

木材利用と地球環境

— 持続可能な社会に向けて —

公益社団法人
大日本山林会 編
木材サミット連絡会

令和2年1月

一般財団法人 農林水産奨励会

農林水産叢書 No.82

木材利用と地球環境 —持続可能な社会に向けて—

令和2年1月

一般財団法人 農林水産奨励会

ま え が き

一般財団法人農林水産奨励会は、農林水産業の発展に貢献することを目的に、公益社団法人大日本農会、公益社団法人大日本山林会、一般社団法人大日本水産会の三会と協力して、農林水産業・農山漁村・食料等に関する調査研究、講演会・シンポジウム・研究会等の開催、印刷物の刊行など、農林水産業や農山漁村の改善・発達に寄与する公益事業を行っています。

本書はその活動の一環として、大日本山林会の機関誌『山林』に、2018年4月号から19年4月号まで13回にわたって連載された「持続可能な社会に向けて」をとりまとめて、1冊の本として刊行したものです。

本書で取り扱っている内容は、木材の利用と地球環境問題です。木材は循環型の資源で、わが国では昔から森林の維持培養に努めてきたこともあり、国内に比較的豊富にある資源です。そして、建築物・家具・その他に木材を無駄なく利用することは、森林や林業にとっても有意義なことであるばかりでなく、地球環境を良好に維持する上でもきわめて大切なことです。本書はその点をわかりやすく紹介した著作で、林業・木材産業に携わる方ばかりでなく、多くの方にとって参考になると思います。

令和2年1月
一般財団法人農林水産奨励会
会 長 白 須 敏 朗

巻 頭 言

夏の猛暑、局所的なゲリラ豪雨など、わが国の日常生活の中に、これまでなかったような異常気象が頻繁に発生し、地球温暖化の影響が目に見える形で現れるようになってきています。温暖化の主な原因の一つが、人間の活動による温室効果ガスの排出であることが、様々な科学的検証によって確かめられてきました。しかしその温室効果ガスの効果的な排出規制は、なかなか前に進んでいません。さしあたり温暖化防止の対策として、わが国では森林を充実させることによって大気中の二酸化炭素の吸収を図ることと同時に、なるべく木材の形で二酸化炭素を固定しておくために木材の利用を推進するといった施策が実施されています。

もちろん、森林による二酸化炭素の吸収と、木材という形で二酸化炭素を固定することは、わが国だけの課題というわけではなく、全世界が取り組まなければならない課題です。そのためもあって国連では、2015年に持続可能な開発目標（SDGs）として17の目標と169のターゲットを採択しましたが、これは二酸化炭素の吸収・固定という問題だけでなく、持続可能な社会の発展全体にとっての目標とターゲットです。その中でも森林問題は、この17の目標の大部分に関係する課題であると捉えられました。もちろん森林が持っている役割・機能は二酸化炭素の吸収・固定だけではなく、林業生産を通じた経済的な機能、水土を保全する機能、保健・文化の維持継承など、様々な形で私たちの生活に関係しており、そのため森林が17のSDGsの大部分に関係しているというわけです。

このように、森林を巡って世界で様々な取り組みがなされております。そうした事情を踏まえ、特に森林の二酸化炭素吸収能力と木材による二酸化炭素固定の可能性について、私たちも深く認識しておく必要があります。本書はその入門書として書かれたもので、執筆はそれぞれの分野の専門家ですが、読者にとってわかりやすいよう配慮しています。本書が多く読者にとって、こうしたことを理解する上で、参考になることと確信しています。

なお、本書のPDF版を、大日本山林会および木材サミット連絡会のホームページにて公開いたします。

令和2年1月
公益社団法人大日本山林会
会 長 永 田 信

目 次

序 章 田中 潔・富田文一郎	3
----------------	---

第1章 気候変動について（恒次祐子）

1 地球温暖化は人為的な温室効果ガス排出が主な原因	5
2 温暖化防止における木材利用の役割	6
3 気候変動に関する世界の取り組みと木材利用	8
4 これからの木材利用への期待	10

第2章 日本の森林（久保山裕史）

1 森林と木材利用	12
2 成長を続ける日本の森林	14
3 日本林業の現状と課題	18
4 森林の持続可能性を確保する取り組み	20
5 バイオエコノミー	21

第3章 環境への優しさで見る木材利用（服部順昭）

1 環境への優しさとは	23
2 ライフサイクルアセスメント（LCA）とは	23
3 環境への優しさとその定量評価ツール	25
4 環境影響評価の統合化とフルコスト評価（FCA）とは	26
5 カーボンフットプリント（CF）とは	27
6 環境フットプリント（EF）とは	29
7 環境評価の留意点	29
8 丸太や木質材料の環境影響評価	30
9 建物の環境影響評価	33
10 都会の木造化	35
11 木材利用の意義は	36

第4章 循環型資源としての木材のカスケード利用（有馬孝禮）

1 循環型資源とは	38
2 「3R／4R」から5Rへー「消費が消費を生む」と「消費が生産を生む」	39
3 炭素ストック「C表示」と伐採木材（HWP）の扱い	41
4 カスケード型利用ー残材、廃棄物処理から再利用、再生利用へ	42
5 資源循環型社会を回す仕組み	44
6 都市の資源問題ー木質資源再利用と耐用性	46
7 木材カスケード利用の代表ー木質ボード	46
8 再生可能資源としてのバイオマスエネルギー	47

第5章 木材利用の特徴と利点（今村祐嗣・富田文一郎）

1 木造建築物の特徴	50
2 木材と一緒に住む	56

第6章 木材産業の概要（富田文一郎）

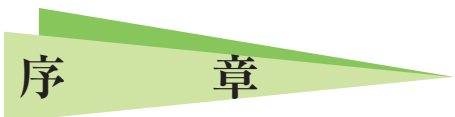
1 木材産業の貢献、規模、価値	63
2 木材に関連する産業分野の動向	65
3 多様な木材製品	68
4 木材利用の促進と開発の事例	74

第7章 ゼロエミッションへの道（富田文一郎）

1 持続可能資源としての木材と活用のための要件	77
2 ゼロエミッション達成のための要件	78
3 生物資源を基盤とする持続・循環社会の構築	80
4 ゼロエミッション達成の可能性と世界と日本の動向	81
5 おわりに	83

あとがき	85
------	----

著者紹介	86
------	----



序 章

21 世紀に入り地球環境問題を巡る世界の動きは急速に展開しており、化石資源に代わる再生可能な資源やエネルギーの利用が求められています。とくに、1990 年頃からの気候変動に関する政府間パネル（IPPC: Intergovernmental Panel on Climate Change）の科学的根拠に基づく報告・活動の効果が大きく、短時間で世界的に地球環境に関する情報が共有されて、社会の合意が得られるようになっていきます。

また、我々の生活や社会が持続的に発展するためには、自然環境に由来する持続可能資源、環境や経済に関する社会の共通認識、さらに持続可能な経済等が不可欠ですが、このような概念も、世界的に認められるようになってきました。

このような状況の中で、木材は、大気中の二酸化炭素（CO₂）を固定した再生可能な持続的資源として、地球環境面における貢献が大きく評価され、適正に管理された森林から生産される木材を積極的にかつ長期間利用することが、世界が目指す方向となっています。すなわち、木材を利用することが、地球環境と人類の生活に大きく貢献することを認識して、さらに適正な木材利用を推進していかなければなりません。

我が国においても、国民一人ひとりが再生可能資源である木材を主とした生物資源に依存する社会やライフスタイルに移行して、地球環境を守らなくてははいけません。

このような概念を多くの国民が理解して共有することが、地球環境を守ることに繋がると言っても過言ではありません。同時に、木材を地球環境のために活用するには、森林を育てること、さらに我々が木材を使えるように加工することが不可欠で、そのための林業と木材産業の役割は重要であると同時に両者の連携も必要です。

本書は、このような観点から木材利用の意義と地球環境への貢献を紹介することを目標として刊行するものですが、7 章で構成されていますので各章の概要を簡単に紹介することにします。

第 1 章では、気候変動の原因や実態が明らかになりつつあり、CO₂ 排出が最大の原因であること、また、地球温暖化対策への世界的な取り組み、炭素固定量の評価方法、京都議定書、パリ協定等を紹介します。さらに CO₂ 排出量を削減する方法としての化石燃料の削減や木材による他材料の代替、地球上の炭素循環（サイクル）や森林の炭素固定能、森林を守るための木材利用の役割等について解説します。

第 2 章では、日本の森林の現状と持続性ならびに持続的に木材を生産するための要件等について多面的に解説します。さらに、森林の持続性を担保する方法として、森林法、造林補助事業、認証制度、違法伐採木材の取り締まり等について紹介します。

第 3 章では、木材利用の環境への影響に

ついて解説します。生活に必要な製品が地球環境に及ぼす影響を評価するには、ライフサイクルに渡って消費される原材料やエネルギーに由来する環境負荷量で評価する必要があります。このような評価方法について、現在までに開発されている方法を解説します。また、これらの評価方法によって、木材や木質材料の環境への優しさを、国産丸太、木材のJAS製品、JIS製品等を例にして紹介します。さらに、評価を応用した事例として戸建住宅やオフィスビル等の環境影響評価等についても紹介します。

第4章では、木材は循環型資源として、いわゆるカスケード利用の流れの中で利用されていることを解説します。木材と木質材料については、再利用やリサイクルが可能であること、炭素循環の面から廃棄されるものが少ないこと、一般には廃材と呼ばれている木材にも価値があること、さらに、これらの材料を循環利用するための要件などについて説明します。

第5章では、木材の持つ生物体としての特徴と多岐に渡る木材の利用例、木材で建築物を作る際の留意点、木材と共に住むことのメリット等について紹介します。

第6章では、木材産業の意義と特徴、位置づけ、経済面の原動力、多様性、企業の規模、分野別の従業者構成、生産額等の現状等を家具産業や木造住宅産業と関連付けて紹介します。また、製材、木質材料等の木材製品の生産状況や生産量、各分野の新規技術の開発状況、木材製品の生産における留意点等について紹介します。さらに、

木材利用の促進のために施行された政策の経緯、公共建築物等における木材利用の促進や2020年東京五輪に向けた動向等について紹介します。

第7章では、ゼロエミッションへの道と題して、第1～6章の内容を基にして、CO₂やメタン、フロン類等の温室効果ガスの排出を削減するための取り組みと、達成の可能性、そのための要件、世界の動向、木材を循環利用するための要件等を解説します。また、生物資源の賦存量と森林資源量から見たCO₂固定の潜在力と大気中のCO₂削減の可能性を推定します。さらに、生物資源を基盤とする持続可能社会の構築について、国産材利用が地域経済の持続に貢献し国土強化に貢献することや、木材利用の貢献に関する情報循環・情報共有が必要であることを紹介し、ゼロエミッション達成のための我が国と世界の動向と達成の見通しを解説します。

各章の概要は以上の通りですが、木材関係者は、木材利用が地球環境保全に貢献することが何時かは社会に理解されると期待していたものの、これほど早く木材の出番が来るとは予想していなかったように思います。非常に早いテンポで地球温暖化が深刻になっており、地球環境を守るために持続可能資源の循環利用が注目されるようになっていのでしょうか。

本書により、このような状況が読書の皆様にご理解頂ければ幸いです。

田中 潔（大日本山林会前会長）

富田文一郎（木材サミット連絡会世話人）

第1章 気候変動について

1 地球温暖化は人為的な温室効果ガス排出が主な原因

地球温暖化が、世界が直面する問題としてははっきりと認識され始めたのは1980年代のことでした。温暖化の原因についてはいろいろな議論がありましたが、現在は人為的なものであるという見解が一般的になっています。ここではまず温暖化の仕組みと現状を整理します。

地球は大気と呼ばれる気体の層で覆われています。大気的主要成分は窒素と酸素で、それぞれ体積比で約78%、20%を占めています。その他、2%の中には二酸化炭素(CO₂)やオゾンなど様々な成分が含まれています。

地球の表面は太陽から得るエネルギーによって温められますが、地表から放射される熱は、大気がなければそのまま全量が宇宙に放射されます。この場合、地球の表面温度はマイナス19℃ぐらいになる計算だそうです。しかし実際には、地球を覆う大気中には熱を吸収する作用を持つ成分が含まれており、地球から放射された熱の一部は宇宙に逃げていかずに再び地球側に戻るといった現象が起きています。この効果を「温室効果」と呼び、これのおかげで地球の平均気温はマイナス19℃よりはずっと温かく、約14℃となっています。つまり温室効果が全く起こらないとすると、わた

したち人間を含む多くの生物は寒すぎて生きていけないということになりそうです。

ただし今問題となっているのは、この温室効果をもたらす大気中の成分、つまり温室効果ガスが急激に増加した結果、地球の気温が長期的に上昇しているということです(図1-1、図1-2)。これについて、1988年に設立された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」との報告をしました⁽¹⁾。つまり、地球温暖化の主因は人間が排出している温室効果ガスであるという見解です。後述する京都議定書では主要温室効果ガスとして、CO₂、メタン、亜酸化窒素など6種類が排出削減対象として指定されており、このうちCO₂は大気中の濃度が他の温暖化ガスに比べて多いことなどから、現在問題

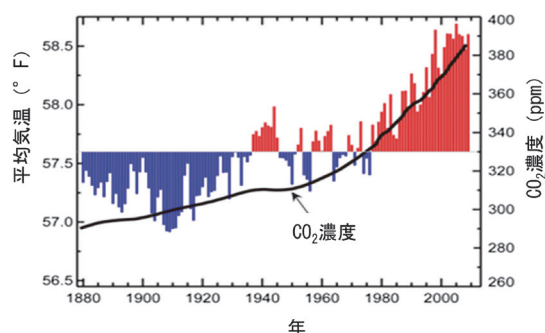


図 1-1 地球の平均気温と二酸化炭素濃度の推移
(注 (2) を改変)

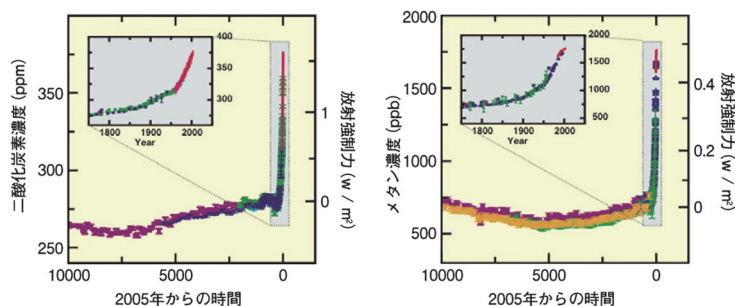


図 1-2 温室効果ガス濃度の推移（左：二酸化炭素、右：メタン）
 （注（1）および全国地球温暖化防止活動推進センター <http://jccctest.heteml.jp/> より）

となっている地球温暖化への影響が最も大きいことが指摘されています。

それでは、もし今後温暖化が進んでしまったらどのようなことが起こるでしょうか？ IPCC 第四次報告書では、気温上昇や海面水位の上昇、海氷面積の減少とともに「極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加する可能性が非常に高い」との指摘がなされています⁽¹⁾。しかし、実は温暖化の影響については、まだ研究や評価が行われている途中であり、確実に分かっていることも多くあります。例えば水不足や食料生産、特定の病気の流行などについて、総合的な影響が慎重に研究されているところです。

2 温暖化防止における木材利用の役割

(1) CO₂ 吸収源としての森林と木材

温暖化の抑制に向けて森林や木材の果たす役割が大きく注目されていることをご存じでしょうか。地上から大気中に CO₂ などの温室効果ガスを排出している「排出源」に対して、大気中からそれらを吸収するものを「吸収源」といいます。地球上に

ある CO₂ 吸収源は海と、森林をはじめとする植生が主なものです。

樹木などの植物は、光合成により空気中の CO₂ と水から炭水化物と酸素を作り出す生命活動を行っています。例えば、35 年生から 40 年生のスギでは、1 本あたり年間約 2.4kg の炭素（＝約 8.8kg の CO₂）を吸収しているという試算例もあります⁽³⁾。CO₂ 吸収は成長期である若い森林で旺盛であり、樹木が成熟するにしたがって徐々に少なくなってしまいます。そこで出番となるのが木材です。

樹木が吸収した CO₂ は炭素の形で木材中に貯蔵され、木材が燃やされたり腐朽したりしない限りは大気中に戻ることはありません。この効果は、木材の炭素貯蔵効果と呼ばれます。成熟した森林は伐採して木材として利用することで炭素を蓄積し続け、さらに伐採後には植林をすることで森林の吸収量を復活させれば、森林の吸収源としての機能を最大限に発揮させることができると考えられます。このとき伐採量は森林の成長量を超えないこと、つまり持続可能な形で森林経営を行うことが重要で

(2) 木材の炭素貯蔵量

木材中の炭素貯蔵量は樹種に関わらず、その絶乾重量の約半分であることが分かっています（表1-1）。例えば、全乾比重0.4の木材1m³であれば、約200kgの炭素を貯蔵していることになります。木造住宅には1m³あたり約0.2m³の木材が使われているというデータがあるので⁽⁵⁾、これを用いると例えば120m³の木造住宅には約24m³の木材が使われていることになります。これらの木材の全乾比重が0.4～0.5だとすると、4.8～6tの炭素が貯蔵されている計算となります。

さて、ある町に10棟の木造住宅があり、1年間に2棟解体して4棟を新築したとすると、来年にはこの町の木造住宅は12棟に増えることになります。1棟あたり6tの炭素が貯蔵されているとすると、今年は60t、1年後に72tの炭素が貯蔵されていることになりますので、1年間で12tの純増となっています。これは、この町で木造住宅を建てることで、1年に12tの炭素を吸収したということに他なりません。このようなことから、木造建築物を森林と同じ吸収源機能を持つものとして、「都市の森林」と呼ぶこともあるぐらいです⁽⁶⁾。

(3) 材料代替による排出削減効果

木材利用には吸収源機能としての炭素貯蔵効果だけではなく、排出量削減につながる効果もあります。そのひとつが材料代替効果（省エネルギー効果）です。

一般に、木材を生産するために要するエネルギーは他材料に比較して少ないことが知られています。これは、加工過程におけるエネルギー使用に由来するCO₂排出量が少ないことを意味します。このため、同じ用途の物であれば、他材料で作るよりも木材を使って作る方が、エネルギー使用による排出量を削減することができるようになります。この効果は、材料代替効果（省エネルギー効果）と呼ばれます。

136m²の住宅を想定し、構造別に排出量を試算して比較した研究があります⁽⁷⁾。この研究では、建設資材の労働力需要実態調査（建設省（当時））から構造別主要構成材料を得て、各材料製造における炭素排出量の推定値から構造別排出量（単位：kg-C（炭素kg））を求めた結果、木造で5,140kg-C、鉄骨造で14,740kg-C、鉄筋コンクリート造で21,814kg-Cとなったそうです。つまり、家を建てる際に木造を選択すれば、排出量が鉄骨造の約3分の1で済むという結果になっています（図1-3）。

(4) バイオマスエネルギー利用による削減効果

もうひとつの排出削減効果として、化石燃料代替効果が挙げられます。木材は廃棄する前にエネルギー源として使うことができます。木材に貯蔵されている炭素は、木材を廃棄・焼却したときには大気中に放出

表 1-1 木材の化学組成（辺材）

単位：%

	カラマツ	マツ	スプルース	ナラ	カバ
炭素	49.6	50.2	50	49.2	48.9
水素	5.8	6.1	6	5.8	5.9
窒素	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2
酸素	44.2	43.4	43.5	44.2	44.5
灰分	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5

資料：注（4）より作成

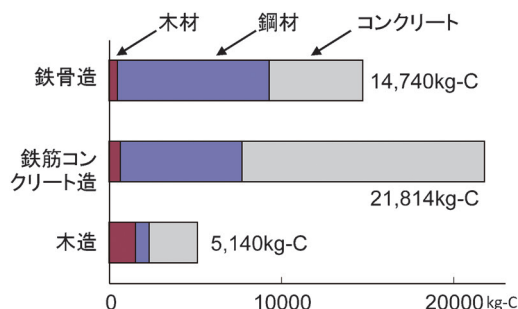


図 1-3 住宅1棟（136㎡）を構成する主要材料の製造時炭素排出量の構造別比較（注（7）より作成）

されますが、その炭素は次の世代の森林に吸収されると考えれば、大気中のCO₂濃度を上昇させないとみなすことができます。この考え方をカーボンニュートラルといい、化石燃料を「カーボンニュートラル」な木材等のバイオマスで代替することにより、化石燃料を消費することによるCO₂の排出を削減することができるということになります。これが化石燃料代替効果です。ここで「バイオマスを燃やしても、樹木が成長時に吸収した炭素を大気中に戻すだけなのでカーボンニュートラルである」のではなく、「木材は『伐って植えて育てる』を繰り返すサイクルの中にあるからこそカーボンニュートラルである」ことに注意していただきたいと思います。バイオマス燃料による排出量が森林の吸収量を超える場合は、木質系燃料はカーボンニュートラルではなく排出源になってしまうと考えるべきだと思います。

3 気候変動に関する世界の取り組みと木材利用

(1) 国連気候変動枠組条約

世界各国は「国連気候変動枠組条約

（UNFCCC）」の下、毎年の締約国会議（COP）参加や排出量の報告を通して温暖化の防止に取り組んでいます。しかし、木材を使うことによる効果が国際的な温暖化防止の枠組みの中に取り入れられたのは最近になってからでした。

UNFCCCに参加している先進国に対して排出削減量の目標を定めさせ、達成を義務化しているものとして京都議定書があります。京都議定書の第一約束期間（2008年～2012年）において日本は1990年比6%の削減を目標としましたが、この達成のために森林の吸収源機能が大きく期待されたことは広く知られています。これは、京都議定書では森林の吸収量等によるオフセット（排出量から吸収量を差し引くことができる）が認められたためです。

一方で、第一約束期間には前述のような木材利用による吸収源効果（＝炭素貯蔵効果）は計上・報告する対象となっておらず、森林が伐採された時点で伐採量分を排出と計上する、いわゆる即時排出という扱いになっていました。森林を伐採した後は木材をどのように利用しても吸収にも排出にも寄与しないことになり、実情が計上・報告に反映されないことになってしまいました。そこで、第二約束期間に向けて木材の扱いについて検討が続けられました。

(2) 炭素貯蔵効果の評価ルール

すでに本稿で何度か登場している「気候変動に関する政府間パネル気候変動（IPCC）」は、国連の下で1998年から活動している組織です。IPCCは主に科学者から構成されており、最新の科学的知見に基

づいて気候変動の現状や将来にわたる影響に関する情報提供を行っています。第二約束期間に向けて木材の炭素貯蔵効果をどのように取り扱えばよいか、IPCCはUNFCCCの要請を受けて4種類の手法を提案しました(表1-2^(8,9))。

【暫定法(デフォルトアプローチ)】第一約束期間と同じく、森林は伐採時に排出とみなし、木材中の炭素は計上しない。

【蓄積変化法(ストックチェンジアプローチ)】国内にある木材蓄積量の増減を計算し、増えたら吸収、減ったら排出とする。国内にある全木材を対象とするため、輸入された木材中の炭素は輸入国が自国の計算に含めることになる。

【生産法(プロダクションアプローチ)】国内にある自国の森林から産出された木材および自国の森林から産出されて輸出された木材蓄積量の増減を計算し、増えたら吸収、減ったら排出とする。輸入された木材中の炭素は輸出国が自国の計算に含めることになる。

【大気フロー法(アトモスフェリックフローアプローチ)】大気とのやり取りを計算する。国内で使用している木材が廃棄され、燃されたり腐朽したりした場合に、そ

の分だけ排出となる。

この提案をベースに、第二約束期間に向けてどの手法を統一ルールとするかという検討が慎重に行われました。採択される手法によって各国の排出量の計算が大きく異なることとなりますので、交渉の綱引きが大変だったのではないかと想像します。

検討の結果、2011年11月～12月に南アフリカ・ダーバンで行われた国連気候変動枠組条約第17回締約国会議／京都議定書第7回締約国会合(COP17／CMP7)において、木材にとっては大きな決定がなされました。この会議で、第二約束期間には木材製品中に貯蔵されている炭素を計上・報告することが国際ルールとして合意されたのです。

実際に採択されたルールは、前述の4手法のうち「生産法」に近いものでした。ダーバンの決議書には「附属書I国(いわゆる先進国のこと)は、京都議定書第3条3項、3条4項に基づき計上している森林から伐出された木材を計上する」と定められています。ここで、3条3項および3条4項の森林とは「吸収源(森林減少は排出源)」として各国が計上することを認められている森林です。つまり、第二約束期間ではその国が森林吸収源として計上している森林から伐出された木材を計上するというルールになったといえます。これは、自国の森林から伐出された木材のみを計上すること、つまり国産材のみを計上するという事に他なりません。

ダーバン決議書には他にもいくつかの重要な決議内容が書かれており、そのひとつは、計上する木材製品は「製材、木質パネ

表 1-2 IPCC が作成した木材の評価手法

手法名	国内に存在		国外に存在	
	国産材	外材 (輸入材)	国産材 (輸出材)	外材
暫定	×	×	×	×
蓄積変化	○	○	×	×
生産	○	×	○	×
大気フロー	廃棄時に排出として計上		×	×

○：蓄積量の変化を計上、×：計上しない

資料：注(8)より作成

ル、紙・板紙」の3種類であるという定義です。また、①森林減少に由来する木材、②廃棄物埋立処分場に埋め立てられた木材、また③エネルギー利用目的で伐採された木材は即時排出として扱うことも明記されています。

(3) 木材利用による吸収量の推定

それでは、実際に木材利用による吸収量はどのように推計するのでしょうか？前節(2)に「ある町の木造住宅の数」から炭素貯蔵量の変化を求める例を挙げましたが、同じように、日本中に存在する木材の量(3条3項および4項の森林に由来する製材、木質パネル、紙・板紙)の変化を計算し、増えていれば吸収、減っていれば排出とするというのが基本的な考え方です。ただし、「国内に存在する木材の総量」に関する統計を持つ国は今のところありません。そこで、ほとんどの国が持っている生産量の統計を使って木材の存在量を推計する方法が定められています。

日本は世界の中でも高度な統計の整備が進んでいる国のひとつです。そのような国は、生産統計だけではなく、自国の様々な統計を使って、より詳細に吸収量・排出量を推計することが許されています。どのような計算をしたとしても、それが透明で検証可能であることが求められており、公表される報告書には推計方法やデータの根拠を明記することが必要です。

4 これからの木材利用への期待

第二約束期間は2013年から始まりましたが、日本は「公平かつ実効的な新たな国

際枠組みの構築」を訴えて不参加を表明しました。ただ、不参加の国も吸収源の算定は行うことが決められており、日本も毎年、森林や木材による吸収量を報告しています。

実際のところ、木材による吸収量は森林の吸収量と比較するとそれほど大きな量とはいえません。しかし、木材利用による環境貢献のうち現行の算定ルールでは評価しきれないものは多くあります⁽⁹⁾。ルールにしたがった計算だけを考えるのではなく、広い視野で木材の環境への影響を考えていくべきでしょう。

2015年には京都議定書の後を継ぐパリ協定が採択されました。今世紀後半にはカーボンニュートラルな社会を構築することを目指すことが合意され、木材への期待はますます大きくなっていくと思われます。その期待に応え、生物材料としての木材の良さを十全に発揮させるために真に地球温暖化防止に貢献する木材利用のあり方を考える必要があります。

注

- (1) IPCC 2007 : Summary for Policymakers. In : Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Solomon SD 他編、Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (気象庁訳)
- (2) Thomas RK 他編、Global Climate Change Impacts in the United States, Cambridge University Press, 2009
- (3) 林野庁「地球温暖化防止に向けて」http://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/

con_5.html

- (4) Browning BL 編、The Chemistry of Wood. Interscience (Wiley), New York, 1963
- (5) 外崎真理雄、恒次祐子「建設資材・労働力需要実態調査」による建築木材投入量原単位、『木材工業』59 (8)、360-362、2004 年
- (6) 有馬孝禮『木材の住科学—木造建築を考える』、東京大学出版、2003 年
- (7) 岡崎泰男・大熊幹章「炭素ストック、CO₂放出の観点から見た木造住宅建設の評価」、

『木材工業』53 (4)、161-165、1998 年

- (8) IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS 他 編、IGES, Japan. 2006
- (9) 恒次祐子「地球温暖化防止から見る木質ボード」、『木材工業』71 (11)、477-482、2016 年

(恒次 祐子)



英国のストラットフォード・アポン・エイヴオン近郊にあるシェークスピアの妻（アン・ハサウェイ）の生家（15世紀以前に建築されたが、1969年の火災後に修復された）



白川郷の合掌つくりの神田家（1850年頃に建築された）

同じように茅葺屋根が特徴のそれぞれ伝統的な木造の民家である。重厚な木材がふんだんに使われているので、多くの炭素が長年固定されている。

第2章 日本の森林

1 森林と木材利用

私たちが利用しているすべての木製品は、森林を伐採して生産した丸太等を原料に作られています。森林の伐採は古くから行われており、それでも多くの森林が残されてきたのは、伐採地や災害跡地が、種子からの発芽や切り株からの萌芽（天然更新）、あるいは人が植えた苗（人工更新）が成長することによって、再び森林に戻ってきたからです。

このように、再生する森林から供給される木材は、「再生可能資源」と呼ばれています。これに対して、鉄や銅等の金属は、鉱山を掘りつくすと再生されないので、「枯渇性資源」と呼ばれています。エネルギー源となる石油やガスも枯渇性資源です。

建築物を解体した時に発生する廃材や、木材加工を行うときに発生する工場残材、森林の伐採時に発生する林地残材などは、木製品の原料にも使われますが、エネルギー源として熱や電気の生産にも使われます。木材は再生可能資源なので、そうした残材を燃料として「再生可能エネルギー」を供給することができます。

この「再生可能」であることは、最近大きな課題となっている、地球温暖化防止と深く関係しています。森林の樹木は、温暖化の主因となっている二酸化炭素（CO₂）

を吸い込み、それをセルロース等に変えて樹木の細胞の中に蓄えて成長するため、大気中のCO₂削減につながります。これは、森林の炭素貯蔵機能とも呼ばれており、樹木を大きく育てることは、地球温暖化防止に貢献します。

1997年の第3回気候変動枠組条約締約国会議において、我が国は京都議定書に署名し、1990年比で6%の温暖化効果物質の排出削減を公約しました。このうちの3・9%を主に人工林が吸収するCO₂でまかなうことにしました。

図2-1に、伐採地に植林を行った人工林の成長過程を模式的に示しました。樹木の幹部の材積の合計（蓄積）は、そのまま炭素固定量に置き換えることができます。実際の成長は曲線的ですが、話を簡単にするために直線で表しています。植林された樹木は、時間とともに成長し、炭素の貯蔵量はだんだん大きくなっていきます。しかし、ここでは50年で伐採することになっていますので、収穫によって樹木が蓄えていた炭素はなくなります。この図では、伐採した後に再び植林し、同様の林業経営を繰り返しています。その場合、森林の平均炭素貯蔵量は、図のADの半分の高さになります。

ここで、収穫時期を100年まで延ばしてみましよう。日本の人工林は、林齢が50年を過ぎても旺盛な成長を続けていること

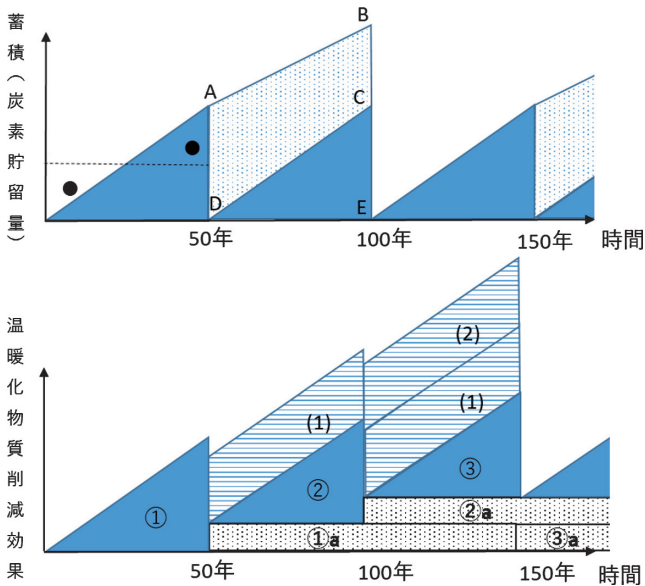


図 2-1 森林の林齢と面積あたりの蓄積の関係

が知られています⁽¹⁾ ので、AB のように成長するとします。50 年伐期の時よりも、四角形 ABCD の分だけ森林は炭素を多く貯蔵し、平均炭素貯蔵量も、図の BE の約半分へと上昇します。

ところが、AD の 2 倍は BE よりも多いので、木材の産出量は、伐期を延ばした方が少なくなります。このことは、木材利用量と森林の炭素貯蔵量との間には、どちらかを増やすとどちらかが減ってしまうというトレードオフ（二律背反）の関係があることを示しています。

一方、先ほどの京都議定書の第二約束期間（2013～2020 年）では、伐採木材製品（HWP：Harvested Wood Products）の炭素貯蔵効果が認められました。これによって、伐採された樹木が、加工されて建築材料となり、建物に使われて長期間利用される場合、そこでの炭素貯蔵量が温暖化防止に貢献するものと認められました。

このことについて、図 2-1 下のよう、伐採した幹材積の 25% が建築用の木製品として住宅等に利用されるものとします⁽²⁾。さらに、その期間は、防腐技術や管理技術の高度化によって樹木の生育期間の 2 倍の 100 年間、建物に固定されるものとします。この場合、森林に貯蔵されている炭素の量は上図と変わりませんが、①の伐採によって都市等における宅地に① a の炭素が貯蔵されることになり、その分平均炭素貯蔵量は増加します。さらに、②の伐採によって② a が加わると、100 年に伐期を延ばした場合とさほど変わら

ない平均炭素貯蔵量へと増加させることができます。

ここからいえるのは、伐採利用による森林の炭素貯蔵量の減少の影響を極力抑えるには、①伐採した樹木をなるべく多く建築材料に加工することと、②建築材料をなるべく長期間利用することが大事だということです。

ところで、長伐期の場合でも宅地に伐採材積の 25% が伐期 100 年と同じ長さで固定されますので、これまで見てきた炭素貯蔵効果だけを考えた場合、短伐期よりも貯蔵効果は高いといえます。

しかし、木材利用の地球温暖化防止効果には、炭素貯蔵効果の他に、鉄やコンクリートよりも製造に要するエネルギーが小さいことによる「省エネルギー効果」があります。さらに、建築材料を製造する過程で林地や工場で発生する残材や、宅地に貯蔵されていた木材を使い終わって廃棄する

際に発生する廃材はエネルギー利用できるので、その分だけ石油やガスを使わなくても済む「化石燃料代替効果」もあります。図 2-1 で、幹部の 75% は建築以外の用途に用いられると仮定しましたが、それらのほとんどはエネルギー利用ができますので、その分だけ油田やガス田に化石資源を温存しておくことになります。また、建築物に固定された 25% の木材は、省エネルギー効果に加えて、解体後にエネルギー利用できるので、これらも化石資源の温存につながります。このようにして温存された化石資源は、利用されれば大気中の温暖化物質を増加させますので、①の伐採によって得られた炭素貯蔵効果以外の 2 つの効果は、図の(1)のように貯蔵と同様の削減効果を果たしていると考えられます。これは、②の伐採によって(2)の効果が発揮されますので、累積的に効果を発揮すると考えられます。この場合、森林からの木材供給量（フロー）の多い、短伐期の方が有利であるとも考えられます。

ただし、森林は木材供給や炭素貯蔵機能だけでなく、水源涵養や土砂流出防止、生態系保全、保健休養等の多面的な機能（生態系サービス）を発揮しています。このため、主に期待する機能や、森林の置かれている地域や場所（地形や標高）によって管理（植栽樹種や伐期の選択）方法を変える必要があります。これまでの知見から、林齢が高い森林の方が多面的機能は高まると考えられています⁽³⁾。

しかし、スギ等の人工林では、林齢が高くなっても、生産される丸太の価格は上がらなくなっています⁽⁴⁾。また、立木が大

きくなりすぎると、伐採・搬出や製材加工が困難になり、材質の低下も懸念されるので、林業経営の上では、必ずしも長伐期が良いとはいえません。これらのことから、多様な機能とのバランスを考慮した管理を行う必要があるといえます。

2 成長を続ける日本の森林

(1) 面積と蓄積

森林の様子について、まず最初に、熱帯林における森林減少・荒廃が問題となっていますので、世界の森林についてみてみましょう。

表 2-1 は、世界の森林面積の変化をみたものですが、いまだに減少が続いています。その減少量は、1990 年代に比べると半減していますが、ブラジルやインドネシア、ミャンマー等では、大きな減少が続いており、減少の約 3 分の 2 を占めています。他方、中国やオーストラリア、チリなどの温帯諸国では森林面積は増加しています。

このように、温帯地域で森林が増加しているのは、荒廃地や農地等が自然に森林に戻る、あるいは植林などによって森林に戻されているためです。温帯地域において注目される別の動きとしては、森林投資ファ

表 2-1 世界の森林面積の変化（1990～2015）

年	森林 (千 ha)	年あたりの実質変化	
		時期	面積 (千 ha) 割合 (%)
1990	4,128,269		
2000	4,055,602	1990-2000	-7,267 -0.18
2005	4,032,743	2000-2005	-4,572 -0.11
2010	4,015,673	2005-2010	-3,414 -0.08
2015	3,999,134	2010-2015	-3,308 -0.08

出典：FAO (2016) Global Forest Resources Assessment 2015



写真 2-1 森林投資ファンドのサザンイエローパイン人工林（米国南部、列状間伐直後 11 年生）

ンドによる効率的な林業の展開があります。数千～数万 ha とまとまった林地において、北米ではサザンイエローパイン（写真 2-1）、オセアニアではラジアータパイン等の針葉樹を建築用材向けに 25 年程度で育成しており、南米や東南アジアなどではユーカリやアカシア等の広葉樹を 8 年未満の短伐期で育成しています。年金基金等の資金を背景に、そうした森林は 2,400 万 ha 以上に達していますが、その多くは森林認証を取得しています。

針葉樹の伐期が 25 年前後と短いのは、遺伝的に改良された優良苗を、施肥を行いながら育てているためであり、そこから生産された建築材料が 50 年住宅に固定されれば、図 2-1 下のような議論が成り立つことになります。

前節では述べませんでした、森林は CO₂ の吸収源になる一方で、農地や宅地等に開発されると、樹木や土壤に貯蔵されていた炭素が CO₂ となって大気中に放出されるので、排出源にもなります。実際、林業やその他の土地利用の変化に伴って発生する温暖化効果物質の割合は、全体の 11% にのぼっています⁽⁵⁾。このため、森

林減少を食い止めることは、生態系保全だけでなく、温暖化防止の上でも重要な課題となっています。

次に、日本の森林面積についてみてみましょう（図 2-2）。我が国では、森林面積はほぼ 2,500 万 ha で推移しており、森林減少は大きな問題とはなっていません。面積の内訳を見ますと、戦後の拡大造林によって天然林が人工林に転換されて減少し、その分人工林面積が増加して 1,000 万 ha を超えています。

そうした人工林の、2012 年時点での林齢構成を図 2-3 に示しました。戦後から

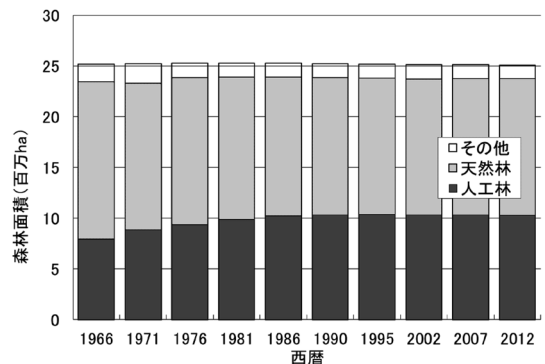
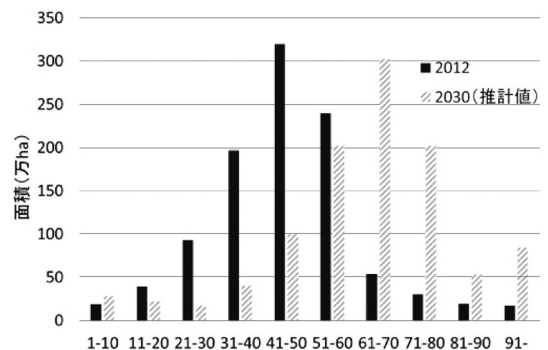


図 2-2 日本の森林面積の推移



注：推計値の出所は、森林総合研究所編『改訂 森林・林業・木材産業の将来予測』

図 2-3 人工林の林齢構成

1970年代にかけて盛んに植林が行われましたが、それらが40～60年生の人工林となっており、多くを占めています。1980年以降、植林面積が大きく減少したので、30年以下の若い林が少なくなっており、日本の人口と同様に高齢化が進んでいます。皆伐面積を2倍に増やして、伐採跡地の8割を再造林したとしても、51～60年生の林の大部分は伐採されずに、2030年には71～80年生となり、今よりも若い林が少なくなるという推計結果が示されています⁽⁶⁾。

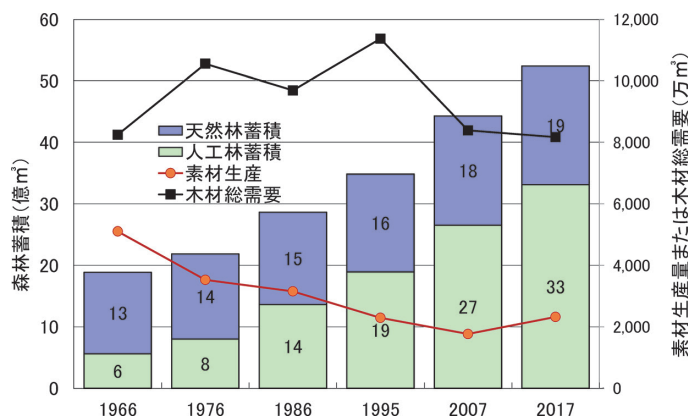
人工林のある樹齢の立木の大きさを予想したものが収穫表（北関東、阿武隈地方すぎ林）ですが、育ちの良い林が80年たつと、胸の高さの平均直径が45cmに達します。つまり、2030年頃には、末口直径が40cm以上の太い丸太が大量に供給されるようになることを示唆しています。そうした大径材は、今ある製材工場の多くは加工できないことから、設備更新とともに、新たな商品開発や加工技術の開発が必要になります。

次に、森林の蓄積量や伐採量の推移につ

いてみてみましょう（図2-4）。戦後、木材需要は1億 m^3 を超えるまでに増加したのに対して、人工林の蓄積は6～8億 m^3 と少なく、木材需要をすべてまかなうと、10年足らずで切り尽くしてしまうという資源過小の状態にありました。そのため、懸命に造林を行い、人工林面積は1,000万haを超えました。その後、人工林は旺盛な成長を遂げ、2017年にその蓄積は33億 m^3 を超えています。林野庁⁽⁷⁾によれば、毎年4,000万 m^3 前後を伐採しているのに、蓄積は8,000万 m^3 も増加していることから、現状の2倍以上の伐採・利用が持続的に可能だと考えられます。

人工林は、50年前後の壮齢林が中心となっており、立木の多くは利用に適した大きさに育ってきました。しかし、素材生産量をみると、2002年を底に増加に転じたものの、その伸びはわずかにとどまっています。

その要因としては、少子高齢化によって木材の総需要が低下傾向にあり、8,000万 m^3 を割り込んでいることや、日本の林業・



出典：農林水産省大臣官房統計部「木材需給報告書」、林野庁「森林資源現況表」

図 2-4 森林蓄積と木材需要、国産材供給の推移

林産業の競争力が低いという問題があげられます。この競争力の問題については、後段で詳しく述べたいと思います。

(2) 日本の森林の様子

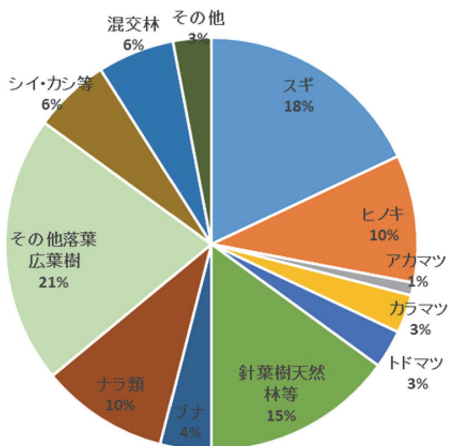
日本の森林に生育している樹木の種類についてみてみましょう。図2-5は、その面積構成をみたものですが、スギの人工林が18%と多くを占めています。針葉樹林は、人工林約35%の他に、天然林も15%近くあり、約半分を占めています。他方、広葉樹林は、コナラやミズナラ等のナラ類が10%と多く、落葉広葉樹が多くを占めています。

広葉樹林の多くは、かつては燃材生産のために盛んに利用されていましたが、1990年代以降、あまり伐採されなくなってきました。その結果、人工林と同様に高齢化しており、一部の林では樹勢の衰えとともに虫害が発生しています。一方、世界的に広葉樹の優良大径材資源は減少しつつあり、中径丸太であっても高い価格で引き取られ

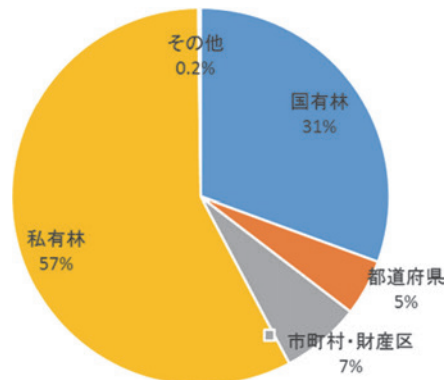
るようになり、国内資源が見直されつつあります。

次に、誰が森林を所有しているのかをみてみましょう（図2-6）。最も多い57%を占めているのは、個人や会社等の私有林です。これまで、我が国の森林の所有規模は小さいといわれてきましたが、国・公有林だけで43%あり、これに私有林の個人有林（林家）以外を加えると79%となり、ある程度まとまっているとも考えられます。ただし、所有面積は大きくても、何カ所にも分散していると、効率的な管理は難しくなります。なお、個人有林517万haの内訳をみてみると、所有面積が20ha未満の小規模所有者は、54%と多くなっています。

木材供給の主力であった個人の森林所有者は、安い丸太価格と高い伐採・運搬コストの下で林業収益が減少し、林業経営意欲を失っています。その結果、皆伐した後に再造林を行わずに放置する事例が少なからず起きています。そのような場合、周囲に高木性の広葉樹が存在していないところでは、灌木や雑草だけの状態が長く続く可能



出典：林野庁（2018）森林生態系多様性基礎調査
図2-5 日本の森林の樹種別面積割合



出典：林野庁（2018）森林・林業統計要覧
図2-6 所有形態別の森林面積

性があります。

木材は再生可能資源であることを冒頭で述べましたが、それは、持続可能な林業の下で木材が供給されていることが前提となります。この持続性を担保するためには、伐採と植林（更新）の管理をきちんと行う必要があります。そのための仕組みとしては、林野庁の森林計画制度もありますが、環境 NGO による森林認証制度も普及しつつあります。

3 日本林業の現状と課題

ここまで地球温暖化防止と森林・林業の関係を中心に、森林・林業の概況について説明いたしました。次に、木材供給の基盤となる日本林業の状況について説明いたします。

前述したように、日本の人工林は旺盛な成長を続けており、有史以来最大と言っても過言ではない森林蓄積を誇っています。一方で、素材生産量は 3,000 万 m^3 を下回っています。

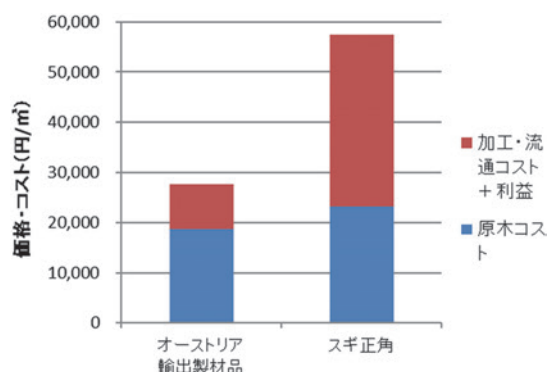
素材生産が活発でないのは、木材総需要が減少傾向にあることも一因ですが、国産材製品に価格競争力がないことが大きいと考えられます。図 2-7 に、オーストリアの輸出製材品とスギ製材品の価格を示しました。オーストリアは、製材品の 60% 以上を輸出（日本にも 30 万 m^3 以上）し、高い競争力を誇っています。図からも分かる通り、我が国の半分程度の価格で製材品を供給できるので、輸送コストをかけても十分に競争できるわけです。

そうした高い競争力は、大きな原木需要を生み出しており、傾斜地が多く、北海道

くらいの大きさにもかかわらず、同国は 1,700 万 m^3 前後の丸太を生産しています。製材品の競争力が高いのは、原木の価格が安いからではなく、図 2-7 からもおわかりいただけるように、加工・流通コストが非常に低いことからもたらされています。低い加工コストは、年間 30 ～ 120 万 m^3 という大量の原木から製品を量産することで実現されており、そうした工場が約 20 カ所あります。

日本の製材工場の規模も、10 年前の最大原木消費量 10 万 m^3 から、5 年前には 20 万 m^3 、現在では 40 万 m^3 以上へと急拡大しており、量産による競争力向上が進みつつあります。

ところで、同水準の原木価格にもかかわらず、オーストリアでは活発な素材生産によって量産工場の運営が支えられているのに対して、なぜ日本ではそうならないのでしょうか。図 2-8 に製材用材供給のコスト構造を示しましたが、伐出コストや流通コストが高いために、日本の森林所有者の収入となる立木価格は 3,000 円 / m^3 前後と低く抑えられています。この推計は、皆



出展：Eurostat、農林水産省「木材価格」
図 2-7 オーストリアと日本の製材価格の比較（2016 年）

伐を前提に計算していますが、原木を 300 m³/ha 生産できたとしても、収入は 90 万円/ha にとどまります。実際には、製材用材ばかり生産されるわけではないため、これよりも少なくなります。さらに、再造林のために植林や下刈り費用を支出すると収入が減少するので、森林所有者はこれまで皆伐・再造林には踏み切れませんでした。こうした状況は、林業に対する関心の喪失につながり、所有者不明や境界不明の山林拡大にもつながっています。

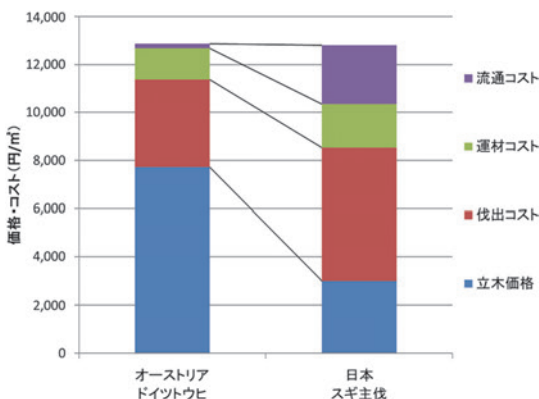
これに対して、オーストリアにおける皆伐収入は 200 万円/ha を超え、主要樹種である欧州トウヒは天然更新が容易なので再造林コストも少なくすむため、林業経営は森林所有者にとって重要な収入源となっています。

日本において、同国のようなもうかる林業を実現するためには、①製材生産の低コスト・高品質化による原木需要の拡大、

②伐出コストの削減、③流通コストの削減が必要となります。①の需要拡大が不可欠であるのは、需要が拡大しない状態で、素材生産量を増やせば、原木価格が下落してしまうからです。②の伐出コストは、間伐よりも皆伐の方が低いため、政策的に皆伐による原木供給を増やす方向に転換しつつあります。ただし、持続可能性の観点からは、皆伐後の森林再生が問題となります。

これに関して、人工林の皆伐後に再植林がされずに天然更新が増加している傾向が示されています⁽⁸⁾。天然更新が確実に期待できる林分では、それも選択肢の1つですが、原木を伐出しやすく、樹木の成長の良い林分では、再び植林を行って、将来の用材供給に備えることも大事です。最近の植林面積は、年間 2 万 ha 前後ですので、このままいくと 50 年後までに再植林される人工林は 100 万 ha 程度にすぎません。

このように、再植林が行われない要因としては、(a) 後継者がいないか、いても意欲がない、(b) 育成に超長期を要する、(c) 立木価格が安い割に造育林コストが高い、などがあげられます⁽⁹⁾。(a) については、地域の意欲のある森林所有者や林業事業体に林地を譲渡する、あるいは長期的に管理を委託（信託）するなどの対策が考えられます。(b) については、成長のよい優良苗木を活用する、あるいは早生樹に樹種転換することによって 30 年前後で伐採可能にする方法が考えられます。(c) の造林コストは、165 万円/ha 前後かかっており、先ほどの立木販売収入が 90 万円/ha の場合には赤字となります（表 2-2）。これに対して、伐採に使用した重機をその



出典：林野庁「素材生産費等調査報告書」、「素材生産事例調」、「木材需給報告書」

注）日本の立木価格は市場価逆算による推定値。オーストリアの伐出・運材・流通コスト、日本の流通コストは筆者の聞き取り調査結果等から推計（130 円/ユーロ）した。

図 2-8 オーストリアと日本の製材用原木供給コストの比較（2016 年）

表 2-2 造育林費用削減と収益向上の可能性

林齢	作業内容	現状	コスト削減	価格向上＋コスト削減
1	植林、下刈	89	45	45
2	下刈	9	9	9
3	下刈	9	9	9
4	下刈	9	0	0
5	下刈	9	0	0
10～15	除伐	20	20	20
20	保育間伐	20	0	0
合計		165	83	83
収支（万円/ha）		-75	8	68
内部収益率（％）		—	2.8	3.9

まま地ごしらえに用いて、通年植栽可能なコンテナ苗を植栽する一貫作業システムや、下刈り回数の削減、苗木の植栽本数の削減等による植林コストの削減が目指されています。これらは、まだ実証段階にありますが、投資に見合う効率的な施業体系の確立が求められています。

まずは、造育林コストを現状の半分程度に削減することによって、収支を黒字化することが目標になるでしょう。この「コスト削減」ケースの内部収益率は、50年伐期、補助率70%の場合、2.8%になりますが、積極的な投資を呼び込むには十分とはいえません。これに、伐出・流通コストの削減による立木代5,000円/m³以上への引き上げが加わると、内部収益率は3.9%に上昇し、さしあたりもうかる林業が実現できたといえるでしょう。さらに、同様の収益を伐期30年で実現できれば、内部収益率は6.9%まで向上します。そうなれば、森林所有者だけでなく、民間企業の林業に対する関心を高めることができ、持続可能な木材生産の拡大にもつながっていくのではないのでしょうか。

4 森林の持続可能性を確保する取り組み

森林を伐採利用した後に、きちんと森林として再生していくことが大切だということを述べてきました。この森林再生を確保するための制度的な枠組みの中で、最も重要なものに森林法があります。この法律では、保安林制度と森林計画制度が定められています。保安林制度の下では、公益的機能の発揮が特に要請される森林は保安林に指定されており、伐採が制限されるとともに、植栽等による再造林が義務づけられています。

森林計画制度では、都道府県は地域森林計画を、市町村は市町村森林整備計画を立てて、森林整備の基本的な考え方や森林施業の標準的な方法等を定めています。これらの計画に沿って、森林所有者または森林所有者から経営を委託された林業事業体は、森林の施業および保護について5年を1期とする森林経営計画を策定することができます。

市町村等から認定された森林経営計画に従って林業を行えば、税制優遇や造林補助金の支給を受けられるようになり、持続可能な林業経営を経済的に下支えする制度となっています。しかし、所有者の世代交代や境界不明の問題などから、2017年3月現在の計画策定率は、民有林面積の31%にとどまっています⁽¹⁰⁾（人工林だけでみると半分を超えているとみられます）。持続性確保に向けて、さらなるカバー率向上が必要です。

ところで、造林補助金は、植林、下刈

り、除間伐等の一般的な造育林作業や林業専用道作設等に対して、国や自治体から支給されています。植林、下刈りには多額の費用がかかり、そうした投資の回収には数十年の長期を要するため、補助金支給による負担軽減は、循環型の林業にはなくてはならないものとなっています。

こうした行政上の取り組みとは別に、民間主導の森林認証制度があります。国際的な認証制度としては、1990年代に自然保護団体を中心に設立されたFSC（Forest Stewardship Council：森林管理協議会）と、欧州で始まったPEFC（Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes：PEFC評議会）の2つが有名です。2003年にスタートした日本のSGEC（『緑の循環』認証会議）はPEFCに加盟し、相互認証を行っています。

認証制度では、生物多様性保全に配慮する環境基準や、合法性や地域貢献等の経済・社会基準を定めており、その基準に沿って適切な経営が行われている森林や林業事業体を、第三者機関が認証しています。森林経営の持続可能性を透明性を持って評価する仕組みであり、そうした森林から生産された木材・木製品にはラベルを付けて販売することができます（図2-9）。

認証を受けるためには、資料の作成や監査に費用がかかりますが、当初は、認証製

品を高く購入してもらうことによってそれはまかなえると考えられていました。しかし、認証製品に価格プレミアムはつかないと木材業界では考えられており⁽¹¹⁾、木材輸入国の日本では、認証森林は200万ha弱にとどまっています。

これに対して世界では、欧米の木材輸出国を中心に森林認証面積は増加を続けており、FSCとPEFC合わせて4億haを超えており、その49%は北米に、22%は欧州にあります⁽¹²⁾。これは、認証に対する市民の認知度が向上していることや、違法伐採木材対策が国際的に強化されていること、温暖化対策上の重要性も増していることなどから、認証を取得しないとマーケティングを容易に行えなくなっていることを示しています⁽¹³⁾。

我が国でも、クリーンウッド法が制定され、木材生産・流通の透明性が求められるようになっていきます。また、海外輸出を行う上でも、森林認証の重要性は高まると考えられます。

5 バイオエコノミー

気候変動や食糧問題といった地球規模の課題に対処するためには、バイオマスやバイオテクノロジーを活用した、バイオエコノミーの構築が重要です。各国でその実現に向けた産業育成が進められていますが、木材は現存する陸域バイオマスの大部分を占めており、その素材や化学製品、エネルギー等への活用が期待されています。

日本の林業は、これまで住宅向けの建築用材生産を主体に行われてきましたが、住宅建設は減少傾向にあるので、非住宅建築



図 2-9 森林認証ラベル（左：SGEC、中：FSC、右：PEFC）

物、さらには建築物以外へと木材利用を拡大していかないと、需要を維持・拡大していくことはできません。その実現には、鉄やコンクリート、プラスチックを木材で置き換える、あるいは、それらと木材を組み合わせたハイブリッド利用を進めることで、木材の循環利用の輪を大きくしていくことが重要です。そのためにも、外材や他資材に負けない競争力の獲得が必要になります。

注

- (1) 正木隆（2017）生態学の立場からみた主伐と再造林、『山林』1596号、2-10
- (2) 皆伐の際の造材歩留まり（＝生産された丸太材積／立木幹材積）は80％前後であり、生産された丸太の80％弱が製材・合板用材なので、建築用丸太は立木幹材積の64％となります。それらから生産される製材等の製品歩留まりは50％前後なので、人工林の立木幹材積のうち、建築材料となるのは32％程度と考えられます。さらに、集成材への二次加工や、プレカット加工の際の歩留まり低下を考慮して、ここでは25％が建築物に固定されるものとししました。
- (3) 全国林業改良普及協会（1998）『林業技術

ハンドブック』、全国林業改良普及協会

- (4) 村田光司（2014）大径材の流通、『木材工業』69（11）、480-485
- (5) 環境省（2015）IPCC 第五次評価報告書の概要—統合報告書—
- (6) 岡裕泰・久保山裕史（2012）第2章 森林資源の動向と将来予測、森林総合研究所編『改訂 森林・林業・木材産業の将来予測』、41-72
- (7) 林野庁（2017）「森林・林業統計要覧」
- (8) 林野庁（2015）林政審議会（平成27年9月30日）配付資料1-2 森林の誘導の考え方について
- (9) 北海道立総合研究機構林業試験場（2012）農林水産技術会議「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」成果パンフレット『造林未済地の解消をめざして—十勝南部の事例—』
- (10) 林野庁（2018）平成29年度森林・林業白書
- (11) 高橋卓也（2006）森林認証をめぐる社会科学研究、『林業経済』59（9）、1-16
- (12) UNECE and FAO（2015）Forests in the ECE Region
- (13) FSC ジャパン（2018）2016年FSC世界市場調査結果の概要

（久保山 裕史）



下層植生が豊かで健全な人工林
（大日本山林会千葉・久留里所有林：前澤陽一撮影）

間伐をすると、林内に光が射し込み、森林が健全になると同時に、下草などの下層植生が茂るようになるので、水源かん養機能や土砂流出防止機能が高くなり公益的機能が高まる。また、多様な生物が生息するようになる。

第3章 環境への優しさで見る木材利用

1 環境への優しさとは

環境への優しさを定量評価（見える化）するにはどうすればよいのでしょうか？その答えはライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）というツールの活用です。

昨今の地球環境の悪化は、火山噴火や地震と言った自然起源と産業や日常生活と言った人為起源によりもたらされています。前者を人間が制御することはほぼ不可能なので、後者の制御により環境悪化を食い止めなければなりません。そこで、人の社会活動において何処をどの様に改善すれば良いかを見える化するために開発されたのがLCAです。

LCAは製品（主に最終製品）やサービスの資源調達から製造、使用、リサイクル、廃棄までのライフサイクル（一生）において、投入した資源量やエネルギー量、環境に与えた負荷量を求め、それらの負荷物質が様々な環境に与える影響を科学的な根拠を基に総合的に評価する手法です。LCAは、完成したツールではなく、未だに発展途上の評価手法で、今のところ資源消費や地球温暖化、オゾン層破壊など15の影響領域が評価できるに過ぎません。

環境に優しいとされている木材利用を推進するには、性能や価格のみならず環境優位性も科学的に示すことが必要ですが、こ

の分野の情報はエネルギーや銅、プラスチック、鉄筋コンクリートと言った原材料に比べて貧弱な状況にあります。とはいえ、環境への優しさを評価するツールにはどのようなものが使われているか、それを用いた木質材料や建築物の評価結果はどのようなになっているかを評価ツールの紹介と評価事例に分けて概説します。

2 ライフサイクルアセスメント（LCA）とは

LCAの計算を好き勝手に行ってしまうと、結果の相互比較ができませんので、評価方法の国際規格（ISO⁽¹⁾）が1997年に制定され、それらの翻訳版がほぼ同時にJISに制定され、改訂や統廃合を経て今に至っています⁽²⁾。

LCAは、規格に則って図3-1に示したように、①何のためにどこまで調査・分析するかを「目的および調査範囲の設定」（Definition of goal and scope）で、②製品の各工程で投入された原材料やエネルギーの種類と量を把握し、それに原材料やエネルギー別に整備されている原単位（排出原単位ともいう）を乗じて、消費資源量や環境負荷物質量を求める作業を「インベントリ分析」（Inventory analysis）で、③資源消費や環境負荷物質の最大15の影響領域への負荷を求める計算を「影響評価」（Impact assessment）で、④評価の妥当性の

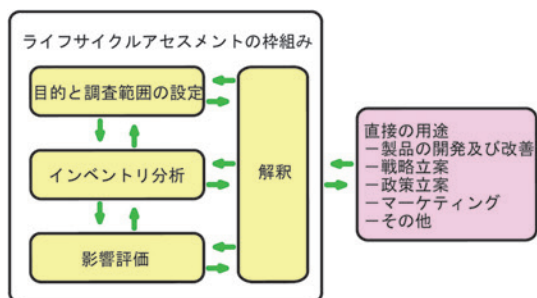


図 3-1 LCA の手順 ⁽²⁾

検証などを「結果の解釈」(Interpretation of results) で、それぞれ行い、結果をまとめます。実際には、常にこの流れに沿って実行していくのではなく、図中の矢印が双方向になっているように、適宜振り返りながら、設定した条件を吟味・解釈して、進めて行かなければなりません。規格は原則を示しているだけです、読んだだけではまともな評価はできず、解説書 ⁽³⁾ などを参考にして経験を積むことが大切です。

LCA は、図 3-2 に示したように、自然領域である地球環境の悪化を食い止めるために、制御可能な人工領域における活動を見える化することで自然領域に負荷を与える人為起源の環境負荷物質の効果的な削減を目指すものです。すなわち、自然領域に存在する様々な資源を人工領域に持ち込み、様々なエネルギーを投入して製品を製造し、その使用、リサイクル・廃棄までの製品の生涯で様々な環境負荷物質を自然領域に排出するわけですが、それらを定量評価して、効果的な環境負荷の低減を探ろうという手法です。この作業は見方を変えると、自然領域と人工領域の間の物質移動の可視化です。

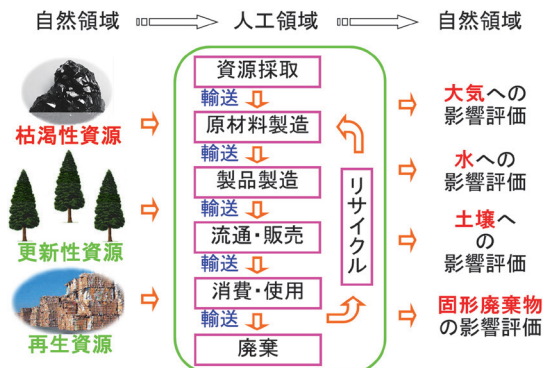


図 3-2 LCA の見える化概念

LCA の結果に基づく提言により、環境悪化が軽減されると共に枯渇性資源の延命という副次的効果（実はこちらの方が重要だと思いますが）も現れますので、環境に敏感な国や自治体、企業などは LCA を強く意識している次第です。

LCA はフォアグラウンドデータと呼ばれる現場で得られるデータとバックグラウンドデータと呼ばれる原単位の両方が揃わないとできません。原単位とは、例えば、電力を 1kW 消費した時に CO₂ や NO_x などをどれだけ排出したか、また石油や天然ガスをどれだけ消費したかが一覧表になっているデータベースのことです。最新の LCA 評価ツールである MiLCA2 ⁽⁴⁾ では、大気圏や水圏、陸域圏という自然領域から投入される資源が最大で 89 種類、大気・水圏・陸域圏という自然領域に排出される物質が最大で 65 種類、人工領域における途中の工程への入出力物質が副産物なども含めて最大で 113 種類評価できるデータベース IDEA Ver. 2.0 として整備されています。その一例として、MiLCA に搭載の IDEA Ver. 1.1.0 にある日本国内の 10 電力社の荷

表 3-1 MiLCA に搭載の IDEA Ver1.1.0 データベースにおける
2012 年度の日本平均電力原単位の入力量（上）と出力量（下）の抜粋

基準フロー物質 (リマインダーフロー製品) 名	カテゴリ 1	カテゴリ 2	カテゴリ 3	単位	総量
一次エネルギー（水力）	資源	水圏	再生可能エネルギー	MJ	3.61E-01
海水	資源	水圏	再生可能材料	kg	1.97E-01
一次エネルギー（地力）	資源	陸域	再生可能エネルギー	MJ	1.31E-01
天然ガス 54.6 MJ/kg	資源	陸域	非再生可能エネルギー	kg	1.06E-01
一般炭 25.7 MJ/kg	資源	陸域	非再生可能エネルギー	kg	7.44E-02
原油 44.7 MJ/kg	資源	陸域	非再生可能エネルギー	kg	4.31E-02
CO ₂ （化石資源由来）	排出物	大気	不特定	kg	5.85E-01
処理済水	排出物	水圏	不特定	kg	2.31E-02
CO ₂ （生物由来）	排出物	大気	不特定	kg	6.24E-04
CH ₄ （発生源不特定）	排出物	大気	不特定	kg	2.31E-04
汚泥（埋立）	排出物	陸域	管理域内	kg	2.27E-04
NOx	排出物	大気	不特定	kg	2.13E-04

重平均値になる電力原単位を入出力別に量の多い物から抜粋して示すと、表 3-1 のようになります。このデータベースでは、当該プロセスに投入された資源かそこから出た排出物なのかの別、それが何処から来たのかあるいは何処に行くかの別、資源の場合はその再生可能性、排出物の場合は排出領域、が定性的に示されていて、評価時の解釈に役立つ情報となっています。

様々な一次エネルギーの内、電力は供給する電力社によって、どの様な発電方法で得た電力かという電源構成が大きく異なりますので、それに応じて環境負荷も異なってきます。原単位が違うと、工場の立地による製品の環境負荷の違いにも影響します。

製品の環境への優しさを消費エネルギーだけで評価する事例も見られますが、エネルギー源が種類ならまだしも、水力や火力、原子力など発電方法が多様なこと、石炭や天然ガス、バイオマスと言った熱源も多様であるので、信頼性のある環境負荷評価はできないことになります。本藤⁽⁵⁾は、この様な捉え方が生まれた背景を、エネ

ギーの LCA という言葉が評価指標と評価対象という両義性を持っていたためであると解説しています。

3 環境への優しさと その定量評価ツール

製品の生涯における消費資源量や環境負荷物質量が求まると、これらが地球的規模の環境や地域的規模の環境にどの様な悪影響を及ぼすかを求める「影響評価」の作業に移ります。これには環境負荷物質毎にどの様な影響領域にどの様な影響を及ぼすか、科学論文などの根拠データに基づいて決定した影響度の係数（特性化係数）を乗じて、求めます。

我が国の代表的な環境影響評価手法である LIME 2⁽⁶⁾ では、図 3-3 に示した概念図のように、それぞれの領域に影響する物質の消費あるいは排出量が得られると、都市域大気汚染、室内空気質汚染、有害化学物質、騒音、オゾン層破壊、地球温暖化、光化学オキシダント、生態毒性、酸性化、富栄養化、廃棄物、土地利用、鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費という最

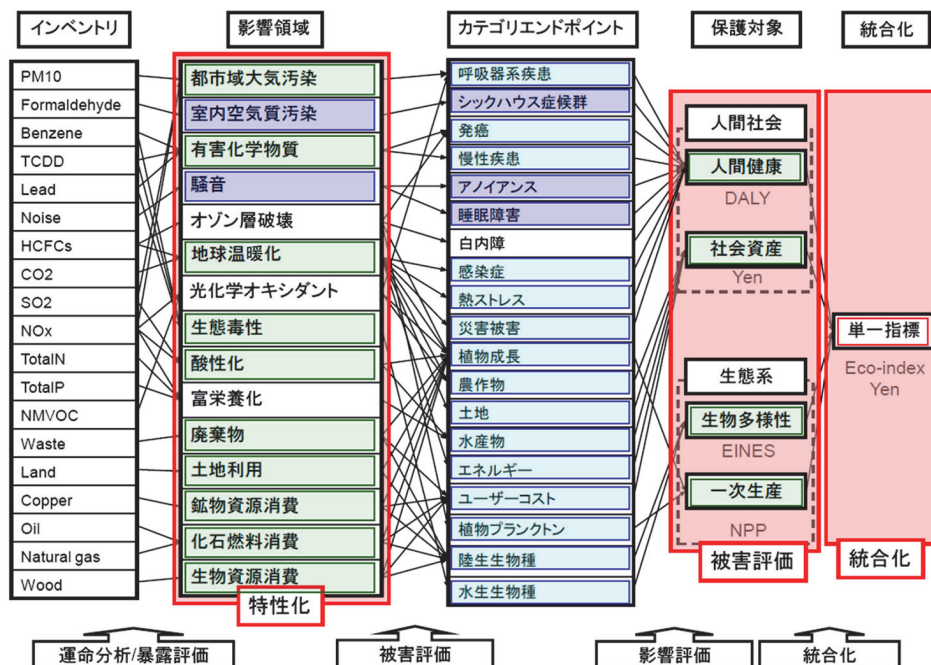


図 3-3 LIME 2 の概念図と評価対象の範囲 ⁽⁶⁾

大 15 の影響が評価できます（運命分析／暴露評価）。ただ、森林資源消費への影響については工業統計や産業連関表に基づく環境負荷の配分を行って求めているようですので、針葉樹と広葉樹別や樹種別の評価はできていません。林野庁・環境省の補助事業による木材利用推進・省エネ省 CO₂ 実証業務で、スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツについて、県別の生産量を踏まえて土場まで搬出された丸太の日本平均の環境影響評価 ⁽⁷⁾ が行われたので、データベースへの反映が望まれるところです。

4 環境影響評価の統合化とフルコスト評価（FCA）とは

影響領域毎に環境負荷量が得られたとは言え、物によっては地球温暖化への影響は小さいが都市域大気汚染への影響が大き

かったり、その逆の傾向を示したりするトレードオフの関係を持つ製品が多々出てきます。最大 15 の影響領域の環境負荷量は、異なる環境量なので、単純に合算することはできず、総合的に見て環境に優しい製品がどれかを知ることは困難です。

そこで、図 3-3 の影響評価ステージ以降の相互関係を、高度な統計学や環境経済学などを駆使して、サンプリングにより日本人全体の環境への優しさに対する意思をまとめ上げるプロジェクトが経済産業省の補助事業により実施されました。その手順は、①環境負荷物資別に当該物質がどの影響領域に影響するのか、その結果どのような被害がどの程度発生するのか（被害評価）、②発生した様々な被害を人間健康と社会資産という保護対象で構成される人間社会と、生物多様性と一次生産という保護対象

で構成される生態系に大別するとどちらにどの程度影響するのか（影響評価）、③4通りの保護対象をどの重み付けで1つにまとめられるのか（統合化）というステージ毎に係数を決めていく作業でした。そして、資源や環境負荷物質別に決められた係数に消費量や排出量を乗じるだけで、1つの数値にまとめられる係数リストが完成しました⁽⁶⁾。求められる単一指標と呼ばれる数値は、単位のない無名数ですが、日本円で表される係数も整備されました。この係数を用いると、環境への負荷量を貨幣価値で示すことができますが、誰もその額を支払いませんので、この負荷量は潜在被害額とも呼ばれます。環境負荷量が日本円で表されるようになったことから、図3-4のフルコスト分析（FCA：Full Cost Assessment）が可能になりました。

FCAとは、対象製品の生涯において何らかの形で発生する支払い額の総和である内部コストに当該商品の生涯で発生する潜在被害額である外部コストを加えた全コストのことで、内部コストが少々大きくなっても、外部コストの低下で、両コストの総和であるFCAが小さくなれば、環境に優しい製品になるという概念です。ただ、内

部コストが増えると、製品の値上げになること、これまでの経験では潜在被害額が内部コストに比べて1割前後と大きくないことから、FCA分析によって製品がより環境に優しく生まれ変わるケースはまれです。この概念とは別に、内部コストだけで製品の生涯における総経費負担を軽減できるか否かを分析する手法がありますが、それはライフサイクルコストリング（LCC：Life Cycle Costing）と呼ばれています。

5 カーボンフットプリント（CF）とは

LCAではインベントリデータが揃えば最大15の影響領域が分析できますが、被害評価結果の中で最も大きい環境影響領域は地球温暖化になります。そこで、これに特化してその程度を製品に表示し、温暖化防止を進めて行くための製品選択に役立てようという制度が英国政府と政府が設立した企業により2008年の規格制定を踏まえて始まりました。最新のCFP規格は英国規格協会から入手可能です。冒頭でCFとの略称を使いましたが、製品のCFを扱うことから、CFP（Carbon Footprint of Products）も使われています。CFPは、

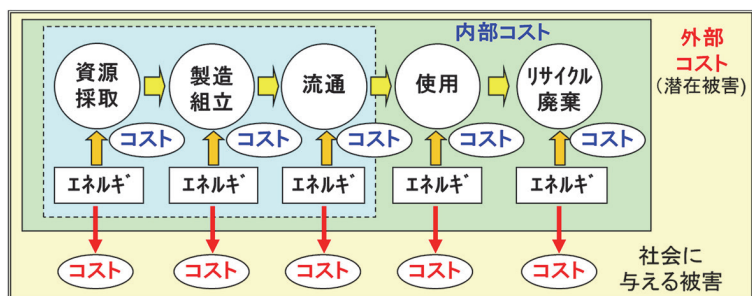


図 3-4 フルコスト分析（FCA）の概念

購入者や使用者が CFP 情報を参考に、その多い製品より少ない製品を選ぶ行動を取ると、温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）の排出量が両者の差だけ少なくなるので、その行動を日常的に促すことで地球温暖化防止を進めようという制度です。GHG とは京都議定書で規定された当面 6 つの種類または分類のガスのことで、無害化までの時間が異なることから温室効果への寄与度が期間によっても大きく異なります。IPCC（国連気候変動に関する政府間パネル、Intergovernmental Panel on Climate Change）では、20 年、100 年、500 年と異なる評価時間で見た影響度を、温暖化係数（GWP：Global Warming Potential）として発表していますが、一般には 100 年値が使われています。

CFP は ISO14067 で規定されており、LCA の手法で求めることとなっていますが、当該製品の各工程での計算方法など詳細は規定されていませんので、計算する者によって大きな差が出てきます。これでは、どちらの製品を買えばよいか判断できませんし、恣意的に誘導されると判断を誤りますので、CFP を求めるにはその計算

ルールである PCR（Products Category Rule）を、まずは審査・認証機関に認めてもらう必要があります。PCR が認定されれば、それに従って対象製品の CFP を求め、審査を経て問題ないとお墨付きがもらえれば、当該製品に初めて図 3-5 の様な表示ができる制度です。PCR や CFP の審査は公正な第三者機関が行わなければ信頼性が担保されませんので、経済産業省の CFP 試行事業で制度が確立された現在、サステナブル経営推進機構がその業務を担っています⁽⁹⁾。CFP 表示をしたいと思われる場合には、まずはサイトを見られることをお勧めします。

CFP の審査に合格しますと、当該製品の生涯に渡って排出する GHG の量を CO₂ に換算した値を図 3-5 の②の場所に記入し、表示することになります。それ以外に、従った PCR の番号などの情報を③の場所に記載します。製品に木材が含まれている場合には、木材中の C を貯蔵炭素量として追加表示することが認められており、吸収した CO₂ 量で表示することもできます。



図 3-5 CFP の表記様式⁽⁹⁾

6 環境フットプリント (EF) とは

LCA では、繰り返しになりますが、データが揃えば、最大 15 の影響領域における環境負荷が評価できますが、そのうち寄与度の高い地球温暖化のみを対象として、それを少しでも防ぐ消費者行動を取らせる目的で CFP が考案・実施されています。一方で、地球温暖化以外の環境影響は無視して良いのかという意見が当初からありますし、著者もそう思います。様々な影響領域への環境負荷量を、図 3-3 のように、統合化という操作で 1 つにまとめることは、ISO や JIS 規格では、不確実性が高いことから、LCA 実施の必須要素ではなく、任意の要素として位置付けられています。例えば、オランダとアルゼンチンでは、地球温暖化による海面上昇とオゾン層破壊による皮膚癌発生とでどちらが身に迫ってくる環境問題かは異なるでしょうし、相容れないことでもありますので、任意要素に位置付けられるのは当然でしょう。しかし、どちらの製品が環境に優しいかを 1 つの指標で表せない限り、様々な環境負荷には、あちらを立てればこちらが立たずというトレードオフの関係が大なり小なり存在するので、いつまで経っても消費者は買うべき製品が選べません。

そこで、不確実性が上がることを承知で、統合化によって求められる環境負荷物質による影響量を 1 つの数値にまとめて示し、環境に優しい製品を選択してもらうべきとの主張が登場し、EU の欧州委員会 (EC : European Commission) で 2011 年に環境フットプリント (EF : Environ-

mental Footprint) の検討が始まりました。ここでも、製品の EF を示す場合には、PEF (Product Environmental Footprint) という表記が使われます。

EF で扱われる影響領域は 14 あって、その中にこれまでの LCA では資源として扱われていなかった水資源の消費が含まれています。EC は、世界中から PEF 評価を希望する企業に自社の製品を持ち込ませて、試験的に評価するロードテストを実施しました。それらの結果を踏まえて、EU として自主的な制度と義務的な制度に分ける検討が行われており、PEF の活用法が間もなく固まるものと思われます。農林水産物を EU に輸出する場合には否が応でも検討しなければならない事項になると思われますので、そのガイダンス⁽¹⁰⁾のチェックをお勧めします。

7 環境評価の留意点

ここまで環境への優しさを定量評価するツールを可能な限りかみ砕いて概説してきました。全てのツールは、環境への意識が高いイギリス、オランダ、スイス、スウェーデンといった国々で開発・発信されてきたものです。製品へのその様な評価結果を表示させる強制的な動きもあるなかで、我々もグローバル社会の一員として否が応でも対応せざるを得ません。筆者が関わっているほぼ全ての技術開発事業でも、実装前に LCA 評価が求められていることもその現れでしょう。

これらのツールを使いこなすには、ISO や JIS という規格はあるものの、製品プロセスにおいて、一つの負荷が他のプロセス

でも計上されるというダブルカウントが生じていないか？得られた環境負荷量に対象製品以外の製品に由来する負荷量が紛れていないか？など、様々なチェックをしなければ、信頼性の高い計算はできません。この様な問題を可能な限り排除するには経験が必要です。

次節からは、これまで筆者等により実施されてきた環境影響評価結果の中から全ての木材製品の原材料となる丸太と木材製品の事例を用いて、木材利用の環境への優しさがどの程度であるか述べます。

8 丸太や木質材料の環境影響評価

(1) 国産丸太

我が国で最も充実している原単位データベースとして知られる MiLCA V.2⁽¹¹⁾ に搭載の IDEA V.2 には、丸太として、丸太、あかまつ丸太＋くろまつ丸太、ひのき丸太、からまつ丸太、すぎ丸太の5種類が整備されています。化石資源由来のCO₂排出量の多い丸太から並べると、ヒノキ、スギ、マツ、カラマツの順になり、材積当たりの最大値と最小値とで4倍の開きがあります。この4樹種の丸太が生産されるま

でに排出されるCO₂の加重平均値は、約10kg-CO₂/m³となっています。何れも総務省が5年毎に発行する財・サービスの産業間取引額を示す産業連関表における物量表や森林・林業統計要覧を基に作成されていますが、データベースを使う立場からすると、どの範囲までの金額、すなわち環境負荷が含まれているかが明確ではないので、注意が必要です。

一方、中野らは、林野庁と環境省の木材利用推進・省エネ省CO₂実証業務でスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツの育苗から丸太生産までのインベントリ調査を行い、国産丸太の原単位を求めました⁽¹²⁾。用いた統計は、都道府県別・樹種別単位森林面積当たりの生産量、重機などの作業別燃料消費量、都道府県別機械化率で、地域・樹種・地位・気候等から収穫量が予測できる森林総合研究所で開発されたLYCSというエクセルのマクロ（自動実行される一連の計算操作）で組まれた収穫表作成ソフト⁽¹³⁾などを活用し、伐出を架線系集材と車両系集材に大別して計算しています。

元の図は英文ですので、その和訳を図3-6に示しました。これより、日本の代表

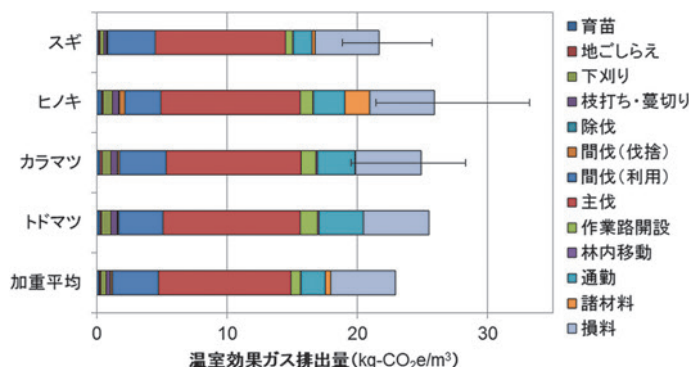


図 3-6 土場まで搬出された丸太の樹種別環境負荷量⁽²⁾

的な針葉樹の単位材積当たりの丸太を土場で得るまでに発生した温室効果ガスを CO_2 換算（単位の添え字に e が付く）で求めると、ヒノキが最も多く、スギが最も少ないという結果になりました。バーは都道府県別の最大値と最小値を現していますが、トドマツの産地は1つなので、バーはありません。これら4樹種の加重平均値は $23.5\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3$ でした。内訳では、主伐時の排出が全体の4割強、集運材機械の製造・修理が2割強、利用間伐による排出が2割弱となっています。この評価では作業者の林地までの通勤と林内移動も含まれていますので、他のデータと比べる時にはその違いを調整する必要があります。

(2) 木材の JAS 製品

我が国で使える前出の IDEA V.2 には JAS 製品が含まれる製品として、製材では、一般製材品、特殊製材品、その他の製材品という項目しか無く、針葉樹と広葉樹別の区別もされていません。集成材は1種類のみ、合板は、合板、普通合板、特殊合板の原単位が提供されています。何れの原単位も、LCA の標準手法である積み上げ法ではなく、産業連関表と各種の統計データを用いて作成されています。製品名も総務省の日本標準商品分類コードに則って分類されていることから、知りたい製品がどの分類に属するかは連関表に付属の部門別品目別国内生産額表を用いて見極めなければなりません。

産業連関表を用いた代表的な原単位データベースは、国立環境研究所が開発・公表している 3EID⁽¹⁴⁾ で、397 部門に投入・消

費された原燃料別に排出原単位を乗じて、 CO_2 や N_2O など7種類の温室効果ガスの排出量を求めています。ここでも、金属やプラスチックなどの工業材料に比べると、木材製品の原単位の貧弱さは目立ちます。

とは言え、木材製品の環境負荷が他の材料に比べて大凡どの程度なのか見ておきたいので、製品購入者の購入額 100 万円当たりの温室効果ガス排出原単位を求め図 3-7 に示します。この原単位は、製品毎に排出する7種の温室効果ガスを IPCC が採用している温暖化係数の 100 年値を用いて CO_2 に換算し合算した値です。単位が m^3 ではなく、100 万円当たりで示されていること、製品名は代表的な製品で示されていますが、類似の多くの製品が含まれていること、生産拠点から購入者に届くまでの輸送や商社といった間接的な排出量も含まれていること、単価の低い製品ほど取引量が多くなり、その量で温室効果ガス排出量を除することから、製品当たりの排出原単位は相対的に小さくなることといった統計上の乖離も含まれていますので、利用には注意

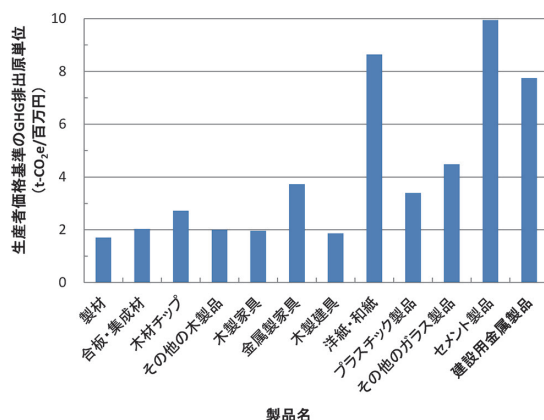


図 3-7 3EID に掲載の購入者価格基準で見た木材製品などの温室効果ガス排出原単位⁽¹⁴⁾

が必要です。

(3) 木材の JIS 製品

代表的な製品は木質ボード（繊維板）です。IDEA V.2 では、繊維板、硬質繊維板、中質繊維板、その他の繊維板という項目で原単位が整備されていて、製材に比べると、少し充実していますが、いずれも産業連関法などによって求められたものです。

筆者等は、日本繊維板工業会から、その環境宣言に則って、2005 年に取扱い製品の LCA を依頼されました。製品毎に国内の生産シェアが 50% を超える会員企業がインベントリ調査に協力いただけるとのことから、繊維板工業会の中に製品別に LCA 委員会が設置され、製品毎の加重平均と企業別の LCA を求めました。国内で生産される木質ボードの日本平均原単位が世界に先駆けて得られたことから、LCA 学会などに発表してきました⁽¹⁵⁾。協力いただいた企業は、筆者から戻された日本平均と自社の結果を比較することで自社製品の長所と短所が可視化されたことから、その後の環境負荷低減対策が立て易くなったことと思います。

貴重な結果が得られたので、最新の原単位を用い、ボードから発生するホルムアル

デヒドの人間健康への影響も加え、インベントリデータの見直しと再評価を行って、影響評価をしたところ、表 3-2 のようになりました⁽¹⁶⁾。表からは分かりませんが、接着剤から発生するホルムアルデヒドの人間健康への影響は、国産ボードはほぼ全て F☆☆☆☆であったことから、使用中ではなく製造時の影響を表しています。

影響評価を行うには、第 4 節で述べたように、影響領域毎に複数の消費資源や排出物質がありますので、それらの影響を領域内で 1 つの数値にまとめる必要があります。しかし、資源や排出物質の影響領域への寄与度は大きく異なることから、影響度の違いを科学的に求めて、係数リストとして整備する必要があります。表 3-2 では影響領域毎に信頼性が高いとされている係数リストを用いて、影響評価を行っています。

影響評価に用いた手法（係数リスト）が略号で示されていますが、100a（IPCC 2013）は 2013 年の気候変動に関する政府間パネルで提示された 100 年値、CML は 1977 年に学部間部局として設立されたライデン大学環境科学センターが求めた係数、USEtox は 1972 年に国連に設置された UNEP（国連環境計画）という組織と

表 3-2 木質ボードの日本平均環境負荷量⁽¹⁶⁾

影響領域	影響評価手法	単位	パーティクル ボード	ハード ボード	MDF	イシュレー ションボード
気候変動	100a (IPCC2013)	kg CO ₂ e	4.44E+02	3.31E+02	8.50E+02	2.35E+02
資源消費	CML	kg Sbe	4.32E+00	3.18E+00	8.24E+00	2.12E+00
人間毒性 (発がん性)	USEtox	CTUh	1.70E-05	1.35E-05	3.24E-05	8.88E-06
人間毒性 (非発がん性)	USEtox	CTUh	1.55E-04	3.98E-04	2.31E-04	1.28E-04
生態毒性	USEtox	CTUeco	1.64E+03	2.15E+03	2.94E+03	9.36E+02

1979年に北米で設立されたSETAC（環境毒物化学学会）という化学物質の毒性を評価する研究者グループの共同のイニシアティブの支援により作成された係数のことです。影響領域内に複数ある排出物質の総影響量を求めるには、これらの係数を物質毎の排出量に乗じて、影響領域毎の代表物質に換算します。表3-2の単位は、気候変動ではCO₂に、資源消費ではアンチモン（Sb）に、毒性については、単位量の化学物質が人体又は生態に累積して及ぼす罹患率又は生物個体数の半数が影響を受ける種数の相対値に換算した値を意味し、それを示すために単位の最後に添え字のeを付けています。LCAでは、小さな値でも影響量が大きい場合がしばしばあること、大きな値から小さな値まで表示すべき範囲が大きいことから、有効数字の桁数を揃えるために、影響量を一般に指数表記します。例えば、4.44E+02や1.55E-04は 4.44×10^2 や 1.55×10^{-4} のことで、通常表記では444や0.000155となります。

9 建物の環境影響評価

(1) 戸建住宅

我が国の伝統的な戸建て住宅は、在来構法とも言われる木造（W造）の軸組構法です。戸建て住宅の構法は他にも、鉄骨造（S造）や鉄筋コンクリート造（RC造）があります。W造は住む人や環境に優しいと言われ、建築学会が発行する「建物のLCA指針⁽¹⁷⁾」を用い、第3節⁽¹⁸⁾で解説したLIME2を用いて建物の床面積当たりの潜在被害額を求めたところ、図3-8のようになりました。これにより、産業連関法

ではあるものの、W造の住宅はSやRCを用いた住宅より2～3割環境負荷が小さいこと、それらの内訳で地球温暖化と都市域大気汚染への影響が、構法によって少し違いますが、それぞれ5割弱あることが分かります。ただ、産業連関法の部門が異なることから、住宅の生涯における環境負荷の6～7割を占めると言われる居住による環境負荷は含まれていないので、比較の際には注意が必要です。ここで、SRCは鉄骨・鉄筋コンクリート造、CBはコンクリートブロック造のことです。このように、産業連関法では産業部門間の財・サービスの流れを物量に換算して、環境負荷を評価する手法ですので、日本平均の評価が出来るものの、物価が変動すると環境負荷も変動することになるという短所もあるので、ISOやJISでは積み上げ法を採用しています。よって、構法の違いを知るには、積み上げ法で評価しなければなりません。機能単位を合わせることが難しいことと評価作業が膨大になることから、ほとんど行われていません。

大和田らは建築の環境を総合的に評価するツールであるCASBEEに示されている

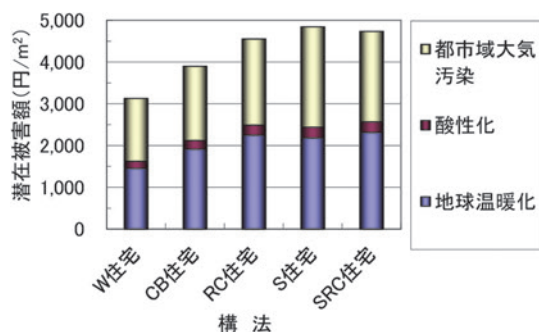


図3-8 住宅の構法別環境負荷⁽⁷⁾

標準モデル住宅⁽¹⁹⁾について、異なる3構法の図面と仕上表から使われている材料の種類と使用量を積算し、使われている部材の寿命も考慮して、使用年数を50年と設定して、LCA評価を行いました⁽²⁰⁾。

投入部材や廃棄物の輸送、新築や解体工事、居住による環境負荷など仮定がいくつか置かれていますが、床面積当たりの環境負荷を第4節で説明の潜在被害額⁽¹⁸⁾で求めたところ、図3-9のようになりました。

構法別では、W造はRC造やS造より1割程度環境負荷が低いこと、各構法とも居住中に生じる地球温暖化が6割強と最も大きいこと、新築とリフォームで用いる部材製造に使われる資源消費も2割弱あること、リフォームと解体時に生じる廃棄物の影響も1割程度あることが分かりました。

最近の建物は高気密・高断熱仕様が一般的になっていること、また建物の生涯に渡って排出するCO₂量を見かけ上でマイナスにするための太陽電池などの自然エネルギーが得られる設備を新築時から供える場合が増えていることから、居住中の温室効果ガス排出量が減る傾向にあります。そうすると、新築やリフォーム、解体時の環境負荷が相対的に目立つことになりますの

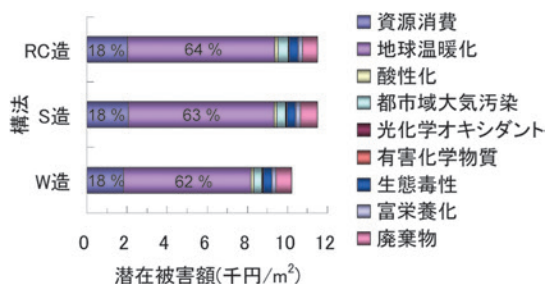


図3-9 戸建て住宅の構法別環境負荷⁽¹⁰⁾

で、居住以外の工程における環境負荷低減に結びつく技術開発の重要性が増してきます。

(2) オフィスビル

戸建て木造住宅の市場は縮小傾向にありますので、新たな木造建築の市場を開拓しなければなりません。その1つが、都会の一般的な建物であるオフィスビルや商業施設などの木造化です。筆者らは、林業の成長産業化における最重要樹種であるスギだけで耐火1時間の集成材を開発してきました⁽²¹⁾。開発したスギ耐火集成材は、国土交通大臣の認定がおりて、鹿島建設によってFRウッド®として商標登録されています。改良仕様も認定され、既に3棟が、混構造も含めて建設されています。現在は、耐火2時間の集成材を開発中です。その構造は図3-11cに示しますが、ラミナ（集成材用の挽き板、厚さ30mmを採用）にレーザカドリルで直径2mm以下の貫通穴を800個/m²の密度であけ（インサイジングという）、ポリリン酸という難燃薬剤を所定量注入しています。2枚重ねて燃え止まり部を形成していることから、環境負荷が懸念されました。そこで、機能単位を揃えて、S造とRC造の建物に比べてどの程度環境負荷が低いかLCAにより評価しました⁽²²⁾。

揃えた機能単位は建築面積（506.88m²）、階層（3階）、階高（3.8m）で、屋根、床、外壁はそれぞれの構法に適した設計にしています。試設計は鹿島デザインで、基礎と躯体、階段に使われた木材、鉄骨、鉄筋コンクリートの使用量で評価しました。耐火集成材については、インサイジングや難

燃薬剤の環境負荷も含まれています。

評価できたオフィスビル1棟の躯体に使われた部材の全環境負荷を、潜在被害額と言われる日本円で示すと図3-10のようになりました。耐火集成材造(W造)のオフィスビルはS造の約7割、RC造の約5割の潜在被害額となり、難燃処理ラミナを用いた耐火集成材造のオフィスビルであっても環境にかなり優しい建物であることが分かりました。ただ、耐火集成材でも石膏ボードやモルタルを用いると、環境負荷がどれほどになるかは分かりません。各構法とも全体の約7割が化石資源由来の地球温暖化に、約2割が石炭消費という資源消費に、5%程度が廃棄物処理にそれぞれ影響

していることが分かりました。

10 都会の木造化

(1) 木材利用のこれから超えなければならない耐火規制

2017年の新設住宅着工戸数は、約96万戸でした。我が国の人口減少と高齢化、住宅の高寿命化により、2030年の戸数は約55万戸になるという予測もあります⁽²³⁾。予測が当たれば、住宅市場は13年後に4割縮小することになります。住宅や資材メーカーはそれまでに、①4割が淘汰される、②減少分を輸出で賄う、③非戸建て住宅分野に販路を拡げるといったシナリオが考えられます。①のシナリオになると、林

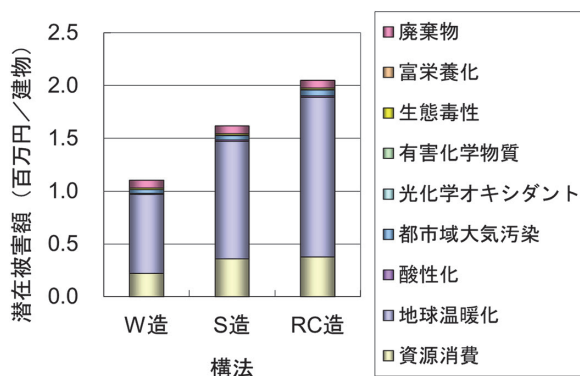


図 3-10 構法別オフィスビル1棟の環境負荷⁽²²⁾



図 3-11 国土交通大臣の認定を受けている耐火集成材の例

業も同規模で縮小しますので、日本再興戦略にある林業の成長産業化は困難になります。従って、向かうべきは②や③になります。

集合住宅やオフィスビルといった非木造の建築物は、都会に多く建てられています。その様な地域は防火上の観点から、都市計画法で防火地域や準防火地域に指定されています。建築基準法は、その様な地域には建物の延べ床面積と階層で決まる火災に対する性能を持った耐火建築物か準耐火建築物しか建てられないよう厳しく規制しています。

(2) 耐火部材の現状

耐火集成材として使える構造材は大別して4種類ありますが、その内の1つは荷重支持部が鉄骨ですので、それを除いた荷重支持部が木材である耐火集成材は今のところ図3-11の3種類に大別されます。荷重支持部は何れもJASの集成材で、その外側に火災の熱から荷重支持部の燃焼を防ぐ被覆部があります。この被覆部には、複数枚の強化石膏ボードで覆う(図3-11のa)、モルタル板や流し込んだ石膏で概ね覆う(図3-11のb)、インサイジングを施して難燃薬剤を注入したラミナで覆う(図3-11のc)タイプなどがあります。この内、図からも分かるように、木材だけで構成されている耐火集成材はcだけです。

建設棟数はaが最も多く、それよりかなり少なくb、cの順になります。被覆部にはこれからも様々な方式が出てくると思われます。

11 木材利用の意義は

木材は他の建築材料に比べて材料生産までの環境負荷が低いことを認識いただけたと思います。再生産が容易で、材料自体に大気中のCO₂をCとして貯蔵している材料であることも知られています。ただ、その貯蔵量と材料生産までに排出した化石資源由来のCO₂を相殺して環境に優しい材料であると主張するケースがまま見られますが、原材料調達から廃棄までに製品が発生するCO₂と貯蔵されているCは、廃棄時のダブルカウントを避けるために、図3-5でも規定されているように、分けて捉えなければなりません。その上で、木材製品のこの長所を生かした利用を推進するほど、他材料を利用する場合に比べて環境への負荷が軽減されます。性能やコストも競合他材料に比べて優っていれば、申し分の無い材料となり、木材利用の大きな意義が見出されます。

注

- (1) ISO 14040 : 2006 : Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework
- (2) JIS Q 14040:2010 (ISO 14040 : 2006) 環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—原則及び枠組み Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework
- (3) 伊坪徳宏、田原聖隆、成田暢彦 (2007 年) 『LCA 概論』、産業環境管理協会
- (4) LCA ソフトウェア MiLCA 2、サステナブル経営推進機構
- (5) 本藤裕樹 (2018) エネルギーの LCA 過去

- から将来に向けて、『日本LCA学会誌』13
(4)、290-297
- (6) 伊坪徳宏、稲葉敦 (2010 年) 『LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法』CD-ROM 付き、産業環境管理協会
- (7) K. Nakano, N. Shibahara, T. Nakai, K. Shintani, H. Komata, M. Iwaoka, N. Hattori* : Greenhouse gas emissions from round wood production in Japan, *Journal of Cleaner Production*, 170, 1654-1664 (2017)
- (8) PAS 2050 : 2011, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services
- (9) カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムのウェブサイト : <https://www.cfp-japan.jp/>
- (10) LCA 日本フォーラム : EU 製品環境フットプリント (PEF) 実施ガイダンス、URL <http://lca-forum.org/footprint/>
- (11) LCA ソフトウェア MiLCA V.2 : 産業環境管理協会、URL <http://www.milca-milca.net/index.php>
- (12) K. Nakano, N. Shibahara, T. Nakai, K. Shintani, H. Komata, M. Iwaoka, N. Hattori* : Greenhouse gas emissions from round wood production in Japan, *Journal of Cleaner Production*, 1654-1664 (2017)
- (13) 森林総合研究所 : 収穫表作成システム LYCS 3.3、URL <http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/LYCS/>
- (14) 南斉規介 : 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) (2018) 国立研究開発法人国立環境研究所、<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>
- (15) 寺島敏、加藤慶子、服部順昭、姫野富幸 (2007) パーティクルボードのインベントリ分析、「第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集」82-83
- (16) Katsuyuki Nakano, Keisuke Ando, Mitsuo Takigawa, Nobuaki Hattori : Life cycle assessment of wood-based boards produced in Japan and impact of formaldehyde emissions during the use stage, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23 (4), 957-969 (2018)
- (17) 日本建築学会 (2013) 『建物のLCA 指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール 改訂版』
- (18) 服部順昭 (2018) 木材利用と地球環境—環境への優しさで見る木材利用①—、『山林』1611、11-20
- (19) 建築環境・省エネルギー機構 (2010) CASBEE-戸建 (新築) の解説・資料 Part III、227-238
- (20) 大和田拓馬、掛上恭、服部順昭 (2014) 戸建住宅のライフサイクルアセスメント—木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の建物比較—、「第9回日本LCA学会研究発表会講演要旨集」、18-19
- (21) 服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、宮林正幸、塩崎征男 (2006) 耐火集成材、特許第4958098号 (P4958098)、出願日：平成18年7月28日
- (22) 大林秀稔、森田雅、安藤恵介、服部順昭、上川大輔、原田寿郎、宮林正幸、抱憲誓、西村光太、宮本圭一 (2011) 構造用耐火集成材の環境影響評価、「第61回日本木材学会大会要旨集」、172
- (23) 野村総合研究所 (2017) 2017年度版2030年の住宅市場～空き家率の抑制に向けて、早急な仕組みづくりが必要～、第254回NRIメディアフォーラム、URL <https://www.nri.com/jp/event/mediaforum/2017/pdf/forum254.pdf>

(服部 順昭)

第4章 循環型資源としての木材のカスケード利用

1 循環型資源とは

「地球上の資源には限りがあり、その枯渇速度をゆっくりするために資源循環型社会を構築する必要がある」というような文面が多くみられるようになりました。ここに使われているような言葉が最初に我が国で意識されたのは、高度成長期のピークとなった1973年、第1次オイルショックでみられたトイレットペーパーの奪い合いの風景の頃からです。しかしながらモノがあふれ、多くの残材、廃棄物を目にする生活の中でその言葉を実感し、行動することはなかなか困難なようです。地震や自然災害の被災地に見られる混乱にあって、改めて認識することが多いようです。我々人類は生きるため、そしてより豊かさを求め、資源を求め、そして消費してきました。ある時は戦争で略奪してきました。この「豊かさを求める」という人類の要望が資源収奪にしかないとするならば、地球上の資源は確実になくなっていくます。だとすると、人類のより長い持続性を保つには次の世代への資源の維持確保を考えた自制、資源の持続性への努力が必須ということになります。一般的には地球上の限られた資源については、その減少速度を遅延させるための節約、長寿命、再利用などが考えられています。しかしながら、それに加えて地球外からくる太陽エネルギーによって生産され

る木材などの生物資源が、再生可能資源としてとらえられて、その重要性が一段と高まっています。

この再生可能資源という言葉には、新たに資源が継続的に生産されるというイメージが強いのか、やや安直に使用される傾向があります。先に述べた自制という言葉には節約などのやや重苦しい響きがあるのに対して、再生可能資源には未来を感じさせるものがあるためでしょう。

たとえば、木材は再生可能資源だから「伐ったら植えれば良い」と単純に考えている雰囲気があります。あらためていうまでもありませんが50年生の森林から木材を伐ってエネルギーに利用すると、その伐採量に相当する成長量が確保されていることが必要です。言葉を換えれば「伐ったら植えることで済む」ということは何らかの形で50年分の面積があり、そこに資源を再生する保育の担保がなされていることを意味します。そこには、持続性を確保するための生産活動への努力と自制が必要であることはいうまでもありません。残念ながら多くの人々がそれを十分理解していないように思われます。「循環型資源としての木材」は、改めていうまでもなく資源持続性を意図したものです。

2 「3R／4R」から5Rへ —「消費が消費を生む」と「消費が生産を生む」

資源循環型社会のキーワードは抑制 (Reduce)、再利用 (Reuse)、再生利用 (Recycle)、すなわち 3R であるといわれています。最近では一般の人々の意識がそれでも足りないということでしょうか、拒絶 (Refuse) が加わり 4R ということもあるようです。地球上で資源の枯渇が子や孫の世代に予想されている石油や天然ガスの化石資源、あるいは金、銀、鉛、銅のような鉱物資源のことを思えば、危機感を鮮明にする必要があるともいえましょう。とはいうものの、木材などの生物資源を扱っていると既存の 3R／4R の括りにやや違和感があります。

木材資源と我々自身の生活との関連をみるならば、3R に加えて 4R は熱回収 (Recover) で、プラスチックや紙、木材など有機物の燃焼による利用があります。もちろん熱回収とて再生利用といえなくはありませんが、エネルギー利用を明確にしておくことが化石資源エネルギーの枯渇、地球温暖化に関わる二酸化炭素削減問題で重要と考えられるからです。本来、これらがエネルギー資源となるにもかかわらず廃棄物として扱われている現況をみるならばなおさらです。

5R は再生産 (Renew) です。地球外からのエネルギー、すなわち太陽エネルギーを取り込んだ光合成による農産物や木材は人類自らが携わる資源生産に相当します。石油、天然ガスや石炭などの化石資源も太

古の太陽エネルギーがなしたものですが、これを再生可能な資源とは一般的にはいいません。したがって、化石資源を原料としたプラスチックも再生可能な資源とはいえません。言葉をかえれば、化石資源の生産に直接人為が絡んでないので Renew とはいいがたいということです。そのように考えると、太陽エネルギーによる太陽光発電や風力発電などは再生可能な資源であるといえます。Renew の重要な点は、持続的生産に人為が絡んでいることであるといえましょう。

一般にいわれている 3R／4R の具体的な行動となる資源リサイクル推進に、「資源循環型社会」とか「持続可能な発展」という言葉があまりに不用意に用いられることは疑問です。なぜならば、地球上に存在する鉱物、化石資源は有限であるといわれていますので、リサイクルをどんなにがんばっても枯渇の速度をゆっくりするための循環です。「持続可能な発展」というならば、資源生産が可能なものに力を注ぐことを忘れてはいけないことは明らかです。

繰り返しますが、Renew は人為が絡み、「消費」してもそれによって資源の「生産」を生む可能性があることに重要な意味があります。木材は 5R を有する資源として重要な役割を担っていることになります。言葉をかえれば、木材利用は食料と同じように「生産を生む消費」としての可能性があるということが出来ます。一方、鉱物資源や化石資源の利用は、すなわち製品を生産するという言葉を用いますが、資源は確実に消費するということになります。新たな資源生産はなく、「消費が消費を生む」と

ということになり、木材利用などの「生産を生む消費」と大きな違いがあるといえます。

図4-1は、我々の生活に関わる資源の流れを示したものです。木材のように5Rを有した循環、すなわち「消費が生産を生む」流れを「大きな循環」と称しています。その内側にある鉱物、化石資源のような3R/4Rの循環、「消費が消費を生む」流れを「小さな循環」と称しています^(1,2)。この2つの循環が極めて重要で、資源循環型社会の両輪といえるものです。

本稿で扱う木材のカスケード型利用とい

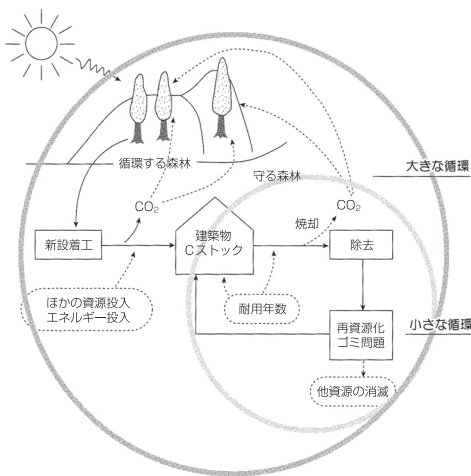


図 4-1 資源の流れ ⁽¹⁾

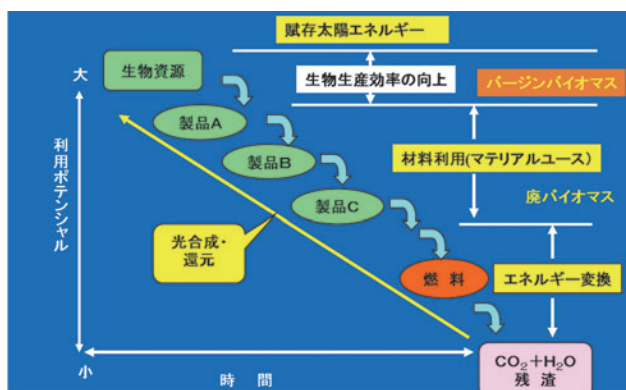
う言葉は、表4-1に示したような範囲のことを対象にしています。

森林で伐採された木材は丸太から製材、合板、チップなどになり、集成材、木質ボード、紙、さらには飼料、炭や燃料などに展開されます。製造工場では対象とする製品と残材や副産物などに分かれ、製品は住宅や建築物、家具などの用途に展開していきます。工場での残材などは木質製品の原料や燃料、敷料などとして利用展開されるか、その転嫁がなされない場合には廃棄物として処分されることになります。住宅、建築物や家具などに使用された木材、木質材料は都市に蓄えられた資源と考えられます。使用された後の解体材や解体品などのリサイクル利用にも重要な展開が考えられ、最終的には燃料としての熱回収があります。このように木材の資源としての流れは、カスケード型（小さく分岐する滝）であるといわれています。その流れは用途（空間的拡がり）と耐用（時間的な拡がり）を持っていることに特徴があります。いずれにしても、このような流れに関わっている木材関連産業は森林で二酸化炭素と水を太陽エネルギーで生産された木材という炭素資源を維持する、炭素ストック

表 4-1 木材資源のカスケード型利用の炭素の流れ

	森林	丸太素材	製材	住宅	解体 再処理	再生品 利用	解体焼却
受入	15,000	10,000	7,500	6,000	5,000	3,000	2,500
炭素ストック (製品)	10,000	7,500	6,000	5,000	3,000	2,500	0
炭素排出	-5,000	-2,500	-1,500	-1,000	-2,000	-500	-2,500

受入：原料入荷
炭素ストック：製品として出荷――炭素表示
炭素排出：焼却に相当（炭素ストック―受入）
出典：図4-1に同じ



出典：日本学術会議第6部報告「生物資源とポスト石油時代の産業科学」（2000）より作成

図 4-2 生物資源のカスケード的利用体系

(貯蔵) 産業であるといえます。

3 炭素ストック「C表示」と伐採木材（HWP）の扱い

木材および木質材料の特異性は、再生可能とされる生物代謝の中心を担う炭素Cの流れにあります。それが炭素ストック「C表示」であり、すなわち使用されている木材の全乾重量の2分の1で、kgCまたはtonCで表示されます。二酸化炭素に換算する「CO₂表示」の必要がある場合には、「C表示」⁽²⁾の44/12倍のkg CO₂、tonCO₂といった形で表示されます。たとえば、木材が大気中の二酸化炭素を吸収、減少した量（木材として炭素貯蔵）、また木材を燃焼したときに二酸化炭素として排出される表示として使用する場合があります。

とくに木材、木製品に「C表示」を重視したい理由は、数値の算出の前提等に曖昧さ、不明確さがほとんどなく、必要ならば重量計測で検証可能であることです。また「CO₂表示」の数値が実際の木材、木製品



写真 4-1 木材による炭素のストックのスタート

の重量よりも大きい数値になることは吸収固定、貯蔵のイメージとして似つかわしくないように思われるからです。

地球温暖化防止対策として我が国で一般にいられている「低炭素社会」（最近では「脱炭素」）の意図するところは、エネルギーを消費するときに生じる二酸化炭素放出の抑制です。したがって、正確に言えば「低二酸化炭素」（「脱二酸化炭素」）のはずです。おそらく、鉱物資源などからなる多

くの材料（化石資源を原料とするプラスチック材料を除く）は炭素化合物を対象にしませんし、製造工程に要するエネルギー、すなわち二酸化炭素の炭素削減を対象にしているから「低炭素」と短縮しても理解されるからでしょう。

森林や木材のように炭素化合物を対象にしているものにとって「低炭素」という用語は、違和感を覚えます。それは「高炭素固定」や「高炭素貯蔵」を重要視するからです。したがって、「低炭素社会」は「低二酸化炭素」「高炭素貯蔵」で、とくに「高炭素貯蔵」をより明確にするためです。

地球温暖化防止対策の第一約束期間では、木材は伐採搬出した時点で二酸化炭素となる扱いでした。木造住宅や木製品に蓄えられた炭素の扱いとなる伐採木材（HWP：Harvested Wood Products）の炭素貯蔵評価の取り扱いは、第二約束期間以降の検討事項になっていました。

南アフリカダーバン（2011）で開かれた気候変動枠組み条約 COP17 で、わが国は京都議定書第二約束期間（2013-2020）には不参加を表明していました。その中で国内の森林伐採後の木材製品（HWP）は炭素貯蔵を評価し、「廃棄された時点」で排出となりました。「廃棄された時点」は平均寿命を想定して、半減期として紙2年、木質パネル25年、製材品35年となっています。伐採時に森林減少したものは除外し、エネルギー用途は即時排出、第二約束期間前に伐採したものも計上（第一約束期間で計上したものは除く）となっていますが、次の枠組みに対してわが国は不透明な感があります。

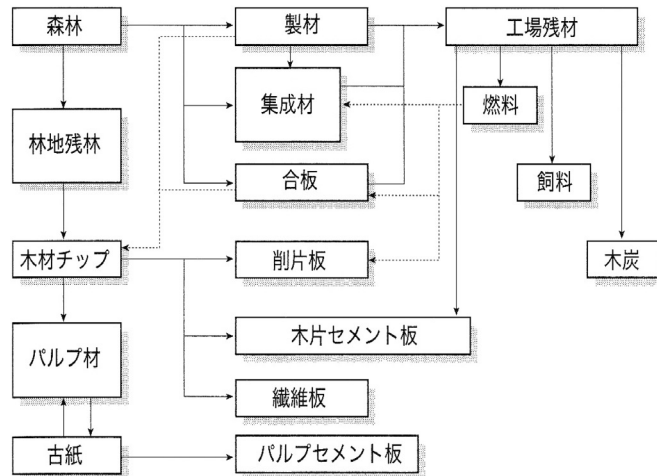


写真 4-2 木材は廃棄物ではなく最後まで資源

カスケード利用や森林、木材産業、建築、居住者、リサイクルといった各分野における関与からインセンティブを機能させることは本質的課題であるといえます。新たな段階に入った地球温暖化対策に向けての伐採木材の扱い、すなわち炭素ストックの扱いや排出量に係わる課題を建築分野などの木材利用に照らしてどのように評価すべきか検証しておく必要があります。とくに、最近のバイオエネルギーとしての木材の扱いが排出0として、安直に扱われて再生産への配慮がおろそかになる危惧があります。また、耐用年数、耐久性向上、リサイクルの推進にかかわる問題でもあり、都市の木材資源、すなわち「もうひとつの森林^(3, 4)」も取り扱い次第によって大きく状況が異なってくる可能性があります。

4 カスケード型利用 — 残材、廃棄物処理から再利用、再生利用へ

木材の資源としての流れは、いろいろな形状の構成材料になるカスケード型です。図4-3のように、丸太から製材、合板、集

図 4-3 木質資源のカスケード利用の流れ ⁽³⁾

成材、直交集成板などに、チップ、繊維は木質ボード、紙、さらに鋸くずや切削くずなどは敷料や飼料、そして炭や燃料などに展開しています。製造工場での残材や副産物などは、原料や燃料として利用展開されます。また、都市の資源として位置付けられる建築物や家具なども、使用された後の解体材や解体品などのリサイクル利用にも重要な展開があります。

リサイクル推進に関連して「資源は有限、知恵は無限」といわれています。しかしながら、資源問題と環境保全の重要性が叫ばれている中にもあっても廃棄物に見えると、経済あるいは地域対策的な理由の方が優先される傾向が少なくありません。理屈はわかっているにもかかわらず、目にするものが多く、その反面資源消失は見えにくいために一向に進まない現状があります。資源消失と人件費削減のいずれを優先するかという単純な問いにもなります。資源をリサイクルすることの意義は、①資源の枯渇性、②生産に要するエネルギーの節約、③有害物質の

流出防止、④投棄、保管場所の不足、などが挙げられます。

現在、我が国で解体材や廃材あるいは紙の廃棄問題はその都市の焼却処理能力を越す量と、最終処分の、④投棄、保管場所の不足、などが挙げられています。戦後のものが不足していた時代には、ゴミの中に少なくとも木材の端材を見出すことはありませんでした。燃料に不足していたので、貴重な資源であったからです。現在でも発展途上国のごみ処理場では木材はもちろん、木屑ですら見出すことはきわめて困難です。すなわち、木材は大事な生活資源として生きつづけています。木材のリサイクルは基本的にカスケード型であり、損傷の少ない材は古材として再利用できるし、チップにすれば紙、ボード原料にもなるし、最後には燃料として燃され、大気に戻るといふ基本要件が備わっています。ところが、近年の我が国の豊さは皮肉にも建築、土木解体現場や災害現場で発生した木材、あるいは不用になった家具など、都市から排出

される木材や紙がやっかいものの廃棄物として扱われる傾向があります。本来、再資源化と廃棄物処理は資源に対する前向きと後向きであるといえます。主として費やされる人件費が同じであったとしてもその差異は決定的な違いといえます。再資源化に要する人件費が少なかったとしても、本来の目的が資源再生さらに廃棄物の削減、環境保全というならばかなりの経費とくに人件費は許されるはずです。しかしながら、処理という行為のみに目的や視点があると経費のみの評価に陥りやすいといえます。民間企業の場合は経営という側面からある程度仕方ないともいえますが、公共的な立場にあるものは将来に渡ってあるべき姿への前向きの戦略でなければならないと思われます。少なくとも生物資源の廃棄物は廃棄物問題ではなく、都市の資源、エネルギー問題として取り上げるべきで、燃すだけの施設の建設など本来論外であるといえます。

解体材などの木質材料の原料・燃料への再生利用には、新材による製品に比べると加工エネルギーがかかる場合もあります。木材資源が全く枯渇の心配がないならば、リサイクルなどせずに新材を使用した方が製造エネルギー的には有利になることも考えられます。しかし、原材料の選択性の広いパーティクルボードなどへの利用は資源の有効利用と木材中に固定化された炭素をそのまま保存することで、焼却による大気中への二酸化炭素の放出をなるべく抑える、あるいは遅延させるという地球環境保全面から評価されます。改めていうまでもありませんが、カスケードの最終段階とい

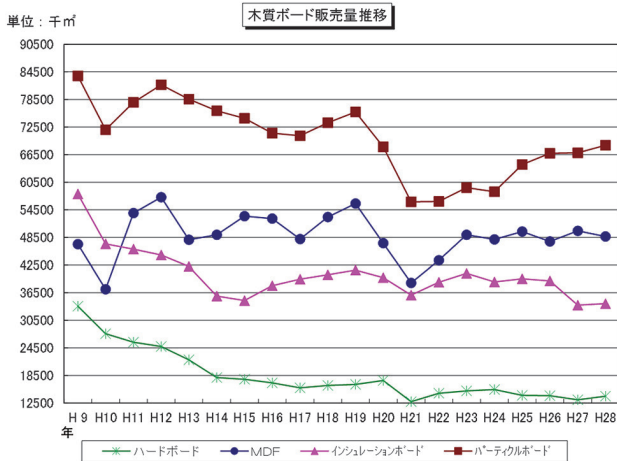
える熱利用は基本中の基本といえます。

我が国の現状は、有り余る資源を前提にした「大量生産、大量消費、大量廃棄」という利便性と経済的な効率至上の呪縛が解けていないといえます。都市は資源が大量にストックされている場所であり、改めて都市の資源、エネルギー問題、すなわち資源循環型社会の形成として取り上げる時期であると思われます。

5 資源循環型社会を回す仕組み

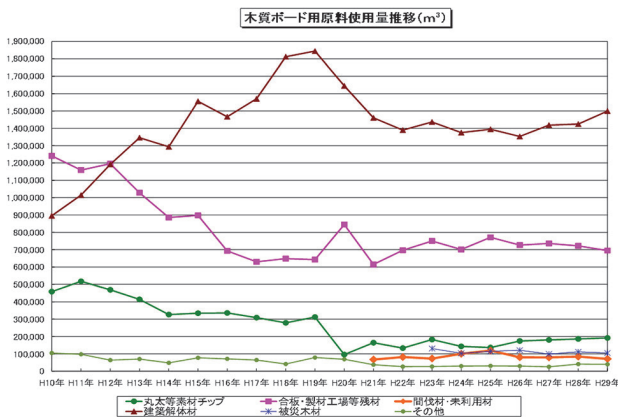
「ものを大切にしよう、リサイクルに協力しよう、ごみを減らそう」がごく当たり前のこととしていわれています。限られた資源と環境保全のために循環型社会形成が必要だと、ほとんどの人々が思っています。しかしながら、素直な形で一般庶民に受け止められて、実行に移されているかどうかはいささか疑問です。木造住宅の解体に伴う廃棄物問題に関わる野焼きや不法投棄は減少してきたようですが、そこには良心的な業者の使命感、モラルによって支えられているともいわれています。

しかしながら、不法投棄は現在の仕組みでは考えようによっては生じがちといえます。解体処理を請け負ったものにとって適切な処理に経費がかかり、処理しない方が儲かるならば、不法投棄に回る可能性がないとはいえません。使命感、モラルが期待できそうもない、あるいは「やめた」といって投げ出されたとき、野焼きや不法投棄が溢れるということも考えられます。それを防ぐには管理下のもとで誰かがやってくれるという楽観に落ち着きがちです。そのつけは居住者や市町村の行政、すなわち



出典：日本繊維板工業会、2017年

図 4-4 木質ボード類の販売量の推移



出典：図 4-4 に同じ

図 4-5 木質ボードの原料使用量の推移

税金に回るといことになりましょう。そのような状況下において資源化は生じにくく、廃棄物処理という範疇で、相変わらず不法投棄の危惧は拭い切れません。不法投棄を防ぎ、リサイクル資源として使用することを最大の課題とするならば、さし当りできることは、一見乱暴ですが、廃棄物を資源として買い取ることです。買い取るための資金はどこにあるといわれるかもしれませんが、新材購入時に処理費と資源費を

前以って納めておく一種のデポジット制が考えられます。処理費は前もっていただいているので処理するだけのことです。資源になるものは資源費で買い取る、資源にならないものは前もって納める処理費は高く設定されるはずです。この仕組みの中では横着者で（あるいは大金持ち）、資源になるものを捨てる人があっても拾ってくれる人がいるはずです。資源が不足していた戦後はこれに近い状態でした。

最終処理費の高くなるものほど新規購入する価格が高くなるはずで、ライフサイクルアセスメント（LCA）に準じた負担ということならば当たり前です。これに対する反論は「高くなればものが売れなくなる」「買い取った後どうするのだ」「誰が買い取るのだ」などです。しかしながら、ただ単にやらないという議論は要するに、視点が無いのと同じです。資源をゴミとして扱い、ゴミは金を出せば引き取ってもらえるというのは、最近の我が国では当たり前かもしれません。

しかしながら、「建設リサイクル法」で定めた品目は資源として認めたものであって、「リサイクルの推進」という資源としての位置づけをしたはずで、資源であるとすれば、タダで資源をもらえる（ときには資金付きで）というのは論理的におかしいといえます。リサイクル運動の合言葉である「分ければ資源、分けなければゴミ」といわれていますが、資源にお金を払わないという現状の仕組みはもののない時代をみてきたものにとっては、外国人から

いわれた「もったいない」に反応する現実にとまどいを感じます。消費税分の値上げは簡単だが、デポジットすらできないという構造はまことに不思議です。「資源がない国」と一方ではいっているが、資源をゴミと見なす現実には大きな危惧にさらされているといえます。資源は価格の高い所に流れるはずで、ペットボトルや古紙が海外に流れ出て、リサイクル施設の稼働に支障をきたす危惧は、現在の仕組みから考えて不思議ではありません。

建設資材にデポジット的な扱いをしてはという話題の中で、その使用後のタイムラグの大きさの違いから、短期間の古紙などと異なるように受け取られがちです。しかしながら、資源としてのボリュームの大きさ、最終処分や焼却、あるいはリサイクル資材への原料としての位置など、今後の資源保持、環境保全など仕組みとしてきわめて重要です。木材に関するならば、地球温暖化防止における炭素ストックにも関連しているだけに、ハード、ソフト併せた仕組みを検討しなければならないと思われます。資源は資金のある方に移動しますが、ゴミはタダの方に移動します。いうまでもなく、循環型社会はモラルによって支えられています。しかし、モラルを持っている人が多くの負担を少なくする仕組みを創らないと、いつまでも正直ものが馬鹿をみる白けた状態になるといえます。

これらの課題とは事情が違いますが、最近の自然災害でみられる大量の解体資材の処理が復興対策に大きな影響があるといわれています。

6 都市の資源問題 —木質資源再利用と耐用性

木材関連産業は炭素ストックする業ということを書きましたが、木造建築物などの製品は「都市の森林」と位置付けられます。「生命活動がないのに森林とは何事か」とお叱りを受けるかもしれませんが、炭素ストックという面から考えると1つの考え方で、千年を超えている文化財クラスの建築物は千年余の森林と同じような状態であるとみなせます。言葉をかえれば、成長量と伐採量の関係から、50年生の森林から伐採してきた地に新たに植栽をしても元の状態に戻るには50年を要することになります。したがって、伐採後50年はストックしないと、伐採された森林はもとの状態（すなわち50年生の森林）に戻らないことになります。そのような考えのもとで、住宅の寿命を考える人もいます。

カスケード型利用の中にあっても、その製品の耐用年数の長さは、森林における成長に要する時間と森林面積の確保にゆとりを与えることになります。リユースやリサイクルは、木材としての耐用年数を延長しているといえます。前述しましたHWP（伐採木材）の扱いにみられる平均寿命が示されていることは、今後のリユースやリサイクルといった都市の資源問題の推進にどのように反映させるか注目したいものです。

7 木材カスケード利用の代表 —木質ボード

近年の木材利用の変化は、廃材や残材も

木質材料の主要原料になるとともに、エネルギー資材になっています。エネルギー利用の推進力になっているのが木材乾燥です。製材業でも木材乾燥を導入したところでは、大きく変化してきました。乾燥のエネルギー源となっているのが樹皮、鋸くず、端材などです。合板工場の単板からの端材、残材や端材が、製造工程に使用する燃料源として使用されています。木質ボードや紙パルプは、小径木や工場残材、解体材などが原料そして燃料として再生利用されている代表です。

木質ボードの原料であるチップには小径木などの未利用材のほか、製材工場や木材加工業から端材や残材、パレットや建築解体材、都市樹木からの剪定材などありますが、集荷が重要な要素であることは明らかです。

図4-4は我が国の木質ボード類の生産量の推移、図4-5は木質ボード類の原料到達の動きを示したものです。都市から得られる資源を利用している現実があります。

都市部においては解体、廃棄物問題に関わるのが少なくありませんが、地域によっても資源となるか産業廃棄物になるかが定まります。例えば、地域内に畜産業があれば敷料になり、さらにそこに農業があれば有機肥料として移動し、典型的なカスケード利用といえます。林業・木材産業の成長産業化が地方創生に期待されている昨今ですが、地域内の関連産業における連携は基本的な課題であるといえそうです。林地残材などの未利用木材をエネルギー原料として単独で運用するには、木材中の水分除去に多くのエネルギーを要することを考

えればかなり無理があることは明らかです。したがって、木材関連産業や地域の基幹産業とのどのような組み合わせがありうるかが課題であると思われます。

8 再生可能資源としての バイオマスエネルギー

地球温暖化防止対策におけるバイオマスエネルギー利用が大きな動きの様相を示しています。その最大のよりどころにしている歌い文句は「バイオマスエネルギーは二酸化炭素放出ゼロ」です。木材などのバイオマスは大気中の二酸化炭素を太陽エネルギーで変換した資源で、燃焼しても二酸化炭素の振り出しに戻るから炭素収支からゼロである（いわゆる「カーボンニュートラル」）という理由が時々見受けられます。しかしながら、それは誤解を招く表現、認識です。なぜならば、化石燃料とて大昔の太陽エネルギーによって生活していた動植物からできた資源であり、収支の時間軸が異なるだけで振り出しに戻っただけであるからです。改めていうまでもなく、バイオマスは含有水分や装置などの熱効率から比較すると、化石燃料から排出される二酸化炭素の2倍以上になることもあります（木材中の炭素は半分なので、単位重量あたりの熱量は石炭の半分程度）。にもかかわらず、化石燃料が二酸化炭素放出として扱われ、バイオマス燃料が放出ゼロというのは理由があるはずで、以下の2つの取り扱いを根拠にしていると思われます。

1つは、バイオマスが比較的短期間に太陽エネルギーによる再生可能な（Renewable）資源であることです。言葉をかえれ

ば、再生産ができなければ二酸化炭素放出ゼロを担保できないといえます。もちろん、原野で人手を必要としない再生可能な草木などもバイオマスと考えられなくもありませんが、再生産が保証されないならば基本的に化石資源と同じです。前報でも述べましたが、一般的には「伐採したら、植える」と考えがちです。それだけでは狭義の再生可能は満たすが、大気中の二酸化炭素のバランスはとれません。国やある地域でのバランスとなると、対象となる森林全体の伐採量と成長量がバランスしていなければならないからです。極めて単純な例を挙げれば、50年生の森林から伐採利用する場合には、毎年伐採する面積の50年分の森林面積が確保されねばなりません。成長に要する時間が、植栽面積に置き換わることでバランスがとれるということです。放出される二酸化炭素と樹木の成長によって大気中の二酸化炭素を吸収してバランスをとることですが、燃料の場合、伐採後すぐに二酸化炭素になります。建築物や家具などは廃棄されるまで炭素ストックがなされ、成長しない森林のような存在として位置づけられます。耐用年数は二酸化炭素放出までの時間稼ぎで、伐採した森林に時間的な猶予あるいは再生可能を担保する必要面積を減らすことに関係してきます。先に述べたHWP（伐採木材）の扱いで示された使われ方による平均寿命年数の設定は、それらを配慮した1つの指標を示しているといえます。

もう1つは、「京都議定書」

第一約束期間の森林で伐採した木材の二酸化炭素としての扱いにあります。木材は、伐採した時点で二酸化炭素となっています。すなわち、伐採は森林が負担しているもので、その後の木材燃焼による二酸化炭素の放出に関して負担する必要がないということです。

このように、バイオマスエネルギーの利用については「カーボンニュートラル」を担保する再生産と、「京都議定書」の第一約束期間での森林伐採の木材の扱いを根拠にしてエネルギー分野からやや安直に取り扱われ、森林の再生産への担保が軽い傾向が感じられます。

とくに算出されている森林の賦存量を過大に評価し、個別散在的な集荷の困難さから実際には遙かに下回る原料確保しかできない可能性が予想されます。バイオマスエネルギー発電はその使用する資源量がきわめて大きいので、資源獲得競争になったときボード原料など焼却以外の利用への原料不足、価格競合をもたらすことも指摘されています。解体材など異物、不純物の混入する原料を使いこなせる技術は重要ですが、バイオマスのかけ声のいいところ取りの

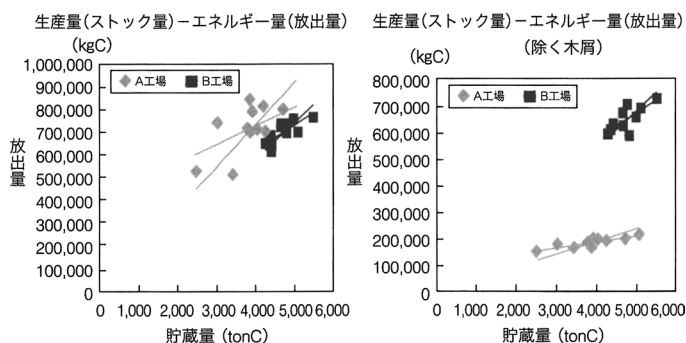


図 4-6 木質ボードの生産量と投入エネルギー量⁽¹⁾

仕組みが稼働すると木材関連産業の原料取得の根底が崩れ、資源循環が危うくなるおそれもあります。

図4-6は、2つの木質ボード工場の生産量（炭素ストックに相当）とそこで要した全エネルギー（炭素換算）の関係を示したものです。A工場は、エネルギー源として木質燃料を一部用いています。B工場は、主として化石燃料を使用しています。左の図は化石燃料、木質燃料による全エネルギーを算出していますが、右の図は木質燃料を二酸化炭素排出ゼロとして表示したものです。木質燃料の扱いで大きな差異が生じることが認められます。

ちなみに、わが国のエネルギー消費に伴う二酸化炭素は炭素換算で約3.5億t／年ですが、わが国の森林で蓄積されている炭素は約10億tCです。化石燃料が入ってこない状況が生じたら、この森林蓄積の木材にエネルギーを頼るしかありません。それは約3年でわが国の森林は丸裸になることを意味します。多量のエネルギー使用の削減が最大の命題であり、安直にバイオマスエネルギーに期待するのではなく、都市の資源である解体材などの積極的利用、バイオマスエネルギーを無駄にしない仕組み、森林における再生可能を強調する必要があります。

ところで、木質燃料というと薪を想像

し、木材であるから容易に燃えると思っている人が少なくありません。しかしながら、木材の燃焼現象を知らずして大量の木材を扱うことは極めて危険です。木材量の確保も重要ですが、燃料となるには水分を離脱させるために多くのエネルギーを必要とします。水分を飛ばすために他の燃料を使うなど、いささか疑問です。燃焼炉内には酸素の供給状況や温度分布によって複雑なガス、燃焼現象が生じますので、燃焼炉の構造や制御に慎重な配慮が必要です。過去に木材関連産業で爆発、火災などの事故を多く経験していることを心すべきであり、施設、管理を含めて十分留意する必要があります。また、燃焼灰が廃棄物になるか資源になるか、経営上の大きな課題でもあります。

注

- (1) 有馬孝禮（2009）『なぜ、いま木の建築なのか』、学芸出版社
- (2) 有馬孝禮（2003）『木材の住科学』、東京大学出版会
- (3) 有馬孝禮（1994）『エコマテリアルとしての木材—都市にもう一つの森林を—』、全日本建築士会
- (4) 有馬孝禮（2002）『循環型社会と木材—都市にもう一つの森林を—』、全日本建築士会

（有馬 孝禮）

第5章 木材利用の特徴と利点

1 木造建築物の特徴

本章では、木材利用の現場において木はどういった特性をもっているのか、他の材料とどのように異なるのか、そういった特性は何に由来するのか、等々を説明します。まず、本節では木材の主要な用途である住宅など建造物について木材利用の特徴と利点を取り上げます。

(1) なぜ木材が注目されるようになったか

最近では、建築家や技術者が、環境負荷を下げることや持続的な社会の構築を意識し、人へのやさしさや自然との調和を象徴するような建造物をデザインするようになってきました。そのため、木材が住宅ばかりでなく、事務所、店舗、宿泊施設、学校、保育園、病院、工場、文化・スポーツ・展示の施設やホール、あるいは橋や道路の付帯施設等の様々な建造物に使用されるようになっていきます。

その大きな理由は、大気中の二酸化炭素を固定した木材を使用した建造物が、大量の炭素を長期にわたり固定することから、地球環境の保全に大きく貢献することが理解されるようになってきたからです。

規格化された製材、あるいは集成材等の木質材料を使用した木造建築物は、自由度の高い柔軟な設計が可能で景観性に富んでいるため、住宅以外にも多目的の建造物に

適しています。建築材料としての木材は、環境面だけでなく、重量に対しての高い強度や適度な弾性、加工のしやすさ、低い熱伝導率等のすぐれた熱的性質をはじめ多くの適切な性質があります。また、様々な特徴を有する樹種や材種、製品を選択することによって多くの用途に用いることができます。さらに、製材や木質材料は、他の材料との複合や加工によって、熱的性質、防音性能、湿度調整性能、耐火性能、防腐性能等をさらに改善することができます。

ヨーロッパでは、木造建築物の特徴を次のように紹介しています⁽¹⁾。

「木造建築物は、将来の省エネルギー建築物の1つです。木材は、持続可能かつカーボンニュートラルであり、高断熱性を有し、優れた居住性を作り出します。とくに、重要なことは、エネルギー使用を削減できることです。木造建築物は、他の構法



写真 5-1 大阪木材仲買会館（木のぬくもりに会えるオフィスビルとして平成25年に竣工）

より厚さの薄い壁でも高い断熱性を有します。木製の外壁は、レンガやコンクリートの外壁に比べて、半分の厚さで2倍の断熱性があります。エネルギー効率の高い建築物の重要性が求められていることから、木造建築物は将来にわたりその役割が益々重要となっています。」

(2) 建築構法の柔軟性

木造建築物は、現場における建物の向き、階数、部屋の数、内装のデザイン、外観等を簡単に変化させることができます。現在の木造住宅には、様々な構法によって空間がデザインされるとともに、柱や壁の配置や柱と梁の組み方にも工夫が凝らされています⁽²⁾。木造建築のデザインに高い自由度があることは、最近増えている集合住宅や会館等の事例にみることができます。



写真 5-2 大船渡市森林総合利用施設の宿泊棟⁽³⁾
(傾斜地に建てられている)

外装は、土やモルタルの塗り壁、木材、窯業系サイディング、金属サイディング、ALC（軽量気泡コンクリート）、タイル等が選択でき、屋根は、粘土瓦、スレート瓦、セメント瓦、塗装鋼板等を選択できます。

(3) 軽くて強い性能

比較的軽軟とされるスギの場合、重量当たりの強さを比較すると、引っ張り強さで鋼鉄の4～5倍、圧縮強さで約2倍もあります。このように木材は軽くて強い材料であるといえます。木材が軽くて強いのは空隙を持つ細胞からなる組織構造で構成されているためですが、方向によって強さが異なる異方性は木材特有の性質です。

建築材料としての施工や加工には軽い、軟らかいが重要であり、地震に対して、あるいは地盤の軟らかいところでは建物自身の重量が問題ですが、木造の構造躯体は軽い分だけ有利になります⁽⁵⁾。また、ドームの建設では材料が自分の重さをどこまで支えられるかが重要なポイントで、重さの

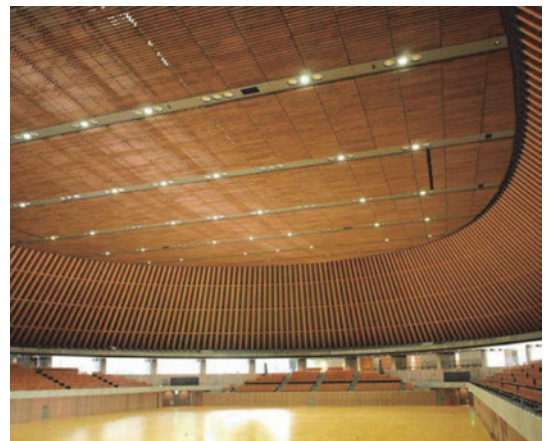


写真 5-3 草薙総合運動場体育館「このはなアリーナ」⁽⁴⁾

わりに強い木材はメリットがあります⁽²⁾。

ただ、樹木の幹から得られる木材は、太さ・長さに限界があります。大きな建物を作るときには接合を工夫したり、部材を合わせて大きく集成します。大型建築物はこういった技術で可能になりましたが、現在さらに CLT（直交集成板）を利用した中高層建物の建築が進められています。

(4) 切削加工性

木材は材質が比較的軽く軟らかいため、ノコ（切る）、ノミ（穴をあける）、カンナ（削る）といった簡易な道具さえあれば、人力だけで容易に切削加工することができます。また、加工に要するエネルギーも少ないという特長を有しています⁽⁶⁾。

わが国の古い寺社建築では加工しやすいヒノキやスギが主体であり、ノコの発達によってケヤキなどの硬い木材も使われてきたことも木材の加工特性を示しています。最近の木造軸組住宅では加工機械によって

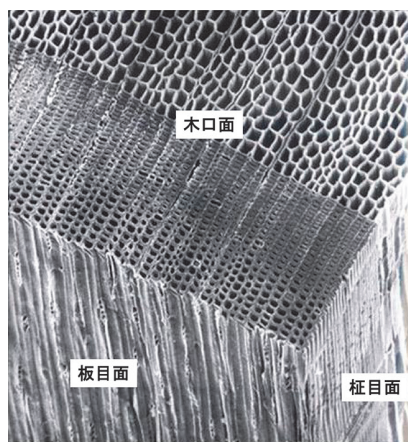


写真 5-4 木材組織の走査型電子顕微鏡写真（スギの木口面、板目面、柱目面、パイプ状の繊維が束になった構造が軽くて強い性質や断熱性、吸音性等を発揮する。提供：佐伯浩京都大学名誉教授（故人））

柱や梁の継手や仕口が効率的にプレカットされ、加工歩留まりや精度だけでなく、住宅の生産性も向上しています。

また、木材は現場施工性のきわめて良い材料ですから、建物の維持管理や増改築の際にも有利になります。

(5) 耐火性能

プラスチック等の他材料と異なり、木材は、火災においては表面に炭化層を形成して内部を守るので、断面の大きな柱や厚い壁は燃え尽きずそのまま荷重に耐えるといわれています。また、防火薬剤で処理した木材は、火炎や燃焼ガスの広がりを阻止します。

防耐火基準と建築基準に従っていれば、木材は建築資材として信頼できる材料です。燃えても長時間安定し、速度が遅く均一速度で燃焼するので、建築物の設計が比較的容易にできます。従って、耐荷重性や限界点の予測が可能となり、状況によっては消防士等が人命救助や消火のために建物



写真 5-5 木造4階建ての京都木材会館（2時間耐火の木質耐火部材を使用した建物）⁽⁷⁾

内に入ることもできます。つまり、木構造の燃え落ちは予測できることになり、鉄骨構造が温度上昇により突然安定性を失って崩れること等とは大きく異なります。このような面から、木造住宅は、優れているといえます。

(6) 耐久性

わが国の寺社などの古い伝統建築物を数100年、いや1000年以上にわたって支えてきたのは、木材の驚異的な耐久性であるといえます。通常の住宅に用いられている木材についても、正しい設計と取扱に基づいて使用すれば、長期にわたって性能を維持することが可能です。

構造用の木材は、一定レベルの含水率に調整されていれば、住宅内部で使用する場合は狂いや変形もほとんどありません。ただ長期にわたる使用で注意が必要な因子

は、腐朽を阻止するための湿度や水分の管理です。また、わが国ではシロアリの被害に対する配慮も必要です。長期の耐用住宅を目標にする場合には、劣化を低減させる上で必要な項目が、外壁の軸組や土台、地盤に対する措置として規定されています。

腐れや虫害に対する木材（あくまでも心材についてですが）の抵抗性は、過去の実験データや経験をもとに分類されていますが、製材JASの耐久性区分では、ヒバ、ヒノキ、スギ、カラマツなどが劣化の少ないD1樹種に規定されています。耐久性に乏しい木材に対しては、木材に薬剤を加圧注入する処理が特に有効な方法で、通常、無処理の木材の辺材を野外で土中に埋めると、数年で使用に耐えられなくなる一方、保存薬剤を注入した木材ではこういった厳しい環境でも、10年以上は優にその耐用が示されています。

外壁では雨水の影響を防ぐため、屋根のオーバーハングを大きく設けることや、地面と材料の間隔を十分とること等が重要です。また、寿命を延ばすためには、塗装や保護処理等を行うことが望ましいといわれています。

(7) リフォーム（改裝）への適応性

住宅は、住人が変わることによって好みが変わったり、年齢等により生活様式が変化したりするので、それらに応じて改裝が必要になりますが、木造住宅では、軽量であることや構造が規格化されていることが多いことから、部材の取り換え、建て増し、壁の撤去等を簡単に実施できる特徴があります。また、木造では、建て増し等に要する



写真 5-6 基礎が高く軒の出が大きい建築物⁽⁸⁾



写真 5-7 仁和寺金堂（京都御所の紫宸殿を寛永年間に移築）



写真 5-8 ベルサイユ宮殿の離宮（プチ・トリアノン）にある「王妃の村里」の木造住居「王妃の家」の一部（1787年竣工、修復後に2006年から公開されている）

時間が短くて済むこと等のほか、部材が軽いことからアクセスが厳しい現場でも容易に届けることができる利点や、窓、ドア等の建具等も工場で予め作製して提供できるメリットもあります。

改装による断熱性や湿度調整の向上は、居住性を良くしますが、比較的低コストで長い耐久性が得られ、コスト効果を生み出します。

ところで、わが国には歴史的に貴重な文化財建築物が数多くあり、そのほとんどは木造建築ですが、その中には京都仁和寺の金堂のように移築・改造された建物もあります。伝統建築が木組によって接合されていることが多いことを考慮しても、木造建築が解体・再組立が容易なことは明らかです。

(8) 古い建築物の改修と解体

木材や木質材料は、古い建築物の改修や解体でも多くの利点を持っています。わが国が誇る千年を超す伝統的な木造建築物は劣化を起こさないような設計、材料、施工

と並んで、適切な維持管理が行われてきたことがよく指摘されます。通常の住宅においても、資源とエネルギー、地球環境の保全の大切さを思うと、耐用年数の増加が大切であり、改修や維持管理を適切に実施することが重要です⁽⁵⁾。

また、木造住宅の解体で排出された木材が簡単に利用できることも重要なポイントです。木材の再利用やリサイクルなどのカスケード利用については、前章の「循環型資源としての木材のカスケード利用」で詳しく述べられています。また、部材は金属部材等に比べて軽量ですから一般的に移動するための大型重機も必要ではありません。

(9) 木造住宅の資産価値と寿命

木造住宅は、建設経費と住まいの維持経費が安価で、長期にわたるランニングコストや維持費も安価です。

ライプツィヒ大学の鉄骨および木造建築部門が行った2002年の研究では、専門家

が設計して建てられた木造住宅は他の構法より少なくとも健全な投資であるとしています⁽¹⁾。

また、ヨーロッパでは、木造住宅の平均寿命は、80年から100年の間とされているようですが、125年の寿命を保証しているビルダーもいるとのこと。実際に何世紀も経ている木造住宅や中世のものが現存している例もあります。

わが国でも同様な古い木造住宅が現存しますが、最近の木造住宅の寿命を30年程度に設定しているのは、投資効果の面からも短いかもしれません。

なお、構造躯体の耐用年数100年以上を目標とした長期優良住宅は、構造の腐食、腐朽及び摩損の防止や地震に対する安全性の確保、住宅の利用状況の変化に対応した構造及び設備の変更を容易にするための措置、維持保全を容易にするための措置等を講じることや、高齢者の利用上の利便性及び安全性やエネルギー使用の効率性等が一定の基準を満たしている住宅とされています。



写真 5-9 佐倉順天堂記念館（1858年に建築された蘭医学の塾兼診療所、束柱の下に沓石が据えられている）

すが⁽⁹⁾、普及が望まれます。

また、木造住宅のメンテナンスは一般的に、他の構法より安価なことも特徴です。

(10) 地震への備え

地震が頻繁なわが国では、必然的に地震が起こることを前提に住まなければなりません。どのような建築物でも地震対策は避けられない、生命にかかわる重要課題です。自分の住んでいる家が大地震に耐え得る強度を備えているかどうかを知っていることが重要です。それを判断する簡単な方法の1つに「耐震基準」があります。

1981年6月1日を境にして、それまでの古い耐震基準から新耐震基準に変更され、これをクリアしている物件に建築確認済証の交付が行われるようになり、住宅の安全性が確保されるようになりました。



写真 5-10 厚物合板による耐力壁の施工の様子（提供：日本合板工業組合連合会、東京・東北合板工業組合）

しかしその後、1995年の阪神・淡路大震災で多くの木造住宅が倒壊した結果、2000年に木造建築物の耐震基準をより強固にする改正が行われました。その結果、木造住宅については、建築確認済証の交付日が2000年6月1日以降であれば、さらに安心となりました。具体的には、新築時の地盤調査が義務化されたほか、耐力壁をバランスよく配置することや筋交いや柱を留める金具の種類を明確化することなどが定められました。

長期優良住宅の認定基準⁽⁹⁾にも、「極めて稀に発生する地震に対し、継続利用のための改修の容易化を図るため、損傷のレベルの低減を図ること、大規模地震力に対する変形を一定以下に抑制する措置を講じることや、建築基準法レベルの1.25倍の大きな地震力に対して倒壊しないこと等」が定められています。

なお、周知のことと思いますが、これらの耐震基準に適合していない古い住宅や自分の住宅の耐震性に自信がない場合は、耐震診断を受け、補強工事を行う必要があります。

2 木材と一緒に住む

前節では、木材で建てられた住宅など建築物について、おもに設計や施工上の特性、木材を利用することの利点と弱点の克服、維持管理や修復のメリット等を取り上げました。

本節では、人と木材のかかわりに焦点を当て、木を使った住まいの住み心地と居住性能、都市において木と接する施設、土木の分野での利用、などについて述べてみま

す。

(1) 見た目の良さ

木材は、各種の建築構造材料の中で、建物を支える機械的な性能とそのままでの美観的な景観性を兼ね備えた材料であるといえます。そのため、伝統的な建築や住宅だけでなく、色々の建築物で木材は“現わし”で用いられてきました。

また、木材に対する人の情緒的な反応の多くは心理的にプラスであること、さらに、住宅だけでなくオフィス等でも内装に木材を利用すると利用者に好ましい印象を与えることも報告されています。このような木材や木質材料に対する好みや見た目の印象については、わが国だけでなく海外でも研究が行われています⁽¹⁰⁾。

(2) 遮音効果

外から室内に届く音は窓や隙間の開口部分から入ってくるので、構法間の大きな差はありません。遮音性の面からは、窓を二重窓やペアガラスにするのが有効です。ま



写真 5-11 断熱性と遮音性のある CLT を使用した室内（提供：日本 CLT 協会、(株)三東工業社、杉野圭氏撮影）

た、他の場所から伝わる固体伝搬音に対しては、木材は振動の減衰性が大きいという良い点をもっています。

一方、床衝撃音についてはどうでしょうか。普通の木造の2階床の重さはコンクリート造に比べると小さく、衝撃力の振動には不利です。最近では、木材と他材料とを複合した多層構造で遮音性能を備えた木造建築物の基準が設定され、要求に応じて木材の厚さを増やす等の多様な設計ができ、遮音効果を上げることが可能です。

また、木造住宅では吸音性の建具が使われ、床・壁・天井には面材料が貼られても吸音性に富み、残響時間が適度に短く静かな音空間になっています⁽²⁾。

(3) 断熱性

木材の細胞や組織構造がどんな他の建材より優れた自然の断熱性を有していることから、木造住宅には、冬は寒さを、夏は暑さを断熱する性能があります。断熱性が高く、かつ、熱容量が大きければ、住まいの温度調節には都合が良いのですが、相反するこの両方の特性を程よく備えた材料が木材であるといえます⁽²⁾。

最近の住宅は季節を問わず、住みやすい室内気候を実現するために冷暖房設備を備え、人工的に気候調節を行うことが多くなっています。このような場合には、温度調節の効果を高め、使用エネルギーの節減を図るために外壁などに熱伝導率の小さい断熱材を用い、気密性を高める方向にあります。

また、人工的に温度調節する住宅の温熱環境は、建物の気密性と熱容量に依存しま

すので、軽い材料で出来ている木造は熱容量がそれ程大きくないため、温度の上下に対しては省エネになります。標準的な構法で建てられた木造住宅は、断熱性の面からも住みやすい住宅にすることができます。また、効率の良いエネルギーの暖房システムは、ランニングコストを大幅に削減することができ、心地よい快適性が安価で得られます。

(4) 木製窓枠

最近では、メンテナンス間隔が長く耐久性に優れた木材窓枠が開発され、多様なデザインに合わせて彩色されたものも使用されています。窓枠にアルミなどの金属を利用した窓には結露する短所がありますが、木製窓枠では結露を防ぐことができます。

(5) 吸放湿性

親水性素材であり、また空隙を持つ構造であることにより、木材は吸水性、吸放湿性の高い材料です。このことは結露を防止するとともに、内装に用いた木材が室内空



写真 5-12 木製窓枠をたくさん使った住宅（提供：（一社）日本木製サッシ工業会）

間に調湿機能を与え、建築材料としてすぐれた性能を発揮するといえます。一方で、吸放湿によって含水率が変わり、それに伴い寸法が変化することは注意しなければなりません⁽¹¹⁾。

(6) 内装材料

床材には歩き心地の快適性ととも、安全な適度のすべりやすさが求められます。木には細かい凸凹と水を吸収する性質があり、木の床を歩くと足になじんで快適な歩き心地が得られます。また、床の適度な



写真 5-13 京都大学木質ホールの木質床材（平成6年竣工、化学加工と塗装を施し、土足歩行ながら現在も美観を保っている）



写真 5-14 木材を外装に使用して意匠性を高めた住宅（提供：越井木材工業(株)）

たさも重要で、根太に木の床板を張った床では歩行時の衝撃力を和らげてくれます。一方、直張りに使用される木製床材では、弾力性のある材料と複合化させて快適な歩行感を得ています⁽²⁾。

また、木材は温かみのある材料といわれますが、人がある材料に触れた時の温冷感、接触部での熱流量や温度変化の速度に影響され、木材の場合この値が小さいことが温かみに影響しているといわれています⁽¹²⁾。

ところで、木材に光が当たると、表面とその近辺で光の一部は反射し、残りは透過しようしますが、緑から紫外領域の光が最もよく吸収されます。従って、木材の色の範囲は色相でいえば吸収されない赤から黄色までの範囲にありますが、樹種特有の色調や光沢、材中の色素の分布によって独特の模様を示します⁽¹¹⁾。また、細胞と組織構造による微小な凸凹が光を散乱し、まぶしさを減らし、適度な光沢を与えます。

木質床については、表面の硬化技術や寸法安定性、さらには施工方式の機能化が進み、住宅だけでなく店舗や集会施設などでの利用も進んできています。

(7) 外装材料

アメリカやヨーロッパの外装材料にはクラディングと呼ばれる製材した板を貼り、塗装などの表面処理を施すことが多く、新しい建築物ばかりでなく、古い住宅の場合でも保守や補修を考慮した技術が確立しています。

一方、わが国の住宅の外装材料は地域や時代、タイプによってきわめて多岐にわ



写真 5-15 東、南、西の3面にソーラーパネルを備えた住宅

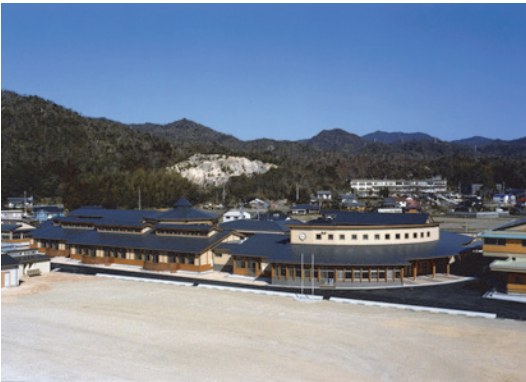


写真 5-16 防府市立小野小学校（平成 16 年竣工、提供：山佐木材(株)）



写真 5-17 雲仙市恵燈保育園の内観（平成 27 年竣工、提供：山佐木材(株)）

たっています。防火規制の上から窯業系サイディングやモルタル仕上げが多いですが、不燃材料の上に木材仕上げも可能で、建物の保護の目的だけでなく、最近は景観や街並みの視点からも注目されています。

木材も日焼けを起こします。太陽光に当たると表面の変色は短期間で生じますが、初期の段階では濃色の材は明色化し、淡色の材は暗色化しますが、その後は一般的に薄い灰色になります。また、長い間雨水にかかると古いお寺の濡縁のように、表面が洗い出したように粗くなります。

風雨に曝されるエクステリア材料では塗装が有力な手段で、一般的には、顔料の多いものほど、色の濃いものほど耐候性がすぐれています。ただ、日本人にとって木目基調の白木塗装が好まれるということで課題もあります。最も大切なのはメンテナンスであり、一度塗ったら放っておくのではなく、診断と保守を忘れてはいけません。早め早めの塗り替えが結果的に耐候性を向上させることになります。

(8) 住宅に付随する技術

木造住宅は、最も経済的でかつ環境にやさしいばかりでなく、空調設備、熱回収装置、ソーラーパネル（太陽光発電設備）、スプリンクラーや、断熱性に優れた二重窓枠等の多くの近代的なシステムを装備することができます。

(9) 木造校舎

あたたかみのある木造の学校を見直そうという気運と、優れた構造・デザイン・居住性が注目されて、木造校舎の建設が進め

られています。重たい鉄筋コンクリート校舎では場所による温度ムラが大きいですですが、木造校舎は快適です。

また、建物としての性能だけでなく、情操教育の面でも効果があるといわれ、机や椅子にも木を使おうという動きも活発です⁽²⁾。

(10) 都市の屋外空間での利用

都市の屋外空間に木材を利用するメリッ



写真 5-18 中之島フェスティバルタワーのデッキ（平成 24 年竣工、樹脂含浸した LVL に塗装）



写真 5-19 港区麻布図書館のルーバー（平成 26 年竣工、熱処理したスギ材に塗装）



写真 5-20 正田醤油スタジアムの観覧席ベンチ（前橋市、平成 18 年設置、木材保存剤を加圧注入処理し塗装、提供：佐々木木材防腐(株)）

トは、そこに住む人々が自然に森林や木材と接する機会を増やし、木の安らぎを与えるとともに、吸熱・放熱が少ないことから都市部でのヒートアイランド現象の抑制に効果的であることがあげられます⁽¹³⁾。

このような点から、ウッドデッキを設置した屋上木化、あるいはルーバーや庇などの外装として木材の利用が積極的に進められています。

さらに、公園やバス停、スタジアムなどに設置するベンチ・椅子・テーブルは、木材を利用することによって、快適で心豊かな都市の屋外空間を形成することができます。また、高齢化をキーワードに、接触温冷感のやさしい木材を素材とした屋外用手すりなども開発されています⁽¹³⁾。

(11) 土木分野での木材利用

土木においても自然環境と生態系に十分に配慮し、省資源・省エネルギーで廃棄物の少ない循環型社会を構築し、地球温暖化対策を推進すべきであるとの認識が高ま



写真 5-21 木杭による液状化対策の施工（提供：沼田淳紀氏、飛鳥建設(株)）



写真 5-22 屋根付木造橋「御幸橋」（高知県梼原町、平成 14 年竣工、提供：渡辺浩氏、福岡大学木橋資料館）



写真 5-23 木製校倉式ダム工（由利本荘市、平成 25 年設置、提供：佐々木貴信氏、秋田県立大学）

り、木材の土木利用の拡大に向けた取組みが進められています。

その 1 つが、常時の沈下変形が問題となる軟弱粘性土地の地盤対策としての、あるいは緩い砂地盤での液状化対策としての、コンクリートや鋼材に代えての木杭丸太の土中打設です。木の地中杭では、丸太のままでの利用が可能で、材質のバラツキがある程度は許容できるという利点もあります。また、常時地下水に浸かっている部分は酸素不足から腐朽を免れることができ、長期にわたる炭素貯蔵という環境面でのアピール性も有しています。

一方、橋梁は交通面における重要な土木建造物ですが、木橋では耐久性の確保は重要な課題で、材料の保存処理の他、屋根を付けることで劣化を抑える工夫も行われています。また、最近、被災地の応急橋として現場で簡単に組み立てられる木造橋も注目されています。

さらに、木製の治山ダムは明治時代からあったものの、第二次大戦後はコンクリート製の普及で急速に減少しました。しかし、間伐材の利用推進やコンクリートから木材という流れもあり、再び木製が注目されています。同様な動きは、法面保護工、植生を安定させる筋工、防風・防雪柵、道路舗装材、等々の土木用途への木材利用の展開にもみられます。

注

- (1) CEI-Bois, Tackle Climate Change — Use Wood (2006)
- (2) (財) 林業科学技術振興所編 (2002) 『木の家づくり』、海青社

- (3) 森林・木質資源利用先端技術推進協議会が実施した平成12年度林野庁補助事業「地域異業種交流技術開発推進事業」において林知行氏（当時森林総合研究所）が撮影
- (4) 「平成26年度 森林・林業白書」に掲載の写真を複製
- (5) 有馬孝禮（2003）『木材の住科学—木造建築を考える』、東京大学出版会
- (6) 林知行（2004）『ウッドエンジニアリング入門—木の強さを生かす』、学芸出版社
- (7) 「平成27年度 森林・林業白書」の事例の写真を複製
- (8) 木構造振興(株)『科学的データーによる木材・木材建築物のQ & A』（平成29年）に

掲載の写真を複製

- (9) 長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準（平成20年国土交通省告示第209号）
- (10) （一社）日本木材学会編（2015）『「木の時代」は甦る 未来への道標』、講談社
- (11) 日本木材学会編（1993）『住まいと木材—居住環境を考える—』、海青社
- (12) （財）日本住宅・木材技術センター（2008）『木材と木造住宅Q & A108』
- (13) 日本木材防腐工業組合（2015）『屋外空間における木材利用ハンドブック』

（今村 祐嗣・富田 文一郎）



東日本大震災で流失した高田松原海岸公園（陸前高田市）の防潮堤と木橋（上）ならびに保安林（右）の風景（本頁注（3））



2011年の東日本大震災の津波によってこれらの保安林、防潮堤、木橋等のほぼ全てが流失した。現在、東日本大震災津波をはじめ、過去の震災・津波被害の事実と教訓を確実に次世代に継承していくため、高田松原津波復興祈念公園と名付けられ整備が進められている。

第6章 木材産業の概要

1 木材産業の貢献、規模、価値

(1) 社会への貢献

前章までに木材利用による地球環境保全への貢献について多面的に紹介されてきましたが、森林から生産される木材を我々の生活に役立てるためには、木材を様々な方法で加工しなければなりません。その役割を果たしているのが木材産業です。従って、木材産業は、直接には目に見えない形で地球環境に貢献しているといえます。

多くの製材所や木材加工工場は、森林地域やあまり工業化が進んでいない地域等に位置していることが多く、地域の活性化、雇用、経済等の面でも大きな貢献をしています。また、木材産業が様々な利用技術の開発や実用化をすることにより、国産材利用を推進して自給率を増やすことは、森林地域の活性化に大きく貢献します。

(2) 国内経済の牽引力

木材産業（木材・木製品製造業）と木材に関連する産業（家具・装備品製造業、木材建築工事業、パルプ・紙・紙加工製造業等）は、図6-1⁽¹⁾に示した通り、全体として2016年現在でおよそ60万人の従業者を有し、雇用と経済面で大きな貢献をしています。その内、木材産業には約11万人が働いています。なお、図6-1の外にも、建築関係には木材関連とは限定されていま

せんが、建築リフォーム工事業に約10万人、大工工事業に約6万人の従業者がいるとのことです⁽¹⁾。これらの中の多くの方々が、木材にも関係していると思われます。

木材産業を4大別した従業者数の内訳を図6-2に示しましたが⁽¹⁾、一般製材、チップ、単板製造等を含む「製材業・木製品製造業」と、合板（LVL等を含む）、集成材、繊維板、パーティクルボード等の木質材料全般と建築用組立材料製造（プレカット等）を含めた「造作材・合板・建築用組立材料製造業」がそれぞれ39%と43%と多

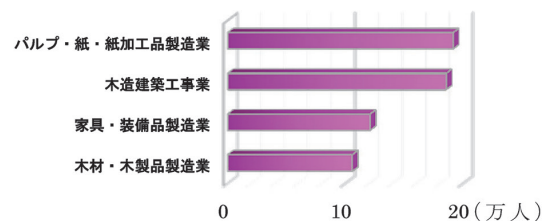


図 6-1 木材関連産業の従業者数（2016 年）

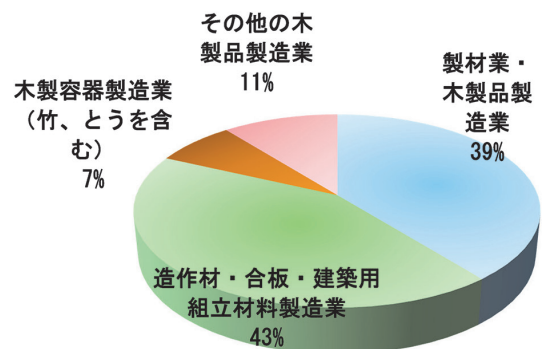


図 6-2 木材産業の分野別従業者数の割合（2016 年）

くなっています。

なお、「木製容器製造業」には、たる、おけ、かご、ざる、木箱等の伝統的製造業が、「その他の木製品製造業」には、木材防腐処理業（人工乾燥、薬品注入、耐火処理等を含む）、コルク製品製造業、他に分類されない木製品製造業（曲物、はし、割りばし、重箱等の伝統的な多くの業種）が含まれています。従業者数は合計で18%となりますが、伝統的な業種の寄与が目目されます。

(3) 多様な木材産業

木材産業には、多岐にわたる分野があり、製材工場、合板やボード類の製造工場、パネル等の設計と製造工場、建具やパレット等の製造工場等や、その他の多くの分野があります。また生産されている各種の木製品は、主に木材関係の二次製造業や家具産業等で利用されています。

(4) 木材産業の分野ごとにおける企業の団体

木材産業では、製造分野ごとに製品管理や情報共有のための組織があり、該当する企業や団体が参加しています。

例えば、国産材製材協会、全国LVL協会、全国天然木化粧合単板工業組合連合会、全国木材資源リサイクル協会連合会、全国木材チップ工業連合会、全国木造住宅機械プレカット協会、日本合板組合連合会、日本CLT協会、日本集成材工業組合、日本繊維板工業組合、日本木材複合・床材工業会、日本防腐工業会等や、都道府県の木材関係の組合等が参加している全国木材

組合連合会があります。

その他、木材加工や木材製品の生産に欠かせない木工機械等を提供する木材関連の組織として、日本木工機械工業会があります。また、木材や木材製品等の取引や売買をする組織として、全日本木材市場連盟、日本合板商業組合、全日本木工機械商業組合等や、木材の輸入に関する組織として、日本木材輸入協会等があります。

(5) 木材製品の出荷額の構成

木材産業の年間出荷額は、図6-3⁽¹⁾の通り2016年の実績で約2.7兆円ですが、造作材・合板・建築用組立材料製造業が60%、製材業・木製品製造業が31%を占め、合計すると91%に達します。これらの分野で生産される製品の種類と出荷額については、第3節で詳しく説明します。

(6) 木材産業には中小企業が多い

前述のように木材産業の年間出荷額は、約2.7兆円ですが、図6-4に示した通り家具産業（家具・装備品製造業）は2兆円程

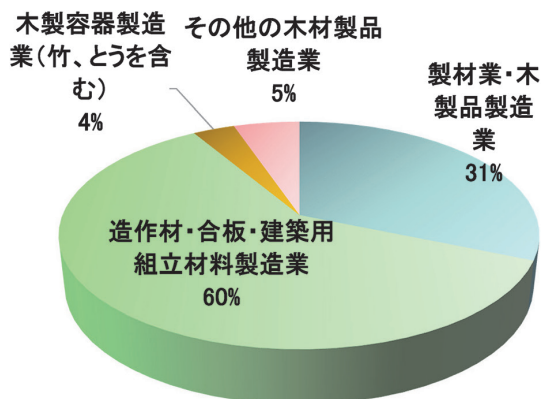


図 6-3 木材産業の年間出荷額の分野別割合（総出荷額 2.7 兆円、2016 年）

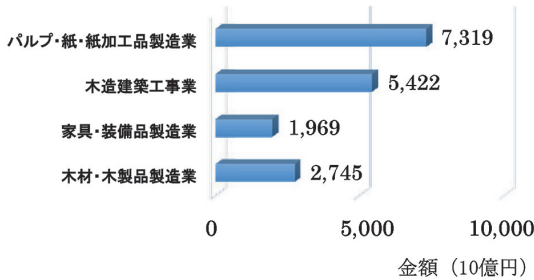
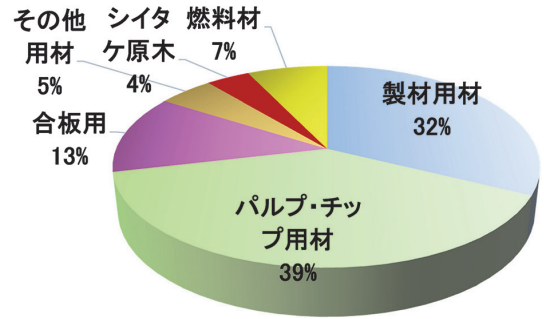


図 6-4 木材関連産業の年間出荷額 (2016 年)

図 6-5 木材需要量の用途内訳
(2016 年、総量 7,808 万 m³)

度とされており、合計すると 4.7 兆円となります。一方、事業所の規模をみると、木材産業では、大型の製材工場や木質材料製造工場等を除いて、中小企業が大部分を占めています。1 工場当たりの平均従業者数は 9 人程度で、家具産業と同じような状況ですが、森林地域や地域の社会と密接に関係して貢献しています。

2 木材に関連する産業分野の動向

(1) 木材関連産業の経済規模

木材産業分野の従業者数を図 6-1 に示しましたが、これらの分野の 2016 年における年間出荷額は図 6-4 のようになっています⁽¹⁾。木材産業およびその近縁の家具産業と木造建築工事業の合計額は、約 10 兆円と大きな規模に達しています。

木材を原料としているパルプ・紙関連産業では 7.3 兆円で、木材を利用している関連産業は全体として、非常に大きな規模となっています。また、同年の木材需要の内訳は、図 6-5 の通りですが、パルプ・チップ用材が 39% を占めていることも重要です⁽²⁾。わが国では、紙パルプ産業分野は木材産業とは別の産業として活動しており、各企業は日本製紙連合会や日本紙パル

プ協会等を集結して活動していますが、木材利用による気候変動の防止の面からは木材産業は連携して活動することが強く望まれます。

(2) 建築分野との関係

木材産業の動向や業績は、建築分野の動向に強く依存しています。木材産業は、常に内装材、構造材、さらには装飾・装備等のための材料をどのように建築分野に利用していくかを検討しています。そのことにより、木材産業は、建築分野に大きく貢献することを目指しています。

木造住宅には、在来構法（木造軸組構

写真 6-1 建築中の市営住宅（岩手県遠野市鶯崎 6 団地の二軒長屋）⁽³⁾

法)、木造枠組壁構法、木質パネル構法等があり、それぞれの構法ごとに特徴がありますが、木材産業は、これらの構法に応じた製材や木質材料を供給しています。

また、読者がよくご存じのプレハブ住宅（工業化住宅）と呼ばれている住宅が年間15万戸（2013年現在）ほど新築されています。この住宅は、可能な限り工場で部材を生産、加工、組立を行う方式で製造されますが、メーカーが設計・生産・施工・アフターサービスまで一貫した生産供給体制を確立しています。

都市部で注文が多いようですが、このよ

うな分野との連携も木材産業にとって重要となっています。

なお、わが国では、少子化や人口減少による新築住宅の減少が予測されていることから、リフォーム、メンテナンス等に使用されている木材や木質材料の利用方法等の開発にも取り組んでいます。2017年の新設住宅着工戸数は94万戸⁽⁵⁾ですが、今後は50万戸程度まで減少すると予想されています。一方、2008～2013年の中古住宅の取得件数は年間15～18万戸程度で、改築・リフォーム市場は約7兆円規模となっており、今後ともこのような傾向への対応が課題となっています。

新築住宅の減少から木材需要が減少し、それに伴って環境面での木材の貢献度も少なくなってしまうことが危惧されますが、そのような観点から住宅ばかりでなく、小中学校の校舎や市町村の施設等の公共建築物の構造体や内装に木材を使っていく政策が施行され、木材利用の促進が期待されています。また、最近では、新国立競技場を始めとした東京オリンピック・パラリンピック関連施設や大型の公共施設に木材が使用されるようになりました。



写真 6-2 住田町庁舎（岩手県気仙沼郡住田町・公共建築物における木材利用優良事例⁽⁴⁾）

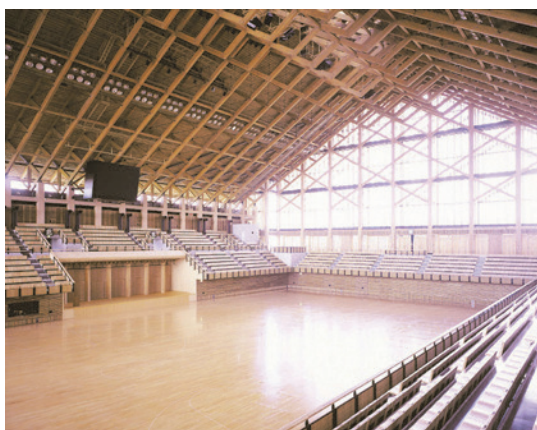


写真 6-3 愛媛県武道館主道場の内観（竣工2003年、提供：山佐木材(株)）



写真 6-4 木材が豊富に使用されているやさか保育園（群馬県伊勢崎市）の内観（提供：全国建具組合連合会、(株)サカモト）



写真 6-5 虎屋工房（静岡県御殿場市）の喫茶席（内装にスギをふんだんに使用。テーブル、椅子もシンプルな木製）

さらに、建築分野では、木構造の研究や防・耐火の研究なども進められています。このように、木材産業は木材の主な用途である建築分野と連携して、多面的に活動しています。

(3) 家具分野との関係

わが国の家具産業の規模は、木材産業とほぼ同じ程度の従業者数と出荷額を有し、重要な産業です。

世界の主な家具生産国は、米国、中国、イタリア、ドイツ、日本、カナダ、英国、フランス等で、この8カ国全体で30兆円以上の年間出荷額があります⁽⁶⁾。わが国はその内7%程度を生産し、そのほとんどを国内で消費しています。前記のEU4カ国が、世界の生産量の25%程度を占めると同時に、世界の輸出量のおよそ半分程度

を占めています。わが国では最近、EU各国と中国から高級なものや安価なものが多く輸入されるようになっていきます。

わが国では、伝統的に国内の広葉樹を利用した家具生産が発展してきましたが、近年、生産に適した広葉樹が少なくなり、輸入広葉樹等が利用されてきました。最近、国内のセンダン等の早生広葉樹の活用が注目されており、将来に向けて期待されます。また、スギ等の針葉樹材の他、合板やパーティクルボード等の木質材料を主体に利用することも行われ、デザイン等や装備家具等の技術開発も行われています。なお、家具分野と近縁の建具分野では、住宅や保育園等の建築物に組み込む室内の建具にスギ材を積極的に利用する例が多く見られるようになっていきます。

(4) 木材産業の発展に貢献した新技術

わが国の製材分野では、近年、2本の帯鋸で同時に切削が可能なツインバンドソーと呼ばれる大型製材機械をコンピューターで管理するシステムが、政府の補助制度等によって多くの製材工場に導入され、生産性が飛躍的に高くなりました。また、多くの製材工場に人工乾燥装置が普及して、スギ、ヒノキ、カラマツ等の国産針葉樹の柱、梁、板材等に使用されるようになり、寸法安定性や品質の良い製品が生産されるようになりました。

住宅関連分野では、製品の設計・製造ができるコンピューターと加工機を組み合わせたシステム（CAD／CAM）によるプレカット技術の利用が確立し、住宅施工に必要な部材の加工やアセンブリー（組立



写真 6-6 コンピュータ管理による大型製材機械（十和田湖町森林組合（現 上北森林組合木材加工センター）で撮影）⁽³⁾

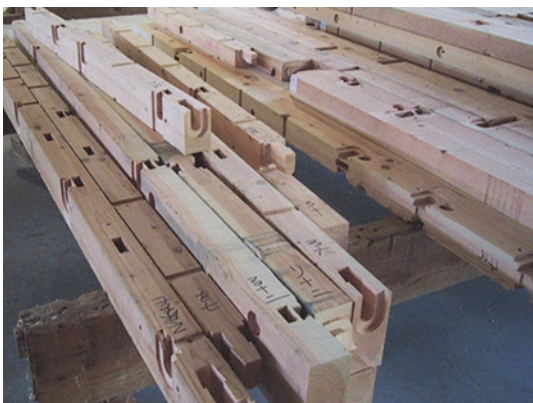


写真 6-7 プレカットされた建材（けせんプレカット事業協同組合）⁽³⁾



写真 6-8 連続プレス装置（提供：日本ノボパン工業（株））

て）が進歩しました。合板分野では、国内の小径針葉樹の単板切削に外周駆動のライサーが導入され、歩留まりが向上して生産性が増加しています。MDF やパーティクルボード等のボード分野では、従来バッチ式の多段ホットプレスが使われていましたが、連続プレス（成型）が可能な設備が導入され、生産性と製品性能の向上が達成されました。

その他の木材産業の多くの分野においても、コンピューターが導入され、生産性や生産管理が向上しています。

3 多様な木材製品

(1) 各種木材製品の生産状況

主な木材製品の出荷額の内訳を図 6-6 に示しました。2016 年の出荷額約 2.7 兆円の内訳を割合で示していますが、一般製材、合板、集成材、木材チップ等は総務省による統計⁽¹⁾を、パーティクルボード、繊維板等は経済産業省の統計⁽⁷⁾を利用して、総合的に作成したものです。図 6-3 の木材産業の年間出荷額の分野別割合と比較すると 4 大別していた各業種に対応する製品が分かると思います。これらの多様な木材製品の内、製材、チップ、主な木質材料等の生産量をまとめた結果を図 6-7 に示しました⁽⁸⁾。なお、年間出荷額の 24% を占めている建築用木製組立材料は、製材や木質材料をプレカット等により 2 次加工したものですから、図 6-7 には入れていません。

(2) 製材の概要と用途

図 6-6、6-7 の通り、一般製材の出荷額は木材製品全体の 26%、生産量は 960 万

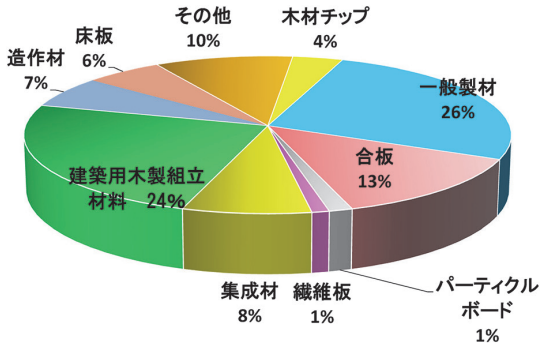


図 6-6 各種木材製品の年間出荷額
(2016年、合計約2.7兆円)

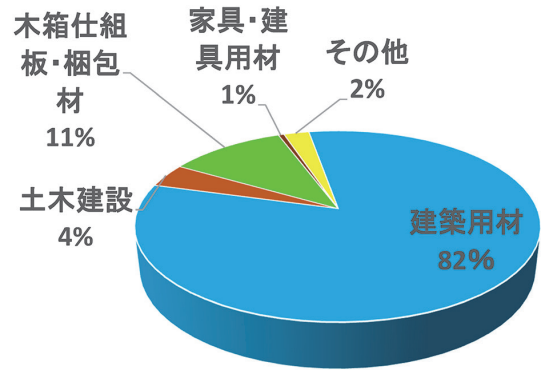


図 6-8 用途別製材出荷量
(2016年、総量929万3,000 m³)

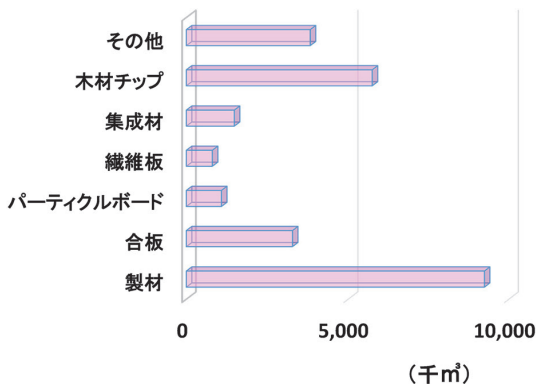


図 6-7 主な木材製品の生産量 (2016年)

m³です。使用された国内の素材は約1,200万m³で、その内、スギ約810万m³、ヒノキ約200万m³、カラマツ約110万m³、その他アカマツ、エゾマツ・トドマツ等を含めた針葉樹が99%以上を占め、国内の広葉樹は僅か1%以下となっています⁽⁸⁾。製材の用途の内訳は、図6-8の通りですが、板、柱、梁等に使われる建築用材が82%を占め、最も多くなっています。柱、梁等の建築用材は、そのまま使用されることもありますが、最近では乾燥してから使用することが多くなっています。とくに、スギは産地により、また同じ林地でも育った場所等の条件によって含水率が大きく異なるこ

とがあり、含水率を調整して製品の性能を確保するために乾燥してから使用することが推奨されています。板材は床材や壁材として施工しやすくはめ込めるように二次加工されることが多く、美観や耐久性の付与、あるいは外装用途のための表面や含浸処理をしたものなども製造されています。

家具・建具分野への出荷量は1%と僅かですが、第5章で紹介したように、住宅などの施工時に組み込む室内のドア、木製窓枠、屋根組等の建具にも各種の製材が使用されています。

木箱仕組板と梱包材を合わせた製材の出荷量は、年間100万m³に達しています。物資の輸送の際にフォークリフトで移動するために利用するパレットの内70%以上が木製で、2012年度には年間約5,000万枚生産されています⁽⁹⁾。木材パレットは滑りが少なく軽量なことから幅広い分野で使われています。これらのパレットや梱包材は、業者間の回収や使いまわし等のネットワークが発達しているので、回収やリサイクル利用が進んでいますが、最終的にはチップ等の原料として利用されています。



写真 6-9 寄木張り床とテーブルの展示（山万ホーム
プラザ、ユーカーが丘）



写真 6-10 木製建具の引き戸（横手市立横手北小学校、
提供：全国建具組合連合会、(株)小松木工）



写真 6-11 木製パレット（提供：(一社)日本パレット
協会、(株)千葉総業）

(3) 木質材料の概要と特徴

次節で詳しく説明しますが、木質材料とは、合板、繊維板、パーティクルボード、集成材、LVL、CLT 等の総称で、一般的には、木材を単板、挽板（スライスした板）、チップ、繊維等の小さい形状にした木材（エレメント）を接着剤で固めて成型した材料です。

このようにして作られた木質材料には以下の様な特徴があり、木材利用の面から重要です。まず、小径材、曲り材、製材工程から生まれる背板、端材、建築解体材等の使用済みの材料等から作れるので、省資源面、また木材の使用期間の延長等の環境面で貢献できます。また、木材が持っている節等の欠点、狂い、反り等を改善できるので均一な性質をもち、さらに原木では木取りができない面積、長さ、厚さの大きい寸法の材料を作ることができます。また近年、成型に使われる接着剤の改良が進み、製品の安全性と耐久性も向上しています。

このように、木質材料は、資源面と環境面からの貢献が大きく、木材利用のドライビングフォースとも言えます。木質材料は世界各地で生産されていますが、地域によって生産されている傾向が異なっています。

北米では、合板、パーティクルボード、MDF 等の繊維板、OSB（配向性ストランドボード）が多く生産され構造用に使われてきました。また、木質材料は、家具にも多用されています。ヨーロッパでは、木造住宅が少なかったことから、合板の生産は極めて少なく、家具用を主としたパーティクルボード、繊維板の生産が主体でし

たが、最近では、住宅用を目指した木質材料の生産も盛んになってきました。

わが国では、戦後に東南アジアから輸入した広葉樹を原料として、内装用や型枠用の合板が製造されてきましたが、最近では国産のスギを主とする小径の針葉樹から構造用の合板も製造されるようになりました。また、繊維板、パーティクルボード、集成材等の生産量も次第に多くなり、内装用として発達してきましたが、最近は、いずれも構造用の生産が盛んに行われるようになっていきます。

(4) 木質材料の種類と用途

合板は、単板の繊維方向を直交させて積層接着して製造され、構造用、内装用、型枠用等の種類があります。最近では、スギ等の国産針葉樹を使用した構造用合板（床下地材：ネダノン）が開発され生産量を増やしていますが、小径の原木を効率よく利用できるのも、環境面からも注目されています。合板は、包装材料、輸送材料、ボート製造、楽器、家具等にも利用されています。

木質ボードは、原料である廃材等を含めた木材チップを細かく切削、あるいは繊維状にほぐし、これらに接着剤を添加して熱圧することによって生産されます。解体材や廃材等から製造できることから、木材のカスケード利用の最終段階を担う重要な役割を果たしています。木質ボードには多種ありますが、いずれも建材、家具、包装材料等の二次製品に幅広く利用されています。また、DIYの材料としても多く取り入れられています。



写真 6-12 構造用合板（ネダノン）による2階床の施工（提供：日本合板工業組合連合会、東京・東北合板工業組合）



写真 6-13 各種のボード類（上から順に、ハードボード、MDF、インシュレーションボード、パーティクルボード、提供：日本繊維板工業会）

パーティクルボード（削片板）は、木材の小片（パーティクル）から作られ、主に建築、家具・建具等に利用されます。繊維板（ファイバーボード）は木材繊維から作られますが、密度によって種類があり、密度の大きい硬質繊維板（ハードボード）は



写真 6-14 構造用集成材（ラミナビーム、提供：日本集成材工業協同組合、中国木材(株)）



写真 6-15 LVL（単板積層材、提供：(一社)全国 LVL 協会、(株)キーテック）

自動車内装、家具、建築、電気製品等に、中質繊維板（MDF）は建材、家具・木工、電気機器、住設機器等に、密度の小さい軟質繊維板（インシュレーションボード）は吸音材、断熱材、畳床等に利用されます。

集成材は、挽板を繊維方向に積層接着して製造されますが、家具や内装用の造作材として利用されてきました。集成材は、幅の広い挽板を使用することや積層数を増やして、断面の大きなものを製造できるばかりでなく、挽板を加工して両手の指を組み合わせたように接合するフィンガージョイントと呼ばれる方法等で縦継して長いものを製造することができます。このような方法で構造用集成材、構造用大断面集成材が生産されるようになり、大型の木造建築物



写真 6-16 150mm 厚の CLT（直交集成板、提供：日本 CLT 協会）



写真 6-17 I-ジョイストの施工例（カラマツ LVL をフランジに、ウェブに面材（OSB）を使用、提供：(一社)全国 LVL 協会、(株)キーテック）

の主役として利用されるようになっていきます。

LVL（単板積層材）は、単板を繊維方向に積層後、接着して生産されます。構造用の梁等の軸材料として生産され、2017 年の生産量は 18 万 m^3 となっており⁽¹⁰⁾、今後の増加が期待されています。I-ジョイストのフランジ等にも多用されています。

CLT（直交集成板）は、近年ヨーロッパで開発された材料で、厚みのある板を合板と同様に繊維方向を直交させて生産される新しい材料で、わが国でも国産材を利用した CLT が開発され、木造住宅や中層の

建築物等への構造材等としての利用が期待されています。なお、2017年の生産量は1.4万 m^3 となっています⁽¹⁰⁾。

エンジニアードウッドと言われている構造用集成材、LVL、I-ジョイスト等は、コンクリートや鋼鉄の梁と同様に構造用の建築部材として利用されるようになっていきます。とくに、木橋、スポーツ施設、学校建築物等の大規模構造物に利用されていますが、接合部には接合金物（金物継ぎ手）の工夫が施されています。生産量は、増加傾向にあります。

(5) その他の材料

今まで紹介してきた製材や木質材料の他、木材に合成樹脂や薬剤を注入した化学的处理木材と呼ばれる材料も多種製造されていますが、建材としての生産量は一般的に多くありません。その中でも耐久性を付与するために製造されている保存処理木材は、木造住宅の土台等の腐朽しやすい場所や、近年では、屋外に使用する各種の外構材として利用されています。公園の遊具、ウッドデッキ、木橋、高速道路の木製遮音壁、木製ガードレール、木製横断防止柵、木製柵、木杭等の多くの分野に利用されています。なお、土木分野での木材利用については、第5章でも詳しく紹介されています。

(6) 木材製品の生産における留意点

ここまで紹介してきた多くの木質材料や木材製品を作る際には、留意しなければなりません。

第5章で紹介したような木材の良さや特

徴は、木材の自然由来の特徴に基づいています。自然由来であるが故に、木材は燃焼や腐朽で CO_2 と水に戻ります。従って、丸太のように木材をそのままの形で利用していれば、要らなくなった際には、燃やして処分しても自然に帰ると考えられます。このことが木材利用はカーボンニュートラルと言われている本来の理由です。

一方、木材産業では、木材資源の無駄のない徹底的な有効利用を図るために低質な木材からのボード類等の木質材料の製造、また耐久性や防耐火性の付与のための防腐処理や防耐火処理、さらには他材料との複合化等が行われていますが、接着剤、保存薬剤、防耐火薬剤、高分子等の化学製品を含めた多くの物質が使用されています。このような加工や改質の際に、焼却処分等により環境や人体に有害な物質や温室効果が大きいガス等を発生するものを使うことは望ましくありません。従って、木材産業ではこのことを十分踏まえて、安全で環境負荷の少ない木材製品を生産していますが、今後ともLCA評価等に基づいてなるべく環境負荷の少ない方法や物質等を選択しなければなりません。

すなわち、木材の有効利用や新機能付与などの性能向上のために加工や改質を図ることは、大きなメリットがありますが、一方で環境負荷がある物質を排出するなどのデメリットを生じる可能性があり二面性があるといえますので、このことを十分理解して木材利用を進めることが重要です。また、木材に加工や改質等をした木材製品を生産する関連業界や団体等は、このような面からメリットとデメリットを正當に評価

して示し、消費者や関連産業の木材利用者に対し、正しいトレードオフの関係示すことが必要と思われます。

4 木材利用の促進と開発の事例

1990 年頃から IPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）の科学的根拠に基づく報告・活動の効果が大きく、短時間で世界的に地球温暖化等の情報が共有されて社会の合意が得られています。このような動向を背景に、わが国では、最近の約 20 年間に木材利用に関する多くの法律の施行や活動がありました。

その結果、木材に関係する業界や団体等が補助制度等により推進してきた事業の成果が、最近の「森林・林業白書」や林野庁資料等⁽¹¹⁾で取りまとめられていますので、これらの事例を紹介したいと思います。

- ・新生産システムによる国産材供給システムの向上

林野庁では、2006 年度から、「新生産システム」による安定的な原木供給や生産、流通及び加工の各段階でのコストダウン、住宅メーカー等のニーズに応じた最適な加工・流通体制の構築等の取組を進めてきました。このような動きを受けて、住宅メーカーでは、国産材を積極的に利用する取組が拡大しています。

- ・国産針葉樹合板の生産量の増加と木材自給率の向上

新たな森林・林業基本計画（2006 年）による森林・林業再生プランにより木材自給率が向上しています。とくに国産針葉樹による合板の製造が大幅に増加しました。

- ・長期優良住宅の普及の促進

長期優良住宅の普及の促進に関する法律（2009 年）において国産材を主とする木材の利用に関する規定が盛り込まれ、木造による長期優良住宅が建てられてきています。

- ・公共建築物等における木材利用

2010 年 10 月に、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行されました。これに基づき農林水産省及び国土交通省が「公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針」を策定して、木材の利用を進める方向性を明確化するとともに、地方公共団体や民間事業者等に対して、国の方針に即した取組を促しました。その後、公共建築物の木造化について実施状況が把握され、駅舎の木造による改修や学校の木造化等が全国各地で推進されているとのことです。

また、日本 CLT 協会や森林総合研究所等を中心とした開発研究により、国産材からの CLT の製造と CLT を使用した公共建築物等の特徴的な建物が開発されています。

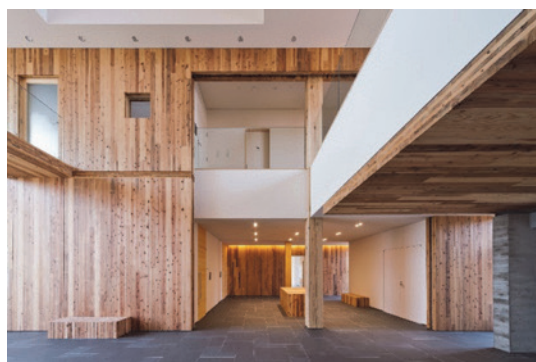


写真 6-18 CLT が豊富に使用され遮音性に優れた高知県森林会館（提供：日本 CLT 協会、ふつう合板）

・土木分野における木材利用

日本木材学会、日本森林学会、土木学会が連携して「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を2007年に発足させ、土木分野での木材利用拡大を目指し、調査研究やシンポジウムの開催など種々の活動に取り組んでいます。

・木造建築物の耐火性等の研究

国土交通省では、耐火建築物とすることが義務付けられている3階建ての学校について、一定の性能を満たした場合は主要構造部を準耐火建築物とすることが可能となるよう、実大火災実験による検証等を実施し、これらの結果を踏まえて、今後必要な規制の見直しを検討しています。

・木材利用に係る環境貢献度の評価

2001年度から、産学官が連携し、建築物等の環境性能を総合的に評価する「建築環境総合性能評価システム（CASBEE）」の開発が行われています。この評価では、省エネルギーや環境負荷の少ない建材の使用といった環境配慮に加え、室内の快適性や景観への配慮等も評価されます。

・2020 東京オリンピックの関係施設への

木材利用

新国立競技場整備事業の公募により、同事業の「業務要求水準書」に「木材利用」に関する以下の文面が記載されました（2015年9月17日）。「公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針の趣旨に則り、木材の利用促進を図り、製材、CLT等の集成材、合板等の木材を可能な限り利用する計画とする。」その結果、新国立競技場を始めとする関連施設の建設に木材が利用されるようになっていきます。なお、新国立競技場には、約3,000㎡の木材が使用され、その内1,800㎡が保存処理木材とのことです。

このように木造建築物ならびに国産材を主とする木材利用の促進や技術開発等の面で、産学官が連携した新たな展開と成果が見られるようになっていきます。木材産業ならびに木材関係者は、今後とも木材利用が環境に貢献することを強く意識して、また木材利用の意義についてさらに社会から理解されるように、適切な木材利用方法や信頼性のある木材製品の生産と開発に努めなければならないでしょう。

注

- (1)「平成28年総務省経済センサス活動調査事業所に関する集計 産業編」（2017年12月25日公表）
- (2)「平成28年 木材需給表」、林野庁企画課（2017年9月26日公表）
- (3) 森林・木質資源利用先端技術推進協議会が実施した平成12年度林野庁補助事業「地域異業種交流技術開発推進事業」において林知行氏（当時・森林総合研究所）が撮影
- (4)「公共建築物における木材利用優良事例集」、



写真 6-19 国内初の木造3階建て校舎が完成（2017年、鶴岡市羽黒高等学校）⁽¹²⁾

- 林野庁（2017 年）に掲載の写真を複製
- (5) 「平成 29 年度 住宅経済関連データ」、国土交通省
- (6) CEI-Bois, Tackle Climate Change — Use Wood (2006)
- (7) 「平成 28 年 経済産業省生産動態統計年報」（平成 29 年 9 月公表）
- (8) 「平成 28 年木材統計」、農林水産省（平成 29 年 4 月公表）、注（7）および日本集成材工業協同組合のホームページより作成
- (9) 平成 25 年度森林整備加速化・林業再生事

- 業：道産材木製パレットの普及拡大、（株）サトウ（北海道カラマツ製材業協議会）、平成 26 年 3 月
- (10) 「平成 29 年 木材統計」、農林水産省（平成 30 年 5 月公表）
- (11) 例えば、林野庁資料「森林・林業施策の展開方向」（平成 26 年 2 月）
- (12) 「平成 28 年度 森林・林業白書」（平成 29 年 5 月 26 日公表）に掲載の写真を複製
（富田 文一郎）



スイス、ルツェルンのシュプロイヤー橋の木のアーチ

1408 年に架けられた屋根付きの木橋で、1566 年の洪水で倒壊した後に再建されている。全長は 81m で支間は 5 径間で、木アーチ 1 径間、木トラス 3 径間等で造られてる。全長 10 数 m の木のアーチは、6 枚の長く厚い挽板を太い柱の穴に通して楔で束ねて造られた一種の湾曲集成材で、両端は床下の石造の橋脚に連結している。

第7章 ゼロエミッションへの道

1 持続可能資源としての木材と活用のための要件

(1) 持続可能資源の賦存量と木材の活用

地球上に存在しているバイオマス資源量（森林や植物等の資源量）については、1975年の調査に基づいてバイオマスハンドブックが作成されていますが、その内容を新エネルギー開発機構が、以下のように取りまとめています⁽¹⁾。

バイオマス資源の総量は乾燥重量で約2兆t、その内約90%が森林資源となっています。また、バイオマスは総量の10%程度（乾燥重量約2,000億t、約1,000億t-C）が毎年光合成で生産されています。この内、1,700～1,800億tが森林で生産されていると推定されています。森林と植物は呼吸や枯死によりこの生産量に比べて若干少ない量のCO₂を排出してバランスを保っており、固定される炭素量は僅かな量となります。IPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）の2000年の報告書に基づいて作成された表7-1では⁽²⁾、造林（Afforestation）とバイオマス等の炭素固定量は、年間23億t-C（乾燥重量約46億t）程度となっています。その後のIPCCの報告によるとこの量は若干増え続けていますが、大気中へのCO₂排出量を削減するためには、この年間炭素固定量を超えることなく大切に森林資源を利用しなければ

表 7-1 地球上の年間炭素バランス⁽²⁾

排出（億 t-C）／年		吸収（億 t-C）／年	
化石資源の消費	63	海洋・湖沼	23
熱帯林の減少	16	造林・バイオマス	23
		大気	33
合計	79	合計	79

なりません。なお、国連食糧農業機関（FAO）によると、2006年の世界の木材生産量は約35億m³（7億t-C、内産業用47%、薪炭材53%⁽³⁾）ですから前述の範囲内といえます。

また、林産系の廃棄バイオマスは、消費されている化石資源由来の年間総エネルギー量の8%程度に相当すると報告されており⁽¹⁾、このような面からも、森林資源や木材を有効に活用することが重要であるといえます。

(2) 材料とエネルギーに使える再生可能資源としての木材

これまで第4章や第5章で紹介されているように、製材や木質材料等は、不用になるとカスケード利用されています。このように材料として利用できる生物資源は、木材以外にありません。一般に、穀物の茎などのバイオマスは腐りやすく貯蔵性が悪いことや、木材のように強い強度がないことなどから、材料としての利用は限られています。

また、木材はカスケード利用が徹底すれば、成長に要した年数の何倍もの長期間使

うことが可能になり、大気中のCO₂削減に貢献できることになります。さらに、最終的にはエネルギーとして利用することもできます。このように木材には、材料とエネルギーの両面で活用できる特徴がありますので、利用にはこの特徴を生かすことが重要です。

(3) 資源循環・再生産可能は持続性が必要

資源量が豊富な熱帯林は、地球上の森林面積の50%以上を占めていますが、これらの地域の天然林には環境保全のため伐採が禁止されている地域が多くあり、伐採できるのは既に人工林となった森林に限られます。世界の森林面積（約40億ha）の内、天然林の面積は90%以上を占め、人工林は10%程度以下といわれています。なお、人工林の内、成長が早い熱帯の人工林は25%程度といわれています。

また、第2章で紹介されているように、今後は森林認証制度や合法性に従って持続性を確保しながら森林を管理していくことが求められていますので、持続的に森林を育てて木材を生産できる森林も有限です。さらに、持続的な生産を確保するためには、いうまでもなく伐採したら植えることが原則ですが、植えても水、土壌、栄養分等が確保できなければ森林は成長しません。これらの観点から、単純に森林は再生可能資源であるとはいえず有限と考えるべきで、多面的に森林の管理をして持続性を確保することが大切です。

2 ゼロエミッション達成のための要件

(1) GHGの種類・効果と排出

地球温暖化の主な原因は、我々の生活から生じる温室効果ガス（GHG：Green House Gas）が、大気中に排出されることです。GHGについては既に紹介されていますが、もう少し詳しく説明することになります。表7-2にGHGの主な種類、地球温暖化に及ぼす潜在力（GWP：Global Warming Potential、地球温暖化係数）と発生源・用途等を示しました⁽⁴⁾。GWPとはCO₂を基準として、それぞれの気体の大気中における単位濃度当たりの温室効果を100年間の強さで比較して表したものです。CO₂のGWPを1とした場合、メタン、亜酸化窒素は温暖化に及ぼす影響が20～300と大きくなっています。また、フロン類や六フッ化硫黄や三フッ化窒素はCO₂の数万倍の強さとなっています。なお、GHGの総排出量を示す際などは、各GHGの排出

表 7-2 温室効果ガスの地球温暖化係数と発生源・用途等（国連気候変動枠組条約と京都議定書で取り扱われる温室効果ガス）⁽⁴⁾

気体名	地球温暖化係数	発生源・用途等
二酸化炭素（CO ₂ ）	1	代表的 GHG 化石資源の燃焼等
メタン（CH ₄ ）	25	天然ガスの主成分 家畜の腸内発酵 廃棄物の埋め立て等
亜酸化窒素（N ₂ O）	298	自動車燃料の燃焼 工業の製造過程
ハイドロフルオロカーボン類（HFCs）	1,430 等	フロン的一种、冷蔵庫・エアコン・スプレー等の冷媒、工業の製造過程等
パーフルオロカーボン類（PFCs）	7,390 等	フロン的一种 半導体の製造
六フッ化硫黄（SF ₆ ）	22,800	電気の絶縁体等
三フッ化窒素（NF ₃ ）	17,200	半導体の製造

量には実際の排出量にそれぞれの GWP を乗じて、CO₂ 排出量に換算した量が用いられています。

図 7-1 は、GHG の総排出量の内訳を示しています⁽⁵⁾。最も排出量が多いのは CO₂ で、化石資源由来と森林減少や土地利用変化等に由来するものを合わせると全体の 76% で、他のガスに比べて排出される量が多いことから、GHG としての効果が大きくなるので排出の削減が注目されています。

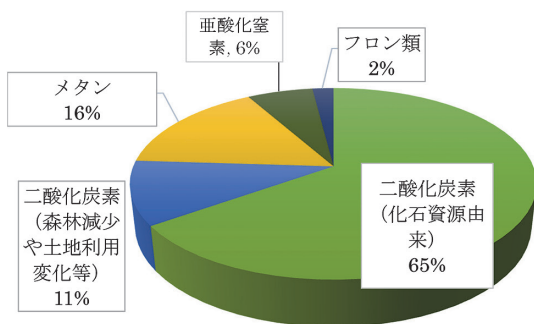


図 7-1 人為起源の温室効果ガスの総排出量に占めるガスの種類別の割合 (2010 年の CO₂ 換算量での数値、総量 303 億 t)⁽⁵⁾

ます。しかし、GWP が大きい GHG の減少も重要な課題となっており、とくに、石油の燃焼に由来する亜酸化窒素の削減対策、冷媒や半導体製造に使われるフロン類とフッ素系化合物等の代替対策等が進められています。

(2) 化石資源から生物資源への変換、 ポスト石油化学産業

現在の我々の生活は、石油等の化石資源から作られた物質によって成り立っているといっても過言ではありません。図 7-2 は、「バイオマス・ニッポン総合戦略⁽⁶⁾」の説明として石油を基盤とする物質フローを示したのですが、石油を燃料にすると CO₂、窒素酸化物類 (NO_x: ノックス)、硫黄酸化物類 (SO_x: ソックス) 等を排出し、石油を原料として作られた物質、製品、廃棄物等も燃焼によって毒性の強いダイオキシン等の環境汚染物質を排出します。

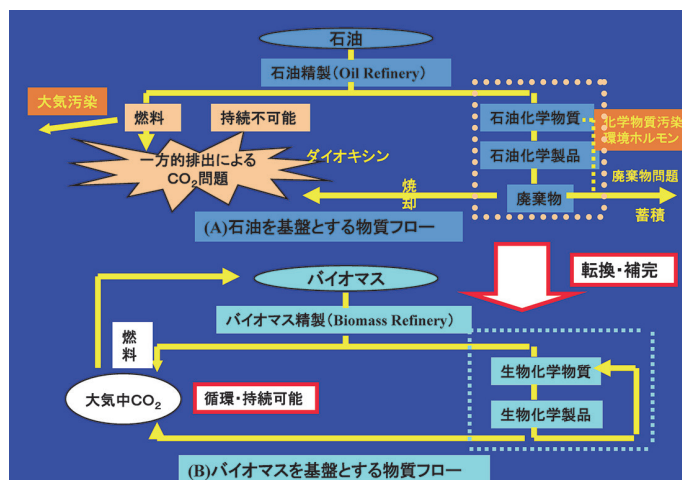


図 7-2 生物資源の有効利用によるバイオマスリファイナリーへの移行 (概念図)

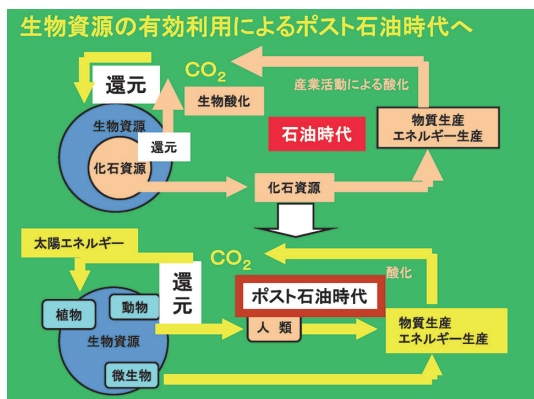


図 7-3 生物資源の有効利用によるポスト石油時代へ
(概念図⁽⁷⁾より作成)

日本学術会議では、このような石油を主とする化石資源を利用したエネルギーと物質の生産に基づく炭素循環を図 7-3 のように表しています⁽⁷⁾。すなわち、地球に貯蔵されている化石資源を用いると最終的には CO_2 を排出しますが、化石資源はカーボンニュートラルではないので、排出する CO_2 量だけ大気中の CO_2 量を増加させることになります。このような面から、木材等の生物資源を利用して、最終的には燃焼や腐朽等で CO_2 を大気中に戻す循環システムへ移行すべきとしています。この観点から、図 7-2 のバイオマスを基盤とする物

質フローへ移行するために、木材等のバイオマスのセルロースやリグニン等の成分を分離（バイオマスリファイナリー）して、生活に必要な物質を生産するシステムの構築が必要であると提言されています。現在、産官学が連携して多面的に開発研究を進めていますが、成果が期待されます。

(3) 加工エネルギーの再生可能エネルギーへの変換

生活必需品等の物資を製造する工程では、電気を主とするエネルギー、すなわち加工エネルギーが必要です。勿論、カーボンニュートラルである木材や生物資源といえども、加工工程ではエネルギーが必要で、ゼロエミッションに向かうためには、 CO_2 等の GHG をなるべく排出しないことが望まれます。図 7-4 に 2015 年現在の一次エネルギーの国内供給の割合を示しました⁽⁸⁾。東日本大震災以降、原子力発電は激減していますが、 CO_2 の排出が少ない新エネルギー関連によるものは 4.9% に過ぎず、今後はわが国でもエネルギーの転換が必要と思われます。現在の電力事情では、地域的あるいは限定的に GHG 排出量を削減することは可能と思われますが、国内の抜本的なエネルギー政策の策定と実行が望まれます。

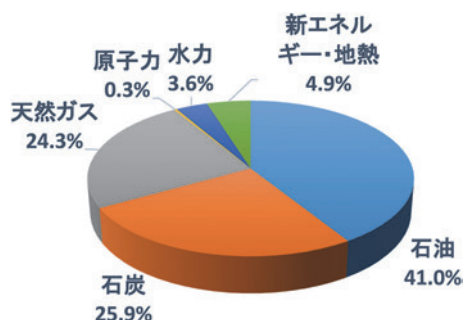


図 7-4 一次エネルギーの国内供給の割合
(2015 年)⁽⁸⁾

3 生物資源を基盤とする持続・循環社会の構築

(1) 循環型社会の形成に必要な方策

日本学術会議では「日本の計画⁽⁹⁾」の中で、循環型社会を実現するためには、省エネルギー技術・環境にやさしい技術開

発、脱物質・エネルギー志向への移行、都市と農村の共生関係の構築、循環型の土地利用、経済、社会、生活様式、価値意識等への転換を行っていかねばならないことを報告しています。これらを参考にして紹介したいと思います。

(2) 社会経済システム

森林資源の循環利用をさらに推進するためには、新しい研究開発や成果の実装に向けて多面的なインフラの整備や構築等の対策が必要と思われます。地球環境保全に寄与する事業には、事業導入の初期段階等において、公的な補助や消費者の協力が必要と思われます。しかし、環境関係の事業といっても長期にわたっては、自立して経済原則に従って収益を上げる経営により持続性を確保することが望めます。この観点からは、木材産業や林業は既に環境産業として定着していますが、一層の努力が必要かもしれません。

また、環境保全に関わる事業や活動等を推進する際には、前述のように規制緩和や助成等が必要ですが、ルール違反の規制や罰則等の対策も必要と思われます。

(3) 国産材利用は地域社会と経済の持続性に貢献する

最近の木材自給率は上昇傾向にあり35%を超える状況となっていますが、国産材の利用を拡大することは、木材生産や木材加工分野等ばかりでなく林業に関わる雇用を増やし、地域経済とその持続性に貢献します。また、木材利用で得られる収益が何らかの形で森林管理に還元されるような

仕組みの構築が望めます。

一方、森林には、国土保全、水資源の涵養、大気浄化等のほか、景観の形成、社会的・文化的価値の継承等の公益的機能があり、我々の生活に重要な役割を果たしています。このような面からも、森林の役割が見直され、都市と農山村の様々な交流等による山村の活性化や、水源基金制度、森林環境税等の推進が期待されます。

(4) 情報の循環と共有

IPCC の報告が、2000 年頃から科学に基づいて地球温暖化の現象や原因を公表し始めてから、世界的にこれらが理解されるようになり、多くの対策が講じられています。このことは、科学に基づいた情報が、世界的規模で循環して共有された結果といえます。今後も、このような重要な情報が科学者から発信され、社会に共有されることが必要です。国内においては、政府・民間・科学者が一体となって、持続可能な開発を実現するための方策や情報等を分かり易く作成し、国民に発信して理解されることが必要と思われます。

とくに、森林資源の適正な管理と循環利用が、持続可能な社会を構築するための基盤として必須であり、このような面からの情報の普及が望めます。

4 ゼロエミッション達成の可能性と世界と日本の動向

(1) 世界と日本の CO₂ 排出の現状

世界で排出されている CO₂ 量は、未だ増加傾向にあります⁽¹⁰⁾、表 7-1 の海洋・湖沼と造林・バイオマス等による吸収分が

保持されると仮定すれば、総排出量を50%削減すれば大気への排出分は相殺されます。これらのバランスは条件次第で変動することも考えられますが、50%以上削減できれば大気中のCO₂量も削減できるかもしれません。

日本は、世界全体のCO₂排出量の約3.8% (12.5 億 t) を排出しており、国別では、中国、米国、インド、ロシアに次いで世界で5番目に多く排出しています。また、排出量の推移をみると図7-5⁽¹¹⁾のように2008年と2009年は減少に転じ、その後2013年まで増加して、減少傾向を示していますので、さらなる削減が期待されます。

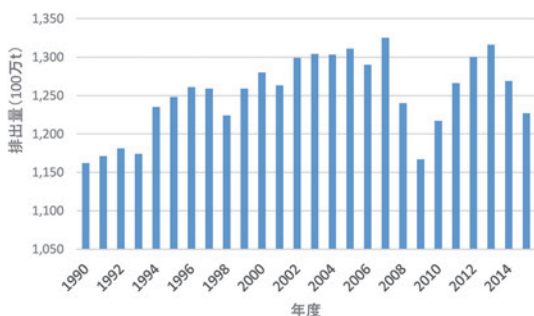


図 7-5 日本のCO₂排出量の推移⁽¹¹⁾

IPPC の報告によると、表7-1のように2000年では総排出量が年間79億t-Cとなっていますが、2015年には90億t-C (330億t) に増加しています⁽¹⁰⁾。また世界気象機関(WMO)は、大気中のGHG世界平均濃度が2016年に403.3ppmと過去最高を更新し、2015年より3.3ppmの増加で上昇が止まらなると報告しています⁽¹²⁾。

(2) 世界の人口増加とエネルギー、資源の需要増加、地球の有限性について

地球温暖化の原因となっているCO₂の排出は、化石資源の燃焼や森林減少等の人為的な活動が大きな原因となっています。わが国の人口は減少傾向にありますので、将来的にGHGの排出を減少できると推定できますが、世界の人口は図7-6のように増加傾向にあります。このような人口の増加や生活レベルの向上は、CO₂排出の上昇に繋がります⁽¹³⁾。

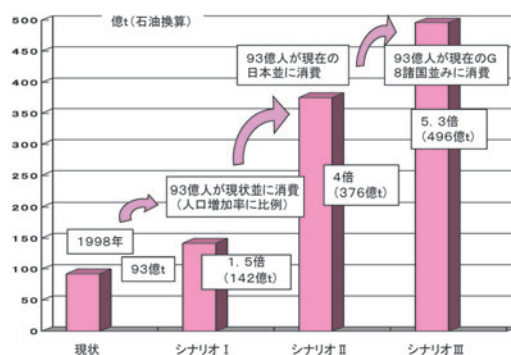


図 7-6 2050年におけるシナリオ別の年間エネルギー消費量比較⁽¹³⁾

2050年には、世界の人口は各シナリオのように90億を超えると予測されています。また、消費するエネルギーは、現在の約90億t (石油換算) から生活レベルの向上に応じて、シナリオ別に1.5倍から5.3倍へと大幅に増加すると予測されています。現在、途上国は、先進国にはこれまでの発展により大気中のCO₂濃度を増加させてきた責任があるとして排出量の大幅な削減を要求しています。しかし、途上国が将来、先進国並みの生活レベルを望むことが予測され、世界的な規模で再生可能エネル

ギーへの転換や大幅な省エネルギー技術の開発が必須の課題といえます。また、エネルギーと食料の問題も地球上の資源や土地が有限であることに由来するので、世界的な協調により解決していかなければならないでしょう。

(3) 世界とわが国の温室効果ガス削減目標の動向

第1章で詳しく紹介されていますが、国際交渉上合意された世界全体の排出量削減目標には、国連気候変動枠組条約締約国会議(COP3)で取り決めた京都議定書(1998年)と、COP21で取り決めたパリ協定(2005年)があります。後者では、「産業革命前からの世界の平均気温上昇を「2℃未満」に抑える、加えて平均気温上昇「1.5℃未満」を目指す。」としています。また、2018年にはポーランドでCOP24が開催され合意が難航した末に、パリ協定の実施に向けて、一連の確固たるガイドラインを採択しましたが、今後の実行が望まれます。

先進国の首脳の間での同意等についてみると、G8洞爺湖サミット(2008年)で2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも50%削減するとの目標を採用して以降、G8、G7サミットでは、様々な削減目標が採択されていますが、世界的な合意は得られていません。

なお、わが国では、第四次環境基本計画(2012年4月閣議決定)において、2050年までに80%の排出削減を長期的な目標として目指すこととしています。

以上の動向のほか、米政府が、2017年7

月に「パリ協定」の離脱方針を国連気候変動枠組条約事務局に正式に通知したことなどもあり、今後の世界の動向が気になります。

5 おわりに

ここまで紹介してきたように、残念ながら温暖化に歯止めが効かないのが現状ですので、ゼロエミッションへの道のりは時間がかかると予想されますが、人類存続のためには達成が絶対条件です。そのためには、科学技術、経済、情報共有等の面で多くの解決が必要であり、早期に世界的な合意や削減目標の設定等への協調が望まれます。

また、持続可能社会を構築するためには再生産可能資源を基盤とすることが絶対条件であり、その中で森林・木材が果たす役割が益々重要となることが確実と思われます。ゼロエミッションに近づけば近づくほど、世界的に森林と木材の重要性和価値が高く評価されるようになると信じています。

注

- (1) Biomass Handbook (Ed. O.Kitani and C.W. Hall). Publ. Gordon & Breach Science Publ., N.Y., pp821-823 (1989) を基にして、新エネルギー開発機構(NEDO)が作成「新エネルギー海外情報」、2000年2月号
- (2) CEI-B: Tackle Climate Change-Use Wood (2006) (IPCC 2000, Assessment Report より作成)
- (3) 林野庁ホームページ、分野別情報「木材ってどのくらい使われているの」(FAO「FAOSTAT」、2008年1月28日

- (4) 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<http://www.jccca.org/>) を参照して作成。
- (5) IPCC 気候変動 2013、気象庁翻訳：「自然科学的根拠（技術要約）気候変動に関する政府間パネル、第五次評価報告書（第五次作業部会報告書）」、2015 年 12 版
- (6) バイオマス・ニッポン総合戦略、2002 年 12 月、閣議決定
- (7) 日本学術会議第六部報告「生物資源とポスト石油時代の産業科学—生物生産を基盤とする持続・循環型社会の形成をめざして—」、2012 年
- (8) 経済産業省資源エネルギー庁「平成 28 年度エネルギーに関する年次報告」、平成 29 年 6 月 2 日
- (9) 第 18 期日本学術会議「日本の計画：学術に駆動される情報循環社会へ」、2002 年
- (10) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」2017 年版、2017 年 3 月
- (11) 国連気候変動枠組条約（UNFCCC）出版「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NIR）アーカイブ」、2017 年 4 月
- (12) 気象庁公表「世界気象機関（WMO）温室効果ガス年報」第 13 号、2017 年 10 月
- (13) 「世界人口白書 2001（国連）」と「世界経済・社会統計 2001 年（世界銀行）」より三菱総合研究所が作成した（9）の参考図を基に作成。

（富田 文一郎）



フランスのノルマンディー地域のエトルタにある自然が作ったアヴァルの門、針岩、断崖の景観（クロード・モネの絵画でよく知られている。55m の高さがある断崖は将来すべて海水面下になるかもしれない）

ストックホルム大学等の国際研究チームは最近の報告で、パリ条約で産業革命前に比べて温度上昇を 2℃未満にすることを目標に設定したが、上昇幅が 4～5℃に達する可能性があり、上昇幅が 4℃前後になるとアマゾンの熱帯雨林が枯渇して CO₂ が大量に放出され、その結果、上昇幅が 5℃以上になり東南極の氷床が解けて海水面の上昇は最大 60m になる可能性があるとの深刻な予測をしている。

（朝日新聞 2018 年 10 月 5 日朝刊）

あ と が き

森林が環境保全を始めとする多くの公益的機能を持つことは、古くからよく知られてきましたが、木材生産や木材利用が地球環境保全に役立っていることは、30～40年ほど前まではあまり理解されていなかったように思われます。むしろ、森林から木を伐採して木材を利用することは、地球環境に悪影響を及ぼすと考えられていたように思われます。

しかし、本書で紹介してきたように20年ほど前から、地球温暖化を主とする気候変動がCO₂を主とした温室効果ガスに由来することが科学面から明らかになり、その阻止あるいは防止が世界的な課題になっています。このような観点から、大気中のCO₂を固定して生産される森林資源を主とする再生可能資源や再生可能エネルギーの利用が世界的に注目されるようになっていきます。このような状況の中で、木材が、持続可能な再生可能資源の代表者として、地球環境や人類の生活に大きく貢献することが理解されるようになってきましたが、さらに適正な木材利用を推進していかなければなりません。

木材サミット連絡会（以後、連絡会）は、このような背景を強く認識して、我が国において一層の木材利用を推進するために活動することを目指し、木材関係の団体のトップが集まる「木材サミット」を開催するために2013年に設立されました。現在、連絡会には、木材関係の産業界と学協会等の28団体が参加しており、木材利用・木材産業の役割や諸課題等について情報と認識を共有して、業界・分野を横断した俯瞰的立場から活動しています。そのような活動の中で当初より多くの団体から、一般の方々にも分かり易い「木材利用と地球環境」に関する刊行物が必要であるとの提案がありました。木材利用と地球環境の関係については、多くの資料や成書が現存しますが、分かり易い教科書的な刊行物はないように思われ、連絡会が林業に造詣が深い公益社団法人大日本山林会と相談させて頂いた結果、両者が共同する形で本書を刊行することになった次第です。

木材利用すなわち木材を使うことによって地球環境を守る意義とその概要を、科学的にかつ分かり易く紹介することを当初の目標にしていますが、一般の方々には若干難解な部分もあるように思われ、当初の目標を達成していないようにも感じていますが、適切な木材利用が地球環境保全に大きく貢献することを、幅広い年齢層の方々にご理解頂ければ幸いです。同時に、本書が、林業と木材産業の接点となることを期待する次第です。

おわりに当たり、本書を叢書として取り上げて頂いた一般財団法人農林水産奨励会と写真をご提供頂いた団体と関係者各位、ならびに大日本山林会編集部に厚く御礼申し上げます。

富田文一郎（木材サミット連絡会世話人）

◆著者紹介（第1章からの執筆順）

恒次 祐子（つねつぐ ゆうこ）

1972年東京都生まれ。1999年東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程生物材料科学専攻修了。国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所主任研究員を経て、2017年より東京大学大学院農学生命科学研究科准教授。木材利用による地球環境保全効果の定量的な評価、木材や木材を用いた空間が人に与える影響に関する研究に従事。『『木の時代』は甦る』（一般社団法人日本木材学会編、講談社（共著））など。

久保山 裕史（くぼやま ひろふみ）

1966年千葉県生まれ。1992年東京大学大学院農学系研究科（林学専攻）修了。同年農林水産省林野庁森林総合研究所採用。1998年同東北支所、2003年森林総合研究所、2011年内閣府総合科学技術会議事務局出向を経て2018年から林業経営・政策研究領域長。著作は、『改訂 森林・林業・木材産業の将来予測』（日本林業調査会）、『木力検定3 森林・林業を学ぶ100問』（海青社）、『森林未来会議：森を活かす仕組みをつくる』（築地書館）など。

服部 順昭（はっとり のぶあき）

1948年京都生まれ。1975年京都大学林産工学専攻修了。同年東京芝浦電機(株)生産技術研究所。1979年京都大学助手、1988年東京農工大学助教授、1999年教授。2014年名誉教授。2018～2019年特任教授。2008年～2期農学府・農学部評議員、副学府長・副学部長。2009年～2期日本木材学会会長、2014年日本木材加工技術協会会長。著書に『森林・林業実務必携』（共著、朝倉書店）、『木材加工用語辞典』（共著、海青社）、『高等学校用 林産物利用』（共著、実教出版）など。

有馬 孝禮（ありま たかのり）

1942年鹿児島県生まれ。東京大学農学部林産学科卒業、同大学院林産学修士課程修了、東京大学農学部助手、建設省建築研究所研究員、オーストラリア CSIRO 客員研究員、静岡農学部助教授、東京大学農学部助教授、東京大学大学院教授、宮崎県木材利用技術センター所長などを経て、現在東京大学名誉教授、（一社）木と住まい研究協会代表理事、（公財）日本住宅・木材技術センター客員研究員。著書に『なぜ、いま木の建築なのか』（学芸出版）、『木材の住科学』（東京大学出版会）など。

今村 祐嗣（いまむら ゆうじ）

1947年京都府生まれ。1974年京都大学大学院農学研究科博士課程修了。同年奈良県林業試験場技師。京都大学木材研究所助手、助教授を経て、1998年同木質科学研究所教授。2010年同生存圏研究所を定年退職、京都大学名誉教授。（一社）日本木材学会、（公社）日本木材保存協会、日本環境動物昆虫学会等の会長を歴任。現在は（一財）建築研究協会常務理事。著書に、『安全で長持ちする木の家』（ラトルズ）、『図解

木材・木質材料用語集』（東洋書店）、『住まいとシロアリ』（海青社）、『建築に役立つ木材・木質材料学』（東洋書店）など。

富田 文一郎（とみた ぶんいちろう）

1942 年安東生れ。1966 年東京大学農学部林産学科卒業、同大学院林産学修士課程中退。1967 年同大学助手、同助教授、米国南部林業試験場客員研究員、1991 年筑波大学教授、京都大学教授（併任）、筑波大学生物資源学類長、Nancy 第 1 大学客員教授を経て、2006 年筑波大学名誉教授、スロベニア Fenolit 社顧問。この間、日本木材学会会長、第 18、19 期日本学術会議会員、日本木材加工技術協会会長、木材サミット連絡会世話人など。著書に『森林の百科』（共同編著、朝倉書店）、『木材の接着・接着剤』（編著、産業調査会）など。

◆木材サミット連絡会の紹介

木材サミット連絡会は、適正な木材利用を通じて地球環境と社会に貢献することを目的として、以下の木材関係の団体（現在 28 団体）が連携して活動している連合組織で、毎年、木材サミットを開催しています。（<http://mokuzai-summit.sakura.ne.jp/>）

世話人（五十音順）：有馬孝禮、今村祐嗣、富田文一郎、服部順昭

参加団体：28 団体（2019.11.13 現在、五十音順、*：オブザーバー）

国産材製材協会

（一社）全国 LVL 協会

（一社）全国木材組合連合会

全国木材チップ工業連合会

（一社）全日本木材市場連盟

（一社）日本家具産業振興会*

日本合板工業組合連合会

（一社）日本 CLT 協会

（公財）日本住宅・木材技術センター

日本複合・防音床材工業会

（一社）日本木材学会

日本木材防腐工業組合

日本木材輸入協会

PHOENIX 木材・合板博物館

NPO オの木

全国天然木化粧合板工業協同組合連合会

NPO 全国木材資源リサイクル協会連合会

（一社）全国木造住宅機械プレカット協会*

全日本木工機械商業組合

（公財）日本合板検査会

日本合板商業組合

日本集成材工業協同組合

日本繊維板工業会

（公社）日本木材加工技術協会

日本木材青壮年団体連合会*

（公社）日本木材保存協会

（一社）日本木工機械工業会

木材利用システム研究会

農林水産叢書 No.82

木材利用と地球環境—持続可能な社会に向けて—

令和2年1月20日

編集 公益社団法人 大日本山林会
木材サミット連絡会

発行 一般財団法人 農林水産奨励会

住所：〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル

TEL：03-3582-7451

印刷 創文印刷工業株式会社

住所：東京都荒川区西尾久7-12-16

TEL：03-3893-3692
