

森林・林業・木材利用分野は温暖化緩和にどう貢献するか？

(独) 森林総合研究所

松本 光朗

1. 森林分野の温暖化緩和への貢献

1) 森林分野の役割

森林は大気中の二酸化炭素を吸収し、それを数十年から数百年にわたり体内に炭素を蓄積する。その期間、大気中の炭素濃度は抑えられている。個々の林木の炭素は、最終的には枯死や腐朽、あるいは焼却により、その多くが大気に還っていく。その一方、土壌を含む森林としては継続的、安定的に炭素を吸収し蓄積している。このように、森林は、大気中の二酸化炭素濃度を調整するという役割を持っている。

また、森林から得られた木材を上手に利用することにより、二酸化炭素の排出削減を行うことができる。住宅や家具として炭素を蓄積する（蓄積効果）、製造時に多くのエネルギーが必要な金属製品等の代わりに木材製品を使うことにより製造時の排出を節約する（省エネ効果）、木材を燃料としてエネルギーを作ることにより化石燃料からの排出を削減する（代替効果）が、温暖化緩和への木材の機能であり役割である。

このように、森林分野の地球温暖化への貢献は、森林・林業・木材利用という一連の流れのなかで、森林による吸収・蓄積と木材利用による排出削減という両面からのアプローチによるものであることが大きな特徴であり、この特徴を活かした緩和策が求められる。

2) 京都議定書報告での我が国の森林吸収量

我が国の京都議定書の温室効果ガス削減目標は、第一約束期間である 2008～2012 年において、基準年（1990 年）と比較して 6%削減というものである。この削減目標については、原発停止による火力発電の増加という想定外の出来事もあったが、達成の見込みであると新聞報道されている（読売新聞，2012）。

この目標達成の見込みには森林の吸収量が大きな役割を担っている。算定ルールでは、基準年以降に間伐などの森林施業がなされた森林の吸収量を、基準年の排出量に対し 3.8% を上限として算入できる。そのため、林野庁は間伐促進等の温暖化対策を進めており、2010 年度の議定書報告では 3.9%に達している（図 1）。吸収量の利用上限は、単年度ではなく、約束期間の 5 年間の合計に対するものであるため、正式には 2014 年に提出される約束期間を通した算定報告で約束達成の結果が分かる。

なお、我が国の森林による二酸化炭素吸収量の算定方法は、その基礎情報を森林の樹種や面積等の情報を林分ごとに記載した森林簿を求め、様々な係数を用いて二酸化炭素量に換算している。この手法は、農林水産技術会議プロジェクト「森林、海洋等における CO2 収支の評価の高度化（平成 11 年度～14 年度）」での成果を基礎として、その後、環境総合推進費「B-60 京都議定書吸収源としての森林機能評価による研究（平成 14 年度～18 年度）」、林野庁事業「森林吸収量報告検証体制緊急整備事業（平成 15 年度～18 年度）」を経て完成したものである。

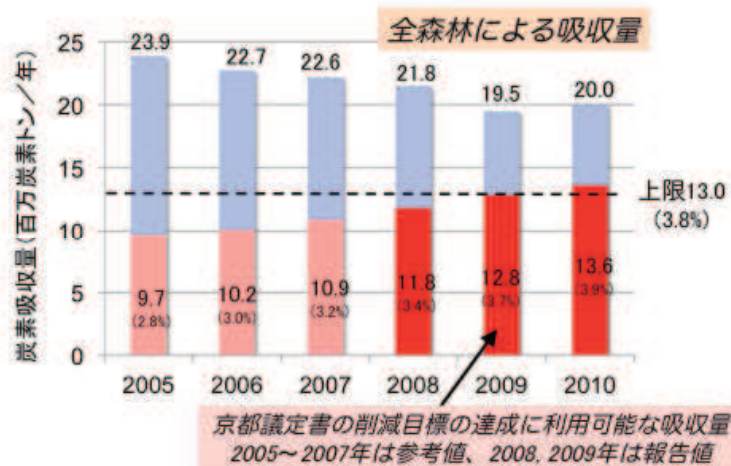


図 1. 京都議定書報告での森林による炭素吸収量

日本国温室効果ガスインベントリ報告書(温室効果ガスインベントリオフィス,
2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012)の数値から筆者が作成

3) 国際交渉の現状と森林分野の今後

2011 年末に開かれた COP17 (気候変動枠組条約第 17 回締約国会議) および CMP7 (京都議定書締約国第 7 回締約国会合) では、我が国は 2013 年度以降の京都議定書第二約束期間の削減目標を掲げず、その一方、自主的な排出削減努力を継続することを表明した。

CMP7 においては、京都議定書第二約束期間に向けて森林吸収量の算定ルールの変更が合意された (UNFCCC 2011)。その中で最も興味深いものは、木材の取扱いの変更である。吸排出量算定の対象は、これまでは地上部バイオマス、地下部バイオマス、枯死木、リター、土壌といった 5 つのプール (炭素が溜まる場所) であったが、新たに伐採木材製品 (Harvested Wood Products: HWP) が加えられた。また、その算定についても、これまでは林木を伐採・搬出した時点で全ての炭素が排出されたものとしていたが、新しいルールでは、国産の木材製品が燃焼、分解、埋められた時点で排出とすることとなった (図 2)。これにより、国内に国産の木材製品が増え、その炭素蓄積が増えれば、ちょうど森林が吸収したものと同じように算定されることになる。

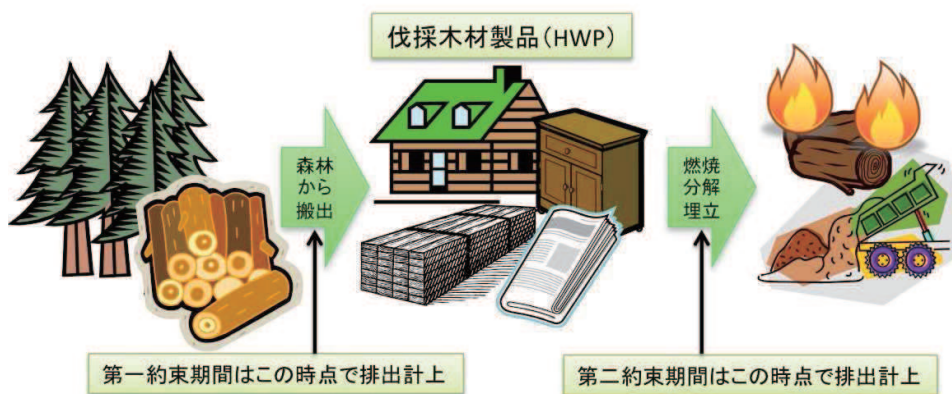


図 2. 第 2 約束期間での伐採木材の取扱い

我が国は、かねてからこの伐採木材の取扱いの必要性を主張し、森林総合研究所は国際交渉を支援してきた。今後、吸収源に関して京都議定書第二約束期間のルールに従って温室効果ガスの吸収量を算定する方針であり、これまでの間伐促進に加え、国産材の木造住宅等への利用促進も吸収量確保に貢献できる。見方を変えれば、世界が国産材の利用拡大を後押ししていると言えよう。これからの森林吸収源対策は、森林・林業・木材利用を一貫した対策であることが求められている。

このような、先進国の森林分野の取扱いと並行し、途上国の森林を保全する新たな仕組みである REDD プラスの導入について交渉が続いている。温暖化の主因である二酸化炭素の排出量は、化石燃料やセメント生産によるものが 80%に対し、熱帯林の森林減少が残りの 20%を締めていることから (IPCC, 2007)、熱帯林の森林減少を抑制する必要性が叫ばれている。REDD プラスはそれに対応した緩和活動であり、森林減少・劣化による排出削減、森林保全、持続可能な森林管理、森林炭素蓄積の増強を意味する英名の頭文字として用いられており、その概要は COP16 で合意された (UNFCCC, 2010)。REDD プラスの特徴は、森林減少・劣化の削減等の活動を行い、それにより温室効果ガス排出を削減あるいは吸収量を増加できれば、その量に応じて経済的なインセンティブ (報償) が得られるというポジティブインセンティブ仕組みである (図 3)。これは、森林減少・劣化は、農地や牧場、都市などの開発により進むのであるから、それよりも森林を維持した方が経済的に有利であれば森林は維持されるだろう、という社会経済的視点に立つものである。

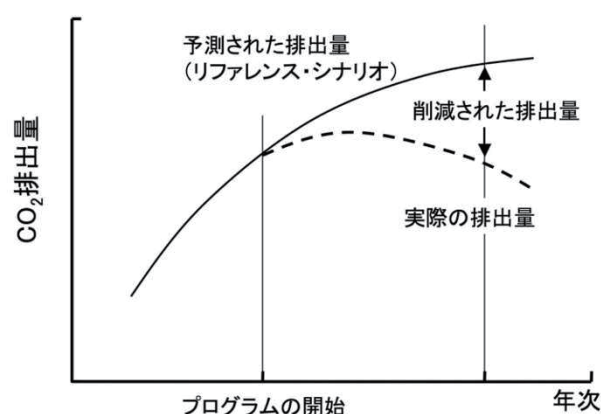


図 3. REDD プラスでの排出削減量の考え方

REDD プラスは、2020 年からの新しい枠組みでの実現が期待されているが、森林減少が進んでいる現状を考えると、一刻も早い取組が必要である。そのため、現在、我が国が構築しようとしている二国間オフセット・クレジット制度 (BOCM) に位置付けることが検討されている。REDD プラスの実施には、その制度構築とともに、排出削減量を適切に観測・算定する手法やシステムが必要となり、途上国でのシステム整備や、それを実現する技術開発や能力開発が求められている。これに対応するため、森林総合研究所は 2010 年に REDD 研究開発センターを開設し、研究開発に加えて技術者養成や普及啓発活動を行っている。

4) 地球温暖化緩和のための森林分野の緩和策と研究開発

森林分野の貢献について、その考え方と現状について紹介したが、その上で森林分野での緩和策をどのように考えるべきだろうか。まず、国内については、森林状況や二酸化炭素の吸排出量を精度高く観測するとともに、それをモデル化することにより、将来予測できる手法・システムを開発することが必要である。この時、温暖化など気候変動がもたらす森林の成長への影響とともに、緩和策、緩和活動の効果も反映できる手法である必要があり、これを用いたバックキャスティングにより効果的な緩和策の選択・実施に寄与できるだろう。また、個別の緩和策としては、伐採・更新や間伐など森林計画の変更、新しい品種の利用、伐採木材の活用が掲げられる。さらに、世界に目を向ければ、途上国の森林保全の新しい仕組みである REDD プラスへの対処が重要であり、その仕組みに不可欠な森林炭素モニタリングに関わる技術開発が求められる。

このような認識のもと、農林水産技術会議委託プロジェクト「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」の大枠の中で研究開発を進めているところである。

2. 森林分野の緩和策に関する研究開発の状況

1) 森林分野の統合モデルによる将来予測

森林分野の温暖化緩和策を検討する場合、中長期的に将来の温暖化や緩和策に応じながら、森林や林業、木材製品を通じた炭素量変化を予測する手法が不可欠である。しかし、国の森林吸収量は森林計画制度に基づく森林簿を基礎に算定されたものであり、現状の吸収量を算定・報告するのには適しているが、気候変動の影響を加味した将来予測を行うといった機能は持ち合わせていない。そのため、プロジェクト研究「森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」の中で、気候変動の影響や温暖化対応施策の効果を反映し将来の森林および木材製品の炭素変化量を推定する、森林・林業・木材を通じた統合モデルを開発している。

統合モデルは、環境要因や立地要因から森林の生産量を推定する森林モデル、伐採面積や伐採量を予測する林業モデル、そして製品別に木材利用量を予測する木材モデルから成る（図 4）。

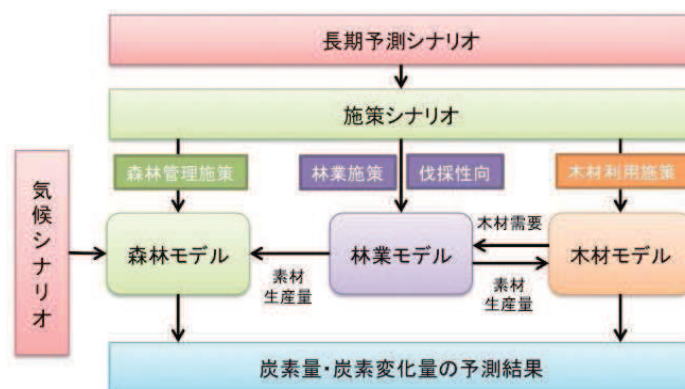


図 4. 森林・林業・木材を通じた統合モデル

各サブモデルは対象や目的に応じた手法のもとに開発されているため、森林モデルが3PGを改良したプロセスモデル、林業モデルは伐採確率モデル、木材モデルがシステム・ダイナミクスモデルと、全く異なる手法で開発されており、温暖化シナリオ、施策シナリオに応じて予測される数値のうち、木材生産量の推定値など受け渡ししながら作動する構造となっている。また、予測の初期値となる現在の森林資源情報については、1km四方の3次メッシュを利用し、森林簿と森林資源モニタリング調査から森林データベースを作成した。森林モデルは、資源と気候に応じた成長と炭素増加と算出すると同時に、シナリオに基づいた伐採と炭素減少を算出し、森林データベースを順次更新していくという構造を持つ（図5）。現在のところ、森林についてはスギ、ヒノキ、カラマツ、マツ、エゾマツ、トドマツといった人工林を対象とし、木材製品については製材、合板、紙を対象としている。

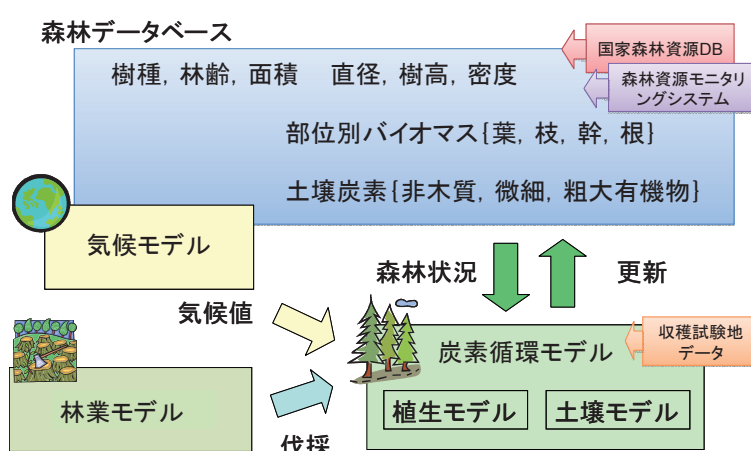


図 5. 森林モデルの構造

予測の前提となる気候シナリオとしては、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によって開発された高分解能大気海洋結合モデル（K-1 model developers 2004）の出力値を、農業環境技術研究所が3次メッシュへと内挿したデータを用いた。また、施策シナリオとして、現状の林業・木材利用を延長した「現状シナリオ」と、木材生産量と木材利用率を倍増する「振興シナリオ」を設定した（表1）。

	現状シナリオ	振興シナリオ
伐採性向	主伐による伐採面積が現状と同等	主伐による林齢別伐採率が現状と同等
素材生産量	スギ・ヒノキの素材生産量が800万m ³ /年前後でほぼ一定	スギ・ヒノキの素材生産量が800万m ³ /年から順次増加し2050年時にほぼ倍増
再造林率	0.5	0.8
木造率	0.35	35%から70%まで増加

表 1. 2つの施策シナリオ

このような、温暖化シナリオ、施策シナリオに基づき、統合モデルにより 2050 年までの炭素吸収量の予測を行なった（図 5）。その結果、現状シナリオと振興シナリオの両シナリオともに、2050 年まで人工林は吸収源であり続けるが、徐々に減少していくことが予測された。これは、人工林が高齢化するにつて、成長量が小さくなっていくことが主な理由と考えられる。また、木材製品の炭素について、現状シナリオでは中期的に排出に転換する反面、振興シナリオでは吸収源となることが予測された。これは、現状シナリオでは将来の人口減少に伴う木材利用量の低下の影響が現れたのに対し、振興シナリオでは施策による木材利用の増進が社会の木材を増加させることが理由である。なお、振興シナリオでは、木材生産は倍増となりながら、森林・木材の総計した炭素吸収量は 10%程度の低下に留まることが予測された。

さきに記述したように、CMP7 において京都議定書第 2 約束期間においては伐採木材の炭素が算定の対象となった。この研究においては、早くから木材製品の炭素を算定対象としており、国際情勢を先取りした研究と言うことができよう。

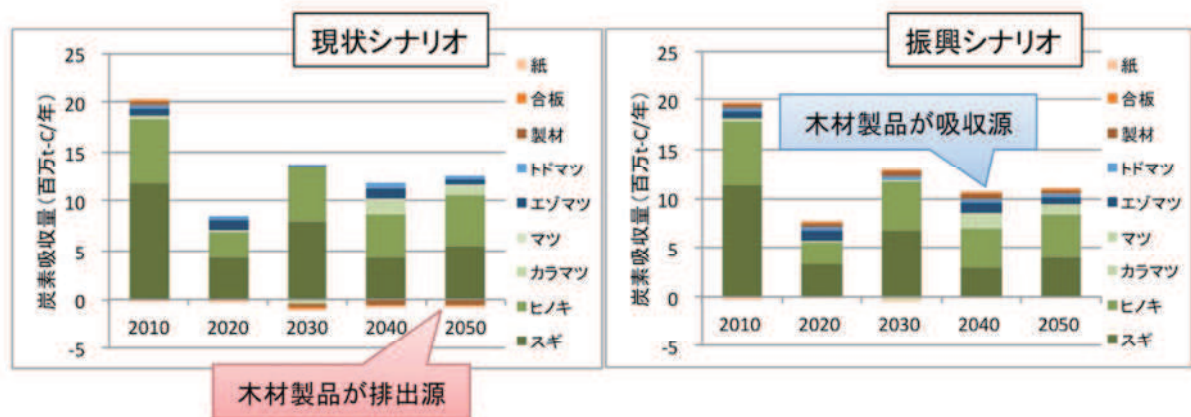


図 6. 統合モデルによる森林と木材製品による炭素吸収量の予測結果

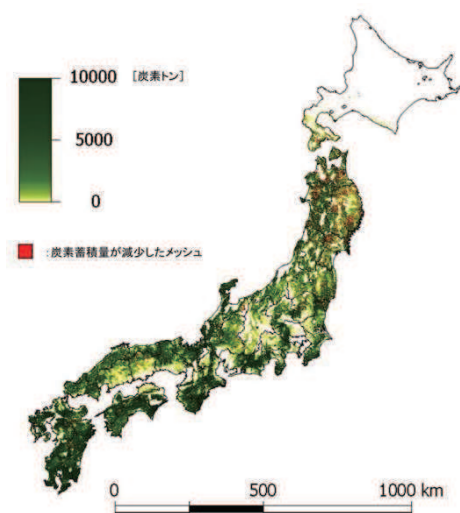


図 7. 現状シナリオでの 2005～2050 年のスギ林の炭素蓄積増加量の予測結果
緑色が濃いほど炭素蓄積量が増加し、赤色は炭素蓄積が減少するメッシュを表している。

このような、森林・林業・木材を通した予測は、施策を評価するために効果的であり、効果的な施策立案に寄与するものとなるだろう。現在、統合モデルについて、対象樹種や対象木材製品の拡大、新品種の導入への対応などの改良を進めている。また、施策シナリオについては、シナリオの多様化を進めるとともに、それぞれの施策シナリオの実行条件を評価する手法の開発を進めている。

2) 新品種の開発と利用

森林の吸収量に最も影響を及ぼす人為活動は伐採である。これは、長期間かけて吸収・蓄積した炭素を、伐採により一気に排出するためである。新しい算出方法では伐採は即時排出とはならないが、森林に蓄積された炭素のうち伐採木材製品として利用されるのはせいぜい4割程度であるため、伐採が大量の排出につながることは変わらない。

しかし、伐採をその後の更新と一体のものとして考えれば、その影響は限定的なものとなる。伐採後の植林や天然更新による更新は、伐採による影響を緩和すると同時に、将来の吸収を約束するものであり、木材生産や国土保全を含めた森林の多面的機能の維持のためにも確実な実行が求められる。さらに、この更新において、温暖化に強く二酸化炭素の吸収能力の高い品種を利用することは、森林・林業に関わる重要な緩和策であると同時に適応策である。これについて、農林水産技術会議委託プロジェクト研究の中で進めている最新の研究事例を紹介したい。

プロジェクト研究「森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」においては、温暖化の影響が懸念される北海道での利用を念頭に、グイマツ雑種 F1「クリーンラーチ」の実用化を目指し、技術開発を進めている（図 8）。クリーンラーチは、光合成の最適温度がカラマツと同等であり、グイマツより高い。また、成長期の気温が高い試験地ほど直径成長が良好であるなど、温暖化環境下での適応性を確認した（図 9）。また、更新技術として、帯状伐採を行うことにより光環境条件を改善し、次世代の炭素固定速度を向上できることを明らかにした。さらに、さし木用土の土詰め機械や床替え機械を開発した（写真 1）。今後、このような技術を統合し、クリーンラーチの造林システムに結びつける計画である。



図 8. グイマツ F1「クリーンラーチ」優良な形質をもつカラマツとグイマツをかけあわせて選抜した。

樹種	最適温度	将来 $P_{max}^{\ast}$
カラマツ	23.8 °C	88.0%
クリーンラーチ	23.5 °C	88.3%
グイマツ	21.8 °C	88.2%

図 9. クリーンラーチの光合成速度の温度依存性
21 世紀末に札幌の 8 月の日平均最高気温が 3°C 上昇した時の光合成速度 (P_{max})。



写真 1. さし木生産工程の機械化による大量生産技術の確立

さし木用土の土詰め機械（左）と床替え機械（右）

このような取り組みをスギについても進めており、既に関連されているスギ品種から温暖化緩和に適した品種の選抜し効果を評価している。これまで、実生試験地 306 ヶ所での樹高成長の比較から、「上都賀 7」が炭素固定能力の高い品種であることを明らかにした。

さらに、24 年度からは プロジェクト研究「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」をスタートした。この新プロジェクトは、新森林・林業基本計画に基づき林業振興や地球温暖化対策として、伐採後の森林の早期再生による炭素吸収量の拡大を目的に、人工林の 4 割を占めるスギを対象に従来よりも格段に成長に優れた「新世代林業種苗」を短期間で作出する革新的な技術を開発することを目標としている（図 10）。

新たな林業用種苗を開発するには、従来の方法では 30 年以上の年月が必要であった。それに対し、当プロジェクトでは DNA 分析技術等の導入によって、成長速度が 2 倍の「新世代林業種苗」を、これまでの 1/3 以下の短い期間で作出する技術の開発を目指している。この新世代林業種苗は、成長に優れ幹が大きいなど炭素を吸収する能力が高く、あわせて材質・形質の優れたもので、植林面積が同じでも炭素吸収量が向上する。成長に優れると同じ面積でも収穫量が増えるうえ、下草刈りを減らせるなどコスト削減により林業経営で有利になる。

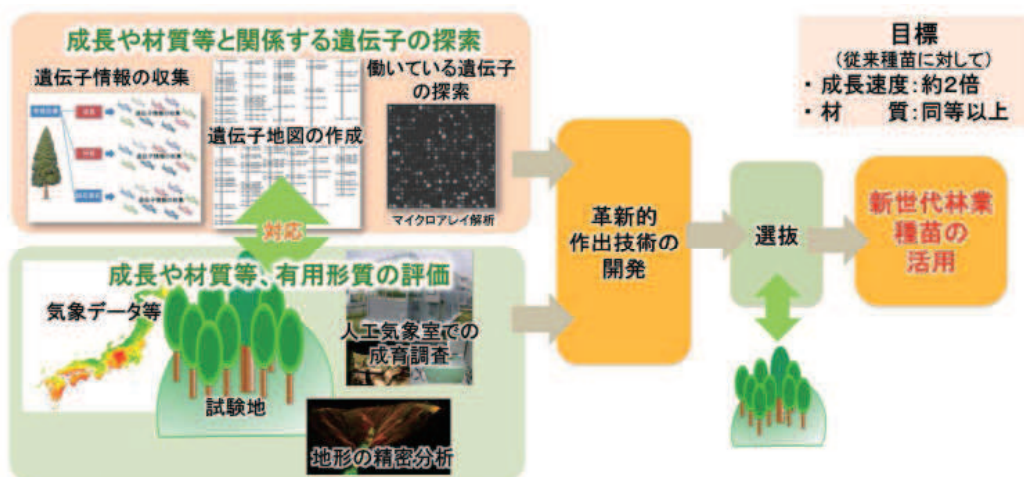


図 10. プロジェクト研究「新世代林業種苗を短期間で作出する技術の開発」の概要

先の統合モデルにより将来予測を行ったところ、このような炭素吸収能力が高い新品種を利用して、積極的な伐採・更新を進めることにより、中長期的には我が国の人工林による二酸化炭素吸収量を大きく向上することが予測されており、その取り組みが期待される場所である。

3) 熱帯林の保全策（REDD プラス）のための技術開発

熱帯林を保全する国際的な仕組みである REDD プラスは、先に述べたとおり気候変動枠組条約の新たな枠組みの中で緩和策のひとつとして位置付けられ、その構築と実行が期待されている。REDD プラスの仕組みには適切な森林炭素の観測手法が不可欠であり、様々な国々で森林炭素モニタリングシステムの構築が進められている。

これまでの国際交渉において、REDD プラスでの森林炭素評価手法は、リモートセンシングによる森林面積の把握と、地上調査による単位面積当たりの炭素量推定の組合せによるものであることが合意されている。この合意にもとづき、森林総合研究所 REDD 研究開発センターを含め、すでに世界各地で既存技術を使った手法開発を進めているが、熱帯林で地上調査を数多く行うのは難しくコストも高い。そのため、農林水産省プロジェクト研究「アジア熱帯林の森林減少・劣化対策の支援システムの開発」では、それを改善する REDD を促進する新たな計測技術として、リモートセンシングを用いた森林炭素蓄積モニタリングの高精度で効率的な新たな技術体系の開発を進めている。ここでは熱帯季節林（カンボジア）と熱帯雨林（マレーシア・サバ州）という熱帯アジアの代表的な 2 つの森林タイプのそれぞれの地域において調査を進めており、これまで以下の結果が得られている。

高分解能衛星画像から個体樹冠の自動抽出を行い、その樹冠の大きさと胸高直径の実測値に強い相関があることを確認した（図 11）。今後、この関係を用いて、炭素蓄積の異なる林相に自動区分し林相ごとの面積集計する方法を探っていく。また、航空機 LiDAR（航空機から林冠の高さの分布をレーザにより測定する方法）を用い、林相ごとの炭素の蓄積量の平均値とばらつきを推定する手法を開発している。ここで、林相の異なる森林でも高さの分布と炭素の蓄積量の関係はほぼ同じであったことから、LiDAR データにより林相ごとの炭素蓄積量の平均値とばらつきが一つの関係式から推定可能であることを確認した（図 12）。これにより、LiDAR が地上調査を補完し、林相ごとの炭素蓄積量のデータを効率的に収集できるようになる。

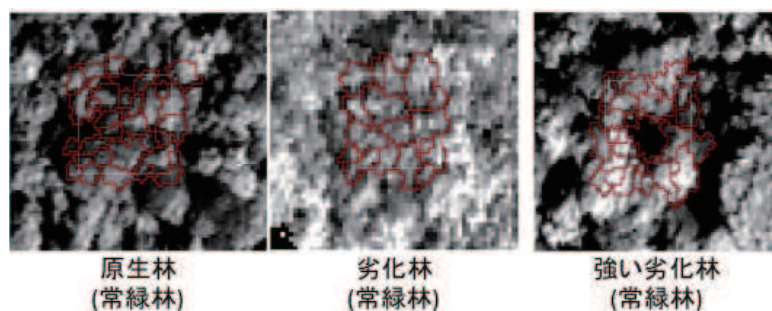


図 11. 高分解能衛星画像による自動樹冠抽出

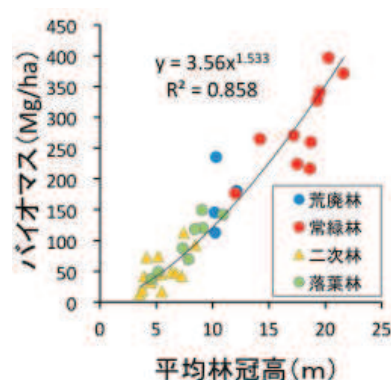


図 12. LiDAR 林冠高と地上部バイオマスの関係

また、土地利用施策等のシナリオに応じて炭素排出量変動を予測するシミュレーションモデルを開発しており、REDD プラスの活動による排出削減量を評価する参照シナリオの開発手法のひとつとして国際的な貢献を目指している。

このような新たな技術体系の開発を進め、既存技術に追加することにより、REDD プラスの実現を促進することを目指している。

3. これからのチャレンジ

すでに示したように、森林分野の地球温暖化への貢献は、森林・林業・木材利用という一連の流れのなかで、森林による吸収・蓄積と木材利用による排出削減という両面からのアプローチというところに特徴を持っている。このことを念頭に、森林の二酸化炭素吸排出量の精度の高い観測システムや、森林分野の統合モデルによる将来予測、さらにはそれを利用した緩和策の評価手法を開発しているところである。また、個別の緩和策として、伐採・更新や間伐など森林計画、新しい品種の利用、伐採木材の活用を掲げて研究開発を進めるとともに、統合モデルにそれらの緩和策を反映できるように研究を進めている。また、途上国の森林保全の新しい仕組みである REDD プラスへは国際的な緩和策であり、そのための森林炭素モニタリングに関わる技術開発を進めている。

今後は、これらの技術を研究開発の段階から活用レベルまでに引き上げる必要がある。そのために、森林分野の統合モデルについて対応樹種や木材製品の拡大といった改良、施策シナリオの多様化とその実行可能性の評価、新品種の選抜・開発と実用化、REDD プラスの開発技術の現実システムへの活用などチャレンジするとともに、地球温暖化緩和・適応に関わる施策に結びつけていきたい。

引用文献

IPCC (2007) IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>

温室効果ガスインベントリオフィス（2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012）日本国温室効果ガスインベントリ報告書、<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>.

読売新聞（2012）国内温室ガス削減率、1 %に悪化…原発停止響く、2012.10.4.

UNFCCC (2010) II-C, Decision 1/CP.16, FCCC/CP/20010/7/Add.1, 12-14, UNFCCC.

UNFCCC (2011) Decision 2/CMP.7, FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1, 11-21, UNFCCC