

## 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

Application of Terrestrial Laser Scanning to a clearcutting operation  
in Utsunomiya University Forests at Funyu有賀一広\*<sup>1</sup>・劉純暉\*<sup>1</sup>・上村僚\*<sup>1</sup>・松英恵吾\*<sup>1</sup>・田坂聡明\*<sup>1</sup>Kazuhiro ARUGA\*<sup>1</sup>, Chunhui LIU\*<sup>1</sup>, Ryo UEMURA\*<sup>1</sup>, Keigo MATSUE\*<sup>1</sup>, and Toshiaki TASAKA\*<sup>1</sup>\*<sup>1</sup>宇都宮大学農学部

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

**要旨** : 本研究では宇都宮大学船生演習林の皆伐作業予定地で計測された TLS データを、皆伐作業後に実測された丸太の末口径や矢高などと比較検証するとともに、TLS データを用いて皆伐作業の収支予測を行った。計測された TLS データから手動、または自動で樹幹を抽出し、樹幹太さの推定を行った。ヒノキ 23 本、スギ 2 本、計 25 本から 176 本の丸太が造材された。このとき、TLS データから手動で単木を抽出した場合、全ての丸太を確認できたが、自動抽出では 150 本に留まり、立木の高い位置から造材された丸太の数は減少した。末口径に関しては TLS データのほうが過大であり、その誤差は立木の高い位置から造材された丸太のほうが大きかった。矢高に関しては末口径と同様の傾向とともに、末口高さ 5 m 以下では、下層植生により自動抽出では根張りが計測できず、実測よりも矢高が小さかった。売上に関しては、末口径が TLS データのほうが過大であったため、材積、ひいては売上も TLS データが過大となった。一方、コストに関しては実測値と大きくは変わらなかったため、収支予測の誤差は売上の影響が大きかった。収支は自動抽出で曲がり区分を考慮した場合が最も実測値に近い値となった。

**キーワード** : 地上型レーザースキヤナ・末口径・矢高・売上・収支

**Abstract**: The present study verified top end diameters and sweeps of bucked logs with Terrestrial Laser Scanning data measured at a clearcutting operation site of the Funyu experimental forest, Utsunomiya University, Japan. Then, the economic balance of the operation was estimated with time studies. Stems were extracted from measured TLS data manually and automatically. Then, diameter of stems were estimated. In total, 176 logs from 23 stems of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) and 2 stems of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) were bucked. All 176 logs were extracted from TLS data manually whereas only 150 logs were extracted automatically. The numbers of not extracted logs were increased according to the increased heights. Measured top end diameters were less than those estimated with TLS data and errors between measured and TLS data were increased according to the increased heights. Sweeps had a similar trend with top end diameters and swellings below 5-m heights detected automatically with TLS data were smaller than actual values because of disrupting laser scanning by understory vegetation. Revenues estimated from TLS data were more than actual values because of larger top end diameters, subsequently larger volumes. On the other hand, costs estimated with TLS data were similar to the measured values. Therefore, revenues had a larger effects on errors of estimated economic balances. Economic balances estimated with TLS data automatically were the closest to the measured values.

**Key-word**: terrestrial laser scanning, top end diameter, sweep, revenue, economic balance

## 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 (3)。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、地上型レーザースキヤナ (Terrestrial Laser Scanning : 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 (2)。

本研究では宇都宮大学船生演習林の皆伐作業予定地で計測された TLS データを、皆伐作業後に実測された丸太の末口径や矢高、曲がり区分などと比較検証するとともに、TLS データを用いて皆伐作業の収支予測を行ったので、その結果を報告する。

## II 調査概要

TLS 計測は 2014 年 5 月 20 日に、2 林班と小班の 2014 年度皆伐予定地で行われた。伐採面積は 0.61ha、林齢 62 年、立木本数はヒノキ 762 本、スギ 25 本、サワラ 4 本で立木密度は 1,249 本/ha、平均胸高直径 23.21cm、平均樹高 22.93m、平均幹材積 0.483m<sup>3</sup>/本である。計測された立木は点群処理ソフトを用いて手で枝葉を取り除くことにより樹幹を抽出、または遠藤ら (1) 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、樹幹太さの推定が行われた。

皆伐作業は 2014 年 9 月から 11 月にかけて行われ、うちヒノキ 23 本、スギ 2 本について、造材された丸太の末口径、材長、矢高を計測した。また、伐倒、集材、造材、巻立作業について時間観測を行い、(1)～(4) 式のコスト計算式を作成した。

$$\text{チェーンソー伐倒} : OE_C = \frac{105}{Vn} + 178 \quad (\text{円/m}^3) \quad (1)$$

$$\text{タワーヤード集材} : OE_Y = \frac{3x+10y+281}{Vn} \quad (\text{円/m}^3) \quad (2)$$

$$\text{プロセッサ造材} : OE_P = \frac{(242Vla+23)n+156}{Vla \times n} \quad (\text{円/m}^3) \quad (3)$$

$$\text{グラップル巻立} : OE_G = \frac{242}{Vla \times n} + 123 \quad (\text{円/m}^3) \quad (4)$$

ここで  $Vn$  は幹材積 (m<sup>3</sup>/本)、 $Vla$  は平均丸太材積 (m<sup>3</sup>/玉)、 $n$  は採材玉数 (玉/本)、 $x$  は集材距離 (m/回)、 $y$  は横取距離 (m/回) である。なお、本研究では集材距離  $x$  (m/回) には平均集材距離 (50m/回)、横取距離  $y$  (m/回) には平均横取距離 (5m/回) を用いた。

また、コストには運搬費として 1,300 円/m<sup>3</sup>、はい積料として 700 円/m<sup>3</sup>、共販所・組合手数料として売上の 8% も計上した。

売上は共販所の市況を参考に、長級、径級、曲がり区分を考慮して設定した価格を用いて試算した (表-1)。曲がり区分は曲がり率 (矢高/末口径) より 12% 以下を A、12~20% を B、20% 以上を C とした。

## III 調査結果

ヒノキ 23 本、スギ 2 本、計 25 本から 176 本の丸太が造材された。このとき、TLS データから手で単木を抽

出した場合、全ての丸太を確認できたが、自動抽出では 150 本に留まり、立木の高い位置から造材された丸太の数は減少した (表-2)。これは樹冠により上部の樹幹を認識できなかったことが原因である。

表-1. 価格表 (円/m<sup>3</sup>)

長級	区分	径級	ヒノキ	スギ
2	A	6-14	3,000	2,800
		16-28	14,890	6,980
		30-	33,000	6,980
	B	6-14	3,000	2,800
		16-	6,890	6,890
		C	6-	2,800
3	A	11-14	11,240	11,860
		16-20	20,583	14,780
		22-28	20,583	13,300
	B	30-	20,583	-
		6-14	2,800	2,800
		16-28	17,760	2,800
	C	30-	-	5,000
		6-	2,800	2,800
		3.65	A	22-28
4	A	30-	-	13,820
		10-14	17,090	-
		16-20	19,000	-
	B	22-28	25,800	15,480
		30-	25,800	14,660

表-2. 丸太数

高さ	実測	手動	自動
- 5 m	32	32	32
- 10 m	40	40	40
- 15 m	38	38	33
- 20 m	53	53	40
20 m -	13	13	5
合計	176	176	150

末口径の誤差に関しても、立木の高い位置から造材された丸太のほうが誤差が大きかった (表-3)。また、図-1 から分かるとおおり、TLS データのほうが過大であった。これは直径を推定する際にノイズ等を誤認識したためだと考えられる。特に手動抽出上部の誤差は大きく、

丸太は認識されたものの、末口径は過大となっていることが分かる(表-3)。

表-3. 末口径 (cm)

Table. 3 Top end diameter (cm)

高さ	手動			自動		
	平均	誤差	RMSE	誤差	RMSE	
- 5 m	22.83	1.03	1.84	0.37	1.55	
- 10 m	20.38	1.63	2.02	0.75	1.43	
- 15 m	16.63	2.77	3.24	2.37	3.80	
- 20 m	12.51	3.96	4.84	3.44	4.46	
20 m -	8.16	6.57	9.76	4.02	6.88	
合計	16.74	2.81	4.18	1.85	3.33	

誤差は TLS (手動・自動抽出) - 実測

RMSE は Root Mean Square Error

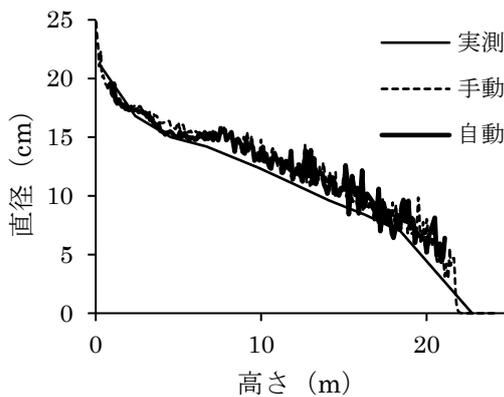


図-1. 高さと直径

Fig. 1 Height and diameter

矢高に関しては、立木の高い位置から造材された丸太のほうが誤差が大きくなる傾向にあったが、手動抽出では5m以下では、5~10mよりも誤差が大きかった(表-4)。これは下層植生により誤差が大きくなったものと考えられる。自動抽出の5m以下では、根張りが計測できず、実測よりも矢高が小さかった。

曲がり区分に関しては、4m材で実測に近い値が得られたのに対して、3m材の自動抽出では曲がり区分B、Cが多く、2m材の自動抽出では認識できない丸太も多く、自動抽出は実測と異なっていた(表-5)。2m材は樹幹上部や下部に多く、樹冠や下層植生によりレーザが遮断されたことが原因として考えられる(図-2)。

丸太価格に関しては、末口径が TLS データのほうが過大であったため、材積、ひいては価格も TLS データが全

体的には過大となったが、実測で元玉の4mA材が手動抽出ではC材と判定された丸太の価格が過小に推定された(図-3)。立木1本あたりの素材価格を見ても、実測

表-4. 矢高 (cm)

Table. 4 Sweep (cm)

高さ	手動			自動		
	平均	誤差	RMSE	誤差	RMSE	
- 5 m	2.50	1.29	2.31	-0.15	1.39	
- 10 m	1.04	0.41	1.18	0.46	0.78	
- 15 m	1.14	0.59	1.45	1.50	2.60	
- 20 m	1.38	1.75	2.68	2.31	3.34	
20 m -	1.68	5.57	5.93	2.65	3.55	
合計	1.48	1.37	2.52	1.12	2.34	

誤差は TLS (手動・自動抽出) - 実測

RMSE は Root Mean Square Error

表-5. 曲がり区分

Table. 5 Sweep class

長さ		A	B	C	合計
		4m	実測	14	0
	手動	12	1	1	14
	自動	12	2	0	14
3m	実測	67	7	0	74
	手動	63	7	4	74
	自動	49	13	10	72
2m	実測	47	23	18	88
	手動	34	14	39	87
	自動	31	13	20	64
合計	実測	128	30	18	176
	手動	109	22	44	175
	自動	92	28	30	150

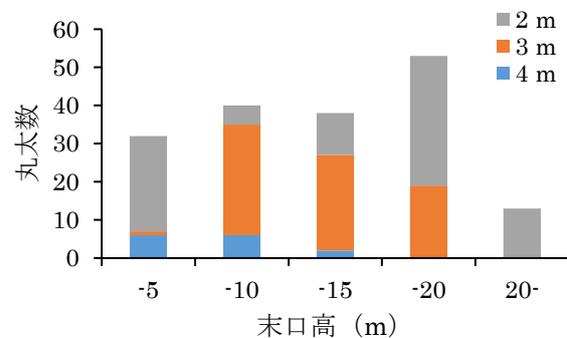


図-2. 材長別末口高と丸太数

Fig. 2 Top end height and log number with log length

で元玉の4 mA材が手動抽出ではC材と判定された丸太を含む立木以外は、全体的に過大となった(図-4)。自動抽出では2 m材が認識できない丸太も多かったが、全体的には丸太価格は過大となったため、立木1本あたりの素材価格は過大となった。

一方、コストに関しては実測値と大きくは変わらなかったため、誤差は売上の影響が大きかった(図-5)。収支を曲がり区分を考慮した場合と考慮せずに全てA材として試算した場合では、曲がりを考慮しなかった場合は収支が過大となった。自動抽出で曲がり区分を考慮した場合の収支が最も実測値に近い値となった。

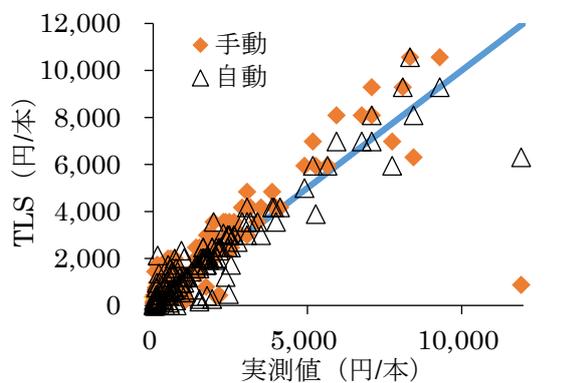


図-3. 丸太価格  
Fig. 3 Log price

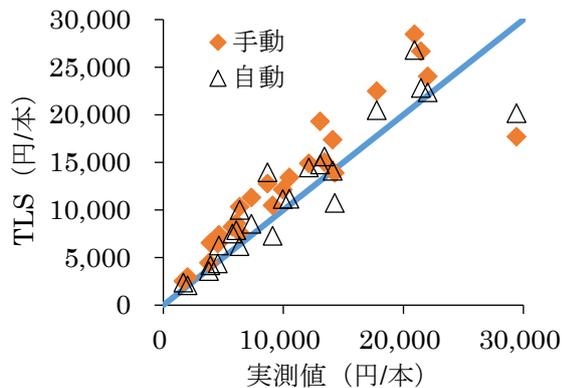


図-4. 素材価格  
Fig. 4 Price per stem

#### IV おわりに

本研究では宇都宮大学船生演習林の皆伐作業予定地で計測された TLS データを、皆伐作業後に実測された丸太の末口径や矢高などと比較検証するとともに、TLS データを用いて皆伐作業の収支予測を行った。その結果、末口径に関しては TLS データのほうが過大であり、そ

の誤差は立木の高い位置から造材された丸太のほうが大きかった。矢高に関しては末口径と同様の傾向とともに、末口径高さ5 m以下では、下層植生により自動抽出では根張りが計測できず、実測よりも矢高が小さかった。

末口径が TLS データのほうが過大であったため、材積、ひいては売上も TLS データが過大となった。一方、コストに関しては実測値と大きくは変わらなかった。収支は自動抽出で曲がり区分を考慮した場合が最も実測値に近い値となった。ただし、自動で単木を抽出した場合、樹幹上部の丸太を抽出できなかったため、今後、末木などの燃料材を予測する場合には、UAV などによる上部からのデータと重ね合わせて、データ精度の向上を検討する必要がある。

なお、本研究は JSPS 科研費 15H04508 の助成を受けたものである。

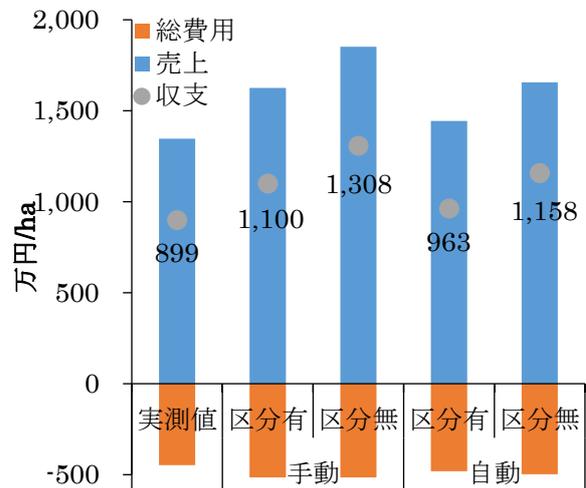


図-5. 収支予測  
Fig. 5 Economic balance estimation

#### 引用文献

- (1) 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
- (2) 松英恵吾 (2015) 宇都宮大学船生演習林 TLS 計測資料(I). 宇都宮大学農学部演習林報告 51 : 123-138
- (3) 村上文美・山口鈴子・仲畑力・有賀一広・田坂聡明 (2012) 持続的な森林経営を考慮した森林バイオマス収穫の可能性-栃木県那須塩原市と鹿沼地区を例として-. 宇都宮大学農学部演習林報告 48 : 123-138