

平成23年版

研究成果選集

2011



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所 平成 23 年版 研究成果選集

目 次

重点研究

アア 地球温暖化対策に向けた研究

アア a 森林への温暖化影響予測及び二酸化炭素吸収源の評価・活用技術の開発

森林の枯死木、リター、土壌の炭素蓄積量の全国調査 6
森林における枯死木、リター（落葉）、土壌の炭素量の全国調査を行い、地域別に炭素蓄積量を比較しました。炭素蓄積量は気温の影響が大きく、また土壌の乾燥や過去の森林利用も関係していることを明らかにしました。

人工林の施業効果と炭素収支を評価する 8
人工林の基本情報（樹高、胸高直径、林分密度）を入力するだけで森林の炭素蓄積量や構造が簡単に推定でき、さらに気象データを入力すれば炭素収支や年間炭素固定量などが計算できるプログラムを開発しました。

衛星データを用いた森林被覆率の推定に必要なサンプリング率を明らかにする 10
ランドサット衛星画像から系統的に一定のエリアを抜き出すサンプリング手法により、国レベルでの森林被覆率を推定する場合に、サンプリング率が森林被覆率の推定値に与える影響を明らかにしました。

アア b 木質バイオマスの変換・利用技術及び地域利用システムの開発

木質を高充填させたコンパウンドによる木材・プラスチック複合材の連続射出成形 12
熱流動性の低い木粉を熱可塑性プラスチックと混合させ、木質充填割合の高い複合プラスチックの連続射出成形技術を開発しました。これにより、石油系プラスチックの代替となることが期待されます。

林業バイオマスを効率的に集めて運ぶ機械の開発 14
造材作業と破碎作業の 2 工程の処理が可能なチップパー機能付きプロセッサ、及び林地残材の減容化が可能なバイオマス対応型フォワーダを開発しました。

高性能な木質バイオマス燃料「ハイパー木質ペレット」を製造する 16
木質ペレットの製造工程に熱処理を導入することで、従来品よりもたくさんのエネルギー（発熱量）が生まれ、かつ水に強い高性能木質ペレット燃料「ハイパー木質ペレット」を作ることができました。

アイ 森林と木材による安全・安心・快適な生活環境の創出に向けた研究

アイ a 生物多様性保全技術及び野生生物等による被害対策技術の開発

日本の生物多様性の変化を評価する手法の開発 18
日本の森林性の生物について新たに開発した指数を用い、日本の森林は過去数十年間に急激な種数の減少はなかったものの、生物多様性は変化していることを明らかにしました。

ナラ枯れの被害を予測し、早めに叩く 20
日本の広葉樹林に大きな被害を与えているナラ枯れ。その被害地を前年に予測し、病原菌の運び屋カシノナガキクイムシをつかまえる「おとり木トラップ」を設置し早期に被害を防除するシステムを開発しました。

クマの大量出没の原因を明らかにして、人身被害を防ぐ 22
クマの大量出没はドングリ類の不作のせいでクマが行動圏を低標高へ大きく広げることが主な原因であることがわかりました。さらに、クマを人里に引きつけ、人里に侵入しやすくしている人間側の原因も関係していました。

アイ b 水土保全機能の評価及び災害予測・被害軽減技術の開発

Q&A「森林と水の謎を解く」を公開 24
森林総合研究所では、森林と水の関係についての研究成果を広く普及するために、Q&A形式に分かり易く取りまとめた「森林と水の謎を解く」をホームページに公開しました。

地すべり性崩壊の発生危険斜面を探る 26
航空機レーザー測量や年代別の空中写真・衛星画像を用いて地すべり性崩壊の危険性が高い斜面を探し出す方法を開発しました。

アイ c 森林の保健・レクリエーション機能等の活用技術の開発

森林・海・農地、人が最もリラックスする環境は？ 28
これまでの研究で、森林浴がストレスを軽減する効果があることは分かってきました。本研究から、海や農地など森林以外の自然環境と比較して、森林浴はより高いセラピー効果があることがわかりました。

持続的な森林資源管理を成り立たせる条件は？ 30
近畿地方の近代以前の森林資源利用の事例を調べ、持続的に森林資源を利用するためには、社会的規制や資源管理技術が適用された場合に成り立ってきたことを明らかにしました。

アイ d 安全で快適な住環境の創出に向けた木質資源利用技術の開発

超音波を使って木材のめり込み強さを推定する 32
木材のめり込み強さを非破壊的に調べるためには、超音波が木材の横方向に伝わる速度を測定することにより、強さを精度良く推定できることがわかりました。

接合部の経時的な劣化を評価する 34
木造住宅を長く安心して使うために、通常よりはるかに厳しい環境に木材の接合部を曝して、強さを調べました。その結果、強度低下の度合いを壊さないで調べるための指標を作りました。

唾液ストレスマーカーの個人差にせまる 36
唾液中のストレスマーカーによってストレス度を評価する手法が広まりつつあります。本研究では各種ストレスマーカーにおける測定値の個人差がその人の性格特性や安静状態での測定値と関係することを見出しました。

アウ 社会情勢変化に対応した新たな林業・木材利用に関する研究

アウ a 林業の活力向上に向けた新たな生産技術の開発

中国の森林、林業、木材産業～その姿と日本への影響～ 38
急激な経済成長により中国の木材産業や貿易が拡大し、世界の木材貿易における中国の位置づけが高まっています。木材輸入をめぐる競争、日本への製品輸出などにより、わが国の林業、木材産業への影響は今後も続くと考えられます。

林業に活力をもたらすために必要な新しい林業・木材利用のシステム 40
活力のある林業を創り出すために、木材経営の効率性を高め国際競争力を付けるとともに、自給率を向上させ、同時に林家への利益還元も増やせる、新しい林業・木材利用システムを提示しました。

急傾斜地に森林作業道をつくる 42
間伐など森林の手入れに使われる森林作業道について全国8路線を調査・分析した結果、4つの作設パターンがあることがわかりました。それぞれの特徴を明らかにし、森林作業道作設の手引きとしてまとめました。

スイングヤーダ集材作業をより速くより安全に 44
スイングヤーダで集材作業と伐倒作業を同時に並行して行う場合の安全性について評価し、その作業手順をわかりやすく示した手引き書を作成しました。

アウ b 消費動向に対応したスギ材等林産物の高度利用技術の開発

集成材の長期維持管理のための補修技術の開発 46
集成材建築物を長期にわたって維持管理するためには、集成材に生じる経年劣化を補修する技術を確立する必要があります。本研究では集成材の接着層の劣化を補修する技術を開発しました。

CO₂ ヒートポンプによる高効率で環境にやさしい木材乾燥機 48
CO₂ ヒートポンプを木材乾燥機に応用することにより、従来のフロン冷媒ヒートポンプでは難しかった 70℃ 以上の加熱が可能で、かつエネルギーコストを抑える高効率の木材乾燥機を実用化しました。

イア 新素材開発に向けた森林生物資源の機能解明

イア a 森林生物の生命現象の解明

遺伝子組換え技術を用いてポプラの成長を制御することに成功! 50
遺伝子組換え技術を用いて、成長に関する植物ホルモン・ジベレリンを活性型にしたり、または不活性型にしたりする酵素遺伝子を制御し、ポプラの成長量を増やしたり減らしたりすることに成功しました。

DNA 解析により桜の伝統的栽培品種を識別する 52
我が国には 200 種類を超えるサクラの伝統的栽培品種があります。祖先が育てた栽培品種を正しく継承して、将来の利用に役立てていくため、DNA マーカーによる精度の高い品種識別技術を開発しました。

環境汚染物質を分解する微生物を発見 54
環境汚染物質の一つである DDT を分解する微生物を見つける手法を開発し、新たに 3 種類の DDT 分解菌を発見しました。この手法を用いると、環境汚染物質の分解微生物を幅広く探索できます。

イア b 木質系資源の機能及び特性の解明

樹木の香りで生活環境空間を浄化する 56
環境汚染物質の除去活性の高い樹木精油を見出し、それを最も効果的に噴霧する方法を開発しました。また、精油を大量に抽出するために減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法を開発しました。

木材表面の微小変形（ひずみ）をとらえて、スギ「心持ち材」を割れなく乾燥する方法 58
スギ心持ち材（用語解説）を割れることなく乾燥するため、乾燥処理中の木材表面の微小な変形（ひずみ）をとらえ、材質に合った適切な乾燥処理時間を自動判定する方法を考案しました。

イイ 森林生態系の構造と機能の解明

イイ a 森林生態系における物質動態の解明

森林土壌にたまる炭素量を全国で予測する 60
森林土壌には多量の炭素量がたまっています。日本全国の森林土壌にたまる炭素量をモデルとデータベースを用いて予測しました。

森林土壌中を流れる物質の量をはかる 62
これまで測ることが難しかった森林土壌中の水と水に溶ける物質の移動量を、週から年の単位で正確に測ることができるようになりました。

イイb 森林生態系における生物群集の動態の解明

スズメバチの手強い寄生天敵スズメバチタマセンチュウ ー寄生されるハチの種類と国内分布が明らかにー	64
キイロスズメバチやオオスズメバチなど人が刺されやすいハチには、スズメバチの女王を不妊化する寄生線虫がよく寄生し、しかも日本本土に広く分布していることを明らかにしました。	
森はよみがえったか？ ー御岳山崩れ25年の軌跡ー	66
1984年に起きた長野県西部地震による山崩れ跡地で植生遷移の過程を長期継続観測し、大規模災害のあとにどのように森林が回復するかを明らかにしました。	
自然攪乱が北限のブナの分布を広げた	68
自生最北限のブナ林がどのようにして成立したかを、地形情報・年輪解析・倒木片の樹種判別、過去のかく乱の歴史などから推定しました。	

林木育種

第二世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種を開発	70
マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種同士を交配して、その子供を育成し、より病原力の強いマツノザイセンチュウを接種するなどの検定を進め、格段に高い生存率を示す第二世代品種を初めて開発しました。	
ケヤキの遺伝的多様性	72
国内各地のケヤキ天然林から試料を採取し葉緑体DNAと核DNAそれぞれの遺伝的多様性を明らかにしました。遺伝的多様性に配慮した植栽や精密な林木遺伝資源の保存に活用できます。	
アカシア属の育種技術マニュアルの作成 ー人工交配による効率的なアカシア・ハイブリッドの創出方法ー	74
熱帯地域で盛んに植栽されているアカシア・ハイブリッドを人工交配によって創出するために、交配手順について詳しく解説したマニュアルを作成しました。	

森林の枯死木、リター、土壌の炭素蓄積量の全国調査

立地環境研究領域 金子 真司、田中 永晴、鶴川 信、南光 一樹

要 旨

森林には、樹木の幹や枝葉や根だけでなく、枯死木や林床に堆積した落葉落枝（リター）や土壌にも多くの炭素を蓄積しています。地球温暖化対策のため、これらの炭素蓄積量を把握することが求められています。そこで枯死木やリターや土壌の炭素蓄積量の全国調査を行いました。その結果、わが国のリター炭素蓄積量は IPCC が報告する湿潤暖温帯地域に比べて少ないことが明らかになりました。地域別の比較では、枯死木、リター、土壌とも寒い地方は暖かい地方に比べて炭素蓄積量が大きく、気温が炭素蓄積に大きく関係すると考えました。ただし乾いた土壌が広く分布する中国地方でリター炭素蓄積量が多かったことや、長期に森林が利用されてきた近畿地方で土壌炭素蓄積量が少ないことから、土壌の乾湿や森林利用歴なども炭素蓄積に関係すると考えられます。

地球温暖化と土壌

森林は、樹木の幹や枝葉や根だけでなく、枯死木や林床に堆積した落葉落枝（リター）や土壌にも多くの炭素が蓄積しています。これらの炭素は気象条件や森林の状態などで変化するため、地球温暖化対策にとって、その炭素蓄積量を正確に把握することが重要です。しかし、枯死木やリターについての調査事例は少ない上に、土壌の炭素蓄積量についても昭和 30～40 年代の古いデータが多く、最新の炭素蓄積量を把握する必要があります。そこで、わが国の森林の枯死木、リター、土壌の炭素蓄積量の実態を明らかにするために、都道府県や民間企業の協力を得て初めての全国調査を行いました。

調査の方法

この調査は、全国の森林に均等に配置された約 2,500 か所で、平成 18～22 年の 5 年間に行いました（図 1）。調査地点は直径 36 m の円形プロットです（図 2）。枯死木は、南北、東西の直径ライン上にある倒木と根株の大きさと腐朽度から炭素蓄積量を推定しました。リターは外周上の東西南北の 4 地点で、一定面積 (0.25 m²) からリターを採取し炭素含有量を測定して炭素蓄積量を求めました。土壌はリターと同じ地点で、簡易土壌断面を作成して深さ 0-30 cm の石礫割合を記録するとともに、土壌試料を採取し、炭素含有量と乾燥密度を測定して炭素蓄積量を求めました。

炭素蓄積の実態

データの精査が終了した平成 18～21 年までの 4 年間

を対象に解析した結果、枯死木、リター、土壌の平均炭素蓄積量は、それぞれ 0.406、0.517、6.85 kg m⁻² でした。IPCC(2003) による集計では、湿潤暖温帯林のリター炭素蓄積量は 1.3～2.2 kg m⁻² とされているので、わが国のリター炭素蓄積量はこの気候帯の森林としては少ないことが明らかになりました。さらに地域別に枯死木、リター、土壌の炭素蓄積量を比較したところ、枯死木は北海道から九州にかけて低下する傾向にあり、リターも北海道・東北は四国・九州に比べて高く、土壌も関東以北の地域で高い傾向にありました（図 3～5）。寒冷な地域では温暖な地域に比べて有機物の分解が進みにくいことから、炭素が多く蓄積したと推定されます。ただしリターの蓄積量は中国地域で最も高く、土壌では、近畿地域が最も低い特徴がみられました。中国地方はこれまでの研究から、乾性タイプの土壌が多いので、乾燥の影響で有機物分解が遅れリターが多量に蓄積している可能性があります。また近畿地域は長期間過度に森林が利用された地域であり、そのため土壌炭素量が低かったと考えられます。

本調査は、枯死木、リター、土壌のすべてを対象にした初めての全国調査であり、得られたデータは京都議定書に対応した報告の検証など地球温暖化対策に広く利用されています。本研究は、「予算区分：政府等受託、課題名：森林吸収量把握システムの実用化に関する研究」による成果です。

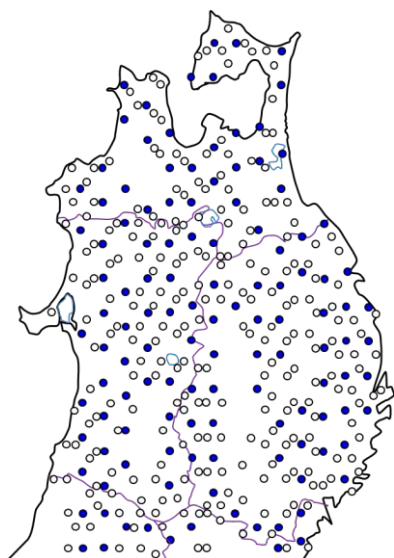


図1 東北地方北部の調査プロット
(●はグレード1、○はグレード2の地点。
グレード1とグレード2は1:2の割合で配
置されている。)

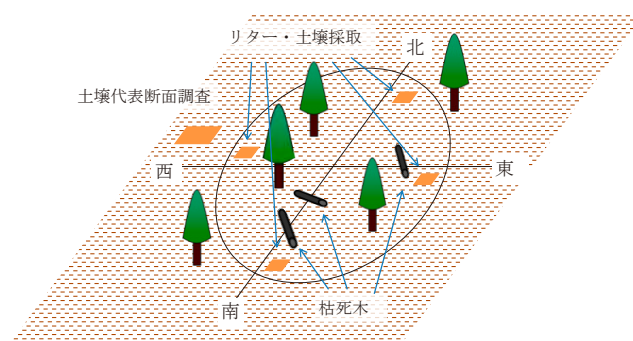


図2 調査地点の配置図
(グレード1は代表土壌断面調査を行う。その他の調査はグレード1と
2で共通して実施している。)



写真 リターと土壌の調査

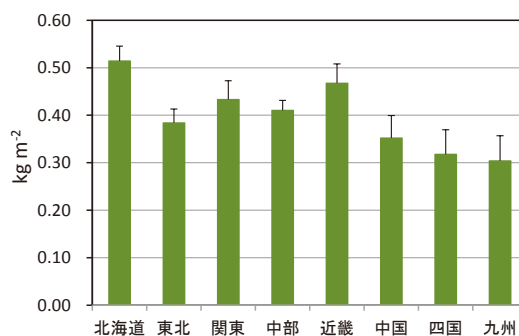


図3 地域別の枯死木炭素蓄積量

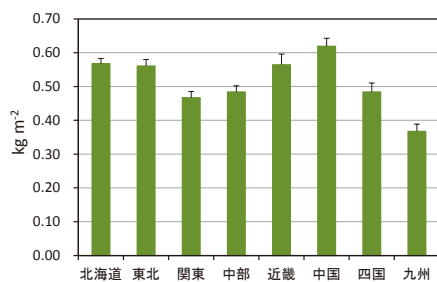


図4 地域別のリター炭素蓄積量

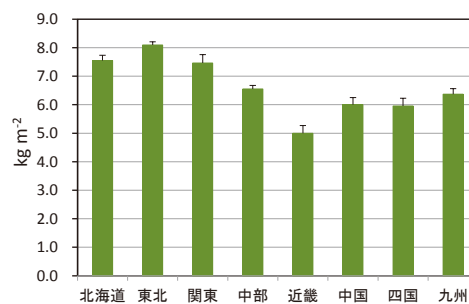


図5 地域別の土壌炭素蓄積量

図3～5から、気温の低い北の地域で炭素蓄積量が高く低下する傾向にあるが、中国地域のリターが多いなど気温以外の要因も炭素蓄積に関係することがわかった。なお図中のバーは標準誤差を示している。

人工林の施業効果と炭素収支を評価する

温暖化対応推進拠点
森林管理研究領域

千葉幸弘
家原敏郎

要 旨

炭素固定をはじめとする森林の様々なはたらきを損なわずに、森林を持続的に利用することが求められています。森林の手入れの仕方によって葉、枝、幹の割合や分布量が変化しますが、そうした様々な人工林の成長や構造の推定には詳細な調査が必要でした。今回、森林の基本情報（樹高、胸高直径、林分密度）を入力するだけで、森林の構造や成長を簡便に推定する手法を開発しました。この手法と光合成や呼吸のモデルを統合することによって、気象変化に伴う炭素収支の年変動や季節変化を推定することが可能となり、気候変動の影響等に配慮した森林の施業や管理方策を立案するための判断ツールとしての利用が期待されます。

森林成長モデル

人工林における林木の成長や炭素固定量などは、植栽本数や間伐などのさまざまな手入れの仕方によって大きく影響されます。幹の成長は葉が行う光合成の影響を受けるので、こうした手入れの仕方による林分成長や枝葉の分布状態の違いを的確に予測することが求められていました。今回、開発した森林成長モデルでは、枝葉の付き方や樹形の成り立ちに基づいた解析手法を取り入れることにより、植栽本数や間伐の強さなどに柔軟に対応して、森林の内部構造や成長量などを簡単に計算できるようになりました。

間伐施業の効果と意義を判定する

一般的な間伐を実施した場合と無間伐の場合の炭素蓄積量を比較すると（図 1）、現存する林木の炭素蓄積量に関しては無間伐林のほうが大きくなりますが、間伐林で間伐された木や自然枯死した木の炭素量も含めた総炭素量で比較すると（図 2）、間伐林のほうが多くなります。このことは間伐林と無間伐林での調査結果とも合致し、今回のモデルの妥当性が確認されました。無間伐林では台風などの気象災害で壊滅的なダメージを受ける危険性が高く、炭素を長期間蓄積させておくという意味でも適切な間伐は重要であることがわかります。

人工林の内部構造を見通す

人工林には数百本から数千本も木が立っています。森林にある葉、枝、幹の重量や森林内部の階層ごとの枝葉量などは、森林の炭素収支を評価するのに必要な情報です。こうした森林の内部構造を知るためには木の伐倒による詳細な調査が必要でしたが、今回開発したモデルでは分枝構造など樹形の規則性を利用することにより、幹の平均直径、樹高、ha あたり立木本数を入力するだけで、森林の重量や枝葉の階層構造、木部表面積などが推定でき（図 3）、実測データからもその確かさが確認できました。

さまざまな人工林の炭素収支を推定する

森林の内部構造が簡便な方法で見通せるようになったので、光合成や呼吸の推定モデルと統合することによって、森林の炭素固定量や気候変化に伴う炭素収支も推定しやすくなりました。冷夏や乾燥などの気象条件が森林の年間炭素固定量を減少させ、季節的にも炭素吸収パターン（図 4）に影響することなど、スギ林で観察される現象を再現できることが確かめられました。

本研究は、「予算区分：環境省地球環境研究推進費、課題名：環境変動と森林施業に伴う針葉樹人工林の CO₂ 吸収量の変動評価に関する研究」による成果です。

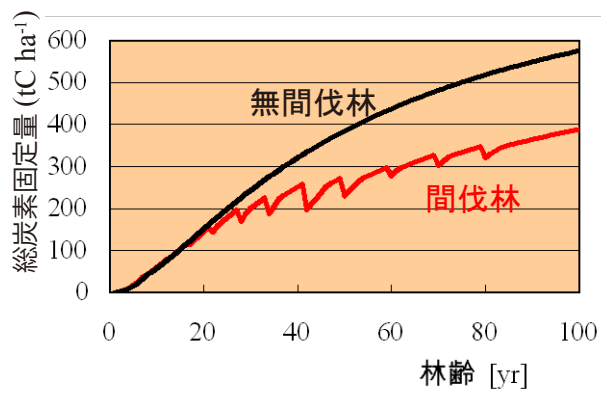


図1 間伐林と無間伐林の炭素蓄積量の比較

気象災害などが起こらないという理想的な条件では、無間伐林の炭素蓄積量は間伐林よりも多くなる。

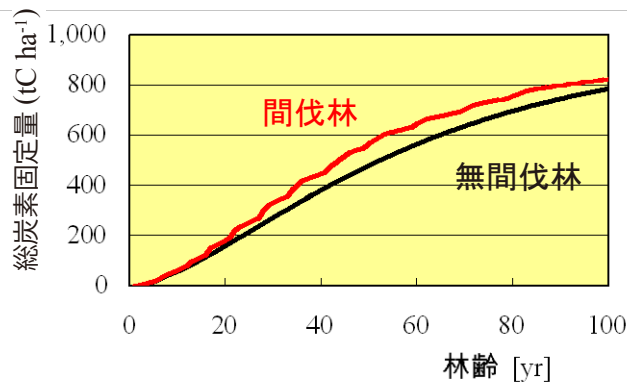


図2 全生育期間にわたる総炭素固定量の比較
生育期間中に収穫される木材や自然枯死する林木に含まれる総炭素固定量で比較すると、間伐林のほうが大きくなる。

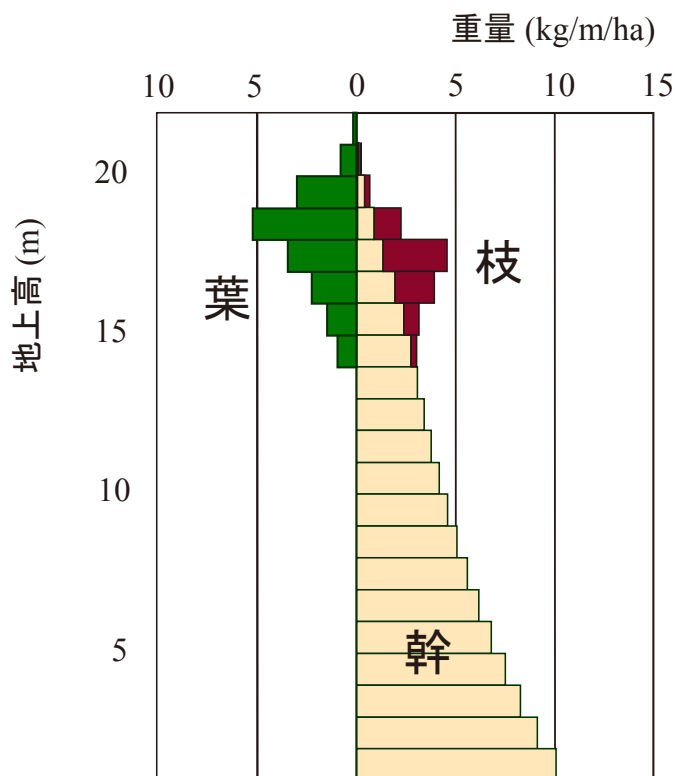


図3 簡便な方法で推定できる人工林の構造
人工林の基本情報である立木本数、平均胸高直径、平均樹高を入力するだけで、炭素収支の評価等に必要な葉、枝、幹の垂直分布が推定できる。

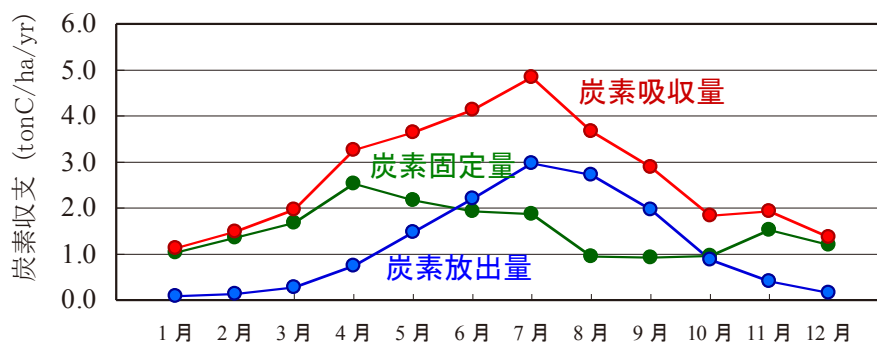


図4 スギ人工林における炭素収支の季節変化のシミュレーション

森林構造のデータをもとに、光合成量と呼吸量の推定精度を向上させ、様々な人工林の炭素固定量を月ごとに推定できるようになった。

衛星データを用いた森林被覆率の推定に 必要なサンプリング率を明らかにする

温暖化対応推進拠点
森林管理研究領域

平田 泰雅
高橋 與明

要 旨

熱帯林の減少など森林の状況やその変化を広域でとらえるためにはリモートセンシングは有効な技術です。国レベルでの森林被覆を把握するには、全域をくまなく解析する方法と、系統的に一定のエリアを抜き出して全体を推定するサンプリングによる方法があります。サンプリングによる方法は、サンプリング率とその推定値に影響します。そこで、オブジェクト指向型分類という手法で全国の森林被覆を求めたデータをもとに、サンプリング率を変えて森林被覆率を推定することにより、サンプリング率が森林被覆率の推定値に与える影響を調べました。その結果、森林被覆率を確実に推定するためには、20% 以上のサンプリング率が必要であることが分かりました。

森林被覆率の推定

現在、地球温暖化問題の中で、熱帯林の森林減少に注目が集まっています。このような森林の状況やその変化をとらえるためにはリモートセンシングが有効な技術です。国レベルでの森林被覆を把握するには、全域をくまなく解析して森林被覆図を作成する方法と、系統的に一定のエリアを抜き出して全体を推定するサンプリングによる方法があります。サンプリングによる方法は、森林被覆率を算出するのに適していますが、サンプリング率とその推定値に影響します。そこで、サンプリング率の違いが森林被覆率の推定値に与える影響を調べました。

森林被覆図の作成

30m の地上分解能をもつランドサット衛星画像を用いて、日本の離島をのぞく全域についてオブジェクト指向型分類という手法により土地被覆が同一とみなされる領域（オブジェクト）に分割し、それぞれのオブジェクトにおける光の反射の仕方の違いを利用して土地被覆分類を行いました。この土地被覆分類結果から森林被覆図を作成しました（図1）。

サンプリング率の影響評価

日本全国に対する森林被覆図を 10km 四方の方形に分割し、各方形での森林被覆率を計算しました（図2）。これらの方形をサンプリング率を変えて系統的に抽出して、

それぞれのサンプリング率ごとに森林被覆率の平均を求め、サンプリング率と森林被覆率の推定値との関係を図にプロットして調べました（図3）。その結果、森林被覆率を確実に推定するためには、20% 以上のサンプリング率が必要であることが分かりました。

成果の活用

国連食糧農業機関（FAO）では、1980 年より世界の森林の現状やその変化に関する情報を提供することを目的として、世界森林資源評価を行っています。2010 年の森林資源評価においては、ランドサット衛星を用いて緯度経度各 1 度毎に 10km × 10km のサンプリングによるリモートセンシング資源調査を追加しています。日本では、森林総合研究所が本資源調査を担当しています。ここで得られた成果は、FAO におけるリモートセンシング資源調査の意義を明らかにし、リモートセンシング資源調査における土地被覆分類のためのパラメータの決定に役立てられています。また、森林被覆が十分に把握されていない発展途上国で国レベルのサンプリングによる森林被覆率を推定する場合の指標となることが期待されます。

本研究は「予算区分：運営交付金プロジェクト研究、課題名：次期枠組みの国際交渉に必要な森林の吸排出量算定手法の探索的研究」による成果です。

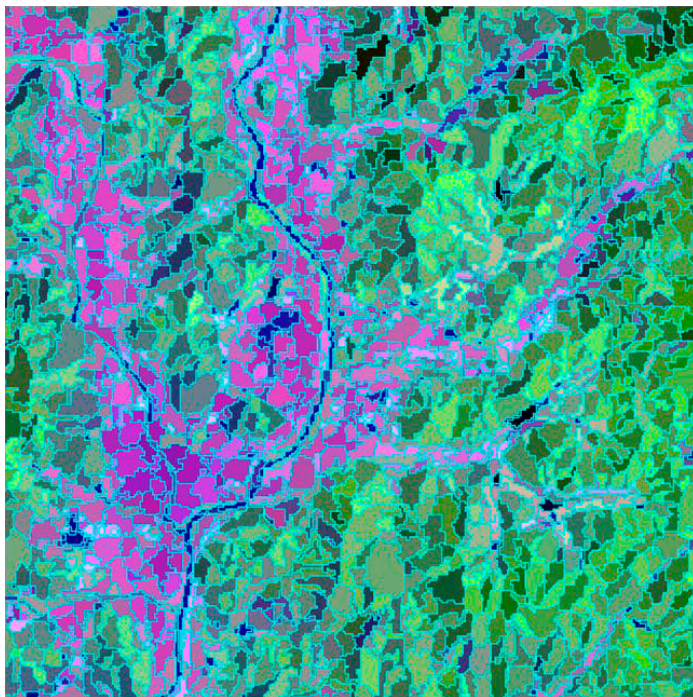


図1 土地被覆分布図

30mの地上分解能をもつランドサット衛星画像を用いて、オブジェクト指向型分類という手法を用いて土地被覆が同一とみなされる領域（オブジェクト）に分割した。画像で緑は森林を、紫は農地、居住地を表している。

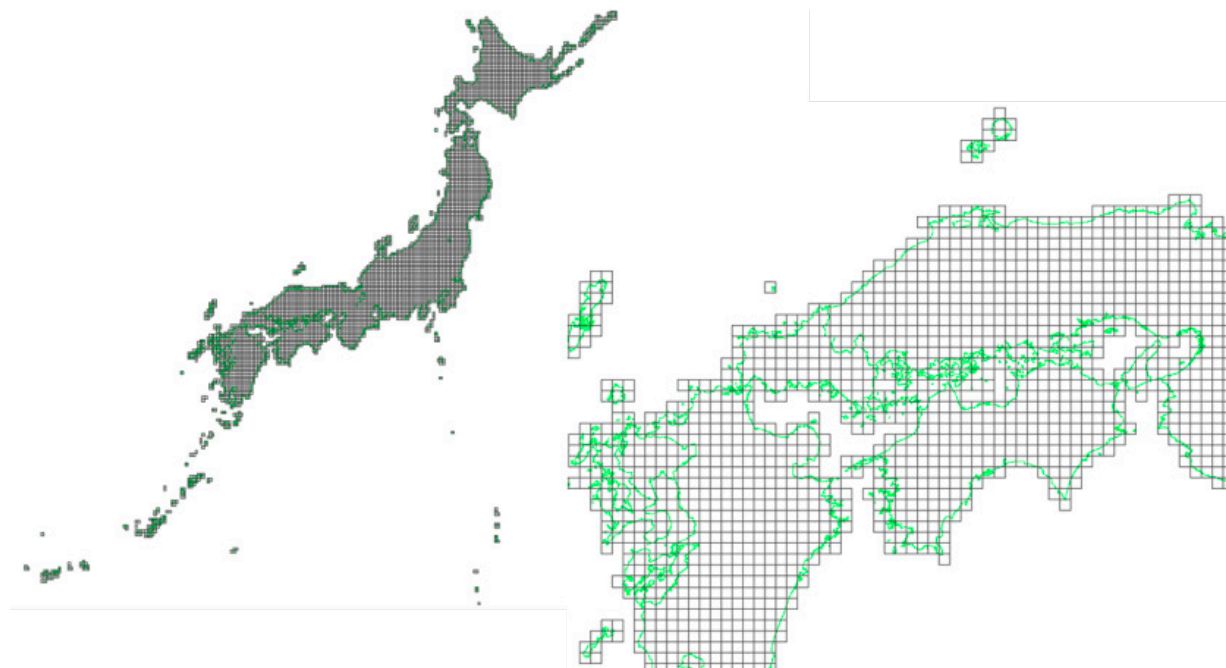


図2 日本全国を10 km四方に分割

分割した各方形で森林被覆率を計算し、サンプリング率を変えて系統的に方形を抽出した。

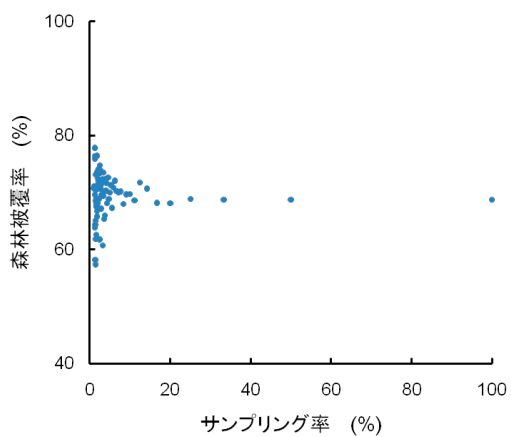


図3 サンプリング率と森林被覆率との関係

20%以下のサンプリング率では森林被覆率の推定誤差が大きく、森林被覆率を確実に推定するためには、20%以上のサンプリング率が必要であることが分かる。

木質を高充填させたコンパウンドによる 木材・プラスチック複合材の連続射出成形

木材改質研究領域

(株) 倭和テクノス

千葉県産業支援技術研究所

木口 実、小林 正彦、川元 スミレ、片岡 厚、松永 浩史

甲斐 信吾

海老原 昇

要 旨

年間約 1 億トン以上生産されているプラスチックのほとんどが石油に由来する化石資源から製造されるため、温室効果ガスである二酸化炭素の排出が問題となっています。木質バイオマスからの木粉と熱可塑性プラスチックを混ぜ合わせて成型させた「木材・プラスチック複合材」は、含有する木材の量に応じて化石資源の使用を低減できますが、木粉量の増加と共に熱流動性が低下して成型性が低くなってしまいます。本研究では、湿熱処理によって木粉の熱可塑性を向上させ、木粉含有量が 70% 以上の木質高充填コンパウンド* による射出成型可能な複合材の連続製造技術を開発しました。

世界中で年間約 1 億トン以上生産されているプラスチックは、その原料のほとんどが石油に由来する化石資源です。建築廃木材や林地残材などの廃棄物や未利用の木質バイオマスからの木粉とポリプロピレンなどの熱可塑性プラスチックを加熱下で混練し成型させた「木材・プラスチック複合材」は、含有する木材の量に応じて化石資源の使用を低減できます(図 1)。しかし、木粉量の増加と共に木粉とプラスチックとの混合物であるコンパウンドの熱流動性が低下し、成型性が著しく低くなるという問題点があります。本研究では、木粉の湿熱処理あるいは膨潤処理によって熱可塑性を向上させ、木粉含有量が 70% 以上の木質高充填コンパウンドによる射出成型可能な複合材の製造技術を開発しました。これによって、木質バイオマスによる石油系プラスチックの代替が期待できます¹⁾。

熱流動性の高いコンパウンド製造技術

木粉含有率が 75% を超えるとコンパウンドの熱流動性が急激に低下します。コンパウンドの熱流動性は木材の熱可塑性に依存するため、木粉の熱流動性向上のための前処理技術を検討しました。その結果、混練時での水分添加や木粉の膨潤処理により木粉の熱流動性が向上することが明らかとなりました(図 2)。このような前処理技術を混練工程に導入することによって、射出成型が可能な木質含有率 70% 以上の木質高充填コンパウンドの製

造が可能となりました。このコンパウンドを用いて、カーケースなど様々な形状の製品が連続射出成型* により製造可能となります(図 3)。

今後の展開・展望

複合材への木質含有率が 80% を超えるコンパウンドによる連続射出成型は現在のところ難しい状況にありますが、新たな前処理技術あるいは添加剤の開発により射出成型が可能と考えています。現在、本成果を自動車部品や家電製品などの産業用プラスチックに応用する研究を進めています。

本研究は「予算区分：農林水産省農林水産技術会議事務局委託プロジェクト、地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発 ―バイオマス・マテリアル製造技術の開発―」による成果です。

参考文献

- 1) 木口 実 (2010). " 未利用木質バイオマスを利用した木材・プラスチック複合材料 (混練型 WPC) の開発." 季刊森林総研 第 10 号: 9-11. (ISSN 1883-0048)
- 2) 海老原 昇 (2010). "千葉県における木質高充填 WPC 技術を活用した木質バイオマス利用." 第 40 回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集: 35-40. (ISSN 1346-1141)

未利用木質バイオマス



林地残材

木粉化



コンパウンド化

プラスチックと混合
木質高充填コンパウンド

図1 木質バイオマスを用いた木質高充填プラスチック複合材の製造

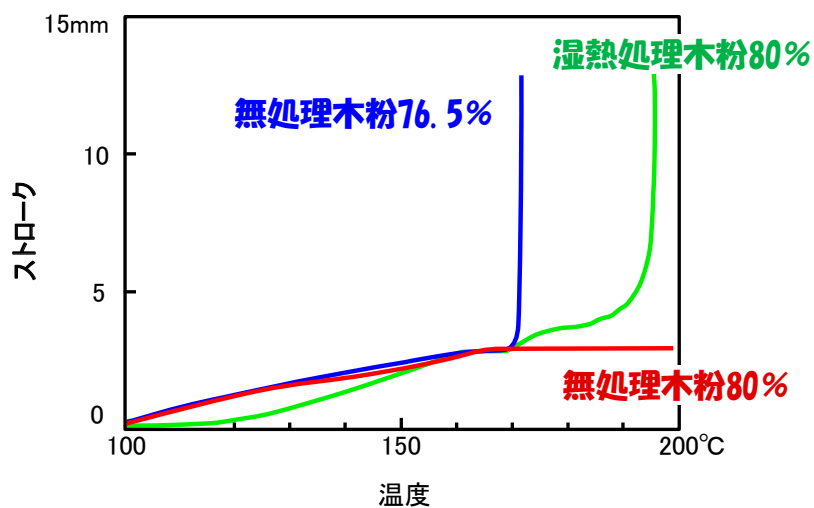


図2 湿熱処理による熱流動性向上 (木粉 80% でも熱流動性発現 (緑色))
加熱により熱流動が生じてピストンのストロークが急激に高くなる時点が流動温度となる。

試験条件: 荷重100kg/cm²、ノズル径3mm、昇温速度5°C/分



図3 射出成型による木質高充填複合材の製造
(ノズルから射出しているコンパウンド (左上) と型枠 (左下)、連続射出成型によ生産されたカードケース (右上下))

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

林業バイオマスを効率的に集めて運ぶ機械の開発

林業工学研究領域
加工技術研究領域
林業経営・政策研究領域
東京農工大学
岐阜県森林研究所
株式会社南星機械
株式会社諸岡

陣川 雅樹、毛綱 昌弘、吉田 智佳史、中澤 昌彦
伊神 裕司
久保山 裕史
岩岡 正博
古川 邦明、臼田 寿生
草野 喜行、田中 誠一郎
諸岡 正美、諸岡 昇

要 旨

木材を収穫する際に大量に発生する枝葉や端材などの林業バイオマスは、収集・運搬するためにコストがかかり、なかなか利用できません。効率的な機械と作業システムにより収集・運搬のコストを下げ、林業バイオマスを化石燃料に代わるエネルギー資源として有効利用することをめざし、用材（丸太）生産と同時にバイオマスを小さく破碎する機能を持ったプロセッサと、バイオマスを圧縮する機能を搭載したフォワーダを開発しました。これらの機械を使うことにより、用材はもとより、林業バイオマスも効率的に収集・運搬することが可能となります。

バイオマス収集・運搬システムの開発

森林作業にともなって発生し、森林に広く・薄く分布している枝葉や端材などの林業バイオマスの収集・運搬コストは、採算性の面で非常に厳しい状況にあり、ニーズが高まりつつあるにもかかわらず供給体制の整備が進んでいません。そこで、用材生産の際に発生する林業バイオマスを、集材作業と同時に収集・運搬することができる新しい機械を開発しました。

チッパー機能付きプロセッサ

用材生産の際に発生する林業バイオマスを効率的に収集するため、造材作業（用材生産）機械であるプロセッサに、かさ高いバイオマスを小さくするためのチッパー機能を付加しました。造材時にはソーチェーンによる玉切り作業を、破碎時にはチッパー機構による粗破碎作業を行い、1 台の機械で造材作業と破碎作業の 2 つの工程を処理できる作業機械を開発しました（写真 1、2）。これにより、通常の造材作業（用材生産）を行いながら、端材はそのままバイオマス資源として利用し、また枝葉についてはチッパー機構により粗破碎を行い、1 時間に 1.8 ～ 4.3 トンの林業バイオマスを生産することができま

バイオマス対応型フォワーダ

作業路網の発達にともない、フォワーダによる用材（丸太）の運搬性能の向上が求められています。同様に、林業バイオマスの運搬においても低コスト化を目指したフォワーダの性能向上が不可欠であり、加えて、端材・枝葉・チップなど形状がばらばらであり、かさばる林業バイオマスを可能な限り積載しなければなりません。そこで、用材を積載する機能はそのままに、かさ高い末木や枝葉などをできるだけ多く積載するため、荷台フレームが伸縮し、横方向および上方向から圧縮することによって積載量を確保することができる圧縮機能を装備したバイオマス対応型フォワーダを開発しました（写真 3）。実際の作業現場において林業バイオマスを荷台に満載する試験（写真 4）を行った結果、2.2 ～ 3.3 トンの積載が可能であることが確認されました。

これらの機械を用いることによって、用材とバイオマスという森林資源を統合的に扱うトータル収穫作業システムが確立でき、安価な原料供給、供給量の安定化により、森林資源の利用率の増加だけでなく、林業収益性の改善も期待できます。

本研究は、林野庁森林整備効率化支援機械開発事業「木質バイオマス収集・運搬システムの開発」による成果です。



写真1 チッパー機能付きプロセッサ



写真2 枝葉の破碎作業
チッパー機能により枝葉を粗破碎している



写真3 バイオマス対応型フォワーダ
林業バイオマスを荷台フレームで圧縮できる



写真4 林業バイオマスの圧縮運搬作業

高性能な木質バイオマス燃料 「ハイパー木質ペレット」を製造する

加工技術研究領域
木材特性研究領域
木材改質研究領域
立地環境研究領域
研究コーディネータ
福井県総合グリーンセンター

吉田 貴紘
黒田 克史、久保島 吉貴
上川 大輔
金子 真司、三浦 覚、古澤 仁美、佐野 哲也（特別研究員）
大原 誠資
野村 崇、和多田 浩樹

要 旨

木質ペレットは木くずを圧縮して固めた木質バイオマス燃料として、木材チップに比べてたくさんのエネルギー（発熱量）をとれる長所があります。しかし欠点として、発熱量が灯油や石炭より低いことや、水に弱いなどの欠点があります。こうした欠点を改良すべく、熱処理による改良型ペレット（ハイパー木質ペレット）の試作を行いました。その結果、発熱量を従来品より約 3 割向上できました。また、ペレット製造時の粉碎エネルギーを最大 9 割削減できたほか、ペレット着火性には問題なく、水に強くなることも分かりました。

背景・目的

木質ペレット（図 1）は木くずを円柱状に圧縮して固めた燃料で、ストーブやボイラー用として需要が伸びています。この特徴として、木材チップに比べてエネルギー密度（体積当たりの発熱量）が高いこと、取り扱いやすく輸送に便利なこと、火力が一定（水分が一定）なことなどがあります。しかし欠点もあり、例えば発熱量が灯油や石炭の半分程度と低いこと、水に弱いこと（水や湿気で簡単に崩れる）があります。こうした欠点を改良すべく、本研究では熱をかけること（熱処理）に着目しました。古くから木材に 1,000℃近くの熱をかけて木炭（炭化）にすることで、発熱量を高められることが知られています。しかし、完全な炭にしてしまうと木材の持つ発熱量の 2/3 は外に逃げてしまいます。そこで、お茶やコーヒー豆を「焙じる」イメージで「ほどほどに熱をかけて」改良型のペレットを作ることになりました。

改良ペレットの性能

針葉樹のスギと広葉樹のコナラを原料に、原料チップまたはあらかじめ木質ペレットにしたものを 300℃前後に熱処理しました。すると、熱処理で外へ逃げる分をできるだけ少なくしながら、製品の発熱量を従来品に比べて最大約 3 割向上させることができました（図 2）。また、ペレット原料を熱処理すると“もろく”なることから、ペレットを作る際の粉碎エネルギーを最大 9 割減らせることが分かりました（図 2）。さらに、改良型ペレットは

従来品よりも水に強くなるほか（図 3）、従来品と同様の燃えやすさ（着火性）を示すこともわかりました。この高性能なペレットを「ハイパー木質ペレット」（図 4）と名付け、現在、製品改良や燃焼試験を重ねる一方、燃えた後の灰の肥料成分の評価を進めています。ハイパー木質ペレットは、従来のペレットストーブに数割混ぜても問題なく使用できることがわかっていますが、今後、ハイパー木質ペレットを 100% 使用できるよう、開発を進めています。

波及効果

ハイパー木質ペレットをペレットストーブやボイラーに使うことにより、保管に優れるだけでなく、従来品よりペレットの消費量を少なくできるメリットがあります。また最近、木質ペレットを発電用燃料（石炭火力発電所での混焼）として大規模に使う動きがあります。我が国で石炭は電力の 1/4 を担うほど大量に使われていて、仮に全ての石炭火力発電所でペレットが使われるようになると、600 万トン程度の需要があると考えられています。ハイパー木質ペレットは発熱量に優れるだけでなく、保管性も良いことから、今後の利用拡大が期待されます。

本研究は、予算区分：委託費（農林水産省実用技術開発事業）、課題名：次世代高カロリー木質ペレット燃料「ハイパー木質ペレット」の製造・利用技術の開発の成果です。



図1 木質ペレット（従来品）

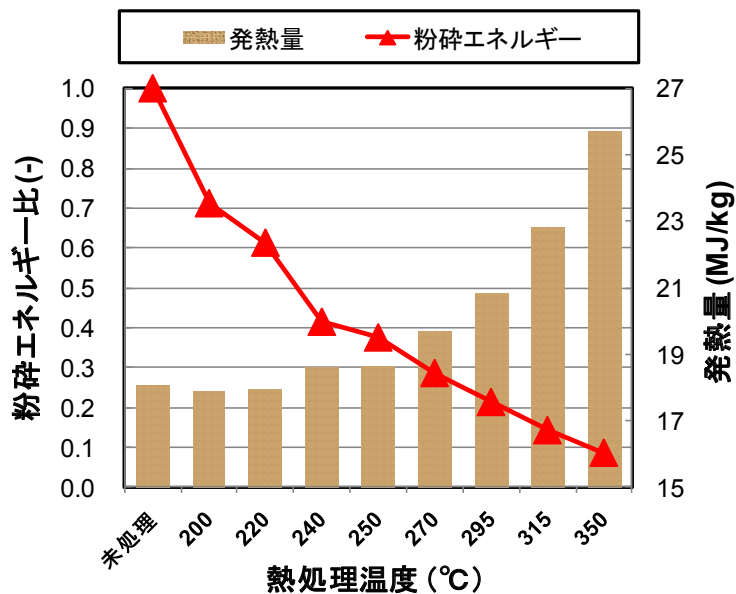


図2 熱処理温度に対するハイパー木質ペレットの発熱量、およびペレット製造時の粉碎エネルギーの変化（原料：コナラ木部チップ）
縦軸の「粉碎エネルギー比」は、未処理時の粉碎エネルギーを1とした場合の相対値を示す。

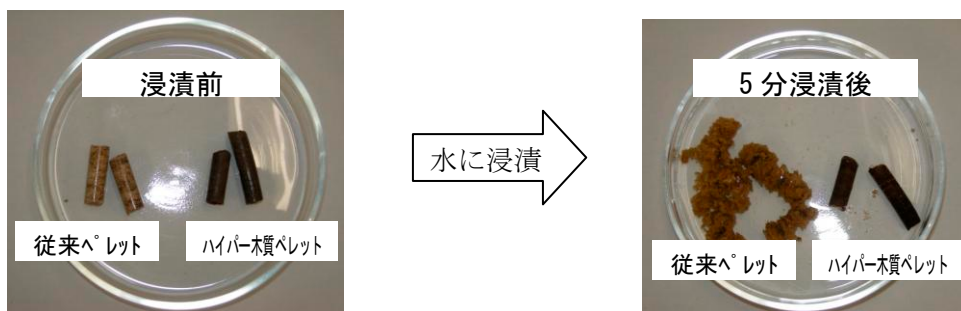


図3 ハイパー木質ペレットの水に対する特性（原料：スギ木部）



図4 ハイパー木質ペレット

日本の生物多様性の変化を評価する手法の開発

森林昆虫研究領域	岡部 貴美子、小川 みふゆ（特別研究員）、	北海道支所	高橋 正義
	山浦 悠一（特別研究員 現北海道大学）	森林植生研究領域	阿部 真
森林動物研究領域	小泉 透	国際連携拠点	杉村 乾
森林管理研究領域	家原 敏郎	関西支所	服部 力
四国支所	光田 靖	企画部	田中 伸彦（現東海大学）

要 旨

2010 年 10 月に名古屋で第 10 回生物多様性条約締約国会議（通称 CBD/COP10）* が開催されました。この会議では「2010 年までに生物多様性の急激な減少速度を低下させる」という 2010 年目標を達成できたかどうかの評価や、評価に基づいた新たな目標が決定されました。本研究ではわが国の目標達成の評価のために、日本の森林における生物多様性の変化を示す指数を開発しました。この指数を使うことで、これまで日本では森林性生物の種数の大きな減少はなかったものの、生物の分布など多様性は変化していることがわかりました。

森林の変化と種の減少

1960 年代以降、日本の国土に占める森林の割合は約 67% 前後と安定していますが、人工林率は 25% から 42% へと上昇しました。また 1970 年代以降は森林の伐採が減少して、森林のバイオマスは増加してきています。こうした森林の変化に伴って、日本の森林の生物種は激減したのでしょうか。環境省のレッドデータブックを基に、様々な森林性生物の絶滅種や絶滅危惧種を調べてみました（図 1）。その結果 1991 年までに樹木やほ乳類などで少数の種が絶滅していることがわかりました。しかし急激な種数の減少は見られませんでした。

鳥および大型・中型ほ乳類の多様性の評価

世界的には 1970 年代以降の生物多様性の変化が、リビングプラネットインデックス* という指数によって計算され評価されています（<http://www.cbd.int/gbo2/>）。そこで日本でも生物多様性の長期的変化を評価するために、長期的な生物の観測データの探索を行いました。残念ながら 40 年以上にわたり全国を網羅する解析可能なデータはありませんでした。

鳥や大型・中型ほ乳類については、環境省が 1970 年代と 1990 年代に全国的な分布調査を行っています。そこでこれらのデータを基に、日本のリビングプラネットインデックスを作成し、分布の変化を評価しました。その結果、約 20 年間に鳥では藪のような林を好む種の分布が減少していることがわかりました（図 2）。森林の伐採面積が減り、若い林が減少してきたことが原因と考えられます。一方、大型・中型ほ乳類は分布域が増加していました（図 2）。これは狩猟者数の減少や、耕作放棄地

による野生動物の里山への誘引などが原因になっていると考えられました。

樹木の多様性の評価

世界的にも植物の多様性の変化はまだ評価されたことがありません。日本にも樹木の多様性変化を国レベルで評価するための十分なデータはありませんでした。そこで森林総合研究所が所有する森林動態データベースを含む全国 11 地点の調査結果を基に、同じくリビングプラネットインデックスを用いて 1990 年代から 2000 年代の老齢林の変化の傾向を調べました。また樹木の個体数だけでなく、樹木の太さも指標に加えました。その結果、樹木は徐々に太くなっており、個体数の軽微な減少は樹木の成長によるものであることがわかりました（図 3）。このことから今回解析を行った老齢林では樹木の多様性は減少しておらず、樹木はいまも成長傾向にあることが明らかになりました。

本研究で開発した日本版リビングプラネットインデックスによって、国レベルの生物多様性変化の評価が可能になりました。またこの指数を用いた評価結果は「環境省生物多様性総合評価報告」などに利用されました。本研究の成果は CBD/COP10 で新たに設定された目標達成の評価にも活用することができます。

本研究は、運営交付金プロジェクト「生物多様性条約 2010 年目標達成評価のための森林リビングプラネットインデックス開発に関する研究」によって行われました。

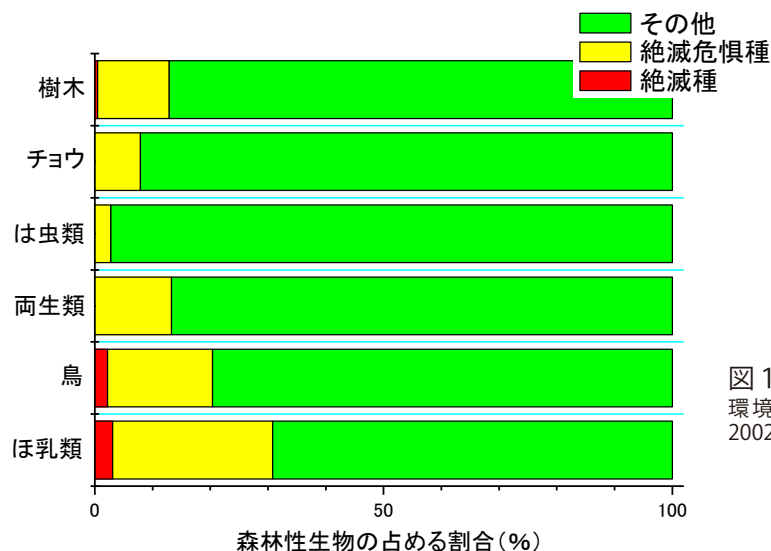


図1：森林性生物の多様性の現状
環境省レッドデータブック（1991 または
2002）により作成した。

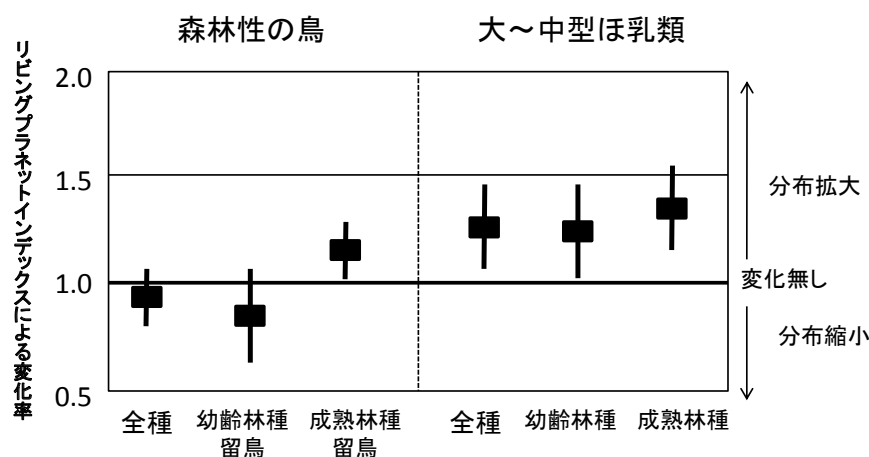


図2：森林性の鳥と大型～中型ほ乳類の分布面積の変化率（リビンググプラネットインデックス■で示した。縦棒は信頼限界を現す）
1.0（太い横線）より下は90年代で減少、上は増加したことを示す。

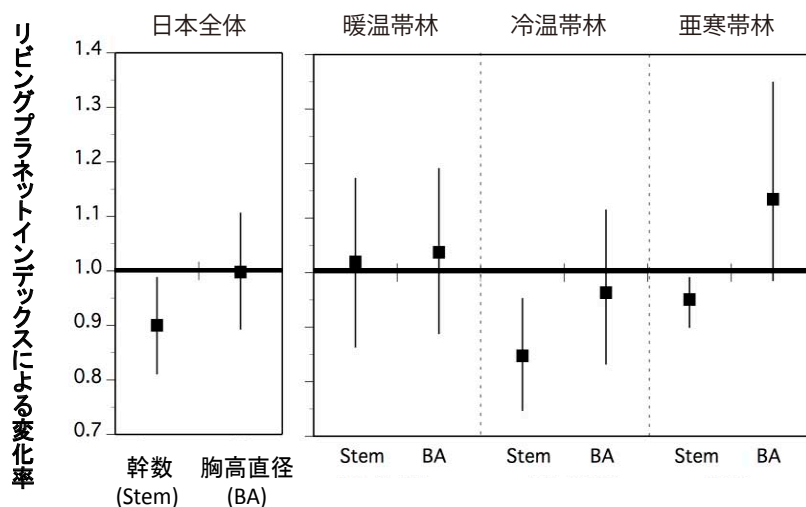


図3：樹木の幹数（個体数）と胸高直径（太さ）の変化率（リビンググプラネットインデックス■で示した。縦棒は信頼限界を現す）
1.0（太い横線）より下は2000年代で減少、上は増加したことを示す。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

ナラ枯れの被害を予測し、早めに叩く

森林昆虫研究領域	牧野 俊一、 所 雅彦、 加賀谷 悦子	山形県森林研究研修センター 長野県林業総合センター 島根県中山間地域研究センター	斉藤 正一 岡田 充弘 福井 修二
関西支所	衣浦 晴生	静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター	加藤 徹
九州支所	近藤 洋史	福島県林業研究センター	在原 登志男、蛭田 利秀、 壽田 智久
農業環境技術研究所	山中 武彦		永田 健二、猪野 正明、 鶴田 英人
新潟県森林研究所	布川 耕市	サンケイ化学（株）	
岐阜県森林研究所	大橋 章博		

要 旨

日本各地の広葉樹林で猛威をふるっているナラ枯れ（図1）は「ナラ菌」と呼ばれる病原菌が原因です。この病原菌を運ぶのがカシノナガキクイムシという昆虫です。集合フェロモン*と木から出る揮発成分を組み合わせることでこの虫を大量におびき寄せ、殺菌処理で枯れにくくした木に誘導し自滅させる「おとり木トラップ法」を開発しました。また、被害を受けやすいミズナラやコナラの分布をもとに、過去の被害やカシノナガキクイムシの移動能力のデータを交えて、翌年の被害予測場所を地図に表す方法を作り上げました。こうした新しい防除法と予測技術とを組み合わせることで、一本一本の樹木ではなく、ある面積の林全体を守るためのシステムを作り上げました。

おとり木トラップ法

カシノナガキクイムシは集合フェロモンを使って仲間を呼び集め、特定の樹に集中攻撃を行います。攻撃された木は病原菌によって枯れますが、あらかじめ殺菌剤を樹に注入しておけば、枯死をかなり予防できるうえ、木に潜ったカシノナガキクイムシの多くも繁殖に失敗してしまいます。集合フェロモンの誘引力は、木から出る匂いと組み合わせることで飛躍的に強くなります。そこで人工的に合成した集合フェロモンと木から出る揮発性成分とを組み合わせ、これを使って、殺菌処理した「おとり木」にカシノナガキクイムシを大量におびき寄せて捕殺する「おとり木トラップ法」を開発しました。この方法は、殺虫剤を一切使わない上に、木はあまり枯れず、穿入したカシノナガキクイムシだけが木の中で死ぬことから、伐倒などの後の処理も不要であることなど様々な点で優れています。まだ被害本数が少ない初期段階であれば、0.1haあたり数万頭のカシノナガキクイムシを捕殺し、無処理の場合に比べて被害本数を1割程度までに減らすことが可能です（図2）。

被害の予測

おとり木トラップ法などによってナラ枯れ被害を減らすためには、限られた予算や人材を効率よく使わなければなりません。「今年はどの辺に被害が出そうか？」を事前に予測できれば、対策は大変立てやすくなります。そのため、ナラ枯れによって枯れやすいミズナラやコナラの分布、DNAを用いたカシノナガキクイムシの移動の推定、また過去の被害の分析など、様々なデータを総合す

ることによって、被害を予測するモデルを作りました。これによって、ある場所で翌年被害が起きる確率を計算することができるようになりました。

過去のデータを用いて予測の適中率を試算したところ、80-90%となりました。つまり、ある年に被害の発生した場所の8～9割は、その前年のデータから予測できることになります。

ナラ枯れハザードマップ

ハザードマップというのは、いろいろな災害や事故の起きやすさを地図上にわかりやすく表したものです。各地で防除対策を練る場合、ナラ枯れのハザードマップがあれば、たいへん役に立ちます。上で述べた被害予測モデルを使えば、ある年の被害の出方から翌年の被害を地図上に表すことができるのです（図3）。被害の確率が高い所に、おとり木トラップ等による防除を集中的に行うことで、効率的な防除が可能となるでしょう。

詳しくはパンフレット「ナラ枯れに立ち向かう」をご覧ください。（<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/2nd-chukiseika19.pdf>）

本研究は、農林水産技術会議先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「ナラ類集団枯死被害防止技術と評価法の開発」ならびに同新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「ナラ類集団枯損の予測手法と環境低負荷型防除システムの開発」の成果です。



図1 激しいナラ枯れ被害を受けた森林



枯損木を減らす効果

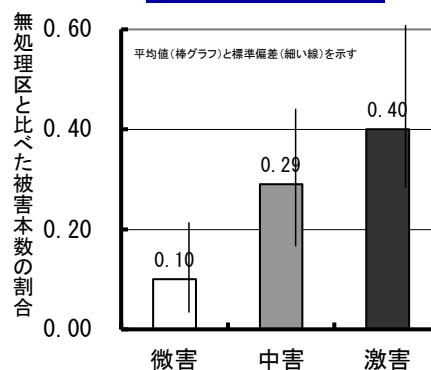


図2 (左図) おとり木トラップの外観。幹に取り付けられた白い容器が集合フェロモンの容器。(右図) おとり木トラップによる被害防止効果。被害の程度が少ないほど、防止効果も高い。

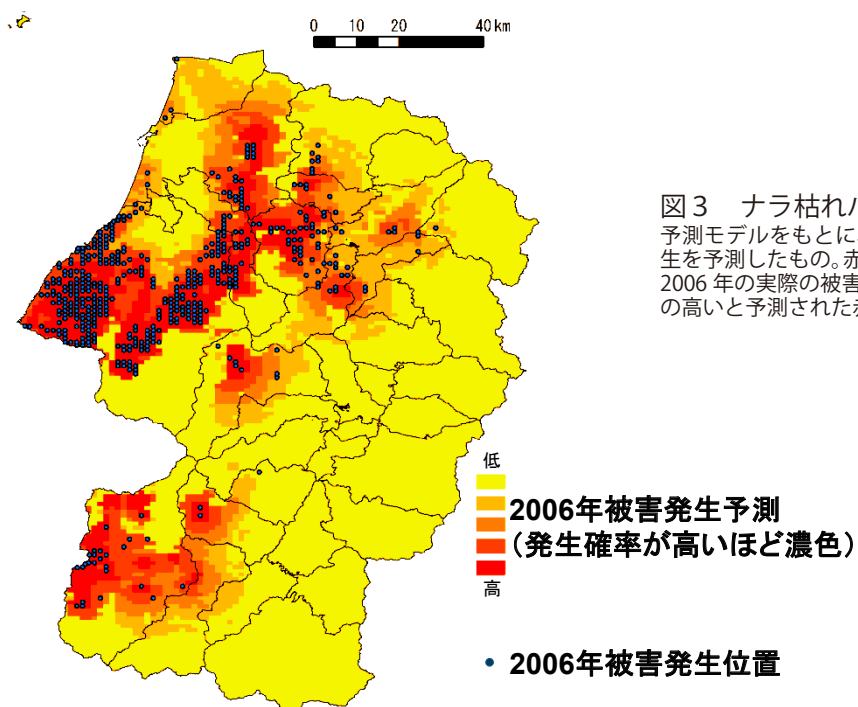


図3 ナラ枯れハザードマップの例(山形県)
予測モデルをもとに、2005年のデータから2006年の被害発生を予測したもの。赤色が濃いほど発生確率が高い。黒い点は、2006年の実際の被害地を示しており、ほとんどが、発生確率の高いと予測された赤い場所で生じていることがわかる。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

クマの大量出没の原因を明らかにして、人身被害を防ぐ

野生動物研究領域
東北支所
関西支所
森林植生研究領域
森林管理研究領域
北海道大学
茨城県自然博物館

大井 徹、中下 留美子、岡 輝樹
大西 尚樹
高橋 裕史
正木 隆、阿部 真
宮本 麻子、佐野 真琴
坪田 敏男
山崎 晃司

要 旨

たくさんのツキノワグマが人里に出没し、人身被害が頻発する年があります。私たちは、出没の原因と考えられるドングリ類の不作に伴うクマの行動の変化と、出没場所の特徴を明らかにしました。まず、ブナ、ミズナラなど比較的高い標高で結実するドングリ類が不作の年には、クマの行動圏が低標高へと大きく広がり、出没に結びつくことが明らかになりました。また、クマは、人里で放置されている食物に誘い込まれ、管理不足で藪の茂った河川敷等を利用して人里に侵入していることも明らかになりました。これらの結果に基づいて、クマの出没を予測して、予防的対策により被害を防ぐためのマニュアルを刊行しました。

繰り返す大量出没

たくさんのツキノワグマが人里に出没し、人身被害が頻発する年があります。最近では、2004 年、2006 年、2010 年に大量出没が発生し、その原因は何か、被害対策はないのかなど繰り返し社会問題になりました。

この現象は、クマが越冬準備のため大量の食物を必要とする晩夏から秋にかけて起きます。また、東北地方では、クマの食料であるブナの結実変動が出没と強い関係を持つことが明らかになっています。このような状況証拠から、クマが脂肪蓄積をして越冬の準備をする秋に、主食となるブナやミズナラの実などドングリ類が不作になることが出没の原因だと考えられます。しかし、結実不良にともなってクマの行動がどう変化して、人里に出没するようになるのかは不明でした。私たちは、食物変動に伴うクマの行動の変化、出没場所の特徴を明らかにした上で、被害対策を検討しました。

クマの行動の変化

まず、野生のクマの行動とナラ類などクマの主要食物の結実状況を調べました。その結果、秋のクマは、常にドングリ類が実っている地域を集中的に利用すること、不作年には行動圏が低標高へと大きく広がることが明らかになりました（図 1）。ミズナラの豊作年には、高標高ほど果実の成熟が遅くなるので、クマはその実りを追って活動標高を上げていきますが、不作年には標高を上げても実がないので、結実の年変動が少ないクリやコナラ

の実が成っている低標高へと移動すると考えられました。

人里の食物が呼びよせる

一方、クマの体毛の安定同位体比^{*}を測定して春から秋までの食性を推定した結果、大量出没の発生季節である秋以前から、秋の実りとは無関係に人里の食物に依存していたクマがいることが明らかになりました（図 2）。このようなクマが増加するとドングリ類の結実状況とは無関係に、恒常的に出没することになります。また、出没地域の景観の特徴を分析した結果、手入れがされず藪の茂った河川敷等がクマの移動経路や潜み場所となっていることがわかりました（図 3）。これらの結果から、カキ、クリ、残飯、家畜飼料、農作物など人里でクマを引きつけているものをきちんと管理すること、また人里および周辺の藪の手入れをすることが出没防止に重要であると考えられました。

出没予測

これらの結果等に基づいて、被害を予防することを目的に、出没年と出没危険地域を予測するためのマニュアルを刊行しました（図 4）。

本研究は、環境省公害防止等試験研究費によって実施した研究プロジェクト「ツキノワグマの出没メカニズムの解明と出没予測手法の開発」の成果です。

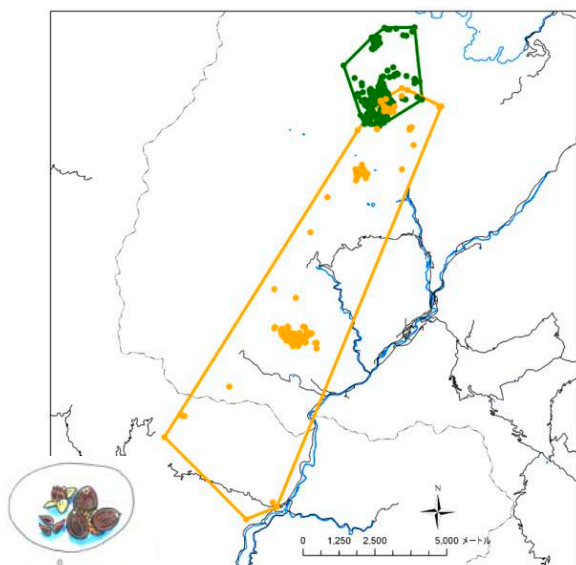


図1 ツキノワグマのメス成獣の秋の行動圏の年変化

ミズナラ凶作年には行動圏が低標高地域へと拡大し、出沒に結びついた。緑：ミズナラ豊作年の行動圏、黄：凶作年の行動圏

体毛の毛先に近い部分は春から夏にかけて成長する。その間に人間由来の食物に依存すれば、顕著に高い炭素安定同位体比を示す。

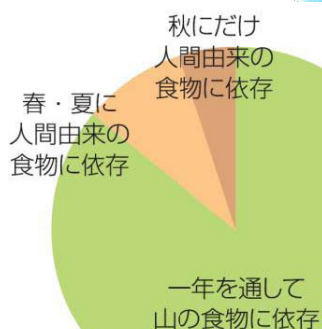
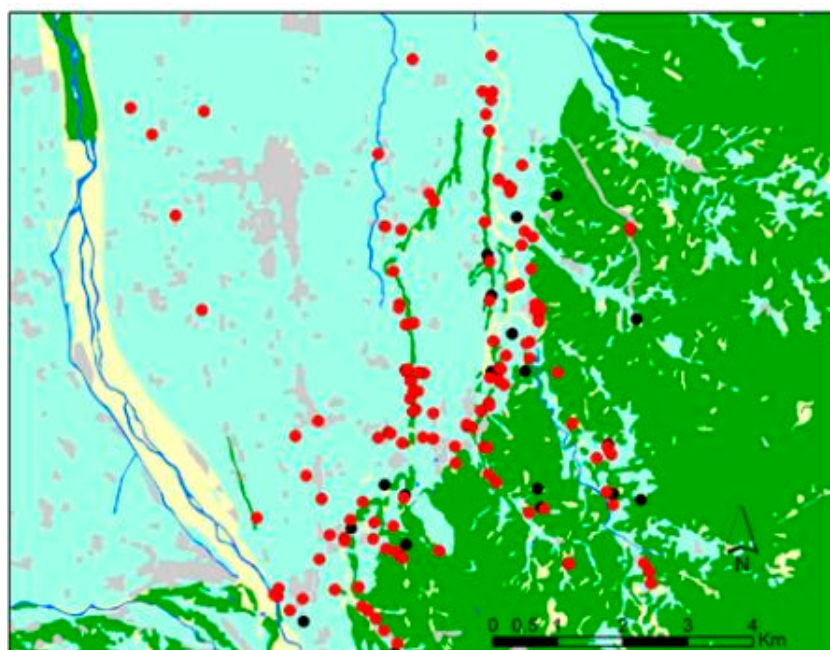


図2 体毛の安定同位体比から推定されるクマの食物の依存状況

秋の出沒以前から残飯など人間由来の食物に依存していた個体が、検査個体の7%いたと推定（グラフの薄い茶色の部分）。



植生タイプ
 ■ 森林 ■ 水田 ■ 市街地 ■ 河川、用水路など ■ ススキ、ヨシなど

出沒地点
 ● 出沒の多い年(2年分) ● 出沒の少ない年(2年分)

図3 北陸のある地域での出沒場所と植生の関係

森林から水田地帯に延びる回廊状の森林（河岸段丘の残存地形上に成立した森林）に沿ってクマの出沒が集中していた。



図4 ツキノワグマ出沒予測マニュアル

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

Q&A「森林と水の謎を解く」を公開

企画部
 水土保持研究領域
 立地環境研究領域
 研究コーディネータ
 (社) 国際環境研究協会

藤枝基久
 坪山良夫
 金子真司
 加藤正樹
 志水俊夫

要 旨

わが国では、古くから「森林は水を育む」といわれ、森林と水の関係に社会的な関心が持たれています。森林総合研究所では、森林の状態と水の流出との関係を明らかにするため、1937 年より宝川森林理水試験地など全国各地で水文観測を行い、森林伐採や植林が水の流出に及ぼす影響を試験してきました。

このたび、第 2 期中期計画までの研究成果をとりまとめて、緑のダムと言われる森林と水の関係を広く広報するために、Q&A 形式に分かり易く取りまとめた「森林と水の謎を解く」をホームページに公開しました。この公開により、最新の研究成果にもとづいた森林と水の関係を体系的に理解されることが期待できます。

森林の水源かん養機能とは

森林は長い年月をかけて土壌を作ってきました。その土壌は降った雨を吸い込み隙間（孔隙）に水を貯えます。そのため、雨が降っても川は急激には増水しませんし、しばらく雨が降らなくとも流出がとだえることはありません。森林は土壌を通じて川の水を調節していますが、この働きを森林の水源かん養機能といい、近年では、緑のダムとも言われています。

水源かん養機能に対する社会的な関心は高いですが、一般市民を対象とした研究成果の体系的な普及は必ずしも十分ではありません。そこで、森林総合研究所は水源かん養機能についての既往の成果を広く普及するために、Q&A 形式に分かり易く取りまとめホームページに公開しました。第 1 章「森林での水の動き」では、基本的な森林と水の関係について、第 2 章「森林の保水力」では、社会的に関心の高い保水力の調べ方やその大きさについて、第 3 章「森林の水質」では、森林と雨や渓流水の水質について、第 4 章「森林と水の流出」では、森林総合研究所が取り組んできた森林流域試験などから森林の変化と水について、解説しました。

森林での水の動き

地球規模でみると水は水蒸気、雨、雪と形を変えながら、地球の表面と大気の間を循環しています。大気中の水蒸気は、雨や雪となって地面に降り注ぎます（降水）。その一部は森林や土壌から蒸発散によって、大気へもどって

いきます。残りは土壌に浸透して、河川や海に流出します。海から蒸発した水も、水蒸気として大気にもどります（図 1）。

山地全体でみると森林にとどいた降水は、河川を流れる河川流、大気にもどる蒸発散、地中の深いところを浸透していく地下水流の 3 つの形態に分かれます（図 2）。

森林内でみると森林に降った雨（林外雨）は、木の葉・枝や幹に付着します。森林内の地面にとどく雨（林内雨）は、樹冠通過雨と樹幹流からなります。樹冠通過雨は樹冠のすき間を通過して地面に直接とどく雨水で、樹幹流は木の幹を伝わって地面にとどく雨水のことです。樹冠に付着した雨水は、地面にとどかず蒸発します（図 3）。

森林内の地面は浸透の良い土壌で覆われているため、台風のような強い雨の時でも、水が地面を流れる場所に限られます。地面にとどいた雨水は、土壌中の大小さまざまな孔隙に留まります。大きな孔隙にある水は速く移動し、降雨後、直ちに河川に流出します（直接流出）。一方、小さい孔隙にある水は遅く移動し、一時的に流域に貯留されて河川に流出します（基底流出）（図 4）。

このように、森林では樹木と土壌の働きにより、河川の急激な増水を緩和するので、緑のダムとも言われています。

詳しくは、森林総合研究所のホームページ（<http://www.affrc.go.jp/qa/moritomizu/index.html>）をご覧ください。

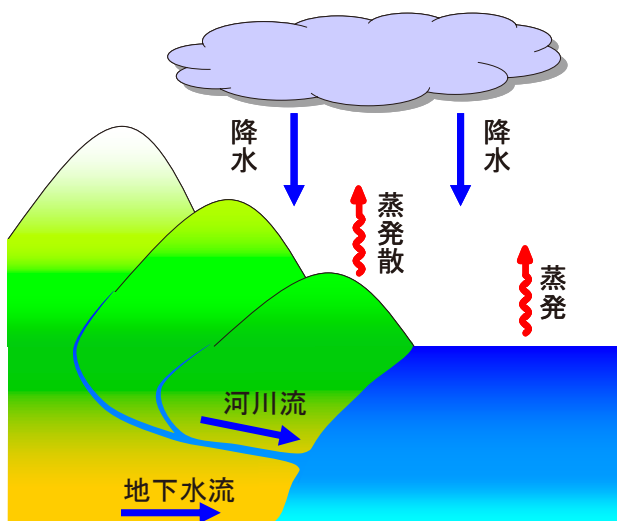


図1 地球の表面と大気の間での水循環

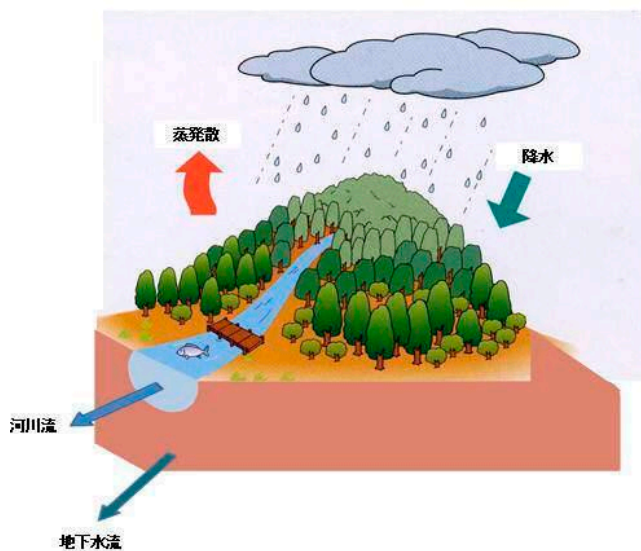


図2 森林での水の動き

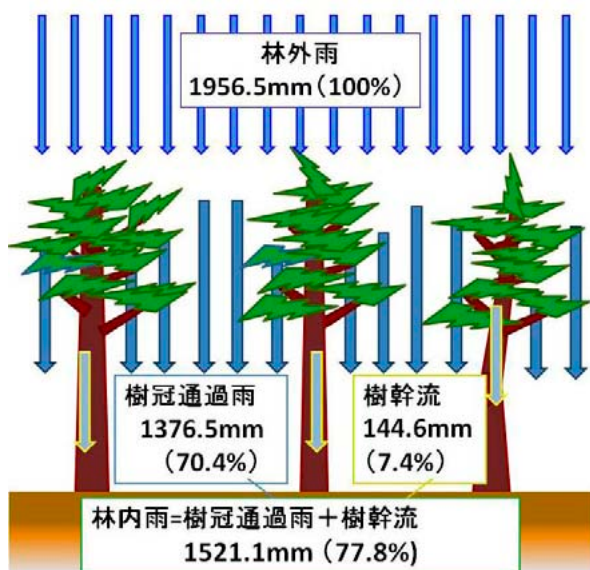
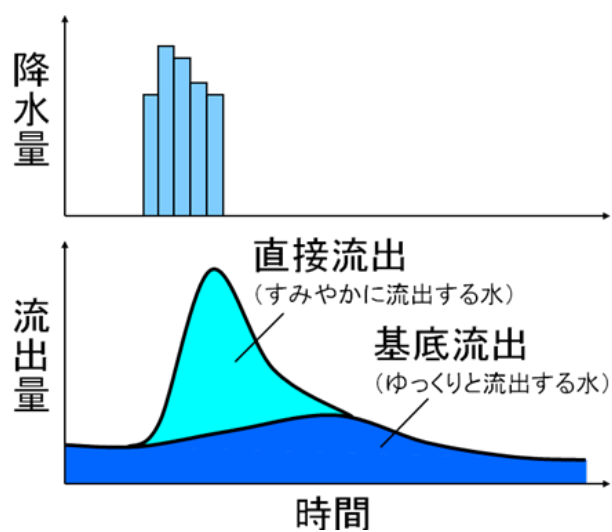
図3 森林内の地面にとどく雨
九州のスギ林での測定例

図4 降水後の河川流の変化

地すべり性崩壊の発生危険斜面を探る

水土保全研究領域
関西支所

大丸 裕武、村上 亘
黒川 潮

要 旨

近年、西日本を中心に記録的な大雨によって地すべり性崩壊*が多く発生しており、その予測手法の開発が求められています。地すべり性崩壊の発生には斜面の重力性変形（斜面の一部が自分の重みで変形する現象）が深く関わると考えられています。本研究では近年登場した航空機レーザー測量技術を用いて、地すべり性崩壊が発生しやすい斜面の地形的特徴を明らかにするとともに、地震時に斜面の重力性変形が大きく進行する現象を明らかにしました。また、大規模な地すべり性崩壊が発生する前には前兆的な地形変化が見られる場合があることを明らかにしました。これらの現象は地すべり性崩壊が発生しやすい斜面を探しあてる上で、重要な鍵となります。

地形から地すべり性崩壊危険地を探る

最近記録的な大雨が各地で観測されるようになり、地下深くの岩盤にまで達する地すべり性崩壊の発生が目立つようになりました。今後、地球温暖化の進行によって各地で大雨が増えてこのような崩壊が多発することが懸念されるため、その予測手法の開発が急がれています。

地すべり性崩壊が発生するような険しい山地は、隆起する一方で自らの重さによってつぶれるように変形するため、変形の際にできたひび割れがいたる所にあります。地すべり性崩壊の多くは、多数の割れ目が入って脆くなった岩盤で発生するため、割れ目が作る微地形を探しあててことで、崩壊危険度が高い山地を選び出すことが可能です。特に、山地の一部が自重で沈み込むことで形成される細長い凹地（線状凹地）は、斜面の重力性変形を知るための重要な手がかりになります。近年では、山肌の形状を詳しく把握出来るレーザー測量技術によって、空中写真では見えなかった樹冠下の地形の状況を詳しく観察できるようになりました。図1は長野・新潟県境付近の蒲原山の森林内にみられる線状凹地で、山体が尾根の裏側に達する線状凹地を境にして、東方の姫川側に移動していることがわかります。

また、航空機レーザー測量を繰り返し行うことで、時間とともに斜面の変形が進むようすを捉えることも可能になりました。図2は2008年の岩手・宮城内陸地震によって、尾根付近にあった線状凹地の中で新たに亀裂が発生した例です。地震前にみられた線状凹地の中で、地震後に新たな亀裂が発生していることがはっきりとわかります。これまで、山体の重力変形がいつ起きるかについては不明の点が多かったのですが、この結果は地震時に重力変形がとくに進行することを意味します。山体の重力変形現象には、スローモーション映像のような連続的な動きだけでなく、地震時だけに動くパラパラマンガのような断続的な動きもあることがわかりました。

崩壊の前兆

重力性変形による傷跡は山地の各所にあるものの、実際にはそのような地形があってもすぐには崩壊しない斜面が大部分です。災害予測のためには、危険な斜面をさらに絞り込む必要があります。そこで、多くの地すべり性崩壊が見られる静岡県の大井川流域の山地について、過去60年間の変化を解析したところ、地すべり性崩壊が発生した斜面のふもとでは、崩壊が起こる前に小規模な崩壊が発生した斜面（図3、4）がたくさん見つかりました。このように、地すべり性崩壊の中には一気に崩壊するのではなく、ほころびが徐々に拡大する形で段階的に崩れていくものが見られます。こうした前兆現象を見つけて危険斜面をさらに絞り込むことにより、地すべり性崩壊危険地の予測精度を大きく向上させることができます。

本研究は「予算区分：林野庁委託費、課題名：降雨量分布予測手法を取り入れた山地災害危険地予測技術の開発」、「予算区分：林野庁委託費、積雪地帯における土砂災害の発生危険度予測手法の開発調査」等の成果を用いて行いました。

参考文献

- 大丸裕武 (2008) 年代別空中写真からみた深層崩壊発生斜面の動態—大井川中流域の崩壊地を例に—。水利科学, 302, 72-87.
- Murakami, W., Daimaru, H. and Matsuura, S. (2008) Characteristics of Landslides in the Gamaharazawa Area in the Northern Fossa-Magna Region by LiDAR DEM. Proceedings of the International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region, 282-291.

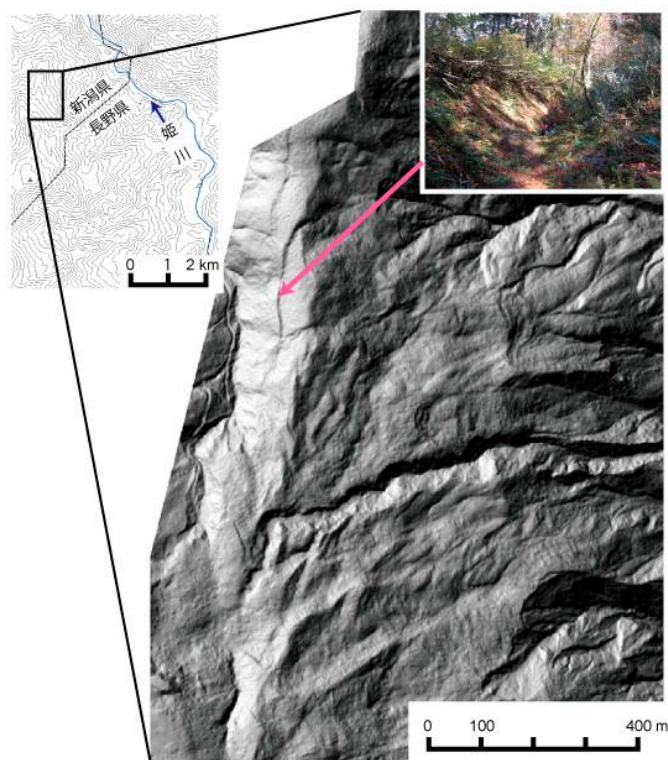


図1 長野・新潟県境の蒲原山北方の航空機レーザー測量による陰影図

空中写真ではわからない林内の線状凹地（右上写真）が鮮明に捉えられており、尾根付近が姫川側に向かってずれていることがわかる (Murakami et al., 2008)。

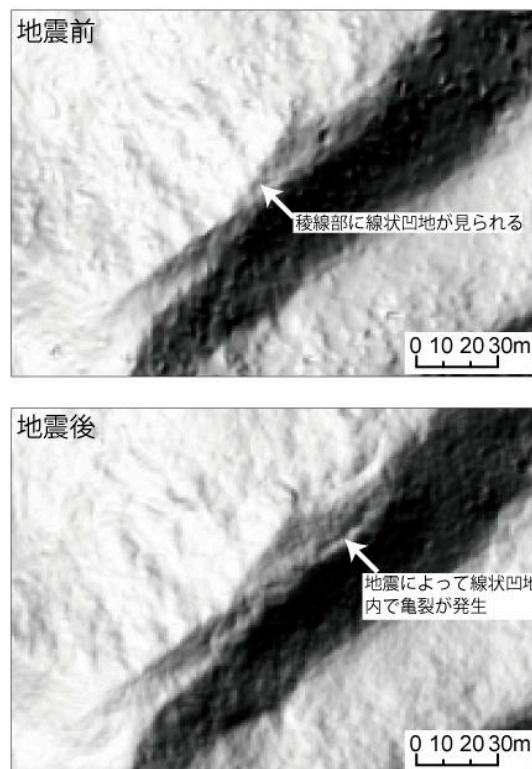


図2 2008年岩手・宮城内陸地震による栗駒ダム西方の尾根斜面の変形

地震によって尾根にあった古い線状凹地内で亀裂が発生して斜面全体が北西方向に向かって変形したことがうかがわれる。

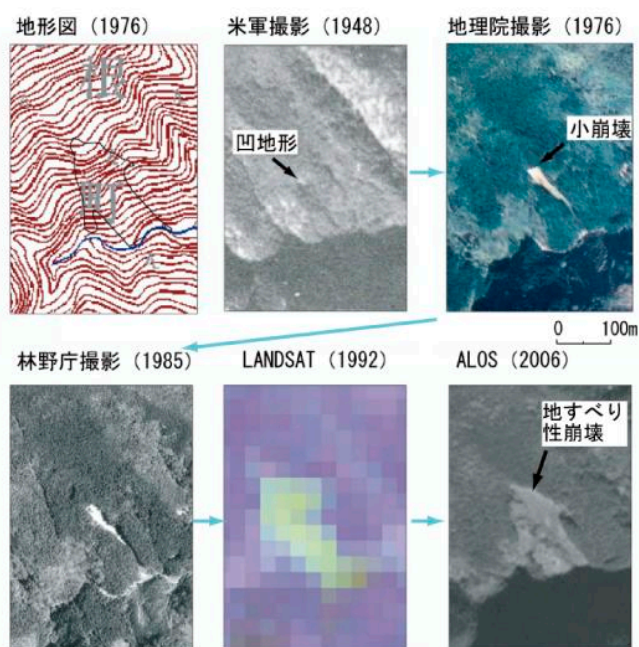


図3 静岡県大井川中流域に見られる崩壊発生斜面の時間的変化

大規模な崩壊発生に先行して、崩壊発生斜面の下部に小崩壊が発生しているのがわかる (大丸ほか, 2008)。

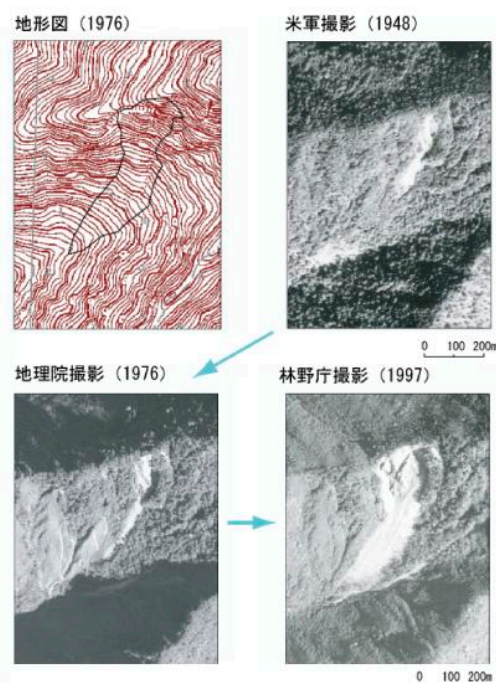


図4 大井川上流の朝日岳付近に見られる崩壊発生斜面の時間的変化

現在みられる崩壊地の頭部に小さな崩壊地が存在したことがわかる (大丸ほか, 2008)。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林・海・農地、人が最もリラックスする環境は？

森林管理研究領域
バイオマス化学研究領域
構造利用研究領域
千葉大学環境健康フィールド科学センター

香川 隆英、高山 範理
大平 辰郎、松井 直之
森川 岳、恒次 祐子
宮崎 良文、李 宙宮

要 旨

これまで、森林浴が都市住民のストレスホルモンを低下したり、免疫能（ナチュラルキラー細胞活性）を高めるなど、私たちの健康増進に役立つことを明らかにしてきました。しかしながら、セラピー効果が森林だけに特徴的なものかどうかは分かりませんでした。そこで、森林と農地および海岸という、それぞれ異なる自然環境下での人体への生理効果の比較実験を行った結果、森林が海岸や農地に比べ、よりセラピー効果が高いことが分かりました。これらの結果は、全国で 44 か所ある森林セラピー基地に認定された市町村を中心に、地域住民の健康増進のために森林を活用することで医療費の増加を抑えるとともに、また都市住民がストレス軽減のため森林地域を観光で訪問する機会を増やし、地域の活性化に貢献できるでしょう。

背景と目的

現代の都市で生活する人々は、高度に発達した人工環境下で長時間過ごしており、テクノストレス*など様々なストレスが私たちの心身を蝕んできています。そのため、高血圧や糖尿病など生活習慣病や気分変調症などの精神疾患、さらには免疫能の低下によって癌に罹り易くなっています。一方、山村では高齢化が進み地域の活力の減退が問題となっています。こうした現代のストレスを起因とする疾病の予防や、山村地域の活性化に貢献するため森林セラピーの研究を進めています。

これまで、森林と都市環境を比較して、森林の方が人間の血圧の低下、ストレスホルモンの減少、そして NK（ナチュラルキラー）活性などの免疫能の向上など、私たちの健康増進に役立つ機能（セラピー効果）が高いことを明らかにしてきました。しかしながら、人工的な都市環境以外であれば、たとえば海でも農地でも森林と同様に、私たちをリラックスさせてくれる効果があるのではないかという疑問が残ります。そのため本研究では、森林と農地および海岸という、それぞれ異なる自然環境において、それぞれの環境が人体に与える生理効果の比較実験を行い、森林浴の効果を明らかにしました。

成果

森林は津南町樽田のブナ林のセラピーロード、農地は

津南町の河岸段丘の畑、海岸は柏崎市の浜辺を対象に（写真 1）、20 代の男子学生 17 名を被験者とした医学実験を行いました。その結果、散策前の脈拍数では、森林が農地・海岸よりも低く（図 1）、拡張期血圧（低いほうの血圧）では、散策後に農地や海岸では高くなりました。また、人がリラックスすると高まる副交感神経活動（HF）*が、森林で農地や海岸より高くなるなど（図 2）、森林浴が人の神経活動を最もリラックスさせてくれることが分かります。一方、ストレスホルモンである唾液中コルチゾール濃度については、森林は海岸よりも濃度が低くセラピー効果が高いことが分ります。

このように、様々な自然環境の中でも森林のセラピー効果が高いという本研究結果は、全国で 44 か所ある森林セラピー基地などの市町村だけでなく、地域住民が森林をさらに活用することにより将来の医療費の増加を抑えることが期待できます。一方、都市住民がストレス軽減のため観光で森林地域を訪問する機会が増加すると、地域の社会・経済の活性化にも貢献できるでしょう。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「異なる自然環境におけるセラピー効果の比較と身近な森林のセラピー効果に関する研究」の成果です。（医学実験は、森林総合研究所疫学研究倫理審査委員会の承認のもと実施されたものです）

森林



海岸



農地



写真1 森林・海岸・農地での散策実験風景

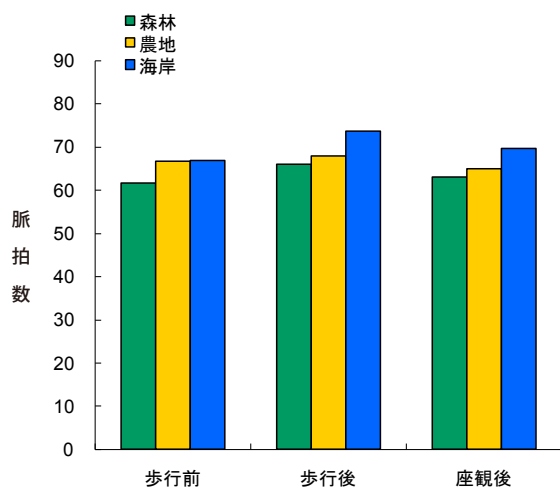


図1 森林は農地や海岸よりも脈拍数を下げリラックスする

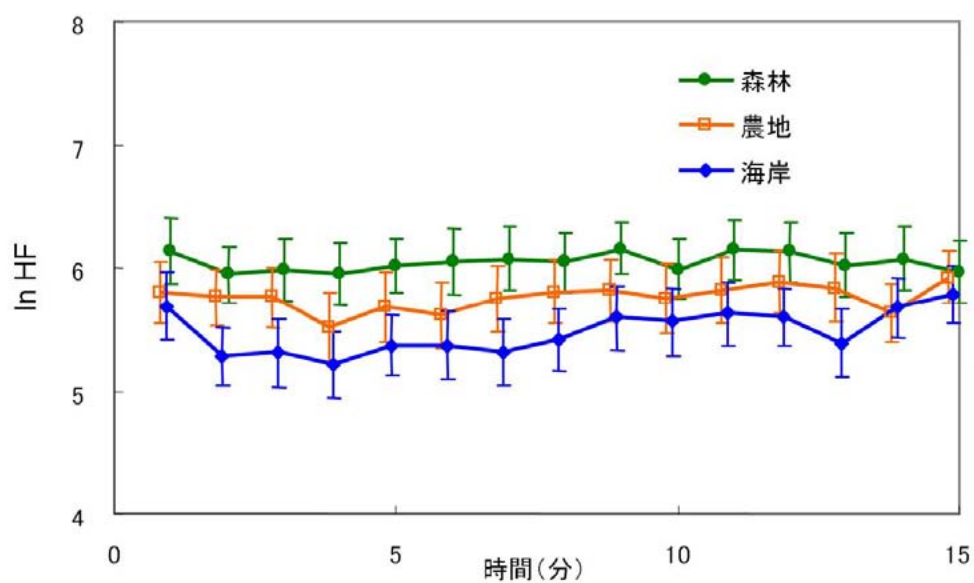


図2 森林は農地や海岸よりも副交感神経活動 (HF) を高めリラックスする

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

持続的な森林資源管理を成り立たせる条件は？

関西支所
多摩森林科学園

大住 克博、奥 敬一
伊東 宏樹

要 旨

自然と調和した持続的な社会のあり方を探索するために、近代以前の日本社会では、どのような場合に持続的な森林資源の利用が成り立っていたのかを、近畿地方における事例研究を集めて分析しました。その結果実際には資源利用が破綻した事例も多く、近代以前の日本社会が必ずしも自然と調和的ではなかったことがわかりました。一方、持続的な森林資源利用が成立していた所では、社会的規制や森林管理技術が導入されていることが多く、伝統的な社会の持つ知恵の有効性が示唆されました。この研究で、持続的資源利用の成立と社会の関わり方の関連を整理したことにより、国内外の地域社会が持続的な森林管理を実現していく方途を考える上で、より客観的な議論ができるようになりました。

伝統的な日本社会と持続的な森林資源管理

近代以前の日本社会には自然と共存した暮らしがあり、自然資源を破綻させることなく持続的に利用してきた、そしてそれを実現するための伝統的な知恵を備えていたということが、よく語られます。そのような伝統的な森林資源管理を解析し、自然と調和した持続的な現代社会のあり方を考えるために過去の事例から有益な情報の抽出を目指しました。

持続が実現された例も破綻した例もあった

この日本の社会が持続的に自然資源を利用してきたという話は、もっぱらイメージとして語られてきたものです。そこで、このイメージの当否を検証するために、近畿地方の中世から近代までの様々な時代における森林資源利用 20 事例について、様々な研究報告をもとに持続性を評価しました。その結果、20 事例の中には、森林資源の持続的な利用に成功したと推測される事例も、失敗したと推測される事例もありました。つまり、日本の社会は自然と調和的であったとは、一概にはいえないようです。

管理が大事

それでは、どのような場合に、持続的な資源利用が成り立っていたのでしょうか？ まず、地域外部の者が利用に関わる場合には、地域住民が利用する場合よりも、森林資源が破綻しやすいのではないかと考えてみました(図1)。しかし、地域の外部者が森林資源利用に関わることと資源利用の破綻は必ずしも結びついていませんでした。次に、資源利用に関わる社会的規制の整備が、持続的な資源利用につながっていたのではないかと考え、両者の関連を調べました。その結果、資源の収穫方法や収穫が許される区域などについて、藩の布告や村掟など

による規制を敷いていることが確認できた9事例では、すべて持続的利用が成り立っていましたが、確認できなかった11事例では、うち7事例で資源の枯渇が認められ、社会的規制の有効性が考えられました。

さらに同じ20事例について、造林技術などを用いた積極的な森林管理が行われていたかどうかを検討しました(図2)。持続的な資源利用が行われていたと考えられた事例のほとんどは、里山の柴山や薪炭林、人工林などでした。つまりそれらは、萌芽の良好な発生を考慮した伐採や植林、除伐などの、森林の再生を積極的に促す森林管理技術の実行により、人為的に誘導された森林だと考えられるのです。

このように、持続的な森林資源利用の多くは、何らかの社会的規制や森林管理技術の導入により成立し、支えられてきたことが示唆されました。

成果の利活用—利活用の実績

持続的資源利用の成立と社会の関わり方の関連を整理したことにより、国内外の地域社会が持続的な森林管理を実現していく方途を考える上で、より客観的な議論ができるようになりました。しかし、扱った地域に限られていることから、結論の一般化には、今後さらに事例解析を積み重ねていく必要があります。

本研究は「予算区分：政府外受託、課題名：日本列島における人間—自然相互関係の歴史的・文化的検討」による成果です。

参考文献

大住克博・湯本貴和(編). 2011. 里と林の環境史文—総合出版, 東京. 284pp.

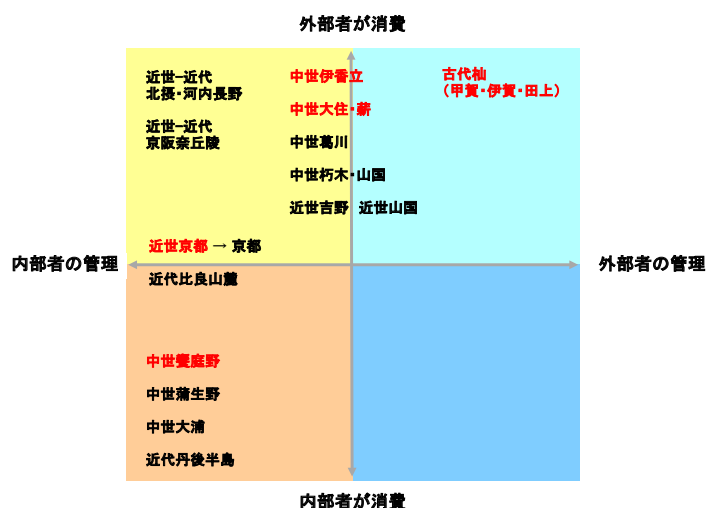


図1 資源の管理と消費における地域外部の影響と資源生産の持続性

黒字は、持続的な資源生産が実現された事例を、赤字は資源生産が崩壊した事例を表す。

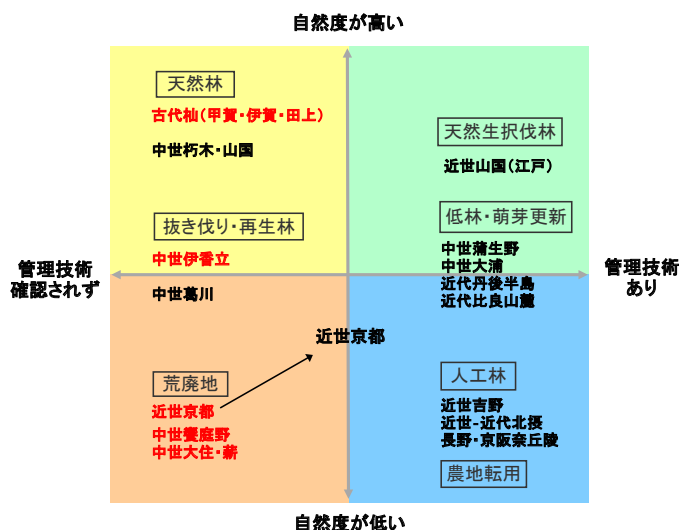


図2 森林管理技術の有無と資源生産の持続性

自然度とは、高；天然林、中；二次林、低；未立木地または人工林を表す。地名の表記法は図1に同じ。



写真1 滋賀県湖南地方一帯では、古代から中世初期にかけて、ヒノキやスギの巨木が天然林から生産され、都の造営などに使用されていた。写真は、甲賀市で出土した、斧による伐採痕の残る飛鳥時代のスギ大径材。



写真2 平安時代に都大寺領として木材生産が行われた伊賀市玉瀧付近の現在の姿。

古代に都に大径木を供給した天然林資源は、中世に入るところにはすっかり失われ、供給地の多くは農業を中心とした荘園に移行した。現在では雑木林や竹林、農地からなる里山の風景に移行していて、過去に天然の針葉樹巨木林が存在していたことを想像することは難しい。

超音波を使って木材のめり込み強さを推定する

構造利用研究領域 井道 裕史、加藤 英雄、長尾 博文

要 旨

木造建築物の安全性を向上させるためには、木材の強さを正確に測定する必要があります。木材の縦方向の強さ、すなわち曲げ強さ、縦圧縮強さ、縦引張り強さに対しては、非破壊的に測定した縦方向の動的ヤング係数との相関が高いことがわかっています。一方、めり込み強さに代表される木材の横方向の強さは、縦方向の動的ヤング係数では精度良く推定できませんでした。そこで、超音波を用いて木材の横方向の動的ヤング係数を測定し、めり込み強さとの関係を調べました。その結果、横方向の動的ヤング係数とめり込み強さとの相関係数は高く、従来推定が困難であっためり込み強さも非破壊的に精度良く評価できることがわかりました。

木材の非破壊評価

木材の強さを調べるためには、実際に破壊して、そのときの力を測定するのが最も確実な方法です。しかし、一旦破壊した木材はもう使用することができません。そこで、住宅部材等に使用する木材は、破壊させずに（非破壊的に）強さを推定することが必要となります。木材の曲げ強さ、縦圧縮強さ、縦引張り強さは、非破壊的に求められる縦方向の動的ヤング係数との相関が高いことが知られています。そのため、縦方向の動的ヤング係数は、これらの木材の強さを推定する非破壊パラメータとして広く利用されています。縦方向の動的ヤング係数を求める方法としてよく用いられるのは、縦振動法、応力波伝播法、超音波伝播法です。縦振動法は、木材の一方の木口面をハンマーで叩き、縦（材軸）方向の自由振動を起こします。発生した縦振動音をマイクで収録し、音の固有振動数を測定します。得られた固有振動数と木材の密度から動的ヤング係数を計算します。応力波伝播法と超音波伝播法は、木材の一方の木口面から応力波や超音波を発生させ、反対側の木口面に到達するまでの伝播速度を測定します。得られた伝播速度と木材の密度から動的ヤング係数を計算します。

木材の横方向の非破壊評価

前述した曲げ強さ、縦圧縮強さ、縦引張り強さは、木材の縦方向の強さを示すものです。一方、柱が土台にめり込む場合などのめり込み強さは、木材の横方向の強さになります。これまで、木材の横方向の強さは、縦方向

の動的ヤング係数では精度良く推定できませんでした。そこで、著者らは木材の横方向の動的ヤング係数を測定し、めり込み強さとの関係を調べることにしました。横方向の動的ヤング係数の測定には、最も簡便で確実に測定できる、超音波伝播法を用いました（写真 1）。横方向には、木材がめり込む方向とめり込む方向に直交する方向があるため（図 1）、①めり込み方向の動的ヤング係数、②めり込み直交方向の動的ヤング係数、の両方向を測定しました。その他の非破壊的パラメータとして、③縦振動法によるヤング係数、④密度を測定しました。使用した樹種は、ヒノキとベイヒバです。各非破壊パラメータを測定後、めり込み試験（写真 2）を行い、めり込み強さを求めました。

各非破壊パラメータとめり込み強さとの関係

各非破壊パラメータとめり込み強さとの相関係数を調べた結果、ヒノキ、ベイヒバともに、①めり込み方向の動的ヤング係数が最も相関が高く（図 2）、次いで④密度との相関が高いという結果でした。②めり込み直交方向の動的ヤング係数はベイヒバで相関はありましたが、ヒノキではありませんでした。③縦振動法によるヤング係数はヒノキ、ベイヒバともに相関はありませんでした。

以上の成果により木材のめり込み強度が推定でき、建築物の安全性向上に寄与することが期待できます。

詳しくは、「井道ほか、木材工業、65(10):448-451、2010」をご覧ください。



写真1 超音波伝播時間測定器

本体からケーブルで繋がっている2つの探触子の間に木材を挟み、一方の探触子から発生した超音波が木材内を伝わり、他方の探触子まで達する時間を測定する。

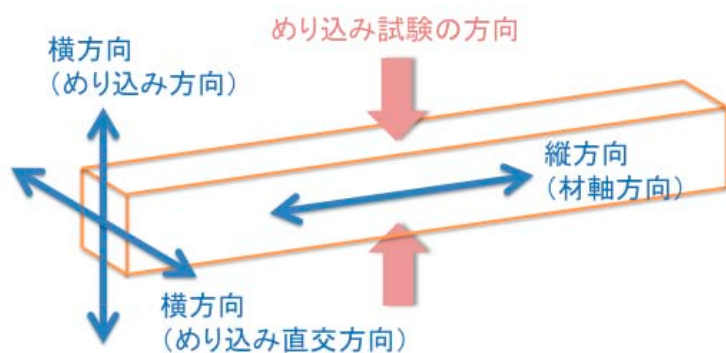


図1 めり込み試験の方向と非破壊試験の方向

横方向の動的ヤング係数は超音波伝播法で測定し、縦方向の動的ヤング係数は縦振動法で測定した。



写真2 ヒノキのめり込み試験の様子

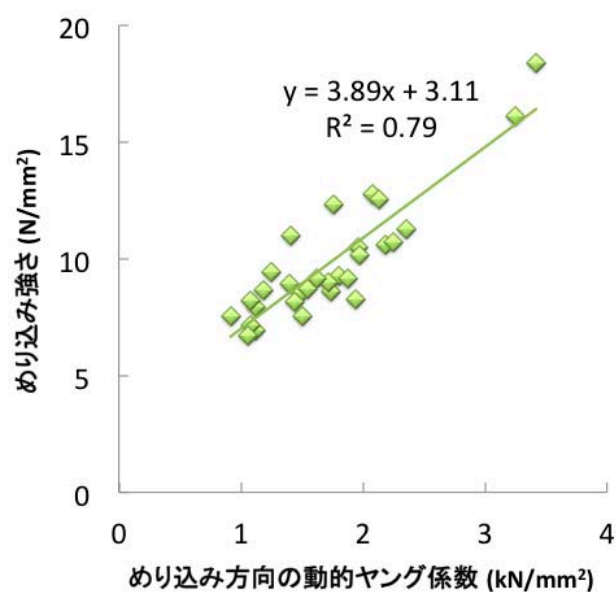


図2 ヒノキでのめり込み方向の動的ヤング係数とめり込み強さとの関係

接合部の経時的な劣化を評価する

構造利用研究領域 軽部 正彦、青木 謙治、原田 真樹

要 旨

木造住宅の釘接合部を模した試験体に、水中への浸漬と乾燥を繰り返す促進劣化処理を施し、その後、加力試験で強度を確かめました。その結果、釘の種類などの仕様による差はあるものの、促進劣化処理によって最大で2割程度、強度が低下することがわかりました。また、木造住宅の屋根トラスにも使われているメタルプレートコネクタで接合部試験体を作製し、屋外で長期間暴露した後、加力試験と非破壊及び局部破壊試験を行いました。その結果、接合部の強度特性値と非破壊及び局部破壊試験による指標値との間にはある程度の相関関係が見られ、非破壊及び局部破壊による材質を評価するためには、測定位置と適切な試験評価方法の選択が重要であることがわかりました。

背景

安全な木造住宅を造るためには、木材そのものの耐久性だけでなく、木材同士をつなぐ接合部が、どれくらい強度低下するのかを知っておくことが重要です。また、実用的には、ある程度傷んだ建物の接合部が、どれくらいの強度を保持しているのかを知ることも重要です。ただ、それらを知るために、実際に壊して調べるわけにはいきませんから、何らかの非破壊的な評価指標が必要になります。

そこで、釘接合部とメタルプレートコネクタという金物接合部を用いて、促進劣化試験と屋外暴露試験を行い、建物が傷んだ時の強度低下の度合と、それを壊さないで推定する方法について調べてみました。

促進劣化させた釘接合部の強度

構造用の合板など、面材を使った木造住宅は、比較的簡単に耐震性を高めることが出来る構造です。この構造で重要なのが、面材を柱梁あるいは枠組などに留め付ける釘接合部ですが、これを模した試験体を厚さ12mmの構造用合板を使い、釘や面材の種類といった接合部の仕様を変えて作製しました。この試験体を、そのまま釘側面抵抗試験したグループ（無処理）と、長期的な性能低下を評価するために水中への浸漬と乾燥を施す促進劣化処理を行った後に試験したグループ（乾湿繰返、72h浸漬）とを比較した結果、接合部の仕様や処理方法によ

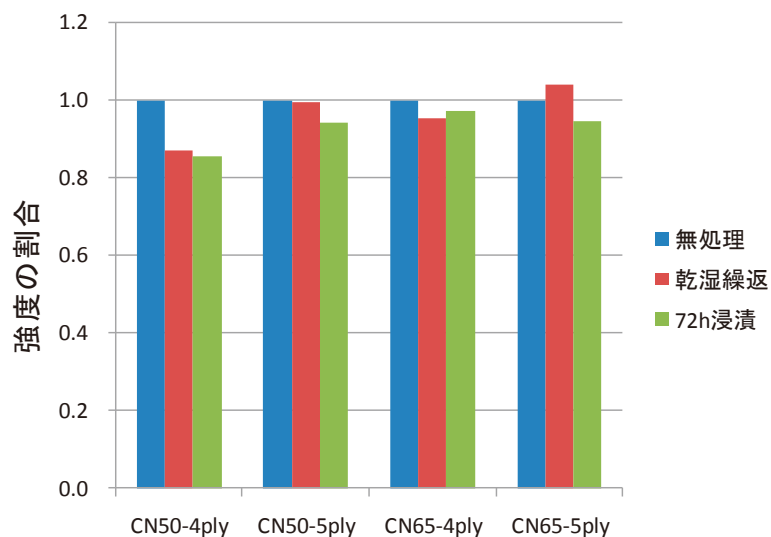
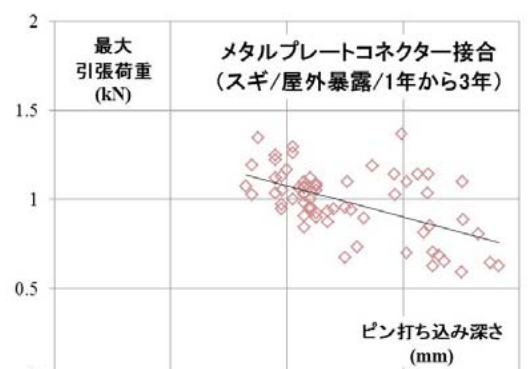
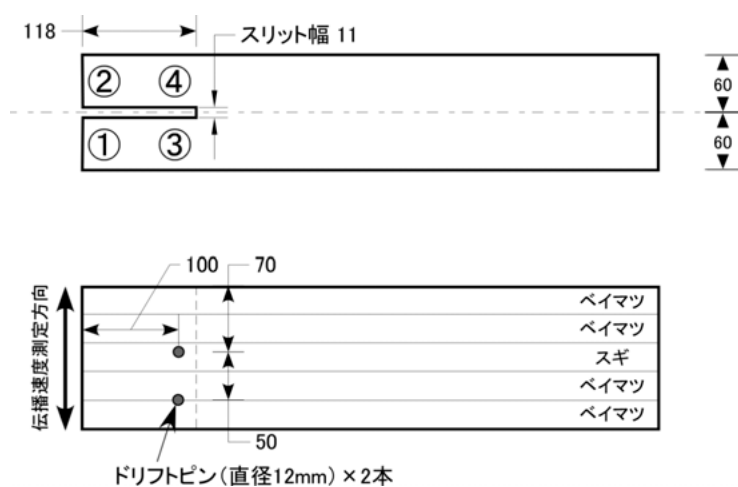
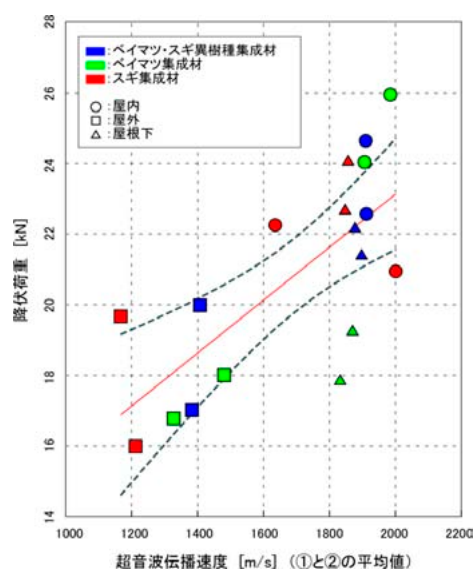
る差はあるものの、促進劣化処理によって最大で2割程度、強度が低下することがわかりました。この結果により、住宅の耐震性を評価する際には、施工直後の性能だけでなく、予め長期的な性能低下を考慮して評価をする必要があることが示唆されました。

屋外暴露したメタルプレートコネクタ接合部の強度

メタルプレートコネクタ（以下 MPC）は薄い鉄板を打抜いて作った剣山のような金物で、木材を表裏から挟み込んで使います。小さな断面の木材を安定した強度で簡単に接合できるこの方法は、木造住宅の屋根トラスなどに使われています。この MPC を使って接合部試験体を作製し、屋外で1年から3年間暴露しました。暴露することによって MPC が徐々に浮き上がり、また接合部の強度は低下しました。この試験体の木材部分について、超音波伝播速度を測る非破壊試験と、ピン打込み深さを測る局部破壊試験を行った結果、接合部の強度特性値と非破壊及び局部破壊試験による指標値との間にはある程度の相関関係が見られました。超音波伝播速度を測る非破壊試験については、別途行った屋外暴露したドリフトピン接合部の強度試験でも、強度試験の結果と指標値の間で相関関係が見られました。これらの結果により、接合部の強度変化を非破壊あるいは局部破壊試験によって推定可能なこと、その際には材質を評価する位置と適切な試験評価方法の選択が重要であることがわかりました。



釘側面抵抗試験

釘側面抵抗試験の結果
(無処理を1とした時の促進処理の割合)局部破壊試験
ピン打ち込み深さの測定非破壊試験
超音波伝播時間測定メタルプレートコネクター接合部
の最大引張荷重と
ピン打ち込み深さとの関係屋外暴露したドリフトピン接合部試験体と
超音波伝播時間測定の位置屋外暴露したドリフトピン接合部の
せん断降伏荷重と
超音波伝播速度との関係

唾液ストレスマーカーの個人差にせまる

構造利用研究領域

千葉大学環境健康フィールド科学センター

恒次 祐子

宮崎 良文

要 旨

唾液中のストレスマーカーによってストレス状態を評価する手法が広まりつつあります。唾液は簡便に採取できることもあり、様々な分野での応用が期待されていますが、マーカーによっては測定値の個人差が大きく、必ずしも良い結果が得られるとは限りません。本研究では新しいストレスマーカーとして期待されているアミラーゼと、ストレスホルモンとも呼ばれ多くの研究がなされているコルチゾールに着目し、それらの測定値に影響を与える要因を検討しました。その結果、個人の性格特性や安静時の状態が測定値に影響する可能性を明らかにしました。

唾液で分かるストレス

唾液中にはストレスによって分泌が変化する物質（ストレスマーカー）がいくつかあり、それらの濃度を調べることでストレス状態を評価することができます。唾液は血液や尿よりも採取がやすく、測定に伴うストレスも少なく済むため、製品開発や環境評価などいろいろな分野での応用が広まりつつあります。

私たちの研究チームも森林環境や木をいかした居住環境の評価のためにストレスマーカーの測定を行ってきました。しかし測定値には個人差が大きく、うまく結果を得られないこともありました。

そこで本研究ではストレスマーカー値の個人差をもたらす要因を明らかにすることを目的としました。

性格特性とストレスマーカー

これまでの研究により、「個人の性格」と「環境などに対する生理反応」が関係している可能性が分かってきています。そこで本研究でもまずは性格による影響を調べました。被験者には 60 項目の質問に答えてもらい、「せかせかタイプ」と「のんびりタイプ」に分けました。

唾液アミラーゼはストレスを受けると分泌が高まるとされ、測定が簡易なことから近年大きく注目されています。安静時の唾液アミラーゼ活性について、前述の 2 グループを比較したところ、「せかせかタイプ」は「のんびりタイプ」よりも値が低いことが分かりました（図 1）。

またこの差は 1 日を通して保たれていました。

元々高い人と元々低い人

このように唾液中ストレスマーカーの値は元々が高い人と低い人がいます。実はコルチゾールというマーカーについて、元々が低い人はストレス時に分泌が大きく増え、高い人はあまり変化がないということが報告されています。ではこの人たちが「リラックス」するとどうなるのでしょうか。

森林中で 15 分前後の散策をしてもらったところ、全員の平均値ではコルチゾール濃度は下がり、ストレスが緩和されていることが分かりました（図 2）。一方個人の値を見てみると、元々の値の高い人では大きくコルチゾールが低下したのに対し、元々が低い人はあまり変化がないことが明らかになりました（図 3）。つまりストレス時と同じく「リラックス」時の変化もその人が元々持っている値に影響を受ける可能性が見出されました。

平均値だけでは分らない

ストレスマーカーを使った研究では全員の平均値による評価が行われることが多いのですが、本研究の結果は個人の性格特性や元々持っている値を考慮することが必要であることを示しています。このような研究を進めることにより、個人差を考慮して快適な居住空間の評価を行うことができるようになります。

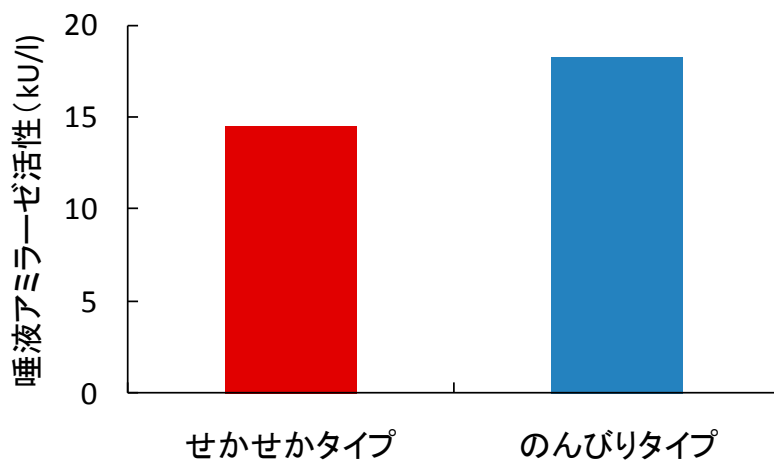


図1 性格特性と安静時の唾液アミラーゼ活性
(男子大学生を対象とした実験結果。82名の被験者のうち52名が「せかせかタイプ」、30名が「のんびりタイプ」と判定された。)

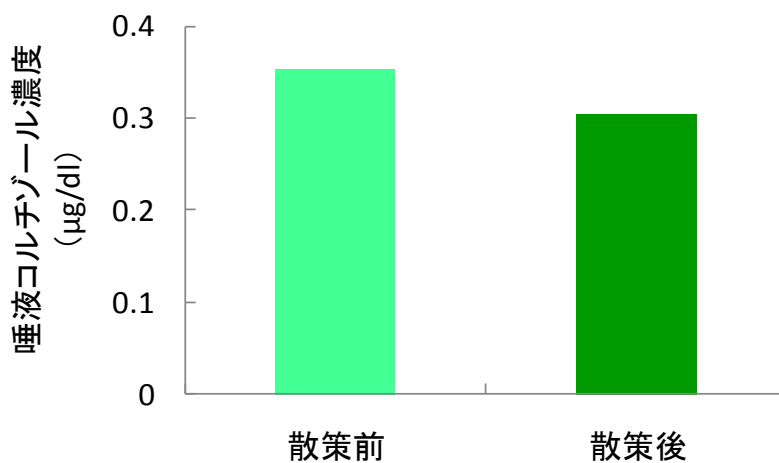


図2 森林における散策前と散策後の唾液中コルチゾール濃度
(被験者は72名の20代男子大学生)

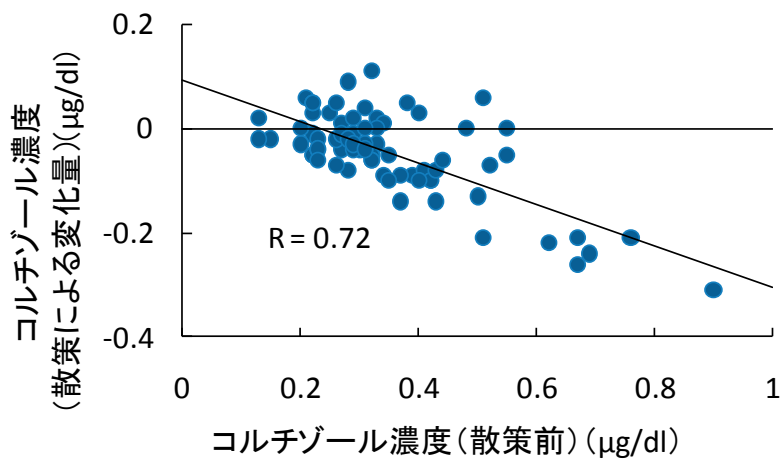


図3 散策前の唾液中コルチゾール濃度と散策による変化量との関係
(被験者は図2と同じ72名。散策前の値が高い人ほど、散策によりコルチゾール濃度が大きく低下した。)

中国の森林、林業、木材産業～その姿と日本への影響～

林業経営・政策研究領域	堀 靖人、平野 悠一郎	筑波大学	立花 敏
複合材料研究領域	塔村 真一郎	神奈川県自然環境保全センター	山根 正伸
加工技術研究領域	村田 光司	アジア経済研究所	大塚 健司
北海道支所	嶋瀬 拓也	中国林業科学研究院	陸 文明
東北支所	天野 智将	北京林業大学	呉 鉄雄
九州支所	山田 茂樹		

要 旨

世界の木材貿易における中国の位置づけが急激に高まり、貿易を通して日本林業、木材産業にどのような影響が及ぶかについて情報収集と分析の必要が高まっています。そこで中国の木材貿易の拡大の内実とそれが日本に及ぼす影響を調査しました。中国が木材貿易を拡大させた要因は、林業政策を転換して国内の森林資源を保護する一方で、国内需要をまかなうために木材輸入を拡大させたこと、各種の規制緩和により中国の木材産業は輸出産業に成長したことだと考えられます。経済のグローバル化にうまく乗ることができたわけです。中国の経済成長が続けば、中国の木材貿易での優位性は継続し、木材輸入での競合、木材製品の日本への輸出を通じて影響は今後も続くことが分かりました。

研究の背景・目的

中国はここ 10 数年間、高い経済成長を維持し、世界貿易の中で重要な地位を占めています。木材部門も同様で、木材貿易を通じて日本の林業、木材産業へも影響を及ぼしています。しかし、中国の森林、林業、木材産業の情報は十分ではありません。そこで本研究は、日本の林業、木材産業の発展を考える上で不可欠な中国の木材産業や木材需要の動向を現地調査を踏まえて分析することを目的としました。

中国の木材貿易の現状

中国の木材貿易拡大の背景には、中国経済の著しい成長に加えて、2000 年前後に本格化した伐採を抑制する政策があります。この結果、国内供給量が減少し、それは主にロシアからの輸入材でまかなわれました。ロシア材輸入の拡大は中口国境問題が 1990 年代に解決に向かったことも大きな要因でした。

中国の木材貿易の特徴として、丸太、原板といった原料輸入量の拡大と合板をはじめとした木材製品の輸出拡大があげられます。その背景として中国国内の木材産業の発達がありました。

日本では 2007 年以降のロシア丸太輸出の関税率の引き上げ、2007 年の日本の住宅不況、2008 年のリーマンショックなど大きな変化がみられました。その中で、中国の木材加工業はロシア材調達において丸太輸入から原板輸入へ転換し、同時にロシア材依存から北米材やニュージーランド材へと分散化をはかっていることがわかり

ました。製品販売は、品質への要求が厳しい日本市場を避け、欧米州市場、さらには中国国内市場へと重点を移していることがわかりました。

このように、中国の木材産業は外部条件の変化に柔軟に対応したといえます。その理由として、人件費が安く機械や設備、資本をあまり必要としないため、企業の参入障壁が低いことがあげられます。多くの中小企業が参入することで生産量を一気に増やすことができ、逆に需要が後退した場合はこうした企業が撤退することで、容易に需給調整が可能であったと考えられます。原料調達においては、世界各地に張りめぐらされた華僑ネットワークによって世界中から安価な原料の調達が可能であることも中国の木材産業の柔軟性の理由と考えられます。

将来予測と日本の対応

今後も、中国の経済成長が続けば、中国の木材貿易での優位性は継続し、日本では輸入木材への依存度が減少し、国産材需要が増します。中国の経済成長が停滞すると、これとは逆のことが予測されます。なお、中国は現在、世界の工場から世界の市場へと変化する転換期にあると考えられます。日本が得意とする高品質の住宅部材を中国市場へ輸出することも長期的な視点で検討していく必要があります。

本研究の成果は日本や中国での学会報告、シンポジウムやワークショップ、公刊図書として発信しており、業界、行政、研究部門において幅広い利用が期待されます。

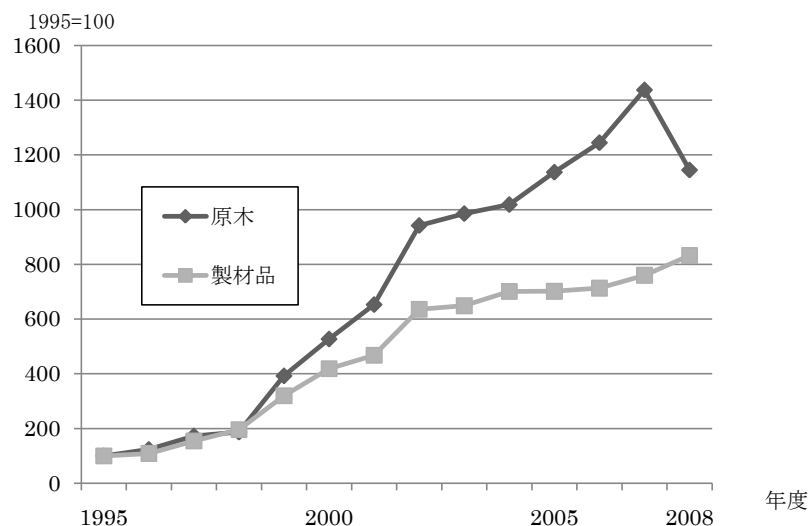


図1 中国の原木・製材品輸入の推移（1995年度＝100）
資料）国家林業局（2009）中国林業発展報告 2009

中国の木材（原木・製材品）輸入は、1990年代末以降急激に高まってきたことが分かる。なお、2008年度に原木の輸入量が減少しているのは、リーマンショックとロシア丸太関税引き上げの影響と考えられる。

写真1 ポプラ単板の工場（山東省）

ロータリーレース1台でひたすら単板を挽く。それを合板工場が買い付けに来る。写真のような小さな単板工場は無数に存在している。



写真2 建材市場（山東省）

合板などの木質ボードを売っている店舗が無数に入っている市場。このような建材市場は大きな都市の郊外に見られ、店のほとんどはメーカー。日本のように代理店を通さずにメーカーが直接販売するのが普通の形態のようである。

林業に活力をもたらすために必要な 新しい林業・木材利用のシステム

林業経営・政策研究領域
加工技術研究領域
北海道支所
東北支所
九州支所

野田 英志、堀 靖人、岡 裕泰、鹿又 秀聡
松村 ゆかり
嶋瀬 拓也
天野 智将
山田 茂樹

要 旨

1 千万円を超える日本の人工林は、今や国内の木材需要を満たすに十分な資源に成長してきました。しかし木材の自給率は 20% 台で、林業家の木材販売収入は増えず経営は行き詰まりを見せています。林業の活力を向上させることが強く求められているのです。私達はそのためには、森林経営の仕組みや木材の生産から流通・加工・利用に至る木材経営システム全体を、効率性の高いものに創りかえる必要があると考えました。現場で実験はできないので、森林経営から木材利用に至る木材経営システムの仮想的なシミュレーションモデルを作成し、林業に活力をもたらす方策を探りました。作成したモデルで算出したスギ山元立木価格は、過去 10 年間の価格（観測値）の変動との当てはまりも良く、モデルとしての有効性を検証しました。シミュレーションの結果から、活力ある林業を創り出せる可能性を示しました。

求められる新しい林業・木材利用システム*

日本の林業は今世紀に入り、それまで育ててきた 1 千万円を超える人工林資源を積極的に利用できる新しい段階を迎えました（図 1）。ほぼ同時期に、国産材利用の中心をなす木造住宅建築の仕組みも大きく変わり、割れや狂いの出にくい乾燥した木材が強く求められるなどの需要の変化が生じました。この需要と供給の大きな変化に旧来の林業・木材経営システム*は十分に対応できず、林業経営を行き詰まらせているのです。活力ある林業の再生のためには、狭義的林業（育林業）に加えて、木材の生産・流通・加工・利用までを含む木材経営システム全体を効率化し、需要の変化に応じてスムーズに木材の供給ができる新しいシステムに再編する必要があります。

シミュレーションモデル

森林総合研究所では、上記の林業・木材利用システムの仮想的なシミュレーションモデル（「日本林業モデル」）を作成し、システムの構造を変えたり、生産性などの技術変数を様々に設定し、需要の変化に応じて木材がスムーズに供給され、かつ林業家の木材販売収入を高める仕組みを探りました。作成したモデルで算出したスギ山元立木価格は、過去 10 年間の価格（観測値）の変動との当てはまりも良く（図 2）、モデルとしての有効性を検証しました。このモデルを用いてシミュレーションした結果、林業家への還元を増やすためには、実需に対応した直送方式による大口木材供給システムを基本とする

新しい林業・木材利用システムが効果的であることがわかりました。また林野庁が進める「新生産システム」の推進などが林業の活力向上に有力な方法であることも、計量的に示されました。ただし課題は、素材生産コストを大幅に下げるために、道を整備し高性能林業機械をフル稼働して計画的に木材供給を行える森林経営の規模拡大の問題です。そのための制度設計が「森林・林業再生プラン」で打ち出されました。

森林・林業再生プラン

それは再生プランの小規模な林家所有の森林等を集団化して面的に纏め、森林施業を計画的・効率的に行う「森林経営計画」制度です。研究では九州・東北の林業地などを対象に、団地化された森林経営を前提にシミュレーションを行いました。森林経営の団地化をベースとする新システムの場合、従来の小規模分散的で多段階型の木材供給システムに比べ、大幅に山元立木価格を高め（1.5 ～ 2 倍強）、かつ外材製品に対する価格競争力も確保できる可能性があることがわかりました（図 3）。今後中長期的に、個々の林家による小規模経営に替わって、新しいスケールアップした森林経営を創り出すため、各地でそれを木材生産のベースとした林業・木材利用システムを創り出すことが、これからの林業再生には重要です。

モデルの仕組みについては、『森林経営の新たな展開ー団地法人経営の可能性を探るー』（大日本山林会、2010 年 3 月）の第 5 章を参照下さい。

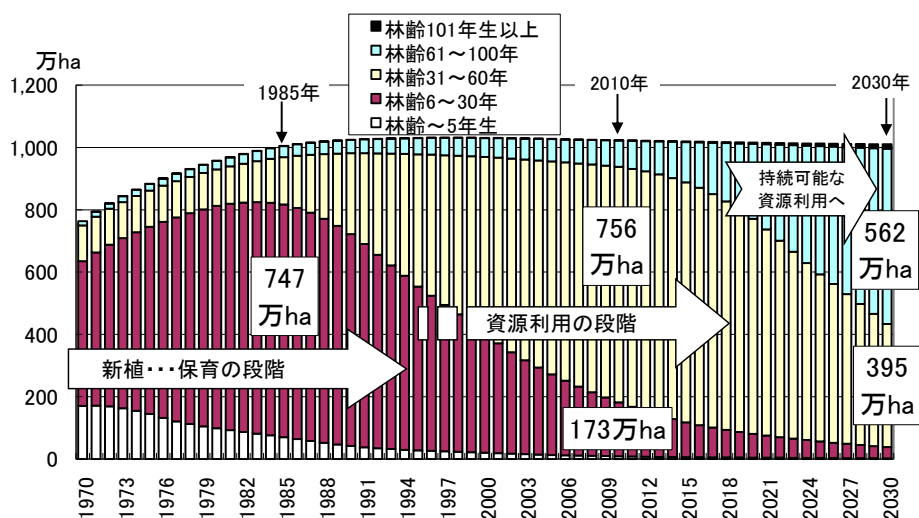


図1. 人工林の林齢別面積の長期推移（予測）

注：「林業セクターモデル」による推計結果（2003年以降、素材需要量一定1,692万m³のケース）

図は、人工林を林齢別に大括りに5区分し、1970年から2030年までの林齢別面積の推移（予測）を示したもの。わが国の1千万haの人工林は、保育の段階（1970年代～90年代）から資源利用の段階（2000年代以降）に入り、今後2020年代の後期には61～100年生のより成熟し大径化した資源を活用できる時代に移行する。この充実する人工林資源を活用して、国産材の生産と木材消費とを再び太いパイプでしっかりと結びつけ、持続可能な森林経営を実現していく必要がある。

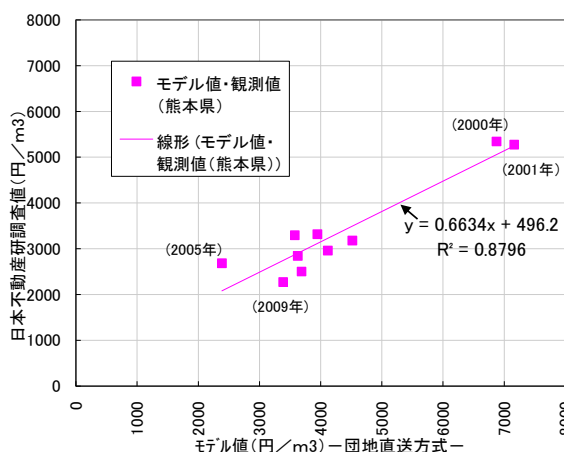


図2. スギ山元立木価格のモデル値と観測値（日本不動産研究所調べ）との関係

注：モデル値は熊本県のケースで、団地から製材工場への直送方式による立木価格値、観測値は（財）日本不動産研究所調べによる山元立木価格（熊本県）である。

過去の観測データのある2000～2009年（各年3月）について、モデル値と観測値とをプロットしてみると相関がみられ、モデルの当てはまりが良好なことがわかった。

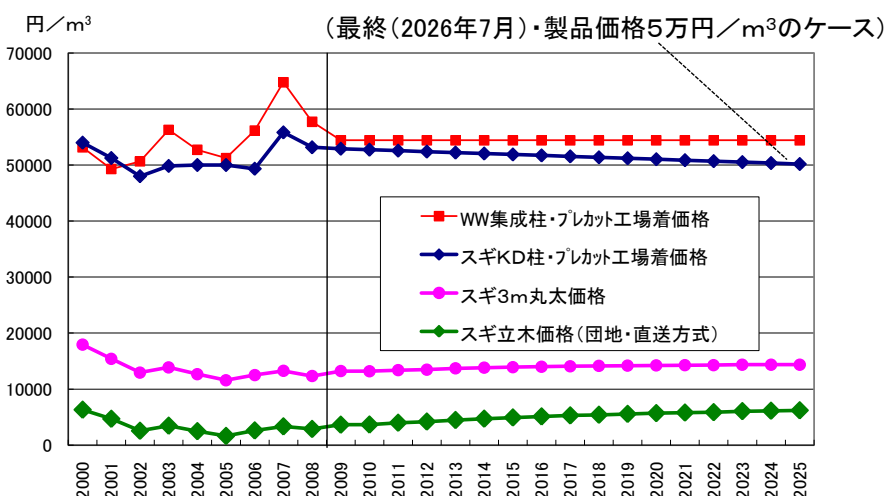


図3. スギの製品・丸太・立木価格の推移

注：2009年～2025年はモデルによる推計値

図はスギ乾燥製品を外材製品（ホワイトウッド集成材）より低い5万円に設定したケース。このケースでは、加工生産性や伐出生産性の上昇によるコスト削減と、木材市場を通さない直送方式での流通コスト削減などにより、山元立木価格を現状のほぼ2倍強に高められる可能性があることがわかる。林業家への還元増大は可能といえる。今後、森林経営規模をスケールアップして林業サイドの木材販売交渉力を高めることが課題である。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

急傾斜地に森林作業道をつくる

林業工学研究領域 梅田修史、田中良明、鈴木秀典、山口智

要 旨

間伐など森林の手入れに使われる森林作業道の適切な工法を提示するため、全国 8 路線を調査したところ、切土と盛土による通常の作設工法に加えて、地山と一体化するように盛土を行う工法、丸太による木製工を用いる工法等、いくつかの工法がありました。それぞれの工法について、路線の配置、道を構成する土質、及び路面の強さを分析した結果、特に急傾斜の森林においては、急斜面をなるべく避けて道を配置する傾向があること、路肩側までしっかりと土を締め固めてつくられていることが明らかになりました。いずれの工法も各地の地形、土質に適応させながら編み出されてきた工法であり、これらの工法の特徴やその評価方法を森林作業道作設の手引きとしてまとめました。

森林作業道とは

森林から伐り出された木材は、林道や公道を経て市場に供給されます。こうした森林路網の中で最末端に位置し、実際の木材の伐採搬出に使われるのが森林作業道です。間伐等によって森林整備を進めていくためには、こうした森林作業道が低コストで作れ、崩れにくく、維持管理が容易でなければなりません。そこで、全国 8 力所の森林作業道において、周辺の地形、路線の配置、道を構成する土の締固め具合の性質、道の表面の強さ等を調べました。

地形傾斜と切土、盛土の関係

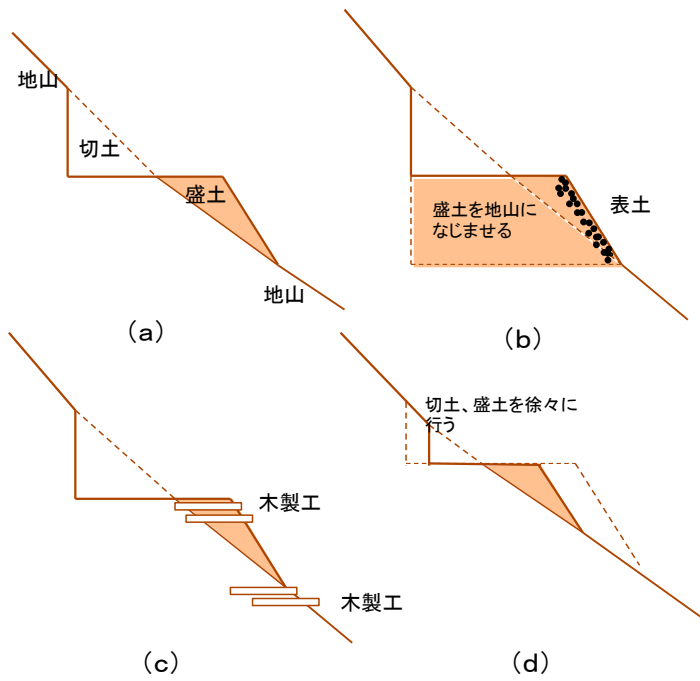
我が国の森林は、傾斜地に広く分布しています。傾斜地で横断方向に平らな道を作るためには地山を切り取らなければなりません。あまり多くの切取りを行うと切土法面が崩壊しやすくなるので、切取りの高さはできる限り抑えなければなりません。仮にその高さを 1.5m に制限すると、幅員が 2.5 ～ 3.0 m の道をつくるためには、傾斜が 30 度以上の急傾斜になると、盛土を行う必要があります。調査の結果、森林作業道の作り方には、この通常の切土、盛土による工法（図－1 a）に加えて、盛土が地山になじみやすくなるように、盛土の最下端の高さまで地山を掘削して均等に締固める工法（同 b）、盛土の最下端と路肩に丸太を用いて構造物を構築する工法（同 c）、当初は小さな幅員の道を作設して、何年もかけて徐々に道を拡幅していく工法（同 d）がありました。いずれも、

土と木を主体として作られており、低コストで作られた道だといえます。

急傾斜地における道づくり

平均傾斜が 30 度を超える急傾斜地では、作業道は傾斜の比較的緩い斜面に配置される傾向があることがわかりました。平均傾斜が 30 度以上の地域の例では、30 度よりも緩やかな斜面が森林面積全体の 35% しかありませんでした。その 35% に全路線延長の 52% が作られていました。さらに、急傾斜地につくられた作業道を構成している土と路面の強さの関係を調べたところ、急傾斜地につくられた作業道は、そもそも締固めに適した土であることが多いこと、さらに路面の締固めが路肩部分にいたるまでしっかり行われていることがわかりました。また盛土は、その表面をすみやかに緑化して浸食を防ぐ必要があるのですが、それも林地に分布する表土を盛土の法面に用いて在来植生を利用した緑化を促進する工夫がなされていました（図－1 b、図－2）。

このように森林作業道を適切に作るためには、できるだけ緩斜面に配置すること、急傾斜地では土の性質を考慮すること、構造物は丸太等コストのかからないものを選ぶこと、在来種による緑化をはかることが重要です。これらの調査によって得られた工法とその評価法を、全国の林業や森林土木の技術者に活用してもらうために、森林作業道作設の手引きとして取りまとめました。



図－1 森林作業道の工法



図－2 急傾斜地での施工例 1

工法 (b) による森林作業道
切土は低く盛土は緑化されている



(同 急傾斜地での施工例 2)

工法 (c) による森林作業道
切土は低く路肩と盛土の最下端に
木製工が施されている

スイングヤーダ集材作業をより速くより安全に

林業工学研究領域 広部 伸二、岡 勝、伊藤 崇之

要 旨

急傾斜地における間伐作業では架線集材が不可欠です。架線集材機械の一つであるスイングヤーダは架設撤去が容易で機動性に優れているため、全国で導入が進んでいます。スイングヤーダは、伐倒同時集材、すなわち集材作業と伐倒作業を同時並行的に行うことで、さらに作業性を向上させることができます。ただし、伐倒作業では伐倒した木が集材架線の上に倒れかかり、衝撃力によってスイングヤーダに過大な負荷がかかり、その安定性に悪影響を及ぼす可能性があります。そこで、スイングヤーダ作業の安全を確保するため、伐倒木の衝撃力を評価することで安全作業に必要な手順を求めるとともに、スイングヤーダの伐倒同時集材方式の手引き書を作成しました。

スイングヤーダの伐倒同時集材方式のメリット

スイングヤーダの伐倒同時集材方式は、生産性及び安全性の両面においてメリットのある新しい作業方法です。従来の先行伐倒方式では、全ての集材予定木を先行して伐倒した後に集材作業を行いますが、その作業方式が生産性を低くする要因の一つとなっていました。一方、伐倒同時集材方式では、伐倒と集材を同時に行うため、作業時間のロスが少なく伐倒と集材を合わせた全ての作業時間を短縮することができます。また、間伐での伐倒の際に必然的に発生し、重大災害の原因となっているかかり木*に対しても、スイングヤーダのウインチで引き倒すことができ、安全かつ効率的な処理が可能です。

伐倒木が集材架線に与える衝撃

スイングヤーダによる集材では列状間伐*を行うことが一般的ですが、伐倒同時集材方式では、伐倒した木が集材架線の上に倒れかかることがあります。その際に、集材架線の緊張度あるいは伐倒木の重さによっては、集材架線に過大な衝撃力が発生し、それによってスイングヤーダの安定性に悪い影響を及ぼすことがあります。実

際の作業現場で測定したところ、集材架線の長さが約 40m で中央垂下比*が 0.03 の緊張度の場合、伐倒木の重さが約 300kg では、衝撃力が 2 トン (≒ 20kN[キロニュートン]) にも達することがわかりました。これは、自重が 12 トンのスイングヤーダが最も不安定な姿勢を取った場合にそれを転倒させるほどの力です。

安全な作業のために

架線の緊張度が高い場合は、伐倒木の重さが 100kg 程度でも衝撃力は 1 トン (≒ 10kN[キロニュートン]) を超えることがあります。そこで、集材架線が緊張している場合は、伐倒作業を行わないことが大原則となります。また、集材架線が完全に緩んだことを確認するだけでなく、スイングヤーダのオペレータが荷はずし*の後に安全な場所に退避したことを確認してから伐倒を行うことが重要です。

これらの作業手順は、スイングヤーダにおける「伐倒同時集材方式」作業の手引き書にまとめ、講習会等で利用しています。

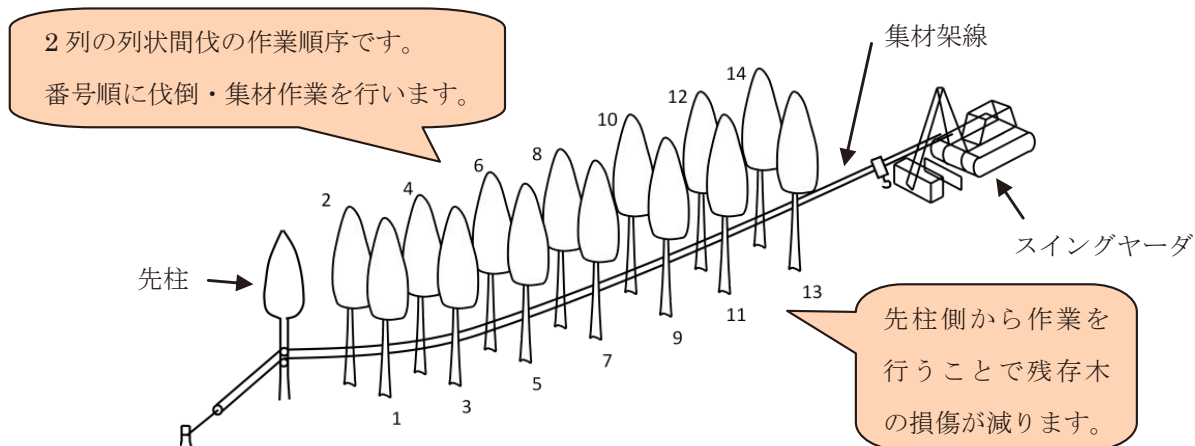


図1 スイングヤードの伐倒同時集材方式での伐倒・集材の作業順序

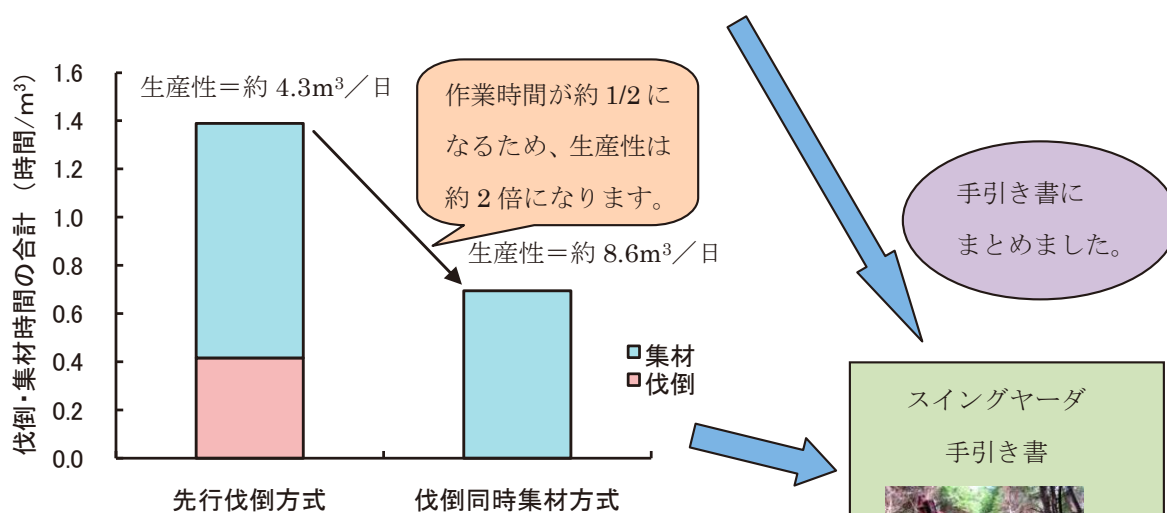


図2 先行伐倒方式と伐倒同時集材方式の作業時間合計と生産性の比較

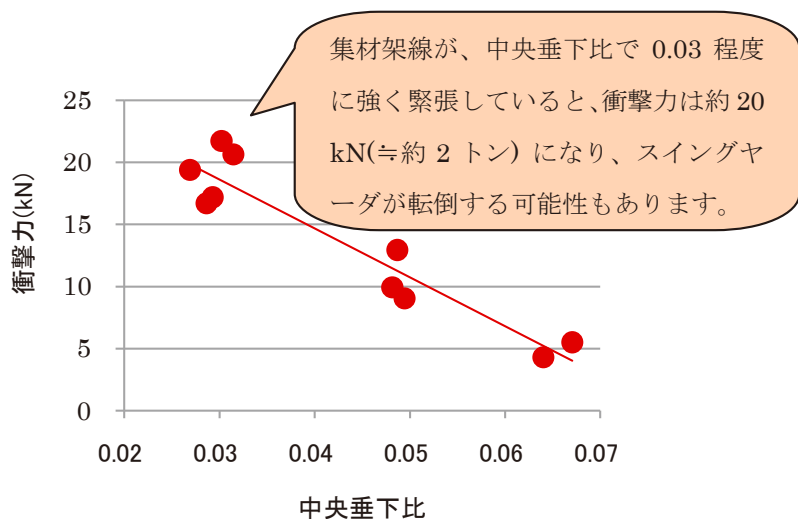


図3 中央垂下比と衝撃力の関係 (伐倒木の質量は約 300kg)

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

集成材の長期維持管理のための補修技術の開発

複合材料研究領域
日本住宅・木材技術センター
関東学院大学
ティー・イー・コンサルティング

平松 靖、宮武 敦、新藤 健太
清水 庸介
中島 正夫
宮林 正幸

要 旨

集成材建築物を長期にわたって維持管理するためには、集成材に生じ得る経年劣化に対する補修技術を確立する必要があります。本研究では集成材の接着層の割れ、はく離といった劣化に対する補修技術の開発を目的として、意図的に接着剤を塗布しない積層面を設けた集成材を作製し、それらに種々の補修を行い、強度性能を評価しました。そして、集成材の接着剤を塗布していない積層面に対して、「エポキシ樹脂を注入する方法」、「全ねじボルトを挿入し、そのまわりにエポキシ樹脂を充填する方法」、「木ねじを斜め打ちする方法」のいずれかの補修を行うことにより、健全な試験体と同程度まで強度を回復させられることを明らかにしました。

集成材建築物の維持管理

日本国内で使われている築年数 25 ～ 51 年の集成材建築物の健全度調査報告には、一部の集成材に、腐朽菌やシロアリによる生物劣化や、接着層の割れやはく離といった劣化が見られたと記されています。集成材建築物を長く、安心して使えるよう維持管理していくためには、それらの劣化に対する補修技術を確立することが重要です。

接着層の劣化

構造用の集成材の製造に使用される接着剤は日本農林規格（JAS）で定められ、その接着耐久性は促進劣化試験などで検証されています。しかし、実際の建築物では、長期間、屋外で使用されたり、温湿度の変化が大きな過酷な環境下で使用されたりすることによって、集成材の接着層に割れやはく離といった劣化が生じることがあります。

接着層の劣化を想定した集成材試験体の強度試験

接着層の劣化は集成材の強度にどう影響するのでしょうか。実際に接着層を劣化させた集成材を実験的に作製することは難しいので、本研究では、接着層の劣化を想定して、接着剤を塗布していない積層面のある集成材を作製し（図）、強度試験を行いました。次に、接着剤を塗布していない積層面に対して「エポキシ樹脂を注入する方

法」、「全ねじボルトを挿入し、そのまわりにエポキシ樹脂を充填する方法」、「木ねじを斜め打ちする方法」、「ラグスクリューを締め込む方法」の 4 種類の補修を行い（図）、強度試験を行いました。

有効な補修技術は？

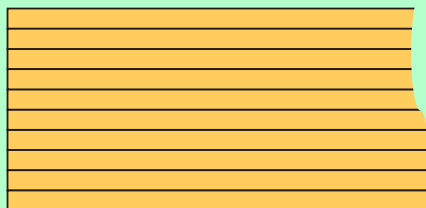
試験の結果、接着剤を塗布していない積層面のある集成材の強度は、接着剤を塗布していない面積が増えるに従って低くなることがわかりました。また、ラグスクリューの締め込みは効果が低く、接着剤を塗布していない積層面に対して、「エポキシ樹脂を注入する方法」、「全ねじボルトを挿入し、そのまわりにエポキシ樹脂を充填する方法」、「木ねじを斜め打ちする方法」のいずれかの補修を行うことにより、健全な試験体と同程度まで強度を回復させられることがわかりました。

研究成果の活かし方

集成材建築物において、集成材に働く力は多様です。今回の成果を踏まえつつ、強度試験や部材同士を組み合わせた構造試験のデータを蓄積し、さらに補修の作業性の検証を行う等により、集成材建築物の長期維持管理手法の確立をめざします。

詳しくは、清水ら（2010）日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ、15-16、平松、清水（2010）住宅と木材、No.387、18-23、24-29 をご覧下さい。

集成材試験体

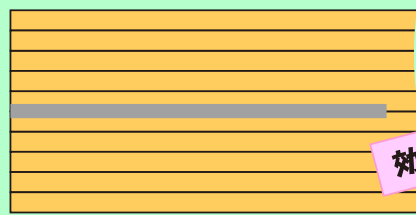


健全な集成材



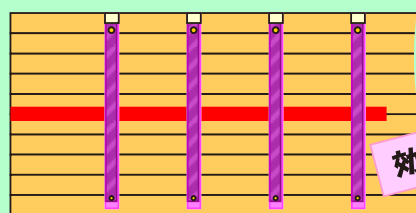
接着剤を塗布していない積層面のある集成材
(赤色の線が接着剤を塗布しなかった部分。
集成材の長さ方向の端部に設定しました)

補修

接着剤を塗布していない
積層面の補修方法

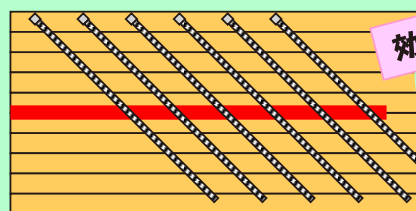
効果あり

エポキシ樹脂を注入する方法



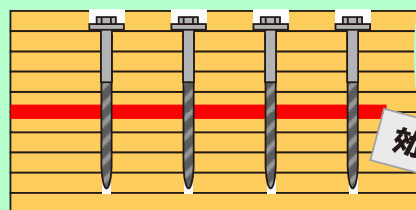
効果あり

全ねじボルトを挿入し、
そのまわりにエポキシ樹脂を充填する方法



効果あり

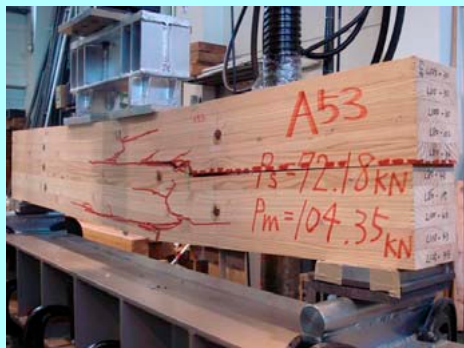
木ねじを斜め打ちする方法



効果低い

ラグスクリューを締め込む方法

強度試験



補修していない集成材の破壊の一例
(接着剤を塗布していない積層面から破壊が生じました)



補修を行った集成材の破壊の一例
(健全な集成材と同じように破壊しました)

「エポキシ樹脂を注入する方法」、「全ねじボルトを挿入し、そのまわりにエポキシ樹脂を充填する方法」、「木ねじを斜め打ちする方法」で補修することにより、健全な試験体と同程度まで強度が回復しました。

CO₂ ヒートポンプによる高効率で環境にやさしい木材乾燥機

加工技術研究領域

バイオマス化学研究領域

東京大学大学院 農学研究科

東京工業大学 原子炉工学研究所

静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

株式会社前川製作所

齋藤 周逸、松村 ゆかり

大平 辰朗、松井 直之

信田 聡

加藤 之貴

池田 潔彦、渡井 純

町田 明登、門脇 仁隆、加藤 雅士、西田 耕作

要 旨

低炭素社会にむけて、エネルギー消費を少なくする高効率技術の開発・普及が求められています。木材の人工乾燥分野でもエネルギー消費の削減が必要です。そこで省エネルギー技術として民間企業で開発された CO₂ 冷媒のヒートポンプ装置を木材乾燥機に応用する研究開発を行い、高効率の木材乾燥加工の実用化に成功しました。

この乾燥機の特長は、従来のヒートポンプ加熱方式では不可能であった 70℃以上の空気加熱が可能であることと、高効率性で低環境負荷であることです。例えば、一般住宅約 100 軒分に当たる木材を乾燥処理する場合、従来の灯油ボイラ加熱と比べると、エネルギーコストは年間約 50%減、二酸化炭素排出量は年間約 70%減に削減できます。

乾燥木材が求められています

木造住宅用の骨組みを構成する構造用木材は、消費者の安全安心指向の流れに沿って、強度や寸法を明示する動向にあります。強度や寸法は木材内部の水分によって変化します。構造用木材は強度が求められるので日本農林規格等で定められた基準に合わせて乾燥加工する必要があります。

木材の人工乾燥

まとまった量の構造用木材を生産する工場では、箱形の乾燥室と加熱機器から構成された木材乾燥機を用いて木材を人工的に乾燥しています。木材乾燥機では、内部の温度と湿度を調整しながら木材を一定期間で所定の含水率に乾燥することができますが、木材を加熱するためのエネルギーは大きくなりがちです。

ヒートポンプとは

ヒートポンプとは、温度の低いところから温度の高いところへ熱を移動させる仕組みのことです。これによって燃焼を伴わずに加熱が行えます。この加熱は、冷媒と呼ばれる化学物質の加圧・減圧による液化と気化の相互変化によって生じる発熱や吸熱を応用しています。

このヒートポンプ加熱方式は低炭素社会のキーテクノロジーと言えます。なぜなら、ヒートポンプ加熱方式は、必要なエネルギーの 3～5 割で他の加熱方式と同等の加熱量を生み出すからです。

従来のヒートポンプは地球環境に悪影響を与えるフロンガス冷媒が使用されていました。近年の技術開発により、自然冷媒である CO₂ ガスが冷媒としてヒートポンプに応用できるようになりました。

現在、この CO₂ ヒートポンプシステムは、年々大型化され、今回の研究開発に至ったように産業用として応用可能な規模になりました。

本研究の特徴は、木材の乾燥に使われる乾燥室内の空気加熱の方法に図 1 の CO₂ ヒートポンプ装置を応用したことです。

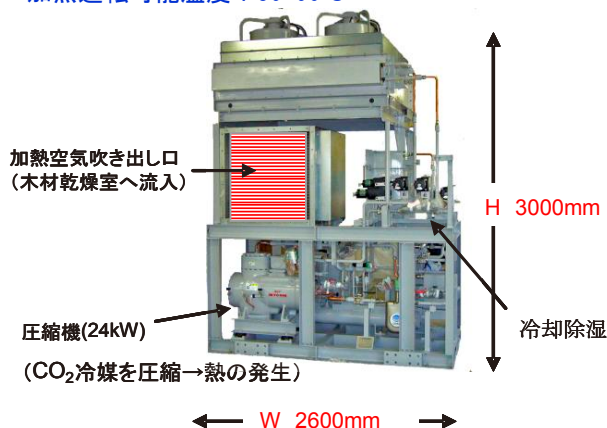
開発乾燥機の特徴

主な成果は、第一に、従来のヒートポンプ加熱方式では不可能であった 70℃以上の空気加熱を補助熱源なしで可能としたことです。第二に、従来よりも高効率で環境負荷が低いことです。図 2 のように、一般住宅約 100 軒分に当たる木材を乾燥処理する場合、従来の灯油ボイラ加熱と比べると、エネルギーコストは、年間約 50%減、二酸化炭素排出量は年間約 70%減まで削減できました。また、図 3 の木材乾燥システムでは、開発した乾燥スケジュールコントロールソフトにより温湿度の自動運転が可能です。なお、湿度の調整に必要な水分は木材中の蒸発水分を利用し、残りの凝縮水からは精油成分が副産物として回収可能です。

実用化された場合の装置価格は当初割高と想定されますが、高効率によりエネルギーコストが抑えられるので、初期投資高を 3 年程度で回収可能と考えています。導入に適した規模の乾燥工場は、4～6 基の乾燥機で年間 5000m³ 程度の乾燥材を生産目標としている事業所を想定しています。

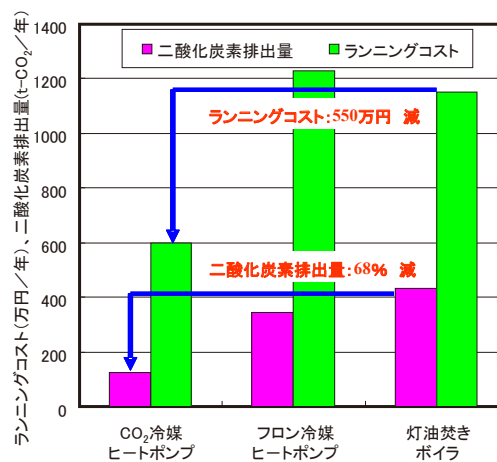
本研究は、農林水産技術会議、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、「ヒートポンプを応用した低環境負荷型木材加工装置の開発」による成果です。

加熱運転可能温度：50-90℃



装置作製：株式会社前川製作所

図1 開発した木材乾燥機用のCO₂ヒートポンプ



乾燥条件：スギ板材46m³を含水率100%から15%、乾燥時間7日

図2 CO₂ヒートポンプの経済性と環境効果

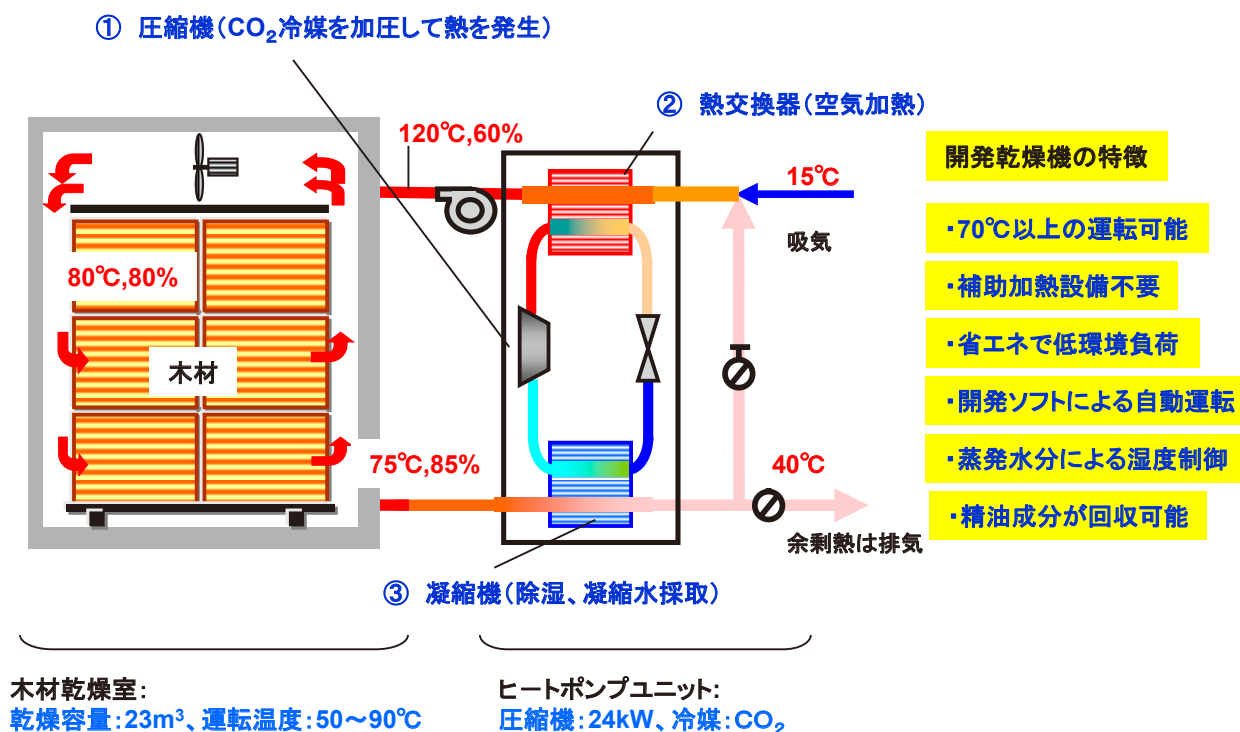


図3 高効率・低環境負荷の性能を持つCO₂ヒートポンプ木材乾燥機のシステム

遺伝子組換え技術を用いてポプラの成長を制御することに成功！

生物工学研究領域
研究コーディネータ

伊ヶ崎 知弘
篠原 健司

要 旨

樹木は、多年生で長期間にわたり成長し炭酸ガスを固定することができます。有用形質を持つ樹木の成長速度を変えることができれば、成長を早くしたものは地球温暖化対策として森林の衰退した地域での植林やバイオマス生産を目的とした植林に、また成長を遅くしたものはセダムや芝と同程度の育成条件での屋上緑化等の都市緑化に利用できます。樹木の成長の制御には、成長の調節が起こるメカニズムを知る必要があります。そこで、モデル実験樹木として研究が進められているポプラから成長に関わる植物ホルモンの一つとして知られている活性型ジベレリンの合成酵素遺伝子や代謝酵素遺伝子を単離しました。そして、遺伝子組換え技術を用いて遺伝子の発現量を制御することで、活性型ジベレリンの合成量を制御し、ポプラの成長を制御することに成功しました。

研究の背景と目的

植物の成長を主に制御している因子として、植物ホルモンのジベレリンが知られています。そこで、ポプラの成長に関しても、ジベレリンが大きく関与しているであろうと予測し、既存の植物の情報をもとに、ポプラからジベレリン合成酵素遺伝子や代謝酵素遺伝子を探しました。

樹木の成長を制御する遺伝子の単離と機能の解析

ポプラから、15個の合成酵素遺伝子と、13個の代謝酵素遺伝子を見つけました。それぞれの遺伝子について、ポプラのどの器官や組織で働いているのか、またシロイヌナズナで働かせた場合に成長にどのような影響を及ぼすのかを調べました。その結果、多くの遺伝子は、それぞれが器官や組織特異的に発現していること、それぞれの代謝酵素遺伝子を大量に作るように組換えたシロイヌナズナは顕著に成長が抑制されることがわかりました。しかし、これらの組換えシロイヌナズナは、外から活性型のジベレリン A_3 を与えると、成長量が回復し、正常に種子を生産しました。

ジベレリン代謝酵素遺伝子を利用した成長抑制ポプラの作出

ジベレリン代謝酵素遺伝子 *PnGA2ox1* を大量に作るようにポプラを改変することで、ポプラの成長量を減少させることができるのではと考え、遺伝子組換え技術を用いて組換えポプラを作出しました。*PnGA2ox1* を大量に作る組換えポプラは、成長量が約 40%に減少していましたが(図1)、活性型のジベレリン A_3 を与えると、成長量が回復しました。また、ジベレリン合成酵素遺伝子や代謝酵素遺伝子の発現量を測定したところ、合成酵素遺伝子の発現が顕著に増加しており、遺伝子組換えにより *PnGA2ox1* の発現量が増加した影響を緩和していることが推測できました。そこで、活性型ジベレリンの合成酵素遺伝子 *PnGA2ox1* を大量に作る組換えポプラを作出したところ、今度は初期成長が約 2 倍に増加した組換えポプラが得られました(図2)。今後、この成果を利用し(図3)、樹木を植栽する場所に適した成長量に制御する技術の研究開発を進めます。

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「環境保全に貢献するスーパー樹木の創出に向けた基盤技術開発」により行いました。



図1 ジベレリン代謝酵素遺伝子を用いたポプラの成長制御
PnGA2ox1 を大量に発現する組換えポプラ（写真右）と野生型ポプラ（写真左）。組換えポプラでは葉も小さい（下段写真）。



図2 ジベレリン合成酵素遺伝子を用いたポプラの成長促進
PnGA20ox1 を大量に発現する組換えポプラ（写真右）と野生型ポプラ（写真左）。

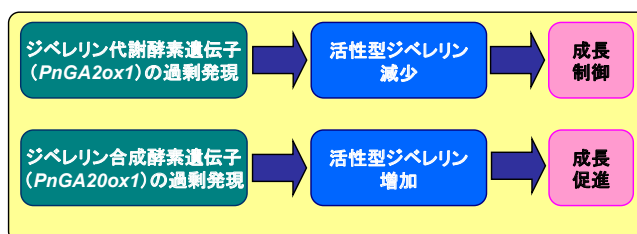


図3 ジベレリン代謝酵素遺伝子及び合成酵素遺伝子を用いた遺伝子組換えポプラの成長制御の仕組み
 現在、組換えポプラの活性型ジベレリン量を詳細に解析中。

DNA 解析により桜の伝統的栽培品種を識別する

森林遺伝研究領域
森林植生研究領域
多摩森林科学園
住友林業

加藤 珠理、松本 麻子、吉村 研介、吉丸 博志
勝木 俊雄
岩本 宏二郎
石尾 将吾、中村 健太郎

要 旨

我が国に自生する野生のサクラは 10 種ですが、それらを基にして作出された、美しい花を咲かせる栽培品種が 200 種類以上もあります。古くは室町時代から知られているものもありますが、品種改良が盛んになったのは江戸時代以降です。接ぎ木や挿し木などのクローン増殖により代々保存されてきましたが、長い年月の間には継承の間違いなどもあったと思われる、同名異種や異名同種などが疑われるものもあります。長い歴史をもつサクラの栽培品種を正しく継承して、将来の利用につなげていくために、DNA マーカーによる高い精度の識別技術の開発とそれによる品種識別を行いました。

遺伝マーカーの開発と桜の主要コレクション

ヤマザクラやエドヒガンなど野生種の DNA を基にして、多型性の高い遺伝マーカーであるマイクロサテライトマーカーを開発し、そのうち 17 個のマーカーを用いて栽培品種の識別を行いました。国内には栽培品種を多数収集しているコレクションがありますが、その中でも、森林総合研究所多摩森林科学園（図 1）の約 1500 本（約 300 栽培系統）は最大規模のものであり、さらに国立遺伝学研究所に収集されている約 350 本（約 250 栽培系統）と新宿御苑の約 1300 本（約 50 栽培品種）を加えた中から、約 1850 本を材料として、遺伝マーカーによる識別を行いました。同じ品種名でも由来が異なると別物である可能性もあるので、森林総合研究所や国立遺伝学研究所では、栽培品種名だけでなく入手先の履歴記録も加えた「栽培系統」として厳密に管理しています。

遺伝マーカーによる識別結果の事例

染井吉野（そめいよしの）や八重紅枝垂（やえべにしだれ）などでは、上記の主要 3 コレクションにおいて、マーカーによる遺伝子型は単一で、各栽培品種の起源は 1 つであると考えられます（図 2）。これに対して、枝垂桜（しだれざくら）や寒桜（かんざくら）、奈良の八重桜（ならのやえざくら）などでは、それぞれの中に複数の遺伝子型が見られ、各栽培品種の起源が複数あると推測されました（図 3）。

一方、江戸（えど）、糸括（いとくくり）、大手毬（おおてまり）、八重紅虎の尾（やえべにとらのお）は、別名であるにもかかわらずマーカーによる遺伝子型が等しく、

これら 4 つの栽培品種の起源は同一であろうと推測されました（図 4）。江戸という名前があまり有名ではなかったため、各地で異なる名前が付けられたものと思われる。

DNA 識別のメリットと今後の利用

今回用いた DNA マーカーは多型性が非常に高く、全く起源の異なる 2 個体が偶然同じ遺伝子型になってしまう確率は非常に低いものですが（約 10 兆分の 1 と推定）、さらにマーカーの数を増やして、識別の精度を上げることが望ましいと考えています。形態による分類では花の観察が必要でしたが、DNA 解析は葉や枝でも行うことができますので、苗木でも識別できるという大きなメリットがあります。今後は、全国の栽培品種のデータを蓄積してなるべく全ての品種を識別できるようにし、また野生種等との遺伝的関係から栽培品種の由来を明らかにしていきます。

本研究は「予算区分：森林総合研究所交付金プロジェクト、課題名：サクラの系統保全と活用に関する研究」、「予算区分：財団法人遺伝学普及会研究助成、課題名：国立遺伝学研究所のサクラ系統に関する研究」による成果です。

遺伝マーカーの情報については、Tsuda et al (2009) Journal of Plant Research 122:367-375、および特許出願中「サクラのクローン識別のための DNA プライマーセット (2010-228445)」をご参照ください。

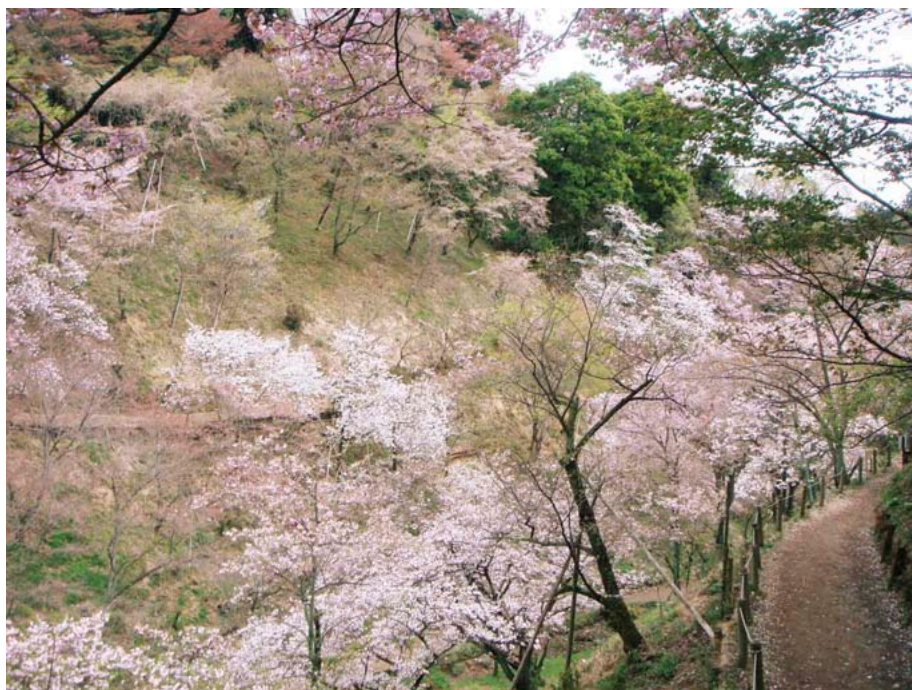


図1 多摩森林科学園の
サクラ保存林



図2 1つの品種の中は1つの遺伝子型で、起源が1つと考えられる例
左から、染井吉野、八重紅枝垂。



図3 1つの品種の中に複数の遺伝子型があり、起源が複数と考えられる例
左から、枝垂桜、寒桜、奈良の八重桜。

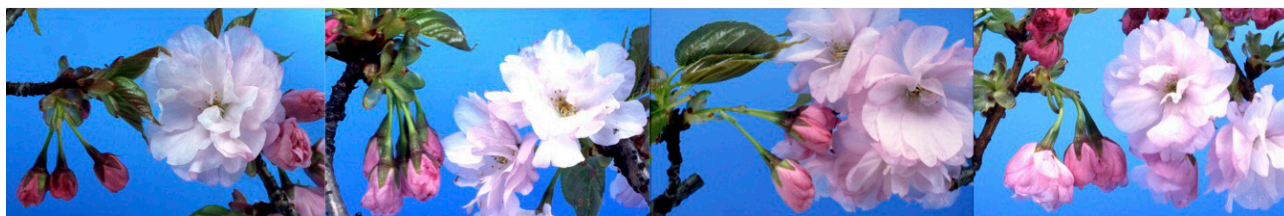


図4 異なる名前の品種が同じ遺伝子型であり、起源が同じと推定される例（1）
左から、江戸、糸括、大手毬、八重紅虎の尾。



図5 異なる名前の品種が同じ遺伝子型であり、起源が同じと推定される例（2）
左から、太白、車駐、駒繫。

環境汚染物質を分解する微生物を発見

きのこ・微生物工学研究領域

山口 宗義、高野 麻理子、中村 雅哉

要 旨

1980 年代に使用禁止となった農薬が、30 年経った現在でも自然界に残留し POPs（残留性有機汚染物質）として問題となっています。我々は、これらの汚染を微生物の機能を用いて浄化する方法を研究しています。POPs の 1 つである DDT を分解する微生物を見つける新たな手法を開発しました。この手法を用いて、新たに 3 種類の DDT 分解菌を発見しました。分離された分解菌は系統学的に大きく異なる種であったことから、この探索手法では広範囲の微生物を選別できると考えられます。また、本手法は POPs 分解微生物だけでなく、ハロゲン化合物の分解微生物の探索にも役立ちます。

背景と目的

1980 年代に使用禁止となったディルドリンやヘプタクロルといった農薬が近年になって農地で検出され、POPs（残留性有機汚染物質）として社会問題になりました。広範囲に広がってしまったこれらの物質を除去するためには、膨大な費用がかかります。POPs を分解することができる微生物を見つけることができれば、微生物を使った環境修復技術（バイオレメディエーション）として利用できます。我々は、POPs の 1 つである DDT を分解する微生物を探索するための新たな手法を開発し、その有効性を調べました。

分解菌の探索方法

POPs のほとんどが塩素化合物であることに着目し（図 1）、分解の時に発生する塩素を検出する手法を検討しました。発生する塩素だけを検出したいので、邪魔な塩素を一切含まない人工的な培地を新たに作製しました。この培地中で POPs が唯一の炭素源である状態にし、さまざまな微生物を生育させ、微生物が POPs を分解すれば、塩素が培地中に遊離します。この遊離した塩素を目印に

して、POPs を分解する微生物を探索します。

3 種類の菌を発見

この手法を用いて、POPs の一つである DDT を分解できる微生物を探索したところ、3 種類の DDT を分解できる微生物を発見しました（図 2）。これらの微生物により、DDT は 2 週間で約 60% 分解されました。また、これらの微生物の遺伝子を調べると、それぞれ *Sinorhizobium* 属、*Arthrobacter* 属、*Serratia* 属に属する微生物であることがわかりました。

分離された分解菌の分子系統学的な位置づけを調べたところ（図 3）、3 種の微生物は既に知られている DDT 分解菌とは異なるものでした。また、それぞれかけ離れた種であり、偏った種の微生物が選択的に分離されていないことから、この手法によって広範囲の微生物を検索することができると考えられます。

本研究で開発した手法は、未知の POPs 分解微生物の探索だけでなく、ハロゲン化合物を対象とした分解微生物の探索にも利用できます。

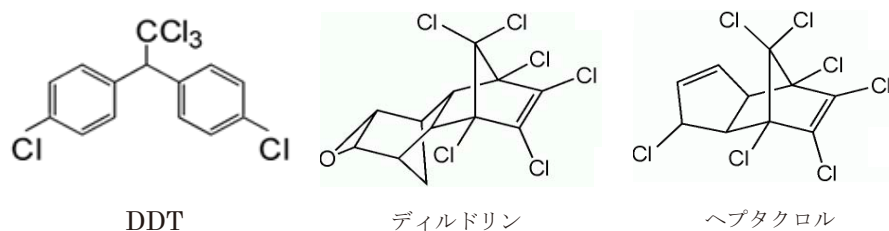


図1 POPs（残留性有機汚染物質）の一例

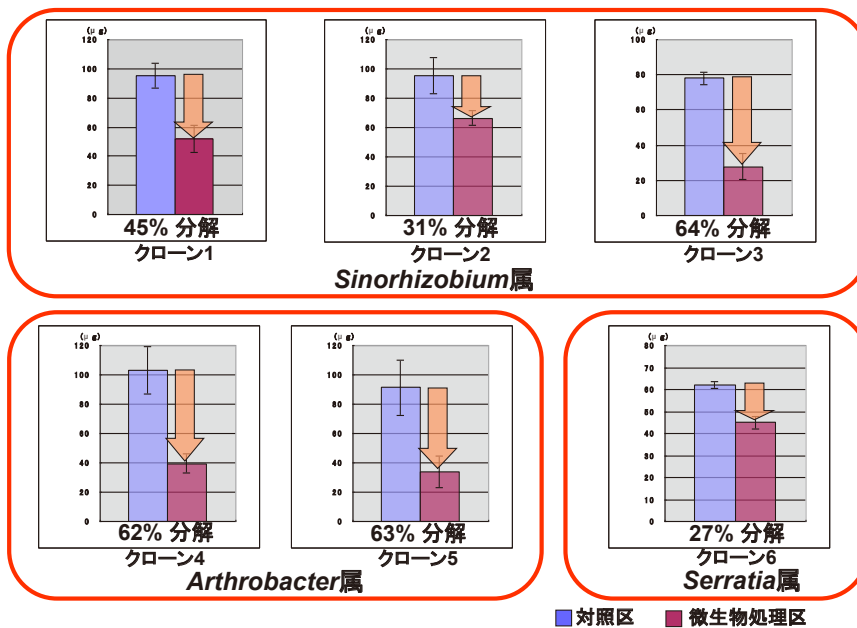
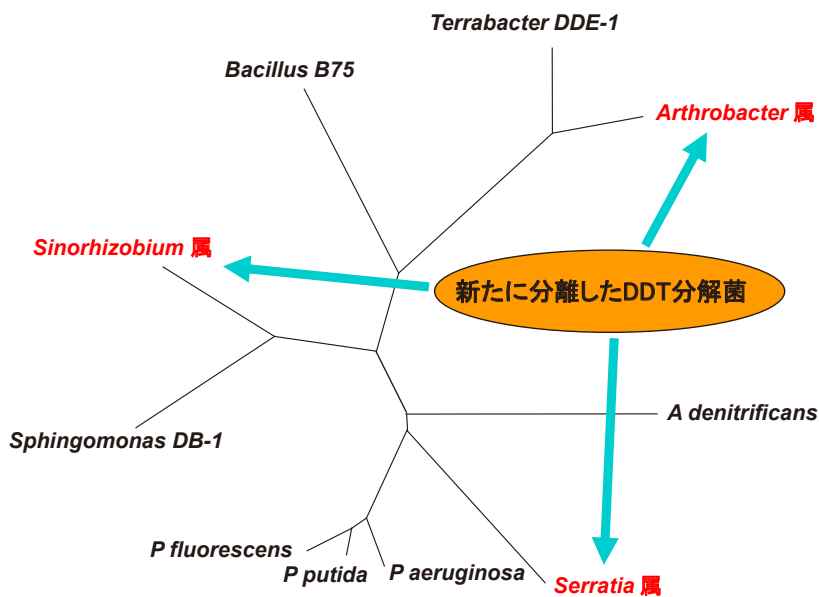
図2 分離された DDT 分解菌の分解能力と同定された属名
(縦軸は2週間微生物処理後の DDT 残量を示す。)

図3 DDT 分解菌の遺伝子配列を基にした系統樹

樹木の香りで生活環境空間を浄化する

バイオマス化学研究領域 大平 辰朗、松井 直之
日本かおり研究所株式会社 金子 俊彦、田中 雄一

要 旨

我々の生活環境には多種類の環境汚染物質が存在しており、それらが原因で引き起こされる疾病が問題になっています。我々は二酸化窒素などの環境汚染物質に対して強力な除去活性を示す精油成分とテルペン類を樹木の葉や材から見出しました。さらに、これらの物質の機能を最大限発揮させるための実用的な空間への噴霧法を開発しました。また除去活性の高い精油成分の大量供給を可能にするために、省エネ型の減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法を開発し、一般的な水蒸気蒸留方式に比べて4分の1程度に抽出時間を短縮できたほか、抽出効率を高めることにも成功しました。

省エネルギー型精油採取法（減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法）を用いた精油成分の大量供給

・熱源にマイクロ波を利用

一般的な水蒸気蒸留法による精油採取では、植物体に大量の水を加えます。そのため、採取後に大量の廃液が残り、その処理の問題が生じます。本装置は、マイクロ波により植物体に含まれる水分を均一かつ効率的に加熱し、蒸留することが可能です。そのため短時間で蒸留を行うことができ、消費エネルギーを従前から用いられてきた水蒸気蒸留法の4分の1程度まで低減することができました。また水分を添加する必要がないので、採取後の廃液が大幅に減ります。さらに残渣は採取前よりも乾燥した状態になっており、利用する上でも取り扱いが容易になります。

・減圧下での蒸留

一般的な精油成分の採取法である水蒸気蒸留法では、100℃前後に加熱された水蒸気が用いられるため、熱に弱い精油成分は変質してしまいます。その点ここで開発した装置は減圧下で操作を行うため、蒸留が起こる温度を大幅に低下させることができ、変質が抑えられます。さらに本装置では、減圧条件を調整することが可能で、得られる精油成分の組成を変化させることができます。

・実証規模での抽出に成功

本法により、精油含有量の多いトドマツ葉（約500kg）から精油4L、微香を有する蒸留水画分100Lをわずか100分で採取することができました。精油採取に要する消費エネルギーを比較すると、一般的な水蒸気蒸留法の4分の1程度であり、製造コストの低減できる実用的な生産が可能になりました（図1）。

環境汚染物質“二酸化窒素”の除去効果の高い精油成分

二酸化窒素は大気汚染防止法にも定められている環境汚染物質であり、我々の健康にも影響がある有害物質です。揮発した精油成分は二酸化窒素(7ppm)を除去できます。その効果を調べると、トドマツ葉油が最も高く、次いでヒノキ葉油、ユーカリ葉油、スギ葉油の順に効果が高いことがわかりました（図2）。さらにこれらの精油成分の中から、除去効果の高い物質としてγ-テルピネン、β-フェランドレン、ミルセン、オシメンなどが見出されています（図3）。

これらの物質の機能を最も効果的に発揮させるために、加熱放散式などの空間への噴霧法を開発しました。

精油成分は未利用の葉などの林地残材にも含まれています。したがって精油成分の利用が拡大することにより、林地残材の有効利用が可能となります。

また、これらの成果を活用することにより、我々の生活環境空間の浄化に役立ち、快適な生活環境の創造が期待できます。

抽出法および除去剤については、特許出願中です。

本研究は、(独) 科学技術振興機構の革新的ベンチャー活用開発事業「樹木精油を利用した環境汚染物質の無害化剤」により実施しました。

参考資料

- 1) 大平辰朗、松井直之、金子俊彦、田中雄一 (2010)、AROMA RESEARCH、11(2) : 148-155
- 2) 大平辰朗 (2011)、においかおり環境学会誌、42(1)、27-37

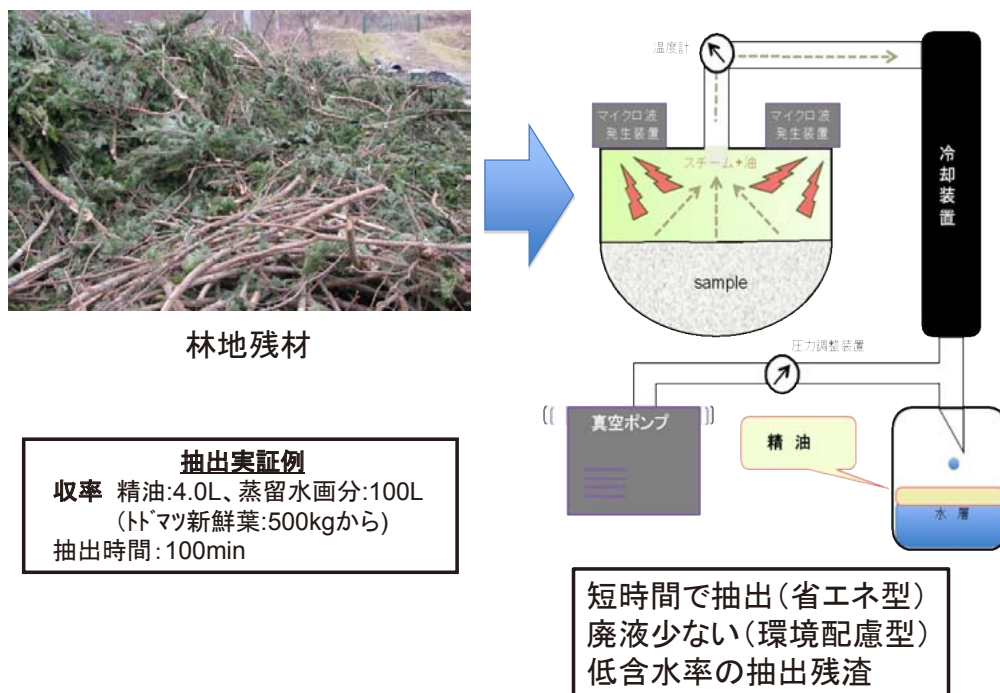


図1 減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法による効率的な抽出

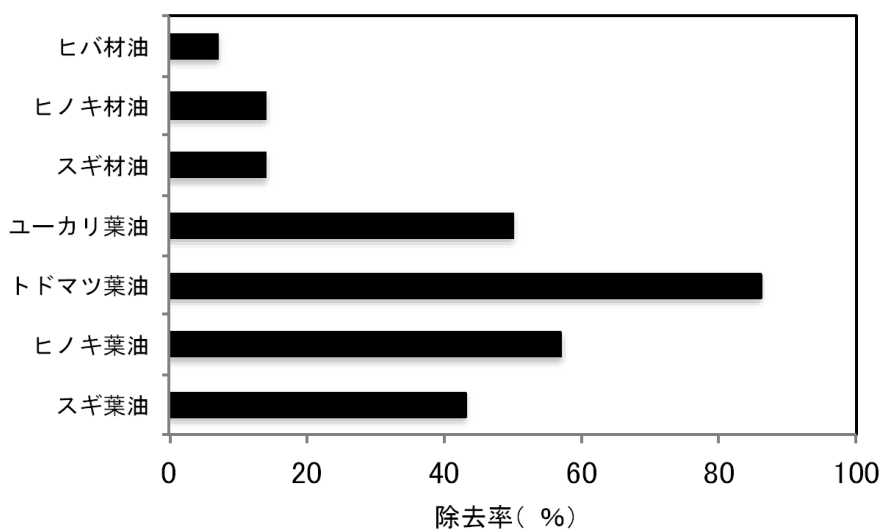


図2 樹木精油噴霧による二酸化窒素除去効果
 二酸化窒素濃度:7ppm。開始後30分の結果
 トマツ葉油、ヒノキ葉油、ユーカリ葉油などの除去効果が高い

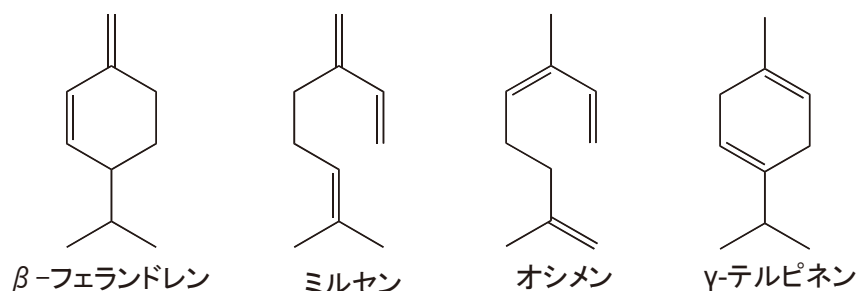


図3 二酸化窒素除去効果の高いテルペン類
 これらの化合物は2重結合を分子内に2個以上有している

木材表面の微小変形（ひずみ）をとらえて、 スギ「心持ち材」を割れなく乾燥する方法

加工技術研究領域

小林 功

要 旨

木材を乾燥し始めるとまず表面が乾いて縮もうとしますが、まだ乾いていない内部の細胞が表面の縮もうとする力を邪魔するので、表面の細胞は相対的に年輪に沿った方向（横方向）に引っ張られて、割れることがあります（写真）。特に心持ち材*は割れやすく、これを防ぐため乾燥工程の前半で温度 120℃の熱処理を行います。木材は樹種や品種、時には産地によっても性質が異なるので、処理時間を材の性質に合わせて決めることが効率的な乾燥につながります。そのためには乾燥試験が必要ですが、製材工場では困難な場合が多いのが現状です。そこで、適切な処理時間を乾燥試験を行わずに決定する方法を考案しました。これによって、より高品質な製材品の生産が可能になります。

背景と目的

木材は変形や腐れなどの問題が起きないように乾かしてから使いますが、木造住宅に使われる「心持ち材」は乾燥している間に割れやすいので（写真）、割れ防止の熱処理を行うのが一般的です。材の特性に合わせた適切な処理時間を決めるためには乾燥試験が必要ですが、失敗したときの経済的なリスクが大きいため製材工場で試験を行うことは多くの場合困難です。そこで、乾燥操作中で適切な処理時間を判定する方法を開発しました。

処理時間の考え方

スギ心持ち材を用いて行った乾燥試験で、心持ち材の割れが少なく乾燥できた乾燥条件を図 1 に示します。木材を高温（95℃）で軟らかくしてから急激に湿度を下げ、温度を上げるのが特徴です（図 1、熱処理工程）。

熱処理時間は短すぎると表面が割れ、長すぎると内部が割れるため丁度よい処理時間の検討が必要です。この処理時間とは、材内部が収縮を始めて少し経った頃と考えられ、材表面が割れる危険性も内部に割れが生じる危険性も小さくなる時期です。研究の結果、このタイミングを材表面の端部と中央部のひずみの挙動から判定できることが明らかになりました。

乾燥試験方法

図 1 で行った乾燥試験と同じ樹種、品種、産地のスギ材を用いて乾燥操作中のひずみを調べた結果を図 2 に示します。図 3 に示すような 2 つのひずみ計を心持ち材に取り付けて試験を行いました。2 つのひずみが逆転した時点（約 38 時間）が、図 1 の割れなかったスケジュールの熱処理工程終了時期と合致しています。内部が縮み始めて少し時間が経つと、表面の中央部が内部の収縮に影響されて本来よりも大きく縮み始め、端部より大きくひずむためと考えられます。したがって、ひずみ計を木材に取り付けて乾燥操作を行えば、その材の適切な熱処理時間が乾燥操作中にわかります。改めて乾燥試験を行う必要がないため、乾燥試験の失敗による経済的リスクを負わずに、表面割れや内部割れの少ない心持ち材の乾燥がスムーズに行えるようになります。

この方法によって、製材工場における乾燥操作中に地元材の特性に合った熱処理時間を決定でき、内部割れや表面割れの少ない、良質な乾燥材の生産につながることが期待できます。

なお、この成果は特許出願中（特願 2010-195394）です。詳しい研究内容については、「第 61 回日本木材学会大会要旨集（CD-ROM）, E18-09-1400」をご覧ください。

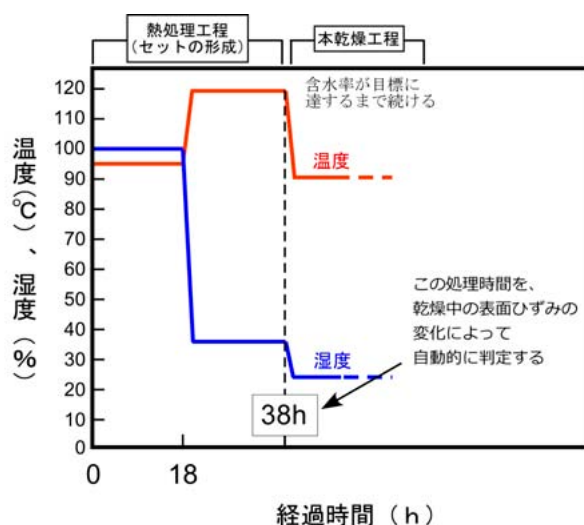


図1. 心持ち材（スギ）の割れを防ぐことのできる乾燥条件

熱処理工程（割れの防止）→本乾燥工程

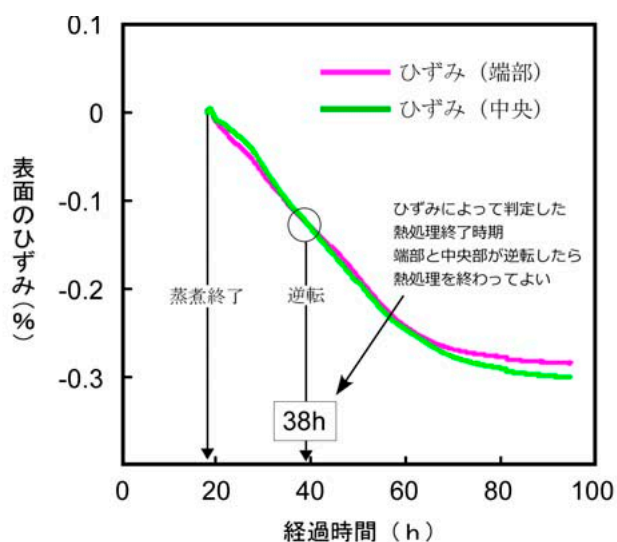


図2. 表面の微小変形（ひずみ）による熱処理工程終了時期の判定

- ・判定条件：端部と中央部のひずみが逆転したら熱処理終了
- ・割れない処理（図1）との比較：図1の熱処理工程終了時期と合致した。よって、ひずみによって処理時間が判定できる

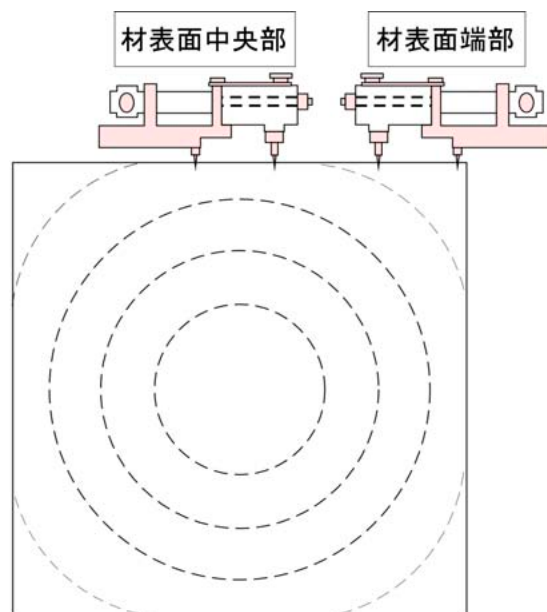


図3. 「心持ち材」表面へのひずみ計の取り付け方



写真. 「心持ち材」の乾燥後に表面が割れた様子

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林土壌にたまる炭素量を全国で予測する

立地環境研究領域

橋本 昌司

要 旨

地球上の土壌には、大気中の 2 倍以上もの炭素がたまっていると考えられており、森林土壌中の炭素の動きを調べることは、ますます重要になっています。私たちは様々な観測・実験データをもとに構築されたコンピュータシミュレーションモデルと、植生・土壌・気象のデータベースを組み合わせ、全国の森林土壌にたまる炭素量を 1 キロメートル四方の解像度*で予測できるシステムを構築しました。そのシステムを用いて、日本の成熟した森林にどれくらいの炭素がたまるのか？また、土壌にたまっている炭素が地球温暖化によってどうなるのか？について予測を行いました。これらのモデル構築とそれを用いた推定は、地球温暖化問題や京都議定書に関する研究に活用されています。

地球上の炭素循環に重要な役割を果たす森林土壌中の炭素

土壌にはとてもたくさんの炭素がたまっています。地球規模でみた場合、大気中の炭素量の 2 倍以上もの炭素がたまっていると推定されています。そのため、森林土壌にどのように炭素がたまっているのか、またどれくらいの炭素をためることができるのか、など土壌炭素の研究は地球温暖化問題を考える上で重要です。また、二酸化炭素の排出量削減を定めた京都議定書では、森林における植物と土壌による炭素の吸収が炭素放出量削減の手段として認められているため、森林土壌の炭素の動きを調べることはますます重要になっています。

モデルとデータベースを用いて広域評価手法を確立

森林の土壌にたまっている炭素はどのようにしてそこにたまったのでしょうか？森林では、樹木は古くなった葉や枝、根を土壌（中）に落とします。その一部分は微生物の働きで二酸化炭素として大気に放出されますが、一部は土壌にたまっていきます。このような長年にわたって繰り返される森林の営みの結果を予測するには、植生・土壌・気象など様々な要素を考慮に入れたコンピュータシミュレーションモデルが大きな威力を発揮します。私たちは、様々な観測・実験データをもとに構築されたコンピュータシミュレーションモデルと、植生・土壌・気象のデータベースを組み合わせ、日本全土の森林土壌の炭素蓄積量を 1 キロメートル四方の解像度で予測できるシステムを構築しました（図 1）。

日本の森林土壌に蓄積可能な炭素量

構築したシステムを用いて、十分に成熟した日本の森

林で土壌に炭素がどれくらいたまるかについて推定しました（図 2）。モデルの予測結果では、日本の森林土壌にはおよそ 1700 から 1940 テラグラム（テラ=10¹²=1 兆倍）の炭素がたまるとの予測になりました。これは日本が一年に排出する温室効果ガス量の 5 倍以上の大きさです。また、東日本と北海道で高い蓄積予測となりました。これは、この地域には炭素を蓄積する能力の高い火山灰土壌が多く分布することや気温が低く有機物の分解が遅いためと考えられます。

地球温暖化による森林の土壌炭素蓄積量の減少

今後、地球温暖化により気温が上昇した場合、日本の森林土壌にたまっている炭素はどうなるのでしょうか？私たちは、現在の気温から 2℃、4℃、6℃と上昇した場合の土壌炭素蓄積量の変化について推定を行いました。その結果、植物による大気中の炭素の吸収量は増えるものの、温度上昇により土の中の有機物分解が今よりも活発化し、土壌にたまっている炭素量が減少するという予測結果になりました（図 3）。

私たちは、今後もさらなる野外観測・室内実験を行い、新たに得られたデータを加えることで、モデルによる推定の精度向上を進めていきます。これらのモデル構築とそれを用いた推定は、地球温暖化問題や京都議定書研究に活用されています。

本研究は、科学研究費補助金（18880032）による成果を含んでいます。

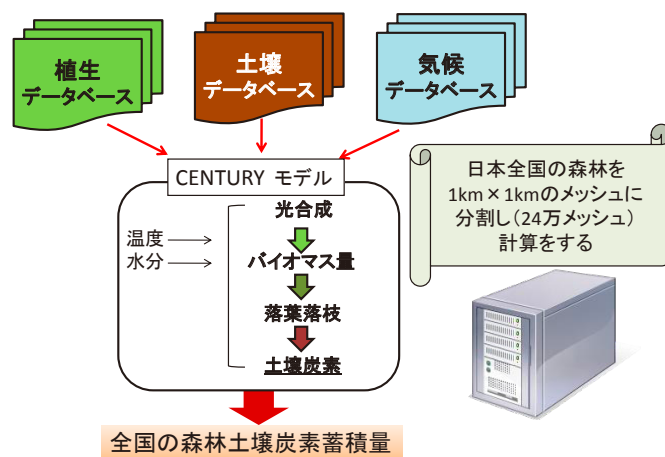


図1 モデルとデータベースを用いた全国の森林土壌炭素蓄積量予測

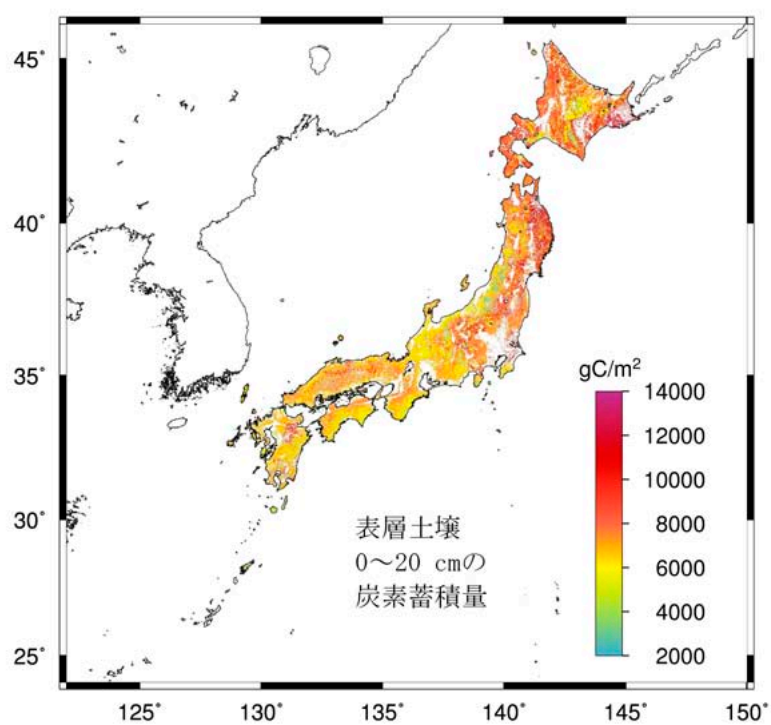


図2 成熟した森林の土壌に
たまる推定炭素蓄積量

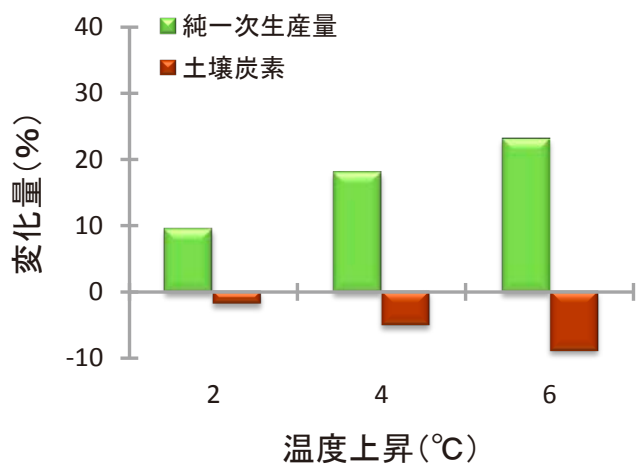


図3 温暖化にともなう土壌炭素蓄積量の変化予測。純一次生産量*は植物の光合成量の指標の一つ。

*については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林土壌中を流れる物質の量をはかる

立地環境研究領域
九州支所

小林 政広
釣田 竜也、吉永 秀一郎

要 旨

森林土壌中では様々な物質が水に溶けて流れています。その量を測ることは、森林生態系の立地環境に応じた物質循環や、生態系の外から流入する環境負荷物質の動きを解明する上で重要です。しかし、土壌中の微少なすき間をゆっくり流れる水の移動量は、土壌の湿り具合に応じて大きく変化するため、これまで正確に測ることができませんでした。本課題では、微細な穴が無数に空けられているセラミックの板（ポラスプレート）を土壌中に埋め、周囲の土壌の乾湿に応じて吸引し、自然に移動する量だけの水を採取することにより、週～年の単位で土壌中の水と物質の移動量を正確に測定可能な方法を開発しました。

土壌中の水移動量

茨城県内の落葉広葉樹林の土壌に、微細な穴が無数にあるセラミックの板（ポラスプレートと呼ぶ）を埋設し、周囲の土壌の乾湿に応じて吸引圧を変化させて、土壌中を移動する水を採取しました。ポラスプレートは深さ 30cm と深さ 90cm に設置しました。

2009 年の 1 年間に観測された森林の樹冠の下で測った雨（林内雨と呼ぶ）は、1295mm でした。これに対して深さ 90cm で採取した土壌水の量、すなわち 1 年間の水移動量は 938mm でした。データを 3 ヶ月ごとに区切って積算の林内雨量と土壌水移動量（深さ 90cm）を比較すると（図 1）、冬の落葉期には林内雨と水移動量がほぼ同じになりました。一方、夏の着葉期には水移動量は林内雨を大幅に下回りました。これは、樹木が落葉期には土壌から水を吸収せず、着葉期には盛んに吸収することを示しています。

土壌中のケイ素の移動量

ポラスプレートで採取した水を持ち帰って分析を行い、物質濃度を測定すると、この濃度と水移動量から物質移動量を求めることができます。ここではまず一例として、ケイ素を取りあげます。ケイ素は、海や湖沼の植物プランクトンの一種であるケイ藻の増殖に欠かせない成分ですが、雨には含まれていないために、土壌を構成

する鉱物の風化によって供給されます。土壌水のケイ素の濃度は、冬場に低く風化速度の高まる夏場に高くなる傾向が認められました（図 2）。ただし、深さ 90cm のケイ素の移動量を 3 か月ごとに比較すると、その変動パターンは濃度変化とは異なり、水移動量と同じように変化することから、ケイ素の移動量は水の移動量によって決まることが分かりました。

土壌中の溶存炭素の移動量

もう一つの例として、土壌水中に溶けている有機炭素（溶存有機炭素）を取りあげます。溶存有機炭素は、土壌中の微生物のエネルギー源となるとともに、土壌中の鉱物粒子と結びついて土壌有機物に変化します。土壌中の溶存有機炭素の移動量は、深さ 30 cm で年間 1 ヘクタールあたり 12 kg、深さ 90 cm で 4.2 kg と、深さを増すと濃度が低下する傾向が認められました。すなわちポラスプレートによって、土壌水が移動する過程で土壌水に含まれる溶存有機炭素が土壌微生物によって分解されたり、土壌に蓄積されていくことが分かりました。

以上のように、ポラスプレートを使う方法により、これまで難しかった土壌中の各種栄養塩類や炭素、窒素などの物質の移動量の測定が正確にできるようになり、森林生態系での物質循環の解明が大きく進むと期待しています。

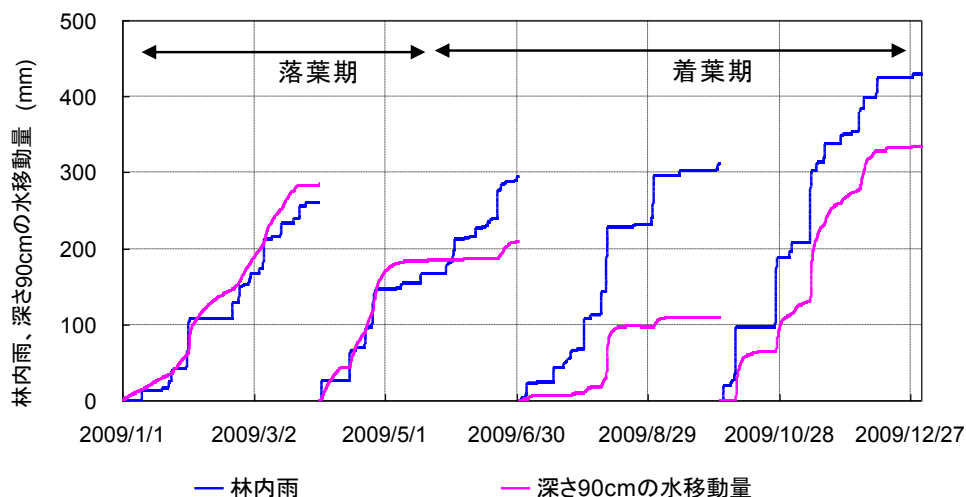


図1 林内雨と土壌深 90cm の水移動量の比較

落葉期は樹木による吸水がないので林内雨と水移動量はほぼ同じになる。一方、着葉期は樹木の盛んな吸水のため水移動量の方が少なくなる。

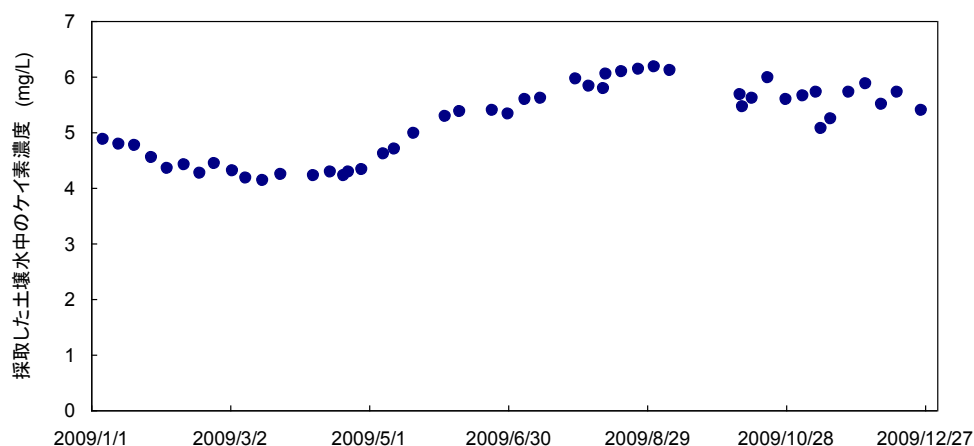


図2 土壌水中のケイ素濃度は夏に高くなる

土壌中の鉱物の風化は、気温の高い夏場に速くなるため、風化されてできるケイ素の濃度は高くなる。

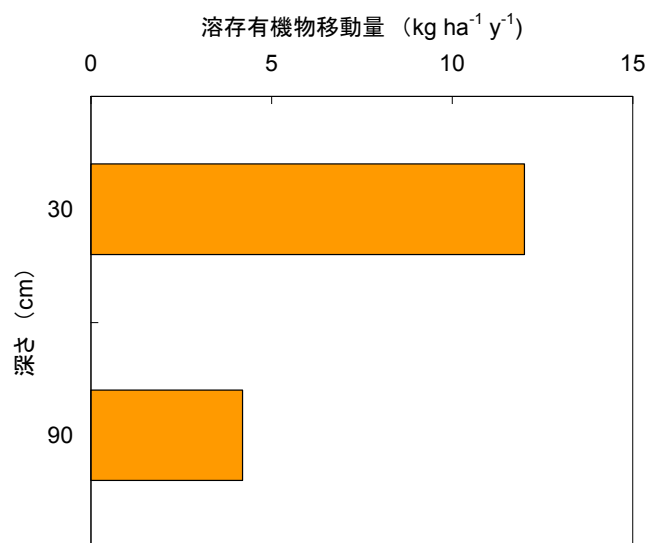


図3 深さ 30cm と 90cm の溶存有機炭素移動量

土壌水に含まれる有機炭素は、深さ方向に移動する過程で一部が土壌微生物に利用され、一部が土壌を構成する鉱物の粒子と結びつくため、深さを増すと濃度が低下する。

スズメバチの手強い寄生天敵スズメバチタマセンチュウ ー寄生されるハチの種類と国内分布が明らかに

九州支所
北海道支所
林木育種センター西表熱帯林育種技術園
森林微生物研究領域
森林昆虫研究領域

小坂 肇
佐山 勝彦
加藤 一隆
神崎 菜摘
牧野 俊一

要 旨

スズメバチによる刺傷事故は林野作業や野外活動でも大きな問題となっています。そのため、危険生物であるスズメバチを防除する新技術の開発が求められています。北海道で近年発見された、スズメバチの寄生天敵であるスズメバチタマセンチュウを生物的防除の素材として利用するため、線虫が、どんなハチに寄生し、国内にどれくらい広く分布しているのかを調べました。その結果、キイロスズメバチ、オオスズメバチ、チャイロスズメバチに寄生し、関東や九州にも分布していることがわかりました。また、寄生されていたスズメバチは卵巣が発達せず、すべて不妊になっていました。オオスズメバチとキイロスズメバチは攻撃性が強く、刺傷事故の大きな原因となっていますので、スズメバチタマセンチュウを利用して刺傷被害を減らせる可能性があります。

スズメバチタマセンチュウと生物的防除

スズメバチによる刺傷事故は林野作業でも大きな問題となっています。そのため、危険生物であるスズメバチを防除する新技術の開発が求められています。近年、スズメバチに寄生する新種の線虫が発見され、「スズメバチタマセンチュウ」と名付けられました。私たちはこれまでこの線虫に寄生されたスズメバチの女王は卵巣が発達せず不妊化すること（図1）、また、スズメバチタマセンチュウは越冬中のスズメバチ（図2）に感染することを明らかにしました。この線虫をスズメバチに対する生物的防除素材として利用できる可能性があります。そのため、線虫がどんな種のスズメバチに寄生するのか（宿主範囲）、そして、日本のどこに住んでいるのか（地理的分布）を調べなくてはなりません。

宿主範囲と地理的分布

スズメバチタマセンチュウはもともと北海道（札幌）のキイロスズメバチから見つかった天敵です。その後、北海道に生息している他のスズメバチ属4種を調べると、チャイロスズメバチにも寄生していることがわかりました。さらに、関東（茨城）、九州（熊本）、西表島など日本各地のスズメバチで線虫に寄生されているかどうかを調べたところ、西表島では見つからなかったものの、新たにオオスズメバチに対する寄生と関東や九州における寄生が確認されました。こうした調査の結果から、

スズメバチタマセンチュウは、日本に生息するスズメバチ属7種のうち少なくとも3種に寄生していることと、日本本土に広く分布している可能性が高いことがわかりました（表1）。

生物的防除素材としての評価

オオスズメバチは世界最大のスズメバチで、毒性や攻撃性がきわめて強い危険生物です。また、キイロスズメバチも非常に大きな巣を作り攻撃性も強いいため、毎年多くの刺傷事故をもたらしています。スズメバチタマセンチュウは、これら攻撃性の強い種を含めた3種のスズメバチに寄生することがわかりました。また、この線虫は日本本土のどこにでも分布している可能性が高いこともわかりました。この線虫に寄生されていたスズメバチの女王はすべて、卵巣が発達せず不妊になっていました。こうしたハチは巣を作ることができません。

スズメバチタマセンチュウは日本に昔から住んでいる在来種と考えられます。今後、この線虫を大量培養する技術ができ、宿主であるスズメバチに人工的に感染させることができれば、スズメバチの数を適切に制御して刺傷被害を低減するのに利用できる可能性があります。

本研究は科学研究費補助金（20380097）に支援され行われました。

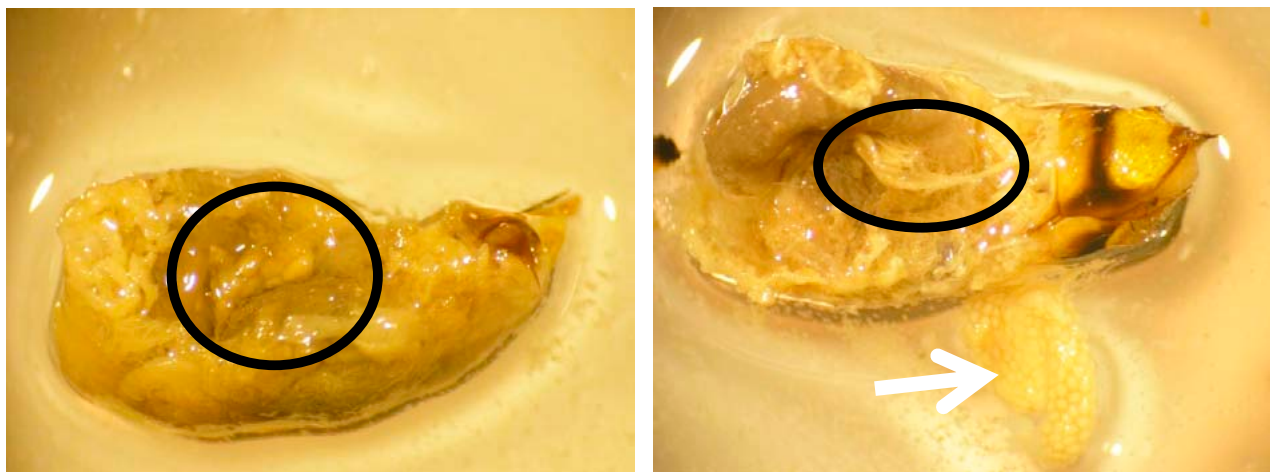


図1 キイロスズメバチ女王の腹部を解剖した写真

左図はスズメバチタマセンチュウの寄生を受けていない健全な女王で、卵巣（黒円内）には卵ができています。右図はスズメバチタマセンチュウ（白矢印、体長約2cm）に寄生された女王で、卵巣（黒円内）は退化して糸状となり不妊化しています。



図2 朽木で越冬しているキイロスズメバチの女王
スズメバチタマセンチュウは越冬中のスズメバチに感染する。

表1 各地で採れたスズメバチの種類とスズメバチタマセンチュウの寄生の有無

種	北海道	関東	九州	西表島
オオスズメバチ	×	○	○	—
キイロスズメバチ	○	○	×	—
コガタスズメバチ	×	×	×	×
モンスズメバチ	×	△	×	—
ヒメスズメバチ	—	×	×	×
チャイロスズメバチ	○	△	—	—
ツマグロスズメバチ	—	—	—	×

○スズメバチタマセンチュウ確認、×未確認、△未調査、—スズメバチは分布せず

森はよみがえったか？ —御岳山崩れ 25 年の軌跡—

東北支所	柴田 銃江
森林植生領域	正木 隆、田中 浩、壁谷 大介、斎藤 智之
木曽試験地	西山 嘉彦
東北大学	中静 透

要 旨

地震や噴火、土石流などの大規模災害後の山間地域を管理する上で、被害跡地での森林回復に関する情報は重要です。そのため、1984 年の長野県御岳山の山崩れ跡地で継続的に植生遷移を調べています。これまでの観測から、森林植生の回復の速さには標高や表層土の残存が大きく関わること、回復工法としての人工播種には災害直後の土砂流出防止効果が期待できるものの、自然植生に対する影響が数十年続くことがわかりました。これらのことから、大規模災害後に森林を復旧させるには、標高帯や土壌条件による管理区分や、長期的な検証の体制を組み込んだ森林回復工法の選択が必要です。

求められる大規模災害後の森林回復の情報

大きな地震や噴火、台風などの災害は、大規模な森林破壊を引き起こします。破壊された森林の植生回復には何年くらいかかるのか、回復の鍵になる要因は何か、回復工事は自然生態系に対してどのような影響があるか、などの情報は、被害にあった山間地域を管理してゆく上で必要ですが、大規模災害自体がめったにないため、その様な研究は非常に少ないのが現状です。

そうした中、長野県の「御岳山崩れ」の跡地は、大規模災害後の森林回復の様子を知る上で貴重な事例です。1984 年の長野県西部地震によって発生した岩屑流（がんせつりゅう）* は、御岳山頂付近（約 2500m）からふもと（約 1000m）に至る森林を破壊しました。そこで、私たちは御岳山崩れの翌年から植生遷移を継続的に調査することで、大規模災害後の森林回復について検討しました（図 1）。

御岳山における森林回復の実態

これまでの観測から、御岳山の森林回復には標高や表層土の残存状態が大きく関わっていることがわかってきました。例えば、植被率（地面が植物で覆われる割合）でみた場合、標高 1100m では、森林破壊の 10 年後にはほぼ 100% に回復しました（図 2 の赤線）。それに対して、標高 2000m では 25 年たっても 80%（図 2 の青線）、さらに同じ標高 2000m でも表層土の堆積がない場所では 40% にとどまっていた（図 2 の水色線）。また、樹木の回復の指標として、森林破壊から 25 年たった林

分材積（それぞれの樹木の体積の合計値）をみた場合、標高 1100m ではハンノキ類やヤナギ類の旺盛な成長のおかげで、森林破壊前の 15～270% まで回復しましたが、標高 2000m では 0.5～7% にとどまっていました。

ところで、標高 1600m 付近では、土砂流出防止のための植被の早期回復工事として、外来種である牧草類の人工播種（種まき）が広域に行われました。この播種には、初期の植被率回復促進に対して一定の効果がみとめられましたが、在来植物の侵入・成長を遅らせていました。牧草類は播種から 25 年後にようやく減り始めたので、在来植物が回復するには早くても 30 年はかかりそうです。長期的に見ると、牧草の播種は、在来植生の回復には役立たないと考えられます。

成果の活用

以上のように、森林植生の回復には標高や表層土の残存が大きく関わること、牧草類の人工播種は初期の土砂流出防止効果が期待できる一方、自然植生に対する影響が数十年続くことがわかりました。これらの結果から、森林植生の回復には標高や土壌条件を考慮することが重要であり、また森林回復工法の選択には長期的な視野と検証が必要といえるでしょう。四半世紀におよぶこの植生遷移研究は、森林植物の分布要因や更新動態に関する学術的価値があるだけでなく、自然生態系に配慮しながら大規模災害後の森林管理手法を探る上で、重要な基礎情報として活用が期待されます。



山崩れから2 年後

15 年後

25 年後

図1 御岳山崩れ跡地の全景写真

御岳山崩れ跡地中心を流れる伝上川の中流部（上）と、その上部の田の原（下）における植生の変化を示した。

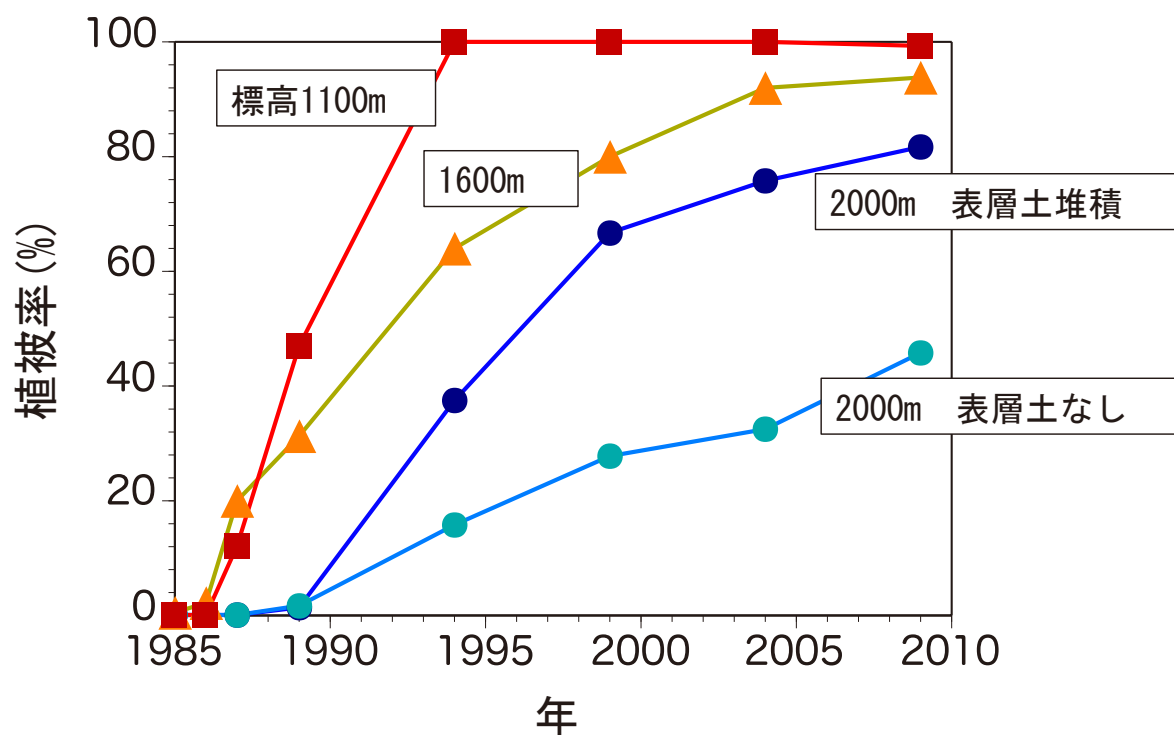


図2 標高と表層土による植被率回復の違い

標高が高いほど植生の回復は遅れる。表層土が消失した場所では回復はさらに遅れる。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

自然攪乱が北限のブナの分布を広げた

北海道支所
北海道教育大
十日町市立里山科学館

松井 哲哉、倉本 恵生
並川 寛司、後藤 亮太
小林 誠

要 旨

地球温暖化に伴い北海道の北限のブナへの影響が心配されています。自生するブナの北限は、北海道渡島半島の付け根にある黒松内周辺域です。ブナ分布前線である三之助沢で行った植生調査の結果や、年輪から測定した樹齢に基づいてこのブナ林の成立過程を推定しました。その結果、ブナは約 200 年前から調査地域に侵入を開始し、地すべりや台風などによる地形の変化や森林の破壊（自然かく乱）を絶好の機会として、徐々に分布を拡大してきたことがわかりました。したがって、現在孤立して点在する最前線のブナ林も、長い時間ののちには自然かく乱を経て、連続したブナ林となる可能性があります。

背景・目的

ブナの自生分布の北限が北海道渡島半島の黒松内周辺域にあることは古くから知られています。一方、地球温暖化による北限のブナ林への影響が心配されています。しかし、この北限のブナ林の正確な位置や規模、成立のメカニズムなどについてはよくわかっていませんでした。ブナは他の樹種に比べて開葉が早いいため、開葉時期に撮影した空中写真から容易にブナ林の位置を知ることができます。そこで空中写真の判読と現地踏査を行い、分布最前線に点在するブナ林の場所と規模を明らかにしました。その一つである三之助沢上流部のブナ林（標高 350～510 m）は、60 年前の文献記録（ブナは約 50 本）よりもはるかに大規模なブナ林であることがわかりました（図 1）。そこで三之助沢ブナ林（仮称）がどのように成立したのか、その過程を解明することを目的として現地調査を実施しました。

過去のブナの分布拡大

調査区内には樹齢 120 年以上のブナは数が少なく、点在しており、最大樹齢でも 200 年程度でした。一方、樹齢 80 年～120 年のブナは、地滑り跡と考えられる、斜面傾斜が変化して急になる場所（押出し域）を中心に分布していました（図 2）。また、80 年以下の若いブナは調査地全域に一樣に分布しており、中でも 60～70 年程度のブナが最も多いこともわかりました（図 3）。倒木の組織切片から樹種判別した結果、過去にはカバノキ類やナラ類が多かった森林が、徐々にブナの密度が高い森林に変化してきたことが明らかになりました。

現地の地形を見ると、過去に大規模な斜面崩壊（図 1 の青い実線内）や地すべりが起こったことがわかります

（図 2 の押出し域）。また、1956 年には、北海道に大規模な被害を起こしたことで有名な洞爺丸台風がこの地域の森林にも被害を与えたことが知られています。

これらのことから三之助沢では（1）ナラやカバノキを中心とする森に単木的にブナが侵入、（2）その後の地滑りや洞爺丸台風などによる森林へのかく乱を契機としてブナが徐々に増加、（3）現在のようなブナ林に変化してきた、と考えられます（図 3）。

北限のブナ林の現在と将来

三之助沢ブナ林をはじめ、分布最前線のブナ林は 2～4 km の間隔で互いに孤立しており、周囲にはブナを欠く落葉広葉樹林が広がっています。しかし今後は、長い時間をかけてこれらブナの孤立林と間の森林にもブナの種子を動物が運び込むことによってブナが侵入し、かく乱などを契機に本数を増やしながら、最終的には連続したブナ林へと変化していくのかもしれない。気候変動のみがブナの分布を決めるわけではないことがわかりました。

この成果は、北限域におけるブナの生態の解明、北海道のブナ林保全計画づくりという観点から広く利用されることが考えられます。

本研究は「予算区分：科研費、課題名：ブナ天然林北進最前線における分布拡大過程の解明（H21～23）」による成果です。

詳しくは：Namikawa, K., et al. (2010) Plant Ecology 207: 161-174. をご覧ください。

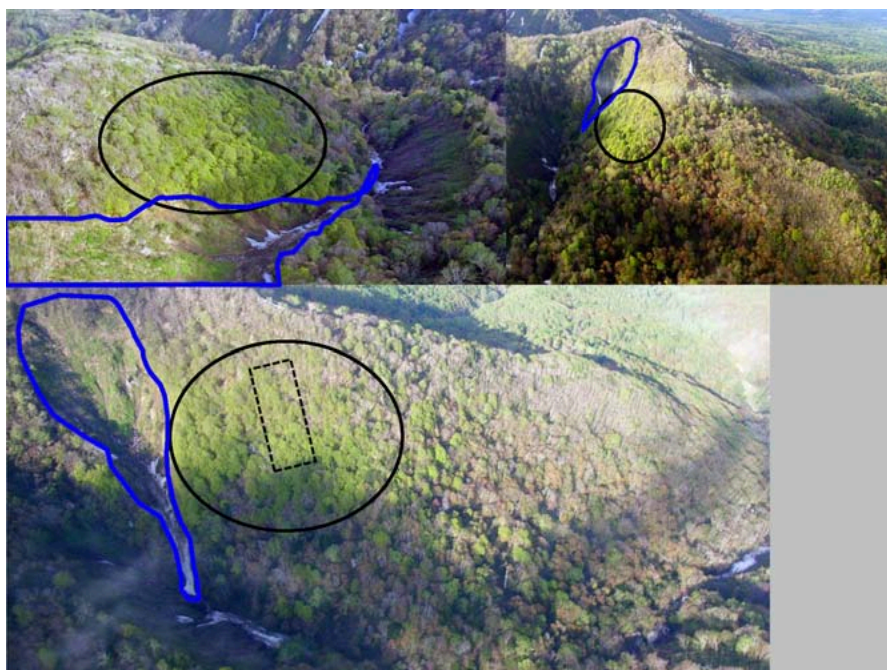


図1：上空3方向から見た開葉期の三之助沢ブナ林

ブナは他の樹種よりも早く開葉するため周囲よりも緑がきわだって見える。楕円で囲った部分がブナ林で、点線で囲った長方形が調査区のおよその位置。青い実線で囲った部分は斜面崩壊のあった場所。撮影日時は2010年5月28日。

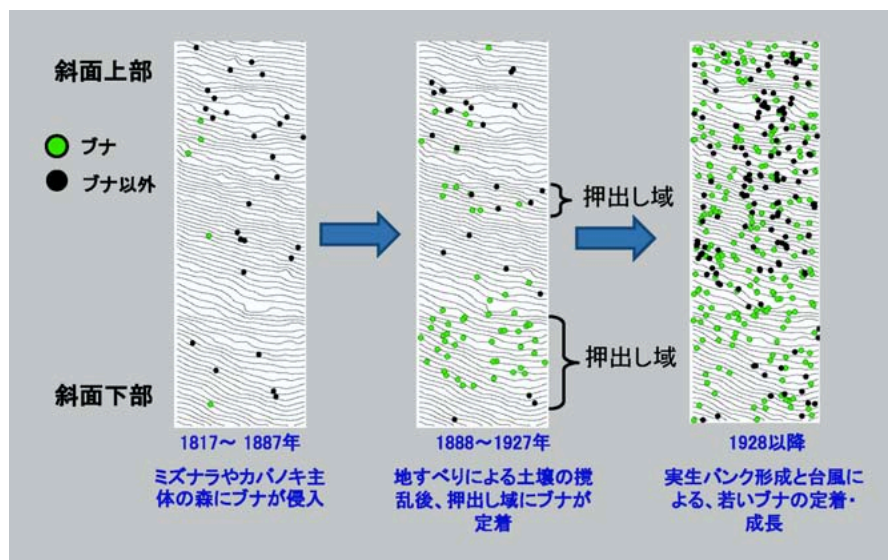


図2：三之助沢ブナ林におけるブナの分布拡大過程

調査区内のブナの位置は緑点、それ以外の樹種は黒点。地すべりや台風による攪乱の後にブナは増加した。斜面の等高線が一度広がり（傾斜が緩くなり）、それから急に狭まる（傾斜が再び急になる）部分が押し出し域。押し出し域では土壌が動いたことによって林冠木が倒れ、そこにブナが侵入したと考えられる。調査区のおよその大きさは150m x 50m。

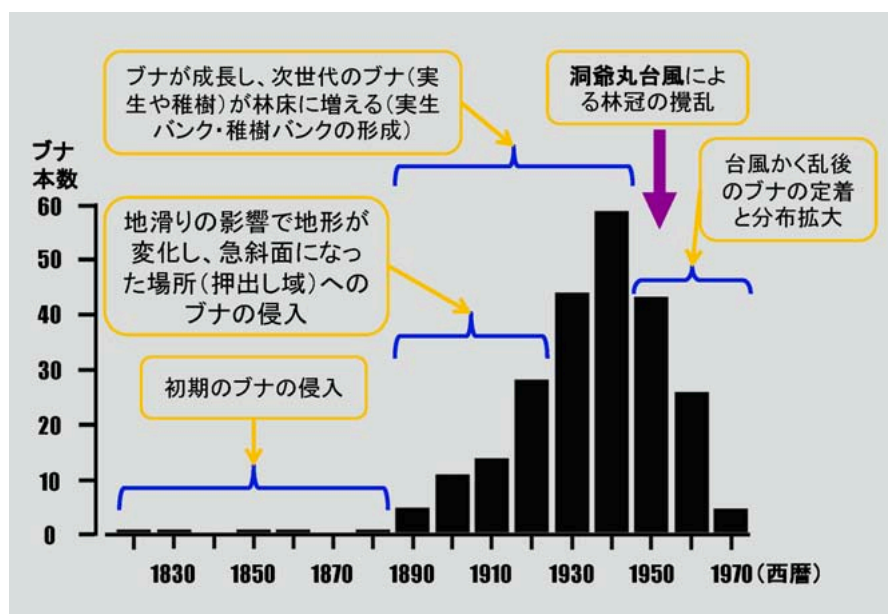


図3：時系列で見た三之助沢ブナ林におけるブナの侵入過程

調査区内のブナは、1890年頃から徐々に増加し、ブナの実生や稚樹の数が増えた頃に洞爺丸台風が来て林冠を攪乱し、その後でブナは大きく成長したのだろうと考えられる。その後はブナが育つとともに林冠が閉鎖し、光が地面に届きにくくなったために若いブナの本数は減ってきた。

第二世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種を開発

林木育種センター九州育種場

倉本 哲嗣、大平 峰子、松永 孝治

要 旨

これまでマツノザイセンチュウに強い抵抗性を持つクロマツ品種の開発に取り組んできましたが、より強い品種の開発が望まれていました。そこで、これまでに開発した品種同士を交配して子供を育成し、より強い病原力のマツノザイセンチュウを接種するなどして検定を進めた結果、これまでのものよりも格段に高い生存率を示す、健全な第二世代品種が開発できました。

松くい虫によるクロマツ林の被害

クロマツは海からの潮風に強く海岸部の環境によく適応できることから、古くから飛砂や潮害を防ぐための海岸林の造成に利用され、人々の生活や田畑を守ってきました。しかし、北海道を除く日本各地のクロマツ林で、一般に「松くい虫」と呼ばれる「マツ材線虫病」による被害が確認されており、クロマツ林が持つ防風、飛砂防止等の機能が損なわれるばかりでなく、景勝地のクロマツ林にも被害がおよび、景観を損なうなど、各種公益的機能の低下をきたしています。

松くい虫対策としての抵抗性クロマツ品種の開発

このマツ材線虫病による被害は、マツノザイセンチュウがマツの樹体内に侵入し繁殖することで生じることから、昭和 53 年からマツノザイセンチュウに強い抵抗性を持つクロマツ品種の開発に取り組んできました。九州地方では既に 42 品種が開発されており、その種子を利用して抵抗性クロマツ苗が供給されています。これまでの抵抗性品種（第一世代品種）は、被害を受けたマツ林の中で健全に生き残っていた個体を候補木として収集し、マツノザイセンチュウを人工的に接種し、被害が出ない

ものを選抜することで開発してきましたが、より強い抵抗性品種の開発が望まれていました。

より病気に強い第二世代抵抗性クロマツ品種の開発

これまでの研究から、クロマツの持つ抵抗性に関する能力の 9 割以上が遺伝によるものであること、そして親のもつ抵抗性の能力の 6 割以上が子供に伝えられることが明らかになったことから、抵抗性品種同士を交配した子供群では、抵抗性遺伝子が集積され、より強い抵抗性を持った個体の出現が期待できます。そこで、これまでの抵抗性品種同士を交配して子供を育成し、より強い病原力のマツノザイセンチュウを接種するなどして検定を進めた結果、これまでのものよりも格段に高い生存率を示す健全な品種を、平成 22 年度に全国で初めて九州育種場が開発しました（図 1）。この第二世代品種は、これまでの接種検定では全く枯れないので（図 2）、より強い線虫系統（図 3）を用いた接種検定によって最終的に決定しました。

今後は、さらに第一世代品種同士の交配を進め、第二世代品種の多様性を高めるとともに、第二世代品種のクロマツ苗の供給に取り組んでいきます。

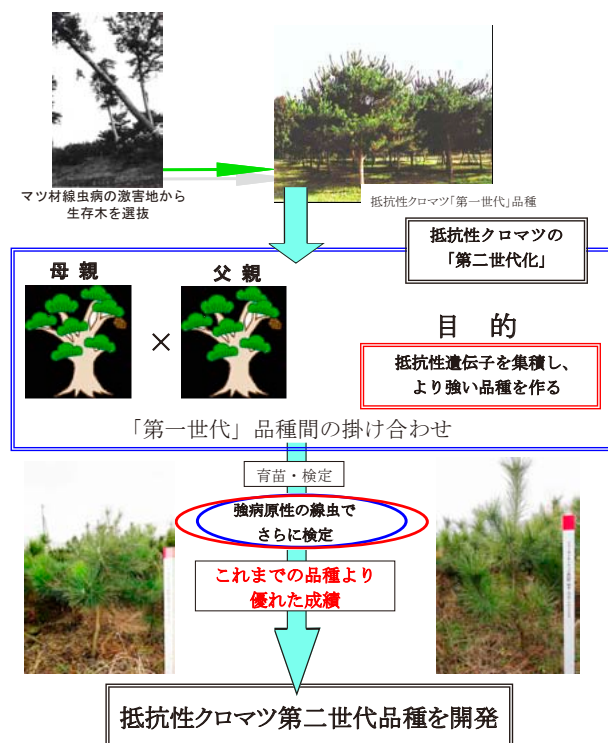


図1. 抵抗性クロマツ品種の第二世代化の流れ

野外から選抜してきたマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツを交配した子供から、より強い病原力のマツノザイセンチュウを接種するなどして検定を進めた結果、これまでのものよりも格段に高い生存率を示す、健全な品種が開発できた。

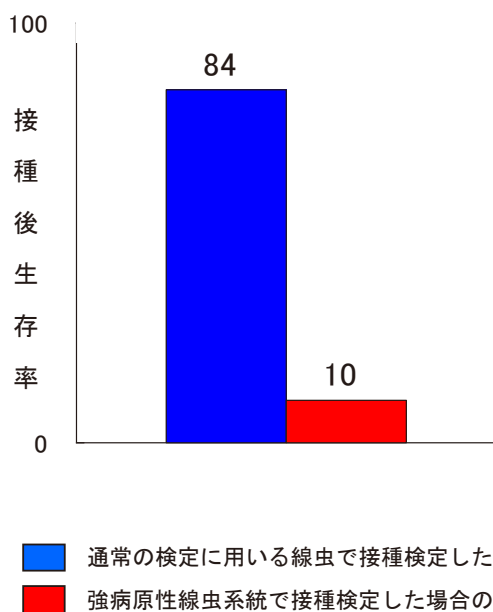
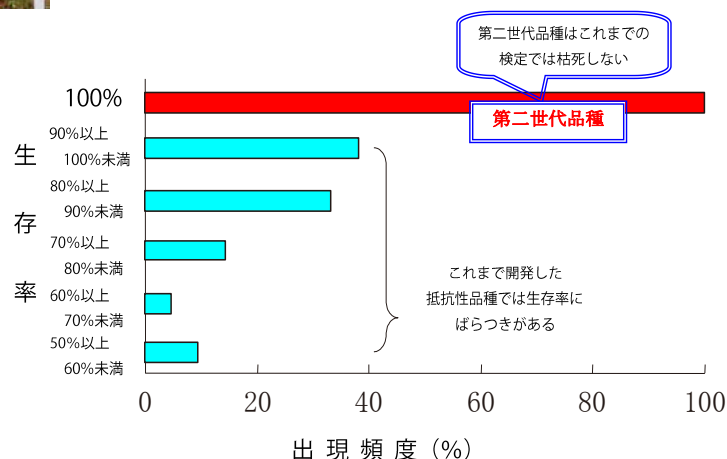


図2. 第一世代と第二世代の抵抗性クロマツ品種の検定結果

通常の検定に用いる線虫で接種検定した場合の第一世代品種と第二世代品種の生存率を示す。第二世代品種では全く枯死や衰弱が生じなかった。

図3. 第二世代品種を決定する際に使用した強病原性線虫系統の病原力

6家系の抵抗性クロマツ実生苗に対し、通常の検定に使用している線虫系統で接種検定した場合の生存率と強病原性線虫系統で接種した場合の生存率を示す。この強病原性線虫系統を使用し、より強い選択圧によってより強い第二世代品種が選抜できたと考えられる。

ケヤキの遺伝的多様性

林木育種センター遺伝資源部
林木育種センター育種部

矢野 慶介、高橋 誠、岩泉 正和、宮本 尚子
武津 英太郎、渡邊 敦史

要 旨

国内各地に分布するケヤキの遺伝的多様性を明らかにするため、ケヤキ天然林から試料を採取し、遺伝マーカーに葉緑体 DNA と核 DNA を用いてその地理的分化パターンを解明しました。その結果、葉緑体ハプロタイプは紀伊半島から北陸を境に東西で遺伝的系統が顕著に異なり、特に近畿以西では多様な系統が見られました。

一方、核 DNA では近畿以东の日本海側とそれ以外の地域で遺伝的組成が異なり、中国・四国以西では遺伝的分化が少ないという葉 DNA とは異なるパターンが得られました。今回得られた成果が地域固有の遺伝的多様性に配慮した植栽やきめ細かい林木遺伝資源保存などに活用されることが期待されます。

身近な広葉樹ケヤキ

ケヤキは北海道を除く国内各地に天然分布しています。公園の緑化木や並木としても利用され、人々に親しまれている樹木の一つです。神社・仏閣などの大径木の中には天然記念物に指定されているものも多数あります。また、ケヤキの材は優良で、柱材のほか、家具や椀、盆などにも用いられます。このようにケヤキは身近な広葉樹の一つです。

DNA 分析により明らかにしたケヤキの遺伝的多様性

ケヤキなどの樹木は、他の生物同様、何万年、何十万年というタイム・スケールの進化の歴史を経て現在の姿に至っています。ケヤキのように分布域の広い樹種では、地域により遺伝的に異なっていることが考えられます。生物多様性の保全にあたっては地域固有の遺伝変異を保全することが重要で、そのためにはケヤキ天然林の遺伝的多様性がどのようにになっているかを把握する必要があります。そこで、国内各地のケヤキ天然林の遺伝的多様性を調査しました。

遺伝情報をつかさどる DNA のほとんどは細胞の核内にあります。SSR という遺伝マーカーを用いて核 DNA の遺伝的多様性を調査しました。解析の結果、核 DNA の遺伝変異からみた時、ケヤキは 5 つの遺伝的系統（クラスター）から成り、地域によってクラスターの構成比が異なり、遺伝的組成の違いから大きく 3 地域に区分的に分けられることが明らかになりました（図 1）。

葉緑体は光合成を行う細胞内小器官ですが、葉緑体の中にも少量の DNA が含まれます。葉緑体 DNA は広葉樹

などの被子植物では一般に種子親のみから種子へと遺伝する（母性遺伝）ことが知られていて、葉緑体 DNA の遺伝的な違いを調査することにより、種子散布によって異なる遺伝的系統がどのように拡散してきたかを知ることができます。

核 DNA は花粉親と種子親からそれぞれ 1 セットずつ遺伝情報をひき継ぐので二倍体になっていますが、葉緑体は種子親のみから遺伝情報を 1 セットだけひき継ぐので半数体（ハプロイド）となっています。そのため、葉緑体 DNA の異なる遺伝的タイプをハプロタイプと呼びます。

葉緑体 DNA のハプロタイプを調べた結果、11 のハプロタイプが認められました（図 2）。ハプロタイプの分布は近畿以东では遺伝的に類似したハプロタイプが広く分布しているのに対し、近畿以西の中国、四国、九州では遺伝的に異なる複数のハプロタイプが入り組んで分布していることが分かりました（図 3）。

遺伝的多様性に配慮した植栽や遺伝資源の保存

葉緑体 DNA のハプロタイプは紀伊半島から北陸を境に東西で遺伝的系統が顕著に異なり、特に近畿以西では多様な系統が見られたのに対し、核 DNA では近畿以东の日本海側とそれ以外の地域で遺伝的組成が異なり、中国・四国以西では遺伝的分化が少ないという異なるパターンが得られました。今回得られた成果を活用することにより、地域固有の遺伝的多様性に配慮した植栽やきめ細かい林木遺伝資源の保存などが推進されることが期待されます。

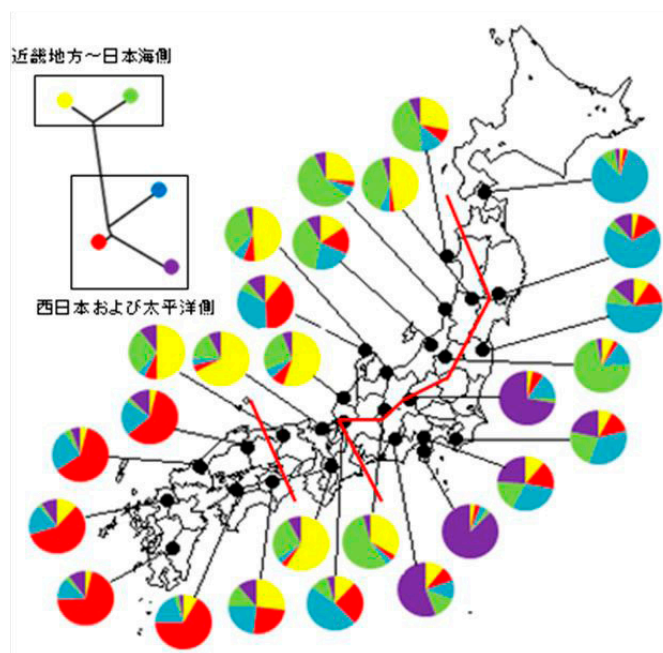


図1 ケヤキ天然林集団の遺伝的組成

円グラフの異なる色は異なる遺伝的系統（クラスター）を表す。5つのクラスター間の関係をネットワーク図（左上）で表した。離れたクラスターは遺伝的に異なっている。地図上の赤線は遺伝的組成が急激に変化している地域を表している。

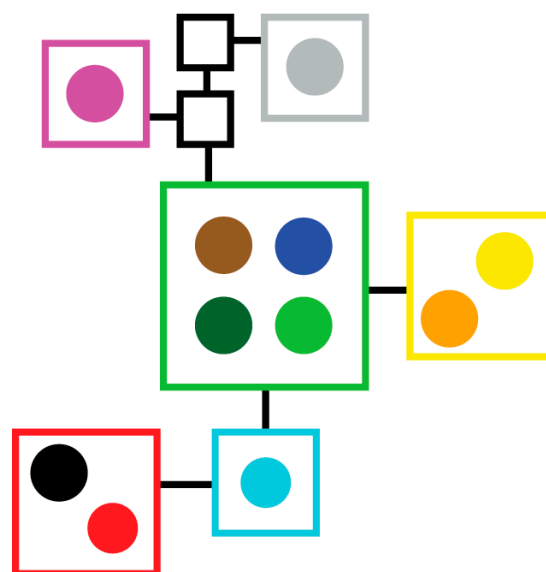


図2 11のハプロタイプの関係を表したネットワーク図

異なる色の●印は異なるハプロタイプを表す。同一の四角内のハプロタイプは遺伝的に極めて類似していることを表す。ネットワーク図上で位置の離れたハプロタイプほど遺伝的に異なっている。

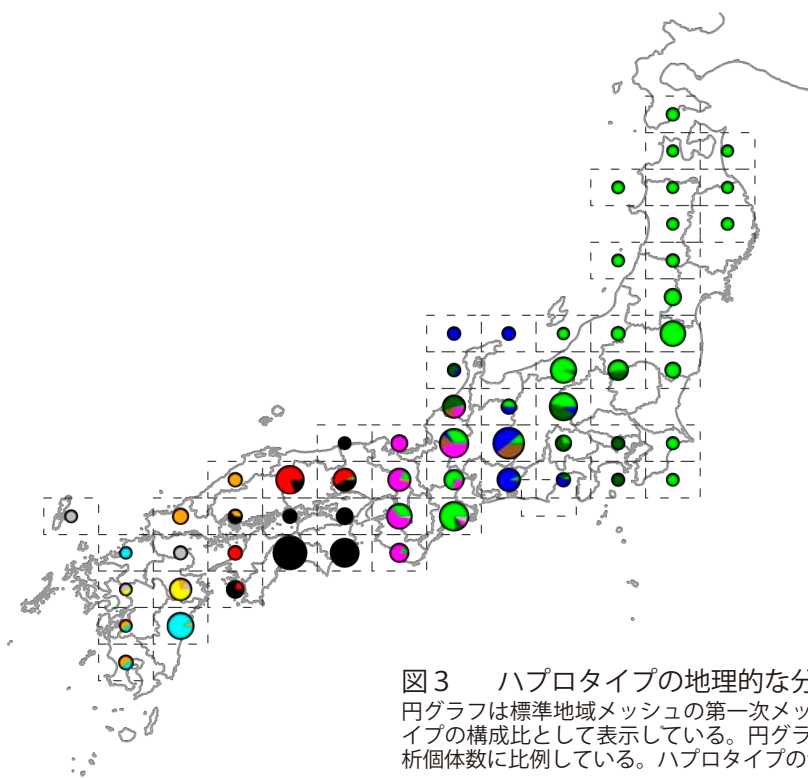


図3 ハプロタイプの地理的な分布パターン

円グラフは標準地域メッシュの第一次メッシュ（約80km四方）ごとのハプロタイプの構成比として表示している。円グラフのサイズは、各一次メッシュでの分析個体数に比例している。ハプロタイプの色は図-2と同一の配色を用いている。

アカシア属の育種技術マニュアルの作成 ー人工交配による効率的なアカシア・ハイブリッドの創出方法ー

林木育種センター海外協力部西表熱帯林育種技術園
林木育種センター育種部

加藤 一隆
千吉良 治

要 旨

アカシア属の中のアカシア・マンギウム (*Acacia mangium*) とアカシア・アウリカリフォルミス (*A. auriculiformis*) の2種を交配したアカシア・ハイブリッドは、両親の優れた形質を有しているため、最近では熱帯地域において植栽面積が増大しています。しかしながら、今までに具体的な人工交配方法を記述したマニュアルが作成されていませんでした。そこで森林総合研究所では、新しく改良した人工交配方法の手順について詳しく解説するとともに、より確実かつ効率的に交配を実施するため、事前に解明しておくべき事項や行わなければならない作業など、優良なハイブリッドを創出するために必要な事項を網羅的に解説したマニュアルを作成しました。

アカシア・ハイブリッドの人工交配方法

現在植栽されているアカシア・ハイブリッドは、自然交配由来の系統だけです。したがって、人工交配によって遺伝的に改良を加えればさらに優良なハイブリッドが創出される可能性があります。人工交配方法には、花序同士を直接こすり合わせる方法（直接法）、チューブ内に花粉を付着させ別の花序に挿入する方法（チューブ法）、及び筆に花粉を付着させ別の花序に擦りつける方法（筆法）の3通りが知られています。しかしながら、どの方法でも交配の結果得られる種子数は非常に少なく効率的であるといえませんでした。そこで、チューブ法に改良を加えてより効率的でしかも簡単に貯蔵花粉を使用できる方法を開発しました。

人工交配を効率的に行うための解明すべき事項及び作業

人工交配を効率的に行うためには、個体ごとの着花習性が一致しているかどうかを明らかにすること、またお互いの花期が一致しない場合には最初に開花した個体の花粉を貯蔵する必要があるため、花粉の発芽能力が低下しない最適な貯蔵方法を開発すること及び交配作業時間を短縮できる方法を開発することが重要です。そこで樹種やクローンごとの着花調査を行い、樹種間でもクロー

ン間でも着花時期に大きな相違がみられること、また花粉を十分乾燥させー18℃で貯蔵した場合には、貯蔵1年後でも十分な発芽能力を保持していること、さらに成長抑制物質の葉面散布により樹型をコンパクトに誘導して交配作業時間を大幅に短縮できることを明らかにし、これらの方法についてマニュアルの中で詳しく解説しました。

改良した効率的な人工交配方法の手順

人工交配の実施に先立って、まず一日の中で交配に適した時間帯、花粉採取における留意点、そして交配に用意するものについて解説しています。次に、花粉の採取方法、花粉の貯蔵方法、人工交配の方法、その後の種子の採取時までの管理方法の手順を詳しく解説しています。さらに、参考として森林総合研究所で行われた人工交配の結果得られた莢数や種子数のデータ及びDNA分析によるハイブリッドの確認方法も解説しています。

本マニュアルは、森林総合研究所、越井木材工業株式会社及び九州大学との産学官による共同研究の成果を活用して作成しました。

アカシア・ハイブリッドの人工交配方法の実例



直接法

簡単な交配手法であるが貯蔵花粉を使用することはできない



チューブ法

チューブ内により多くの花粉を付着させるのが課題であった



筆法

筆に付着させる花粉数に限界があり貯蔵花粉も使用しにくい

塩化ビニルチューブを使用することで花粉付着量を大幅にアップ



チューブの内壁に付着した花粉

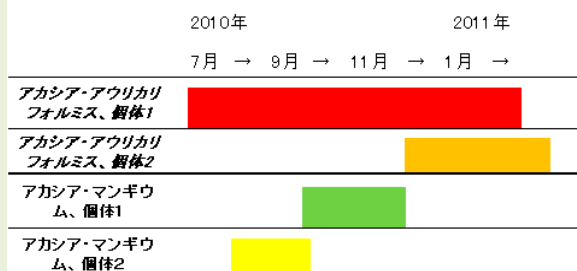
しかもそのまま冷凍貯蔵すれば貯蔵花粉も簡単に使用可能

着花調査の実例



着花状況の調査

個体ごとの着花時期

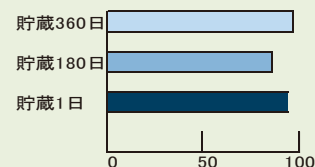


着花時期の個体間変異について解説

花粉の貯蔵試験の実例



発芽(花粉管伸張)の調査



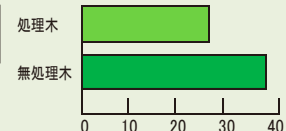
貯蔵期間(0~360日)による花粉の発芽率(%)の変動

貯蔵方法改良による発芽率の維持について解説

樹型誘導試験の実例



処理後(左)の樹型



処理1年後の枝の伸長量 (cm)

処理による伸長量30%抑制について解説

改良した人工交配方法の手順の実例



チューブ内に取り込まれた大量の花粉(冷凍保存)



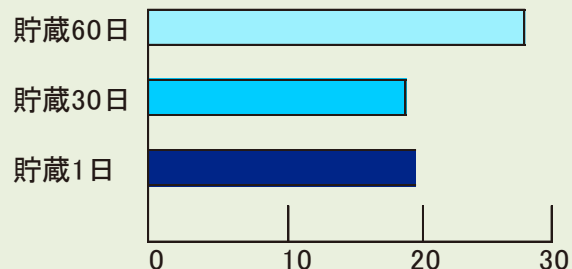
花粉の付着したチューブを花序に挿入して交配の完了(1回の交配はおよそ10秒)



交配後、大量に形成された莢



種子の形成



貯蔵花粉(0~60日)による人工交配の結果得られた発芽能力のある種子数

改良した交配方法では、花粉の貯蔵日数に関わらず多くの種子が得られることについて解説

用語解説

コンパウンド (P12)

木粉とプラスチックを加熱下で混ぜ合わせて成型したもの。木材・プラスチック複合材の製造において、コンパウンドを押出成型機あるいは射出成形機に入れて製品を製造する。

連続射出成型 (P12)

木材・プラスチック複合材はコンパウンドを成形機に入れて製品を成型するが、射出成型はコンパウンドを加熱して流動性を持たせ、これを任意の型に一気に噴射して製品を成型する。射出成型は同一の製品を大量に製造することに適しており、射出して成型する操作を数千回繰り返すことが必要であり、このように連続して大量の製品を成型することを連続成型という。

生物多様性条約締約国会議 (P18)

1993年に発効した生物多様性条約を締約した国々が2年に1回開催する会議（通称CBD/COP）。CBD/COP10は日本が議長国となり、2010年に名古屋市で開催された。

リビングブラネットインデックス (P18)

長期にわたる地域的な生物の個体数、種数、巣の数などの情報を基に、生物多様性の変化を図示するための指数。生物多様性条約事務局が発行するグローバリ・バイオダイバーシティ・アウトLOOK（通称GBO）でも使われた。

集合フェロモン (P20)

同種の個体を集める働きを持つ情報化学物質のこと。カシノナガキクイムシの場合、木の防御に打ち勝つために集団で攻撃した方が有利であり、そのために集合フェロモンで仲間を集めると考えられている。

安定同位体比 (P22)

通常の原子より中性子が多く、その分重く放射能を持たない原子を安定同位体という。そして、ある物質の中での通常の原子に対する安定同位体の存在比を安定同位体比という。安定同位体比は生物の種類ごとにほぼ決まっており、ある動物の体組織の安定同位体比は、その動物の食物の安定同位体比を反映している。

地すべり性崩壊 (P26)

山地の比較的深いところから、大雨や地震によって斜面が地すべりのように大規模に崩れる現象。

テクノストレス (P28)

パソコンやコンピュータゲーム、インターネットなどデジタル技術の過度の使用・依存等によるストレスが原因となり、心身に支障をきたすこと。

副交感神経活動 (HF) (P28)

主として夜間の就寝時に働く神経活動で、リラックスすると高まる。その結果、心拍がゆっくりになり、血管が拡張し血圧は低下する。

旧来の林業・木材経営システム (P40)

森林の所有規模が零細で生産・流通・加工が小規模・分散的・多段階にわたるような旧来の林業・木材経営をさす。

新しい林業・木材利用システム (P40)

私達はこれを「実需対応型の大ロット木材供給システム」と呼んでいる。この新システムの主な構成要件は、団地化された森林経営、高生産性（低コスト）の育林・伐出システム、素材の山元から工場への直送システム、大型加工工場、プレカット工場経由でのハウスメーカーの大ロット乾燥材需要への対応からなる。

かかり木 (P44)

伐倒した木が他の立木にかかって倒れない状態になること。不適切な処理により、年間5～11件の死亡災害が発生している。

列状間伐 (P44)

集材架線に沿った1列あるいは2列の立木を伐倒すること。生産性が高いため、スイングヤードで一般的に用いられている。

中央垂下比 (P44)

集材架線の中央部のたるみ量をその水平距離で除した値。値が小さいほど集材架線の緊張度が高い。一般的には、0.03～0.07程度の値で使用する。

荷はずし (P44)

集材架線で運んできた伐倒木を、スイングヤードの近くの場所ではずすこと。スイングヤードでは、一般的にそのオペレータが荷はずし作業を行う。

心持ち材 (P58)

断面の中に髄と呼ばれる樹木の中心、すなわち年輪の中心を含む製材。

解像度 (P60)

広域を対象に研究を行う際に、広域をマス目状に区切って取り扱う事が多く、その際のマス目の大きさ。

純一次生産量 (P61)

植物の光合成量を表す指標の一つ。植物の光合成による炭素の取り込みから、植物の呼吸による炭素の放出を差し引いた植物による実質的な炭素の取り込み量。

岩屑流 (P66)

噴火や地震に伴う震動によって、大きく崩れた火山の山体が高速で斜面を一気に流れ下る現象。岩屑なだれとも呼ばれる。

表紙写真

- 1 ジベレリン合成酵素遺伝子を用いたポプラの成長促進
(P.50 遺伝子組換え技術を用いてポプラの成長を制御することに成功！)
- 2 朽木で越冬しているキイロスズメバチの女王
(P.64 スズメバチの手強い寄生天敵スズメバチタマセンチュウ ー寄生されるハチの種類と国内分布が明らかに)
- 3 「心持ち材」の乾燥後に表面が割れた様子
(P.58 木材表面の微小変形(ひずみ)をとらえて、スギ「心持ち材」を割れなく乾燥する方法)
- 4 釘側面抵抗試験
(P.34 接合部の経時的な劣化を評価する)
- 5 ヒノキのめり込み試験の様子
(P.32 超音波を使って木材のめり込み強さを推定する)
- 6 ポプラ単板の工場(山東省)
(P.38 中国の森林、林業、木材産業～その姿と日本への影響～)
- 7 林業バイオマスの圧縮運搬作業
(P.14 林業バイオマスを効率的に集めて運ぶ機械の開発)
- 8 甲賀市で出土した、斧による伐採痕の残る飛鳥時代のスギ大径材
(P.30 持続的な森林資源管理を成り立たせる条件は?)
- 9 リターと土壌の調査
(P.6 森林の枯死木、リター、土壌の炭素蓄積量の全国調査)
- 10 多摩森林科学園のサクラ保存林
(P.52 DNA解析により桜の伝統的栽培品種を識別する)
- 11 激しいナラ枯れ被害を受けた森林
(P.20 ナラ枯れの被害を予測し、早めに叩く)
- 12 急傾斜地での施工例
(P.42 急傾斜地に森林作業道をつくる)

裏表紙の写真：ハイパー木質ペレット
(P.16 高性能な木質バイオマス燃料
「ハイパー木質ペレット」を製造する)



森林総合研究所

平成 23 年版 研究成果選集

発行日	平成 23 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	筑波印刷情報サービスセンター協同組合 茨城県土浦市大畑 565-2 電話 029 (862) 5027 (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23年版

研究成果選集

2011

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/>

