

森林資源量推定のための UAV 搭載型計測機器の開発

単木計測 AI 技術と CLAS-LiDAR 計測技術による森林資源量推定システムの実用化
(令和 5 ~ 7 年度)

開発推進部 ○堀 武司、奥田 篤
北海道大学、(株)コア、林業試験場

1. はじめに

近年、人口減少や高齢化の影響により林業従事者の数は減少しており、林業における作業効率化が求められている。

森林管理者は、伐採や育林の作業計画を立てるため、森林から得られる木材量の把握を目的とした資源量調査を実施している。従来の資源量調査では樹種、樹高、および胸高直径（人の胸の高さで測った立木直径）などを人手で直接計測していたが、大変な労力を要するため、航空機搭載型の高精度 LiDAR（レーザによる測距センサ）等を用いた省力化技術の導入が進んでいる。しかし、これらの省力化技術はコストが高く、高頻度な資源量調査には不向きである。このことから、森林管理者が独自に実施できる、高精度、低コストかつ簡便な資源量調査技術が望まれている。

平成 30~令和 2 年度に道総研工業試験場および林業試験場で行った研究では、低コストの UAV 写真測量で得られた空撮画像を用い、各立木の樹冠領域を AI 画像解析によって個別に検出することで（図 1）、高価な航空機 LiDAR 計測に匹敵する単木単位での資源量推定を安価に実施可能とする技術を開発した。しかし、本技術を道内の森林資源量調査に広く普及させるためには、

- 1) 樹高を求めるために必要な地表面の数値標高モデル（DEM）が、道内森林の多くで未整備状態である。
- 2) 通信インフラの制約により高精度な RTK-GPS 測位を利用できない地域が道内森林には多く存在する。そのため UAV 運用や空撮データの位置照合を

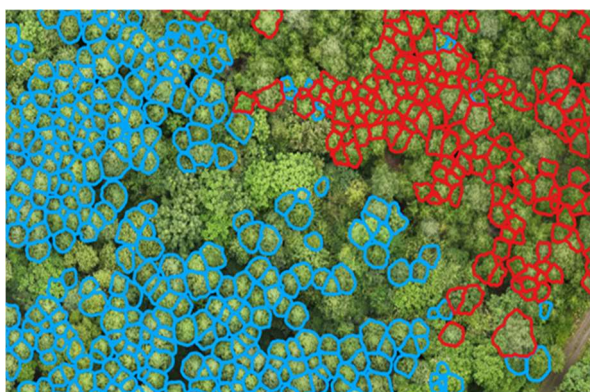


図 1 AI による樹冠領域の検出処理



図 2 UAV 搭載型 DEM 計測機器の外観

行うためには、測量時に対空標識などを設置する必要があるなど、作業が煩雑となる。

- 3) これまでに道総研で開発した樹冠検出 AI で対応可能な樹種が少ない。
などの課題が残されていた。

そこで本研究では、これらの課題を解決し技術の実用化を進めるため、森林における安価で高精度な DEM 計測技術の開発に取り組んだ。

2. UAV 搭載型 DEM 計測機器の開発

森林管理者が自ら UAV を運用し DEM を取得できることを目標として、低コスト LiDAR センサ、カメラ、および、センチメートル精度の測位が可能な CLAS 受信機を備えた、UAV 搭載型 DEM 計測機器（図 2）を開発した。

LiDAR 及び IMU（慣性計測ユニット）センサとして Livox 社 Avia を使用した。同機器は、一般的な UAV 空撮の飛行条件（対地高度約 100 m、対地速度 5 m/s）のもとで、上空から樹間を透過して地表面を計測可能な性能を有している。

UAV の自己位置測位用機器には、CLAS 受信機（セプテントリオ社 Mosaic-CLAS）を搭載した。CLAS 測位では、内閣府が運用する準天頂衛星「みちびき」から送信される測位補強情報を用いることで、外部基準局との通信を用いる RTK-GPS に準じる高精度な測位（二乗平均平方根誤差（以下、RMSE）で水平 6.94cm、垂直 12.25cm）が可能となる。従来、RTK-GPS の利用が困難な地域での UAV 空撮では、空撮データと測地座

標系の精密な位置照合を行うために対空標識の設置等の煩雑な作業が必要であったが、CLAS を用いることでそれらの作業は不要となる。

開発した DEM 計測機器は、UAV の機体システムから完全に独立して動作する構造となっており、搭載する機器重量の要件さえ満たせば、任意のメーカーおよび機種種の UAV に搭載して運用することが可能である。また、DEM 計測機器を構成する主要部材の価格は合計で 50 万円以下であり、類似の競合製品（販売価格 120～300 万円程度）と比較しても同等以下の価格で製品化できると考えられる。

3. DEM 作成ソフトウェア

DEM 計測機器は搭載コンピュータの処理能力や電力に制約があるため、飛行中は搭載センサで取得するデータの記録のみを行い、DEM を生成するデータ処理は PC 上に実装した DEM 作成ソフトウェアを用いて飛行後に行う。

LiDAR による点群データの取得については UAV が逐次移動しながら行っているため、各時刻での UAV の位置・姿勢情報を用いて点群地図として再構成しなければならない。そのため、移動ロボットの環境認識技術などで用いられる SLAM（自己位置認識・地図作成）処理により、UAV の位置・姿勢、および点群地図の初期解を計算する。SLAM による UAV 位置・姿勢推定は LiDAR および IMU のデータのみで行われるため、その後段に追加した処理により CLAS 測位で取得した UAV 位置情報を考慮した最適化を行い、測地座標系に対する位置照合が行われた点群地図を得る（図 3 上）。

さらに、この点群地図から樹木等を除去し、地表面のみの DEM（図 3 下）を生成する。LiDAR 点群の一部は樹間を透過してその下の地表面まで到達しているため、モルフォロジフィルタ等の手法を用いて最も低い

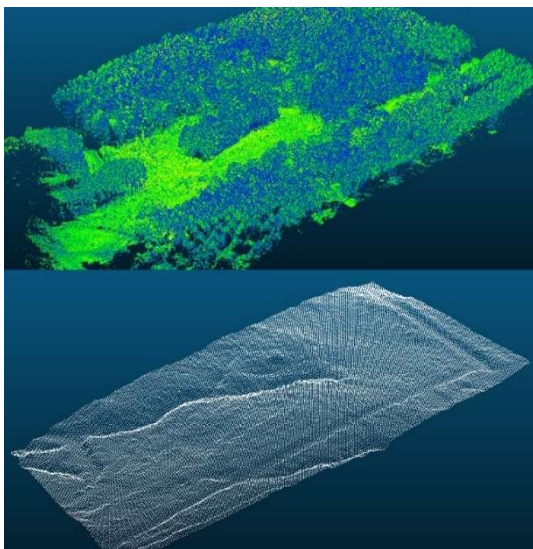


図 3 LiDAR 点群地図(上)と樹木を除去した地表面 DEM(下)

位置に分布する点群を抽出することで、地表面 DEM を生成する。

4. 点群地図・DEM の精度評価

DEM 計測機器を用いて林業試験場実験林（美唄市）で空撮試験を実施し、DEM 作成ソフトウェアで生成した点群地図および DEM の精度評価を行った（表 1）。

最初に、LiDAR 点群地図の測地座標系に対する位置精度を評価した。予め測量済みである対空標識 5 点を基準点として測地座標系に対する位置ずれを評価したところ、水平、垂直方向でそれぞれ RMSE 0.2～0.3 m 程度の誤差となった。これは CLAS 測位単体よりもやや低い精度であり、SLAM 処理等の過程での誤差が加わった結果と考えられる。

次に、樹木等を除去して得られた地表面 DEM の検証を行った。比較対象として 2006 年度に実施された航空機 LiDAR 計測データから作成された DEM（国土地理院 DEM と同水準の精度）を使用し、DEM の 5 m メッシュ各点での標高値を比較したところ、誤差は RMSE 0.86 m となった。資源量推定で要求される樹高の精度は概ね 1m 程度であるため、本システムで得られる DEM を森林資源量推定の用途で利用できることが確認できた。

表 1 DEM の精度評価

比較対象	計測方向	誤差 (m)
測量済み地点	水平方向	0.306-0.338
	垂直方向	0.202-0.235
航空機 LiDAR-DEM	垂直方向	0.861

5. まとめ

UAV を用いて DEM および空撮画像を低コストかつ簡便に取得可能な計測機器システムを開発した。これによって、公共 DEM 未整備地域、RTK-GPS 利用が困難な地域を含む道内森林全域において、道総研の森林資源量推定技術を適用することが可能となった。

また、今回の開発を実施した令和 5～7 年度の重点研究において、本開発と並行して林産試験場で樹冠検出 AI および資源量推定システムの改良の取り組みも実施した。改良された樹冠検出 AI を用いた資源量推定システムの性能評価では、毎木調査との比較で材積推定精度 92 % の結果が得られ、森林管理者からも実用水準の性能であるとの評価が得られた。

これらの研究成果は、令和 8 年度以降、森林管理を行う行政機関等への技術移転を行い、活用を進める予定である。