

38. 建設工事で排出される炭素の森林への固定

FIXATION OF CARBON EMITTED BY CONSTRUCTION WORKS TO FOREST

青島 正和*

Masakazu AOSHIMA

ABSTRACT ; 従来建設工事における環境負荷の評価としては $LCCO_2$ (ライフサイクル二酸化炭素) などが使用されていた。この方式では使用材料かつ施工、運用における排出炭素もカウントされるため非常に大きな数値で表現される。建設時の CO_2 排出量は重機の燃料などが対象となり、排出される炭素量は非常に少ない。本研究ではそれがどの程度のものを廉価で生態系にもよい対策と言われる植林の費用で示し、建設業における温暖化対策策定の一つの指標とするものである。結果として以下が得られた

①建設業の排出炭素量は非常に少なく、容易に森林で置き換え可能と思われる。②日本国内での植林は非常に高価であり、他国より一桁大きい。③他国での植林の方法は、日本よりはるかに大規模で簡易である。

KEYWORDS ; global warming, forest, construction, carbon dioxide

1. はじめに

建設事業では建設時に多量の資材を使い、かつ完成後にも多量のエネルギーを消費する。従って施設の運用時エネルギーや波及効果まで含めると、建設事業は日本全体の 50%弱¹⁾ にも上る炭素を排出している。しかしながらそのほとんどは資材製作時や運用時のエネルギー等に起因し、実際の工事で直接排出する炭素は全体の 1.3%²⁾ (450 万 tC 弱) に過ぎない。従って総合建設業は他産業ほど温暖化対策に切迫的状况ではない。省エネや排出権売買で問題をクリアーできる範囲とも言える。実際業界では排出量低減の諸策を検討中である。ただし今後の展開にもよるが、これらの手法では植林より多額の費用を要する可能性がある。ここでは各種温暖化対策の中で最も費用が廉価でかつ生態系への効果も高い森林への固定(植林)を行った場合の費用を 3 ケース算出した。言い替えれば建設事業では温暖化対策に最低限どの程度の出費を想定すれば良いかの試算をしたものである。

2. 樹木の特性と植林

炭素固定を考慮した植林を行う為には、樹木一本はどの程度の炭素を固定できどの程度の密度で植えれば良いかを知る必要がある。

2. 1 樹木の水分と炭素量

炭素量を示す前に樹木の材積に大きく関係する含水率について示す。一般に材木(生材)はかなり水分を含んでおり、表 1 のように含水率で 60~110% 以上にも上る。これは立木の含水率と同等と考えられる。炭素量は含水率 0% の乾燥重量であるバイオマス(現存量)に炭素の比率を掛ければ求められる。

*大成建設(株)技術研究所自然環境部 Civil & Environment Research Department Technology Research Center of Taisei Corporation

文献⁴⁾によると木材（樹木）の成分は種類による差はあまりなく、気乾状態では、水分 13%、炭素 43.5%、水素 5.2%、および酸素 38.3%である。つまり絶乾状態の重量であるバイオマスの場合、 $43.5 / (100 - 13) = 50\%$ よりバイオマス測定結果のほぼ半分が炭素量であることが分かる。植林で最もポピュラーなユーカリの場合、仮に材積を $250\text{m}^3/\text{ha}$ とすると単位体積重量は $1.0\text{t}/\text{m}^3$ で水分半分なので、木質部は $250 \times 0.5 = 125\text{t}/\text{ha}$ となる。炭素量はそれのまた 50%なので $125 \times 0.5 = 62.5\text{tC}/\text{ha}$ となる。

2. 2 現存（炭素固定）量と純生産量

炭素固定量の基本となるバイオマス（現存量）は研究者により定義が異なる。すなわち幹の部分だけにするか、葉や枝、根も含むかである。前者は林業関係者が、後者は生態学関係者が使用しているようである。ここでは生態全体にわたる問題を考慮しているので後者を用い、前者については特に幹部と付して表現する。表2に5種類の樹木の各々の比率が樹齢（バイオマス量）によりどう変化するかを示した。表より根なども含めた全バイオマス量（現存量）が $50\text{t}/\text{ha}$ を越えると幹のバイオマス比率は一定に近くなり6割程度であることが言える。

表2 樹種と樹齢によるバイオマス分布⁵⁾

現存量		0	25	50	100	200	400	t/ha
アカマツ (常針)	資料数	11	4	3	5	1		0
	葉	30 %	21 %	7 %	6 %	3 %		
	枝	26	21	12	11	6		
	幹	31	41	65	62	72		
	根	18	17	17	21	19		
スギ (常針)	資料数	2	1	2	3	3	1	
	葉	32	17	20	11	8	6	
	枝	6	4	4	6	7	4	
	幹	39	58	60	63	59	69	
	根	23	21	16	21	26	21	
シラベ (常針)	資料数	1	1	2	2	3		
	葉	33	28	18	15	6		
	枝	11	13	13	13	8		
	幹	30	36	50	52	64		
	根	26	23	19	20	22		
ブナ (落広)	資料数					1		
	葉					1		
	枝					25		
	幹					50		
	根					25		
ヒノキ (常針)	資料数					1		
	葉					6		
	枝					7		
	幹					62		
	根					25		

注（常針）：常緑針葉樹、（落広）：落葉広葉樹

樹木の炭素固定総量を考慮するときは、本来なら全ての樹木毎の炭素固定量（バイオマス）が分かればよいが、そのような資料は見つけられなかった。表3に収集した樹種によるバイオマスの例を示す。次に世界と日本全国における生態系による年間の炭素固定量の目安として純生産量（幹、枝、葉、根の

表1 主要材木（生木）の含水率³⁾

樹種	樹木名称	含水率 (%)
常緑広葉樹	カシ	70～80
落葉広葉樹	シオジ	60～70
	ナラ	70～80
	クリ、ホウ	80～90
	ブナ	90～100
	キリ、カツラ	110以上
常緑針葉樹	ヒバ	70～80
	エゾマツ、トドマツ、ヒノキ	80～90
	モミ、ツガ	90～100
	シラベ	100～110
	サワラ	110以上
落葉針葉樹	カラマツ	60～70

表3 樹種によるバイオマス⁶⁾

地区	樹種	樹齢	密度	幹部現存量	年間幹部乾物生産量
北海道	シラカンハ			23～59t/ha	2.9～6.3t/ha年
北海道	シラカンハ	25年	900本/ha	148t/ha	
北海道	トドマツ	53年	523本/ha	187t/ha	5.84t/ha年
不 明	ブナ	—	844本/ha	164t/ha	3.0t/ha年
不 明	ヒノキ	48年	1230本/ha	170t/ha	—

合計)と現存量を示す(表4、表5参照)。表5は319
林分のデータをまとめたものである。

ここで純生産量は一次生産量から植物の呼吸量を除いたものである。炭素固定量の面では純生産量は落葉の量も含んでいるので、落葉の量(樹種に関係なく概ね3.0t/ha⁹⁾)を引く必要がある。純生産量から落葉の量を引いたものは、炭素固定(地球環境)の視点からみた樹木の優劣を表わすと考えられる。表5より世界的には熱帯多雨林が現存量も純一次生産量も一番大きく、この地域で炭素を固定するのが最も効率が良いことが分かる。熱帯地域なら広大な土地が安く入手可能なので理にかなっている。日本国内では表5より落葉広葉樹林は炭素固定量が少なく、常緑広葉樹林とスギ林は固定量が多いことが分かる。表5には書いてないが、常緑広葉樹のなかでもアカシアは30t/ha程度の純生産量をもつ。常緑広葉樹は炭素固定量が多いにもかかわらず森林全体に対する比率は5.1%しかない。植生の生育条件もあるが、地球環境の面だけからなら常緑広葉樹を植えれば良いとも考えられる。落葉広葉樹林はいわゆる雑木林と呼ばれるものである。生態学的側面からは雑木林を重要と考える見方もあるが、炭素固定量的にはレベルは低い。なお既往の研究¹⁰⁾では森林の生態的活性は、常緑広葉樹>落葉(夏緑)広葉樹>針葉樹>ネザサの順と考えられ、生態的にも炭素固定量的にもレベルが高いのが常緑広葉樹林である。既往の研究の針葉樹は植林した人工林なのでマツかスギと思われる。生態的活性は低いが炭素固定量は比較的高い結果となっている。伐採林の決定に当ってはこれらの関係を考慮する必要がある。

2. 3 植林の概要

植林をする国としては日本、オーストラリア、ロシア、中国、途上国等が考えられるが、日本は山岳が多く他の国より植林費用が一桁高いので対象とならない。ロシア、中国は日本企業の実績がほとんどなく、対象となるのはオーストラリアと途上国である。以下には最も実績があるオーストラリアのユーカリの植林について述べる。表6に想定される植林の概要を示す。
費用は実績として40万円/ha程度である。表7に内訳の概要を示す。土地代で大きく異なるが、途上国ではその半分程度と言われている。
なお日本での森林の植栽は森村法で決められており(法定植栽)表8の通りである。

表4 世界の生態系による純一次生産と現存量⁷⁾

生態系	面積	純一次生産量	現存量
熱帯多雨林	17.0 億ha	21.9 乾物 t/ha年	7644.4 乾物億トン
熱帯季節林	7.5	16.0	2600.0
温帯常緑林	5.0	12.9	1755.5
温帯落葉林	7.0	12.1	2111.1
北方森林	12.0	8.0	2400.0

表5 日本の生態系による純生産量⁸⁾

生態系	純生産量	備考
落葉広葉樹林	8.7±3.0 t/ha年	
落葉針葉樹林	10.1±4.4	
常緑針葉樹林	13.5±4.2	マツ、スギ除く
マツ林	14.8±4.1	ハイマツ除く
スギ林	18.1±5.6	
常緑広葉樹林	18.1±4.9	アカシア除く

表6 想定する植林方式

場 所	オーストラリア	先進国なので土地の権利が明確。途上国は不明確な場合が多いので、注意を要する。
樹 種	ユーカリ	早く育つ(10年程度で直径20cm程度)
面 積	1万 ha	通常は1000ha/年程度で土地を手当する
密 度	1000本/ha	一般的な数値と思われる
植え方	人手	ブルドーザーでリッピングして、その後に人手で植える。
苗	高さ20~30cm	苗床で育成する。

表7 費用内訳

項 目	内 訳
土地購入	平均的に22万円/ha強
植林	9万円/ha程度
除草・肥料・管理費等	7万円/ha程度
その他	金利等

表8 法定植栽

樹木高さ	密 度	参考単価
1 m	2000本/ha	1400円/本
2 m	1500本/ha	2400円/本
3 m	1000本/ha	6300円/本

3. 炭素の固定

3. 1 建設業全体の排出 CO₂ の固定

建設業の 1990 年度の CO₂ 排出量は 450 万 t-C である。文献 ¹¹⁾ によれば建設業大手 186 社が温暖化防止対策をしない時の 2010 年の排出量削減比率は 1990 年比 11% であるので、これを業界全体にあてはめると削減すべき量は $450 \text{ 万 t} \times 0.11 = 50 \text{ 万 tC/年}$

年間固定量を 6 t-C/年・ha、植林費用を 40 万円/ha とすると

$$50 \text{ 万 tC/年} \div 6 \text{ tC/年} \cdot \text{ha} \times 40 \text{ 万円/ha} = 333 \text{ 億円}$$

これだけかければ業界全体で 20 数年間固定可能である。

3. 2 ダム建設により排出される炭素量の固定

(A) 対象ダム

例として中規模のロックフィルダムをとりあげた。
ダムの諸元は表 9 の通りである。森林の伐採は考慮しない。

表 9 ダム主要諸元

ダムタイプ	中央コア型	掘削量	295万m ³
ダム高さ	70.0m	グラウチング	94,600m
天端長	416.5m	余水吐	192,000m ³
盛土量	350万m ³	貯水容量	1,260万m ³

(B) 施工時の炭素排出量 ¹²⁾

表 10 で建設会社は重機により排出される炭素分を固定すればよい。他は資材製造者等が固定する。

鋼材損耗は燃料の 10 数%程度。

重機の炭素排出量のうち、炭素排出削減量を 11% とすると、固定すべき炭素量は

$$28238 \times 0.11 = 3106 \text{ (t C)}$$

これを 20 数年かけて固定するとするとオーストラリアのユーカリの固定量を 150tC/ha として

表 10 施工時の炭素排出量

	炭素排出量 (tC)	内 訳	炭素の固定を 担当すべき機関
重 機	28238	燃料+鋼材損耗	建設会社
コンクリート	21119		生コン会社
鉄 鋼	2445		鉄鋼会社
プラント	1607		プラント会社
そ の 他	399		関係会社
計	53808		

$$3106 \text{ tC} \div 150 \text{ tC/ha} \times 40 \text{ 万円/ha} = 828 \text{ 万円}$$

かなり重機を使用する工事でも植林による炭素分の森林への固定は容易にできる。

3. 3 森林伐採の代替林による固定

例えば森林を 30ha 伐採し、かつ伐採材を処理してしまうことを想定する。燃やさないで地中に埋めたりするときは空気中への炭素の放出がないからこの検討はいらない。代替林は生態や景観、水資源等の他の要因で決まる。

樹種は常緑広葉樹とする。常緑広葉樹は樹種のなかでも最も純生産量が高いので、他の樹種では炭素の減少量を補填できない。常緑広葉樹でも最も純生産量の高いアカシアを植えるとなると、純生産量は 30t/ha 年である。施工期間を 5 年とすると、地上部バイオマス 200t/ha を地上部の比率 0.75 で割って面積 30ha を掛け

$$\text{伐採全バイオマス} \quad 200 \text{ t/ha} \div 0.75 \times 30 \text{ ha} = 8000 \text{ t}$$

$$\text{施工期間に期待できたバイオマス} \quad (18.1 \text{ t/ha} - 3.0 \text{ t/ha}) \times 5 \text{ 年} \times 30 \text{ ha} = 2265 \text{ t}$$

$$\text{両者の和} \quad 8000 + 2265 = 10265 \text{ t}$$

代替林の面積は 20ha とする。アカシアが何年で炭素を固定できるかを計算する。落葉 3t/ha 年を考慮して

$$10265 \div 20 \div (30 \text{ t/ha 年} - 3 \text{ t/ha 年}) = 19 \text{ 年}$$

となり固定可能と考えられる。

植林の費用は代替林の面積 20ha で、法定植栽とすると樹高 1 m で 2000 本/ha、単価 1400 円/本より

$$20 \text{ ha} \times 2000 \text{ 本/ha} \times 1400 \text{ 円/本} = 5600 \text{ 万円}$$

オーストラリアでの植林に比べると高価なものになる。

4. おわりに

以上建設事業で想定される CO₂ の固定量とその費用について述べた。工事に伴い排出される CO₂ は少ない。よって現状の不況下では建設機械の省エネ対策などで 2010 年までの業界目標をクリアーする方向で進んでいる¹³⁾。経済状況が好転すれば植林での対処も可能となる。さらに工事段階より遡って森林資源の有効活用、植林などの積極的な対応も望ましい。

参考文献

- 1) 酒井寛二：地球環境問題とコンクリート，コンクリート工学，Vol.76，No. 3，P.7，1998
- 2) 日本建設業団体連合会，日本土木工業協会，建築業協会：建設業界における地球温暖化防止行動の目標値，P.1，1998 年 8 月 21 日
- 3) 土木材料ハンドブック編集委員会：土木材料ハンドブック，山海堂，P.513
- 4) 堀内三郎：建築防災，朝倉書店，P.32
- 5) 燃料協会：燃料便覧，コロナトン，P.498
- 6) 佐藤 明，石塚森吉，鯨島惇一郎：バイオマス変換計画研究報告，No.34，pp.1～11，1992 年
- 7) Whittaker, R.H., Likens, G.E : Woodwell, G.M. and Pecan, E.V.(ed.). Canbon and biosphere, 281-300, US Atomic Energy Comission, 1973 年
- 8) 大月欣二他：環境の科学，日本放送出版協会，P.211
- 9) 只木良也，河口順子：黒薙川（富山県）源流域の落葉量の推定，日本林学会中部支部大会論文集，Vol.44，pp.77～78，1996 年
- 10) 瀬古往子，西村正和，青島正和：エコロジカルプランニングへのリモートセンシングデータの応用，日本写真測量学会秋季学術講演会論文集，pp.107～110，1994 年
- 11) 日本建設業団体連合会，日本土木工業協会，建築業協会：建設業界における地球温暖化防止行動の目標値，P.3，1998 年 8 月 21 日
- 12) 土木学会環境委員会環境負荷評価研究小委員会：土木建設業における環境負荷評価研究小委員会講演要旨集，P.31，1997 年 8 月
- 13) 日本建設業団体連合会，日本土木工業協会，建設業協会：建設業の環境保全自主行動計画，p 3、1998 年 10 月