

各章の要約(抜粋)

第1章 事業の概要

本事業の背景と目的の概要ならびに事業推進の方向性等を検討するための検討委員会の設置、委員会における検討事項、本事業で使用する地上レーザ計測装置の規格・性能等について整理した。

第2章 調査対象地

本事業の調査対象地である北海道森林管理局管内の2箇所（カラマツ人工林、トドマツ人工林）、九州森林管理局海南の3箇所（ヒノキ人工林、スギ人工林、ヒノキ・スギ人工林）の林分概況を述べるとともに、調査区域の設定、事前調査における調査方法ならびに結果の概要を取りまとめた。

第3章 標準地調査

地上レーザ計測の精度検証を目的として各調査地で標準地調査を行った。標準地の設定にあたって当該林分の林相を代表する箇所を選定するため、オルソ画像から簡易画像解析法により立木分布図を作成した。林地全体を10mメッシュ化して、立木密度を指標として3段階に層化し、林地全体に占める層化区分の比率が一致するように、また抽出面積率が5%以上となるように調整して、標準地調査プロットを選定して、毎木調査（標準地調査）を実施した。なお、空知カラマツ人工林および空知トドマツ人工林については、対象区域が1ha以下と少面積であったため、標準地を設定せず対象区域全体で毎木調査を実施した。

第4章 地上レーザ計測

地上レーザによる森林計測について、作業の進め方、計測の方法、専用解析ソフトによるデータ処理方法および出力結果（立木情報一覧、3次元点群画像、樹幹形データ、等高線等の地形情報等）について概観した。出力される計測結果については、レーザ計測の特性上、ノイズも含まれるため、データ処理および出力結果を確認する際の留意点等について述べた。

第5章 データ補正後の精度と検証

地上レーザ計測では一般にノイズが含まれるため、地上レーザ計測における計測精度とノイズ除去の方法等について検討するとともに、過小評価となる樹高についてその補正方法を検討した。また樹高補正の過程で得られる樹幹形と材積に関する解析方法を概説するとともに、補正後の計測データの精度について標準地調査結果と比較検討した。また各調査地における立木本数および材積について、集計方法（面積拡大法、本数拡大法、地上レーザ計測）ごとに算出した。

第6章 地上レーザ計測による収穫調査

収穫調査では樹種判別および品質区分が必須項目であるが、地上レーザ計測ではその対

応が現状では困難である。その解決策として、標本調査で得られる樹種判別および品質区分の基本データを調査地全体に割り振る集計方法を提案した。その際、従来の標準地調査に代えて、より簡便な「標本木法」を提案しその調査手法についても併せて提案し、地上レーザ計測による収穫調査の手順について取りまとめた。

第7章 OWLによる現地計測の留意事項

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、地上レーザ計測においても同様である。地上レーザ計測の実際的な計測方法および留意点等について、地上レーザ装置OWLの資料等を参考にしつつ、経験的に現時点で明らかになっている事項を整理した。

第8章 地上レーザ計測による収穫調査の検査方法

「立木調査の検査」に関して、従来の立木調査と地上レーザによる調査では、計測方法や調査手順等が異なるため、その特性を踏まえた検査方法が必要である。一方、地域による樹種構成や優良材の市場価格、あるいは木材の取引慣行等を反映して、従来の収穫調査そのものの地域差ともなっている。そのため、各森林管理局における収穫調査規定等を考慮しつつ、地上レーザによる収穫調査の検査方法について検討した。

第9章 立木販売公売公告における提供情報の検討

従来の収穫調査報告に加えて、地上レーザ計測で得られる立木の形状、3次元立木位置、地形データ等は、立木販売や森林管理に関連した有益情報として新たな活用に発展する可能性がある。本事業では、立木販売公売公告における地上レーザ計測情報の活用メリットを探るため、立木の購入事業者等を対象としたアンケート調査を実施し、需要者側の視点を踏まえた効果的な活用方法・公開方法について検討した。

まとめ

収穫調査業務における地上レーザ計測装置の活用を想定して、収穫調査区域5箇所を対象に、事前準備、現地での計測方法、取得データの解析方法、調査結果の出力内容、収穫調査の検査方法、さらに実務上予想される課題の解決策についても検討した。その上で、地上レーザによる収穫調査の手順や留意事項等を、実務的な観点から集約した。また地上レーザによるデータ・情報の活用可能性についても検討し、立木販売公売公告での追加的な情報提供内容について整理・提案した。地上レーザ計測装置による収穫調査の作業内容・留意事項等の要点について、**巻末資料**に参考として掲載した。

地上レーザ計測に限らず、すべての技術・機材には利点と欠点があが、収穫調査での活用にあたって、地上レーザの特性を十分に理解しておく必要がある。従来の調査方法と異なる作業工程となることなどを理解した上で、地上レーザによる現地調査の手順や作業内容を見直し、必要に応じて人員配置にも留意して、効率的な調査実施体制を整えていく必要がある。

地上レーザ計測装置 OWL を1台のみ使用して、現地計測からデータ解析・各種集計・収穫調査復命書作成までを比較的スムーズに処理できるのは、調査面積が1ha程度までである。それ以上の広い調査区域であっても OWL 1台で対応は可能であるが、計測点数が増えることで、現地作業の手間が増えるが、むしろそれ以上にデータ解析の処理作業に時間を要する可能性がある。比較的平坦な林地で下層植生も少ないような好条件であれば3ha程度の調査は可能である。しかし、それ以上の数ha規模の調査ではレーザ計測のデータ量が大きくなり、解析処理のためのPCも高スペックで、記憶容量(HDD)にも相当の余裕が必要になる(ノートPCでHDD 250GBでは小さいであろう)。ha単位の計測を想定するのであれば、データ処理の負荷も想定した上で、現地での計測手順や計測箇所を含めた調査計画を立てる必要がある。またデータ解析用PCの処理能力を最大限発揮するよう、専用PCの保有も選択肢として考慮したほうがよいであろう。

収穫調査で求められる樹種判別や腐れ等の材質的欠点等の評価については、レーザ計測では対応がむずかしい。本報告では、“標本木調査”の結果を利用することで、これら評価の不足を補う方法を提案した。樹高については、レーザ計測の特性上(地上レーザに限らず航空レーザ等でも)、現時点でその計測精度を確保するのはむずかしいため、樹高を補正する2つの方法を提案した。樹高曲線法による補正方法(標本木の実測データから樹高曲線を適用する方法)は OWLManager の最新バージョンですでに導入済みであるが、この方法であれば従来から行ってきた計算処理であり、樹高補正の手法として受け入れ易いであろう。もうひとつの樹幹形モデルによる樹高補正は、その計算過程で樹幹の形状と単木材積が算出できるので、将来的には用途が広がる可能性がある(例えば、採材計算、立木在庫管理など)。ただこの方法は、データ解析が複雑になるので躊躇される可能性はあるが、方法論として適用可能と判断されれば、計算プログラムで処理するだけであり、取り扱いとしてはむしろ容易になる。膨大な点群データの処理に特化した専用プログラムがあるの

と同じことである。このように、地上レーザ装置からの出力データをそのまま使おうとするだけでなく、利用する側の目的や利便性に応えるべく、必要なソフトウェアを開発するなど適切な改善策を考案し、現実的な対処方策を工夫することで、新しい技術・機材の活用を図ることが肝要である。

地上レーザ計測で得られるデジタルデータは、適切なデータ処理を図ることにより、現地作業および内業の効率化・省力化が期待される。また森林管理システム等との連携を視野にデータベース化を図るなど、将来的な活用の展開が期待される。だが、ICT 関連機器を、収穫調査を含めた森林資源管理業務のシステム化に活用しようとしたとき、林業現場の技術的な慣行の見直しが必要になりそうである。例えば、直径や樹高の数値を丸める「括約」、あるいは地域・樹種・径級ごとに定められている幹材積表である。立木の価値や利用の仕方は以前とは大きく変化している。計算手法もかつての「手計算」の時代ではないので「括約」表現へのこだわりは必要なのか再考してよいであろう。幹材積表については、対数形式があったり胸高係数の形式があるなど、1950 年代に作成された幹材積式が統一性のないまま現在に至っている。なかには、材積式とその係数の出典が定かでないものもあるようである。デジタル機器の利便性を最大限に活用して、森林・林業の様々な場面で ICT 化を図るのであれば、新しい技術・機材に併せて、旧来の方法論を見直すべきは積極的に見直すべきであろう。従来 of 慣行を見直すための調査分析等も必要になる場合もあるが、林業のデジタル化・ICT 化推進のために、必要な見直しを図られることも期待する。

地上レーザ計測では、森林内部をスキャンすることにより、調査対象の主林木だけでなく、それ以外の雑草木や地表面を含めた森林の 3 次元空間データ（点群）が得られる。膨大な点群データから、目的とする「必要な情報」を導き出すための情報処理技術がレーザ計測の価値を左右する。様々な有益な情報（例えば、詳細な地形データや立木位置図など）が読み取れるとなると、従来 of 収穫調査の作業範疇を超えたデータ取得の要望がでてくることも理解できることである。しかし、広い調査区域を対象とする必要のある情報を得るためには、点群データそのものが膨大となり、ソフト的な解析技術だけでなく、PC スペックなどハード面の強化も必要になる。そうした解析技術的に新たに生じる負荷を引き受けるかどうかは、「必要な情報」を得ようとする目的次第である。ICT の導入・活用を考える場合は、短期的なコストパフォーマンスを判断するだけでなく、長期的な業務環境の変化やその改善策等も視野に、導入メリットを判断する必要がある。

参考文献

- Abegg, M. et al (2017) Terrestrial Laser Scanning for Forest Inventories—Tree Diameter Distribution and Scanner Location Impact on Occlusion. *Forests* 2017, 8, 184; doi:10.3390/f8060184
- Chen, S. et al (2019) Applicability of personal laser scanning in forestry inventory. *PLOSone*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211392>
- Chiba, Y. (1990) A quantitative analysis of stem form and crown structure: the S-curve and its application. *Tree Physiology* 7: 169-182.
- 千葉幸弘 (2017) 地上レーザー計測による森林調査のこれから. *森林科学* 80: 32-35
- 千葉幸弘 (2019) 可搬型レーザー計測装置による森林調査の計測精度. *関東森林研究* 69
- 藤村和重 (1998) 効率的な収穫調査 (立木) の検討. 国有林技術研究発表会講演集
- 春原久徳 (2018) ドローンビジネス調査報告書. インプレス総合研究所
- 星野勝 (2018) ドローンの撮影成果を活用した森林調査の可能性について. 関東森林管理局技術発表要旨
- 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) 地上型レーザー扫描仪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
- Karpina, M. et al. (2016) UAV-based automatic tree growth measurement for biomass estimation. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
- 加藤顕 (2015) 地上レーザーを用いた正確なバイオマス測定/ *森林科学* 74: 20-24
- 川北憲利 (2018) 地上型レーザー扫描仪を用いた森林計測の精度検証. *森林計画誌* 51: 47-56
- 木梨謙吉 (1978) 森林調査詳説. 農林出版
- 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
- Liang, X. et al. (2016) Terrestrial laser scanning in forest inventories. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 115: 63-77
- Liang, X. et al. (2018) International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 144: 137-179
- Mohan, M. 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
- 室木直樹・井崇行 (2019) UAV 空撮画像と地上レーザー扫描仪を併用した林分材積の推定. *森林計画学会誌* 52: 83-88
- 南雲秀次郎・箕輪光博(1990)測樹学.地球社
- 成田周平・山本一清 (2019) UAV による間伐施業評価法の開発. 第 130 回日本森林学会大会講演要旨
- 農業環境変動研究センター (2018) ドローンを用いた圃場計測マニュアル (不陸(凹凸)編). 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター
- 大隅眞一(1989)森林計測学講義.養賢堂

- Puliti, S. et al. (2015) Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sens.* 2015, 7, 9632-9654; doi:10.3390/rs70809632
- 林野庁 (2019) 平成 30 年度森林資源情報整備技術実証事業(国有林)報告書. 林野庁経営企画課
- 林野庁 (2020) 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
- 佐藤孝吉・戸田公作・箕輪光博 (2008) プロットレスサンプリング法による森林評価の可能性：ポイントサンプリング法による林分形状比の算出. *東京農大農学集報* 53: 213-218
- 森林総研 (2012) REDD-plus Cookbook. How to measure and monitor forest carbon. 森林総合研究所.
- 山田健四・大野泰之 (2016) 樹幹形状の変化に対応した北海道カラマツの立木幹材積の予測. *日林誌* 98: 118-123.