

令和3年版

研究成果選集

2021



国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

はじめに



林総合研究所は、森林・林業・木材産業・林木育種に係わる研究を通じて、豊かで多様な森林の恵みを生かした循環型社会の形成に努め、人類の持続可能な発展に寄与することをミッションとし、日本と世界の森林問題にかかわる総合的な研究開発を担っています。

平成28年度から令和2年度まで実施した第4期中長期計画では、森林の多面的機能の高度発揮に向けた森林管理技術の開発、国産材の安定供給に向けた持続的林業システムの開発、木材及び木質資源の利用技術の開発、森林生物の利用技術の高度化と林木育種による多様な品種開発及び育種基盤技術の強化を重点課題として研究開発に取り組んできました。

「令和3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2年度に得られた主要な研究成果をとりまとめました。

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

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

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

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

この研究成果選集が皆様のご参考になれば幸いに存じます。

2021年7月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 所長 浅野(中静)透



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

- 土石流を引き起こす降雨条件は谷底の土砂量に応じて変化する…………… 04
 | 土石流の現地観測により、荒廃渓流源頭部の土砂量の変動に応じて、土石流を引き起こす降雨の条件が、どのように変化するのかを明らかにしました。
- 大都市で発生した大気汚染物質はどこまで、どれだけ森林に届くのか？…………… 06
 | 大都市で発生した大気汚染物質が周辺の森林にとどく距離と量は、大気中の汚染物質がガスや粒子のまま降下する乾性沈着の場合と、雨に溶けて降下する湿性沈着の場合で異なることを明らかにしました。
- 樹体を「センサー」とした風荷重計測手法を開発…………… 08
 | 樹木に力がかかったときの幹の変形を計測することで、樹木に作用する風荷重を直接計測できる手法を開発しました。樹体を風荷重の「センサー」とすることで、森林の強風被害のリスク評価へ応用できます。
- 福島の森で放射性セシウムはどう動いてきたのか？…………… 10
 | 私たちは国内外の研究者と協力して、福島原発事故後の研究結果を整理して、森林に降った放射性セシウムの森林内での分布が事故直後から刻々と変化してきたことを明らかにしました。

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

- 気候変動下での天然生落葉広葉樹林による炭素吸収量の将来予測…………… 12
 | 気候シナリオをもとに、天然林の炭素吸収量の将来予測を行いました。森林の吸収量は気温上昇の影響を受けにくいものの、気候変動により増加する台風などの森林被害の影響を強く受けることが分かりました。
- 高温や乾燥ストレスを緩和して熱帯の森を再生する植林技術の開発…………… 14
 | 東南アジア熱帯林の樹木の環境ストレス耐性を解明し、気候変動に適応した植栽手法を開発するため、人工的な被陰シェルターによる、高温・乾燥ストレス緩和効果と成長促進効果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

- 森林からの自然の恵みの未来予測…………… 16
 | 日本全国を対象に2050年の木材生産量を予測したところ、どのような将来シナリオでも木材生産量は減少すると予測されました。しかし、自然資本活用・人口分散社会では減少量が少ない可能性が示されました。
- ニホンジカは2050年までにその勢力を全国に拡大すると予測されます…………… 18
 | ニホンジカは2050年頃までにほぼ全国に分布を拡大し、各地で林業被害が懸念されるようになるでしょう。シカの分布拡大には温暖化による影響に加えて、シカ自体の強い繁殖力が関係していると考えられます。

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

- シカからスギを一本ずつ守る「単木保護資材」…………… 20
人工林の再造林が進む中で獣害問題が顕在化しています。そこでシカの被害から植栽木を1本ずつ守る単木保護資材の施工地を調査して、その特徴と効果を明らかにしました。
- 森林作業道における情報化施工システムの開発…………… 22
森林作業道の情報化施工システムを開発しました。これにより、施工の効率化を実現できただけでなく、経験によらず安定した道をつくることが可能となりました。

イ 多様な森林資源の活用に対応した木材供給システムの開発

- 林業の現場への外国人労働力受入れにあたっての課題…………… 24
林業の現場に外国人を本格的に受入れるためには、外国人技能実習制度を前提とした関係組織の整備拡充と情報発信の強化、国内の林業労働力の確保育成施策との効率的な連携が求められます。
- ヤナギ超短伐期栽培の年収量に対する収穫と気象の影響を解明…………… 26
ヤナギ超短伐期栽培による木質バイオマス生産について、10年間の収穫試験を行いモデル解析した結果、毎年収穫すると年収量が低下する一方で、1年おきに収穫すれば収量を長期間高く維持できることが分かりました。

重点課題ウ 木材及び木質資源の利用技術の開発

ア 資源状況及びニーズに対応した木材の利用技術の開発及び高度化

- 割れの発生の原因となる木材内部の力を測ることでより良い乾燥方法を探る…………… 28
乾燥中に木材内部に生じた力の大きさをスキャナーと画像解析法を用いて測定する手法を開発しました。この手法を用いれば、乾燥時の木材の割れの危険性を簡便に評価でき、適切な乾燥条件を効率的に探索できます。
- 大断面集成材の低コスト化技術の開発 ―川上から川下まで―…………… 30
原木・原料の大量安定供給システムを構築するとともに、原木生産、製材・乾燥、集成材生産の現場において生産効率を高める新しい技術を開発し、大断面集成材の生産コストを従来から11%削減しました。

イ 未利用木質資源の有用物質への変換及び利用技術の開発

- 水をはじく紙の簡単な作り方：薬品の蒸気を用いてコーティング…………… 32
原料が木材で、リサイクルでき、環境に優しい素材である紙の短所は吸水すると破れやすくなるところです。しかし、気化させた薬品でコーティングすれば、水をはじく紙が簡単に作れます。

- 化粧品などの素材として活用できる改質リグニン微粒子を開発 34
 | スギ由来の新素材としての活用が期待される改質リグニンを微粒子化することに成功しました。
 | 環境適合型の微粒子として化粧品素材などとしての利用が期待されています。
- 廃棄物から生まれた空気浄化塗料 ―スギ合板乾燥廃液の価値を高めるには?― 36
 | スギ材の合板乾燥廃液には、空気中の有害な二酸化窒素の濃度を低減する機能があることが分
 | かりました。これをマイクロカプセル化して塗料に加え、空気浄化塗料を開発しました。

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

ア 生物機能の解明による森林資源の新たな有効活用技術の高度化

- 無花粉スギの原因遺伝子（MS1）を特定しました 38
 | 花粉症発生源対策に有効な無花粉スギを高精度で選抜するには、無花粉となる雄性不稔を引き
 | 起こす遺伝子の特定が必要です。その遺伝子の一つであるMS1を特定し、雄性不稔を引き起
 | こす遺伝的変異を特定しました。
- 微生物によるダイオキシン分解機構を解明 40
 | 広く薄くダイオキシンに汚染された環境の修復には、環境に負荷をかけない微生物の機能を利用
 | したバイオレメディエーションが適しています。私たちはダイオキシン分解微生物を単離し、
 | その分解機構を解明しました。

イ 多様な優良品種等の開発と育種基盤技術の強化

- 乾燥した生育環境への適応性を評価するスギの遺伝子発現マーカーの開発 42
 | 気候変動に適応したスギの系統評価を効率的に行うため、乾燥ストレスに応じて働き方が変化
 | するスギの複数の遺伝子を明らかにするとともに、環境適応性を評価するマーカーを開発しま
 | した。
- 土を使わずスギを発根させる「エアざし」技術を開発 44
 | さし木苗は枝（さし穂）を土にさして発根させ、育成するのが一般的ですが、土を使わず、ス
 | ギのさし穂全体を空气中に露出したまま立て、一定の条件で定期的にミスト散水することによ
 | り発根させる技術を開発しました。

土石流を引き起こす降雨条件は谷底の土砂量に応じて変化する



森林防災研究領域 経隆 悠

東京大学 堀田 紀文

静岡大学 今泉 文寿・増井 健志

北海道大学 早川 裕弐

土石流が発生する降雨条件の解明は、被害の軽減や早急な避難に不可欠です。土石流が渓流内の土砂の侵食によって発生する場合、発生の目安となる降雨の条件は荒廃渓流源頭部の土砂量に応じて変化すると考えられてきました。しかし、観測データが乏しく、その実態は明らかになっていませんでした。本研究では土石流の観測により、荒廃渓流源頭部の土砂量が減少すると、土砂量が多い時期と比べて、強い雨の続く期間が短くても土石流が発生することを解明しました。この結果は、土砂量の変動をモニタリングすることで、降雨による土石流の発生リスクをより正確に判定できることを示唆しており、今後の山間部での土石流対策において重要です。

成果

雨の強さだけでは土石流の発生を正確に予測できない

台風時の豪雨のような強い雨は、荒廃渓流源頭部の土砂を侵食して、土石流を発生させることがあります。そのため、雨の強さは土石流の発生リスクを判定する上で重要な情報のひとつです。本研究で観測を行った静岡県大谷崩一の沢では（図1）、10分間に5mm以上の雨の強さに達した場合に、土石流が発生する危険があることが知られていました。しかし、よく調べると、この強さに達した雨でも土石流が発生しない場合があり、雨の強さだけでは土石流の発生を正確に予測することはできないことがわかりました。

雨の降り方に着目して土石流の発生降雨条件を解明する

そこで、上記の雨の強さに達する期間の違いに着目し（図2）、雨の降り方を評価する二つの指標を開発しました。一つは、ある雨の間に10分間降雨量が5mm以上となった期間の合計を評価する指標Aです（図2）。もう一つは、ある雨の間に、5mm以上の10分間降雨量が続いた最長の期間を評価する指標Bです（図2）。これらを組み合わせて土石流の発生と降雨条件を比較した結果、土石流が発生した降雨では、二つの指標の値が土石流の発生しなかった降雨と比べて高いことがわかりました（図3）。この結果は、強い雨の期間が相対的に長い雨の降り方が、土石流を引き起こしやすいことを意味します。

さらに重要なのは、土石流を引き起こす雨の降り方が、土砂量の変動によって変化することです。観測を行った一の沢では、主として雨が少なく岩盤の風化が進行する冬季に、谷底に土砂が堆積します（図1a）。これらの土砂は、夏から秋に土石流として流出するため、減少していきます（図1b）。そして、翌冬の側岸の岩盤からの新たな土砂の生産と谷底への運搬が、再び土砂量を回復させます。そのため、土砂

量の減少は、その年の土石流の発生回数に比例すると考えられます。2012年と2015年の最後の土石流を引き起こした降雨において、二つの指標は相対的に小さな値を示しており、土石流が発生しなかった降雨の上限値程度まで低下していました（図3）。これらの土石流は、以前の土石流が夏から秋にかけて比較的多く発生したために、谷底の土砂量が顕著に減少した条件下で発生しました。この結果は、荒廃渓流源頭部の土砂量が減少すると、谷底の土砂が水で飽和しやすくなるため、短期間の強い雨によって土石流が発生するリスクが高まることを示唆します。

土石流の発生予測に向けて

土砂生産のタイミングや速度は、地質や気候などの条件に応じて異なります。さらに、火山の噴火や地震による斜面崩壊など、突発的な土砂生産が生じる可能性もあります。得られた成果は、このような多様な土砂量の変動を継続的にモニタリングすることが、土石流の予測精度の向上や被害軽減につながることを示唆します。

研究資金と課題

本研究はJSPS科研費（JP16J02197）「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」、（JP26292077）「流域土砂貯留量の変化に着目した深層崩壊の評価手法の開発」、（JP18J01961）「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」による成果です。

文献

Tsunetaka, H. et al. (2021) Variation in rainfall patterns triggering debris flow in the initiation zone of the Ichino-sawa torrent, Ohya landslide, Japan. *Geomorphology*, 375, 107529.

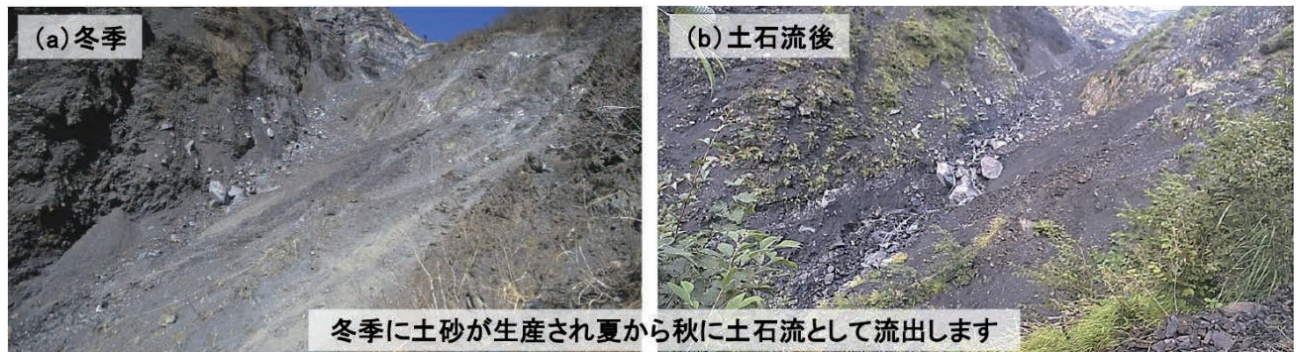


図1 荒廃溪流源頭部の土砂量の変化

土砂は主に冬季に側岸の岩盤の風化によって生産され、谷底に堆積します(a)。堆積した土砂は、その後の土石流の発生・流下によって流出します(b:侵食されにくい大きな土砂が取り残されます)。

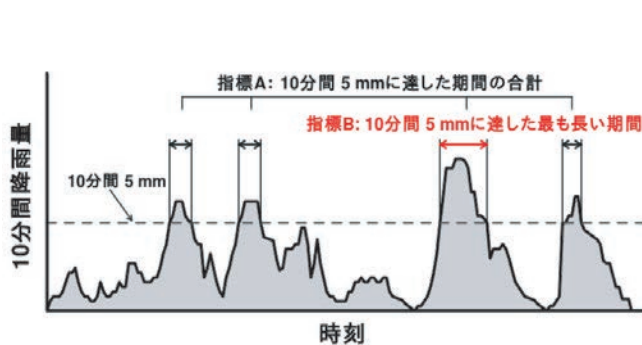


図2 雨の降り方の例

土石流が発生する降雨の継続時間は数十分から24時間以上と様々です。雨が降っている間(灰色部分)に、10分間5mm以上の雨の強さに達する期間は、降り方に応じて異なります。(Tsunetaka et al. 2021に加筆)

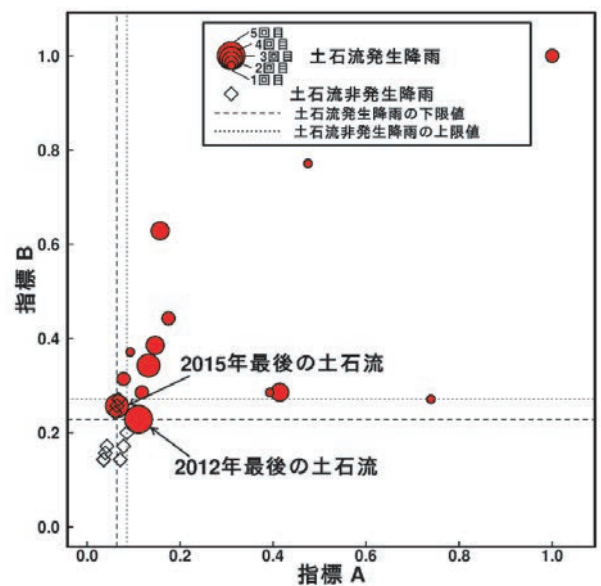


図3 開発した指標と土石流の発生との関係

土石流発生降雨の丸印の大きさは、その年の何回目に発生した土石流かを示します。(Tsunetaka et al. 2021に加筆)

大都市で発生した大気汚染物質はどこまで、どれだけ森林に届くのか？



立地環境研究領域 今村 直広

デラウェア大学（アメリカ） Delphis F. Levia

森林防災研究領域 南光 一樹 東京大学 田中 延亮

京都大学 大手 信人

大都市で発生する大気汚染物質が周辺の森林に及ぼす影響を考える上で、森林への流入量と分布の解明が重要です。この研究では、首都圏周辺の7箇所のスギ林で、大気から流入する硫酸、硝酸態窒素及びアンモニア態窒素の量を乾性沈着と湿性沈着に分けて測定しました。その結果、乾性沈着量は都心から遠く、標高の高い森林ほど少なくなりましたが、湿性沈着量ではこの傾向は見られませんでした。これは、乾性沈着と湿性沈着では大気汚染物質が森林まで移動するプロセスが異なり、その違いが沈着量の分布に影響することを示しています。この成果は、大都市で発生する大気汚染物質が周辺の森林に与える影響を予測する上で重要な知見となります。

成果

大都市と森林

大都市で発生した大気汚染物質は、大気中を移動しながら拡散し、周辺の森林に流入します。大都市周辺の森林では、それ以外の地域の森林に比べ、より多くの大気汚染物質が流入すると考えられるため、その量と原因を調べ、森林への影響を明らかにすることが重要です。

乾性沈着と湿性沈着

首都圏周辺の7箇所のスギ林で、林外雨、樹冠通過雨、樹幹流に含まれる硫酸、硝酸態窒素、アンモニア態窒素の量を測定し、森林への大気汚染物質の流入量を乾性沈着と湿性沈着とに分けて把握しました（図1）。その結果、乾性沈着量は都心から遠く、標高の高い森林ほど少ない傾向が認められました。一方、湿性沈着量にはこのような傾向は認められませんでした（図2）。この原因として、乾性沈着では、ガスや粒子の形で大気中を拡散した汚染物質が森林に沈着するため、発生源の都心に近く、標高の低い森林で沈着量が多くなるのに対して、湿性沈着では、大気中の汚染物質が雲粒に取り込まれたり、雨滴に洗い流されたりするなど、雨雲や降雨の分布にも影響を受けるため、沈着量の空間的分布が不均一になることが考えられました。

大気汚染物質の拡散範囲と量を予測

本研究の成果は、乾性沈着と湿性沈着では大気汚染物質

の輸送から沈着に至るプロセスが異なり、その違いによって、大気汚染物質が森林にとどく距離や量が変わることを示しています。この知見は、大都市周辺の森林への流入量の予測や影響の評価に役立てられます。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費 (JP22780139)「山地林生態系における湿性・乾性沈着量の定量化と樹冠収支モデルの適用」およびJSPS科研費 (JP24658133)「安定同位体比情報を用いた森林土壌中の総硝化量の原位置推定」による成果です。

文献

Imamura, N. et al. (2020) Geographic Factors Explain the Variability of Atmospheric Deposition of Sulfur and Nitrogen onto Coniferous Forests Within and Beyond the Tokyo Metropolis. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 105.

専門用語

林外雨：林外の裸地や樹冠上で観測される雨

樹冠通過雨：林内で観測される雨で、樹冠を通過する雨と、樹冠に付着した後に滴下する雨をあわせたもの

樹幹流：樹冠に付着した後に幹の表面を流下する雨

乾性沈着：大気中のガスや粒子の形で物質が地上に落ちてくること

湿性沈着：雨に溶けた形で物質が地上に落ちてくること

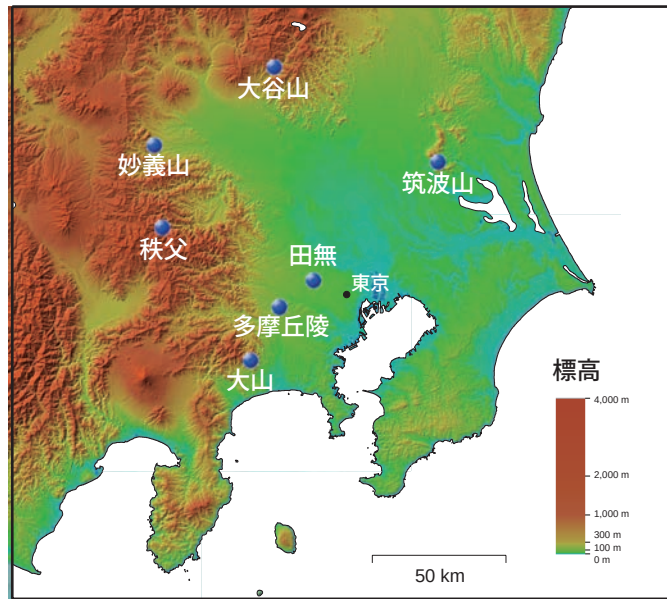


図1 東京都市圏の7箇所の調査地

東京は都庁を示し、東京都心からの距離の原点とした。(Imamura, N. et al. (2020)を改変して引用)

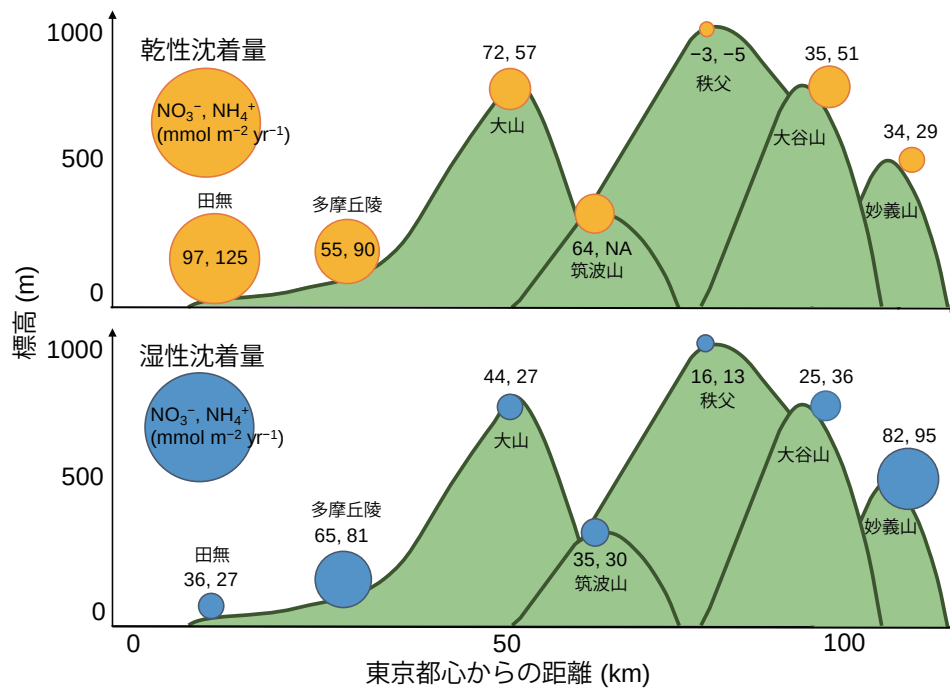


図2 硝酸態窒素 (NO_3^-) とアンモニア態窒素 (NH_4^+) の乾性沈着量 (上) と湿性沈着量 (下)

乾性沈着量 (上) は都心から遠く、標高の高い森林ほど少なくなる。一方、湿性沈着量 (下) にはこのような傾向は認められない。(Imamura, N. et al. (2020)を改変して引用)

樹体を「センサー」とした風荷重計測手法を開発



森林災害・被害研究拠点 宮下 彩奈・鈴木 寛

野外の樹木は常に風による力を受けています。しかし、それを直接計測できる手法はありませんでした。本研究では、幹の変形を計測できる小型のセンサーを複数用いることで、樹木に作用する荷重の大きさ・重心位置・方向を精度よく計測することに成功しました。この手法では、幹の材質の不均一さやセンサー取り付け精度を気にすることなく高精度の計測が可能です。スギ稚樹を用いた荷重試験では、荷重の大きさと重心位置は2%程度、荷重の方向は2度未満の誤差で測定することができました。本手法は、森林の樹木にかかる風荷重の実態を明らかにし、風害が発生しやすい条件やリスクの評価を行う上で重要な技術となります。

成果

樹木に作用する風の力と風害

風によって樹木の幹にかかる力（風荷重、図1）は、高さ方向に一様でなく、風向や風速によって瞬間的に大きく変化します。風荷重が樹木の耐えられる限界を超えると、根返りや幹折れなどの風害が発生します。温暖化による台風の大規模化が予測されており、今後の森林管理を考えるうえで風害リスクの予測と評価は重要な課題となっています。風害は林業への被害だけでなく、道路や電線などのインフラ設備への被害の原因にもなります。また、人工林では間伐後に風害が発生しやすいことが指摘されていますが、健全な森林の育成のために、風害リスクを低減する施業方法を明らかにしなければなりません。しかし、実際に森林内の樹木で風荷重を計測した例はほとんどなく、その実態はよくわかっていません。

幹の変形を利用した荷重計測

今回、私たちは樹体を「センサー」として風荷重の計測を行う手法の開発に取り組みました。計測に用いたのは、ひずみゲージ（図2）という変形量を高速で精度よく検出することができる小型のセンサーです。これを木の幹に複数枚貼ることで、樹木に力がかかったときに生じる場所ごとの変形量の違いを計測し、荷重の大きさの合計や重心位置、そして荷重の方向を求めます。手法開発において工夫したことは、実際の樹木を扱うときに直面する問題に対処できるようにしたこと。例えば、樹木の幹の材質は場所によって異なるため、同じ力がかかった場合でも場所ごとに変形の仕方が

異なります。また、幹の表面の狙った場所に正確にひずみゲージを貼り付けるのは困難です。私たちは、これらの問題を克服する補正技術を考案し、実験室での荷重試験において、スギの稚樹（図2）では、荷重の大きさと重心位置は2%程度の誤差、荷重の方向は2度未満の誤差で測定できました（図3）。

風荷重計測手法の発展性

本手法は、樹木そのものを風荷重の「センサー」とする初の技術であり、強風が樹木におよぼす影響や森林内の風の流れを解明するために活用できます。また、森林内の多数の樹木で測定を行い、間伐の前後で風荷重を比較することで、間伐による風害リスクを評価できます。

研究資金と課題

本研究は交付金プロジェクト*「林木に作用する風荷重の動的測定法の開発：間伐による風害リスク評価のために」による成果です。

文献

Miyashita A. et al. (2021) A method for measuring the forces acting on a tree trunk using strain gauges. PLoS ONE <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245631>

専門用語

ひずみゲージ：薄いシート状をしており、センサー表面の金属が伸縮したときに電気抵抗が変化することを利用して細かな変形量を計測することができます。

*森林総合研究所交付金プロジェクト

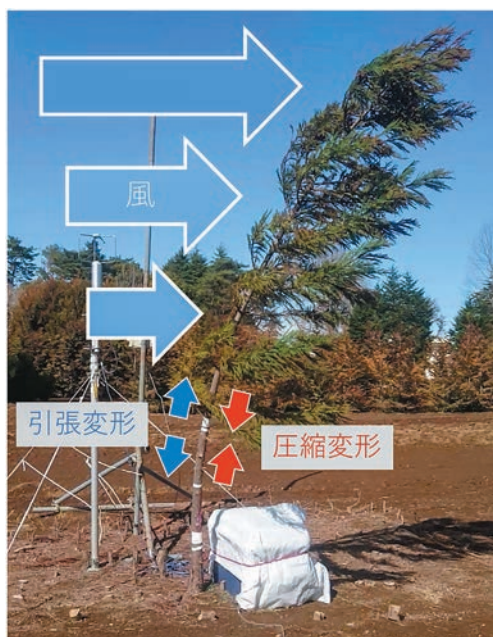


図1 風荷重を受けたときの樹木の幹のようす。風によって幹が曲げられると、風上側は引っ張られ、風下側は圧縮されて変形する。



図2 荷重試験のようす。幹にひずみゲージを貼り付けておくことで、幹が力を受けて曲がった時の変形量を計測することができる。

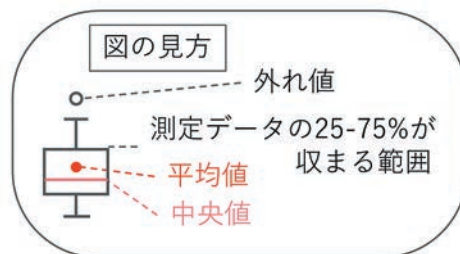
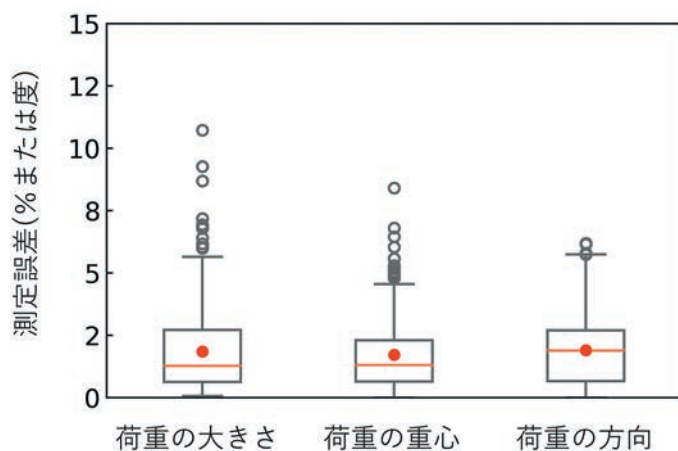


図3 スギの稚樹（図2）を用いた荷重試験の測定結果。与えた荷重に対する、本手法による測定の誤差を示す。荷重の方向のみ単位は「度」。

福島森で放射性セシウムはどう動いてきたのか？



立地環境研究領域 橋本 昌司・今村 直広

きのこ・森林微生物研究領域 小松 雅史

木材加工・特性研究領域 大橋 伸太

筑波大学 加藤 弘亮

国立環境研究所 仁科 一哉

量子科学技術研究開発機構 田上 恵子

福島原発事故で影響を受けた地域の約7割の面積が森林です。事故後の研究から、森林内の放射性セシウムの分布は時間とともに変化してきたことがわかっています。私たちは、事故後に様々な形で発表された研究データを集約し、樹木から土壌への移動、樹木内部への取り込み、土壌内の分布、きのこや山菜、野生動物への取り込み（移行係数）、濃度低下速度などのデータセットを作成しました。このデータセットにより福島原発事故による森林内での放射性セシウムの動態の全体像が明らかになり、その結果は国際原子力機関（IAEA）から全世界に広く発信されました。今後は世界中の研究者や行政担当者に活用されて、原発事故の影響を受けた森林の管理に貢献することが期待されます。

成果

大面積を占める森林

東京電力福島第一原子力発電所事故で影響を受けた地域の約7割が森林に覆われています。森林に降った放射性セシウムは、まず樹木の枝葉に付着し、それが地表へと移動し、表層の落葉層を通過して、その下の鉱質土壌へと移動していきます。さらに、土壌中の放射性セシウムの一部は樹体に取り込まれて、木材中に蓄積されていきます。

森林は、木材としてだけでなく、野生のキノコや山菜を採取したり、生息している大型動物を捕獲して食肉（ジビエ）としたり、様々な形で利用されます。そのため、福島原発事故で影響を受けた森林の今後の利用を考えるには放射性セシウムの実態を把握することが不可欠です。

たくさんのデータが取られたが

事故直後から、森林内の放射性セシウムの移動がどのような速さで起こっているのか、森林の中のどのあたりに放射性セシウムが蓄積し、どのように変化しているのかについて、多くの研究結果が発表されてきました。また食用のキノコや山菜、食肉などのモニタリング結果も公開されてきました。これらの膨大な調査結果は、研究者、行政機関によって様々な形で発表されてきたため、全体像が非常に見えにくい状態でした。

取りまとめて、全体像を提示する

私たちは、2016年から始まった国際原子力機関（IAEA）のプロジェクトに加わって、国内にとどまらず、欧州の研究

者とも力を合わせ、これまでに報告された調査結果を集約して、福島森における放射性セシウムの動態の全体像をつかむ研究に取り組んできました。具体的には樹木から土壌への移動、樹木内部への取り込み、土壌内の分布、きのこや山菜、野生動物への取り込み、濃度低下速度などのデータを整理し、データセットを作成しました。

これは福島森での放射性セシウムの動態を網羅的に集約し、その全体像がわかる唯一のデータセットです。福島原発事故で影響を受けた森林再生のための基礎データとしてだけでなく、国際原子力機関のプロジェクトという国際的枠組を通じて全世界に広く発信されることで、全世界の研究者や行政担当者に活用されることが期待されます。

研究資金と課題

本研究の一部はJSPS科研費（JP16H04945）「森林放射性セシウム動態データベースの構築とマルチモデルによる将来予測」および交付金プロジェクト*「森林の放射性セシウム動態解明による将来予測マップの提示」による成果です。

文献

Hashimoto, S. et al. (2020) Forest ecosystems, in: Environmental Transfer of Radionuclides in Japan Following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. IAEA-TECDOC-1927 IAEA, Vienna, pp. 129-178.

Hashimoto, S. et al. (2020) A dataset of ^{137}Cs activity concentration and inventory in forests contaminated by the Fukushima accident. Scientific Data, 7: article number 431

*森林総合研究所交付金プロジェクト

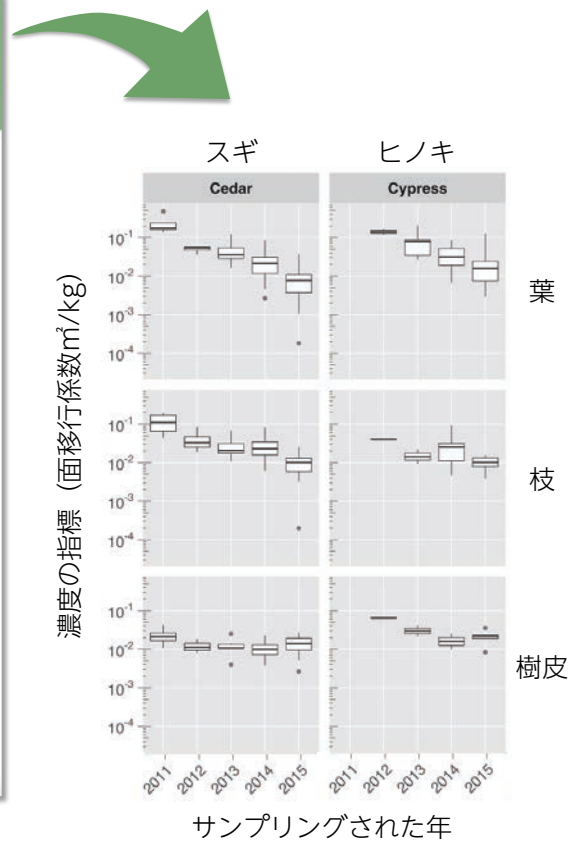
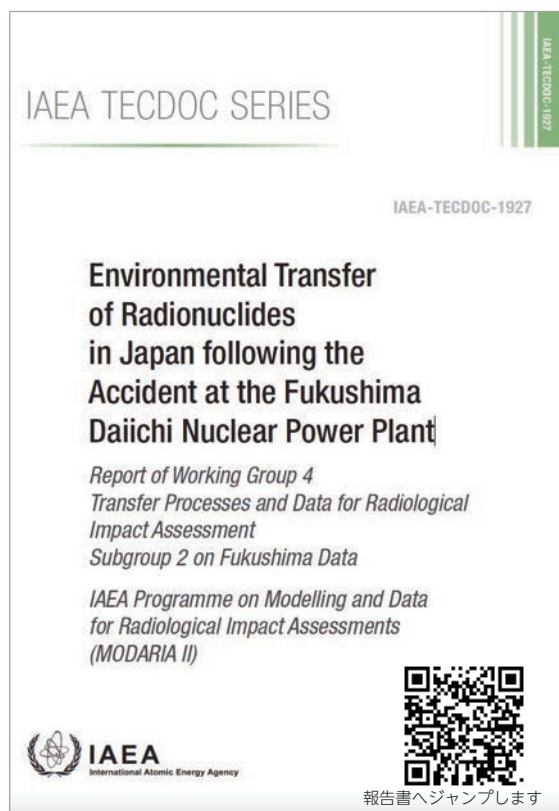


図1 報告書の表紙 (左)「福島第一原子力発電所事故後の日本における放射性核種の環境中の移行—ワーキンググループ4 (放射線学的影響評価のための移行プロセスとデータ) の報告書、国際原子力機関プロジェクト(MODARIA II)」<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1927web.pdf> 内容の一例 (右: 濃度指標の時間的变化)

気候変動下での天然生落葉広葉樹林による炭素吸収量の将来予測



北海道支所 山野井 克己・溝口 康子

東北支所 小野 賢二

研究企画科 安田 幸生

気候シナリオではCO₂濃度や気温の上昇とともに、台風、火災、虫害など森林被害の増加も予想されています。気候変動の直接的な影響に加えて森林被害が増加することは、森林の炭素吸収量に影響を与えると考えられます。そこで気候変動と森林被害の炭素吸収量への影響を明らかにするために、天然生広葉樹林を対象にして生態系プロセスモデルを用いて炭素吸収量の将来予測を行いました。その結果、森林の炭素吸収量は気温上昇の程度による差が小さいと予想されました。その一方で、気候変動により増加する台風などの大規模な森林被害は、発生直後に炭素吸収量を大きく減少させ、吸収量の回復には数十年かかることも明らかになりました。

成果

気候変動と森林の炭素吸収量

IPCCの第5次報告では、想定した気候シナリオごとにCO₂濃度や気温の上昇が予想されています（図1、2）。さらに、気候変動に起因した台風、火災、虫害などが増加して、森林が被害を受ける頻度が高まることが予想されています。このような気候変動により、森林に期待される炭素吸収も影響を受けると考えられます。これまでも気象学や生態学の手法により、さまざまなタイプの森林の炭素吸収量が長期にわたりモニタリングされています。しかし、人工林に比べて天然生広葉樹林は未解明なことが多くあります。さらに、気候変動の影響を明らかにするには、モニタリングを行ってきた期間よりもはるかに長い将来予測が必要となります。

観測データをもとに森林生態系をモデル化

札幌森林気象試験地（図3：北海道札幌市羊ヶ丘）と安比森林気象試験地（図4：岩手県八幡平市安比高原）では森林の炭素吸収量の継続的なモニタリングが実施されています。札幌はシラカンバやミズナラ、安比はブナが優占する天然生落葉広葉樹林です。札幌は台風による大規模な風倒被害（2004年）を受けてたくさんの倒木が発生しました。その後も2010年に冠雪害、2014年に虫害、2018年に風害などの小規模な被害が発生しています。安比は2007年に虫害が発生しましたが、枯れるまでには至らずに翌年には回復しました。札幌は被害を受けた天然林で、安比は安定して成長中の天然林ですが、20年たらずのモニタリング期間中でさえも、森林の炭素吸収量に影響をおよぼすイベントが繰り返し発生しました。森林の炭素吸収量は、年々変化する気象条件と被害の影響が重なり合ったものです。このように複雑な炭素吸収量の年々変化を、生態系プロセスモデルを用いて気象データにより再現しました（図5、6）。

気候変動による炭素吸収量の変化を長期予測

3つの気候シナリオ（RCP8.5、4.5、2.6）による札幌と安比の平均気温の予測データ（図2）から、生態系プロセスモデルを用いて2100年までの炭素吸収量を予測しました。気候変動により気温が上昇するほど森林による光合成量（図5a、6a）と生態系呼吸量（図5b、6b）はともに増加するものの、炭素吸収量（図5c、6c）は気温上昇の程度による差が小さいと予想されました。このことは、天然林による炭素吸収は将来も継続して、成熟した森林へと推移することを示しています。ただし、いつ発生するか予測できない台風、火災、虫害などによる大規模な森林被害が炭素吸収量の長期変化に大きく影響する（図5）ことも明らかになりました。

研究資金と課題

本研究は、交付金プロジェクト*「気候変動下での天然林における炭素収支の空間評価・将来予測手法の開発」による成果です。

専門用語

気候シナリオ：IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第5次報告で示されたシナリオでは、政策的な緩和策を前提とした代表的濃度経路（RCP）ごとに増加するエネルギー量を指標として8.5、6.0、4.5、2.6の4つの経路が想定されています。数字の大きなものほど気温上昇が進むことを示し、2.6は現状維持にかなり近い想定となっています。ここではRCP 6.0を除く3つのシナリオを用いました。

生態系プロセスモデル：葉、幹、根、土壌などを含む森林生態系内での炭素、窒素、水の貯留と移動をモデル化したものです。ここでは気温や降水量などの気象データから貯留量と移動量を日単位で求めることができるBiome-BGCというモデルを用いました。

森林の炭素吸収量、生態系呼吸量：森林の炭素吸収量は光合成によるCO₂の吸収と樹木の呼吸や有機物の分解によるCO₂の放出（生態系呼吸量）の差であらわれ、地上部と地下部を含めた森林生態系全体の吸収量を示します。「光合成量－生態系呼吸量＝炭素吸収量」と炭素収支の関係を示すことができます。各要素は炭素量に換算してkgCで示しています。

*森林総合研究所交付金プロジェクト

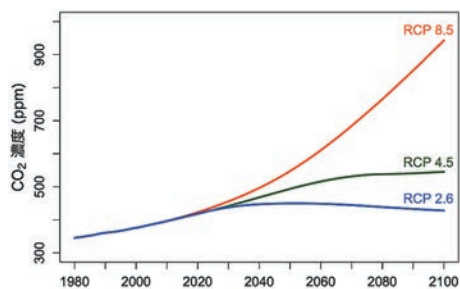


図1 気候シナリオから想定されるCO₂濃度の予測

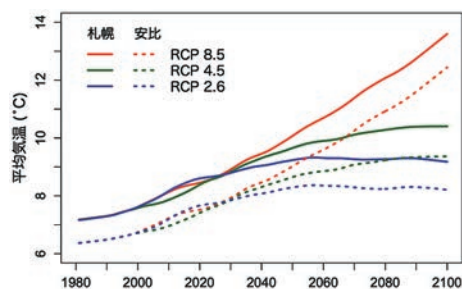


図2 気候シナリオから想定される平均気温の予測

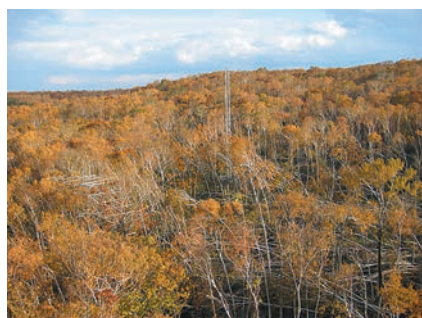


図3 札幌森林気象試験地の森林
2004年の台風被害のため多くの風倒木がある。

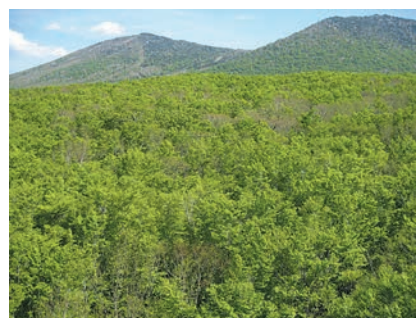


図4 安比森林気象試験地の森林
ほとんどがブナで占められている。

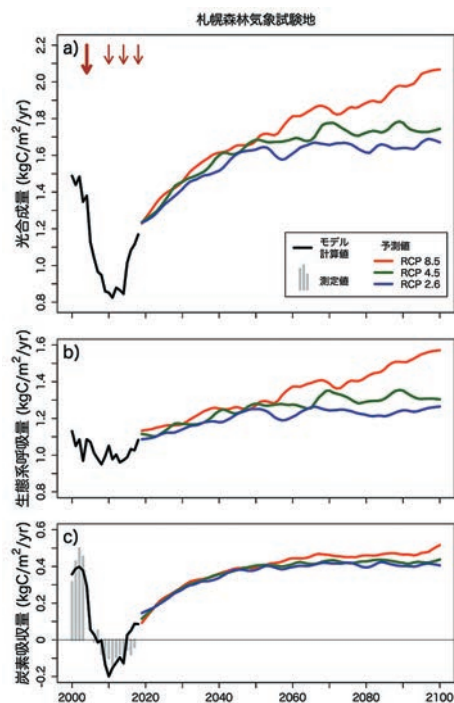


図5 札幌森林気象試験地での炭素収支の変化
太い矢印は2004年の大規模な風害、細い矢印はその後発生した小規模な被害を示す。

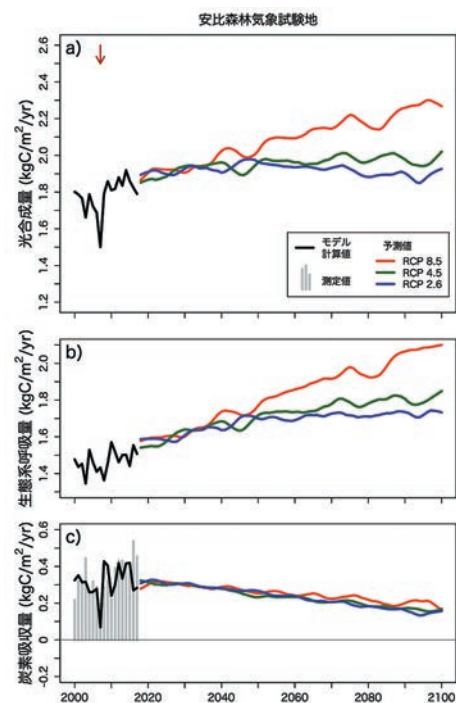


図6 安比森林気象試験地での炭素収支の変化
矢印は2007年に発生したブナアオシャチホコによる虫害を示す。

高温や乾燥ストレスを緩和して熱帯の森を再生する植林技術の開発



植物生態研究領域（現・国際農林水産業研究センター） 田中 憲蔵

四国支所 米田 令仁

マレーシアプトラ大学（マレーシア） Azani Mohamad Alias

東南アジア熱帯雨林地域では、森林の乱開発によりほぼ裸地化した土地がみられます。このような土地において緑化のために樹木を植栽しても、高温や強い乾燥のためにうまく生育しません。そこで植えた苗を覆う被陰シェルターを開発し効果を確かめる試験をマレーシアの荒廃裸地で行いました。その結果、シェルター内では、裸地に比べて気温が1.5～3℃低く、湿度が7～12%高くなりました。劣悪な生育環境が緩和されることでシェルター内の苗は成長が促進され、裸地の苗に比べて樹高が最大で1.7倍高くなりました。今後、気候変動により高温・乾燥ストレスが増大すると考えられますが、開発した技術は将来にわたり熱帯の森を再生する有効な手段となります。

成果

劣化が進む東南アジアの熱帯雨林

東南アジアの熱帯雨林は人為的な開発が長く続き劣化した森林が増加しています。半島マレーシアは広大な熱帯雨林に覆われていましたが、スズ鉱山跡地や農地開発後の放棄地など、ほとんど裸地化した荒廃地も見られます（図1）。このような荒廃地では、樹木を植えて熱帯雨林を再生する取り組みが行われています。

植栽による熱帯雨林の再生の試み

通常、熱帯雨林の幼木は親木の下など比較的暗くて湿った環境で育っていきます。しかし、荒廃地では、樹木などの遮蔽物が無いために熱帯特有の強烈な日差しが地面に直接降り注ぎます。そこに生育する植物には高温や乾燥のストレスが強くなるため、成長や生存が難しい環境となります。このため、荒廃地に苗木を直接植えても成長が悪く、枯死することも珍しくありません。過酷な環境をどのように緩和し、植栽を成功させるかが熱帯雨林再生のカギになります。

被陰シェルターによるストレス緩和と成長促進

そこで、高さ2mと3mの人工的な被陰シェルターを作製し、環境緩和効果と植えた苗木の生育状況を調べました（図2）。試験はマレーシアの荒廃した裸地でおこない、植栽苗としては、合板などに使われる郷土樹種のジェルトン（*Dyera costulata*）を用いました。その結果、どちらのシェルター内も裸地に比べ、気温が1.5～3℃低下し、

湿度も7～12%上昇したことから、過酷な環境が緩和されていることが分かりました。また、樹高はシェルター内の方が裸地に比べ最大1.7倍高く、成長促進効果が見られました（図2、3）。シェルター内の苗では、単位面積当たりの葉の光合成速度は裸地に比べてやや高い程度でしたが（図3）、光合成器官である葉の量が約1.5倍多くなっていました。一方、裸地の苗は蒸散量を抑制して乾燥から身を守るために葉の量が低下したと考えられました（図3）。このように、開発したシェルターは、高温・乾燥によるストレスを緩和して植栽苗の成長を促進することが実証され、荒廃地の緑化に役立つことがわかりました。気候変動により高温・乾燥ストレスが増大し、特に荒廃地ではその影響が強くなると考えられます。開発した技術は、将来にわたり熱帯の森を再生する有効な手段となります。

研究資金と課題

本研究は、実施課題*「熱帯林の生態系機能を活用した気候変動適応および緩和技術の開発」で行い、JSPS科研費（JP16K07795）「東南アジアの熱帯山地林と低地熱帯雨林樹木の高温・乾燥耐性の解明」による成果も含んでいます。

文献

Tanaka, K. et al. (2021) Artificial shade shelters mitigate harsh microclimate conditions and enhance growth in tropical tree seedlings planted in degraded land. *Tropics*, 29(4). 121-132. Doi: 10.3759/tropics.MS20-07

*森林総合研究所実施課題



図1 天然林（左）と荒廃して裸地化した熱帯雨林（右）

天然林は樹高40mを超える樹木に覆われていますが、裸地では日陰がなく高温や乾燥、強光ストレスが強いため植栽した苗の生育が不良になります。



図2 開発した被陰シェルター（左）と裸地（右）に植栽し1年が経過したジェルトンの苗

シェルター内の苗は裸地に比べ葉の量が多く樹高も高くなりました。

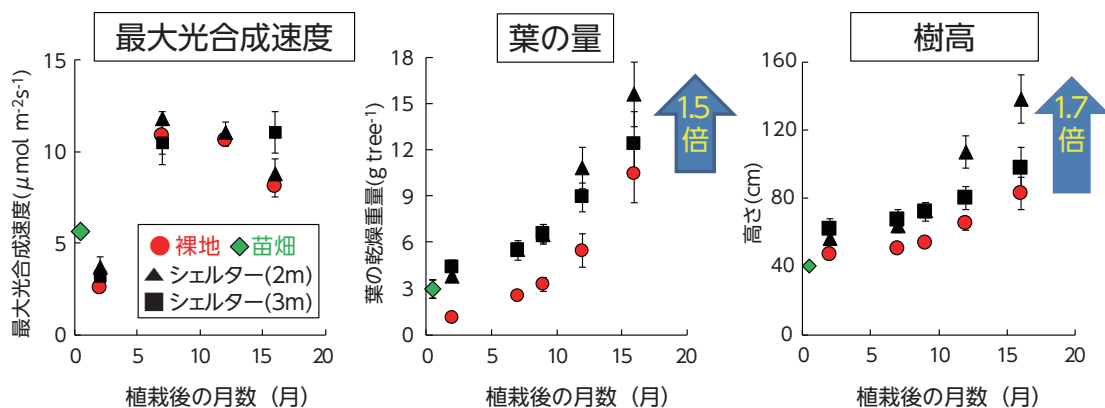


図3 シェルター（高さ2mと3mタイプ）と裸地の樹高、葉量、光合成速度の変化

光合成速度は裸地に比べシェルター内の方がやや高い程度でしたが、葉の量が多いために総光合成量が大きくなり成長が促進されたと考えられました。一方、裸地の苗は蒸散量を減らして乾燥ストレスに順応するため、葉の量が低下していると考えられました。(Tanaka et al. 2021 を改変)

森林からの自然の恵みの未来予測



森林植生研究領域 小黒 芳生・黒川 紘子・小林 卓也

森林昆虫研究領域 滝 久智

研究ディレクター 正木 隆

人類の生活はさまざまな自然の恵みに依存していますが、気候変動や土地利用変化などにより自然の恵みは減少し続けています。自然の恵みを持続的に利用するためには、今後、自然の恵みがどのように変化していくのかを予想することが必要です。このため、自然の恵みの一つであるスギ・ヒノキの木材生産可能量が2050年までにどう変化するかを予測しました。その結果、どのような将来シナリオでもスギ・ヒノキの木材生産量は減少すると予測されましたが、減少量は人口分散・自然資本活用シナリオで少ないと予測されました。その一方、耕作放棄地を森林に転換することで自然資本としての価値や炭素吸収が増加する可能性があることがわかりました。

成果

はじめに

人類の生活は森林による二酸化炭素吸収や木材の生産など、さまざまな生態系サービス（自然の恵み）に依存しています。しかし、気候変動や土地利用変化などの人為的な要因により自然の恵みが減少し続けています。将来にわたって持続的に自然の恵みを利用するためには、まず今後自然の恵みがどのように変化するかを予想する必要があります。

5つの将来シナリオ

そこで、この研究では自然資本を利用する社会・人工資本を利用する社会という軸、人口が都市に集中する社会・人口が分散する社会という軸の2つを組み合わせ4つの将来シナリオを作成しました（図1）。これら4つのシナリオに現状維持を合わせた5つのシナリオの下での2050年までの自然の恵みの変化を予測しました。この予測には自然の恵みと土地利用や人口分布などとの関係を学習させて開発した機械学習モデルを用いました。

2050年までの木材生産量変化と需要の変化

自然の恵みの一つであるスギ・ヒノキ木材生産量の2050年までの変化を見ると、どのような将来シナリオでも生産量は減少する場所が多いと予測されました（図2、ただし個体密度や個体サイズは現在の全国平均と変わらないと仮定しました）。さらに生産が増加した場所と生産が減少した場所に分けて生産量の変化を集計すると、全国での生産量はどのシナリオでも減少すると予測されましたが、自然資本利用・人口分散シナリオでは減少量が少ないという予測になりました（図3）。また、生産量の減少をもたらす主な要因はスギ林・ヒノキ林面積の減少であると予測されました（図3）。その一方、人口から計算した現在・将来の木材需要と生産可能量とのバランスを見ると、どのシナリオでも木材の供給可能量は需要よりも多いことが予測されました（図4）。

耕作放棄地の森林転換の効果

さらに、全国で増加している耕作放棄地を森林に転換した

場合、日本全体での自然資本の価値や炭素貯蓄がどう変化するかを予測しました（図5）。その結果、2030年までに耕作放棄される場所を森林に転換した場合、自然資本の価値と炭素貯蓄量の両方が増加すると予測されました。また、耕作放棄地を人工林と二次林に転換した場合を比べると、自然資本の価値の増加量は耕作放棄地を二次林に転換した場合の方が多く、炭素貯蓄の増加量は人工林に転換した場合の方が大きいことがわかりました。

まとめ

2050年の木材需要はスギ・ヒノキの年間木材生産可能量より少ないと予測された一方、耕作放棄地を森林転換する場合、自然資本としての価値の増加は人工林より二次林への転換の方が大きいと予測されました。これらの結果は、さまざまな自然の恵みを維持するためにはさまざまな林種が必要であることを示していると考えられます。

研究資金と課題

本研究は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費「S15 社会・生態システムの統合化による自然資本・生態系サービスの予測評価」（JPMEERF16S11500）により実施しました。また、本研究に用いた気候データの一部は「アメダスデータのメッシュ化プログラムver.4（農研機構）」を用いて作成しました。

文献

Kumagai et al. (2021) Natural capitals for nature' s contributions to people: the case of Japan. Sustainability Science. (印刷中)

専門用語

自然資本：自然の恵みを生み出す自然そのもののこと。本研究では自然資本の経済価値はアンケート調査による支払い意思額により求めた。

人工資本：設備や建築物、インフラなどの人工的に作られた資本の総称。

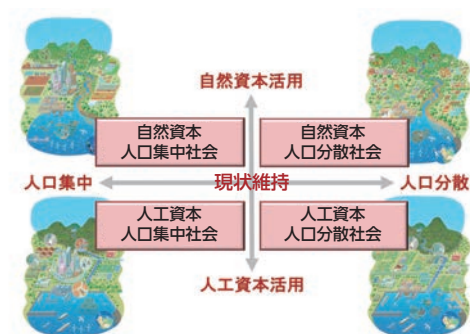


図1 将来の5つのシナリオ（PANCES 政策提言No.1 2020年7月版より作成）。

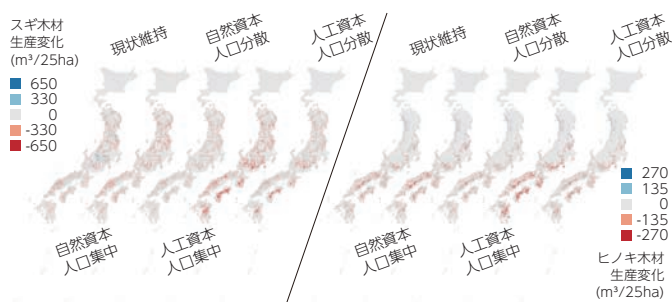


図2 現在から2050年にかけてのスギ・ヒノキの木材生産量の変化の予測地図。

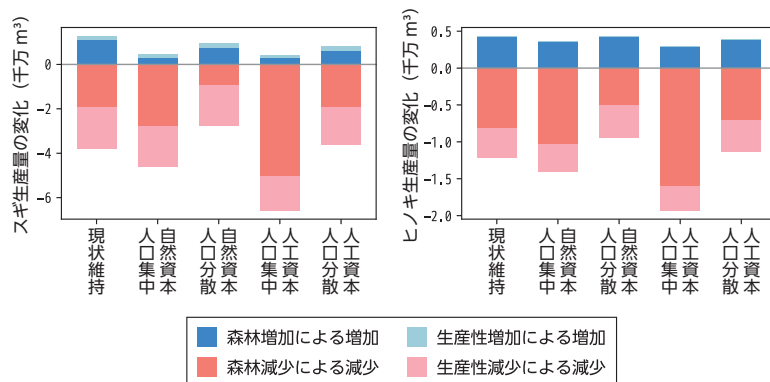


図3 現在から2050年のスギ・ヒノキの木材生産量の変化をもたらす要因。図2で生産量が増加する場所・減少する場所が見られたため、増加・減少に分けて変化をもたらす要因を解析した。

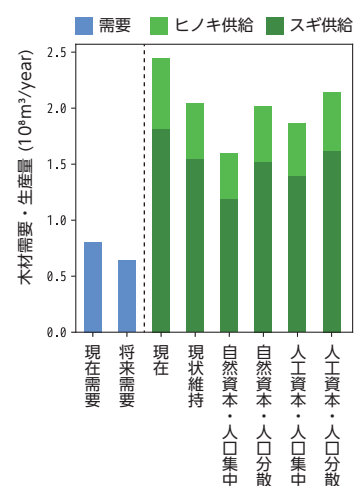


図4 現在・将来の木材需要とスギ・ヒノキの木材生産量予測値のバランス。

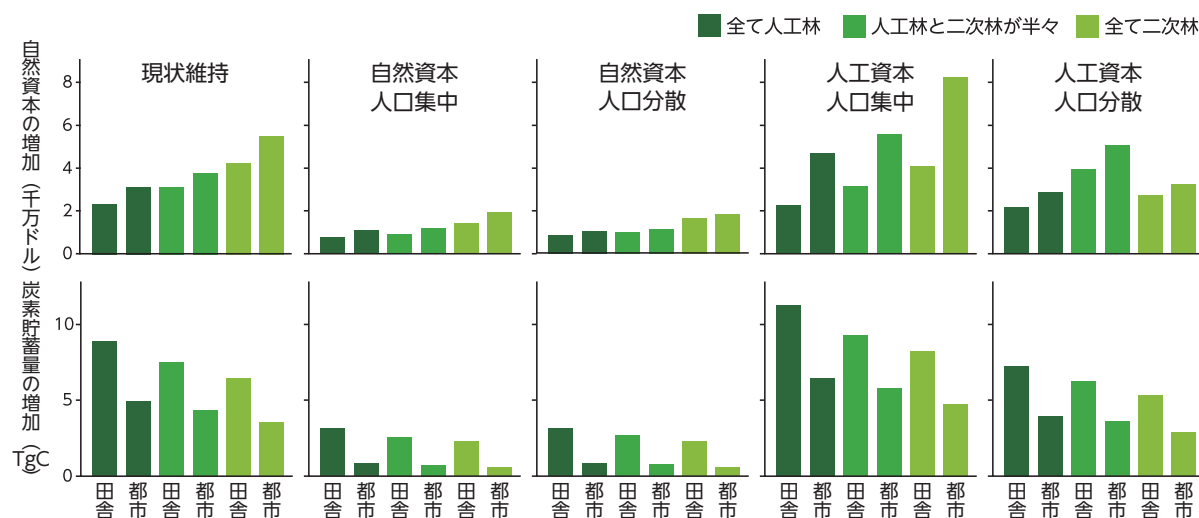


図5 耕作放棄地を人工林・二次林に転換したときの自然資本の価値・炭素貯蓄量の全国での増加量（Kumagai et al. 2021より作成）。増加量は人口集中シナリオで人口が集中する「都市」と減少する「田舎」に分けて集計した。

ニホンジカは2050年までにその勢力を全国に拡大すると予測されます



野生動物研究領域 飯島 勇人・永田 純子・岡 輝樹

東北支所 相川 拓也・高橋 裕史 関西支所 八代田 千鶴

九州支所 近藤 洋史 (株)マップクエスト 寺田 行一

自然環境研究センター 諸澤 崇裕・川本 朋慶・荒木 良太

愛知県森林・林業技術センター 石田 朗・釜田 淳志・狩場 晴也

わが国の農林業に対する最大の加害獣ニホンジカの分布域はどんどん拡大し、近年では北陸地方や北東北地方でも頻繁に目撃されるようになってきました。本研究では現在のシカの分布最前線を把握する手法を開発するとともに、気候変動に伴う自然環境の予測シナリオも考慮しつつ、シカの分布を中長期的、広域的に予測しました。

その結果、生息分布確率50%以上の地域は2025年に国土の約7割、2050年には約9割を超え、新規植林地における苗木被害、成長した林分における剥皮被害が懸念される地域も拡大することがわかりました。捕獲と防除を車の両輪として、対策をより一層進めていく必要があります。

成果

分布最前線を把握し、捕獲する

ニホンジカ(エゾシカ等亜種も含む)の分布拡大とそれに伴う被害拡大を抑制するためには、分布の最前線を的確に把握し、そこで捕獲する必要があります。シカの生息が記録されていないエリアであっても、すでに分布が確認されている地域からの距離が近い場所では、自動撮影カメラを設置することによって生息が確認され、分布の最前線を把握することができました。一方シカの密度が極めて低く自動撮影カメラでは生息を確認できない場所では、食痕や糞等の痕跡に残されたDNAを分析するために開発した「ニホンジカ・カモシカ識別キット」によって、シカの生息及び分布の最前線を効率的に把握することができました。さらに、スマートフォン等携帯端末を利用して市民によるシカの日撃情報や捕獲情報を位置データとともに収集、管理、閲覧できる「シカ情報マップ」を開発して全国展開したところ、10,000件を超える情報が集まりました。捕獲事業等を実施する際、このシステムの閲覧機能を利用して場所を決めるなど、分布拡大問題に取り組む住民ネットワークも誕生しました。

シカの分布はさらに拡大

将来のシカの分布を予測しました。過去約35年の分布拡大過程から、ある時点でシカが分布していた地域は、それまでに分布していたエリア(基本単位約5km四方)に新たに生息し始めたエリアを加えたものであることがわかりました。新たなエリアに分布するためにはそこに生息に適した環境があるかが重要ですから、どんな要因が関わっているかを探りました。さらに、過去にシカは日本全土に生息しており、戦中戦後にかけて一度分布が非常に縮小、その時にも生息していた地域からの分布回復であるため、環境条件だけでなく、縮小したときにも分布していた場所への近さも分布確率に影響すると考えられます。そこで、過去の分布域からの距離を変数として組み込みました。この予測手法がシカの最近の拡大過程をうまく説明できることを確認し、中長期的将来予測へと発展させました。また、気候変動の影響を見るため、積雪日数など環境要因の変数については、最も気温上昇が低いシナリオであるRCP2.6と最も気温の上昇が大きい

シナリオであるRCP8.5の気象予測値を用いました。そして予測の結果、RCP8.5シナリオ下のほうが拡大速度が少し早いものの、どちらのシナリオでもシカの生息分布確率が50%以上の地域は2025年に全国の約7割、2050年には9割を超えると予測され、温暖化による影響に加えてシカ個体群の強い繁殖力が分布拡大に寄与していると考えられました(図1)。さらに、分布拡大によって植栽された苗木に対する被害(図2)や、成木に対する樹皮剥ぎ被害(図3)も全国に拡大してしまうことが予測されました。

予測を活かして

シカの分布拡大を阻止、あるいは拡大する速度を少しでも遅くすることによって影響を最小限にとどめるためには、既存の捕獲技術による成果を正しく評価し、より効率の高い技術の創出へつなげることが不可欠です。本研究で開発した最前線把握手法、予測手法は新たな取組の効果を判定するときに役立つでしょう。

研究資金と課題

本研究は、農林水産省委託事業「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」における「野生鳥獣拡大に係る気候変動等の影響評価」による成果です。

文献

相川拓也(2018)ニホンジカ・カモシカ識別キット—その使い方と使用例—。森林防疫, 67(1), 15-24.
Ohashi, H. et al. (2016). Land abandonment and changes in snow cover period accelerate range expansions of sika deer. Ecology and Evolution, 6(21), 7763-7775.
岡輝樹(2020)ニホンジカの生息情報を共有する。山林, 1637, 62-69.

専門用語

RCP2.6及びRCP8.5: 温室効果ガスの排出量を基準に分けられた、気候変動を予測する際の2つのシナリオ。数値が高いほど排出量は大きい。RCP2.6では2100年の平均気温が基準年(1986年～2005年)の平均より約2℃上昇、RCP8.5では約4℃上昇すると予測されている。

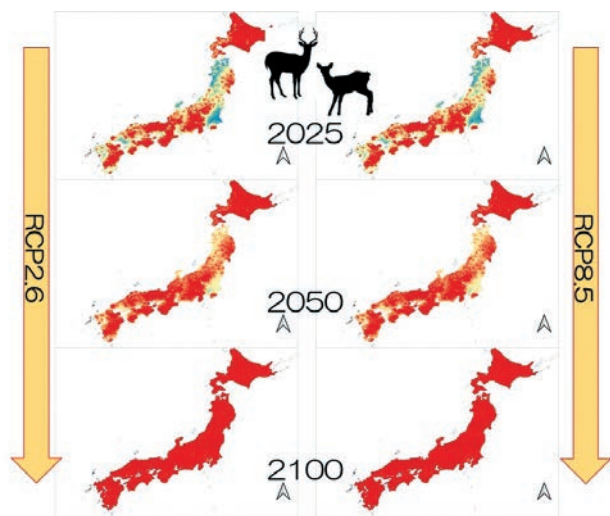


図1 ニホンジカの分布予測。分布確率が低い地域（青色）から高い地域（赤色）まで段階的に色分けして示す。（左：RCP2.6、右：RCP8.5下での予測。積雪日数はOhashi et al. (2016)と同様の手法で推定した。）

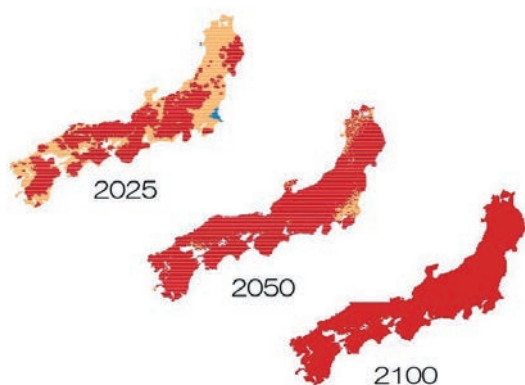


図2 忌避剤による被害防除処理した新規植林地における苗木食害発生確率予測。段階的な色分けは図1と同じ。計算には森林整備センターによる水源林造成事業地のデータを用いた。

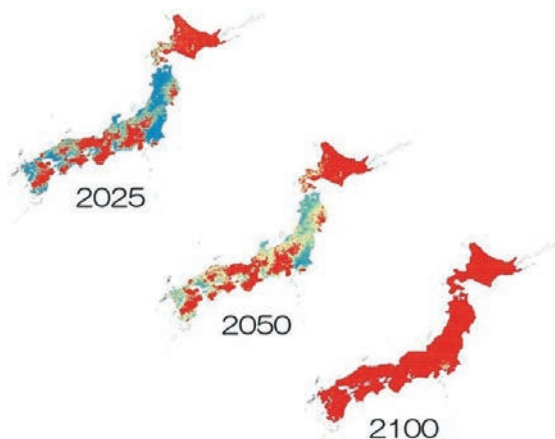


図3 ヒノキ植林地があった場合における剥皮被害発生確率予測。段階的な色分けは図1、2と同じ。計算には林野庁森林生態系多様性基礎調査結果を用いた。

シカからスギを一本ずつ守る「単木保護資材」

九州支所 野宮 治人



シカ被害対策は防鹿柵が一般的ですが、植栽木を1本ずつ筒状の単木保護資材（以下、資材）で守る方法もあります。そこで、植栽したスギ苗に資材を取り付けた施工地を九州と四国で調査して、その特徴と効果を明らかにしました。スギが小さく資材の中にある間は、シカによる被害は少数でした。資材はスギの樹高成長を促進し、植栽後3年ほどで高さ140cmの資材から抜け出す施工地が多くなりました。しかし、資材から抜け出した枝葉は無防備になり、シカの食害で樹形異常を起こすスギが発生しました。シカの生息密度によってその被害率は大きく異なるため、対象林分でのシカの影響度を事前に検討しておくことが重要です。

成果

単木保護資材とは

防鹿柵が造林地全体を守ってシカの侵入を防ぐのに対して、筒内に苗木を1本ずつ入れて保護する、単木保護資材（以下、資材）を利用する方法があります。日本では1990年代にシカ被害対策としてこの資材が使われ始め、10年くらい前からプラスチックシートを筒状に組み立てる資材（図1：資材高140cm）の使用事例が増えてきました。本研究では、植栽スギに対するこのプラスチックシートタイプ資材の特徴や効果を明らかにするため、九州と四国の43施工地（2～7年生）の現状を調査しました。

単木保護資材の中では

スギが資材の中にある間は、比較的シカの被害を受けませんでした。資材を施工したスギは植栽後3年ほどで平均樹高が資材の高さを超え、資材を使わない場合に比べて樹高成長が大変良好でした（図1）。一方、植栽して初期に枯れたと考えられるスギや、資材が斜めに傾いたり落石などで破損したりして成長を阻害されたスギも確認されました。こうした被害の程度に応じて、枯れたスギの植え直しや、破損した資材の補修などのメンテナンスが必要になります。

単木保護資材の高さを超えると

スギが成長した場合、資材高を超えた枝葉は無防備になるので、シカ被害を受けることが分かりました。資材から出た枝葉が少し食害される程度（微害）（図2）であれば、全く被害がなかったスギ（図1）と同様に健全な成

長が期待できました。一方、資材高を超えた主軸が資材の外に引き出されたスギ（図3）は、主軸が資材の噛み合わせ部分に挟まれたまま成長すると樹形異常（図4）になる可能性が高くなります。さらに、スギの樹高に関係なくシカが資材を壊して食害する被害（図5）では、多くのスギが枯れていました。

単木保護資材の施工地の現状

本研究ではスギがシカの食害で枯れたり（図5）、正常な成長が期待できなくなる被害（図3、4）を、シカによる「激害」と定義しました。調査した43施工地のスギと資材の状態を整理すると、ほとんど激害の発生しなかった施工地から全滅に近い施工地まで被害の発生率は施工地間で大きく異なりました（図6）。激害の発生率は、施工地の傾斜や標高よりも、施工地周辺に残るシカの痕跡量と関係しました。そのため、植栽前に対象林分周辺のシカ生息数を予測し、資材でスギがどの程度守れるかを検討しておくことが重要です。

研究資金と課題

本研究は、交付金プロジェクト*「九州・四国地域の若齢造林地におけるシカ被害対策の高度化」による成果の一部です。

文献および参照サイト

森林総合研究所（2021）第4期 中長期計画成果40（持続的林業-7）「西日本の若齢造林地におけるシカ被害対策選択のポイント～防鹿柵・単木保護・大苗植栽～」 <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/4th-chuukiseika40.html>

*森林総合研究所交付金プロジェクト



図1 無害のスギ
(単木保護資材の
高さは140cm)



図2 微害のスギ
(赤印は食害痕)



図4 資材から引き出され
ること樹形異常と
なったスギ



図3 資材から引き
出されたスギ



図5 資材が破壊さ
れて食害された
スギ
(この後は枯れる
ことが多い)

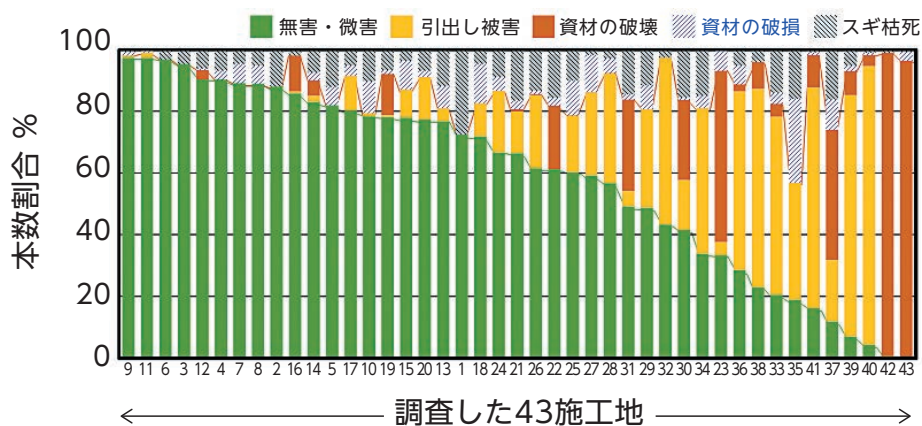


図6 調査した43施工地のスギと単木保護資材の状態

激しいシカ被害（引出し被害・資材の破壊）の割合は施工地で大きく異なる。資材の破損と植栽初期のスギ枯死にはシカが影響していない。

森林作業道における情報化施工システムの開発



林業工学研究領域 鈴木 秀典・山口 浩和・瀧 誠志郎・吉田 智佳史・中澤 昌彦
白澤 紘明・宗岡 寛子・山口 智・猪俣 雄太
有水 賢吾・伊藤 崇之・上村 巧・田中 良明
北海道支所 佐々木 達也 (株)前田製作所 市川 作雄・竹元 哲也
(株)ジツタ 山内 延恭 アジア航測(株) 大野 勝正 岩手大学 斎藤 仁志
東京農工大学 松本 武 長野森林組合 赤松 玄人

木材生産のためには森林作業道などの基盤整備が必要です。森林作業道は作設費用を抑えつつ強固で崩れにくい道とすることが求められ、作設には高度な経験を要します。土木分野では、GNSS（衛星測位システム）や測量器械などから得られるデジタルデータを活用した情報化施工によって、高効率・高精度の作業を実現しています。そこで、森林内での作業道作設作業にもこの技術を適用するためのシステムを開発しました。その結果、路線計画から完成後測量までの一連の作業において労働生産性が向上するとともに、経験を要する締固め作業を支援するシステムを組み込むことで、経験に関わらず安定した道をつくることが可能となりました。

成果

情報化施工システムの概要

開発したシステムは、施工を行う油圧ショベルの位置を特定するためのトータルステーション（測量機器）、油圧ショベルのバケット先端位置を把握するためのセンサ、締固め状況の評価するために試作した測定装置のほか、すべての機器類のデータを集約し作業者に必要な情報を表示するモニタなどから構成されます。

機械位置計測システム

油圧ショベル位置を測定するためには、GNSSを使用するのが一般的ですが、森林内ではGNSSの電波環境が悪く高精度に測位することができません。そこで、油圧ショベルに取り付けたプリズムをトータルステーションが自動で追尾することで、位置を測定するシステムとしました（図1）。またこのトータルステーションを油圧ショベル運転席から操作するため専用のアプリケーションを開発しました。

油圧ショベル先端位置検出システム

油圧ショベルで操作するバケット先端位置を高精度に求めることで、バケットから設計面までの距離を運転席内のモニタに表示することができます。作業者はこのモニタを見ながら掘るべき位置や深さなどを確認することができ（図2）、正確な施工を効率的に行うことができます。

締固め状況の評価システム

3種類の機能を開発して、締固め状況の評価できるようにしました。まず、路面の支持力（耐荷重）を計測する機能です（図3）。一連の計測操作を運転席から一人で行うことがで

き、施工後の強度確認などに利用できます。次に、走行による路面の沈下量を計測する機能です。路面の沈下量を自動的に計測することで、現地における最適な締固め回数を決めることができ、過不足のない締固め作業を支援します。さらに、路面の硬軟を判定する機能です。走行時の振動加速度特性から広範囲で軟らかい箇所を探索することができるため（図4）、締固め不足などによる施工不良がなくなります。

完成後の測量も簡単に

これまでは、路線延長や道の横断形状の測量などを完成後に行っていました。この測量の代わりに作業道の写真を撮影して道の形状の3次元モデルを作成することで、1人での測量作業が可能となりました。さらに、新たに開発した手法では、歩行しながら動画を撮影することで複数の静止画像を効率的に取得することができるようになりました。これらの手法によって、完成後の測量にかかる作業時間をこれまでの5分の1程度に縮減することができました。

研究資金と課題

本研究は農研機構生研支援センター「生産性革命に向けた革新的技術開発事業」における「作業道の情報化施工に関する実証事業」による成果です。

文献

山口浩和(他) (2020) 森林作業道の情報化施工に供する油圧ショベルの姿勢演算精度. 森林総合研究所研究報告, 19(3), 269-273.

瀧誠志郎(他) (2020) 動画データによる作業道の三次元点群データの構築. 森林利用学会誌, 35(4), 203-208.



図1 トータルステーションによる油圧ショベル位置の計測

油圧ショベル後方のトータルステーションがプリズムを自動追尾して油圧ショベルの位置を計測します。

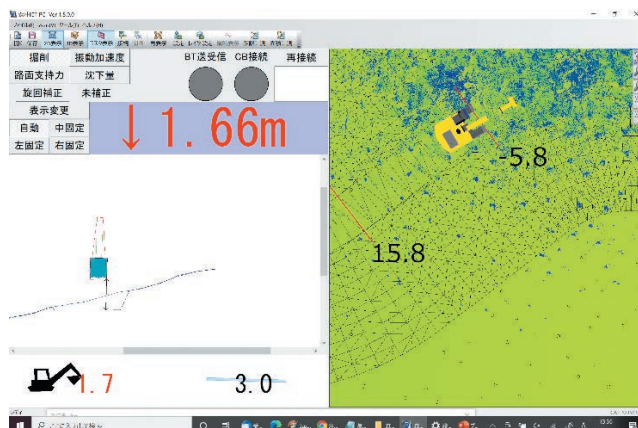


図2 掘る場所や深さを確認することができるモニタ

右画面（施工箇所の平面図）で掘る場所を、左画面で掘る深さを確認します。



図3 路面支持力測定装置

運転席から操作および計測値の確認ができます。

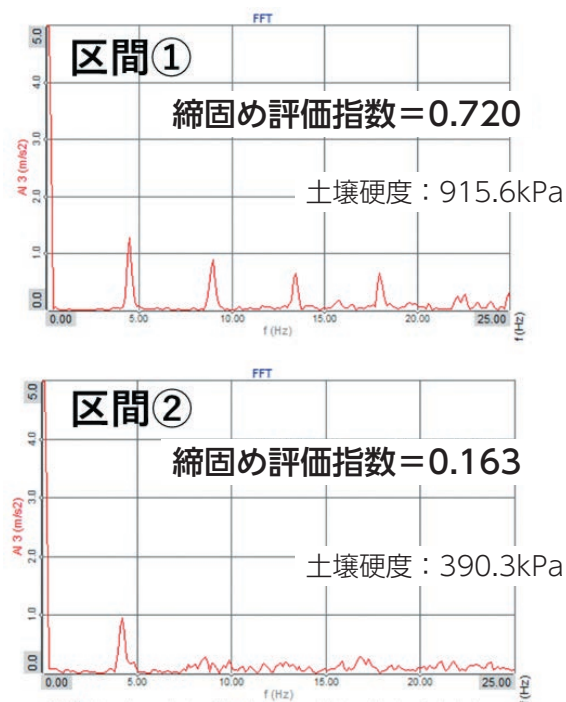


図4 振動加速度計による路面硬軟の判定

振動加速度を解析して得られる締固め評価指数は路面が軟らかいほど値が小さくなります。区間②ではこの数値が小さく、路面が軟らかいと判断できます。

林業の現場への外国人労働力受入れにあたっての課題



林業経営・政策研究領域 田中 亘

林業の現場では外国人労働力の受入れがほとんど見られません。これは農業などで活用されている外国人技能実習制度が本格的に導入されていないことが大きな理由です。この制度を他産業と同様に活用するには技能検定制度の整備が必要であり、その実現に向けて林業技能向上センターが設立されました。ただし、技能実習制度の本格的な導入には5年程度かかることが分かりました。技能実習制度を前提とした外国人労働力の受入れへの課題として、林業技能向上センターや監理団体等の関係組織の整備拡充と情報発信強化の必要性が挙げられます。また、技能実習制度と国内の林業労働力の確保育成施策との連携も効率的に図る必要があると考えられます。

成果

林業では実績の少ない外国人材の受入れ

日本国内の生産年齢人口は、少子化により減少し続けており、労働力不足が深刻化しています。それに対して、外国人労働力を導入して不足を補おうとする動きが活発化しています。第一次産業において、農業や漁業では技能実習制度を導入して、多くの外国人労働力が受入れられています。しかし、林業は技能実習制度の1号区分にとどまり、2号への移行対象職種に指定されていません。そのため現行では、林業における技能実習期間は1年間であり、他産業（技能実習2号への移行対象職種）の最長5年間とは大きな開きがあります（表1）。

技能実習制度を設けるには

他産業と同様な技能実習制度を導入するためには、実習生の技能習得度を計る技能検定制度の整備が不可欠となっていますが、林業では未整備の状況です。その実現に向けて、全国森林組合連合会を中心とする林業関係諸団体によって林業技能向上センターが2019年に設立されました。今後の技能検定制度の実施に向けて、厚生労働省との事前協議、試行試験の実施といった準備に5年程度かかることが見込まれます。

先行モデル事業から分かったこと

愛媛県で実施された外国人技能実習生受入れモデル事業（2017～2019年度）を調査したところ、受入れ企業では、言葉の面も含めて技術指導面の負担が想定より小さく感じる一方、経済面の負担が大きいことが分かりました（表2）。また、実習期間が短期間（1年間）であるため、技能習得に一定の効果があるものの、出身国の林業への技能移転に至るまで十分な技術を取得している状況ではありませんでした。技能実習生個人の視点からは、日本での生活に一定程度満足していること、実習期間を通じて得られる所得に大きく期待していることがうかがえました（表3）。

本格的な受入れまでに整えること

林業における外国人労働力受入れの実績は少ないため、現状で関連情報を入手することは簡単ではありません。この問題を解決するために林業技能向上センターが情報を集約し、積極的に発信していくことが求められます。また農業や漁業にならって、実習が適正に行われるように受入れ企業と実習生の指導・監督などを行う監理団体組織を林業関係団体内に設ける是非など、幅広い議論と準備が必要と考えられます。さらに、技能実習制度と、「緑の雇用」を中心とする国内の林業労働力の確保育成施策が連携して、例えば安全衛生講習など基礎的な研修の一部を共同で実施することなどによって、林業現場技能者の育成をより効率的に運用できることが期待されます（図1）。

研究資金と課題

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

文献

田中亘（2020）林業における外国人労働力の受入れ過程—愛媛県を事例に一。森林総合研究所研究報告。19（4）、331-340。

専門用語

外国人技能実習制度：技能移転を目的として、国内の受入れ企業において外国人が報酬を伴った実習を行う制度。技能実習1号（1年期限）は全職種が対象となるが、同2号（2年期限）と同3号は（2年期限）は技能検定制度を有する一部の職種に限定される。「団体監理型」と「企業単独型」の2タイプがあり、前者が97%（2020年）を占める。

「緑の雇用」：2003年度に始まった日本国内における林業労働力の確保育成施策。フォレストワーカー研修では職場における現場実習に加えて、都道府県単位で集合研修が実施される。

*森林総合研究所実施課題

表1 技能実習制度活用の概況

	全職種	農業	漁業	林業
2号以降への移行職種	82種150作業	2職種6作業	2職種10作業	—
実習期間	5年まで	5年まで	5年まで	1年まで
技能検定実施者	各業界団体	全国農業会議所	大日本水産会	林業技能向上センター (2020年代後半)
技能実習生数 (2020年)	366,167人	32,419人	3,014人	—
全就業者に占める割合	約0.5%	約2%	約2%	—

表2 受入れ企業の負担モデル

	(円)	備考
① 月給	180,000	日本人と同等を想定
② 社会保険料等	25,000	
③ 監理費	35,000	監理団体へ毎月支払
総負担額	240,000	=①+②+③

表3 技能実習生の収支モデル

	(円)	備考
① 月給	180,000	
② 社会保険料等	26,000	帰国後、年金の本人掛分のうち7割が還付
③ 手取り支給額	154,000	=①-②
④ 住居高熱費	20,000	寮等への入居を想定
⑤ 食費等生活費	30,000	聞き取り調査の平均額
貯蓄・仕送り	104,000	=③-④-⑤

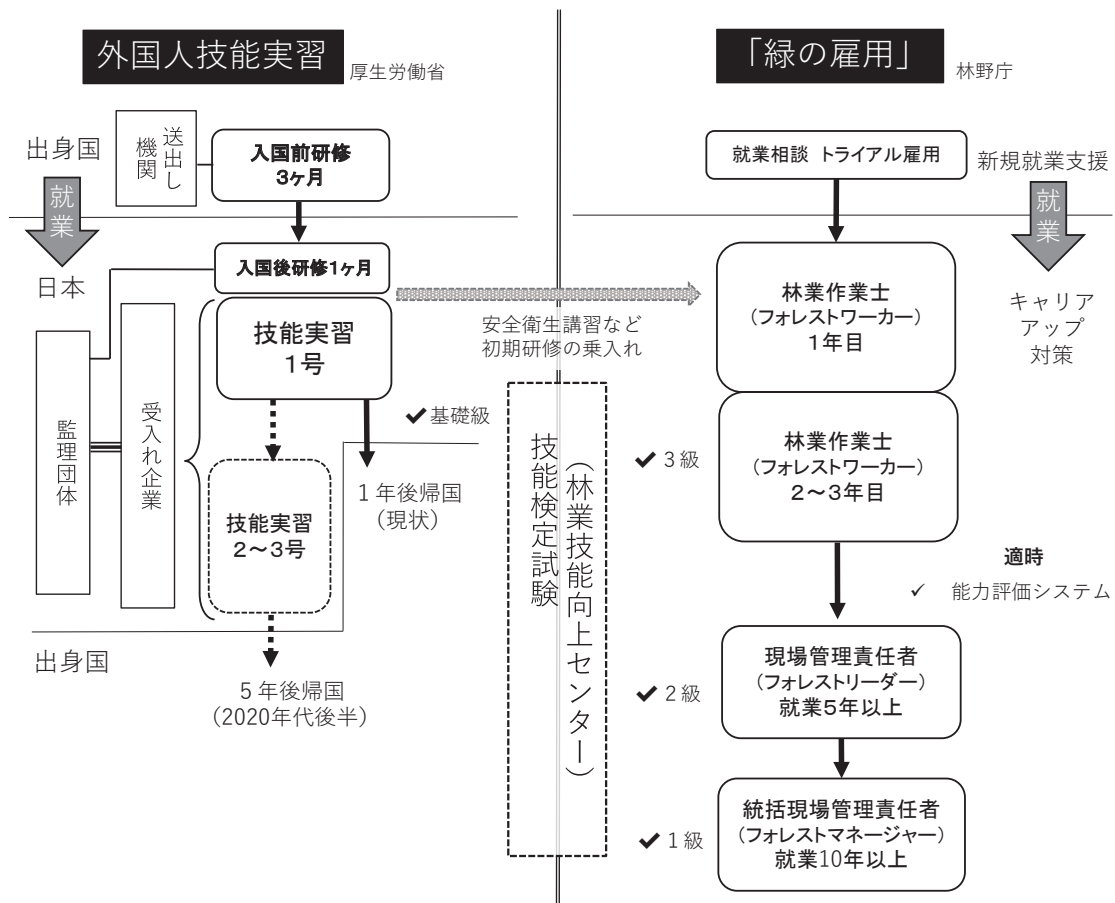


図1 外国人技能実習制度の仕組みと「緑の雇用」との連携方策案

ヤナギ超短伐期栽培の年収量に対する収穫と気象の影響を解明



植物生態研究領域 原山 尚徳・上村 章・韓 慶民

研究ディレクター 宇都木 玄

北海道支所 北尾 光俊・佐々木 尚三

日本大学 丸山 温

冷温な地域のバイオマス生産技術として有望視されているヤナギの超短伐期栽培において、収穫回数の増加や気象条件が木質バイオマス収量に及ぼす影響を明らかにするため、10年にわたる収穫試験を行いました。統計モデルで解析したところ、1年あたりの収量（年収量）は成長期間中の日照時間が長い年や、7月の降水量が多い年で高くなることが分かりました。また、毎年収穫をくり返すと10年間で年収量が半減する一方で、隔年で収穫すると年収量の低下が生じないことが分かりました。本研究の成果は、ヤナギによる木質バイオマス生産の実用化に向けて、事業性を評価する際の重要な知見となります。

成果

ヤナギの超短伐期栽培による木質バイオマス生産

脱炭素社会の実現に向けて再生可能エネルギーの利用拡大が求められるなか、木質バイオマスのエネルギー利用が急速に進んでおり、未利用材、廃材、輸入パーム椰子殻などの木質原料の不足が懸念されています。この解消法の一つとして、木質資源作物の栽培が注目されていますが、日本では実用化されていません。欧米の冷温な地域では、高密度で植栽したヤナギの地上部を2～5年の非常に短い周期で収穫し、再植栽せずに萌芽更新による再生をくり返す、超短伐期栽培による木質バイオマス生産が行われています。この手法では、一般に20～25年の間に6～8回の収穫を行うことができると考えられていますが、海外を含めほとんどの収穫試験は多くても4回程度の収穫を行っただけであり、くり返し収穫する事のストレスが収量に与える影響はよくわかっていませんでした。ヤナギ栽培の日本での実用化に向けて事業性を評価するためには、収量に及ぼす収穫回数の影響を定量的に明らかにする必要があります。そこで、本研究では、北海道下川町で実際にヤナギを栽培し、10年にわたる収穫試験を行いました。

10年にわたる収穫試験とモデル解析

ヤナギ収穫試験地にエゾノキヌヤナギとオノエヤナギの計18クローンを植栽し、10年にわたり、毎年または隔年で収穫して収量を計測しました。1年あたりの収量（年収量）はクローン間でばらつきが大きく、年によっても大きく変動しましたが、両樹種ともに毎年収穫をくり返すと年収量が低下する傾向が認められました（図1）。年ごとの年収量の違いを統計モデルで解析したところ、年収量はくり返しの収穫回数だけでなく気象条件の影響も受けており、成長期間中の日照時間が長く、7月の降水

量が多い年で年収量が高くなることが分かりました。また、収穫回数が増加すると年収量は減少しますが、隔年収穫では毎年収穫よりも年収量が高くなり、くり返しの収穫による負の影響が軽減されることが分かりました（図2）。このモデルでは、毎年収穫をくり返すと、10回目の収穫時には年収量が初回の半分程度まで減少し（図3A）、10年間の総収量は隔年収穫の4割程度まで減少すると試算されました（図3B）。隔年収穫に比べて毎年収穫で年収量が大きく減少する理由として、短期間で収穫がくり返されるためヤナギの林冠閉鎖が不十分で雑草が繁茂したり、根の成長が制限されたりすることが考えられます。

ヤナギ栽培の実用化に向けて

これまでの研究から、冷涼な北海道においても、優良なヤナギクローンを用地適切な施業・管理を行えば、実用化が進んでいる欧米と同等の10乾燥トン/ha・年の収量を得られることがわかっています。本研究によって、毎年収穫によって収量が大幅に低下する恐れがある一方で、隔年に収穫間隔を伸ばせば、高収量が長期間にわたり維持されることが明らかになりました。本研究の成果は、ヤナギ栽培の実用化に向けた事業性の評価に役立つ知見となります。

研究資金と課題

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

文献

Harayama, H. et al. (2020) The effects of weather, harvest frequency, and rotation number on yield of short rotation coppice willow over 10 years in northern Japan. Biomass and Bioenergy, 142, 105797

*森林総合研究所実施課題

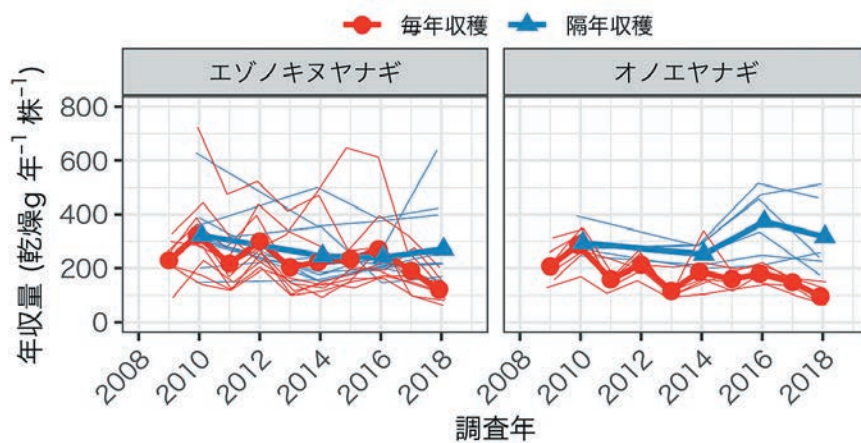


図1 エゾノキヌヤナギとオノエヤナギの年収量の経年変化

細線はクローンごとの平均値、太線は樹種ごとの平均値。隔年収穫の収量は2で割って1年あたりの収量（年収量）に換算した。

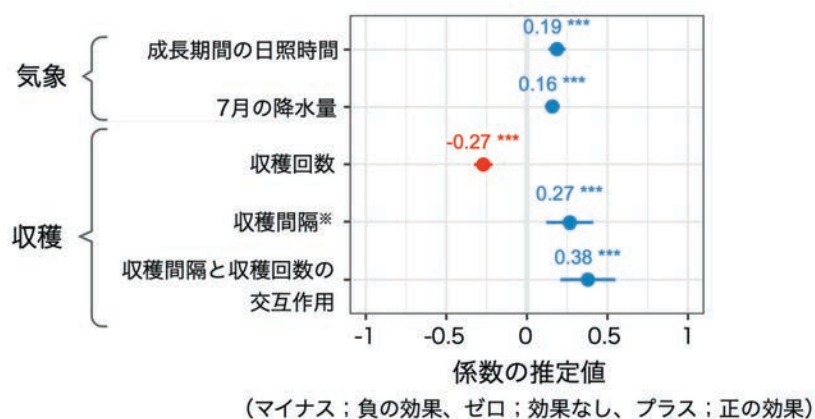


図2 統計モデルにより選択された年収量に影響を及ぼす気象条件と収穫の効果

*収穫間隔は毎年収穫を基準とした場合の隔年収穫の効果。バーは95%信頼区間を示す。

***; $p < 0.001$

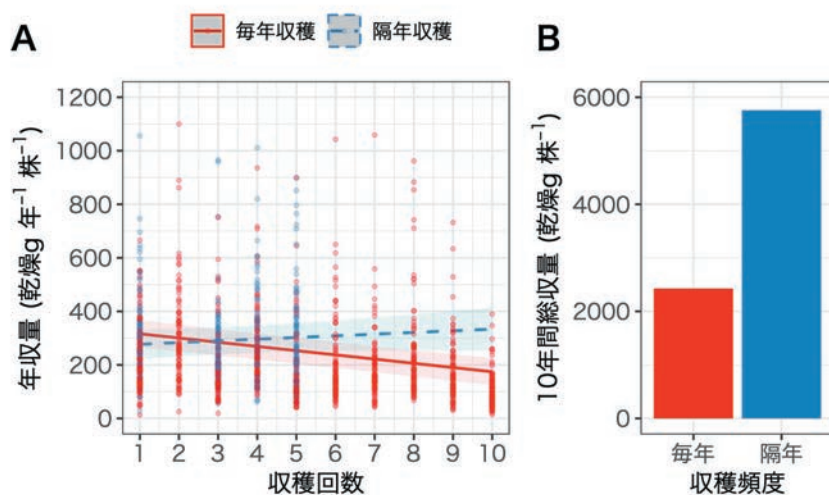


図3 統計モデルで推定された収穫回数と年収量の関係 (A) および収穫頻度別の10年間の総収量 (B)

Aの点は各株の実測値、直線と帯は統計モデルで推定された傾向と95%信頼区間を示す。

割れの発生の原因となる木材内部の力を測ることでより良い乾燥方法を探る



木材加工・特性研究領域 村野 朋哉
九州大学 藤本 登留

大径材の利用拡大に向けて、大径材から得られる大断面材の適切な乾燥方法を確立することが求められます。乾燥中の木材は外側と内側で水分の抜ける速度が異なるため、木材に割れの原因となる力が発生します。本研究では、乾燥中に木材に生じた力をスキャナーと画像解析法を用いて簡便に測定する手法を開発しました。大径材から採取した心去り柱材を乾燥し、開発した手法で木材に生じた力を測定したところ、乾燥温度が高いほど木材に大きな力が発生することが分かりました。この方法を用いれば、乾燥時に木材内部に発生する力の分布が把握でき、乾燥条件による割れの危険性の違いを簡便に評価できるので、より適切な乾燥条件を効率的に探索できます。

成果

大径材の利用に向けた乾燥の課題

大径材からは断面の大きさや木取り方法（心持ち柱材か心去り柱材かなど）が異なる様々な材を採取することができますが、それらを構造用材として利用するためには適切に乾燥する必要があります。例えば、大径材から採取される大断面の心去り柱材について、中径材から採取される心持ち柱材と同じ条件で乾燥すると内部に大きな割れが発生することがわかっています（図1）。大径材の利用を拡大するには、断面の大きさや木取り方法などに合わせて適切な乾燥方法を確立する必要があります。

乾燥中に木材に生じる力

木材は果物などと同じように、乾燥して水分が抜けていくにつれて縮んでいきます。しかし、大断面の木材は全体の水分が抜けるのに多くの時間がかかり、内層に比べて外層は水分が速く抜けていくため、乾燥中の木材は水分のバランスが大きく崩れてしまいます。そのため、木材全体が均一に縮むことができず、割れの原因となる力が発生します。

簡便に木材に生じた力を測る手法の開発

乾燥中に木材にどのような力が生じたかを測ることで、割れの危険性を知ることができます。木材に生じた力は、木材を分割した際の、分割前後の伸び縮み（解放ひずみ）の大きさから推定することが可能です（図2）。分割後の木材は、圧縮の力から解放されれば伸び、引張の力から解放されれば縮みます。この伸び縮みの測定は、従来の

方法では特殊な機器と技術が必要でしたが、一般的なスキャナーと画像解析技術を用いて従来法と同等以上の測定精度を実現する簡便な方法を新たに開発しました。

乾燥温度が高いほど割れの危険性が高まる

新たに開発した手法を用いて、異なる温度条件で乾燥させたスギ心去り柱材の乾燥終了時の解放ひずみ分布を測定しました（図3）。その結果、乾燥中の最高温度が高いほど外層と内層の解放ひずみの値の差が大きく、木材に大きな力が生じて割れやすい状態にあることが分かりました。この方法を用いれば、乾燥時に木材内部に発生する力の分布を把握でき、乾燥条件による割れの危険性の違いを簡便に評価できるので、割れが発生しにくい乾燥条件を効率的に探索できます。

研究資金と課題

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

文献

村野朋哉（他）（2021）乾燥スケジュールがスギ心去り正角の内部応力に与える影響. 木材学会誌, 67(2), 86-92.

専門用語

大径材、中径材：大径材は直径が30cm以上の丸太、中径材は直径が14cm以上、30cm未満の丸太。

心去り柱材、心持ち柱材：柱材のうち、図1のように樹心（髄）が含まれていないものが心去り柱材、含まれているものが心持ち柱材。

*森林総合研究所実施課題

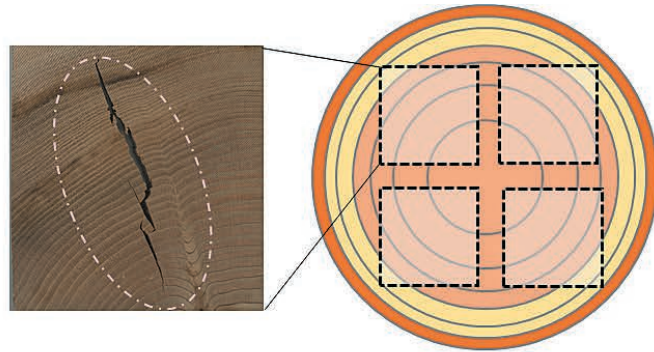


図1 乾燥によって大きな内部割れが発生した心去り柱材

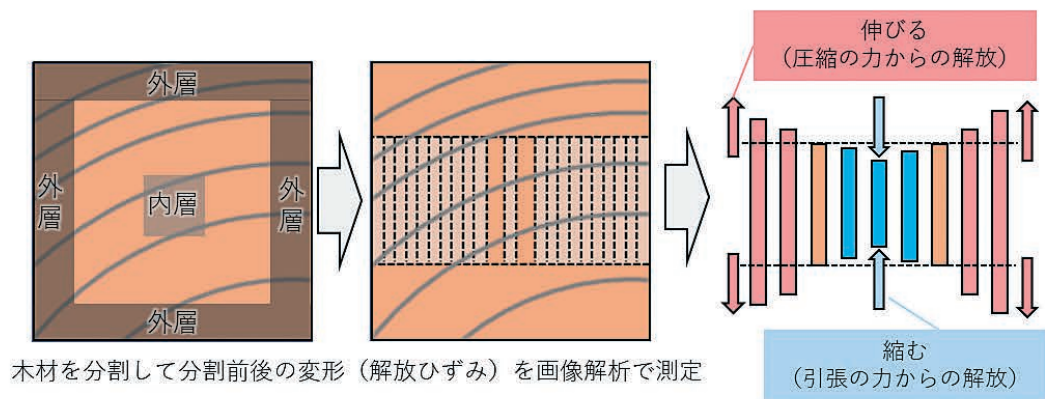


図2 木の内部にはたらく力の測定

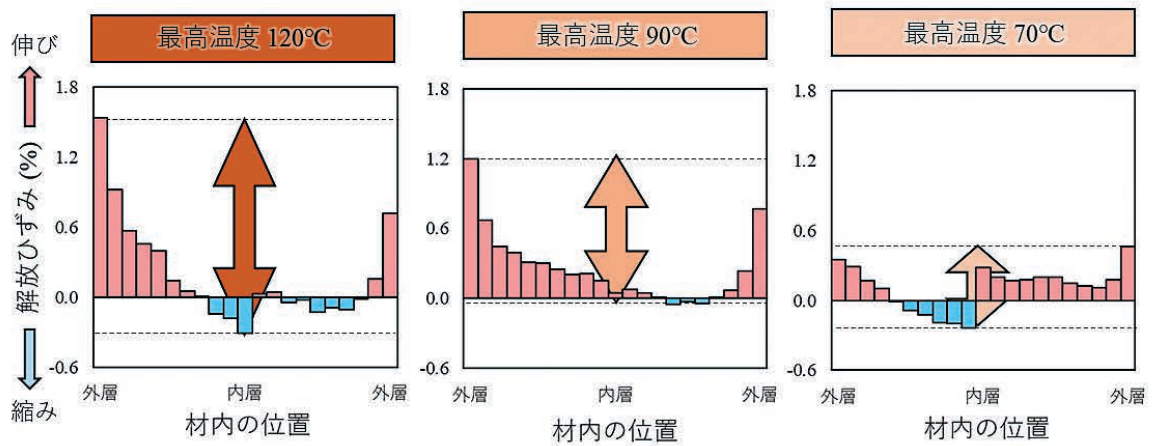


図3 乾燥条件が解放ひずみ分布に与える影響

大断面集成材の低コスト化技術の開発 —川上から川下まで—



複合材料研究領域 宮武 敦

参画機関 林業工学研究領域、木材加工・特性研究領域
複合材料研究領域、構造利用研究領域
(株)諸岡、公立大学法人秋田県立大学 木材高度加工研究所
岡山県農林水産総合センター 森林研究所
静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター
日本集成材工業協同組合、協和木材(株)、ティンバラム(株)

「川上」で伐採・搬出された原木丸太を「川中」で製材・乾燥し、得られた厚さ数センチのひき板（ラミナ）を重ねて接着した木質材料に構造用集成材があります。このうち大断面集成材は、「川下」で推進されている中大規模建築物の木造化においてその柱や梁としての利用拡大が期待されています。充実期を迎えた国産材の需要拡大に向け、構造用集成材の利用を促進するためには、伐採搬出、製材・乾燥、集成材製造にわたるコスト削減と製品の安定供給が求められます。本研究では、原木の低コスト伐出技術や一般的に流通する間柱サイズのラミナの使用、弱減圧乾燥法による乾燥、接着剤の変更等による生産コスト削減に資する技術を開発しました。

成果

原木とラミナを安定供給するには？

ラミナの原料となる原木を安定的かつ大量に製材工場へ供給することを目的に、枝葉がついた原木（全木材）を一度に大量に掴んで集材する車両系林業機械（ゴムフロア式クラムバンクスキッド）を開発しました。そして、この機械を用いた作業方法や土場開設条件を明らかにし、従来方式より生産コストを7%削減できる全木集材システムを構築しました（図1）。

大断面集成材に使われるラミナは産地や製品の寸法に合わせて注文生産されることが多く、安定供給に課題があります。そこで、市場で一般に流通している間柱を大断面集成材用ラミナに転用することを検討しました。スギの間柱を効率的に生産するための原木の径級別の木取りや歩止りを明らかにし、集成材の生産規模に応じた必要原木量を試算しました（図2左）。そして、秋田県を対象に開発した原木供給シミュレーションプログラムを用いて、スキッドによる伐出作業可能な林分の抽出と間柱生産適木の供給可能量やその期間を計算したところ、県内のモデル地域において、例えば、構造用集成材を年間1万2千m³供給しようとする場合に必要となる年間約6万m³の原木を30年以上継続して安定供給できることがわかりました。（図2右）。

間柱の乾燥と接着を効率化するには？

通常、間柱は蒸気を熱源とした蒸気加熱式乾燥装置を用いて乾燥されています。本研究では、蒸気加熱式乾燥

装置に減圧機能を付加した弱減圧乾燥装置（図3）を用いて、スギの間柱を短時間で乾燥する技術を開発し、乾燥コストを3～4割削減できました。

間柱の接着に従来の接着剤より短時間で硬化する水性高分子イソシアネート系樹脂（以下API）を用いることで接着剤コストを約7割削減し、大断面集成材の生産性を向上させることができました。このAPIと間柱を用いて製造した大断面集成材（図4）について、曲げ、圧縮、引張、せん断の強度試験と接合部の強度試験を行った結果、構造材として十分な性能があることが確認できました。

新技術はトータルで生産コストをどれだけ削減できるか？

新技術導入による生産コスト削減効果を図5に示します。間柱の流通価格は通常のラミナより高く、生産コストは約3%上昇します。しかし、スキッドによる全木集材と間柱の弱減圧乾燥法の導入で約5%削減でき、加えてAPIへの接着剤変更によりトータルで現状から約11%削減できました。

本稿で紹介した成果の一部は、森林総合研究所のホームページで公開されています（<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/4th-chuukiseika39.html>）。

研究資金と課題

本研究は、農研機構生研支援センター「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）」における「原材料の安定供給による構造用集成材の低コスト化事業の開発」の成果です。



図1 ゴムクローラ式クラムバンクスキッドとそれを用いた全木集材作業

グラップルローダでクラムバンクに全木材十数本を荷積みし（中図）、これらをまとめて掴んで土場まで牽引し、所定の場所に荷下ろして原木を集積します（右図）。

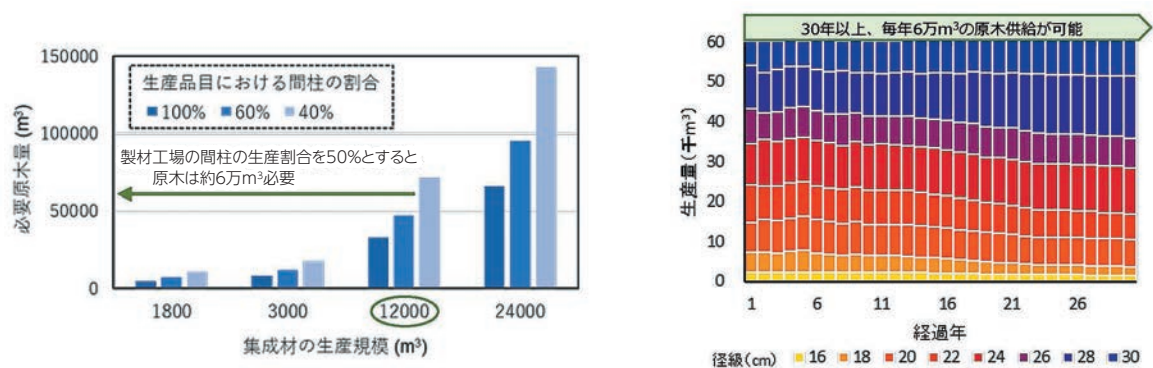


図2 集成材の生産量に応じた必要原木量（左図）とその安定供給（右図）

集成材生産量1.2万m³に必要な径級16～30cmの原木約6万m³を秋田県のモデル地域では30年以上供給できることが確認できます。



図3 実大型弱減圧乾燥装置



図4 間柱を用いて試作した大断面集成材
断面寸法：150mm（幅）×450mm（高）

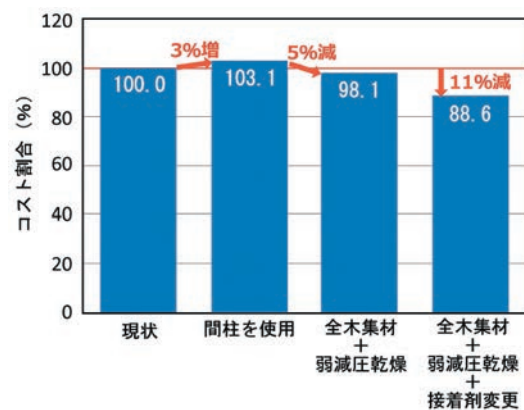


図5 開発技術による大断面集成材の生産コストの削減効果

現在の生産方式による大断面集成材の生産コストを100とすると、間柱利用で3%上昇しますが、全木集材、弱減圧乾燥法の導入と接着剤変更により11%削減できます。

水をはじく紙の簡単な作り方：薬品の蒸気を用いてコーティング



森林資源化学研究領域 戸川 英二

紙はリサイクルされ、最後は自然環境で分解されるため地球に優しい材料です。この紙は、木材の主成分であるセルロースと呼ばれる繊維状の多糖がからみ合い、こう着してできています。そのため、紙は水を吸収しやすく、また吸水後は繊維がほぐれ破れてしまいます。この水に弱いという性質を改良できれば、紙の用途は大きく広がります。今回、特殊な薬品を加熱して蒸気にし、その蒸気でコーティングすることによって紙に水をはじく性能を付与する方法を開発しました。この方法なら、水をはじく紙をごく少量の薬品で簡単に作れるので、今後、さらなる応用開発が期待されます。

成果

紙は自然循環する木材セルロースからできている

新聞や本・包装紙・トイレットペーパーなど、紙は身近に利用されている素材です。また、紙はリサイクルされ、最後は自然環境で生分解されるため地球にとっても優しい素材です。この紙は、木材の主成分であるセルロースと呼ばれる繊維状の高分子多糖をからみ合わせ、こう着させて作られます。したがって、多糖からできている紙はとても水を吸収しやすく、また吸水するとからみ合っている繊維がほぐれて破れやすくなります。この欠点のために、多くの製品は紙からプラスチックへと変わっていききました。ところが、ほとんどのプラスチックは自然界で生分解されないため、今日のマイクロプラスチック問題を引き起こしました。紙の水に弱い性質を改良することができたら、これまでとは逆にプラスチックが紙に回歸して、地球環境への負担を減らすことができます。

紙を薬品の蒸気でコーティングして撥水性に

これまで、紙に水をはじく性質、つまり撥水性を持たせるために利用されてきたおもな方法は、紙にプラスチックフィルムを貼り合わせることでした。しかし、この方法ではプラスチック使用量を減らすことはできません。そこで、今回検討したのが水をはじく構造を持つ特殊な薬品の蒸気で紙をコーティングする方法です。この処理

では、ごく少量の薬品でも紙にある小さな穴の奥まで効率よく浸透していきます。このコーティング方法は非常に簡便で、紙と薬品を密閉容器内に入れて、所定の温度(120℃)に加熱し、一定時間置くだけです。しかもこのプロセスは、水も触媒も必要なく、廃液を出さないクリーンな方法です。コーティングの前後で、紙の質感や強度はほとんど変化せず、また、コーティングされた紙は市販の酵素(セルラーゼ)で分解されます。これまでのところ、紙と同じくセルロースからできている綿織物やセロハンにもこの方法が適用できることを確認しています。

今後の展望

水をはじくようになった紙やセルロース製品が、プラスチック製品に取って代わるようになれば、地球環境の保全に役立つとともに、資源の循環利用による持続可能な社会の構築に寄与することでしょう。さらには、この方法を次世代素材といわれるセルロースナノファイバーへ適用できれば、いろいろな材料に混ぜ合わせて、その材料の性能を改善することも可能になります。

研究資金と課題

本研究成果の一部は、JSPS科研費(JP17K07883)「ゾル-ゲル反応を利用したシリカコーティングによるセルロースのガラス化」の助成を受けたものです。

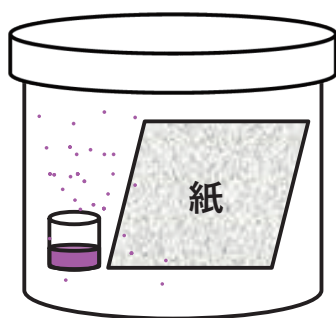


図1 薬品蒸気で紙をコーティングする方法
密閉容器内に紙と薬品を置いて、所定の温度で一定時間処理します。

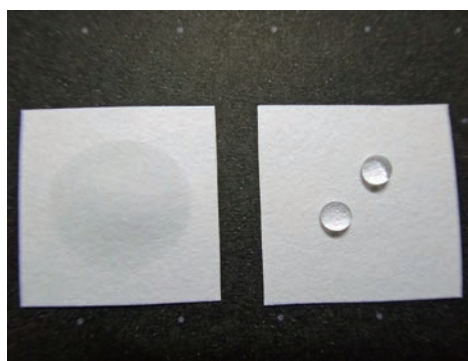


図2 コーティング処理前後の紙
左：処理前の紙は水を吸収します。
右：処理後は水をはじきます。
紙の表面質感に変化はありません。

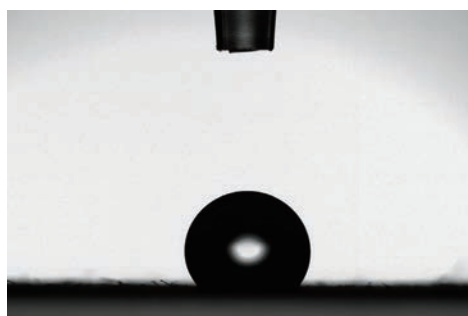


図3 コーティングされた紙が水をはじく様子
左：処理前の紙では、水滴は落とされた瞬間、紙に吸収されます。
右：コーティングされた紙では、水滴は吸収されずにはじかれます。
(120℃で24時間コーティング処理。)

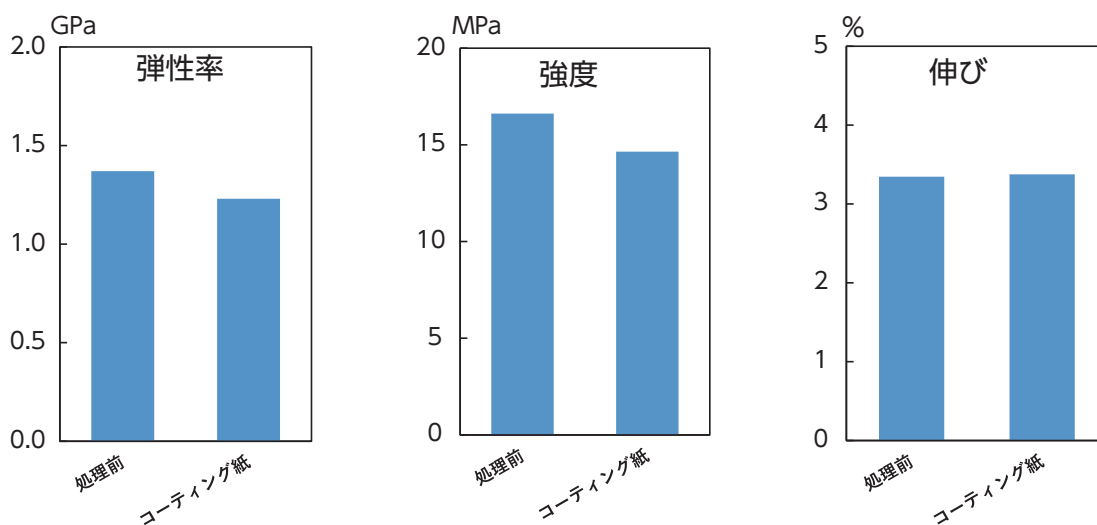


図4 コーティング処理前後における紙の力学物性
120℃で24時間コーティング処理した紙の引張物性の測定例です。加熱処理前後で紙の力学物性はほとんど変わりません。弾性率：変形のしにくさ、強度：破れにくさ、伸び：破れた時点での長さの変化。

化粧品などの素材として活用できる改質リグニン微粒子を開発



新素材研究拠点 山田 竜彦・高田 依里
高橋 史帆・大橋 康典
日本乳化剤(株) 宮内 謙一・二村 晴美
三村 大輔・焼田 悠介

改質リグニンはスギ由来の新素材で、熱に強く、加工しやすく、環境にやさしいという特徴を持ち、様々な材料への展開が期待されています。森林総研では改質リグニンを中山間地域で製造するシステムの開発に成功し、普及のための検討を進めています。その中で、改質リグニンの互いに集まって塊になりやすいという性質（凝集性）をコントロールすることに成功し、粒子径が小さく真球に近い改質リグニン微粒子の製造法を開発しました。製造した改質リグニン微粒子は、環境中で分解されて蓄積しないので、マイクロプラスチックによる海洋汚染問題を生じない環境適合型のバイオ微粒子として利用できる可能性が高く、化粧品などでの活用が期待されています。

成果

スギ由来の環境にやさしい素材「改質リグニン」

改質リグニンはスギ木材中に約3割含まれるスギリグニンを原料とした、熱に強く、加工しやすい天然系バイオ素材で、廃棄されたとしても環境中に蓄積されることもないため、海洋プラスチック汚染問題などを生じない素材としての可能性が注目されています。海洋プラスチック汚染は、マイクロプラスチックと呼ばれるプラスチックが微細化したものが海洋中にとどまることによる海洋汚染です。私達が普段使っている化粧品などに含まれるスクラブ剤などの微細なプラスチックも汚染の原因物質として問題視されており、天然素材への転換が求められています。化粧品においては、均一な粒径の微粒子の利用価値が高く、改質リグニンの微粒子が製造できれば理想的と考えられていました。しかし、改質リグニンは互いに集まって大きな塊を形成しやすい特徴を持つため、機械的に粉碎しても均一な微粒子を製造することはできません。そこで改質リグニンの製造プロセスの改良を行いました。

改質リグニンの微粒子化に成功

通常の改質リグニンの製造プロセスでは、ポリエチレングリコール（PEG）という薬液の中でスギ木材を酸で分解して、スギ中のリグニンという成分を取り出すと同時にPEGを結合させる処理を行います。分解して生じた混合物は、薄いアルカリ性水溶液を加えて希釈し、濾過により固形分をパルプとして取りのぞいた後、液体

部分に酸を加えることで沈殿を生成させます。その沈殿を集めたのが改質リグニンです。改質リグニンは凝集しやすく、これまで小さな粒子を作るのがとても困難でしたが、沈殿生成工程に強制薄膜式マイクロリアクターを利用するのが有効であることを見出しました。強制薄膜式マイクロリアクターは、回転するディスク間で2液を混合して強制的に薄膜を形成し、2成分を分子レベルで混合する装置です。粒子生成の場所がディスク内であり、塩などが発生しても目詰まりしにくいという特徴が改質リグニン微粒子の製造に適していました。改質リグニンの酸沈殿工程にこの装置を使用し、得られた粒子を洗浄および加熱攪拌することで、図3に示すように、粒子径が小さく、真球に近い改質リグニン微粒子の製造を連続的に行うことができました。

開発された改質リグニン微粒子を化粧品として利用する場合、スクラブ剤、紫外線吸収剤、顔料、光拡散剤などとしての活用が期待されています。また、電子部材などハイテク分野での活用も期待されています。

研究資金と課題

本研究は、実施課題*「リグニン利用のための木質バイオマスの分離・分析・高付加価値化技術の開発」による成果です。

文献

山田竜彦（他）グリコールリグニン微粒子およびその製造方法。特願2020-166996

*森林総合研究所実施課題

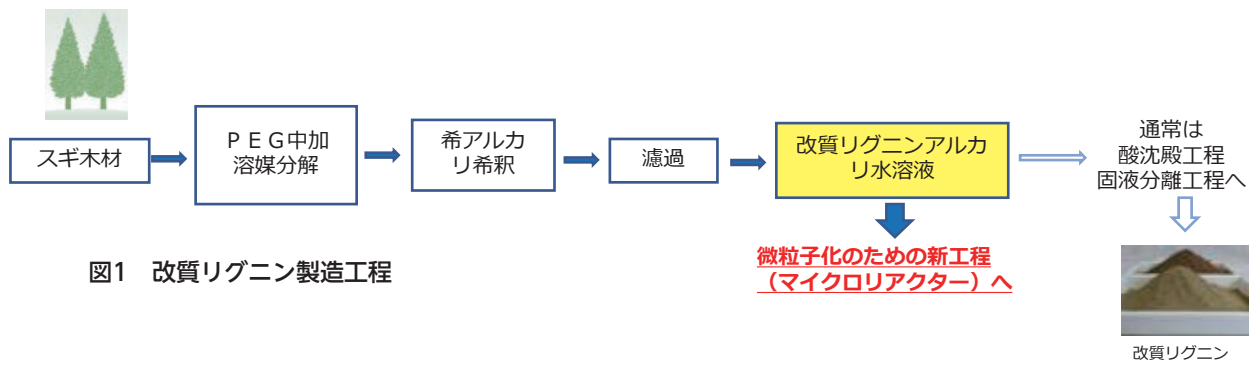


図1 改質リグニン製造工程

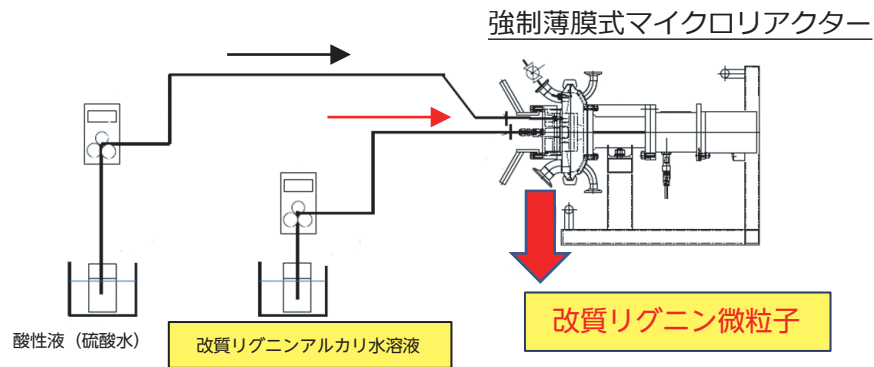


図2 微粒子化のための新工程（強制薄膜式マイクロリアクターのプロセス）

強制薄膜式マイクロリアクターは、回転するディスク間で2液を混合して強制的に薄膜を形成し、2成分を分子レベルで混合することができるマイクロリアクター（エム・テック社製ULREA）。金属合金粒子の製造のため開発された。粒子生成の場所がディスクであり、塩などが発生しても目詰まりしにくい。

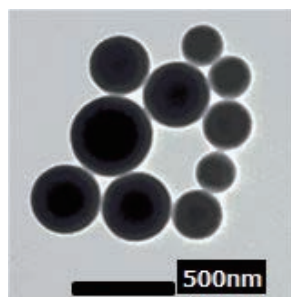


図3 製造した改質リグニン微粒子の電子顕微鏡写真

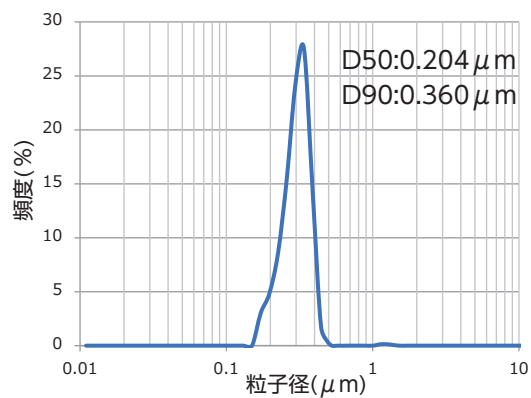


図4 製造した改質リグニン微粒子の粒度分布

D50はサンプル中の粒の測定数50%経過時の粒子径を意味、D90は同90%時の粒子径を意味しており、両者の値が近いことはより単分散で均一であることを示唆している。



化粧品、顔料、電子部品などの素材として利用可能

森林資源由来の新素材「改質リグニン」の用途拡大に貢献

廃棄物から生まれた空気浄化塗料

—スギ合板乾燥廃液の価値を高めるには？—



企画部研究管理科（森林資源化学研究領域併任） 松井 直之

森林資源化学研究領域 楠本 倫久・橋田 光

研究ディレクター 大平 辰朗

ヤスハラケミカル(株) 吉舎 史晃・道田 実

和信化学工業(株) 長谷川 光・大坪 孝彰

これまでスギ合板の製造過程で発生するタール状の乾燥廃液には、積極的な利用法がありませんでした。ところが、この廃液には有害な二酸化窒素を除去する機能があることが分かったので、塗料に配合して我々の居住環境の空気をきれいにすることを考えました。しかし、塗料として使用するためには、この機能を長期間にわたり発揮させる必要があります。そこで、乾燥廃液をマイクロカプセル化した状態で塗料に混合する技術を開発しました。この塗料を二酸化窒素ガスに暴露したところ、二酸化窒素の濃度の減少が確認できました。さらに、この機能の持続性も確認でき、空気浄化機能を有した塗料として使えることが分かりました。

成果

スギの乾燥廃液の活用法を考える

国内の合板工場では、原木としてスギが多く用いられています。合板の製造時には、スギ材を薄い単板に加工した状態で高温乾燥を行います。そのときに発生する蒸気を冷却すると、スギに含まれていた抽出成分の一部が粘性の高いタール状の廃液となります(図1)。この乾燥廃液にはこれまで有効な用途がなかったため、ほとんどが焼却処分されていました。しかし、廃液の機能性を調べたところ、大気汚染物質の一種である二酸化窒素を除去する能力が極めて高いことが分かりました。また、その機能には廃液に含まれるアビエタジエン(図2)およびその類縁のジテルペン類が深く関与していることも分かりました。つまり、スギの乾燥廃液をうまく利用すれば、空気をきれいにすることが可能になるのです。

乾燥廃液の機能を塗料としてどう活かすか？

スギ乾燥廃液の二酸化窒素除去という優れた機能を発揮させるために、塗料に添加することを考えました。その場合、塗料の色や粘性などの性能を損なわないことに加えて、添加した廃液成分の機能を長く保つことが特に重要となります。そのため、乾燥廃液をマイクロカプセルに内包しておき、廃液成分を徐々に放出させることでその機能を長期間維持する技術を開発しました。乾燥廃液をこのマイクロカプセルの状態で塗料に添加することにより、塗料の性能を低下させることなく、乾燥廃液の機能を合わせもつ新たな塗料をつくり出すことができました。

二酸化窒素を除去して空気をきれいに

スギ乾燥廃液含有マイクロカプセル（以後SMCとする）を様々な割合で添加した塗料の性能を調べるため、塗料を塗布したガラス板を作成しました(図3)。このガラス板を環境基準の数百倍の濃度の二酸化窒素ガスに暴露し、時間経過にともなう二酸化窒素の濃度変化を測定しました。塗料のみでもある程度の二酸化窒素の減少は見られましたが、SMCの添加割合が増すにしたがって二酸化窒素除去率も高くなることがわかりました(図4)。さらに、同じ試験を10回繰り返しても24時間で二酸化窒素の90%を除去する機能は維持されていました(図5)。

二酸化窒素は、自動車の排気ガスなど身近なところに発生源があります。今回開発された塗料を用いた家具などを生活空間に置くことで、その周りの空気を少しでもきれいにできると期待されます。

研究資金と課題

本研究は、実施課題*「生活環境改善に役立つ抽出成分の解明と利用技術の開発」による成果です。

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

専門用語

二酸化窒素：窒素酸化物の一種で、種々な物質が燃焼する際に副生成物として生じ、環境汚染の大きな要因の一つとなっている物質。強い酸化作用をもつため、人が吸い込むと呼吸器系などに障害が生じる。

マイクロカプセル：固体の殻で形成された中空の粒子で、内部に物質を封入することができる。内包物としては医薬品、農薬、色素などが多く用いられる。

*森林総合研究所実施課題



図1 スギ乾燥廃液
(非常に粘性が高い)

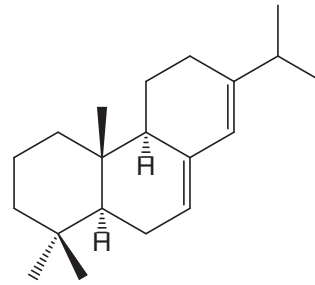


図2 アビエタジエンの化学構造
(二酸化窒素除去能に優れた物質)

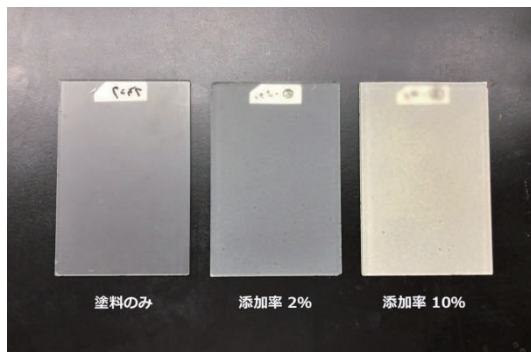


図3 SMC添加塗料を塗布したガラス板

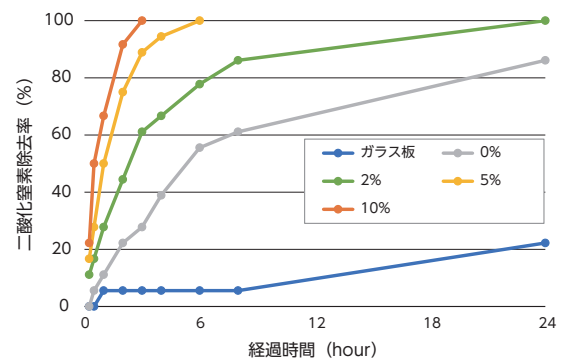


図4 塗料へのSMCの添加割合の違いと
二酸化窒素除去率の関係

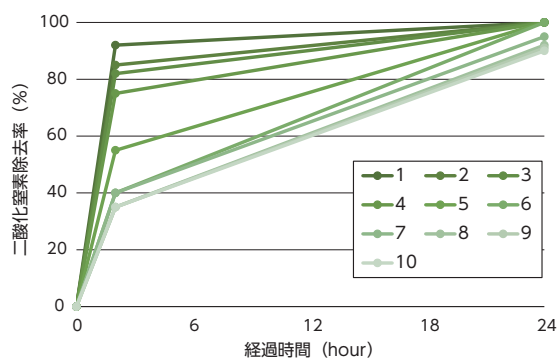


図5 SMC添加塗料の二酸化窒素繰り返し
暴露試験の結果
(凡例の数字は試験の繰り返し回数を表す)

無花粉スギの原因遺伝子（MS1）を特定しました



樹木分子遺伝研究領域 長谷川 陽一・上野 真義・魏 甫錦
松本 麻子・内山 憲太郎・伊原 徳子
静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター 袴田 哲司
東京大学 笠原 雅弘・藤野 健
基礎生物学研究所 重信 秀治・山口 勝司・尾納 隆大
筑波大学 津村 義彦 新潟大学 森口 喜成

花粉症発生源対策に有効な無花粉スギを高精度で選抜するには、無花粉の原因となる雄性不稔を引き起こす遺伝子を特定することが必要です。しかし、スギのDNAは110億塩基と巨大なため、その原因遺伝子を特定することは、これまでできませんでした。今回、雄花で働く遺伝子の中から花粉の有無に関連するものを探した結果、花粉表面に脂質を運ぶタンパク質の遺伝子が雄性不稔の原因遺伝子のひとつ（MS1）であることがわかりました。さらに、MS1のDNA配列の一部が欠けると、無花粉になることがわかりました。この遺伝的変異を識別するDNAマーカーを用いて、スギからMS1の遺伝子を持つ個体を見つけ出すことが可能になりました。

成果

雄性不稔を引き起こす遺伝子（MS1）の特定

国民の約3割が花粉症に悩んでいるといわれる現代において、植栽するスギを無花粉のものに替えることは、植林を通じて行える花粉症対策の一つです。一方で、花粉の形成に必要な遺伝子のひとつ（MS1）に、無花粉（雄性不稔）を引き起こす遺伝的変異を持つスギは全国で約20個体しか見つかっていません。日本の各地域の気候に合わせてスギを植えるためには、各地より多くの無花粉スギを探し出す必要があります。しかし、スギのDNAは、ヒトのDNAの3.5倍に達する110億塩基と巨大なため、スギのDNAから特定の機能を持つ遺伝子を探し出すことは非常に難しいことでした。

そこで、雄花で働く遺伝子の中から花粉の有無に関連するものを探し、すでに知られていたMS1の染色体上の位置と照合しました。その結果、花粉表面に脂質を運ぶタンパク質の遺伝子であるCJt020762と呼ばれる遺伝子が原因遺伝子の候補として見つかりました。さらに、この遺伝子のDNA配列を解読したところ、MS1の雄性不稔を持つ個体は、その配列の異なる2か所で、4塩基、または30塩基の欠損が認められました（図1）。そして、そのどちらかの欠失変異を持つ遺伝子を両親から受け継いだ個体は無花粉であることを明らかにしました。これらの結果から、CJt020762の2か所の欠失変異が、それぞれMS1の雄性不稔の原因となることが示されました。よって、これらの欠失変異を識別するDNAマーカーを用いて、スギからMS1の雄性不稔遺伝子を持つ個体を見つけ出すことが可能になりました。

全国のスギ天然林には雄性不稔遺伝子（MS1）の祖先タイプが存在する

これらの欠失変異が日本のスギにどのように広がっているのかを明らかにするために、全国18か所のスギ天然林でCJt020762のDNA配列を調べました。その結果、4塩基の欠失を持つ個体はこれらの天然林には見つかりませんでした。宮城県石巻では30塩基の欠失を約3割の

個体が持っていました（図2左）。また、4塩基の欠失と30塩基の欠失がある配列タイプは、共通の祖先タイプから枝分かれして生じたことがわかりました（図2右）。そして、この祖先タイプは全国のスギ天然林に広く分布していました（図2左）。以上のことから、その祖先タイプから生じた欠失変異を持つ個体が全国から今後発見される可能性があります。

スギは、日本各地の環境に適応しており、地域に合った種苗を用いる必要があります。今後は、MS1以外に見つかっている3種類の雄性不稔についてもその遺伝子の特定をすすめ、より多くの無花粉スギが利用できるようにしたいと考えています。

研究資金と課題

本研究は、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」、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「無花粉スギの普及拡大に向けたDNAマーカー育種技術と効率的な苗木生産技術の開発（課題番号28013B）」、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」のうち「成長に優れた無花粉スギ苗を短期間で作出・普及する技術の開発（課題番号28013BC）」、基礎生物学研究所共同利用研究「スギの全ゲノム配列の解読（課題番号16-403、17-405、18-408）」の成果です。

文献

Hasegawa, Y. et al. (2021) Identification and genetic diversity analysis of a male-sterile gene (MS1) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). Sci. Rep., 11, 1496.

専門用語

MS1：スギで発見された無花粉の原因となる遺伝子のひとつ（MSはMale Sterilityの略）。

欠失変異：DNAの塩基配列の一部が失われること。

DNAマーカー：特定の遺伝的変異を識別するために使用する、固有の塩基配列のこと。

*森林総合研究所交付金プロジェクト

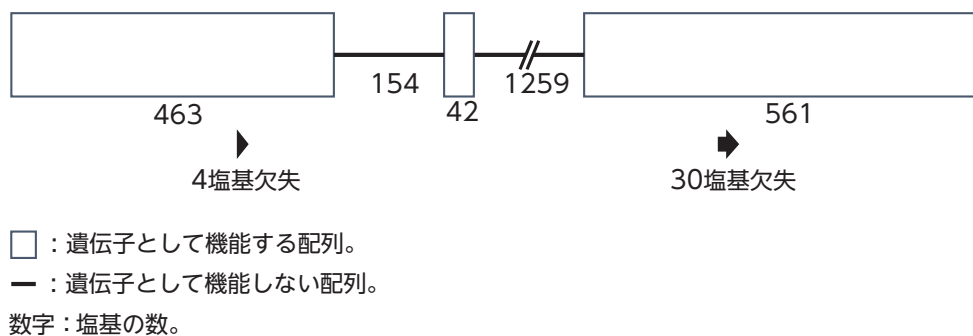


図1 *MS1*雄性不稔の原因となる2つの欠失変異とそれを含むCj020762遺伝子の模式図 (Hasegawa et al. (2021)を改変して引用)

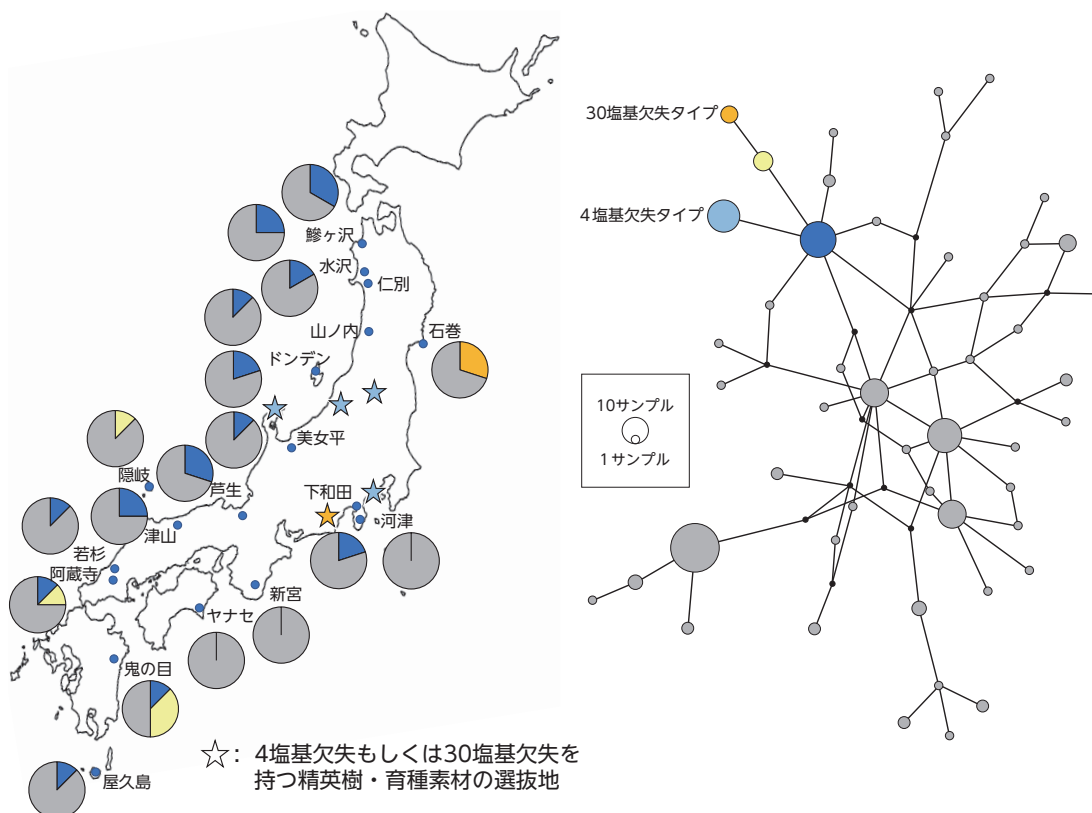


図2 左：全国18のスギ天然林でのCj020762遺伝子の異なる配列タイプの出現頻度（円グラフ）と精英樹・育種素材選抜地における配列タイプ（星）。橙色と水色は無花粉となる配列タイプ、黄色や青色はそれらに近縁な祖先タイプ、灰色はその他のタイプを示す。右：Cj020762遺伝子の配列に基づく各タイプの類似性。4塩基欠失タイプ（水色）は青色の祖先タイプから、30塩基欠失タイプ（橙色）は黄色および青色の祖先タイプから派生している。(Hasegawa et al. (2021)を改変して引用)

微生物によるダイオキシン分解機構を解明



森林資源化学研究領域 鈴木 悠造・大塚 祐一郎・中村 雅哉

広く薄くダイオキシンに汚染された環境の修復には、環境に負荷をかけない微生物の機能を利用したバイオレメディエーションが適しています。私たちはダイオキシン分解微生物を単離し、毒性がない2,7-dichlorodibenzo-*p*-dioxin (2,7-DCDD) を試験用ダイオキシンとして用いて分解物の解析を行いました。その結果、2,7-DCDD分子内の2つのエーテル結合が2段階で開裂する分解機構であることが明らかになりました。この分解機構で毒性がある2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (2,3,7,8-TCDD) も分解すると考えられます。

成果

ダイオキシンとは

ダイオキシンをはじめとする環境ホルモンと称された化学物質は、約20年前に社会問題となり、ダイオキシンによる汚染の修復に関する技術開発は世間の注目を浴びました。一方、平成12年に施行された「ダイオキシン類特別措置法」により、発生源の改善策が進められたため、産業廃棄物処理施設などからのダイオキシンの排出量は大幅に減少しました。しかし、一度排出されたダイオキシンは環境中に残存したままとなっており、低濃度の汚染であっても食物連鎖を通じて生態系の上位に向けて生物濃縮が進んでしまいます。さらに、現在でも医学分野では毒性がある2,3,7,8-TCDDによる奇形誘発やガン発症の分子機構の解明が続けられており、広く薄くダイオキシンに汚染された環境の修復技術研究の重要性を改めて提起しています。

ダイオキシン分解微生物の分解機構

広く薄くダイオキシンに汚染された環境の修復には、環境に負荷をかけない微生物の機能を利用したバイオレメディエーションが適しています。そこで、自然界からダイオキシン分解微生物の探索に着手しました。その結果、剪定枝条を積んで堆肥化させている箇所から高熱性微生物を単離し、その中に2,3,7,8-TCDDをはじめ様々な種類のダイオキシンを網羅的に減少させる能力を有する株があることが判りました（図1）。

微生物によるダイオキシンの分解を評価する際、脂溶性の高いダイオキシンが微生物の細胞表面に吸着して離れず、検出される量が減少することがあります。このため、分解していなくても一見分解しているような結果になってしまいます。そこで、私たちは微生物の細胞を破碎することで調製した細胞抽出液をダイオキシンと反応させ、分解物を検出できれば分解を正確に証明できると

考えました。分解試験には、毒性がある2,3,7,8-TCDDの代わりに、毒性がない2,7-DCDDを用いました（図2）。その結果、2,7-DCDD分子内の1つのエーテル結合が開裂した化合物と、2つのエーテル結合が開裂した化合物が検出されました（図3）。これらの結果から、2,7-DCDDの分解は、1つ目のエーテル結合が開裂し、次いで2つ目のエーテル結合が開裂するという2段階の分解機構であることが明らかになりました。このエーテル結合が開裂する部位の構造は、毒性がある2,3,7,8-TCDDにも共通していることから、2,3,7,8-TCDDにも起こりうる分解機構であると考えられます。この研究成果は、ダイオキシンにより広く薄く汚染された環境の修復技術の開発に貢献するものです。

研究資金と課題

本研究は、JSPS科研費（JP21248037）「ダイオキシン「2,3,7,8-TCDD」を標的とする持続的広域的環境修復技術の創出」による成果、および実施課題*「きのこ及び微生物が有する生物機能の解明と新たな有効活用」による成果の一部です。

文献

Suzuki, Y. et al. (2011) Novel enzymatic activity of cell-free extract from thermophilic *Geobacillus* sp. UZO 3 catalyzes reductive cleavage of diaryl ether bonds of 2,7-dichlorodibenzo-*p*-dioxin. *Chemosphere*, 83, 868-872.

専門用語

バイオレメディエーション：微生物が持つ化学物質の分解能力、蓄積能力などを利用して土壌や地下水等の汚染修復を図る技術。

エーテル結合：1個の酸素原子に2個の炭素原子が結びついている結合部位

生物濃縮：代謝を受けにくい化学物質が食物連鎖を通じて生態系の上位に向けて生体内に濃縮されてゆく現象

*森林総合研究所実施課題

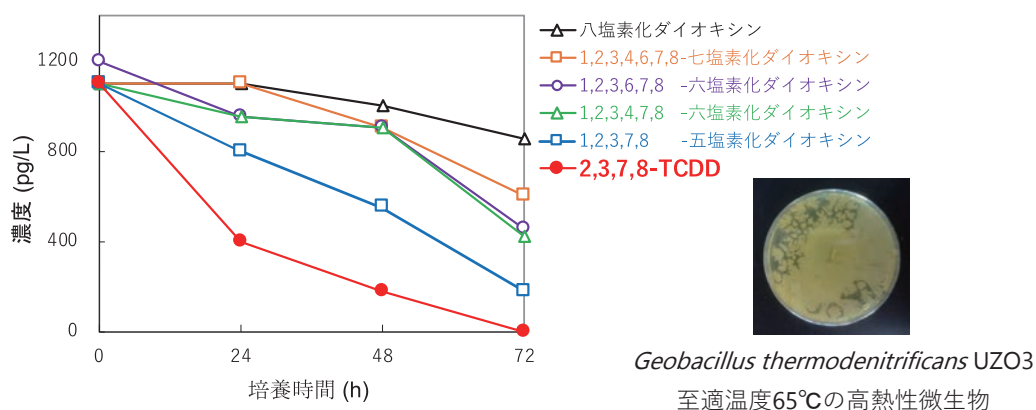


図1 単離した微生物が有するダイオキシン類の分解能。

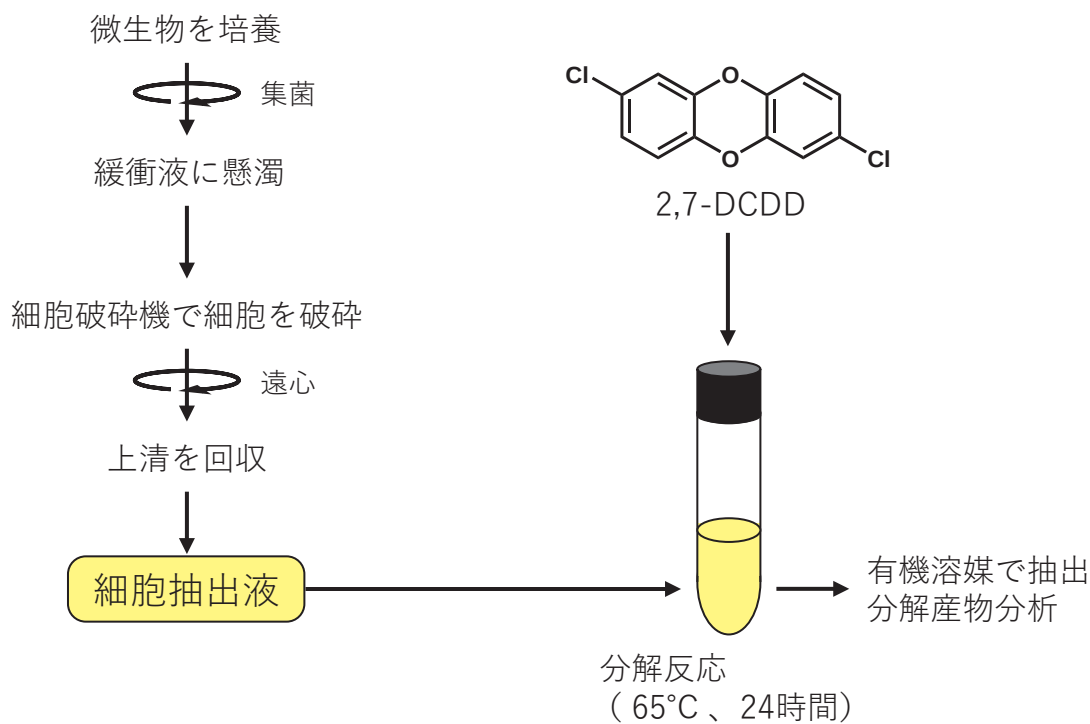


図2 微生物の細胞抽出液を用いた2,7-DCDDの分解機構解析手順。

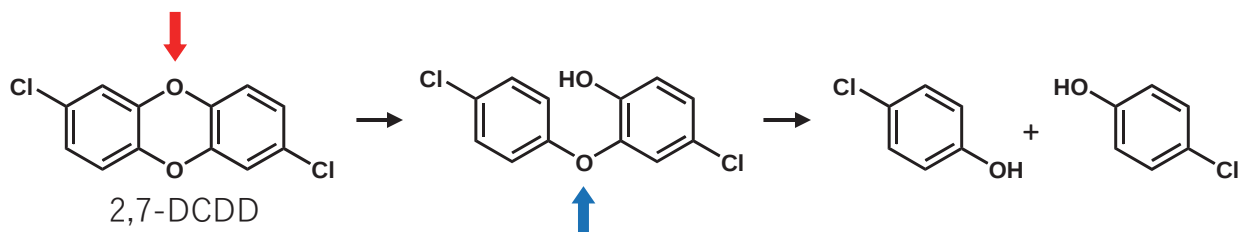
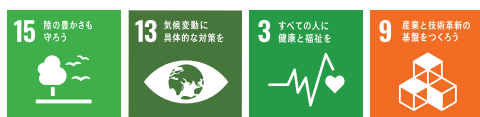


図3 単離した微生物による2,7-DCDDの分解様式。まず1つ目のエーテル結合（赤矢印）が開裂し、次に2つ目のエーテル結合（青矢印）が開裂するという2つの分解ステップからなっていました。

乾燥した生育環境への適応性を評価するスギの遺伝子発現マーカーの開発



林木育種センター 能勢 美峰・永野 聡一郎
高島 有哉・平尾 知士
松下 通也
静岡県立農林環境専門職大学 平岡 裕一郎

気候変動を背景として、スギの林木育種においても、今後想定される気象条件を踏まえて品種改良を行うことが求められています。しかし、ストレスをもたらす環境条件をつくりだして系統を評価するには多くの手間と長い時間がかかり、省力化・効率化が必要です。そこで、乾燥に対するスギの生理的な応答を比較的簡便に評価できる指標を開発するために、乾燥条件下での遺伝子の働き方（発現量）の変化に注目し、スギの生理的な応答と相関のある複数の遺伝子を明らかにしました。これらの遺伝子の発現量を解析するマーカーを開発し、乾燥条件下であっても通常の条件下とほぼ同様の生理状態を保つ系統を評価することが可能になりました。

成果

気候変動に適応したスギの系統評価に向けた課題

気候変動に伴う高温や乾燥などの環境条件は、スギなどの人工林の生産性や健全性に大きな影響を与えると予想されています。このため、林木育種においても今後想定される気象条件を踏まえて系統の評価や選抜を行うことが求められます。しかし、人為的に気温や与える水の量を調節した環境を作るには多くの手間や大規模な設備が必要です。また、ストレスを与えて個体の成長などを評価するためには長い期間を要し、同時に評価できる系統数が限られるため、複数年に分けて試験を繰り返す必要があるなど多くの課題が残されています。このため、スギの系統ごとの生理的な状態や遺伝的特性を比較的簡便に評価できる指標の開発を進めました。

遺伝子発現量に着目した環境適応性の評価

温室でスギのさし木苗を育成し、与える水の量を制御した環境の下（図1）で乾燥に対するスギの成長や生理的な特性を定量的に評価し、それと並行してストレス環境下での多数の遺伝子の働き方（発現量）を解析し、乾燥の進行とともに発現量が変化し乾燥に対する生理的な応答と相関のある複数の遺伝子（遺伝子群）に絞り込みました。

この遺伝子群の発現量について全体の傾向を捉えるために主成分分析を行った結果を図2に示します。グラフの横軸と縦軸は、それぞれ遺伝子の発現量の全体の傾向を要約したもので、各点は異なるスギの系統を示しています。遠い点同士は遺伝子発現の傾向が異なっていることを、近い点同士は遺伝子発現の傾向が類似していることを意味します。青色の点は水やりを継続した灌水区を、赤色の点は水やりを停止した乾燥区を示しています。灌

水区では点が比較的まとまっていますが、乾燥区では横軸方向に大きく分散しており、乾燥に対する系統ごとの生理的な応答の違いが現れています。また、乾燥区のスギの中には灌水区と同様の位置を示す点があり、このような系統は灌水区と同様の遺伝子発現の傾向を示すことがわかりました。さらに、乾燥時に灌水区と同様の遺伝子発現の傾向を示す系統は、乾燥時にも灌水時と同様に光合成を行っていることも明らかになりました。

環境適応性を評価する遺伝子発現マーカーの開発

このように絞り込んだ比較的少数の遺伝子の発現の傾向を系統間で比較できる遺伝子発現マーカーセットを開発しました。スギの成長などの調査と合わせて遺伝子発現も解析することで、乾燥試験の省力化や生理的な応答の把握も踏まえた品種改良が可能になると期待されます。

研究資金と課題

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

専門用語

遺伝子発現：DNA上の遺伝子の情報がRNAに転写されて機能すること。

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だっ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。

生理的な応答：環境条件などの変化に伴って樹木の内部で生じる生理的な変化。

林木育種：森づくりに用いる樹種の品種改良。



図1 温室でスギの挿し木苗に与える水の量を調節した乾燥試験の様子
水やりを継続した灌水区和停止した乾燥区を設けて試験を実施しました。

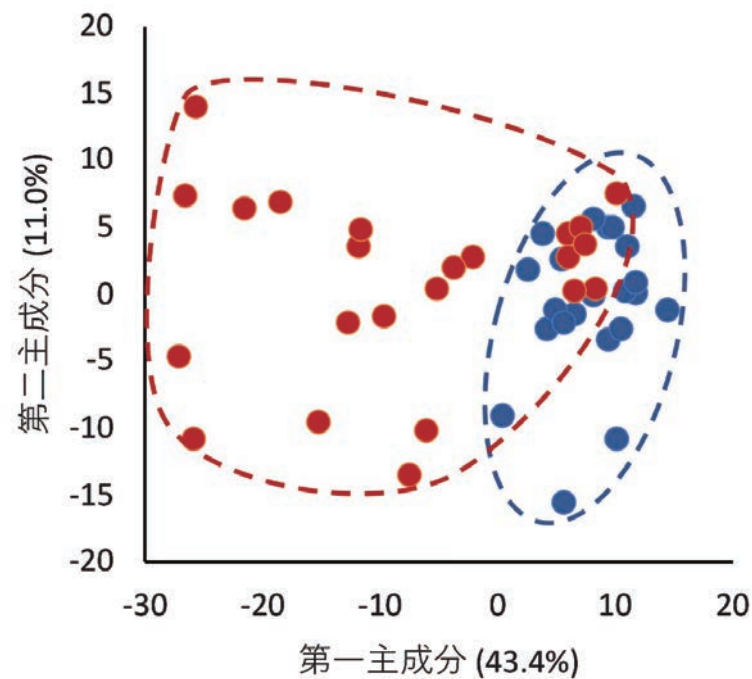


図2 灌水区と乾燥区における遺伝子発現の全体の傾向

横軸と縦軸は、それぞれ遺伝子の発現量の全体の傾向を要約した値（主成分分析の第一主成分と第二主成分）を表しています。一つの点是一个の系統を示し、青色の点は灌水区、赤色の点は乾燥区で生育した個体を示します。

土を使わずスギを発根させる「エアざし」技術を開発



林木育種センター九州育種場 栗田 学・久保田 正裕

大塚 次郎

林木育種センター 倉本 哲嗣・福山 友博

九州大学 渡辺 敦史

これまでのスギさし木コンテナ苗生産では、さし木に用いる枝（さし穂）を土にさしつけて、発根後にコンテナへ移植して生産するという手法が一般的でしたが、さしつけ用の土の準備や発根した穂の掘取り作業などは重労働なことや、土があるために発根状況が確認できず、移植適期の判断が難しいなどの課題がありました。そこで、より簡単なスギさし木コンテナ苗生産手法の確立を目指し、さし穂全体を空气中に露出したまま立て、一定の条件で定期的に霧状にした水をかけることにより、安定して発根させることができる技術を開発しました。この技術の活用により、さしつけ準備や掘取りの軽作業化など、さし木コンテナ苗生産の効率化が期待できます。

成果

スギさし木コンテナ苗生産の課題

一般的なスギさし木コンテナ苗生産は、さし穂を苗畑あるいは土を入れた育苗箱にさしつけて一定期間管理し、十分に発根した頃を見計らって、さし穂を掘り取りコンテナへ移植するという工程で行われます。このため、除草や燻蒸等の苗畑の維持管理や、育苗箱への土の入れ替えや土が入った育苗箱の移動等、土を扱うことによる重労働が必要でした。また、発根までに要する期間や発根する穂の割合などはスギの品種によって異なるとともに、さしつけ後の環境条件によっても発根状況が変化することが知られています。そのため、土があるために発根が確認できない通常のさし木では、さし穂のコンテナへの移植の適期（確実に発根し、かつコンテナへの移植時に根の切り戻し作業が必要とまらない適度な発根状態となった時期）を判断するのが難しいといった課題がありました。このようなことから、スギさし木コンテナ苗生産を加速するためには、品種特性の違いに影響されず、かつ労働生産性の向上を図れる、新たなさし木発根技術が求められていました。

「エアざし」の開発

近年、農作物の生産において、植物工場を利用した生産技術の実用化が進められています。このような植物工場的な生産技術を活用した、スギさし木コンテナ苗の安定的かつ効率的な生産技術の開発に向けた研究に取り組

み、スギのさし穂を土にさしつけずに空气中に露出したまま静置した状態で発根する現象を確認しました（図1）。その後、空气中での安定的な発根を実現するための環境条件の探索を進めました。様々な環境条件下で試験を行ったところ、さし穂全体に霧状の水をかけるミスト散水を定期的に行うこと等の一定の条件を整えることにより、スギのさし穂から安定的に発根させることができるようになりました（図2）。本手法を通称「エアざし」と呼んでおり、令和2年5月27日付けで特許を取得しました（特許番号：第6709449号）。エアざしでは土が不要なため、さしつけ用の土の準備等が不要となり、重労働の軽減につながります。また、品種や環境条件の違いによる発根時期の違いについても、目視で発根の状況をリアルタイムで確認できるため、発根した根の状態をみて適期に移植することが可能になりました。この技術を活用することで、さし木コンテナ苗生産の効率化が期待できます。

研究資金と課題

本研究は、交付金プロジェクト*「適正かつ早期の普及に必要な技術の開発」による成果です。また本研究の一部は、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行いました。

文献

栗田学（他）（2020）用土を用いない新たなスギ挿し木発根手法の検討 ―スギ挿し木苗の植物工場的生産技術の開発に向けて―。九州森林研究, 73, 57-61

*森林総合研究所交付金プロジェクト

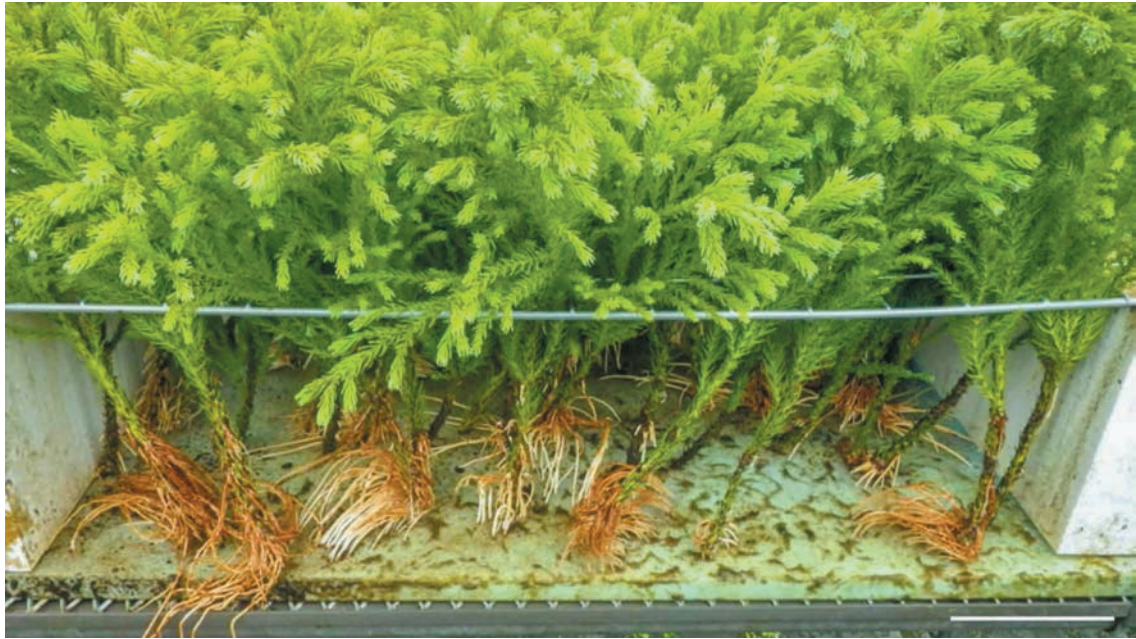


図1 エアざしにより発根したさし穂と根の様子

2020年5月上旬に採穂し、九州育種場温室内でエアざしを行いました。写真は2ヶ月後の7月上旬に撮影した発根後のさし穂の様子です。スケールバーは10cm。

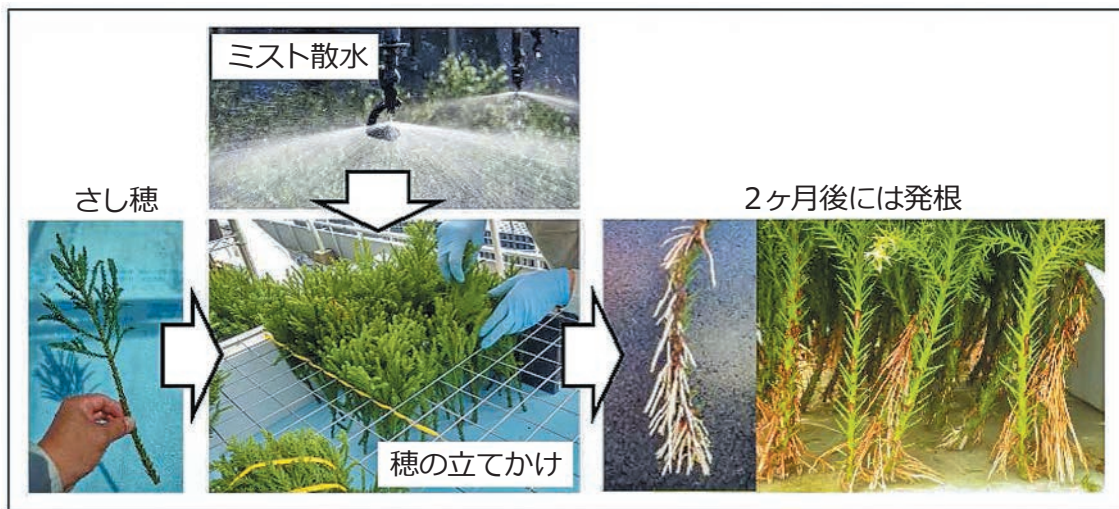


図2 エアざしの実施方法

さし穂を網などの支持資材に立てかけ、温室などの施設内で定期的にミスト散水しながら静置することで、発根を誘導するという非常に簡便な発根手法です。

森林総合研究所
令和3年版 研究成果選集

発 行 日 令和3年7月
編 集・発 行 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所
茨城県つくば市松の里1
電話 029(829)8373
お問い合わせ 企画部広報普及科
メールアドレス kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>
印 刷 所 朝日印刷株式会社 つくば支社
茨城県つくば市東2-11-15
電話 029(851)1188



本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。



森林総合研究所

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