

令和2年版

研究成果選集

2020



国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

はじめに



林総合研究所は、森林・林業・木材産業・林木育種に係わる研究を通じて、豊かで多様な森林の恵みを生かした循環型社会の形成に努め、

人類の持続可能な発展に寄与することをミッションとし、

日本と世界の森林問題にかかわる総合的な研究開発を担っています。

平成28年3月には5年間の中長期計画を定め、森林の多面的機能の高度発揮に向けた

森林管理技術の開発、国産材の安定供給に向けた持続的林業システムの開発、

木材及び木質資源の利用技術の開発、森林生物の利用技術の高度化と林木育種による

多様な品種開発及び育種基盤技術の強化を重点課題として取り組んでいます。

「令和2年版研究成果選集」では、これら重点課題を構成する以下の9つの戦略課題において令和元年度に得られた主要な研究成果をとりまとめました。

- 森林生態系を活用した治山技術の高度化と防災・減災技術の開発
- 気候変動の影響評価技術の高度化と適応・緩和技術の開発
- 生物多様性の保全等に配慮した森林管理技術の開発
- 持続的かつ効率的な森林施業及び林業生産技術の開発
- 多様な森林資源の活用に対応した木材供給システムの開発
- 資源状況及びニーズに対応した木材の利用技術の開発及び高度化
- 未利用木質資源の有用物質への変換及び利用技術の開発
- 生物機能の解明による森林資源の新たな有効活用技術の高度化
- 優良品種等の開発と育種基盤技術の強化

目次に表題と概要を掲載するとともに、本文では研究成果ごとに見開きで解説しております。

できるだけ平易な言葉を用いるように努め、専門用語につきましては解説を付けました。

また、地球規模の問題解決への貢献を示すために、国連が定めた17の持続可能な開発目標（SDGs）のどれに該当するのかを、研究成果ごとにアイコンで示しました。

この研究成果選集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2020年7月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 所長 浅野(中静)透



INDEX

重点課題ア 森林の多面的機能の高度発揮に向けた森林管理技術の開発

ア 森林生態系を活用した治山技術の高度化と防災・減災技術の開発

- 津波に“ねばり”強い海岸林の再生に必要な生育基盤の整備 04
津波で被災した海岸林の再生で整備された生育基盤（盛土）について、植栽木の生育を阻害する土壌要因を明らかにし、“根張り（ねばり）”を形成するのに必要な生育基盤の整備方法を示しました。
- 樹冠の状態によって変わる森林の中で雨の降り方をレーザーセンサで解明 06
世界3カ国、12樹種の森林で測定した世界最多の雨滴データの解析により、森林の中で降る雨の生まれ方が、針葉樹と広葉樹、葉の有無、樹冠の濡れ具合によってどのように変化するかを明らかにしました。
- 日本の民有林における干害被害の長期推移と地域性 08
統計資料を用いて、日本の民有林で報告された干害被害の長期推移や、林齢別・樹種別・都道府県別での干害被害の動向とその差異を明らかにしました。
- 森林内での放射性セシウムの動きを予測する 10
東京電力福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性セシウム（セシウム137）の動きについて、事故以降の観測データを使ってモデル解析した結果、森林の中ではすでに平衡状態に近づいていることがわかりました。

イ 気候変動の影響評価技術の高度化と適応・緩和技術の開発

- 亜寒帯林の炭素蓄積過程に林床のコケや地衣類がおよぼす影響を解明 12
アラスカのクロトウヒ林において、林床を覆うコケや地衣類の被覆状況の場所による違いが、林床からの二酸化炭素放出量や生態系全体の炭素蓄積過程に影響をおよぼしていることを明らかにしました。
- 民間のREDDプラスの取組みを政府が適切に評価するための手法を開発 14
民間のREDDプラスプロジェクトによる温室効果ガス排出削減の取組みを推進するため、プロジェクト活動の成果を国全体の成果と整合性を保った上で評価する手法を開発しました。

ウ 生物多様性の保全等に配慮した森林管理技術の開発

- 森林のもつ10種類の多面的機能を評価し、その変遷をたどる 16
森林のもつ10種類の多面的機能を林相や林齢、気候や地形などから評価するモデルを開発し、過去から現在への機能の変遷を地図化しました。この手法により森林管理の影響を広域的に評価することができます。
- 造林地のシカ密度に応じた防除資材の選択基準を明らかにしました 18
シカ密度が5頭/km²未満の造林地では忌避剤で幼齢木の被害を防ぐことができますが、それ以上の密度では防鹿柵の設置が必要です。さらに防鹿柵の効果を高めるネットの材質、形状と張りかたを明らかにしました。

重点課題イ 国産材の安定供給に向けた持続的林業システムの開発

ア 持続的かつ効率的な森林施業及び林業生産技術の開発

- コンテナ苗の根鉢の形成程度を簡単に評価できる方法を開発しました 20
スギコンテナ苗の根鉢の崩れやすさと抜き取りにくさを、簡単な方法で客観的に評価する手法を開発しました。これらの根鉢の性質は、苗木の高さより根元の太さと強い関係にあることを明らかにしました。
- 木のぬくもりあふれる寝室で良い眠りを 22
働く男女を対象にした睡眠健康調査から、寝室に木材・木質の内装や家具、建具が多いと回答した人は不眠症の疑いが少なく、やすらぎを感じている割合が高いことが明らかになりました。

イ 多様な森林資源の活用に対応した木材供給システムの開発

- 森林管理の担い手としての森林組合の動向と課題 24
森林組合による木材生産が増加する一方で、造林面積は減少し、造林作業を行う労働者は減少しています。今後、皆伐・再造林を進めるには、伐出も造林も行う多技能労働者の育成が必要です。
- 原料投入の工夫で木材チップ製造の省エネルギー化と低コスト化を達成 26
木材チップ製造時になるべく大きい寸法の原料を投入すると、製造エネルギーやコストを低減できることがわかりました。

重点課題ウ 木材及び木質資源の利用技術の開発

ア 資源状況及びニーズに対応した木材の利用技術の開発及び高度化

- 国産早生樹の利用可能性を探る ― 樹種の特徴を知り、使い方を工夫する ― 28
国産早生樹の利活用に向け、基礎的な材質や加工特性に関するデータの蓄積を開始し、樹種や密度によって製材加工条件や使い方を工夫する必要があることがわかりました。
- 国産材CLTの製造コストを半減し施工コストを他工法並みにする技術開発 30
スギ等の地域材を活かすCLTの需要拡大と普及促進のため、CLTの製造と施工時のコストを低減する新たな技術を開発し、コストと環境影響の評価に基づき、コスト低減を実現するシナリオを示しました。

イ 未利用木質資源の有用物質への変換及び利用技術の開発

- セルロースナノファイバーの製造コストを削減する 32
植物を原料とする新素材として注目を集めるセルロースナノファイバーの実用化を進めるために、製造工程を工夫し、製造コストを60%削減することができました。

-
- **木質由来の天然新素材「改質リグニン」を用いた新機能性樹脂材料** …… 34
スギ材から製造した新素材「改質リグニン」を樹脂原料として用いて、これまでは困難であった新たな特性を製品に付与できる材料を創り出すことに成功しました。

- **木材から造る香り豊かなアルコール ―世界初の「木のお酒」を目ざして―** …… 36
木材を原料に、薬剤処理や熱処理なしにアルコールを製造する技術を開発しました。スギ、シラカバ、サクラ、ミズナラを原料に試験製造を行った結果、樹種ごとに風味の異なる香り豊かなアルコールができました。

重点課題Ⅱ 森林生物の利用技術の高度化と林木育種による多様な品種開発及び育種基盤技術の強化

ア 生物機能の解明による森林資源の新たな有効活用技術の高度化

- **スギの成長や材質に関わる遺伝領域を特定し環境要因と遺伝要因の影響を明らかにする** …… 38
環境の異なる3箇所の試験地で育てた139種類のスギクローン苗の形質（成長や材質）を測定するとともに、遺伝情報と形質の関係を解析すると、材質に関する形質は、遺伝要因の影響を強く受けていました。
- **国産トリュフの栽培技術の開発** …… 40
西洋料理の高級食材であるトリュフは、樹木の根に共生して生育するキノコです。その人工栽培に向けて、環境条件を整えた圃場にトリュフ菌を共生させた苗木を植栽し、野外での菌の定着に成功しました。

イ 多様な優良品種等の開発と育種基盤技術の強化

- **遺伝的に多様で優良形質の無花粉スギ品種の開発に役立つリソースを構築** …… 42
花粉が飛散しない無花粉スギ品種の早期開発には、無花粉遺伝子をヘテロで保有する精英樹が数多く必要です。今回全国で明らかになった21のヘテロ個体を活用して、各地で成長の優れた無花粉スギの品種開発が可能になります。
- **スギの実生コンテナ苗を1年で生産するための施肥技術の開発** …… 44
スギの実生コンテナ苗生産には、これまで2年から3年かかっていましたが、施肥の方法を改良することで、1年間の育成で約7割の苗木が出荷できるサイズにまで成長する技術を開発しました。

津波に“ねばり”強い海岸林の再生に必要な生育基盤の整備



東北支所 小野 賢二 森林防災研究領域 野口 宏典

東日本大震災の津波で被災した海岸林の再生に向けて、従来の防災機能に加えて津波の減災機能も発揮させるためには、地中深くまで植栽木の“根張り”を発達させることが重要です。そのため、厚い有効土層を持つ生育基盤（盛土）を造り、そこにクロマツ等の苗を植栽する例が増えています。しかし、初期に造られた生育基盤では、重機の踏圧で土が固くなり、透水性や通気性が低下する等、植栽木の生育への影響が懸念される場面がみられました。そこで、東北各地の生育基盤を調査した結果を踏まえて、「植栽前の基盤の除礫工」や「植栽面に重機を載せない盛土工」等、植栽木が深い“根張り”を形成するために必要な生育基盤の整備方法を示しました。

成果

はじめに

津波で被災した海岸林の再生は、沿岸域の防災機能を担う「多重防御の一翼」という観点から、津波の減災機能も伴うように進められています。具体的には、地盤を嵩上げ（かさあげ）するために盛土し、その厚い土層により植栽木の根が健全に、且つ地中深くまで伸びられるような生育基盤を整備しています。ところが、事業初期に整備された生育基盤の中には、海岸林造成時の重機の踏圧で土壌の透水性や通気性等が低下し、植栽木の活着や生育への影響が懸念され、根系の発達も不十分な例が多く観察されました。本研究では、植栽したクロマツ苗木の十分な“根張り”が期待できる生育基盤の整備のために、生育基盤の土壌物理特性にかかる要因を調査、整理し、適切な基盤整備に必要な留意点を検討しました。

事業初期に造られた生育基盤

海岸林造成工事における生育基盤は、地盤状況に応じて、土壌の採取、運搬、盛土、敷き均し等の手順で造られます（図1a）。工期を短くするために、ダンプやバックホー等の重機を用いるのが一般的です。こうした重機で造られた生育基盤は、土壌が固くなって、透水性や通気性が低下する等、植栽木の生育にはあまり良くない土壌となりやすいことが指摘されてきました。現在、東北の太平洋沿岸部で進められている海岸林再生の工事でも事業初期の施工地で、こうした土壌物理特性（土層内への面的な硬盤形成や地表や土層内への水の停滞等：図2）を示す生育基盤があることが、本研究の調査によって明らかとなりました。これらを改良するには、排水溝の設置や耕起等の土壌改良工を行う必要があります。

適切な生育基盤を造るために必要なこと

通常の土木工事では、盛土工は沈下を防止するため、締め固めるのが一般的でした。しかし、事業初期の事例を教訓に、国や自治体の担当者や工事施工者は工夫を重ね、「締め固めない盛土工」を試行錯誤で実施した結果、良好な施工事例も増えてきました。例えば、岩手県陸前高田市高田松原の事業地では、県の品質管理規格値をクリアするため、通常の作業手順（図1a）に加えて「樹木植栽前の基盤の除礫工」（図1b、図3）を実施しました。これにより、重機

走行により形成された硬盤は破碎され、固結層が基盤内から消滅したこと、それによって植栽後3年のマツの根は最大で1.7mの深さまで侵入したことが本研究の調査から明らかになりました（図4）。同様に、岩手県野田村前浜では、盛土材の搬入から整地までの過程で、植栽面に重機を載せずに、生育基盤を整備する「土を盛ったら植栽面に重機を載せない盛土工」を行ったところ、盛土した基盤全層が柔軟に盛られたことで、根の到達深も1m超に達していました。

以上のことから、「樹木植栽前の基盤の除礫工」や「植栽面に重機を載せない盛土工」等で根系の発達環境に留意することが、適正な生育基盤を整備する上で重要なことが分かりました。

研究資金と課題

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「根系成長確保による高い津波耐性を特長とする盛土を伴う海岸林造成の技術的指針の策定」による成果です。

文献

Ono, K. and Imai, A. (2019) Soils on newly-constructed coastal berms for reforestation of coastal forests damaged by the 2011 mega-tsunami. International Perspectives in Geography (AJG library 9). Anthropogenic Soils in Japan, 59-85.

小野賢二（他）（2020）人工生育基盤を巡るこれまでの状況と課題—津波被災海岸防災林再生の現場から—。森林技術, 936, 10-13.

専門用語

有効土層：植物の根が支障なく伸張することができる土層のこと。

除礫工：篩状のバケットを装着したバックホーで土を篩って石礫を取り除きながら、生育基盤中の硬盤層を破碎する作業のこと。土層の中に大きな石や礫が多く混ざっていたり、重機の踏圧で形成された硬い土層が残っていたりすると、樹木を植栽する時に支障を来す上に、その後の樹木の生育、活着への影響が懸念されるので、実施する。

SH型貫入試験機：植物の生育基盤としての土壌が、植物の根にとって良好な土壌硬度であるか否かを判定できるよう開発された試験機。一般に、土壌硬度を表す値として軟らか度（cm/1打撃）がある。軟らか度とは、この試験機で3kgのおもりを50cmの高さから1回落下させたときの、試験機先端の直径2.5cmの貫入コーンの土壌中への貫入量（cm/1打撃）で表され、値が大きいほど土が軟らかく、逆に値が小さいと土が硬いことを示す。

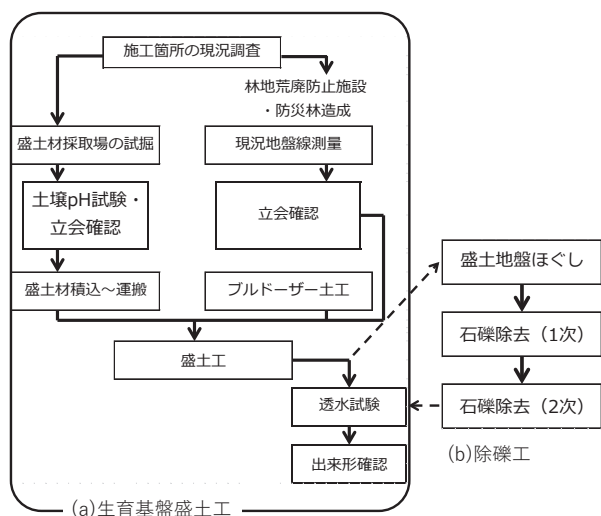
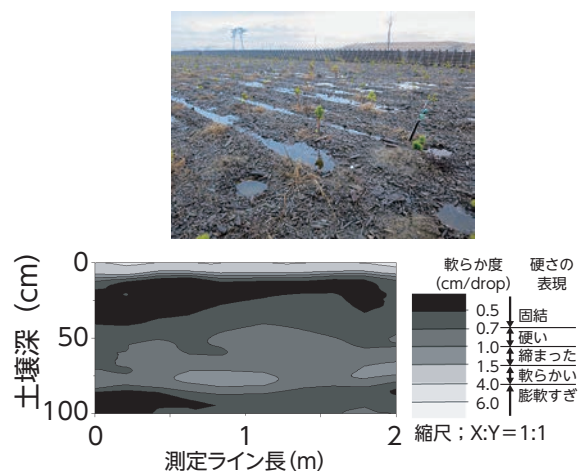


図1 生育基盤盛土工(a)とその後の除礫工(b)の施工手順
提供：株式会社佐武建設（小野賢二（他）（2020）より引用）



リッパードーザによる地盤ほぐし



スケルトンベケット式バックホウによる深耕と除礫



図3 「締め固めない盛土工」の施工風景：岩手県陸前高田市（小野賢二（他）（2020）より引用）

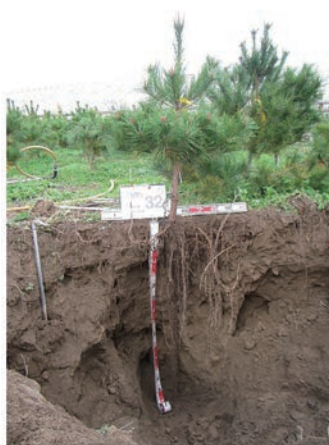


図4 「締め固めない盛土工」で造られた生育基盤に植えられたマツの根系深度
3成長期を経過した時点で、最大で、1.7m深に達していた。

樹冠の状態によって変わる森林の中で雨の降り方をレーザーセンサで解明



森林防災研究領域 南光 一樹・飯田 真一 デラウェア大学 (アメリカ) Delphis F. Levia

東京大学 堀田 紀文・田中 延亮・鈴木 雅一 宮崎大学 篠原 慶規

京都造形芸術大学 尼崎 博正 花豊造園株式会社 山田 耕三

防災科学技術研究所 酒井 直樹

ハワイ大学マノア校 (アメリカ) Thomas W. Giambelluca・Ryan G. Mudd・Michael A. Nullet

天津大学 (中国) Xinchao Sun カセサート大学 (タイ) Chatchai Tantasirin

森林の樹冠は、森林の中の雨の降り方を変え、地表での土砂移動や地中への水の浸透を変化させます。本研究では、森林の中と外で同時にレーザーセンサで計測した雨滴データを活用して、森林の中で降る雨の種類を分ける手法を開発しました。3カ国、12樹種で測定した世界最多の森林の中の雨滴データを解析し、針葉樹と広葉樹、葉の有無、樹冠の濡れ具合による森林の中の雨の降り方の違いを明らかにしました。概ね、針葉樹に比べて広葉樹の方が、森林の中で降る雨の中に大粒な雨滴の割合が多く、サイズも大きいことがわかりました。この成果は施業による樹冠の変化が水源かん養機能や表土保持機能に与える影響を予測する上で重要な知見になります。

成果

森林の中で降る雨の特徴

森林の中と外では雨の降り方が変わります。森林に降った雨は樹冠を濡らし、その大半 (50~80%) は樹冠通過雨として地面に降り注ぎ地中に浸透していきます。樹冠通過雨は、葉や枝に触れずにそのまま落ちる「直達雨」、葉や枝に溜まった後に大粒となって落ちる「滴下雨」、葉や枝で弾けて砕けて小粒となって落ちる「飛沫雨」の3つからできています (図1)。従来、バケツなどの容器や雨量計を設置して樹冠通過雨の総量を測定しますが、それぞれの種類がどれくらいの割合で存在しているのかは不明なままでした。

森林の中の雨の種類を雨滴データから推定する

そこで、樹冠通過雨の3種類の雨滴の大きさが違うことに着目し、森林の中と外で同時に測定した雨滴データを使って樹冠通過雨の種類を分ける手法を開発しました (図1)。日本、アメリカ、タイの3カ国における12樹種で測定した、世界最多の樹冠通過雨の雨滴データを解析に用いました。その結果、(1)葉のついた樹木では、樹冠通過雨の半分以上が滴下雨でできていること、(2)葉のついた樹木では、広葉樹のほうが針葉樹よりも滴下雨の割合が大きく、雨滴サイズも大きいこと、(3)葉が落ちた樹木では、樹冠通過雨の半分以上が直達雨でできているが、飛沫雨や滴下雨も含まれることを明らかにしました。

また、葉と枝とで濡れ方や滴下雨の生まれ方が違うこともわかりました。葉のついた針葉樹では、濡れが進むほどに雨の滴下点が増えていくため、滴下雨が増えていきます (図2左)。一方で、葉が落ちた広葉樹では、濡れが進むにつれて枝の半ばで滴下していた水滴が、滴下せずに枝の下方に流れていくようになり、滴下点の数が減り、滴下雨が減りました (図2右)。そして葉のついた広葉樹では、その双方の特徴を持ち合わせていました。このように葉の量や枝の配置によって樹冠通過雨の生まれ方が変わることがわかりました。

森林管理による樹冠の状態の変化が森林の中の水と土の動きをどう変えるのか

これらの結果は、針葉樹と広葉樹とで、樹冠通過後の雨の様相が異なることを意味しています。大きな粒の雨がどれくらい降るかにより、落ち葉の分解されやすさ、土壌の侵食されやすさ、雨水の浸透しやすさが変わってきます。この手法を活用して針葉樹と広葉樹の間で森林の中の水の動きの違いを明らかにし、水源かん養機能や表土保持機能をよりよく発揮するための森林管理技術の開発に役立てていきます。

研究資金と課題

本研究はJSPS科研費「雨滴の多点観測を活用した樹木の濡れ乾きの3次元物理シミュレーション」(JP15H05626)、「雨は樹木の垂直構造をどう旅して地面に達するのか?化学分析を活用した物理モデル開発」(JP17KK0159)、JSPS外国人招へい研究者 (S16088)「自然降雨と人工降雨を用いた樹冠の降雨再分配プロセスの解明」、日本林業技術協会学術研究奨励事業「森林内における雨滴粒径分布の特性とその形成機構の解明」、JST/CREST「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響」、US Fish and Wildlife Service「Hydrological Impacts of *Miconia calvescens* in Hawai'i」の助成を受けました。本研究は、令和元年度 (第15回)「若手農林水産研究者表彰」農林水産技術会議会長賞「林相の違いに由来する林内の雨・土砂動態に関する研究」の一部となりました。

文献

Levia, D. F. and Nanko, K. et al. (2019) Throughfall partitioning by trees. *Hydrol. Process.*, 33, 1698-1708. (※共同主著)

南光一樹 (2020) 雨滴測定に基づいた森林内の雨と土砂の動きの解明. *JATAFFジャーナル*, 8, 12-13.

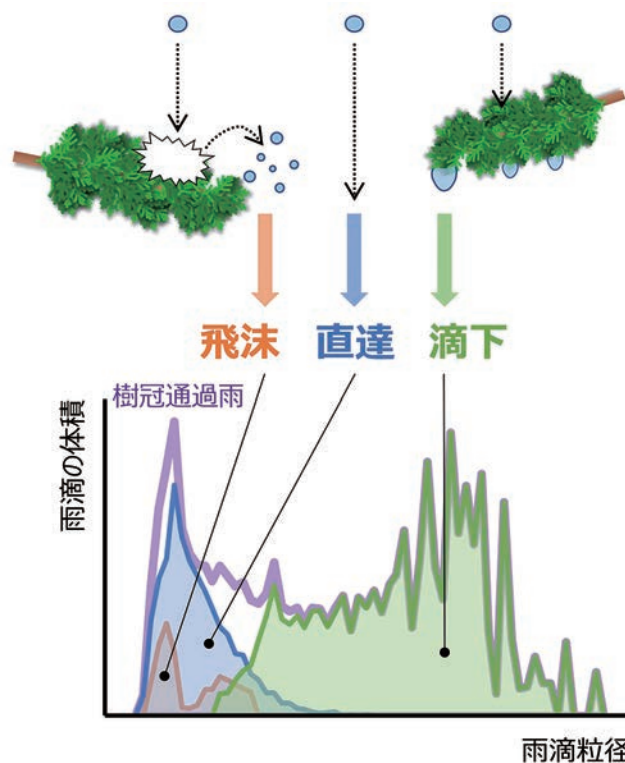


図1 樹冠通過雨を構成する3種類の雨

3種類の雨のでき方の模式図（上）と、それぞれの雨滴の大きさの違いを活用し雨の種類を分ける手法の概略（下）

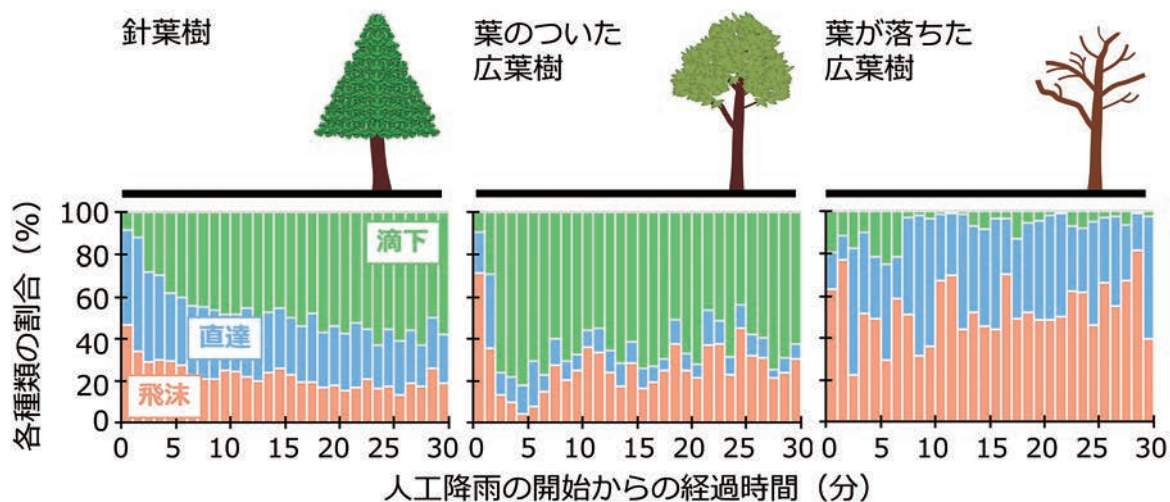


図2 樹冠通過雨を構成する3種類の雨の存在割合についての雨の降り始めからの時間変化

(Levia, D.F. and Nanko, K. et al. (2019)を改変して引用)

日本の民有林における干害被害の長期推移と地域性



森林防災研究領域 吉藤 奈津子・玉井 幸治

森林災害・被害研究拠点 鈴木 覚

森林管理や林業経営を適切に行うには、様々な気象害に対するリスクを把握することが重要です。様々な気象害のうち水不足によって樹木が枯れる干害に着目し、民有林における過去36年間の被害動向を調べました。干害のほとんどは幼齡人工林で報告されており、その被害率には長期的な増加傾向も減少傾向も見られないことが分かりました。さらに、樹種別・都道府県別での幼齡人工林の被害率とその差異を明らかにしました。一方、夏から秋にかけて著しく少雨・高温であった年には、壮齡林でもまとまった被害が生じていたことが分かりました。このような林齢・樹種・地域別の詳細な被害動向の情報は、気象害リスク対策に役立てることができます。

成果

気象害リスクの把握

森林の適切な保全・管理や健全な林業経営を行うためには、様々な気象害の発生状況を把握しリスク管理を行うことが重要です。気象害には風害・雪害・水害・干害など様々な種類があり、それぞれ被害を受けやすい林齢や地域が異なるため、気象害毎に被害動向を把握する必要があります。近年、気候変動に伴う乾燥化による樹木の枯死や衰退の問題が世界的に注目されています。本研究では、全国の民有林を対象とする気象害の統計資料に記録された干害の被害データに基づいて、日本の被害率の長期推移や林齢・樹種・都道府県別での発生状況を調べました。

干害被害の動向

民有林での干害被害の95.3%は人工林1齡級（1-5年生）が占めています。実損面積は減少傾向が見られますが（図1a）、これは造林面積が減少して幼齡林が減っているためで（図1c）、民有人工林1齡級（1-5年生）の被害率でみると長期的な増加傾向も減少傾向も見られません（図1b）。民有人工林1齡級（1-5年生）被害率を都道府県別にみると、北陸、甲信、近畿、中国地方および香川県で比較被害率が大きく、北海道、東北、関東、東海、九州地方で小さいこと（図2a）、また、多くの都道府県でスギよりヒノキの被害率の方が大きいこと（図2b）が分かりました。

個々の年に注目すると、1994年には九州を中心に壮齡林

でもまとまった干害被害が報告されていました（図1a）。この年の夏は全国的に著しく高温少雨で、九州以外では9月には降雨が回復しましたが、九州では9月も少雨が続きました。

干害リスク管理にむけて

干害被害の動向を林齢・樹種・地域別に詳細に把握することによって、その情報を森林管理や林業経営における干害リスク対策に役立てることができます。近年、地球温暖化の影響が懸念されており、日本でも無降雨日が長期化する傾向があるとの指摘があります。こうした気候の変化によって、干害被害の動向も今後変化していく可能性があります。今後は、樹種や林齢、立地などの干害被害への影響について、野外調査や実験などを行い樹木生理学的に解明していくことも重要になります。同時に、干害に限らず各種の気象害情報を継続的に収集・解析していくことも必要です。今回明らかにした被害動向の情報は、今後こうした気象害研究を進めていくための指針として役立ちます。

研究資金と課題

本研究は、実施課題「森林気象害における被害原因の特定と被害をもたらす気象条件の解明」による成果です。

文献

吉藤奈津子（他）（2019）統計資料に基づく36年間の日本の民有人工林における干害被害の推移と地域性。森林総合研究所研究報告, 18(3), 289-299.

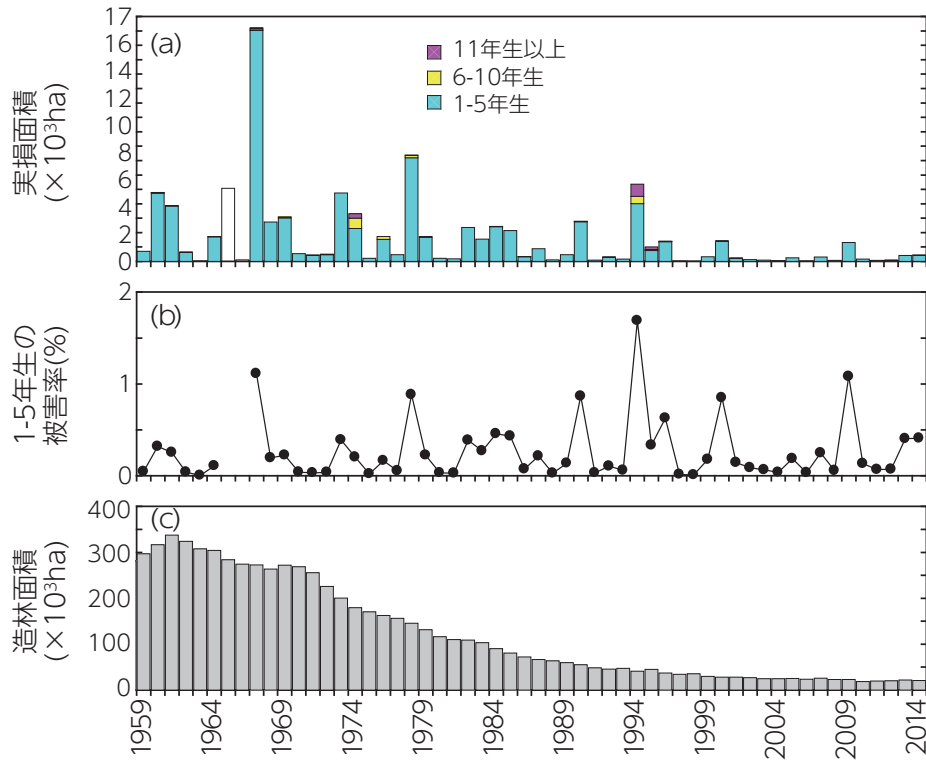


図1 民有人工林の林齢別干害実損面積(a)、1-5年生の干害被害率(b)、造林面積の推移(c)
1961-1977年と1982年の実損面積と被害率は民有天然林の被害を含み、1965-1966年の実損面積は全林齢の合計値です。実損面積は年、造林面積は年度で集計されています。(吉藤ら(2019)より改変)

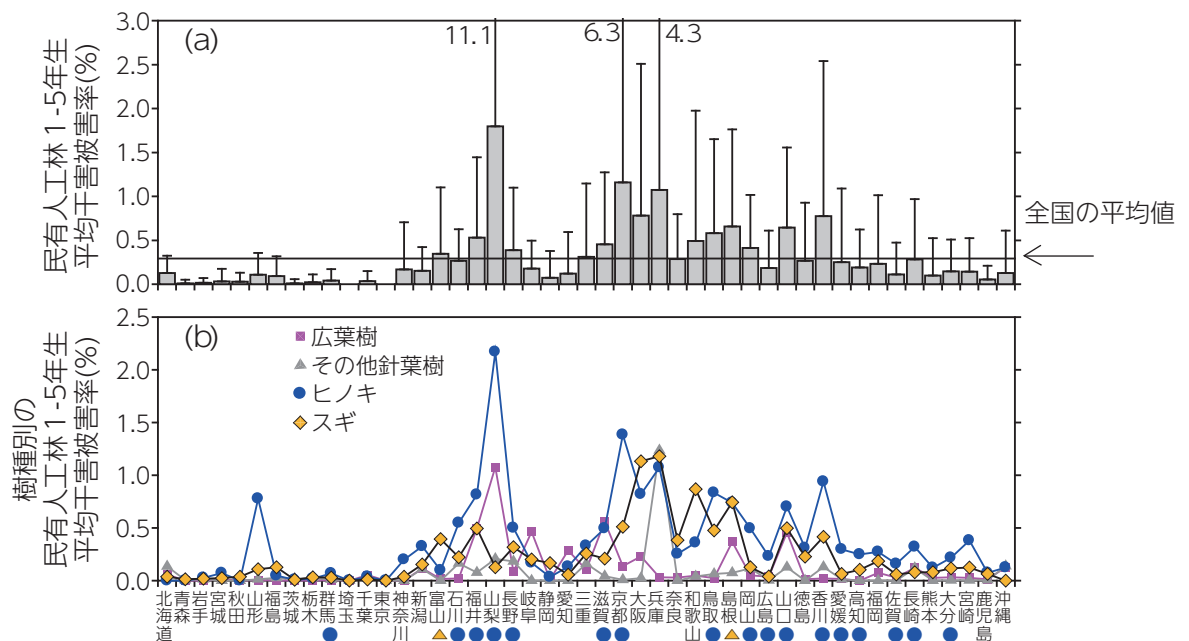


図2 都道府県別の民有人工林1-5年生の全樹種(a)と樹種別(b)の平均干害被害率
1982年を除く1978-2014年のデータより作成。(a)の縦線と数字は標準偏差で年によるばらつきの程度を示します。ヒノキよりスギの方が被害率が高い都道府県は▲、スギよりヒノキの方が大きい都道府県は●を、図下部の都道府県名の下に示しています。(吉藤ら(2019)より改変)

森林内での放射性セシウムの動きを予測する



立地環境研究領域 橋本 昌司・今村 直広 関西支所 金子 真司
きのこ・森林微生物研究領域 小松 雅史 森林管理研究領域 松浦 俊也
国立環境研究所 仁科 一哉 木材加工・特性研究領域 大橋 伸太

東京電力福島第一原子力発電所の事故で降った放射性セシウムは、時間とともに森林の中で分布が変化します。私たちは最新の観測データとモデルから、森林内の放射性セシウム分布（今回はセシウム137を対象）の長期変化を予測しました。その結果、その大部分が土壌に存在し、長期的にも変化しないこと、スギの木材中の濃度は変化しないこと、コナラでは濃度の増加傾向が緩やかになること等、全体として森林内での放射性物質の動きは、すでに平衡状態に近づいていることがわかりました。森林内での放射性物質の長期変化が理解できるだけでなく、事故の影響を受けた森林を今後どのように管理をすればよいかを考えるうえで、重要な情報となります。

成果

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故で森林に降った放射性セシウム（専門用語参照）は樹木の枝葉、樹皮、木材、地表部の落葉層、その下の鉱質土壌に分布しており、樹木から林床への落葉にともなう移動、根からの吸収などのため、森林での分布は時間とともに変化していきます。私たちは事故後2年の段階で開発した森林内の放射性物質の動態を予測するモデルを、その後の観測データを使って改良し、放射性セシウムについて事故後20年間の森林内における分布や、木材として重要なスギとコナラの木材中の濃度がどう変化するかを予測しました。

予測結果

予測の結果、1) ほとんどの放射性セシウムが鉱質土壌に留まること、2) スギ木材中の放射性セシウム濃度は大きく変化しないこと（図1左）、コナラ木材中の放射性セシウム濃度の増加傾向が継続して緩やかになること（図1右）、3) 放射性セシウムの森林内での循環量が急速に減少していること（図2）、が予測されました。また、これらのことから森林の中での放射性セシウムの動きが既に平衡状態に近づいていることが示唆されました。そして、これらの結果を地図上で把握しやすくするため、沈着量マップや植生マップとモデル予測結果を結合し、木材中の放射性セシウム濃度予測マップも作成しました（図3）。

意義

今回の研究結果は、森林内で放射性セシウムがどこに分布するか、木材中の放射性セシウム濃度が今後どう推移するか、さらに、木材の放射性セシウム濃度が地域によってどの程度の値になるか、をこれまでの観測結果から長期予測したものです。この予測モデルは、どの地域でどのような林業が可能かなど、事故で影響を受けた森林の管理計画に利用できます。

事故で森林に降った放射性セシウムの中でも、今回対象としたセシウム137の半減期は約30年と長く、森林の管理を考える上でその影響は今後も長く続く重要な課題です。今回の研究から得られた森林内の放射性セシウムの将来予測は、事故直後から続けてきた観測とそのデータを活用したモデルの連携により可能になったものです。今後も信頼性の高い観測を継続するとともに、最新データを用いて、モデルを更新することが必要です。また他のモデルと比較しながら予測精度をより向上させることも重要です。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP16H04945）「森林放射性セシウム動態データベースの構築とマルチモデルによる将来予測」および森林総合研究所交付金プロジェクト「森林の放射性セシウム動態解明による将来予測マップの提示」の成果です。

文献

Hashimoto, S. et al. (2020) New predictions of ^{137}Cs dynamics in forests after the Fukushima nuclear accident. Scientific Reports, 10, Article number 29. doi:10.1038/s41598-019-56800-5

専門用語

放射性セシウム：放射線を放出するセシウム。福島事故では主にセシウム137と134が放出されました。今回の研究では半減期の長いセシウム137を対象としました。

濃度指標：一般に放射性セシウム濃度はBq/kgで表現されますが、異なる汚染度の調査地点の結果を統一して扱うために、濃度を汚染度（総沈着量）で割ることで汚染度の違いを取り除き、正規化して「濃度指標」として利用しました。

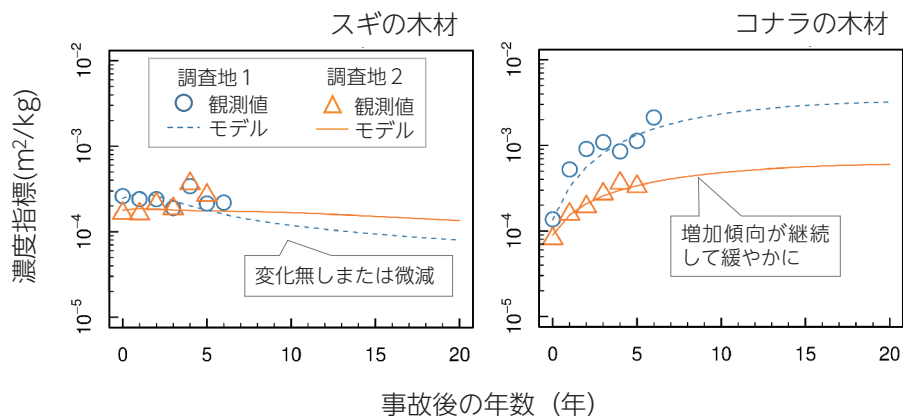


図1 スギ (左)・コナラ (右) の木材中のセシウム137濃度の予測結果

濃度指標 (専門用語参照) は材のセシウム137濃度を事故直後の総沈着量で除して正規化を行っています。(Hashimoto, S. et al. (2020)を改変して引用)

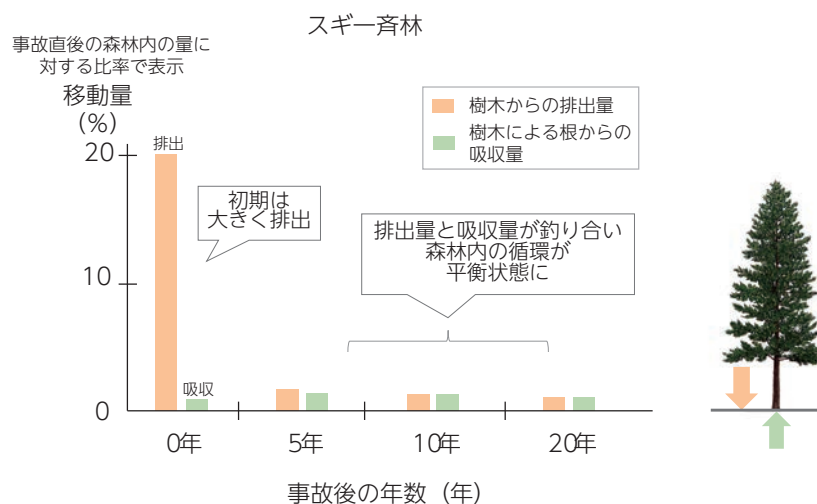


図2 スギー斉林におけるセシウム137の循環量のコンピュータシミュレーションによる推定結果

樹木からの落葉等による排出量と、樹木による根からの吸収量の予測を数値化しました。両者は5～10年目以降は釣り合っています。(Hashimoto, S. et al. (2020)を改変して引用)

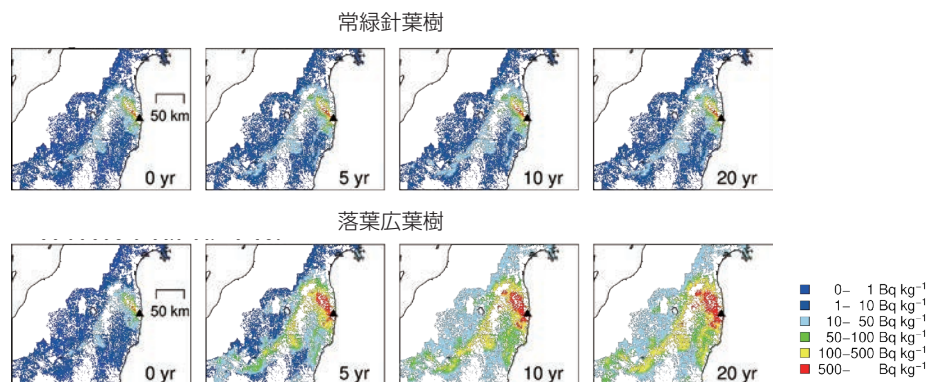


図3 常緑針葉樹と落葉広葉樹の木材中のセシウム137濃度の予測マップ

左から事故後0, 5, 10, 20年目の結果を示しています。(Hashimoto, S. et al. (2020)を改変して引用)

亜寒帯林の炭素蓄積過程に林床のコケや地衣類がおよぼす影響を解明



東北支所 森下 智陽・野口 享太郎

森林防災研究領域 深山 貴文

国際連携・気候変動研究拠点 松浦 陽次郎

アラスカ大学 Kim Yongwon

周極域に広がる亜寒帯林生態系の林床は、その厚みが数十cmにおよぶ様々なコケや地衣類で覆われています。こうしたコケや地衣類が森林の炭素蓄積過程におよぼす影響を解明するために、アラスカのクロトウヒ林斜面において、林床のコケや地衣類の被覆状況が異なる3地点で調査を進めてきました。その結果、有機物の分解速度を低下させることが知られている土壌中のモノテルペン濃度は、地点間で大きく異なり、それによって林床からの二酸化炭素放出量にも違いをもたらすことがわかりました。このことは、亜寒帯林では、林床のコケや地衣類が、生態系全体の炭素蓄積過程において、有機物の分解速度に影響をおよぼす可能性を示しています。

成果

林床をびっしり覆うコケや地衣類

周極域に広がる亜寒帯林の林床は、さまざまなコケや地衣類で一面覆われて（図1a）、20～30cmの厚みを持った有機物層を形成することもあります（図1b）。また、コケや地衣類の中には、抗菌物質を作り出す種類がいることも知られています。したがって、コケや地衣類は、亜寒帯林においては、重要な炭素貯蔵庫として量的に寄与すると同時に、土壌からの二酸化炭素放出や生態系全体の炭素蓄積過程にも大きな影響をおよぼしていると考えられます。しかし、林床のコケや地衣類のこうした機能に着目して、その影響を調べた研究は、これまでにほとんどありませんでした。

林床の被覆の違いと土壌からの二酸化炭素放出量

調査は、アラスカ内陸部に位置するクロトウヒ林の北東向き斜面（全長2km、標高差200m）でおこないました。この斜面では、これまでの私たちの調査から、斜面の位置によって、林床の植生や二酸化炭素放出量が異なることが明らかになっています（図2）。斜面の上部や中部では、コケ類が8割ほど占めていますが、斜面下部では、地衣類やミズゴケ（図1）などの被覆率が大きく、また、土壌からの二酸化炭素放出量は、斜面上部よりも下部で大きくなっています。

斜面上で大きく違う土壌中のモノテルペン濃度

一般に、温度や水分条件は、土壌からの二酸化炭素放出量に強く影響をおよぼします。しかし、今回の観測では、土壌の温度や水分条件には、斜面の3地点で明瞭な違いはみられませんでした。一方、有機物分解に関わるモノテルペン濃度を測定したところ、有機物層中で高く、林内の大気濃度に比べて、数十～数百倍高い値でした。さらに、どの地点でも、土壌中よりも有機物層中でモノテルペン濃度が高い傾向にあったことから（図3）、主に有機物層中でモノテルペンが生成されていることがわかりました。

コケや地衣類が炭素蓄積過程に貢献

林床の植生タイプで比べると、モノテルペン濃度は、斜面上部に広く分布していたコケや落葉の下で高く、斜面下部の地衣（トナカイゴケ）やミズゴケの下で低くなっていました（図3）。このことから、林床のコケや地衣類の被覆状況の違いが、斜面上の3地点で、有機物層中のモノテルペン濃度の違いを生み出した原因であることが明らかになりました。なお、微生物の増殖を防ぐことでも知られているαピネンが、モノテルペン濃度の半分近くを占めていました。

以上の結果は、コケ等が生成するとされるモノテルペンが、亜寒帯林では林床を厚く覆うコケや地衣類の有機物層で主に生成されることから、その被覆状況の違いは、林床からの二酸化炭素放出量や、生態系全体の炭素蓄積過程にも大きな影響をおよぼしていることを示しています。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP15H05238）「周極域森林生態系において蘚苔地衣類が炭素窒素循環に果たす役割と地域間差の評価」による成果の一部です。

文献

Morishita, T. et al. (2019) Spatiotemporal variations of below-ground monoterpene concentrations in an upland black spruce stand in interior Alaska. Polar Science, 21, 158-164.

専門用語

モノテルペン：フィトンチッドとも呼ばれる森の香り物質の一部。人に対してリラックス効果をもたらしたり、微生物に対して殺菌作用を示したりするものがある。

コケや地衣類：見た目は似ているが、コケは植物、地衣類は藻類と共生する菌類に分類される。日本では、トナカイゴケのように地衣類でも「〇〇コケ」と和名を与えられているものもあり、生育環境も似ていることから混同されることも多い。

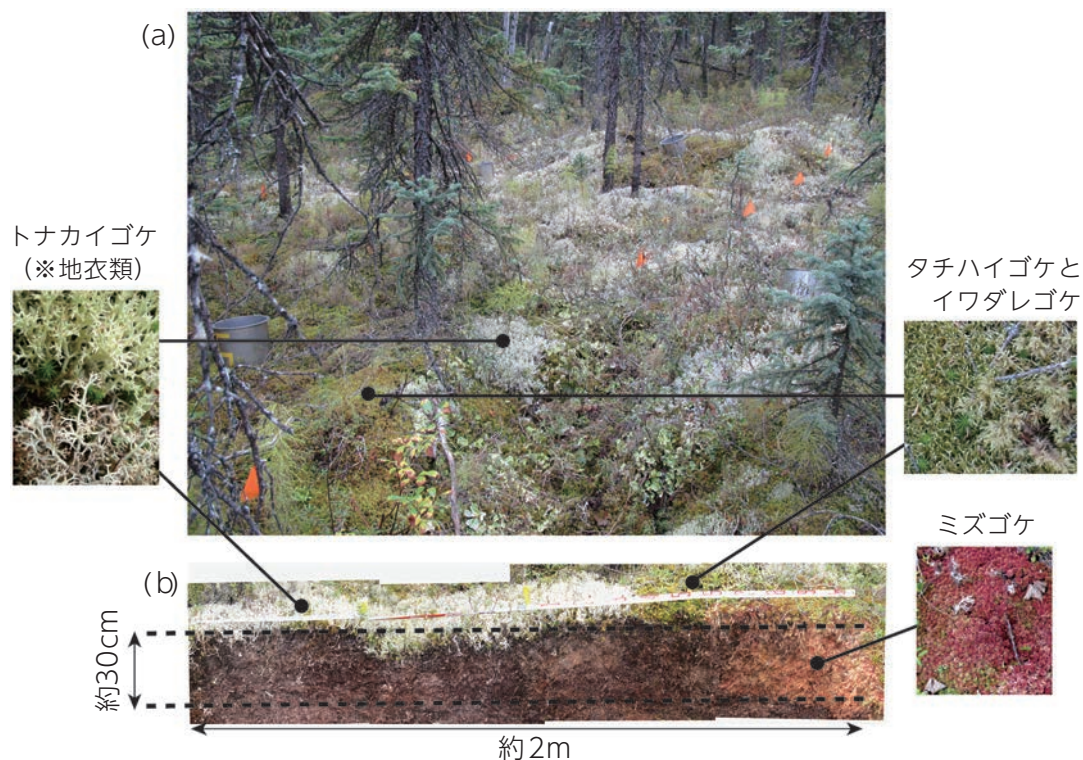


図1 アラスカ内陸部クロトウヒ林の(a)林床と(b)有機物層の断面

(a)林床は、さまざまなコケや地衣類によって、びっしりと覆われています。白っぽく見えるのが地衣類です。(b)土壌表面を、主に、コケ、地衣類、落葉からなる厚い有機物層が覆っています。

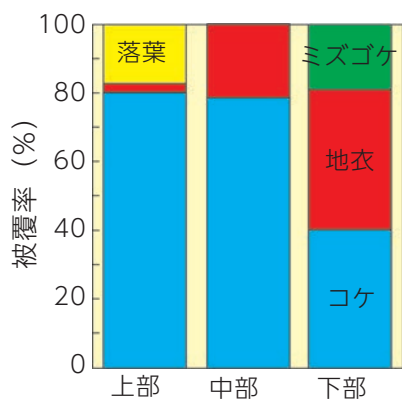


図2 コケや地衣類による林床の被覆率

斜面上部では、イワダレゴケなどのコケが多く、斜面下部では、地衣類やミズゴケの被覆率が高くなっています。

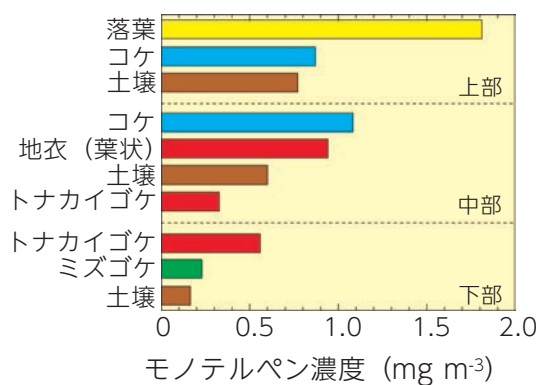


図3 植生別のモノテルペン濃度

有機物層中のモノテルペン濃度は、落葉やコケの下で高く、ミズゴケや地衣類であるトナカイゴケの下で低い傾向が見られました。この地表植生を反映して、モノテルペン濃度は、斜面上部で高く、斜面下部で低くなっていました。

民間のREDDプラスの取組みを政府が適切に評価するための手法を開発



国際連携・気候変動研究拠点 江原 誠

森林管理研究領域 齋藤 英樹

東北支所 道中 哲也

研究ディレクター 平田 泰雅

民間のREDDプラスプロジェクトを推進するため、プロジェクト活動による温室効果ガスの排出削減成果を、国全体の成果の一部として適切に位置づけるための手法が求められています。本研究では民間によるREDDプラスプロジェクトが開始されたカンボジアを対象に、プロジェクトの活動の成果を国の成果と整合性を保った上で評価する手法を開発しました。具体的には、国の森林参照レベルを、プロジェクト内・周辺の森林面積、森林タイプの構成比率、過去の森林減少傾向、人口密度といった立地条件の違いを考慮して、プロジェクトに配分する手法です。この手法は、カンボジア以外のREDDプラスを実施する国においても適用可能です。

成果

民間のREDDプラスの成果を評価する際の課題

REDDプラスは、途上国での森林減少・森林劣化の抑制等による気候変動の緩和効果に対して、何らかの経済的インセンティブを与えるメカニズムです。国のREDDプラスの成果は、REDDプラスを実施しなかった場合の全国の森林減少・劣化の進行度合を予測し、これを森林参照レベルと呼ばれる温室効果ガス排出量（ tCO_2 /年）に換算し、この森林参照レベルをREDDプラス実施後の排出量（ tCO_2 /年）と比較することにより評価されます。我が国が進める二国間クレジット制度（JCM）での民間のREDDプラスプロジェクトの成果も、この国レベルの評価枠組みの中で評価されます。しかし、民間のプロジェクトが入るエリアの立地条件と森林減少・劣化の進行度合いは全国平均と異なる場合があるため、全国の森林参照レベルの値をそのまま用いると民間の取組みによる成果を過小または過大に評価する恐れがあります。

REDDプラスプロジェクトの成果を評価する手法の開発

JCMの下で民間のREDDプラスプロジェクトが開始されたカンボジアを対象にプロジェクトの成果を評価する手法を開発しました。民間のプロジェクトの成果を国レベルの成果と整合性を保った上で適切に評価するため、プロジェクトエリア内および周辺地域の2006年の森林面積、森林タイプの構成比率（常緑樹林、常緑落葉混交林、落葉樹林）、過去（2006～2014年）の森林減少傾向、2008年の人口密度といった立地条件の違いを考慮しました。そして、国の森林参照レベルを、プロジェクトエリア内の一時点の①森林面積と②森林炭素蓄積、プロジェクト内および周辺の二時点間の③森林面積変化と④森林炭素蓄積変化の4変数を用いてプロジェクトに配分し、それぞれの配分結果を吟味して配分手法を選択できるようにしました。

カンボジア政府は、過去の森林減少・劣化の傾向を参考に国の森林参照レベルを設定しています。この考え方と最も辻褃が合う配分手法は、④の変数を用いた手法ですが、データ収集・解析に比較的成本がかかる手法となります。一方、①または②の変数を用いる手法は、これらのコストは低くなりますが、データ収集時点で森林面積が広大な、または炭素蓄積の豊富な森林地帯の保全に成功したプロジェクトに有利な手法となります。

さらに、プロジェクト周辺の直近（2014～2016年）の森林が減少するリスクを考慮して配分量に重みづけをするため、森林減少リスクを評価するマップを作成する手法も開発しました。これらの手法は、カンボジアでのREDDプラスの評価システム設計に活用されています。

研究資金と課題

本研究は林野庁補助事業「REDD+民間推進体制整備事業」による成果です。

専門用語

二国間クレジット制度（JCM）：我が国の優れた低炭素技術・製品・システム・サービス・インフラ等を途上国に普及させ、対策を実施することを通じて実現した温室効果ガス排出削減量を定量的に評価し、その一部を我が国の削減目標の達成に活用するための制度。

REDDプラス：途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組みによるCO₂の排出削減、森林保全等（「プラス」活動）によるCO₂の排出防止および炭素固定による大気中のCO₂の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるメカニズム。

森林参照レベル：REDDプラスを実施しなかった場合の森林減少・劣化の進行度合を予測し、これを温室効果ガス排出量（ tCO_2 /年）に換算したもの。

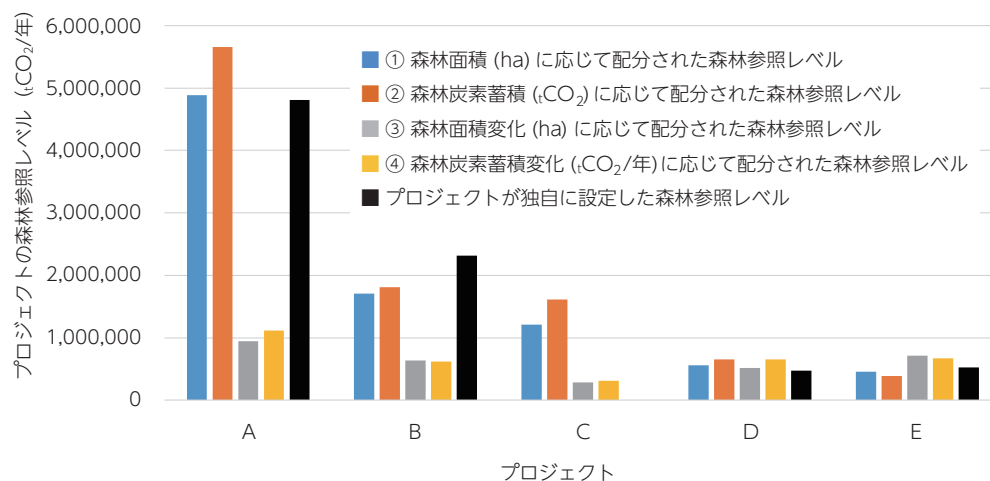


図1 開発した評価手法を用いてカンボジアの国の森林参照レベルを①～④の4変数に応じてプロジェクトA～Eに配分した森林参照レベルとプロジェクトが独自に設定した森林参照レベルとの比較

用いる変数によって、プロジェクトに配分される森林参照レベルは大きく異なる場合がある。プロジェクトCの独自の森林参照レベルは未公開。

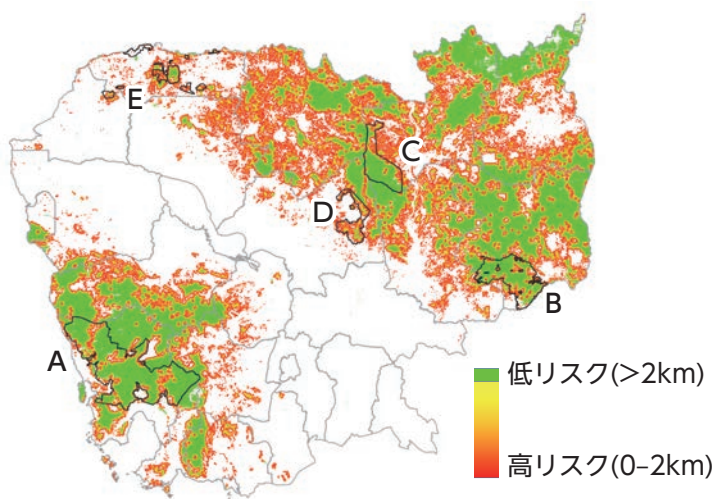


図2 カンボジアの2014年の森林減少リスクマップ

カンボジアの2010, 2014, 2016年の森林減少傾向を解析したところ、2014～2016年の森林減少の98%は、2010～2014年に発生した森林減少地から2km圏内で発生していた。このことから2014年の森林のうち2010～2014年の森林減少地から2km圏内を森林減少リスクの高い森林とした。黒枠 (A～E) は図1のREDDプラスプロジェクトが実施されたエリアを、灰色枠は州の行政区界を、空白は非森林エリアを示す。

森林のもつ10種類の多面的機能を評価し、その変遷をたどる



四国支所 山浦 悠一 研究情報科 佐野 真 研究企画科 高山 範理

森林植生研究領域 佐藤 保 森林昆虫研究領域 滝 久智 立地環境研究領域 橋本 昌司

森林防災研究領域 玉井 幸治・村上 亘・南光 一樹 北海道支所 伊藤 江利子

長野県 戸田 堅一郎 関東学院大学 齋藤 仁

森林管理研究領域 八巻 一成・松浦 俊也・高橋 正義・山田 祐亮

林業経営・政策研究領域 都築 伸行

国内の森林資源が充実し、林業の成長産業化が期待される一方で、森林が有する多面的機能の維持や増進が課題となっています。本研究では、森林のもつ10種類の多面的機能を、林相や林齢、気候や地形、道路からの距離などから評価するモデルを開発しました。その結果、林齢や林相（天然林か人工林）および樹種の違いによる機能の増加や減少が明らかになりました。次に、開発したモデルを用いて茨城県北部における多面的機能の変化を地図化しました。その結果、戦後の森林の変化に伴って、各機能はさまざまな変遷をたどってきたことが分かりました。本研究によって多くの多面的機能を広域的に評価し、地域の森林計画に利用できるようになりました。

成果

森林の成熟・伐採と森林の多面的機能

日本では戦後盛んに人工林が造成されましたが、現在、その半数が一般的な主伐期とされる50年を超え、本格的な利用期を迎えています。人工林は各地で伐採されるようになり、林業の成長産業化が期待されています。その一方で、森林は木材生産以外にも生物多様性の保全や炭素貯留といった様々な機能を有しています。森林の伐採により国産材を安定供給しながら、森林の多面的な機能をいかに持続的に発揮・増進するかが重要な課題となっています。しかし、森林の管理が多面的機能に及ぼす影響は個別の機能を対象に報告されているだけで、多くの機能をまとめて広域的に評価することはほとんどありませんでした。

広域評価モデルの作成と比較

そこで本研究では、10種類の多面的機能（生物多様性保全、花粉媒介、表土保持、土砂崩壊抑制、水源涵養、水質浄化、炭素貯留、木材生産、保健休養・アメニティ、天然特用林産物生産）を評価するモデルを開発し、過去から現在の機能を地図化することで、広域的な森林管理と多面的機能の関係を示しました。まず、多面的機能を各種の指標を用いて定量化しました。そしてこれらの指標を、林相や林齢、気候や地形、道路からの距離など、広域的に整備・利用できる環境因子から評価するモデルを開発しました。その結果、林齢や林相（天然林か人工林）及び樹種の違いによる機能の増加や減少が明らかになりました（図1）。例えば、炭素貯留機能の指標である炭素蓄積量は天然林よりもスギ人工林で多く、林齢ともなって増加するため、高齢スギ人工林で高い値を示しました。一方、花粉媒介機能の指標となるハナバチの個

体数は人工林、天然林のいずれにおいても伐採直後の森林で多く、森林の成熟に伴って減少しました。このような関係から、森林管理が複数の機能に与える影響を知ることができます。

共通対象地での多面的機能の変遷

共通対象地である茨城県北部でモデルの環境因子を地理情報として整備し、開発したモデルを使って戦後から現在までの3つの時期（1948年、1975年、2012年）の多面的機能を地図化し（図2）、機能の変化を調べました（図3）。その結果、各機能は戦後の森林の変化に伴って、さまざまな変遷をたどってきたことが分かりました。たとえば生物多様性保全機能（発達した森林に生息する生物の保全機能を示す老齢林指数）は、人工林の拡大によって減少した後、森林の成熟に伴って回復する一方で、花粉媒介機能は若齢林の減少によって低下しました（図3）。

このように、森林管理の影響は機能によって異なるため、複数の機能を地図化し、比較することが多面的機能発揮のカギだといえます。モデルの精度向上は今後の課題ですが、本研究によって多くの多面的機能を広域的に評価し、地域の森林計画に利用できるようになりました。

研究資金と課題

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「地域に応じた森林管理に向けた多面的機能の総合評価手法の確立」による成果です。

文献

Yamaura, Y. et al. 2019. A spatially-explicit empirical model for assessing conservation values of conifer plantations. *Forest Ecology and Management*, 444, 393-404.
Yamaura, Y. et al. 2020. A spatially explicit empirical model of structural development processes in natural forests based on climate and topography. *Conservation Biology*, 34,194-206.

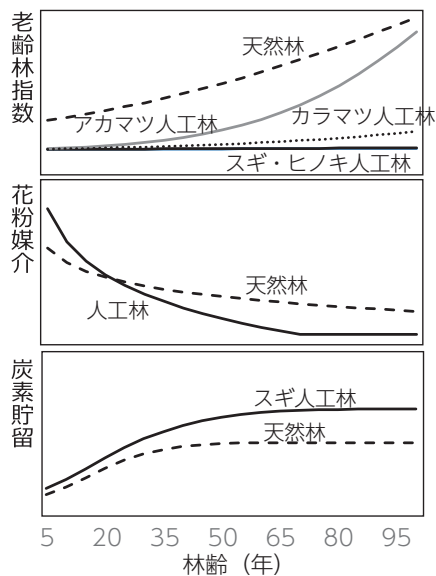


図1 林齢と機能の関係

各種環境条件を一定にした際、林齢と機能の
関係の代表例を示しています。

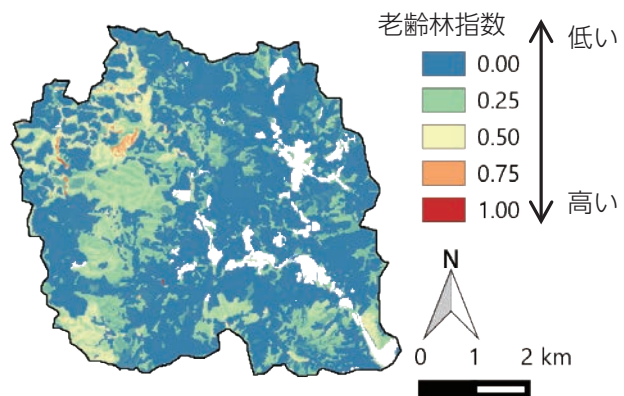


図2 生物多様性保全機能の予測図（2012年）

生物多様性保全機能のうち、発達した森林に生息する
生物の保全機能（老齢林指数）をモデルを使って
評価し、広域的に予測しました。

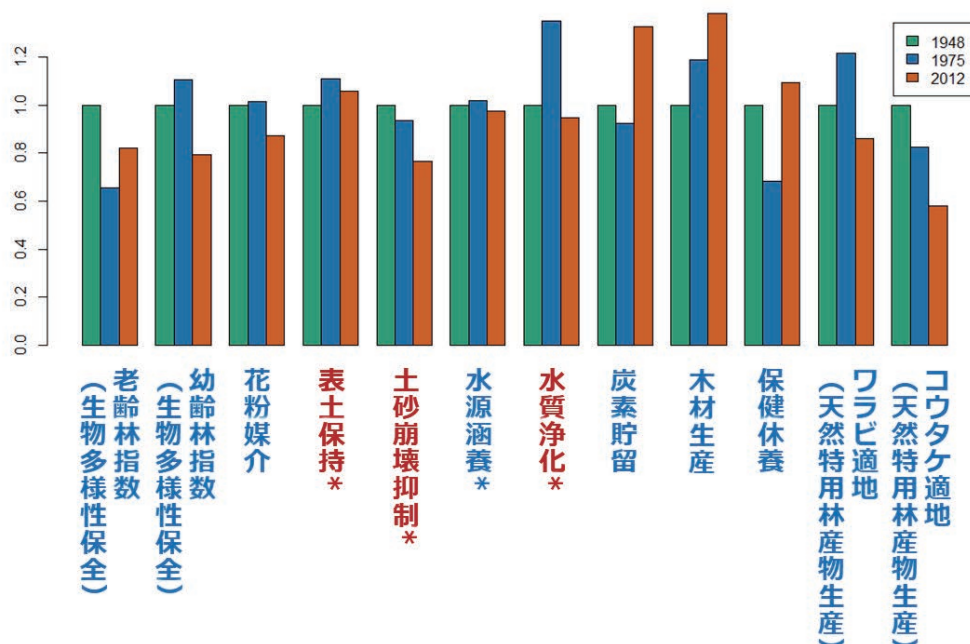


図3 当地域における多面的機能の変遷

1948年の共通対象地全体の評価値を1として、それ以降の2時期の評価値を相対的に示しました。青字の機能は値が大きくなるほど機能が高くなり、赤字の機能は値が小さくなるほど機能が高くなります。生物多様性保全と天然特用林産物生産はそれぞれ2つの指標から構成されるので、12種類の指標で10種類の多面的機能を評価しました。4種類の水土保持機能は機能の名称の最後に「*」を付けています。

造林地のシカ密度に応じた防除資材の選択基準を明らかにしました



野生動物研究領域 飯島 勇人・岡 輝樹

森林整備センター 渡辺 康文・久保田 拓也

シカによる林業被害の防除資材として忌避剤や柵が用いられていますが、その効果はシカ密度によって異なります。本研究では、シカ密度に応じた防除資材の選択基準を明らかにするために、全国の水源地造成事業地のデータを解析しました。植栽した幼齢木の被害率を50%未満とすることを目標とした場合、忌避剤が有効なのは密度が5頭/km²未満の場合でした。また、密度が5～20頭/km²では標準的な仕様の柵、20～40頭/km²ではできるだけ効果の高い仕様の柵が必要でした。防除効果を高めるためには、ステンレス入りで網目が細かく、地表部分を覆うスカートが一体型になったネットを高い位置から設置することが有効です。

成果

求められる効果的な防除資材の選択基準

近年、ニホンジカ（以下、シカ）の個体数が増加しています。2018年度の調査では、シカによる林業被害面積は約4,200haに及んでいます。そのため、シカによる被害を効率的に防除することは、持続的な林業経営に必要不可欠です。シカによる被害を防除する資材として主に忌避剤や柵が用いられていますが、その効果はシカ密度によって異なると考えられます。しかし、シカ密度と防除効果の関係はこれまで明らかにされておらず、現場での防除資材の選択は担当者の判断に委ねられているのが現状です。そこで本研究では、シカ密度に応じた防除資材の選択基準を明らかにすることを目的とし、森林整備センターが2018年に造林地を対象に実施した調査データの内、約1,200件を解析しました。この調査では、各造林地でのシカによる植栽木の被害率、施用・設置した防除資材の種類や仕様が調べられています。

シカ密度と防除効果の関係

解析の結果、植栽から8年以内の幼齢木の被害率を50%未満とすることを目標とした場合、シカ密度が5頭/km²未満では忌避剤、5～20頭/km²では現在の標準的な仕様の柵、20～40頭/km²では下記で示すようなできるだけ効果の高い仕様の柵が有効であり、それ以上のシカ密度の場合は忌避剤や防鹿柵では被害率を50%未満にするのは困難なことが分かりました。また柵の仕様については、ステンレス入り

で網目が細かいネットを高い位置（2m）から設置すること、さらに柵下部の地表面を覆うスカート部分がネットと一体型となっているものを用いることで防除効果が高まりました（図1）。この結果は、シカは柵を飛び越えるだけでなく、ネットを噛み切ったり、ネット下部から潜り込んだりすることで柵内に侵入することを意味しています。一方、柵の支柱の素材、造林地の面積、造林地の最大傾斜度、植栽樹種は防除効果に大きな影響を与えていませんでした。

シカ密度に応じて防除方法を使い分けよう

以上を踏まえ、今後、造林地において防除資材を施用・設置する場合の、造林地周辺のシカ密度に応じた防除資材や柵の仕様の選択基準を作成しました（表1）。この表が示すように、シカ密度が40頭/km²を超える造林地では、防除資材のみで被害率を50%未満とすることが困難なため、柵の設置とあわせてシカの捕獲を実施する必要があります。

研究資金と課題

本研究は、実施課題「野生動物管理技術の高度化」による成果です。また、森林整備センターとの共同研究です。

専門用語

忌避剤：シカによる食害を防ぐために樹木に散布または塗布し、摂食を阻害する薬剤のこと。ジラム水和剤（製品名：コニファー水和剤）、全卵粉末水和剤（製品名：ランテクター）等が使われている。

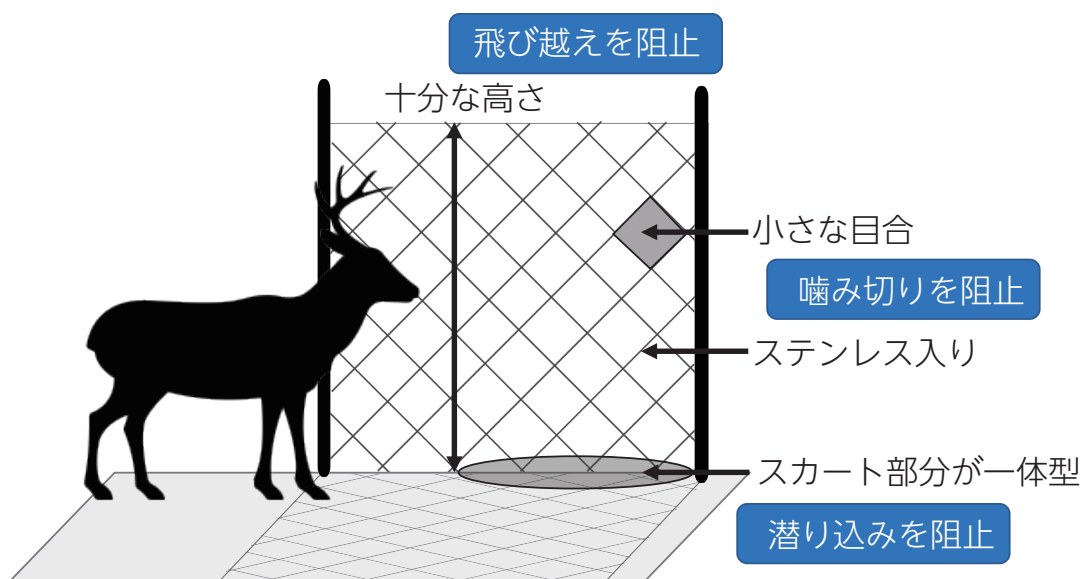


図1 防除効果の高い防鹿柵の仕様

表1 植栽木の被害率を50%未満にするための防除方法の基準

シカ密度	< 5頭/km ²	5~20頭/km ²	20~40頭/km ²	≥ 40頭/km ²
防除方法	柵でも 忌避剤でも可	標準的な 仕様の柵	できるだけ効果が 高い仕様の柵	防除資材に加え、 捕獲によってシカ 密度を低下させる

コンテナ苗の根鉢の形成程度を簡単に評価できる方法を開発しました



植物生態研究領域 齋藤 隆実・飛田 博順・矢崎 健一

関西支所 小笠 真由美

企画部 壁谷 大介

森林植生研究領域 小黒 芳生

研究ディレクター 宇都木 玄

コンテナ苗を出荷する際、根鉢が柔らかすぎて崩れる、逆に硬すぎて育成孔から抜き取れない問題がありました。そこで根鉢が適度に形成された苗木を育成するため、根鉢の形成を評価する方法を開発しました。まず、根鉢の崩れやすさを表す指標として根鉢を落下させて脱落した土壌量、根鉢の抜き取りにくさを表す指標として育成孔から引き抜く際の力を測定しました。その結果、根の量が多い苗木ほど脱落土壌量は少なく、引き抜き力は大きくなりました。また、これらの指標は苗木の高さ(苗長)より根元の太さ(地際直径)と強い関係がありました。したがって、育成孔内の根鉢の形成を推測する目安として、地際直径が有用であることが示唆されました。

成果

コンテナ苗を出荷するときの問題

国内の多くの人工林は本格的な利用期を迎え、主伐・再造林が進められています。植栽する苗木として、根が露出している裸苗に代わり、根鉢を持つコンテナ苗の利用が増えました。コンテナ苗は裸苗と比べて、苗木を育てたり植栽したりする労力が小さいからです。しかし、施設で育成したコンテナ苗を植栽現場へ出荷する作業については次のような問題がありました。

コンテナ苗を出荷するためには根鉢を育成孔から取り出す必要があります。その際、根鉢の中で根系の発達が不十分な場合は、土壌(培地)が崩れて根鉢の形を保てず、苗木は規格外とみなされます。一方、根系が過剰に発達し育成孔の中が過密になっている場合は、根鉢を育成孔から抜き取るのが困難で、苗木の健全性も損なわれます。これらの障害を避けるためには、根鉢が適度に形成された苗木を選ぶことが有効です。しかし、根鉢の形成を客観的に評価する指標がありませんでした。そこで本研究は、根鉢を評価する指標とその測定方法を考案することを目的としました。

根鉢の形成を評価する方法

測定材料には、いろいろな大きさのスギのコンテナ苗を用いました。根鉢が示す様々な性質の中で、「崩れやすさ」と「抜き取りにくさ」に着目しました。根鉢の崩れやすさを評価するために、根鉢を高さ1mから落下させ衝撃で脱落した土壌量を測定しました(図1)。また、根鉢の抜き取りにくさを評価するために、根鉢を育成孔から抜き取るまでの引き抜き力(最大値)を吊りばかりで測定しました。その結果、根鉢の中の根の乾燥重量が大きな苗木ほど脱落土壌量は小さく、一方で引き抜き力は大きくなりました(図2)。この結果は、脱落土壌量と引き抜き力が根鉢の形成を評価する良い指標であることを示しています。さらに、育成孔の形状(リブ型とスリット型)による違いも明らかになりました。

根鉢の形成状態を表す地上部の特徴

出荷作業の効率向上に役立てるためには、根鉢を育成孔から抜き取る前に根鉢の形成状態を推測できると便利です。しかし、根鉢の形成をよく表している地上部分の特徴は知られていませんでした。測定の結果、脱落土壌量も引き抜き力も、苗長より地際直径と強い関係があることが分かりました(図3)。この結果は、コンテナ苗の根元の太さを測定すれば根鉢の崩れやすさや抜き取りにくさを推定できることを示唆しています。今後、根元の太さを根鉢の健全性の目安にすることで、良質な苗木を効率よく供給できるように技術を発展させていく予定です。

研究資金と課題

本研究は農林水産省による戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(18064868)による成果です。

文献

齋藤隆実(他)(2019)スギコンテナ苗における根鉢の物理的性質の定量的評価. 日本森林学会誌, 101, 145-154.

専門用語

根鉢: 栽培容器の内部において、根と土壌(培地)とが組織的に入り組み圧密されたことによって塊状になった苗木の地下部分。また、根鉢が塊状になったことを「根鉢が形成された」といいます。

育成孔: コンテナに備わっている苗木育成用の容器のこと。本研究で用いたコンテナの育成孔は、入口の直径が約5cm、高さが約12cmの円筒形で、容量は150ccでした。この育成孔が40個連結してひとつのコンテナを構成しています。

リブ型とスリット型: 育成孔の形状は二種類あり、それぞれ根が育成孔の内壁に沿って水平方向に回るのを防止するための工夫がなされています。リブ型は内壁に縦に連なる突起が等間隔で備わっており、一方スリット型は内壁に細い隙間が等間隔で開けられています。

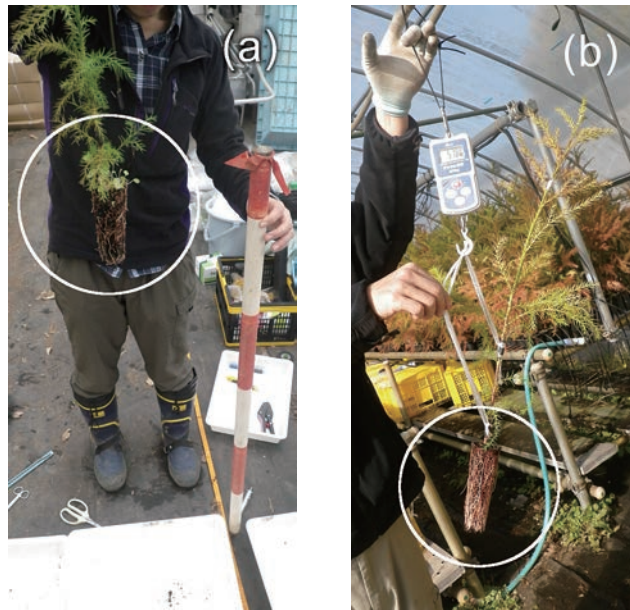


図1 根鉢の形成程度の評価方法。根鉢の崩れやすさは高さ1mから落とした衝撃で脱落した土壌量から(a)、根鉢の抜き取りにくさは引き抜き力の最大値から評価しました(b)。白丸は根鉢を示しています。(齋藤 他(2019)を改変して引用)

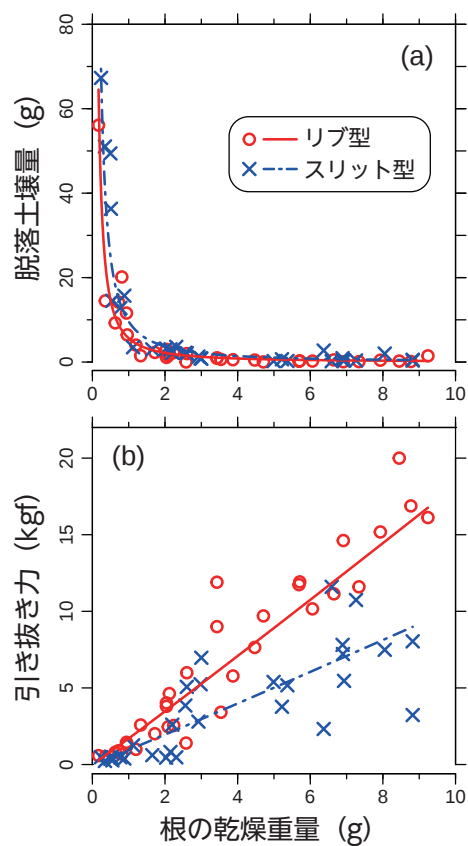


図2 根の乾燥重量に対する脱落土壌量の関係(a)、および引き抜き力(b)の関係。(齋藤 他(2019)を改変して引用)

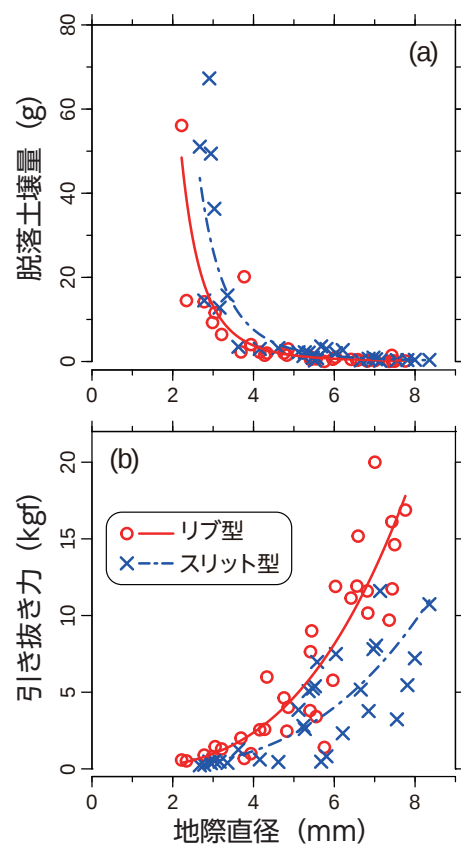


図3 地際直径に対する脱落土壌量の関係(a)、および引き抜き力(b)の関係。(齋藤 他(2019)を改変して引用)

木のぬくもりあふれる寝室で良い眠りを



森林管理研究領域・筑波大学 森田 えみ

筑波大学 柳沢 正史・石原 あすか・松本 すみ礼・鈴木 稚寛・池田 有・堀 大介
道喜 将太郎・大井 雄一・笹原 信一郎・松崎 一葉・佐藤 誠

帝京大学 石塚 真美

木材を見たり触ったり、木の香りを嗅いだりすると、心身に良い影響があることがわかっています。これらのことから、木材・木質材料に囲まれた住環境で眠れば、良い睡眠が得られる可能性があります。これを検証するために、働く人を対象にして、日常の睡眠や住環境に関する健康調査を実施しました。その結果、寝室に木材・木質の内装や家具、建具が多いと回答した人は不眠症の疑いが少なく、寝室で精神的なやすらぎを感じる割合が高いことが明らかになりました。寝室に木製の家具を置くなど、木材・木質材料を多く取り入れることにより、不眠症状の緩和や良い眠りが得られることが期待されます。

成果

多くの人が睡眠に問題を抱えています

日本における平均睡眠時間は世界的にみても短く、成人の約2割に不眠の症状があるという報告があります。睡眠障害や睡眠不足による生活の質や作業効率の低下は、社会的、経済的に甚大な損失をもたらすため、働く人たちの睡眠を改善することが重要です。より良い睡眠を得るために、多面から多角的なアプローチがなされており、例えば、寝酒をしないなどの生活習慣の改善が必要なことはわかっています。

木材・木質環境が睡眠に良いのかはあまりわかっていませんでした

木材を見たり触ったり、木の香りを嗅いだりすると、心身に良い効果があることがこれまでにわかっています。これらのことから、木材・木質材料に囲まれた住環境で眠れば、良い睡眠が得られる可能性があります。しかしながら、木材・木質の住環境と睡眠との関連性や因果関係を検証した研究は極めて少なく、わかっていないことが数多くあります。

寝室に木材・木質が多いと不眠症の疑いは少ないことがわかりました

茨城県と東京都の4つの職場で働いている方を対象にして(671名;男性298名、女性373名:年齢 22 ~ 68歳、平均43.3歳)、睡眠に関するアンケート調査を行いました。アンケート調査では、家屋の住環境や自身の寝室、睡眠の状態、生活習慣等に関する質問に回答していただきました。この中には、寝室内に木材・木質の内装や家具、建具の量がどの程度あるのかについての質問もあります。不眠症の疑いは、アテネ不眠尺度で判定しました。アンケートを統計的に解析した結果、寝室に木材・木質材料が多いと回答した人たちは、少ないと回答した人よりも、不眠症の疑いのある人

が少ないということがわかりました(図1)。さらに、寝室に木材・木質が多いと回答した人たちは、寝室で安らぎや落ち着きを感じる割合もより高いことが明らかになりました(図2)。これらの結果は、対象者の年齢や性別、生活習慣等も考慮したデータ解析を行っても、同様でした。

睡眠を改善するためには、生活習慣を見直すことが重要ですが、習慣を変えることは簡単ではありません。本研究は、木材・木質材料が多く感じられる寝室、つまり周りの住環境を変える事でも睡眠が改善される可能性を示しました。

今後の展開

日本の森林は伐って利用する時期にきています。住環境により多くの木材を使うことは、林業の活性化ばかりでなく人々の健康増進にもつながることが期待されます。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費(JP16H03245)「勤労世代のメンタルヘルスの危険因子としての睡眠様態とその遺伝的要因の探索」およびクラウドファンディング <https://readyfor.jp/projects/wpi-iiis>「人はなぜ眠る?最適な睡眠とは?『睡眠の謎』に最新の科学で迫る」による成果です。

文献

Morita E. et al. (2020) Association of wood use in bedrooms with comfort and sleep among workers in Japan: a cross-sectional analysis of the SLEEP Epidemiology Project at the University of Tsukuba (SLEPT) study. Journal of Wood Science, 66,10.

専門用語

アテネ不眠尺度: 世界的に使用されている不眠症の疑いを判定するアンケート形式の評価方法

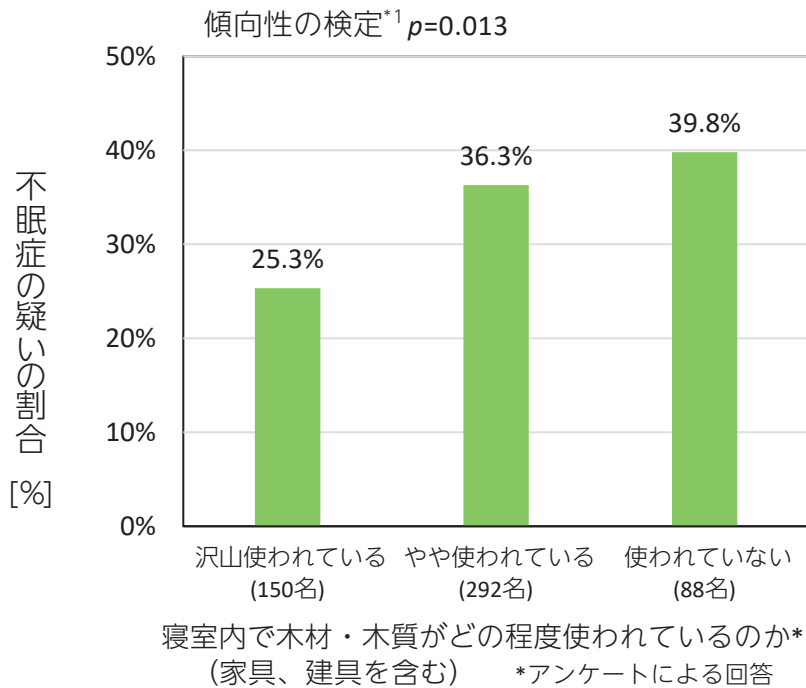


図1 寝室の木材・木質量別の不眠症の疑いの割合

*¹ 統計的に検定を行った結果でも、寝室内の木材・木質量が多いグループほど、不眠症の疑いの割合が低いことが明らかになりました。(Morita et al. 2020を改変)

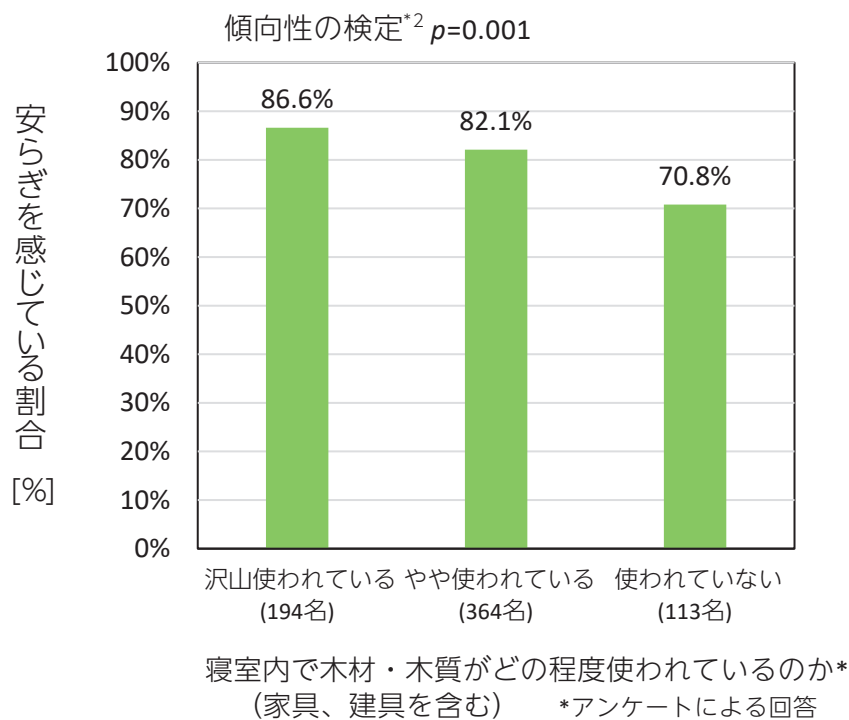


図2 寝室の木材・木質量別の寝室で精神的なやすらぎを感じる割合

*² 統計的に検定を行った結果でも、寝室内の木材・木質量が多いグループほど、精神的な安らぎを感じている割合が高いことが明らかになりました。(Morita et al. 2020を改変)

森林管理の担い手としての森林組合の動向と課題



林業経営・政策研究領域 都築 伸行・笹田 敬太郎・鹿又 秀聡

近年、森林組合による造林保育は減少し、それを林産事業の増加で補っています。林産事業量は、これまでの間伐による増加に加え、主伐による量も増えています。組合の合併が進み、1組合当たりの生産規模は大きくなり、年間1万m³以上を生産する組合が全生産量の約80%を占めています。一方、年間生産量が5千m³に満たない組合が全組合数の過半数を占め、これらの事業拡大による底上げが課題です。また、森林組合の労働者のうち、特に造林作業を行う臨時（季節）雇用者が減少しています。今後増加する皆伐・再造林に対応する労働者の確保が課題であり、伐出と造林の両方を行う多技能労働者を育成し、通年雇用と処遇改善を進める必要があります。

成果

造林から伐出へ

森林資源の成熟に伴い森林組合による造林面積は減少し、1960年代の80万haから2016年には20万haと4分の1になりました。一方で、木材の伐出を行う林産事業は、主伐・間伐ともに増加し、2017年現在600万m³を超えました。

規模の拡大と主伐の増加

森林組合は経営基盤の強化を目的とした広域合併により、林産事業の規模が拡大するとともに、実施する組合の割合も高くなり、2015年度には80%を超えました（図1）。しかし、依然として年間生産量が5千m³に満たない組合が全組合数の過半数を占めています。2015年度現在、林産事業が1万m³以上の組合は全組合数の30%未満で、これらの大規模層が全生産量の約80%を占めています（図2）。林産事業は、2012年頃までは主に間伐による増加でした。2013年以降は主伐・間伐ともに増加がみられます。主伐中心の組合は北海道・東北・九州に多く、特に北海道では100%を外部の民間事業体に委託する組合が多くみられました。一方で、高知県と鳥取県では、施業集約化に成功し利用間伐を中心に急激に林産事業量を増加させている組合も存在しています。

雇用労働者の変化

森林組合の雇用労働者数は、1970年代の6万6千人から減少を続け、2017年度では1万5千人となり（図3）、その数は全国の林業従事者の約3分の1を占めています。この間に、年間210日以上働く常勤的な雇用者の割合は増加を続け、2017年度現在、63%となっています（図3）。

2011年度と2015年度とを比較すると、「主に造林」作業を行う雇用者のうち、特に年間150日未満の臨時（季節）雇用者が減少しました。一方で、「主に伐出」を行う雇用者の人数は横ばいで、年間の延べ就労日数では微増する傾向にありました（図4）。

課題と対策

今後、皆伐・再造林が増加する中、森林組合には2つの課題と対策が必要です。1つは造林労働者の確保です。そのためには、伐出と造林の両方を行う多技能化と通年雇用化が必要です。通年雇用化は、社会保険の加入を促進することで労働条件の改善に繋がり、林業労働も職業選択になり得ます。もう1つは、森林組合の事業拡大や経営基盤の安定化です。充実した労働条件を提供するための前提になります。そのためには個々の森林組合の努力とともに、それを支援するための成功事例や国の施策の情報の提供、さらには国の施策の改善策の提案が重要です。

研究資金と課題

本研究は、実施課題イイ a 1「持続可能な林業経営と木材安定供給体制構築のための対策の提示」による成果です。

文献

都築伸行・笹田敬太郎（2020）主伐を中心に林産事業を展開する森林組合の動向。関東森林研究71（1），173-174。

専門用語

林産事業：森林組合の事業区分の1つで森林組合が自らまたは他の事業体に委託して木材を生産する事業。

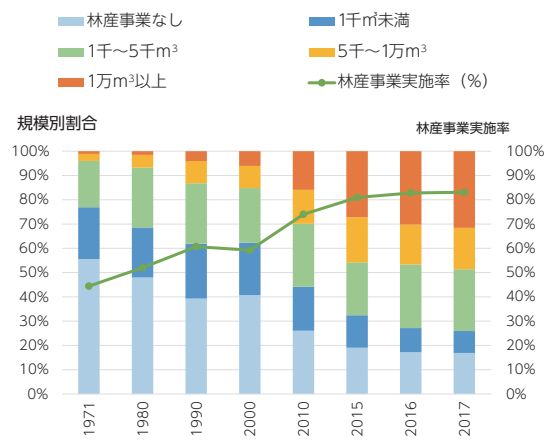


図1 森林組合の林産事業規模別組合数割合の推移

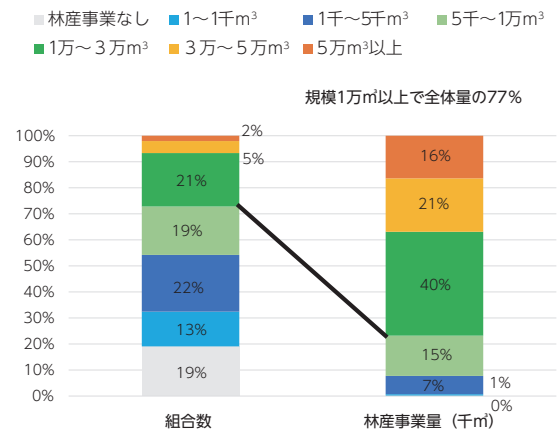


図2 森林組合の林産事業規模別組合数割合と事業量の割合（2015年度）

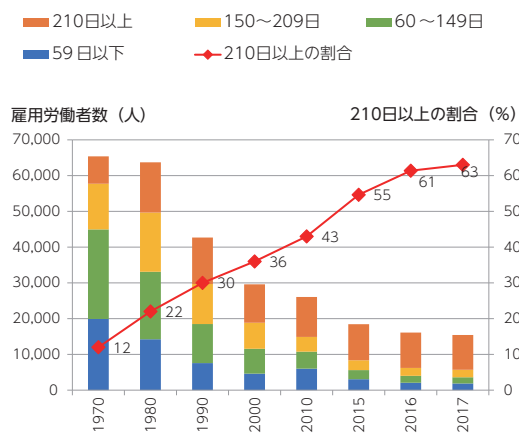


図3 森林組合の年間就労日数別雇用者数の推移

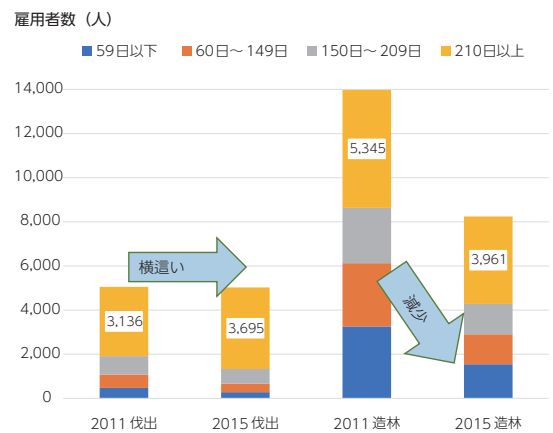


図4 森林組合の作業別・年間就労日数別雇用者数の変化

原料投入の工夫で木材チップ製造の省エネルギー化と低コスト化を達成



木材加工・特性研究領域 藤本 清彦・伊神 裕司・吉田 貴紘

林業工学研究領域 佐々木 達也

震災復興・放射性物質研究拠点 高野 勉

木質バイオマスエネルギーとして利用する際の燃料の1つに木材チップがあります。木材チップは丸太や廃木材から製造されますが、製造工程はできるだけ効率的であることが求められています。そこで、チップ製造機（ディスクチッパー）に投入する材料の寸法と密度（樹種）を変えて試験製造を行った結果、投入する材料の寸法や密度が大きいほど省エネルギーかつ低コストになることが分かりました。この成果は原料をできるだけ大きい状態で投入すればよいことを示しており、原料投入を工夫するだけでよいため、チップ製造を行っている事業者が導入しやすい手法です。

成果

木質バイオマスのエネルギー利用は省エネルギー化、低コストが重要

地球温暖化などの環境問題から化石燃料の消費量削減などが求められており、低質丸太や廃木材など木質バイオマスのエネルギー利用が進められています。木質バイオマスをエネルギーとして使う場合、機械によって小さく砕いて木材チップにしてから使用することが多いのですが、この砕く工程での省エネルギー化、低コスト化が強く求められています。しかし、これらの目的のために新しい機械を購入することは事業者の大きな負担になります。そこで、事業者がすでに所有しているチップ製造機械を用いて、原料の投入を工夫するだけで省エネルギー化、低コスト化を達成できるように、原料の寸法や密度（樹種）がチップ製造時のエネルギーやコストに及ぼす影響について検討しました。

原料が大きいほどチップ製造で消費するエネルギーが減少

原料として密度の異なる3樹種（ヒノキ：密度498kg/m³、カラマツ：同521kg/m³、クヌギ：同812kg/m³）を用意しました。実際のチップ製造現場では、丸太など不定形のものも扱いますが、ここでは寸法の影響がよくわかるように製材品を用いました。

原料をチップ製造機械（ディスクチッパー）に投入してチップを製造（図1）し、1時間あたりのチップの製造量、チップ1トンあたりの製造エネルギーを求めました。その結果、1時間あたりのチップの製造量は、原料の寸法、密度が大きくなるにつれて上昇することがわかりま

した（図2）。また、チップ1トンあたりの製造エネルギーは原料の寸法が大きいほど減少することがわかりました（図3）。樹種別では小さい順にクヌギ<カラマツ<ヒノキになっており、原料の密度が大きいほど製造エネルギーが小さくなることがわかりました。チッパーの能力の限界はありますが、可能な限り寸法および密度の大きな原料を用いた方が製造エネルギーを抑えたチップ製造ができます。

原料投入の工夫でチップ製造の低コスト化を達成

今回の試験結果などからチップ製造にかかるコストを計算しました（表1）。原料の寸法や密度が大きいほど製造コストは減少しました。新しい機械を購入しなくても原料投入の工夫によってチップ製造の低コスト化を達成することがわかりました。

研究資金と課題

本研究は、実施課題「効率的な木質バイオマスエネルギー利用システムの提示」による成果です。

文献

藤本清彦（他）（2020）木材のチップ化エネルギーおよびコストに及ぼす原料寸法および樹種の影響，森林総合研究所研究報告（印刷中）

専門用語

木材チップ（チップ）：2～3cm角程度の薄板状の小さな木材。ディスクチッパーなどによって製造される。

ディスクチッパー：木材チップを製造する機械の1つ。刃物を取り付けたディスクを高速で回転させ、そこへ丸太や製材品を投入して木材チップを製造する。

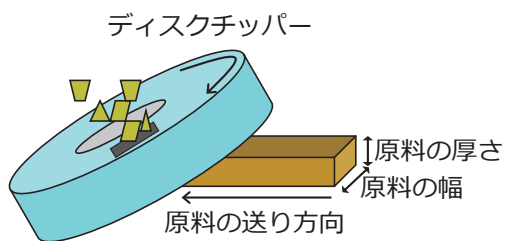


図1 ディスクチッパーによる
チップ製造の模式図

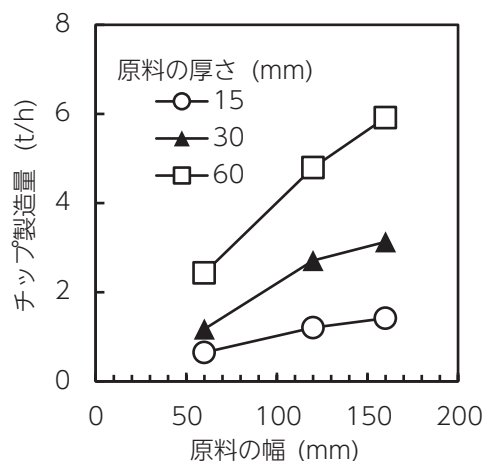


図2 チップの製造量
樹種：ヒノキ

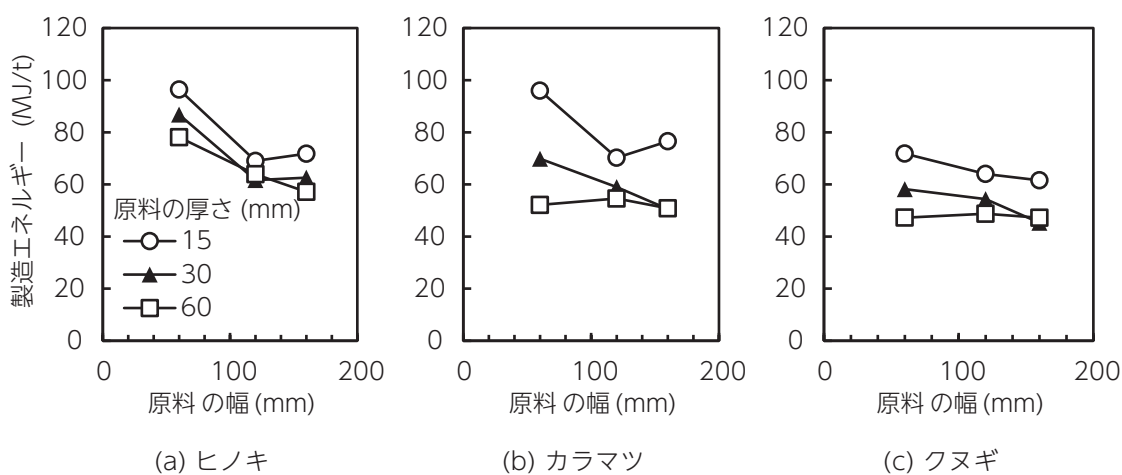


図3 チップ製造エネルギー (MJ/t) 藤本ら (2020) より改変

表1 チップ製造にかかるコスト (円/t)

原料の 厚さ(mm)	樹種：ヒノキ			樹種：カラマツ			樹種：クヌギ		
	原料の幅(mm)			原料の幅(mm)			原料の幅(mm)		
	60	120	160	60	120	160	60	120	160
15	7,611	4,179	3,580	7,242	3,891	3,650	4,302	3,023	3,084
30	4,321	1,914	1,674	4,032	1,845	1,335	2,062	1,560	1,043
60	2,150	1,133	929	1,684	1,056	808	1,240	705	632

国産早生樹の利用可能性を探る — 樹種の特徴を知り、使い方を工夫する —



木材加工・特性研究領域 松村 ゆかり・伊神 裕司・児嶋 美穂

東京大学樹芸研究所 鴨田 重裕

木質資源への多様なニーズに対応し、林業の収益性改善につながる新たな植栽樹種として、成長のはやい早生樹が注目されています。ただし、国産早生樹についてはこれまで利用例が少なく、生産・利用の取組が手探りで進められているのが実情であり、今後国産早生樹を利活用していくためには、その性能や適切な加工条件に関する基礎的な情報が必要です。そこで本研究では、国産早生樹種について、材質や加工特性に関するデータの蓄積を始めました。密度や含水率の樹幹内での変動や、製材加工条件に関する基礎的な知見は、樹種選択や効率的な加工を行うための有用な情報となります。

成果

日本で育つ早生樹の利用を進めるために

成長がはやい早生樹には、「林業経営における収穫サイクルを短くできる」、「短期間に多くの炭素を固定するため気候変動対策に貢献できる」等の利点があります。また、短伐期で家具用材等として利用できる大径木を得られることから、輸入広葉樹材の代替としての利用も期待されています。こうした背景から、新たな植栽候補樹種として国産早生樹が注目されていますが、樹種を選択するためには、その材が用途に応じた性能を有しているか、うまく加工するにはどのような条件が適切か、といった基礎的な情報が必要です。そこで本研究では、国産早生樹の利用可能性を探るため、材質や加工特性に関する基礎的なデータの蓄積を始めました。

樹種の特徴を知り、活かす

ここでは、国産ユーカリ属のデータを示します。ユーカリ属 (*Eucalyptus*) には成長のはやい樹種が多く、主にパルプ用材として世界各地で植林されています。国産ユーカリについては家具用材等としての利用例はほとんどなく、今後の利用可能性を検討するため、基礎的な材質や加工特性を調べました。

木材の強度や収縮率など、利用する上で重要な物理的性質に影響をあたえる密度は、髄から外側に向かって増加する傾向がありました (図1)。ある程度径が大きくなると、密度の高い材を多く得られることとなります。含水率は髄付近で高く外側に向かって減少する傾向がありました (図1)。表面硬さは、木口面、柃目面、板目面とも密度が同程度の国産材や南洋材の樹種と近い値を示し (図2)、同様の用途に利用可能な性能を有すると考えられました。

加工条件と使い方の工夫

木材を製材するとき、一般に送り速度が速くなるほど切削力 (ここでは帯鋸の走行方向と同方向に生じる力: 主分力) が大きくなります。ユーカリ属の樹種についてもその傾向が見られました (図3)。また、被削材の密度が大きい樹種ほど切削力が大きい傾向がありますが、ユーカリ属の場合は必ずしも密度の大きさの順とはなっており、樹種による違いもあることがわかりました。さらに、製材時の挽幅 (ひきはば) が大きい場合には、送り速度が速くなると製材した板の厚さが均一にならないなど製材精度が低下することもあるため、樹種や密度によってバランスの良い製材加工条件を設定することが重要です。ユーカリ属の樹種には、乾燥後の製材品の曲がりやねじれが非常に大きい樹種や割れ等が多く発生する樹種があり、無欠点の広い材面を得るのが難しい場合には、短尺での利用や集成加工するなど使い方の工夫が必要でしょう。今後は、センダン、ユリノキ、コウヨウザン等の他の国産早生樹についても、同様に基礎データの収集を進めていきます。

研究資金と課題

本研究は、実施課題「大径材及び早生樹を対象とした木材加工技術の開発と高度化」による成果です。

文献

松村ゆかり (他) (2020) 国産ユーカリの鋸断特性と製材品品質. 木材工業, 75 (4), 156-161.

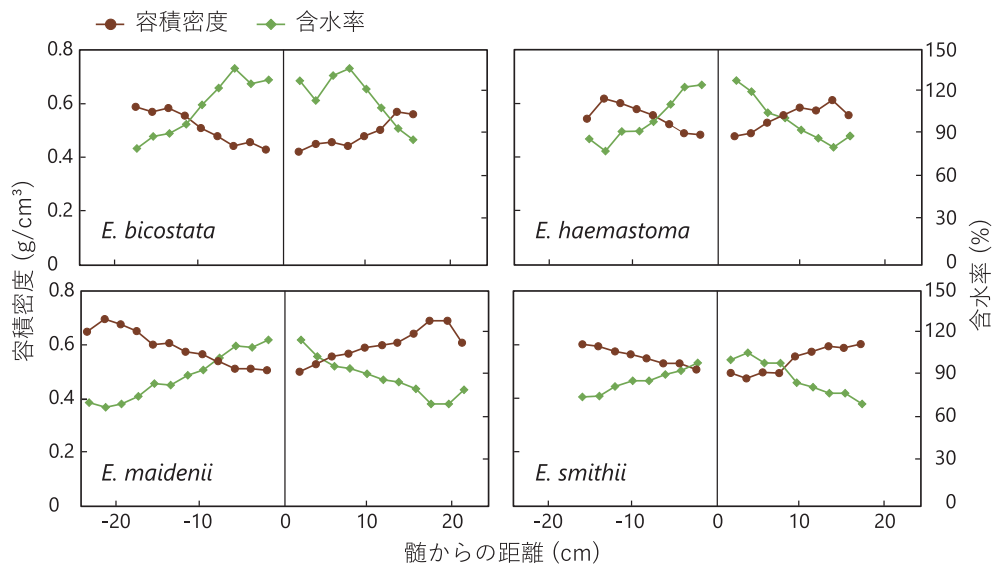


図1 ユーカリ属4樹種の密度と含水率の放射方向変動

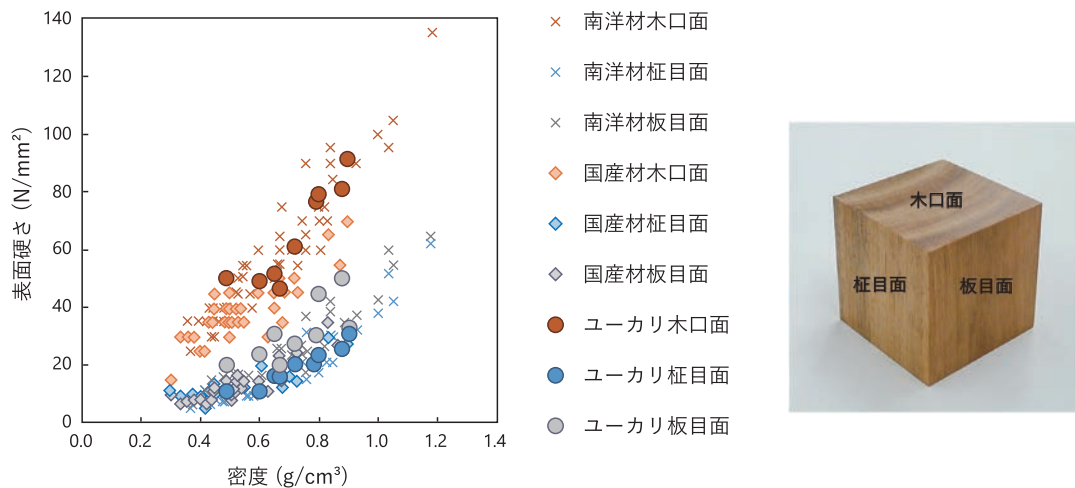


図2 木材の3断面の表面硬さ

南洋材および国産材のデータは木材工業ハンドブック（丸善）より引用
 (ユーカリ: *E. bicostata*, *E. haemastoma*, *E. maidenii*, *E. smithii*, *E. saligna*)

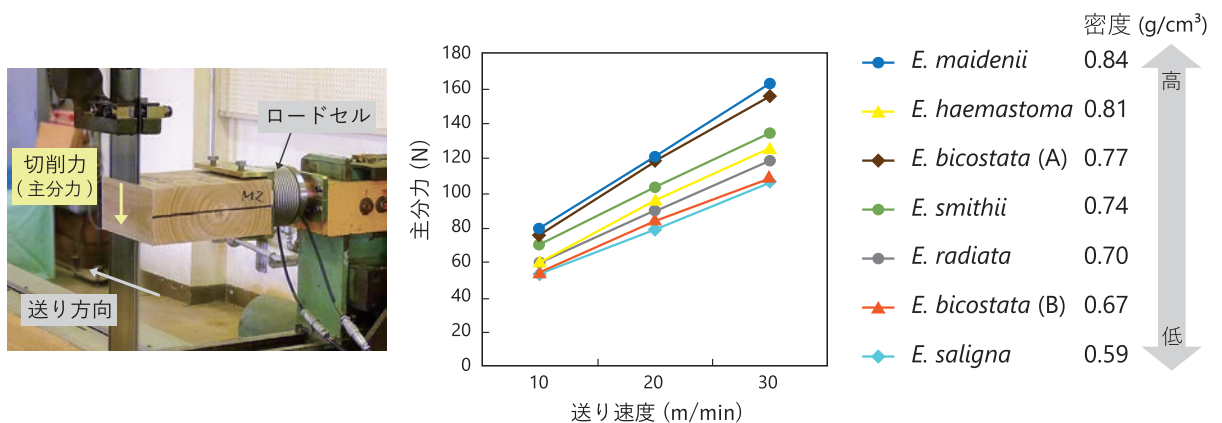


図3 切削力の測定方法および送り速度と切削力の関係

国産材CLTの製造コストを半減し 施工コストを他工法並みにする技術開発



企画部 塔村 真一郎 (国大) 東京農工大学 服部 順昭

参画機関：複合材料研究領域、木材改質研究領域、構造利用研究領域、木材加工・特性研究領域、林業経営・政策研究領域、多摩森林科学園、(株)オーシカ、(一社)日本CLT協会、(国大)京都大学、(株)ドット・コーポレーション、(地独)北海道立総合研究機構林産試験場、(国大)広島大学、(国大)東京農工大学、(一社)産業環境管理協会、(有)平子商店、鳥取県林業試験場、(国大)東京大学、(一社)サステナブル経営推進機構、(国研)建築研究所、(株)竹中工務店、清水建設(株)、三井住友建設(株)、立命館大学

スギ等の地域材を活かすCLTの需要拡大と活用促進に向けて、製品価格を半減し施工コストを他工法並みにするための技術開発に取り組みました。製造工程の効率化と製品仕様の標準化による低コスト化、付加価値の高い非構造用CLTや保存処理CLTを製造する技術の開発に加え、製造や流通におけるコストと環境影響の評価に取り組み、製品価格半減への道筋を示しました。さらに、2時間耐火CLTなどの技術開発により中高層建物向けの仕様を確立するとともに、低コストかつ現場で使いやすい施工方法を開発し、施工コストを他工法並みに近づけました。

成果

製造の効率化及び需要拡大による製造コストの低減

CLTの製造コストを低減させるため、従来の15mmに代る6mm～4mmのフィンガージョイントをCLTに適用する技術を開発し、消費電力量を半減させました。また、接着時間の短縮と積層工程の自動化により生産効率が10%向上することを小型CLT試作機(写真1)で実証しました。さらにこの試作機は、非構造用・内装用途で付加価値の高い薄物パネルも製造できることから、地域材の有効活用を目指す山間部でのCLT生産向けのモデル機として提案しました。

次に量産化と常時在庫品確保によるコスト削減を図るため、日本CLT協会や設計者と協議して、建築の床や壁の用途毎に、標準となる製品のサイズと仕様を定め、その標準サイズを製造するのに適した工場ラインを提案しました。また、CLT壁の開口部を効率よく製造する方法等を提案しました。さらに、需要拡大に向けて、保存処理CLTの製造技術と評価方法(写真2)の開発を行いました。

CLT製造コスト評価のためのシミュレーションツールを開発して、生産量と原材料費に関わるシフト数(8時間/日を1シフトとする交代制勤務)、ラミナ購入価格などの変数の影響の大きさを明らかにしました。さらに、コスト半減を実現する年産1.3万m³の中規模工場と2.6万m³の大規模工場の製造モデルを提案し、今回開発した技術等の導入効果を明らかにしました(図1)。本ツールは民間企業等に活用してもらうことで、地域の実情に適したCLT製造の事業化の推進に役立ちます。

施工の効率化及び他工法とのフルコスト比較

CLTの施工コストを低減させるため、これまでより施工精度管理が容易な方法を開発し、実大施工実験により建設時間の大幅な短縮の可能性を実証しました(写真3)。また、2時間耐火CLTの仕様を開発し、中高層CLT建築への実装を可能としました。CLT工法と比較するために、鉄筋コンクリート(RC)造および鉄骨(S)造の建築物の試設計も行い、環境影響評価を加えて、内部コスト(施工コスト)と外部コスト(環境負荷量から得られる社会コスト)を合わせたフルコスト評価を行いました。

これらの取組を通じてCLTを使った建築物の躯体費における施工コスト(坪単価90万円)を、鉄筋コンクリート造(坪単価75万円)並とする見通しが付きました。

一方、耐火構造ではオールCLT造にすると、耐火性能付与に必要な石膏ボードによる外部コスト及び内部コストが他工法より大きくなること、CLT+S造ではやや低コスト化が図れるものの、依然として耐火関連のコスト削減が課題であることなどもわかりました。

研究資金と課題

本研究は、(国研)農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターの革新的技術開発・緊急展開事業(うち経営体強化プロジェクト)「国産材CLTの製造コストを1/2にするための技術開発」及び「CLTを使った構造物の施工コストを他工法並みにする技術開発」(平成29年度～令和元年度)により実施したものです。

専門用語

躯体費：直接工事費のうち、仮設費・設備費を除いたもの。



写真1 小型CLT試作機
(森林総合研究所内)



写真2 CLTへの保存処理技術の開発
強制腐朽させたCLTの様子
(左：保存処理、右：無処理)

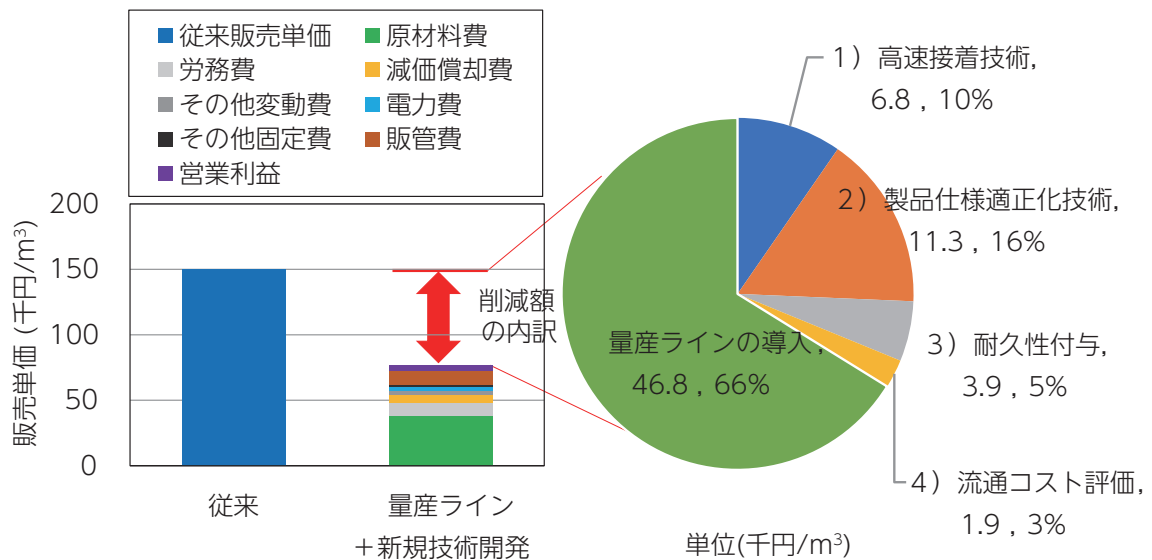


図1 CLT製造コスト半減モデルの提案と各技術開発要素の寄与率
(中規模工場モデル1.3万m³/年での試算例)

施工精度の影響を受けない新工法

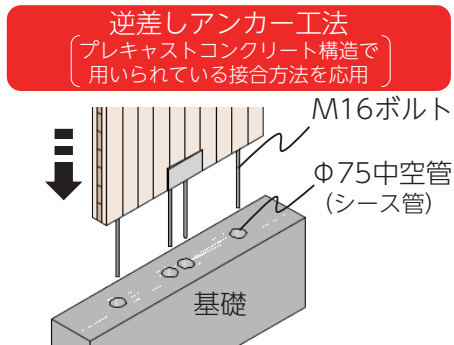


写真3 精度管理が容易なCLTパネル施工方法の開発
(逆差しアンカー工法(左)とそれを用いたCLTパネル工法による試験建物(森林総合研究所構内)(右))

セルロースナノファイバーの製造コストを削減する



森林資源化学研究領域 野尻 昌信・戸川 英二・下川 知子 研究ディレクター 真柄 謙吾

セルロースナノファイバー(CNF)は、木質資源から造られ、様々な用途に利用できる新素材の一つです。塗料、繊維、地盤改良材など幅広い用途開発を進めていますが、実用化のためにはコスト削減が絶対条件となっています。塗料用途でのCNFの品質仕様が確定したため、それに適合するように製造工程を見直し、省略できる部分は削り、薬剤投入量を再検討し、機械の稼働効率を向上させるスケジュールとすることでCNFの性能を落とすことなく、平成27年度には乾燥物として12,106円/kgだった製造コストを4,858円/kgまで削減することができました。

成果

セルロースナノファイバー(CNF)とは

CNFとは、植物細胞壁の主成分であるセルロース繊維を繊維幅が数ナノメートル程度になるまで細く解きほぐしたもので、さまざまな材料に混ぜることでその物性を変化させ、新しい機能を付与できる自然素材です。乾燥すると繊維同士が固着し、元に戻らなくなるため、水に懸濁した状態が完成品となります(図1)。

製造工程の見直しによるコスト削減

平成26年度から森林総合研究所で開始したベンチプラントを使った約1年間のCNFの製造技術実証試験により選定した製造条件に基づいて、平成27年度に製造コストの試算を行いました。この時の製造工程(表1、改良前)は、①蒸解、②固液分離、③酸素漂白、④固液分離、⑤洗浄、⑥過酢酸漂白、⑦固液分離、⑧洗浄、⑨過酸化水素漂白、⑩固液分離、⑪洗浄、⑫濃度・pH調製、⑬酵素処理、⑭超音波処理、⑮酵素失活、⑯ビーズミル処理、⑰殺菌の17工程で構成され、全工程に34.5時間かかっていた。1バッチを24時間ごとに開始し、年間330バッチ製造することで乾燥物として35t/年(水に懸濁したスラリーの状態では1,458 kL/年)のCNFを生産する条件で試算した製造コストは、乾燥物として12,106円/kg(水懸濁スラリーとして290円/L)となりました(表2、改良前)。

その後、塗料用CNFの実用化を目指してコスト削減に向け、製造条件を見直しました。見直しの前提として、改良前と同等のCNF性能を保持することとし、特にパルプ化工程(①～⑪)では、パルプ品質の指標となるパルプ粘度と白色度の2項目を測定し、改良前のパルプと同程度のパルプ粘度(5mPa・s)と白色度(70% ISO以上)となる低コストの製造条件を見出しました。

製造工程の改良(表1、改良後)として③、⑥、⑨と3段階あった漂白工程を⑥の過酢酸漂白1段に変更し、⑭の超音波処理を省略しました。これにより、各工程後の洗浄などと合わせて③、④、⑧、⑨、⑩、⑭を省略することができました。その結果、機械設備費が14%削減され、製造時間が5h短縮されました。改良前と同品質のパルプを得るために、①の蒸解で使用するアルカリ薬剤を1.25倍、⑥過酢

酸漂白で使用する薬剤を4倍に増量することになりましたが、コスト削減効果の方がはるかに大きくなりました。また、改良されたプロセスで作ったCNFの各種用途への適合性は、改良前のCNFと同等であることを確認しました。

次に、製造機器の稼働率を向上させるため、製造スケジュールを見直しました。改良前は、⑬酵素処理と⑯ビーズミル処理でタンクとポンプを共用する計画だったため、⑬酵素処理中(6h)に⑯ビーズミル処理(7.5h)が行えず、それぞれの機器の稼働率が低く、コスト高の原因となっていました。そこで、⑯の工程にタンクとポンプを増設し(図2)、機器稼働率を最大限に上げたスケジュールを検討しました。その結果、ビーズミル機の稼働時間が3倍に増加して7.5h/日から22.5h/日となり、それに伴い生産量も3倍に増やせることが分かりました。増設した機器分だけ費用が増えましたが、前述の機械設備費の削減と合わせると改良前に比べて9.5%の削減になると試算されました。これらの改良により、製造コストは、平成27年度の試算と比べて60%減の4,858円/kg(水懸濁スラリーとして117円/L)と試算されました(表2、改良後)。

製造工程の数が減ったことで、CNFの生産管理が容易になったばかりでなく、製造コストが大幅に下がったことでCNFの実用化が促進されると考えられます。現在、この方法で製造したCNFを配合した木部用塗料の製品化が共同研究企業によって進められています。

研究資金と課題

本研究は、令和元年度林野庁補助事業「地域材を活用したセルロースナノファイバー利用技術開発」による成果です。

専門用語

蒸解：木材をアルカリ液中で160～170℃の高温高圧化で煮込み、木材からリグニンを取り除き、セルロース繊維を取り出す処理

漂白：蒸解で除去できなかったリグニンを薬剤を使って分解除去し、パルプの白色度を増加させる処理

酵素・湿式粉碎：水中でセルラーゼという酵素を使ってセルロース繊維にダメージを与え、硬いビーズと衝突させることでセルロースを粉碎する処理



図1 セルロースナノファイバー懸濁液

CNFは、乾燥させると繊維同士が固着して、再分散しなくなるため、水に懸濁させた状態で製造されます（写真はCNF2.4%含有）。

表1 製造工程の改良

		改良前	改良後
パルプ化工程	1	蒸解	蒸解
	2	固液分離	固液分離
	3	酸素漂白	
	4	固液分離	
	5	洗浄	洗浄
	6	過酢酸漂白	過酢酸漂白
	7	固液分離	固液分離
	8	洗浄	
	9	過酸化水素漂白	
	10	固液分離	
	11	洗浄	洗浄
ナノ化工程	12	濃度・pH調整	濃度・pH調整
	13	酵素処理	酵素処理
	14	超音波処理	
	15	酵素失活	酵素失活
	16	ビーズミル処理	ビーズミル処理
	17	殺菌	殺菌

表2 改良前後のコスト試算ほか

項 目	改良前	改良後	単 位
製造コスト (乾燥物として)	12,106	4,858	[円/kg]
製造コスト (水懸濁スラリーとして)	290	117	[円/L]
乾燥 CNF 生産量	35	99	[t/年]
生産効率	24	8	[h/バッチ]
機械設備費	100	90.5	[%]
薬剤費*	100	102.9	[%]

*薬剤費には、酵素費用などが含まれるため、パルプ化工程での薬剤増量によるコスト増は2.9%となっています。

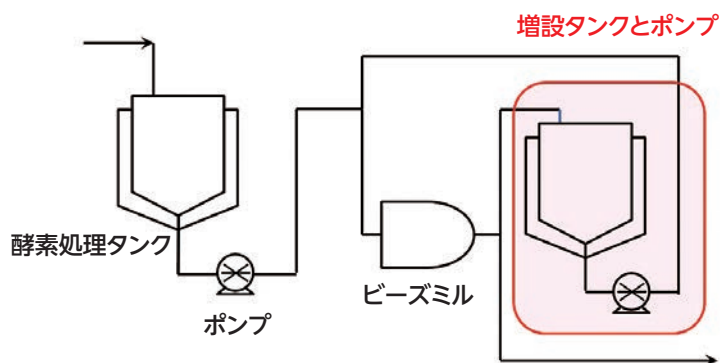


図2 稼働率向上のために増設するタンクとポンプ

酵素処理タンクとポンプはビーズミル循環運転時にも使用する予定でしたが、ビーズミル専用のタンクとポンプを増設することで、同時に運転できるようになり、生産効率が3倍向上しました。

木質由来の天然新素材「改質リグニン」を用いた新機能性樹脂材料



新素材研究拠点 大橋 康典・高田 依里・山田 竜彦

地方独立行政法人大阪産業技術研究所 木村 肇・大塚 恵子・米川 盛生

私たちは、スギ材から取り出された新しい材料である「改質リグニン」を用いた研究開発を進めています。これまでに、様々な材料との組み合わせで既存品よりも優れた強度や耐熱性をもつ試作品の開発に成功してきましたが、今回、改質リグニンを化学反応によってほかの樹脂と結合させることにより、更なる物性の向上を目指しました。その結果、単なる性能向上にとどまらず、「耐熱性と柔軟性の両立」という、従来品では困難であった機能の実現に成功しました。現在、この新しい材料の用途開発と評価を進めています。

成果

改質リグニンと、その応用例

木材は、5割程度のセルロース、2～3割程度のリグニンおよびヘミセルロースから構成されています。セルロースは、紙やセルロースナノファイバーの原料として知られていますが、リグニンの工業製品としての利用は極めて限定されています。これは、リグニンの化学構造が複雑かつ多岐にわたるため、品質の安定性を要求される化学原料としては利用しにくいからです。しかしながら、芳香核という化学的に強固な構造を有する、天然では稀有な存在であるリグニンを利用しないのはもったいないと考えられます。そこで私たちは、製紙産業とは異なった化学プロセスを用いることで、リグニン構造が比較的一定であるスギ材から化学原料として利用可能なリグニン材料を取り出すことに成功しました。これが「改質リグニン」です。これまでに多数の応用製品を試作してきましたが、令和元年度も、改質リグニンを利用した飛行機用部材やスピーカーコーン、ジビエストレッチャー（捕獲した鳥獣類を運び出す際に使う機器）等、既存製品を上回る物性を有する開発品を多数試作してきました（図1）。スピーカーについては、改質リグニン利用製品第一号として開発元のオオアサ電子株式会社より販売が開始されています。

改質リグニンの新たな機能発現を目指して

その一方で、改質リグニンを様々な樹脂類と混ぜて使う際には、それらとの相性によっては混ざりにくく、強

度等の低下を引き起こす場合もあります。そこで、改質リグニンそのものを樹脂にするべく、フェノール樹脂構造を化学的に付与して成形品を試作したところ（図2）、市販の汎用フェノール樹脂を用いた時と比べて様々な物性が向上し、特に耐熱性を低下させることなく柔軟性を付与することに成功しました（図3）。本来、この二つの物性は相反する関係となっているため、市販されている各種製品では添加剤を加えることで弱点を補っています。しかし、本成果を用いることで、高価な添加剤を使用しなくてもよくなるため、コストダウンにもつながります。

最後に

改質リグニンは、天然由来の素材であることからSDGs達成に貢献できることは勿論の事、既存の化石資源由来の樹脂を上回る物性が期待できます。私たちは、改質リグニンを地球の将来を担う新素材として育てるべく、更なる応用研究を進めていきます。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP19K06178）「有機-無機ハイブリッド化による植物由来超高耐熱材料の創製」による成果の一部です。

文献

大橋康典（他）樹脂組成物. 特願2020-014946.

大橋康典（他）ノボラック型フェノール樹脂および樹脂組成物. 特願2020-014947.



図1 改質リグニンを用いた製品及び試作品の例

- (a) 飛行機用部材（主翼及び尾翼に利用、株式会社天竜木工、株式会社宮城化成、産業技術総合研究所、森林総合研究所）
 (b) 全方位スピーカー（ウーファークォンに利用、オオアサ電子株式会社（<https://www.egretta.jp/lineup/tsa200/>））
 (c) ジビエストレッチャー（長野トヨタ自動車株式会社、株式会社宮城化成、森林総合研究所）



図2 改質リグニン利用樹脂を用いた成形品の試作方法の概略

改質リグニンから樹脂を化学合成後、他の材料と混ぜて成型します。

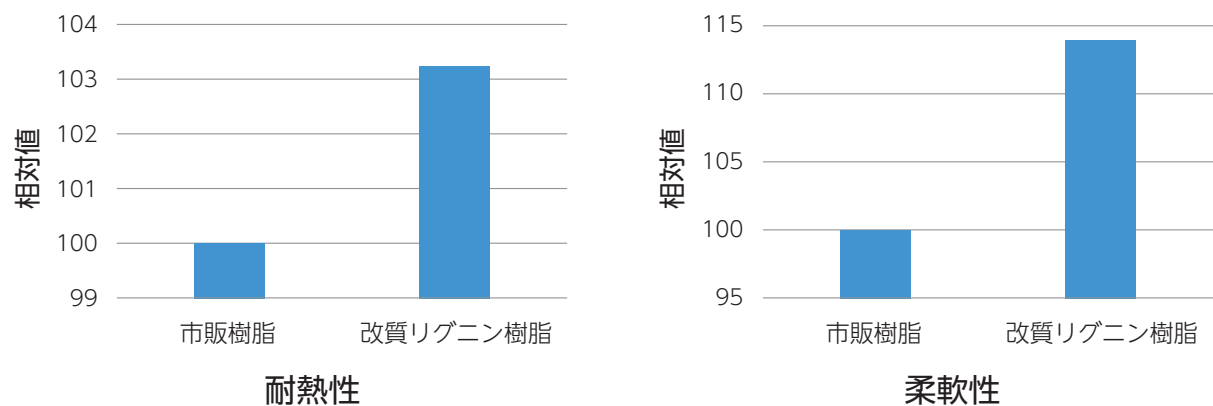


図3 改質リグニン利用プラスチックの物性

改質リグニンを利用した材料は市販フェノール樹脂よりも様々な物性が向上し、特に、耐熱性と柔軟性の両立が可能です。数値は、以下の物性値における相対値です。耐熱性：ガラス転移温度(℃)、柔軟性：曲げ最大点伸度(%)

木材から造る香り豊かなアルコール —世界初の「木のお酒」を目ざして—



森林資源化学研究領域 大塚 祐一郎・野尻 昌信・楠本 倫久・橋田 光・松井 直之・大平 辰郎

複合材料研究領域 松原 恵理

構造利用研究領域 森川 岳

木材を原料に、薬剤処理や熱処理なしに、木と水と食品用の酵素、醸造用の酵母のみで飲用目的に供しうるアルコールを製造する世界初の技術を開発しました。スギ、シラカバ、サクラ、ミズナラから試験製造したアルコールは、香り成分の分析と官能試験によって、スギは木の香り豊かな、シラカバは甘くフルーティーな、サクラは華やかな、ミズナラはウィスキーを連想する芳醇な香りの特徴があり、樹種ごとに異なる風味をもつ香り豊かなアルコールができることを確認しました。また、スギから製造したアルコールについては安全性試験を行い、飲用に供するための基礎データを蓄積しています。

成果

木から薬剤処理や熱処理なしに製造される飲用を目的としたアルコール

森林総合研究所では、木材の新しい処理技術として、木材と水を混ぜ、水中で木材を1/1000mmのサイズまで微粉砕することにより硬い細胞壁に埋め込まれたセルロースを露出させる「湿式ミリング処理」の技術を用いて、木材から薬剤処理や熱処理なしにセルロースを露出させ、食品用のセルロース分解酵素によってセルロースをブドウ糖に分解し、さらに醸造用の酵母による発酵を経て、飲用を目的としたアルコールを製造する世界初の技術を開発しました（図1）。

樹種ごとに特徴的な風味のアルコール

図1に示すアルコール製造プロセスでは、様々な樹種からアルコールを造ることができます。私たちは、最初にスギ、シラカバ、サクラ（染井吉野）を原料に試験製造を行い、アルコール度数1.5～2.0%の黄金色の発酵液を造り、さらに、この発酵液を1～2回蒸留して、アルコール度数約30%の透明な蒸留液を造りました（図2）。各樹種から製造した蒸留液の香り成分を分析した結果、スギの蒸留液には木の香り成分であるセスキテルペンが多く含まれていること、シラカバの蒸留液には酵母の発酵によって造られる脂肪族アルコールや桃様の香り成分である酢酸フェネチルなどが含まれ、フルーティーな香りであること、サクラの蒸留液ではシラカバ同様のフルーティーな香りに加え、ベンジルアルコールなど華やかな香りも含まれることが分かりました。さらに、ミズナラを原料とする試験製造も行い、ウィスキーを思わせる芳

醇でスモーキーな香りを持つアルコールができることが分かりました。

「木のお酒」を目指して

人類の長いお酒の歴史の中で、木材から製造したアルコールを飲んだ経験のある人は誰もいません。そのため、「木のお酒」として飲用に供するには安全確認が必要です。そこで、はじめにスギから製造したアルコールを対象に安全確認を行っています。スギは樽や箸の材料として、食の場面で昔から当たり前のように使われている樹種ですが、それでも私たちにはスギの食経験がないため安全確認が必要です。今回、スギの発酵液とその蒸留液について、残留農薬、重金属、有害物、カビ毒、溶剤、遺伝子突然変異誘発性の試験を行い、いずれの項目でも問題がないことを確認しました（表1）。今後、さらに安全性を確認する試験を追加し、木の酒が飲用に問題ないことを確認していく予定です。

研究資金と課題

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「木材等の『食に関わる素材』としての新規利用法の開発」および、農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターのイノベーション創出強化研究推進事業「世界初！樹から造る『木の酒』の開発」による成果です。

文献

特願2018-040586樹木材料のリグノセルロースを原料としたアルコール飲料及びその製造方法

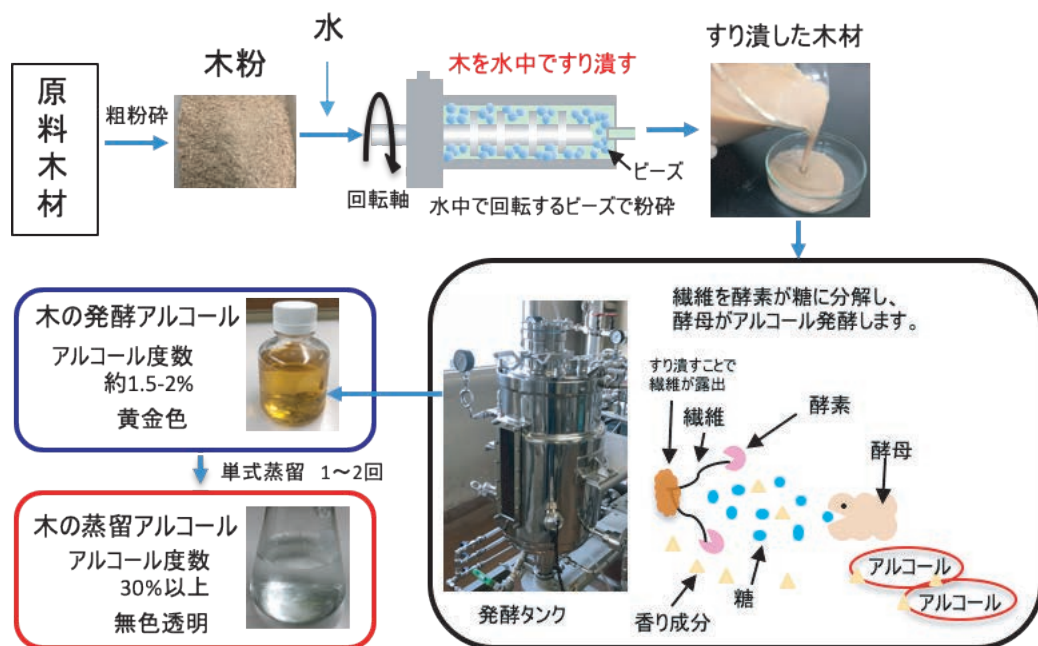


図1 木材からアルコールを製造する技術の概要



図2 木材から試験製造したアルコール

表1 スギから製造したアルコールの安全性試験結果

分析試験項目		スギ発酵液	スギ蒸留液	参考
農薬	450種	不検出	不検出	
重金属	ヒ素、鉛、カドミウム、水銀	不検出	不検出	
有害物	カルバミン酸エチル、PCBなど	不検出	不検出	
カビ毒	総アフラトキシン	不検出	不検出	
溶剤	多環芳香族炭化水素	不検出	不検出	
一部の項目で成分が検出されていますが、いずれも既存の食品中に含まれている成分であり、濃度も問題のあるレベルではないと考えられます。	フラン	26ppb	8ppb	コーヒー飲料には100ppb含
	4-メチルイミダゾール	不検出	不検出	
	アセトン	不検出	17ppm	市販蒸留酒には40ppm含
	ヘキサン	不検出	不検出	
	トルエン	不検出	不検出	
	キシレン	不検出	不検出	
	ベンゼン	不検出	不検出	
	酢酸エチル	不検出	69ppm	市販ワインには50ppm含
遺伝子突然変異誘発性	遺伝毒性試験ガイドライン準拠	陰性	陰性	

スギの成長や材質に関わる遺伝領域を特定し 環境要因と遺伝要因の影響を明らかにする



樹木分子遺伝研究領域 森 英樹・上野 真義・伊原 徳子・松本 麻子・内山 憲太郎

森林バイオ研究センター 藤原 健

木材加工・特性研究領域 山下 香菜・吉田 貴紘

九州支所 金谷 整一・酒井 佳美

千葉県農林総合研究センター森林研究所 遠藤 良太

千葉県南部林業事務所 小林 沙希

熊本県天草広域本部 松井 由佳里

熊本県県北広域本部 草野 僚一

新潟大学 森口 喜成

筑波大学 津村 義彦

九州地方のスギを交配して得た139種類のクローン苗を、環境の異なる3箇所の試験地にて約10年間育て、成長や材質を測定するとともに、これらクローン苗の遺伝情報を解析しました。その結果、成長は試験地によって大きく異なる一方で、材質は成長に比べて、試験地による影響をあまり受けていませんでした。また、各試験地で平均して53の形質に関連した遺伝領域が見つかりました。それらほとんどが試験地によって異なっていました。複数の試験地で共通している遺伝領域もあり、それらの多くは、材質に関する遺伝領域でした。これらの結果から、スギの材質に関する形質は、生育環境よりも遺伝要因の影響を強く受けることがわかりました。

成果

スギの成長は環境の影響を強く受ける

スギは我が国の主要な造林樹種として、気候風土に応じて様々な形質（成長や材質）を有する品種が植栽されてきています。これら形質に影響を及ぼす遺伝的要因と環境要因を評価し、そのメカニズムを解明することは、将来の環境変動に対する樹木の形質を予測する上で重要です。そこで、同一の遺伝情報をもつクローン苗木を異なる環境に植栽して、その成長や材質を比較しました。九州地方のスギを交配して得た139種類のクローンのスギ苗を、2005年に茨城県、千葉県および熊本県に設定した試験地に植栽しました。2015年には熊本県、2016年には千葉県、2017年には茨城県の試験地において、植栽したスギをすべて切り倒して、幹の直径や樹高などの成長と、曲げ強度、木材の密度および含水率などの材質を測定しました。その結果、スギの成長は試験地によって大きく異なりました。一方で、材質は成長に比べて、試験地による影響をあまり受けていませんでした。このことから、スギの材質に関する形質は遺伝要因の影響をより強く受けていることが示唆されました（図1）。

材質は遺伝要因の影響を受けやすい遺伝領域を特定して、形質への影響を明らかにした

成長と材質に影響する遺伝領域を特定すると、各試験

地で平均して53の関連する遺伝領域が見つかりました。これらの多くは試験地によって異なっていました。一方、複数の試験地で同じ遺伝領域が形質に関連している場合もあり（図2）、それらの多くは、材質に影響を及ぼす遺伝領域でした。このことは、材質が環境の影響を受けにくく遺伝的な影響を受けやすいという傾向を反映していると考えられます。このような傾向は、ポプラやユーカリなどの研究でも報告されていましたが、スギでは初めて遺伝情報を用いて解明したもので、今後、気候変動に対するさまざまな適応策を考える上で重要な知見となります。

研究資金と課題

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト1 #201421「有用遺伝子の特定に向けたスギ全ゲノム走査」による成果です。

文献

Mori, H., Ueno, S., Ujino-Ihara, T., Fujiwara, T., Yamashita, K., Kanetani, S., Endo, R., Matsumoto, A., Uchiyama, K., Matsui, Y., Yoshida, T., Sakai, Y., Moriguchi, Y., Kusano, R., & Tsumura, Y. (2019) Mapping quantitative trait loci for growth and wood property traits in *Cryptomeria japonica* across multiple environments. *Tree Genetics & Genomes*, 15(3), 43.

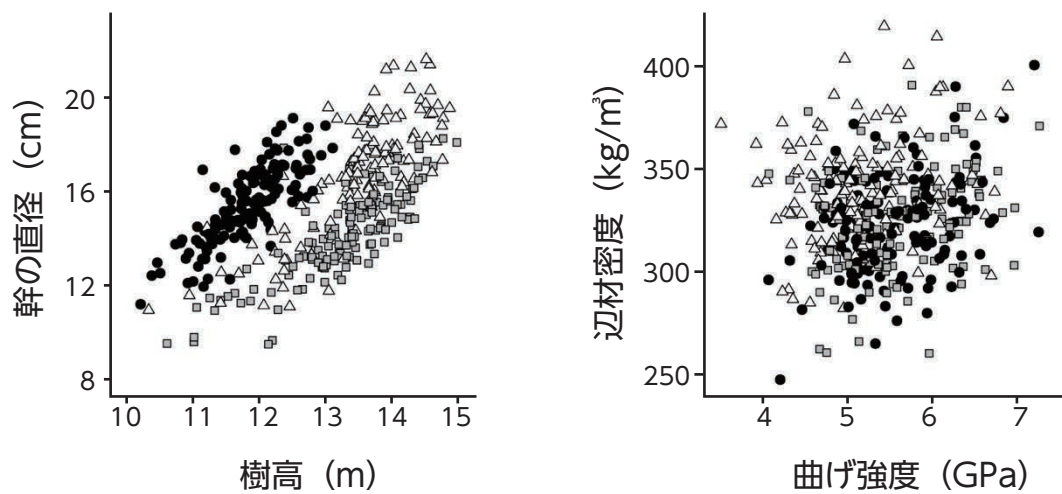


図1 3試験地におけるスギの成長（左）と材質（右）。

図中の記号は試験地の違いを表します（熊本試験地：丸（黒）、千葉試験地：四角（灰色）、茨城試験地：三角（白））。

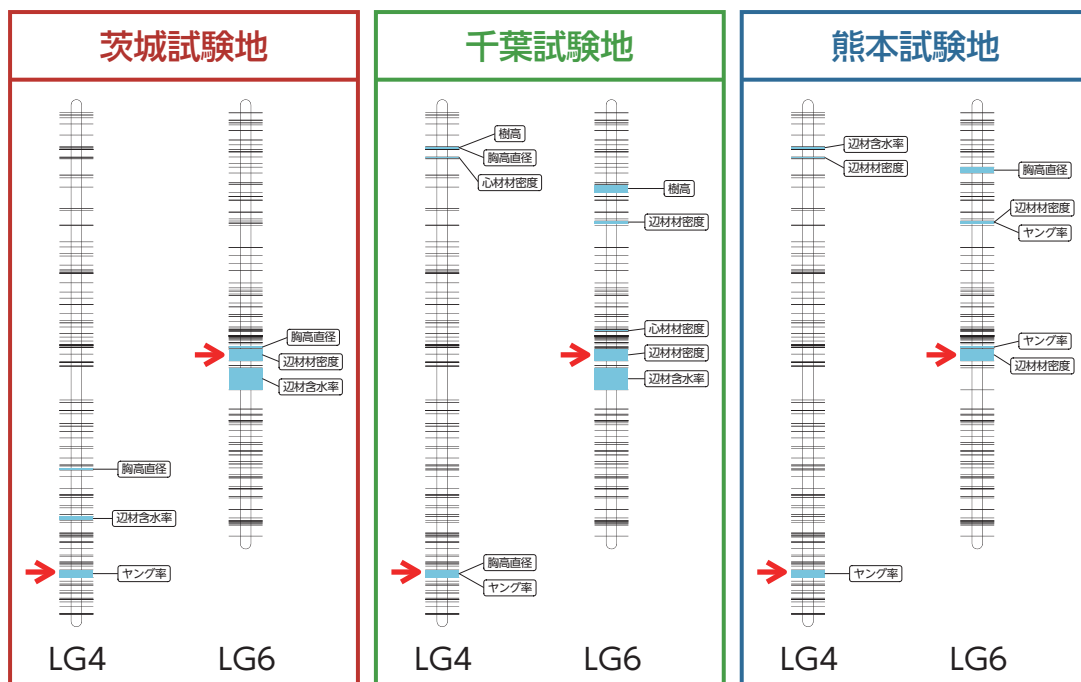


図2 スギの形質に関連した遺伝領域を示した遺伝子地図

水色で示された領域は形質に影響が認められた遺伝領域を表します。矢印は、3箇所の試験地に共通して形質への影響が認められた遺伝領域です。今回、試験地に共通した遺伝領域は、第4連鎖群（左）と第6連鎖群（右）のみに認められました。

国産トリュフの栽培技術の開発



研究ディレクター 山中 高史 きのこ・森林微生物研究領域 小長谷 啓介・仲野 翔太・中村 慎崇
立地環境研究領域 古澤 仁美 東北支所 野口 享太郎 九州支所 木下 晃彦

西洋料理の高級食材であるトリュフは、近年、日本にも分布することが明らかになりました。そこで、国産トリュフの安定的な生産に向けて人工栽培技術の開発を開始しました。まず、食用として有望な国産トリュフ2種（アジアクロセイヨウショウロとホンセイヨウショウロ）の種を確定しました。これら2種は、主にコナラやクリなどのブナ科樹木の林に発生し、土壤環境を比べると、pH値や養分条件が異なることを明らかにしました。この結果を踏まえて環境条件を整えた圃場に、トリュフ菌を共生させた苗木を植栽することで、トリュフ菌を長期間苗木に定着させることに成功しました。

成果

国産トリュフの発生する土壤環境を解明

トリュフは西洋料理において高級食材として知られるキノコです。球形～塊状のキノコを地表近くに作ります。近年、日本においてもトリュフが分布することが明らかになり、国産種の人工栽培を目指した研究開発を開始しました。国内各地における発生事例が多く、キノコが比較的大型で食用に有望な種であるアジアクロセイヨウショウロ（黒トリュフ）とホンセイヨウショウロ（白トリュフ）の2種（図1）について、発生地の樹種と土壤環境を調べました。その結果、これらトリュフは共通して、主にコナラやクリなどブナ科樹木の林に発生していました。しかし、土壤環境を見ると、黒トリュフの発生地はpHが6～8で、カルシウムなどの塩基（養分）を多く保っているのに対し、白トリュフの発生地はpHが5～6で養分に乏しいことがわかりました（図2）。これらのトリュフの菌株について、菌糸の生長に適した培地のpHを調べた結果、黒トリュフではpH7、白トリュフではpH5～6が生育に適した値であり、野外の発生地の土壤条件と一致していました。

トリュフ菌根形成苗木の植栽による菌の定着に成功

トリュフは、樹木の根に共生する菌根菌であり、樹木から栄養分を獲得し、土壤中に栄養菌糸体を発達させてキノコを作ります。そのため、トリュフを人工栽培するためには、トリュフ菌を共生させた苗木を植栽するか、既に生育している樹木に菌を共生させて、土壤中に菌糸

を定着させる必要があります。そこで、キノコをすりつぶして作った孢子懸濁液を用いて、コナラなどの苗木の根に菌を共生させて、これらを圃場に植栽しました。植栽1年後に、苗の根系を観察すると、植栽後に伸長した根にトリュフ菌の菌根が形成され、トリュフ菌の定着に成功したことが確認できました（図3）。今後は、土壤中の菌糸量や菌根形成量を測定して、菌の定着の推移を明らかにしていきます。

研究資金と課題

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適利用するための技術開発」のうち「高級菌根性きのこ栽培技術の開発」による成果です。

文献

古澤仁美（他）（2020）日本における2種のトリュフ（アジアクロセイヨウショウロ およびホンセイヨウショウロ）の生息地の土壤特性。森林総合研究所研究報告, 19(1), 55–67.
Nakano, S. et al. (2020) Influence of pH on in vitro mycelial growth in three Japanese truffle species: *Tuber japonicum*, *T. himalayense*, and *T. longispinosum*. Mycoscience, 61, 58–61.

専門用語

菌根菌：土壤中に生息する菌類の一種で、植物の生きた根に共生して菌根という器官を形成し、そこを介して、植物からの養分を得て生育する。トリュフのほか、マツタケなども菌根菌であり栽培技術が確立されていない種が多い。



図1 アジアクロセイヨウショウロ (左) とホンセイヨウショウロ (右)。スケールバーは5 cm。

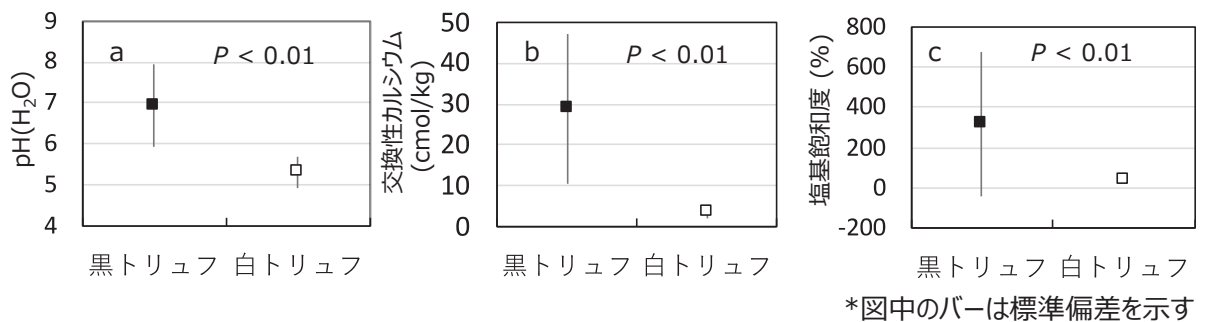
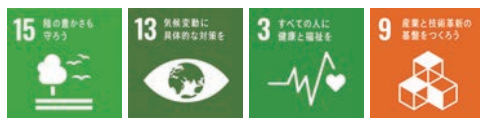


図2 アジアクロセイヨウショウロ (黒トリュフ) とホンセイヨウショウロ (白トリュフ) の発生地の土壌の特徴。黒トリュフの発生地は、白トリュフの発生地に比べて、土壌のpH値が高く、交換性カルシウム濃度や塩基飽和度が高く、養分を多く保っている傾向にあります。



図3 トリュフ菌感染苗木の植栽後伸長した根系におけるトリュフ菌の定着。

遺伝的に多様で優良形質の無花粉スギ品種の開発に役立つ リソースを構築



林木育種センター 三嶋 賢太郎・平尾 知士・坪村 美代子

スギ花粉症は、国民の約3割が罹患していると言われている国民病です。そのため、各地域において無花粉スギ品種の開発が進められていますが、それには長い時間がかかるため、無花粉遺伝子をヘテロで保有する個体(ヘテロ個体)を活用することで交配の回数を減し、期間短縮された効率的な開発を行うことが必要になります。そこでヘテロ個体を検出できるDNAマーカーを開発し、全国の成長の優れた精英樹を対象に、ヘテロ個体を探索しました。その結果、21のヘテロ個体を発見しました。今後、これらのリソース(育種素材)を活用することで、全国において遺伝的に多様で、なおかつ優良な無花粉スギ品種の開発が可能になります。

成果

無花粉遺伝子を高い精度で判定できるDNAマーカーを開発

林木育種センターでは、林業分野におけるスギ花粉症対策として、「爽春」をはじめとする無花粉スギ品種を開発しています。また、早期かつ効率的に無花粉スギ品種を開発するために、「爽春」を用いて、無花粉遺伝子を高い精度で検出できるDNAマーカーを開発しました。このDNAマーカーは無花粉スギであることを識別できるだけでなく、無花粉遺伝子をヘテロで保有する個体も識別できます。

無花粉遺伝子をヘテロで保有する個体の利用で無花粉スギ品種を効率的に開発

「爽春」に代表される無花粉スギは、無花粉遺伝子座を潜性ホモ接合(a a)の状態でも保有しています(花粉をつける個体では、この遺伝子がA A又はA aとなります)。この無花粉スギを利用した交配によって新たな無花粉個体を得るためには、2回の交配を行う必要があるため、無花粉スギの開発には長い年月がかかっていました。しかし、無花粉遺伝子座をヘテロ接合(A a)で保有する個体(ヘテロ個体)同士を交配を行えば、1回の交配によって一定の割合で無花粉個体を得ることができます。このように、無花粉遺伝子をヘテロで持つ個体を活用した品種開発は、交配にかかる期間を短縮することができます(図)。今後、無花粉スギ品種の開発を効率的に推進するために、無花粉遺伝子をヘテロで保有しているスギのリソース(育種素材)の拡充が重要となります。

無花粉遺伝子をヘテロで保有するスギ21個体を解明

無花粉遺伝子をヘテロで保有しているスギのリソースの拡充に向け、全国にある4,241のスギ精英樹及び育種

素材(東北・関東・関西・九州育種基本区)について遺伝子座を解析し、21の精英樹がヘテロ個体であることを明らかにしました(表)。精英樹は、優良な形質を有しているため、精英樹同士によって得られる個体は、優良な形質を有する可能性が高くなります。今回の研究で明らかになったヘテロ精英樹を今後活用することで、全国で短期間に遺伝的に多様かつ優良な林業形質を持つ無花粉スギ品種を開発することが可能になります。

研究資金と課題

本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト研究「気候変動に適応した花粉発生源対策スギの作出技術開発」の成果です。

文献

- Mishima et al. (2018) Identification of novel putative causative genes and genetic marker for male sterility in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). BMC genomics, 19, 277.
- 坪村美代子(他)(2019) 雄性不稔スギ「爽春」の雄性不稔原因遺伝子を持つ個体を検出する簡易DNAマーカーの開発. 日林誌, 101, 155-162.

専門用語

DNAマーカー：生物が持つ遺伝情報を規定している膨大な量のDNA(デオキシリボ核酸)のうち、特定の部位のDNAで、特定の形質に関与する遺伝子の存在を示唆するものとして使われるもの。

精英樹：成長の早いこと、幹が通直であること、病気や虫の害がないこと等を基準に全国の森林から選抜した個体。

ホモ接合体：AA、aaのように遺伝子座が同じ対立遺伝子からなるもの。

ヘテロ接合体：Aaのように遺伝子座が異なる対立遺伝子からなるもの。

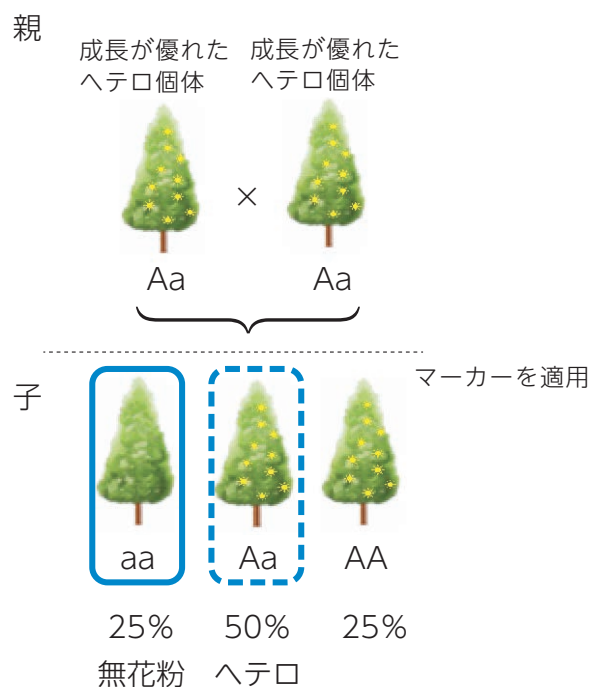


図 無花粉遺伝子をヘテロで保有する個体を用いた品種開発の例

表 無花粉遺伝子をヘテロで保有するスギ精英樹(一部)

育種基本区	育種区	精英樹名	選抜都県	公表年
関東	関東平野	西多摩 8 号	東京都	平成30年
		中 4 号	神奈川県	平成30年
		箱根 4 号	神奈川県	平成30年
		片浦 6 号	神奈川県	平成30年
		丹沢 2 号	神奈川県	令和元年
	中部山岳	奈良井 4 号	長野県	平成30年
	東海	天竜 11 号	静岡県	平成30年
九州	北九州	県神埼 1 号	佐賀県	平成30年

スギの実生コンテナ苗を1年で生産するための施肥技術の開発



林木育種センター 大平 峰子・松下 通也

優良な苗木を早期に普及するためには、その育成期間を短縮することが重要です。それは、育林コストの低減にもつながります。スギの実生コンテナ苗を生産するためには従来2年から3年かかっていましたが、今回、育苗期間の最初に与える肥料（元肥）と後半に与える肥料（追肥）の条件を検討して1成長期で出荷規格まで育成させる試験を行いました。その結果、約7割がコンテナ苗として出荷できるサイズにまで達し、適切な施肥により実生コンテナ苗の育苗期間を1年に短縮できる技術を開発しました。

成果

1年でスギの実生コンテナ苗を出荷する技術開発の必要性

日本の主要な造林樹種であるスギは、九州や本州の一部の地域を除き、実生苗で造林されています。一方、近年、コンテナ苗は、植栽後の活着率や成長が裸苗と同程度であり、育苗期間が短縮できること、加えて植栽時に、裸苗のように大きな植え穴をつくる必要がないことなどから、植栽数量が増えてきています。一般に、スギの実生コンテナ苗は、春に苗畑に播種して1年育成し、翌年にできた苗をコンテナに移植し、そこから更に1年から2年育成し、苗木の出荷まで全体で2年から3年の期間を要していました。育苗期間を短縮することで、そのコストを大幅に削減できるとともに、早期に優良な苗木を山に送り出すことができます。

元肥の種類と施肥量の最適条件

発芽して子葉が展開した芽生えを引き抜き、ココピート100%を培地としたスリット無しの150ccのマルチキャビティコンテナに移植しました。元肥に相対的に窒素が多い複数種の緩効性肥料（表1）を複数の濃度で施肥して（表1）育成し、元肥の溶出が終わる100日後のコンテナ苗の苗高を調べたところ、N-P-Kが12-8-10の比率で肥効期間が100日タイプの緩効性肥料A、これに苦土石灰と腐葉土の2種類を配合した「腐葉土混合」の肥料で成長が良くなることが分かりました。また施肥量が多くなるほど苗高が増加するものの、施肥量がある一定量以上になると、それ以上の成長の改善はみられなくなりました（図1）。このようなことから、元肥の施肥量としては2～4倍量が適量であり、培地1ℓあたりのNは1.40～2.80g、 P_2O_5 は0.82～1.64g、 K_2O は1.02～2.04g、CaOは0.80～1.60g、MgOは0.50～1.00gが適当であると考えられました。

追肥の種類と施肥量の最適条件

相対的にカリウムが多い複数種の肥料（表2）を、育苗期間の後半の8月下旬から追肥し、11月中旬までの苗

高と地際直径の成長率を比較しました。N-P-Kが10-18-15の比率で肥効期間が100日タイプの緩効性肥料Bと苦土石灰のシンプルな組合せで施用すると（表2）、苗高と地際直径の成長が促進されることが明らかとなりました（図2）。このようなことから、追肥の施肥量としては3倍量が適量であり、培地1ℓあたりのNは3.0g、 P_2O_5 は5.4g、 K_2O は4.5g、CaOは2.1g、MgOは0.9gが適当であると考えられました。

最適な施肥条件で育成した実生コンテナ苗の成長

元肥と追肥のそれぞれの試験で最も良かった施肥条件で、スギ実生苗を、ココピート100%を培地としたスリット無しの150ccのマルチキャビティコンテナで1成長期育成すると、約7割の個体が林野庁の示すコンテナ苗の出荷規格（5号苗で苗高30cm、地際直径3.5mm）を満たすサイズに達しました。これらの詳細については、大平・松下（2019）を参照してください。

文献

大平峰子・松下通也（2019）施肥量がスギ実生コンテナ苗の成長に及ぼす影響。日林誌，101，109-114。

専門用語

マルチキャビティコンテナ：苗木を育てるための多数のキャビティ（孔）でできた容器。

コンテナ苗：根鉢が成形された鉢付き苗で、マルチキャビティコンテナによって育成された苗木。

緩効性肥料：肥料の効き方がゆっくりで、一定期間効果が持続する肥料。

子葉：種子が発芽した後、最初にでる葉。スギの場合、3枚の子葉がでる。

元肥：苗木を植え付けるときに事前に培土に与える肥料。

追肥：苗木の成長に応じて必要な養分を追加して与える肥料。

表1 各種元肥の1倍量に相当する培地中の各無機成分の含有量 (g/l)

元肥の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
腐葉土混合	0.70	0.41	0.51	0.40	0.25
牛糞堆肥混合	0.70	0.66	0.78	0.40	0.25
緩効性肥料A+ 苦土石灰	0.72	0.48	0.60	0.40	0.27

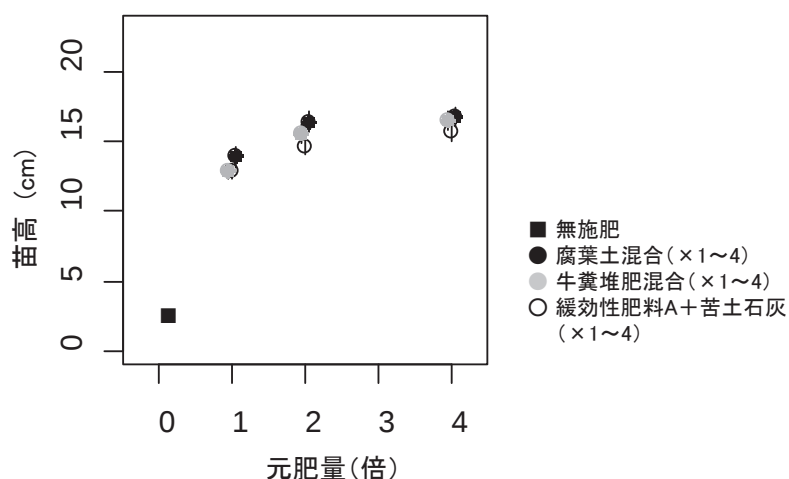


図1 元肥量とコンテナ苗の苗高の関係

エラーバーは標準誤差を示す。(大平・松下 (2019) を改変して引用)

表2 各種追肥の1倍量に相当する培地中の各無機成分の含有量 (g/l)

追肥の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
液肥*	0.07	0.06	0.19		
緩効性肥料B+ 苦土石灰	1.00	1.80	1.50	0.70	0.30
緩効性肥料C	0.60	0.90	0.90	1.33	0.15

※液肥1ℓあたりの各無機成分の含有量を表す。

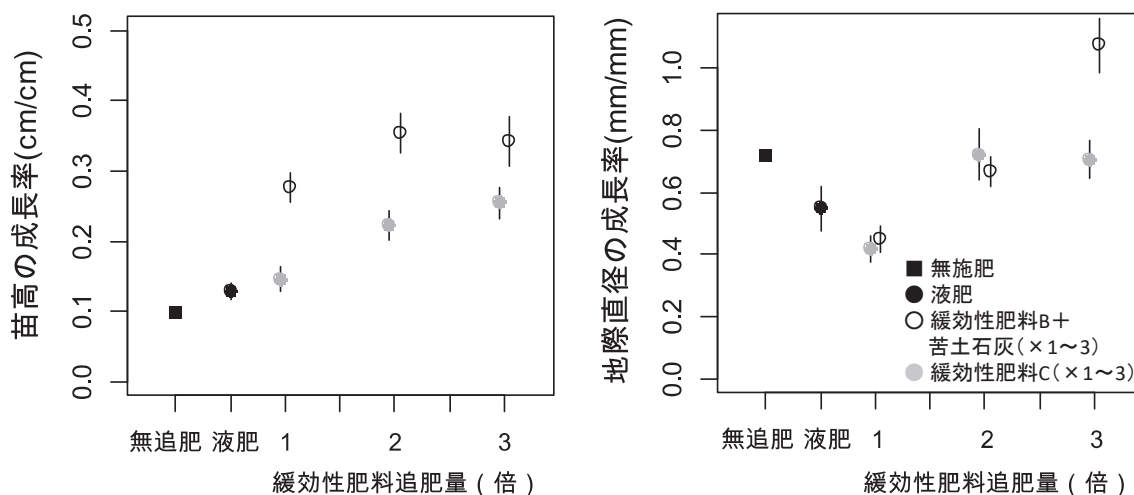


図2 追肥の種類及び追肥量とコンテナ苗の苗高、地際直径の成長率の関係

エラーバーは標準誤差を示す。(大平・松下 (2019) を改変して引用)

森林総合研究所
令和2年版 研究成果選集

発 行 日 令和2年7月
編 集・発 行 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所
茨城県つくば市松の里1
電話 029(829)8373
お問い合わせ 企画部広報普及科
メールアドレス kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>
印 刷 所 朝日印刷株式会社 つくば支社
茨城県つくば市東2-11-15
電話 029(851)1188

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。



森林総合研究所

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