

令和3年度

地上型3Dレーザスキャナを活用した

収穫調査実証等委託事業

地上レーザスキャナによる収穫調査

実施手順書

令和4年3月

林野庁

手順書作成の目的

国有林の収穫調査業務の効率化ならびに計測データの有効活用を図るため、令和元年に国有林野産物収穫調査規程準則が改正され、収穫調査においてオルソ画像、GPS、地上レーザスキャナ等の機器が使用できるようになった。一方、森林管理局署が行う収穫用務で地上レーザスキャナ（以下、地上レーザという）を活用・普及するためには、その性能・機能の利点を活かして、収穫調査業務の効率化を図られるよう、収穫調査の実施方法を具体化する必要がある。

そこで、収穫調査で求められる調査報告事項（収穫区域、林産物数量等の報告事項等）を満たすように留意して、地上レーザ導入による収穫調査の実施方法や作業手順等について手引書として取りまとめたものである。

なお、各森林管理局で定める収穫調査規程等にも配慮する必要があるが、地上レーザ等で得られるデジタルデータのメリットとして、データ処理や集計結果の出力等の自動化が考えられる。そうしたメリットを発揮させるためには、国有林野事業の統一様式の採用やデータ管理方式の見直しなど、効率化に向けた検討も期待される。

手順書の概要

（１）地上レーザによる収穫調査の基本的考え方

軽量可搬型の地上レーザ計測では、立木の位置や直径に加えて地形等の詳細な林内情報が容易に得られるが、収穫調査で求められる樹種や品質区分の評価が現状では困難であり、樹高も一般に過小傾向である。収穫調査で地上レーザを活用するためには、こうした特性を考慮しつつ、地上レーザ計測のメリットを活かした調査方法が求められる。

そこで本手順書では、図 1 に示すように、調査対象区域に**標本ライン**を設定し、その標本ラインに沿って選木される**標本木** 40～50 本程度について従来方法（輪尺及び測高器等）で、樹種、品質区分、胸高直径、樹高を単木ごとに調査する**標本木調査**を実施することとした。この標本木調査の結果を、地上レーザで計測するすべての胸高直径データに適用（樹種および品質を按分）して、対象林分全体の樹種、品質区分、樹高、材積を算出するものである。

（２）2通りの調査方法

今回手順書を作成した地上レーザによる収穫調査は、**標本レーザ調査**と**全木レーザ調査**である。その概要は以下のとおりである。

○従来の収穫調査

- 標準地調査：調査区域内に標準地を設け、当該標準地内の立木材積等を調査して、面積比例または本数比例によって調査区域内全体の材積等を算出する調査方法
- 毎木調査：調査区域内の毎木について、単木調査を行って調査結果を集計する調査方法

○地上レーザによる収穫調査

- 標本レーザ調査**：調査区域内に標本ラインを設け、当該標本ラインに沿って選木した標本木の単木調査を行うとともに、標本ライン上の立木のレーザ計測を行い、面積比例によって調査区域全体の材積等を算出する調査方法（図 1 A）
- 全木レーザ調査**：調査区域内の毎木をレーザ計測するとともに、標本ライン上で選木した標本木の単木調査結果を毎木データに反映させて、調査結果を集計する調査方法（図 1 B）

(3) 地上レーザによる収穫調査手順の要点

- 調査目的や林況等に応じて、標本レーザ調査または全木レーザ調査の選択を判断する。例えば、対象面積 1ha 以上などのように面積規模が大きい場合は標本レーザ調査とするといった判断である。【5 参照】
- 標本レーザ調査及び全木レーザ調査では両者とも、調査区域を代表する**標本ライン**を設定する。【2-1 参照】
- 標本ラインに沿って標本木を 40~50 本程度選木し、単木ごとに樹種、品質、胸高直径、樹高を計測する**標本木調査**を行う。【2-2, 2-3, 2-4 参照】
- **標本レーザ調査 (A)** は、標本ラインに沿って行う標本木調査と併せて、標本ラインに沿ってジグザクに地上レーザ計測を行う。【2-2 参照】
- **全木レーザ調査 (B)** は、区域全域の立木についてレーザ計測を行うとともに、標本ラインに沿って標本木調査を併用する。【2-3 参照】
- 地上レーザによる収穫調査の現地作業要員は、基本的に 3 人が想定される。ただし、作業状況等に応じて柔軟に対応する。【2-4 参照】
- なお、標本木調査での取得データ（樹高、品質等）について、隣接類似林分の既存データを活用できる場合は、標本木調査を省略することも考えられる。【2-2 参照】

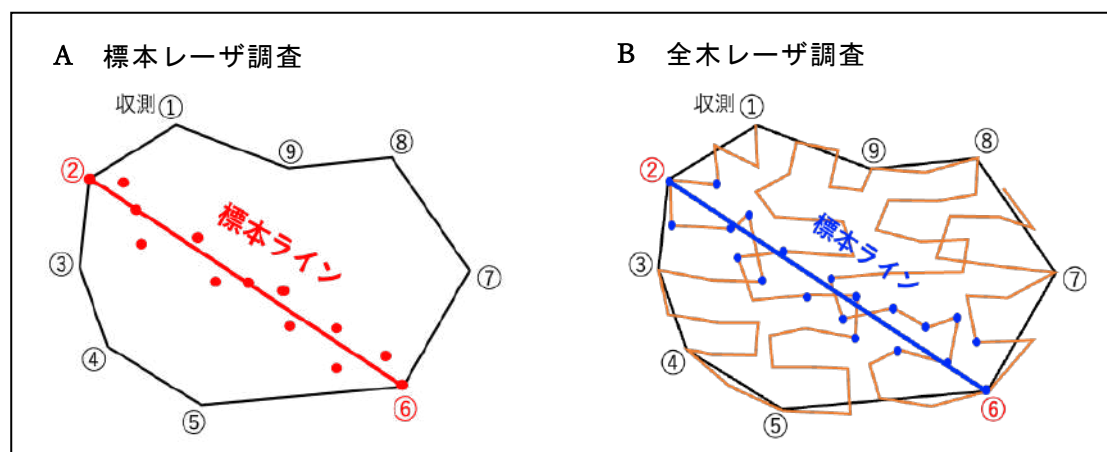


図 1 地上レーザ計測による収穫調査の基本パターン

(4) 手順書で取扱う内容

本手順書は、地上レーザ計測で実施する収穫調査の基本的な手法及び調査工程を整理したものである。地上レーザの特性やメリットを活かして、収穫調査で求められる計測データ及び林分情報を適切に取得するための調査手順書であり、レーザ計測機器の違いによってその内容を変更することなく活用可能な手順書とした。レーザ計測機器の操作方法については、メーカー提供の操作マニュアル等によるものとする。

レーザ計測装置の一般的な特性等を考慮して、森林におけるレーザ計測に際して留意すべき事項、現地調査における工夫等、レーザ計測による収穫調査で参考となる事項について巻末資料に整理した。森林調査の目的や林況等によって、従来の収穫調査方法と地上レーザによる収穫調査方法等を柔軟に選択することも必要である。また地域の実情に応じた調査手順やその他の留意すべき事項も想定される。したがって本手順書の内容は、逐次、追加・修正され、より実際的な内容に改訂されることを期待する。

目 次

1	事前準備	1
1-1	調査内容の確認	1
1-2	調査区域の情報収集と確認	1
1-3	モバイル機器の活用	2
2	現地調査	3
2-1	区域調査	3
(1)	区域の設定・空撮準備	3
(2)	UAV空撮によるオルソ画像の作成	3
(3)	簡易画像解析による立木位置図の作成	3
(4)	林分粗密度マップの作成	5
(5)	標本ラインの設定	5
2-2	標本レーザ調査	7
(1)	標本ラインの確認・計測	7
(2)	標本木調査	7
2-3	全木レーザ調査	9
(1)	レーザ計測の予定ルート of 事前確認	9
(2)	区域全体のレーザ計測	9
(3)	標本木調査	10
(4)	標本ラインでのレーザ計測	10
2-4	参考：標本レーザ調査の実際	11
2-5	参考：地上レーザ計測導入可能な林況等	13
3	地上レーザ計測のデータ処理	15
(1)	標本木調査データの集計	15
(2)	樹高曲線による樹高補正	15
(3)	レーザ計測データの集計・立木本数等算出	15
(4)	調査区域の3次元点群画像および地形データ等	15
4	収穫調査復命書等の作成	17
(1)	収穫調査の一般的な報告事項	17
(2)	本手順書で設定した報告様式	17
5	収穫調査の効率化に向けた検討	25

参考文献	26
巻末資料	27
巻末資料 A　モバイル機器の活用	27
巻末資料 B　地上レーザによる現地計測での留意事項	28
巻末資料 C　地上レーザ計測による森林調査での工夫	30

1 事前準備

収穫調査業務を円滑に遂行するためには、調査対象地の現地確認は言うまでもなく、当該業務に係る各種手続きや関係者との調整等、事前の準備や確認すべき事項があり、以下、主な項目を参考までに例示した。

国有林野の収穫調査では直営事業と委託事業があるが、特に委託事業にあっては、発注者が事前の準備・確認を行った上で、必要事項を受注者に確実に伝達する必要がある。

1-1 調査内容の確認

収穫調査対象林分について、伐採方法（皆伐、間伐、択伐、複層伐等）、伐区設定の有無あるいは林況等によって、収穫調査内容の調整が必要となる場合がある。そのため、収穫調査の内容および現地の状況等を事前に確認する。

- 調査区域の立木をすべて計測する全木レーザ調査での実施が適切か。
- 一部の立木を計測する標本レーザ調査が適切か。
- 調査区域や調査方法に、調整を要する事項が設定されていないか。

1-2 調査区域の情報収集と確認

調査対象林分の状況を確認するため、基本図、地形図、航空写真、衛星画像等で周辺区域を含めた、現地の状況、アクセス等をあらかじめ確認する。その他必要な区域情報を収集・確認した上で、調査地の林況および周辺状況を直接現地で確認する。

以下、収穫調査業務を実施する上で確認すべき事項を例示した。

調査対象地の情報に係る確認事項

- 現地へのアクセスに問題・支障はないか。
- 収穫調査対象林分として、区域・林況等を確認したか。

地上レーザ計測の可否判断に係る確認事項

- 下層植生や枝葉の繁茂状況など（巻末資料B参照）から判断して、地上レーザ計測が適用可能な林況であるか。
- 標本レーザ調査の対応は可能か
- 隣接類似林分等における既存データ（樹高曲線、品質区分）の活用は可能か。

UAV空撮による標本ライン設定に係る確認事項

- UAV空撮のための標定点（緯度経度の座標値が設定されているポイント）の有無、および対空標識の設置地点を複数箇所、確保できるか。
- UAV空撮の飛行計画に影響する調査区域の標高差はどの程度か。
（航空法でUAV飛行高度150m未満に制限されている）
 - 50m以下、 100m以下、 150m未満、 150m以上
- UAV飛行に支障を及ぼす施設等はないか。
（高圧送電線、無線局、高架構造物、高速鉄道等による電波障害等）

その他確認事項

- UAV機体が登録されているか。
- 調査用機材は点検されているか。

1-3 モバイル機器の活用

現地調査においては、調査区域の地図情報等オープンデータを参照するほか、GNSS機器をはじめとするモバイル端末の積極的な活用が求められる。

国有林の林小班界、国土地理院地形図、衛星画像、民有林施業計画図等をモバイル端末にダウンロードして利用する方法がある。一方で地域によって利用可能な汎用アプリもあるので、利便性を考慮して、これらアプリケーションの適切な活用が求められる。

2 現地調査

2-1 区域調査

区域調査は対象区域を設定するための調査であり、周囲実測（周囲測量）、調査地の概況確認、調査立木照合のための UAV 空撮・オルソ画像・立木位置図等の作成に必要であり、標本木調査、標本レーザ調査、全木レーザ調査において基本的かつ必須の調査である。

(1) 区域の設定・空撮準備

調査地の区域表示ではポケットコンパス、GNSS 等による周囲測量を行う。ただし、すべての収測杭(周囲測量の測点)で地上レーザ計測可能な場合は周囲測量を省略できる。また、下記 UAV 空撮では、水平位置及び高度の基準となる点（標定点）が必要であり、UAV 飛行経路等を考慮して、林内 4 箇所以上に対空標識を設置する（図 1）。

(2) UAV 空撮によるオルソ画像の作成

調査地の林況（立木粗密度、樹種混交等）、立木の位置と本数を把握するため、UAV による空撮を行い（現地作業）、オルソ画像を作成する（室内作業）。

参照：令和元年度リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委
託事業：UAV 立木調査マニュアル（簡易画像解析法）

方法（UAV 空撮）：区域面積や標高差等を考慮して、飛行高度やオーバーラップ率等の飛行計画を設定し、区域全体を空撮する。撮影画像の歪みや画質などが適切でない場合は、飛行高度やオーバーラップ率等を見直して改めて空撮する必要があるため、飛行計画の段階でこれらの設定を十分に検討しておく必要がある。

方法（オルソ画像作成）：画像解析ソフト（Metashape®等）に UAV 空撮画像を取り込んでオルソ画像を作成する。オルソ画像には空間的な歪みが避けられないため、区域内に設置した対空標識（または林内で選択した“標識木”）の緯度・経度を追加して、画像解析ソフトを活用して画像を幾何補正し、オルソ画像を修正する。

（具体的な方法については上記の UAV 立木調査マニュアル参照）

(3) 簡易画像解析による立木位置図の作成

オルソ画像をもとに、対象区域のすべての立木の樹頂点を抽出し、立木位置図を作成する。さらに、調査対象区域を 10m メッシュ化して、メッシュごとの立木本数をカウントする。

方法：GIS ソフト（QGIS 等）にオルソ画像を取り込み、PC のディスプレイ上で目視により、立木の樹頂点をマウスでマーキングしてすべての立木の位置座標を取得する。手作業ではあるが、1ha 程度であれば 30 分ほどで立木位置をマーキングできる。

（具体的な方法については、上記の UAV 立木調査マニュアル参照）

【効率化に向けて】画像解析ソフトによる樹頂点抽出作業の自動化

オルソ画像から立木の樹頂点を自動抽出する画像解析手法はいくつか提案されている。課題は抽出精度とアプリ操作性であるが、主伐期の針葉樹を解析対象として精度向上を図り、アプリを樹頂点抽出に特化することで、解析作業の効率化が期待される。

区域の設定

現地で収穫調査区域を確認し、区域表示や標柱（境界標、標識杭）等を設置するほか、UAV 飛行経路を考慮して、林内の開けた複数箇所に対空標識（右図）を設置する。対空標識の設置が困難な場合は、上空から容易に識別可能な林冠木（標識立木）を選定し、対空標識の代替となるよう、取測杭等から当該立木位置を測量する。

すべての取測杭で周囲測量（ポケットコンパスやGNSS等）を実施するとともに、対空標識についても取測杭との位置関係を確定するように測量を行う。

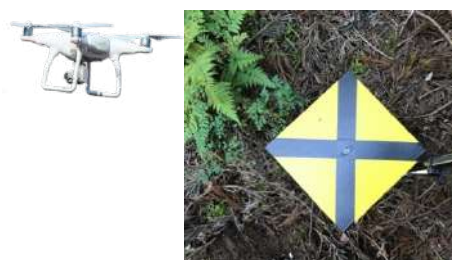
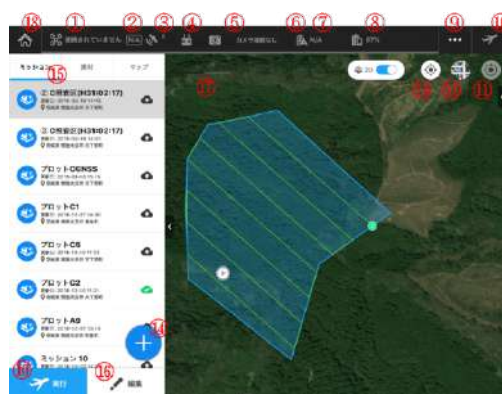


図1 UAV空撮のための対空標識

UAV空撮によるオルソ画像の作成

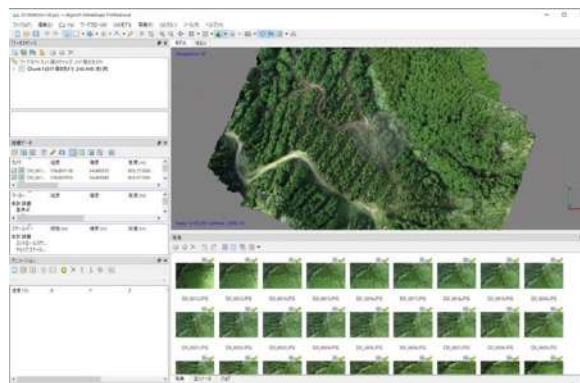
専用アプリケーション DJI GS Pro[®]により、地図写真を参照しながら飛行計画区域の設定、飛行高度やオーバーラップ率、サイドラップ率、カメラ設定などの各種パラメータを設定する。

調査対象地全域について、UAV空撮を行う。



上記空撮画像を取り込んで、画像解析ソフト Metashape[®] (Agisoft 社製)等により、オルソ画像を作成する。

オルソ画像を GIS ソフト（具体的には QGIS）に読み込み、対空標識や標識立木の必要な座標を取得し、オルソ画像を幾何補正した上で、周囲測量結果と重ね合わせる。



簡易画像解析による立木位置図の作成

PC 上に表示したオルソ画像から、目視判読により、すべての立木の樹頂点を抽出して位置座標を取得し、立木位置図を作成する。



(4) 林分粗密度マップの作成

標本木調査における標本ラインを設定する判断材料として、立木位置図をもとに、林分粗密度マップを作成する(図1)。

方法：PC上で、オルソ画像(立木位置図)の調査地を10mメッシュで区分して、各メッシュ内の立木本数密度を5段階程度に区分して(図1参照)、林分の込み具合を階層化し、林分粗密度マップとする。さらに階層化した粗密度の出現頻度を算出して、調査区域全体の林分粗密度の判断基準とする。

- ① 調査地全体を10mメッシュ化し、本数密度で3～5段階に階層化
- ② 調査地全体で、階層ごとのメッシュ出現比率Aを算出(図1右のヒストグラム)
- ③ 階層の出現比率Aとほぼ一致するように標本ラインを選定
(下記「(5) 標本ラインの設定」参照)

参照：令和元年度 リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討
委託事業：UAV 立木調査マニュアル(簡易画像解析法)

(5) 標本ラインの設定

標本ラインを客観的な判断基準で選定するため、林分粗密度マップで算出した粗密度の出現頻度(図1右)を基準とし、現地の地形や林況も考慮して、林分を代表すると見なせるルートを標本ライン(図2)とする。

方法：標本ラインの具体的な設定方法は下記参照としたマニュアルに記載しているが、設定方法の概要は以下①～④のとおりである。

- ① 林分全体の疎密度の出現割合(図1右のヒストグラム)および地形・林況を参考に標本ラインを仮決めする。
- ② 標本ラインはその始点と終点を取測杭とする。標本ラインに沿って帯状に10mメッシュ区分して、メッシュごとの粗密度の出現割合を算出する。
- ③ 標本ライン上の粗密度の出現割合が、林分全体の出現割合とほぼ一致すれば、標本ラインの候補とする。一致しない場合は、ラインの起点や方位を見直して、改めて候補のラインを検討する。標本ラインの候補は複数選定しておく(図3)。
- ④ 最終的な標本ラインの決定は、現地の林況等を確認して候補の中から決定する。

参照：令和元年度リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討
委託事業：UAV 立木調査マニュアル(簡易画像解析法)

* 補足：林分粗密度マップについては、調査区域の周囲測量データと立木位置座標が与えられれば、区域のメッシュ化と本数密度の階層化を自動処理することが可能である(図4)。下記「標本ラインの設定」に係る計算処理と併せて、解析プログラムを作成することにより、関連作業の効率化が図られる。

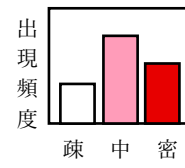
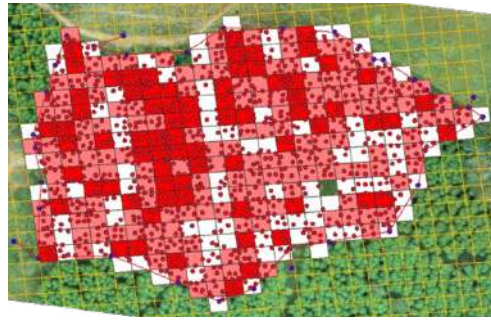


図 1 立木位置図から作成した林分粗密度マップ



図 2 林分粗密度の出現頻度を考慮して設定する標本ライン

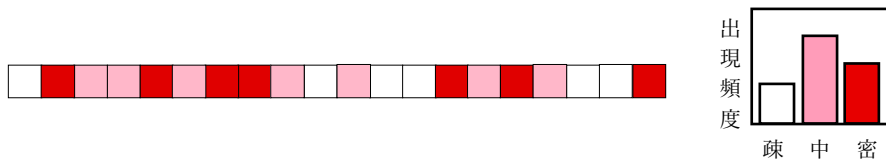


図 3 標本ライン設定のイメージ

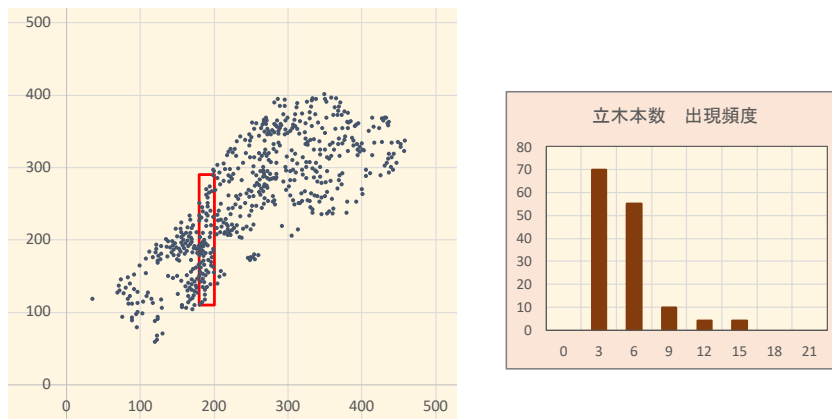


図 4 標本ライン選定のための解析アプリ開発の可能性

2 現地調査

2-2 標本レーザ調査

(1) 標本ラインの確認・計測

2-1 (5) で設定した標本ラインに沿って、その始点から終点まで、ジグザグにレーザ計測を行って立木データを取得する (図1)。

方法：標本ラインに沿ってレーザ計測を行えば、ラインを中心に帯状範囲 (片側約 5m、合計 10m 幅程度) の立木のデータ (立木位置、胸高直径等) が取得される。

標本ラインを挟んで左右にジグザグに 10m 程度の間隔でレーザ計測する。

なお、ササ・低木類の繁茂状況あるいは微地形等に応じて、当初想定 of 標本ラインから多少ずれたとしても差し支えない。

参照：巻末資料 B 「地上レーザによる現地計測での留意事項」等

(2) 標本木調査

標本ラインに沿って 40~50 本程度の立木を選定して標本木とし、すべてにナンバーテープを付し、樹種、品質区分、胸高直径、樹高を記録する。

標本木の選木：標本木の選木に際しては、地形や立木の込み具合等を考慮するとともに、標本ラインに沿って、一定本数間隔で選木するなど、恣意的とならないよう留意する。また標本木データをもとに樹高曲線を作成するので、標本ライン付近で最大径級の立木を含むよう留意する (図2)。

参考：標本木 40~50 本を選木する目安は、標本ラインの長さを基準に、10m ごとの必要本数を算出することが考えられる。例えば標本ラインが 100m であれば、10m ごとに 4~5 本を選木するということになる。ただし、林況等に応じて現場の判断が必要であることは言うまでもないが、恣意的とならないよう機械的に選木するよう心がける。

【解説】 標本木調査の必要性

調査地における樹種別、品質別、径級別の立木本数及び材積を算出するための基本データであり、レーザ計測データに適用するための調査である。

- 樹種や品質区分について現状ではレーザでの判別が困難であるため、40~50 本程度の標本木を計測してデータを補完する。
- レーザ計測では樹高が低く評価されるため、標本木調査データで樹高曲線を作成し、レーザ計測の樹高を補正する。

注意：調査対象地の隣接類似林分において、利用可能な樹高曲線や品質区分の既存データがある場合は、それを標本木調査データとして襲用することも考えられる。

【 標本木調査の要点 】

- ① オルソ画像及び立木位置図を参考に、立木配置が標準的となるよう、
標本ライン（図1、赤線）を設定する。
- ② 標本ラインの起点と終点は収測杭に一致させる。
- ③ 標本ラインは直線でもなくとも差し支えない。
地形や立木配置等の林況に応じて、曲線にしてもよい。
- ④ 標本ラインに沿って、標本木を抽出する（40～50本程度）。
標本木にナンバーテープを付し、樹種、品質、胸高直径、樹高を記録する。

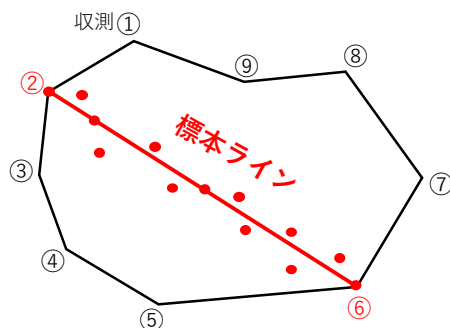


図1 始点と終点を収測杭で結んだ標本ライン

標本木の選木にあたっては、可能な限り、最大径級の立木を含めるよう留意する。

また可能であれば、図2のように、直径と樹高の大雑把なグラフをメモ帳等に描いていけば、樹高曲線の作成に必要なデータの計測漏れを防ぐことができる。

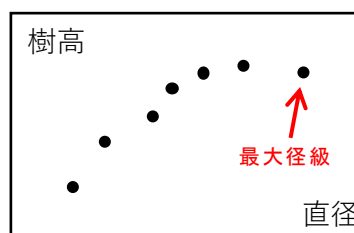


図2 標本木調査における樹高計測

2 現地調査

2-3 全木レーザ調査

調査地の面積規模が比較的小さい場合などは、全木レーザ調査を行うことができる。

(1) レーザ計測の予定ルートの事前確認

区域全体を漏れなくレーザ計測する。そのため、移動・計測する予定ルートを事前に図面等に記載しておけば（図1、図2の赤線）、現地でスムーズな計測ができる。

方法：オルソ画像の立木位置図、地形や林況等を考慮し、尾根や谷など、計測ルートの折返し点になり得る箇所にも配慮して、おおよその計測予定ルートを作成しておく。なお、レーザスキャンする際の移動間隔等は、レーザ計測装置の操作マニュアルによる。

参照：レーザ計測装置「操作マニュアル」等

【注意1】 レーザ計測予定ルートを確認する際の留意点

区域全体をレーザ計測する前に、あらかじめ現地を確認して、おおよその計測予定ルートを想定しておく。その際、対象区域内の地形（尾根・沢・窪地）、作業道の有無、斜面傾斜、斜面方位等を考慮して、区域全体を折り返しながらレーザ計測しやすい箇所を見定めておく。

(2) 区域全体のレーザ計測

事前に想定したレーザ計測ルートにしたがって、調査対象区域の全体をレーザ計測する。なお、すべての収測杭の真上でレーザ計測が可能であれば、そのデータをもって周囲測量に代えられる。その際、収測杭とレーザ計測番号を野帳に記録しておく。

方法：レーザ計測装置の操作方法は、各装置の操作マニュアルに従う。林内では、灌木・ササ・つる類の繁茂、立木との間隔、地形の段差等に留意しながら、レーザ計測地点を判断する必要がある。計測間隔は約10mを目安とするが、林況に応じて短い間隔でのレーザ計測が必要である。

参照：巻末資料「地上レーザによる現地計測での留意事項」等

【注意2】 スキャン地点と収測杭等との位置関係

レーザ計測作業をしながらではあるが、ひとつひとつのスキャン地点と収測杭などの位置関係について、概略で差し支えないので、調査ノート等にメモを残しておくこと。調査区域の概略図を用意しておいて、スキャンするたびに図面上に書き込んで置くことも有効である。

レーザ計測の終了後、あるいはデータ解析処理した後に、スキャン地点の追加が必要になった場合に、レーザ計測ルートのメモがあれば、追加計測場所の確認が容易である。

(3) 標本木調査

標本ラインに沿って選定した 40~50 本程度の標本木にナンバーテープを付し、樹種、胸高直径、樹高、品質区分を記録する（本文参照）。

方法：標本木の選木に際しては、地形や立木の込み具合等を考慮するとともに、ライン上の立木を一定本数間隔で選木するなど、恣意的とならないよう留意する。また可能な限り、最大径級の立木を含むよう留意する（図 2）。

参照：本文 2-2 (2) 標本木調査

(4) 標本ラインでのレーザ計測

2-1 (5) で設定した標本ライン（あるいはその近傍）でのレーザ計測データが必要であるが、上記 2-3 (2) で実施する区域全体のレーザ計測において、図 1 に示すように、標本ライン及びその近傍で必要なレーザ計測が終了している場合はこれを省略できる。

区域全体のレーザ計測を実施する前に、標本ラインに沿ってメートル縄等を伸ばしておくなど標本ラインの目印を配置しておけば、標本ラインの近傍での確実なレーザ計測が可能である。

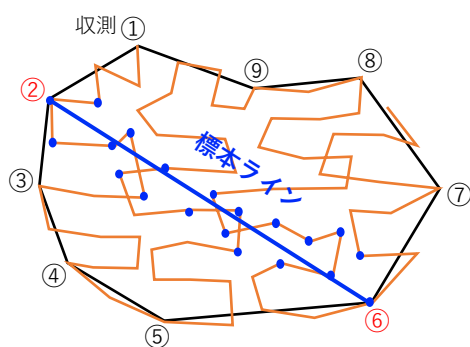


図 1 全木レーザ計測におけるレーザ計測ルート及び標本ラインの設定

外周の丸数字は収測点番号である。この例では、レーザ計測ルート（赤線）の始点を収測①、終点を収測⑧付近としている。また標本ライン（青線）は収測点②と⑥を結ぶ区間である。

全木レーザ計測では、林地全体のレーザ計測が行われるので、標本ラインに沿ったレーザ計測を改めて実施する必要はない。



図 2 レーザ計測ルート（赤線）

比較的平坦な林地であれば、図のように、ほぼ規則的に、計測ルートを折り返しながら全体を見通して計測が可能である。

2 現地調査

2-4 参考：標本レーザ調査の実際

地上レーザによる収穫調査における、作業分担や人員配置等の調査体制は、現地の状況に応じて編成されるものであるが、ここでは参考までに、調査員3名を基本とする調査体制で、標本レーザ調査を行う手順を例示した。

■ 調査員の分担・配置

往路（標本ラインの始点から終点）

調査員A：野帳記録、標本ライン通過点へのマーキング（メートル縄等）

調査員B：選木、ナンバーテープ、直径計測、樹種判別、品質区分

調査員C：樹高計測

復路（標本ラインの終点から始点）

調査員A：地上レーザ計測

調査員BおよびC：レーザ計測で支障となる灌木の除去作業等

■ 調査手順

標本レーザ計測では、標本木選定、標本木調査、地上レーザ計測を行う必要があるが、現地作業の役割分担および作業効率を考慮すると、以下のように、標本ラインに沿って往路と復路で、作業を進めるのがスムーズと考えられる。

（1）標本木調査（往路：始点から終点へ）

- ①調査員3名で、標本ラインの始点から終点に向けて標本木調査を行う。
 - ②標本ラインに沿って、標本木40～50本を選木していく。
 - ③選木しながら、標本木調査（樹種判別、品質区分、胸高直径、樹高）を行う。
 - ④標本木調査の際に、標本ライン始点から終点までの通過点に、テープ等（メートル縄など）を林地に這わせておけば、復路での地上レーザ計測の目印として有効である。
- ・標本ラインの通過点にマーキング、野帳記録（調査員A）
 - ・標本木の選木、ナンバーテープ、樹種判別、品質区分、直径計測（調査員B）
 - ・標本木の樹高計測（調査員C）

（2）地上レーザ計測（復路：終点から始点へ戻る）

調査員3名による標本木調査が終了した後、終点を折り返して地上レーザ計測を開始する。1名がレーザ計測を行い、残り2名はレーザ計測の支障となる灌木の除去等の補助作業を行う。

- ・地上レーザ計測（調査員A）：標本ライン上のマーキングを目印として計測
- ・灌木類除去（調査員B）：先導して、レーザ計測の支障となる灌木類を除去
- ・反射テープ装着（調査員C）：樹種判別等のため、必要に応じて反射テープの装着

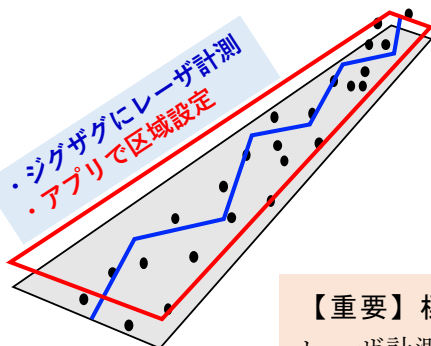
標本レーザ調査の進め方

- 【往路】 標本ラインに沿って、調査員A～Cの3名体制で、
標本木の選定・ナンバー貼付、標本木調査を実施する。
- 【復路】 標本ラインを折り返して、地上レーザ計測を実施する。
補助者2名は必要に応じて、灌木除去、反射テープ装着等を行う。



標本ライン確認	取測杭 (始点) → 方位確認 (進行方向) → 取測杭 (終点)
標本木調査	選木 40～50本 (ナンバーテープ、反射テープ (必要あれば)) 立木計測 (樹種、直径、樹高、品質区分)
地上レーザ計測	OWL → 約10m間隔で、ジグザグに計測

重要 始点と終点の取測杭で、必ずレーザ計測しておく



【補足説明】 ジグザグに計測する理由

標本ラインといっても 10m 幅程度の帯状の範囲の立木をレーザ計測することになる。

レーザ計測での直径精度を確保するためには、できるだけ多方面から樹幹にレーザが照射されることが望ましく、左図のようにジグザグにレーザ計測する。

【重要】 標本区域の設定

レーザ計測した範囲 (幅 10m 程度の帯状範囲、左図の赤枠) を「標本区域」として、アプリ OWLManager で設定する。
これは、調査対象区域と標本区域の面積比を「拡大係数」とする。

2 現地調査

2-5 参考：地上レーザ計測導入可能な林況等

収穫調査の対象林分として様々な林況がある中で、収穫調査業務に地上レーザ計測をすべての場合に導入できるものではない。付属資料にも列挙しているが、レーザ計測の特性として、胸高直径や樹高を計測しにくい場面がある。一方で、同じ林分の中でも、レーザ計測が容易な場所と困難な場所がモザイク的に混在しているのが森林の実態である。つまり、現地調査にあたっては、調査方法を複数の選択肢から選択できるようにするとともに、地上レーザ計測を実施できると判断した林分であっても、部分的には計測しづらい箇所があり、そうした場所では何らかの工夫をすることが必要である。

■ 地上レーザ導入の判断材料

収穫調査における地上レーザ導入の可否については、必ずしも単純ではないが、レーザ計測の特性を十分に理解した上で、調査対象林分の全体的な林況をもとに判断することになる。一般的な判断材料としては、以下の視点が考えられる。

- ・対象林地全体が過密林分ではないか（haあたり2000本程度以上）
- ・対象林地全体が低密度で立木間隔が広くないか（haあたり200本程度以下）
- ・下層植生や灌木の繁茂状況（レーザが遮蔽される高さに、更新稚樹やシダ・ササが密生していないか）
- ・枝下高が極端に低い林分ではないか（3m程度以下に枝が多いとレーザが遮蔽される）
- ・天然更新が主体の林分ではないか（中下層に更新木が多くないか）
- ・広葉樹の混生割合が高くないか（高価値材が多ければ品質判定が必要）
- ・林地全体が急勾配ではないか（計測作業そのものの困難さ、無立木箇所が多い恐れ）

以下に示す写真は、地上レーザ計測が難しい典型的な事例であるが、こうした箇所が林内の一部なのであれば、こうした箇所を避けて、レーザ計測を行うことも可能である。





尾根付近の灌木類



立木間隔が広い



ササ・灌木類の繁茂



風倒木による林冠ギャップ



択伐天然更新地



疎林のため下層植生が繁茂

■ 標本レーザ計測の可能性

針葉樹人工林などで、レーザ計測が容易な箇所と困難な箇所がモザイク的に混在している林分であったとしても、調査区域の適切な場所に標本ラインを設定する「標本レーザ調査」が可能な場合があり、林況全体を俯瞰して判断することも必要である。

■ 地上レーザ計測の理解と計測スキル

地上レーザ計測では、林況に応じた計測間隔や計測経路を臨機応変に工夫することも必要である。そうした工夫をするためには、地上レーザ計測の特性等を十分に理解しておくことが不可欠である。その上で、収穫調査を地上レーザで適切に実施可能かどうか、計測者等の林況判断や計測スキルを踏まえて、適切な判断がなされるものと考えられる。

3 地上レーザ計測のデータ処理

地上レーザによる計測データは、使用する計測装置およびその専用アプリで処理され、csv形式でレーザ計測データが出力される。以下は、標本木調査で得られた樹種別品質別データ等を集計して、レーザ計測データ（特に胸高直径データ）に適用して、収穫調査報告の様式に集計・出力するプロセスの説明である。

(1) 標本木調査データの集計

標本木調査データにより、胸高直径と樹高データから樹高曲線を作成する。さらに樹種および品質区分ごとの径級別立木本数および出現確率を算出する。

方法：標本木調査データの集計処理方法等を組み込んだ Excel ファイルに、これらデータを入力して（コピー&ペースト）、樹高曲線、単木材積、径級別立木本数を一括して算出する。なお、樹高曲線については解析処理の利便性から指数関数式で近似する。地上レーザで計測される単木ごとの胸高直径に、樹高曲線式を適用することにより、樹高および幹材積を算出する。

(2) 樹高曲線による樹高補正

上記(1)で樹高曲線を作成する理由は、地上レーザによる樹高計測値が一般に低く評価される傾向があるため、標本木調査データで作成される樹高曲線によって、すべての立木の樹高を補正するためである（図1）。

方法：レーザ計測装置によっては、実測データを入力することで、自動的に樹高が補正されるものもあるが、そういう機能を持たない装置にも適用できるように、Excel等の表計算ソフトで樹高曲線を近似して、標本木の樹高データを補正する。標本木調査で実測した胸高直径と樹高のデータセットを樹高曲線で近似し、レーザ調査で計測されたすべての立木の胸高直径に適用して樹高および幹材積を算出する。

(3) レーザ計測データの集計・立木本数等算出

標本木調査を集計して得られる径級別立木本数（図2）から立木出現確率を算出し、レーザ計測で得られる径級別立木本数（図3）に乗じて、調査区域全体の樹種別本数、径級別立木本数、径級別品質区分本数等を集計する（図4）。

調査区域全体の立木については、標本ラインにおける樹種別・品質別・径級別立木本数に対して、拡大係数（=調査区域面積／標本区域面積）を乗じて算出する。

備考：この集計作業にあたっては、計測データの読み込み、計算処理を含むフォーマットを統一することにより、一連のデータ処理作業の効率化が図られる。

参照：[令和2年度 地上型 3D レーザスキャナを活用した収穫調査実証等委託事業報告書](#)

(4) 調査区域の3次元点群画像および地形データ等

調査区域全体の3次元点群画像については、計測装置によって動画または静止画で提供されるが、地形情報として等高線の表示も得られるので、収穫調査結果報告として適当な画像をコピー・保存する。

参照：[使用するレーザ計測装置に付属する「操作マニュアル」](#)

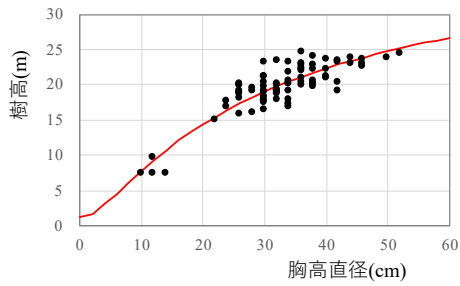


図1 標本木調査データで
得られる樹高曲線（赤線）

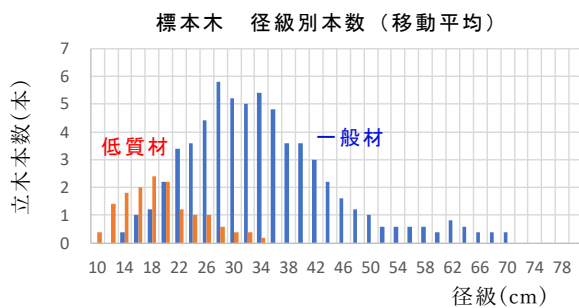


図2 標本木調査の集計結果
樹種ごとに品質別径級別立木本数を集計する。
この集計結果をもとに、樹種・品質ごとの出現
確率を算出して、標本ラインのレーザ計測結果
(図3)に乗じる。

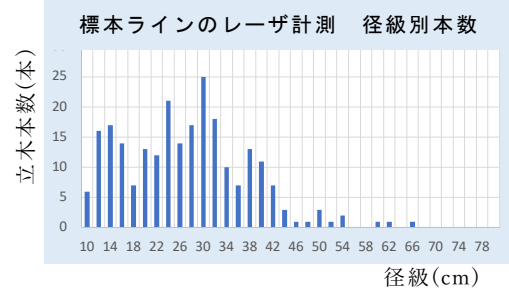


図3 標本ラインでのレーザ計測に
よる径級別立木本数
レーザ計測では、樹種と品質は判別せず、
胸高直径データのみを扱う。

標本木調査
(樹種別品質別の径級別出現確率)

×

レーザ調査
(標本ライン内の立木の胸高直径)

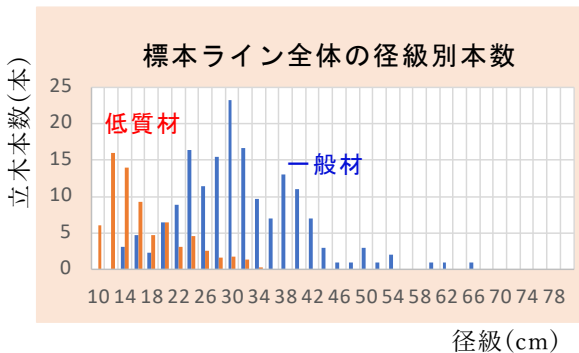


図4 レーザ計測された標本ライン上の
全立木の品質区別径級別立木本数

図2と図3の結果を掛け合わせて、樹種別・
品質別・径級別の立木本数を得る。

さらに、調査区域と標本区域の面積比(拡大
係数)を乗じて、調査区域全体の収穫調査結
果を得る。

4 収穫調査復命書等の作成

地上レーザを収穫調査に導入することによって、使用機材はもちろん、現地調査方法や取得データ等は異なるが、収穫調査報告で求められる基本的事項は満たす必要がある。また各森林管理局の収穫調査規程でも報告様式が異なるものがある。本手順書では、針葉樹人工林等を対象とした収穫調査報告の基本的事項を満たすように報告様式を想定し、地上レーザ計測および標本木調査を集約する様式とした。

(1) 収穫調査の一般的な報告事項

報告事項としては以下のとおりであるが、それぞれの内容（集計の基準や方法等）は森林管理局署が定めている。なお、⑤～⑦に関して、収穫調査規程によっては、森林管理署長等の判断で省略できるとされている。

- ① 収穫区域の位置
- ② 収穫区域の面積
- ③ 林産物の種類及び品質
- ④ 林産物の数量
- ⑤ 林産物の搬出に関する事項
- ⑥ 跡地更新に関する事項
- ⑦ その他 必要事項

(2) 本手順書で設定した報告様式

収穫調査報告で求められる基本的事項①～④に必要な共通様式として、計測データ（野帳に相当）、材積計算、樹種・品質ごとの集計表、それらをベースにした総括表を作成する。

第1表（総括表）調査地および調査結果の総括

第2表（集計表）樹材種別立木一覧

第3表（標本木調査）立木計測データ一覧

第4表（地上レーザ計測）立木計測データ一覧

第5表（樹高曲線及び材積計算書）樹種別の樹高曲線および材積一覧

第6表（樹材種表）標本木調査による樹種別 品質別 立木出現割合

第7表（周囲測量計算書）

なお、計測データを計算・整理する共通計算様式を Excel マクロプログラム等で整えておけば、プログラム計算で必要な集計作業を完結させることができ、収穫調査に係る内業を効率的に行うことができる。

(参考) 収穫調査復命書の様式集

第1表 (総括表) 調査地および調査結果の総括

収穫年度	収穫命令		年 月 日		第 号			
収 穫 調 査 復 命 書								
接 受	署長		次長	総括			主任森林整備官	森林整備官
	所長			事務	森林整備	治山		
								年 月 日
	〇〇〇		森林管理署長					
			〇〇〇	森林事務所				殿
調査期間	自	年 月 日			調査員			
	至	年 月 日				〇〇〇〇〇		印
復命書番号	国有林名	林小班	伐区	官造地名	林名区分	収穫区分	都道府県	森林計画区
〇〇〇	〇〇〇				〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇
伐採方法	林種の細分		施業方法	全内残別	伐採率	機能類型	施業群	要不要存置
〇〇〇	〇〇〇		〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇
施業実施計画 指定内外			計算内外	林齢	分収割合		主 査	審 査
〇〇〇			〇〇〇	〇〇〇	官収	民収		
区 分	面積	N		L		計		
		本数	材積	本数	材積	本数	材積	
調査指示量								
調 査 量	5.62	4,069	2,680.56	0	0.00	4,069	2,680.56	
調査方法	標本レーザ調査			事業区分	〇〇〇			
調査区分	〇〇〇	調査委託者名		〇〇〇				
表 示 方 法	区 域	〇〇〇						
	伐採木	〇〇〇						
	保残木	〇〇〇						
使用極印	〇〇〇			使用方法	〇〇〇			
国土保安関係	〇〇〇							
更新方法	〇〇〇							
搬出関係の意見	〇〇〇							
その他の意見	〇〇〇							
添付書類	立木調査野帳 樹材種別一覧表 材積計算書 評定因子調書 調査進行(足取)図 搬出関係(系統)図 その他							
備 考								

第3表（標本木調査）立木計測データ一覧

標本木調査のデータ（野帳）一覧である。

標本木調査データ（7行以下に貼付）				
立木本数	樹種1	樹種2	樹種3	
79	スギ			

立木番号	樹種	品質	胸高直径	樹高	備考
694	スギ	一般材	26	14	
695	スギ	一般材	32	15	
696	スギ	一般材	18	11	
697	スギ	一般材	32	15	
698	スギ	一般材	32	17	
699	スギ	一般材	44	31	
700	スギ	一般材	36	32	
701	スギ	一般材	46	30	
702	スギ	一般材	38	27	
703	スギ	一般材	30	27	
704	スギ	一般材	40	28	
705	スギ	一般材	32	26	
706	スギ	一般材	30	26	
707	スギ	一般材	34	27	
708	スギ	一般材	40	28	
709	スギ	一般材	36	24	
710	スギ	一般材	36	27	
711	スギ	一般材	32	26	
713	スギ	一般材	24	24	
716	スギ	一般材	30	21	
717	スギ	一般材	32	20	
718	スギ	一般材	28	21	
719	スギ	一般材	30	19	
720	スギ	一般材	28	18	
722	スギ	一般材	20	18	
723	スギ	一般材	20	18	
724	スギ	一般材	28	18	
725	スギ	一般材	26	17	
728	スギ	一般材	24	18	
729	スギ	一般材	32	22	
730	スギ	一般材	38	21	
732	スギ	一般材	30	20	
733	スギ	一般材	22	15	
735	スギ	一般材	46	26	
736	スギ	一般材	44	30	
737	スギ	一般材	26	20	
738	スギ	一般材	26	17	
739	スギ	一般材	20	16	
740	スギ	一般材	18	16	
741	スギ	一般材	24	17	
742	スギ	一般材	24	18	
743	スギ	一般材	26	19	
746	スギ	一般材	30	20	
747	スギ	一般材	36	20	
748	スギ	一般材	32	21	
749	スギ	一般材	26	20	
751	スギ	一般材	40	27	
752	スギ	一般材	38	33	
753	スギ	一般材	38	34	
754	スギ	一般材	38	23	
755	スギ	一般材	50	27	
756	スギ	一般材	24	21	

757	スギ	一般材	34	22	
758	スギ	一般材	30	24	
759	スギ	一般材	40	24	
760	スギ	一般材	42	25	
761	スギ	一般材	66	35	
762	スギ	一般材	60	34	
763	スギ	一般材	48	34	
764	スギ	一般材	66	33	
765	スギ	一般材	36	28	
768	スギ	一般材	54	29	
769	スギ	一般材	58	28	
770	スギ	一般材	42	27	
691	スギ	低質材	14	11	
692	スギ	低質材	24	13	
693	スギ	低質材	16	12	
712	スギ	低質材	30	23	
714	スギ	低質材	20	18	
715	スギ	低質材	16	14	
721	スギ	低質材	18	15	
726	スギ	低質材	16	15	
727	スギ	低質材	18	15	
731	スギ	低質材	16	14	
734	スギ	低質材	14	12	
744	スギ	低質材	16	15	
745	スギ	低質材	22	16	
766	スギ	低質材	28	16	
767	スギ	低質材	22	11	

第4表（地上レーザ計測）立木計測データ一覧

標本レーザ調査、全木レーザ調査にかかわらず、地上レーザ計測で得られた立木データ（胸高直径および立木位置座標）の一覧である。

参考までに、樹種名の記載も一覧には残しているが、データ解析に際して、樹種（品質についても）の情報は使用しない。

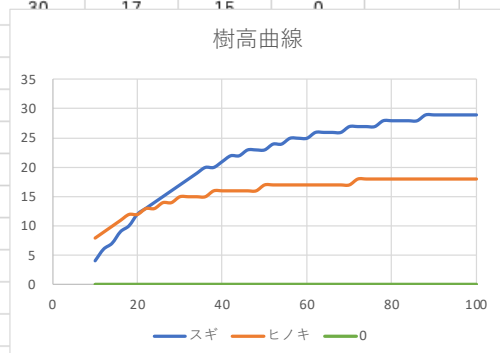
OWL計測データ（4行以下に貼付）				
胸高直径	樹種	X	Y	Z
12.8	スギ	-40.06	-202.8	-72.54
15.3	スギ	-42.65	-217.33	-78.69
15.3	スギ	-34.93	-182.06	-67.15
16	スギ	-38.07	-179.99	-70.4
16.7	スギ	-12.22	-43.74	-25.3
16.7	スギ	-41.47	-226.09	-85.46
17.1	スギ	-7.3	-39.95	-22.43
17.2	スギ	-44.1	-214.07	-77.09
17.5	スギ	-2.06	-24.22	-11.19
17.6	スギ	-37.45	-222.59	-83.77
17.7	スギ	-8.89	-24.79	-11.99
18.2	スギ	-1.88	-28	-13.24
19	スギ	-9.54	-46.85	-27.76
19.5	スギ	-5.37	-30.79	-15.96
19.6	スギ	-34.95	-175.4	-69.17
19.9	スギ	-35.58	-179.54	-68.07
20.1	スギ	-9.73	-26.76	-13.5
20.3	スギ	-39.09	-211.11	-76.04
20.7	スギ	-42.91	-227.18	-85.67
20.7	スギ	-1.72	-14.32	-4.75
20.7	スギ	-36.21	-185.75	-67.19
20.9	スギ	-14.11	-85.08	-56.06
21	スギ	-36.98	-210.42	-76.32
21.4	スギ	-45.29	-256.14	-108.15
21.4	スギ	-13.29	-57.34	-35.24
21.6	スギ	-36.96	-175.05	-70.74
21.6	スギ	-15.66	-70.44	-46.35
22.6	スギ	-35.24	-206.88	-74.94
22.6	スギ	-33.81	41.43	-35.14
22.7	スギ	-33.25	-186.86	-65.42
22.8	スギ	-35.91	-201.01	-71.18
22.8	スギ	-32.84	-181.3	-65.89
22.9	スギ	-32.15	-201.05	-71.54
23.5	スギ	-33.31	-196.36	-68.69
23.6	スギ	-16.47	-72.43	-48.65
23.9	スギ	-35.67	-209.7	-76.4
24.3	スギ	-11.97	-49.48	-29.63
24.5	スギ	-36.65	-214.59	-78.76
24.5	スギ	-41.77	-207.47	-74.47
24.5	スギ	-30.44	-184.67	-64.19
24.6	スギ	1.2	13.02	-3.87
24.7	スギ	-24.65	-142.18	-62.33
24.7	スギ	-10.88	-57.93	-36.2
24.8	スギ	-29.74	-161.9	-64.83
24.9	スギ	-13	-46.92	-27.55
24.9	スギ	-0.42	14.58	-5.57
25	スギ	-5.43	-22.45	-10.25
25	スギ	-27.05	-141.63	-64.12
25.1	スギ	-13.83	-50.04	-29.67
25.3	スギ	-5.15	-40.44	-22.02
25.4	スギ	-31.68	-174.17	-66.36
25.7	スギ	-7.36	-59.89	-37.84
26	スギ	-6.01	-15.15	-7.27
26	スギ	-51.84	-257.68	-105.52
26.1	スギ	-33.95	-161.5	-68.23
26.3	スギ	-0.23	-14.01	-4.18
26.3	スギ	-41.7	-200.85	-72.38
26.3	スギ	-37.22	-203.39	-72.49
26.3	スギ	-4.21	-28.23	-13.98
26.3	スギ	-8.43	-70.1	-43.66
26.4	スギ	-6.96	-18.01	-8.57
27.3	スギ	-5.97	-32.28	-16.67
27.3	スギ	-41.29	-214.05	-77.15
27.3	スギ	-44.87	-217.64	-78.46
27.4	スギ	-29.32	40.64	-30.58
27.5	スギ	-36.4	-219.56	-82.35
27.6	スギ	-8.88	-28.68	-14.43
27.7	スギ	-34.78	-213.44	-78.62
27.7	スギ	-36.68	-182.89	-67.73
28.2	スギ	2.63	-11.15	-1.77
28.3	スギ	-34.1	-166.49	-68.69
28.4	スギ	-39.74	-217.57	-79.42
28.5	スギ	-39.16	-225.36	-85.52
28.5	スギ	-35.78	-211.79	-77.35
28.6	スギ	-33.04	37.97	-34.33
28.8	スギ	-10.13	-31.86	-16.32
28.9	スギ	-48.2	-252.11	-103.14
29.1	スギ	-43.47	-234.89	-91.37
29.1	スギ	-26.94	-162.45	-62.83
29.2	スギ	-35.18	-217.73	-81.19
29.3	スギ	-13.84	-86.78	-56.34
29.6	スギ	-11.5	-45.68	-26.94
29.7	スギ	-52.59	-268.95	-111.94
29.8	スギ	-40.66	-215.82	-78.27
29.9	スギ	-29.46	-180.81	-64.28
29.9	スギ	-4.24	-14.09	-6.15
30	スギ	-1.54	-10.55	-3.87
30	スギ	-22.8	-133.97	-59.28
30	スギ	-9.78	-56.58	-35.38
30.1	スギ	-3.78	14.42	-8.66
30.2	スギ	-34.28	-192.04	-66.86
30.4	スギ	-49.34	-242.63	-95.03
30.4	スギ	-43.67	-225.71	-84.37
30.5	スギ	-45.45	-240.08	-94.72
30.6	スギ	-21.56	-105.78	-64.06
30.6	スギ	-8.67	-43.27	-25.04
30.8	スギ	-7.27	10.59	-12.09
30.9	スギ	-34.71	-186.29	-66.44
30.9	スギ	-12.09	-79.6	-52.14
30.9	スギ	-29.56	-174.18	-64.84
30.9	スギ	-38.35	-201.33	-71.36
31	スギ	-41.57	-220.64	-81.13
31.1	スギ	-3.05	-25.79	-12.14
31.1	スギ	-45.84	-244.36	-97.72
31.4	スギ	-38.72	-205.23	-72.95
31.5	スギ	-29.15	-148.78	-65.73
31.7	スギ	-42.14	-205.43	-73.84
31.8	スギ	-44.7	-246.11	-99.62
31.8	スギ	-10.39	-50.35	-29.87
31.9	スギ	-8.37	-50.91	-30.11
32	スギ	-18.61	-114.24	-59.51
32.1	スギ	-44.94	-237.18	-92.79
32.1	スギ	-29.81	-164.96	-64.9
32.3	スギ	-6.07	-43.55	-24.87
32.5	スギ	-44.98	-233.93	-90.35
32.5	スギ	-0.91	-30.87	-15.15
32.5	スギ	-36.19	-195.85	-69.16
32.9	スギ	-19.49	-104.51	-62.33
33	スギ	-50.4	-255.73	-104.91
33.1	スギ	-53.33	-262.68	-107.56
33.3	スギ	-14.07	22.37	-19.13
33.4	スギ	0.14	16.53	-5.05
33.5	スギ	-9.35	15.49	-14.36
33.8	スギ	-41.33	-240.09	-95.46
34	スギ	-46.7	-247.1	-99.71
34	スギ	2.44	13.21	-2.68
34.2	スギ	-10.03	-41.5	-23.7
34.2	スギ	-13.18	-69.76	-45.72
34.4	スギ	-32.73	-154.29	-67.65
34.9	スギ	-27.38	-159.54	-63.45
35.1	スギ	-4.36	-8.82	-5.1
35.4	スギ	-12.96	15.41	-17.24
35.6	スギ	-46.6	-260.86	-110.75
35.7	スギ	-11.34	-72.3	-47.2
35.7	スギ	-6.96	15.65	-12.07
36.6	スギ	-28.48	-140.03	-65.78
36.9	スギ	-47.36	-250.23	-101.51
36.9	スギ	-41.18	-197.53	-71.52
37.6	スギ	-41.83	-238.67	-94.5
37.7	スギ	-30.15	-152.6	-66.07
37.8	スギ	-38.59	-195.55	-69.79
38.1	スギ	-11.27	22.9	-16.7
38.2	スギ	-40.01	-243.01	-99.02
38.2	スギ	-44.22	-243.35	-97.72
38.5	スギ	-12.8	-86.75	-55.4
38.6	スギ	-6.85	-58.28	-36.33
38.7	スギ	-5.66	21.3	-11.34

第5表 (樹高曲線及び材積計算書) 樹種別の樹高曲線および材積一覧

- ・ 標本木調査による胸高直径と樹高から、樹種別の樹高曲線を近似した結果が左表である。樹種は3種まで自動的に近似計算を行う。左表では、スギとヒノキについて近似している。樹高曲線のグラフが階段状になっているのは、樹高をメートル括約としたためである。
- ・ 右表は、樹高曲線で使用した胸高直径と樹高(左表)のデータを、樹種ごとの幹材積表に適用して得た単木材積一覧である。

樹高曲線 $H = H_{max} * \exp(a/DBH)$				
樹種名	a	Ymax	R2	本数
スギ	22.89065	37.08191	0.830009	96
ヒノキ	9.568522	20.04719	0.958459	47

樹種ごとの樹高			
DBH	スギ	ヒノキ	0
10	4	8	0
12	6	9	0
14	7	10	0
16	9	11	0
18	10	12	0
20	12	12	0
22	13	13	0
24	14	13	0
26	15	14	0
28	16	14	0
30	17	15	0



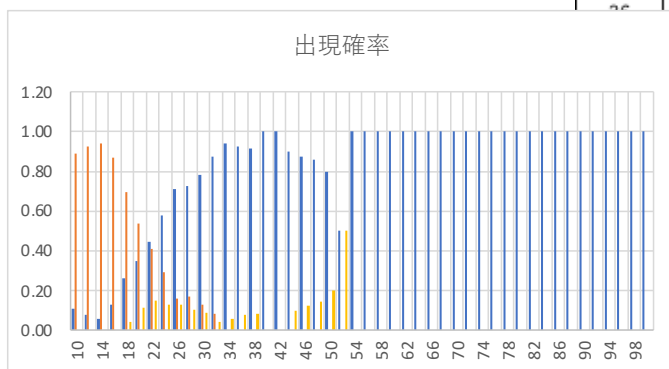
32	24	17	0
34	24	17	0
36	25	17	0
38	25	17	0
40	25	17	0
42	26	17	0
44	26	17	0
46	26	17	0
48	26	17	0
50	27	17	0
52	27	18	0
54	27	18	0
56	27	18	0
58	28	18	0
60	28	18	0
62	28	18	0
64	28	18	0
66	28	18	0

DBH	単木材積		
	スギ	ヒノキ	0
10	0.026	0.087	
12	0.058	0.122	
14	0.103	0.163	
16	0.140	0.209	
18	0.198	0.260	
20	0.270	0.316	
22	0.336	0.377	
24	0.433	0.444	
26	0.520	0.515	
28	0.618	0.591	
30	0.725	0.672	
32	0.844	0.757	
34	0.934	0.848	
36	1.071	0.943	
38	1.220	1.042	
40	1.381	1.146	
42	1.498	1.255	
44	1.680	1.369	
46	1.809	1.486	
48	2.013	1.609	
50	2.154	1.736	
52	2.300	1.866	
54	2.535	1.996	
56	2.693	2.129	
58	2.953	2.266	
60	3.124	2.407	
62	3.299	2.552	
64	3.593	2.700	
66	3.782	2.851	
68	3.974	3.007	
70	4.171	3.166	
72	4.510	3.328	
74	4.721	3.494	
76	4.935	3.664	
78	5.153	3.837	
80	5.375	4.014	
82	5.773	4.194	
84	6.010	4.377	
86	6.250	4.564	
88	6.493	4.755	
90	6.741	4.949	
92	6.992	5.146	

第6表（樹材種表）標本木調査による樹種別 品質別 立木出現割合

標本木調査結果から、樹種別、品質別に、本表および下図に示すように、径級別の立木出現確率（0～1）が算出される。これは、レーザ計測された立木について、樹種と品質に振り分ける根拠となる。

なお、選木される標本木は40～50本程度であり、算出される径級別本数が離散的となるため、径級に対して移動平均した立木本数により、出現確率を算出することとした。



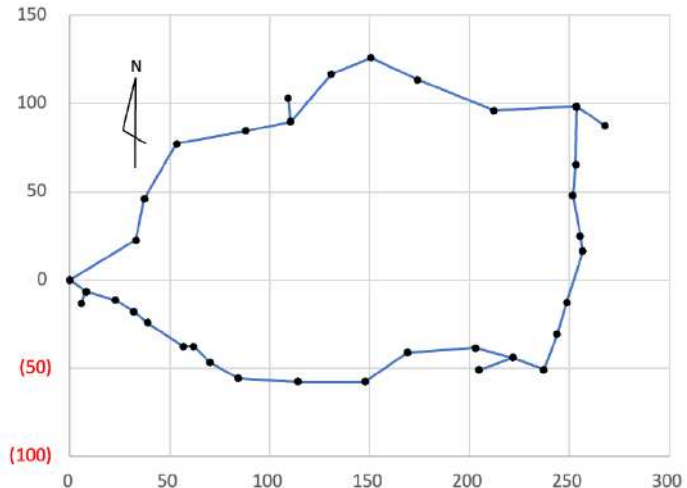
標本木調査に基づく算定						
樹種別・品質別 立木本数の出現確率						
径級	スギ	スギ	広葉樹	広葉樹		
	一般材	低質材	一般材	低質材	一般材	低質材
10	0.11	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.08	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.06	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.13	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.26	0.70	0.00	0.04	0.00	0.00
20	0.35	0.54	0.00	0.12	0.00	0.00
22	0.44	0.41	0.00	0.15	0.00	0.00
24	0.58	0.29	0.00	0.13	0.00	0.00
26	0.71	0.16	0.00	0.13	0.00	0.00
28	0.72	0.17	0.00	0.10	0.00	0.00
30	0.78	0.13	0.00	0.09	0.00	0.00
32	0.88	0.08	0.00	0.04	0.00	0.00
34	0.94	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
36	0.92	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
38	0.92	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
40	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.90	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
52	0.88	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
54	0.86	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
56	0.80	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
58	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
60	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
68	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
72	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
82	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
84	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
94	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

第7表（周囲測量計算書）

周囲測量データを下表左側にコピー＆ペーストすれば、閉合差を補正した測量結果を算出し、実測図が表示される。

⑤ 収穫調査箇所 周囲測量計算書												
〇〇〇	森林管理署	〇〇〇	国有林	0	林小班							
緯度	32.10604		実測面積	5.62	ha							
経度	130.7829											
標高	633 m											
測量データを貼付(11行以降)				水平距離	座標計算			積算距離	補正座標			
収測番号	方位角	高低角	斜距離		x	y	z		X	Y	Z	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	
2	55.5	-4	40	39.90	32.88	22.60	-2.79	39.9	32.9	22.6	-2.7	
3	10	0	23.8	23.80	37.02	46.04	0.00	63.7	37.0	46.0	0.2	
4	27.5	-3	35.3	35.25	53.29	77.31	-1.85	99.0	53.3	77.3	-1.6	
5	78	-14	36.3	35.22	87.75	84.63	-8.78	134.2	87.8	84.6	-8.4	
6	77	8	23.4	23.17	110.33	89.84	3.26	157.3	110.4	89.8	3.7	
対空標識	354.5	0	13.2	13.20	109.06	102.98	0.00	170.5	109.1	103.0	0.5	
対空標識	174.5	0	13.2	13.20	110.33	89.84	0.00	183.7	110.4	89.8	0.5	
7	37	2	33.9	33.88	130.71	116.90	1.18	217.6	130.8	116.9	1.8	
8	65.5	6	22	21.88	150.62	125.97	2.30	239.5	150.7	126.0	3.0	
9	118	15	27.3	26.37	173.91	113.59	7.07	265.9	174.0	113.6	7.8	
10	114.5	8	42.3	41.89	212.02	96.22	5.89	307.8	212.1	96.2	6.8	
11	87	3	41.4	41.34	253.31	98.39	2.17	349.1	253.5	98.4	3.2	
対空標識	127	0	17.7	17.70	267.45	87.74	0.00	366.8	267.6	87.7	1.0	
対空標識	307	0	17.7	17.70	253.31	98.39	0.00	384.5	253.5	98.4	1.1	
12	180.5	11	33.6	32.98	253.02	65.41	6.41	417.5	253.2	65.4	7.6	
13	185	14	18.2	17.66	251.48	47.81	4.40	435.2	251.7	47.8	5.6	
14	170.5	11	23.5	23.07	255.29	25.06	4.48	458.2	255.5	25.1	5.8	
15	172	-3	8.8	8.79	256.51	16.36	-0.46	467.0	256.7	16.3	0.9	
16	195.5	-6	30.5	30.33	248.41	-12.87	-3.19	497.3	248.6	-12.9	-1.8	
17	195	-5	18.5	18.43	243.64	-30.67	-1.61	515.8	243.8	-30.7	-0.2	
18	198.5	-6	21.2	21.08	236.95	-50.67	-2.22	536.9	237.2	-50.7	-0.7	
19	293.5	-2	17.1	17.09	221.28	-43.85	-0.60	553.9	221.5	-43.9	1.0	
対空標識	247	0	18.2	18.20	204.52	-50.96	0.00	572.1	204.8	-51.0	1.6	
対空標識	67	0	18.2	18.2								
20	286	-4	19.4	19.3								
21	265.5	-7	34.5	34.2								
22	232.5	0	26.8	26.8								
23	270	-11	34.1	33.4								
24	273.5	-6	30.1	29.9								
25	302.5	0	16.8	16.8								
26	318	4	12.2	12.1								
27	269.5	-4	5.2	5.1								
28	307	1	22.4	22.4								
29	312.5	-4	9.3	9.2								
30	305	-5	11.3	11.2								
31	288.5	-6	15.6	15.5								
対空標識	200.5	0	7.2	7.2								
対空標識	20.5	0	7.2	7.2								
1	309	-13	10.7	10.4								

周囲測量 実測図



5 収穫調査の効率化に向けた検討

本手順書では、区域設定から立木調査に至る一連の調査項目についてすべて解説している。しかしながら、収穫調査の実施にあたっては、これらすべての調査項目を実施することが前提ではなく、調査地の林況や調査目的に応じて、UAV空撮やオルソ画像作成等を適宜省略することが可能と考えられる。また地上レーザ計測で必須としている標本木調査についても、調査対象地の近接林分あるいは類似林分において、活用可能な樹高や品質のデータがあれば、それらを襲用するといった工夫も考えられる。

収穫調査対象地の状況等に応じて、調査手法や手順を柔軟に選択・組み合わせる判断が必要であり、収穫調査業務を効率的に実施されることが期待される。

以下、調査林分の状況等に応じた調査項目の組み合わせについて、典型的な事例を示す。

(例1) 3～5 haの人工林 → UAV空撮+標本レーザ調査

- ①事前調査 UAV空撮、区域の表示・測量
オルソ画像から樹頂点を抽出、標本ライン（標準地）を設定
- ②立木調査 現地で標本ライン（標準地）上を地上レーザ計測
標本木調査（樹種判別、品質区分、胸高直径、樹高）
- ③集計 ②の調査結果を区域全体に拡大（本数 or 面積拡大）

(例2) 1 ha未満の人工林 → 全木レーザ調査

- ①事前調査 既存の空中写真等で概況を把握
- ②立木調査 区域の表示
地上レーザ計測により区域測量+全木調査を同時に実施
標本木調査（樹種判別、品質区分、胸高直径、樹高）
- ③集計 ②の調査結果を集計

(例3) レーザの見通しがきかない人工林 → UAV空撮+標準地調査（従来法）

- ①事前調査 UAV空撮、区域の表示・測量
オルソ画像から樹頂点を抽出、標準地を設定
- ②立木調査 標準地の区域設定、測量
標準地内の立木調査（樹高、品質含む）
- ③集計 ②の調査結果を区域全体に拡大（面積拡大等）

参考文献

- 細田和男 (2012) 標準地法における調査区の大きさと形状の再検討. 日林誌 94: 105-111
- 細田和男ら (2020) 地上型レーザースキャナーによる効率的な収穫調査と素材生産現場への活用方法の提案. 日本森林林業振興会、森林林業振興助成事業成果報告書
- 小林裕之 (2020) 撮影高度と DTM の違いが UAV-SfM による森林計測に及ぼす影響. 森林計画学会誌 53: 69-79
- 国土地理院 (2016) UAV を用いた公共測量マニュアル(案). 国土地理院
- Mohan, Midhun et al. (2017) Individual Tree Detection from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Canopy Height Model in an Open Canopy Mixed Conifer Forest. *Forests* 2017, 8, 340; doi:10.3390/f8090340
- Onishi, Masanori & Ise, Takeshi (2021) Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific reports* (2021)11: 903
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-79653-9>
- 林野庁 (2020) 令和元年度 リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委託事業：UAV 立木調査マニュアル（簡易画像解析法）、林野庁業務課
- 林野庁 (2020) 令和元年度 リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委託事業 報告書、林野庁業務課
- 林野庁 (2021) 令和 2 年度 地上型 3D レーザースキャナを活用した収穫調査実証等委託事業 報告書、林野庁業務課
- 島田博匡. ドローンによる空中写真画像を用いた森林資源情報の把握. 三重県林業研究所
<http://www.pref.mie.lg.jp/ringi/hp/000232832.htm>
- 富山県農林水産総合技術センター森林研究所 (2020) ドローンによる空撮と画像解析のやり方－施行計画の立案や資源量把握のために. 28pp
- 坪倉真 (2021) 3次元点群データを用いた森林管理. イノベーション部門 No.16、近畿中国森林管理局発表会
- 林悠介ら (2021) ディープラーニングによる針葉樹の単木樹冠検出と樹種分類. 森林計画誌 55: 3-22.
- Yu, Kunyong (2022) Comparison of Classical Methods and Mask R-CNN for Automatic Tree Detection and Mapping Using UAV Imagery. *Remote Sens.* 2022, 14, 295.
<https://doi.org/10.3390/rs14020295>

巻末資料

巻末資料A モバイル機器の活用

【GNSS 機器への読み込ませ例】 回



TOP > 国土数値情報 > 国有林野データ

データのダウンロード (2名データ詳細)
 選択したデータ項目は、国土数値情報「国有林野データ」です。
 最新のデータは製図仕様書第1.0版に基づいています。(データ作成年度:令和元年度)

国有林野 第1.0版	
更新履歴	
内容	農林水産省林野庁が国有林GISで管理している地図データから、全国の国有林野の小班区画ポリゴンデータを整備したものである。
データ基準年	平成30（2018）年4月1日時点
関連する法律	国土利用計画法（昭和49年6月25日法律第92号）
原典資料	農林水産省林野庁「平成30年度版 国有林GIS資与可能地図データ 小班区画（ポリゴン）」
作成方法	図形データは、原典資料データから世界測地系（日本測地系2011）の緯度経度座標に変換して作成した。属性データは、原典資料データから一部の項目を除いてそのまま格納した。 出典：林野庁業務資料
このデータの使用許諾条件	適用する利用規約に基づく（オープンデータ）
座標系	JGD2011 / (B, U)
データ形状	面



巻末資料B 地上レーザによる現地計測での留意事項

収穫調査の対象となる森林は、樹種構成、地形、生育経過など、その状況は様々であり、また計測する際の環境条件・気象条件も異なる。森林計測ではその時点で臨機応変に判断・工夫することも必要であり、地上レーザ計測でも同様である。地上レーザ計測における一般的な留意事項について列挙する。

(1) 樹種や枯損木の判別

現状ではレーザ計測で、樹皮や枝ぶりなどを定量的に分析して、樹種を識別したり、枯損・腐れ等の欠点を認識させることはできない。3次元点群画像を動画で確認すれば、枝葉の状況からスギ、ヒノキ、カラマツなど典型的な樹種についてはある程度視覚的に判断できる場合もあるが、人間の目で見ても識別しがたい場合があり、レーザ計測で自動判別するのは困難である。



ヒノキとスギの樹皮の状態

地上レーザでは、樹皮の凹凸や滑らかさ等、微細な状態を識別できないため、樹種の識別は現状では難しい。

(2) 計測限界

- ・地上レーザでは樹高が低く計測される傾向があるが、孤立木のように樹頂点が見通せる場合であっても、レーザセンサの規格により、樹高が30m前後よりも高くなると、レーザの到達限界あるいは枝葉等の遮蔽により正確な計測はできない。
- ・胸高直径100cmを超えるような大径木の胸高直径については、計測装置の仕様、あるいは演算アルゴリズムにもよるが、計測精度の関係から注意した方がよい。



樹高30m以上、立木本数が少ない、胸高直径80cm以上の大径木や根上がり木等の計測は注意する。

- ・レーザ到達限界距離の関係もあるが、立木間隔が離れている極端な疎林状態や大きな林冠ギャップなどでは、レーザデータを結合処理するための十分な点群データが得られない場合があり、注意が必要である。
- ・疎林とは逆に、立木が密生している場合や枝下高が低く、幹・枝・葉によってレーザが遮られるような場合は、立木そのものの識別が困難で計測できなくなる。枝下高が低く、レーザセンサ自体に枝葉が覆いかぶさるような場合は計測できない。

(3) 下層植生等

下層植生や枝葉の繁茂が著しい以下のような場合には、計測できないことがある。

- ・枝下高が概ね2~3m以下の若齢林
- ・灌木や低層木が密生している林分
- ・腰から胸付近までシダや笹が密生している林分



灌木などの低層木やシダ・ササが密生している場合、レーザーが遮られ計測できないことがある。

(4) 林縁付近やギャップ内

林縁付近や林冠ギャップ内では、林内に灌木や下層木が密生していたり、主要な立木そのものの本数が少ないため、計測して得られるスキャンデータの解析処理ができないことがある。調査区域にこのような場所がある場合は、そこを避けるように計測地点をずらすことで計測できる場合がある。こういった場合に計測地点をずらせばよいか、などの適切な対応は現地計測の経験を積むことが大切である。



倒木による林冠ギャップや林縁付近で、立木が少なく、灌木が多いと計測できないことがある。



林床にササが密生している場合は、レーザーが遮られ、地面や胸高位置が判定できないため、計測できないことがある。

(5) 渓流域での計測

水面ではレーザーが乱反射するため水面が検出できないため、河畔林等のように水際に生育する樹木については計測困難と考えられる。

(6) 天候による計測の可否

空中に微粒子が浮遊している状態では、レーザーが乱反射または吸収されるため、レーザー反射光の検出が難しくなる。そのため、霧が発生した場合、計測はできない。経験的には、比較的うっすらとした程度の霧でも、計測できない場合がある。

雨や雪の場合は（大雨や大雪は計測経験なし）、レーザーの反射量そのものが若干減少すると思われるが、計測そのものは可能であるが望ましくはない。どうしても計測せざるを得ない場合は、計測装置本体およびバッテリー周りが濡れないようにすること、レーザーセンサ部の水滴を頻繁に拭き取るなど注意する必要がある。

巻末資料C 地上レーザ計測による森林調査での工夫

(1) 区域を分割した場合は、分割区域の連結

計測面積が広がるとレーザ計測の地点数や計測データ量が多くなるため、データ解析処理の所要時間が長くなるほか、高スペック PC も必要になる。

PC によるデータ解析に懸念がある場合は、広い調査区域を一度に計測するのではなく、適宜分割することも推奨される。調査区域面積やレーザ計測装置の使用頻度等も考慮すれば、複数台を導入して計測するほうが、現地計測がスムーズになる可能性もある。その場合、機材ごとの計測担当区域を事前に分担するなどの工夫が必要である。

状況により調査区域を分割
調査区域が広い場合は林況や地形を考慮して、レーザ計測の範囲を分割した方が、作業は効率的である。



(2) 反射テープの活用

使用機材の特性にもよるが、再帰反射テープ（写真）を認識するレーザ計測装置もある。疎林や開放地等では、立木間の距離が遠いためレーザデータが結合できない場合がある。そのような場合は、反射材を木杭や立木等に巻いて、適宜、林内に配置（数 m 間隔）しておくことで、データ結合が可能である。また、林道や土場等の無立木地でも、反射材を活用することで、区域測量や地形測量が可能である。



令和3年度地上型3Dレーザスキャナを活用した収穫調査実証等委託事業
地上レーザスキャナによる収穫調査
実施手順書

令和4年3月

業務受託 一般財団法人日本森林林業振興会
〒112-0004
東京都文京区後楽 1-7-12
TEL : 03-3816-2471
担当 : 坂井敏純