

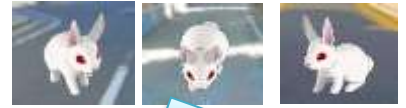
UAV(Unmanned aerial vehicle)



通称「ドローン」と呼ばれる  
無人飛行機



SfM/MVS :  
Structure from Motion / Multi-View Stereo.  
動画や連続した静止画から、  
カメラの撮影位置を推定し、  
三次元形状を復元する技術



連続写真より3Dモデル  
を作成

両者を併用することで、比較的簡便に空中写真を撮影して、オルソモザイク画像と地形情報(DSM)や構造物の三次元モデルを取得可能。しかし、SfM/MVSソフトウェアは安い物でも50万円と高額であることから、個人や小規模事業者等では導入が困難であった。

## お金をかけないでどこまで出来るか？

<主なSfM/MVSソフトウェア>

※H28.1現在の情報

- Accute3D (フランスAccute社製, 年間使用料270万円)
- Pix4D mapper (スイスPix4D社製, 120万円)
- PhotoScan (ロシアAgisoft社製, 50万円, アカデミックは8万円)
- VisualSFM (Wu, 2013による, フリー)
- 123D Catch (Autodesk社, Webサービス, フリー)
- **DroneDeploy (米シリコンバレー Webサービス, 一部フリー ベータ版)**

昨年12月に公開されたWebサービス「DroneDeploy」を使用して検証を行った。

今回の検証に必要な機材及びデータ

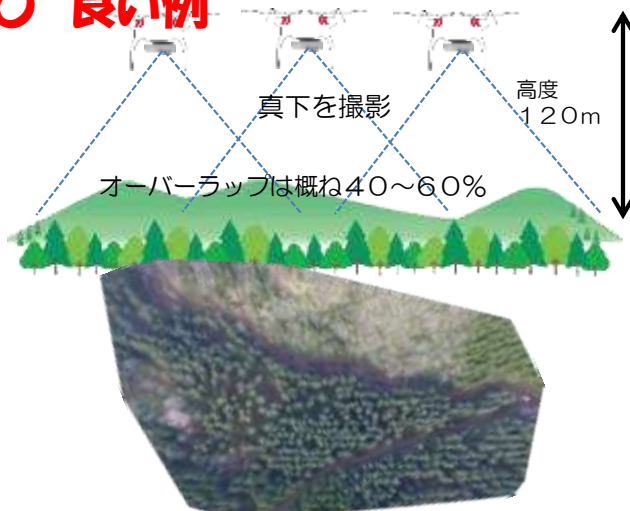
機材: UAV一式(今回はDJI Phantom3 Professional)、インターネット接続PC

データ: 連続画像データ(座標値付き) ※DJI Phantom3で撮影すると自動で付与される

### ステップ1 UAVによる連続画像の撮影

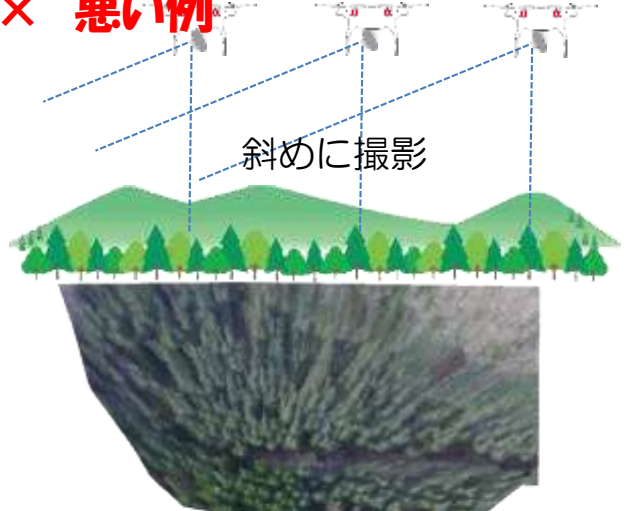
★ポイント★ 写真の撮影方法がモデル処理の重要な要素!

○ 良い例



オルソモザイク画像を作成することに成功

× 悪い例



斜めの画像のため、斜めになったオルソ画像

正確にオーバーラップ40～60%で撮影するには、ある程度のUAV操縦技術が必要となる。そこで、事前に飛行経路をプログラミングし、自動で飛行させるアプリを使用することも可能です。

**使用アプリ：** Altizure (今のところフリー)  
**開発：** Everest Innovation Technology Limited  
**説明**

Altizureアプリケーションは、DJIインスパイア1とファントム3 Professionalを制御し、写真を自動でキャプチャするアプリケーションです。

※ iPhone5sにて検証済み



例：300m×300mを約11分で飛行

## ステップ2 WebサービスによるSfM/MVSソフトウェアの利用

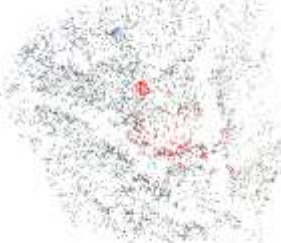
SfM/MVSとして使用するシステムは「DroneDeploy」というWebサービスで、クラウド上で演算加工処理を行うため、システムインストールの必要はありませんが、事前に登録が必要です。



＜クラウド上でのデータ作成の流れ＞

- 連続画像より点群データ（3次元位置座標（X,Y,Z）のポイント）を作成
- 座標値よりGCP（地上基準点 Ground Control Point）を追加
- ポイントを結んで3Dモデルを生成
- テクスチャ（画像データ）を貼り付け
- オルソモザイク画像及びDSMを作成

点群データのイメージ



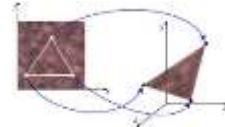
※VisualSfM(フリーソフト)により点群データを作成した例



3Dモデル



テクスチャ貼付後



## ステップ3 エクスポートデータの利用

DroneDeployにより作成されたデータは、次のデータ形式にてエクスポートが可能です。

1. Orthomosaic (オルソモザイク画像)
2. Digital Surface Model (DSM数値表層モデル)
3. 3D Model (立体モデル)
4. NDVI Toolbox 及び NDVI Threshold

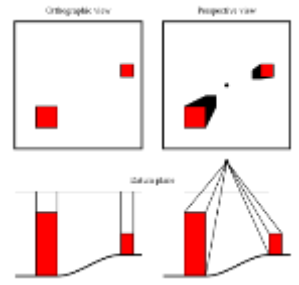


## 1. Orthomosaic (オルソモザイク画像)

UAVで撮影した空中写真は中心投影であるため、地形の標高の影響等により、歪んだ形状で撮影され、位置関係が実際の地形と重ね合わせても一致しません。そのため空中写真をそのままではGIS(地理情報システム)には使用できません。しかし、オルソ補正されたオルソモザイク画像は、地形の凸凹や写真の傾きが補正されるので、地形図と同様に利用でき、GISの背景データとしても使用することができます。



実際にエクスポートしたオルソモザイク画像。無調整でGISの背景に概ねピッチャー一致。

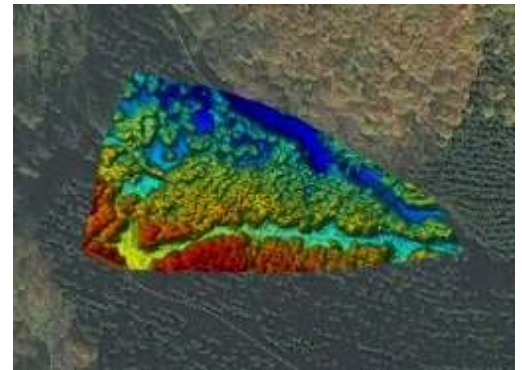


※ウィキペディアより抜粋

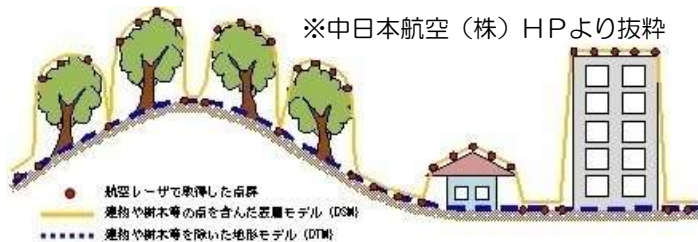
## 2. Digital Surface Model (DSM数値表層モデル)

植生や建築物、橋などを含めた地球の表面(あるいはその部分)を表現する。一方、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)は地表面の地形のデジタル表現であり、数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)と呼ばれることも多い。このモデルは一般的に植生や建築物など取り除いた地表そのもののモデルです。

エクスポートデータは、DSMの高低を色分けしてオルソモデル画像として出力されます。



実際にエクスポートしたDSMのオルソモザイク画像。色が赤いほど標高が高く、青いほど標高が低くなっています。路網や森林内の空間を把握しやすい。

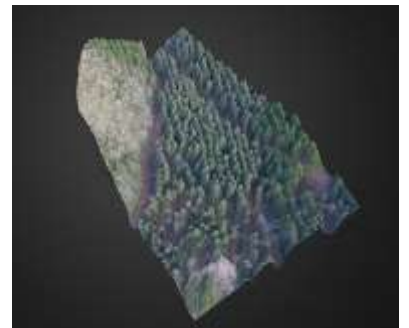


※中日本航空(株)HPより抜粋

## 3. 3D Model (立体モデル)

3次元空間内の仮想的な立体物を2次元である平面上の情報に変換することで奥行き感(立体感)のある画像を出力することが出来ます。

エクスポートされるデータ形式はobjファイルフォーマットなので、3Dモデリング、レンダリングソフトや一般的なフリーのCADソフトなどでも表示が可能な場合があります。



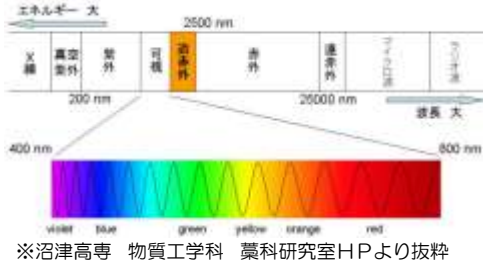
3次元データ化することにより、あらゆる角度から画像出力が可能。実際にPC上でリアルタイムで動かすことができるため、臨場感のある森林を視察することが可能です。

## 4. NDVI Toolbox 及び NDVI Threshold

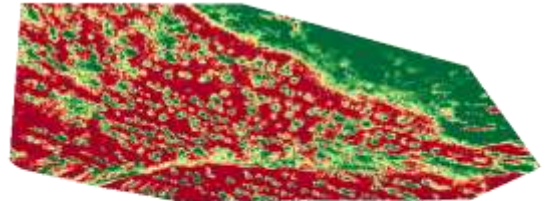
NDVI(エヌディーブイアイ、Normalized Difference Vegetation Index)とは植生の分布状況や活性度を示す指標として広く使われているようです。日本語では正規化差植生指数(他に、正規化植生指数、植生指数など)とも呼ばれています。

本来、このNDVIを算出するためには、人間の目で見える光の三原色(赤・青・緑)とは別に近赤外が必要となります。しかし、最近のデジタルカメラは画像を美しくするため、赤外線を出るだけカットするように作られています。(機種によっては赤外線はある程度感じる物もあるようです)。ところが、DroneDeployでは、このNDVIを自動で算出し、オルソ画像としてエクスポートする機能が備えられています。光の反射率等を調整して出力が可能なのですが、今のところ信憑性については不明です。

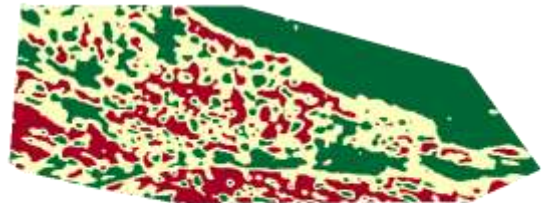
<近赤外について>



<DroneDeployによるエクスポート結果例>



NDVI Toolboxによるオルソ画像



NDVI Thresholdによるオルソ画像

<NDVIの計算例について>



植物は、赤波長の光を良く吸収して光合成に利用しますが、近赤外領域の波長は吸収できずに反射してしまいます。この現象を利用し、植物の活性度を測るためにこの指標が良く用いられます。



海外では、ファントム3のカメラのレンズを近赤外フィルタに変更したNDVI特化型のファントムも販売されているようです。  
※農業用 システム込み

## ステップ4 利用方法について(要検討)

3Dモデルを利用した可能性について、次の通りいくつかピックアップしました。しかし、どれも検証試験など行っていないため今後検討していきます。

- 森林内の樹高や本数を測定。
- NDVI等による樹種の判別。(※樹種による差はあまり見られないとの報告も)
- DSMとDTMの差分から森林内の蓄積を判別。
- Objファイルより3Dプリンタを使って立体模型を出力し、林業専用道などの路網線形に活用。



現地適応化試験林のアカエノマツ

フリーソフト「MeshLab」を使ってobjファイルをインポートし、森林内の樹高をいくつか測定してみた。結果は概ね2.1m程度で、試験林内の標準地ともほぼ一致しましたが、信憑性は不明。



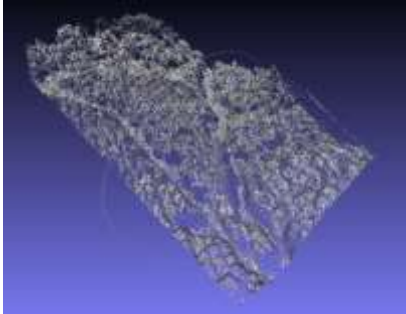
※国土地理院HPより抜粋

3Dプリンタによる出力例。objファイルフォーマットを活用して外注。

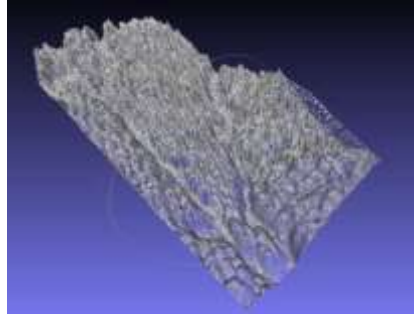
## その他 各種フリーソフトウェアの紹介

### MeshLab

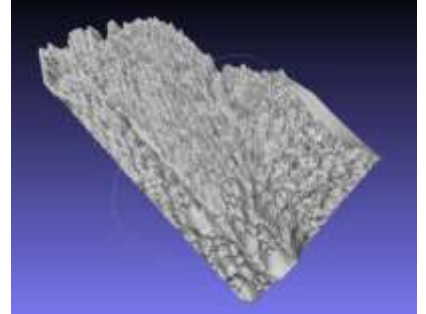
MeshLabはWindows、Macで使用できるフリーのソフトウェアです。操作、機能が絞られており3D三角メッシュを編集、加工やファイル変換できるソフトです。3Dスキャニングが出始めのころに3D加工ソフトが各種リリースされてきましたが、ソフト自体も高額であったために開発されたフリーソフトウェアです。DroneDeployからエクスポートされたobjファイルをインポート可能です。また、スマートフォンアプリも存在するため、こちらでも表示再生が可能。



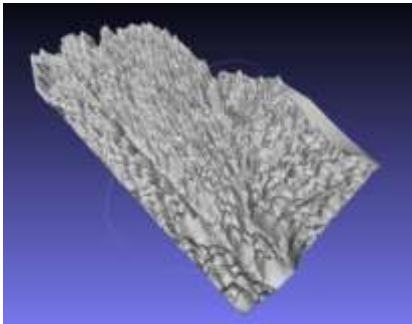
1. WireFrame (点群データ)



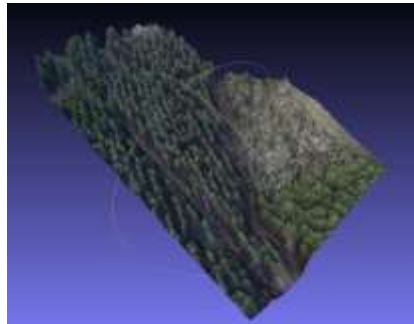
2. FlatLines (点群をラインで結合)



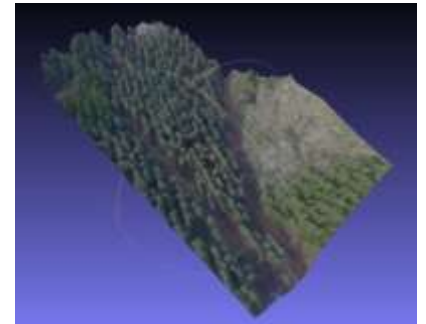
3. Flat (ポリゴンデータへ)



4. Smooth (角をなめらかに)



5. Texture (テクスチャ貼付)

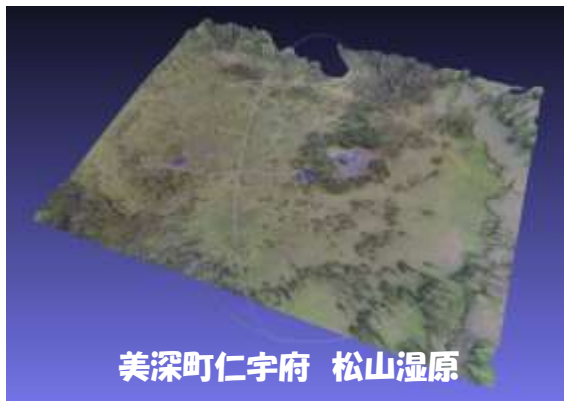


6. LineOff (線を不可視へ)

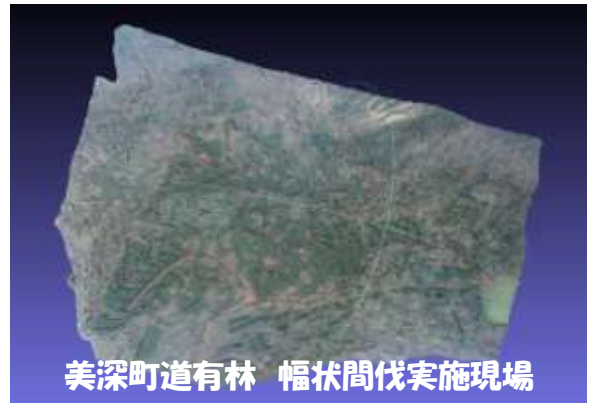
### MeshLabによる3Dモデルの出力例紹介



北海道森づくりフェスタ2015 in 和寒町の植樹会場



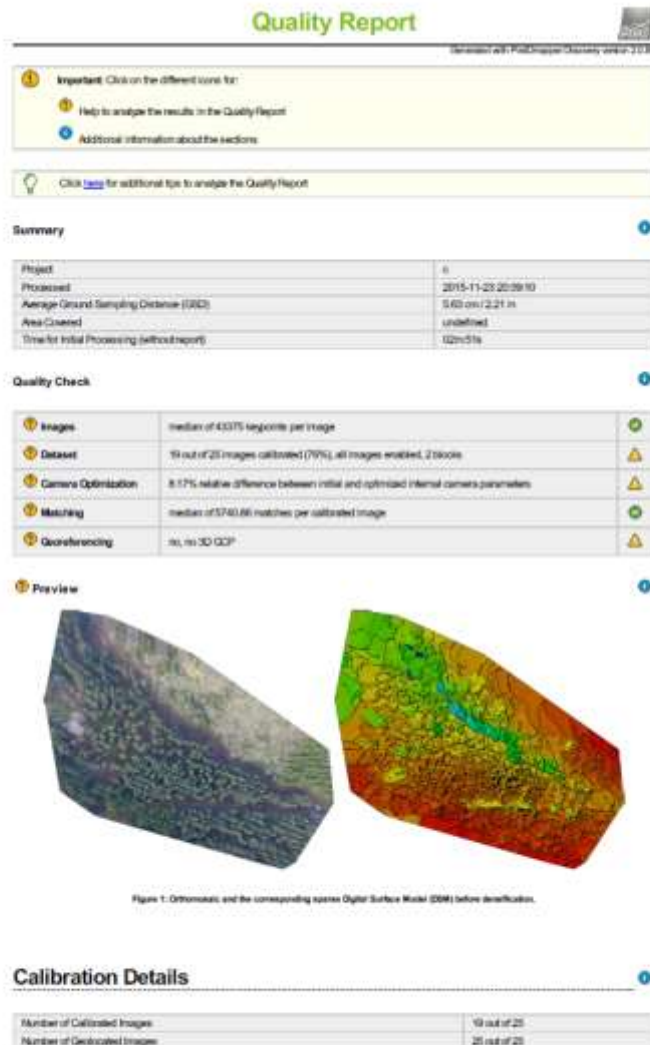
美深町仁宇府 松山湿原



美深町道有林 幅状間伐実施現場

## Pix4Dmapper (スイス Pix4D社製)

SfM/MVSソフトウェアの有料ソフトとして冒頭で紹介しておりますが、エクスポート機能など各種機能が制限された「お試し版」として海外のHPよりダウンロード可能です(英語版)。DJI Phantom系に特化された仕様で、専用のアプリも無料で提供されています。使用感は、動画からの解析や画像のオーバーラップなど、かなりいい加減な物まで演算再現可能な強力なツールです。お試し版でも自動でレポートが出力できます。



Pix4Dで出力した解析結果のレポート例①です。全て自動で作成されます。

Pix4Dのレポート例②です。治山事業の魚道上空ビデオより作成したオルソ画像です。