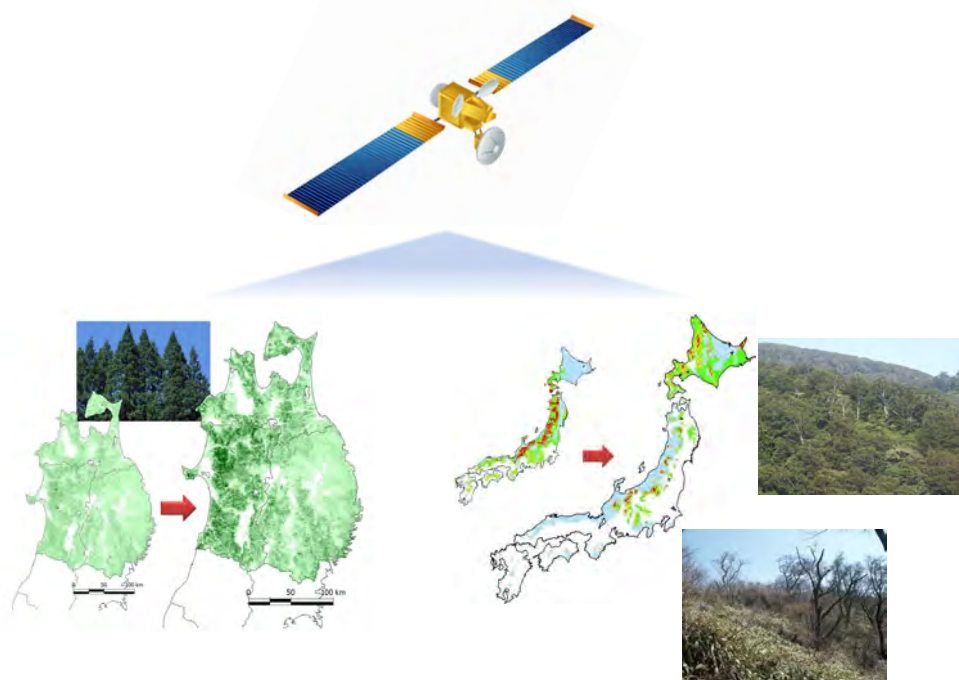
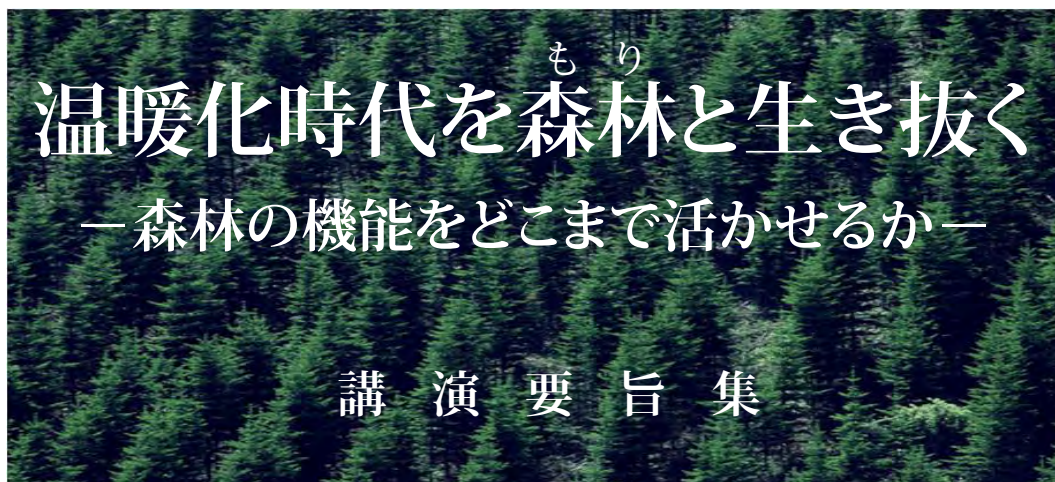


平成 21 年 度  
独立行政法人 森林総合研究所  
公 開 講 演 会



独立行政法人  
森林総合研究所

平成 21 年度  
独立行政法人 森林総合研究所

## 公 開 講 演 会

# 温暖化時代を<sup>も</sup>森林と生き抜く ー森林の機能をどこまで活かせるかー

日 時 平成 21 年 10 月 14 日（水） 13:15 ～ 17:30

場 所 ヤクルトホール

東京都港区東新橋 1-1-19 ヤクルト本社ビル

Tel. 03-3574-7255

## はじめに

森林総合研究所における温暖化対策研究の目指すもの

石塚 森吉（研究コーディネータ（温暖化影響研究担当）） ..... 1

## 招待講演

森林、炭素と気候変動

ワーナー・クルツ（カナダ森林研究所上席研究員、IPCC 第 4 次報告書主執筆者）

..... 5

## 講 演

吸収源としての森林の役割 - 2050 年への展望

松本 光朗（温暖化対応推進室長、IPCC 第 4 次報告書主執筆者）

光田 靖（森林管理研究領域主任研究員） ..... 11

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） ..... 17

空から森林の吸収量・排出量を見守る

平田 泰雅（森林管理研究領域チーム長） ..... 23

パネルディスカッション 司会 天野 正博（早稲田大学教授）

## 関連成果

土壌における炭素の蓄積と排出

高橋 正通（研究企画科長） ..... 29

衛星「だいち」搭載の PALSAR で熱帯林を調べる

清野 嘉之（温暖化対応推進拠点長） ..... 32

## 森林総合研究所における温暖化対策研究の目指すもの

石塚 森吉（研究コーディネータ（温暖化影響研究担当））

### 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 4 次評価報告書が 3 つの作業部会から相次いで公表されたのは 2 年前のことであるが、その衝撃的な内容とノーベル賞の受賞は記憶に新しい方も多いと思われる。とくに、今世紀中の全球平均気温の上昇が 1.8 ～ 4.0℃に達するという予測や、工業化以降の気温上昇を 2.0 ～ 2.4℃にとどめるには 2050 年までに温室効果ガスの排出量を半減させる必要があるといった予測が、低炭素社会への移行に向けて国際社会を大きく動かしつつある。

IPCC の報告内容を森林について見ると、第 2 作業部会（影響、適応と脆弱性）は、地球温暖化の影響で既に山火事や害虫による森林の攪乱が拡大していることを認めるとともに、平均気温の上昇が 1.5 ～ 2.5℃を超えた場合、植物および動物種の約 20 ～ 30%が絶滅のリスクに直面するとし、アジアの研究例として、日本のブナ林の分布適域が今世紀末には大幅に減少することを予測した森林総合研究所の研究を紹介している（田中の講演要旨を参照）。

各産業部門を対象にした排出削減のための方策（緩和策）は第 3 作業部会が担当し、林業部門には森林総合研究所から松本温暖化対応推進室長が主執筆者として、さらに数名が専門査読者として加わった。林業部門の緩和策は他部門に比べ低コストであること、また適応策や持続可能な森林経営と組み合わせることにより、森林へのリスク軽減、環境保全、経済効果等の相乗効果を生み出せる利点を持っていることが強調され、森林の緩和ポテンシャルの 6 割以上が熱帯地域にあることを指摘している。

こうした背景を踏まえ、進行する地球温暖化のなかで森林の機能を活かし、低炭素社会の実現に役立てるためには、我々は何を予測し対処しなければならないのか、森林（川上）の地球温暖化対策に関わる最近の研究成果を発表するとともに、IPCC の第 3 作業部会の中心的な執筆者であるカナダ森林研究所のワーナー・クルツ氏を招き、広く議論を深めることを通じて、温暖化対策に向けた研究や技術開発を一層推進するために本公演会を企画した。また、パネルディスカッションでは、地球温暖化対策の国際的な動向に詳しい早稲田大学の天野教授にコーディネートをお願いした。

### 2. わが国の森林部門における緩和策

林業部門の緩和策には、以下のような方策がある（IPCC 2007）。

- ①森林面積の維持・増加
- ②林分レベルでの森林蓄積の維持・増加
- ③景観レベルでの森林蓄積の維持・増加
- ④木材製品の活用（木材製品の炭素蓄積の増加、高エネ材料や化石燃料の代替利用）

人工林率 40%を超え新規造林による森林面積の拡大が見込めないわが国では、森



林や木材製品（住宅・家具等）による炭素の蓄積の維持・増加が有効な緩和策である（IPCC 2007）。そのため、木材供給を維持しながら、森林の炭素蓄積を維持・増加する森林経営・資源管理計画が必要になっている。森林は高齢化とともに吸収量が減少するが、森林は吸収機能や木材生産機能だけでなく、生物多様性保全、水土保持機能といった短伐期施業では十分に発揮できない重要な機能を併せ持つので、景観レベルでそれらとの調和を図りつつ、地球温暖化の緩和への貢献を実現していくことが重要である。木材製品の活用による緩和策には、木材製品の耐久年数の向上、建築・家具等への木材利用率の増加、エネルギー利用（化石燃料の代替利用）等がある。

### 3. 森林・林業・木材利用を通した全炭素のモデル化

以上のような木材利用の促進には、木材供給体制の確保が前提条件である。林業部門における緩和策の展開には、森林・木材製品の炭素蓄積と社会のニーズに即した木材供給のバランスを取る必要がある。そのためには、森林・林業・木材利用を通した全炭素量の変化を計測・算定する手法（全炭素算定：フルカーボンアカウンティング）をわが国で開発する必要がある。

現在、農林水産省の委託研究プロジェクトにおいて、森林総合研究所は日本のフルカーボンアカウンティングモデルの開発に取り組んでおり（図 1）、地球温暖化環境下における林木の光合成・呼吸、枯死木・細根の分解の予測から、需給動向の予測に基づいた木材生産、さらには木材加工、木材製品のライフサイクルアセスメントもモデルに組み込む予定で進めている（松本・光田の講演要旨を参照）。

森林は大気から炭素を削減する重要な炭素プールである。その一方で、社会の要求に即し木材、木質エネルギー等を供給することができる。森林の炭素蓄積の維持・増

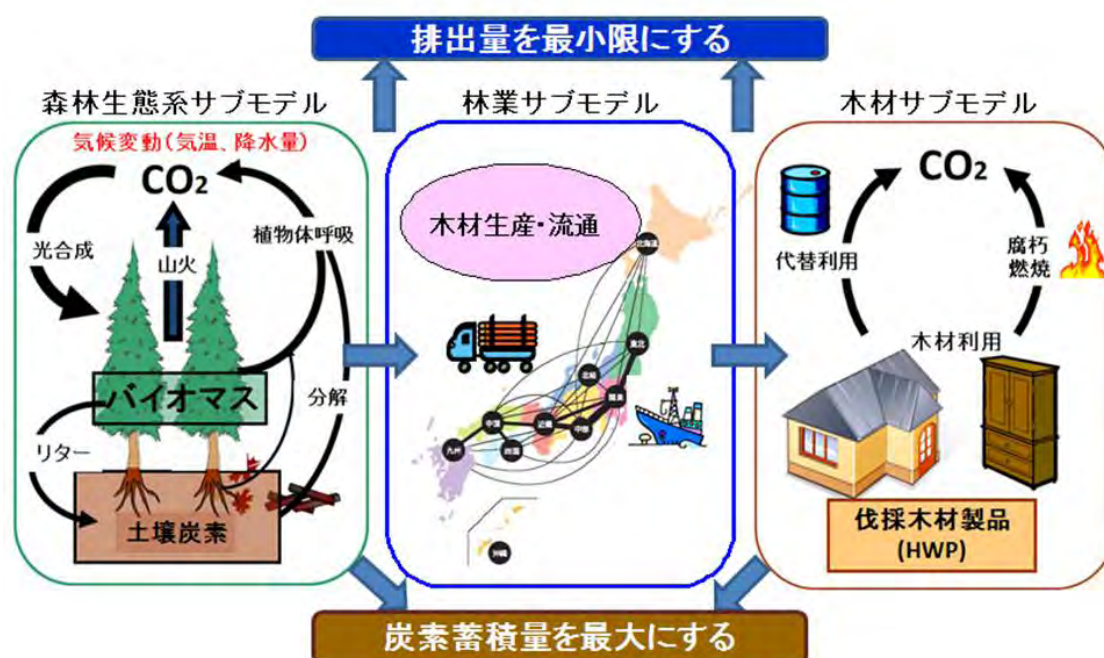


図 1 森林セクタの炭素循環モデルの全体構造

加を目指す一方で、木材や木質エネルギーを継続的に生産する持続可能な森林経営は、最も持続的な緩和効果を生み出すことができる（IPCC 2007）。さらに、森林部門の緩和効果をさらに有効にするためには、排出量を可能な限り小さくし、森林セクタにおける炭素ストックを最大にするような、森林経営、資源管理・計画、木材利用のシナリオを作成する必要がある（図 1）。

#### 4. 森林への影響予測と適応策

地球温暖化が森林生態系に与える影響は大きいと言われているものの、森林は巨大で複雑な生態系であり、それを予測し対策を立てることは容易ではない。しかし、サクラやウメの開花が早まるなど、森林や樹木の生物季節には明らかに変化が見られ始めている。

わが国の森林への地球温暖化影響予測については、これまでに、ブナ林の分布適域の変化予測、スギ人工林の地球温暖化後の植栽適域、松枯れ（マツ材線虫病）の危険地帯の拡大予測などを行ってきており、その後、ハイマツやササ類、針葉樹類など多種の分布適域の変化予測を試みている（田中の講演要旨を参照）。しかし、これらの予測は現在の気候下で得られた統計的なモデルをベースにしているものであり、今後、気温や大気中の二酸化炭素濃度上昇が樹木の形態や生理的反応、土壌との相互作用等によらず影響等を考慮した生理生態プロセスモデルの開発が急がれている。

一方、地球温暖化による海水温度の上昇で台風の大型化が予想されていることから、風害のリスク予測・回避技術（軽減策）の研究開発が最近始まっており、将来的に日本のフルカーボンモデルに組み込む予定で進めている。風害はとくに人工林の被害が大きく、吸収源を失うだけでなく大きな排出源にもなり得るので、その予測・回避技術の開発は地球温暖化影響下の森林管理により重要なものになっている。

#### 5. 途上国における森林減少・劣化由来の排出削減

一方、国外に目を向けると、地球温暖化の緩和ポテンシャルの 6 割以上は熱帯にあり、約 50% は森林減少による排出を削減すれば達成可能と言われている（IPCC 2007）。途上国の森林減少等からの排出は全排出量の約 20% に達しており、これはわが国の排出量の約 5 倍、米国の排出量に匹敵する。しかし、京都議定書は、熱帯を含む途上国の森林減少を止める仕組みを持っていないため、2013 年以降の次期枠組みに向け、この問題を REDD（途上国における森林減少・劣化に由来する排出の削減）と呼び、国際的な議論が行われている。

その主な内容は、途上国の森林減少と森林劣化を対象として、途上国が森林減少を回避・削減できれば、その量に応じてインセンティブ（報奨）をクレジットや資金などの形で得られる仕組みを作ろうというものである。REDD に関しては、排出削減量の推定に係わる技術的問題や、各国のガバナンスの問題など実行上の課題がまだ山積みの状態であるが、その実施にあたっては、衛星リモセンを活用した森林減少・劣化など森林資源動態把握の技術的側面や、人材育成などについて支援が必要とされている。

る（平田の講演要旨を参照）。わが国も先覚国の対応に遅れを取ることのないよう、REDD の今後の進展への貢献が期待されている。

## 6. 森林総合研究所における森林の地球温暖化対策研究の目指す方向

こうした森林総合研究所における研究や国際的な研究動向、社会的要請などを踏まえ、2007 年に公表した「2050 年の森－森林を育て、有効活用するための研究開発ロードマップ」では、「森林が地球温暖化を防ぐ」温暖化対策研究を大きく取り上げた。この中で、森林総合研究所の地球温暖化対策研究の方向として、

- ・ 影響プロセスの予測と適応技術の開発
- ・ 森林と木材製品のフルカーボンアカウンティング
- ・ 遺伝子組み換えによる効率的炭素固定樹木の開発

を掲げ、これに向けて短期・中長期の研究を推進することとしている。

また、2020～30 年頃を見据えた具体的な指標として、「アジア・地球規模の影響予測に基づいた国際共同による地球温暖化適応策の推進」、「地球規模の森林・木材製品の炭素循環モデルに基づく、国際共同による資源・需給調整の実施」を掲げており、今後、温暖化対策という地球規模の課題解決に、国際連携をより強化し、途上国、先進国を問わず共同研究を進めていく方針である。

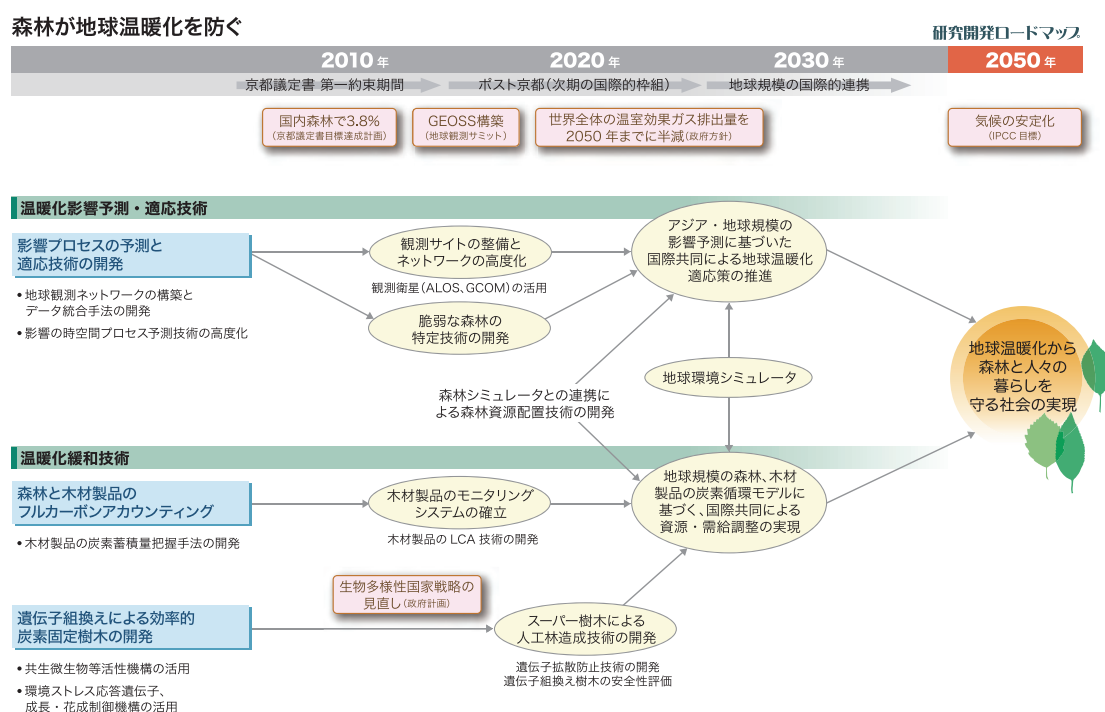


図 2 森林総合研究所における地球温暖化対策関連の研究開発ロードマップ  
(木質バイオマス利用に関わる研究・開発を除く)

## 引用文献

IPCC (2007) Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC.



招待講演

## Forests, Carbon and Climate Change

### 森林、炭素と気候変動（仮訳）

ワーナー・クルツ（カナダ森林研究所）

Werner Kurz

（カナダ森林研究所上席研究員、IPCC 第 4 次報告書主執筆者）

Kurz 博士は、カナダの森林炭素算定システムの中心的な開発者であり、そのシステムは世界の目標とされているものである。博士の業績は、IPCC 第 4 次報告書をはじめ、多くの IPCC の歴史的な報告書に反映されている。最近の研究は、森林管理、自然攪乱が森林の炭素収支におよぼす影響に焦点を当てている。



#### 1. はじめに

森林は大量の炭素を蓄えるとともに、二酸化炭素を大気と交換している。森林の炭素収支は、伐採、植林など人間の活動とともに、自然攪乱（森林火災、虫害、風害など）と気候変動の影響を受ける。森林の炭素収支に及ぼすこれらのプロセスの重なり合った影響を定量化することが重要である。それにより、もし森林が炭素の吸収源として貢献し続けるならば、大気中の温室効果ガス濃度安定化の目標達成が容易になるからである。気候変動が森林の炭素循環に与えるインパクトは、その定量化は困難であるものの、将来の陸域の炭素収支に大きな影響を及ぼすポテンシャルを持っている。森林と森林セクタにおける温暖化緩和策は、温室効果ガスの排出削減と吸収増加の両方の効果をもたらすものである。

#### 2. カナダにおける森林の炭素算定

気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）の国際的な報告義務にしたがうために、各国は温室効果ガス排出量と農業、林業そして土地利用変化による温室効果ガス削減量を算定・報告するためのツールを開発している。カナダの国家森林炭素モニタリング・算定・報告システム＜NFCMARS＞は、カナダの森林セクタの炭素収支モデル＜CBM-CFS3＞を組み込んでいる。このモデルは、森林生態系における炭素ストック量と温室効果ガスの排出・削減量を算定するものである。このモデルは森林の炭素収支を定量化し、森林経営活動の影響を評価するもので、カナダはもとより国際的にも用いられているものである。

#### 3. カナダの森林の炭素収支の変化

カナダの 2 億 3000 万 ha の管理された森林（施業林、育成林）の炭素収支は、自然攪乱の年々の大きな変動の影響を強く受けており、1990 年代は吸収源（温室効果ガスの純削減）であったが、最近は排出源へと移行している（図 1）。炭素収支の吸収から排出への変化の主な原因は、カナダ西部における多発する山火事（図 2）とキクイムシの一種であるマウンテンパインビートル（mountain pine beetle）の大規模な発生である<sup>注）</sup>（図 3）。

注) nature 誌 Vol 452 | Issue no. 7190 | 24 APRIL 2008 より

「キクイムシが切り替える森林炭素動態 (Forest carbon switch)」

カナダのブリティッシュコロンビア州の森林は現在、キクイムシの一種である *Dendroctonus ponderosae* による深刻な被害に見舞われている。気候変動により、以前は非生息域であった地域にまでこの昆虫の生息域が拡大したことが、今回の大発生の深刻さの一因となったと考えられている。2000～2020 年の間にこのキクイムシの大発生がもたらすと考えられる影響を解析した結果から、この森林は小さな正味の炭素シンク（吸収源）から大きな正味の炭素源（排出源）に変身することが示唆された。この変化は、他の害虫や森林火災による類似の影響とともに、北アメリカの森林の炭素シンクを危機に陥れる可能性があり、気候変動が炭素循環に与える影響をモデル化するときに考慮に入れるべきだと考えられる。 Letter p.987, Author page, [www.nature.com/podcast](http://www.nature.com/podcast)

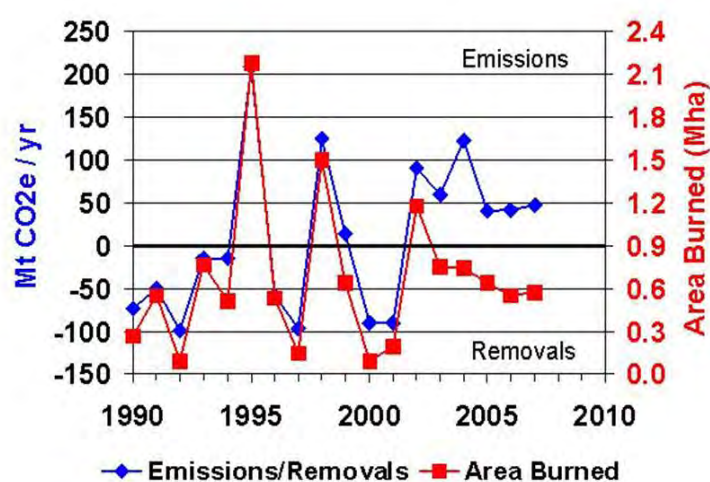


図1 カナダの管理された森林（施業林、育成林）における年間の温室効果ガス（二酸化炭素換算）の吸収・排出量

青線（左縦軸）は、年間の温室効果ガスの排出量（プラス値）・吸収量（マイナス値）を示す（単位は百万トン／年）。赤線（右縦軸）は、各年の森林火災の面積を示す（単位は百万 ha）。大きな年々変動は、森林火災とカナダ西部における最近のキクイムシの一種（mountain pine beetle）による被害が原因である。



図2 森林火災は大気への大量の排出を引き起こすとともに、森林を更新させて再生過程において二酸化炭素を吸収する。





図3 キクイムシの一種（mountain pine beetle）による被害で枯死したマツは、一年目に赤変し、その後、灰褐色になる。枯死木は腐朽することによって、大気中に二酸化炭素を放出する。（写真は Joan Westfall 氏提供）

#### 4. 森林への気候変動のインパクトを最小限にする努力の必要性

将来の大気中の温室効果ガス濃度を安定化させ、気候変動のインパクトを抑制するために人間に科せられる努力のレベルは、陸域生態系と海洋が地球温暖化に伴う環境変化に対してどのように反応するかによって、大きく異なってくると考えられる。例えば、化石燃料の燃焼で放出された二酸化炭素の何割かを、森林が将来にわたって大気から除去し続けることができれば、大気中の温室効果ガス濃度はよりゆっくりと上昇するであろう。しかし、森林への気候変動のインパクトが強く、もし将来において森林が正味の排出源になったならば、温暖化の緩和目標を達成することはさらに困難になるからである。

地球温暖化は森林生態系の多くのプロセスに作用し、その複合的なインパクトは森林の正味の温室効果ガス収支に強い影響を及ぼすと考えられる。温暖化により林木の成長率や分解率が変化することは、森林炭素プールの大きさに影響をもたらすことになる。また、予測されている自然攪乱の増加（訳注：森林火災や病虫害の拡大、熱帯性低気圧の大型化など）は、森林から大気へこれまで以上の温室効果ガスの直接的な放出をもたらす、森林の平均年齢を下げ、炭素蓄積量を減らすことになるだろう。また、温暖化は森林の地理的分布や種組成にも徐々に変化をもたらすため、とくに遷移途中の森林の炭素収支にインパクトをもたらすだろう。

#### 5. シミュレーションモデルによる予測

シミュレーションモデルは、様々な森林のプロセスが、将来の森林の炭素収支に対し、いかに重要性を持つかを評価するために用いられるものである。林木の成長率の上昇といった生産性の向上が、森林の焼失面積の増加による炭素の損失のいくらかを相殺できるのだろうか？カナダの亜寒帯林での研究から、林木の成長率の上昇による炭素蓄積の増加量よりも、年間火災面積が2倍に増えたことによる炭素蓄積の減少量の方が大きかったことが報告されている。さらに、成長を促す条件は、同時に分解も促進するため、森林生態系の炭素蓄積量の減少をもたらすこともあり得る。また、気候変動に対する森林生態系の反応には、大きな地域差があるだろう。我々の研究は、そのような反応の理解と定量化を目指している。

## 6. 地球温暖化の緩和への貢献－ IPCC 第 4 次報告から－

森林は気候変動のインパクトを強く受けることが予測されているが、その一方で、森林には大気温室効果ガス濃度の上昇率を遅らせることへの貢献が期待されている。森林経営や伐採木材の利用は、いくつかの方法で温暖化の緩和に貢献できる。IPCC（第 4 次報告書）は、森林分野での多くの緩和策を示している。森林減少・劣化からの排出の削減（REDD、平田の講演要旨を参照）は、森林分野の削減可能量に対し最も大きな貢献をもたらす。森林面積の増加や維持、森林の炭素密度の増加は、大気から炭素を吸収する好機となる。温室効果ガスの収支は、長期間にわたって炭素を蓄え、社会に様々なサービスをもたらすとともに、鉄やコンクリート、プラスチックといった化石燃料を多量に使用する製品を代替する木材製品の利用を通して、さらに削減効果が高まる。それに加えて森林は、化石燃料を代替するバイオエネルギーの原料となる再生可能なバイオマスをも生産する。

森林セクタにおける実行可能な温暖化緩和策のコストとサービス（便益）をよく理解し定量化することは、効率的な緩和策の一覧を示し体系化する上で必要となる。このためには、森林や伐採木材の炭素量の変化や、二酸化炭素およびその他の温室効果ガスの吸収量・排出量、木材製品の代替利用による削減効果などの総合的評価が求められる。そして、IPCC は「森林炭素蓄積の維持または増加を目的とした持続可能な森林管理戦略が、森林から木材、木質繊維、エネルギーなどの収穫物を毎年生み出しながら、長期的に最大の持続的な緩和便益を生み出すだろう。」と結論づけている。

## 7. おわりに

森林と森林管理（経営）は、化石燃料の排出による生じた問題を全て解決することはできないものの、気候変動の緩和戦略において重要な貢献をもたらすことができる。気候変動のインパクトを最小限に抑制することは、森林生態系の緩和ポテンシャルを維持するための重要な第一歩である。

## Forests, Carbon and Climate Change (原文)

Werner A. Kurz, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, 506 West Burnside Road, Victoria, BC, Canada, V9C 3W1, website: <http://carbon.cfs.nrcan.gc.ca>

Forests store large quantities of carbon (C) and exchange carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) with the atmosphere. The net carbon balance of forests is affected by human activities (harvesting, deforestation, afforestation), natural disturbances (fires, insects, storms) and the impacts of climate change (temperature, precipitation, drought).

To meet the international reporting requirements of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), countries are developing tools to quantify and report the greenhouse gas emissions and removals from agriculture, forestry and land use. Canada's National Forest Carbon Monitoring, Accounting and Reporting System (NFCMARS) incorporates the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3). This model accounts for carbon stocks and greenhouse gas emissions and removals in forest ecosystems. It is used in Canada and internationally to quantify the carbon balance and to assess the impacts of forest management activities.

The carbon balance of Canada's 230 million hectares of managed forest is strongly affected by the high interannual variability of natural disturbances and has transitioned from a sink (net removal of greenhouse gases) in the 1990s to a source in recent years. Fires and the large-scale outbreak of Mountain Pine Beetle in western Canada contributed to the change in carbon balance.

The level of effort required to stabilize the future atmospheric concentration of greenhouse gases and to limit the impacts of climate change will be strongly affected by the response of terrestrial ecosystems and oceans to environmental changes. If forests continue to remove from the atmosphere some of the carbon released from the burning of fossil fuels, then atmospheric greenhouse gas concentrations will grow more slowly. But if forests become net sources in the future, then it will be more difficult to achieve climate change mitigation goals.

Global change will affect many processes in forest ecosystems and the combined impacts will influence the net greenhouse gas balance of forests. Changes in tree growth rates and decomposition rates will alter the size of forest carbon pools. Predicted increases in natural disturbances will cause higher direct emissions to the atmosphere, reduce the average age of forests, and lower carbon stocks. Long-term changes in species composition and the geographic distribution of forests will also affect the carbon balance, in particular during transition periods.



Simulation models are used to estimate the relative importance of various processes to the future net carbon balance of forests. Could increases in productivity (such as higher tree growth rates) off-set some of the carbon losses resulting from increases in the area annually burned by fires? Studies in Canada's boreal forest indicate that the carbon stock reductions from a two-fold increase in the area annually burned are likely greater than the carbon stock increases from higher tree growth rates. Moreover, conditions that enhance tree growth are also likely to enhance decomposition rates, which will also contribute to reductions in forest carbon stocks. There will be large regional differences in the responses of forest ecosystems to global change and research efforts are aimed at understanding and quantifying these responses.

While forests are expected to be affected by climate change, they can also make a contribution to efforts aimed at slowing the rate of greenhouse gas accumulation in the atmosphere. Forest management and the use of harvested wood products can contribute to climate mitigation efforts in several ways. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) identified a large mitigation potential in the forest sector. Reducing emissions from deforestation and degradation makes the largest contribution to that potential. Maintaining and increasing forest area (afforestation) and increasing the carbon density of forests are opportunities to remove carbon from the atmosphere. Greenhouse gas balances can also be improved in the long term, through the use of wood products that store carbon and that provide services to society that would otherwise have to be met through the use of more fossil-fuel intensive products such as steel, concrete or plastics. Forests can also be a source of renewable biomass feedstock for the production of bioenergy that can be used to substitute fossil fuels.

Understanding and quantifying the carbon costs and benefits of possible climate mitigation activities in the forest sector is a requirement for the design of effective climate mitigation portfolios. This requires a comprehensive assessment of carbon stock changes in forests and harvested wood products, emissions and removals of carbon and non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases, and the effects of substitution through the use of wood products. The IPCC concluded that "a sustainable forest management strategy aimed at maintaining or increasing forest carbon stocks, while producing an annual sustained yield of timber, fibre or energy from the forest, will generate the largest sustained mitigation benefit".

While forests and forest management cannot solve the problems created by fossil fuel emissions, they can make an important contribution in a global climate mitigation strategy. Limiting the impacts of global climate change is one important step towards maintaining the mitigation potential of forest ecosystems.

## 吸収源としての森林の役割 -2050 年への展望

～日本の森林・林業のフルカーボンモデルによる将来予測から～

松本 光朗（温暖化対応推進室長、IPCC 第 4 次報告書主執筆者）

光田 靖（森林管理研究領域 主任研究員）

### 1. 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蔵・隔離することから、地球温暖化の緩和機能を持つ吸収源として認識されている。森林は二酸化炭素の吸収と併せて、木材生産や生物多様性の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地球温暖化緩和機能を発揮させる戦略が必要となる。IPCC 第 4 次報告書（IPCC 2007）は「長期的には、森林炭素貯留の維持、または増加を目的とした持続可能な森林管理戦略が、森林から木材、木質繊維またはエネルギーなどの毎年の収穫物を生み出しながら、最大の持続的な緩和便益を生み出す。」としており、中長期的な展望からの森林管理が求められている。

2008 年より京都議定書第 1 約束期間が始まった。日本は 2005 年から森林の吸収量を報告しているが、その森林吸収量算定・報告システムは森林計画制度に基づく森林簿を基礎にしたものであり、条約事務局による審査においても好意的に受け入れられた。一方で、このシステムはあくまで現状の吸収量を算定・報告するものであり、将来予測の機能は持ち合わせていない。中長期的な展望からの森林管理を検討するためには、シミュレーションによる将来予測に基づき議論するというプロセスが求められる。

このような科学的シミュレーションを可能とするモデルの開発は急務であり、現在進行中の農林水産技術会議プロジェクト研究「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、日本全国を対象とした森林炭素循環モデルを構築しているところである。

本発表においては、開発中の森林炭素循環モデルと、日本全国のスギ林を対象とし 2050 年までの炭素循環をシミュレーションした結果を紹介しながら、今後の森林管理や施策の方向性について議論する。

### 2. シミュレーションモデルの開発

#### 1) 森林炭素循環モデルの全体像

ここでは、地球温暖化対策を含めた今後の森林政策を検討するため、森林資源や吸収量等、将来予測情報を提供できるようなシミュレーションモデルの開発を目的としている。よって、モデルが満たすべき要件として次の 4 点があげられる。

- 政策の影響を反映した森林の炭素収支をシミュレーションできること。
- 将来的に予想される気候変動に対応できること。

- 森林資源量・炭素量の地理的分布を把握できること。
- 日本全国を対象としたシミュレーションが比較的短時間に可能であること。

政策の大きなターゲットとなるのは主伐、間伐面積であり、政策により変動する主伐、間伐面積を反映した形で森林資源の動態を予測し、炭素収支を推定することで政策を評価することが第一に求められる。さらに、間伐については間伐方法の選択がもたらす日本全体の森林の炭素吸収機能への影響を評価できることが望ましい。

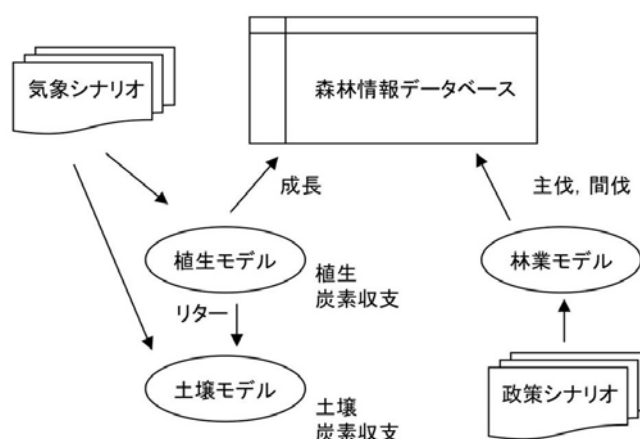


図1 森林炭素循環モデルの概要

森林による炭素吸収を考える上で基本となる樹木の成長については、気候変動の影響を反映できるモデルが必要となる。よって、シミュレーションモデルに含まれる樹木の成長を予測するモデルは、日射量、気温および降水量といった気象値を入力とし、樹木の生理プロセスを反映したものでなければならない。また、さまざまな政策シナリオについて比較検討のための情報を提供することが目的であるので、1回のシミュレーションに膨大な時間を要するようでは目的を達成できない。日本全国を対象としつつも、比較的短時間でシミュレーションが可能なモデルである必要がある。

我々は、現在、以上の要件を満たす森林炭素循環モデルを構築している。このモデルは森林資源データベースを基礎情報とし、樹木の成長および林業活動を反映してデータベースを更新していくという基本設計になっている（図1）。以下に「森林炭素循環モデル」の概要を構成要素ごとに紹介する。

## 2) 森林資源データベース

本モデルの基盤となる森林資源データベースは、林野庁の国家森林資源データベース（松本ほか 2006）を基礎としている。森林計画制度における森林資源把握は、全林分を網羅した帳簿情報である森林簿と、それと対応する地図情報である森林計画図に基づいている。国家森林資源データベースは京都議定書における森林炭素吸収量報告に向けて、森林簿および森林計画図情報を国有林、民有林を通して統合したものである。森林総合研究所は林野庁事業を受託しこのデータベースの設計および開発に貢献してきたが、本研究によってさらなる有効活用に至ることができる。

国家森林資源データベースは日本の全ての林分情報を保持しているため、そのまま取り扱うとシミュレーションに時間がかかりすぎ、モデルに対する要件を満たすことができない。そこで、ここでは日本における地理情報の標準的な管理単位である3次メッシュ（約1 km 間隔の格子）で情報を集約することとし、各3次メッシュに含

まれる林分について樹種、齢級（5 年単位の林齢階級）で結合して単位林分とした。

また、森林の現況を反映するため、林野庁事業「森林資源モニタリング調査」のデータを利用して各林分の資源現況を推定し、森林資源データベースの初期値とした。

### 3) 植生モデル

森林における炭素循環を推定するためには、光合成による生産、呼

吸などによる生産物の消費、余剰生産物による成長といったプロセスを表現する必要がある。これらのプロセスを取り扱う植生の炭素循環モデルは個葉から森林までさまざまなスケールで開発されているが、全国シミュレーションへの適用を考えて群落レベルのモデルを採用した。本研究における植生炭素循環モデルの原型となったのはさまざまな地域、樹種についての適用実績があり、単純な構造であるがデータの再現性が高いと定評のある 3-PG モデル（Landsberg & Waring 1977）である。我々はこの 3-PG モデルをさらに簡略化し、日射の吸収、光合成による生産、気温および大気飽差（乾燥度）による光合成の律速、呼吸、葉・枝・根のつけ替え、および余剰光合成生産物の各器官への配分という 6 プロセスのモデルとした（図 2）。シミュレーションにおいてはこの植生モデルを用いて林分の炭素収支を推定し、そこから成長量を推定して森林情報データベースを更新する。

簡略化を行った一方で、間伐の効果を表現するために光強度と光合成速度との関係式を直線から飽和型の曲線関係へと改変し、さらに林冠の階層構造および直径階を導入した。これにより間伐を行うことが葉群の垂直構造の変化として表現できるようになり、上層間伐や下層間伐など間伐種の違いが間伐後の林冠構造の違いを通してその後の成長過程の違いとして表現できるようになった。

なお、植生モデルのパラメータ推定には収穫試験地の長期林分成長データを用いた。収穫試験地とは成長過程および木材の収穫量の解明を目的として、国有林と森林総合研究所により古いところでは 1930 年代初頭から継続して樹木の樹高や直径が計測されている試験地である（例えば、家原ほか 2001）。

### 4) 土壌モデル

森林を植生のみだけでなく生態系全体として炭素循環をみた場合、森林土壌における炭素循環は大きな部分を占める。土壌モデルは森林土壌に供給される枯死有機物（落葉、落枝など）が分解される過程を記述するものであり、本研究においては Yasso モデル（Liski et al. 2005）をベースとして開発した。このモデルの特徴は有機物の分

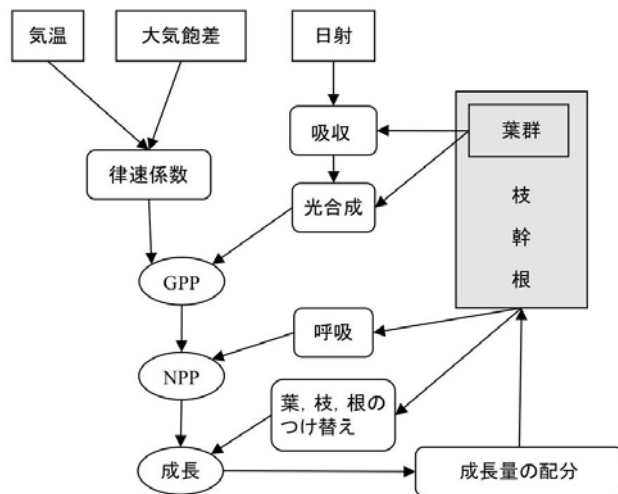


図 2 植生モデルの概要



解を落葉、粗大枯死有機物、微細枯死有機物などの種別それぞれについて、セルロース、リグニンなどの成分別に取り扱っている点である。分解速度の律速要因としては気温と降水量を用いた。

シミュレーションにおいては、植生モデルにおける葉、枝、根のつけ替えプロセスに伴って脱落する有機物、さらには主伐、間伐といった林業活動に伴い林地に残される枝条など粗大な有機物が森林土壌へのインプットとなり、これらの数値が土壌モデルへ渡されることとなる（図 1）。

## 5) 林業モデル

森林、とくに人工林にとって林業活動は炭素蓄積量を大きく変動させる要因である。林業活動としての木材生産を長期的に予測するために、本研究においては県別、樹種別、齢級別の主伐および間伐面積を予測するモデルを構築している。林業活動を予測することは経済状況の変動により大きく影響を受けるため非常に難しいことから、現状の分析に加えて将来の状況を想定したシナリオに基づくアプローチが適切である。その一例として、本発表においては議論の土台とすべく、現状の延長として現在の齢級別主伐および間伐割合を用いて伐採面積、蓄積を予測した。

また、シミュレーションを行う上では、主伐、皆伐が行われる林分を特定する必要がある。そこで、3 次メッシュにおける人口密度や道路密度等を変数として、主伐および間伐が実施される傾向をモデル化した。このモデルにより与えられた県別、樹種別、齢級別伐採面積に適合するように対象となる林分を選択し、対象となる林分について森林情報データベースを更改する。

## 3. 将来予測の一例

### 1) シミュレーションの設定

対象地域を日本全国、対象樹種をスギ林（主として人工林、島嶼部は割愛）、予測期間を 2005 年から 2050 年として、植生および土壌からなる森林生態系における林業活動を含めた炭素循環をシミュレートした。先にも述べたように、主伐、間伐面積の予測については現状の延長として減反率法（齢級別伐採確率）を用い、間伐方法は下層間伐とした。植生モデルおよび土壌モデルの律速因子となる気象値については、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 MIROC3.2（hires）を、（独）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。

### 2) シミュレーションの結果

シミュレーションにより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 に示す。分布図は各 3 次メッシュに存在するスギ林の炭素蓄積量の総和を表示しており、炭素蓄積量の絶対量は 3 次メッシュ内のスギ林面積およびその齢級

に大きく規定され、変化量は林分の成長だけでなく林業活動にも影響を受けることに注意が必要である。

また、日本全体のスギ林における植生の総炭素蓄積量とその変化量を図 4 に示す。この炭素変化量は森林の生体バイオマスによる炭素吸収量と見なして良い。図 4 よりスギ林の炭素蓄積量は 2020 年を過ぎたあたりまでは順調に増加するが、その後は増加速度が減速していく結果となっていることが分かる。これは現在の人工林を主体とするスギ林における齢級構成および林業活動の停滞を反映した結果と考えられる。

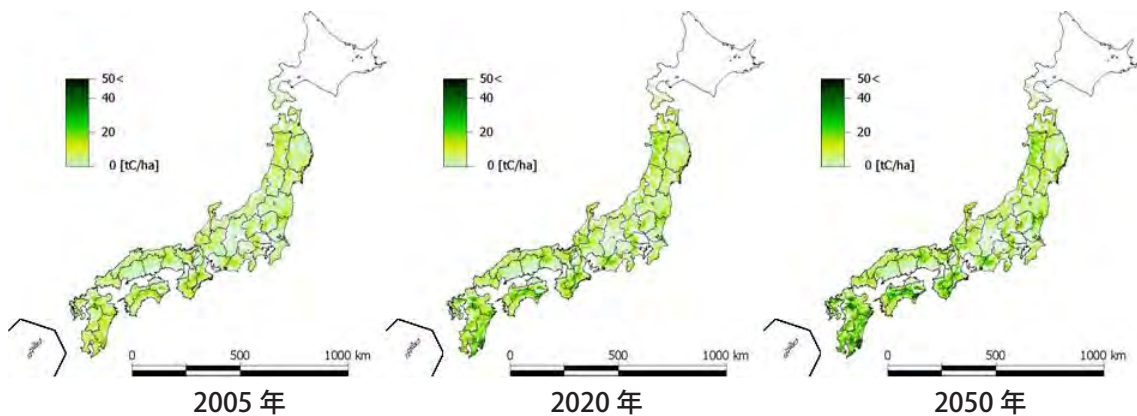


図3 シミュレーションによるスギ林炭素蓄積量の分布

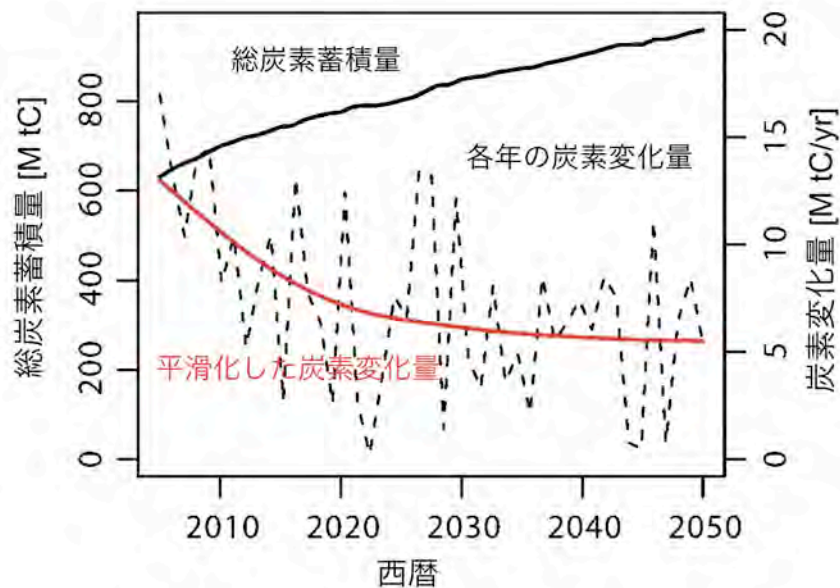


図4 シミュレーションによるスギ林総炭素蓄積量と炭素変化量

#### 4. 議論

今回のシミュレーションは、スギ1樹種を対象とし、現状の伐採性向を採用した伐採シナリオのみを利用しているなど、ただ一つのシナリオに基づく事例を示したものであり、まだ政策に寄与する段階に至っていない。しかし、このシミュレーション結果は有用な情報も多く含んでおり、これにより将来を展望する端緒としたい。

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た。その一方、スギ林は吸収源として維持されながらも、その

吸収量は徐々に低下していくことが予測された。これは、個別林分では地球温暖化による吸収量の促進が予測されているものの、森林資源全体の高齢化がもたらす吸収量の低下がそれを上回るためと考えられた。

現在、日本の人工林の齢級構成は 8 から 10 齢級に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く。加えて、現状では主伐が少なく更新が行われず、成長量が大きい若齢林が極端に少ない状況となっている。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る。

IPCC 第 4 次報告書 (IPCC 2007) は森林分野の緩和策として、森林面積・蓄積の維持増加と併せて、木材製品の利用を掲げている。これは、森林による吸収と併せて、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る。この視点から見れば、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。

このような分析から、日本の森林管理の方向性として、人工林による高い蓄積を背景に木材生産量を高め、木材製品の活用による排出削減を進めながら、人工林の更新により生まれた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る。

## 5. おわりに

本発表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シミュレーション結果を示し、将来の展望を議論した。モデル開発についてはまだ研究途中であり改善の余地が多く残されているが、全体として良好な作動と結果をもたらしていると認識している。今後は、全樹種のモデル化、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との統合などを進めるとともに、強化すると予測されている台風の影響も組み入れ、政策の検討に貢献できるモデルの開発を目指したい。

## 引用文献

- 家原敏郎ほか (2001) 関東森林管理局東京分局管内収穫試験地の林分構造と成長。収穫試験地報告 第 22 号。
- IPCC (2007) Summary for Policymakers, Climate Change 2007 -Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
- K-1 model developers (2004) K-1 coupled model (MIROC) description 1.
- Landsberg, J.J. & Waring, R.H. (1997) A generalized model of forest productivity using simplified concept of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. Forest Ecology and Management 95: 209-228.
- Liski, J. et al. (2005) Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. Ecological Modeling 189: 168-182.
- 松本光朗ほか (2006) 国家森林資源データベースの設計と開発状況。森林資源管理と数理モデル 6: 141-163.

## 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）

### 1. はじめに

2007 年に刊行された IPCC の第 4 次報告書によると、今後 100 年間で地球の温度は 1.8 ～ 4.0 °C 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と予想されている。地球温暖化は、温度の上昇にだけとどまらず、降雨、降雪、日射量、台風などの他の気候変化も伴い、自然や人間社会に様々な影響を与えられと考える。森林生態系への影響としては、気候変化が毎年の開葉・落葉・開花・成長などを変動させ、それが長期に及ぶと動植物の生存や生物間相互作用にまで影響し、その結果として動植物の分布を変化させる。

日本の植生帯は温度の傾度に対応しており、南から亜熱帯常緑広葉樹林、暖温帯常緑広葉樹林（照葉樹林）、中間温帯林（モミ・ツガ林、暖温帯落葉樹林）、冷温帯落葉広葉樹林、亜寒帯（亜高山帯、寒温帯）常緑針葉樹林、高山植生、北海道に特有の針広混交林に区分されている。本州中部の南アルプスや中央アルプスを低地から登って行くと、森林の標高に伴う自然林の変化（垂直分布）を観察できる。海岸線から標高 500 m まではスダジイ・カシ類などからなる照葉樹林、500 ～ 1,000 m には常緑針葉樹（モミ・ツガ）と落葉広葉樹（イヌブナ、シデ類など）が混生する中間温帯林、1,000 ～ 1,650 m にはブナが優占する落葉広葉樹林、1,650 ～ 2,400 m にはシラビソ、コメツガ、トウヒが優占する常緑針葉樹林、それ以上の標高にはハイマツ低木林や高山草原からなる高山植生が広がる。

地球温暖化の植物分布への影響を予測する研究が 1990 年以降欧米を中心に、数多く行われている。米国では東部の主要樹種 80 種について、英国では 33 種の植物について、現在および将来の気候下での潜在生育域が予測されている。ヨーロッパ大陸では、1000 種以上の植物種の潜在生育域が予測され、地球温暖化が及ぼす植物種多様性への影響が評価されている。日本では 1990 年代に、8 つの自然植生帯と 5 つの森林タイプについて気候要因に基づく潜在生育域の予測と地球温暖化影響評価が行われた。2000 年代に入って、さらに精度の高いモデルにより、ブナ林やハイマツ、ササ類 2 種、シダ類 1 種、針葉樹 10 種について潜在生育域の予測が行われている。

本講演では、環境省地球環境研究総合推進費戦略課題 S-4（サブテーマ 5）において、森林総合研究所が日本の野生植物について行ってきた潜在生育域の予測と温暖化影響の評価について紹介する。

### 2. 現在の気候と気候変化シナリオ

現在の気候データは、3 次メッシュ気候値（気象庁 1996）が利用できる。3 次メッシュとは、緯度方向に 30 秒、経度方向に 45 秒の大きさ（約 1 km × 1 km）の網の目に全国を区分したものである。将来の気候データとしては、地球の大循環モデル



(GCM: General Circulation Model) に基づいた 2 つの気候変化シナリオが日本では近年よく利用されている。その 1 つの RCM20 シナリオは、IPCC 地球温暖化第 3 次評価報告書による温室効果ガス排出シナリオ SRES-A2 の（経済重視・多元化社会）に準拠して気象庁によって作成された空間解像度 20 km の地域気候モデルである。もう 1 つの MIROC は、排出シナリオ SRES-A1B（経済重視・グローバル化社会）に基づいて、日本で開発された空間解像度 1.125°（約 100 km）の気候変化シナリオである。どちらの気候変化シナリオも空間解像度が、現在の気候値より大きい、空間内挿という方法で 3 次メッシュにまでダウンスケールできる。現在の気候に比べ 2 気候シナリオ RCM20 と MIROC は、全国平均で気温が 2.8 °C と 4.3 °C 上昇する。

植物の分布予測モデルの説明変数としては、これら気候データから算出した 4 つの気候変数が良く使われている（Matsui et al. 2004, 2009; 田中ら 2006）。即ち、暖かさの指数（WI、5°C 以上の月平均気温の年間の積算値）、最寒月の日最低気温の平均（TMC）、夏期降水量（PRS、5～9 月）、冬期降水量（PRW、12～3 月）である。

### 3. 地球温暖化のブナ林への影響予測

ブナ林は、日本を代表する自然林で、水源涵養機能や野生生物の生息地として広く重要性が認められている。ブナは北海道南部の黒松内から鹿児島県高隈山まで分布し、その面積は日本の自然林総面積の 17% にあたる 23,000 km<sup>2</sup> である。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る。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、1993 年に世界自然遺産に登録された（図 1）。



図 1 白神山地のブナ林

気候変化が日本のブナ林の分布に及ぼす影響を評価するために、気候と土地要因からブナ林の分布を予測する統計モデルを作り、モデルに気候変化シナリオを組み込んで将来の生育域が予測された。分布確率 0.5 以上の地域が実際の分布と最も良く一致したので、分布確率 0.5 以上の地域はブナ林の成立に適する地域（適域）と考えられた。分布確率 0.01～0.5 の地域はそれほど適していない環境条件だが、低頻度でブナ林の成立が可能な地域（辺縁域）と考えられた。分布確率 0.01 未満の地域は、ブナ林の成立が困難な地域（潜在非生育域）と考えられた。

現在ブナ林が分布する地域における適域 (14,579 km<sup>2</sup>) は、現在に比べて 2081-2100 年には RCM20 で 21% (3,117km<sup>2</sup>) に、MIROC で 4% (544 km<sup>2</sup>) に、それぞれ減少すると予測された（図 2）。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脆弱であると考えられる。ブナの寿命は 200 ～ 400 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わけではない。しかし、ブナ老齢木が 1 本 1 本枯死すると、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によって徐々に樹種の交替が進むだろう。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る。

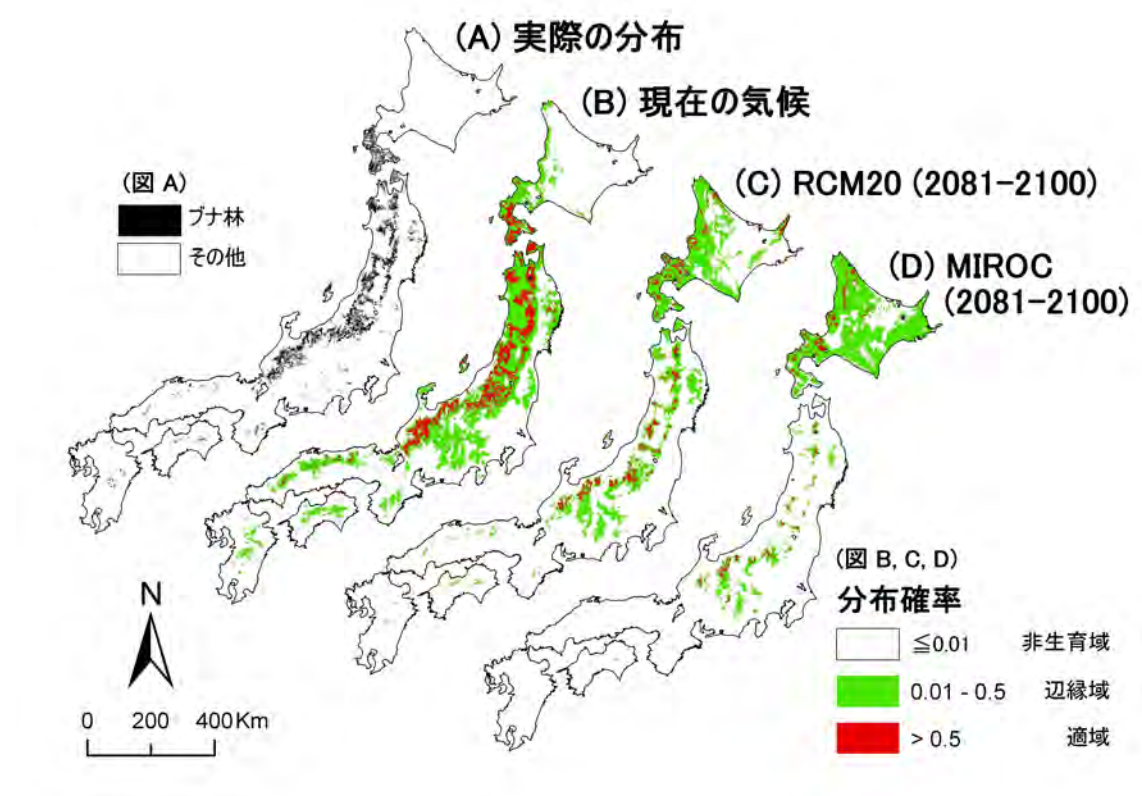


図2 ブナ林の実際の分布と各気候条件における生育域の予測（松井ら 2009 の図を改変）

白神山地世界遺産地域では、適域は現在の気候下では世界遺産地域の 95 % を占めるが、2081-2100 年には RCM20 で 0.6 %、MIROC で 0.0 % に減少する（松井ら 2009）。自然遺産地域の約 8 割が林齢 150 から 200 年生であるので、2100 年には多くのブナが壮齢期から老齢期を迎える。温度上昇に伴いブナ林下限域から、ブナの死亡後にミズナラやコナラなどの落葉広葉樹が成長し、ブナの密度が低下する可能性がある（松井ら 2007）。

地球温暖化に伴う日本の植生帯の移動速度は 4,000 ～ 5,800 m/ 年と推定されている。また、今後 100 年間の本州東部における気温帯の移動は、RCM20 で約 3,900 m/ 年、MIROC で約 5,800 m/ 年と推定されている。最終氷期以降のブナ林の北上速度は、本州では 30 ～ 233 m/ 年で、北海道では 20 m/ 年または 11 m/ 年と推定されている。これは、地球温暖化による気温帯の移動速度には、はるかに及ばない。

ブナの北限は北海道渡島半島の黒松内低地にあり、それより北にある冷温帯自然林はミズナラやトドマツ等が優占する針広混交林である。北限以北の大部分の北海道は冬期の寒さが低すぎることで、また場所により夏期降水量や冬期降水量が少ないことでブナ林の成立に適さない。2つの気候変化シナリオ（RCM20 と MIROC）では、適域は黒松内低地を越えて北東部各地に広がる。北海道における氷期以降のブナの北進速度は大変遅かった。移動速度の遅いこと、また、人為的土地利用（人工林、農耕地、都市など）によって自然林が分断されていることから、北海道におけるブナの分布拡大は困難であると推定される。

#### 4. 地球温暖化のハイマツへの影響予測



図3 南アルプスのハイマツ群落（標高 2,600m）

ハイマツは、マツ科マツ属の匍匐性の低木で、日本の高山帯の代表種である(図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赤石山脈まで、西は白山までの山地上部に自生し、森林限界を超えた高山帯では優占する。地球温暖化のハイマツ分布への影響を評価するために、ハイマツの分布データと、現在の気候から算出した5つの気候変数を用いて、ハイマツの分布を気候変数 から予測する統計モデルが作成された。

5つの気候変数は、WI、TMC、PRS、最新積雪水量（MSW）と冬期降水量（WR）を用いた。このモデルに現在の気候と2081-2100年の2つの気候シナリオ RCM20 と MIROC が組み込み、現在と将来のハイマツの適域が予測された (Horikawa et al. 2009)。その際、富士山の高山帯など気候的には適していても実際にはハイマツの分布しない山地があるため、現在分布しない山地に移動することはないと仮定して、ハイマツの実際の分布域内に限定して地球温暖化後の適域が予測された。

分布確率が0.06以上の地域が実際の分布と最も良く一致したので、この地域を適域と呼ぶ。また、0.01～0.06の地域を辺縁域と呼ぶ。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7,867 km<sup>2</sup>であった。2081 - 2100年には、RCM20で2,456 km<sup>2</sup> (31 %)、MIROCで1,061 km<sup>2</sup> (14 %)に適域が減少する(図4)。いずれの場合も、分布する山地の全てにおいて、適域の面積が縮小または消失することが予測された。とくに東北地方では、RCM20で9%に、MIROCでは0%にそれぞれ縮小すると予測され、脆弱な地域と言える。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、ここが地球温暖化後の逃避地（レフュージア）になると考えられる。



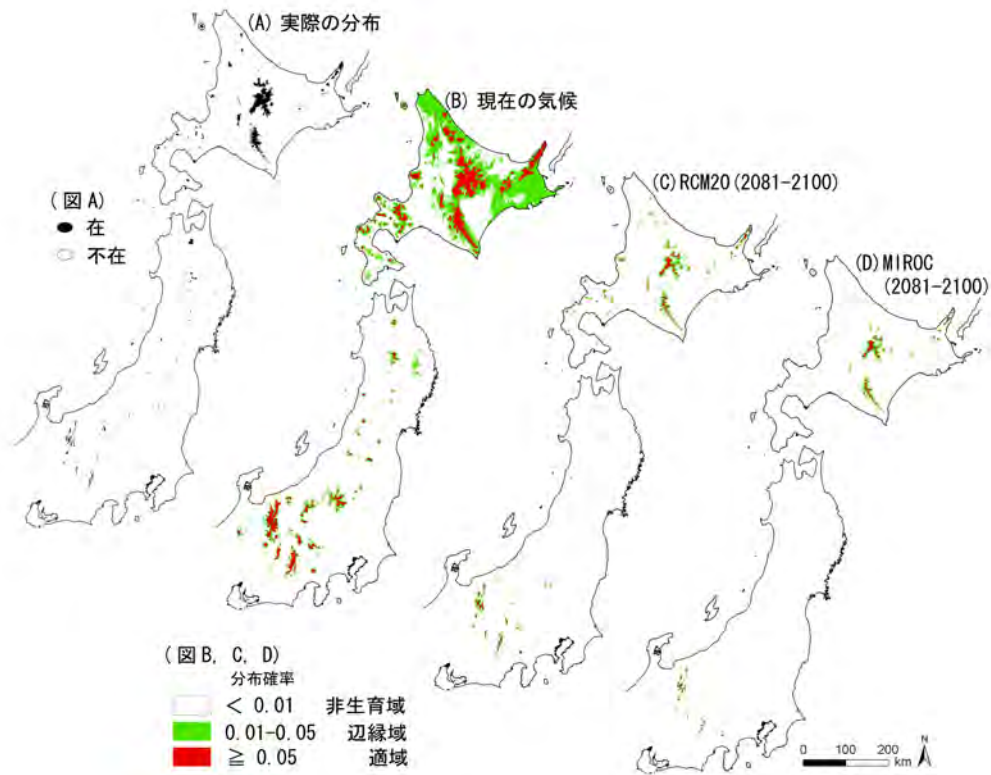


図4 ハイマツの実際の分布と各気候条件における生育域の予測  
(Horikawa et al. 2009 の図を改変)

## 5. おわりに

森林生態系は、CO<sub>2</sub>の吸収・蓄積・排出、水源、土砂流出防止などの機能とともに、多様な生物の生息地として生物多様性を維持する機能を有している。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る。生育域（生息域）を予測するモデルを種毎に作成し、将来の生育域を予測する作業により、脆弱な種や地域、逃避地が特定できる。脆弱な種や地域および逃避地を特定し、そ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ある。モニタリングの結果に基づき、現地の変化に応じて必要な対策を講じることができる。無計画な植栽などの人為を加えることが生物多様性や自然林の保全にマイナスの効果をもたらす危険があるので、保全策の立案はモニタリング結果と生態学的知見に基づいて行われる必要がある。また、適応策は、他の生態系管理と同様、国民や関係組織の合意形成に基づいて森林生態系の管理目標を明確にした上で実行されることが必要である。



## 引用文献

- Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Matsui, Y. Kominami, 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.
- Matsui, T., T. Yagihashi, T. Nakaya, H. Taoda, S. Yoshinaga, H. Daimaru and N. Tanaka (2004) Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan. *Journal of Vegetation Science* 15: 605-614.
- 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(1): 7-13.
- 松井哲哉・八木橋勉・田中信行・小南裕志・津山幾太郎・高橋潔・肱岡靖明 (2009) 温暖化にともなうブナ林の分布適域の変化予測と影響評価. *地球環境* (印刷中)
- 田中信行・松井哲哉・八木橋勉・埴田宏 (2006) 天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測：とくにブナ林について. *地球環境* 11: 11-20.

## 空から森林の吸収量・排出量を見守る

平田 泰雅（森林管理研究領域チーム長）

### 1. はじめに

地球規模での気候変動が指摘される中、森林の炭素固定機能が地球温暖化の緩和に果たす役割が期待されている。樹木は成長するときに、温室効果ガスの一つである二酸化炭素を吸収して、炭素をその体内に固定する。したがって、健全な状態に森林を管理して成長を促すことにより、より多くの炭素を大気中から取り除くことができる。

一方、アブラヤシやトウモロコシのプランテーション造成のために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る。発展途上国における森林減少からの二酸化炭素の排出は、人為起源の温室効果ガス排出の約 2 割を占めると言われている。したがって、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る。

このように森林は気候変動の議論の中では、二酸化炭素の吸収源とともに排出源としても取り扱われる。森林の成長を促進することにより二酸化炭素の吸収量を増加させ、森林減少を抑制することにより二酸化炭素の排出量を軽減させるには、森林の状態とその変化を正確に把握し、適正な森林管理を実施する必要がある。しかしながら、地域レベルあるいは国家レベルといった広域での森林の状態とその変化を把握するには多大な労力を必要とする。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の把握に有効な手段であると考えられている。そこでここでは、空から森林の現状とその変化をモニタリングする国際的な取り組みと、二酸化炭素の吸収源および排出源として森林を観測する新たな技術について紹介する。

### 2. 空から森林をモニタリングする国際的な取り組み

国際連合食糧農業機関 (FAO) は、1980 年より世界の森林の現状やその変化に関する情報を提供することを目的として、世界森林資源評価 (Global Forest Resources Assessment、FRA) を実施している。この森林資源評価では、各国からの報告に基づき、国別の森林資源および林業関連の情報を取りまとめている。これまで 1980 年、1990 年、2000 年、2005 年に報告書が作成されている。最新の 2005 年の報告によると、世界の森林面積は 39 億 5 千万 ha であり、世界の陸地面積の約 30% を占めている。これらの報告では情報の信頼性を高めるため衛星画像による検証作業が行われている。

2008 年 3 月には次回の報告にあたる 2010 年世界森林資源評価に向けて作業が開始された。この 2010 年に向けた作業では、リモートセンシング資源調査作業部会が設けられ、世界の森林被覆を同一基準で評価することが試みられている。このリモートセンシング資源調査においては、Landsat 衛星データを用いて 1975 年、1990 年、2000 年、2005 年の森林被覆に関するデータセットを作成することを目標にしている。衛星データ

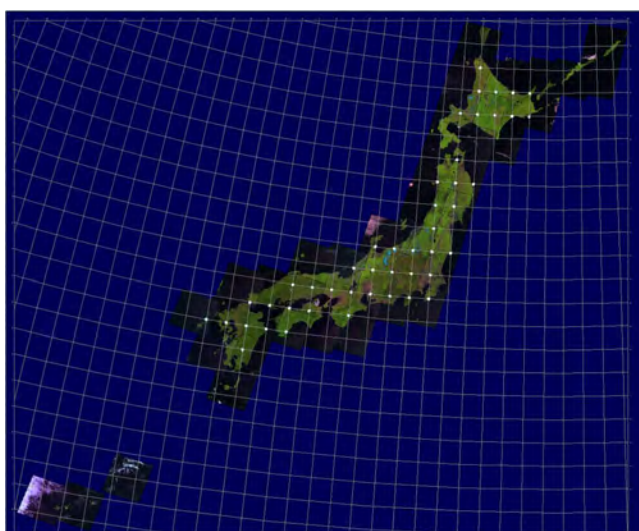


図1 日本におけるサンプリングサイト

については米国航空宇宙局 (NASA) が無償でデータの配賦を行っているものを利用することになっている。対象は、緯度と経度を各 1 度毎に 10 km × 10 km のサンプリングを行い、この範囲について土地被覆分類を行う。世界では極地を除き約 13,000 点のサンプリングサイトが想定され、このうち 9,000 点が何らかの植生を含む点であると考えられる。土地被覆クラスは 1) 森林、2) 他の樹林地、3) 樹木の被覆を伴う他の土地、4) 草地／放牧地／草本の生えている土地、

5) 農地、6) 建造物のある土地、7) 他の植生のない土地、8) 水域、9) データ無しとし、領域分割処理により生成された領域（オブジェクト）に対する土地被覆クラスは、各国において森林に関する知識を有する者が判読により決定する。なお、世界をアジア・太平洋、アフリカ・欧州、北米・南米の地域にわけ、発展途上国でリモートセンシングに関する技術が十分でない国については、FAO および地域内の先進国が能力開発に当たることになっている。

わが国におけるリモートセンシング資源調査のサンプリングサイトは、全国 48 箇所である（図 1）。これらのサイトでは一部海域を含むが、海域については対象外であるため解析から除外している。これらのサンプリングサイトの Landsat 衛星データに対して、日本の景観構造に適した分類について検討を行った。その結果、日本の景観は比較的小さな面積のパッチ構造をとるため、衛星データの分類でも細かな領域を分割することのできるパラメータの設定（SP=10）による分類が、高い分類精度を得られることが明らかになった（図 2）。

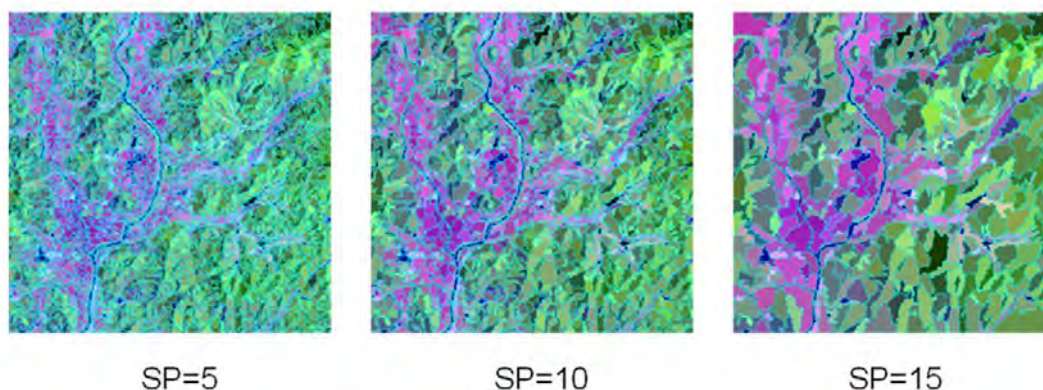


図2 オブジェクト指向型分類のスケールパラメータによる領域分割の違い



### 3. 吸収源としての森林の新たな観測技術

京都議定書における吸収源としての森林のモニタリングに関しては、議定書に批准するほぼ全ての国で地上調査に基づく森林モニタリングシステムに吸収量の算定が行われている。その中でニュージーランドは航空機レーザースキャナーを用いた森林調査を実施している。

航空機レーザースキャナーによる森林計測は、航空機に搭載された計測装置から照射されたレーザー光が地上に近づくにつれて広がり、光の一部が森林の林冠表面で反射し、最後は地表面において反射して計測装置に戻ってくる特性を利用した計測である（平田 2005）（図 3）。レーザー

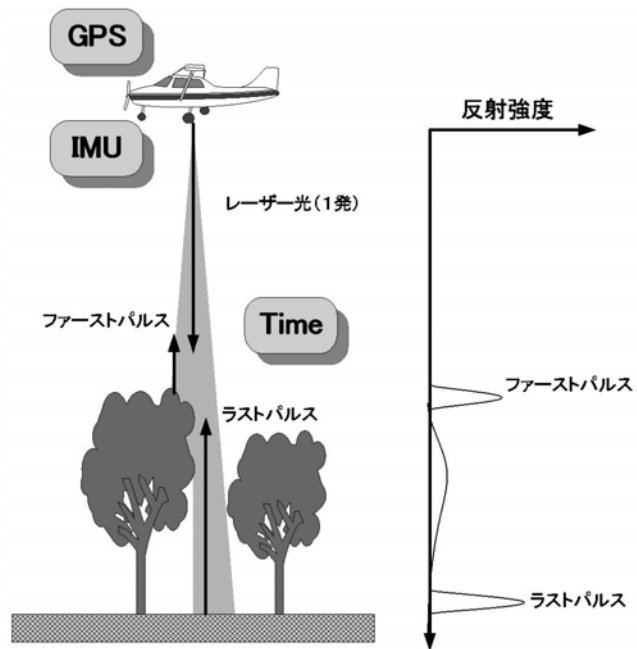


図3 航空機レーザースキャナーによる森林計測の原理

光の1回の照射に対して、林冠表面で反射して最初に戻ってくるものをファーストパルス、地表面で反射して最後に戻ってくるものをラストパルスと呼ぶ。GPS 測位により得られた航空機の3次元座標とレーザー光の照射された方向、航空機から計測対象物である林冠および地表面までの距離を用いて、林冠および地表面の3次元座標を算出する。航空機と林冠および地表面との距離は、レーザー光が照射されてからファーストパルス、ラストパルスとして戻ってくるまでの時間を計測することにより求めることができる。レーザー光の地上照射密度を高めることにより、3次元での点群の集合体として林冠および地表面を表現することが可能となる（図4）。

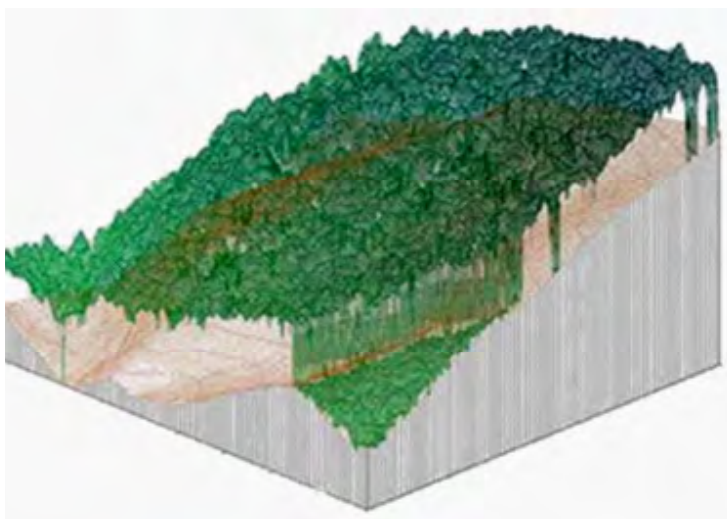


図4 航空機レーザースキャナーによる林冠表面（緑）と地表面（茶色）の復元

東京大学千葉演習林において、航空機レーザースキャナーデータから各立木の樹高と樹冠面積の推定を行い、得られた樹冠面積から相対成長関係を用いて胸高直径を推定することにより、高い精度で森林材積を推定することが可能であることが明らかになった (Hirata et al. 2008)。



この他、高分解能衛星データの利用に関しても期待が高まっている。50cm～1mの地上分解能の衛星データでは樹冠の1つ1つを識別することが可能であるため、識別された樹冠面積あるいは樹冠直径から相対成長関係により胸高直径の推定が可能となる。地域別に樹種毎の樹高－胸高直径曲線

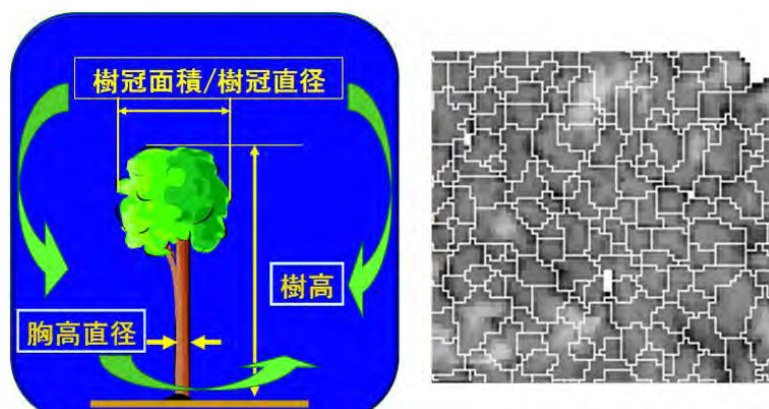


図5 高分解能衛星データからの胸高直径・樹高測定（左）と  
高分解能衛星データからの樹冠の自動識別（右）

が得られていれば樹高を推定することが可能であり、これから材積の推定が可能となる。

四国森林管理局四万十森林管理署管内国有林において、高分解能衛星データにより森林の状態を推定した結果、林齢の若い林では樹冠のサイズが小さいことから樹冠の識別が困難であるものの、壮齢から老齢の森林では樹冠を識別することができ、森林の材積を精度よく推定することが可能であった (Hirata 2008)。

森林による二酸化炭素の吸収量の推定は森林の成長を把握する必要があるが、成長の速度は緩やかであるため、高度な森林の計測技術が求められる。

#### 4. 排出源としての森林の観測技術

熱帯林は、種の多様性や炭素の固定機能の観点から、保全の重要性が認識されている。一方で、熱帯林の急速な減少には歯止めがかからず国際的な問題になっている。このような熱帯林の変化を捉えるには、広域での森林の現状を正確に捉える必要があるが、発展途上国においては十分な森林モニタリングシステムが確立しておらず、必ずしも現況を表すデータが得られるとは限らない。

2005年にカナダのモントリオールで開催された第11回気候変動枠組条約締約国会議（COP11）において、パプアニューギニアとコスタリカから、「途上国における森林減少に由来する排出は、世界全体の排出量の約2割を占めると言われている。しかしながら、現行の京都議定書には、森林減少による排出を削減するため



図6 森林減少・森林劣化・保全の定義

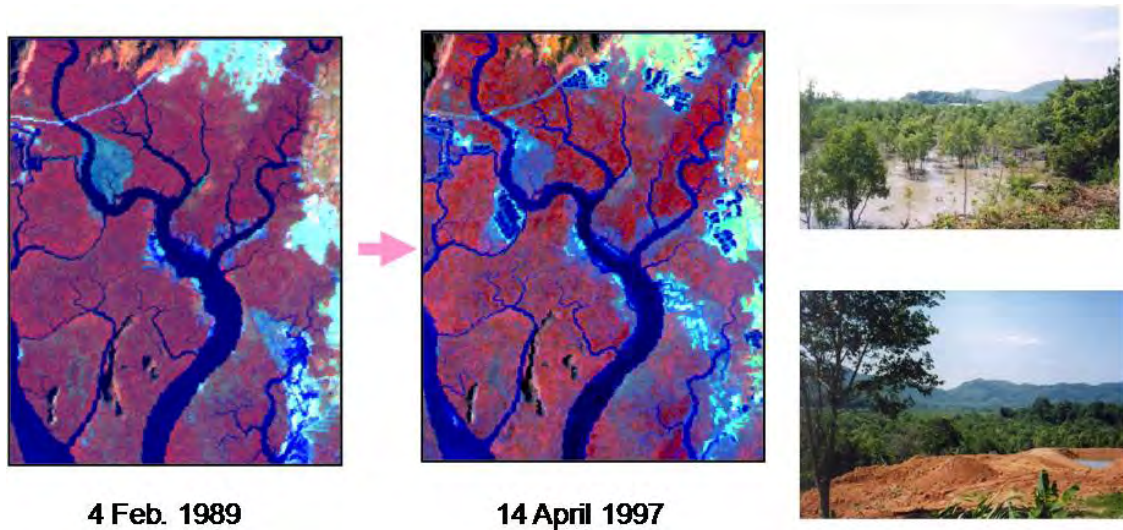


図7 衛星データによる森林減少の把握（エビ養殖場造成：左）  
写真は養殖場からの排水による森林劣化（右上）と新たな造成による森林減少（右下）

の仕組みが含まれていない。そこで熱帯林減少による排出を削減するため、気候変動枠組条約の下に京都議定書とは独立した別の議定書を作成するか、京都議定書に関連する取り組みにクレジットを付与する等のインセンティブを与える仕組みを作る必要

がある」という趣旨の提案がなされた<sup>注)</sup>。この提案を受けて、COP に対して科学上及び技術上の助言を行う補助機関会合（SBSTA）で検討が続いており、森林減少に加えて森林の劣化についても二酸化炭素の排出源として取り扱うべきであり、森林減少・森林劣化からの排出を抑えるための保全活動にも注目すべきであるという意見が出されている（図6）。

今年6月に開かれたSBSTA30においては、発展途上国での森林モニタリングシステム構築の重要性が強調され、リモートセンシングと地上調査の組み合わせが有効であることが確認された。リモートセンシング技術により、二酸化炭素の排出源となる森林減少を把握するためには、時系列のデータを収集することが必要である（図7）。この場合、雲の有無や季節による落葉樹林での見え方の違いなど、考慮すべき問題がある。また、異なる人工衛星での観測では、それぞれのデータ



図8 違法伐採による森林劣化  
違法伐採現場（上）と警察に押収された違法伐採木の木材（下）



がどのように比較可能であるのかを検証する必要がある。

当初、気候変動枠組条約における森林の排出源としての議論は森林減少についてであったが、森林劣化についても議論の対象となった（図 8）。違法伐採での抜き伐りを見つけ出すには、抜き伐り前後での高分解能の衛星データが必要となる。この抜き伐り前後の衛星データの比較により林冠の変化から森林劣化を捉えることができる。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 1999 年からであり、これまでに観測された地域は限られている。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必要である。

## 5. おわりに

リモートセンシング技術は森林の二酸化炭素の吸収量や排出量をモニタリングする有力なツールである。しかしながら、リモートセンシングのみで森林の現状を正確に把握することはできない。空から観測可能なものは基本的には林冠表面であり、二酸化炭素の吸収量や排出量を推定するためには、地上調査により得られるデータと組み合わせた解析による推定精度の向上が求められる。適正な森林管理に向けては、現在利用可能な手法を効果的に組み合わせて用いることが重要である。

## 引用文献

- 平田泰雅 (2005) 航空機レーザースキャナーを用いたスギ人工林計測におけるレーザ光の林冠透過率と地上照射密度の影響. 森林計画学会誌 39: 81-95
- Hirata, Y., N Furuya, M Suzuki, and H Yamamoto. (2008) Estimation of stand attributes in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands from single tree detection using small-footprint airborne LiDAR data. Journal of Forest Planning 13: 303-309
- Hirata, Y. (2008) Estimation of stand attributes in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands using QuickBird panchromatic data. Journal of Forest Research 13: 147-154

注) 途上国の森林減少・劣化に由来する二酸化炭素等の排出の削減 (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in developing countries) という英語の頭文字を取って REDD と呼ばれている。詳しくは以下を参照

## 国際シンポジウムの記録

「ストップ森林破壊 気候変動対策に向けた研究者からのメッセージ」

(独) 森林総合研究所

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/chuki-seika/2ki/chukiseika2ki-8.pdf>



パネルディスカッション 関連成果

## 土壌における炭素の蓄積と排出

高橋 正通（研究企画科長）

### 1. はじめに

地球温暖化と土壌とは 3 つの点で重要な係わりがある。第一に、土壌には大量に炭素が保持されており、とくに森林土壌は炭素固定機能が高いこと、第二に、土壌炭素は森林の管理、土地利用の変化や気候変動で蓄積にも排出にもなること、第三に、土壌の性質が樹木の成長を決めるので土壌保全が重要なことである。そのため、気候変動枠組条約や京都議定書では、排出・吸収量の国別報告において、森林土壌や落ち葉（リター）、枯死木の炭素量の変化も報告することを求めている。

### 2. 土壌の炭素固定

土壌は、炭素が密に詰まった炭素貯蔵庫である。地球全体で試算すると、植物に含まれる炭素量の約 3 倍の炭素が土壌に蓄積しているので、その変化は地球温暖化に大きな影響を及ぼす。日本の森林では 1ha の面積に、平均約 180t の土壌炭素（深さ 70cm）が貯まっている（Morishita et al., 2004）。そのうち、約半分は表層 30cm までに集中しており（図 1）、表土の保全はとくに地球温暖化防止の上でも重要である。

日本には多様な土壌が分布している。日本の森林に一般に見られるのは褐色森林土である。その深さ 30cm までには ha 当たり約 88t の炭素が蓄積している。また、日本の土壌の中でも黒色土（黒ボク土）は炭素を貯めるスーパー土壌である。黒色土は関東や東北など火山が多い地域に分布し、主に畑として利用されているが、森林の場合には約 260t と炭素が高密度に蓄積している。

面積当たりの土壌炭素量と土壌分布、森林面積からわが国の森林の土壌炭素量が推定できる。京都議定書の報告様式に沿って深さ 30cm までを計算すると、日本の森林土壌には約 20 億 t の炭素がある。これは樹木に含まれる全炭素量に匹敵する。さらにリター（落葉）として 1.7 億 t、枯死木として 3.9 億 t の炭素蓄積量があると推定される。土壌炭素の蓄積量を精密に測定するため、現在、全国で土壌炭素量調査が行われている（図 2）。

### 3. 土壌からの二酸化炭素排出

森林土壌の炭素の起源は、落ち葉や倒木などの枯れた植物である。枯れた植物は分解され再び二酸化炭素となって大気に戻ってしまうが、ごく一部が土壌に残って蓄積していく。したがって長年人手の入らない原生林の土壌が最も多くの炭素を貯めている。

土壌炭素は落ち葉など土壌に入る有機物と、分解して土壌から放出される二酸化炭素のバランスの上に成り立っている。そのため、森林を切り開いて農業や住宅などにすると、そのバランスが崩れ土壌炭素から多量の二酸化炭素が排出される。とくに何世紀にもわたり炭素を貯めてきた泥炭地が開発されると、ごく短期間に多量の二酸化炭素が排出す

る可能性があり危惧されている。

土地の利用の違い、森林の管理の違いによる土壌炭素量の変化を知るためにモデルが開発されている。日本では京都議定書の報告に CENTURY-jfos（米国コロラド州立大学の改良版）を用いている（図 3）。森林が成長するにつれて土壌やリター中の炭素が蓄積してゆくが、間伐など保育時には土壌炭素量も変化する。森林が伐採されると、枝条や根株などの林地残材が林地に残される。この林地残材も炭素蓄積量として機能し、土壌炭素の減少を抑えている。

#### 4. 森林の成長を支える土壌

樹木の成長は土壌に支えられている。土壌の良い場所は養分や腐植に富み、炭素蓄積量が多く、それが樹木の成長、つまり炭素固定速度に影響する。森林による二酸化炭素の吸収を維持するためには、土壌の保全に留意することが重要である。

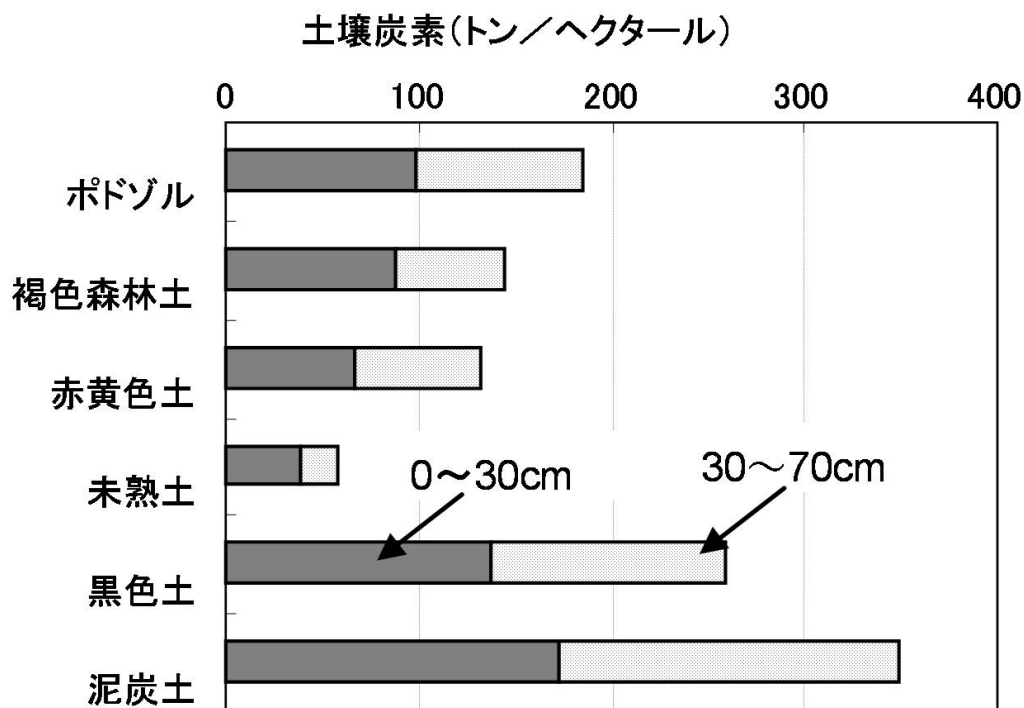


図 1 日本の主要な森林土壌の種類別炭素蓄積量  
 (深さ 70cm までの集計 (Morishita et al. (2004) を改変))  
 深さ 0 ~ 30cm までには、約半量の炭素が蓄積している



図2 全国の森林で行われている土壌炭素蓄積量調査（林野庁インベントリ情報整備事業）  
深さ 1m までの調査と土壌型の判定が行われている。これ以外に、深さ 30cm までの調査地が  
約 2 倍の規模で実施され、高い精度で土壌炭素量が調査されている。

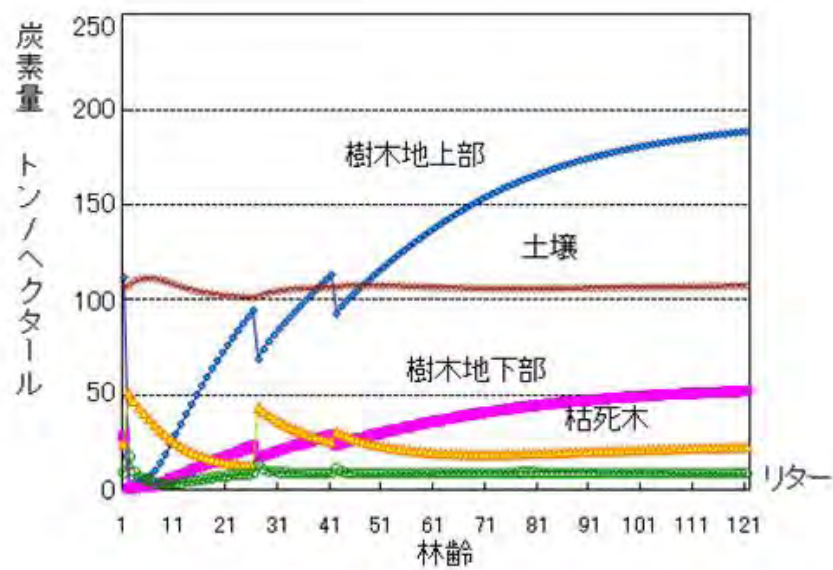


図3 森林の成長・管理と土壌、枯死木、リターの炭素量変化  
伐採や間伐により土壌や枯死木の炭素量も連動して変化する。

#### 引用文献

Morisada K. et al. (2004) Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma* 119:21-32

高橋正通 (2001) 森林土壌の炭素固定メカニズム. 森林科学 33: 24 - 29



パネルディスカッション 関連成果

## 衛星「だいち」搭載の PALSAR で熱帯林を調べる

清野 嘉之（温暖化対応推進拠点長）

### 1. はじめに —なぜ PALSAR か

「途上国の森林減少・劣化に由来する排出の削減（REDD）」を国際共同により実施するには、森林からの温室効果ガス排出を比較的高い精度で、広域について評価できる方法が不可欠である。しかし、熱帯林は地上からのアクセスが困難なことが多く、また空からも、光学センサーでは雲に阻まれて地上を観測できないことが多いため、森林からの温室効果ガス排出量を知ることが難しい。

国産衛星「だいち」が搭載する PALSAR（能動型マイクロ波センサー）は、マイクロ波を地上に発し、反射してくるマイクロ波を通して地上の状態を把握する方法を採用しており、雲や煙があっても、また、夜でも地上の状態を知ることができる。この PALSAR を利用すると熱帯林を高頻度で調べることができると期待される。しかし、PALSAR による森林観測は実績が乏しく、技術的課題は多い。このため、森林総合研究所では、環境省地球環境総合推進費研究課題「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」において、JAXA（宇宙航空開発機構）と北海道大学と共同で、PALSAR を利用した森林観測技術の開発に取り組んでいる。

### 2. 調査地とおもな人為的攪乱

地上観測と衛星観測を併用する主要な試験地（テストサイト）を、カンボジアのコンポントム州とインドネシアの中央カリマンタン州に設けた。カンボジアでは伐採や火災により森林の劣化が近年、急速に進んでいる。森林総合研究所はカンボジア国の森林局や環境省と共同研究を行っており、それを踏まえて、乾地の代表的森林である熱帯雨林と落葉林を含む 50 km × 50 km の土地を試験地とした。中央カリマンタン州では北海道大学が地元のパランカラヤ大学と共同で、農地開発された泥炭湿地林の泥炭の分解やそれに伴う泥炭からの温室効果ガス排出やそのメカニズムを長年調べている。泥炭湿地林は枯れた植物が水底に沈んで泥炭になり、数 m 以上の厚さに堆積した土地に成立する森林である。泥炭湿地林を開発するときに排水路がつくられるので、水位が下がって泥炭の分解が始まり、また、乾期に泥炭に火がついて膨大な量の温室効果ガスが発生することが世界的に注目されている。泥炭湿地林と農地開発地を含む 40 km × 40 km の土地を試験地とした。

### 3. 観測対象の温室効果ガスとその発生原因

森林から発生する主要な温室効果ガスは二酸化炭素、亜酸化窒素、メタンである。そのうち二酸化炭素は植物や落葉、土壌中の炭素が分解したり、燃焼することにより発生する。火事が起こると亜酸化窒素やメタンも発生する。亜酸化窒素は土壌有機物の分解（無機化）によって発生する。観測対象はこのように多いが、カンボジアとインドネシア

のテストサイトでの見積もりによると、主要な（影響力が大きい、データが乏しく不確実性が大きい）ものは、バイオマスや土壌有機物の分解、燃焼に伴う二酸化炭素、泥炭の無機化に伴う亜酸化窒素であった。このため、これらを優先してデータを集めることが全体の評価精度を効率的に上げるうえで重要と考えられた。

#### 4. 森林減少・劣化による温室効果ガス排出の推定手順

京都議定書では、国レベルで森林面積の変化とそれに伴う炭素吸収・排出量の算定、および管理された森林の吸収量の算定が必要であった。ポスト京都では、途上国に同様の手法が求められる可能性が高いことから、議定書の方法に準じて、面積と、様々な単位面積当たりの値を用いる算定手法を採用した。テストサイトに適用する森林減少・劣化による排出の推定手順は次の通りである。

- ① 森林面積と単位面積当たりの炭素蓄積量・温室効果ガスの吸収・放出量を異なる時点で求める。
- ② 森林の炭素蓄積量・温室効果ガスの吸収・放出量の変化量を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。

##### 1) 森林面積を調べる

PALSAR の後方散乱係数を利用して土地被覆分類を行ったところ、土地被覆分類で実績のあるランドサット ETM+ とよく類似した分類が可能であることが分かった（図 1）。カンボジアでも同様の成果が得られており、PALSAR の後方散乱係数は、光学センサーを補完して、劣化する熱帯林の分類と面積のモニタリングに利用できると考えられる。

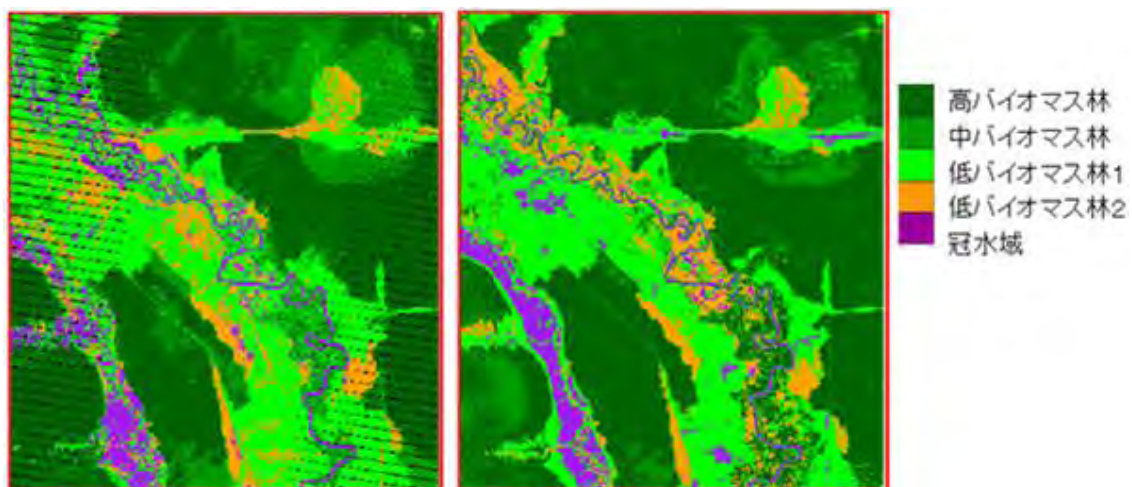


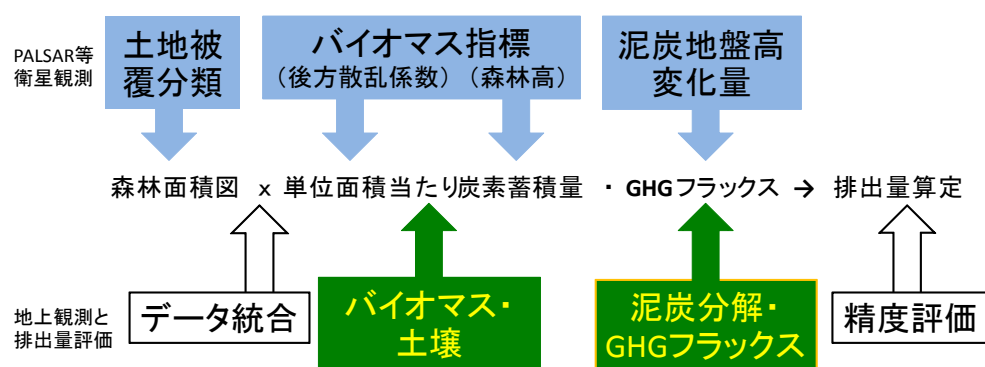
図 1 インドネシアのテストサイトにおける土地被覆分類図（左は ETM+、右は PALSAR による）

## 2) 単位面積当たりの炭素蓄積量・温室効果ガスフラックスを調べる

バイオマスと土壌からの二酸化炭素排出、泥炭土壌の無機化に伴う亜酸化窒素排出について調べている（図 2）が、ここではバイオマスについて紹介する。

PALSAR の後方散乱係数に基づく指標値から地上部バイオマスを推定する手法を開発し、一部検証も行ってバイオマス分布図を作成した。また、この手法は、地上部バイオマスが中程度以下の森林に適用範囲に限られることから、それを補う PALSAR のインタフェロメトリ機能を利用したバイオマス推定手法の開発も進めている。二つ目の手法はまだ検証が済んでいないが、森林高を直接推定し、森林高とバイオマスの関係式を利用して間接的にバイオマスを推定するため、適用範囲が広い。

### 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フラックスの変化量を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

図 2 森林減少・劣化による温室効果ガス排出の推定手順に沿ったデータ収集と排出量算定

## 3) 森林面積と単位面積当たりの値を掛け合わせて総量を計算する

排出量算定の誤差や、一定精度で排出量推定を繰り返すのに必要なサンプル数とコストは次式で推定できる。

$$n_i = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{A_i}{AP} \cdot st_i \cdot \sqrt{C_i}}{\left( \frac{A}{AP} \cdot \frac{E_1}{z_{\alpha/2}} \right)^2 + \sum_{i=1}^L \frac{A_i}{AP} \cdot (st_i)^2} \cdot \frac{\frac{A_i}{AP} \cdot st_i}{\sqrt{C_i}}$$

ここで  $i$  は階層、 $L$  は階層数、 $A_i$  は各植生タイプの面積、合計が  $A$ 、 $AP$  はプロット面積、 $st_i$  は各植生タイプのバイオマス平均値の標準偏差、 $C_i$  はプロット設定コスト、 $E_1$  は推定量の許容誤差、 $z_{\alpha/2}$  は統計値  $z$ 。



これをカンボジア国の主要森林の炭素蓄積量に適用した (Kiyono et al. 2010 印刷中) ところ、比較的精度の高いモニタリングを比較的安価に実施できることが分かった。今後、他の地域、炭素蓄積量・GHG フラックスについても、データを利用できる段階になったら、この手法を適用して統合が可能である。また、それにより森林減少・劣化による温室効果ガス排出量の広域・高精度評価に必要なデータ量が明らかになることから、本手法は REDD を念頭に置いた途上国森林のインベントリ作成の一助となる可能性がある。

## 5. おわりに

PALSAR を利用して、雲の多い熱帯林で森林減少・劣化を検出し、GHG 排出量を評価することが可能と考えられる。十分な精度を持った観測技術を開発できれば、熱帯林の森林資源管理の不確実性を軽減することができるであろう。また、本研究プロジェクトに参画するカンボジアとインドネシアのカウンターパートはそれぞれの国の森林・環境政策に深く関わる立場の人たちである。地上観測や衛星観測データの収集、分析、解釈といった技術的知見が、カウンターパートを通して相手国の知見になっていくと期待される。引き続き、手法開発に努めたい。

## 参考文献

- Sawada, H, M Araki, NA Chappell, JV LaFrankie, A Shimizu (2007) Forest environments in the Mekong River Basin. Springer, Japan.
- 高橋興明・栗屋善雄・清野嘉之・齋藤英樹・島田政信・I Nengah Surati Jaya・M Buce Saleh, Suwido H Limin (2009) 50m 解像度の PALSAR データの土地被覆判読性. 関東森林研究 60
- Kiyono Y, N Furuya, T Sum, C Umemiya, E Itoh, M Araki, M Matsumoto (2010) Carbon stock estimation by forest measurement to contribute to sustainable forest management in Cambodia. JARQ 44 (1) (in press)

平成 21 年度  
独立行政法人 森林総合研究所  
公開講演会講演要旨集

平成 21 年 10 月 14 日 発行

編集・発行

独立行政法人 森林総合研究所

企画部 研究情報科 広報係

〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1 番地

Tel 029-829-8134 Fax 029-873-0844

E-mail : kouho@ffpri.affrc.go.jp

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