

ICT機器を活用したこれからの森林管理

～地上レーザースキャナによる樹高計測の検証と補正・補完～

近畿中国森林管理局 森林技術・支援センター 坪倉 真

1 はじめに

人工林の本格的な利用期を迎え、豊富な森林資源を循環利用し、森林・林業の持続的な発展と公益的機能の発揮を図ることが課題となっています。

そのためには、精度の高い森林基礎データの把握が重要であり、森林調査においては、労力、時間及び経費の節減、効率的な調査及び集計の実施が必要です。

当センターでは、平成30年度に地上レーザースキャナの精度検証を行ったところ、樹高データの精度に課題があることが分かりました。令和元年度は、課題解決に向けて補正係数の検討やUAVとの連携による樹高計測について検証を行いました。

2 取組の目的

地上レーザースキャナによる樹高計測は、樹高20m以上の林分において、レーザーの照射距離の限界や樹冠の枝葉による遮蔽等の理由により、実測値よりも樹高を低く計測する傾向が見られるため、樹高補正方法や樹高計測手法の検討を行い、より正確な森林基礎データを取得することとしました。

3 調査方法

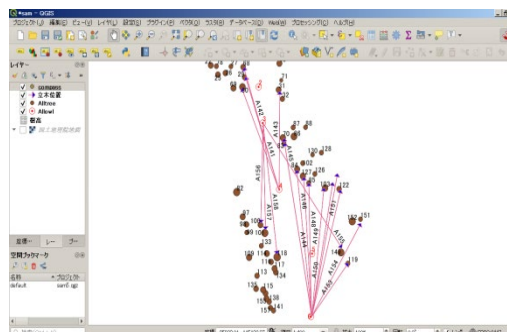
(1) 調査の方法

岡山県新見市内に所在する小吹山国有林、入開山国有林及び釜谷国有林内のスギ及びヒノキの人工林において、ポケットコンパスと地上レーザースキャナにより樹高を測定し、測定値を比較しました。（写真－1）

なお、地上レーザースキャナによる計測では、立木の位置情報を取得し、システム内で識別番号により管理しますが、現地の立木に識別因子は無く、個体を特定するのが困難なため、レーザースキャナで得られた位置情報とコンパス測量で得られた位置情報をGIS上で照合し、個体を特定したうえで、樹高測定値の比較を実施しました。（図－1）



写真－1 コンパス測量との
樹高比較による検証



図－1 GIS上での立木位置の特定

(2) 検証に使用した機器

地上レーザースキャナの機械性能、計測風景は、表-1、写真-2のとおりです。

表-1 地上レーザースキャナの機械性能 (OWL)	
ポイント点数	43,200 点/sec
最大検出 距離	30m (通常は 10m ごとに測点を設定)
スキャン時間	1 回 45 秒
重量	3.7 kg (本体、支持器具込み)
計測方法	約 10m 毎に設置し、45 秒 静止して計測データを取得
計測データ等	胸高直径、樹高、曲がり (矢高)、面積、立木位置、本数、材積、直径分布、立木ウォークスルー (立体画像)、地形情報



写真-2 計測風景

4 調査結果

(1) 調査地内のデータ比較

地上レーザースキャナの樹高データとコンパス測量の樹高データを比較したところ、樹高 20m 以下での誤差は小さく、20m 以上での誤差が大きくなりました。(図-2)

コンパス測量による測定値を実測値と仮定すると、レーザースキャナによる測定値について、調査地全体での誤差範囲は、+1.45m から -13.32m となり、平均誤差は -4.98m、誤差の標準偏差は 3.79m であり、正確度、精度ともに低い結果となりました。(表-2)

また、今回のレーザースキャナによる計測では、樹高 22m 以上は計測されていないことが分かりました。(図-2)

樹高 20m 以上になると、誤差の範囲は、-1.87m ~ -13.32m、となり、樹高が高くなると実測値よりも低く樹高を計測し、誤差が拡大していることが分かります。(図-2) (表-2)

樹高 20m 以下では、誤差の範囲は +1.45m ~ -7.06m となり、樹高 20m 以上のものと比較して誤差は小さくなっているものの、実測値より過小に樹高を計測する傾向が見られました。(図-2) (表-2)

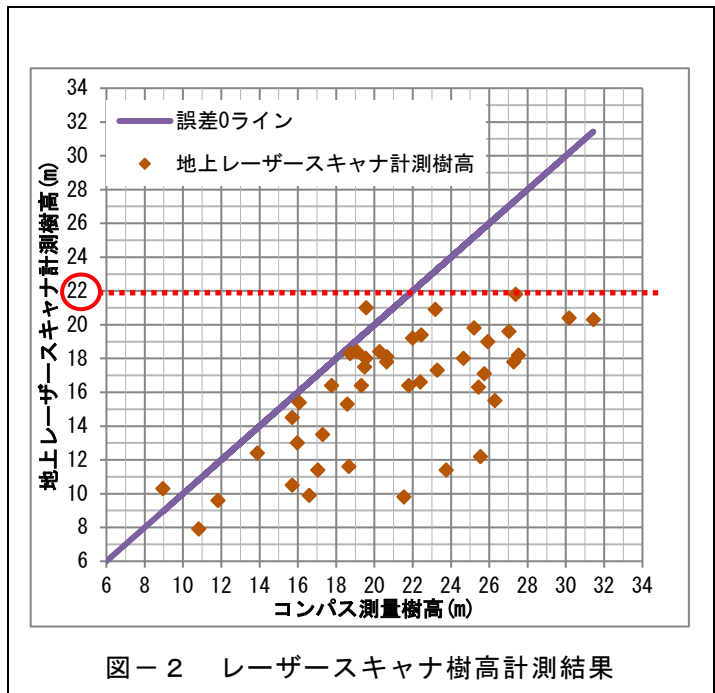


図-2 レーザースキャナ樹高計測結果

(2) 樹高の誤差補正

樹高の誤差補正について、以下ア~ウの方法で検証を行いました。

ア グラフの線形の係数を利用した補正

地上レーザースキャナ計測樹高(y)と、コンパス計測樹高(x)の近似曲線の数式は、「 $y = 0.7471x$ 」となります。

(図-3)

地上レーザースキャナにより計測された樹高を上記数式を用いて補正しました。(図-4)

しかし、誤差の平均値は-0.41と小さくなったものの、標準偏差は±4.01mとばらつきは大きく、精度の向上には至っていません。(表-2)(図-5)

また、樹種、林齢、成立本数等によっても補正係数が異なることが予想されるため、補正係数の確立には膨大なデータの分析が必要であると考えます。

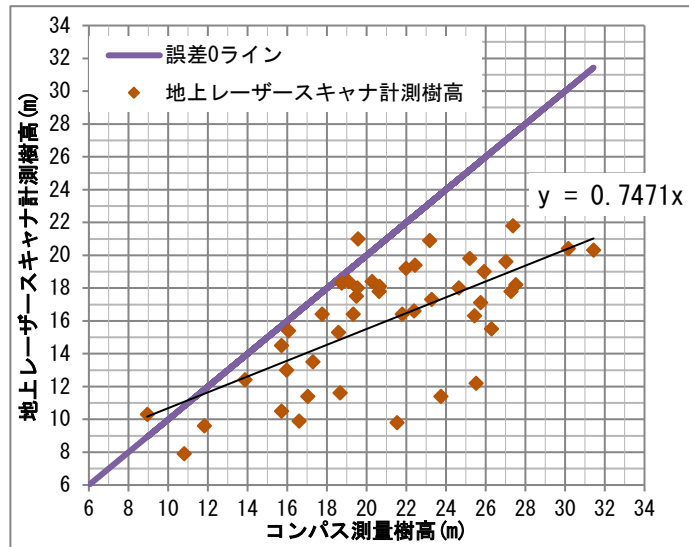


図-3 近似曲線を用いた補正係数

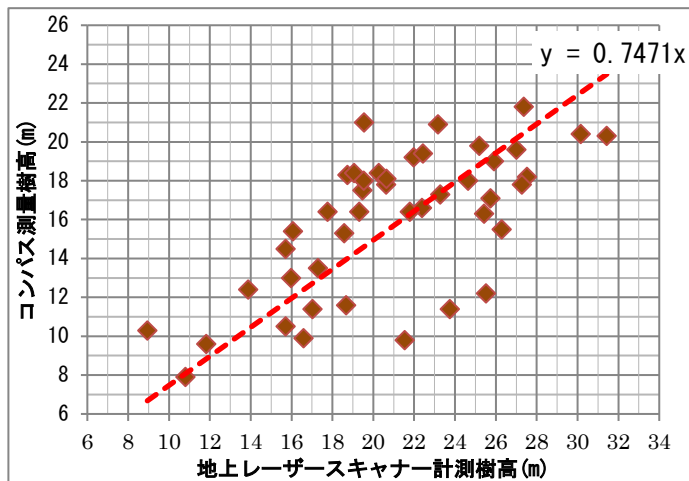
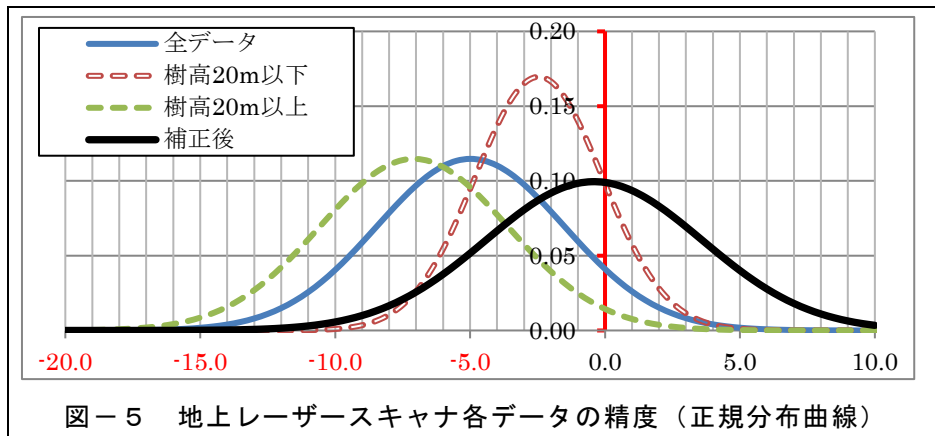


図-4 補正後の樹高

表-2 誤差・精度比較一覧表

比較対象	誤差平均	標準偏差	誤差範囲	誤差率
全データ	-4.98	3.79	1.45m~-13.32m	15%~-54%
20m 以下	-7.08	3.48	1.45m~-7.06m	15%~-40%
20m 以上	-2.46	2.35	-1.87m~-13.32m	-9%~-54%
補正後	-0.41	4.01	7.46m~-9.83m	48%~-41%



イ 細り率による補正

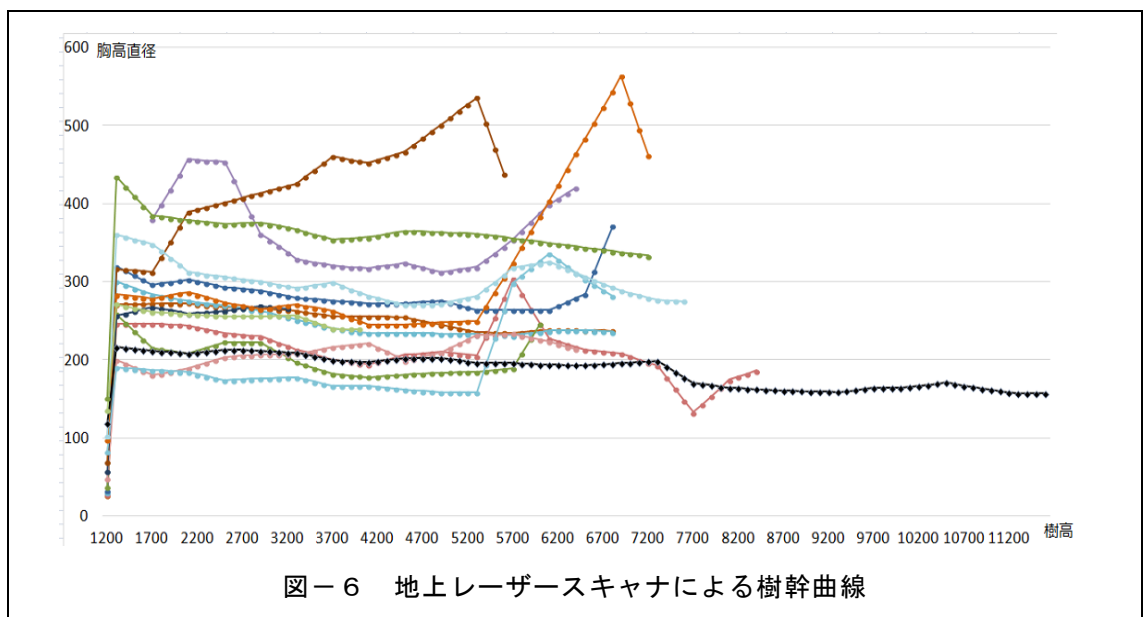
地上レーザースキャナ計測では、地上 120cm より上部の樹幹の直径を高さ 10cm 毎に計測しています。

このデータから、細り率を割り出すことにより、計測できていない樹幹上部を予測し、樹高を算出する検証を行いました。

計測された細り率をグラフにしたところ、枝や蔓などにより、途中で直径が大きくなる箇所等が見られ、正確なデータであるかの判断が困難でした。（図-6）

また、標本数が少ないことから現段階では細り率から樹高を補正することは難しいという結論になりました。

しかしながら、樹高 10m 未満では樹幹の正確なデータを取得できている個体もあり、更に多くのデータを収集できれば、樹幹の細り率と樹高との関係性を導き出し、樹種、林齢、生立本数などに応じた補正式を確立できる可能性があります。



ウ 地上レーザースキャナとUAVによる樹高計測

前述のとおり、地上レーザースキャナによる樹高の計測は樹冠の枝葉によりレーザーが遮蔽されるため大幅な誤差が生じています。

一方、UAVによる森林計測については、林野庁で「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業報告書UAV立木調査マニュアル」が取りまとめられるなど、様々な機関での研究が進んでいるところです。

しかし、胸高直径、立木の形状等の地上データは、UAVでは取得できないため、地上レーザースキャナによる計測に頼ることとなります。

このようにそれぞれが取得可能な情報(表-3)を補完し合うことで、より精度の高い森林計測が実施できるよう、検証を行いました。(図-7)



写真-3 UAVとの連携

表-3 地上レーザースキャナとUAVの計測可能な情報

計測情報	地上情報			地上/上空情報	上空情報
	胸高直径	立木形状	根元標高	立木位置	梢端標高
UAV	×	×	×	○	○
地上レーザースキャナ	○	○	○	○	×

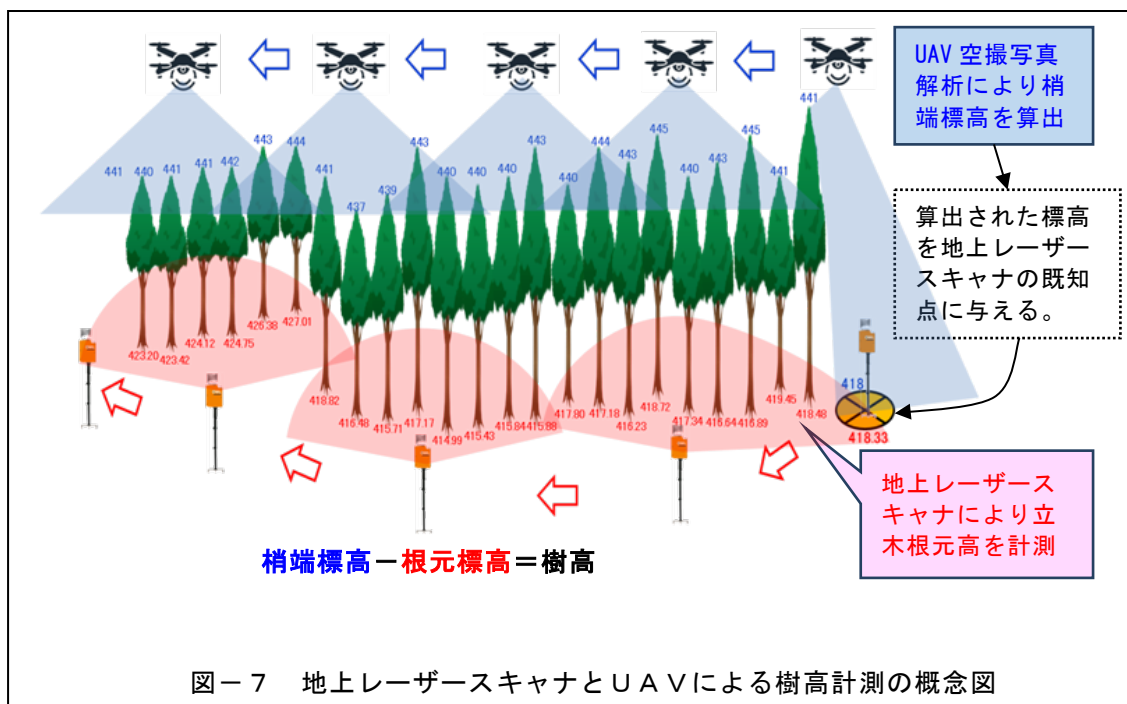


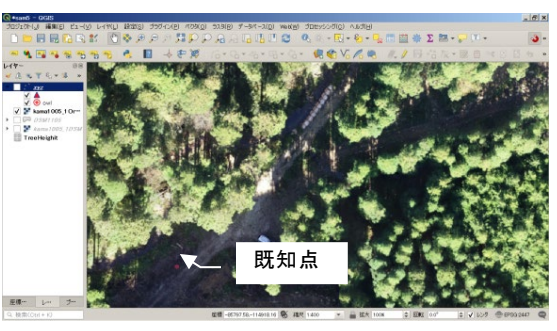
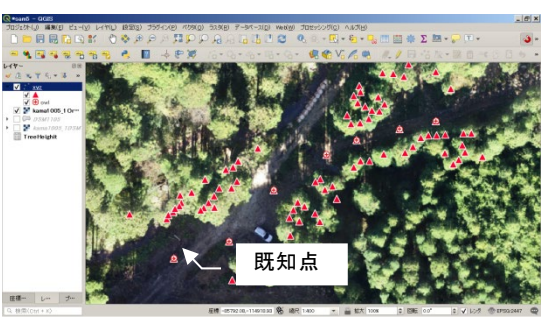
図-7 地上レーザースキャナとUAVによる樹高計測の概念図

具体的な手順は、UAVによる空撮写真を専用ソフトにより解析し、「オルソ画像」（写真－５）と、「数値表層図」（写真－７）を作成し（表－４）、地上レーザースキャナにより計測した立木位置、根元標高を含む情報と共にQGIS（GISのフリーソフト）へ取り込み、立木の梢端標高から、根元標高を差し引き「樹高」を求めました。（表－５）

表－４ PhotoScanによるUAV空撮画像処理

			
写真－４ 空撮写真	写真－５ オルソ化	写真－６ 3D点群画像	写真－７ 数値表層図 (DSM)
計画飛行による自律航行撮影を実施。	写真解析によりオルソ画像を作成し、地上レーザースキャナの立木を特定。	写真解析により、3次元点群データを作成。	写真－６より数値表層画像を作成。この画像に梢端部標高が記録される。

表－５ QGISによる樹高計測手順

	(ア) オルソ画像（写真－５）をGISに取り込み既知点の公共座標を取得。 座標値：-85839.406,-114959.989
写真－８ オルソ画像の取込み	(イ) 地上レーザースキャナにより取得した立木の位置、高さ情報（図－７）に（ア）で取得した座標値を与え、GISに取り込み、写真上の立木樹頂点との位置関係を合致させ、写真上の立木を特定。
	
写真－９ 立木の特定	

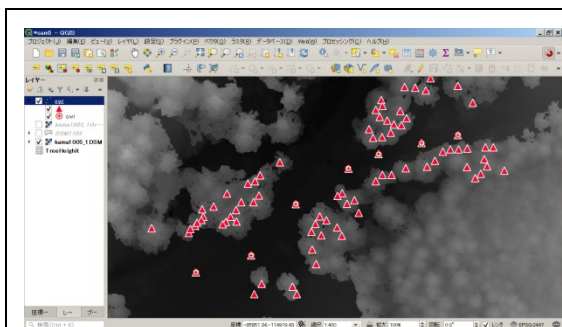


写真-10 数値標高データ作成

(ウ) 数値表層図(写真-7)をGISに取り込み、ラスタデータ(数値表層図)から、表層ポリゴンを作成。

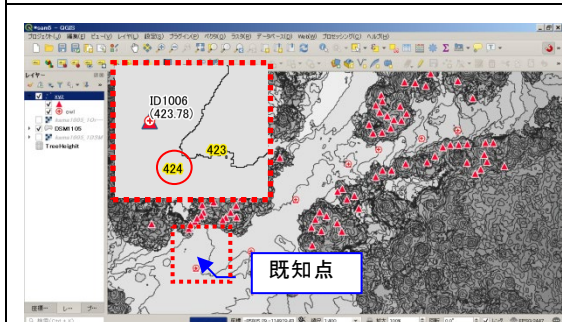


写真-11 既知点への標高付与

(エ) 表層ポリゴンが作成され、梢端標高と、根元標高を比較できる準備が整う。
表層ポリゴンより得られた既知点の標高は424m。
レーザースキャナ既知点に標高424mを与え、地上レーザースキャナの標高情報と、UAV空撮解析の標高情報とを合わせる。

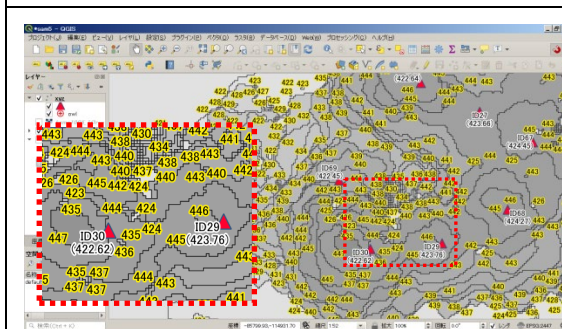


写真-11 樹高の計測

(オ) 樹冠上部の立木梢端部標高と、根元標高の差を求め、樹高を算出。
立木 ID29 の樹高計算
446m - 423.76m = 22.24m
(梢端部標高) (根元標高) (樹高)
立木 ID30 の樹高計算
447m - 422.62m = 24.38m
(梢端部標高) (根元標高) (樹高)

上記により算出した樹高とコンパス測量による計測樹高との検証結果は、平均誤差-0.22m、標準偏差：1.2m、誤差：+2.69m~-2.67m、誤差率の平均：-0.86%となり、精度が高いことが分かりました。(表-6)

表-6 計測結果

測定方法	平均誤差	標準偏差	最大誤差
UAV+地上レーザー	-0.22m	±1.20m	2.69m
地上レーザー	-7.27m	±4.17m	16.67m
地上レーザー補正	0.01m	±2.78m	7.16m

また、令和元年5月にリリースされたOWLの修正プログラムによる樹高補正データについて検証を行ったところ、修正プログラムは、誤差率は低くなったものの、標準偏差については地上レーザースキャナとUAV連携データが一番小さくなりました。

林分全体で見ると修正プログラムの精度は高いですが、1本1本の樹高は、地上レーザースキャナとUAV連携の方がより正確に計測できることが分かりました。(図-8)(図-9)

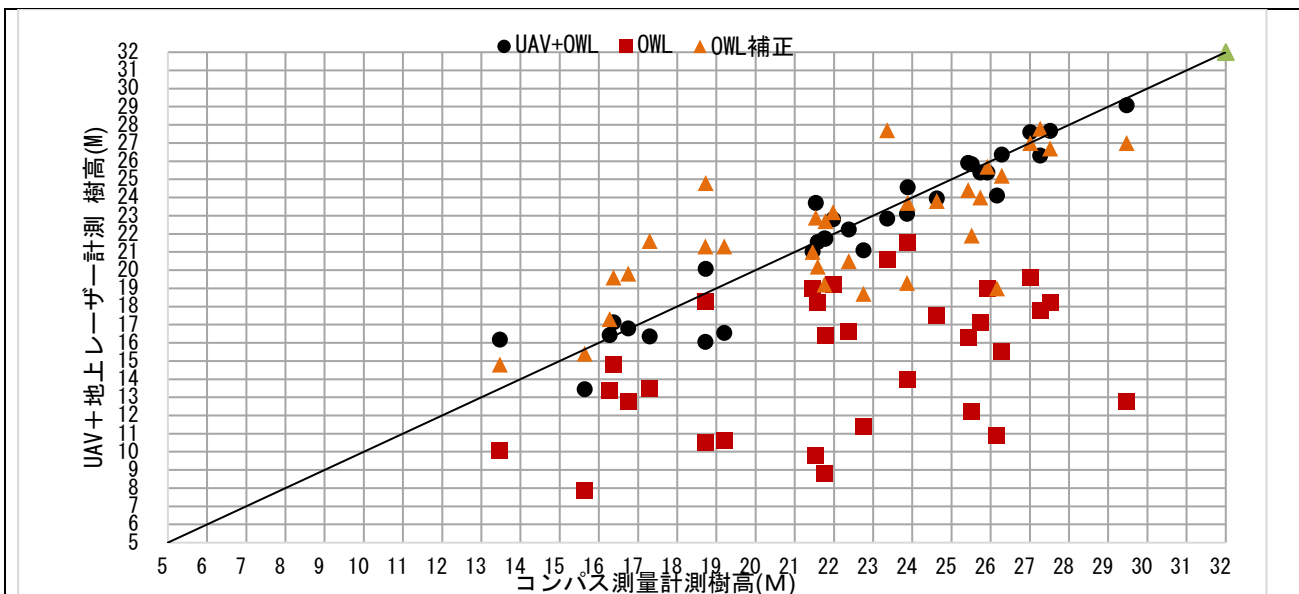


図-8 地上レーザースキャナとUAVによる樹高計測結果と誤差の範囲

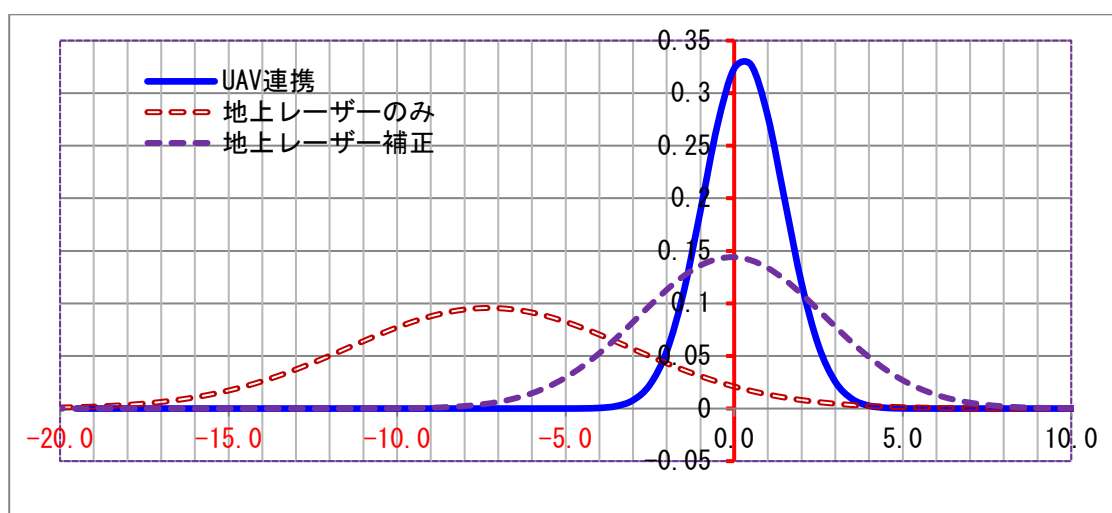


図-9 UAV連携、地上レーザースキャナ、地上レーザースキャナ補正データの精度 (正規分布曲線)

5 これからの森林調査・森林管理

地上レーザースキャナとUAVを連携させた樹高計測については、極めて精度が高く、今後十分に活用できるものと考えます。

現時点では、地上レーザースキャナでは樹種の判別は不可能ですが、UAVによる空撮のオルソ画像の解析により、樹種の判別等も可能となり得ることから、広葉樹の調査などでも地上レーザースキャナとUAVの連携させることで効率的な調査が可能になると考えられます。

林業の成長産業化の実現に向け、既存のICT機器を最大限に活用できるよう、今後も様々な林分での調査や検証を行っていきたいと思います。