

地上型三次元レーザースキャナシステムの活用

～業務の効率化に向けて～

近畿中国森林管理局 森林技術・支援センター 屋森 修一
森林整備部 森林整備課 片桐 亜由美
(元 滋賀森林管理署)

1. はじめに

戦後造成された我が国の人工林は、本格的な利用期を迎えており、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高度発揮が求められています。これらを進めていくためには、森林資源量の正確な把握が必要ですが、従来の輪尺等を用いる調査は、労力、時間及び技術を要すること、また林業技術者が減少していること等から、森林資源量調査等の林業イノベーションは必須とされています。また、国土の2割を所有し、国産木材供給量の2割を供給する国有林野事業としても、国の利益を最大化する観点から、森林の調査や管理経営に係る経費の節減は大きな意味を持ちます。

近年、森林・林業の分野においても、様々なICT機器が開発されています。このうち、地上型三次元レーザースキャナは、森林内でレーザーを照射し、点群を解析することで立木の樹高、胸高直径、位置、形状（曲がり、高さごとの直径）地形及び林内の三次元画像などのデータを得ることができるシステムです。

本研究では、この地上型三次元レーザースキャナについて、樹高や胸高直径等の測定データの精度検証を行うとともに、作業工程を調査し、従来の森林調査方法と比べて省力化・低コスト化が図られるのか検証することとしました。また、計測時に得られる3D画像や地形、立木の座標等の様々なデータの活用について検討を行いました。

2. 精度検証・工程

(1) 調査地の概要

調査地は、岡山県新見市内の針葉樹人工林9調査区（ヒノキ人工林6調査区、スギ人工林3調査区）広葉樹人工林1調査区としました。レーザースキャナ機器による測定に加え、比較対象として、輪尺、バーテックス（測高器）及びポケットコンパスによる毎木調査を行いました（表-1）。

表-1 調査区一覧

調査区	国有林名	面積 (ha)	林齢 (年生)	毎木調査結果					備考
				立木本数(本)	立木密度(本/ha)	平均胸高直径(cm)	平均樹高(m)	総材積(m ³)	
ヒノキ①	入開山	0.19	57	101	589	28.9	19.0	70.4	列状間伐試験地 ※
ヒノキ②	入開山	0.12	59	132	842	26.9	19.0	54.2	列状間伐試験地 ※
ヒノキ③	入開山	0.07	57	112	1,868	20.7	18.0	43.7	列状間伐試験地 ※
ヒノキ④	水晶山	0.04	45	50	1,351	19.5	19.0	15.8	列状間伐試験地
ヒノキ⑤	水晶山	0.04	45	37	925	24.4	19.5	17.5	列状間伐試験地
ヒノキ⑥	水晶山	0.04	45	35	875	23.8	19.0	15.6	列状間伐試験地
スギ①	入開山	0.1	57	92	945	27.8	21.3	61.6	※
スギ②	入開山	0.12	57	95	822	29.0	22.1	68.4	※
スギ③	釜谷	0.01	85	6	433	61.0	38.1	26.2	遺伝子保存林 ※
広葉樹①	上下田	0.03	20	48	1,811	10.7	8.9	3.3	ユリノキ植栽試験地

※据置型だけでなく歩行型でも調査を行った調査区

(2) 調査に用いたレーザースキャナ機器

地上型三次元レーザースキャナには、大別すると、一定時間林内に設置して測定する①据置型と、歩行しながら連続して測定する②歩行型の2タイプが存在します。今回は、①据置型として株式会社 アドイン研究所の「OWL」、②歩行型として株式会社 woodinfoの「3DWalker」を用いて調査を行うこととしました（表-2）（図-1）。

表-2 調査に用いたレーザースキャナ機器の概要

		①据置型	②歩行型
機 器 名		OWL	3DWalker
解析ソフトウェア		OWL Manager	Digital Forest
機 械 性 能	計測点 / 秒	43,200点/ 秒	300,000点/秒
	1日作業量	1~2ha	10~20ha
	スキャン時間	45秒/scan	連続
	最大検出距離	30m	100m
測 定 方 法		約 10m 毎 に 設 置 し、45 秒 静 止 し て 計 測	背負い式で、時速約2kmで歩行しながら、連続して計測
計測データ等		胸高直径、樹高、曲がり（矢高）、面積、立木位置、立木本数、立木材積、直径分布、地形情報、立木ウォークスルー	



図-1 ①据置型(上)と②歩行型(下)の測定状況写真

(3) 測定値の精度検証

面積、立木本数、胸高直径、樹高及び林分材積について、木調査による測定値とレーザースキャナ機器による測定値の比較を行いました。

ア 面積

毎木調査による測定値との誤差は、据置型で最大0.004ha、歩行型で最大0.011haと僅かでした。

レーザースキャナ機器による面積測定の精度は高いと考えられます（図-2）。

イ 立木本数

据置型では、スギ①②及び広葉樹①調査区において、立木本数が毎木調査での測定値と比べ過小となりました。これは、下層植生等が立木等の根元部を遮蔽したため、レーザースキャナ機器が立木として認識しなかったためです。歩行型では、ヒノキ③において、大幅に過大となりました。これは、枯損木を計測してしまったためであり、それ以外の調査区では、どちらの機器でも誤差は僅かでした（図-3）。

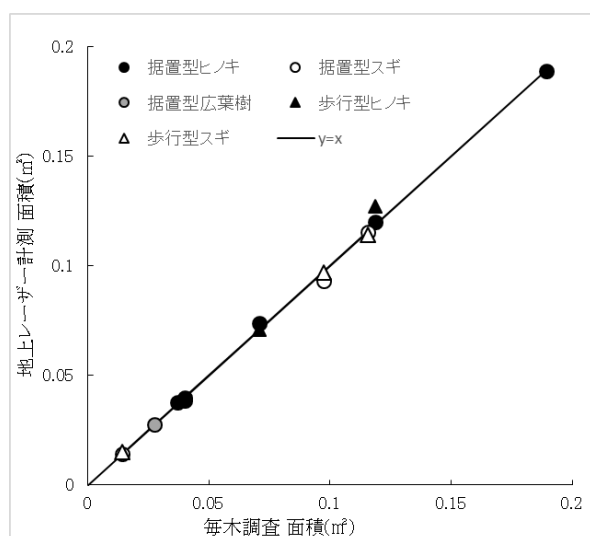


図-2 地上レーザ計測と毎木調査による面積の測定値比較

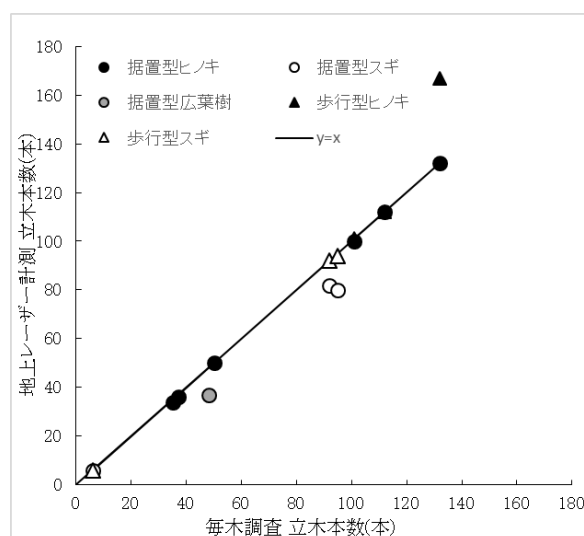


図-3 地上レーザ計測と毎木調査による立木本数の測定値比較

ウ 胸高直径

平均胸高直径について、据置型では、全体的に過大傾向が見られ、最大+2.3cmの誤差が発生しました。広葉樹①調査区では、レーザースキャナ機器が下層植生等を樹幹の一部と認識したため、誤差が大きくなったと考えられます。

歩行型では、ヒノキ③調査区において、枯損木を含んだ平均胸高直径となったため、誤差が大きくなりました（表-3）（図-4）。

また、単木毎の胸高直径については、据置型での誤差は、ヒノキで-2cm～+3.2cm、スギで-4.9～+6.6cmでした。毎木調査による測定値に比べて過大となるケースと過小ケースに規則性は見いだせませんでした（図-5）。

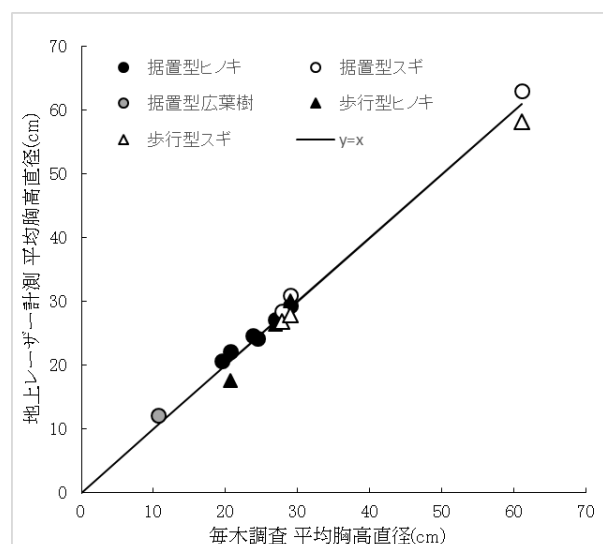


図-4 地上レーザー計測と毎木調査による平均胸高直径の測定値比較

表-3 地上レーザー計測と毎木調査による平均胸高直径測定値の誤差率

調査区	据置型 —毎木調査		歩行型 —毎木調査	
	差	誤差率	差	誤差率
ヒノキ①	0.5cm	1.7%	1.2cm	4.2%
ヒノキ②	0.3cm	1.1%	0.1cm	0.4%
ヒノキ③	1.4cm	6.8%	-3.1cm	-15.0%
ヒノキ④	1.2cm	6.2%	—	—
ヒノキ⑤	-0.2cm	-0.8%	—	—
ヒノキ⑥	0.9cm	3.8%	—	—
スギ①	0.7cm	2.5%	-1.0cm	-3.6%
スギ②	2.0cm	6.9%	-1.1cm	-3.8%
スギ③	2.3cm	3.7%	-3.4cm	-5.5%
広葉樹①	1.4cm	13.1%	—	—

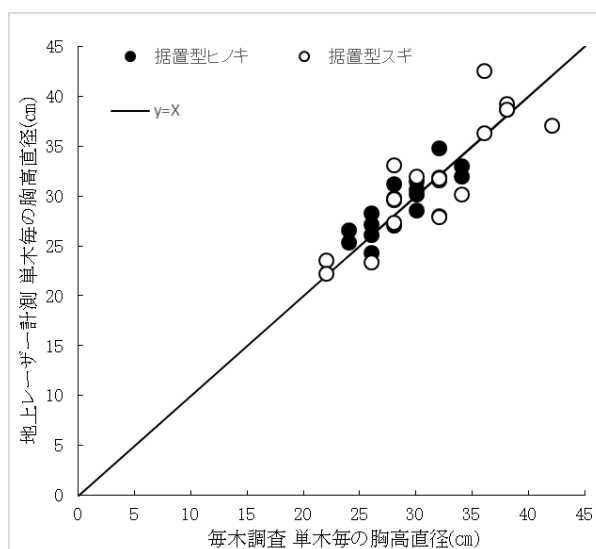


図-5 地上レーザー計測と毎木調査による単木毎の胸高直径の測定値比較

エ 樹高

平均樹高について、据置型と歩行型のどちらの機器においても、毎木調査による測定値と比較して過小傾向が見られました。特に、樹高が20mを超えると誤差が拡大しました（表-4）（図-6）。

また、単木毎の樹高について、据置型での誤差は、樹高20m以下のもので-3.0m～+1.5m、樹高が20mを超えると-6.4m～+2.1mと20mを超えると誤差が拡大しています（図-7）。

表-4 地上レーザー計測と毎木調査による平均樹高測定値の誤差率

調査区	据置型 —毎木調査		歩行型 —毎木調査	
	差	誤差率	差	誤差率
ヒノキ①	-0.4m	-2.1%	-2.3m	-12.1%
ヒノキ②	-0.6m	-3.2%	-2.3m	-12.1%
ヒノキ③	1.7m	9.4%	0.4m	2.2%
ヒノキ④	-0.6m	-3.2%	—	—
ヒノキ⑤	-1.0m	-5.1%	—	—
ヒノキ⑥	-1.1m	-5.8%	—	—
スギ①	-3.0m	-14.1%	-2.1m	-9.9%
スギ②	-2.4m	-10.9%	-5.0m	-22.6%
スギ③	-17.9m	-47.0%	-23.58m	-61.4%
広葉樹①	-0.2m	-2.2%	—	—

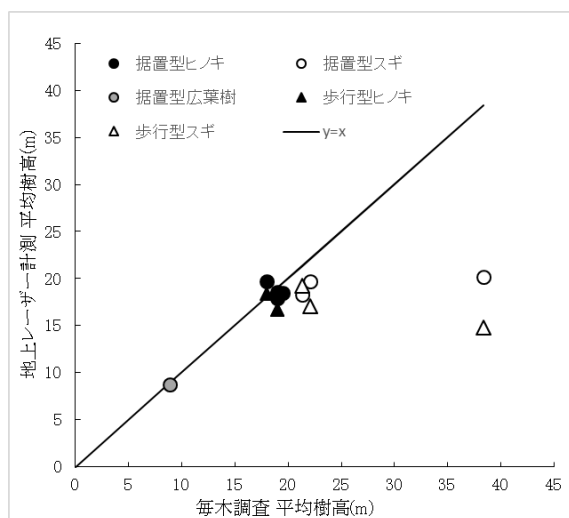


図-6 地上レーザー計測と毎木調査による平均樹高の測定値比較

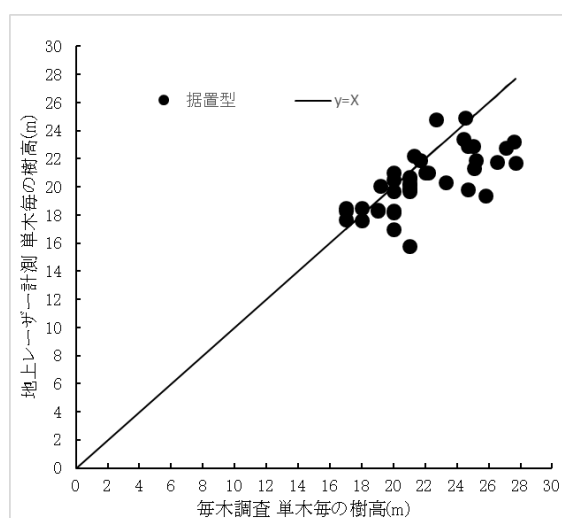


図-7 地上レーザー計測と毎木調査による単木毎の樹高の測定値比較

(4) 誤差要因と対策

据置型の誤差要因とその対策について検討しました（表-6）。

その対策として、精度の高い計測データを取得するには灌木等の刈り払い等準備作業と、機器をしっかりと固定して計測することが重要であると考えます。

表-6 誤差要因・対策表

誤 差	要 因	対 策
① 立木本数	・ 灌木や下層植生等により、レーザー遮断される。	・ 測点及び測点からの立木までの灌木等を刈り払う。
	・ 二又や幹折れ等の、不整形な立木は立木として認識されない。	・ あらかじめ反射テープを巻き認識させる。
② 面 積	・ 誤差は許容範囲内。	—
③ 胸高直径	・ 灌木、ツル等を樹幹の一部と認識してしまう。	・ 灌木、ツル等を刈り払う。
		・ 計測中に機器をしっかりと固定させておく。
④ 樹 高	・ 樹高が20m以上になると、枝葉等の遮蔽物によりレーザーが梢端まで届かない。	・ 樹幹の細り率。 ・ ドローン画像データによる補正。

(5) 作業工程の比較

ヒノキ調査区③（面積0.07ha）において、地上レーザー計測と毎木調査の作業工程を調査し、比較を行いました。

計測時間は、地上レーザー計測が毎木調査に比べて大幅に工程を短縮することができました。特に、歩行型では、毎木調査に比べて1/32の工程となりました。

一方で、データ解析（入力）時間については、据置型では、毎木調査に比べて時間が短縮されたのに対し、歩行型では、毎木調査に比べて時間を要する結果となりました。しかしながら、毎木調査においては、パソコンに入力する人員を要するのに対して、地上レーザー計測では、パソコンにデータを移動させれば自動で計算がなされるため、省力化につながります（表-7）。

表-7 ヒノキ調査区③における作業工程比較

種類	据置型 (OWL)	歩行型 (3Dウオ)	毎木調査
計測点	18点	連続	毎木(測量含む)
計測時間	40分	5分	80分
人数	2人	2人	4人
総時間	80人分	10人分	320人分
データ解析 時間	4分	90分	50分 (データ入力)

3. データの活用

(1) 三次元画像の活用

地上型三次元レーザースキャナシステムでは、レーザースキャンによって得られた点で構成されたウォークスルーと呼ばれる三次元画像を得ることができます。（図-8. 9）三次元ですので、林内外から林況を確認することができるだけでなく、点群を解析することで得られた立木の曲がり具合（図-10）や、地形などをパソコン上で確認することができます。これまで、現地の細かな状況については、調査を行った者の主観に依ってしまう部分も多々ありましたが、三次元画像ではありのままの林況を共有することができます。

また、三次元画像は実際の写真よりも色調が単純で、樹冠の空いた部分は黒色の一色であることから、一般的なフリーウェアの画像加工ソフトでも樹冠疎密度を簡単に計測することができます（図-12）。樹冠疎密度は間伐要否の指針となるものであり、施業の根拠資料として役立てることができます。

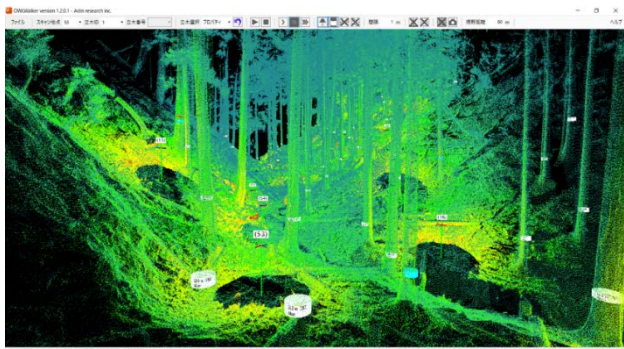


図-8 三次元画像

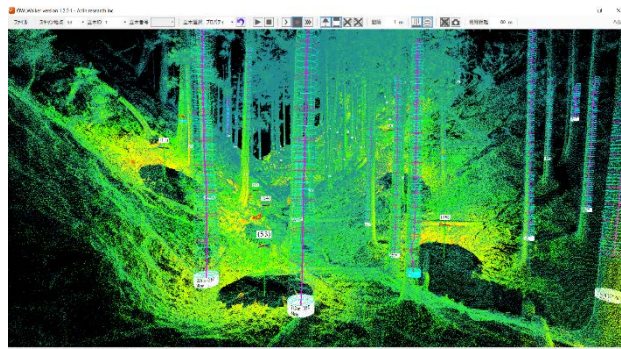


図-10 立木の曲がり

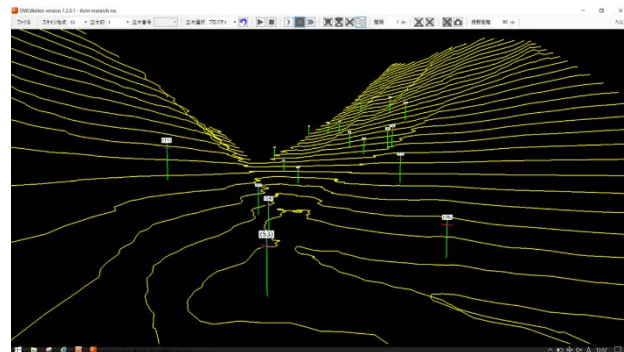


図-9 地形情報

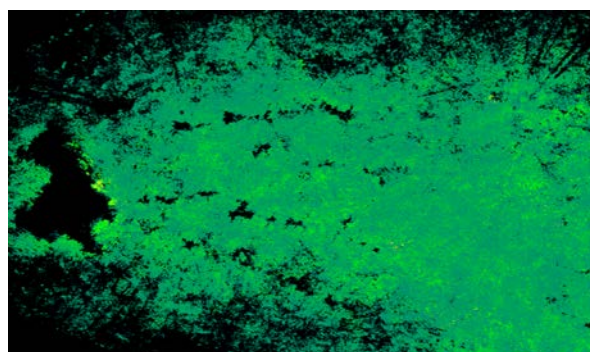


図-11 上空から見下ろした画像

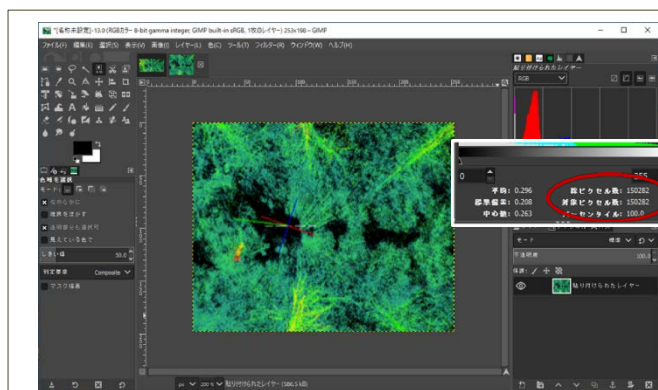


図-12 空隙部分の計算法

- ①三次元画像で樹冠を見上げた状態を表示し、スクリーンショットを保存する
- ②スクリーンショットの画像から、計測したい部分を選択し、GIMPの初期画面に貼り付ける
- ③画像全体のピクセル数をメモする
- ④「色域選択」で樹冠の空いた部分を選択
- ⑤選択部分のピクセル数を③のピクセル数で割る

(2) 地形、座標データ等の活用

マーキング地点の位置情報や立木の座標、材積等を利用した、路網の線形確認や収穫可能範囲の材積推定について試行を行いました。三次元レーザースキャナシステムはOWL、GISソフトはQGIS3.4を使用しました。

ア 試行結果

(ア) 現地での作業

現地で路網の予定線に反射材を用いてマーキングし、路網の開設支障木の調査を三次元レーザースキャナで実施する。

(イ) 路網の線形等の確認

①計測されたマーキング地点の位置情報をGISに取り込む(図-13①)。

②マーキング位置をつないで線形を描画する(図-13②)。

③地形の三次元データを加工し、GISに取り込む(図-13③)。

今回使用した QGIS には、ポイントをつなげてラインにする機能があります。これを使用すれば、路網の線形を簡単に描画することができます。

また、地形の三次元データも同じく GIS の機能を利用し DEM (数値地形モデル) を作成することができます。DEM は標高データとして使用できるので、等高線を作成したり、路網の線形と合わせて縦断勾配や縦断勾配を確認することができます(図-13④)。

なお、計測地点の位置情報は起点を 0 とした相対座標であり、相対座標から絶対座標への変換が必要ですが、専用ソフトに既知の絶対座標を入力すれば座標変換ができますし、座標が無い場合でも GIS 上で地物の移動や回転をして位置を補正することができます。

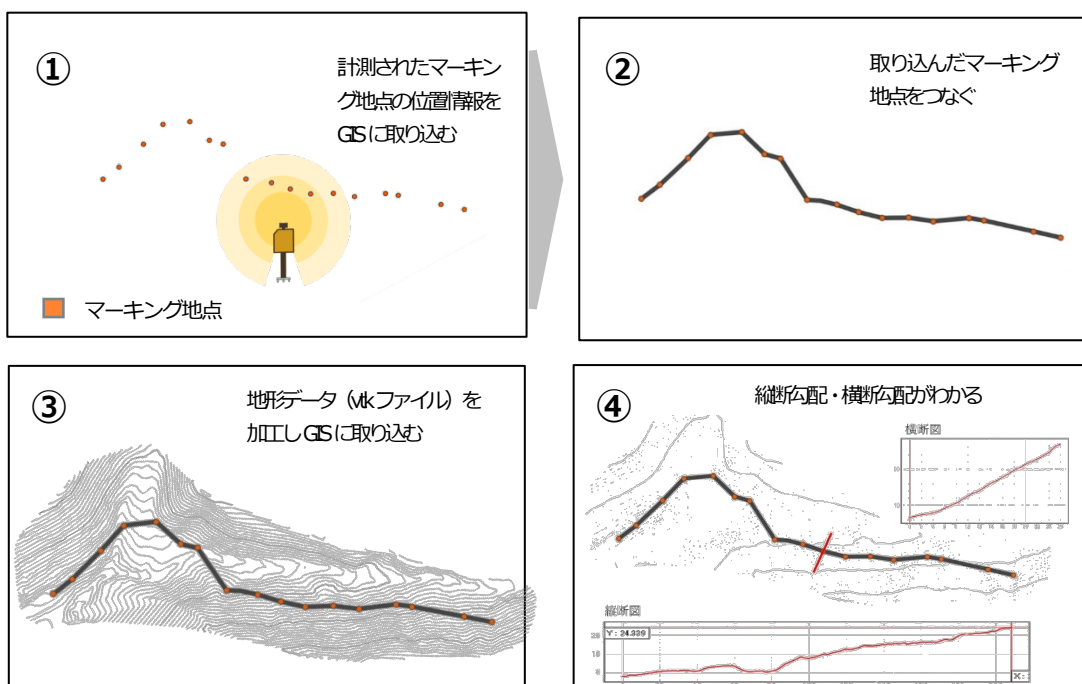


図-13 路網の線形等の確認

(ウ) 収穫可能範囲の材積推定

①先ほど作成した路線図に、立木データを追加する(図-14①②)。

②路線を中心に、伐開幅でバッファを作成し、バッファ内の立木材積のみを集計する(=支障木の材積)(図-14③)。

③②の材積に木寄せ範囲を掛ける=集材可能範囲内の立木材積(図-14④)。

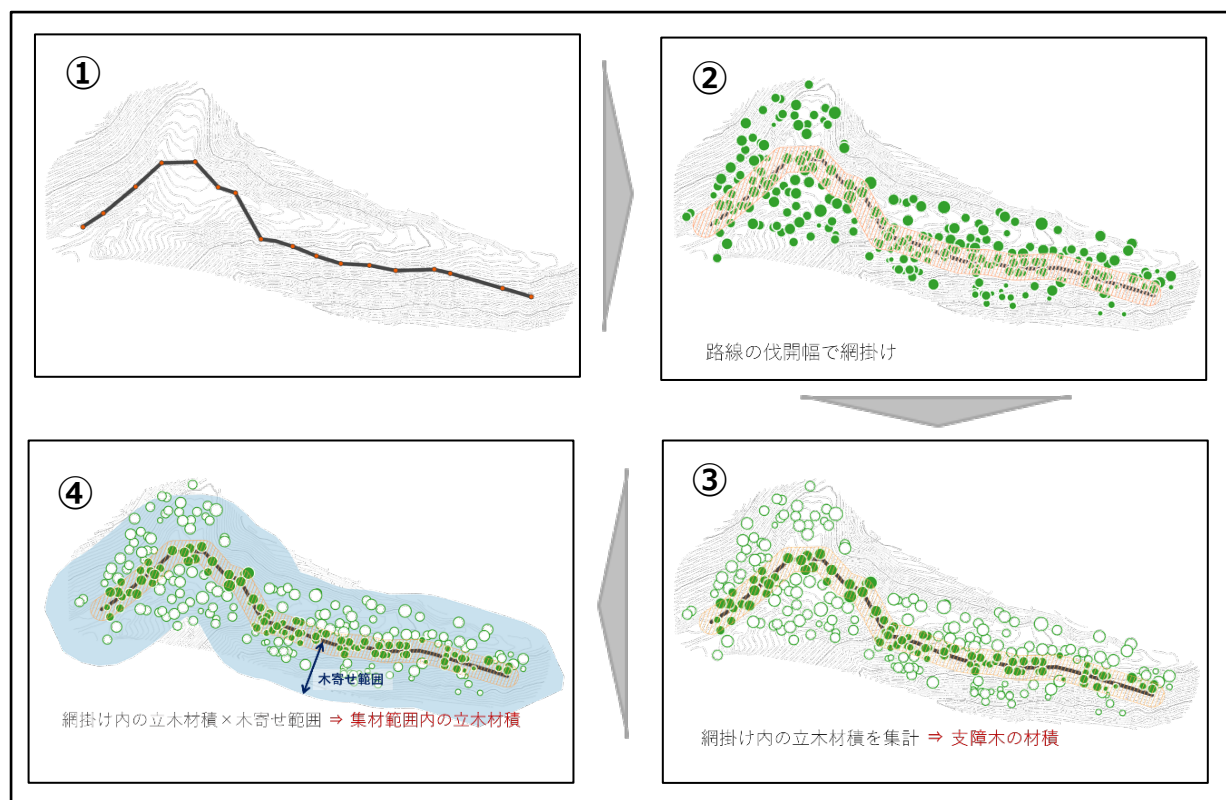


図-14 収穫可能範囲の材積推定

4. まとめ

立木調査の精度については、概ね樹高20mまでの林分であれば、十分な精度があることが確認されました。樹高20m以上の林分については、樹高の誤差が大きいため、細り率やドローンを活用した補正を検討しています。また、個体毎の測定値にばらつきが見られるため、さらに検証が必要であると考えます。

作業工程については、機器を用いることで大幅に削減でき、省力化や低コスト化につながることを示唆されました。ただし、急傾斜地や灌木等が多い場所等では誤計測が起きやすいため、そのような森林でも測定が容易となるよう機器の改良が望まれます。

データ活用の可能性としては、樹冠疎密度の算出や、路網の線形や勾配の確認、支障木の材積、収穫可能範囲の立木材積の算出等、様々な利用が可能であることがわかりました。また、活用の幅を広げることでコストパフォーマンスの向上にも期待ができます。

5. おわりに

地上型三次元レーザースキャナシステムは、森林資源調査だけでなく多目的に利用できる魅力的なツールです。今後取り組んでいく、ドローン等のICT機器との連携や成果の普及・発信により、効率的な森林管理システム、林業の成長産業化に寄与できるものであり、これからも、取り組みを進めていきます