

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

令和2年3月

林 野 庁

目 次

1 事業の概要	1
1.1 背景及び目的	1
1.1.1 事業の背景.....	1
1.1.2 事業の目的.....	1
1.2 実施体制	1
1.2.1 事業の構成.....	1
1.2.2 実施者.....	2
1.2.3 委員会の構成	3
1.3 事業の実施方針	3
1.3.1 調査対象地域.....	3
1.3.2 UAVレーザ計測による立木調査	3
1.3.3 既存の航空レーザ計測データの補正による立木調査.....	4
1.3.4 UAV空中写真の画像解析による簡易な立木調査	4
1.3.5 マニュアルの作成	4
2 調査区の設定	5
2.1 伊豆森林管理署管内の調査区.....	6
2.2 茨城森林管理署管内の調査区.....	8
3 UAVレーザ計測による立木調査	9
3.1 調査の目的	9
3.2 使用した計測機器.....	10
3.3 計測コースの計画	11
3.4 画像処理	12
3.4.1 3次元点群データのフィルタリング処理.....	12
3.4.2 樹冠高データの作成.....	14
3.5 調査プロットによる現地調査.....	16
3.6 レーザ計測による単木情報の解析	21
3.6.1 樹頂点の抽出手法	21
3.6.2 胸高直径の推定手法.....	22
3.7 単木解析結果と精度検証	26
3.8 収穫調査に向けた検討事項.....	29
4 既存の航空レーザ計測データの補正による立木調査	31
4.1 使用データと調査地の確認	31
4.2 胸高直径推定式の選択条件	33
4.3 既存の航空レーザ計測データを用いた樹頂点抽出	35
4.4 樹高の補正方法	36
4.5 既存の航空レーザデータを利用した胸高直径推定と材積推定	37
4.5.1 条件①による推定法	37
4.5.2 条件②-1による推定法.....	39

4.5.3	条件②-2による推定法.....	41
4.5.4	補正方法のまとめ	43
4.6	収穫調査報告に向けた検討.....	45
4.6.1	毎木調査結果との検証	45
4.6.2	胸高直径推定式の使用範囲.....	46
4.6.3	収穫調査区域の設定	46
4.6.4	収穫調査復命書への取りまとめ.....	47
5	UAV空中写真の画像解析による簡易な立木調査.....	48
5.1	簡易画像解析法の基本的手順と課題.....	49
5.1.1	簡易画像解析による立木調査法の基本的手順.....	49
5.1.2	簡易画像解析による立木調査法で想定される検討課題.....	49
5.2	適切なオルソ画像の取得	50
5.2.1	UAV撮影飛行.....	50
5.2.2	オルソ画像の作成	53
5.3	区域表示の方法	53
5.3.1	対空標識等の活用	53
5.3.2	誤差補正	54
5.4	樹頂点の目視判読.....	55
5.4.1	効率的な判読方法.....	55
5.4.2	実本数に対して過少となる判読結果への対処.....	56
5.5	簡易画像解析法による標本木調査	59
5.5.1	層化抽出の有効性	59
5.5.2	標本木調査の基本的考え方	61
5.5.3	標本ラインおよび標本木の選定	62
5.5.4	簡易画像解析による標本調査の結果.....	65
5.6	調査精度及び調査工期.....	69
5.6.1	調査精度	69
5.6.2	調査工期.....	72
5.6.3	調査コスト	73
5.7	検討事項	74
6	総合考察	76
6.1	UAVレーザおよび航空レーザの時点補正	76
6.2	簡易画像解析法	76
6.3	今後の課題	77
	参考文献.....	78
	巻末資料「精密調査区における調査・分析」	79

1 事業の概要

1.1 背景及び目的

1.1.1 事業の背景

(1) 国有林材の販売に係る情勢

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齢級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いる。このような中、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。

(2) デジタル技術を活用した効率的で実用可能な収穫調査方法等の進展

国有林における収穫量が増大していく中で、収穫調査等国有林材の販売関連業務分野において UAV レーザ計測技術や過去に取得した航空レーザ計測データを積極的に活用し、業務の効率化を推進することが求められている。また、UAV で取得したオルソ画像を用いた簡易な立木調査方法により日頃の業務の効率化を図ることが求められている。国有林における ICT 技術の開発・利用推進は、広く民有林も含め今後のわが国の林業成長産業化においても重要な先導的役割を果たすと考えられる。

1.1.2 事業の目的

本事業では、国有林野事業で行う収穫調査への活用を目的に、UAV や航空機によるレーザ計測技術を活用した立木調査方法の検討及び精度の検証等を行うほか、空中写真の画像解析による簡易な立木調査方法の検討及び精度の検証等を行うことを目的とする。また、このうち、収穫調査の効率化が図れる技術については、一連の工程について、使用する機器、要員等を整理するとともに、職員が活用可能なマニュアルを作成することを目的とする。

1.2 実施体制

1.2.1 事業の構成

(1) UAV レーザ計測による立木調査

国有林のスギ人工林を対象に UAV レーザ計測機器を活用し、収穫調査復命書（以下「復命書」という。）作成までの方法、手順等を検討する。

(2) 既存の航空レーザ計測データの補正による立木調査（経年に伴う補正方法の検討）

林野庁が北海道、東北、関東地方等において過去に実施した航空レーザ計測データ(4点/m²)を活用し、本州の場合はスギ人工林、北海道の場合はカラマツ人工林を対象に、計測データを経年補正した上で復命書作成までの調査方法、手順等を検討する。復命書の作成に当たっては、単木及び林分の材積を推定する方法を検討するとともに推定した材積の検証方法について検討する。

(3) UAV 空中写真の画像解析による簡易な立木調査

平成 30 年度に実施した「平成 30 年度国有林における収穫調査等の効率化手法検討委託事業」（以下「平成 30 年度委託事業」という。）において、汎用ソフトを用いた SfM 解析では、樹頂点抽出に基づく本数及び樹高を精確に測定することは困難であった。一方、ソフトの種類や立木本数の求め方が異なる方法により、簡易な材積推定の可能性が示された報告書等が見受けられるようになってきた。

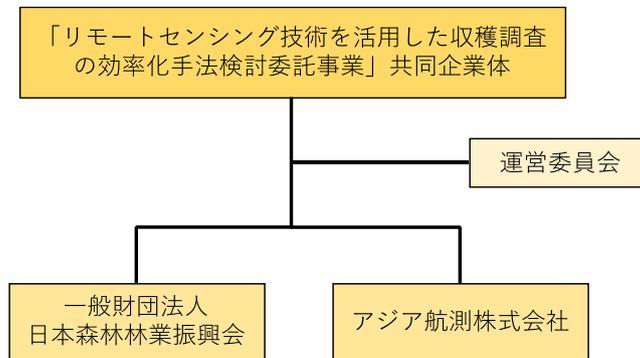
このため、スギ人工林を対象として UAV 空中写真の画像解析による簡易な立木調査方法（以下「簡易画像解析法」という。）の妥当性を検討するとともに、推定した材積の精度検証を行う。

(4) マニュアルの作成

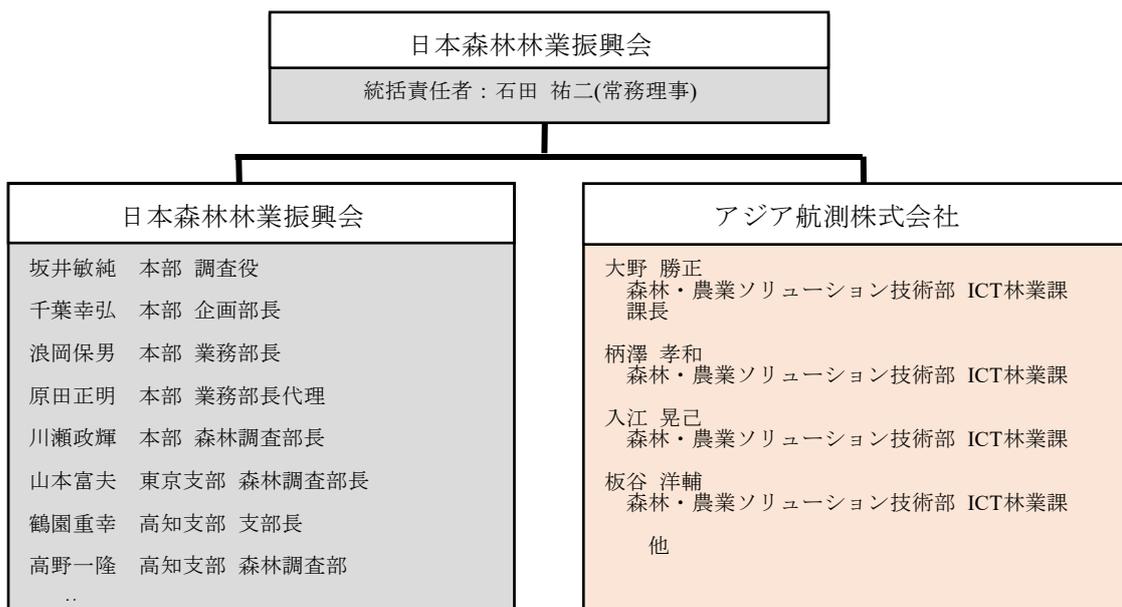
上記(1)~(3)の検証結果を踏まえ、収穫調査の効率化が図れる技術については、一連の工程について使用する機器、要員等を整理するとともに職員が活用可能なマニュアルを作成する。

1.2.2 実施者

本事業の実施体制は、日本森林林業振興会とアジア航測株式会社で構成する共同企業体とし、企業体の代表者を日本森林林業振興会として業務を実施した。



委託先における事業実施体制は以下の通りである。



1.2.3 委員会の構成

本事業の実施に当たっては「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員会」（以下「検討委員会」と言う。）を設置し、収穫調査、リモートセンシング技術等に関する学識経験者が含まれるよう、林野庁担当職員と調整の上構成した。検討委員会は令和元年9月30日、令和2年2月12日の2回開催した。検討委員会の構成員及び検討委員会における検討事項は、それぞれ表1.2.2、表1.2.3のとおりである。

表 1.2.2 検討委員会の構成

氏名	所属等
加藤 正人	信州大学 先鋭領域融合研究群 山岳科学研究所 教授
細田 和男	森林研究・整備機構 森林総合研究所 資源解析研究室 室長
鹿又 秀聡	森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業システム研究室
松岡 真如	高知大学 教育研究部 自然科学系農学部門 准教授
平川 素行	一般財団法人 経済調査会 監事

表 1.2.3 検討委員会検討事項

委員会	検討事項	開催日
第1回検討委員会	調査対象技術の選定 調査実施計画の検討	令和元年 9月30日
第2回検討委員会	調査結果の分析と評価 とりまとめ方針の検討	令和2年 2月12日

1.3 事業の実施方針

事業の実施方針については、事業の目的並びに効率的で実用可能な収穫調査方法検証の有効性を確保することを基本に、林野庁担当官と調整の上、第1回検討委員会において以下の通り取り組むこととした。

1.3.1 調査対象地域

過去の航空機レーザ計測データが得られ、かつ、主伐対象スギ人工林が多く存在する流域であること、本事業における調査時期が冬季になり得ることを考慮して、伊豆森林管理署管内の国有林を各調査方法共通の調査対象地域として選定した。また、UAV 空中写真の画像解析による簡易な立木調査については、妥当性及び精度の検証を行うため、伊豆森林管理署管内の国有林に加え茨城森林管理署管内の国有林においても調査対象地域として選定した。

1.3.2 UAVレーザ計測による立木調査

UAV レーザ計測データの解析により単木レベルでの森林資源情報を取得し、収穫量調査復命書の作成、その功程について調査することとし、復命書作成までの功程変動の要因、森林資源解析精度を確保するための手法を検討する。

1.3.3 既存の航空レーザ計測データの補正による立木調査

既存の航空レーザ計測データから現時点における森林資源情報を求めるため、既存の航空レーザ計測データの解析状況や現地調査の有無に応じて補正を行い現時点の森林資源情報を推定する手法を検討する。

このとき、次の2通りの条件が考えられることから、条件ごとに使用する胸高直径推定式を求める方法を検討する。

- ① 航空レーザ計測データの森林資源解析が実施されており、かつ計測時の現地調査も実施されている場合
 - ・既存の航空レーザ計測データと計測時の現地調査結果を用いて、胸高直径の推定式を作成する。
- ② 航空レーザ計測データの森林資源解析は実施されていない、かつ計測時の現地調査も実施されていない場合
 - ・既存の航空レーザ計測データと平成30年度の「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託業務」で作成された胸高直径の推定式を使用する。
 - ・補正をした既存の航空レーザ計測データと新たに現地調査を実施した結果を用いて、胸高直径の推定式を作成する。

1.3.4 UAV空中写真の画像解析による簡易な立木調査

オルソ画像から目視により樹頂点を抽出する簡易な手法により、高い精度で本数を認識することが可能との林野庁業務研究成果や論文等がすでに発表されている。本事業ではこれら成果を活用しつつ、UAV画像により立木本数を把握するとともに、立木密度等に着目した層化標本抽出法によって森林資源情報を把握する手法について検討する。

1.3.5 マニュアルの作成

国有林職員等が、上記1.3.2～1.3.4に係る調査法による調査を実施するために必要な手順等を整理したマニュアルを作成する。

2 調査区の設定

本事業で実施する収穫調査手法の検討にあたっては、対象とする調査区の条件として、過去の航空機レーザ計測が実施されているエリアとし、主伐対象時期にあるスギ人工林3箇所を選定することとし、本事業で実施する3つの調査方法（前節1.3.2、1.3.3、1.3.4）を適用する共通調査区として伊豆森林管理署管内に設定した。

調査地の選定に際しては、UAV空撮とその画像変換および基本図等への重ね合わせで必要となる標定点・対空標識の設定場所として、林道等の開放地が近傍にあることが望ましい。また、UAVを活用した収穫調査法を検討する際に、林分密度や個体サイズがある程度異なる林相でも実用化できるよう、計測結果を比較・検証できることが望ましい。そのため、調査地選定にあたっては地形、傾斜、林分密度等についてある程度の不均質さを含まれることも考慮した。

また、UAV空中写真の画像解析による簡易な立木調査（簡易画像解析法）に関して、その調査手法ならびに計測精度を検証するため、伊豆森林管理署管内の国有林に加えて、茨城森林管理署管内の国有林2箇所（平成29、30年度の委託調査で毎木調査データを取得している林分）を調査区とし、表2.1.1に示す5箇所を調査区とした。

表2.1.1 本事業で設定した調査区の概況

調査区	管轄管理署	林班	小班	林地面積 (ha)	樹種 (面積歩合)	林齢	施業履歴 (最終間伐年度)	地位等級	備考
1	伊豆	23	ろ 02	11.59	スギ72、ヒノキ20、他広8	68	H20	9	水涵保、鹿防止 (H24レーザ計測)
2	伊豆	46	い 02	4.37	スギ100	58	H15	9	水涵保、鹿防止、分収育林 (H24レーザ計測)
3	伊豆	63	い 02	11.27	スギ100	53	H12	8	水涵保、鹿防止 (H24レーザ計測)
4	茨城	219	は 03	4.39	スギ90、他広10	54	—	10	水涵保
5	茨城	2065	ほ	7.05	スギ74、ヒノキ26	46	—	11	水涵保

注：林齢は平成31年4月1日現在。

5調査区において実施した現地調査等については後述するが、各調査区における調査データを集約しその林分概況を表2.1.2に示す。また位置図および上空からの写真等を図2.1.1～図2.1.4に示す。

表 2.1.2 調査区のエ分概要

調査区	林齢 (年)	面積 (ha)	立木本数 (本)	立木密度 (本/ha)	平均DBH (cm)	平均樹高 (m)	総材積 (m ³)	ha材積 (m ³ /ha)	収量比数	備考
1	68	2.43	1550	638	30.1	19.7	1091	449	0.67	精密毎木調査
2	58	2.17	2220	1023	30.6	21.9	1769	815	0.85	毎木調査（樹高標準）
3	53	2.16	1056	489	32.5	19.7	912	422	0.59	毎木調査（樹高標準）
4	54	1.91	2033	1064	22.5	14.8	681	357	0.67	毎木調査（樹高標準・H29調査）材積は成長率を考慮
5	46	1.73	1152	666	28.3	20.6	811	469	0.69	毎木調査（樹高標準・H30調査）材積は成長率を考慮

注：林齢は平成31年4月1日現在。