

## 宇都宮大学船生演習林内の広葉樹林への簡易型地上レーザースキャナの適用

有賀一広<sup>1</sup>・山本嵩久<sup>1</sup>・後藤洋哉<sup>1</sup>・斎藤仁志<sup>2</sup>・加藤顕<sup>3</sup>

1 宇都宮大学農学部

2 信州大学農学部

3 千葉大学園芸学部

**要旨**：本研究では宇都宮大学船生演習林の広葉樹林を対象に計測された TLS データと、実測した胸高直径、樹高、枝下高、丸太末口径、立木幹材積を比較検証した。胸高直径の RMSE は 6.23cm と大きかったが、この原因はノイズを含んだ遠距離の TLS データを合成することにより精度が低下したことである。対象木から最も近い単一の TLS データから胸高直径を推定した場合の RMSE は 3.25cm と大幅に減少し、その値は実測値に近い値となった。樹高の RMSE も 2.79m と大きかったが、この原因として樹幹が傾いていたために、実測時に過大に計測されていた可能性も考えられた。特に傾きが大きかったものを除いた RMSE は 1.74m と大幅に減少した。一方、枝下高の RMSE は 1.38m と小さかった。末口径の誤差は丸太の位置が高くなるに従い、大きくなることが分かった。枝下高以下の末口径の RMSE は 3.04cm と小さかった。区分求積法を用いた立木幹材積の RMSE は 0.763m<sup>3</sup> と過大となったが、胸高直径と樹高を用いて材積表から算出した場合の RMSE は 0.066m<sup>3</sup> と小さかった。

**キーワード**：簡易型地上レーザースキャナ、胸高直径、樹高、末口径、立木幹材積

### Application of Portable Terrestrial Laser Scanner to a Broad-Leaved Forest in Utsunomiya University Forests at Funyu

Kazuhiro ARUGA<sup>1</sup>, Hiroya GOTO<sup>1</sup>, Takahisa YAMAMOTO<sup>1</sup>, Masashi SAITO<sup>2</sup>, and Akira KATO<sup>3</sup>

1 Fac. of Agric., Utsunomiya Univ., Utsunomiya 321-8505

2 Fac. of Agric., Shinshu Univ., Kamiina 399-4598

3 Fac. of Horti., Chiba Univ., Matsudo 271-8510

**Abstract**: The present study verified DBH, tree height, branch height, top end diameter of logs, stem volumes with Terrestrial Laser Scanner data measured at a broad-leaved forest of the Funyu experimental forest, Utsunomiya University, Japan. RMSE of DBH, 6.23 cm was large because DBHs were estimated from TLS data including noises measured by TLS far from trees and those accuracy was low. RMSE of DBH estimated from single TLS data closest to trees was largely reduced to 3.25 cm and DBHs were similar to measured values. RMSE of tree height, 2.79 m was also large because stems of broad-leaved trees were lean and those tree heights might be manually overestimated. RMSE of tree height excluding the leanest tree was largely reduced to 1.74 m. On the other hand, RMSE of branch height, 1.38 m was small. Errors of top end diameters were increased according to the increased heights. RMSE of top end diameters of logs below branch heights, 3.04 cm was small. RMSE of stem volumes estimated with sectional quadrature, 0.763 m<sup>3</sup> was large whereas those estimated with allometric equations with DBH and height, 0.066 m<sup>3</sup> was small.

**Key-word**: portable terrestrial laser scanner, DBH, tree height, top end diameter, stem volume

#### I はじめに

筆者らはこれまでに GIS を用いて経済性を考慮した長期的な森林バイオマス資源の利用可能量を推定する手法を構築してきた(4)。利用可能量推定においては、伐採率、搬出率、木材利用率などの条件を設定するが、これまで森林資源を正確に計測する手法がなかったことから、間

伐・皆伐など大まかな区分により、値を設定していた。

しかしながら、リモートセンシング技術の進歩により、森林資源をこれまでよりも正確に計測することができるようになってきた。特に、地上レーザースキャナ(Terrestrial Laser Scanner: 以下 TLS)は、地上に設置する利点を活かし樹幹形状に関する詳細な情報を取得すること

ができる(3)。

前報(1)ではスギ・ヒノキの針葉樹人工林を対象とし、丸太の曲がりやを考慮した皆伐作業の収支分析を試みた。本研究では広葉樹天然林の資源量推定を試みる。

## II 調査概要

TLS 計測は2017年4月19日に、宇都宮大学農学部附属船生演習林6林班を小班に設置した15m×20mのプロットで実施した。TLSには国内で最も低価格のレーザーキャナであるSICK社製のLM511を用いた(表-1)。このレーザーキャナはラインセンサであるため、このラインセンサを回転台に取り付けることで簡易型 TLS とした(3)。

一方、前報(1)で用いた TLS は TRIMBLE 社製の TX5 である。LM511 と TX5 の違いとして、最大計測可能距離、ビーム幅、計測速度、角度分解能が挙げられる。LM511 では最大計測可能距離は 50m であるが TX5 は 120m である。また、LM511 はビーム幅が大きく、計測速度が遅く、分解能が粗いため、計測可能範囲が狭いことも含め、LM511 では TLS の設置数を多くする必要がある。

表-1. 諸元

Table. 1 Specification

	LMS511	TX5
最大計測可能距離 (m)	50	120
波長 (nm)	905	905
ビーム幅 (mrad)	4.7	0.19
計測速度 (Hz)	40,000	400,000
角度分解能 (°)	0.167	0.009

本研究では TLS を 11ヶ所設置し、プロット内にあるホオノキ4本、クリ3本、コナラ2本、イヌシデ2本、ヤマザクラ1本の合計12本を計測した。機械点密度は367点/haとなる。また、前報(1)では対象地0.97haに対して23点の地上LiDARを設置したため、機械点密度は24点/haとなる。また、本研究では1回の計測を3分で実施し、平均計測点数は783万5,175点であるのに対し、前報(1)では5分の計測で計測点数は1億1,430万点から1億2,635万点であった。

計測された立木は前報(1)では遠藤ら(2)の手法を用いた点群処理ソフトにより自動で樹幹を抽出したが、本研究では対象とした広葉樹は樹形が通直でなく、自動抽出は困難なため、点群処理ソフトを用いて手動で枝葉を取り除くことにより樹幹を抽出した(図-1)。全木の TLS データから樹高と枝下高を、樹幹の TLS データから胸高直径と末口径を求めた。胸高直径と末口径は対象高さの

上下各5cm範囲内の点群より遠藤ら(2)の最小二乗法を用いた樹幹太さの推定手法を用いて推定した。

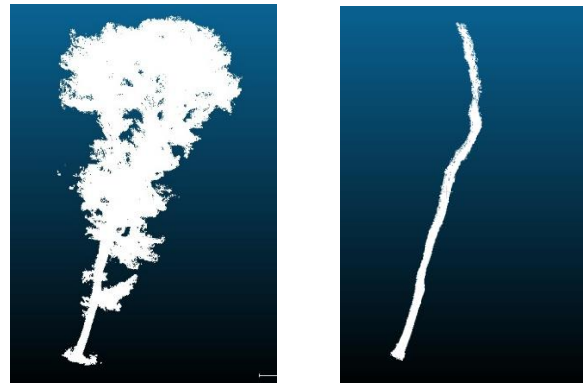


図-1. 全木(左)と樹幹(右)

Fig. 1 Whole tree (Left) and Stem (Right)

本研究では対象木12本に対して胸高直径、樹高、枝下高を毎木調査で計測した(表-2)。また、ホオノキ、クリ、シデは各1本ずつ計3本を伐倒し、2mで玉切して末口径を計測した。さらに、伐倒した3本については、玉切りした丸太の末口径を用いて末口径二乗法により丸太材積を求め、梢端を円錐として梢端材積を求め、これらを足し合わせるにより立木幹材積を求めた。これらの実測値を TLS データと比較検証した。

表-2. 毎木調査

Table. 2 Forest inventory

	平均	標準偏差
胸高直径 (cm)	29.10	8.69
樹高 (m)	19.98	5.12
枝下高 (m)	7.08	3.28
立木幹材積 (m <sup>3</sup> )	0.678	0.374

## III 調査結果

1. 胸高直径 誤差(TLS-実測)の平均は5.20cm、平均二乗平方根誤差 RMSE は 6.23cm と、前報(1)の RMSE1.35cm、加藤ら(3)の RMSE は計測距離に応じて1~4cmと比較しても大きかった。この原因は前報(1)と比較して機器のスペックが低かったこと、加藤ら(3)とは同様の機種であったが、加藤ら(3)のプロットは半径10mの円と本研究より狭く、計測距離が短かったことなどが考えられる。本研究においても単一の TLS データから胸高直径を推定し、その誤差を試算したところ、計測距離に応じて誤差は増大し、対象木から最も近い TLS データから胸高直径を推定した場合の誤差平均は 1.57cm、RMSE は 3.25cm と大幅に減少し、その値は実測値と近

い値となった(図-2)。

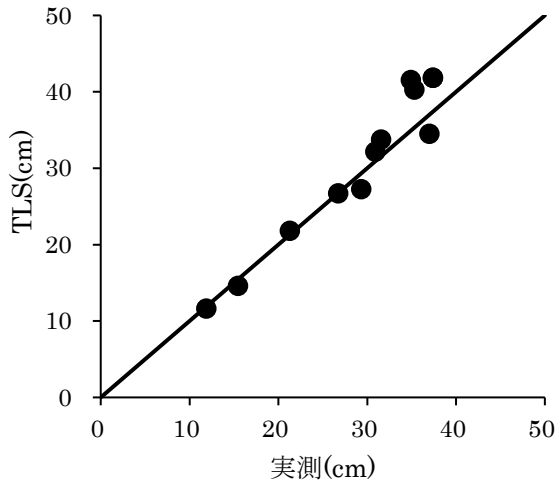


図-2. 胸高直径

Fig. 2 DBH

**2. 樹高と枝下高** 樹高の誤差平均は-1.54m, RMSEは2.79mと、前報(1)のRMSE1.92m, 加藤ら(3)のRMSEは計測距離に応じて0.2~1.2mと比較しても大きかった。樹高に関しては、全体的に TLS は過小計測であった(図-3)。この原因として樹冠部によりレーザーが遮断され梢端の正確な計測ができなかったことも考えられるが、樹幹が傾いていたために、実測時に過大に計測されていた可能性もある。特に傾きが大きかったヤマザクラにおいて誤差が大きくなったが、これを除いたRMSEは1.74mと大幅に減少した。一方、枝下高の誤差平均は-0.57m, RMSEは1.38mと、加藤ら(3)のRMSE1.0~3.5mと同程度であった。

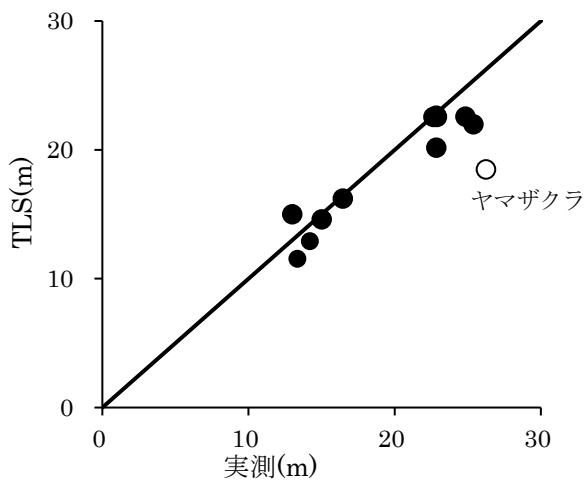


図-3. 樹高

Fig. 3 Tree height

**3. 末口径** 前報(1)と同様、丸太の位置が高くなるに従い、誤差が大きくなるのが分かる(図-4)。図-4において枝下高以下の値を塗りつぶしているが、それらの誤差平均は1.85cm, RMSEは3.04cmと、加藤ら(3)や本研究において対象木から最も近い TLS データから推定した胸高直径のRMSEと近い値となった。樹冠内の幹部末口径については過大となっているので、樹冠内では幹だけを抽出することが困難だったことが確認できる。

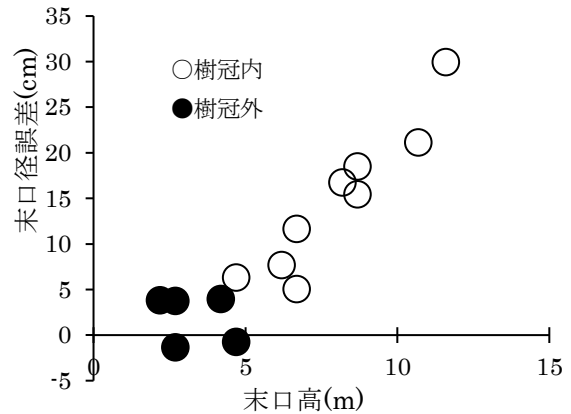


図-4. 末口高と末口径誤差

Fig. 4 Top end height and diameter error

**4. 立木幹材積** 誤差平均が0.735 m<sup>3</sup>, RMSEが0.763 m<sup>3</sup>と過大となった(図-5の区分求積法)。一方、TLSの胸高直径と樹高を用いて材積表から算出した場合、誤差平均が-0.014 m<sup>3</sup>, RMSEが0.066 m<sup>3</sup>と大幅に減少した(図-5の材積表)。立木幹材積0.344m<sup>3</sup>に対してRMSEは19.1%であり、前報(1)の立木幹材積0.620m<sup>3</sup>に対してRMSE0.167m<sup>3</sup>の26.9%よりも小さかった。簡易型TLSを利用する場合は胸高直径と樹高を正確に測定し、材積表から立木幹材積を算出するほうが正確に算出できる場合があることが示された。

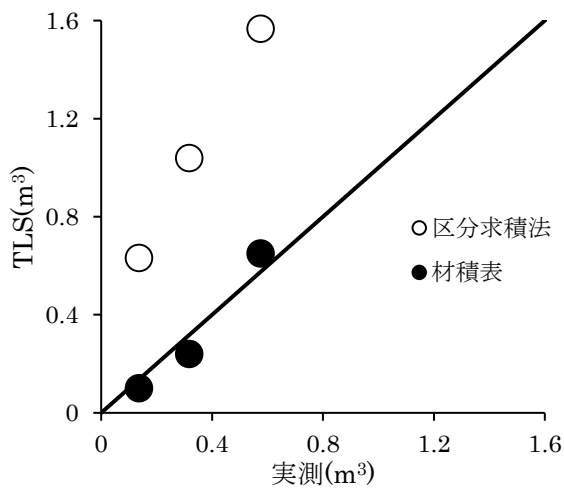


図-5. 立木幹材積  
Fig. 5 Stem diameter

#### IV 考察

合成前の単一 TLS データから推定した胸高直径誤差を計測距離に応じて表したものを図-6に示す。誤差はおおよそ計測距離 5m 以上で拡大していることが分かる。本研究で用いた簡易型 TLS は、最大計測可能距離は短く、また、ビーム幅が大きく、計測速度が遅く、分解能が粗いため、計測可能範囲が狭い。そのため、一般的には TLS データを合成することにより、多方向から樹木を計測することができるようになり計測精度は向上するが、本研究ではノイズを含んだ遠距離の TLS データを合成することにより精度は低下した。

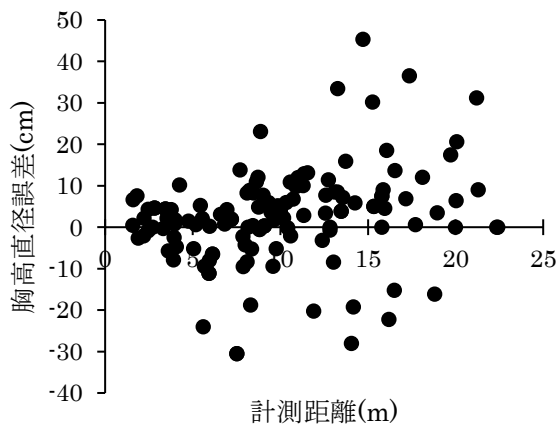


図-6. 計測距離と胸高直径誤差  
Fig. 6 Measurement distance and DBH error

また、点群数と末口径誤差の関係を図-7に示す。点群数が増加するに従い、精度は向上することが分かる。図-7においても枝下高以下の値を塗りつぶしているが、枝

下高以下の値は点群数が多く、精度が高いことが確認できる。したがって、簡易型 TLS を用いる場合は計測距離が短く、点群数が多いデータを用いて行うことが可能な解析、例えば胸高直径や樹高を推定し、材積表などを用いて立木幹材積を推定することが有効であると考えられる。ただし、このようなデータであれば実測のほうが短時間で精度高く計測できる。したがって、簡易型 TLS は誤差はあるものの森林全体の形状を簡易に保存しておきたい場合などに用いることが最も有効な利用方法であると思われる。

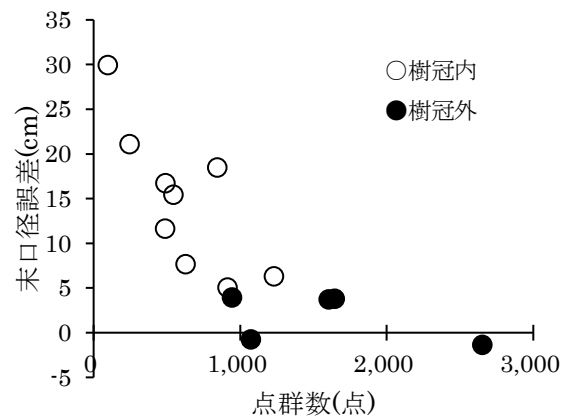


図-7. 点群数と末口径誤差  
Fig. 7 Number of point and top end diameter error

謝辞：本研究は千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究(2017)と JSPS 科研費 16KK0168 の助成を受けたものである。

#### 引用文献

- (1)有賀一広・劉純暉・上村僚・松英恵吾・田坂聡明(2017)宇都宮大学船生演習林皆伐作業への地上型レーザースキヤナの適用. 関東森林研究 68 : 149-151
- (2)遠藤貴宏・中村裕幸・澤田義人・沢田治雄(2012)地上 LiDAR による樹幹太さの推定に関する研究. 生産研究 64 : 585-589
- (3)加藤顕・安藤祐樹・吉田俊也・梶原康司・本多嘉明・小林達明(2014)簡易型地上レーザーを用いた毎木調査法. 日本緑化工学会誌 40 : 136-141
- (4)山本嵩久・有賀一広・古澤毅・當山啓介・鈴木保志・白澤紘明(2017)栃木県における木質バイオマス発電のための長期的な未利用材利用可能量推計. 日本森林学会誌 99 : 266-271