

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

重点課題アアa

森林への温暖化影響予測及び二酸化炭素吸収源の評価・活用技術の開発



第2期中期計画成果集 アア a

目次

アジアにおけるタワーフラックス観測ネットワーク化の取り組み	2
観測研究情報の共有、観測マニュアルの公開、比較観測用システムの開発などを通じて、アジア地域の二酸化炭素吸収量観測ネットワーク体制の強化に貢献しました。	
森林生態系の CO₂ 収支を、微気象学的手法と生物観測手法から相互チェック！ —CO ₂ の動きをより高精度に、より解りやすく—	4
森林生態系の CO ₂ 収支を、微気象学的手法と生物観測手法という2つの方法により推定し、それらが一致することを明らかにしました。	
日本の森林土壌は欧米よりも地球温暖化緩和機能が高い	6
全国の代表的な森林土壌で温室効果ガスを観測し、欧米と比べてメタン吸収量は2倍、亜酸化窒素放出量は半分であることを明らかにしました。	
シベリア永久凍土地帯のカラマツ林生態系における炭素収支の解明	8
亜寒帯林（タイガ）について、地下部の根や土壌有機物が炭素の大きな貯蔵庫になっていることなど、炭素収支に関する特徴を明らかにしました。	
京都議定書に対応した国家森林資源データベースの開発と活用	10
京都議定書報告のため、森林による CO ₂ 吸収量を算定・報告するための国家森林資源データベースを開発しました。	
日本の竹林のバイオマス炭素蓄積量、吸収量の算定手法の開発	12
全国の竹が蓄積・吸収している炭素量の推定手法を開発しました。	
2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する	14
森林の炭素循環モデルを開発し、スギ林を対象に2050年までの炭素吸収量の変化を予測し、林業施策を検討しました。	
気候温暖化の日本の自然林への影響予測 —白神山地世界遺産地域のブナ林と針葉樹11種について—	16
気候温暖化により白神山地世界遺産地域ブナ林や一部の針葉樹類に大きな影響のあることが予測されました。	
森林の炭素固定に及ぼす気候変化と森林施業の複合影響 —シミュレーションモデルの開発—	18
温暖化などの気象要因と間伐施業などの森林管理の違いが人工林の炭素固定能に及ぼす影響を評価するシミュレーションモデルを開発しました。	
荒漠地に森林を再生する	20
不適切な土地利用により荒漠地となってしまった場所に、森林を再生し利用する技術を開発しました。	
植林で熱帯林の生物は回復するのか？	22
二酸化炭素吸収量を増やす目的のCDM植林事業は生物多様性にも好影響をもたらすが...	
DNAと安定同位とを分析することで木材の樹種や産地を知る	24
DNA分析と安定同位体分析を応用して、木材の樹種と産地を正確に特定するための手法を開発しました。	
REDD + 実現のため、熱帯林からの温室効果ガスの吸排出量をモニタリングする	26
減少・劣化が進む熱帯林からの温室効果ガスの吸排出量をモニタリングする手法を開発しました。	

アジアにおけるタワーフラックス観測ネットワーク化の取り組み

北海道支所
気象環境研究領域
関西支所
東北支所
水土保持研究領域

溝口康子、山野井克己
大谷義一、高梨 聡、中井裕一郎、北村兼三
小南裕志、深山貴文
安田幸生
玉井幸治、清水貴範

地球観測の国際的な統合化の一環として、アジア地域で陸域生態系の二酸化炭素吸収量観測（タワーフラックス観測）がネットワーク化され、アジアでは50を超える森林サイトで継続的な観測が行われています。これら観測成果の公開に向け、最新の観測情報共有と観測精度向上の取り組みが必要となっています。このような背景から、アジアにおける観測網の効率的展開に必要な観測サイト分布情報の整備・公開、観測精度の向上のための観測マニュアル公開や、比較観測用ポータブル観測システムの開発などを通じて、アジア地域の観測ネットワーク体制の強化に貢献しました。

アジア地域の観測サイト分布と今後の観測展開

アジア地域の森林における二酸化炭素吸収量観測サイトは、熱帯から寒帯に至る気候帯に、常緑・落葉の針葉・広葉樹林が分布します。観測期間が1年以上のサイトは少なくとも51カ所（うち10カ所は観測終了）あり、多くのサイトで森林の二酸化炭素吸収量が観測されています。その中で、温帯の常緑広葉樹林（照葉樹林）は、観測地点数が極端に少ないことがわかりました（図1）。照葉樹林はアジアを代表する森林タイプの一つであり、今後の観測網展開において充実が求められることがわかりました。

観測マニュアルの公開

長期に安定してタワーフラックス観測を行い、相互に比較可能な値として解析可能なデータセットとして公開するためには、観測や解析に関する手法をネットワーク全体でできるだけ共通化することが必要です。そのため、プロジェクト共同研究者の協力を得て、二酸化炭素フラックス測定や解析手法に関する詳細なマニュアルを作成し、web上で公開しました。これにより、観測・解析の標準化に繋がります。

ポータブルフラックス測定システム

本研究で開発したポータブルフラックス測定システムは、閉光路型の赤外線ガス分析計、超音波風速温度計、温度・湿度計、高速サンプリングが可能なデータロガー、赤外線ガス分析計を定時的に校正するための大気吸引経路切り替え器などで構成されます。携帯ケースと一体化したことにより、タワーサイトへの携行と設置を容易に行うことができます。実用化に向けた最終的な性能試験に続き、経常的な観測システムとの比較試験を富士吉田試験地で実施しました。その結果、ポータブルシステム

と経常システムによる二酸化炭素フラックス測定値の違いは5%以下に収まり良好な成績を収めました。開発後はアジア地域の森林や水田での観測サイトにおいて、観測精度向上に向けた比較観測で稼働し実績を積んでいます。

本研究は文部科学省科学技術振興調整費「次世代のアジアフラックスへの先導（17-19年度）」による成果を主体に、環境省地球環境保全試験研究費「アジア陸域炭素循環観測のための長期生態系モニタリングとデータのネットワーク化促進に関する研究」による成果の一部（観測マニュアルの公開）を含みます。文部科学省プロジェクトでは、本報告以外に、農業環境技術研究所、国立環境研究所、産業技術総合研究所と連携して、アジア地域で活躍する研究者向けのトレーニングコースの開催、国際ワークショップの開催や、アジアフラックス・データベースの公開を行いました。詳しくは、アジアフラックスwebページ <http://www.asiaflux.net/> をご覧ください。

情報源

MIZOGUCHI Yasuko, MIYATA Akira, OHTANI Yoshikazu, HIRATA Ryuichi, YUTA Satoko (2009): Review of tower flux observation sites in Asia. Journal of Forest Research, 14:1-9
OHTANI Yoshikazu, MIZOGUCHI Yasuko, TAKANASHI Satoru, YASUDA Yukio, IWATA Hiroki, NAKAI Yuichiro, YUTA Satoko, YAMANOI Katsumi (2010): Development of a portable CO2 flux observation system using a closed-path gas analyzer for intercomparison. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute, 9(1):31-36.
<http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/>

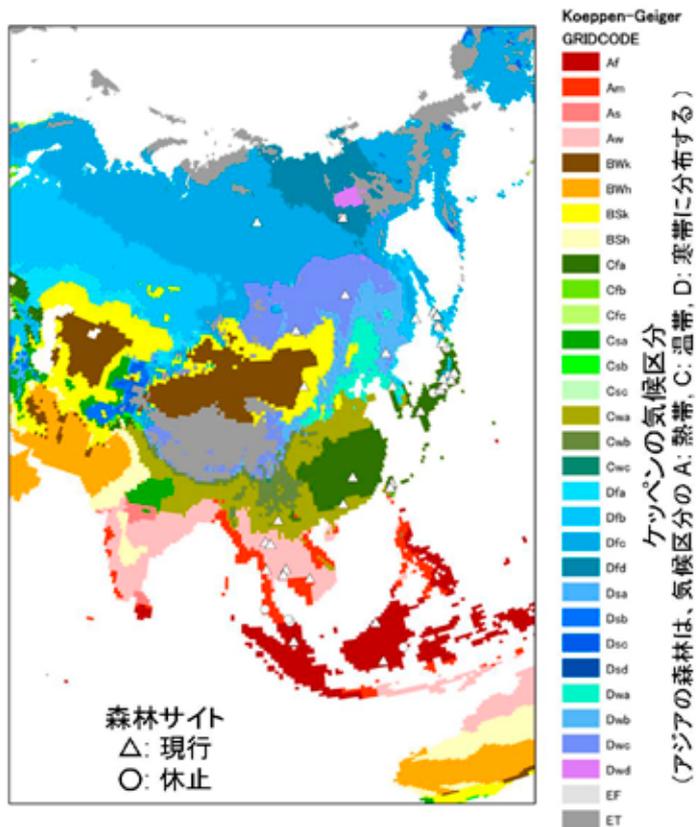


図1 ケツペンの気候区分図上に示したアジア地域の森林タワーフラックス観測サイトの分布(△は現在観測継続中のサイト、○は観測を休止または終了したサイトをそれぞれ示す)

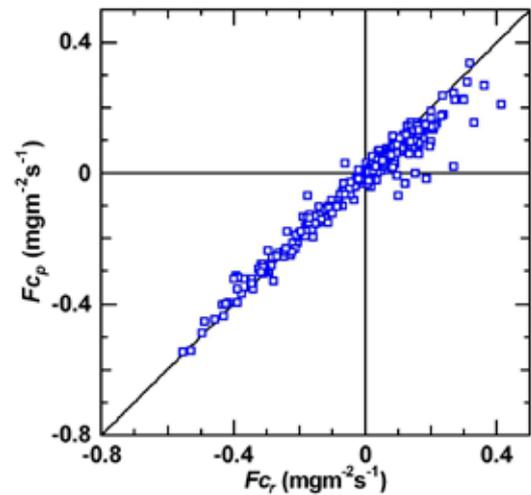


図2 経常観測システム (F_{cr}) とポータブルシステム (F_{cp}) で観測された、二酸化炭素フラックスの比較



図3 森林総合研究所富士吉田試験地における、ポータブル観測システム(左)を用いた比較観測の様子(右側の測器は経常観測システムの超音波風速計など)

図4 富士吉田試験地にて比較観測に使用中の、本研究で開発したポータブルフラックス観測システムの分析・記録部

森林生態系のCO₂収支を、微気象学的手法と 生物観測手法から相互チェック！ —CO₂の動きをより高精度に、より解りやすく—

北海道支所 宇都木玄、飛田博順、阪田匡司、山野井克己、溝口康子
気象研究領域 北村謙三
林野庁 丸山 温

地球温暖化緩和策として森林による二酸化炭素(CO₂)吸収機能が期待されていますが、その機能や実際のCO₂吸収量を正確に調べる事は大変困難です。そこで私たちはタワーを用いた大気—森林間のCO₂フラックス(微気象学的方法)と、光合成や呼吸などを細かく測定して積み上げる生物観測法を実施し、2つの方法を比較しました。その結果、安定した森林生態系の場合も、攪乱により不安定になった森林生態系の場合も、タワーフラックスのデータは生物観測法のデータと一致することが解りました。この事は生物観測法の有効性を示し、その観測結果をタワーフラックスデータで適宜修正することにより、CO₂吸収量をより高精度に予測することができます。

はじめに

地球温暖化緩和策として森林の二酸化炭素(CO₂)吸収能力に期待が持たれています。森林では昼間大気から森林へ、逆に夜間は森林から大気に向かってCO₂は移動します。このCO₂の動きは森林の葉の光合成(CO₂の吸収)や呼吸(CO₂の排出)、幹・枝・根の呼吸、土壌の呼吸のバランスから成り立っています。一方多くの国々で森林内にタワーを建設し、森林と大気のCO₂の移動量を直接観測しています(微気象学的方法:EC法)。将来に渡る森林のCO₂の吸収量を予測するためには、光合成や呼吸といった個々の要素を積み上げながらCO₂の移動量を推定する方法(生物観測法:Bio法)と、微気象学的方法との相互検証が重要となります(図-1)。

突然の災害と偶然

森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林では、2000年からタワーによる微気象、及び光合成や呼吸の調査を行っています。ところが2004年9月の18号台風によって多くの樹木が倒壊してしまいました(写真-1)。しかしこの突然の災害で、微気象学的方法と、生物観測法の結果を、台風前後で比較検証できる偶然を得たのです。実験林は世界でも類を見ない自然を生かした壮大な研究室に变身したわけです。

台風の前後で変わったこと

台風によって攪乱された後にはササが繁茂し、6年経た現在も樹木実生の成長は僅かです。しかし森林全体で光合成によるCO₂の吸収量は変わりませんでした。それはササの葉が被害木の光合成減少分を補ったからです。一方CO₂の排出量を調べると、土壌呼吸量が増加し、さ

らに倒木が腐ってCO₂を排出していました。その値は倒壊前のCO₂排出量の1.3-1.6倍になります。

EC法とBio法の相互検証

台風前後でCO₂収支を見ると、台風前は森林全体の呼吸量(Re)が小さく、森林全体でCO₂を吸収していました(NEPがプラス)(図-2)。一方台風後はReが増加し、森林全体でCO₂が放出されています(NEPがマイナス)。この劇的な変化はEC法、Bio法の両手法で検出され、森林全体の炭素収支を正確に計算できることが解りました。

成果の利活用

これまでEC法、Bio法の両方を同時に、異なった林分構造で測定した研究はありません。両手法の整合性がとれたことで、Bio法を用いた森林生態系炭素収支モデルから、高い精度で将来予測が可能になり、EC法で予測値の修正ができるようになりました。この結果は地球温暖化予測研究への活用が期待されます。

本研究は、科研B一般「台風攪乱を受けた落葉広葉樹林の攪乱前後のタワーフラックスの変化とCO₂収支の解明」による成果です。

詳しくは、以下の報告を参照ください。
宇都木玄ら、北海道支部論文集(2010)58:83-86、(2009)57:69-71、(2008)56:47-49。

注脚:NEP・・・森林生態系全体に蓄積される炭素量で、光合成量から呼吸量(Re)を差し引いた値、Re・・・森林生態系全体の呼吸量

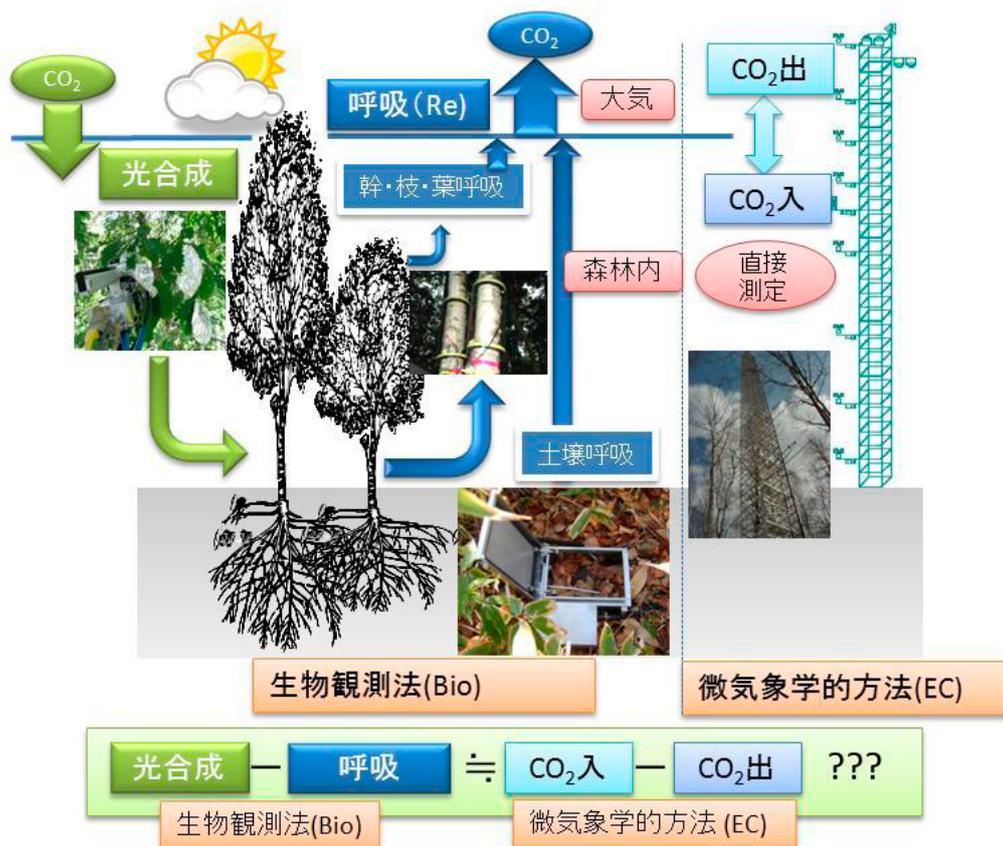


図1 微気象学的方法と生物観測法。前者は大気と森林内のCO₂の出入りを直接図りますが、生物観測法では、光合成や幹・枝・葉の呼吸といった要素を個別に測定してモデルを作ります。両者の結果は果たして一致するのでしょうか？



写真1 2004年の18号台風で倒壊した実験林。この突然の災害と偶然から、微気象学的方法と生物観測法の検証が世界で初めて可能となりました。

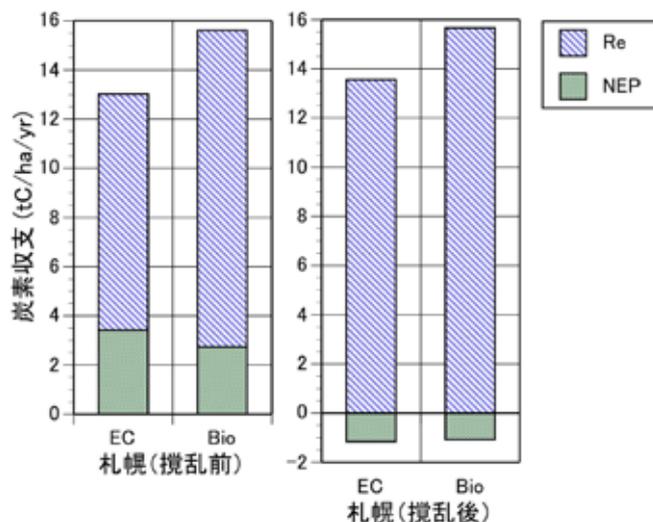


図2 微気象学的方法(EC)と生物観察法(Bio)から推定した森林—大気間のCO₂の移動(炭素収支)。単位はCO₂ではなく炭素(C)に変換してあります。NEPは、森林全体での炭素の収支(光合成量—呼吸量：プラスが森林内へ吸収、マイナスが放出)、Reは森林全体の炭素放出量(呼吸)を示します。攪乱前後で両手法の傾向が一致していることが解ります。

日本の森林土壌は欧米よりも地球温暖化緩和機能が高い

四国支所	森下智陽
九州支所	石塚成宏
北海道支所	阪田匡司
立地環境研究領域	三浦 覚、金子真司

森林生態系は、温室効果ガスである二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、亜酸化窒素 (N₂O) を、大気から吸収、あるいは大気へ放出しています。一般に、森林土壌が CH₄ を吸収して、N₂O を放出することがわかっていますが、日本の森林土壌では測定例が少なく、全体像が不明でした。そこで、わが国の代表的な森林土壌 31 ヶ所を選び、CH₄ 吸収量と N₂O 放出量を現地で測定しました。その結果、日本の森林土壌が欧米と比べて単位面積当たりの CH₄ 吸収 (分解) 量は 2 倍程度大きく、N₂O 放出量は半分以下であることを明らかにしました。このことから、日本の森林土壌は欧米に比べ、地球温暖化の緩和機能がより高いと考えられます。

森林土壌で CH₄ 吸収量、N₂O 放出量を測定する目的

CH₄ や N₂O は、CO₂ の放出について地球温暖化に影響をおよぼします。したがって、温室効果ガス放出量の削減を目指す上で、森林生態系の CH₄ 吸収量と N₂O 放出量を明らかにする必要があります。しかし、これまで日本の森林土壌では測定例は少なく、CH₄ 吸収量や N₂O 放出量の全体像が不明でした。そこで、本研究では、我が国の代表的な森林土壌を 32 ヶ所選び、CH₄ 吸収量と N₂O 放出量を現地で測定しました。(図1)

日本の森林土壌は CH₄ を吸収し、N₂O を放出する

CH₄ 吸収速度は、黒色土は他の土壌に比べて大きな吸収速度を示し (図2)、N₂O 放出速度はスギ林土壌で大きい特徴を示しました (図3)。日本の森林における土壌および植生の分布を考慮すると、我が国の森林土壌全体で1年間に1ヘクタール当たり、7.1kgのCH₄が吸収され、0.2kgのN₂Oが放出されていると推定されました(表1)。

欧米と比較して、CH₄ 吸収量は大きく、N₂O 放出量は小さい日本の森林土壌

日本の森林土壌は、欧米などの今までの報告と比べて、単位面積当たりのCH₄吸収量は約2倍大きい傾向にあり、N₂O放出量は半分以下という小さい傾向でした(表1)。これにより、日本の森林土壌は温室効果ガスの吸収能力

が高いことがわかりました。

吸収量は二酸化炭素換算で 186 万トン

本研究から得られた CH₄ 吸収量、亜酸化窒素放出量の推定値を、地球温暖化指数 (同等の温室効果をもつ CO₂ の量に変換する係数) で CO₂ 量に換算すると、CH₄ 吸収量は 373 万 CO₂ トン、N₂O 放出量は 187 万 CO₂ トンとなり、差し引きで 186 万 CO₂ トンの CO₂ 吸収量に匹敵します。

成果の利活用

CH₄ 吸収、N₂O 放出に関する研究は現在も継続中であり、今後、間伐や皆伐などがこれらの温室効果ガスの吸収や放出におよぼす影響を明らかにすることで、温室効果ガスの吸収量をより増やす森づくりに貢献します。

本研究は、農林水産省先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「森林・林業・木材産業分野における温暖化防止機能の計測・評価方法の開発」および農林水産省委託プロジェクト「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価と高度対策技術の開発」による成果です。

詳しくは、Morishita T et al. (2007) Soil Science and Plant Nutrition 53: 678-691 をご覧ください。

表1 森林土壌におけるCH₄吸収量およびN₂O放出量について欧米との比較

「欧米」の値は、過去に欧米を中心に発表された約30の文献から算出した値

	CH ₄ 吸収量	N ₂ O 放出量
	kg/ha/年	
本研究	7.1	0.2
欧米など	3.8	1.2

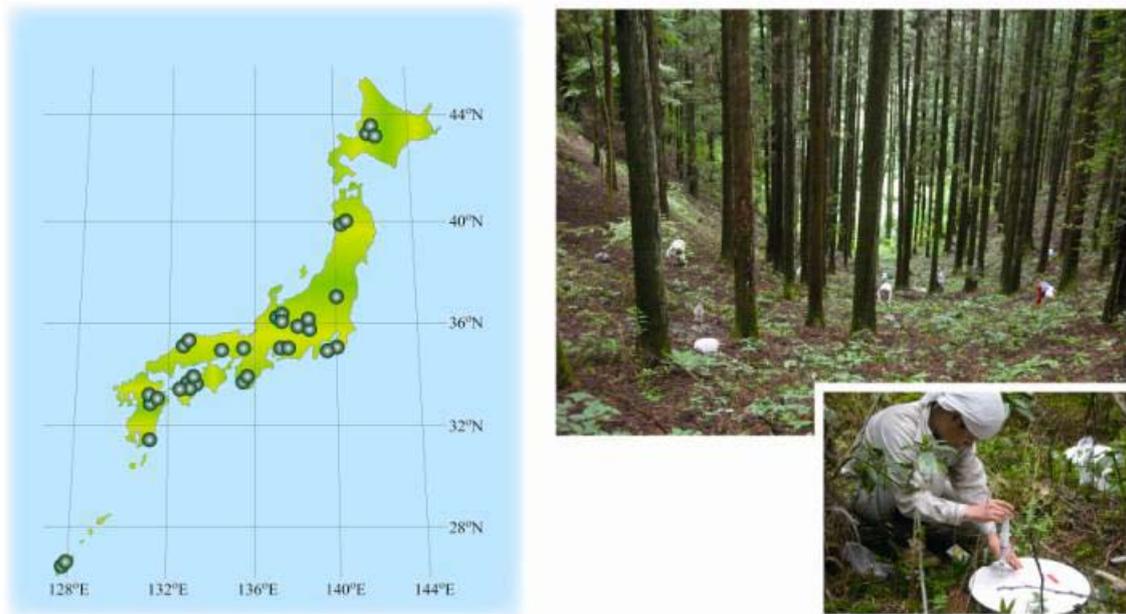


図1 観測地点および観測の様子。左側地図は、温室効果ガス吸収・放出量の観測地点。右側写真は観測地林内と温室効果ガス採取の様子。協力研究機関は、北海道、秋田、福島、富山、長野、愛知、愛媛、大分、沖縄県の各森林・林業研究機関、および北大、東大、神戸大、島根大、鹿児島大の各大学。

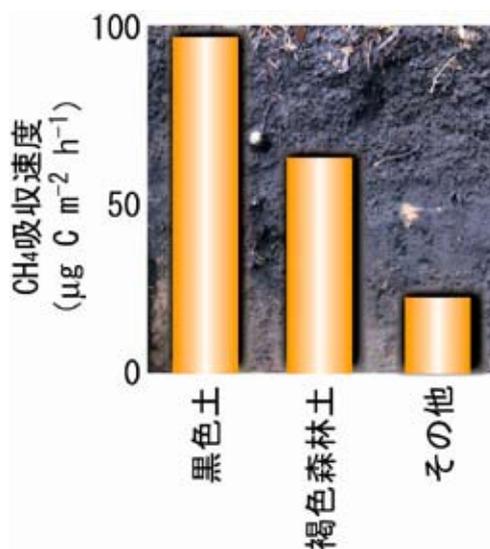


図2 日本の森林土壌におけるCH₄吸収速度。その他土壌は、グライ土、ポドゾル土、赤色土、赤黄色土。

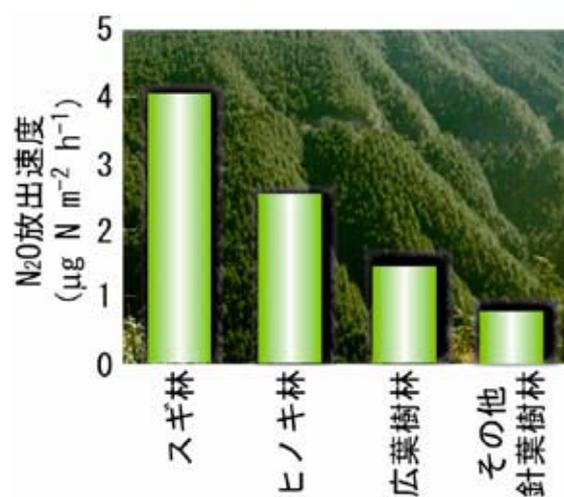


図3 日本の森林土壌におけるN₂O放出速度。その他針葉樹は、主にカラマツ、トドマツ、アカマツ。

シベリア永久凍土地帯のカラマツ林生態系における炭素収支の解明

植物生態研究領域
立地環境研究領域
気象環境研究領域
四国支所

梶本卓也
松浦陽次郎
中井裕一郎
森下智陽

亜寒帯林（タイガ）は、熱帯林について森林面積が大きく、地球規模の炭素循環に重要な役割をになうと考えられています。中央から東シベリアの永久凍土が連続分布する地域には、落葉針葉樹のカラマツが優占するタイガが広がっています。このカラマツのタイガについては、これまで辺境のため野外研究が十分行われておらず、森林が年間にどれくらい炭素を固定するのかよくわかっていませんでした。この研究では、ロシアの研究者らと共同で、さまざまな野外調査や観測を行い、地下部の根や土壌有機物が炭素の大きな貯蔵庫になっていることなど、その生態系の炭素収支に関する特徴を明らかにしました。

成果

シベリアでは、山火事後にカラマツが一斉に更新し、人工林のようにほぼ年齢のそろった森林が発達します(図1)。中央シベリアの調査地(ツラ)で、年齢のちがう林を選んで森林と土壌の炭素蓄積量や年間の炭素固定能(純生産)を測定、推定するとともに、約100年生の成熟林においてタワーフラックス観測から生態系の炭素収支を見積もりました。その結果、成熟した林でも、大気中のCO₂を毎年わずかながら吸収していること、そして長年かけて蓄積された炭素の多くは、根や土壌有機物として地下部に貯蔵されていることがわかりました(図2)。

成熟林の林床には、地衣やコケ、低木類などの下層植生が繁茂しています。こうした下層植生は、カラマツの成長や森林全体の炭素収支を左右する重要な役割をはたしています。そのひとつは、土壌の温度環境を制御するはたらきです。シベリアでは、永久凍土といっても夏には地面の表層が一部解けます。この毎年融解する土壌は活動層と呼ばれ、カラマツや他の植物は、そこに根を張って水分や養分を吸収することで生育できます(図3)。植物にとっていわば生命線とも言える活動層は、若い林で1m以上と深く、古い林になると30~70cmと浅くなります。こうした違いは、山火事でいったん焼失した下層植生がどの程度回復して林床を覆っているのか、その被覆程度を反映しています(図4)。つまり、古い林ほど下層植生で厚く覆われるため、その断熱効果も大きくなり、地温がより下がって凍土が深くまで融けなくなる

からです。また活動層が浅くなると、同時に土壌養分の吸収も困難になります。その結果、調査地では、更新後30~40年もすると、カラマツの成長は急激に衰えはじめ、森林の炭素固定能も著しく低下してしまいます。

このように、シベリア凍土地帯の森林の炭素収支には、下層植生による土壌の温度・養分環境の制御が密接にかかっています。

成果の利活用

シベリアでは、今後温暖化によって森林の炭素固定能は増大する一方、凍土の融解が進んで、土壌の侵食や森林の劣化を引き起こすなど悪い影響面も懸念されています。今回の研究成果は、こうした温暖化の影響を正確に予測する上で、貴重な科学的データとして活用することが期待できます。

本研究は、日本学術振興会二国間共同研究「中央シベリア凍土地帯カラマツ林生態系の種多様性と生産力に関する研究」(平成20~21年度)による成果です。

詳しくは、Matsuura Y. 他 (2005) *Phyton*, 45: 51-54. Kajimoto T. 他 (2006) *Forest Ecology and Management*, 222: 314-325. Nakai Y. 他 (2008) *Theoretical and Applied Climatology*, 93: 133-147. Osawa A. 他 編 (2010) *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests*. *Ecological Studies* Vol. 209, Springer. をご覧ください。

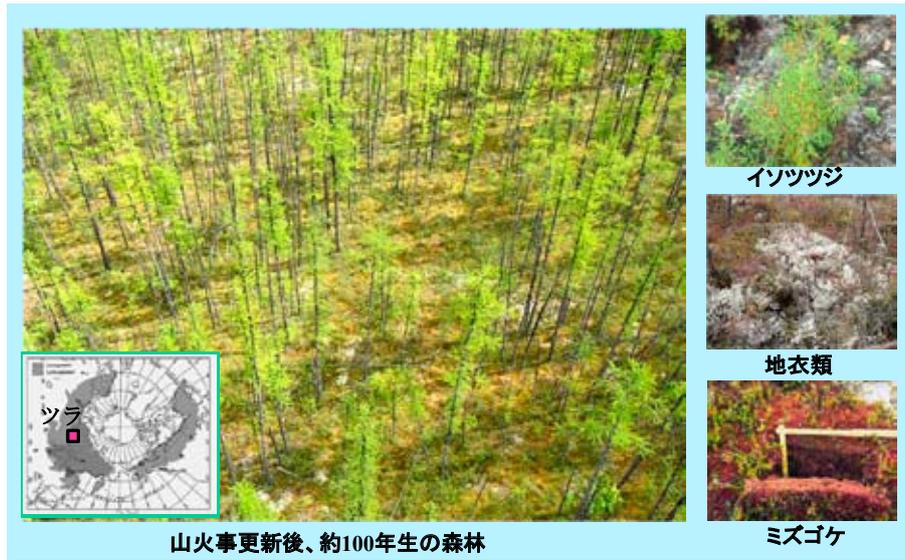


図1 中央シベリアのカラマツ成熟林と林床の下層植生

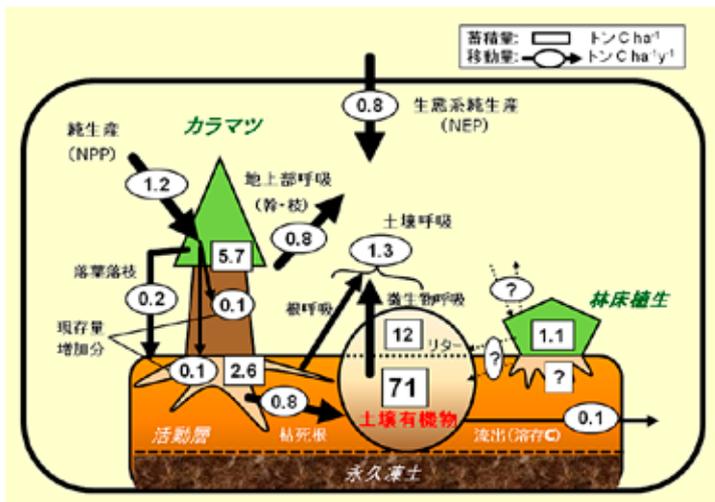


図2 カラマツ成熟林（約100年生）における炭素蓄積量と移動量



図3 (上) 活動層のようす (約100年生林)
(下) カラマツの根系 (約30年生林)

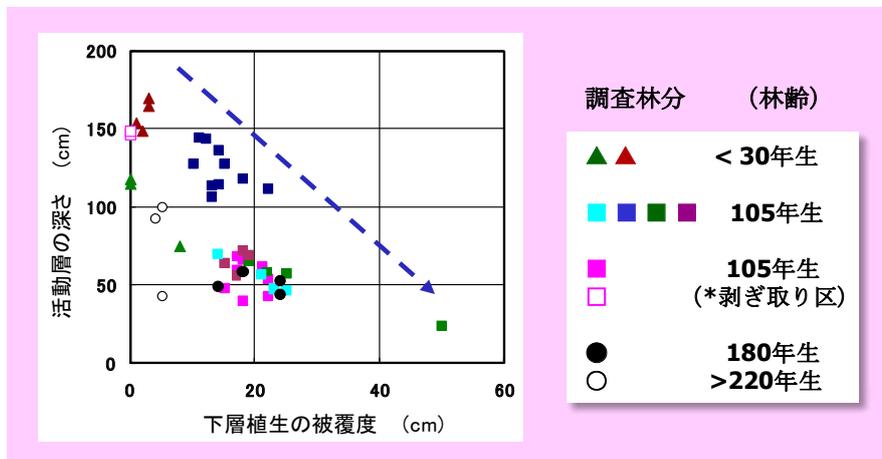


図4 下層植生の被覆度 (Ao 層の厚さ) と活動層の深さの関係

京都議定書に対応した国家森林資源データベースの開発と活用

研究コーディネータ	松本光朗
森林管理研究領域	栗屋善雄*、家原敏郎、細田和男
企画部	高橋正通
立地環境研究領域	橋本昌司、鶴川 信
木材特性研究領域	藤原 健
林業経営・政策研究領域	鹿又秀聡
四国支所	酒井寿夫
九州支所	石塚成宏
* 現岐阜大学	

京都議定書は先進国の削減目標を示し、日本は2008～2012年の第一約束期間において1990年を基準にして6%の排出削減を約束しました。その中で、1990年以降に森林経営活動がなされた森林など、条件付きで森林による吸収量を排出削減目標達成に利用できることとなりました。そのため、森林総合研究所では京都議定書に向けた森林吸収量の算定・報告手法の開発を行うとともに、それを実行するための国家森林資源データベースを開発しました。林野庁は、この手法とデータベースを活用し、2010年4月、京都議定書第一約束期間の初年度となる2008年度の森林吸収量について、1183万炭素トン（CO₂換算で4337万トン、1990年排出量に対し3.4%）と算定・報告しました。

森林吸収量の算定・報告手法の開発

京都議定書報告における森林吸収量算定・報告の要件を分析し、我が国の手法を以下のように開発しました。

- (1) 吸収量算定の全体構造として、森林簿などの行政情報を基礎とし、林分調査や画像情報などにより算入対象面積の特定や検証を行うという構造を取りました（図1）
- (2) 森林の数値的定義を、最低樹高5m、最低樹冠被覆率30%、最低面積0.3ha、最小幅を20mとしました。
- (3) 新規植林・再植林・森林減少については、国土全体のオルソフォト（地形等による歪みを補正した空中写真）や高解像度衛星画像の上で、500m間隔で土地利用を判読して把握しました。
- (4) 森林経営活動の定義を、「育成林については森林を適切な状態に保つために1990年以降に行われる森林施業。天然生林については、法令等に基づく伐採・転用規制等の保護・保全措置。」としました。つまり、1990年以降に更新、保育、間伐や主伐などの施業がなされた森林の吸収量が算入対象となります。
- (5) 森林全体の吸収量の算定手法として、2時点の炭素蓄積の変化量から炭素吸収量を推定する「蓄積変化法」を採用しました。また、拡大係数、地下部比、容積密度といった吸収量推定に必要な係数を求めました（表1）。これらの係数は、IPCCが管理する排出係数データベースに登録されました。
- (6) 枯死木、リター、土壌の炭素量変化については、CENTURY-jfosモデルを用いて算定しました（図2）。
- (7) 森林経営活動が行われた森林の吸収量は、全国的な抽

出調査により該当林分の比率を求め、総吸収量にその比率を乗じて推定しました。

国家森林資源データベースの開発

上記の手法を実行するシステムとして、国家森林資源データベース（以降、国家DB）を開発しました（図3）。国家DBは森林簿や森林計画図だけではなく、オルソフォトや衛星画像など多様な森林情報を持っています。

成果の利活用

林野庁は上記の手法と国家DBを利用して吸収量を算定し、2005年から3年間の試験運用を経て、2010年4月、第一約束期間の初年度にあたる2008年について、京都議定書に基づく森林吸収量を算定・報告しました（図4）。森林全体の吸収量は少しずつ減少していますが、目標達成に利用できる吸収量は徐々に高まっています。

現在、国家DBは吸収量算定だけでなく、森林吸収量の将来予測などにも活用されています。

本研究は、環境総合推進費「京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究」、および林野庁「森林吸収量報告・検証体制緊急整備対策事業」による成果です。

詳しくは、以下の報告をご覧ください。
松本光朗ほか、京都議定書報告のための国家森林資源データベースの開発、森林資源管理と数理モデル、6:141-163、2007。

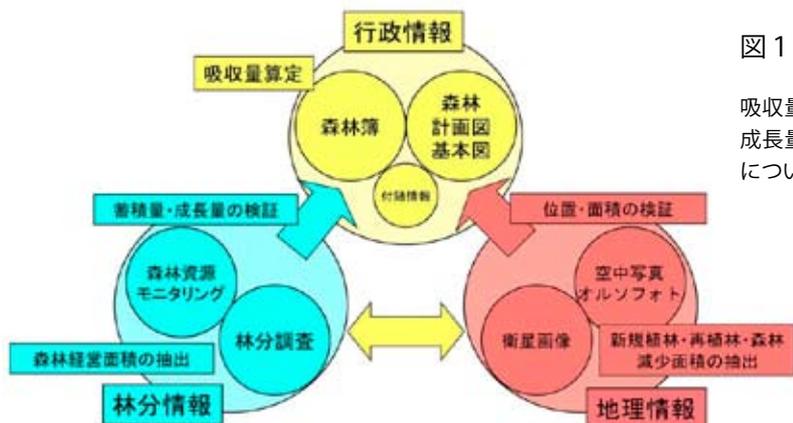


図1 森林吸収量の算定・報告の構造

吸収量算定に用いる行政情報のうち、蓄積量や成長量については林分情報により、位置や面積については地理情報により検証しています。

表1 森林による吸収量算定のための係数 (一部樹種を抜粋)

森林の炭素蓄積量は、幹材積量から以下の式で算出され、表に示した樹種ごとの係数が用いられます。
 炭素蓄積量 = 幹材積 × 容積密度 (D) × 拡大係数 (BEF) × (1 + 地下部率 (R)) × 炭素含有率 (CF)

樹種		拡大係数BEF		地下部率 R	容積密度 D	炭素含有率 CF
		20年生以下	21年生以上			
針葉樹	スギ	1.57	1.23	0.25	0.314	0.5
	ヒノキ	1.55	1.24	0.26	0.407	0.5
	アカマツ	1.63	1.23	0.26	0.451	0.5
	カラマツ	1.50	1.15	0.29	0.404	0.5
広葉樹	ブナ	1.58	1.32	0.26	0.573	0.5
	ナラ	1.40	1.26	0.26	0.624	0.5
	カエデ	1.33	1.18	0.26	0.519	0.5
	カシ	1.52	1.33	0.26	0.646	0.5

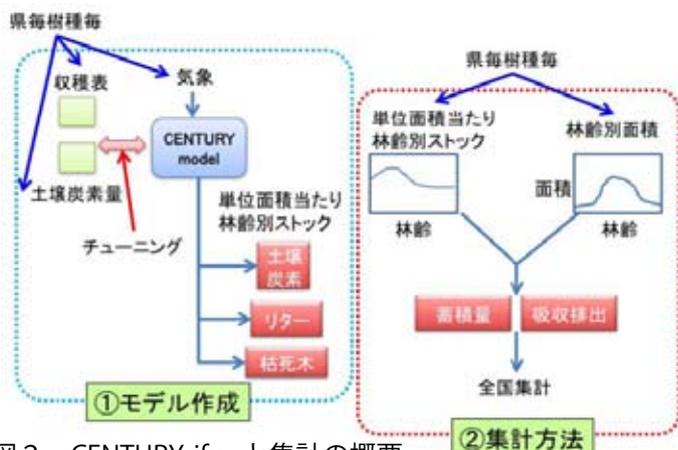


図2 CENTURY-jfos と集計の概要

CENTURY-jfos は、米国コロラド州立大学で開発された CENTURY モデルを、日本で適用できるように調整したものです。各県別樹種別の樹木の成長曲線、気候及び土壌炭素蓄積量を元に、モデルから推定される各ブールの林齢別炭素蓄積量と林齢別面積を用いて、枯死木、リター、土壌炭素における炭素吸収排出量を算定しました。



図3 国家森林資源データベース

森林簿、森林計画図などの行政情報、ランドサット TM や SPOT などの衛星画像など、様々なデータを統合しています。

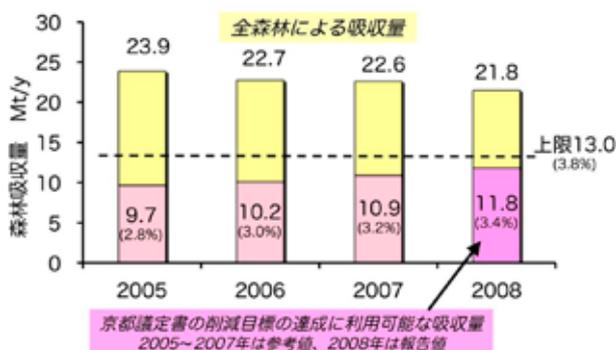


図4 森林吸収量の推移

全森林による吸収量は、戦後植栽された人工林の成熟にともない、少しずつ低下しています。その一方、間伐促進施策により森林施業が行われた森林が増え、目標達成に利用できる吸収量は増加しています。2008年は1183万炭素トンとなりました。

日本の竹林のバイオマス炭素蓄積量、吸収量の算定手法の開発

植物生態研究領域
 関西支所
 国際農林水産業研究センター
 (社) 日本森林技術協会

清野嘉之
 鳥居厚志、奥田史郎
 野田 巖
 金森匡彦

放置竹林の増加が問題になっています。この竹林に、炭素吸収・蓄積に関してどの程度のはたらきがあるのかよく分かっていません。理由の一つは竹の地下茎や根のデータが乏しく、バイオマスを推定する方法がないことにあるため、全国 21 地点の竹林で竹の地下部器官を掘り取り、竹の炭素蓄積量を推定する式や係数をつくりました。また、その成果を利用して、竹林のバイオマス炭素蓄積量・吸収量を求める手法を開発しました。これにより、全国の森林計画データを利用して、竹林増加が日本の森林の炭素蓄積のはたらきにどのような影響を及ぼしているか評価することができます。

森林がもつ炭素吸収・蓄積のはたらきが注目されています。放置竹林の増加が問題になっている竹林も森林の一つですが、炭素吸収・蓄積に関して、竹林にどの程度のはたらきがあるのかよく分かっていません。理由の一つは竹の地下茎や根のデータが乏しく、バイオマスを推定する方法がないことにあります。そこで福島県から鹿児島県まで 18 府県 21 地点で竹林の管理や地上部を調査し、竹の地下部器官を掘り取りました(図1)。その結果を利用して全国の竹林のバイオマス炭素蓄積量・吸収量を求める手法を開発しました。

成果

竹林の桿断面積合計とバイオマスの関係：竹林の胸高の桿断面積合計と地上部バイオマス、地下部バイオマスとの間にはそれぞれ相関関係がありました(図2左)。地下部の増加には頭打ちの傾向が見られます。全国で系統的に実施されている森林資源モニタリング調査の結果から、竹林の定義(平成18年度末森林資源現況調査*)を参考に、植被率(土地面積に対して植物が被覆している面積の割合)と優占樹種にもとづいて、竹林と見なされる163林分を選んだところ、モウソウチク、マダケ、ハチクの各竹林数の比率は約6:3:1で、日本の竹林はこの3種で代表できること、過半の竹林で樹木が混生していることが分かりました。竹林バイオマスの全国平均は $245.8 \pm 149.3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (平均値と標準偏差)で、細かく見ると、バイオマスは放置竹林が管理竹林より大きく、モウソウチク林がマダケ林やハチク林より大きい傾向がありました。

竹林のバイオマス炭素蓄積量・吸収量の算定：単位面積当たりの竹林バイオマスに、竹林の面積をかけ合わせ、さらに炭素含有率をかけることで、竹林のバイオマス炭素蓄積量を推定できます。また、竹林面積を繰り返し調べ、異なる時点の炭素蓄積量の差を求めることで、吸収量を推定できます。森林資源現況調査には都道府県別の竹林の面積が毎年示されるので、それを利用して都道府県ごとに竹林のバイオマス炭素蓄積量や吸収量を推定することができます。

成果の利活用

日本の竹林はモウソウチク、マダケ、ハチクの3種で代表できるという知見は、林野庁と都道府県が実施している森林資源モニタリング調査のマニュアル改訂に生かされました。また、竹林の管理やタケの種類によって竹林バイオマスが異なるという知見は、森林吸収量算定の精度向上に利用できます。竹林の炭素蓄積量・吸収量の推定手法は世界的に例がないので、成果の英文公表により海外での利活用が期待できます。

* 森林簿など、地域森林計画等の策定時の資料にもとづいて集計されています。

本研究は、林野庁「森林吸収源インベントリ情報整備事業」による成果です。

詳しくは、林野庁森林吸収源インベントリ情報整備事業 平成19年度報告書、20年度報告書をご覧ください。



図1 竹林（左上：放置竹林、右上：管理竹林）と地下部バイオマス調査（左下：根切りチェーンソー作業、右下：ブロックに切って土ごと回収する）

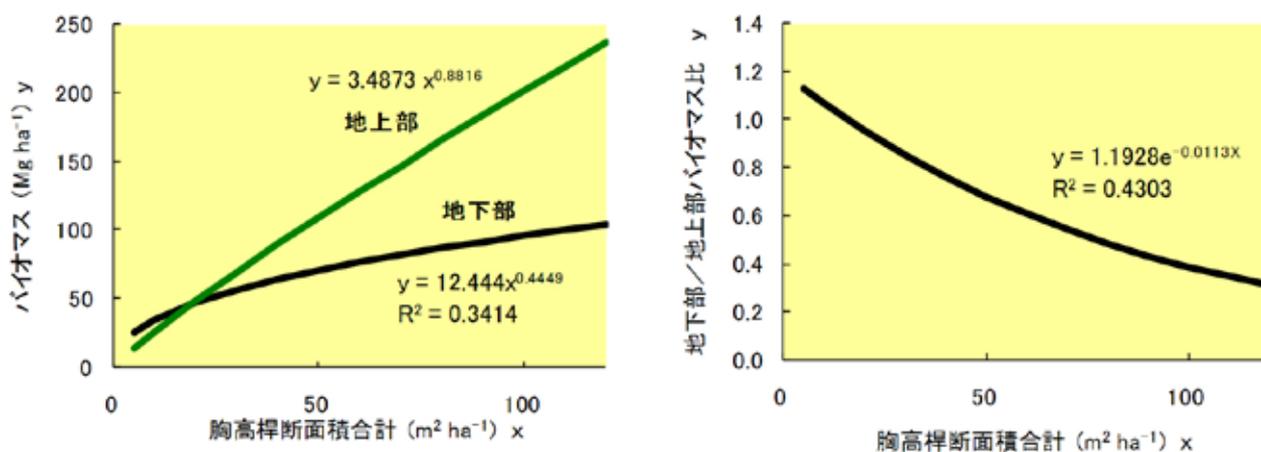


図2 竹林のバイオマス推定式と係数
竹林の胸高稈断面積合計と地上部（奥田ら 2007）、地下部バイオマスとの関係（左）、
地下部／地上部バイオマス比との関係（右）

2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する

四国支所
林業経営・政策研究領域
研究コーディネータ

光田 靖
鹿又秀聡
松本光朗

地球温暖化問題に関連して、森林の炭素吸収機能に期待が集まっています。そこで、日本全国のスギ林が吸収する炭素量を予測するモデルを作成し、2050年までの炭素吸収量を予測しました。林業が現在の傾向で続く場合、日本全国のスギ林に蓄積される炭素量は増加しますが、年間の炭素吸収量は小さくなっていくという結果となりました。現在に比べて林業が活発になると仮定した場合、年間の炭素吸収量は初めのうち小さくなるが、成長の良い若い林が増えることで次第に大きくなるという結果になりました。今回開発したモデルは林業振興が森林の炭素吸収量に与える影響を評価することができ、林業政策の決定に役立つ道具になると期待できます。

森林炭素循環モデルの開発

地球温暖化問題に対して有効な森林政策を策定するためには、森林の炭素吸収量を予測する方法が必要です。そこで森林の資源情報を集約した森林データベース、植生および土壌の生物活動に伴う炭素循環を予測する植生・土壌炭素循環モデル、伐採がどのような場所で、どれくらい発生するかを予測する林業モデルで構成される森林炭素循環モデルを開発しました(図1)。このモデルによって、将来の気候変動や林業活動の影響を反映しながら、森林の炭素蓄積量がどのように変化していくのかを予測することができるようになりました。

森林炭素循環モデルを使ったシミュレーション

森林炭素循環モデルを用いて2005年から2050年まで、日本全国のスギ林を対象として炭素蓄積量の変化を予測しました。気候の将来予測値として1km解像度のMIROC3.2 hi*を利用しました。林業活動については現状の傾向が継続すると仮定して予測を行いました。その結果、日本のスギ林において総炭素蓄積量は増加を続けるものの、年間の吸収量は次第に小さくなるという結果となりました(図2)。

現状を延長した成り行きシナリオに加えて、伐採量を2倍から5倍とし、さらに再造林率を上げたシナリオを設定して同様にシミュレーションを行いました。成り行きシナリオと比較すると、伐採量が多くなるほど炭素蓄積量は低くなるという結果になりました。年間の炭素吸収量は成り行きシナリオでは低くなる一方であったのに対し、伐採量を増やしたシナリオで終盤に回復する傾向にありました(図3)。このことは長期的な視点からは、伐採と再造林による人工林の更新が炭素吸収量の維持に重要であることを示唆しています。

よりよい林業政策を策定するために

本研究で開発したモデルによって、林業を活性化することが森林に蓄積される総炭素量および炭素吸収量にどのような影響を与えるのかを評価できました。このような仕組みは新たな政策を立案する際に役立つものと期待できます。

本研究では簡単なシナリオ比較を試行しましたが、今後は精密なシナリオ比較をする必要があります。また、森林に蓄積された炭素だけでなく、木材製品として蓄積された炭素、木材利用の代替効果**を評価する必要もあります。そのために森林炭素循環モデルの信頼性を向上させるよう研究を進めていきます。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「農林水産業における温暖化対策技術の高度化に関する研究」による成果です。

詳しくは、「吸収源としての森林の役割」松本光朗・光田靖、森林総合研究所公開講演会要旨集(2009.10)をご覧ください。

* 東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センター開発の高分解能大気海洋結合モデルの出力値を農業環境技術研究所が内挿したもの。

** 木材をエネルギーとして利用することで化石燃料を使わずにすむというエネルギー代替効果と、他の原料を木材で置き換えることで製品を作るときの総エネルギー消費を抑えて炭素放出量を減らせるという物質代替効果があります。

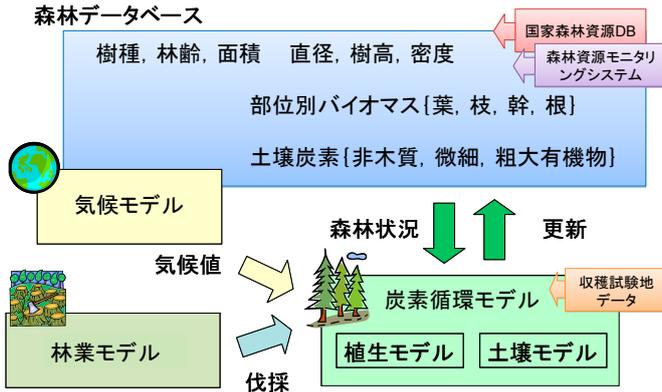


図1 森林炭素循環モデルの全体構造

森林データベースは林野庁と森林総合研究所が共同開発した国家森林資源データベースおよび森林資源モニタリングシステムを元に作成されました。また、炭素循環モデルは国有林と森林総合研究所が長期間測定を継続している収穫試験地のデータを元に開発されました。

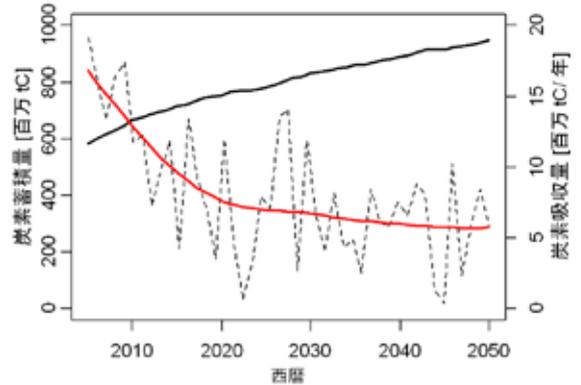


図2-1 日本全国のスギ林を対象としたシミュレーション結果

幹、枝および葉の炭素蓄積量を対象とし、黒実線は総蓄積量（左軸、単位は百万炭素トン）、黒点線は年間変動量（右軸、単位は百万炭素トン/年）、赤実線は年間変動量を平滑化したものを示します。

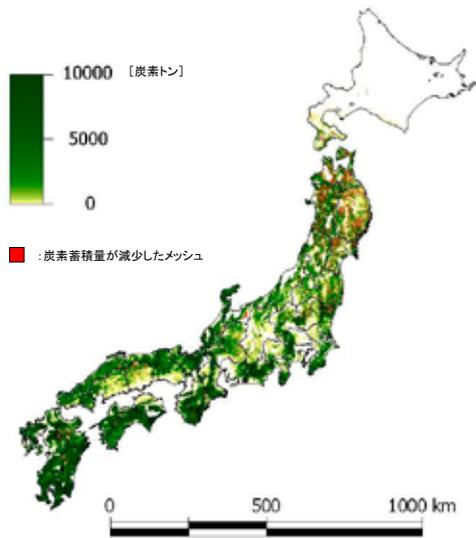


図2-2 日本全国のスギ林を対象としたシミュレーション結果

各メッシュにおける2005年から2050年への炭素蓄積増加量（単位は炭素トン）の空間分布を図化しています。炭素蓄積量が減少したメッシュは赤色で表示しています。なお、スギ林が少ない沖縄県本島は作図の都合上、省略しました。

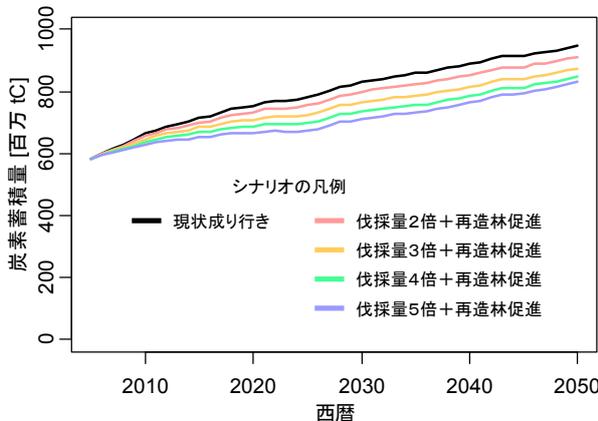


図3-1 林業シナリオに基づくシミュレーション結果の比較

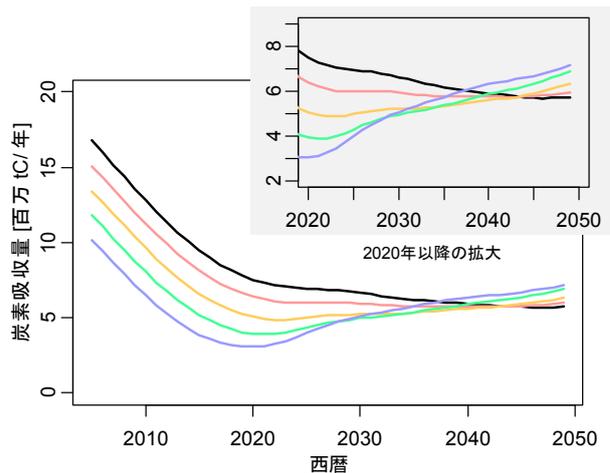


図3-2 林業シナリオに基づくシミュレーション結果の比較

気候温暖化の日本の自然林への影響予測 —白神山地世界遺産地域のブナ林と針葉樹 11 種について—

植物生態研究領域	田中信行、中園悦子、津山幾太郎 堀川真弘（現所属 トヨタ自動車バイオ緑化研究所）
北海道支所	松井哲哉
東北支所	八木橋勉

日本の自然林の主要樹種であるブナや針葉樹 11 種について、現在の分布を気候要因と関係づける統計モデルを作成し、モデルに気候変化シナリオを組み込んで将来の生育域を予測しました。日本全国のブナ林への温暖化の影響予測で、白神山地世界遺産地域のブナ林も大きな影響を受けることが示されました。2081～2100年の気候変化シナリオでは、世界遺産地域の大部分がブナ林に適さない暖か過ぎる環境となると予測されます。異なる気候帯に分布する針葉樹 11 種について行った影響予測では、生育に適する地域が大きく縮小するハイマツ、オオシラビソ、シラビソ、コメツガ、ウラジロモミ、トガサワラの 6 種は、温暖化に対して脆弱であると考えられます。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によると、今世紀末には地球の温度は 1.8～4.0℃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。自然林の構成樹種は現在の気候に対応して分布していると考えられますが、温暖化によって自然林の存続が危惧される樹種や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、日本の自然林の主要樹種であるブナや針葉樹 11 種について、現在の分布を気候要因と関係づける統計モデルを作成し、そのモデルに気候変化シナリオを組み込んで将来の生育域を予測しました。

白神山地世界遺産地域ブナ林への影響予測

日本全国を対象とした温暖化のブナ林への影響予測研究で、白神山地のブナ林も大きな影響を受けることが示されました。白神山地では現在、ブナは標高 140m から 1,120m までの広い範囲に分布しています (写真)。このブナに適する気候条件の場所 (適域) は現在、世界遺産地域の 95% を占めています (図 1a、適域が赤色)。しかし、温暖化が進行すると、適域は高標高域に移動し、大きく減少することが予測されます。例えば 2081～2100 年には RCM20 シナリオ (2.8℃上昇) で 0.6%、MIROC シナリオ (4.4℃上昇) で 0.0% に減少すると予測されました (図 1c)。両シナリオとも 2081～2100 年には、世界遺産地域の大部分がブナ林に適さない暖か過ぎる環境となります。もちろん 100 年後に白神山地のブナ林がすべて消滅というわけではありません。ブナの寿命は 200～400 年ありますし、大きく育ったブナは気温上昇に耐えることができます。しかし、温暖化すれば樹木の世代交代を通して徐々にブナが減少し、ミズナラ、コナラ、クリなどが生育する森林へと変化する可能性があります。

針葉樹種 11 種への影響予測

異なる気候帯に分布する針葉樹 11 種について、温暖化の生育域への影響予測を行いました (図 2)。樹木の移動速度は遅いので、100 年程度では気候が変化しても樹種の分布はほとんど移動しないと仮定すると、温暖化後の樹種毎の適域の面積は、本州以北で高山帯性ハイマツが 15～25% に、北海道でトドマツが 18～52% に、本州以南では亜寒帯性のオオシラビソ・シラビソ・コメツガが 0～18% に、冷温帯性のウラジロモミが 2～18% に、中間温帯性のモミ・ツガが 9～68% に減少することが予測されました。一方、暖温帯・亜熱帯性のイヌマキ・ナギの適域は 86～100% が残存し、中間温帯稀少種トガサワラは 0～1% にまで減少すると予測されました。11 種のうち適域が大きく縮小するハイマツ、オオシラビソ、シラビソ、コメツガ、ウラジロモミ、トガサワラの 6 種は、温暖化に対して脆弱であると考えられます。

本研究は、環境省地球環境総合推進費 S-4 「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合評価に関する研究」の成果です。詳しくは、次の論文をご覧ください。

松井哲哉・田中信行・八木橋勉 (2007) 世界遺産白神山地ブナ林の気候温暖化に伴う分布適域の変化予測日本森林学会誌, 89, 7-13

田中信行・中園悦子・津山幾太郎・松井哲哉 (2009) 温暖化の日本産針葉樹 10 種の潜在生育域への影響の予測. 地球環境, 14(2), 153-164.

Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Matsui, Y. Kominami and N. Tanaka (2009) Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*). Landscape Ecology, 24: 115-128.



写真 白神山地のブナ林

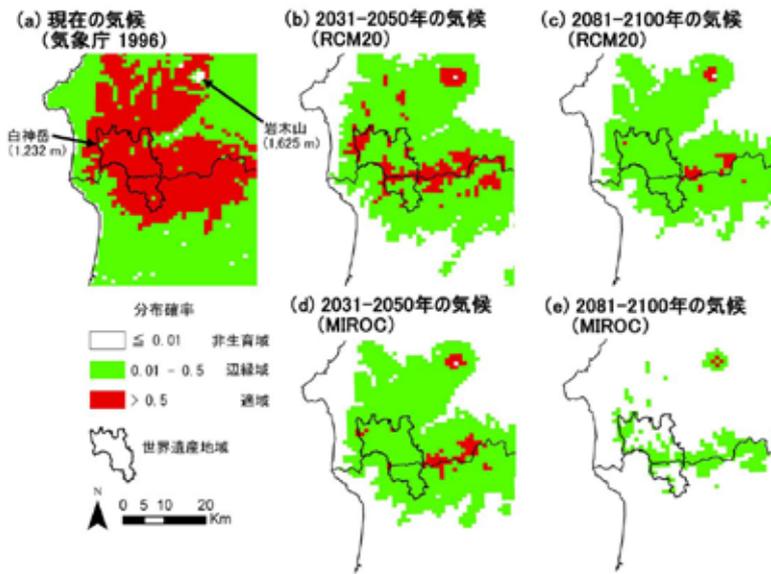


図1 白神山地世界遺産地域とその周辺におけるブナ林の生育域の変化予測

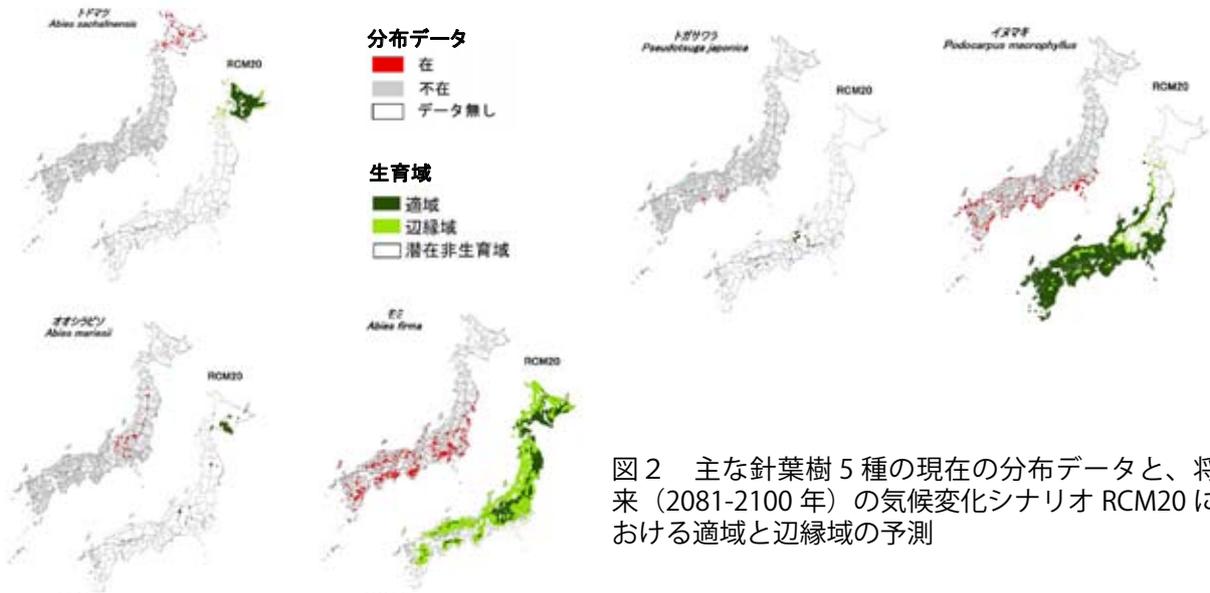


図2 主な針葉樹5種の現在の分布データと、将来(2081-2100年)の気候変化シナリオ RCM20における適域と辺縁域の予測

森林の炭素固定に及ぼす気候変化と森林施業の複合影響 — シミュレーションモデルの開発 —

温暖化対応推進拠点
植物生態研究領域
立地環境研究領域
森林管理研究領域
関西支所

千葉幸弘
韓慶民・川崎達郎
金子真司
家原敏郎・細田和男・西園朋広
田中邦宏・溝口岳男

森林による炭素固定量を知るためには、気象条件のほかに間伐など森林施業の影響も考慮する必要があります。本研究では、スギとヒノキの人工林における炭素固定量に対する環境変化と森林施業の効果を区別して評価するため、森林の構造や成長のモデルに加えて、光合成などの生理的な環境応答を組み込んだ森林の炭素固定に関する評価モデルの開発を進めてきました。そして、森林が置かれている気象要因、土地条件、森林管理の仕方などの様々な要因を考慮して、成長調査データから、炭素固定量の変動を予測する手法を開発しました。

森林の成長に及ぼす間伐の効果

スギやヒノキなどの人工林の成長は、植栽する本数密度や間伐の仕方によって違ってきます。様々な森林施業を実施した人工林の成長量と間伐収穫量を分析したところ、間伐がほとんど行われていない人工林で得られる収穫量(炭素固定量)は若い林齢の時にはやや多いのですが、高齢林になると適切な間伐をした人工林のほうが多くなることがわかりました(図1)。こうした分析から、人工林で炭素固定を促進させるためには、若いうちに伐採・収穫して再植林繰り返す短伐期施業が有利であること、収穫時期を遅くするのであれば弱度の間伐を頻繁に繰り返すことが有利と考えられます。人工林の炭素固定量と間伐施業との因果関係を明らかにするために、人工林の成長モデルを使って様々な間伐の効果調べたところ、上述したような実測データと同じような結果が再現されることが確かめられました。

気象条件が森林の炭素固定に及ぼす影響の予測

森林の成長に影響するのは間伐の仕方だけではなく、土地条件や気象条件によっても当然違ってきます。地球温暖化のような環境変動の影響を明らかにするためには、森林における光合成や呼吸などの生理的な応答機構のシミュレーションが不可欠です。そこで、人工林を対象として、若齢林から高齢林に至る葉・枝・幹の重量や森林の構造をモデル化して、様々な人工林の光合成や呼吸を推定するためのシミュレーションモデルを開発しました。このモデルを使うことによって、気温や湿度の変化が森林の光合成に及ぼす影響などを分析することが

できます(図2)。2~3℃くらいの温暖化であれば、森林の光合成量は増加しますが、それ以上の気温上昇は逆に光合成を低下させることがわかります。また温暖化すると大気中の湿度は低下して乾燥化しますが、この場合にも光合成は低下します。森林の炭素固定量に対する気候変化の影響は、森林の成長段階や間伐の仕方によっても変わることがわかってきました。

様々な森林による炭素固定能の変動予測シミュレーションに向けて

私たちの研究で開発したシミュレーションモデルは、間伐の仕方と気象条件が人工林の炭素固定量に及ぼす複合的な影響を分析することができます。今後さらに、人工林だけではなく、様々な森林の炭素固定量に対する間伐施業や環境変動による複合的な影響を分析する方法を確立する必要があります。そして森林の長期成長調査結果との比較検証を進めながら森林による炭素固定能の推定精度を向上させ、気候変動による影響を考慮した森林の持続的な管理に向けた研究を進化させていきます。

本研究は環境省地球環境研究推進費「環境変動と森林施業に伴う針葉樹人工林のCO₂吸収量の変動評価に関する研究」による成果です。

詳しくは、千葉幸弘ら(2008)地球温暖化に伴う森林群落動態モデルの開発、農林水産省農林水産技術会議事務局:55-58、西園朋広(2010)森林総合研究所 東北支所研究情報 Vol.9 No.3 をご覧下さい。

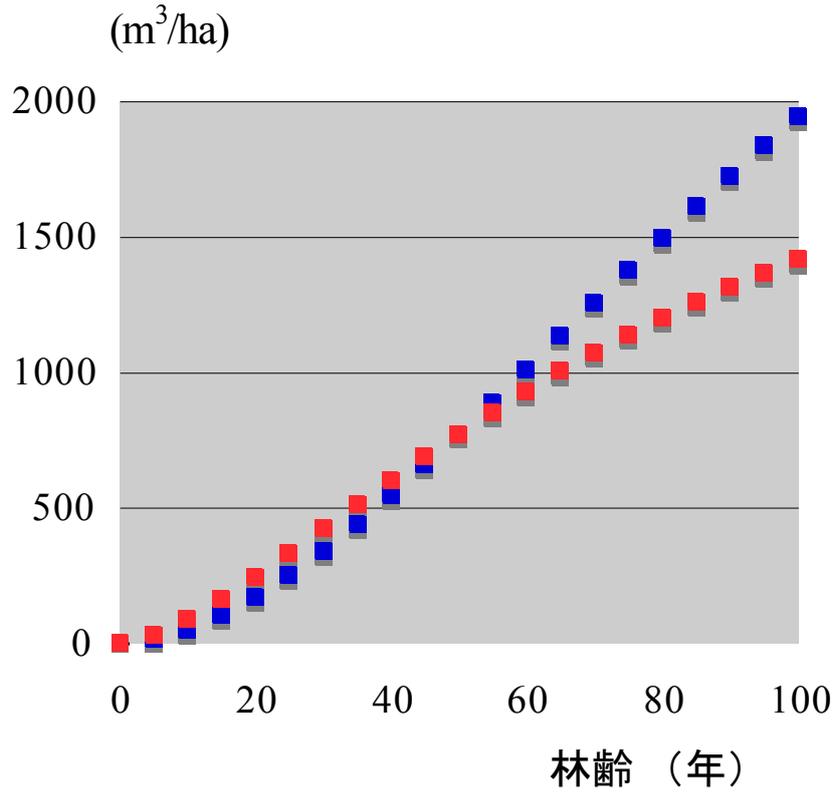


図1 間伐のやり方によって得られる最終的な木材収穫量の違い
 ■：無間伐に近い人工林で得られる収穫量
 ■：適度な間伐をした人工林で得られる収穫量

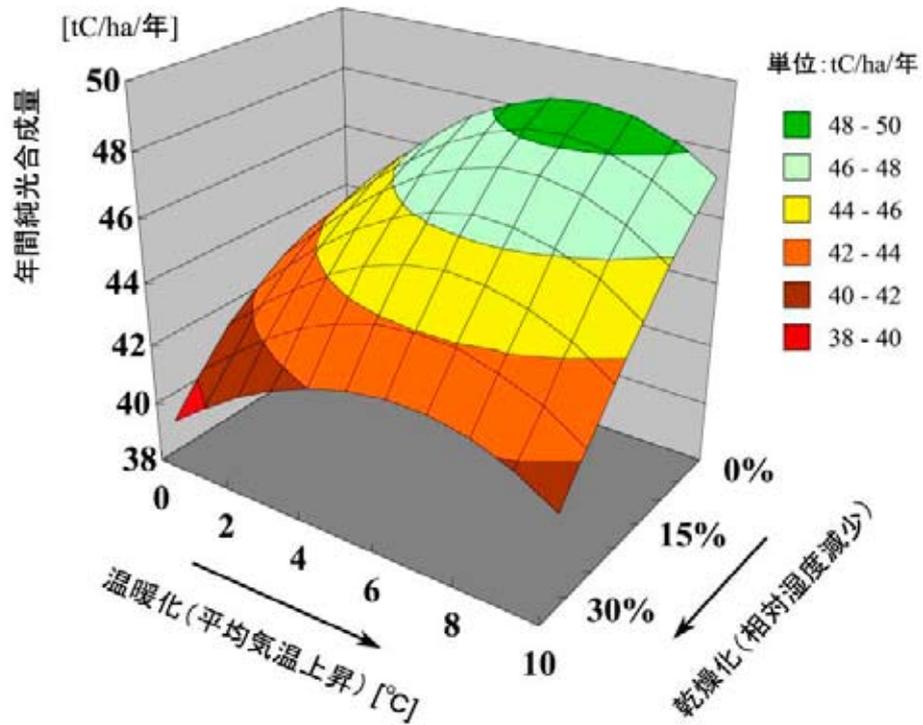


図2 温暖化や乾燥化に伴って変化する光合成生産量のシミュレーション (試算)

荒漠地に森林を再生する

四国支所
北海道支所

田内裕之
宇都木玄

地球上には、人間が利用していない荒漠地が陸地面積の30%以上あります。その多くは元々森林でしたが、過剰な農耕や放牧などによって、植生が極めて貧弱な荒漠地へと変化しています（砂漠化現象）。私たちは、オーストラリア内陸部に広く存在するハードパン型荒漠地において、(1) 植林に有望な樹種を選定し、(2) 低コストかつ持続的な植林・育林技術の開発を行い、この技術によって(3) 植林が可能な面積やバイオマス生産量の推定を行いました。その結果、この技術を地球上の同じ荒漠地タイプの土地に導入する事で、現在の12倍の炭素固定（単位面積あたり）が可能となり、年間7.7億トンのバイオマス資源生産が出来ることを明らかにしました。

最適樹種の選抜

雨量が少ない場所では荒廃（沙漠化）によって土壌の表面に塩が集積します。特に、熱帯・亜熱帯地域では表層に堅い不透水層が存在するハードパン型荒漠地が広がります。そこに、耐乾燥性や耐塩性等を持ちながらも成長が見込める樹木を植林できれば、緑化だけでなく、二酸化炭素の吸収源となり、資源としても利用できます。そこで、耐乾性の強い樹種の中で、水の塩濃度に対する耐性と成長量との関係を調べました。一般に両者の間には反比例の関係があるのですが、ユーカリの一種である *Eucalyptus camaldurensis* は高い塩濃度でも死なずに成長が旺盛である事が分かりました。

また、このユーカリは、8年間の植栽試験中、その間生じた大干ばつの年も枯死することなく、高い成長量を保ちました。さらに、伐採後には萌芽で再生できるため、この樹種が現地植栽に最も適することが解りました。

植林および育林方法

ハードパン型土壌は、植生の劣化などに伴って表土が流亡し、堅い不透水層が地面の表面近くに露出してきたものと言われています。そのため、稚樹の活着や成長を助けるためには、植栽穴を爆破して作る等ハードパンの破壊（物理性の改良）が重要となります。一方、活着して稚樹が成長をはじめると、光や水分条件を考えると日本の植栽密度よりも1/10近く少ない200本/ha程度で十分な林分成長を示すことが明らかになりました。

生産コストと生産量

オーストラリアでは年降水量が500mmを超える地域

では、紙チップ用の産業植林が行われています。この生産コストは2,200円/ton（乾重）となっています。荒漠地（雨量200mm）の植林地では、未だ小規模な実験レベルということもあり24,900円/tonもコストがかかっていますが、萌芽によって再生産すると12,300円/tonまで削減可能で、事業ベースでは更に50%以上のコスト削減を目指しています。

この技術が導入されると、乾燥地においても年間2.5ton-C/ha程度の炭素固定が可能であることが分かりました。ハードパン型土壌は、世界に192百万ha存在し、植林によって新たに吸収・固定される炭素の量のポテンシャルは莫大なものになります。またバイオマス資源としても年間7.7億ton（乾重）が利用可能で、これは日本の木質バイオマス供給可能量0.5億tonの15倍以上に達します。

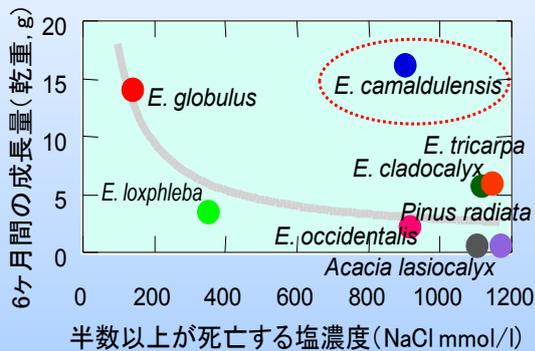
なお、連携している西オーストラリア州政府と共にこの技術の普及にあたっており、荒漠化してしまった場所に、土地所有者である農民自らが植林を行うなど、技術定着および植林面積が広がっています。

本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の研究プロジェクト「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」による成果の一部です。

参考資料

沙漠の事典、日本沙漠学会編、丸善株式会社、256頁、2009

(1) 樹種の選択



ユーカリ(*E. camaldulensis*)は高い塩濃度でも枯れず、成長量は大きかった。



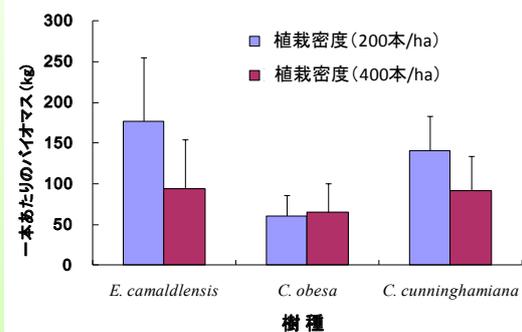
伐採後の株から旺盛な萌芽をするユーカリ(上)。萌芽後4年目(右)。

ユーカリは成長が早く、萌芽再生も旺盛で、育林コストを低減できます。

(2) 植林・育林技術



爆砕によって土壌の物理性を改善して低密度で植栽したハードパン型乾燥地。



有望な3樹種の植栽実験でもユーカリ(左側)の成長が良く、低い植栽密度で高いバイオマス生産が可能です。

(3) コストと生産量

オーストラリアにおけるユーカリ植林の生産コスト			
	産業植林	荒漠地	荒漠地(萌芽)
伐採周期(年)	10	10	10
収穫量(ton/ha)	150	41	20
生産コスト(円/ton)	2,200	24,900	12,300

産業造林とは、年降雨量600mmの場所での紙チップ用植林。荒漠地とは、降雨量200mmの乾燥地での植林。荒漠地(萌芽)とは、その場所で萌芽による再生産育林をした場合。

世界のハードパン型荒漠地の面積と植林効果

面積	192	百万ha
炭素固定量		
現在の植生	0.2	ton-C/ha/yr
植林	2.5	ton-C/ha/yr
バイオマス供給可能量		
	4.0	ton/ha/yr
全球で	7.7	億ton/yr

この研究で開発した技術の世界へと展開すると、緑が回復した面積が増え、さらにバイオマス資源を生産し、利用することが出来るようになります。

植林で熱帯林の生物は回復するのか？

森林昆虫研究領域	松本和馬
北海道支所	上田明良
北海道支所	高橋正義
野生動物研究領域	岡 輝樹
野生動物研究領域	川上和人
森林植生研究領域	五十嵐哲也
九州支所	安田雅俊
元研究コーディネーター	福山研二

CDMは先進国が途上国で二酸化炭素排出量を減らす事業です。削減量は先進国の削減にカウントされ、植林により二酸化炭素吸収量を増やす事業もこれに含まれます。しかし、CDM事業は環境影響も考慮しなければならないとされており、熱帯で人工林を作ることは生物多様性の保全上問題があるとの指摘もあります。そこで、CDM植林を想定し、インドネシアの東カリマンタンで、アカシアの植林地の生物の回復状況を調べました。その結果、荒廃地への植林は生物多様性を高める効果をもたらすことがわかりました。また火災を免れた天然林には人工林を上回る豊かな生物が見られ、植林による生物多様性の回復には限界があることもわかりました。

植林によって森林生物はかなり回復する

東カリマンタンでは大きな森林火災が繰返されたため森林が著しく荒廃していますが、荒廃の程度は一様ではなく、草原化してしまったところ(写真1)、木は残っているが荒廃した林になっているところ(写真2)、火災を免れて残っている天然林(写真3)などが見られ、人工林(写真4)は一度草原化したところに森林を回復する目的で植えられます。調査の結果、昆虫や鳥は人工林ができることにより種数が増え、多様性も高まることがわかりました(図1、2)。荒廃草原に対する植林は言われているように生物多様性を損なうものではなく、CDM植林は生物多様性を高めるプラスの効果をもたらすと考えられます。

人工林と天然林の生物相の違い

しかし、このように生物多様性はある程度回復するものの、天然林のレベルに達することはなく、また質的にも天然林と人工林の生物相はかなり異なることもわかりました。人工林に回復する昆虫類を調べてみると、その多くは広域分布種や生息環境の幅の広い種であり、天然林の奥深くに住むボルネオ島の固有種はなかなか回復しないこともわかりました(図2)。移動力の強い鳥でも天然林と人工林では種構成が異なる上、天然林の鳥の方が定住性が高いこともわかりました。人工林にはアカシアのように早く生長する樹種が選ばれるため、速やかに林冠が鬱閉しますが、その結果林床には種子分散力の乏しい天然林の植物の移入はほとんど見られません(図3)。このことも天然林の昆虫の回復を遅らせているようです。

二次林の回復と人工林の適正配置で多様性回復を！

人工林に回復しにくい天然林の生物を回復するには、人工林を作るだけでなく火災で荒廃した二次林をうまく回復させて行くことが大切だと考えられます。鳥や哺乳動物は人工林を移動経路やかくれ場所として利用することがわかりました。各地に点在する荒廃二次林の鳥は林の面積によって種数が変わること、植物や昆虫の種数は樹木の生育状況だけで決まるのではなく、天然林からの距離が離れると減少することもわかりました(図4)。今後、人工林の適正配置を図ることと荒廃二次林の回復を促進することが、これまでの人為により生物多様性が低下した地域の多様性回復に繋がると考えられます。

本研究は環境省地球環境研究推進費「CDM植林が生物多様性に与える影響評価と予測技術の開発」による成果です。

詳しい情報

福山研二(2009) CDM植林事業が熱帯林の生物多様性にどのような影響を与えるか 一環境省, 地球環境保全試験研究比によるプロジェクトを終えてー 海外の森林と林業(75): 8-13.

Fukuyama K. and Oka T. (2010) Proceedings of international seminar on CDM plantation and biodiversity –Results of a collaborative research in East Kalimantan-, 24 February 2009 in FFPRI Tsukuba.



写真1 荒廃草原



写真2 火事で荒廃した二次林



写真3 山火事を経験していない天然林



写真4 アカシアの人工林

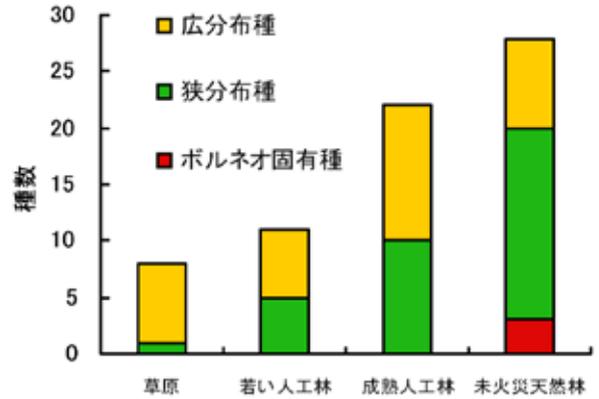


図2 草原、人工林、天然林のチョウの種数および地理的分布に基づく種構成の比較

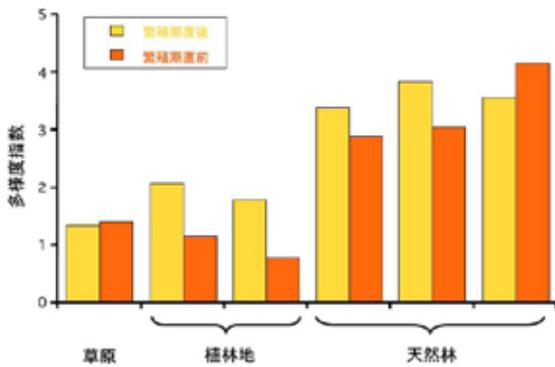


図1 草原、人工林、天然林の鳥の多様度指数 (シャノン-ウィナーのH'; 大きい値ほど多様度が高い) の比較

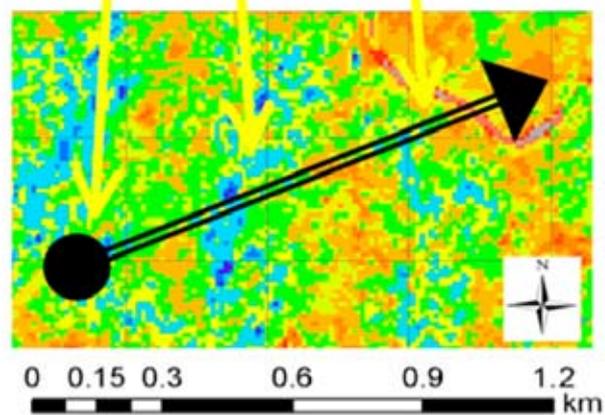
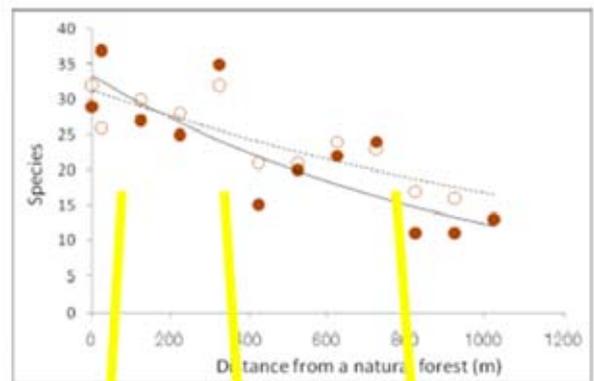


図4 天然林からの距離に沿った寄生バチの種数の変化と衛星画像から解析した森林の状況 (青いところほど良好な森林) の対応

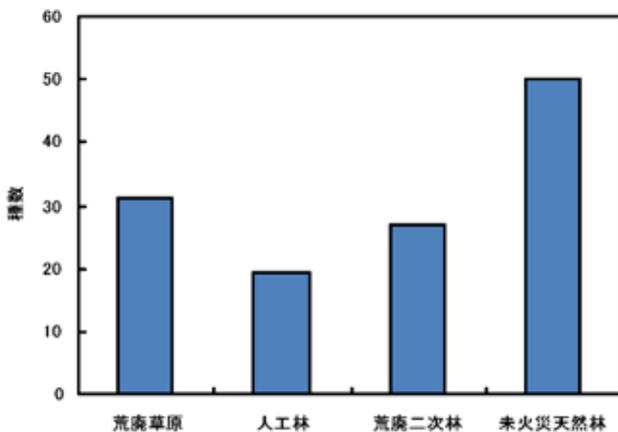


図3 草原、人工林、火災による荒廃林、火災を経していない天然林の植物の種数 (16 m²あたり) の比較

DNAと安定同位とを分析することで木材の樹種や産地を知る

関西支所	藤井智之、
木材特性研究領域	藤原 健、安部 久、香川 聡
生物学研究領域	吉田和正
森林遺伝研究領域	吉丸 博、津村義彦
バイオマス化学研究領域	加藤 厚

違法伐採とそれによって生産された木材の市場での流通は、持続可能な森林経営によって生産される木材を圧迫し、地球規模での森林破壊につながる深刻な環境問題となっています。特に東南アジアや極東ロシアといった森林資源の重要性が高い地域において、違法な行為が多く行われています。それらを阻止するために、特に木材を輸入し、利用する側においては木材の樹種や産地を正確に特定するシステムの構築が望まれています。本研究では、東南アジアから日本に最も多く輸入されている木材であるレッドメリヤンティ（フタバガキ科 Shorea 属 Rubroshorea 節）の樹種とロシア材の産地を正確に特定するために、DNA分析と安定同位体分析の手法を開発しました。これらの成果は木材の合法性の検証に役立ちます。

DNA分析

これまでDNA分析とデータベースの整備でレッドメリヤンティ材の樹種が分かるようになってきましたが、従来の方法では、DNAと同時に溶け出す木材の成分が遺伝子の検出を妨害し、DNA分析ができない場合があります。そこで、DNAの検出を妨害する成分を少なくでき、簡便にDNAを取り出す方法として、木材を薄い切片にし、超音波をかけるという方法を考案しました（図1）。この方法を用いると、これまで遺伝子が検出できなかった木材の心材や合板からもDNA分析によって樹種を識別できるようになりました。この方法は現在特許を出願中です。

安定同位体分析

年輪の炭素・酸素同位体比は樹木が生育した産地の降水量等を反映します。そのため、近くに生えている木同士ほど各年輪に含まれる安定同位体比の変動パターンに類似性が高い傾向があります（図2）。それを利用して、各年輪での同位体比の変動と周辺の測候所の気象データを比較することによって木材の産地を推定する方法を考

案しました。図3は違法伐採の深刻な極東ロシア産材の年輪の炭素同位体比を測定し、世界各地の6～7月の降水量データとの相関を計算して産地を推定した例です。誤差約250kmで産地を判別することができました。

これらの成果は、違法伐採を抑止し、生物多様性の保全や合法木材の普及に役立ちます。

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「南洋材の樹種識別および産地特定技術の開発」「合法性・持続可能性木材の証明のための樹種・産地特定技術の開発」による成果です。

成果の一部は、Tsumura, Y 他 (2010) Journal of Plant Research (DOI: 10.1007/s10265-010-0348-z)、Kagawa, A, Leavitt, SW (2010) Journal of Wood Science 56:175-183、吉田和正他 (2006) 森林総合研究所報告 5:289-298、特開 2010-75152 (木材のDNAを分析するための前処理方法) をご覧ください。

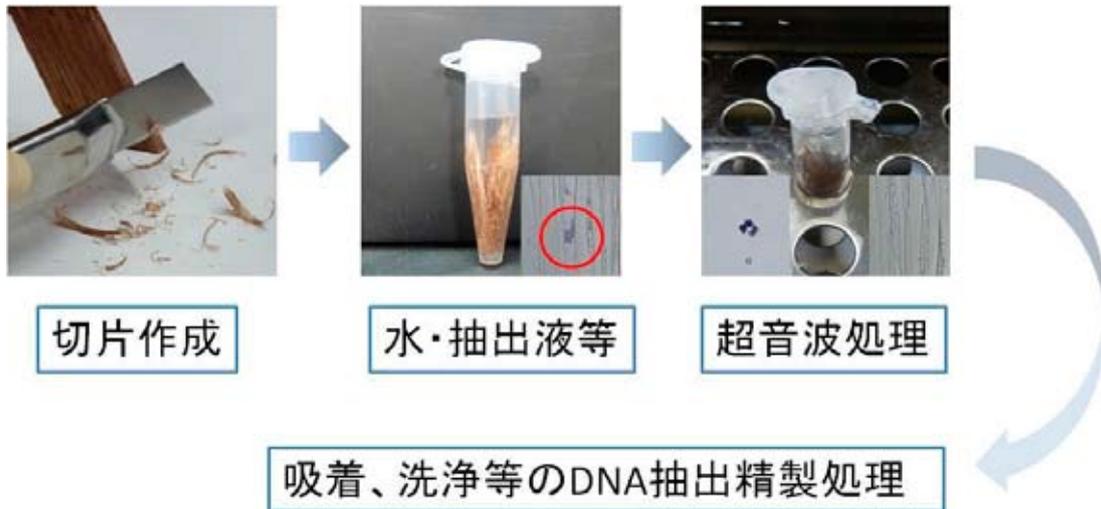


図1 木材の切片からDNAを取り出す方法。超音波処理により、DNAを含む細胞内容物が遊離してきます。従来の木粉抽出する方法よりも短時間で簡便に、しかもDNA検出阻害物質の影響を軽減することができます。

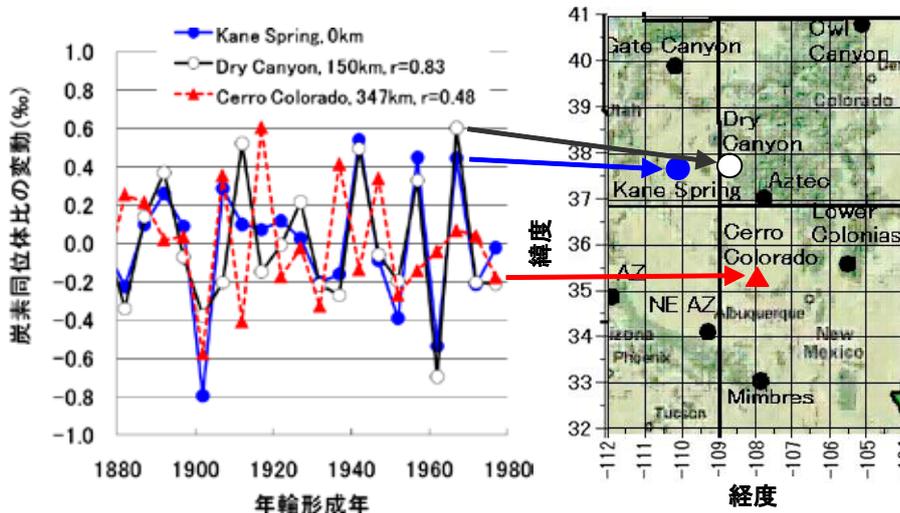


図2 産地間の距離と年輪の炭素同位体比時系列の相関係数との関係。お互いに産地が近い木材同士ほど、年輪の同位体比の相関係数 (r) が高いことが分かります。

corr Jun-Jul averaged YK d13C index
with Jun-Jul averaged CRU TS3 precipitation 1909:1999 $p < 10\%$

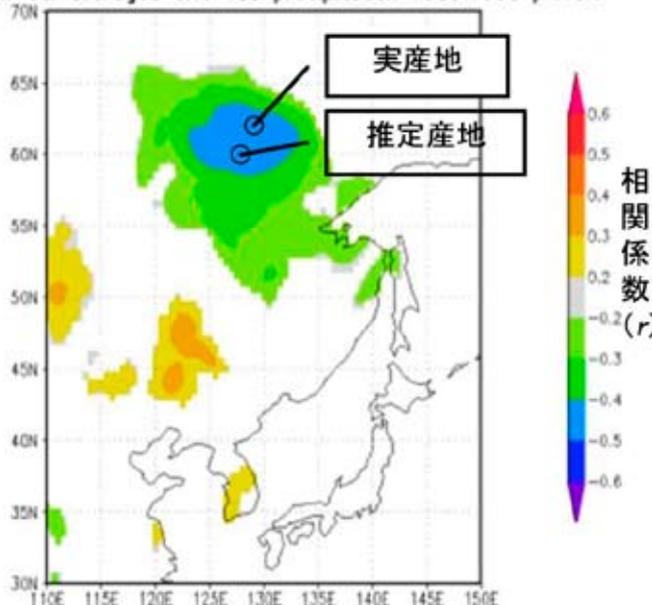


図3 年輪の同位体比の時系列と測候所の気象データの相関からもとめて極東ロシア(ヤクーツク)産のヨーロッパアカマツ材の産地を推定した例。世界中の降水量データとの相関係数を計算し、値が最大になる地点を推定産地として、実産地と比較ました。

REDD + 実現のため、熱帯林からの温室効果ガスの 吸排出量をモニタリングする

植物生態研究領域	清野嘉之
研究コーディネータ	松本光朗
森林植生研究領域	佐藤 保
森林管理研究領域	高橋與明
北海道支所	伊藤江利子
国際農林水産業研究センター	古家直行
岐阜大学	粟屋善雄

生態学的視点にもとづき、衛星リモートセンシングと地上観測を組み合わせることで森林からの吸排出量をモニタリングする手法を開発しました。森林タイプ・土地利用タイプをリモートセンシングなどで区分し、各区分の森林面積を把握します。また、各タイプの単位面積当たり炭素蓄積量を、リモートセンシングと地上調査を必要に応じて組み合わせることで推定します。両者を乗じてタイプ別の炭素蓄積量を求め、これを、時間をおいて繰り返して総炭素蓄積量の差分から吸排出量を推定します。研究開発には途上国の研究者が参加しており、成果はそれぞれの国のREDD + 実現の場で生かされると期待されます。

熱帯林の減少・破壊は1950年代から増え、排出される温室効果ガス量が膨大であることから、国連が中心になって、途上国の森林からの排出量を減らす、あるいは吸収量を増やす新しいしくみ（REDD + と略称される）（図1）作りを進めています。これに資するため、東南アジアの森林を対象に、生態学的視点にもとづき、衛星リモートセンシングと地上観測を組み合わせることで森林からの温室効果ガスの吸排出量をモニタリングする手法を開発しました。

モニタリングの手順

吸排出量を計測する方法には成長量 - 損失量法と蓄積変化法があります。前者は、成長による吸収量と伐採など攪乱による損失量との差を吸排出量とするもので、林地生産力や伐採量・森林火災などのデータが必要です。しかし、違法伐採などでは伐採量の把握が難しいため利用は困難です。そこで炭素蓄積量の変化を吸排出と捉える蓄積変化法にもとづき、東南アジアで実行可能と考えられる複数の方法を選びました（図2）。まず、森林タイプ・土地利用タイプをリモートセンシングなどで区分し、各区分の森林面積を把握します。つぎに、各タイプの単位面積当たり炭素蓄積量を5つの方法のいずれかで推定します。そして、両者を乗じてタイプ別の炭素蓄積量を把握します。これを、時間をおいて繰り返し、炭素蓄積量の差分から吸排出量を推定します。

森林の区分と面積のモニタリング

森林の区分や面積の計測は、中解像度以上のリモートセンシングセンサを用いて実施できます。ただし、光学センサ*は一年中雲が多い熱帯雨林などでは使えません。また、合成開口レーダ**も急斜面にある森林には使えないので、複数の方法を組み合わせ、弱点を補い合う工夫が必要です。

単位面積当たりの炭素蓄積量のモニタリング

抜き伐りが行われる大木林に対しては、一つ一つの樹冠を判読できる高分解能のリモートセンサを用い、樹冠をモニタリングして炭素蓄積量の変化を把握できます。焼畑が盛んな地域では、休耕地に成立した二次林に対して、中解像度以上のセンサで焼畑の土地とサイクルを把握し、収穫後の年数をパラメータに炭素蓄積量を推定できます。合成開口レーダの後方散乱係数や群落高、固定調査プロットの毎木調査データも炭素蓄積量の推定に利用できる可能性があります。

成果の利活用

吸排出量改善の新しいしくみでは、途上国自身が森林をモニタリングしていく体制が不可欠です。今回の研究開発にはカンボジアやラオス、インドネシアの研究者が参加しており、いずれも国の森林・環境政策に深く関わっている人々ですので知見が実地で生かされると期待しています。

* 太陽光の反射を計測して地上の状態を知る方法。一般のカメラなどと同じ原理。

** 上空からマイクロ波を発し、地上からの反射を計測して地上の状態を知る方法。

本研究は、環境省地球環境研究総合推進費 B-072「森林減少の回避による排出削減量推定の実行可能性に関する研究」および A-0802「PALSAR を用いた森林劣化の指標の検出と排出量評価手法の開発に関する研究」による成果です。

詳しくは、Kiyono Y et al. (2010) JARQ 44(1):81-92. をご覧ください。

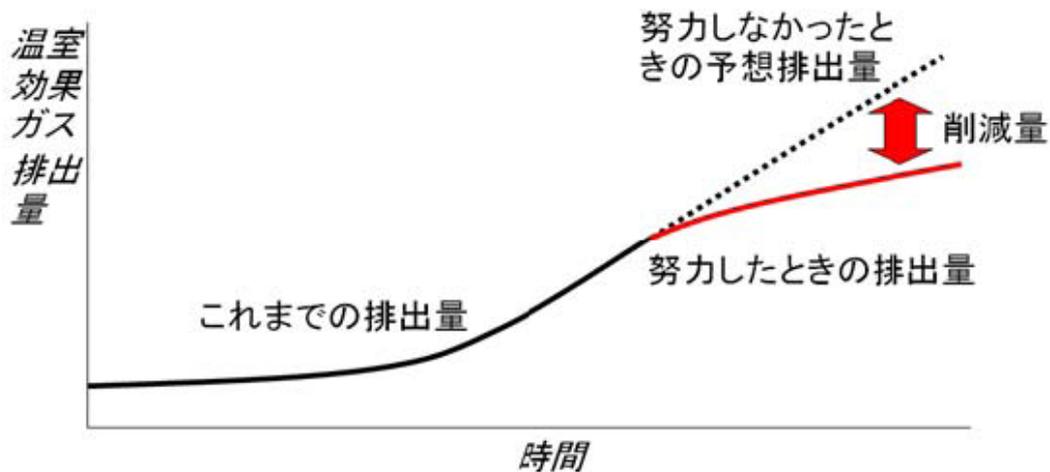


図1 途上国の森林からの排出量を減らす新しいしくみ（REDD：Reduced Emissions from Deforestation in Developing Countries）

黒の実線は過去の土地利用変化による温室効果ガス排出量の時間的経過（推定値）、破線は削減努力をしなかったときの予想排出量（推定値）、赤線は削減努力をしたときの排出量（観測値）。ルールは未確定ながら、予想排出量から観測値を差し引いた削減量（赤矢印）に応じて経済的なインセンティブを与える考え方が主流です。

森林減少・劣化による排出量推定のフロー

- ①森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量(GHGフラックス)を異なる時点で求める
 - ②森林の炭素蓄積量(GHGフラックス)の変化を①の差分により推定する
 - ③森林減少・劣化や吸収量・排出量のトレンドは②を繰り返すことで把握できる
- 京都議定書の方法

森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量(GHGフラックス)推定手法

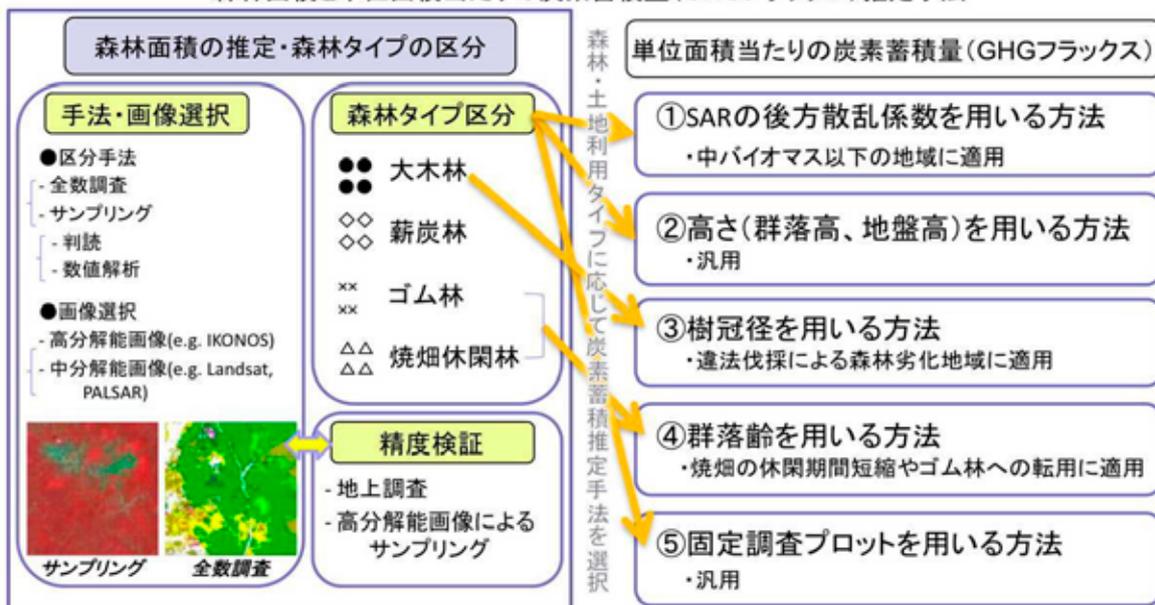


図2 森林減少・劣化による吸排出量の推定手法

GHG：温室効果ガス。

Memo.

森林総合研究所
第2期中期計画成果集

発行日	平成23年3月
編集・発行	独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里1 電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ	企画部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	大成印刷株式会社 茨城県日立市東多賀町 4-11-7 電話 0294(36)1837 (代表)

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

独立行政法人 森林総合研究所

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

リサイクル適性の表示:紙へリサイクル可