

季刊 森林総研 第10号

特集

木質バイオマスの新たな利用

- ◆木材からバイオエタノールを製造する新しい方法
- ◆バイオプロセスによるリグニンからのグリーンプラスチックの製造
- ◆未利用木質バイオマスを利用した木材・プラスチック複合材料(混練型WPC)の開発

研究の“森”から

- 東南アジアに広がる熱帯二次林の炭素蓄積量を高精度で推定する
- 人工林の間伐率を、航空機レーザースキャナーを用いて広域かつ効率的に把握する
- スギ林と広葉樹林の土壌の違い
～落ち葉の分解プロセスからその理由に迫る～



独立行政法人
森林総合研究所

目次

巻頭言

◆木質バイオマスは次世代の要求に応えられるか

3

特集

木質バイオマスの新たな利用

◆木材からバイオエタノールを製造する新しい方法
～北秋田市に建設した実証プラント～

4

◆バイオプロセスによるリグニンからの
グリーンプラスチックの製造

◆未利用木質バイオマスを利用した木材・
プラスチック複合材料(混練型WPC)の開発

研究の“森”から

◆東南アジアに広がる熱帯二次林の炭素
蓄積量を高精度で推定する

◆人工林の間伐率を、航空機レーザー扫描仪
を用いて広域かつ効率的に把握する

◆スギ林と広葉樹林の土壌の違い
～落ち葉の分解プロセスからその理由に迫る～

12

研究領域紹介

◆生物工学研究領域
◆林業工学研究領域

18

これがお宝

◆屋外隔離ほ場

19

生き物通信

◆ヤクタネゴヨウ

20

森のはたらき

◆水源かん養機能

21

何でも報告コーナー

◆REDDプラスに関する我が国の総合的な
技術拠点が誕生！
～森林総合研究所REDD研究開発センター開設～

22

◆研究所長等懇談会が開催される

◆森林総合研究所 公開講演会＋オープンラボ開催

◆森林総合研究所研究報告

22

巻頭言

木質バイオマスは次世代の要求に応えられるか

地球温暖化が進むにつれてカーボンニュートラルなバイオマスが石油等化石資源の代替資源として注目されている。そして、バイオマスの中でも森林資源の利活用は今までもまして熱い視線が注がれている。

しかしながらここで気にとめておかねばならないことがある。バイオマスが再生可能でカーボンニュートラルであるという考え方には落とし穴があることだ。再生可能なバイオマスといえども生産量には限りがある。無計画に使えば底をつく。非効率的に使用すれば森林資源の過度の伐採になり、森林破壊にもつながりかねない。資源を無駄なく使うゼロエミッションの考え方は不可欠だ。ほとんど利用されていない間伐材や枝葉も含めて林地残材の新たな用途開発を進めて、少しでも利益が山に還元できれば、山に活気が戻り、資源の循環も進むことだろう。長年かけて育った木をいかに無駄なく効率よく使うかは今に生きるわれわれに課せられた課題だ。山からの搬出が経済的に合わないからではすまされない。ブレイクスルーが必要だ。木は伐らなければ育たない。伐って利用しなければ健全な森林環境は守れない。伐って利用し、山に少しでも利益を還元することで山が活気づき、元氣を取り戻すこ

とができるのではないだろうか。そこに用材としての利用以外の木質バイオマスとしての新たな用途開発があるように思う。わが国の森林事情に適合したわが国ならではの独自性のある森林資源の利用とそのため技術開発が行われることが大切だ。

画期的な技術革新は容易になされるものではない。着実な技術開発の積み重ねがあつてこそ、初めて円滑に動き出すものではないだろうか。もちろん、すぐに実用化に結びつく技術の開発も必要だし、木質バイオマスの利用にもそのようなものが多くあることも確かだ。しかし、今すぐに実用化に結びつく目先のことだけを考えずに少しばかりハードルは高くても先見の明を持って事に当たれることも必要ではなからうか。開発された技術は後戻りはない。一度開発された技術はその時には目の目を見なくても必ずや次のステップに進むときの踏み台になるものだ。そしてそこに木質バイオマスの利用の未来があるように思う。



谷田貝 光克

（秋田県立大学
木材高度加工研究所所長）

木質バイオマスの新たな利用

木材からバイオエタノールを製造する新しい方法

バイオプロセスによるリグニンからのグリーンプラスチックの製造

未利用木質バイオマスを利用した木材・プラスチック複合材料(混練型WPC)の開発



大原 誠資
(研究コーディネータ
(木質バイオマス利用研究担当))

森林の重要な機能の一つとして木材生産があります。木材を住宅・建築物等に使用すれば、そこに炭素を貯蔵することができます。前号(季刊森林総研第9号)の特集で紹介されているように、森林総合研究所では、全国に最も大量に存在するスギ材の利用拡大を図るため、スギ材から合板・集成材などの高次加工製品を製造する研究開発に取り組んでいます。製材品や合板・集成材を製造する過程では、木材として使われない間伐材や端材、枝葉、樹皮などの様々な木質バイオマスが多量に発生します。現在の木質バイオマスの発生量は、林地残材が約2,000万m³、製材工場等残材が1,070万m³、建設発生木材が1,180万m³と推計されています。これらの木質バイオマスはカーボンニュートラルであり、エネルギーや石油代替の材料として有効利用すれば、地球温暖化軽減に大きく貢献します。

木材は、主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンの3成分から構成されています。セルロース、ヘミセルロースの多糖類からは、糖化・発酵法によってバイオエタノールを製造することができます。木材の30%を占めるリグニンはパルプ製紙工場で燃焼してエネルギー利用しているだけで、材料としての利用はほとんど行われてきませんでした。森林総合研究所では、リグニンをバイオプラスチック等のグリーン材料素材に変換する研究に取り組んでいます。また、木材を成分分離することなく、木材のままを原料とした材料変換についても取り組んでいました。

本特集では、これらの中で現在、重点的に取り組んでいる

- 1) 木質バイオエタノール製造実証プラント
- 2) リグニンからのグリーンプラスチックの製造
- 3) 混練型木質・プラスチック複合材の開発

以上3つの研究成果を紹介します。



木材からバイオエタノールを製造する新しい方法 ～北秋田市に建設した実証プラント～



野尻 昌信

（きのこ微生物研究領域
微生物工学研究室長）

木質バイオマスからバイオエタノールを作る計画は、平成一九年に政府のバイオマスニッポン総合戦略推進会議が発表した「国産バイオ燃料の生産拡大工程表」の中に示されており、二〇三〇年には木質系バイオマスから二〇〇～二二〇万ℓのバイオエタノールを生産可能にする試算されています。そのため未利用のまま林地に残されている木材などを活用し、バイオエタノールへ変換する技術開発が進められています。

木質バイオエタノール製造技術の開発に向けて

木材の約七〇%を占めるセルロースやヘミセルロースなどの多糖類からバイオエタノールを製造する方法は決して簡単ではありません。これまでに様々な製造方法が提唱され、そのうちのひとつである硫酸を使用する技術は一部実用化されています。しかし硫酸法には、硫酸の回収や耐硫酸性の設備が必要であるなど問題点が多く、近年の世界的な研究の方向は、生物が生産する酵素を使って分解する方法に向かっています。一方で木材は酵素反応に強い抵抗性があり、木材を直接酵素処理し

ても全く分解することが出来ないという問題点があります。これは、リグニンという木材の残り三〇%を構成している物質が多糖類を保護していることによります。さらに、多糖類の主成分であるセルロースはデンプンと同じくグルコース（ブドウ糖）が一行に繋がった分子構造をしています。結合様式が異なるため、非常に水に溶けにくく、酵素反応が難しくなっています。

また、セルロースは結晶構造をとっているため、酵素分解もその結晶表面でしか起こらず、非常に難分解性です。これらのことから、セルロースに対して比較的大量の酵素を使わなければ完全に分解することはできず、高コスト要因となっています。そこで森林総合研究所では、木材に適切な前処理（アルカリ前処理）を行ってリグニンを除去し、木材を酵素分解可能な状態に変性すること、及び木材を効率的に分解できる酵素を安価に生産することを目的として研究を開始し、「エタノールの製造方法」（特開2008-92910）という技術を開発しました。

木質バイオエタノール製造実証プラント

この技術に基づき製造実証計画が平成二〇年度に林野庁の森林資源活用型「ユビビジネス創造対策事業」に採択され、秋田県北秋田市の協力の下、市のリサイクルセンター敷地内に、実証施設を建設しました（写真1）。この実証施設での主な技術開発ポイントは酵素分解のためのアルカリを使った木質バイオマスの

前処理と酵素の低コスト生産となっています（図1）。また、平成二年度からは森林整備効率化支援機械開発事業に移り、バイオエタノール生産時に溶出するリグニンをエネルギーとしてだけでなく、高付加価値なグリーンプラスチックなどに変換することも含めて製造実証を行うことになっています。



写真1 秋田県北秋田市に建設した木質バイオエタノール製造実証プラント

木質バイオマスの前処理

木材を酵素分解可能にするためのアルカリ前処理法は、水酸化ナトリウム水溶液にリグニン除去反応を促進するアントラキノンという薬剤を混合し、木材チップと共に、150～170℃に加熱し、約2時間圧力釜で煮ます。そうするとセルロースを保護していたリグニンがアルカリに溶解し、セルロースが酵素分解を受けやすくなります。このアルカリ前処理法は針葉樹や広葉樹、竹、一部の合板などほとんどの木質系バイオマスに適応が可能です。

バイオマス分解酵素の生産

木材の主成分であるセルロース、ヘミセルロースを分解する酵素は、主にカビの仲間が生産しています。その中でもトリコデルマという菌はセルラーゼ（セルロース分解酵素）生産量が非常に多く、市販のセルラーゼの主要な生産菌となっています。現在、このセルラーゼのコストが高く、エタノール価格をガソリン並みに下げることができません。酵素のコストを引き下げるためにはバイオエタノール製造施設と連動して酵素を生産し、酵素の製品化輸送・

アルカリ前処理

- ・150～170℃、2hr、水酸化ナトリウム使用。
- ・木材からリグニンを除き、酵素による糖化反応を可能にする工程。
- ・収率は約50%だが、残りは熱として回収する。
- ・アルカリ薬剤は、回収・再利用する。
- ・大規模化に対応可能。
- ・竹、広葉樹、廃材、古紙などにも適用可能。

酵素生産

- ・前処理したバイオマスを酵素生産原料に使用。
- ・バイオマス原料の分解に適した酵素を生産。
- ・エタノール工場内で自前で酵素を作ること大幅なコスト削減。
- ・酵素の精製は不要。
- ・酵素を在庫しないので、冷蔵保存など不要。

図1 森林総合研究所で開発している木質バイオエタノール製造の主な要素技術

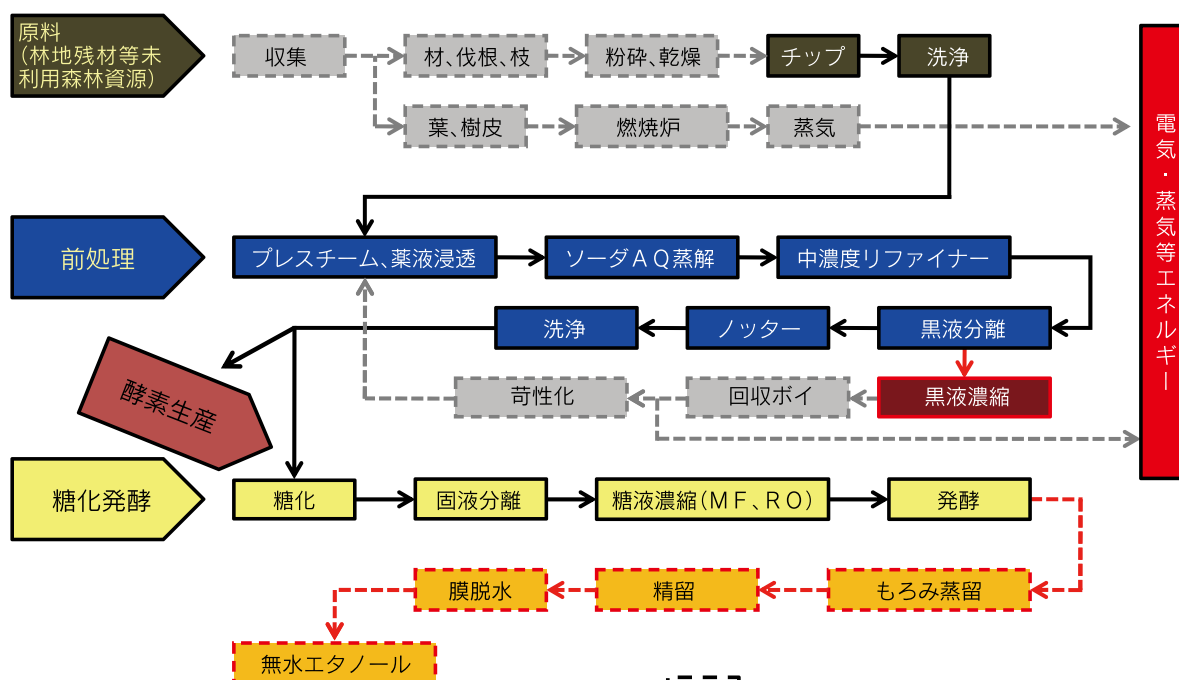


図2 木質バイオエタノール製造実証施設のバイオエタノール製造工程フロー

保管などのコストを削減することが必要です。

最近の私たちの研究により、酵素生産の誘導基質にバイオエタノールの原料となるバイオマスを使うことで、そのバイオマスの分解に最適な数種類の酵素を生産できることが分かってきました。セルロース結晶を分解するためには数種類のセルラーゼが必要であり、さらにバイオマスに含まれるヘミセルロースなどの分解にはヘミセルラーゼも必要です。そのためにも前処理した原料バイオマスを誘導基質として培養に使うことが重要なのです。

木質バイオエタノール製造工程と今後の方向

実証施設の工程は、アルカリ前処理のための蒸解工程、リグニンを除去する工程、前処理した木質を洗浄する工程、酵素や酵母を培養生産する工程、バイオマスを酵素分解する工程、酵素分解した液をろ過して清澄液を得る工程、その清澄液を逆浸透膜によって濃縮する工程、濃縮糖液を発酵する工程からなっています(図2)。

この実証施設は一時間に乾燥重量で約六〇kgのスギのチップを前処理することができ、一〇〇kgのスギチップから二〇〜二五tのバイオエタノールを生産する計画です。この実証施設では大規模生産でのエネルギー収支、コストなどのデータを蓄積するとともに、各工程での生産効率の向上を目指しています。そして木質バイオエタノールや、アルカリ前処理工程で出てくるリグニンの新たなマテリアル利用の実用化に必要な技術開発に取り組んでいます。

バイオプロセスによるリグニンからのグリーンプラスチックの製造



中村 雅哉

(きのこ微生物研究領域
チーム長)

リグニンは木材の約三〇%を占める芳香族系の天然高分子で、ベンゼン環に炭素数三個の側鎖が結合したフェニルプロパンと言う構成単位が不規則に結合した極めて複雑な化学構造を有しています(図3)。リグニンの利用法として、紙パルプ産業で行われてきた燃焼によるエネルギー回収以外に有効な利用法が見出されてこなかった原因は、このような化学構造の不均一性によると言えます。しかし、リグニンはセルロースに次いで存在量の多い天然有機化合物であり、また石油・石炭に含まれる成分に類似したベンゼン環化合物から構成されていることから、効率的に均一な化学構造を有する物質に交換することが出来れば、化石資源に代わるグリーンマテリアル素材となる得るバイオマス資源と考えられます。

リグニンからのグリーン素材(PDCC)への変換

私たちの研究グループは、リグニン分解微生物のリグニン分解代謝遺伝子を操作した組換え微生物を用いることにより、複雑な構造を有するリグニンを均一で単一な化合物に変換することを目的に研究を進めてきました。これまでに、土壌細菌の一種が多様な低分子リグニン分解物(図3)を2-ピロニ-46-ジカルボン酸(PDCC)

(図3)と言う中間代謝物を経て、最終的に二酸化炭素と水に分解することを見出しました。さらに、この菌株のPDCC生成に関与する各反応段階の酵素遺伝子を解明しました。これらのリグニン分解代謝系遺伝子を操作した組換え微生物を作成し、得られた組換え微生物で低分子リグニン分解物を代謝させることにより、PDCCを大量に生産・蓄積させることに成功しました。PDCCは、分子内に二つのカルボキシル基を有し、典型的な重合反応によって様々なポリマーを製造することが可能な化合物です。この特性を活かし、PDCCから様々なグリーンプラスチック材料を製造する研究開発を進めました。

高強度PDCCエポキシ接着剤の製造

PDCCからのグリーンプラスチック製造の一環として、まずPDCCエポキシ接着剤の製造を行いました。最初にPDCCを化学変換してエポキシ誘導体を合成し、次いでそれを無水マレイン酸等の硬化剤と反応させることにより、PDCCエポキシ接着剤を製造しました(図4)。その結果、ステンレス同士の接着で最大九〇MPa(1cm当たり約九〇〇kgの力)、鉄同士の接着では一五MPaの接着強度を示す高性能な接着剤が得られました。この強度は、鉄板(幅八cm、厚さ八mm、長さ一五cm)二枚の端面同士を接着したものを橋渡しして、上に人が乗っても破断しないほど強力なものです(図4)。また、市販の石油系エポキシ接着剤の接着強度(二〇MPa程度と比較すると、およそ三倍の強度となりました。さらに、本エポキシ接着剤は従来の熱硬化性エポキシ樹脂に比べて硬化温度が低く(一二〇℃)、硬化時間も極めて短い(三分)ものでした。この接着剤は金属の他に、ガラス、セ

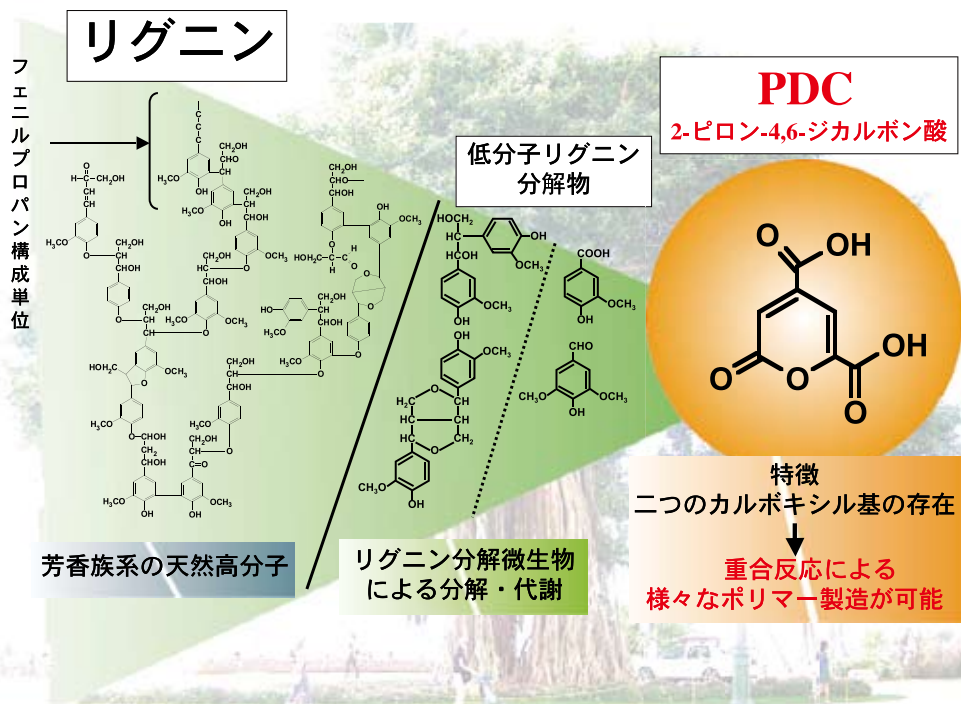


図3 リグニンからバイオプロセスにより得られる2-ピロン-4,6-ジカルボン酸(PDC)

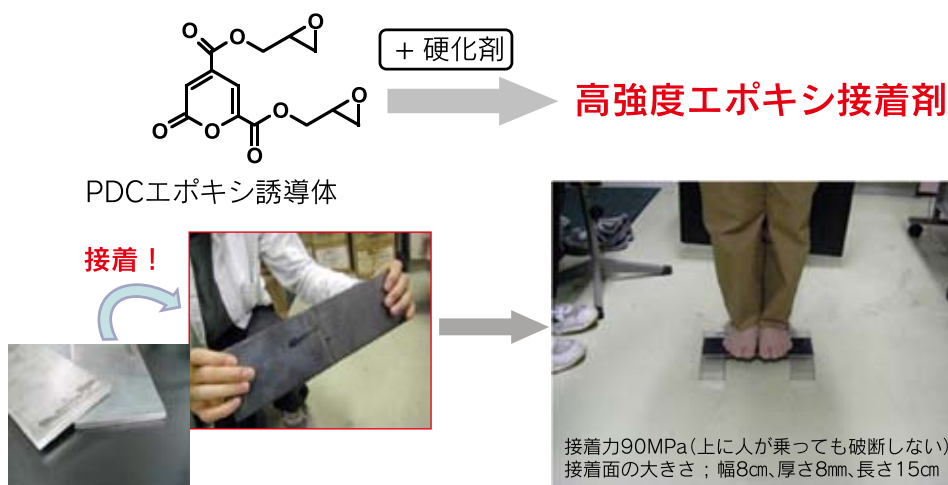


図4 PDCエポキシ接着剤で接着したステンレス金属板

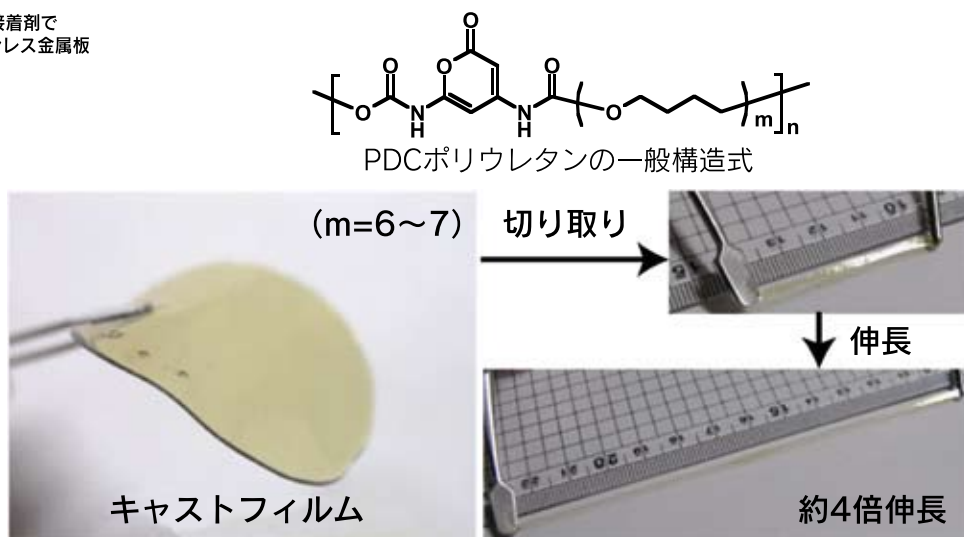


図5 柔軟性、伸縮性を持つPDCポリウレタン

ラミックス、耐熱性の難接着性プラスチックにも適用可能であり、接着剤以外に、塗料や電気電子材料への用途が期待されています。

伸縮性PDCポリウレタンの製造

さらに、PDC骨格を有するポリウレタン製造への展開にも取り組みました。PDCと様々な炭素数のジオール（アルコール）を結合させることで、炭素数に応じた様々な物性を付与することが出来ました。比較的短い炭素数のジオール（図5でm116）から調製したPDCポリウレタンからは、伸縮性に富む、市販品のスパンデックスに似たフィルムが得られました（図5）。このフィルムは元々の長さの四倍まで伸長させても断裂せず、元の長さに戻ろうとする性質がありました。これらのPDCポリウレタンは、衝撃吸収材、自動車内装材への用途が期待されています。

このようにPDCは、その分子構造を少し変えた誘導体とすることにより、様々なグリーンプラスチック材料として幅広く展開することが可能です。今後、さらに興味深い新規な機能性を有するグリーンプラスチック材料の製造を目指した研究に取り組みます。この研究は東京農工大学大学院、長岡科学技術大学との共同研究で行いました。



未利用木質バイオマスを利用した木材・プラスチック複合材料（混練型WPC）の開発



木口 実
（木材改質研究領域
機能化研究室長）

バイオマスの活用を促進するために平成一八年三月に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」では、特に林地残材（発生量約二〇〇万 m^3 ）や建設発生木材（約一一八〇万 m^3 ）等の未利用バイオマスの利用を図ることとなっています。このためには、バイオエタノールなどエネルギーとして利用するだけでなく、付加価値の高い新素材や石油化学製品の代替品などのマテリアル（材料）を開発する必要があります。森林総合研究所では、農林水産省農林水産技術会議事務局委託プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」（二〇〇七―二〇一一年）に参画し、「木質バイオマスを利用したマテリアル製造の低コスト化・機能性向上技術の開発」に取り組んでいます（図6）。



木質バイオマスを利用したマテリアル製造の低コスト化・機能性向上技術の開発

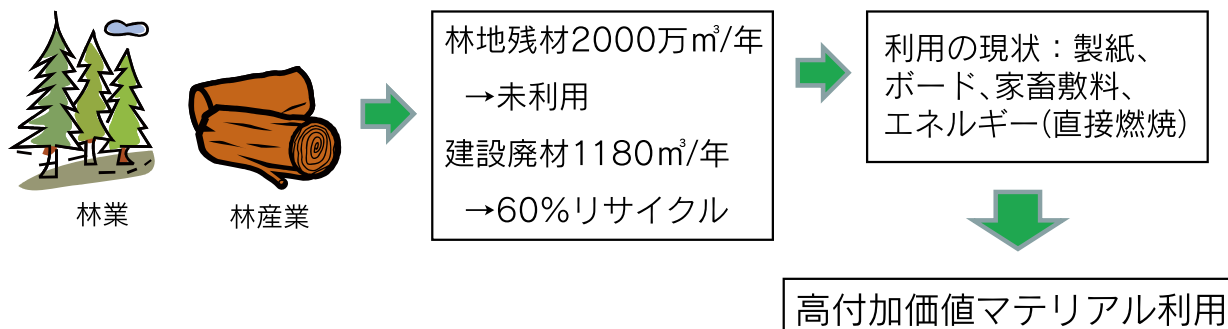


図6 バイオマス・マテリアル製造技術の開発

マテリアル利用プロジェクトにおける混練型WPC

この中で、木粉と熱可塑性(熱で柔らかくなる)プラスチックとの複合材である混練型WPC(Wood Plastic Composite)の開発を行っています。混練型WPCとは、林地残材や間伐材、建設発生木材等の木質バイオマスを木粉にして、これにオレフィンと呼ばれるポリエチレンやポリプロピレン等の熱可塑性プラスチックを熱して混ぜ合わせ、成型して製造される様々な形状及び性質を持つ新しい複合材料です(図7)。木質バイオマスや工場からの廃プラスチックを原料として利用できるため、「グリーン・コンポジット」とも呼ばれています。森林総合研究所では、①長期間の耐候性を持つエクステリア用の混練型WPCの開発と②木質の割合を七〇%以上に高めて射出成型(鋳型に噴射して様々な形状の物ができる)により石油系プラスチックの代替を目指した混練型WPCの開発を行っています(写真2)。



写真2 射出成型機から流れ出る木粉含有率70%の複合物
(この流動した複合物が型に射出されて鋳型の通りの製品ができます)

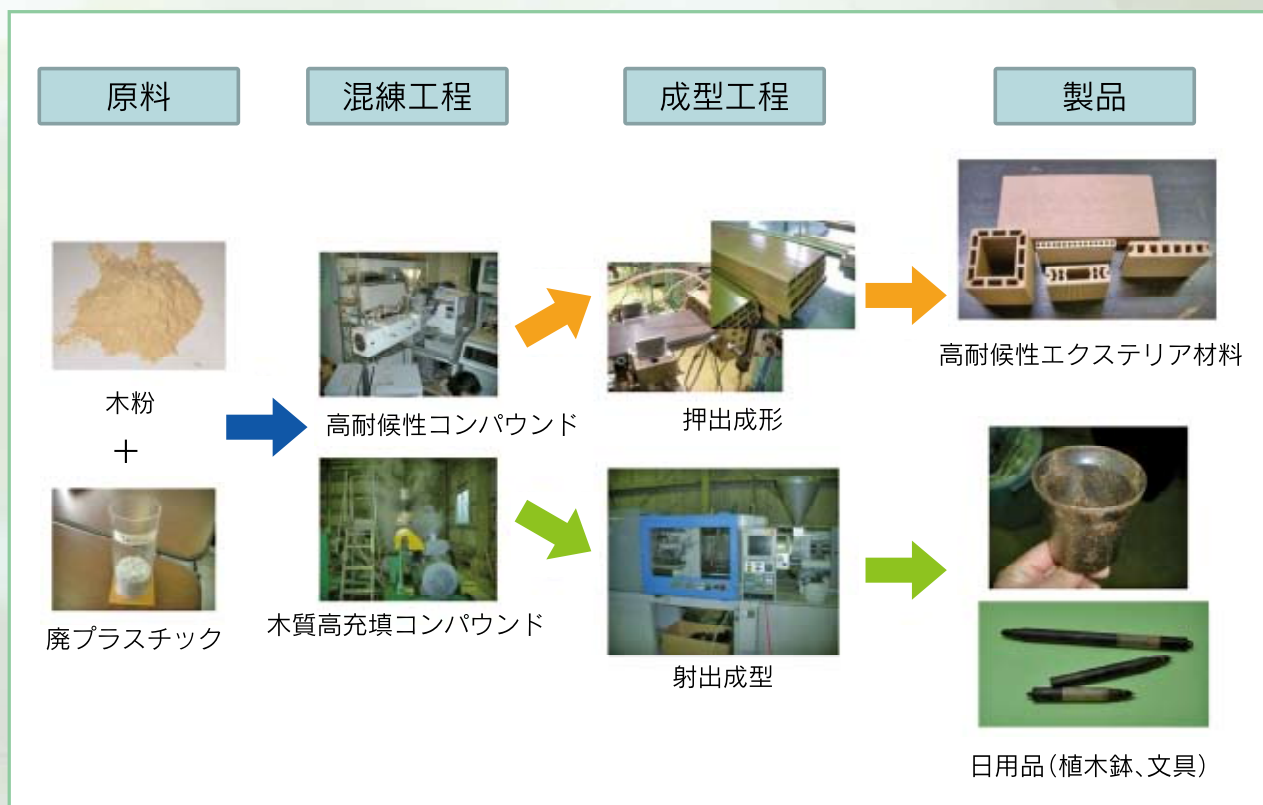


図7 混練型WPCの製造方法(押出成形による高耐候性エクステリア材料と射出成型による木質高充填成型品)

エクステリア資材としての混練型WPC

平成二年度の国会で成立した「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」において、建築物の他に景観材料として公共のエクステリア材料に木材を積極的に使用していくことが義務づけられました。このため、屋外でも長期間の美観を保持できる高い耐候性を持つ木質材料が要求されています。混練型WPCは、疎水性(水をはじく性質)のプラスチックが木粉を取り囲むように成型されるため高い耐水性とこれによる耐久性が期待されています。しかし、一方では木材やプラスチックは光に弱いため屋外での使用によって変色や粉を噴いたようなチョーキング現象などの表面劣化が問題となっています。私たちのグループでは、混練型WPCに紫外線吸収剤や光安定化剤を最適配合することによって、WPCの耐候性を大幅に向上させること

に成功しました(図8)。

わが国での混練型WPCの生産量は三万t程度と北米市場の5%程しかありません。これまでは、デッキ材などのエクステリア資材には熱帯雨林からの貴重な高耐朽性樹種や石油由来のプラスチック材料、あるいは製造時のエネルギーが大きい金属材料などが使われていましたが、この技術の開発により、エクステリア市場において高い耐候性を持つ混練型WPCが使えるようになります。

石油由来プラスチックに代わる混練型WPC

木材とプラスチックとの複合材は、木粉がプラスチックのように加熱しても柔らかくならないので、木粉の割合を増やすと流動性が低下して製品の成型が困難となります。このため、もう一つの研究として、木材を湿らせた状態で加熱する水熱処理によって木粉の熱可塑性を向上させることで、高い木質含有率を持つ混練型WPCの開発を行っています。熱流動性が向上することによって射出成型が可能となり、様々な形状の製品が製造できるため、日用品などで大量に使用されている石油系プラスチックの代替となることが可能です(図9)。木材は二酸化炭素を吸収し炭素として貯蔵しているカーボンニュートラルの材料ですので、木質含有率が四分の三以上を占める高木質充填の混練型WPCは、化石資源である石油を原料としている従来のプラスチック製品と比べて、二酸化炭素の排出を大幅に抑制できます。

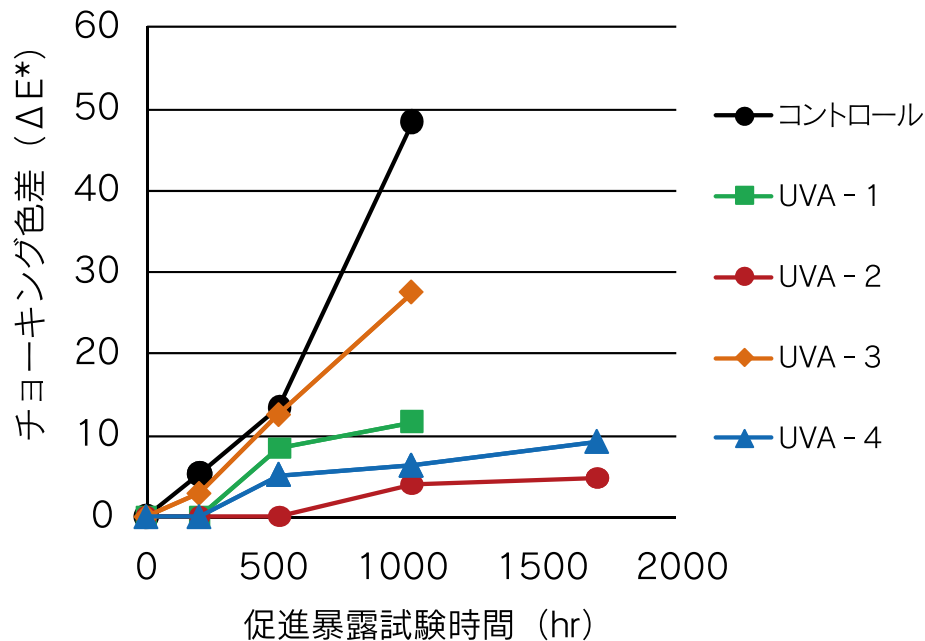


図8 各種紫外線吸収剤(UVA)の添加によるチョーキング現象の抑制
(チョーキング色差：暴露試験を行ったWPC表面を白布で拭いた時に白布に生じる着色部分の色差。値が小さいほどチョーキングが少ない。)

木材を70%以上含む木質高充填成型品の製造(環境に優しいプラスチック)



図9 木質高充填された混練型WPCからの様々な製品
(石油系プラスチックの代替へ)

研究の“森”から No.196

東南アジアに広がる 熱帯二次林の炭素蓄積量を 高精度で推定する



田中 憲蔵

(国際連携推進拠点 研究員)

熱帯二次林の樹木が蓄積している炭素に注目

東南アジアの熱帯林は、世界の森林の1割近い炭素を蓄積しているため、地球レベルでの炭素循環や、温暖化問題を考える上で欠かすことが出来ない森林です。しかし、この地域では人間活動により天然林が急速に劣化し、すでに総面積の六割以上が二次林に変化していると推定されています(写真1)。二次林の樹木の樹高は天然林の樹木の半分以上で、材も空隙が多くて軽



写真1 東南アジア熱帯雨林地域の代表的な二次林
手前に見えるのは、焼畑後に再生した約10年生の二次林で、白っぽい樹皮のオオバギ属樹木が優占し、樹高はおよそ15mである。奥にはさらに樹高の高い択伐残存林が見える。

いため、二次林が蓄積している炭素量は天然林に比べ大幅に減少していると考えられます。二次林が蓄積している炭素量を精度良く推定するため、二次林の樹木のバイオマス推定手法^①の開発が求められています。これまで熱帯林が持つ炭素蓄積量を調べるために、木の直径や樹高からバイオマスを推定する式が考案されてきました。しかし、既存の推定式の多くは成熟した天然林の地上部のデータを元に作られたもので、二次林を対象とした推定式は少なく、さらに地下部を推定する式に至っては皆無でした。

二次林樹木の伐倒と掘り取り調査

そこで私たちは、マレーシアサラワク州(図1)で、熱帯地域に多く見られる焼畑後に再生した二次林を対象に、地上部と地下部のバイオマスを、樹木の直径や樹高から推定する式の開発を行いました。精度の高い推定式を作るためには、二次林を構成するさまざまな樹種を多数伐採し、幹や葉の重量を直接計測する必要があります。また地下部のバイオマスの推定には、樹木の根を丸ごと掘り取る必要があるため、非常に大きな労力が必要となります(写真2)。

調査では代表的な二次林樹種のオオバギ(*Macaranga*属)など合計三種、一三六個体を伐倒し、各器官の重量などを測定後、バイオマス推定式(相対成長式)を作りました。作成した推定式は、地上部、地下部共に樹種に関係なく一つの式で表すことができ、精度を示す相関係数も0.9以上でした。



写真2 樹高17mのオオバギの根の掘り取り作業
この木の根は5人で丸2日ほどかかり掘り取った。

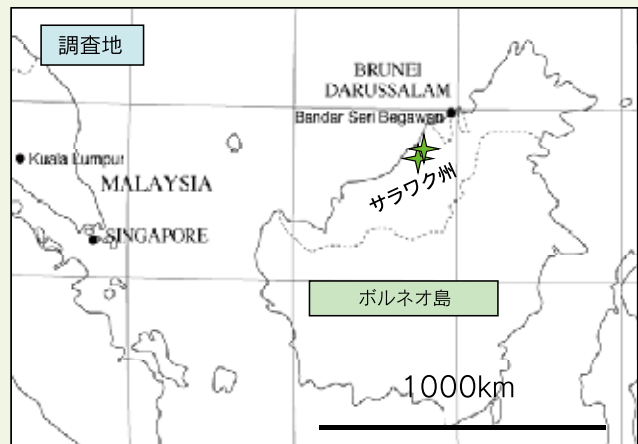


図1 ボルネオ島の調査地
サラワク州北部の2ヶ所(星印)の森林を対象とした。

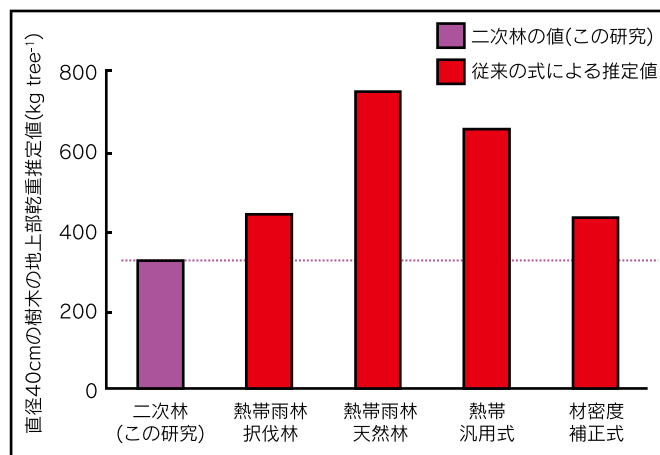


図2 熱帯二次林と他の熱帯林の地上部バイオマスの比較
二次林樹木の地上部バイオマスは、他の熱帯林で得られた値に比べ大幅に低く、これまで用いられてきた汎用式や材密度の補正式を用いても、バイオマスを過大評価する危険性がある。

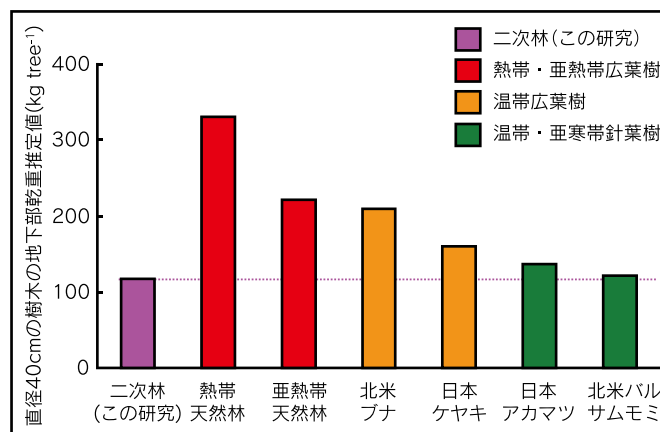


図3 熱帯二次林と様々な森林の地下部バイオマスの比較
二次林樹木の地下部バイオマスは、他の森林の広葉樹より低く、温帯や亜寒帯の針葉樹程度の根の量しかない。

様々な森林間でのバイオマス推定式の比較

従来の式と今回作成した式を比較した結果(図2)、同じ熱帯林でも、天然林樹種で作られた推定式や、これまで良く用いられてきた熱帯汎用式で二次林の地上部バイオマスを推定すると、場合によっては二倍以上も過大評価する可能性があります。これは主に二次林樹種が天然林樹種に比べ、重さが半分以下の軽い材で出来ているためと考えられました。

さらに、地下部の推定式を熱帯林だけでなく、温帯林など様々な樹木と比較したところ、二次林の地下部バ

イオマスは、広葉樹の中で最も少ない部類に入り、地下部バイオマスの少ない温帯や亜寒帯の針葉樹と同じくらいでした(図3)。

今回提案したバイオマス推定式を用いることで、熱帯二次林の地下部も含めた炭素蓄積量を高い精度で評価することが可能になりました。今後、地球規模での炭素循環の解明に活用されることで、温暖化防止に貢献できるでしょう。

(注) 樹木の炭素量は一般にバイオマス(乾燥重量)の二分之一として推定されます。

研究の“森”から No.197

人工林の間伐率を、航空機 レーザースキャナーを用いて 広域かつ効率的に把握する



平田 泰雅

(温暖化対応推進拠点
温暖化対応推進室長)

健全な人工林を育成するために欠かせない間伐

間伐は、健全な人工林を育成するため欠かすことの出来ない作業です。しかしながら、木材価格の低迷が長らく続いてきたことで、森林所有者の森林経営に対する意欲が減退し、間伐が実施されずに高密度のままの林分が多く見受けられます。間伐が遅れて密度の高い状態が続いた林分では、成長に必要な光を十分に確保できないため、林床の下層植生が発達せず、土壌流失の危険性が高まります。このような林分の間伐を促進するには、効率の面から、小面積の間伐対象地をまとめて一体的に作業することが求められています。そして、その作業を進めるには、間伐の実施状況を広域的に把握しておくことが重要です。リモートセンシングは広域での状態を把握するのに適した技術ですが、衛星を用いたリモートセンシングでは、現在のところ間伐の実施状況まで把握することは困難です。そこで近年では、より詳細なリモートセンシング技術の一つとして、航空機レーザースキャナーといったレーザ計測技術を用いた空からの森林計測が注目されています。

航空機レーザースキャナーによる森林計測

航空機レーザースキャナーによる森林計測は、航空機に搭載された計測装置から照射されたレーザ光が地上に近づくにつれて広がり、光の一部がまず森林の林冠表面で反射し、最後は地表面において反射して計測

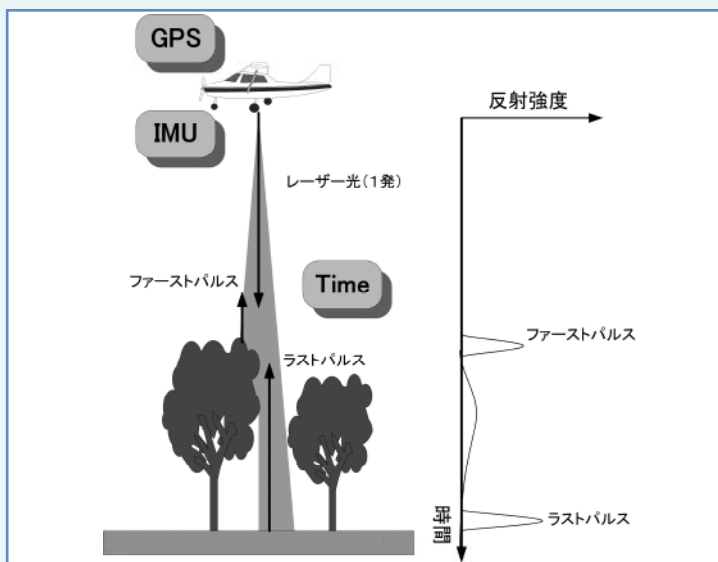


図1 航空機レーザースキャナー計測の原理

装置に戻ってくる特性を利用した計測です(図1)。GPS測位により得られた航空機の三次元座標とレーザ光の照射された方向、航空機から計測対象物である林冠および地表面までの距離を用いて、林冠及び地表面の三次元座標を算出します。航空機と林冠および地表面との距離はレーザ光が照射されてから林冠および地表面で反射して戻ってくるまでの時間を計測することにより求めることが出来ます。航空機から照射されたレーザ光は必ずしも地表面まで到達するわけではなく、かなりのレーザ光は樹冠層の枝葉や幹で反射してしまいます。この特性から、間伐状況を把握する手法を開発しました。

間伐率とレーザーの透過率の関係をみる

間伐が行われた場合、間伐木の樹冠が林冠を占めていた場所に空隙が出来ます。このため、間伐で生じた空隙では、上空から照射されたレーザー光は、樹冠層に遮られることなく地上に到達します。このように林冠を透過して地上に達するレーザー光の割合は、間伐率が上がるにつれて大きくなると考えられます。そこで、ヒ



写真1 間伐試験地の様子（間伐率40%）

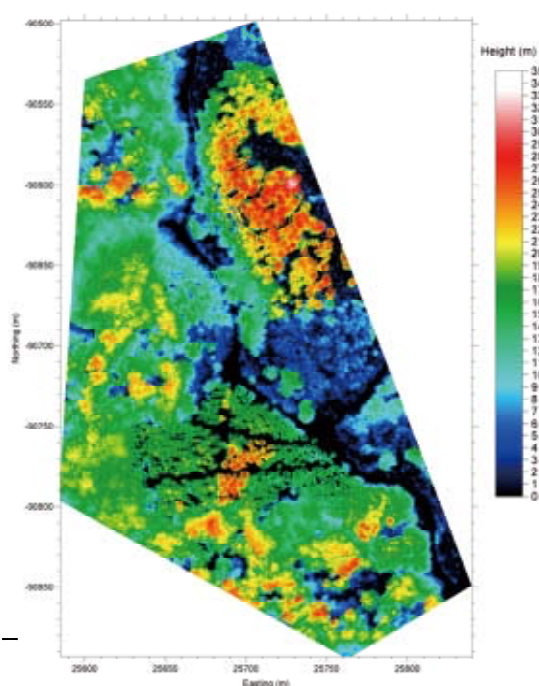


図2 航空機レーザースキャナーによる林冠高の計測結果

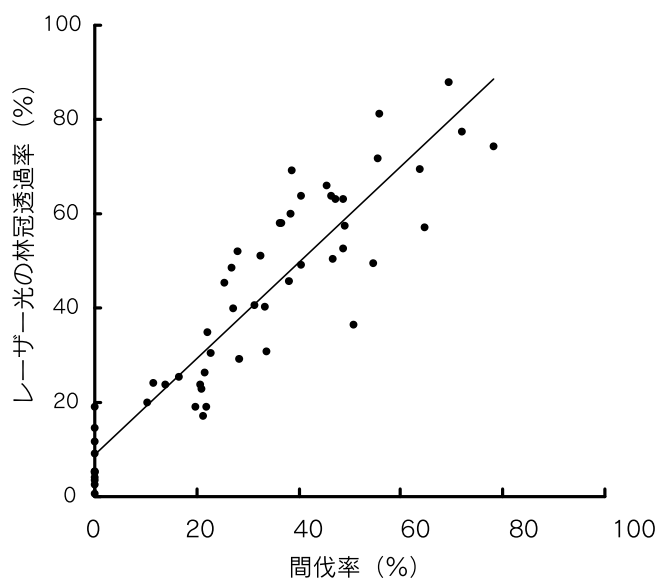


図3 間伐率とレーザー光の林冠透過率との関係

ノキ人工林に間伐の度合いの異なる試験地を設定して（写真1）、航空機レーザースキャナーによる森林計測を行い（図2）、間伐率の違いによりレーザーが林冠を透過する割合がどのように変化するかを調べました。その結果、間伐率とレーザー光の林冠透過率との間には強い正の相関がみられました（図3）。

従来、航空機レーザースキャナーによる森林計測では、林冠と地表面からのレーザーの反射時間の差から樹木の高さを求め、材積などを推定する研究が行われ

ていましたが、本研究では新たにレーザーの林冠の透過率を用いることで、間伐率という森林施業を定量的に評価することが可能となりました。

これにより、これまで広域での把握が困難であった間伐の状況（間伐の有無や間伐後の林冠閉鎖の状況など）がリモートセンシングで効率的に把握できるようになり、間伐を実施する林分の団地化（施業集約化）や間伐作業の効率化に役立つことが期待されます。

研究の“森”から No.198

スギ林と広葉樹林の 土壌の違い

～落ち葉の分解プロセスからその理由に迫る～



小野 賢二
(東北支所 主任研究員)

生育している植物によって異なる土壌の様子

植物の生育が土壌に影響されることは良く知られています。しかし、植物もまた土壌の形成や発達に影響を与えています。図1の写真(A、B、C、D)は茨城県のスギ人工林とブナ・ミズナラ混交林(広葉樹林)の林床と土壌断面です。このスギ林では広葉樹林に比べ林床に厚い落ち葉の層(落葉層)が堆積していました。落ち葉の層の下にはA層とよばれる植物の根や有機物が豊富な土壌の層がありますが、このA層の色はスギ林の方が広葉樹林より濃い黒色でした。このように、生育している植物によって林床や表層の土壌の様子は異なっているのです。

スギと広葉樹で異なる落ち葉の分解

表層土壌の色の濃さなど形態的な違いは、スギと広葉樹(ミズナラ・ブナ)で落ち葉の成分が異なり、土壌の中での分解過程が異なるためと考えられます。このことを確かめるために、スギと広葉樹それぞれの林の林床から分解の程度が異なる落ち葉と土壌を採取して分析し、落ち葉が分解して土壌が作られていく過程で有機物がどのように変化していくか調べてみました。

落ち葉に含まれる有機物は炭素の結合様式の違いから表1に示した四つの成分に区分されます。新鮮な落ち葉には細胞壁などをつくる多糖類が最も多く、それはスギと広葉樹には違いがありませんでした(図1a、

り)。それに対して「ヤニ成分である脂質は、スギ林の新鮮な落ち葉には約三〇%も含まれており、広葉樹林よりも約四割も高い値でした。

スギと広葉樹の落ち葉に含まれる成分の分解の速さについては、新鮮な落ち葉に最も多く含まれる多糖類が最も早く分解しました(図2)。一方、新鮮な落ち葉には少なく、落ち葉の分解に伴ってできるカルボニルの分解が最も遅いことも分かりました。植物体の骨格を形成するリグニンと脂質の分解速度は、最も早い多糖類と最も遅いカルボニルの中間でしたが、リグニンの分解は広葉樹林で、脂質の分解はスギ林で早くなっていました。このように落ち葉に含まれる有機物の分解の仕方はスギと広葉樹で異なっています。

土壌に残る落ち葉の特徴

分解された落ち葉は、細かく破砕されて土壌の中へと移動し、土壌の一部となって徐々に蓄積されていきます。したがって、落ち葉の層からその下のA層へ移動して蓄積される有機物の質や量も落ち葉の影響を受けると考えられます。スギ林のA層の土壌は脂質の割合が四〇%と高く、リグニンは一五%と低い値を示していました。これは、スギの新鮮な落ち葉は脂質の含有量が高く、しかも分解して土壌へ移動する量が多いため、土壌への脂質の蓄積量が多くなる一方で、スギのリグニンは分解されて土壌に移動する速さが遅いため土壌への蓄積量が少なくなったことを反映したものと考えられます。つまり、樹種による落ち葉の成分の違いが土壌の形

態やその中の有機物の成分や性質にも影響を及ぼしています。

これらのことから、森林の土壌が炭素を貯留する仕組みが明らかになります。それらのデータは、地球温暖

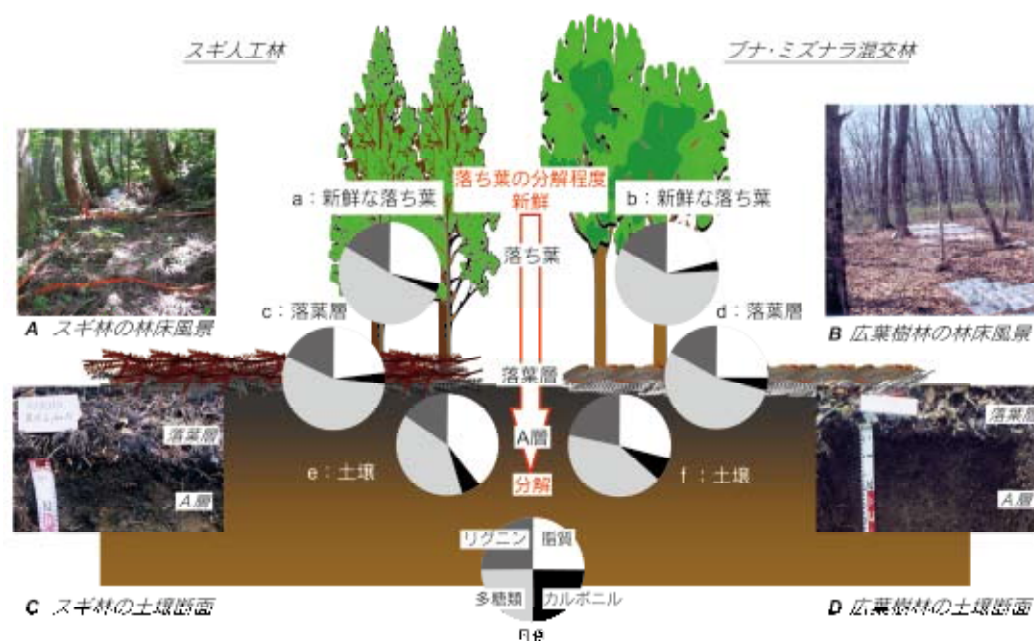


図1 茨城県のスギ人工林とブナ・ミズナラ混交林における林床と土壌断面（写真A,B,C,D）および 落ち葉の分解に伴う有機物の変化（円グラフa,b,c,d,e,f）

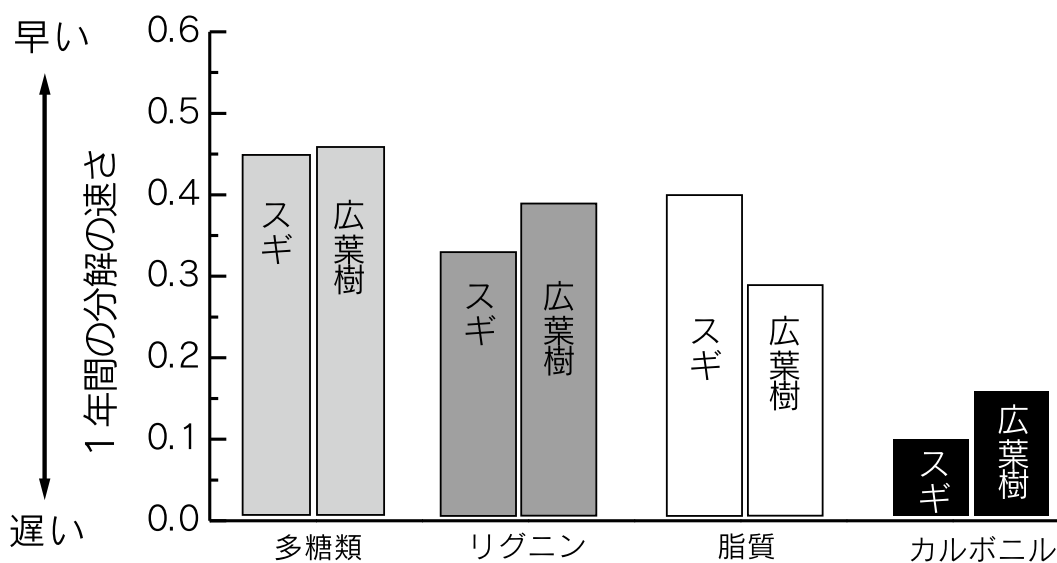


図2 落葉中有機物の成分別の分解の速さ
同じ成分でも、スギと広葉樹とでは、分解の速さが異なる

表1 落ち葉や枯れ枝を構成している有機物*

種類	有機物の構成
多 糖 類	植物体内の細胞壁を構成する成分。セルロースやヘミセルロースなど。
リ グ ニ ン	植物体内の細胞骨格を構成する成分。ベンゼン環を有する。
脂 質	細胞膜内に存在するリン脂質や植物色素、樹脂を構成する直鎖状炭素。
カルボニル	カルボニル基 (>C=O) に由来する炭素。有機物の分解に伴う酸化反応によって生成される。

*この研究では固体¹³C核磁気共鳴法を用いて、組成分析を行った。

生態系を維持している姿も見取れます。

なお、本研究は、独立行政法人農業環境技術研究所と共同で行いました。

研究領域紹介

森林総研の22ある研究領域、推進拠点を順番に紹介しています

生物工学研究領域

地球温暖化対策や木質バイオマス資源の持続的利用を図るため、樹木などに備わっている、さまざまな環境変化やストレスに適應する仕組みを最大限に活用して、環境変化や病虫害などに強くて成長も早いスーパー樹木を創出することが期待されています。そのためには、樹木の遺伝子の構造や機能を解明するとともに、遺伝子組換え技術を高度に利用することが必要不可欠です。

生物工学研究領域では、これまで、ポプラやスギの遺伝子情報を大規模に収集し、スギの材質や花粉形成などに関わる遺伝子の解明を進め、得られた情報を森林生物遺伝子データベース(ForestGEN)に公開してきました。このデータベースへのアクセスは年間二二、〇〇〇件を超えており、国内外の研究の進展に大いに貢献しています。例えば、スギの花粉アレルギー遺伝子は、安全なペプチド療法やDNAワクチンの開発、新たな機能性食品の開発など、スギ花粉症治療法の開発に利用されています。

一方、解明した樹木の遺伝子の機能をもとに、温暖化などの環境変化に対してどのように適應しているのかなど樹木の生命現象の謎の解明も進めています。さらに、遺伝子組換え技術を駆使して、不良環境に生育可能な樹木、バイオマス生産量が格段に大きい樹木や社会ニーズの高い花粉を作らない樹木など有用な新しい特性を備えた樹木の創出に必要な技術開発にも取り組んでいます。

野生型ポプラ

組換えポプラ



▲耐塩性遺伝子組換えポプラの作出

根から大量の塩化ナトリウムを吸収させた野生型ポプラは数日内に枯死します。エチレン合成を抑制したオゾン耐性組換えポプラは、この期間内に葉が枯れないだけでなく、光合成活性も維持します。

▼誰でも利用できる森林生物遺伝子データベース(ForestGEN)
(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/database.html>)



林業工学研究領域

林業工学研究領域では、木材や木質バイオマスを効率よく安全に伐採・搬出するための作業システムの研究や植林の省力化を目指した研究を行っています。

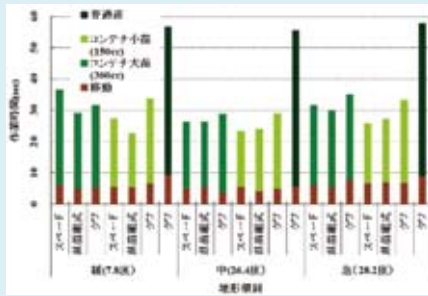
林業の収益性を確保する上で、伐採・搬出過程の低コスト化が不可欠です。このため高性能林業機械とそれを利用した効率的な林内作業を可能にする路網を組み合わせた作業システムを、地域ごとに確立できるよう、調査研究を行っています。また、木質バイオマスを効率的に生産するための研究開発の一環として、通常の木材生産用の林業機械にバイオマス生産用の機能を付加する研究も行っています。写真は、民間企業と共同で開発したチップパー機能を付加したプロセッサです。

林業は初期投資のウエイトが高く、しかも生産期間が長期にわたるため、伐採後の造林・保育過程の効率化、低コスト化も重要です。これまで、スギ、ヒノキ、ケヤキ等の国産樹種に適應したコンテナ及び育苗技術の開発を行い、そのマニュアル化等を行ってきました。また、専用の植付け器具を使用して植付け試験を行い、普通苗を植える従来方式に対して、高い作業能率を示すことを明らかにしました(図参照)。

こうした研究開発をさらに推進して、安全性を確保しながら、伐採・搬出から造林・保育に至る、トータルな効率化、低コスト化に貢献しています。



▲チップパー機能付きプロセッサ



▲スギ苗1本当たりの植付け所要時間の比較

こ・れ・が・お・宝

屋外隔離ほ場

石井 克明 森林バイオ研究センター長



▲遺伝子組換えポプラの植栽試験



▲屋外隔離ほ場の外観

森林バイオ研究センターでは、最先端の遺伝子組換え技術を用いて、いろいろな病虫害に強くて成長も良い、夢の「スーパー樹木」を創出するための研究を行っています。

遺伝子組換え技術で創出した新しい樹木は、まず実験室や閉鎖系の温室などで期待した特性が確保されているか等チェックされた上で、さらに屋外で、形質の発現、確保や他の野生生物への影響の有無等を検討する植栽試験

を受け、評価されます。

このほ場は、そうした屋外試験のために、二〇〇六年に造成したものです。六〇m×五四mの長方形で、林業用では国内最大です。枝の飛散防止のための高さ八mのフェンス、根の場外延伸防止のための深さ一mのコンクリート壁が備わり、監視カメラや赤外線センサーでほ場外への持ち出しを常時警戒します。一〇tの洗浄水貯水設備に機械等の洗い場、試験終了後に樹木を焼却する炉などもほ場内にあります。

二〇〇七年から、このほ場を利用して、セルロース含有量が高く、バイオエタノール生産に適した遺伝子組換えポプラの試験を行っています。産業利用目的として日本で初めて農林水産、環境両大臣から承認を受けた組換え樹木について試験しているもので、現在、さまざまな知見の収集を積極的に進めています。



▶屋久島の西部林道沿いにおける胸高直径二mを超える巨木。自生地には、まだ胸高直径が一m以上の個体が多く分布する。

ヤクタネゴヨウ

Pinus armandii var. *amamiana* (*Pinus amamiana*)

世界自然遺産の屋久島とロケット発射基地の種子島。これら日本の「自然と科学技術」を代表する二つの島にだけ自生するマツをご存知ですか。

それは、幹の直径が二m、高さが三〇mにまで達するヤクタネゴヨウ（屋久種子五葉）です。推定されている生残個体数は、屋久島で二〇〇〇、種子島で三〇〇ほどであり、環境省のレッドデータブックでは、絶滅危惧種ⅠB類に指定されています。

近年は、マツ材線虫病（松くい虫）や中国大陸から飛来する大気汚染物質の影響等で、絶滅の危機がさらに高まることが懸念されています。そうした中、ヤクタネゴヨウとそれを含む森林生態系を保全する取組みが、地元の間人ボランティア団体を中心に森林管理署や地方自治体によって精力的に進められています。森林総合研究所や大学も研究成果の提供によって、その活動の一翼を担っています。

かつてヤクタネゴヨウは、建築材や丸木舟の材料として島民の生活を支える重要な役割を果たしてきました。絶滅危惧種ヤクタネゴヨウを保全することは、生物多様性を保全するだけでなく、その種が持つ歴史や文化も後世に引き継ぐことでもあるのです。

金谷 整一

（森林遺伝研究領域 主任研究員）



◀ヤクタネゴヨウは、急峻な尾根筋や基岩が露出している場所に単木的に分布し、その樹冠は照葉樹林の林冠層から突出している。

水源かん養機能

坪山 良夫(水土保持研究領域 水保全研究室長)

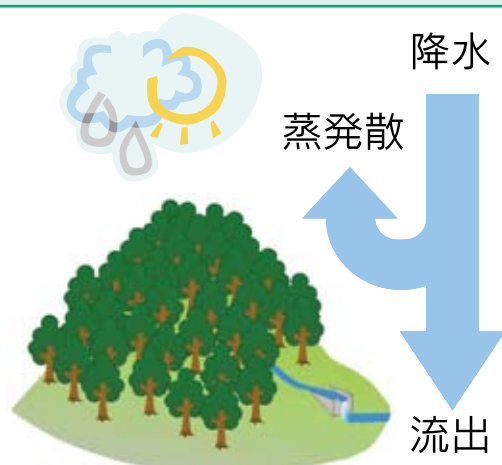


図1 森林にふった降水のゆくえ
大きくみると蒸発散と流出にわかれる

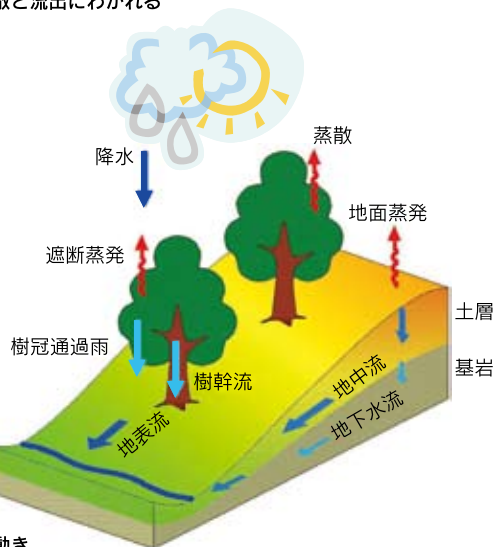


図2 斜面における水の動き
いろいろな場所をさまざまな速さで動いている

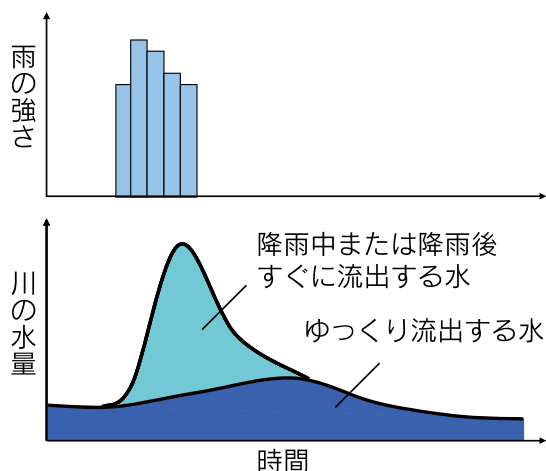


図3 雨による川の水量の時間変化
すぐに流出する水とゆっくり流出する水がある

森林にふった雨は、すべてが川に流れていくわけではありません。樹木の葉や枝や幹、落ち葉や落ち枝の表面に付いた後、地面に届かずに蒸発する水があります。いったん地面にしみこんだ水でも、ふたたび地面から蒸発する水や、植物の根に吸い上げられて葉から蒸散する水もあります(図1)。こうして空にかえっていく水の割合は、日本の森林では平均すると降雨量の約三〜四割になります。

森林の地面では、樹木をはじめとする色々な生物の活動と基岩の風化作用などの組合せにより、大小さまざまな隙間をもつ森林土壌が形成されます。このような土壌で覆われた森林の斜面では水がよくしみ込むため、雨の時に地表に水流が生じる場所は、露岩や川の付近などに限られています。

また、地中にしみ込んだ水も、大きな隙間ではすみやかに、細かい隙間ではゆっくりと移動します(図2)。

森林を流れる川の水が雨でも急には増えず、雨の後も流れ続けるのは、森林にふった雨がすべて同時に川に流れこむのではなく、いろいろな経路を通り、それぞれ異なるタイミングで川に流れこんでいることを示しています(図3)。これは、大小さまざまな隙間をもつ森林土壌のはたらきによります。蒸発や蒸散は、川に流れる水の量を減らす面もありますが、水を気化させることで気温の上昇を抑えるはたらきや、次の雨がくる前に土壌中の隙間をあけておくはたらきもあります。

REDDプラスに関する我が国の 総合的な技術拠点が誕生！ ―森林総合研究所・REDD研究開発センター開設―

地球温暖化防止対策を世界各国が参加して議論する気候変動枠組条約締約国会合(COP)では、「REDDプラス(途上国における森林の減少劣化に由来する排出の削減及び森林保全)」の課題がクローズアップされています。昨年一二月に開催されたCOP15でまとめられた「コペンハーゲン合意」では、早急にREDDプラスに取り組む体制を整備する必要性が強調されました。

そこで、森林総合研究所では我が国の総合的な技術拠点として、七月一日に、独立行政法人森林総合研究所「REDD研究開発センター」を開設しました。

その開設を記念して、七月二十九日(木)に記念講演、セン

ターの紹介等を行う記念式典を開催しました。
式典では、鈴木和夫理事長の挨拶に続き、林野庁森林整備部長の津元頼光氏の祝辞をいただきました。その後、早稲田大学の天野正博教授による記念講演が行われ、最後に、REDD研究開発センターの概要について、所長の松本光朗が紹介しました。



▲理事長の挨拶



▲林野庁津元森林整備部長からの祝辞

REDD研究センターは、今後、各国と協調しつつ産学官の連携・協力のもと、REDDプラスに関する最新動向の分析、科学的な評価手法の開発、発展途上国における実施体制の整備などに取り組みます。また、技術者を積極的に育成したり、民間レベルの森林保全・造成活動を積極的に支援する我が国の拠点の一つとして活動していきます。

▲松本センター長による
概要説明



▲REDD研究センター
の見学



▲REDD研究センター
(看板は理事長直筆)



▲天野教授による記念講演



研究所長等懇談会が 開催される

森林総合研究所では、六月一五日に研究所長等懇談会を開催しました。これは、歴代の研究所長または理事長を務めた方々に研究所の研究や運営等について意見や助言をいただくものです。当日は、土井恭次、難波宣士、小林富士雄、小林一三、大貫仁人、廣居忠量、田中潔、大熊幹章の各氏が参加しました。鈴木理事長が最近の研究所の活動や組織の変化、所をとりまく状況等を説明した後、研究コーディネータが、京都議定書等への対応や新たな地球温暖化研究の展開、木材の自給率の向上につなげた製品開発等の最新の研究成果を紹介し、実大木材引張試験機による破壊試験などを観察して

いただきました。参加した歴代所長・理事長からは、今後の研究所の運営に活かしていくことができる貴重なコメントをいただくことができました。



▲歴代の所長、理事長経験者(前列)

森林総合研究所 公開講演会+オープンラボ開催

一〇月二二日(火)、一三日(水)「イノベーションでリードする木材需要の創出—国産材・木質バイオマス利用拡大戦略のための研究開発—」と題して平成二二年度公開講演会+オープンラボを開催します。

公開講演会は、木材利用の課題、最新の研究成果などをわかりやすく紹介するものです。

また、オープンラボは研究開発成果や研究リソースを企業経営者や技術者等に紹介し、共同研究等による産学官連携を目指すもので、展示パネルや見本、セミナーなどで研究者が分かり易く説明します。



▲木材会館外観

●日時

平成三年一〇月二二(火)オープンラボ一〇時～一七時

一三日(水)オープンラボ一〇時～一五時四五分

公開講演会 一三時～一七時一〇分

●会場

木材会館(東京都江東区新木場二丁目一八)

東京メトロ有楽町線・JR京葉線 東京臨海高

速鉄道りんかい線「新木場」駅 徒歩3分

●参加費

無料(事前申込不要)

●お問い合わせ先

独立行政法人森林総合研究所

企画部研究情報科 広報係

TEL 026-8026-8134

メール kouho@ffpri.affrc.go.jp

森林総合研究所研究報告



Vol.9-No.2 (通巻415号)
2010年6月発行

●短報

野幌国有林における一〇〇年生ストロブマツ人工林の成長

石橋聰・高橋正義・鷹尾元・佐野真琴

北海道で観察されたフクロウ *Strix uralensis* の幹折れ木上の巣(英文)

松岡茂・椎名佳の美

●研究資料

定山溪森林理水試験地観測報告(一九九一年一月～二〇〇一年十二月)

阿部俊夫・山野井克己・坂本知己・

中井裕一郎・北村兼三・鈴木覚・清水晃

編集後記

暑かった夏もそろそろ過ぎ去ろうとしています。日本中が燃えたサッカー・ワールドカップの後には、本当に燃えるような暑さの夏がやってきました。各地で猛暑日も続き、コンクリートジャングルの都会では、木々のつくる木陰がひとときの安らぎを与えてくれました。今夏の暑さにも、人為による気候変動、地球温暖化の影響があるのでしょうか。大気中のCO₂を樹体に貯える森林の役割はますます重要になってきていると言えます。このような中、森林総合研究所では途上国での森林減少を抑えて森林を保全するための調査研究の拠点となるREDD研究センターを開設しました。さて、今回の特集は、前号の木材利用技術の紹介に引き続き、木質資源の有効利用を進める上で不可欠な木質バイオマス利用技術の研究成果を紹介しました。まだ暑い日は続きそうですが、森林に親しんで体をリフレッシュしてください。(企画部 研究情報科 荒木誠)

編集委員:藤田和幸 市田憲(認定NPO法人 才の木) 荒木誠 浪岡保男 飯塚淳 藤枝基久 川崎達郎 篠宮佳樹 佐々木達也 安部久 石崎涼子

(表紙の写真) 上からクマシデ、ハナイカダ、サワラ(誌名の背景)オニグルミの木目

(裏表紙の写真) ナツツバキ:ツバキ科ナツツバキ属の落葉高木。別名シャロノキ。花期は6～7月頃。ヒメシャラと良く似ているが、ナツツバキの花の方が大きく、また葉の裏面の毛により違いが分かる。古い樹皮がはがれてまだらになるが、滑らかである。



「ナツツバキ」 *Stewartia Pseudo-camellia*

季刊 森林総研 Vol.10

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

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
TEL.029-829-8134
FAX.029-873-0844
URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

2010(平成22)年8月31日発行

編集：独立行政法人 森林総合研究所 広報誌編集委員会
発行：独立行政法人 森林総合研究所 企画部研究情報科

※本誌掲載記事及び写真の無断転載を禁じます。