

12. 道路緑化による地球環境保全効果

元重 浩¹・川原田 圭介¹・小澤 徹三^{1*}

¹西日本高速道路株式会社 技術本部 環境部 (〒530-0003大阪市北区堂島1-6-20)

* E-mail: t.kozawa.aa@w-nexco.co.jp

地球環境保全に資する道路緑化の効果を定量的に把握するため、高速道路において緑化の有無による二酸化炭素濃度の変化状況を赤外線分析計を用いて連続自動測定を行なった。樹林が全く無い仮想の盛土法面モデル（樹林化盛土法面と同等）において正規型ブルーム式により二酸化炭素の拡散状況からの推測値と実際に樹林化された盛土法面との実測値を比較したところ、発生源に近い沿道において効率的に吸収する道路緑化の効果を確認することができた。そして、西日本の樹林化法面等のサンプリング調査により、道路緑化により年間6万t以上の二酸化炭素を固定していることが推定された。

Key Words : road, planting, carbon dioxide, global warming, environment

1. はじめに

一つの「系」の中にある全世界が対象となる地球環境保全については、加害者も被害者になりうること、因果関係が明らかでなく明確になった時点で対策を行っても遅すぎる場合があること、そして一国での対応は困難であること等の特徴がある。そのため、対応策も事後から予防、地域的から地球的、外部処理への依存から内部目的化することによる自主的取り組みへと変わりつつある。また、1980年代から討議され、1994年に発効した国連気候変動枠組条約の締結国会議が、1997年に地球温暖化防止京都会議として開催され、温室効果ガスの国別削減割り当てが行われた。さらに、今年度中には、ポスト京都議定書の枠組みが決定されようとしており、洞爺湖サミットにおいても2050年までには温室効果ガスを60～80%削減すると宣言しているのが現状である。

これまでの価値観は、「経済」というある一定の価値観の下に各種判断を行っているのが基本である。しかし、それらの判断が他の重要な価値観をないがしろにし、結果として企業の存続そのものに影響を与えることはあってはならないことである。従来、利益の最大化のみを評価軸に事業活動等を行い、環境が大きな問題になったことは歴史が証明しており、実際急速に経済発展を遂げつつある中国では、経済活動を優先する一方で、環境問題が社会的・国際的に大きな課題となりつつある。すなわ

ち、「経済」的な面のみで企業活動等の評価を行ってきたため経済一辺倒となり、環境が有限な資源であることへの配慮が不足していた面は否定できない。しかし、地球環境等の問題が明らかになるにつれ、次世代に残すべき環境資源を消費しすぎていることが判明してきており、国や企業を超えた全世界的な対応が必要とされるようになってきている。そこで、外部不経済の内部化、すなわち、環境は只ではなく有限な消費される資源であることを明確にし、「環境」を基本とする新しい評価軸である「環境性」の質・量・価値等を意味する「環境性（仮称）」が、国や企業の繁栄の持続性を確保するために必要であるとの認識が広まっている。利潤追及を主目的とする企業でも、従来の主要な評価軸である「経済性」と新しい評価軸である「環境性」とをどう調和させていくかということが、事業の継続に必須となっており、環境を中心とし社会的な責務を果たしているかどうかが問われている。

地球環境対策の主要な課題である温室効果ガスの総量規制については、その代表である二酸化炭素（以下、「CO2」という）固定に関し各種対策が提案されているが、多くが実験室レベルであり、①真の固定（大気中から除外）、②数十年程度の固定期間、③環境に対し低負荷、④経済的利点有・社会的制約少、⑤効率性等という条件の中、実用的手法としては緑化しかないのが現状である。すなわち、正確な言い方をすれば、現在主流とな

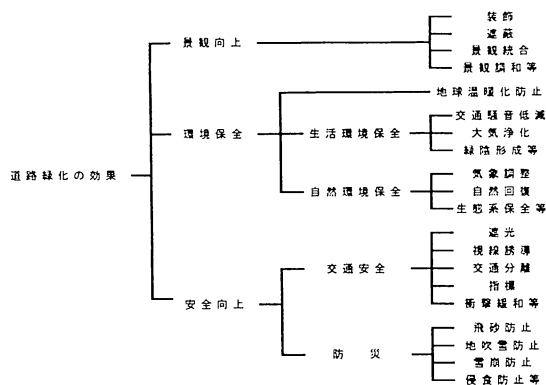


図-1 道路緑化の効果

っているのは省エネに代表される発生量の抑制（予定される排出量よりの削減）であり，総量削減又はCO2固定とは異なるものと言える。

本報告は，地球温暖化対策の一環として，発生源近くにあるという立場を生かした道路緑化の効果を確認し，緑化の機能，道路緑化による効率的なCO2固定に関する基本的考え方を示したものである。

2. 緑化の効果¹⁾

道路緑化には，大別すると，環境保全効果，景観向上効果，安全向上効果の3つの主要な効果があり(図-1)，多くは複数の効果を有している。特に，「地球温暖化防止」，「生態系保全」及び「景観調和」等の機能は全ての道路緑化に共通するものである。また，ここに示した機能には，「遮蔽」や「緑陰形成」のように道路緑化の直接の目的となるものもあるが，「衝撃緩和」等のように副次的，間接的に期待される機能もある。

(1) 環境保全効果

道路環境対策の根本は，発生源である自動車側で行われなければならない。しかし，技術上や社会政策上等の理由により，道路側で行われることがある。遮音壁や環境施設帯の設置が行われることがあるが，近年，緑化による各種の効果が注目されている。

(a) 二酸化炭素吸収固定（地球温暖化防止）

大気中におけるCO2の増大は，温室効果により地球温暖化を招き，異常気象等の形で地球環境に影響を及ぼすことが懸念されている。このため，大気中のCO2削減に向けて様々な対策が検討されているが，樹木には光合成活動により大気中のCO2を有機物として固定する働きがあるため，大気中のCO2削減に繋がる。しかし，その効果は，植物が生きている数百年以内程度であるため，一時的にストック（在庫）することから，緑化による固定はCO2ストック効果と呼ばれる。このため，大気中の

CO2を削減するには一旦固定されたCO2が有機物の形で長期間維持される必要があり，草本のように生産と分解を毎年繰り返す植物には，そのままではCO2ストック効果が期待できないため，木本類による樹林化が求められる。

(b) 大気浄化

呼吸や光合成に伴いガス状の汚染物質を植物体内に取り込む「吸収」，固体・液体状の汚染物質が植物体の外表面に付着する「吸着」，汚染物質が蒸散に伴う上昇気流に乗り樹冠上方向に移動していく「拡散」，そして，樹林中で風速が低下し汚染物質が重力落下する「沈降」がある。すなわち，植物が大気中のNO2やSO2等のガスを吸収し，粉塵についても枝葉に吸着の後，降雨によって洗い流され，さらに，上空に拡散させる効果も期待できる。大気浄化効果については，すでに環境庁等での試算があり，光合成活動等に伴う総合的效果として把握されている²⁾。

(c) 騒音低減

自動車交通騒音に対して植物が障壁となることにより，その低減をもたらすものである。交通騒音低減効果については，幅20mに針葉樹を植栽した試験で，距離減衰以外に約4 dBの騒音低減効果があるため，樹木による効果と距離減衰とを合せて約8 dBの効果があると三澤（1982）³⁾が報告している。

(d) 気象調整

道路建設に伴う地形の改変等により変化する微気象を緩和するものである。例えば，風の吹込みや日照の入込みによる既存樹林内の乾燥が生じることがあり，緩和させるため既存樹林の林縁に植栽を行なう。

(e) 緑陰形成

樹木の枝葉が上空を覆うことによって気温等の気候条件を緩和し，快適な空間を提供する機能である。具体的には，夏期の直射日光を遮る直接的な効果の他，路面温度の上昇や照り返しを枝葉で防ぐ効果に，葉の蒸散活動に伴う気化熱の収奪効果が加わって，道路周辺の気温上昇を抑えるものである。ヒートアイランド抑止効果として，把握されている。

(f) 生態系保全

緑化されたのり面等は，分解者(土壌中微生物等)と生産者(植物)を有し消費者(動物)が集まり，生態系の三要素が揃うため，自然復元・創出機能を有することになる。これらは，成長に伴い周辺の自然環境と一体となった生態系を形成するようになる。

(2) 景観向上

道路緑化による景観向上機能は，「遮蔽」や「景観調和」のように景観の修復や調整を図るものと，「景観強

表-1 横浜市全域における樹木の大气浄化能力試算（環境省2004）

区名	常緑広葉樹				落葉広葉樹				常緑針葉樹			
	面積 km3	CO2 千t/y	SO2 t/y	NO2 t/y	面積 km3	CO2 1000t/ y	SO2 t/y	NO2 t/y	面積 km3	CO2 1000t/ y	SO2 t/y	NO2 t/y
緑	0.21	0.60	0.40	0.90	9.25	18.10	7.60	17.70	1.25	3.70	2.40	5.50
港北	0.17	0.50	0.40	0.90	3.55	7.00	3.90	8.20	0.09	0.30	0.20	0.50
鶴見	0.16	0.50	0.50	0.90	0.90	1.80	1.20	2.20	0.16	0.50	0.50	0.90
瀬谷	0.02	0.10	0.00	0.10	0.96	1.90	0.70	2.00	0.92	2.70	1.60	4.40
旭	0.08	0.20	0.20	0.40	3.39	6.60	3.20	6.70	2.56	7.50	5.70	11.70
保土ヶ谷	0.25	0.70	0.60	1.20	2.42	4.70	2.60	5.00	0.33	1.00	0.80	1.60
神奈川	0.13	0.40	0.40	0.70	2.33	4.60	3.30	5.60	0.09	0.30	0.30	0.50
中	0.22	0.60	0.70	1.00	0.43	0.80	0.60	0.80	0.04	0.10	0.10	0.20
西	0.17	0.50	0.40	0.90	0.04	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
南	0.14	0.40	0.30	0.60	0.69	1.40	0.70	1.40	0.02	0.10	0.00	0.10
戸塚	0.14	0.40	0.20	0.50	5.37	10.50	3.90	8.60	1.50	4.40	2.50	5.60
港南	0.07	0.20	0.20	0.30	2.19	4.30	2.10	4.10	0.03	0.10	0.10	0.10
磯子	0.19	0.60	0.60	0.90	1.49	2.90	2.00	2.90	0.38	1.10	1.20	1.70
金沢	0.36	1.10	0.60	1.20	4.43	8.70	3.20	6.50	0.91	2.70	1.50	3.10
合計	2.31	6.80	5.50	10.50	37.44	73.40	35.00	71.80	8.28	24.50	16.90	35.90
t/ha・y		30.56	0.02	0.03		19.64	0.01	0.01		29.67	0.02	0.03

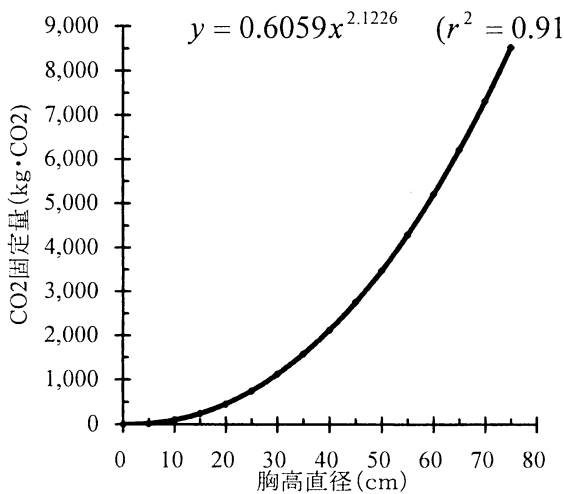


図-2 樹木によるCO2固定⁴⁾

(1) 樹木によるCO2の吸収・固定

草本類は光合成による年間成長結果として種子や根系が多少残存する以外は冬季には衰退し土に戻るため、毎年収穫し固定効果に永続性を持たせる必要がある。そのため、固定結果としての非同化器官(幹・枝・根)が長期間残存する樹木を利用することになる。樹木のCO2固定量算出法として、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という）以外に、シラカシの胸高直径と幹・根の樹体重量との関係を基に胸高直径とCO2固定量との相関式を求めたものがあり(図-2)、シラカシ以外の樹種の場合はシラカシと当該樹種の乾燥重量の比率を基に補正を行なう必要がある⁴⁾。

高さ3m・胸高直径12 cmのシラカシが年輪幅で、少なくとも約1 mm成長すると仮定すると、相関式よりCO2固定量は約6 kgCO2/年・本となる。環境省の試算によれば横浜市全域の緑地で26～27 tCO2/ha年となるが(表-1)²⁾、この相関式の値を用いると、盛土のり面(幅10m×延長100m×上下線2)で約1,500 本/haの植栽密度でのシラカシ植栽により、約2 tCO2/100m年(約10 tCO2/ha年)のCO2固定量になる。1 tCO2を削減するためのコストは、日本では12,000～98,000円とされているが、これより低価格でないと排出権価格は成立しない⁵⁾。排出権市場価格は、1,000～4,000円/t-C程度であり、平均として2,500円/t-Cとすると、前述のシラカシ換算で約200,000円/kmとなる。その他、CO2フリーのバイオマスとしての燃料利用による化石燃料の節減効果、それに伴うCO2排出量節減効果及び地球環境に貢献する意味でのブランド力向上効果等を併せると樹木成長に伴う収益性が把握可能となる。

調」や「景観統合」のような景観演出がある。

(3) 安全向上

車道の線形に沿って規則的な緑化による運転者の視線を誘導・予測させる「視線誘導」、対向する自動車の前照灯からの光線を遮る「遮光」、衝突による衝撃を樹木のしなやかさで吸収する「衝撃緩和」、樹林の防風効果で雪や砂の道路内への飛散を防止する「飛砂・地吹雪防止効果」、斜面における積雪や転石の滑落を樹林の杭抑止効果で防止する「雪崩等防止効果」、根系や落枝・落葉による斜面等での「浸食防止効果」等がある。

3. 地球環境保全効果

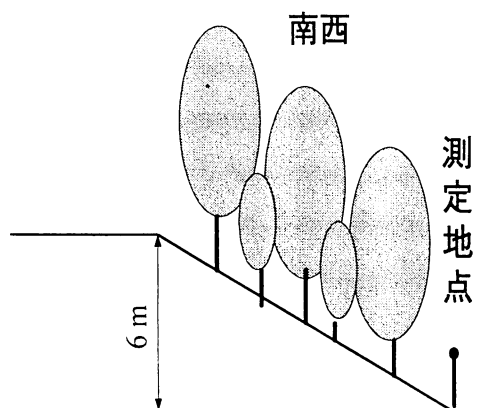


図-3 樹林化区間（盛土）

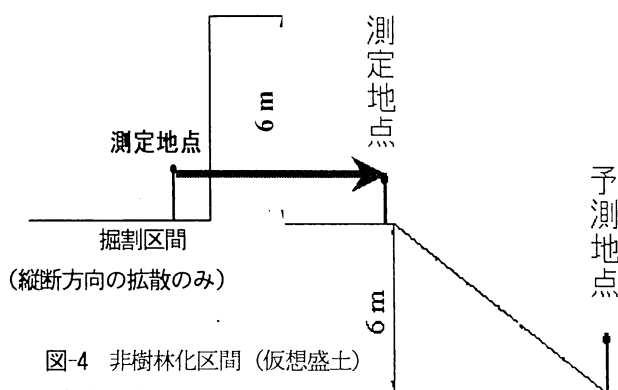


図-4 非樹林化区間（仮想盛土）

（注）掘割区間のデータを

6m盛土の路肩データとして用い、のり尻部を予測

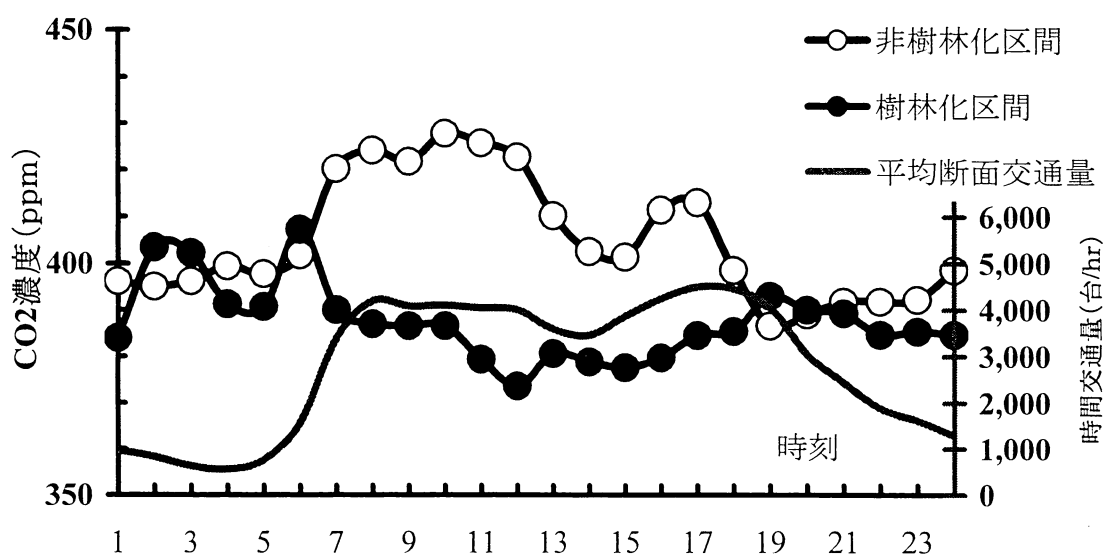


図-5 沿道におけるCO2濃度

(2) 道路緑化 樹木によるCO2吸収効果の検証

発生源濃度に近く横断方向の拡散が無い掘割区間のデータを使用して、植物が無い盛土区間における拡散状況を、正規型ブルーム式により推定し、非樹林区間とした（図-3、図-4）。

ケーススタディとして、関越自動車道の樹林化区間（60 KP付近：1998年7月10日～7月14日）と東京外環自動車道の掘割区間（2 KP付近：1998年7月7日～7月8日）において、光合成活動の活発な夏期に測定を行なった。両区間とも、日交通量は60,000～70,000台、平均風速は1.6～1.7 m/sであった。測定方法は、NDIR法を用いた赤外線分析計VIA510-CO2（株式会社堀場製作所）を用いて、JIS K 0151により、90秒間隔で自動サンプリング装置により連続自動分析を行なった。

非樹林化区間を見ると交通量とCO2濃度とがほぼリンクしており、交通量の増減に伴いCO2濃度も同様に増減

し、CO2吸収の兆候が全く生じていないのが明らかとなった（図-5）。また、樹林化区間を見ると、非樹林化区間と交通量がほとんど同じに関わらず、CO2濃度と交通量が比例しておらず、昼間における活発な光合成によるCO2吸収効果が認められた。すなわち、純粋な道路緑化によるCO2吸収固定効果により約40 ppm低下したことが明らかとなった。すなわち、排出源である自動車の近傍において、道路緑化樹木は効率よくCO2吸収固定を行っていることが実測により確認された。また、樹林化区間と掘割区間との夜間におけるCO2濃度の差が約40 ppmであり、光合成によるCO2吸収効果を考慮する必要がないため、盛土区間の拡散効果と考えられた。バックグラウンド濃度は約400 ppmであり、約1割の拡散による低減効果が推定された。

(3) 樹木のCO2吸収・固定能力の特性

植物成育は最も少ない成分の制約を受けるため、効率

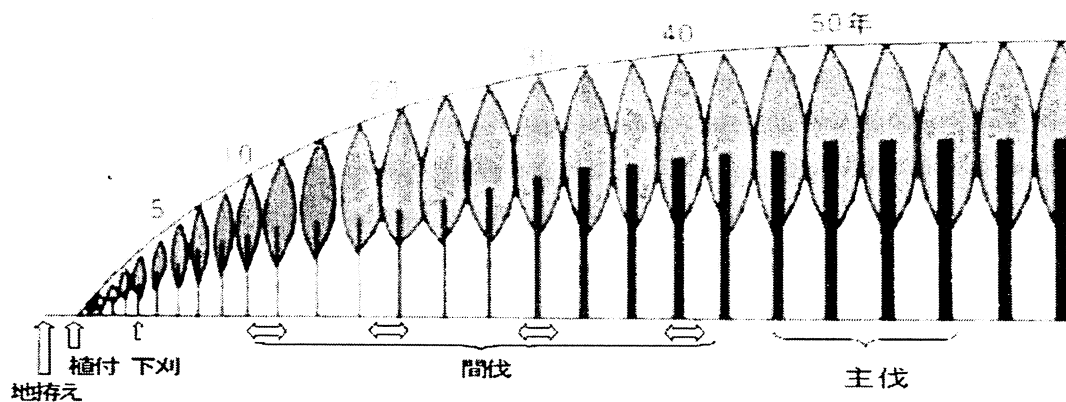


図-6 植林から伐採までのライフサイクル例

表-2 材料・植林・地拵えによるCO2排出量

項目	数量	換算係数	kgCO2/ha年
苗木	¥272,171	0.27 gCO2/円	73.49
肥料	¥17,297	5.03 gCO2/円	87.00
機械	¥2,869	1.02 gCO2/円	2.93
燃料等			
ガソリン	20 リットル	2.4 kgCO2/リットル	48.00
石油	0.5 リットル	2.4 kgCO2/リットル	1.20
潤滑油	0.5 リットル	2.9 kgCO2/リットル	1.45
混合油	4.5 リットル	2.9 kgCO2/リットル	13.05
合計			227.12
1本当り(全3,229本)			0.07

表-3 下刈によるCO2排出量 (4回)

項目	数量	換算係数	kgCO2/ha
機械	¥37	1.02 gCO2/円	0.11
農薬	¥9,247	2.96 gCO2/円	9.44
ガソリン	19.5 リットル	2.4 kgCO2/リットル	46.80
石油	3.5 リットル	2.4 kgCO2/リットル	8.40
潤滑油	2 リットル	2.9 kgCO2/リットル	5.80
混合油	20.5 リットル	2.9 kgCO2/リットル	59.45
合計			130.00
1回当り(全4回)			32.50

表-4 間伐によるCO2排出量 (4回)

項目	数量	換算係数	kgCO2/ha
機械	¥228	1.02 gCO2/円	0.67
農薬	¥23,725	2.96 gCO2/円	24.22
ガソリン	54.5 リットル	2.4 kgCO2/リットル	130.80
石油	5.8 リットル	2.4 kgCO2/リットル	13.92
潤滑油	2.3 リットル	2.9 kgCO2/リットル	6.67
混合油	32.5 リットル	2.9 kgCO2/リットル	94.25
合計			270.53
1回当り(全4回)			67.60

を高めるためには必要十分な量の成分要素を確保する必要がある。樹木の成長とCO2濃度の関係は、一般にCO2濃度1,000 ppm程度までは正比例するため樹木自体の光合成

速度も増加し、苗木を用いた実測結果においても、CO2濃度が高いほど成長量は大きく、発生源に近い場所での樹木によるCO2の吸収・固定が効果的である⁹⁾。実際に、ハウス栽培において、CO2濃度を高め光合成効率を上げるためCO2施肥が行なわれている。一方、樹木の成長過程とCO2固定能力の関係をみると、CO2固定速度は成熟段階の手前で最大となり、CO2固定量は老齢段階の手前で最大となる。また、樹種によってもCO2固定能力は異なるため、樹種の選定も重要な要素となる。

以上のように、実際の樹木のCO2固定量は、年輪の肥大成長量と関係があるだけでなく、樹木の成長段階、樹種、環境条件や樹林密度等によっても変化することになる。

4. 樹林化による年間CO2固定量の推測

(1) CO2固定量の原単位

西日本管内において、概ね5年前に16箇所のモニタリングポストを設定し、樹種、樹高や胸高直径等の詳細調査を実施した。2008年にこの16箇所において追跡調査を行い、約5年間の成長量を把握したところ、次のようなことが明らかとなった。

- ・CO2固定量は樹種により差が認められる。
- ・常緑広葉樹は相対的に固定量が多い傾向がある。
- ・成長量と固定量は必ずしも一致しない。

また、年間平均CO2固定量を算出すると、西日本全体で、平均約30 t-CO2/ha年であることが推測された。そこで、樹林化によるLCCO2 (Life Cycle CO2) を試算した。ただし、次の換算係数を用いた¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。

$$\begin{aligned} \text{ガソリン} &: 34.5 \text{ MJ/l} \times 18.3 \text{ gC/MJ} = 631.35 \text{ gC/l} \\ &= 2,314.95 \text{ gCO2/l} \\ &= 2.4 \text{ kgCO2/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{石油} &: 36.7 \text{ MJ/l} \times 18.5 \text{ gC/MJ} = 678.95 \text{ gC/l} \\ &= 2,389.49 \text{ gCO2/l} \\ &= 2.4 \text{ kgCO2/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{潤滑油} &: 40.2\text{MJ}/\ell \times 19.2\text{gC}/\text{MJ} = 771.84\text{gC}/\ell \\ &= 2,830.08\text{gCO}_2/\ell \\ &= 2.9\text{kgCO}_2/\ell\end{aligned}$$

また、今回調査したモニタリング箇所の平均植栽密度2,740本/ha、及び、スギ・ヒノキを対象とした林業で実際に行なわれている育林作業等⁹⁷⁾での平均的な作業や材料に係る数値を利用して試算した(表-2, 3, 4)。

- ・植林及び地植え等 192 kgCO₂/ha
- ・下刈 (2～5年：4回) 130 kgCO₂/ha
- ・間伐 (6～50年：4回) 270 kgCO₂/ha

合計すると、約0.6 tCO₂/ha・50年となるが、運搬、処分及び伐採等に掛かるCO₂発生量は見込んでいないため約1.0 tCO₂/ha・50年と仮定すると、樹林化法面の年間CO₂固定量の5%以下であり、樹林化によるCO₂の総蓄積量から考えれば無視しうるものと推定された。

(2) CO₂固定量

西日本における樹林化面積は約2,000 haであるため、全体として、年間約6万tのCO₂固定を行なっているものと推測された。しかし、この数字は、枯損部分についても考慮しているため、生育阻害要因の除去、樹林化面積の拡大及び樹種変換等により、一層の固定量の増加が期待できる。また、枯損傾向の樹種をCO₂固定量の大きな樹種に転換していけば、さらに数十%のCO₂固定量の増加が期待できるものと考えられた。2008年度末の日経・JBIC排出量取引参考気配によれば約1,400円/t-CO₂であるため、樹林は年間約9千万円のCO₂吸収価値があるものと推測される。さらに、2009年度末での見通し価格は約2,500円/t-CO₂であるため¹⁾、樹林は年間約1.5億円のCO₂吸収価値があることになり、相場によりかなりの変動が見込まれる。また、京都プロトコルの最終年である2012年末のCO₂排出量価格の上昇が予測される。

年間CO₂吸収価値を約1億円と仮定すると、樹種変更等により高効率化すれば、さらに数千万円程度のCO₂吸収価値の上昇が期待できることになる。すなわち、毎年数千万円の投資資本を確保できることになり、高効率樹林化のコストパフォーマンスは十分にあることが判明した。

5. おわりに

自動車はCO₂を排出しており、その点で沿道でCO₂吸収ができるということは、効率的であると考えられる。また、植物にとってもCO₂施肥の考え方があるように、成長にも有益であると言える。また、LCCO₂の観点か

らの今回の試算では、CO₂排出量はほとんど無視できるものと推定された。さらに、年間CO₂吸収量を増加させることにより得られるCO₂吸収価値の増加分を担保として、現在の樹林を高効率化するというコストを負担しても十分な効果が得られることが試算により明らかとなった。

今後は、より効率的なCO₂吸収のための、樹種転換や生育阻害要因の除去等に関するCO₂排出量やコストを含めた、LCI(Life Cycle Inventory)、LCC(Life Cycle Cost)及びLCCO₂による樹林のLCA(Life Cycle Assessment)の検討を行なっていく必要がある。

参考文献

- 1) 小澤徹三：道路緑化による環境の保全と創造、国際交通安全学会誌 28(3)、pp.63-70、2003
- 2) 環境省環境管理局大気環境課：大気浄化植樹マニュアル、(独)環境再生保全機構、pp.296、2004
- 3) 三澤彰：沿道空間における環境緑地帯の構造に関する基礎的研究、千葉大学園芸学部学術報告 30、pp.115-173、1982
- 4) 日本道路公団技術部緑化推進課：高速道路樹林におけるCO₂固定量調査・算出手引き、pp.24-31、2002
- 5) 小澤徹三：地球温暖化対策としての道路緑化：都市緑化技術 56、pp.36-39、2005
- 6) 農林水産省統計部：平成13年度 林家経済調査報告 育林費調査報告、2004
- 7) 戒能一成：総合エネルギー統計の解説/2006年度改定版、pp.223-241、2008
- 8) 南斉規介、森口祐一：産業関連表による環境負荷原単位データブック (3EID)、pp.1-93、2002
- 9) Shands W.E. and Hoffman J.S.: The Greenhouse effect, climate change, and U.S. forest, Washinton D.C. Coservation Foundation, 304pp., 1987
- 10) 加用千裕、花木啓祐、荒巻俊也、石井 暁：栽培系バイオマス由来のバイオエタノール活用による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計、第35回環境システム研究論文発表会講演集、pp.19-26、2007
- 11) 加用千裕、荒巻俊也、花木啓祐：木質資源フローに着目した温室効果ガス排出削減シナリオ評価フレームの構築、土木学会論文集 G Vol.64 No.3、pp.207-220、2008
- 12) 加用千裕、荒巻俊也、花木啓祐：炭素ストックを考慮した森林資源のエネルギー活用による実質 CO₂ 削減効果の長期予測、土木学会論文集 G Vol.64 No.4、pp.336-346、2008
- 13) 日本政策金融公庫、国際協力銀行：排出権価格の見通しアンケートの取り纏め結果について、pp.1-4、2009