



スマート林業の現場実装に向けた実証試験について ～アカマツ林の森林計測～

一 はじめに

青森県では、スマート林業技術の現場への定着を推進するため、令和5年度に「スマート林業現場実装推進事業」を立ち上げ、令和6年度からは事業名を「林業・木材産業デジタルシフト推進事業」として、指導的立場となるスマート林業コア技能者の育成と各種技術の現場レベルでの精度やコスト等について実証を行い、ドローンレーザや地上レーザ等による森林計測や高精度な衛星測位による境界測量等の普及・定着を目指す取組を進めています。

林業研究所は、この事業における各種技術の実証機関として参画し、多様な現場に応じた森林計測技術を構築する試験研究を実施しているところです。令和5年度は、スギと比べて樹冠が平坦でドローンによる本数把握が難しいアカマツを対象に、ドローン及び地上レーザによる森林計測と高精度な衛星測位による境界測量の実証試験を実施しました。

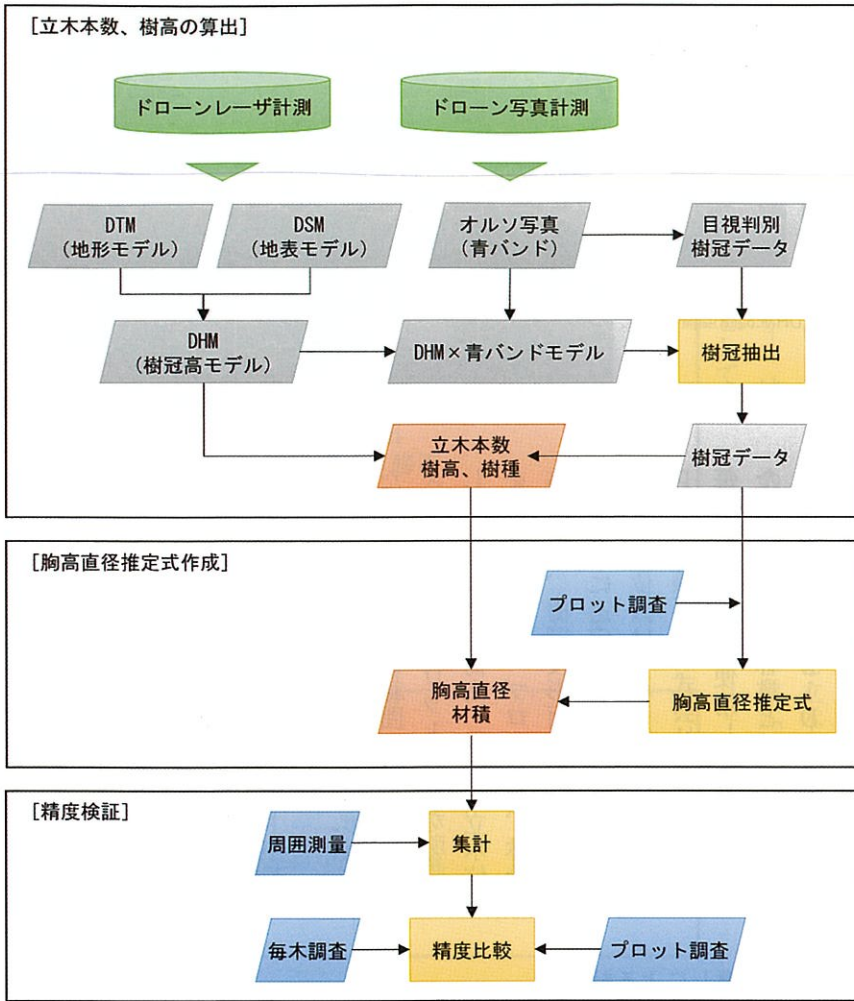
ドローンによる計測では、スギなど樹冠が尖っている樹種で一般的に行われている樹頂点を抽出する手法ではなく、樹冠を抽出する手法で立木本数の把握を試みました。また、地上レーザ計測では、近年リリースされたばかりの比較的安価なバックパック型の計測機器を使用し点群データから立木を検

【図1】森林計測の実証試験地



【国土地理院タイルに試験地場所を追記して掲載】

【図2】 ドローン計測の試験の流れ



【表1】 ドローンレーザの計測条件

項目	条件
計測面積	1.8ha
使用機体	Matrice600 (DJI)
使用機器	Terra Lidar (TerraDrone)
対地高度	80m
サイドラップ率	70%
計測委託先	株式会社興和 (八戸市)

【表2】 ドローン写真の撮影条件

項目	条件
計測面積	1.8ha
使用機体	Phantom4 RTK (DJI)
飛行回数	1回
飛行高度	80m
オーバーラップ率	90%
サイドラップ率	70%
撮影枚数	371枚
計測委託先	株式会社興和 (八戸市)

出しました。
本文では、この実証試験のうち、森林計測の精度検証結果について報告します。

二 試験方法等

(1) 試験地

南部町剣吉伊勢沢の三八地方森林組合が管理するアカマツ林1.8ha【図1】を試験地としました。試験地は人

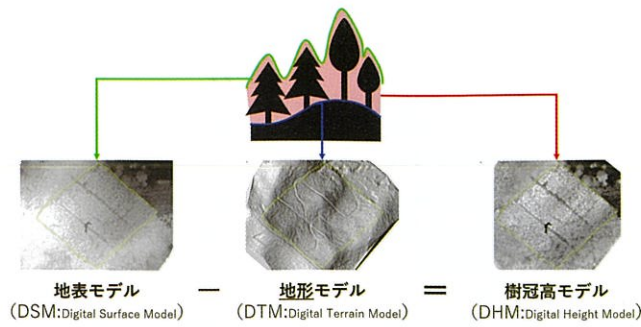
(2) 試験方法

ア ドローンによる森林計測の実証
試験は【図2】の流れで進めました。ドローンレーザ計測は令和5年11月に【表1】の計測条件で行いました。ドローンレーザ計測により得られた

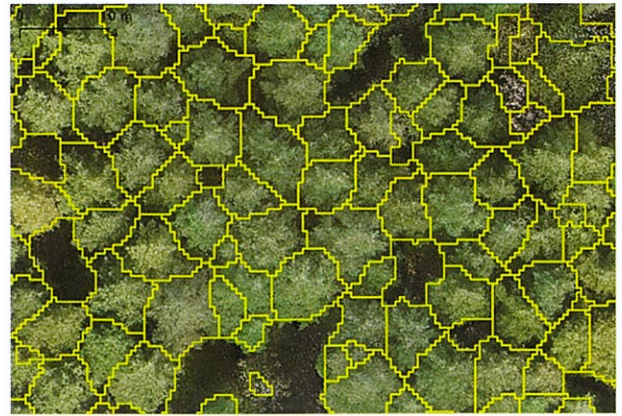
工単層林の71年生で、令和5年10月に除伐が行われ、林内は見通しが良い状態でした。
試験地の3次元点群データから解析用データとして、0.1mメッシュの地形モデル、地表モデルを作成し、樹冠高モデルは地表モデルから地形モデルの標高を差引いて作成しました【図3】。ドローン写真計測は同年11月に【表2】の撮影条件で行いました。空撮写真から3次元モデル、オルソモザイクの作成を行い、解析用データとして0.025mメッシュのオルソ写真

を作成しました。今回、アカマツ樹冠の検出精度を向上させるためにオルソ写真のRGBバンドのうち青(B)バンドを解析に用いました。
立木本数の算出方法は、ドローンレーザ計測の樹冠高モデルとドローン写真計測のオルソ写真のデータを用いた樹冠抽出により行いました【図4】。スギなどの尖った樹冠をしている樹種は、樹頂点を抽出して立木本数を算

【図3】 樹冠高モデルの概念図



【図4】 樹冠抽出結果 (背景: オルソ写真)



出するのが一般的ですが、アカマツの樹冠は平坦で樹頂点がはっきりとしたことから、樹冠抽出による解析を検討しました。抽出した樹冠内の樹冠高モデル最高値を樹高、樹冠の面積を樹冠投影面積として算出しました。樹冠判別はオルソ写真を用いた目視判別により行いました。

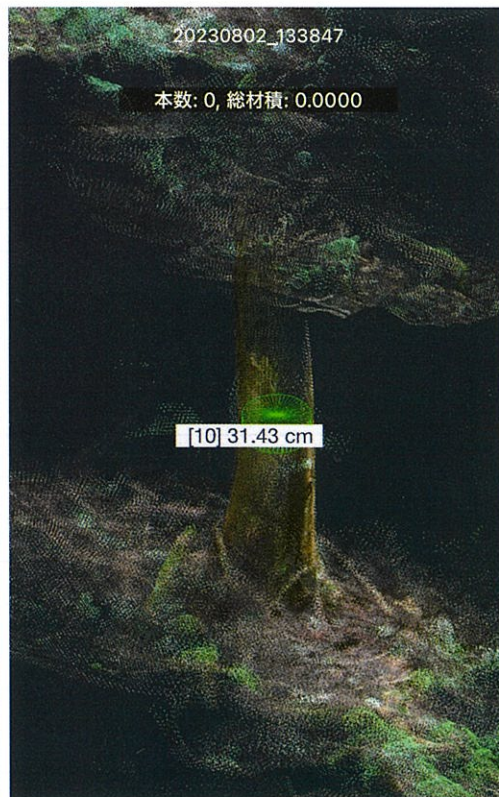
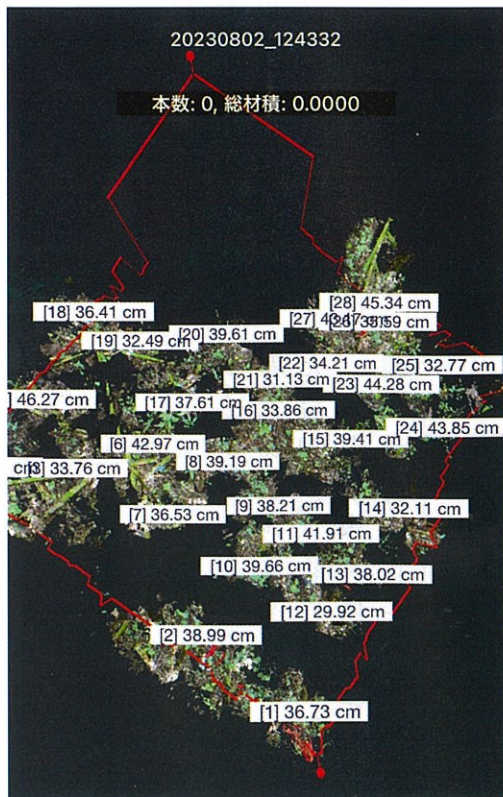
胸高直径推定式の作成と精度検証のために、計測対象範囲において20m×20m方形プロットを3か所設定し、胸高直径、樹高、樹種、立木位置を調査しました。プロットは、林分全体の樹高、樹冠投影面積の分布を代表するように選定しました。プロット設置と立木位置はiOSアプリの「mapry 林業」(株式会社マプリー)の毎木調査機能を使用して計測しました。mapry 林業とは、iPhoneとiPadのLiDAR(ライダー)が搭載された機種で使用可能な林業の計測に特化したアプリケーションで、レーザ計測により立木の幹の点群を取得し、胸高直径等を計測可能なほか、現実世界にデジタル情報を重ね合わせて表示させる技術のAR(拡張現実)でプロットを設定して現地での作業が行えます【図5】。

胸高直径の推定は、プロット調査の胸高直径、樹高、ドローンレーザ写真計測の樹冠投影面積を用いて、帰帰

【図5】 「mapry 林業」による計測例

ARのプロット(赤色線)と3D化された立木位置図(白背景で表記の数値は右図と同じ)

3D化された立木図(白背景で表記の数値はカッコ内が測定順の番号、右隣り数値は胸高直径を表す)



分析により行いました。帰帰分析の結果、最も近似値となった次の帰帰式で胸高直径を推定しました。

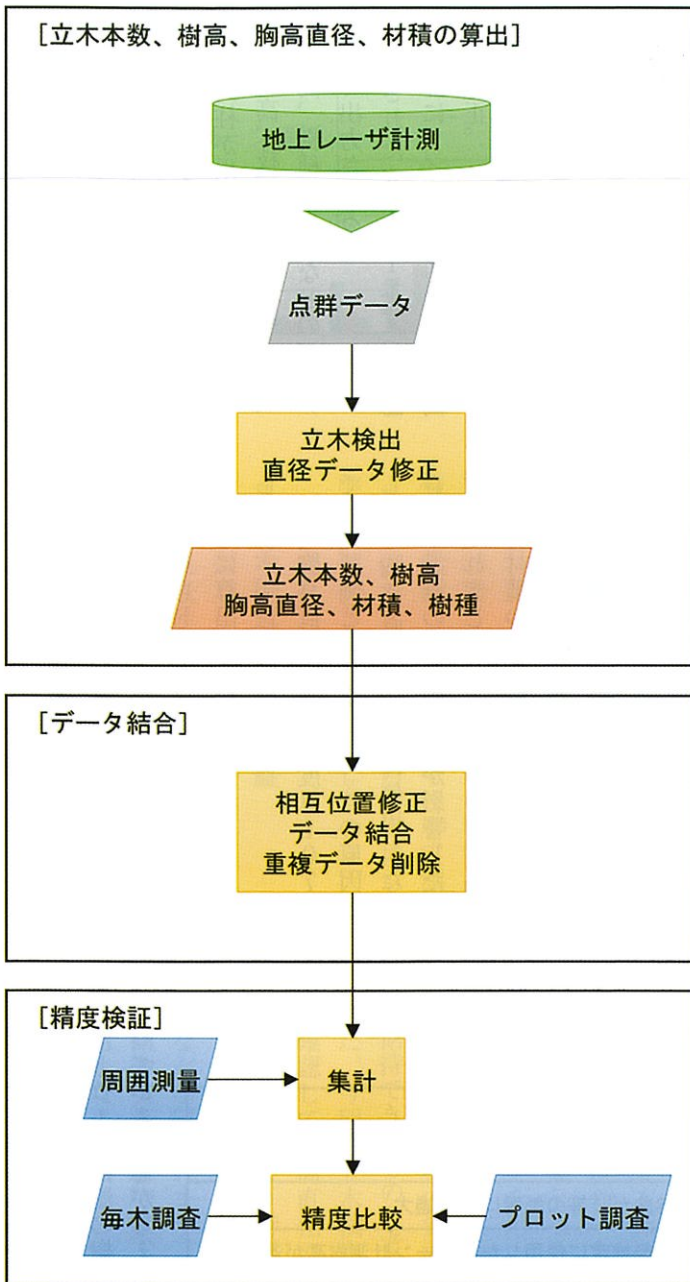
$$DBH = 1.805H^{0.857} + 1.9735A^{0.518}$$

ただし、DBH: 胸高直径 (cm)
H: 樹高 (m)

SA: 樹冠投影面積 (m²)
材積は、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」(細田ら2010)を用いて計算しました。

この方法で算出した各種データの精度検証のために、毎木調査とプロット

【図6】地上レーザの試験の流れ



【表3】地上レーザ計測の計測条件

項目	条件
計測面積	1.8ha
使用機体	Mapry LA03
計測方式	バックパック型
測定距離	40m
点群密度	8万点/秒
計測回数	6回
位置情報測位	RTK-GNSSユニットR1 (mapry)でのネットワークRTK法

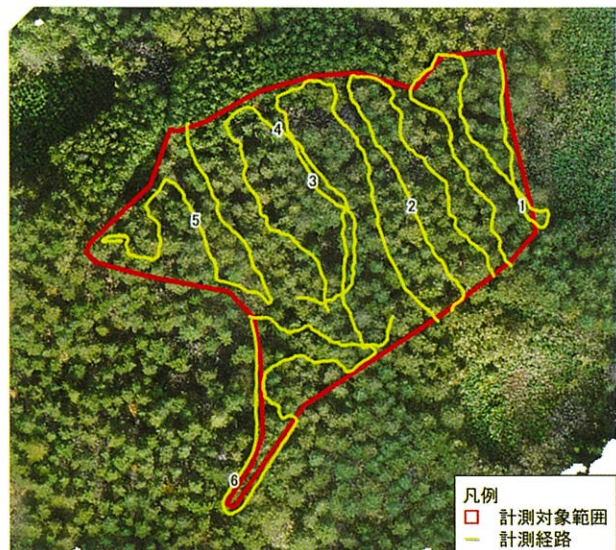
調査の結果を用い比較することとした。
 毎木調査は、三八地方森林組合が実施し、計測対象範囲の立木の胸高直径を2cm括約で計測しました。
イ 地上レーザによる森林計測の実証
 試験は【図6】の流れで進めました。地上レーザ計測は11~12月に【表3】の計測条件で行いました。計測経路は【図7】のとおりです。
 今回使用した計測機器「mapry LA03」（株式会社マプリー）は、森林計測用の地上レーザ機器としては

比較的安価で、2023年にリリースされたばかりのものです。計測経路の位置情報は、計測開始地点の座標をネットワークRTK法（現場で取得した衛星データと周辺の電子基準点等の観測データを組合せ、現場に基地局を設置せずにリアルタイムでcm級の測量を効率的に行う方式）により測位しました。解析用データとして計測機器から出力された3次元点群データを用いました。
 点群データから立木を検出するための点群解析ソフトは「mapry PC版」（株式会社マプリー）を用いました。

【図7】地上レーザ計測の計測経路

赤色線枠内は、面積1.8haの実証試験の区域。

黄色線は、地上レーザ計測の計測経路で、図中の数字は計測順を示す。



解析は次の手順で行いました。

- ① 計測1回ごとの点群データを読み込み、立木検出機能により立木を検出。(検出された立木は点群の胸高付近に円柱が出力され、XY座標、直径、樹高、枝下高、樹冠長、枝張、最大矢高、樹種、材積などのデータも自動で出力される。)

- ② 検出された立木を1本ずつ確認し、点群にフィットするように胸高直径を修正。

- ③ 立木以外の誤検出を削除。

- ④ 不検出となっている立木を追加。

- ⑤ GIS解析用データの出力、6回分の計測データを1つに結合。

この方法で算出した各種データの精度検証のために、プロット調査と毎木調査の結果を用い比較することとしました。

三 結果と考察

- (1) ドローンによる森林計測の実証
精度検証の結果を【表4】に示します。

ア プロット調査との精度検証

立木本数(アカマツのみ)の平均精度は97%で、実測と異なっていたのは下層木1本の不検出のみでした。今回の林分は下層木が少なく精度が高

かったと考えられました。

平均樹高の平均精度は104%で過大評価となりました。この原因として、幹曲がりや傾斜の影響により、実際の樹高よりもドローンによる計測の樹高が高めに算出されたことが考えられました。

平均胸高直径の平均精度は107%で過大評価となりました。この原因として、胸高直径の推定に使用したドローン計測の樹高の誤差が影響したと考えられました。

平均材積の平均精度は116%で過大評価となりました。材積算出に用いた樹高と胸高直径がいずれも実測値より過大評価だったことから材積も過大評価となりました。

イ 毎木調査との精度検証

毎木調査とドローン計測の立木本数と胸高直径を比較した結果、立木本数の精度は113%で、プロット調査での比較と異なり過大評価となりました。突出した枝などが樹冠として抽出されたことが影響したものと考えられました。

胸高直径の平均精度は111%で、プロット調査と同様に過大評価となりました。

径級階分布は毎木調査と異なる分布となり、実測よりも大径側にピークが

ある形になりました【図8】。過大評価の原因としては、胸高直径の推定に使用したドローン計測の樹高が過大評価となっていることが考えられました。

【表4】ドローン解析の精度検証結果

比較対照	項目	精度	考察
プロット調査 (直径割巻尺)	立木本数	高い精度 97%	下層木が少ない部分は高い精度
	樹高	過大評価 104%	幹曲がり等の影響により過大
	胸高直径	過大評価 107%	直径推定に使用したドローン計測樹高が過大
	材積	過大評価 116%	樹高と直径の影響
毎木調査 (2cm括約輪尺)	立木本数	過大評価 113%	突出した枝等で過剰に樹冠分割された影響
	胸高直径	過大評価 111%	直径推定に使用したドローン計測樹高が過大

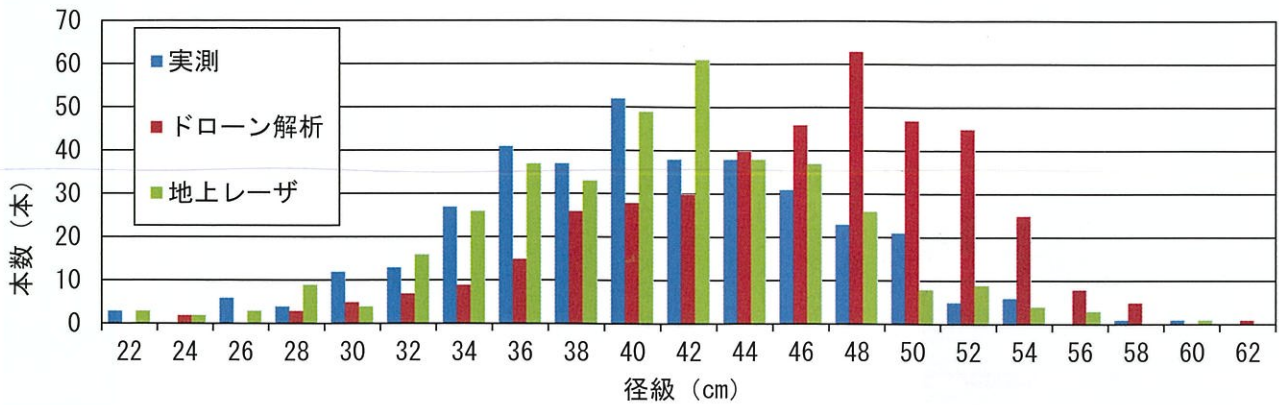
【表5】地上レーザ解析の精度検証結果

比較対照	項目	精度	考察
プロット調査 (直径割巻尺)	立木本数	高い精度 100%	樹種判別が困難なもので誤判別あり
	樹高	過小評価 90%	梢端までレーザが届かず過小
	胸高直径	過小評価 86%	直径データの手動修正の影響
	材積	過小評価 66%	直径と樹高の影響
毎木調査 (2cm括約輪尺)	立木本数	高い精度 103%	樹種判別が困難なものが少なかった
	胸高直径	高い精度 99%	プロット調査と毎木調査の計測方法が異なる

- (2) 地上レーザによる森林計測の実証
精度検証の結果を【表5】に示します。

ア プロット調査との精度検証

【図8】 径級階分布の比較



立木本数の平均精度は100%で、実測と異なっていたのは下層木1本をアカマツ以外の樹種と誤判別、広葉樹1本をアカマツと誤判別した2件のみでした。今回使用した地上レーザ機器は点群に色がつかないことから、点群の形状のみで樹種を判別しましたが、点群の形状のみでの樹種判別は困難と考えられました。

平均樹高の平均精度は90%で過小評価となりました。この原因として、今回使用した機器のレーザ飛距離が40mであり、樹木の梢端を補足できる確率が低いことが考えられました。

平均胸高直径の平均精度は86%で過小評価となりました。この原因として、自動的に算出された直径データの手动修正の影響が考えられました。

平均材積の平均精度は66%でかなり過小評価となりました。材積算出に用いた樹高と胸高直径いずれも実測値よりも過小だったことから、材積も過小となったと考えられました。

イ 毎木調査との精度検証

毎木調査と地上レーザ計測の立木本数と胸高直径を比較した結果、立木本数の精度は103%で、プロット調査との比較と同様に高い精度でした。

胸高直径の平均精度は99%で、プロット調査と異なり高い精度でした。

径級階分布も毎木調査とほぼ同じ形状となりました【図8】。

今回、プロット調査と毎木調査では胸高直径の計測方法が異なったことも精度評価に影響したと考えられ、今後は詳細な検討が必要です。

四 おわりに

ドローンによる計測では、各種データが過大評価される結果となりましたが、樹冠抽出方法の改良や、プロット調査データを用いたドローン計測樹高の補正等により、アカマツ林の資源解析の精度向上が期待できるものと考えられました。

地上レーザによる森林計測では、立木本数は高い精度の一方、全体的に過小評価される結果となりましたが、プロット調査データを用いた胸高直径や樹高の補正、直径修正手順の整理等により、アカマツ林の資源解析の精度向上が期待できるものと考えられました。

また、今回は立木検出データを1本1本確認して胸高直径の修正を行ったため、作業にかなり時間を要したことから、今後は修正方法や解析ソフトの改善などが望まれます。

今回の実証試験では、精度検証結果に記述したように、2つの計測方法ともに課題が明らかになりました。

しかし、2つの計測方法は互いの弱

点を補えるものでもあります。両方の計測ができれば理想的ですが、地上レーザで全木を調査するためには林内をくまなく歩く必要があるほか、下草や灌木が多い場合には立木のデータがうまく取得できないため、現実的には難しい林分が多いと考えられます。

林分の一部は地上レーザでデータを取得して、ドローンの計測を補強するなど、現実的に実用可能な方法について今後も取組を継続していきたいと考えています。

五 謝辞

三八地方森林組合の皆様には、この実証試験に不可欠な実証試験地の除伐や周囲の杭打ち、毎木調査を実施していただきました。この誌上をもちまして多大なるご支援に感謝の意を申し上げます。

地方独立行政法人青森県産業技術センター 林業研究所

主任研究員 土屋 慧

引用文献

・細田和男・光田 靖・家原敏郎「現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法」森林計画学会誌44巻2号・23〜39ページ、2010年12月発行