

季刊 森林総研 第6号

特集

林業再生に向けて

- ◆ 人工林からの木材供給可能量はどのように見通せるか
- ◆ 求められる新たな林業・木材利用システム
- ◆ 林業機械を上手に使うって生産性を高める
- ◆ コンテナ苗自動耕耘植付機の開発

研究の“森”から

- バイオマス成分リグニンによる鉛蓄電池の性能改善
- 森林域から流出する河川水質の広域評価
- アカマツ針葉の寿命と光合成能力は樹冠上部と下部で大きく異なる



独立行政法人
森林総合研究所

季刊 森林総研 Vol.6

目次

巻頭言

◆日本林業の再生に向けて

1

特集

林業再生に向けて

◆人工林からの木材供給可能量はどのように見通せるか

◆求められる新たな林業・木材利用システム

◆林業機械を上手に使う生産性を高める

◆コンテナ苗自動耕耘植付機の開発

2

研究の“森”から

◆バイオマス成分リグニンによる鉛蓄電池の性能改善

◆森林域から流出する河川水質の広域評価

◆アカマツ針葉の寿命と光合成能力は樹冠上部と下部で大きく異なる

8

全国巡り

◆北海道支所

◆森林農地整備センター

14

研究領域紹介

◆森林微生物研究領域

◆加工技術研究領域

15

海外事情

◆カンボジア国 森林環境研究の現状

ー水循環を中心とした総合観測システムー

16

これがお宝

◆二酸化炭素フラックス観測塔

17

生き物通信

◆シロアリ

18

森のはたらき

◆炭素の固定と蓄積

19

何でも報告コーナー

20

巻頭言

日本林業の再生に向けて

いま、日本の林業にはさまざまな追い風が吹いている。二〇〇五年に京都議定書が発効し、第約束期間（二〇〇八年～二〇二二年）において森林の二酸化炭素吸収源としての役割が大きく位置づけられた。これに伴い森林の整備が進んでいる。自治体も森林環境税、水源税等を導入し、緊急間伐の補助を実施している。合板産業では間伐材利用が急進し、またバイオマスエネルギー・バイオフューエル資源としても注目されている。「木を切ることは環境を悪くする」との風潮も徐々にではあるが薄れつつあり、消費者の理解も進みつつある。平成一八年九月の閣議決定により森林・林業基本計画に盛り込まれた「木育」は、木の文化を創造するための木材利用に関する国民の生涯教育として画期的な提案である。木づかい運動、木育活動としての消費者運動、NPO活動も活発になっている。二酸化炭素を大気中に放出しないことと同時に、森林や木材の炭素貯蔵効果を活かす社会的な仕組みが大事になり、森林・木材産業のカーボンオフセットとカーボンフットプリントが新たなビジネスとして注目されている。

しかし、一方、日本林業の弱体化について多くの指摘がある。間伐施業が進んでも、原木が切り捨てられたまま使われず、市場に運び出されないままである。間伐面積は把握されていても、間伐材の資源ポテンシャル、伐出量、利用率など原料資源としてのデータは未整備のままである。施業の団地化・集約化による効率的な

生産システムが実現しないのは何故か、京都府日吉町森林組合が実践している機械化、作業道の整備と計画伐採・施業集約化による提案型林業が他の林業地に波及しないのは何故か。原木や国産材製品の流通システムも旧態のまま変わらず、その合理化、効率化が叫ばれながら未だ実現していない。

環境税等の地域住民に負担によって長期にわたる森林整備を実施するには限界がある。切り捨て間伐による森林整備事業は林業の自立をかえって阻害しかねない。われわれは、いま一度、原木が山から供給され、代金が山に還る生産システムの構築、日本林業の再生に向けた課題を洗い出し、その解決策について真剣に考える必要がある。地権者からの委託を受ける経営主体を育成して多様な産業構造をもつ森林産業の構築に向けて進むべきである。新規参入により外からの発想とエネルギーを導入するのも一案である。森林の管理育成と適切な木材利用が一体となった新たな仕組み作りを産官学あけて検討協議する時期に来ているなかで、連携の要として森林総研への期待は大きい。



川井 秀一

（京都大学生存圏研究所長）
（NPO法人 才の木理事長）

林業再生に向けて

人工林からの木材供給可能性はどのように見通せるか

求められる新たな林業・木材利用システム

林業機械を上手に使うって生産性を高める

コンテナ苗自動耕耘植付機の開発



野田 英志

(林業経営・政策研究領域長)

日本林業の再生。このテーマは古くて新しいテーマと云えます。日本の林業は、木材価格の低落などにより、長期にわたり低迷してきました。そうした中で近年、林業の再生に向けた新たな挑戦が始まっています。本誌創刊号の特集で取り上げた木質バイオマスの利活用はその一つです。本特集では人工林の木材生産にスポットを当てました(写真1)。

一千万haを超える日本の人工林は順次成長し、団塊をなして利用可能な時代を迎えています(後出の図3)。伐期の延長もあるでしょうが、いずれは伐採され利用されます。では長期的にどれ程の木材生産が見込まれるのでしょうか。また生産の拡大には、どのような林業の仕組みや技術が必要なのでしょうか。

そこでまず、木材需給の超長期的な見通しについての研究成果を紹介します。将来の俯瞰は林業再生の目標設定に不可欠なものです。次に短中期的な視点から、国産材供給の新しい仕組みと可能性を探るために、現在進めている林業モデル研究について紹介します。また林業再生のためには、林業作業者を支援し作業効率を高めるため、伐出や育林での技術開発が不可欠です。そのユニークな研究の一端を紹介します。



写真1 ハーベスタ(自走式の伐木造材機械)を使った素材生産
注 40年生スギ人工林での間伐・関東秩父地方2008年

人工林からの木材供給可能性は どのように見通せるか



岡 裕泰

(林業経営・政策研究領域
林業システム研究室長)

日本で植林が盛んだった一九五〇年代～一九七〇年代には人工林は四〇年～五〇年程度で皆伐が想定されていましたが、そのころ植えた木が三〇年生～六〇年生になった今、大多数の森林所有者は皆伐を控えています(写真2)。このまま伐採面積が増えなければ、かなりの面積が伐採前に林内で寿命を迎える可能性があるほど、低い伐採率になっています。ここでは植林木が伐採されるか、林内で樹木の腐朽が始まって木材として利用できるか、林内での超長期の観点に立つて、今後の人工林の年平均伐採面積や丸太生産量を計算してみよう。

人工林の大部分は将来の木材生産を目的の一つとして植林されましたが、最終的にこのうち何割を実際に木材生産の対象とするのかということ、生産対象林全体を一通り伐採するまでに何年かけるのかによって、一年当たりの伐採面積や伐採量が変わってきます。

ここでは人工林の中でも主要な製材・合板用材であるスギ、ヒノキ、カラマツの三樹種に焦点を当てます。二〇〇七年の人工林面積約一、〇三三万haのうち、三樹種合計面積は約八一二万haで、三樹種合計丸太生産量は一、三二二万m³となっています(図1参照)。

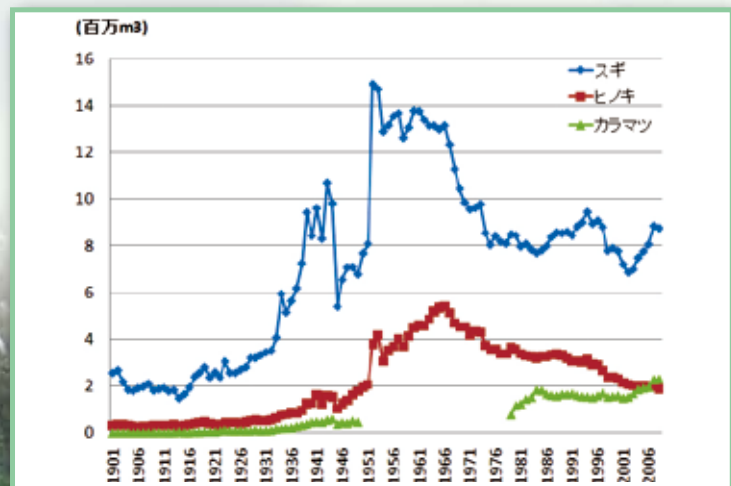


図1 樹種別推定素材生産量
注 カラマツの1950～1978年はデータ欠損

まずこの三樹種の人工林約八一二万haをすべて木材生産に利用することにして、二〇〇年、二五〇年、二〇〇年、二〇〇年の四種類の利用年限を設定して毎年均等面積ずつ伐採するものとして、年平均生産量を概算しました。二〇〇五年の面積を出発点にして二〇〇年間で同じ面積ずつ伐採すると、三樹種合計の年平均生産量は三、五〇〇万m³以上、二五〇年間で伐採すると年平均約二、五〇〇万m³、二〇〇年間で伐採すると約二、〇〇〇万m³、二〇〇年間で伐採すると約一、四〇〇万m³となりました。これには二〇〇五年以後に(再)造林された林分からの生産量は含まれません(図2参照)。

次に、これら三樹種の人工林をすべて五〇年周期で伐採と再造林を繰り返した場合、一年当たりの生産量は五、〇〇〇万m³以上と推定されました。

人工林の蓄積量は、最近の伐採量と比べて膨大かつ増大中です。これに対して二〇〇八年の製材品合板の丸太換算消費量は約三、七三三万m³で、一九七〇年代をピークに減少を続けており、今後の人口減少社会において国内の製材品や合板の消費量はさらに減少する可能性が高いと予想されます。現在はまだ伐採を先延ばししても、樹木は成長を続けていますが、将来的に林木の寿命が迫ってから急に伐採量を増やしても、輸出するか、もつと価格の安い用途に振り向けなければ利用しきれないという予想されます。また、短期集中の大量伐採は環境に与える影響も心配されますので、寿命が近づいて一気に伐採するのは好ましくありません。昨年から今年前半は不況の影響で木材需要が落ち込んでいますが、人工林資源をなるべく有効活用し、かつ伐採の時期を集中させな

いたためには、長期的に見てそろそろ主伐を増やしていく時期が近づいているのではないのでしょうか。

スギ、ヒノキ、カラマツの人工林は順調な生育をしていれば、大部分は現在の価格条件でも適当な林齢に達すれば伐採等の費用よりも丸太販売収益の方が大きくなります。したがって少なくとも生産対象林の皆伐が一巡するまでは、長期間にわたって林業が自立した産業として、現在よりかなり高い生産水準を維持できるだけの資源蓄積はあるのです。伐採収益よりも十分小さい費用で有用樹種による再造林ができるように技術開発を進め、それが可能なところは伐採後、積極的に再造林し、そうでないところは伐採後、自然の再生力などによって植生回復をはかる、また伐採収益よりも環境への悪影響の方が大きいと判断される場合には伐採を控えるというように、条件に応じた適切な判断をすれば、自然環境を良好に保ちながら、経済性を持つて林業生産を拡大できるでしょう。

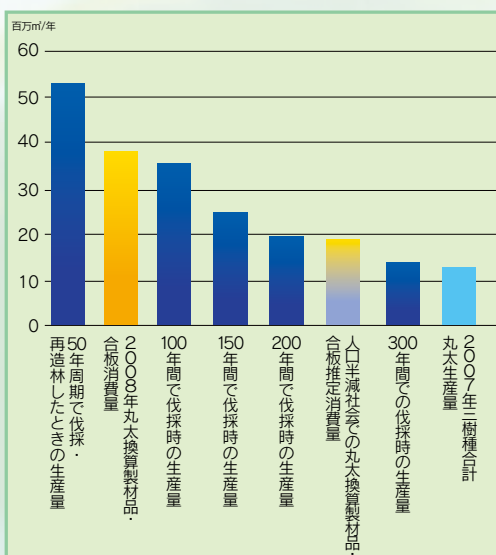


図2 三樹種の人工林面積からの生産可能量と国内木材消費量

求められる新たな林業・木材利用システム

野田 英志 (林業経営政策研究領域長)

林業再生のためには、狭義の林業(育林業)に加えて、木材の生産・流通・加工利用までを含むシステム全体が、スムーズに動く必要があります。図3に示すように日本の林業は今世紀に入り、それまで育ててきた資源を積極的に利用する新しい段階を迎えました。他方でほぼ同時に、国産材利用の中心をなす木造住宅の構造材(柱など)として、乾燥材が強く求められるなどの木材需要の変化が生じました。この需要と供給の大きな変化に対応して、木材がスムーズに流れる新しい林業木材利用システムが求められているのです(注1)。

森林総合研究所では、右記の林業・木材利用システムを反映した「日本林業モデル」を作成し、生産から利用までのシステムの構造を変えたりして、システム全体のコストを引き下げて山元への利益還元を高め、山元から木材がスムーズに流れるシステムを、シミュレーションを通して探っています。

シミュレーションの結果、コストを引き下げて山元から木材を安定的に供給していくためには、現在、林野庁が進めている新生産システムの推進(注2)などが有力な方法であることが示されました。近年、製材工場の規模拡大が進んでおり、工場稼働率を高め加工コストを下げるため、大量の木材を山元から計画的・安定的に調達する必要が生じています。こうした木材需要に応じて、

(注1)

森林総研では平成18年度に、「これからの林業を拓く」という当特集と類似のテーマで公開講演会を開きました。

内容はホームページにありますので、併せてご覧下さい。
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/kouenyoushi/index.html>

(注2)

新生産システムの推進とは、川上から川下までの連携を通して、木材生産・流通・加工のコストダウンを図り、需要の変化に対応した国産材の新しい安定供給システムを創ろうとするもので、平成18年度より展開されています。

<http://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h18-4gatu/0411sinseisan.html>

計画的な木材生産を行える森林経営の規模を確保することが重要です。森林経営の規模確保は同時に、高性能林業機械をフル稼働して計画的な木材生産を行い、素材生産コストを大幅に引き下げるためにも必要です。このため林業モデルでは、多数の小規模林家経営ではなく、人工林三、〇〇〇ha強の仮想的な団地経営を想定してシミュレーションを行い、山元への利益還元が高まることを確かめました。

今後、従来の個々の林家の意思決定に基づく小規模経営に替わって、飛躍的にスケールアップした森林経営を創り出すことが、新しい林業・木材利用システムの創出に重要であり、主伐期を迎えた林業の再生に求められる一つの方向と考えられます。

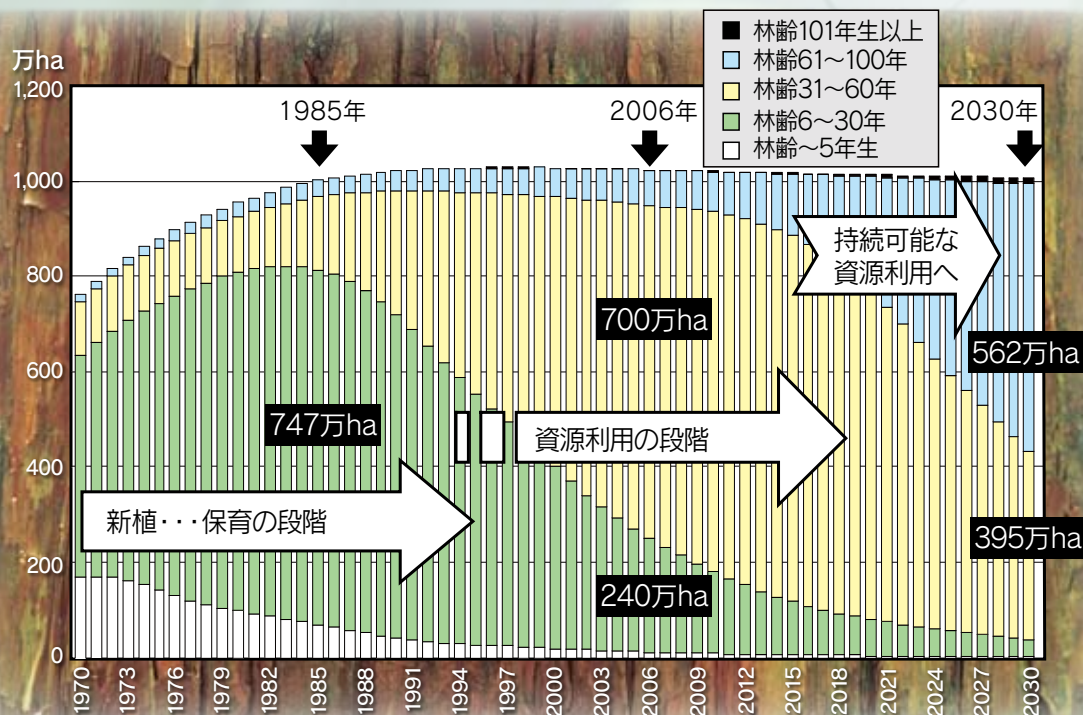


図3 人工林の林齢別面積の長期推移(予測)

注：「林業セクターモデル」による推計結果(2003年以降、素材需要量一定1,692万m³のケース)

森林作業において木材の伐採や搬出に使われている林業機械は操作が難しく、作業手順も複雑です。そのため、機械を操作するオペレータ(運転手)の技術や経験の違いが作業の生産性に大きく影響します。同じ作業工程について比較すると、初心者と熟練者では作業時間が大きく異なり、熟練者の生産性は初心者の数倍となることがあります。さらに作業時間だけではなく、熟練者の高度な技術により行われた正確な仕事は次の工程の効率化につながり、システム全体の生産性を高めることになります。熟練者のように能率的な作業を行うためには、長年の経験と機械操作技術の習熟が不可欠です。しかし近年の林業労働力の不足や厳しい林業経営から、初心者も即戦力として林業の現場で活躍することが求められています。そこで私たちは、操作の一部自動化などにより初心者が扱いやすい機械を開発すること、あるいは効率的に技術を習得できる教育カリキュラムを作成することにより、初心者の機械作業を支援する課題に取り組んでいます。

林業機械による最も基本的な作業として、グラブローダと呼ばれる機械を用いてトラックなどの荷台に丸



山口 浩和
(林業工学研究領域
主任研究員)

林業機械を上手に使う
生産性を高める



写真3 グラップルローダを用いた積み込み作業
注：右上はグラップルローダに取付けたセンサ、左下は操作装置

太を積み込む作業があります(写真3)。この機械を用いて集積している丸太を3t積車両の荷台に積み込む作業について習熟度の異なるオペレータによる作業を比較したところ、その作業時間は初心者で三分、熟練者で約四分となり、生産性に二倍以上の違いがありました。その要因を調べるために、ビデオを用いて作業を細かく分析するとともにグラップルローダの各部にセンサを取り付けて作業の内容を解析しました。

その結果、熟練者の操作の特徴として、①作業機を無駄の無い必要最小限の範囲内で動かし効率的な経路で移動させている(図4)、②複数の操作を同時に行い機械の動力性能を最大限に利用している、③丸太の重心を見極めて掴むことにより丸太の挙動が安定し作業がスムーズである、等々の特徴が見られました。また初心者の操作では作業機が大きく揺れる状況が目立ち、このことが作業を遅らせる大きな要因であることが

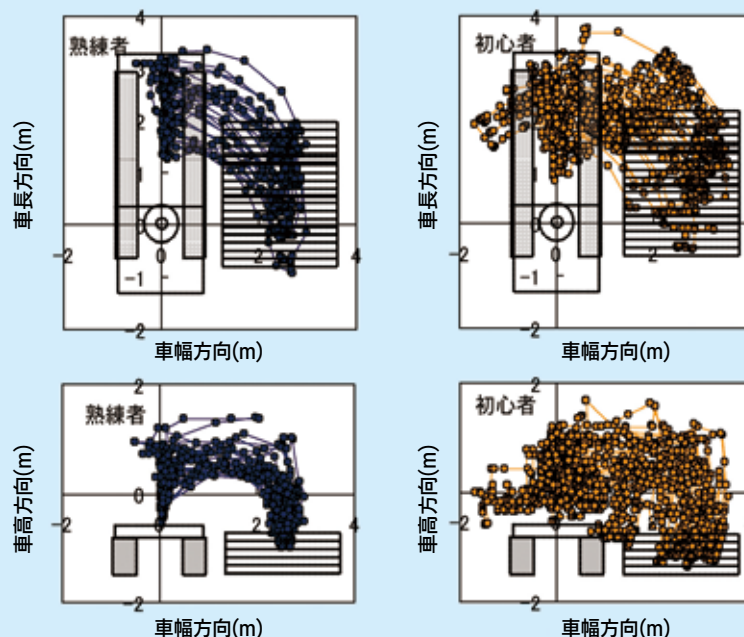


図4 熟練者(左)と初心者(右)による積み込み作業時の一秒毎の作業機(グラップル)の軌跡
注：上は機械を真上から、下は機械を正面から見たグラフです。初心者では動きが安定していないことが分かります。

明らかとなりました。これらのことから、初心者用の機械には、作業機の揺れを抑える機構や制御装置が必要であること、複雑な操作を単一的な指示で行える操作装置が適していることが分かりました。また教育のカリキュラムには、丸太の挙動の把握や重心位置の見極め方法、荷台上の丸太の整理方法などが組み込まれる必要があることが分かりました。これらの結果をもとに、今後オペレータを支援するための具体的手法を検討していきます。

コンテナ苗 自動耕耘植付機の開発



山田 健

（林業工学研究領域
機械技術研究室長）

現在、国内には経済的要因で伐採跡地に植林していないところが数多くあり、問題となっています。これを解消するためには、より低コストで植付けることが必要ですが、植付けた後の保育作業にも極力手がかからないようにする必要があります。造林コストのかなりの部分が下刈りに費やされているからです。

森林総合研究所では育苗の省力化技術としてコンテナ育苗技術を開発し、形状サイズが均一な苗木を大量生産することができる条件を整えました（写真4）。それに合わせて、コンテナ苗を自動的に植付けることができる機械を開発しました（写真5）。海外ではすでに事業的に使用されている自動植付機がありますが、これらは大型のベースマシンを必要とし、また平坦地での使用を前提としているため日本への導入は困難で、国内林業の条件に合わせた自動植付機を新規に開発する必要があります。

前述の通り、植付けだけでなく植付け後の下刈り作業も省力化できることが望まれます。そこで、植付けと同時に、苗木周囲の雑草木の繁茂を抑えるような地表処理を行う機械を考案・試作しました。事前の試験により、耕耘した土壌には雑草木が回復しにくいことが判明して

います。植付け機構に耕耘機構を付加し、耕耘した土壌に苗木を植付けると、その後の下刈りを省略あるいは軽減しようというものです。

全体の構造は、オーガと呼ばれる二軸の耕耘機構の間をプランティングチューブと呼ばれる植付け機構が通るものです。①オーガが土を耕耘、②プランティングチューブが苗木を植付け、③オーガが回転せずに降下して苗木の周囲を締め固めて根鉢と土を密着させる、という順に作動します。動作は複雑ですが、センサと専用機器により自動化されており、運転者のすることはブームを操作して作業機の位置決めをすること、苗木の投入、起動ボタンを押すことだけです。



写真4 育苗コンテナとコンテナ苗

すことだけです。汎用性を高めるためにベースマシンを油圧シヨベルとし、アタッチメントとして容易に付替えることができます。ようになっています。この作業機を、到達範囲の広いロングブーム車両に取付ければ作業範囲が大きく拡大し、ま

た森林総研ですでに開発済みの傾斜地走行車両に取付ければ山岳林での使用も可能となります。現行の人力による植付け作業能率は一日二人当たり二〇〇〜二五〇本くらいですが、この機械を使用すれば一日、〇〇〇本程度まで向上することが期待されます。

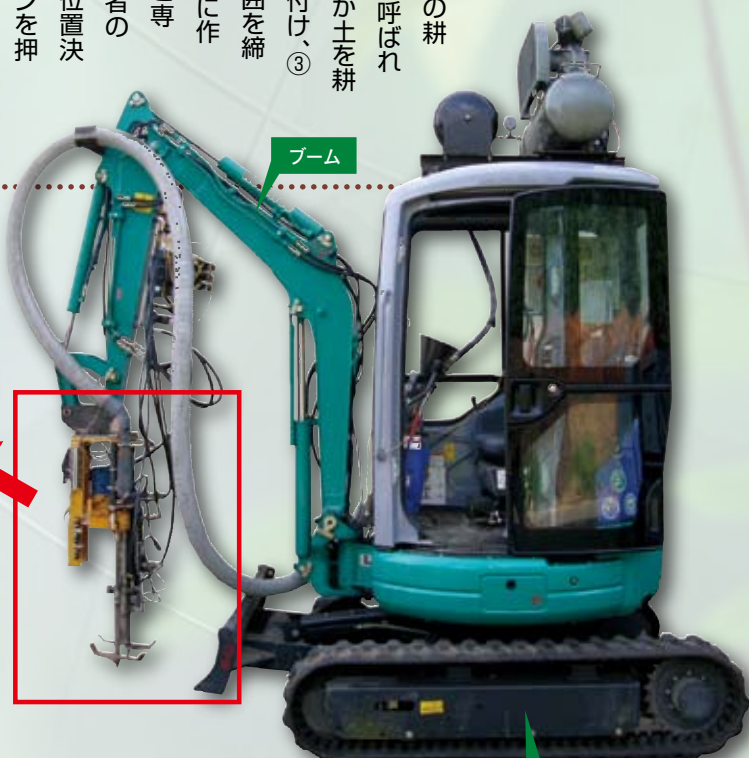
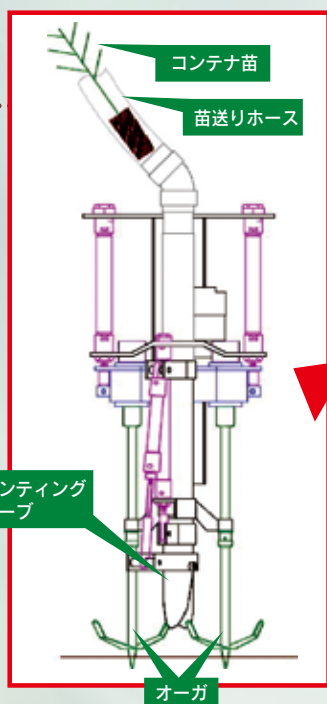


写真5 コンテナ苗自動耕耘植付機

油圧シヨベル

研究の“森”から No.184

バイオマス成分 リグニンによる 鉛蓄電池の性能改善

木材化学研究室

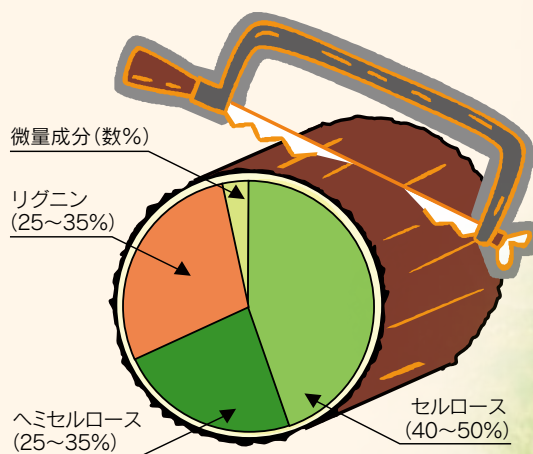


久保 智史

(バイオマス化学研究領域 主任研究員)

リグニンとは

木材は、セルロース、ヘミセルロースという多糖類成分と、リグニンという芳香族成分から構成されています(図1)。木材は、軽くて強いという特性を活かして、建築用材として多く利用されていますが、その他に紙の原料としても利用されています。リグニンは、薬液を加えて木材を化学的にほぐしてパルプという繊維を作る過程で薬液に溶け出します。この工程で木材から分離されたリグニンの多くは燃料として利用されますが、一部は界面活性剤、セメント減水剤、そして自動車等に搭載されている鉛電池の電極添加剤としても利用されています。木材化学研究室では、これらリグニン製品の高性能化に関する研究を行っており、その中で今回は、鉛電池添加剤としてのリグニン製品の高性能化に関する研究成果を紹介します。



注：各成分の組成は樹種、部位などにより異なります。

図1 木材成分の構成割合

鉛電池

鉛電池は、プラス極板の酸化鉛、マイナス極板の鉛、そして電解質（バッテリー液）である硫酸水溶液で構成されており（図2）リグニンはいくつかの硫酸水溶液に添加剤として加えられています。リグニンを添加することで、鉛電池の急速放電性能を高めることができるため、リグニンは、自動車のエンジン始動用電池としては欠かせない添加剤です。しかしその反面、リグニンを加えることで鉛電池の充電性能が低下してしまいます。そこで私たちは、鉛電池の優れた急速放電性能を損なうことなく、充電性能を改善できる新規リグニン製品の開発を目標に研究を行いました。

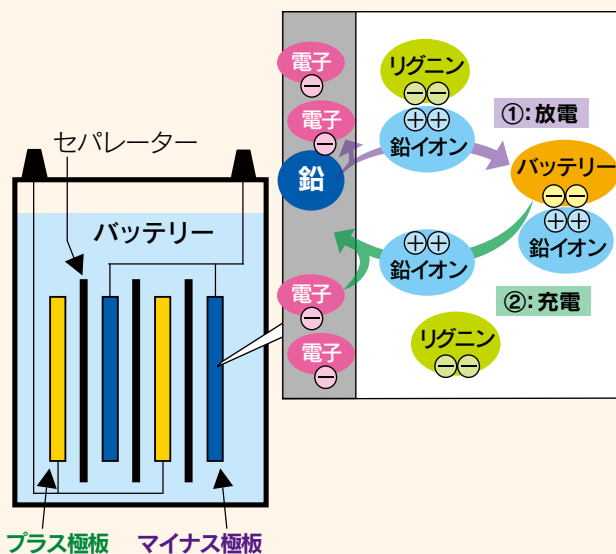


図2 鉛電池の模式図とマイナス電極近くで起こる反応予想図

鉛電池中でのリグニンの役割

鉛電池の充電性能を改善するためには、電極で起こる反応にリグニンがどのように関係しているかを解明する必要があります。鉛電池では、マイナス極板で鉛が鉛イオンになるときに放電が起こります（図2）。鉛電池の添加剤として使われているリグニンは、マイナスに帯電しやすい特別な構造を持っています。マイナスに帯電したリグニンは、プラスに帯電した鉛イオンと結合します。放電の初期では電極の近くに存在するリグニンが鉛イオンと結合することで、図2中の①の反応が右側に進みやすくなります。このことで、鉛電池の急速放電性能が向上しますが、強く吸着しすぎると充電性能に必要な②の反応が起こりにくくなると考えています。

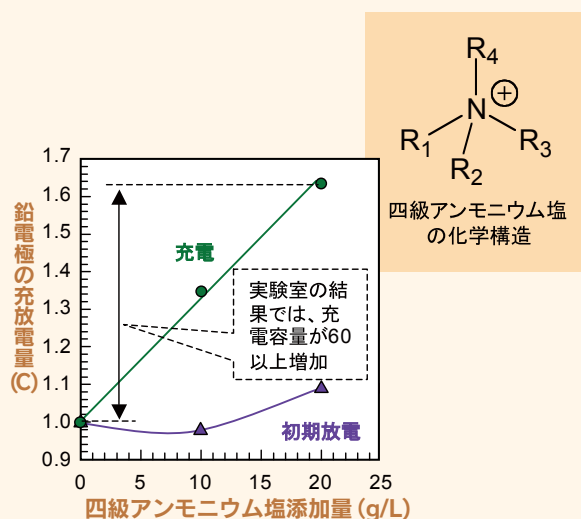


図3 四級アンモニウム塩の化学構造と鉛電極の充放電容量に対する添加量の影響

鉛電池の充電性能を改善できるリグニン添加剤の開発

鉛電池の充電性能を改善するためには、図2中の②の反応を促進させる必要があります。反応が進むためにはバッテリー液と鉛イオンの結合体から、鉛イオンを引き離す必要があります。しかし、強くマイナスに帯電した化合物を加え、結合体から鉛イオンを引き離すと、②の反応の進行が阻害されます。そこで逆にプラスに帯電した化合物を添加すれば、鉛イオンとの結合を起こすことなく、硫酸鉛から硫酸イオンを引き離すことができるのではないかと考えました。この予想を基に、様々な化合物を添加し実験を繰り返したところ、界面活性剤として化粧品、香料などにも利用されている四級アンモニウム塩という化合物の一種の添加が、鉛電池の充電性能の改善に効果的であることが分かりました。実験室の測定では、四級アンモニウム塩を添加することで鉛電池の充電性能が60%以上改善できることが分かりました。また、四級アンモニウム塩を化学的に結合させたリグニンを鉛電池に添加したところ、急速放電性能を損なうことなく、鉛電池の充電性能を20%以上改善することができました。

本研究は、大阪大学マテリアル生産科学専攻平井信充博士との共同で、（独）新エネルギー産業技術総合開発機構の助成を受けて行われたものです。

（主任研究員 久保智史、主任研究員 池田努、木材化学研究室長 眞柄謙吾）

研究の“森”から No.185

森林域から流出する 河川水質の広域評価



伊藤 江利子

(北海道支所 主任研究員)

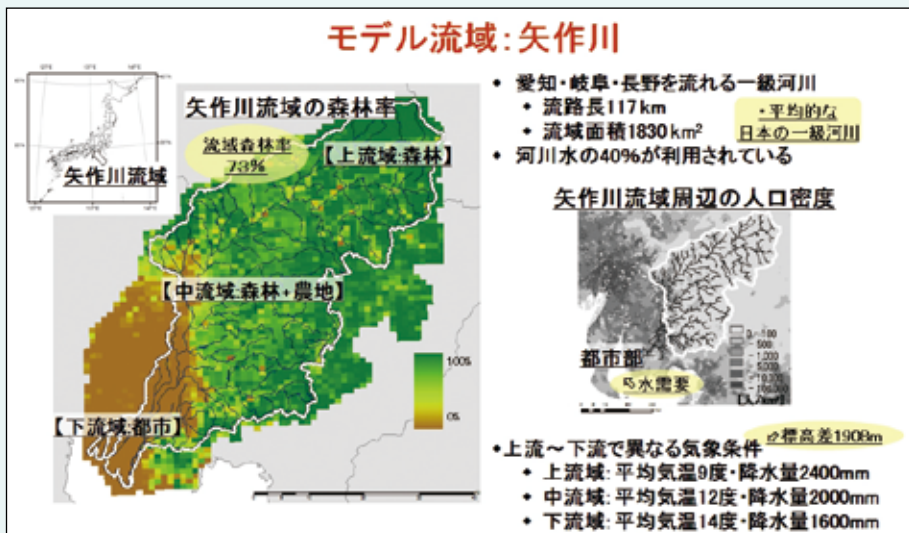


図1 矢作川流域の森林率および人口密度。矢作川は上～中流域に森林、中流域に農地、下流域に都市・工業用地という典型的な土地利用を示す日本の平均的な一級河川。

多様な森林が矢作川の水を作る

中部日本の三河地方を流れる矢作川(図1)の河川利用率は約四〇%と、日本でも有数の値となっています。農業用水、工業用水、生活用水と様々な用途に使われる矢作川の水質は地域の人々にとって重要な問題です。

矢作川流域の七四%は森林で、上～中流部にかけてブナ天然林、コナラ・アカマツ二次林、スギ・ヒノキ人工林、クロマツ砂防林、等々の森林が分布しています。人々が下流部で利用する「矢作川の水」は多様な森林から流れ出した水の混合物だといえます。

矢作川の水質をより良好に保つためには、流域内どの森林をいかに管理すればよいのでしょうか。その疑問に答えるためには、矢作川流域の水質形成にどの森林がどのように関わっているのかを調べる必要があります。

「窒素」と「水」を広域的に推定する

私たちは環境影響物質のひとつ「窒素」に着目しました。森の土に含まれる窒素のほとんどは水に溶けにくい形態(有機態窒素)をしています。有機態窒素を分解して、水に溶けやすく、森から流れ出しやすい硝酸態窒素という形に変えるのは土の中の微生物の働きです。矢作川流域の様々な森林から流れ出る窒素量の大小を示す指標として、いろいろな場所の森林から採取した土を同じ温度・水分条件で一定期間培養し、その間に生成した硝酸態窒素量を測定しました。生成した硝酸態窒素量と土を採取した場所の特性(植生・土壌・地形など)には一定の関係がありました。その関係と既存の地理データを使って、矢作川流域全体の森林について硝酸態窒素の生成量を計算しました(図2左)。その結果、硝酸態窒素の生成量は上流の森林土壌で多く、下流の森

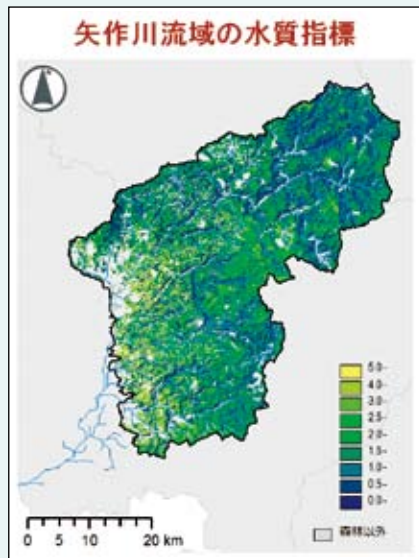


図3

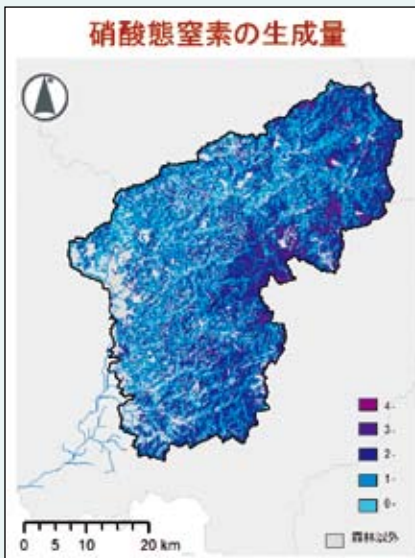


図2 左

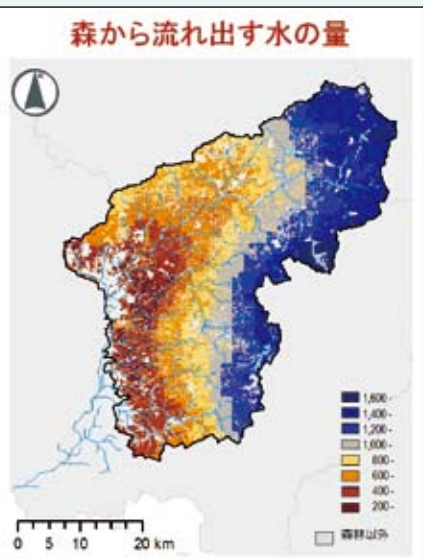


図2 右

図2

右：矢作川流域森林域で推定した森から流れ出す水の量。森から流れ出す水の量(流出量)はPriestly-Taylor式を基礎とする簡易な蒸発散推定モデルを用いて推定した年間蒸散量を年間降水量から引いて推定した年間流出量(単位mm)。値が大きいほど水質は良化する。どちらも50mメッシュで推定を行った。

左：矢作川流域森林域で推定した硝酸態窒素の生成量。硝酸態窒素生成量は矢作川流域の様々な森林で採取した表層土壌を微生物の活動に好適な温度と水分条件で4週間培養し、培養期間中に増えた硝酸態窒素の量(単位Mg Nkm⁻²)。値が小さいほど水質は良化する。

図3 矢作川流域森林域で推定した「水質指標」。「水質指標」は「窒素の流れやすさ」を「森から流れ出す水の量」で割った値で、渓流水中の硝酸態窒素濃度の上限値の目安となる(単位mgNL⁻¹)。値が小さいほど水質は良好。

林土壌で少ないと推定され、その差は四倍ほどありました。

水質は溶けている窒素量を水の量で割った濃度で表します。そこで、森から流れ出す水の量(流出量)も矢作川流域全体で推定しました。流出量は森に降った雨の量と同じではありません。雨の一部分は土壌から植物が吸ったり、植物の表面についた雨が乾いたりして、大気に戻って行きます。これを蒸発散といいます。流出量は、雨の量から蒸発散によって大気に戻った水の量を引いたものになります。これまでの研究で蒸発散量を気象や森林の条件から推定する方法が考えられているので、その式を使って流出量を推定しました(図2右)。その結果、流出量は上流で多く、下流で少ないと推定され、その差は八倍に及びました。



図4 矢作川中流域の若齢二次林。このような都市に近い地域の若い成長の旺盛な森林が窒素をさかんに吸収し、樹体内に多くの窒素を蓄積することで、流れ出る水に含まれる窒素は極めて少なくなる。

矢作川の水質指標として、硝酸態窒素の生成量を流出量で割った値を計算しました。硝酸態窒素濃度を模した水質指標は上流域で2mg/L以下と小さく下流域で5mg/L以上と大きくなりました(図3)。さらに、下流域の森林から流れ出す窒素濃度の高い水は、上流域の森林から流れ出す多量の水によって五分の二程度の濃度に薄められると推定されました。つまり、人々が最下流域で利用する河川水質を良くするためには、上流域の森林からの水流出量を安定的に確保するとともに、中流域の森林から流出する窒素を減少させることが大事だと分かりました(図4)。森林から流れ出る水の水質保全は、森林を適切に管理していく上での重要な目標です。今後は各森林が水質形成に果たす役割に応じた管理方法を考案していく必要があります。

上流と中流で異なる水質形成機能



研究の“森”から No.186

アカマツ針葉の 寿命と光合成能力は 樹冠上部と下部で 大きく異なる



韓 慶民

(植物生態研究領域 主任研究員)

森林の二酸化炭素吸収量の予測は個々の葉の特性解明から

森林には厚い樹冠の層に膨大な量の葉がありますが、一本一本の針葉が受ける光の強さはすべて違います。葉をよく見ると、明るい樹冠の上の方の葉は緑が濃く、がっちりしていて元気が良さそうですが、樹冠の下の方は暗くて葉も細く、元気がない感じがします。こうした様々な条件にあるひとつひとつの葉が光合成を行って、森林は温暖化の主な原因とされる二酸化炭素を吸収します。そのため森林には大きな期待が寄せられていますが、二酸化炭素吸収量を正確に予測・評価するためには、これら樹冠内の葉の光合成能力^{※1)}の違いを考慮して光合成量を推定しなければなりません。そのため、富士山麓に広がるアカマツ林で、樹冠内の葉の位置(高さ)と葉齢(葉の年齢)に着目して光合成能力の違いを調べました。

※1) 光合成能力とは、葉が十分な明るさのもとで示す最大の時間当たりの光合成量で、明るさの変化にともなう光合成量を推定する基礎になります。



同じ樹冠内でも葉の性質が違う

二十m以上あるアカマツの樹冠にアクセスできる観測タワーを使って、樹冠内の葉の位置と葉齢を調べました。アカマツは常緑針葉樹で常に葉が着生していますが、個々の葉には寿命があり、古くなった葉は新しい葉に交替していきます(写真1)。明るい上層の葉は寿命が三年ほどで、下層の葉に比べて針葉が長く、葉が着生している枝の長さも長いことが分かりました(図1)。下層の葉の寿命は五年と長いのですが、針葉は短く、枝先の方だけに着生していました(写真1)。

葉の形態的な特徴を表す「葉面積／葉重(比葉面積)」を調べたところ、上層の葉に比べて下層の葉は重さのわりに葉面積が大きいことがわかりました(図1)。つまりアカマツの針葉は、明るさによってその形態を変化させ、暗いところでは葉を短くスリムにして、できるだけ



写真1 アカマツ樹冠の枝・葉の分布
上層と下層では葉の付き方が違います。
秋に落葉する前に養分を樹体内に回収するので黄色くなります。

け余分な投資をせずに、効率的に葉面積を広げているようです。それに対して、明るい上層の葉は、太くガッチリした丈夫な葉型をして、盛んに光合成をしていると考えられます。

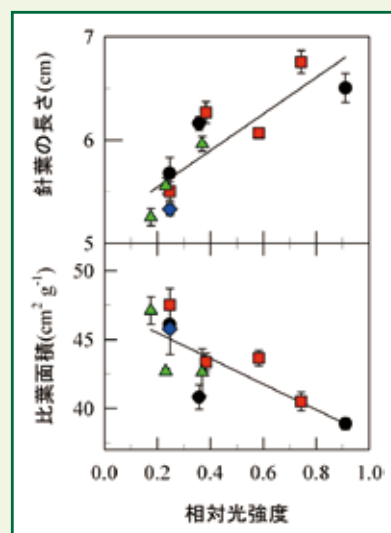


図1 樹冠内における光の減衰とともに、針葉の長さが短く、比葉面積が大きくなります。

葉齢と光合成能力との関係

そこで、樹冠内の葉の位置と葉齢による光合成能力の違いを明らかにするため、葉が着生したままの状態での葉齢ごとに光合成能力の季節変化を測定しました(写真2)。光合成能力は夏にピークがあり冬に低下しますが、葉齢で見ると、上層は二年葉(開葉翌年)が最大で、二年葉は夏にかなり回復するものの冬には寿命が尽きてしまいます(図2)。一方、寿命が長い下層の葉の光合成能力は、二年葉で最大となり、それ以降は徐々に低下していきます。つまり、より高い光合成能力を有する上層の葉は寿命が短いに対して、下層の葉は光合成の働きを抑制しながら長生きできるということになります。

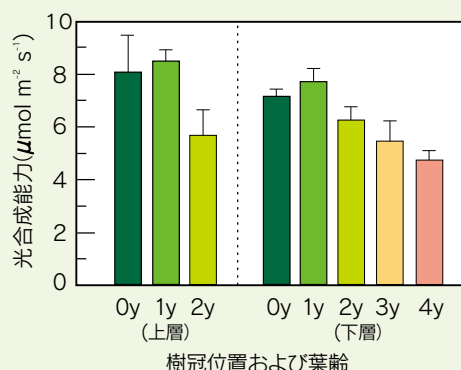


図2 葉齢と樹冠位置が針葉の光合成の能力に及ぼす影響



写真2 光合成測定風景

このようにアカマツの葉は、樹冠内の異なる光環境に応じて、葉の形態と光合成能力を変化させていることが明らかになりました。これは樹木の個体レベルの光合成生産を効率よく行うための適応戦略(生物が生活するのに有利なくみをつけること)と言えるでしょう。この成果は、森林の二酸化炭素の吸収モデルに組み込んでいきます。

全国巡り



北海道支所

北海道支所は札幌市の郊外、観光地で有名な羊ヶ丘展望台の隣に位置し、平成二〇年には創立百周年を迎えました。

北海道の森林の三分の二は天然林であり、針葉樹と広葉樹が混じり合っており、混交林が多く、野生生物の生息地としても重要な役割を果たしています。また人工林はトドマツ、カラマツ、アカエゾマツなど寒冷地特有の樹種から成り立っており、重要な林業地域でもあります。

当支所ではこうした北海道独特の森林を保全し、将来にわたって持続的に利用しつつ、維持管理していくための研究を中心に進めています。

このほか近年関心の高いバイオマス利用の分野では短い伐期で繰り返し収穫するヤナギを用いたバイオマスの実用化の研究を行っています。

また実験林には高さ四十mのフラックス観測タワーがあり、森林および大気中の二酸化炭素の流れを測定するなど様々な方法で森林が放出吸収する二酸化炭素の量の測定を行い、地球温暖化対策の研究にも取り組んでいます。

これらの研究成果は一般公開や森林講座の開催を通して、より多くの方々に紹介するよう努めています。



羊ヶ丘実験林のフラックス観測タワー



森林講座の風景

森林農地整備センター

平成二〇年四月の旧緑資源機構の解散に伴い、業務の一部を森林総合研究所が承継し、研究所に承継事業を実施する森林農地整備センターを設置しました。

主な事業のうち「水源林造成事業」については、民有の保安林のうち無立木地など水源かん養機能が低下している森林について、当センターが費用負担や技術指導の役割を担い、地域住民の方々と共同で整備するものです。昭和三六年から事業を開始し、森林の成長に伴い涸れた沢に安定した水流が蘇るなどの効果が現れており、中でも代表的な二〇箇所が林野庁による「全国水源の森百選」に選ばれています。

また、森林と農地が混在する中山間地域を保全整備する事業や、農村の基盤となる農用地や農道などの整備を総合的に進める事業も実施しています。これらの事業は、神奈川県川崎市、神奈川県のセンター本部のほか、整備局等の地方組織において地域住民の方々と連携をとりながら進めています。



水源の森百選 水沢川源流の森
(秋田県八峰町、水沢ダム上流)



水源の森百選 横川山 (長野県岡谷市)

研究領域紹介

森林微生物研究領域

森林には多種多様な微生物が生息し、森林生態系における物質循環や環境形成に寄与しています。その中で私たちは、樹木に病気を起こす病原微生物、森林内に漂う空中浮遊菌や生きた植物組織内に生息している内生菌を代表とする菌類、及び樹木の根に共生し樹木の生育に有益となる菌根菌の研究を通して、健全な樹木や森林を育むための研究を行っています。

樹木病原微生物の研究では、樹木病害の検索同定のための病原菌の分類やスギ・ヒノキ等主要樹木病害の制御技術の開発を行っています。現在、樹木腐朽病菌の伝播を防ぐため、防除法の確立に取り組んでいます。また、最近、防除現場で簡便に利用できるマツ材線虫病のDNAを用いた診断試薬キットを開発しました(写真1)。一方、菌根菌に関する研究では、共生機能の解明を通じ、利用技術の開発研究を行っています。例えば、菌根菌を苗に接種すると荒廃地での活着や生育が良くなる技術は、二〇〇〇年に噴火した三宅島の森林再生事業に貢献しています(写真2)。更に、私たちは、菌根菌であるマツタケの人工栽培を目指した研究や、スギ花粉症対策として菌類を用いて人為的に雄花を枯死させ、花粉の飛散を抑制させる研究などを行ない、森林微生物を有効活用する技術開発にも着手しています。

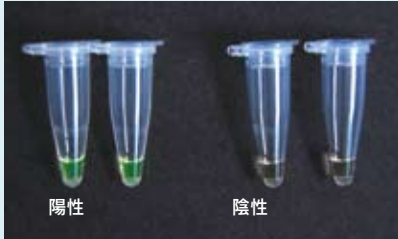


写真1 マツノサイセンチュウ検出キットの試験結果

マツノサイセンチュウのDNAが存在する場合は、反応液が緑色の蛍光色を発する。マツ材線虫病の診断が簡便かつ高感度に行える。



写真2 2000年三宅島噴火被災地で実施された緑化試験

菌根菌(*Ambispora callosa*)が感染したスギを現場に移植した2年後の様子。植生回復への菌根菌の有効性が認められた。

加工技術研究領域

加工技術研究領域では、身近で環境にやさしい国産材を高品質な建築材料や燃料などに加工する技術や効率的な生産システムを開発しています。

ここでは、最近の主要な取り組みを二つ紹介します。まず、これまで乾燥が難しいといわれてきたスギ材を、用途に応じて省エネルギー的に効率良く乾燥させるための技術開発です。サイズが異なる材を一緒に乾燥させて、用途が異なる製品を同時に生産するシステムの開発や、ヒートポンプ方式(CO₂に圧力をかけて熱を取り出す方式)の省エネルギー性の高い乾燥機の開発などに取り組んでいます。

もう一つは、木質資源の無駄のない利用法の開発です。林地残材や工場の端材などの木質残廃材をエネルギー源として広く活用するため、発熱が大きい高品質ペレット燃料の製造技術の開発や、木質残廃材を製材工場の木材乾燥などに利用する小型発電システムの実証実験を進めています。

このような木材加工技術の高度化を通じて、わが国の木質資源の持続的な利用を図るのが当研究領域の最大の目的です。



様々なサイズの木材を効率的に乾燥するための技術開発



木質廃材を高品質の木質ペレットに転換する技術開発
(左図：製造機、右図：ペレット)

カンボジア国

森林環境研究の現状

—水循環を中心とした総合観測システム—

写真2 河川の流量観測

清水 晃 九州支所地域研究監

カンボジアは、明瞭な雨季・乾季のあるアジアモンスーン気候下の国で、インドシナ半島南部の国際河川メコン川下流域に位置しています。この地域で最大の湖であるトンレサップ湖から流下するトンレサップ川では、雨季にメコン川本流との合流地点（ノンペン市内）から上流の湖へ河水が逆流するなどの特異な水文現象が見られます。カンボジアでは一九七〇年代後半から内戦などで混乱が続きましたが、現在では民主化、復興の途上にあります。そのため、フランス統治下やその後の王制の時期を除いて森林に関する研究はほとんど行われず、森林の水循環についての研究蓄積は皆無でした。

森林総合研究所は、文部科学省や農林水産省の研究プロジェクトに参加して二〇〇二年度からカンボジアでの森林環境研究を開始しました。カンボジアはインドシナ地域ではほとんど残っていない広大な平地林を有しているため、その立地・水文などに関する様々なデータは地球規模の環境変動におけるデータ空白域を埋める資料として非常に貴重なものです。また、この地域に生活する住民にとっては、安定した水の供給や森林の持続的な利用・保全などのために森林環境の正確な観測データは価値の高いものです。このような状況から、森林総合研究所が中心となって森林環境モニタリングシステムの整備を進めてきました。

二〇〇二年度からの観測は常緑林を対象としたもので、高さ六〇m気象観測タワー（写真1）を中心に観測流域を設定し、地下一〇m深までの土壌断面調査などを組み合わせて地下から樹冠上部までを対象とし、衛星画像によるモニタリングも組み込んだ観測システムを構築しています（図1、写真2）。さらに、二〇〇八年度からは新たに環境省のプロジェクトが始まり、カンボジアで常緑林とともに広く分布する落葉林を対象とした観測体制の整備を進めており、平地の常緑林・落葉林に関する正確な森林環境データの提供が期待されています。

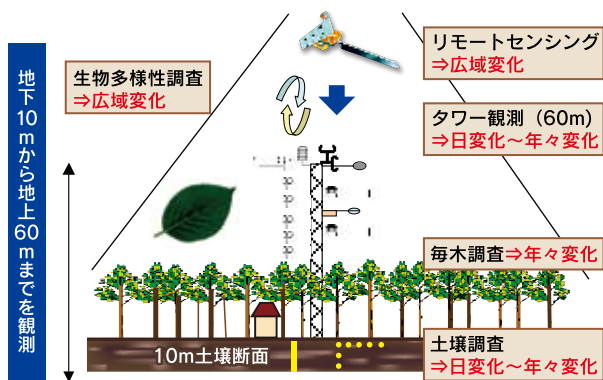


図1 森林環境観測システム



写真1 高さ60mの観測タワー

こ・れ・が・お・宝

二酸化炭素フラックス観測塔

(安比二酸化炭素動態観測共同試験地)

安田 幸生 東北支所主任研究員



新緑のブナ林とタワー頂部に配置された測定機器



林内に設置された高さ31mの観測タワー

岩手県八幡平市の安比高原に広がる美しいブナ林のなかに、大きな観測塔が立っています。近年、大気中の二酸化炭素（ CO_2 ）濃度の上昇に伴う地球温暖化が懸念されており、 CO_2 吸収源と考えられている森林の役割が注目されています。このため、森林の CO_2 吸収・放出量や貯留量の把握が急務となっています。森林総合研究所東北支所では、東北森林管理局との共同で、安比高原ブナ林において CO_2 の吸収（光合成）や放出（樹木や土壌の呼吸）に関するさまざまな調査を行っています。この観測塔は森林と大気の間での CO_2 フラックス（交換量）を直接観測するための施設です。森林総合研究所では、このような観測塔を北海道から九州に至る5ヶ所の森林に設置して、 CO_2 フラックスを観測しています。

ここで CO_2 フラックス（交換量）とは土壌を含めた森林全体の吸収量または放出量のことです。森林上に吹く風の動きと、そのときの CO_2 濃度の変化を測定することで求められます。この観測によって、気象の変化に応じて光合成で吸収する CO_2 量と呼吸で放出する CO_2 量の収支を調べることができます。例えば、日中は光合成が呼吸を上回るので森林全体として CO_2 を吸収しますが、夜は光合成を行わないので放出に転じます。

私たちは長期観測を通じて、温暖化等にもなる気象環境の変化が森林の CO_2 吸収・放出に及ぼす影響を明らかにしていきます。



ヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus*
頭部の茶色い個体が兵隊アリ。
他は働きアリ。

シロアリの巣は王と女王のペアを中心に、敵と戦う兵隊アリと、巣を維持する働きアリとで構成されています。シロアリは名前に「アリ」と付きますが、アリとは別の昆虫です。日本では古くから、ヤマトシロアリとイエシロアリによる被害に悩まされてきました。これらは別名「地下シロアリ」と称されるように、地面から「蟻道」と呼ばれる土や糞などで作ったトンネルを造って、その中を行き来することにより、外敵や乾燥から身を守りつつ木材などを加害します。

ところが最近、外来種アメリカカンザイシロアリによる被害が多く報告されるようになってきました。この仲間は別名「乾材シロアリ」と呼ばれるように、乾いた木材に孔をあけてもぐりこみ、材内の閉ざされた空間だけで生活しています。そのため、排泄時に水分を再吸収する仕組みが発達していて、乾いた顆粒状の糞を材表面から排出します。発見が難しく退治にくいシロアリです。

大村 和香子
(木材改質研究領域 主任研究員)

シロアリ



アメリカカンザイシロアリ *Incisitermes minor*
頭部の茶色い個体が兵隊アリ。他は働きアリ。
周囲の小さな粒は糞。

炭素の固定と蓄積

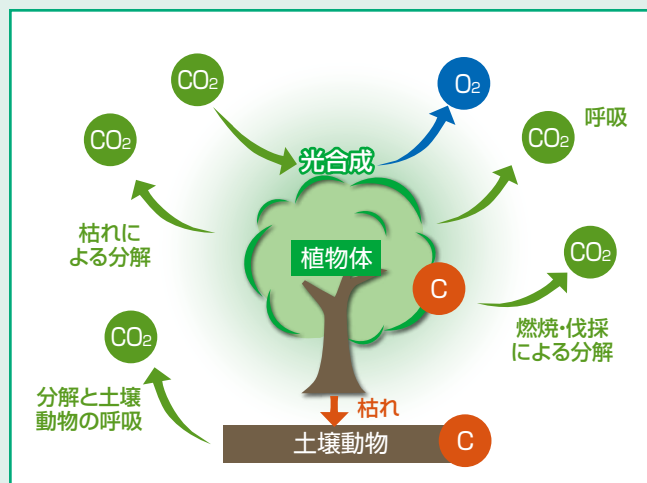
清野 嘉之(温暖化対応推進拠点長)



スギの人工林（静岡県天竜地方）

植物の体はおもに炭素と水素、酸素からできています。この炭素は大気中の二酸化炭素を植物が光合成により取り込んだ結果、植物の体を構成するようになったものです。これを炭素固定といいます。光合成は二酸化炭素と水を、光のエネルギーを使って炭水化合物と酸素に変える働きで、できた炭水化合物の二部は呼吸に使われ、残った分が花や葉、幹、根など植物の体になります。花や葉はじきに枯れ、微生物により分解されて、炭水化合物の炭素は二酸化炭素に戻ります。幹や根もやがては寿命がきて枯れ、二酸化炭素に戻りますが、それまでの比較的長い間、炭素を地上に留め置きます。自然状態では、多くの森林は個々の木の寿命より長く森林であり続けます。これは森林の樹木が少しずつ、枯死→種子→芽生え→成長→成熟→枯死と世代を交代させているからです。この間に枯れた樹木の部は土壌になつて地中に蓄積するので、長く続いた森林の土壌には多量の炭素がたまりま

す。しかし、百～千年といった長い時間で見ると、その間に森林が火事にあつたり、伐採されたり、土壌が流されたりするので、実際の森林の炭素蓄積量には限度があります。森林は炭素の貯金箱に例えられますが、そのはたらきを活かすには森林を上手に管理することが重要といえます。



森林における二酸化炭素(CO₂)と炭素(C)の流れ

「温暖化時代を森と生き抜く

— 森の機能をどこまで活かせるか — 公開講演会

一〇月一四日(水)、平成二年度公開講演会を開催します。「温暖化時代を森と生き抜く」をテーマに、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)でリーダーシップをとられてきたKurz博士をお迎えし、ともにIPCCに貢献してきた我が国の研究者が、森林の現状と将来について、一般の方にもわかりやすく紹介します。

●基調講演

・森林、炭素と気候変動

Werner Kurz

(カナダ森林研究所・IPCC第4次報告書主執筆者)

●講演課題および講演者

①森林総合研究所における温暖化対策研究の目指すもの

石塚森吉

(研究コーディネーター(温暖化影響研究担当))

②吸収源としての森林の役割・二〇五〇年への展望

松本光明

(温暖化対応推進室長・IPCC第4次報告書主執筆者)

③温暖化で危惧される自然林への影響

田中知行

(植物生態研究領域主任研究員)

④空から森林の吸収量・排出量を見守る

平田泰雅

(森林管理研究領域チーム長)



●パネルディスカッション

司会 天野正博(早稲田大学教授)

コメンテーター 清野嘉之(温暖化対応推進拠点長)

高橋正通(研究企画科長)

日時 平成二年一〇月一四日(水) 三時五十分から

二時三〇分

●会場

ヤクルトホール

TEL 03-6574-7255

<http://www.yakult.co.jp/hall/index.html>

●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 026-826-8134

Eメール kouho@ffpri.affrc.go.jp

好評開催中

「森と人をつなぐ談話会」

(通称サイエンス・カフェ)



一般のみなさまに、森のことをわかりやすく知っていただくための談話会を開催しています。どなたでも楽しんで学んで頂けるように、研究者がクイズなどを交えながらお話しします。

一〇月には「山の土の話」と「熱帯林の話」を予定しています。研究者と直接ふれあえる絶好の機会ですので、是非足をお運び下さい。今後のスケジュール等、詳しい事は当所ホームページにてご案内致しますので、チェックしてください。



<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/text03-j.html>

生物多様性条約第一〇回締約国会議 (CBD/COP10)プレシンポジウム

一〇月二九日(木)つくば国際会議場において、ポスト二〇一〇年目標に向けた森林の生物多様性評価をテーマに、世界の第線の研究者による報告と討論をおこないます。

このシンポジウムは、世界の森林の生物多様性保全を推進する研究ネットワークを形成し、森林の生物多様性保全の問題点と今後の課題を明確にするために開催するものです。

詳しくは下記のホームページをご覧ください。

http://www.ffpri.affrc.go.jp/symposium/FFPRI-sympo/2009/CBD_COP10/cbd_cop10.html

木質バイオエタノール

製造実証プラント竣工

森林総合研究所が、秋田県北秋田市で建設を進めていました木質バイオエタノール製造実証プラントが竣工を迎えました。

本事業は、東京大学、早稲田大学、秋田県立大学と共同で行い、秋田県及び北秋田市の協力を得



実証プラント全体

て、平成二〇年度から二四年度までの五年間にわたり技術実証及び施設改良を行うものです。

詳しくは、下記のプレスリリースをご覧ください。
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/Press-release/2009/20090618/bioeta20090618.html>
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/Press-release/2008/bioethanol20080829.html>

森林総合研究所研究報告



Vol.8-No.2 (通巻411号)
2009年6月発行

論文

レッドメランチ、ラーチ、スギの単板乾燥工程で排出される揮発性有機化合物(英文)

石川敦子・大平辰朗・宮本康太・井上明生・大越誠

冬期におけるヤマドリ(シロドリ)の食性(英文)

川路則友・横山準

リアルタイムPCRによる白色腐朽菌ウスヒラタケ菌糸体の定量(英文)

山口宗義・中村雅哉・高野麻理子・関谷敦

短報

北海道渡島半島の国有林におけるブナ保護林のマイクロサファイト多型(英文)

小林誠・北村系子・河原孝行

研究資料

雨水が封鎖したぬぐら樹洞で発見されたハシブトガラ *Parus palustris* の死体とその死因について(英文)

松岡茂・工藤慈

編集後記

季刊「森林総研」第6号をお届けします。今回は、特集として「林業再生に向けて」を掲載しました。世界的な不況の中で木材需要の減少も懸念されますが、一方で大きな潜在的可能性を秘めた未利用の木質バイオマス資源など森林・林業に対する熱い期待が寄せられていることも事実です。林業再生は国民的願いといえます。前回からはじまった「森のはたらき」では、森林の二酸化炭素吸収について紹介しました。様々な森の生きものや海外事情、そして全国に展開する森林総合研究所の各組織の紹介など、今回も気軽に読める貴重な情報がいっぱいです。どうぞ、お楽しみ下さい。

(企画部 研究情報科 荒木誠)

編集委員: 藤田和幸 市田恵(NPO法人 才の木) 荒木誠 浪岡保男 長江良明 岡野通明 村上亘 佐々木達也 伊ヶ崎知弘 安部久 石崎涼子

(表紙の写真) 上からメジロスギ、ユリノキ、ハナズオウ、(誌名の背景)トチノキの木目

(裏表紙の写真) ヒマラヤスギ: マツ科ヒマラヤスギ属の常緑高木。写真にある白緑色の球状の物は球果(松ぼっくり)。

縦10cm程度の大きさがあり、熟した球果が開くと先端の果鱗部分はバラの花のような形で落ちる。



「ヒマラヤスギ」 *Cedrus deodara*

季刊 森林総研 Vol.6

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/>

2009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。