

課題名	B-60 京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究		
課題代表者名	天野正博（早稲田大学人間科学学術院）		
研究期間	平成14-18年度	合計予算額	409,898千円（うち18年度 77,358千円） 「※上記の予算額には、間接経費93,613千円を含む」
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発（早稲田大学）</p> <p>1) リモートセンシングを活用したバイオマス計測手法の開発</p> <p>a レーザープロファイラー（LiDAR）によるバイオマス成長量の直接計測（愛媛大学、国際航業（株））</p> <p>b LiDARによる森林簿精度の向上に関する研究（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>c 森林バイオマスの変動が気候変動に与える影響メカニズムに関する研究（国土交通省気象研究所）</p> <p>2) 森林バイオマスの炭素吸収量評価モデルの開発（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>3) 森林土壌の炭素吸収量評価モデルの開発（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>4) 木材利用部門における炭素貯蔵量評価モデルの開発</p> <p>a 木材の炭素貯蔵能力の評価（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>b 建築解体材のエネルギー利用（愛媛大学）</p> <p>c 木材利用による省エネルギー効果に関する研究（宮崎県木材利用技術センター、東京大学）</p> <p>5) CDMによる森林の炭素吸収量評価手法の開発</p> <p>a CDM植林事業による炭素固定能力の評価とベースラインに関する研究（早稲田大学）</p> <p>b CDM植林事業によるリーケージ評価に関する研究（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>6) 国レベル森林吸収量評価モデルの開発</p> <p>a 国レベル森林の炭素吸収量モデルの開発（早稲田大学、独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>b モデルに適用するパラメータの推定に関する研究（東京大学）</p> <p>(2) 生態学的アプローチによる吸収量評価モデルの開発と不確実性解析（独立行政法人国立環境研究所）</p> <p>1) 生態学的吸収量評価モデルの開発（独立行政法人国立環境研究所）</p> <p>2) 生態学的吸収量評価モデルの不確実性解析（独立行政法人国立環境研究所）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序（研究背景等）</p> <p>京都議定書の運用ルールはCOP7で法文化されIPCCのGPG(Good Practice Guidance)で詳細がある程度明らかになり、その後の交渉によって、吸収源の定義を含め多くの残されていた技術的問題がプロジェクト進行に伴い順次明らかになってきた。さらに、京都議定書が発効したことから議定書5条に基づき2006年9月には我が国の森林に関するインベントリー・システムをUNFCCC事務局に報告する必要がある。しかし、我が国の林業統計に用いられている資源調査データも幹材積のインベントリーを示すだけであり、梢、枝、葉、根を含めたバイオマス中の炭素貯蔵量に換算するにはモデルを用いて換算する必要がある。土壌関連分野においては枯死有機物、すなわち落葉と枯死木、および、土壌中の炭素含有量についても蓄積量の変化を報告しなければならない。全国的にカバーされているのは土壌型に関する情報だけであり、各土壌型と地域の自然環境から土壌中の炭素貯蔵量を評価するモデルが必要である。さらに、第一約束期間の期首と期末での変動量を推定する機能も、モデルに付与する必要がある。</p> <p>京都議定書、7条、8条に基づいて報告する人為活動による吸収量の評価値は、UNFCCC事務局によるレビューに耐えうる形で報告する義務がある。そこで、当研究で期待される成果は国別インベントリー・システムの中核的な部分を構成しており、2006年9月までに森林の炭素吸収量評価モデルを開発し、2007年5月までに我が国の吸収量の試算値を算定できるような日程で研究を進めてきた。また、京都議定書が求めている不確実性への対応方法やクロスチェック手法の確立、合意形成に有用な科学的知見の評価も併せて本研究の中で実施していく。なお、本課題は研究期間の延長をしながらこうした状況変化へ柔軟に対応しつつ研究を進め、研究終了時の2007年3月には京都議定書第一約束期間に向けて行政から要求されている事項の大半に対応する必要がある。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>京都議定書3条3項、3条4項、6条、12条に即して森林の炭素吸収量を算出し、5条、7条、8条で要求されるような様式でUNFCCC事務局に報告するには、様々な科学的問題を解決する必要がある。当研究では、京都議定書第一約束期間に焦点を当て、2008年と2012年という二時点間の森林バイオマス、森林土壌中の炭素貯蔵量の変化を科学的に評価するモデル開発をサブ課題1で目指した。さら</p>		

に、得られた評価値を検証するための手法をサブ課題2で目指した。なお、森林の炭素吸収量の算定範囲や算定方法については、COPやIPCCの会合で順次、細則が決められつつあったので、それに柔軟に対応できるような研究計画とした。事実、計測上の技術的問題では科学性と透明性の確保に焦点が当てられ、IPCCインベントリー作業部会で作成されたGPGやSBSTAで問題解決のための検討が集中的に行われた。しかし、日本、欧州、北米、オセアニアの自然環境はそれぞれ異なっており、京都議定書5条、7条、8条を満たすような計測システムを一律に定めるには問題があった。そこで、日本の自然環境や森林資源構造に適した計測及び評価システムが認められるよう、短期的には、本研究に参画している研究者がIPCCのLULLUCF-GPG、第4次評価報告書のLA及びREとして、研究で得られる知見を迅速に国際議論の場に反映させる。2004年度から始まった2006年版IPCCガイドラインにも、2名のサブサブ課題担当者がLAとして参加し、当プロジェクトでの研究成果を反映させることを目的とした。また、2006年9月のUNFCCCへの吸収源インベントリーシステムの報告時期に合わせ、一部のサブサブ課題については研究を前倒し的に実施している。中期的には2007年までに確立する必要がある森林の炭素吸収量インベントリー・システムに適用可能なモデルやモニタリング手法などを、研究終了時に具体的に提案することを目的としている。

また、生態学的なアプローチに、日本の森林状況をより適切に反映するために、インベントリーデータの利用を組み込んだモデルを新たに開発し、炭素吸収量評価し、その不確実性を検討することを目的とした。

なお、研究開始時期には、吸収量算出に関する詳細な様式が決まっておらず、わが国の森林の定義なども未定であったので、計測技術、評価モデルの基礎的部分に注視した研究を目的とした。その後、森林分野のグッドプラクティス・ガイダンス(2003)が公表され、COP9(2003)で植林CDMの運用細則が明らかになり、京都議定書目標達成計画において政府の吸収源の活用に関する方針も決まったことから、後半の2年間はわが国が2007年春にUNFCCC事務局へ提出する報告書を念頭に、従来の吸収量算定に関する基礎的なモデル開発から、京都議定書の交渉で決定された方式に準じたモデル開発に研究目的を軌道修正した。

3. 研究の方法・結果

(1) 森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発

1) リモートセンシングを活用したバイオマス計測手法の開発

a. レーザープロファイラー (LiDAR) によるバイオマス成長量の直接計測

航空レーザー測距法による森林バイオマスと炭素吸収量の広域的定量法を三段階のステップで開発した。第一段階として、苫小牧国有林を対象に航空レーザー測距法による推定の精度検証を行ったが、本法による森林蓄積や炭素吸収量の推定値は、地上調査、収穫表、二酸化炭素フラックスのタワー観測の結果とは整合性が高いが、森林簿とは食い違うことから森林簿に記載されている蓄積データ修正の必要性を明らかにした。第二段階では、広域への適用性を検証するためカナダ西部の亜寒帯林に設定したLiDARトランセクトを対象に、森林の蓄積分布と5年を隔てたバイオマス変化を明らかにした。その結果、亜寒帯林の森林蓄積は従来言われているよりかなり低いこと、亜寒帯南部は通説のように二酸化炭素のシンクではなくソースになっていることが判明した。第三段階では、京都議定書の森林による炭素吸収量の査定にかかわる実用性を検証するため、愛媛県全県を対象に航空レーザー測距を行い、その土地利用区分と森林蓄積を明らかにしたうえで、既存の官庁統計と比較対照した。土地利用では特に森林面積での食い違いが大きく、レーザー推計と森林簿の間には県土面積の10%ほどの食い違いが生じた。他方、森林蓄積の違いはさらに大きく、レーザーの当初推計は森林簿の2倍となった。

b. LiDARによる森林簿精度の向上に関する研究

遠隔探査手法は森林簿による算出からは独立した検証手法として重要である。なかでも、LiDARは森林の垂直構造が計測可能であり有効な遠隔探査手法である。

本研究では航空機レーザスキャナ等を用いた炭素吸収量推定モデルを開発し、日本全国に適用する。具体的には、造林学等の知識と経験を活用し、遠隔探査では直接計測可能なものだけを推定してパラメータの統計的な調整は排除する。そのために、LiDAR観測から得られる諸パラメータを炭素吸収量と統計的に直接結びつける代わりに、林分上層樹高と立木密度を遠隔探査により直接測定し、それらを「林分密度管理図」の等樹高曲線に代入して幹材積を推定し、さらに炭素量に換算する手法を取る。林分上層樹高と立木密度は、それぞれパラメータ調整不要な簡易な手法を提案し、現地調査により検証する。また、既存の等樹高曲線は平均樹高を用いるので、上層樹高に対応した等樹高曲線を本研究の現地調査とは独立した資料から調製し、現地調査により検証する。

研究対象地は北海道苫小牧市の国有林である。ここでは、トドマツ、カラマツ、アカエゾマツ、エゾマツなどの人工林が平坦な地形上に大規模に植栽されている。1999年、2002年にLiDAR観測を

行い、21林分で地上調査を行った。その結果、これらの林分での炭素蓄積の推定はやや過小だったが概ね良好であった。高齢林分では立木本数過大推定により炭素蓄積は過大となった。若齢トドマツ林では上層樹高の過小推定により炭素蓄積は過小となった。

c. 森林バイオマスの変動が気候変動に与える影響メカニズムに関する研究

リモートセンシングおよび現地調査によって得られた陸面植生データを利用し、観測領域を中心とした地域における森林観測結果を数値実験的に再現することを目的として、大気-植生-土壌を含む一次元の陸面植生モデルを開発した。ベースとなったモデルは3次元気候モデル用に開発した植生モデルBiosphere-Atmosphere Interaction Model (BAIM)である。蓄積された森林現地調査による森林生態データを利用し、陸面植生モデルの精度の向上を図るとともに、モデルの高度化を行った。さらに、本陸面植生モデルを導入した3次元気候モデルを開発し、それを用いた数値実験により、モデルで再現された気候値の検証を行った。その結果、モデルは本研究において必要とされる精度の気候再現性を有していることが確認できた。

植生モデルBAIM(Ver.1)の植物生態モデルとしての特性をより高めるため、植物内及び土壌中炭素蓄積量をモデル内変数として取り入れたBAIM Ver.2 (BAIM2)を開発した。BAIM2を、T63L21全球気候モデルに組み込み、現存植生を与えたコントロール数値実験を実施した。本気候モデルにおいては、大気中の二酸化炭素濃度も予報変数としている。よって、BAIM2を本3次元気候モデルに直接組み込むことにより、物理的气象要素及び大気中二酸化炭素濃度の時間的・空間的変動と、陸面植生の物理的形狀及び植生・土壌内炭素蓄積量の時間的・空間的変動の相互作用がon-lineで再現される。本数値実験においては、人工排出による陸面からの二酸化炭素放出も考慮した実験を行い、モデルで再現された大気中二酸化炭素濃度の年増加量の妥当性、およびその季節変化の地域的な特徴や、主に対流圏下部における空間的な特徴について検討した。モデルの結果は、大気中二酸化炭素濃度の南北半球における季節変化の違い、および年々増加の特徴などを、概ね再現できていることが分かった。また、植生タイプごとの炭素収支についても、その特徴を再現できていることが分かった。

本気候モデルを用い、アジア熱帯域森林破壊の影響に関する数値実験を行った。本数値実験の結果より、アジア熱帯雨林地域での継続的な森林の減少は、継続的な大気中からのCO₂吸収量の減少傾向の持続をもたらし、大気中CO₂濃度の上昇傾向に拍車をかける可能性を秘めていることが分かった。また、アジア熱帯域における森林破壊による大気中CO₂濃度上昇への影響は、熱帯季節林域より熱帯雨林域における森林破壊の影響の方が大きくなる可能性があることが分かった。

2) 森林バイオマスの炭素吸収量評価モデルの開発

京都議定書報告のため、要件の分析に基づき、森林の定義、3条3項ARDの算定・特定手法、3条4項森林管理の算定・特定手法の開発を行い、これらの個別技術を統合し森林吸収量推定モデルを開発した。まず、森林の数値的定義として、最低樹高を5m、最低樹冠被覆率を30%、最低面積を0.3ha、最小幅を20mとするとともに、算定の作業としては森林計画対象森林を算定対象として取扱い、定義と算定対象の差異はわずかであるため不確実性の中で処理することが適切であることを示した。

3条3項ARDの算定・特定手法としては、中解像度衛星画像 (LandsatTM) の差分による方法では十分な精度の抽出には至らなかったため、空中写真オルソフォトと高解像度衛星画像 (SPOT) 上で500mのグリッドによる土地利用の判読によりARD面積の推定をする手法を開発し、その実行可能性を明らかにした。

吸収量の推定手法として、森林簿を持つ我が国においては蓄積変化法を用いること適切であることを示した。また、3条4項森林経営の算定・特定手法については、3条4項に対応する森林の率であ

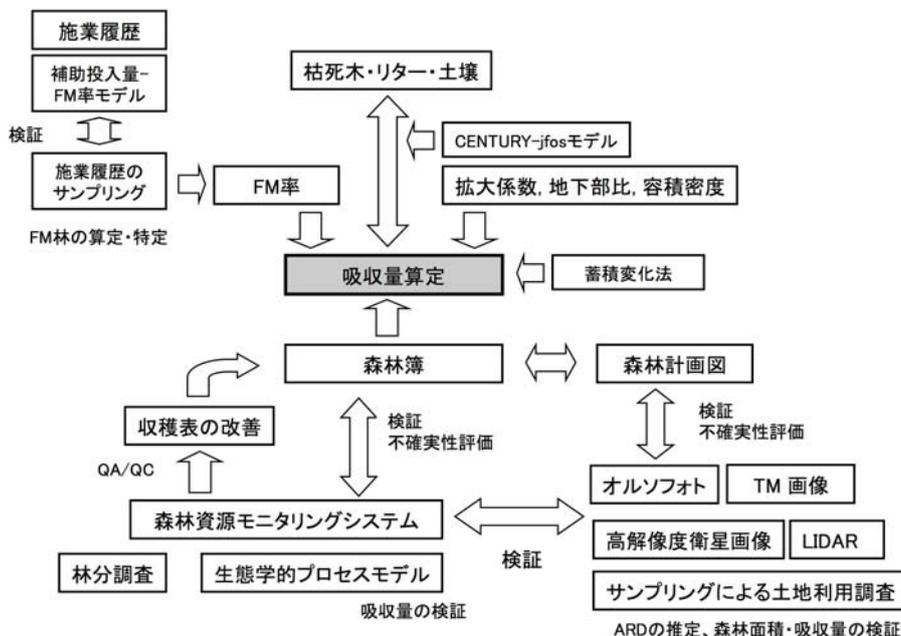


図1 京都議定書3条3, 4項に沿った森林吸収量推定モデルの概略

るFM率を用いた推定手法を開発するとともに、そのFM率を推定する方法として施業履歴に関するサンプリング調査を提案した。

この方法を、愛媛県を対象として吸収量の推定を試みたところ、2005年における愛媛県の全林分の炭素吸収量は34.3万t-C/yr、3条4項森林経営による炭素吸収量は16.7万t-C/yrと推定され、この手法が実行可能であることを示した。

これらの個別手法や本プロジェクトで開発された手法を統合し森林吸収量推定モデルを開発した(図1)。

3) 森林土壌の炭素吸収量評価モデルの開発

既報の土壌調査資料集計から、日本の森林土壌(0-30cm)の炭素密度は3.9kg/m²(未熟土)～17.2kg/m²(泥炭土)、分布面積を考慮した加重平均値は9.0kg/m²であることがわかった。これをもとに土壌型と森林分布面積から日本の森林セクターにおける土壌炭素蓄積量は約21億炭素トン、リターは1.7億トンと計算されたが、枯死木については調査例が非常に少なく基礎情報が不十分であった。林業統計から1990年代の皆伐が土壌や枯死有機物に与える影響を検討し、リターや土壌に比べ枯死木の蓄積や分解による影響が大きいことを示した。有機物分解をコントロールする化学的成分を明らかにするため、ブナとアカマツ落葉の分解に伴う有機成分の変化を調べ、土壌炭素モデルのコンパートメントとの対応を検討した。リグニンとホルセルロースの分解はCENTURYモデルのstructural C画分の分解速度に対応し、分解を支配する主要な成分であることを確認した。CENTURYモデルを日本の森林の気候条件、土壌条件、樹種特性に合わせるよう改良したCNEURY-jfosを開発した。これを用い伐採や間伐などの森林管理が枯死木・リター・土壌の炭素ストックに与える影響を明らかにした(図2)。

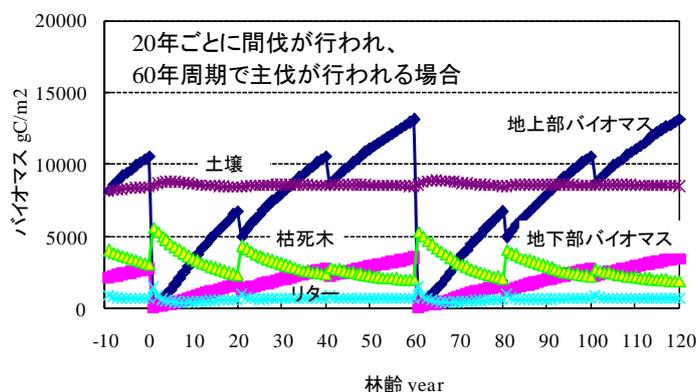


図2 CENTURY-jfosモデルによる森林施業時のバイオマス、枯死木、リター、土壌炭素ストックの変化の例

4) 木材利用部門における炭素貯蔵量評価モデルの開発

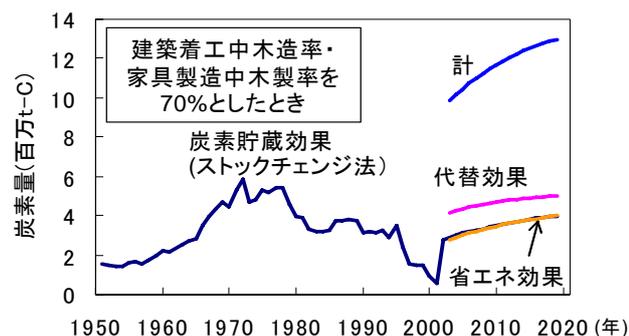


図3 積極的に木材を利用した際の「炭素貯蔵」「省エネ」「化石燃料代替」効果

木材利用による二酸化炭素削減効果の将来シミュレーションを行うモデルを開発した。図3に示したように製品ストック一定で木材利用が現状のまま推移した場合、ストックチェンジ・プロダクション法とも吸収は期待できず、大気フロー法では1,000万t-C以上の排出となる。このモデルに「省エネ効果」と「化石燃料代替効果」の評価プログラムを組み込んだ。建築の木造率を70%に上昇させた場合の「省エネ効果」と、さらに家具木製率も70%として廃紙も含めた残廃材エネルギー利用を行った場合の「化石燃料代替効果」を解析した。ストックチェンジ法の「炭素貯蔵効果」も含め、2013年から2017年の二酸化炭素排出削減量は約1,200万t-C/年となりうるということが分かった。

資材生産に要するエネルギー(二酸化炭素の排出)を基礎にして、現在使用している用途別の数量から木材を使用することによる削減効果について明らかにした。炭素ストックと二酸化炭素排出を表示することによって寄与の大きさを定量的に表示することが可能となった。

製品に使用された木材が貯蔵している炭素量に着目すると、その違いは大きいものとなる。1～3階建の低層建築物の木造へ代替についてみると資材量および資材製造エネルギー差が大きいので、その削減、貯蔵効果とも著しく大きく、吸収源対策の伐採量に貢献するばかりでなく削減の相乗効果が見込める。家具の二酸化炭素排出削減はさほど大きくないが、製品に使用された木材が貯蔵している炭素量に着目するとかなり大きいものとなる。アルミサッシへの代替は炭素貯蔵ではさほど大きくないが、二酸化炭素排出削減には大きい。

木材のエネルギー利用について、各種残廃材の発生量の推計を行い、基準年比3%程度の削減ポテンシャルがあることが分かった。また混焼・ガス化・液化など、エネルギー化手法の比較検討を行った。木質ペレットの発熱量は元素分析結果から推計できることを示した。各種木質材料のガス化実験を行い、スギのガス化率が高いこと、蒸気(H₂O)も用いたガス化によりガス化率が向上することなどを明らかにした。

5) CDMによる森林の炭素吸収量評価手法の開発

これまでに実施してきたバイオマス調査の結果から、熱帯地域で多く植栽されている *Acacia mangium* の年平均吸収量 (MAI) は地域、林齢にかかわらずほぼ一定の値を示し、地上部で7~11 tC/ha/yであった。 *Eucalyptus* 類を用いた産業植林では8~10tC/ha/yrが炭素固定量と考えられる。ベースラインとなり得る過度の焼き畑でチガヤ草地 (炭素固定量は0.6~1.3 tC/ha/yr) となった。また、火災後に自然遷移の過程である5年生の二次林では2.9~5.7 tC/ha/yrであった。劣化土壌での環境造林では、植栽後20年を経過した *Swietenia macropylla* の年間炭素固定量は6.6 tC/ha/yrであった。近隣においてベースラインとなり得る多年生草本や低木林の炭素固定量は平均2.6~3.2 tC/ha/yrであり、人工林の造成によってその地域の炭素固定量が増加していることを確認した。

インドネシアのジャワ島西部の既存人工林でバイオマス調査からは、林齢とバイオマス増加を検討した結果、 *Shorea* 属林分、 *Kyaha* 属林分は40年でおおよそ400 t/haの蓄積となり、その後一定となった。他の樹種でもほぼ同様で、植栽後40年で天然林とほぼ同等のバイオマスを蓄積すること、このような蓄積量であれば30~40年サイクルの林業生産も可能であることを提示した。

インドネシアやフィリピン、ベトナムにおける産業造林・環境植林の事例調査や文献調査を通じて、リーケージの概念整理をすすめた。リーケージの分類軸には、リーケージドライバー (プロセスに注目) と土地利用変化・活動 (GHG発生場所・活動に注目) とが整理された。リーケージ把握手法として、事前簡易調査、事前本調査、モニタリング調査の3時点それぞれのプロトタイプを作成した。把握手順は、AR-CDM実施方法の整理、地域概況の整理、森林・土地利用・活動およびその変化の予測・把握、リーケージの予測・把握からなる。定量化作業は、基本的にはIPCC GPGに準拠しつつも、発生規模とデータ入手可能性により処理を変えることが提起された。

6) 国レベル森林吸収量評価モデルの開発

補助金、伐採量などの変動を見込んだ政策シナリオに応じて、2008~12年の第一約束期間に、京都議定書3条3項 (AR・D林) および4項 (FM林) に定められた人工林が、どの程度の炭素吸収を達成できるかを、国レベルで予測することを目的とした。はじめに森林と他の土地利用との間の転入・転出面積、育林補助金予算額、林業労働者平均賃金などの因子に対して、過去の傾向をもとにいくつかのシナリオを作成し、それらを回帰モデルへ入力して、第一約束期間までのAR・DおよびFM人工林面積を予測した。つぎにそれら人工林面積を資源管理モデルへ入力し、別途、第一約束期間の伐採量を予測することにより、第一約束期間期首および期末のAR・DおよびFM人工林における地上部、地下部バイオマス量を計算した。さらにそれらに容積密度、炭素含有率を乗じて炭素蓄積量に換算し、最後にそれらの第一約束期間期首、期末の差をとって、蓄積変化法により炭素吸収量を計算した (表1)。計算の結果、転入・転出面積の過去の傾向を延長すると、第一約束期間のAR・D林地地上部・地下部バイオマスの炭素吸収量は、約0.76Mt-C/年の排出と予測された (1Mt-C=1,000,000t-C)。また補助金や労賃といった林業活動に影響を与える因子が、若干の変動を含みつつも概ね過去の傾向を延長する形で推移したならば、FM人工林は第一約束期間に期待値ベースで11.55~12.26 Mt-C/年の吸収量を獲得できると予測された。これはマラケシュ合意で上限を定められた炭素吸収目標値の約85%に相当し、FM天然林の吸収量を加味すれば吸収目標を達成する

表1 FM人工林における推進・現状維持・保守的の3つのシナリオに応じた予測結果

	推進シナリオ			現状維持シナリオ			保守的シナリオ		
	下限値	期待値	上限値	下限値	期待値	上限値	下限値	期待値	上限値
1990~2012年の 施業面積累計 (千ha)	17,785	18,133	18,481	17,313	17,660	18,008	16,368	16,844	17,320
1990~2012年の FM林面積累計 (千ha)	7,315	9,160	10,516	7,254	8,972	10,516	7,137	8,646	10,255
うちRy≤0.85	6,433	7,946	9,058	6,383	7,791	9,058	6,287	7,525	8,844
2008~2012年の 炭素吸収量 (Mt-C/年)	9.54	12.26	14.02	9.44	12.00	14.02	9.24	11.55	13.69
うちRy≤0.85	8.04	10.81	12.12	7.96	10.66	12.12	7.80	10.40	11.82

注：下限値と上限値は、予測値の95%信頼区間の下限と上限を表す。

上で十分な量といえる。なお参考までに、2012年時に収量比数が0.85以下のFM人工林は、FM人工林全体の82%と予測され、期待値ベースで10.40~10.81Mt-C/年の吸収量を第一約束期間に獲得できる

と予測された。これは炭素吸収目標値の約75%に相当し、この場合にはFM天然林の吸収量を十分に活用するとともに、第一約束期間終了まで、十分な育林補助金を計上すること、および壮齢～高齢の森林へ間伐や複層伐といった育林施策を実施する必要がある。

(2) 生態学的アプローチによる吸収量評価モデルの開発と不確実性解析

1) 生態学的吸収量評価モデルの開発

生態学的なアプローチによるモデルの特徴・利点は、森林生態系における炭素ストック変化の推定を展開できる点にある。生態学的なモデルに、森林インベントリデータをもとにしたパラメータを併せて用いることで、様々な地域、様々な樹種に適用できるモデルを作成した。さらに、森林の吸収量に大きな影響を及ぼす人為活動の内、間伐に関してモデル化を行った。なお、主伐については本課題の他サブテーマの伐採予測より得られた結果をモデルに与えることでCO₂吸収量推定の高精度化を行った。

本課題で構築したモデルの精度を検証するため、収穫試験地の人工林のデータとモデルの地上部バイオマス量の比較を行ったところ、間伐による吸収量の増大は双方に見られなかったが、全体としては定量的、定性的に良い一致を得ることができた。モデルの結果において、間伐の増大が見られなかった原因としては、50年生以下の林分では葉部の呼吸が木部の呼吸量に比較して大きいことが考えられる。また、40年生以下の林分では、むしろ伐採によるGPPの減少が効果を持ち、若干ではあるが間伐を行った林分の方が成長は小さくなる傾向が見られた。

2) 生態学的吸収量評価モデルの不確実性解析

本プロジェクトで開発した生態モデルに、本課題の他サブテーマによる伐採モデルを結合したモデルを愛媛県に適用し、不確実性の解析を行った。森林のデータには、国家森林資源データベースをもとに、樹種・林齢別の面積を3次メッシュに再配分したものを適用した。また、日射量は、気象庁のメッシュ気候値の、月積算日射量と月積算日照時間の双方を用いた。気温も同様にメッシュ気候値の月平均気温を用いた。土壌等その他の制約は一律に光合成を0.75倍した。その結果、2005年の愛媛県の育成林におけるCO₂吸収量は、モデルの計算結果は0.269Mt-C/yrとなり、インベントリによる計算結果の0.268Mt-C/yrと概ね一致する値を得ることができた。

また、愛媛県全体の主伐による伐採量が2005年以降、年率3%で増加した場合、2012年の吸収量は5%減少し、年率3%で減少した場合は、CO₂吸収量は4%増加することが示唆された。さらに、愛媛県の育成林全てを対象に、現在の施策実態を踏まえて将来予測を行った結果、京都議定書第1約束期間の最終年では、吸収量は2005年比の88%程度まで落ち込む事が示された。

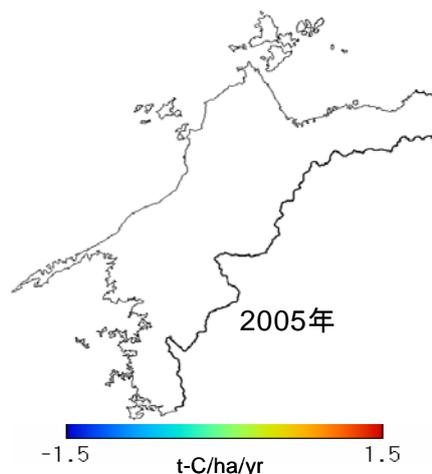


図4 愛媛県における2005年のCO₂吸収量

4. 考察

(1) 森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発

1) リモートセンシングを活用したバイオマス計測手法の開発

a. レーザープロファイラー (LiDAR) によるバイオマス成長量の直接計測

LiDARを用いた蓄積推定においては、土地利用、森林蓄積とも官庁統計における定義の違いやそれぞれの誤差要因などを勘案すると、ある程度差は縮まるが、まだ整合しているとは言い難く、とくに森林簿の推定精度を見直す必要があると結論した。bの研究成果と合わせ、森林蓄積データの改善にはLiDARによる観測データの活用が重要であるといえる。

b. LiDARによる森林簿精度の向上に関する研究

本研究の手法は、炭素収支推定部分を既存の安定したモデルに依存し、遠隔探査では物理的に観測可能なパラメータのみ観測するので、構造が簡単かつ頑強である。このことから、予算や人員不足から更新が遅れている林業的調査の補完的調査としてLiDAR観測手法を取り入れることにより、炭素吸収量の推定に必要な蓄積推定のための効率的な全国観測網の整備が可能になると考えられる。

c. 森林バイオマスの変動が気候変動に与える影響メカニズムに関する研究

リモートセンシングおよびそれに伴う森林現地調査によって得られた陸面植生データを利用することにより、高度な陸面植生数値モデルを開発することができた。また、開発された陸面植生モ

デルおよびそれを導入した3次元気候モデルを用いた数値実験の結果の解析等により、陸域炭素収支システムのメカニズム、および、陸域炭素収支の変動と、気候変動との相互作用のメカニズムに関する新たな知見が得られた。これらの結果から、開発された植生モデルおよびそれを導入した気候モデルは、陸域バイオマス変動のメカニズムを解明するためのシステムモデルとして非常に有効であると考えられる。

2) 森林バイオマスの炭素吸収量評価モデルの開発

本研究で開発された森林吸収量推定モデルは、マラケシュ合意、GPGで求められた要件に対応しており、本モデルは我が国の森林や森林情報と整合を取りながら、京都議定書ための算定・報告に適合したシステムと言える。ここで示された森林の数値的定義は、我が国の制度や植生状況に適合しており、航空写真やリモートセンシングデータといった計測手法の解析精度からみても、適しているといえる。

3条3項ARDの算定・特定手法として、500mグリッドによるサンプリングを採用することにより、これまで行政情報や画像解析では難しかった土地利用変化を適正に把握することが可能となった。

3条4項森林経営の算定・特定手法については、適切な森林管理下にある森林のCO₂吸収量を推定するため、新たに収穫表を作成するとともに、3条4項に適合する森林を推定するためのパラメータ算出手法を開発することもできた。

3) 森林土壌の炭素吸収量評価モデルの開発

日本の枯死有機物や土壌の炭素蓄積量を温帯の欧米諸国と比べると、日本の場合リターの炭素蓄積量は小さく、土壌の蓄積量は大きい傾向があった。枯死木は蓄積量も分解速度もある程度大きいので重要な炭素プールと判断でき、また皆伐などの施業履歴をからも枯死木の変動が大きいことが示された。CENTURYモデルと化学成分の対応はある程度見られるが、土壌有機物の複雑な分解過程は未解明な点が多く、化学成分のみから有機物の動態を予測するのには限界がある。しかし、CENTURYモデルは実際の土壌や枯死木の炭素変動を比較的よく予測できるので、実用上問題はないと考えられる。今回開発したCENTURY-jfosは日本の森林の条件に細かく合わせてあるので、京都議定書報告には十分通用する精度を持つと判断できる。

4) 木材利用部門における炭素貯蔵量評価モデルの開発

木材利用による二酸化炭素削減効果の将来シミュレーションを行うモデルを開発し、それに基づいてアカウンティング方式を比較検討したところ、我が国の木材セクターではストックチェンジ・プロダクション法とも吸収は期待できず、大気フロー法では1,000万t-C以上の排出となることが解った。これにより、第二約束期間において木材の炭素貯蔵量についても炭素クレジットの対象とする場合には、どのアカウンティング方式を採択するかについて十分に留意すべきである。

5) CDMによる森林の炭素吸収量評価手法の開発

各試料木の胸高直径と地上部バイオマスの関係は、高い相関関係を持つ相対成長式を満足し、樹種や立地の違いはあまりなかった。現存密度の経年変化は植栽後の若い林分で変動が大きく、相関係数はあまり高くなかった。ここで得たモデルによって、今後東南アジア地域でA/R CDMを計画するのに必要な吸収量予測値を提示できた。リーケージについてはAR-CDM特有の現象をどう理解し、把握すればよいのか、その基本概念が整理された。しかし、今なおUNFCCCにおいてリーケージ解釈に関して議論が続いており、第一約束期間までに、場合によっては期間に入って以降も、リーケージ定義の注釈（除外する対象の特定）、把握手法の簡素化ルールなどの策定が続くと予想され、注視が必要である。

6) 国レベル森林吸収量評価モデルの開発

FM人工林は第一約束期間に期待値ベースで11.55~12.26 Mt-C/年の吸収量を獲得できると予測された。これはマラケシュ合意で上限を定められた炭素吸収目標値の約85%に相当する。森林分野で3.8%の吸収量を獲得するためには人工林だけでは不十分であり、適切な森林管理を受けた天然林での炭素吸収量に期待しなければ行けない。天然林に求められる吸収量は1~3 Mt-C/年である。

(2) 生態学的アプローチによる吸収量評価モデルの開発と不確実性解析

愛媛県におけるモデルとインベントリデータによる推計値と比較したところ、近い推定値が得られてはいるものの、詳細に検討すると下記のような相違が見られた。

1. 蓄積表は間伐等を含む平均的な成長量を滑らかな曲線で示しているが、モデルは間伐の影響を鋸状に表現しているため、スギでは過小評価となっていること
2. モデルでは、スギの蓄積がやや過小評価となっているが、ヒノキの蓄積が大きく過大評価となっていること

ヒノキの蓄積が大きく過大評価となった理由は不明であるが、施業方法や、伐採の影響を受けているのではないかと考えられる。また、伐採が吸収に与える影響をモデルによって検討した結果次のような結論を得た。京都議定書では、伐採即排出とカウントされるため、林産業の活性は排出の増加となる。しかし、伐採後の木材は漸次排出されるため、伐採木材における炭素ストックまでを考慮すると、伐採量の10%増加は、吸収量の2%以下の減少にしかならない。伐採木材の貯留効果を

考え、10年程度の排出をより正確に算出する方式としては、伐採木材の取り扱いを含めたフルカーボンアカウンティングに則った何らかの吸収量算出がより現実との矛盾が少ないとの結論を得た。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・当課題全体としては京都議定書に基づいて国内吸収源対策およびCDM事業として森林を活用する場合に必要な基本的な知見として、5つの炭素プールに分割した形での吸収量評価モデル、政策シナリオの違いによる吸収量の変化、ポストハーベストとしての木材の炭素固定量の評価モデル、算定した吸収量の検証方法などを提供することができた。これにより、環境省、農水省がわが国の温室効果ガス削減目標の達成に森林をどのように活用すべきかについて、多くの政策判断材料を提供できた。科学分野においても、我が国では森林の炭素収支について個別林分のバイオマスを対象とした評価を行ったケーススタディとしての研究はあったが、森林生態系を対象とし全国規模での推定を可能にするようなモデル開発研究はこれまでなかった。また、世界に目を転じて、京都議定書の5つの炭素プール全てを対象に詳細かつ科学的に評価する研究は始まったばかりであり、当研究成果は今後の研究に大きな影響を与えると予想される。個別の成果は下記のようなものである。

- ・航空レーザー測距法(LiDAR)による広域かつ詳細な森林バイオマス測定と炭素収支勘定が実用化のレベルに達したことである。また、一般に亜寒帯林は吸収源とされているが、少なくとも本研究の対象としたカナダ西部の亜寒帯林は放出源になっていることが当研究により明らかになった。

- ・LiDARと既存の森林資源調査を組み合わせることで、バイオマス測定から炭素固定量の推定までを高い科学的精度で実施できる手法を提示した。

- ・リモートセンシングおよび森林の現地調査によって得られた陸面植生データを利用し、森林観測結果を数値実験的に再現することができる高度な陸面植生数値モデルを開発し、それを導入した3次元気候モデルを用いた解析等により、陸域炭素収支システムのマカニズム、および、陸域炭素収支の変動と、気候変動との相互作用のマカニズムに関する新たな知見が得られた。

- ・我が国の森林による炭素吸収量について、森林簿を基礎とした蓄積変化法とそれに係わる係数を明らかにし、データの信頼分布を加味した精度の高いCO₂吸収量を評価できる推定手法を確立した。

- ・日本の枯死木、リター、土壌プールの炭素蓄積量に関するデータを集計し、森林生態系におけるそれらの炭素蓄積量推定精度を向上させた。土壌炭素モデルとしてCENTURYモデルを日本の森林に精度良く適用できよう改良したCENTURY-jfosモデルを開発した。

- ・IPCCで提唱されたアカウンティング方式と木材利用の二酸化炭素排出削減3効果を同時にシミュレーションするモデルを開発した。こうしたモデルの研究事例はまだない。

- ・極端な荒廃地ではバイオマスの蓄積があまり期待できないことを明らかにした。また、森林火災後などの大きな攪乱後に出現するパイオニア樹種では、バイオマス増加が起らないことも明らかにした。

- ・リーケージというAR-CDM特有の現象をどう理解し、把握すればよいのか、その基本概念・手順が体系的に整理された。

- ・サンプリング調査、悉皆調査などを行うことなく、既存の統計資料と数理モデルを活用して、コンピュータシミュレーションにより、政策シナリオに基づいて京都議定書3条3項林(AR・D林)、3条4項林(FM林)の炭素吸収量を予測できるようにした。こうした独自の手法により推定した炭素吸収量は、生態学的プロセスモデルや全国規模のサンプリングといった、その他の方法により推定した炭素吸収量とのクロスチェックに利用可能で、その科学的意義は深い。

- ・間伐や主伐といった人間活動の影響を考慮することが可能な生態学的モデルの開発を行った。このように、林業活動の将来予測と生態学的プロセスモデルを結合したモデルは、少なくとも我が国においては皆無であり、世界的にも例がほとんど見られない。

(2) 地球環境政策への貢献

当研究の遂行途中で得られた成果をリアルタイムで政策に反映するため、環境省地球環境局「森林等の吸収源に関するワーキンググループ」検討会や「温室効果ガス排出量算定方法検討会：森林等の吸収源分科会」に多くのプロジェクト参画研究者が委員として係わり、京都議定書における吸収源の取り扱いに関する国際交渉の進展に合わせて知見を提供するとともに、京都議定書で認められた吸収源活動に伴う炭素吸収量を国連に報告するための算定方法に用いるモデルを提供するなどして、地球環境政策に貢献した。また、IPCC第4次報告書、LULUCF-GPG、2006年IPCC国別温室効果ガス目録ガイドラインの作成など多くの報告書にLA、RE等で参画するとともに、COP、SBSTA、UNFCCC主催のワークショップでも研究成果を紹介してきた。他の政策への貢献は下記のようなものである。

- ・本課題で開発した森林吸収量推定モデルの個々の手法の多くと全体構造は、環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会森林等の吸収源分科会において、我が国の京都議定書報告における森林吸収

源の算定・報告手法として採用され、条約に基づく温室効果ガスインベントリ報告書（第7章）と、議定書に基づく割当量に関する報告書（第2部Ⅱ）に反映された。また、林野庁は本手法を実行するために国家森林資源データベースを開発するなど、京都議定書における吸収源の算定・報告に貢献した。

・航空レーザー測距の結果を使って森林簿の値を補正することにより、京都議定書の森林吸収量の評価をより科学的で再現可能な方法で実施できるシステムを提案できた。

・CENTURY-jfosモデルを使用し、全国の森林における枯死木・リター・土壌炭素が算定され、京都議定書報告に利用された。

・主に東南アジア各国で収集したデータは、A/R CDMの計画立案に有効となることが期待される。また、林齢-炭素吸収量モデルによって、今後は東南アジア地域だけではなく、広い地域においてA/R CDMを計画するのに必要な吸収量予測値を提示できた。

・数理モデルを活用したシミュレーションにより、とくに育林施業の補助金政策が炭素吸収量にあたる影響を明らかにした。またマラケシュ合意で定められた炭素吸収目標を達成する上で有効となる、補助金政策や育林施業のあり方について提言した。

・本課題のモデルを用いて推計した我が国の伐採木材評価結果は、林野庁・環境省の協議の上、2005年8月条約事務局に提出され、2006年12月のSBSTA23での協議で用いられた。

6. 研究者略歴

課題代表者：天野正博

1946年生まれ、名古屋大学農学研究科修士課程修了、農学博士、現在、早稲田大学人間科学学術院教授

主要論文：Amano M. 2001. Trends of forest resources in the world and their relations with global warming. *Farming Japan* Vol.35-1、10-19.

Noble I., M. Apps, R. Houghton, M. Amano, et. al. 2000.5. Implications of Different Definitions and Generic Issues, *Land Use, Land-use Changes and Forestry*. IPCC. Cambridge University Press. 53-126.

Sedjo R. A., M. Amano and Y. Yamagata. 2001. The operationalization of the Kyoto Protocol with a focus on sinks: A perspective for Japan. *森林総合研究所研究報告*. Vol.1 No.2、151-161.

主要参画研究者

(1) 天野正博 (同上)

(2) 1) : 末田達彦

1946年生まれ、名古屋大学農部卒業、農学博士、現在、愛媛大学農学部教授

主要論文：Sasaki N., Kusakabe T., Takejima K., and Sweda T. 2001. Simple cover classification using Landsat TM data for areal expansion of linear LAI estimate generated through airborne laser profiler. *Polar Bioscience* 14: 133-146.

Emmanuel R., G. Abraham, Hayato Tsuzuki and Tatsuo Sweda. 2002. Relationship between Mean Free Path and Leaf Area in Boreal Forest Canopies. *Journal of Forest Planning* 8 (1): 9-16.

Tsuzuki H., Kusakabe T., and Sweda T. 2002. Uncertainty of point measurement in regional estimation of forest biomass as compared with line estimate with airborne laser altimetry. *Proceedings of 5th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. 439-447.

2) : 松本光朗

1958年生まれ、名古屋大学農部卒業、農学博士、現在、森林総合研究所林業システム研究室長

主要論文：Matsumoto, M. 1991. Geographical estimation of broad-leaved forest resources in Japan. *Proceedings of IUFRO international symposium on integrated forest management information systems*. 330-339.

Matsumoto, M. 1996. Improvement of the Stand Density-Control Diagram and Construction of Yield Tables for Shii (*Castanopsis* spp.) Stands. *J. For. Plann.* 2:77-83.

Nishikawa, K. and Matsumoto, M. 1994. Forest Planning and Environmental Conservation Policy in Japan. *Proceedings of NAFRO seminar on*

sustainable forestry and its biological environment. 35-40.

3) : 外崎真理雄

1955生まれ、東京大学農学部卒業、農学博士、現在、森林総合研究所物性研究室長

主要論文：Tonosaki M. Saito S. Hiramatsu Y. 2001. Evaluation of Non-homogeneity in Wood by Longitudinal and Flexural Vibration Tests II. Journal of the Japan Wood Research Society. 47(2): 92-96.

Tonosaki M. 2001. Utilization of Woody Resources and Environmental Issues. The Modeling of Resources Circulation in Construction, Global Environment Committee of Architectural Institute of Japan. 27.

Tonosaki M. Suzuki Y. Matsuoka S. 2001. The Moisture Adsorption Characteristics of Wood Waste Derived Charcoal for Under Floor Humidity Control. Wood Industry. 56(10). 464-467.

4) : 森川 靖

1944年生まれ、東京大学農学部博士課程修了、農学博士、現在、早稲田大学人間科学学術院教授

主要論文：Morikawa Y. Hattori S. and Kiyono Y. 1986. Transpiration of a 31-year-old *Chamaecyparis obtusa* Endl. stand before and after thinning. Tree Physiology 2: 105-114.

Yamada M. Ohta S. and Morikawa Y. Carbon budgets of forest ecosystems in Monsoon Asia and each country from mesh data analysis of potential net primary productivity. Honolulu. Proceedings of the Fifth Japan-U.S. Workshop on Global Change. pp. 104- 106.

Morikawa Y. 2001. Carbon sequestration of industrial and rehabilitating plantations in relation to CDM. Ninth Japan-U.S. Workshop on Global Change. Tokyo. Japan.

5) : 山形与志樹

1961年生まれ、東京大学教養学部卒業、博士（学術）、現在、国立環境研究所・地球温暖化研究プロジェクト・吸収源評価研究チーム総合研究官

主要論文：Yamagata Y. and Alexandrov G. 1999. Political implication of defining carbon sinks under the Kyoto Protocol. World Resource Review. Vol.11. No.3. pp.346-359.

Yamagata Y. as a Lead Author. 2000. IPCC special report on Land Use, Land Use Change and Forestry. Chapter 3.

Yamagata Y. and Alexandrov G. 2000. Would forestation alleviate the burden of emission reduction?. Climate Policy. Vol.1. No.1. pp.27.

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

- 1) 日下部朝子、都築勇人、末田達彦：日本森林学会誌、88、21-29。(2006)
「シベリア亜寒帯林を対象とした航空レーザー測距法による葉面積指数の広域推定」
- 2) 都築勇人、日下部朝子、末田達彦：日本森林学会誌、88、103-113。(2006)
「航空レーザー測距法によるカナダ亜寒帯林の広域森林蓄積推定」
- 3) Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida: J. Meteor. Soc. Japan, 80, 621-644 (2002)
“Verification of the Climatic Features of a Regional Climate Model with BAIM”
- 4) Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida: J. of Climate, 18, 410-428 (2005a)
“Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern Hemisphere summer”
- 5) Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida: J. of Climate, 18, 429-446 (2005b)
“Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern Hemisphere winter and impact on the extratropical circulation”
- 6) Mabuchi, K., H. Kida: In: Voinov, A., Jakeman, A., Rizzoli, A. (eds): Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: “Summit on Environmental Modelling and Software”. International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM (2006)
“On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data”

- 7) 松本光朗：林業経済、Vol60、No.5、13-24(2007)
「京都議定書がもたらす森林施策の課題」
- 8) 松本光朗、栗屋善雄、家原敏郎、高橋正通、藤原健、細田和男、金森匡彦、堀修二、鈴木圭、松原吉隆、今野知樹、林真智、七海崇：森林資源管理と数理モデル、6:141-163(2007)
「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」
- 9) 松本光朗：木材工業、60:2-7 (2005)
「地球温暖化対策としての木材利用」
- 10) 小野賢二：森林立地、44, 2, 63-69 (2002)
「根現存量に影響を及ぼす要因の検討」
- 11) 稲垣善之、深田英久：森林応用研究、12,7-14 (2003)
「四国地域において森林土壌の炭素貯留量および養分動態に影響を及ぼす要因 I.」
- 12) K. Ono, M. Hiraide, and M. Amari: Journal of Forest Research., 8, 191-198 (2003)
“Determination of lignin, holocellulose, and organic solvent extractives in fresh leaf, litterfall, and organic material on forest floor using near-infrared reflectance spectroscopy”
- 13) Noguchi K, Sakata T, Mizoguchi T, Takahashi M: Journal of Forest Research, 9, 261-264 (2004)
Estimation of the fine root biomass in a Japanese cedar plantation using minirhizotrons.
- 14) K. Morisada, K. Ono, and H. Kanomata: Geoderma, 119, 21-32 (2004)
“Organic carbon stock in forest soils in Japan.”
- 15) K. Morisada: Journal of Environmental Information Science, 32, 25-32 (2004)
“The organic carbon stock of topsoil and its geographical distribution in Japan”
- 16) M. Takahashi: Journal of Forest Research 10, 239-241 (2005)
“Direct estimation of carbon mass of organic layer from dry weight.”
- 17) 有馬孝禮：森林文化研究、23：101-110、2002
「木質資源のリサイクルの二酸化炭素収支評価」
- 18) 杉森正敏、山田健二、林和男：木材工業、58,264-267 (2003)
「在来軸組み住宅の木材使用量」
- 19) 外崎真理雄：木材工業、58,531-533、2003、
「地球環境問題と木材利用」
- 20) 杉森正敏、山田健二、林和男：木材工業、59,19-22、2004
「木造住宅の分別解体による木材使用量調査」
- 21) 相馬智明、有馬孝礼：木材工業、59,113-118、2004
「木材一次製品の国内生産量および輸入量を用いた炭素貯蔵量の試算」
- 22) 恒次祐子：木材工業、60(1):8-12、2004、
「木材利用における環境影響評価について」
- 23) 外崎真理雄：木材工業、60(7)、 p364-366、2005
「環境問題」
- 24) 外崎真理雄、恒次祐子、小澤雅之、花岡憲司：日本エネルギー学会誌、84、p973-979、2005
「日本林業のための木材利用」
- 25) Kim Pingoud, Kenneth E. Skog, Daniel L. Martino, Mario Tonosaki, and Zang Xiaoquan : 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies, 2006, Chapter 12
“Harvested Wood Products”
- 26) Hiratsuka Motoshi, Toma Takeshi, Mindawati Nina, Heriansyah Ika, and Morikawa Yasushi: Journal of Forest Research, 10, 487-491 (2005)
“Biomass of a man-made forest of timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia”
- 27) Hiratsuka Motoshi, Chingchai Viriyabuncha, Kantinan Peawsa-ad, Sirirat Janmahasatien, Sato Akinobu, Matsunami Chika, Osumi Yasuo, and Morikawa Yasushi: TROPICS, 14, 377-382 (2005)
“Biomass of trees and carbon stock in the soil of 17- and 22-year-old stands of teak (Tectona grandis L.f.) in northern Thailand”
- 28) Mindawati Nina, Hendromono, Hiratsuka Motoshi, Toma Takeshi, Morikawa Yasushi and A. Ngaloken Gintings: Journal of Forestry Research, 1, 17-24 (2005)
“Tree trunk volume of Shorea species case study in Dramaga and Haurbentes research forest”

- in West Java, Indonesia”
- 29) Hiratsuka Motoshi, Toma Takeshi, Diana Rita, Hadriyanto Deddy, and Morikawa Yasushi: JARQ, Vol.40: 277-282 (2006)
“Biomass recovery of naturally regenerated vegetation after the 1998 forest fire in East Kalimantan, Indonesia”
- 30) T. Hiroshima: J. For. Res., 9, 2, 141-146 (2004)
“Strategy for implementing silvicultural practices in Japanese plantation forests to meet a carbon sequestration goal”
- 31) T. Nakajima, T. Hiroshima, JS. Lee, H. Yuki and S. Tsuyuki: Kenji Naito (eds) International Symposium on The Role of Forests for Coming Generations -Philosophy and Technology for Forest Resource Management-, Japan Society of Forest Planning Press, Tokyo, 369-378 (2005)
“The method of identifying forests under the Article 3.4 activities (FM forests), in Kyoto Protocol”
- 32) 伊藤奈々恵、広嶋卓也、白石則彦: 森林計画誌, 39, 1, 49-57 (2005)
“森林の施業実施に影響を与える因子とその分析—岐阜県を対象として—”
- 33) 中島徹、広嶋卓也: 林業経済, 58, 8, 18-21 (2005)
“森林整備事業と施業面積に関する分析”
- 34) 中島徹、広嶋卓也、天野正博: 日林誌, 88, 181-186 (2006)
“京都議定書3条4項林の算定手法の検討—岐阜県を事例として—”
- 35) T. Hiroshima and T. Nakajima: J. For. Res., 11, 6, 427-437 (2006)
“Estimation of sequestered carbon in Article-3.4 private planted forests in the first commitment period in Japan”
- 36) 中島徹、広嶋卓也、白石則彦: 日林誌, 89, 167-173 (2007)
“京都議定書・3条4項林面積の拡大を視野に入れた森林施業の実施面積に関する分析”
- 37) R. A. Sedjo, M. Amano, Y. Yamagata: 森林総合研究所研究報告 Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute, 1, 2(383), 151-161(2002)
“The Operationalization of the Kyoto Protocol with a Focus on Sinks: A Perspective for Japan”
- 38) 関根秀真、山形与志樹、小熊宏之: 日本リモートセンシング学会誌、22, 5, 517-530(2002)
“吸収源プロジェクト実施地域を対象とした衛星データによるARD活動のモニタリング”
- 39) 山形与志樹、小熊宏之、関根秀真、土田聡: 日本リモートセンシング学誌、22, 5, 494-509(2002)
「吸収源を用いた地球温暖化対策とリモートセンシングの役割」
- 40) G. A. Alexandrov, Y. Yamagata: SCIENCE IN CHINA (Series C), 45, 7, 1-6(2002)
“Net biome production of managed forests in Japan”
- 41) CLA B Schlamadinger, K Boonpragob, H Janzen, W Kurz, R Lasco, P Smith, LA Pcollas, E A El Sidding, A Fischlin, M Matsumoto, A. nakhutin, I Noble, G Pignard, Z Sonogyi, X Zhang, CA M Easter, W Galinski, G Patenaude, K Paustian, Y Yamagata: Cambridge University Press, 4, 1-123(2003)
“Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use change and Forestry”
- 42) CLA Newton Paciornik, Kristin Rypdal, LA Rainer Baritz, Simon Barry, Albertus Johannes Dolman, Marlen Eve, Raisa Makipaa, Giorgio Matteucci, Toshinori Okuda, Keith Porter, Maria Jose Sanz-sanchez, T P Singh, Goran Stahi, Riccardo Valentini, Martina Van Der Merwe, CA Sandra Brown, Ketil Flugsrud, Gen Inoue, Gerald Kaendler, Anders Lindroth, Kenlo NIsida, Steve Ogle, Mats Olsson, Gareth Philips, Fran Sussman: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 5, 2-74(2003)
“Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use change and Forestry”
- 43) Alexandrov, G.; Yamagata, Y.: Climatic Change, 67, 391-447, 437-447(2004)
“Verification of carbon sink assessment: Can we exclude natural sinks?”
- 44) Alexandrov G.A., Y. Yamagata Oikawa T. and Saigusa N.: Agricultural and Forest Meteorology, 134, 1-4, 135-142(2005)
“Re-calibrating TsyBiMo with eddy-covariance measurements at Takayama “
- 45) Alexandrov, G. A.: Carbon Balance and Management, vol2-4, doi:10, 1186/1750-0680-2-4 (2007)
“Carbon stock growth in a forest stand: the power of age”
- 46) Masahiro Amano and Roger A. Sedjo: RFF Reports, 59pp (2006)
“Forest Sequestration: Performance in Selected Countries in the Kyoto Period and the Potential Role of Sequestration in Post-Kyoto Agreements”

- 47) 瀬戸島政博、今井靖晃、天野正博：写真測量とリモートセンシング、44, 2, 43-53 (2005)
「落葉前後に観測した航空機レーザスキャナによるDSMを用いた落葉広葉樹林内の階層構造の把握」
- 48) 天野正博：ランドスケープ研究、68, 4, 324-326 (2005)
「地球温暖化の軽減に資する緑の計画・管理技術」
- 49) 天野正博：日本土壌肥料学雑誌、74, 4, 543-549 (2003)
「地球温暖化が農林生態系に及ぼす影響 - 森林生態系と地球温暖化の関係 -」
- 50) 瀬戸島政博、今井靖晃、船橋学、岡崎亮太、天野正博：ランドスケープ研究、66, 5, 503-508 (2003)
「落葉前後の航空機レーザスキャナデータを用いた里山の樹高計測と落葉広葉樹の林分把握に関する基礎的検討」
- 51) K. Noguchi, T. Sakata, T. Mizoguchi, M. Takahashi: J. For. Res., 10, 435-441 (2005)
“Estimating the production and mortality of fine roots in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation using a minirhizotron technique”
- 52) 広嶋卓也：森林資源管理と数理モデル、6:129-140 (2007)
「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」

