

平成29年版
研究成果選集
2017

平成29年版

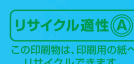
研究成果選集

2017

森林総合研究所

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>



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

森 林総合研究所は、森林・林業・木材産業に係わる研究を通じて、
木 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まいりました。
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に重点的に取り組むこととしました。

「平成29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
平成28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
- 多様な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ましたが、
専門用語につきましては解説を付けました。

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。

2017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 沢田治雄



Contents

● 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

- レーザーセンサーで熱帯低気圧による豪雨の雨滴径の特性を解明 04
土壌侵食の引き金となる雨滴の衝撃力をより高い精度で推定するため、レーザーセンサーで雨滴の直径と落下速度を同時に測定し、熱帯低気圧による豪雨では通常の降雨よりも雨滴が大きく、速度のばらつきも大きいことを明らかにしました。
- 森林に降る雨水が渓流にいたる道程は意外と深い 06
古生層堆積岩流域の渓流の水量が大きく変わるのは、斜面内の水移動に表層土壌の水分だけでなく風化基岩内の地下水の変動が影響しているためであることを明らかにしました。
- 木の樹冠に付着する雪の重さを推定する 08
大雪による樹木の幹折れや根返りなどの冠雪害の発生リスクを評価するために、気象データから冠雪の重量を推定する新しいモデルを開発しました。
- スギ材の放射性セシウム濃度を葉から推定する 10
スギ材への放射性セシウムの蓄積しやすさを、葉の安定同位体セシウム含有量から推定できる可能性のあることが分かりました。

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

- センサーネットワークによる森林のCO₂吸収量の高精度観測と長期モニタリングデータの活用 12
森林のCO₂吸収量を観測するシステムをセンサーネットワーク化することにより、観測の精度向上と省力化を図り、長期モニタリングを可能にしました。長期データにより、CO₂吸収量の詳細な変動が明らかになってきました。
- 熱帯地域の乾燥落葉林の光合成の季節変化－乾季に入っても光合成が活発だった－ 14
カンボジアの乾燥落葉林で優占樹種の光合成や蒸散の季節変化を調べ、乾季の初めにはしばらく落葉せず雨季とほぼ同程度の光合成能力を維持することや、林冠木が稚樹より高い光合成能力を持つことを明らかにしました。

ウ 生物多様性の保全等に配慮した森林管理技術の開発

- 生物多様性と炭素を守る新しい仕組み－環境保全オフセット－ 16
日本では、環境アセスメント法に基づき、開発の影響を最小限にとどめる努力をすることとなっています。環境保全オフセットは、それでもなお残る生物生息地と炭素への負の影響を代償し、ゼロにする試みです。

●	●スギ花粉症対策に向けた新技術－菌類を活用して花粉の飛散を抑える－	18
	スギ花粉の飛散を防止するため、菌類を活用した即効性のスギ花粉飛散防止剤の製剤化に成功しました。さらに、施用法として、人力による地上散布法及び無人ヘリコプターによる空中散布法を開発しました。	
●	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	
	●トドマツ人工林の造林適地をマップ化する	20
	トドマツ人工林の造林に適した、気候や地質、地形などの環境条件を明らかにするとともに、北海道における造林適地の分布を推定しました。	
	●大径材生産に向けた造材機械の作業限界の解明	22
	現在一般に普及しているサイズの造材機械について、作業時の安定性および作業能力を計測し、大径木を処理する際の作業限界をシミュレーションにより明らかにしました。	
	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	
	●歴史から展望する木材産業のこれから	24
	国内木材産業とその国産材回帰の動きについて今後の見通しを得るため、製材業・合板工業の歴史を振り返りました。浮かび上がってきたのは、利用する原木から最大の価値を引き出すべく競い合ってきた企業や産地の姿でした。	
	●木質バイオマス資源作物としてのヤナギ栽培の実用化	26
	木質バイオマス資源作物として注目されるヤナギの収穫量は、農業用マルチ設置と除草を実施することで、寒冷地の北海道において目標値10トン/ha/年を達成し、栽培の実用化のための一つのハードルを超えました。	
●	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	
	●木材の水分バランス	28
	気象データに基づいて木材平衡含水率を全国分布図として可視化し、地域性を明らかにしました。また、従来の値と比較した結果、都市部では、木材平衡含水率の平均が15%から13%へと低下したことが分かりました。	
	●平成28年（2016年）熊本地震では中規模木造建物に大きな被害は出ていなかった	30
	平成28年（2016年）熊本地震発生後の現地調査の結果、現在の建築基準法で構造設計された中規模木造建物には、大きな被害は発生していないことが分かりました。	
	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	
	●加工しやすく衝撃に強い木材・プラスチック複合材をつくる	32
	エクステリア資材として実用化されている木材・プラスチック複合材（混練型WPC）の「硬くて脆い」という欠点を改善するために、原料の木粉を化学改質し、「しなやかで強い」WPCを開発しました。	

●	●木材中のリグニンを迅速に精度よく分析する画期的な手法を開発	34
	木質バイオマスの利用には木材成分の量を把握することが必要不可欠です。木材の代表的な成分でありながら、分析が煩雑であったリグニンの量を迅速に測定する新手法を開発しました。	
●	●スギ材合板工場の副産物から生まれた空気浄化剤	36
	スギ材等による合板の製造工程では、副産物としてタール状の乾燥廃液が大量に得られます。その廃液を原料に優れた抗酸化力や有害物質浄化能力を持つ「空気浄化剤」を開発しました。	
●	重点課題エ 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	
	●4種類の無花粉スギ原因遺伝子のゲノム上の位置を特定	38
	これまでの花粉形成過程の観察から、無花粉スギの原因遺伝子には4種類あることが推定されていました。遺伝解析によりこれらの遺伝子は、ゲノム上の全く別々の場所にあることが分かりました。	
	●国産トリュフの新種発見－栽培化にむけて－	40
	未分類だった日本産のトリュフ2種を、ホンセイヨウショウロとウスキセイヨウショウロという新種として発表しました。このうち、食用として有望なホンセイヨウショウロを対象にし、国産トリュフの栽培技術の開発に向けた研究を進めます。	
	イ 多様な優良品種等の開発と育種基盤技術の強化	
	●新たな無花粉スギ品種の開発と今後の品種改良を促進するDNAマーカーの開発	42
	初期成長に優れた新たな無花粉スギ品種「林育不稔1号」を開発しました。また、今後の無花粉スギの品種改良の促進につながる、高い精度で無花粉遺伝子を検出できるDNAマーカーを開発しました。	
	●漢方薬の原料「カギカズラ」の国内栽培を目指して－国産品の薬用成分、増やし方、育て方－	44
	つる性の樹木であるカギカズラは認知症周辺症状の抑制効果などが期待される漢方薬の原料です。国産カギカズラの栽培に向けて、薬用成分の含有率を明らかにするとともに、苗木の増殖方法や栽培方法を開発しました。	

レーザーセンサーで熱帯低気圧による豪雨の雨滴径の特性を解明

森林防災研究領域 南光 一樹

サウスカロライナ大学：Susanne M. Moskalski・Raymond Torres

近年、大型の熱帯低気圧（台風など）や局地的大雨により、かつて経験したことのないような激しい雨が降るようになりました。このような極端な豪雨は、林地の土砂流出の新たなリスクとなる可能性があります。そこで、土壌侵食の引き金となる雨滴の衝撃力に着目し、レーザー雨滴計で熱帯低気圧による豪雨において雨滴の直径と落下速度の分布を調べました。その結果、熱帯低気圧による豪雨では通常の降雨よりも雨滴が大きく、速度のばらつきも大きいことを明らかにしました。熱帯低気圧による豪雨について雨滴の大きさと落下速度の分布を計測した事例は世界的にも少なく、雨滴の衝撃エネルギーを正確に評価するための貴重な成果といえます。

成果

雨滴の地面への衝突が土壌侵食を引き起こす

森林の地面をおおう落葉や下草は、雨滴の衝撃から土壌表面を保護するとともに、表面流による土壌の流亡を抑えています。しかし、間伐などの管理が十分に行われない森林では、樹木が過密になり下草が消え深刻な土壌侵食が起きているケースも報告されています。また、大型台風や局地的大雨など、今までにない激しい雨が増え、このような極端な豪雨は林地の土砂流出の新たなリスクになる可能性があります。そこで、土壌侵食の引き金となる雨滴の衝撃に着目し、雨滴の大きさと落下速度を同時に測定できる装置を用いて、通常の降雨と熱帯低気圧による豪雨における雨の降り方を比べました。

通常の降雨と豪雨とで異なる雨滴の大きさ・落下速度・衝撃エネルギー

雨滴の衝撃エネルギーの推定には、降雨強度と雨滴径、雨滴径と落下速度の二つの関係式を用います。この研究では、レーザー雨滴計（図1）を用いて、熱帯低気圧による豪雨時の雨滴の大きさと落下速度を調べました。その結果、熱帯低気圧の豪雨では、強風の影響により雨滴の大きさが様々に変化するため、通常の降雨よりも雨滴

の平均的なサイズが大きく、落下速度も広い範囲に分布することが分かりました（図2）。これは、現在得られる予測では衝撃エネルギーが過小評価されていることを意味します。熱帯低気圧による豪雨において雨滴の大きさと落下速度の分布を計測した事例は世界的にも少なく、雨滴の衝撃エネルギーを高い精度で推定する貴重な成果が得られました。

林地の土砂流出を推定するために

今後、温暖化の進行により大雨が増加することが予測されています。その意味で、極端な豪雨による林地の土砂流出の防止は将来的な気候変動への適応という点でも重要な課題の一つです。この研究で得られた成果をもとに、今後も雨滴に関する実測データを積み重ね、林地の土壌侵食リスクの評価に活かしていきます。

文献

Nanko, K. *et al.* (2015) Rainfall erosivity-intensity relationships for normal rainfall events and a tropical cyclone on the US southeast coast. *Journal of Hydrology*, 534 : 440–450.

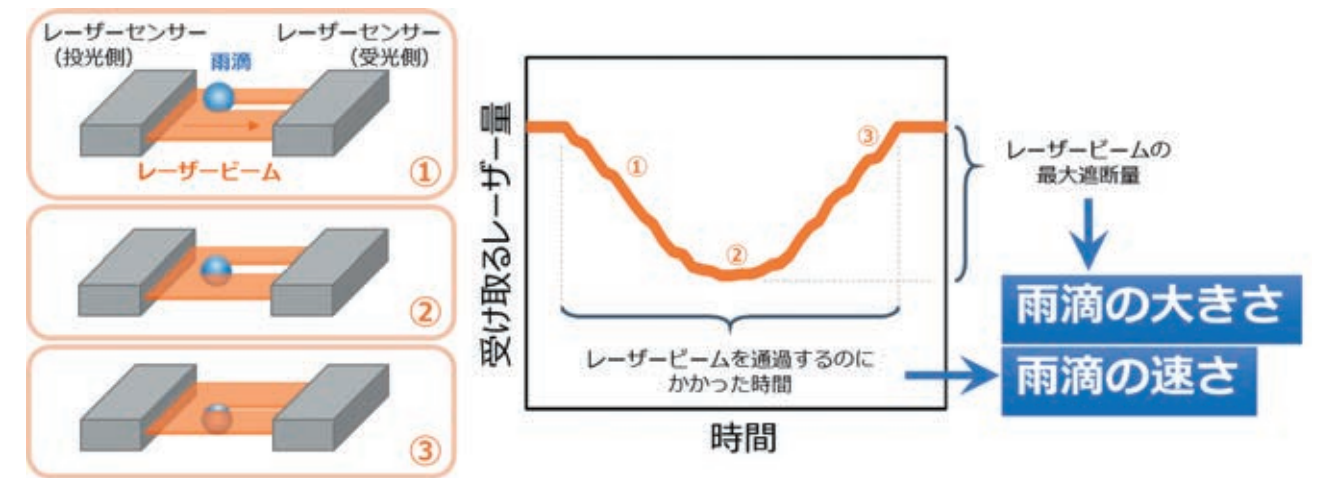


図1

レーザー雨滴計による雨滴測定の様相

レーザー雨滴計は、センサーから帯状のレーザービームを射出します。雨滴がレーザービームを通過すると（図の左）、センサーで受け取るレーザー量が減少します（図の右）。この遮断の様子から、通過した雨滴の大きさと速さを測定します。

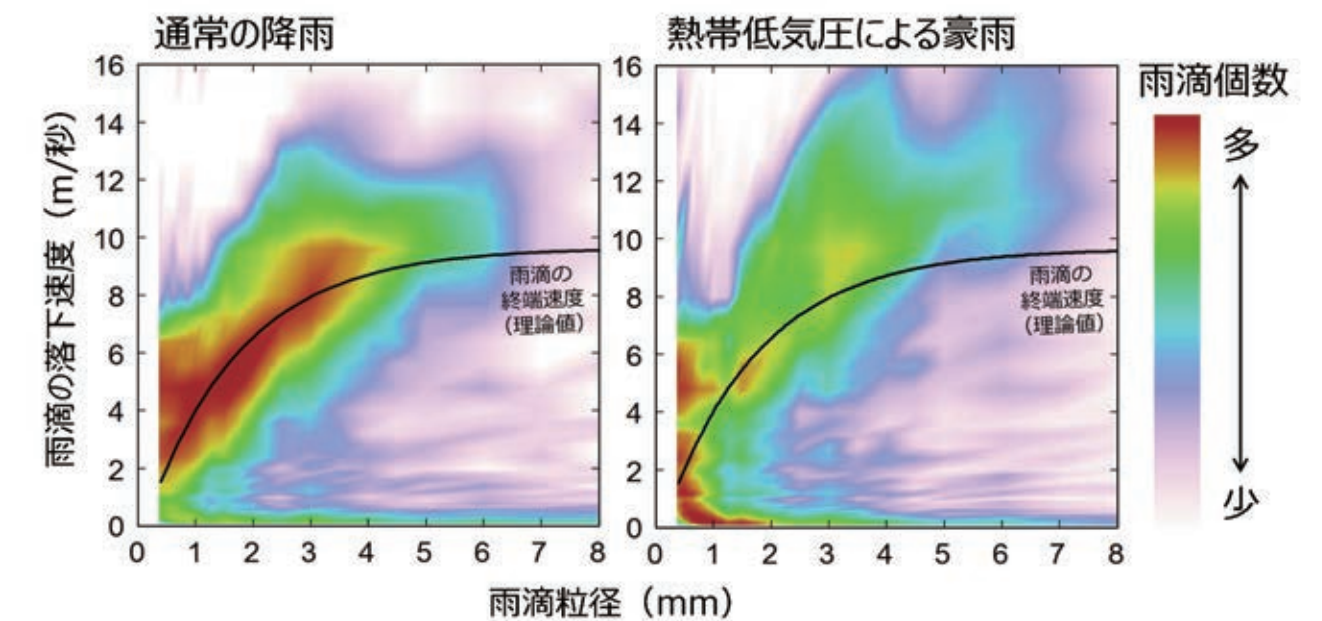


図2

通常の降雨と豪雨における雨滴の大きさ（粒径）と落下速度の関係

豪雨では雨滴速度の理論値から外れる雨滴が多く、落下速度のばらつきが大きいことが分かります。

森林に降る雨水が溪流にいたる道程は意外と深い

関西支所 細田 育広

人間環境大学 谷 誠

森林に降る雨水が林床に到達すると大部分は地中に浸透し、浸透した水はやがて溪流に流出します。溪流が降雨時に増水する程度や降雨後に減水する速さは地質によって異なりますが、そのような違いが現れる具体的な仕組みは詳しく分かっていません。この研究では、降雨時の増水には表層土壌の水分だけでなく、風化基岩内の地下水の動きが関わっていることを観測によって明らかにしました。古生層堆積岩の流域は、同じ量の雨が降っても流域が乾燥している時と湿潤な時では水の出方が大きく異なるため、流出の予測が難しいという特徴があります。この成果は、このような流域の降雨流出予測の精度向上に活用できます。

成果

斜面の中の水の流れ

森林の土壌は大小さまざまな隙間を持つため、地表に届いた雨水の大部分を吸収します。地中に吸収された水は地表よりもゆっくり移動するので、降雨中および降雨後の溪流水量の増減は緩やかになります。このようにして森林は溪流への水流出を平準化していますが、こうした水の増え方や減り方は、土壌の下にある基岩の種類や状態によっても変わります。この研究では、風化層が厚く発達した古生層堆積岩を基岩とする流域を対象に、風化基岩内の地下水と溪流水量との関係を調べました。

風化基岩の状態

岡山市内にある古生層堆積岩流域を対象に、まず風化基岩の状態を調べるために斜面の中・上部2カ所でボーリング調査を行いました。その結果、この斜面では厚さ30cm程度の森林土壌の下に、最も深い部分で約16mの風化層があること、また表層に近いほど亀裂や細粒物質が多く、基岩の風化が進んでいることが分かりました（図1）。

風化基岩内の地下水位と溪流水量の関係

次に、ボーリング調査で掘った孔を利用して風化基岩内の地下水位を測定し、溪流水量や表層土壌水分とともに、降雨時の変化の様子を調べました。その結果、表層土壌が乾いている時は雨が降っても地下水位や溪流水量の反応は小さいですが、繰り返し雨が降り表層土壌が湿ってくると、雨の度に地下水位が上昇し、同じタイミングで溪流水量も増えるようになりました（図2）。また、斜面中部の地下水位が高く上昇するほど溪流水量も大きく増加していることから、地下水が増えると斜面下方への水移動も速くなることが分かりました。

降雨流出予測の精度向上に向けた一歩

古生層堆積岩の流域は、雨の降らない日が続くと溪流の水量が大きく低下する一方、同じ量の雨が降っても流域が乾燥している時と湿潤な時では水の出方が大きく異なるため、流出の予測が難しいという特徴があります。この研究では降雨時の溪流水量の増加に、表層土壌水分だけでなく、もっと深い位置にある風化基岩内の地下水も関わっていることを明らかにしました。今後、古生層堆積岩流域における降雨流出の予測精度の向上に向けて、さらに解析を進めます。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP18201036）「基岩－土壌－植生－大気連続系モデル開発による未観測山地流域の洪水渇水の変動予測」、JSPS科研費（JP23221009）「地形・土壌・植生の入れ子構造的発達をふまえた流域水流出特性の変動予測」による成果の一部です。

文献

細田育広・谷 誠（2016）古生層堆積岩小流域の厚い風化基岩層における水分変動が降雨流出応答に及ぼす影響. 地形, 37：465-492

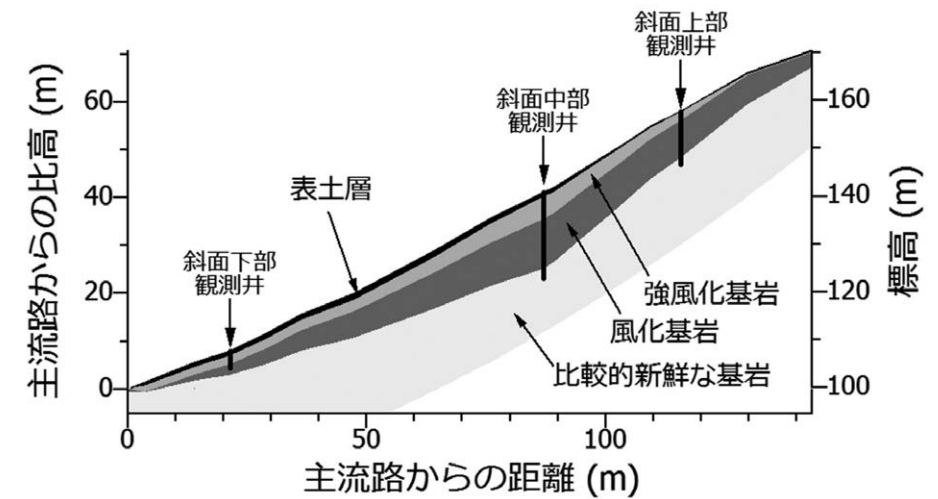


図1

観測斜面の谷筋に沿う縦断面の土層構造

ボーリングコア等から推定しました。地質は尾根側に緩く傾斜した硬砂岩・粘板岩互層の古生層からなり、主流路には風化基岩が露出しています。

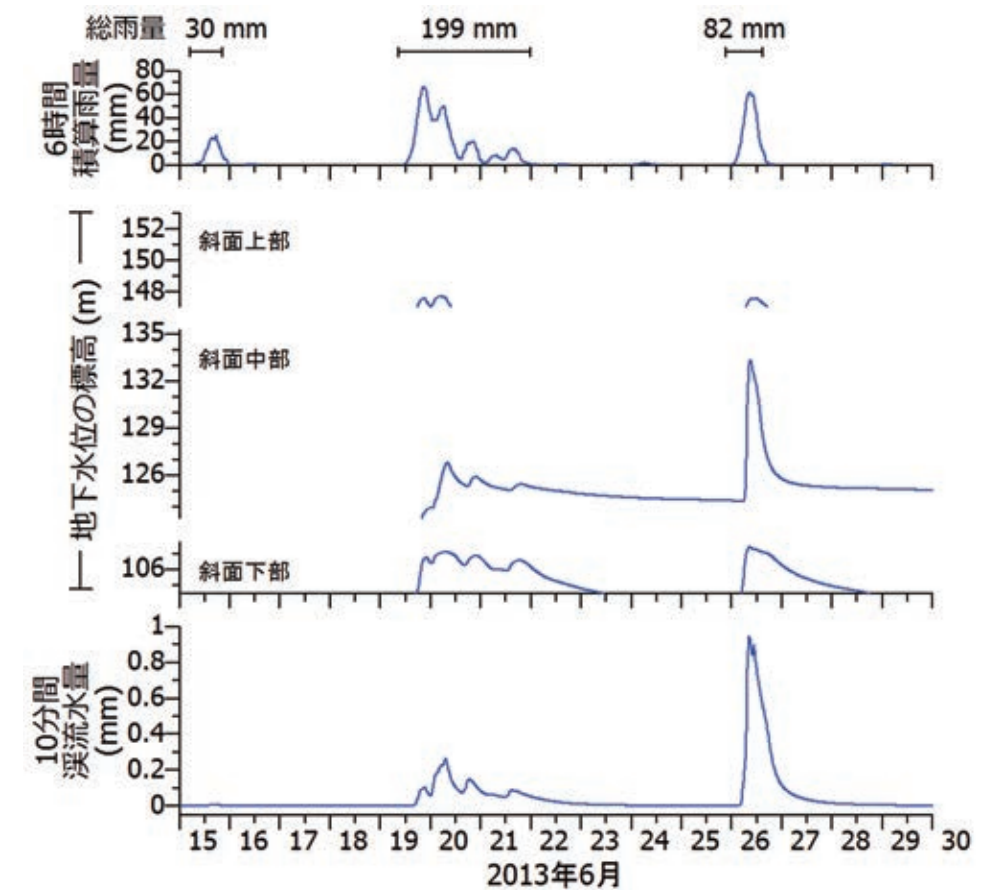


図2

降雨イベントに伴う地下水位・溪流水量の経時的変動

期間の始めは斜面各部位で地下水位は観測されませんでしたが、表土層が湿潤になるにつれ降雨に対する地下水位の反応が敏感となり、溪流水量も大きく変動しました（地下水位は観測可能範囲のみ描画しています）。

木の樹冠に付着する雪の重さを推定する

森林防災研究領域 勝島 隆史・南光 一樹・鈴木 寛・竹内 由香里・村上 茂樹

大雪により、樹木の幹折れや根返りなどの冠雪害が発生します。被害発生の予測には、樹冠に付着する雪の重さ（以下、冠雪重量）と、それに対する樹木の力学的抵抗性の評価が必要です。抵抗性は構造力学を応用して評価できますが、冠雪重量については、気象条件などとの関係が詳しく分かっておらず、これまで精度の良い推定はできませんでした。そこで、樹冠全体の冠雪重量の測定データに基づいて、気象データから冠雪重量を推定する新しいモデルを開発しました。このモデルを活用して、過去の冠雪状況の解析による冠雪害の発生メカニズムの解明や、冠雪害の危険地域の抽出による多雪地域での林業経営のリスク管理につなげます。

成果

大雪による樹木の冠雪害の被害

異常な大雪は、樹木の幹折れや根返りなどの冠雪害を引き起こします。特に昭和55年12月から昭和56年3月にかけての昭和56年豪雪は、北陸を中心として数百億円に及ぶ甚大な林業被害をもたらしました。また、日本海側の豪雪地域のみならず、普段は雪の少ない太平洋側でも冠雪害は発生しています。近年では平成26年豪雪により、関東地方を中心に大きな被害が発生しました。

冠雪害の発生リスク評価

冠雪害の発生リスクを地域や林分ごとに量的に示せば、林業経営において施業方法などを選択する際の判断材料の一つにすることができます。冠雪害は、樹冠に付着した雪の重さが、幹や根、枝の強度を上回った時に発生します。そのため、冠雪害のリスク評価には、冠雪重量と、それに対する樹木の力学的な抵抗性を評価する必要があります。抵抗性については構造力学を樹木の変形や破壊に応用した計算により評価できます。一方、冠雪重量については、どのような気象条件の時に、どれだけの雪が樹冠に付着するか詳細に分かっておらず、これまで精度の良い評価はできませんでした。

気象データから冠雪重量を推定する

根元で伐ったスギを直立した状態で野外の重量計に載せ、冬の間の冠雪重量の変化を測定しました（図1）。その結果、風の弱い夜間に冠雪が成長し、強風や日中の日射により冠雪が落下することが分かりました（図2）。冠雪重量の時間変化と、降雪量、気温、日射量、風速などの気象条件との関係を解析し、気象データから冠雪重量を推定する新たなモデルを開発しました。このモデルにより、スギの樹冠に付着する冠雪の重量を精度良く推定できるようになりました（図3）。

様々な地域への適用可能性を検討した上で、このモデルを活用すれば、例えば過去の冠雪害が発生した場所の冠雪の状態を、当時の気象データから遡って解析できるようになり、これまで詳細に分かっていなかった冠雪害の発生メカニズムの解明につながります。また、過去の冠雪重量の地域的な分布を解析し、冠雪害の発生する危険度の高い地域を抽出できれば、降雪地域の林業経営のリスク管理に活用できます。

研究資金と課題

本研究は、森林総合研究所所内委託プロジェクト「森林気象害のリスク評価手法に関する研究」による成果です。

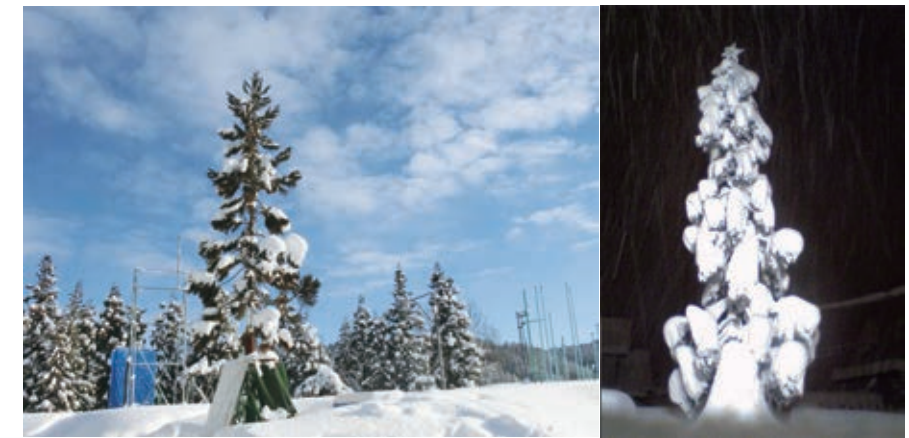


図1
樹冠の冠雪重量の野外観測の様子
風の弱い大雪の日の夜間に冠雪が大きく成長します。



図2
モデルで考慮した冠雪の成長と落下過程の概念図

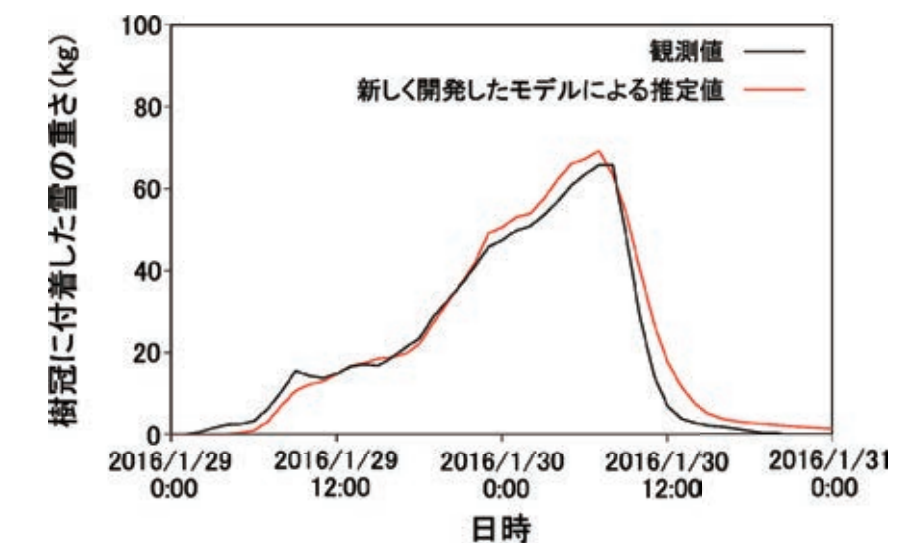


図3
樹冠に付着した雪の重さの観測値とモデルによる推定値

スギ材の放射性セシウム濃度を葉から推定する

立地環境研究領域 長倉 淳子

企画部 安部 久・高野 勉・高橋 正通

木材加工・特性研究領域 張 春花

東京電力福島第一原子力発電所事故の影響を受けた森林において、木材中の放射性セシウム濃度を予測するため、スギを対象に葉と材の安定同位体セシウム (^{133}Cs) の含有量を調べました。その結果、スギは辺材よりも心材に ^{133}Cs が蓄積しやすく、また、旧葉の ^{133}Cs 含有量が多いほど心材および辺材の ^{133}Cs 含有量も多いことが分かりました。これにより、根から吸収された放射性セシウムのスギ材への蓄積しやすさを、葉の ^{133}Cs 含有量から推定できる可能性を示しました。

成果

木材の放射能汚染と土壌の放射性セシウムの上昇

東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、事故）で放出された放射性物質は、周辺の森林における林業や木材利用にも影響を与えています。事故後の調査から、放射性セシウムが検出されたスギ材では、その濃度が周囲の放射性物質の沈着量を反映していることが分かってきました。

事故直後、森林に飛来した放射性セシウムの多くは樹木や落葉に蓄積していましたが、現在では土壌の表層部分に多く蓄積しています。土壌の表層には樹木の細根が多く分布するため、今後、細根を経由して樹体に放射性セシウムが吸収される可能性があります。

放射性セシウムと安定同位体セシウム

樹木は根だけでなく葉や樹皮からも養分などの無機物質を吸収します。事故当時、樹木は葉や樹皮からも放射性セシウムを吸収したといわれています。そのため、現在の樹体の放射性セシウム濃度は、根からの吸収のほかに、葉や樹皮からの吸収の影響も受けています。一方、自然界にはもともと、放射性セシウムと環境中での動きが似ているものの放射性を持たない安定同位体のセシウム (^{133}Cs) が存在しています。樹木は事故前から土壌中の ^{133}Cs を吸収し、樹体内に蓄えてきました。そのため、樹体の ^{133}Cs の分布は、今後根から吸収される放射性セシウムが、樹体内でどのように分布するかを知る上で貴重な手がかりになります。

根から材へのセシウムの取り込みを葉のセシウム含有量から推定する

木材の分析用サンプルを採るには材を傷つけない必要がありますが、もし材以外の部位、たとえば葉の ^{133}Cs 含有量から材の ^{133}Cs 含有量が分かれば、より簡便な方法で推定ができます。

そこで、福島県の4つのスギ林（川内、上川内、大玉、只見）で、それぞれサイズの異なる3本のスギを選んで葉と材を採取し、 ^{133}Cs 含有量を測りました。その結果、スギは旧葉より当年葉に、辺材より心材に、また大きい個体ほど、 ^{133}Cs の含有量が多いらしいことが分かりました（図1）。また、旧葉の ^{133}Cs 含有量と心材および辺材の ^{133}Cs 含有量との間には比例関係が見られました（図2）。

この結果は、葉の ^{133}Cs 含有量を測ることにより、木材への放射性セシウムの蓄積しやすさを推定できる可能性を示しています。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP26511010）「スギ材の放射性セシウム吸収リスクの判定」、および林野庁受託事業「森林内における放射性物質実態把握事業」の成果です。

文献

長倉淳子 他（2016）放射性セシウム沈着量の異なる林分から採取したスギの葉と材のセシウム、ルビジウム、カリウム含有量. 森林立地, 58：51-59.

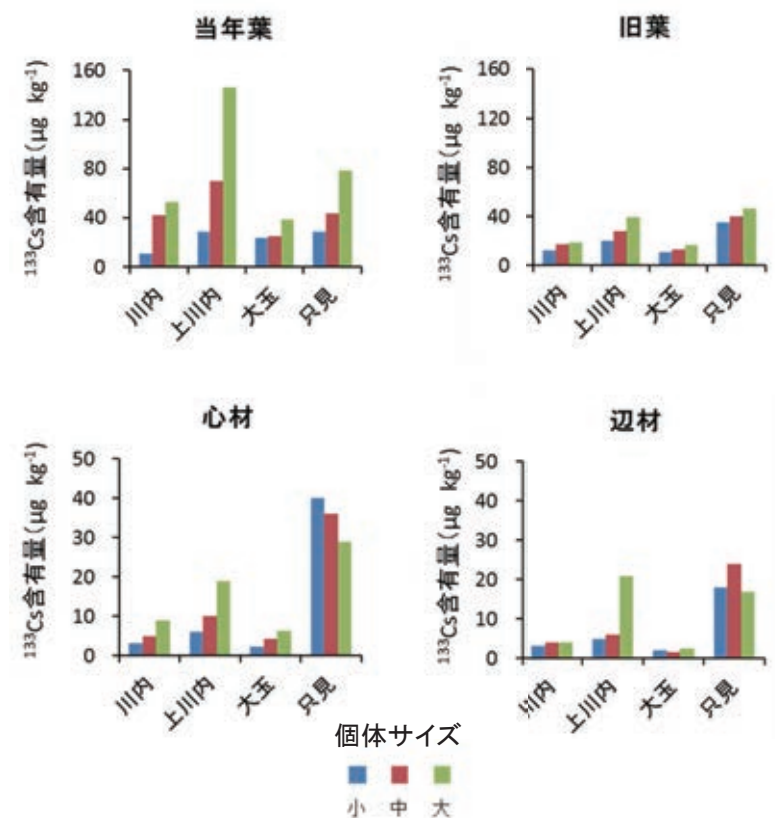


図1

葉と材の ^{133}Cs 含有量

福島県の4つの林分（川内、上川内、大玉、只見）から伐倒されたスギ（大・中・小）の葉と材の ^{133}Cs 含有量を測りました。 ^{133}Cs 含有量は、例外はあるものの、旧葉＜当年葉、辺材＜心材、小さい個体＜大きい個体、という傾向でした。

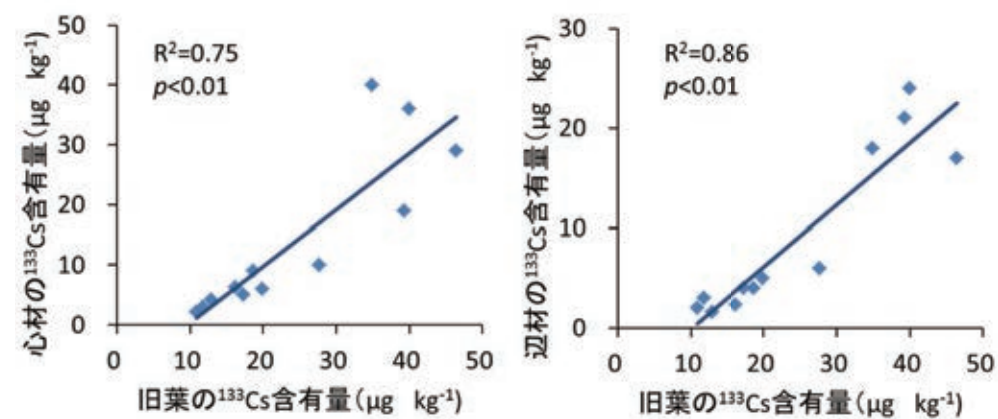


図2

旧葉と材の ^{133}Cs 含有量と関係

旧葉の ^{133}Cs 含有量と心材および辺材の ^{133}Cs 含有量には比例関係がみられました。

センサーネットワークによる森林のCO₂吸収量の高精度観測と長期モニタリングデータの活用

北海道支所 山野井 克己・溝口 康子 森林防災研究領域 安田 幸生・高梨 聡・深山 貴文
関西支所 小南 裕志 九州支所 北村 兼三

気候変動の将来予測には自然環境の長期モニタリングが重要です。森林総合研究所では、日本各地の森林に気象観測用タワーを設置してCO₂吸収量を高精度で測定しています。これらのタワーに設置した観測システムを、インターネットを活用してセンサーネットワーク化することにより、遠距離にある研究所から観測データを常時モニタリングできるようにしました。これにより欠測の少ない高精度な観測を維持できるようになり、また観測を省力化することで長期モニタリングを可能にしました。さらに観測からデータ公開までの処理も早めることができました。長期モニタリングにより、年ごとの気象条件の違いや突発的に発生した森林被害がCO₂吸収量に大きく影響することなどが明らかになってきました。

成果

森林のCO₂吸収量を測定するための観測ネットワーク

森林がどのようにCO₂を吸収・放出しているかを明らかにするために、森林総合研究所では、国内の森林5ヶ所に気象観測用のタワーを設置し、森林のCO₂吸収量を高精度に測定しています（図1）。タワーでは気象学的方法を用いて連続してCO₂吸収量を測定しており、1日の中でのCO₂吸収量の変化から年ごとのCO₂吸収量の違いまで、様々な時間スケールでの変化を高い精度でとらえることができます。日本各地の森林を対象に、1999年に開始された観測は、すでに17年の蓄積があります。これまでの観測データは「森林総研フラックス観測ネットワーク」のデータベースで公開されています。

センサーネットワークによる高精度なCO₂吸収量の観測

タワー観測を維持するためには、定期的な機器などのメンテナンスが欠かせません。観測サイトの中には研究所から遠距離の山地にあるものもあり、メンテナンス作業のために多くの労力が必要でした。また、観測機器の動作状況を常に把握し、停電などの突然のトラブルに対応することが困難なため、欠測が発生することは避けられませんでした。

近年、通信機能を持つ観測機器の進歩は目覚ましいものがあります。山地における通信環境も大幅に向上しており、現在では全ての観測サイトでインターネットへの接続が可能となりました。ICTを活用してセンサーネットワーク化した観測サイトと研究室をつなぐことで、観測状況の常時モニタリングを実現しました（図2）。これにより、現地でのメンテナンス作業に要する時間が短縮され、作業回数も必要最小限に減らしました。研究室から観測データを直接取得できるようになり、観測・解析からデータ公開までを効率的に行うことができるようになりました。

長期モニタリングにより森林のCO₂吸収量の詳細な変動が明らかに

落葉広葉樹林（札幌、安比）と常緑針葉樹林（富士吉田）のCO₂吸収量（図3）には明らかな季節変化が見られ、年ごとに違いがあることが分かります。気温・日照時間・降水量などの気象条件の年による違いが、その原因となっていることが分かりました。また、長期モニタリング中には突発的な森林被害が観測されています。札幌では2004年に台風による風害が発生して、多くの樹木が倒れました。風倒後の森林はCO₂の発生源となり、CO₂吸収量の回復に長い年数がかかっています。安比では2007年に害虫（ブナアオシャチホコ）が大量発生して、ほとんどの葉が食べられたため、夏以後のCO₂吸収量が大きく減少しました。このような食害は周期的に発生しますが、影響は発生年だけにとどまっていることが分かりました。森林は成長に長い年数がかかるため、さまざまな規模や頻度の被害を受けるものです。長期モニタリングは、こうした被害要因によるCO₂吸収量への影響も明らかにすることができます。

研究資金と課題

本研究は、地球環境保全試験研究費（地球一括計上）「センサーネットワーク化と自動解析化による陸域生態系の炭素循環変動把握の精緻化に関する研究」による成果です。

文献

観測の詳細およびデータは「FFPRI FluxNet」のホームページを、モニタリングデータを活用した成果はYamanoi, K. et al. (2015) Biogeosciences, 12 : 6837-6851などをご覧下さい。



図1
センサーネットワーク化した5ヶ所の観測サイト

落葉広葉樹林の札幌（北海道：シラカンバ・ミズナラ林）、安比（岩手県：ブナ林）、混交林の山城（京都府：コナラ林）と常緑針葉樹林の富士吉田（山梨県：アカマツ林）、鹿北（熊本県：スギ・ヒノキ林）。

図2
観測サイトと研究拠点を結ぶセンサーネットワークのイメージ

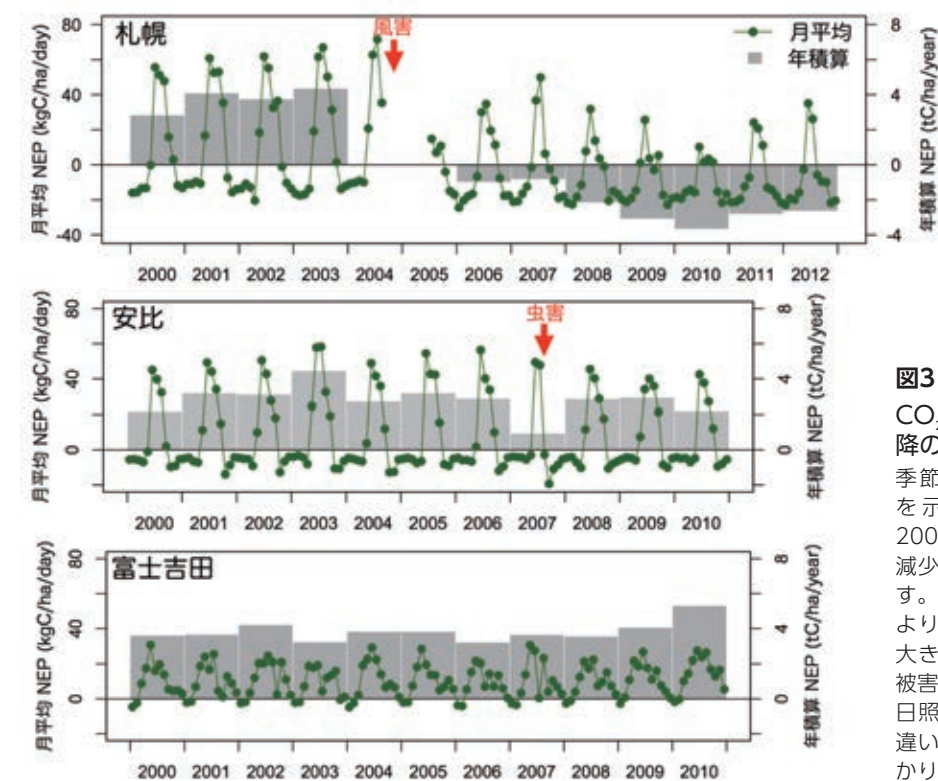


図3
CO₂吸収量（NEP）の2000年以降の変化

季節変化（折れ線）と年変化（棒）を示しています。札幌サイトは2004年の風害後は吸収量が大きく減少し、その影響が長く続いています。安比サイトは2007年の虫害により、発生年のみ夏以後の吸収量が大きく減少しました。突発的な森林被害などがなくても、吸収量は気温・日照時間・降水量などの気象条件の違いによりかなり変化することが分かりました。

専門用語

センサーネットワーク：観測用の各種センサー、データ処理装置、データ保存装置などをネットワーク接続して多点多要素の同時計測を可能にするシステム。インターネット接続を行うことにより遠距離からの計測も可能になる。

CO₂吸収量（NEP）：光合成によるCO₂の吸収と呼吸や分解によるCO₂の放出の差として、NEP（Net Ecosystem Production：生態系純生産量）とも表わすことができる。光合成量が呼吸＋分解量を上回れば森林はCO₂を吸収し、下回れば放出していることになる。炭素量に換算（kgCやtC）して示してある。

熱帯地域の乾燥落葉林の光合成の季節変化 ー乾季に入っても光合成が活発だったー

植物生態研究領域 田中 憲蔵 森林防災研究領域 飯田 真一・清水 貴範・玉井 幸治
九州支所 壁谷 直記・清水 晃 カンボジア野生生物開発研究所 Chann Sophal

カンボジアでは、乾季に落葉する乾燥落葉林が国土の約25%を覆い、森林の炭素や水循環にとって重要な役割を担っています。この乾燥落葉林の樹木は、乾季でも数ヶ月は葉をつけており、この時期の光合成や蒸散活動の変動は、地域の炭素や水循環に大きな影響を及ぼしているはずです。そこで、優占するフタバギ科2樹種の稚樹から成木までの個体を選び、光合成能力などの季節変化を調べました。その結果、乾季初めの光合成は雨季に比べるとやや低下するものの葉の気孔開度には変化がなく蒸散も活発であること、また、林冠木は稚樹より光合成能力が高いことなどが分かりました。この知見は、カンボジアの森林に気候変動が及ぼす影響の予測に役立ちます。

成果

インドシナ半島に広く分布する乾燥落葉林

雨季と乾季が明瞭なインドシナ半島の熱帯地域には、乾季に落葉する乾燥落葉林が広く分布しています。半島の中央部に位置するカンボジアでは、乾燥落葉林が国土の約25%を覆い、この地域の森林の炭素や水の循環において重要な役割を担っています。乾燥落葉林の樹木は、雨がほとんど降らない乾季でも数ヶ月は葉をつけているため（図1）、この時期の光合成や蒸散活動に伴う炭素や水の動きは無視できないと考えられます。しかし、これまでその実態はよく分かっていませんでした。

乾季に入っても数ヶ月間は高い光合成を維持する

そこで、カンボジアの乾燥落葉林に優占するフタバギ科の2樹種について、稚樹から成木まで様々な生育段階にある個体を選び、光合成能力や葉の形態、性質などがどのように季節変化するのかを調べました。その結果、乾季の初めは、光合成速度は雨季に比べるとやや低下するものの、葉の気孔の開度には変化がなく、蒸散も活発に維持されていました（図2）。さらに乾燥が進むと、土壌水分が大きく低下して落葉しますが、乾季中盤から後半の最も乾燥する頃には、新葉が展開し光合成や蒸散が可能な状態になっていました（図1）。しかし、この頃の新葉は気孔がほぼ閉じた状態にあり（図2）、強い乾燥に対して蒸散を抑制する方法で乾燥ストレスを回避していることも分かりました。

林冠木は頑丈な葉を持ち光合成能力も高かった

同じ地域に分布する乾燥常緑林の場合、乾燥ストレスを受けやすい林冠木の方が林床の稚樹に比べて乾季には葉の気孔を閉鎖しやすく、光合成速度も低下することが分かっていました。しかし、今回調査した乾燥落葉林の

フタバギ科樹木については、林冠木が稚樹に比べて光合成速度が高く（図2）、潜在的な光合成能力を示す最大炭酸固定速度や最大電子伝達速度も高いことが分かりました。このことは、林冠木の葉は乾季初めでも強い光を有効に利用でき、森林全体の炭素固定に寄与できることを示しています。また、林冠木は硬くて分厚い葉を持つことで（図3）、林冠部で受けやすい乾燥や強風などのストレスに適応していることも分かりました。

この研究で得られた乾燥落葉林の樹木の光合成に関する知見や個々のパラメータは、プロセスモデルを用いた林分レベルの炭素循環や水収支の推定に役立つとともに、カンボジアの森林に気候変動が及ぼす影響を予測する上でも大いに活用することができます。

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「アジア地域熱帯林における森林変動の定量評価とシミュレーションモデルの開発」による成果を含んでいます。

文献

Kenzo, T. et al. (2016) Seasonal and height-related changes in leaf morphological and photosynthetic traits of two dipterocarp species in a dry deciduous forest in Cambodia. Plant Ecology and Diversity, 9: 505-520. Doi: 10.1080/17550874.2016.1262472

専門用語

最大炭酸固定速度と最大電子伝達速度

葉の光合成の潜在的な能力の指標となり、炭素循環モデルなどのパラメータとして利用されている。



図1

カンボジアの乾燥落葉林（左から、雨季、乾季初め、乾季後半）

雨季と比べて、乾季初めでも葉は緑色で、活発な光合成・蒸散活動を行っていました。乾季中盤には落葉しますが、乾季中盤から後半の最も乾燥した時期に新葉が展葉します（黄色の矢印）。新葉の気孔はほぼ閉じており、蒸散を抑制することで厳しい乾燥を回避しています。

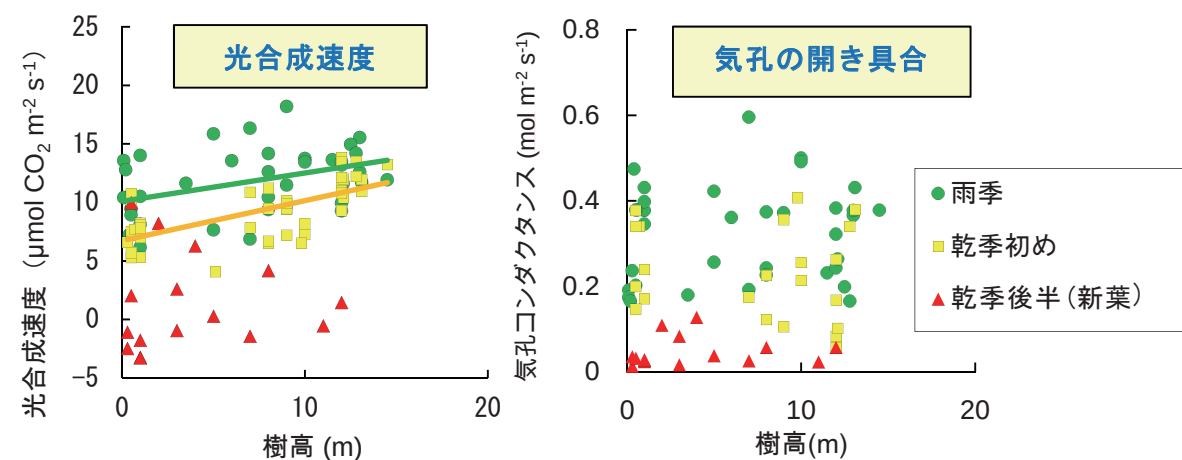


図2

樹高と、葉の光合成速度(左)および、気孔の開き具合(右)の関係

光合成速度は林冠木で高く、林冠の強光を利用し高い炭素固定能力を発揮しています。雨季の方が乾季初めより光合成速度がやや高いですが、林冠木では差がほとんどありません。乾季に展葉した新葉の光合成速度は低いですが、気孔を閉じているため蒸散が抑制され乾燥を回避できます。

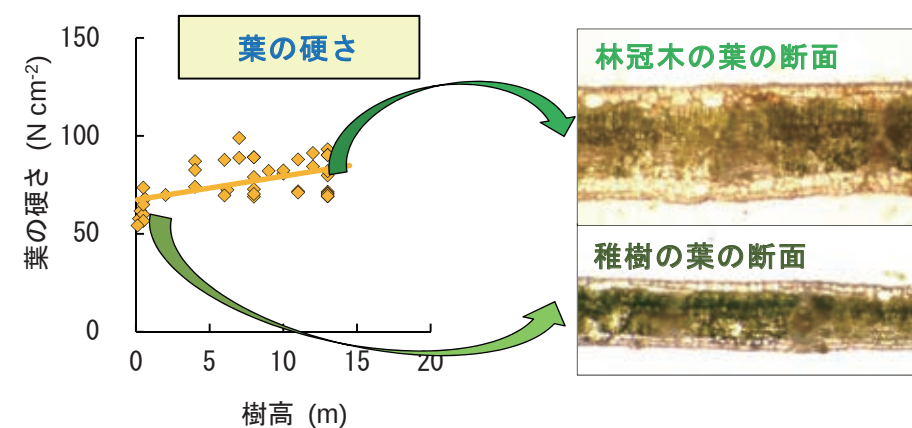


図3

樹高と葉の硬さの関係（左）と、稚樹と林冠木の葉の断面写真（右）

林冠木の葉は林床の稚樹に比べ、硬く分厚いため、乾燥や強風などのストレスを受けやすい林冠の環境下でも丈夫でしおれにくいです。

生物多様性と炭素を守る新しい仕組みー環境保全オフセットー

生物多様性研究拠点 岡部 貴美子・古川 拓哉・小山 明日香・原口 岳・北岡 哲

森林昆虫研究領域 滝 久智 きのこ・森林微生物研究領域 服部 力

森林植生研究領域 正木 隆・佐藤 保・五十嵐 哲也

森林管理研究領域 松浦 俊也 四国支所 長谷川 元洋

日本では1997年に成立した環境アセスメント法に基づき、一定規模以上の開発に際して、生物多様性を含めた環境保全に十分配慮することが求められています。海外にはこれをさらに進めて、開発によって生態系が受ける負の影響を代償することで、自然の損失をゼロにする試み（生物多様性オフセット）を実施している国々があります。そこで日本へのこの制度の導入を目指し、オフセットを実施するサイトを検討するとともに、損失分のカウントに利用可能な生態系の定量的評価手法を開発しました。加えて、この評価手法開発では、炭素の損失ゼロも目指しています。本研究により、生物多様性にも、炭素にも優しい「環境保全オフセット」を提案しました。

成果

環境アセスメントと生物多様性オフセットとの関係

環境アセスメント（環境影響評価）制度では、一定規模以上の開発に際し、事前に人や生物の多様性などへの影響を調査、予測して、十分に環境保全に配慮することが求められます。生物多様性オフセットでは、さらに環境への負の影響をゼロにすること（オフセット、代償）を求めます（図1）。

どこでオフセットを実施すべきか

開発地に負の影響が残った場合、オフセットが実施可能な地理的範囲（オンサイト）を決めておく必要があります。そこで、生物多様性オフセットが都道府県単位で制度化されると想定し、動物の分布を分析しました。その結果、森林性の哺乳類、鳥、昆虫の普通種の約半数は、都道府県内の1か所（10kmメッシュの1メッシュのみ）にしか生息していないことが分かりました。つまりオフセットは都道府県内で行うことと決めてしまうと、保全において見過ごされやすい普通種の半分は、分布地が確保されない可能性のあることが明らかになりました。一方、オフセットの範囲を隣接都道府県に広げると、この問題は概ね解消できることも分かりました。オフセットの実施には類似の生態系を共有する、隣接する都道府県がお互いに連携することが必要です。

生物多様性と炭素は同時に守れるか？

森林は温室効果ガスの二酸化炭素を吸収したり、蓄積したりする重要な役割を担っています。そこで私たちは、炭素の保全にも着目しました。いったん牧草地などに使

われて劣化した生態系でも、その後樹木の多様性が回復して二次林となった場合（回復二次林と呼ぶ）には、劣化のない二次林（更新二次林と呼ぶ）と炭素蓄積量に大きな差がありませんでした。したがって、二次林から成熟林を経て老齢林へと誘導する生物多様性オフセットを実施すれば、炭素蓄積量の回復も期待できます（図2）。

生物多様性と炭素を評価し、保全する「環境保全オフセット」

以上の結果をとりまとめ、私たちは生物多様性オフセットに炭素保全を追加した、「環境保全オフセット」を提案します。また負の影響をゼロにするための生態系評価法として、豪ビクトリア州で開発された「ハビタットヘクトール法」の改訂版を提案します（表1）。日本版の特徴は、①日本の生態系の特性に合致、②炭素保全の観点を追加、③ランドスケープレベルの影響をオフセット技術開発に利用する、というものです。今後は、環境保全オフセットの社会実装に向け、さらに技術開発を進める必要があります。

研究資金と課題

本研究は、環境省環境研究総合推進費「1-1401環境保全オフセット導入のための生態系評価手法の開発」による成果です。

文献

小山明日香・岡部貴美子（2017）生物多様性オフセットによるノーネットロス達成の生態学的課題。森林総合研究所研究報告（印刷中）

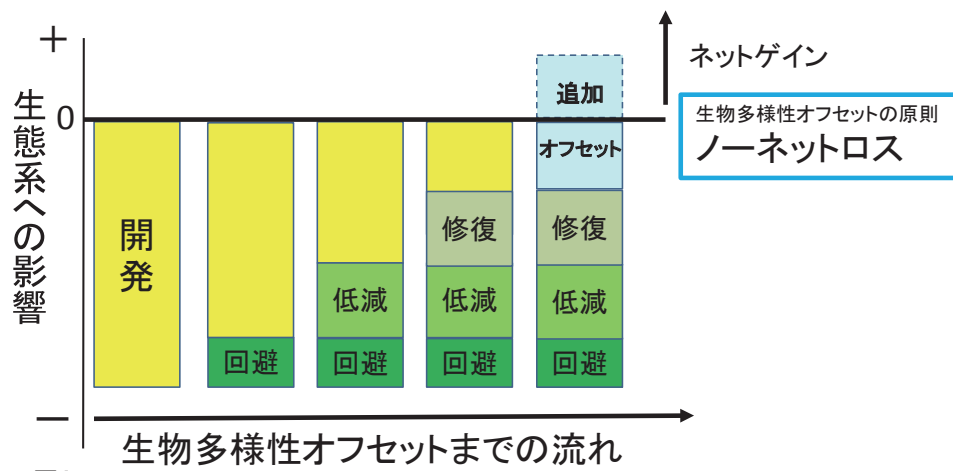


図1 ミティゲーションヒエラルキー（代償措置の優先順位）にもとづく生物多様性オフセットの手順
生態系への負の影響、または生態系の価値の損失をゼロにする（ノーネットロス）を原則としますが、正の影響や価値の増加（ネットゲイン）を求める場合もあります。

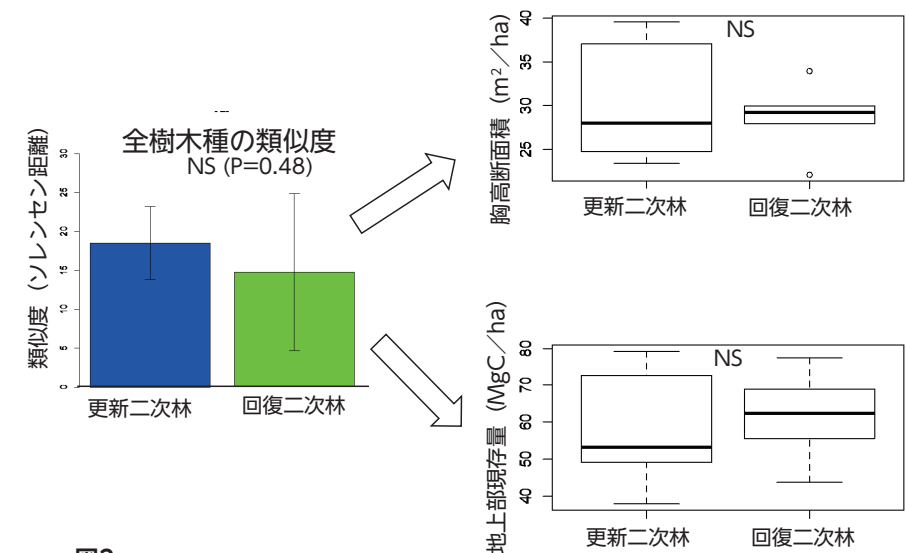


図2 天然更新した二次林と劣化から回復した二次林の生物多様性と炭素
NS:両者には差がありません。

表1 日本版ハビタットヘクトール法*の提案

	元の項目	日本版の項目	修正内容
立地条件 評価	大径木（個体数と健全度） *樹高から算出	同左	“大径”のサイズを樹洞のできる直径30 cm以上とする。炭素評価にも利用
	林冠（被覆率と健全度）	同左	健全度を除く
	林床植生（生活型の数）	林床植生	種数・種組成などとする
	国内外来種を含む外来種（被度）	更新阻害要因	外来種から日本特有の更新阻害要因に変更（ササなどの更新阻害植生、シカによる食害）
	更新（更新の有無と多様性）	更新（更新の有無と階層構造）	若木（下層植生より大きく、林冠木に達しないサイズの個体）の種数と密度で判定
	リター（被覆率と在来種リターの割合）	リター（被覆率）	被覆率については斜度の影響を念頭に置く。
	倒木・落枝（長さ・大型の有無）	倒木・落枝（サイズ、分解度）	太さのランクを下げ、枯死立木を含めることで、炭素評価にも利用

*ハビタットヘクトール法では、項目ごとに参照レベルを満点としたときのスコアを配点し、「スコアの合計×面積」をその生態系の合計得点とします。環境保全オフセットでは、開発地のスコア分以上が代償されることが求められます。

スギ花粉症対策に向けた新技術 ー菌類を活用して花粉の飛散を抑えるー

多摩森林科学園 窪野 高德

きのこ・森林微生物研究領域 服部 力・秋庭 満輝・高橋 由紀子

静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター 山田 晋也

富山県森林水産総合技術センター森林研究所 斎藤 真己

株式会社 ADEKA 本間 正敏 茨城スカイテック株式会社 鈴木 繁

スギ花粉発生源の新たな対策として、スギの雄花だけを枯らす菌類 *Sydowia japonica* (シドウィア菌) を用いて、短期間で80%以上の雄花を枯死させる孢子懸濁液を開発しました。また、孢子懸濁液を凍結乾燥することで粉末化し、実際に散布可能な防止剤として製剤化することに成功しました。さらに、実用的かつ効率的な散布施用法として、人力による地上散布法や無人ヘリコプターによる空中散布法を開発し、菌類を用いて人為的にスギ花粉の飛散を抑止できることを明らかにしました。

成果

菌類を用いたスギ花粉飛散防止対策

私たちは、スギの雄花だけに寄生するシドウィア菌を自然界で発見し、この孢子を用いて、短期間で雄花を枯死させる(図1) ことによって、花粉の飛散を抑える防止液(孢子10⁷個/cc + 5%大豆油 + 1.6%レシチン)を開発しました。そこで、この防止液を活用したスギ花粉飛散防止法の実用化を目指して「防止液の製剤化」及び「実用的な散布施用技術の開発」に取り組みました。

防止液の製剤化

シドウィア菌の孢子を人工的に散布するには、孢子を大量に作るシステムが必要です。ツアペックドクス培地を用いることで、約2,000～2,500 億個/Lの大量培養に成功しました(図2, 3)。さらに、培養したシドウィア菌の孢子を凍結乾燥することで、孢子の活性を失うことなく粉末化することに成功しました(図4)。これにより、孢子の常温または冷蔵の保存が可能になり、防止液の製剤化に目処が立ちました。

防止液の花粉飛散抑制効果

防止液を散布した枝と散布しない枝の花粉飛散量を「袋がけ法」によって比較しました。防止液を11月に散布すると90%以上の雄花が枯死することにより、散布しないスギに比較して花粉飛散量を3%程度まで、12月に散布した場合は17%程度まで抑制することができました(図5)。

人力による地上散布法

公園や社寺林等の小規模植栽地のスギを想定して地上散布法を検討しました。1枝あたり雄花序が10～100本形成されたスギ壮齢林で、噴霧器を使って防止液を「50cc/枝」散布した区では、80%程度の雄花序の枯死率が得られました(表1)。

無人ヘリコプターによる空中散布法

無人ヘリコプターを用いることで、高い位置にある雄花への散布(図6)や短時間の散布を可能にするため、従来の農業散布用無人ヘリで用いられてきたノズルの仕様を改良し、スギ林に効果的に散布する飛行法を検討しました。この結果、スギ林縁部に対して、高さ5 m、幅5 mの範囲に防止液6 Lを散布した結果、80%以上の雄花を枯死させることに成功しました(表2)。

今後の課題

この研究では、スギ花粉の飛散防止液を製剤化するとともに、無人ヘリによる空中散布施用が可能であることを明らかにしました。実用化のためには、薬効を最大限に発揮する散布量の決定や微生物農業として登録する試験など、まだまだ研究開発すべき課題が残されています。私たちは、今後も、これらの課題を解決してスギ花粉飛散防止液の実用化につなげる技術開発に取り組んでいきます。

研究資金と課題

本研究は、農林水産業・食品産業科学研究推進事業「菌類を活用したスギ花粉飛散防止液の高度化と実用的な施用技術の開発」(課題番号26075C)による成果です。

専門用語

ツアペックドクス培地：有機物はショ糖のみ、他は無機塩類のみで構成されている合成培地。

袋がけ法：雄花の着花した枝にグラシン紙で作成した袋をかぶせ、水差しして開花を促した後に、開花した雄花から花粉を収集する方法。



図1 防止液の散布によって枯死した雄花序



図2 孢子を大量に生産するジャー培養装置

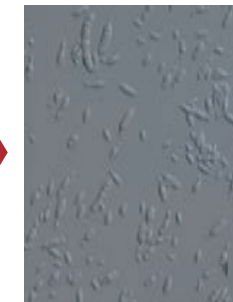


図3 大量に生産された孢子 (2000～2500億個/Lまで製造を可能にした)



図4 粉末化した孢子

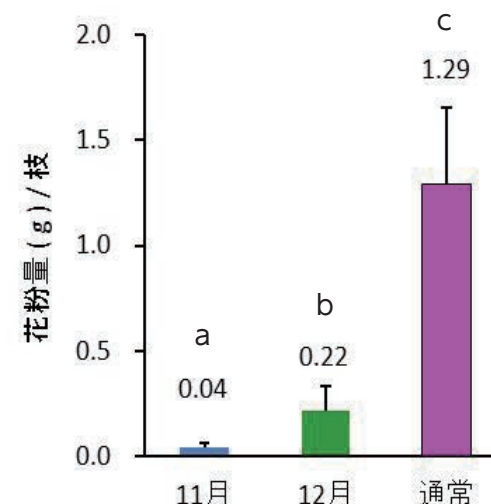


図5 防止液を散布したスギ枝と通常(散布なし)の枝の花粉飛散量の比較
異なるアルファベット間には有意差あり (P<0.01)



図6 無人ヘリによる林縁部への散布試験

表1 人力による雄花序への防止液の薬効試験

月・散布量	枯死率 (%)		
	10雄花序未満/枝	10以上100雄花序未満/枝	100雄花序以上/枝
11月・100cc	94	88	54
12月・100cc	47	38	55
1月・100cc	21	25	30
11月・50cc	69	79	58
12月・50cc	44	26	27
1月・50cc	44	19	23

* 噴霧器による散布

表2 無人ヘリによる雄花序への防止液の薬効試験

	枝1	枝2	枝3	枝4	枝5	平均
弱散布区 (弱日照)	3.69	6.84	18.08	30.68	46.80	21.21
弱散布区 (強日照)	11.40	56.46	85.51	98.48	98.52	70.12
強散布区 (弱日照)	9.07	29.33	41.16	41.77	76.39	39.54
強散布区 (強日照)	0.26	54.59	72.50	74.37	98.27	60.00
無散布区	0.00	0.00	0.34	1.42	3.56	1.06

* 弱散布区(6L/25m²)及び強散布区(12L/25m²)とも高い頻度で枯死率が得られました。
強日照区：日向部の雄花序、弱日照区：日陰部の雄花序

トドマツ人工林の造林適地をマップ化する

北海道支所 津山 幾太郎・石橋 聡

北海道のトドマツ人工林は、その多くが主伐期を迎えており、伐採後の再造林における最適な管理手法を特定することが重要な課題となっています。そこで、トドマツ人工林の造林に適した環境条件と、その分布を地理的に明らかにすることを目的に研究を行いました。その結果、広域なスケールでは、温暖かつ夏期降水量が多く、火山灰地や花崗岩地といった特定の地質以外の場所が、トドマツの造林適地であることが分かりました。また、詳細なスケールでは、北東斜面が特に好適な一方、過湿な場所は不適なことが分かりました。地理的には、十勝や渡島・檜山の低地などが好適な一方、高標高域や、宗谷や根室などは不適なことが示唆されました。

成果

林業樹種としてのトドマツ

トドマツは、北海道に自生するマツ科モミ属の針葉樹で、北海道における主要な造林樹種です（図1）。現在、トドマツ人工林の多くが30～50年生に集中しており、主伐対象となる林分の面積が急速に拡大しつつあります。トドマツは、寿命が比較的短く、材質の劣化が早いうえ、施業時の傷などによる材腐朽が入りやすいことから、伐期を迎えた林分の速やかな主伐とその後の再造林が喫緊の課題です。主伐後の適切な再造林を検討する上で、トドマツの成長がどのような環境条件で良いのか、それが地理的にどのように分布しているのか、を明らかにする必要があります。

どのような条件が好適なのか？

そこで私たちは、国有林と民有林のトドマツ人工林に関する1,442地点のデータと、各地点における気温や降水量などの気候データや地質・土壌データ、地形データといった環境要因に関するデータを用いて、回帰樹モデルと呼ばれる統計モデルを構築し、トドマツ人工林の造林適地となる環境条件を明らかにしました。トドマツにとっての好適さの指標には、成長の良さを示す地位指数を再区分した値を用いました。その結果、気候や地質・土壌的には、温暖で、夏期降水量が多く（図2）、火山灰地や花崗岩地、結晶片岩地以外の場所が好適であることが分かりました。また、地形的には、北東斜面が特に好適であることが明らかになりました。これは、これまで林業関係者の間で経験的に言われてきたことと合致する結果です。一方で、低温かつ乾燥した地域や、地形的に水が集まりやすく過湿になりやすい場所は、不適なことが示唆されました。

どこが好適なのか？

次に、先ほどのデータと、ランダムフォレストという、回帰樹モデルの発展型で、より高精度な分布予測が可能

な統計モデル（モデルの当てはまりの良さを示す決定係数は0.89）を用いて、北海道におけるトドマツ人工林の造林適地を予測しました（図3）。その結果、十勝南部、渡島・檜山の低地、日高西部や留萌の低地などが、適地と予測されました。一方、道内の高標高域や、宗谷、根室、胆振の一部などは、低温と乾燥、あるいは火山灰地であることにより、不適地であることが示唆されました。

主伐後の施業法選択への応用

本研究で明らかにした、トドマツ人工林の造林適地の条件と地理的な分布は、トドマツ人工林主伐後の次代林分の施業方法を選択するための基盤情報となります。さらに、主伐費や育林費などの情報を加味することで、経営的指針を提示することができ、より現実的な次代林分の施業方法の提案ができます。

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「トドマツ人工林主伐に対応した低コスト天然更新施業・管理システムの開発」による成果です。

専門用語

回帰樹モデル：対象とするデータを、気候や地形といった説明変数の値によって、2群のデータに分割していくことによって得られる統計モデル。データのおおまかな傾向を掴む上で優れた手法。

地位指数：対象とする林分における、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。古くから、対象地における造林の好適さの指標として用いられる。

ランダムフォレスト：元データから復元抽出を繰り返して大量のデータを生成し、それぞれで回帰樹モデルを構築して集計する、集団学習と呼ばれる手法による統計モデル。回帰樹モデルなどの単一のモデルに比べ、推定精度に優れる。



図1
トドマツ人工林の様子
56年生のトドマツ人工林（下川町）。

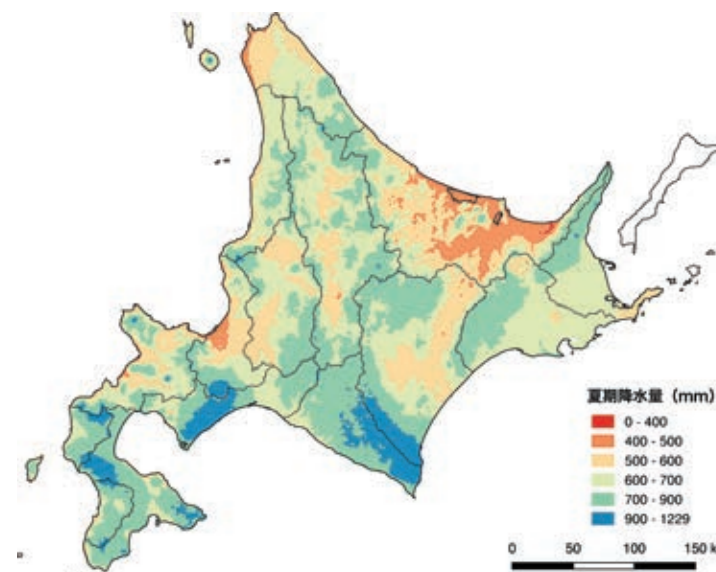


図2
北海道における夏期（5月～9月）降水量の分布
夏期降水量は、トドマツ人工林の造林を行う上で重要な要因の一つです。

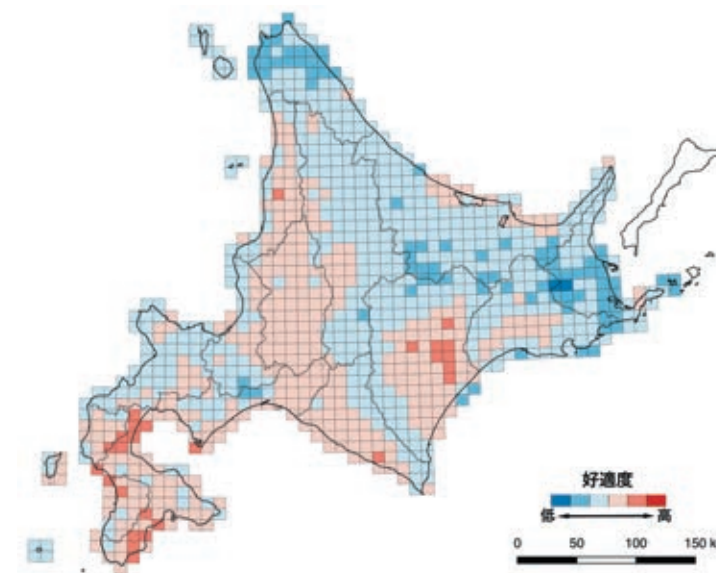


図3
トドマツ人工林の適地予測マップ
予測結果を2次メッシュ（約10km四方）単位で表示したマップ。十勝南部、渡島・檜山の低地、日高西部や留萌の低地などが、適地と予測されました。

大径材生産に向けた造材機械の作業限界の解明

林業工学研究領域 山口 浩和・伊藤 崇之・有水 賢吾・猪俣 雄太・毛綱 昌弘
鈴木 秀典・中澤 昌彦・山口 智・宗岡 寛子・佐々木 達也
吉田 智佳史・田中 良明・上村 巧・陣川 雅樹

富山県農林水産総合技術センター森林研究所 図子 光太郎・相浦 英春

人工林が成熟し大径化すると、従来の林業機械では対応できなくなります。そこで本研究では、今後の機械導入に向けたデータを得るため、現在一般に普及している造材機械が、安全かつ能率的に大径材を生産するための作業限界を明らかにしました。作業限界は、機体の重心計測から求めた安定性、機械の諸元から計算される作業能力、さらには造材作業の観測から推定した機械に作用する外力により決定されます。これらの関係をシミュレートし、処理する伐倒木の大きさに応じた最大作業半径を求めることができました。このシミュレーションは、安全作業のための機械設計や作業指針の作成等に役立ちます。

成果

大径木生産に対応する造材機械の課題

ハーベスタやプロセッサ等の造材機械は、集材された伐倒木を枝払いし、一定の長さに切って丸太にする工程を1台で行う林業機械です。日本国内では、油圧ショベルをベースマシンとして、バケットの代わりに専用の作業機を取り付けて作業を行うことが一般的です（図1に示す機械）。これまで間伐作業が中心であったため、造材機械で処理する対象は比較的細い木でした。しかし人工林が成熟し、今後は大径木が収穫の対象となることから、機械の安定性や能力面で、これに対応できる造材機械の諸元を明らかにする必要があります。そこで本研究では、従来サイズの機械が、安全かつ能率的に大径材を生産するための作業限界を明らかにしました。

外力と最大作業半径のシミュレーション

機械の作業限界は、外力によって機械が転倒しないで作業が行える最大作業半径（安定限界）と、機械自身の能力によって仕事を行うことができる最大作業半径（能力限界）のうち、より小さい方となります（図1）。まず、機械の重心計測を行い、機械の進行方向に対して前後方向、横方向それぞれについて、最大吊上げ荷重と安定限界の関係を明らかにしました。次に、作業機や大径木を吊上げる動作を行う油圧シリンダの力から最大吊上げ荷重と能力限界の関係を明らかにしました。これらの結果から、機械に加わる外力と最大作業半径との関係をシミュレーションしました。

作業時に機械に作用する外力の推定

実際の作業にシミュレーションを適用するためには、

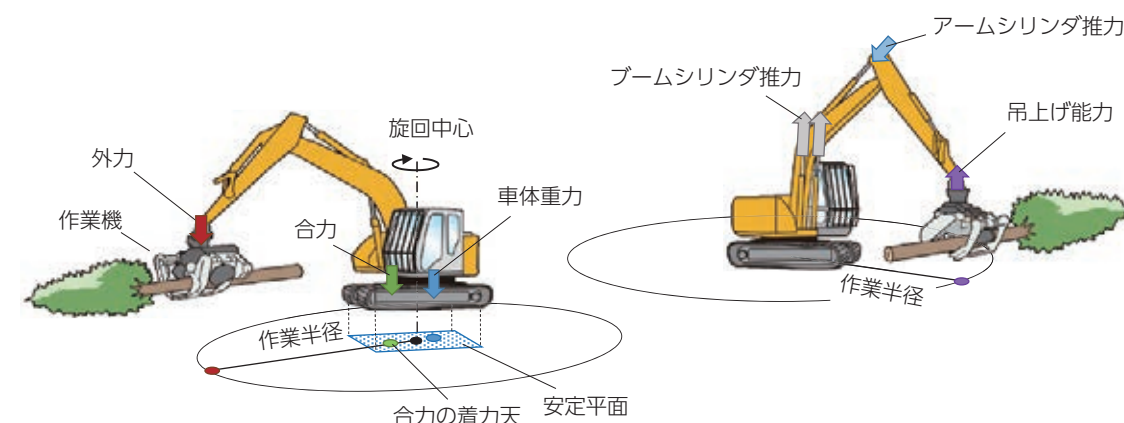
機械に作用する外力を求める必要があります。しかし、機械に外力を計測するための装置を取り付けることは困難です。そこで、胸高直径と質量が分かっている伐倒木を用いて、作業中の造材機械と伐倒木の動きを3次元動作解析することにより、機械に作用する外力および慣性力を推定しました（図2）。

大径木の大きさに応じた作業範囲

本研究により、大径木を処理する作業について、木の大きさや機械の向きに応じた最大作業半径をシミュレーションから求めることができるようになりました（図3）。作業の方向は、機械の進行方向に対して横方向よりも前後方向の方が倒れにくいことが分かりました。一方、安定性の高い前後方向での作業でも、木が太くなると持ち上がらない場合があることが分かりました。しかし、多くの場合、機械の安定性よりも機械の能力の方が大きいので、作業中に機械が転倒する可能性があることが明らかとなりました。これらのことから、現在普及している機械で安全に作業を行うためには、作業限界を知らせる警報装置や安定性を高めるためのアウトリガ（横に張り出す足）などによる改良が必要になる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「大径・長尺材に対応した新たな生産技術の開発」による成果です。



●安定限界

車体重力と機械に作用する外力をたし合わせた合力が、車体の安定平面内にあれば転倒しません。しかし、腕を伸ばして作業したり、重い伐倒木を持ったりすると転倒してしまいます。伐倒木の重さに応じて、転倒しない最大の作業半径を安定限界と定義します。

●能力限界

機械は、油圧シリンダの力を使って作業を行います。木が重いと機械の能力を超えてしまい、持ち上げられない場合があります。木の重さに応じて、持ち上げられる最大の作業半径を能力限界と定義します。

図1

造材機械の安定限界と能力限界

●動画上での作業機（マーカー）の追尾



●作業機の3次元軌跡算出

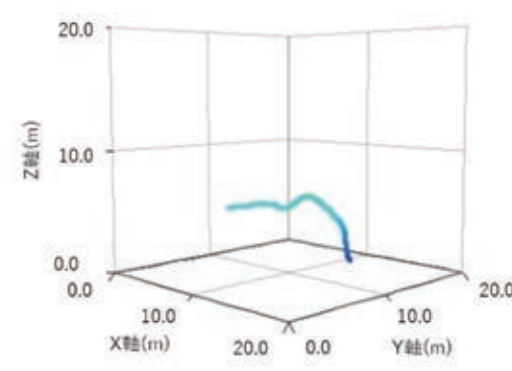


図2

造材機械の3次元動作解析結果

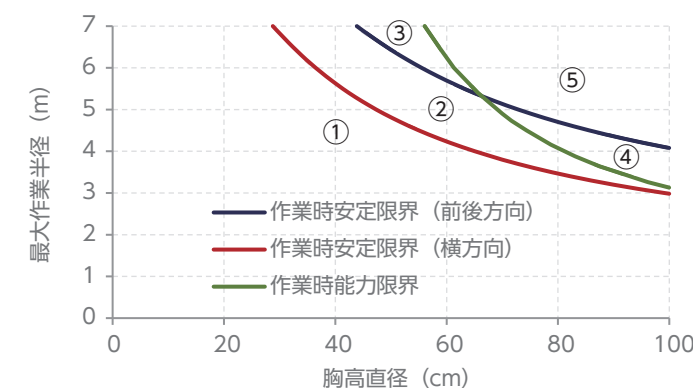


図3

伐倒木の大きさ（胸高直径に換算）に応じた最大作業半径

歴史から展望する木材産業のこれから

北海道支所 嶋瀬 拓也

国内木材産業とその国産材回帰の動きについて今後の見通しを得るため、製材業・合板工業の歴史を振り返りました。1960年代、木材輸入が本格化し、多様な原木が入手可能になると、各企業は、それらの原木を使って様々な製品を作り始めました。しかし、その後しだいに、原木ごとの特性を生かせる製品に特化して競争力を高めた企業や産地だけが存続し、発展するようになりました。2000年代以降、原木の輸入が難しくなり、国産材への切り替えが進んでいますが、原木の特性を生かすことが企業や産地の存続・発展に直結してきた歴史を踏まえると、以前よりも狭まった原木の選択肢の中から、原木と製品の新たなマッチングを探るような形で産業の再編が進むことが予想されます。

成果

国産材への回帰が進んでいる

国内木材産業には、2000年頃から、国産材へと回帰する動きが鮮明になっています。2000年から2015年にかけて、林産工場が入荷した原木に占める国産材の比率は、製材用が48.2%から74.2%に、合板用が2.6%から79.6%に高まりました。これは、国内人工林資源の成熟が進んだ一方で、ロシアの丸太輸出税引き上げ（2006年～）や中国の木材需要の高まりなどにより輸入材の調達が難しくなってきたためです。

この動きの今後を見通すためには、かつて、なぜ国内木材産業が輸入材へと向かったのか、輸入材をどのように使ってきたかを詳しく知る必要があります。そこで、輸入材の利用が急増した1960年代初めから今日までの国内製材業・合板工業の歴史を、その原木利用の変化に留意しつつ振り返りました。

輸入材は単に量の不足を補っただけではなかった

木材輸入が本格化した1960年代、製材各社は、世界各地から集まる多様な原木の中から、より有利な条件で安定的に調達できそうな原産地・樹種・サイズの原木をそれぞれに選び、様々な製品を作り始めました。しかしその後、原木ごとの特性に合った製品を生産する企業がより多く存続し、発展していき、原木の樹種に対応する形で製材業の分化が進みました（図1、表1）。これは、市場競争の結果と考えられます。さらに、生産品目を同じくする企業や産地の間でも競争が生じ、利用樹種・生産品目ごとに少数（全国に数か所）の主産地が形成されました（図2）。

合板工業では、利用原木と生産品目の関係はさらに鮮

明です。1990年代半ばから進んだ南洋材（熱帯産広葉樹）から北洋材（針葉樹）への原料転換の際は、かつての主力であったコンクリート型枠用や内装用から、住宅の床や壁として使われる構造用への切り替えが急速に進みました（図3）。針葉樹材では材質的に対応が難しかった型枠用や内装用の分野を手放す一方、針葉樹材の加工・利用技術向上によって構造用の分野での競争力を身に付け、短期間のうちに輸入製品との新たな棲み分け構造を確立しました（図4）。

国産材の一層の有効利用に向けて

以上にみたとおり、製材業・合板工業とも、市場競争を通じて、原木の特性を生かした製品への特化が進みました。競争の力は、国産材回帰が進む中でも当然に働きます。すなわち、輸入材の入手が難しくなり、以前より狭まった選択肢のもと、原木と製品の新たなマッチングを探るような形で産業の再編が進むことが予想されます。マッチングがうまくいかなければ、輸入木材製品や、木材以外の製品に置き換わっていくこともありえます。

このように、歴史を振り返ることで、展望と課題がよりはっきりとみえてきました。輸入材の縮小によって市場に生じたスペースを国産材がよりスムーズに埋めていけるよう、また、国産材の特性を生かせる新たな用途が見出されるよう、研究や行政には、技術や製品の開発、原木安定供給体制の構築などの面でのサポートが求められます。

文献

嶋瀬拓也（2017）林業経済研究 63(1)：3-14.

嶋瀬拓也（2017）日本中小企業学会論集 36（印刷中）

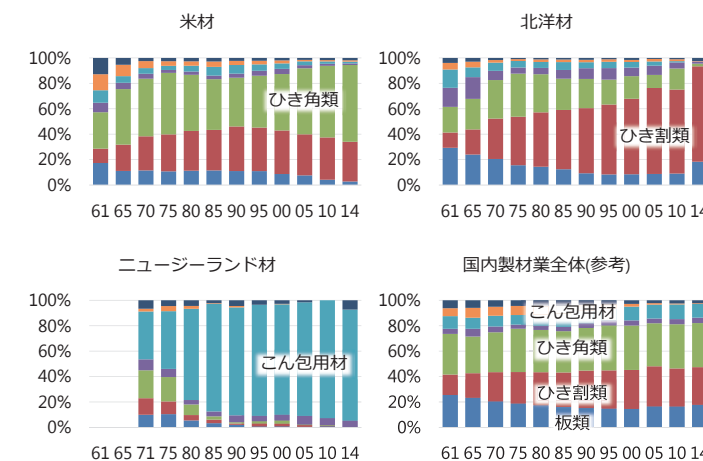


図1 原木別にみた用途(品目)別製材出荷構成の推移
どの素材も、しだいに特定の生産品目に集中していきました。

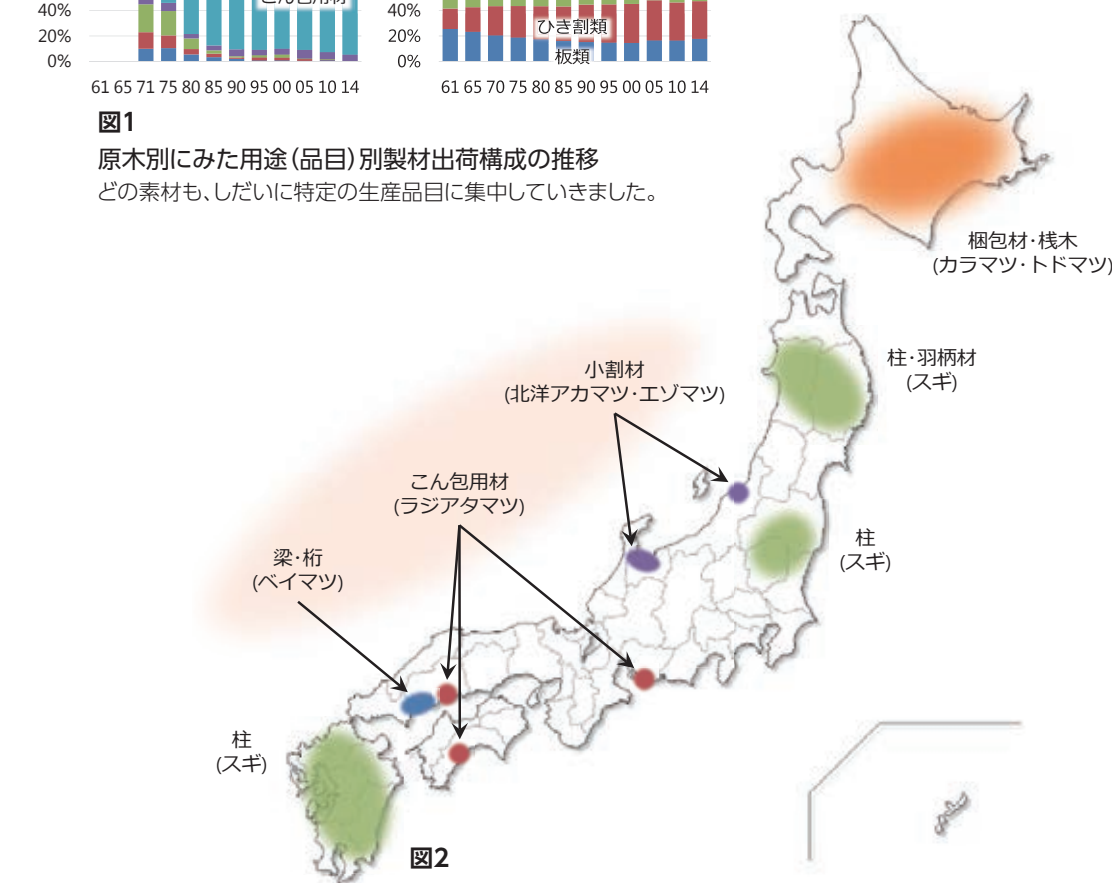


図2 製材業の産地構造(2005年頃・一部省略)
素材の特性を生かした品目に特化し、主産地を形成しました。

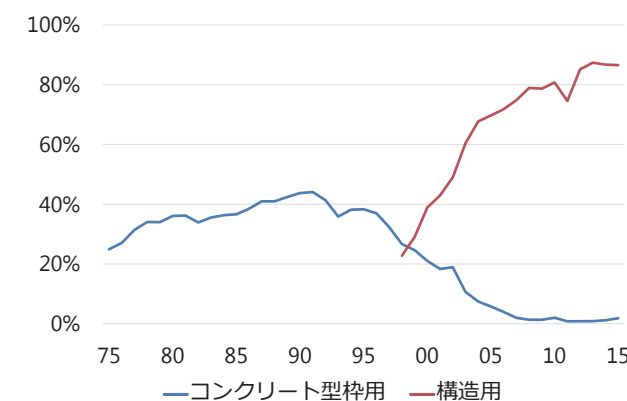


図3 用途(品目)別にみた合板生産構成の推移
構造用への切り替えは、広葉樹から針葉樹への原料転換に合わせて極めて急速に進みました。

表1 製材品の用途(品目)と主な利用樹種
その樹種が選ばれたのには、理由があります。

品目	求められる性質	主な樹種
柱(正角)	寸法安定性	スギ ヒノキ
梁・桁(平角)	曲げ強度	ベイマツ
小割材	材質の緻密性・均一性	北洋アカマツ 北洋エゾマツ 道産カラマツ ラジアタマツ
こん包用材	低価格・ある程度の強度	

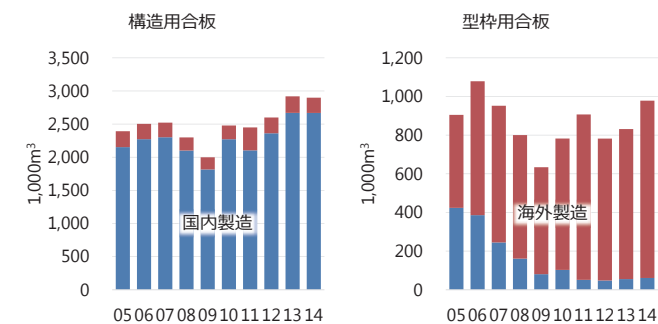


図4 国内・海外別にみた合板の日本農林規格(JAS)格付数量の推移
構造用に特化することで輸入品との棲み分け構造を確立しました。

木質バイオマス資源作物としてのヤナギ栽培の実用化

植物生態研究領域 韓 慶民・宇都木 玄

北海道支所 原山 尚徳・上村 章・北尾 光俊

地球温暖化等環境問題の解決に向けて、バイオマスエネルギーの利用が注目されています。木質バイオマス資源植物として、諸外国ではヤナギの利用が進んでいます。日本でヤナギを実用化するためには、生産コストの低減と収量の増大などが急務になっており、とりわけ雑草駆除がその鍵を握っています。寒冷な北海道下川町において、農業用マルチを設置するとともに、マルチとマルチとの間の除草を行うことで、年間のバイオマス収量が約10トン/ha/年に達しました。さらにヤナギの穂の挿し付け深を調整することで、生産量が增大することも分かりました。この成果で、ヤナギの栽培技術の実用化に一步近づきました。

成果

持続的な木質バイオマス資源

地球温暖化や資源の枯渇、生態系の劣化など環境問題の解決のために、化石燃料を代替するバイオマスエネルギーの有効利用が注目されています。そのための木質バイオマス資源作物としては、ポプラ、ドロノキ、ヤナギ、アカシア、ユーカリなどの樹木の利用について研究が進められ、その潜在的な生産能力に期待がよせられています。さらに2012年7月に制定された固定価格買取制度(FIT) が起爆剤となり、広く木質資源の需要が一気に高まっています。

雑草駆除の低コスト化がヤナギ栽培実用化の鍵

森林総合研究所と北海道下川町は、萌芽再生が容易で初期成長が旺盛なヤナギに着目し、未利用地等を活用したヤナギ畑の作出研究を、2007年から共同で開始しました。この研究では、寒冷地で可能なヤナギの乾物収量(ヤナギ収量)の目標値を10 トン/ha/年と設定しました。この中で、優良クローンとしてエゾノキヌヤナギとオノエヤナギを選抜し、挿し穂作りから収穫までの栽培システムを確立しました。しかし、生産コストが高く、実用化には至っていませんでした。

最大の課題は、雑草との競合によりヤナギ収量が大きく低下することでした。さらに海外の事例からは、挿し穂を挿し付ける深さもヤナギの収量に大きな影響を及ぼすことが分かりました。そこで、農業用マルチを用いて雑草を抑制、駆除する方法でヤナギ収量の増大を試みるとともに、適切な挿し付け深を明らかにする試験を行いました。

農業用マルチの設置及び除草によって生産目標を達成

この試験では、耕耘した未利用地にエゾノキヌヤナギとオノエヤナギの挿し穂を植えて、農業用マルチの設置の有無、マルチ設置区ではマルチ間の除草の有無、とい

う三つの処理区を設け、3年後に収穫量を評価しました(図1)。3年後に収穫したヤナギの乾物収量を比較したところ、マルチの無い対照区では挿し穂の活着率が低く、収量は0.46トン/ha/年でした(図2)。マルチの設置区では、挿し穂の活着率は高くなりました。しかし、雑草を除去しないとマルチとマルチの間に雑草が茂り(図3)、水分や栄養を奪い合う影響もあり、ヤナギの収量は6.9トン/ha/年にとどまりました。一方、マルチ間を除草した区では、さらに収量は増大し、生産目標である10トン/ha/年を超えました。

挿し付けの深さがヤナギ初期生産に及ぼす影響

挿し付けには、これまで20cmの挿し穂を植えることが推奨されています。そこで土壌に18cmほど深挿した穂と、10cmの浅挿した穂を比較したところ、前者の方が初期生産量は後者より40%高いことが分かりました(図4)。この原因には、深挿すると、穂の大部分が土壌と密接して乾燥しにくいことや、土壌水分が多い深層に根系を分布できたことが考えられます。

本研究の成果は、ヤナギの栽培技術の実用化につながるもので、今後の木質バイオマスの生産拡大と安定供給の推進に貢献します。

文献

Han, Q. *et al.* (2017) The effect of the planting depth of cuttings on biomass of short rotation willow. J. For. Res., 22 : 131-134.

専門用語

マルチ：農業で用いられる雑草防除や地温管理のために敷設するビニールシート。

固定価格買取制度(FIT)：エネルギーの買い取り価格を法律で定める方式の助成制度。



図1
農業用マルチの設置とヤナギの植栽

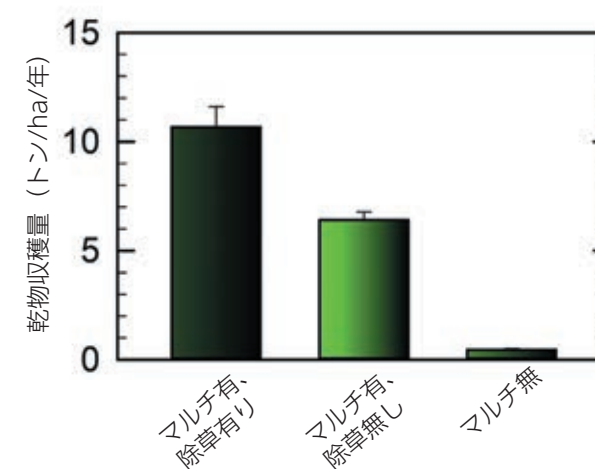


図2
ヤナギの乾物収量
農業用マルチの設置と除草を実施することで、ヤナギの乾物収量目標値の10トン/ha/年を達成できることを実証しました。



図3
マルチとマルチの間に茂る雑草によりヤナギの乾物収量が大きく低下する

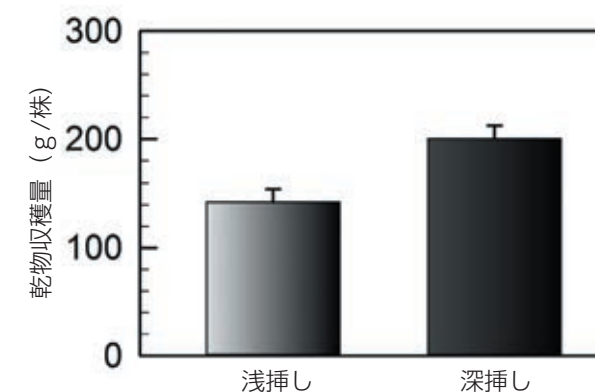


図4
深挿しのほうが浅挿しよりヤナギの乾物収量が高い

木材の水分バランス

木材加工・特性研究領域 齋藤 周逸 東京大学大学院農学生命科学研究科 信田 聡

近年大幅に観測地点数が増えた気象データに基づいて木材平衡含水率を求め、全国分布図として精度よく可視化して地域性を明らかにし、これまで使われてきた木材平衡含水率と比較しました。木材平衡含水率は季節や場所によって変化し、その年平均は12～19%（平均15%）でした。全国平均15%という値は都市部のみで求めた従来の全国平均値と変わりませんが、今回求めた都市部のみの平均は13%であり、都市部で木材平衡含水率が低下していることが分かりました。この成果は、各地域での天然乾燥時の基礎データとなり、また輸入品を含めた木材製品の品質管理にも役立てることができます。

成果

木材平衡含水率とは

木材を長時間にわたり大気中に放置すると、含有水分が一定値に近づき、平衡状態に達します。この時の含水率を木材平衡含水率と呼びます。木材平衡含水率は、温度と相対湿度の気象データから算出できます。日本国内各地の気候条件は異なり、温度と相対湿度が異なるので、屋外における木材平衡含水率はその影響を受け、各地で異なります。気象データから求めた木材平衡含水率は、温湿度が変動する中で木材が実際に平衡になる含水率と厳密には一致しませんが、その場所に十分な時間放置された木材が到達する含水率の目安となります。これまで、木材平衡含水率は、日本では平均15%、欧米では平均12%とされていました。

木材平衡含水率を知る意義

日本国内各地の気候条件が異なることから、木材を天然乾燥する場合の到達含水率は異なってきます。木材を放置した状態では木材平衡含水率以下に含水率が低下することがないので、この数値は各地域での天然乾燥時の目安となります。

気乾状態の木材は、含水率が減少すると収縮し、増加すると膨潤して寸法変化が生じます。建築用構造材、内装材、家具、楽器等の最終製品により、要求含水率、許容寸法変化が異なるため、木材製品製造者はそれぞれに求められる含水率に調整しなければなりません。また、木材平衡含水率が各地域の気候や使用場所により異なるため、木材製品製造者はそれを考慮して木材製品の含水率調整、保管、管理をする必要があります。このようなことから、日本国内各地の木材平衡含水率を把握することは、国産だけでなく輸入品を含めた木材製品の品質管理をする上で重要となります。

日本の木材平衡含水率の可視化

近年、気象観測システムが充実し、気象データの観測地点や経年値等の数は大幅に増えました。そこで、全国842地点のアメダス気象データの温度と相対湿度に基づいてそれぞれの地点での木材平衡含水率を算出しました。

これにより、日本全国平均の木材平衡含水率の精度が高まりました。

日本の気候条件は季節ごとに変化するので、木材平衡含水率の全国平均は図1のように季節変動をします。その年平均は15%であり、戦前から使われている木材平衡含水率と変わりありませんでした。

また、図2に示すように、木材平衡含水率を全国分布図として精度よく可視化し、地域性を明らかにしました。日本の木材平衡含水率は、地域によって異なり、12～19%という幅広い範囲にあることが分かりました。

都市部の木材平衡含水率は低下傾向に

従来の木材平衡含水率15%という値は、都市部のみで測定した木材平衡含水率の平均値でした。その測定地点と同地点で今回算出した木材平衡含水率の平均は13%台で、低下していることが分かりました。この要因の一つとして、都市部では気温上昇と相対湿度低下の傾向がみられることが考えられます。

都市部の木材平衡含水率が低下傾向にあるのに、今回の木材平衡含水率の全国平均の評価では15%と戦前から使われている値と同様の値となった理由として、増加した測定地点の影響が考えられます。木材平衡含水率の比較的高い寒冷地や山間部等が測定地点に追加されたため、それらの木材平衡含水率の値と低下傾向にある都市部の値が相殺されたと考えられます。

おわりに

木材平衡含水率は、天然乾燥時の基礎データとなり、また輸入品を含めた木材製品の品質管理の重要な指標となります。本成果において、木材平衡含水率を全国分布図として精度よく可視化して地域性を明らかにしたことにより、地域ごとのきめ細かな木材製品の品質管理が可能となります。

文献

齋藤周逸・信田 聡 (2016) 日本の気候値平衡含水率．木材学会誌, 62：182-189.

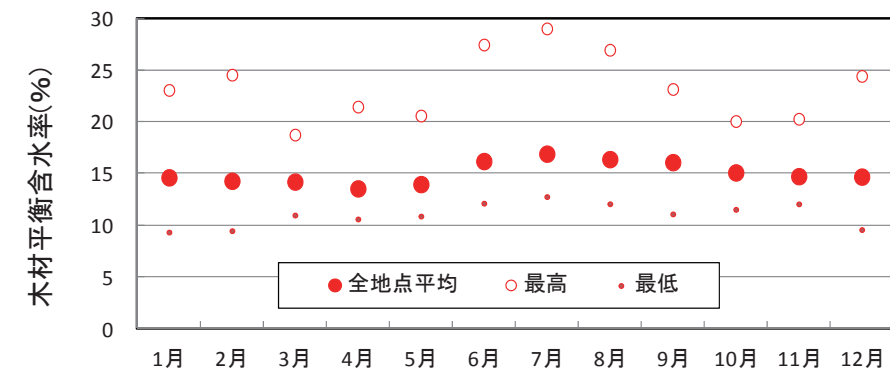


図1
日本の月別木材平衡含水率変動

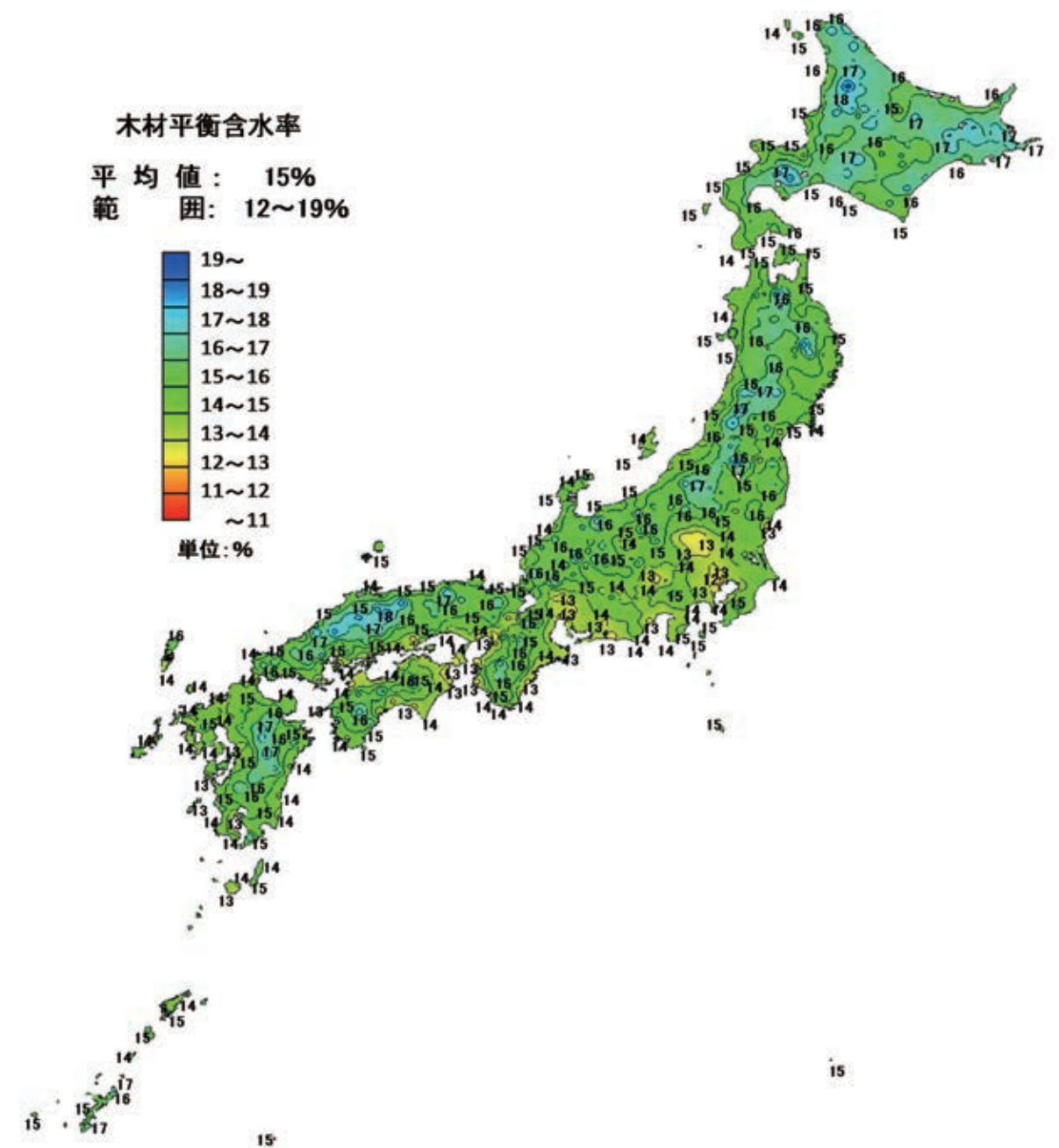


図2
日本の年間木材平衡含水率分布

平成28年(2016年)熊本地震では 中規模木造建物に大きな被害は出ていなかった

複合材料研究領域 新藤 健太 構造利用研究領域 軽部 正彦・野田 康信

木材改質研究領域 大村 和香子・神原 広平

熊本県林業研究指導所 荒木 博章・平田 晃久・三井 幸成・池田 元吉

平成28(2016)年4月に発生した熊本地震では、熊本県益城町で地震観測史上初めて震度7が続けて2回記録されるなど、広い地域で木造建物等に大きな被害が発生しました。森林総合研究所では、震度7を観測した益城町や西原村のほか、熊本市や周辺地域の木造建物の被害状況について調査を行いました。その結果、昭和56(1981)年に強化された建築基準法の耐震基準を満たしていない木造住宅等に大きな被害が発生していた一方、新しい耐震基準を満足するように構造設計された中規模木造建物では、大きな被害は発生していないことが分かりました。

成果

調査した建物位置と概略

森林総合研究所では、震度7を観測した益城町や西原村のほか、熊本市や周辺地域の木造建物の被害状況について調査を行いました。調査した各建物の概要を表1に、建物の地理的な位置を図1に示します。調査は、昭和56(1981)年以降の新しい耐震基準によって構造設計された中規模木造建物を対象に、延べ15物件の被害調査を行いました。このうち図1のA～Cの公共建物について、ここでは取り上げます。

中規模建物の被害と補修の状況

Aは熊本市東区（最大震度6強）の学校体育館です。1989年建設（築27年）の鉄筋コンクリート造2階建ての建物で、屋根だけが木造で、スギ製材を重ねてボルトで一体化させたはりが使われています。図2（右下）のように、壁の頂部で木造の屋根を留めつけている部分のボルトが変形して、周囲のモルタルも割れていました。熊本地震発生約半年後（以下「半年後」）には割れたモルタルを再充填して、補修が完了していました。

Bは西原村（最大震度7）の社会教育施設です。2010年建設（築5年）のスギ大断面集成材による木造2階建ての建物です。震度7を記録した地域であったにも関わらず、図3のように、建物を構成する木材にほとんど損傷は認められませんでした。建物形状が箱形の総2階建てで、強度のバランスがよく、ねじれにくい構造であったこと

が幸いしたものと考えられます。設備面では建物のすぐ脇に埋められていた浄化槽が、被害を受けたためトイレが使用できなかったほか、図3（左下）のようにガラス製の防煙垂れ壁が落下したとのことでした。

Cは熊本市南区（最大震度6弱）の図書館および児童館です。2013年建設（築2年）のスギ大断面集成材による木造平屋建ての建物です。この建物も木材には目立った被害が確認されなかったものの、図4のように柱・はりに囲まれた壁の内・外装材が脱落していました。半年後には建物の補修は完了していました。

安全で安心な建物を増やす

建物や街並みに大きな被害が発生してしまった今回の熊本地震ですが、現在の耐震基準によって構造設計し、かつ適切に施工された中規模木造建物なら、震度7の地震に耐える安全な建物であることが明らかになりました。一方で昭和56(1981)年に強化された建築基準法の耐震基準を満たしていない木造住宅等には課題があることが分かりました。

文献

(研) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2017/05/18) : <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/geonavi-link.html>

表1
建物の概要

No	建物用途	所在地	竣工年	最大震度	延床面積(㎡)	階数	木構造部材(樹種)
A	学校体育館	熊本市東区	1989	6強	2,970	2F	製材重ねばり(スギ)
B	社会教育施設	西原村	2010	7	694	2F	集成材(スギ)
C	図書館・児童館	熊本市南区	2013	6弱	1,881	平屋	集成材(スギ)

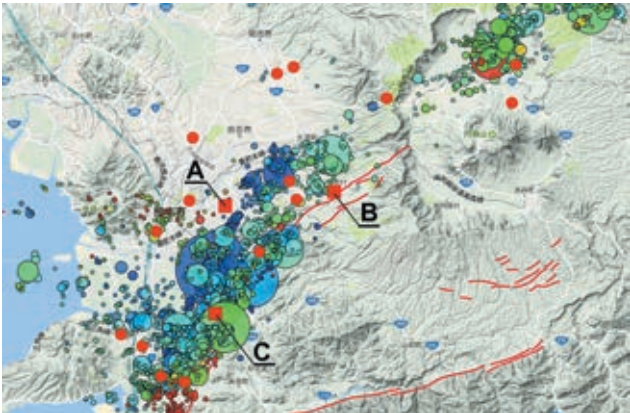


図1

建物の位置

((研) 産業技術総合研究所地質調査総合センター活断層データベース[文献]を元に加工)
図中の■、●は調査した建物の位置を示しています。また赤線は活断層を、赤・緑・青の丸は余震の震源分布を示しています。色は震源の深さを表しており、赤=5km以下、緑=9km程度、水色=12km程度、青=15km以上となっています。円のサイズは地震の規模を表しています。詳しくは、[文献]をご覧ください。



図3

建物Bの外観と落下した防煙垂れ壁（左下の赤線部分）



図2

建物Aの内観と被害状況（右下）



図4

建物Cの損傷した壁と外観（左下）

内装材が脱落した壁（正面奥の白い部分）。天井近くでは外装材も脱落したため外の光が透けています。

加工しやすく衝撃に強い木材・プラスチック複合材をつくる

木材改質研究領域 小林 正彦・片岡 厚

森林資源化学研究領域 久保 智史

木粉とプラスチックを加熱・混練して製造する木材・プラスチック複合材（混練型WPC）は、プラスチックよりも曲げ強度に優れ、木材よりも耐水性・耐朽性に優れることから、主にエクステリア資材として実用化されていますが、硬くて脆いという欠点を持っています。本研究では、化学的に改質した木粉を用いることで、これらの欠点を改善し、耐衝撃性能と伸び性能に優れたWPCを製造することができました。この成果により、今後、WPCの自由な加工が可能になり、様々な形状の建材、日用品、家電製品、自動車部品などへWPCの用途を拡大できると考えています。

成果

WPCの欠点を改善するために

木材・プラスチック複合材 (Wood Plastic Composites: 混練型WPC) は、木粉とポリプロピレンなどの熱可塑性プラスチックを加熱しながら混ぜ合わせ成形・製造する新しい木質系材料です。間伐材、林地残材などの未利用木材やプラスチック廃棄物を原料にできることから、環境適合型の新材料として注目されています。WPCは、プラスチックよりも曲げ強度に優れ、木材よりも耐水性・耐朽性に優れるため、主にデッキ材などのエクステリア資材として利用されています。しかしその一方で、衝撃強度や伸び性能が低く、硬くて脆い（折れやすい、割れやすい、欠けやすい）ため複雑な形状に加工しにくいという欠点を持っています。

これらの欠点を改善するためには、WPCの製造（加熱混練）時に、木粉とプラスチックとをよく馴染ませ、均一に混ぜる必要があります。しかし木粉の表面は水にぬれやすい性質（親水性）を持ち、水にぬれにくい性質（疎水性）を持つプラスチックとは、うまく馴染みません。

そこで私たちは、分子内に親水性と疎水性の両方の性質を持ち、界面活性剤としての作用を示すステアリルアルコールという溶媒を使い、図1に示す加溶媒分解法で木粉を改質することで、プラスチックとの馴染みの改善を試みました。

加溶媒分解法による木粉の改質

加溶媒分解法は、木材成分を分解すると同時に溶媒の一部を木材成分に付加させる処理方法です。

ステアリルアルコールを使って加溶媒分解処理したスギ木粉を顕微鏡観察した結果、多くの繊維が切断され微細化されていることが確認できました（図2）。さらに加溶媒分解処理した木粉表面を化学分析した結果、ステアリルアルコール分子の疎水性部分が付加して、木粉表面が疎水化していることがわかりました（図3）。

木粉の加溶媒分解処理がWPCの衝撃強度や伸び性能に及ぼす効果

表面が疎水化された加溶媒分解木粉とプラスチック（ポリプロピレン）を質量比1/1で配合して製造したWPCについて、衝撃試験と引張試験を行い、無処理木粉を同じ質量比で配合して製造したWPCと比較しました。衝撃試験の結果（図4）、加溶媒分解処理木粉を用いた場合には、無処理の木粉を用いた場合の約1.4倍の衝撃強度を示しました。また、引張試験の結果（図5）、加溶媒分解処理木粉を用いた場合には試験体が破壊するまでの変形量（ひずみ）が、無処理の木粉を用いた場合の約4倍となることがわかりました。これは、加溶媒分解処理木粉を用いた場合に伸び性能が向上したことを示しています。

以上の結果により、原料の木粉を加溶媒分解処理することにより、従来のWPCの硬くて脆いという欠点を改善し、耐衝撃性能と伸び性能に優れたWPCを製造できることがわかりました。

現在、混練型WPCの用途は単純な形状のエクステリア資材に限られていますが、本研究で得られた成果により、今後、複雑な形状の家電製品の躯体や建材、自動車部品、日用品などにWPCの用途を拡大できると考えています。

研究資金と課題

本研究は、JSPS 科研費（JP26450243）「木粉の加溶媒分解処理による混練型WPCの物性向上効果の解明」による成果です。

専門用語

熱可塑性プラスチック：熱を加えることで軟化し、冷やすと固まる性質を持つプラスチックの呼称。

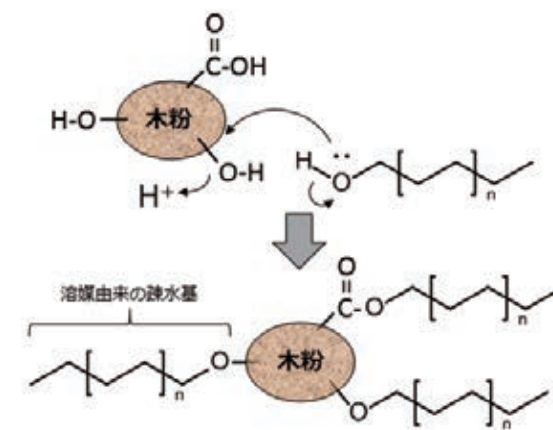


図1

加溶媒分解法による木粉の改質
親水性の木粉に溶媒由来の疎水基が付加することにより疎水性のプラスチックとの馴染みがよくなることが期待できます。

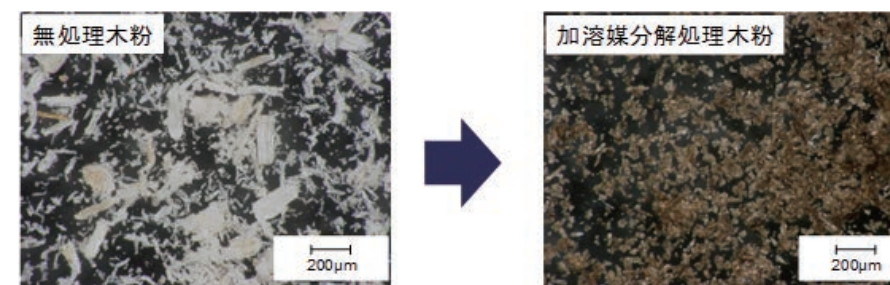


図2

加溶媒分解前後の木粉（左：無処理木粉、右：加溶媒分解処理木粉）の顕微鏡観察の結果

加溶媒分解処理により多くの繊維が切断され微細化される傾向がみられました。

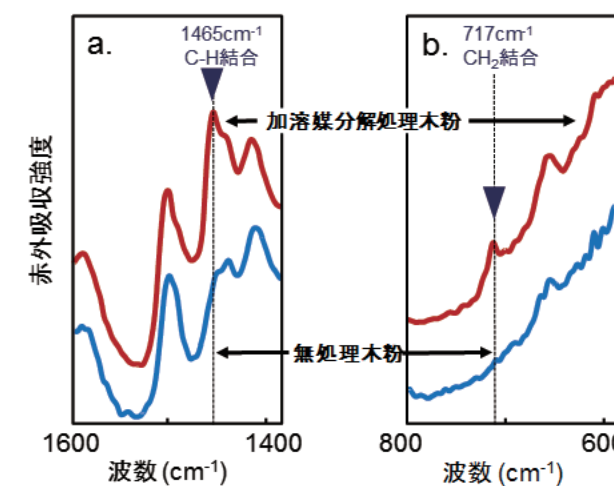


図3

加溶媒分解処理木粉（赤い線）と無処理木粉（青い線）の表面の化学分析結果
加溶媒分解処理木粉の分析結果には無処理木粉の結果には認められなかった、溶媒の付加に伴う赤外吸収ピーク（a. b.それぞれの矢印の部分）が認められました。

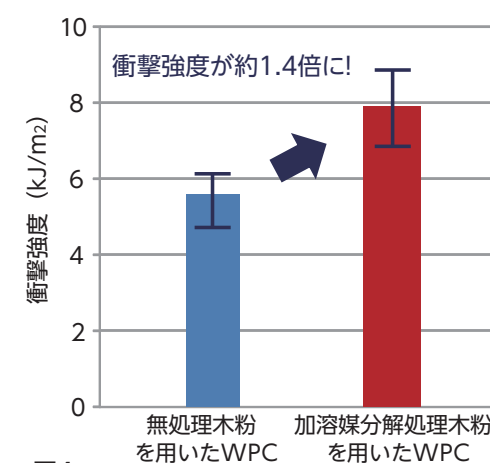


図4

加溶媒分解処理木粉を用いて製造したWPC（赤）と無処理木粉（青）を用いて製造したWPCの衝撃強度の比較

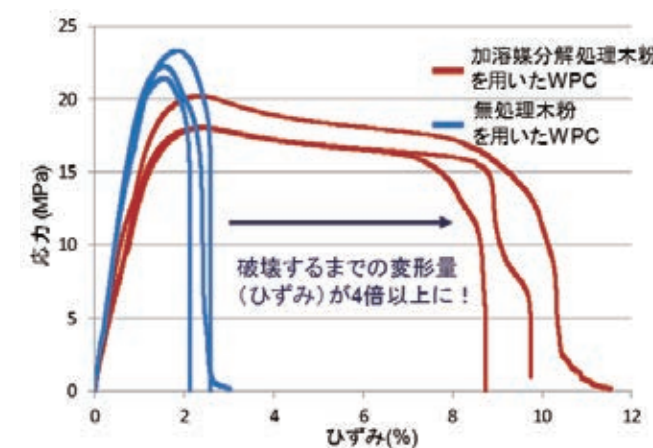


図5

加溶媒分解処理木粉を用いて製造したWPC（赤い線）と無処理木粉を用いて製造したWPC（青い線）それぞれの、引張試験により加えた力（応力）とそれによる変形量（ひずみ）との関係

木材中のリグニンを迅速に精度よく分析する 画期的な手法を開発

森林資源化学研究領域 山田 竜彦・山田 肇 木材加工・特性研究領域 山下 香菜

木質バイオマスの有効利用のためには、木材を構成する成分の量を把握する必要があります。しかし、木材の代表的な成分であるリグニンの従来の分析法には、薬品の取扱が煩雑で、手間と時間を要し、処理できるサンプル数も少ないという欠点がありました。そこで我々は、一度に多数のサンプルに対応できる安全で精度の高い分析法の開発に取り組みました。そして、木材全体を溶かす薬剤を導入した新しい迅速分析法を開発しました。処理は汎用の試験管内で行うので100を超えるようなサンプル数に一度に対応することができます。この手法は、既存の迅速分析法よりも精度に優れ、今後、リグニン分析の国際的な標準分析法としての展開が期待されます。

成果

木材は、セルロース、ヘミセルロース、リグニンという化合物の集合体で、例えば、スギ材であれば、約45%のセルロース、約20%のヘミセルロース、約30%のリグニンからなるとされています（図1）。しかし、これらは平均的な値で、個別の木材では、ばらつきがあります。木材の成分を利用するためには木材を構成する化合物を迅速かつ正確に把握する定量分析が重要です。木材成分の中で、セルロースやヘミセルロースは糖から構成される化合物です。一方、リグニンは糖とは大きく異なる構造のベンゼン環を持つ化合物で、糖類とは性質が大きく異なるため、その量を把握することが、木質バイオマスの有効な利用のために不可欠です。

リグニンの定量法で最も信頼性が高い手法に「クラークソン法」があります。これは、スウェーデンのクラークソン博士により20世紀初頭に開発された分析法で、木粉に濃硫酸を作用させて木材中の糖成分を除去し、残ったものを秤量する手法です。「リグニンは糖ではない」という特性に基づいた定量法で、リグニン量の基準値を示す標準的な手法です。しかし、濃硫酸を用いる処理に危険が伴い、また作業が煩雑で数をこなせないという難点があります。これまでも、クラークソン法の値に近く、かつ多数のサンプルに対応可能な簡易分析法が模索されてきました。そのうち最も汎用されるものに「アセチルブロマイド法」がありますが、これは、木粉を臭化アセチルの酢酸溶液で分解し、溶け出したリグニン量を紫外線（UV）吸光度で換算する手法です。多数のサンプルに応用できますが、薬品の臭気や安全性、データの精度に問題がありました。

私たちは、テトラブチルホスホニウムヒドロキシド（TBPH）という化合物に注目して、分析法を検討しまし

た。TBPHはイオン液体とよばれる化合物の一種で、匂いもなく取り扱いやすい液体で、木材を溶解する液体として知られています。分析には、蓋付きの試験管に入れた木粉にTBPHを加え、圧力釜内で加熱します（図2）。その後、濾過、中和を経て、UV吸光度を測定するだけでリグニン量が算出されます。処理が試験管内で完結するため100を超えるようなサンプルも一度に取り扱うことができます。図3に示すように、TBPH法はアセチルブロマイド法と比較して基準となるクラークソン法の値に近い高精度な分析結果を示しました。簡易分析法で、これほどまで高い精度を示す手法はこれまでにみられないもので、その簡易性、安全性から今後世界のスタンダードの迅速分析法となることが期待できます。

研究資金と課題

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「イオン液体による革新的バイオリファイナリーシステムの創出」（課題番号 26052A）による成果です。

専門用語

イオン液体：常温で液体を示す塩（常温熔融塩）の総称。塩とは陰イオンと陽イオンの組み合わせでできた物質で、例えば食塩（NaCl）はナトリウムイオンと塩化物イオンの組み合わせで、常温では固体である。一方、組み合わせによっては、常温で液体を示す塩が存在し、それらはイオン液体と総称される。
TBPH：テトラブチルホスホニウムヒドロキシド tetra-n-butylphosphonium hydroxide。水溶液がアルカリ性を示す化合物で、陽イオンが特異な機能を持ち、イオン液体の一種とみなされている。流通しているイオン液体系の薬剤としては比較的安価。



図1
木材の化学組成

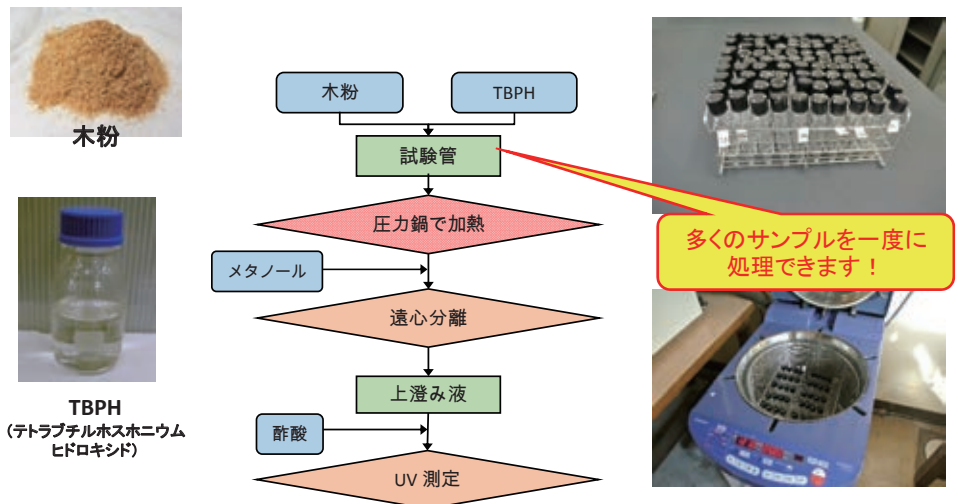


図2
開発した分析法のプロセス（TBPH法）

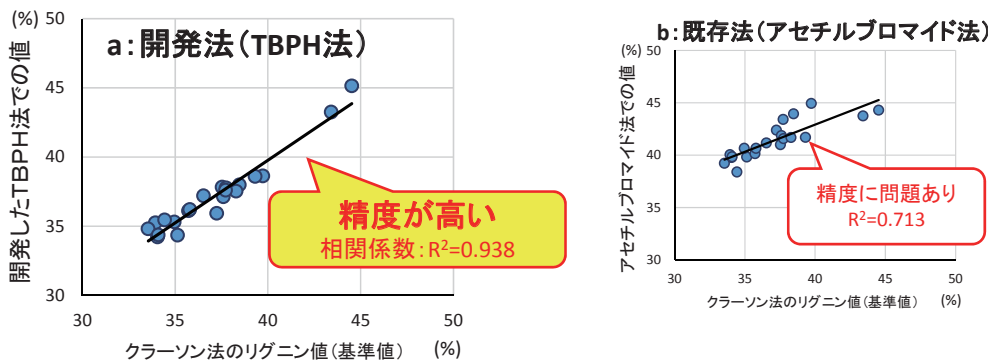


図3
得られたリグニン量と基準値との相関 a：TBPH法、b：既存法

表1
各リグニン定量法の特徴

	TBPH法	既存法 (アセチルブロマイド法)	基準法 (クラークソン法*)
分類	間接法	間接法	直接法
一回のサンプル数	100 程度	20 程度	5 程度
必要サンプル量	5 mg	5 mg	1 g
分析にかかる手順	少ない	少ない	煩雑
安全性	◎	△	△
精度	◎	△	◎

* パルプ製紙業界技術協会（TAPPI）公式分析法より

スギ材合板工場の副産物から生まれた空気浄化剤

森林資源化学研究領域 大平 辰朗・松井 直之

ヤスハラケミカル(株) 吉舎 史晃

建築資材として用いられる合板の原料には、スギ等の針葉樹材が多く用いられています。その製造工程において、タール状の乾燥廃液が大量に排出されますが、現在それらの用途はありません。乾燥廃液の性質を調べたところ、抗菌性、抗酸化性や二酸化窒素等の有害物質の浄化能力が高いことが分かりました。そこで、乾燥廃液中の有効成分を特定し、最適な利用技術を開発することによって、生活環境下で使用できる画期的な空気浄化剤を開発しました。

成果

合板製造工程で排出する乾燥廃液

建築資材である合板には、昨今の原木事情の変遷により、スギ等の針葉樹材が多く用いられています。製造時には、大根のかつらむきの様に原木をむいて薄い単板にし、乾燥させますが、その工程では強い木材臭を有する乾燥蒸気が発生します（図1）。その臭気を低減するために、乾燥蒸気に対して散水処理を行っています。この処理により臭気の原因となる木材成分が回収され、タール状の乾燥廃液が大量に得られます（図2）。現在それらは用途がなく、焼却廃棄されています。

乾燥廃液に含まれる化学成分

スギを原木とした時に回収された乾燥廃液を調べたところ、スギ材の樹脂成分であるジテルペン類が67%、香り成分であるセスキテルペン類が29%含まれていました（図3）。特に割合の多い物質はジテルペン類のフェルギノール、サンダラコピマリノールであり、両方で廃液の約50%を占めていました。

乾燥廃液の機能性

乾燥廃液の機能性を調べたところ、大腸菌等に対して強い抗菌性があり、高い抗酸化性も認められました。さらに悪臭・有害物質に対する浄化能力を調べてみると、環境汚染物質の一種である二酸化窒素の浄化能力が極めて強く、その機能は市販されている浄化剤（活性炭）と同等以上であることが分かりました（図4）。活性に関わる物質を調べたところ、抗菌性や抗酸化性については含有割合の多いフェルギノールが、また二酸化窒素浄化能力については、アビエタジエン（図5）等複数の物質が関係していることが明らかになりました。

空気浄化剤の開発

乾燥廃液の特徴を活かした利用法として、有害性が危惧されている二酸化窒素等の環境汚染物質の浄化能力に着目しました。乾燥廃液に含まれる不純物を除去し、最適な利用技術などの開発を行うとともに、フィルムの表面に乾燥廃液を塗った浄化シートの試作・性能評価等を行うことで、生活環境下で使用できる空気浄化剤を開発しました（図6）。乾燥廃液には抗酸化性や環境汚染物質の浄化能力の強い物質が共存しています。そのため、長期間使用した時に生じる有効成分の劣化等を低減する効果も期待できます。

今後の展望

合板工場の副産物として大量に発生している乾燥廃液は、現在のところ用途がなく廃棄されていますが、その利用価値は極めて高いことが分かりました。多機能な有効成分の特性を活かすことで、いろいろな利用法が期待できると考えられます。ここで紹介した空気浄化剤はその一例です。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費(JP26450242)「スギ材の乾燥廃液を利用した二酸化窒素除去剤の開発」による成果の一部です。

文献

大平辰朗 (2014) 樹木成分による二酸化窒素の浄化. Aroma Research, 15(2) : 162-169



図1
合板製造時に排出する乾燥蒸気

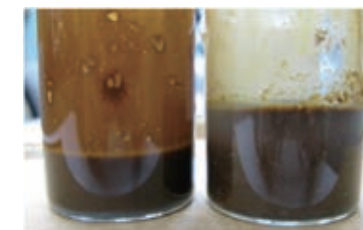


図2
回収されたタール状の乾燥廃液

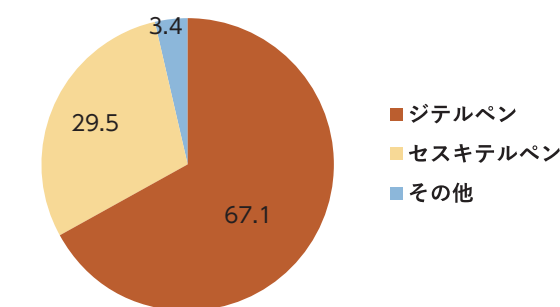


図3
スギ乾燥廃液に含まれる物質の概要

【優れた機能性】
○抗菌性
○抗酸化性その他
◎有害物質除去性
(特に二酸化窒素)

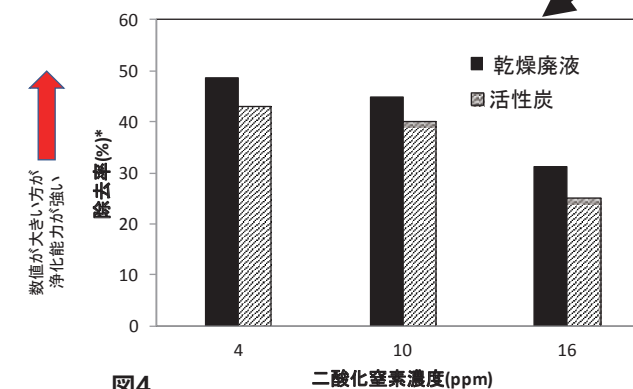


図4
スギ乾燥廃液と活性炭の二酸化窒素浄化能の比較
使用量: 0.5mg

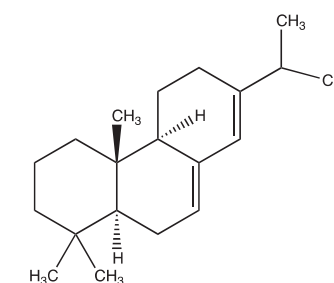


図5
二酸化窒素浄化能力の強い
アビエタジエン

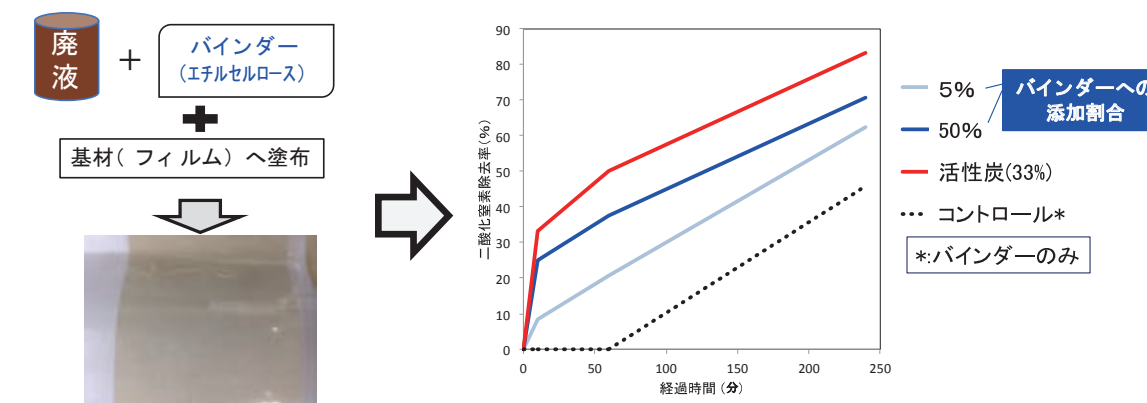


図6
空気浄化剤の試作と浄化能の評価

4種類の無花粉スギ原因遺伝子のゲノム上の位置を特定

樹木分子遺伝研究領域 松本 麻子・上野 真義・内山 憲太郎・伊原 徳子・二村 典宏
新潟大学 森口 喜成 筑波大学 津村 義彦 新潟県森林研究所 岩井 淳治・宮嶋 大介
富山県農林水産総合技術センター 斎藤 真己

毎春のスギ花粉の飛散は大きな社会問題で、対策として花粉を飛ばさない無花粉スギの活用が期待されます。これまでに花粉形成過程の観察と人工交配実験により、無花粉の原因となる雄性不稔遺伝子が4種類(*ms1* ~ *ms4*) があると推定されていました。この課題では、すでにゲノム上の位置が特定されている*ms1*と*ms2*に続き、不明だった*ms3*と*ms4*について位置の特定に成功しました。その結果、*ms1*、*ms2*、*ms3*、*ms4*の全てがゲノム上の異なる場所にあることが分かり、別々の遺伝子であることが確かめられました。この結果から、4種類の異なる遺伝子を利用した多様な「無花粉スギ」の育種が可能になり、今後の花粉症対策に対する重要な知見となりました。

成果

スギ花粉症を軽減させるために

毎年春先のスギ花粉の飛散は多くの人々の花粉症を引き起こし、大きな社会問題となっています。花粉発生源対策の一つとして、花粉を飛ばさない無花粉スギの利活用が期待されています。無花粉スギは、スギ林の中から見つかった珍しいスギで、雄花の中で作られる花粉の発達過程に異常があり、正常な花粉を作ることができません(図1)。一方、雌花は正常に機能するので、花粉を正常につける個体から花粉を受け取って種子を生産することができます。

これまでに発見された4種類の雄性不稔遺伝子

これまでに、全国から約20個体の無花粉スギが発見されています。顕微鏡を使った雄花での花粉発達過程の詳細な観察と人工交配実験などの結果から、スギを無花粉にする雄性不稔遺伝子が少なくとも4種類(*ms1* ~ *ms4*) があると推定されてきました。

雄性不稔遺伝子のゲノム上の位置の特定

4種類の雄性不稔遺伝子のうち、*ms1*と*ms2*のゲノム上の位置はすでに明らかになっていましたが、*ms3*と*ms4*については不明でした。そこで、これらの無花粉スギそれぞれを母親に、正常に花粉を作るスギを父親にした人工交配を行い、遺伝分析を行うための家系を育成しました。この家系の遺伝分析を行うことで、雄性不稔遺伝子*ms3*および*ms4*がゲノム上のどこに存在するかを特定することに成功しました。スギゲノムは11の連鎖群で構成されており、今回の成果により*ms3*は第1連鎖群、*ms4*は第4連鎖群に位置することが分かりました。これらは今までに知られている*ms1*(第9連鎖群)と*ms2*(第5連鎖群)とも別の連鎖群に位置しており、いずれも異なる遺伝子であることが確かめられました(図2)。

花粉を飛ばさないスギにも多様性が必要

花粉を飛ばさないスギを造林することは、花粉発生源対策の一つとしてとても有望です。しかし、遺伝的な多様性が低下した林を作ってしまうと、病虫害や気象害などで大打撃を受ける危険性が高まります。この研究課題では、スギが無花粉になる4種類の雄性不稔遺伝子の存在が明らかになりました。これらの遺伝子を利用することで多様な「無花粉スギ」の育種の可能性が生まれ、花粉発生源からの花粉症対策につなげることができます。

研究資金と課題

本研究課題および課題の一部は、森林総合研究所交付金プロジェクト「有用遺伝子の特定に向けたスギ全ゲノム走査」、JSPS科研費(JP25850116)「無花粉スギの分子育種基盤の構築とそれを用いた識別DNAマーカーの開発」、JSPS科研費(JP25450223)「花粉を飛散しないスギ品種を高精度で判定する技術の開発」および生物系特定産業技術研究支援センターイノベーション創出基礎的研究推進事業「スギ優良個体の選抜のためのゲノムワイドアソシエーション研究」による成果です。

文献

Moriguchi, Y. et al. (2016) A high-density linkage map with 2560 markers and its application for the localization of the male-sterile genes *ms3* and *ms4* in *Cryptomeria japonica* D. Don. Tree Genetics and Genomes 12: 57

二村典宏 他(2013) 雄性不稔スギ新大1号・新大5号の小孢子形成過程における形態学的特性. 関東森林研究, 64(1): 61-64

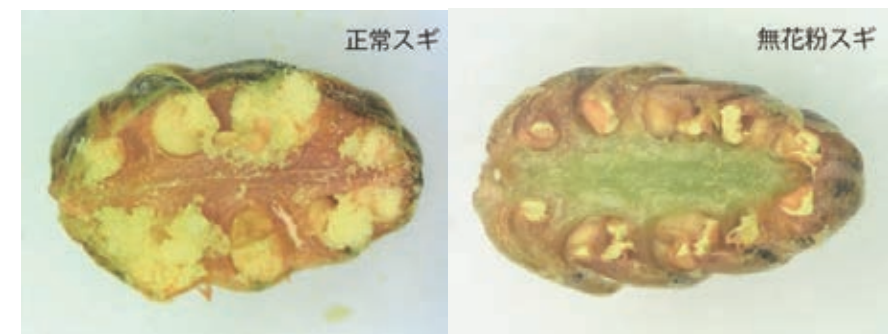


図1
スギ雄花の切断面

正常スギ(左)では花粉のうの中に、粒状の花粉が詰まっています。無花粉スギ(右)では花粉粒が発達途中で壊れて確認できません。

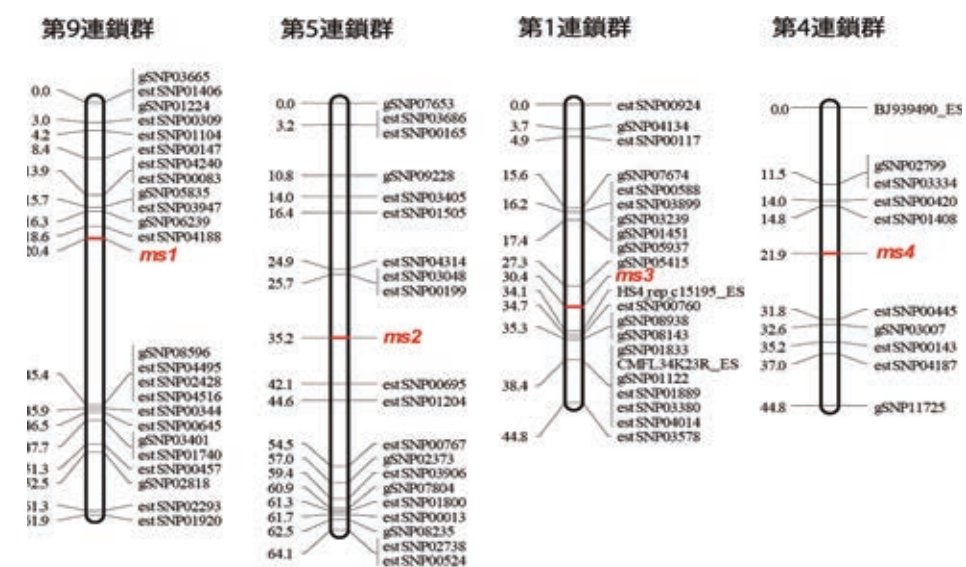


図2

雄性不稔遺伝子*ms1*、*ms2*、*ms3*、*ms4*のゲノム上の位置

スギの遺伝子基盤連鎖地図上のそれぞれ違う場所に位置することが明らかになりました。連鎖群は挙動を同じにする遺伝子の集まりで、連鎖群の右側はゲノム情報から開発したDNAマーカー名、左側の数値は連鎖群の最上端のマーカーを出発点とした時の染色体上の各マーカーの位置を示します。距離の単位はcM(センチモルガン)。

専門用語

ゲノム：1個体の生物の持つ一組の遺伝子の集まり。通常の生物はこれを母親及び父親に由来する2組のゲノムを持つ。1組のゲノムは種類の違う染色体上にそれぞれ分かれて配置されている。同じ染色体上にある遺伝子群はその挙動が一致するため、連鎖群と呼ばれ、直線状にならんでいる。

国産トリュフの新種発見－栽培化にむけて－

きのこ・森林微生物研究領域 木下 晃彦・山中 高史

菌類懇話会 佐々木 廣海 東京大学 奈良 一秀

フランスやイタリアなどにおいて高級食材とされるトリュフは、日本にも20種以上が存在する可能性があることがこれまでの研究によって明らかになっていました。それらのうち、名前がつけられていなかった2種について、形態的、生態的および遺伝的な特性を検討し、今回、新種のホンセイヨウショウロとウスキセイヨウショウロとして発表しました。ホンセイヨウショウロは、日本各地に発生し、また独特の風味を有し、食材としての可能性があることから、この種を対象にして国産トリュフの人工栽培技術の開発に取り組んでいきます。

成果

日本にもあったトリュフ

トリュフは、キャビアやフォアグラとならぶ高級食材として知られるキノコです。イタリアやフランスなどが主な産地ですが、そのほか、インドや中国などのアジアでも発生することが知られており、日本では、トリュフをこれらの国から輸入しています。

国内でも、時々トリュフを採取したという新聞記事を目にすることがあります。2011年に、遺伝情報に基づいた解析により、日本国内にも20種以上のトリュフが存在する可能性があることが分かりました。昨年度から、農林水産省の委託を受けて、国産トリュフの人工栽培技術の開発をめざす研究プロジェクトが始まりました。まず、日本産トリュフの中から食用として有望なものについて、形態や、生態そして遺伝的な特性を検討して新種と確認し、ホンセイヨウショウロ、ウスキセイヨウショウロと名づけました（図1）。

国産白トリュフ

白トリュフのなかまのホンセイヨウショウロは、宮城、茨城、三重から採取した標本を、またウスキセイヨウショウロは、神奈川から採取した標本を、東京大学や菌類懇話会と共同で調査し、形態的な特徴を近縁の種と比較しました。その結果、子のうの中の胞子の数や、その表面構造などが、他の種と異なることが判りました（図2）。また遺伝情報を解析した結果、ホンセイヨウショウロとウスキセイヨウショウロは、これまで知られているブルー

プとは違うことが分かりました。これらの結果から、それぞれを新種と認め、ホンセイヨウショウロには *Tuber japonicum* という学名を、ウスキセイヨウショウロには *T. flavidosporum* という学名をつけました。このうち、特にホンセイヨウショウロは、大きさ4センチにもなり、また、ヨーロッパの白トリュフと同じような香りがするなど、食用としての価値が期待できます。今後も調査を継続し、人工栽培方法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「森林資源を有効利用する技術開発」のうち「高級菌根性きのこ栽培技術の開発」およびJSPS科研費（JP24710271）「日本列島における地下生キノコの多様性評価と遺伝資源の保存」による成果です。

文献

Kinoshita, A. et al. (2016) Two new truffle species, *Tuber japonicum* and *Tuber flavidosporum* spp. nov. found from Japan. *Mycoscience* 57 : 366-373.

専門用語

子のう：胞子の入った袋状の構造物。トリュフでは、子のうはキノコの内部に形成される。

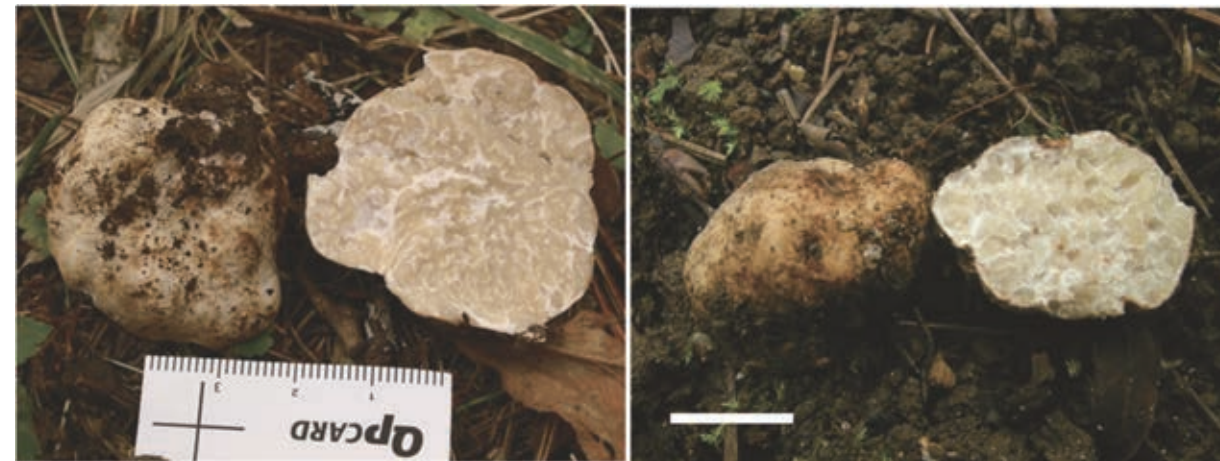


図1
ホンセイヨウショウロ（左）とウスキセイヨウショウロ（右）
スケールは1cm。

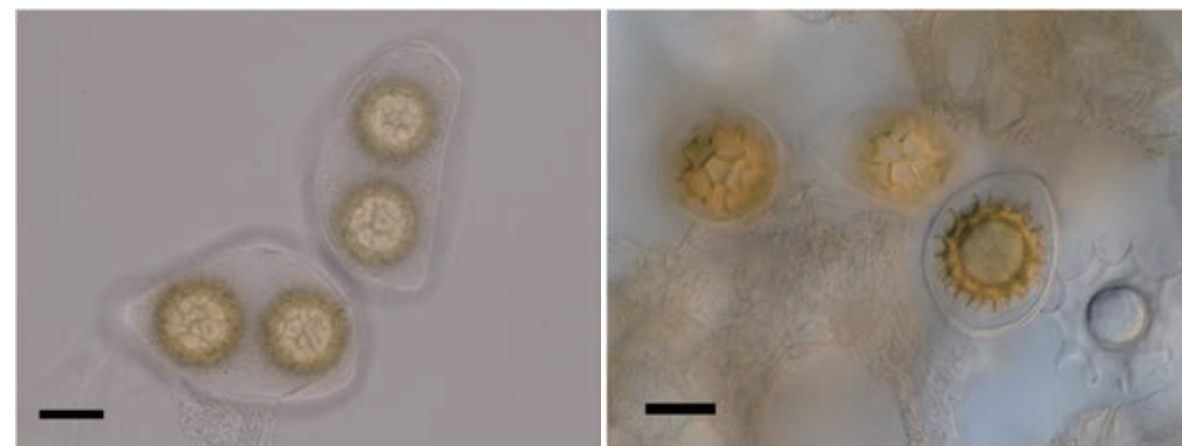


図2
ホンセイヨウショウロの胞子（左）とウスキセイヨウショウロの胞子（右）
ホンセイヨウショウロは、子のうという袋の中に2個ずつ胞子が入っていますが、ウスキセイヨウショウロは、子のうに、胞子は1個ずつしか入っていません。スケールは0.03 mm。

新たな無花粉スギ品種の開発と今後の品種改良を促進するDNA マーカーの開発

林木育種センター 大平 峰子・三嶋 賢太郎・坪村 美代子・平岡 裕一郎・加藤 一隆
高橋 誠・星 比呂志

森林バイオ研究センター 平尾 知士 九州育種場 栗田 学 九州大学 渡辺 敦史

無花粉スギ品種「爽春」と精英樹を交配して品種改良を行い、精英樹と同じかそれ以上の初期成長を示す新たな無花粉スギ品種「林育不稔1号」を開発しました。また、「爽春」と精英樹を交配した苗木の集団で、花粉形成の有無の調査と多数のDNAマーカーを用いた分析を行い、高い精度で「爽春」の無花粉遺伝子を検出できるDNAマーカーを開発しました。事業的に使えるマーカーの開発は、世界的にも先駆的な成果です。このマーカーにより、花粉を作る個体の中から、成長などの特性が優れ、かつ無花粉遺伝子を持っているヘテロ個体の探索が容易にかつ広範に行えるようになります。こうした個体を交配材料に用いることで、今後の無花粉品種の開発期間の大幅な短縮が期待できます。

成果

花粉症の原因である花粉を作らないスギ

スギ花粉症は、大きな社会問題となっており、林野庁は花粉発生源対策として、花粉の少ない森林への転換を進めています。この中では、雄花をほとんどつけない少花粉スギなどの花粉症対策苗木の普及を進めています。一方、平成4年に花粉症の原因となる花粉をまったく作らないスギが初めて発見され、無花粉スギによる品種改良も進められ、林木育種センターでは無花粉スギ品種「爽春」を開発しました（平成20年3月に品種登録）。

初期成長が優れた新たな無花粉スギ

「爽春」は、幹の通直性やさし木発根性に優れています。成長は精英樹ほどではありませんでした。そこで林木育種センターでは「爽春」と精英樹を二世代にわたり交配して品種改良を行い、初期成長が精英樹と同等またはそれ以上の新たな無花粉スギ品種「林育不稔1号」を開発しました（図1、図2）。植栽後6年で精英樹は樹高の遺伝的な推定値が6.7mであるのに対し、「林育不稔1号」は6.6m(精英樹に対し98%)、さし木で育成した苗木では定植後3年で精英樹の樹高の推定値が2.2mに対し、「林育不稔1号」は2.5m(114%)で、精英樹と同等またはそれ以上の初期成長を示します。また、幹の通直性や材質も、これまでの調査の結果、精英樹と同等です。

新たな無花粉スギの開発にはヘテロのスギが重要

成長のよい無花粉スギを開発するには、「爽春」を改良して「林育不稔1号」を開発した場合のように、二世代にわたる交配が必要で、長い時間がかかります。もし、

優良なヘテロ個体（無花粉遺伝子は持つが花粉は着ける個体）が準備できれば、一世代の交配での品種開発が可能となり、品種改良が効率的になります。しかし、ヘテロ個体は普通のスギと同様に花粉を作るため、これまでその判定には人工交配が必要でした。そのため、ヘテロ個体の探索には大変な手間と時間がかかり、簡単には利用できませんでした。

「爽春」の無花粉遺伝子を高い精度で判定できるDNA マーカー

「爽春」と精英樹を交配したスギ苗木の集団で、花粉形成の有無の調査と多数のDNAマーカーを用いた分析を行った結果、「爽春」の無花粉遺伝子を高い精度で検出できるDNAマーカーの開発に成功しました（図3）。事業的に活用可能なマーカー開発は、世界的にも先駆的な成果です。このマーカーを用いて精英樹の中からヘテロ個体を探索し、実際にヘテロの精英樹を3クローンみつけることができました。今後これらのヘテロの精英樹を「林育不稔1号」等と交配することにより、無花粉スギの品種開発を加速することが可能になりました（図4）。また、交配した個々の個体が無花粉かどうかの判定も、着花前にDNAマーカーで容易にできます。これらにより、育種期間を大幅に短縮することができます。

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「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」のうち「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」による成果です。

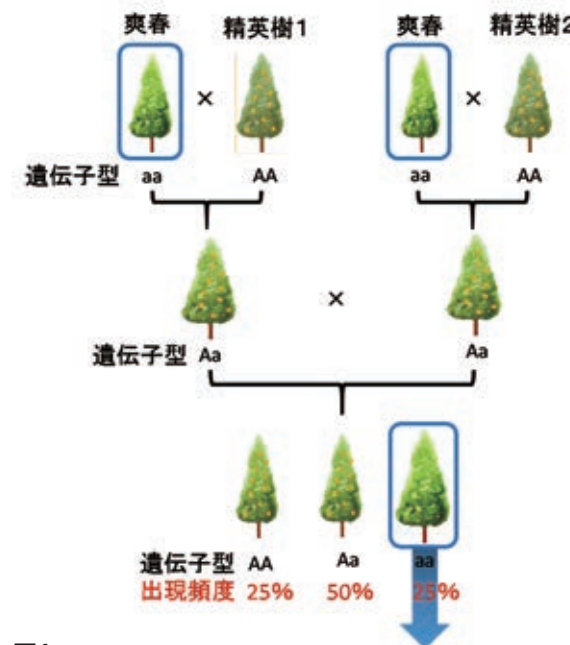


図1

初期成長に優れた無花粉スギの開発経過

不稔であった個体（aa）105個体の中から成長などが優れていた個体を選抜。

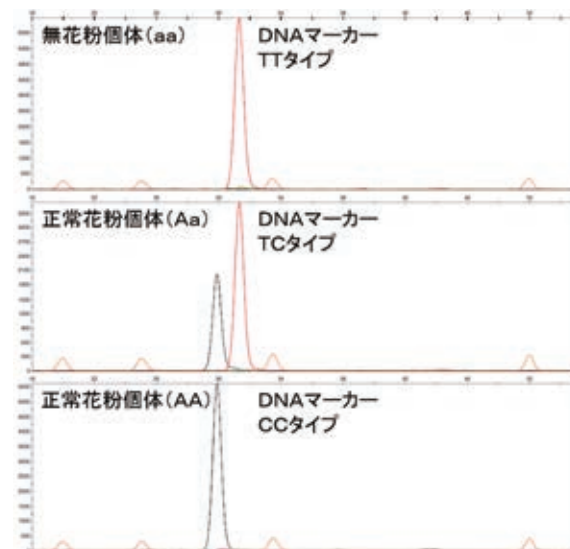


図3

DNAマーカーによる分析図

シーケンサーと呼ばれるDNA分析機器を用いてDNAマーカーのタイプを分析した時に得られる分析結果。多数の個体について短時間で分析することができます。

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）の内、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目印として使われるもの。

無花粉：学術的には雄性不稔という。雄花はつけるが、正常な花粉を作らない（花粉が無い）ためこのようにいう。

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。品種改良や優良種苗の生産に用いられる。スギでは、約3,600本が精英樹として選ばれている。

ヘテロ（接合）：生物の多くの遺伝子は核内にあり、1対（2つ）の遺伝子を持っているが、この2つの遺伝子が異なるタイプのものをいう。2つが同一のタイプのものはホモ（接合）という。

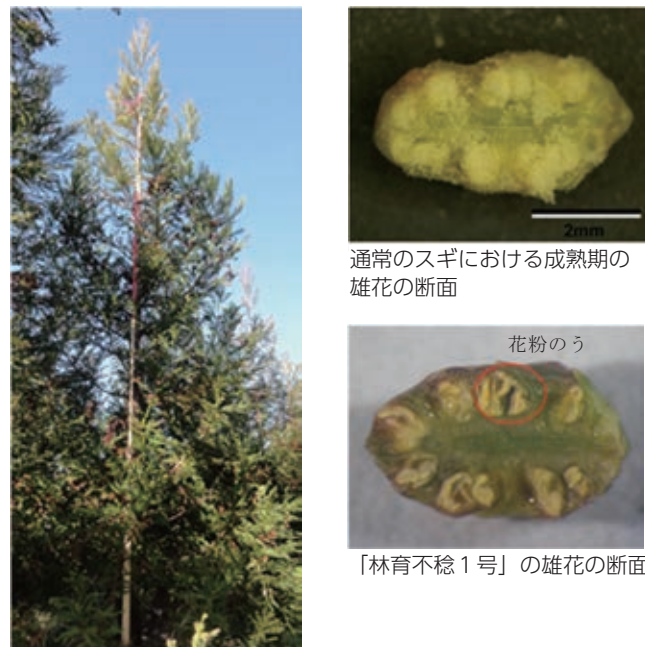


図2

林育不稔1号（左）と成熟期雄花の断面（右上）と林育不稔1号の雄花の断面（右下）

通常のスギ（右上）は雄花の中の花粉のうの中に多数の花粉が形成されているのに対して、無花粉スギ（右下）では、花粉が全く形成されていません。

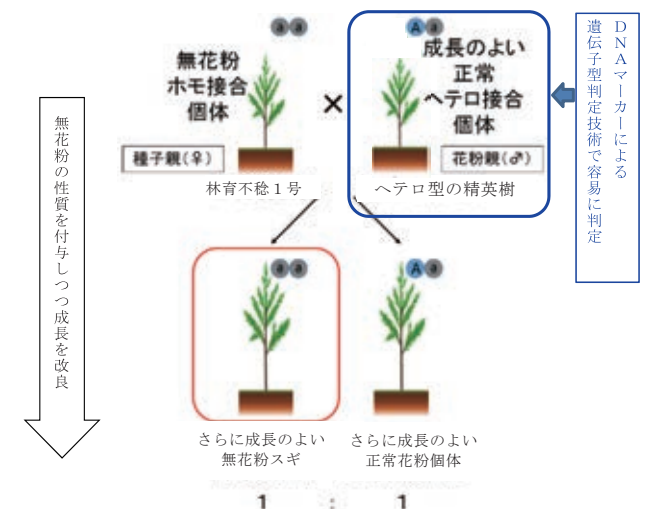


図4

ヘテロ個体を活用した今後の品種開発の例

遺伝子マーカーの活用により、交配材料としてヘテロ個体の活用が容易になり、子供世代の花粉の有無判定も遺伝子マーカーでできるので、品種開発に要する期間を大幅に短縮できます。

漢方薬の原料「カギカズラ」の国内栽培を目指して ー 国産品の薬用成分、増やし方、育て方 ー

森林バイオ研究センター 谷口 亨 森林資源化学研究領域 河村 文郎

株式会社ツムラ 大竹 真弓・河下 美都里・橋本 和則

鹿児島県森林技術総合センター 新原 修一 北海道立総合研究機構 錦織 正智

カギカズラは認知症周辺症状改善等の効果があるとされる漢方薬の原料であり、中国からの輸入量が近年上昇しています。100%輸入に頼っている現状を変えるためには、国内にも自生するカギカズラの栽培技術の開発が必要です。そのために、国産カギカズラの薬用成分を評価し、組織培養やさし木によるクローン苗の作製や栽培の方法を開発しました。この成果は、優良な国産カギカズラの栽培化による漢方薬原料の安定供給と地域社会の活性化に貢献します。

成果

漢方薬原料としてのカギカズラ

カギカズラは中国南部と日本の房総半島以南から九州に自生するつる性の常緑樹木です。葉の付け根にかぎ状のとげがあり、これを他の植物にひっかけるようにして枝を上にも伸ばします。とげを付けた枝の乾燥品はチョウトウコウと呼ばれる生薬で、これを配合した漢方薬には、徘徊などの認知症周辺症状や不眠など精神神経症状の改善に効果があるとされています。しかしながら、現在、国内で使用されているチョウトウコウは全てが中国産です。

国産カギカズラの薬用成分

千葉県から鹿児島県にかけてカギカズラの自生個体を集め、温室で栽培し、とげを付けた枝のアルカロイド含有率を高速液体クロマトグラフィーで分析しました(図1)。漢方薬の原料とする際の薬用成分の基準は、日本薬局方には総アルカロイド(リンコフィリン及びヒルスチン) 0.03%以上を含むと記載されています。調査した個体のほとんどはこの基準を満たしており、国産品は漢方薬の原料として使用可能であることが分かりました。

クローン苗木の増やし方

優れた性質を持つ個体のクローン苗木を作り、増やすためには、組織培養やさし木が適しています。カギカズラのとげを付けた枝を組織培養するとクローン苗木ができることをすでに平成27年度の成果選集で紹介しました。私たちはさらに、とげが付いていない枝を組織培養する

と腋芽の発生割合が高く、よく成長することを新たに見出しました。この手法の方が、組織培養によるクローン化にはより適しているのです(図2a,b)。また、これまで2年生程度の若い個体のさし木の成功例が報告されていますが、成木でもさし木が可能であり、60%以上の高い発根率の個体もあることを明らかにしました(図2c)。

栽培方法

カギカズラは造林木にまわりつく厄介者と見なされ、これまで国内で漢方薬原料として栽培する取り組みはありませんでした。私たちは、組織培養で作ったクローン苗を水田跡地に植栽し、栽培する方法を検討しました。植栽翌年には4mを超えて主幹(つる)が生育し、また、伸びた主幹を高さ150cm程度で水平に誘引することにより収量が大きくなることが分かりました(図3)。収穫作業や栽培管理を考慮した結果、収穫後に主幹を150cm程度に切る栽培方法が有効であると考えられました。また、クローン栽培では、栽培年や個体によるアルカロイド含有率のバラツキが小さく、品質の安定性、均一性に優れていることも分かりました。

これらの知見は、国産カギカズラの栽培による漢方薬原料の自給率向上と農山村の活性化に役立ちます。

研究資金と課題

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「薬用系機能性樹木の生産効率化手法の開発」(課題番号 26063B)による成果の一部です。

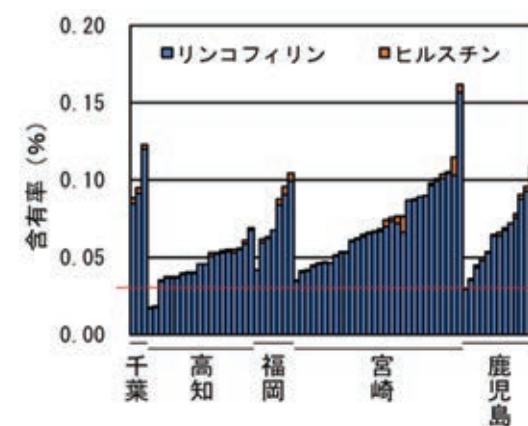


図1
カギカズラのアルカロイド含有率
日本各地より収集し(図下に収集した県名を示す)、1~2年間温室で栽培した個体のとげをつけた枝におけるアルカロイド含有率です。赤線は、日本薬局方に記載されているアルカロイド含有率の基準値(リンコフィリンとヒルスチンの合計が0.03%以上)を示します。



図2
カギカズラの枝の組織培養とさし木によるクローン苗の作成
組織培養により誘導した腋芽(a)、組織培養により作成した苗(b)、さし木発根の様子(c)を示します。



図3
カギカズラの栽培試験
組織培養により作成したクローン苗の植栽3年目の様子です。漢方薬の原料となる枝の収穫量を増やすため、また、収穫作業を効率化するために主幹を水平に誘引しています。

森林総合研究所
平成29年版 研究成果選集

発 行 日 平成29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。