



森林総合研究所 平成 15 年度 研究成果選集

目 次

ア 森林における生物多様性の保全に関する研究

森林動態データベースの公開…………… 4

日本各地に設定した貴重な天然林試験地の毎木データ、稚樹データ、実生データなどをデータベース化し、公開した。

チョウ類の多様性と里山の管理－落葉広葉樹林の二次遷移にともなうチョウ類群集の変化―… 6

チョウの種数や個体数は、若い二次林には多かったが、高齢二次林には少なかった。しかし、高齢二次林は原生林を好むタイプのチョウをはぐくんでいた。チョウ類の多様性を保全するためにはどのようにしたらよいのだろうか？

イ 森林の国土保全、水資源かん養、生活環境保全機能の高度発揮に関する研究

樹木の細根は成長と枯死を繰り返す…………… 8

スギ人工林における細根の成長と枯死について解析した結果、細根の成長と枯死は両者ともに夏季に盛んで、1 年間の細根成長量、枯死量は細根の平均バイオマスを大きく上回ると考えられた。

どこの山が、いつ崩れるか、リアルタイムで予測する…………… 10

レーダーアメダス6時間降雨予測情報と、対象流域の地形・土質データ等を使って、今後、6時間後までの間にどこで、いつ表層崩壊が発生するか予測するシステムを開発した。

斜面崩壊の到達範囲を予測する…………… 12

斜面崩壊の到達危険範囲を予測するために、崩壊現象を粒状体の集合の運動として再現する数値シミュレーションモデルを開発するとともに、実規模の崩壊実験を行ってモデルの妥当性を検証した。

ウ 森林に対する生物被害、気象災害等の回避・防除技術に関する研究

かたちと遺伝子に残るスギカミキリがたどって来た道…………… 14

スギやヒノキの材質劣化害虫であるスギカミキリの形と遺伝子を地域間で比較した。その結果、日本海側と太平洋側では遺伝的に異なる集団が存在することが判明した。

ブナの実がならない年はツキノワグマが里に出てくる？…………… 16

東北地方では、ブナの実のりが大豊作から大凶作へと変化するとき、人里域に出没して有害駆除されるツキノワグマの数が急増する。この関係を人身被害防止のための警報システムづくりに生かすことができるだろう。

木の揺れを計る…………… 18

強風で林木の幹が揺れるときの揺れ回数を測定する測器を開発した。本機の開発により林木の風に対する抵抗力を客観的に評価することができる。この測器のデータは風害に強い木を作るための枝打ちや間伐の改善のために利用できる。

エ 多様な公益的機能の総合発揮に関する研究

原生林に住むアリにとって二次林は住みやすいか…………… 20

人工林など二次林での森林の機能を評価するために、原生林に住むアリ類の種構成を二次林や人工林と比較して解析した。二次林では原生林に住むアリはみられず、森林伐採の影響が数十年後まで依然として残っていた。

西南日本では強風がどこでどれくらい吹いているか…………… 22

台風常襲地域の西南日本において森林管理上の強風対策をたてるため、強風の発生頻度を広域的に推定した。九州北部と南部とでは大型台風の頻度に較差がみられ、それに合わせた強風対策が必要であることを示した。

オ 地球環境変動下における森林の保全・再生に関する研究

イオウを貯める土・貯めない土 –イオウが多い日本の土壌のナゾ–…………… 24

酸性雨に含まれるイオウは土壌中でどのような運命をたどるのか。我が国に広く分布する火山灰土壌は欧米の土壌に比べ著しく多量のイオウを貯め込んでいた。その現状と貯める仕組みを明らかにした。

複雑な地形にある森林の二酸化炭素収支の計測…………… 26

尾根、谷に囲まれた複雑な地形にある森林で乱流変動法による CO₂ 交換量の観測を行う場合、風のない夜間の呼吸量の測定が困難であることが分かった。そこでチャンバー法を併用することによって精度向上をはかった。

森林土壌による炭素蓄積分布図の作成…………… 28

既存の土壌調査データと国土数値情報を利用して日本の森林土壌による炭素蓄積分布図を作成した。その結果、森林土壌による炭素蓄積の全国的傾向を明らかにした。

水不足で形成された葉は光にも強くなる…………… 30

乾燥ストレスの下で形成された葉では、気孔閉鎖により葉内 CO₂ 濃度が低下した際でも、電子伝達能力を高めることで光化学系Ⅱへの過剰なエネルギー集積を防ぎ、光阻害を回避していることが明らかになった。

カ 効率的生産システムの構築に関する研究

新たな木製擁壁の開発…………… 32

林道の曲線部分や基礎地盤に勾配の変化のある部分に設置するのに最適な、小さな曲線半径、地形の凹凸に柔軟に対応しうる新たな木製擁壁を開発した。

システム収穫表 LYCS の改善と列状間伐林への応用…………… 34

多様な密度管理に対応して収穫予想表を作成するプログラム LYCS について、全国のスギ林に適用でき、表計算ソフト上で利用できるように改善した。さらに、LYCS を列状間伐にも応用し、間伐方式別の収穫予測量を比較した。

キ 森林の新たな利用を推進し、山村振興に資する研究

観光レクリエーションのため、森の管理が効果的な場所とは？…………… 36

観光レクのために森林管理を行うと効果的な重要地区を判定するとともに、その地区の地形や土地利用の特性や観光レク資源・施設の特性を解析し、地域森林計画区における森林管理の方向性を示す手法を開発した。

ク 木質資源の環境調和・循環利用技術の開発に関する研究

樹木中のリグニン・炭水化物間化学結合の解明

–樹木化学成分の有効利用を進めるためのキーポイント–…………… 38

オゾン処理・酸処理を用い、リグニン・炭水化物間化学結合を切断することなく樹木から単離することを試みた結果、従来証明されていなかったリグニンとヘキソース（グルコース・マンノース・ガラクトース）間に化学結合が存在することが明らかにされた。

超臨界水及び亜臨界水処理による木質資源の高速糖化…………… 40

環境負荷の小さい超臨界水及び亜臨界水処理法を用い、木質資源からバイオエタノールの原料となるグルコースやオリゴ糖などの糖類を高速かつ高効率で生産する方法を開発した。

木材の燃焼によって生成するダイオキシン類…………… 42

小型焼却炉を用いてスギの燃焼試験を行った結果、バッチ式の方が連続投入方式よりも、また、無機塩素添加材の方が未処理材よりもダイオキシン類生成量が増加した。

デシケータ法を利用した建材からのアセトアルデヒド放散量の簡易測定法…………… 44

デシケータ法を利用して木質建材からのアセトアルデヒド放散量を測定する簡易法を開発した。本法は、非ホルムアルデヒド系接着剤を用いた建材にも適用することができる。

ケ 安全・快適性の向上を目指した木質材料の加工・利用技術の開発に関する研究

木質構造接合部の新たな補修・補強方法とその効果…………… 46

大地震などにより傷んだ接合部を補修する新しい技術として減圧による接着剤充填方法を開発した。充填方法を加圧から減圧に変えることで多くの利点が生まれた。実大試験体を使った加力実験で、その効果を確認した。

建築廃材木炭で床下の調湿…………… 48

布基礎の内部に建築廃材木炭を敷きつめた結果、床下の温度は変わらなかったが、相対湿度は外気並みに低くなった。木炭が水分を吸着する機能を利用することで、床下の湿気を減らせることが分かった。

コ 生物機能の解明と新素材の開発に向けた研究

縄文時代後期に埋没したスギのDNA分析…………… 50

三瓶小豆原埋没林から出土したスギの大型遺体からDNAの単離と核遺伝子の人工的な増幅に成功した。埋没スギの遺伝子は現存する天然スギの祖先的な塩基配列であることが明らかになった。

スギの培養細胞からクローンスギの作出に成功…………… 52

被子植物で報告されている細胞増殖因子ファイトスルフォカイン(PSK)が裸子植物であるスギでも機能していることを発見し、このPSKを利用することで、スギの培養細胞を効率的に不定胚へ分化させることに成功した。

エノキタケ廃菌床の子実体形成促進物質 ―廃菌床の再利用に向けて―…………… 54

エノキタケの廃菌床を4つの成分に分画し、エノキタケの色素脱色能を指標にして調べた結果、エノキタケが培地中に子実体形成を促進する何らかの物質を生産していることを明らかにした。

サ 森林・林業・木材産業政策の企画立案に資する研究

人と森林の距離…………… 56

1980年以降の人口動態と森林の分布について、既存の数値地理情報を用い、森林率別人口、森林までの距離別人口の点から分析を行い、多くの人は森林の近くに住んでいることがわかった。

シ 基礎基盤等研究、調査・観測

コーナー博士により新種記載されたサルノコシカケ類の分類学的検討…………… 58

コーナー博士により報告されたサルノコシカケ類には既知属に含まれないものがあり、3新属を記載した。東南アジアにはサルノコシカケ類の種数が多いだけでなく固有種が多いことが示唆された。

森林動態データベースの公開

森林植生研究領域 群落動態研究室
東京農業大学
科学技術振興機構

新山 馨
武生 雅明
河原崎 里子

背景と目的

地球温暖化や生物多様性の減少など、地球環境問題の解決に果たす森林の役割が大いに期待されています。しかし、森林の炭素固定能力や生物多様性の維持に果たす役割を評価するには膨大な科学的データが必要です。そのためには各地にある研究機関の持つ情報を公開し、相互利用するのが効率的です。その手始めとして森林総合研究所の持つ基礎情報を広く利用してもらうために、科学技術振興機構の研究情報データベース化事業の支援を受け、森林動態データベースの開発を行いました。森林動態データベースは、森林総合研究所が大規模な天然林試験地で長期にわたって蓄積した、樹木の成長と生存のデータベースです。データはすべて研究者自身の手によって現地で正確に測定された貴重なものです。公開の目的は、森林データを必要とする研究者や教師、行政などに広く森林の基礎情報を提供することです。そのため、森林を構成する各樹木の成長や生死などのデータを標準化し、利用しやすいデータ構造を構築することが必要でした。

成 果

データベースの概要

このデータベース（FDDb）には、日本各地に残る貴重な天然林に設置した数ヘクタールの長期生態観察用試験地のデータを対象とし、北海道から九州、屋久島まで 8 試験地のデータを保存しました。データベースは様々な処理が可能なリレーショナルデータベースで、日本各地に設定した試験地の樹木の幹を単位とし、個体識別番号、幹の位置情報、樹種名、2 年ないし 4 年ごとの周囲長、直径の計測値データなどで構成されます。幹は生活史段階によって成木、稚樹、実生、当年実生に分けました。これに付随した種子生産や落葉落枝量のデータを加えています。

森林帯ごとに設置した日本各地の試験地で、このようなデータセットを整備し、日本の天然林の構造と動態に関するデータベースを構築し、平成 15 年 10 月 10 日に公開しました（図 1）。また英語版も作成したので、海外への情報発信もできます。

データベースの使い方

トップページには利用者のためのガイダンスとデータ利用許可のための申請方法、データベースを利用するための必須の試験地情報などが系統立てて記載されていま



図 1 森林動態データベースの公開 Web ページのトップページ。

(<http://fddb.ffpri-108.affrc.go.jp/index.html>)

す（図 2）。利用は簡単で、公開された試験地データを元に、樹種ごとの幹の分布や、幹の直径の頻度分布などが見られます。研究用に生データの利用を希望する場合はデータベース検索で必要なデータを確認した後、申請してください。各試験地ごとに申請と許可（パスワードの通知）が行われます。利用者はこのパスワードを使って、データをダウンロードできます。利用者インターフェースには簡単なグラフ作成機能や集計機能もあるので、学生ないし教育関係者にも十分利用してもらえると

思います。また関連する環境データなども各試験地に直接問い合わせることで情報が得られます。

データベースはシステムを改良し、データをさらに追加することが重要です。本データベースは日本国内の森林を対象としてスタートしましたが、種名リストを追加することで海外試験地の追加も可能となります。将来の

世代に本当の森林の姿を伝えるために、この森林動態データベースが役立つことを期待しています。

本研究は森林総合研究所と科学技術振興機構との共同研究「森林動態データベースの開発」により行いました。

● 試験地の情報



小川試験地 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

試験地の案内

ホーム | 利用ガイド | データベースの概要 | 試験地の案内 | データ利用申請 | データベース検索 | データダウンロード | データベースの詳細 | リンク集

試験地の案内 > 小川試験地

小川試験地

試験地名: 小川試験地
略称(試験地コード): OFR
緯度経度: 36° 56' N, 140° 35' E
標高: 610~660 m
面積: 6 ha
形状: 200 m x 300 m
試験地設定年: 1987
試験地管理主体: 森林総合研究所 森林生態系研究領域 群集動態研究室
管理者所属: 森林総合研究所 森林生態系研究領域 群集動態研究室
管理者氏名: 新山 馨
管理者住所・連絡先: 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 独立行政法人 森林総合研究所 森林生態系研究領域 群集動態研究室
Tel: 029-873-3211, 内線365
Fax: 029-874-3720
E-mail: OFR-otama@mffpriaffrc.go.jp
成木データ: 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 2001
稚樹データ: 1987, 1989, 1990, 1992, 1994, 1996, 2000
実生データ: 1988年より毎年継続調査中
当年実生データ: 1988年より毎年継続調査中
種子データ: 1987年より毎年継続調査中
落葉落枝データ: 1987年より毎年継続調査中
林床植生データ: 1989, 1990, 2001, 2002
地形データ: 1986年測量
GIS画像データ: あり
環境データ: 気温、湿度、降水量、光量子密度(1994-)、
森林構造: プナ、イヌブナ、コナラなどの優占する冷温帯落葉広葉樹林。落葉が少なく、いので太平洋型ブナ林に属する。阿武隈山地南部のなだらかな丘陵地に位置し、周囲を商業的な雑木林やスギ人工林、草地などに囲まれている。現在は伐採の記録はないが、山火事や獣害など人為的擾乱後の古い二次林である。

● データ表示機能

● データの種類

- ・成木データ
- ・稚樹データ
- ・実生データ
- ・当年実生データ
- ・種子データ
- ・落葉落枝データ
- ・林床植生データ
- ・地形データ
- ・GIS画像データ
- ・環境データ
- など

- ・試験地: 小川試験地
- ・集計表: 分布図
 - 成木
- ・集計条件:

生活史クラス: 成木
調査回: 1987
種: コナラ
生死: 生存
生活史クラスの履歴: 指定無し

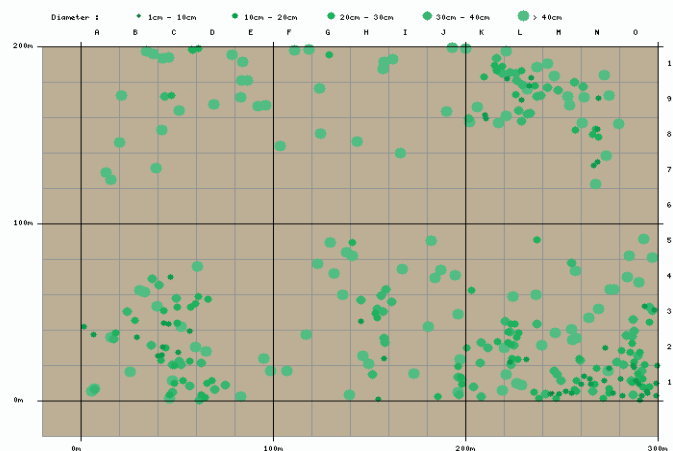


図2 森林動態データベースの概要

チョウ類の多様性と里山の管理

ー落葉広葉樹林の二次遷移にともなうチョウ類群集の変化ー

森林昆虫研究領域 昆虫生態研究室 井上 大成

背景と目的

日本では戦後半世紀の間に、原生林が失われるとともに雑木林や採草地の管理がされなくなりました。そのことが、昆虫、特にチョウ類の衰亡に大きな影響を与えてきたと考えられています。一旦失われた原生林や自然草原を取りもどすことは不可能ですが、里山は管理の仕方によっては、多くの生き物をはぐくむことができるようになるはずです。

阿武隈山地ではシイタケのほだ木生産を目的として、継続的に落葉広葉樹林が伐採されており、様々な林齢の林が存在しています。そのような森林を比較することにより、二次林でも年月が経って木が太くなれば、原生林を好む昆虫が増えるのか、あるいは森林伐採後の一時的な草原でも、草原を好む昆虫はすめるのかということなどがわかり、生物の豊かな里山作りの参考となります。そこで、昆虫の中でもすみ場所の好みなどがよくわかっているチョウ類を指標にして、調査を行ってみました。

成 果

森林性チョウ類と草原性チョウ類

チョウはこれまでの多くの人たちの観察にもとづいて森林性種と草原性種に分けられています。調査でみつかったチョウを草原性種と森林性種に分けてみると、草原性種は採草地や若い林で多く、十数年生以上の林には、ほとんど見られませんでした。特に個体数は伐採後3年以上を経ると激減しました(図1)。森林性種でも、採草地や若い林に多く、古い林では減少するという傾向がみられました。この理由は、森林内ではチョウの餌となる花が採草地や伐採跡地よりも少ないためだと考えられます。

原生林性種と自然草原性種

さらに、目撃種の中から、生息場所として原生林や自然草原を好む程度が強いと考えられる種(原生林性種・自然草原性種)を文献に基づいて定義しました。これらの種の大半は茨城県または環境省のレッドデータブック掲載種でもありました。原生林性種の種数と個体数は、若い二次林では少なく、約50年生以上の高齢林では多くなりました(図2左、写真1)。50-51年生の二次林で原生林を好むスギタニルリシジミが非常に多かったのは、前回の伐採時に食樹であるトチノキが切り残されたために、直径1m以上の大木が多く生えていたためでしょう。自然草原性種は、採草地では全種が見られたにもかかわらず、伐採跡地や若い二次林ではほとん

ど見られませんでした(図2右、写真1)。これは、伐採後下草刈りなどの手入れをしないのですぐに林になってしまい、自然草原性種が入り込む時間がないためであると思われます。

チョウを指標とした提案

ここで、この調査の結果からチョウの多様性を指標とした場合、生物が豊かな里山をつくるために、どのようなことをしたらいいかを以下に提案したいと思います。

①落葉広葉樹林の伐採跡地は、草刈り等を行わなかった場合、2年程度しか草原性チョウ類の好適な生息場所にならないと考えられるため、地域内で約20年生以下の二次林や針葉樹の不成績造林地の一部を毎年計画的に伐採し、草原や若い二次林を継続してつくる。

②約50年生以上の高齢二次林は、原生林を好む種を含む森林性チョウ類の保全場所になると考えられるため、原生林と同様な位置づけをして保護していく。

③森林構造を複雑化させるために、人為的なギャップをつくったり伐採時に特定の樹種を切り残したりする。

人手を加える場所と保護する場所を区別した森林管理によってチョウの衰亡に歯止めがかけられるかもしれません。

詳しくは: Inoue, T.(2003) Entomological Science, 6: 151-163 をご覧ください。

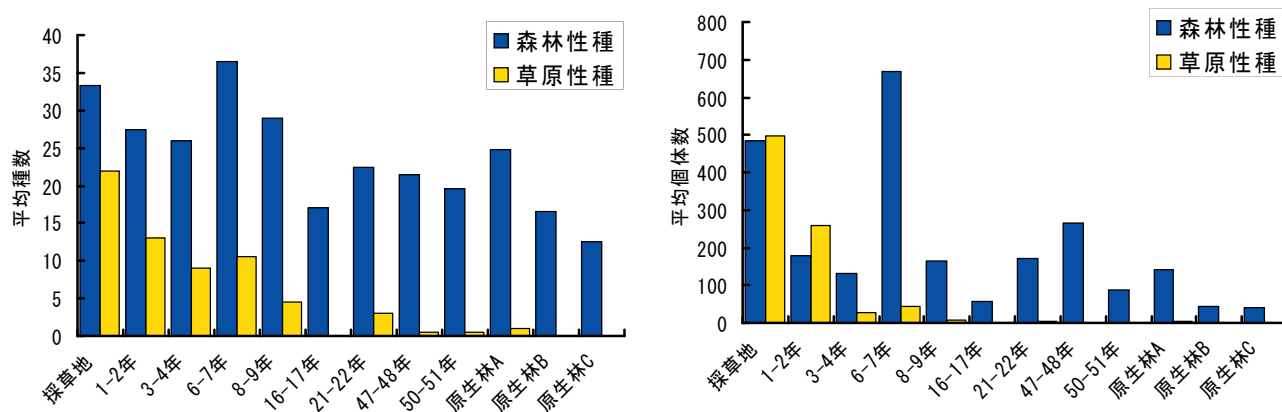


図1 落葉広葉樹林の二次遷移にともなうチョウ類の種数（左）と個体数（右）の比較

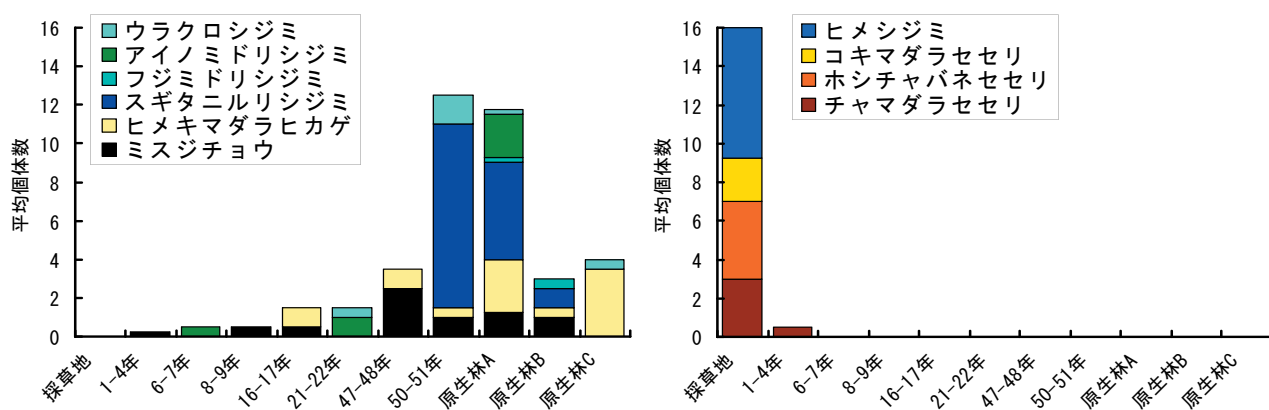


図2 原生林性種（左）と自然草原性種（右）の個体数



写真1 原生林を好む種スギタニルリシジミ（左、花の下）と自然草原を好む種チャマダラセセリ（右）

樹木の細根は成長と枯死を繰り返す

立地環境研究領域 養分環境研究室 野口 享太郎、阪田 匡司、高橋 正通
企画調整部 木曽試験地 溝口 岳男

背景と目的

樹木の根は土壌から水や養分を吸収し、樹木の成長を支える重要な器官です。根はその成長に伴い炭素や窒素などの養分を固定しますが、逆に枯死して分解されると、土壌中へこれらの養分を放出します。特に細根（一般的に直径 1mm 以下または 2mm 以下の根のことを指す）は、養分を吸収する能力が高く、環境の変化に敏感で枯死しやすい性質を持っています。また、樹木が光合成により大気から吸収した炭素の数十％が細根に利用されているとも言われ、森林の物質循環に対して大きな影響を与えていると考えられます。このように、樹木の根は森林生態系において様々な機能を持つと考えられていますが、土壌中の根の調査は技術的に難しいため、解明すべき問題が多く残されています。そこで本研究では、細根の成長量と枯死量を明らかにすることを目的として、以下の調査を行いました。

成 果

ミニライゾトロン法

森林総合研究所・千代田試験地のスギ林（23 年生）において、ミニライゾトロン法（地中に埋設した透明な管の表面に出現する根を観察する方法；図 1）により、土壌中（深さ 0 - 40cm）の細根を 3 週間に 1 度の間隔で観察し、写真 1 に示すような画像を得ました（各画像のサイズは 1.3cm × 1.9cm）。得られた画像中の個々の細根（本研究では直径 1mm 以下）について、長さや直径を画像処理ソフトウェアにより測定し、細根の長さや直径が増大した場合を「成長」、前回の観察で見られた細根が消失した場合を「枯死」として記録しました。また、ミニライゾトロン法による観察では細根の重量が分からないため、一定体積の土壌を採取して、その中に含まれる細根の重量からこのスギ林の単位面積あたりの細根重量を求めました。

細根の成長と枯死量

これらの二つの手法で得られた結果を合わせて細根の成長量と枯死量を算出した結果、細根の成長量は夏季に大きく冬季に小さいことが明らかになりました（図 2）。

また、細根の枯死量も成長量と同様の季節変化を示し、夏季に大きく冬季に小さいことが分かりました（図 2）。これらの結果は、細根の成長と枯死の両方が、季節に伴い変化する温度などの環境要因の影響を強く受ける可能性を示しています。

また、観察を行った 1 年間の細根バイオマス（生きている細根の量）の平均値と細根成長量・枯死量を算出した結果、細根バイオマスの約 3 倍の細根が 1 年間に成長し、ほぼ同量の細根が枯死することが示されました（図 3）。このことは、発生した細根の多くが数ヶ月以内に枯死し、土壌中の細根が 1 年間に 3 回程度入れ替わることを示しています。また、成長量と枯死量がほぼ等しいことから、長期的な視点で見ると、このスギ林の細根バイオマスはほとんど増加しないと言えます。

以上の結果から、このスギ林では大量の細根が成長しては枯死するサイクルが繰り返されていると考えられます。成長と枯死が同時に起こることから、見かけの細根バイオマス自体の変化は小さいようですが、細根が消費するエネルギーや資源の量は、私たちが想像していたよりもずっと大きいかもしれません。

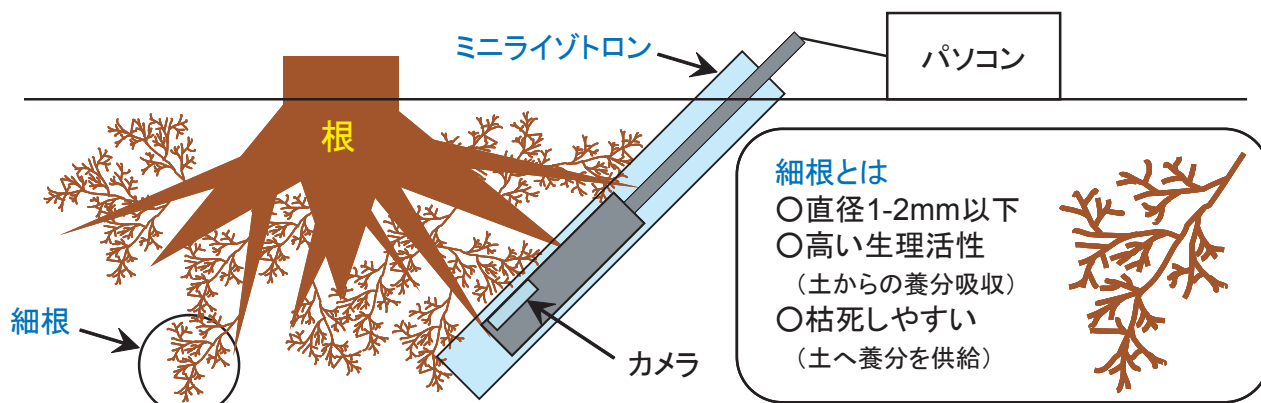


図1 ミニライゾトロン法による細根の観察（模式図）

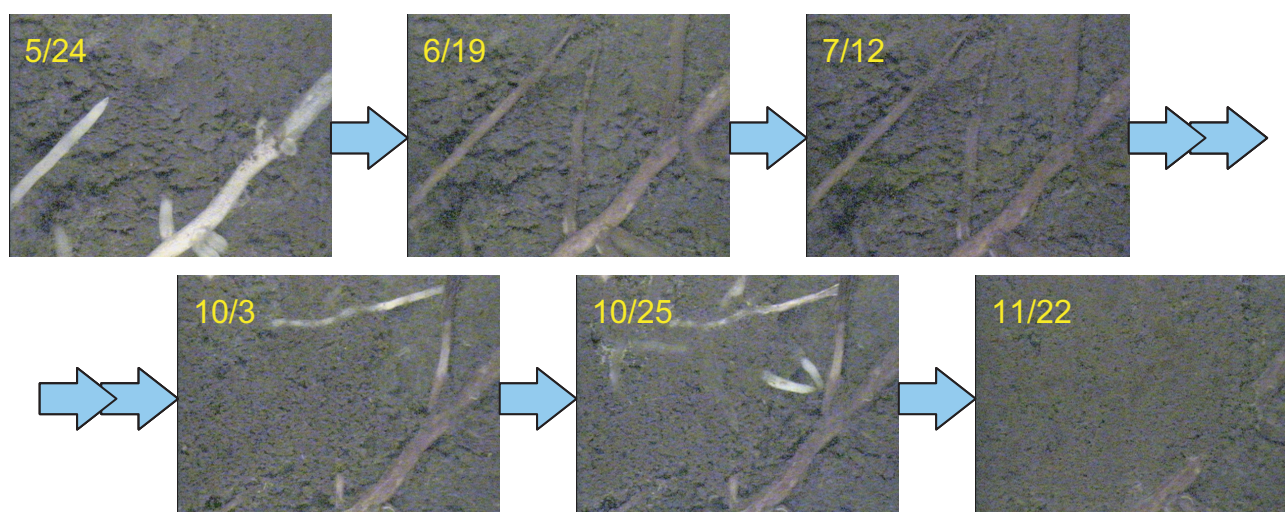
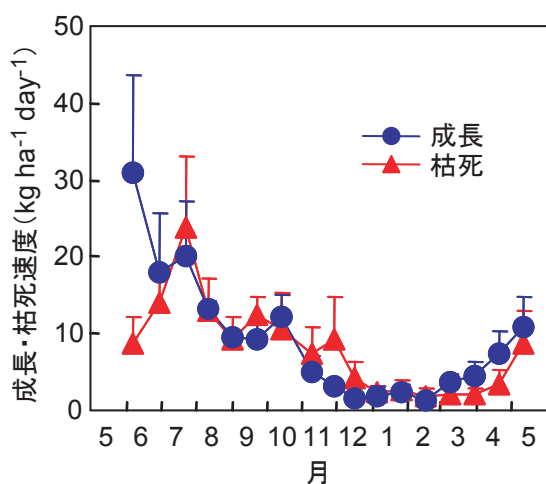
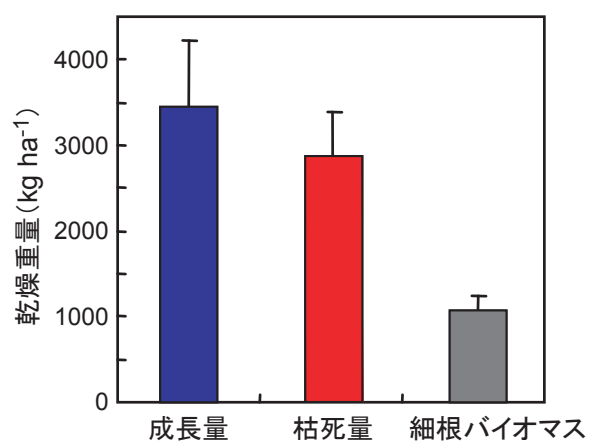


写真1 細根の成長と枯死の経時変化（ミニライゾトロン法による。細根が木化しながら成長する様子や、枯死して消滅する様子が分かります。）

図2 細根の成長、枯死速度の経時変化
(データは7試料の平均値+標準誤差)図3 1年間の細根成長量、枯死量と細根バイオマス
(データは7試料の平均値+標準誤差)

どこの山が、いつ崩れるか、リアルタイムで予測する

水土保持研究領域 山地災害研究室 阿部 和時、黒川 潮

背景と目的

集中豪雨により毎年のように発生する山崩れは、下流域の農山村や公共施設等に多大な被害を与えています。被害を少しでも減少させるために山崩れの発生危険度予測の精度を上げることが社会的、行政的ニーズとなっています。現在、山崩れ発生危険度予測には既往の災害データを用いた統計手法を多く採用していますが、予測結果を短時間で出すことはできません。人的被害を発生させないためには、現在降っている雨や数時間後に降ると予想される雨に対応して、リアルタイムで、いつ、どこで山崩れが発生するかを予測できるシステムが極めて有効と考えられます。

そのために、気象庁が 1 時間ごとに発表している、今後 6 時間後までの時間降雨量予測データ（レーダーアメダス 6 時間降雨予測データ）を使って、山崩れの発生位置と、発生時刻をリアルタイムで予測する、山崩れ危険度予測手法を開発しました。

成 果

山崩れ危険度予測手法の全体的な内容

山崩れ危険度予測手法の全体的な内容を図 1 に示しました。まず、山崩れ危険度を求めようとしている対象地域のレーダーアメダス 6 時間降雨量予測データを、インターネットを使って入手します。このデータと、予め準備しておいた山崩れに密接に関係のある地形、土質、植生データを、山地斜面の安定状態を評価する斜面安定解析モデルに代入して、どこの斜面が、いつ崩れるかを計算します。ここでは、対象地域を一边が 50m 四方の区域（グリッドと呼ぶ）に区切り、各グリッドで山崩れが発生するか否かを計算します。計算の結果、山崩れが発生すると判定されたグリッドを対象地域の地図データと重ね合わせて描画します。この地図を見ればどこが危ないかすぐにわかります。

斜面安定解析モデルの基本的な仕組み

斜面安定解析モデルの基本的な仕組みを図 2 に示しました。この図は、山地斜面の表層土中における土中水の状態を、斜面の横方向から見て描いています。強い雨がずっと土中水の量は多くなって、表層土が斜面下方に崩れようとする力が大きくなります。この手法では、山崩れの発生を防ぐ土が持っている抵抗力と、土中水の増加により斜面が崩れようとする力を比較して、土の抵抗力の方が大きければ山崩れは発生しない、逆に小さければ

山崩れが発生するという判断基準にしました。

また、この手法では現在の降雨強度でリアルタイムに山崩れ発生位置が予測できると同時に、1 時間先、2 時間先、……、6 時間先まで山崩れの発生位置を予測できます。

予測実験結果

この手法を用いて、静岡県榛原郡中川根町を流れる大井川支流の榛原川最上流域約 500ha を対象に、山崩れの危険度予測をしてみました。1 時間に 100mm の降雨を連続して与え続け、1 時間後と 3 時間後に山崩れが予想される場所を図 3 に示しました。1 時間に 100mm の降雨が 3 時間も続くという状況は、現実的には発生しないような非常に激しい降雨です。計算の結果、1 時間後には 22 箇所（グリッド）で、3 時間後には 93 箇所ですべて山崩れの発生が予測されました。

本手法を使えば、豪雨時に周辺の山々が危険な状態になる前に地域住民を安全に、速やかに避難させることができ、人的被害を出すこともなくなると考えています。

本研究は、交付金プロジェクト「集中豪雨によるため池等の災害発生機構の解明と予測技術の開発」、及び林野庁委託費「降雨強度を指標とする山地災害危険地判定手法の開発」により行いました。

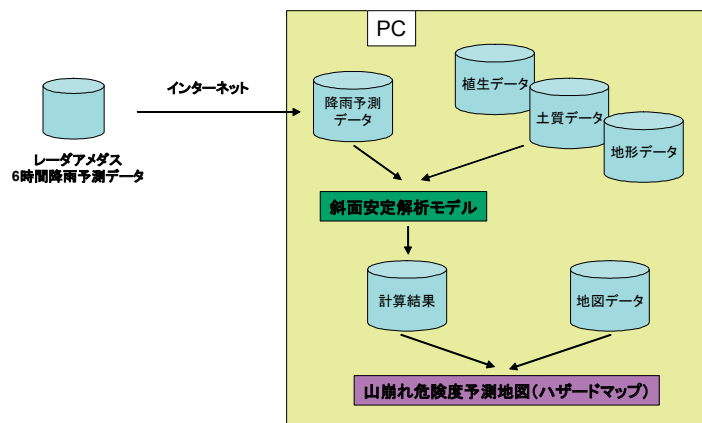


図1 山崩れ危険度予測手法の全体的な構成図

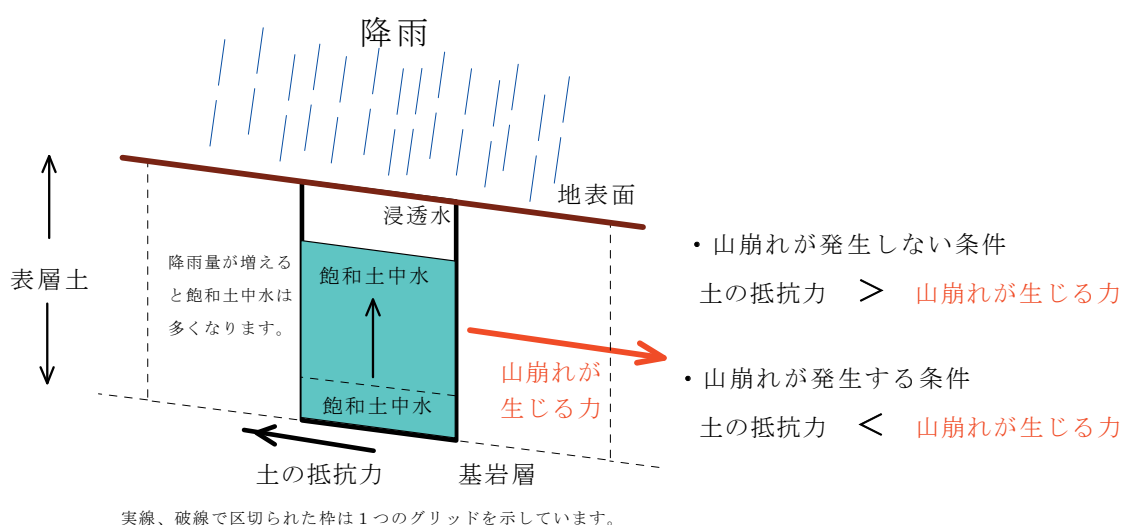


図2 斜面安定解析モデルの模式図

(グリッドごとに、降雨による飽和土中水量の変化で、山崩れが発生するか、しないかを判定します。)

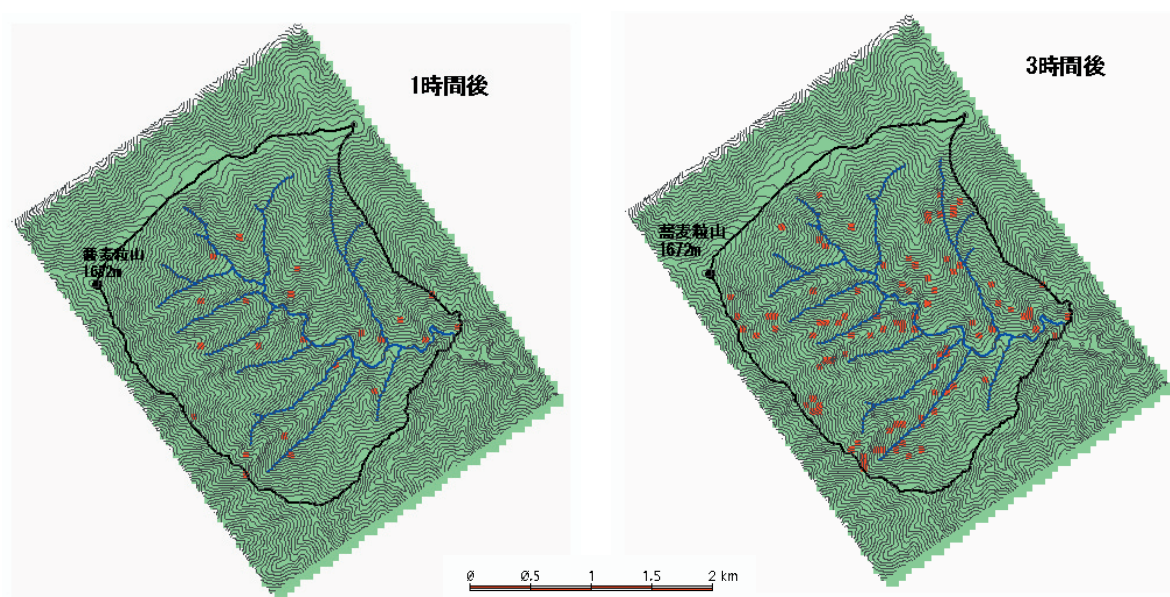


図3 本手法を用い、100mm/hの降雨が連続した場合の山崩れ危険予測地図
(赤色が山崩れの発生が予想されるグリッドを示しています。)

斜面崩壊の到達範囲を予測する

水土保持研究領域 治山研究室 大倉 陽一
信州大学農学部 北原 曜
林野庁治山課 川浪 亜紀子

背景と目的

日本は多雨で地形も急峻なことから自然災害が発生しやすいため、世界全体の災害被害額に占める我が国の割合は過去 30 年間で 16%と非常に高く、また毎年 100 名弱（地震被害除く）の尊い人命が失われ続けています。さらに、近年における都市域の山間地への拡大と過疎地域における高齢化は、特に土砂災害に対する潜在的危険度を増加させています。そこで今後は、災害危険区域と安全区域の判別を行って、建築規制・移転および費用対効果を勘案した防災施設の配置計画、そして地域住民を主体とした情報伝達網を構築するなど、情報公開に基づいた地域一体型の防災システムの構築が望まれています。

本研究では、斜面崩壊の運動を再現できる数値シミュレーションモデルの開発を行って、信頼のおける土砂災害危険範囲情報を提供することで、安全な国土創造の一翼を担うことを目的としています。

成 果

粒状体運動シミュレーションモデルの構築

斜面が崩壊する現象を物理的に正しく再現するためには、崩壊土砂が土粒子の集合体であることを直接的に表現したモデルの構築が不可欠です。そこで近年そのコンセプトが提示され、多方面で有用性が実証されつつある粒状体運動シミュレーション手法を開発するとともに、実際規模の崩壊実験を行ってモデルの正しさを検証しました。

粒状体モデルの特徴は、コンピュータの中に図 1 に示すような粒子を多数発生させて、その集合体で崩壊土砂の運動を再現するものです。粒子は互いに衝突やすべりを繰り返しながら運動量を伝達し、運動エネルギーを消耗してゆきます。解析対象の大きさや材料の性質によっては数十万個の粒子を用いる場合もあり、近年のコンピュータ能力の向上なくして適用し得ない手法です。

斜面崩壊実験

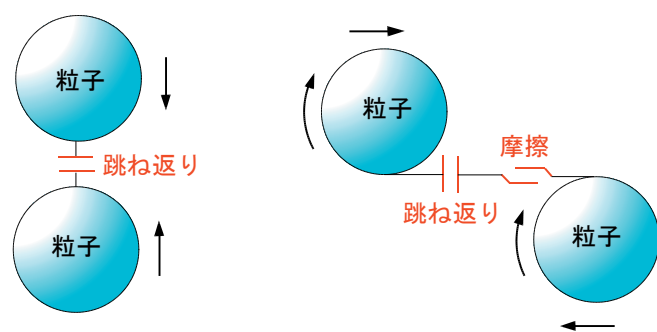
一方、崩壊実験を行った斜面は、斜面長 6m、傾斜 30° で、斜面上および連続する平坦面上に花崗岩板を敷き並べました。そして、一辺が 10cm の立方体状花崗岩ブロックを、最大 1000 個用いて、斜面上端より一気に落下させて崩壊を発生させました。実験後、各ブロックの堆積位置を測り、最も遠方に到達した先端のブ

ロックの到達距離と全ブロックの重心に関する到達距離を求めて、崩壊時の運動エネルギーの消耗の目安としました（図 2）。

モデルと実験結果との対比

写真 1 に実験時の様子を示します。実際の崩壊実験とシミュレーションを比べたところ、ブロックの堆積した様子および先端の到達距離ともシミュレーションによって良く再現できることがわかりました（図 3）。崩壊するブロックの数と到達距離との関係について、シミュレーションの結果と実験の結果とを示しました（図 4）。ブロック数が多くなると先端はより遠くまで行きますが、堆積時の重心位置はかえって短くなることがわかります。実験のビデオ画像の解析とシミュレーションを行って検討したところ、ブロック数が増えるとともにブロック同士の衝突頻度が増えることがその原因であることがわかりました。すなわち斜面崩壊の運動は、崩壊土砂が粒状体の集合体であることに強く支配されるものであり、このシミュレーション手法が到達距離を予測するのに有効であることが明らかになりました。

今後は、ここで開発されたシミュレーションモデルが、崩壊土砂が到達する危険範囲の推定や災害防止施設の配置計画に有効活用されることが期待されます。



垂直方向の衝突

平行方向の衝突

図1 粒子相互の衝突時のイメージ

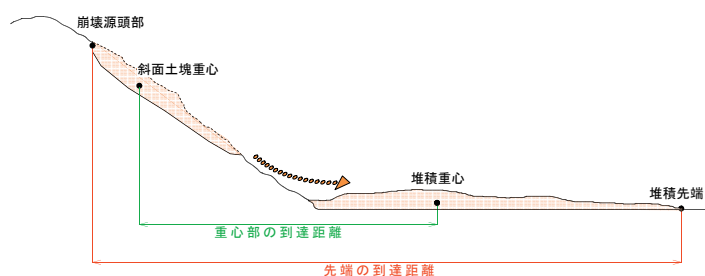


図2 崩壊とその到達距離の算定



写真1 花崗岩ブロックによる崩壊実験の様子

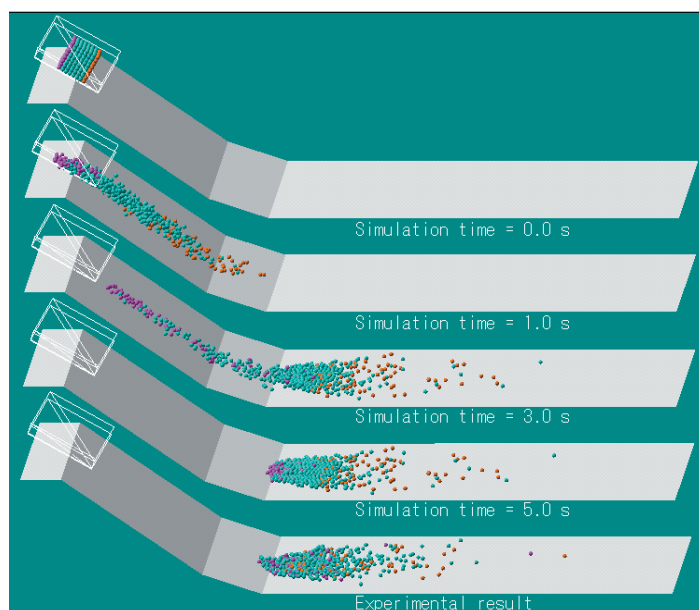


図3 シミュレーション（上4段）と実験（最下段）による堆積形状の比較

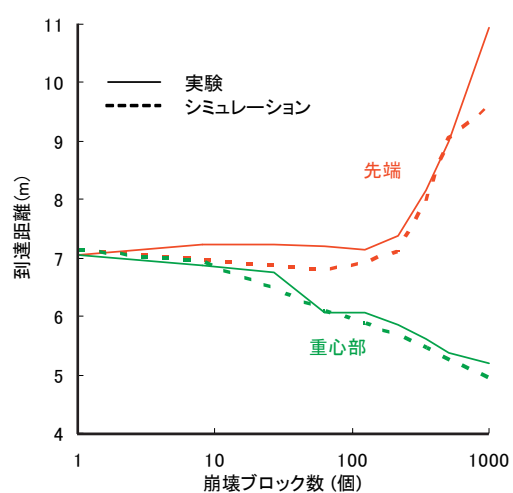


図4 崩壊ブロック数と到達距離との関係についての実験とシミュレーションによる比較

かたちと遺伝子に残る スギカミキリがたどって来た道

森林昆虫研究領域 昆虫生態研究室 加賀谷 悦子

背景と目的

スギカミキリは、スギやヒノキの材質劣化害虫です。1 頭の幼虫が多量の内樹皮を食害するので、重大な林業被害をもたらします。スギカミキリとスギやヒノキはともに日本に昔からいる生き物で、お互いに影響を与えあいながら進化してきたと考えられます。各被害地におけるスギカミキリの生態を理解し、被害地のあいだでスギカミキリの増え方や数の違いがなぜ生じているのかを知るためには、スギカミキリの進化史を把握することも大事です。

スギには多くの地域性品種があり、大きくはオモテスギ（太平洋側）とウラスギ（日本海側）とに分けられます。スギとの対応を考えると、スギカミキリも地域間で異なるさまざまな性質をもつ可能性があります。スギカミキリの種内の変異を形と遺伝子から調べ、共通の遺伝的基盤を持つ集団をとりまとめました。また、変異の地理的なまとまりから各地のスギカミキリのたどってきた歴史を推定しました。

成 果



写真 1 スギカミキリにみられる形の変異
(左：福井産、中：島根産、右：千葉産)

左は若狭湾付近、右は太平洋側に典型的な形。
斑紋の大きさに違いがよくあらわれています。
中はそれらの中間的な形を示した中国地方のスギカミキリ。

形のちがい

スギカミキリの形の変異を数値で表すために、岩手から高知までの 10 地点でつかまえられたスギカミキリの体の 10 カ所を測定し、多変量解析をしました(図 1)。その結果、太平洋岸の個体群(高知、愛媛、千葉、茨城)と、若狭湾付近の個体群(福井、京都)の間で形は大きく異なり、中国地方(島根、岡山、鳥取)と岩手個体群はそ

の中間的な形を持つことが判明しました(図 2、写真 1)。若狭湾沿岸と太平洋側でのスギカミキリの形の違いは、なぜ生じたのでしょうか？ 氷河期、スギは太平洋と日本海の沿岸地域にほぼそと生息しているだけでした。そのため、当時スギカミキリも太平洋側と日本海側では行き来が無く、隔たっているうちに地域間で違う形をもつようになったのだと考えられます。現在のようにスギが広く植えられるようになって、スギカミキリの地域ごとの変異はだいたい保たれているようです。

遺伝子のちがい

形の異なっていた岩手、福井、島根、愛媛のスギカミキリ 52 個体の遺伝子解析をしました。10 の DNA の型が検出されました。DNA の型は大きく 2 系統にまとめられることがわかり、それぞれ太平洋側と日本海側にいたスギカミキリの子孫なのだと考えられました(図 3)。岩手にはその両方がおり、それぞれ別の由来をもつ集団が混合したと思われます。

このように、スギカミキリには地域ごとに形の異なる集団があり、遺伝子解析から形の違いは歴史の違いを反

映していることが確かめられました。これからより多くの地域でスギカミキリの遺伝的な特徴を明らかにすることで、あらたに発生するスギカミキリの被害がどこからきたのかを突き止められるでしょう。遺伝的変異と被害発生の方のの違いとの関連がわかると、新しい防除対策

の開発につながる可能性があります。

詳しくは：Shoda, E., Kubota, K. & Makihara, H. (2003) Applied Entomology and Zoology 38: 369-377. をご覧下さい。

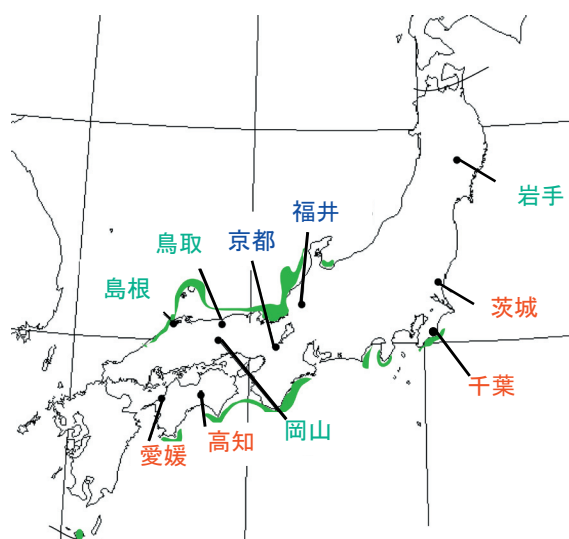


図1 最終氷期のスギの推定分布地域（みどり）とスギカミキリの採集地

（地名の色分けは形の区分（図2）によります。最終氷期の海岸線は現在よりも沖合に位置し、スギは当時の海岸線沿いに分布していました。）

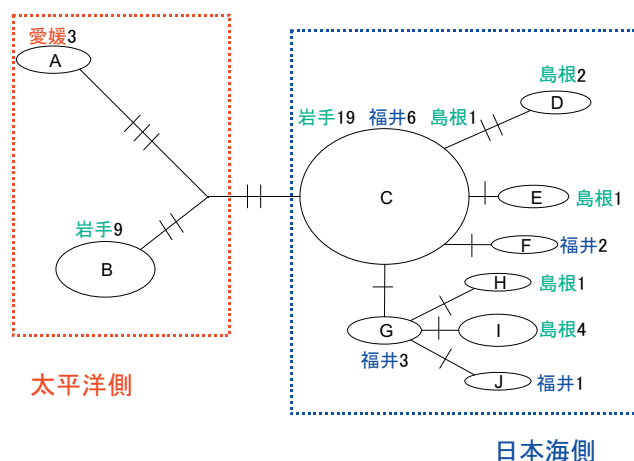


図3 遺伝子解析で認められたスギカミキリの2系統

（AからJの10通りのDNAの型がありました。楕円の大きさはDNAの型の出現頻度を表し、斜交線はDNAの型の間で異なる塩基の数を示します。DNA型の分布していた地域と頭数を楕円脇に記しています。）

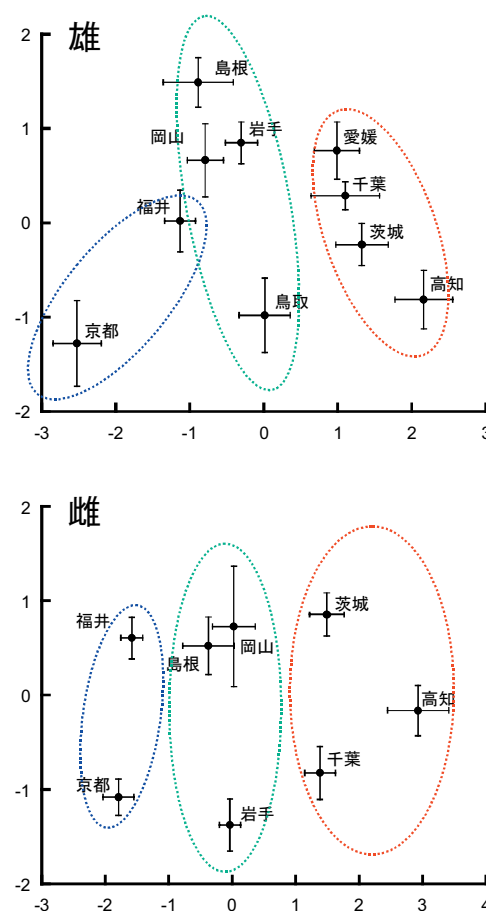


図2 各地域ごとの形のまとめ

（体の10ヵ所を測定し多変量解析により解析した結果、各地域のスギカミキリの形は3グループに大別されました。若狭湾付近と太平洋岸で大きく形はことなり、中国地方と岩手はそれらの中間です。）

ブナの実がならない年はツキノワグマが里に出てくる？

東北支所 生物多様性研究グループ

研究管理官

農林水産技術会議事務局

森林植生研究領域 群落動態研究室

関西支所 ランドスケープ保全チーム長

山形県森林研究研修センター

岡 輝樹

三浦 慎悟

正木 隆

鈴木 和次郎

大住 克博

齊藤 正一

背景と目的

東北地方はアジアクロクマ（日本名ツキノワグマ、以下クマ）に残された最後の楽園といえるでしょう。しかし近年、この地方でも人里近くへ出没するクマによる人身被害、農作物被害が増大して大きな社会問題となっています（写真 1）。この種を適切に保護管理してゆくためには、地域住民から十分な理解を得なければなりません。そのためにも、まずは人身被害防止策を早急に確立することが不可欠です。

一方、山での経験が豊富な人々の間では、昔から「山が不作の年にはクマが里に出る」と言われてきました。研究者の間でも秋季の重要な食物である堅果類（ドングリ）の豊凶はクマの行動に強く影響し、それによって農地や人里域への出没頻度の年変動が説明できるのではないかとされてきましたが、長期的かつ広域的にその関係を分析し、実証した報告はこれまでありませんでした。

私たちは東北森林管理局及び同青森分局の協力を得て、東北地方において 1989 年以降収集されてきたブナの豊凶データとクマの人里域出没の関連性を解析しました。



写真 1 ツキノワグマによる人身被害を伝える新聞報道

成 果

有害駆除数とブナ凶作指数

解析は青森下北地方、青森南部地方、秋田、岩手奥羽山系、岩手北上山系、山形、宮城の 7 地域でおこないました。ブナの豊凶程度は各地域ごとに凶作または無結実と記録された地点の割合を算出した凶作指数と、クマがどれだけ人里域へ出没したかを示す指標として各県の自

然保護担当者がとりまとめた有害駆除数のデータを利用しました。

有害駆除数とブナ凶作指数の変動パターンを図 1 に示します。岩手北上山系と宮城を除く 5 地域では、有害駆除数が前の年に比べてどれだけ増減するかがブナの凶作指数の増減によってある程度説明できることがわか

りました（図2）。

これは、クマ出没注意を喚起する「警報システム」の構築が可能であることを示しています。ただし、警報といっても頻繁に出す必要はなく、クマの出没が大幅に増えるような特別な年に出すことができればいいのです。ブナの実の成り具合を長期間にわたってモニタリングしておけば、大豊作の年がわかります。その大豊作の年さえ把握できれば、翌年大凶作へと転じる際にクマ出没数

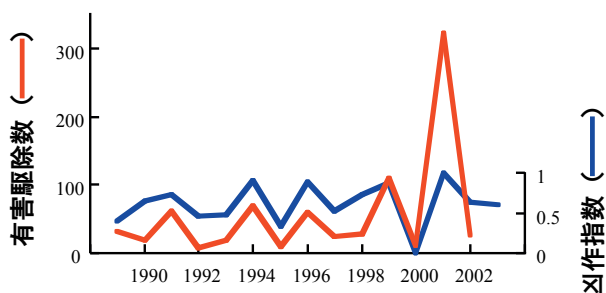


図1 クマ有害駆除数とブナ凶作指数の変動
(駆除数は7～11月合計：秋田県の場合)

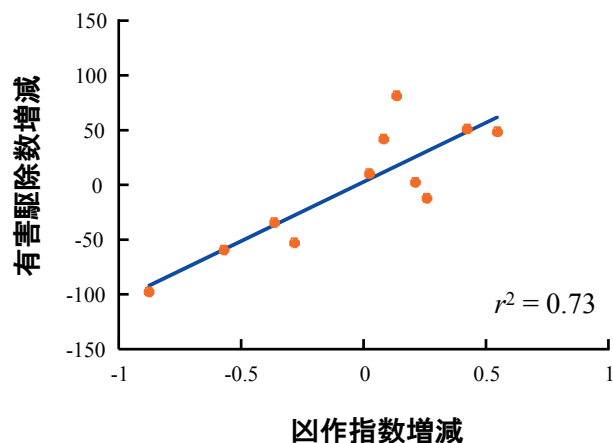


図2 凶作指数の増減（対前年）と有害駆除数の増減（1989～2002年）
(駆除数は7～11月合計：秋田県の場合)

が大幅に増加すると予測できるからです。実際1996年と2001年はそのような年に当たり、クマの人里域への出没が異常に増えたことがわかっています。岩手県奥羽山系地域と秋田県ではブナの豊凶モニタリングが実施されていますから、今後クマ出没注意報を耳にすることがあるかもしれません。この成果が人身被害の防止に役立つことを願ってやみません。

クマはどうやってブナの凶作を知るか

ところで、東北地方ではどの地域でも有害駆除数は毎年7月頃から増加し始め、8～9月にピークを迎える傾向を持っています（図3）。これは、夏はいろいろな食物を探さなければならない季節であるうえに、繁殖シーズンでもあるため、広範囲を動き回る必要があることと関係しています。不思議なことは、人里への出没が大幅に増加する年も、ブナ堅果が利用可能となる時期（10～11月）ではなく、やはり8～9月にピークがあるということです。つまり、クマは秋になってブナの実が少ないことに気づいて人里に出没しているわけではなさそうなのです。

クマは、大豊作の後に凶作が来ることを知っていて、夏のうちから越冬のための栄養を少しでも蓄えておこうといつも以上に活発に探索するため、結果としてより多くの個体が入里域へ出没しているのでしょうか。あるいは、ブナの実の量は初夏に咲く花の量と密接な関係を持っているということから、クマは、初夏に咲くブナの花の量からその年の秋の豊凶を感知できているのでしょうか。クマとブナの関係を探る研究はまだ始まったばかりなのです。

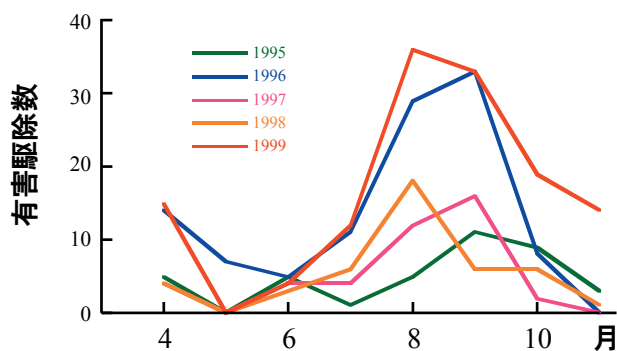


図3 有害駆除数の季節変化
(山形県の場合：齊藤・岡 2003 を改変)

木の揺れを計る

気象環境研究領域 気象害・防災林研究室 吉武 孝

背景と目的

現在、日本の人工造林地面積は 1,000 万 ha 以上になっていますが、それらの林の中には手入れが十分に行われずに、木が混みすぎて幹の細い林木が多くなり、風や雪などによる気象害に弱い森林も増えています。

手入れ不足の森林に人手をかけて枝打ち、除伐、間伐などの保育作業を行うと良い材質の木材を生産することができます。また、そうすることによって、健全な森林に導くことができます。しかし、その作業の手順は簡単ではなく、混んだ森林で一度に多くの本数を切ると、林内に残された木が台風で大きな被害を受けることがあります。その被害を防ぐためには、施業をした場合の個々の樹木の揺れを同時に複数の場所で測定し、揺れにくい樹木の配置や樹形をさがす必要があります。

本研究は、間伐や枝打ち、植栽密度などと風害の起こりやすさの関係を明らかにするために必要な、樹木の揺れを簡便安価に測定するための装置の開発を目的としました。これは、風害につよい森作りに大いに役立つものと期待できます。

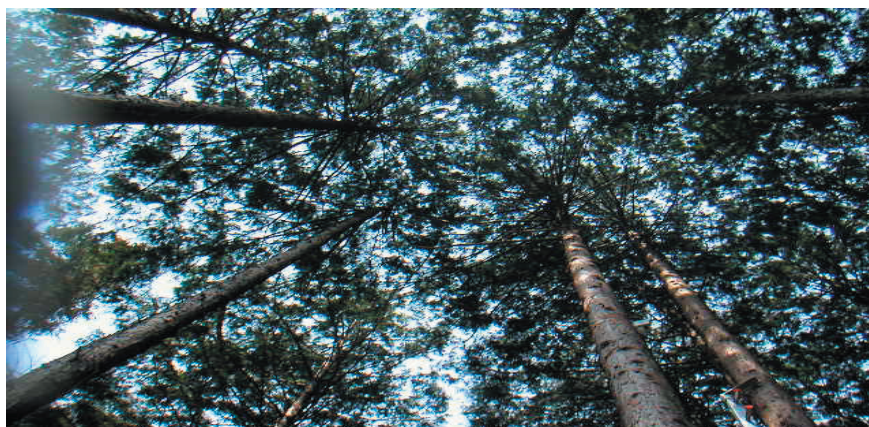


写真 1 観測した木を下から見上げた写真

成 果

樹幹動揺計のしくみと測定方法

樹幹動揺計は永久磁石の振り子が傾斜 17 度に傾いたときにマグネットスイッチが ON となり、デジタル計数機のカウントが 1 加算される構造になっています。振り子は 1 方向に往復運動するので同じ高さに 2 個付けると 2 方向の揺れを同時に測定することができます。

樹幹動揺計は、ある任意の測定期間中の揺れ回数の合計値を表示するだけなので、操作も容易であり、非常に安価に制作できます。そのため同時に多数の樹木に設置

をすることにより、その林分の風の強さや、個々の樹木の風に対する特性が解析できます。デジタル計数機の数値は 0～10,000 まで加算されますが、リセットボタンで 0 に戻ります。設置は針金、紐などで観測木の幹に縛り付けるかピンで固定します。

樹幹動揺計の林内での試験観測は写真 1 のような樹冠状態（本数間伐率 19%）の人工林で行いました。林齢 29 年、測定木の平均樹高 14.3m、平均胸高直径 21.5cm、枝下高 11m、地上から 10m の高さの平



写真2 樹幹動揺計の設置例

均直径 15.1cm でした。

樹幹動揺計は写真2のような取り付け方で地上10mの位置の幹に固定しました。

測定結果

測定木は3本で樹種はスギです。NO.1とNO.2の幹は1.5m離れています。NO.2とNO.3の幹の距離は1.6m離れています。3本のスギはそれぞれ横1列に並んでおり、隣り合った木の枝先は写真1のように触れ合う程度に接近しています。この混んだ林で、図1のような幹の揺れ回数のデータが得られました。もっとも揺れていたのはスギNO.3でほかの観測木の10倍以上の揺れ回数のときがありました。この林の斜面は南向きの緩斜面であるため南よりの風向の時に風当たりが強い木がよく揺れていることが判明しました。さらに、

隣り合って数メートルしか離れていない木でもほとんど揺れていない木のあることが分かり、同じ林齢の木でも木の高さ、幹の太さ、下枝までの高さ、枝の張りぐあい、葉の量などの違いで幹の揺れ回数にも大差の出ることが分かりました。

従来、枝打ち、除伐、間伐などが耐風性にどのような影響を与えるのか実証するデータがありませんでしたが、本研究において開発した樹幹動揺計を使えば、一時に多数の幹についての揺れ回数を測定できます。この揺れ回数という指標を使えば新たな面的な解析が可能になり、今後の風害対策のための具体的な施業技術の開発に役立つと考えられます。

本成果は特許申請中です。

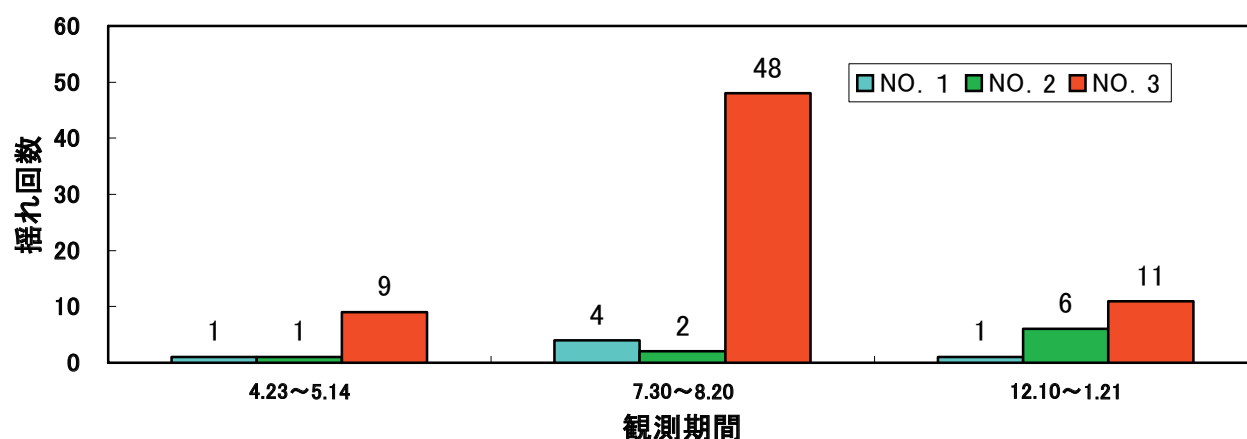


図1 隣接した3本の観測木の揺れ回数

(NO.1 から NO.3 は横1列に1.5mほどの間隔で並んでいます。)

原生林に住むアリにとって二次林は住みやすいか

四国支所 源流域森林管理チーム長
神戸大学 農学部

佐藤 重穂
前藤 薫（前四国支所）

背景と目的

西日本の低山帯域では、人間による森林利用が極度に進んだ結果、ほとんど人手の加わっていない老齢自然林（以下、原生林）はきわめて貴重な存在となり、四国では低山帯の原生林は森林面積の 1 % 以下しか残っていません。こうした原生林の生態系を保全するためには、原生林に住む生き物がどのような環境を利用し、どのようなタイプの森林には生息できるのかを明らかにすることが重要です。

アリ類は種類が多く、ほとんどどこにでもおり、さまざまなものを食べます。環境によって住む種類が違ってくるのがわかってきており、森林の状態をはかるものさしとして使えることが期待されています。さらに、住みかとする植物を他の昆虫から防衛したり、植物の種子散布を行う種類もあり、生態系の重要な一員でもあります。

そこで、人間による森林利用によって、森林に住む生き物がどのように変わっているかを明らかにするために、アリをものさしとして、さまざまなタイプの森林においてどのようなアリ類が生息しているのかを調べて、原生林と人手の加わり方の違う森林との関係を解析しました。

成 果

原生林と二次林の比較

四万十川流域は四国の南西部に位置し、森林率が 86 % の地域ですが、標高 1,500 m 以上の山岳はなく、ほぼ全域が低山帯です。この地域の人工林率は 65 % にのぼり、天然林の多くはシイ・カシ類を中心とする常緑広葉樹二次林と、断片化した原生林が散在するにすぎません。原生林、二次林、針葉樹人工林（写真 1）という 3 つのタイプの森林でアリ類の生息調査をしました。

その結果、森林タイプ間でアリ類の種類数は、大きな違いはみられませんでした（表 1）。しかし、アリの種構成と森林タイプの関係をみると、原生林と二次林・人工林との間では、アリ類の種構成は大きく異なっていることが分かりました（図 1）。二次林や人工林においては、開けた環境を好むとされる種類や、いろいろな環境に住めるとされる種類が多く生息しているのに対して、原生林には森林に生息するとされる種類が多くみられたのです（図 2）。カドフシアリ、トゲズネハリアリなど、いくつかの種類は原生林だけに生息していましたが、二次林は、伐採後、40 年ないし 70 年を経過していまし

たが、それでもなお、原生林に特異的な種類がみられず、アリからみればまだ原生林にはほど遠いということになるようです。

結果からいえること

これらの結果から、森林伐採が森林生態系に与える影響は長期間にわたって続き、数十年経ても依然として回復しないことが明らかになりました。

今回はアリ類を対象とした調査であり、今後さらに調査対象の森林を増やしていき、こうした結果がどのような要因でもたらされたのかを解析していくことが必要です。それにより、どのような森林管理、人手の加え方をしていけば、原生林に近い森林生態系に早期に復帰できるかを考えていくことができるのです。

詳しくは：Maeto, K. & Sato, S. (2004) Forest Ecology and Management 187: 213-223. をご覧下さい。



写真1 調査地の風景（四万十川流域）
 左上：原生林，中上：二次林，右上：針葉樹人工林

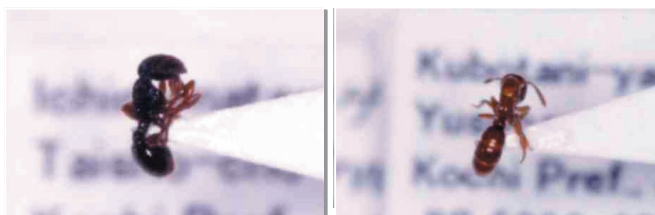


写真2 原生林に特徴的なアリ
 左：カドフシアリ
 右：トゲズネハリアリ

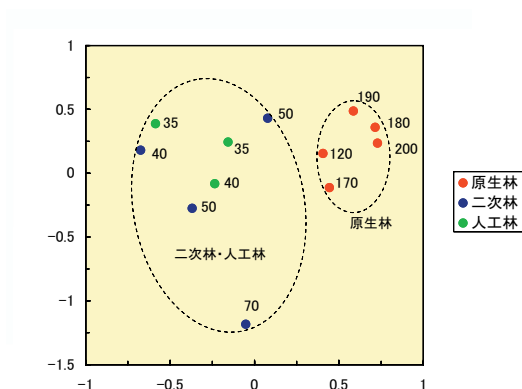


表1 調査地ごとのアリ類の生息種数

森林タイプ	アリ類の環境利用の区分			合計
	森林性の種	いろいろな環境に住める種	開けた環境を好む種	
原生林	3-7	2-5	0	10-20
二次林・人工林	1-4	3-7	1-2	11-20

それぞれアリの種数の最小値－最大値を示し、合計には、環境利用の区分ができないアリの種類も含まれます。

図1 アリの種構成からみた各調査地の位置づけ
 （調査地を表す点と点との間の距離が近いほど、アリの種構成が似ていることを示しています。
 点の横の数字は伐採後の経過年数）

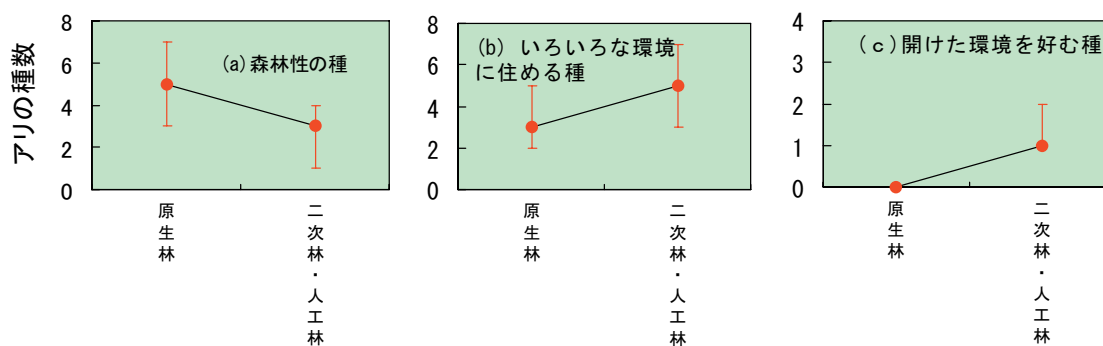


図2 原生林と二次林・人工林に生息するアリを、環境利用別に3種類に区分した種数
 （丸は中央値、縦線は最大値と最小値）

西南日本では強風がどこでどれくらい吹いているか

九州支所 森林生態系研究グループ
九州支所 育成林動態チーム長

齊藤 哲
小南 陽亮（現：静岡大学教育学部）

背景と目的

西南日本では台風が頻繁に通過し、これまで大きな林業被害が数多く生じてきました。西南日本で森林経営を行うには、強風による林業被害をいかに回避、軽減させるかが重要です。そのためには、被害の発生程度や強風の発生頻度に関する情報が必要となります。林業被害については、多くの調査事例がある反面、強風の発生頻度については、解析例が少なく十分な情報が得られていません。そこで、西南日本の各気象台（32 地点）で観測されたデータをもとに、ある強さ以上の風が何年に一度の割合で発生するかを推定し、強風頻度の広域的特徴についてまとめました。

成 果

強風が何年に一度の頻度で発生するかという発生頻度推定値（小さい値ほど強風頻度が高い）を、統計的处理を用い主観による誤差を排除して算出するため、従来から用いられている方法で強風の発生確率を表す曲線を求めました。その結果、図 1 のように、得られた曲線はすべての地点で実際の強風の頻度分布によく適合しました。つまり、この曲線式を解析することによって発生頻度推定値を高い信頼性で算出できることが判りました。

ちょっと強い風の起こりやすさ

瞬間風速 30m/s 以上の強風はすべての地点で少なくとも 12 年に一度の頻度で発生していました。そして海外（日本海・東シナ海・太平洋）に面している地域は、内陸および瀬戸内の地域よりも頻度が高い傾向でした（図 2）。日本海沿岸部や九州・四国の南部では少なくとも 4 年に一度、枕崎以南の南西諸島では少なくとも 2 年に一度発生しています。日田では 11.8 年に一度の頻度であり、この地域を中心とする九州北部の内陸部が強風発生頻度の低い一帯でした。浜田、下関、萩では台風シーズン以外（12 月～4 月）に瞬間風速 30～40m/s の記録が多くみられ、日本海沿岸部で強風頻度が高いのは台風よりもむしろ瞬間風速 30m/s 台の冬の季節風が関与しているようです。

もっと強い風の起こりやすさ

瞬間風速 50m/s 以上の強風は、3 年に一度以上発生する地点から 200 年以上発生しない地点まで幅広くみられました（図 3）。瞬間風速 50m/s の強風が少なくとも 10 年に一度の頻度で発生するのは室戸、枕崎、屋久島、那覇、石垣の 5 地点、また 80 年以上発生しないのは熊本、大分、日田、佐賀など九州北部を中心とした 12 地点でした。瞬間風速 50m/s の強風が発生する頻度は概して南にいくほど高く、特に九州本島では北緯約 32 度 30 分を境に、その南北で発生頻度推定値に 20 年以上の格差がみられ、九州の北部と南部とで大きく異なっていました（図 4）。

現時点では個々の林分レベルのような局所的な風害発生の予測は容易ではないため、ある程度広域的なスケールに立った予測のもとで、森林をどう扱っていくか（森林施業といいます）考えざるをえません。森林施業の計画は自然条件、経営方針、社会の要請などの要因を考慮した上で決定されるべきであり、本研究はそのうちの自然条件のひとつを明らかにしました。ここで示した強風頻度の分布傾向に応じて主伐期をいつにすべきか、延ばすべきかなど強風に対するリスク管理を地域ごとに考えていくことが重要です。

詳しくは：齊藤哲・小南陽亮（2004）日本林学会誌 86(2): 105-111. をご覧下さい。

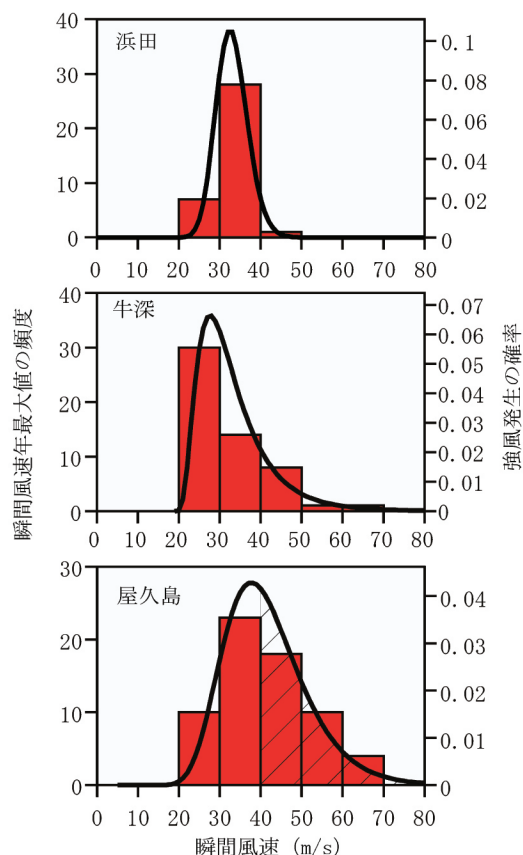


図1 浜田、牛深、屋久島で過去発生した強風の頻度分布（棒グラフ）と強風発生の確率を表す曲線（例えば屋久島で40m/s以上の風が1年間に吹く確率は、曲線の40m/s以上の部分と横軸に挟まれた斜線部分の面積（約0.5）で表され、10年間では（0.5×10で）5回吹く確率となります。）

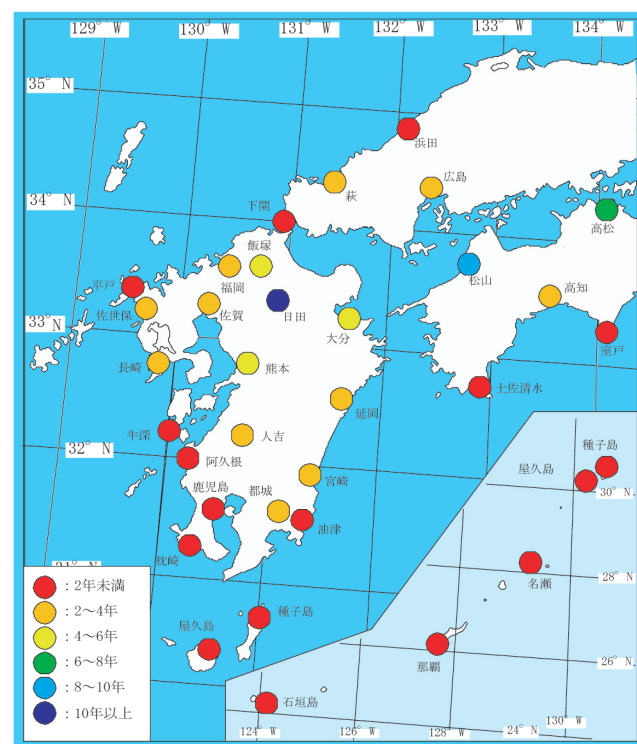


図2 瞬間風速30m/s以上の風が何年に一度発生するかを表した図

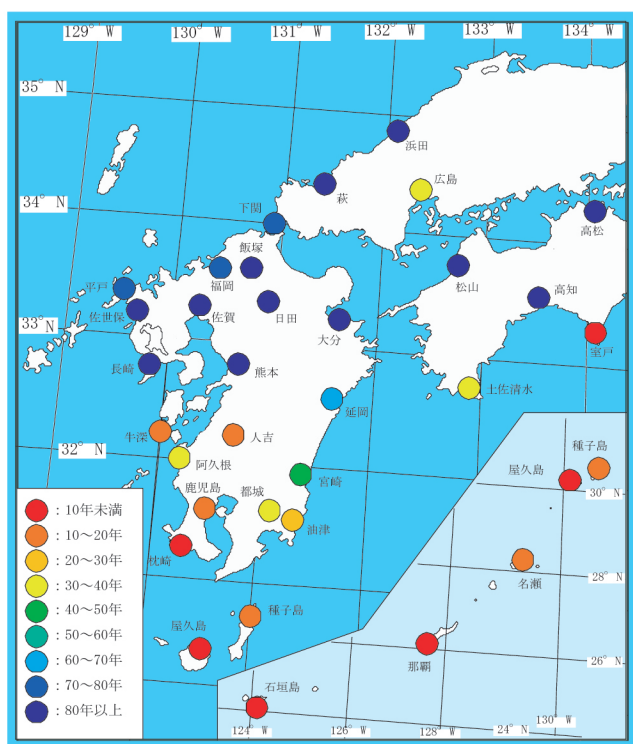


図3 瞬間風速50m/s以上の風が何年に一度発生するかを表した図

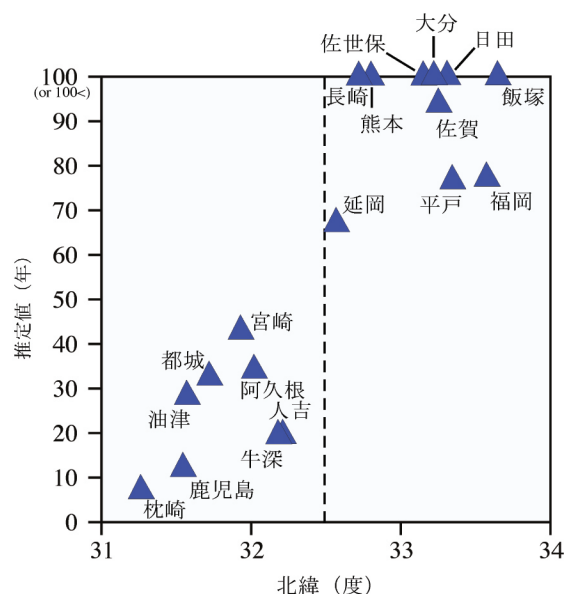


図4 九州本島の各地点の緯度と瞬間風速50m/s以上の風が何年に一度発生するかの関係を表した図

（100年以上の地点は100年のライン上にプロットしました。
破線は北緯32度30分。この図から北緯32度30分以南で強風発生頻度の高いことがわかります。）

イオウを貯める土・貯めない土 ーイオウが多い日本の土壌のナゾー

関西支所 森林環境研究グループ	谷川 東子
立地環境研究領域 養分環境研究室	高橋 正通
土壌特性研究室	吉永 秀一郎
九州支所 森林生態系研究グループ	今矢 明宏

背景と目的

産業革命以降、化石燃料の消費によって大量のイオウが大気に出放されてきました。イオウを溶かし込んだ酸性の雨が降ると、土壌の酸性化が進み最終的には生物に有害なアルミニウムが土壌から地下水などに溶け出します。ただし、酸性化の進み方は土壌の種類によって異なり、イオウが土壌に蓄積保持されるとその影響が緩和されることが、欧米の研究からわかってきました。今後イオウ発生量の増加が予想されるアジアでは、酸性雨に含まれるイオウ化合物が土壌中でどのような運命をたどるのかを予測することが求められています。そこで日本の森林土壌はどの程度の量のイオウ化合物を現在貯めているのか、またその貯める能力を左右している土壌の性質について調べました。

成 果

Andisols と Inceptisols

日本は火山国なので、主に火山灰によってできている土壌、Andisols（米国土壌分類名。黒色土などに相当）が広く分布しています。この土は鉄やアルミニウムの酸化物を多く含むため、土壌表面はプラスの電気を帯びてマイナスイオンを吸い付けるなどユニークな性質を持っています。本研究はこの Andisols と日本に最も広く分布する Inceptisols（主に褐色森林土に相当）のイオウ現存量を調べ、土壌の性質との関係を解析しました。

Andisols がイオウを貯えるしくみ

調査の結果、Andisols は Inceptisols に比べ、著しく大量のイオウを貯えていることが明らかになりました（図1）。そのイオウの多くは、エステル態イオウ（図2）と硫酸イオンでした。この2つのイオウ化合物はそれぞれアルミニウムと鉄の酸化物に保持されていると考えられます（図3）。これまで不安定で分解されやすいと考えられてきたエステル態イオウは、酸化物と共存することで分解しにくい性質になっていると推察されました。

また Andisols ではアルミニウムや鉄の酸化物が多く含まれているので、Inceptisols と同じ量のイオウが土壌から入っても、土壌から流亡するイオウ量は少ないと考えられます（図4）。

結果からいえること

日本では酸化物含有率が高い Andisols が広く分布するので、イオウの動きを予測するための循環モデルの作成には酸化物量を考慮する必要があります。また酸化物量を考慮したイオウ蓄積のメカニズムやイオウ循環モデルは、Andisols と同じくプラスの電気を帯びる性質がある Oxisols や Alfisols といった熱帯や亜熱帯の土壌についても応用できるものと期待されます。

本研究は、環境省地球環境研究総合推進費「流域の物質循環調査に基づいた酸性雨による生態系の酸性化および富栄養化の評価手法に関する研究」により行いました。

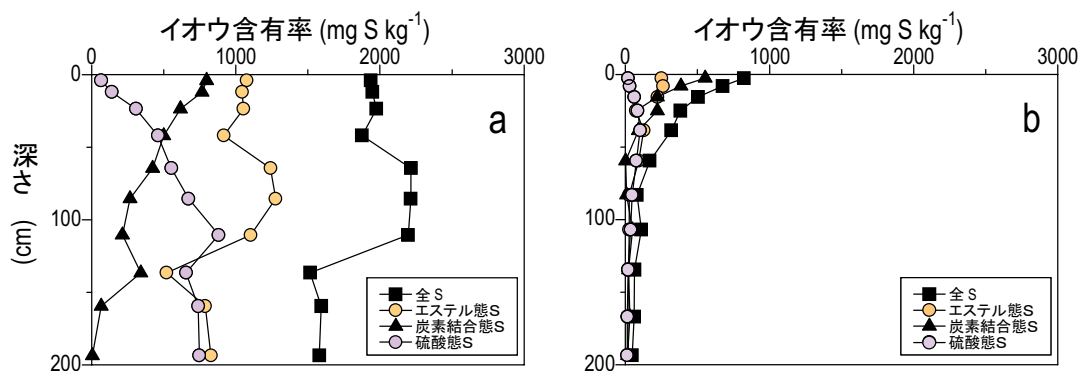


図1 イオウ化合物含有率の断面分布

a, 高萩1土壌 (Andisol) ; b, 高萩4土壌 (Inceptisol)

(Andisols は Inceptisols よりずっと多くイオウを含有していることがわかります。)

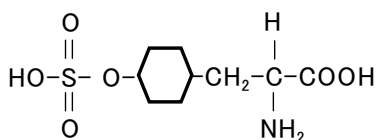
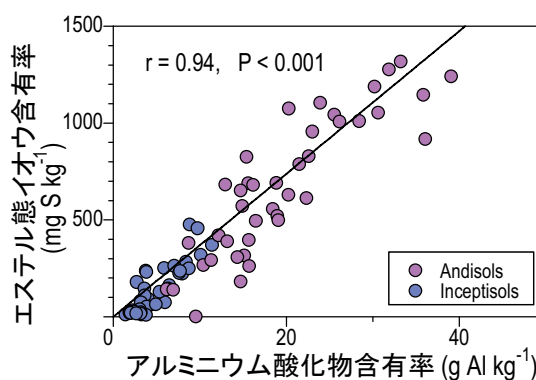
図2 土壌中のエステル態イオウの例
(フェノール酸スルファート)

図3 エステル態イオウ含有率とアルミニウム酸化物含有率との関係

(アルミニウム酸化物が多いほどエステル態イオウも多いことがわかります。)

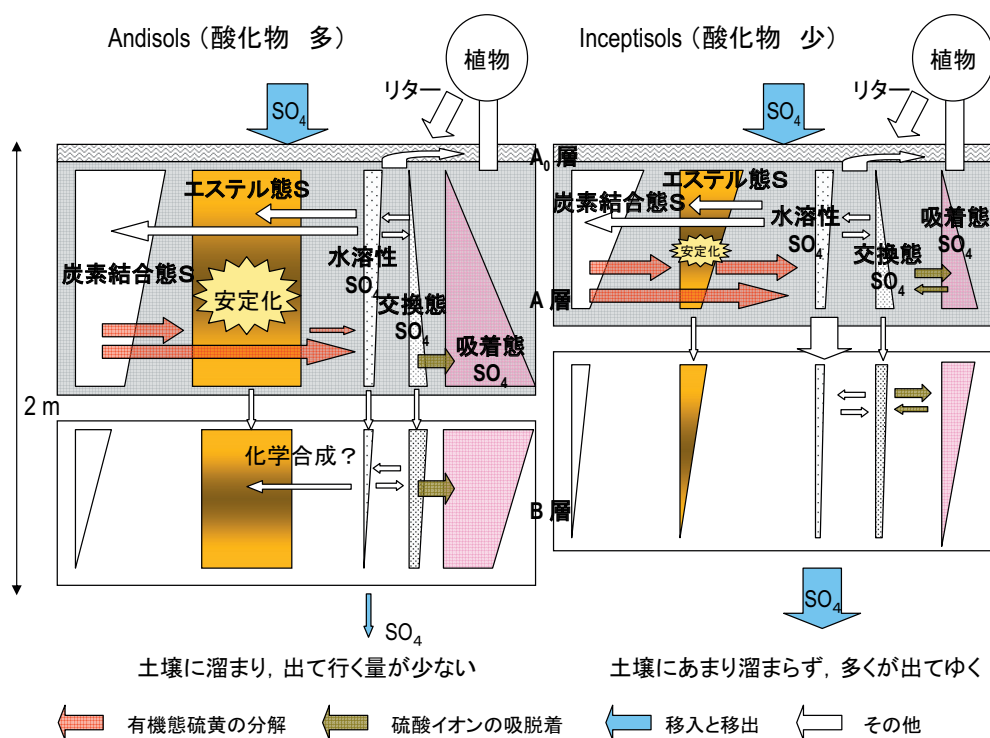


図4 森林土壌におけるイオウ化合物蓄積の概念図

複雑な地形にある森林の二酸化炭素収支の計測

関西支所 森林環境グループ
大気・森林系チーム長

小南 裕志、深山 貴文、玉井 幸治
後藤 義明

背景と目的

近年、温暖化などの地球環境の変動にともない主要な温室効果ガスである CO_2 の吸収・放出収支の測定が重要視されています。その中で大きな CO_2 の吸収源と考えられる森林は重要な観測対象です。一般に森林における CO_2 吸収量の測定値は、森林の樹冠上に設置された気象観測タワーで、風速と CO_2 濃度の高頻度連続測定を行う乱流変動法と呼ばれる方法によって得られています。この方法は地形が平坦でさらに、大気と森林の間の空気がよく混ざることによる基本的測定条件としています。しかし、日本の森林の多くは地形が平坦ではなく山間部に存在していることが多いために、この方法についてさまざまな問題点が指摘されています。

そこで本研究では複雑地形上に存在する森林で乱流変動法による CO_2 交換量観測を行った場合における現象とその問題点について、葉群や土壌から出入りする CO_2 を直接測定する方法と比較して検討しました。

成 果

山で CO_2 を測るむずかしさ

森林では植物の光合成によって CO_2 を吸収する一方、植物自身による呼吸や枯れた植物が分解されることなどによって CO_2 が放出されています。樹冠上のタワー観測ではそれらが合わされた森林全体としての CO_2 交換量の観測を行っています。しかし、この方法は風速などの気象的な要因の影響を受けるために、うまく観測ができていない場合を見分けたり、地形環境や気象条件によって必要となる補正の程度を決めたりすることが比較的難しいとされています。

タワー法チャンバー法の比較

そこで、京都府南部に位置する山城試験地で（図1）、気象観測タワーを用いた乱流変動法による CO_2 交換量観測と並行して、チャンバー法による土壌呼吸と葉群の CO_2 交換量の連続観測を行い（写真1、2）タワー観測と比較しました。これは葉群や土壌表面を一定時間（1時間に数分程度）チャンバーと呼ばれる箱で覆い、その間の箱の中の CO_2 放出（吸収）量をガスアナライザーで測定することによって、 CO_2 交換量を測定する方法です。

図2、3はタワー観測とチャンバー法から推定された CO_2 交換量の例で、図2は夜間に風が強く森林と大気との間の輸送が良好に行われていた場合で、図3は逆に夜

間に風が弱く森林と大気の間で CO_2 の輸送があまり行われていなかった場合です。どちらの場合でも日中はタワー観測とチャンバー観測の値は良好な関係を示しています。しかし夜間、風が弱くて空気があまりまざらない場合（図3）にはタワー観測による CO_2 吸収量は明らかに値が小さくなっており、午前1時くらいから夜明け前にかけてはほとんど呼吸量の観測値がゼロになっています。

タワー測定では適さない気象条件

これは風が弱く、また地表の冷却が進んで地表近くの方が空気の密度が高くなると、この試験地のような地形では、呼吸によって CO_2 が発生してもそれは谷筋を伝ってより低い位置へと流れてしまい、タワー上部では呼吸活動を測定できないためと考えられます。このことをふまえて、タワー観測に適さない時の気象条件を特定し、その時に実際に起きている CO_2 交換量の妥当な推定を行うことによって、このような複雑地形上に存在する森林での CO_2 交換量の、より高精度な測定が可能になりました。

本研究は本所交付金プロジェクト「 CO_2 フラックス観測の深化とモデル化による森林生態系炭素収支量の高度評価」により行いました。

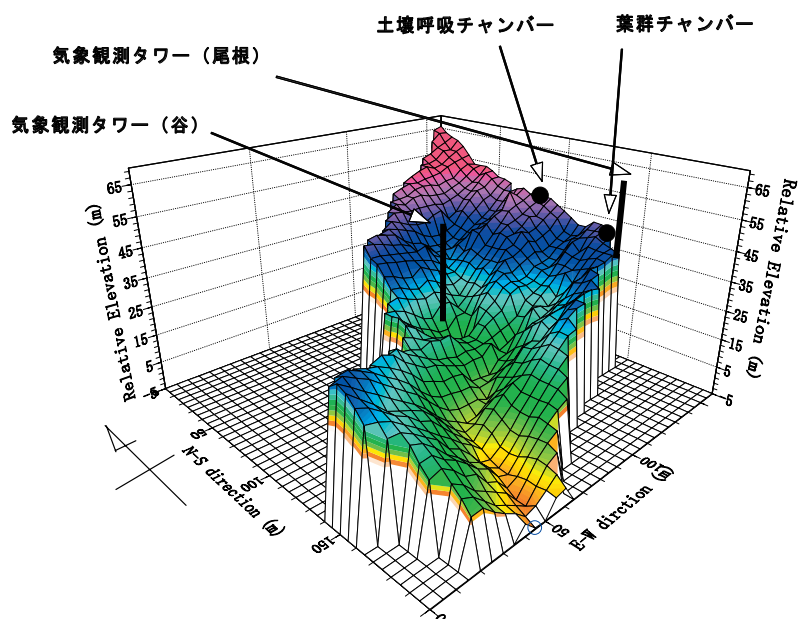


図1 試験地流域の地形図
(急斜面で地形が複雑)



写真1 葉群チャンバー
(樹葉から出入りするCO₂を直接測定)



写真2 土壌呼吸チャンバー
(土から出入りするCO₂を直接測定)

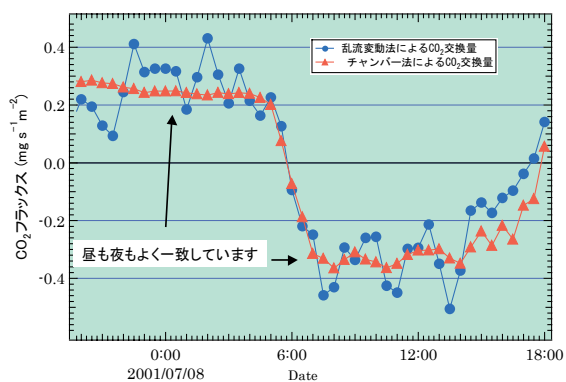


図2 夜間に空気がよく混ざっている場合の1日のCO₂フラックス
(マイナスは森林による吸収を示し、プラスは放出に相当します。)

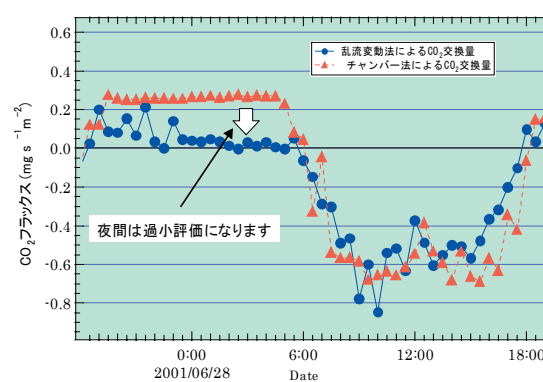


図3 夜間に空気がよく混ざっていない場合の1日のCO₂フラックス

森林土壌による炭素蓄積分布図の作成

立地環境研究領域 温暖化物質チーム長	森貞 和仁
土壌資源評価研究室	小野 賢二
林業経営・政策研究領域 林業システム研究室	鹿又 秀聡
九州支所 森林生態系研究グループ	今矢 明宏

背景と目的

森林を二酸化炭素の吸収源と位置づけた京都議定書では、森林に生えている樹木だけでなく、落ち葉、枯れ枝や倒木および土が貯めている炭素の変化量を評価することになりました。そのためには、樹木や土などそれぞれが貯めている炭素量を把握する必要があります。日本の森林には褐色森林土、黒色土、ポドソルなどいろいろな種類の土がありますが、褐色森林土に区分される土が 40% を占めています。土の種類によって炭素の貯まり方が違うことや日本の森林の土が貯めている炭素量についてはすでに公表されています。

そこで、森の土による炭素蓄積に対する理解を深めるために、全国の営林局や道府県が行った土壌調査の報告書に記載されている土の分析結果と、都道府県が作成した縮尺 20 万分の 1 土壌図を約 1km メッシュ毎にデジタル化した国土交通省の国土数値情報を利用して森林土壌による炭素蓄積の分布図を作成しました。

成 果

炭素蓄積分布図の作り方

国土数値情報で森林とされている土地の土を森林土壌とみなし、土の区分毎の炭素量と各メッシュにおける森林の面積比からメッシュ毎に土の炭素蓄積量を計算して森林土壌による炭素蓄積の分布図を作成しました（図 1）。

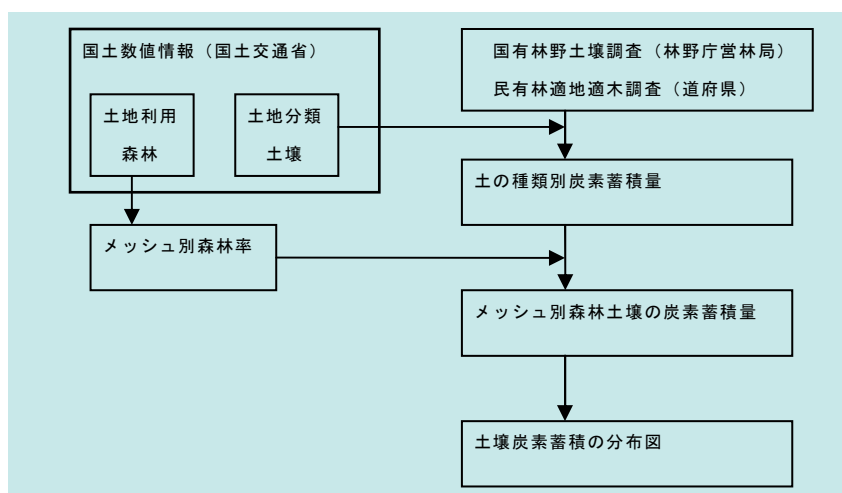
炭素蓄積の全国的傾向

図から森林土壌における炭素蓄積の全国的な傾向を概観できます。森林の割合が高く単位面積あたりの炭素蓄積量が多い黒色土やポドソル等が多く分布している東北地方や標高の高い地域で炭素蓄積が多く、森林の割合が低く単位面積あたりの炭素蓄積量が少ない未熟土等が多く分布している中国地方や標高の低い地域では炭素蓄積は少ないなど、土壌炭素の貯まり方が地域によって違うことが明確になりました。

どのくらい貯めているのか

なお、今回分布図作成に用いたデータから日本の森林の土が貯めている炭素量を算定したところ、以前当所が公表した数値（54 億トン、平成 9 年度研究成果選集）より少ない 46 億トンとなりました。これは土の区分を前より細かくして炭素蓄積量の少ない土まで集計したためです。

本研究は交付金プロジェクト「森林、海洋等における CO₂ 収支の評価の高度化」（平成 13 年度）および環境省受託費「京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究」により行いました。



森林土壌による炭素蓄積分布図の作成手順

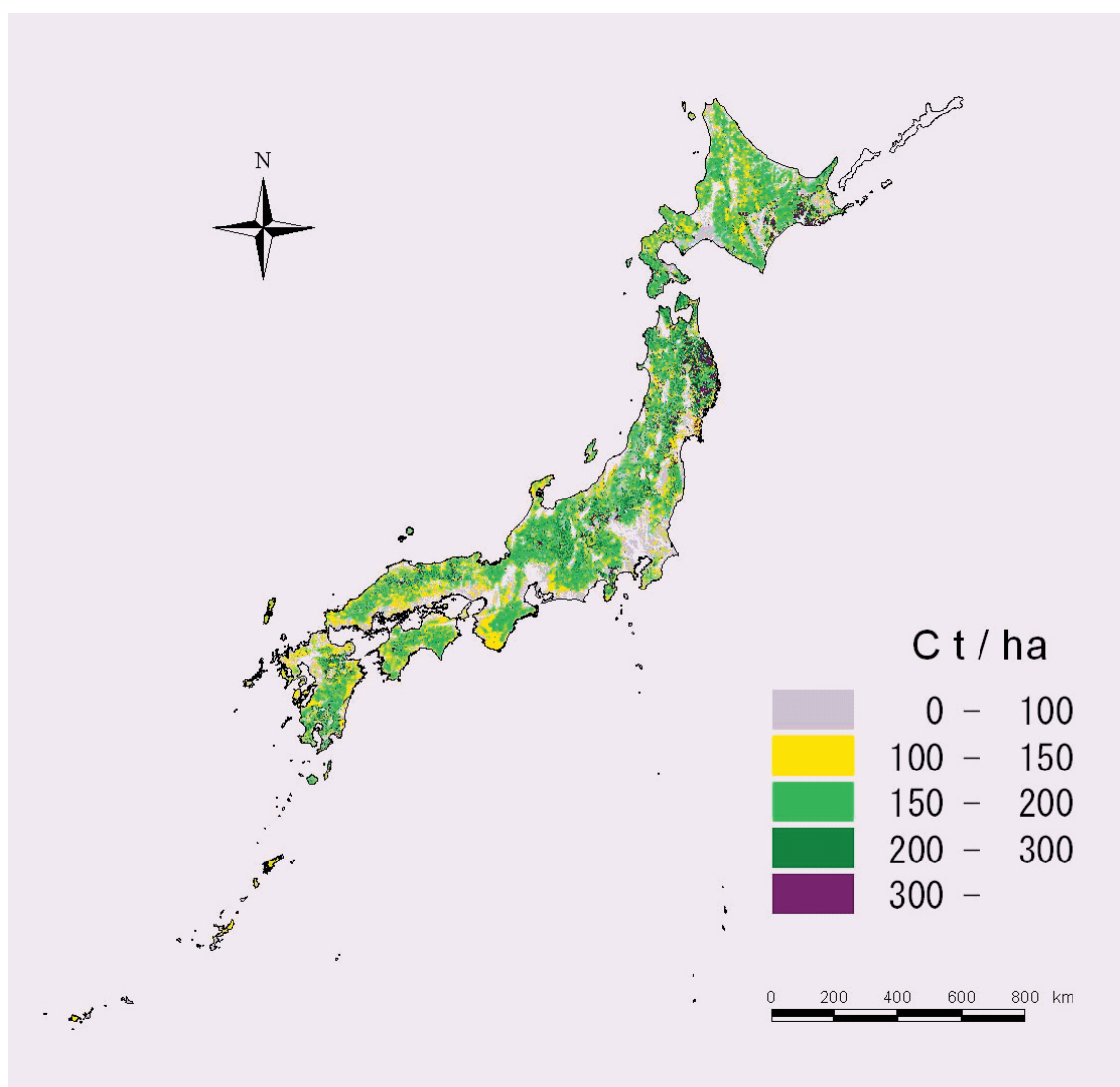


図1 深さ 1m までの森林土壌に貯まっている炭素の分布図

水不足で形成された葉は光にも強くなる

北海道支所 植物土壌系研究グループ 北尾 光俊、飛田 博順、丸山 温

背景と目的

植物は乾燥によって水が不足すると、根の割合を増やしたり、葉の面積を減らしたり、気孔を閉じたりします。これは植物が水を保つための対処法です。

ところが、気孔を閉じると、葉からの水分放出は抑えられますが、葉の内部に CO_2 を取り込めないため、光合成もできなくなってしまいます。さらに、光合成が低下すると葉が吸収した光のエネルギーを使い切れないため、余ったエネルギーが葉内にたまりまます。すると、光合成効率が低下する光阻害という現象が起こり、つづいて活性酸素が発生して葉に障害を与えることが予想されます。しかし、植物はそれに対して何らかの対策を講じているにちがいありません。そこで、本研究では、水不足による気孔閉鎖によって葉内 CO_2 濃度が低下した場合に、光合成系でのエネルギーの流れと光阻害感受性に何が起きているかを調べ、植物の光合成機能の水不足への対処のメカニズムを明らかにしました。

成 果

ダケカンバでの実験

水不足によく耐えるといわれるダケカンバを実験対象にして、毎日水を与える処理（コントロール）及び、週に1回しか水を与えない処理（乾燥処理）を比較して、その間に形成された葉の光合成特性を調べました。

コントロールでも乾燥処理でも葉内の CO_2 濃度の低下につれて光阻害の受けやすさ（光阻害感受性）（ $1-qP$ ）は上昇する傾向が見られ（図1）、水不足により気孔が閉じた時には光阻害感受性が増すことがわかりました。しかし、乾燥処理ではコントロールと比べて光阻害感受性が低い傾向が見られました。測定に用いた葉は実験開始後に形成されたもので、この結果は長期の水不足に馴れた葉では、気孔が閉じて葉内の CO_2 が低下しても、光阻害の影響を受けずにすむことを意味しています。

光に強くなるしくみ

それでは、水不足のもとで形成された葉が光阻害感受性を低く保っている仕組みを考えてみましょう。熱としてのエネルギー消費の指標となるノンフォトケミカルクエンチング（NPQ）と、電子によるエネルギー消

費の指標となる電子伝達速度を調べた結果（図2、3）、NPQ はいずれの処理でも葉内の CO_2 濃度が低下すると上昇する傾向が見られました。このことは、気孔が閉じた際には、熱としてのエネルギー放出を増やして、光阻害を抑えようとしていることを意味しています。しかし、処理間で比較を行うと、水不足に馴れた葉の方が低いNPQを示しており、熱放出の増加によって光阻害を回避したわけではないことを示しています。一方、電子伝達速度は葉内の CO_2 濃度の低下とともに低下しましたが、水不足に馴れた葉の方が高かったのです。

以上の結果から、乾燥ストレスを受けた間に生じたダケカンバの葉は、熱としての放出を増やすのではなく、光合成や光呼吸による電子の消費を増やすことで、気孔が閉じて葉内の CO_2 濃度が低下した際の光阻害を回避していることがわかりました。このことは、乾燥した環境にダケカンバがある程度適応して生育できる要因の一つになっていると考えられます。

詳しくは：Kitao, M. et al. (2003) *Physiologia Plantarum* 118: 406-413. をご覧下さい。

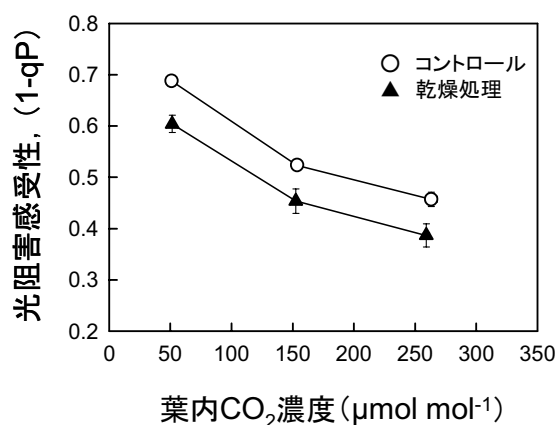


図1 葉内 CO₂ 濃度と光阻害感受性との関係

光阻害感受性の指標として、光合成系へのエネルギー集積の指標である(1-qP)を用いました。qPはフォトケミカルクエンチングと呼ばれるクロロフィル蛍光反応のパラメーターで、(1-qP)の値が1に近いほど光阻害を受けやすい。

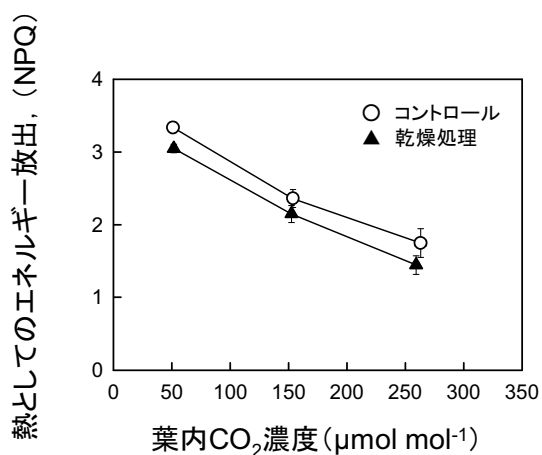


図2 葉内 CO₂ 濃度と熱としてのエネルギー放出との関係

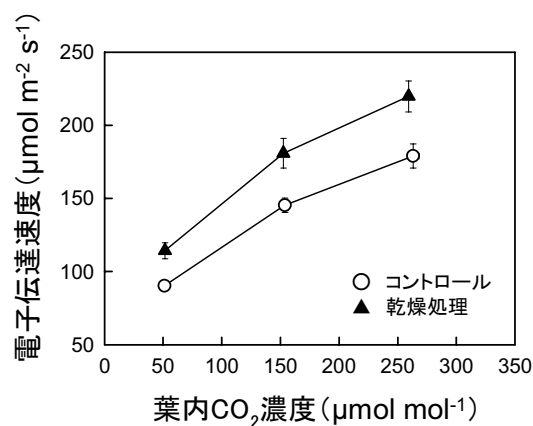


図3 葉内 CO₂ 濃度と電子伝達速度との関係

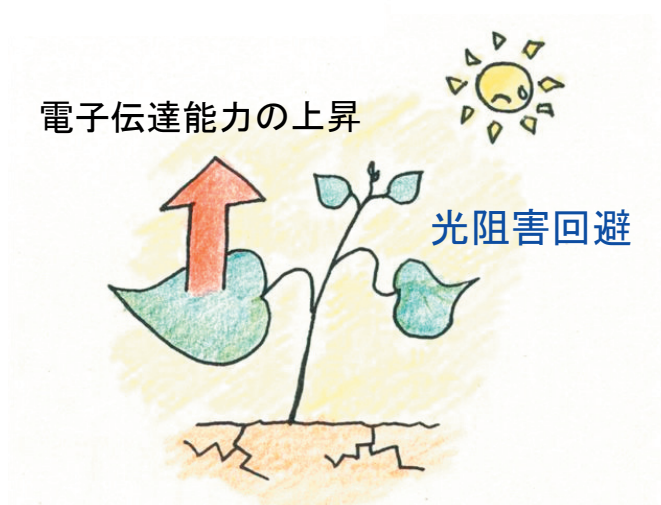


図4 光阻害回避のしくみ

(乾燥ストレスの下で形成された葉では、光合成や光呼吸による電子の消費能力(電子伝達能力)を高めることで、気孔閉鎖により葉内 CO₂ 濃度が低下した際の光阻害を回避します。)

新たな木製擁壁の開発

森林作業研究領域長 大川畑 修

背景と目的

近年、林道造成や治山工事で土留めのための壁（擁壁）を造るときに木材が多く使用されるようになりました。木製擁壁は、木材を有効に利用するだけでなく、自然の景観を損ねないという効果もあります。しかし、山地の現場では、壁面が曲線となる場合が多く、形を合わせるのに工夫が必要となります。これまでに使われている木製擁壁では、長方形の組み合わせで作られていますので、曲線を描く切土斜面に沿って擁壁を設置する場合、となり合わせの長方形の間にすきまが生じます。このため、作設現場で曲線の形に応じて部品の切断を行い、形を台形にするなど地形に合わせる必要があり、大変に手間がかかりました。そこで、現場で部品を切断したりすることなしに、地形に合わせた擁壁が作れる方法を開発しました。

成 果

本擁壁の構造は図1に示すとおりで、長さは2.0 m、高さ（垂直高）は0.5～2.0 mで、0.25 mの刻みを設定しています。幅は0.82 m、擁壁面の勾配は3分（73.3°）です。本擁壁の特長は、新たな方式として、横材の両端を加工したこと、基礎材を支持する装置に工夫を加えたことです。

横材の両端の加工処理

横材の両端を加工したことにより、となりあう擁壁との間にすきまを生じることなく本擁壁を曲線部にそって設置することが可能となります。本擁壁の最小設置半径は表1のとおりで、擁壁高が低いものほど最小設置半径は小さくなります。たとえば、擁壁高が1.5 mのとき、最小設置半径は7.2 mとなります。この値は2級林道の最小曲線半径12 mよりかなり小さなものです。

また、図2に示すように、本擁壁は、水平地に設置する場合は正面から見た形状は長方形ですが、傾斜がある所に設置する場合は、横材の両端を加工したことにより

勾配に応じた平行四辺形とすることができます。このため、縦方向の勾配の変化にも十分対応することができるのです。

基礎材を支持する装置の工夫

曲線部への擁壁の設置、並びに縦断勾配に変化があるところへの擁壁の設置が容易に行える方法も検討しました。その結果、擁壁基礎材の形状変更を行い、基礎材を支持する装置への基礎材の取り付け角度が自在にできるよう工夫したことにより、壁面の変化に対応しうようになっています。

写真1、2は森林総研の構内に作設された擁壁で、写真1は擁壁の後背部です。写真2は前方から見たものです。本擁壁は設置方向の変化、縦断勾配の変化に対応しています。とくに写真1で、設置された擁壁が湾曲している様子がわかります。

本成果は特許出願中です。

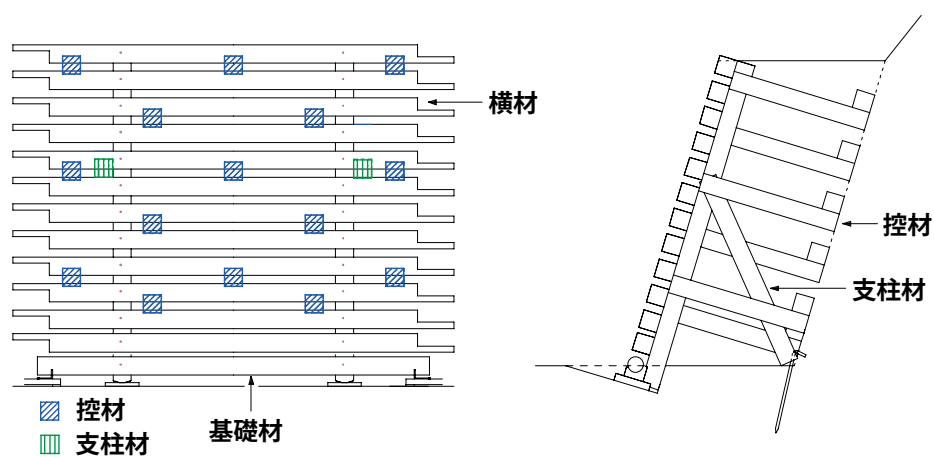


図1 擁壁の概要

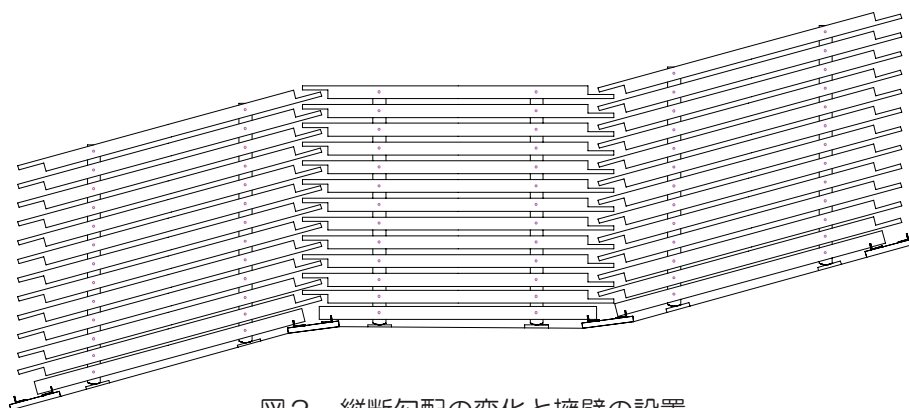


図2 縦断勾配の変化と擁壁の設置

表1 最小設置半径

擁壁高 (m)	最小設置半径 (m)
0.50	3.3
0.75	3.6
1.00	4.8
1.25	6.0
1.50	7.2
1.75	8.4
2.00	9.5



写真1 擁壁の後背部



写真2 擁壁の前面

システム収穫表LYCSの改善と列状間伐林への応用

林業経営・政策研究領域 林業システム研究室長
関西支所 森林資源管理研究グループ

松本 光朗
田中 邦宏

背景と目的

間伐と一口に言っても、一般的な下層間伐だけではなく、上層間伐や列状間伐などさまざまです。一方、人工林の中には間伐遅れの暗い林が見られるなど、林分の密度管理の実態が多様化しています。こうした多様な密度管理に対応した収穫予測手法として、システム収穫表の開発が広く行われてきました。その中でもLYCS（地域収穫表作成システム）は柔軟な構造を持った現実的な手法ですが、適用可能な樹種や地域が限られ、広くは利用されてはいませんでした。また、システム収穫表を含め、これまでの収穫予測手法は列状間伐には使えませんでした。

そこで、システム収穫表LYCSの普及を目指し、広い地域に適用できるように係数を求め、プログラムを使いやすく改善しました。さらに、LYCSを用いた列状間伐林の収穫予測手法を開発しました。

成 果

LYCSの係数の導出とプログラムの改善

システム収穫表LYCSの特徴は平均胸高直径の成長モデルであり、胸高直径と立木本数の関係によって直径成長率が加減されます。例えば、標準的な林分よりも平均直径が太いほど、本数が多いほど直径成長の速度が遅くなり、逆に標準的な林分よりも平均直径が細いほど、本数が少ないほど直径成長の速度が速くなります。

成長モデル式

$$\frac{1}{D} \frac{dD}{dt} = p \cdot \exp(-kt) + q \cdot (K - \log N - a \log D)$$

ここで、 D ：平均胸高直径（cm）、 t ：林齢（年）、 N ：本数密度（本/ha）、 p 、 q 、 a 、 K ：係数。

ここで使われる係数は樹種や地域に応じて決まります。すでに対象地域の収穫表が作られている場合、それを係数の決定に利用できます。これにより全国計14地域のスギ林について係数を求め、これらの地域で利用できるようになりました。また、LYCSのプログラムを表計算ソフトExcelのマクロに移植し、使い勝手や図表の出力について改善しました。さらに下層間伐、上層間伐、一様間伐といった3種の間伐様式に対応できるようにしました。

このプログラムでは、初期値シートで地域の選択、植栽本数、主伐林齢、間伐回数、間伐後の本数、間伐方法等を指定し実行ボタンを押せば（図1）、指定した値に応じた収穫予想表や直径成長グラフや材積成長グラフ、直径階分布図が表示されます（図2）。出力された間伐

木や主伐木の直径や材積などを参考にしながら、初期値を変え再計算することにより、目的に合った収穫表を作り出していくことができます。

列状間伐林の収穫予測手法

列状間伐では、間伐列と残存木の位置関係が直径の成長に影響します。そこで、密度変化が等しい林木の集まりをそれぞれブロックに分け、ブロック単位にLYCSを利用して収穫予測を行い、最後にそれらを合算するという方法を開発しました。

これを用いて、北関東・阿武隈地方スギを対象とし、定性的な下層間伐と列状間伐（1伐2残、1伐3残、2伐4残を基本型とする）について、間伐林齢と間伐回数、主伐本数が同じになるような密度管理計画を立て、収穫予想表を作成しました。

作成された表を比較したところ、間伐木の直径や材積は列状間伐型の方が大きく推定されますが、反対に主伐木の直径や材積については下層間伐型の方が大きく推定されました（図3）。しかし、いずれの間伐型でも主伐木・間伐木を合計した総材積の推定値はほとんど変わりませんでした。

本研究の一部は林業機械化協会受託、「林業・生産システムの類型化と多面的評価手法の開発」により行いました。

Microsoft Excel - LycsMacroV2.11.xls

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ツール(T) データ(D) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

質問をを入力してください

MS Pゴシック

北関東 阿武隈地方

スギ

地位1(2)

1

主林木の本数を入力

10

105

立木本数を入力

2750

18

1回目 2回目 3回目 4回目

15 20 25 30

1995 1510 1207 990

1 1 1 1

15 20 25 30

実行 リセット

1355

地域、植栽本数、間伐回数、間伐後の本数、間伐方法などを入力し、実行ボタンを押す。

図1 LYCSの初期画面

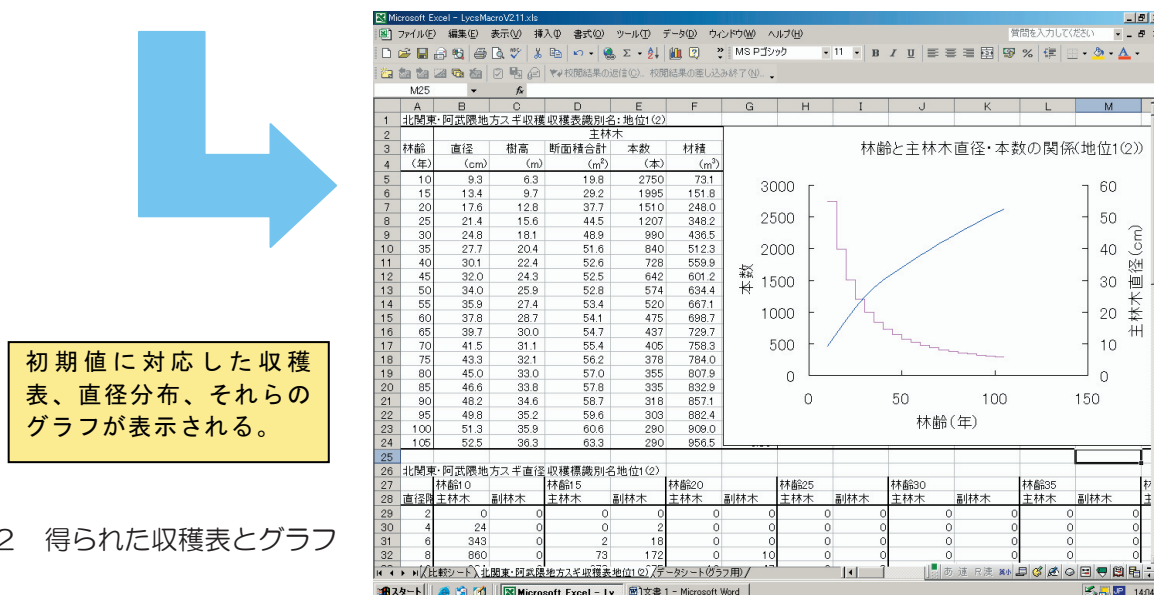


図2 得られた収穫表とグラフ

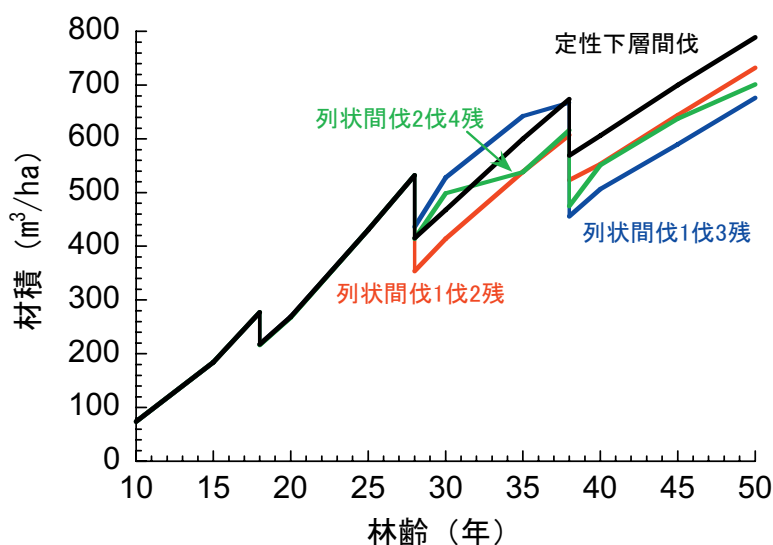


図3 推定された主林木の材積成長

観光レクリエーションのため、森の管理が効果的な場所とは？

森林管理研究領域 資源解析研究室 田中 伸彦
環境計画研究室 高山 範理

背景と目的

わが国では、ほとんどの観光レクリエーション地のまわりに森林があります。そして、まわりに存在する森林のおかげで、美しい風景を楽しんだり、野鳥や動物との触れ合あうことができます。したがって、すべての観光レクリエーション地の周辺で、そのような体験を増やすような森林づくりが望まれています。

ただし、現実には、効果的な観光レクリエーション体験のために積極的な森林づくりを行える森林の面積は、ごく一部に限られてしまいます。そのため、森林づくりが特に効果的な地区はどこなのか判断し、計画的に管理を行うことが必要になります。

そのような背景を考慮して、観光レクリエーション資源や施設の分布状況から、森林づくりを行うことが効果的な重要地区を判定する手法を開発し、さらに重要地区の地形や土地利用の状況、あるいは観光レクリエーション資源の特性を分析して、わが国の森林計画に活かす方法を検討してみました。

成 果

地勢や林況の異なる地域での解析

図 1 の左に示したとおり、茨城県の①八溝多賀流域（中山間市町村が多い流域）と②霞ヶ浦流域（都市近郊の平地流域）という、地勢や林況などが大きく異なる2流域を対象に、地理的メッシュ解析手法を用い、観光レクリエーション資源や施設が集中している地区を、森林づくりを行うと効果的な重要地区としました。

2つの流域内の観光レクリエーション資源・施設の数、1km²あたり、八溝多賀流域で0.23箇所、霞ヶ浦流域で0.24箇所と大きな差はありません。また、観光レクリエーションのための森林づくりが特に効果的だと判定された重要地区も、八溝多賀流域で36箇所（図1の右）、霞ヶ浦流域で75箇所、単位面積あたりに換算すると大きな差はありません。

地域によって異なる特性

しかしながら、図2に示したとおり、①八溝多賀流域では、凹地状の谷あいの集落に造った山間レクリエーション施設や、川沿いの湿原・溪流釣りなど自然資源に依存した観光レクリエーション地区が、②霞ヶ浦流域では、

平地に点在する市民の森や神社仏閣などの平地林や、伝統的な城下町や研究学園都市などの市街地を中心とした観光レクリエーション地区が多く見られるなど、流域によって大きく異なる特性を見ることができました。

つまり、わが国において、観光レクリエーションのために行う森林の管理を考えるにあたっては、本研究で行った手順で、国内の全158流域を対象に、観光レクリエーションの観点から森林管理上重要な地区を判定し、その地区で森林管理を行うことの意味や、その地区の地形や土地利用構造の特性を明らかに、各流域に沿った個別の管理計画を樹立することが重要です。そして、得られた結果を森林計画に的確に反映させ、望ましい森林づくりに生かすために、市民参加や合意形成制度を充実させ、観光レクリエーションを考慮した地域森林管理の体系を作り上げる必要があります。

詳しくは：田中伸彦（2004）日本林学会関東支部大会発表論文集55をご覧ください。

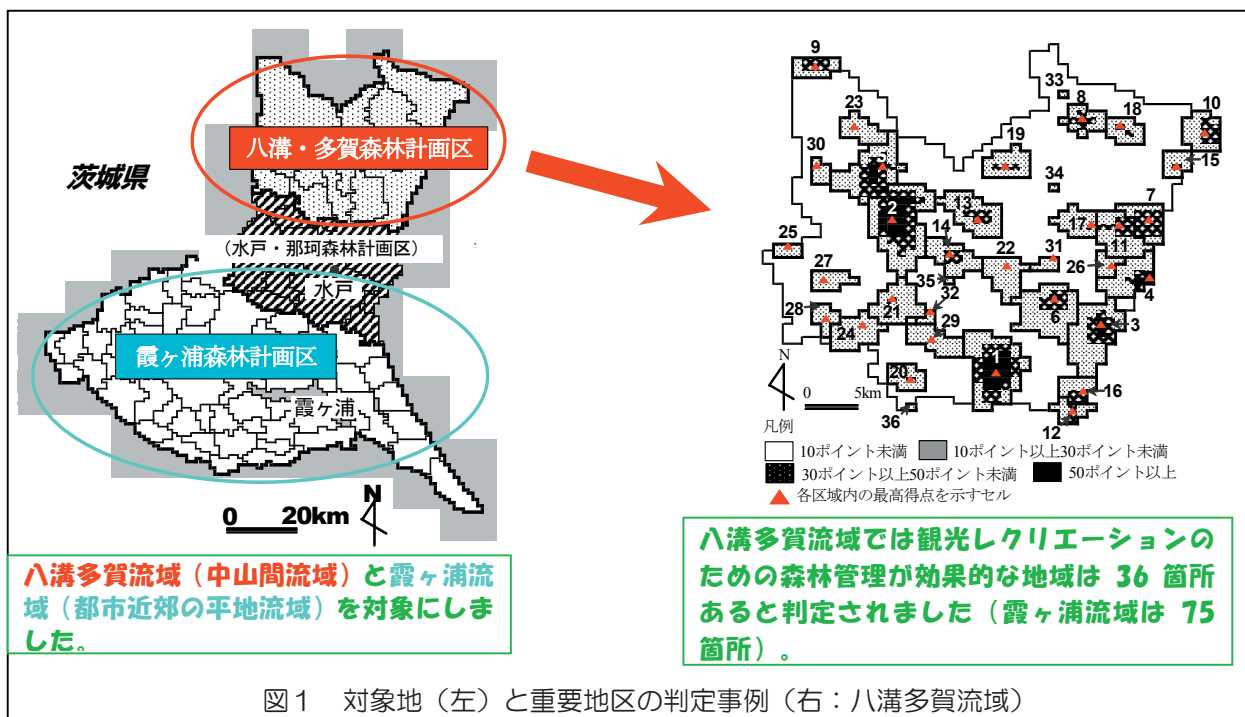


図1 対象地（左）と重要地区の判定事例（右：八溝多賀流域）

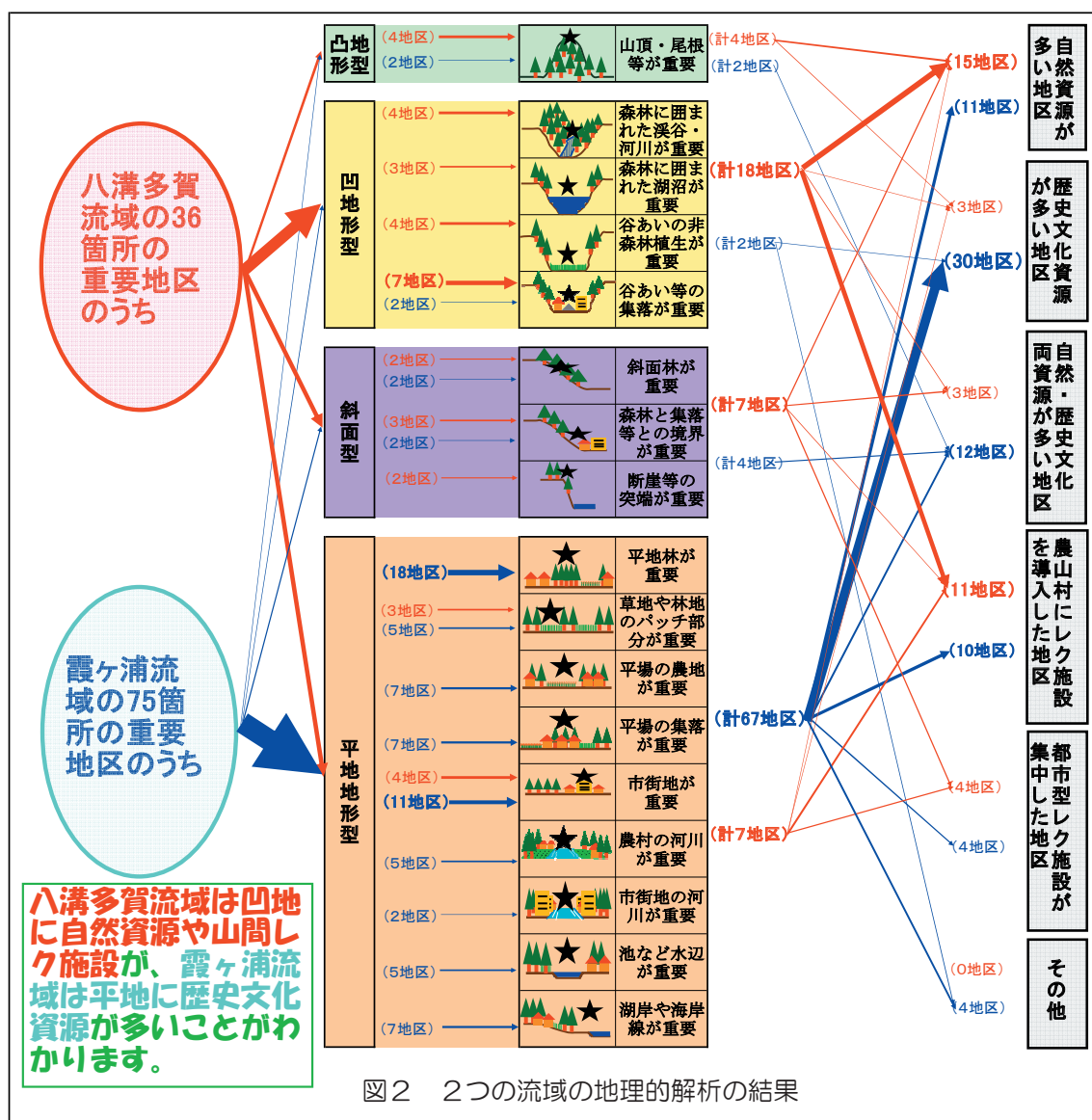


図2 2つの流域の地理的解析の結果

樹木中のリグニン・炭水化物間化学結合の解明 ー樹木化学成分の有効利用を進めるためのキーポイントー

成分利用研究領域 木材化学研究室

ケミカルリサイクルチーム長

成分利用研究領域長

池田 努、杉元 倫子、田中 良平、
真柄 謙吾

加藤 厚

細谷 修二

背景と目的

樹木は数多くの化学成分から成り立っていますが、この中の「セルロース」「ヘミセルロース」「リグニン」（図 1）は主要化学成分と呼ばれ、樹木の幹部分では全成分の約 95% を占めています。「リグニンとセルロース間」「リグニンとヘミセルロース間」には化学結合（両方をまとめて、リグニン・炭水化物間化学結合と呼びます）が存在すると推定され、これまでこの化学結合を明らかにするための様々な分析が試みられてきました。しかしセルロース、ヘミセルロース、リグニンは、いずれも高分子であるために分析が難しく、さらに従来の手法では、分析の過程でリグニン・炭水化物間化学結合が切断されてしまうために、これまで明確な結論を出すことができませんでした。

本研究では、「リグニンをオゾン、セルロース・ヘミセルロースを酸」で部分的に分解する新たな手法を用い、リグニン・炭水化物間化学結合の解明を試みました。

成 果

新たな分析手法の有効性

この手法がどの程度有効であるかを確かめるために、想定されるリグニン・炭水化物間化学結合を有するモデル化合物を合成し、このモデル化合物に本法を適用しました。この結果、本法がリグニン・炭水化物間化学結合を分析するために極めて有効な手法であることが明らかになりました。次に、スギ材を用いた分析を行い、リグニン・炭水化物間化学結合を含む生成物を得ることができました。

リグニン・炭水化物間化学結合の結合様式は、次の 3 要素「リグニンの型・炭水化物の種類・結合の位置」により決定されます。今回、リグニンの型は針葉樹 β -O-4 型、炭水化物の種類はヘキソース（グルコース・マンノース・ガラクトース）、結合の位置はベンジル位、であるリグニン炭水化物間化学結合が存在することが明らかになりました。

新たな成分利用法への期待

樹木に含まれる化学成分を利用する場合、現在では、リグニンをランダムに分解しながら少しずつ取り除く方法が用いられ、最後にセルロースと分解されたリグニンが回収されます（図 3）。現在の方法は、工程が複雑であるために時間とコストがかかるだけでなく、ヘミセルロースの大部分が分解され失われてしまいます。リグニン・炭水化物間化学結合に関する研究がさらに進み、リグニンとセルロース・ヘミセルロースの結合部分を選択的に切断した後、それぞれの化学成分を分離できる方法が開発されれば、より簡単に低コストで樹木化学成分を得られるようになり、さらに現在ほとんど利用されていないヘミセルロースの利用を行うことも可能になります。

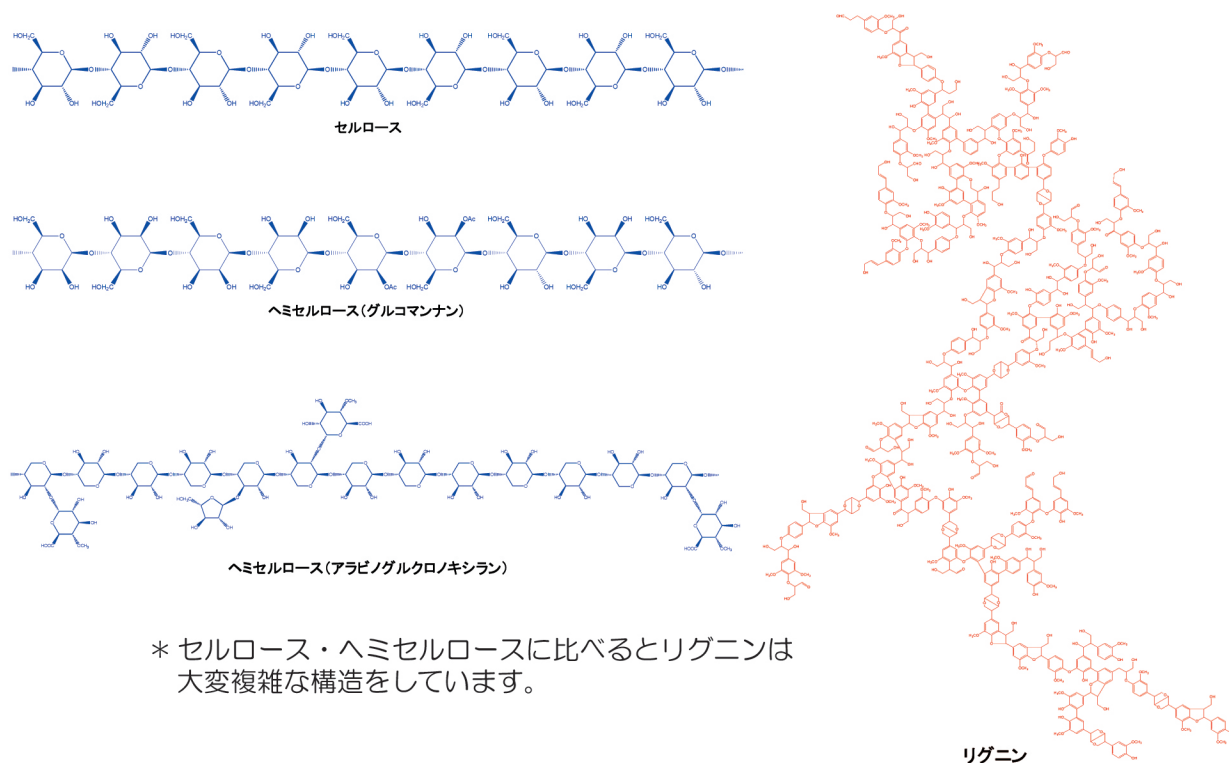


図1 セルロース、ヘミセルロース、リグニンの模式図（構造の一部）

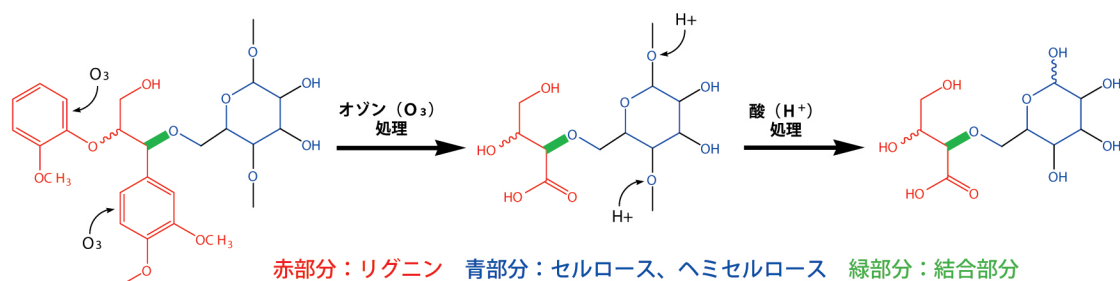
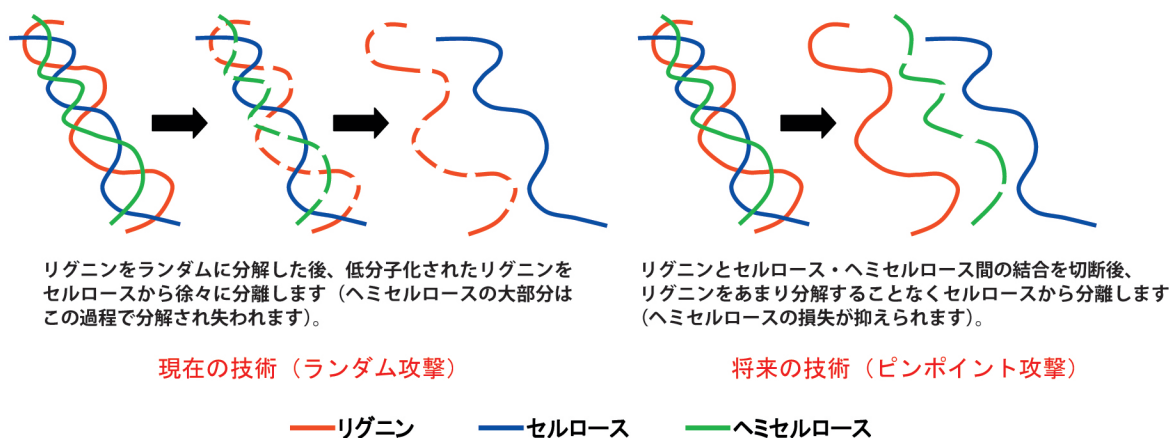
図2 リグニン・炭水化物間化学結合の単離過程
(処理により分解される場所が決まっています。)

図3 樹木化学成分の単離について（現在の手法と将来の手法）

超臨界水及び亜臨界水処理による木質資源の高速糖化

木材改質研究領域 機能化研究室 松永 正弘
 表面加工チーム長 松井 宏昭
 (株)神戸製鋼所 山本 誠一、大塚 剛樹、清水 孝浩

背景と目的

私達が大量に使用し続けている石油や石炭といった化石資源は、将来の枯渇が予想されていることに加えて、燃焼したときに放出される多量の二酸化炭素により地球温暖化をもたらしています。これに対し、森林から生み出される木材などは再生産が可能な循環型資源であり、しかも大気中の二酸化炭素から光合成によって再生産されるため、化石資源の代わりに木質資源を使うことで二酸化炭素の排出削減に大きく貢献することができます。そのため、木質資源からエネルギー源や化学原料等を製造する技術開発が現在強く求められています。

木材成分の約7割はセルロースやヘミセルロースといった多糖が占めていますが、この多糖を単糖・オリゴ糖に分解できれば、石油や石炭に代わるエネルギー源として期待されているバイオエタノールの原料として利用することができます。そこで、木材から単糖・オリゴ糖を大量かつ高効率で生産することを目的に、超臨界水及び亜臨界水処理(*)による高速糖化法の技術開発を行いました。

(*) 水の温度・圧力を 374℃・22MPa (218 気圧) まで上げると、液体でも気体でもない状態となります。この温度・圧力を臨界点と言い、臨界点以上の状態の水を超臨界水、臨界点よりやや低い温度の水を亜臨界水と呼びます(図1)。超臨界水や亜臨界水は、木質バイオマス成分をはじめとした有機物が格段に溶けやすくなり、有機物をすばやく低分子まで分解します。しかも、超臨界水処理や亜臨界水処理は水と熱のみを利用したクリーンな反応ですので、環境に配慮した技術として注目されています。

成 果

スギ木粉での処理

写真1、図2に示すような装置を用いてスギ木粉を超臨界水もしくは亜臨界水処理しました。その結果、反応液中にはグルコースやオリゴ糖などの水溶性糖類が多量に生成していることが確認されました(図3)。特に、亜臨界域である 310～320℃・25MPa の処理条件において、セルロース及びヘミセルロースから7割近くの高い糖収率が得られました。処理時間も、反応器の温度が 310℃に達してから約 10 分という短時間で分解反応が終了しており、木質バイオマスから高速で大量に糖類を生産できることがわかりました。また、糖類に変換できないリグニン成分(木材成分の約3割)の一部は残渣として回収されましたが、その残渣は石炭に匹敵する高い発熱量(約 6,500cal/g)をもっているため、熱源としての利用が期待されます。

この方法の特徴

木材の糖化法には、酸や酵素を用いた方法もありますが、酸糖化は酸による処理装置の腐食や廃液処理などの問題があり、酵素糖化は時間がかかることやリグニン除

去の前処理が必要であるなどの問題があります。今回技術開発した超臨界水及び亜臨界水処理は、酸触媒や特別な前処理が必要なく、廃液処理の問題もなく、オリゴ糖を含めた糖類全体を高速かつ大量に生成する手段として非常に優れています。

バイオエタノール生産へ

そこで酵素糖化の前処理として超臨界水あるいは亜臨界水処理を用いてバイオエタノールの原料となる糖類を生産し、その後、短時間の酵素反応で単糖、そしてエタノールに変換するという方法により、バイオエタノールが高速で生産できることとなります(図4)。今後は、水の使用量を減らすことで水を加熱するために必要なエネルギーやコストを削減し、実用化に向けた開発を進めていく予定です。

本研究は、農林水産技術会議委託費(農林水産バイオリサイクル)「超臨界水及び亜臨界水処理による高度資源化技術の開発」により行いました。

なお、本成果は特許出願中です。

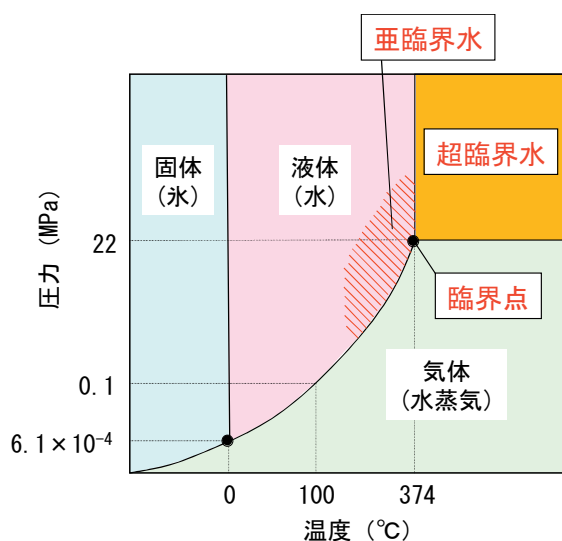


写真1 超臨界水処理装置

図1 水の状態図 (1MPa は約 10 気圧)

(水の温度・圧力を 374°C・22MPa まで上げると、液体でも気体でもない状態となります。この温度・圧力を臨界点と言い、臨界点以上の状態の水を超臨界水、臨界点よりやや低い温度の水を亜臨界水と呼びます。)

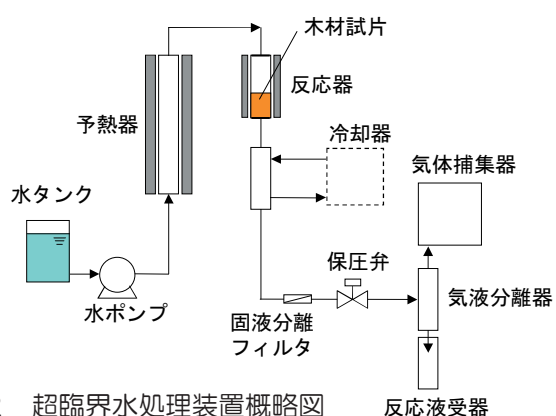


図2 超臨界水処理装置概略図

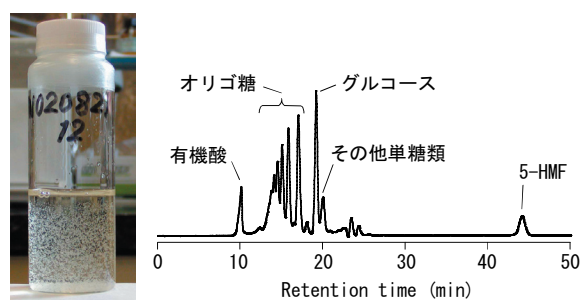


図3 反応液の写真(左)と高速液体クロマトグラフィーによる成分分析結果(右)

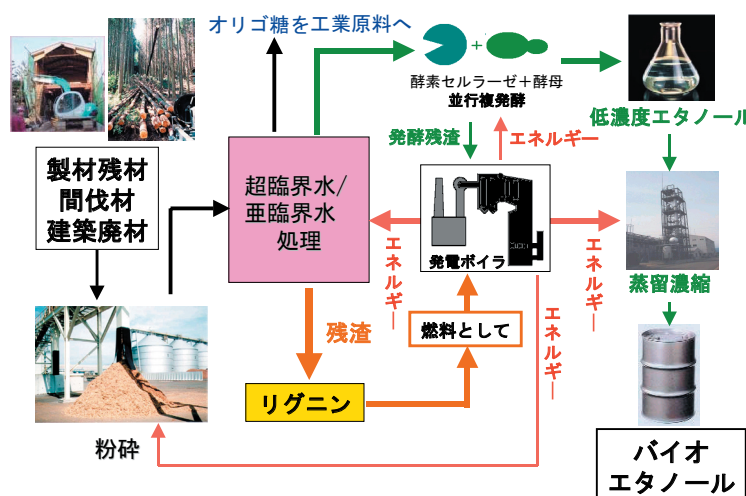


図4 バイオエタノールの生産フロー図

木材の燃焼によって生成するダイオキシン類

樹木化学研究領域 樹木抽出成分研究室 河村 文郎
成分利用研究領域 木材化学研究室 池田 努
成分利用研究領域長 細谷 修二

背景と目的

我が国ではゴミ焼却炉がダイオキシン類の主要な発生源であるといわれており、焼却炉からの排出が厳しく監視されるようになりました。ダイオキシン類の生成は、燃焼温度と塩素が含まれていることが大きく影響するため、燃焼温度の低い小型焼却炉で主に発生するといわれています。しかし、木材関連業界では依然として簡易式小型焼却炉への依存度が高く、また、海水中に貯木した材では発生が多くなることも予想されます。

本研究は各種木質材料を小型焼却炉で燃焼する際のダイオキシン類生成量を把握し、安全性を評価することを目的としました。また、塩化ナトリウム及び塩化アンモニウム添加の木材の燃焼試験を行い、ダイオキシン類生成量を測定し、さらに、スギの塩素濃度の個体差について検討し、水中貯木材や未処理材の燃焼に対して有用な知見を得ました。

成 果

焼却炉での試験

約 20kg/h の処理能力を持つ焼却炉を用いて実証試験を行いました。一次燃焼室において 700℃で燃焼を行い、二次燃焼室（アフターバーナー）では 900℃で燃焼を行いました。二次燃焼室はダイオキシン類等の分解を行うために設けられています。

まず連続投入方式での燃焼によって無機塩素添加材と無添加木材の比較を行いました。塩化ナトリウム（NaCl）添加材（添加量，5000ppm）や塩化アンモニウム（NH₄Cl）添加材（添加量，1000ppm）では無添加材と比べて著しくダイオキシン類生成量が増大しましたが、二次燃焼によって大部分が分解されました（図 1 A）。

業界が使っている焼却炉では

次に木材関連業界での使用率が高いバッチ式小型焼却炉での燃焼を想定した燃焼試験を行ってみました。これは一次燃焼室に予め被燃焼材料を全量入れた後に着火し、燃焼を行うため、ダイオキシン類の生成し易い温度域を必ず通過することになります。無添加材の場合もバッチ式のような悪条件で燃焼するとかなりダイオキシン

類生成量が増大することが確認されましたが、排出規制値（5 ng-TEQ/Nm³）は越えませんでした（図 1 B）。連続投入方式と比較してバッチ式では、二次燃焼によるダイオキシン類の分解が効率良く行われていません。バッチ式による材部チップと樹皮では、ダイオキシン類生成量に差は現れませんでした（図 1 C）。

スギの塩素濃度

スギの塩素濃度の個体差について調査した結果、樹皮の方が材よりもやや高い値を示しました（図 2）。材部では塩素量の個体差が大きく、塩素量の最も多かった個体は平均的な塩素含有量の約 10 倍の塩素を含んでいました。しかし、水中貯木材の約 1 / 10 なので、このような塩素含有率の特に高い個体を燃焼する場合も、塩化ナトリウム添加材（塩素含有量，5000ppm）を燃焼した時のダイオキシン類生成量を越えることはないと思われ予想されます。

本研究は、農林水産技術会議委託研究費「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」により行いました。

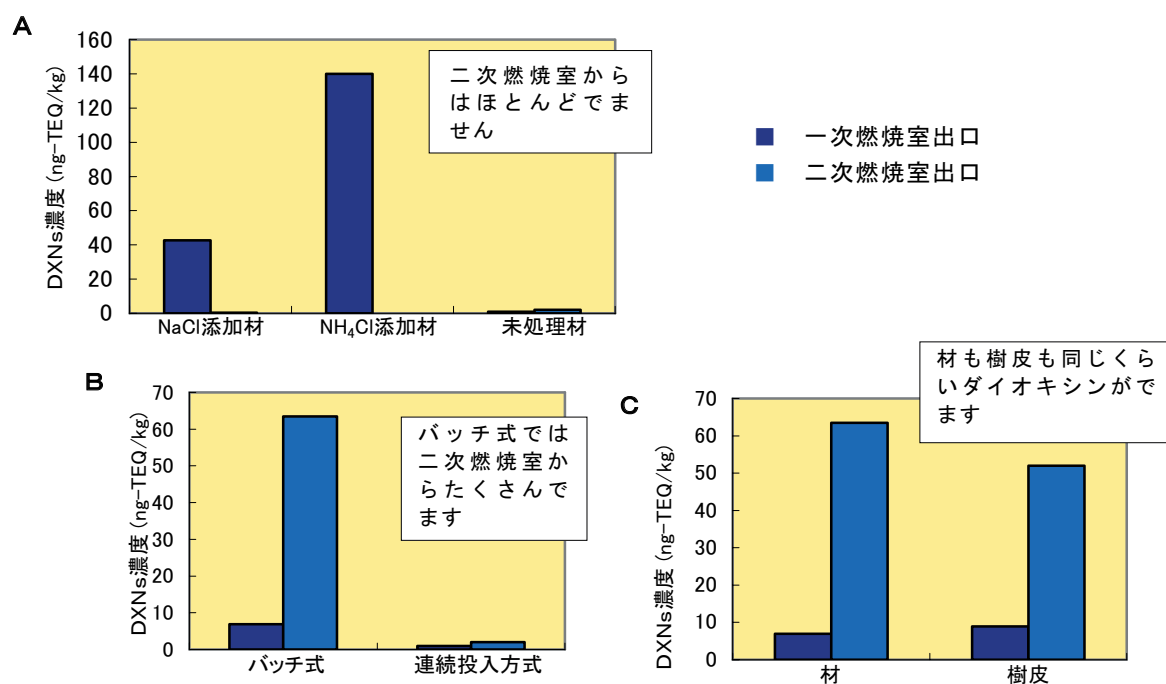


図1 木質材料の燃焼によるダイオキシン類の生成

- A. 連続投入方式による塩化ナトリウム (NaCl) 添加材 (添加量, 5000ppm)、塩化アンモニウム (NH₄Cl) 添加材 (添加量, 1000ppm) 及び未処理材 (塩素含有量, 40ppm) の比較。
- B. バッチ式と連続投入方式の比較。
- C. バッチ式による材 (塩素含有量, 40ppm) と樹皮 (塩素含有量, 200ppm) の比較。
- (生成量は、規制値 (ng-TEQ/Nm³) の単位を使わず、木材の重量当たりで示しました。)

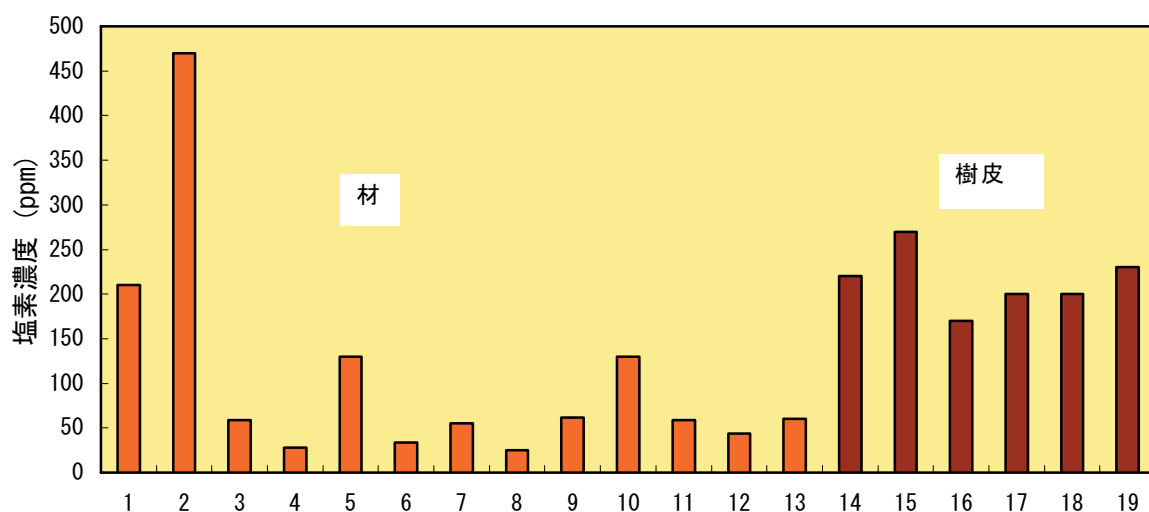


図2 スギの塩素濃度の個体差

試料採取地：1. 盛岡, 2. 盛岡, 3. 福島, 4. 東京, 5. 茨城, 6. 茨城, 7. 栃木, 8. 千葉, 9. 静岡, 10. 岐阜, 11. 高知, 12. 熊本, 13. 熊本, 14. 盛岡, 15. 福島, 16. 茨城, 17. 茨城, 18. 栃木, 19. 熊本。

- 材 (1, 2, 11, 13 : 間伐材)
■ 樹皮

デシケータ法を利用した建材からの アセトアルデヒド放散量の簡易測定法

複合材料研究領域 積層接着研究室 塔村 真一郎、井上 明生、宮本 康太

背景と目的

いわゆるシックハウス問題に対する具体的な対策として、平成 15 年 7 月に改正建築基準法が施行され、ホルムアルデヒドを放出する材料については使用制限が設けられることになりました。アセトアルデヒドについても平成 12 年に厚生労働省から室内濃度指針値 ($48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) が出されており、平成 14 年の国土交通省の住宅実態調査によれば約 9% の住宅でアセトアルデヒドの室内濃度がこの指針値を超えていました。しかし、アセトアルデヒドの発生源の特定や建材からの放散挙動についてほとんど把握できていないのが現状であり、まずは個々の材料から放散するアセトアルデヒドのデータを蓄積していくことが急務となっています。

建材から出るアセトアルデヒドの量を測る方法として、小形チャンバー法が規格化 (JIS A1901) されていますが、装置が高価であり、測定に多大の時間を要することから、より簡便な測定法の開発が望まれています。

一方、合板の JAS 規格などでホルムアルデヒド放散量試験として採用されているデシケータ法 (JIS A1460) は、より簡便な方法ではありますが、現行の分析法ではアセトアルデヒドを測ることはできません。

そこで本研究では 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン (2,4-DNPH) 溶液と高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を使い、デシケータ法を利用してアセトアルデヒドを簡便に定量する方法を開発しました。

成 果

アセトアルデヒド定量法の確立

デシケータ法とは木質建材などから放散されるホルムアルデヒドを密閉容器中で水中に捕捉させるしくみです (図 1)。このとき水中にはホルムアルデヒドだけでなく、揮発性が高く水に溶けやすいアセトアルデヒドなどの化合物も同時に溶け込みます。水中に溶け込んだアルデヒド類は 2,4-DNPH 飽和溶液から調製した酸性アセトニトリル溶液と速やかに反応し、安定なヒドラゾン誘導体となります (図 2)。これを高速液体クロマトグラフィー装置で分析すると、図 3 のように、ホルムアルデヒドと同時にアセトアルデヒドやその他のアルデヒド・ケトン類を分離定量することが可能となります。

つまり、本定量法を用いることで、非ホルムアルデヒド系接着剤を含めたデシケータ法の適用範囲を拡大することができるわけです。

各種木質建材への適用

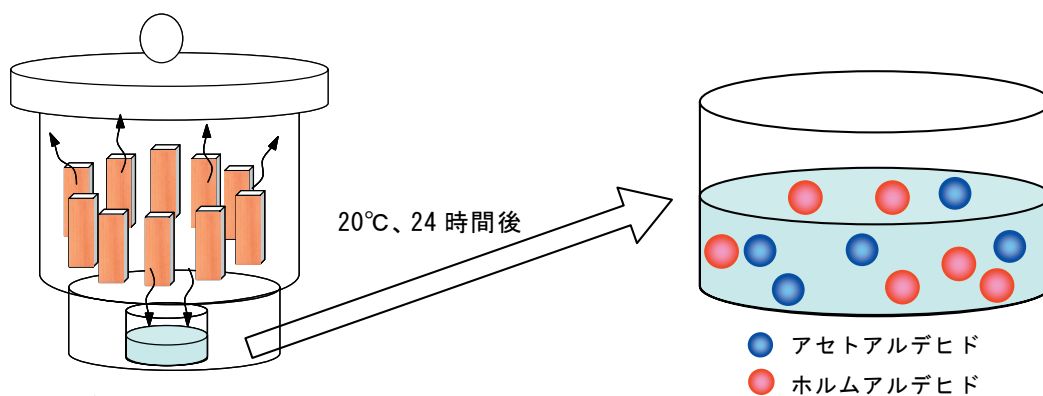
市販の様々な木質建材をデシケータ法で測定し、得られたサンプル水に対して本分析法を適用した例を図 5 に示します。従来の分析法ではホルムアルデヒドしか測定できませんでしたが、本法によりアセトアルデヒドの定量が可能となりました。本法を用いて接着剤や建材から放散されるアセトアルデヒドに関するデータの蓄積が進むことが期待されます。

非ホルムアルデヒド系接着剤への適用

本法はアセトアルデヒドの発生源となる可能性がある非ホルムアルデヒド系接着剤を用いた建材にも適用できます。一例として酢酸ビニルエマルジョン系接着剤を用いた合板からは微量ですが、アセトアルデヒドが検出され、接着剤から放散していることがわかります (図 4)。

本研究は、交付金プロジェクト「木質建材から放散される揮発性有機化合物の評価と快適性増進効果の解明」により行いました。

詳しくは：塔村真一郎 他 (2003) 日本接着学会誌 39(5)：190 - 193. をご覧下さい。



デシケータ法とは？

密閉された容器に蒸留水と一定の大きさの木質材料を入れ、20℃で24時間放置して放散するホルムアルデヒドを水に吸収させます。

※アセトアルデヒドも水に溶けやすいため吸収されます

図1 デシケータ法によるホルムアルデヒド放散試験とそのしくみ

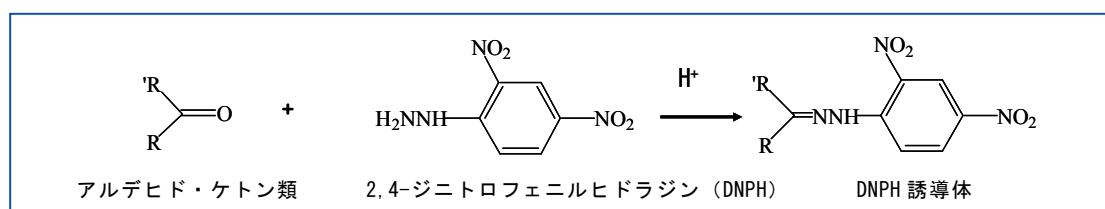


図2 2,4-DNPH とアルデヒド類との反応

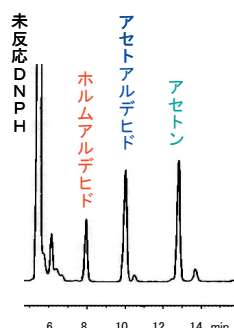


図3 高速液体クロマトグラムの一例

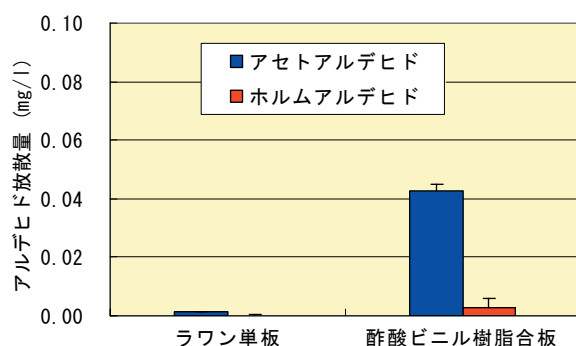


図4 非ホルムアルデヒド系接着剤への適用
(酢酸ビニル樹脂合板でアセトアルデヒドが多いことがわかります。)

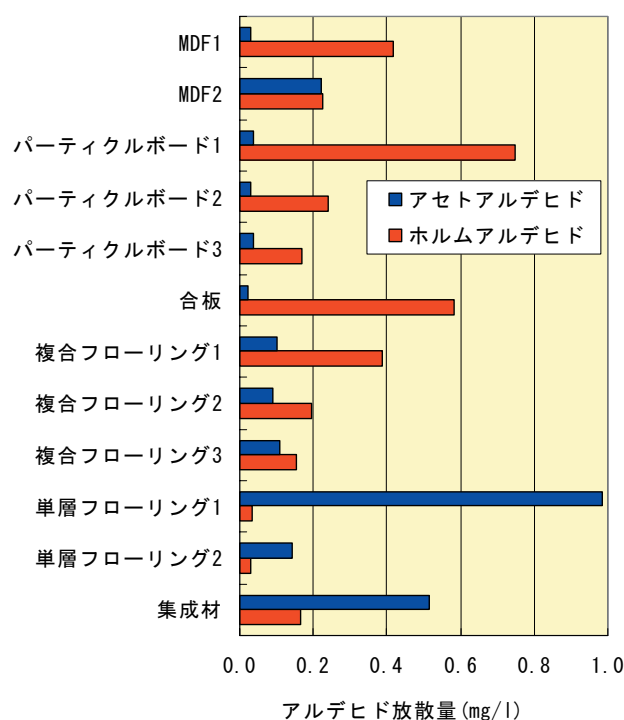


図5 各種木質建材からのアルデヒド類測定例

木質構造接合部の新たな補修・補強方法とその効果

構造利用研究領域 材料接合研究室 軽部 正彦、林 知行、原田 真樹

背景と目的

鋼板挿入式ドリフトピン接合とは、鋼板とピンを使った木質材料の接合方法です（図 1）。大地震などにより大きな力が作用した時には、ピンが曲がり木材にめり込むことでエネルギーを吸収します。めり込む量があまりに大きいと、木材には繊維に沿った割れが生じます。このような損傷を受けた接合部は、交換するのが望ましいのですが、費用や時間的制約から、補修・補強して使い続けたい場合も多いと思われます。

コンクリート構造物では、亀裂の表面をシール材で塞ぎ、内部に接着剤を注射器やポンプで加圧充填して補修する技術が確立されています。しかし、この技術をそのまま木材の接合部に適用してみると、補修したい損傷部分に接着剤が届かなかったり、接着剤が漏れ出して周囲に飛散したりして、上手く行きませんでした。この研究

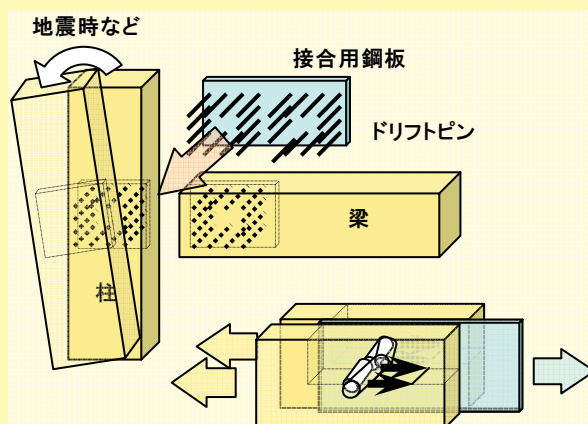


図 1 鋼板挿入ドリフトピン接合部と損傷の模式図

では、充填方法を加圧から減圧に変えることでこれらの問題を解決し、実大の試験体でその効果を確認しました。

成 果

接着剤による補修充填方法

まず、接合部全体をシール材（ビニールシート）で包み、接着剤をその中に流し込みます（図 2）。次いで接着剤を柔軟なシール材の上から手で押さえるなどして、ピンのめり込みによる隙間や割れなどの充填箇所に誘導し、包み込んだ内部の空気を家庭用の掃除機などで吸い込んで減圧します。このとき、ピン周りの隙間や割れて出来た亀裂の中の空気と接着剤が入れ替わり、気泡が気室に集められ、接着剤が泡立ってきます（図 3）。

この方法では、シール材に透明で柔軟なビニールシートを使います。そのため、外部から接着剤の動きが観察できるほか、接着剤を亀裂などに誘導することもできます。また減圧するので、接着剤がシール材の外へ漏れ出さないばかりか、空気漏れを作業途中に簡単に塞ぐことができます。この方法は木材・木質材料の接合部を対象に考案したのですが、他材料でも、異なった種類の材料を組み合わせても適用でき、同じ効果が期待できます。もちろん、補修だけではなく補強にも応用が可能です。

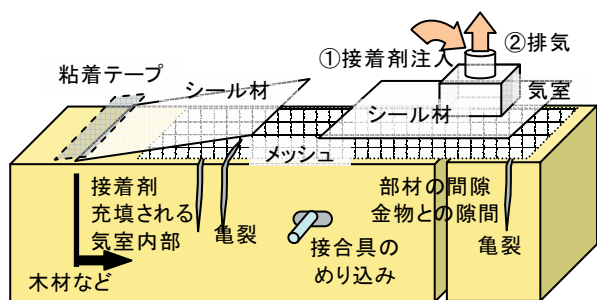


図 2 接合部補修方法の模式図

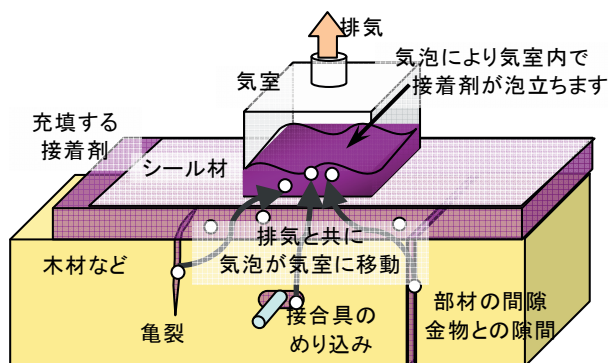


図 3 排気及び接着剤充填の模式図

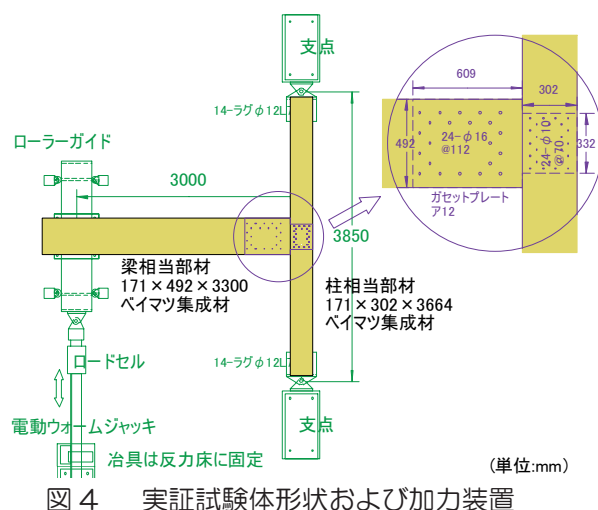


図4 実証試験体形状および加力装置



写真1 接着剤充填補修作業の全景

効果を試す実験とその結果

まず実際の接合部と同じ大きさの試験体を、最大変形角 $1/15$ まで繰返し加力して、大地震と同じ損傷を与えました（図4）。変形を元の形まで戻した後に、試験体を加力装置に取り付けたまま、コンクリートの表面亀裂補修用のエポキシ接着剤を充填しました（写真1）。接着剤が固まった後、同じ変形量と同じ回数の繰返し加力をしました。そして試験体に与えた力と変形角の関係を補修の前後で比較しました。

接着剤で隙間を埋め、割れを接着した接合部は、補修前に比べて高い荷重を記録していました。接着剤充填によって効果的な補修が出来ているだけではなく、補強の効果もあったことが、明らかになりま

した（図5）。

試験体は全部で3体を実験しました。繰返し加力の折り返し点荷重を全て抜き出してみると、補修後の値のほとんどが補修前を上回っていました（図6）。

接合部を解体してみると、始めの加力で生じためり込みや割れは接着剤で十分に満たされていました。しかし同時に、何本かの破断しているドリフトピンが見つかりました。そのため、実際の接合部を補修する場合には、接着剤で補修する前に、ドリフトピンの交換が必要かどうかを検討する必要があります。

なお、この成果は特許出願中です。

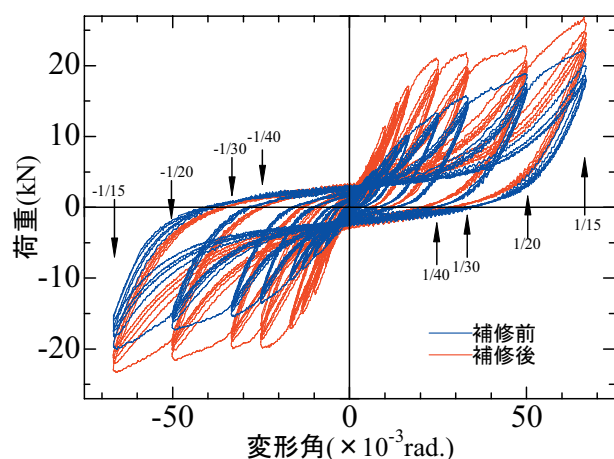


図5 荷重 - 変形角曲線の例 (T4)

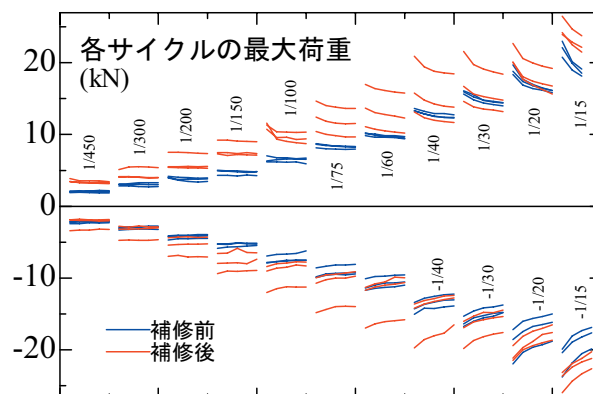


図6 各サイクルの最大荷重

建築廃材木炭で床下の調湿

構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 森川 岳、末吉 修三

背景と目的

日本の気候はおおむね湿度が高いため、住宅の中に湿気がこもりやすく、これが建物や住んでいる人の健康に被害をもたらすことがあります。特に、床下に多く湿気がこもった場合、木を腐らせる腐朽菌やカビ、シロアリなどの繁殖が進んで、大きな被害となる可能性があります。このため、床下の湿気の問題に対しては、様々な方法で解決が試みられてきました。近頃では、木炭が水分を吸着し放出する機能に着目し、床下に木炭を敷いて温度や湿度の環境を改善する試みが行われています。中でも、老朽化した木造建物を取り壊して出てきた建築廃材から作られた木炭を利用することは、木材をリサイクルすることにもつながることから、高い関心が寄せられています。

この研究では、木造の実験家屋の床下に作った実大サイズのコンクリート製布基礎の中に建築廃材から作った木炭を敷きつめて、内部の温度と相対湿度を長期間にわたって測定し、敷きつめる前の1年から敷きつめた後の1年にかけての温度と湿度の変動に基づいて木炭の調湿機能を調べました。

成 果

実際の床下を模した実験

床下の調湿には、建築廃材をチップ状に砕いて炭化させて作った木炭を約 3kg ずつ不織布の袋に入れて用いました。布基礎モデル内の地面に隙間がないように約 0.1m の厚さに敷き詰め、布基礎の上を木製のパネルで閉じました（図1）。温度・湿度センサーは床下内部の地面から 0.15m の高さの位置に6カ所、布基礎モデル外部に隣接する地上から高さ 1.5m の位置の百葉箱内1カ所に設置し、木炭を敷きつめる前1年から敷きつめた後1年にかけて温度と相対湿度を 30 分間隔で測定しました。

温度と湿度の年変動

温度と湿度の年変動を見ると、木炭を敷きつめる前では床下内（測定位置⑥）の温度は外気（測定位置①）と同じように変化していますが、気温が低い10月から3月にかけては外気より床下の方がやや高く、気温が高い4月から9月にかけては外気より床下のほうがやや低くなっています（図2）。木炭を敷きつめた後もこの傾向は変化しておらず、床下の温度は、木炭を敷きつめる前も後も常に外気よりやや小さな変化で推移することが分かります。相対湿度は床下および外気ともに4月から9月にかけて高く、10月から3月にかけて低いという同じような変化していますが、敷きつめる前で

は床下の方が外気より常に高く推移しています。一方、木炭を敷きつめた後では床下と外気との差は小さくなっています。床下内の他の測定位置でも同じ変化が見られました。温度は木炭を敷きつめる前後で変化が非常に少ないのに対し、相対湿度は外気との差が小さくなっていることから、床下内部の空気中の水分量が低下して外気に近づいていることが分かります。

一日の変動

一日の変動では、温度は木炭を敷きつめたかどうかにかかわらず、昼間は床下の方が低く、夜間は外気の方が低く推移しています（図4）。相対湿度は、敷きつめる前では床下が外気と同じ水準かあるいはそれより高く推移していますが、敷きつめた後では、昼間は床下の方が高く、夜間は外気の方が高くなっており、床下と外気で相対湿度が一日の周期で逆転する状態となりました。木炭を敷きつめることによって、一日の中で夜間に床下の相対湿度が外気よりも低い状態が作り出されていることが分かります。

この研究の結果から、建築廃材木炭を床下に敷きつめることにより、床下の内部を調湿できることが分かりました。温度と相対湿度の測定は現在も続けており、今後は木炭の調湿効果がどのくらい持続するか明らかにしていく予定です。

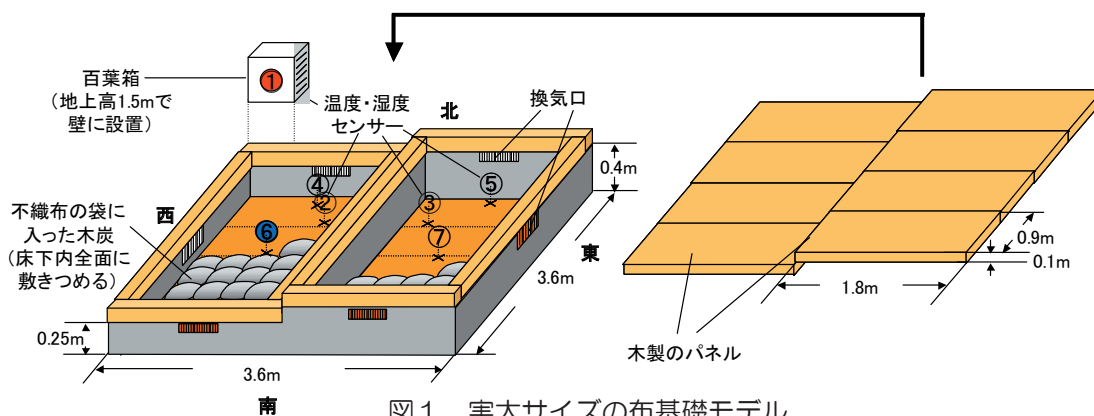


図1 実大サイズの布基礎モデル

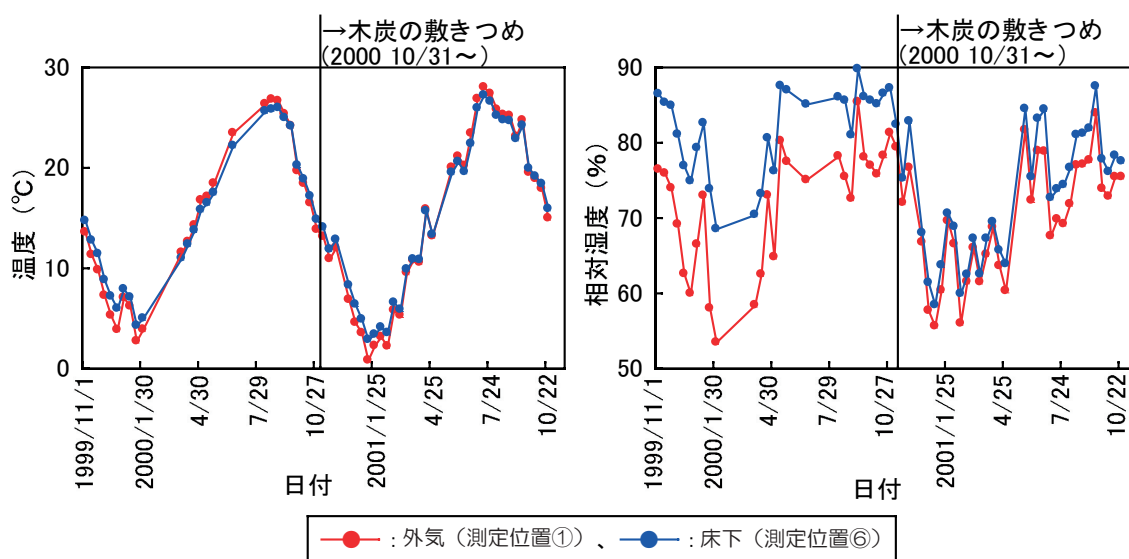


図2 相対湿度と温度の2年間の動き

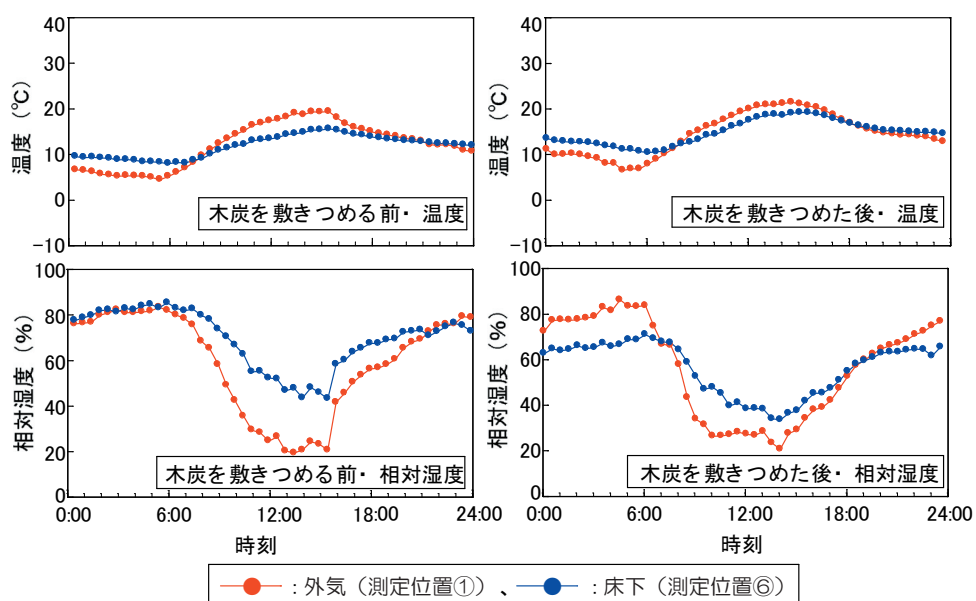


図3 相対湿度と温度の1日の動き (春)

縄文時代後期に埋没したスギのDNA分析

森林遺伝研究領域 ゲノム解析研究室
島根県環境生活部

谷 尚樹、津村 義彦
佐藤 仁志

背景と目的

近年、DNA 考古学が注目を集めています。これは古い地層に埋もれた生物材料から、古代の生物の進化や種の系譜、または当時の生物の種類数や植生などを研究する分野です。樹木においても、これまでに多くの化石または大型遺体が出土しています。1982 年に島根県で発見された三瓶小豆原埋没林は、およそ 3500 年から 3700 年前の三瓶火山の最後の大規模な噴火活動による火砕流によって埋没したと考えられています。発掘調査では、スギを始め多くの樹木が出土しましたが、その材の保存の良さも明らかになりました（写真 1）。そこで、この埋没林のスギから DNA を取り出し、現存するスギ天然林の遺伝的多様性と比較してみました。

成 果

DNAの抽出法

発掘されたスギ埋没木から保存状態の良い心材部分を削り、おがくず状になった木片を氷点下約 196℃の液体窒素中でパウダー状になるまですり潰し、DNA の抽出を行いました。その結果、9本の埋没木のうち7本から DNA を単離することができました（図 1）。

回収されたDNAの状態

回収された DNA を電気泳動法で分離すると、大量に回収できた DNA でも激しく壊れているもの、また、DNA 量が非常に微量のため検出できないものもありました（図 2）。そこで、埋没スギの微量な DNA を用いて、特定の 17 遺伝子の領域をポリメラーゼ連鎖反応（PCR）法で何万倍にも増幅することを試みました。

DNA塩基配列の解読

その結果、増幅に成功した 5 遺伝子のうち 1 遺伝子（GapC）においてのみ埋没スギ個体間に DNA の塩基配列の違いを検出することができました（図 3）。この GapC 遺伝子を用いて、埋没スギ集団および近隣の現存のスギ天然林集団の DNA 変異の大きさを解

析し、時代の異なるこれら 2 集団間の差異を明らかにすることで、埋没スギ林の遺伝的特性を検討しました。

DNA分析結果

DNA 変異の大きさは現存の天然林よりも低い値を示しましたが、このことは、埋没林の発掘現場がごく狭い範囲に限られたので、発掘されたスギが親子兄弟等の近縁関係にある少数個体である可能性を反映したものと考えられます。また、分子進化理論に基づく解析では、埋没スギの DNA 変異は進化系統樹の分岐中心部に位置し、現存する天然林の祖先的な集団であることを示唆しました。一方で、現存の天然林から検出された DNA 変異には、他の集団や近代の人工林などから流入した変異、すなわち、新たな外来の DNA 変異を含むと考えられます。

今回、古代の植物遺体から核の遺伝子の PCR 増幅に初めて成功しました。また、スギゲノムデータベースを用いて、埋没スギから回収された DNA の遺伝子の塩基配列を比較することにより、埋没スギの遺伝変異の大きさや現存するスギ天然林との遺伝的違いを明らかにすることができました。



写真1 発掘された三瓶小豆原埋没林のスギ

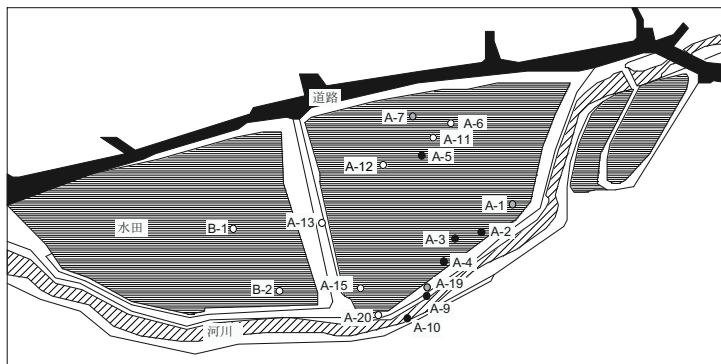
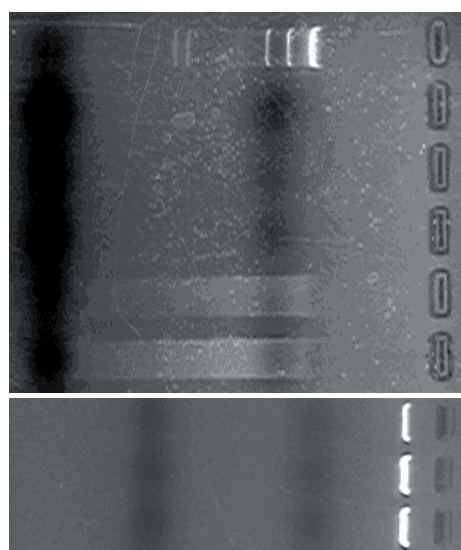


図1 発掘現場の状況

A および B から始まる個体番号がスギ。白丸は未解析木。黒丸は解析木で DNA の単離に成功した個体。灰色丸は解析したが DNA の単離に失敗した個体。



分子量マーカー

DNAが確認できなかったサンプル。

DNAが確認できたが激しく断片化している。

針葉から抽出された典型的なDNAの泳動像。断片化は見られない。

図2 単離した DNA の視覚化

(DNA が確認できる個体とできない個体があります。確認できても激しく断片化していることが観察されます。)

埋没スギ(A-4)の GapC 遺伝子の塩基配列

三瓶山の天然スギの GapC 遺伝子の塩基配列

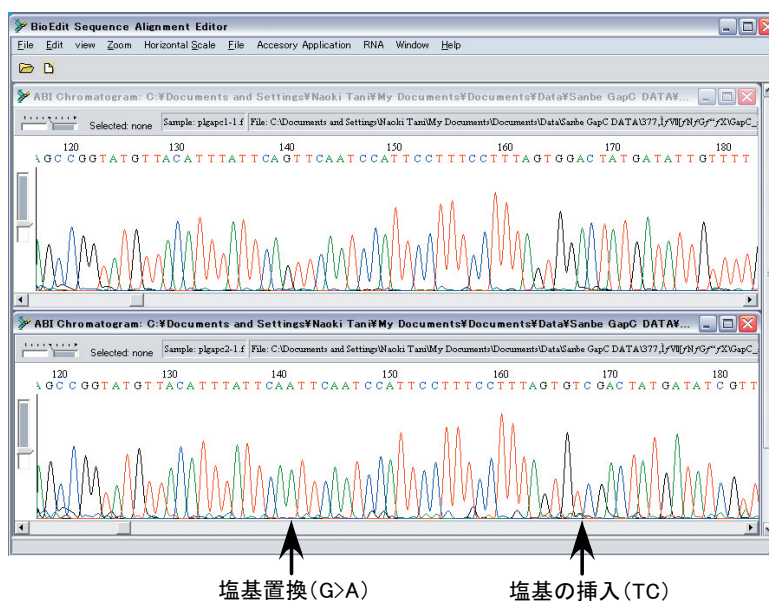


図3 埋没スギと現存する天然スギから検出された GapC 遺伝子の塩基配列の一部とその DNA 変異

スギの培養細胞からクローンスギの作出に成功

生物工学研究領域 樹木分子生物研究室 伊ヶ崎 知弘
 森林遺伝研究領域 ゲノム解析研究室 伊原 徳子
 生物工学研究領域長 篠原 健司

背景と目的

遺伝子組換えは遺伝子の機能解析等の基礎研究だけでなく、形質の付与や改良を目指した応用研究にも利用可能な技術です。遺伝子組換えには、目的を達成するための遺伝子、遺伝子導入技術、個体再生技術が必要です。これまで、遺伝子組換えスギの作出例は報告されていません。それは培養細胞から効率の良い個体再生技術が確立されていなかったためです。本研究では、被子植物に存在する細胞増殖因子ファイトスルフォカイン (PSK) が裸子植物であるスギにも存在していることを発見し、この PSK を利用して、スギの培養細胞を効率良く不定胚（種子中の植物になる部分“胚”を培養細胞などから人為的に誘導したもの）へ分化させる技術を開発しました。さらに、この胚を発芽させ、正常なスギ幼植物体にすることに成功しました。

成 果

裸子植物にも存在する細胞増殖因子ファイトスルホカイン (PSK)

PSK は 5 つのアミノ酸からなるペプチド（図 1A）で、細胞の増殖や特定の方向性を持った器官への分化など、植物ホルモン様の作用を示します。PSK は遺伝子によりコードされる前駆体タンパク質が修飾や切断を受けることにより生成します。これまで、アスパラガス、ニンジン、イネ、シロイヌナズナといった被子植物でその存在が確認されていましたが、裸子植物であるスギにも PSK 前駆体タンパク質をコードする遺伝子が存在し、その遺伝子が発現していることを発見しました。スギ PSK 前駆体遺伝子は 102 アミノ酸からなるタンパク質 (CjPSK1) をコードしますが（図 1B）、PSK 配列以外の部分では、他の植物の PSK 前駆体タンパク質と相同性がほとんどありませんでした（図 1C）。

PSKを用いた効率の良いスギ個体再生系の確立

スギ培養細胞の増殖培地に PSK を添加すると、細胞増殖を良好にする効果や、長期間の培養による細胞分裂活性の低下や細胞の褐変を抑制する効果を示しました（図 2）。この結果は、スギにおいても被子植物の場合と

同様に PSK が機能していることを示しています。また、スギ培養細胞を不定胚へ分化させるための培地に PSK を添加すると、不定胚への分化効率が顕著に上昇しました（図 3A、B）。誘導した不定胚は正常に発芽し、幼植物体へと生育しました（図 3C）。さらに、PSK を添加した培地で培養細胞を維持すると、不定胚へと分化する能力が高いまま長期間維持することが可能となり、誘導後 3 年以上経過した培養細胞でも不定胚へ分化させることができます。

本研究の推進により、組換えスギの作出がより現実的になりました。本研究で開発したスギ不定胚誘導技術を活用することにより、花粉でアレルギーを作らないように細工した遺伝子をスギの培養細胞に導入し、アレルギーフリーのスギ植物体の作出が可能になります。また、スギ花粉症対策だけでなく、材質の改良や耐病性の付与など遺伝子組換えによる新機能の付与にも活用が期待できます。

本研究の一部は、交付金プロジェクト「遺伝子組換え技術を活用した次世代型植物の開発に関する研究」により行いました。

A

Y(SO₃H)-I-Y(SO₃H)-T-Q

(チロシン)(イソロイシン)(チロシン)(スレオニン)(グルタミン)

B

```

atggcgaatatctctggaagaagtccttacaccccttgcataattatgtgtcattctctctgtactgaccactgcaatggcaaccgc 90
M A N I S G R S P Y T L C I L C V I L L V L T T A M A T R

ccacttaaacagatttctccacagagatctgctcaaacagctacagaagacaacttgcaaggaatctttcaacagggtgctcttaa 180
P L K T D L L H R G S A Q T S T E D N L Q E S F Q Q G A L K

gctgacctgttgaggagagtagacaggaattaagctgtgaaggtctagaggaagaagaatgtgtgaaccgtcgctctctggtgctcac 270
A D L L E E S T E E L S C E G L E E E E C L N R R S L A A H

actgattacatctatacacagcaccacaaacacccatag 309
T D Y I Y T Q H H K H P *

```

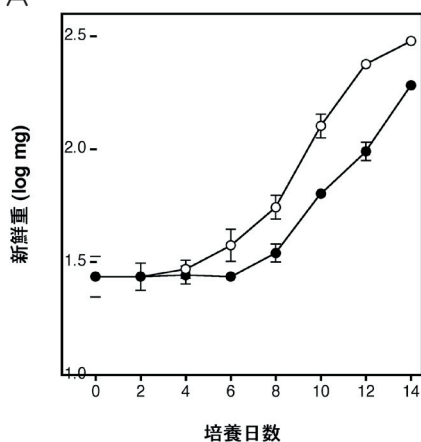
C

CjPSK1	59	LKADLLEESTEELSCEGLEEEEC	LNRR	SLAAHTDYIYTOHHKHP	102
AtPSK1	43	EKASTKGRDGVCKNSDSEEEC	LVKK	TVAHTDYIYTODLNLSP	87
AtPSK2	44	KIEGKLDDMHMVDENCAGDDEEC	LNRR	TLVAHTDYIYTOKKKHP	87
AtPSK3	38	SVEEDSVNKLGMGYCEGDEEC	LNRR	SLAAHTDYIYTOHHKH	81
AtPSK4	37	SVKEIEGDKVEEESCNGIGEEEC	LNRR	SLVAHTDYIYTONHNP	79
AtPSK5	34	EENSFKKLEQGEVCEGVEEEEC	LNRR	TLVAHTDYIYTONHNP	77
AtPSK6	44	EMIESKLHEVAGESCDKEDDEEC	LNRR	TLTAHTDYIYTHKNHH	87
OsPSK1	45	TTTQEPSRENGSGTGSNNNGQLQFDSA	WEEF	TDYIYTDVKNP	89

図1 スギのPSK

(A) PSKの構造。PSKは5アミノ酸で構成されたペプチドで、その中には硫酸化されたチロシンが2つあります。(B) スギのPSK前駆体タンパク質(CjPSK1)遺伝子の塩基配列及び推定アミノ酸配列(一文字表記)。PSKは赤い文字で示しています。(C) CjPSK1とシロイヌナズナ及びビネのPSK前駆体タンパク質遺伝子(AtPSK1~6, OsPSK1)の推定アミノ酸配列の比較。共通のアミノ酸は白抜き文字、類似性の高いアミノ酸はシャドウで示しています。

A



B

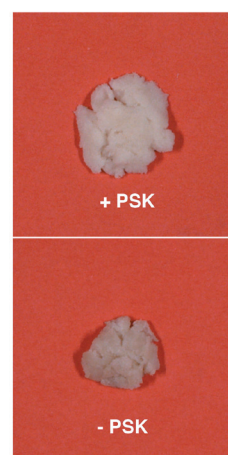


図2 スギ培養細胞に及ぼすPSKの効果

(A) スギ培養細胞の増殖曲線。PSKを添加した場合(○)には、PSK無しの場合(●)と比較して初期の細胞増殖が早くなります。(B) 2週間培養した細胞の様子。PSKを添加すると、細胞が褐変しにくくなります。

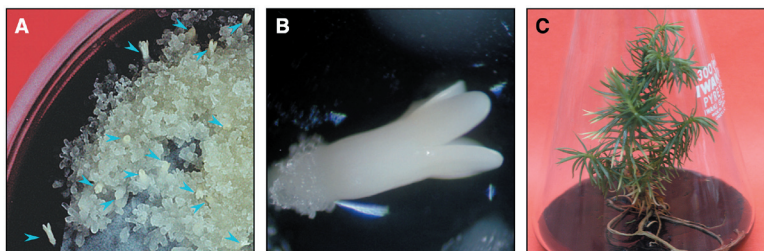


図3 スギの不定胚分化に及ぼすPSKの効果

(A) 培地上に誘導された不定胚。PSKを添加すると、矢印で示した箇所に不定胚が観察できます。(B) 不定胚の拡大写真。(C) 幼植物体。

エノキタケ廃菌床の子実体形成促進物質 —廃菌床の再利用に向けて—

きのこ・微生物研究領域 子実体形成担当チーム長
樹木化学研究領域長

馬替 由美
大原 誠資

背景と目的

エノキタケやシイタケなどの人工栽培は、木材に菌を接種してきのこを自然発生させる原木栽培から始まりました。しかし、今ではほとんどの食用きのこにおいて、オガ粉と米ヌカなどを混合した培地（菌床）を用いて瓶や袋で栽培する「菌床栽培」が行われています。エノキタケは、昭和 30 年代に施設内栽培が始まり、1990 年代以降は年間生産量が 11 万トン（生産額 461 億円）を越えた国内で最も生産量の多い食用きのこです。現在は工場生産型の大規模生産が主流になっており、収穫したきのこの 2 倍の量生じる使用済み培地（廃菌床）の処理が大きな問題になってきています。エノキタケ栽培のもう一つの問題点は、子実体が奇形化したり、発生不良を起こしたりする「劣化」と呼ばれる現象が突発的に生じることです。

しかし最近になって、正常な子実体を収穫した後に、その廃菌床を新しい培地に添加して子実体形成不全株を培養すると、劣化が回復する現象が明らかになりました。このことは、エノキタケの正常株が培地中に子実体形成を促進する何らかの物質を生産していることを示唆しています。本課題では、エノキタケの廃菌床中に含まれる子実体形成促進物質を分析することを目的としました。

成 果

廃菌床の分画と B T B アッセイ

培地 510 g に廃菌床を 80 g 添加して劣化株の栽培試験を行いました。その結果、廃菌床を添加すると明らかに子実体の発生が改善しました（写真 1）。次に、正常株の廃菌床をメタノール抽出し、メタノール抽出物をさらにヘキサン抽出物（画分 1）、酢酸エチル抽出物（画分 2）、水可溶部（画分 3）の 3 つに分けました。また、メタノール抽出残さからは、熱水抽出によって熱水抽出物（画分 4）を得ました。今までに、色素プロモチモールブルー（B T B）の脱色能力を指標にしてエノキタケの子実体形成能を判定する手法をすでに開発しています。そこで、廃菌床由来の 4 つの画分をそれぞれ B T B 入り培地に添加して、エノキタケ劣化株の菌糸を培養し、B T B 脱色度が無添加の場合より高くなるものを検出しました。その結果、B T B の脱色能力を向上させるのは、画分 4 であることが明らかになりました（図 1）（表 1）。当画分にエノキタケの子実体形成を促進する物質が含ま

れると判断し、次の栽培試験を行いました。

栽培試験

画分 4 の B T B 脱色試験では、0.05% から 0.2% 程度の濃度で劣化株の B T B 脱色能力を改善する効果が認められましたので、栽培試験も 0.05% で行いました。その結果、画分 4 を添加した培地で栽培したエノキタケは、収量も増え、品質の良いものになりました（写真 2）。

以上、エノキタケの廃菌床中から、エノキタケの B T B 脱色能力を上げる活性を持つ成分を分離することができました。さらに、分離した成分中に、実際の栽培で子実体形成を促進する物質が含まれていることを初めて明らかにしました。

本研究は、農林水産技術会議プロジェクト「連携実用化」により行いました。

なお、本成果は特許出願中です。

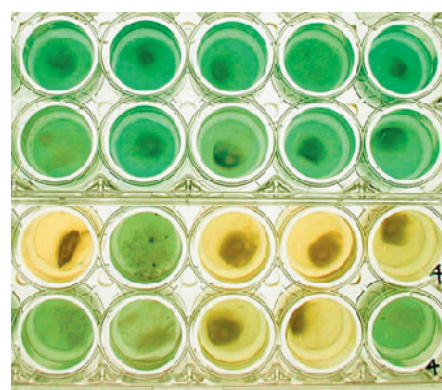


写真1 廃菌床の添加試験

エノキタケの劣化株を

左：正常株の廃菌床を添加した培地で、

右：無添加の培地で、培養しました。



無添加

画分4 添加

図1 画分4のBTB脱色試験

表1 メタノール抽出画分のBTB検定法の結果

試料		BTB脱色度(%)
無添加		17
廃菌床メタノール抽出物	ヘキサン抽出物（画分1）	50
	酢酸エチル抽出物（画分2）	26
	水可溶部（画分3）	41
廃菌床メタノール抽出残さ	熱水抽出物（画分4）	61



無添加

画分4 添加

写真2 廃菌床の子実体形成促進物質の栽培試験

人と森林の距離

林業経営・政策研究領域 林業システム研究室 鹿又 秀聡、岡 裕泰、田村 和也

背景と目的

日本の林野面積は約 2500 万 ha ですが、この値は最近数十年ほとんど変わっていません。しかしながら、人口は「森林の多い山村で減り、森林の少ない都市で増える」という傾向です。人々が森林と、どのような距離関係で暮らしているのか知ることは、森林の環境保全機能・レクリエーション機能、森林管理の担い手問題を考える上で重要な情報となります。そこで、1980 年以降の人口動態と森林の分布について、人口データとしては国勢調査の結果をメッシュ（約 1km² のマス目）ごとに集計した地域メッシュ統計を、森林情報としては国土数値情報の森林情報を使用し、森林率別人口、森林までの距離別人口の点から分析しました。

成 果

森林率別人口分布

表 1 は、森林率と人口の推移を表したものです。日本には森林が存在しないメッシュが全体の約 4.8%、森林率が 90% 以上のメッシュが約 42% あります。2000 年のデータを見ると、森林率が 5% 未満の地域（国土の 10%）に全人口の約 55% にあたる 7000 万人もの人が住んでいます。逆に森林率が 70% 以上の地域（国土の 70%）には、3% の人しか住んでいません。1980 年からの人口の推移をみると、人口減少の傾向がみられるのは、主に森林率が 70% 以上の地域であり、森林率が 50-70% の地域においても最近 10 年間の人口は横這いです。

森林までの距離別人口

メッシュ内の森林率が 90% 以上の場合に、そのメッシュを森林と定義し、各メッシュから最寄りの森林と定義されたメッシュまでの距離（メッシュ間の距離は、重心から重心までの距離を計測）をそのメッシュ内に住んでいる人の森林までの距離として計算しました。全国を集計した結果が表 2 です。

今回の方法では、人から森林までの平均距離が約 10km となり、全国の 67% の人々が森林から 10km 以内にすんでいるけれども、2km 以内に住んでいるのは 11% だということ、そして森林から 5km 以内に住んでいる人の割合は徐々に低下しているということが分かりました。表 3 は関東地方の集計結果です。表 2 と比較しても分かるとおり、関東地方は全国の平均と比べて、約 2 倍の 20km も

離れていることが分かりました。詳しく見ると、森林から 20km 以上離れたメッシュ面積の 90%、30km 以上離れたメッシュの 98% 以上が関東地方に集中していました。つまり、関東地方以外の地域では、ほとんどの場所から 20km 以内に森林が存在することになります。

図 1 は、人から森林までの距離の平均値を県別に分けた地図です。予想されるように森林率が高い県は森林までの距離が近く、森林率が低い県では遠い傾向にあります。平均値が 10km 以上の県はすべて、森林率が 50% 以下の県でした。

しかし、京都府や広島県のように人口 100 万人以上の都市をかかえる県でも、森林までの平均距離が 3km 未満という県もあります。実際に京都を訪れた方なら、森林が近くにあり、周りを山で囲まれた環境にあると感じた人も多いのではないのでしょうか。森林までの距離は人口規模よりも平野の広さと強い関係があるようです。

今回の結果から、ほとんどの人が自動車で 30 分も行けば森林がある環境に住んでおり、森林は我々にとって身近な存在であることが確認されました。しかし、森林率の高い地域や森林に近い場所に住んでいる人口の減少も明らかとなりました。今後の森林管理のために対策を検討する必要があります。

本研究は、交付金プロジェクト「森林・林業の資源的、社会経済的長期見通し手法の開発」の成果です。

表1 森林率別の人口と面積

森林率 (%)	赤は人口が増えている地域、水色は減っている地域					面 積	
	人 口					(km ²)	(%)
	1980	1985	1990	1990	2000(年)		
0	350	356	362	360	364	17617	4.8
1	143	147	151	152	155	8761	2.4
2-5	163	171	177	178	181	10508	2.8
5-10	110	116	122	123	125	9169	2.5
10-20	124	131	137	140	142	15042	4.1
20-50	163	172	178	183	185	43946	11.9
50-70	56	57	58	58	58	40390	10.9
70-90	34	33	33	32	32	69364	18.8
90-	6	6	6	6	5	155047	41.9
合 計	1148	1189	1222	1233	1247	369844	100.0

人口の単位は10万人

表2 森林までの距離別人口分布割合(全国)

森林までの距離(km)	1980	1985	1990	1995	2000(年)
0	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
1-2	12.2	11.8	11.4	11.3	10.9
2-5	31.4	31.4	31.2	31.3	31.2
5-10	24.1	24.2	24.3	24.5	24.6
10-20	15.9	16.0	16.4	16.3	16.5
20-30	8.1	8.2	8.3	8.4	8.6
30-	7.8	7.8	7.9	7.7	7.8
平均(km)	9.8	9.8	10.0	9.9	10.0

人口の単位は総人口に対する割合(%)

表3 森林までの距離別人口分布割合(関東地方)

森林までの距離(km)	1980	1985	1990	1995	2000(年)
0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1-2	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9
2-5	9.9	9.9	9.8	10.0	9.8
5-10	14.0	14.3	14.5	14.8	14.7
10-20	23.6	24.0	24.6	24.5	24.7
20-30	23.5	23.1	23.0	23.1	23.5
30-	25.4	25.2	24.9	24.4	24.2
平均(km)	20.0	19.9	19.8	19.7	19.8

人口の単位は総人口に対する割合(%)

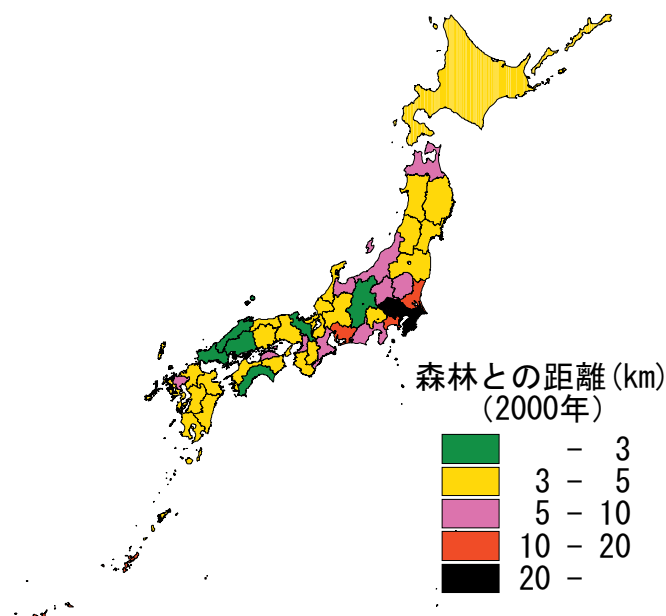


図1 都道府県別の人から森林までの距離

コーナー博士により新種記載されたサルノコシカケ類の 分類学的検討

森林微生物研究領域 微生物生態研究室 服部 力

背景と目的

コーナー博士 (E.J.H. Corner) はイギリスの著名な植物学者で、昭和天皇御在位 60 年を記念して設立された国際生物学賞の第一回受賞者となるなど、日本国内でもその業績は高く評価されています。博士は菌類学者としても知られ、東南アジア産を中心に 300 種以上のサルノコシカケ類を新種として発表しています (写真 1)。サルノコシカケ類は古くから薬として利用されるなど有用な遺伝資源としても注目されています。その利用には正確な種の同定が必要ですが、東南アジア産種は分類学的研究が遅れ、同定の困難なものが多いのが現状です。その意味で、博士のサルノコシカケ類に関する研究は意義深いものです。しかし、残念ながら博士の記載には不明瞭な部分が多く、これら新種とした種の多くは実態が不明でした。

そこで、博士が新種とした東南アジア・西太平洋熱帯地域産種について、現在の分類学に沿って再整理することが必要と考え、記載の基準とした標本に直接あたり、顕微鏡および肉眼的特徴を観察し、最新の知見のもとでその特徴を再記載することにしました。さらに、これまでの情報と併せて、アジア産サルノコシカケ類の生物地理学的考察を行いました。

成 果

新属の記載

Boletopsis subcitrina、*Grifola eos* (写真 2、3)、*Rigidoporus flammans* の 3 種は既存の属に該当するものはありませんでした。そこで、それぞれを基準として、*Corneroporus*、*Roseofavolus*、*Laetifomes* の 3 新属を発表しました。それほど数の多くない標本の中に 3 属もの新属菌が含まれていたことは、かなり注目を集めた成果です。限られた標本の中での 3 新属ということから、東南アジア・西太平洋熱帯地域には、独自の進化を遂げた貴重な種が分布しているといえそうです。

「新種」とするのが妥当な種

これまでに博士の記載した種のうち 174 種について検討を行いました。そのうち 77 種は新種とするのが妥当な種で、残る 97 種は既に記載された種と同種、あるいは不明種等でした。77 種のうち 47 種は属名が現在の分類体系上不適当と考えられ、新たに別の属と組合せました。博士が実際に精力的に採集を行った地域は限られており、依然東南アジアには名前のつかない種類が多数残されています。今後調査が進むと、東南アジア

産のサルノコシカケ類の種数は、欧米産の種数を大きく上回るものと予想されます。

生物地理学的新知見

標本を検討する中で、東アジアの温帯地域と東南アジアの山岳地帯に隔離分布する種の存在も明らかになってきました。例えば、ボルネオ島キナバル山高地産の *Tyromyces roseipileus* として記載された種は、日本国内でアケボノオシロイタケとして知られる種と同一種でした。他にもキナバル山から記載された *T. brunneimontanus* (写真 4、5) など、同様な分布を示すものがありました。こうした分布様式を示す種が多数存在することはサルノコシカケ類の生物地理学上の新しい発見であり、進化史上も興味深い事実です。

菌類の多くは、高等植物等と比べると分布範囲が広いことが知られています。しかし東アジア温帯地域との共通種を除くと、今回新種として認められた種の多くは、東南アジア等の固有種と考えられます。この地域は、単に種数が多いだけでなく、固有種が多いという意味でも重要な地域であることがわかります。

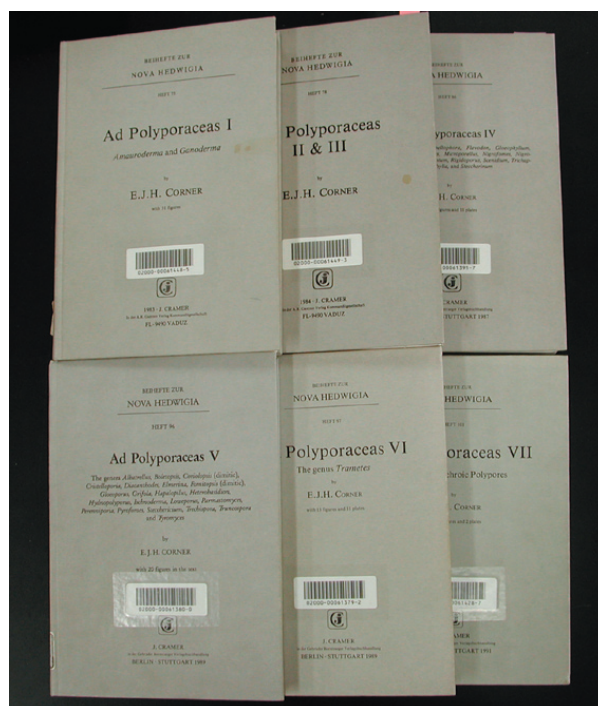


写真1 コーナー博士によるサルノコシカケ類のモノグラフ



写真2 *Grifola eos* のタイプ標本(シンガポール産)



写真3 *Roseofavolus eos* (= *G. eos*) の生の子実体
(マレーシア・パソー産)



写真4 *Tyromyces brunneimontanus* のタイプ標本
(ボルネオ・キナバル山産)



写真5 *Antrodiella brunneimontana* (= *T. brunneimontanus*) の生の子実体
(茨城県小川学術参考林産)

表紙写真の樹種

- 1 ブナ
- 2 サキシマフヨウ
- 3 ミズナラ
- 4 コアジサイ
- 5 ノリウツギ
- 6 バクチノキ
- 7 サクラツツジ
- 8 ホナガタツナミ
- 9 イヌシデ
- 10 ガマズミ
- 11 ウツギ



平成 15 年度 森林総合研究所 研究成果選集

発行日	平成 16 年 8 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	企画調整部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	茨城青写真製本株式会社 水戸市北見町 3-47 電話 029(225)3951(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15年度

研究成果選集

2003

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1番地

URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

R100

当紙配合率100%再生紙を使用しています