

B-51 温室効果ガスの人為的な排出源・吸収源に関する研究

(1) CO₂ の排出・吸収に関する研究

⑦森林セクターの炭素固定機能評価モデルの開発

研究代表者

森林総合研究所林業経営部 天野正博

森林総合研究所

| | | |
|-------|-----------|-------|
| 林業経営部 | 資源計画科長 | 天野正博 |
| | 生産システム研究室 | 松本光朗 |
| 木材利用部 | 木材特性科長 | 西村勝美 |
| | 物性研究室長 | 外崎真理雄 |
| (委託先) | 愛媛大学農学部 | 林 和男 |
| | 静岡大学 | 鈴木滋彦 |

平成8-10年度合計予算額

19,668 千円

(平成10年度予算額

13,796 千円)

[要旨]

我が国の森林セクターにおける炭素固定量を4つの政策シナリオの下で評価した。ケース1は現在と同じような経済環境が続くという条件、ケース2ではできるだけ森林の炭素貯蔵量を多くすることを目的として、伐採時期を延長した場合を取り扱う。ケース3は積極的な国産材振興シナリオ、ケース4は国産材振興策を少し緩め国産材の生産量を、中庸に振興する政策シナリオである。各シナリオに基づく今後50年間の森林・住宅部門の炭素固定量の推移をみると、伐採時期を延長することが現状維持に比べ大幅な国産材生産量の低下につながることはなかった。国産材振興策ケース3では2015年の国産材生産量は現在の供給量の65%増になると予想された。ただ、将来は森林の蓄積を減少させ地球温暖化への貢献という点では望ましくない。ケース4は国産材を中庸に振興させようという案であり、現在の木材生産量より38%増加する一方で蓄積を低下させることもなく、国内林業の振興と森林蓄積の増加、双方の妥協案といえることが解った。

木材分野のうち建築物における炭素ストック量の変化について試算を行った。1996年の着工建築物の木材使用量原単位を木造0.2m³/m²、非木造0.04m³/m²と仮定すると、新規炭素ストック量は炭素換算で652万トンとなる。炭素ストックから消滅した量を同年の消滅建築物面積から試算すると192万トンとなる。従って1996年の建築における炭素ストックの純増加量は460万トンであった。つぎに木材工業の側から建築に投入・固定されたであろう炭素量を1997年のデータから試算した。製材品・合板・木質ボード類について建築部門に出荷された量と加工の歩留まりから計算すると炭素換算では622万トンとなり、前述の652万トンと近い値となった。また、1991年のデータで建築解体廃材のうち1,823万m³(炭素量で456万トン)が無駄に焼棄却されている。そこで、木質ボード類は建築解体廃材のマテリアルリサイクルにおいて重要な意味を持つ。1997年には古材の利用率が40%となっており、今後その比率が更に高まることが予想されている。

[キーワード] 地球温暖化、森林セクター、木材利用、炭素固定、建築物、リサイクル

1. 序（研究の背景）

COP3 で決議された京都議定書において大気中の炭素の森林が吸収源として位置づけられたが、排出源に比べ吸収源の定義、計測方法について多くの不確定性が残っている。このため、森林セクターにおける炭素貯蔵量を明らかにするとともに、透明性がありかつ研修可能な炭素貯蔵量の変化を計測する方法を確立することが急がれる。また、京都議定書の3条4項においては、今後、さらに追加すべき吸収源の評価項目、評価方法についても検討するよう定められたことから、当研究も京都議定書に対応した研究内容に一部目的を修正し、森林・木材部門における炭素固定量を評価できるモデルの開発を行うとともに、3条4項で大きな比重をもつであろう木材についても、その温暖化軽減機能について検討を行うこととした。

2. 研究目的

当初の研究目的は森林セクターのもつ温暖化軽減機能を計量的に評価するモデルを開発することであり、モデルの内容も森林生態系内で貯蔵される炭素だけでなく、住宅部門の貯蔵している炭素量についても評価する必要がある。そこで、森林・木材部門を合わせた形での炭素固定量推定モデルを開発するとともに、モデルでの推定に必要なパラメータの収集を研究の目的とする。

3. 研究の方法

3. 1 森林・木材部門の炭素固定量推定のためのモデルの開発

3. 1. 1 モデルの狙い

森林・住宅部門が地球温暖化を軽減するためにはいくつかの方法があり、これらの方法を評価するためのモデルも開発されている（Row and Phelps, 1990, Turner その他, 1993）。この報告では日本の森林資源基本計画を作成したモデルを用いて地球温暖化軽減のための幾つかの政策シナリオを評価する。森林面積を拡大することは重要な手段の一つである。しかし、日本では国土の70%は山岳地形であり森林に覆われているが、平地に存在する森林はわずかである。我が国の山岳地形は急峻であるため、森林以外での土地利用は困難である。一方で、平地が国土の30%と限られているため、平地に森林を新たに造成できる可能性も少ない。そこで、森林面積を拡大する方策はここでは論じない。森林を伐採する時期を延長することは、森林蓄積を増加させることにより地球温暖化を軽減する重要な方策である。近年における森林所有者の伐採傾向を見ると、徐々に伐採林齢が長くなってきている（林野庁, 1994）。これは、高い人件費により造林や育林コストが上昇しているため、現在の材価では伐採しても十分な収益を得られないことによる。したがって、期せずして我が国は森林蓄積を増大させる長伐期政策は採用しやすい状況にあるといえる。

熱帯林の減少は森林部門が大気中に放出している大量の炭素の供給源になっている。日本は世界最大の熱帯木材輸入国であり、日本が熱帯木材の輸入量を減少させることが求められている。また、重量物である木材の長距離輸送はエネルギー消費という点でも問題である（Hayens, 1994）。このように熱帯木材の輸入縮小も温暖化軽減方策の一つであるが、きわめて政治的な要因であるので、ここでは取り上げない。

この報告では、バイオマスあるいは木材を蓄積することにより大気中の炭素を固定する点について検討する。バイオマスとしての森林を伐採しても、木材あるいは木材製品として長い期間、炭素は固定されたままである。したがって、耐久性の高い住宅も森林と同様に炭素を固定していると考

えることができる。

3. 1. 2 分析のための政策シナリオ

将来における国内森林資源からの木材供給について、異なる条件下での4つの政策シナリオを用意した。ケース1は現在と同じような経済環境が続くという条件で、現行の政策が安定的に将来も継続される場合である。日本は1995年には全需要量の79%にあたる89百万 m^3 の木材を海外から輸入している。それに対し、国内からの木材供給量は24百万 m^3 である。ケース2は伐採林齢を現行の倍に延長するシナリオである。日本の人工林の平均的な伐採林齢は56年である。人工林の標準的な収穫表によれば、林齢100年を越すと蓄積の成長率は小さくなるので、経済的効率を考えれば森林の伐採を延ばしたとしてもせいぜい100年である。そこで、ケース2では伐採時期を56年から100年に延長した場合を取り扱う。そのほかの条件はケース1と同じである。ケース3では日本の木材市場での国産材シェアを拡大するための様々な仮定を設定した積極的な国産材振興シナリオである。想定される国産材振興策としては林道開設への積極的な投資、生産コストを下げるための高性能林業機械の導入、林業経営体や木材加工業への助成策、代替材に対する木材の価格競争力増強への支援などである。こうした国産材振興策により国産材のシェアは2015年には21%から32%に上昇すると予想している。ケース4は国産材振興策をもう少し緩めて2015年における国産材の生産量を、積極的な振興策に比べ10%低下させたシナリオである。

3. 1. 3 モデルの構造

上記のシナリオによる温暖化軽減効果を評価するため、以下のようなモデルが用いられた。モデルは木材供給サブモデル、木材需要サブモデル、丸太市場サブモデルの3つの要素から構成されている。木材供給モデルでは森林資源が積極的な林業活動を行っている経済林グループと、林業経営が停滞している非経済林グループに分割される(天野,1984)。2つのグループの境界は木材価格、木材生産コスト、林道開設距離などにより変動する。いま、第 t 計画期の経済林面積 A_{amber} は、全人工林面積を A_p 、木材価格を $p(t)$ 、生産コストを $c(t)$ 、新規林道開設距離を $l(t)$ とすると、

$$A_{\text{amber}}(t) = f(A_p, p(t), c(t), l(t))$$

と表される。この経済林が国産材の主たる供給源になる。供給する木材の量はこの経済林面積と収穫確率(鈴木,1984)によって算出される。この収穫確率は林齢遷移確率行列 R を用いて第 t 計画期間の森林資源構成、伐採面積をマルコフ過程によって推定し、将来の木材供給量を予測するために開発されたものである。第 t 計画期間の森林の状態は

$$A_{t+1} = A_t R$$

ここで

$$A_t = (a(t)_0, a(t)_1, \dots, a(t)_i, \dots, a(t)_n)$$

$$R = (r(j,k)), j,k=1,2,\dots,n$$

である。 $a(t)_i$ は第 i 林齢の森林面積であり、 $r(j,k)$ は j 年生の森林が k 年生に生長する確率である。鈴木理論によれば将来の収穫量を予測するパラメータは平均伐採齢とその分散によって算出できる。このため、伐採林齢を延長した場合の収穫量の変化も平均伐採齢を延ばすことにより推定可能になる。

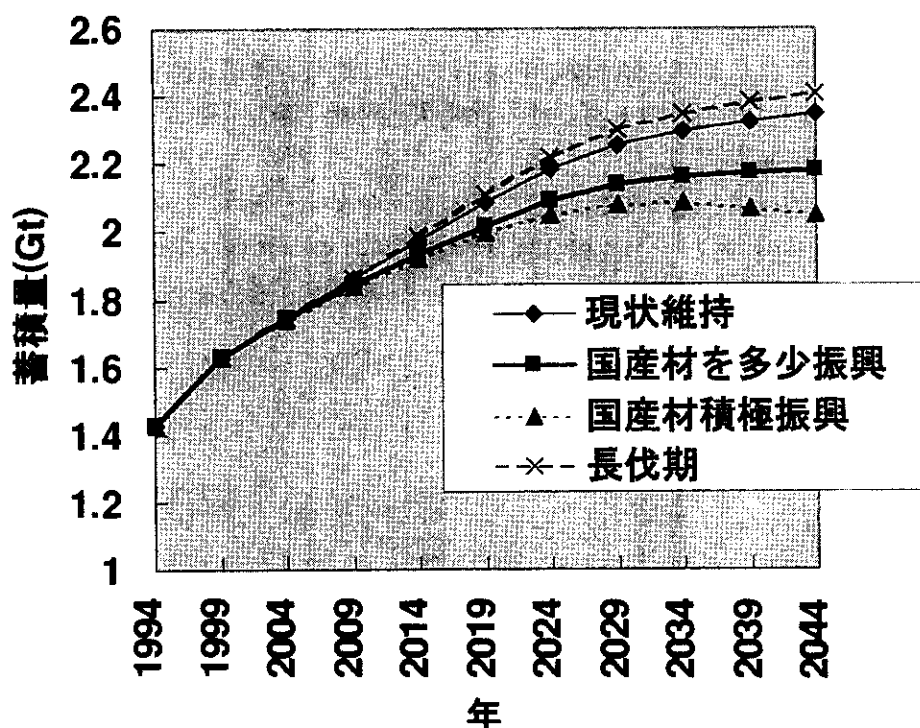
製材、パネル材、そしてパルプ材を含む他の用材の需要量を表す需要サブモデルは計量経済モデ

ルによって構成されている(Amano and Noda, 1987)。需要と供給サブモデルは丸太市場モデルによって結ばれ、需給が均衡する点をシミュレーションによって検索しながら、将来の国産材の供給量、木材輸入量、国内の森林蓄積を予測する。

3. 1. 4 結論

各シナリオに基づく今後50年間の森林・住宅部門の炭素固定量の推移は図のようになった。炭素固定量という点においてはケース2の長伐期政策がもっとも望ましい。現状の状況や政策を維持するケース2では2015年での国産材生産量が1552万 m^3 に比べ長伐期政策でも生産量は1469万 m^3 と、伐採時期を延長することが大幅な国産材生産量の低下につながることはなかった。国産材振興策では2015年の国産材生産量は約4000万 m^3 と現在の供給量の65%増になると予想された。ただ、図から明らかなように将来は森林の蓄積を減少させることになり、地球温暖化への貢献という点では望ましくない。先に述べたように各森林所有者の伐採傾向をみると、伐採時期を延長しようという傾向が見られるので、森林の蓄積を増加させるために温暖化の軽減にもっとも貢献する長伐期政策に移行することは、それほど難しくないとと思われる。ただし、木材生産量は現状よりも低下し国産材の生産量は現行の6割程度に落ち込んでしまう。これは国内林業の一層の停滞を招くとともに、熱帯地域からの木材輸入量の増加を引き起こす可能性があることから、望ましくない。ケース4は国産材を中庸に振興させようという案であり、2015年での木材供給量も3346万 m^3 と現在の伐採量より38%増加する。一方で、将来も森林の蓄積を低下させることもなく、国内林業の振興と森林蓄積の増加、双方の妥協案といえる。

シナリオ別に予測した森林内への炭素蓄積量



3. 2. 木材部門における炭素固定能力の評価

(1) 木材利用の地球温暖化問題に対する意味

今世紀における大気中の二酸化炭素濃度の急激な増加により、地球温暖化などの気候変動が起きるのではないかと危惧されている。

化石燃料の消費量を数パーセント削減しても、二酸化炭素濃度の増加速度が若干遅くなるだけである。大気中から二酸化炭素を積極的に取り除くためには、生長とともに二酸化炭素を吸収し続け、生きている限り材内に固定し続ける樹木の機能を活用することが、最も有効で現実的なオプションである。すなわち森林が成立しうる気候帯で農畜産地への転換などで破壊された後、放棄された場所等において新規植林により森林を回復する、あるいは様々な理由により劣化した森林を高蓄積の物に転換していくことは明らかに二酸化炭素濃度を減少させることになる。

森林は構成する樹木が若齢の間は旺盛に二酸化炭素を吸収固定している。しかし、成熟・老齢期に入ると光合成による総生産量は日射量などにより一定値になるのに対し、生長した樹体による呼吸量が増加して純生産量は減少してゆく。最終的には寿命や競争に敗れて枯死した樹木からの二酸化炭素放出も加わり、森林の純生長量はゼロに近づく。すなわち、このような森林は樹体内や土壤中に大量の炭素を固定し続けてはいるものの、見かけ上二酸化炭素を吸収も放出もしていない状態になっている。放置された天然林の多くはこのような状態であると考えられる。

従って森林の持つ二酸化炭素削減効果を活用するためには、成熟・老齢期の樹木を適切に伐採して森林系外に持ち出し、常に森林としての純生長量をプラスに保ち続けることが必要である。木材利用の役割の一つはこのような持続的林業管理の土台となり、その経済的裏付けを与えることにある。また先に述べた新規植林等も当然のことながらコストの投入を必要とする。その森林が成熟した段階で生産しうる木材が利用されることになれば、経済的モチベーションが与えられることになり、新規植林等に対するインセンティブとなりうる。

(2) 木材の耐久的利用の意味

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第二次報告書には二酸化炭素削減に対する木材利用の効果として次の三点を挙げている。

- 1.木材・木製品を保持・使用することによる、炭素を貯蔵する効果(貯蔵効果)
- 2.エネルギー集約型の非木質系材料を代替することによる、炭素排出を削減する効果(省エネ効果)
- 3.化石エネルギーを代替することによる、化石燃料中に炭素を隔離し続ける(化石燃料中の炭素を解放しない)効果(エネルギー代替効果)

気候変動枠組み条約第三回締約国会議(COP3)において、我が国は二酸化炭素等の温室効果ガスを1990年レベルに対し2010年に6%削減することを義務づけられている。

上に挙げたうち、2.の省エネ効果と3.のエネルギー代替効果については、例えば建築用材における木材代替、あるいは建築解体廃材のエネルギーリサイクルなどにより、我が国の化石燃料由来の二酸化炭素排出を削減することに直接つながる。従って木材利用を拡大するためのインセンティブとなりうる条件は既に整っている。

しかし現在の所、これらが日本において国民的コンセンサスを得ているかどうかは疑問がある。

また平成大不況や焼却炉からのダイオキシン問題なども絡み、2.と 3.を促進するような具体的な政策的動きも見えてきていないのが現状である。本報告の主旨と異なるため詳述はしないが、筆者らの試算によれば、我が国の二酸化炭素排出総量に対してそれぞれ毎年 1%ずつ程度の削減効果が期待できる。¹¹

一方 1.の貯蔵効果については COP3 および COP4 においても具体的な論議は行われていないのが現状である。しかし 1998 年の IPCC 専門家会合などにおいて、木材の耐久的利用の評価についての議論は進められている。次回の COP5 などに向けて科学技術補助機関(SBSTA)で本格的な論議が行われるものと考えられている。

現在論議されている評価手法は以下の 4 手法である。

- 1.1996IPCC デフォルトアプローチ
- 2.アトモスフェリックフローアプローチ
- 3.ストックチェンジアプローチ
- 4.プロダクションアプローチ

ここで各アプローチについて簡単に説明する。全ての手法で自国の森林蓄積が増加している場合は炭素を吸収していると見なす。持続的林業が行われていれば森林部門では少なくとも排出と見なされることはない。

1.のデフォルトアプローチでは森林系外に持ち出された木材は、様々なフローはあっても短期的なストック量の変動は無視できるとして考慮しない。森林伐採による炭素排出は伐採国で行われたものと見なす。

2.のフローアプローチは化石燃料の取り扱いと同じもので、伐採による炭素排出は木材利用国によって行われたものとする。

3.のストックアプローチは炭素ストックがどこにあるかを重視するもので、伐採した木材が自国にある間はゼロ、廃棄あるいは輸出されたら排出となる。輸入国ではストックが増加した分は吸収、廃棄された時点でゼロとなる。

4.のプロダクションアプローチは炭素ストックの増減を生産国に割り当てたもので、輸出した木材は輸入国で廃棄された時点で生産国の排出となる。

これらのアプローチを選択する際、まず前提となるのはグローバルな炭素フローを正確に反映していることである。この点からは後述するようにデフォルトアプローチは正しいとは言えない。

次に森林破壊に対してマイナスのインセンティブを与えるものであることが望ましい。自国で伐採した木材を消費した場合は全てのアプローチでマイナスのインセンティブになるが、フローアプローチでは輸出してしまえばゼロとなり問題が残る。

また木材の耐久的利用についてはプラスのインセンティブが必要であろう。持続的林業からの国産材利用についてはデフォルトアプローチ以外の全てのアプローチでプラスとなっている。しかし輸入材を利用する場合は、ストックアプローチ以外ではゼロか歩留まりを考慮するとマイナスのインセンティブとなる。

自国の需要量以上の木材生産ポテンシャルがある国は、放置された森林を持続的林業に転換して輸出を盛んにした方がトータルの二酸化炭素吸収量が増えて良いという考え方もあろう。その意味からはフローアプローチがプラスのインセンティブが大きく、プロダクションアプローチで

も輸入国が木材の耐久的利用を行った場合はプラスとなる。

ここで考慮しなければならないのは、持続的林業を行っている森林では若齢木が多く含まれるため、同一面積の成熟・老齢期の森林に比べて炭素蓄積量が小さくなることである。筆者らの試算では、少なくとも伐期齢の年数以上の耐久的木材利用を行わないとトータルの炭素固定量は放置された森林を下回ることになる。²⁾

我が国にとって望ましい評価手法がどれかを考えてみる。まずフローアプローチは我が国のような大木材輸入国はとうてい受け入れることはできない。デフォルトアプローチは木材の耐久的利用の拡大に対してプラスのインセンティブとならないため良くない。プロダクションアプローチも輸入材の耐久的利用についてメリットがない。従ってストックアプローチが最も望ましいと考えられる。

いずれの評価手法が国際的に採用されるにせよ、我が国における木材利用による炭素のフロー量とストック量の正確な把握と将来予測が重要なことは明らかである。本報告の目的は現時点における推定とその問題点を明確化することにある。

(3) 我が国の木材利用の現況

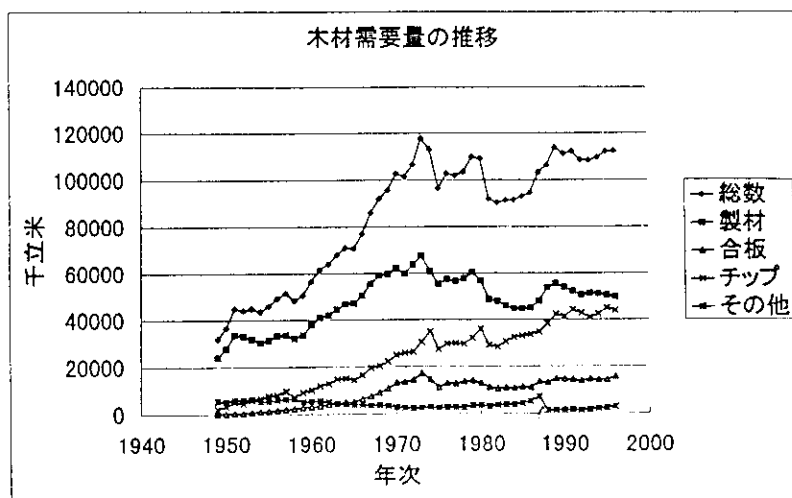
木材利用による炭素フロー量とストック量を把握する際、前提となるのは我が国の木材需要に関する数値である。そこで我が国の1949年から1997年までの木材需要量を表と図に示す。³⁾

これらの数値は各年において我が国および木材輸出国の森林から新たに伐採された木材が、どういう用途で日本国内において使われたかということを示している。従って故紙の回収や建築解体廃材の再利用などは含まれていない。国内におけるフローの全体はそれらが加わったものとなるわけである。

またこれらの数値は丸太換算値であることも注

木材需要量 (単位: 千m³、丸太換算量)

| 年次 | 総数 | 製材 | 合板 | チップ | その他 |
|------|--------|-------|-------|-------|------|
| 1949 | 31865 | 23970 | 258 | 2207 | 5450 |
| 1950 | 36564 | 27806 | 298 | 3284 | 5176 |
| 1951 | 44876 | 33563 | 468 | 4996 | 5849 |
| 1952 | 44016 | 32957 | 525 | 4547 | 5987 |
| 1953 | 44849 | 31737 | 881 | 5938 | 6293 |
| 1954 | 43468 | 30290 | 1149 | 6615 | 5414 |
| 1955 | 45964 | 31262 | 1492 | 7757 | 5453 |
| 1956 | 49144 | 33229 | 1737 | 8146 | 6032 |
| 1957 | 51444 | 33433 | 2060 | 9642 | 6309 |
| 1958 | 48303 | 32171 | 2392 | 7364 | 6376 |
| 1959 | 50593 | 33474 | 2826 | 9162 | 5131 |
| 1960 | 56547 | 37789 | 3178 | 10189 | 5391 |
| 1961 | 61565 | 40891 | 3365 | 11834 | 5475 |
| 1962 | 63956 | 41964 | 4090 | 12805 | 5079 |
| 1963 | 67761 | 44424 | 4352 | 14615 | 4370 |
| 1964 | 70828 | 46751 | 4943 | 15053 | 4080 |
| 1965 | 70530 | 47084 | 5187 | 14335 | 3924 |
| 1966 | 76876 | 50373 | 6257 | 16375 | 3871 |
| 1967 | 85947 | 55398 | 7476 | 19376 | 3698 |
| 1968 | 91806 | 58981 | 8912 | 20225 | 3688 |
| 1969 | 95570 | 59534 | 10597 | 22122 | 3317 |
| 1970 | 102679 | 62009 | 13059 | 24887 | 2724 |
| 1971 | 101405 | 59801 | 13362 | 25715 | 2527 |
| 1972 | 106504 | 63613 | 14309 | 26202 | 2380 |
| 1973 | 117580 | 67470 | 17151 | 30414 | 2545 |
| 1974 | 113040 | 60734 | 14481 | 34957 | 2868 |
| 1975 | 96369 | 55341 | 11173 | 27298 | 2557 |
| 1976 | 102609 | 57394 | 12939 | 29639 | 2637 |
| 1977 | 101854 | 56564 | 12717 | 29841 | 2732 |
| 1978 | 103417 | 57560 | 13585 | 29597 | 2875 |
| 1979 | 109786 | 60314 | 13915 | 32137 | 3420 |
| 1980 | 108964 | 56713 | 12840 | 35868 | 3543 |
| 1981 | 91829 | 48718 | 11086 | 29056 | 2969 |
| 1982 | 90157 | 47862 | 10499 | 28279 | 3517 |
| 1983 | 91161 | 45990 | 10849 | 30584 | 3738 |
| 1984 | 91361 | 44518 | 10664 | 32433 | 3746 |
| 1985 | 92901 | 44539 | 11217 | 32915 | 4230 |
| 1986 | 94506 | 44933 | 10942 | 33558 | 5073 |
| 1987 | 103136 | 47937 | 13463 | 34671 | 7065 |
| 1988 | 106282 | 53681 | 13020 | 38265 | 1316 |
| 1989 | 113850 | 55481 | 14703 | 42313 | 1353 |
| 1990 | 111160 | 53887 | 14548 | 41344 | 1383 |
| 1991 | 112166 | 52230 | 14216 | 44245 | 1475 |
| 1992 | 108489 | 50551 | 13800 | 42760 | 1378 |
| 1993 | 108265 | 51159 | 14533 | 40894 | 1679 |
| 1994 | 109500 | 51001 | 14099 | 42375 | 2025 |
| 1995 | 111930 | 50384 | 14314 | 44931 | 2301 |
| 1996 | 112325 | 49758 | 15726 | 43822 | 3018 |
| 1997 | 110010 | 48415 | 14816 | 44229 | 2550 |



意を要する。すなわち国内の工場に丸太の形で入荷した木材は国内フローにそのままなるが、製品あるいは半製品の形で輸入されたものは一定の歩留まりで丸太量に換算しているため、炭素量の一部は輸出国に存在するわけである。近年輸入が増加している製材品やパルプなどはそうした取り扱いをする必要がある。

なおこれらの数値は用材用としてのもので、薪炭材・しいたけ原木用のものは含まれていないが、近年その比率は重要全体の2%程度となっている。

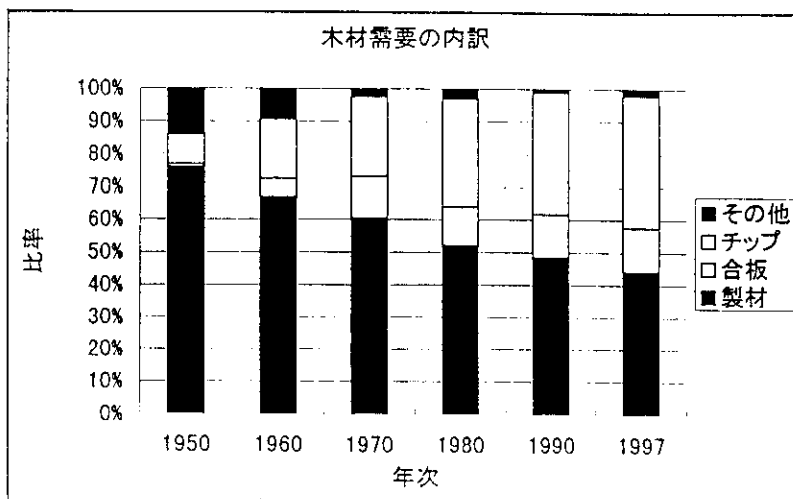
我が国は1987年以降、1億m³以上の木材を毎年使っているという大消費国である。また木材貿易から見ても世界一の木材輸入国である。しかし人口一人あたりの木材消費量では、日本の1m³に対しアメリカは2.4m³という数字もあり、必ずしも多くはないのかもしれない。

総需要の推移についてみると、戦後の経済発展とともに木材需要は一貫して増加傾向が続いていたが、1972年の1億2,000万m³をピークとし、1973年の第一次オイルショックに起因する景気の悪化に伴い増加基調は変化した。1987年から内需拡大政策などにより1億m³以上の状態が続いているが、昨今の平成大不況により1998年には1億m³を割り込むと思われる。

用途別に見ると製紙用が主体のチップ用材は景気の動向には大きく影響されずに、増加傾向が一貫している。これは紙が一種の生活必需品であるためと考えられる。それに対して建材用途が8割を占める製材用材は景気に大きく左右され、また全体的に減少傾向にある。住宅ストックが世帯数を上回っているという状況が続いているため、不要不急の建て替え需要は景気に敏感となるのであろう。合板用については製材用に近い動きではあるが、建築工法の変化により、在来軸組工法に対し壁工法の比率が高まっていることなどから全体的には増加傾向にある。

この用途別の需要について年代を追ってみると、1950年には8割近かった製材用が年とともに比率が減少し、1997年には4割近くまでなっている。それに対してチップ用は1割弱であったものが4割にまで増加している。合板用も1970年までに大きく比率をのぼしていることが分かる。

なおチップ用材については製材工場や合板工場から出る背板や剥き芯などの工場残材をチップ化したものは、既に製材用や合板用にカウントされているため数字には含まれていない。比率的にはチップ用材量に対して15%程度となっており、それを含めると我が国の木材需要として最大のものである。



一方供給については1996年の数字で国産材供給が20%、輸入材が80%となっている。木材自給率は最近年々低下する傾向が続いているが、その内訳を詳しく見てみると、主としてパルプ・チップ用に使われる広葉樹材の供給量が大きく減少していることに因っている。製材用が主体である針葉樹材の供給の減少はそれほど大きくない。

国内の炭素ストックの増減について、フローアプローチかプロダクションアプローチによって

評価することになると、国産材と輸入材を分けて考えなければならないため、推定精度と統計データの不備や労力の点で困難になることが予想される。

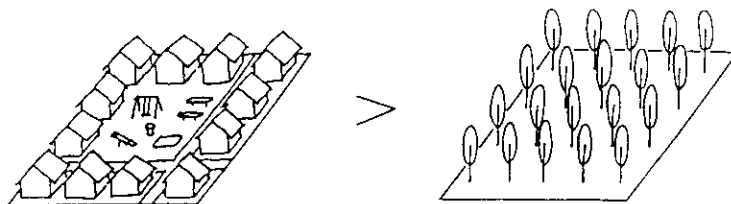
(4) 木材の耐久的利用による炭素ストック

最初に木材の耐久的利用の一例として木造住宅建設による炭素ストック量の試算を示す。

土地の面積を1ヘクタールとして、道路・公園緑地面積として40%とすると、総宅地面積は6,000m²となる。一軒あたりの宅地を100m²とすると60軒建つことになる。家は木造二階建てで一階・二階を合わせた床面積を100m²とする。木造住宅でどのぐらいの木材が使われているかの試算は色々

木造住宅地の炭素固定量

| | | | | |
|--------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------|
| 住宅数 | 床面積 | 木材使用量 | 木材中炭素量 | 炭素固定量 |
| 60軒/ha | × 100m ² /軒 | × 0.2m ³ /m ² | × 0.25t-C/m ³ | = 300t-C/ha |



あるが、床面積1m²あたり0.2m³の木材量であるとする。木材中の炭素量は木材の絶乾比重を0.5として、重量あたりの炭素量が50%であるから、1m³あたり0.25トンの炭素量となる。これらから計算すると1ヘクタールの木造住宅地には300トンの炭素が固定されていることになり、日本の森林のバイオマスと森林土壌に固定されているヘクタールあたりの炭素量を大きく上回る。住宅地の土壌中にも炭素が固定されていることを考慮すると数字はさらに大きくなるだろう。

この建築に使われた木材が持続的林業からの木材だとすれば、伐採量以上の炭素吸収がその森林により行われているわけである。従って都市の中に新たな森林が成立したことと同じ意味となる。新規造林の余地がほとんどない我が国にとって、木造建築を増加させていくことは炭素シーケストレーションの見地から大きな意味を持つことが理解されるだろう。

この試算における問題点をいくつか挙げてみる。

木材の絶乾比重を0.5としたが、柱材等に使われている樹種の比重は0.4～0.6程度のものが使われている。しかし国産のスギ材などでは比重0.4未満であることが多く、国産材と輸入材それぞれについて建築に投入されている樹種の比重分布と投入比率を精査していく必要がある。また木質材料では壁材等に使われる合板の比重は0.6程度、床下地材などに使われるパーティクルボードでは0.7程度であり、それぞれの投入率も問題となる。

炭素含有率について、木材では50%としている研究者が多いが、木質ボード類については45%としているものが多く、試算の際の誤差要因となる。

最も大きいのは建築面積あたりの木材使用量原単位の問題であり、これについては次項で詳説する。

① 建築における木材使用量原単位

建築における木材使用量原単位については、様々な調査データが存在する。居住用の中にも戸建住宅と共同住宅の違いがあり、非居住用では事務所・店舗・工場・倉庫・学校・病院など様々

な用途がある。それぞれについて構造面からは木造・鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造・鉄筋コンクリート(RC)造・鉄骨(S)造などが複合されている。

収集した調査結果の中から数例を表に示す。

木造・非木造という形で大別してデータを見ると、木造では0.101から0.221m³/m²、非木造では0から0.084m³/m²まで大きなばらつきを持っていることが分かる。

また非木造共同住宅の例であるが、建てられた年代によって新しくなるほど木材使用量原単位が減少傾向にあるという調査結果もある。

木造住宅においては建築基準法の耐震基準が改正されるのに伴い、工法の変化とともに木材使用量が変わっている可能性もある。

本報告では木材使用量原単位として、木造では0.2m³/m²、非木造では0.04m³/m²を採った。

調査結果を見ると居住用建築物では木材使用量が大きく、非居住用では使用量が小さい傾向にある。木造は約9割が居住専用建築物となっているため、非居住用のデータで木材使用量が小さいものは影響が小さいと見なした。逆に非木造では居住専用・居住産業併用などにおいて0.04m³/m²を上回る調査結果もあるが、非居住用が5割以上を占めていることから平均を押し下げていると見なした。

住宅の構造と木材の使用量

| | 木質素材 | 集成材 | 木質ボード | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 在来木造 | 0.163 | 0.015 | 0.021 | 0.199 |
| プレハブ | 0.153 | 0.013 | 0.038 | 0.205 |
| S造 | 0.038 | 0.007 | 0.024 | 0.069 |
| RC造 | 0.053 | 0.004 | 0.008 | 0.064 |

単位：(m³/m²)

| 日本木材総合情報センター「木材需要動向分析調査」(1987.3) | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 種類・構造 工法・用途 | 建て方 | 調査 数 | 平均 床面積 (m ²) | 原単位 (m ³ /m ²) | | | | | | |
| | | | | 製品材 | 集成材 | 譲付 | 合計 | | | |
| 住 宅 | 木 造 | 軸組 | 共同 | 18 | 209.8 | 0.126 | 0.001 | 0.016 | 0.143 | |
| | | 枠組 | 戸建 | 15 | 149.3 | 0.169 | 0.004 | 0.048 | 0.221 | |
| | | | 共同 | 7 | 193.0 | 0.163 | 0.002 | 0.046 | 0.211 | |
| | | プレハブ | 戸建 | 3 | 127.0 | 0.115 | 0.001 | 0.037 | 0.153 | |
| | | | 共同 | 3 | 197.2 | 0.118 | 0.001 | 0.055 | 0.174 | |
| | | 鉄 骨 コ ン ク リ ー ト | プレハブ | 戸建 | 7 | 119.1 | 0.062 | 0.001 | 0.021 | 0.084 |
| | 共同 | | | 6 | 213.7 | 0.053 | 0.001 | 0.012 | 0.066 | |
| | プレハブ | | 戸建 | 3 | 121.1 | 0.048 | 0.003 | 0.008 | 0.059 | |
| | | | 共同 | 3 | 515.3 | 0.033 | 0 | 0.015 | 0.048 | |
| | R C ・ S R C | | 在 来 | 戸建 | 5 | 285.2 | 0.032 | 0.001 | 0.005 | 0.037 |
| | | | | 共同 (分譲) | 13 | 8612.2 | 0.022 | 0.001 | 0.002 | 0.025 |
| | | 共同 (貸家) | | 12 | 6299.7 | 0.014 | 0.002 | 0.005 | 0.020 | |
| S 造 | 在 来 | 戸建 | 9 | 170.2 | 0.048 | 0.002 | 0.014 | 0.063 | | |
| | | 共同 | 10 | 405.8 | 0.038 | 0.001 | 0.009 | 0.048 | | |
| 非 住 宅 | 木 造 | 倉庫 | | 3 | 48.3 | 0.101 | 0 | 0 | 0.101 | |
| | | 工場・作業場 | | 3 | 513.7 | 0.158 | 0 | 0 | 0.158 | |
| | | 事務所 | | 4 | 692.3 | 0.144 | 0 | 0.053 | 0.197 | |
| | | 旅館(宿泊業用) | | 3 | 575.3 | 0.205 | 0 | 0.011 | 0.216 | |
| | | 店舗 | | 3 | 155.2 | 0.122 | 0 | 0.004 | 0.126 | |
| | | 学校 | | 4 | 1153.1 | 0.251 | 0.003 | 0.001 | 0.255 | |
| | 非 木 造 | 学校 | | 3 | 11418.0 | 0.003 | 0.001 | 0 | 0.004 | |
| | | 事務所 | | 2 | 1320.7 | 0.027 | 0 | 0 | 0.027 | |
| | | 宿泊業用(ホテル) | | 2 | 2472.5 | 0.022 | — | 0.005 | 0.027 | |
| | | 店舗 | | 2 | 106.3 | 0.006 | 0.008 | 0.014 | 0.028 | |
| | | 工場・倉庫 | | 2 | 2731.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | | |

(備考) 調査時点は1986年度。調査は各事業所からの「材料調書」に基づいた。

| 区分 | | 木造 | 鉄骨鉄筋 コンクリート造 | 鉄筋 コンクリート造 | 鉄骨造 | コンクリート ブロック造 | その他造 |
|----------------|----|--------|-----------------|---------------|--------|-----------------|--------|
| 居住 専用 | 製材 | 0.1632 | 0.0235 | 0.0299 | 0.0374 | 0.0572 | 0.0469 |
| | 合板 | 0.0146 | 0.0164 | 0.0208 | 0.0072 | 0.0205 | 0.0137 |
| 居住 産業 併用 | 製材 | 0.1850 | 0.0194 | 0.0280 | 0.0333 | 0.0452 | 0.0233 |
| | 合板 | 0.0177 | 0.0174 | 0.0198 | 0.0072 | 0.0010 | 0.0105 |
| 事務所 | 製材 | 0.1620 | 0.0058 | 0.0177 | 0.0077 | 0.0344 | 0.0189 |
| | 合板 | 0.0167 | 0.0131 | 0.0161 | 0.0040 | 0.0089 | 0.0095 |
| 店舗 | 製材 | 0.1609 | 0.0099 | 0.0079 | 0.0099 | 0.0062 | 0.0491 |
| | 合板 | 0.0185 | 0.0122 | 0.0135 | 0.0050 | 0.0083 | 0.0189 |
| 工場 作業所 | 製材 | 0.1473 | 0.0056 | 0.0081 | 0.0044 | 0.0068 | 0.0104 |
| | 合板 | 0.0115 | 0.0013 | 0.0147 | 0.0033 | 0.0066 | 0.0095 |
| 倉庫 | 製材 | 0.1302 | 0.0600 | 0.0086 | 0.0065 | 0.0053 | 0.0043 |
| | 合板 | 0.0122 | 0.0143 | 0.0174 | 0.0032 | 0.0008 | 0.0106 |
| 学校 | 製材 | 0.1876 | 0.0135 | 0.0147 | 0.0164 | 0.0376 | 0.0590 |
| | 合板 | 0.0214 | 0.0635 | 0.0191 | 0.0088 | 0.0193 | 0.0094 |
| 病院 | 製材 | 0.1857 | 0.0338 | 0.0103 | 0.0150 | 0.0405 | 0.0394 |
| | 合板 | 0.0249 | 0.0130 | 0.0162 | 0.0071 | 0.0160 | 0.0090 |
| その他 | 製材 | 0.1866 | 0.0130 | 0.0200 | 0.0105 | 0.0231 | 0.0086 |
| | 合板 | 0.0152 | 0.0147 | 0.0185 | 0.0058 | 0.0166 | 0.0060 |

(備考) 調査時点は1988年度。

共同住宅での木材使用量

1. 民間

| 年代 | 下地 m ³ | 化粧(含 集成材) m ³ | ボード m ³ | 計 m ³ | 平均 床面積 m ² | 原単位 m ³ /m ² |
|-------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1975~ | 2.062 | 0.523 | 0.716 | 3.301 | 60 | 0.0550 |
| 1980~ | 1.897 | 0.465 | 0.744 | 3.106 | 65 | 0.0478 |
| 1985~ | 1.504 | 0.399 | 0.771 | 2.674 | 70 | 0.0382 |
| 1990~ | 1.713 | 0.381 | 0.433 | 2.527 | 80 | 0.0316 |
| 1995~ | 1.503 | 0.381 | 0.433 | 2.317 | 70 | 0.0331 |

民間マンションでは、畳、天井クロス、フローリング(又はカーペット)はコンクリートの上に直貼り

共同住宅での木材使用量

2. 公団

| 年代 | 下地 m ³ | 化粧(含 集成材) m ³ | ボード m ³ | 計 m ³ | 平均 床面積 m ² | 原単位 m ³ /m ² |
|-------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1975~ | 2.53 | 0.721 | 1.855 | 5.106 | 65 | 0.0786 |
| 1980~ | 2.46 | 0.71 | 1.855 | 5.025 | 65 | 0.0773 |
| 1985~ | 3.12 | 0.622 | 2.008 | 5.750 | 70 | 0.0821 |
| 1990~ | 2.213 | 0.563 | 2.008 | 4.784 | 70 | 0.0683 |
| 1995~ | 1.79 | 0.509 | 2.008 | 4.307 | 70 | 0.0615 |

公団マンションでは、畳、フローリング(又はカーペット)は下地に25mmのPBを使用。

②建築における木材の炭素ストック量

建築物にどれくらいの木材が固定されて炭素ストックとなったかを知るためには、着工建築物に関する統計を得る必要がある。そこで表と図に1951年から1996年までの構造別着工建築物量を示す。⁴⁾

我が国の特徴として、欧米諸国に比べてGDPに占める建設投資が著しく高いということが言われている。同時に住宅の建て替えられる周期は欧米の1/2から1/4という非常に短いものになっている。これは建築物の物理的耐用年数が短いことを意味しているわけではなく、社会・制度的問題によっていると考えられている。現在は平成大不況を乗り切るため、建設フローを減らさない対策が採られている。しかし地球環境問題を考えた場合、建設においてもフロー型からストック型社会への転換が求められるだろう。従って着工建築物量が漸減していくことになる。

着工建築物量の推移を見ると、前述の木材需要量と同様に、戦後一貫して増加基調にあったものが1973年の第一次オイルショックにより1974年には激減した。その後、増減はあるものの1986年以降は2億m²を上回る量となっている。

構造別内訳について年代をおってみると、1951年には木造が9割近かったかが、年とともに比率は減少し1990年には3割まで落ち込んだが、1996年には4割近くまでになっている。他工法はそれぞれ大きく比率を増加させているが、特にS造が大きく伸びたのが目につく。1990年前後には木造を上回る量が建築されていた。

これらの数値から前項の木材使用量原単位を掛け合わせるにより各年における新たにストックされた炭素量を推定することができる。

一方各年毎のストック量の増減量を知るためには、ストックから消滅した量も得る必要がある。

そこで建て替えなどのために除却した量と災害によって失われた量を加えた滅失建築物の1951年から1996年のデータを表と図に示す。

このデータについては着工建築物とは異なり、構造別の統計値はなく木造・非木造の値しか得られない。

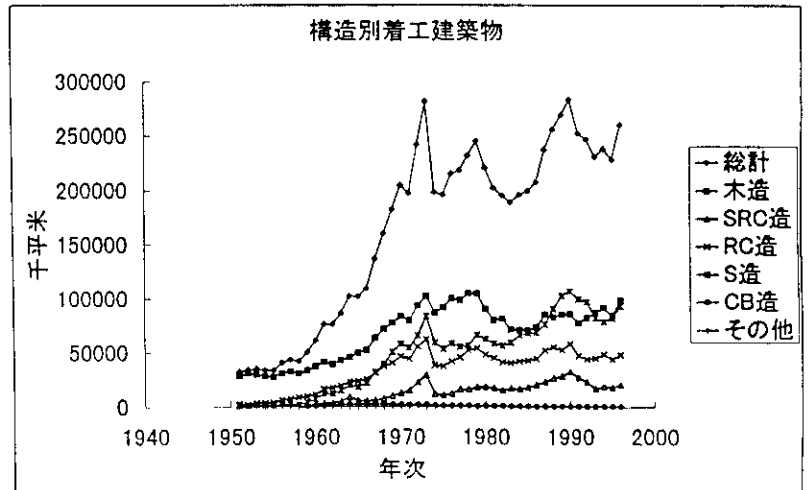
滅失建築物量の推移を見ると、着工建築物とは異なり景気の動向の影響は若干見てとれるものの、ほぼ一貫して増加傾向にある。これは1973年までの増加傾向にあった建築物が除却されていくことを考えると理解できる。また1959年に滅失建築物量が激増しているが、これはほとんどが災害によるもので、同年の伊勢湾台風により全国的被害が出たためと考えられる。

滅失建築物の構造的な内訳について年代をおってみると、1960年まではほとんど木造であったが、徐々に非木造の滅失量が増えてゆき、1996年では約4割が非木造となっている。今後は着工建築物中の木造比率の低下していった年代の建物が除却されることになると思われるため、非木造の比率はさらに上昇すると考えられる。

前と同様にそれぞれに木材使用量原単位を掛けることにより、建築物ストック量から消滅した

構造別着工建築物（単位：千m²）

| 年 | 総計 | 木造 | SRC造 | RC造 | S造 | CB造 | その他 |
|------|--------|--------|-------|-------|--------|------|-----|
| 1951 | 32450 | 28624 | | 2751 | 942 | | 134 |
| 1952 | 34356 | 30914 | | 2326 | 853 | | 262 |
| 1953 | 35121 | 29911 | | 3506 | 1338 | | 366 |
| 1954 | 34106 | 28318 | | 4078 | 1179 | | 532 |
| 1955 | 33920 | 27684 | | 4318 | 1274 | | 645 |
| 1956 | 40866 | 31289 | | 6513 | 2226 | | 837 |
| 1957 | 43669 | 32533 | | 7546 | 2604 | | 985 |
| 1958 | 42429 | 30726 | | 9033 | 2312 | | 358 |
| 1959 | 50766 | 33622 | 1704 | 9777 | 4374 | 1113 | 175 |
| 1960 | 61461 | 37547 | 3047 | 11558 | 7568 | 1485 | 257 |
| 1961 | 76872 | 41384 | 4165 | 16560 | 12438 | 1926 | 400 |
| 1962 | 76645 | 39408 | 4232 | 17897 | 12442 | 2182 | 484 |
| 1963 | 86835 | 43156 | 5522 | 19699 | 15406 | 2522 | 531 |
| 1964 | 102663 | 46167 | 9543 | 23616 | 19931 | 2774 | 633 |
| 1965 | 102300 | 50149 | 6380 | 23970 | 18374 | 2913 | 515 |
| 1966 | 109737 | 52570 | 5904 | 25822 | 22147 | 2749 | 544 |
| 1967 | 137398 | 63762 | 6505 | 31378 | 32265 | 2805 | 682 |
| 1968 | 160470 | 72296 | 7914 | 37235 | 39613 | 2921 | 491 |
| 1969 | 182748 | 77792 | 10409 | 40739 | 50713 | 2699 | 396 |
| 1970 | 205034 | 83747 | 12860 | 46882 | 58534 | 2451 | 560 |
| 1971 | 197737 | 80202 | 15210 | 44627 | 54699 | 2195 | 803 |
| 1972 | 242309 | 93831 | 23046 | 55893 | 66233 | 2341 | 965 |
| 1973 | 281751 | 102681 | 29491 | 62726 | 84147 | 2373 | 332 |
| 1974 | 198557 | 87047 | 12096 | 38652 | 59804 | 1776 | 181 |
| 1975 | 196292 | 91916 | 11087 | 37624 | 53749 | 1607 | 309 |
| 1976 | 215474 | 100438 | 12650 | 42081 | 58675 | 1435 | 195 |
| 1977 | 218509 | 98819 | 16379 | 45897 | 55858 | 1322 | 234 |
| 1978 | 231997 | 104938 | 16346 | 52185 | 56920 | 1398 | 210 |
| 1979 | 245299 | 104874 | 18333 | 54081 | 66625 | 1100 | 285 |
| 1980 | 220973 | 90301 | 18383 | 48355 | 62710 | 990 | 233 |
| 1981 | 202714 | 80290 | 17505 | 45266 | 58511 | 875 | 267 |
| 1982 | 195642 | 81384 | 15226 | 41213 | 56672 | 806 | 341 |
| 1983 | 189281 | 71526 | 16960 | 40375 | 59475 | 663 | 282 |
| 1984 | 196138 | 70970 | 16307 | 41817 | 66071 | 618 | 335 |
| 1985 | 199560 | 70493 | 17748 | 42571 | 67926 | 528 | 293 |
| 1986 | 207682 | 73679 | 20316 | 44339 | 68520 | 515 | 314 |
| 1987 | 237226 | 85081 | 23168 | 52057 | 76087 | 498 | 336 |
| 1988 | 255783 | 82726 | 26547 | 55106 | 90580 | 481 | 343 |
| 1989 | 269210 | 85094 | 28240 | 52384 | 102643 | 461 | 288 |
| 1990 | 283421 | 85397 | 32288 | 58061 | 106841 | 460 | 374 |
| 1991 | 252260 | 77507 | 27108 | 47248 | 99570 | 377 | 449 |
| 1992 | 246601 | 82059 | 22872 | 43896 | 97092 | 314 | 370 |
| 1993 | 230654 | 86748 | 16674 | 44706 | 81805 | 284 | 436 |
| 1994 | 238066 | 91450 | 18619 | 48440 | 78815 | 231 | 511 |
| 1995 | 228145 | 84167 | 17775 | 43847 | 81575 | 351 | 431 |
| 1996 | 259793 | 98127 | 20168 | 47807 | 92906 | 268 | 518 |

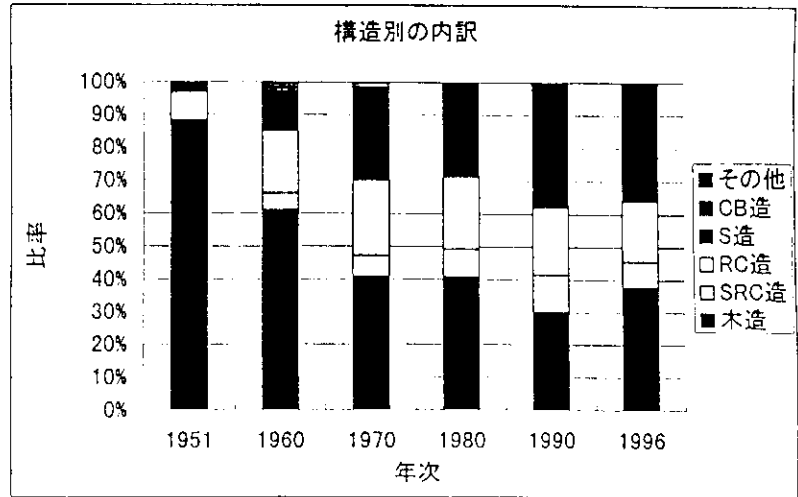


炭素量が推定される。

ここで1996年における我が国の建築物中に固定されている炭素量の増加量を試算してみる。

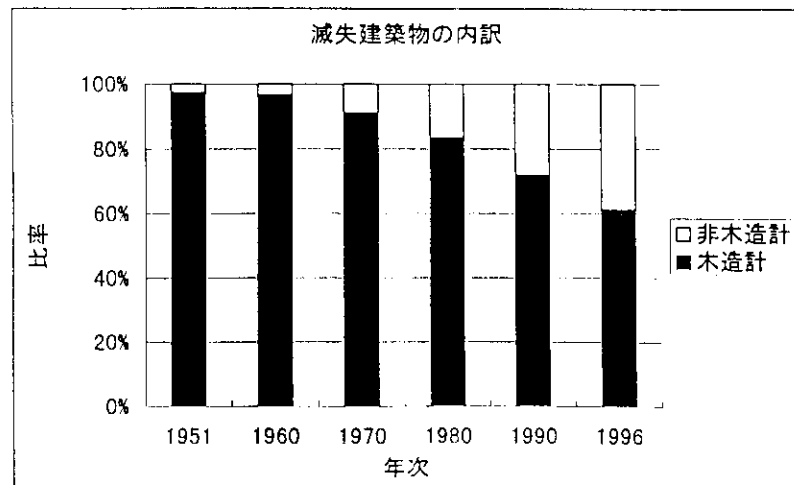
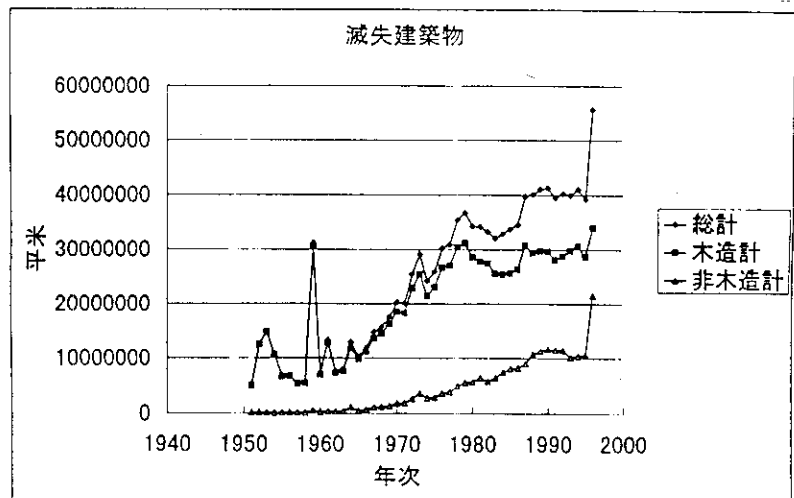
木材使用量原単位については現在の所一桁程度の有効数字であり、木材中炭素量についても前述のように問題は存在している。従って結果についての信頼性は厳密には一桁程度であるが、大まかなイメージを示すため、1万トン単位の数値を挙げた。

新規着工のうち、木造建築物に固定された炭素量は約491万トン、非木造では162万トンとなる。新規着工により日本全体の建築ストックに新たに加わった炭素固定量は、四捨五入の関係で652万トンとなる。滅失建築物中の炭素量は、同様に木造で170万トン、非木造では22万トンとなる。建築ストックから失われた量は192万トンとなる。これを差し引くことにより、1996年における炭素固定増加量は460万トンとなり、使用した木材が持続的林業より得られたものであるならば、これだけの炭素量を大気から積極的に取り除いたことになる。



滅失建築物 (単位：m2)

| 年 | 総計 | 木造計 | 非木造計 |
|------|----------|----------|----------|
| 1951 | 5087276 | 4954917 | 132360 |
| 1952 | 12578567 | 12410776 | 167791 |
| 1953 | 14876222 | 14773912 | 102310 |
| 1954 | 10733834 | 10631683 | 102151 |
| 1955 | 6776309 | 6643250 | 133059 |
| 1956 | 6854872 | 6703432 | 151440 |
| 1957 | 5526085 | 5362863 | 163221 |
| 1958 | 5579931 | 5454444 | 125486 |
| 1959 | 31201397 | 30643327 | 558070 |
| 1960 | 7259083 | 7014205 | 244878 |
| 1961 | 13234885 | 12841409 | 393476 |
| 1962 | 7654922 | 7334334 | 320588 |
| 1963 | 7953527 | 7597918 | 355249 |
| 1964 | 12910807 | 11747740 | 1163067 |
| 1965 | 10262521 | 9794852 | 467669 |
| 1966 | 11818685 | 11167756 | 650929 |
| 1967 | 14717674 | 13602666 | 1115008 |
| 1968 | 15698231 | 14465992 | 1232239 |
| 1969 | 17511922 | 16170718 | 1341204 |
| 1970 | 20273653 | 18461699 | 1811954 |
| 1971 | 20061973 | 18223883 | 1838090 |
| 1972 | 25502618 | 22859053 | 2643565 |
| 1973 | 29078345 | 25451042 | 3627303 |
| 1974 | 24227636 | 21437836 | 2789800 |
| 1975 | 25938284 | 23081206 | 2857078 |
| 1976 | 30255221 | 26622340 | 3632881 |
| 1977 | 30897577 | 27033024 | 3864553 |
| 1978 | 35444616 | 30488479 | 4955537 |
| 1979 | 36719284 | 31158762 | 5560522 |
| 1980 | 34278601 | 28579745 | 5698856 |
| 1981 | 34163331 | 27734299 | 6429032 |
| 1982 | 33244669 | 27438641 | 5806028 |
| 1983 | 32045718 | 25570422 | 6475296 |
| 1984 | 32869614 | 25425148 | 7444466 |
| 1985 | 33697059 | 25616984 | 8080075 |
| 1986 | 34533047 | 26334773 | 8198274 |
| 1987 | 39731278 | 30748014 | 8983264 |
| 1988 | 40104738 | 29377689 | 10727049 |
| 1989 | 41021057 | 29720290 | 11300767 |
| 1990 | 41310460 | 29668151 | 11642309 |
| 1991 | 39564753 | 28087233 | 11477520 |
| 1992 | 40275378 | 28815351 | 11460027 |
| 1993 | 39970408 | 29818092 | 10152316 |
| 1994 | 41041544 | 30625741 | 10415803 |
| 1995 | 39284254 | 28731860 | 10552394 |
| 1996 | 55642536 | 34053393 | 21589143 |



1996年における建築物中の炭素固定増加量の試算

新規着工建築物中の炭素固定量

| | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 木造着工床面積 | 単位木材使用量 | 木材中炭素量 | 炭素固定量 |
| 98,127,000m ² | × 0.2m ³ /m ² | × 0.25t-C/m ³ | ≒ 491万t-C |
| 非木造着工床面積 | 単位木材使用量 | 木材中炭素量 | 炭素固定量 |
| 161,667,000m ² | × 0.04m ³ /m ² | × 0.25t-C/m ³ | ≒ 162万t-C |
| 新規着工建築物総計 652万t-C | | | |

減失建築物中の炭素固定量

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 木造減失床面積 | 単位木材使用量 | 木材中炭素量 | 炭素固定量 |
| 34,053,393m ² | × 0.2m ³ /m ² | × 0.25t-C/m ³ | ≒ 170万t-C |
| 非木造減失床面積 | 単位木材使用量 | 木材中炭素量 | 炭素固定量 |
| 21,589,143m ² | × 0.04m ³ /m ² | × 0.25t-C/m ³ | ≒ 22万t-C |
| 減失建築物総計 192万t-C | | | |

炭素固定増加量 460万t-C

③建築への木材投入量

前項の試算により炭素固定量の大きな数値は得られたが、木材使用量原単位の問題などがある。そこで木材工業側からの建築への投入量を推定することにより、さらに検討を進める。

ここでは1997年のデータを用いるが、これは同年より合板の出荷量が従来の面積から体積単位のものになり、炭素換算が容易なためである。1996年と比べると木材総需要量は2%の減少となっている。

まず製材品についてであるが、国内製材分では出荷量が2,195万m³となっている。輸入製材品は1,219万m³とのデータがあるが、この中には半製品として輸入され、国内の製材所等で再製材されて国内出荷分としてカウントされているものが含まれている可能性がある。製材品の需要のうち約80%は建築用であり、その他は木箱仕組み板・梱包用材10%、家具建具用材3%、土木建設用材4%などとなっている。従って建築部門へ出荷された製材品は2,731万m³となる。

ここで問題となるのは加工歩留まりがどの程度で実際に建築物に固定されることになるかである。プレカット工場では購入した製材品の加工歩留まりは83%との調査結果がある。つまり木造住宅へ実際に固定される量はその程度と考えられる。プレカットではない一般の工務店では歩留まりはそれ以下と考えられる。木質プレハブ工場では購入した製材品の製品歩留まりは9割以上とのことである。建築現場でどの程度の木質廃棄物が出るかとの調査結果によると、木造では1%程度との数値がある。そこで製材品に対する建築物への固定比率を80%とすると、2,185万m³が固定されることになる。

次に合板についてであるが、国内製造および輸入を合わせた出荷量は955万m³である。合板

建築部門への木材投入量の試算

製材品(1997)

| | | | | |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 国内製材分 | 素材入荷量 | 3,315万m ³ | 出荷量 | 2,195万m ³ |
| 輸入製材品 | 1,219万m ³ | 合計 | 3,414万m ³ | |
| 建築用 | 約80%→×0.8= | 2,731万m ³ | | |
| 加工歩留まり | 約80%→×0.8= | 2,183万m ³ | | |

合板(1997)

| | | | |
|-----|-----------------------------|-------------|---------|
| 出荷量 | 955万m ³ (製造・輸入等) | | |
| 建築用 | 約50% | そのうち型枠用合板比率 | 約30%と仮定 |
| | →×0.2=191万m ³ | | |

木質ボード類(1997)

| | | | | |
|------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|
| 原材料量 | 310万m ³ | 製造歩留まり | 約90%→×0.9= | 279万m ³ |
| 建築用 | 40%→×0.4= | 112万m ³ | | |

総計 2,488万m³ 炭素換算 ×0.25t-C/m³=622万t-C

建築現場での木質廃棄物

(1998年)

| 工 法 | 木質素材 m ³ | 木質ボード m ³ | 計 m ³ | 平均坪数 坪 | 原単位 m ³ /m ² | 件数 戸 |
|--------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|---------------------------------------|---------|
| 在来軸組 | 0.32 | 0.15 | 0.35 | 39 | 0.0027 | 87 |
| 鉄骨7/A7 | 0.12 | 0.1 | 0.22 | 32 | 0.0021 | 10 |
| 木質7/A7 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 29 | 0.0031 | 3 |

の用途のうち建築用は約5割である。しかしRC造や木造の基礎工事などに用いられる型枠用合板は、数回の使用の後廃棄されるのがほとんどであるため建築物に固定されない。型枠用合板の比率はRC造等の建築が増加するにつれて増えていっているが、合板全

体の約3割であると仮定した。型枠用合板として売られても、壁材として用いられる場合もあり、実態は不明である。また製材品と同様の歩留まりの問題もある。ここでは建築物に固定される合板の量を全体の2割であると仮定すると、191万m³となる。

木質ボード類については体積単位の出荷量データがないが、後述の原料使用実態から数値を拾うと、1997年では310万m³との数値がある。製品製造歩留まりを9割とすると出荷量は279万m³となる。これは原料の木材からの換算であるので、比重は0.5とする。用途別では建築用が約4割であるため、112万m³となる。ここでも建築物への加工歩留まりの問題があるが、この数値をそのまま用いる。

これらを合計して建築物へ固定されたであろう木材投入量を計算すると、2,488万m³となる。これを炭素換算すると622万トンとなり、前項で試算した1996年の新規着工建築物に固定された炭素量652万トンと年次は1年異なるがかなり近い値となる。

④建築物の耐用年数

前述のように各年における建築物中の炭素ストック量の増減は、各年の建築統計データからも試算ができる。しかし将来における炭素ストック量の変化をシミュレートし、政策的なオプションを得るためには建築物の耐用年数のデータが必要となる。

また木造建築物を建設する際の資材生産などに要するエネルギー原単位は、RC造などの他工法と比較して小さいという多くのデータがある。しかし建築物のライフサイクルをトータルしたエネルギー消費を考える場合、耐用年数のデータなしには評価できない。すなわち木造がRC造の建設の半分のエネルギー消費であっても、寿命が半分であればトータルのエネルギー消費は変わらないことになる。

建築物が除却される原因としては、老朽化といった物自体の劣化に含まれるものが最も多いと考えられているが、それ以外の社会的・制度的要因も大きく、耐用年数がどれくらいかということとは簡単には言えない。先に述べたように日本の建て替え周期は欧米と比較して極端に短いことから、例えば老朽化といってもメンテナンスなどによってはもっと長く使える物を除却してしまっているという可能性は高い。

調査結果の一例として、1987年の住宅金融公庫の融資により建て替えを行った住宅についてのものを紹介する。⁹⁾

木造では平均36.8年、非木造ではサンプル数が145で全体の7%程度と少ないが21.2年という結果になっている。木造の建て替えでは築50年以上、すなわち1937年以前に建てられた住宅が最も多く平均値を押し上げる結果となっている。しかし50年未満での最頻値を見ても木造が24年以下、非木造が19年以下となっており、少なくとも木造の寿命が他構造と比べて短いとは言

えない。

事務所等の非居住用建築物の寿命についてもいくつかのデータが公表されているが、RC造事務所では木造専用住宅と同等、S造事務所ではそれより短いとの結果もある。⁶⁾

表-5 取り壊した住宅の築後経過年数×構造

(単位：件数、%)

| 構造 | 経過年数 | | | | | | | | | | | | | 不明 | 平均 |
|-----|--------------|-----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|--|------|----|
| | 合計 | ～4年 | ～9年 | ～14年 | ～19年 | ～24年 | ～29年 | ～34年 | ～39年 | ～44年 | ～49年 | 50年以上 | | | |
| 合計 | 2,027 100 | 72 3.6 | 7 0.3 | 122 6.0 | 342 16.9 | 374 18.5 | 237 11.7 | 185 9.1 | 97 4.8 | 113 5.6 | 38 1.9 | 440 21.7 | | 35.6 | |
| 木造 | 1,870 100 | 59 3.2 | 6 0.3 | 101 5.4 | 292 15.6 | 334 17.9 | 225 12.0 | 177 9.5 | 96 5.1 | 110 5.9 | 37 2.0 | 433 23.2 | | 36.8 | |
| 非木造 | 145 100 | 10 6.9 | 1 0.7 | 20 13.8 | 49 33.8 | 38 26.2 | 11 7.6 | 6 4.1 | 1 0.7 | 2 1.4 | 1 0.7 | 6 4.1 | | 21.2 | |
| 不明 | 12 100 | 3 25.0 | | 1 8.3 | 1 8.3 | 2 16.7 | 1 8.3 | 2 16.7 | | 1 8.3 | | 1 8.3 | | 21.5 | |

⑤木材のリサイクル

前述の建築への木材投入量の試算では、パーティクルボードの部分で若干の建築解体廃材等が原料として使用されているが、大部分はその年の新規木材需要から製造された製品について計算されている。

また建築における木材ストック量の試算においても、滅失建築物からの解体木材廃材は二酸化炭素の排出源であると見なした。

しかしそのような木材をそのまま新規着工建築物の柱・梁などとして再利用する水平型マテリアルリサイクルを行うこと、あるいは後述するような木質ボードなどとして建築に利用するカスケード型マテリアルリサイクルを行うことは、木材の耐久的利用における耐用年数をのばすことになる。これは同時に木材の省資源となり、必要とする持続的林業を行う森林資源面積が少なく済むことになり、森林の炭素シーケストレーション機能を高めることにつながる。またリサイクルの種類によっては、乾燥エネルギーなどの点において新しい木材から製品を製造することに比べて省エネルギー的になる可能性もある。

本報告においては詳述しないが、木材廃材のエネルギーリサイクルは化石燃料由来の二酸化炭素排出を削減する上でも大きな効果を持つ。

木質系廃棄物に関する統計は少ないが、1991年における発生・再利用状況をまとめたものを示す。⁷⁾

木質廃棄物の発生量は3,746万m³と見積もられ、そのうち51%は何らかの形で再利用されているが、49%は焼棄され無駄に二酸化炭素排出源になると概算されている。

製材業などの木材工業から出る廃材は、95%

木質廃棄物等の発生・再利用状況(1991)

| | | | |
|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| 木質廃棄物発生量計 | 3,746万m ³ | 再利用量計(概算) | 1,923万m ³ |
| | | 焼棄却量計(概算) | 1,823万m ³ |
| 木材工業 | 1,566万m ³ | 再利用 | 1,483万m ³ |
| | | 焼棄却 | 83万m ³ |
| 製材業 | 1,281万m ³ | | |
| 合板工業 | 270万m ³ | | |
| 集成材工業 | 15万m ³ | | |
| 木材工業以外 | 2,180万m ³ | 再利用 | 440万m ³ |
| | | 焼棄却 | 1,740万m ³ |
| 建築関係 | 1,860万m ³ | | |
| その他 | 320万m ³ | | |

「木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書」(日本住宅・木材技術センター 1995)より

はパルプ製紙などのチップや、木材乾燥のための熱源、発電用などに有効利用されている。

しかし総量の 58%を占める木材工業以外から出る廃材については、2 割程度しか再利用されておらず、そのうち更に 2 割程度しか紙パルプ・ボード原料などのマテリアルリサイクルされていない。

全体の焼棄却量の 1,823 万 m³ は炭素量に換算すると約 456 万トンとなり、1990 年の我が国の化石燃料からの炭素排出量の 1.5%にあたる数値である。木材利用に関する評価手法ではフローアプローチ以外では、木材利用の炭素排出はカウントされないが、何らかの有効利用のための施策が必要であることは明らかである。

⑥木質ボードによる廃材リサイクル

パーティクルボード、ファイバーボードなどの木質ボードは、後述の紙パルプと並んで木質系廃材のリサイクルにおいて大きな役割を果たす可能性がある。

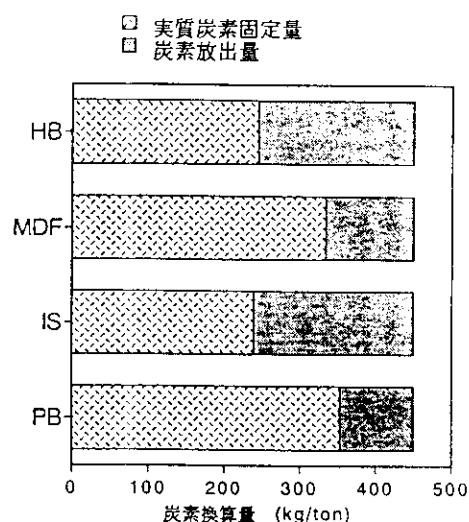
はじめに各種ボードにおける炭素収支を図に示す。

木質ボード類の重量あたりの炭素固定量は、木材素材の 0.5 に対して 0.45 とすることが多く、1 トンあたり 450kg となっている。そのうち製造における炭素排出量を差し引いたものを実質炭素固定量として示している。ファイバーボードのうちハードボードとインシュレーションボードは実質炭素固定量が低く、中質繊維板(MDF)はパーティクルボードより若干小さい値になっている。これはファイバーボードの方がパーティクルボードより構成するエレメントが小さいため、同じチップを使用した場合エレメントの製造エネルギーをより多く要することによる。ハードボードとインシュレーションボードは水に繊維を分散して成形する湿式工程で製造されることが多く、より多くの乾燥エネルギーを要する。

実質炭素固定量がゼロであった場合は、製造過程の炭素排出量と製品中の固定量が等しいわけであるから大気中の二酸化炭素濃度削減に対する効果がないことになる。

木質ボード類は全て炭素収支の点ではプラスである。しかしエネルギーリサイクルによる化石燃料由来の炭素排出削減との得失という観点からは、木質材料の炭素あたりのエネルギー効率が化石燃料の約半分であるため、実質炭素固定量がそれ以上でなければ、一時的なメリットは小さいことになる。その意味から、パーティクルボードと MDF はより有効である。しかし当然のことながら木質ボードは使用されてから廃棄されるときにもエネルギーリサイクルは可能である。

また用途と使用実態を考えると、家具建具用材や建築での床下地材として使われる木質ボードは、製品・建築物の耐用年数が終わるまで炭素固定をしていることになる。その点では製品の寿命が短い紙パルプへのリサイクルと比較して炭素シーケストレーションとしての効果は高いと考えられる。



木質ボード1トン当たりの炭素固定量(450kg)と製造時の炭素放出量の関係

HB: ハードボード、MDF: 中質繊維板
IS: インシュレーションボード
PB: パーティクルボード

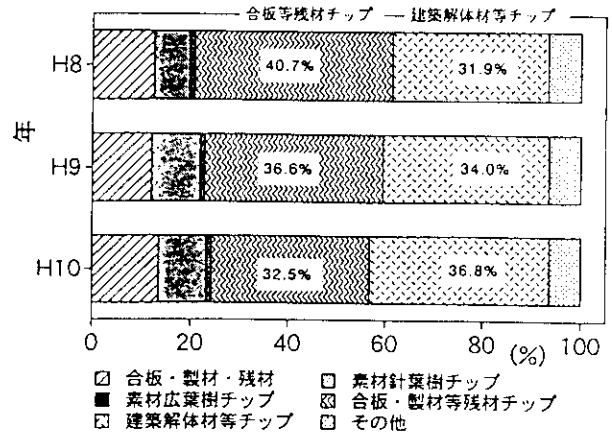
木質ボード用原料の使用実態を表と図に示す。

木質ボード用原料使用実態

日本繊維板工業会調べ
単位：千m³

| | 素材 (丸太) | 合板・ 製材残材 (剥芯、端材 単板等) | 購入チップ | | | | その他 | | 合計 |
|-----|------------|-------------------------------|-------|-----|---------------------|----------------------|-------------------|------|----|
| | | | 素材チップ | | 合板・製材 等残材 チップ | 建築解体 材等から のチップ | ワダ-腐 蝕屑 古紙等 | | |
| | | | 針葉樹 | 広葉樹 | | | | | |
| H8 | 3.2 | 356 | 161 | 156 | 1520 | 783 | 179 | 3157 | |
| H9 | 3.4 | 327 | 206 | 125 | 1417 | 855 | 167 | 3101 | |
| H10 | 2.4 | 310 | 181 | 117 | 1135 | 801 | 142 | 2687 | |

注) H10は見込み量
パーティクルボード、繊維板(インシュレーションボード、中質繊維板、ハードボード)



パーティクルボード用原料使用実態 (日本繊維板工業会調べ)

平成9年(1997)の木質ボード類の原料は全部で310万m³である。そのうち丸太素材・素材チップの比率は11%で、約9割は木材工業からの廃材や建築解体廃材などのリサイクル原料を用いている。

しかし前項で述べたような木材のリサイクルを促進するためには、無駄に焼棄却される量の大部分を占める建築解体廃材等の古材をいかに利用するかが重要である。そこでパーティクルボード工場における古材の利用実態についての調査を行った。⁸⁾

アンケートと実地調査により国内のパーティクルボード製造15社16工場中の11工場について調べた。これにより生産量の75%をカバーしている。

1992年における古材原料使用率を見ると平均20%で、工場によって古材利用率が非常に高いところと低いところ、全く使用していない所などがある。古材利用率の将来予測については答えてくれた工場のほとんどで増えるとの予測で5年後の利用率としては平均37%としていた。

前回調査の5年後である1997年の古材利用率の実績を調査したところ、平均40%で倍近くに増えている。同様に将来予測でも5年後には65%、更に将来では74%と増加するとの見通しで、現在古材を使用していない工場でも使用することになるだろうとの結果であった。

原材料となる古材の実例を写真で示す。

上の写真は建築解体材であるが、柱・梁を中心とした比較的良質の古材が主であった。下はフォークリフト用のパレットなど各種古材である。しかし建築解体材が全てこのような良質のものではなく、今後利用を増加していくためには機械解体による様々な形状や混合物の多い質の悪いものも使っていくことが考えられる。そのためには克服すべき技術的課題も多い。

パーティクルボードに使用された古材の比率について、1992年と1997年のデータを示す。

1992年と比較すると解体材比率が増加しており、その重要性が増していることが分かる。その他の古材としては型枠合板、パレット、梱包材の順になっている。

古材原料の1992年と1997年における入手先を図に示す。

1992年においては解体業者から直接入手して自社工場チップ化しているものが多かった。しかし1997年には中間処理業者がチップ化したものを購入することが多くなっている。これは中間処理が産業として成り立つようになったことを示し、流通経路の変化が認められる。

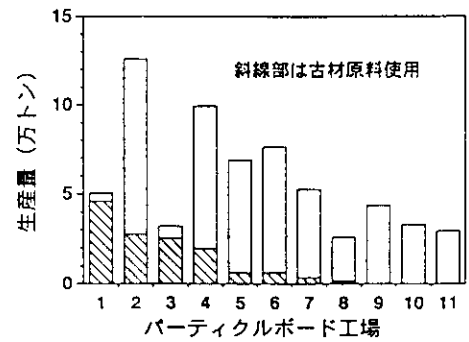
解体材チップの具体的形状を写真に示す。Aは切削加工によって製造されたチップで、原料形質にこだわる製紙業でも利用できる良質のもので、素材チップと比較しても何ら遜色がない。B,C,Dは破碎加工によって製造されたチップである。チップの性状は製品品質に影響する重要な因子であり、リサイクルの課題の根幹である。

古材使用時における問題点についての調査結果を、1992年と1997年について示す。

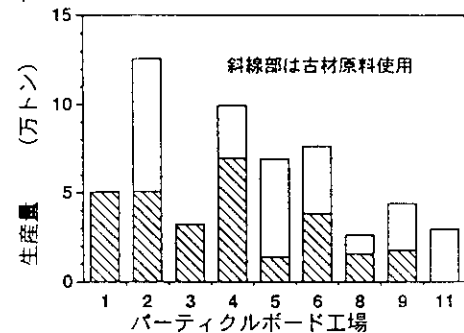
どちらにおいても異物除去が最大の問題と指摘されている。これは解体の仕方などが大きく関わってくる。供給の不安についてはこの5年間で減少しており、流通ルートが確立されつつあることを示している。

ボード類の製造は連続生産であり、原料が安定供給されなければリサイクルを進めることはできない。そこで古材原料入手の難易度についての1992年と1997年の調査結果を示す。1992年においては解体材の供給が安定しているとの答えは1社しかなかった。しかし現在では解体材についてかなり安定供給が図られるようになってきている。

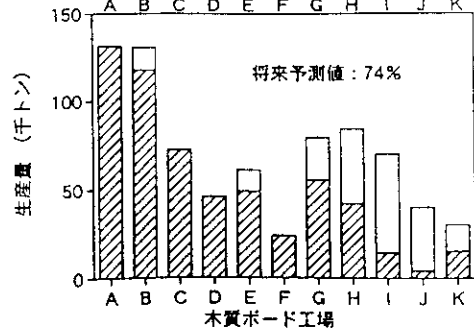
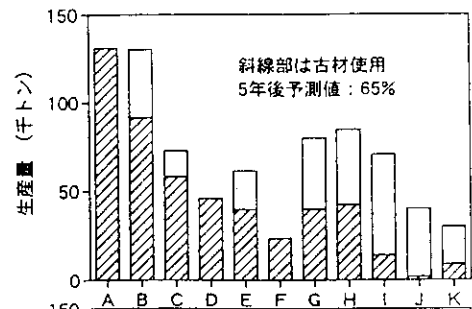
現在木質ボード類に固定されている炭素量は、約70万トンと見なされる。そのうち建築解体材からのものは約19万トンと考えられる。今後、解体材の利用比率が高まることにより、ほとんどが焼棄却されている建築解体廃材が、ボードとして炭素ストック固定量の増加に寄与することが期待される。



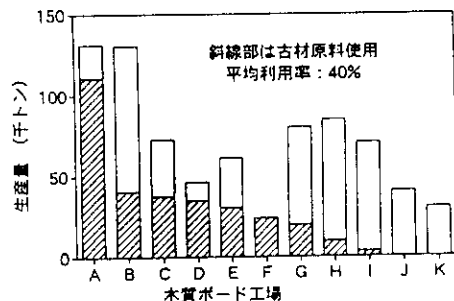
1992年におけるパーティクルボード11社の製造実績と古材原料利用率 平均20%



1992年におけるパーティクルボード9社の製造実績と古材利用率の将来予測
5年後：平均37% 将来：平均45%



木質ボード工場における古材利用率の予測 (1998年調査)

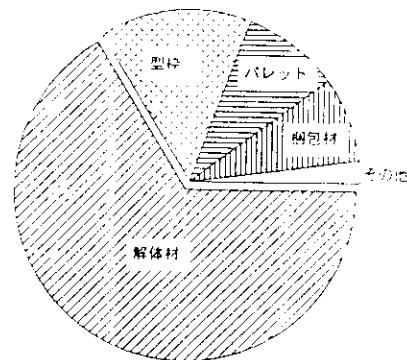


木質ボード工場の生産量と古材利用率 (1997年実績)

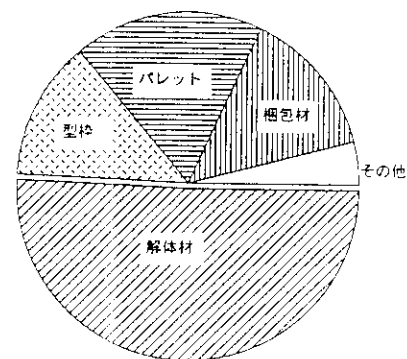


上：柱、梁を中心とした解体材
下：パレット、他、各種古材

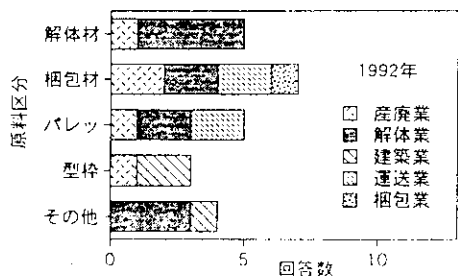
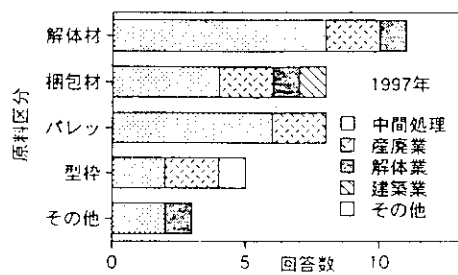
集められた再利用可能な木材資源



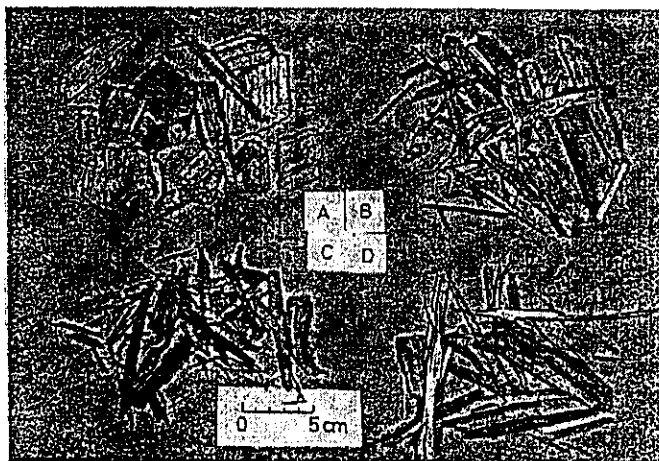
パーティクルボードに使用される古材の種類 1997年
回答項目別の比率を1997年古材使用実績に当てはめて全体の比率を求めた



パーティクルボードに使用される古材の種類 1992年

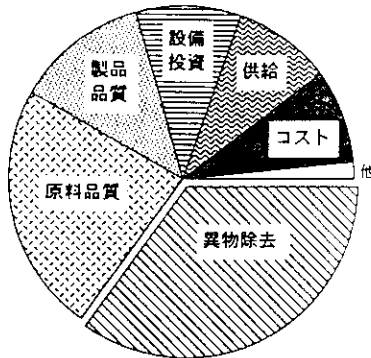


古材原料の入手先とその変化

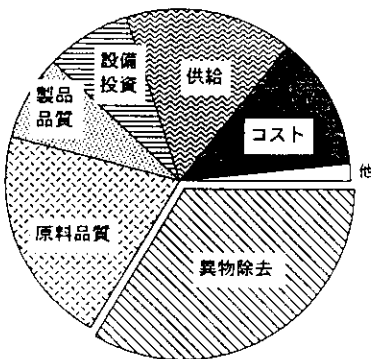


A : 切削加工、P-チップ
B,C,D : 破碎加工、S-チップ

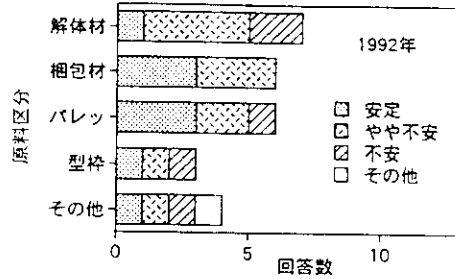
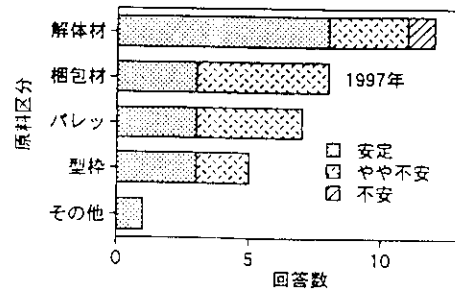
解体材チップの形状



古材使用時の問題点 1997年



古材使用時の問題点 1992年



古材原料入手の難易度とその変化

⑦紙パルプにおける炭素固定

我が国の1997年における紙・板紙の生産量は3,101万トンである。輸出量が88万トンであるので、国内消費量は3,013万トンとなる。炭素量としては約1,507万トンとなり、国内における木材由来の炭素フロー量としては最大のものである。

木材需要においても、チップ用材は4,423万m³で工場残材からのチップ量の609万m³を合わせると5,032万m³となり、ボード類への需要を差し引いても最大のものであることは明らかである。

IPCCの論議では紙類による炭素固定について、フロー量は多くてもストック量の増減はほとんど無いものとして無視する方向である。しかし前述のように炭素フローの絶対値の大きさからストックの可能性について考えてみる。

我が国の故紙回収率は54%と世界に誇れる高い数値であり、新聞用紙などはほとんど100%回収されている。1997年の故紙消費量は1,650万トンとの数値がある。この数値から逆算すると約1,500万トンが未回収ということになる。この中にはトイレトペーパーなど回収・再利用不能なものが2/3程度含まれていると考えられている。残りは500万トンで炭素量としては250万トンであるが、これが焼棄されているかストック量の増加分となっている可能性がある。

4. 結果・考察

木材の耐久的利用による炭素ストック量の増減を評価する際、最も大きな問題はどの程度の推定精度が求められるかである。現在の気候変動枠組み条約締約国会議の論議の中では、化石燃料

由来の二酸化炭素排出削減量にリンクする形で、森林の二酸化炭素吸収・固定や木材の耐久的利用による炭素固定の評価が行われる予定になっている。その意味からは化石燃料における推定精度と同程度のものが要求されることになるだろう。

木材の需給や建築に対する投入量に関する統計データは、ほとんど全て体積(m³)単位のものとなっている。これは同じ木材でも水分状態により重量が変化し、乾燥した材と生材では重量が倍以上異なることもあるため、重量単位では意味がないためである。従って木材中の炭素量を評価するためには、体積データから水分を含まない絶乾状態の木材重量を推定する必要がある。

そこで体積あたりの重量である比重(密度)のデータが必要となるわけであるが、我が国で利用されている木材の比重は、建築用途の針葉樹材に限っても樹種によって 0.4 から 0.6 程度の違いがある。同じ樹種の中でも例えばスギの絶乾比重は 0.27 ~ 0.41 というデータがあり、評価が難しいことが理解される。

しかし各樹種の平均的比重についての統計データは存在するため、今後は樹種毎の需要量を押さえることにより、推計精度の向上を図ることはできよう。

建築物に関しては、着工建築物の用途別・構造別の統計データが m² 単位で存在する。従って用途と構造が異なる建築物における木材投入量のデータを数多く収集することにより、新規にストック量に加わった木材量の推定は、よりきめ細かな解析により精度の向上は図れる。

しかしストック量から消滅した滅失建築物に関する統計では、用途別の数値はあるものの構造については木造と非木造の2分類のデータしかない。前述のように木材使用量は年代によって異なっている可能性があり、滅失時の経過年数もある広がりを持ったものであるため、推定精度は新規着工に比較して低くならざるを得ない。

木材工業側から建築用途に投入された量については、建築部門への出荷量から推定が可能である。しかし問題はのうちどれくらいが建築物へ実際に固定されたかという歩留まりである。また型枠用合板の実際の使用実態についてはデータの収集が必要である。いずれにせよ両者のデータでクロスチェックすることにより推定の確度は高まると考えられる。

また本報告では取り上げなかったが、家具などにおける炭素固定量も無視できない量であると考えられる。

紙パルプ部門においてはフロー量が大きいことから、ストック量の変化が実際にどの程度であるのか検証する必要があるだろう。

木材利用の地球温暖化問題に対する効果では、省エネ効果とエネルギー代替効果がある。

他材料の木材代替を進めることによる省エネ効果については、より具体的な数値を出していくことによって、政策に反映させていく必要がある。

これに関連しては製品のライフサイクル CO₂ の評価のために、例えば木造建築物と非木造建築物の耐用年数の分析が必要である。また我が国においては建築物の建設に要するエネルギー消費に対し、建築物の運用エネルギーは約 2 倍である。従って運用エネルギーについても木造・非木造での比較研究が重要である。

木材のリサイクルと廃棄物の問題は省資源・省エネ・炭素固定の全ての意味で重要であるが、実態が統計値として明らかになっていない分野である。またリサイクル製品のライフサイクルアセスメントをきちんと行うことにより、エネルギー代替との比較検討を行う必要がある。

木材によるエネルギー代替は二酸化炭素削減の見地からは、最も永続的な効果を持つことが言われている。木質廃棄物の利用についてそのポテンシャルを明らかにすることは重要である。

5. 本研究で得られた成果

京都議定書で定められた吸収源は、3条3項で決められた新植、再植、森林減少という京都フォレストと呼ばれる森林について、第1約束期間（2008 - 2012）での炭素吸収量を評価することになった。これについては研究開始当初は予測していない事項であったため、本研究の成果としては提示することが出来なかった。一方、森林及び木材を含めた形での炭素貯蔵量の変化を評価するモデルの開発を研究目的としていたので、3条4項で追加的項目と呼ばれている森林セクターのもつ炭素吸収に関連した項目のうち、我が国全体の森林の炭素吸収量、森林・林業政策の違いによる追加的炭素吸収量を評価することは可能になった。また、木材のもつ炭素貯蔵量を評価するための基礎的なパラメータを整備することもできた。

6. 参考文献

- 1) 外崎真理雄(1998)地球温暖化から見た木材利用、平成10年度研究発表会要旨集、森林総合研究所
- 2) 外崎真理雄(1995)適正な森林経営と地球環境保全から見たその効用、建築・地域環境・地球環境の在り方、日本建築学会 地球環境特別研究委員会
- 3) 林産行政研究会（各年版）木材需給と木材工業の現況
- 4) 建設物価調査会（各年版）建築統計年報
- 5) 住宅金融公庫建設サービス部(1989)「住宅はなぜ、いつ取り壊されるのか」－住宅の耐用年数に関する調査研究－、better living, no.102
- 6) 野城智也ら(1990)東京都中央区における事務所建築の寿命実態、日本建築学会計画系論文報告集、第413号
- 7) 日本住宅・木材技術センター(1995)「木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書」
- 8) Suzuki,S(1995)Particleboards Made from Recycled Wood, Disposal and Recycling of Organic and Polymeric Construction Materials, E & FN Spon