

九州の森と林業

No.144 2023.6

RTK-UAVによる森林観測

森林資源管理研究グループ 高橋 與明

RTK-UAVとは

リモートセンシング技術の一つである航空レーザ（「ALS」「航空機LiDAR」または短く「ライダー」とも呼ばれます）計測は、今では森林・林業の分野で広く知られています。航空レーザ計測では、上空から森林に向けてレーザ光を照射して、樹冠の表層や内部や地盤面の三次元座標（以後、点群データと呼びます）を高精度に取得することができます（図1(a),(b)）。この点群データを適切に処理・解析することで、樹高や地形といった森林情報の一部について、人力で把握するよりも遥かに効率的に高精度に整備できます。有人航空機（セスナやヘリコプター）を利用するため、市あるいは県レベルの広域の森林を対象にレーザ計測することができます。

一方、近年は「UAV」や「ドローン」という単語を耳にする機会が増えましたが（ほぼ同義で、無人航空機を指します）、UAVにカメラやレーザ距離計を搭載して森林を観測する技術が、近年目覚ましく発展しています。中でもReal Time Kinematic (RTK) - GNSSと呼ばれる高精度の測位技術が利用可能な「RTK-UAV」による空中写真測量では、カメラで撮影した大量の写真から、精密なオ

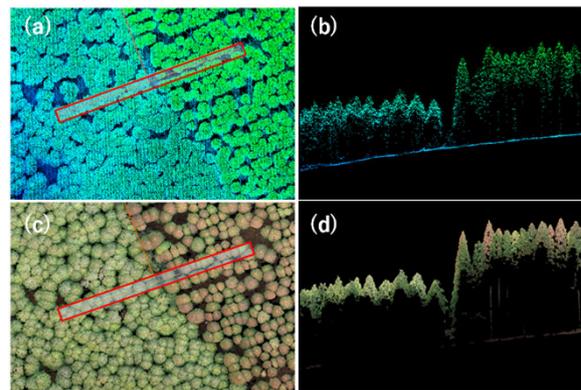


図1 2013年12月の航空レーザ計測の点群データ (a)と(b)と2022年1月のRTK-UAVの点群データ (c)と(d)。(b)と(d)は、それぞれ(a)と(c)の中の赤枠（幅1.8m、長さ60m）の断面図を示しています。

ルソモザイク画像（図2）のみならず、航空レーザ計測と同様に空間位置精度が高い点群データを作成することができます。図1に示すように、RTK-UAVの点群データ（図1(c),(d)）は、航空レーザ計測の点群データ（図1(a),(b)）に比べて、点密度が極めて高く、さらに色情報も併せ持つという長所があります。その反面、樹冠が閉鎖した森林では地盤面の点群データが乏しくなります。日本



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 九州支所

Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

のように特に地形が複雑な山間地域では、現状の小型のRTK-UAVで観測できる範囲に限りはありますが、高性能で、操作が比較的容易で、なおかつ飛行の安全性に優れた機材が市販されています。そのような機材を利用すれば、航空レーザ計測が過去に一度でも実施された森林であれば、航空レーザ計測で得られたDTM（地盤面の標高を表すデータで、数値地形モデルと呼ばれます）を併用することで、森林現況を高精度に把握できる可能性があります。

本稿では、市販の小型のRTK-UAVによる森林観測の事例を紹介し、具体的には、航空レーザ計測のDTMが整備済みのスギの列状間伐林を対象に、RTK-UAVで空中写真を撮影し、写真から作成した点群データと既存のDTMを併用して、スギの単木の樹冠抽出を行い、単木の樹高と胸高直径を推定した研究結果を紹介し、

RTK-UAVによる空中写真撮影

鹿児島県霧島市の国有林にある1伐2残のスギの列状間伐林を対象としました（図2）。地形はほぼ平坦で、2021年度に45年生でした。33.3m × 66.6mの矩形プロットを設置し、プロット内の全立木の樹高と胸高直径を測定しました。立木密度は880本/ha、平均胸高直径は30.2cm、平均樹高は19.9mでした。



図2 対象のスギ林のオルソモザイク画像

RTK-UAVによる空中写真撮影は、2022年1月27日に行いました。曇天日で、地上付近での平均風速は約1m/sでした。使用した機材は、DJI社のPhantom4-RTK（機体）と

DRTK-2モバイルステーション（基地局として利用するGNSS受信機）です。DRTK-2は基地局としてそれ自体の位置を高精度に測位するとともに、地形の起伏に沿って一定の高度で機体を安全に飛行させるために必要な機材です。飛行コースの設定やカメラ設定は、送信機の自動航行アプリ上で適切に行う必要があります。また、この機材の使用にあたっては、飛行範囲を十分に包含するエリアの地形情報（DTMの標高を楕円体高に変換した情報）を事前に準備しておき、自動航行アプリに入力しておく必要があります。

撮影した数百枚の写真から、SfM/MVSと呼ばれる処理で点群データとオルソモザイク画像を作成しました。なお、カメラの内部標定（レンズの幾何学的な歪みや焦点距離などを求めることを指し、点群データの生成精度に影響します）については、専門業者に依頼して、その数値を準備しました。また、RTK-GNSSが搭載されていないUAVの場合は、伐採地や作業道や林冠ギャップなどの上空が開けた場所に複数枚の対空標識を適切に配置し、その位置を高精度のGNSS受信機で測位しておき、外部標定（カメラの正確な位置と姿勢を決定することを指し、内部標定と同様に点群データの生成精度に影響します）の際に対空標識を地上基準点として利用する一連の作業が必要不可欠なのですが、RTK-UAVはその面倒な作業を省略しても深刻な問題はありませぬ。ただ、本研究では、後処理キネマティック解析と呼ばれる解析を行うことで、より正確に外部標定を行いました。

データ解析

点群データ（点密度は約6720点/m²）の標高値からDTMの標高値を差し引き、地盤面からの植生高を表す5cm解像度のDigital Canopy Height Model（DCHM）を作成し、DCHMに様々な画像処理を施すことで樹冠を抽出しました。樹高の推定値は、樹冠領域内のDCHMの最大値とみなしました。胸高直径は、樹高（H）と樹冠直径（CD）とその交互作用項（H・CD）を変数とするモデル（AICが最小）で推定しました。

RTK-UAVの能力

図3に、樹冠の抽出結果を示します。プロット内の立木は190本あり、抽出された樹冠領域も190個で（樹冠領域の過剰抽出も過少抽出もありませんでした）、精度は100%でした。しかし、林分内の個々の樹冠の大きさや形状や隣接状態は、林分が異なれば千差万別であり、それらの違いが樹冠抽出の結果に大きく影響することから、今回の結果は偶然である可能性が考えられます。ただし、筆者の経験上、少なくともこのプロット内で、通常の航空レーザ計測の点群データでは精度100%の樹冠抽出は難しいことから、RTK-UAVの高い能力の結果であると考えられます。

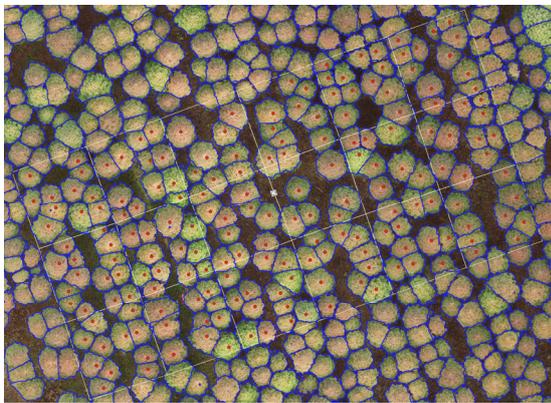


図3 樹冠の抽出結果。青線は単木の樹冠領域を表しています。赤点は現地の190本の立木の位置を表しています。

図4に、樹高の推定結果を示します。ME（平均誤差）は -0.046m 、RMSE（二乗平均平方根誤差）は 0.303m でした。航空レーザ計測では、単木の樹高推定のRMSEは 1m 未満と高い精度を示すことが多いのですが、RTK-UAVの点群データからも、高精度のDTMさえあれば、航空レーザ計測と同程度かあるいはそれ以上の精度で樹高を推定できる可能性が示唆されました。

図5に、胸高直径の推定結果を示します。MEは 0cm 、RMSEは 2.326cm と小さく、良好な結果ですが、個々の推定値のばらつきを見ると、データ解析や推定方法にもう少し改善の余地がありそうです。

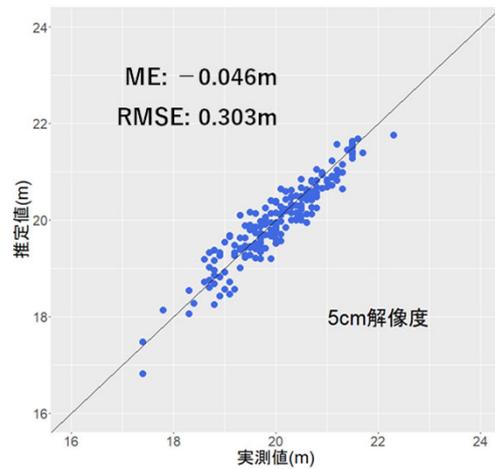


図4 樹高の推定結果。実線は1:1を表しています。

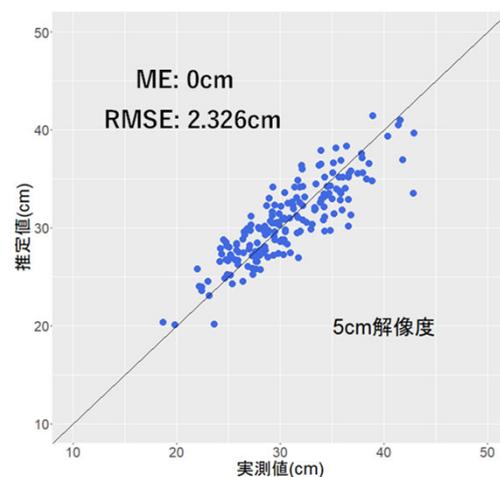


図5 胸高直径の推定結果。実線は1:1を表しています。

おわりに

筆者が初めてRTK-UAVで森林観測をした時、能力の高さに驚きました。専用の様々なソフトウェアも充実してきており、喜ばしい限りです。また、近年はUAV-レーザや林内を自動航行するUAVの開発もかなり進んでいますので、技術の進歩がいずれ安価で高性能の機材を世に送り出してくれるはずで、樹高や胸高直径は、ゆくゆくは「推定」から「測定」の時代へと移るのかもしれない。

謝辞

本研究は、一般社団法人日本森林林業振興会森林林業振興助成事業（R2～R4）および農林水産技術会議委託プロジェクト研究「管理優先度の高い森林の抽出と管理技術の開発（R3～R7）」の助成を受けて実施しました。

立田山森のセミナーのお知らせ

立田山森のセミナーは、森林を身近に感じていただくために、森林のいろいろなことについて、わかりやすく説明するセミナーです。

開催日・テーマが決まり次第ホームページ等を通じてお知らせしますので、どうぞお気軽にご参加ください。

昨年度のセミナーの様子

第71回

開催日：令和4年8月6日

テーマ：「こわいけど知ってみたい スズメバチの世界」

担当：チーム長（生物多様性担当）

参加者 10名

スズメバチの意外な生態について、紹介しました。



第72回

開催日：令和4年9月17日

テーマ：「木材をエネルギー利用しよう！」

担当：森林資源管理研究グループ

参加者 10名

最近のエネルギー利用について、紹介しました。



第73回

開催日：令和4年10月15日

テーマ：「カメラは見た！立田山にはどんな野生生物が？」

担当：森林動物研究グループ（鳥獣）

参加者 10名

立田山に設置した自動撮影装置にどんな動物が写っているのか調べてもらいました。



地域連携推進室から

森の展示館について

開館日 平日（事前予約制）

開館時間 9：30～16：30（12～13時除く）

※1週間前までに申し込み

※業務都合によりお受けできない場合あり

入館料 無料

夏休み期間限定イベント計画中。

詳細は、近日中にホームページに掲載します。

九州の森と林業 No.144

令和5年6月1日

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所九州支所

熊本県熊本市中央区黒髪4丁目11番16号

〒860-0862 Tel 096(343)3168(代)

Fax 096(344)5054

ホームページ

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/kys/>



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。