ISSN 1883-0048

季刊 森林総研

第７号

特集

温暖化時代を森林と生き抜く

ー森林の機能をどこまで活かせるかー

◆二酸化炭素吸収源としての森林の役割～2050年への展望
◆温暖化で危惧される自然林への影響
◆地球規模での森林の変化を見守る眼

研究の“森”から

■ 地域材利用を促進するためには

■ 食物不足がクマ大量出没の原因か?
ー体毛を分析して食性を推定するー

■ 大気オゾン濃度の上昇は樹木の
二酸化炭素吸収量を低下させる

独立行政法人
森林総合研究所

季刊 森林総研 Vol.7

目次

巻頭言 1
◆地球温暖化と森林・林業研究

特集 2
温暖化時代を森林と生き抜く
―森林の機能をどこまで活かせるか―
◆二酸化炭素吸収源としての森林の役割
～二〇五〇年への展望
◆温暖化で危惧される自然林への影響
◆地球規模での森林の変化を見守る眼

研究の"森"から 8
◆地域材利用を促進するためには
◆食物不足がクマ大量出没の原因か?
―体毛を分析して食性を推定する―
◆大気オゾン濃度の上昇は樹木の
二酸化炭素吸収量を低下させる

研究領域紹介 14
◆森林昆虫研究領域
◆木材特性研究領域

海外事情 15
◆ロシア国　永久凍土地帯の調査

これがお宝 16
◆長期耐久性試験(暴露試験)

生き物通信 17
◆レブンアツモリソウ
◆メグロ

森のはたらき 19
◆生物多様性の保全

何でも報告コーナー 20

巻頭言

地球温暖化と森林・林業研究

我が国の森林・林業分野の研究が温暖化と係わりだしたのは、一九八〇年代半ばからである。当時の研究は温度の上昇や降雨パターンの変化が樹種分布や林分の生長にどのような変化をもたらすのかに焦点を当てた、温暖化の森林・林業への影響を予測する研究であった。一方、森林は温暖化の影響を受けるだけでなく、大気中の炭素を光合成により樹体内に取り込み、その一部を落葉落枝や細根として地中に押し込むポンプのような働きにより、大気中の二酸化炭素を取り除く働きがある。こうした地球温暖化を緩和するための森林の働きについて、九〇年代前半に一部の研究者が関心を持つようになり、京都議定書では森林の吸収源としての働きが強調された。

議定書の成立以降、森林行政が最優先課題として温暖化緩和策を取り上げるようになり、近年は森林所有者も森林がどれだけの二酸化炭素を吸収しているのか、それが温室効果ガスの排出権（炭素クレジット）として取引可能かについて関心を持つようになった。つまり、森林は木材としての経済価値以外に二酸化炭素吸収量という新たな経済価値を産出するようになり、既に環境省が立ち上げたオフセット・クレジット（J-VER）制度では、森林の吸収した炭素に価格がつき取引されている。こうした動きに対応するため、林業では幹材積を計測すれば森林の価値を推定するのに十分であったのに対し、幹だけでなく枝葉に貯えられる炭素や、根や土壌中に貯えている炭素を計測する必要性に迫られた。そこで、森林生態系の二酸化炭素吸収能力を科学的に評価するための研究が京都議定書第一約束期間（二〇〇八～二〇一二年）に向けて精力的に展開された。

民主党政権に変わって一九九〇年比で二五％削減が中期目標とされた今日、温暖化に関連した森林・林業の次なる研究は、どのような森林管理が炭素の吸収・固定能力をより高めるのか、それに合致した林業体系はどのようなものかを明らかにすることであろう。ただ、森林は木材生産や炭素固定といった単独の機能だけでなく、水土保全や生物多様性など様々な機能を総合的に発揮することが望まれることから、研究の遂行にあたっては他の機能の発揮についても配慮が必要となる。

天野 正博
（早稲田大学人間科学学術院）

温暖化時代を森林（もり）と生き抜く

―森林の機能をどこまで活かせるか―

二酸化炭素吸収源としての森林の役割

温暖化で危惧される自然林への影響

地球規模での森林の変化を見守る眼

石塚 森吉
（研究コーディネータ（温暖化影響研究担当））

森林には大気中の二酸化炭素を吸収し蓄積する機能（吸収源機能）があり、地球温暖化の緩和や低炭素社会の構築への貢献が期待されています。しかし、森林が吸収できる量は、森林破壊、林業などの人間活動の影響を受けるとともに、気温の上昇や降水量の変化といった気候変動の影響も強く受けます（図1）。地球温暖化の対策に科学的に取り組むための気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によれば、二一〇〇年までに、植物や動物種の絶滅するリスクの増加、森林の吸収源機能の低下、さらには大規模な山火事や病虫害の発生によって森林が二酸化炭素の吸収源から放出源に転じる(注)可能性があることなどを予測しています。その一方、森林への人間活動の影響に関して、世界の温室効果ガス総排出量の約二〇%が、依然として途上国の森林破壊からもたらされていることを報告しています。

わが国の森林では、温暖化や人間活動による顕著な変化はまだ見られません。しかし、吸収源機能をはじめとする森林の多面的機能を将来にわたって活かすためには、森林に及ぼす人間活動や温暖化の影響を定量的に予測して早めに対策を講じる必要があります。また、このような森林の変化を早期に発見するために、広域の森林を詳細にモニタリングする技術が求められています。これらの技術を用いて、森林の機能を持続的に発揮することができれば、大気中の二酸化炭素の削減、すなわち温暖化の緩和がより容易になります。

本特集では、このような観点から、温暖化および林業活動の影響を考慮したスギ人工林の吸収源機能の将来予測、温暖化にともなう日本の自然林の分布変化の予測、地球規模での森林の観測技術を取り上げて最近の研究成果をご紹介いたします。

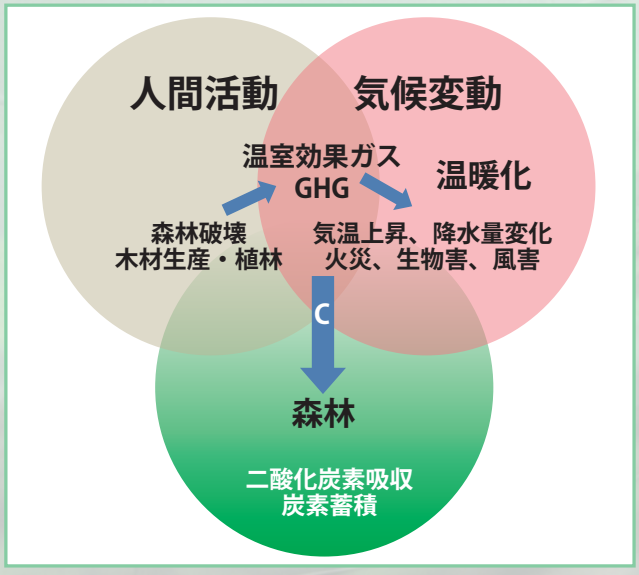


図1　森林の吸収源機能への人間活動と気候変動の影響

(注)このような現象はすでにカナダで報じられています（Kurtz et al., 2008）。

二酸化炭素吸収源としての森林の役割
～二〇五〇年への展望

松本 光朗
（温暖化対応推進拠点 温暖化対応推進室長）

光田 靖
（森林管理研究領域 主任研究員）

はじめに

森林は大気中の二酸化炭素を吸収し、数十年から数百年という長期間にわたり炭素を貯えることから、地球温暖化を緩和する機能を持っています。また、森林は二酸化炭素の吸収とあわせて、木材生産や生物多様性保全といった多面的な機能を持ち、それらのバランスの中で温暖化緩和機能を発揮する役割を担っているといえます。

二〇〇八年から京都議定書で定めた「第一約束期間」が始まりました。日本は二〇〇五年から森林の吸収量を報告していますが、森林総合研究所はその森林吸収量を算定し、報告するシステムを開発してきました。これを基礎に、農林水産省のプロジェクト研究「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」においては、森林吸収量の将来予測をするための森林炭素循環モデルを構築しています。ここでは、その開発中の森林炭素循環モデルの概要とその試行結果を紹介します。

森林炭素循環モデルを用いた将来予測の試行

森林炭素循環モデルは、森林の情報を約一㎞四方のメッシュ毎に集約した森林情報のデータベース（三次メッシュ森林データベース）を基礎情報とし、樹木の成長や林業活動の影響を取り入れてデータベースを更新していくというものです（図2）。森林炭素循環モデルの中核をなす植生モデルには、森林の成長モデルを採用し、将来の気候変動に対応した成長予測が行われます。また、森林の炭素循環に大きな影響を与える林業活動（木材生産）については、様々なシナリオに応じて収穫するための伐採（主伐）や森林の手入れをする間伐などの面積を予測する林業モデルを開発しています。

この森林炭素循環モデルを用いて、スギ林の長期予測を試みました。対象地域を日本全国、対象樹種をスギ林とし、予測期間を二〇〇五年から二〇五〇年としました。主伐、間伐面積は、伐採や間伐が現状で行われているものと同様のやり方（齢級別伐採確率）（注1）で行われると仮定して推定しました。また、将来の気象値として二一〇〇年に地球の平均気温の四.四℃上昇（一九九〇年比）を予測しているMIROC3.2（注2）を用いました。

こうして予測されたスギ林の炭素蓄積量の分布と、その時系列的変化を図3に示しました。また、日本全体のスギ林における林木の総炭素蓄積量と、その変化量を図4に示しました。ここで示された炭素変化量は森林の成長にともなうバイオマス増加による炭素吸収量によるものと見なせます。この結果から、将来、スギ林の旺盛な成長により炭素蓄積はさらに大きくなり、全国的に高蓄積化が進むことが予測されました。その一方、スギ林の吸収量は徐々に低下していくことが予測されました。これは、温暖化により成長が促進されることがある反面、スギ林全体が高齢化するために成長が遅くなり、そのため炭素吸収量が大きく低下するためと考えられます。

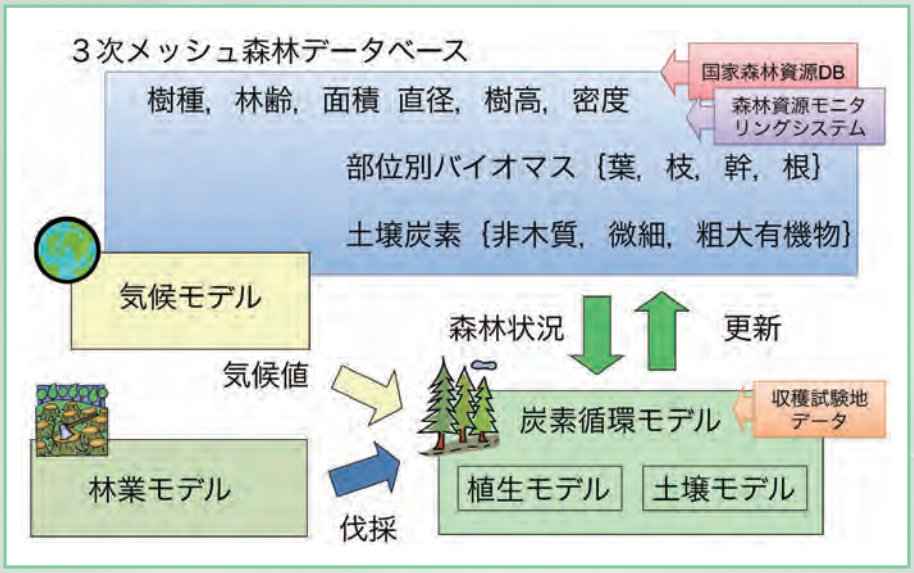


図2　森林炭素循環モデルの全体構造

試行結果から見えてきた展望

現在、日本の人工林の齢級は八～十齢級（林齢四〇～五〇年）に極端なピークを持つ構成となっており、高齢化にともない成長量は低下し、吸収量も低下していきます。加えて、現状では主伐が少ないために森林の若返り（更新）が進まず、成長量が大きい若齢林が極端に少ない状況となっています。シミュレーション結果は、この森林の現状を反映したものと考えられます。

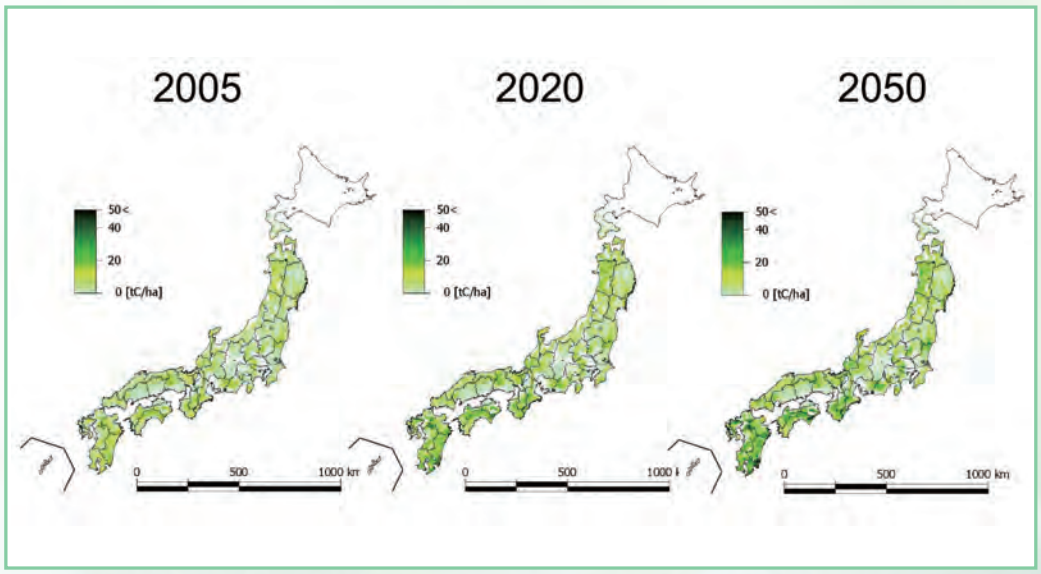


図3　予測されたスギ林の炭素蓄積量分布とその経年変化（生体バイオマス、t-C/ha）

IPCC第四次報告書では地球温暖化を緩和する方策として、森林面積・蓄積の維持増加とあわせて、木材製品の利用を掲げています。これは、森林による吸収だけでなく、木材利用により化石燃料の利用を減らし排出削減を進めることを意味しています。この視点から見れば、今回のシミュレーション結果は、森林の吸収のみに期待した対策だけではなく、大きな蓄積から得られる木材を活用した温暖化対策の必要性を示唆しているといえます。つまり、日本の森林管理の方向性として、（一）人工林の高い蓄積を背景に木材生産量を高め、（二）木材製品の活用による排出削減を進めながら、（三）人工林を更新して生まれる若齢林により吸収量を確保する、という全体像が浮かび上がってきます。

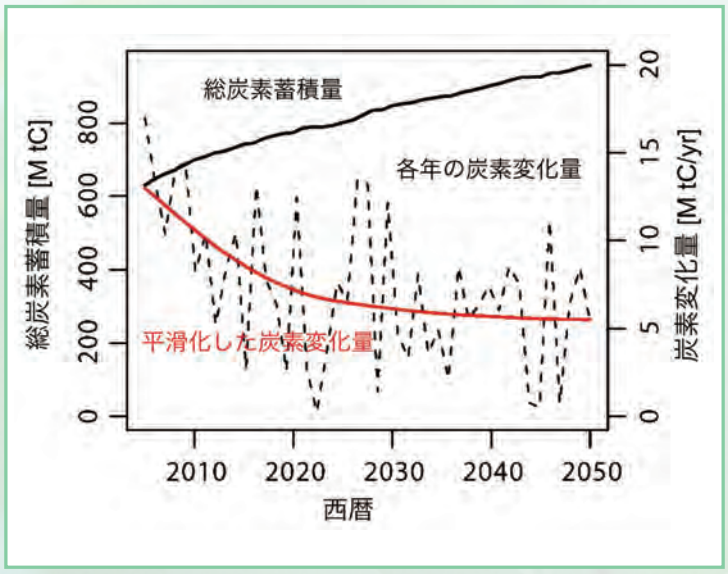


図4　日本全体のスギ林の炭素蓄積量とその変化量（生体バイオマス）

おわりに

ここでは現在開発中の森林炭素循環モデルについて、その概要と試験的な試行結果を示し、将来を展望してみました。モデルについては改善の余地が多く残されていますが、全体として良好で妥当な予測結果をもたらしていると考えています。今後は、スギ以外の他の樹種のモデル化、様々な林業活動を含めたシナリオの多様化、木材利用に関わるモデル（木材製品の炭素循環モデル）との統合などを進めるとともに、大型化すると予測されている台風や病虫害などのリスクを組み入れ、今後の林業政策の立案に貢献できるモデルの開発を目指したいと思っています。

（注1）「新たに植栽された林分が、植栽後一年から（一＋α）年のα年間に伐採される確率」のことで、これを基にして伐採することにより、森林を持続可能であるように維持していくことができる。

（注2）MIROC3.2は、東京大学気候システム研究センター、（独）国立環境研究所、（独）海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センターによって開発された高分解能大気海洋結合モデルであり、この出力値を、（独）農業環境技術研究所が三次メッシュへと内挿したデータを実際には用いた。

温暖化で危惧される自然林への影響

田中 信行
（植物生態研究領域 主任研究員）

はじめに

IPCCの第四次報告書（二〇〇七）によると、今世紀末には地球の温度は一．八～四．〇℃上昇し、生態系や生物の生息域などに大きな影響を及ぼすことが予測されています。そこで、このような大きな気候の変化に、日本の自然林はうまく適応できるのだろうか?という疑問が湧いてきます。自然林の優占樹種は、現在の気候に適した樹木と考えられるからです。温暖化によって自然林の存続が危惧される地域をあらかじめ予測できれば、早めに対策を立てることができます。このような目的から、日本の森林植物の分布を気候要因から予測する統計モデルを作り、その統計モデルに二つの気候変化シナリオ（RCM20(注)、MIROC3.2）を組み込んで将来の生育適域を予測した結果を報告します。これまでに、ブナ林やハイマツ、ササ類二種、シダ類一種、針葉樹一〇種について温暖化影響評価を行いました。なお、この研究は環境省地球環境研究総合推進費戦略課題S―4で行いました。

温暖化のブナ林への影響予測

これまでの研究結果から、暖温帯に分布する樹種よりも冷温帯、亜高山帯などより寒いところに分布する樹種において、その存続が危惧される地域が多いことがわかりました。例えば、ブナ林は日本の冷温帯を代表する自然林で、北海道南部、東北、本州日本海側に広く分布し、本州太平洋側、四国、九州では山岳上部に限られています。その面積は日本の自然林総面積の一七%にあたる二三、〇〇〇㎢です。単一樹種が優占する自然林としてはわが国で最も広い面積で、優れた水源かん機能を有しています。白神山地は、世界的に稀有の大面積のブナ林が保存されている点から、一九九三年に世界自然遺産に登録されました（写真1）。ここでは、先ずこのブナ林を例に予測結果を説明します。

分布予測モデルから、ブナ林の成立に適する地域（適域）を予測できます。現在ブナ林が分布する地域における二〇八一～二一〇〇年時の適域（一四、五七九㎢）は、温暖化予測シナリオの一つ、RCM20では現在に比べて二一%に、別のシナリオMIROC3.2で四%に、それぞれ減少すると予測されました。いずれの場合でも、適域がほとんどなくなる西日本や本州太平洋側のブナ林は温暖化に対して脆弱であると考えられます（写真2）。東北地方のブナ林の適域も縮小し、白神山地世界遺産地域における適域はほとんどなくなると予測されました。ただし、ブナの寿命は二〇〇～四〇〇年であるので、地球温暖化に伴い適域からはずれる低標高域のブナ林でも、すぐにブナが消滅することはないと考えられます。ブナ老齢木が枯死してもブナが再生できず、低標高域に分布する他の樹種が侵入することよって、徐々に樹種の交替が進むだろうと推測されます。本州日本海側の低標高域ではコナラ、ミズナラ、クリが、九州・四国・本州太平洋側ではこれらの樹種に加えてカシ類、モミがブナに置き換わる可能性があります。

写真1　白神山地のブナ林

写真2　太平洋側低山の脆弱なブナ林（冬季の筑波山、標高800m）

温暖化のハイマツへの影響予測

ハイマツは、名前のとおり匍匐性のマツで、日本の高山帯を代表する樹木です(写真3)。ユーラシア大陸北東部に広く分布し、日本では北は北海道から南は南アルプスまで、西は白山までの山岳上部に自生し、森林限界を超えた高山帯で優占します。

分布予測モデルから、ハイマツの分布域における現在の気候下での適域の面積は七、八六七㎢でした。二〇八一～二一〇〇年には、RCM20でその面積は三一%に、MIROC3.2で一四%に適域が減少します(図5)。いずれの場合も、分布する山岳の全てにおいて、適域の面積が縮小または消失することが予測されました。とくに東北地方では、RCM20で九%に、MIROC3.2では〇%にそれぞれ縮小すると予測され、将来絶滅が危惧される脆弱な地域と言えます。東北地方から適域が消失することにより、適域は中部山岳地域と北海道に大きく二分され、ハイマツに代表される高山植物の分布域は大きく縮小すると予想されます。

写真3　南アルプスのハイマツ群落(標高2,600m)

おわりに

地球温暖化は、森林に生育するほとんどの種の生育地を移動させるので、一部の種については絶滅につながる可能性があります。温暖化に対して脆弱な種や地域および逃避地が特定されれば、現地で森林の変化をモニタリング(監視)していくことが、温暖化影響の適応策には必要不可欠です。

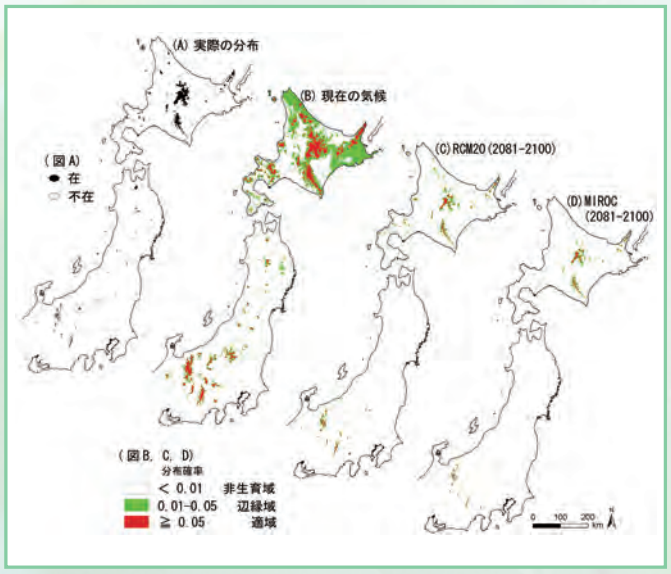


図5　ハイマツの実際の分布と各気候条件における生育域の予測(Horikawa et al. 2009の図を改変)

(注)RCM20　気象庁気象研究所で開発された水平解像度一十㎞の地域気候モデルを用いた温暖化の予測結果

地球規模での森林の変化を見守る眼

平田 泰雅
(森林管理研究領域チーム長)

森林減少に歯止めをかけるリモートセンシング技術への期待

大気中の二酸化炭素の吸収源としての森林の機能が、地球温暖化の緩和に果たす役割に期待が集まっています。しかし、焼畑や農地などの土地開発で森林が伐り開かれると、それまで蓄えてきた炭素の大部分を二酸化炭素として大気中に放出することになります。発展途上国の森林減少による二酸化炭素の排出は、人間活動に由来する温室効果ガス排出の約二割を占めると言われています。従って、森林減少に歯止めをかけることが温室効果ガスの削減に大きく寄与することになり、国際的な取り組みが強く求められています。

このように森林は地球の炭素収支に対して、吸収源であるとともに排出源でもあるのです。途上国の森林減少を抑制する意欲を与え排出量を削減させる(注)ためには、対象とする森林全体の変化を正確に把握することが求められます。しかしながら、地上での調査から広域の

森林の変化を把握するのは困難です。人工衛星や航空機に搭載されたセンサーによるリモートセンシングは、広域での森林の状態を把握するのに適した技術であり、とりわけこれまでの森林情報が十分に得られない発展途上国における森林減少を把握するために有効な手段であると考えられています。

排出源としての森林減少・劣化の観測技術

具体的にリモートセンシング技術を用いて森林減少を把握するためには、時系列のデータを収集し、これらを比較することが必要です(図6)。この場合、雲により地上が観測できないといった問題や、季節の違いにより森林が異なって見えるといった問題があります。日本が打ち上げた「だいち」という人工衛星には、雲を透過するマイクロ波という波長の光を用いて地上を観測するセンサーが搭載されており、雲の多い熱帯地域での活用が期待されています。

図6　ランドサット衛星による森林減少の把握
(上：1989年、下：2001年)
(メリーランド大学提供、農林水産計算センター配布)

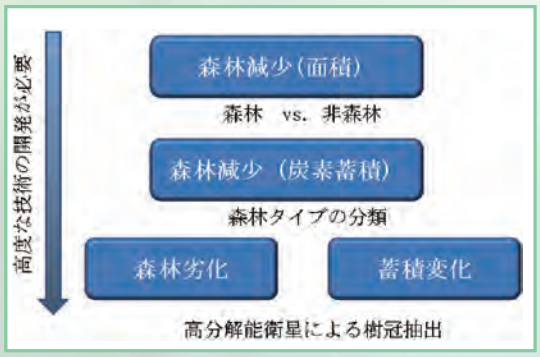


図7　森林減少・森林劣化のモニタリングの難易度

当初、気候変動枠組条約における議論では森林減少、すなわち面積のみの減少が問題とされていましたが、現在では森林劣化、すなわち森林の蓄積の減少についても取り組むべき課題として取り上げられるようになりました。リモートセンシングにより森林劣化を評価するためには、森林減少をとらえるよりも高度な技術が必要となります(図7)。森林劣化は、価値の高い樹木の抜き伐りや過度の焼畑移動耕作、農地から飛び火した森林火災など様々な原因で起こります。例えば、違法伐採による抜き伐り(写真4)を見つけ出すには、抜き伐り前後での高分解能の衛星データが必要となります。この抜き伐り前後の衛星データの比較により林冠の状態の変化から森林劣化を捉えることができます。しかしながら高分解能衛星データの取得が開始されたのは一九九九年からであり、これまでに観測された地域は限られています。

地上調査との組み合わせの必要性

アメリカの地球観測衛星ランドサット1号が打ち上げられたのは一九七二年であるなど、衛星リモートセンシングには、とりわけ過去の情報を得られるという利点があります。その一方で、森林の二酸化炭素の吸収、排出を算定する上で不可欠なバイオマスの推定には、林木の樹高や胸高直径の地上調査を欠かすことはできません。現在、航空機レーザースキャナーという樹木の高さの情報を得られるリモートセンシング技術の開発も進んでいますが、国家レベルでの森林劣化を把握するには、発展途上国においてもリモートセンシングと地上調査を組み合わせた森林モニタリングシステムの構築が強く求められます。

(注)REDD(Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Developing countries)と呼ばれています。

写真4　違法伐採による有用木の伐採現場の確認

地域材利用を促進するためには

宮本　基杖
（林業経営･政策研究領域　主任研究員）

地域材の住宅への利用

地域材を使って住宅を建てようとする取り組みが近年活発化しています。地域材の利用拡大は、林業、木材産業、住宅産業を含めた地域経済全体の振興に寄与するとともに、森林整備の推進や、消費者の健康志向や木材の樹種・産地へのこだわりの増加にも応えるものと期待されます。しかし、地域材は消費者ニーズほど使用されていないのが実態であり、地域材の利用拡大には乗り越えるべき多くの課題があります。

森林総合研究所は秋田県立大学と共同で、地域材利用拡大へ向けた課題を消費者の観点から検討しました。県産材利用の多い秋田県を対象に、木造住宅を新築した二六八世帯へのアンケート調査結果（二〇〇三年実施）をもとに、県産材に対する消費者ニーズと使用実態の差およびその要因を明らかにしました。なお、住宅供給者を大工･工務店、ハウスメーカー、設計事務所に分類しています。ハウスメーカーは、ここでは年間着工棟数二〇棟以上の住宅供給者を意味します。

消費者のニーズほど使われていない

調査結果から、県産材に対する消費者ニーズは、高年齢層と郡部で高いことがわかりました（図1）。その要因としては県産材への認識の高さがあげられます。年齢が高いほど、都市部より郡部で、県産材に対する具体的なイメージを多く持つ傾向がみられました。

さらに、県産材の使用実態をみると、建築前に県産材を希望した建て主のうち実際に県産材を使用したのは六四％にとどまり、消費者ニーズが高い割には県産材が使われていないことが明らかになりました。

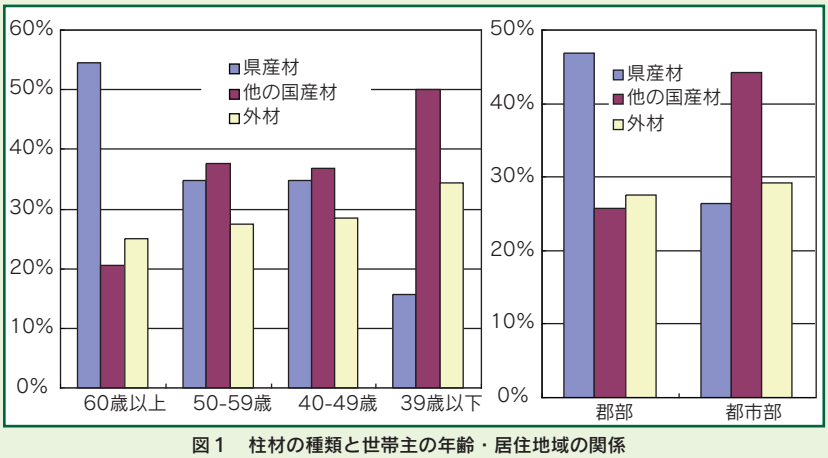


図1　柱材の種類と世帯主の年齢・居住地域の関係

住宅供給者によるちがい

県産材の使用が消費者ニーズを反映していない要因について検討した結果、以下の三つの点が明らかになりました。第一に、建材を決める主導権が、多くの場合、住宅供給者にあり、消費者である建て主には無いことです（図2）。柱材に県産材を使用しなかった理由を尋ねると、「住宅供給者が決めた」が七九％を占め、次に多い「価格が高い」（三一％）をはるかに凌いでいました。

第二に、建て主が住宅供給者としてハウスメーカーを選択した場合には、建て主が希望したとしても県産材を使用することが難しくなることです(図3)。大工・工務店では希望者の七四%が実際に県産材を使用したのに対して、ハウスメーカーでは希望者の三八%しか使用していません。住宅供給者により使用建材が異なることを認識せずに住宅供給者を選ぶ消費者も多いと推測されます。

第三に、住宅供給者がハウスメーカーや設計事務所である場合には、県産材を使用すると建築価格が大幅に高くなることです(図4)。大工・工務店では、県産材を使用した場合の建築価格は、外材や他の国産材の場合と比べて大差なく、適正価格であるといえます。それに対して、設計事務所では、県産材を使用すると他の建材に比べて大幅に高くなる傾向がみられました。また、ハウスメーカーでは、県産材を構造材(柱・梁)に使用することは希ですが、構造材以外で使用することはあり、その建築価格は不使用の場合に比べて高くなります。

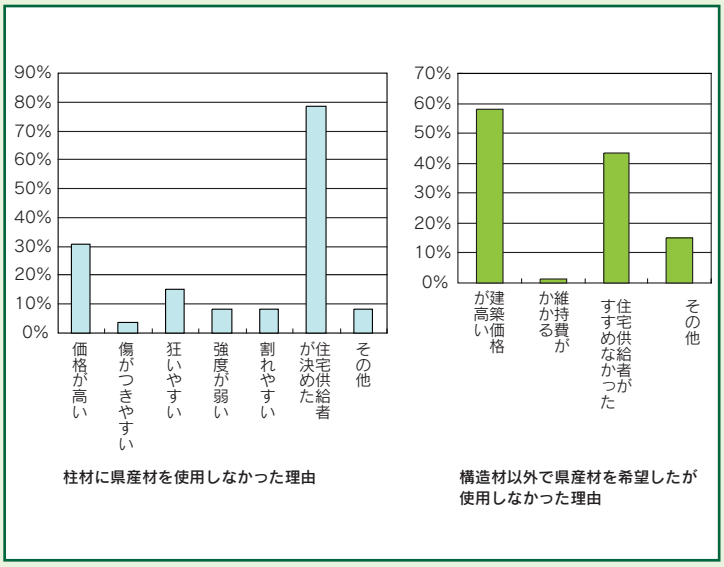


図2　県産材を使用しなかった理由（重複回答）

地域材の使用を拡げるには

以上のことから、県産材の利用推進には、第一に、市場開拓の余地が大きい若年層と都市部の住宅取得希望者に対して地域材の認知を高めること、第二に、住宅供給者によって使用建材や建築価格など基本的な条件が異なることを消費者が認識してニーズにあった住宅供給者を選択できるよう、住宅供給者の情報収集・開示の場を設けること、第三に、各住宅供給者が地域材の価格を適正に反映しているか建築価格の透明性を高め、建築価格の適正化を図ることが有効であると考えられました。

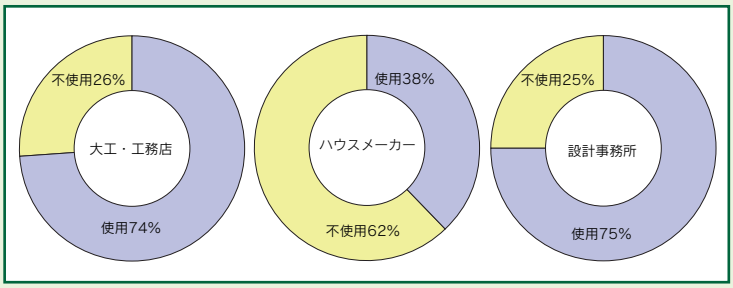


図3　構造材以外で県産材を希望した世帯のうち実際に県産材を使用した割合

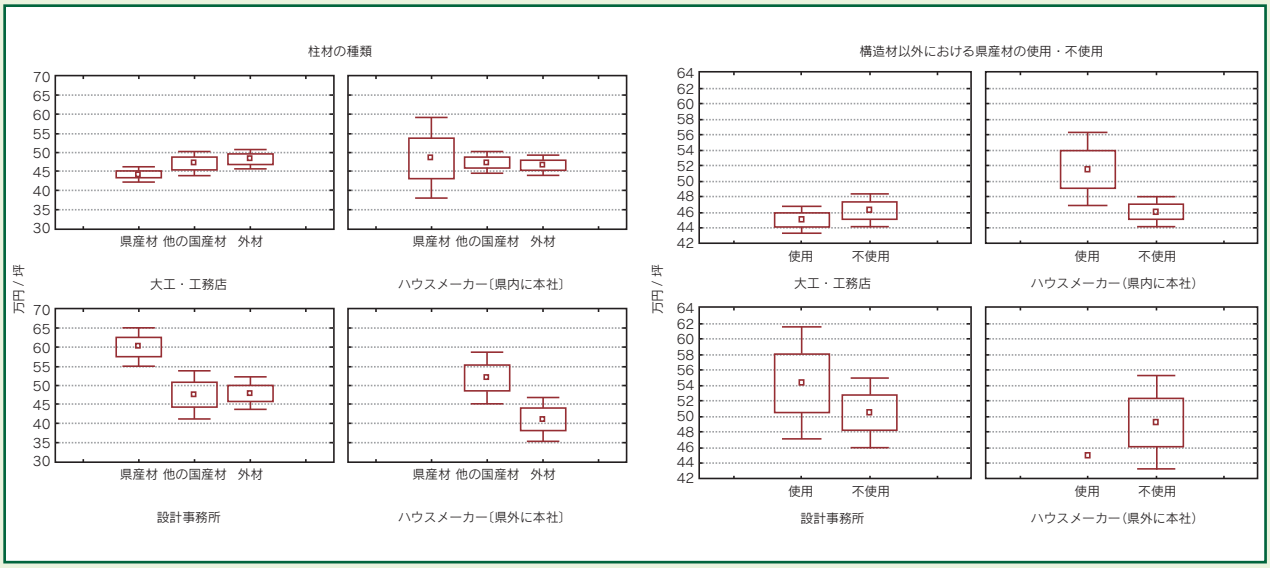


図4　住宅供給者と建材の違いによる建築価格（中央の小さな□は平均値、大きな□は平均値のバラツキ、上下のヒゲは標本の95%信頼限界を示す。）

食物不足がクマ大量出没の原因か?

―体毛を分析して食性を推定する―

大井　徹
（野生動物研究領域
鳥獣生態研究室長）

古澤　仁美
（立地環境研究領域
主任研究員）

ツキノワグマの大量出没

ツキノワグマ（以下、クマ）は、本州以南の森林に生息する最大クラスの哺乳類です（写真1）。しかし、過度の捕獲や生息地の劣化により、下北半島、紀伊半島、中国地方、四国では絶滅の恐れがあり、九州では絶滅した可能性が高いと見なされています。

その一方で、人身被害や農林業被害を引き起こすため、共存の方法が問われている動物でもあります。ことに、二〇〇四年、二〇〇六年の晩夏から秋にかけては、極めて多くのクマが人里に出没し、人身被害が頻発しました。例えば、二〇〇六年の出没では、人身被害は一四二名（三名死亡）、被害防止のため殺処分されたクマの数は四二五頭で例年の四倍以上にのぼりました。

二〇〇四年、二〇〇六年の大量出没は、クマの冬眠準備期（秋）にブナの実やドングリなど主要な食物が結実不良で食物不足になり、食物を求めて人里に出てくるクマ（写真2）が多くなったから起きたのではないかという説が有力です。この説を確かめるためには、出没したクマが実際何を食べていたのか、また、栄養状態はどうであったのか知る必要があります。

写真1　山中のツキノワグマ（栃木県日光市）

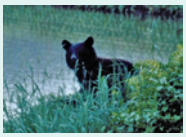


写真2　水田地帯に出没したツキノワグマ（岩手県盛岡市）

体毛の安定同位対比から食性を推測する

緑が生い茂り起伏の激しい山中でクマの行動を直接調べるのはたいへん困難です。そのため、クマの食性は、糞や消化管の内容物を試料にして調べられてきました。しかし、クマに摂取された食物が消化管内に滞留するのは、せいぜい二日程度であるので、これらの試料からは一～二日分の食性しかわかりません。そこで、私たちは、人里に出没したクマの体組織の安定同位体比を測ることによって出没前の約五カ月間にわたってクマが何を食べていたのか推測することにしました。

さて、安定同位体とは何でしょう。生き物の体は炭素や窒素など何種類かの原子から作られています。原子は、陽子、中性子、電子から構成されますが、炭素、窒素原子の場合、質量数が一二と一四である通常の原子C^{12}、N^{14}の他に、通常の原子より中性子が一個多く、その分重い原子C^{13}、N^{15}などがわずかに存在します。これらの元素を同位体、その中でも特に放射能を持たないものを安定同位体というのです。そして、通常の原子に対する安定同位体の存在比を安定同位体比といいます。

安定同位体比は、生物の種類ごとにほぼ決まっていますが、ある動物の体組織の安定同位体比は、その動物が食べたものの安定同位体比を反映することがわかっています。あるクマの体組織の炭素と窒素安定同位体比を、クマが食べる可能性のあるもののそれ（図1）と比較することによって、実際何を食べたのか推測することができるのです。

クマの組織の中でも、私たちが分析の試料として着目したのは体毛です。クマの体毛は毎年生え変わりますが、新しい体毛は六月頃に生え始め、その時々に食べていたものの安定同位体比を反映しながら一〇月頃まで成長します。すなわち、秋に採取した体毛なら、毛先の組成は初夏の食物の組成を、毛根側の組成は秋の食物を反映します。

さらに、出没グマの栄養状態ですが、BCIという肥満度を示す指標を用いて推測しました。この指標は個体内の脂肪量や筋肉量を反映しており、体重と体長から計算します。

やはり、食物不足か。しかし、人里にも誘因があった

二〇〇四年秋に広島県で大量出没したクマを調べました。出没グマは食物が無くて痩せているのではというイメージがありましたが、BCIから見ると肥満型のものから痩せ型のものまでいました。例えば、体長が一・三m程度のものだと、体重三〇kg程度のものから九〇kg近くのものまでいたのです。すごく痩せたものから太ったものまでいたことから、食物資源が乏しく、全ての個体に十分な食物が行き渡らなかった可能性があると考えられます。

体毛の安定同位体比からは、出没グマが山の植物、動物質のほか、残飯や家畜飼料、トウモロコシなど人間由来の食物など様々なものを食べていたことが推測できました。また、食性には個体差が大きいことも明らかになりました(図2)。そして、少なくとも一四%の個体が残飯など人為的な食物に依存した経験をもっていたことが推測されました。人為的な食物の摂取は、初夏から認められ、秋の結実状況とは無関係に人間由来の食物が誘因となって出没した個体もいたことが示唆されました。さらに、肥満型の個体は、夏の後半から秋にかけて動物質など窒素安定同位体比の高い食物や人間由来の食物を十分量摂取していた傾向があることもわかりました(図3)。人間由来の食物は人里かその近くで手に入れたことに間違いないでしょう。つまり、クマの人里への出没は、山の食物不足に加え、人里の側にも、農作物およびその廃棄物、残飯、家畜飼料などクマの誘引物があったためと考えられます。

クマの出没抑制にはこのようにクマを不用意に人里へと誘引しているものの管理が不可欠です。また、出没グマを太らせていた窒素安定同位体比の高い食物とはいったい何でしょう。現地を詳しく調べて見る必要があります。さらに、出没しなかったクマの栄養状態や食性はどうであったのでしょう。クマ大量出没の食物不足原因説を検証するためには、さらに調査が必要です。

この研究は、環境省公害等防止等試験研究費により森林総合研究所が行う「ツキノワグマの出没メカニズムの解明と出没予測手法の開発」の成果の一部です。

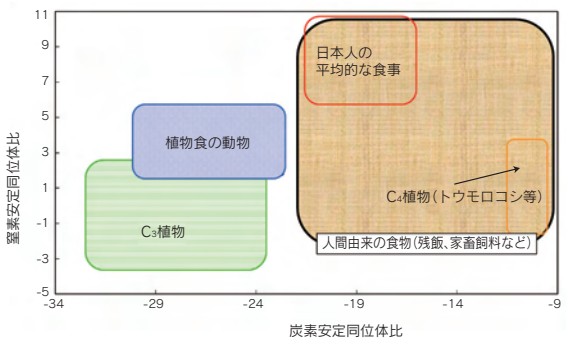


図1　ツキノワグマの潜在的な食物の窒素・炭素安定同位体比(Nakashita, 2006; 成田、2003; Minagawa, 1992に基づく)
ツキノワグマの身体に同化される過程での濃縮率も計算に入れた上で、体毛の安定同位体比と比較する。

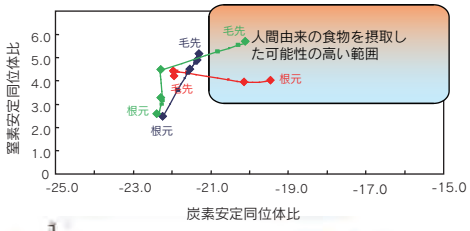


図2　いくつかのツキノワグマの体毛の安定同位体比の変化の例
体毛を4等分して毛先（初夏の食性を反映）から毛の根元（秋の食性を反映）まで、順に安定同位体比を測った。黒線は昆虫など動物質依存から山の植物へ食性を変化させたと推測される個体の例。赤線は人間由来の食物への依存へと食性を変えた個体の例。緑線は初夏に人間由来の食物に依存していた個体の例。

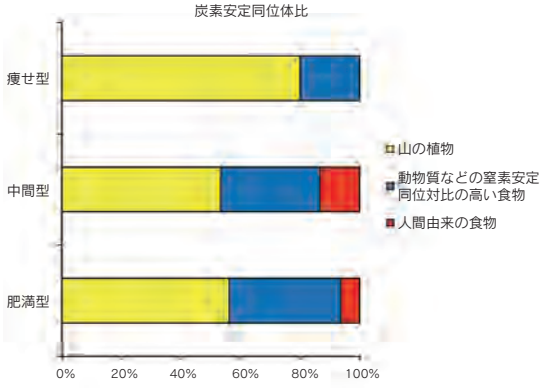


図3　肥満度と秋の食性の関係
体毛の内、秋に成長したと推測される部分の安定同位体比から個体毎に秋の食性を推定。その上で、肥満度毎にそれぞれの食性を示す個体の割合を棒グラフで示した。肥満のタイプの分類は、BCIの実測値を三分割して、それぞれ肥満型、中間型、痩せ型とした。中間型、肥満型のものでは、窒素安定同位体比の高い食物や、人為的な食物を摂取した個体が多かった。

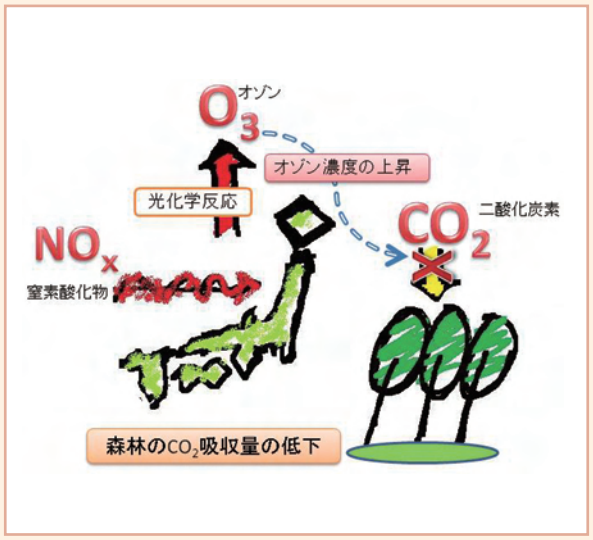
研究の“森”から
No.189

大気オゾン濃度の上昇は樹木の二酸化炭素吸収量を低下させる

北尾　光俊
（植物生態研究領域　樹木生理研究室）

オゾン濃度の上昇の危険性

大気汚染物質であるオゾンの濃度は全世界的に上昇する傾向にあります。我が国においても、東アジアの急速な社会経済活動の発展に伴い、大陸からの長距離越境汚染によると考えられる光化学スモッグの発生など、オゾン濃度の上昇が再び問題となっています。オゾン濃度の上昇は光合成に悪影響を及ぼし、植物の成長を低下させることが実験室レベルの研究により報告されています。そのため、オゾン濃度の上昇により森林の二酸化炭素吸収量が減少し、地球温暖化を加速する恐れがあります。オゾン濃度の上昇が地球温暖化へ与える影響を評価するためには、オゾン濃度が上昇した場合の樹木の光合成への影響を解明することが必要です。



窒素酸化物などの越境大気汚染物質による大気オゾン濃度の上昇により、森林の二酸化炭素吸収機能への影響が危惧されている

樹冠内の光勾配が関係している

ドイツの研究グループはオゾンの影響を調べる時に、樹冠の上部にある葉と下部にある葉の二つのカテゴリーに分けて光合成速度の比較を行っていました。しかしながら、筆者が行った測定の結果、対象となるヨーロッパブナは、そのほとんどの葉が樹高にして三mの範囲に密集して存在しており、ほんの少しの位置の違いにより葉の受光量が大きく違っていました。そのため、樹冠上部と下部という大きな分け方では、測定した個々の葉の受光量は一定でないと考えられます。そこで、ヨーロッパブナ成木の個々の葉が実際に受ける受光量を考慮に入れて、オゾン暴露の影響を明らかにしました。

ヨーロッパブナ成木へのオゾンの影響はある

樹冠内で生育するそれぞれの葉の受光量の推定には

筆者は森林を対象としたオゾン研究で有名なドイツのミュンヘン工科大学と共同研究を行いました。ここでは、樹齢六〇年、樹高約三〇mのヨーロッパブナ林にタワーを建てることにより、ヨーロッパブナ成木全体へのオゾン処理が可能となっています（写真1）。これまでの研究では、オゾンが個々の葉の光合成にマイナスの影響を与える年もあれば、影響を与えないばかりか逆にプラスの影響を与えている年もあり、オゾンが常に光合成を阻害するという仮説は疑問視されていました。

魚眼レンズによって撮影した写真を使いました(写真2)。その結果、葉の受光量が増加すると最大の光合成速度も増加しましたが、一方で、受光量が同じ葉でくらべた場合にはオゾン暴露によって光合成速度が低下することが明らかとなりました(図1)。つまり、光条件を取り除くと、ヨーロッパブナ成木はオゾン濃度が上昇すると光合成が低下し、二酸化炭素吸収量が減少すると考えられます。そのため、今後地球規模でオゾン濃度が上昇すると森林の二酸化炭素吸収量が低下し、温暖化を加速する危険性のあることが示唆されました。

苗木のような小さな個体を対象にした場合はそれぞれの葉が受ける光の量に大きな違いはありませんが、大きな樹や森林を対象にするときには樹冠内の光勾配を考慮してオゾン影響の研究を進める必要があることをこの結果は示しています。今後は、この成果をもとに、オゾン濃度上昇が森林全体の二酸化炭素吸収量に与える影響予測を進めていきます。

写真1　ヨーロッパブナ成木へのオゾン暴露試験
タワーにより樹高約30mのヨーロッパブナ成木へのオゾン処理と樹冠内の葉の測定が可能となっている。

写真2　葉の位置で魚眼レンズを用いて撮影した全天写真

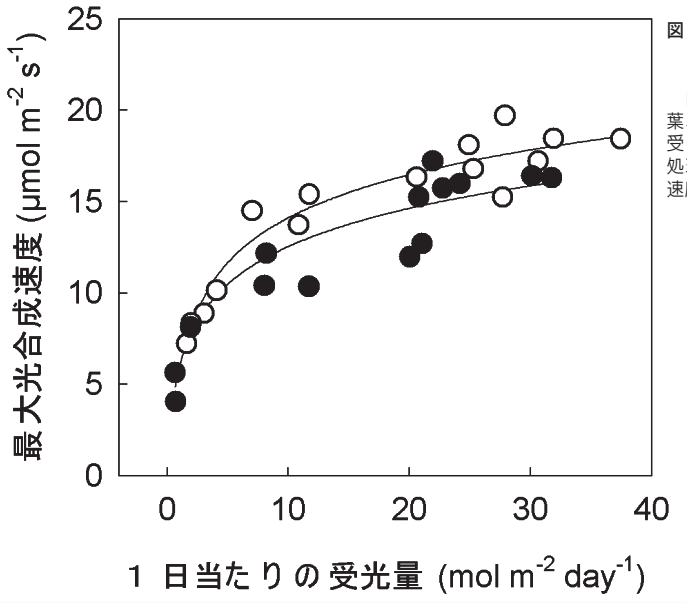


図1　葉の受光量と最大光合成速度との関係
白丸がコントロールの葉、黒丸がオゾン処理を受けた葉を示す。オゾン処理を受けた葉は光合成速度が低くなっている。

研究領域紹介

森林昆虫研究領域

生物種の過半数は昆虫で占められています。地球上で昆虫のいない場所を見つけることは容易ではありません。なかでも森林は昆虫の多様性がとりわけ高い場所です。森林という舞台のなかで様々な昆虫が演じる劇を観察しその意味を探ることを通して社会に貢献する、私たちはそれを目指しています。

研究の柱は二つあります。一つは昆虫がもたらす森林への被害を、環境と調和する方法で制御することです。各地の広葉樹林を衰退させている「ナラ枯れ」はカシノナガキクイムシという昆虫が運ぶ病原菌が原因ですが、私たちはこの昆虫が仲間を呼ぶのに用いる匂い（集合フェロモン）を利用して防除する技術（おとり木法）を開発しました。殺虫剤は不要です。新たな被害地を予測する手法と、おとり木法とを組み合わせ、ナラ枯れを食い止める研究を現在行っています。

もう一つの柱は、昆虫の多様性を生かす森林をつくることです。一口に森林といっても、林齢や樹種によって住んでいる昆虫が違うことを私たちは具体的に明らかにしてきました。その結果をもとに、長期的な多様性の変化を予測する「多様性シミュレータ」の開発を進める一方、昆虫が果たす花粉媒介や天敵としての役割を最大限に生かすために、どのように森林を管理していくか、それを大きな課題として取り組んでいます。

▲紅葉したかのようなナラ枯れ被害
（右上はカシノナガキクイムシ。体長約5mm）

▲トラップでカミキリムシ
（左上）などの森林昆虫を調査

木材特性研究領域

持続可能な低炭素社会の構築のためには、再生可能で環境負荷の小さい木材や木材製品を生活の様々な場面で利用すること、特に国産材を高付加価値化して利用することが重要です。また、これまで木材が使われていない分野においても、化石資源からカーボンニュートラルな木材への材料転換が計られようとしています。

木材特性研究領域では、このような社会の要請に応えるため、木材利用の基礎である木材の組織・材質・物性についての研究、内容としては生物学的起源から物性発現機構までを科学的に解析する研究を行っています。

特に近年では、国産材データベースの作成、木材形成と材質特性の把握、非破壊での物性測定技術の開発などを行っています。また輸入材の利用についても、ＤＮＡ分析や同位体分析による樹種・産地識別に取り組んでいます。

さらに未来の林業のために、優れた材質の樹木に植え替えていくための材質育種研究の取り組みを林木育種センターと共同で進めようとしています。

▲森林総合研究所のホームページから、誰でも利用できる木材データベースhttp://www.ffpri.affrc.go.jp/database.html

▲電気的手法により丸太の水分分布を測定する実験

ロシア国

永久凍土地帯の調査

北緯72度－東経125度付近のヘリコプターからみた森林ツンドラの様子

松浦 陽次郎　立地環境研究領域　土壌資源研究室長

▲中央シベリアから東シベリアまで続く永久凍土地帯のカラマツ黄葉

▲ヘリコプターから機材をおろし、別れを告げる

温度が二年以上にわたって零度を下回る土を永久凍土と呼びます。その永久凍土が広がる地域は、地球上の陸地（氷河などを除く）の約一六％にあたる一、八七八万㎢を占めます。地球上の地下部にたまった有機炭素の半分が永久凍土中に存在するとも言われ、気候変動の影響が懸念されています。北東ユーラシアの永久凍土地帯については正確な情報が乏しく、エニセイ川以東には、永久凍土の上に広大なカラマツ林が広がっていることや、泥炭湿地は意外と少ないことなどはあまり知られていません。

厳冬期には氷点下六〇℃になることもある北東ユーラシアでは、結氷した河や雪に覆われた道路は、摩擦熱による水膜が形成されないので夏タイヤでも滑らずに走れますが、夏の間は凍土表面が融けて泥濘になり車の走行を阻みます。夏の調査では、川に沿ってモーターボートで移動してあとは徒歩です。大量の機材を伴うとなれば、ヘリコプターを使うしかありません。

北緯六〇度以北の森林や森林ツンドラとはいっても、暑い年は気温が三〇℃を越え、当然、蚊などの大群が容赦なく襲いかかってきます。テント生活で食事をする時もスープの中に蚊が飛び込んでくるし、川の水は溶存有機物のために紅茶色をしていますが、それをバケツで沸かして紅茶を飲んでいました。

北東ユーラシアの永久凍土地帯のカラマツ林生態系については正確な情報がありませんでしたが、一〇年以上にわたる現地調査の積み重ねで、生態系全体の炭素の八割から九割が土壌に存在することや、地上部の様子は疎林に見えても地下部には網の目のように張り巡らされた根系が発達していることなど、未知の生態系の全貌が明らかになりつつあります。

こ・れ・が・お・宝

長期耐久性試験（暴露試験）

桃原 郁夫　木材改質研究領域 チーム長

◀合板・ＬＶＬ等木質材料の耐久性評価

◀保存処理（防腐・防蟻処理）木材の耐久性評価

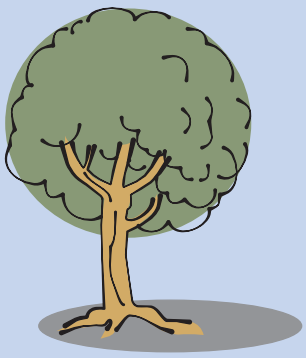
長期優良住宅の普及の促進に関する法律の施行により、木造住宅の長期的な耐久性能がこれまで以上に重要視されるようになりました。このため、骨組みとなる木材（構造材）の耐久性に関するより詳細なデータが必要とされています。

今回のお宝である屋外暴露場（野外の風雨に木材を晒す試験場所）は、森林総合研究所がつくば市に移転してからの三〇年もの間木材の耐久性評価に関わる研究を実施してきた場所で、その規模、暴露している材料の種類、歴史等々、いずれをとっても日本に類を見ない施設となっています。

暴露場は大きく三つの区画に分けられており、それぞれの区画で土台等に使用する保存処理（防腐・防蟻処理）木材の耐久性評価（写真左上）、合板・ＬＶＬ等木質材料の耐久性評価（写真右上）、木材保護塗料の耐候性評価（写真下）をおこなっています。また、これまでに得られた結果については日本農林規格や日本工業規格へと逐次反映してきました。

ここは、注意深く観察しないと十年一日何の変化もないように見える場所ですが、実は木材の長期耐久性を担保している大切な場所なのです。

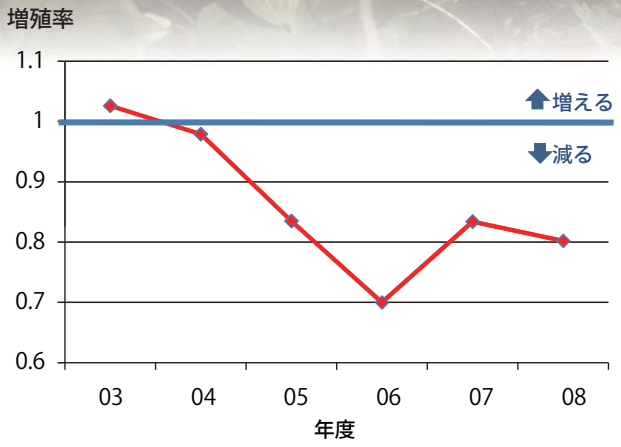
▲木材保護塗料の耐候性評価



▲5月下旬から6月上旬にかけて開花する
礼文島固有植物レブンアツモリソウ

レブンアツモリソウ

Cypripedium macranthos Sw.
var. *rebunense* (Kudo) Miyabe et Kudo



▲レブンアツモリソウの個体の増え方の予測値
1より小さいと個体数は減っていくと予測される

北海道の礼文島だけに見られるレブンアツモリソウは、初夏にクリーム色の花を咲かせるランで、それを見に全国から観光客が集まります。その美しさと珍しさゆえに、繰り返し多量の盗掘にあって、絶滅が心配される植物の一つになっています。現在、二カ所に保護区が設けられて厳重に守られていますが、このままの状態では将来は数が減っていくことが予想され、よりいっそう厳重な保護や増殖が必要となっています。

レブンアツモリソウは、野外ではラン菌と呼ばれる共生菌の力を借りて発芽、成長します。一方、野外で増えていくためには昆虫により花粉が運ばれ、受粉して種子ができることが必要です。レブンアツモリソウではニセハイイロマルハナバチというハチの一種がほとんどの授粉を請け負っています。このハチは一生を過ごすのに必要な食料として近隣に生える他の植物の密や花粉を利用しています。レブンアツモリソウの保護には、共生菌やハチ、周辺の植物など、これら生態系を丸ごと保護していくことが重要です。

河原 孝行
（北海道支所　森林育成研究グループ長）

◀名前の通り、目の周りが黒い

キツツキのように樹幹でも採食する▶

メグロは、小笠原諸島の母島列島にだけ生息する小鳥です。母島では集落から山頂まで島中で見ることができます。地上でアリを食べ、キツツキのように木の幹にとまり、枝で木の実を食べる姿が自然に目に入ります。

小笠原諸島は、本州から一、〇〇〇㎞も離れた火山島です。メグロにとっては、海を越えられないキツネなどの捕食者や、長距離移動をしないキジやキツツキなどの競争者がいない楽園です。この制約のない環境で、メグロは地上から樹上まで利用し、昆虫から果実まで、時には爬虫類まで食べる「なんでも屋」に進化しました。

小笠原は、約二〇〇年前の開拓以来、森林破壊や外来種問題にさらされ、多くの生物が絶滅してきました。その中でメグロが生き残れたのは、この何でも利用する習性を獲得したおかげです。地上や樹幹で悠々と食事をするメグロには、進化の歴史をかいま見ることができます。この冬は、亜熱帯の小笠原で進化を鑑賞する休暇などはいかがでしょうか。

川上 和人
（野生動物研究領域　主任研究員）

メグロ

Apalopteron familiare

◀地上ではよくアリを食べている

逆さでも大丈夫▶

森のはたらき

生物多様性の保全

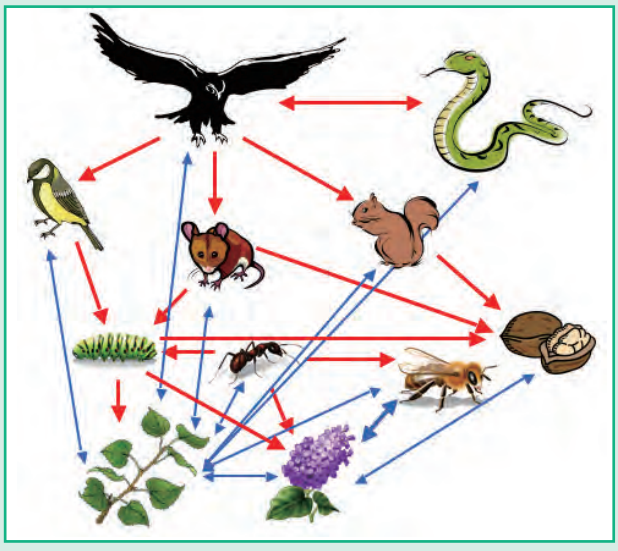
岡部　貴美子（森林昆虫研究領域 チーム長）

▲花と昆虫の助けあい（花粉を運んでもらう花と蜜を吸う昆虫）

森林は陸上に暮らす動植物の七割以上が依存する生態系であることから、生物多様性保全という重要な役割を担っているといえます。森林生態系において生物多様性を構成する基盤となるのは樹木です。樹木は光合成を行って、従属栄養生物と呼ばれる多くの生き物を生存可能にします。森林では着生植物や地衣類などが樹木を生息場所として利用しています。草本を含む下層植生も発達します。また森林内の構造が複雑多様化すると、樹木は樹洞を形成したり枯死木となったりして、ほかの生物に生息場所を提供します。

森林に生息する生物どうしは寄生したり（されたり）、捕食したり（されたり）、時には相互に助け合ったり競争したりしながら、複雑なネットワークを形成しています。植食性の生物はそれぞれが好みの植物を選んで食べています。従って植物の種類が増えると、食植者の種類も増えます。さらに食植者の捕食者や寄生者にも同様のことが起こります。このように生物はお互いに依存しあいながら、幾重にもつながりあって生きているのです。そのため一種の生物が絶滅すると、数十種が道連れになるとも言われています。

陸上生物の多様性を持続的に保全してゆくためには、森林の多様性が鍵となります。



▲生物間相互作用の模式図（赤は捕食・青はそれ以外）

平成二一年度 独立行政法人 森林総合研究所公開講演会開催

一〇月一四日、ヤクルトホール（東京・港区新橋）において平成二一年度「公開講演会」を開催しました。

公開講演会は、毎年一般の方向けに森林総合研究所の研究成果を紹介する目的で開催しているもので、今年度は「温暖化時代を森林と生き抜く―森林の機能をどこまで活かせるか―」と題して、森林に関わる温暖化対策研究の成果を発表しました。

―PCC第三作業部会の森林・林業部門で中心的に活躍されているカナダ森林研究所のワーナー・クルツ博士を招待講演者にお迎えして、世界有数の森林国であるカナダの森林における炭素収支や気候変動の影響、さらに温暖化の緩和に森林がどのように貢献できるかをご講演いただきました。

森林総合研究所は森林を総合的に研究している機関として、森林に関わる温暖化対策研究を進めていますが、それらの研究成果として、温暖化の緩和に森林・林業部門が果たす役割、森林が受ける影響、そして地球規模での森林減少や劣化の観測技術について、講演しました。講演内容につきましては、本号の特集として掲載しております。

また、早稲田大学大野正博教授にコーディネータをお願いし、パネルディスカッションを行いました。来場者の方からの質問への回答や様々な観点からの議論、問題提起がなされました。

ロビーには、パネル展示コーナーを設け、講演テーマ以外の森林総合研究所の研究成果の一端をご紹介しました。

会場には、一般の方々をはじめ、大学、研究機関、報道関係、行政関係など二五〇名を越える方々にお越しいただきました。ありがとうございました。

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）

専門でない一般の方にも楽しく森林の科学に親しんでいただく談話会を毎回、西武筑波店六階「つくばホール」で開催しています。

一二月は、「熱帯林の話」と「森林・木材の認証の役割」についてお話しします。また、来年二月六日には「スギ花粉」、「バイオプラスティック」についてお話しします。

予約なし、無料で参加できる楽しい催しです。皆様お気軽においで下さい。

第五回の様子はこちらでご覧いただけます。
http://www.ffpri.affrc.go.jp/topics/topics21/20091019/news20091019.html

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

第一四回「親林の集い」開催（林木育種センター）

森林総合研究所林木育種センター（茨城県日立市）では、一〇月三一日（土）に、林木育種事業等への理解を深めていただくとともに、地域との交流を図るために施設の一般公開「親林の集い」を開催しました。

林木育種事業や森林の働き等のパネル展示、森の巨人達百選の写真展示、無花粉スギ「爽春」の組織培苗やマツノザイセンチュウ抵抗性品種等の実物を見せて説明する「場内案内ツアー」をはじめ、クリスマスリースやオリジナルはがき作り、「森の迷路」等を行い、さらに、幼稚園児（一〇六名）による鼓笛演奏も行いました。新型インフルエンザの流行で来場者数を心配していましたが、晴天に恵まれたこともあり、例年を上回る一、一〇〇名の来場で賑わいました。

▲枝打ち体験（協力：茨城森林管理署）

▶無花粉スギ（組織培養）の説明

森林総合研究所研究報告

Vol.8-No.3（通巻412号）
2009年9月発行

●論文

ニホンジカがミヤコザサの採食をとおして地表性ササ類の群集構造に与える影響
上田明良・日野輝明・伊東宏樹

オオバマホガニー不定胚の成熟化におけるポリエチレングリコールの影響（英文）
丸山 E. 毅

●短報

初冬に雪中で発見されたコテングコウモリ（*Murina ussuriensis*）の記録とその意味
平川浩文・小阪健一郎

●研究資料

ブナ天然林に開設された林道沿いにおけるブナ衰退木の水分生理状態と大型菌類相
市原優・市原裕子・升屋勇人・窪野高徳

平成13～17年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告 第24号）
細田和男・家原敏郎・光田靖・西園朋広・石橋聡・鷹尾元・高橋正義・田中邦宏・平田泰雅・小谷英司・野田巌・近藤洋史・齋藤英樹

編集後記

季刊「森林総研」第7号をお届けします。季節の移り変わりは早いもので、ついこの間まで暑いと思ったら、もう冬が目の前、急に気温も下がってきました。人は火を使って暖をとるすべを覚えましたが、今や熱源に化石燃料を用いることは厳しく制限しなければならない時代となりました。公開講演会では「温暖化時代を森林（もり）と生き抜く」を開催し、今号ではその発表成果を特集にいたしました。また、「森のはたらき」では、水源涵養や炭素貯留と並んで森林の重要な働きである生物多様性の保全を取り上げました。最新の研究成果を紹介する「研究の“森”から」、森の生きものや海外事情、森林総合研究所の研究組織の紹介など、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　市田憲（NPO法人 才の木）　荒木誠　浪岡保男　飯塚淳　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）　上からシャリンバイ、ブナ、カヤ（誌名の背景）ブナの木目
（裏表紙の写真）イロハモミジ：カエデ科カエデ属の落葉高木。別名イロハカエデ。この名前は、葉の裂片を「いろはにほへと」と数えることに由来するといわれている。紅葉の代表種で緑から黄、橙、紅と紅葉していく様はとても美しい。

「イロハモミジ」 *Acer palmatum*

季刊 森林総研 Vol.7

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（平成21）年11月30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。

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

PRINTED WITH SOY INK

09.11.9000Ⓨ