

(3) 木材資源の循環と地球温暖化抑制

The Circulation of Wood Resources and Its Effect on Global Warming

外崎真理雄*

Mario TONOSAKI*

ABSTRACT; Wood utilization gives economic motivation to afforestation and reforestation. It also activates carbon absorption of a forest through timber production by sustainable forest management. Increasing the carbon stock in long-lived wood products is equivalent to afforestation in the sense of carbon dioxide reduction in atmosphere. In our trial calculation, carbon stock in buildings in Japan increased by 4.6 Mt-C in 1996. Wood products need less processing energy compared to other energy intensive products like steel or concrete. Then to build a wooden structure acquires less energy than RC structures etc.. If wooden structures could substitute other structures of under 3 storied ones, carbon emission to construct buildings in 1996 would decrease by 3.46 Mt-C. To promote the energy recycling of wood products can reduce the consumption of fossil fuel. The amount of 18.23 Mm³ wood wastes were burnt and land-filled uselessly in 1991. Energy recycling of this could reduce the carbon emission from fossil fuel by 2.28 Mt-C.

KEYWORDS; global warming, wood utilization, buildings, sustainable forest management, recycle

1 木材利用の二酸化炭素削減に対する意味

地球温暖化との関連で危惧されている今世紀の大気中二酸化炭素濃度の急激な上昇は、化石燃料の大量消費とともに炭素の巨大なシンクである森林の破壊にも因るものである。このような現実から森林を伐採する木材利用は地球環境に悪い影響を与えるという誤解には根強いものがある。

しかしながら気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第二次報告書などには、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）

これらの効果は後述する持続的林業からの木材利用の場合に、より大きな意味を持つ。そこで前提となるものとして、

- 0.木材を経済的に利用することにより持続的林業・新規造林を促進し、森林による二酸化炭素吸収を

*森林総合研究所 木材利用部 Wood Utilization Division, Forestry and Forest Products Research Institute, PO.Box 16, Tsukuba-Kenkyu-Danchi-nai, 305-8687 Ibaraki, Japan

活性化させる効果（森林活性化効果）

が重要であることを指摘しておきたい。

以上述べた四つの意味について章を改めて解説したい。

2 木材利用の森林活性化効果

化石燃料の消費を数パーセント削減しても二酸化炭素濃度の上昇速度が若干減速するだけである。真の意味で大気中の二酸化炭素を取り除くためには、生きている限り二酸化炭素を吸収し続け、樹体の生長によって固定し続ける樹木的能力を活用することが最も現実的で経済的であることが広く知られるようになってきた。

すなわち農畜産地に転換されるなどして破壊され、その後放置された場所等において再造林により森林を回復し、あるいは様々な理由により劣化した森林を高蓄積なもの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つながる。

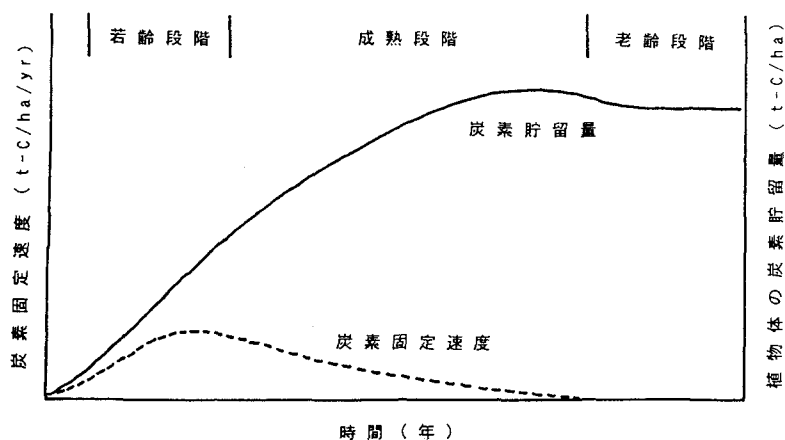
しかしながら構成する樹木が若齢の間は旺盛に二酸化炭素を吸収固定していた森林も、成熟・老齢期に入ると光合成による総生産量は日射量などにより一定値になるのに対し、生長した樹体による呼吸量が増加して純生産量は減少してゆき、最終的には寿命や競争に敗れて枯死した樹木からの二酸化炭素放出も加わり、森林の純生長量はゼロに近づく。すなわち、このような森林は樹体内や土壌中に大量の炭素を固定し続けてはいるものの、見かけ上二酸化炭素を吸収も放出もしていない状態になっているという事実はあまり知られていない。そして放置された天然林の多くはこのような状態であると考えられる。

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。このようなことを可能にする持続的林業に関する要件は様々であるが、第一のものは伐採量は常に生長量を下回るものであること

で、適切な再植林などを行うことにより森林の蓄積はその時点より減少することなく保たれる。炭素の長期固定（シーケストレーション）の量的な評価から見ると、持続的林業を行っている森林は同面積の放置された森林と比較して、若齢木をより多く含むため少なくなる。しかし若齢木は二酸化炭素を旺盛に吸収するし、後述の木材の耐久的利用を行うことなどによりそのデメリットも長期的には相殺される。

このような持続的林業から得られた木材は最終的にエネルギー利用されるなどして二酸化炭素を放出しても、常にそれを上回る二酸化炭素吸収がその木材を伐採した森林により保証されていることになる。ひたすら二酸化炭素が累積して行くだけの化石燃料の消費と比較すると、持続的林業からの木材利用は大気中の二酸化炭素を増加させずに、資材・エネルギーの循環が可能である。生物多様性や

天然林の発達段階に応じた炭素固定速度と植物体の炭素貯蔵量のモデル



環境保全のためなどに極相生態系のままに維持すべき森林も存在するが、人類がその生存のために資材・エネルギーを必要とする以上、その最適なものとしての木材の生産を行う森林と分けて考えることが必要である。

このような持続的林業は、ただ原生林を伐採して放置あるいは他用途に転換してしまうだけの収奪的・破壊的「林業」と比較して、造林・育林・伐採・環境への配慮など様々なコスト投入を必要とする。また破壊された森林を回復することを考えても、森林適地の多くは農畜産業適地でもあることから、同面積からの木材生産収入が長期的に見て農畜産物のコスト収支に対して上回っていなければ、新規造林に対するモチベーションとはならない。仮に耕作等が放棄された土地であってもやはり造林コスト等は必要である。従って長期にわたって木材の需要と価格が保証されなければ、持続的林業さらには新規造林面積の拡大は行われなくなることになる。

3 木材利用の炭素貯蔵効果

木材製品の大きな特長として乾燥重量あたり約半分の炭素を、焼却あるいは腐朽などにより放出されるまで固定していることが挙げられる。これは生きている樹木が炭素を固定していることと意味的には同じである。

一例として木造住宅が建ち並んだ宅地にどのぐらいの炭素が固定されているか試算してみる。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用されているかの試算は色々あるが、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。

鉄筋コンクリート造などの他工法建築物にも木材は使われているが、量的には一桁小さく1m²あたり0.04m³程度という数値がある。このような炭素固定量が少ない建築物を建て替える際に木造建築物に転換していくことは、新規造林の余地がほとんど無い日本にとって都市の中に新たな森林を作っていくことと同じ意味を持つ。

木造住宅地の炭素固定量

住宅数

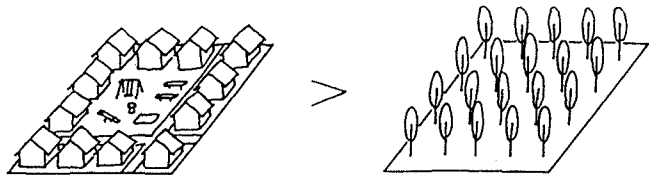
床面積

木材使用量

木材中炭素量

炭素固定量

$$60\text{軒/ha} \times 100\text{m}^2/\text{軒} \times 0.2\text{m}^3/\text{m}^2 \times 0.25\text{t-C/m}^3 = 300\text{t-C/ha}$$



使われた木材が持続的林業から得られたものである場合、伐採された木材の炭素量以上がその森林により吸収されている。従って木材を建設などにおいて耐久的に利用する量が拡大して木材中の炭素ストックが増加しているとすると、その分の炭素が大気中より取り除かれたことになる。現在気候変動枠組み条約締約国会議(COP)において木材の耐久的利用による炭素固定量の評価手法について議論が進められつつあり、木材利用拡大のためのインセンティブとなることが期待されている。

ここで日本の建築物における炭素ストックの増加量についての試算を示す。
1996年における新規着工建築物は木造が約9,800万m²、非木造が約16,200万m²で、床面積あたり

の木材使用量原単位を木造で 0.2m³/m²、非木造で 0.04m³/m² とすると、新規に日本の建築ストックに加わった木材炭素量は約 652 万トンとなる。一方建築ストックから失われた木材炭素量を除却・災害による減失建築物データから同様の仮定により試算すると、木造約 3,400 万 m²、非木造約 2,200 万 m² より 162 万トンの炭素量となる。その差から約 460 万トンの炭素が建築物中の木材ストックとしてその一年間に増加したことになる。

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

4 木材利用の省エネ効果

木材は数十メートルの高さとなる樹木を支持し、台風などの風荷重にも耐えられる材料であり、軽量で大きな強度を持っている。比強度では曲げ強さなどで金属材料を上回る性能も持っている。また切削して乾燥するだけで建設材料などとしてそのまま使用することができ、加工のためのエネルギーは非常に小さくて済む。

ある材料を 1 kg 製造する際にエネルギー消費や材料の化学変化などから発生する二酸化炭素を炭素換算したものを炭素排出量原単位と称する。これは製造過程のエネルギー消費を積み上げ式に算出したものや産業連関分析から得られたものなど色々あり、著者によっては一桁以上異なった値を出している場合もある。表に主要建設資材の炭素排出量原単位の一例を示す。

ただ採取して運搬するだけの砂利・石材が小さい値を示し、製材・合板の炭素排出が小さいことが分かる。これは重量単位の原単位であるため、軽量の木材製品は同じ強度性能を持つ部材で比較した場合、原単位が一桁違っていても他材料の部材に比べて二酸化炭素排出が少ないことは明らかである。

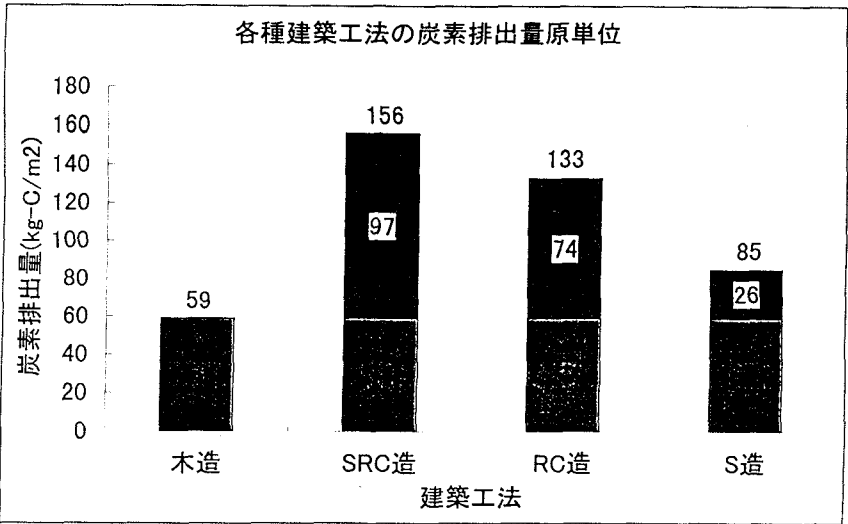
ここで省エネ効果の例として工法別の建築物を建設する際の炭素排出量原単位を示す。これは 1990 年の産業連関分析により各工法の資材投入量と資材製造時の炭素排出量原単位などから面積あたりの炭素排出量を算出したものである。原単位は木造 59 kg-C、SRC 造 156 kg-C、RC 造 133 kg-C、S 造 85 kg-C と木造が最も小さい値となる。これは全建築についてであるので規模や階数が異なるものの平均値であることは注意を要する。しかし近い規模の住宅どうしで積み上げ方式によって試算した結果でも同様の傾向が示されており、木造が最も炭素排出量が小さいことは明らかであろう。

そこで 1996 年の着工建築物の統計より、他工法建築物の木造代替を行った場合の省エネ効果を試算

主要建設資材の炭素排出量原単位

建設資材	炭素排出量(kg-C/kg)
砂利・石材	0.0003
製材	0.0078
合板	0.0487
合成樹脂製品	0.176
板ガラス	0.414
ガラス繊維	0.579
セメント	0.235
建設用陶磁器	0.114
鉄鋼(棒鋼)	0.173
鉄鋼(鋼板)	0.436
銅	0.280
アルミニウム	1.765

してみる。木造代替可能なものとしては現行法規による規制から三階建て以下の他工法建築物とした。全着工床面積を 26,000 万 m² とし、工法別比率を SRC 造 8%、RC 造 18%、S 造 36%、それぞれの三階建て以下の比率を 7%、36%、85% とする。各木造代替可能面積に前述の炭素排出量原単位の木造との差 97 kg-C、74 kg-C、26 kg-C を掛けて総計すると約 346 万トンの炭素排出を削減できることになる。



5 木材利用のエネルギー代替効果

木材・木材製品の特徴の一つとしてエネルギーリサイクルが可能なのが挙げられる。化石燃料由来のプラスチックも同様であるが、より容易に行いうる。

放置された老齢期の森林と化石燃料を用いる火力発電所の系を考えると、毎年大気中の二酸化炭素が蓄積されるだけである。しかし持続的林業を行う森林とそれからの木材あるいは木材製品のリサイクルされたものをエネルギー源とするバイオマス発電所の系では大気中の二酸化炭素濃度を上昇させることなく持続的にエネルギーの供給が可能である。

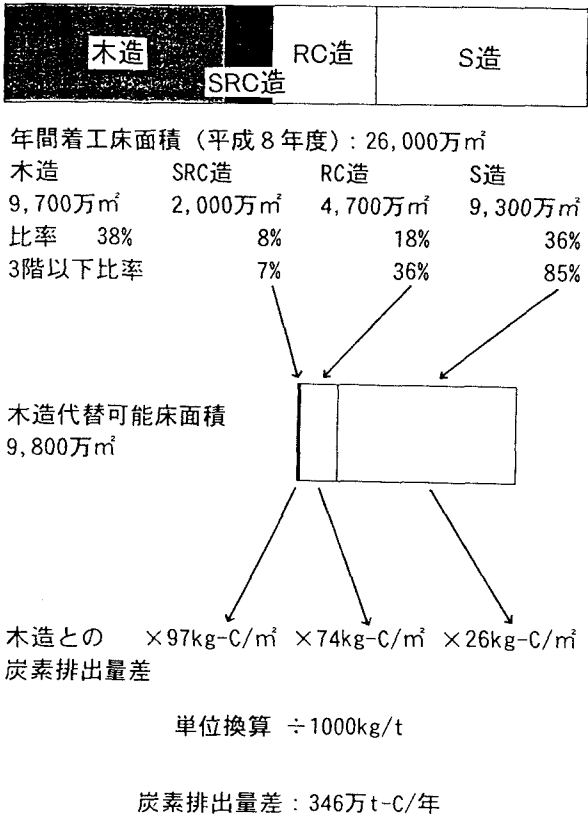
前述の貯蔵効果は国内の木材ストックが定常状態になった時点で二酸化炭素の吸収効果は無くなり、省エネ効果も材料代替が飽和状態になった時点で効果は一定のものになる。しかしこのエネルギー代替効果は化石燃料による二酸化炭素排出が問題となる限り永続的な意味を持つ。

木材のエネルギー源への転換としては直接燃焼以外にも、エタノール発酵によるものや、炭化物やその際の副成ガス、また新たな技術としてメタノールへの直接変換が考えられる。また早成樹の短伐期施業によるバイオマス林業なども今後重要性が高いと思われるが、ここでは詳述しない。

ここでは木質系廃棄物のエネルギーリサイクルの可能性について考えてみる。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。

木材工業から発生する廃棄物量は全体の 42% を占めるが、その 95% は製紙用のチップや木材乾燥のためのエネルギー源などに再利用されている。建築関係が 85% を占める木材工業以外からの廃棄物では再利用されるのは約 20% でその 80% は燃料用である。トータルして全体の 49% である約 1,823 万 m³

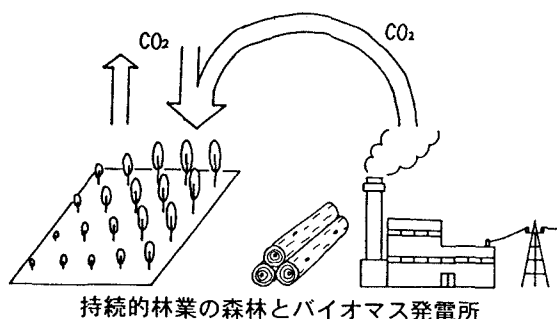
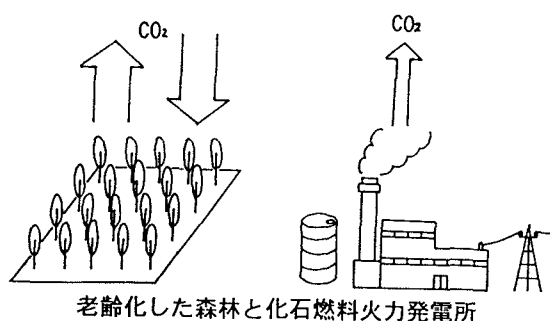
他工法建築物の木造代替による炭素排出量の変化



の木材が無駄に焼かれたり埋め立てられたりして二酸化炭素の排出源となっている。

木材をエネルギーリサイクルする際の効率は、例えば発電の規模などによって大きく異なるが、同じ炭素排出量あたりの燃焼エネルギーを化石燃料と比較した場合、約半分であると見なす。逆に言うと木材をエネルギー利用した場合、木材中の炭素量の半分に当たる化石燃料を削減できることになる。そこで前出の無駄に焼棄されている木質系廃棄物が全量エネルギーリサイクルされるとすると、約 228 万トンの化石燃料からの炭素排出を抑制できることになる。

木材のエネルギー利用の意味



6 土木分野における木材利用に関する私見

製材品の土木建設用材への出荷量は 1997 年の数字では全体の 3.8%で、建築用材の 79.8%と比較して非常に少ない。合板についても数パーセント以下で建築用が約半分であるのに比べて少ない。

土木分野における資材製造時の炭素排出量は建築分野の 9 割近いことを考えると、木材利用の拡大による炭素排出削減のポテンシャルは非常に大きいと考えられる。

木材の欠点の一つとして腐るといふことがあるが、完全に水に満たされた状態では腐朽は起こらない。地下水位以下で用いる基礎杭など水中構造物に木材を利用することは、化石燃料からの二酸化炭素を木材の形で吸収固定して埋め戻すことになり、大気中の二酸化炭素を積極的に減少させることにつながると思われる。

土木分野では外構部材としての木材利用拡大ということになると思うが、貯蔵効果についてはストック量の増加が二酸化炭素の吸収と見なされるため拡大分の効果が直接期待できる。省エネ効果については木製品の製造エネルギーが仮に他材料の半分だとしても耐久性も半分であればライフサイクルエネルギーとしては同じことになってしまう。しかし廃棄時にマテリアルリサイクルされれば炭素貯蔵期間が伸びることになるし、エネルギーリサイクルを行えば化石燃料削減につながる。その分を考慮すれば、他材料と比較して耐用年数がどのくらいの時、地球環境へのプラスの効果があるのか判断可能になるだろう。

森林総合研究所で開発された技術として、木材を繊維方向に細長く割裂したストランドをモルタルと複合した CSS (Cement Strand Slab) という物があり、鉄筋コンクリートと比較して比重が約半分で曲げ比強度や強さが匹敵する性能が期待されている。このような木質系複合材料を土木分野で利用して

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
製材業	1,281万m ³	焼棄却	83万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
建築関係	1,860万m ³	焼棄却	1,740万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

いくことも一つの方向性として考えられるだろう。

参考文献

- ・森林・林業・林産業と地球温暖化防止に関する検討会(1998)森林・木質資源を活用した循環型システムの構築を目指して、林野庁
- ・建設物価調査会(1997)建築統計年報
- ・酒井寛二(1995)リサイクル資材による炭素排出量削減効果、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
- ・酒井寛二、漆崎昇、中原智哉(1997)建設資材製造時の二酸化炭素排出量経時変化と土木分野への影響、環境システム研究、vol.25
- ・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」
- ・林産行政研究会(1998)木材需給と木材工業の現況