

平成24年版

研究成果選集

2012



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

は じ め に

独立行政法人森林総合研究所「平成 24 年版研究成果選集」をお届け致します。

森林総合研究所は、平成 23 年 4 月に第 3 期中期目標実施のための第 3 期中期計画を立て、新たな研究開発の取り組みを始めました。

第 3 期中期計画（平成 23 年～ 27 年度）では、基礎研究と開発研究等とを一体化し研究成果の社会還元をより効率的に行うため、以下の 9 つの重点課題を設定しました。

「地域に対応した多様な森林管理技術の開発」
「国産材の安定供給のための新たな素材生産技術及び林業経営システムの開発」
「木材の需要拡大に向けた利用促進に係る技術の開発」
「新規需要の獲得に向けた木質バイオマスの総合利用技術の開発」
「森林への温暖化影響評価の高度化と適応及び緩和技術の開発」
「気候変動に対応した水資源保全と山地災害防止技術の開発」
「森林の生物多様性の保全と評価・管理・利用技術の開発」
「高速育種等による林木の新品種の開発」
「森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発」

さらに、研究所で得られた研究成果の社会還元の一層の推進を図るため、早急に現場への普及を推進できる重要な技術を「林業新技術 ―生産現場への普及に向けて―」として毎年選定し、その普及推進を図っているところです。最新版は URL (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/shingijutu/2011.html>) でご覧いただけますので、ご覧頂き参考にしていただければと存じます。

研究所においては、毎年実施する重点課題推進会議において各重点課題の進捗状況を点検し、重点課題評価会議において外部評価委員による評価を受けたうえで、主要な研究成果を抽出し、研究成果選集としてとりまとめております。今回は、平成 24 年 3 月までに得られた研究成果をとりまとめ、ここに「平成 24 年版研究成果選集」として発行致しました。目次には表題と概要を掲載するとともに、研究成果ごとに見開き 1 ページで解説致しております。専門用語につきましては、巻末に用語解説としてとりまとめております。

この成果選集が皆様のご参考になれば幸いです。

2012 年 7 月

独立行政法人森林総合研究所 理事長 鈴木和夫

詳細は、森林総合研究所 H P <http://www.ffpri.affrc.go.jp/index-j.html> をご覧下さい。

森林総合研究所 平成 24 年版 研究成果選集

目 次

重点課題 A 地域に対応した多様な森林管理技術の開発

A 1 多様な施業システムに対応した森林管理技術の開発

一貫作業システムで地拵え～植栽の大幅な作業効率の向上！ 6
伐採・搬出から地拵え、苗木植栽までを連携して同時並行的に行う一貫作業システムを考案し、現地試験を行った結果、植栽等に関わる作業の効率が大幅に向上することを明らかにしました。

A 2 森林の機能発揮のための森林資源情報の活用技術の開発

針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する 8
広葉樹林への誘導技術を高度化するため、林冠デザインモデルによる林冠の制御による天然更新促進や、菌根菌の接種により成長を促進させたシイ・カシ苗作成など、新たに開発した技術を盛り込み、「広葉樹林化ハンドブック2012」を作成・発行しました。

重点課題 B 国産材の安定供給のための新たな素材生産技術及び林業経営システムの開発

B 1 路網整備と機械化等による素材生産技術の開発

欧州の先進タワーヤーダはわが国の急峻で複雑な地形条件にも適合できる 10
森林・林業再生プランの事業により、四国の事業体に欧州の先進タワーヤーダが導入されました。このタワーヤーダを用いて間伐作業を行った結果、日本の厳しい地形条件においても高い生産性が期待できることを明らかにしました。

B 2 国産材の効率的な供給のための林業経営・流通システムの開発

全国の立木幹材積表の値を正確に表示する「幹材積計算プログラム」を開発 12
地域の森林資源量の把握や収穫予測の基礎として使われている林野庁の立木幹材積表の値を、表計算ソフトで正確に表示するプログラムを開発し、ホームページで公開しました。

重点課題 C 木材の需要拡大に向けた利用促進に係る技術の開発

C 1 木材利用促進のための加工システムの高度化

地盤改良杭としての間伐材の利用 ―間伐材の土木利用拡大を目指して― 14
土木分野における間伐材の利用促進を図るため、地盤改良杭としての利用拡大を目指し、打設した丸太を腐らせない方法を開発し、高い含水率での丸太の強さについて検証し、効率よく丸太をつなぐ方法を開発しました。

「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」が完成 16
構造用の心持ち正角材を、内部割れの発生が極力少なく、また強度面での問題が生じないように人工乾燥するための「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」が完成しました。

スギの材形成に関与する遺伝子の発現を網羅的に解析することが可能になりました 18
スギの材形成時に発現している遺伝子を約1万8千収集し、これらの塩基配列情報を集積したマイクロアレイチップを作製したことにより、木部形成時における遺伝子発現を網羅的に解析することが可能となりました。

C 2 住宅・公共建築物等の木造・木質化に向けた高信頼・高快適化技術の開発

森林総研の木材関係の研究成果を実際の建物で検証するためのモデル木造住宅が完成しました 20
森林総研が研究開発にかかわった木質材料を使用したモデル木造住宅を建設し、試験住宅でしか実施できない部材・躯体・劣化・省エネ・環境振動・心理特性・居住快適性・室内空気質等に関する諸研究を行いました。

難燃処理した木材を現場で貼って集成材を耐火集成材にする 22
耐火集成材のコストダウンを目指し、より簡易な製造方法として、難燃処理木材を後付けする方法を開発しました。この技術は、製造工程を簡略化し、現場施工や既存建物の改修などへの応用を可能にします。

重点課題D 新規需要の獲得に向けた木質バイオマスの総合利用技術の開発

D 1 木質バイオマスの安定供給と地域利用システムの構築

木質バイオマスの利用で化石燃料を 20% カット 24
地域内の木質バイオマスの供給可能性と需要量を調べ、プラント実証から得られたデータをもとに、バイオマス資源を有効に活用でき、化石エネルギーを 20%削減できるシナリオを作成しました。

D 2 木質バイオマスの変換・総合利用技術の開発

高性能「ハイパー木質ペレット」の量産と市販ストーブによる利用実証 26
木質ペレットの製造方法を改良して、高性能なハイパー木質ペレットの量産に成功しました。これを市販のペレットストーブで使ってみたところ、熱効率が向上するとともに、燃料消費量を抑えることができました。

林地残材から開発した空気浄化剤 28
未利用な林地残材である枝葉を原料として、二酸化窒素等の環境汚染物質を効果的に除去する空気浄化剤を開発し、商品化しました。原料はトドマツの伐採時に排出される枝葉であり、そこから採取した精油を活用します。

重点課題E 森林への温暖化影響評価の高度化と適応及び緩和技術の開発

E 1 炭素動態観測手法の精緻化と温暖化適応及び緩和技術の開発

森林観測ネットワークで気候変動の影響を探る
ータワーを用いた二酸化炭素吸収量 (CO₂) の把握ー 30
観測マニュアルの作成を行い、機器やソフトウェアの標準化によりタワーを用いた CO₂ 吸収量観測体制を充実させました。この長期タワー観測から、落葉広葉樹林の夏の CO₂ 吸収量は常緑針葉樹林を大きく上回ることを明らかにしました。

森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出は、温暖化の影響で増大している 32
森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出を全国評価し、温暖化の影響で過去 30 年間に増大していることを明らかにしました。

E 2 森林減少・森林劣化の評価手法と対策技術の開発

熱帯林の違法伐採を防ぐための DNA による樹種・産地識別技術の開発 34
東南アジア熱帯林で生態及び林業において重要なフタバガキ科樹木について、DNA による樹種識別技術を開発するとともに、産地識別も大きな地域では可能であることを明らかにしました。

重点課題F 気候変動に対応した水資源保全と山地災害防止技術の開発

F 1 環境変動・施業等が水資源・水質に与える影響評価技術の開発

森林が使い切れなくなった窒素 36
森林の土壌は窒素が不足しがちですが、首都圏周辺の森林では大気汚染による窒素化合物が多量に流入し、使い切れずに溪流に流出していることがわかりました。

原子力発電所事故で放出された放射性セシウムの森林内の分布を明らかに 38
福島県の森林で放射能汚染状況を調査した結果、スギ林では樹木と土壌に放射性セシウムが半分ずつ分布していたのに対して、落葉広葉樹林やアカマツ林では落葉層に多く分布していることを明らかにしました。

F 2 多様な手法による森林の山地災害防止機能強化技術の開発

東日本大震災の津波による海岸林の被害と津波被害軽減機能 40
平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波による海岸林の被害実態と海岸林による津波被害軽減効果について、現地調査や数値シミュレーションによって明らかにし、海岸林の再生方法について提言しました。

重点課題G 森林の生物多様性の保全と評価・管理・利用技術の開発

G 1 シカ等生物による被害軽減・共存技術の開発

侵略的外来種マングースの根絶にむけて一残存個体の探索・捕獲技術の開発ー 42
センサーカメラによる残存個体の検出率を解明し、低密度での残存個体数の推定を可能としました。また、低密度下の残存個体の効率的捕獲には、探索結果を速やかに捕獲作業につなげる機動的体制が効果的でした。

林産物としてのシカ肉を衛生的に管理する 44
野生動物であるシカの肉を安全安心に食べられるように、シカ食先進国である英国の手法を参考とし、シカに適した解体方法を明らかにしました。また肉の検査やその資格制度の日本への導入について北海道に提言しました。

G 2 生物多様性を保全するための森林管理・利用技術の開発

世界遺産の島・小笠原諸島の森林に復活したハシナガウグイス
ークマネズミ根絶がもたらした生物相の回復ー 46
世界自然遺産、小笠原諸島の無人島において、外来種クマネズミを駆除したところ、島にいなかったハシナガウグイスが多数出現しました。ネズミ根絶は、再発見されたオガサワラヒメミズナギドリ保全にも役立ちます。

生物多様性の第二の危機を緩和する林業活動 48
全国的な減少が危惧される、草地や若い森林に住む「遷移初期種」がカラマツ人工林の新植地や伐採跡地に住んでいました。人工林の伐採や適切な管理によって、生物多様性第二の危機が緩和されると期待されます。

重点課題H 高速育種等による林木の新品種の開発

H 1 林業再生と国土・環境保全に資する品種の開発

東北地方等におけるマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種の開発 50
クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性品種の増加が望まれていた東北地方等において12品種を開発しました。これらは海岸林の再生等に資することが期待されます。

H 2 林木育種の高速化及び多様なニーズに対応するための育種技術の開発

マツノザイセンチュウに対するクロマツの抵抗性の機構解明 52
クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性品種の抵抗性の機構は不明でしたが、線虫を接種し、遺伝子の発現を調査したところ、抵抗性品種では、一般のクロマツで生じる過敏感反応がなく、自らの防御機構で線虫を抑えていることを明らかにしました。

重点課題Ⅰ 森林遺伝資源を活用した生物機能の解明と利用技術の開発

Ⅰ 1 林木遺伝資源の収集、保存・評価技術の開発

アカマツの遺伝変異を解明する 54
マツノザイセンチュウ被害等で減少が心配されている日本各地のアカマツ天然林から採取した DNA を分析して、西南日本、中部日本及び東北日本で遺伝的な組成が異なることを明らかにしました。

Ⅰ 2 ゲノム情報を活用した森林植物の遺伝的多様性の解明と保全・評価技術の開発

日本産樹木における DNA バーコード分類システムの開発 56
短い DNA 領域の塩基配列情報で種の同定を行う DNA バーコーディングにより、日本産樹木の約 75% の種が同定できるようになりました。

Ⅰ 3 樹木及びきのこ等微生物の生物利用の解明と利用技術の開発

スギ雄性不稔遺伝子に連鎖する DNA マーカーの開発
—DNA による無花粉スギ識別の道が拓ける— 58
スギ高密度連鎖地図を構築し、雄性不稔遺伝子が第 9 連鎖群に存在することを明らかにし、無花粉スギ（雄性不稔スギ）の家系内選抜を高い精度で行うことができる DNA マーカーを開発しました。

ユーカリからアルミニウムを無害化する新しい物質を発見 60
強い酸性の土壌で植物の生育を妨げるアルミニウムを無害化する新しい物質を、ユーカリの根から発見しました。この発見は、強い酸性の土壌を効率的に緑化する技術の開発につながります。

LED 照明を利用したきのこ栽培技術の開発 62
最新の LED 照明を用いた光照射技術により、日本で流通する各種きのこ（シイタケ・マイタケ・エノキタケ・エリンギ・ナメコ・ブナシメジ・バイリング・アラゲキクラゲ）の効果的で省エネな生産法を開発しました。

ヒラタケの放射性セシウム吸収を抑えた栽培法を開発 64
ヒラタケを栽培する培地へ放射性セシウムを吸着する物質を混ぜることにより、放射性セシウムの吸収を抑制したヒラタケの栽培方法を開発しました。

スギ花粉に含まれる放射性セシウム濃度の推定手法を開発 66
福島第一原子力発電所事故後に形成されたスギ雄花をいろいろな場所で採取して、放射性セシウムの濃度を計測し、スギ花粉に含まれる放射性セシウムの濃度を広域に推定する手法を開発しました。

Ⅰ 4 バイオテクノロジーの育種への利用技術の開発

スギの雄性不稔化に必要な遺伝子プロモーターの開発 68
遺伝子組換えによるスギの雄性不稔化技術を開発するため、スギの雄花で機能する遺伝子プロモーターを単離し、その機能を解析しました。この遺伝子プロモーターの利用により、モデル実験植物（シロイヌナズナ）の雄性不稔化に成功しました。

用語解説 70

一貫作業システムで地拵え～植栽の大幅な作業効率の向上！

| | |
|----------|--------------|
| 林業工学研究領域 | 佐々木 達也、中澤 昌彦 |
| 九州支所 | 中村 松三 |
| 東京農業大学 | 今富 裕樹 |
| 鹿児島大学 | 岡 勝 |

要 旨

林業経営収支の悪化に伴う再造林放棄が問題になっています。持続的な林業経営を行うためには再造林コストの大幅な削減が不可欠となっています。しかし、路網整備・林業機械の導入による伐採・搬出コスト削減の取り組みに比べて、再造林コスト削減の取り組みは大きく立ち遅れていました。そこで従来型の地拵えや植栽の作業方法を抜本的に見直し、車両系伐出機械を活用した伐採・搬出～地拵え～植栽を連携して同時に行う『一貫作業システム』を考案しました。一貫作業システムの現地調査から、従来型作業に比べ大幅な作業効率の向上・省力化が可能であることを明らかにしました。

新しい一貫作業システムとは？

従来の方法では、伐採・搬出が終了し時間を置いた後、地拵えを行い、春（または秋）に植栽を実施します。伐採・搬出が終了するとそこで使用していた機械は次の現場へ移動してしまいます。したがって地拵え・植栽は人力で行うため、多くの労力と時間を要します。そこで、伐採・搬出で用いる機械を活用して、伐採・搬出と連携して地拵えを同時進行的に行い、地拵えを終えた箇所から順次植栽を行う作業システムを考案しました（図－１）。

作業の工程を具体的に示すと、立木の伐倒後、グラップルローダ等で木を引き寄せ、集め、プロセッサ（造材機械）で枝払い・玉切りを行い、フォワーダで丸太を搬出します。このシステムでは伐採・搬出作業中に、グラップルローダを地拵えに活用し、土場へ丸太を搬出したフォワーダはその帰りに苗木を伐採跡の植栽現場まで運搬します。このように従来人力で行っていた地拵えや苗木運びの作業に機械を活用することで、省力化（労力削減）を実現しました（図－２）。

このシステムでは、ほぼ一年中行われる伐採・搬出と組み合わせるため、植栽の季節が限定される従来の裸苗ではなく、どの季節でも植栽が可能なコンテナ苗を使用します。また、取り扱いやすく、植えやすいコンテナ苗

を使用することで、作業能率も向上できます。

なお、この作業システムを用いるためには、林業機械が使用可能な場所であること、傾斜が 0 ～ 30 度程度であること、傾斜地では道（作業路網）が整備されていることが必要となります。

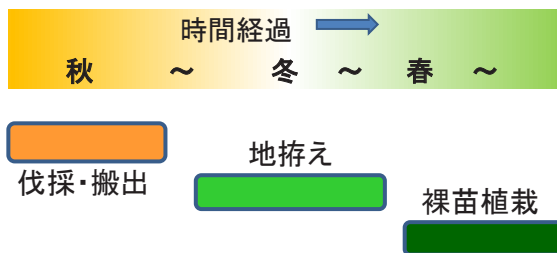
新しい作業システムの効果

現地調査は鹿児島県のスギ人工林皆伐作業地で行いました。その結果、従来型の人力作業による地拵えから植栽までは、平均で労働投入量が 26.4 人日 /ha（地拵え 13.5 人日 /ha、植栽 12.9 人日 /ha）かかるのに対し、一貫作業システムでは 3.5 ～ 4.5 人日 /ha（地拵え約 1.5 人日 /ha、植栽約 2.0 ～ 3.0 人日 /ha）で、従来型の 13 ～ 17% で作業が済むことが判明しました。

再造林のより確実な実施（再造林放棄地の減少）のためにも当作業システムが普及することを期待します。

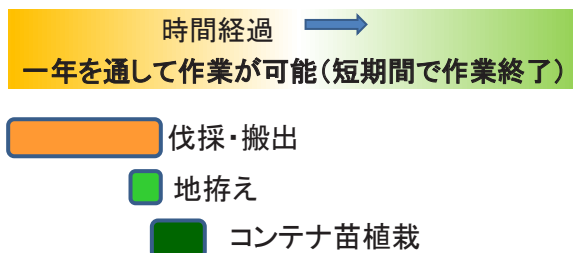
本研究は、「予算区分：農林水産技術会議、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、課題名：スギ再造林の低コスト化を目的とした育林コスト予測手法及び適地診断システムの開発」による成果です。

従来の作業方法



伐採・搬出後、機械は他の現場へ移動
地拵え・植栽作業は人力に頼らざるをえない
植栽は春(または秋)に行われる

『一貫作業システム』



伐採・搬出中に地拵えを完了
地拵えの終わった箇所から植栽を実施
→ 伐ったらすぐ植える

図-1 一貫作業システムと従来の作業方法との違い

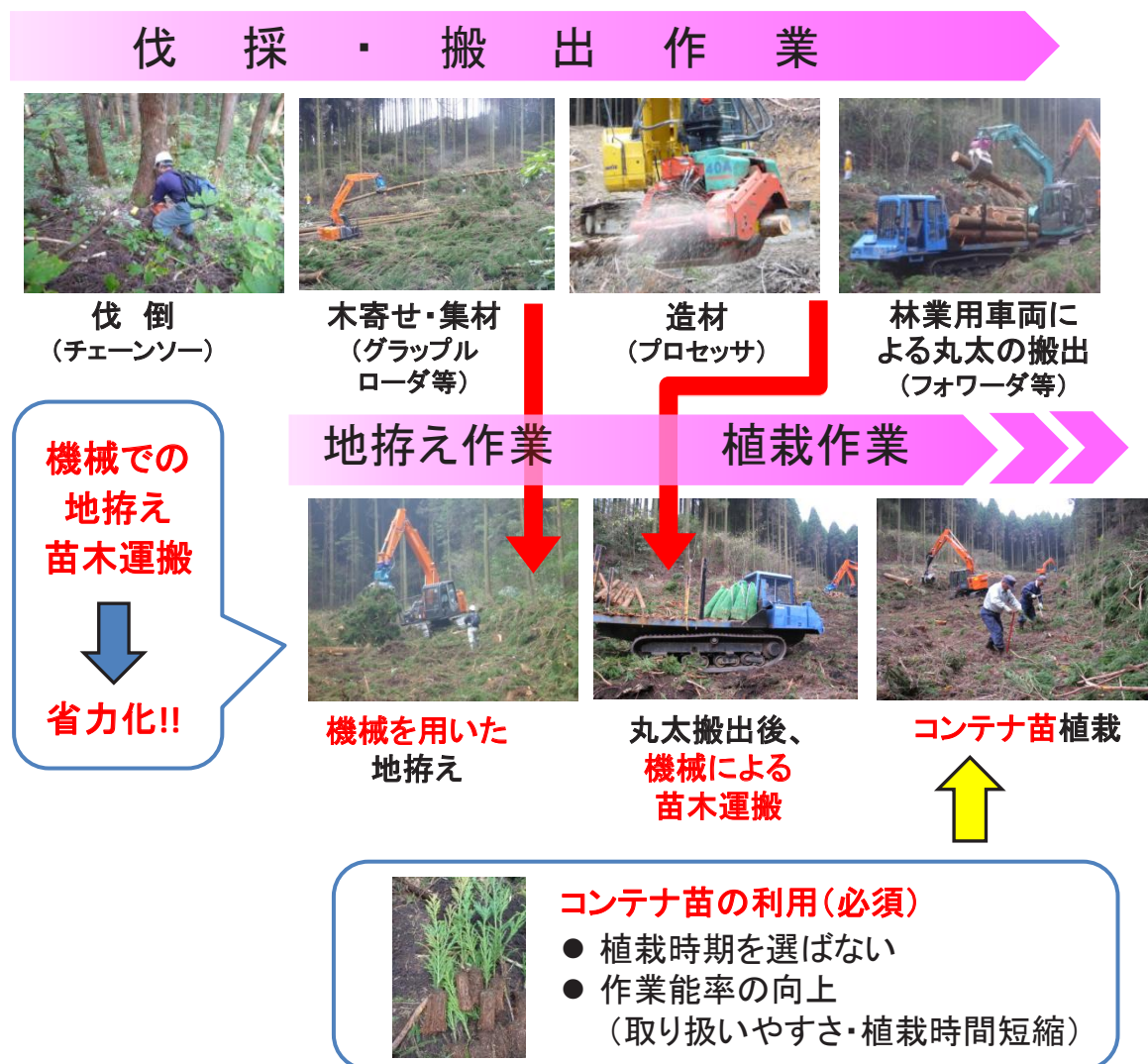


図-2 一貫作業システムの流れ

針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する

森林植生研究領域
四国支所
東北支所
多摩森林科学園

田中 浩、正木 隆、佐藤 保、山中 高史
田内 裕之
新山 馨
吉丸 博志

要 旨

公益的機能の発揮をめざして、針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する技術開発を行いました。誘導のための技術としては、林冠デザインモデルによる林冠の制御による天然更新促進技術や、シイ、カシ類の簡易な菌根菌感染苗作成技術を開発しました。また、遺伝子資源の保全に配慮した地域性種苗の確保技術を開発しました。更に、人工林から広葉樹林へと誘導することによる公益的機能の変化を評価しました。広葉樹林化を現場で有効に進めるために、こうした成果に加えて、誘導化を検証するシステム、誘導施業モデルを盛り込んだ「広葉樹林化ハンドブック 2012」を作成し、森林管理・林業の現場への普及を図りました。

広葉樹林化の必要性

戦後植栽された約 1000 万 ha 弱の針葉樹人工林のうち、手入れ不足になってしまった林分や経済的に成り立たない林分については、今後、生物多様性の保全や、水土保持などの公益的機能を持続的に発揮できるよう、混交林、広葉樹林へと誘導・育成することが求められています。

林冠の制御

抜き伐りによって林冠を制御することで、林内の光環境がどのように変化し、林内の天然更新稚樹の成長に影響を及ぼすかを、各地の人工林での事例を収集するとともに、林冠デザインモデルを作成し、解析することによって明らかにしました。同じ本数 25% の抜き伐りでも、樹高の 3 分の 1 幅 (5m 四方) のギャップをたくさん作るのでは、高木性樹種の更新適地ができて、5 年後には樹冠が閉鎖し、耐陰性の高い高木種以外は生育できません。樹高よりやや大きい幅 (20m 四方) のギャップをいっぺんに開けると、逆にパイオニア樹種や低木にとってよい光環境が 5 年後も続き、低木やキイチゴ類などの競争に弱い高木種の更新が困難になることがわかりました (図 1)。このような傾向は、事例研究からも裏づけられています。適切な更新環境の維持のためには、適当な抜き伐りサイズと抜き伐りの継続による適切な林冠の制御が必要です。

菌根菌の利用

新規に開発した簡易接種法で、菌根菌のツチグリ、ニセショウロを接種したシイ・カシの苗木は、非接種苗に比べて成長が良く、人工林伐採跡地に実際に植栽した実

験でも成長が促進されました。植栽する広葉樹苗の成長が困難な場所で、苗を素早く成長させるために使える技術です。

地域性種苗の利用のために

シラカシ (図 2) やアラカシのように、多くの樹種には遺伝的な性質に地域間の違いがあります。異なる地域から持ち込んだ遺伝的な性格の異なる苗木の植栽は、成長の不良、交雑による遺伝的な攪乱をもたらす恐れがあるので、できるだけ植栽する地域の苗を使うために、種子や苗の確保技術を開発しました。

広葉樹林化の施業にむけて：広葉樹林化ハンドブック 2012

上に述べた成果の他、抜き伐りによって広葉樹が林内に更新することによる表土保全機能の向上を評価する手法やその実際の結果の紹介、広葉樹林化への手順などを盛り込んだ「広葉樹林化ハンドブック 2012」(図 3)を作成し、森林管理・林業の現場に向けて配布・普及を図りました。

本研究は「予算区分：農林水産省実用技術開発研究 (平成 19-23 年度)、課題名：広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」による成果であり、北海道立林業試験場、秋田県農林水産技術センター森林技術センター、山形県森林研究研修センター、新潟県森林研究所、山梨県森林総合研究所、長野県林業総合センター、東北大学、東京農業大学、静岡大学、三重大学、(財) 林政総合調査研究所との共同研究です。

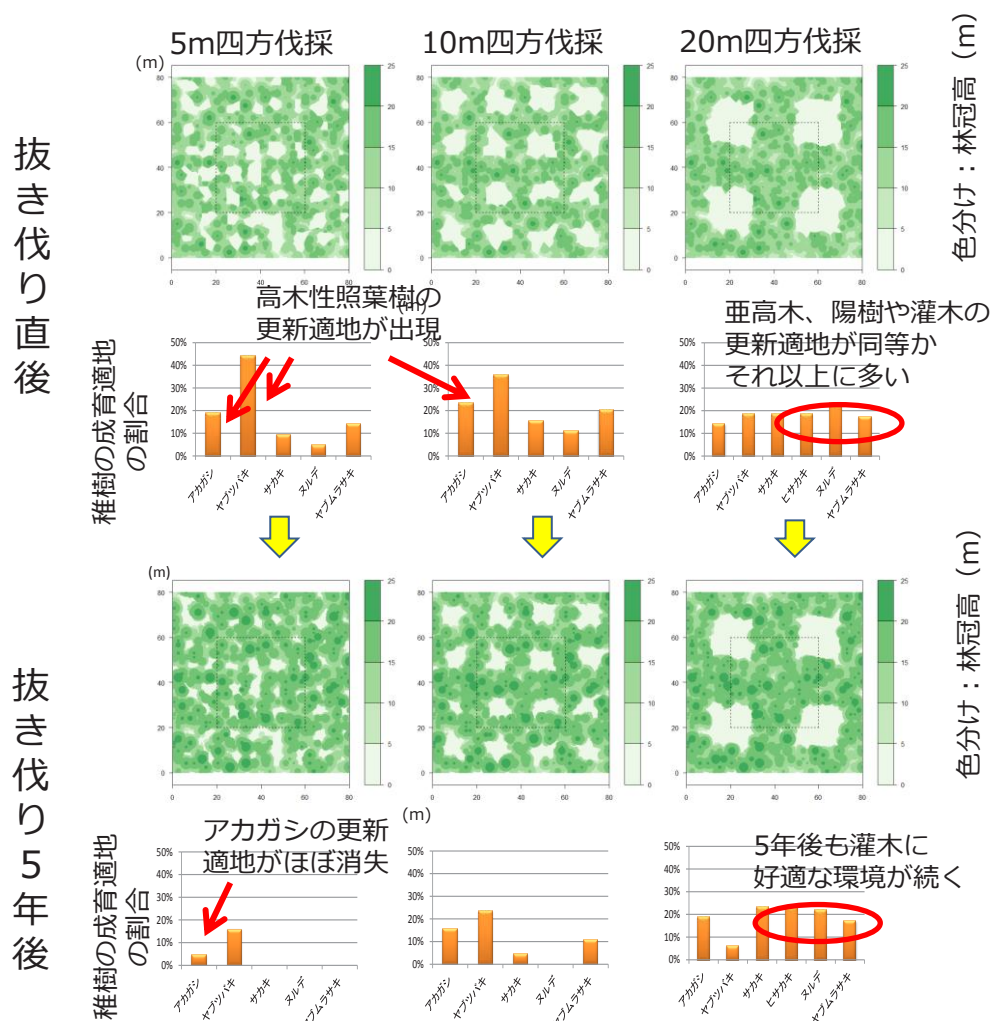


図1. 林冠デザインモデルによる抜き伐りの更新誘導効果の予測例。高木性常緑樹（アカガシ、ヤブツバキ等）の更新を目的として、樹高 15m のスギ林を本数で 25% 抜き伐りした時の、伐り方の違いに応じた更新適地を予測しました。

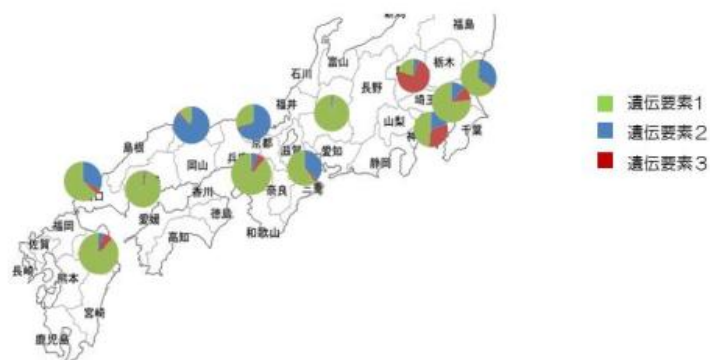


図2. シラカシ天然林の遺伝構造
シラカシ天然林集団は 3 種類の遺伝要素で構成されていました。

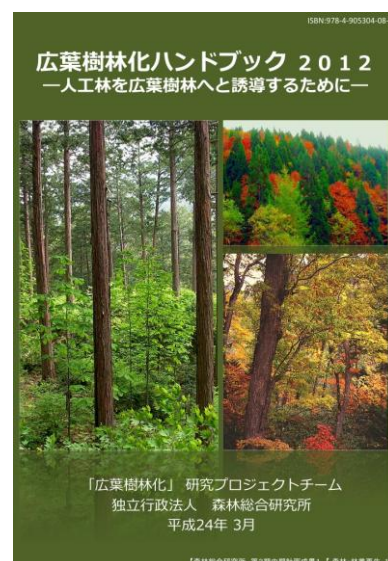


図3. 広葉樹林化ハンドブック2012

欧州の先進タワーヤードは わが国の急峻で複雑な地形条件にも適合できる

林業工学研究領域

高知県立森林技術センター
四国支所

中澤 昌彦、吉田 智佳史、佐々木 達也、陣川 雅樹、
田中 良明、鈴木 秀典、上村 巧、伊藤 崇之、
山崎 敏彦
今富 裕樹

要 旨

わが国の森林・林業再生のため、路網整備と機械化等による新たな素材生産技術の開発が求められていますが、日本の急峻で複雑な地形における素材生産作業では架線による集材が不可欠です。現在は、建設機械にウィンチをつけたスイングヤードが主流ですが、集材可能距離が短いことから高密な作業路網が必須です。しかし、降雨が多く地形条件の厳しい日本では、高密路網を整備できる森林は限られ、すでに手近な森林の整備は進んでおり、豊富な資源を持つ奥山の利用が求められています。また、従来機械ではパワーが不足しているため、資源が成熟し大径化しつつある木材を引き上げるのに困難な状況も見られるようになってきました。そこで、集材距離が長く十分なパワーを持つ欧州の先進タワーヤードを用いて間伐作業を実施し、わが国でも高い生産性が期待できることを明らかにしました。

国内と国外のタワーヤードの性能比較のために文献調査を行うとともに、欧州の先進タワーヤードを用いて急峻で複雑な斜面で間伐作業の実証試験を行いました。

タワーヤードの特徴

タワーヤードとは、伐り倒した木を森林内から道沿いまで集めるための集材機械です。トラックやトレーをベースマシンとして、集材用のウィンチとワイヤロープを高く張り上げるためのタワーを装備しています。従来の架線集材機械に比べ、必要とする機材が少なく設置が容易です。

新規に欧州から導入された先進タワーヤードは、中間サポートを使用することでワイヤロープが地面につかないように張り高を確保できるので、複雑な地形に対応することができます。また、本体は高度に電子制御され、プロセッサ（造材機械）のコックピット内からリモコン操作できるなど、既存機よりも格段に安全性が確保されていて、同時に省力化・効率化が図られています。

タワーヤードによる間伐集材作業

実際に、架線下の間伐した伐倒木を搬器でつり上げ、上げ荷集材した場合（図1）、荷掛量（搬器に掛けた材積）

は集材作業時間に影響せず、集材距離が長いほど作業時間が多くかかることがわかりました。また、搬器の走行速度を既存機と比較すると、先進タワーヤードの方が荷を掛けていない空走行では2倍、荷を吊った実走行では1.2倍程度速いことがわかりました。以上から、上げ荷集材作業の生産性を求めると、荷掛量が約0.30m³であった既存機の生産性は、先進機の荷掛量0.20m³の生産性とほぼ一致し、先進機の方が既存機より1.5倍程度の高い生産性が得られることがわかりました。

この先進タワーヤードは高規格の林業専用道を必要とします。日本では過去にタワーヤードを導入しましたが、資源が未成熟で路網整備や中間サポートの利用技術が不十分であった等の理由から定着しませんでした。しかし、今では森林資源が成熟してきたことから、森林・林業再生プランで示された高規格の林業専用道を整備し、安全で効率的なタワーヤードを使った素材生産技術を確立することで、豊かな資源を有効に使うことを推進すべきです。

研究資金と課題：独立行政法人森林総合研究所交付金プロジェクト「豪雨・急傾斜地帯における低撓乱型人工林管理技術の開発」



図1 集材作業の状況
(手前: プロセッサ、奥: タワーヤード)
プロセッサのコックピットからリモコン操作して、タワーヤードの搬器を操作している様子。

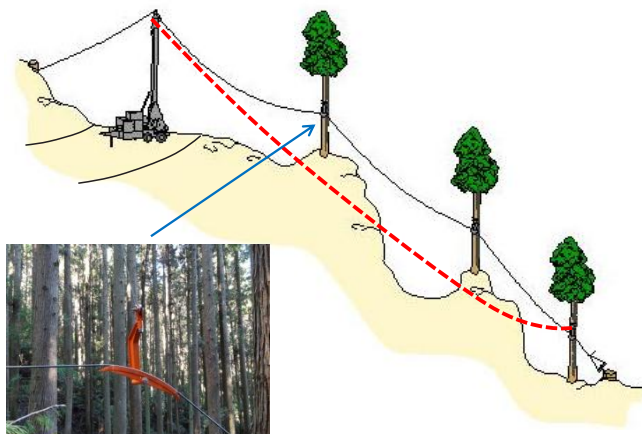


図2 中間サポート

中間サポート (写真) を設置することで、複雑な地形にも対応可能である。

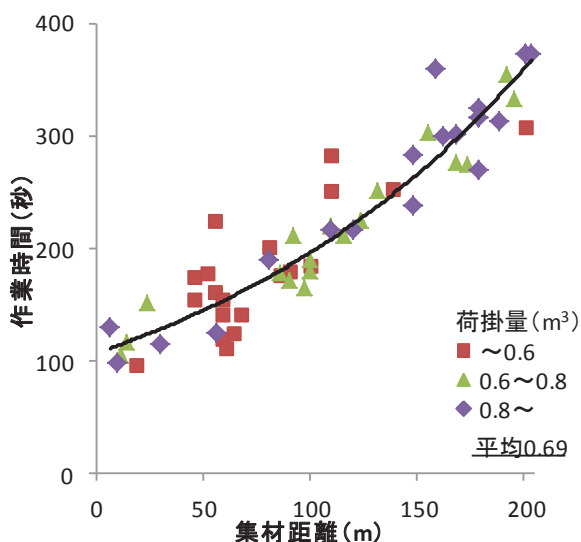


図3 集材距離と作業時間との関係

荷掛けした材積 (荷掛量) ごとの集材距離と作業時間との関係を示した図。荷掛量に関係なく、集材距離と作業時間には一定の相関関係があることが分かる。

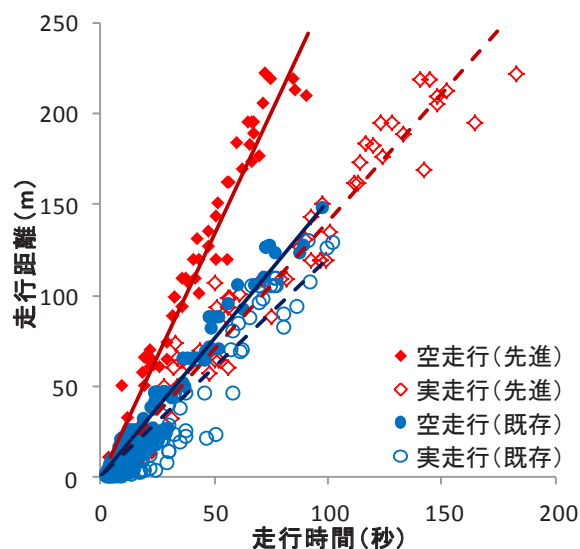


図4 搬器の走行速度

この図は、搬器の走行時間と走行距離との関係、つまり搬器の走行速度を示している。荷を吊っていない搬器の空走行と荷を吊った実走行について、先進機と既存機で比較した結果、とくに空走行で先進機の方が格段に早いことが分かる。

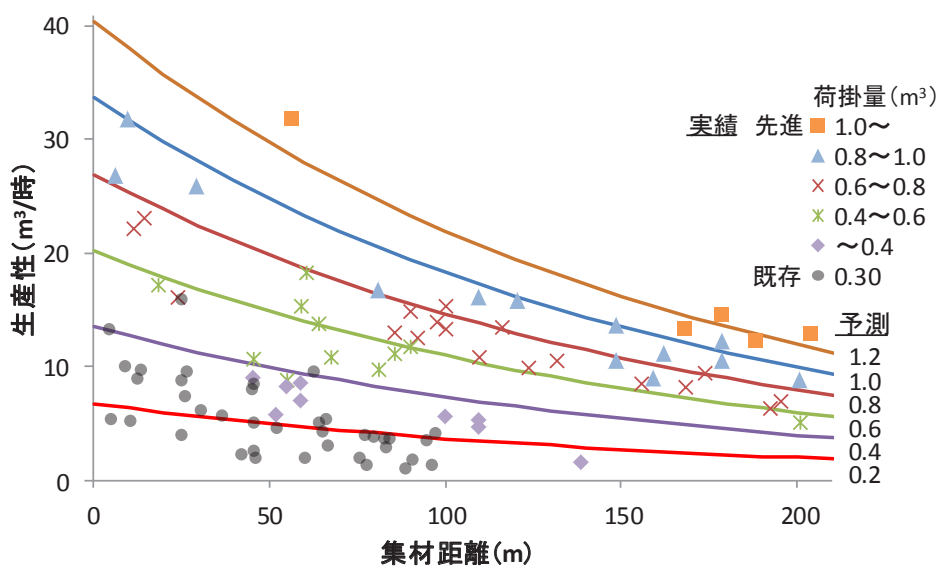


図5 架線下における集材距離と生産性との関係

架線下の材を集材したときの集材距離と生産性を示した図。実績値と、図3より求めた集材距離ごとの集材時間から生産性を予測したグラフを示している。実績値が予測式付近に分布しており、精度の高い生産性予測式を求めることができた。また、先進機が生産性が既存機に比べ、かなり高いことが分かる。

全国の立木幹材積表の値を正確に表示する 「幹材積計算プログラム」を開発

森林管理研究領域
四国支所

細田 和男、家原 敏郎
光田 靖

要 旨

国産材の安定供給体制を構築するには、まず地域や個々の林分がもつ森林資源の量を正確に把握し、将来の間伐や皆伐によって生産可能な木材の量を予測することが必要です。この際に重要な基礎資料の一つとなるのが幹材積表（かんざいせきひょう）です。本研究では林野庁計画課編「立木幹材積表 東日本編」および「立木幹材積表 西日本編」（いずれも昭和 45 年刊行、以下 2 編を合わせて単に「立木幹材積表」とする）に収録されている、全国 83 種類の幹材積表について、地域・樹種・胸高直径・樹高から、幹材積表の掲載値とほぼ同じ幹材積を算出するプログラムを開発し、公表しました。このプログラムは、表計算ソフト Excel のワークシート上で動作し、間伐調査や収穫調査の集計など、林業や森林行政の様々な場面での活用が期待されます。

幹材積表とは、地域・樹種・胸高直径・樹高の組み合わせごとに、樹木 1 本の平均的な幹材積（幹の体積）を示した表です。森林に現在ストックされている木材の量を把握し、また将来の間伐や皆伐によって収穫される木材の量を予測するのに不可欠な資料といえます。わが国においては、幹材積表の整備が戦後に本格化し、昭和 45 年に林野庁計画課編「立木幹材積表」として集大成されました。その後、都道府県によっては、より地域性を考慮し、あるいは長伐期に対応するなど新たな幹材積表も公表されていますが、主要樹種について全国を網羅した幹材積表としては、昭和 45 年の「立木幹材積表」が現在でも広く用いられています。

プログラム開発の背景

しかしながら、この「立木幹材積表」は東日本編・西日本編の 2 分冊、合わせて 550 ページあまりの冊子体で、あまり使い勝手がよいとはいえません（図 1）。また個々の数値を調べると、手計算が主体であった時代に整備されたため、ごく一部ながら計算ミスや誤植なども混在していることがわかりました。一方、この幹材積表は現在普及している収穫予想表や林分密度管理図が整備された際にも利用されていることなどから、幹材積表を全面的に改訂することは多方面に影響を及ぼします。このため、「立木幹材積表」に掲載されている数値を正確に再現することを基本としつつ、パソコンが普及した現代にマッチしたプログラムの開発を目指しました。

プログラム開発のポイント

「立木幹材積表」に掲載された表の大部分は、二変数材積式とよばれる数式によって計算されています。ただし、胸高直径の範囲ごとに作られた数式の継ぎ目で、数値がなめらかに増減するように調整されていますので、単に数式を計算しただけでは「立木幹材積表」を正確に再現できません。今回開発したプログラム（図 2）では、幹材積表が整備された当時の記録を詳細に再検討し、「立木幹材積表」に忠実に、しかも短時間で処理できるように計算手順を工夫しました。

このプログラムにより、地域・樹種・胸高直径・樹高を指定すると、樹木 1 本の平均的な幹材積を、現行の「立木幹材積表」と矛盾せずに、ユーザーが希望する桁数で、瞬時に算出できるようになりました。間伐調査や収穫調査の集計など、林業や森林行政の様々な場面での活用が期待されます。

「幹材積計算プログラム」は森林総合研究所ホームページ（<http://www.ffpri.affrc.go.jp>）からダウンロードできます。また研究内容の詳細は「森林計画学会誌」44 巻 2 号、23～39 ページをご覧ください。

本研究は「予算区分：森林総合研究所運営費交付金プロジェクト、課題名：国産材安定供給体制構築のための森林資源供給予測システム及び生産シナリオ評価手法の開発」による成果です。

東京営林局スギ立木幹材積表（単位： m^3 ）

| 樹高 (m) | 胸高直径 (cm) | | | | |
|--------|-----------|-------|------|------|-----|
| | 4 | 6 | 8 | 10 | ... |
| 3 | 0.002 | 0.005 | | | |
| 4 | 0.003 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | |
| 5 | 0.004 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | ... |
| 6 | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | ... |
| 7 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | ... |
| 8 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | ... |
| 9 | | 0.02 | 0.03 | 0.04 | ... |
| 10 | | 0.02 | 0.03 | 0.04 | ... |
| 11 | | 0.02 | 0.03 | 0.05 | ... |
| 12 | | | 0.03 | 0.05 | ... |
| 13 | | | 0.04 | 0.06 | ... |
| 14 | | | 0.04 | 0.06 | ... |
| 15 | | | 0.04 | 0.06 | ... |
| ... | | | | ... | ... |

1. 550ページもの冊子から手で検索しなければならない。
2. 胸高直径は2cm、樹高は1m刻みに固定されている。
3. 原則として小数第2位までの掲載である。
4. 測定した直径・樹高に該当する幹材積が掲載されていないことがある。
5. ごく一部だが計算ミスや誤植が混在している。

図1 従来の幹材積表のイメージと利用上の問題点

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|---|-------|------|-----------|--------|----|---|----------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | 都府県名等 | 樹種 | 胸高直径 (cm) | 樹高 (m) | 桁数 | 幹材積を計算するワークシート関数 | 幹材積 (m^3) |
| 3 | | | | | | | =ROUND(StemVolume("前橋スギ",20,18),2) | 0.25 |
| 4 | | | | 20 | 18 | | =ROUND(StemVolume("前橋スギ",D4,E4),2) | 0.25 |
| 5 | | 福島県 | スギ | 20 | 18 | 2 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B5,C5),D5,E5),F5) | 0.25 |
| 6 | | 福島県 | スギ | 20.3 | 15.7 | 2 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B6,C6),D6,E6),F6) | 0.26 |
| 7 | | 福島県 | アカマツ | 20.3 | 15.7 | 2 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B7,C7),D7,E7),F7) | 0.25 |
| 8 | | 会津地方 | アカマツ | 20.3 | 15.7 | 2 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B8,C8),D8,E8),F8) | 0.26 |
| 9 | | 会津地方 | アカマツ | 20.3 | 15.7 | 3 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B9,C9),D9,E9),F9) | 0.257 |
| 10 | | 会津地方 | アカマツ | 20.3 | 15.7 | 5 | =ROUND(StemVolume(VolumeName(B10,C10),D10,E10),F10) | 0.25701 |
| 11 | | | | | | | | |

図2 幹材積計算プログラムの使用例と特長

1. 地域、樹種、胸高直径、樹高を入力すると瞬時に幹材積が計算される。
2. 全国83種類の幹材積表に対応している。
3. 材積式の継ぎ目を適切に修正しており、幹材積表に極めて近い幹材積を再現する。
4. 地域名として都府県支庁名等も使用できる。
5. 胸高直径や樹高は小数でもよい。
6. 小数第3位以下を表示させることもできる。
7. 幹材積表に混在している計算ミスや誤植の影響を受けない。
8. SUM や SQRT などのワークシート関数と同じように入力でき、利用者が希望する書式で集計できる。

地盤改良杭としての間伐材の利用 —間伐材の土木利用拡大を目指して—

構造利用研究領域

原田 真樹、宇京 斉一郎、加藤 英雄

井道 裕史、三浦 祥子、長尾 博文

木材改質研究領域

桃原 郁夫、大村 和香子

要 旨

本研究では、土木分野における間伐材の利用促進を図るため、間伐材を地盤改良杭として用いる上での問題解決に取り組みました。まず、打ち込んだ木杭を腐らせないための薬剤を、最も腐りやすいと考えられる木杭上部にまで浸透させる方法を開発するとともに、処理丸太の薬剤が溶け出す量が健康に影響の無い濃度であることを確認しました。また、スギおよびカラマツ丸太について含有水分量による強度性能の変化傾向を把握しました。さらに、丸太を現場で簡単につなぐ方法を開発し、その中で最も強度的性能に優れた方法でつないだ丸太を実際に施工した結果、通常の木杭と同じように施工できることを確認しました。

地震で地面が液状化や流動化することを抑制するための地盤改良工法の一つとして、多数の杭を打ち込んで地盤を締め固める方法があります。本研究ではこの杭への間伐材の利用拡大を目指すため、下記の問題を解決しました。本研究成果の普及によって、構造物の基礎地盤改良工事や河岸等の盛り土の基礎補強工事に間伐材が有効活用されれば、最大で年間 40 億円近い新需要の創出が期待できます。

地盤に打ち込まれた木杭の効果を維持させるためには効率的に防腐処理薬剤を丸太へ注入すること、注入された薬剤の環境への溶出が問題の無いレベルであることが必要です。そこで、杭が最も腐りやすくなると考えられる地表近くの杭の上の部分に、エネルギーをできるだけ使わずに薬剤を注入する方法として、含水率の高い丸太を上下逆さまにして薬剤の入った容器に立てて置いておき、丸太が乾くことによる水分移動を利用して、水分と一緒に移動した薬剤を木材中に染み込ませる手法を開発しました（図 1）。また、このような処理木材から溶け出す薬剤の量を計測した結果、その濃度は健康に影響しないレベルであることが実証されました（図 2）。

打ち込まれた杭は、雨水や地下水などによって、常に湿った状態になることが考えられます。木材は一般的に、含有水分量（木材の場合は「含水率」といいます）が増えると曲がりやすくなったり弱くなったりするため、木杭の設計を行うためには、含水率の高い木材の強さや変形しにくさを調べておく必要があります。そこで、伐採して間もない、含水率の高いスギとカラマツ丸太と天然乾燥によって乾かした丸太のそれぞれについて曲げ試験や圧縮試験を行って強さを比較しました。その結果、丸

太の場合、製材と比較して含水率の増加による各強度の低下割合が小さく、丸太の強さは製材よりも含水率の影響を受けにくいことがわかりました（図 3）。

打ち込まれる杭が 1 本の長さで足りる現場ばかりではなく、複数本の間伐材同士をつなぐ必要があるため、現場で簡単につなぐ方法の開発が求められます。そこで、塩ビ管（一般的な水道管）、鋼板（鉄の板）、ステンレス鋼管をジョイントとして、その両側から丸太を差し込み、ラグスクリーボルト（直径 12mm、長さ 75mm の木ねじ状の接合具）で留め付けるという方法（図 4）を開発し、この方法でつないだ丸太の曲げ試験を行って強さや曲がりにくさを確認しました。その結果、鋼管を用いた方法が最も強くなることがわかりました。また、鋼管を用いてつないだ杭について施工実験を行い、継ぎ目のない杭と同じように打ち込むことができることを確認しました（図 5）。

継ぎ目のない円柱状の木材を用いた木杭工法のコストは、セメント固化改良工法の約 6 割といわれています。そして、本研究で丸太をつなぐために用いた資材は、何れも一般的に入手容易なもののみばかりです。従って、本研究の成果である木杭もコンクリート固化工法に対して十分な競争力を有すると考えています。

本研究による成果は、『フロンティア環境における間伐材利用のためのガイドライン —設計指針策定に向けて—』として発行するため、現在編集作業を行っています。

研究資金と課題：農林水産技術会議実用技術開発事業「フロンティア環境における間伐材利用技術の開発」

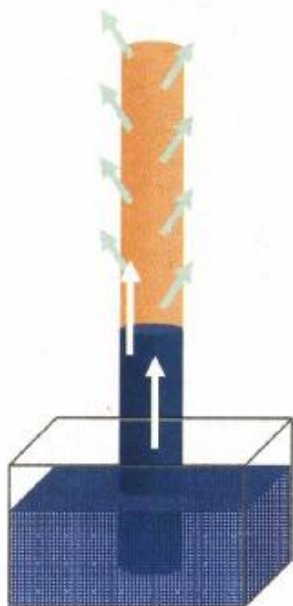


図1 丸太に薬剤を注入させる方法
丸太が乾くときの水分移動（水色の矢印）を利用して薬剤を内部に染み込ませます（白色の矢印）。

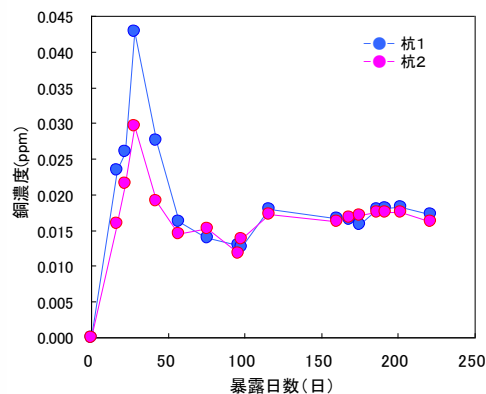


図2 防腐処理をした丸太から溶け出す薬剤濃度の変化

杭を打った後に薬剤の溶け出しが認められますが、その後はほとんど変化が見られませんでした。また、最初の最も高い濃度でも健康に影響を及ぼすレベルではありませんでした。

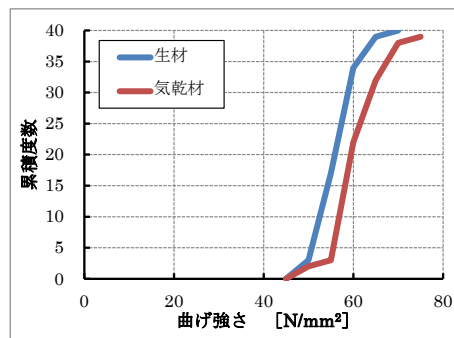
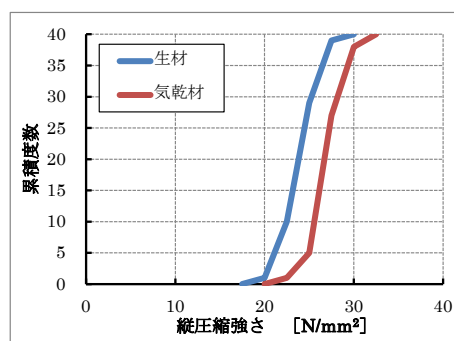


図3 木材（実大）の強さに及ぼす含水率の影響

例えば、生材丸太 40 本の縦圧縮強さは、最も弱いものでおよそ 20N/mm²、強いもので約 30N/mm² であったことを示しています。含水率が高い状態（生材・青線）と乾いた状態（気乾材・赤線）との差が小さく、強度に対する含水率の影響が小さいことがわかりました。

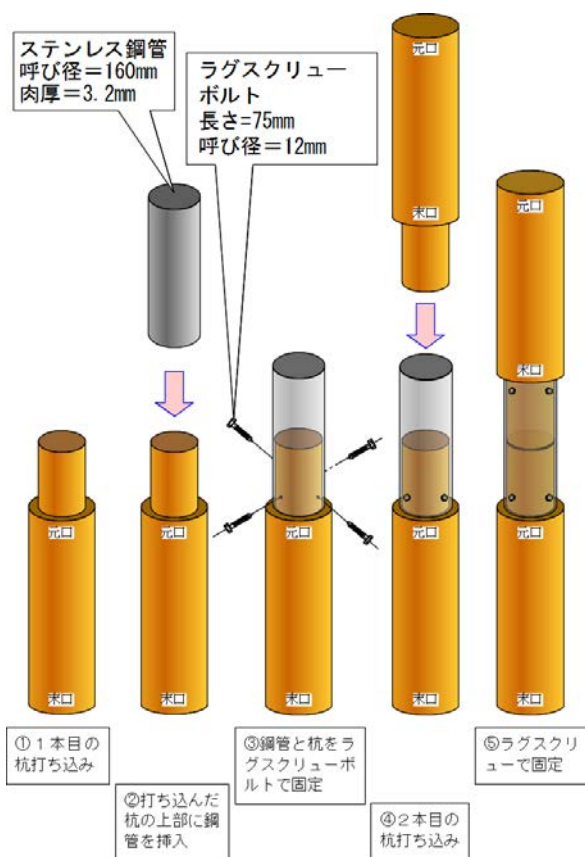


図4 現場で丸太をつなぐ方法（イメージ）

まず1本目の杭（丸太）を打ち込み、その杭の上部にステンレス鋼管をはめ、ラグスクリューボルトをインパクトレンチ等でねじ込んで留め付けた後、2本目の丸太を上から差し込みます。2本目の丸太と鋼管とをラグスクリューボルトで留め付ければ完成です。



図5 現場実験の様子
図4の方法でつないだ丸太を実際に打ち込み、作業性に問題が無いか検証しました。つないだ丸太も問題なく施工する事が出来ました。

「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」が完成

構造利用研究領域

加藤 英雄、軽部 正彦、長尾 博文、

井道 裕史、三浦 祥子

加工技術領域

小林 功

要 旨

近年普及している高温セット法*を用いた乾燥方法では、乾燥時間を短縮し、乾燥不足を極力減らそうとしてつい不適切な乾燥スケジュールを採用してしまうことがあります。このような場合、製品に内部割れが多く発生することがあります。

そこで、乾燥スケジュールや内部割れと強度との関係を実験的に明らかにするとともに、これまでに得られた成果を集大成して、内部割れが少なく、強度面でも問題が生じない「推奨乾燥スケジュール」を提案し、「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」を作成しました。

このマニュアルでは、内部割れの発生状況、内部割れの評価法、生産性向上のための技術、乾燥に関する Q and A や用語の解説も併せて掲載しています。

はじめに

構造用の心持ち正角材の材面割れを抑える乾燥方法として普及している高温セット法では、温湿度管理が不適切な場合、外観からは分からない内部割れが発生することがあり、それに伴う強度低下も懸念されています。このため、内部割れの発生を防ぐ乾燥スケジュールの開発を目的に、石川県林業試験場を中核機関とし、森林総合研究所を含む全国 13 の公設研究機関が試験研究に取り組みました。

不適切な乾燥スケジュール（乾かしすぎ）が招く強度低下のリスク

木材の様々な強度特性の中でもせん断強度が内部割れの影響を受けやすいと考えられたため、乾かしすぎにより意図的に内部割れを発生させてせん断試験を実施したところ、内部割れが長くなるに従ってせん断強度が低下することがわかりました。この傾向は、スギ、ヒノキ、トドマツで認められましたが、樹種により低下の割合は異なりました。

また、乾かしすぎによってせん断強度以外の強度低下も認められる場合があります。

このことから、心持ち正角材の乾燥に高温セット法を用いる場合、内部割れが少なく、強度面でも問題が生じない乾燥スケジュールが重要であることが改めて確認できました。

内部割れが少なく、強度面でも問題が生じない乾燥スケジュールの開発

内部割れが多く発生したり、強度が低下したりするの

は、高温セット処理の時間が長過ぎたり、高温セット処理後の乾球温度の設定が高すぎたりするのが主な原因であることが、乾燥試験と強度試験でわかりました。そこで、高温セット処理の条件とその後の乾燥スケジュールの組み合わせ方によって、内部割れの発生状況や強度がどう変わるのかを検討しました。

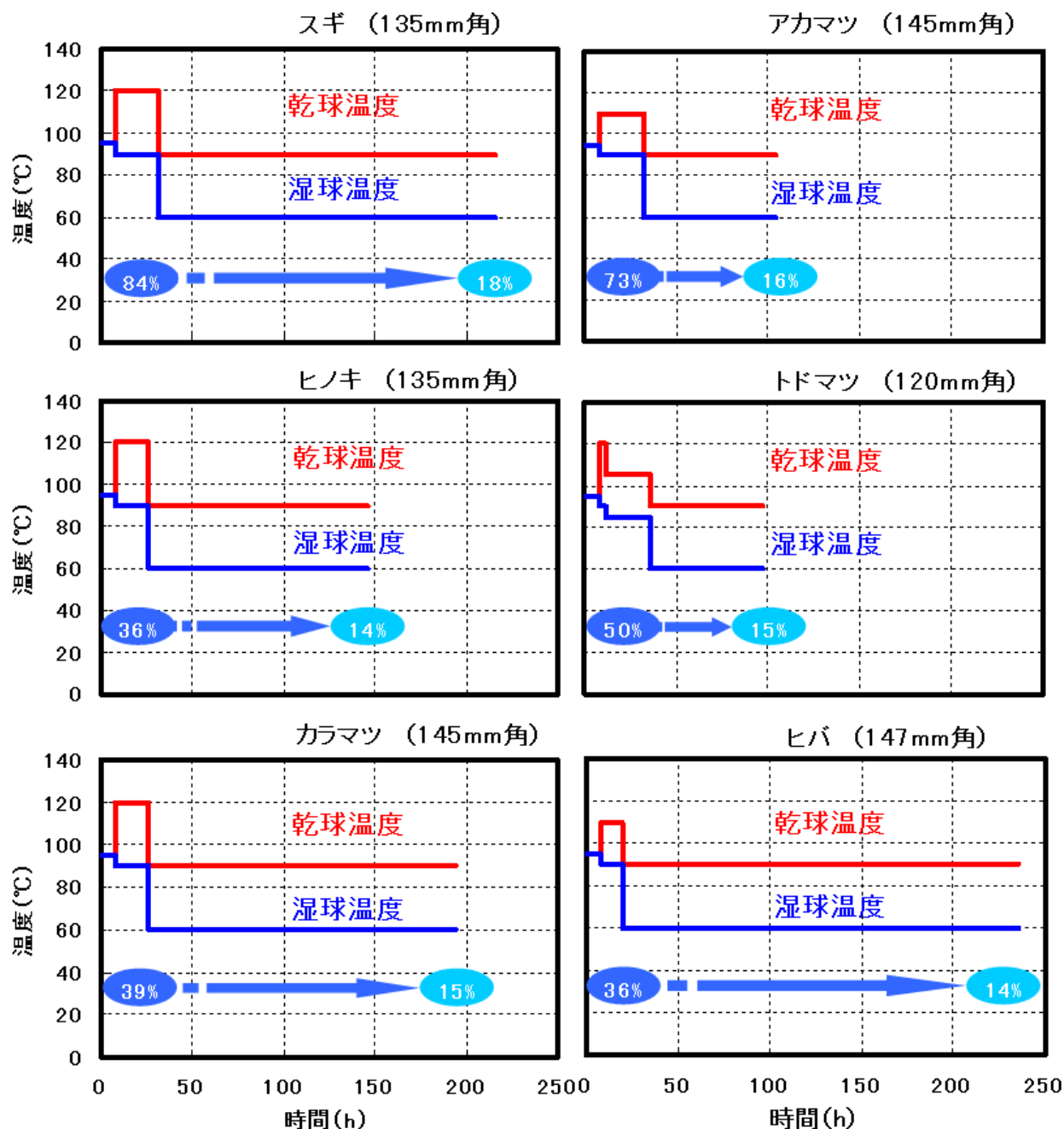
そして、この組み合わせ方の中から、①強度低下が少ない、②内部割れが少ない、③含水率が 20%以下となる乾燥スケジュールを推奨条件とした実用的な乾燥スケジュールを、スギ、カラマツ、ヒノキ、アカマツ、トドマツ、ヒバの樹種・断面別に取りまとめるとともに（図 1）、強度面でも問題がないことを実験で確認しました。

こうして得られた一連の結果を用いて、「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」を作成しました。なお、作成にあたっては、単に試験結果を羅列するのではなく、「見やすく、分かりやすい」を心がけました。また、内部割れの発生状況、内部割れの評価法、生産性向上のための技術、乾燥に関する Q and A や用語の解説も併せて掲載しました。

マニュアルは、次の URL から無償でダウンロードできます。
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/various/index.html>

本成果は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の課題「21029 安全・安心な乾燥材生産技術の開発（中核機関：石川県林業試験場）」によるものです。

蒸気式（高温セット＋中温乾燥）の推奨スケジュール



10体の平均含水率：乾燥前 → 乾燥後

図1 内部割れが少なく、強度面でも問題が生じない推奨乾燥スケジュール

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

スギの材形成に関与する遺伝子の発現を 網羅的に解析することが可能になりました

木材特性研究領域
林木育種センター育種部

藤原 健、黒田 克史
渡辺 敦史、井城 泰一

要 旨

スギ樹幹において材形成に関与する遺伝子に関する研究基盤を構築することを目的に、スギ形成層帯及び分化中木部周辺で発現している RNA を抽出し、遺伝子を収集しました。年間を通じて試料を採取することにより、成長期に約 5 万 5 千、休止期に約 6 万 8 千の EST* を収集しました。これらの情報に基づいて選択した約 2 万を基板上に配置したマイクロアレイ* を作製しました。このマイクロアレイは集積した約 2 万の遺伝子の発現量を一度に解析できます。マイクロアレイを用いて時期による遺伝子発現の変化を解析しました。形成層帯周辺で発現している遺伝子は、成長開始期に高発現するものや成長期前期や中期に高発現するものなど 4 つのパターンに分けられました。

背景と目的

スギ材を特徴付けるさまざまな性質は遺伝的に支配されていることがこれまでの研究でわかってきています。そのため、遺伝子情報を分析することによって材質形成のメカニズムを明らかにすることが可能と考えられます。近年、スギを対象としたゲノムプロジェクトが進行しており、ゲノムの解読が進んでいます。また、花粉症対策を目的として雄花及び花粉形成に関連する遺伝子についてこれまでに多くの成果が得られています。その一方で、材の形成に関連する遺伝子の情報は限られたものでした。本研究では、スギ樹幹において発現する材形成に関与する遺伝子についての研究を進めていく上で不可欠な基盤を整備することを目的に、1 年を通じてスギ樹幹から試料を採取することにより、材形成時に発現している遺伝子を網羅的に収集しました。

収集した遺伝子情報

初春の形成層活動が再開する時期から形成層活動が休止する秋季および休眠している冬季まで月に 1～2 回の割合で採取した試料から RNA を抽出し、塩基配列を解析しました。その結果、形成層の活動期（春～秋）については約 5 万 5 千の EST、形成層の休止期（冬）には約 6 万 8 千の EST を収集することができました。これらのうち約 2 万の EST を基板上に配置したマイクロアレイを作製しました（図 1）。このマイクロアレイを用いることによって、スギ樹幹で発現している多種類の遺伝子の発現を同時に検出できるようになりました。

遺伝子発現の季節変化

マイクロアレイを使って遺伝子発現の季節変化を調べ

てみました。3 月、4 月、6 月、8 月、10 月に試料を採取し、マイクロアレイで発現遺伝子を網羅的に調べました。また、同時に組織構造の顕微鏡観察も行いました。約 2 万種類の遺伝子の発現時期を解析した結果、成長期前期（4 月）に高発現するもの、成長期中期（6 月）に高発現するもの、晩材形成期（8 月）に高発現するもの、成長再開時期（3 月）及び成長期終期（10 月）に高発現するもの、の 4 つのパターンに区分することができました（図 2）。このパターンに対応した時期の形成中木部を顕微鏡観察した結果、4 月には拡大中の早材仮道管の数が多く、6 月には二次壁形成中の早材仮道管が最も多く、8 月には分化中の仮道管が少なく、厚い二次壁を形成中の晩材仮道管が多いことがわかりました。未だ個々の遺伝子と木部形成との関係は明らかになっていませんが、時期による発現遺伝子の違いが木部形成に影響していることを示していると考えられます。

今後の発展

マイクロアレイを用いることによって、多くの遺伝子の中から個々の事象に影響する候補遺伝子を網羅的に探索することが可能となりました。材形成プロセスと連動した遺伝子発現プロファイルを構築することにより、林木を対象とした遺伝子解析のブレークスルーとなる可能性を秘めています。今後、スギにおける形質発現の仕組みを明らかにすることや材質に着目した優良種苗の早期選抜などに向けた取り組みを進めていきます。

研究資金と課題：森林総合研究所運営費交付金プロジェクト「スギ材形成のプロセスと対応する遺伝子発現プロファイルの構築」

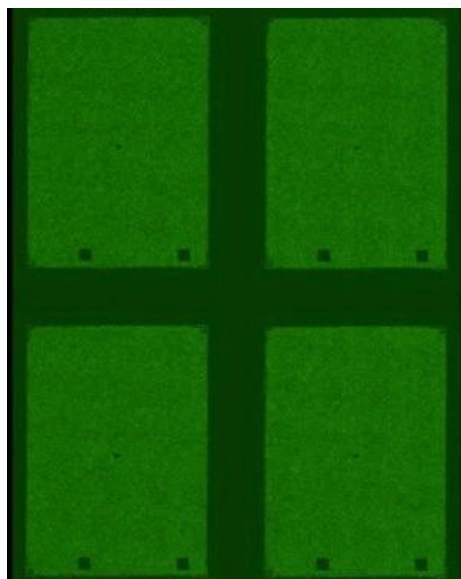


図1 マイクロアレイによる解析の例

マイクロアレイは1枚のスライドガラスの4カ所の区画に、それぞれ約2万のスポットが3回繰り返して配置されています。

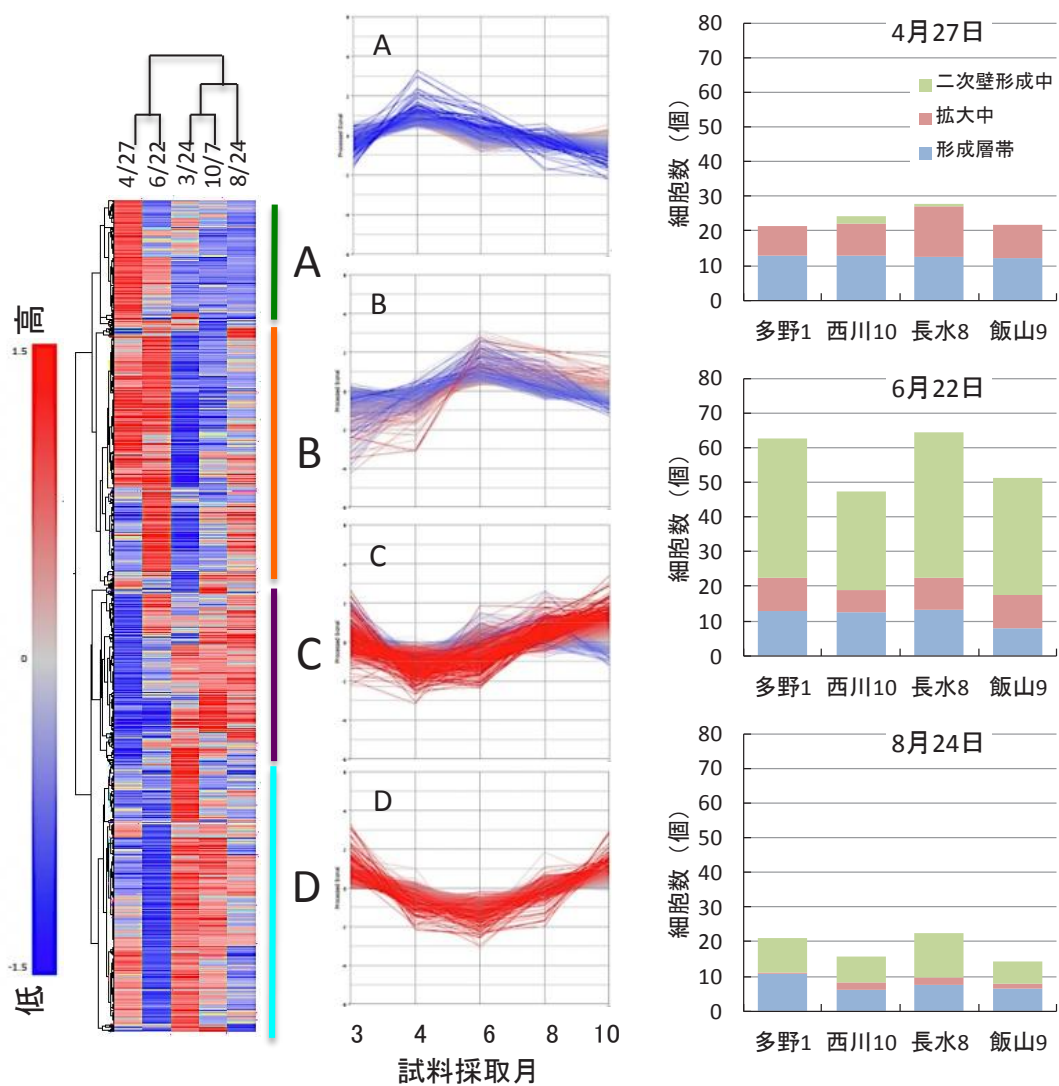


図2 マイクロアレイによる時期別遺伝子発現プロファイルと時期別木部形成経過

形成中木部及び形成層帯周辺で発現する遺伝子は、高発現する時期によって、A：早材形成期前期に高発現、B：成長期中期に高発現、C：晩材形成期に高発現、D：成長開始期と成長休止期に高発現、の4タイプに区分できました。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林総研の木材関係の研究成果を実際の建物で 検証するためのモデル木造住宅が完成しました

研究コーディネータ
構造利用研究領域

複合材料研究領域

木材改質研究領域

木材特性研究領域

加工技術研究領域

バイオマス化学研究領域

林 知行

末吉 修三、杉本 健一、青木 謙治、森川 岳、
恒次 祐子、宇京 斉一郎、小林 久高、軽部 正彦、
原田 真樹、長尾 博文、加藤 英雄、井道 裕史、三浦 祥子
渋沢 龍也、井上 明生、平松 靖、宮本 康太、
新藤 健太、宮武 敦、塔村 真一郎

桃原 郁夫、大村 和香子、松永 浩史、木口 実

鈴木 養樹、外崎 真理雄

松村 ゆかり

塙 藤徳

要 旨

森林総研で研究開発された各種の木質材料やその関連技術を応用したモデル木造住宅を本所敷地内に建設し、部材性能・躯体性能・劣化対策・省エネ・環境振動・心理特性・居住快適性・室内空気質等に関する諸実験を行いました。また、今後も経時変化を調査していきます。これまで、実際の戸建て木造住宅を用いて、建設の初期から構造体の性能変化を経時的に測定した例はなく、また内装材に由来する快適性や音・振動に関する居住性を複合的かつ系統的に研究した例もありませんでしたので、本研究で得られたデータや抽出された問題点は今後の研究開発を進めるための貴重な資料となります。

背景・目的

森林総研での木質材料に関する研究開発は、実験室レベルのものが主体であったため、実際の木造住宅への応用に関する諸問題については、直接データを得ることができませんでした。そこで、森林総研で研究開発された各種の木質材料やその関連技術を応用したモデル木造住宅を本所敷地内に建設し、部材性能・躯体性能・劣化対策・省エネ・環境振動・心理特性・居住快適性・室内空気質等に関する諸実験を行いました。わが国では、実際の戸建て木造住宅を用いて、建設の初期から構造体の性能変化を経時的に測定した例はなく、また内装材に由来する快適性や音・振動に関する居住性を複合的かつ系統的に研究した例もありませんでした。

写真1が完成したモデル木造住宅の外観です。

住宅の居住快適性を評価しました。

被験者を用いた生理実験について詳しく説明します。モデル木造住宅の2階に設けられた、広さと窓やドア等の配置が同じ2室について、1室は地域材を多用した内装、もう1室はフローリングのみ木質の内装に改装しました。被験者は20代の男性19名とし、改装した2室に入室した際の視覚刺激と嗅覚刺激による脳活動、血圧、脈拍数、心拍変動性の計測、および居室内装に関する主観評価と気分評価を実施しました。主観評価、気分評価では地域材を多用した部屋の方が「自然な感じがする。」と評された他には両部屋にあまり差はありませんでしたが、生理応答試験では地域材を多用した部屋の方が心拍数の変化が少ない、副交感神経系の活動が高いなど、リラックスしていることを示すデータが得られました。

研究成果

木造住宅の柱材に生じるひずみ量を竣工当初から経時的に測定しました。また、建物の固有振動数*の変化を常時微動*測定により建設工事中及び竣工当初から追跡しました。これらのデータは、新築あるいは既存住宅の構造安全性、劣化危険度の判定の基礎データとして活用していきます。数種の構造用合板について、周囲の温・湿度と部材の平衡含水率*との関係を明らかにしました(図1)。この関係を利用すると、実際使用環境下の部材含水率を測定することで部材の使われている近傍の局所的な湿度環境を推定することができます。

モデル木造住宅の竣工後のVOC*の経時変化(図2)、温熱・音・振動環境に関わる物理実験および被験者を用いた生理実験(写真2、図3)に基づいて、モデル木造

研究成果の利・活用

戸建ての木造住宅を用いて、施工段階から得られたデータを蓄積しオープンにした例はほとんどなく、今後の研究開発の貴重な資料となります。木造住宅の設計・施工に携わる実務者からも注目されています。また、木質内装が人にやさしいことが生理的に実証されたことは、木造住宅の建設促進のみならず、非木造住宅の内装の木質化の推進に役立ちます。本プロジェクト研究は平成23年度で終了しますが、今後も調査を継続し、各種の性能や劣化傾向を明らかにしていきます。

本研究は、「予算区分：交付金プロジェクト、課題名：地域材を利用した安全・快適住宅の開発と評価」による成果です。



写真1 モデル木造住宅の外観

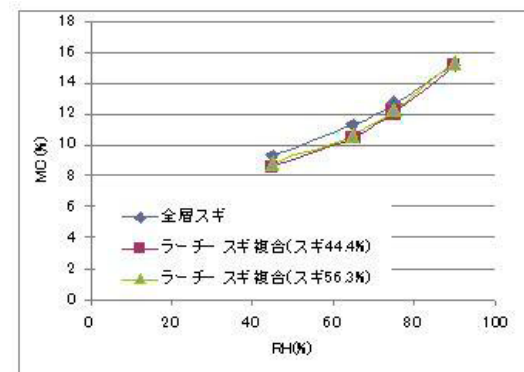


図1 20℃、相対湿度45%、65%、75%、90% 環境下での各種構造用合板の平衡含水率

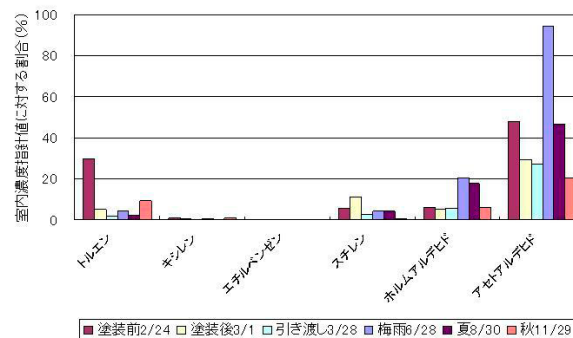
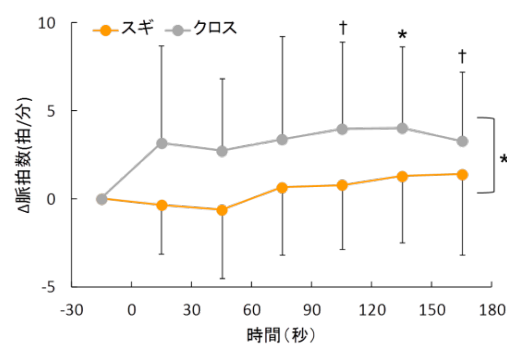


図2 モデル木造住宅1階居間における 各種化学物質の室内濃度指針値 に対する割合

写真2 被験者による生理応答実験
内装をクロスと木質系に改装した、隣接した2室に、被験者が入室したときの生理的な変化を測定

N=19, 平均値±標準偏差, *:p<0.05, †:p<0.1

図3 内装の異なる居室における脈拍数の変化
スギ居室でクロス貼り居室よりも脈拍数の変化が小さく、リラックス状態をもたらす可能性が示唆された

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

難燃処理した木材を現場で貼って 集成材を耐火集成材にする

木材改質研究領域

原田 寿郎、上川 大輔

要 旨

耐火集成材は、難燃処理した「燃え止まり層」が無処理の「荷重支持部」を取り囲むように配置した集成材です。これまで、接着剤を用いて難燃処理木材と無処理木材を幅はぎし、あるいは積層して一体的に製造してきましたが、実用化するためには、製造工程の簡略化によるコストダウンや、現場施工、改修への適用などが求められます。そこで、「荷重支持部」と「燃え止まり層」を別々に製造し、「燃え止まり層」を後付けする方法を開発しました。後付け方式の場合、接着剤を使わないネジ留めであっても、ネジの頭を木材中に埋設し、穴に無処理木栓を入れておくことで、火災時にも「荷重支持部」まで炭化することなく、燃え止まります。

耐火集成材の普及に向けて

木質の柱や梁で耐火構造の認定を受けるには、火災終了後に材料が燃え止まり、柱や梁が壊れないことが必要です。石膏ボードで集成材を被覆すれば、木材を燃えなくすることはできますが、それでは木材が材料の表面に現われません。そこで、木材が見える耐火集成材の開発を期して、これまでに、構造上必要な荷重は、中心部の無処理部分が支え、その周りに、火災時に燃え止まることを期待して難燃薬剤を注入したスギの板材を口の字に配置して集成材に耐火性能を付与する方法を開発し（特許第 4958098 号）、1 時間耐火構造の認定を取得したほか、接合部や壁、床がついた場合の火災安全性の確認や建物の試設計を行ってきました。しかし、実用化に向けては、コストダウン等、一層の改良が求められます。

難燃処理した燃え止まり層のキット化

耐火集成材は、これまで、接着剤を用い、難燃処理した木材と無処理の木材を幅はぎし、あるいは積層して一体的に製造してきました。しかし、燃え止まりを期待する部分をキットにし、後付け方式で施工することができれば、製造コストの削減に加え、建築現場での施工が可能となり、汎用性、施工性が一層、高まります。そこで、「荷重支持部」と「燃え止まり層」を別々に製造して、後から貼り付ける方法で耐火集成材を製造して耐

火試験を行い、その性能を確かめることにしました。

接着せずネジで留めても大丈夫

後付け方式では、「燃え止まり層」を「荷重支持部」にネジ留めすることとなりますが、この場合、金属である木ネジを通して熱が内部に伝わり、無処理の「荷重支持部」の木材が炭化するのではないか、また、「燃え止まり層」同士のつなぎ目が開き、そこから内部が燃焼するのではないかといったことが懸念されます。

基本的な固定方法であるネジ留めの仕様について実大および小型耐火炉を用いて加熱試験を行ったところ、木ネジの頭が外に出ていると、荷重支持部は炭化しますが、20 mm 以上ネジの頭を木材中に埋設し、ネジ穴を無処理の木材でふさいでおけば「荷重支持層」まで炭化しないこと、「燃え止まり層」のキット同士は、接着剤で接着したり、接合部分に凸部と凹部を設けてかみ合わせたりしなくても、単純に突合せるだけで耐火性能には影響しないことがわかり、後付け方式でも耐火集成材が製造できることが確かめられました。この技術開発により、耐火集成材製造のコストダウンや現場施工が可能になります。

本研究は「予算区分：一般研究費、課題名：木質部材の耐久化・性能向上技術の高度化」による成果です。

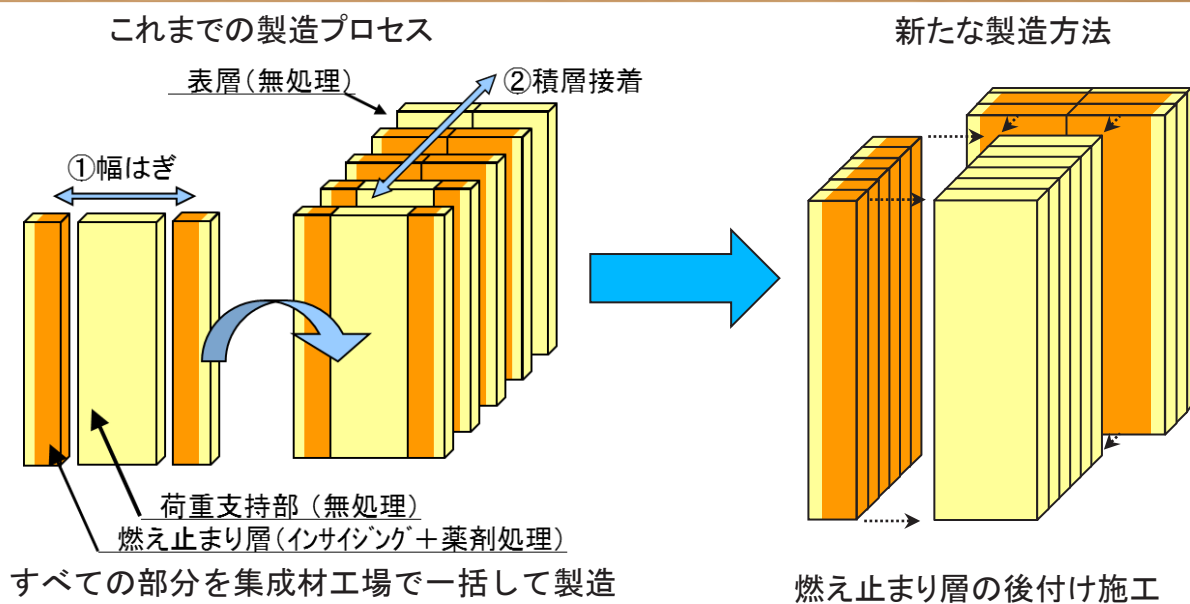


図1 後付け方式での耐火集成材の製造方法

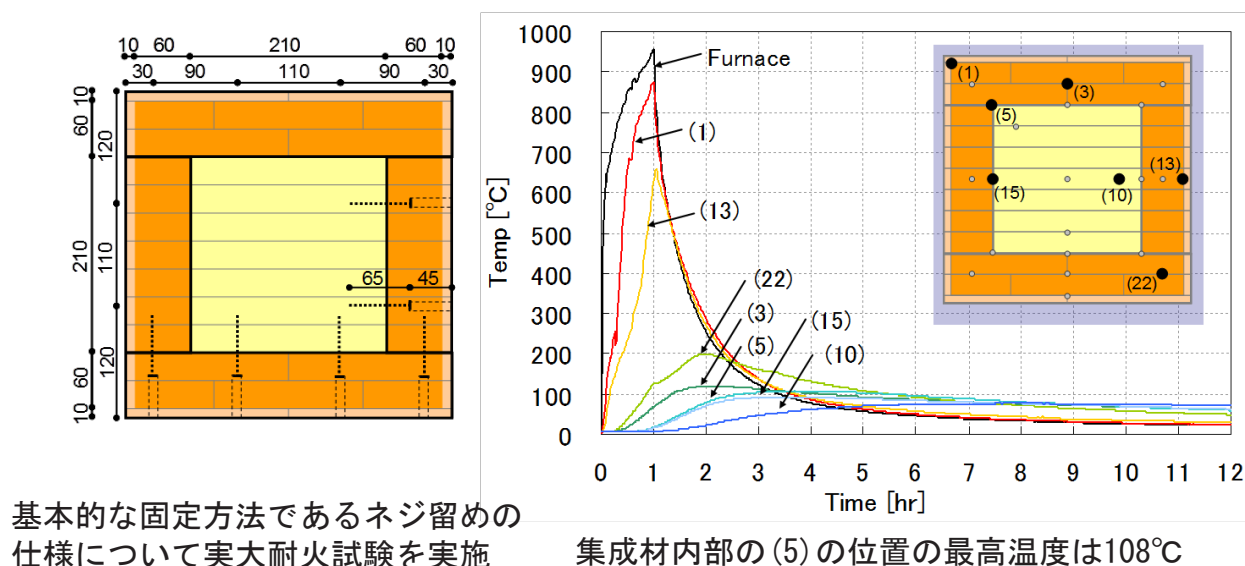


図2 後付け方式の耐火集成材は実大寸法での耐火試験で1時間耐火性能を示した。

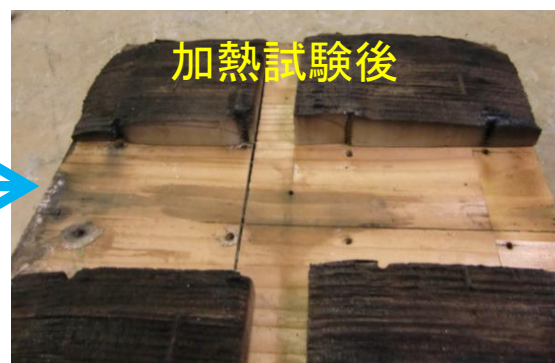
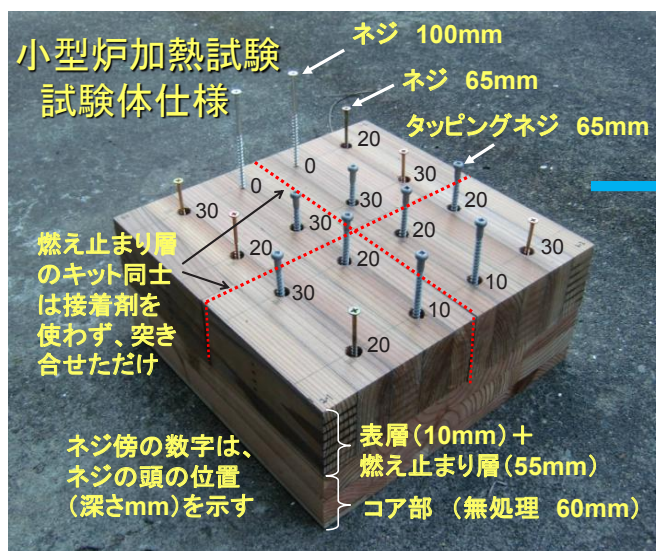


図3 「表層+燃え止まり層」をネジ留めした試験体を小型炉で加熱したところ、ネジの頭を20mm以上埋設し、穴を木栓で埋めれば、コア部は炭化しない。また、目地は付合せてもコア部は燃焼しない。

木質バイオマスの利用で化石燃料を 20% カット

林業工学研究領域
加工技術研究領域
林業経営・政策研究領域
森林管理研究領域
企画部
岐阜県森林研究所
中外炉工業

陣川 雅樹
伊神 裕司、藤本 清彦、吉田 貴紘
久保山 裕史
西園 朋広
高野 勉
古川 邦明、臼田 寿生
西山 明雄、田中 秀直、福島 政弘、笹内 謙一

要 旨

バイオマスを持続的に利活用するためには、生産から利用まで、各段階を有機的につなげ、地域にとって経済性のあるシステムを作る必要があります。そこで、岐阜県高山市をモデルとして、バイオマス供給システムの開発と木質バイオマスを燃料としたガス化プラントの実証試験を行いました。これらの結果をもとに、林地残材と工場で発生する樹皮を活用することによって、重油ボイラーの重油消費量を 23.6%削減、電気消費量を 12.4%削減できるシナリオを作成しました。

バイオマスを持続的に利活用するためには、生産、収集、変換、利用の各段階を有機的につなげ、地域の活性化に貢献し、地域全体として経済性のあるシステムを作る必要があります。そこで、岐阜県高山市をモデルとして、バイオマス供給システムの開発と木質バイオマスを燃料としたガス化プラントの実証試験を行い、化石エネルギー消費量の削減効果を明らかにしました。

木質バイオマス供給システム

林地残材等の木質バイオマスを、低コストで収集・運搬し、安定して供給できるバイオマス供給システムを開発しました。まず、利用可能なバイオマス資源量を計算するために、どこに、どれだけのバイオマスが発生するのかを把握しました。次に、このバイオマスをトラックで運んだ時の走行速度や時間、輸送経路などを解析し、コストを計算しました。例えば、トラック走行時間が 60 分圏内の森林面積は 22 千 ha であり、バイオマス単価は 4,000 円 /ton であるのに対し、140 分圏内であれば、単価は 7,000 円 /ton かかりますが、面積は 45 千 ha に広がります (図 1)。

需要量の把握と可能性の評価

地域の 155 事業体に対してアンケート調査を行い、熱出力 100kW 以上の機器導入可能な事業体が 20 カ所あることが分かりました。このうち、導入の意思を示した 8 事業体について調べた結果、4 事業体でチップボイラー導入が経済的に可能であることが分かりました。さらに、

この地域のバイオマス供給可能性を試算したところ、4 事業体の年間消費量をすべてまかなうことはできず、実際にチップボイラーを導入可能であるのは、2 つの事業体であることが明らかとなりました。

ガス化プラントの実証と 20%削減シナリオ

樹皮と林地残材を原料として、熱と電気を作ることができるガス化プラント (図 2) の実証試験を行いました。その結果をもとに、ガス化プラントの年間稼働日数を 275 日、24 時間連続運転を行い、原料の処理能力を 50kg/時としてエネルギー及び経費の収支を試算しました (図 3)。エネルギーフローで見ると、ガス化プラントで発生する電気は 198MWh、熱は 1,236GJ であり、林地残材等の破砕・貯蔵用としての電気 66MWh と、木材乾燥機や製材ライン用としての電気 132MWh、熱 1,236GJ とに分配使用することにします。これにより、重油ボイラーにおける重油消費量は 134kL から 102kL となり、23.6%の化石エネルギー削減が可能となります。また工場全体での電力消費については、1,600MWh から 1,402MWh となり、12.4%の電力消費削減が可能となります。経費の収支では、収入が約 600 万円増加することが期待されます。

なお、本研究は、「予算区分：農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」、課題名：バイオマス利用モデルの構築・実証・評価」による成果です。

高性能「ハイパー木質ペレット」の量産と 市販ストーブによる利用実証

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

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

要 旨

木質ペレットの製造方法を改良して、高性能な「ハイパー木質ペレット」の実用規模に近い量産に成功しました。ハイパー木質ペレットは、従来品に比べて製品のもつエネルギーが高く水にも強い性質を持ちます。これを市販のペレットストーブで使ったところ、熱効率が向上するとともに、燃料消費量を抑えることができました。

木質ペレット（図 1 左）は木くずを円柱状に固めた燃料で、取り扱いしやすいことから、ストーブやボイラー用として需要が伸びています。しかし発熱量が灯油や石炭より低く、水や湿気で簡単に崩れる欠点があります。その克服のため、本研究では熱をかけることに着目しました。得られた高性能ペレットを「ハイパー木質ペレット」（図 1 右）と名付け、実験室での試作をふまえ、実用規模に近い量産に成功しました。またハイパー木質ペレットをストーブ燃料として使ったところ、熱効率が向上するとともに、燃料消費量を抑えることができました。

「ハイパー木質ペレット」の作り方

木材のエネルギーを高める方法には、古くから炭化が知られていました。しかし炭化は通常 1,000℃近くもの高温で行うため、木材が本来持つエネルギーの 2/3 は外に逃げてしまいます。そこで、お茶やコーヒー豆を「ほうじる」イメージで 300℃前後の低い温度で「ほどほどに熱をかける」（半炭化）ことにしました。半炭化により外へ逃げるエネルギーを最大限小さくしながら、製品のエネルギーを従来品より約 3 割向上させることができました。またハイパー木質ペレットは従来品と同様の燃えやすさを示すほか、水に強いこともわかりました。実験室での試作結果をふまえて、木炭生産で使われている外熱式ロータリーキルン*型炭化装置と、市販のペレット製造機の組み合わせ（図 2）でハイパー木質ペレットの製造を行い、実用規模に近い量産（1 時間当たり 150kg）ができました。製造コストは、本研究では原料チップを外部から 5,000 円/t-wet で購入するとしており、年間 5,000 トン規模で生産する場合、1kg あたり 50 円以下で

生産可能です。今後、原料チップを製材残材から内部調達するなど、原料調達方法や設備の見直しを行うことで更なるコスト低減を検討します。

実際にストーブで燃やしてみる

図 3 にペレットストーブで燃える様子を示します。左は従来のペレット、右は従来のペレットにハイパー木質ペレットを 2 割混ぜたものです。ハイパー木質ペレットは着火性に問題なく従来品と同様に利用できるほか、熱効率の 2% 向上、燃料消費量の 4% 低減が実現できることがわかりました。さらにハイパー木質ペレット 100% を使用した試験も行い、ストーブ改良等の検討の余地があるものの、熱効率が 2% 向上しながら燃料使用量を 15% 削減できることを確認しています。

アウトカム

ハイパー木質ペレットは家庭や地域における熱利用だけでなく、発電利用も可能です。海外ではこうした半炭化を「トレファクション」とよび、石炭火力発電所で石炭と混ぜる割合を従来よりも大幅に増やせるとされており、ハイパー木質ペレットの活用により温暖化抑制への寄与が期待できます。仮に我が国の石炭火力発電所で燃料の 5% にハイパー木質ペレットが使われるようになると、600 万トン程度の需要が見込まれます。

研究資金：競争的資金（農林水産省実用技術開発事業）
課題名：次世代高カロリー木質ペレット燃料「ハイパー木質ペレット」の製造・利用技術の開発
福井県総合グリーンセンターと共同で実施しました。



図1 従来の木質ペレット（左）とハイパー木質ペレット（右）

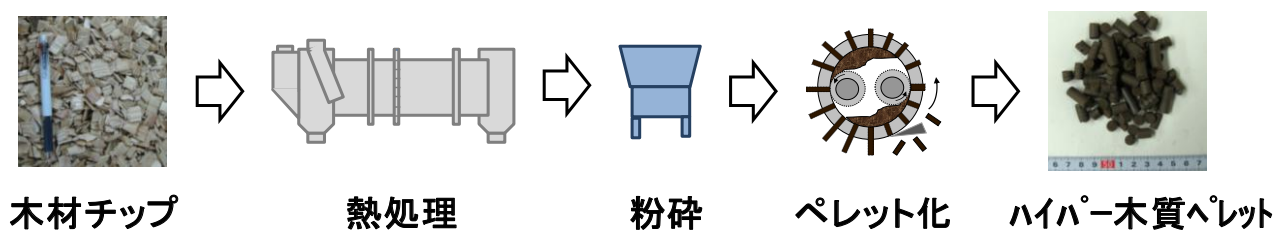


図2 ハイパー木質ペレット大量生産フロー



ペレットストーブ

従来型ペレット

ハイパー木質ペレット



熱効率 2%向上
燃料消費量 15%低減
(100%使用の場合)

図3 ハイパー木質ペレットのペレットストーブ利用実験

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

林地残材から開発した空気浄化剤

バイオマス化学研究領域
日本かおり研究所株式会社

大平 辰朗、松井 直之
金子 俊彦、田中 雄一

要 旨

排気ガスなどから出る環境汚染物質（二酸化窒素等）は、我々が毎日吸っている空気に微量ながら含まれており、様々な疾病の要因になると言われています。従って、それらの効果的な除去法を開発することは、人間の健康増進を図る上で極めて有用です。私たちは、環境汚染物質を効率的に除去し、空気を浄化する精油の機能とそれらに關与する有効成分を新たに発見するとともに、それらの抽出原料として未利用林地残材であったトドマツの枝葉が利用できることを見出しました。さらに、トドマツ精油を活用した革新的な空気浄化剤の開発を企業との共同研究によって推進し、商品化を行いました。

トドマツ精油は二酸化窒素の除去効率がよく、過酸化脂質*の生成を大幅に抑制する

排気ガスなどに含まれる環境汚染物質（二酸化窒素等）は、様々な疾病の要因になると言われています。従って、それらを効果的に空気中から除去する方法の開発は、人間の健康増進を図る上でも重要な課題です。樹木精油には、これまでに高いリラックス効果や抗菌、防虫作用などを有することが知られていましたが、今回新たに二酸化窒素等の環境汚染物質を効果的に除去できる機能をあわせ持つ精油を見出すことができました（図 1）。更に、その精油中から除去活性の高い有効成分を特定することができました。二酸化窒素は、生体の脂質を酸化して過酸化脂質を生成することで疾病の要因となりますが、トドマツ葉部から得られる精油蒸気を添加すると過酸化脂質の生成が最大 80% 以上抑制されました。これらの機能は排気ガスを含む実際の空気でも確認でき、空気浄化剤としての実用に適していることがわかりました（図 2）。

省エネルギー型の精油採取装置の開発と林地残材からの大量抽出

環境汚染物質を効果的に除去できるトドマツ精油は、現在ほとんど利用されていない枝葉等の林地残材から抽出できます。そこで新たな精油採取装置（減圧式マイクロ波水蒸気蒸留装置）を開発し、経済的な大量抽出を開始しました。この方法は減圧条件で、加熱方法にマイクロ波を利用して水蒸気蒸留を行うもので、抽出効率の向上、廃棄物の低減化を実現する省エネルギー型の画期的

な装置です。消費エネルギーが一般的な水蒸気蒸留法に比べて大幅に削減ができるため、商品化が可能となりました（図 3）。

革新的な空気浄化剤の開発と商品化

環境汚染物質の除去効果の高いトドマツ精油を原料として、革新的な空気浄化剤を企業と共同開発し、「クリアフォレスト」という技術ブランドを立ち上げました（図 4）。これらの成果を基にした関連商品として、加湿・芳香・消臭剤等の商品化を行いました。

これらの成果を活用することにより、我々の生活環境の空気を効果的に浄化することが可能となり、快適な生活環境の創造が実現できます。さらに、これまで未利用であった枝葉等の林地残材の有効利用にもつながり、北海道のトドマツ林業の収益にも寄与すると思われます。

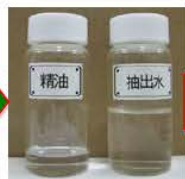
詳しくは、大平辰朗、松井直之、金子俊彦、田中雄一（2010）、AROMA RESEARCH、11(2)：148-155、大平辰朗（2012）、においかおり環境学会誌、43(2)、138-154 をご覧ください。

また、減圧式マイクロ波水蒸気蒸留法および空気浄化剤については、特許出願中です。

本研究は、一般研究費による実行課題「未利用森林資源の高度利用を目的とした樹木抽出成分の利用技術の開発」による成果であり、日本かおり研究所株式会社と共同で推進しました。



未利用林地残材(トドマツ)



精油・抽出水

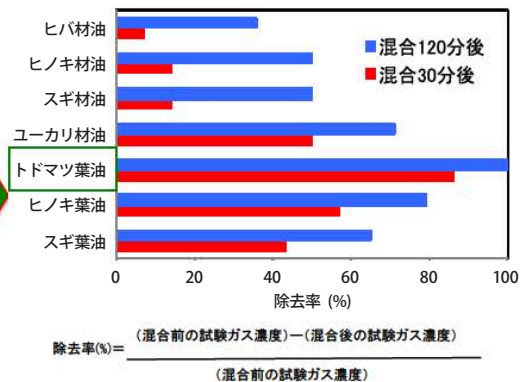


図1 樹木精油による二酸化窒素除去率

トドマツ葉油は二酸化窒素除去率が高い



図3 減圧式マイクロ波水蒸気蒸留装置による経済的な大量抽出

- ・短時間抽出(省エネルギー型)
- ・選択的抽出
- ・廃液が少ない抽出(環境配慮型)
- ・抽出工程=乾燥工程
(乾燥した抽出残渣)→利用しやすい

製造コストの低減へ



図2 精油ガス(トドマツ)による過酸化脂質の抑制

過酸化脂質の生成を強力に抑制する

革新的な空気浄化剤



「クリアフォレスト」技術ブランド

開発された
関連商品

図4 「クリアフォレスト」技術ブランドの立ち上げと商品化

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

森林観測ネットワークで気候変動の影響を探る —タワーを用いた二酸化炭素吸収量（CO₂）の把握—

北海道支所
気象環境研究領域
東北支所

山野井 克己、溝口 康子
大谷 義一、北村 兼三、中井 裕一郎
安田 幸生

要 旨

森林総合研究所では、アジアにおける観測ネットワークであるアジアフラックスの一員として、農業環境技術研究所、産業技術総合研究所、国立環境研究所とともにタワーを用いたCO₂吸収量のモニタリングを行っています。気候変動による森林への影響を解明するためには、このようなネットワークの観測精度を高める必要があります。そのため、観測機材やソフトウェアの標準化をすすめるとともに、可搬型観測システムによる精度検証を行っています。さらに、これまで蓄積してきたノウハウをとりまとめた観測マニュアルを作成しました。このタワー観測から、落葉広葉樹林は冬にCO₂を放出するものの、夏のCO₂吸収量は常緑針葉樹林を大きく上回ることを明らかにしました。

地球温暖化問題に取り組む地球観測推進の動き

地球温暖化問題に対し、CO₂吸収量（フラックス）をはじめとする温室効果ガスの全球的な長期観測の重要性が、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書で指摘されています。

森林総合研究所は、地球全体のネットワークのうち、アジアフラックスネットワークの一員として、農業環境技術研究所、産業技術総合研究所、国立環境研究所とともに、国内外の11の森林や農地（図1）において、気候変動の影響を探るために、観測タワーを用いたCO₂吸収量のモニタリング（図2）を行っています。

森林総合研究所フラックス観測ネットワーク

森林総合研究所では現在、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）、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）の5カ所で、観測を行っています。

観測体制の強化に向けて

アジアでのCO₂吸収量をはじめとしたフラックス観測の充実のためには、日本のみならず、アジア全体での観測ネットワークの強化が重要です。すでに10年以上の観測の実績とノウハウの蓄積のある上述の3研究機関と合同で、中国、バングラデシュ、タイのアジア3カ国での観測態勢の整備を行い、継続してモニタリングできる体制を整えました。また、観測用機材、保存データ形式、解析プログラム等の標準化・共通化を進めるとともに、可搬型観測システムを用いた比較観測によるモニタリングサイトの観測精度検証を行い、観測精度維持に努めています。これら一連の作業で蓄積されてきたノウハウをもとに、実際の観測現場で役立つ「フラックス観測マニュアル」の出版（図3）を行いました。同マニュアルは

ウェブサイト上でも公開しています。

タワーフラックス観測の成果

これまで行ってきた観測から、日本の暖温帯に生育する常緑針葉樹林は、冬でも気温や日射量などの条件が整えば、CO₂を吸収することがわかりました。一方、落葉広葉樹林は、葉をつけている春から秋にかけてCO₂を吸収し、冬の葉を落としている時期はCO₂を放出しますので、落葉広葉樹林は、CO₂を吸収する期間が短くなります。しかし、夏には常緑針葉樹林よりも多くのCO₂を吸収するため、1年間ではどちらも同じくらいのCO₂を吸収していることがわかりました（図4）。

温暖で降水量の比較的多い日本の森林は、温帯モンスーン地域の代表的な森林です。温帯の様々なタイプの森林を含む森林総合研究所のフラックス観測サイトの研究成果は、世界の中でも数少ない貴重な情報です。森林総合研究所はデータベースを含めた情報発信を行っており、日本国内だけではなく広くアジア・欧米などの研究者によって、アジアの森林のCO₂吸収量のより正確な評価のための炭素循環モデルやリモートセンシング技術の検証にも利用されています。

森林タイプによってCO₂吸収量に影響を与える気象条件や、影響の大きさは異なります。世界的に見てもモンスーンアジアにおける森林のCO₂吸収量の正確な評価は重要です。今後も、森林総合研究所はアジアフラックスの中でアジアのモンスーン気候帯での様々なタイプの森林に対する気候変動の影響を調査していきます。

研究資金と課題：環境省地球環境保全試験研究費「アジア陸域炭素循環観測のための長期生態系モニタリングとデータのネットワーク化促進に関する研究」

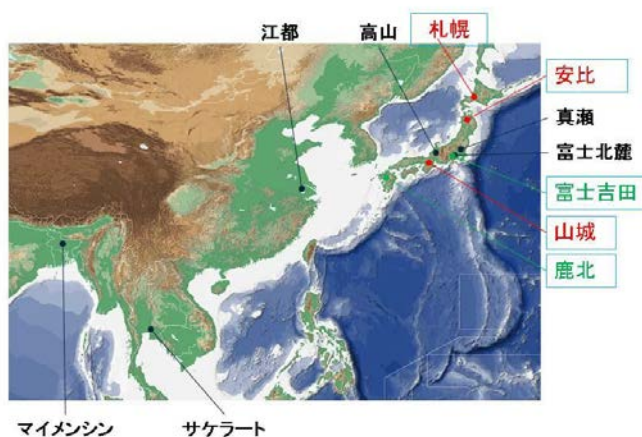


図1 森林総合研究所、農業環境技術研究所、産業技術総合研究所、国立環境研究所の4研究機関が行っている11カ所のタワーを用いた二酸化炭素（CO₂）吸収量観測サイト
森林総合研究所のサイト（青色枠）のうち、赤字は落葉広葉樹林、緑字は常緑針葉樹林のサイトであることを示しています。



図2 タワーを用いた二酸化炭素（CO₂）吸収量測定の様子
森林の樹冠より数m～十数m上で測定した様々な観測データからCO₂吸収量を求めます。

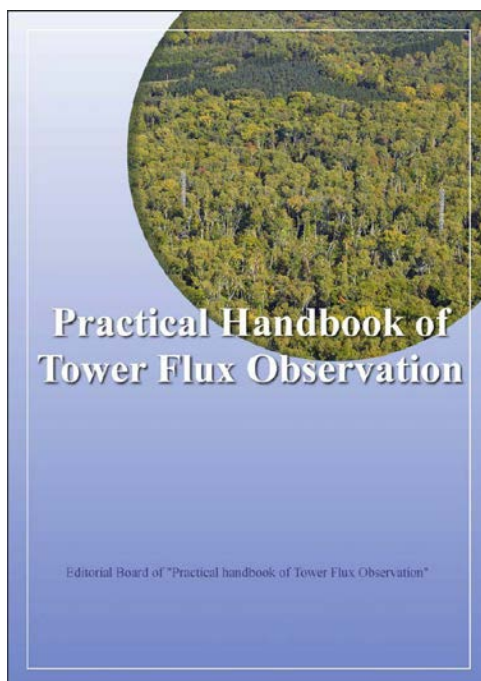


図3 タワーフラックス観測マニュアル（英語版）
英語版は、アジア各国を始め、多くの国で利用されています。

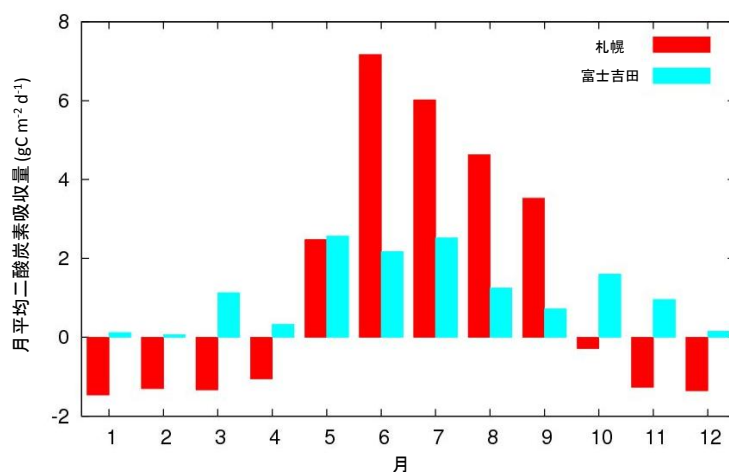


図4 落葉広葉樹林（札幌）と常緑針葉樹林（富士吉田）の二酸化炭素吸収量（CO₂）の季節変化
常緑針葉樹林は冬でも気温や日射量などの条件が整えば、CO₂を吸収する一方、落葉広葉樹林は、夏には常緑針葉樹林よりも多くのCO₂を吸収するため、1年間のCO₂吸収量は同じくらいだということがわかりました。

森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出は、 温暖化の影響で増大している

立地環境研究領域
四国支所
九州支所

橋本 昌司、阪田 匡司
森下 智陽
石塚 成宏

要 旨

森林は樹木と土壌からなります。森林土壌は二酸化炭素 (CO_2) ガスと一酸化二窒素 (N_2O) ガスを放出し、一方でメタン (CH_4) ガスを吸収しています。本研究では、森林総合研究所が行ってきた観測から得られた膨大なデータに基づき、森林土壌が吸収・放出する温室効果ガスの量を推定するモデルを構築しました。このモデルを用いて、日本全国の森林土壌が吸収・放出した温室効果ガスの量を評価しました。その結果、この 30 年間 (1980 ~ 2009 年) の傾向として、メタンガスの吸収量が増加する一方で、二酸化炭素ガスと一酸化二窒素ガスの放出量が増加していることがわかりました。森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出が増加していることは、日本の温室効果ガス削減の戦略策定を進める上で、森林の温室効果ガス吸収・放出の監視を強化する必要性を示唆しています。

森林における様々な温室効果ガスの動き

森林は樹木と土壌から成り立っています。森林では、樹木が光合成によって大気中の二酸化炭素ガス (CO_2) を固定しています。一方で樹木は呼吸によって二酸化炭素ガスを大気中に放出しています (図 1)。また、樹木が落とした落ち葉や枝などが土壌で微生物に分解されながらゆっくり蓄積しており、森林土壌は樹木の 2 倍以上もの炭素をためる巨大な炭素の貯蔵庫となっています。その森林土壌は、二酸化炭素ガスと一酸化二窒素ガス (N_2O) を放出し、一方でメタンガス (CH_4) を吸収しています (図 1)。

森林土壌における温室効果ガスの吸収や放出は、気温や降水量の影響を受けることから、近年の気候変動が森林土壌の温室効果ガスの吸収・放出量にどの程度影響するのかを明らかにすることが、緊急の課題となっていました。

膨大なデータに基づいたモデル化と全国評価

森林総合研究所では、1990 年代後半から全国の様々な森林土壌の温室効果ガス吸収・放出量を観測してきました。この膨大な観測データに基づき、森林土壌が温室効果ガスをどれだけ吸収・放出するかを予測するモデルを構築しました。そしてそのモデルと、気候や土壌のデータベースを組み合わせたコンピュータシミュレーションにより日本の森林土壌における温室効果ガスの吸収・放出量の経年変化を日本全国について評価しました (図 2、3)。

地球温暖化により森林土壌の温室効果ガス吸収・放出が増大している

シミュレーションの結果、過去 30 年間 (1980 ~ 2009

年) においてメタンガスの吸収量が年率 0.44% 増加 (温暖化を緩和) する一方、二酸化炭素ガスおよび一酸化二窒素ガスの放出量がそれぞれ年率 0.23%、0.27% 増加 (温暖化を促進) していることがわかりました (図 3)。これらは主に気温の上昇と、大気中のメタン濃度の上昇によるものです。また、二酸化炭素を基準として三種の温室効果ガスの温室効果を推定したところ、森林土壌からの放出量の増加は吸収量の増加を上まわっていました。今後、地球温暖化が進めば、今よりもさらに土壌における温室効果ガスの放出が増大していく可能性があります。

ただし、もともと森林の樹木による吸収量は大きいため、今回明らかになった土壌からの温室効果ガスの増加が、今の段階で直ちに森林の温暖化抑制効果に支障をきたすというものではありません。温室効果ガスインベントリオフィスから公表されている「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」によれば、2009 年時点で日本の森林は樹木と土壌をあわせて年間約 7,400 万トン二酸化炭素を吸収しています。

本研究は、今後も森林の温室効果ガス吸収・放出の監視を強化するとともに、樹木による温室効果ガス吸収をさらに促進していく必要性を示唆しています。本研究の成果は、日本の温室効果ガス削減の戦略策定に役立てられます。

本研究は、「予算区分：一般研究費、課題名：環境の変化に対する土壌有機物の時・空間変動評価」及び、「予算区分：技術会議委託費、課題名：森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」による成果です。

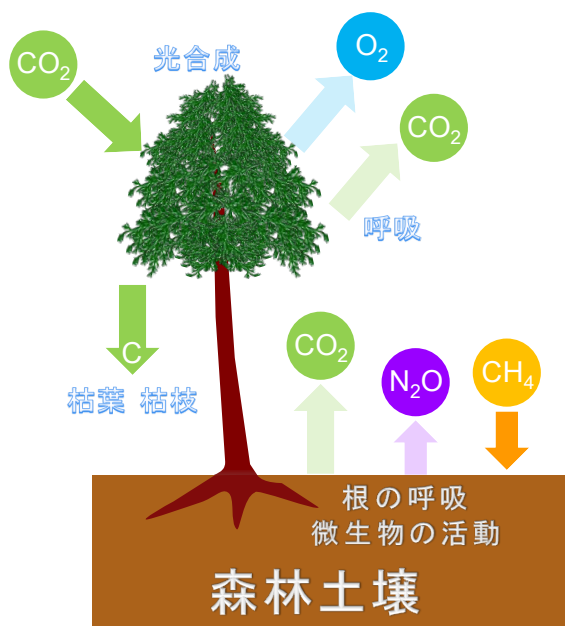


図1：森林土壌における温室効果ガスの吸収・放出の概念図。CO₂とN₂Oは放出されるが、CH₄は吸収される。

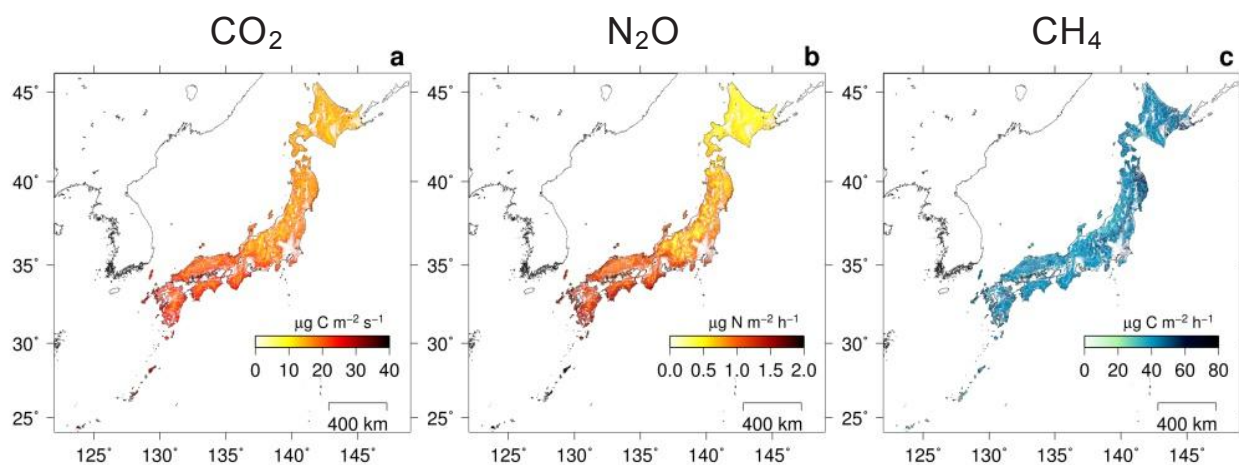


図2：森林土壌における温室効果ガス放出量・吸収量の平均値マップ（1980～2009年）。

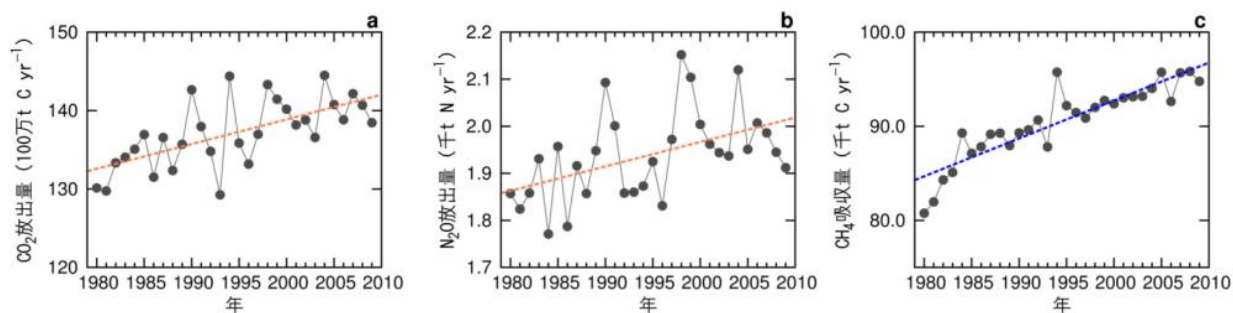


図3：森林土壌における温室効果ガス放出量・吸収量の経年変化（1980～2009年）。1980～2009年の平均値に対して、CO₂は年0.23%、N₂Oは年0.27%、CH₄は年0.44%の増大傾向を示した。

熱帯林の違法伐採を防ぐための DNA による樹種・産地識別技術の開発

| | |
|---------------|--|
| 森林遺伝研究領域 | 津村 義彦、上野 真義 |
| 林木育種センター | 大谷 雅人 |
| 国際農林水産業研究センター | 谷 尚樹 |
| 愛媛大学 | 上谷 浩一、原田 光 |
| マレーシア森林研究所 | Lee Soon Leong、Kevin Kit Siong Ng、 Norwati Muhammad |
| ガジャマダ大学 | Mohamad Na'iem、Sapto Indrioko |
| サバ森林研究センター | Eyen Khoo |
| サラワク森林研究センター | Bibian Diway |
| ゲッチンゲン大学 | Reiner Finkeldey |

要 旨

東南アジア熱帯林で生態及び林業において重要なフタバガキ科樹木について DNA による樹種識別及び種内の産地識別について調査しました。樹種識別はフタバガキ科の中でも最も大きなグループである *Shorea* 属を対象に、葉緑体 DNA の塩基配列の解読を行ったところ、樹種識別はほぼ可能であることが分かりました。また輸入された木材からの DNA による樹種識別技術を開発しました。産地識別については東南アジアの広域に分布する *Shorea* 属の 2 種について調査を行いました。その結果、ボルネオ島とマレー半島などの大きな地域では可能であることが分かりました。しかし、ボルネオ島内の地域集団を特定するような DNA マーカーを見つけ出すのは難しいことを明らかにしました。

DNA を用いたフタバガキ科の種の識別

フタバガキ科は東南アジアの熱帯林で最も重要な樹種であり、ラワン材として我が国にも輸入されています。フタバガキ科で最も大きなグループである *Shorea* 属について 90 種を対象に DNA での識別を行いました。識別に用いた葉緑体 DNA は種の分類に最適な DNA だと言われています。合計で約 4200 塩基配列を解析し、種の識別を試みたところ、ほとんどの種は識別が可能であることが分かりました(図-1)。また特定の近縁種では同じ塩基配列をもつものがあり、識別が難しい種もありました。

広域分布種を用いて地域を識別する DNA 領域を探す

フタバガキ科のなかで東南アジア広域に分布する *Shorea leprosula* と *S. parvifolia* の 2 種を対象に分布域全般(スマトラ島、マレー半島、ボルネオ島)から材料を収集しました。収集した *S. leprosula* の 27 集団と *S. parvifolia* の 18 集団について葉緑体 DNA と核 DNA の解析を行いました。その結果、2 種ともボルネオ島集団とその他のスマトラ島及びマレー半島集団が明瞭に遺伝的に分化していました(図-2、図-3)。しかし、ボルネオ島内の集団間では、緩やかな違いはあるものの明瞭な遺伝的な違いは見られませんでした。そのため DNA ではボルネ

オ島とその他の地域などの大きな地域間では識別が可能でしたが、特定の地域を識別するには至りませんでした。これらの遺伝的な違いは種の歴史的な分布変遷と密接な関係があるためです。

DNA による種識別及び地域識別の可能性

DNA による種の識別は特定の近縁種や雑種を除いて可能であることが分かりました。同種内の地域識別はボルネオ島などの大きな島レベルであれば可能であることが分かりました。また輸入された木材、ベニヤ板や合板からの DNA 抽出法も開発しました。これらの成果を森林総研の Web において、データベースとして公開しました。この樹種・産地識別技術は、違法伐採の抑止力として活用されることが期待できます。

本研究は「予算区分：環境省地球環境総合推進費、課題名：熱帯林の減少に伴う森林劣化の評価手法の確立と多様性維持による成果です。種識別の詳細は Tsumura et al. (2011) Journal of Plant Research 124:35–48 及びデータベース (<http://f5002.ffpri-108.affrc.go.jp/shorea/>) をご参照ください。

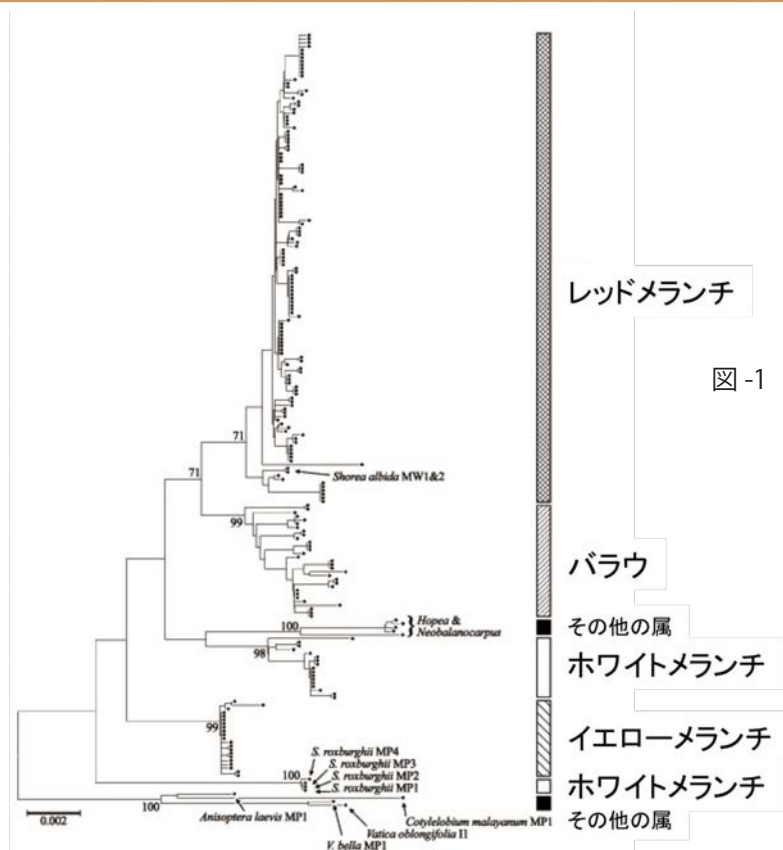


図-1 フタバガキ科 *Shorea* 属の葉緑体 DNA の塩基配列データによる種の類縁関係。材色による分類であるレッドメランチ、バラウ、ホワイトメランチ、イエローメランチは明瞭に識別される。このデータで 96 %程度の種識別が可能である。

図-2 フタバガキ科の広域分布種である *Shorea leprosula* の種内の遺伝的な違い。母性遺伝する葉緑体 DNA を用いて地域の違いを調べたところ、ボルネオ島は青色のタイプの遺伝子が占めているが、マレー半島やスマトラ島では黄色とオレンジ色の遺伝子だけであった。色の違いは異なる葉緑体 DNA の遺伝子タイプであることを示す。また図形の数分析個体数を示す。

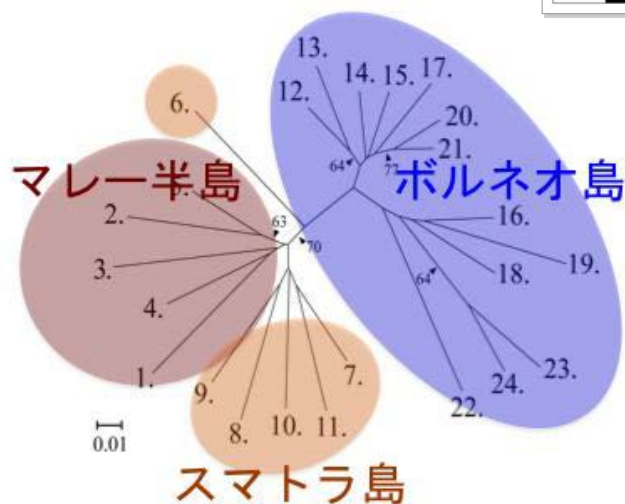
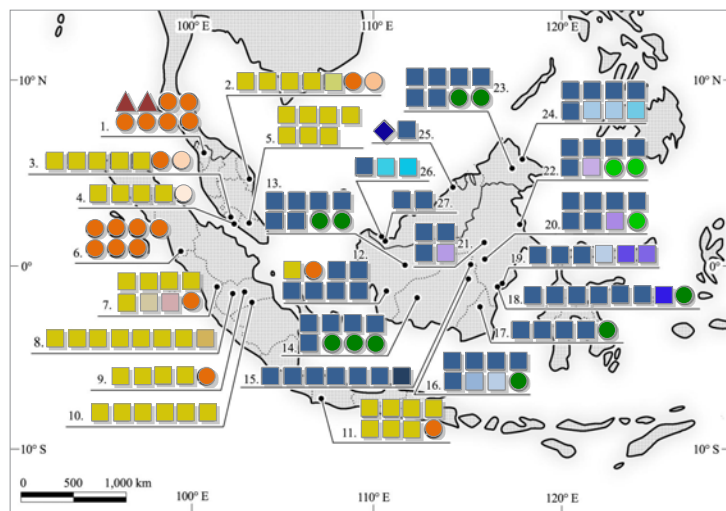


図-3 フタバガキ科 *Shorea leprosula* の種内の遺伝的な違いを両性遺伝する核 DNA を用いて地域の違いを調べたところ、葉緑体 DNA と同様にボルネオ島とその他（マレー半島、スマトラ島）が遺伝的に異なっていた。数字は分析集団名を示し、枝の長さは遺伝的な距離を示している。また枝の分岐上に書かれた数値は枝の分岐の信頼性を示し、0 から 100 の値をとり 100 に近い方が信頼性が高いことを示す。

森林が使い切れなくなった窒素

立地環境研究領域
 水土保持研究領域
 北海道支所
 四国支所
 九州支所

小林 政広、伊藤 優子、篠宮 佳樹、稲垣 善之
 坪山 良夫、玉井 幸治、清水 貴範、澤野 真治
 橋本 徹
 森下 智陽
 吉永 秀一郎、稲垣 昌宏、壁谷 直記

要 旨

わが国の森林は窒素が不足していると考えられています。ところが、首都圏周辺の山地の渓流水には窒素がたくさん含まれており、この地域の森林では窒素は余っているのではないかといわれるようになりました（窒素飽和現象）。そこで首都圏周辺の森林で降雨や土壌水、渓流水を集めて、その原因を調べました。その結果、森林の中の雨は林外の雨に比べて窒素が多く、この傾向は都心に近い森林ほど強いことがわかりました。これは、大気中に含まれる窒素化合物が風に乗って運ばれ、森林を通るときに葉や枝がフィルターの効果により、窒素が捕捉されたため（乾性沈着）と考えられます。そのため、都心に近い森林ほど窒素が多く流入し、過剰な窒素は溪流に流れ、カルシウムなどのミネラル分も一緒に流出してしまうことがわかりました。

窒素は植物にとって最も重要な養分の一つです。わが国の森林は窒素肥料をまくと成長が良くなることから、窒素が不足していると考えられてきました。しかし近年、首都圏周辺の山地では渓流水の窒素濃度が高いことがわかってきました。これら都市域の森林では窒素化合物を含む汚染された空気が都市から流れ込むため、窒素が余ってきたのではないかとわれています。その実態を明らかにするため、首都圏周辺の森林で（図1）、降雨等による窒素の流入と溪流への窒素の流出、土壌中の窒素の移動などを調べました（写真1）。

結果

雨によって森林に流入する窒素の量は、森林の中と外では異なっていました（図1）。特に、都心に近い東京西部の多摩のスギ林や茨城県南部の筑波のヒノキ林では、森林の中の雨に含まれる窒素の量は森林の外の雨より著しく多くなっていました。これは、車の排ガスやアンモニア肥料などに由来する窒素化合物が森林に流れ込んで樹木の枝葉に付着（乾性沈着）し、雨で洗い落とされるためと考えられます。

都心から遠い茨城県北部の桂と都心に近い筑波について、森林内の窒素移動量を比較しました（図3）。桂では、窒素の流入が少なく、土壌中を流れる水（土壌水）の窒素濃度は低く、土壌の深部に到達する窒素の量はわずかでした。一方筑波では、土壌の深部にも多量の窒素が流れてくることがわかりました。渓流水に流出する窒素の濃

度は、筑波では窒素飽和の上限値とされる 1 mg/L を超えていました。年間の窒素流出量を計算すると、桂では 1 ヘクタール当たり 2kg 程度と少ないのに対して、筑波では 1 ヘクタール当たり 10kg 以上ありました。なお、土壌水、渓流水の窒素はほとんどが硝酸イオンでした。多量の硝酸は、土壌を酸性化し、土壌中のミネラル分を流出させます。実際、筑波の森林では、桂の 3 倍近いカルシウムイオンが流出していました。

養分の流出は森林成長を低下させることが懸念されます。そこで桂と筑波の樹木の成長量を調べました。筑波でも森林の成長は旺盛であり、樹木が窒素を十分吸収していることがわかりました。筑波の森林では森林が必要とする以上に多量の窒素化合物が流入し、使い切れなくなっていると考えられました。このような窒素の流出量は森林への窒素の流入量と樹木が利用する土壌の無機窒素の生成量から予測できることもわかりました。

首都圏周辺の森林における多量の窒素流入が続いた場合、ミネラル分の流亡とともに、溪流を通じて湖沼や海洋へ窒素が流出し、水生生物への影響や富栄養化などにつながることが危惧されます。この状態を改善するにはどうしたらよいのでしょうか。一つの手段は、間伐を行って枝葉の量を減らしフィルターの効果を弱めることです。これにより、枝葉に付着する大気汚染由来の窒素化合物を減らせると考えられます。過密な人工林を間伐することは、環境影響の緩和にも効果があると期待されます。



図1 観測地点の位置
都心からの距離の異なる森林を対象にしました。

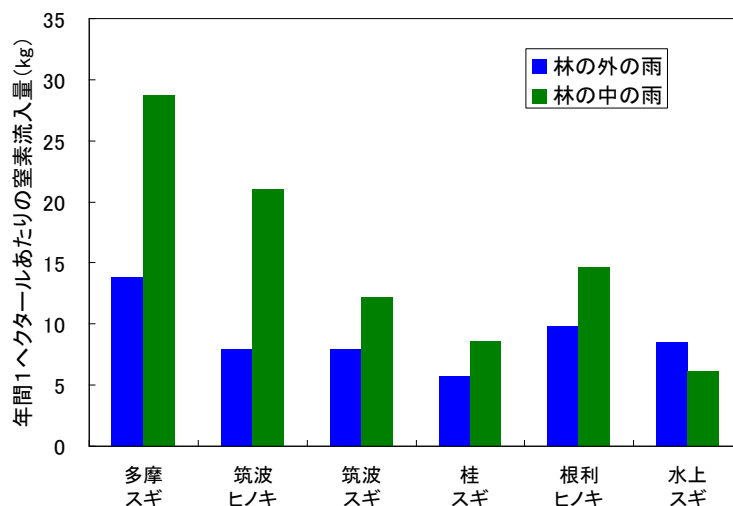


図2 林の外と中で測った窒素流入量
都心に近い筑波や多摩で特に林の中の雨で流入する窒素の量が多い。

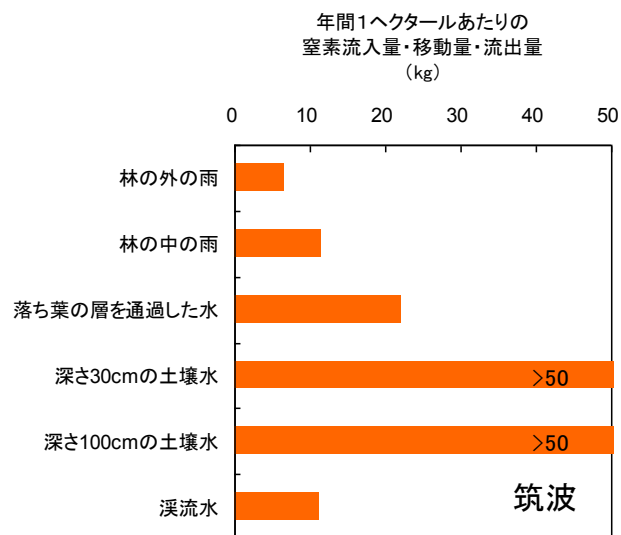
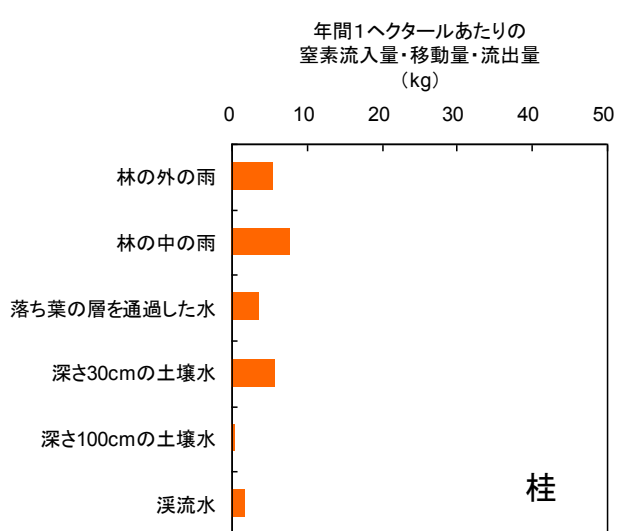


図3 桂と筑波のスギ林における窒素流入量・移動量・流出量
都心に近く窒素化合物の流入が多い筑波では、土壌中の窒素移動量、渓流水としての窒素流出量がいずれも大きい。



写真1 試料採取の様子 画面左のロートとタンクは森林の中の雨の採取装置。画面奥のボトルは地中から土壌水を吸引採取する装置。

原子力発電所事故で放出された 放射性セシウムの森林内の分布を明らかに

立地環境研究領域
放射性物質影響評価監
企画部 チーム長
森林植物研究領域
研究コーディネータ
四国支所長
木材特性研究領域

金子 真司、三浦 覚、大貫 靖浩
赤間 亮夫
池田 重人
田中 浩
清野 嘉之
外崎 真理雄
黒田 克史

要 旨

東京電力福島第一原子力発電所事故による森林の放射能汚染の状況を調査しました。原発からの距離の異なる3カ所のスギ林を比較すると、空間線量率が高い森林ほど放射性セシウムの汚染レベルは高くなっていました。同じ調査地で樹種の違いを比較すると、常緑樹のスギやアカマツでは葉の放射性セシウム濃度が高く、落葉広葉樹の葉は低濃度でした。また、木材（心材、辺材）は低濃度でした。いずれの森林も落葉層は高濃度でしたが、その下の土壌は低濃度でした。森林内に蓄積している放射性セシウムの分布割合は、スギ林では全体の半分が葉と枝にあり、残りの半分は落葉層と土壌にありました。広葉樹林は大半のセシウムが落葉層や土壌にあり、アカマツ林も落葉層と土壌の分布割合が高くなっていました。樹種による分布の違いは3月の事故当時の葉の量が関係しているものと考えられます。

森林の放射性セシウム汚染

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって放出された放射性物質によって、周辺の森林は広く汚染されました。放出された放射性セシウムの半減期（半分の量になるまでの時間）はセシウム 134 が2年、セシウム 137 は30年と長いため、汚染は長期間続くと予想されます。実際、チェルノブイリ周辺では今でも放射性物質が検出されていますが、土壌の性質や樹木の種類、気候条件などによって放射性セシウムの動態は異なるといわれています。そこで福島県の現状を把握するため、原子力発電所からの距離の異なる3カ所の森林で放射性セシウムの分布を調査しました。

原発からの距離や種類による汚染レベル

平成23年8月から9月にかけて福島県の川内村、大玉村、只見町のスギ林に調査地を設けました。大玉村では、スギ林のほかアカマツ林、落葉広葉樹林でも調査し、樹種による違いを比較しました。（図1、写真1）。川内村、大玉村、只見町の空間線量率（高さ1m）は、それぞれ毎時3.3、0.3、0.1マイクロシーベルトと原発に近いほど線量率は高く、これと比例し、スギ林の葉や土壌などの放射性セシウム濃度も空間線量率が高いほど高くなっていました。

樹種の違いを見ると、スギやアカマツ林では葉の放射性セシウム濃度が高く、ついで枝、樹皮の順で、幹材部（木材内部の辺材と心材）は非常に低濃度でした（図2）。一方、落葉広葉樹林では葉の放射性セシウム濃度は1kgあたり600ベクレルとスギやアカマツの10分の1以下でしたが、落葉層の濃度はスギやアカマツよりも高い状態でした。落葉層はいずれの森林も高濃度でしたが、その下

の深さ5cmまでの表層土壌は落葉層の10分の1程度になり、さらに深い部分は非常に低濃度でした。

森林内部の放射性セシウムの分布

樹木の大きさを推定し、森林内に蓄積している放射性セシウムの分布を求めました。スギ林では葉や枝等の樹木に全体の半分があり、落葉層と土壌に残りの半分が分布していました。一方、事故当時に葉が付いていなかった落葉広葉樹林は落葉層に放射性セシウムが最も多く分布していました（図3）。事故のあった3月には、常緑樹であるスギやアカマツには葉が付いていましたが、広葉樹にはまだ葉が出ていなかったため、放射性セシウムの多くが落葉層に積もったものと考えられます。常緑針葉樹でもアカマツはスギに比べて葉量が少ないため、落葉層の割合が多くなったのでしょうか。

このように、森林内の放射性物質の分布は、樹木の種類によってずいぶん違うので、森林の放射性セシウムを除染するにあたっては、分布を考慮して作業を進めるのが効率的です。今後、スギの葉は落葉し、落葉層の有機物は分解して放射性セシウムは次第に土壌に移行すると考えられます。また一部の放射性セシウムは樹木に吸収されるので、森林内の分布は変化するでしょう。長期的なモニタリングを続けるとともに、分布の変化を考慮して、森林の利用や除染を考える必要があります。

本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト「東日本大震災緊急調査：放射性セシウムの空間分布及び空間変異メカニズムの解明」の成果です。主要な成果は9月30日と12月27日に林野庁からプレスリリースされました。

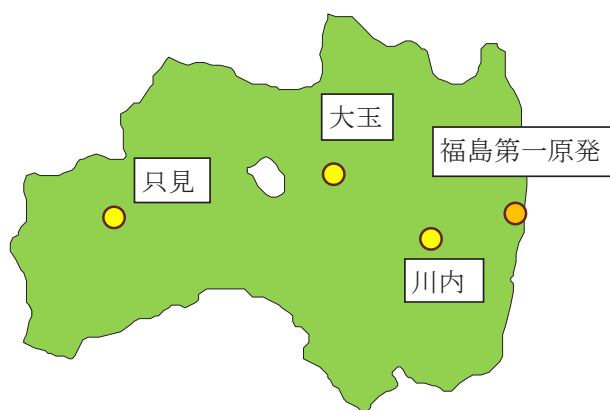


図1 福島県内の試験地の位置

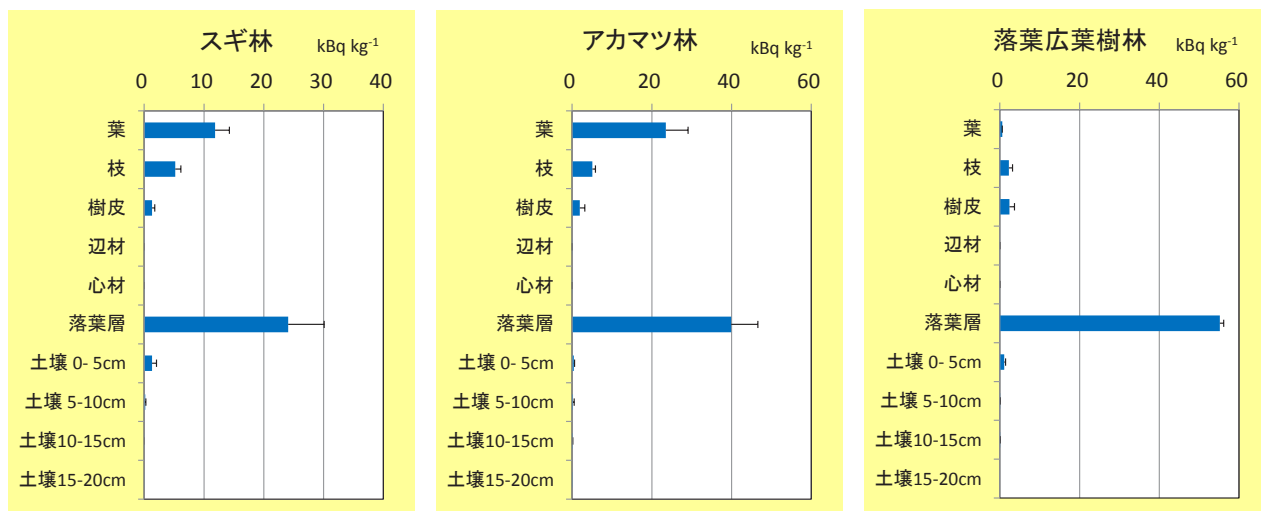


図2 大玉試験地のスギ林、アカマツ林、落葉広葉樹林の樹木及び土壌の放射性セシウム濃度

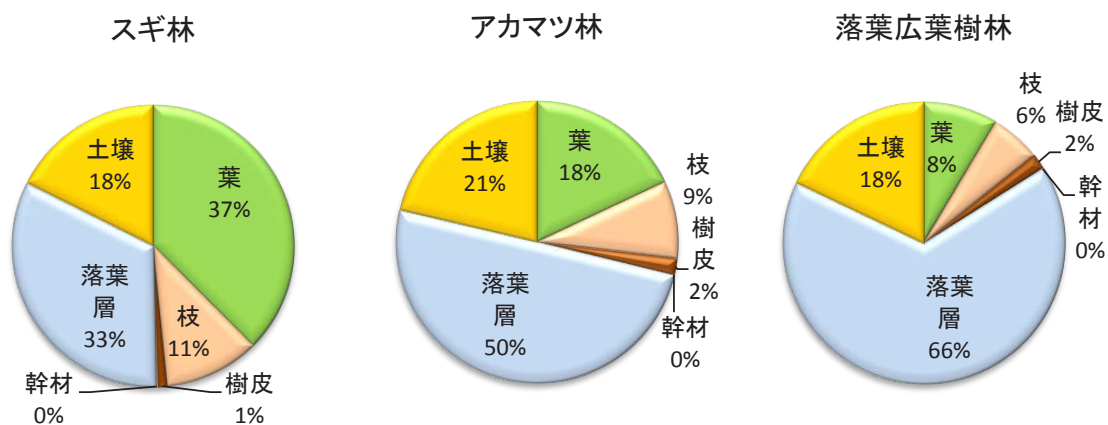


図3 大玉試験地のスギ林、アカマツ林、落葉広葉樹林の放射性セシウムの分布割合

東日本大震災の津波による海岸林の被害と津波被害軽減機能

気象環境研究領域

坂本 知己、野口 宏典

要 旨

平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大な津波は、東日本太平洋岸の海岸林に甚大な被害をもたらしました。とくに、岩手県から福島県にかけての海岸林には、消滅したものも少なくありません。一方、海岸林が津波で流された船舶などの漂流物を捕捉する機能（漂流物捕捉機能）や、津波の波力を弱める機能（波力減殺機能）を発揮した事例も確認できました。また、樹木を使った実スケールの水路実験を行い、津波の力を弱める樹木の抵抗を求めて、数値シミュレーションを行いました。その結果、海岸林は、津波の流速、流量、波力の最大値を低下させ、到達時刻を遅らせる効果があることを確認しました。

とてつもなく大きな津波

平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大な津波は、東日本の太平洋岸で多くの生命・財産を奪い、社会基盤を破壊しました。海岸林の被害も、これまでの記録にないほど広い範囲に及びました。岩手県から福島県にかけての海岸林被害はとくに甚大で、消滅した海岸林も少なくありません。海岸林の被害状況を把握し、今後の海岸林の再生を支援するため、現地調査と海岸林の効果に関する数値シミュレーションを行いました。

海岸林の被害状況

防潮堤を乗り越えた津波により、防潮堤の背後の地面は激しく掘り取られました。（写真 1）。海岸林の中には、破壊されたコンクリートブロックが入り込みました。海岸林の被害状況は、押し寄せた津波の規模や、地盤高などの地形条件、防潮堤の有無、海岸林の状態（樹高、植栽本数密度、根の分布状態）などにより異なっていました。比較的樹木が細い場合は、林全体がなぎ倒されたようになり、比較的太い樹木の場合は、幹が折れて根株だけが残る傾向が見られました（写真 2、3）。一方、樹木の大きさに関わらず、根をつけたまま樹木が倒伏して流失する例がありました（写真 4）。これは地下水位が高い場所で見られることが多く、根が地表付近で盤状になって地中深くに入っていなかったため、津波で簡単に押し倒されたものと考えられました。

今後、海岸林の再生にあたっては、地下水位の高い箇所では盛り土をして根が深くまで張るようにするとともに、

幹を太く育てることが重要になります。

海岸林のはたらきと数値シミュレーション

海岸林は大きな被害を受けましたが、津波の被害を低減させる効果も確認されました。ひとつは漂流物捕捉機能で、津波で運ばれた船舶などの漂流物が住宅地に侵入し衝突するのを防ぎました（写真 5）。さらに、海岸林は津波の勢いを弱め到達を遅らせる役割（波力減殺機能）を果たしたと考えられました。

波力減殺機能を確認するため、海岸林を通過する津波の様子を数値シミュレーションモデル（以下、モデル）で再現しました。実物の樹木を使った水路実験を行い（写真 6）、水流に対する樹木の抵抗特性を求め、現地調査による海岸林の状態（本数密度、胸高直径、樹高、枝下高）を組み込んだモデルを開発しました。海岸林を津波が通過する様子をモデルで再現して、海岸林がある場合とない場合とを比較したところ、海岸林があることで津波の到達が遅れ、浸水深（地面から水面までの高さ）や流速も抑えられる様子を確認できました（図 1）。

開発したモデルを用いて海岸林の幅や状態によって津波の被害がどの程度軽減できるかを推定し、林野庁が策定した海岸林の再生・復興計画に役立てました。

林野庁平成 23 年度震災復旧対策緊急調査（海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査）：現地調査は、森林総研東北支所、日本海岸林学会会員などの多大な協力を得て行いました。



写真1 津波によって破壊された防潮堤

防潮堤が破壊されたために海が見える（右上）。中央から右下への水面は、防潮堤を越流した津波によって掘られた凹地に溜まった水。海岸林には壊れた防潮堤の一部が入り込んでいる。



写真2 押し倒されたクロマツ

津波によってクロマツ林はなぎ倒されたように倒伏した。



写真3 幹折れ

折れ口は複雑で、一方向からの一度の津波で折れたものではないようだ。



写真5 海岸林に止められた漂流物

船舶などの津波による漂流物が樹林で止められることで、背後の住宅の被害が軽減される。



写真6 水流に対する樹木の抵抗特性を知るための水路実験



写真4 根返り

樹木が根をつけたままの形で海側から陸側に向かって列状にまとまって倒れ、帯状に林帯が残った。地下水位が高く、津波後13日経つのに水が溜まり湿地のようになっていた。

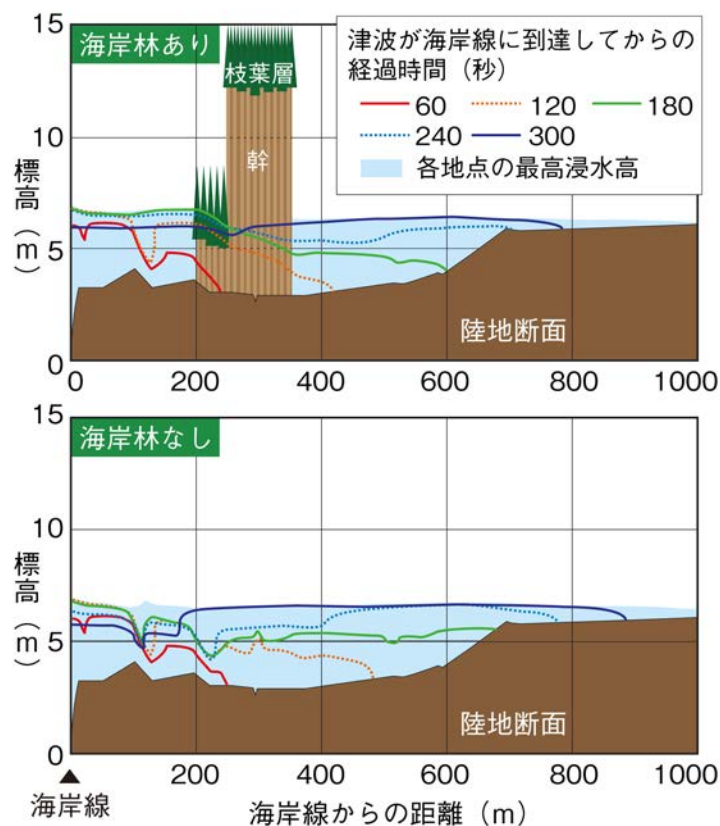


図1 数値シミュレーションによる津波の再現

東日本大震災による津波の変化（青森県八戸市の海岸林の場合）。津波の経過時間にともなう海水面の変化を推定した。この場所では、海岸から600mの地点の津波到達時間は、海岸林がある場合は約180秒後、海岸林がない場合は約150秒後で、海岸林がある場合の方が津波の到達は約30秒遅くなると計算された。

侵略的外来種マングースの根絶にむけて —残存個体の探索・捕獲技術の開発—

企画部
九州支所森林動物
横浜国立大学

山田 文雄
小高 信彦
佐々木 茂樹

要 旨

生物多様性のホットスポット、沖縄島やんばる地域と奄美大島において、特定外来生物のマングース防除事業が 2005 年度から集中的に実施されています。その結果、マングースが低密度になり、希少種を含めた在来種が回復するなど成果が達成されつつあります。次なるステップのマングース根絶に向けて、低密度下での残存個体の発見と捕獲が必要ですが、低密度になるほど発見や捕獲が困難になります。本研究では、センサーカメラによる残存個体の検出率がワナを使った方法より高いことを示し、それに基づき残存個体数の推定を行いました。また、効率的捕獲には、探索後速やかに捕獲作業につなげることが重要です。

外来種の捕獲効率の低下

外来生物の捕獲作業では、初期には捕獲数は多いものの、低密度になるにつれて捕獲数は減少し、捕獲効率（ワナ数に対する捕獲数）は次第に低下します（図 1）。ワナを警戒し、通常のワナでは捕獲されにくい「トラップ・シャイ個体」が残存するからです。生息数をゼロにする根絶作戦では、このような残存個体を探索して、確実に捕獲する必要があります。探索方法として有望なものがセンサーカメラです（図 2）。動きに反応して撮影するカメラですが、実際にマングースの探索に使うに当たってはその探索能力を知る必要があります。

センサーカメラの優れた検出率

約 2 平方 km の範囲に設置したセンサーカメラ 140 ～ 180 台とマングースの標識個体（5 ～ 7 個体）を用いて、数理解析モデルによって非標識個体（残存個体）数の推定を行いました（図 3）。センサーカメラによる標識個体の検出率（カメラ 1 台で 1 日間に 1 頭のマングース / 2 平方 km）は 0.000013 ～ 0.000042 と極めて低い値でしたが、これはワナを使った従来法の方法と比べると 3 倍も高い検出率でした。

この値を用いて、この地域の非標識個体数を推定したところ、残存個体数は 2010 年度の場合、1 ～ 14 個体と推定されました（図 4）。さらに、必要なカメラ台数を検討したところ、10 日間で 1 頭のマングースを 90% 以上

の確率で発見するためのセンサーカメラの必要な台数は、1,800 ～ 3,600 台日と推定されました。

効率的捕獲のための機動的体制

センサーカメラの効果的配置のシミュレーションを行った結果、空白地帯をつくらず、調査地全域をカバーして、調査期間を短くし、多くのカメラの設置が検出率を高めることが明らかになりました。多数のカメラを短期間設置した方が良いのは、検出力が高まるだけでなく、カメラによるモニタリング結果を捕獲に早期に反映させるためです。実際に、この方法で発見された残存個体を、ワナを集中的に設置することで、10 日前後で捕獲することに成功しました。

このように、まずセンサーカメラを使ってマングースを発見したのち、その情報をすみやかに捕獲者に提供することで短期間のうちに集約的に捕獲する、という機動的な体制をとることが、低密度となったマングースを捕獲する上で効果的なのです。この成果は実際に、環境省による沖縄やんばる地域と奄美大島におけるマングース防除事業などに活かされています。マングースの根絶に向けて、今回開発した手法が重要となります。

本研究は、環境省生物多様性関連技術開発等推進費「侵略的外来中型哺乳類の効果的・効率的な防除技術の開発研究」による成果です。

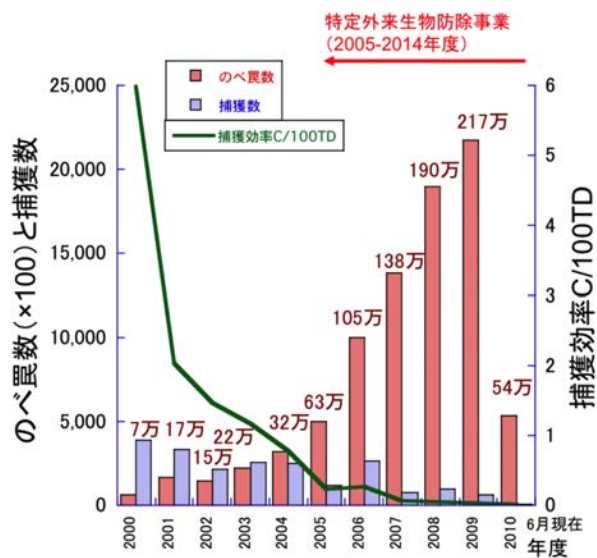


図1 奄美大島におけるマングースの捕獲効率の低下の推移。



図2 センサーカメラで撮影されたマングース。

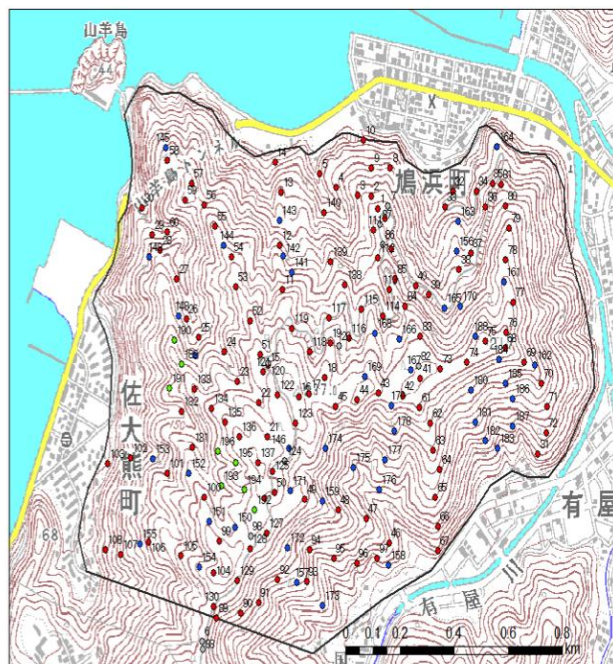


図3 残存個体の探索検出率や残存個体数を推定するために設置されたセンサーカメラ (140-180 台) の配置図。対象面積は 2km²。

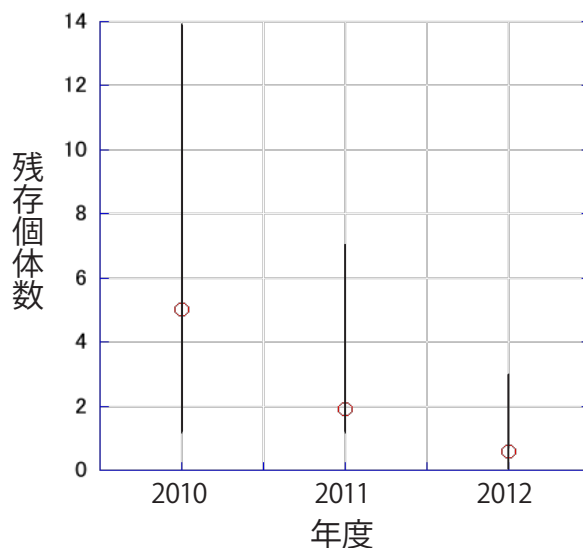


図4 センサーカメラの検出率から推定された、試験地におけるマングース残存個体数。捕獲により、年度ごとに減少してきた。○は期待値、縦棒は信頼区間。

林産物としてのシカ肉を衛生的に管理する

北海道支所
酪農学園大学
釧路短期大学

松浦 友紀子
伊吾田 宏正
岡本 匡代

要 旨

日本中で個体数と分布を拡大しているニホンジカ。害獣として駆除するだけでなく、資源として利用しつつ管理することが重要です。ただし日本の場合、食肉として利用する場合に最も重要となる衛生管理の体制が整備されていません。そこで本研究では、シカ肉の流通が盛んな英国の事例を参考に、シカに適した内臓摘出方法の検討を行いました。その結果、海外で認められている野外での内臓摘出について、衛生的に行えることが明らかになりました。今後は家畜に準ずるのではなく、シカに適した解体処理方法の提示や肉の検査体制が必要であり、そのためには英国のように野獣肉を検査する資格制度の導入が必要だと考えられます。

日本のシカ肉流通の課題

日本では、野生動物であるシカが肉として管理され始めるのは、枝肉*になってからです。その前段階である、捕殺、内臓の摘出、皮をはぐ（はく皮）部分を管理する体制はありません。内臓摘出とはく皮については、マニュアルやガイドラインを作成している県もありますが、どれも家畜に準じたもので、野生動物には適用しにくい部分があります。それに対してシカ肉の流通が盛んな欧州では、野生動物も欧州連合（EU）の食品に関する規則の対象となり、またその規則は野生動物に特化したものになっています（図 1）。そこで、2006 年から EU の規則を取り入れている英国のシカ肉衛生管理について情報収集し、日本における野外処理方法について、ガイドラインを作成しました。

野外でも衛生的な内臓摘出は可能か

まず日本と英国の大きな違いとしてあげられるのが、内臓摘出を行う場所です。日本では、野外での内臓摘出は「衛生状態に不安がある」ことが一因となり認められていませんが、英国では「衛生的に処理するために」認められています。そこで、野外で内臓摘出した枝肉の衛生レベルを評価するために、野外で内臓摘出した枝肉と、解体処理場で内臓摘出した枝肉（日本で現在推奨されている方法）の肉の表面の汚染度を比較しました（図 2）。その結果、汚染度の指標となる一般生菌数はどちらも低い値を示しました（図 3）。大腸菌やその他の食中毒を引き起こす主

な菌（サルモネラやカンピロバクターなど）も検出されませんでした。したがって、野外でも衛生的な内臓摘出が可能であることが示されました。ただし、今回の方法は英国のマニュアルを参考にし、できるだけ衛生的な処理を心がけた結果ですので、どのようなやり方でもよいわけではありません。野外での内臓摘出を日本でも可能にするためには、今回示したようなガイドラインに従って行う必要があります。

シカ肉の検査体制と資格制度の導入を提言

英国では、流通にまわすシカ肉は、野獣肉検査資格を持った人物（狩猟者や猟区管理人の場合が多い）により、食肉として適しているかを検査され、それを証明するタグをつけなくてはなりません（図 4）。検査は捕獲前から始まるため、狩猟者の役割が重要です。今後は、野生獣肉を取り扱う技術者の資格制度の導入など、肉の検査体制の整備を図る上で、今回提言したガイドラインが利用されます。

英国のシカ肉衛生管理の詳細は、以下の論文をご覧ください。

松浦友紀子・伊吾田宏正（2012）英国の一次処理と資格制度. 獣医畜産新報 Vol.65 No.6451-454

本研究は科学研究費補助金「林産物としてのエゾシカ肉の衛生管理手法を国際基準に合致させる」（No.22658045）による成果です。

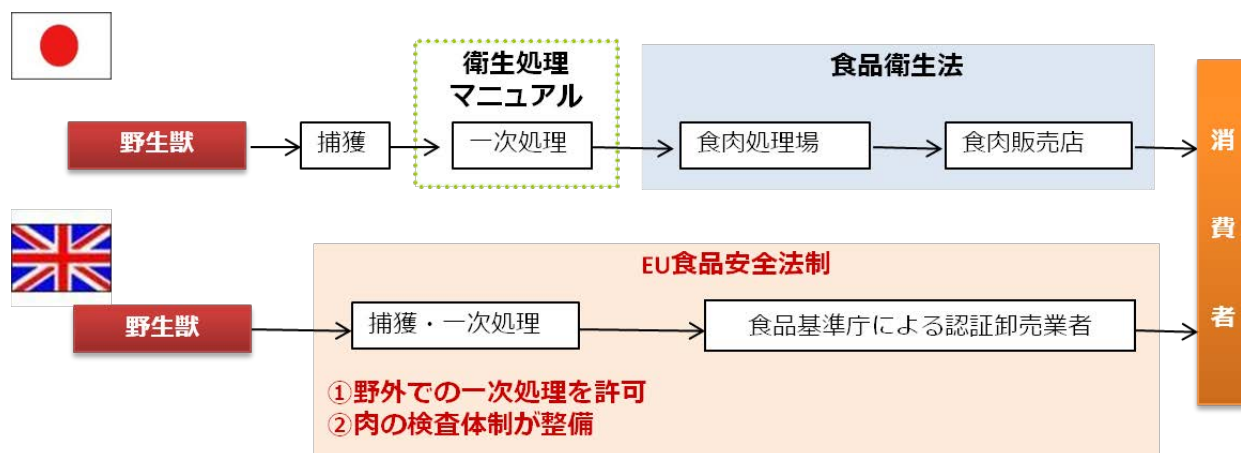


図1 野生ジカが消費者に届くまでの流れ。日本では捕獲と一次処理（内臓摘出、頭部と四肢切断、はく皮）の部分で法律で定められていないため、県独自の衛生処理マニュアルやガイドラインが作成されています（一次処理部分のみ）。それに対して、英国では捕獲時から法律のもと管理されており、流通にまわすシカ肉は検査が必要とされます。また、日本では認められていない野外での一次処理が認められています。



図2 本研究において野外でエゾシカの内臓を摘出している様子。吊下げて行うのが衛生的とされますが、英国では、汚染源となり得る内臓を速やかに摘出することが衛生的であり、かつ肉の冷却が進み肉質に良いとされています。

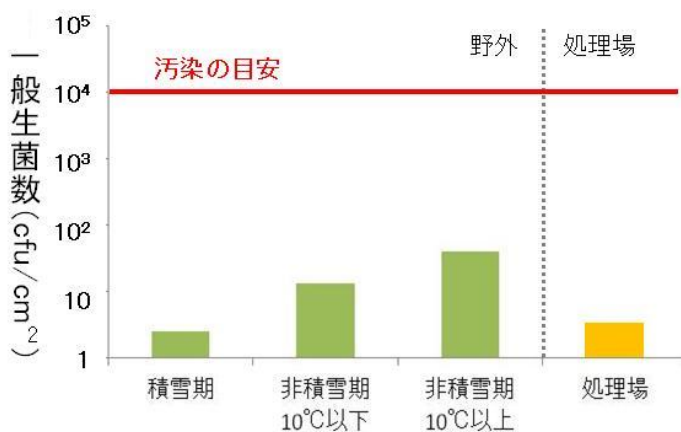


図3 野外で内臓摘出した枝肉と解体処理施設で内臓摘出した枝肉の衛生レベルの比較。肉の表面を3-4か所ふき取り、一般生菌数を検査しました（図は首周囲の結果）。野外で内臓摘出した枝肉は、どの季節でも一般的な汚染の目安である10000cfu/cm²を下回っていました。



図4 シカの足につけられたタグ（写真は英国国有林のもの）。このシカに異常がないということが書かれており、野獣肉検査資格者のサインと資格番号が記載されます。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

世界遺産の島・小笠原諸島の森林に復活したハシナガウグイス ークマネズミ根絶がもたらした生物相の回復ー

野生動物研究領域
森林植生研究領域
研究コーディネータ

川上 和人
阿部 真
牧野 俊一

要 旨

世界自然遺産の小笠原諸島では、貴重な生態系の保全のため外来種の管理が行われています。クマネズミはIUCN（国際自然保護連合）が認定している侵略的外来種で、小笠原の多くの島に侵入しています。無人島の西島では、森林総合研究所と環境省による徹底したクマネズミ駆除が行われ、ほぼ根絶状態となっています。以前はこの島に生息する陸鳥はメジロとイソヒヨドリだけでしたが、駆除後の2009年から固有亜種ハシナガウグイス*が定着しました。今回の結果から、クマネズミが陸鳥にとって深刻な脅威となっていること、クマネズミを根絶すれば短期間で鳥類相が回復しうることが明らかになりました。またクマネズミ根絶は、再発見された希少鳥類オガサワラヒメミズナギドリの保全にも役立ちます。

小笠原諸島の自然

小笠原諸島は、本州から1000km南にあります。他の島や大陸とつながったことがないため、コウモリ以外の哺乳類が自然分布せず、多くの固有種が進化しています。その価値が世界的に認められ、2011年6月にユネスコにより世界自然遺産として登録されました。その一方で、外来生物が野生化し生態系に危機をもたらしています。

小笠原のクマネズミ問題

クマネズミはIUCN（国際自然保護連合）の「世界の侵略的外来種ワースト100」にランキングされ、多くの島で野生化し生態系に悪影響を与えています（図1）。小笠原諸島では海鳥や陸産貝類、植物種子などを捕食しており、世界自然遺産の価値を下げてしまう恐れもあります。

森林総合研究所は、(財)自然環境研究センターとともに、殺鼠剤を用いた効率的なクマネズミ駆除手法を開発し、2007年に無人島である西島において、根絶寸前まで低密度化させることに成功しました。その後、2009年には少数のクマネズミが目撃されましたが、2010年に環境省による再駆除が行われ、その後は生息が確認されていません。

ハシナガウグイスの出現

小笠原諸島には11種の陸鳥が生息していますが、西島にはメジロとイソヒヨドリの2種しかいませんでした。一部の陸鳥が生息しない島が他にもありますが、原因はわ

かっていませんでした。そこで、クマネズミ駆除の後の鳥類相の変化をモニタリングしました。すると、2009年からは、島に生息していなかったハシナガウグイスという小鳥が継続的に多数観察されるようになりました（図2）。この鳥はウグイスの固有亜種で、小笠原諸島にのみ生息します。クマネズミの根絶後わずか数年でこれらの鳥が西島に定着したことから、この鳥はクマネズミにより卵やヒナ捕食など大きな被害を受けていたものと考えられます。

クマネズミは植物の種子を主に食べますが、樹上生活に適応しており、鳥の巣を襲うこともあります（図3）。天敵となる哺乳類のいない島で進化してきたハシナガウグイスは、捕食者への警戒心が少なく、外来のクマネズミの影響を受けやすかったのでしょう。クマネズミの根絶により、陸鳥が短期間で定着することが確認されたのは、日本で初めての事例です。この成果は、効果的な外来種対策が在来生物相の回復に有効であることを示す事例と言えます。さらに、絶滅したとされていたオガサワラヒメミズナギドリ（図4）を私たちは昨年小笠原で再発見しましたが、この鳥もクマネズミに捕食されることがわかっています。クマネズミ根絶はこうした希少鳥類の保全にも役立つのです。

本研究は、環境省委託地球環境保全等試験研究費によって実施した研究プロジェクト「小笠原諸島における帰化生物排除後の森林の順応的管理方法の開発」の成果です。



図1 小笠原諸島で野生化している
クマネズミ



図2 ネズミ駆除後に西島で発見
されたハシナガウグイス



図3 樹上に設置した人工巣内
の卵を捕食するクマネズミ
(提供 関東森林管理局)



図4 小笠原諸島父島で見つかった
オガサワラヒメミズナギドリ
(提供 小笠原自然文化研究所)

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

生物多様性の第二の危機を緩和する林業活動

森林昆虫研究領域
森林植生研究領域
アメリカ地質調査所
岩手県立大学
東北地域環境計画研究会
研究コーディネータ

山浦 悠一（現北海道大学）、滝 久智
佐藤 保
J. Andrew Royle
島田 直明
浅沼 晟吾
牧野 俊一

要 旨

近年、採草地や若い森林が減少したため、こうした明るい場所（開放地）を生息地とする「遷移初期種」の生物の減少が指摘されています。これは、自然に対する人間の働きかけの減少に起因するもので、「生物多様性第二の危機」とも言われています。カラマツ新植地や伐採跡地で遷移初期種の生物を調査したところ、伝統的な採草地や放牧地に匹敵する種数が生息すると推定されました。皆伐を含む人工林の適切な収穫と管理を行うことにより、林業は新植造林地という開放地を地域に持続的に提供することで、遷移初期種の減少の緩和に貢献することが明らかになりました。

生物多様性第二の危機とは？

戦後日本の土地利用は大きく変化しました。牛馬の飼料や肥料のための採草地の多くは姿を消し、また里山の若い雑木林が放置されたり、針葉樹が植林された結果、成熟した暗い林が多くなっています。また、近年では森林伐採面積も減少するとともに、河川の氾濫などによる自然攪乱も人間の手で抑えられています。そのため、攪乱によって維持される開放地を好む生物、いわゆる「遷移初期種」の全国的な減少が指摘されています。

こうした、人間による自然への働きかけが減少したためにもたらされた生物の減少は「生物多様性国家戦略 2010」においても「生物多様性の第二の危機」として指摘され、大きな注目を集めています。

一方、皆伐が生物多様性に悪影響を及ぼすという皆伐に否定的な意見もあり、皆伐と生物多様性の科学的評価が求められています。

カラマツ人工林で遷移初期種を調べる

戦後盛んに造成された人工林は、現在成熟期に入りました。国際的な木材需要の増加も相まって、国内の人工林の利用が注目されています。人工林で伐採・植栽が行なわれると、その後一定期間、開放的な環境が維持されます。こうした人工林の林業活動は、遷移初期種の減少緩和に貢献しないでしょうか？

岩手県北上高地において、4種類の開放地（放牧地、伝統的な採草地、カラマツ新植造林地、カラマツ人工林伐採跡地）と2つの森林（カラマツ人工林、老齢天然林）に調査地を設定し、ハナバチ、鳥類、植物について、種数の調査を行いました（図1、2）。ハナバチは一般に開放地で種数が多いことが知られているので、全種を開放地

性のグループと見なし、また鳥類と植物は、既存の資料をレビューして、それぞれを「遷移初期種」と「森林性種」とに分けました。そのうえで、開放地と森林とで、種数の比較を行いました。調査で得られた種数は、個体数の影響を考慮して補正しました。

鳥類の遷移初期種と植物の遷移初期種の種数、およびハナバチの種数は、2つの森林よりも4つの草地で高く、さらに4つの開放地の間でおおよそ等しい値を示しました（放牧地での植物の種数が少ないことを除く）（図3）。すなわち、これらの生物群の遷移初期種にとっては、カラマツ新植造林地や伐採跡地は、生息地としての価値は伝統的な採草地に匹敵すると言えます。

人工林の積極的利用による生物多様性保全

このように、既存の人工林における林業の復活は、皆伐による新植造林地という開放的な環境を広域的・持続的に提供することにより、遷移初期種の再生に貢献することが期待されます。しかし、忘れてならないのは、高齢な森林を好む生物も多く存在することです。したがって、地域全体としてはいろいろな年齢の森林をバランス良く保つことも必要なのです。

本研究は、平成21年度科学研究費補助金（特別研究員奨励費）「全国的に減少している遷移初期種を再生するための景観生態学的な森林伐採手法の提案」による成果です。

研究成果の詳細は以下をご覧ください。
Yamaura et al. (2012) Biodiversity and Conservation, 2012, 21:1365-1380



図1 調査地の一つ（北上山地のカラマツ新植地）



図2 調査対象とした遷移初期種の例
左からハナバチの一種（写真：山浦悠一）、ビンズイ、（先崎理之）、ヤマオダマキ（山浦悠一）

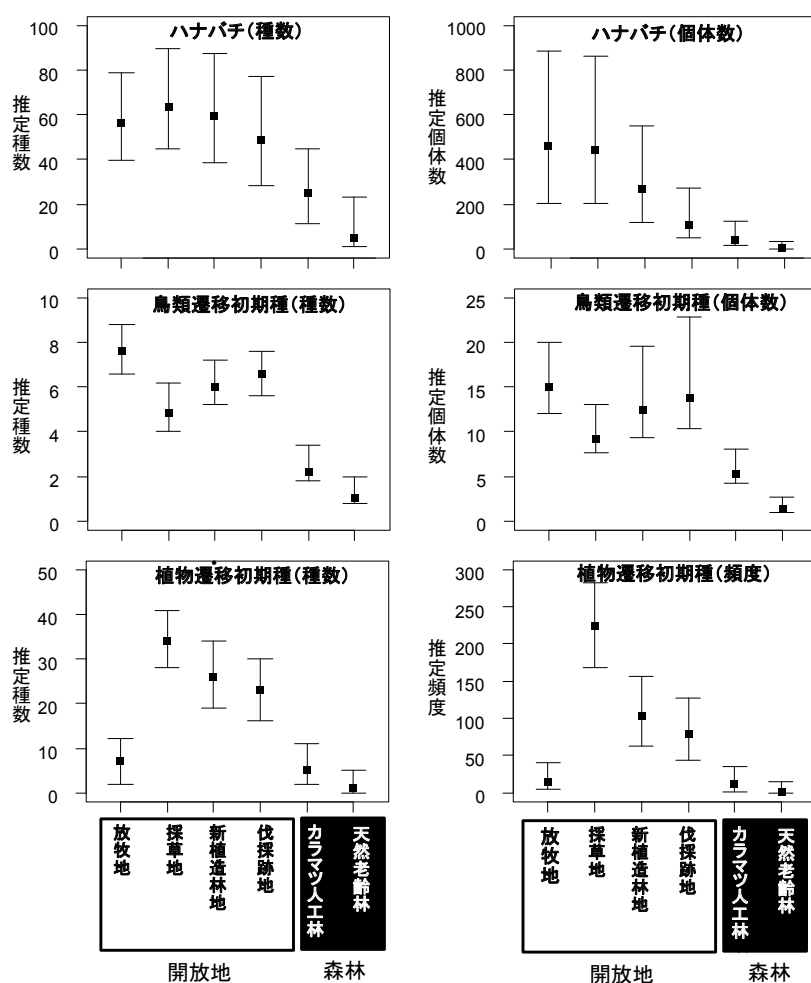


図3 6タイプの生息地（4タイプの開放地と2タイプの森林）におけるハナバチ、鳥類（遷移初期種）、植物（遷移初期種）の種数と個体数（植物の場合は頻度）。いずれも統計モデルを用いて補正した中央値。上下の線は95%信用区間。

東北地方等における マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種の開発

林木育種センター育種部
東北育種場
関西育種場

藤澤 義武
板鼻 直榮
久保田 正裕 ほか

要 旨

クロマツは海岸林の景観や環境の保全に重要な樹種ですが、松くい虫被害で危機的な状況にあります。その対応策の一つとして、抵抗性品種の開発が進んでいますが、クロマツはもともマツノザイセンチュウに弱いこと、最近になって急激に被害が北上したこと、東北地方や日本海側ではこの地域のクロマツの抵抗性品種が少ないことなどから、その開発の促進が求められていました。そこで、これらの地方で松くい虫激害地の生存木から種子等を集めて苗木を養成し、マツノザイセンチュウの接種検定を進め、12品種を開発しました。これらは海岸林の再生に資することが期待されます。

景観や環境を守るマツ林

クロマツ林は、海岸部での飛砂の害の防止、白砂青松といわれる景観維持のはたらきなど、古くから親しまれてきましたが、松くい虫被害により甚大な枯損が発生しています。この被害に対応するため、これまでに数多くの抵抗性品種が開発され、被害のあった地域に植栽するなど、海岸林の再生・維持や景観の保全に活用されています。また、未曾有の大災害である東日本大震災で失われた海岸林の再生に抵抗性品種の苗が求められているところです。

松くい虫被害はマツ材線虫病によって引き起こされ、抵抗性品種はその病原体であるマツノザイセンチュウに対して抵抗性を有しています。この線虫は北米原産といわれ、現地に自生するテーダマツなどは抵抗性を有しており、大きく枯れることはありません。抵抗性品種はこのテーダマツ並みの抵抗性をもつよう開発されたものです。

マツ林の再生を願って

松くい虫被害は、当初西日本の太平洋側に主として発生し、抵抗性品種が開発されましたが、近年になって被害が北上し、東北地方や日本海側に拡大してきました。この

地域ではクロマツの抵抗性品種が少ないことから、抵抗性品種の開発が求められていました。

そこで、森林総合研究所ではこれらの地域でマツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発を強化し、松くい虫激害地の生存木から種子等を集めて（写真1）苗木を養成し、マツノザイセンチュウの接種検定を進めた結果（写真2）、平成23年度には東北で6品種、関西の日本海側で6品種、計12品種の抵抗性クロマツ品種を開発することができました（写真3）。

抵抗性マツを生産するための採種園造成においては、自家受粉による悪影響を防ぎ、質の高い種子を生産するために、同じ品種が隣り合わないよう最低9品種が必要となります。これまで、東北地方の日本海側の抵抗性クロマツは7品種しかなく、品種数不足により抵抗性品種の採種園が造成できませんでした。しかし、今回5品種が開発されたことにより合計12品種となり、採種園造成に必要な品種数が確保されました。今後、松くい虫に強い海岸林の再生に必要な抵抗性クロマツ種苗の本格的な生産に取り組むことが可能となります。



写真1 激害地の生存木からの球果の採取風景
(秋田県由利本荘市)



写真2 検定用の苗木の育成とマツノザイセンチュウ接種検定の様子



新潟（村上）クロマツ44号



島根（浜田）クロマツ6号

写真3 東北地方等で開発されたマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種

マツノザイセンチュウに対するクロマツの抵抗性の機構解明

林木育種センター育種部
森林バイオ研究センター

渡辺 敦史
平尾 知士

要 旨

松くい虫被害に対応するため、マツノザイセンチュウ抵抗性品種を開発し、それらから増殖した多くの苗木が各地に植栽されています。しかし、これら品種がなぜ抵抗性を有しているのか分かっていませんでした。

このたび、クロマツの抵抗性品種と一般のクロマツに線虫を接種し、遺伝子の発現を調査したところ、一般のクロマツでは、接種直後に、本来必要のない過敏感反応*が現れ、枯れが進行するのに対し、抵抗性品種では、過敏感反応がなく、自らの防御機構で線虫を抑えていることを明らかにしました。

松くい虫被害と抵抗性品種の開発

一般に「松くい虫」被害と呼ばれるマツ材線虫病によるクロマツやアカマツの被害は、我が国の森林病虫害被害では最大です。近年では、これまで被害のなかった青森県にまで北上するとともに、高標高地域にも被害が拡大してきました。マツノザイセンチュウという線虫が松くい虫被害の原因であることから当研究所ではこの線虫に対する抵抗性品種の開発を進め、これまでにクロマツ110品種、アカマツ208品種を開発し、それらから増殖した多くの苗木が各地に植栽されています(図1)。

これら抵抗性品種は、各地の松くい虫激害地で生き残ったマツの種子や穂木から養成した苗木に線虫を接種し、そのうち、健全に生育したものが選ばれましたが(図2)、なぜ抵抗性があるのかについては分かっていませんでした。抵抗性品種の効率的な選抜やさらに強い品種への改良のため、また、一般のマツがなぜ弱いのかについて明らかにするためにも、抵抗性機構の解明が望まれています。

抵抗性の機構解明

クロマツの抵抗性品種と一般のクロマツにマツノザイセ

ンチュウを接種し、その後の遺伝子の発現状態を調査しました(図3)。一般のクロマツでは、接種した翌日に数種の感染特異的タンパク質*の遺伝子が高いレベルで発現し、その後、枯れが進行しました。この現象は過敏感反応といわれるものに近く、内外の研究者が病徴の観察から指摘していたものです。

一方、抵抗性品種では、接種直後ではほとんど反応がなく、1週間後に数種の感染特異的タンパク質が、2週間後に細胞壁に関する遺伝子が中程度のレベルで発現する程度で遺伝子の発現が緩やかであり、このため、線虫を効果的に抑えました。

これらのことから、北米原産といわれ、我が国のクロマツやアカマツにとっては外来生物であるマツノザイセンチュウに対し、一般のクロマツでは、抵抗性品種では起こらない過敏感反応が生じることにより枯死に至り、大規模な被害が発生するのに対し、抵抗性品種では過敏感反応がなく、自らの防御機構で線虫を抑えていることが明らかになりました。

この成果は、抵抗性品種の効率的な選抜やさらに強い品種への改良に繋げることができます。



図1 海岸に植栽されているクロマツの抵抗性苗



図2 抵抗性個体を選抜するためのマツノザイセンチュウの接種

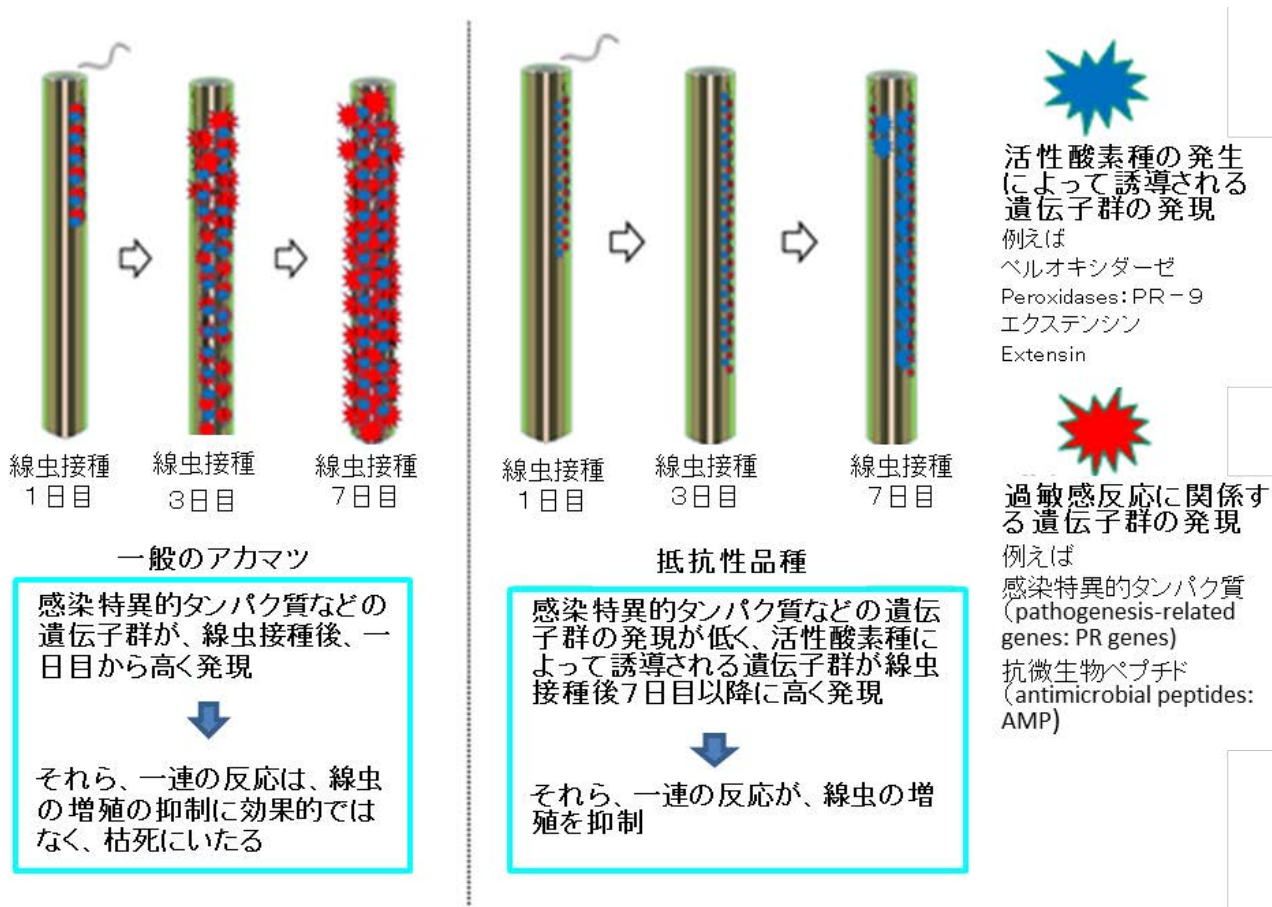


図3 線虫接種後に起こる抵抗性品種及び一般のクロマツの生体防御反応のイメージ

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

アカマツの遺伝変異を解明する

関西育種場
九州育種場
林木育種センター遺伝資源部

岩泉 正和
高橋 誠
那須 仁弥、大谷 雅人

要 旨

近年の松くい虫被害の拡大や地球温暖化等に伴い、日本の代表的な針葉樹であるアカマツ林の減少が心配されています。このアカマツの遺伝的な多様性を効果的に保全するためには、集団の多様性や遺伝的組成の地理的な分布パターンを明らかにし、これに応じた保全戦略をつくる必要があります。アカマツは日本では青森県から鹿児島県まで広く分布していますが、分布域全域を対象に、核 DNA を分析したところ、東北地域から西南地域に向かって多様性が増加する傾向がみられ、西南日本、中部日本及び東北日本で遺伝的な組成が異なることが明らかになりました。

アカマツ林の減少

アカマツは、日本、朝鮮半島および中国大陸の一部に生育し、建築用材や燃料としての利用の他、里山の景観を構成する重要な樹種として古くから日本人の生活に深く結びついていました。近年、日本各地のアカマツ林で、一般に「松くい虫」と呼ばれる「マツ材線虫病」による被害が拡大し、懸命な防除活動にもかかわらず、被害は南から北へ、また低標高域から高標高域へと拡大が進行しています（図1）。この被害地域の拡大には、近年の地球温暖化が一因になっているとも言われています。このような枯損が進むと、アカマツのもつ遺伝的な多様性が大幅に減少してしまう危険性が指摘されています。

遺伝的多様性を守るためには

同じ種類の生物でも地域により遺伝的な性質や遺伝的多様性は異なります。アカマツなど広い地域に分布する種の遺伝的多様性を効果的かつ効率的に保存するためには、遺伝的多様性が高い集団や他の地域と異なる遺伝的特性をもつ集団を重点的に保存する必要があります。近年、遺伝的多様性を解明するために DNA の変異の高い領域を分析する手法が発達し、様々な生物の分析に用いられています。

樹木の遺伝的多様性を保全するためには、天然林の一

部を保護地域や保護林に指定し、伐採を禁止するなどの措置がとられています。この場合、集団ごとの遺伝的多様性の情報は、保護すべき集団を選定する重要なよりどころとなります。さらに、マツノザイセンチュウ等の病虫害の急激な進行や未被害地域へ拡大などを考えると、人間の手によって今まで分布していなかった地域に積極的に移植するといった手段も必要になってきます。このような場合においても、アカマツ林の持つ遺伝的多様性を最大限に保持しつつ限られた用地に移植するためには、集団ごとの遺伝的多様性の情報は不可欠です。

遺伝的変異の地理的な傾向

青森県から鹿児島県までのアカマツ林62集団を対象に、アカマツの核 DNA を分析し、集団の遺伝的な構成の地域的な違いを解析しました。全体的に東北地域から西南地域に向かって多様性が増加する傾向がみられ、それぞれの集団の遺伝的な組成を日本地図上に表してみると、大きく西南日本、中部日本及び東北日本で異なっていることが明らかになりました（図2）。

今回得られた結果は、球果や種子の形状といった外部形態などの情報と統合させ、アカマツの遺伝的多様性を確実に保存していくための戦略の策定に活用していきます。



図1 マツノザイセンチュウで被害を受けたアカマツ林
マツノザイセンチュウ被害は、東北地方にまで北上しています（岩手県紫波町）。

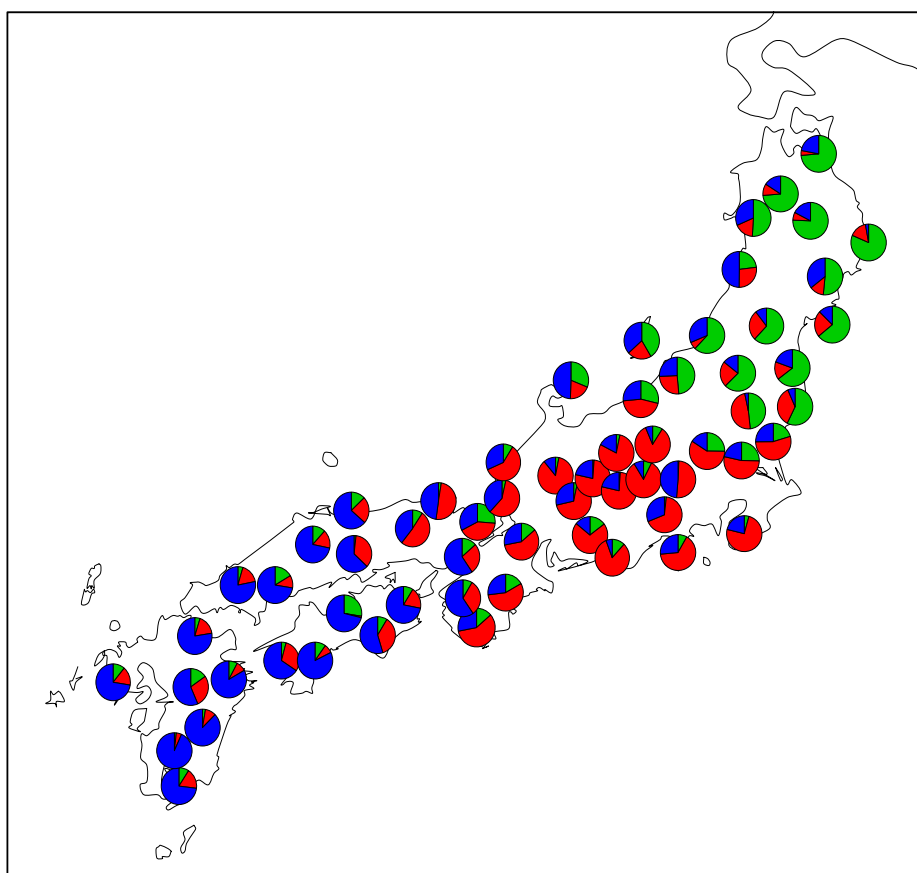


図2 核 DNA 分析によるアカマツ天然林の遺伝的組成の解析
円グラフの色はそれぞれの天然林の持つ遺伝的な組成を示し、西南日本のアカマツは青色の要素を多く持ち、中部日本は赤色の要素を、東北日本は緑色の要素を多く持つことを示しています。

日本産樹木における DNA バーコード分類システムの開発

森林遺伝研究領域
木材特性研究領域
多摩森林科学園
林木育種センター遺伝資源部
北海道支所
関西支所

吉丸 博志、吉村 研介、鈴木 節子、津村 義彦
能城 修一
勝木 俊雄
大谷 雅人
河原 孝行
藤井 智之

要 旨

日本産樹木は 1,100 種以上ありますが、葉緑体 DNA 上の 3 領域の塩基配列情報を用いる DNA バーコーディングにより、約 75% の樹種の同定が可能となりました。樹木の個体のどの組織も同じ DNA をもっていますので、根、材、種子、葉の断片など形態だけでは識別しにくい材料の同定など幅広い応用が考えられます。

DNA バーコーディングとは

DNA バーコーディングは、特定の遺伝子領域の短い塩基配列情報（DNA バーコード）を用いて生物種の同定を行う方法です。既知の生物種について DNA バーコード領域の塩基配列を調査して、同定の基準となる塩基配列情報（リファレンスバーコード）を取得することにより、新たなサンプルがどの種であるか、またどの種に近いかを推定できるようになります。植物については、葉緑体 DNA の *rbcl* 部分塩基配列（約 600 塩基）と *matK* 部分塩基配列（約 840 塩基）を DNA バーコードとして用いることが、2009 年の第 3 回国際 Barcode of Life 会議で決定されました。

日本産樹木の標本試料収集

日本産樹木は約 1,100 種（変種まで数えると約 1,300 種）と言われています。これらについて、さく葉標本と DNA 試料をセットにした収集を行い、6,997 個体、1,037 種（変種も数える）を収集しました（図 1）。1 つの種についてなるべく複数の地域から個体を収集することに努めました。これにより同じ種でも地域による違いがある可能性をチェックすることができ、また人為的ミスも発見しやすくなります。

日本産樹木の DNA バーコーディング

収集した DNA 試料について、*rbcl*、*matK* に加えて、*trnH-psbA* 遺伝子間領域の塩基配列（約 152 ないし 983

塩基）を解析しました。後者を加えた理由は、近縁種の識別効率を高めるためで、実際に 2007 年の第 2 回国際 Barcode of Life 会議ではこの領域も推奨されており、多くの国でこの領域の情報も蓄積されています。

対象とする DNA バーコード領域を実験室で大量に増幅した後に塩基配列を解析しますが、非常に広い範囲の分類群を調べるため、分類群によっては増幅の効率が低くなる場合があります。*rbcl* で 92.4%、*matK* で 66.5%、*trnH-psbA* で 87.5% の増幅成功率でした（表 1）。塩基配列情報を比較して、種の識別効率をまとめた結果、*rbcl* と *matK* では 63% の種が、さらに *trnH-psbA* も加えた場合には 74% の種が DNA バーコードにより識別できました（図 2）。残りの 26% の種は近縁種との区別ができなかったものです。

DNA バーコーディングでは植物の様々な組織から抽出される DNA について解析できますので、既知の樹木に関するデータベースの構築により、苗、材、根、種子、葉の断片など形態だけでは確定しにくい材料で樹種を識別することが可能となります。

本研究は、科学研究費補助金「森林資源保全のための樹木遺伝子バーコードの基盤構築と有効性に関する研究（20248017）」による成果で、東北大学鈴木三男教授、九州大学館田英典教授、東京大学伊藤元己教授との共同研究です。また、各地の大学演習林などのご協力もいただきました。

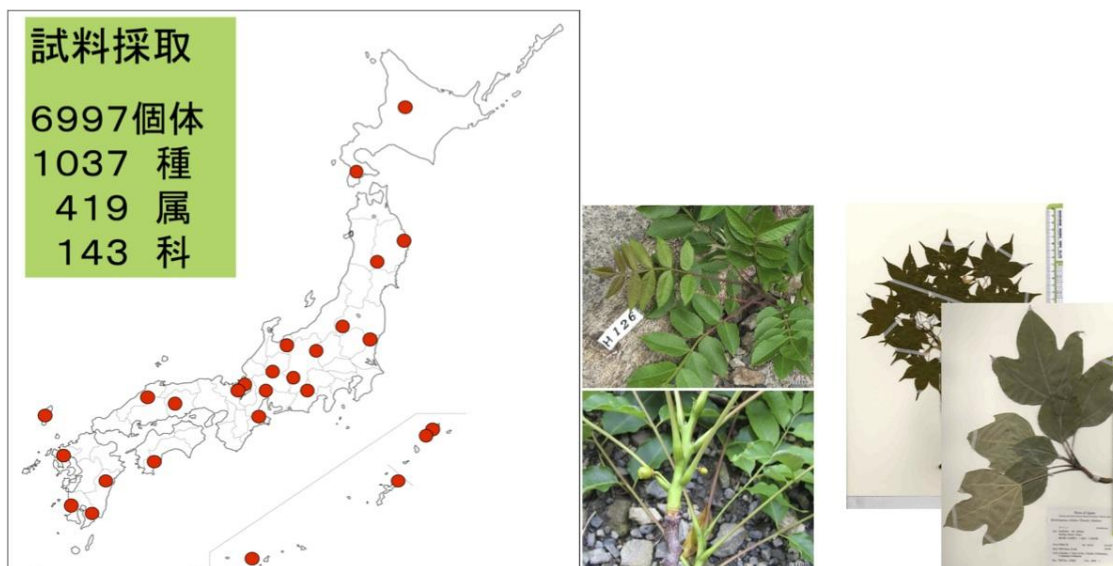


図1 国内の広い範囲から樹木のさく葉標本と DNA 試料の収集

表1 3領域の DNA バーコードについて DNA の増幅が成功した割合

| | 供試した 個体数 | 増幅できた 個体数 | 増幅の 成功率(%) | 塩基配列を解析できた | | | |
|------------------|-------------|--------------|---------------|------------|-----|-----|-----|
| | | | | 個体の数 | 種の数 | 属の数 | 科の数 |
| <i>rbcl</i> | 6997 | 6466 | 92.4 | 6001 | 976 | 397 | 140 |
| <i>matK</i> | 3844 | 2557 | 66.5 | 2454 | 615 | 255 | 101 |
| <i>trnH-psbA</i> | 6945 | 6075 | 87.5 | 5104 | 930 | 381 | 133 |

DNA の増幅の成功率は、*rbcl* で 92.4%、*matK* で 66.5%、*trnH-psbA* で 87.5% でした。ここから塩基配列を解析できた種数はそれぞれ、976 種、615 種、930 種でした。

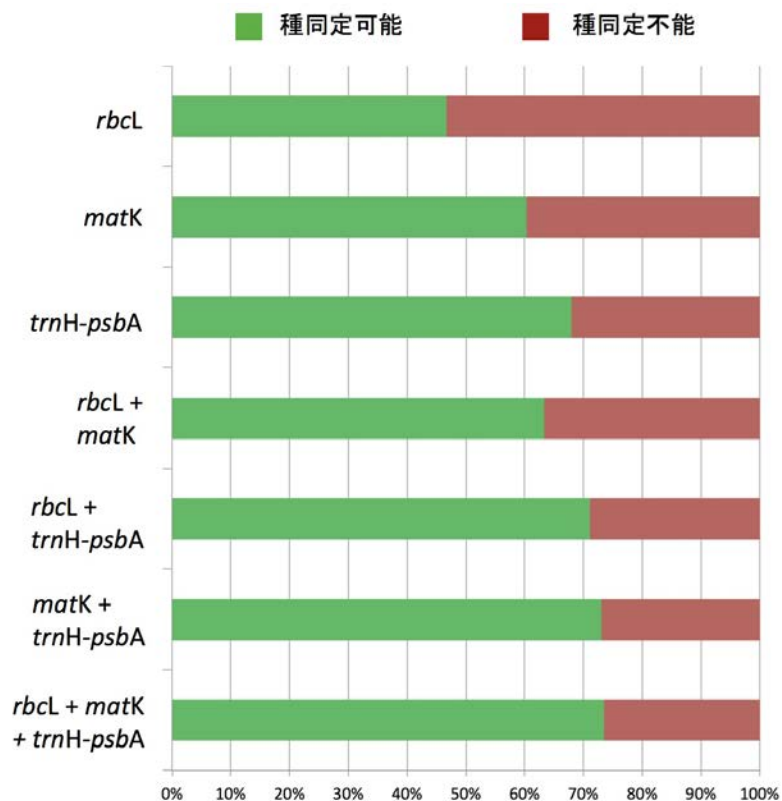


図2 DNA バーコーディングによる日本産樹木の識別効率
3箇所領域を用いることにより、識別効率は約 74% になります。

スギ雄性不稔遺伝子に連鎖する DNA マーカーの開発 —DNA による無花粉スギ識別の道が拓ける—

森林遺伝研究領域
生物工学研究領域
研究コーディネータ

森口 喜成、伊原 徳子、内山 憲太郎、
上野 真義、松本 麻子、津村 義彦
二村 典宏
篠原 健司

要 旨

スギ花粉症対策として、無花粉スギ（雄性不稔スギ）* の利用に向けた取り組みが各地で進められています。無花粉スギの選抜や新品種の作出には、膨大な労力と時間がかかるため、DNA 解析による簡便な識別手法の開発が期待されています。本研究では、針葉樹で最も多くの遺伝子（2,431 遺伝子）で構成されるスギ連鎖地図* を作製し、雄性不稔遺伝子（*ms1*）が第 9 連鎖群に存在することを明らかにしました。また、*ms1* に近接した DNA マーカー* を明らかにしたことで、解析に使用した交配家系では 96% の精度で無花粉スギを正しく識別することができました。

研究の背景

近年、スギ花粉症は我が国の大きな社会問題になっています。林業分野におけるスギ花粉症対策の基本は、花粉発生源を減少させることです。そのため、無花粉スギ（雄性不稔スギ）（図 1）の利用に向けた研究が各地で進められてきました。優良な無花粉スギの実生苗を効率的に生産するには、より多くの無花粉スギや雄性不稔遺伝子をヘテロ接合体* で持つ個体（この場合、雄性不稔遺伝子を持っていても片親の正常遺伝子があるため、無花粉スギにならない）が必要となります。しかし、無花粉スギは雄花が着生しないと識別ができませんし、雄性不稔遺伝子をヘテロ接合体で持つ個体は人工交配で作った子供を育て、花粉を確認してようやく識別できるため、それらの選抜には膨大な労力と時間がかかります。また、実生苗での無花粉スギの識別は 3 年生になるまで確実にはできません。そのため、選抜効率を高める DNA 解析による識別手法の開発が望まれていました。

スギ高密度連鎖地図の作製

これまでに大規模収集してきたスギの発現遺伝子の塩基配列情報を利用して、今後のスギのゲノム研究の基盤となる 2,431 遺伝子から成る高密度連鎖地図を作製しました（表 1）。これは、針葉樹で最も多くの遺伝子で構成される連鎖地図で、非常に有用な情報を持っており、無花粉スギだけでなく、他の有用形質を持つスギについても、DNA 情報を利用した選抜手法を開発するための足が

かりになります。

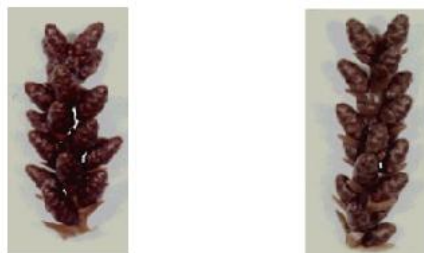
雄性不稔遺伝子の位置を連鎖地図上に特定

スギ高密度連鎖地図の情報から、雄性不稔遺伝子（*ms1*）が第 9 連鎖群にあることを明らかにしました（図 2）。一般的に、遺伝子と DNA マーカーは近いほど一緒に子供に遺伝します。*ms1* の近くの DNA マーカーを用いることで、解析に使用した交配家系では 96% の精度で無花粉スギを正しく識別することができました。今回開発した DNA マーカーは、*ms1* をヘテロ接合体で持つ個体の家系内選抜も同程度の確率で行うことができると期待されます。これにより、無花粉スギの選抜や新品種の作出にかかる労力や時間を大幅に削減し、花粉症対策品種の育種の加速化が期待できます。今後は、雄性不稔遺伝子 *ms1* の実体を解明する予定です。

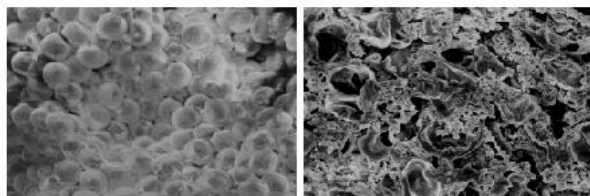
本研究は、富山森林研の斎藤真己主任研究員、国際農研の谷尚樹主任研究員、元新潟大の平英彰教授との共同研究です。また、本研究は、林野庁事業「遺伝子組換えによる花粉発生制御技術等の開発事業」、及び生研センターイノベーション創出基礎的研究推進事業「スギ優良個体の選抜のためのゲノムワイドアソシエーション研究」による成果です。

詳しくは Moriguchi et al. (2012) BMC Genomics 13: 95 をご覧ください。

雄花



花粉



正常なスギ

無花粉スギ

図1 無花粉スギの雄花と電子顕微鏡写真
左は花粉が正常に発達している通常のスギ、右は無花粉スギ。無花粉スギでは花粉粒は見られません。

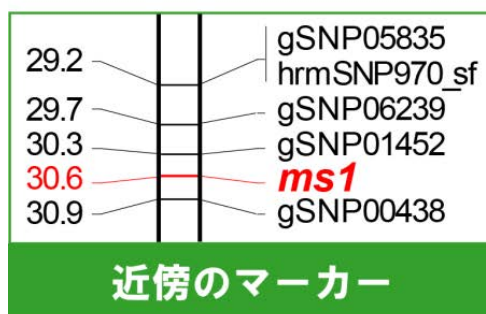


図2 無花粉スギの原因遺伝子（雄性不稔遺伝子）を含む領域の連鎖地図
第9番目の連鎖群を示しています。図の右側はDNAマーカーの名前。左側
は各DNAマーカー間の間隔。赤で示したのが雄性不稔遺伝子(*ms1*)の位置。
*ms1*の最も近くに位置するマーカーがgSNP01452及びgSNP00438です。

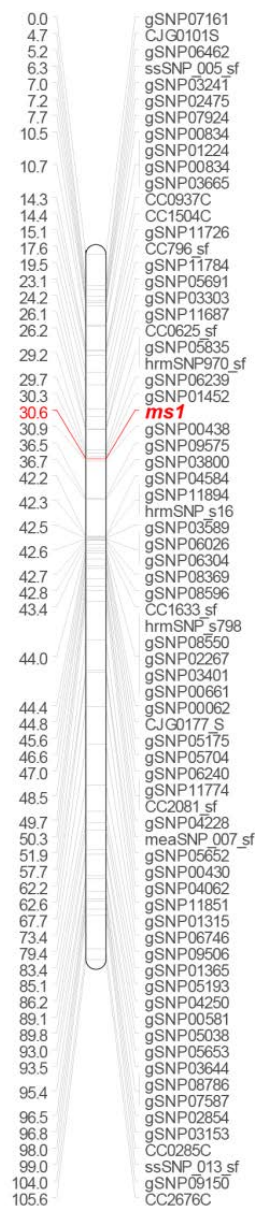


表1 針葉樹でこれまでに作製された連鎖地図の情報

| 樹種 | マーカー数 | 連鎖群数 | 総地図距離 (cM) | 平均マーカー 間距離 (cM) | 引用文献 |
|---|------------------|------------|------------------|--------------------|----------------------------------|
| フランスカイガンショウ (<i>Pinus pinaster</i>) | 1,182 | 12 | 1,994 | 1.7 | Ritter et al. 2002 |
| クロトウヒ × アカトウヒの交雑 Species complex (<i>P. mariana</i> × <i>P. rubens</i>) | 1,124 | 12 | 1,845 | 1.6 | Pelgas et al. 2005 |
| クロトウヒ (<i>Picea mariana</i>) | 1,111 | 12 | 1,914 | 1.7 | Kang et al. 2010 |
| クロトウヒ × F ₁ (クロトウヒ × アカトウヒ) (<i>P. mariana</i> × (<i>P. mariana</i> × <i>P. rubens</i>)) | 1,216 | 12 | 1,865 | 1.5 | Kang et al. 2011 |
| スギ (<i>Cryptomeria japonica</i>) | 2,431 (1,261) | 11 (11) | 1,392 (1,405) | 0.6 (1.1) | 最新データ (Moriguchi et al. 2012) |

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

ユーカリからアルミニウムを無害化する新しい物質を発見

生物工学研究領域
バイオマス化学研究領域
研究コーディネータ

田原 恒
橋田 光、大塚 祐一郎
大原 誠資、篠原 健司

要 旨

世界の陸地の約 3 割を占める強い酸性の土壌では、有害なアルミニウムが溶け出して植物の生育を妨げています。強い酸性の土壌でも、よく生育する樹木にオーストラリア産樹木のユーカリがあります。なぜユーカリが強い酸性の土壌に耐えられるのかを調べたところ、ユーカリがこれまで知られていない物質によってアルミニウムを無害化していることを発見しました。この新しいアルミニウムを無害化する物質は、ポリフェノールの一種の加水分解性タンニンであることを明らかにしました。今回の発見を上手に応用すれば、強い酸性の土壌でも生育する樹木や作物の開発、新たな土壌改良剤の開発が可能になります。

研究の背景

世界の陸地の約 3 割は、強い酸性の土壌で覆われています。強い酸性の土壌では、土壌を構成している粒子から、有害なアルミニウムが溶け出てきます。そのため、植物は根を伸ばすことができず、枯れてしまったり、成長が悪くなったりします（図 1）。オーストラリア産樹木のユーカリ（*Eucalyptus camaldulensis*）は、強い酸性の土壌でも育つことができ、高濃度のアルミニウムにも耐えられます（図 2）。私たちは、ユーカリがなぜ高濃度のアルミニウムに耐えられるのか栽培実験を行い調べました。

新しいアルミニウム無害化物質の発見

ユーカリは、アルミニウムを無害化する物質を作り、アルミニウムから身を守っているのではないかと考え、ユーカリの成分を分析しました。その結果、ユーカリの根からアルミニウムを無害化する新しい物質を発見しました。発見した物質は、加水分解性タンニンと呼ばれるポリフェノールの一種 Oenothien B であることを明らかにしました（図 3）。この物質は、アルミニウムと結合して、アルミニウムを無害化できる部位を 22 個も持っていました。これまで植物で最も強力にアルミニウムと結合すると知られていたクエン酸以上に強くアルミニウムと結合することも分かりました。このアルミニウム無害

化物質は、ユーカリの根に約 1% と高濃度に含まれており、茎や葉にも含まれています。一方、アルミニウムに弱い樹木（*Melaleuca bracteata* や *Populus nigra*）について調べたところ、この物質は含まれていませんでした。また、ユーカリを根の周りにアルミニウムがある状態で育てると、この物質が根で増えることも分かりました。ユーカリはこの物質とアルミニウムを根で結合させ、無害化することで高濃度のアルミニウムに耐えられるのではないかと考えています（図 4）。

今後の展開

ユーカリ樹体内でアルミニウム無害化物質がどのように合成されているか、その仕組みを解明すれば、アルミニウムに耐えられる（すなわち、強い酸性の土壌に耐えられる）樹木や作物の開発につながります。また、新たな土壌改良剤の開発も考えられます。酸性の荒廃地を緑化したり、強い酸性の土壌で作物を育てたりできれば、地球温暖化の原因である二酸化炭素の森林への固定や、人口増加による食糧不足の緩和に貢献できます。なお、本研究は東京大学の小島克己教授との共同研究です。

本研究は、科学研究費補助金「ユーカリが有する新規アルミニウム無害化物質の構造と機能の解明」（21780158）により行いました。



図1 強い酸性の荒廃地（酸性硫酸塩土壌；インドネシア、南カリマンタン）

強い酸性の土壌では、有害なアルミニウムが溶け出してくるため、植物が育たない。



図2 強い酸性の土壌に植えられたユーカリ
ユーカリ (*Eucalyptus camaldulensis*) は、有害なアルミニウムを高濃度に含む強い酸性土壌でも生育できる。

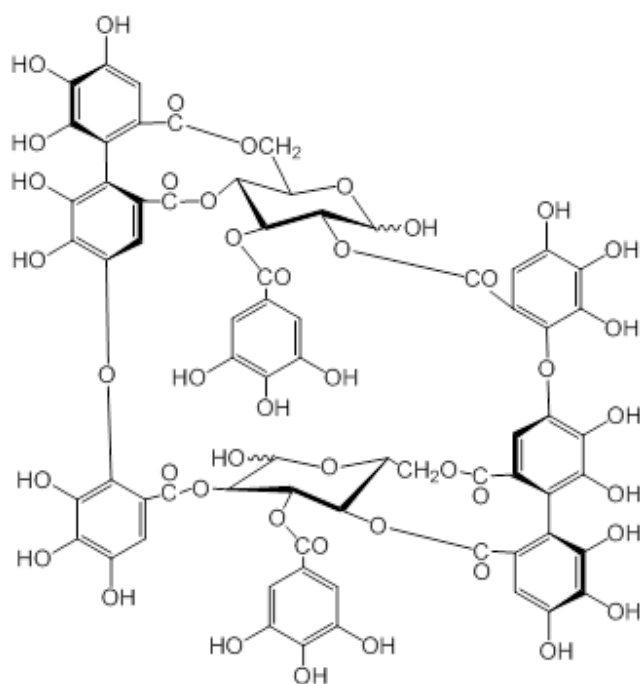


図3 ユーカリから発見したアルミニウム無害化物質の構造
この物質（加水分解性タンニン Oenothlein B）は、アルミニウムと結合できる部位（フェノール性水酸基）を22個持っている。

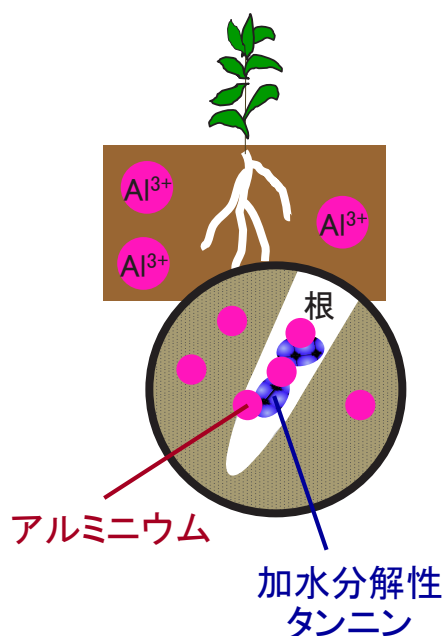


図4 加水分解性タンニンによる
アルミニウムの無害化
ユーカリは、根に侵入したアルミニウムを加水分解性タンニンと結合させ、無害化している。

LED 照明を利用したきのこ栽培技術の開発

| | |
|--------------|-------------------------|
| きのこ・微生物研究領域 | 宮崎 安将、宮崎 和弘、中村 雅哉、佐野 広明 |
| 東京工業大学 | 金子 真也 |
| 岡山大学 | 鎌田 堯 |
| 岩手生物工学研究センター | 坂本 裕一 |
| 長野県林業総合センター | 増野 和彦、古川 仁 |
| 徳島県森林林業研究所 | 阿部 正範、西澤 元 |
| 長野県野菜花き試験場 | 中村 公義、小山 智行、風間 宏、鈴木 大 |
| 群馬県林業試験場 | 國友 幸夫、阪田 春生 |
| 奈良県森林技術センター | 小島 靖 |

要 旨

栽培きのこの品質は、光の質によって大きく左右されます。きのこの形質や生産性の向上と、省エネルギー化を図る目的で、きのこ栽培に最適な LED* 装置とその照射方法を開発しました。エノキタケ・シイタケ・マイタケでは、収量の増加と高い市場価値を付与することができました。ナメコ・ブナシメジ・バイリング・アラゲキクラゲでは、エネルギーコストを押さえつつも、従来の蛍光灯照明と同等の生産が可能であることを示しました。エノキタケ栽培では、生産現場で問題となる菌床の剥離現象を効率的に回避できることが分かりました。エリンギでは、形状を自在にコントロールし、より市場に好まれる製品を作出することに成功しました。

きのこ形成と光の関係

LED を用いた省エネルギー型照明を利用した新しいきのこ栽培法を開発するため、基礎研究及び実用技術開発研究の両面から取り組んでいます。基礎研究では、世界で初めて、きのこにも光を感じる「目」となるタンパク質があることを発見しました。また、青色の光を受け取ってきのこの形成を開始させるとともに、その形状を制御していることが明らかになりました。そこで、きのこ栽培にこの青色光が最も効果的であり、この波長を照射できる青色 LED 装置を導入しました。また、シイタケなどのきのこは、より強い光があたるほど濃く着色しますが、その原因物質が「メラニン」に由来することを世界で初めて明らかにしました。きのこの栽培時に照射光を調節することによって、きのこの色の濃淡を自在に制御できる可能性を示しました。

青色 LED 照明を利用したきのこの栽培技術の開発

「きのこ」と一言に言っても、シイタケとエノキタケではキュウリとレタスぐらいの生物学的な違いがあります。このため、各々のきのこに特化した栽培法が必要です。そこで、各種きのこに最適化した、光照射技術の開発を行いました。エノキタケ、シイタケやマイタケでは、青色 LED 照射が収量増加や市場価値の高いきのこを栽培できることを示しました（図1）。ナメコ、ブナシメジ、バイリングやアラゲキクラゲでは、青色 LED 照射すること

により栽培時の省エネルギー化を図りつつ、従来の蛍光灯照明と同等のきのこ生産が行えることがわかりました。特に、ブナシメジでは、25%の節電効果が栽培現場で検証できました。エノキタケ栽培において問題とされる菌床剥離*は、栽培不良や収穫きのこの異物混入につながり、生産コストの増加をもたらしますが、青色 LED 照射によって劇的に回避できました。エリンギは栽培時に青色 LED を照射することにより、より市場に好まれる形状のきのこを作出することが可能です。

生産者に優しい白色 LED 照明を利用した栽培技術の開発

青色 LED 照明を利用した栽培技術は優れた特徴を持ちますが、青色のみの栽培環境（図2）は生産意欲の減退等に繋がるため、生産者からは白色光の栽培環境が求められます。そこで、複数の LED を組み合わせることにより、青色光を含みながらも、より我々の目にも優しい白色 LED 装置を開発しました。この白色 LED 照明を用いた各種きのこの栽培においても、ほぼ同等の収量や付随効果を確保することに成功しました。マイタケでは、着色抑制の効果もあり、新たな商品開発に役立つことも分かりました（図3）。

本研究は、農林水産技術会議委託プロジェクト「きのこの光応答メカニズムの解明及び高度利用技術の開発」により行いました。

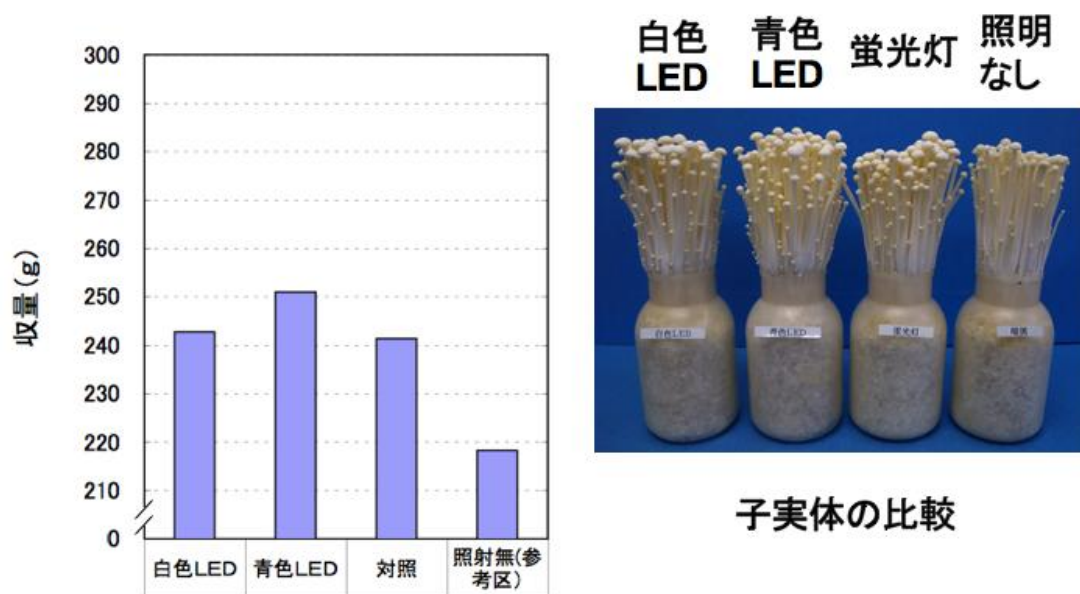


図1 青色LED照明を利用したきのこ栽培技術の開発
エノキタケ栽培では、青色LED照明は蛍光灯照明に比べ収量を増加させた。



図2 青色LED照明の生産現場

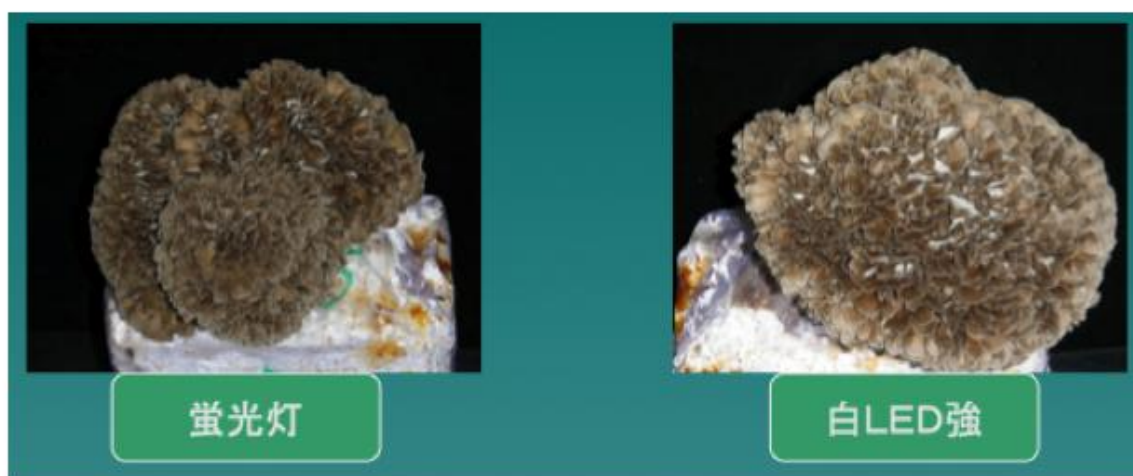


図3 白色LED照明を利用した新たなマイタケの開発
白色LED照明で、マイタケの着色が抑えられた。

* については、巻末の用語解説をご覧ください。

ヒラタケの放射性セシウム吸収を抑えた栽培法を開発

きのこ・微生物研究領域
放射線医学総合研究所

平出 政和、砂川 政英、根田 仁
吉田 聡

要 旨

東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、一部地域のきのこ類から放射性セシウムの規制値を超えるものが検出されました。消費者に安全なきのこを供給するため、また生産者の生活を守るためにも、安全なきのこの栽培方法が求められています。本研究では、ヒラタケを用いて放射性セシウムの吸収量を調査するとともに、放射性セシウムを吸着する物質をヒラタケの栽培培地へ混ぜることにより、放射性セシウムが検出されないヒラタケの栽培に成功しました。この物質を用いることにより、放射性セシウムが検出されないきのこの栽培が期待されます。

ヒラタケの放射性セシウムの吸収量

原子力発電所の事故により環境中に放出された放射性物質のうち、今後も注意して調査が必要なものは2種類の放射性セシウム（Cs-134とCs-137）です。きのこはこれらの放射性セシウムを吸収しやすいことが知られていますが、個々の栽培きのこの吸収量はほとんど報告されていません。そのためヒラタケの放射性セシウム吸収量を調べたところ、湿重量にて培地濃度の0.64～0.67倍になることがわかりました（図1）。

ヒラタケのセシウム吸収量を抑える物質

2012年4月より、きのこが含まれる一般食品の放射性セシウムの基準値が、より消費者の安全に配慮したキログラムあたり100ベクレルになりました。一方で、消費者からは、さらに低い基準値を望む声もあります。そこで、放射性セシウムと性質がほぼ同じで無害なCs-133を指標として、培地に加え栽培することでヒラタケのセシウムの吸収を抑える物質を探索したところ、フェロシアン化鉄（Ⅲ）（顔料プルシアンブルーの成分）が最も優れていることがわかりました（図2）。猛毒であるシアン化カリウムに名前が似ているので、安全性に疑問を感じる人もいられるかもしれません。しかし、フェロシアン化鉄（Ⅲ）中のシアンは鉄と強固に結びついており、通常の状

態で分解することはありません。また、フェロシアン化鉄（Ⅲ）は日本のみならず世界で広く放射性セシウムの除去用の経口剤として使用されているほか、ヨーロッパでは放射性セシウムの排出用として家畜の飼料へ混入することが認められています。しかしながら、我が国では食品添加物としては認められていません。

フェロシアン化鉄（Ⅲ）による放射性セシウム吸収の抑制

放射性セシウムを含む培地でフェロシアン化鉄（Ⅲ）の効果を検証しました。フェロシアン化鉄（Ⅲ）を用いずに栽培したヒラタケからはキログラムあたり湿重量で143ベクレルの放射能が検出されました（表1）。一方、同物質を用いて栽培したヒラタケの放射能濃度は検出限界以下でした。このように、フェロシアン化鉄（Ⅲ）は菌床栽培きのこの安全性を高める可能性が強い物質です。本栽培法は、生産現場への導入が容易であり、他のきのこ栽培での利用においても同様な効果が期待できるため、実用化に向けて研究しています。

本研究は、平成23年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「植物から農畜産物への放射性物質移行低減技術の開発」による成果です。

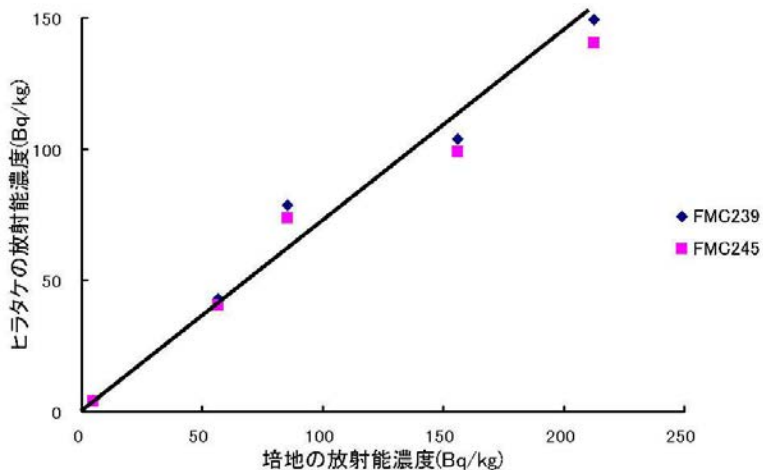


図1 2種類のヒラタケ (FMC239、FMC245) の放射性セシウムの吸収量
ヒラタケと放射性セシウムの種類によらず、吸収量はほぼ同じ。数値は湿重量あたりの Cs-134 と Cs-137 の合計量を示す。

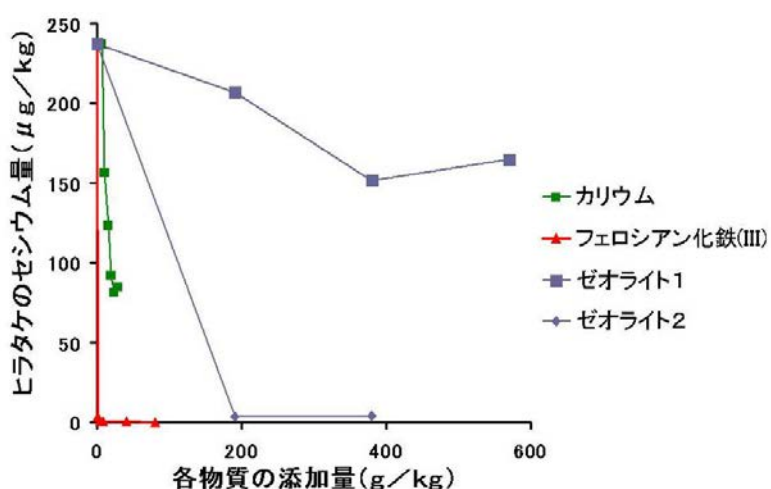


図2 ヒラタケのセシウム吸収を抑える物質の探索
フェロシアン化鉄 (III) は少量でセシウムの吸収を阻害した。ゼオライトは沸石とも呼ばれる鉱物（ルミノ珪酸塩）で、イオン交換材料や吸着材料として利用されている。

表1 ヒラタケの放射性セシウム吸収量に与えるフェロシアン化鉄 (III) の影響

| | | フェロシアン化鉄(III)添加量 | | | |
|---------|--------|------------------|--------|--------|--------|
| | | (g/kg) | | | |
| | | 0 | 4.1 | 8.1 | 40.5 |
| 培地の放射能 | Cs-134 | 110 | 77 | 100 | 134 |
| 濃度 | Cs-137 | 132 | 101 | 133 | 184 |
| (Bq/kg) | 合計 | 242 | 178 | 233 | 318 |
| ヒラタケの放 | Cs-134 | 62 | < 3.3* | < 3.8* | < 2.6* |
| 射能濃度 | Cs-137 | 81 | < 3.8* | < 3.0* | < 2.6* |
| (Bq/kg) | 合計 | 143 | - | - | - |

フェロシアン化鉄 (III) は放射性セシウムの吸収を阻害する。それぞれの数字は湿重量あたりで、数値 * は検出下限値を示す。

スギ花粉に含まれる放射性セシウム濃度の推定手法を開発

植物生態研究領域
企画部
森林植生研究領域

清野 嘉之
赤間 亮夫
金指 達郎

要 旨

東京電力福島第一原子力発電所の事故により飛散した放射性物質が、スギ花粉の飛散によって、さらに拡散することが懸念されていました。事故後に形成されたスギ雄花を福島県内 133 箇所 で採取し、セシウム 134 とセシウム 137 の濃度を測定したところ、地上 1 m の空間線量率と雄花の放射性セシウム濃度との間には正の相関があることが分かりました。放射性セシウムの雄花から花粉への移行率は現在調査中ですが、その結果を合わせると、文科省が公表している航空機観測による空間線量率データを利用して、スギ花粉に含まれる放射性セシウム量を広域に推定できます。

研究の背景

東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質が飛散した地域には、多くのスギが生育しています。このスギがつくる花粉に放射性セシウムが含まれている場合、飛散した花粉による被曝が心配されていました。スギ花粉の飛散範囲や飛散量は、スギ花粉飛散予報モデルなどにより、既に予測が行われています。しかし、花粉に含まれる放射性セシウムは測定例がなく、科学的なデータが必要です。スギ花粉に含まれる放射性セシウム濃度がわかれば、スギ花粉とともにどれくらいの量の放射性セシウムが飛散するかを広い地域にわたって推定できます。

そこで、森林総合研究所では、福島県を含むいろいろな場所で、事故後に形成されたスギ雄花の放射性セシウム濃度を調べました。

スギ雄花の放射性セシウム濃度

事故後に形成されたスギ雄花を福島県の 133 箇所 で採取し、セシウム 134 とセシウム 137 の濃度を測定（図 1）したところ、計測したスギ雄花の放射性セシウム濃度は、乾燥させた雄花 1 kg 当たりで最大 253,000 ベクレル、最小 100 ベクレル未満でした。また、地上 1 m の空間線量率と雄花の放射性セシウム濃度との間には正の相関があることが分かりました（図 2）。放射性セシウムが雄花から花粉にどの程度移行するかについては現在調べていますが、その結果を合わせると、文科省がホームページで公表している航空機観測による空間線量率データと、今回得られた知見を利用して、スギ林がつくる花粉に含

まれる放射性セシウム量を広域に推定し、スギ花粉による人の放射性セシウムの被曝量を推定することができます。

林野庁は、この調査結果を踏まえて、飛散する全てのスギ花粉に 253,000 ベクレルの放射性セシウムが含まれていると仮定した場合でも、スギ花粉の吸入による被曝量は一時間あたり 0.000192 マイクロシーベルト（東京都新宿区で観測された一時間あたりの放射線量の約 0.4 %）という試算結果を公表しています（詳しくは林野庁の公表資料（*）をご覧ください）。

今後の課題

調べたスギ雄花は事故後の 7 月以降につくられたので、雄花に含まれていた放射性セシウムは、飛散した放射性セシウムがスギの樹体内の何らかの経路を通じて、雄花に運ばれたと考えられます。今後、放射性物質は崩壊による減少とともに、落葉や雨水とともに生態系内を移動するので、空間線量率やスギの放射性セシウム濃度も変化していく可能性があります。こうした森林生態系での変動を明らかにして、花粉による放射能被曝の軽減や予防に生かしていきます。

* 林野庁の公表資料

<http://www.rinyamaff.go.jp/j/press/hozen/pdf/120208-03.pdf>

本研究は、交付金プロジェクト「スギ花粉に含まれる放射性物質に関する研究」により行いました。

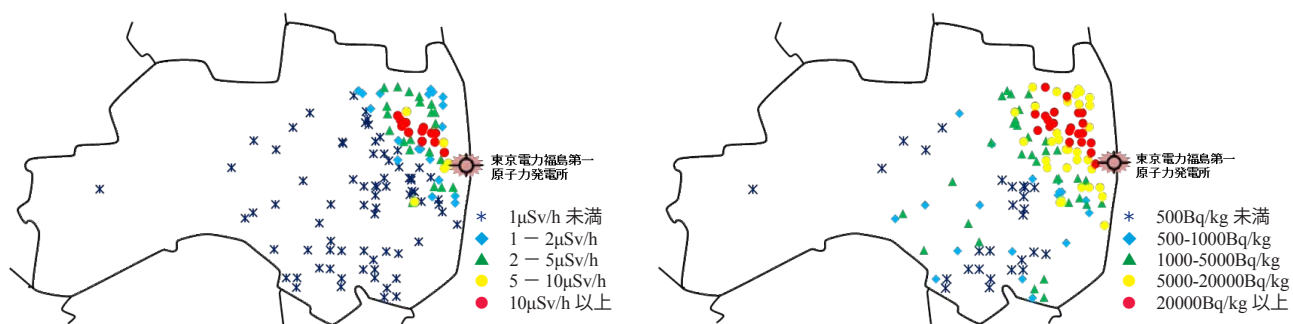


図1 福島県内の調査地の空間線量率（左）とスギ雄花の放射性セシウム濃度（右）

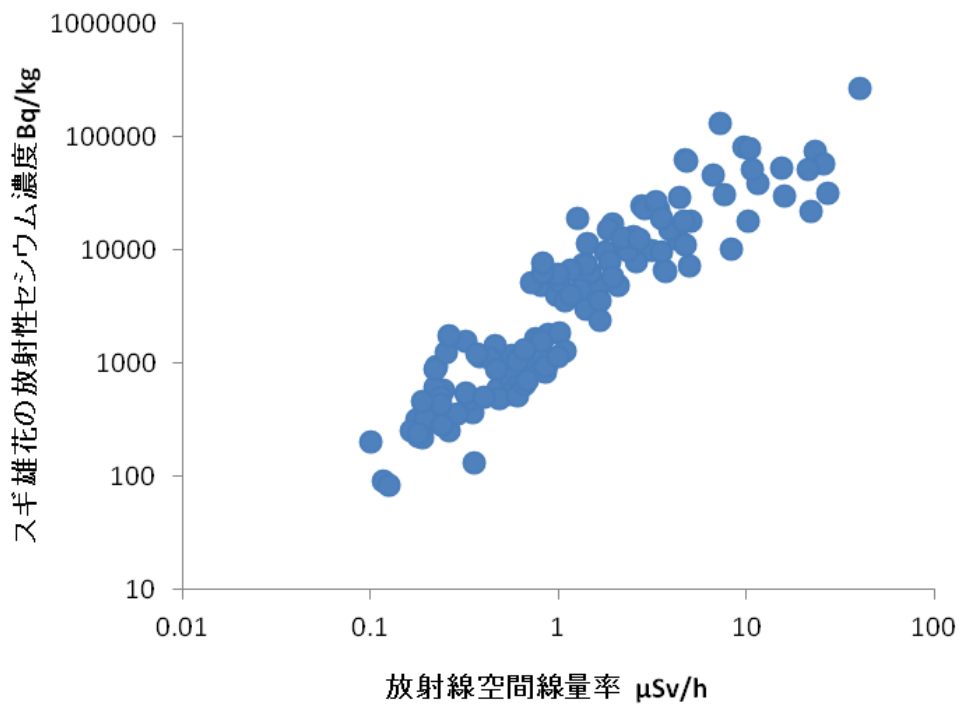


図2 空間線量率とスギ雄花の放射性セシウム濃度の関係
空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）は自然量補正済で地上1mの計測値。
放射性セシウム濃度（ Bq/kg ）は12月1日時点の値。

スギの雄性不稔化に必要な遺伝子プロモーターの開発

森林バイオ研究センター 栗田 学、小長谷 賢一、谷口 亨

要 旨

スギ花粉症はわが国の深刻なアレルギー疾患となっています。我々は、スギ花粉発生源対策の一つとして、遺伝子組換えにより花粉の無い雄性不稔スギを作出する研究を進めています。雄性不稔化のためには、花粉形成時期にスギの雄花で発現するプロモーターの制御下で、花粉形成を阻害する遺伝子を働かせることが必要です。本研究では、スギの雄花で特異的に発現するプロモーターを単離し、その発現時期や発現組織を解析しました。また、そのプロモーターを利用した雄性不稔化ベクターを作製し、遺伝子導入したところ、モデル実験植物であるシロイヌナズナを雄性不稔化させることを確認しました。

スギの雄花で特異的に発現する遺伝子プロモーターの単離と解析

スギの雄花で特異的に発現する遺伝子群を 3 つの異なる発達ステージ（雄花形成初期、花粉四分子期、成熟花粉期）から単離しました。各遺伝子群について塩基配列を解析し、スギの花粉形成途中で発現すると予測される遺伝子を選抜しました。これら遺伝子のプロモーターを単離して、それらの機能を解析したところ、スギやシロイヌナズナのタペータム（花粉形成時期に栄養分等を花粉に供給する組織）や発達途中の花粉で特異的に働くことが明らかになりました。

雄性不稔化ベクターの構築

バールナーゼ（RNA 分解酵素）遺伝子とバールスター（バールナーゼに対する阻害タンパク質）遺伝子を利用して、雄性不稔化ベクターを構築しました（図 1）。雄花で特異的に発現するプロモーターに連結したバールナーゼ遺伝子を導入すると、花粉形成時期のタペータムを破壊することにより、花粉形成が阻害すると考えられます。しかし、バールナーゼの RNA 分解酵素活性が高く、雄花以外の組織で発現すれば植物の生育に悪影響を及ぼす危険性があります。そこで、この悪影響を押さえるためのバールスター遺伝子もベクターに連結しました。

雄性不稔化ベクターの効果の検証

シロイヌナズナは、短期間（約 3 ヶ月）で花粉形成を調査することができます。そこで、雄性不稔化ベクターの効果を検証するために遺伝子組換えシロイヌナズナを作製しました。各種組換え体の花粉形成能を調べたところ、組換え体の中には花粉を形成しないものがありました（図 2）。このことより、スギの雄花で特異的に発現するプロモーターを利用した雄性不稔化ベクターは、シロイヌナズナの不稔化に有効であることが明らかになりました。現在、雄性不稔化ベクターを導入した遺伝子組換えスギの作出を進めています。

本研究で得られた成果は、遺伝子組換えによる雄性不稔スギの開発に役立つと期待しています。雄性不稔化は、遺伝子組換え樹木を野外で栽培した際に、花粉飛散により組換え遺伝子が拡散することを防止するためにも役立つ技術です。

本研究は、林野庁「遺伝子組換えによる花粉発生源制御技術等の開発事業」、農林水産省「遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究」による成果です。

成果の一部は Kurita, M ほか (2011) Breeding Science 61: 174-182 をご覧ください。

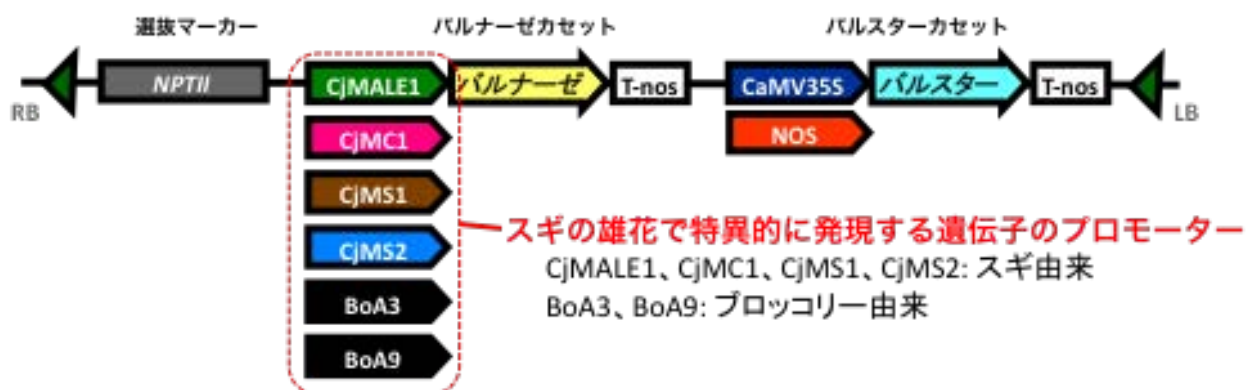


図1 雄性不稔化ベクターの模式図

花粉形成を阻害するバルナーゼ遺伝子、バルナーゼの異所的発現による悪影響を抑えるバルスター遺伝子、組換え体を選抜する選抜マーカー遺伝子から構成される。

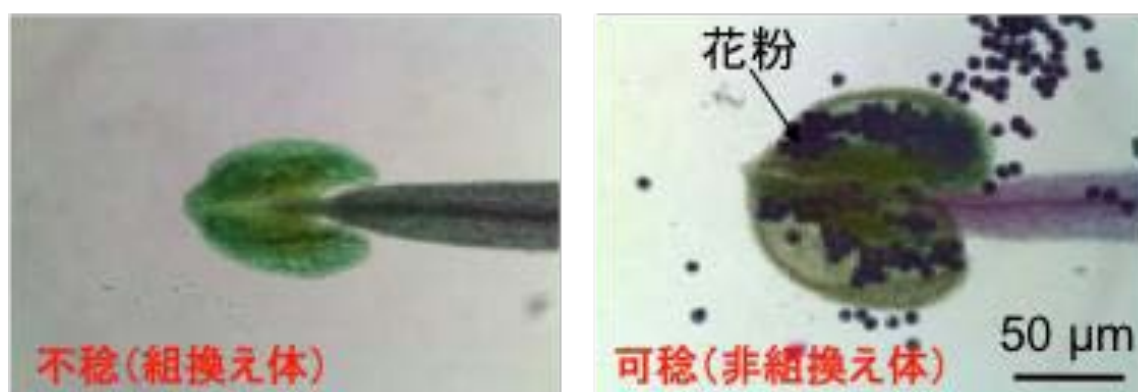


図2 CjMALE1 プロモーターを利用した雄性不稔化ベクターを遺伝子組換えしたシロイヌナズナの葯

組換え体では花粉は全く形成されず、非組換え体では正常な花粉が形成される。

用語解説

高温セット法 (P16)

十分に水を含んだ心持ち材を、乾球温度 120℃程度、湿球温度 90℃程度で数時間から 20 数時間行う処理のこと。

EST (Expressed Sequence Tag) (P18)

遺伝子等の目印となる短い塩基配列。

マイクロアレイ (P18)

ガラス基板上に遺伝子等の DNA 配列を数万から 100 万種類程度配置し、細胞から単離した RNA を逆転写した cDNA をその基板上で結合させることで、その細胞で発現する EST を網羅的に解析する手法。(cDNA : RNA の塩基配列を転写した DNA)

常時微動 (P20)

地盤や建物は、人体では感じないほどの微小な振動で絶えず揺れており、その揺れを常時微動という。

固有振動数 (P20)

この振動数で揺らすと激しく揺れる(「共振」を生じる)振動数。

平衡含水率 (P20)

木材・木質材料をある温度・湿度下で長時間放置したときに収束する含水率。

VOC (P20)

VOC とは Volatile Organic Compounds の略で、常温で揮発しやすい有機化合物のこと。

外熱式ロータリーキルン (P26)

円筒を横に倒したような形の加熱装置で、筒の外から熱を加えることができる。目的により、炭化、焼却、ガス化(成果選集 24 ページ参照)などに使われる。

過酸化脂質 (P28)

脂質が酸素等の影響により過度に酸化されたものの総称で、様々な疾病の要因となる。環境汚染物質の一種である二酸化窒素は微量でも脂質を酸化し、過酸化脂質を生成する。

枝肉 (P44)

臓器、皮、頭部、足を切除したあとの、骨格に筋肉が付いている状態のもの。

ハシナガウグイス (P46)

小笠原諸島にのみ生息するウグイスの固有亜種。本州のウグイスに比べると、体が小さくくちばしが長いのが特徴。本州のウグイスが一夫多妻であるのに対し、ハシナガウグイスは一夫一妻であるなど、行動にも違いがある。小笠原諸島では髯島列島から硫黄列島まで広く生息していたが、北硫黄島、硫黄島など、一部の島では絶滅している。

過敏反応 (P52)

病原体に感染したときに現れる防御反応の一つ。感染を受けた細胞が急激に死ぬことで周りに感染が拡がることを防ぐ反応。

感染特異的タンパク質 (P52)

病原体の感染によって誘導されるタンパク質。このタンパク質が発現することで病原体への抵抗性が生じることが知られている。

無花粉スギ(雄性不稔スギ) (P58)

無花粉スギは 1993 年に初めて富山県で発見され(、一対の核内劣性遺伝子によって支配されることが報告され)た。現在までに 23 個体の無花粉スギが選抜され、4 種類の雄性不稔遺伝子 (*ms1*、*ms2*、*ms3*、*ms4*) が発見されている。通常のスギと雄花の外部形態に差異は認められないが、正常な花粉や雄花の発達は起こらず、花粉を飛散させることはない。詳細は、「無花粉(雄性不稔)スギのデータベース」を参照のこと。
(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/database.html#mukahunsugi>)

ヘテロ接合体 (P58)

ある遺伝子座において、母親と父親から由来する対立遺伝子が異なる個体をヘテロ接合体と呼ぶ。

連鎖地図 (P58)

DNA マーカーの染色体上の順番や間隔をあらわす地図。

DNA マーカー (P58)

品種や個体間の遺伝的な違いを調べるために使用する DNA 配列。

LED (Light emitting diode) (P62)

発光ダイオードの略称。従来よりも少ない電力で光量が得られるため、近年新たな照明として蛍光灯等と置き換わりつつある。

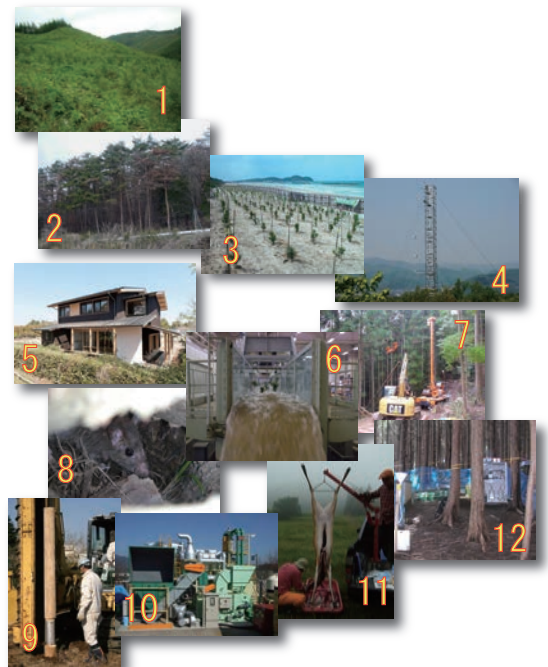
菌床剥離 (P62)

菌床(きのこを栽培するためのおがくず培地)が栽培途中ではがれてしまう現象。エノキタケ栽培において大きな問題となる。

表紙写真

- 1 北上山地のカラマツ新植地
(P.48 生物多様性の第二の危機を緩和する林業活動)
- 2 マツノザイセンチュウで被害を受けたアカマツ林
(P.54 アカマツの遺伝変異を解明する)
- 3 海岸に植栽されているクロマツの抵抗性苗
(P.52 マツノザイセンチュウに対するクロマツの抵抗性の機構解明)
- 4 タワーを用いた二酸化炭素 (CO₂) 吸収量測定の様子
(P.30 森林観測ネットワークで気候変動の影響を探る ―タワーを用いた二酸化炭素吸収量 (CO₂) の把握―)
- 5 モデル木造住宅の外観
(P.20 森林総研の木材関係の研究成果を実際の建物で検証するためのモデル木造住宅が完成しました)
- 6 水流に対する樹木の抵抗特性を知るための水路実験
(P.40 東日本大震災の津波による海岸林の被害とその被害軽減機能)
- 7 タワーヤードを用いた集材作業の状況
(P.10 欧州の先進タワーヤードはわが国の急峻で複雑な地形条件にも適合できる)
- 8 小笠原諸島で野生化しているクマネズミ
(P.46 世界遺産の島・小笠原諸島の森林に復活したハシナガウグイス ―クマネズミ根絶がもたらした生物相の回復―)
- 9 ステンレス鋼管をジョイントとした杭 (丸太) の現場実験の様子
(P.14 地盤改良杭としての間伐材の利用 ―間伐材の土木利用拡大を目指して―)
- 10 樹皮と林地残材を材料として熱と電気を作る、ガス化プラントの外観図
(P.24 木質バイオマスの利用で化石燃料を 20% カット)
- 11 野外でエゾシカの臓物を摘出している様子
(P.44 林産物としてのシカ肉を衛生的に管理する)
- 12 森林中の雨水や地中の土壌水を採取している様子
(P.36 森林が使い切れなくなった窒素)

裏表紙の写真：青色 LED 照明の生産現場
(P.60 LED 照明を利用したきこ栽培技術の開発)



森林総合研究所

平成 24 年版 研究成果選集

| | |
|---------|--|
| 発行日 | 平成 24 年 7 月 |
| 編集・発行 | 独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里 1 電話 029 (873) 3211 (代表) |
| お問い合わせ | 企画部研究情報科 |
| メールアドレス | kanko@ffpri.affrc.go.jp |
| ホームページ | http://www.affrc.go.jp |
| 印刷所 | 大成印刷株式会社 茨城県日立市東多賀町 4-11-7 電話 0294 (36) 1837 (代表) |

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。



平成24年版

研究成果選集

2012

独立行政法人 森林総合研究所

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

