

航空レーザ計測とドローンSfM*1の組み合わせによる 森林資源データ等の取得方法の検討

中部森林管理局 計画保全部 治山課 国有林治山係長 ○城倉 恵介
総務企画部 企画調整課 課長 ○遠藤 歩

要旨

デジタル技術は日々進歩しており、技術や手法が多く存在する中、当局管内でもドローンや航空レーザデータ等のICT機器やデータ整備が進んでいますが、これらの機器やデータが比較的単純な作業のみの活用にとどまっており、森林調査に有効的に活用されているとは言えない実態となっています。

職場内では無数にある情報や手法に対して、適切な作業方法の選択に困惑する場面も多いことから、職員がICT技術の活用に対し前向きに取り組めるよう、ドローン自動操縦による計測から当該データのQGIS*2による解析方法までの一連の流れについて整理することにしました。

1 はじめに

当局の主力となるデジタル技術として、機動的なデータ取得が可能なドローンが全署配備済みであることと、航空レーザ計測による数値標高モデル (DEM*3) が当局管内の国有林約99%の面積において整備済みであることが挙げられます。そこで、これら2つの技術の組合せによる森林情報取得の手法の整理をすることとしました。

2 調査地及び調査手法

(1) 調査地の選定について

本調査地は、東信森林管理署管内の立科^{たてしな}国有林111い林小班で行いました。調査地の選定理由は、現地は60年生のカラマツ林 (10.81ha) が広がっていること、過去に収穫調査やUAVレーザ計測、航空レーザ計測が実施されていたことにより、本調査結果と比較検討が可能であると判断したためです。

(2) 調査の準備及び手順

ア 準備

本調査で使用するドローンは、機動性は高いものの、標高値に誤差が出やすいため標高基準を設ける必要がありました。そこで、調査地内に対空標識を3か所設置しました (実際の山林での調査を想定し、作業効率の観点から、林道脇のみに設置したため、3か所としました)。また、対空標識の標高値及び座標をGNSS*4機器により計測しました。標高値を事前収集し標高誤差の修正に用います (写真1、2)。

イ 手順 (ドローン)

ドローンの自動操縦機能により連続写真撮影を実施します。オーバーラップ率90%、サイドラップ率60%で撮影することとし、操縦器の内蔵アプリケーションにより、飛行経路等を設定しました。その後、必要な高度設定の上、自動操縦により調査地の撮影を行いました。



(写真1：使用したドローン (EVO II v3))



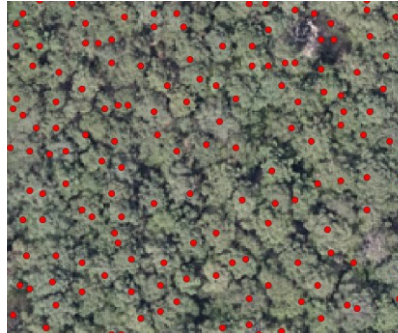
(写真2：GNSS機器と対空標識)

ウ 手順（オルソ化*⁵ソフト）

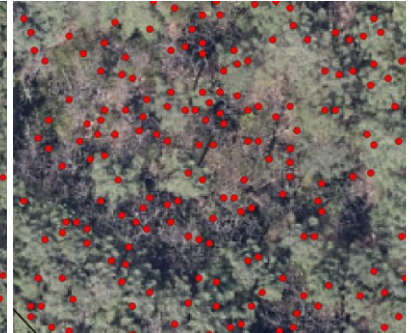
オルソ化ソフトにより数値表層モデル（DSM*⁶）の作成を行います。現地の対空標識で取得した標高値及び座標を基に、画像上の標高値及び座標を補正することで、精度の向上を図りました。

エ QGISによる解析

ドローンにより取得したDSMデータをQGISにより解析を行います。事前に調査地の航空レーザデータを入手し、QGISの機能である「ラスタ計算機」により、表面（樹冠）の高さから地面の高さを差し引いたデータ（DCHM*⁷）を作成。作成したデータをQGISのプラグイン「Tree Density Calculator*⁸」を使用し、樹頂点の抽出を行いました（写真3、4）。



（写真3：単木への樹頂点抽出）



（写真4：広葉樹等への過度に出る樹頂点）

オ 各調査との比較検討

取得したデータや収穫調査復命書、各調査データを収集・整理を行い比較検討し分析を行います。なお、本調査地には広葉樹や枯損木も混じっていたことから、針葉樹のみで単純比較するため、航空写真により事前に区分けを行い、広葉樹・枯損木の情報を除去しています。

（※具体的な調査手順については【[参考1](#)】を参照してください。）

3 調査結果とその分析

（1）他の調査との調査結果の比較

今回の調査のほか、2（1）で示した過去の調査との結果を比較した表が、表1となります。この際、航空写真から目視により1点1点ポイントを落としましたものを、比較対象として用意しました。

ア 本数についての考察

収穫調査によるもの、ドローンによるもの及び航空レーザ計測によるものは、目視によるものと比較し、それぞれ、約300本、約800本及び約600本の差となりました。また、UAVレーザによるものは同約3,000本差が生じています。

UAVレーザによるものの抽出本数が多いことについては、樹木1本に対して無数の点を抽出したことにより多くポイントが抽出されたと推察しました。

イ 樹高についての考察

ドローンによるもの以外の3つの調査方法については、樹高値が20数mに固まっており、信頼度が高いものと言えます。他方、ドローンについては42mと、他の倍近い値となってしまいました。ドローンはもともと高さ方向の計測に弱いという性質があることから、他の調査よりも大きく飛び抜けたデータとして表れたものと推定します。

（表1：調査結果の比較）

調査方法	調査日	自動抽出値 (本)	広葉樹等 (本)	差引本数 (本)	本数比較 (対目視)	平均樹高 (m)
ドローン	R7年12月	5,675	1,036	4,639	+823	42.6
航空 レーザ計測	R7年8月	5,684	1,224	4,460	+644	23.6
UAVレーザ 測量	R7年2月	8,097	1,195	6,902	+3,086	20.7
収穫調査 復命書	R4年9月	5,329	1,210	4,119	+303	24.9
目視 (航空写真)	R7年8月	3,816	—	3,816	0	—

(2) 比較を踏まえた考察

3 (1) の比較から、メリット・デメリットを表2のとおりまとめました。

この表のとおり、それぞれの調査方法に長短があり、精度の高い調査を実施するためには、一つの調査方法に頼ることは困難であると考えます。

(3) 調査手法の改善提案

表1の調査結果により本数の差が少ないドローンと航空レーザ計測について、表2、表3のとおりメリット・デメリットを比較したところ、ドローンでは高さの弱みに対し、航空レーザ計測では高さを抽出することができること、航空レーザ計測では最新情報への更新に時間を要するに対し、ドローンでは最新の森林情報が取得可能であることから、双方の長所と短所を補えるのではないかと考えました。そこで、ドローンによる調査と航空レーザ計測による調査を組合せ、双方のデメリットをメリットで補う手法を検討することとしました。

(表2：各調査方法のメリット・デメリット)

調査方法	メリット	・デメリット
ドローン	・小範囲のデータ取得が可能 ・最新の情報を取得しやすい	・広範囲を計測出来ない(10ha程度) ・計測時間に制限がある
航空レーザ計測	・広範囲のデータ取得が可能 ・細かいデータの取得が可能	・データ取得に時間が必要 ・データ更新に時間が必要 ・高額費用が必要
UAVレーザ測量	・小～中範囲のデータ取得可能 ・離陸ポイントを選べる	・データ取得に時間がかかる ・計測会社が限られる ・高額費用が必要
収穫調査復命書	・毎木調査によりデータ取得 ・調査時期を選べる	・現地調査に時間がかかる ・調査内容に差が出やすい
目視	・目視調査可能	・時間と手間がかかる(本調査地概ね3時間) ・繁茂箇所は判読しにくい

(表3：ドローンと航空レーザ計測との対比)

ドローン	航空レーザ計測
メリット ・少数で現地調査が可能 ・持ち運びが簡易 ・ <u>現地の最新情報の取得が可能</u>	メリット ・簡易に樹頂点抽出が可能 ・ <u>樹木の高さ抽出も可能</u> ・航空写真により森林状態を把握
デメリット ・計測環境に左右される ・高さに弱みがある ・飛行時間の制限 ・飛行範囲も限られる	デメリット ・ <u>データ更新時期に時間がかかる</u> ・ <u>莫大な費用がかかる</u> ・ <u>処理時間がかかる</u>

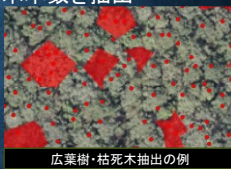
【改良案】

- ① 事前準備として現地調査前にQGISを使用し航空レーザ計測データ及び航空写真により、調査地の単木の有無や広葉樹帯・枯損木帯のフィールドの整理を実施します。併せて、樹木本数と平均樹高の抽出を行い、調査地がわかるフィールドの整理を行います。
- ② 現地調査ではドローンによる現地調査を実施し、最新の森林情報の取得を行います。調査時には対空標識を設置し標高誤差を少なくします。
- ③ 現地調査(プロット調査)において、ビッターリッヒ法^{*9}による胸高断面積合計から、1本あたりの平均材積を抽出します。(※ビッターリッヒ法の計算式等は【参考2】を参照してください。)
- ④ 事前準備で整理したフィールドに現地調査で取得したDSMデータ、航空レーザ計測データのDEMを入力し、QGISのツールによりDCHMを作成し、QGISのプラグインにより樹頂点の抽出を行います。
- ⑤ 抽出したデータを、①で事前準備したデータと比較し平均樹高と本数を確定させます。併せて、③により1本あたりの平均材積を確定した平均樹高及び本数により全体の材積を抽出します。

ドローンと航空レーザ計測データでの森林資源データ取得(改良案)

事前準備(QGIS)

- ① 調査地がわかるフィールドの整理(航空写真等)
- ② 航空レーザ計測データにより樹木本数を抽出
- ③ **平均的な樹高の把握**



現地調査(ドローン)

- ④ 上空から情報収集
- ⑤ **最新の本数情報等**を取得

現地調査(プロット調査)

- ⑥ ビッターリッヒ法による胸高断面積合計から、一本当たりの材積を抽出

室内(QGIS)

- ⑦ QGISのフィールドに現地情報を合わせ整理する

(図1：改良案の作業の流れ)

以上の手法により、森林資源量の簡易的な把握ができるものと考えます。

4 まとめ（今後の課題）

今回の調査では、ドローンの弱点である高さに欠点が出てしまったことから、高さの補正方法について検討する必要があると考えます。また、航空レーザ計測も更新のスパンが長いことから小範囲での計測や安易に調査ができる方法を検討していきたいと考えます。

また、今後のICT技術の更なる活用に向けては、現場での使用頻度が多いドローンについて、応用技術を持った操縦者の育成が必要であると考えます。また、QGISを使用できる技術者の更なる育成のほか、発展著しいAI技術を広葉樹の樹冠解析などに応用できないか検討の余地があると考えます。

今後は、本調査方法をマニュアル化するとともに、後世に手法を伝えていきたいです。

==【参考1】本調査の具体的な調査手順==

(1) ドローンによるデータ取得

ア 連続写真の撮影

ドローン操縦器に内蔵されているアプリ（Autel Explorer）により、自動飛行経路を設定の上、連続写真撮影を実施。この際、解析精度の向上を図るため、対空標識を設置。

(ア) 自動飛行の設定

内蔵アプリケーションにより設定。（オーバーラップ率：90%、サイドラップ率60%。）

(イ) 対空標識の設置

高度誤差を抑えることを目的に設置。（A3サイズで用意。3か所設置。）

(ウ) 対空標識の座標情報の取得

ハンディタイプのGNSS機器で、高度、緯度、及び経度を取得。

(エ) 自動飛行の開始

適宜の区域に分け、飛行。（目視内飛行の範囲で設定。150m未満で飛行。）

イ 連続写真のオルソ化ソフトによる解析

アで撮影した連続写真を、オルソ化ソフトにより解析し、DSM（及びオルソ画像）を取得。

(ア) 画像のアライメント

単写真に付与された位置情報を基に、写真を整列。

（タイポイント400,000、キーポイント400,000で設定。）

(イ) 対空標識への座標付与

対空標識が移っている写真にマーカーを落とし、手作業で位置を調整。

（調整後、マーカーに、GNSS機器で測定した経度・緯度・高度情報を付与。）

(ウ) カメラ座標の削除、カメラ位置の最適化

対空標識の位置情報を信頼し、ドローンで取得したカメラ位置情報を削除。その上で、写真の再アライメント（再配置）を実施。

(エ) 高密度点群の生成、メッシュの構築

再配置後の写真から、位置情報をもつ点群を取得し、その点群をメッシュでつなぎ、3次元モデルを構築し、DSMを取得。

ウ DSM取得作業時における留意点

後述のQGISでの解析に適したデータとするため、以下の点に留意する必要。

(ア) 画像のアライメント時

タイポイント、キーポイントには、上限を設定。

(※設定しないと、解析に時間がかかる)

(イ) 対空標識への座標付与時

経度・緯度を平面直角座標系に変換する際、変換誤りに注意。

(ウ) カメラ座標の削除時

座標は削除しても、カメラ角度（ヨー、ピッチ、ロール）は削除しない。

(※解析に異様に時間がかかるほか、DSMの向きが不正確になる場合がある。)

(エ) DSMの構築時

ピクセルサイズを、後述するQGISのプラグインの設定と、整合がとれたものとする。

(今回は0.5m/ピクセルで設定。)

(2) QGISによる解析

ア ラスタ計算機によるDHCMの作成

QGISの「ラスタ計算機」という機能を使い、(1)で取得したDSMデータと、航空レーザ計測由来のDEMデータとの差分をとることで、DCHMデータを作成。

イ プラグインツールによる、樹頂点の抽出

QGISのプラグインツール「Tree Density Calculator」(ツリー・デンシティー・キャルキュレーター)を用いて、アで作成したDCHMから、樹頂点を抽出。

【「Tree Density Calculator」の設定のポイント】

① Sliding window size

樹冠サイズ、植栽感覚の目安に0.5などラスタの解像度刻みで設定する。

本調査では「1.5」に設定。

② Snap distance in meters, max half of sliding window size

①の半分の値で設定する。窓内に同じピクセル値があった場合に樹頂点が複数抽出されないよう設定しておくもの。スナップ距離内に複数の樹頂点が抽出された場合に中間に統合する。

本調査では「0.75」に設定。

ウ 目視による、広葉樹等の除外

イにより抽出した樹頂点は、針葉樹については1本につき1点が抽出されるが、広葉樹や枯れ木については、1本につき複数点が抽出された。そのため、航空写真を基に、目視によるポリゴン区分けで、広葉樹等を除外。

エ 樹頂点ポイントへの高さ情報の付与

抽出した樹頂点に、QGIS内のプロセッシングツール「ベクタレイヤにラスタ値を付加」を用いて、高さ情報を付与。

(3) 使用した機材等

- ・ドローン：EVO II v3
- ・対空標識：X型 (28.5cm×28.5cm)
- ・QGIS：ver3.22.9

== 【参考2】ビッターリッヒ法を行う場合の、プロット数及び胸高断面積合計[1] ==

(1) プロット数

$$n = (t \cdot c / E)^2$$

n = 標本点数

t = 信頼度係数 (信頼度を95%とすると t ≈ 2)

c = 変動係数 (林相が均一な人工林は約 20%～中庸な人工林は約40%～不均一な人工林は約60%)

E = 推定誤差 (10%以内)

(t=2、c=20%、E=10%とすると、n=16)

(2) 胸高断面積合計

$$B = n \times K$$

B = 胸高断面積合計 (m²/ha)

n = カウント本数

K = 断面積定数

(K = 2500 × (スリットの幅 / スリットまでの長さ)²)

(50cm先にある幅 2 cmのスリットを用いると K = 4)

資料文献

[1] 昭和33年9月25日付 長利第746号「中部森林管理局収穫調査規程」(最終改正令和5年3月24日付 中資第158号) [引用]

*1 SfM (Structure from Motion) : 複数視点の画像から3次元データを復元する手法。

*2 QGIS : 無償で利用可能なGIS (Geographic Information System : 地理情報システム) ソフト。

*3 DEM (Digital Elevation Model) : 数値標高モデル。地表面の標高からなる3次元データのこと、建物や樹木等の高さは含まない。

*4 GNSS (Global Navigation Satellite System) : 人工衛星を利用して地上の現在位置を計測するためのシステム。

*5 オルソ化 : 写真上の像の位置ズレをなくし、空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に正射変換すること。

*6 DSM (Digital Surface Model) : 数値表層モデル。地表面とその上にある地物表面の標高からなる3次元データのこと、建物や樹木等の高さを含む。

*7 DCHM (Digital Canopy Height Model) : 樹冠高モデル。DSMとDEMの差分から得られる地物(ここでは樹冠)の標高からなる3次元データ。

*8 Tree Density Calculator : ラスタを一定の大きさの窓で走査し、中心のピクセル値が窓内で最大だった場合、その中心を樹頂点として抽出するプラグイン。

*9 ビッターリッヒ法 : 専用の視準器等を用いて周囲の立木を観察し、単位面積当たりの胸高断面積合計を調べる手法。