

## 1.1 地球温暖化対策への対応に関する研究

---

---

- 1) 中分解能衛星データによる緑地の変遷解析手法に関する研究  
【技術研究開発調査費】 ..... 5
- 2) 都市緑化樹木のCO<sub>2</sub>ストック変化量把握に関する研究  
【都市公園事業調査費】 ..... 11
- 3) 道路のり面を活用した早期樹林化工法の開発  
【道路調査費】 ..... 15



# 中分解能衛星データによる緑地の変遷解析手法に関する研究

A study on the change analysis method of urban green coverage using middle-resolution satellite data

(研究期間 平成 17 年～18 年度)

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

室長  
Head

松江 正彦  
Masahiko MATSUE

In this study, we developed and arranged the technique which efficiently and effectively grasped the urban green change while accuracy and workload are confirmed. For this purpose, we used middle resolution satellite data, when the data procurement in the national scale is possible. In 2006, the study was carried out for the purpose of developing technology in order to raise the accuracy and raise the generality. As the result, it became possible that increase and decrease of urban green were grasped by detail geometric correction and removal of the shadow at the error within 30%.

## 【研究の目的及び経緯】

地球温暖化問題は現代社会が直面する最も深刻な環境問題の一つである。2005年2月16日には京都議定書が発効し、第一約束期間（2008年～2012年）に向けて各国が温室効果ガス削減に取り組んでいる。

京都議定書では森林等の吸収源による温室効果ガスの吸収量を削減目標の達成に用いることが認められており、都市緑地にも吸収源としての期待が寄せられている。

都市緑地は、2001年のCOP7（マラケシュ）で国際的に合意された京都議定書の運用細則において、3条4項に示された「追加的人為的活動」の一つの「植生回復（revegetation）」に位置づけられる。植生回復は、「0.05ha以上の植生回復を行うことによって炭素蓄積量を増加させる直接人為的な活動。ただし当該活動は、1990年1月1日以降に開始され、新規植林、再植林の定義に当てはまらないもののみ限定される」と定義されている。

また、第一約束期間に提出する温室効果ガス排出・吸収目録（以下、「インベントリ」）を作成するためには、IPCCガイドライン及び「土地利用、土地利用変化及び林業に係るグッドプラクティスガイダンス」（以下、「LULUCF-GPG」）で定められた方法に従う必要があり、透明で検証性のある算定方法やデータが要求されている。また、LULUCF-GPGでは、森林（Forest land）、農地（Cropland）、草地（Grassland）、湿地（Wetland）、開発地（Settlements）、その他の土地（other land）の6つの土地利用カテゴリーが定義されており、都市緑地は開発地に属している。

植生回復の基準年が1990年であること、透明で検証性のある算定方法やデータが求められていることなどを鑑みると、地球観測衛星データや各種地理情報の利用性は高いと考えられる。しかしながら、具体的な算定方法や

データの解析方法については現在検討段階であり、早急にとりまとめていく必要がある。

以上のような背景のもと、平成17年度には全国規模でのデータ入手が可能な中分解能衛星データに着目し、効率的・効果的に緑地の変遷を把握する技術手法を精度、作業量を確認しながら開発・整理することを目的として研究を実施した。その結果、神奈川県を調査地とした中分解能衛星データにより、期初（1990年）、最新（2004年）それぞれの時期の樹林地は、概ね良好な制度（95～110%程度）で抽出でき、樹林地の増減についても、増加と減少を差し引きした総量（ネット）では概ね良好な制度（100～120%程度）で把握できた。しかし、増加、減少それぞれの面積は誤差が最大で約6倍ときわめて大きい結果となった。

そこで18年度は、都市域において、緑化等により増加した個々の樹林地の変遷が確実に把握できるよう精度を高めるとともに、調査の対象とした神奈川県以外の都市域でも活用できるよう、汎用性を高めるための技術開発を行うことを目的として研究を実施した。

## 【研究の内容】

18年度は、17年度の成果を踏まえて、中分解能衛星データを用いた緑地の変遷を把握する技術の精度高めるために、①精密幾何補正の検討、②影の除去に関する検討、③樹林地増加面積把握手法の開発の3項目を進めた。さらにこれまでのLANDSATとASTERに加えて、新しく入手が可能となった④ALOSデータの活用可能性の検討と、⑤構築した手法の適用性の確認を行った。

なお、本報ではこのうち①②③を中心に、その結果概要を報告することとする。

研究対象地域は、①②③④については神奈川県全域を対象とし、⑤に関しては、名古屋市、長野市、札幌市、

鹿児島市の4都市を選定し検証を行った。

## [研究の成果]

### 1. 精密幾何補正

#### (1) 従来手法の整理

中分解能衛星画像には、下記の4つの要因によって幾何学的歪みが生じることが指摘されている。

- ① センサの内部歪み：センサの機構に起因する歪み。
- ② センサの外部歪み：画像の投影方式の幾何学に起因する歪み。これは、プラットフォームに起因する歪み、対象物（地球の自転など）に起因する歪みに分けられる。
- ③ 画像投影面の取り方に起因する歪み：画像投影面の取り方（画像座標系の定義の仕方）によって幾何学的な歪みの表現が異なる。
- ④ 地図投影法の幾何学に起因する歪み：利用する地図投影法によって幾何学的歪みの表現が異なる。

幾何補正 (geometric correction) とは、これらの幾何学的歪みを除去することであり、画像上のピクセルの座標 (画像座標) と対象物の地理座標 (地図座標など) との対応関係 (座標変換式) を定量的に明確化することである。

幾何補正のうち、補正方法、補正式の決定については、下記の3とおりの方法が知られている。

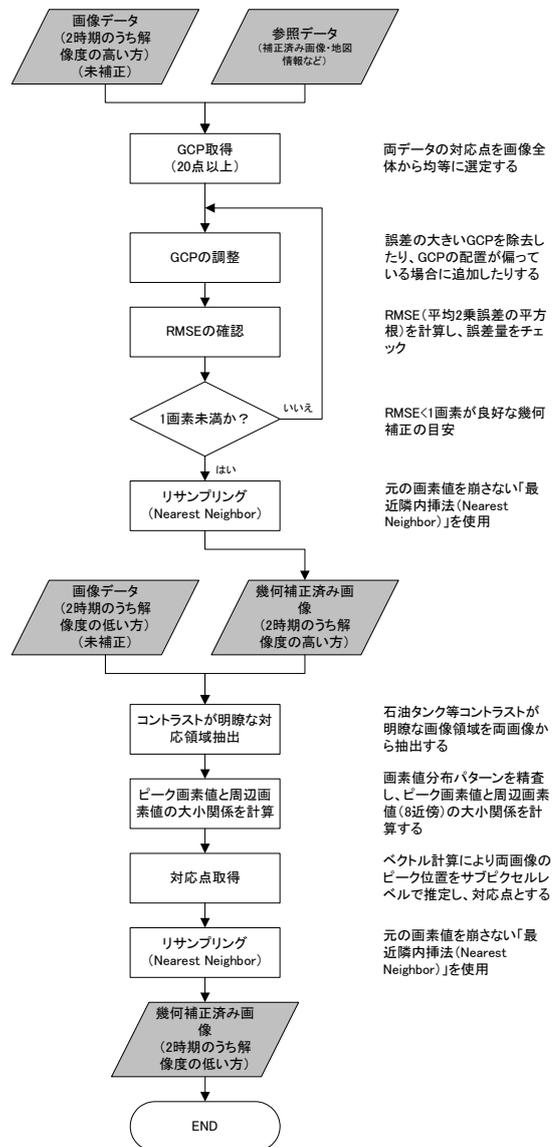
- a) 系統的補正：画像の幾何学的歪みを除去するための理論的補正式がわかっている場合に、その式に含まれるキャリブレーションデータ (焦点距離など) やセンサの位置や姿勢などの計測値を理論的な補正式に与え、幾何補正を行うもの。センサの内部歪みの多くはこの方法が有効であるが、センサ位置や姿勢の計測精度は十分でないことが多く、外部歪みの補正精度は高くない。
- b) 非系統的補正：与えられた画像座標系と出力すべき地図座標系との座標変換式を、基準点における画像座標と地図座標の対応関係を用いて近似的に決定する方法。座標変換式の係数は、基準点の画像座標値と地図座標値から最小2乗法によって求められる。
- c) 併用補正：理論的補正式と基準点を用いて決定する補正式とを組み合わせる幾何補正。

航空機搭載センサや高分解能衛星画像の場合、系統的補正のみで十分な幾何補正精度が得られることもあるが、中分解能衛星画像の場合、センサ位置や姿勢の計測精度が十分高くないため、通常は基準点 (GCP: Ground Control Point) を取得して座標変換式を求める非系統的補正を行う。

画像座標から地図座標への変換式を構築するための参照画像 (幾何補正済み画像) は、地図画像を用いることが多い。GCP は、画像全体から均質に20点以上取得することが一つの目安とされ、季節変化や経年変化が無視でき、衛星画像と地図画像で特定可能な点 (橋梁、埠頭、交差点など) を取得する。幾何補正精度はGCPのRMSE\*1.0画素未満が一つの目安となる。この精度は、複数の画像を重ね合わせたり他の地図データを重ね合わせたりする際に、特徴画素が二重に表れることがないことを意味している。

17年度の研究では、これらの従来手法の原則に則り、LANDSATおよびASTER画像のRMSEが1.0画素未満になるように実施した。この誤差は、通常の中分解能衛星データ処理においては許容される誤差であるが、都市の樹林地の増減を考えた場合、1画素のずれはLANDSATで30m、ASTERで15mとなり、増加、減少それぞれの面積誤差に大きく影響しているものと考えられた。

#### (2) 改良手法の検討



図—1 精密幾何補正手法の手順

従来の幾何補正精度を超えるためには、対象地物の画素内の位置まで踏み込んだサブピクセルレベルの幾何補正が必要となる。そこで本研究では、図-1に示す精密幾何補正手法を考案した。

このうち、2画像のずれを最小限にするための対応点の取得について、具体例を図-2に示す。ここでは、石油タンクのような小さくて周辺とのコントラストが明瞭な地物を GCP として両画像から抽出し、画素値分布パターンを精査し、ピーク画素値と周辺画素値(8近傍)の大小関係を計算し、ベクトル計算により両画像のピーク位置をサブピクセルで推定し対応点とした。

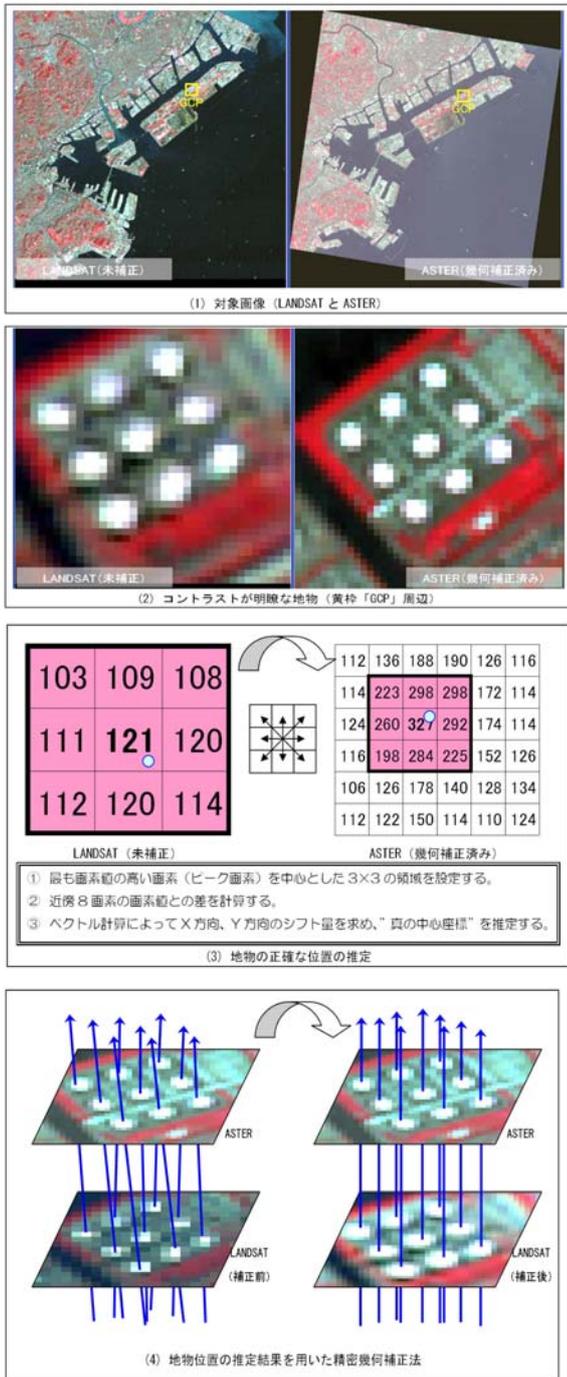


図-2 近傍画素との色調差から地物の位置をサブピクセルレベルで推定する方法

精密幾何補正による理論上の誤差と実際の誤差の比較を図-3に示す。ある地物を含む LANDSAT と ASTER の画素において真位置が画素の対局の位置関係にある場合、LANDSAT と ASTER の相対的なズレは最大 31.82m となる (理論上の誤差)。これに対し、従来の幾何補正では参照画像 (幾何補正済み地図画像) に対する RMSE が LANDSAT で 0.8385 画素、ASTER で 0.7023 画素であった。LANDSAT と ASTER を重ね合わせる際に、これらの理論上の誤差が逆方向に働いた場合、想定される最大誤差は 17.85m となり ASTER の 1 画素を超えてしまう。

一方、精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER に対する LANDSAT の RMSE は 0.402 画素である。精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER 画像を参照画像とするため、LANDSAT と ASTER を重ね合わせる際に想定される最大誤差は LANDSAT の RMSE のみである。したがって、想定される最大誤差は 6.03m となり従来の幾何補正の約 1/3 に抑えることができる。

以上より、本調査で考案した精密幾何補正手法により、2 時期の中分解能衛星画像を重ね合わせる時に発生する位置ずれを軽減させることが可能となった。

従来の幾何補正

対象画像	点数	RMSE (単位: 画素)
ASTER (20050428)	22	0.7023
LANDSAT/TM (19901105)	34	0.8385

精密幾何補正

対象画像	点数	RMSE (単位: 画素)
ASTER (20050428)	基準画像	
LANDSAT/TM (19901105)	25	0.402

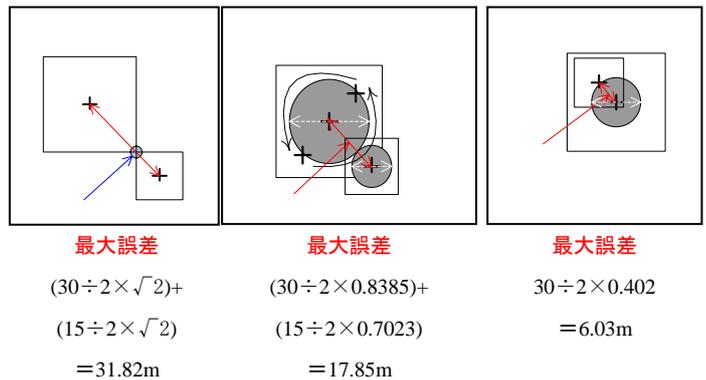


図-3 精密幾何補正による理論上の誤差の改善効果

\*RMSE (Root Mean Square Error : RMS 誤差)

真値を  $x_0$ 、n 回の観測値を  $x_i$  ( $i=1 \sim n$ ) とするとき、RMSE は次式で与えられる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_0)^2}$$

## 2. 影の除去に関する検討

### (1) 従来手法の整理

LANDSAT 等の受動型光学センサで観測されたデータにおいては、対象物の斜面（傾斜角、斜面方位）と太陽（太陽高度、太陽方位）との相対的な位置関係に応じて、地形的な影が変動するため、観測値に影響を受ける。このような斜面と太陽の位置関係に由来する観測値のばらつき（「地形効果」）は、多時期の衛星データを用いた解析を行う場合には補正することが望ましいとされている。

地形効果の補正の手法は、バンド間演算による非幾何学的手法と太陽－地表面－センサの位置関係を考慮した幾何学的手法に大別されているが、17年度の研究では、実用的な地形効果補正モデルとして評価されている幾何学的手法の一つである Minnaert 法を適用して地形補正を行った。

この Minnaert 法による地形補正では、山岳部などの地形の急峻な場所では地形的な影の除去に一定の効果があることが認められたが、補正に DEM を用いているために、建物に伴う影の影響は補正できなかった。通常の中分解能衛星データの処理では、建物の影響は無視することができるが、高層建物が多く存在する場合、建物の影は画素値に影響を及ぼしており、都市の樹林地の増加、減少それぞれの面積誤差に大きく影響しているものと考えられた。

### (2) 改良手法の検討

一般に非幾何学的手法は、幾何学的手法と比較して補正効果が低いとされているが、DEM データを必要とせず観測値を相対化するため理論上地形的な影と建物による影を同時に補正することができると考えられる。また、非幾何学的手法の中では、正規化法は、反射率または画素値を全バンドの相加平均で正規化することで、反射スペクトルの形状は地形や建物の影によって変化せず、ほぼ相似形と見なすことができる特性を利用しており、地形効果、大気効果、影の影響を除去することができるとされている。そこで本研究では、正規化法を適用して建物の影の除去を試みた。

#### ※ 正規化法

… 反射率または画素値を全バンドの相加平均で正規化すること。地形効果の補正、影の抑制に効果があると報告されている。

$$R0 = \frac{n \times R}{\sum_{i=1}^n (R1 + R2 + \dots + Rn)}$$

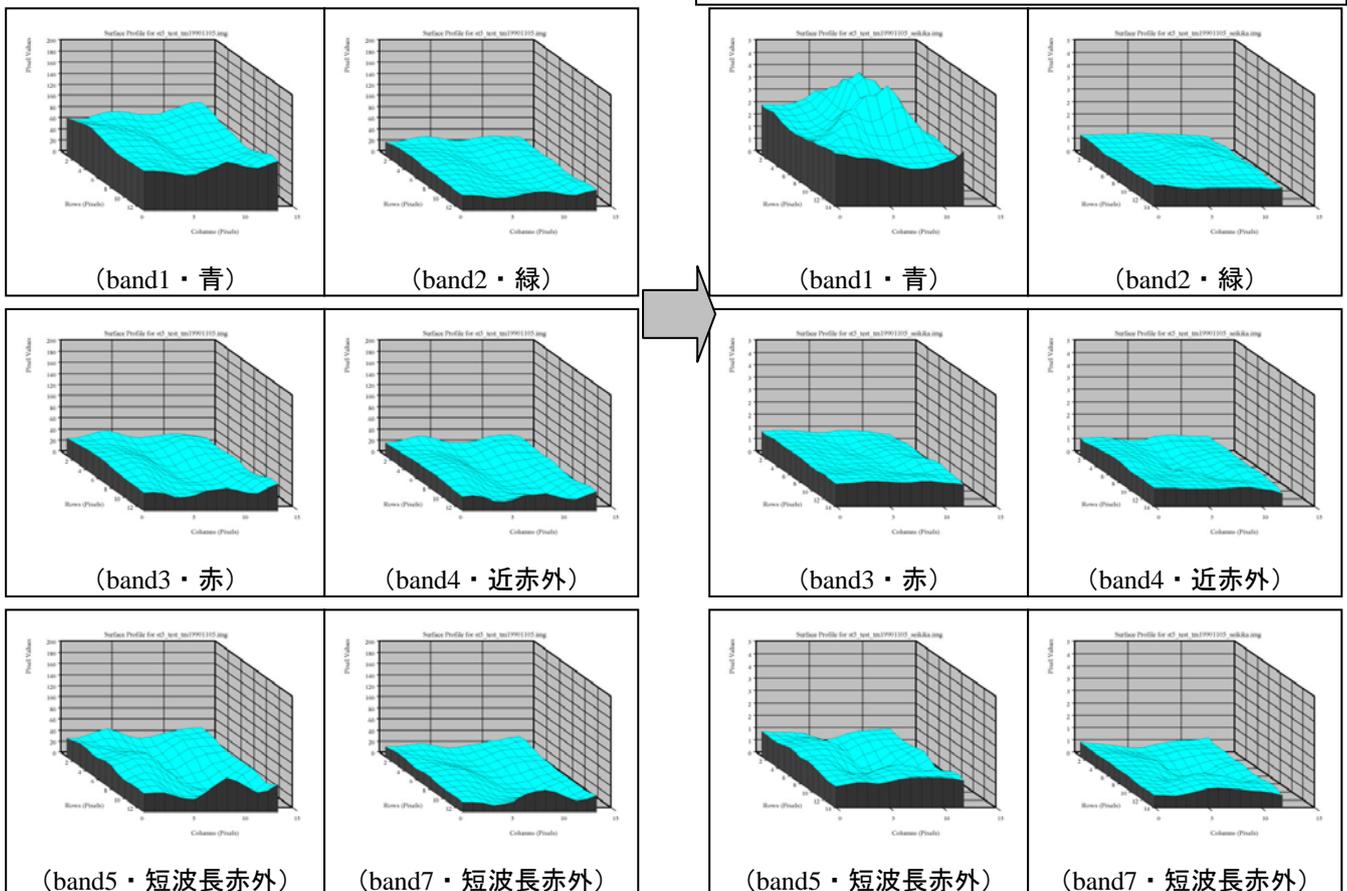
R0：正規化後の反射率

R：補正対象バンドの正規化前反射率

R1：band 1 の正規化前反射率

R2：band 2 の正規化前反射率

Rn：band n の正規化前反射率



図—4 正規化法適用画像と未補正画像の比較(LANDSAT データ) 左側が未補正、右側が補正後

神奈川県検証エリアのうち高層建築が立ち並ぶ「みなとみらい地区」にある国立横浜国際会議場周辺約 200m×200m における正規化法適用画像と未補正画像の比較した結果を図-4に示す。

未補正の状態では、全てのバンドにおいて日向が高い画素値、日陰が低い画素値を示しており、影の影響を受けていることがわかる（図-4の凹部が日向、凸部が日陰）。一方、正規化法適用画像の band2～band7 では、図-4の凹凸が平滑化されており、バンド間の相対関係を保持した状態で日向と日陰の画素値の差が少なくなり、影の影響が軽減されていることがわかる。ただし、band1（青色の波長域）については、影の中が高い画素値を示しており、過剰に補正されていると解釈される。これは、影の中ではband2～band7まで一様に低い画素値を示すのに対して band1 が相対的に高い画素値を示すために、正規化によってその特徴が際だったことによると考えられる。また、ASTER 画像は青色波長域のバンドを持たないため、全バンドで高層建物の影が正規化によって軽減された（結果は未掲載）。

以上より、正規化法の適用によって LANDSAT の band1 は海面および影領域で過剰補正される傾向があるものの、それ以外は建物等の影の影響が軽減されることが確認され、本手法が有効であることがわかった。

### 3. 樹林地の増加面積把握手法の開発

17年度調査で実施した2時期の樹林地抽出結果に基づく樹林地の増減は、それぞれの時期の誤差が掛け合わされ「誤差の伝播」により精度が低下したと考えられた。

そこで、例えば京都議定書第一約束期間に報告する開発地内の植生回復活動のように、1990年以降に新たに増えた樹林地のみを正確に把握することを目的とした場合を想定し、期初と最新の衛星データから樹林地の増加面積を直接把握する手法の開発を行った。

#### (1) 17年度手法の整理

17年度研究では、まず、最新の LANDSAT データを用いて、最新時期の樹林地、草地を精度良く抽出する手法を検討した。この検討に先立ち、文献、書籍等を参考に代表的な画像分類手法を精査し、樹林地、草地の抽出可能性の高いと思われる8手法を選定した。

次に、選定された8手法を実画像に適用し、緑地、樹林地の抽出を行い、抽出結果は12箇所の検証エリアにおける最新の空中写真判読結果と比較・照合し、精度評価を行った。

精度評価の結果、効果的な手法として、ミクセルベ-

スでは「TGR-W 分解」、ピクセルベースでは「NDVI+最尤法」が良好な結果を示した。「TGR-W 分解」は、樹木 (T)・草地 (G)・道路 (R) をエンドメンバーとした線形ミクセル分解と植生 (V)・道路 (R)・水面 (W) をエンドメンバーとした線形ミクセル分解の結果を組み合わせた手法である。「NDVI+最尤法」は、NDVI に基づく植生・非植生区分と最尤法分類を組み合わせた手法である。

次に、採用された2手法を期初の LANDSAT データに適用して期初の樹林地、草地を抽出した。その後、期初、最新それぞれの時期の樹林地抽出結果の差分処理によって、樹林地の増減把握を試みた。ASTER データについても同様に、期初、最新それぞれの時期の樹林地抽出結果の差分処理によって、樹林地の増減把握を試みた。

以上の17年度手法の結果は、以下のように要約された。

- ・ 期初 (1990 年)、最新 (2004 年) それぞれの時期の樹林地は、概ね良好な精度 (95~110%程度) で抽出できた。
- ・ 樹林地の増減については、ネットでの増減面積は概ね良好な精度 (100~120%程度) で把握できたが、増加箇所は TGR-W 分解が約 6 倍、NDVI+最尤法が約 4 倍の過大抽出、減少箇所は TGR-W 分解、NDVI+最尤法とも約 1.8 倍の過大抽出となった。
- ・ ASTER と LANDSAT の間に精度面の大きな違いは認められなかった。

#### (2) 改良手法の検討

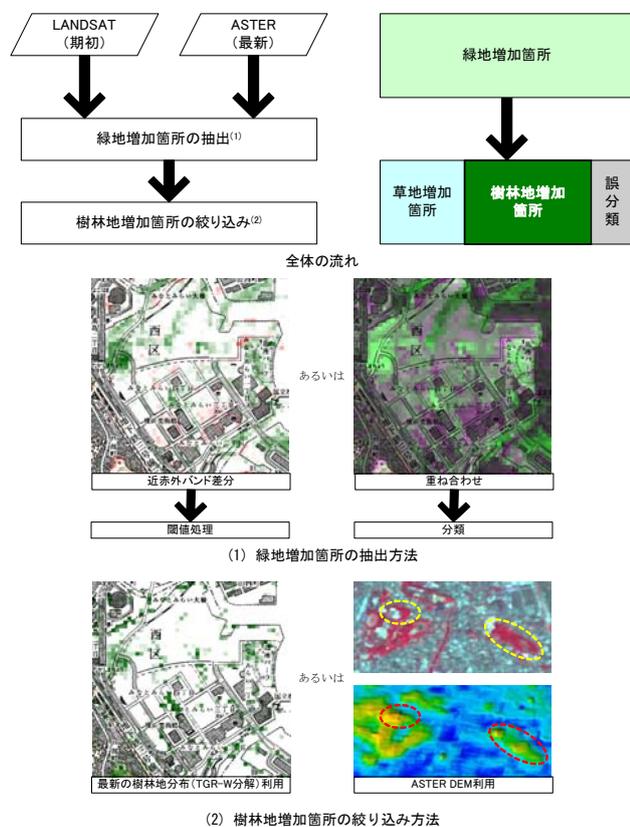


図-5 樹林地増加面積把握手法の流れ

18年度研究では、17年度の課題を踏まえて、以下の2点に着目し、図-5に示す流れで精度向上を図った。

- ① 緑地増加箇所を求めてから樹林地増加箇所を絞り込むアプローチで誤差の伝播を軽減する。
- ② 樹林地増加箇所を絞り込む際に、高さ情報の利用可能性を検討する。

さらに、緑地増加箇所の抽出手法として、以下の2手法を検討手法として設定した。

- ③ 近赤外バンドの差分&閾値処理
- ④ 2時期データの全バンド重ね合わせ&分類処理  
また、緑地増加箇所から樹林地増加箇所を絞り込む手法として、以下の2手法を検討手法として設定した。
- ⑤ ミクセル分解 (TGR-W 分解) による最新の樹林地分布の併用
- ⑥ ASTER DEM の利用

次に、③又は④と⑤又は⑥の組み合わせと、先に示した精密幾何補正と正規化手法による影の除去を含め、さらに昨年度の選定された抽出法も組み合わせた18通りの手法で検証を行った。

その結果、次の2つの手法が高い手法であると考察された。

手法 01：精密幾何補正有、影の補正有、近赤外差分+最新の樹林地抽出 (TGR-W 分解)

手法 03：精密幾何補正有、影の補正有、重ね合わせ+最新の樹林地抽出 (TGR-W 分解)

#### 4. ALOS データの利用可能性

2006年1月24日に打ち上げられたALOSデータの利用可能性を検討した。ALOSデータは、本調査においてはASTERデータの代替として利用される。そこで、最新の衛星データとしてALOS/AVNIR-2を使用した場合の樹林地増加面積把握精度を確認した。なお、解析手法、精度評価の考え方は、ASTERを使用した場合の手法に準じた。その結果、ASTERとALOSは同じように扱うことができ、両者

の間はややALOSの方が高精度の成果が得られた。

また3と同様にALOSデータを用いて各種の手法を比較した結果、ASTERと同じく次の2つの手法が高い手法であると考察された。

手法 05：精密幾何補正有、影の補正有、近赤外差分+最新の樹林地抽出 (TGR-W 分解)

手法 06：精密幾何補正有、影の補正有、重ね合わせ+最新の樹林地抽出 (TGR-W 分解)

なお図-6はASTERとALOSのそれぞれ最適と判断された手法を適用して、樹林地の増加、減少、総量(ネット)面積を求め、航空写真より求めた検証用データとの比較を示したものである。

手法01が樹林を少なめに判定しているがその他は誤差が15%以内に収まっており、昨年度の最大約6倍という誤差に対して大きく改善された。

#### 5. 構築した手法の適用性評価

本調査で最適と判断された手法を他の都市へ適用し、手法の汎用性を検討した。適用性評価の対象都市は、立地条件の観点から臨海部と内陸部、気候条件の観点から寒冷地と温暖地を想定して選定を行い、名古屋市(臨海部)、長野市(内陸部)、札幌市(寒冷地)、鹿児島市(温暖地)を対象都市として、同様の樹林地の増減の検証を行い、全国の都市域における汎用性を検討した結果、以下のように結論づけることができた。

- ①増加・減少・総量(ネット)の推定精度は、各手法とも概ね±30%以内の誤差範囲に収まる。
- ②重ね合わせ画像によって緑地増減を抽出する手法の精度が安定していた。
- ③対象都市間に特筆すべき精度差はなく、立地条件、気候条件などによる緑の性質の違いは特に考慮する必要がないと考えられる。

**[成果の活用]** 今回開発した手法については、全国ベースのデータ作成や、各自治体とで統一的に作業を行えるよう、作業手順を示した衛星データ処理マニュアルとして別途整理した。

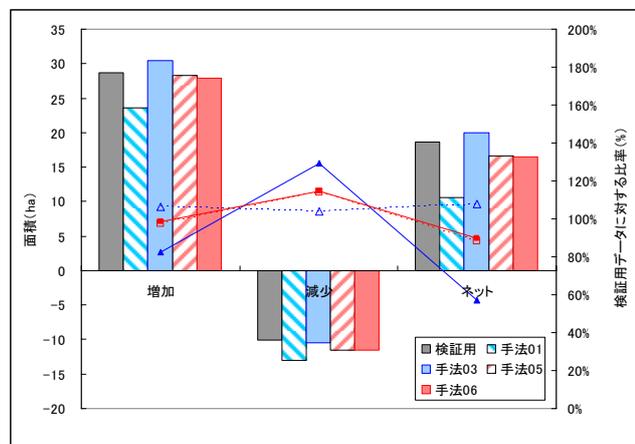


図-6 神奈川県における樹林地増加・減少・総量の比較

# 都市緑化樹木の CO<sub>2</sub> ストック変化量把握に関する研究

Research on estimating the amount of CO<sub>2</sub> fixed by planted trees in cities

(研究期間 平成 18~20 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  
主任研究官 飯塚 康雄  
Senior Researcher Yasuo IIZUKA  
研究官 長濱 庸介  
Researcher Yosuke NAGAHAMA

We investigated the amount of growth of ten planted trees in cities using stem analysis to estimate the amount of CO<sub>2</sub> fixed by planted trees in cities

## [研究目的及び経緯]

第3回気候変動枠組条約締約国会議で採択された京都議定書<sup>1)</sup>において、CO<sub>2</sub>など6種類の温室効果ガスが削減・排出抑制の対象となった。そして、日本は2008年から2012年の期間に、温室効果ガスを基準年(1990年)と比較して6%削減することが定められた。

平成17年2月に京都議定書が発効したことを受け、政府は「京都議定書目標達成計画」<sup>1)</sup>を策定し、温室効果ガスの排出抑制・吸収を推進する様々な対策を打ち出した。同計画では、CO<sub>2</sub>の吸収・固定源対策の一つとして都市緑化の推進が掲げられているが、CO<sub>2</sub>の吸収・固定を把握するための知見は十分ではなく、その算定方法等について精査・検討が必要とされている。

そこで本研究は、都市緑化樹木を対象としたCO<sub>2</sub>固定原単位の把握を目的とする。

## [18年度の研究内容]

藤原ら<sup>2)</sup>は、樹齢30年程度までの都市緑化樹木を対象として、CO<sub>2</sub>固定量の算定の原単位となる特定の樹高または胸高直径における年間木質部乾重成長量予測式を作成している。この予測式は比較的若齢の樹木を対象としているため、予測式の適応範囲は樹高にして10m程度、胸高直径にして25cm程度までとなり、それ以上の大きな樹木に適用することはできなかった。

そこで平成18年度は、上記予測式の適用範囲を広げることが目的として、樹齢30年以上の都市緑化樹木を

対象とした年間木質部乾重成長量予測式を作成した。なお、CO<sub>2</sub>固定量の算定対象は、木質化することで長期間固定が継続する幹・枝・根(木質部)とし、葉は落葉により短期間で失われるため除外した。木質部の炭素(C)含有量は、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ため<sup>3)</sup>、木質部乾重成長量をCO<sub>2</sub>固定量へ換算する場合には、木質部乾重の50%へCO<sub>2</sub>とCの分子量の比(44/12)を乗じることとした。

## [研究方法]

本研究は、藤原ら<sup>2)</sup>の手法を用いた。初めに調査対象木の伐倒や根の掘取りを行い、木質部乾重を求めた。次に、幹から採取した円板を用いて樹幹解析を行い、調査対象木の成長過程(樹齢、幹材積量、樹齢毎の樹高ならびに胸高直径、木質部乾重成長量)を明らかにした。最後に、特定の樹高または胸高直径における年間木質部乾重成長量予測式を作成した。

## [研究成果]

### 1. 調査対象木の選定

調査対象木を表1に示す。選定条件は、①藤原ら<sup>2)</sup>と同樹種であること、②なるべく自然樹形でかつ単木の状態で生育していること、③樹齢30年以上と推定されることとし、5樹種10本(落葉樹3種、常緑樹2種)を選定した。

表1 調査対象木

樹種	ケヤキ		イチヨウ		ブラタナス		クスノキ		シラカン	
	東京都立川市		千葉県君津市		茨城県八千代町		東京都立川市		栃木県茂木町	
樹木No	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
樹齢	52	34	52	52	39	43	64	81	30	31
樹高 m	17.6	18.6	16.5	15.1	20	20	14.8	13.2	12.05	13.1
胸高直径 cm	58	50	59.9	43.6	45	40.1	53	54	33.1	36.3

## 2. 地上部の伐倒・根の掘取り

調査対象木を地際で伐倒した後、幹については地上0.2mの位置から1m間隔に階層を区切り、根元側から階層毎(0.2m、1.2m、2.2m...)に切断した。そして枝を分離した後で、階層別の全生重を測定するとともに樹幹解析に使用する円板を採取した。枝については、葉を分離した後で全生重を測定した。なお、幹や枝の生乾重比を算出するため、各階層の幹や枝からサンプルを採取し、その生重と乾重を測定した(写真1)。

根は伸長する全範囲を掘取った。土壌の掘削には圧縮空気を噴射して土壌を除去するエアースコップを使用した。掘取った根は根株と枝根に分け、それぞれの全生重を測定した。また、根の生乾重比を算出するため根株と枝根からサンプルを採取し、その生重と乾重を測定した(写真2)。

## 3. 木質部乾重の算出

木質部乾重およびサンプルの生乾重比を表2に示す。調査対象木の木質部乾重は、地上部の伐倒や根の掘取りの際に測定した木質部生重へ、サンプルの生乾重比(乾重/生重)を乗じることで算出した。

## 4. 樹幹解析による樹木の成長過程の把握

### (1) 樹幹解析図の作成

幹の各階層から採取した円板の年輪幅を読み取り、樹幹解析図を作成した。例としてイチョウ(No.3)の樹幹解析図を図1に示す。この図に記された折れ線は年輪を表しており、樹齢は52年と推定された。

### (2) 幹材積成長量の算出

樹幹解析図に記された折れ線と、縦軸および横軸に囲まれた部分が、各樹齢における幹の縦半分の形状を表している。そこで、樹幹解析図の縦軸を回転軸とした回転体の体積を算出することで、幹材積を求めた(図2)。

### (3) 形状寸法の年間成長量

樹幹解析により明らかとなった、樹齢と形状寸法(樹高や胸高直径)を用いて、樹高や胸高直径の年間成長量を求めた(図3)。その結果、樹齢と形状寸法の関係はほぼ直線で近似でき、年間成長量は、樹高が0.1~0.5m/年、胸高直径が0.6cm~1.2cm/年であった。

### (4) 木質部乾重成長量の算出

幹については、各樹齢における比重を一定と仮定し幹乾重へ樹幹解析から求めた各樹齢の幹材積量の比を乗じることで、各樹齢における幹の乾重成長量を算出した。枝と根についても幹と同様の割合で成長するものと仮定して、木質部乾重を算出した(図4)。



写真1 地上部の伐倒作業

- ①地際で伐倒 ②幹を階層毎に切断 ③幹と枝の分離  
④枝と葉の分離 ⑤幹の生重測定 ⑥枝の生重測定  
⑦円板採取



写真2 根の掘取り作業

- ①作業状況 ②掘取った根 ③伸長状況 ④生重測定

表2 木質部乾重、サンプルの生乾重比

樹種	ケヤキ		イチョウ		プラタナス		クスノキ		シラカシ		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	
木質部乾重 kg	幹	659.6	643.6	673.2	371.9	760.1	593.2	805.2	675.5	286.6	370.0
	枝	1466.6	878.1	1055.1	271.9	367.8	257.6	420.9	289.8	230.3	596.3
	根	602.2	364.0	917.3	428.9	534.8	416.5	526.2	391.8	141.7	334.3
	木質部合計	2728.4	1885.7	2645.6	1072.7	1662.7	1267.3	1752.3	1357.1	658.6	1300.6
生乾重比	幹	0.59	0.62	0.44	0.42	0.51	0.50	54.13	50.13	60.61	63.37
	枝	0.63	0.64	0.46	0.49	0.52	0.52	59.40	55.17	56.37	59.35
	根	0.58	0.65	0.43	0.42	0.45	0.48	47.25	50.30	56.55	58.80

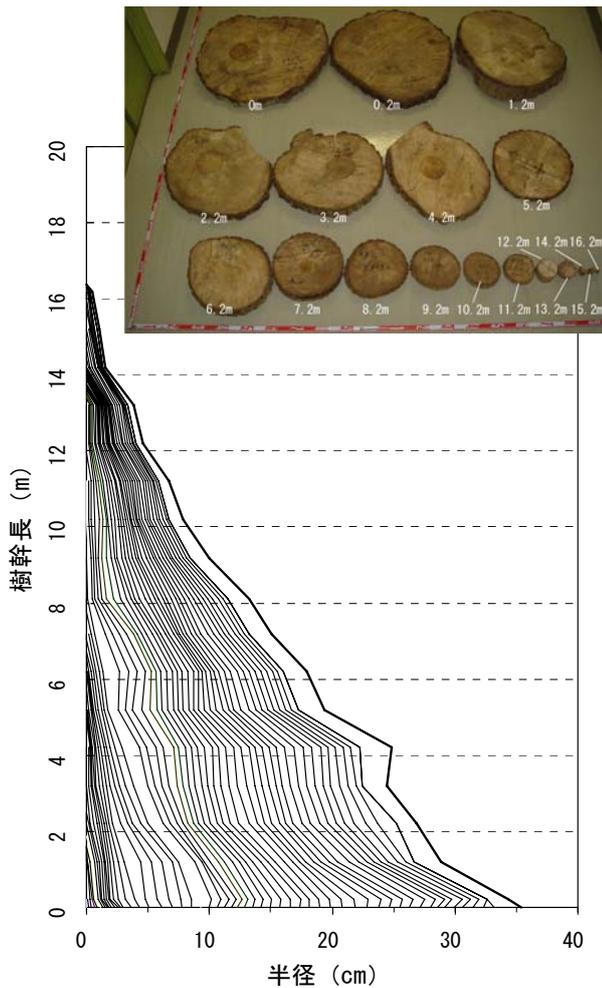


図1 イチヨウ (No. 3) の樹幹解析図  
(右上の写真は、樹幹解析図の作成に用いた円板)

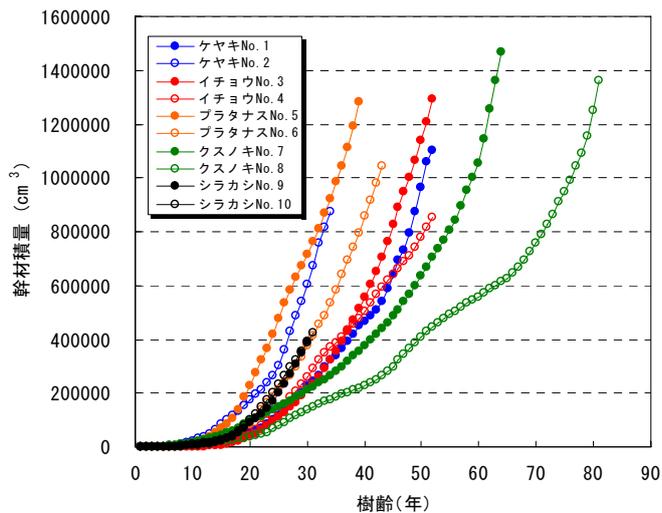


図2 幹材積

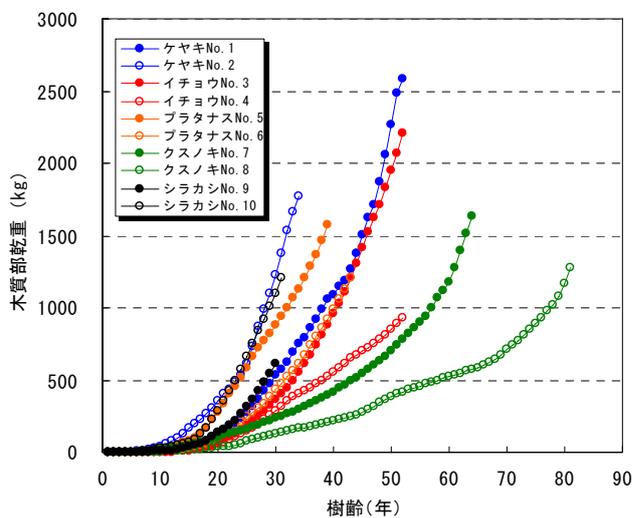


図4 木質部乾重

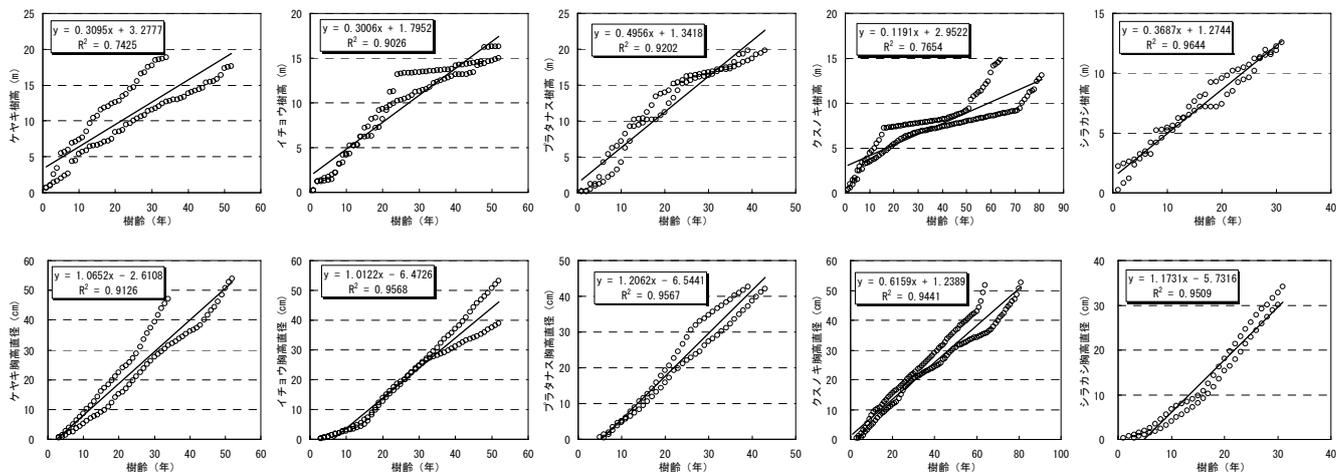


図3 樹齢と形状寸法の関係

(上段：樹齢と樹高の関係 下段：樹齢と胸高直径の関係)

## 5. 予測式の作成

### (1) 木質部乾重成長量予測式の作成

これまでの結果より、ある特定の樹齢における木質部乾重を推定することは可能となった。しかし、実際に植栽されている樹木を伐倒し、その樹齢を判断することや成長量を計測することは現実的ではない。そこで、簡易な方法として樹木の形状寸法から木質部乾重を算出することが効率的である。

そこで先に示した樹幹解析から得られている、樹齢毎の樹高と胸高直径 (図 3) を用いて木質部乾重成長量予測式を作成した。

一般に、樹木の各器官の重量等の物理量 (Y) と樹木の形状寸法 (X) との間には、相対成長式  $Y=aX^b$  (a, b は定数) が成り立つことが知られている<sup>4)</sup>。そこで、樹幹解析から得られた樹高や胸高直径と、木質部乾重との関係を相対成長式で求めた (表 3)。その結果、 $R^2$  (決定係数) はほとんどの予測式において 0.9 以上を示し、高い相関を有していた。また、樹高に比べて胸高直径の方が高い相関を有していた。

### (2) 年間木質部乾重成長量予測式の作成

上記の予測式によって、樹木が伐倒されるまでどのくらい成長したのか (CO<sub>2</sub>を固定したのか) を算出することが可能となった。最後に、ある特定の形状寸法の樹木が、1年間にどれだけCO<sub>2</sub>を固定するのかを把握するため、年間木質部乾重成長量予測式を作成した (表 4)。

年間木質部乾重成長量と、樹幹解析より得られた形状寸法の年間成長量の関係は、以下の式で表すことができる。

$$Y = a\{(X + c)^b - X^b\}$$

Y : 年間木質部乾重成長量 (kg/年)

X : 形状寸法 (樹高または胸高直径)

a, b : 木質部乾重と、樹高もしくは胸高直径との相対成長式から得られる定数 (表 3)

c : 樹齢と形状寸法の関係から得られる年間成長量 (図 3)

上記予測式の作成過程について、イチヨウの胸高直径を例として説明する。イチヨウ 1本の胸高直径が1年間に平均的な成長をすると仮定した場合、その年間成長量は、図 3 の式から 1.0122cm/年となる。胸高直径を Xcm とした場合の年間成長量は  $\{(X+1.0122) - X\}$  であるため、これを表 3 の式へ代入することで、以下に示したようなイチヨウの年間木質部乾重成長量予測式を表すことができる。

$$Y = 0.2579\{(X + 1.0122)^{2.2166} - X^{2.2166}\}$$

表 3 木質部乾重成長量予測式

	樹高 X (m)		胸高直径 X (cm)	
	予測式	R <sup>2</sup>	予測式	R <sup>2</sup>
ケヤキ	$Y=0.0887X^{3.3915}$	0.95	$Y=0.7348X^{1.9943}$	0.98
イチヨウ	$Y=0.0325X^{3.6353}$	0.93	$Y=0.2579X^{2.2166}$	0.98
ブラタナス	$Y=0.1814X^{2.7402}$	0.95	$Y=0.7005X^{1.947}$	0.95
クスノキ	$Y=0.0876X^{3.8378}$	0.97	$Y=0.3839X^{2.0261}$	0.97
シラカシ	$Y=0.0568X^{3.5901}$	0.87	$Y=0.5248X^{2.1031}$	0.99

Y : 木質部乾重 (kg)

表 4 年間木質部乾重成長量予測式

	形状寸法	予測式
	ケヤキ	樹高
胸高直径		$Y=0.7349\{(X+1.0652)^{1.9943}-X^{1.9943}\}$
イチヨウ	樹高	$Y=0.0325\{(X+0.3006)^{3.6353}-X^{3.6353}\}$
	胸高直径	$Y=0.2579\{(X+1.0122)^{2.2166}-X^{2.2166}\}$
ブラタナス	樹高	$Y=0.1814\{(X+0.4956)^{2.7402}-X^{2.7402}\}$
	胸高直径	$Y=0.7005\{(X+1.2062)^{1.947}-X^{1.947}\}$
クスノキ	樹高	$Y=0.0876\{(X+0.1191)^{3.8378}-X^{3.8378}\}$
	胸高直径	$Y=0.3839\{(X+0.6159)^{2.0261}-X^{2.0261}\}$
シラカシ	樹高	$Y=0.0568\{(X+0.3687)^{3.5901}-X^{3.5901}\}$
	胸高直径	$Y=0.5248\{(X+1.1731)^{2.1031}-X^{2.1031}\}$

Y : 年間木質部乾重成長量 (kg/年)

参考までに、この予測式より本研究で調査対象木となったイチヨウ No. 3 (胸高直径 : 59.9cm) の年間木質部乾重成長量を算出すると 85.0kg/年となり、これを年間CO<sub>2</sub>固定量へ換算 (木質部乾重×0.5×CO<sub>2</sub>とCの分子量の比) すると、155.6kg/年となる。

### 【まとめ】

本研究により、樹齢30年以上の樹木を対象とした特定の樹高または胸高直径における年間木質部乾重成長量予測式を作成することができた。今後は、より精度の高い予測式へ改良するため、藤原ら<sup>2)</sup>が使用した若齢木のデータを加えらるとともに、調査対象木を増やすことを検討している。

### 【参考文献】

- 1) 京都議定書, 気象変動枠組み条約 : 環境省ホームページ<<http://www.biodic.go.jp/>> (平成 19 年 12 月 17 日参照).
- 2) 藤原宣夫・山岸 裕・村中重仁 (2002) 都市緑化樹木による CO<sub>2</sub>固定量の算定方法に関する研究, 日本緑化工学会誌, 28 (1) :26-31.
- 3) 三浦伊八郎・西田吃二 (1933) 木材科学, 丸善出版.
- 4) 佐藤大七郎 (1973) 陸上植物群落の物質生産 I a-森林一, 共立出版.

# 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り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)	1㎡当り (kg/yr)	1本当り (kg/yr)	
葉の光合成と呼吸速度からの算出手法 (大気浄化植樹指針)	1,667.0	7.94	55.6	
相対成長式と平均成長量による方法 (国総研)	樹高式	189.2	0.90	6.3
	胸高直径式	311.0	1.48	10.4
相対成長式と平均成長量による方法 (今回式・平均成長)	今回の樹高式	203.4	0.97	6.8
	今回の胸高直径式	290.9	1.39	9.7
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
相対成長式と期間成長差・気乾比重反映	シラカシの基準式に気乾比重を反映させた方法(高速道路会社)	841.2	4.01	28.0
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80%)	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

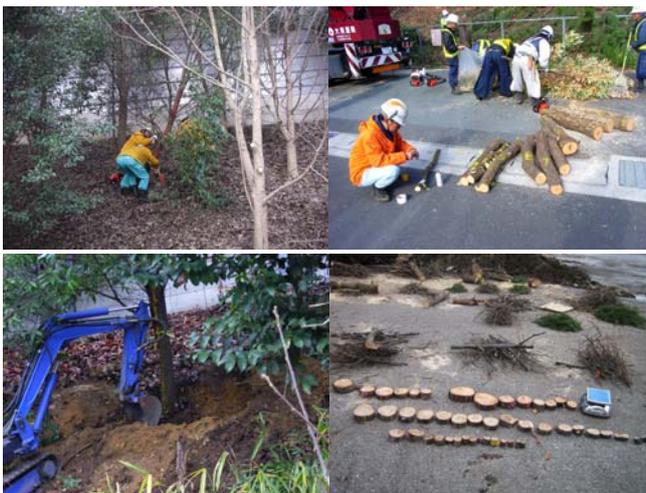


写真1 樹木の伐採及びサンプル採取状況  
 左上：伐採状況                      右上：分解作業  
 左下：根系掘取状況                右下：測定用サンプル

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
	$y = 0.0249X^{3.6533}$		$y = 0.6191X^{1.782}$	
コナラ a	$y = 0.0213X^{3.6056}$	0.7243	$y = 0.1632X^{2.5003}$	0.9529
	$y = 0.021X^{3.4315}$		$y = 0.653X^{1.8154}$	
クロマツ a	$y = 5.2756X^{1.3497}$	0.862	$y = 0.3199X^{2.0786}$	0.8248
	$y = 0.0544X^{3.3686}$		$y = 0.7598X^{1.5991}$	
全3種 a	$y = 0.9927X^{1.9407}$	0.4633	$y = 0.2741X^{2.2461}$	0.9064
	$y = 0.0288X^{3.4578}$		$y = 0.6532X^{1.7602}$	

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

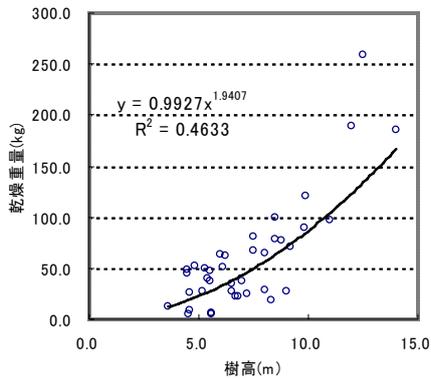


図1 樹高と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

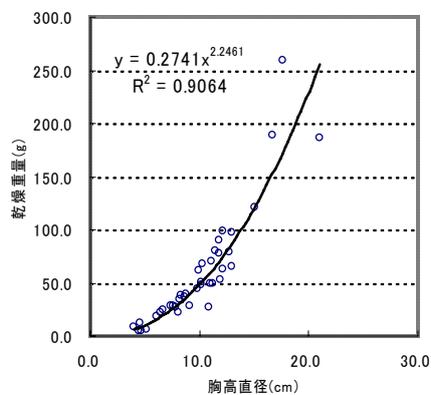


図2 胸高直径と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

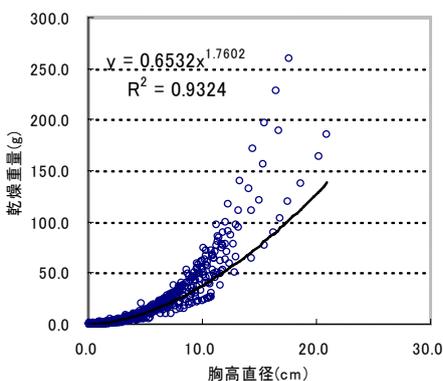


図3 胸高直径と木質部全乾燥重量の関係 (全樹種)

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

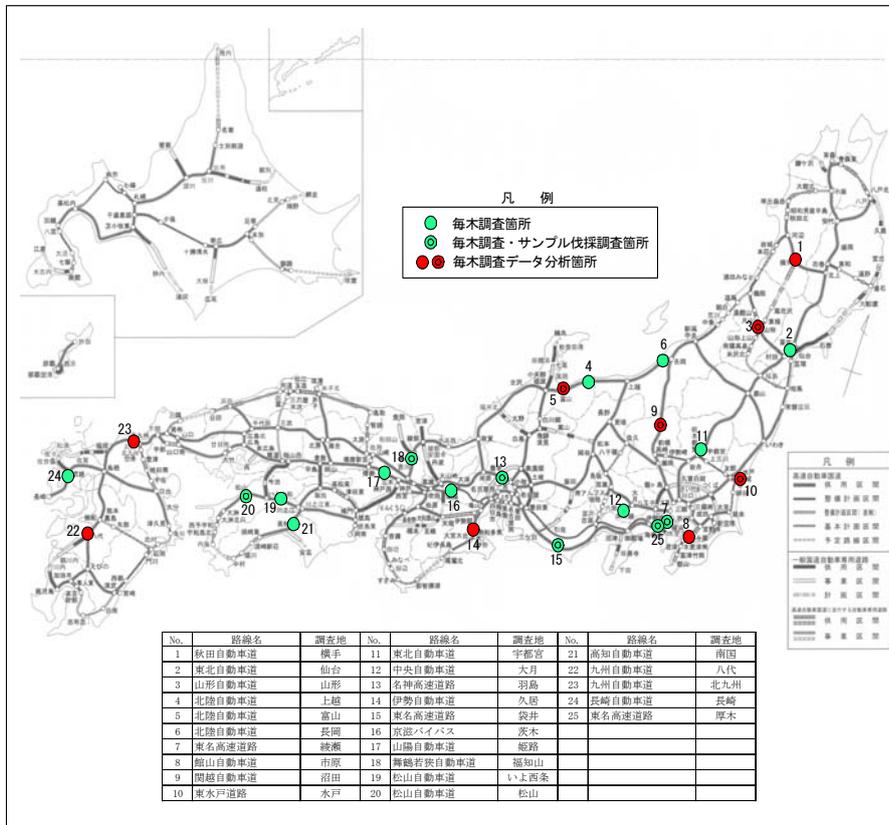


図4 調査位置図

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)。

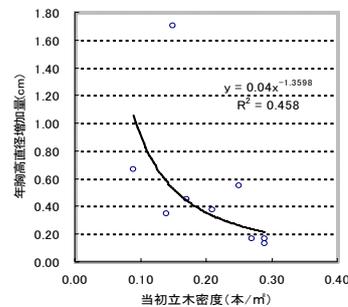


図5 当初立木密度と年胸高直径増加量 (成長分・調査区面積当り n=9)

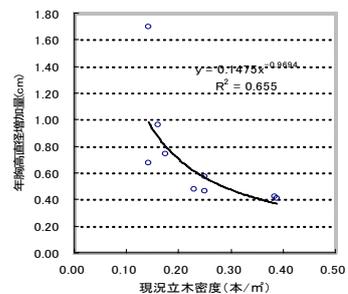


図6 現況立木密度と年胸高直径増加量 (成長分・調査区面積当り n=9)

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)。

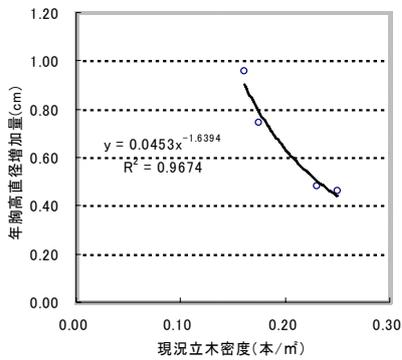


図7 現況立木密度と年胸高直径増加量  
(成長分・16~19年経過調査区 n=4)

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。

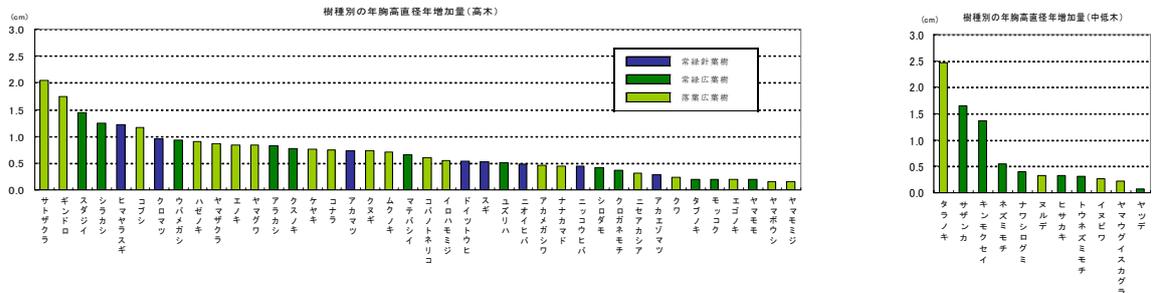


図8 樹種別の平均胸高直径増加量

## 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。

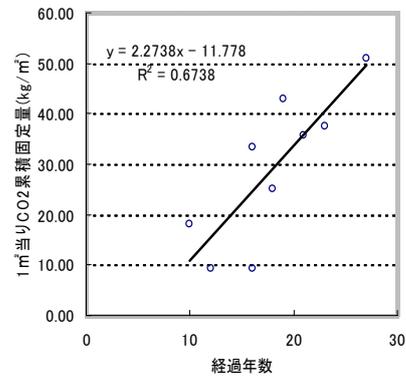


図9 経過年数と1m<sup>2</sup>当り累積CO<sub>2</sub>固定量  
(比重未反映・調査区面積当り n=9)

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)。

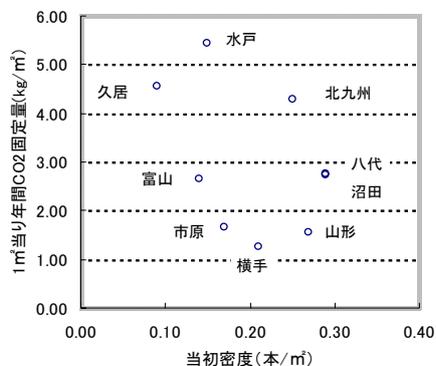


図 10 当初植栽密度と年間 CO<sub>2</sub> 固定量の関係

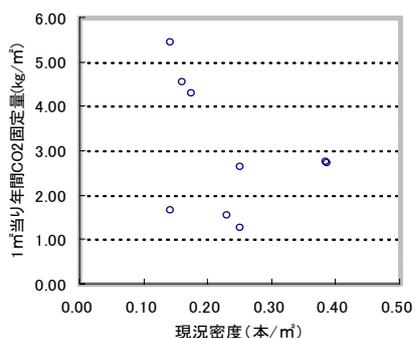


図 11 現況植栽密度と年間 CO<sub>2</sub> 固定量の関係

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.