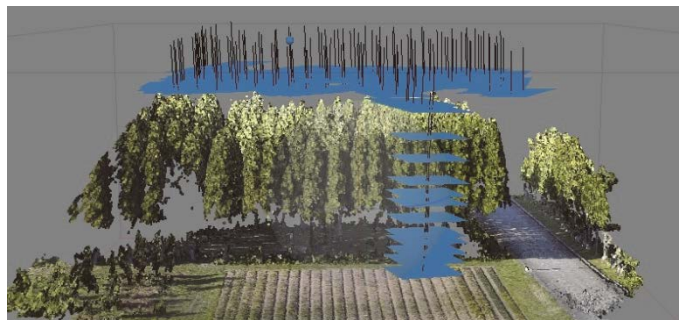
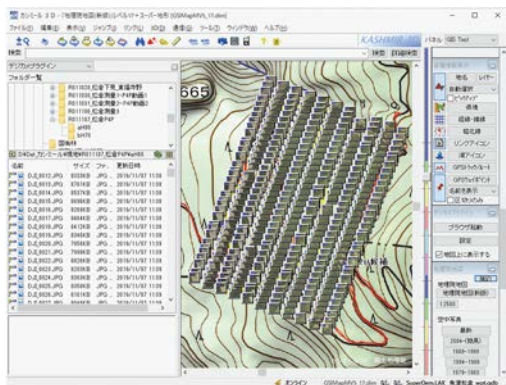
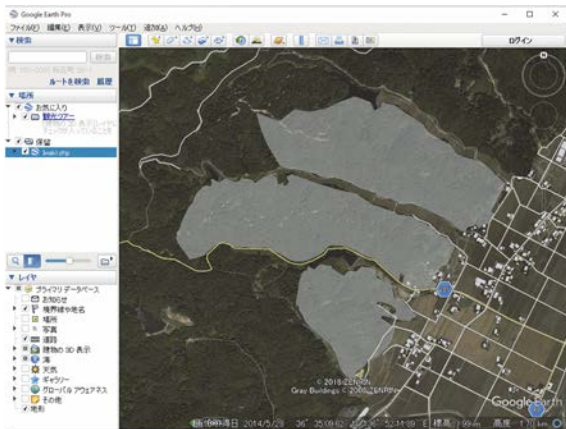


ドローンによる空撮と画像解析のやり方

— 施業計画の立案や資源量把握のために —



2020年1月

富山県農林水産総合技術センター森林研究所

はじめに

この手順書は、ドローン（UAV，無人航空機）による動画および静止画の空撮と静止画像の解析による資源量推定に関して、富山県森林研究所がこれまで蓄積したノウハウをまとめたものであり、富山県森林技術開発研究費による研究課題「ドローン空撮画像を用いた新たな森林管理手法の開発（平成29年～令和1年）」の成果の一部です。本書が今後の森林調査にドローンを使用する方々の参考になれば幸いです。

なお、ドローンの導入や基本的な設定については、A5判の「とやまの森と技術 No.3 ドローンの導入と撮影入門」にまとめましたので、これから導入を検討する方はそちらをまずお読みください。



魚津市松倉県営林の空撮画像

目 次

1. 本書で取り扱うドローンについて	1
2. 動画の撮影	2
2-1 動画の撮影準備	2
2-2 動画の撮影	8
2-3 動画の編集	9
3. 静止画の撮影	11
3-1 静止画の撮影準備	12
3-2 静止画の撮影	15
4. 静止画の解析	20
4-1 SfM ソフトウェアによる写真測量	21
4-2 GIS ソフトウェア他による資源量推定	26

1 本書で取り扱うドローンについて

ドローンには、レーザースキャナを搭載したもの、マルチスペクトルカメラを搭載したもの、光学式カメラ（通常のデジタルカメラ）を搭載したのがありますが、本書で扱うのは、一般的に販売されている光学式カメラを搭載した物です。

以下の説明では、森林研究所が所有している DJI 社¹（中国）の Phantom4 Pro というドローンと Apple 社²（米国）の iPad mini4 というタブレットの組み合わせによる手順を説明するので、他の機種を使用する場合には、機種に依存する部分を読み替えてください。Phantom4 Pro と iPad mini4 の写真を図 1-1 に示します。



図 1-1. Phantom4 Pro(左)と iPad mini4(右)

ドローンの操縦にはライセンスは必要ありませんが、航空法を遵守する必要があります。詳しくは国土交通省の無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール³のサイト³をご覧ください。なお、令和 2 年以降、重さ 200g 以上のドローンは登録制になるとのことです。

Phantom4 Pro の設定や手動操縦には DJI GO 4 アプリ⁴（Android, iOS に対応）を使用しますが、その使い方については本書で解説しません。機体のマニュアル⁵にあるアプリの使用法をよく読み、基本的な設定、操縦方法は各自習得してください。市販本⁶も参考になると思います。

なお、UAV を用いた材積推定については、本書とは別に、林野庁も、「UAV 立木調査マニュアル」（平成 30 年度、国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業報告書、平成 31 年 3 月）を PDF ファイルで公開しているので、そちらも参考にしてください。

¹ <https://www.dji.com/jp>

² <https://www.apple.com/jp/>

³ https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#a

⁴ <https://www.dji.com/jp/downloads/djiapp/dji-go-4>

⁵

https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20180622/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_Series_User_Manual_JP.pdf

⁶ 最新ドローン空撮入門－PHANTOM4 徹底ガイドー，インプレス，2016 年

2 動画の撮影

動画の撮影から編集までのフローチャートを図 2-1 に示します。

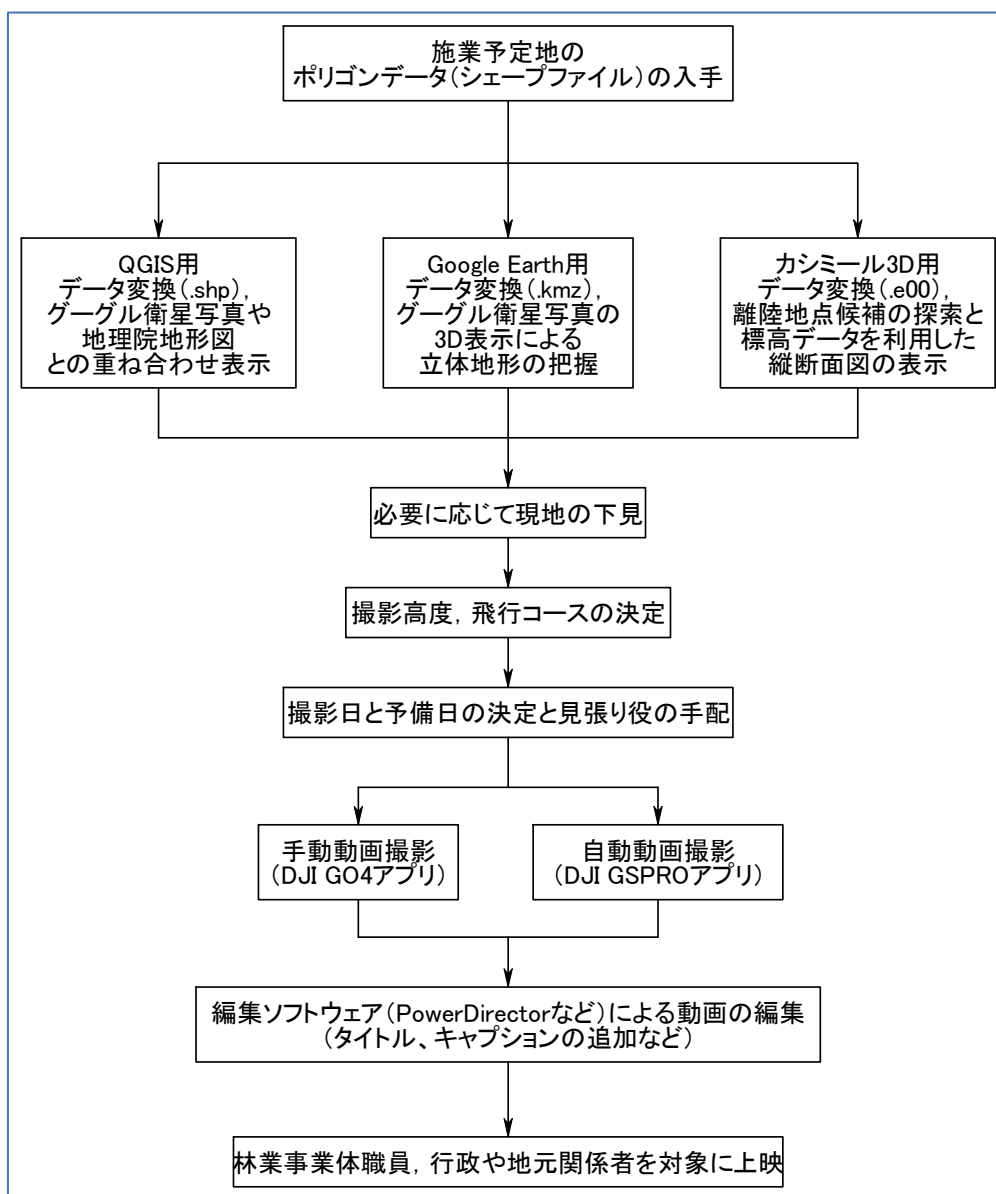


図 2-1. 動画撮影のフローチャート

2-1 動画の撮影準備

まず初めに撮影対象森林の場所を特定します。施業予定地の外周を示すポリゴンデータ⁷のシェープファイル⁸があればそれを入手します。入手したシェープファイルは、

⁷ 多角形で囲まれた領域のこと。

⁸ 点, 線, ポリゴンなどのベクトル型 GIS データの標準フォーマットです。WGS84 測地系の経緯度座標系データでやりとりするのが便利です。

無料 GIS ソフトウェアの、QGIS⁹、Google Earth Pro¹⁰およびカシミール 3D¹¹用データに変換します。データ変換が自力でできない場合は森林研究所で行いますので、遠慮なくお申し出ください（特に、カシミール 3D 用のデータには、森林研究所所有の GIS ソフトウェアである TNTmips¹²がないと変換できません。）

施業予定地のポリゴンデータを QGIS で表示した例を図 2-2、2-3 に示します。QGIS はシェープファイルをそのまま開くことができますが、その際、データの測地系と座標系を指定する必要があります。下図ではシェープファイルを WGS84 測地系の経緯度座標系（EPSG¹³：4326）で表示しています。

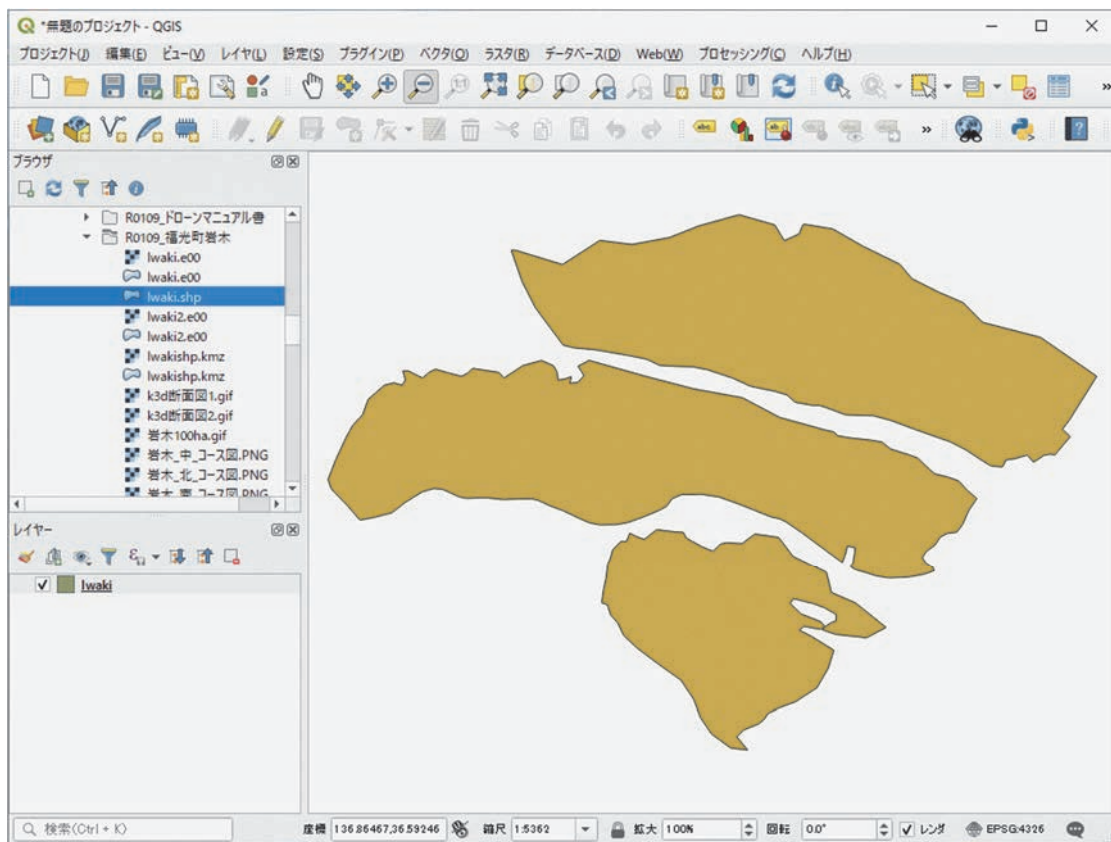


図 2-2. 施業予定地ポリゴンを QGIS で表示したところ

9 データ閲覧に加えて解析機能も豊富な無料 GIS ソフト：

<https://www.qgis.org/ja/site/>

10 グーグル社の 3D 地球儀閲覧ソフト（Chrome 版ではなく、スタンドアローン版の Google Earth Pro）：<https://www.google.com/intl/ja/earth/versions/#earth-pro>

11 標高データや GPS データとの連動が便利な地理情報閲覧ソフトウェア：

<http://www.kashmir3d.com/>

12 米国 MicroImages 社の商用 GIS ソフト：<https://www.microimages.com/>

13 測地系と座標系の組合せを表すコードのこと

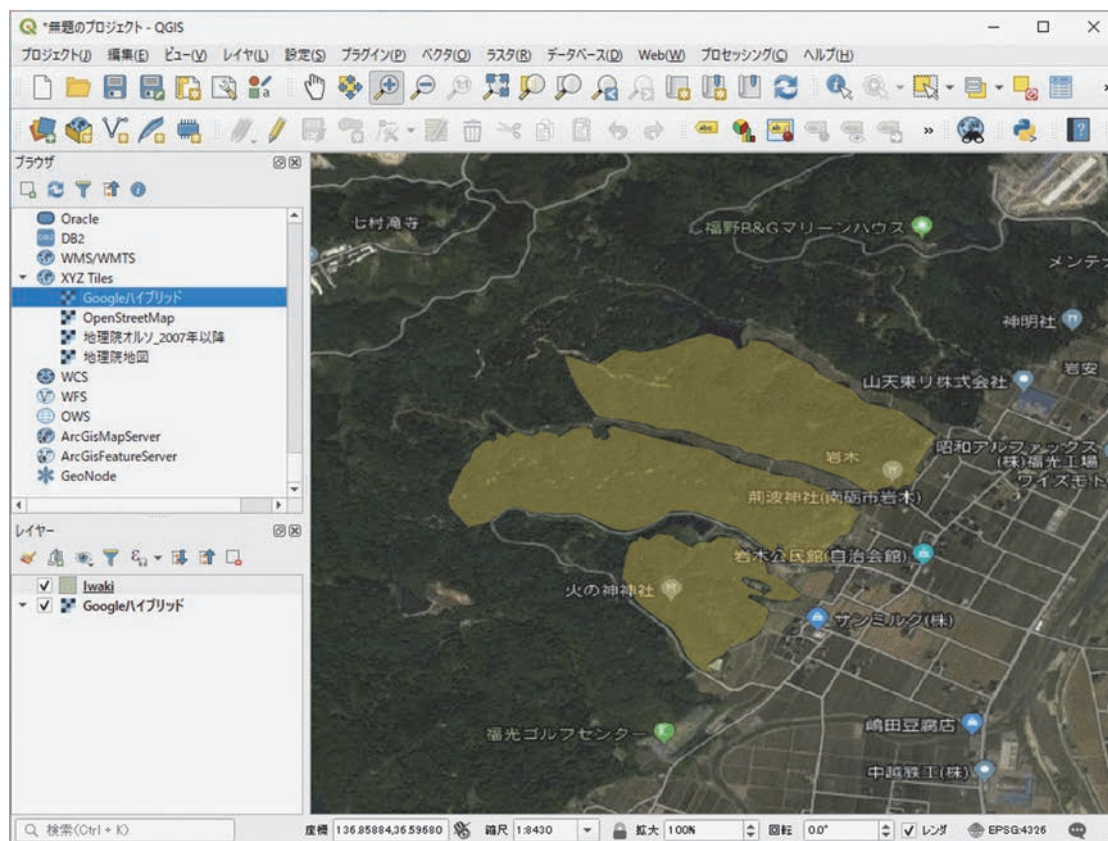


図 2-3. 施業予定地ポリゴンに Google ハイブリッド画像を重ねて表示したところ

QGIS はオンラインで Google 社の地図や衛星写真，国土地理院のオルソ写真や地理院地図などを無料で表示することができます。図 2-3 は，Google 社の衛星写真と地名等を組み合わせた，ハイブリッド地図の上に，施業予定地ポリゴンを半透明で表示したものです。このような地図画面を眺め回すことにより，施業予定地周辺の地形や地物の情報を得ることができ，周辺の道路状況の把握，離陸地点の探索や現地集合場所の決定等の参考になります。

施業予定地のポリゴンデータを半透明にして Google Earth Pro で表示した例を図 2-4，2-5 に示します。Google Earth Pro はシェープファイルを開くことができます（測地系=WGS84，座標系=経緯度，文字コード=UTF-8 の場合のみ）。データを読み込んだ後は，垂直表示（図 2-4）と斜め表示（図 2-5）を切り替えたり，マウス操作で視点や目標点を自由に変えることができるため，地形の起伏に関する情報を得られ，ドローンの飛行イメージ作りの参考になります。また，Google 社の衛星写真は国土地理院のオルソ写真が存在しない場所も整備され，撮影時期も新しいものが多く，数年前に作設された作業道なども写っており，大変重宝します。

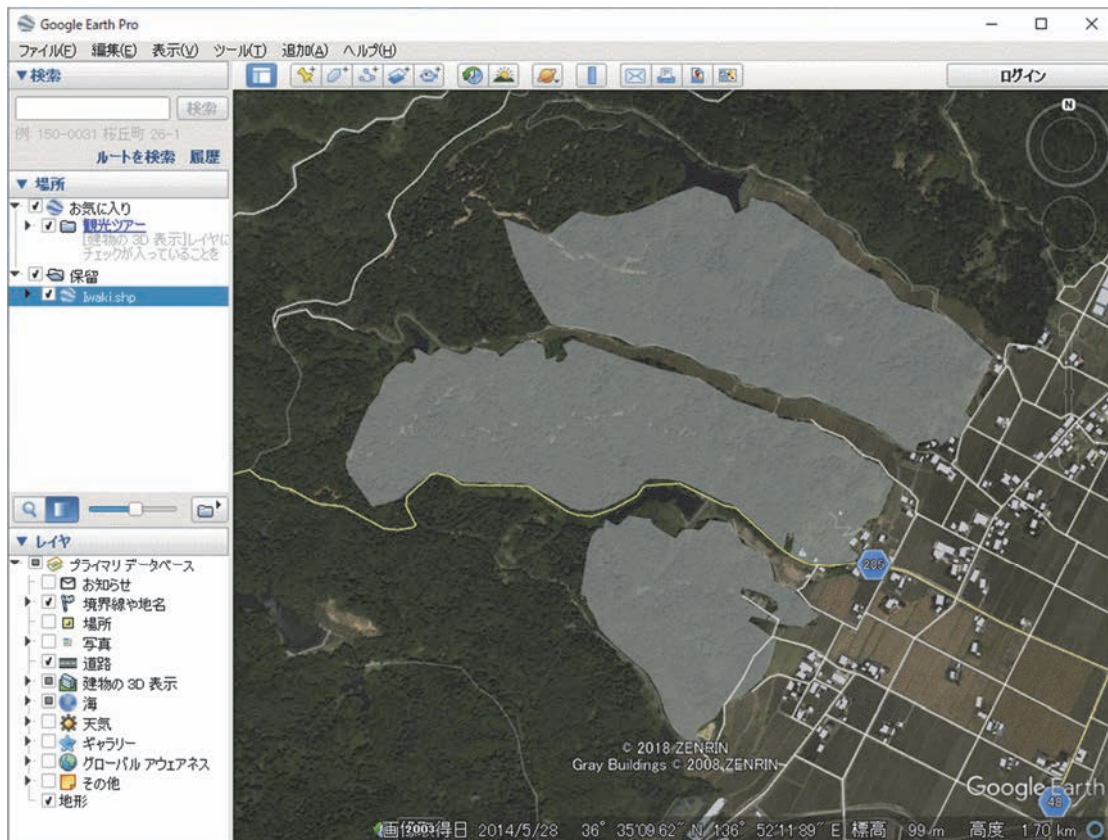


図 2-4. 施業予定地ポリゴンを Google Earth Pro で表示したところ(垂直表示)

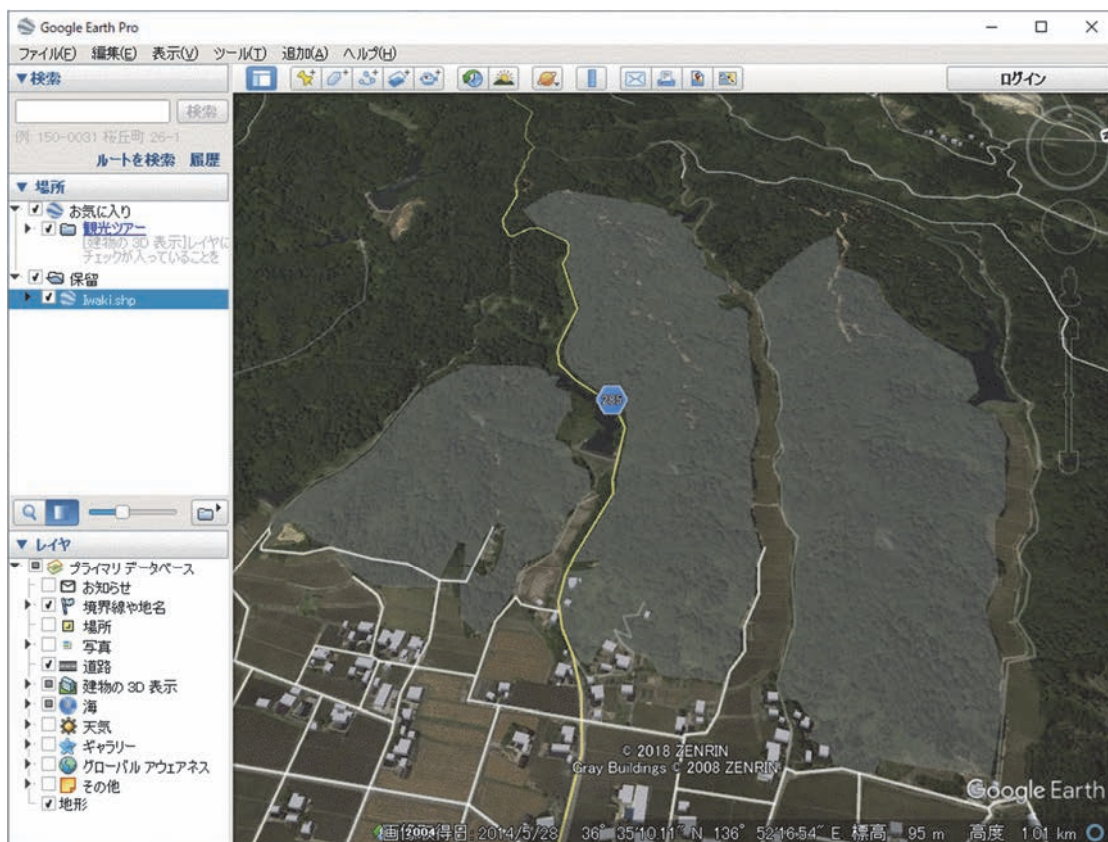


図 2-5. 施業予定地ポリゴンを Google Earth Pro で表示したところ(斜め表示)

カシミール 3D で地理院地図+スーパー地形と施業予定地ポリゴンを重ね合わせた画像上で、断面図作成用の折れ線を描いた画面例を図 2-6 に、また、その断面図を図 2-7 にそれぞれ示します。

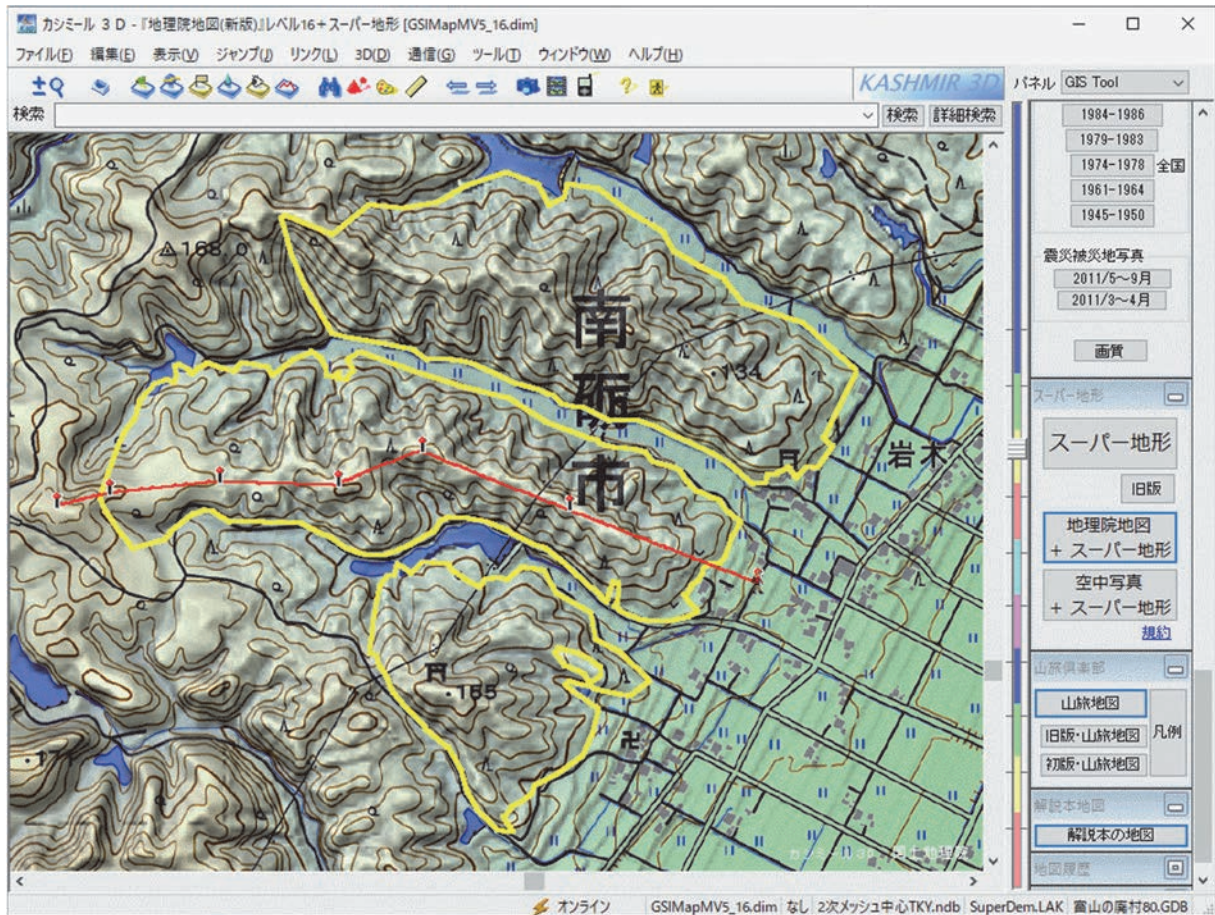


図 2-6. 施業予定地ポリゴンをカシミール 3D で表示したところ

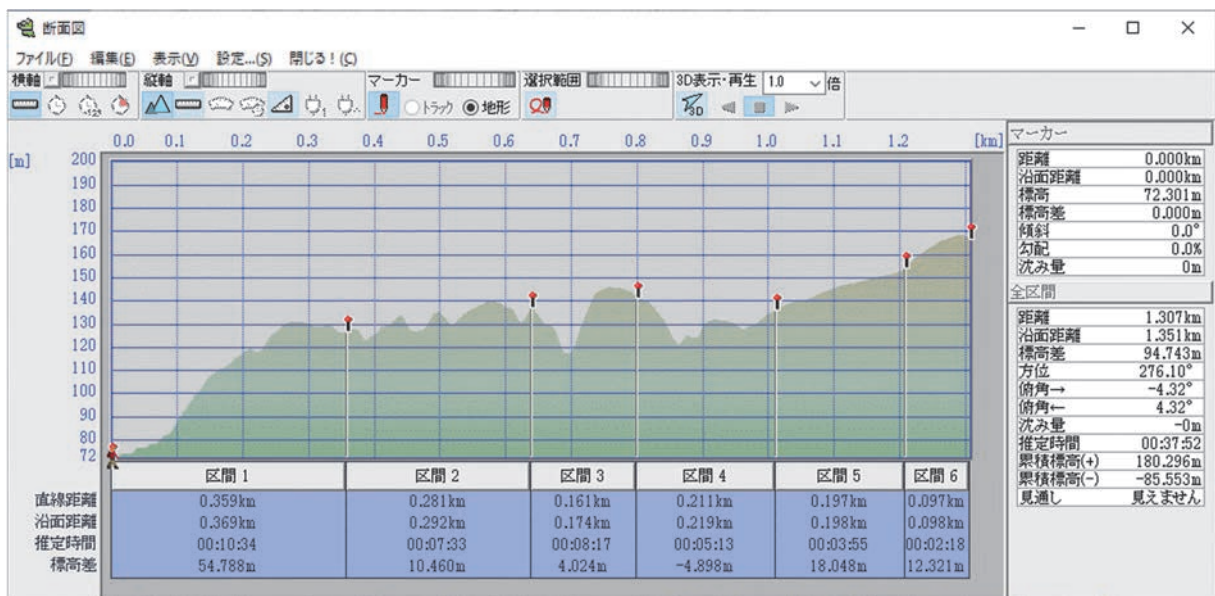


図 2-7. 断面図を表示したところ

カシミール 3D は標高データとの相性がよく、ドローンの飛行高度を決める際の参考情報を提供してくれます。なお、図 2-5 に黄色で示した施業予定地の外周線を表示するには、GIS ツールプラグイン（無料）¹⁴が必要です。また、スーパー地形セット¹⁵の継続利用にはライセンスの購入が必要です（3 日間は無料で使用可）。

QGIS, Google Earth Pro およびカシミール 3D で離陸地点や飛行コースを検討し、DJI 社製自動空撮アプリの GS PRO（無料、iOS のみ対応）¹⁶で作成した自動飛行ルート¹⁷の例を図 2-8 に示します。この計画では、離陸後、高度 148.2m（離陸地点からの高度差）まで上昇し、(S) の地点で動画撮影を開始し、○の地点を經由しながら反時計回りで飛行し、●の地点で動画撮影を終了し、自動帰還する、という手順になっています。なお、GS PRO で施業予定地のポリゴンを表示するには、KML/SHP ファイルのインポートモジュール¹⁷を別途購入する必要があります。また、飛行モードはウェイポイントモードにする必要があります。

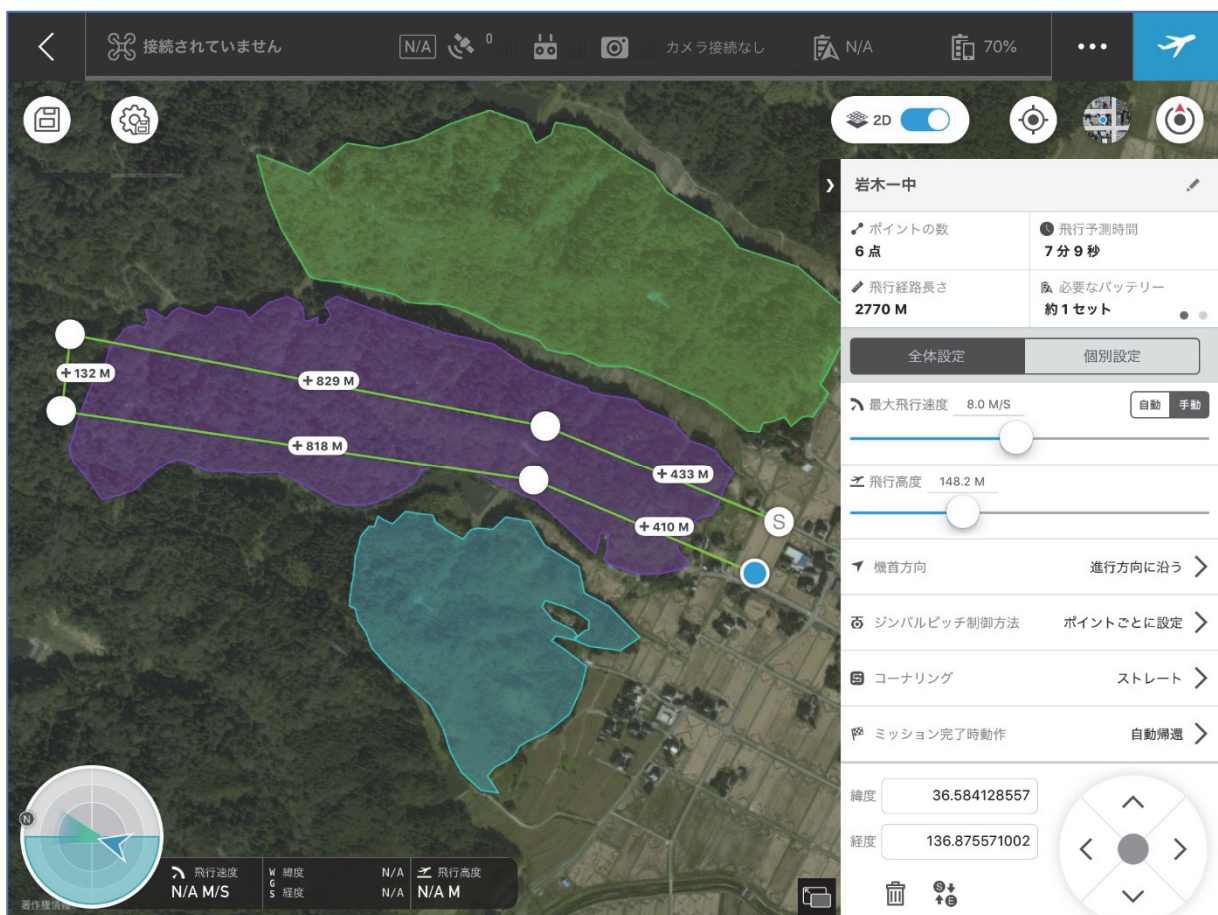


図 2-8. GS PRO で自動空撮計画を作成、表示したところ

¹⁴ https://www.kashmir3d.com/kash/kashget.html#plugin_gist

¹⁵ <https://www.kashmir3d.com/kash/kashget.html#kashmir3ddm>

¹⁶ <https://www.dji.com/jp/ground-station-pro/info>

¹⁷ <https://www.dji.com/jp/ground-station-pro/gis-data-import>

飛行計画の立案に当たっては、航空法上の制限（飛行高度 150m 以下，目視内飛行など）に従ってください。制限を超える場合には，国土交通省に無人航空機飛行許可申請を行う必要があります。詳しくは飛行申請ガイド¹⁸を参照ください。

必要に応じて現地の下見や飛行計画の再検討を行ってください。また，撮影日および予備日の決定と見張り役の手配を行ってください。

2-2 動画の撮影

現地に着いたら，予め目星をつけていた離陸予定地点に立ち，撮影範囲の見通しを確認します。よりよい見通しが得られる地点があれば，そちらへ移動します。また，見張り役を撮影範囲内外の見通しのよい場所へ配置します。

動画の撮影方法には，手動撮影と自動撮影の 2 種類があります。

手動撮影には DJI 社の DJI GO 4 アプリを使用します。参考のために，DJI GO 4 の画面を図 2-9 に示します。常に機体から目を離さず，耳を凝らして目視内飛行で撮影します。



（撮影開始から 5 分 51 秒経過，水平距離＝3.4m，高度＝28m，GNSS 衛星数＝12）

図 2-9. 手動動画撮影中の DJI GO4 の画面例

¹⁸ https://www.dips.mlit.go.jp/portal/file_download

動画の自動撮影には、前述の GS PRO を使用します。自動撮影の場合も、目と耳を使って機体の位置を常に把握するよう心掛けてください。万が一、機体のビジョンセンサー（障害物を検知するセンサー）が働いてホバリングに入った場合（GS PRO 画面上で機体が移動しなくなった場合）には、慌てず、自動飛行終了アイコンをタップして手動に戻し、リモコンのスティックを使って機体を上昇させてください（上空に障害物がないとき）。その後、リモコンの自動帰還ボタンを長押しして自動帰還（離陸地点上空に戻り、高度を下げて自動着陸）させてください。なお、自動操縦から手動操縦に切り替える場合には、機体とリモコンの距離が遠いと無線 LAN の電波が届かず、命令が効かないことが考えられるので、なるべくリモコンの近くを飛行させる（操縦者から遠く離れた場所まで飛ばさない）よう心掛けてください。

2-3 動画の編集

Phantom4 Pro で動画を撮影すると、機体に挿入された micro USB カードには動画ファイルが 2 種類保存されます。ひとつは¥DCIM¥フォルダ下に保存されるもので、これは 4K 画質（3840x2160）の動画（図 2-10）であり、もうひとつは、¥MISC¥フォルダ下に保存される縮小版（1280x720）の動画（図 2-11）です。

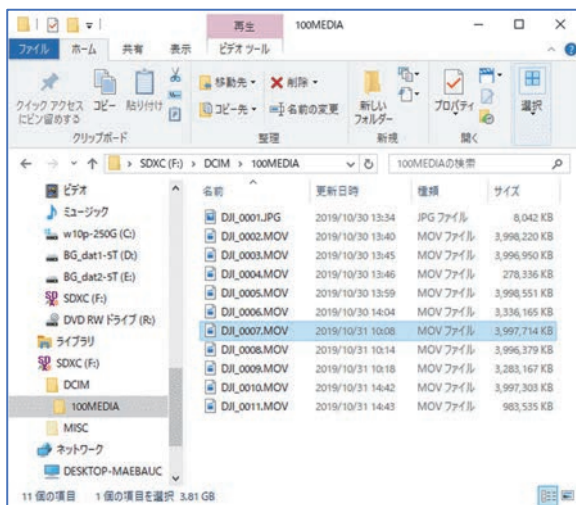


図 2-10. 4K 動画のファイル

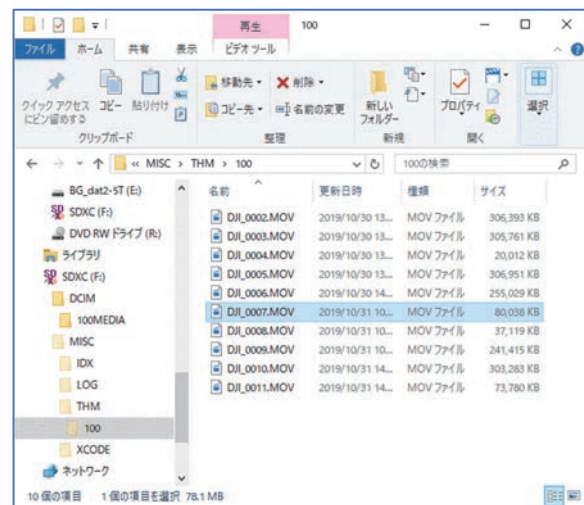


図 2-11. 縮小版動画のファイル

4K 対応のディスプレイで動画を表示する予定がない場合には、縮小版を編集し、上映するのが PC や編集ソフトウェアの負担を軽くできます。動画の編集ソフトには、サイバーリンク社の PowerDirector¹⁹、アドビ社の Adobe Premiere²⁰などの有料ソフト

¹⁹ https://jp.cyberlink.com/products/powerdirector-video-editing-software/features_ja_JP.html?affid=2581-1_104_PDR-B&gclid=CjwKCAjw0vTtBRBREiwA3URt7n7_alu2IR-SISw1EOJft-C4ce_S6MLvLMN6acWNMvq_DNUlq2nqRhoCqFEQAvD_BwE

²⁰

トのほか、無料のソフトも存在します。それらのソフトを使用し、タイトルや字幕などを入れ、森林所有者向けの説明会等で上映すれば、関係者の合意形成の役に立ちます。

<https://www.adobe.com/jp/products/premiere.html?promoid=PQ7SQBYQ&mv=other>

3 静止画の撮影

静止画の撮影から資源量推定までのフローチャートを図 3-1 に示します。

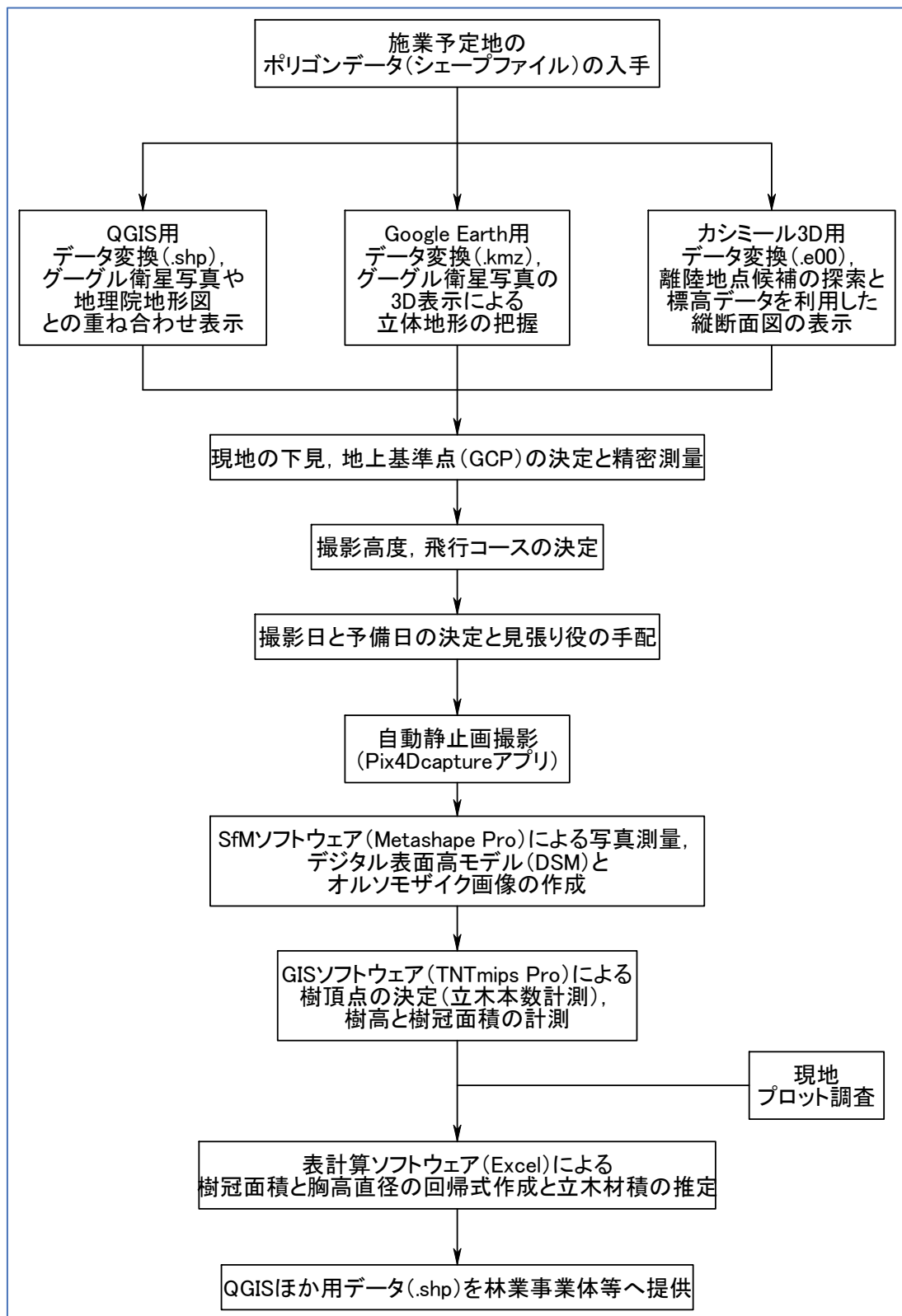
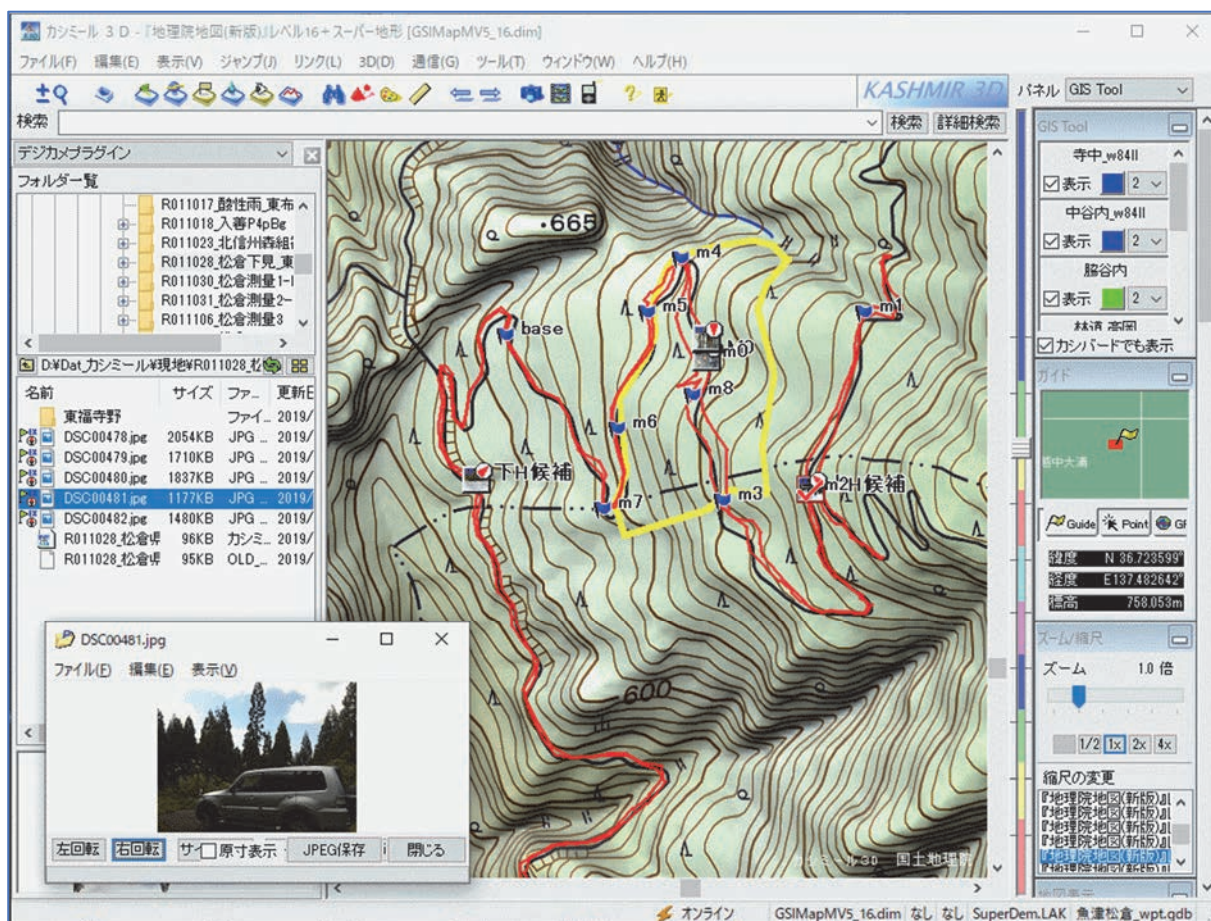


図 3-1. 静止画撮影のフローチャート

3-1 静止画の撮影準備

静止画像を解析して材積推定までを行う場合には、GCP（地上基準点、撮影時には対空標識を設置する）の精密測量が必要になります。これは、ドローン画像から得られた樹頂点標高値と、国土地理院や航空測量会社が作成した地表面標高値との引き算から得られる値を樹高とする際に、樹頂点と地表面の正確な位置合わせをする必要があるからです。

対空標識を設置する静止画撮影の場合には、入念な下見が必要になります。森林研究所では下見の際に、GPS ロガーを接続したノート PC とモバイルルーター²¹を 4 輪駆動車に載せ、カシミール 3D で地図（オン(オフ)ライン地図やオルソ写真など）と現在位置を表示しながら林道や作業道をゆっくり走行し、GCP 候補地点となり得る、上空の開けた場所（対空標識が上空から見える必要があるため）を探索し、その都度停車してガーミン GPS でウェイポイントのマークや、位置情報付き写真の撮影をしています。下見後のカシミール 3D の画面の例を図 3-2 に示します。



（黄：撮影対象，赤：車の軌跡，青旗：GCP 候補点，写真アイコン：写真の縮小版）

図 3-2. 下見後のカシミール 3D の画面例

森林研究所では、Emlid 社²²（ロシア）の Reach RS+という測量機器を使用し、上空が開けた場所に GCP を設置して 1～数時間の静止測量を行った後、データを研究所に持ち帰り、国土地理院の電子基準点における観測値と無料解析ソフトウェアの RTKLIB²³を利用して GCP の座標値を得ています。解析に当たっては、RTKLIB による解析²⁴、というサイトを参考にしていますが、**実際の測量に当たって疑問のある方は森林研究所にご相談ください。**

撮影には自動撮影アプリを使用します。自動空撮アプリには、DJI 社の GS PRO²⁵、Pix4D 社の Pix4Dcapture²⁶や、VC Technology 社の LITCHI²⁷などがありますが、個々のアプリの具体的な使用方法については各アプリのマニュアルを参照願います。

Pix4Dcapture で作成した自動静止画撮影計画の画面例を図 3-3 に示します。この計画では、撮影範囲右上の[START]から、左下の[END]まで、361x530m の範囲をジグザクに、16 分 21 秒かけて飛行高度 80m で飛行することになっています。ちなみに図 3-3 の飛行計画は、Pix4Dcapture の 5 つの飛行モード（POLYGON, GRID, DOUBLE GRID, CIRCULAR および FREE FLIGHT）のうち、GRID モードで作成したものです（図 3-4）。また、GRID モードの規定値は、Angle of the camera=90 度（カメラを鉛直真下に向けた直下視撮影）、Front overlap=80%（ドローンの進行方向に沿った写真の重複率が 80%）、Side overlap=70%（ドローンの折り返し前後の飛行コース間の写真の重複率が 70%）、Drone speed=Fast（飛行速度最高）となっています（図 3-5）。

なお、見張り役の手配などの都合で、別の日に撮影のやり直しを行うのは困難な場合もあるので、念のため、2 種類の飛行高度で撮影計画を作成し、2 回の自動空撮を行うことをお勧めします。

また、材積推定には直下視撮影（GRID）だけで必要十分な画像データが得られませんが、精細な 3 次元モデルを作成、表示するためには、樹木の幹の部分もある程度撮影できる、ダブルグリッド（DOUBLE GRID）モードがお勧めです。

²² <https://emlid.com/>

²³ <http://www.rtklib.com/>

²⁴ <https://hdtopography.github.io/learning/book/GNSS/>

²⁵ <https://www.dji.com/jp/ground-station-pro/info>

²⁶ <https://www.pix4d.com/jp/product/pix4dcapture>

²⁷ <https://flylitchi.com/>

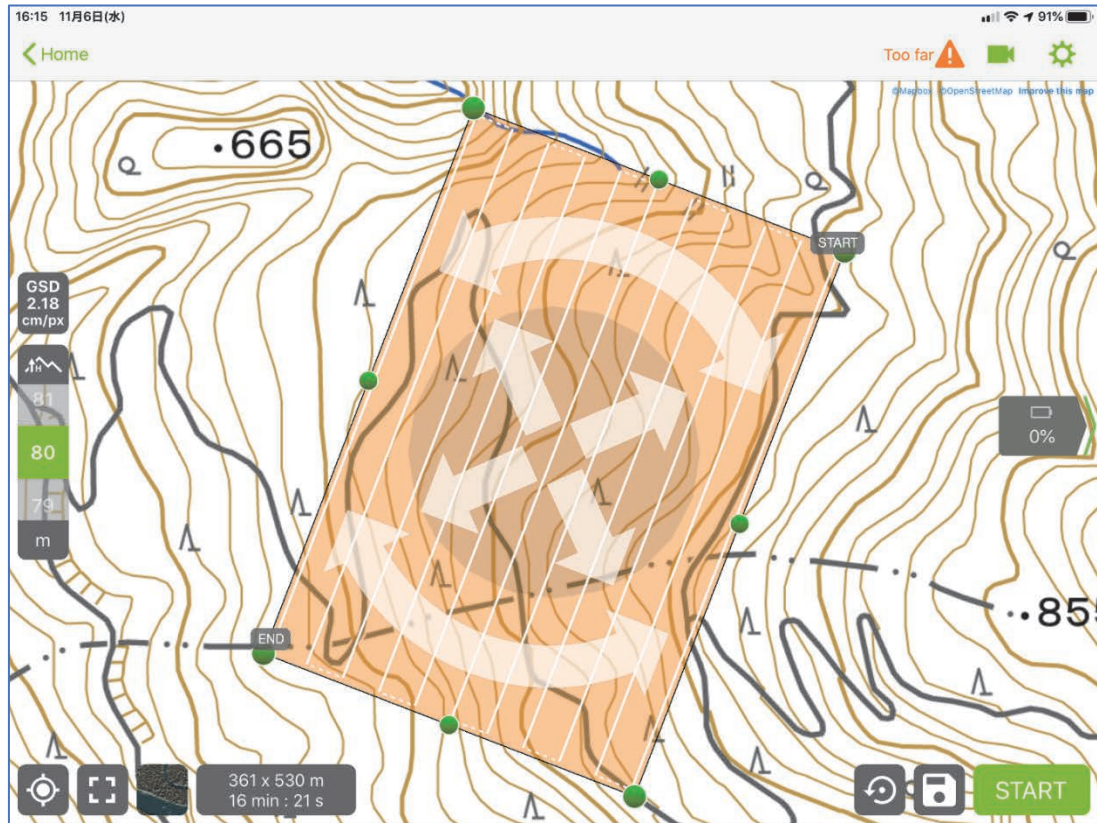


図 3-3. Pix4Dcapture での静止画撮影計画の例

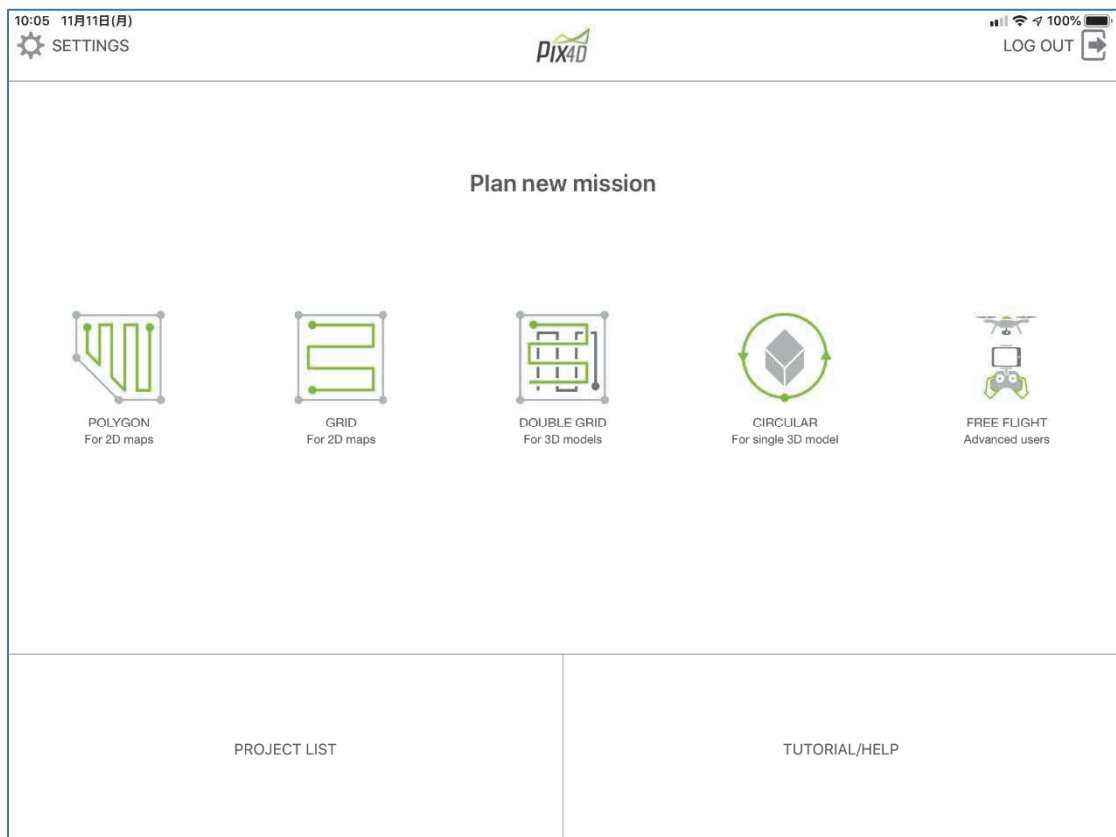


図 3-4. Pix4Dcapture の撮影モードの一覧

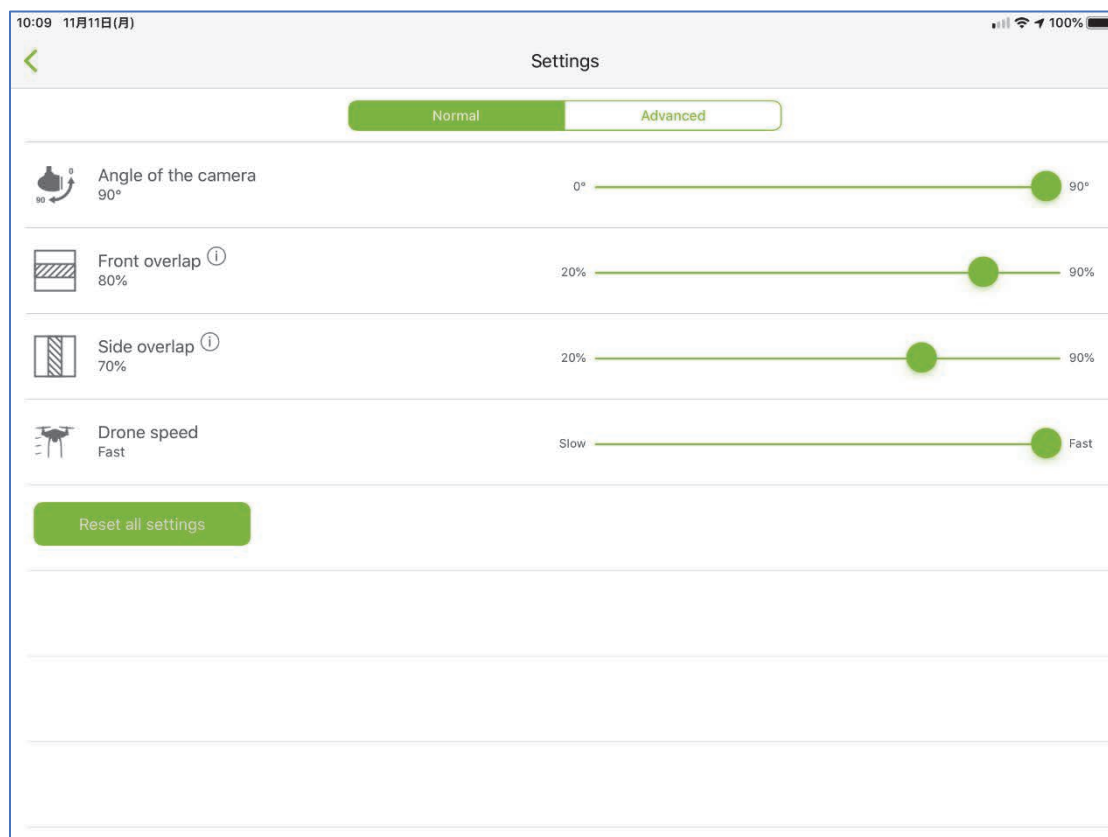


図 3-5. Pix4Dcapture での静止画撮影の規定設定値

3-2 静止画の撮影

現地に着いたら、予め目星をつけていた離陸予定地点に立ち、撮影範囲の見通しを確認します。よりよい見通しが得られる地点があれば、そちらへ移動します。また、見張り役を撮影範囲内外の見通しのよい場所へ配置します。

ドローン本体、リモコン、iPad をセットし、予め Pix4Dcapture で作成しておいた飛行計画 (Project) 一覧 (図 3-6) から目的のプロジェクトを選択すると、iPad の画面には、撮影範囲と iPad (青丸アイコン(●)) および機体の位置 (ドローンのアイコン(赤色が前)) が表示されます (図 3-7)。画面右下の[START]をタップすると、接続状態、バッテリーレベル、衛星数等のチェックが行われ、全ての項目にチェックマークが付いた後、チェックリストウィンドウ右下の[Start]をタップします (図 3-8)。離陸後、機体は設定した高度まで上昇した後、[START]地点 (図 3-7 撮影範囲の右上隅) に移動し、[END]地点に向けてジグザグに飛行し、撮影地点に順番にカメラのマークが表示されていきます (図 3-9, 10)。撮影ミッションが終了すると、ドローンは自動で離陸地点に戻り、着陸します (図 3-11)。

静止画の場合も動画の自動撮影の場合と同様に、目と耳を使って機体の位置を常に把握するよう心掛けてください。万が一、機体のビジョンセンサーが働いてホバリングに入った場合には、慌てず、自動飛行終了アイコンをタップして手動に戻し、リモコンのスティックを使って機体を上昇させてください (上空に障害物がないとき)。

その後、リモコンの自動帰還ボタンを長押しして自動帰還させてください。なお、自動操縦から手動操縦に切り替える場合には、機体とリモコンの距離が遠いと無線 LAN の電波が届かず、命令が効かないことが考えられるので、なるべくリモコンの近くを飛行させる（操縦者から遠く離れた場所まで飛ばさない）よう心掛けてください。

また、飛行中にバッテリー残量が少なくなり、警告が出た場合には、Pix4Dcapture 画面右下の[PAUSE]（図 3-9、10 参照）をタップしてミッションを中断し、[GO HOME]をタップしていったん機体を自動帰還させます。着陸後、バッテリーパックを交換し、Pix4Dcapture 画面右下に出る[RESUME]をタップするとドローンは自動で中断箇所まで戻り、残りの撮影範囲を空撮してくれます。

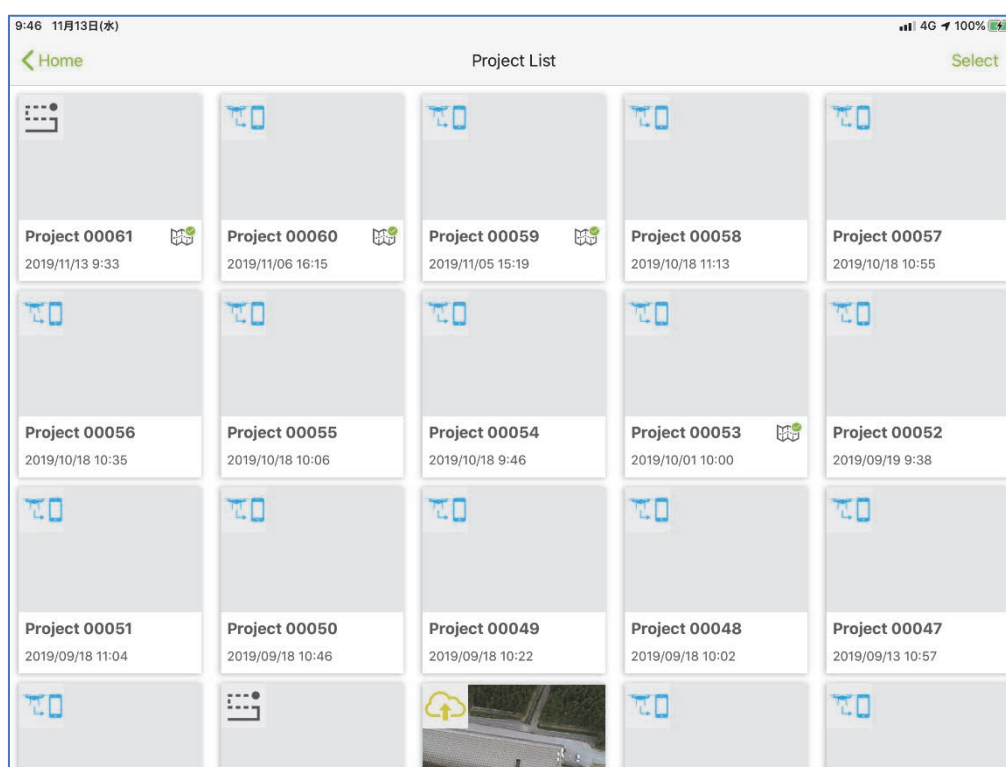
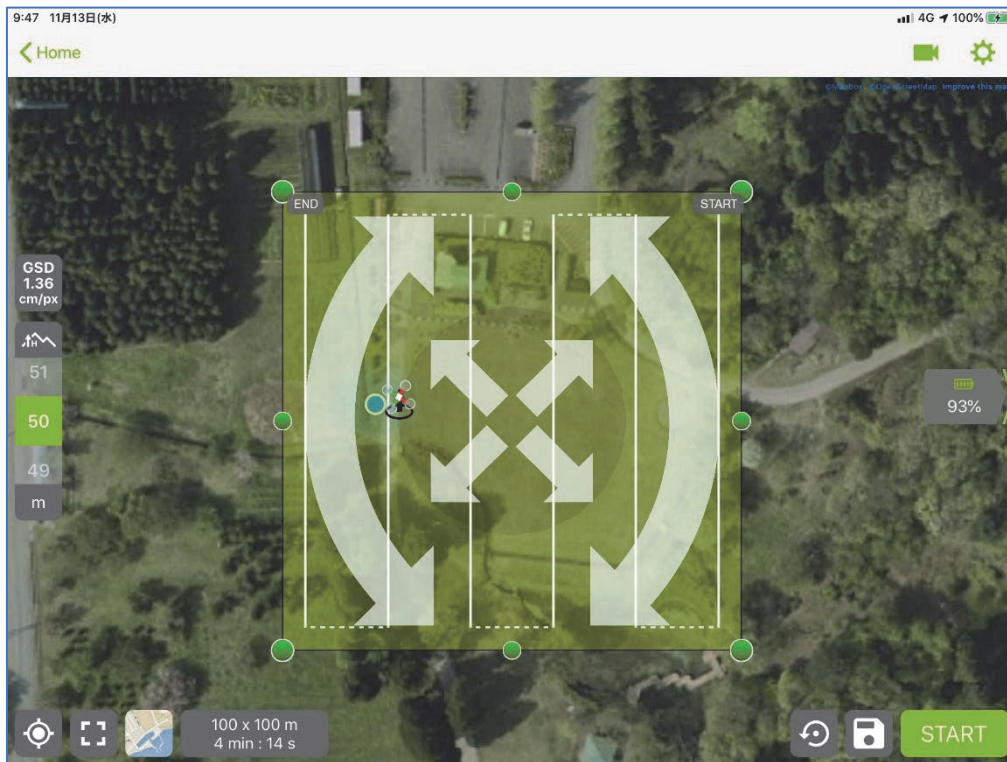


図 3-6. Pix4Dcapture のプロジェクトリスト画面(ここでは 00061 を選択)



(●: iPad とリモコンの位置, ドローンマーク: 機体の位置)

図 3-7. Pix4Dcapture のプロジェクト選択後の画面

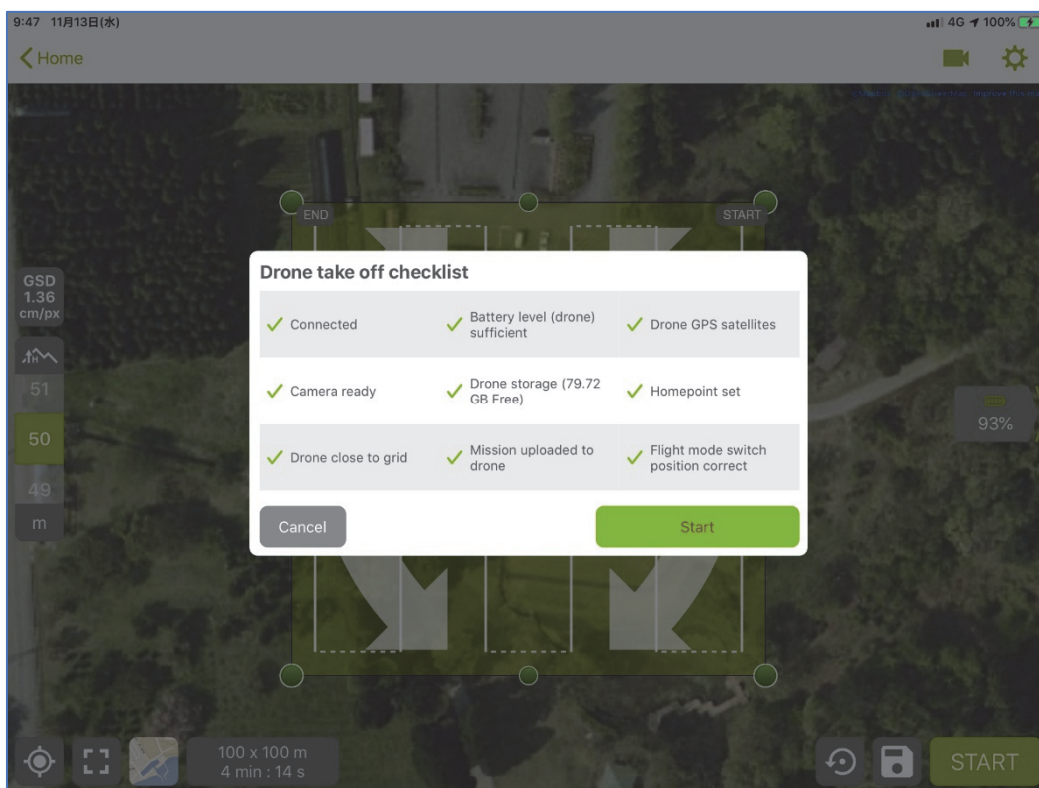


図 3-8. Pix4Dcapture の離陸チェックリストの画面

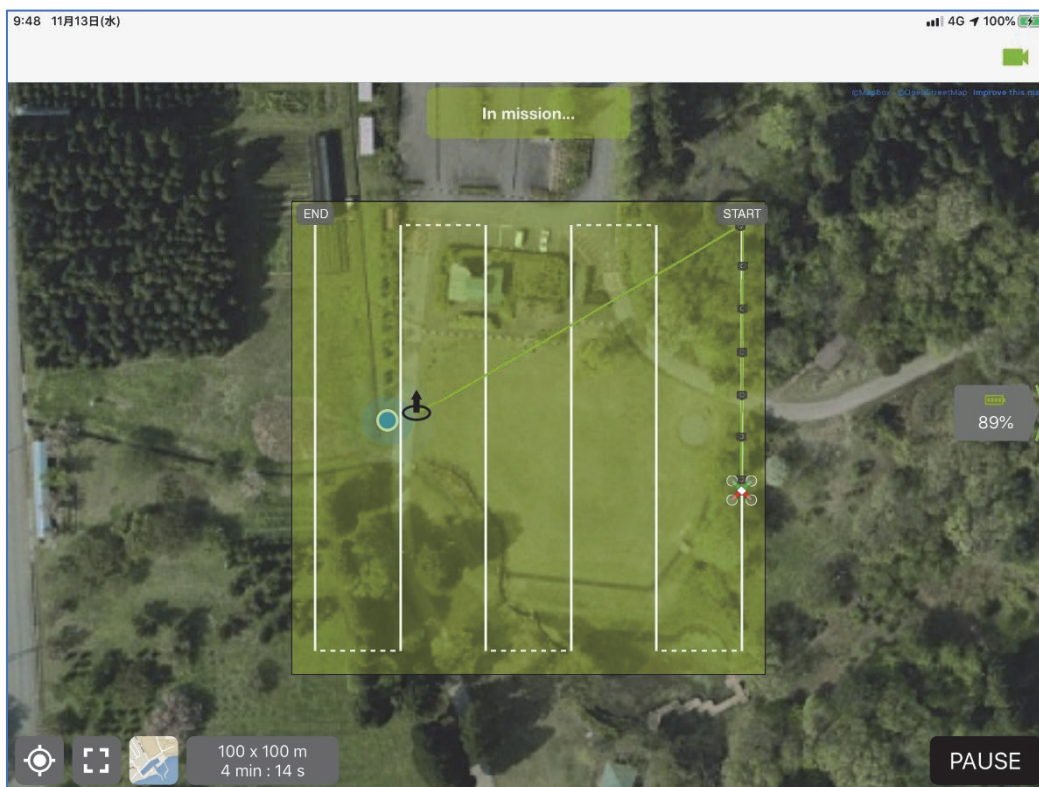


図 3-9. Pix4Dcapture の自動撮影中の画面(1)

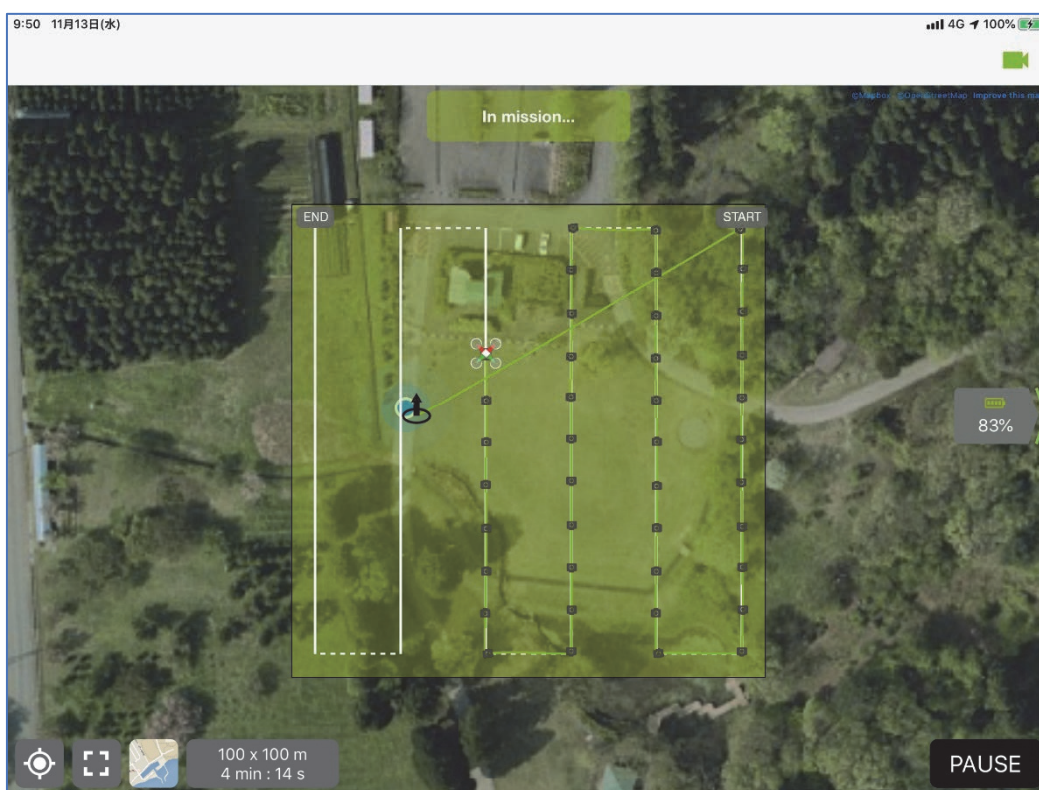


図 3-10. Pix4Dcapture の自動撮影中の画面(2)

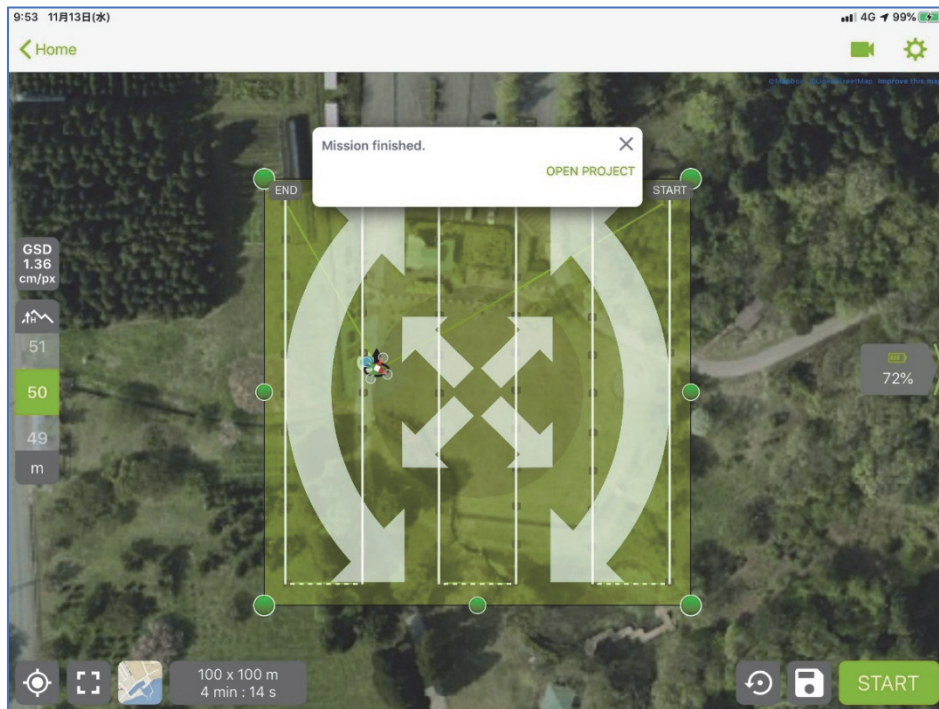


図 3-11. Pix4Dcapture のミッション終了直後の画面

撮影が無事終了したら、マイクロ SD カードをノート PC に挿入し、カシミール 3D のデジカメプラグインで写真の撮影位置を表示し、撮影漏れ (サムネイル画像の隙間) がないかを確認します (図 3-12 参照)。

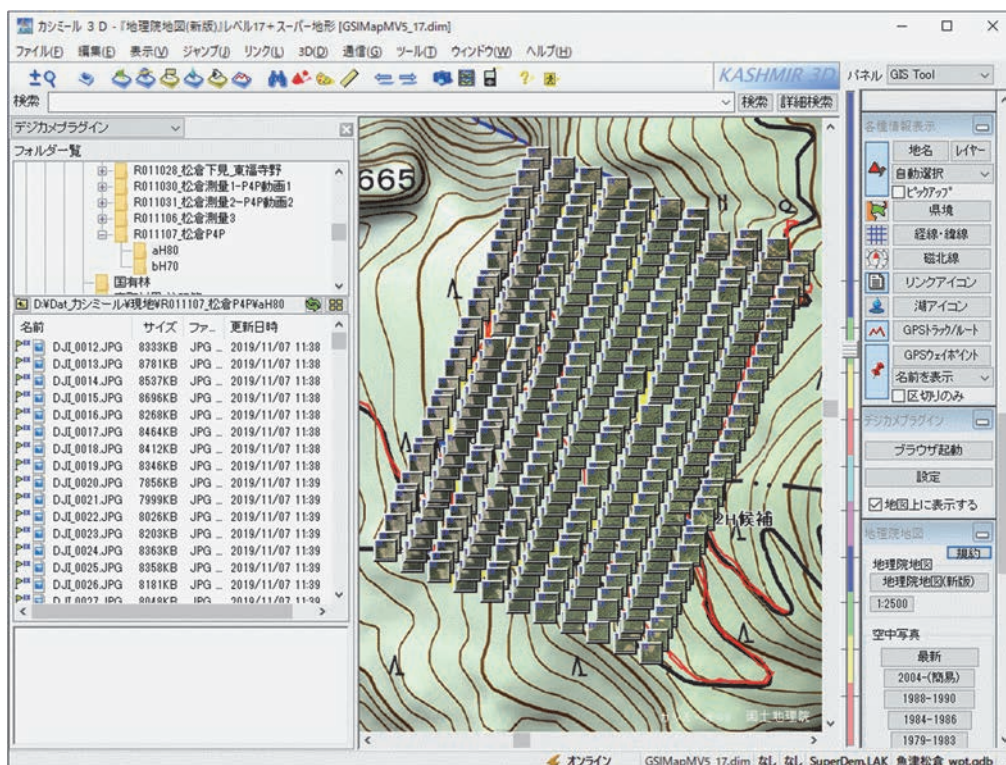


図 3-12. カシミール 3D での撮影写真のサムネイル表示例

4 静止画の解析

静止画の解析による資源量推定のフローチャートを図 4-1 に示します。

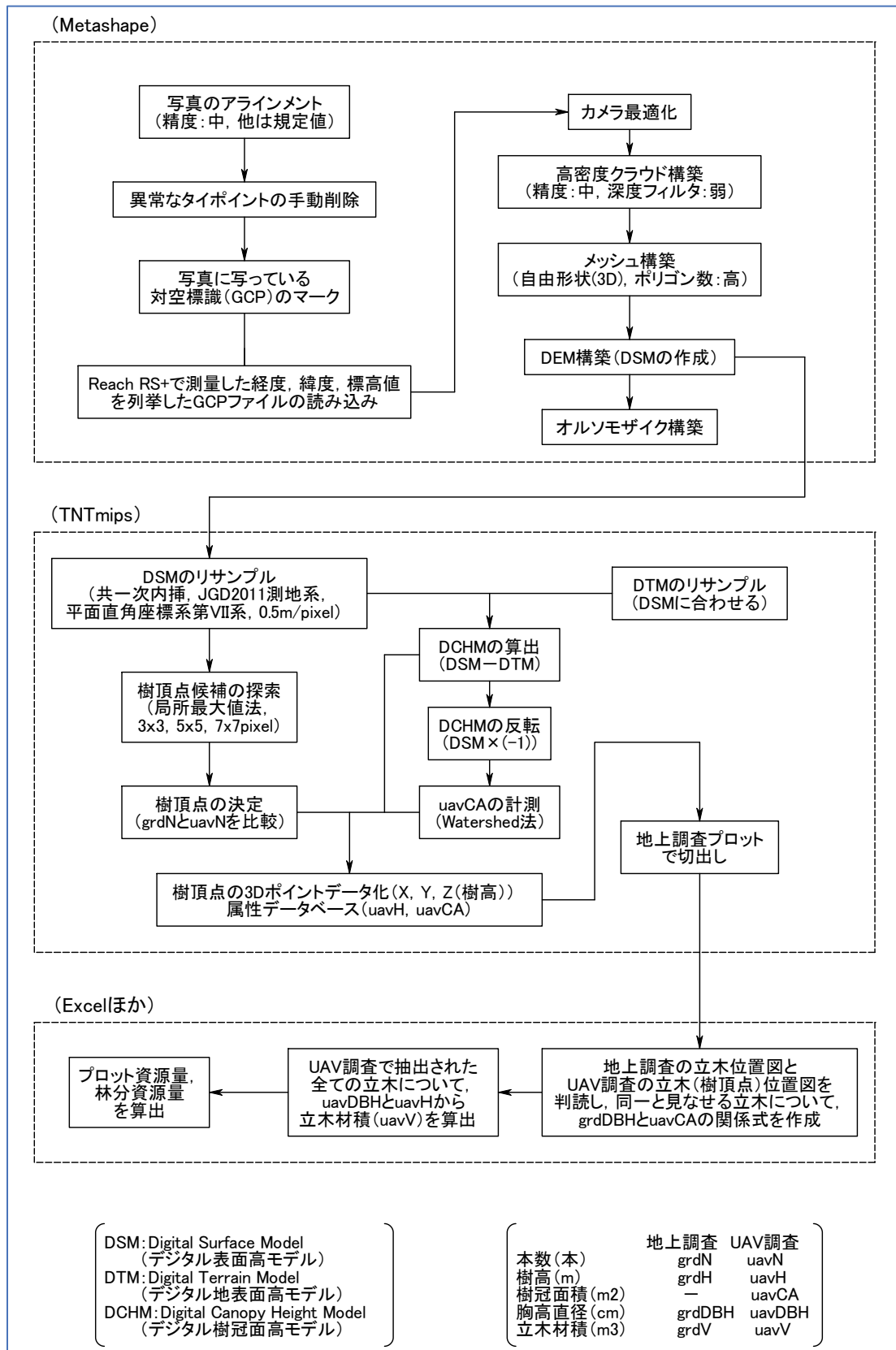
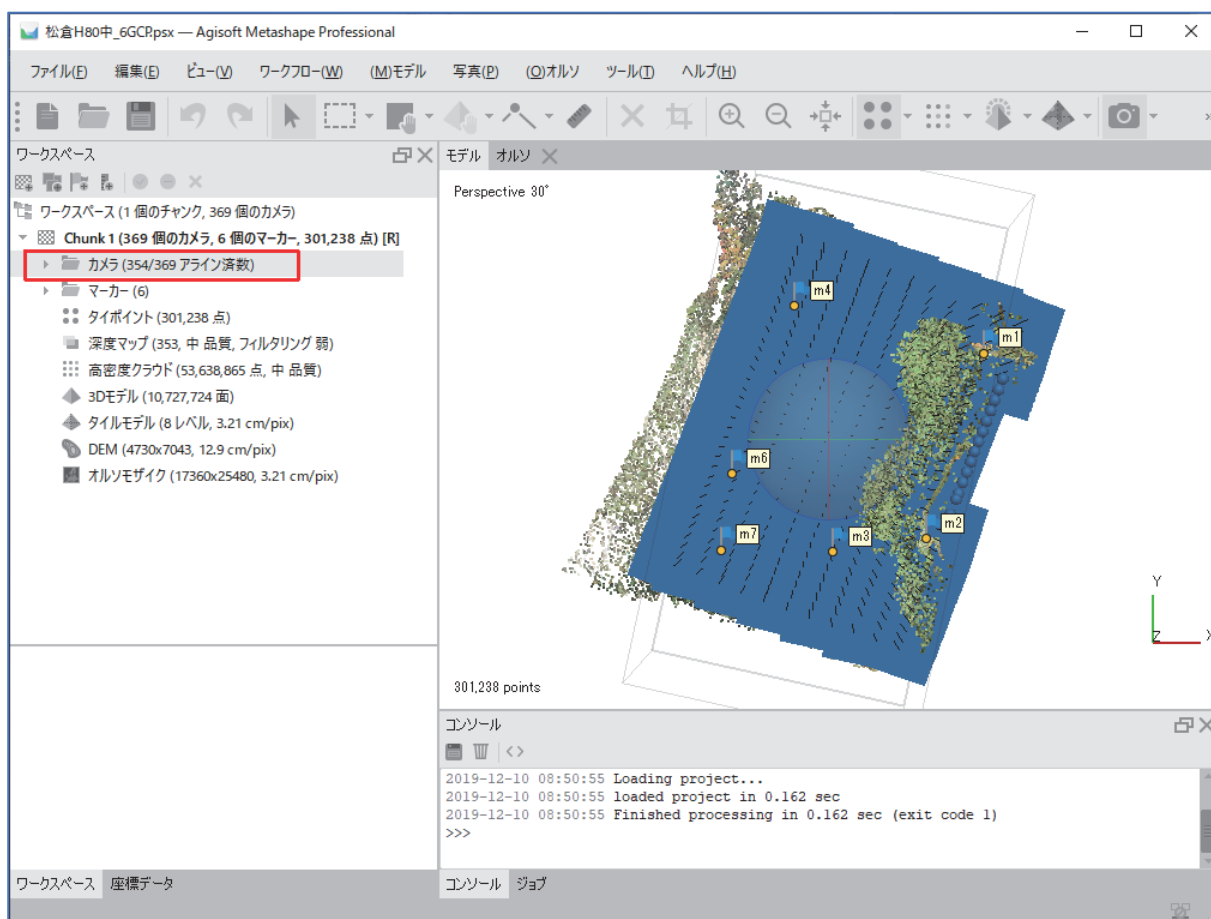


図 4-1. 資源量推定のフローチャート

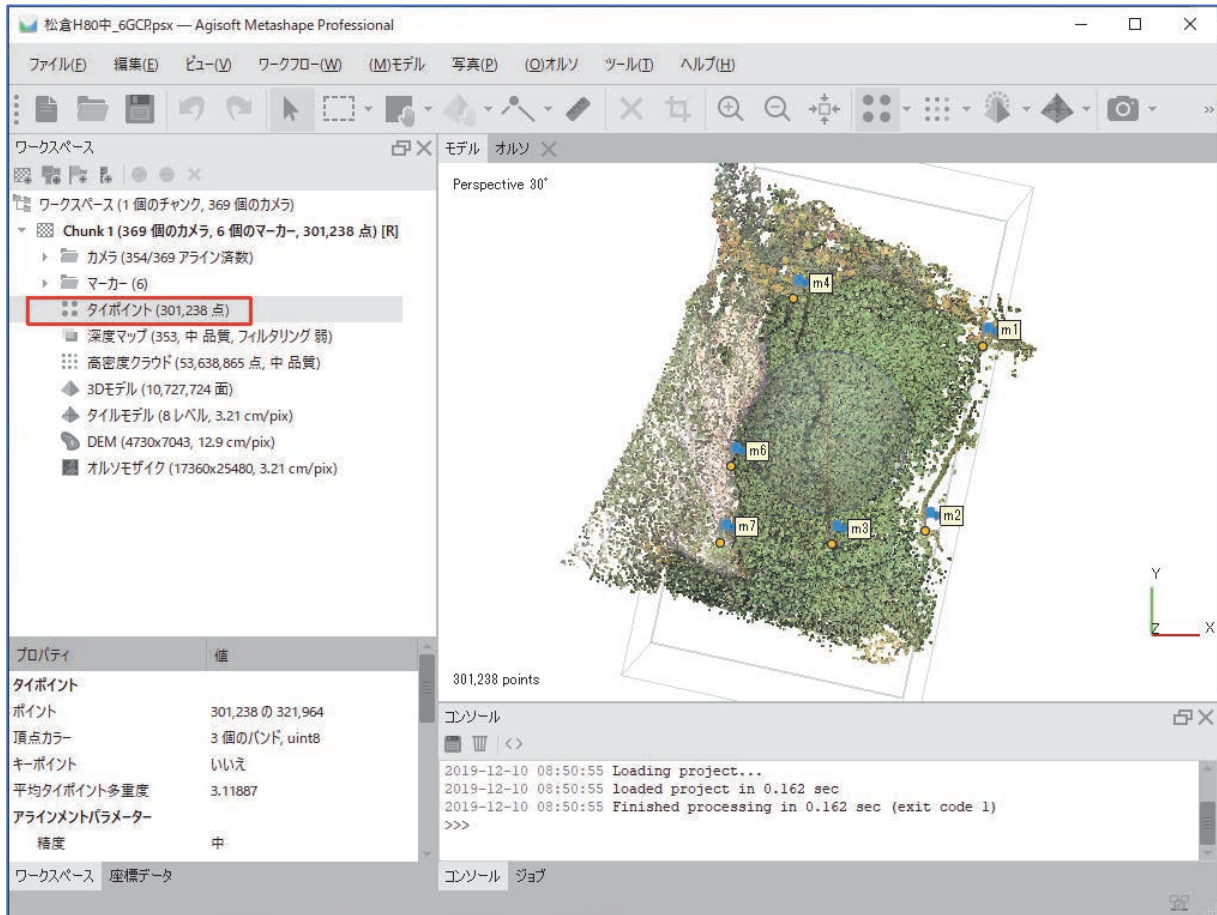
4-1 SfM ソフトウェアによる写真測量

ドローンで撮影した静止画を全て Metashape で指定し、まずは写真のアラインメントを行います。アラインメントとは、複数の写真画像から、同一の特徴点を探し出して、写真同士を結合させることです。設定精度は「最高」、「高」、「中」、「低」、「最低」の5段階のうち、経験的には「中」がよいと思われます。全ての写真がアラインされるのが理想ですが、アラインされない写真が出た場合には、再アラインを行うことによってアライン済みの写真が増える場合があります。アライン後にゴミ（異常な点）が出た場合には手動で削除します。ここでプロジェクトに名前を付けて一度保存します。アラインメント後の Metashape の画面例を図 4-2、4-3 に示します。この事例では、撮影した全 369 枚の写真のうち、354 枚がアラインされ、約 30 万個の共通特徴点（タイポイントと呼ばれる）が抽出されています。



(369 枚中 354 枚の写真がアラインされた)

図 4-2. アラインメント後の画面例 1



(301,238 個の特徴点が抽出された)

図 4-3. アライメント後の画面例 2

現場に設置した対空標識 (GCP) を、写真画像から見つけ、その中心点をマークします。1 枚の写真上で対空標識をマークすると、ソフトウェアが自動的にほかの写真の該当部分を推定してくれるので、それを微調整して位置決めをしていきます。全ての対空標識のマーキングが終わったら、予め作成しておいた GCP の座標 (経度、緯度、標高) ファイルを読み込み、全 GCP にチェックを入れ、全写真のチェックを外し、カメラ最適化を行います。ここでプロジェクトを上書き保存しておきます。カメラ最適化後の GCP の情報が表示されている画面を図 4-4 に示します。

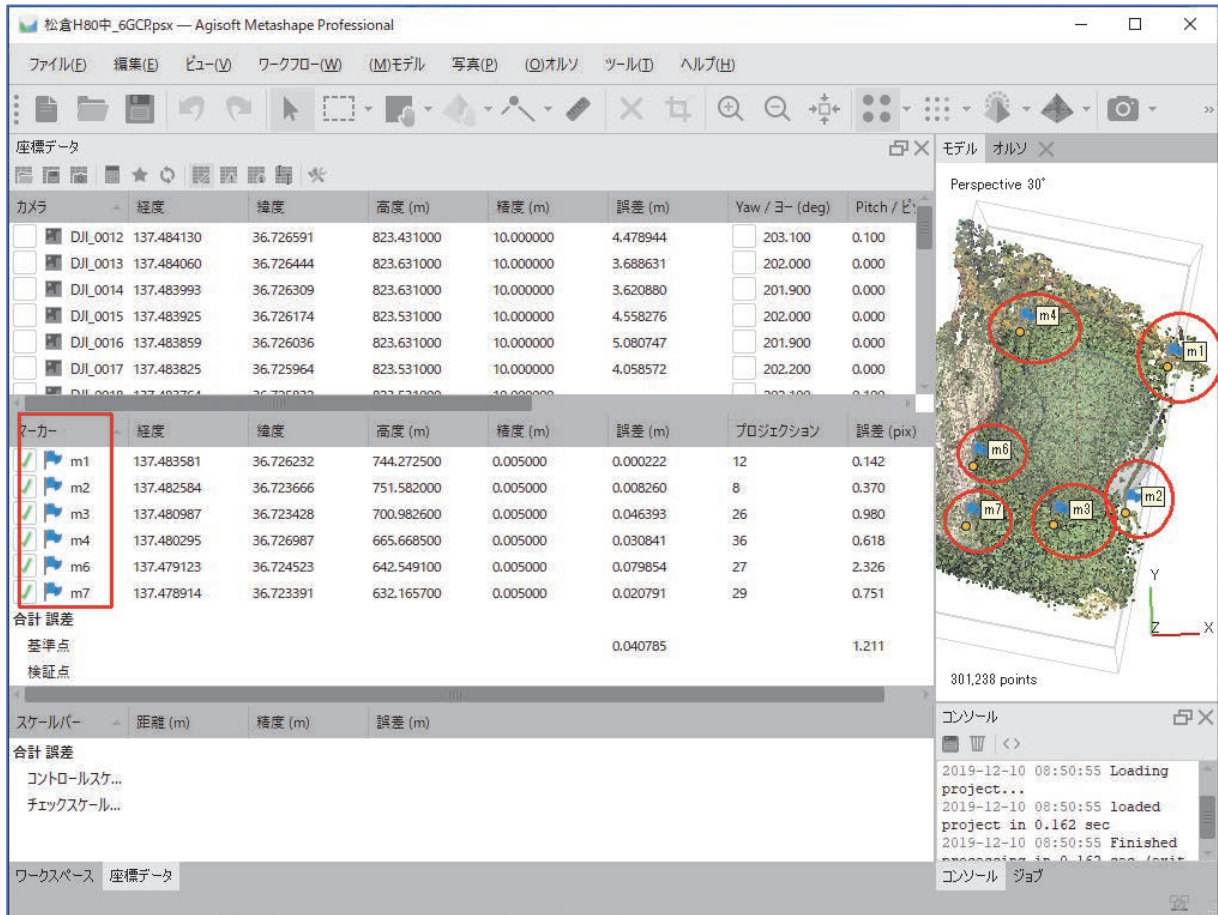


図 4-4. カメラ最適化後の座標データ画面

次に高密度クラウドの構築を行います。高密度クラウドとは、タイポイントを元データとして、画像相関法によって増殖させた3次元の点群データのことです。これも設定精度には5段階ありますが、経験上、「中」がよいと思われれます。この高密度点群データの最寄りの3点で三角形を作り、3次元の面的なデータに変換するのがメッシュ構築です。設定は、自由形状(3D)でポリゴン数は「高」がよいと思われれます。高密度クラウドとメッシュの画面を図4-5、4-6にそれぞれ示します。この事例では、5300万個以上の点群が作成され、1000万個以上の面データが作成されています。

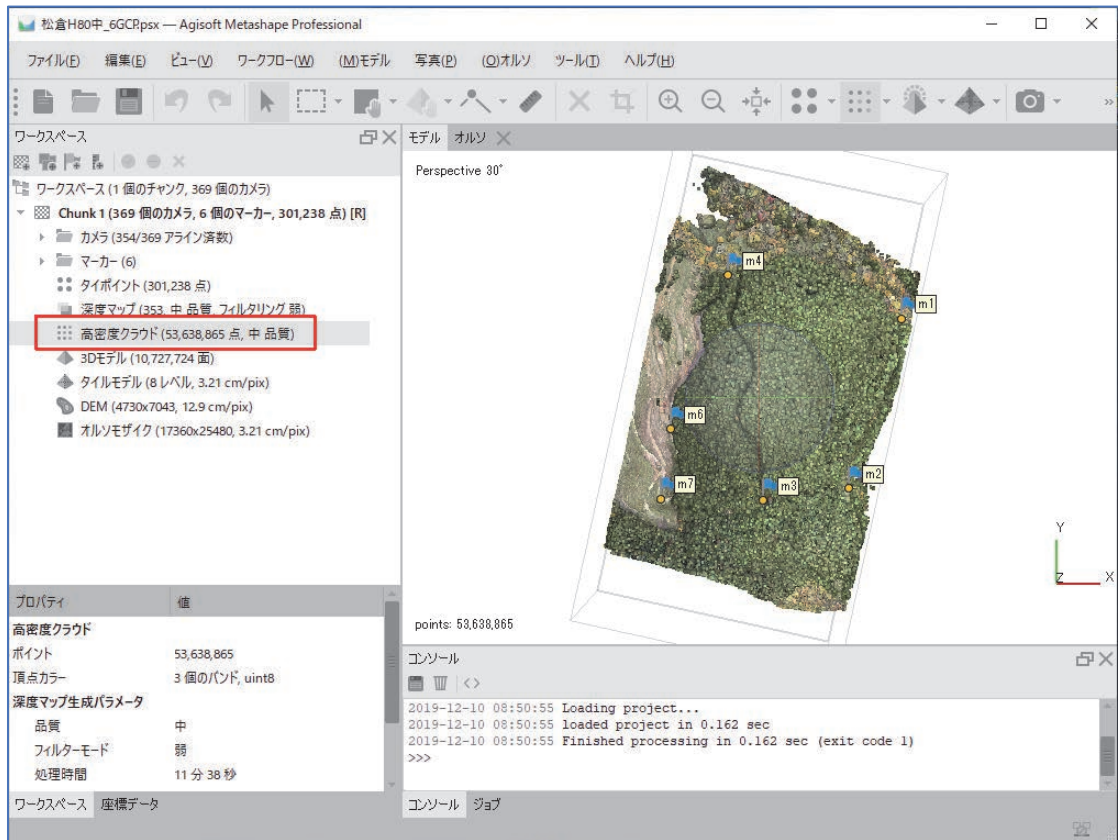


図 4-5. 高密度クラウドの画面

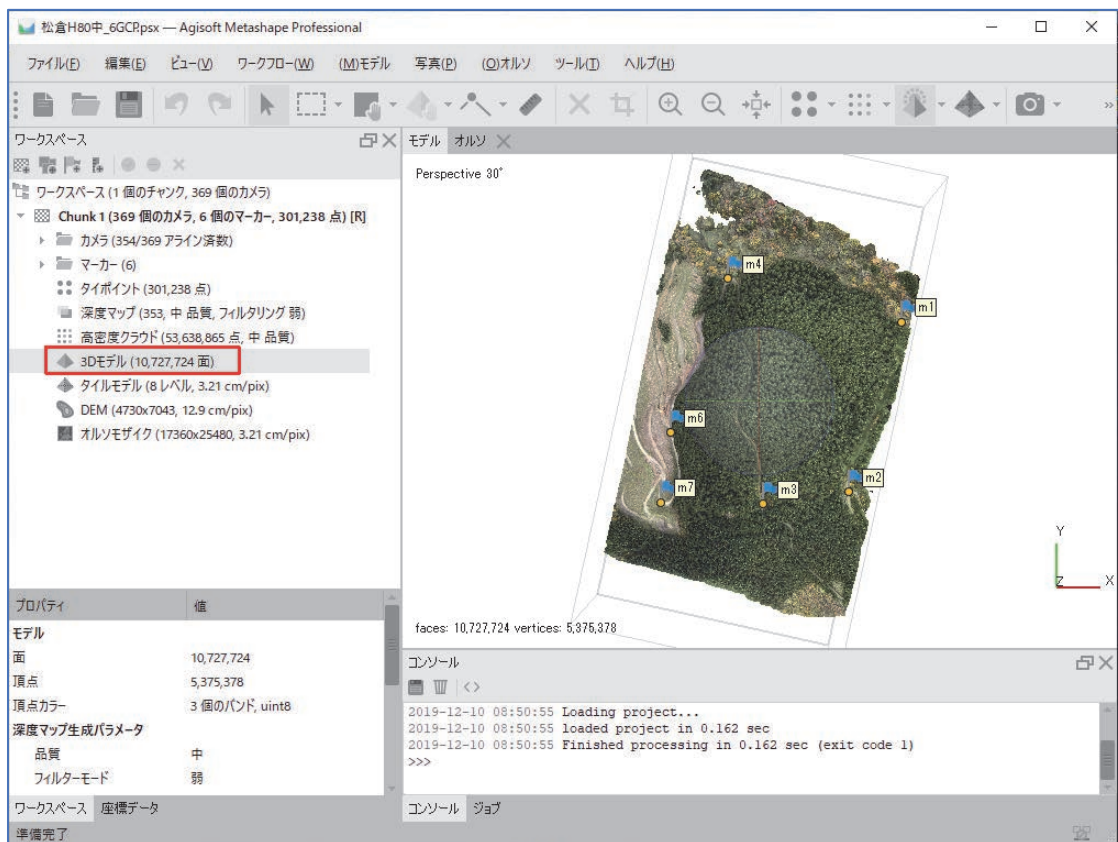
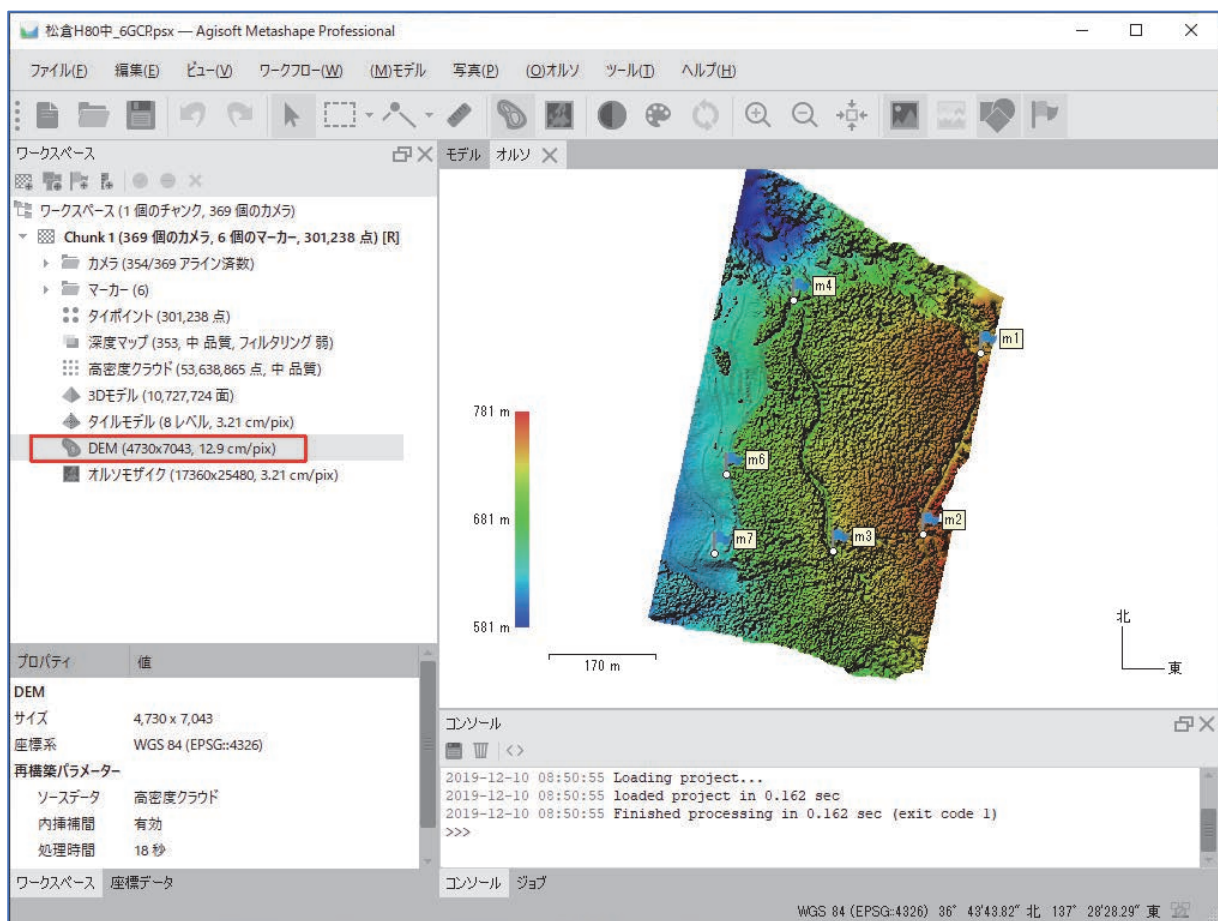


図 4-6. メッシュ(3D モデル)の画面

DEM²⁸の構築（メニュー上はDEM : Digital Elevation Model となっていますが、ここで構築されるのは樹冠の高さ等を含めた表面高なので、厳密に言うと DSM²⁹ : Digital Surface Model となります）を行います。作成された DSM に基づいてオルソモザイクを構築します。DEM とオルソモザイクの画面を図 4-7、4-8 に示します。

DSM とオルソモザイクは GIS ソフトウェアで利用するために、Geotiff 形式³⁰でファイルを保存します。

詳細については森林研究所にお問い合わせ願います。必要があれば実地指導も行います。



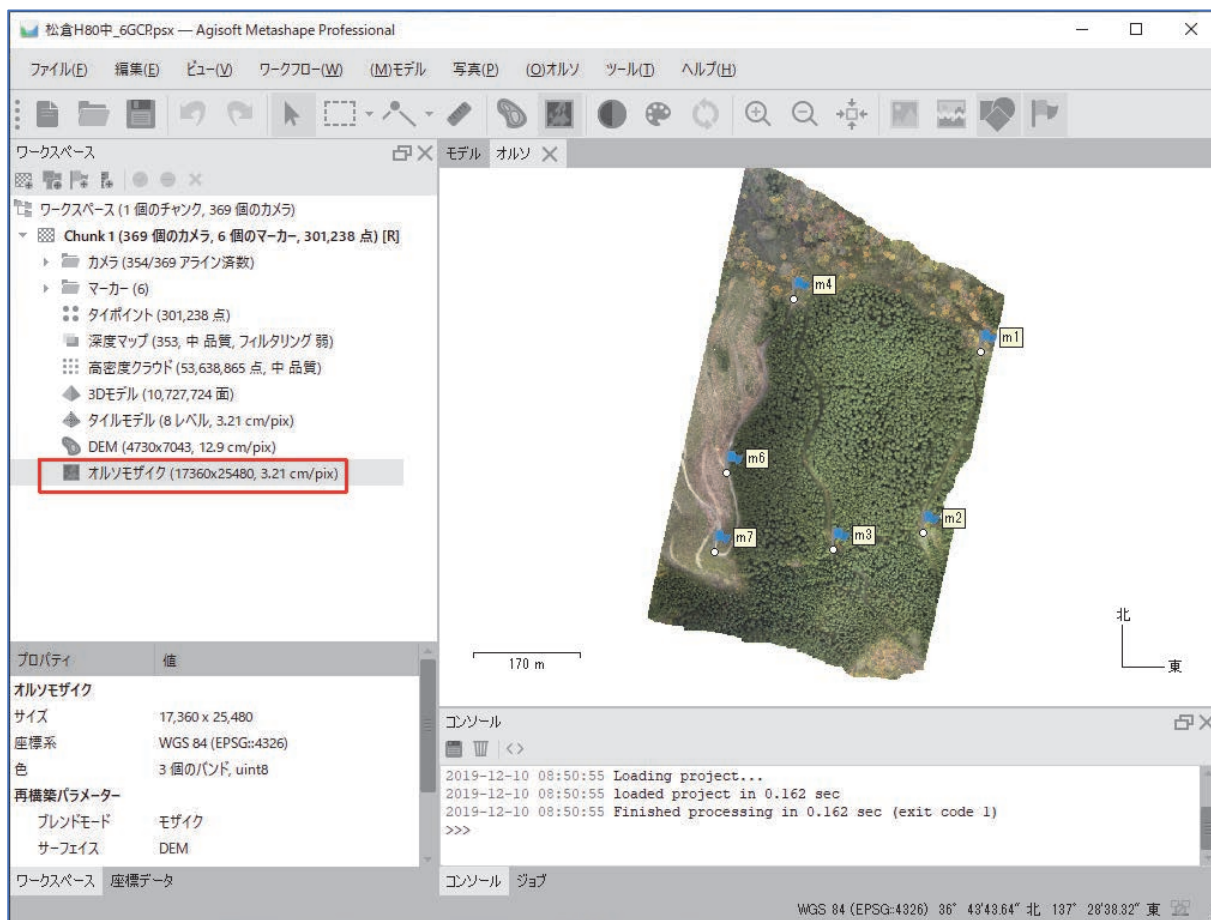
(地上分解能: 12.9cm/ピクセル)

図 4-7. DEM の表示画面

²⁸ 数値標高モデル, <https://www.gsi.go.jp/KIDS/KIDS16.html>

²⁹ 数値表層モデル, <https://www.gsi.go.jp/chubu/minichishiki12.html>

³⁰ <https://ja.wikipedia.org/wiki/GeoTIFF>



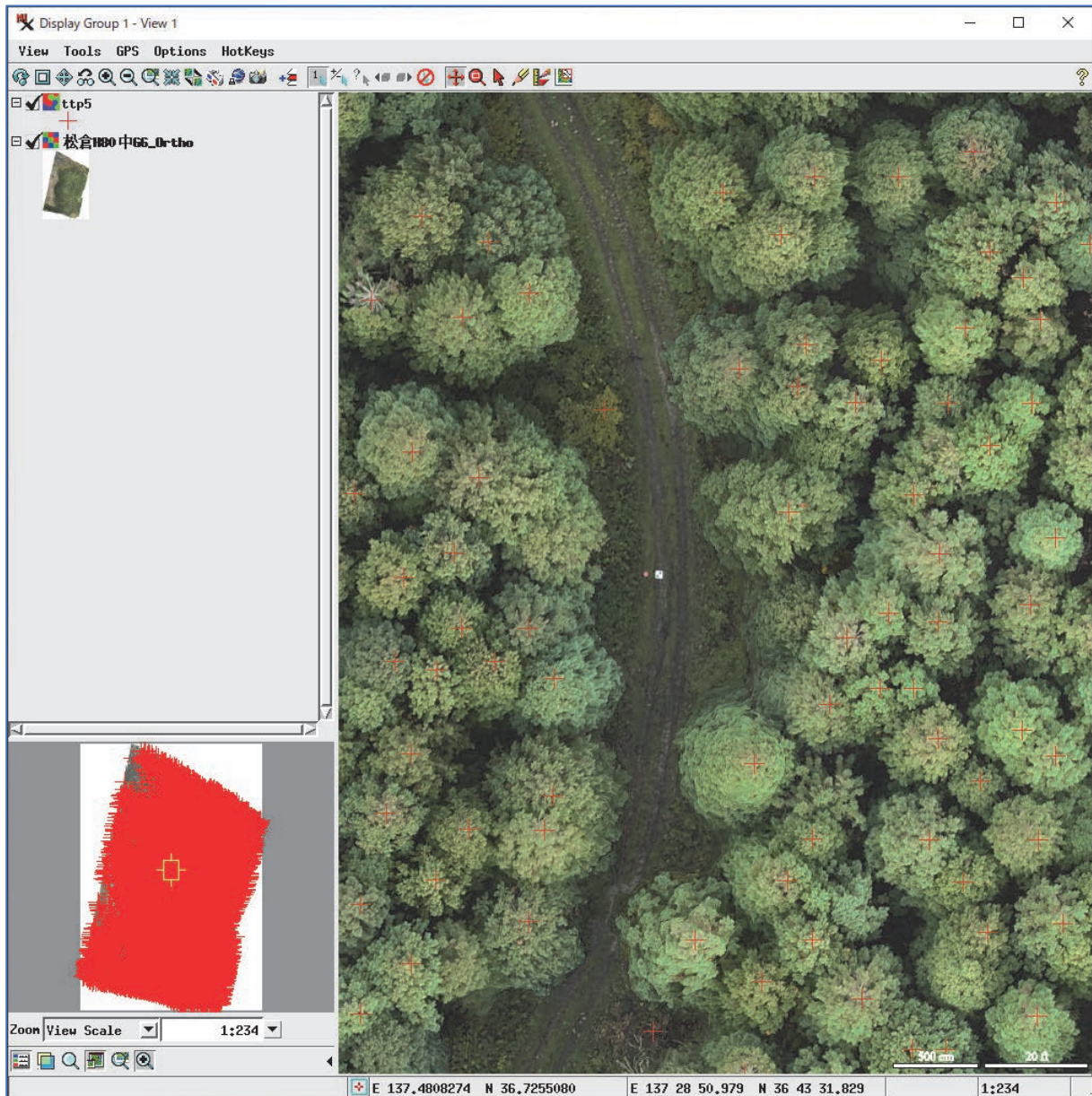
(地上分解能: 3.21cm/ピクセル)

図 4-8. オルソモザイクの表示画面

4-2 GIS ソフトウェア他による資源量推定

Metashape で作成した DSM は GIS ソフトウェアの TNTmips でインポートし、JGD2011 測地系、平面直角座標系第 VII 系の 0.5m メッシュデータへ変換します。その際、リサンプルの方法は bilinear (共一次内挿³¹) を指定します。0.5m メッシュの DSM に対して、3x3 ピクセル、5x5 ピクセル、7x7 ピクセルの 3 種類の局所最大値を求め、3 種類の樹頂点候補とします。Metashape で作成し、TNTmips でインポートしたオルソモザイク画像と樹頂点候補を重ね合わせて表示し、3x3、5x5、7x7 のうち、オルソ画像で判読できる樹頂点と最も適合性が高い種類を採用し、樹頂点とします。樹頂点の例を図 4-9 に示します。

³¹ <http://www.cvl.gunma-ct.ac.jp/~nmiyazato/oigi/HOSEI2.htm>



(+ : 樹頂点, 背景はオルソモザイク画像, 中央の白い四角は対空標識)

図 4-9. TNTmips での樹頂点の表示画面

別途用意した DTM³² (Digital Terrain Model) を DSM (0.5m メッシュに変換したもの) に合わせてリサンプルします。この場合もリサンプル法は *bilinear* です。DSM から DTM を引いて (減算して), DCHM (Digital Canopy Height Model : 樹冠高モデル) を作成します。DCHM にマイナス 1 (-1) を掛け, 高低を反転させた画像を作成し, 個々の樹冠が逆立ちしたもの (円錐を逆さまにした漏斗状の空間) の集水面積を求めます (Watershed 法)。この集水面積が個々の樹木の樹冠面積になり

ます。樹頂点の X（東西座標）、Y（南北座標）、Z（樹高）座標を持つ 3 次元ポイントデータを作成し、属性データとして、X、Y、Z 値と樹冠面積を持たせます。別途実施した地上調査のプロットのポリゴンでこのポイントデータを切り出します。

切り出したポイントデータと地上調査立木とを 1 対 1 で対応させ、ドローン起源の樹冠面積と、地上調査起源の胸高直径の回帰式を Excel で求めます。樹冠面積と回帰式から推定胸高直径を求めます。ドローン起源の樹高と推定胸高直径から、立木材積式を用いて個々の立木の材積を計算します。プロット外の林分についても回帰式から胸高直径を推定し、材積を求め、全域の材積（資源量）を推定します。

詳細については森林研究所にお問い合わせ願います。必要があれば実地指導も行います。

ドローンによる空撮と画像解析のやり方

— 施業計画の立案や資源量把握のために —

令和 2 年 1 月 6 日発行

富山県農林水産総合技術センター森林研究所

〒930-1362 富山県中新川郡立山町吉峰 3

TEL 076-483-1511 FAX 076-483-1512

<http://www.fes.pref.toyama.jp/>

担当 小林裕之 kobayasi@fes.pref.toyama.jp

