

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レーザ等立木調査ガイドライン
(UAVレーザ計測法、航空レーザ計測補正法)

令和 2 年 3 月

林 野 庁

目次

はじめに.....	1
1 ガイドラインの目的.....	2
2 UAV レーザ計測法.....	2
2.1 予備調査.....	3
2.2 区域表示.....	3
2.3 UAV レーザ計測及びデータ解析.....	4
2.3.1 委託準備.....	4
2.3.2 委託.....	4
2.3.3 委託成果品の検査.....	15
2.4 復命書作成.....	16
2.5 データベースの作成.....	16
3 航空レーザ計測補正法.....	17
3.1 予備調査【ケース1～3共通】.....	18
3.2 区域表示【ケース1～3共通】.....	18
3.3 委託業務.....	18
3.3.1 委託準備【ケース2、3共通】.....	19
3.3.2 委託【ケース2、3共通】.....	19
3.3.3 委託成果品の検査.....	29
3.4 復命書作成.....	30
3.5 データベースの作成.....	30

はじめに

国有林野事業においては、利用期に達した人工林を伐採し、将来的に均衡のとれた年齢構成に誘導するとともに、国産材の安定的・効率的な供給体制の構築に貢献するため、立木販売を中心に収穫量を増加させることとしており、立木価格の低迷や限られたマンパワーに対応しつつ、収穫調査を効率的かつ適切に実施していくことが重要な課題となっている。

効率的な森林調査法として大きな期待が寄せられているのが、UAV や航空機によるレーザー計測データを用いた立木調査法である。「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」においても、レーザー計測データを用いた立木調査法の計測精度をはじめとする一連の作業工程について検討したところ、一定程度の精度が得られ、業務の効率化が期待できることが確認された。

一方、レーザー計測で得られた樹冠投影面積等から胸高直径を推定するための推定式の適用条件等については現状では十分な知見が蓄積されておらず、また上層木の樹頂点抽出は可能であるが下層木の抽出が困難であるほか、立木の品質区分の扱い等についても問題点として確認されたところである。UAV や航空機によるレーザー計測データを用いた立木調査法については、今後の現地実証を重ねながら、データ及び解析情報を蓄積するとともに、上述したような諸課題を解決していくことにより、本手法の優れた特性を活かすことが重要である。

本ガイドラインは、このような視点に立って、現時点で最も妥当と考えられる UAV や航空機によるレーザー計測データを用いた立木調査法に係る具体的手順や留意事項を整理するとともに、立木評価の信頼性を高めるために必要なデータベースの整備方法等について整理したものである。

本調査法を実用的な技術としていくためには、調査手法及び解析手法等の課題を解決するとともに、現場における様々な実情に応じて適切な運用を図っていくことが不可欠である。本ガイドラインを参考として、UAV や航空機によるレーザー計測を用いた立木調査法がより現場に適合し実用的なものとなるよう取り組まれることを期待する。

1 ガイドラインの目的

UAV や航空機によるレーザスキャニングでは樹冠形状や樹高等は計測できるが、胸高直径を直接計測することはできない。このため、樹冠形状や樹高等から胸高直径を推定することとなる。本調査法は、レーザスキャニングで得られるデータ（樹冠形状や樹高等）と調査対象林分における標本調査で得られる立木データを解析して胸高直径推定式を作成し、単木ごとの立木材積を求める方法である。

しかしながら、人工林であっても林分密度や地形等によって生育状況が異なるため、樹冠形状や樹高等と胸高直径との関係性を一般化するだけの十分な知見は得られていない。そのため、収穫調査を目的とした胸高直径推定式を得るためには、現状では、個々の林分毎に標本調査を実施して、適合性の高い推定式をその都度求める必要がある。

本調査法による立木調査や標本調査のデータが十分に蓄積されて、胸高直径推定に関する関係性がある程度一般化できるようになれば、収穫予想表のように対象林分の特性に応じた適合性の高い胸高直径推定式が整備され、調査効率を飛躍的に高めることができる可能性がある。

UAV および航空レーザ計測による立木情報推定に関するこうした現状を踏まえ、本ガイドラインは、UAV レーザ計測法および航空レーザ計測による標準的な調査法と計測業務の手順を示すとともに、より適合性の高い効率的な推定法策定への一助とするものである。

2 UAV レーザ計測法

UAV レーザ計測による立木調査法については、「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」報告書に示したとおり、収穫調査対象となる森林をUAV により上空からレーザ計測し、調査対象区域の特定、得られた点群データの解析、樹高および胸高直径の推定を行い、これらデータから単木毎の材積を推定し、林分全体の資源内容を明らかにするものである。なお、UAV によるレーザ計測及び調査対象区域の特定、点群データの解析、樹高および胸高直径の推定については、現時点では高度の専門的技術が必要であり、専門の外部機関に委託する必要がある。

本調査法による収穫調査の実施手順は、大まかに以下の工程からなる：

- ① 予備調査
対象林分の概況、UAV 飛行制限、既存データの有無等
- ② 区域表示
区域確定、区域測量等
- ③ 計測及びデータ解析（外部委託）

UAVによるレーザ計測、区域情報等の取得、単木情報の抽出・集約

④ とりまとめ

納品された単木情報による収穫調査復命書の作成

UAVレーザ計測については、一般にUAV飛行に必要な固定費が大きいことから、調査対象地をある程度まとまりがあるものとし、一定以上の面積規模となるよう配慮することが望ましい。

2.1 予備調査

調査対象林分とその区域の概況及びUAV飛行条件等について予備調査を実施する。レーザ計測で得られる単木ごとの計測値をもとに収穫調査復命書を作成することを念頭に、調査すべき項目を検討する。特に、以下2点について留意する。

- (1) レーザ計測では品質区分が行えないため、予備調査時点で品質区分割合の概略を把握しておく必要がある。
- (2) UAV飛行許可を得るため、以下の必要事項を確認する：
 - ・ 飛行禁止エリアか否かの確認
 - ・ UAV離発着場の位置
 - ・ 架線等空中支障物の有無
 - ・ その他安全上留意すべき事項の有無
 - ・ その他特記事項（何かあれば記載）

飛行禁止区域に指定されているなど、飛行に必要な条件に問題があれば、本調査法の実施が不可能となる。

2.2 区域表示

調査対象区域を明確にするため、区域の外縁木（または内縁木）に明瞭な表示を付すとともに、必要な境界の刈り払い、境界標の設置、ポケットコンパスまたはGNSSによる区域計測を行う。このとき、委託成果の区域と容易に突合できるように境界標の位置を測量するとともに連番を付すこととする。

2.3 UAV レーザ計測及びデータ解析

UAV 飛行、レーザ計測及びそのデータ解析に関する本工程については、専門の外部機関へ委託することとなる。そのため本工程の内容は、

- ① 委託準備
- ② 委託
- ③ 成果品の検査

に大別される。本工程で実施すべき必要事項を以下、整理した。

2.3.1 委託準備

UAV によるレーザ計測とデータ解析にあたって、委託先への提示が必要な情報及び実施条件等は次の通りであり、委託先との十分な打ち合わせが必要である。特に調査区域での UAV 飛行および計測データ取得に支障となる事由の有無については事前の確認が必須である。

- ① 区域情報
 - 区域の所在及びコンパス等の測量成果
 - 正確な位置情報を有する近傍の基準点等情報得
 - 区域表示の方法（外縁木へのテープ表示等の情報）
- ② UAV の飛行にあたっての安全上の留意点
 - 調査対象区域周辺における作業箇所及び人の入り込み情報
 - 架線等空中障害物
 - 飛行可能エリア（別途飛行許可が必用な民有地、道路等の所在情報）
- ③ 施業履歴等
 - 植栽年度、施業履歴、作業道等の配置、森林被害履歴等

2.3.2 委託

委託にあたって、具体的な調査方法及び成果品の整理方法等については仕様書に定める。委託する際の仕様書で定めておくべき事項及び内容は次の通りである。

- ① データの取得方法
 - UAV によりレーザ照射し、その反射波を取得
- ② 飛行高度及びレーザ点群密度
 - 飛行高度は航空法に定められた制限や周囲の地形条件等を考慮して決定する。データ解析に必要なレーザ点群密度は 4 点/m²以上とする。
- ③ レーザ計測データの解析
 - ・レーザ計測データから対象林分の 3 次元点群データを構築する。
 - ・3 次元点群データに指定された調査区域を再現する。
 - ・樹頂点を抽出、単木毎の樹冠形状を把握する。
- ④ 標本調査の実施

調査対象林分の状況や対象面積に応じて、1林相内に100～400m²の標本調査区を複数箇所設定し、樹高、胸高直径を計測する。標本調査区は設定数が多いほど胸高直径推定式の信頼度が高くなると期待されるが、調査に係る労力や必要とする適合度を考慮の上、既存の調査を参考にして妥当な数を設定することが望ましい。

⑤ 胸高直径推定式の作成

標本調査により得られたデータをもとに、胸高直径と各種因子の相関関係を分析して、最も適合度の高い因子による胸高直径推定式を作成する。

⑥ 胸高直径推定式による単木毎の資源情報の整理

決定した胸高直径推定式により、③で抽出された単木毎の胸高直径を求め、単木毎の樹高と合わせ様式2-3に整理する。

⑦ 胸高直径推定式の適合性の確認

各標本調査区において、④で得られた現地調査平均胸高直径と、⑥で得られたレーザ解析平均胸高直径を比較して誤差率を確認し、様式2-8に整理する。

(参考) 成果品の様式

- 様式2-1 UAV レーザ計測データ
- 様式2-2 ノイズ除去された3次元点群データ
別添ファイル(ファイル形式指定、区域挿入データ含む)
- 様式2-3 樹頂点抽出された立木データ
別添ファイル(ファイル形式指定、区域挿入データ含む)
- 様式2-4 標本調査区における立木調査情報
(標本調査区の位置情報、単木ごとの胸高直径、樹高等)
- 様式2-5 調査区域の再現方法
(再現手法(GCPの設置、再現手法)、精度等を記述)
- 様式2-6 標本調査区とりまとめ結果
標本調査区の立木調査結果、各調査区の位置
- 様式2-7 胸高直径の推定式及び選定理由
(作成した推定式一覧、RSME、P値、推定式の選定理由)
- 様式2-8 推定式適合度(誤差率)確認結果
 - (1) 標本調査区における平均胸高直径の精度検証結果
 - (2) 推定精度検証結果

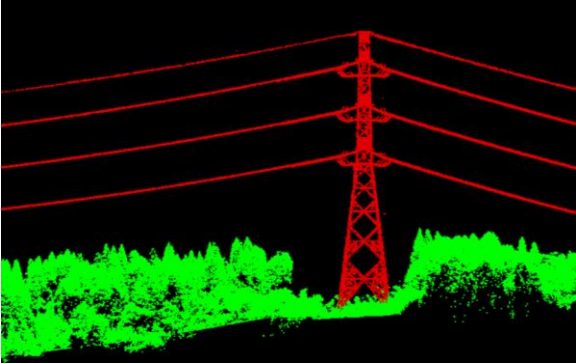
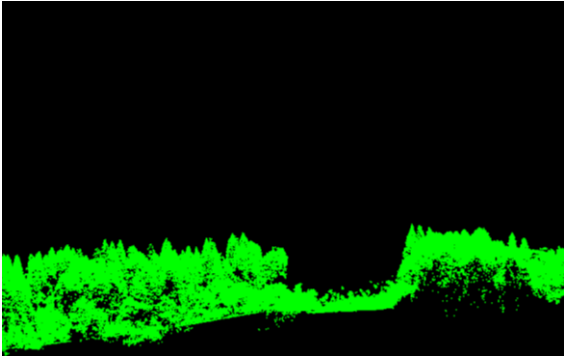
様式 2-1 (記入例)

UAV レーザ計測データ

データ形式		格納データ
・ LAS ・ TXT		X 座標 Y 座標 Z 座標 コース番号 パルス番号 反射強度情報
計測日時	12 月 25 日	計測面積 7.00 km ²
開始時刻	10:00	
終了時刻	15:00	
		
<p>【計測時の様子、データの留意点など】 特記事項なし</p>		

様式 2-2 (記入例)

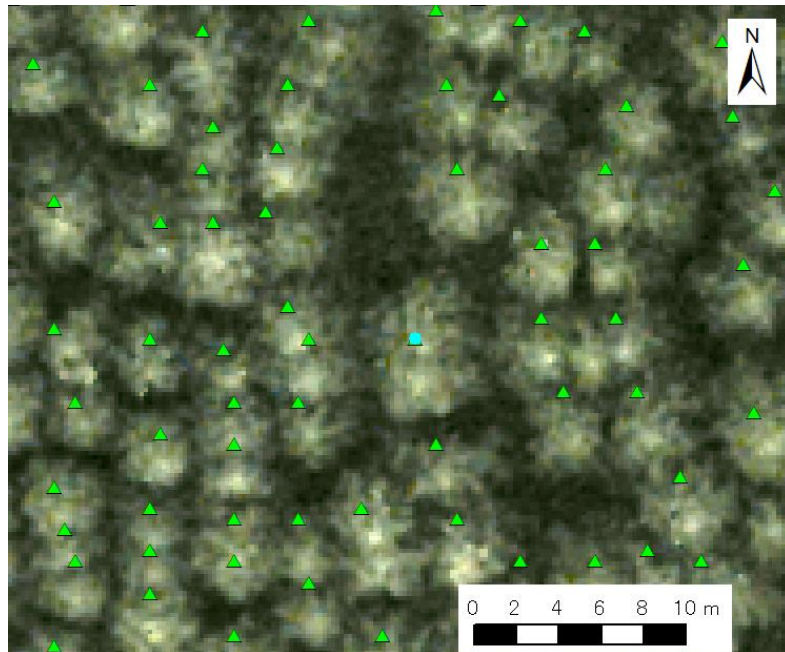
ノイズ除去された 3 次元点群データ

データ形式	格納データ
<ul style="list-style-type: none"> ・ LAS ・ TXT 	<ul style="list-style-type: none"> X 座標 Y 座標 Z 座標 コース番号 パルス番号 反射強度情報
<p>【ノイズ処理をした箇所の様子】</p> <p>処理前</p>  <p>処理後</p> 	

様式 2-3 (記入例)

樹頂点抽出された立木データ

【樹頂点データの拡大図】



【格納情報】

- ・ 樹高・樹冠長・樹冠投影面積
- ・ 立木位置（緯度、経度）
- ・ 胸高直径・材積・樹種名
- ・ 上記のほか、胸高直径推定式（様式 2-7）で得られる胸高直径、材積計算値など立木情報一式を格納する。

【ファイル形式】

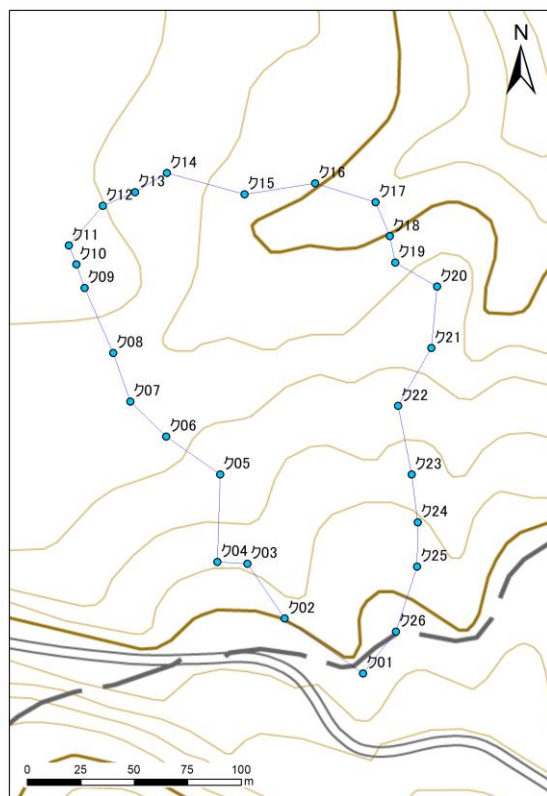
SHP 形式、GDB 形式など

様式 2-5 (記入例)

調査区域の再現

調査区域名：〇〇国有林〇林小班						
測点番号	測定緯度	測定経度	衛星数	PDOP	HDOP	RMSE
ク 01						
ク 02						
ク 03						
ク 04						
・						
・						
・						
ク 26						

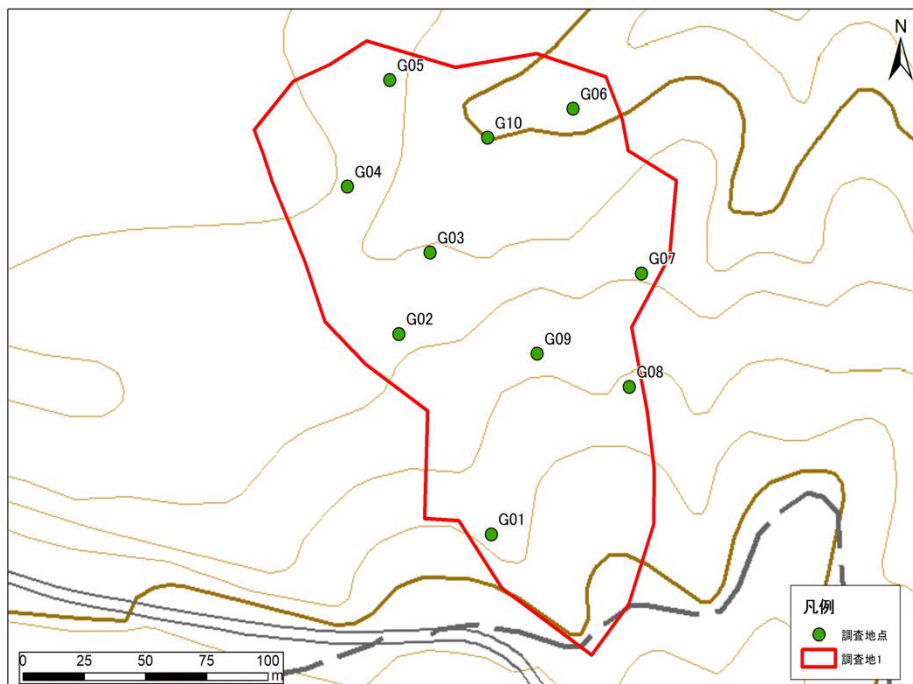
位置図



標本調査区とりまとめ結果

標本調査区の集計結果									
調査区域名		〇〇国有林〇〇林小班							
標本調査区	樹種	調査面積 (ha)	上層木本数	全木本数	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	合計材積 (m ³)	緯度	経度
G01	スギ	0.02	12	12	32.7	20.4	10.518	34.87754	138.86298
G02	スギ	0.02	21	21	28.2	19.2	12.454	34.87815	138.86258
G03	スギ	0.02	21	22	27.0	19.9	11.970	34.87846	138.86270
G04	スギ	0.02	17	17	29.8	19.3	11.079	34.87873	138.86235
G05	スギ	0.02	13	13	29.2	19.2	8.609	34.87905	138.86252
G06	スギ	0.02	10	10	32.6	18.7	7.970	34.87894	138.86337
G07	スギ	0.02	18	18	28.4	20.1	11.261	34.87837	138.86360
G08	スギ	0.02	19	19	29.7	20.1	12.937	34.87800	138.86358
G09	スギ	0.02	25	25	27.0	17.9	12.984	34.87816	138.86315
G10	スギ	0.02	15	15	30.0	20.1	10.608	34.87883	138.86301

標本調査区の位置図



様式 2-7 (記入例)

胸高直径の推定式及び選定理由

1. 選定した胸高直径推定式					
【胸高直径】 = 3.816 × 【樹冠投影面積】 ^{0.184} × 【樹高】 ^{0.526}					
2. 作成した胸高直径の推定式一覧					
回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$
1	X ₁ 樹冠投影面積	18.798 ***	0.201 **		
2	X ₁ 樹冠表面積	15.175 ***	0.194 ***		
3	X ₁ 樹冠体積	19.922 ***	0.135 ***		
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	3.816 **	0.184 ***	0.526 ***	
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	5.911 ***	0.157 ***	0.347 **	
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	6.738 ***	0.109 ***	0.376 **	
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	18.602 ***	0.020	0.263 ***	
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	14.060 ***	0.085	0.178 †	
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	6.473 ***	0.086	0.350 *	0.151 †
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	3.266 **	0.094	0.502 ***	0.141 †
11	X ₁ 樹高	5.357 **	0.568 **	0.000	0.000
3. 選定理由					
<p>スギの胸高直径の回帰式は、全ての変数の p 値が 5% 未満である回帰式 1~6 式の 6 つの式が適していた。回帰式に利用する説明変数のうち、樹冠表面積や樹冠体積は、樹冠投影面積と樹冠長から円錐形に近似して算出しており、近似の時点で誤差を生じることが考えられる。プロット調査では、標準的な林分で調査を実施しているため相関が高いが、プロット範囲外で誤差を増大させる要因になりうる。よって本調査では回帰式 5 や 6 に近い RMSE 値、補正 R² 値を示し、説明変数として最も単純な方法で算出されている樹冠投影面積を使用した式 4 を採用した。</p>					

様式 2-8 (記入例)

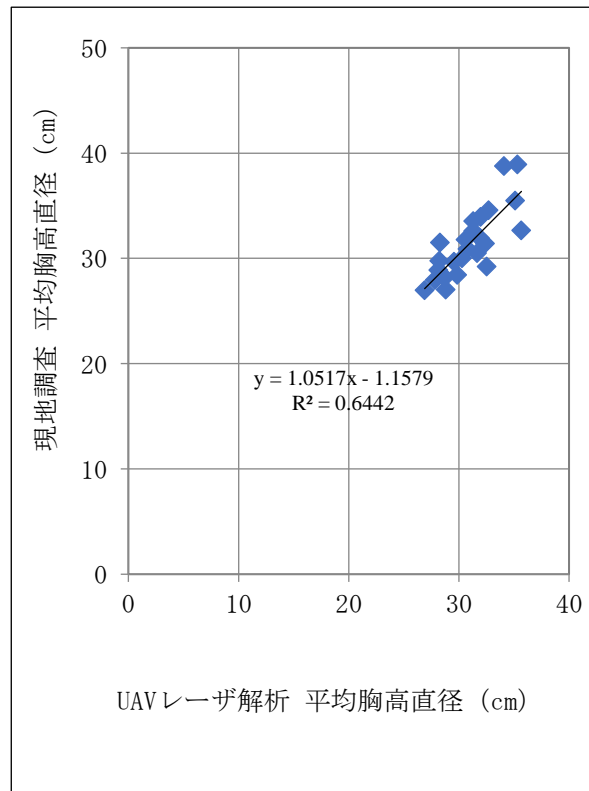
推定式適合度 (誤差率) 確認結果

(1) 標本調査区における平均胸高直径の精度検証結果

調査区域名：〇〇国有林〇〇林小班

推定精度比較結果一覧 (標本調査区ごと)			
標本調査区	現地調査 平均胸高直径 (cm)	UAV レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	胸高直径 誤差率 (%)
G01	32.7	35.7	9
G02	28.2	28.7	2
G03	27.0	28.8	7
G04	29.8	28.2	-5
G05	29.2	32.5	11
G06	32.6	31.3	-4
G07	28.4	29.8	5
G08	29.7	29.6	0
G09	27.0	26.9	0
G10	30.0	30.3	1
G21	31.4	32.4	3
G22	30.5	31.6	4
G23	30.9	30.8	0
G24	31.8	30.6	-4
G25	33.9	32.0	-6
G26	28.0	27.8	0
G27	28.9	28.1	-3
G31	33.5	31.3	-7
G32	38.8	34.1	-12
G33	34.6	32.7	-5
G34	38.9	35.3	-9
G35	35.5	35.1	-1
G36	31.5	28.3	-10
G37	31.9	31.9	0
平均	31.4	31.0	4.5
R			0.80
RMSE			1.95

(2) 推定精度検証結果
標本調査区における平均胸高直径の比較



2.3.3 委託成果品の検査

委託先から提出された成果品が適切に作成され、必要なデータ・書類等が整えられているか、チェックリストで確認する。

項目	確認事項	チェック欄 ○：適 ×：不適	特記事項（不適合の理由等）
飛行関係	許認可関係		
	情報入手先 (委託先以外の場合)		
レーザ計測	使用機材 (様式2-1)		
	計測諸元 (様式2-1)		
	飛行データ (様式2-1)		
	区域計測データ (様式2-2)		
	立木計測データ (様式2-3)		
区域表示	区域再現方法 (様式2-5)		
	測点位置情報 (様式2-5)		
	再現結果と検証 (様式2-5)		
標本調査区	位置情報・位置図 (様式2-6)		
	立木調査野帳 (様式2-4)		
	標本調査総括表 (様式2-6)		
推定式関係	推定式と選定理由 (様式2-7)		
	推定式の検証結果 (様式2-8)		
収穫調査	直径・樹高・材積 一覧表		
	品質区分結果		
備考	(チェックリストの確認結果、修正すべき事項等を記載)		

なお、調査にあたって問題となった点、改善すべき課題等について、委託先より聞き取りを行い記録する。これらも含め、後述のデータベースに保存し、今後の本調査法の検討に生かしていくことが必要である。

2.4 復命書作成

委託成果品の確認（前項2.3）により、問題がなければ収穫調査復命書の作成に着手する。予備調査及び区域表示で得られた情報に加え、委託成果品の単木情報から、直径階、樹高階別の本数、立木材積をExcel等に整理し、規定の復命書様式に取りまとめる。なお、品質区分欄については空欄とし、備考欄に予備調査で把握したおおよその品質割合を記載しておく。

2.5 データベースの作成

委託調査結果は、本調査法の諸問題を解決するための重要な情報が含まれる。特に、より適合度の高い胸高直径推定式を求めるためには、多数のデータをもとにした検討が不可欠であり、今後活用しやすい形でデータを整理しておくことが重要である。このため、2.3.3で指定した帳票及び電子データを地域ごとに整理記録し、データベースを整備する。データベース化されたデータは、新たに調査を行う際に既存の胸高直径推定式の適合性評価や、既存の調査結果と新規調査結果を組み合わせ、新たな推定式の作成等に利用できる。

3 航空レーザ計測補正法

本調査法は、収穫調査の対象区域において航空レーザ計測が実施されていることが前提である。しかも、当該区域で得られている既存の航空レーザ計測データは、現時点との時間的ズレがあるため、収穫調査データとするためには、その間の成長量等の変化を補正する必要がある。現時点の森林資源状況を推定するための航空レーザ計測補正法については、「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」報告書に詳述している。

ここでは、既存の航空レーザ計測の活用を前提として、点群データから樹頂点抽出、樹高及び樹冠形状の計測を行って胸高直径を推定し、さらに時点補正して、単木材積を推定し、収穫調査とするための手順を整理するものである。このとき、航空レーザ計測が実施された際に、同時に胸高直径推定のための調査解析が実施されているか否かによって、推定方法が以下の3通りに分けられる：

- ① 航空レーザ計測時に森林解析が実施され、胸高直径推定式が得られている場合【以下、**ケース1**という】
- ② 航空レーザ計測時に森林解析が実施されていないが、レーザ計測により取得した点群データが保存されており、かつ、当該調査対象林分に適合可能な既存の胸高直径推定式が存在する場合【以下、**ケース2**という】
- ③ 航空レーザ計測時に森林解析が実施されていないが、レーザ計測により取得した点群データが保存されており、かつ、当該調査対象林分に適合可能な既存の胸高直径推定式が存在しない場合【以下、**ケース3**という】

本ガイドラインでは、この3通りについて、現時点の資源情報に修正し、単木毎の材積、林分全体の資源内容を明らかにするための具体的な実施手順及び留意点等を整理した。なお、本手法による森林資源解析については、レーザ計測データの解析、胸高直径推定式の検討に高度の専門的技術が求められ、必要に応じて専門の外部機関に委託して実施する。

本調査法による収穫調査実施手順は、

- ① 予備調査（対象林分の現況、境界等の確認）
- ② 区域表示（区域確定、測量工程）
- ③ 計測データ解析（外部委託：航空レーザ計測データの解析）
- ④ とりまとめ（単木情報による収穫調査復命書の作成）

に区分される。

3.1 予備調査【ケース1～3共通】

予備調査において確認すべき事項は以下の通りである。これらの事項には、本調査法の適用可否に関わる事項が含まれる。

- ① 本調査法を採用する前提として、過去の航空レーザ計測データが存在することが必須要件となる。このとき下記②の要件を確認する。また、対象林分について航空レーザ計測による森林資源解析を行った報告書の有無を確認する。
- ② 航空レーザ計測データ取得時以降、間伐や森林被害等の大幅な林相変化の有無について確認する。このため、施業沿革簿等から施業履歴、被害履歴を確認するとともに、現地において比較的新鮮な被害木があった場合は年輪等により航空レーザ計測データ取得時以降の被害木か否かを確認する必要がある。大幅な林相の変化が認められた場合は、本調査法の適用は困難となる。
- ③ 通常の収穫調査において必要な概況調査に加え、おおよその品質区分割合（本調査法では品質区分が不可能であるため、予備調査時点で適宜の方法で概略を把握しておくことが必要。）を確認する。

3.2 区域表示【ケース1～3共通】

対象区域の外縁木（または内縁木）の表示、必要な境界の刈り払い、境界標の設置、ポケットコンパスまたはGNSSによる区域計測を行う。このとき、委託成果の区域と容易に突合できるよう境界標に連番を付すこととする。なお、ケース1においては、過去の調査時点で区域表示が実施済みであり、当時の解析時点で区域が正しく抽出されていることが確認できれば、この作業は不要である。

3.3 委託業務

ケース1～3のいずれにおいても、航空レーザ計測で取得した3次元点群データを解析し、樹頂点の抽出、樹高及び樹冠形状の把握を行い、胸高直径推定式により胸高直径を推定する工程が必要である。UAVレーザによる立木調査と同様、適切な胸高直径推定式を作成する必要があり、委託先等が保有する適合性の高い胸高直径推定式を模索する（ケース2）か、新たに標本調査を実施して胸高直径推定式を作成（ケース3）する。ただし、ケース1では過去の航空レーザ計測時点で胸高直径推定式が作成されており、必要な検査が完了していれば本工程は不要となる。

ケース1～3のいずれの解析においても、この推定式の決定根拠、妥当性が求められることとなり、UAVレーザによる立木調査と同様の方法（標本データによる誤差率の確認

等) または、適宜の方法により明らかにする必要がある。

過去に胸高直径推定式が作成され、レーザ計測データをもとに森林解析が実施されている場合は、保管されている森林解析報告書及び解析に使用したデータを活用することとなる(必要に応じて森林解析委託機関に照会)。

なお、**ケース 1**について、必要な解析が適切に行われていることが確認できれば、作業は後述する収穫予想表を用いた時点補正のみであり、委託によらず直営で実施することも可能である。

本工程は、① 委託準備、② 委託、③ 成果品の検査、に大別され各工程に必要な事項を以下に整理した。

3.3.1 委託準備【ケース 2、3 共通】

航空レーザ計測補正法による資源解析の実施にあたって、委託先に示す必要がある情報等は次の通りであり、委託先と十分に打ち合わせしておくことが必要である。

① 区域情報

- 区域の所在及びコンパス等の測量成果
- 正確な位置情報を有する近傍の基準点等情報得
- 区域表示の方法(外縁木へテープ表示等の情報)

② 施業履歴等

過去の施業履歴(間伐実施年度と方法、作業道の位置、植栽履歴など)

3.3.2 委託【ケース 2、3 共通】

委託にあたって具体的な調査の方法及び成果品の整理方法は仕様書等に定める。定めておくべき事項及びその内容は次の通りである。

① データの取得方法

過去の航空レーザ計測データについて、データ取得関係情報を整理する(計測機関、飛行高度、計測年月日等)

② レーザスキャニング密度

レーザ照射密度が 4 点/m² 以上のデータとする。

③ レーザ計測データの解析

- ・ 3次元点群データに指定された調査区域を再現する。
- ・ 樹頂点を抽出し、単木毎の樹冠形状を把握する。

④ 標本調査の実施

林況や対象面積に応じて、1 林相内に 100~400m² の標本調査区を複数箇所設定し、樹高、胸高直径を計測する。標本調査区は設定数が多いほど胸高直径推定式の信頼度は高くなると期待されるが、調査に係る労力や必要とする適合度を考慮の上、既存の調査を参考にして妥当な数を設定することが望ましい。

⑤ 胸高直径推定式の作成(ケース 3 の場合)

標本調査により得られたデータをもとに、胸高直径と各種因子の相関を明らかにし、最も適合度の高い因子による胸高直径推定式を作成する。

⑥ 胸高直径推定式による単木毎の資源情報の整理

選定した胸高直径推定式により、③で抽出された単木毎の胸高直径を求め、単木毎の樹高等と合わせて、様式3-2に整理する。

⑦ 胸高直径及び樹高の成長率による補正

当該調査対象林分に適用される林分収穫予想表から、経過年数分の成長量を求め、これにより時点補正を行う。なお、ケース3の場合は胸高直径の補正は不要とする。

(参考) 「胸高直径及び樹高の補正方法」

計測時点の胸高直径に対して収穫予想表を用いて、時点補正をする。収穫予想表より平均胸高直径成長曲線を求め、計測時点の林齢における平均胸高直径の値、現在の林齢における平均胸高直径の値を求める。計測時点の林齢における胸高直径の値から現在の林齢における平均胸高直径の値になる倍率を成長率として算出する。計測時点の単木毎の胸高直径の値に、算出した成長率を乗じて、現在の胸高直径とする。

樹高も同様の方法で補正する。

⑧ 胸高直径推定式の適合性の確認

各標本調査区において、④で得られた現地調査平均胸高直径と⑥～⑦で得られたレーザ解析平均胸高直径を比較して誤差率を確認し、様式3-7に整理する。

⑨ 適用可能な既存の胸高直径推定式が存在する場合は上記④～⑧によらず、胸高直径推定式の適合性が証明できるものに代えることができる

(参考) 委託成果品として必要なデータ等および様式

様式3-1 航空レーザ計測データリスト

様式3-2 樹頂点抽出された立木データ

別添ファイル (ファイル形式指定、区域挿入データ含む)

様式3-3 標本調査区における毎木調査野帳

(標本調査区の位置情報、単木ごとの胸高直径、樹高等)

様式3-4 調査区域の再現方法

再現手法 (手法、精度) を記述

様式3-5 標本調査区とりまとめ結果

標本調査区の立木調査結果、各調査区の位置

様式3-6 胸高直径推定式及び選定理由

作成した推定式一覧 (RSME、P 値を含む)

推定式の選定理由

様式3-7 推定式適合度 (誤差率) 確認結果

(1) 標本調査区における平均胸高直径の精度検証結果

(2) 推定精度検証結果

様式 3-1 (記入例)

航空レーザ使用データリスト

収穫調査に使用する既存の航空レーザ計測データは以下の通りである。

レーザ計測データ提供元 : ○○○○株式会社

上記レーザ計測情報(注1) : 別紙の通り

データリスト	データ形式	備考注2
樹頂点データ	SHP 形式	ケース 1 に必須
計測データ	LAS 形式	
DSM データ	TXT 形式	ケース 2 と 3 に必須
DEM データ	TXT 形式	ケース 2 と 3 に必須
DCHM データ	TXT 形式	
対象区域データ	SHP 形式	
林相区分	SHP 形式	
胸高直径推定式 (計測時に作成 or 既存の使用可能な式)	CSV 形式 TXT 形式	ケース 1 (計測時作成) ケース 2 (既存推定式)

注 1) レーザ計測の実施年、計測諸元等の詳細な情報は別紙にて提供するものとする。

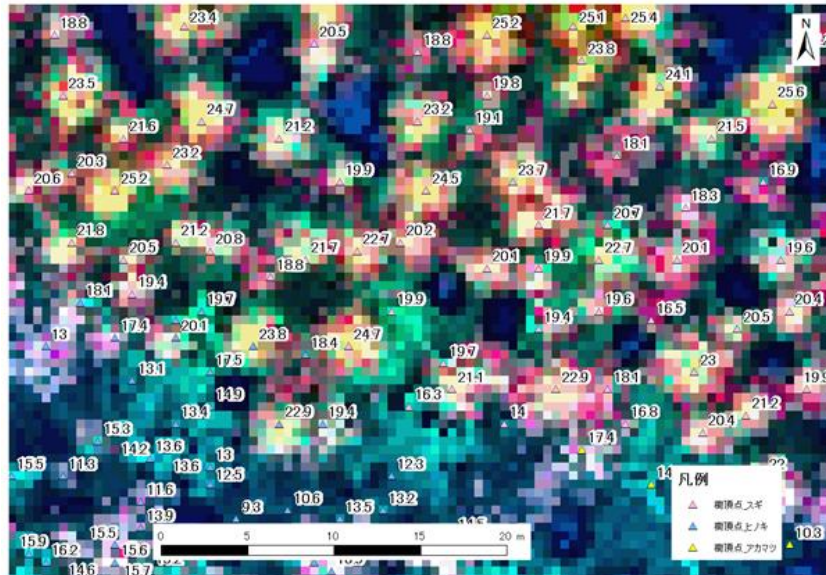
注 2) ケースに応じた必須データを備考欄に注記した。

注 3) DCHM データ、DSM データは森林域における鉄塔・電線の処理が実施されているデータに限る。未処理の場合は、計測データ (LAS 形式) から DSM、DCHM を作成する。

様式 3-2 (記入例)

樹頂点抽出された立木データ

【樹頂点データの拡大図】



【格納情報】

- ・ 樹高・樹冠長・樹冠投影面積
- ・ 立木位置情報
- ・ 上記のほか、胸高直径推定式で得られる胸高直径、材積計算値など立木情報一式を格納する。

【ファイル形式】

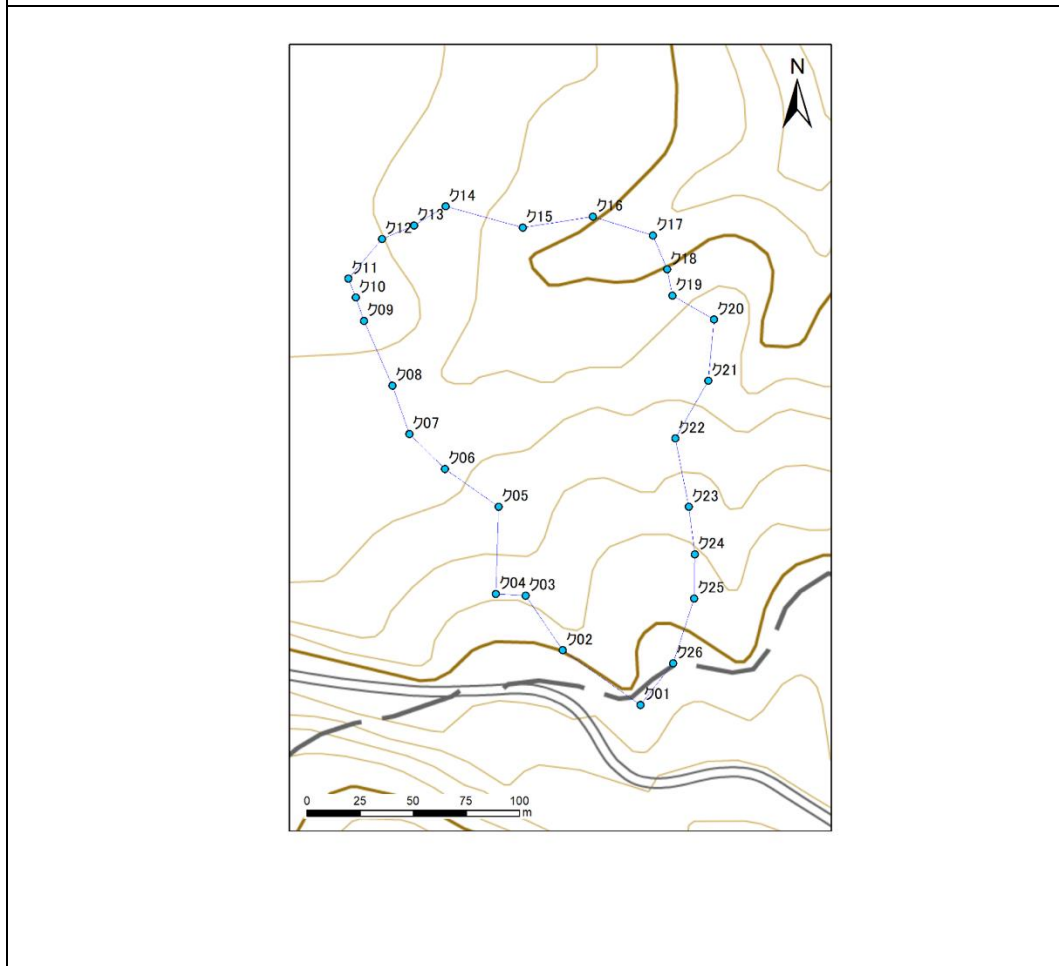
SHP 形式、GDB 形式など

様式 3-4 (記入例)

調査区域の再現

調査区域名			調査区 1			
測点番号	測定緯度	測定経度	衛星数	PDOP	HDOP	RMSE
ク 01						
ク 02						
ク 03						
ク 04						
・						
・						
・						
ク 26						

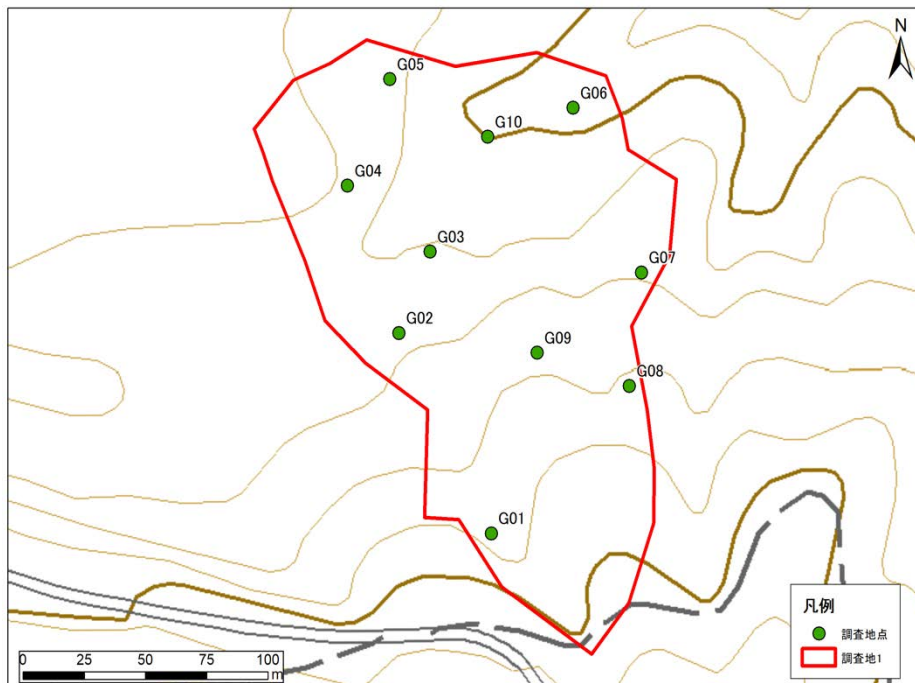
位置図



標本調査区とりまとめ結果

標本調査区の集計結果									
調査区域名		〇〇国有林〇〇林小班							
標本調査区	樹種	調査面積 (ha)	上層木本数	全木本数	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	合計材積 (m ³)	緯度	経度
G01	スギ	0.02	12	12	32.7	20.4	10.518	34.87754	138.86298
G02	スギ	0.02	21	21	28.2	19.2	12.454	34.87815	138.86258
G03	スギ	0.02	21	22	27.0	19.9	11.970	34.87846	138.86270
G04	スギ	0.02	17	17	29.8	19.3	11.079	34.87873	138.86235
G05	スギ	0.02	13	13	29.2	19.2	8.609	34.87905	138.86252
G06	スギ	0.02	10	10	32.6	18.7	7.970	34.87894	138.86337
G07	スギ	0.02	18	18	28.4	20.1	11.261	34.87837	138.86360
G08	スギ	0.02	19	19	29.7	20.1	12.937	34.87800	138.86358
G09	スギ	0.02	25	25	27.0	17.9	12.984	34.87816	138.86315
G10	スギ	0.02	15	15	30.0	20.1	10.608	34.87883	138.86301

標本調査区の位置図



胸高直径の推定式及び選定理由

1. 選定した胸高直径推定式

$$\text{【胸高直径】} = 6.8456 \times \text{【樹冠投影面積】}^{0.175} \times \text{【樹高】}^{0.361}$$

2. 作成した胸高直径の推定式一覧

回帰式	説明変数の組合せ	α	β_1	β_2	β_3	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹冠投影面積	19.119 ***	0.198 **			0.366	2.50
2	X ₁ 樹冠表面積	18.545 ***	0.129 **			0.254	2.75
3	X ₁ 樹冠体積	21.259 ***	0.105 **			0.310	2.78
4	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	6.846 ***	0.175 **	0.361 **		0.525	2.17
5	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	8.067 ***	0.097 *	0.321 *		0.353	2.48
6	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	8.987 ***	0.084 *	0.313 *		0.408	2.49
7	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	18.839 ***	0.186 **	0.021		0.340	2.50
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	21.847 ***	0.225 **	-0.053		0.356	2.47
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	6.355 ***	0.198 **	0.398 **	-0.043	0.514	2.15
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	7.741 ***	0.197 **	0.355 *	-0.042	0.514	2.15
11	X ₁ 樹高	8.261 ***	0.444 **	0.000	0.000	0.2349	2.75

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

3. 選定理由

スギの胸高直径の回帰式は、全ての変数の p 値が 5%未満である回帰式 1~6 式の 6 つの式が適していた。回帰式に利用する説明変数のうち、樹冠表面積や樹冠体積は、樹冠投影面積と樹冠長から円錐形に近似して算出しており、近似の時点で誤差を生じることが考えられる。プロット調査では、標準的な林分で調査を実施しているため相関が高いが、プロット範囲外で誤差を増大させる要因になりうる。よって本調査では回帰式 5 や 6 に近い RMSE 値、補正 R² 値を示し、説明変数として最も単純な方法で算出されている樹冠投影面積を使用した式 4 を採用した。

様式 3-7 (記入例)

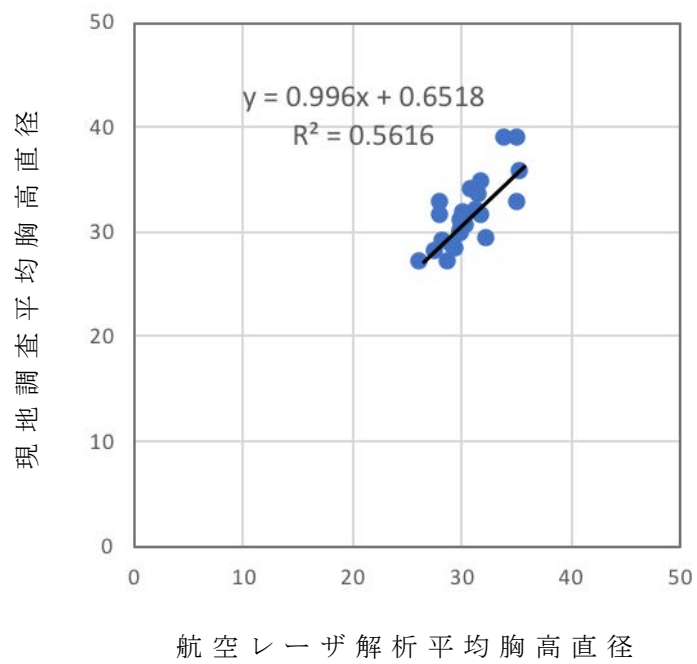
推定式適合度 (誤差率) 検証結果

(1) 推定式の適合度の確認

推定精度比較結果一覧 (標本調査区ごと)			
標本調査区	現地調査 平均胸高直径 (cm)	航空レーザ解析 平均胸高直径 (cm)	胸高直径 誤差率 (%)
G01	32.7	35.5	9
G02	28.2	29.7	5
G03	27.0	29.1	8
G04	29.8	30.3	2
G05	29.2	32.6	12
G06	32.6	28.2	13
G07	28.4	29.6	4
G08	29.7	30.3	2
G09	27.0	26.5	2
G10	30.0	30.3	1
G21	31.4	32.1	2
G22	30.5	30.6	0
G23	30.9	30.3	2
G24	31.8	30.5	4
G25	33.9	31.1	8
G26	28.0	27.8	1
G27	28.9	28.6	1
G31	33.5	31.9	5
G32	38.8	34.1	12
G33	34.6	32.0	8
G34	38.9	35.3	9
G35	35.5	35.7	1
G36	31.5	28.4	10
G37	31.9	31.5	1
平均	31.4	30.9	2
R			0.75
RMSE			2.17

※ 調査をしたプロットごとに胸高直径の精度検証結果を示す。

(2) 推定精度検証結果
標本調査区における平均胸高直径の比較



3.3.3 委託成果品の検査

委託先から提出された成果品が適切に作成され、必要なデータ書類が整えられているか、チェックリストで確認する。

項目	確認事項	チェック欄 ○：適 ×：不適	特記事項（不適合の理由等）
飛行関係	許認可関係		
	情報入手先 (様式3-1)		
レーザ計測	使用機材 (様式3-1別紙)		
	計測諸元 (様式3-1別紙)		
	飛行データ (様式3-1別紙)		
	区域計測データ (様式3-1)		
	立木計測データ (様式3-2)		
区域表示	区域再現方法 (様式3-4)		
	測点位置情報 (様式3-4)		
	再現結果と検証 (様式3-4)		
標本調査区	位置情報・位置図 (様式3-5)		
	立木調査野帳 (様式3-3)		
	標本調査総括表 (様式3-5)		
推定式関係	推定式と選定理由 (様式3-1)または (様式3-6)		
	推定式の検証結果 (様式3-1)または (様式3-7)		
収穫調査	直径・樹高・材積 一覧表		
	品質区分結果		
備考	(チェックリストの確認結果、修正すべき事項等を記載)		

なお、調査にあたって問題となった点、改善すべき課題等について、委託先より聞き取りを行い記録する。これらも含め、後述のデータベースに保存し、今後の本調査法の検討に生かしていくことが必要である。

3.4 復命書作成

委託成果品を確認し、問題がなければ復命書作成に着手する。予備調査及び区域表示で得られた情報に加え、委託成果品の単木情報 csv ファイルから、直径階、樹高階別の本数、材積を Excel 等により整理し、規定の復命書様式に記入する。

なお、品質区分欄は空欄とし、備考欄に予備調査で把握したおおよその品質割合を記載しておく。

3.5 データベースの作成

委託調査結果は、本調査法の諸問題を解決するための重要な情報が含まれる。特に、より適合度の高い胸高直径推定式を求めるためには、多数のデータをもとにした検討が不可欠であり、今後活用しやすい形でデータを整理しておくことが重要である。このため、**3.3.3**で指定した帳票及び電子データを地域ごとに整理記録し、データベースを整備する。データベース化されたデータは、新たに調査を行う際に既存の胸高直径推定式の適合性評価や、既存の調査結果と新規調査結果を組み合わせ、新たな推定式の作成等に利用できる。

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 レーザ等立木調査ガイドライン
(UAV レーザ計測法、航空レーザ計測補正法)

令和 2 年 3 月

業務受託：「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」共同企業体

アジア航測株式会社
〒215-0004 川崎市麻生区万福寺 1-2-2
TEL : 044-967-6461
担当：大野勝正