

地球温暖化の防止に関わる森林の機能



写真左：秋田の200年を超える高齢スギ林。右下の人の大きさと比べるとスギの大きさがわかる。

写真右上：森林土壌による温室効果ガスの吸収・排出の測定風景

写真右下：大分県立日田高等学校の体育館「遠思巨材館」(設計：黒川哲郎+デザインリーグ 撮影：「新建築」写真部)

目 次

1 . 地球の温暖化	1
<コラム 炭素の単位>	1
<コラム 温暖化が進むと森林はどうなる？>	2
2 . 森林の恵み	3
<コラム 温暖化防止に向けた国際的な取り組みと日本の対応>	4
3 . 森林の樹木はどのくらい炭素を固定することができるか？	5
樹木への固定	5
目の前にある森林の炭素量	6
日本全体の森林の炭素量	6
今までの予想を上回る森林の成長	7
樹木部分への炭素固定量を増やす技術	8
プロセスモデルで長期予測	8
<コラム 空から森林の炭素量を測定する>	10
4 . 意外に多い森林の地表と土壌中の炭素量	10
地表にも貯留されている炭素	10
森林土壌中の炭素貯留量は地上の 5 倍	11
<コラム 世界の森林土壌中の炭素量>	11
森林土壌中に炭素を貯める	12
5 . 木材利用で大気中の二酸化炭素を削減	12
木材利用も炭素固定に寄与	12
木質バイオマスのエネルギー利用	13
<コラム バイオテクノロジーの時代>	13
6 . 山村の活性化と森林整備の必要性	14

1. 地球の温暖化

ここ数年、夏の熱帯夜が増え、また、真冬日が少なくなったという実感をお持ちではないでしょうか。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が2001年に発表した第3次評価報告書によると、20世紀中に地球の平均気温は、約0.6℃上昇したと計算されています。日本の気象庁がとりまとめた結

果でも、日本の年平均気温は20世紀の100年の間に約1.0℃上昇したと報告されています。最終氷期の終わった約1万年前の気温と現在の気温とは5℃ほどしか変わらないのですから、わずか100年で1℃上昇は、かなり急激な温度上昇です。このまま地球の温暖化が進むのではないかと、という問題については国際的に認識されています（図1）。

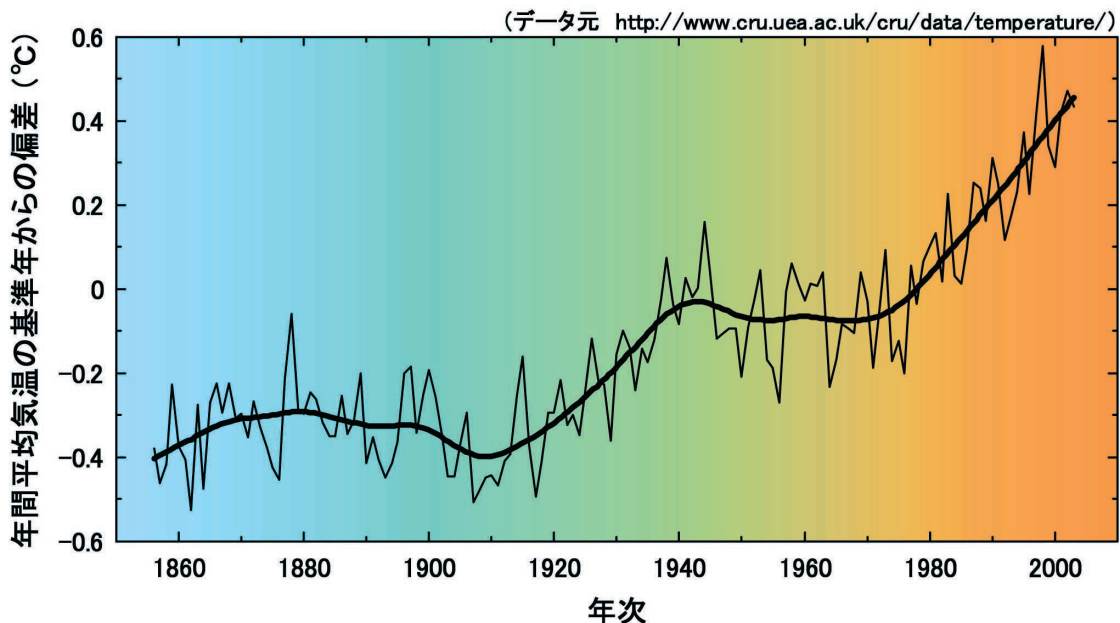


図1 過去150年間の気温の上昇

地球が温暖化しつつある原因は、温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素など）の増加にある、という説が有力です。これらのガスは、地球の表面から放射された熱（赤外線）を吸収し、再び地表に向けて放射します。このような効果（温室効果）によって気温が上昇すると説明されています。温室効果ガスは実際に増えています。1950年代末から始まったハワイのマウナロアにおける観測では、大気中の二酸化炭素濃度がこの50

年間に50ppm近くも増加しています。

二酸化炭素濃度の上昇の原因は、石油など化石由来する燃料の消費によるものです。例えばIPCCは、1980～1989年の間に毎年55億トン（5.5Gt）の炭素が工業から排出されたと推定しています。もう一つの原因は、森林の減少です。先と同じIPCCの推定によれば、1980～1989年に、毎年1.6Gtの炭素が熱帯林の開発などによって放出されました。

コラム

炭素の単位

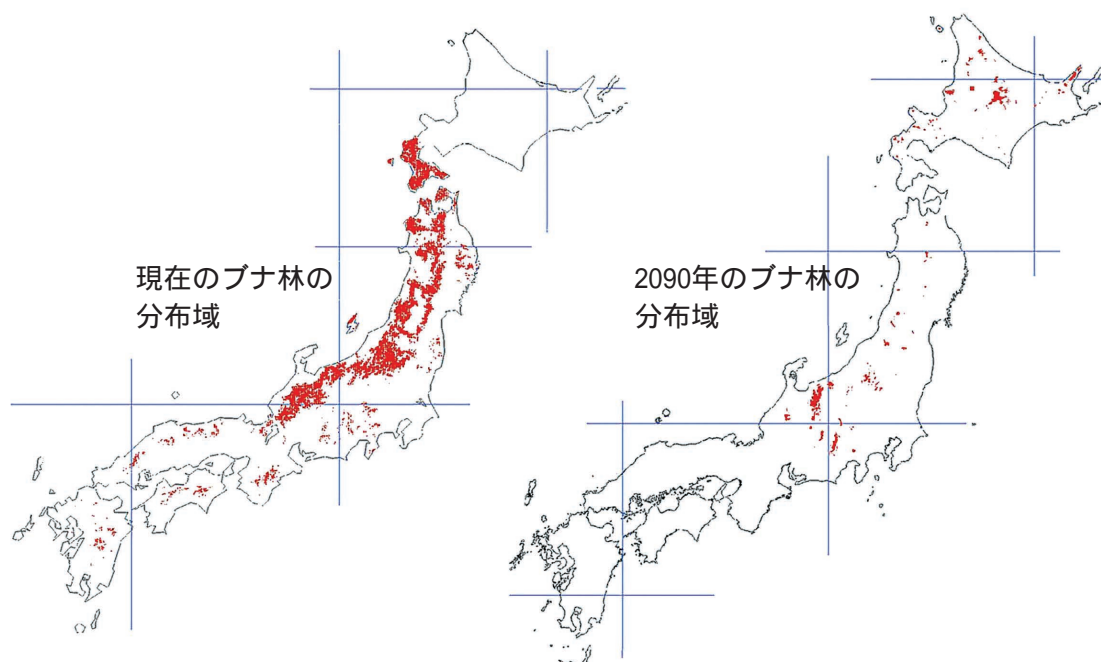
炭素量を測る単位としては、t（トン＝1000kg）がよく使われます。国家レベルで測る場合には、もっと大きい値になるので、Mt（メガトン＝100万トン）が使われることがあります。全球レベルではさらに大きい単位になり、Gt（ギガトン）を使います。1000万tは10Mt、1億tは100Mt、10億tは1Gtに相当します。

温暖化が進むと森林はどうなる？

一般に、二酸化炭素濃度が上昇すると、植物の成長は促進されます。しかし、森林の樹木は成長が促進されるとは限りません。たとえば、シラカンバやスギの苗木を用いた実験では、高二酸化炭素濃度だけでは成長は改善されず、高い光合成速度を発揮するには、十分な量の養分が必要である、という結果が得られています。

次に、日本の代表的な森林タイプであるブナ林の分布はどうなるでしょう。ブナ林は、温暖で夏季降水量の少ない地域にはあまり分布していません。これらの特性と、今後の気温と降水量の予測値（温暖化シナリオ(CCSR)に基づき年平均気温3～4℃上昇、年間降水量0～700mm程度増加と仮定）に基づき、ブナの分布可能範囲を予測すると、九州、四国、中国地方、紀伊半島、関東地方のブナ林は、ほとんど姿を消してしまいます。日本の代表的な人工林であるスギ林も、予測通り高温となった場合、関東以南・以西の太平洋に面した低標高地域のスギ林は2090年代には衰退すると見られています。また、降水量が3割ほど減ると、関東平野に面する北西地域や東北地方の太平洋側のスギも衰退すると予想されています（「森林総合研究所 研究成果選集 平成13年度」田中ら、2001）。

但し、以上の予測は、本当にそうなるかどうか未解明の点が多く残っています。しかし万が一の深刻な事態を避けるため、私たちは事前に対策を研究しておく必要があるのです。



2. 森林の恵み

上述したように、森林の減少が排出源となって大気中の二酸化炭素濃度を上昇させる一方で、森林は二酸化炭素の吸収・固定もおこないます。そもそも森林は、人間にいろいろな恩恵を与えてくれる存在です。森林は、水源を涵養し、土壌を保全し、木材を産出し、生物多様性を維持し、快適な景観を提供するなど、数多くの生態系サービスを人類にもたらしています。そして近年は、二酸化炭素を吸収・固定する機能が二酸化炭素削減に

貢献する森林の機能として、国際的に認められるようになってきました。

日本は国際的な取り組みの中で、二酸化炭素の排出量を2008～2012年の間までに、1990年の年間排出量の94%にまで削減することを約束しました。最も削減に貢献すると期待されているのが森林による吸収で、削減分6%のうち上限3.9%（炭素1300万トン）が森林による吸収源活動分（ただし1990年以降の活動に限定）として活用されることになっています（図2；詳しくはコラム3を参照）。

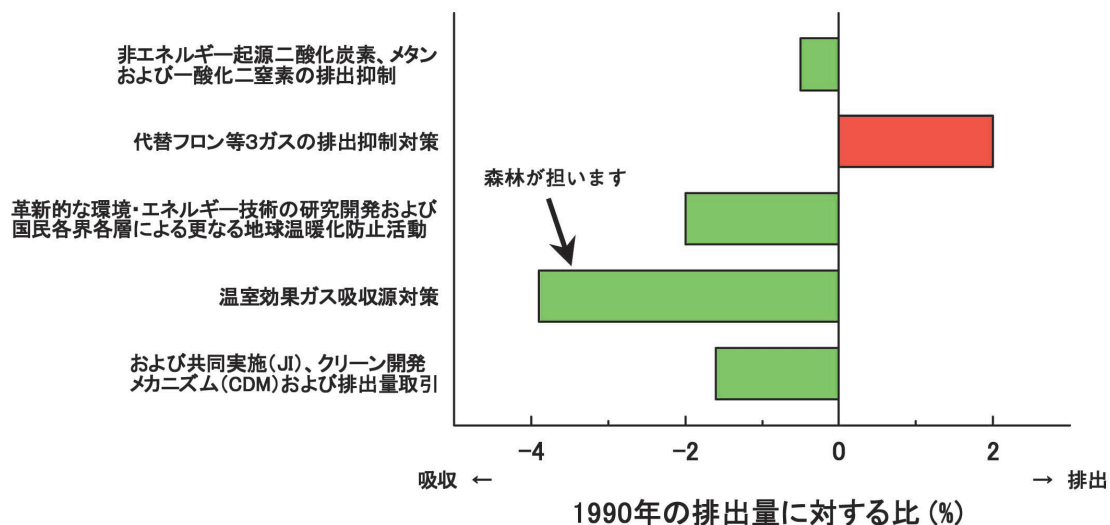


図2 日本における二酸化炭素の吸収源および排出抑制の割り当て

森林の樹木や植物が光合成を通じて大気中の二酸化炭素を吸収していることは、広く知られていることです。しかし、森林内の土壌や生物を含めた生態系全体としての吸収・固定については、気候条件等様々な環境下でどのように行われているのか、潜在能力も含めてその全貌は明らかになっていません。このため、森林の炭素固定の潜在力をどのように引き出すか、森林による吸収量をどのようにして正確

に測るかなど、科学的な調査・分析に基づく技術開発が一層重要となっています。現在、独立行政法人森林総合研究所、大学、民間等において研究が行われており、新しい知見が日々得られつつあります。

本レポートでは森林分野における地球温暖化の研究での最近の成果を紹介し、森林が地球環境の保全にどのように貢献できるのかについて考えてみたいと思います。

温暖化防止に向けた国際的な取り組みと日本の対応

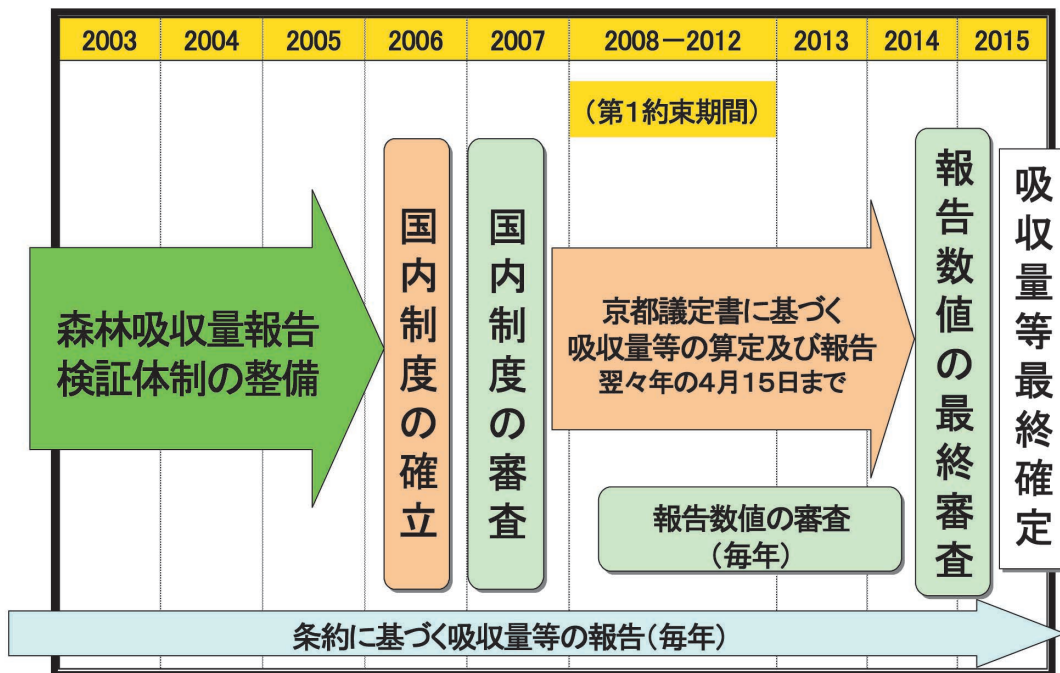
1988年のIPCCのレポート以来、温暖化防止に関する国際的な取り組みが活発になってきました。具体的な目標については、1992年の「気候変動に関する国際連合枠組み条約（UNFCCC）」、1997年の「京都議定書」、2001年のマラケシュ合意などで合意され、第一約束期間（2008～2012年）の間、二酸化炭素などの温室効果ガス排出量を1990年のレベルまで削減することが国際的に定められました。削減目標は、先進国全体で少なくとも-5%で、日本は-6%の削減を約束しました。森林に関しては、1990年以降に行われた新規植林（50年以上森林でなかった土地の人為による森林への転換）、再植林（1989年末に森林でなかった土地の人為による森林への転換）、その他追加的人為的活動による吸収量を削減目標達成に加味することが許されています。但し、国別に適用上限値が規定されていて、日本は炭素1300万トン（基準年排出量の3.9%）と決められました。他にも、共同実施、クリーン開発メカニズム（CDM）、排出量取引など、いわゆる京都メカニズムも利用することができます。

先進国は、2006年末までに温室効果ガスの排出・吸収量を推計するための国内制度を整備することになっており、そのための準備を進めています。林野庁では、森林吸収源計測活用体制整備強化事業を実施し、吸収量算定の基礎となるデータ収集をおこなっています。この他にも、政府は新たな「地球温暖化対策推進大綱」（2002年）を決定し、農林水産省は平成15年度を初年度とする「地球温暖化防止森林吸収源10カ年対策」を定めました。これらに関する詳細は、以下のホームページでご覧になれます。また、上述した国際的な流れに関しては、詳しく解説している書籍やウェブサイトが数多くあるので、そちらを参照してください。

地球温暖化対策推進大綱：<http://www.env.go.jp/earth/index.html>

地球温暖化防止森林吸収源10カ年対策：<http://www.rinya.maff.go.jp/index.html>

吸収量等の算定・報告スケジュール



3. 森林の樹木はどのくらい炭素を固定することができるか？

樹木への固定

本論に入る前に予備知識として、そもそも森林がどのようなプロセスで、生態系内に二酸化炭素を吸収・固定しているか、見ておくことにしましょう。まず、森林を構成する樹木の葉は水と大気中の二酸化炭素を吸収して糖やセルロースなどの炭水化物と酸素を生み出します（図3）。光エネルギーだけでこれら炭水化物を生み出す光合成は、人間の作った工学システムではとても及ばないほど非常に効率の良い炭素吸収・固

定システムです。樹木も、生きるために呼吸をします。光合成で作られた糖を分解し、二酸化炭素を放出しているのです。光合成で得られた糖から呼吸で消費される分を差し引いた結果、残った余剰生産物（光合成純一次生産：NPP）が、葉・枝・幹、根という樹木のパーツの成長に使われ、炭素として蓄えられていくこととなります（図3中の「樹木」）。このように森林は、太陽と大地と水という自然の恵みを利用して二酸化炭素を吸収・固定しています。工学的な炭素隔離技術に付随する輸送コストや環境への負荷などの問題もない、優れたシステムといえます。

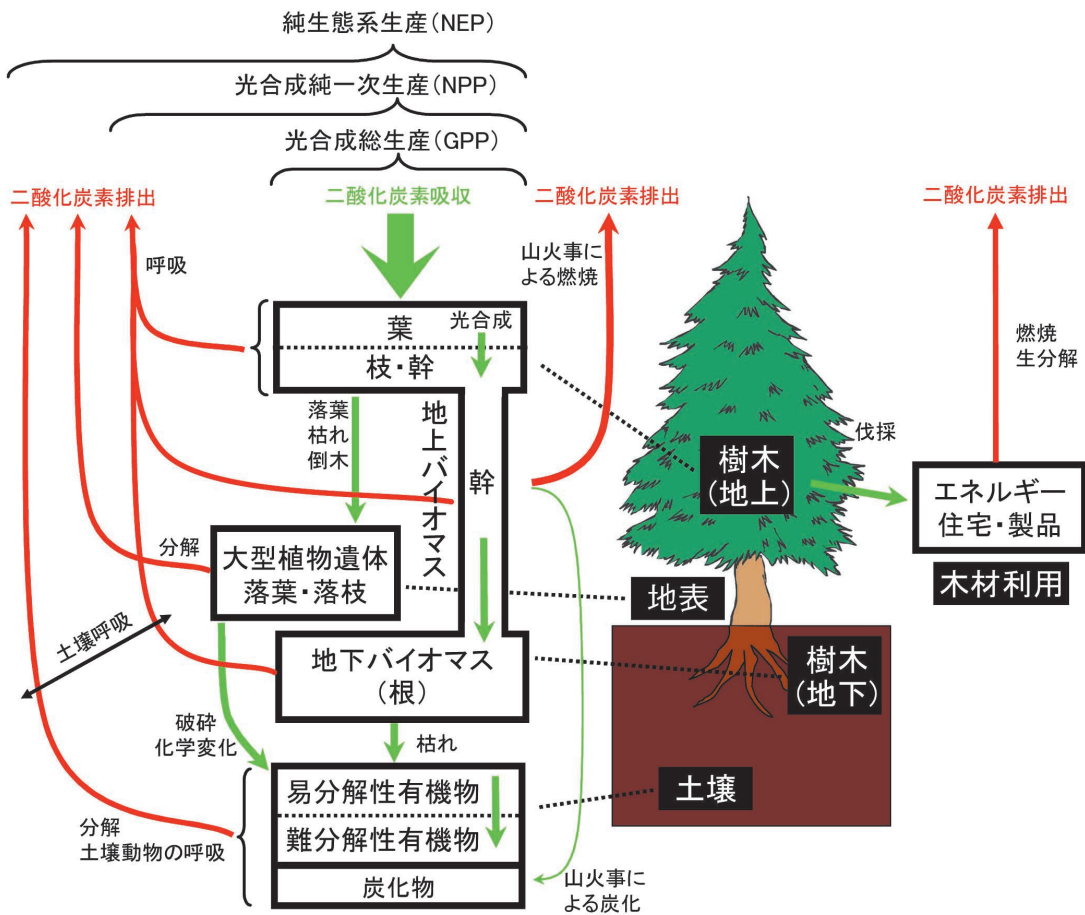


図3 森林生態系における炭素の流れ。NEPが正であれば二酸化炭素を吸収、負であれば排出と判断されます。炭素は、樹木、地表の堆積有機物、土壌中の有機物（以上、森林生態系の内部）と木材利用（森林生態系の外部）の4形態で貯留されます。

目の前にある森林の炭素量

森林の炭素量を捉える方法にはいくつかあります。1つは、森林に生えている全ての樹木を切り倒し、掘り取って根、幹、枝や葉の量を求めていく方法です。ある面積の全ての木を対象に重量を調べた例はいくつかありますが、とてつもない労力となってしまいます。そこで通常は、森林内の木の大きさの分布に従ってサンプル木を選び、それらの測定値をもとに、森林全体の値を推定するという方法が採られています。こうして葉・枝・幹、根のそれぞれのパーツのバイオマス（生物体の重量）を求めていきます。

日本におけるバイオマスの測定例では、植栽後50年程度のスギ・ヒノキ人工林では幹だけで200～300トン/ha、ブナなど落葉広葉樹の天然林では同じく300トン/ha前後の値が報告されています。四国など温暖な地域では、植栽後70年で900トン/haという高い幹バイオマスを持つスギ人工林があります。外国にはさらにすごい例があって、アメリカ西海岸のセコイアの巨木林では何と3500トン/haという値が得られています。

しかし、全ての森林についてこうした手法でバイオマスを求めていくのは不可能です。林業では主に幹を木材として利用するので、幹材積（立木の幹の体積）に関するデータは豊富です。これらのデータから森林樹木のバイオマス（幹+枝+葉+根）を推定し、さらに炭素量を推定することが試みられています。

一本の樹木の固定している炭素量は、以下のよう
な数式で推定します。

炭素重量（トン）

$$\begin{aligned} &= \text{幹のバイオマス(トン)} \times \text{拡大係数} \times \\ &\quad \text{炭素含有率} \\ &= \text{幹材積量(m}^3\text{)} \times \text{容積密度(トン/ m}^3\text{)} \times \\ &\quad \text{拡大係数} \times \text{炭素含有率} \end{aligned}$$

ここで、拡大係数とは幹の重量に対する林木全体のバイオマスの重量の比です。先ほどと同様に、一本一本の炭素量を累計すれば、森林全体の炭素量の

推定値になります。

これまでのバイオマス調査の結果、林齢20～30年以上経過した針葉樹の林分では、拡大係数は1.7程度、容積密度は0.4程度、炭素含有率は0.5程度であることが分かっています。これらの値を用いれば、幹のバイオマス200トン/haのスギ林の炭素量は約170トン/ha、セコイア巨木林の炭素量は約3000トン/haと推定できます。

このような拡大係数や容積密度などのパラメータは、樹種、産地、林齢、さらに同じ樹種でも品種など、様々な要因で異なることが分かっています。例えば容積密度については、1を超えるようなイスノキから、キリのように0.3と軽い樹種までさまざまです。今後さらに正確に吸収量を推定するため、パラメータの精緻化が必要です。

日本全体の森林の炭素量

日本の森林の炭素量を推定する試みが、森林総合研究所を中心に行われています。最近の成果の一例として、林業センサスという統計データを基に現在使用されている収穫予想表を用いて、森林の炭素蓄積量を計算し、分布図として示したものがありません（図4）。ちなみに収穫予想表とは、同齡単純林、つまり同じ樹種を一斉に植栽した林の標準的な直径、樹高、本数密度・幹材積などを、地位（地力の違いを示す目安）、樹齢別に示した表のことです。

また、この研究では、統計データから過去の森林（樹木中）の炭素蓄積やその変化量を推計（図5）しています。これによると、近年、森林における炭素蓄積量は増加してきていますが、これは戦後の拡大造林で造成した針葉樹林の成長と、最近の伐採量の減少によるものと推定されています。一方、1970年までは炭素蓄積量に変化が見られないことから、森林の成長に伴う吸収・固定と伐採等による炭素蓄積の減少がほぼ釣り合っていたと推定されます。

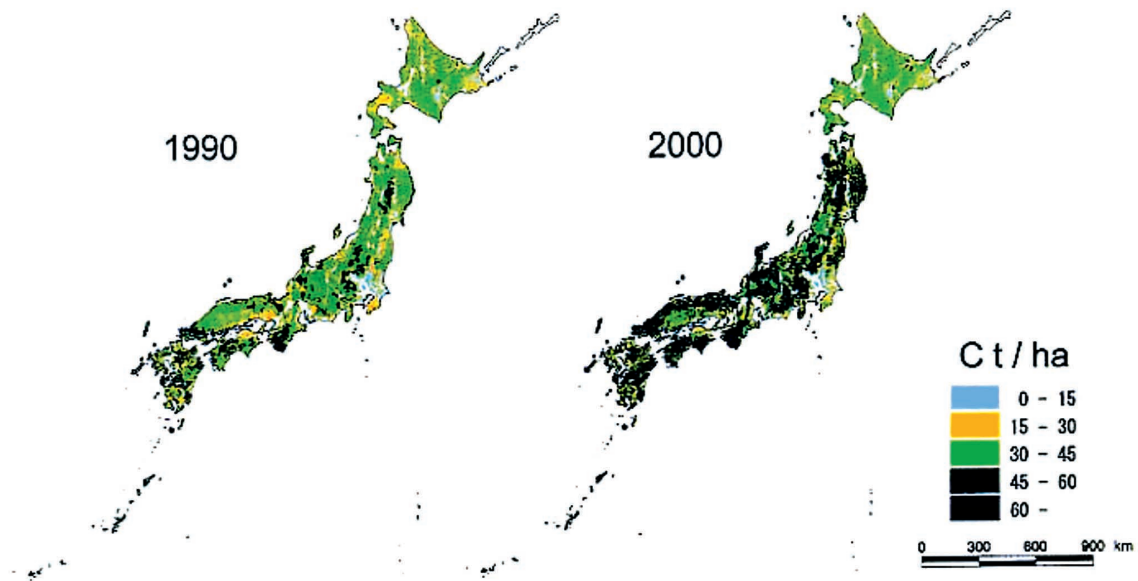


図4 統計データに基づく森林の樹木の固定している炭素量の推定（「森林総合研究所 研究成果選集 平成13年度」松本ら、2001）

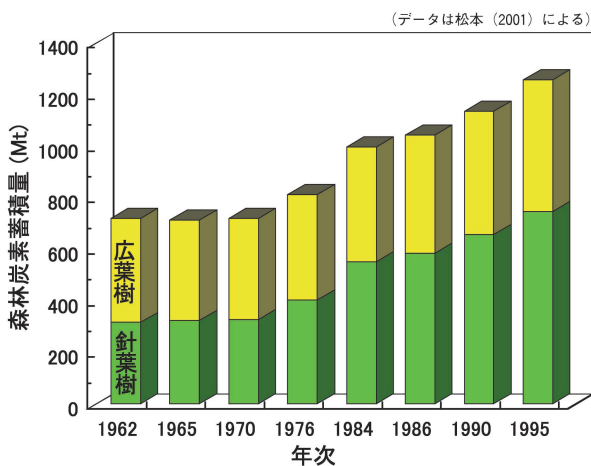


図5 日本の森林の樹木中に貯留される炭素量の最近の変化

今までの予想を上回る森林の成長

さて、研究が進むうちに、この方法にも不確実性の問題があることがわかってきました。

一つは、収穫予想表の高齢級の値が、過小評価されているらしい、ということです。現在用いられている人工林の収穫予想表が作成されたのは、昭和30～40年代のことでした。当時は、高齢級（概ね林齢60年生以上）の林分は少なく、データが不足していたため、高齢級の部分はやむなく暫定的な値が採用されました。その時、当時盛んだった群落生産の生態学の知見も踏まえ、森林の成長量（個体の幹材積の総和の増加）は植栽後50～60年生以降に低下しは

じめるとされたのです。

最近ようやく高齢級の森林のデータが得られるようになってきました。それを分析した結果、林齢80年や100年の人工林が、これまで予想されていた以上の成長を示していることがわかってきました。これはスギ、ヒノキ、カラマツなど樹種を問わず、同じ傾向です。最近の研究で、新しい成長データに基づいて林齢80年生のヒノキ林の炭素固定量を計算した結果、ヘクタールあたり炭素0.89トンという従来の予想値の3倍近くも大きい値が得られました。これまでの常識を塗り替えるデータと言えます。高齢林という言葉からは、私たちのイメージではもうヨボヨボの姿を想像するかもしれませんが、実際には60～80年生あたりから（人間に例えれば）働き盛りの段階に入るものが多いようです。

もう一つは、幼齢級の森林のデータが欠如していることです。収穫予想表とはそもそも収穫量を予測するための道具なので、伐ることのない林齢（0～15年）での材積を記載する必要がありませんでした。そこで、幼齢林の材積も推定に加えようと研究した結果、0～15年の森林を構成する若木の拡大係数は、2.5前後と高いことがわかってきました。この拡大係数も含め、幼齢林の成長量に関して更にデータの収集・分析を行うことにより、

幼齢林に吸収・固定される炭素量の推計も一層正確になります。

以上の成果を踏まえ、幼齢期及び高齢期での収穫予想表の再調整が一部で進められており、今後、さらに全国的な見直しに向けた検討が進むことが期待されます。

樹木部分への炭素固定量を増やす技術

日本は戦後、積極的に造林が進められた結果、新しく植林できるような場所はほとんどありません。必然的に、これからの日本の二酸化炭素吸収を担うのは、すでに存在している人工林、天然林ということになります。前節の研究結果からもわかるように、戦後に植林した人工林もこれから材積が増えることが期待できそうです。そこで、どのような作業を行えばその能力をさらに引き出し、今ある林を活かすことができるか、という点に技術的な関心が向けられています。現在有力と考えられている技術に、長伐期化、複層林化、混交林化などがあります。

長伐期化とは森林の伐採予定時期を、現在設定されている林齢（概ね40～50年生）よりも長期化することです。後述するプロセスモデルに基づいたシミュレーションをおこなった研究では、長伐期化によって森林の炭素固定能を高められることが示されています。壮齢林は高齢林に誘導し、高齢林はその構造を保つように管理することによって、森林の二酸化炭素の吸収能力を高く維持する可能性があります。

複層林は、本来単層林である人工林の木々を抜き伐りした後、そこに苗木を植栽して森林を仕立てる管理手法です。混交林は単一の樹種からなる人工林に他の樹種を導入する管理手法で、基本的には針葉樹人工林に広葉樹を導入することが多いようです。実際には、人工林に自然に定着した広葉樹をうまく生かすことによって、混交林が造られる事例がよく見られます。人工林で針葉樹を抜き伐りした後で広葉樹の苗木を植えれば、複層林であると同時に混交林でもある森林を造成できます。ともあれ、どちらの森林も光資源を無駄なく樹木に利用させて、二酸化炭素を効率よく吸収することが期待できます。また、長伐期林も抜き伐りを繰り返すことによって上

層の空間が空いてくるので、自然に芽生えが定着する、あるいは苗木を植栽して複層林や混交林に誘導することが可能です。

上記のどのタイプの森林も、伐採するときは一度に全ての木を伐らず、上層の木をいくつか選んで伐れば、森林のバイオマスの極端な変化を緩和します。結果として、伐採による森林からの二酸化炭素の排出を低く抑えることが可能です。ただし、これらの森林を育成するには積極的に間伐を行うことが必要です。また、育成後もきめ細かい管理が必要であることを考えると、高密度かつ適正に配置された作業路網を低コストで構築する必要があります。

プロセスモデルで長期予測

統計データに基づく推定は、結果として現れている森林の姿を対象にしています。したがって、データの取得方法や精度が一定であれば、数年といった期間での森林のバイオマスや炭素蓄積の変化量を平易かつ確実に把握できます。しかし、そこには一つ問題があります。例えばある森林が二酸化炭素を以前よりも多く吸収しているとしましょう。しかし、はたしてそれが気温の上昇など気候の変動による増加なのか、あるいは人間が適切な管理技術を施した結果によるものなのか、判断を下すことは容易にはできません。また、長伐期林、複層林、混交林など、構造的に融通無碍な森林タイプは、本来同じ種類で同じ樹齢からなる単層林を対象とした収穫予想表による整理・把握には、なじまない森林タイプでもあります。

これらの問題を克服するためには、いわゆる森林内で起こっているプロセスの研究が必要です。プロセスとは、森林生態系の光合成、バイオマス成長、枯死・脱落、樹木の呼吸、土壌呼吸、植物遺体の分解、土壌の生成などの生態系内で生じている多様な反応のことです。これら個々の現象について、気象、地質、地形や林分構造などとの因果関係を明らかにしてモデル化します。それを基に森林全体として統合することにより、生態系全体のバイオマスや炭素変化量を推計することが可能になります。これがプロセスモデルと呼ばれる手法です。森林は樹種の違い、林齢、置かれた状況などそれぞれ異なっていま

すが、所要のデータを確保できれば、どのようなタイプの森林でもプロセスモデルによってモデル化され、長期の予測も可能となります。

これまでの一般的なモデルでは、人工林の二酸化炭素吸収量は植栽後10～20年で最大になり、60年を超えるとむしろ負になる（排出する）と推定されています。しかし、この手法によって、スギ林の長期間にわたる二酸化炭素吸収量を推定した研究例では、適切な森林管理（間伐など）を行うことにより植栽後40年頃にいったん落ち込んだ二酸化炭素吸収量が、50～60年頃から逆に増え始めるという予測が得られています（図6）。

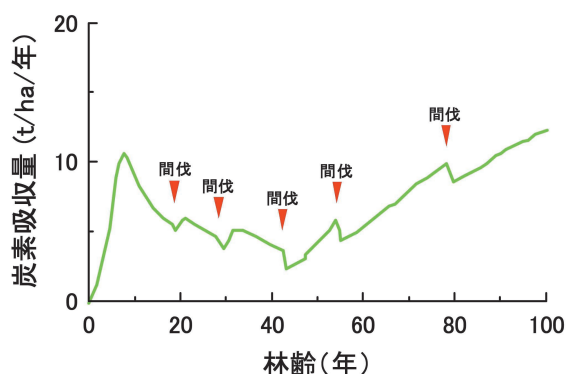


図6 プロセス研究の結果に基づくスギ人工林の炭素吸収率の長期予測（資料提供：千葉幸弘）

プロセス研究はまだ緒についたばかりなので、現時点では足りないデータがたくさんあります。上記のモデルは不足しているデータをさまざまな仮定によって補い、構築されています。今後、この分野の研究が進展することによって、より正確な推定が可能となっていくことが期待されます。モデルを検証するための長期の野外データが充実してきたことも、研究の追い風となっています。さらに、様々な森林のタイプに25mから52mの高さのタワーを設けて森林上面での二酸化炭素のフラックス（単位時間に単位面積を通過して輸送される物質やエネルギーの量）を測定することにより、より直接的に森林による炭素吸収を推定する研究も日本各地の森林でおこなわれています（図7）。例えばアカマツ林における測定では、森林は1月中旬から3月上旬までは二酸化炭素を放出しており（一日に m^2 当たり約2g）それ以外の期間は森林は二酸化炭素を概ね吸収していて6月上旬には最大で一日に m^2 当たり約15gを吸収するという観測結果が得られています。このようなデータも、今後のモデルの検証のために用いることができるでしょう（詳細については、「FFPRI FluxNET」のホームページ（<http://cse.ffpri.affrc.go.jp/ohtan03/global/fnet/fnetj.htm>）をご覧ください）。

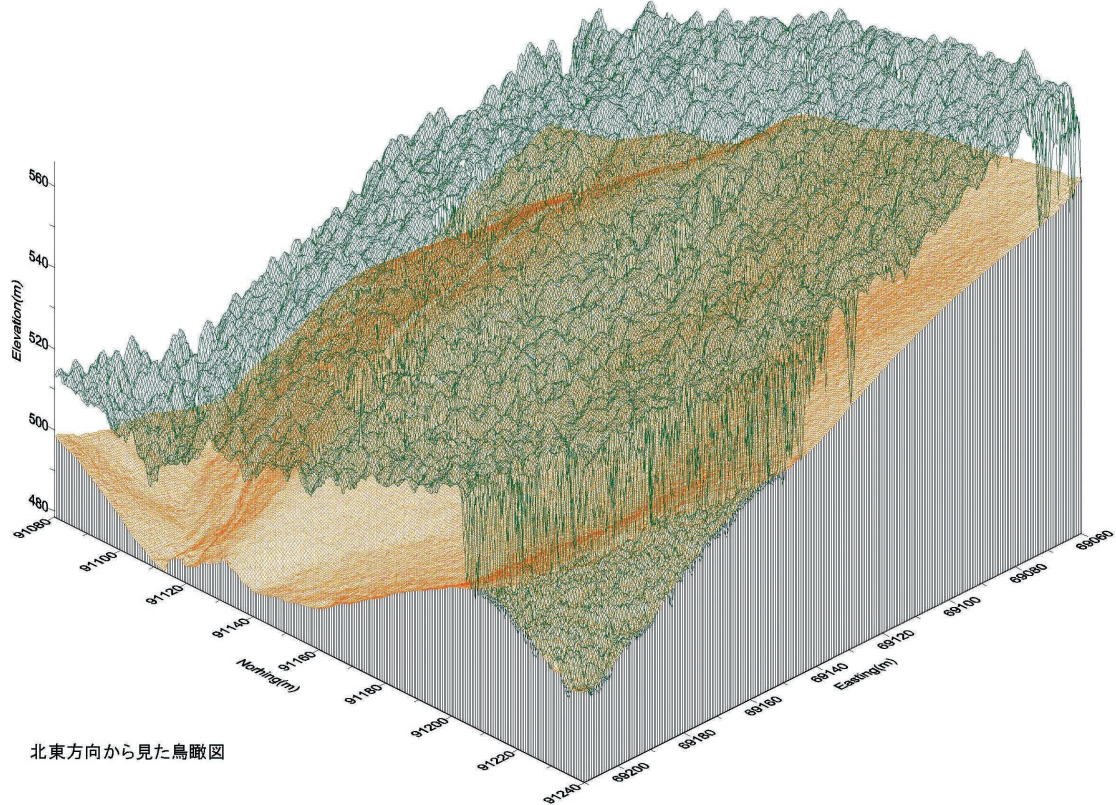


図7 観測タワーによる二酸化炭素吸収の測定風景（写真は岩手県安比の観測サイト）

空から森林の炭素量を測定する

現在、レーザーを使った航空測量によって森林の三次元構造を計測する技術（LIDAR: Light detection and ranging）が開発されつつあります。飛行機からレーザーを下方に照射して、最も遠い反射（地面からの反射）と最も近い反射（樹木の枝葉の表面からの反射）の距離の差を計算することによって、森林の3次元構造を図化する技術です。図は84年生スギ人工林の例です（「森林総合研究所 研究成果選集 平成13年度」平田ら、2001）。この図では、緑の部分が枝葉の茂った部分で茶色の部分が地表面ですが、樹木の先端がはっきりと見て取れるほどの精度で森林の構造を把握できます。また、手前の新規植林地と、背後の高齢人工林が明確に区別できます。この手法をもとにした解析結果と現地の管理状態を比較しながら、研究が進められています。この技術が完成すれば、森林全体のバイオマス・炭素量を推定したり、下草刈りや間伐といった森林管理活動の状況も判読できる可能性があります。

高萩地区



4. 意外に多い森林の地表と土壌中の炭素量

地表にも貯留されている炭素

再び図3をご覧ください。樹木に付いている葉はやがて落ち、枝は枯れて脱落します（これらが地表に堆積したものをリターといいます）。また、長い間には木そのものが倒れたり枯れたりします。このように、大小の植物遺体が森林の地表に堆積され

ます。これらの堆積有機物は徐々に分解されて失われていきますが、しばらくの間は炭素を地表に貯留しています（図3の「地表」の部分）。

現在人工林内に伐採木を放置し、材の分解速度を計測している研究がおこなわれています。間伐しても林の中に材をそのまま残すことが多くなってきており、未利用の間伐放置材の炭素固定としての評価が進められています。現時点の成果では、放置され

たスギ材・ヒノキ材の重量の半減期は10～20年、あるいはそれ以上と推定されています。海外に目を向けると、アメリカ西海岸の森林における研究で、ダグラス・ファーの倒木（直径1m）の自然分解による半減期が、なんと100年以上と推定された例があります。

森林土壌中の炭素貯留量は地上の5倍

地表の堆積有機物は微生物によって分解され、二酸化炭素となって大気に放出されますが、一部は高分子化合物として土壌の構成物になります。さらにその一部が、時間とともに難分解性の有機物に変形し、粘土粒子表面に付着します。こうなるとミミズなどの土壌動物も消化できず、微生物の酵素でもな

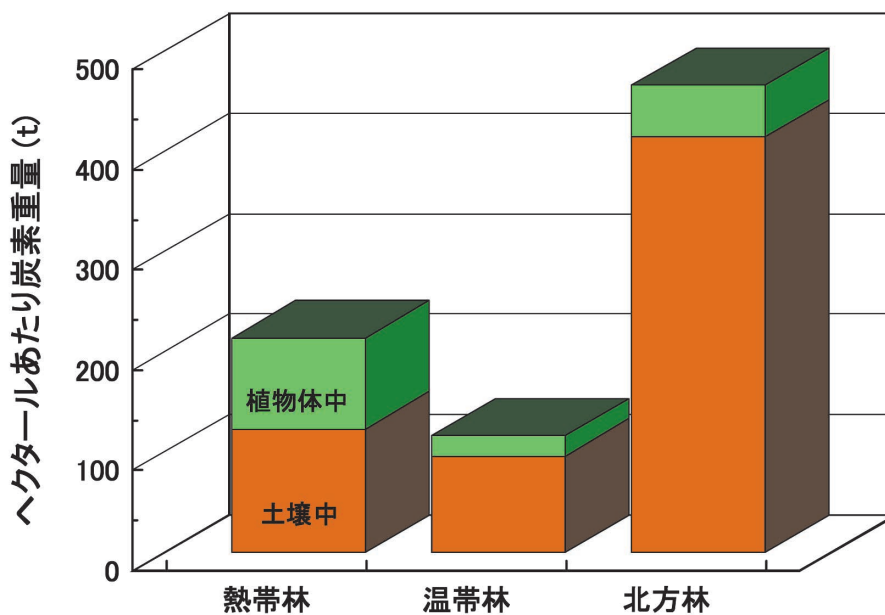
かなか分解されず、数100年は安定すると考えられています。このようにして、光合成された有機物のほんの一部が、土壌中に徐々に蓄積されていきます（図3の「土壌」）。また、森林では山火事などが発生することがあります。その結果、有機物の大部分は燃焼し二酸化炭素となって大気に放出されますが、一部は炭化し難分解性となって、土壌中に残ります（図3の「土壌」）。

森林土壌に関する研究は戦前ブナ林を対象に本格的に開始され、1970年代にはわが国森林土壌の概略が明らかになりました。その結果、土壌中の炭素量は土壌タイプやその基になっている母材の種類によって異なっています。深さ1mまでのヘクタール当たり炭素貯留量は「適潤性褐色森林土」並びに「乾

コラム

世界の森林土壌中の炭素量

世界の森林には、熱帯から亜寒帯まで様々なタイプが存在します。今までの研究から、炭素を生態系内にどのように貯留しているかは森林タイプによって異なることがわかってきました。北方林や熱帯林は温帯林よりも炭素を多く貯留していますが、炭素が集中している部分はまったく異なっています。熱帯林が樹木の部分に生態系の炭素の約半分を固定しているのに対して、北方林では地下部に炭素のほとんどが集中しています。これらの違いは樹木の成長速度や有機物の分解速度の差によるとされています。



世界の森林の土壌中と植物体中の炭素量。データはKasischke（2000）による。

性褐色森林土」では約200トン、「湿性褐色森林土」ではやや多く約250トン、火山灰母材の「黒色土」では有機物がアルミニウムと結合して安定化するために300トン以上に達することが明らかになりました（図8）。

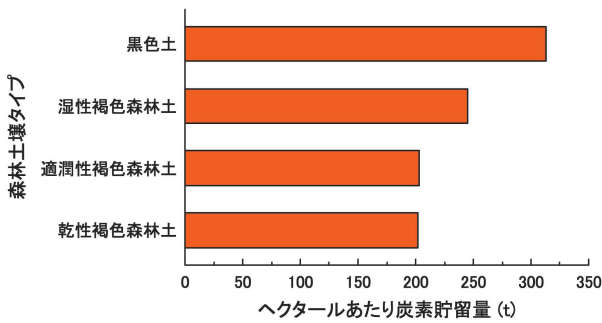


図8 さまざまな土壌タイプの炭素固定量（「森林総合研究所 研究成果選集 平成9年度」）

土壌型ごとの炭素量とその面積を用いて、全国の森林土壌中の炭素貯留量を試算した研究結果があります。それによると、わが国の森林土壌に貯留される炭素量は全体でおおよそ54億トンと推定されました。日本の森林樹木中の炭素量は近年の統計データによると約12億トン程度と推計されているので、土壌中の炭素蓄積はその約5倍にも当たると言えます。森林土壌に貯留されている炭素はかくも多いのです。

森林土壌中に炭素を貯める

伐採などで林床面に太陽光が注がれると地温が上がるため、土壌有機物の分解が進み、二酸化炭素の放出が加速されます。したがって、土壌中に炭素を豊富に蓄積している森林は、なるべく一度に全てを伐採せずに土壌炭素を保全するように管理すべきです。このような管理は前述の長伐期化や複層林化によって実現できるでしょう。また、それによって炭素がこれからも継続的に森林土壌中に追加貯留されると予想されます。

土壌における炭素の貯留速度は予想されるとおりそれほど高くありません。例えば、長野県の御嶽山の泥流跡地ではヒノキとサワラを植林してから12年後、土壌中の炭素がヘクタールあたり1.4トンに増していたというデータがあります。これは落葉や枯

死根などの有機物が徐々に土壌中に供給されたため、長年月を経れば先に述べましたように数百トンの炭素を貯留するようになります。

現在、農林水産技術会議事務局のプロジェクトにおいて森林の伐採、加齢・成熟に伴う土壌炭素の動態を系統的に明らかにする研究をおこなっています。同時に、森林においては情報の少ないメタンや一酸化二窒素の収支も測定されはじめました。手法についてはすでに調査マニュアルが作成され、現在、全国規模で順調に測定データが蓄積されつつあります。

また、木材などを炭化し森林内の土壌に還元することも、炭素固定の方法としては有効だと考えられます。多孔質の木炭は土壌改良材として通気性や保水性を保つために利用されています。これからは炭素の長期貯留の観点からも、木炭の価値は多いに見直されるべきでしょう。

5. 木材利用で大気中の二酸化炭素を削減

木材利用も炭素固定に寄与

今までは、森林生態系の内部での炭素固定に関する話でした。その他にも一つ、伐採という人間活動によって、森林生態系の外に炭素を固定・貯留することができます。伐採された木が燃料として用いられた場合は、即座に大気中に二酸化炭素として放出されますが、紙や家具、住宅の部材として用いられれば、一定期間炭素を製品の中に固定しておくことができます（図3の「木材利用」）。

日本は木材を住宅の構造材として使う伝統があります。たとえば、法隆寺の五重の塔は、1400年前の木材できています。1400年前に吸収された二酸化炭素がずっとそこに蓄えられ続けているわけです。

現在、日本の建築物が貯蔵している炭素量は、木造住宅のストックにより増加しているとの推計もあります。世界的には、木材製品による炭素固定は年間21Mtと言われています。京都議定書のルールでは、伐採量と同量の木材が焼却などにより二酸化炭素として大気中に放出されているものと見なされています。しかし、実際には、伐採された木材を長期間利用することにより、二酸化炭素の貯蔵庫として

の機能を維持しつづける訳ですから、ルールはともかく木材を長く大事に利用することは二酸化炭素の固定に非常に有効です。

木質バイオマスのエネルギー利用

最近、木材利用法の一つとして、木材をバイオマスエネルギー資源として利用することが見直されて

います。カーボンニュートラル（大気中の二酸化炭素の増減に影響を与えない性質のこと）としての木質バイオマスの利用は、化石燃料に起因する二酸化炭素排出の削減に貢献します。現在までに、木質エネルギー利用のための燃料化技術の改善、燃焼装置の改良等がなされてきました。これらの技術の中には、現在実際に活かされているものも少なくありま

コラム

バイオテクノロジーの時代

より多くの二酸化炭素を吸収し、より高い環境適応力を持つ樹木があれば、森林による二酸化炭素の吸収が有効におこなえます。そこで、遺伝子組換えを利用して、このような樹木を生み出す研究がおこなわれています。

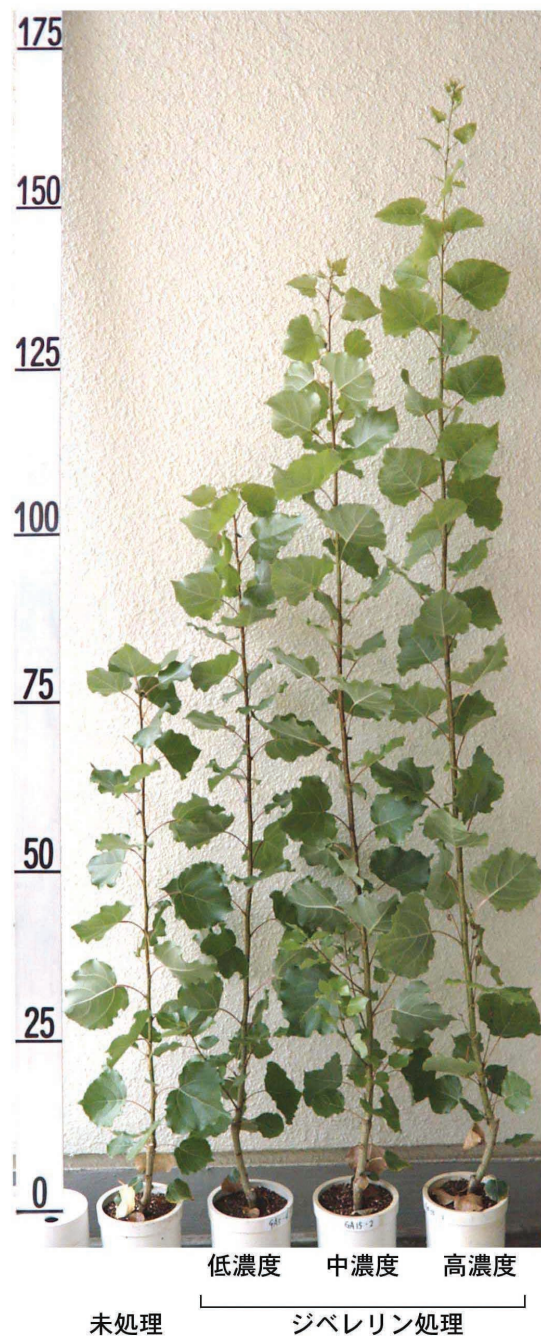
ポプラを用いた研究では、樹木の細胞内に見られるジベレリンというホルモンの1種に着目し、このホルモンの濃度を適切に変えることで、成長を旺盛にしようと考えています。写真のように、ジベレリン処理によってポプラの成長は大きく促進されます。

そこでジベレリンの生成に関わる遺伝子を見だし、その遺伝子の発現量を調節しようと試みています。また、乾燥に耐えられる遺伝子に組換えて、半乾燥地での植林に向けた取り組みも行われています。すでにポプラのほか、いくつかの広葉樹種では、遺伝子組換え体の作出に成功しています。

現在、開花・繁殖を制御する研究も進められているので、やがては野外での安全性が確認されて植栽が可能になることでしょう。このような樹木を植林してバイオマスエネルギー資源として利用すれば、化石燃料からの二酸化炭素の排出量を抑制することも可能になります。

植栽に関しても、人工種子などのバイオテクノロジー技術によって、省力化と同時に初期成長を促進し、生産性を向上する技術の開発が進められています。

（写真提供：篠原健司）



せん。木材のガス化や、木質材料からエタノールを生成する技術などは、実用プラントによる試験の段階に入っています。

しかし、まだ解決すべき問題もあります。例えば、廃材、林地残材、放置間伐材などを、効率的かつ低コストでプラントへ収集する方法の検討など、実用化に向けて精力的に研究が進められているところです。資源循環型社会を創出するためにも、木質バイオマスによるエネルギー利用、建築廃材や未利用間伐材の有効利用は重要な課題です。

バイオマス資源に関しては、京都議定書で認められたクリーン開発メカニズム（CDM；コラム参照）の活用手段として、熱帯地域に早生樹種による森林造成をおこなって、その資源を生産・利用する方向での検討が進められています。現在、アカシアやユーカリを用いた植栽試験が東南アジアやオーストラリアなどで行われています。新しい交配種や外来導入種を選ぶことによって、条件の良いところではヘクタールあたり年間10トンにも達するような炭素固定が可能になっています。しかし、成長が良いものはそれだけ養水分も多く消費するため、持続的な森林管理を達成するには適地の解明など、まだ解決すべき問題が残されています。

6. 山村の活性化と森林整備の必要性

以上見てきたように、森林、あるいは木材利用によって二酸化炭素を吸収・固定し温暖化を未然に防ごうという研究が、現在活発におこなわれています。森林は人為的なエネルギー投入をそれほど必要とせず二酸化炭素を吸収し固定するシステムを持っています。さらにうまく森林管理をすることによって、森林の持つ炭素固定のポテンシャルは人工林を中心にまだまだ引き出せそうです。研究は日進月歩であり、森林・樹木の能力がどこまで引き出されるのか、今後の成果が楽しみです。多数の人工林を生み出した戦後の拡大造林については、スギ花粉症などの観点からしばしば批判の対象となることがあります。一方、二酸化炭素の吸収・固定の観点から見ると、

それらの人工林の貢献が大きいのですから、森林の価値というのは、まことに多面的なものだと言えるでしょう。

日本では、科学的な知見をもとに地球温暖化防止森林吸収源10カ年対策が打ち立てられており、あとはそれを実行に移すのみです。本レポートで紹介した長伐期林や複層林などによる森林管理を実現するには、きめの細かい森林整備とそれを実行する体制の確立が必要です。しかし、山村の過疎化、林業就業者の減少、高齢化、材価の低迷など、森林をめぐる情勢は厳しさの一途をたどっています。前述したように最近の日本の森林は、現在のところ二酸化炭素を順調に吸収しているようですが、人工林は適切な森林整備を怠ると気象災害や病害虫に弱い森林になり、また、一本一本の葉の付着量が減るので長伐期化も困難になります。こうして間伐が手遅れになると二酸化炭素の吸収も期待できなくなるばかりか、極端な場合は排出源と化すかもしれません。森林によって毎年1300万トンの炭素を吸収・固定するという目標達成は決して楽観できる状況ではありません。地球温暖化対策では、森林整備が重要だといわれる所以です。

多くの人々にとって、森林は今や町から遠く離れた存在になってしまっています。しかし、森林は水源涵養、土壌保全、土砂崩壊防止などのサービスのほか、二酸化炭素の吸収源・貯蔵庫など人間生活にとって重要な役割を期待されている存在です。私たちは、そういった認識を広く共有すべきです。

農林水産省の策定した「森林吸収源10カ年対策」の中でも、地域住民、NPOなどの多様な主体の参加と連携による国民参加の森林づくりを進めることが謳われています。森林の整備は、山村に新たな就業機会をもたらします。森林の重要性を多くの人々が認識し、森に関心を持ち、山へやってくる、そして人の出入りが増えることによって、山村が再び活性化し、森林の保全・整備体制が下支えされるという望ましい方向へのフィードバックが生じることが強く期待されています（図9）。



図9 中学生による河川敷へのスギの植林作業（写真提供：大石康彦）

地球温暖化の問題は誰しもが関心をいさぐ事柄だ
と思います。小学校の総合学習の時間で、「地球環
境を守る」ために木を植える活動がおこなわれてい
る事例もあるようです。このことから、森林が地
球環境の保全につながっているということは、多く
の人が漠然と感じつつあることがわかります。よい
兆しではないでしょうか。本レポートが地球温暖化
と森林との関係に関して多くの人に科学的な知識を
伝え、日本の森林が発展していくことに多少とも貢

献できれば幸いです。

謝辞

本レポートの作成にあたり、独立行政法人森林総
合研究所、秋田県立大学に所属する数多くの研究員
の方に情報や資料を提供していただき、貴重なご助
言をいただきました。深く感謝の意を表します。

（編集担当：研究開発企画官 佐藤明、研究調査官
正木隆）

本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とするため、皆様から幅広いご意見・ご感想をE-mail、FAX、郵便などによりうけたまわっていますので、下記宛までお寄せ下さい。

住所：〒100-8950 東京都千代田区霞が関1 - 2 - 1
農林水産省 農林水産技術会議事務局 技術政策課 企画調整班
(担当) 森澤、石橋

電話：03 - 3501 - 4609
FAX：03 - 3507 - 8794
E-Mail：www@s.affrc.go.jp

本レポートは下記からもご覧いただけます。

< URL > <http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report.htm>

『農林水産研究開発レポート』既刊リスト

- No.1 (2001.10) 麦の高品質化を目指して
- No.2 (2002. 1) イネゲノム情報を読む
- No.3 (2002. 5) 循環する資源としての家畜排せつ物
- No.4 (2002. 9) 機能性食品の開発
- No.5 (2002.12) バイオエネルギー利用技術の開発
- No.6 (2002. 3) 新たな用途をめざした稲の研究開発
- No.7 (2003. 5) 昆虫テクノロジー研究

農林水産研究開発レポート No. 8

「地球温暖化の防止に関わる森林の機能」

2003年9月19日

監　　修　農林水産省　農林水産技術会議
編集・発行　農林水産省　農林水産技術会議事務局
〒100 - 8950　東京都千代田区霞が関1 - 2 - 1
TEL　03 - 3502 - 8111（代）
FAX　03 - 3507 - 8794
<http://www.s.affrc.go.jp>

