
1.研究成果

1.1 地球温暖化対策に関する研究

- 1) 公共緑地における土壌の CO₂ 固定に関する研究
 - 【試験研究費】 5
- 2) 都市緑化樹木の CO₂ 固定量算定における精度向上に関する研究
 - 【国営公園等事業調査費】 9

公共緑地における土壌のCO₂固定に関する研究

Research on CO₂ fixation of soil in public open spaces

(研究期間 平成 23~25 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 山岸 裕
Senior Researcher Yutaka YAMAGISHI

In this study we try to estimate the CO₂ fixation of soil in public green spaces like city parks and revegetation slopes along a road. There are many studies on forest soil. However, there are few studies on soil in public green spaces. We made experimental grass plots in 2011 to investigate continuously.

〔研究目的及び経緯〕

気候変動をめぐる国際的な枠組みの中で、炭素固定量は、LULUCF-GPG^{注1)}に定められた方法に基づいて算定し報告することとされており、植生回復に関わる報告対象として、①5つの炭素プール(地上バイオマス、地下バイオマス、土壌、リター(落葉・落枝)、枯死木)に加えて、②石灰の施肥による炭素排出、③バイオマスの燃焼による炭素排出が必要とされている。しかし、LULUCF-GPGには、①の炭素プールのうち高木のバイオマスに関するデフォルト値はあるものの、土壌、リターなどのデフォルト値や、バイオマスに関しても低木や芝生地等のバイオマス量は示されていない。このため、これらの算定に必要な係数は選択した国が独自の知見として科学的根拠に基づき作成する必要がある。注1)「土地利用、土地利用変化及び林業に関する良好手法指針」(Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry)

これまで芝生地については、地上部が一定の高さに刈り取られ、刈草は搬出されることもあり、吸収源の対象としては扱われてこなかったが、都市・地域整備局が実施した調査¹⁾により、施工後の年数の異なる芝生地の土壌中の炭素量の比較により、年数と共に増加する傾向が見られた。また、高木植栽地の土壌についても、都市公園の高木植栽地や、樹林化が行われている高速道路の盛土のり面の整備後の年数の異なる箇所の土壌中の炭素量の比較により、年数と共に炭素量が増加する傾向が見られた。しかし、このときの調査は異なる場所間のデータ比較であるために、同じ場所で実際に炭素量の増加が見られるのか、また増加する場合には、どのようなメカニズムで土壌内の炭素量が増加するのか明らかになっておらず、メカニズムの解明と、継続調査による増加量の算定式の作成が求めら

れている。また高木植栽の土壌中の炭素量についても、いわゆる森林土壌については計測が行われているが、都市公園や道路法面等の植栽地においては不明である。

そこで本研究では、芝生地において土壌中に蓄積される炭素量の増加は、①光合成によって空気中の二酸化炭素を取り込んだ芝が、②地上部と同様に根茎にも蓄積を続け、③地上部は刈り込まれるものの、④根系の枯死物が土壌内に還元されることによって、⑤土壌内の炭素量が増加するのではないかという仮説を立てている。

またそれを立証するために、芝生の地上部と共に生きた根の成長量や枯死量及び、土壌中の炭素量の変化を継続して正確に調査することにより、その変化量を正確に把握し、そのことにより土壌中の炭素量の増加のメカニズムを明らかにできるのではないかと予測している。またこの調査を数年間継続することにより、土壌中の炭素固定量算定式を作成することができるものと予測している。

また高木植栽地の土壌中の炭素量については、落葉落枝と合わせて、芝と同じく枯死した根が供給源となり、そこに土壌動物や、分解等の要素が絡んで土壌中の炭素量が増加することが予想され、こちらについてはその変化量を継続的に正確に把握し、土壌中の炭素固定量算定式を作成することを目的としている。

〔研究内容〕

対象とする公共緑地については、樹林地(高木植栽地)及び芝生地(草地)とした。平成23年度は、芝生地での継続調査を行うための実験区の設置を行った。

以下に、その実験の内容について記載する。

1. 研究方法

研究は、ワグネルポットによる屋内試験区及び国土技術政策総合研究所構内緑化圃場に屋外試験区を設置して行った。

1. 1 実験区の設定

1) 草種

草種は暖地型として、維持管理の容易な日本芝のノシバ及び西洋芝のセンチピードグラスを用いた。寒地型としては、西洋芝のケンタッキーブルーグラスを用いた。ただし、屋外試験区については、寒地芝は用いなかった。なお、屋内実験区、屋外実験区とも対象区として、無植栽区も設置した。

2) 通常刈込区・非刈込区

屋内実験区・屋外実験区とも全ての草種で、通常刈込区及び非刈込区を設置した。刈草については、屋内・屋外実験区とも除去することとした。刈込回数は、芝生の成長期に月1回程度とした。

3) 客土区・非客土区

屋内実験区・屋外実験区とも実験区設置の際の土壌は、黒土を深度30cmの深さまで客土して用いた。なお、屋外試験区においては、緑化圃場周辺に客土していない土壌区も対象区として1箇所程度設置した。

1. 2 計測対象

1) 土壌分析

土壌分析の対象としては、①PH、②電気伝導度 CE、③全窒素、④全炭素、⑤CN比とした。

2) 植物成長量調査

屋内実験区においては、植物生長量調査として、①草丈、②緑被率、③刈込した場合の刈草の乾燥重量、④土壌分析を行った個体の地上部乾燥重量及び地下部乾燥重量（ただし、土壌調査のサンプルを除外した部分）を行うこととした。

3) 環境要因

環境要因として、屋内・屋外実験区ともに、気温の計測を行った。屋外試験区においては、地温・体積含水率・電気伝導度を計測するセンサーを実験区に埋設した。

2. 実験区の設定

2. 1 屋内実験区

1) 実験区の設定

1.1 で説明したとおり、屋内試験区については、暖地型の日本芝及び西洋芝、寒地型の西洋芝を用いて、以下のような実験区を設定した。

- ① 日本芝、刈込区
- ② 日本芝、非刈込区
- ③ 西洋芝（暖地型）、刈込区
- ④ 西洋芝（暖地型）、非刈込区
- ⑤ 西洋芝（寒地型）、刈込区
- ⑥ 西洋芝（寒地型）、非刈込区

⑦ 対象区（無植栽区）

繰り返しを3とし、年2回の土壌分析を行えるように実験区を設定した。

2) 実験区の設置（図-1）

実験区は、緑化圃場内の温室に平成24年度2月に設置した。各実験区は、温室内の作業テーブルにランダムに配置した。ノシバは、張り芝で施工を行った。なお、センチピードグラス及びケンタッキーブルーグラスについては、播種時期ではなかったため、同年4月下旬に播種することとした。なお、周辺樹木の落葉の腐朽による影響を受けないように、周辺部及び上部は風通しのよいネットで遮断することとした。

3) 維持管理

灌水は、季節により週1~2回程度自動により行うこととした。温室上部の窓は一定温度以上になると開閉するように設定し、温室側面の窓も適宜開閉するなどして、温室内が高温になるのを防止することとした。また、除草については、適宜行うこととした。

2. 2 屋外実験区

1) 実験区の設定

1.1 で説明したとおり、屋内試験区については、暖地型の日本芝及び西洋芝を用いて、以下のような実験区を設定した。

- 試験区①：（客土区、日本芝区、刈込区）、
試験区②：（客土区、日本芝区、非刈込区）、
試験区③：（客土区、西洋芝区、刈込区）、
試験区④：（客土区、西洋芝区、非刈込区）
対象区⑤：（客土区、無播種区）

繰り返しを3とし、15区の実験区を設定した。

また、実験区以外を対象区として、対象区⑤'：（無客土区、自然草地）を緑化圃場周辺に1箇所設置した。

2) 実験区の設置（図-2、図-3）

実験区は、緑化圃場内の屋外に平成24年度2月に設置し、各実験区についてはランダムに配置することとした。ノシバは、張り芝で施工を行った。なお、センチピードグラスについては、播種時期ではなかったため、同年4月下旬に播種することとした。

3) 維持管理

灌水は、ノシバが成長を開始する時期及びセンチピードグラスの播種後に行うこととしたが、それ以降は行わないこととした。除草については、適宜行うこととした。

[成果の発表]

特になし

[成果の活用]

公共緑地における土壌のCO₂固定に関する基礎データとして活用予定



図-1 屋内試験区 (写真)



図-2 屋外試験区 (写真)

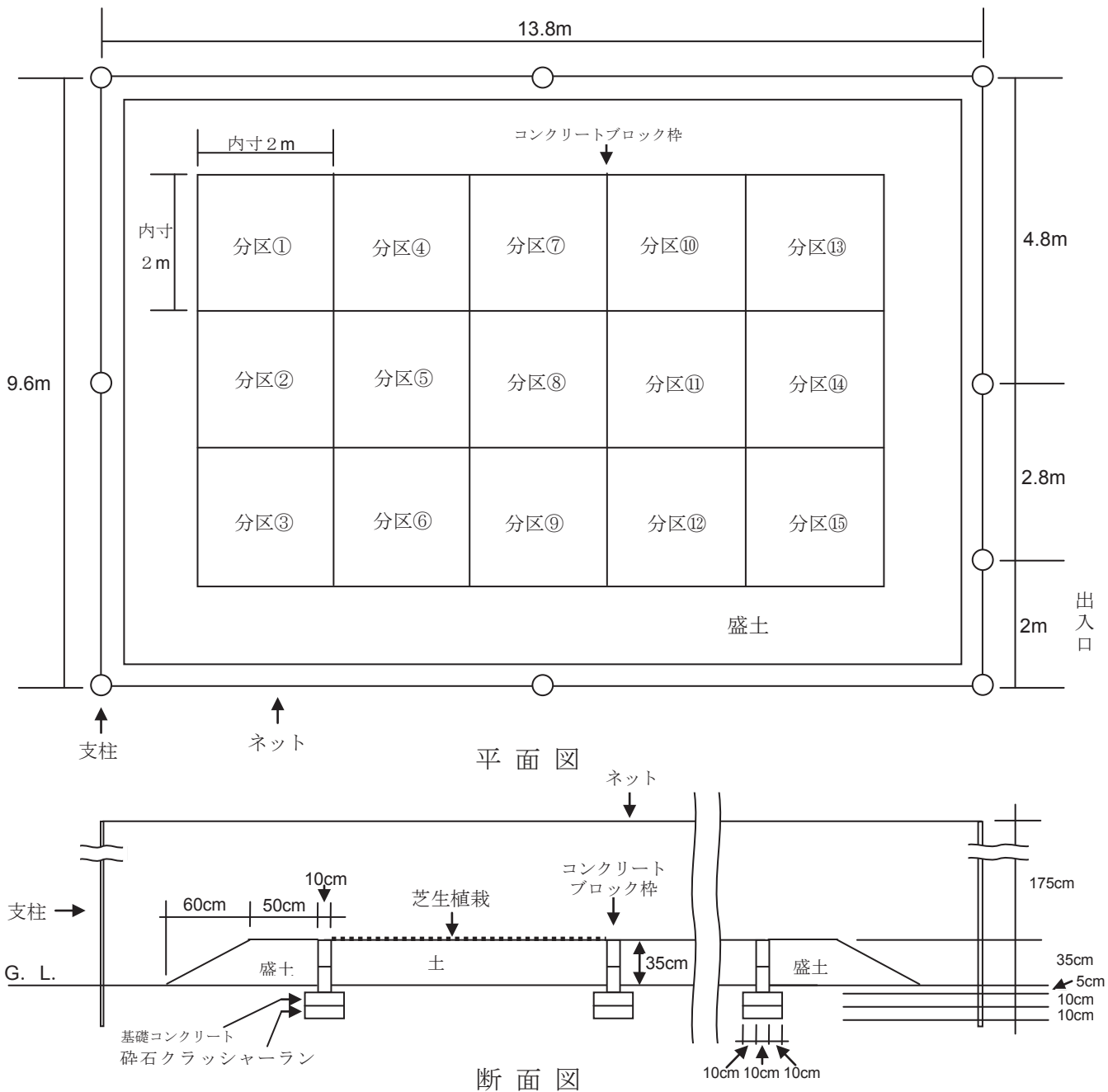


図-3 屋外試験区

【参考文献】

- 1) 半田真理子・外崎公知・今井一隆・後藤伸一 (2003) 植生回復における土壌及びリターに関する炭素固定量の把握に向けた研究について, URBAN GREEN TECH, No. 69 : 18-22.
- 2) 外崎公知・鳥山貴司 (2012) 高速道路のり面土壌の二酸化炭素固定量調査, 日本緑化工学会誌, 38(1) : 137-140.
- 3) 古澤仁美 (2001) 緑化工試験地における初期3年間の土壌の発達と土壌微生物バイオマスの変化, 日本緑化工学会誌, 26(4) : 289-299.

- 4) 古澤仁美・金子真司 (2005) 緑化工試験地における施工後8年間の土壌の化学性と微生物バイオマスの変化, 日本緑化工学会誌, 30(3) : 524-531.

都市緑化樹木の CO₂ 固定量算定における精度向上に関する研究

Research on improvement of the method to estimate the amount of CO₂ fixed by planted trees in cities
(研究期間 平成 23~27 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
研究員	久保田 小百合
Research Engineer	Sayuri KUBOTA

We investigated the amount of growth of planted trees in cities using stem analysis to estimate the amount of CO₂ fixed by planted trees in cities.

〔研究目的〕

京都議定書において、日本は 2008 年から 2012 年の間に温室効果ガスを基準年（1990 年）と比較して 6% 削減することが義務づけられている（最終報告は 2014 年春）。また、日本は京都議定書の第二約束期間には参加しないこととしたが、2020 年の新たな国際的枠組みを決めるまでの期間及び、新たな国際的枠組みの報告にあたっては削減量を取りまとめる必要がある。

国土交通省では都市緑化等の植生回復による CO₂ 固定量を取りまとめることとしており、世界共通の 10 通りの樹種クラス別のデフォルト値を使用しているが、樹種構成が日本とは異なること、樹齢 20 年以上の樹木は固定量を“0”として扱うこととしている。これらのことから、固定量を適正に算出するためには、日本独自の係数を樹種別に設定することが必要であり、本研究は日本における代表的樹種区別の CO₂ 固定量算定式を確立することを目的とする。

〔研究内容〕

樹木は吸収した CO₂ を体内に固定することで成長している。一方、樹木の炭素（C）含有量は樹種に関わらず木質部の乾燥重量の 50% 程度であることが知られている。このことから、樹木 1 本の木質部全体の乾燥重量が分かれば、その樹木が吸収・固定した CO₂ 量を推定することができる。

国土技術政策総合研究所では、これまでにクスノキ、シラカシ、ケヤキ、イチョウ、プラタナス類を対象として、樹木を伐採し、根を掘り取る方法により年間 CO₂ 固定量算定の算定式を作成してきた。

しかし、これまでの方法では、貴重な樹木資源の損失となること、伐採と掘り取りに時間と費用を要することなどから、伐採を行わずに非破壊で効率的に、樹

木の乾燥重量を推定できる方法を確立する必要がある。乾燥重量推定方法の手順は図-1 に示すとおりである。

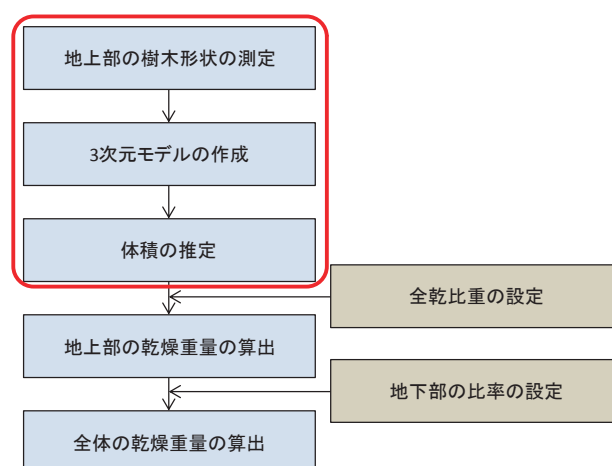


図-1 乾燥重量推定方法の手順

平成 23 年度は、重量を推定する方法として、樹木の形状を測量し、3次元モデルを作成することにより、体積を推定する方法の適用可能性を検討することを目的として、精度の検証を行った。

〔研究方法〕

精度の検証を行うための対象木は、日本の都市緑化に多用されている樹木の中から、常緑樹としてマテバシイ 1 本、落葉樹としてトウカエデ 1 本とした。対象木の樹木を測量し、3次元モデルを作成することで、樹木の乾燥重量を求めするために必要な体積を推定する方法の検証を行った（図-1 枠内）。表-1 に検証木の概要を示した。樹木の体積推定対象とした部位は、木質化することで長期間固定が継続する幹・枝とし、葉は短期間で失われるため除外した。また、非破壊で根を

掘り出すには、労力を要するため、根は本検証には含めないこととした。なお、根のCO₂固定量は、地上部の乾燥重量に、地上部に対する地下部の比率を乗じることで、地下部の乾燥重量を推定し、把握することが可能である。

表-1 検証木の概要

樹種	マテバシイ	トウカエデ	
植栽地	茨城県つくば市	茨城県つくば市	
形状 寸法	樹高(m)	8.2	9.7
	胸高直径(cm)	28	42
樹齢(年)	27	35	

1. 測量方法及びモデリング方法の選択

樹木の形状を測量する方法については、測定対象である樹木の形状が複雑であり、高さがあることを考慮し、測定の認識方法等から最適な方法を検討した。また、実際に使用する測量機器及び測量したデータを処理するデータ処理ソフトの選定条件は表-2に示した。

表-2 測量機器及びデータ処理ソフトの選定条件

■測量機器の条件
<ul style="list-style-type: none"> ・樹木の形状を3次元計測できること。 ・測点に反射プリズムを設置する必要がないこと。
■データ処理ソフトの条件
<ul style="list-style-type: none"> ・取得した点群データを処理できること。 ・曲面が多い樹木の形状の処理に適していること。 ・曲面の体積算出誤差が少ないスプラインモデラーで作成できること。

2. 検証木の体積推定

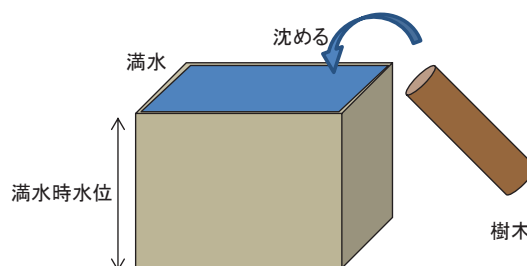
1. で選択した方法により、検証木2本の樹木形状を測量し、3次元モデルを作成することで、体積を推定した。

また、検証の基準値とするために、マテバシイ及びトウカエデを伐採して体積を計測した。体積計測の方法は、満水にした容器に計測対象を沈め、樹木体積分の水を溢れさせ、減少した水の深さに容器の底面積を乗じて樹木の体積を算出した(図-2)。

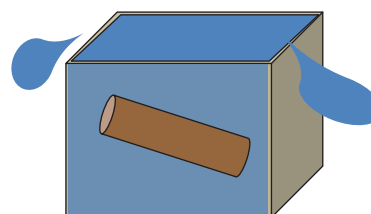
3. 測量精度の検証

検証木について、3次元モデルから推定した体積と、実際に伐採して計測した体積を比較し、測量による体積の精度の検証を行った。

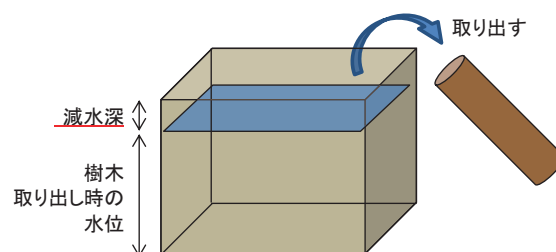
①満水にした容器に、計測対象を沈める



②計測対象分の水が溢れる



③容器から計測対象を取り出す



$$\text{満水時水位} - \text{樹木取り出し時の水位} = \text{減水深}$$

$$\text{減水深} \times \text{容器の底面積} = \text{樹木の体積}$$

図-2 体積計測の方法

[研究結果]

1. 測量方法及びモデリング方法の選択

測量方法の選択の流れを図-3に示した。樹木の形状を測量する方法として、直接的に測量する手法を選択し、反射プリズムの設置なしで測量することができるノンプリズムタイプの条件に適合するものとして、3次元レーザースキャナーとトータルステーションによる方法を選択した。各方法による測量及びモデル化の作業手順は図-4に示すとおりである。

また、実際に使用する測量機器は、各機器に求められる条件から表-3に示す機器を選択した。データ処理ソフトの条件に適合するものとしては、表-4に示したソフトを選択した。

2. 検証木の体積推定

測量作業の様子を図-5に示した。体積の推定は、幹・枝・小枝に区分して行った。幹・枝・小枝の区分は、「幹」は高く垂直に伸長している1本、「小枝」は

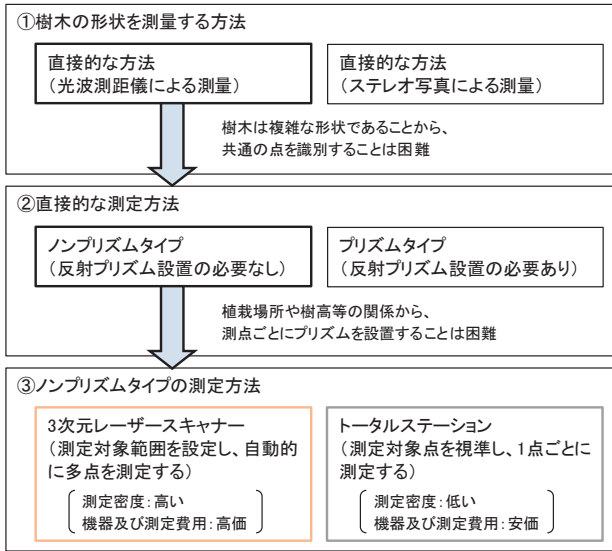


図-3 測量方法の選択の流れ

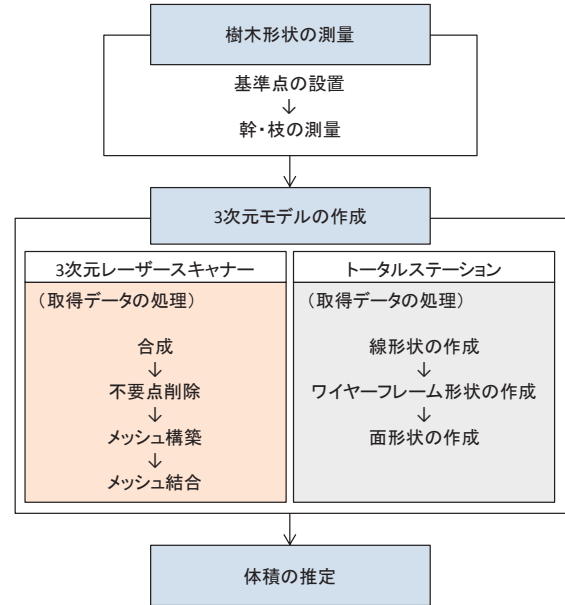


図-4 測量及びモデル化の作業手順

表-3 測量機器の要件と選択した機器

<p>■3次元レーザースキャナーの条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・幹周囲から上向きで測定するため、鉛直方向を高角で測定できること。 ・測定時の風により枝が揺れるため、測定速度は速い方が良い。 ・樹木は近距離から測定するため、測距性能は100m範囲内程度で良い。 <p>■選択した3次元レーザースキャナー</p> <p>Laser Scanner Focus 3D (FARO) 視野範囲(鉛直): 305° 計測速度: 122,000点/秒~976,000点/秒 計測距離: 120m</p>	<p>■トータルステーションの条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・間接視準方式を選択できる機種が良い。 ・表面形状の凹凸が大きい場合は、測定点密度を高くする必要があるため、簡易スキャン機能を有していると良い。 ・樹木は近距離から測定するため、測距性能は100m範囲内程度で良い。 <p>■選択したトータルステーション</p> <p>IS-301 (TOPCON) 視準方式: 直接・間接 スキャン機能: あり 計測距離(ノンプリズム): 250m</p>
--	---

表-4 選択したデータ処理ソフト

<p>■3次元レーザースキャナーのデータ処理ソフト</p> <p>FARO SCENE (FARO) RAPIDFORM (INUS Technology)</p>	<p>■トータルステーションのデータ処理ソフト</p> <p>Auto CAD (Auto desk) MOI 2.0 (Triple Squid Software Design) Rhinoceros (Triple Squid Software Design)</p>
--	--

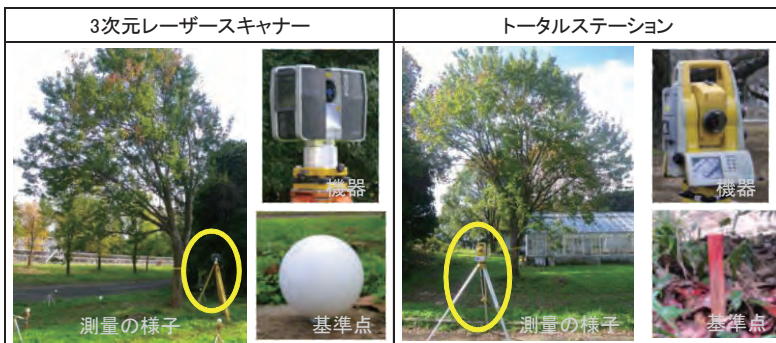








図-5 測量作業の様子



図-6 体積計測の様子

表-5 検証木の3次元モデル及び体積

		マテバシイ		
		実測	3次元レーザースキャナー	トータルステーション
3次元モデル (実測は写真)				
体積(m ³)	幹	0.238	0.230	0.265
	枝	0.323	0.377	0.350
	小枝	0.191	0.021	0.051
	合計	0.752	0.628	0.667
		トウカエデ		
		実測	3次元レーザースキャナー	トータルステーション
3次元モデル (実測は写真)				
体積(m ³)	幹	0.225	0.272	0.267
	枝	0.301	0.357	0.338
	小枝	0.140	0.062	0.071
	合計	0.666	0.692	0.676

直径2~3 cm以下とし、残りの部分を全て「枝」とした。また、検証の基準値とするための体積計測の様子を図-6に示した。マテバシイとトウカエデの3次元モデルと推定した体積、及び実測値を表-5に示した。

3. 測量精度の検証

3.1 マテバシイ

① 3次元レーザースキャナー

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときに、3次元レーザースキャナーによる方法で算出した体積は0.807で、約19%小さく算出された(図-7)。また、幹と枝の合計を1としたときは1.082で、約8%大きく算出された(図-8)。さらに、各部位の体積を1としたときは、幹は0.967で約3%小さく、枝は1.166で約17%大きく、小枝は0.110で約89%小さく算出された(図-8)。

② トータルステーション

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときに、トータルステーションによる方法で算出した体積は0.886で、約11%小さく算出された(図-7)。また、幹と枝の合計を1としたときは1.096で、約10%大きく算出された(図-8)。さらに、各部位の体積を1としたときは、幹は1.114で約11%大きく、枝1.082で約8%大きく、小枝は0.267で約73%小さく算出された(図-8)。

3.2 トウカエデ

① 3次元レーザースキャナー

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときに、3次元レーザースキャナーによる方法で算出した体積は1.039で、約4%大きく算出された(図-9)。また、幹と枝の合計を1としたときは1.196で、約20%大きく算出された(図-10)。さらに、各部位の体積を1としたときは、幹は1.209で約21%大き

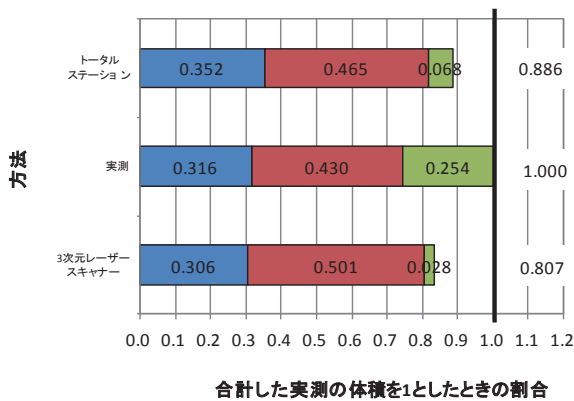


図-7 全体の実測値に対する割合
(マテバシイ)

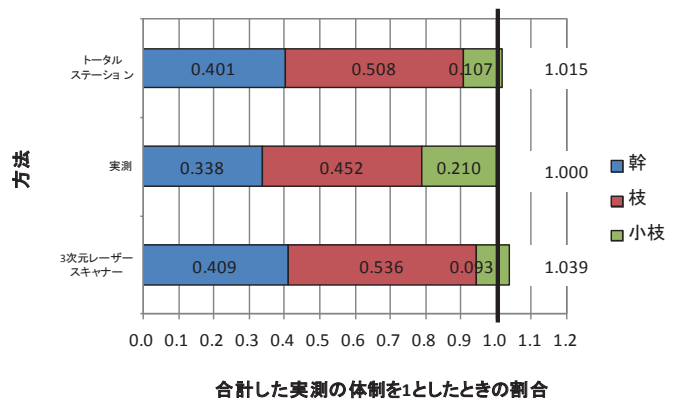


図-9 全体の実測値に対する割合
(トウカエデ)

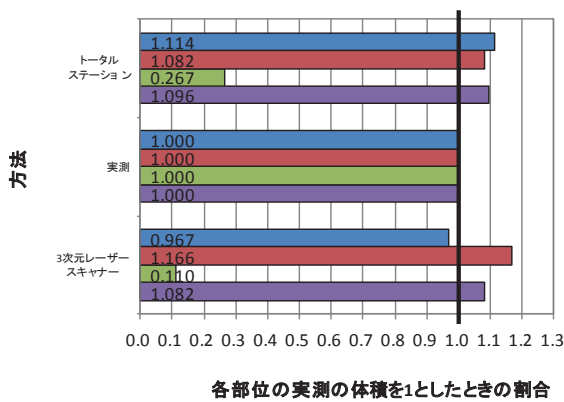


図-8 各部位の実測値に対する割合
(マテバシイ)

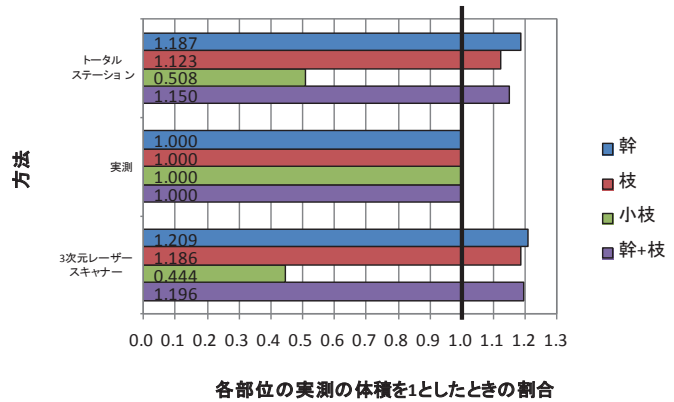


図-10 各部位の実測値に対する割合
(トウカエデ)

く、枝は1.186で約19%大きく、小枝は0.444で約56%小さく算出された(図-10)。

②トータルステーション

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときに、トータルステーションによる方法で算出した体積は1.015で、約2%大きく算出された(図-9)。また、幹と枝の合計を1としたときは1.150で、約15%大きく算出された(図-10)。さらに、各部位の体積を1としたときは、幹は1.187で約19%大きく、枝は1.123で約12%大きく、小枝は0.508で約49%小さく算出された(図-10)。

3.3 まとめ

①マテバシイ

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときの割合は、3次元レーザースキャナーは約20%小さく、トータルステーションは約10%小さかった。

また、幹と枝の合計を1としたときの割合は、3次

元レーザースキャナー、トータルステーションともに約10%大きかった。

さらに、小枝の体積を1としたときの割合は、3次元レーザースキャナーは約90%小さく、トータルステーションは約70%小さかった。

②トウカエデ

伐採して計測した幹・枝・小枝の体積の合計値を1としたときの割合は、3次元レーザースキャナーは約5%大きく、トータルステーションはほぼ同じに算出された。

また、幹と枝の合計を1としたときの割合は、3次元レーザースキャナーは約20%大きく、トータルステーションは約15%大きかった。

さらに、小枝の体積を1としたときの割合は、3次元レーザースキャナーは約55%小さく、トータルステーションは約50%小さかった。

③マテバシイ(常緑樹)とトウカエデ(落葉樹)の違いによる比較

幹、枝及び小枝の合計の体積は、3次元レーザース



図-11 トウカエデの樹皮

キャナー、トータルステーションともに、マテバシイでは小さく、トウカエデでは若干大きく算出された。この原因としては、マテバシイは常緑樹であり、葉によって測量できない部分があったためと考えられる。トウカエデは落葉樹で

あり、落葉時期に測量を行ったことで葉の影響がなく測量できたことと、皮が短冊状に剥がれていることにより（図-11）、その表面を測量した結果、表面積が大きく算出されたためと考えられる。

④測量方法の違いによる比較

3次元レーザースキャナーによる方法で、マテバシイとトウカエデの小枝が小さく算出されたが、この原因としては、枝の重なりや高所の枝の直径の形状データが完全な形で取得できない箇所があったこと、データ処理時にモデル作成に使用する点データと風による枝の不要な重複点に判別することが困難な箇所があったことから、3次元モデルを作成することができない部分があったためと考えられる。また、常緑樹であるマテバシイについては、葉に隠れた部分のデータの取得が困難であったためと考えられる。

トータルステーションによる方法で、トウカエデとマテバシイの小枝が小さく算出される原因としては、ノンプリズムレーザーの反射波を特定することができず、3次元モデルを作成することができなかつたためと考えられる。

これらの課題は残っているが、体積推定の精度を高めることによって、3次元レーザースキャナー及びトータルステーションによる方法での樹木の体積推定は可能と判断した。

[課題]

マテバシイ（常緑樹）では、3次元レーザースキャナーで約8割、トータルステーションで約9割の測定精度であった。トウカエデ（落葉樹）では、3次元レーザースキャナー及びトータルステーションともに約10割の測定精度であった。しかし部位別では、3次元

レーザースキャナー及びトータルステーションともに、幹と枝については約1~2割大きく（3次元レーザースキャナーによる幹の測量を除く）、小枝については約5割以下の測定精度であった。今回誤差が大きかった点については、再度検証を行い誤差の要因を明確にすることで、できるだけ誤差を小さくして体積を推定する必要がある。また、全乾比重や地下部の重量推定については、検証を行い設定する必要がある、今後の課題である。

本研究により、非破壊で樹木の重量の推定が可能になり、樹木損失や費用の問題が解決され、調査対象樹種及び本数を増やしてCO₂固定量算定式を作成することが可能となる。

[参考文献]

- 1) 藤原宣夫・山岸裕・村中重仁(2002)都市緑化樹木によるCO₂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.
- 2) 三浦伊八郎・西田屹二(1933)木材科学, 丸善出版, 35-36pp.
- 3) 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.
- 4) 松江正彦・長濱庸介・飯塚康雄・村田みゆき・藤原宣夫(2009)日本における都市樹木のCO₂固定量算定式, 日本緑化工学会誌, (35)2: 318-324.