

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分別の 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 固定量算出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。

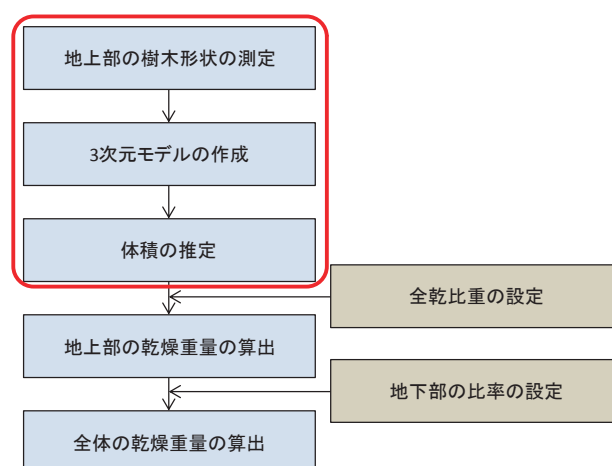


図-1 乾燥重量推定方法の手順

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
	胸高直径(cm)	28
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

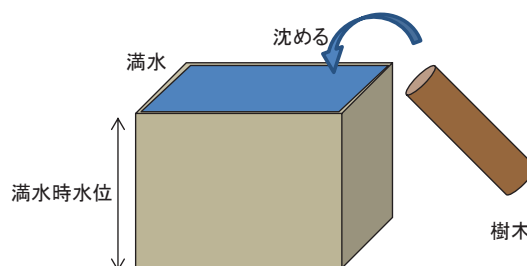
1. で選択した方法により、検証木2本の樹木形状を測量し、3次元モデルを作成することで、体積を推定した。

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)。

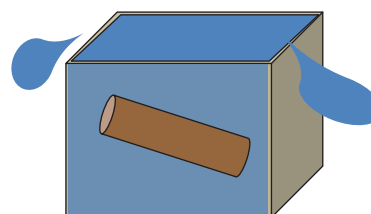
3. 測量精度の検証

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。

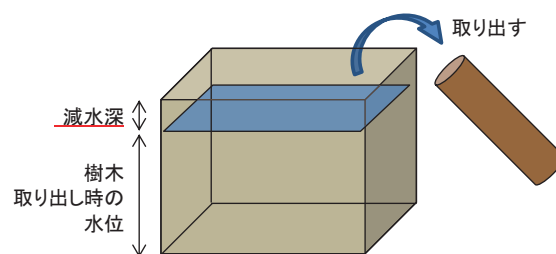
①満水にした容器に、計測対象を沈める



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

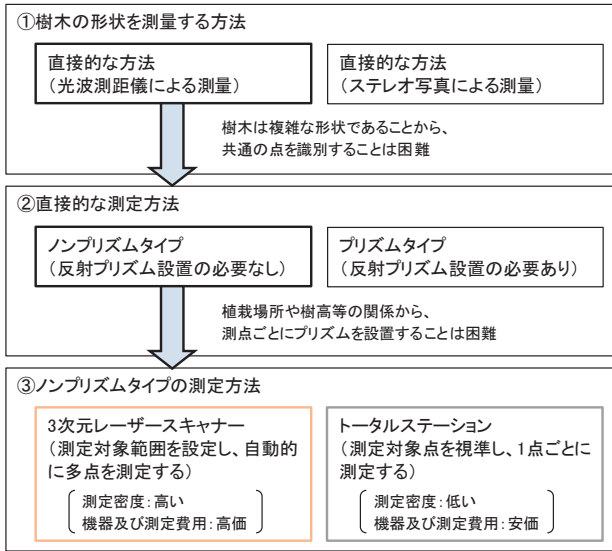


図-3 測量方法の選択の流れ

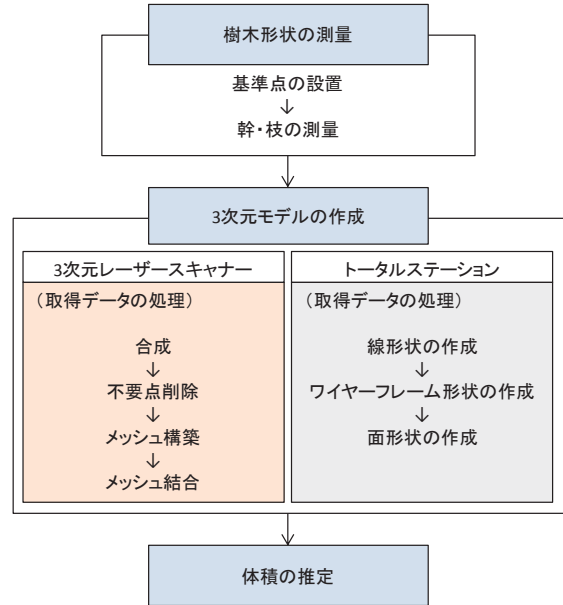


図-4 測量及びモデル化の作業手順

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よい。 ・樹木は近距離から測定するため、測距性能は100m範囲内程度でよい。 <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範囲内程度でよい。 <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>
--	--

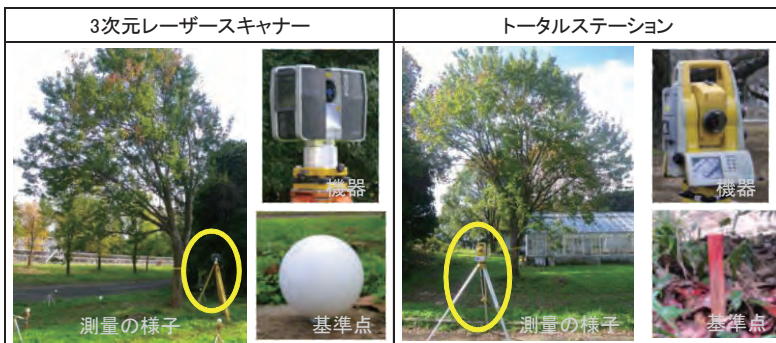








図-5 測量作業の様子



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

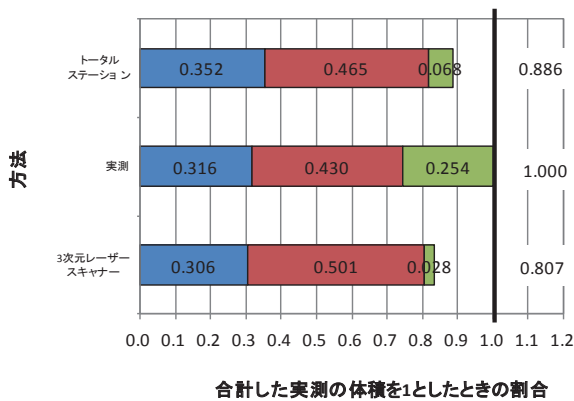


図-7 全体の実測値に対する割合
(マテバシイ)

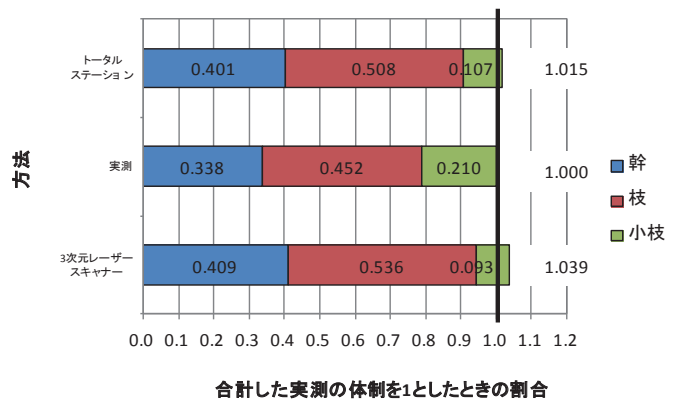


図-9 全体の実測値に対する割合
(トウカエデ)

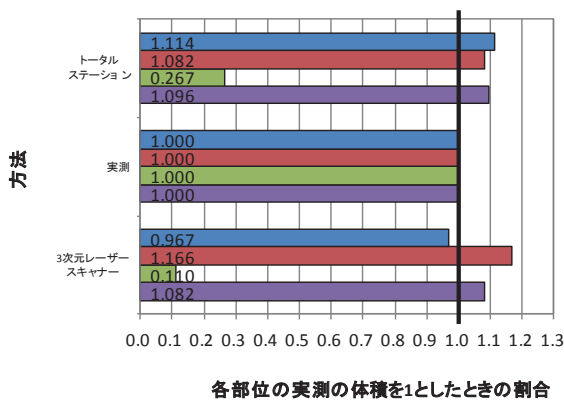


図-8 各部位の実測値に対する割合
(マテバシイ)

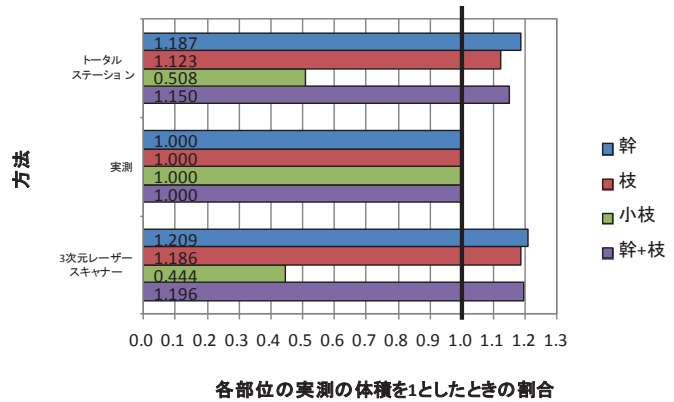


図-10 各部位の実測値に対する割合
(トウカエデ)

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.