

LiDAR-SLAM技術を用いた 効率的かつ効果的な毎木調査手法の提案

宮地 将生・山本 敦也・塔筋 太郎・宇野女 草太(中日本航空株式会社)

1. はじめに

森林には木材生産をはじめとし災害防止、炭素固定など様々な機能があり、これらの多面的な機能を最大限発揮させるためには森林の適切な管理や利用が必要となる。また、近年では50年生を超える人工林が60%を占め¹⁾、人工林の多くが伐期齢を迎えている一方で、林業従事者は昭和60年から3分の1ほどにまで減少²⁾し、人手不足となっている。

このような林業を取り巻く状況の中、適切な施業計画を立案するためには、森林資源量を正確に把握する毎木調査を実施する必要があるが、従来手法では人が1本1本計測する必要があり多大な労力と時間を要している。

上記課題に対し、近年ではLiDAR技術を活用した効率的な森林調査手法を検討する取組が報告されている³⁾。弊社においても、これまでUAV-LiDAR、地上据置型LiDAR、地上移動型LiDAR-SLAM等を用いた森林計測手法の効率化を目的とした検証に取り組んできた⁴⁾⁵⁾。その中で、各計測手法には以下のメリット/デメリットが確認されている。

UAV-LiDARは上空から計測するため計測範囲が広く、樹冠表層を正確に計測できるが、林内の詳細な計測は困難である。また、地上据置型LiDARは相対精度の高い三次元点群データ(以下、点群)を取得できるが、計測に時間がかかることや、森林内は死角が多いため欠測が発生しやすいという課題がある。一方、地上移動型LiDAR-SLAM(以下、地上SLAM)は、相対精度が高い点群を取得しつつ、林内を移動しながら計測することで欠測を防ぐことがで

きる。

これらの特徴を踏まえ本稿では、地上SLAMを用いた森林調査による計測結果や調査手法としての有効性等について報告する。

2. 調査方法

調査には、CHCNAV社製の地上SLAMであるRS10を使用した。本装置の性能諸元を表1に記す。重量は約2kgと軽量であり、図1のように歩行しながら計測を行う。カタログスペック⁶⁾上の計測距離は120mで、レーザの発射数は32万発/秒となっている。また、GNSS受信機が内蔵されているため、データに絶対座標を直接付与することができる。操作はタブレット端末で行い、計測中の点群やカメラ画像をリアルタイムで確認できるため、計測漏れやSLAM計測の累積誤差、深刻なマッチングエラー等をその場で把握し対応することが可能である。

調査対象地は、中部地方のスギ・ヒノキの人



図1 RS10を用いた計測の様子

表1 RS10の性能諸元

項目	内容
重量	1.9kg
連続稼働時間	1時間
レーザ計測距離	0.05~120m
レーザ発射回数	32万発/秒
絶対精度	< 5cm RMS
相対精度	< 1cm
測位手法	単独測位/RTK
対応GNSS衛星	GPS/GLONASS/Galileo BeiDou/QZSS 等

工林であり、半径11.3mの円形プロットを各樹種3地点ずつ選定し計6地点で調査を行った。いずれのプロットも間伐が実施されていたが、立木密度は異なる地点を選定した。また精度比較のため、同時期に従来手法による毎木調査と航空機LiDAR計測を実施した。

従来手法では、円形プロットによる調査範囲を決定後、識別するために全対象木にナンバーカードを取り付け、1本ずつ樹種同定、胸高直径および樹高の計測を行った。なお、胸高直径の計測には輪尺を、樹高の計測には携帯型のレーザ距離計であるTrue Pulseを使用した。従来手法の内業として、計測結果の入力や整理を行った。

一方、地上SLAMを用いた手法では、現地作業はプロットの設置とLiDAR計測を行い、机上で樹木識別するためナンバーカードの取り付けは不要とした。計測はプロット内を過不足なく歩行することで、枝葉や樹冠の形状を正確に捉えられるようにした。また、SLAM計測による累積誤差を軽減するため、1プロットあたりの計測時間は10分以内とした。その後、取得した点群にノイズ除去や座標の補正といった基本処理を行い、机上で胸高直径や樹高を計測した。なお、胸高直径は地盤高1.2mの幹断面を円近似し、樹高は各立木の最大標高値を樹頂点とし、地盤高との差分から推定した。

3. 計測結果および精度等の比較

取得したデータは、図2に示すとおり色付き点群として表示でき、地面の伐採木や下層植生から、上層の枝の形状まで詳細に再現できていることが確認された。

樹冠形状については、航空機LiDARの点群と地上SLAMの点群からそれぞれDSMを作成した後、差分データを作成することで比較した(図3参照)。DSM差分値による平均較差は8cm、標準偏差は70cm程度となり、地上SLAMの点群は航空機LiDARの点群と比較しても樹冠表層まで取得できていることが確認された。プロット内を歩行して計測したことで、地上から様々な角度でレーザが照射され、樹冠表層の形状も高い精度で取得できたと考えられる。胸高直径については地上SLAMから推定した値と、プロット調査による実測値を比較した(図4



図2 取得した点群

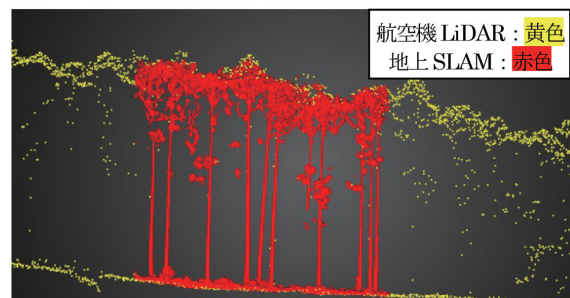


図3 地上SLAMと航空機LiDARの比較

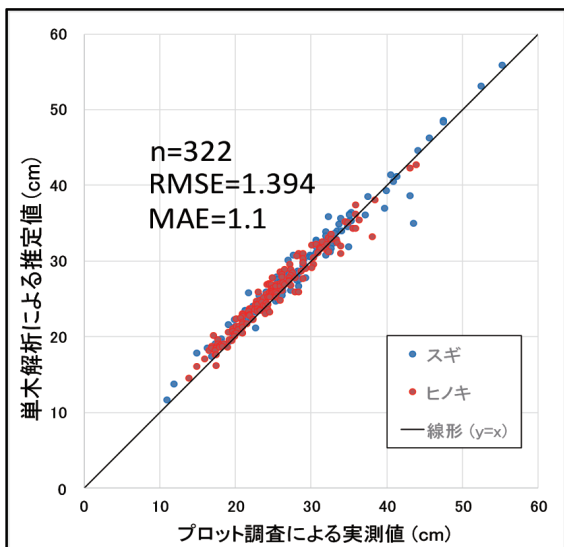


図4 胸高直径の比較 (SLAM算出値と実測値)

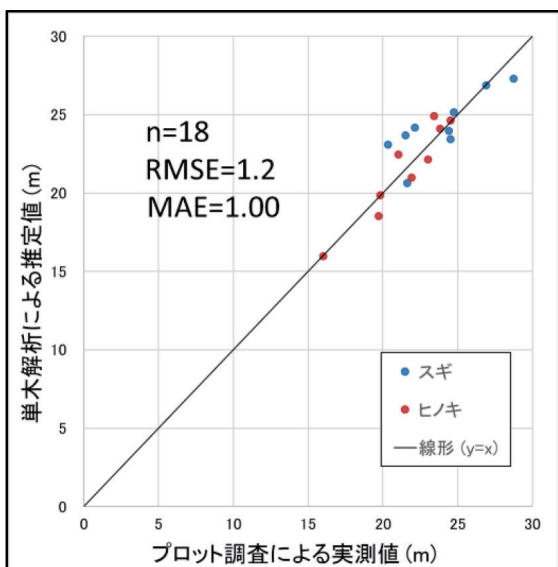


図5 樹高の比較 (SLAM算出値と実測値)

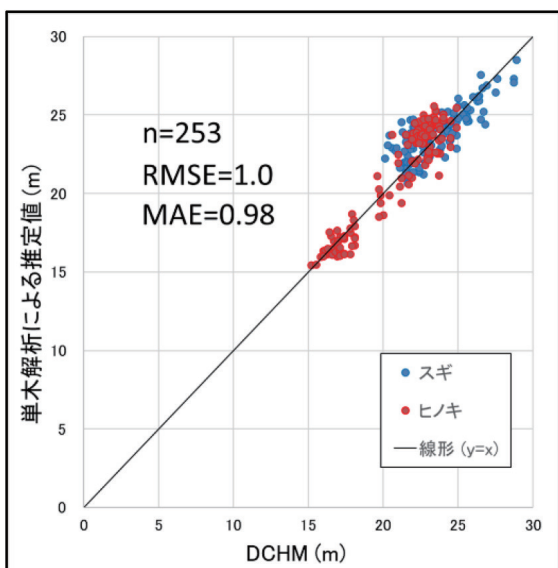


図6 樹高の比較 (SLAM算出値とDCHM)

参照)。胸高直径の大小によらず一定の精度で計測できており、樹種や立木密度による精度の影響もみられなかった。全体の平均絶対誤差は1.1cmであったが、林業において胸高直径は2cm括約で集計されるため、十分な精度と考えられる。

樹高の精度は、実測値および航空機LiDARから作成したDCHM (数値樹冠高モデル) と比較することで検証した (図5、図6参照)。どちらと比較しても、樹高によらず安定した精度が確認できたが、立木密度が高いプロットにおいては誤差がやや大きくなる傾向が確認された。この要因は、地上SLAMでは、枝葉の量が多い林分で、レーザ照射が樹冠表層へ届きにくくなったためと考えられる。なお、全体の平均誤差は1m程度であった。

最後に、従来手法と地上SLAMを用いた方法の作業時間と作業人員を比較した (表2参照)。

従来手法は、計測員2人、記録員1人の計3人体制で実施したが、地上SLAM手法はスキャナを持つ計測員1人とタブレットの操作員1人の計2人体制で実施でき、人員を1人削減できた。また、現地作業時間は、従来手法がプロット設置から撤収まで1時間55分要していたのに対し、地上SLAM手法は計測準備から撤収まで35分で完了するため、1時間20分短縮できた。内業時間については、SLAM手法は点群の出力や解析といった工程が増加するため、従来手法より作業時間が約30分増加したが、総作業時間としては1プロットあたり約50分短縮できた。

表2 作業時間および人員の比較

比較項目	①従来手法	②SLAM提案手法	増減 (②-①)
作業員	3人	2人	-1人
外業時間	1時間55分	35分	-1時間20分
内業時間	30分	1時間	+30分
総作業時間	2時間25分	1時間35分	-50分

作業負荷の大きい現地作業において、人員を1人削減しつつ、時間を短縮できたことを考慮すると大幅な効率化が実現できたと言える。

4. 今後の展望

本調査では、地上移動型LiDAR-SLAMを用いた毎木調査手法の有効性を検証した。本手法により推定した胸高直径および樹高は、従来手法と比較しても安定した精度が得られることが確認できた。

また、作業時間と作業人員についても、従来手法と比較して大幅に効率化することが確認できた。

森林の状況を詳細な点群として取得することで、計測データを机上で確認することが可能となるため、現地調査後に確認が必要となった立木の曲がりや下層植生の繁茂状況等を再度現地に行くことなく確認することが可能となる。また、異なる点群との統合利用や、多時期計測による成長量の解析、取得した幹の形状データを用いた採材シミュレーションなど、利活用の広がりも期待できる。

今後の課題としては、スキャナ搭載のカメラ画像を用いた机上での樹種同定手法の検討や、下層植生が多い林分のような、より厳しい条件下での計測手法の確立が挙げられる。

■参考文献

- 1) 林野庁：令和6年度 森林・林業白書 (p48)
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r6hakusyo/zenbun.html>
- 2) 林野庁：林業労働力の動向 2020年
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/doukou/index.html>
- 3) 関才門・坪内孝司・皿田滋・原祥堯：平地林での3次元地図生成による立木位置と胸高直径の連続移動計測. 日本機械学会論文誌 Vol.84, No.859. 2018

- 4) 山本敦也・宮城豊彦・馬場繁幸・古川恵太・宇野女草太：LiDAR-SLAMによるマングローブ林の実態把握の可能性. Mangrove Science Vol.14, 3-8. 2023
- 5) 和田のどか・山本敦也・中川諒穂・神谷光顕・大槻峻介・山本一清：複数のLiDAR機材における森林資源量解析情報の比較. 第14回中部森林学会大会プログラム・講演要旨集 35. 2024
- 6) CHCNAV RS10 INNOVATIVE SURVEYINGSLAM SOLUTION
<https://geospatial.chcnav.com/ja/products/chcnav-RS10>

■執筆者

宮地 将生 (みやち まさき)

中日本航空株式会社

調査測量事業本部

masaki.miyachi@nnk.co.jp



(共著者)

山本 敦也 (やまもと あつや)

塔筋 太郎 (とうすじ たろう)

宇野女 草太 (うのめ そうた)

中日本航空株式会社 調査測量事業本部