

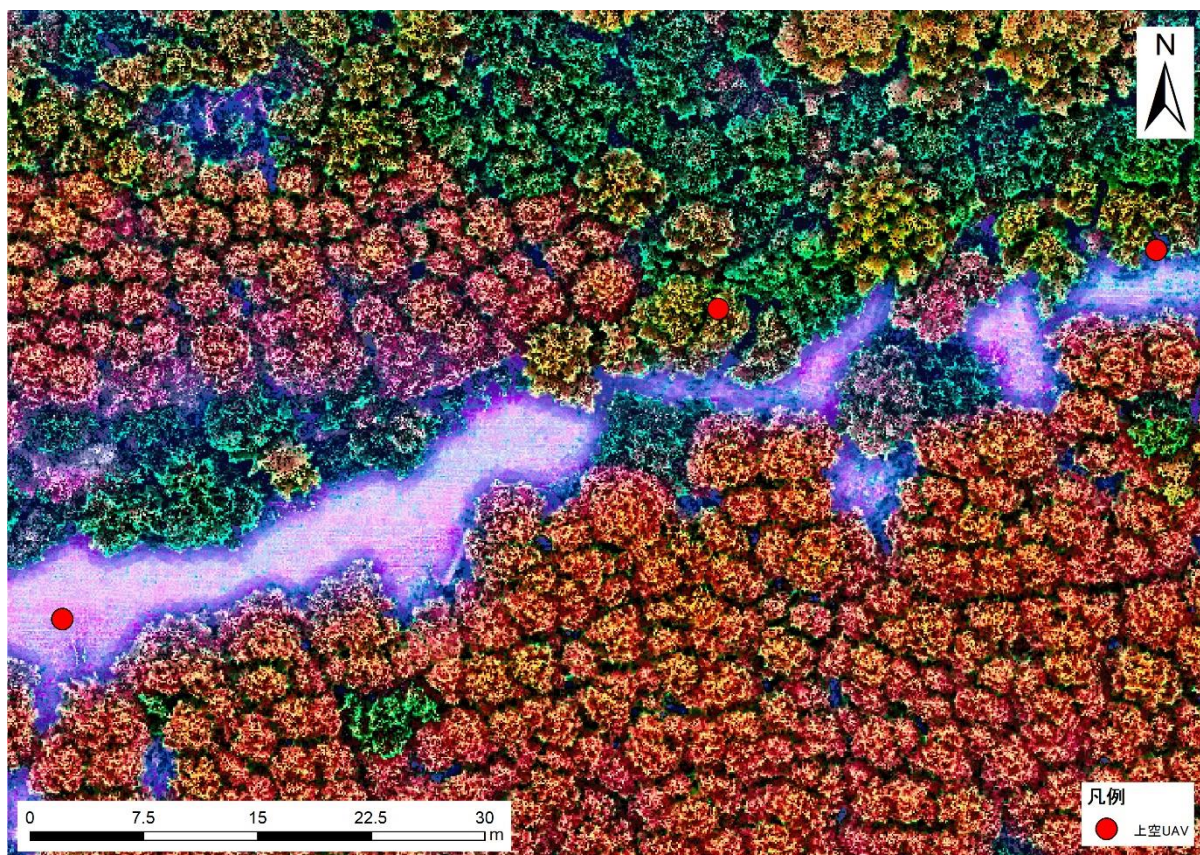


図 2-55 対空標識位置

点群の合わせこみをした結果を図 2-56 に示す。林内 UAV で樹幹や下層植生が高密度に計測できており、樹冠部についての点群は低密度であった。上空 UAV では樹冠部は高密度であったが、樹幹や下層植生についてのデータが十分に取得できていない。林道沿いの樹木については上林内 UAV と上空 UAV ではほとんど違いが見られず、樹木の形状をよく計測することができていた。

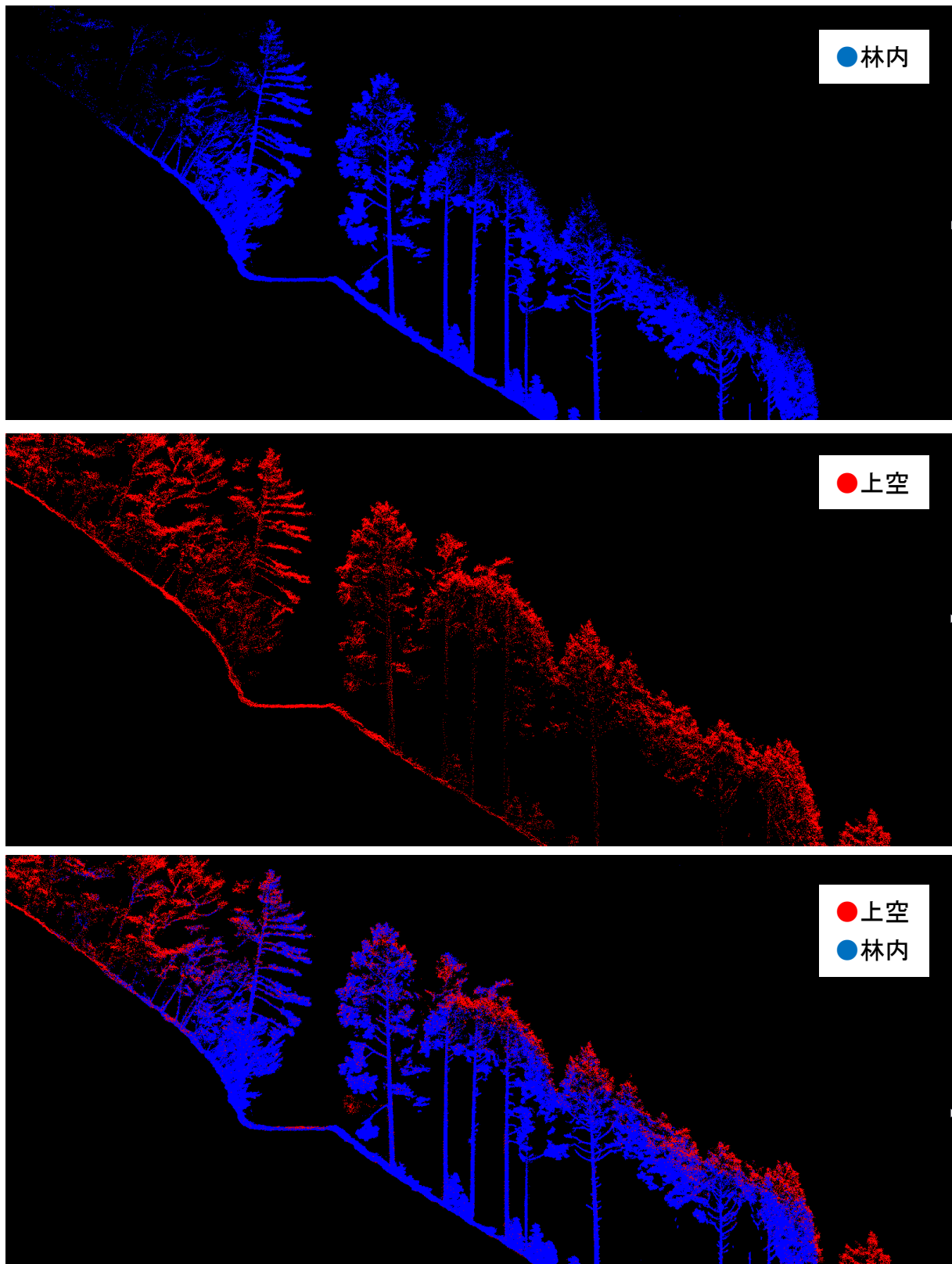


図 2-56 上空 UAV と林内 UAV の比較
(上：林内、中：上空、下：上空と林内)

(1) 上空 UAV と林内 UAV の比較

上空 UAV と林内 UAV それぞれの樹木について樹高と胸高直径の比較を行った。なお、上空 UAV と林内 UAV では樹木位置の座標が完全に一致しないため、樹木の配置関係より同一と考えられる樹木を目視により合わせた。樹高については林内 UAV が上空 UAV に比べて樹高が小さく計測される傾向があった。

表 2-10 上空 UAV と林内 UAV、現地調査の比較表

	林内 UAV	上空 UAV	現地調査
平均樹高	18.1m	20.3m	19.4m
平均 DBH	30.3m	27.3m	28.0m

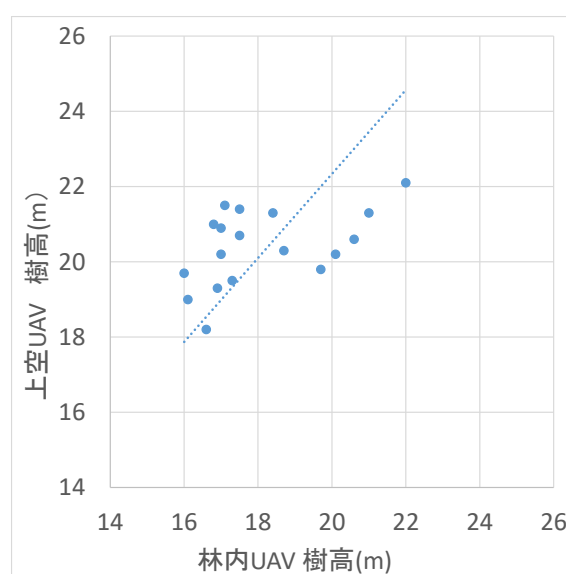


図 2-57 上空 UAV と林内 UAV の樹高の比較

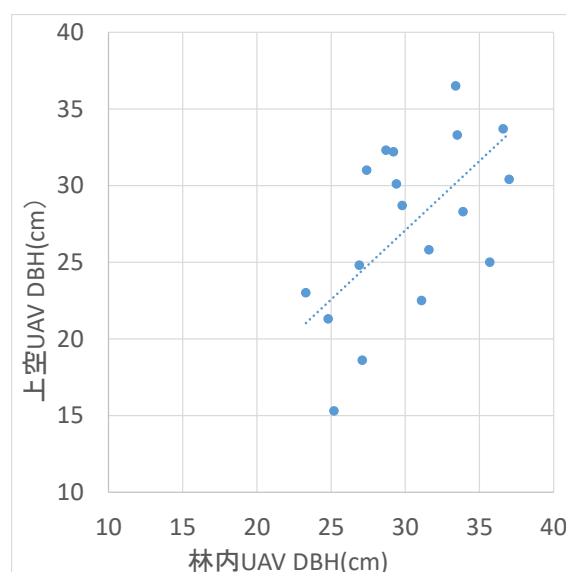


図 2-58 上空 UAV と林内 UAV の胸高直径の比較

2.5.2 各計測手法の比較整理

平成 30 年度に実施した「森林資源情報整備技術実証事業(国有林)報告書」では地上レーザ計測に関する工期調査が行われた。同様の項目について上空 UAV レーザ計測と林内 UAV レーザ計測の工期調査を行い、地上レーザ計測と比較した結果が表 2-11 である。

全ての計測手法に共通することとして、調査前の計画と現地踏査に概ね 2～4 時間程度必要としている。林内 UAV については樹木間隔を考慮して計画を立案するため、林分密度など現地状況に精通していることが重要となる。

計測時間については、地上レーザに比べて上空 UAV や林内 UAV は短い時間で実施できると想定していた。結果、上空 UAV で 0.2 時間/ha と地上レーザに比べて効率的に実施できることが明らかになった。林内 UAV については列状間伐後の空間を利用したが、計測データをより精密に取得できるように列状間隔の近い箇所を飛行したために面積当たりの時間が長くなった。今後は適切な計測密度やレーザ照射距離を踏まえて飛行ルートを設定することで計測時間を短くできると考えられる。なお、地上レーザ計測について下層植生が繁茂している場合はレーザ点群が取得できるように事前に下草刈りを実施する必要がある場合があるが、UAV についてはその必要がないため、計測を効率的に実施できるメリットがある。

点群合成について、林内 UAV は計測と同時にを行うため、最も効率が良い。現場でも都度データを確認できることから、計測漏れなどの確認ができるため、再計測を避けることができるというメリットがある。

立木情報の取得については一脚式の地上レーザが最も短時間（1 時間）であるが、その他の計測手法は同様に 4～5 時間を要する。

表 2-11 各計測手法の工期比較

手順	地上レーザ 背負子式※2	地上レーザ 一脚式※2	上空からの UAV レーザ計測	林内飛行の UAV レーザ計測
現地調査前の計画	0.5 時間	0.5 時間	2 時間	1 時間※3
現地踏査	2 時間	2 時間	2 時間	1 時間
計測（時間/ha）	4 時間	9～10 時間	0.2 時間	15 時間※4
点群合成（時間/ha）	19～33 時間	1 時間	7 時間	計測と同時
立木情報（時間/ha）	4～5 時間		4～5 時間	4～5 時間

※2 平成 30 年度森林資源情報整備技術実証事業（国有林）報告書より

※3 現地状況に精通している必要がある

※4 検討が必要

針葉樹を対象にしたときの各計測手法の森林資源情報の取得状況、運用条件などをまとめた結果が表 2-12 である。本数については上空からの UAV が上層木のみとなるが、その他の計測手法については被圧木、低木、枯れ木などの本数も計測することができる。樹幹形状の計測については地上レーザ計測と林内 UAV が計測でき、二変数材積式によらない材積の算出が可能となる。樹高、胸高直径、材積については各計測手法で大きな違いは生じなかった。ただし、林内 UAV についてはレーザ計測のスキャン角が小さかったことから、樹頂点付近の 3 次元点群情報が取得できず、やや低めに計測される傾向があったが、センサのスキャン角に応じて地上レーザ計測同様に樹高計測できると考えられる。

調査効率については表 2-11 を基にとりまとめた時間であるが、レーザ計測手法は地上調査の平均 30 時間/ha に比べて効率的に調査できることが分かる。

導入機器のコストについては地上調査が最も安くなっているが、計測手法の利用の頻度に応じた調査効率時間と運用面積を考慮して機器の導入を検討することで費用対効果を高めることができる。

表 2-12 各計測手法の比較・整理（針葉樹）

比較項目	地上調査	地上レーザ スキャナ	上空からの UAV レーザ計測	林内飛行の UAV レーザ計測
本数	◎	◎ソフト依存	○上層木のみ	◎
樹高	○	○	○	△
胸高直径	○	○	○	○
材積	○	○	○	○
樹幹計測	×	○	×	○
調査効率 (時間/ha)	30	12.5～44.5	15.2～16.2	21～22
解析ソフト	不要	有	無	有 地上レーザ用を利用
機器コスト	15 万 (バーテックス)	300 万～600 万	1,000 万 ～4,000 万	1,700 万
運用面積	～1ha	～1ha	30ha～	1ha～

現在使用できる最新 ICT を活用した森林資源情報の取得にあたっては、利用場面に応じて計測手法を選択していく必要がある。本業務では、針葉樹において上空 UAV と地上調査の差はそれほど見られなかったことから、例えば、森林計画などの資源量把握のための調査であれば、より効率的な情報取得が可能な上空 UAV を選択するといったことが考えられる。また、最適採材のための収穫を目的とした調査であれば、樹幹形状まで把握できるレーザ計測が良いが、さらにその林分状況（立木密度、下層植生、傾斜など）に応じて、地上レーザや林内 UAV を使い分けるといったことが考えられる。今後、このような利用目的に応じた最適な技術・計測手法を整理・実証していく必要がある。

最後に、本業務の検討を通して林内 UAV の運用について以下の将来展望と課題が明らかとなった。以下の項目に着目して今後の事業展開を検討することが望ましい。

- ① 機材やセンサの小型化やセンサのデータ取得角度の広角化により運用範囲が広がる可能性がある。
- ② 林内 UAV は急傾斜地の作業安全性に貢献する他、ササや下層植生が繁茂している箇所での作業の効率化など適用範囲を検討していくことが重要となる。
- ③ 樹幹の形状を計測できることから、従来手法（二変数材積式による立木幹材積）よりも正確に材積が算出できる可能性がある。また、立木材積から推定される素材生産量（歩留まりによる素材生産量の推定）ではなく、直接素材生産量を計測できる可能性がある。
- ④ カメラを用いた Visual SLAM（※5）の開発も進んでいることから、UAV 本体やセンサが低価格化する可能性があり、導入のハードルが下がることが考えられる。

※5 Visual SLAM・・・複数の視点より撮影された画像より、自己位置の推定と周辺の状況を把握する技術。新たに開発が進んでいる分野であることから山林領域での利活用については今後検討する必要がある。