

地上型レーザスキャナ LA01 及び LA03 による 立木計測の精度検証と補正方法の提案

Accuracy verification and correction methods proposal for tree measurement using terrestrial laser scanners
LA01 and LA03

小島元路・工藤康夫・芳士戸啓

要旨

安価な地上型レーザスキャナである LA01 及び LA03 の実用性を実証するため、スギの林分での測量を実施し、精度の検証及び補正方法の検討を行った。その結果、LA03 を用いて対象木の下を通りつつ周囲を回るように測量することで誤差が少なくなることが判明した。また、高直径の実測値をもとに測量データの補正を行ったところ、誤差率を大幅に小さくできることが示された。

キーワード：地上型レーザスキャナ、点群データ、立木、樹幹直径

I はじめに

森林の管理や資源量調査において、地上型レーザスキャナを用いた測量技術が注目され、研究が進められている。地上型レーザスキャナは広範囲の立木のデータを迅速に取得できるため、実用化が進むことで計測作業の大幅な省力化が可能となる。従来の地上型レーザスキャナは、価格が数百万円程度と非常に高価であったが、近年は技術の向上により安価な地上型レーザスキャナが市場に出回り始めている。このような安価な機器の有用性が示されれば、森林計測の省力化が一層進むことが期待される。

近年開発が進む安価な地上型レーザスキャナは、実用化に向けた検証が進んでいないのが現状である。そこで、安価な地上型レーザスキャナである LA01 および LA03 を用いてスギの林分での測量を実施し、実用性の実証として精度の検証及び補正方法の検討を行った。

II 方法

(1) 試験地

試験地は群馬県高崎市倉渕町水沼（以下、倉渕試験地）、群馬県利根郡川場村谷地（以下、利根試験地）、群馬県渋川市赤城町南赤城山（以下、赤城試験地）、群馬県みどり市東町沢入（以下、沢入試験地）とした（表-1）。倉渕、利根、赤城試験地は林道に面した林分であった。調査対象樹種はスギとし、対象木は、利根試験地は 20 本、それ以外の試験地は各 12 本選定した（表-1）。利根試験地については、同じ林小班内ではあるが 300mほど離れた 2 地点で 10 本ずつ選定した。

表－1 各試験地の林分及び対象木の情報

試験地	所在地	林齢（年）	対象木No.	平均傾斜 （度）	斜面方向	対象木DBH（cm）	
						平均	標準偏差
倉渕	高崎市倉渕町水沼地域内	107	k01～k12	25.8	南	50.9	13.0
利根	利根郡川場村谷地地域内	72	t01～t10	24.6	東	37.6	5.8
			t11～t20	25.8	西		
赤城	渋川市赤城町南赤城山地域内	75	a01～a12	14.0	南	34.8	11.0
沢入	みどり市東町沢入地域内	73	s01～s12	30.9	南	25.3	6.8

(2) 地上型レーザスキャナによる測量

各試験地の対象木について、地上型 LiDAR 計測システム LA01 及び LA03（株式会社マプリー社製）を用いて測量を行い、立木の点群データを取得した。両機の仕様等を表－2 に示す。両機ともに機械価格は 40 万円未満である。LA01 は、機器を手で持ち、一方向に向けて測量した。LA03 は、機器を背負い、林内を歩く形で測量を実施した。また LA03 は、林内を直線的に進む測量、及び対象木の下を通りつつ周囲を回る測量の 2 通りの測量を実施した。それぞれの方法について、直線的に進む測量を LA03（直線）、対象木の下を通りつつ周囲を回る測量を LA03（周囲）と呼ぶこととした。測量について、表－3 のとおり各試験地で計 10 回の測量を実施し、各測量回を①～⑩とした。測量実施後は、後述のとおり測量回ごとにデータを解析し、誤差等の比較を行った。また、参考に各試験地の対象木の位置、測量を実施した際の機器の軌跡について図－1～図－9 に示す。

表－2 LA01 及び LA03 の仕様

仕様	LA01	LA03
計測点/秒	8万点	8万点
最大照射距離	200m	40m
水平視野角	70度	360度
垂直視野角	75度	59度
本体価格	375,000円	295,000円

表－3 各測量回での実施した測量及び機器

測量回	実施した測量	使用機器	試験地
①	LA01	LA01	倉渕
②	LA03（直線）	LA03	
③	LA01	LA01	利根
④	LA03（直線）	LA03	
⑤	LA03（周囲）		
⑥	LA01	LA01	赤城
⑦	LA03（直線）	LA03	
⑧	LA03（周囲）		
⑨	LA01	LA01	沢入
⑩	LA03（周囲）	LA03	

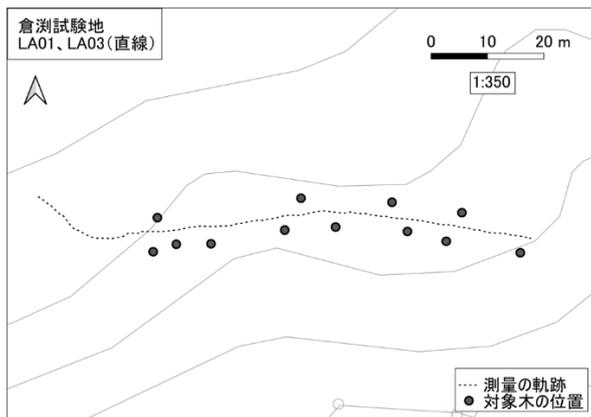


図-1 測量の軌跡と調査対象木の位置
(倉澗 LA01、LA03 (直線))

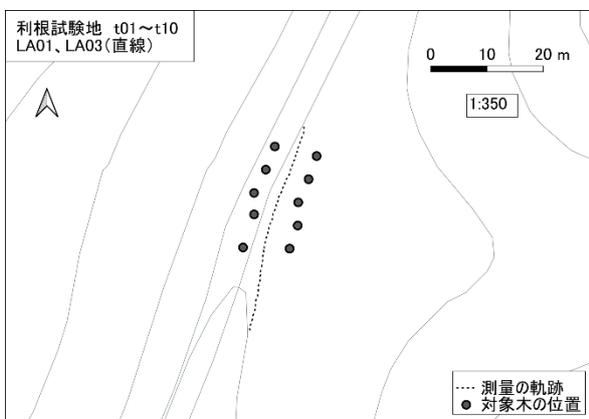


図-2 測量の軌跡と調査対象木の位置
(利根 t01~t10 LA01、LA03 (直線))

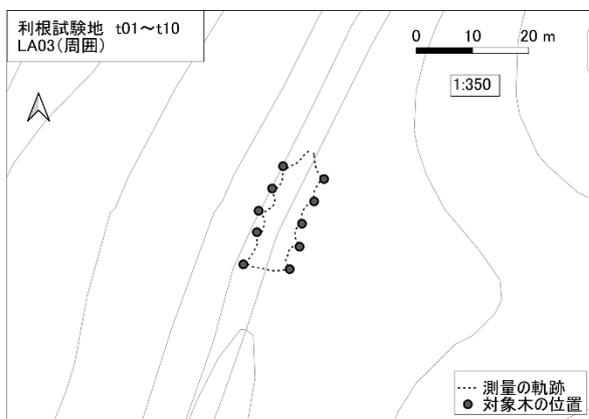


図-3 測量の軌跡と調査対象木の位置
(利根 t01~t10 LA03 (周囲))

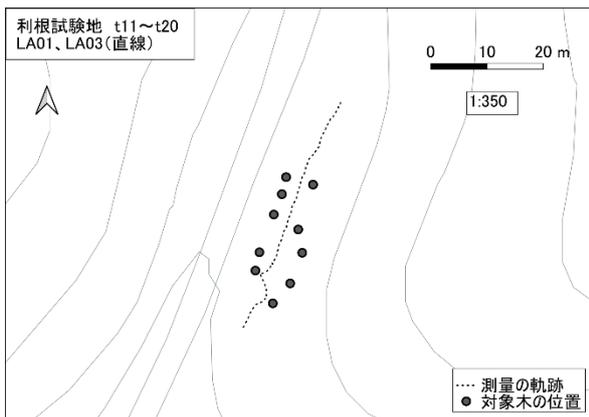


図-4 測量の軌跡と調査対象木の位置
(利根 t11~t20 LA01、LA03 (直線))

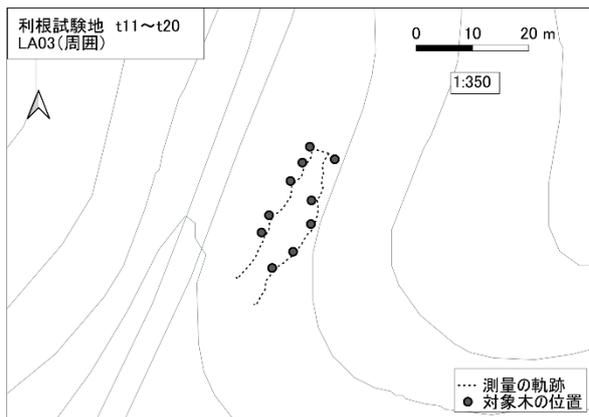


図-5 測量の軌跡と調査対象木の位置
(利根 t11~t20 LA03 (周囲))

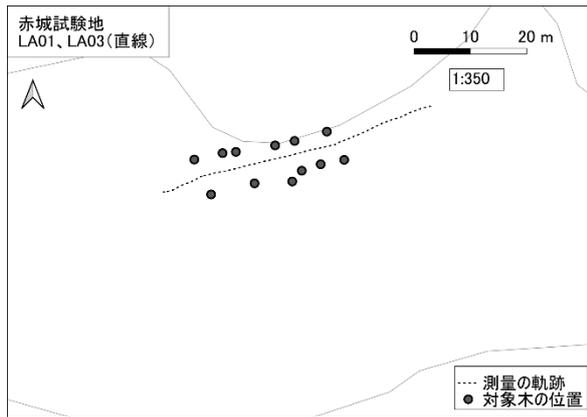


図-6 測量の軌跡と調査対象木の位置
(赤城 LA01、LA03 (直線))

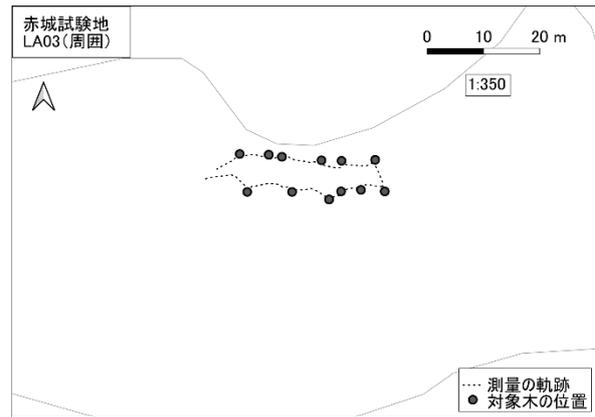


図-7 測量の軌跡と調査対象木の位置
(赤城 LA03 (周囲))

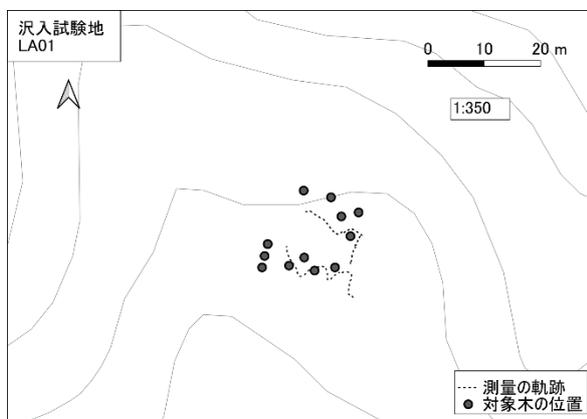


図-8 測量の軌跡と調査対象木の位置
(沢入 LA01)

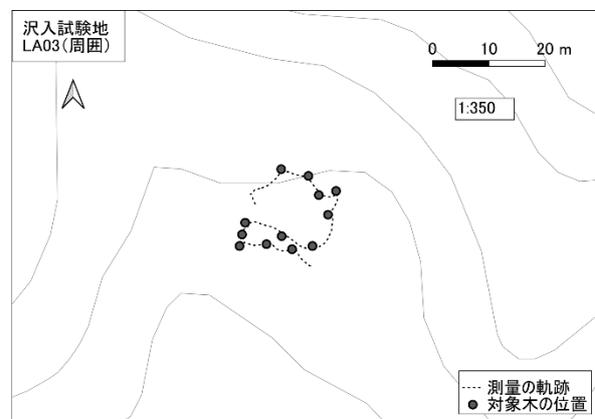


図-9 測量の軌跡と調査対象木の位置
(沢入 LA03 (周囲))

(3) 対象木の樹幹直径の計測

測量実施後、対象木を伐倒し、伐倒木の樹幹直径を計測した。胸高直径（以下、DBH）は対象木 56 本すべて計測し、倉渕試験地の 12 本については樹高 4.5m、8.5m、12m 地点での樹幹直径、それ以外の試験地の 44 本については樹高 3m、4m、6m、8m、9m、12m 地点での樹幹直径を計測した。なお、計測箇所には枝分かれがある場合、または裂けが発生している場合はデータから除外した。

(4) 点群データの解析

地上型レーザスキャナで取得した点群データの解析は、mapry PC 版 ver. 1.0.82.3（株式会社マップリイ、以下 mapry PC 版）を用いて実施した。各測量回（表-3）で得られたデータをそれぞれ解析し、対象木の計測を行った部分と同じ部分の樹幹直径を求めた。

(5) 実測データと解析結果の比較、照合

樹幹直径のデータについて、点群データを解析して得られた値（以下、解析値）から、対象木の計測データの値（以下、実測値）を引き、解析値の実測値からの誤差（解析値－実測値）を求めた。精度については、北原ら（2020）の事例を参考に、平均絶対誤差率を求めた（式-1）。そして、誤差を踏まえ、データの補正方法について検討を行った。

$$\text{式-1 平均絶対誤差率(MAPE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_i - a_i}{a_i} \right| \times 100$$

n: データ数 a_i: 実測値 f_i: 解析値

III 結果及び考察

(1) 誤差

各測量回の樹高別の誤差を図-10～図-13に示す。グラフの点において、同じ立木での結果は線をつないでいる。樹高の高い地点ほど機器との距離が遠くなるため誤差が大きくなると予想したが、結果においてそのような傾向は見られなかった。誤差は樹高によらず比較的近い値となる場合が多くみられたが、①(倉渕 LA01)など、例外的に樹高ごとに誤差が大きく異なるものもいくつか見られた。

LA03(周囲)の誤差は、LA01及びLA03(直線)の誤差よりも小さく出る傾向があった。これは、LA03(周囲)においては対象木の近くを通るように測量したために取得された点群の密度が高くなったためだと考えられる。ただし、沢入試験地についてはLA01とLA03(周囲)の誤差はあまり差がなかった。これについては、沢入試験地のみ作業道に面していない林分であり、LA01の測量でも直線的に測っていないことが関係していると考えられる。

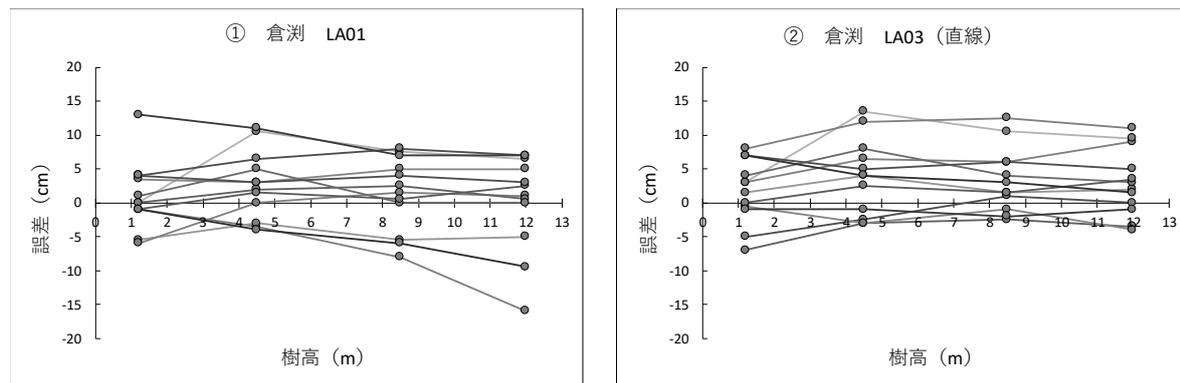


図-10 樹高別の誤差 (倉渕)

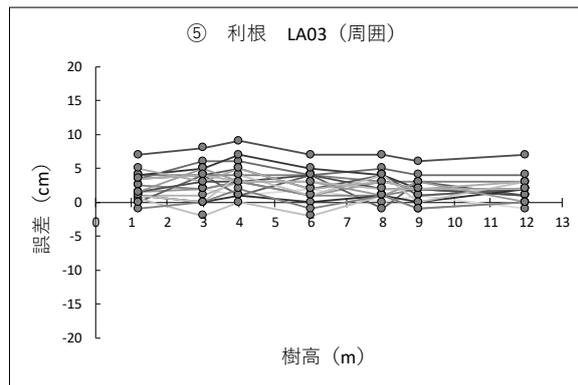
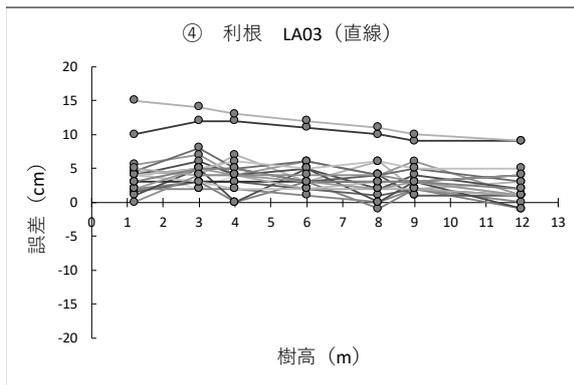
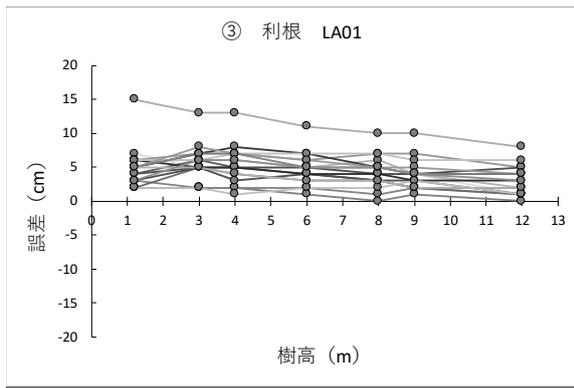


図-11 樹高別の誤差 (利根)

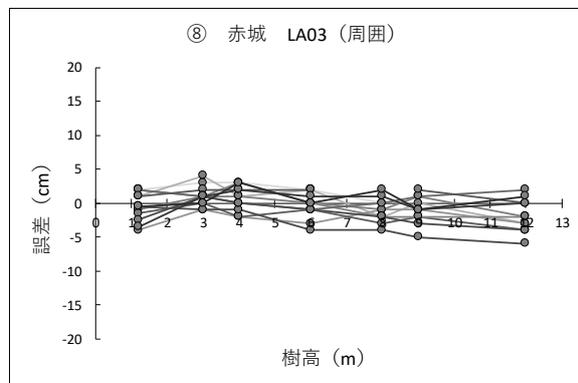
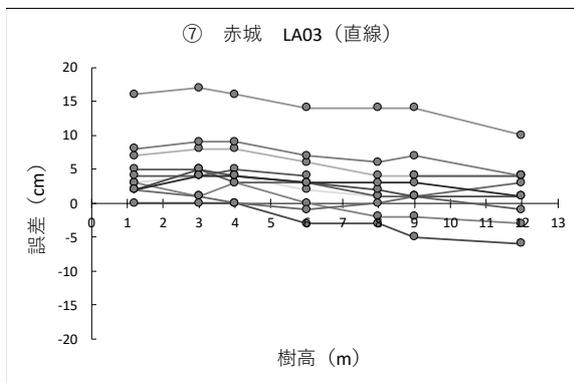
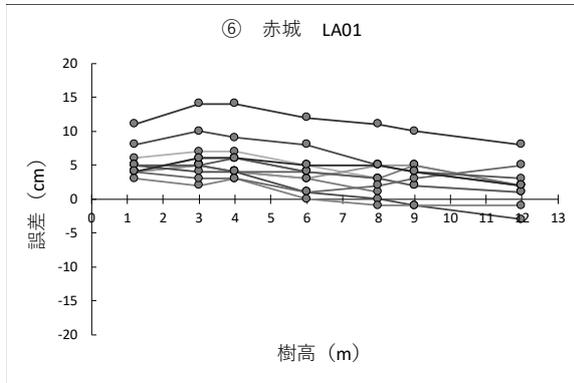


図-12 樹高別の誤差 (赤城)

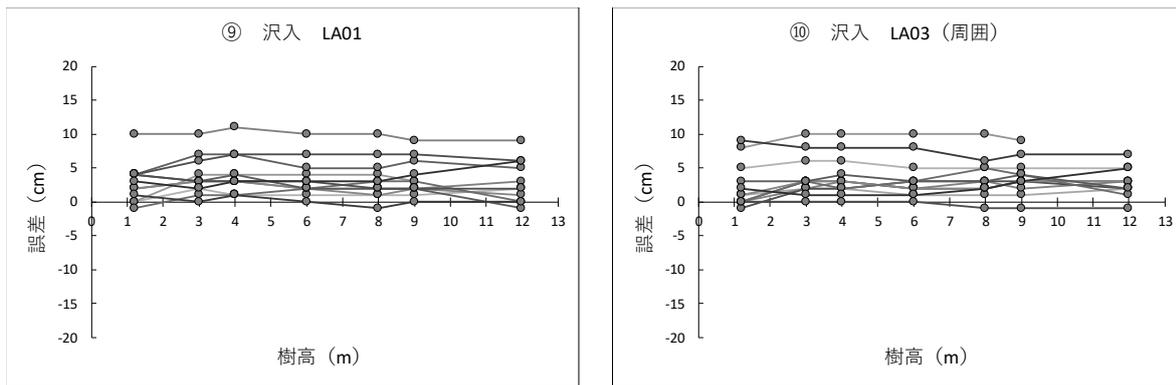


図-13 樹高別の誤差（沢入）

各測量回について、樹高別に平均絶対誤差率を求めた結果を表-4に示す。樹高別の誤差と同様、LA03（周囲）は、沢入試験地を除いて誤差が小さく出ていた。補足として、今回のLA01及びLA03の測量結果を、3DWalkerを用いた先行事例での結果（北原ら，2020）と比較した。先行事例ではヒノキの林分で測量を実施しており、その際のDBHの平均絶対誤差率は9.2～15.2%であった。LA01及びLA03のDBHの平均絶対誤差率は5.7%～16.6%と、近い値となった。種や林分の条件にもよるが、LA01及びLA03の精度は、3DWalkerの精度と近いと結論付けられる。

表-4 樹高別の平均絶対誤差率（%）

	樹高	①		③		
		LA01	LA03（直線）	LA01	LA03（直線）	LA03（周囲）
倉淵	DBH	7.6	7.8	13.0	11.2	6.6
	4.5m	11.1	12.4	16.8	15.7	9.5
	8.5m	12.3	10.7	16.2	13.6	10.8
	12m	15.1	12.1	14.9	13.6	8.7
	全体	11.5	10.7	14.2	12.0	8.9
利根	3m			13.3	12.4	7.2
	4m			10.7	9.5	7.5
	6m			14.1	12.6	8.5
	8m					
	9m					
	12m					
	全体					

	樹高	⑥			⑨	
		LA01	LA03（直線）	LA03（周囲）	LA01	LA03（周囲）
赤城	DBH	15.6	16.6	5.7	12.0	11.0
	3m	19.4	20.3	4.9	16.9	16.7
	4m	19.8	20.2	5.9	19.6	18.2
	6m	14.0	17.1	5.3	17.1	17.0
	8m	12.7	15.5	5.4	18.3	19.0
	9m	15.9	20.1	6.6	19.2	20.9
	12m	14.7	20.0	11.0	22.6	21.3
	全体	16.1	18.5	6.3	17.9	17.7

(2) DBH の実測値を使った補正

今回の測量において、LA03（周囲）は他の測量方法と比べ誤差が少ないことが分かった。ただし、試験地によっては平均絶対誤差率が 20%前後のものが出るなど、実用化に耐えうる精度であるかどうかについては疑問が残る結果となった。そこで、LA03（周囲）での測量結果の誤差率を小さくするための補正方法を検討した。

LA03（周囲）での測量結果から、誤差は樹高によらず比較的近い値となる場合が多くみられたため、測量データからある一定の値を引いて補正を行うことで実測値に近い値となり、誤差を小さくできると考えた。そこで、立木状態でも計測可能な DBH の実測値との誤差をもとに LA03（周囲）の解析値を補正し、補正後の精度検証を行った。

補正の方法については、各対象木の LA03（周囲）の解析値から、その対象木の DBH の誤差を引き（解析値－対象木の DBH の誤差）、DBH 補正值とした。そして、DBH 補正值と実測値の誤差（DBH 補正值－実測値）及び平均絶対誤差率求めた（式－2）。

$$\text{式－2 平均絶対誤差率(MAPE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_i - a_i}{a_i} \right| \times 100$$

n: データ数 a_i : 実測値 f_i : DBH 補正值

DBH 補正後の樹高別の誤差を図－14、平均絶対誤差率を表－5に示す。補正前の誤差において、利根(⑤)、沢入(⑩)は過大傾向であったが、補正後はその傾向はなくなっていた。平均絶対誤差率については、補正後は全体的に値が小さくなっていた。特に沢入(⑩)は、補正前の段階でどの樹高でも 10%を超えていたものが、補正後は樹高 12m 以外では 10%以下となっていた。

LA03（周囲）での測量においては、測量実施後に立木の DBH の実際の値を計測し、測量データと DBH 実測値の誤差をもとに測量データを補正することで、誤差率を大幅に小さくできることが示された。

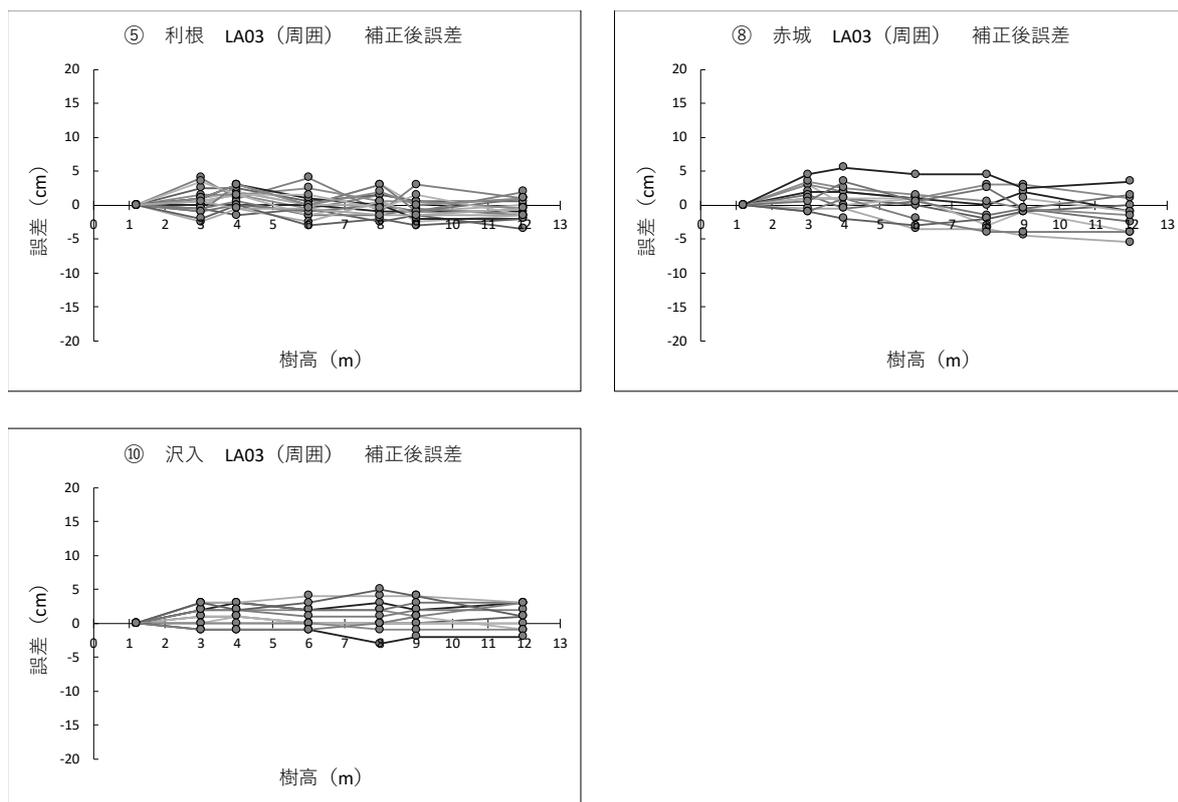


図-14 DBH 補正後の樹高別の誤差 (沢入)

表-5 DBH 補正後の樹高別の平均絶対誤差率 (%)

	⑤		⑧		⑩	
	樹高	LA03 (周囲)	樹高	LA03 (周囲)	樹高	LA03 (周囲)
利根	DBH	0.0	DBH	0.0	DBH	0.0
	3m	4.0	3m	6.2	3m	6.9
	4m	4.3	4m	6.1	4m	7.9
	6m	3.7	6m	5.8	6m	6.1
	8m	4.3	8m	8.7	8m	8.0
	9m	4.3	9m	7.5	9m	8.8
	12m	4.6	12m	8.7	12m	11.8
全体	3.6	全体	6.1	全体	7.0	

IV おわりに

本研究においては、LA03 を用いて対象木の下を通りつつ周囲を回るように測量し、さらに DBH の実測値をもとに補正を行うことで、少ない誤差で立木の計測が可能であると示された。ただし、補正に関しては対象木の DBH を手動で測る必要があり、省力化という面ではまだ課題が残る結果となった。実用化に向けては、今後も運用方法、測量方法、補正方法などの検証を行っていく必要があると考える。

謝辞

本研究を実施するにあたって、試験地をご提供いただき、伐倒木の計測にご協力いただいた磯村産

業株式会社、利根沼田森林組合、渋川広域森林組合、わたらせ森林組合の皆様、LA01、LA03 及び解析ソフト運用において、技術的指導をいただいた株式会社マプリーの皆様に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

群馬県(2021), 群馬県森林・林業基本計画 2021-2030

群馬県(2024), 令和5年版群馬県森林林業統計書, 128pp

株式会社マプリー(2024), LA01 model2, <https://service.mapry.co.jp/la01-model2/> (参照 2025-02-17)

株式会社マプリー(2024), LA03, <https://service.mapry.co.jp/la03/> (参照 2025-02-17)

川北憲利・長島啓子・田中和博(2018), 地上型レーザースキャナーを用いた森林計測の精度検証, 森林計画誌 51 No. 2, 47-56

北原文章・西園朋広・細田和男・小谷英司(2020), 2機種地上型レーザースキャナーを用いた森林計測精度の比較, 森林計画誌 54 No. 1, 63-66

工藤康夫・小島元路・小林 慧(2023), 大径長尺丸太から生産した中規模木造建築用構造材の開発, 群馬県林業試験場研究報告 27, 37-42