

# 道路のり面を活用した早期樹林化工法の開発

Study of methods for early revegetation by woody plant on roadside slope.

(研究期間 平成 18 年～19 年度)

環境研究部 緑化生態研究室  
Environment Department  
Landscape and Ecology Division

室長 松江 正彦  
Head Masahiko MATSUE

In this study, aiming to promote global warming gas reduction with revegetation by woody plant on roadside slope, we aimed to develop practical computation methods of the CO<sub>2</sub> fixed by planting trees.

## 【研究目的】

京都議定書における日本の CO<sub>2</sub> 削減目標である 1990 年時点に対する 6%削減を達成するためには、樹林による CO<sub>2</sub> の固定・吸収は不可欠な要素である。国土の狭い日本においては道路のり面も貴重な緑地であり、そこに成立する樹林も固定・吸収源として重要である。また、特に道路における盛土のり面の樹林化は地域景観の形成や防災の面からも重要であり、積極的な整備が望まれる。

一方、道路盛土のり面は他の緑地と異なり、その形状が細長く連続していること、また植栽基盤は路体としての造成がされているため生育条件が厳しいことなどにより、そこに生育する樹木は森林などとは異なった成長を示すと考えられる。

事業としての道路盛土のり面の樹林化については高速道路を中心に行なわれてきたが、人為的な樹林化だけでなく自然に形成された樹林も含めれば対象は全国各地に数多くあり、その CO<sub>2</sub> 固定・吸収量をつかむためには道路盛土のり面という条件に適した効率的な手法を確立することが重要である。

本研究は、まず過年度に高速道路会社（旧道路公団）によって施工、調査が行われてきた高速道路の盛土のり面の樹林化箇所において毎木調査やサンプル樹木の伐採調査を行い、のり面樹林の生育状況ならびに樹木の形状と乾燥重量の関係を求め、さらに、樹林による CO<sub>2</sub> 固定・吸収量の算出に関する既往研究、事例を収集・整理し、道路盛土のり面樹林に相応しい CO<sub>2</sub> 固定・吸収量の算出方法を検討することとしている。また、今回の調査結果を活かしながら、新たに樹木の生育状況を調査する比較試験区を設け、そこでのモニタリング調査を通して、CO<sub>2</sub> の効率的に固定・吸収する早期樹林化工法を検討し、とりまとめることを最終目的としている。

## 【研究成果】

### 1. CO<sub>2</sub> 固定・吸収量の算出手法の整理

樹林による CO<sub>2</sub> の固定・吸収量の算出手法としてはこれまで様々な研究が行われてきている。

算出に当たっては葉の光合成量と呼吸量から算出する方法として①密閉チャンバー内による個体の CO<sub>2</sub> 収支を直接測定による手法、②葉の光合成と呼吸速度および葉量の相対成長式から算出する方法がある。大気中への CO<sub>2</sub> の出入りから樹林地全体の CO<sub>2</sub> 固定・吸収量を算定する方法として③CO<sub>2</sub> フラックスのタワー観測による方法が行われている。

また、樹林を構成する樹木の形状から算出する方法としては④木質部の相対成長式と平均成長量による方法、⑤木質部相対成長式と期間成長差および気乾比重による方法、⑥立木幹材換算表による幹材積の推定による方法、などがあげられる。また、樹冠被覆面積や樹木本数に対するデフォルト値から広域な CO<sub>2</sub> 固定・吸収量を算定する⑦IPCC グッドプラクティスガイダンスに基づく方法などがある。

以降に示す調査結果を基に、いくつかの手法により試算をしたが、その結果は表 1 に示すとおり大きく異なるものとなった。

表 1 各算出手法による年間 CO<sub>2</sub> 固定・吸収量試算結果  
(調査区：水戸調査区、面積：210 m<sup>2</sup>、本数 30 本)

算出手法	水戸調査区 当り(kg/yr)	1m <sup>2</sup> 当り (kg/yr)	1本当り (kg/yr)	
葉の光合成と呼吸量からの算出手法 (大気浄化係数推定)	1,667.0	7.94	55.6	
相対成長式と平均 成長量による方法	樹高式	171.8	0.82	5.7
	胸高直径式	295.2	1.41	9.8
相対成長式と期間 成長差	今回の樹高式	100.8	0.48	3.4
	今回の胸高直径式	1,141.3	5.43	38.0
立木幹材換算表による幹材積の推定による方法(林野)	411.9	1.96	13.7	
IPCCグッドプラク ティスガイダンスに 基づく方法	樹冠被覆面積法(樹冠被覆率30%)	178.6	0.85	5.95
	樹木成長量法(構成本数30本)	1,100.0	5.24	36.7

## 2. のり面樹木による CO<sub>2</sub> 固定・吸収量の算出式の検討

樹林による CO<sub>2</sub> 固定・吸収量の算出の基となる樹林内の樹木の形状と乾燥重量との関係を導くため、表2の箇所（後述する「3. 毎木調査」の調査箇所の近隣部）でサンプルとなる樹木を伐採し、必要となるデータを求める調査を実施した。対象木は常緑広葉樹：シラカシ（20本）、落葉広葉樹：コナラ（12本）、常緑針葉樹：クロマツ（7本）の3種に絞り、計39本について実施した（表2）。

また、この内のり面の中でも根の掘取りが可能な16本については、根系も掘取って乾燥重量を測定した。

表2 伐採樹木一覧

地域	調査地	樹種	本数	樹齢	樹高(m)	胸高幹周(cm)
東北	山形	コナラ	4	14~20	6.7~8.8	38~43
北陸	富山	コナラ	2	19~24	8.3~9.8	21~45
北陸	富山	クロマツ	2	15~17	4.6~4.8	44~47
関東	沼田	コナラ	4	17~22	6.5~11.0	27~45
関東	水戸	シラカシ	4	13~14	3.6~7.5	16~35
関東	横浜綾瀬	シラカシ	4	15~19	5.5~8.5	30~44
関東	横浜厚木	シラカシ	1	12~14	4.5~5.6	15~19
中部	羽島	シラカシ	4	12~14	5.3~7.0	24~36
中部	袋井	クロマツ	1	22	14.0	75.0
中部	袋井	コナラ	2	19~21	12.0~12.5	60~75
関西	福知山	シラカシ	4	18~21	5.2~8.0	23~45
四国	松山	クロマツ	1	11~12	4.5~6.0	34~44

伐採した樹木は、地際から0.2m、1.2m、2.2m・・・と1mごとに階層区分し、幹、枝、葉、根に分け、全ての生重量を測定した。また、各部位からサンプルを採取し体積と生重量を測定したものを持ち帰って乾燥させ、乾燥重量を測定した。さらに、幹に



写真1 樹木の伐採及びサンプル採取状況  
 左上：伐採状況                      右上：分解作業  
 左下：根系掘取状況                右下：測定用サンプル

については年輪測定用の円盤状サンプルを採取し、年輪の測定を行った（写真1参照）。

これらのサンプルから伐採した樹木各部位の乾燥重量を算出し、各部の形状との関係について解析を行った。また、年輪測定データから樹幹解析を行った。

器官乾重比の平均は葉も含めた場合、幹：枝：葉：根=42.8：25.9：10.9：20.4、葉を除いた場合には幹：枝：根=50.2：27.5：22.4となった。

なお根の掘取りが出来なかった樹木については、この器官乾重比を用いて根の乾重を推定して用いた。

### 1) 相対成長式の検討

次に、これらのサンプル樹木のデータを用いて、胸高直径、樹高と樹木の木質部乾燥重量との関係を調べた。これまでの国総研の研究や他機関の研究成果により、胸高直径、樹高と樹木の木質部乾燥重量との間には一般的に「 $y = ax^b$ 」示される相対成長式が成り立つことが知られている。

そこで、今回得られた調査結果より樹種別及び3樹種統合の樹高及び胸高直径から求めた相対成長式を表3に、樹高と木質部全乾燥重量の関係を図1に、胸高直径と木質部全乾燥重量との関係を図2、図3に示す。なお表3中の上段a及び図1、図2はサンプル樹木の伐採時の形状と木質部全乾燥重量から求めた関係を示し、表3下段のb及び図3は樹幹解析による樹齢ごとの形状と材積から算出した木質部全乾燥重量との関係を示す。

表3 樹高、胸高直径と木質部乾燥重量の相対成長式

対象樹種	樹高X (m)	R <sup>2</sup>	胸高直径X (cm)	R <sup>2</sup>
	相対成長式		相対成長式	
シラカシ a	$y = 0.1761X^{2.8256}$	0.475	$y = 0.246X^{2.3182}$	0.9082
	b $y = 0.0249X^{3.6533}$		$y = 0.6191X^{1.782}$	
コナラ a	$y = 0.0213X^{3.6056}$	0.7243	$y = 0.1632X^{2.5003}$	0.9529
	b $y = 0.021X^{3.4315}$		$y = 0.653X^{1.8154}$	
クロマツ a	$y = 5.2756X^{1.3497}$	0.862	$y = 0.3199X^{2.0786}$	0.8248
	b $y = 0.0544X^{3.3686}$		$y = 0.7598X^{1.5991}$	
全3種 a	$y = 0.9927X^{1.9407}$	0.4633	$y = 0.2741X^{2.2461}$	0.9064
	b $y = 0.0288X^{3.4578}$		$y = 0.6532X^{1.7602}$	

まず、樹高と木質部全乾燥重量との関係と、胸高直径と木質部全乾燥重量との関係を比較すると、胸高直径と木質部全乾燥重量との関係の方がどの場合にも決定係数は高く、胸高直径を用いる方が精度良く木質部の乾燥重量を推定することが可能であることが示された。

次に、サンプル樹木伐採時の形状と木質部全乾燥重量から導いた表3のaの式及び図2と、樹幹解析による樹齢毎の形状と木質部全乾燥重量との関係

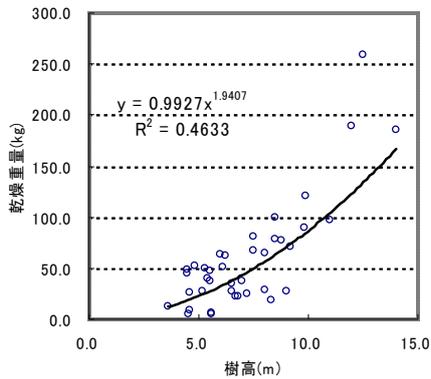


図1 樹高と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

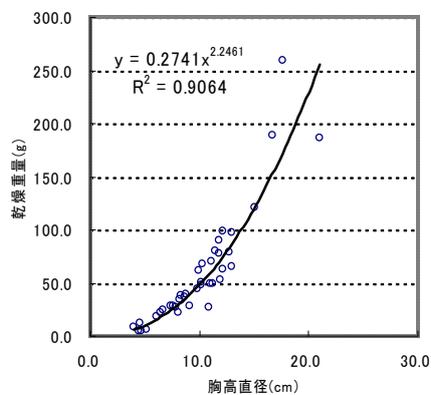


図2 胸高直径と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

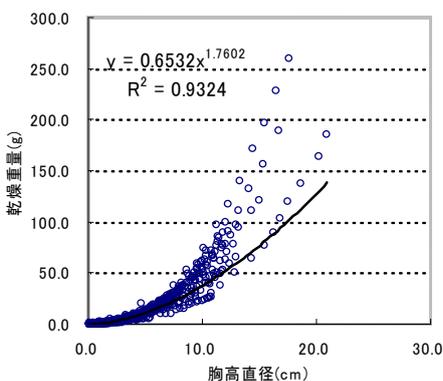


図3 胸高直径と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

から導いた表3のbの式及び図3を比較すると、コナラを除いては、僅かではあるが樹幹解析による樹齢毎の形状と木質部全乾燥重量との関係の方が決定係数が大きいことがわかる。しかし、樹幹解析による方法は、同じ樹木から得られた連続的データを、独立したデータとして用いているということにおいて課題を残しているため、今回のようにサンプル数が得られる場合には、サンプル樹木伐採時の形状

と木質部全乾燥重量から導いた近似式を用いる方が適していると思われる。

## 2) CO<sub>2</sub>固定量の算定式の検討

次に、表3の胸高直径を基にした3樹種統合のa式を基に、樹木の木質部に蓄積されたCO<sub>2</sub>固定量を求めることとする。植物体内のCは、そのほぼ全てが大気中のCO<sub>2</sub>に由来し、また木質部のC含有量は、これまでの多くの分析結果から、樹種に関わらず乾燥重量比にして50%程度であることが知られている。そこでここでは、木質部乾燥重量の50%をC含有量とし、さらにC含有量に、CO<sub>2</sub>とCの分子量比(44/12)を乗じることによりCO<sub>2</sub>量に換算することとした。したがって、胸高直径Xとその樹木のCO<sub>2</sub>固定量は以下の式に整理することができる。

$$Y = 0.5025X^{2.2461} \quad (1式)$$

Y: 累積CO<sub>2</sub>固定量(kg) X: 胸高直径(cm)

また、樹高及び胸高直径と樹齢との関係を調べると、表4のような直線関係が得られた。今後データの積み重ねを必要とするが、2期間の調査による差によって成長量を図ることができない場合にも、今回対象とした程度の形状においては、この式を表3の式に組み込むことにより、樹齢から胸高直径、さらには木質部乾燥重量を推定することが可能となる。

表4 樹高、胸高直径と樹齢との関係

樹種	樹高 y (m)		胸高直径 y (cm)	
	相対成長式	R <sup>2</sup>	相対成長式	R <sup>2</sup>
シラカシ	y = 0.3763X + 0.936	0.7927	y = 0.6426X - 1.3678	0.7812
コナラ	y = 0.4601X + 0.6912	0.7713	y = 0.6029X - 1.3215	0.6313
クロマツ	y = 0.5291X - 0.0931	0.7397	y = 1.0809X - 3.1675	0.9323
3樹種統合	y = 0.4424X + 0.5968	0.7653	y = 0.664X - 1.3885	0.6827

X: 樹齢

## 3. 毎木調査

3社からなる高速道路会社(旧日本道路公団)では、各地の高速道路において、平成14年度から17年度にかけて、盛土のり面樹林部におけるCO<sub>2</sub>固定量を把握するための現地調査を実施している。そこで本研究では、このときに調査を行った調査対象地のうち、図4に示す25箇所について、新たに毎木調査等を行い、その結果を過年度のデータと比較することにより、1~4年間の樹林の現存量の変化を求め、その間のCO<sub>2</sub>固定量を把握することとした。

調査区の多くは「のり長×10m」の大きさで、過年度に行われた調査区の四隅には杭が設置されており、調査区内のそれぞれの樹木には前回の調査時に樹木番号が付けられており、比較調査が可能な状態となっている。

各調査区について毎木調査(樹種・樹高・胸高幹周・枝張り・枝下高等)並びに林床植生調査(出現

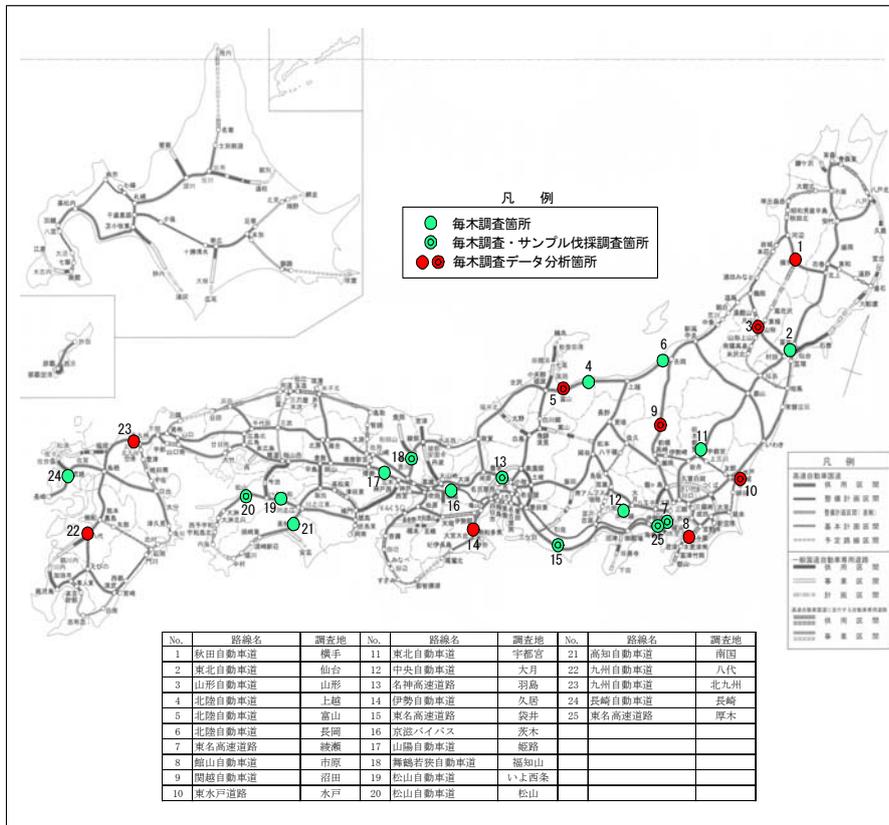


図4 調査位置図

種・被度・群度)を行なった。林床植生調査については、植物社会学的方法によった。また、植栽基盤状況を把握するため、盛土のり面の方位・傾斜角・日当り・形状・遮音壁の有無・周辺状況・検土杖による土質把握・土壌硬度・透水性・乾湿状況・pH・EC等による植栽基盤状況のチェックなどを行った。

1) 胸高直径年増加量

CO<sub>2</sub> 固定量の大小については、木質部乾燥重量の増加量に左右される。また先に示したとおり、木質部乾燥重量は胸高直径との相関が高いことより、ここでは胸高直径の年増加量に着目することとした。

なお、調査区内の樹木については前回と今回の間に胸高直径が増加した個体のグループを「成長分」、前回は確認されないか、胸高直径までの高さがなく、今回新たに確認された個体のグループを「侵入木分」、株数の減少や枯損により胸高直径が減少した個体のグループを「消失分」とし、調査区全体はそれら3グループの合計値とした。

高速道路会社による調査では、胸高直径は胸高幹周を測定し、その値を円周率(3.14)で除した値としている。また株立ち状の樹木の場合には、各々の幹周を合計した値に0.7を掛け、その値を円周率で割った値をその樹木の胸高直径としている。

そのため、株立ち本数が少ない場合には、単幹の場合の増加量とほぼ近似した値となるが、株数が多

くなるとその値は大きくなり、胸高直径の年増加量が10センチ近い値となる。そこで本研究では一旦各幹の胸高断面積を求め、その合計値から単幹とした場合の胸高直径を換算値として用いることとした。

なお、調査区の中には当初植栽時のデータがないもの、前回調査時の各幹のデータが一部しか示されておらず、合算値×0.7のみ表示されているため、胸高断面積での換算が出来ないものが16箇所あり、以下の分析にあたっては残り9箇所のデータを使うこととする。

調査区ごとの当初あるいは現況の立木密度と1本当たりの平均年胸高直径増加量との間には、決定係数はそれほど高くないものの、

負の相関関係、つまり密度が低いほど1本当たりの年間生長量が大きいという関係が見られた(図5,6)。

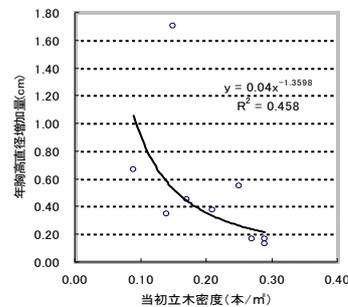


図5 当初立木密度と年胸高直径増加量 (成長分・調査区面積当り n=9)

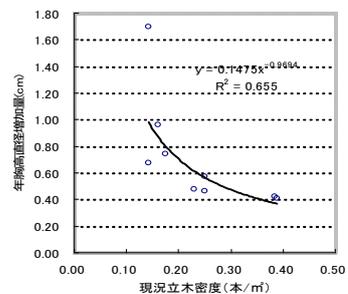


図6 現況立木密度と年胸高直径増加量 (成長分・調査区面積当り n=9)

なお、この9箇所の中には現況立木密度が同じでも植栽後の経過年数の違う箇所が含まれており、この経過年数の違いが年胸高直径増加量にも大きな影響を与えている可能性が考えられる。そこで、植栽後の年数が16~19年とほぼ同じ4調査区(横手、久居、山形、北九州)を抽出し、再度比較を行なうこととした。

この5調査区における年胸高増加量と現況立木密度との関係は、負の高い相関関係を示しており、同様の経過年数の林においては、年胸高直径増加量の違いは現況立木密度の違いに起因するものと考えられる(図7)。

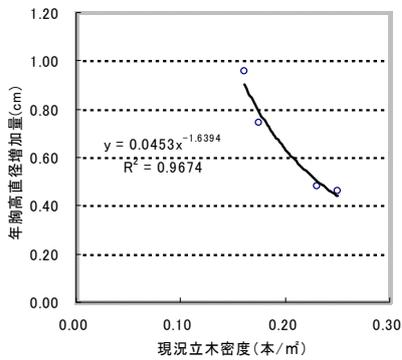


図7 現況立木密度と年胸高直径増加量  
(成長分・16~19年経過調査区 n=4)

また、各樹種の胸高直径の年平均増加量は図8に示すとおりとなった。高木については、常緑広葉樹でスダジイ、シラカシ、ウバメガシ、アラカシ、クスノキなどの成長量が大きかった。落葉広葉樹ではサトザクラ、ギンドロ、コブシ、ハゼノキ、ヤマザクラなどが大きく、常緑広葉樹に較べて全体に増加量が大きい傾向であった。

針葉樹についてはヒマラヤスギ、クロマツを除き、小さめの傾向であったが、常緑針葉樹については寒冷地での使用が多いため、気候の影響が大きいことも考えられる。

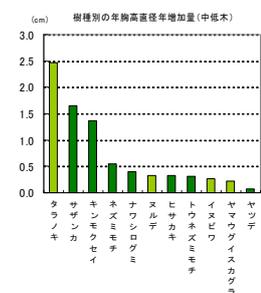
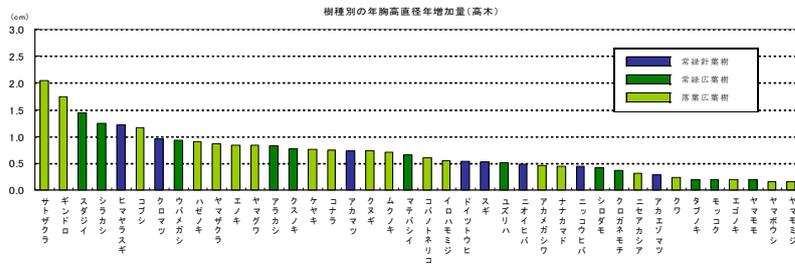


図8 樹種別の平均胸高直径増加量

## 2) CO<sub>2</sub>固定量

まず、各調査区の現況におけるCO<sub>2</sub>固定量を、毎木調査の結果より整理した(式1)を活用して求めた。さらに、これを調査区の面積で割ることにより1m<sup>2</sup>当たりのCO<sub>2</sub>固定量に換算し、その結果を植栽後の経過年数と比較することによりその関係を求めた(図9)。これによると決定係数は低いものの、経過年数の長い箇所ほどCO<sub>2</sub>固定量は多くなり、ほぼ直線的に増加していくといった傾向が見られた。

このことより、条件の異なる調査地区の結果をそのまま比較することはできないが、今回調査を行った道路盛土のり面においては、直線の傾きより、10~30年くらいまでの間では経過年数に関係なく年間1m<sup>2</sup>当たりの約2.27kgのCO<sub>2</sub>を固定しているという状況が示唆された。

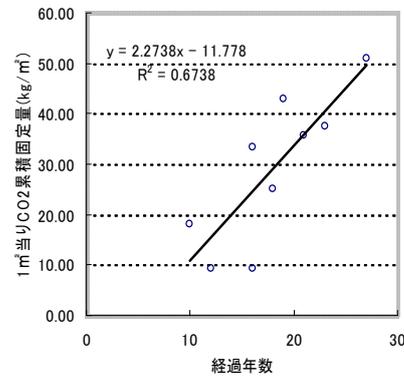


図9 経過年数と1m<sup>2</sup>当り累積CO<sub>2</sub>固定量  
(比重未反映・調査区面積当り n=9)

次に9箇所の調査区について、2時期の毎木調査の結果を用いてその間のCO<sub>2</sub>固定量の差を求めることにより、年間のCO<sub>2</sub>固定量を求めるとともに、立木密度との比較を行うこととする。

そこで、同じく(1式)を用いて、過年度に高速道路会社によって実施された毎木調査データと今回の毎木調査データを用いて、それぞれの時点での

CO<sub>2</sub>固定量を算出し、次に1 m<sup>2</sup>ごとに換算したてから2 時期の差を求め、さらにその差を前回調査と今回調査の間隔で割ることにより求めた(図 10, 11)。

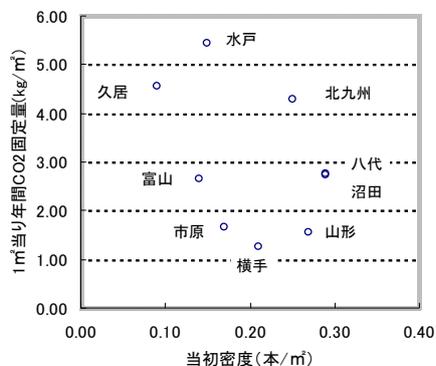


図 10 当初植栽密度と年間 CO<sub>2</sub> 固定量の関係

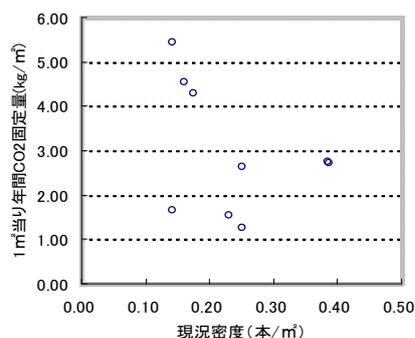


図 11 現況植栽密度と年間 CO<sub>2</sub> 固定量の関係

まず、分析を行った 9 の調査区では、1 m<sup>2</sup>当たりの年間 CO<sub>2</sub> 固定量は、先に示した約 2.27kg をはさんで最大が水戸の 5.43kg/m<sup>2</sup>、最低が横手の 1.26kg/m<sup>2</sup>といった結果を示した。また立木密度との関係では、どちらも相関はなかったが、現況密度との関係では、立木密度が高い方が年間 CO<sub>2</sub> 固定量は下がっている傾向が示された。これは、先に図 5, 6 に示した、現況立木密度が低い方が 1 本当たりの年間胸高直径増加量ということが、密度が高いことによる本数の増加による影響を上回って現れと思われる。

また、今回の結果には示していないが、年間 CO<sub>2</sub> 固定量が少ない横手、山形は平均胸高直径増加量の小さいドイツトウヒ、アカエゾマツ、ニッコウヒバ(図 9 参照)などが主体の樹林であり、逆に多い水戸や久居、北九州は平均胸高直径増加量の多いサトザクラヤ、シラカシ、ウバメガシなどが主体となっており、このような樹種構成の違いが大きく影響しているものと思われる。しかし、今回の調査では、他にも気象条件など、植物の生育条件に影響を与える

と思われる条件の違いが相互に影響し合っており、生育状況の違いが何によっているのかを明らかにするまでには至らなかった。

### 【成果の活用】

本研究は、既に樹林化が進められている箇所で、かつ過年度に高速道路会社が行った調査データを活用できる箇所に限定して行った。そのために、最後に示した調査地区間の比較などにおいては、当初植栽密度の違い、樹種構成の違い、気象条件の違いなど多くの要因の違い相互に受け、十分な比較検討が出来なかった。

そこで、当初より樹種構成や植栽密度、苗木の大きさ、気象条件など、植物の生長に与える影響の違いごとに把握できる実験区を、高速道路保有機構と 3 社の高速道路株式会社と共同して全国の高速道路盛土のり面に受験区を設けている。今後そこから得られるデータを有効に活用し、CO<sub>2</sub> の固定・吸収を効率的に進めることのできる樹林化工法としてとりまとめていくこととしている。

### 【参考文献】

- 1) 半田真理子・小澤徹三・飯塚康雄他. (1992) 道路緑化樹木の二酸化炭素固定に関する研究. 建設省土木研究所.
- 2) 日本道路公団試験研究所環境緑化センター緑化調査課. (2001) 緑地効果に関する研究 報告書. 日本道路公団試験研究所環境緑化センター.
- 3) 環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会. (2006) 温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第 5 部 森林等の吸収源分科会報告書. 環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会.
- 4) 松本光朗・鹿又英聡・野田巖. (2004) 森林資源量及び生産力の全国評価. 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 3 森林、海洋等における CO<sub>2</sub> 収支の評価の高度化. 森林総合研究所.
- 5) 藤原宣夫. (2005) 植栽樹木の二酸化炭素固定量からみた都市緑化施策の評価に関する研究. 千葉大学学位申請論文.
- 6) 大気浄化植樹マニュアル. (1995) 公害健康被害補償予防協会.
- 7) 小池孝良. (1993) 主要樹種の CO<sub>2</sub> 固定能の意義. 北方林業 Vol. 46 No. 5.
- 8) 日本道路公団東京建設局. (1999) 道路のり面樹林化手法検討報告書. 社団法人道路緑化保全協会.