



Abstract

As a company, Yamaha Motor has enjoyed benefits from developing products used in Japan's mountains and forests since its inception. Most of our products are based in this field, from utilizing wood processing machines, motorcycles designed for mountain use, All-Terrain vehicles (ATV) for hunting, snowmobiles designed for snowcapped mountains, and pleasure boats used in the waters that flow from these areas. Furthermore, the plants growing there absorb carbon dioxide emitted by the models that use internal combustion engines. Now that the importance of SDGs has become more eminent, and as a company that has declared that it is aiming for carbon neutrality, there is no doubt that giving back to the forests that we have and will continue to enjoy the benefits of is an important mission as a company that can be proud of its standing in the world today.

The company's initiatives in the forest measurement business is one example of this commitment. In recent years, it has become necessary to quantitatively understand forest resources as the first step in improving the forest environment, which has become mandatory in Japan. Here we will introduce the measurement and analysis technologies that support this new solution.

1 はじめに

当社は、創業当時から山や森から非常に多くの恩恵を享受し育ってきた企業である。木材の加工機を活用することで創業し、山間部を疾走して楽しむモーターサイクルをはじめ、ハンティング用途のATV(四輪バギー)や雪山を駆け抜けるスノーモービル、山から流れる水上を楽しむプレジャーボートなど、当社の取り扱う製品のほとんどは森林がフィールドとなっている。さらに、内燃機関を用いる発動機が排出する二酸化炭素を固

定していくのもまた、そこに生育している植物に他ならない。SDGsの重要性が説かれている今、そして、カーボンニュートラルを目指すと言った企業として、これまでとそしてこれからも恩恵を享受し続けていく森林に恩返しをすることは、世界に誇れる会社として重要なミッションであることは間違いない。

当社はその一つとして森林計測事業を始めた。近年、国内で義務化された森林環境整備の第一歩として、森林資源の定量的把握が必要となっている。その新たなソリューションを支える計測および解析技術について紹介する。

2 空から森林内部を把握する計測技術

2-1. 空からのアプローチ

国内における森林はそのほとんどが山間部に存在し、崖や沢、群生する下草などの障害、蛇や熊などの危険が潜む内部（地上）からの全域計測はかなり難しい。また、上部が樹冠（樹木の葉が生い茂っている部分）に覆われていることが多いため、衛星写真や飛行機のレーザ計測など、上空からでもその内部を把握することが困難だった。

そこで当社は、独自の製品である産業用無人ヘリコプター（以下、無人ヘリ）にレーザスキャナを搭載し、低空域から樹冠下の3次元点群データを効率よく得る手法を新たに開発した。

2-2. 樹冠を透過するための条件

レーザ光は近赤外線を用いているため、樹冠を物理的に回避しなければその下の森林内部に届かない。そこで、森林内部から空がみえる部分を全方位カメラで計測した結果と、照射角度ごとのレーザ計測結果を検証することで、森林内部を効率よく計測できる条件を静岡県立農林環境専門職大学との共同研究により特定した^[1]。

図1および図2から、森林内部を計測するためには、開空率が高い鉛直上から20度～70度のレーザ照射が効率的といえる。

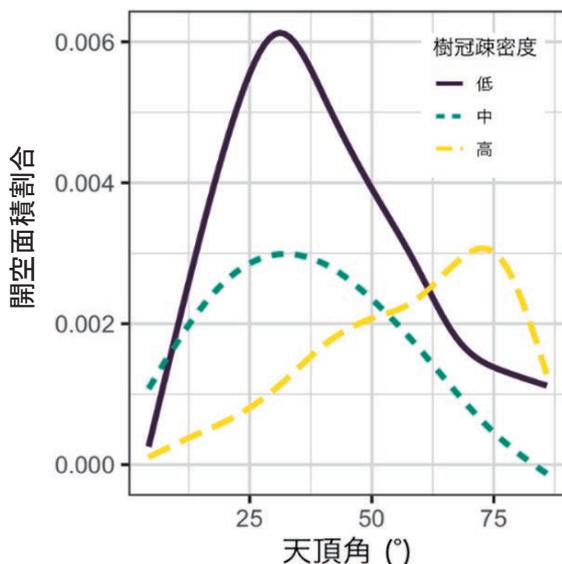


図1 全方位カメラ計測による天頂角ごとの開空割合

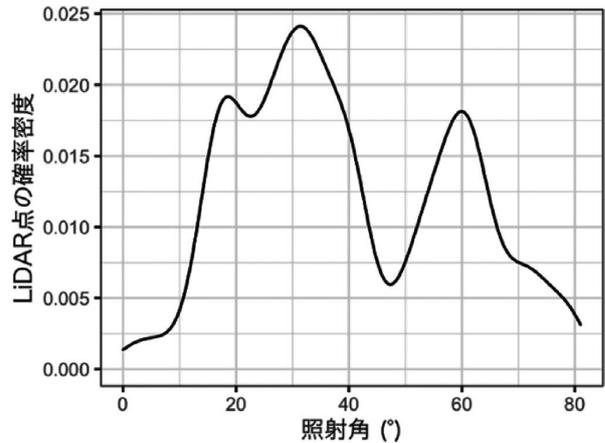


図2 幹上点群の照射角ごとの確率密度
(50°付近の減少は機体障害物の影響によるもの)

2-3. 森林内部を計測するための手法

まず、一般的にレーザ径は小さいながらも発散する性質があり、対象物に照射する際のスポット径は距離とともに徐々に大きくなる性質がある。そこで、樹冠の小さな隙間を抜けるために、高度をできるだけ下げながら安全性を保つ条件を設定した(図3)。

次に、一般的に用いられているレーザスキャナは、センサが回転または揺動することにより広範囲のデータを取得する。この回転を利用して、先述の角度で森林内部を照射できるよう、進行方向にレーザ回転軸を向けて、等高線に沿った飛行で、鉛直方向以外の斜め方向にも効率よく照射できるようにした。

等高線に沿った飛行は、航路の高度変化、つまり上昇／下降が少なく、飛行するためのエネルギー消費を抑えられるうえ、前方の視界が開けるので、飛行の安全を確認しやすいというメリットもある。

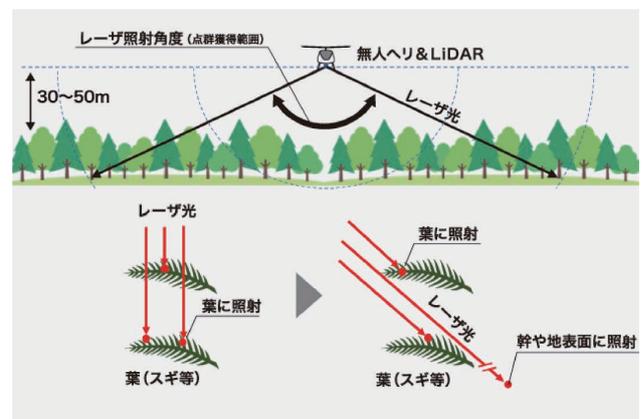


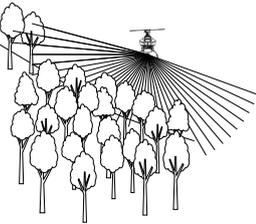
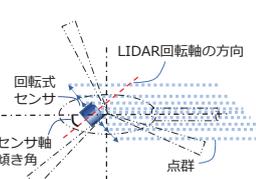
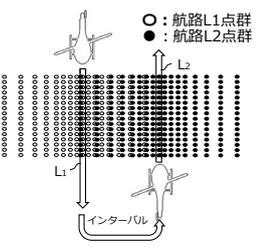
図3 低高度からのレーザ照射イメージ

このような条件を満たす飛行は、有人機には極めて困難であるため、無人ヘリやマルチコプターなどのドローン(UAV)を用いることで達成可能となる。

その中でも飛行時間の長い当社製無人ヘリは、飛行速度を下げることで、照射数を増やし、計測解像度を上げることができる。

上記手法のほか、センサ軸を水平から上下(ピッチ方向)に角度をつける手法や、進行方向の点密度を増やすためにセンサを左右(ヨー方向)斜めに搭載して飛行計測する手法などを検証中である。いくつかの計測手法とその効果を表1にまとめる。

表1 計測手法と特徴

手法	等高線に沿った飛行とセンサ軸方向	
効果	レーザの樹冠透過率向上	
手法	センサ軸を水平から上下に傾けて搭載	
効果	レーザの樹冠透過率向上 (照射角度を20~70°に集中)	
手法	センサ軸水平方向を飛行方向から傾けて搭載	
効果	航路直下付近の計測密度を上げる (背反として計測幅減少)	
手法	点群の分布を考慮し高度Hに対応した計測航路インターバルIの設定: $0.8 \leq I/H \leq 2.5$	
効果	幅広い照射角度でも点群密度のばらつきを抑える	

3 単木レベルの森林管理を可能とする解析技術

無人ヘリを含む UAV の森林上空飛行により得られたデータからは、樹冠、地面、幹の情報を得ることができる。

この情報から、単木(木一本一本)の属性データ(図4)や、森林内部の状況を分析する技術を開発した。

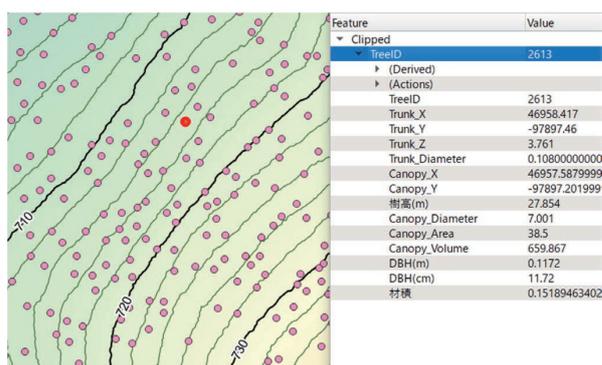


図4 得られる単木情報の照会 (DBH: 胸高直径、樹高、材積など)

3-1. 単木形状解析

UAV により得られる幹の情報は限定的で、地上レーザ計測ほど密な点群が得られない。そのため、幹の抽出や直径の算出のためにいくつかの要素を用いた独自のアルゴリズムを開発し、単木情報の抽出を可能とした。

UAV 計測で得た単木点群の解析を行う際、幹の太さに関するデータが取得できない場合には、幹の太さデータが取得できた周辺樹木の幹の太さとその他のデータ(樹冠高さ、密度、地形など)との関係性を示す蓄積データなどを用いて機械学習モデルで幹の太さを推定し、森林の幹データを補完する。

3-2. 樹種解析

森林の価値を見定めるための重要な要素の一つに樹種がある。これは、樹種により市場木材単価が異なるためである。

そこで、レーザ計測と同時に取得している画像を用いて、国内で最もポピュラーな木材である杉と檜を AI で判別する手法にも対応した。

3-3. 森林状況診断

森林には樹木以外にも、笹やシダ類をはじめとする下層植生が存在している。これらは、生物多様性の醸成をはじめ、表土の流出や土砂災害防止などに重要な働きを持つため、その繁茂状態を把握する意義は非常に大きい。そこで、地上から任意の

高さごとに区切った点群をヒストグラムとし、その分布を分析することでその森林の状況を把握する手法を開発している。

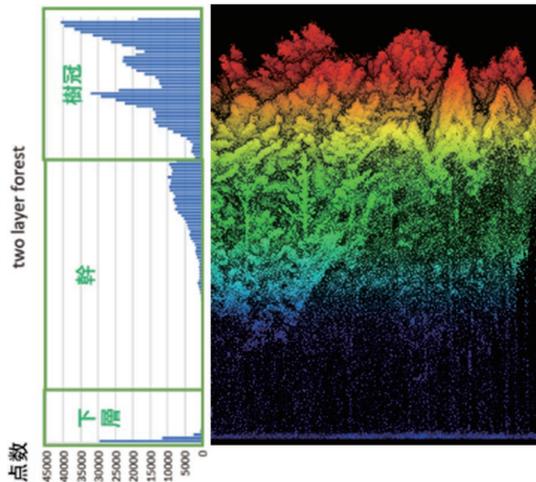


図5 高さごとの森林点群データ分布

森林状況判断への活用例：

- ・ 樹冠に対する幹や下層の点群割合が所定以下の場合、多くの光が樹冠にさえぎられてしまう状態といえる。そのようなエリアは、林内の下層植生の生育に必要な太陽光が十分に届かず、間伐が必要な過密林分と推定できる。
- ・ 地面付近の点群割合を用いて木の根元付近に生えている草など下層植生の繁茂状況を定量化する。
- ・ 複数のデータセットを教師データとして用い、機械学習によりモデルを作成し、森林状態の推定に利用する。

また、樹冠のデータが点群全体の70～95%程度と、地面や幹などの情報より極端に多くなってしまい、データ処理に多くのコンピューティングパワーと時間を要する課題が見えたため、樹冠のデータのみ間引いて解析時の効率を上げる手法も開発中である。

4 計測・解析結果を簡便に活用いただくUIの開発

航空レーザを用いた森林資源の計測サービスの結果を可視化・活用するためのツールとしては、非常に豊富な機能を有した複数のツール(地理情報システム)が市場に存在している。ただし、これらは多機能かつ専門的であるがゆえに経験の浅い顧客にとっては親しみにくく、データ処理能力の高い専用PCが必要になるなどの理由から、折角の計測・解析結果を活用しきれない事例が散見される。そこで、当社が持つ計測・解析技術を活かして得られた結果を、多くの顧客が簡便かつ直感的に活

用可能にすることを目指したクラウドシステム(YFMS:Yamaha motor Forest Management System)を開発している。既存の地理情報システムを追求するのではなく、当社の特長を活かして森林の詳細な現状把握とデータに基づいた施業計画立案、さらには現場での施業実施に役立てる機能に絞り込んで実装する方針であり、当社の森林計測サービスの顧客のみを対象に提供していく。

本稿執筆現在、第一段階の開発を終え、機能限定ではあるものの複数の先行顧客を対象にした試行運用を開始している。「こんな機能があったらさらに良くなる」という顧客の声を基にした機能追加・改良を継続することによって顧客からの信頼と親しみを醸成し、リピーター獲得に繋げていく。

表2 YFMS 開発状況概要

段階	目的	補足説明	提供時期
1	森林の現状把握に役立つ	固定の報告書から多面的に活用できる情報へ(立木検索、林内断面図)	2021年6月～
2	森林の施業計画立案に役立つ	経験値に基づく計画立案から共有情報を活用した計画立案へ(施業計画立案、施業状況把握)	2022年4月以降
	森林現場での施業実施に役立つ	実施するだけの施業から情報蓄積・活用に繋がる施業へ(施業計画参照、施業実績報告)	

5 おわりに

従来は、森林簿の情報やプロット調査と呼ばれる10m × 10m 程度の代表エリアの地上調査単木情報により、1ha (100m × 100m) の森林状況を推測していた。これは前述の地上調査に対する物理的な制限ゆえの手法であり、現場はその情報に頼らざるを得ないという現実がある。それに対し、全域データを単木レベルで解析した精度の高い情報は、今後の森林整備への新たなソリューションになりえる。

前述の技術を高めていくことにより、国内はもとより、世界中の森林整備に役立てていきたい。

■参考文献

- [1] 星川 健史ほか：UAV-LiDARにおける樹冠の計測効率の定量化, 日本写真測量学会, 令和3年度年次学術講演会, 39-40.

■ 著者



矢嶋 準

Jun Yajima

ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
事業開発部



ザン ペイイ

Peii Tzaan

ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
事業開発部



原田 丈也

Takeya Harada

ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
事業開発部

■ 映像ライブラリー

森林計測サービス

