

速報

材積測定システム (LVMS3) の改良^{*1}福永寛之^{*2}

福永寛之：材積測定システム (LVMS3) の改良 九州森林研究 69：85－89，2016 原木の直送には山土場検収が必要となるが、労力や時間の問題、測定結果の客観性や再現性の問題などが発生し、本格的取組へなかなか移行できない状況にある。筆者は、改善策の1つとして、市販デジタルカメラを用い画像処理手法 (LBP など) を活用した測定システム LVMS3 を提案した。このシステムでは、撮影条件を整えれば、はえ積みしたスギ原木の木口の9割程度を抽出し、抽出した個々の丸太直径を±2cm程度、総材積±2m³程度で測定することができる。

今回は、当該システムに関して、試用者からの要望のあった、①多くの市販デジタルカメラへの対応、②直径測定精度向上について検討した。多くのカメラへの対応と測定精度の向上が図られた。

キーワード：山土場検収、はえ積み丸太、市販デジタルカメラ、材積測定システム、LBP (Local Binary Pattern)

I. はじめに

原木流通の現場においては、流通コストの低減のため「直送」の取り組みが行われているが、ほとんどの場合、人力検収が前提となるため多くの時間と労力が必要となること、相対取引における信用確保に時間を要することなどにより、本格的取組になっていない事例が見受けられる。筆者はこの課題を解決するため、新たな材積測定システムを提案した (福永, 2014)。このシステムは、市販デジタルカメラで撮影した1枚のはえ積み丸太の単画像からコンピュータを用いて測定する木口を抽出するなどして直径

および材積を測定するもので、画像処理手法としてはLBP (Local Binary Pattern) を用いている。開発後、関係者にデモンストレーションを行い、試用してもらった結果、精度向上、システムの取扱方法のさらなる簡素化などの要望が寄せられたことから、これらについて検討したので報告する。

II. システム利用方法の改善等

開発したシステムにおける木口直径および材積の測定方法は図1に示すとおりである。関係者から要望のあった山土場でのデジ

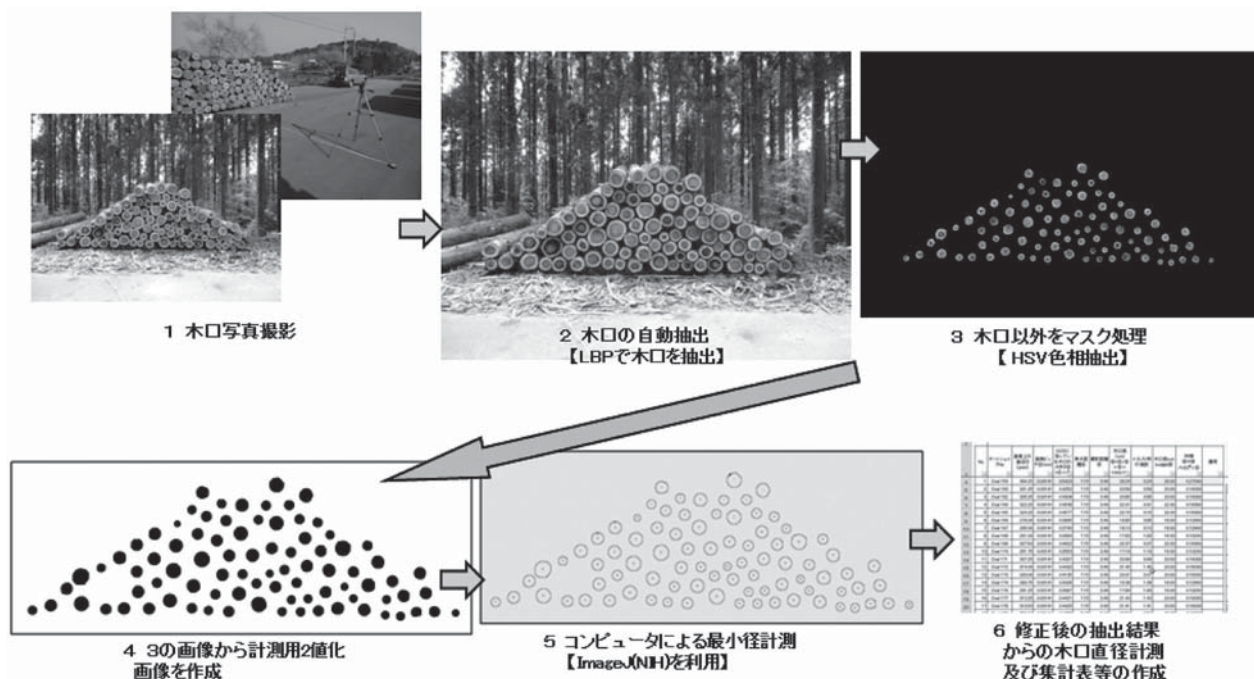


図1. システムの測定方法

^{*1} Fukunaga, H.:Improvement of log volume measurement system (LVMS3).

^{*2} 鹿児島県森林技術総合センター Kagoshima Pref. Forestry Technology Ctr., Kamo, Kagoshima 899-5302, Japan.

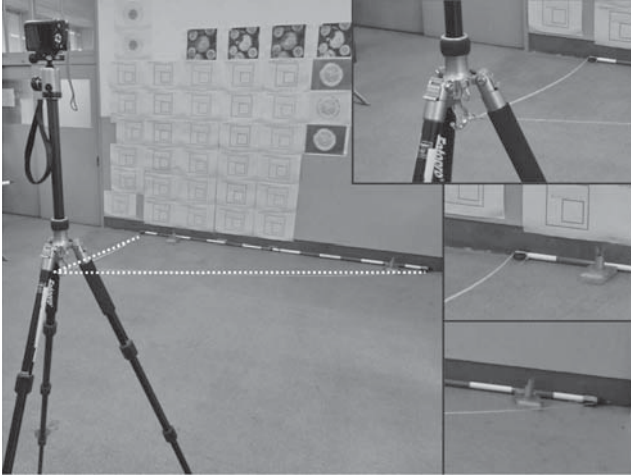


図2. デジタルカメラ設置方法の改善
注) ロープ部分は点線で強調している。

デジタルカメラ設置の簡素化のため、図2のように、3m ポールと伸縮性の少ない細いロープを用いて簡易に設置できるようにした。ポール両端と三脚をロープで繋ぎ、ポールを底辺とする二等辺三角形の頂点にカメラを設置する。液晶ファインダーの中心を底辺の3m ポール中央(1.5m)の鉛直線上で、かつ、カメラと同じ高さに向けることで、簡易にデジタルカメラを設置できる。

Ⅲ. 方法

画像からの撮影距離測定精度の検討と直径測定精度の向上のため、以下の実験を行った。

実験1 画像の歪曲収差補正効果, 画像からの撮影距離および測定対象物の測定精度の検証

撮影距離を測定せずに対象物の大きさなどを測定する場合、寸法が既知の比較対象物を画像中に入れ込み、比例計算で対象物の大きさを測定することとなる。本システムにこの手法が適用できるかを検討するため、寸法既知の比較対象物から算出した撮影距離と実測した距離を用いて、測定対象物の大きさの測定精度を検証することとした。この方法で問題となるのがレンズの歪曲収差である。カメラで撮影した画像は機種により多少の差こそあれ歪んでいる。これを歪曲収差と言うが、歪んだままであると、撮影距離の計算に影響を与えることが想定されるため、歪曲収差補正の効果も併せて検証することとした。

具体的には、図3に示すとおり、3m ポールの20cm 間隔を画像中からの読み取り寸法既知の比較対象物とし、算出した撮影距離(以下、「画像距離」という)とレーザー距離計で実測した撮影距離(以下、「実測距離」という)を用いて、壁に設置した10cm および20cm の正方形を画像から読み取り、画像距離の精度と歪曲収差補正の効果を検証した。なお、実験1に用いたデジタルカメラの一覧を表1に示す。

表1. 使用デジタルカメラ一覧

メーカー	機 種					
CASIO	ZS180	Z880	ZS100	Z100	ZR400 (BS,P)	Z77
FujiFilm	F600EXR	AX500				
CANON	IXY430F					
Nikon	J1					

(注) 表中の (BS,P) は撮影モード

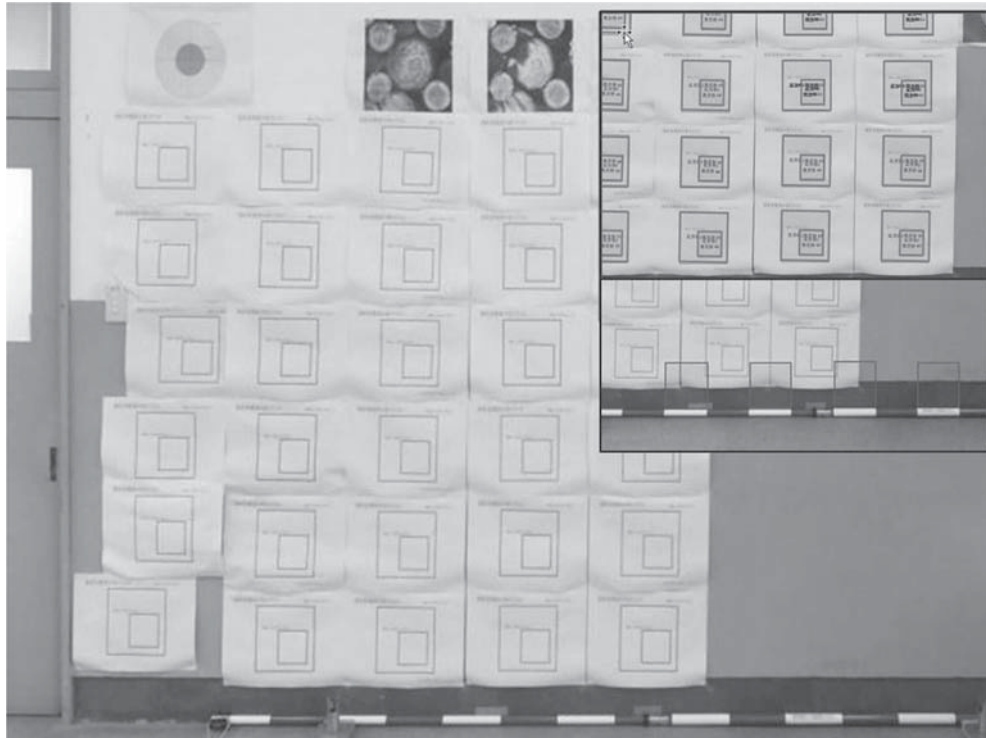


図3. 撮影距離および対象物の測定精度の検証方法
注) 右上は画像からの読み取り状況

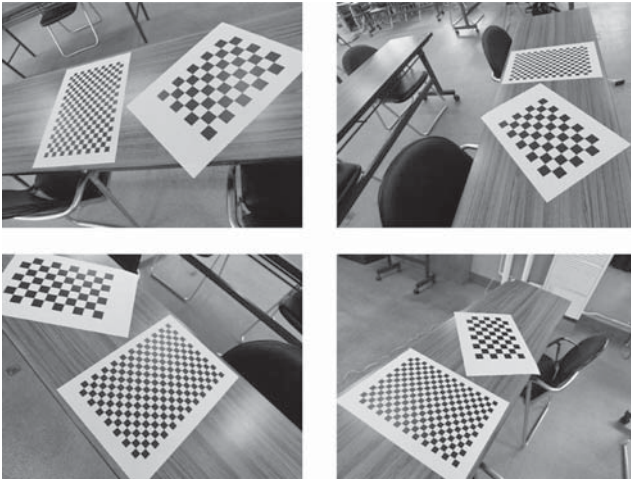
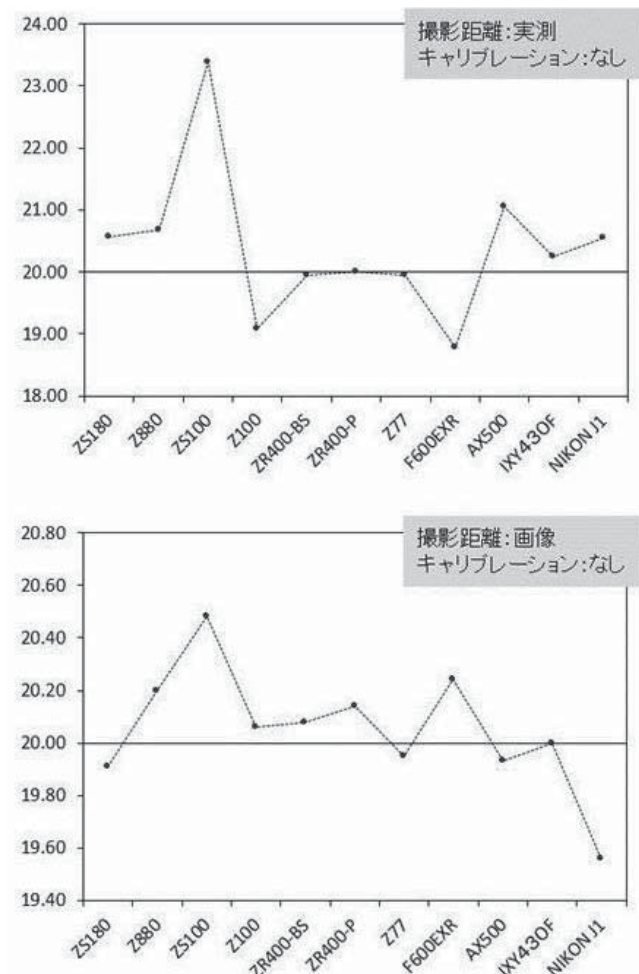


図4. 画像の歪曲収差補正用画像の例

検証に用いた画像は、撮影したそのままの画像とキャリブレーションにより歪曲収差補正を行った画像の2種類とした。キャリブレーションはGML Camera Calibration Ver.0.75 (MSU Graphic And Media Lab., 2015)を用いた。図4に示すとおり、それぞれの機種ごとに2枚のチェスボードが液晶ファインダー内に収まるいろいろな角度で30~40枚撮影し、GMLソフトに取り込んで歪曲収差補正のデータとした。



実験2 改良したシステムの測定精度の検証

はえ積み丸太を実測した直径と、実験1の結果に基づき改良した材積測定システムで測定した直径を用いて回帰分析を行い、システムの測定精度を検証した。なお、既報告と同様に、直径の実測値は画像から手作業で測定した。

IV. 結果と考察

実験1 画像の歪曲収差補正効果, 画像からの撮影距離および測定対象物の測定精度の検証

画像距離は、表2に示すとおりデジタルカメラにより異なり、レーザー距離計で実測した距離3.67 mに対し最大0.46 mのズレが生じたが、キャリブレーションすることによって実測とのズレは最大で0.26 mと小さくなった。

次に、この画像距離と実測距離を用いて、測定対象物である20 cm正方形の最小辺長を測定した結果を図5に示す。一部例外もあるが、撮影距離に関しては、総じて、画像距離を用いて実寸換算した方が20 cmに近い測定値となり、すべての機種の測定誤差が ± 0.5 cm以内となった。また、キャリブレーションを行う方がより20 cmに近い測定値となった。画像中心部と周辺部での測定値の差異もこれを行う方が小さくなる傾向となった。なお、10 cm正方形の測定結果も同様の傾向となった。

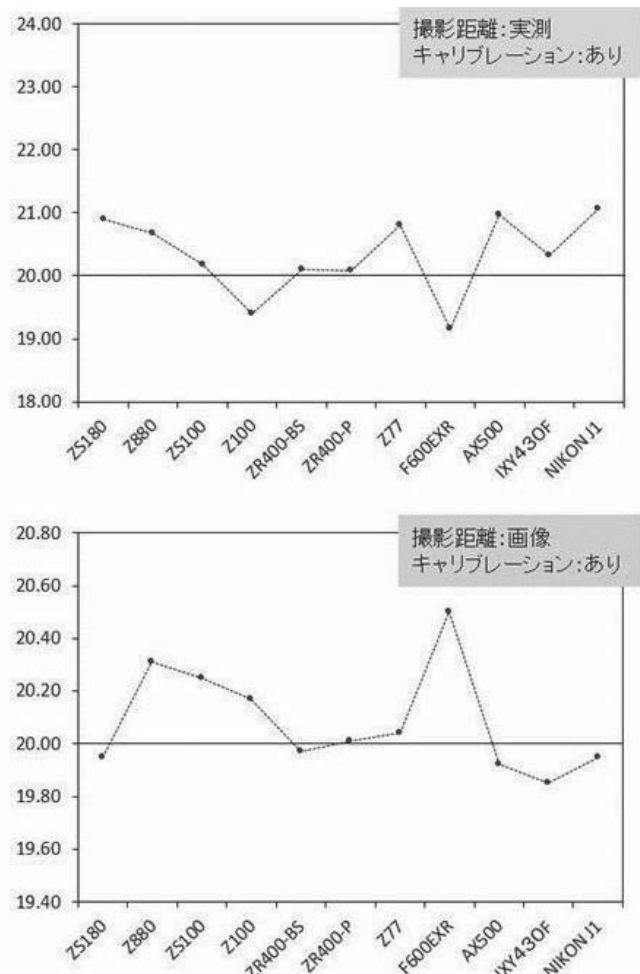


図5. 20 cm 正方形を測定した結果 (横軸:機種名, 縦軸:20 cm 正方形の測定長 (cm))

表2. 撮影距離算出結果 (実測した撮影距離 = 3.67m)

(単位: m)

キャリブレーション	CASIO EX-ZR400 (P)	CASIO EX-ZR400 (BS)	CASIO EX-ZS180	CASIO EX-Z880	CASIO EX-ZS100	CASIO EX-Z100
なし	3.69 (+0.02)	3.69 (+0.02)	3.55 (-0.12)	3.68 (+0.02)	3.21 (-0.46)	3.85 (+0.19)
あり	3.65 (-0.02)	3.64 (-0.02)	3.50 (-0.17)	3.60 (-0.06)	3.68 (+0.02)	3.81 (+0.15)

キャリブレーション	CASIO EX-Z77	FUJIFILM F600EXR	FUJIFILM AX500	CANON IXY 430F	NIKON 1 J1
なし	3.56 (-0.11)	3.95 (+0.29)	3.47 (-0.20)	3.62 (-0.04)	3.49 (-0.18)
あり	3.53 (-0.14)	3.92 (+0.26)	3.48 (-0.19)	3.58 (-0.09)	3.47 (-0.20)

注) () は実測した撮影距離とのズレ

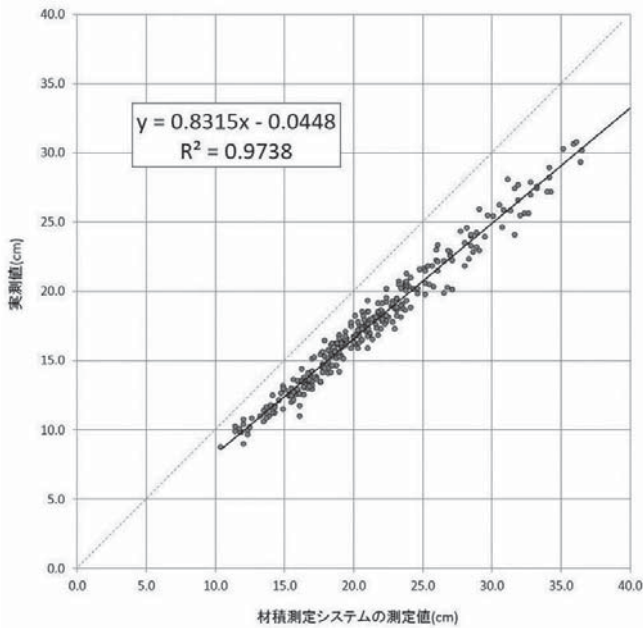


図6. 材積測定システムの測定値と実測値の関係

キャリブレーション後に測定した画像距離が実測距離と異なるにも関わらず、この画像距離を用いる方が測定対象物をより正確に測定する原因は、測定対象物を実寸換算するとき用いているデジタルカメラの諸元値 (有効画素数, 焦点距離など) の精度であると考えられる (市販デジタルカメラの諸元値は計測用 CCD などとは異なり、正確な値は公表されていない場合が多い)。

以上の結果から、当システムでは、キャリブレーションを行った画像で画像距離を測定し、対象物である木口直径を測定する方法に改良することとした。

実験2 改良したシステムの測定精度の検証

今回の検証に用いた丸太の本数は合計スギ 333 本で、うち認識しなかった木口は 22 本、認識率 93.4 %であった。認識した 311 本について測定精度の検証した。木口直径については図6および表3に、材積については表4に示す。木口直径は改良前の ± 2 cm に対し ± 1.6 cm, 材積は改良前の 20 ± 1.5 m³ に対し 20 ± 0.9 m³ と測定精度を向上させることができた。

表3. システムの測定値と予測値

測定値 (cm)	予測値 (cm)	標準誤差 (95%)	信頼区間 (95%)	±
10	8.270	0.778	6.738 ~ 9.801	1.531
12	9.933	0.777	8.404 ~ 11.461	1.528
14	11.596	0.775	10.070 ~ 13.122	1.526
16	13.259	0.775	11.735 ~ 14.783	1.524
18	14.922	0.774	13.399 ~ 16.444	1.523
20	16.585	0.774	15.062 ~ 18.107	1.522
22	18.248	0.774	16.725 ~ 19.770	1.522
24	19.910	0.774	18.388 ~ 21.433	1.523
26	21.573	0.774	20.050 ~ 23.097	1.524
28	23.236	0.775	21.711 ~ 24.762	1.526
30	24.899	0.777	23.371 ~ 26.427	1.528
32	26.562	0.778	25.031 ~ 28.093	1.531
34	28.225	0.780	26.691 ~ 29.760	1.535
36	29.888	0.782	28.349 ~ 31.427	1.539
38	31.551	0.785	30.007 ~ 33.095	1.544
40	33.214	0.787	31.665 ~ 34.763	1.549

※予測値は回帰式を用いて測定値を補正したものの、現場で運用するシステムは、この予測値を測定値として出力する。

V. おわりに

画像からの撮影距離測定および歪曲収差補正を行ったことにより、多くのデジカメに対応が可能となり、木口直径の測定精度が従前より改善された。一方、材積測定システムの測定値が実測値に対して一定の割合で大きいのは、現在の手法では、認識した木口を抽出する際に木口を直径に対して一定割合で大きく抽出してしまうためと考えられる。なお、現場で実際に使用していただく材積測定システムでは、材積測定システムの測定値を図6に示す回帰式で補正した値を「測定値」として出力する。

今後は、認識した木口をより正確に抽出する方法と未検討となっているヒノキ検出器の作成方法について検討する必要がある。

謝 辞

本研究開発を行うに当たり、御協力を頂きました。鹿児島県森林組合連合会、始良西部森林組合、曾於地区森林組合、鹿児島県庁、それぞれの関係者の皆様にご心より感謝の意を表します。

表4. 材長4m, 総材積20m³のはえ積み丸太をシステムで測定した場合の測定値の精度

システム 検出値 (cm)	回帰による 推定値 (cm)	標準誤差	信頼区間 (cm) (95%)	± (cm)	原木本数 (本)	推定値 (m ³)	信頼区間 (m ³) (95%)	
10	8.270	0.097	8.079 ~ 8.460	0.190	731	19.998	19.087 ~ 20.929	
12	9.933	0.083	9.769 ~ 10.097	0.164	507	20.009	19.354 ~ 20.674	
14	11.596	0.071	11.457 ~ 11.735	0.139	372	20.008	19.532 ~ 20.490	
16	13.259	0.059	13.142 ~ 13.375	0.116	284	19.970	19.621 ~ 20.322	
18	14.922	0.050	14.823 ~ 15.020	0.098	225	20.039	19.775 ~ 20.304	
20	16.585	0.045	16.497 ~ 16.672	0.088	182	20.024	19.812 ~ 20.236	
22	18.248	0.044	18.160 ~ 18.335	0.087	150	19.978	19.788 ~ 20.170	
24	19.910	0.049	19.814 ~ 20.007	0.097	126	19.980	19.786 ~ 20.175	
26	21.573	0.058	21.460 ~ 21.687	0.114	107	19.920	19.710 ~ 20.131	
28	23.236	0.069	23.101 ~ 23.372	0.136	93	20.085	19.851 ~ 20.321	
30	24.899	0.082	24.739 ~ 25.060	0.161	81	20.087	19.829 ~ 20.347	
32	26.562	0.095	26.375 ~ 26.749	0.187	71	20.038	19.756 ~ 20.321	
34	28.225	0.109	28.010 ~ 28.440	0.215	63	20.076	19.772 ~ 20.382	
36	29.888	0.123	29.645 ~ 30.131	0.243	56	20.010	19.686 ~ 20.337	
38	31.551	0.138	31.279 ~ 31.823	0.272	50	19.909	19.568 ~ 20.254	
40	33.214	0.153	32.913 ~ 33.515	0.301	45	19.857	19.499 ~ 20.218	
							最大値	19.851 ~ 20.929
							最小値	19.087 ~ 20.131

注1) 材長4m, 20m³のはえ積み丸太の総材積を推定した場合の, その推定範囲(信頼区間95%)を算出。本システム用に撮影した写真一枚に写る材長4mのはえ積み丸太の材積が15m³~20m³となる。

注2) 本表は, 総材積を推定する場合(母集団の推定)。単木の直径の推定(予測)とは異なる

19.1m ³ (-0.9)	~	20.9m ³ (+0.9)
------------------------------	---	------------------------------

引用文献

福永寛之 (2014) 九州森林研究, 67: 15-20.

MSU Graphic And Media Lab. (2015) M.V. ロモノソフ・モ

スクワ国立総合大学 グラフィックス & メディア研究所ホームページ: <http://graphics.cs.msu.ru/en/node/909> (2015年5月参照).

(2015年10月14日受付; 2016年2月4日受理)