BLS式センシング技術･ICT樹木解析技術を活用した森林資源調査のオートメーション実証

倉田恭平[1]・升方祐輔[1]・蟹瀬明弘[1]・水林裕[1]・藤井淳[1]

[1]（株）新日本コンサルタント富山本社（〒930-0857 富山県富山市奥田新町1番23号）

富山県は森林資源の循環利用と林業・木材産業の成長産業化の実現を目指し「スマート林業の導入」「新たな森林管理システムの推進」により，森林経営を集約化し，県産材の安定供給体制の整備と木材の需要拡大への取り組みを行っているが，最適な時期に主伐売払いが追い付いてないのが現状である．本実証では，造営林の主伐売払いを推進する際に必要となる「立木調査」「丸太材評価」等の森林資源調査を効率的に行うため，リモートセンシング技術「バックパック型レーザスキャナ(以下：BLS式)」による計測とICT技術「森林管理システム」を活用し，樹木解析のオートメーション化による調査手法を実証し，その有意性を検証した．

Key Words ： *森林資源調査，BLS式，森林管理システム，丸太材の評価*

１．背景と目的

戦後の燃料革命による薪炭需要の激減と安価な外材輸入等により，日本の林業における生産規模が縮小し，造林面積，素材生産量は大きく減少した．その為，近年の杉の木材価格は1980年ピーク時の約1/3程度まで下落しており，森林経営の収益性の面で，林業の生産性と経営力の向上が課題となっている．また，林業労働力の面でも林業採算性が悪化する事で，森林所有者の整備意欲は減少し，林業生産活動が停滞している．そこで，生産性向上における重要項目として主伐売払いの推進化に繋がる森林資源調査に係る調査手法の効率化に着目した．

森林資源調査において，従来の人力による手法では，林業従事者が単木ごとに計測する為，広範囲な調査には多大な労力/作業時間，急傾斜地等の危険作業が伴う課題があった．また，適正な森林資源量を把握するためには，樹木形状・正確な位置確認，林業従事者により丸太材の評価が異なる等の定量的評価に課題があった．そこで，本稿では広範囲における森林資源情報を安全に精度よく効率的に計測する為，リモートセンシング技術および森林管理システムを利活用する事で，これら課題解決に繋がる技術的な可能性について検証を行った。

２．実証内容

実証フィールドは、富山県が管理する造営林（約10ha）を対象に実施した．従来の人力による手法の課題解決として，リモートセンシング技術「レーザスキャナ」を使用し，三次元計測による森林一帯の点群取得を行った．また，適切な森林資源量を定量的に把握する為，樹木の自動解析のオートメーション化技術「森林管理システム」を使用し，樹木データの取得/解析について実証した．樹木の形状データ取得には，TLS・BLS・航空レーザ・UAV(レーザ/写真)等の様々なセンシング技術があるが，山林特有の地形条件を鑑み，林内歩行型である「BLS式」を本実証機器として選定した．

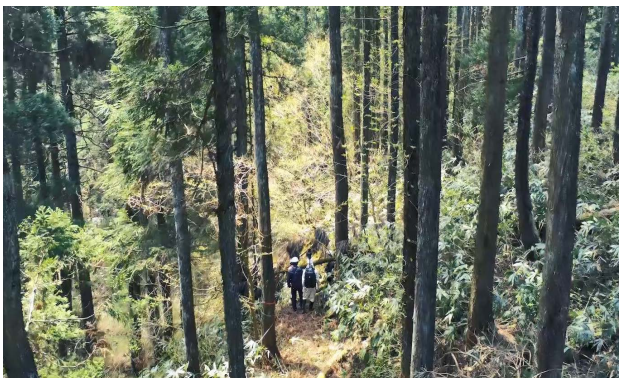

図-1 実証フィールドの写真

３． BLS式による立木調査

(1) BLS式(LiDAR/SLAM処理)の概要

BLS式の一般的な基本構造を図-2に示す．慣性計測装置(IMU：Inertial Measurement Unit)によりレーザスキャナ本体の並進運動を加速度センサ[m/s2]，回転運動を角速度(ジャイロ)センサ[deg/sec]により検知し，自動で姿勢制御する．採用したベロダインHDL-32Eは，LiDAR/SLAM処理によりローカライゼーションとマッピングを同時に実行しつつ，タブレット上で3D点群合成をリアルタイムに確認できる点が特徴である(図-3)．

GPS/GNSSを使用しない為，事前のキャリブレーション作業もなく，セットアップ後すぐに計測が可能な機器である．

図-2 BLS式の基本構造

図-3 リアルタイム3Dデータ

表-1 使用機器・精度一覧

項目	概要
機器名称	ベロダインHDL-32E
測定範囲	最大100m － 最小1m
相対精度	～5cm
スキャニング率	70万点/秒
視野角	水平360° 垂直+10.67°，-30.67°

(2) BLS式による森林計測

実証フィールドは，針広混交分布域の造営林(調査面積約10ha)である．主伐売払いの推進化が要点であるため，対象木を丸太材として適正のある杉(針葉樹)とした．BLS式調査における作業フロー(図-4)に従い，各項目の森林計測を行った．

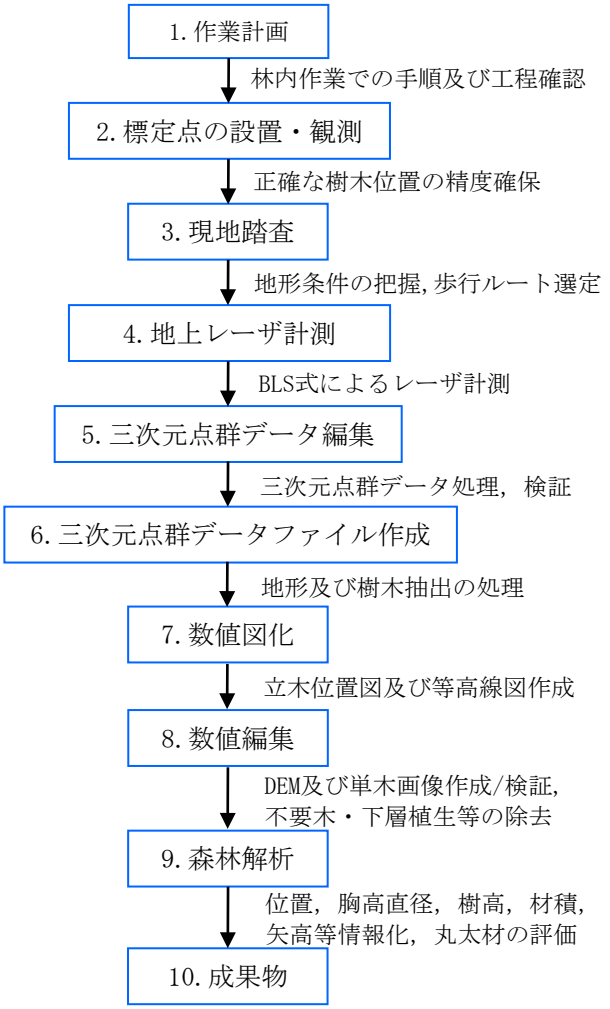

図-4 BLS式調査による作業フロー

実証フィールドにおいて，実計測前の現地踏査を実施した．対象地域の森林状況，植生等の分布状況，傾斜，尾根，谷地形や集水地形等の地形条件を把握する事で，実測時の三次元点群データの欠乏を防ぐ適切な歩行ルートの選定が必要である．BLS式の機器操作の留意点として，急激な垂直方向移動を行うと，制御装置が停止する場合がある為，等高線に沿った水平ルートを選定することが重要である．また，計測機器の選定では，航空機やUAVによるレーザ測量では，上空観測の為，曲がりなどの樹木形状を把握できない．一方，BLS式であれば森林内部でレーザを照射する為，樹木の形状及び位置関係を三次元点群データとして取得可能だという利点がある．

但し，BLS式のSLAM処理で取得する点群データは，任意座標であり，精度向上と測地系に沿った座標を付与する為に，GNSS測量及びTLS測量を併用し，測地系データとして計測した．TLS測量により取得した三次元点群データを基準にSLAM処理の点群データをマッチングさせる事で，樹木一本毎に，位置情報(X・Y)の属性付与を行った．

取得した樹木の三次元点群データ(図-5)より，森林資源のモデリングが可能となる．

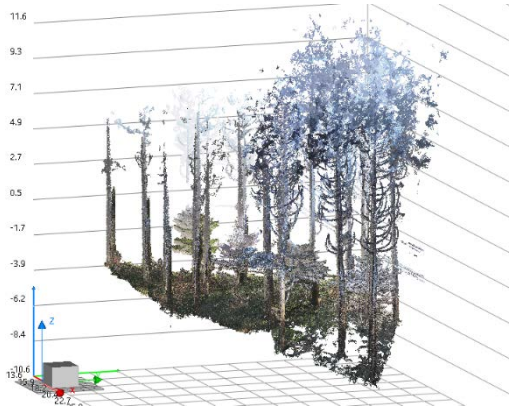

図-5　樹木の三次元点群データ

4．森林解析システムを活用した樹木解析

森林地形から樹木形状のみをスクリーニングした三次元点群データを抽出/解析し，単木毎のナンバリングを行い，単木毎に胸高直径，樹高，位置情報（X・Y）等の基礎データが算出される．基礎データを基に，単木毎に可視化し，森林管理システムを使用し「丸太材の評価」を実施した．樹木解析方法の手順として，(1)地表面の作成，(2)樹木の一時抽出，(3)樹木の可視化・解析，(4)丸太材の評価の工程を示す．

また，BLS式で取得した点群データから得られた単木評価(樹高・胸高直径・採材評価)の精度検証のため，林内に標準地(8×10m)を設け，標準地内に存する杉の樹木情報(毎木調査式の計測値)と比較し，(5)毎木調査式との精度検証を行った．

(1)　地表面の作成

樹木伐採高を決める地際を設定する必要がある為，取得した三次元点群データから，雑草類や樹木等の点群データ取り除く作業(フィルタリング)を行い，DEMデータを作成する．

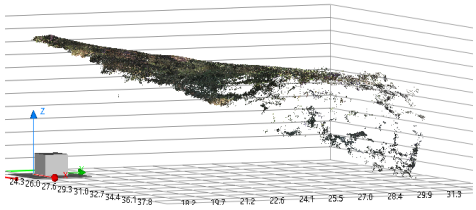

図-6　グラウンドデータ(DEM)作成

(2)　樹木の一時抽出

樹木抽出のシステム内における条件として，1)円弧である事，2)円弧がZ方向である事，3)2×2m画範囲内である事が樹木抽出の基本条件となる．

三次元点群データより，上下の切断面に存在する類似した円を互いに連結し，円柱領域に点群形成された部分より樹木認識を行った．また，断面内部のノイズ確認を行い，樹木認識した点群領域の中心線より樹幹形状の計数について算出する事で，樹木の一時抽出を可能とした．

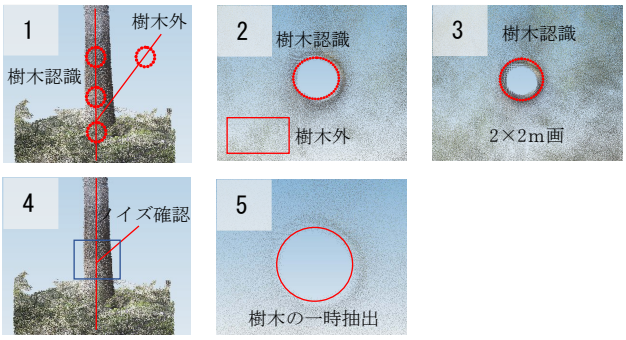

図-7　樹木の一時抽出

(3)　樹木の可視化・解析

樹木抽出したデータを，地際よりZ方向に10cm間隔で輪切りにし，円弧の任意点(起点)を設定し，隣点と直線で結び，垂直二等分線を求める．同作業を繰り返し，交点が最も多い点を幹の中心(重心)とする．個々の中心より算定される円弧の最小二乗誤差を求め標準偏差の中央値の半径を幹半径として設置した．これにより樹木直径が求められる．

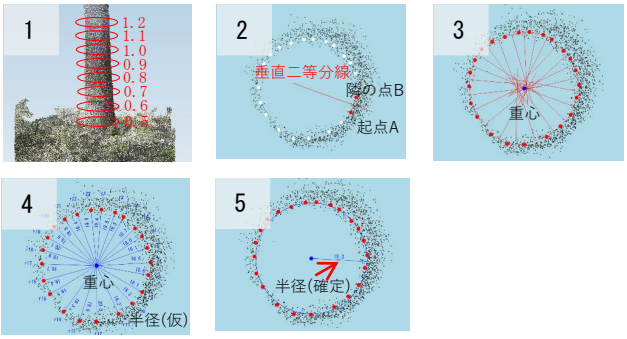

図-8　樹木の可視化・解析

(4)　丸太材の評価

森林管理システムを用いて，解析データを基に丸太材評価における基準設定を行う．丸太(4m/本)の材積評価基準として，材長，末口直径，矢高(曲がり)による品質等級にて相対的な評価を行った．丸太を玉別(1番玉～5番玉)に等級(A材≒直材，B材≒小曲，C材≒大曲)分類し，富山県における等級別材積単価(円/m^3)を適用して，丸太毎の採材価格を算出した．採材価格の算出により，対象森林における適正な森林資源の把握が可能となる．丸太材評価における玉別の等級評価，丸太材における評価基準及び解析の一例を示す．

種類	区分、用途
1番玉	立木を伐採して玉切った時に、最も根元に近い部分を1番玉という。または、元玉という。
2番玉	3番玉下、3メートル内外を2番玉という。
3番玉	末下、2メートル内外を3番玉という。
4番玉	3番玉上のものをいう。
5番玉	4番玉上のものをいう。

図-9 丸太材の区分・用途

評価	区分、用途
A材	真っすぐで曲がりのないもの。木材で最も高い値がつき、建築物に使われる。
B材	品質に多少の問題(根曲がり、節、瘤)があるもの、合板や製紙原料に使われる。
C材	虫食いや大きな曲がりなどがあり、そのまま利用できないもの。チップ化し、製紙原料や燃料に使われる。
D材	C材以下のもの。枝材や間伐材などが含まれる。多くが林地に打ち捨てられる。

図-10 丸太材の等級別評価

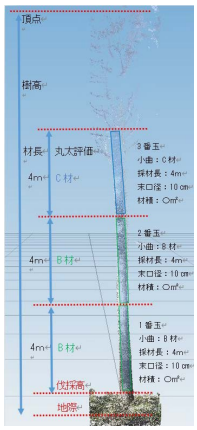

図-11 玉別の評価

しかし，単木毎に根元形状は異なり、一定の伐採高では正確な材積量の特定が行えない課題も発生した．その為，図-12 に示す「多段的解析」を行う事で，抽出結果ごとに根元曲がりの評価に応じた丸太材の本数を抽出し，根元形状に対応した伐採高の設定及び材積量の特定と検証が必要である．

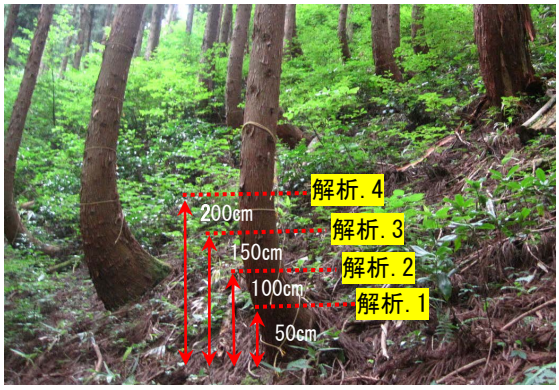

図-12 根本形状における多段的評価

(5) 毎木調査式との精度検証

標準地にて毎木調査式の胸高直径の真値と比較/検証した．真値と解析値を一定の閾値設定(@-2cm)で比較し，乖離値を算出した．また，点群密度による相対誤差(±5cm)及び，杉の樹皮厚(±1cm)を解析値に考慮する事で、より現地条件に則した適正値となった．その結果，一定の閾値であれば真値との差分範囲は，概ね100%の相関性がある事を確認した．また，主伐売払いの促進化には，材積の適正な評価(過大評価・過小評価とならない)を行う事が重要である．

5． 新たな森林資源調査の有意性

本実証フィールド(約10ha)において，従来手法である毎木調式に比べ約8割程度のトータル時間短縮化が図れると推測できる．特に，BLS式の場合，現地調査に要する作業時間の短縮化，作業効率の向上に加え，計測者による評価の差異が発生しない点も有意性のある評価項目と言える．一方で，樹木データ解析等の作業時間においては，一定程度の時間を要する結果となったが，立木位置図，帳票作成等においては，自動解析となる為，大幅な時間短縮が可能となる．

今後の森林資源調査において，BLS式を用いる事で調査に要する省力化、森林解析システム導入による効率的な森林資源量の把握(図-13)が可能となる．それにより，調査コストの低減および適正な材積評価を行うことにより、林業全体の生産性向上に繋がり，丸太材の主伐売り払いが促進される事で，国産丸太の推進化にも寄与できることが期待できる．

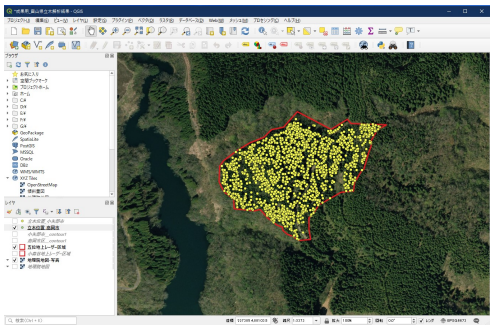

図-13 森林資源管理図

6． 今後の展望

現状，樹木の抽出/形状の取得精度は，計測機器のレーザ照射性能，地形条件等により点群取得精度にバラつきが生じており，取得データの良否が抽出数/丸太材評価に影響している事も判明した．しかし，BLS式自体が近年導入され始めた機器である為，今後の機器精度の性能向上が期待される．現地計測時の歩行ルートの選定も点群密度/精度に起因する為，現地踏査時の適正なルート選定は重要な要素となる．二股木(広葉樹)の樹木認識も絶対数低下の要因と推察されるが，造営林箇所の様に針葉樹が多く占めるエリアにおいては，BLS式の適用性は高いと推察できる．今後，リモートセンシング技術となるBLS式を利用することで，森林資源調査の効率的な手法として普及することを期待するものである．

謝辞：富山県農林水産部森林政策課の皆様には，貴重な情報や実証フィールド提供等の協力を承りました．深く感謝の意を表します．

参考文献

1. 農林金融1999-4．P 50日本の農林・林業と林業労働力問題-高齢化の現状と担い手確保の課題
2. 平成26年度森林及び林業の同行P94-95(1)木材生産の動向