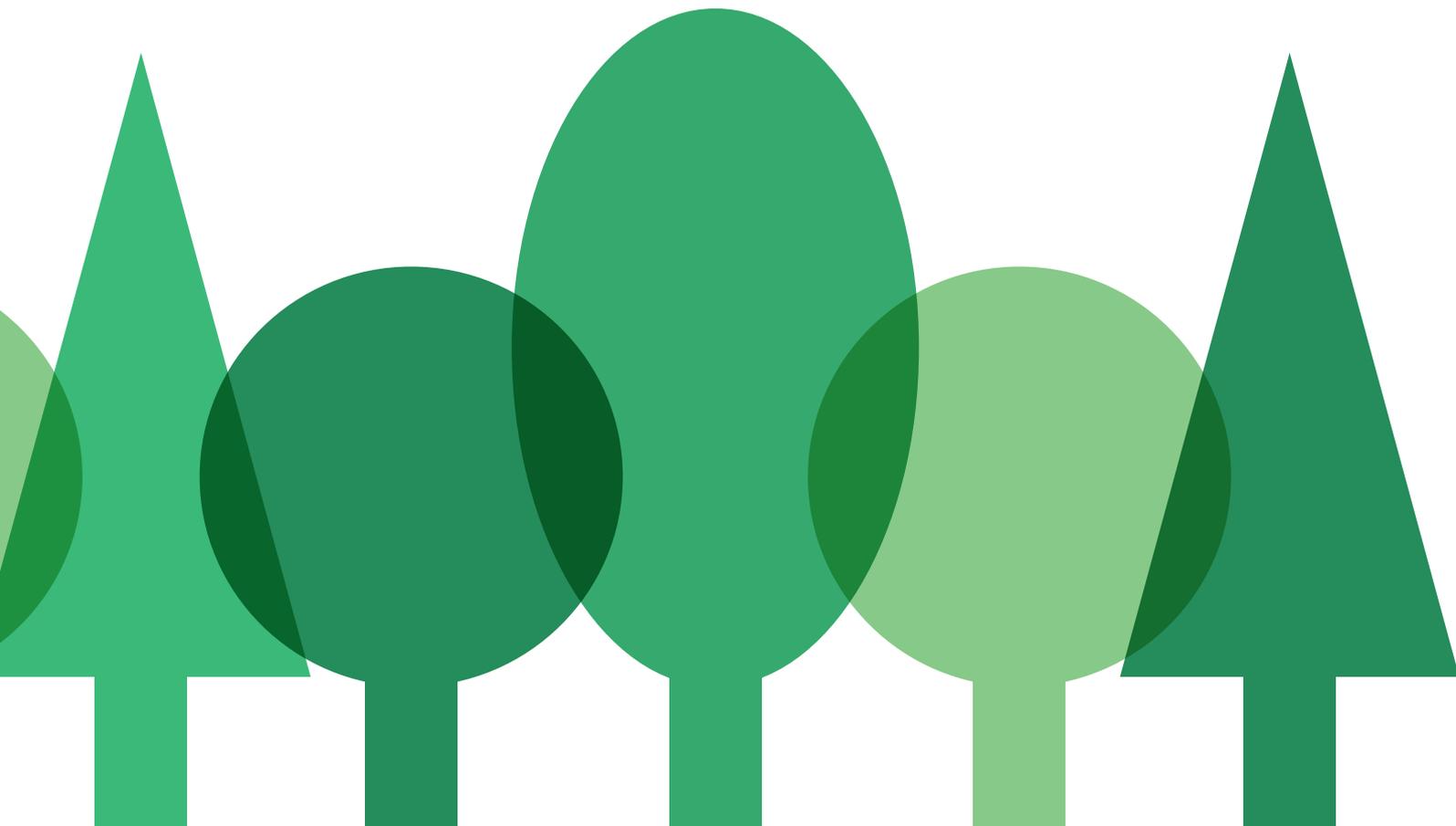


森林総合研究所

令和4年版

# 研究成果選集

2022



## はじめに

**森** 林総合研究所は、  
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・林業・木材産業・林木育種に関わる総合的な研究開発を担っています。

令和3年度から開始した第5期中長期計画では、環境変動下での森林の多面的機能の発揮に向けた研究開発、森林資源の活用による循環型社会の実現と山村振興に資する研究開発、多様な森林の造成・保全と持続的資源利用に貢献する林木育種を重点課題として研究開発に取り組んでいます。

「令和4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3年度に得られた主要な研究成果をとりまとめました。

- 気候変動影響の緩和及び適応に向けた研究開発
- 森林生物の多様性と機能解明に基づく持続可能性に資する研究開発
- 森林保全と防災・減災に向けた研究開発
- 林産物の安定供給と多様な森林空間利用の促進に資する研究開発
- 生物特性を活用した防除技術ときのこ等微生物利用技術の開発
- 木材利用技術の高度化と需要拡大に向けた研究開発
- 木質新素材と木質バイオマスエネルギーの社会実装拡大に向けた研究開発
- 林木育種基盤の充実による多様な優良品種の開発
- 林木育種技術の高度化・拡張と特定母樹等の普及強化

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、こうした成果が、国連が定めた17の持続可能な開発目標(SDGs)のどれに貢献できるのかを、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。

2022年6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



重点課題

1

環境変動下での森林の  
多面的機能の発揮に向けた研究開発

ア 気候変動影響の緩和及び適応に向けた研究開発

- 土地利用が変化した場合の土壌炭素蓄積量変化を解明…………… 04  
土地利用が変化した時の土壌炭素蓄積量の変化を調べ、森林から農地への変化時には減少し、農地から森林への変化時には増加することを明らかにしました。
- 衛星画像と機械学習モデルを用いた土地利用変遷の推定手法の開発…………… 06  
山岳地での土砂災害のリスクを評価するため、ベトナム北部の山岳地を対象に衛星画像と機械学習モデルを用いて、過去30年間の森林撈乱と土地利用の変遷を推定する手法を開発しました。

イ 森林生物の多様性と機能解明に基づく持続可能性に資する研究開発

- 土壌動物の多くは落葉分解者として機能していない？  
— トビムシの餌炭素年齢から従来の常識が覆る — …………… 08  
放射性炭素同位体分析により微小な土壌動物であるトビムシの餌炭素年齢を測定し、トビムシのほとんどの種とその捕食者の体が枯死有機物よりも新しい炭素からできていることを発見しました。
- 不定胚に由来する無花粉スギ苗の効率的な生産法…………… 10  
スギのMS1雄性不稔遺伝子を簡易に判定する技術と、組織培養により植物体を効率的に増殖させる手法とを組み合わせることで、無花粉スギ個体を数か月で選び出し、その苗だけを大量生産する技術を確立しました。
- 沖縄島北部「やんばるの森」の生物多様性を保全・回復させる …………… 12  
世界自然遺産に登録された「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島」において希少な固有種の分布や外来種の動物による固有種の捕食状況を調査し、遺産登録地の生物多様性保全のための森林管理手法を提案しました。

ウ 森林保全と防災・減災に向けた研究開発

- 樹木の成長と大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇が過去80年間の蒸散量に及ぼした影響を解明…………… 14  
スギ年輪の炭素安定同位体比を使って、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇すると樹木は成長に必要な水をより効率的に使うようになる一方、単木当たりの蒸散量は樹木の成長とともに増えていたことを明らかにしました。
- 無人航空機を用いた高精度な地形測量により山地源流域の土砂量を計測する…………… 16  
無人航空機を用いた写真測量によって、土石流の規模の推定において重要な山地源流域の土砂量を高精度に計測する手法を開発しました。

## 森林資源の活用による循環型社会の実現と 山村振興に資する研究開発

### ア 林産物の安定供給と多様な森林空間利用の促進に資する研究開発

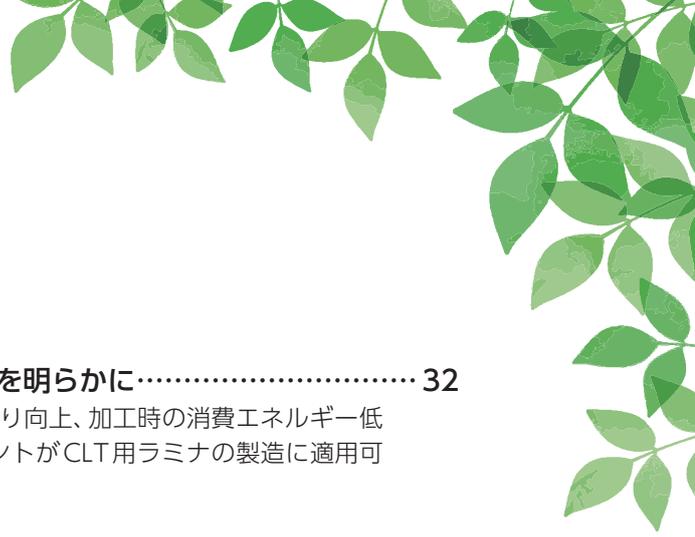
- **地がきカンバ林の施業適地を予測しマップ化する**…………… 18  
針葉樹人工林主伐後の再生林の低コスト化を図るため、需要が高まっているカンバ類を天然更新により成林させる、地がきカンバ林施業の可能性を提示しました。
- **森林内での測位精度向上に2周波GNSS受信機とRTK測位手法を活用する技術を開発** …………… 20  
森林内の測量業務や自動走行林業機械の開発を念頭に、2周波GNSS受信機を用いて自前の固定基準局と移動局を特定小電力無線機通信で繋いだRTK測位による、GNSS-RTK測位技術の活用手法を開発しました。
- **測量用無人航空機による森林調査の省力化**…………… 22  
森林調査における無人航空機空撮の活用に向けて、高精度GNSSを搭載した測量用無人航空機を利用することで、従来の標識設置等の追加作業を省略しても、位置精度を確保しながら現場作業を大幅に省力化できることを明らかにしました。
- **地域材の利用促進に向けて—中小木造住宅工務店の利用実態から得たヒント—** …… 24  
中小木造住宅工務店における地域材利用を促進するためには、地域材の安定供給体制を構築するとともに、地域材のイメージの良さ等の感性的な評価を活かしつつ、品質面と価格面での優位性を高めることが重要です。

### イ 生物特性を活用した防除技術とこの等微生物利用技術の開発

- **待望のクビアカツヤカミキリ防除マニュアルをお届け**…………… 26  
特定外来生物クビアカツヤカミキリはサクラやウメ・モモを加害し、本州と四国の12都府県で深刻な被害を引き起こしています。11団体で協働して対策方針を整え、その成果をとりまとめた防除マニュアルを発行しました。
- **スギ花粉飛散防止剤の空中散布技術を開発**…………… 28  
菌類を利用した即効性のあるスギ花粉飛散防止剤をヘリコプターで空中散布する手法を開発しました。空中散布による森林生態系への影響がないことを確認するとともに、大規模散布に向けて大量培養法を確立しました。

### ウ 木材利用技術の高度化と需要拡大に向けた研究開発

- **コナラ立木におけるミネラルの幹半径方向移動の実態を細胞レベルで解明**…………… 30  
木材の材質に影響する木材成分の蓄積機構を解明するために、コナラ幹の半径方向のミネラル移動の実態を、できるだけ立木の状態をそのまま解析する手法で明らかにしました。



- **マイクロフィンガージョイントを  
CLT(直交集成板)用ラミナに適用可能であることを明らかに**…………… 32  
長さ15mm程度のフィンガージョイントに比べて歩留まり向上、加工時の消費エネルギー低減が期待できる長さ6mmのマイクロフィンガージョイントがCLT用ラミナの製造に適用可能なことを明らかにしました。

## エ 木質新素材と木質バイオマスエネルギーの社会実装拡大に向けた研究開発

- **中山間地域への展開が期待される改質リグニン製造のモデル工場**…………… 34  
森林総合研究所で開発した木材由来の新素材「改質リグニン」の製造を林業・林産業の現場で実証するプラントが竣工しました。改質リグニンの製造を本格化する世界初の試みで、全国の中山間地域への展開が期待されています。
- **木と草を適度に混合したバイオマス燃料は  
ガス化利用における変換効率が向上し、相乗効果が見られる** …………… 36  
木質に草本を混合したバイオマス燃料のガス化特性において混合率がガス化効率に与える影響を調べた結果、30%までの草本混合率ならばガス化効率が低下せず、その原因がカリウム成分の影響であることを解明しました。

### 重点課題

## 3

## 多様な森林の造成・保全と 持続的資源利用に貢献する林木育種

### ア 林木育種基盤の充実による多様な優良品種の開発

- **漢方薬原料「カギカズラ」の苗木の増やし方の改善と葉からお茶を作る試み** …………… 38  
漢方薬原料である「カギカズラ」の組織培養による増殖効率をこれまでの1.5倍以上に効率化し、また、健全な苗木を作製する技術を開発しました。さらに、葉をお茶に加工し、加工処理方法別に香味を評価しました。
- **DNA情報からスギの表現型を予測するモデルの開発と改良** …………… 40  
スギの表現型をDNA情報から予測する技術の開発を進め、対象個体の遺伝的な類似性を考慮することで予測モデルの精度を高められる場合があることを明らかにしました。

### イ 林木育種技術の高度化・拡張と特定母樹等の普及強化

- **無人航空機と深層学習モデルを用いたトドマツの着果量評価技術を開発** …………… 42  
無人航空機を用いて撮影したトドマツの画像から、人工知能(AI)の一種である深層学習モデルを用いて球果を検出・定量する技術を開発し、採種園の豊凶調査で実用化しました。
- **特定母樹等の普及のための取組 – 原種苗木の生産配布と技術指導 –** …………… 44  
特定母樹(間伐等特措法に基づき農林水産大臣が指定した樹木)の原種苗木の配布や、配布先である都道府県等に対する採種園・採穂園の造成等にかかる技術の指導について紹介します。



# 土地利用が変化した場合の土壤炭素蓄積量変化を解明

立地環境研究領域: 石塚 成宏・橋本 昌司・木田 仁廣・相澤 州平・酒井 寿夫

震災復興・放射性物質研究拠点: 篠宮 佳樹 東北支所: 森下 智陽 関西支所: 岡本 透 九州支所: 鳥山 淳平

農業・食品産業技術総合研究機構: 白戸 康人・古賀 伸久 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株): 佐藤 淳

**最** 新の日本の森林土壤炭素蓄積量の調査結果から、気候変動枠組条約の温室効果ガスインベントリ報告に使用されている土地利用変化時の計算方法に矛盾が生じることが分かってきました。そこで、IPCCが推奨する方法を用いて隣接する森林と農地のペアでそれぞれの土壤炭素蓄積量を比較し、森林から農地への変化時には土壤炭素蓄積量は40年間で0.77倍に減少し、逆に農地から森林への変化時には40年間で1.21倍に増加することを明らかにしました。土地利用変化時の土壤炭素蓄積変化量の算定方法として、本研究で明らかにした土壤炭素蓄積量の変化率を利用する新たな方法が日本の算定方法として採用されることになりました。

## 成果

### ■ これまでの知見と矛盾する土地利用変化時の計算

日本全国の森林土壤の平均土壤炭素蓄積量(深さ30cmまで)はこれまで85 tC/haと報告されていましたが、最新の全国調査から71 tC/haであることが明らかになりました。現在の温室効果ガスインベントリ報告書では土地利用毎の平均土壤炭素蓄積量の差をもとに土地利用変化時の土壤炭素蓄積変化量を計算しますが、農地の平均土壤炭素蓄積量(76 tC/ha)はこの森林の平均土壤炭素蓄積量(71 tC/ha)よりも多く、この方法では森林を農地に変えると土壤炭素蓄積が増える計算になります。これは、森林を農地に変えると、土壤炭素蓄積量は減るとするこれまでの知見と矛盾します。そこで、実際に土地利用変化が起こった場合の土壤炭素蓄積変化量を科学的に示す必要がありました。

### ■ IPCCが推奨する方法

IPCCが2019年に改定した最新の温室効果ガス算定方法書では、土地利用が変化した場所と隣接する元の土地利用の場所の土壤炭素蓄積量の比較から変化量を算出する方法が使われます。この時、それぞれの土地利用ごとに、同じ重量の土壤に含まれる炭素蓄積量を比較する土壤質量均等法(ESM法)を使う事が示されています(図1)。本研究では、航空写真や衛星写真から土地利用が変化した場所を見つけ、変化した場所と隣接する変化しなかった場所の土壤を採取してその両者の土壤炭素蓄積量をESM法により比較しました。

### ■ 森林、農地間の土地利用変化時の土壤炭素蓄積量変化

この研究では約60対の森林と農地のペアにおいて土壤炭素蓄積量を比較し、森林から農地へ変化した時の土壤炭素蓄積量は土地利用変化後の経過年数とともに直線的に減少すること、反対に農地から森林へ変化した時は、最初20年ほど土壤炭素蓄積量は減少し、その後増加することを明らかにしました(図2)。さらに、その変化率は、森林から農地への変化時の土壤炭素蓄積量は40年で0.77倍の減少、農地から森林への変化時には1.21倍の増加となることを明らかにしました。

### ■ 温室効果ガスインベントリ報告への反映

土地利用変化時の土壤炭素蓄積変化量の新たな算定方法として、今回の調査結果から得られた変化率を使う方法を環境省に提案しました。この方法は2023年春に提出されるパリ協定下最初の温室効果ガスインベントリ報告書に採用される見込みです。土地利用変化は分野横断的なテーマであり、異分野の研究者が協力した類を見ない成果となりました。

土地利用に関する算定方法が、学術誌に掲載された科学的な根拠をもとにした方法に置き換えられ、日本の報告の信頼性が向上することに大きく貢献します。

## 研究資金と課題

本研究は、環境研究総合推進費:2-1601「森林と農地間の土地利用変化に伴う土壤炭素変動量評価とGHGインベントリへの適用研究」(JPMEERF20162001)および2-1909「土地利用変化による土壤炭素の変動量評価と国家インベントリへの適用に関する研究」(JPMEERF20192009)による成果です。

## 文献および参照サイト

Koga, N. et al. (2020) Assessing changes in soil carbon stocks after land use conversion from forest land to agricultural land in Japan. *Geoderma* 377, 114487.

Ishizuka, S. et al. (2021) Soil carbon stock changes due to afforestation in Japan by the paired sampling method on an equivalent mass basis. *Biogeochemistry* 153, 263-281.

## 専門用語

**IPCC:** 気候変動に関する政府間パネル。2006年に作成した温室効果ガス算定方法書を2019年に改訂しました。

**温室効果ガスインベントリ報告書:** 国が1年間に排出・吸収する温室効果ガスの量を取りまとめ、国連に提出する報告書のこと。

**土壤質量均等法(Equivalent Soil Mass法、図1):** 土地利用変化後の圧密や膨潤の影響を除くため、従来のように土地利用変化前後の深さ30cmに存在する土壤炭素蓄積量同士を比較するのではなく、同じ重量の土壤に含まれる土壤炭素蓄積量同士を比較する方法。

**パリ協定:** 2020年以降の温室効果ガス排出削減に関する国際的な枠組み。2016年11月に発効しました。

# 土壌質量均等法 (ESM法)

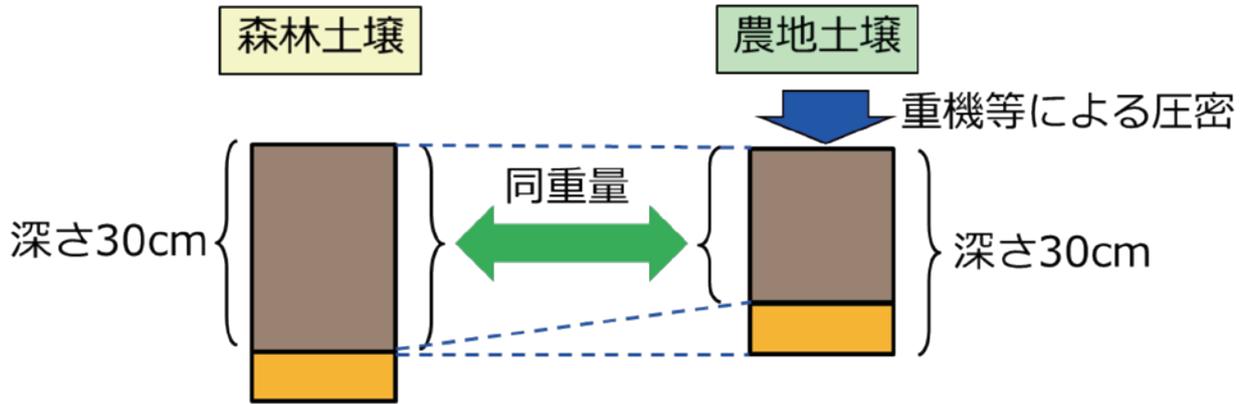
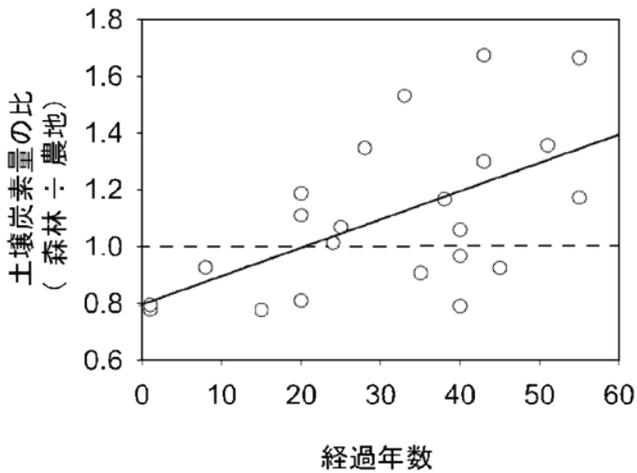


図1 土壌質量均等法(ESM法)のしくみ

通常は深さ30cmまでの土壌炭素を測定しますが、土地利用変化時には圧密などにより土壌の厚さが変わります(図中茶色の部分の厚さが薄くなる)。30cm同士を比較すると農地土壌では森林土壌の30cmより深い橙色の部分まで含めて測定してしまうため、土壌炭素蓄積量の変化をうまく測定できません。土壌質量均等法では、この影響を除去するため、同じ土壌重量(茶色の部分)に含まれる土壌炭素蓄積量を比較し、土壌炭素蓄積量の変化を正しく評価します。

農地から森林への変化時



森林から農地への変化時

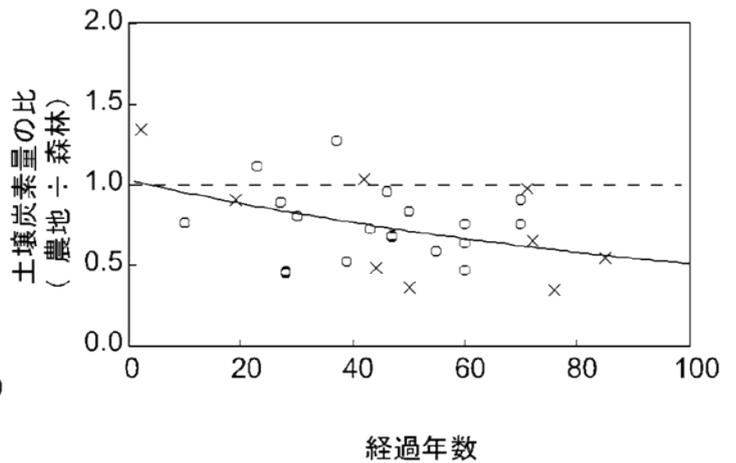


図2 農地から森林に変化した時の土壌炭素蓄積量の比と経過年数の関係(左図、Ishizuka et al., 2021の図を改変)と、森林から農地に変化した時の比と経過年数の関係(右図、Koga et al., 2020の図を改変)

農地から森林になった後20年程度土壌炭素蓄積量は減少しますが、その後長期間にわたって増加するのに対し、森林から農地になった場合は、比較的早期から土壌炭素は減少し、40年以上減少し続けます(点線は、変化前後で同じ炭素量となる位置を示す)。



# 衛星画像と機械学習モデルを用いた 土地利用変遷の推定手法の開発

森林管理研究領域:志水 克人

多摩森林科学園:大丸 裕武

森林防災研究領域:村上 巨・古市 剛久

生物多様性・気候変動研究拠点:Ronald C. Estoque

**森** 林が他の土地利用へ転換されると、山岳地では土砂災害発生リスクが高まる可能性があります。しかし、多くの途上国では過去の土地利用の変遷が十分に把握されていないのが現状です。本研究ではベトナム北部の山岳地を対象に、広域で取得される衛星画像を時系列解析に利用し、機械学習モデルを用いて森林攪乱と土地利用変化を推定する手法を開発しました。推定結果から、ベトナム北部の山岳地では森林から農地への転換が多いことが明らかになり、森林内での人為的活動の影響が確認されました。こうした土地利用の変遷は、土砂災害等のリスクを評価する上で重要な情報になります。

## 成果

### 過去の土地利用の変遷が 土砂災害リスクに与える影響

山岳地における土砂災害のリスク評価は、対策の立案や被害の軽減に重要です。土砂災害の発生には、降水などの誘因の他に斜面傾斜や土地利用などが素因として関わっています。森林には斜面崩壊を抑制する機能がありますが、これまで森林であった場所が農地や開発地などの異なる土地利用に転換されると、こうした機能が失われると考えられます。また、農地などから森林に回復して時間が経っていない場合、斜面崩壊を抑制する機能が低く、土砂災害が発生するリスクが高まります。したがって、大雨時に土砂災害が発生するリスクを評価するためには、土地利用が過去にどのように移り変わったのかを知ることが重要です。しかし、多くの途上国において広域の土地利用の変遷は明らかではありません。

### 衛星画像を利用した過去の土地利用の変遷の推定

そこで、過去からのデータが利用可能な衛星画像を時系列解析に用い、土地利用の変遷を推定する手法を開発しました。近年、斜面崩壊による土砂災害が多発しているベトナム北部山岳地を対象とし、衛星画像から植生の時系列的変化情報を取り出して、学習データと機械学習モデルを利用することにより、森林攪乱と土地利用を毎年の頻度で推定しました。その結果、1989-2019年の毎年の森林攪乱と土地利用をマッピングすることができました(図1)。期初から期末への土地利用の推移に着目すると、伐採などの森林攪乱の後にそのまま森林として利用される割合が高かった一方で、森林以外の土地利用へ変化した場合には、農地への転換が大部分を占めていました(図2)。また、逆に農地から森林へ回復する面積も多いことが明らかになりました。こうした衛星画像を利用した手法により、土地利用の変遷を捉えることが可能になります。

### 土砂災害のリスク評価への応用

今回開発した手法を利用することで、森林を対象とした土地利用の変遷を広域に推定することができます。推定した山岳地での土地利用の変遷とこれまで発生した土砂災害との関係性を調べることで、災害が起こりやすいパターンを特定し、土砂災害のリスクマップ作成に役立てることができます。

## 研究資金と課題

本研究は、林野庁補助事業「森林技術国際展開支援事業」による成果です。

## 専門用語

**土地利用**: 人間活動により利用される土地の状況を示します。これに対し、土地の表面の物理的な被覆を土地被覆と呼びます。土地利用と土地被覆は異なる定義をされますが、一般的には互換的に使用されています。ここでは、両者を区別せず土地利用・土地被覆を指す用語として「土地利用」を使用しています。

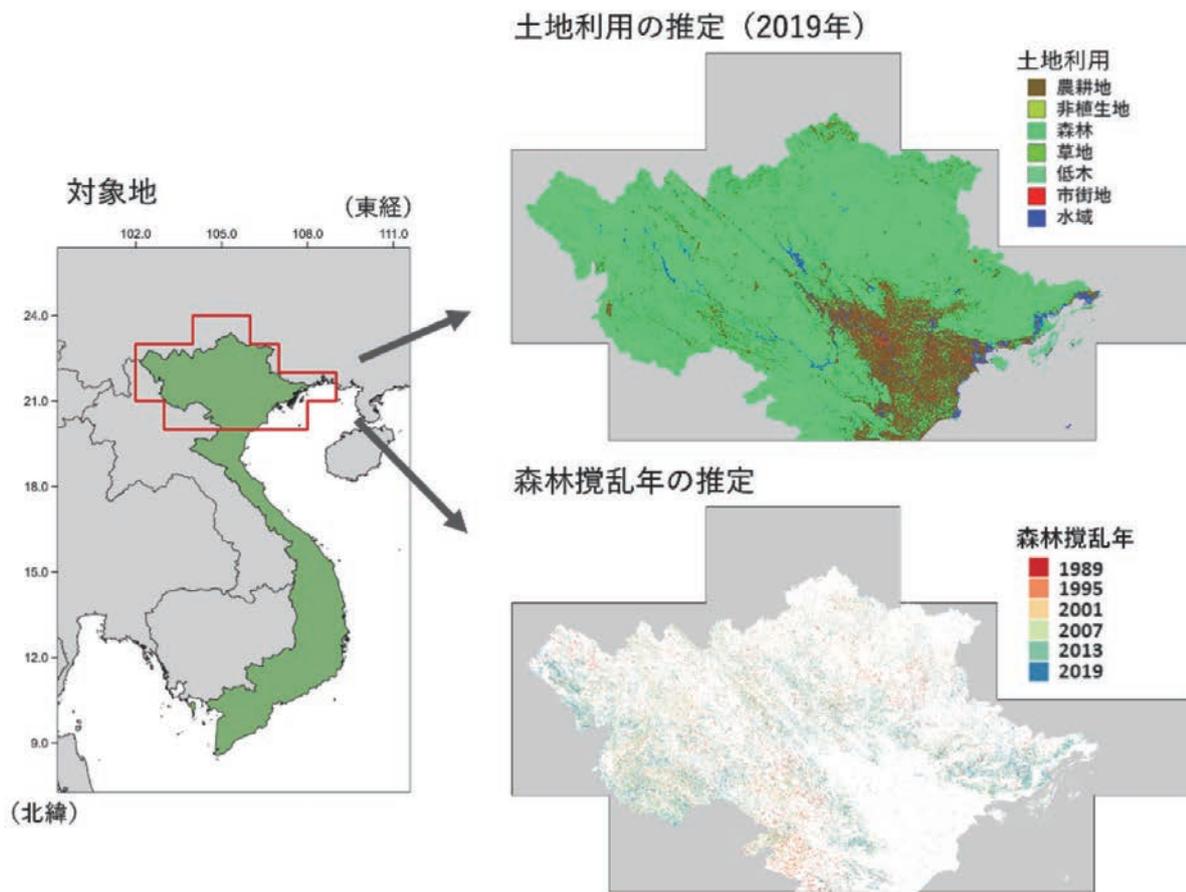


図1 ベトナム北部での土地利用の推定(右上)と森林内での攪乱の発生時期の推定(右下)の結果

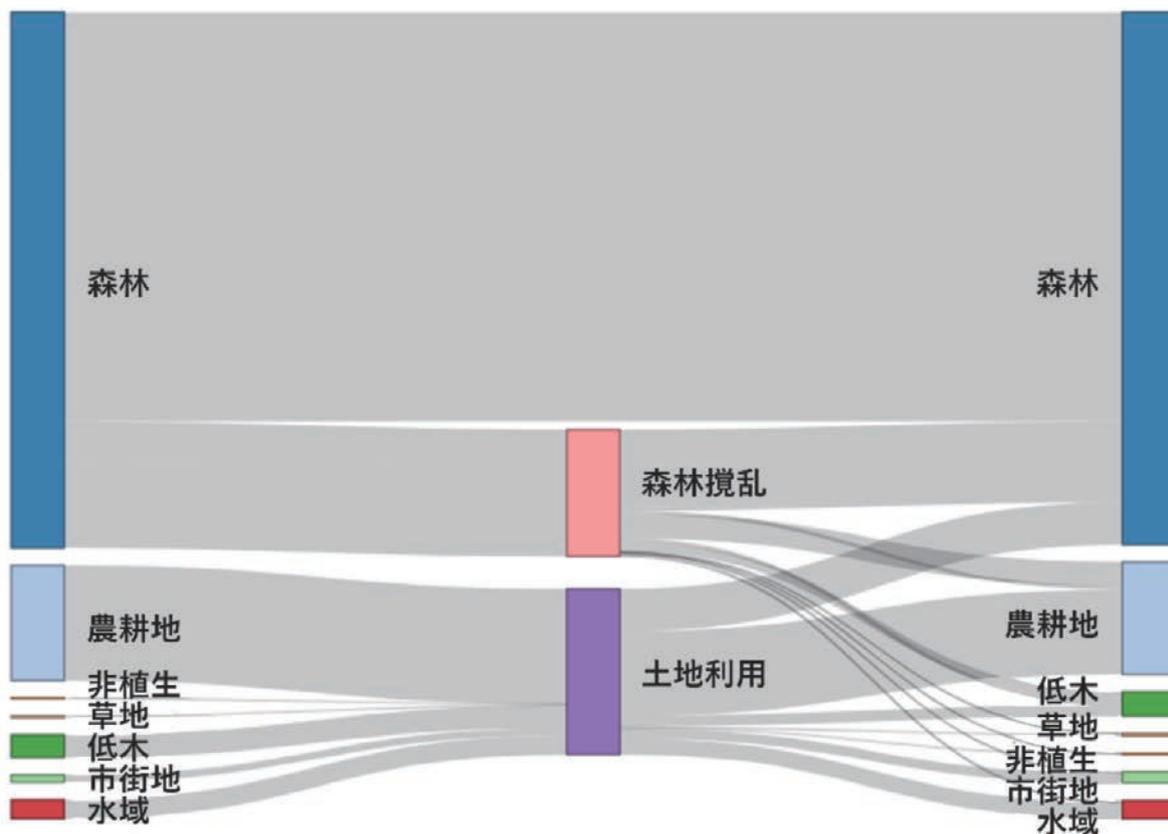


図2 推定された期初から期末(1989-2019年)にかけての土地利用面積の変遷(図の縦幅が各クラスの面積比率)  
各土地利用の期初(左)から期末(右)にかけての推移と期間中におこった変化(森林攪乱と土地利用)の面積比率を縦幅で表現しています。

# 土壌動物の多くは落葉分解者として機能していない？

## — トビムシの餌炭素年齢から従来の常識が覆る —

森林昆虫研究領域: 藤井 佐織

大阪府立環境農林水産総合研究所: 原口 岳

総合地球環境学研究所: 陀安 一郎

**落**葉などの枯死有機物は、土壌微生物や土壌動物の摂食活動により分解されると考えられています。しかし、土壌に住む微小な生物の餌源を特定することが困難なため、土壌動物が分解者として本当に機能しているかどうかは検証が不十分でした。本研究では、放射性炭素同位体分析により微小な土壌動物の餌炭素年齢を世界で初めて測定しました。その結果、土壌食物網の起点付近に位置するトビムシが、枯死有機物より新しい、光合成されて間もない炭素を主に食べていることを明らかにしました。さらに、クモなど捕食者の体も、枯死有機物よりも新しい炭素からできていることが分かり、トビムシの食性が土壌食物網全体に強く影響していることがわかりました。

## 成果

### ■ 陸域の物質循環と土壌食物網

陸域生態系では、枯れて地面に落下した落ち葉などの枯死有機物が、土壌動物の食べる・食べられる関係でつながった「土壌食物網」を通じて分解され、炭素循環が形作られていると考えられてきました。しかし、土壌動物の食物源を把握することは簡単ではありません。とくに、トビムシをはじめとする体長1ミリメートル程度の微小な無脊椎動物は分析が困難なため不確定要素が多い状況でした。しかし、トビムシは多くの土壌動物の餌であり、土壌中の栄養段階の最下層、すなわち起点に位置するため、土壌食物網全体の食物源を決定している可能性があります。近年、トビムシは枯死物由来の食物だけでなく藻類や植物の根など生きた食物源にも依存していることが示唆されてきました。これは、トビムシ、そしてクモなどトビムシを捕食する土壌動物が枯死有機物を利用する分解者ではなく、生きた有機物に依存する消費者である可能性を意味しています。しかし、確定的な証拠は得られていませんでした。

### ■ 微小な土壌動物トビムシの餌炭素年齢

そこで、トビムシ各種を中心とする土壌動物の枯死有機物への依存度を、餌炭素年齢を測定することで評価しました。京都の天然ヒノキ林で様々な土壌動物分類群を対象に、炭素の新しさを評価する放射性炭素同位体分析、ならびに従来から食性解析に用いられてきた炭素・窒素安定同位体分析を行いました。その結果、トビムシのほとんどの種は、枯死有機物よりも新しい炭素、すなわち光合成されてから間もない炭素からできた餌を利用していることが示されました(図1)。また、腐植の多い深い層に住む土壌性のトビムシ(図2)は窒素安定同位体比が高いものほど新しい炭素に依存する傾向を示しました。窒素安定同位体比が高い理由は、微生物による分解が進んだ有機物を食べたためか、菌根菌を食べたためかのどちらか判別できませんでしたが、新しい炭素を利用していたという前述の結果を踏まえると、理由は後者と推察されました。

### ■ 土壌動物の役割

このように、トビムシの枯死有機物への依存が小さいこと

を示す強固な証拠を得ることができました。また、クモやムカデなどの捕食者の炭素年齢は、概してトビムシよりも古いものの、枯死有機物よりは新しい場合が多く、トビムシの食性が土壌食物網全体に強く影響していることが伺えました。森林土壌中の有機物分解における土壌動物の役割に関する従来の考えは今後見直されていくこととなるでしょう。

## 研究資金と課題

本研究は、科研費(19K21201)「微生物食者の食物年齢から土壌食物網の生態系機能を解き明かす」による成果です。

## 文献および参照サイト

Fujii, S. et al. (2021) Radiocarbon signature reveals that most springtails depend on carbon from living plants. *Biology Letters*, 17(9), 20210353

## 専門用語

**トビムシ**: 世界中の陸域生態系の土壌で優占し、森林土壌においては平方メートルあたり数万個体が生息することが多い。多様な種を含み、土壌有機物層の中で種ごとに住み場所が分かれています。(図2)

**放射性炭素同位体( $^{14}\text{C}$ )分析**: 1963年の部分的核実験禁止条約の締結後、大気核実験は行われなくなったため、この核実験に由来する $^{14}\text{C}$ の濃度( $\Delta^{14}\text{C}$ )は年々希釈され、低下しています。この $^{14}\text{C}$ 濃度がその年の光合成産物に反映されることを利用して、動物の $^{14}\text{C}$ 濃度からその動物が何年前の光合成産物を餌資源として利用しているか特定できます。 $^{14}\text{C}$ 濃度が低いほど新しい炭素です。

**栄養段階**: 食物網におけるレベルのこと。栄養段階が高いほど食物連鎖の上位に位置する捕食者です。

**炭素・窒素安定同位体比**: 炭素安定同位体( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ )の存在比である炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )と、窒素安定同位体( $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ )の存在比である窒素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ )で、動物の食物源や食物網中の栄養段階を推定できます。腐生菌による分解が進んだ有機物ほど $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ が高い、菌根菌の $\delta^{15}\text{N}$ が高い、栄養段階が上位であるほど $\delta^{15}\text{N}$ が高い、等が知られています。

**菌根菌**: 植物と共生して菌根を形成する菌類の総称。植物が生産した炭水化物が菌根菌に供給される一方で、菌根菌は土壌から養分を吸収して植物に供給します。菌根菌は植物が光合成したばかりの新しい炭素を獲得しているので $^{14}\text{C}$ 濃度が低くなります。

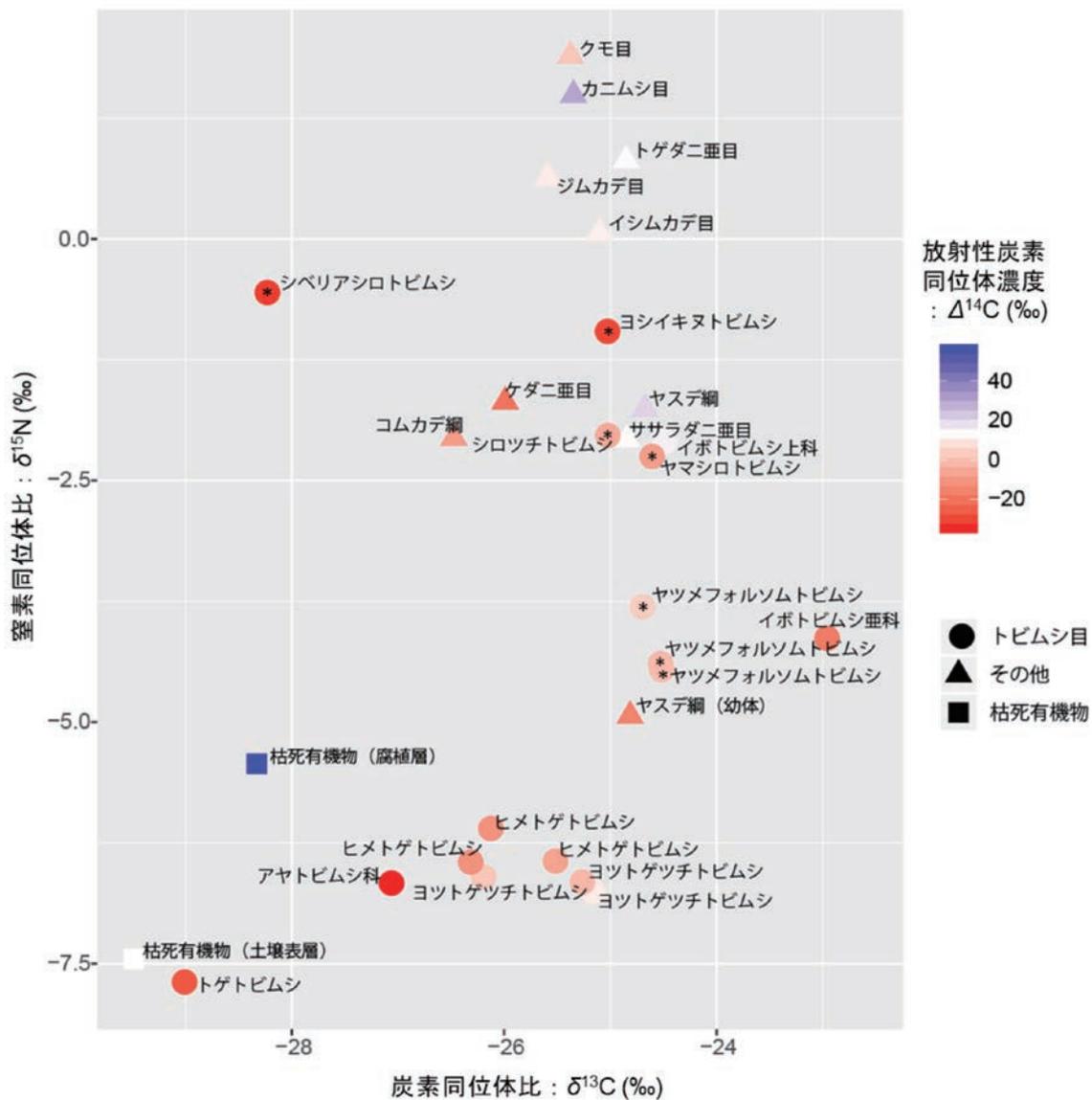


図1 土壤動物と枯死有機物の、炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ )・窒素同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) に対する放射性炭素同位体 ( $^{14}\text{C}$ ) 濃度  
 各点の色が $^{14}\text{C}$ 濃度 ( $\Delta^{14}\text{C}$ ) の値を示しており、土壌表層 (新規落葉からなる層) の枯死有機物の値を基準 (白) に  
 して、それより高ければ青 (古い)、低ければ赤 (新しい) で示しました。腐植の多い深い層に住む土壌性のトビムシ  
 シには\*を付けました。



図2 様々なトビムシの光学顕微鏡写真 (上段は表層性、下段は腐植の多い深い層に住む土壌性の種)



# 不定胚に由来する無花粉スギ苗の効率的な生産法

樹木分子遺伝研究領域:丸山 E. 毅・鶴田 燃海・上野 真義  
新潟県森林研究所:番場 由紀子

(株)ベルディ:川上 清久  
新潟大学:森口 喜成

**国** 民の約40%がスギ花粉症であると言われています。スギ林を伐採した後に無花粉スギへ植え替えることが林業分野での究極的なスギ花粉症対策として期待されています。そのため、各地で無花粉スギを野外で探索し、人工交配に由来する苗の生産が進められていますが、無花粉個体の選別には長い時間かかる上、従来法では生産される苗の約半数が花粉を生産する個体であることが、無花粉スギの苗の供給のボトルネックになっていました。そこで我々は、MS1雄性不稔遺伝子を簡易に判定する技術と、組織培養により植物体を効率的に増殖させる手法とを組み合わせることで、無花粉スギを数か月で選び出し、その苗だけを量産する技術を確立しました。

## 成果

### ■ 組織培養による無花粉スギ苗生産の特徴

本研究では、人工交配に由来する未熟種子を用いて組織培養を行うことで、効率的にスギ苗を増殖することができました。この手法では、交配で得られた種子数に制限されることなく、大量に再生植物体を増殖させることができます。かつ、培養を開始してすぐの段階でDNA判定により雄性不稔(無花粉ともいう)の細胞系統のみを選別することで、その後の培養や苗の育成にかかる時間、手間とコストを大幅に削減することができます。これら組織培養由来の植物体は、通常の実生と同様にコンテナ苗等として育成することができます。またこれまでのところ、組織培養に由来する生育の障害も見られず、初期成長において実生由来の苗と同程度あるいはそれ以上の成長を示す系統も見られます。

### ■ 不定胚形成細胞の誘導・増殖と無花粉細胞系統の判定法

7月に採取した球果(図1A)から未熟な種子を取り出し(図1B)、無菌操作で種皮を剥ぎ取り(図1C)、培地上で培養すると2か月程でカルス(不定胚形成細胞の塊)となります(図1D, E)。これらのカルスには花粉を生産する個体と無花粉個体が約1:1の割合で含まれていることから、後者のカルスだけを選び出す必要があります。この判定のため、市販のDNA精製キットを用いたカルスからの簡易なDNA抽出法を開発しました(これは針葉樹では初となります)。この抽出法で、1サンプル(5mgほどのカルス)当たりわずか10分でDNAを抽出できるようになりました。さらに、無花粉の原因となるMS1の変異を検出するマーカーを開発し、100%の精度で無花粉の細胞系統を判定できるようになりました。

### ■ 効率的な不定胚と苗の生産

無花粉と判定された細胞系統(図1F)のみを、マルトース、アブシシン酸、ポリエチレングリコール、活性炭やアミノ酸等を添加した培地に移し、培養を継続して成熟させると不定胚と呼ばれる組織になります(図1G, H)。不定胚は種子のように発芽し(図1I, J)、やがて苗となります(図1K-M)。この方法を使うと、わずか1グラムのカルスから1000本以上の苗を生産することもできます。さらに、形成された不

定胚を培養シャーレごと密封して冷蔵保存すれば、少なくとも2年間は発芽能力が保たれることがわかりました。そのため工程が管理された工場で大量生産して保管することで、年間を通じた需要の変化にも柔軟に対応できます。

### ■ 今後の展開

我が国のスギ林を上で述べた方法で生産した無花粉スギの苗で植え替えていくことで、花粉症対策に大きく貢献します。しかし、組織培養に由来する苗は林業種苗法では想定されていません。植栽されてからどのように成長を続けていくのか、不明な点も残されています。そこで、生産された苗を実際に植栽し、特性や成長の継続的な調査を進めています(図1N)。これらのデータを蓄積することで、今後の組織培養由来の苗を山に植栽するための行政的な仕組みの整備に役立つとともに、無花粉スギ培養苗が広く活用されるようになることが期待されます。

## 研究資金と課題

本研究の一部は、生物系特定産業技術研究支援センター・イノベーション創出強化研究推進事業(28013BC)の支援による成果です。

## 文献および参照サイト

Maruyama, T.E. et al. (2021) Factors influencing somatic embryo maturation in sugi (Japanese cedar, *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don). *Plants* 10: 874. <https://doi.org/10.3390/plants10050874>

Maruyama, T.E. et al. (2022) An improved and simplified propagation system for pollen-free sugi (*Cryptomeria japonica*) via somatic embryogenesis. *Frontiers in Plant Science* 13: 825340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.825340>

## 専門用語

**不定胚形成細胞**: 植物の体細胞のうち、分化全能性が高く不定胚を形成する能力を持った細胞です。

**不定胚**: 受精によらずに植物の体細胞から生じる組織で、種子胚と類似の形と発芽能力を備えています。

**MS1**: スギの雄性不稔の原因遺伝子の一つです。変異した対立遺伝子(*ms1*)のみを持つスギでは、花粉四分子期で発育が停止し、最終的に正常な花粉が形成されないため花粉が全く飛散しません。

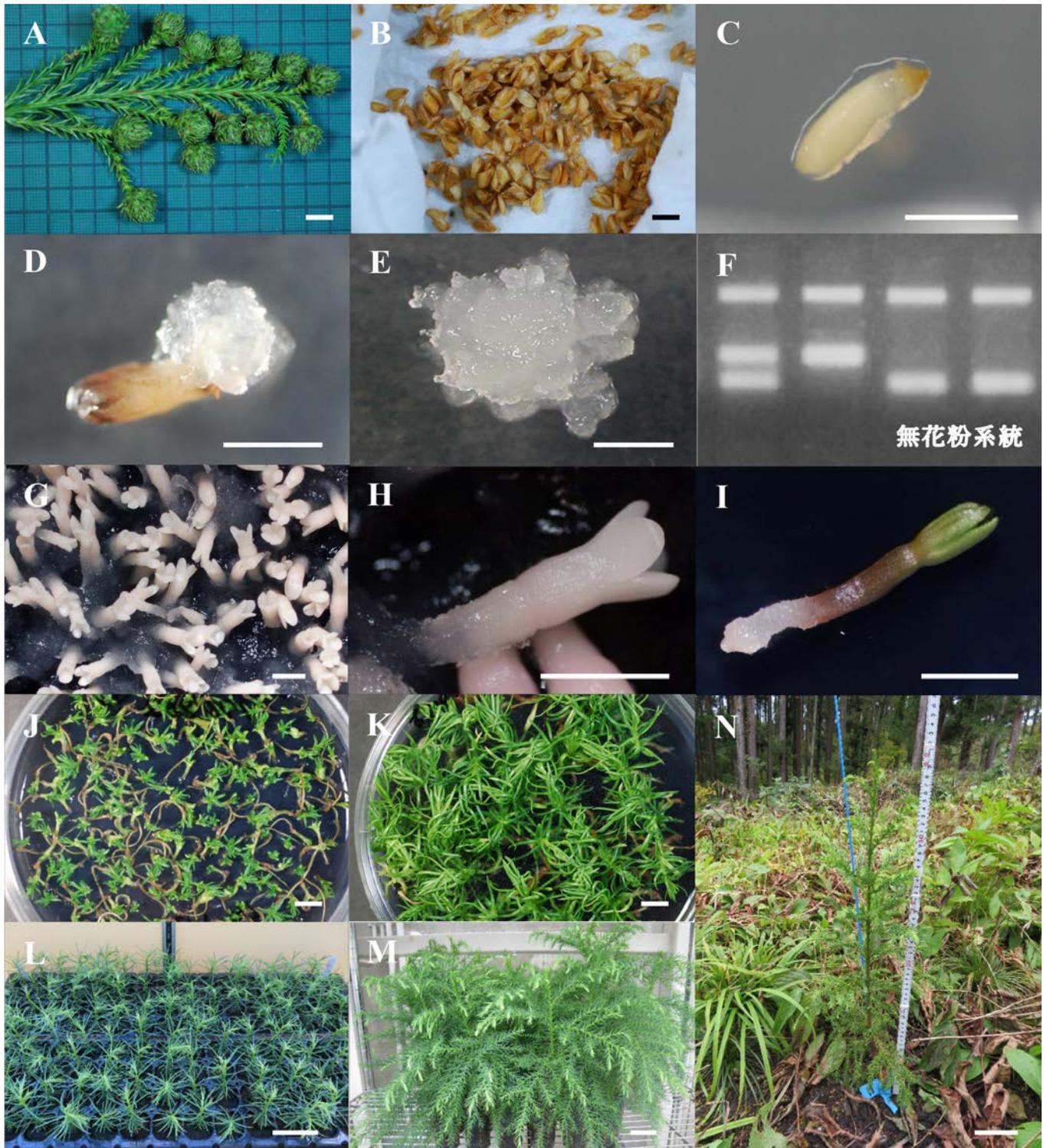


図1 不定胚に由来する無花粉スギ苗の効率的な生産法

(A) スギの球果、(B) 球果から取り出した種子、(C) 種皮を剥ぎ取った種子、(D) 不定胚形成細胞の誘導、(E) 不定胚形成細胞の増殖、(F) 無花粉細胞系統の判定の様子、(G, H) 成熟不定胚、(I, J) 不定胚の発芽、(K) 植物体の再生、(L) プラグ苗、(M) コンテナ苗、(N) 植栽された無花粉スギ培養苗の特性や初期の成長量調査。図中の白いスケールバー: 5 mm (B, C, D, E, G, H, I)、1 cm (A, J, K)、5 cm (L, M, N)

## 沖縄島北部「やんばるの森」の 生物多様性を保全・回復させる

九州支所:小高 信彦・安部 哲人・高橋 與明  
野生動物研究領域:島田 卓哉・亙 悠哉  
森林植生研究領域:八木橋 勉  
森林管理研究領域:宮本 麻子

多摩森林科学園:阿部 真  
東北支所:大西 尚樹  
琉球大学:高嶋 敦史・谷口 真吾

**世**界自然遺産「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島」には希少かつ固有の生物種が生息しています。最も絶滅が危惧されるオキナワトゲネズミの分布は、島の最北部のまとまった老齢林とその周辺に限られていましたが、米軍北部訓練場返還地内の老齢林で分布を回復していました。老齢林に多い大径木は、その他の希少な哺乳類、昆虫類、鳥類が利用する樹洞を提供し、また、着生ランの生育場所となっていました。固有種の鳥類を捕食する外来種のマングースの防除事業が進んだ結果、それらの鳥類の分布が回復してきた一方、野ネコが遺産登録地内の動物を捕食していました。これらの結果を踏まえ、固有種の分布回復のため回廊設定を提案し、外来種の対策の重要性を示しました。

### 成果

2021年「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島」が日本で5番目の世界自然遺産に登録されました。島で進化を遂げた固有の生物種は、環境変化や外来種の侵入に脆弱です。そこで、遺産登録地の固有種や希少種の保全のための森林生態系管理手法を主に沖縄島北部「やんばる」で研究しました。

#### 絶滅が危惧される固有種の生息における 老齢林の役割

日本国内で最も絶滅が危惧されている哺乳類の一種であるオキナワトゲネズミの生息地はやんばるの西銘岳周辺に限られていましたが、調査の結果、米軍北部訓練場返還地内の老齢林で分布を回復していることが確認できました。さらに、伊部岳周辺の老齢林で繁殖・定着の兆候が確認され、市民の協力を得て行った調査によって個体数の変動にはスダジイ堅果の豊凶が影響していることが明らかになりました。また、ノグチゲラ、ヤンバルテナガコガネやケナガネズミにとって樹洞が重要です。そこで樹木の樹洞保有率を調べた結果、老齢林のイスノキやスダジイの大径木に大型の樹洞が多いことが明らかとなりました(図1)。イスノキは、着生ランであるオキナワセッコクの着生木としても重要であることがわかりました。

#### 外来動物による固有種の捕食

上述のノグチゲラは地上でも生活するキツツキで、やんばるには他に日本で唯一の飛べない野鳥ヤンバルクイナ、渡りを行わず一年中やんばるの森に留まる固有鳥類ホントウアカヒゲが生息します。調査の結果、侵略的外来種フイリマングースが、飛べないヤンバルクイナだけではなく、ノグチゲラやホントウアカヒゲにも悪影響を与えていることがわかりました。そして、マングース防除事業により、これ

ら3種すべてが回復傾向にあることを確認しました(図2)

さらに、オキナワトゲネズミやヤンバルクイナは、ネコによる捕食被害を多く受けていました。徳之島での調査の結果、ネコは人の与えるペットフードに依存しつつ、さらに遺産登録地内にも侵入し固有の動物を捕食していることが明らかとなりました(図3)。

#### 遺産登録地における森林生態系の管理手法

以上の結果を踏まえ、固有種の分布回復のため回廊の設定を提案し、モニタリング体制を構築しました。また、老齢林や大径木・樹洞木を残すことが重要で、とくに大径のイスノキの生育する原生的な老齢林は厳正に保護する必要があります。さらに、マングースの沖縄島全域からの排除、里におけるネコの適正飼養など、遺産登録地における固有種の捕食被害対策が重要です。

### 研究資金と課題

本研究は、環境研究総合推進費:4-1804「世界自然遺産のための沖縄・奄美における森林生態系管理手法の開発」による研究成果です。

### 文献および参照サイト

Takashima, A. et al. (2021) Tree-cavity formation in the mature subtropical forests of Yambaru, Okinawa Island. *Journal of Forest Research*, 26(6), 410-418.

Yagihashi, T. et al. (2021) Eradication of the mongoose is crucial for the conservation of three endemic bird species in Yambaru, Okinawa Island, Japan. *Biological Invasions*, 23(7), 2249-2260.

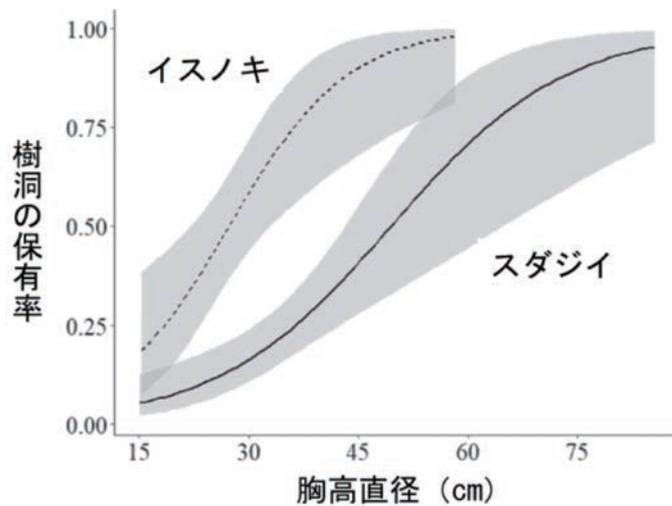


図1 やんばるの森のスダジイやイスノキの大径木は樹洞の保有率が高く、絶滅危惧種ヤンバルテナゴコガネやケナガネズミ、ノグチゲラの重要な繁殖木として利用されます。また、イスノキの大径木は、オキナワセッコクの着生木としても重要です。(Takashima et al. 2021より改変)

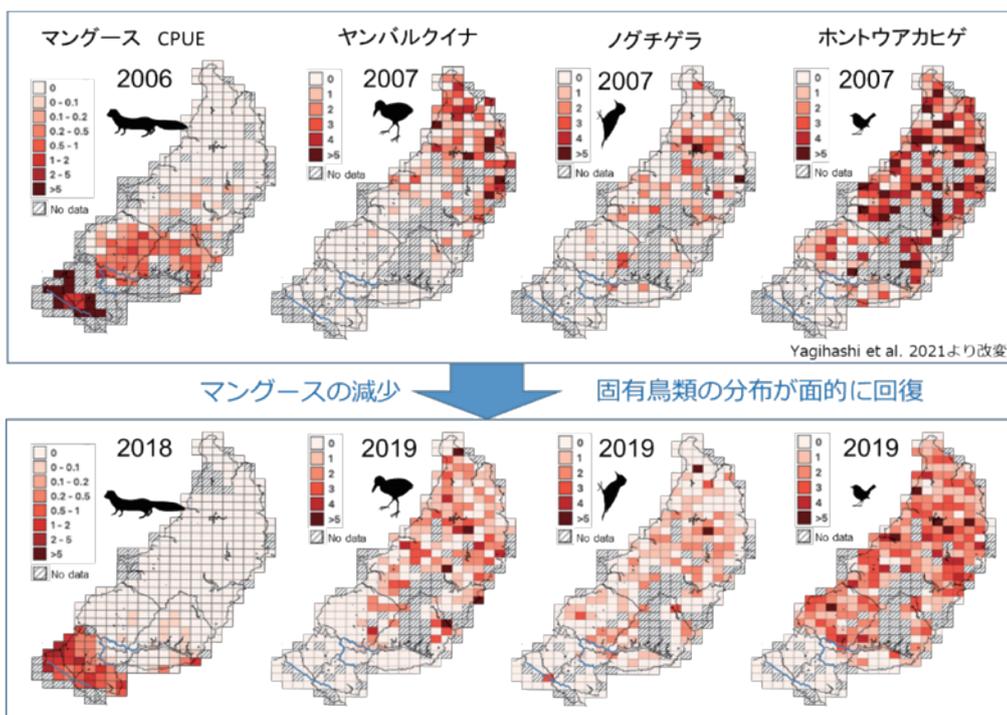


図2 やんばるにおける固有鳥類ヤンバルクイナ、ノグチゲラ、ホントウアカヒゲの2007年と2019年の分布。2007年に北部まで侵入していたフイリマングースの防除対策が進み、3種すべてが回復傾向を見せ始めました。マングースの密度指標として1日に100個のわなで捕獲された数(CPUE)を用いました。

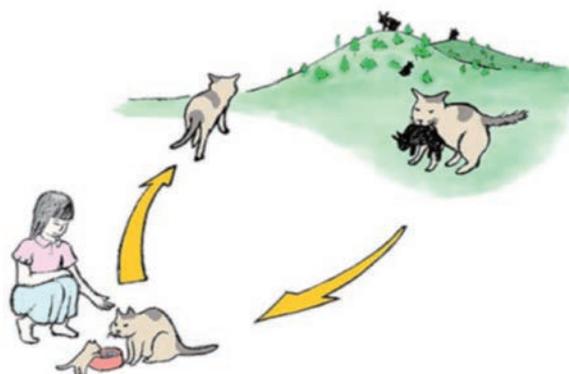


図3 人が餌を与えるネコが遺産登録地内で希少種の動物を捕食していることがわかりました。



# 樹木の成長と大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇が 過去80年間の蒸散量に及ぼした影響を解明

森林防災研究領域:久保田 多余子  
木材加工・特性研究領域:香川 聡

東北支所:阿部 俊夫  
関西支所:細田 育広

**樹**木は成長のために大気中のCO<sub>2</sub>を取り込むのと同時に、根から吸い上げた水を蒸散することで、地球規模の炭素や水の循環に影響を与えています。日本では戦後に植林された壮齢な森林が増えており、このような森林が成長してきた年代は大気中のCO<sub>2</sub>濃度が急激に上昇した時期と重なります。しかし、これまで樹木の蒸散量が樹木の成長や気候変動の影響を受けてどのように変化してきたのか明らかではありませんでした。そこで、年輪の炭素安定同位体比を使った新しい方法により、過去80年間の蒸散量を推定しました。この結果、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇すると、樹木は水を効率良く使うようになる一方で、単木当たりの蒸散量は樹木の成長とともに増えていました。

## 成果

### 大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇すると 樹木からの蒸散量が減る？

樹木は葉にある気孔を開いて光合成に必要なCO<sub>2</sub>を取り込みますが、その時、同時に水蒸気が出ていきます。これを蒸散と言います。大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇すると、樹木は気孔をあまり開かなくても必要量のCO<sub>2</sub>を取り込むことができるようになるため、気孔から失われる蒸散量が減ると考えられています。それでは、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が年々上昇すると、樹木からの蒸散量は年々減るのでしょうか？

### 樹木が水を利用する効率は上がっている

ある期間の樹木の成長量を、その成長のために利用した水量(=蒸散量)で割った値を水利用率といいます。樹木の場合、年輪のセルロースを抽出して炭素安定同位体比を分析することで、1年ごとに水利用率を計算することができます。山形県で採取した樹齢約100年のスギの年輪では、水利用率が大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇とともに上がっていました(図1)。このことは、成長量が同じ場合に、その成長のために樹木が利用する水量は大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上がるにつれて少なくなるということを示しています。

### 蒸散量は樹木の成長とともに増える

樹木の1年ごとの成長量と水利用率を使って、過去約80年間の単木当たりの蒸散量を推定しました(図2)。調査したスギでは、年輪幅は年によって変動しますが、樹木の年間成長量は樹木の成長とともに増えていました。単木当たりの蒸散量は樹木が成長するにつれて増加し、樹齢約80年(1990年)頃からは一定となっていました。また、実際の蒸散量は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が1960年以降も上昇しなかったと仮定した場合に比べると少なくなっており、その減少幅は年々大きくなっていました。しかし、1960年以降も単木当たりの蒸

散量が年々減少するという傾向は見られませんでした。この結果から、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇は樹木の水利用効率を上げ、単位成長量当たりの蒸散量を年々減らすような影響を与えますが、樹木が年間に蒸散する水の総量は樹木の年間成長量の増加とともに増えていることが明らかになりました。この成果は、気候変動下における森林と水循環の関係を正しく理解し、水資源量の変化予測および将来の水資源の確保のために役立てられます。

## 研究資金と課題

本研究は、科研費(16K07796)「流域水収支法で推定した森林蒸発散量の同位体年輪年代学的解析を用いた検証」、環境省地球環境保全等試験研究費(農1942)「気候変動への適応に向けた森林の水循環機能の高度発揮のための観測網・予測手法の構築」、本研究所の実施課題「水循環・物質循環が関与する森林の機能の評価技術の開発」および基盤課題「森林水文モニタリング」による成果です。

## 文献および参照サイト

Kubota, T. et al. (2021) Effects of clear-cutting, meteorological, and physiological factors on evapotranspiration in the Kamabuchi experimental watershed in northern Japan. *Hydrological Processes*, 35:e14111. DOI: 10.1002/hyp.14111

## 専門用語

**炭素安定同位体比:** 同じ原子番号で質量数が異なるものを同位体といいます。炭素には質量数が12と13の安定同位体があり、その存在比を同位体比といいます。樹木のセルロースに含まれる炭素安定同位体比を調べることで、そのセルロースができる時に取り込んだCO<sub>2</sub>の量に対する蒸散量の割合が分かります。

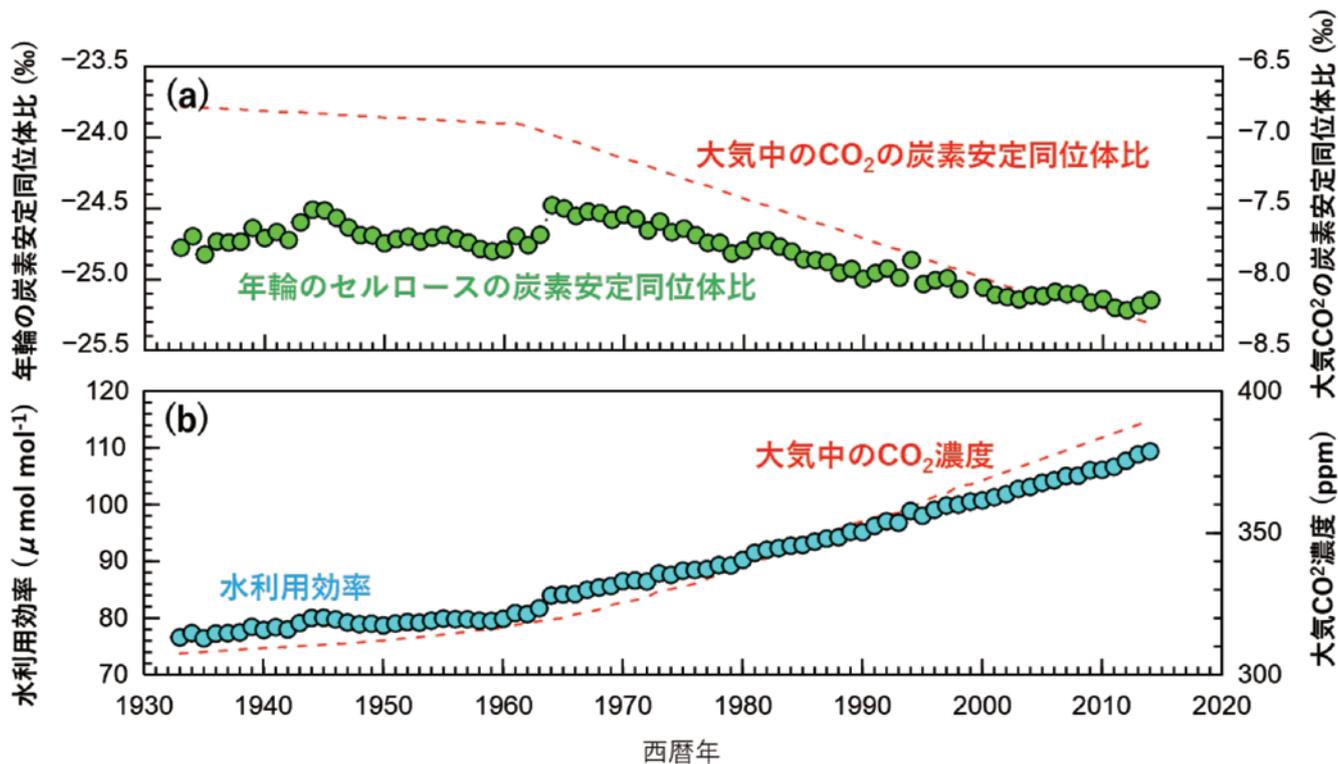


図1 山形県で採取したスギ(1915年頃植栽)の(a)年輪のセルロースと大気中のCO<sub>2</sub>の炭素安定同位体比、(b)水利用効率と大気中のCO<sub>2</sub>濃度。1960年頃に燃料が石炭から石油に切り替えられました。石油の炭素安定同位体比は石炭のそれよりも小さいため、石油由来のCO<sub>2</sub>の濃度が上昇するにつれて、大気中のCO<sub>2</sub>の炭素安定同位体比は下がり続けています。このCO<sub>2</sub>を利用している樹木の炭素安定同位体比も1965年頃から下がり続けていました。水利用効率はCO<sub>2</sub>濃度の上昇とよく似た傾向で上がり続けていました。

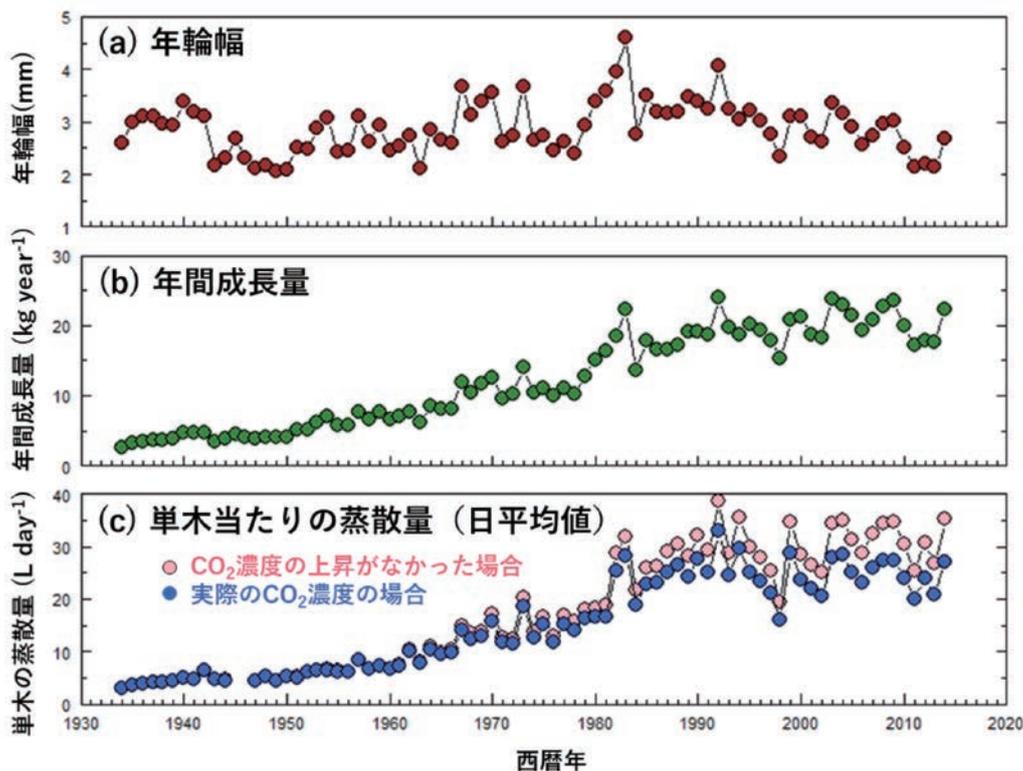


図2 山形県で採取したスギ(1915年頃植栽)の(a)年輪幅、(b)年間成長量(乾燥重量)、(c) 単木当たりの蒸散量。樹木の年間成長量は年輪幅を足し合わせて幹直径を推定した後、スギの幹直径と乾燥重量の関係式を用いて推定しました。単木当たりの蒸散量は年間成長量と水利用効率から計算して日平均値で示しました。年輪幅は大小の変動がありますが、年間成長量は増え続ける傾向がありました。単木当たりの蒸散量は樹木の成長とともに増え、実際のCO<sub>2</sub>濃度のもとでは、CO<sub>2</sub>濃度が上昇しなかったと仮定した場合よりも小さくなっていました。



# 無人航空機を用いた高精度な地形測量により 山地源流域の土砂量を計測する

森林防災研究領域: 経隆 悠    東京大学: 堀田 紀文    北海道大学: 早川 裕弐    静岡大学: 今泉 文寿

**山** 地源流域で発生した土石流は、下流で被害を生じさせる危険があります。土石流の規模の推定には、材料となる土砂の量の把握が重要です。しかし、アプローチが難しい山地源流域では、土砂量の計測が困難でした。本研究では、無人航空機(UAV、ドローン)を使って撮影した画像から土砂量を高精度に計測する際の問題点を調べました。その結果、土砂量の計測における誤差の原因が、地形の測定誤差ではなく、測量結果全体の基準面からの傾き具合の違いであることが分かりました。この結果は、測量結果の傾きを調整することで、ドローンを用いて山地源流域の土砂量の変動を高精度にモニタリングできることを意味しており、今後の山間部での土石流対策に活用できます。

## 成果

### ドローンを山地源流域の土砂量の計測に利用できる

山地源流域では、岩盤の風化等により、谷底に土砂が貯まります(図1)。これらの土砂は、豪雨によって侵食され、土石流に発達して流下し、下流の住民や構造物に被害を及ぼす危険があります。土石流の規模は、材料となる土砂の量によって変化するため、山地源流域の土砂量の把握が防災上重要です。しかし、山地源流域は地形が急峻であるため、アプローチが困難で現地での測量には危険が伴います。

アプローチの問題の解決手段として、ドローンを用いた空撮が注目されています。近年、ドローンで撮影した画像を用いた写真測量によって、立体的な形状を精度良く測定できることが分かってきました。この技術は、山地源流域の地形測量にも応用できる可能性があり、これまでの土砂量の把握における課題の解決が期待できます。しかし、山地源流域の複雑な地形をどの程度の精度で測量できるのかは、よく分かっていませんでした。

### ドローンの測量結果の傾きを調整すれば土砂量を高精度に計測できる

そこで、山地源流域におけるドローンを用いた写真測量の精度を検証しました。地上レーザー測量は、大きく重い機材が必要となるため、山地源流域の高頻度な測量には適しませんが、誤差数センチメートルという高い精度で地形を測量できます。この地上レーザー測量結果と比較することで、ドローンを用いた写真測量の精度を詳しく調べました(図2)。ドローンと地上レーザーで測量した標高の差は、地形が複雑であっても多くの地点で高さ±10 cm以内に収まりました。しかし、よく見ると谷の右岸側においてドローンで測量した標高の方が地上レーザーで測量した標高よりも低い領域が存在し(図2b)、土砂量に換算して100 m<sup>3</sup>程度の誤差となることが分かりました(図3)。この誤差は、土石流による土砂の変化量に比べると小さいものの、複数時期で積算すると大きくなり、土砂量の計測精度の低下の原因となります。

立体的な形状が正確に測定できていても、測量結果全体が傾いていると、誤差が大きい領域が発生してしまいます。これが一部の領域でドローンによって測量した標高が地上

レーザーで測量した標高よりも低くなった原因と考えられました。そこで、露出した岩盤等の基準面において、ドローンの測量結果が地上レーザー測量結果と比べて、どの程度傾いているのかを調べました。そして基準面が一致するように、ドローン測量結果の傾きを調整したところ、右岸側の誤差が低下し(図2c)、土砂量としての誤差が6.9 m<sup>3</sup>まで軽減されました(図3)。この結果は、ドローンによって複雑な地形の形状自体は高精度に測量できており、誤差の主な原因は測量結果同士の傾き具合の違いにあることを意味します。つまり、地上レーザー測量を行わなくとも、多時期のドローンの測量結果同士で、ある基準面における傾き具合を調整することで、高精度に土砂量の変化を計測できます。

### 土石流の危険の予測に向けて

土砂量の変動の速度は、豪雨の頻度などの気象条件に応じて複雑に変化し、その結果としてその後発生する土石流の規模も変化します。得られた成果は、ドローンを用いた高頻度な地形測量により、土砂量の変動が高精度にモニタリングできることを意味し、土石流の規模の予測精度の向上に活用できます。

## 研究資金と課題

本研究は科研費(16J02197)「土石流の数値シミュレーションと現地観測に基づいた土砂流出量の長期推定モデルの開発」、(18J01961)「土石流扇状地からの土砂と流木の流出プロセスの解明と流出量推定手法の開発」、(25702014)「地上レーザースキャンによる高精細地形解析プロトコルの確立と研究拠点の形成」による成果です。

## 文献および参照サイト

Tsunetaka, H. et al. (2020) Spatial accuracy assessment of unmanned aerial vehicle-based structures from motion multi-view stereo photogrammetry for geomorphic observations in initiation zones of debris flows, Ohya landslide, Japan. Progress in Earth and Planetary Science, 7, 24.

## 専門用語

**地上レーザー測量:** 地上レーザースキャナを用いた測量手法のことで、複雑な地形を5 cm以下の誤差で10 cm以下の高い解像度で計測できます。ただし、レーザースキャナは重く運搬が難しいため、広域の測量や高頻度な測量には不向きです。



図1 山地源流域の谷地形の様子

山地源流域には、岩盤が露出し非常に急峻な谷地形が形成されている場所があります。こうした谷では岩盤の風化によって生じた土砂が谷底に貯まるため、谷底の地表面が上昇します。貯まった土砂はその後の土石流によって侵食され、その際には谷底の地表面は低下します。こうして谷底の土砂量が変化します。

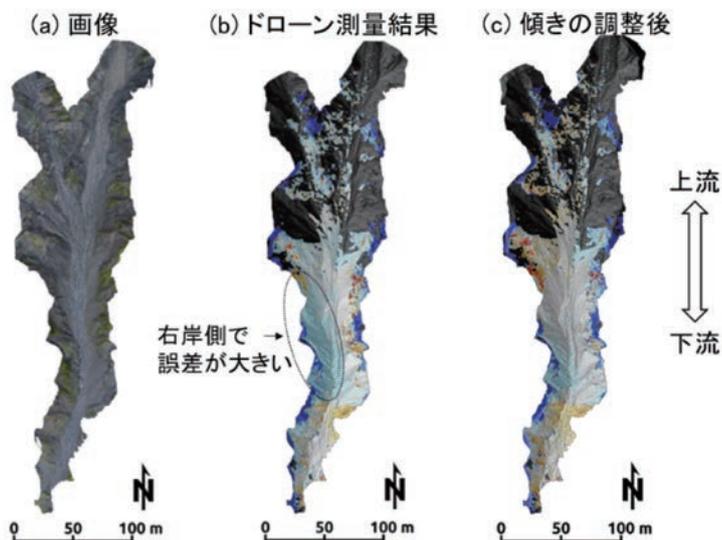


図2 谷周辺の地形の計測誤差

地上レーザー測量結果からドローン測量結果を差し引いた地表面の差を示します。ドローンで測量した標高が地上レーザーで測量した標高よりも高い領域と低い領域が、それぞれ黄色と青色で示されています。標高差が±10 cm未満の誤差の小さな領域は灰色で示されています。ドローン測量結果の傾きを調整することで、右岸側で大きかった誤差を、±10 cm未満に低減できました。

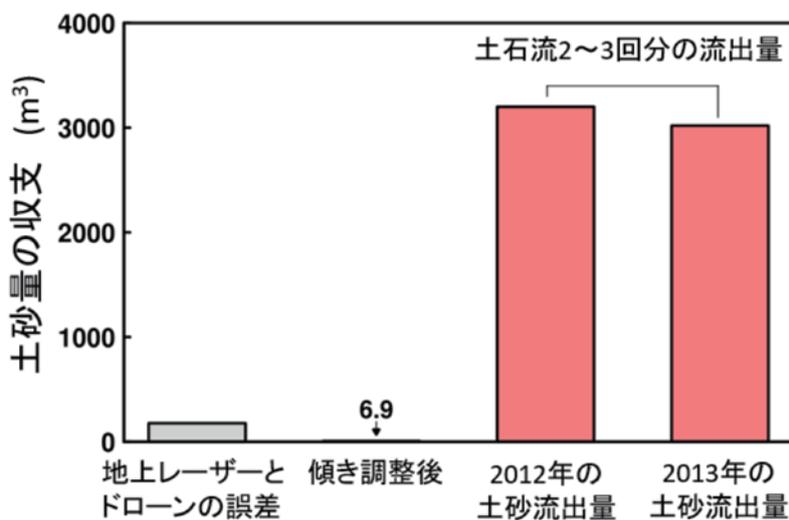


図3 土砂量の収支としての誤差

図2で示した誤差を土砂量(体積)に換算した場合、正負の誤差の偏りによって100 m³程度の誤差が生じますが、傾きを調整することで誤差を6.9 m³まで低減させることができました。

(Tsunetaka 他, 2020に加筆)

# 地がきカンバ林の施業適地を予測しマップ化する

北海道支所 津山 幾太郎・石橋 聡・嶋瀬 拓也

**北** 海道では多くの針葉樹人工林が主伐期を迎えており、主伐後の再造林における低コスト化が重要な課題となっています。そこで、道内に生育する広葉樹で最も多い森林資源量を占めるカンバ類について、天然更新を活かした「地がきカンバ林施業」の有効性を検証しました。カンバ林の地位指数を環境要因から予測し、それに基づく経営収支を算出することで、地がきカンバ林の施業適地を予測した結果、道内の広い範囲にわたり、低標高域ではシラカンバ林が、高標高域ではダケカンバ林による施業が成り立つと予測されました。この結果から、地がきカンバ林施業は、針葉樹人工林主伐後の施業として有力な候補であることが示唆されました。

## 成果

### ■ カンバ類をめぐる林業的背景

北海道では、針葉樹人工林の多くが主伐期を迎えています。主伐後の再造林を行う上では、場所ごとの環境条件にあった最適な施業方法を考案することが重要な課題です。近年カンバ類は、加工技術の向上により用途開発が進み、それに伴って需要が高まっています。本研究では、天然更新を活用した地がきによるカンバ林施業の有効性を検証するため、地がきカンバ林の経営収支を予測し、北海道における施業適地を明らかにすることを目的としました。

### ■ 地がきカンバ林の経営収支

地がきカンバ林の経営収支を予測するため、まず、シラカンバとダケカンバの分布と最大樹高を環境要因（気候、地質）から説明する統計モデルを構築し、それぞれの分布可能な立地と最大樹高を北海道全域を対象に予測しました。得られた最大樹高の予測値と、現地調査等から作成した地位指数曲線を照合することで、分布可能な立地における両樹種の地位指数を予測しました。予測した地位指数と林分調査データに基づき、伐期を40年と60年としたときの素材収入を算出するとともに、地がき費や主伐費と合算することで、地がきカンバ林の経営収支を予測しました（図1）。なお、本研究では、地がきによるカンバ類の天然更新が成功し、獣害による影響を受けない場合を想定しています。

その結果、両伐期において、シラカンバ林は分布可能な立地の全域で収支がプラス（施業適地）になると予測されました（図1上段）。中でも、道北や道東北部などの盆地や丘陵地で特に収支が良いと予測されました。ダケカンバ林は、40年伐期では、収支がマイナスになる場所が高標高域や火山灰地などで予測された一方、60年伐期では、大径化による単価の上昇を受けて、分布可能な立地の全域で収支がプラスになると予測されました（図1下段）。

### ■ 地がきカンバ林の施業適地

予測した経営収支に基づき、シラカンバ林とダケカンバ林のどちらが経営的に有利であるかをマップ化しました（図2）。

その結果、40年伐期の場合、低標高域ではシラカンバ林が、高標高域ではダケカンバ林が有利な施業タイプになる傾向がみられました。また、伐期を60年まで延長すると、40年伐期で不適地となった高標高域などにおいても、地がきダケカンバ林による施業が経営的に成り立つと予測されました。

### ■ より精緻な予測に向けて

本研究により、地がきカンバ林施業は、針葉樹人工林主伐後の施業として有力な候補となり得ることが示唆されました。本研究で得られた成果は、今後、獣害の防止や天然更新の成功条件に関する研究を進め、針葉樹人工林の経営収支の予測結果と統合することで、次代の林分の施業方法を選択する上での基盤情報として役立つと考えられます。

## 研究資金と課題

本研究は、本研究所の交付金プロジェクト「天然更新による低コストカンバ施業システムの開発（H31～R3年度）」の成果の一部です。また、森林資源調査データ解析事業（第4期）において提供を受けた、森林生態系多様性基礎調査データ（第3期 ver.1.0）を用いた成果です。

## 文献および参照サイト

森林総合研究所北海道支所（2022）循環的なカンバ林業をめざして－地がきを利用した施業管理技術－、第5期中長期計画成果13（森林産業-4）<https://www.fpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/5th-chuukiseika13.html>

## 専門用語

**地がき**：林地の周辺木からの種子散布等による天然更新を補助するため、更新を阻害するササなどの雑草木を重機を用いて除去する作業のこと。

**地位指数**：対象とする林分における、対象樹種の上層木（林分内で樹高が最も高い個体群）の40年生時点における樹高。対象地における造林の好適さの指標となります。

**地位指数曲線**：林齢と上層木（今回は樹高が上位50%の個体）の樹高との関係から得られる回帰式のこと。

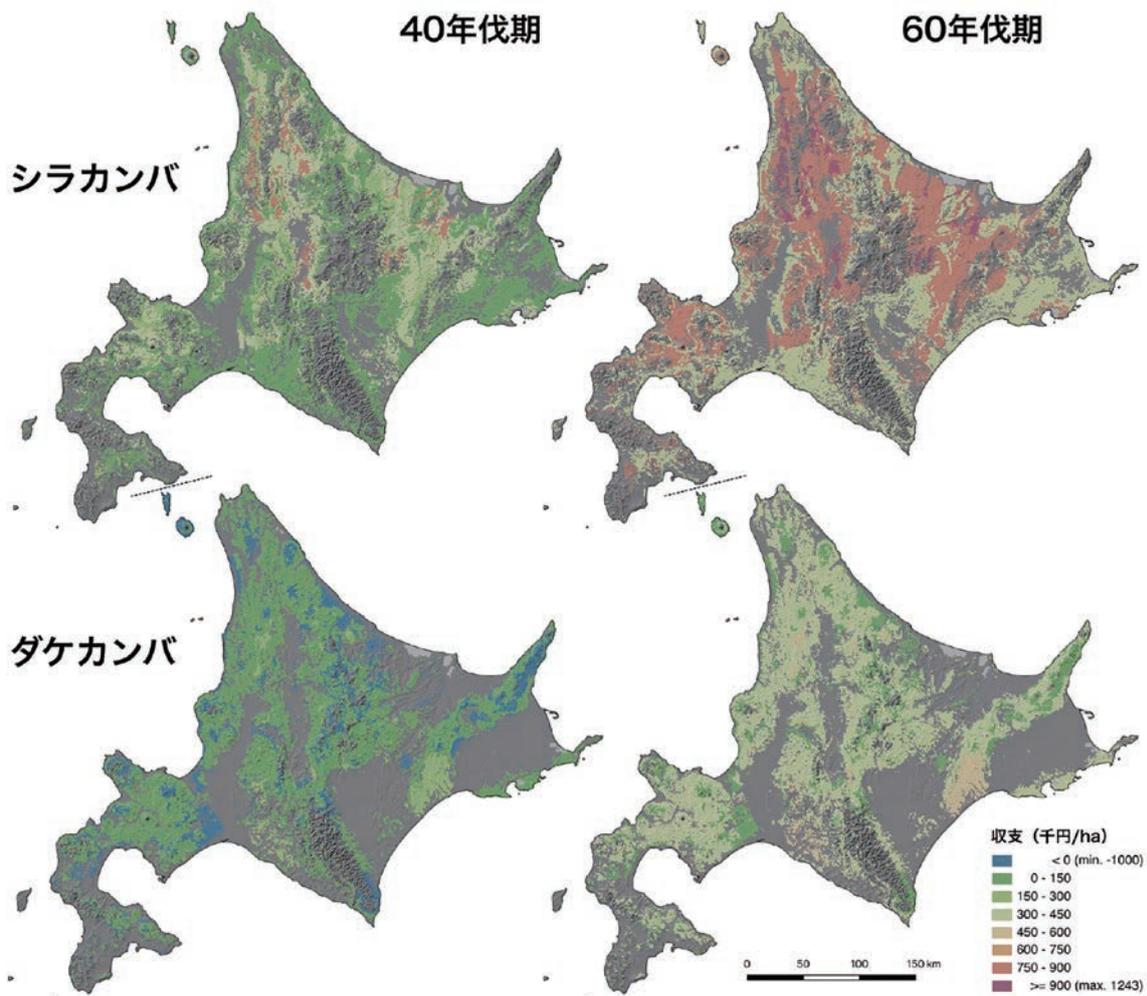


図1 地がきカンバ林の経営収支の予測マップ

上段はシラカンバ、下段はダケカンバについて、40年伐期(左列)と60年伐期(右列)で施業した場合の経営収支を示します。濃い暖色になるほど収支が良く、青色は収支がマイナスになるエリアを示します。灰色は解析対象外のエリアです。

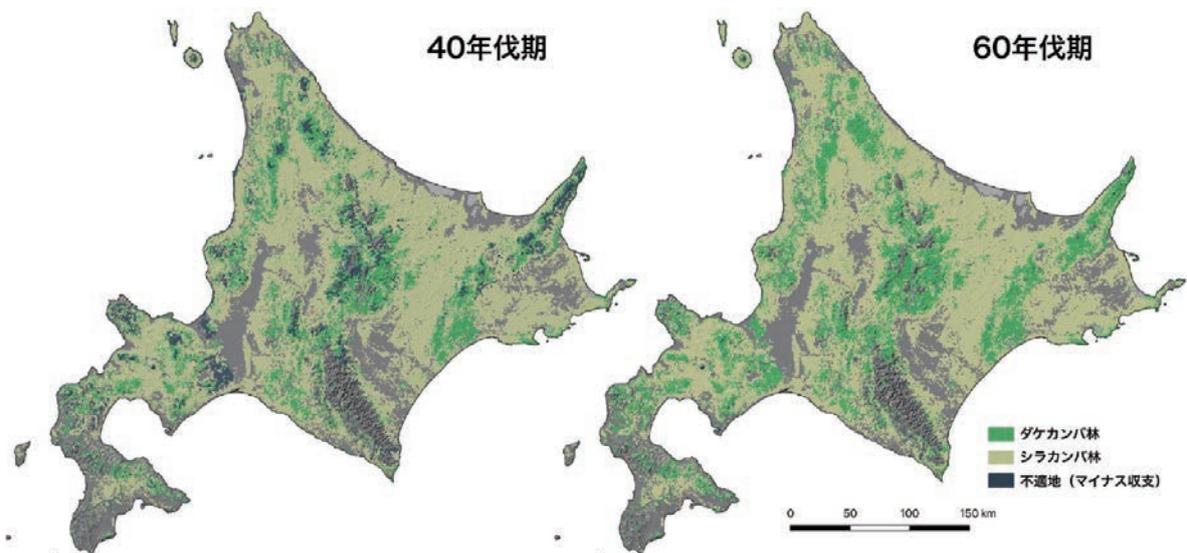


図2 地がきカンバ林の施業適地マップ

左は40年伐期、右は60年伐期でシラカンバ林とダケカンバ林の経営収支を比較した結果を示します。濃い緑はダケカンバ林が、薄い緑はシラカンバ林が経営的に有利なエリアを示し、濃い青はどちらもマイナス収支な施業不適地を示します。灰色は解析対象外のエリアです。

# 森林内での測位精度向上に2周波GNSS受信機とRTK測位手法を活用する技術を開発

林業工学研究領域：瀧 誠志郎・有水 賢吾・宗岡 寛子

**林**業機械の自動走行の実現にはリアルタイムに迅速な高精度測位が必要ですが、森林では、低い開空度、複雑な地形、電子基準点の遠さにより大きな測位誤差が生じます。そこで2周波GNSS受信機とRTK測位手法を用い、既存の電子基準点及び自前の固定基準局を用いた時の測位誤差を解析しました。その結果、高精度な測位を行うためには土場等の開けた場所に自前の固定基準局を設置し、特定小電力無線機で固定局と移動局の通信を行う短距離RTK測位が有効であることが分かりました。一方、林業機械の走行では路面状況に起因する制御誤差が発生するため、高精度なGNSS測位だけでは自動走行を制御することは困難であることが分かりました。

## 成果

### 森林内での測位精度を飛躍的に向上させる、特定小電力無線機による短距離RTKとは？

RTK測位には、全国約1300か所に設けられている電子基準点を固定局として利用できますが、電子基準点から遠い森林内では十分な測位精度が得られない場合があります。森林内で有効と考えられるのが、土場などの開けた場所に自前の固定局を設置して、特定小電力無線機により移動局と直接通信して補正を行う方法(特定小電力無線機による短距離RTK)です。本研究では、電子基準点を利用したNTRIP方式、特定小電力無線機を用いた短距離RTK方式のそれぞれで移動体の座標を計測し、トータルステーションによる正確な座標と比較しました。その結果、NTRIP方式では平均誤差が10~25cmであったのに対し、特定小電力無線機を用いた短距離RTK方式では平均誤差は1~2cmと飛躍的に精度が向上しました(図1)。

### 安全な自動走行のために必要な測位精度は？

平均誤差1~2cmという測位精度が林業機械の自動走行に活用できる精度なのかシミュレーションしました。GNSS測位誤差を変化させて作業道の線形を想定した走行シミュレーションの結果、短距離RTK方式に相当する高精度測位の場合であっても路面状況に起因する制御誤差が最大で約85cm程度発生する可能性があることが分かりました。(図2)。このことから、GNSSの高精度測位だけでは自動走行を制御することは困難であることが分かりました。

### GNSS測位を活用して林業機械が自動走行するには、どんな作業道が必要？

林業機械が安全に作業道を自動走行するためには、GNSS測位誤差の他に路面状況によって発生する制御誤差も考慮した道造り、すなわち作業道の道幅に余裕を持たせる必要があります。上述のシミュレーション結果をもとに必要な道幅を求めると、測位誤差が0.5m以下で路面の状態

が良好な場合は3.5m程度ですが、測位誤差1.0~3.0mでは4.0m以上と考えられました。現在、一般的な森林作業道の道幅は3.0m程度ですが、これを4.0mに広げた場合、土工量(開設工事の際の土の移動量)は1.78倍となり(図3)、開設コストや山腹崩壊リスクの上昇が懸念されます。自動走行の実現には、GNSS測位に加え、画像認識やレーザー等による自己位置推定技術(SLAM)の援用、多様な路面状態に対応できる制御技術が必要と考えられます。

## 研究資金と課題

本研究は本研究所の交付金プロジェクト「森林域における2周波GNSS-RTKの活用技術の開発」による成果です。

## 文献および参照サイト

有水賢吾・瀧誠志郎・宗岡寛子(2021)林業機械における自律走行時の制御誤差に与える測位精度の影響。森林利用学会誌, 36(4), 193-200.

瀧誠志郎(2021) <論壇>高精度な森林情報をどう活用すべきか。森林技術, 948, 2-6.

## 専門用語

**GNSS**: Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム)。米国のGPS、日本の準天頂衛星(QZSS)、ロシアのGLONASS、欧州連合のGalileo等の衛星測位システムの総称。

**RTK**: Real Time Kinematic(相対測位)。固定局と移動局の2か所で同時にGNSS測位を行い、固定局における真値とのズレを補正情報として利用することで、移動局の測位精度を向上させる技術。

**NTRIP**: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol。インターネット回線を通じてRTK補正情報を配信するサービス。

**RTCM**: Radio Technical Commission For Maritime Services(海事用無線技術委員会)。非営利の国際標準化組織の名称で、GNSSデータの標準フォーマットなどを定めています。NTRIPにおいて配信される補正情報はこのRTCMが定めたフォーマットに基づいたデータが配信されます。

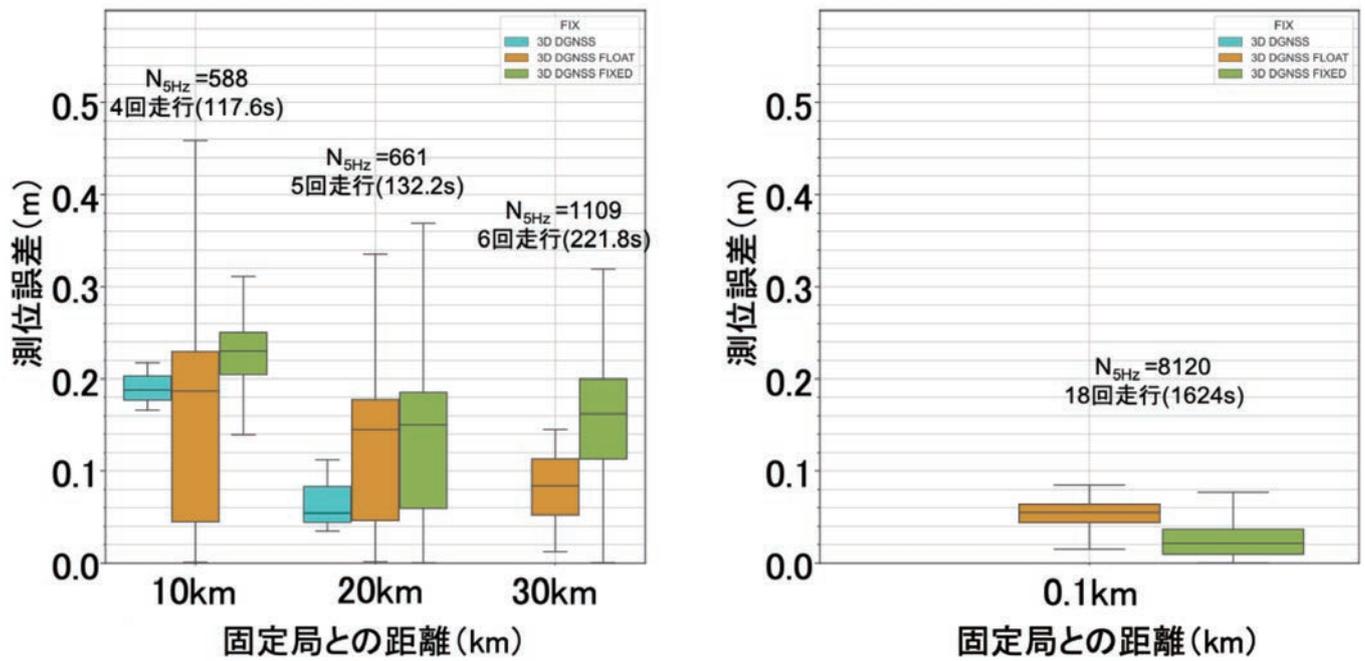


図1 電子基準点を使ったNTRIP方式(左図)と特定小電力無線機を使った短距離RTK方式による測位誤差(右図)

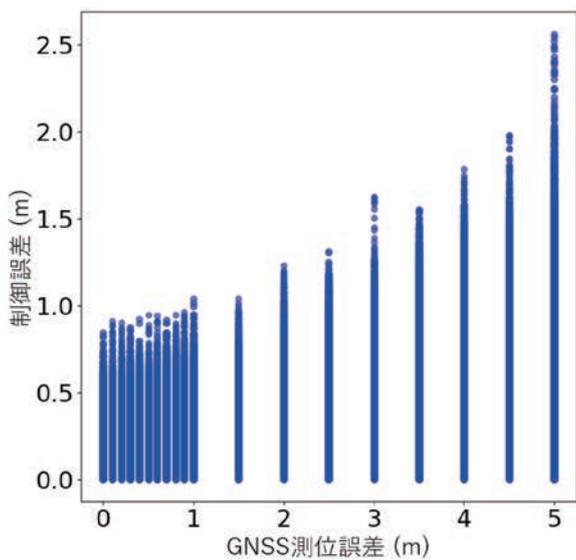


図2 走行シミュレーション時のGNSS測位誤差と制御誤差

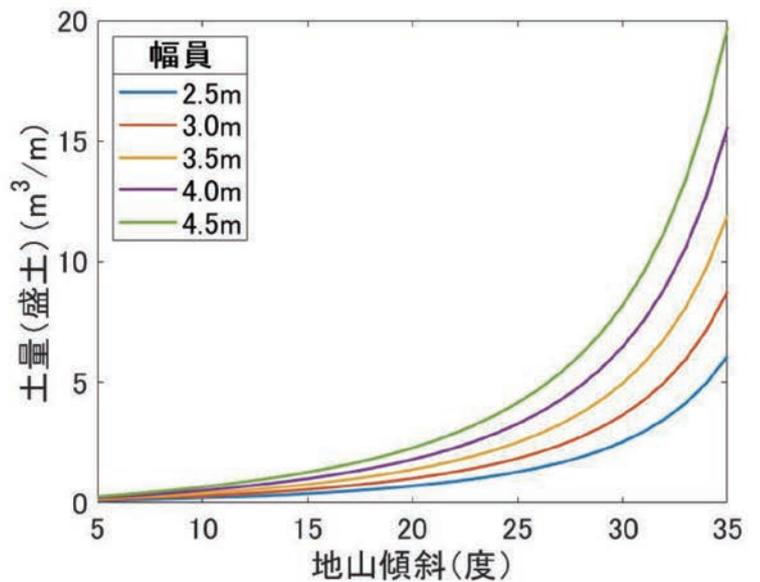


図3 地山傾斜に対する作業道幅員に応じた盛土土量の変化

# 測量用無人航空機による森林調査の省力化

北海道支所: 古家 直行

**測**量用途での無人航空機(UAV、ドローン)の空撮処理では、測量精度を確保するには標識設置などの追加作業が必要となり、省力化につながっていませんでした。これを解決する方法として、高精度GNSSを搭載して撮影時のカメラ位置を正確に記録する測量用UAVの活用が期待されています。本研究では、高精度なGNSS測位を実現する複数の方法について、それぞれの測量用UAVによる測量成果を比較し、森林・林業の現場で求められる精度を確保できる方法を明らかにしました。また、この方法により現場作業を大幅に省力化できることも明らかにしました。

## 成果

### ■ 普及型UAV空撮の測量成果としての活用の課題

無人航空機(UAV)が普及し、森林・林業の現場でも活躍しています。森林・林業の現場での測量作業は、対象地が多い上に傾斜地を歩き回る作業となることから、UAV空撮活用による省力化が期待されています。またUAV空撮処理画像では、従来の周囲測量のように境界が線で描かれ面積が数値として分かるだけでなく、現場状況も画像として手に取るように分かります。一方で、測量成果として利用するには、位置精度の確保が大切です。しかし、普及型UAVの空撮成果は、そのままでは数mから十数mの誤差が生じ、測量成果としての位置精度は不十分でした。普及型UAVによる空撮成果の位置精度を向上させるには、あらかじめ現場に標識を設置して位置を測量しておく作業に加え、それをUAV空撮で写し込むように撮影してから位置情報を補正する手間が必要になり、省力化につながっていませんでした。

### ■ 測量用UAVによる測量成果としての精度確保

これを解決するのが測量用UAVです。測量用UAVは、数センチの測位精度を実現する高精度GNSSを搭載しているため、普及型UAVに比べ、より正確に撮影時のカメラの位置を把握できます。

高精度なGNSS測位を実現するために適用可能な方式はいくつかあり(図1)、農業では携帯通信を利用する「ネットワーク方式」や基地局を設置し基地局と直接通信する「基地局設置方式」により、リアルタイムに補正データを取得する方式が一般的です。しかし、山間部では、通信環境が確保できない場所が多く、市街地などに設置した基地局からの信号も地形による遮蔽や距離の制約により受信できません。これを補う方法として、事務所に戻ってから補正データを適用するPPK後処理方式や現場に基地局を設置する方式を採用することで、どこでも必要な精度が確保できることが分かりました(表1)。

### ■ 測量用UAVによる森林調査の省力効果

測量用UAVを使用することで、標識の設置や回収、標識位置の測量、それらに付随する作業が不要あるいは大幅に省力できますので、現場作業が大きく削減されます(図2)。一方で、新しい手法では機器や補正データなどの通信やサービスにコストがかかっています。機器の作業単価は利用頻度が増えることで下がり、需要が増えることで機器やサービスの単価も下がることが期待されます。

## 研究資金と課題

本研究は本研究の実施課題「持続的な林業経営および森林空間利用のための評価・計画・管理技術の開発」による成果です。

## 専門用語

**GNSS:** Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム)

**ネットワーク方式:** 運用面から、携帯電波を利用し、現場においてリアルタイムで補正データを取得・適用し、UAVの正確な位置を算出する方式として、ここでは定義します。

**基地局設置方式:** 事前に正確な位置を把握した既知点に基地局を設置し、基地局と機体との通信を確保することで、現場においてリアルタイムで補正データを取得・適用し、UAVの正確な位置を算出する方式。

**PPK後処理方式:** PPKはPost Processing Kinematicの略。UAV飛行中に後処理が必要となる測位情報を収集した上で、事務所に帰ってからインターネット経由で補正データを取得・適用し、空撮時のUAVの正確な位置を算出する方式。

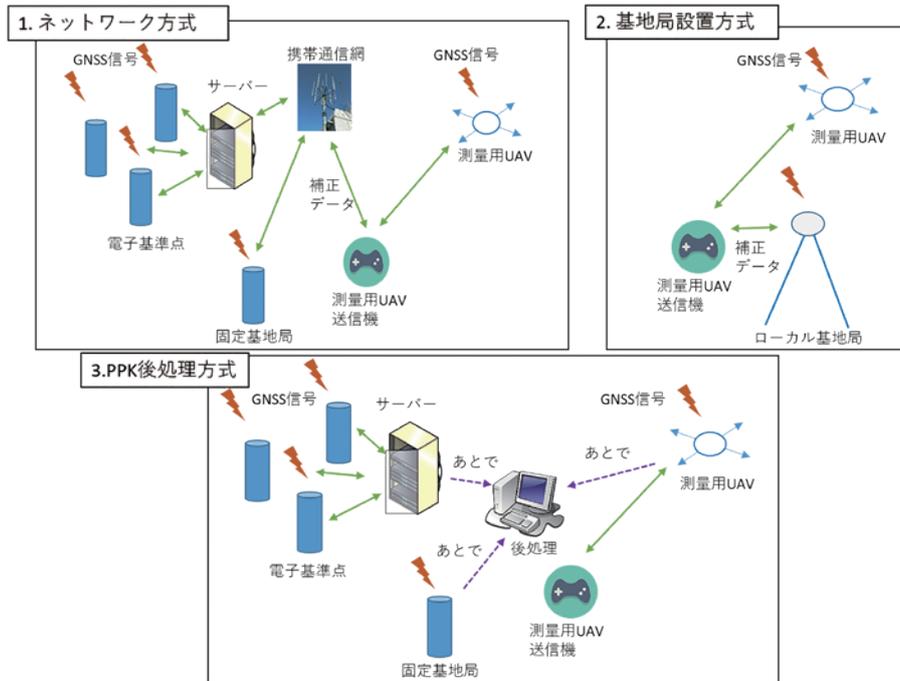


図1 測量用UAVの撮影位置の高精度GNSSによる取得で利用可能な方式

表1 位置精度の比較

UAV・測位方式	水平誤差	垂直誤差	全体誤差	水平誤差	垂直誤差	全体誤差
	平均(m)	平均(m)	平均(m)	最大(m)	最大(m)	最大(m)
普及型UAV・標識設置なし	1.30	10.37	10.54	2.84	18.59	18.71
測量用UAV・ネットワーク方式	0.25	0.22	0.35	0.37	0.29	0.43
測量用UAV・基地局設置方式	0.34	0.30	0.48	0.40	0.30	0.51
測量用UAV・PPK後処理方式	0.19	0.23	0.31	0.29	0.31	0.36

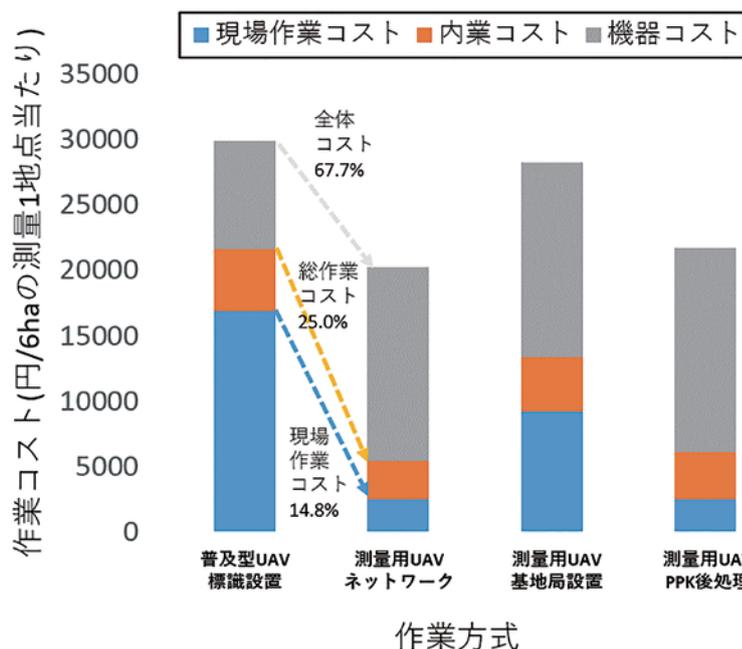


図2 コストとその内訳の比較  
(年間の空撮回数を20回とした想定の場合)

## 地域材の利用促進に向けて

### — 中小木造住宅工務店の利用実態から得たヒント —

東北支所:御田 成顕

東京大学:知念 良之

兵庫県立大学:尾分 達也

**中** 小木造住宅工務店の地域材利用率と、工務店や施主の地域材に対する評価を明らかにし、地域材利用の促進に向けた方策を検討しました。その結果、工務店は、その地域で流通している素材で作られた部材を使用する傾向が高いことから、工務店が地域材をより調達しやすくなるように、地域材を多く供給する体制を整えることの重要性が示されました。そして、地域材はイメージが良い等の感性的な面で施主のニーズに応えやすいことから、品質面と価格面での優位性を高め、施主が安心して地域材を使うことができるようにしていくことが地域材利用の促進につながる可能性があることが分かりました。

## 成果

### ■ なぜ地域材の利用が大事なのか

地域材の利用は、地域の林業活性化や、木材生産から加工、消費までを含んだ経済波及効果、そして生産地から消費地までの輸送エネルギーが少ないことによる低炭素化といった多くの利点があります。地域材利用の担い手として、木造住宅の建築を手掛ける中小工務店は重要な役割を有しています。そこで、工務店が地域材をどれだけ利用しているのか、工務店や施主が地域材にどういった評価をしているのかを明らかにし、地域材利用の促進に向けた方策を検討しました。

### ■ 地域材の利用状況と地域材に対する印象

地域材を多く使う宮崎県、他県で生産された国産材を多く使う福岡県、そして外国産材を多く使っている広島県の工務店を対象にアンケート調査を行いました(図1)。

外国産材、国産材、地域材それぞれに対し、工務店が持っている印象には違いがありました。外国産材は、品質の安定性と価格の安さ、調達の容易さが評価され、特に外国産材が多く流通する地域ではこれらの点が高い評価を得ていました。一方、競合他社との差別化や地産地消の推進、イメージの良さといった感性的な面の評価が低い特徴がありました。国産材は、品質の高さとイメージの良さが評価される一方、価格面の評価は高くありませんでした。地域材は、いずれの地域でも感性的な面と住宅建築への補助金の期待が高く評価されていました。しかし、地域材が多く流通している地域では、価格と品質、調達面も高く評価される一方、競合他社との差別化については比較的低い評価となっていました(図2)。

地域によって、工務店が利用する部材の産地も異なっていました。地域材で作られた部材の利用率は、宮崎県が最も高く、最も低いのは広島県でした。一方、外国産材の利用率が最も高いのは広島県でした。このように、その地域で多く入荷している素材を加工した部材を工務店が多く使用していることも確認できました(図3)。

### ■ 地域材をもっと利用するために

地域材の利用が進んでいない地域において、どのように利用を促進していけば良いのでしょうか。まず、中小工務店は地域で多く流通している素材を加工した部材を使用していることから、工務店が地域材を調達しやすくなるように、地域材をより多く供給・加工する体制を整えることが大切です。そして、地域材は感性的な面で施主のニーズに応えやすいという長所を活かしながら、品質面と価格面での優位性を高め、施主が安心して地域材を使うことができるようにしていくことが、地域材利用の促進につながる可能性があることが分かりました。

## 研究資金と課題

本研究は、木材利用システム研究基金「住宅用木質部材に求められる合法性と環境リスクに関する情報整理と分析」と本研究の実施課題「多様化する森林との関わりを支える社会経済的・政策的方策の提示」による成果の一部です。

## 文献および参照サイト

御田成顕(他)(2021) 素材入荷状況の異なる地域間比較を通じた中小規模工務店による住宅用木質部材選択の実態把握—地域材利用に着目して—

御田成顕(他)(2021) 素材入荷状況の異なる地域間比較を通じた中小規模工務店による住宅用木質部材選択の実態把握—地域材利用に着目して—。林業経済研究67(2):47-55

## 専門用語

**地域材:** 地域材に明確な定義はありませんが、一般的には地産地消の考え方にもとづいて、当該地域で生産された素材と理解されています。地方自治体による地域材利用促進の施策では、その目的や地域の実情に応じて地域材が定義されており、その「地域」の範囲は県内であったり市町村であったりと様々です。

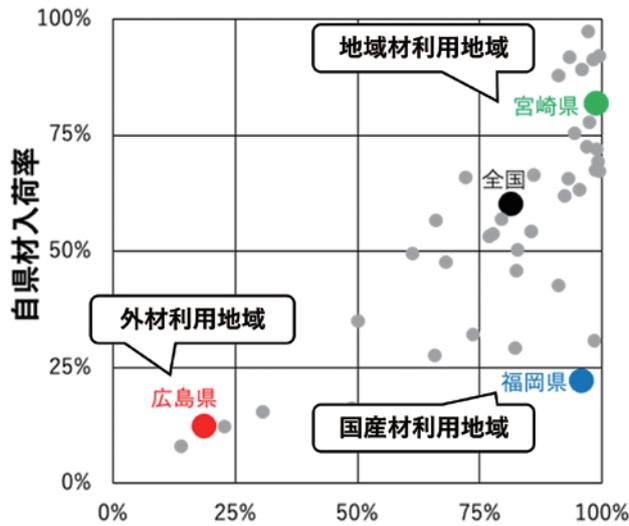


図1 各都道府県に入荷される素材の産地と調査対象地の特徴

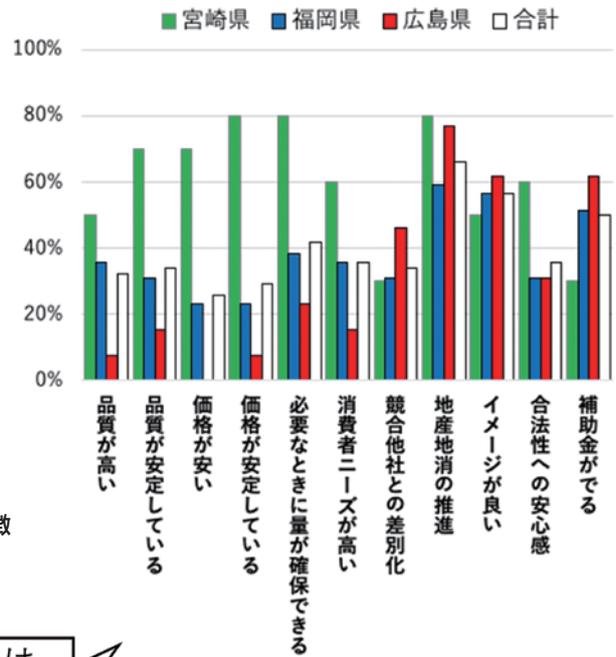


図2 工務店の地域材の評価

■ 地域材利用が少ない地域では、地域材を感性的に評価  
 ■ 品質・流通の機能強化が地域材普及の鍵

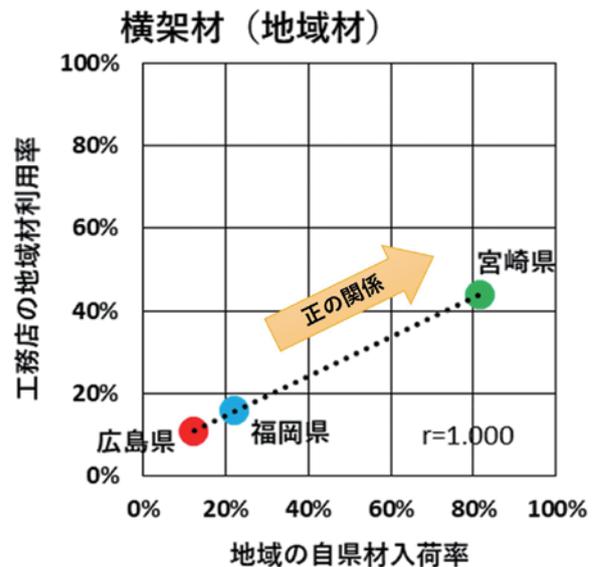
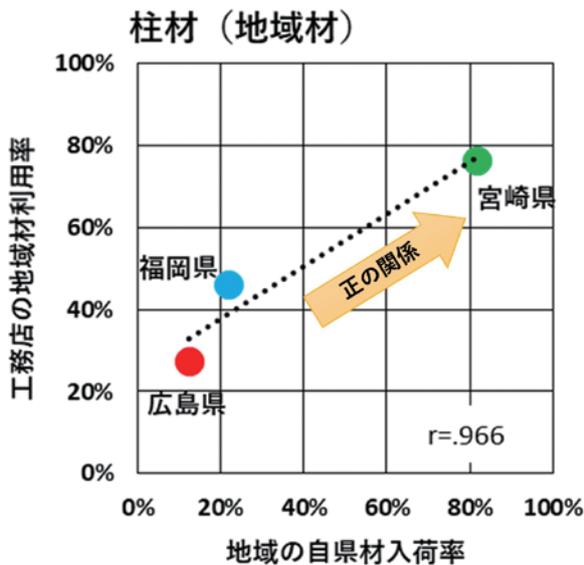


図3 工務店の地域材利用率と地域の自県材入荷率との関係

■ 主要木質部材の地域材利用率と地域の自県材入荷率とは正の関係にある  
 ■ 地域材の供給を増やせば、地域材の利用につながる可能性がある



# 待望のクビアカツヤカミキリ防除マニュアルをお届け

森林昆虫研究領域:加賀谷 悦子      クビアカツヤカミキリコンソーシアム

コンソーシアム 参画機関: 森林総合研究所 (森林昆虫研究領域、東北支所、関西支所、四国支所)、徳島県立農林水産総合技術支援センター、栃木県農業試験場、大阪府立環境農林水産総合研究所、日本大学生物資源科学部、農業・食品産業技術総合研究機構、(公財) 埼玉県生態系保護協会、(株) マップクエスト、和歌山県、愛知県森林・林業技術センター、大日本除虫菊 (株)

クビアカツヤカミキリの日本への侵入が確認されてから約10年が経ちました。本種の幼虫はサクラやウメ・モモの樹皮下を食害して、時にはそれらの樹木を枯死させます。現在、本州と四国の12都府県で緑化木や果樹に甚大な被害が生じている一方、効果的な対策指針が示されておらず、被害地では手探りの防除活動が続いていました。新規侵入害虫のため使える農薬は少なく、「いつどのような防除をすればいいのか」が分からなかったからです。森林総合研究所が中核機関となり、11団体が共同するプロジェクトで本種の生態を解明し、さまざまな防除方法の効果を検証して対策方針を整え、その成果をとりまとめた防除マニュアルを発行しました。

## 成果

### ■ 新天地での害虫化

昆虫は原産地と侵入先ではふるまいを変え、時として侵入先では外来種として甚大な被害を生じさせる害虫となることがあります。例えば、アジア産のアオナガタムシは、原産地では木々を枯らすことはありませんが、侵入先の北米では大発生してトネリコ属をひどく加害しています。クビアカツヤカミキリは、もともとは中国、ロシア、ベトナム、朝鮮半島等に分布し、原産地ではモモの害虫として知られ、サクラ、ウメ、モモなどサクラ亜科の樹木を選好します。日本では各地にサクラが植えられ、ウメ・モモの果樹園地が多くあります。好適な餌資源が多い日本に侵入したクビアカツヤカミキリは、この10年間で瞬く間に日本国内における最も深刻な樹木害虫の一つとなってしまいました。

### ■ 手探りの対策から効果の高い防除技術の確立へ

外来種は、侵入後しばらくはその詳しい生態が不明であることから、その駆除技術が確立できていない状態での対策が必要になります。クビアカツヤカミキリも同様で使用できる農薬が極めて少なく、また成虫の発生時期や幼虫の活動期も不明だったことから、侵入当初は効果的な防除がなかなか行えませんでした。さらに、被害木には個人の財産である果樹や地域で愛されてきたサクラが含まれ、被害木を伐倒して駆除することへの合意がなかなか得られませんでした。そのため被害地の自治体をはじめ樹木管理者や自然保護団体は、手探りの状態で被害地調査と防除活動に取り組みざるをえませんでした。そのような状態を打破するために、私たちは11団体から成るコンソーシアムを立ち上げ、平成30年度から4年間、本種の生態を明らかにし、防除技術を確立するためのプロジェクトを実施しました。

### ■ マニュアルとリーフレットの発行

現場で本種の対策に携わる人や団体、行政関係者などを対象として、防除対策をわかりやすく伝えるために、マニユ

ル「クビアカツヤカミキリの防除法」を発行しました。ここでは、侵入状況の異なる各現場で、「いつどのような防除をすればいいのか」を示しています。例えば、幼虫を駆除するために木に薬剤を注入する樹幹注入処理は、幼虫が活動を再開する晩春や、1年目の孵化幼虫が穿孔を開始する夏期に実施することを提案しました。作成にあたり写真を多く掲載して、防除の実践に際してのちょっとしたコツを含めて伝えるとともに、昆虫になじみのない方でも使えるよう、平易な表現で解説しました。

また、本種の被害木の全てを、担当の行政職員や専門家のみで探すことは困難です。広く市民一般に協力を求めるために、リーフレット「ご用心！クビアカツヤカミキリはすぐそこに」を作成し、その中で「クビアカツヤカミキリってどんな虫？」や「探して！クビアカツヤカミキリ」などの情報を提供して外来種対策体制の強化へと繋げました。リーフレットは広げると裏は被害発見を呼び掛けるポスターになります。

マニュアルとリーフレットは、研究所のウェブサイトからダウンロードできます (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/5th-chuukiseika12.html>)。これらが本特定外来生物の防除につながるよう願っています。

## 研究資金と課題

本研究は、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(開発研究ステージ)「サクラ・モモ・ウメ等バラ科樹木を加害する外来種クビアカツヤカミキリの防除法の開発」(30023C)による成果です。

## 文献および参照サイト

クビアカツヤカミキリコンソーシアム(2022)クビアカツヤカミキリの防除法。国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所, 28pp.

親しみやすい  
デザインで  
市民にアピール。  
裏はポスター



図1 クビアカツヤカミキリ対策に関わる人に向け発行したマニュアル「クビアカツヤカミキリの防除法」表紙



図2 一般向けリーフレット「ご用心！クビアカツヤカミキリはすぐそこに」

発育の態		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
成虫活動期							■	■	■				
卵のある時期							■	■	■				
幼虫活動期						■	■	■	■	■	■	■	■
対象	何をする	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
成虫	捕殺						■	■	■				
	樹木への網掛け					■	■	■	■				
	薬剤散布						↑	↑	↑				
	生物農薬（昆虫寄生菌）						↑						
幼虫	フラス探索					■	■	■	■	■	■	■	■
	掘り取り					■	■	■	■	■	■	■	■
	伐倒駆除	■	■	■	■								
	薬剤による個別駆除					■	■	■	■	■	■	■	■
	樹幹注入					↑			↑				
		■ サクラ・果樹共通				■ 防除適期				↑ 施用タイミング			
		■ サクラのみ				■ 網掛けをしなくても防除可能							

図3 クビアカツヤカミキリの成虫や幼虫をいつ、どのように防除すればよいのか（「クビアカツヤカミキリの防除法」より）



## スギ花粉飛散防止剤の空中散布技術を開発

きのこ・森林微生物研究領域: 高橋 由紀子・窪野 高德・升屋 勇人・鳥居 正人・松村 愛美

森林昆虫研究領域: 滝 久智

森林植生研究領域: 倉本 恵生・五十嵐 哲也

九州支所: 秋庭 満輝

研究ディレクター: 服部 力

**ス**ギ花粉の飛散を抑制するために、スギの雄花を枯死させる *Sydowia japonica* (シドウィア菌) を利用したスギ花粉飛散防止剤を、無人及び有人ヘリコプターで、樹冠部のスギ雄花序へ効果的に空中散布する技術を開発しました。スギ林内に防止剤を広く散布することで森林生態系への影響がないかを調べるために、林床土壌に生息する菌類や原木シイタケ、林床植生、栽培作物や樹木類、林内の昆虫相への影響調査を行い、短期的な影響がないことを確認しました。また、防止剤の製品化を目指し、活性の高い胞子を大量に培養する方法を確立しました。今回開発した技術は、今後、即効性のある花粉症対策につながることを期待できます。

### 成果

#### ■ 菌類を利用したスギ花粉飛散抑制技術

森林総合研究所では、自然界に存在するスギの雄花に寄生するカビの一種であるシドウィア菌を用いて、雄花を短期間で枯死させることにより花粉の飛散を抑えるスギ花粉飛散抑制剤(特許第5558759)を2014年に開発しました。さらにこれを改良し、動力噴霧機または無人ヘリコプターを用いて散布することで約8割の雄花を枯死させるスギ花粉飛散防止剤(以下、防止剤)を2017年に開発し公表しました。今回はさらに防止剤の実用化を目指して、有人ヘリコプターを新たに加えた空中散布技術の開発に取り組みました。

#### ■ 防止剤の空中散布技術の開発

公園や社寺林等の民家に近接するスギ林への散布では小規模散布が可能な無人ヘリコプターを、奥山のスギ林への散布では大規模散布に適した有人ヘリコプターを用いることを想定して、それぞれについて散布ノズルや飛行法など最適な空中散布の条件を検討しました。無人ヘリコプターによる散布では、無処理の雄花と比較して2~4割の花粉の飛散を抑制できました。有人ヘリコプターによる0.1~0.35 haを対象とした散布では、2~7割の花粉の飛散を抑制できました。

#### ■ 防止剤の森林生態系への影響評価

防止剤は菌類を利用した微生物農薬であるため、農薬登録の基準に沿った安全性評価が必要です。森林に対して施用する場合は、生物多様性保全の観点からも人の手によって管理された農地よりもさらに厳しい基準で評価する必要があると私たちは考えています。長期的な影響も視野に、農薬登録で必要とされる評価項目に加えて、林床の菌類や植生、昆虫相の調査を行いました。これまでの5年間では、防止剤散布による影響は認められませんでした。

#### ■ 防止剤大量培養技術の開発

防止剤を実用化するためには、防止剤の主要成分であるシドウィア菌の胞子が大量に必要であり、その胞子の活性を維持した状態で長期保存する必要があります。そこで、胞子の大量培養と乾燥粉末化に向けた手法を検討しました。5 Lのジャーファーマンターにより3日間本培養することで防止剤200 L分に相当する約2億個の胞子を生産し、その胞子の活性を7~8割に維持したまま冷蔵または冷凍で6カ月以上保存可能な乾燥粉末化の技術を開発しました。

#### ■ スギ花粉症対策の今後に向けて

有人ヘリコプターを用いた防止剤の空中散布によって、2~7割程度のスギ花粉飛散を抑制することが可能になりました。現時点では、北関東エリアでの効果を確認しているところですが、今後、農薬登録を取得し、他の地域での花粉抑制効果を検証するとともに、他の地域でも環境への影響がないことを確認することで、即効性のある花粉発生源対策の有効な一手となることを期待できます。

### 研究資金と課題

本研究は、林野庁花粉発生源対策推進事業「スギ花粉飛散防止剤の実用化試験(平成29年~令和3年度)」による成果です。

### 専門用語

**ジャーファーマンター:** 温度、通気量、攪拌速度、pH等といった微生物の培養条件を一定に保つことができる通気攪拌培養装置。



図1 無人ヘリコプター(左)と有人ヘリコプター(右)によるスギ花粉飛散防止剤の空中散布  
ヘリコプターのノズルから射出されている青色の霧は防止剤に青色の食用色素を混ぜたもの

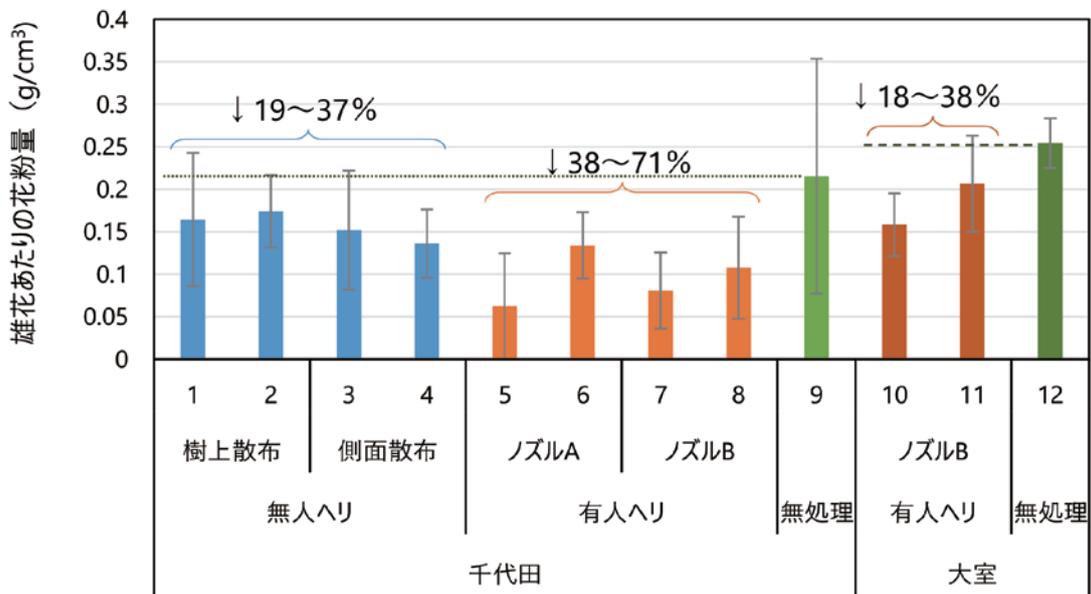


図2 2020年秋に散布したスギ花粉飛散防止剤の花粉飛散抑制効果

グラフは各処理区における雄花体積当たりの花粉量の平均値、グラフのエラーバーは標準偏差を示しています(番号は条件の異なる処理区)。グラフ上の数字は、各試験地の無処理と比較した無人または有人ヘリコプター散布によって減少した花粉量の割合(%)。各試験地の無処理(千代田の9、大室の12)の雄花と比較して、生産された花粉量が減少しているのがわかります。



図3 ジャーフェルメンターによるシドウィア菌培養の様子(左)と乾燥粉末化したシドウィア菌の胞子(右)



# コナラ立木における ミネラルの幹半径方向移動の実態を細胞レベルで解明

木材加工・特性研究領域: 黒田 克史、山根 健一

立地環境研究領域: 伊藤 優子

**幹**に含まれるミネラルなどの成分は樹種ごとに異なっており、その違いが木材の色、耐久性、強度などの材質に影響します。ミネラルは土壌から水とともに吸収され樹木全体に配分されます。コナラの幹ではミネラルを含む水は辺材の外側の道管などの組織で輸送されるため、内側に含まれる成分は幹を半径方向に動いて蓄積されると考えられてきました。しかし、その移動の実態は実験として証明されていませんでした。この研究では、できるだけ立木で起きている現象をそのまま解析する手法を用いてコナラ幹の半径方向のミネラルの移動の実態を細胞レベルで明らかにしました。この成果は幹の材質の樹種間の違いを理解するための重要な手掛かりとなります。

## 成果

### ■ 幹の成分は材質に影響する

多年にわたり健全な成長を続け大径になるための戦略として、樹木は取り込んだ成分を樹体の各器官へ配分します。幹に蓄積された成分の種類や割合は樹種で異なるだけでなく、幹の辺材と心材でも異なり、これが材色、耐久性や強度などの材質に大きく影響します。コナラには放射柔細胞がよく発達しています。放射柔細胞は幹の半径方向に配列しておりミネラル移動の役割があるとされてきましたが、じつはその実態は分かっていませんでした。

### ■ 幹内のミネラル移動の様子を立木の状態で明らかにする工夫

この研究では立木のミネラルの移動実態を解明するために、立木の内部の様子をできるだけそのまま調べる工夫をしました(図1)。染色剤である酸性フクシンを含む塩化セシウム水溶液(セシウム液)をコナラの樹皮のすぐ内側に数時間から数日間注入し、注入した幹部分を-196℃の液体窒素で凍結固定してから伐採し凍結試料を得ました。この凍結試料を用いて、クライオSEM/EDXで細胞の種類ごとにセシウム分布を解析しました。セシウムの動きは樹木の成長に必要なミネラルの移動の様子を明らかにするほか、原発事故後に放射性セシウムが幹内部に蓄積した経緯の解明も期待されます。

### ■ コナラ幹内のセシウムの移動

凍結と融解を繰り返す処理により生きていない状態にした幹にセシウム液を注入すると、セシウムは拡散により内方に移動しその距離は細胞の種類にかかわらずほぼ同じでした(図2上)。一方、生きた細胞がある通常の幹では、放射柔細胞では道管や木繊維よりも遠くまでセシウムは移動しました(図2下)。最外年輪の分裂中の細胞を除き辺材で生きた細胞は柔細胞だけです。そのため、得られた結果は、生きた柔細胞は拡散よりも速いスピードでセシウムを内方へ移動させることを示しています。さらにセシウム液を長時間注入し続けるとセシウムは辺材だけでなく心材へも移動しました(図3)。ところが、染色剤の赤色は心材の手前の

部分で止まり、心材には入りませんでした。この結果は、辺材から心材への移動は単なる拡散ではなく、辺材と心材の境界付近で移動する物質を選択する何らかのメカニズムが存在することを示唆しています。

コナラの結果を先行研究で得られたスギの結果と比較すると、どちらの場合も辺材内でミネラルは柔細胞を介した速い移動と細胞壁等の拡散の複合で半径方向に移動します。すなわちこの移動機構は樹木に普遍的であると考えられます。一方、スギとコナラでは心材に蓄積するミネラルの種類や割合が異なるため、心材へのミネラル移動の選択性は異なると考えられます。すなわち、辺材から心材へのミネラル移動機構は樹種間で異なり、それが幹の材質を決定する重要な要因の一つと考えられます。

## 研究資金と課題

本研究は、科研費(16H04936)「木部柔細胞類は樹木の水分通導の維持と防御システムにどのように関わっているのか」と(18H02258)「立木の幹内部を可視化する手法を用いた樹幹師部—木部の放射方向の物質移動機構の解明」、本研究の実施課題「大径材および国産早生樹等の利用拡大に向けた木材特性の評価」による成果です。

## 文献および参照サイト

Kuroda K et al. (2022) Cellular-level *in planta* analysis of radial movement of minerals in a konara oak (*Quercus serrata* Murray) trunk. *J Wood Sci*, 68, 16.

Kuroda K et al. (2020) Radial movement of minerals in the trunks of standing Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) trees in summer by tracer analysis. *Forests*, 11, 562.

## 専門用語

**放射柔細胞**: 師部(樹皮)から木部(材)へ幹の半径方向に延びた放射組織を構成する細胞。養分の輸送と貯蔵、心材物質の生成などの生理活動に関与すると考えられています。辺材では生きていますが心材では死細胞です。

**クライオSEM/EDX**: エネルギー分散型エックス線分析装置が付属したクライオ走査電子顕微鏡。試料の凍結を維持したまま、細胞形態の観察と元素分布解析ができます。



# マイクロフィンガージョイントをCLT(直交集成板)用ラミナに適用可能であることを明らかに

複合材料研究領域:平松 靖・宮武 敦

木材加工・特性研究領域:藤本 清彦

構造利用研究領域:野田 康信

兼房(株):土屋 敦

**木**材の端部を櫛状に加工してたて継ぎする技術をフィンガージョイントといいます。CLT(Cross Laminated Timber、直交集成板)用ラミナの製造には一般にフィンガー長さ15mm程度のフィンガージョイントが用いられています。本研究では、より短い、長さ6mmのマイクロフィンガージョイントでたて継ぎしたスギラミナ及びそれらを積層接着して作製したCLTの曲げ試験を実施し、それらの曲げ性能が直交集成板の日本農林規格に定められた基準値を満たすことを明らかにしました。

## 成 果

### ■ マイクロフィンガージョイントとは

木材の端部を櫛状に加工して、たて継ぎ(長さ方向に接着)する技術をフィンガージョイントといいます。短い木材を長くしたり、大きな節などの欠点を除去して強度のばらつきを小さくしたりするために使用します。このフィンガージョイントは、ラミナ(板状の木材)を積層接着(各層のラミナを積み重ねて接着すること)した大版の木質材料であるCLT(Cross Laminated Timber、直交集成板)の製造に欠かせない技術です。現在、CLT用ラミナの製造には一般にフィンガー長さ(櫛状の部分の長さ)15mm程度のフィンガージョイントが用いられていますが、長さがより短いフィンガージョイントを用いることで、歩留まりの向上、加工時の消費エネルギーの低減が可能であることが明らかにされています。本研究では、長さ6mmのマイクロフィンガージョイント(図1)のCLT用ラミナ製造への適用性を明らかにするために試験を実施しました。

### ■ マイクロフィンガージョイントでたて継ぎしたスギラミナの曲げ性能

スギラミナを、兼房(株)製マイクロフィンガーカッターを用いて2種類の切削加工速度(1刃あたりの送り量0.5mm/刃、1mm/刃)で長さ6mmにフィンガー加工した後、それらをたて継ぎして曲げ試験を実施しました。その結果、それらのラミナの曲げ性能について、切削加工速度による差は見られず、いずれも直交集成板の日本農林規格に示される基準値を満たすことが明らかになりました(図2、表1)。

### ■ マイクロフィンガージョイントでたて継ぎしたスギラミナを用いたCLTの曲げ性能

長さ6mmのマイクロフィンガージョイントでたて継ぎしたスギラミナを積層接着して作製した強度等級Mx60、5層5プライのCLTの曲げ試験を実施しました(図3)。その結

果、作製したCLTの曲げ性能は直交集成板の日本農林規格に示される基準値を満たすことが明らかになりました(表2)。

### ■ マイクロフィンガージョイントのCLT用ラミナ製造への適用について

試験の結果から、長さ6mmのマイクロフィンガージョイントをCLT用ラミナの製造に適用可能であることがわかりました。長さ6mmのマイクロフィンガージョイントは、長さ15mm程度のフィンガージョイントに比べて切削長さが短いため、たて継ぎ時の歩留まりが向上し、加工速度が同じ場合、加工時の消費エネルギーが約70%に低減されることが明らかにされています。マイクロフィンガージョイントを用いることでCLT用ラミナの製造コストの削減に寄与できると考えられます。

## 研究資金と課題

本研究の一部は、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」(平成29年度~令和元年度)により実施したものです。

## 文献および参照サイト

平松靖(他)(2021) 長さ6.0mmのフィンガージョイントでたて継ぎしたスギラミナを使用したCLTの曲げ強度特性. 木材工業, 76(6), 209-214.

藤本清彦(他)(2020) マイクロフィンガージョイントによるたて継ぎのコスト削減効果. 日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 38, 36-37.

## 専門用語

**切削加工速度:** 1刃あたりの送り量が指標となります。フィンガーカッターの回転速度が同じ場合、1刃あたりの送り量が大きいほど速く加工できます。

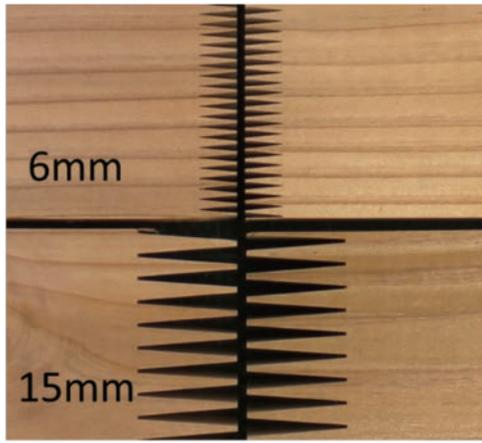


図1 フィンガー長さ6mmのマイクロフィンガージョイント(上)  
フィンガー長さ15mmのフィンガージョイント(下)と比べて  
短く、小さいことがわかります。

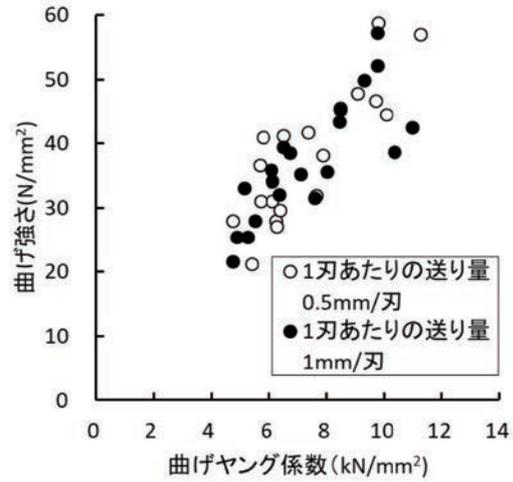


図2 フィンガー長さ6mmのマイクロフィンガー  
ジョイントでたて継ぎしたスギラミナの曲げ試験の結果  
(平松靖(他)(2021)木材工業. 76(6), 209-214)

表1 直交集成板の日本農林規格に定められるラミナの曲げ強度性能の基準

等級区分機 による等級	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	
	平均値	下限値	平均値	下限値
M120A	12.0	10.0	42.0	31.5
M 90A	9.0	7.5	34.5	26.0
M 60A	6.0	5.0	27.0	20.0
M 30A	3.0	2.5	19.5	14.5

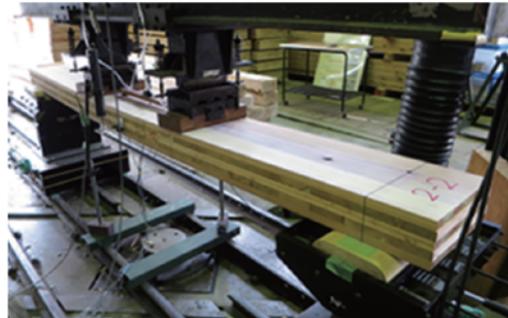


図3 フィンガー長さ6mmのマイクロフィンガージョイントでたて継ぎし  
たスギラミナを用いたCLTの曲げ試験の状況

表2 フィンガー長さ6mmのマイクロフィンガージョイントでたて継ぎし  
たスギラミナを用いたCLTの曲げ試験結果

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)
平均値	399	6.21	31.2	11.3
最小値	391	5.96	28.7	11.0
最大値	410	6.44	34.3	11.5
標準偏差	8.30	0.227	2.14	0.195
変動係数(%)	2.08	3.66	6.86	1.72

CLT(Mx60-5-5:強度等級Mx60、5層5プライ)の直交集成板の  
日本農林規格に定められる基準値は以下の通り。

曲げヤング係数の平均値4.2 kN/mm<sup>2</sup>、下限値3.4 kN/mm<sup>2</sup>

曲げ強さ9.8 N/mm<sup>2</sup>

(平松靖(他)(2021)木材工業. 76(6), 209-214)



## 中山間地域への展開が期待される 改質リグニン製造のモデル工場

新素材研究拠点: 山田 竜彦  
 (株)リグノマテリア: 見正 大祐  
 東京工科大学: 山下 俊  
 マナック(株): 鈴木 崇之  
 (株)エルアンドコージー: 宮川 公治  
 宮の郷バイオマス(責): 貝瀬 研二  
 ネオマテリア(株): 増谷 一成

**森** 林総合研究所は(株)リグノマテリアなど7機関と共同で、スギを原料として製造する新素材「改質リグニン」を製造する実証プラントを竣工しました。改質リグニンは森林総合研究所で開発した木材由来の新素材で、耐熱性などの高い性能に加え、石油化学製品では達成できない環境適合性を併せ持つ脱炭素社会の構築に有望な新素材として注目されています。実証プラントは、木質資源が集積される現場として茨城県常陸太田市宮の郷において林野庁の補助を得て設置されました。改質リグニンの安定生産を実証する世界初のプラントで、年産100トンの生産が可能で、現在、技術移転したリグノマテリア社により試験生産が行われています。

### 成果

#### ■ 改質リグニンの開発

リグニンは植物の強さ、しなやかさに関与する、植物細胞壁中でベンゼン環を持つ成分の総称で、樹木には比較的多く20~35%も含まれます。材料としての高い機能を持つものの、植物種により性質が異なり、バラツキも大きく、変質もしやすいため、高機能な工業材料化は困難とされてきました。森林総合研究所ではリグニンの高度利用法の開発に向けて研究を行い、このバラツキの問題を、比較的均一なリグニンを持つ日本固有の樹木「スギ」を用いることで解消し、さらに抽出と同時に改質も行うという新しい製造技術の開発に成功しました。誕生した新素材が「改質リグニン」です。改質リグニンは、熱に強い、加工しやすい、環境にやさしいという理想的な性質をもち、様々な製品の素材として利用可能です。これまでに、自動車の外装材、ハイレゾ対応スピーカーのウーファーの素材、電子基板や、3Dプリンター基材などが開発されており、産業界においてその需要は高まっています。

#### ■ 実証プラントへのスケールアップ

改質リグニンの地域での生産を産業化するためには、森林総合研究所で開発した基本プロセスをスケールアップしたシステムを設置すると共に、連続生産を実証することが求められていました。そのため、共同事業体を結成して、林野庁の補助事業により生産実証用のプラント建設を開始しました。プラントの立地については、木質資源が集積される既存林業・木材産業に隣接した地域が望ましいことから、

木質バイオマス発電所への併設タイプとして、茨城県常陸太田市の「宮の郷木質バイオマス発電所(日立造船)」へ隣接した設置スタイルを採用しました。木質バイオマス発電所へ併設することで、発電所から発生する廃熱の利用も可能となります。

実証プラントのシステムは、森林総合研究所の実験施設で得られた効率化研究の成果を活用して設計しました。主工程は大気圧下でのポリエチレングリコール(PEG)中の酸分解反応で、圧力反応容器を用いない安全性に配慮されたシステムとなっています。このプラントの改質リグニンの生産能力は、年産100トンで、連続運転試験を進めると共に、産業界へのサンプル供給を行うことで、改質リグニンを用いる製品開発を大きく促進することができます。この事業は改質リグニンの製造を本格化する世界初の試みで、全国の中山間地域への展開が期待されています。

### 研究資金と課題

本研究は、林野庁の補助事業「林業分野における新技術推進対策のうち木質新素材による新産業創出事業(地域資源を活用した改質リグニン製造産業のモデル開発)」による成果です。

### 文献および参照サイト

山田竜彦ら. グリコールリグニンの製造方法及びそのシステム. 特許6890821号

## 改質リグニン製造実証プラント



プラント外観



プラント内部



リアクター



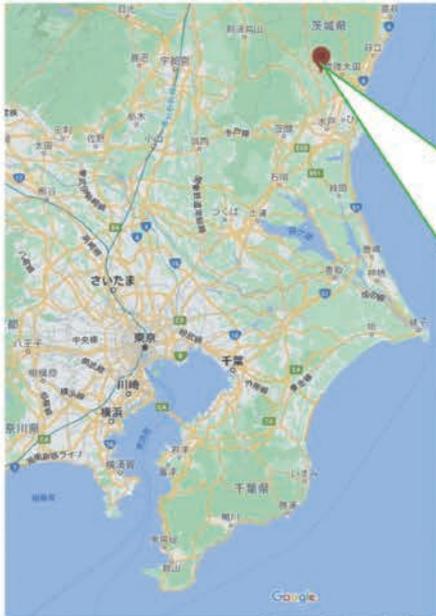
プラント内部



プラント内部



竣工式（テープカット）令和3年6月30日



Google マップ

### 改質リグニン製造実証プラント

場所：茨城県常陸太田市宮の郷工業団地



茨城県常陸太田市宮の郷工業団地内の「改質リグニン製造実証プラント（株）リグノマテリア」と隣接する「木質バイオマス発電所（日立造船（株）」「原木ヤード、チップ工場（宮の郷バイオマス組合）」の立地

「改質リグニン」の製造を本格化する世界初の試みです。

全国の中山間地域への展開を目指しています。

# 木と草を適度に混合したバイオマス燃料は ガス化利用における変換効率が向上し、相乗効果が見られる

木材加工・特性研究領域:小井土 賢二  
福島大学:黒澤 翔・遠藤 健次・佐藤 理夫

**小**型ガス化熱電併給は分散型電源として発電だけでなく熱供給も可能なことから高効率な点で有望です。しかしながら、国内の燃料用バイオマス需要の増加により燃料の安定的確保が課題とされます。そこで、草本系の資源作物であるエリアンサスの利用が高収量の点で期待できますが、単体では発熱量が不足してしまいます。単一では使用しづらい草本を木質と混合することで燃料の安定的利用につながると考え、本研究では製材端材に対しエリアンサスを添加した混合燃料のガス化特性を評価しました。その結果、30%までの混合率ならば、ガス化効率が低下しないことがわかり、その原因として燃料中のカリウムが炭素分のガス化を促進したことを解明しました。

## 成果

### ■ 木質バイオマス燃料の安定的確保が課題

近年、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)などによって木質バイオマス発電の設備容量が急速に増加してきています。それに伴って、木質燃料の需要が高まりつつあります。木質バイオマス発電の多くが出力5,000 kW以上の大型蒸気発電であるため、大量の木質燃料を必要とし、持続可能ではない椰子殻などの輸入燃料を使う事例もみられ、燃料用バイオマスの安定的確保が困難な状況にあります。

### ■ 高い総合効率をもつ小型ガス化熱電併給

従来の大型蒸気発電と比べ、小型ガス化熱電併給は燃料の消費量が小さく地域材の利用に適していること、そして高い発電効率が見られることに加え排熱からの温水回収が可能で7~8割ほどの高い総合効率が見られることから、分散型の高効率なバイオマスエネルギー変換技術として有望視されています。

### ■ 草本系バイオマスと製材端材との混合燃料

しかしながら、上述のとおり国内の燃料用バイオマス需要の増加により燃料用バイオマスの安定的確保が課題とされるなかで、バイオマス資源として草本系エネルギー作物の利用が注目されてきています。特にエリアンサスは日本の北関東以南で栽培が可能で、大きな収量が期待できるという点で期待されています。このエリアンサスは単体では発熱量が不足し反応速度が遅く、灰分が多いため、ガス化用の燃料としての利用が困難でした。そこで、本研究では、スギとヒノキが含まれる製材端材とエリアンサスの混合燃料の可能性に着目し、ガス化用の燃料として適切な混合率を明らかにすることを目的としました(図1(a))。その際、バイオマスに含まれる炭素量のうちガスに転換した炭素量の割合を示す“炭素分の転換率”と、バイオマスのもつ発熱量に対するガス化後のガスのもつ発熱量を示すガス化効率の点から検討しました。

### ■ 製材端材に対する草本の混合による相乗効果

単体ではガス化用の燃料としての利用が困難なエリアンサスを、木質バイオマスである製材端材に対して混合することで、ガス化における炭素分の転換率やガス化効率を低下させずに燃料利用できる混合率の条件は、混合率30%以下であることを明らかにしました(図2)。つまり、混合率増加に伴って、ガス化における炭素分の転換率とガス化効率は直線的に減少するのではなく、混合率30%まで横ばいとなり、その後減少することがわかり、混合による相乗効果が得られたことを確認できました。この原因として、燃料中のカリウムが、図1(b)に示すガス化経路のうちCO<sub>2</sub>ガス化と水蒸気ガス化の反応速度を速めたことを解明したほか(図3)、この燃料中のカリウムが炭素分の転換率そのものを向上させた可能性についても示唆されました。

### ■ 燃料の安定確保につながる

木質バイオマス資源だけでは燃料用バイオマス資源の持続的な確保に課題が残るなかで、草本バイオマスであるエリアンサスをガス化するための利用条件を明らかにすることで、燃料用資源の安定的確保につながり、更なる分散型の小型ガス化熱電併給の推進につながると考えています。

## 研究資金と課題

本研究は科研費(17K17618)「ガス化による放射性物質の分離・制御技術の開発とモデリング」による成果です。

## 文献および参照サイト

Koido et al. (2021) Catalytic and inhibitory roles of K and Ca in the pyrolysis and CO<sub>2</sub> or steam gasification of Erianthus, and their effects on co-gasification performance. Biomass and Bioenergy 154, 106257.

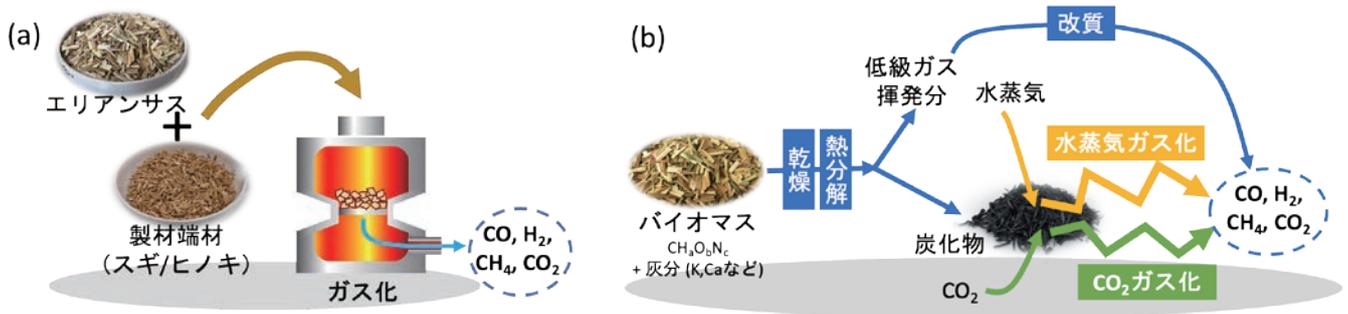


図1 (a) 製材端材と草本系バイオマス(エリアンサス)の混合燃料のガス化、(b) ガス化反応経路

草本単体では困難だったガス化利用は製材端材と適度に混合することで利用可能となりました。酸素なし条件下でのガス化は、乾燥、熱分解、炭化物の水蒸気ガス化と $\text{CO}_2$ ガス化からなります。

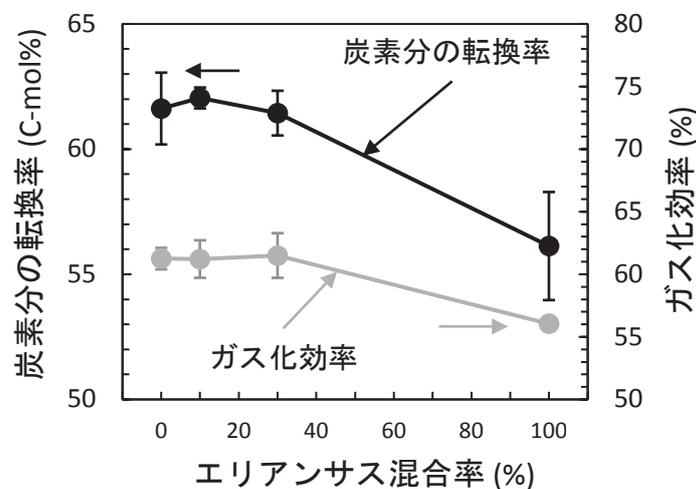


図2 製材端材へのエリアンサス混合率に対する炭素分の転換率とガス化効率の関係

30%のエリアンサス混合率まで炭素分の転換率とガス化効率が低下しない「相乗効果」を確認。(Koido et al. (2021) Biomass and Bioenergy 154, 106257より作成)

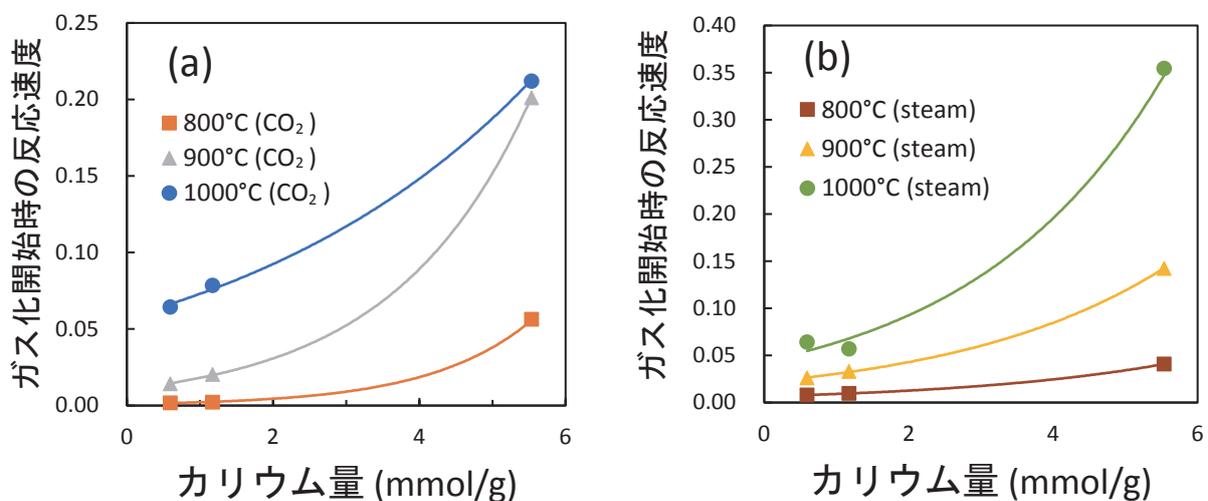
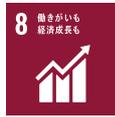


図3 エリアンサスに炭酸カリウムを添加することによるカリウム量の変化が、ガス化開始時の反応速度に及ぼす影響：(a)  $\text{CO}_2$ ガス化 (b) 水蒸気ガス化

燃料中のカリウムが $\text{CO}_2$ ガス化と水蒸気ガス化の反応速度を速めました。(Koido et al. (2021) Biomass and Bioenergy 154, 106257より作成)



# 漢方薬原料「カギカズラ」の苗木の増やし方の改善と葉からお茶を作る試み

林木育種センター東北育種場:谷口 亨  
森林バイオ研究センター:小長谷 賢一

三重県農業研究所:野村 茂広

**カ**ギカズラはストレス改善などの効果のある漢方薬の原料ですが、国内で使用されているものは全て中国産です。国内栽培化と国産品の利用促進に向け、苗木生産から収穫・加工調整までの生産技術と新たな活用法を開発するための研究を行っています。その一環として、組織培養による苗木増殖法の改良を行い、従来よりも高効率の増殖法を開発しました。また、従来薬用に利用できないために廃棄されていた葉の有効活用に向けて、お茶として利用する方法を検討し、試作したお茶の品質評価を加工処理方法別に行いました。これらの成果はカギカズラの国内栽培と利用の促進による漢方薬原料の安定供給と地域の活性化に貢献することが期待されます。

## 成 果

### ■ 漢方薬原料「カギカズラ」

カギカズラは、千葉県から鹿児島県の比較的温暖な地域に自生するつる性の常緑樹木です。枝には釣り針状のカギがあり、カギを付けた枝は、ストレス、不眠症、高血圧随伴症状、認知症周辺症状の改善を目的とした漢方薬の原料で、その主要な薬効成分はアルカロイドです。古書の記載から江戸時代には国産カギカズラが漢方薬に使用されていたと考えられていますが、現在は国内使用品の全てが中国産です。国産品を漢方薬に利用するため、苗木の生産、栽培や収穫・加工調整方法の確立とその効率化や国産品を使った漢方薬の試作を進め、耕作放棄地など農山村でカギカズラを栽培することによる地域の活性化への貢献をめざしています。

### ■ 苗木の増殖法の改良

短期間で大量増殖が可能な組織培養により苗木を生産する方法を検討しています。栄養分や植物ホルモンなどを含む培地を入れた培養瓶で枝などの外植体を育てる組織培養によりカギカズラの苗木を作製できることを平成27年度版と平成29年度版の成果選集で紹介しました。組織培養には幾つかの工程があり、その改良を試みました。小枝を培養瓶で培養し、芽を増殖・伸長させる工程では、植物ホルモンの組成を変えることにより、増殖効率が1.5~3倍に向上しました。小枝から伸びた芽を発根させて植物体にする工程では、培地を固める基質を寒天からゼランガムに変えることにより、発根率が90%以上となり、また植物体の成長が促進されました。最終工程である植物体をポットに植える順化工程では、培養瓶での高湿度環境から通常の湿度に移した際に苗木が健全に成長しないことが課題でした。順化の前の発根工程で培養瓶の蓋に通気性フィルターを取り付けて湿度を下げることにより、順化後の苗木は健全によく成育するようになりました(図1)。このような効率的な苗木作製方法は大量増殖に利用できると考えています。

### ■ 葉からお茶を作る

医薬品の規格基準書である日本薬局方には、カギカズラの薬用部位はカギを付けた枝であると定められているため、葉は薬用に使いません。そこで葉を食品であるお茶として利用する方法の開発を進めています。緑茶の製法を参考にカギカズラの葉から数種類のお茶を試作し、緑茶審査法により内質評価を実施しました(図2、表1)。その結果、加工処理方法の違いにより香味が異なり、120秒蒸熱区が「難なく良」、「丸みがあり良」の結果となりました。葉の収穫時期と蒸気加熱時間の更なる検討や他の品目とのブレンドを行い、香味の改善を進めています。また、葉の機能性の探索や細胞実験・動物実験による安全性の確認も行っています。葉の有効活用は、カギカズラ栽培の収益性向上に貢献すると期待しています。

## 研究資金と課題

本研究は、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「国産のつる性薬用樹木カギカズラの生産技術の開発と機能性解明に基づく未利用資源の活用」の成果です。本プロジェクト全体の概要について下記の文献で紹介しています。

## 文献および参照サイト

谷口亨(2022) 漢方薬の原料であるつる性木本植物カギカズラ栽培の取り組み.山林, 1652, 58-66

## 専門用語

**外植体:** 組織培養での培養に用いる葉、枝、根などの植物組織のこと。

**順化:** 高湿度環境から通常の湿度状態に適応させること。

**内質評価:** 緑茶の審査法であり、色、香味、味などにより品質を評価すること。



図1 カギカズラの組織培養苗の順化2ヶ月後の様子

発根した植物体を培養瓶からポットに移植し、湿度を徐々に下げる順化を実施しました。フィルターを用いて発根培養時の培養瓶の湿度を低くした処理区では、苗高が25%程度高く、また、葉の枯死や奇形などの障害が軽減されました。

\* 写真の上には供試したカギカズラの系統名を示します。



図2 カギカズラの葉から作製したお茶の加工処理方法別の外観

表1 カギカズラの葉から作製したお茶の緑茶審査法による内質評価結果

処理区		浸出液色	香気	味	総合判定
加工法 <sup>1)</sup>	葉の収穫時期 <sup>2)</sup>				
熱風乾燥	7月	薄茶色	落ち葉	エグ味、苦味	不良
熱風乾燥	12月	薄赤色	土臭、繊維臭、枯葉	繊維味、苦味、酸味	不良
蒸熱 (35秒)	12月	薄黄色	やや青臭	酸味強い、苦味	不良
蒸熱 (45秒)	7月	薄黄色	特に感じない	酸味、苦味	やや不良
蒸熱 (120秒)	12月	薄黄色	感じない	薄い酸味、スッキリ	癖なく良
蒸熱 (120秒) + 揉捻	12月	薄黄色	感じない	薄い酸味と渋み、スッキリ	丸みがあり良
釜炒り	7月	薄赤茶色	やや焼き芋	やや甘み、苦味	やや不良

<sup>1)</sup> 熱風乾燥は60～65℃で180分乾燥、蒸熱は35,45又は120秒蒸気加熱後には60℃で60分乾燥（蒸熱45秒の乾燥時間は120分）、揉捻は120秒蒸気加熱後に30分揉捻して60℃で60分乾燥、釜炒りは240℃で20分釜炒り後に60℃で180分乾燥

<sup>2)</sup> 7月収穫は若葉と成葉の混合、12月収穫は老齢葉



## DNA情報からスギの表現型を予測するモデルの開発と改良

林木育種センター:永野 聡一郎・安田 悠子・平尾 知士・松下 通也・三嶋 賢太郎・高橋 誠

林木育種センター東北育種場:井城 泰一 林木育種センター関西育種場:高島 有哉

宇都宮大学:石栗 太 静岡県立農林環境専門職大学:平岡 裕一郎

**林**木は成長して交配可能になるまでの期間が長く、育種に長い年月を要します。どのような交配を行えば望ましい性質をもつ個体を得られるのか、DNA情報を利用して早期に予測できれば、育種の期間を短縮できます。このため、個体の遺伝子型から形質を予測する技術の開発を進めてきました。スギの遺伝子が乗っている染色体全体を網羅するように取得した多数のDNA変異の情報から、成長や材質などの形質を予測する統計モデルを作成し、モデルの予測精度に影響する要因を調べました。その結果、形質によって、全ての個体を対象とした場合よりも遺伝的な類似性を考慮したモデルで予測した方が高い予測精度を得られる場合があることがわかりました。

### 成果

#### ■ 長い期間を必要としてきた林木育種を効率的に

林木は成長して交配可能になるまでの期間や、材質などの形質を測定できるようになるまでの期間が長くかかるため、育種にも長い年月を必要としてきました。林木育種事業が始まって60年以上になりますが、現在スギでは第二世代の選抜を進めつつ、それと並行して第三世代の選抜にむけて選抜集団の育成を進めているところです。このように長い期間を必要とする林木育種を効率的に進めるためには、あらかじめ個体のもつ遺伝的な特性を評価したうえで交配を設計し、どのような交配を行えば望ましい性質をもつ個体を得られるのかを予測することが重要です。

#### ■ 多数の遺伝子変異の情報から形質を予測する

例えば、一組の遺伝子によって決まる形質であり、その遺伝子が予め分かっているならば、両親のその遺伝子の変異を解析して遺伝子型を把握したうえで交配することで、子の遺伝子型から形質を予測することは比較的容易に行うことができます。しかし、多数の遺伝子が関わっている形質の場合にはどうでしょうか。もし関係する遺伝子が明らかになっていて遺伝子の変異を全て把握できていたとしても、その組み合わせ次第で個体の遺伝子型は幾通りにもなり、子の遺伝子型から形質を予測するのは難しくなることが予想されます。ましてやスギなどの林木では機能がわかっていない遺伝子が大半です。このため、スギの遺伝子が乗っている11対の染色体を網羅するように約二千の一塩基多型を取得し、その遺伝子型から成長や材質などの形質を予測するモデルを作成しました。材料として用いたのは、茨城県日立市の育種集団林に植栽されたスギ第一世代精英樹を親とする後代(F1)集団576個体です。実際の個体の形質の実測値とモデルによる予測値との相関係数を予測精度としてモデルの当てはまりの良さを検討しました。

#### ■ モデルの予測精度に与える 遺伝的な類似性の影響

まず全個体を対象として形質予測のための統計モデル

を作成し、次に主成分分析により集団の遺伝的な類似性を考慮して得られた3つのグループ(図1)について、各グループを対象として予測モデルを作成しました。その結果、全個体を対象としたモデルでは、成長形質である樹高や胸高直径よりも材質関連の形質の予測精度が高い傾向がありました(図2)。また、遺伝的な類似性を考慮したモデルでは、グループによって傾向は異なるものの、材質関連形質を中心として全個体を対象とした場合よりも予測精度が向上しました(図2)。このことは、多数のDNA情報を用いて表現型予測を行う際に、集団内の遺伝的構造を考慮することが重要であることを示唆しています。今後、さらに解析を進めることで、親系統の遺伝的な類似性を考慮して、効率的な交配の設計を行うことができるようになることが期待されます。

### 研究資金と課題

本研究は、本研究の実施課題「高速育種のためのDNAマーカー等の開発」による成果です。

### 専門用語

**育種:** 品種改良を行うこと。

**一塩基多型:** DNAなどの特定の塩基配列のうち一塩基のみ他の種類の塩基に入れ替わった状態。

**形質:** 生物の形や色や生理的な特性などの性質。

**主成分分析:** 多くの変数がある場合にそれを比較的少数の主成分とした変数として要約するためのデータ解析の手法。第一主成分と第二主成分は、それぞれ元になった多数のデータを一番目と二番目に説明する要約された変数。

**精英樹:** 林木の形質が特に優れている個体。

**統計モデル:** 収集したデータを統計学的な観点で抽象化し、データが得られた背景にある事象を説明するための要素の組み合わせ。

**変異:** 遺伝子の配列が変化すること、または変化した状態。

**林木:** 林業に用いる樹木。

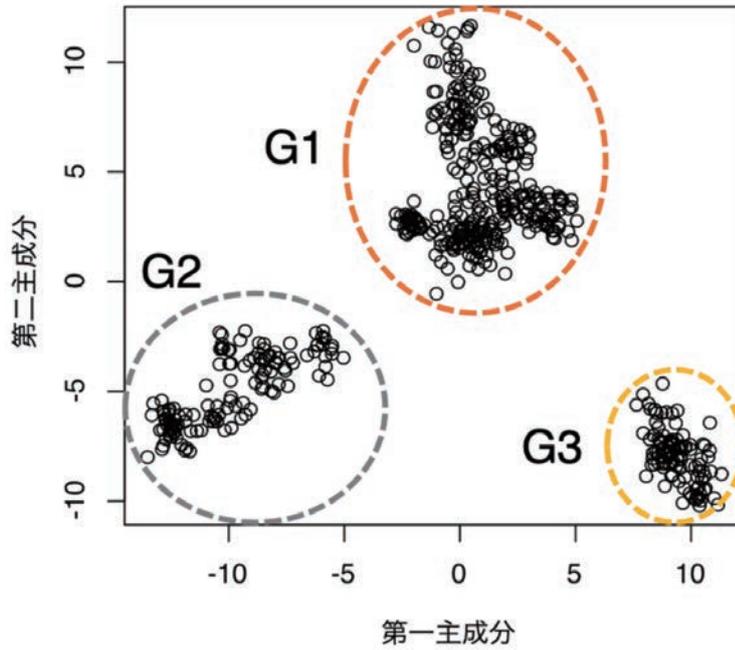


図1 解析対象576個体の遺伝的な類似性

主成分分析により解析対象の精英樹雑種第一代集団は遺伝的に類似する三つのグループ(G1、G2、G3)に分かれることがわかりました。

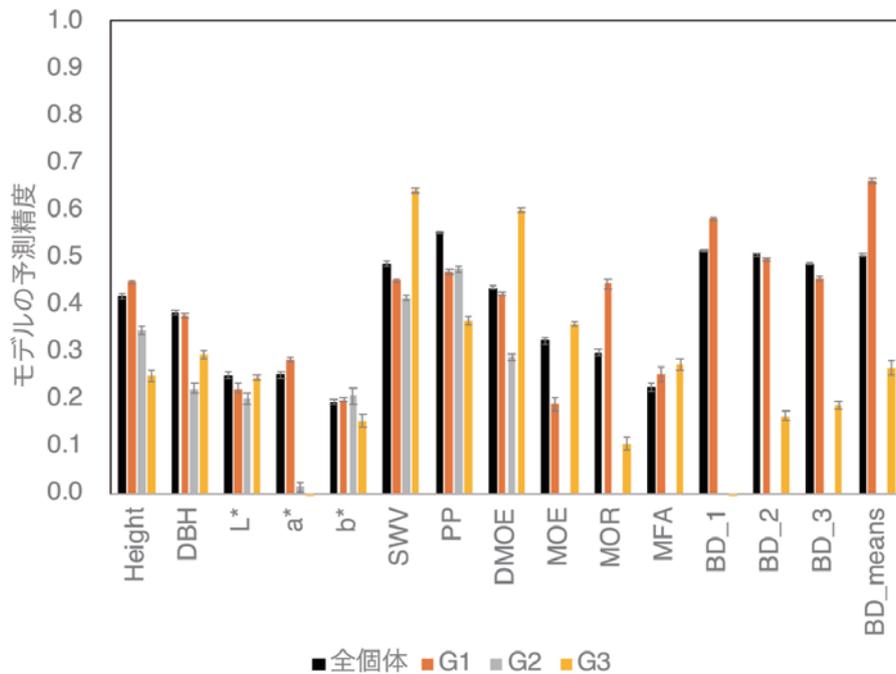


図2 遺伝的多型を用いた形質予測モデルの予測精度

黒色、橙色、灰色、黄色のバーはそれぞれ、全個体、G1、G2、G3を用いた統計モデルの形質ごとの予測精度 (n=10、平均値±標準誤差) を表します。各形質は次の通りです; Height、樹高; DBH、胸高直径; L\*・a\*・b\*、材色; SWV、応力波伝播速度; PP、ピロディン陥入量; DMOE、動的ヤング率; MOE、静的曲げヤング率; MOR、静的曲げ強度; MFA、マイクロフィブリル傾角; BD\_1・BD\_2・BD\_3・BD\_means、1-5年輪・6-10年輪・11-15年輪・1-15年輪平均の各容積密度数。



# 無人航空機と深層学習モデルを用いたトドマツの着果量評価技術を開発

林木育種センター北海道育種場:花岡 創

**北** 海道的主要造林樹種であるトドマツの着果には豊凶があり、毎年安定してたくさんの種子(球果)が採取できるわけではありません。育種種子の供給源である採種園の着果状況を把握し、苗木生産者等へ情報提供する取組を効率化することを目的に、無人航空機(UAV、ドローン)を用いて採種園に生育するトドマツを撮影し、その撮影画像から人工知能(AI)の一種である深層学習モデルを用いて球果を検出する技術を開発しました。また、令和3年度には、北海道森林管理局と連携し、本開発技術を活用した着果調査を国有林の採種園で試行し、着果個体の位置や着果量を情報提供する取組も開始しました。

## 成果

### ■ 育種種子の採種に関する近年の課題

トドマツの育種種子の供給を支える採種園は、国有林に造成されたものだけでも北海道内に10ヶ所あります。育種種子の採取・供給を促進することを目的に、国有林にある採種園については、北海道育種場と北海道森林管理局が共同で球果(図1)のつき具合を毎年調査し、その結果を情報提供しています。しかし、採種園に植栽された精英樹の樹齢は60年を超え、樹高が高く林冠も閉鎖してきており、地上からの着果調査にかかる労力が増していました。また、それに伴って調査精度が調査者間で変動しやすくなることも課題となっていました。そこで、UAVを用いて上空からトドマツの球果がつく樹冠を撮影し、その撮影画像から効率的かつ客観的にトドマツの球果を検出・定量する深層学習モデルを開発しました。

### ■ 開発した深層学習モデルの概要

本研究では、深層学習アルゴリズムの一つであるYou Only Look Once (YOLO) v4を利用し、トドマツの樹冠画像に写った個々の球果を検出するモデルを開発しました(図2)。北海道森林管理局の協力のもと、北海道内にある採種園等でトドマツの樹冠を撮影し、それらの画像に写った球果の位置座標データを作成しました。合計で6,138個の球果が写った356枚の学習用画像を用いてモデルに学習させ、構築したモデルの精度を検証するため、学習用とは別に用意した合計1,692個の球果が写った92枚の検証用画像をモデルに適用しました。その結果(図3)、88.5%の平均適合率(average precision)となり、同じアルゴリズムを使用して植物の果実等の検出を試みた海外の研究事例と同程度の精度が得られました。このことから、画像から着果量の多い個体を探索するといった目的には十分に利用可能であると判断しました。

### ■ 開発した技術の実用化と今後の展望

令和3年度には、北海道森林管理局網走中部森林管理署と連携し、北見市常呂町にある岐阜採種園にて、開発したモデルを活用した着果調査を試行しました。網走中部森林管理署にUAVの飛行に適した気象条件の日を選んで採種園で撮影をしてもらい、その画像を北海道育種場に送付してもらいました。北海道育種場では、それらの画像を開発したモデルを用いて解析し、UAVで撮影した位置情報と合わせてとりまとめ、北海道育種場のwebサイト(<https://www.ffpri.affrc.go.jp/hokuiku/business/chakka.html>)上に公開しました(図3)。今後も、新たに入手した画像を基に深層学習モデルの改良を継続するとともに、他の国有林採種園でも同様の取組を推進します。また、保残伐施業で残す母樹の選定等、開発した技術の多様な活用手法について検討します。

## 研究資金と課題

本研究は、本研究所の実施課題「林木育種技術の高度化」による成果です。

## 文献および参照サイト

花岡創 (2021) 畳み込みニューラルネットワークを用いた無人航空機(UAV)撮影画像からのトドマツ球果の検出. 日林誌, 103, 372-377

## 専門用語

**育種種子:** 育種により選抜・改良された個体である精英樹で構成された採種園から採取された種子。

**深層学習:** ディープラーニングとも言う。人間の神経細胞の仕組みを再現した、多層からなるニューラルネットワークを用いた機械学習法の一つ。画像認識等に広く用いられます。

**平均適合率:** 物体検出モデルの評価に一般的に使われる指標であり、値が大きいほど物体検出等の精度が高いことを示します。



図1 トドマツの樹冠に着生した球果の例。樹冠の側面から撮影した球果(左)と樹冠上方から撮影した球果の例(中央及び右)

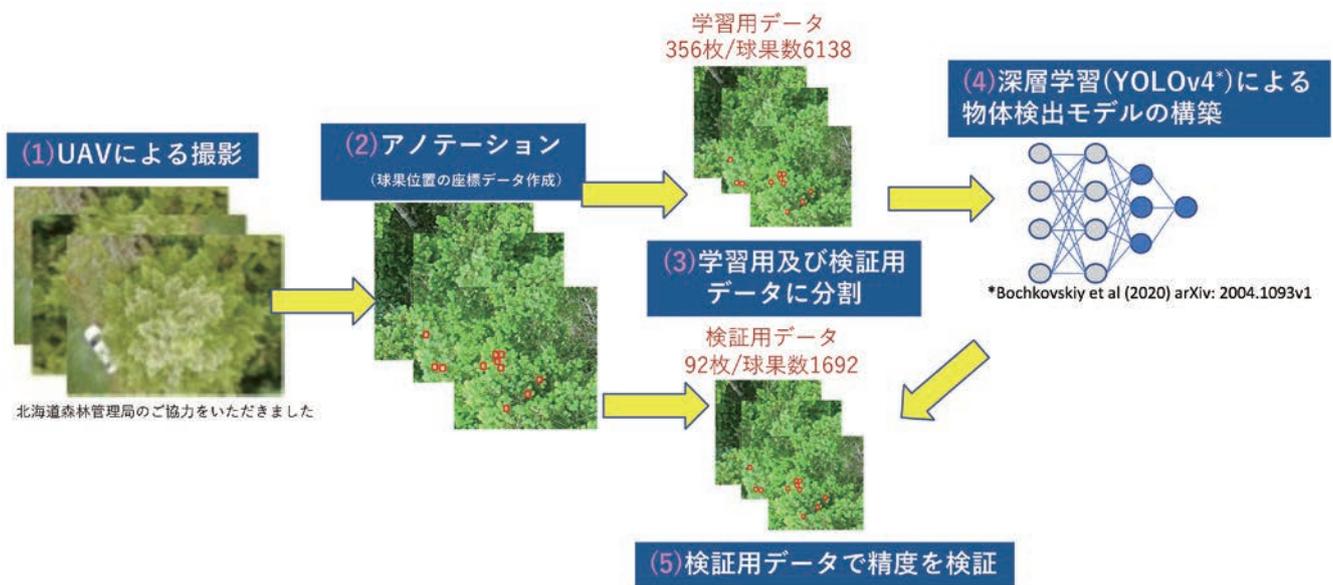


図2 深層学習モデルの開発手順



図3 深層学習モデルを用いて球果を検出した例(左)と北海道育種場のWebサイトで実際に公開した着果調査画像の例(右) 個々の球果を検出して四角で囲み、それぞれの信頼度に関するスコア値も表示されています。



# 特定母樹等の普及のための取組

## —原種苗木の生産配布と技術指導—

林木育種センター: 福元 信二・千葉 信隆・澤村 高至

**特** 定母樹とは、平成25年に改正された「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」(平成20年法律第32号 最終改正: 令和3年法律第15号) (以下、間伐等特措法) に基づき、特に優良な種苗を生産するための種穂の採取に適する樹木であって、成長や雄花着生性等に係る基準を満たす個体を農林水産大臣が指定した樹木です。林木育種センターでは、平成25年度より特定母樹への申請を進め、大臣指定を受けるとともに、都道府県や同法に基づいて認定された増殖事業者における採種園・採穂園の整備を推進するため、特定母樹の原種(苗木・穂木)の生産と配布を行うとともに、採種園・採穂園の造成等にかかる技術の指導を行っています。

### 成果

#### ■ 原種苗木の生産・配布

森林所有者等が購入して実際に山に植栽される苗木のことを山行き苗木といいます。山行き苗木の元となる種子やさし穂は、採種園や採穂園から生産されます。林業の省コスト化や花粉症対策の観点から、山行き苗木には、下刈り回数の低減や伐期の短縮が期待できる優れた成長性や花粉が少ないといった特性を有した優良な苗木が期待されています。このため、採種園や採穂園には、そのような優良なシステムを導入することが重要です。林木育種センターでは、成長性が優れたエリートツリー等の中から(図1)、指定基準を満たして特定母樹に指定されたものを原種として保存するとともに、原種からさし木やつぎ木といった方法で原種苗木を生産して都道府県等に配布しています。配布された原種苗木は、都道府県等の採種園・採穂園に植栽され、これにより山行き苗木の特性が改良されることになります。

これまで特定母樹(令和3年度末現在382系統)の原種苗木の普及に積極的に取り組んでおり、令和3年度は都道府県等へ配布した原種苗木約2万本のうち、特定母樹の占める割合は全体の6割(図2)を超えました。令和4年度以降も更に特定母樹の占める割合は増加する見込みです。

国が策定した間伐等特措法の基本指針において、特定母樹の増殖は再造林の基盤であるとされています。このことから、今後も特定母樹の基準を満たすエリートツリー等の申請を進め、実際の林業の現場で広く活用されるよう普及に取り組めます。

#### ■ 都道府県等への技術指導

林木育種センターでは、都道府県等で造成した採種園・採穂園から、山行き苗木の生産に必要な高品質の種子・穂木が効率的に、大量にかつ安定的に生産が行われるよう技術指導を行っています。

具体的には、採種園を造成する際には、良質な種子が生産されるように原種苗木(母樹)の植栽配置を考える必要があります。また、採種園の管理にあたっては、母樹の主軸を切断す

る「断幹」によって樹高を低くし、枝の配置を考えて剪定することで、果樹園のように種子を採りやすい形に仕立てます。最近では、脚立などを使わずに安全かつ効率的に採種や剪定作業が行えるように、樹高を人の手が届く範囲にまで抑えた採種園の造成がスギなどで進んでいて、「ミニチュア採種園」と呼ばれています(写真1)。また、種子生産が安定的に行えるように、着花を促進させるための植物ホルモン処理を適期に適切な方法で行う必要があります。一方、採穂園では、さし木苗の生産に必要な穂木を効率良く生産するために、穂木に適した若い枝が多く発生しやすい形に仕立てる必要があるほか、さし木に適する穂木も慎重に選びます(写真2)。さらに、採種園・採穂園ともに、剪定や種子・穂木の生産により樹体が弱いため、施肥を行って母樹の樹勢回復を図ることも必要です。林木育種センターでは、これらの採種園・採穂園の造成・管理に必要な多様な技術について、都道府県等からの要望内容や適切な作業時期を踏まえながら指導を行っています。令和3年度は要望に応える形で116回の技術指導を実施しました。

### 研究資金と課題

ここで紹介した内容は、本研究所の実施課題「特定母樹等の普及促進のための技術開発」による成果です。

### 専門用語

**採種園・採穂園**: 採種園は樹木の種子を採るための樹木園。採穂園はさし木(若い枝の一部を土などに挿して発根させること)や、つぎ木(樹木の芽や若い枝を切りとって、他の樹木の主軸(茎)などに接ぐこと)用の穂木を採るための樹木園。

**雄花着生性**: 雄花量の指数で、特定母樹では一般的なスギやヒノキの花粉量の概ね半分以下となることを基準とします。

**穂木**: さし木・つぎ木に用いる若い枝。

**エリートツリー(第2世代精英樹)**: 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)同士を掛け合わせて生まれた個体の中から成長等の特性に基づいて選抜したもの。

# 品種開発から森林づくりまでの主な流れ

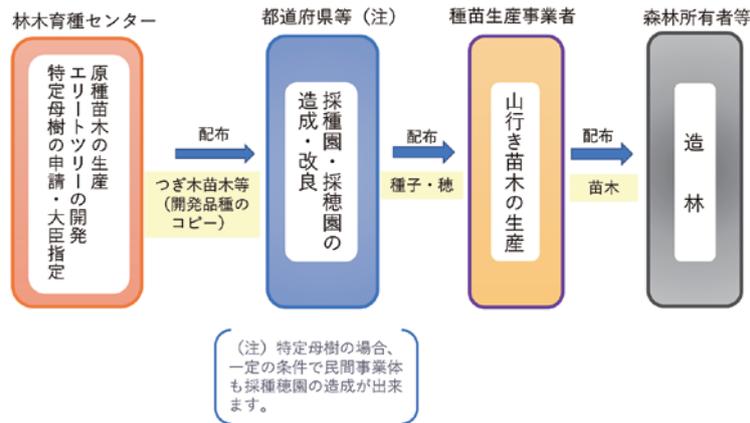


図1 品種開発及び特定母樹の指定から森林づくりまでの主な流れ

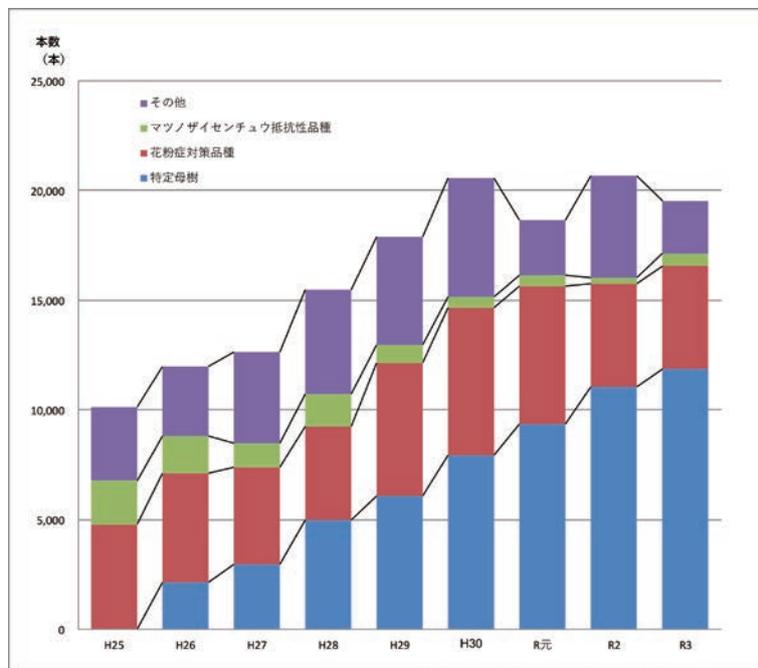


図2 原種苗木等の配布本数の経年変化

原種苗木等とは、つぎ木苗木、さし木苗木、穂木のことです。



写真1 ミニチュア採種園の管理



写真2 さし木用の穂木の選定

森林総合研究所  
令和4年版 研究成果選集

---

発行日 令和4年6月21日  
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 企画部広報普及科編集刊行係  
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>  
製版・印刷 前田印刷株式会社 筑波支店  
茨城県つくば市山中152-4  
電話 029(875)6696



---

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。



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

