96」を作成しました。

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行っている事業で、2015 年度末現在で約 35,000 系統の林木遺伝資源を保存しています。有用かつ貴重な遺伝資源を収集・保存することに加え、新品種の開発や様々な科学技術の発展に寄与するための研究材料を提供することが、ジーンバンク事業の大きな役割のひとつです。遺伝的情報を用いた優良系統の選抜等、品種開発をより迅速に行う新たな手法を開発するためには、少数の系統で全体の変異を代表する研究材料の整備・提供が欠かせません。日本の最も重要な針葉樹であるスギを対象に、全体の変異を少数の系統で代表できる情報量の多いコアコレクション（代表的な品種・系統のセット）を作成しました。

コアコレクションの作成

スギ (*Cryptomeria japonica*) は、北海道から鹿児島県まで広く植栽されている日本の最も重要な針葉樹の一つです。通直で加工しやすいことから住宅の柱材をはじめ古くから様々な用途に用いられてきました。コアコレクションは、重要性や DNA 分析による遺伝的情報の整備状況等から、まずスギで作成することとしました。

日本全国各地から収集・保存されているスギ遺伝資源

3,579 系統について、それぞれの来歴情報と DNA 分析による遺伝子型情報を用いて、生育地、倍数性、異名同木、同名異木等の情報を整理しました。全個体を来歴情報から生育地ごとに 539 のグループに分け、この中からランダムに 1 系統を選出しました。選出した 539 系統について、各系統の遺伝子型情報および気象庁のメッシュ気候値から得られた生育地の気温、降水量、日射量、標高等の 14 要因を用いたクラスター分析の結果から、96 のグループに分け、さらにその中からグループを代表する 1 系統を選び出し、「スギコアコレクション 96」としました。

生育地の環境要因を主成分分析により二次元の図に表したものが図 1 です。「スギコアコレクション 96」は、環境省の自然環境保全基礎調査によるスギ全体の生育地の環境要因の多くの部分をカバーしています。さらに遺伝的多様性は、スギ遺伝資源全体とほぼ同等であることもわかりました。図 2 にスギ全体の生育地および「スギコアコレクション 96」の生育地を示します。今回作成したコアコレクションは、地理的に見ても、全国各地から均等に選出されていることがわかります。

今回作成したコアコレクションの情報を森林総合研究所のホームページ等により広く公開し、スギの品種開発等の様々な研究のスタンダード素材になるように利用促進を図っていきます。

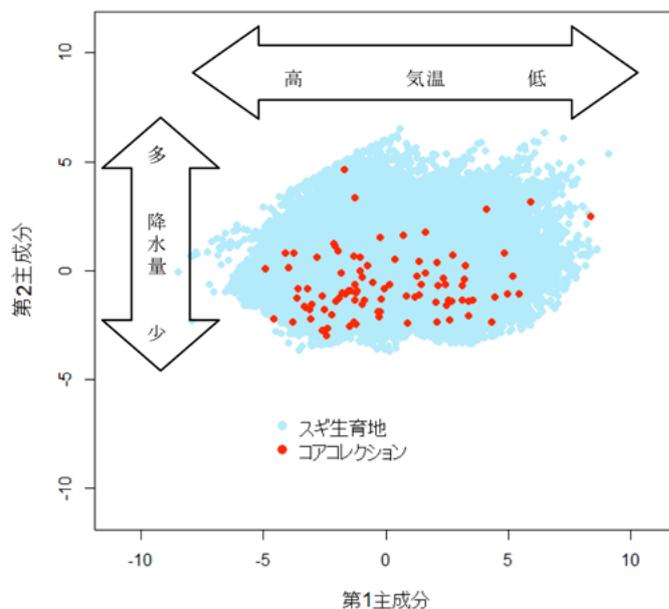


図1 主成分分析による「スギコアコレクション96」の生育地の環境要因の位置づけ
 気温、降水量、日射量、標高等の14要因を用いた主成分分析の結果、コアコレクション（赤点）は、スギ生育地全体（青点）の多くの部分をカバーしていることがわかりました。図の横軸（第1主成分）は左に行くほど気温が高くなる傾向を示し、縦軸（第2主成分）は上に行くほど降水量が多い傾向を示しています。

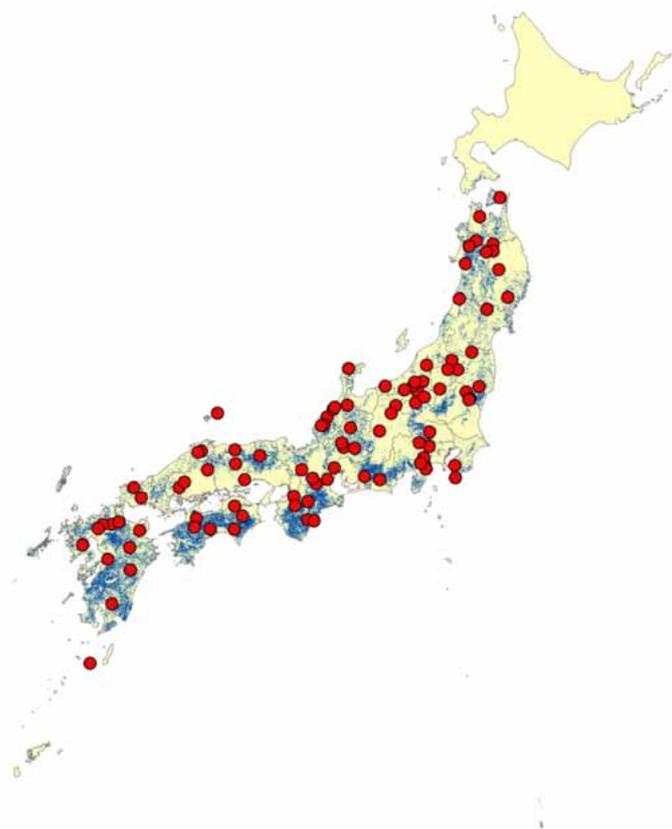


図2 「スギコアコレクション96」の生育地
 「スギコアコレクション96」（赤点）は、地理的にもスギ全体の生育地（青点）から偏りなく選出されています。

スギのゲノム情報を用いて優良な苗を作る

森林遺伝研究領域 内山 憲太郎、森口 喜成¹⁾、木村 恵²⁾、上野 真義、伊原 徳子、
松本 麻子、二村 典宏、篠原 健司³⁾、津村 義彦
 林木育種センター 三嶋 賢太郎、坪村 美代子、井城 泰一、高橋 誠、渡辺 敦史⁴⁾
 九州大学 舘田 英典
 東京大学 岩田 洋佳

1) 現：新潟大学、2) 現：林木育種センター、3) 現：理化学研究所、4) 現：九州大学

要 旨

林木の育種は形質の評価までに数十年の時間が必要です。またスギでは花粉症が社会問題となっています。これらの問題を改善するために、スギのゲノム全体の遺伝子型を調べ形質との関連を明らかにする手法を用いて、短期間で成長が早く材質のよいスギ品種の選抜が可能な育種モデルの作成を行いました。また、無花粉スギの遺伝子（雄性不稔遺伝子）の染色体上の位置を特定し、無花粉スギの選抜のための DNA マーカーの開発を行いました。これらの基盤情報により、育種に必要な時間が大幅な短縮され、無花粉で成長の良いスギ品種が開発・普及されることが期待されます。

スギのゲノム基盤情報の構築

スギの DNA 変異情報（SNP マーカー）を、スギのゲノムの 11 万カ所について収集しました。これらの DNA マーカーからゲノム全体をカバーできるように、代表的な 3,570 遺伝子からなるスギの遺伝子地図（高密度連鎖地図）を作成しました。また有用遺伝子をスギのゲノム中から効率的に単離するための DNA ライブラリー（平均約 13 万塩基からなる DNA 断片を集めたもの、BAC ライブラリー）を作成しました。

有用な遺伝子の特定

関東のスギ精英樹、約 500 個体を用いて雄花着花性、発根性、材質の測定を行いました。これらの精英樹それぞれについて、6,000 の DNA マーカーで遺伝子型を解析し、取得した形質データとの関連解析（ゲノムワイドアソシエーション解析）を行い、これらの形質に関係する遺伝子の染色体上での位置の推定を行いました。この結果、雄花、発根性、材質に関連する数十の遺伝子が検出されました。これらの情報は優良な種苗の作成に有効に活用することができます。

無花粉スギ遺伝子の特定と選抜 DNA マーカーの作成

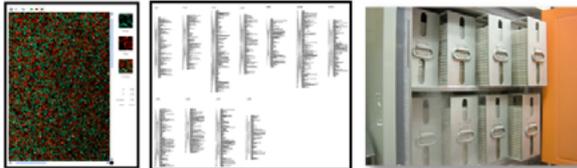
これまでに発見されている無花粉スギは *ms-1* という遺伝子を保有する個体です。この遺伝子がスギの遺伝子地図の第 9 番目の連鎖群（染色体）にあることを明らかにして、無花粉スギの選抜するための DNA マーカーを作成しました。これを目印にすることで芽生えのうちから無花粉スギを選抜していくことができるようになりました。

効率的な林木育種のモデル

精英樹の形質データと遺伝子型データを用いて育種を効率的に行うモデルを開発しました。従来の形質だけを指標にした育種法に比べ、約 2 倍の効率で効果が期待されるモデルができました。このモデルだけで世代を促進させるだけでなく、途中で形質を再評価してモデルを一度見直すことでさらに育種効率が良くなります。これらの成果は新たな林木の育種法として今後、急速に普及することが期待されます。

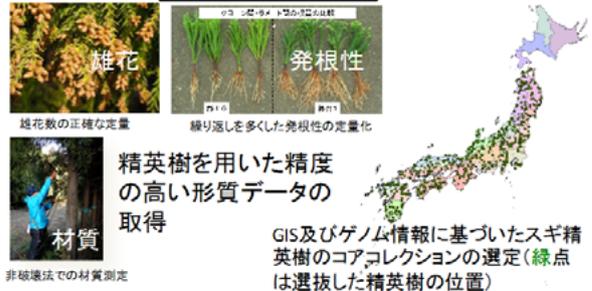
本研究は、生物系特定産業技術研究支援センター イノベーション創出基礎的研究推進事業「スギ優良個体の選抜のためのゲノムワイドアソシエーション研究」による成果です。

ゲノム基盤整備



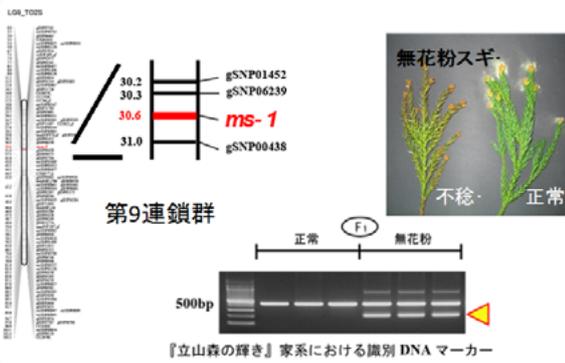
SNPタイピング 高密度連鎖地図 (3,570 遺伝子座) BACライブラリー (368,256クローン)

形質調査

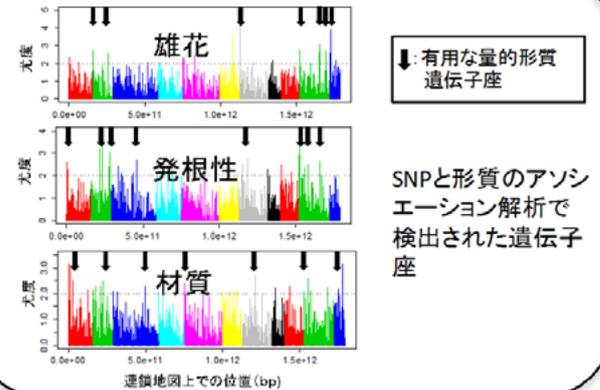


雄花 雄花数の正確な定量
 発根性 繰り返しを多くした発根性の定量化
 材質 精英樹を用いた精度の高い形質データの取得
 非破壊法での材質測定
 GIS及びゲノム情報に基づいたスギ精英樹のコアコレクションの選定(緑点は選抜した精英樹の位置)

花粉を作らない個体の選別マーカー



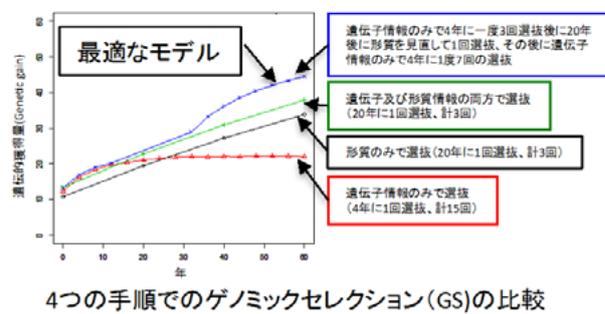
形質に関する遺伝子の位置の推定



今後の展開方向・見込まれる波及効果

1. 無花粉スギの効率的な生産
2. 成長や形質のよいスギ作出のため新たな育種法
3. ヒノキなどの他の針葉樹への応用

効率的な選抜方法の決定



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—

生物工学研究領域
理化学研究所

伊ヶ崎 知弘、細井 佳久、二村 典宏、吉田 和正
榊原 均

要 旨

樹木は長期間にわたり成長することにより、大気中の二酸化炭素を固定し、樹体に長期間蓄積することができます。バイオマス生産速度を向上させた樹木を植林することができれば、資源としての利用や地球温暖化対策等に幅広く利用できます。私たちは、植物の伸長成長を促進する植物ホルモンのジベレリン (GA) の合成量を調節することで、樹木のバイオマス生産量を改変できるのではないかと考え、GA の合成に関わる酵素遺伝子を変化させた組換えポプラを作出し、成長特性等を解析しました。その結果、茎の伸長速度が速く、人類が材として最も利用する茎のバイオマスが顕著に増大する樹木の作出に成功しました。

研究の背景と目的

世界の森林は減少していることから、環境保全や将来の資源確保に備えて、樹木のバイオマス生産性を増強する必要があります。植物の成長を制御する因子として、植物ホルモン・ジベレリン (GA) が知られています。GA は、ゲラニルゲラニルニリン酸から 4 種類の酵素による反応を経て基本骨格が作られたのち、酸化酵素群により活性型または不活性型となることで成長制御を行っています (図 1)。これまでの研究で私たちは 28 種類の GA 酸化酵素候補遺伝子をポプラから単離しています。そして、この経路に関わる一部の酸化酵素を強く働かせた場合、伸長成長量が変化することがわかっていました。そこで、バイオマス生産量が向上したポプラを作出することを目的とし、GA 酸化酵素遺伝子を用いた組換えポプラを作出し、人工気象環境下での成長特性やバイオマス生産量の測定や木質成分の分析を実施しました。

伸長成長の良いポプラはバイオマス生産量も多い

樹木の伸長成長量を増加させるには、図 1 中の活性型と表記した GA1 や GA4 を増加させる必要があります。そこで、図 1 中の赤矢印または、青矢印の反応を触媒する酸化酵素遺伝子をポプラで過剰に発現させた場合、地上部の成長がどのように変化するのか調べました。すると、赤矢印の遺伝子を組換えたポプラの中から、初期の地上部の成長速度が約 2 倍に増加した組換えポプラを得ることができました (図 2)。この組換えポプラでは、地上部のバイオマス生産量が増加していました (図 3)。詳

しく見ると、バイオマス生産量は葉で 1.2 倍、幹では 2.7 倍に増加し、部位により増加量に差がありました。

リグニンやセルロース等の木質成分の存在比率については、野生型 (遺伝子組換えを行う前のもの) のポプラと比較して差は観察されませんでした。したがって、赤矢印の遺伝子を強く働かせた組換えポプラは、木質成分には影響を受けないバイオマス高生産ポプラと言えます。

一方、青矢印の遺伝子を組換えたポプラでは、伸長成長量、バイオマス生産量や木質成分について、野生型のポプラと差は観察されませんでした。

バイオマス高生産樹木の利用に向けて

遺伝子組換え作物では、近年、様々な有用な性質を持つものが開発され、商業栽培されるようになってきています。複数の有用形質を組み換えによって高度に発揮するスーパー樹木を作出する試みとして、以前に作製した交配育種の年限を短縮するのに有効な早期開花性の組換えポプラに、今回の赤矢印の遺伝子を導入し、2 種類の遺伝子を組換えたポプラを作出することにも成功しました。

本研究では、成長特性等の評価を広さに制限のある実験室での人工気象環境下で行いました。今後は遺伝子組換え生物に関する法令に従いながら、より自然環境に近い条件での栽培に挑戦していきたいと考えています。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「高バイオマス生産性と高ストレス耐性を付与した組換え樹木の開発」による成果です。

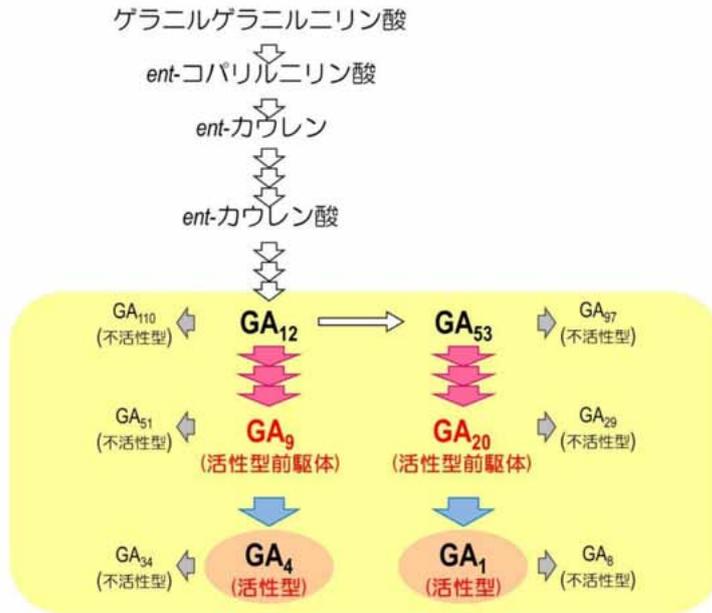


図1 植物ホルモン・ジベレリン (GA) の植物での主要な合成経路
 活性型、不活性型は植物の伸長成長に対する活性を示します。黄色の枠内の赤矢印、青矢印、灰矢印は基質や生成物は異なりますが植物では同じ分類グループに属する酵素です。
 本研究では赤矢印または青矢印の酵素遺伝子を過剰に発現させました。



図2 GA 合成酵素遺伝子を用いたポプラの成長促進
 左3個体は野生型、右3個体は赤矢印の酵素活性を強化した組換えポプラ。

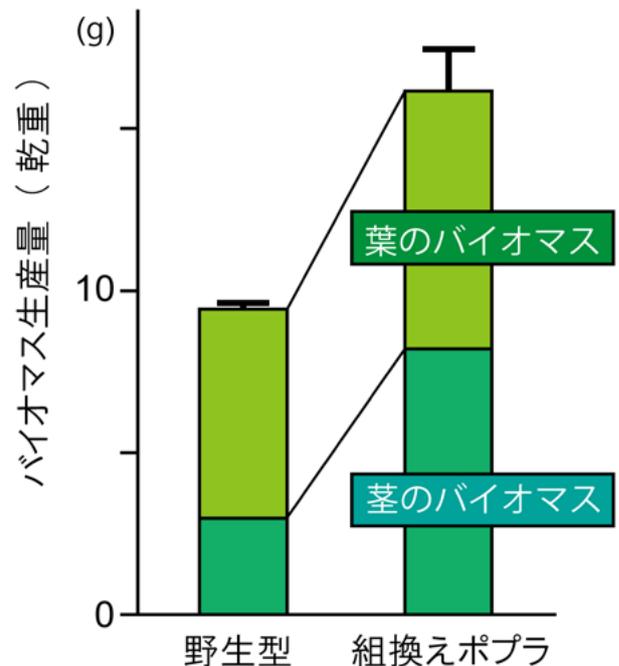


図3 GA 合成酵素活性強化した組換えポプラの地上部のバイオマス生産
 緑色は茎の、黄緑色は葉柄を含む葉のバイオマス量を示しています。

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

森林バイオ研究センター
バイオマス化学研究領域
林木育種センター西表熱帯林育種技術園

石井 克明、谷口 亨
河村 文郎
尾坂 尚紀

要 旨

2004 年に新種として発表されたワダツミノキは鹿児島県奄美大島に自生する小高木であり、絶滅危惧種として分類されています。本種には、がん化学療法に使用される抗がん剤の原料成分であるカンプトテシンが含まれ、その含有率は個体間での変異が大きいことを見出しました。また、組織培養によるクローン苗木生産の方法を開発しました。これらの成果は、絶滅危惧種の保全に活用可能であるだけでなく、抗がん剤原料成分の含有率の高い個体を選抜し、そのクローン苗を栽培してカンプトテシンを効率的に生産することが可能となります。

研究の背景

ワダツミノキは鹿児島県奄美大島に自生する高さ 10m 程度になる小高木で (図 1)、2004 年に新種として発表されました。確認されている個体数は 20 本程度しかなく、環境省のレッドリストでは絶滅の危険性が極めて高い絶滅危惧 IA に分類されています。近縁のクサミズキにはアルカロイドの一種であるカンプトテシンが含まれます。カンプトテシンには抗がん活性があり、がん化学療法に用いられる抗がん剤の原料となっています。このことより、ワダツミノキにもカンプトテシンが含まれると予想されますが、その含有率の詳細については報告されていません。そこで本研究では、ワダツミノキのカンプトテシン含量を調べました。また、ワダツミノキの増殖方法も明らかでないことより、クローン苗木の生産のために組織培養による増殖を検討しました。

薬用成分カンプトテシンの含有率

奄美大島に自生する個体と実生苗木の葉の抽出物を高速液体クロマトグラフィーで分析した結果、カンプトテシンが含まれることが明らかになりました。また、小枝の部位別の含有率を定量したところ、芽に近い部位ほど含有率が高く、先端から 6cm 程度で含有率が安定することが示唆されました (図 2)。さらに、3 母樹由来の 3 年生実生苗 13 個体の 11 月に採取した茎におけるカンプトテシンの含有率を調査したところ、最も含有率の高い個体と最も低い個体では含有率に 8 倍程度の差がありま

した (図 3)。

組織培養による増殖方法の開発

組織培養とは、茎や葉など植物組織の小片を植物の育成に必要な栄養分を含む培地で人工的に培養して植物体を再生させる技術であり、苗の生産などに利用できます。ワダツミノキの茎頂を培養瓶で培養し、小さな枝であるシュートを誘導しました。次にシュートを発根させ、植物体としました。これを培養瓶から出して土を入れたポットに移植して、外気に慣らすための順化行程を経てクローン苗木を作ることができました (図 4)。この方法によれば培養瓶内のシュート 1 本から 1 年で 25 本程度の苗木を作ることが可能と考えられます。

成果の活用

本研究で開発した組織培養による増殖技術は、絶滅危惧種であるワダツミノキの保全に活用することができます。また、抗がん剤の原料成分であるカンプトテシンを含むことより、ワダツミノキは経済的に価値の高い樹木と考えられます。抗がん剤の原料成分の高含有率個体を選抜し、その個体から苗木を増殖して栽培すれば、効率的にカンプトテシンを生産できると期待します。

本研究は、森林総合研究所の実行課題 I412 「機能性樹木等の創出のためのバイオ利用技術の開発」による成果です。



図1 奄美大島に自生するワダツミノキ

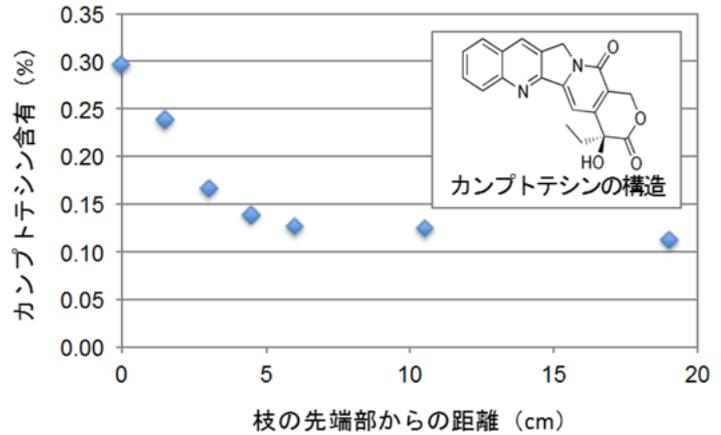


図2 ワダツミノキの枝の部位別のカンプトテシン含有率（絶乾重量に対する%）
枝の先端部の含有率が最も高く、先端部より6cm程度から枝の基部側にかけての部位の含有率は一定でした。

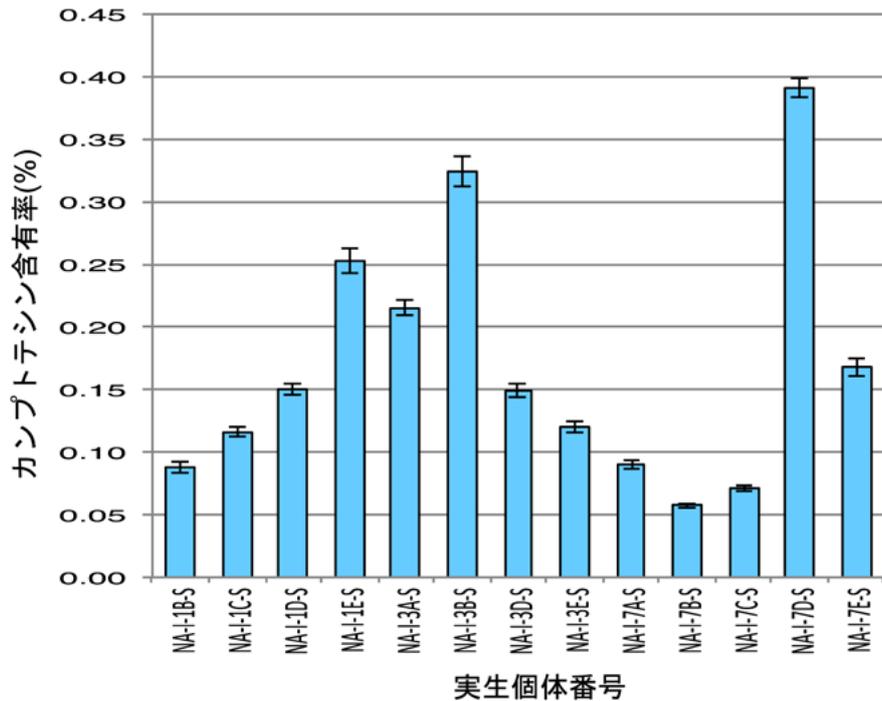


図3 ワダツミノキの個体別のカンプトテシン含有率（絶乾重量に対する%）



図4 組織培養によるワダツミノキの増殖
枝の先端部分である茎頂を培養して得られるシュートを培養瓶内で増殖させます。シュートを発根させた植物体を順化してクローン苗木を作成します。

用語解説

無欠点小試験体 (P22)

節などの強度低下に影響を及ぼす欠点を取り除いた試験体のこと。

ラミナ (P22)

集成材を構成する厚さ 5cm 以下のひき板のこと。

インサイジング処理 (P22)

保存薬剤が木材に入りやすいように、刃物等で木材の表面を処理すること。

フィンガージョイント (P22)

板材を長さ方向に連続してつなぐ加工方法のこと。

小水力発電 (P26)

発電規模が 1,000 ~ 10,000kw の水力発電。100 ~ 1,000kw のミニ水力発電、100kw 以下のマイクロ水力発電を含む場合もある。

カーボンニュートラル (P28)

植物の燃焼によって放出される二酸化炭素は、植物が成長の際、大気中の二酸化炭素を吸収して得た物で、二酸化炭素の増加を引き起こさない。

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。

萌芽更新 (P28)

枝や幹の切り口から再び枝を伸ばし成長すること。

マルチシート (P28)

農業で用いられる雑草防除や地温管理のために敷設するビニールシート。黒や白黒や透明の色がある。

系統 (P28)

同じ親から無交配で増やされるクローンの品種の一つ。

地上部現存量 (P32)

樹木の葉、幹、枝の乾燥重量の総量。地上部現存量の半分が炭素蓄積量と見なすことができる。

林冠ギャップ (P32)

樹木が枯死あるいは倒伏したことによって、林冠層に生じた隙間のこと。ギャップの発生は、地表面の光環境が好転して、樹木の世代交代を促進する役割がある。

マングローブ林 (P38)

熱帯から亜熱帯にかけて分布する河口などの潮間帯（満潮になると海水が満ちてくるエリア）に成育する複数の樹種から成る森林の呼称。

発現 (遺伝子発現) (P58)

遺伝子 (DNA) の塩基配列として保持されている遺伝情報に基づいてタンパク質が合成され、生体内で機能すること。

発現遺伝子 (P58)

任意の時期、任意の器官において発現している (機能している) 一群の遺伝子をさす。

一塩基多型 (P58)

SNP (Single Nucleotide Polymorphism の略) ともいう。任意の遺伝子における突然変異に由来する個体間での一塩基の違い (変異)。

EST (P58)

Expressed Sequence Tag の略称。発現遺伝子の一部分の塩基配列情報。

Isotig (P58)

塩基配列の相同性に基づいて複数の EST から元の長い塩基配列情報を再構築したもの。

森林総合研究所

平成 26 年版 研究成果選集

発行日	平成 26 年 7 月
編集・発行	独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里 1 電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ	企画部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	大成印刷株式会社 茨城県日立市東多賀町 4-11-7 電話 0294(36)1837(代表)

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。



平成26年版

研究成果選集

2014

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1 URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

