

GISの新しい画像統合フレームワークについて — 動画とSfMのGIS連携 —

鈴木 茂雄・岸本 直子 (ESRI ジャパン株式会社)

1. はじめに

近年のドローンの普及に伴い、UAV/UAS で撮影された画像データ（静止画・動画）が急速に増えている。

ドローンが撮影する動画にアクセスする方法は、①センサーからのリアルタイムの中継・ストリーム配信を受信する、②デジタル動画として保存されたファイルを再生する、③アーカイブされた過去撮影分の動画ファイルのストリーム配信を受けて再生する、等が一般的である。いずれの場合も、動画再生時に撮影プラットフォームの位置のみならず、地上の撮影範囲のフットプリントを動的に同期してマップ上に表示することを求められることが多い。その時、動画の撮影範囲を GIS データと統合して時空間検索、属性検索、タグ付き検索する機能を合わせて実現すれば、組織が保有する動画資産を様々な目的で有効利用することが可能になる。

筆者は先端測量技術第 107 号の UAV 技術特集号の技術報告記事で、欧米の防衛分野の UAV/UAS システムの調達時に義務付けられている MISB 標準¹⁾を紹介した。MISB 標準は動画データ・動画ストリームに位置情報を直接エンコードして埋め込むための標準である。そして、この標準を普及させることが国内の UAV/UAS 撮影動画を GIS と統合するための課題であると述べた。

しかし、MISB 準拠の動画データが国内でほとんど提供されていないのが現状である。そこで、今回 ArcGIS のデスクトップ環境で MISB 準拠の動画ファイルを作成する方法を検証したので、本稿でその方法について解説する。

まず、最近 ESRI ジャパンが国内リリースした SfM 機能を提供するソフトウェア Drone2Map for ArcGIS²⁾ を使って MISB 準拠のメタデータを作成した。次に無償の ArcGIS Full Motion Video Add-in³⁾ を使ってそのメタデータを動画に埋め込み、MISB 準拠の動画を作成した。

このように、SfM ソフトと GIS を連携することにより、MISB 準拠の動画を利用するための統合環境を効率的に構築できる。この環境を使えば、ジオタギングに代表される様々な新しい動画ソリューションを GIS 上で実現することが可能になる。

2. ドローンが撮影する静止画と動画のメタデータ

ドローンが静止画モードで撮影する画像データには、SfM ソフトウェアによる後処理が必要とする写真測量関連のメタデータが、EXIF フォーマットでデジタル情報として各画像に既に書き込まれていることが多い。

代表的な項目は、センサー（カメラ）の特性を示す、カメラの製造元・モデル、絞り値、露出時間、ISO 速度、露出補正、焦点距離、感光モード、および、撮影時のセンサーの位置情報としての GPS（緯度 / 経度 / 標高）データである。これらは、ドローン、あるいは、カメラシステムが自動的に静止画のデジタルファイルに記録することが多い。

一方、動画データは、上記の静止画を撮影するカメラを動画モードに切り換えて撮影するケースが多い。撮影成果は、一般に普及しているデ

デジタル動画フォーマット（*.MOV, *.MP4 等）でエンコード、圧縮されて配信、記録される。

しかし、動画を構成するフレームの写真測量系の処理計算に求められる、いわゆる外部標定用のメタデータが動画データと一緒に保存、提供されることは希である。撮影後に動画クリップに対応するメタデータをドローンの本体、または、制御システムから抽出し、動画とメタデータを時空間で互いに参照できる形式に整理することは極めて手間のかかる作業である。

ドローンのリモコン、自律制御用のシステムは、ポストプロセッシングに使える写真測量に関連したメタデータを何らかのメカニズムで記録していることが多い。しかし、それらのデータを動画に同期して提供するための MISB のような標準が民生分野では普及していないために、動画フレームと位置を同期する処理方法と手順は、ドローン、センサーシステムのメーカーに依存する。

実態としては、それぞれのメーカーが独自に開発した仕組み、手順、サポート情報を調査する必要がある。特にホビーユーザ向けの低価格帯のドローンシステムでは、インターネット上でユーザコミュニティが共有している裏ワザ（ハック）を使って、ドローンの自律制御システムから外部標定に必要なメタデータを取り出し、後続処理で使えるフォーマットに変換する必要がある。ユーザは、そのために求められる手順とその結果を試行錯誤で検証しながら知見を蓄積しなければならない、一般ユーザにとっては敷居が高い。

3. MISB 準拠のメタデータと動画の作成

SfM ソフトウェアはオーバーラップした一連の静止画の画像データを使い、画像マッチング技術により多数のタイポイントを生成してオルソ画像モザイク等の成果品を半自動で生成する。既知の位置座標を持った地物を画像上で同定し、それらを GCP（グラウンドコントロールポイ

ント）として使うことにより、成果物の位置精度を上げることが可能である。

今回は SfM ソフトウェアである Drone2Map for ArcGIS に、動画から切り出した静止画を入力することにより、不足している外部標定用のメタデータを補足的に作成した。そのメタデータを使って動画のフットプリントを計算し、MISB 準拠の動画ファイルを生成する手法を検証した。

以下の5ステップの手順で実施した。

- ①地上のフットプリントを計算するために必要なメタデータ情報を伴わない空中撮影による動画ファイルから一秒一枚の静止画を切り出す。（今回はオープンソースの FFMPEG⁴⁾ を利用した。）
- ②各静止画の撮影時のプラットフォームの位置を別ファイルで作成する。（今回は2種類の方法を検証した。）
 - (1) ドローンに取り付けた GPS ロガーのデータから編集、計算
 - (2) 撮影コースを目視により GIS 上で推定し、GPS データを疑似的に作成
- ③上記①、②で作成したデータを SfM ソフト Drone2Map に入力し、SfM 処理を実行する。（必要に応じて、Drone2Map を使ってマニュアルで GCP を追加、または、GCP ファイルをインポートし、より高い精度を追求する。）
- ④ SfM 処理の中間成果として生成される、撮影プラットフォーム・センサーの姿勢情報のメタデータ項目 (Omega, Phi, Kappa) を使い、MISB 準拠メタデータの CSV ファイルを編集、作成する。
- ⑤ ArcGIS Full Motion Video の Video Multiplexer 機能を使って、上記③の MISB 準拠メタデータを動画に書き込み、MISB 準拠の動画データを作成する。

上記で作成した MISB 準拠の動画データは、ArcGIS Full Motion Video Add-in を使って再生する時に、地上のフットプリントの位置を GIS 上に同期して表示できる。

MISB 準拠の動画は、ArcGIS 以外のアプリケーションでも、MISB 準拠動画を取り扱う機能をサポートしていれば、利用することができる。

4. 検証結果

今回の検証には、2種類の動画データを使った。

データ1: MP4 形式の長さ 04:48 の動画ファイル。リモコンを使って大学キャンパス敷地内の野球用グラウンドの上空をリモコンで旋回しながら、下向きに固定したカメラでほぼ鉛直方向を撮影した。撮影時にドローンに取り付けた GPS ロガーが取得した位置情報を使って SfM 処理した。リモコン操作による自由な飛行コースで動画を撮影したケースで、撮影時のドローンの位置の GPS データが何らかの手段で提供されているケースの典型的な処理を想定した。

データ2: MOV 形式の長さ 01:13 の動画ファイル。ほぼ直線の撮影コースを一定の高度で飛行したもので、水平面から約 25 度の俯角で下向きに固定したカメラで斜め撮影したものである。MP4 フォーマットに変換後、静止画を切り出した。動画撮影時のドローンの位置情報が未提供だったので、GIS ソフト上で終始点を推定後、内挿補間してメタデータを作成した。現時点の動画提供パターンとして最も一般的なケースであるが、今回は比較的良好な条件であると考えられる。

データ 1 検証:

MP4 フォーマットで提供された動画ファイルから、前述の FFMPEG コマンドで一秒一フ

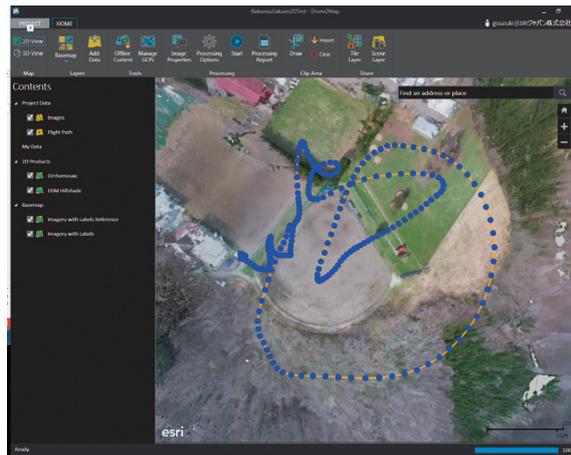


図 1 Drone2Map による処理結果 (データ 1)

レームのレートで一連の 290 枚の静止画(image sequence) を作成した。(STEP 1)

次に各静止画の画像ファイル名と、GPS ロガーをドローンに取り付けて取得した撮影プラットフォームの緯度経度、および、標高値のリストの CSV ファイルを作成した。(STEP 2-(1))

次に、Drone2Map を起動し、画像ファイルを格納したフォルダー名と GPS データの CSV ファイルを入力項目として指定し、2D データ作成プロファイルで SfM 処理を実行し、図1の結果を得た。(STEP 3)

図 1 中の青色の点は、Drone2Map が補正した後の一秒毎のドローンの位置を示す。ArcGIS Online が提供する背景写真図(衛星写真) の上に、Drone2Map が作成したカラーオルソ写真モザイクを重畳表示し、その上にドローンの位置がプロットされている。カラーオルソ写真のモザイク画像レイヤの透過率を調整することにより、SfM 処理が作成したオルソモザイクの精度を目視で確認できる。

GCP を使わずに、撮影範囲のオルソ画像モザイク、3D 陰影図の TIF ファイル等の標準成果一式を生成できた。目視で明らかにずれが分かる位置精度であったが、簡便な SfM 処理によりフットプリントを生成する手順の有効性を確認する目的には充分と判断した。

データ2検証:

ほぼ直線のコースに沿って一定の高度を飛行するドローンで撮影した動画ファイルである。MOV フォーマットのデータから検証データ1と同じ方法で一秒一フレームの静止画を計 75 枚切り出した。(STEP 1)

次に、背景図として表示した ArcGIS Online の高解像度の衛星画像を参照し、GIS 上で目視により撮影コースの始点と終点の静止画の撮影位置を推定し、2点を結ぶラインフィーチャを作成した。そのラインフィーチャを静止画の秒数で分割することにより、静止画の撮影位置を示すポイントフィーチャを作成した。撮影高度については、同じ地域で撮影した静止画の EXIF データの GPS データから推測した数値を常数として適用した。これらのフィーチャクラスの属性テーブルから静止画のメタデータの CSV ファイルを作成した。(STEP 2-(2))

検証データ1が鉛直方向に近い姿勢のカメラで撮影された動画であったのに対し、検証データ2の動画は斜めの角度で撮影したものである。それが原因であると推察しているが、初回に SfM で生成したオルソ画像モザイクの位置精度が悪く、明らかにそのままでは動画の外部標定に使えないと判断した。

そこで、数回の試行錯誤の後、3点の GCP をマニュアルで設けた後、Drone2Map の 2D

データ作成プロファイルを実行し、目視確認により成果をチェックした。その結果、図2に示す通り今回の目的には十分な精度を有するオルソ画像モザイクを作成することができた。(STEP 3)

図2中の青色の線は、縮尺の関係上、線に見えるが、図1と同様に静止画の位置を示す点の連続である。赤色の×印が静止画と衛星画像上の対応点をマニュアルでリンクした3点の GCP で、画面の右側にその位置とリンクした静止画がリストされている。扇状に広がる緑色の画像が、Drone2Map が生成したオルソ画像モザイクで、河川と高速道路の位置が背景の衛星画像上の位置と概ね合っていることが確認できた。

Drone2Map を実行すると、SfM 処理の中間成果としてファイルジオデータベースが作成される。そこに含まれる静止画撮影位置のポイントフィーチャの属性には、センサーの姿勢情報のメタデータ (Omega, Phi, Kappa) が含まれる。

これらの経緯度・標高と属性フィールドのメタデータの値を、エクセルファイルにエクスポートし、ArcGIS Full Motion Video の MISB 準拠メタデータ入力用の所定の CSV フォーマットのファイルをそれぞれの動画用に作成した。(STEP 4)

以上のステップにより、動画ファイル (MP4) と MISB 準拠メタデータ CSV ファイルのペアで構成された入力用テストデータセットが二組準備できた。

これらを入力データとして、ArcGIS Full Motion Video 1.3.1 が提供する図3の Video Multiplexer をそれぞれのテストデータに対して実行した。(STEP 5)

二組の検証用のデータセットを使って Video Multiplexer が STEP 5 で作成した MISB 準拠の動画を ArcGIS Full Motion Video 1.3.1 のビデオマネージャを使って ArcMap 上で再生、操作する時の典型的な画面のコピーを、図4と

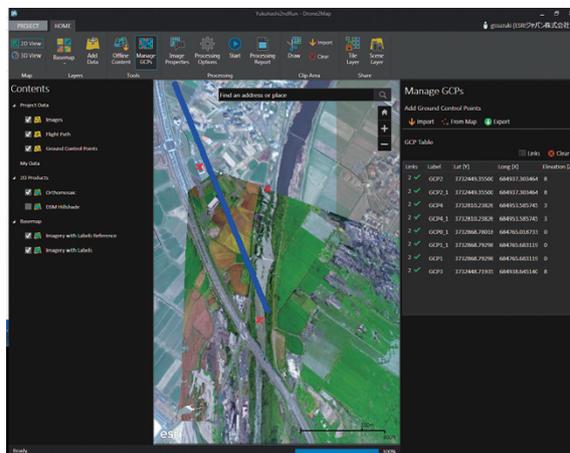


図2 Drone2Map による処理結果 (データ2)

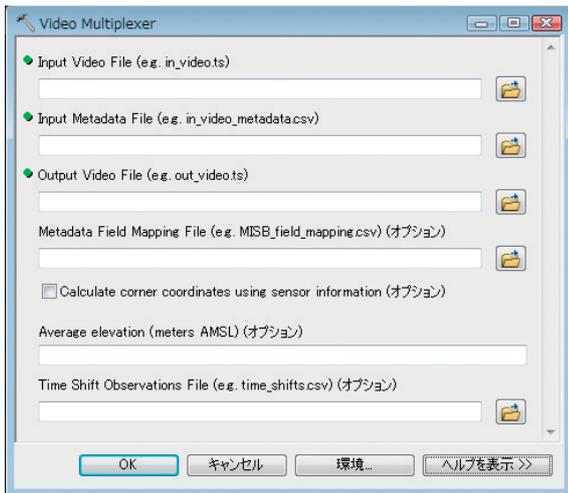


図3 ArcGIS Full Motion Video 1.3.1 Video Multiplexerのダイアログボックス

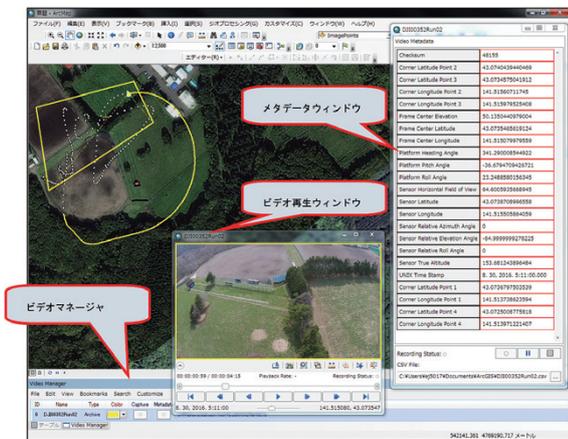


図4 検証データ1のMISB準拠動画再生時のスクリーンコピー

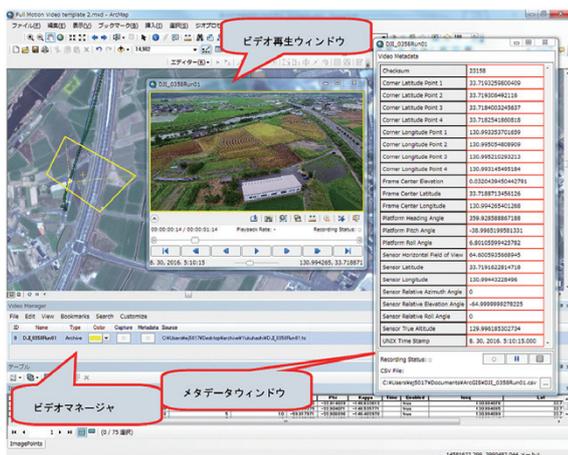


図5 検証データ2のMISB準拠動画再生時のスクリーンコピー

図5に示す。

両図上のマップに黄色で台形のポリゴンとして表示されているのが再生中の動画フレームの

地上のフットプリントである。黄色の矢じり型のシンボルがドローンの位置を示し、黄色の線は再生済ビデオの時間内のドローンの軌跡を示す。

図4、図5に共通する ArcGIS Full Motion Video が提供する機能の概要を説明する。

ビデオマネージャ:

「入力ビデオソースの指定」、ビデオ再生ウィンドウの外枠・フットプリント、撮影位置・コース、画像の焦点等をビデオソース毎にカラーコード化して表示する「色設定」、フットプリントの「範囲に移動」等、ビデオ再生ウィンドウを使う際の基本設定を管理する。

ビデオ再生ウィンドウ:

一般的なビデオ再生ソフトが提供する「再生」、「終了」、「停止」、「巻き戻し」、「早送り」、「コマ送り」等の機能をサポートする。加えて、「ブックマーク」、再生中の動画フレームをGISのマップ上に静止画レイヤとしてペーストする「画像キャプチャ」、GISのレイヤをビデオ再生ウィンドウ内に表示する「レイヤ表示」、マップ上の対象物をデジタル化してその位置をマップとビデオ再生ウィンドウの相互に表示する「デジタル化」機能等がサポートされている。複数のビデオ再生ウィンドウを同時にオープン、再生することが可能である。

メタデータウィンドウ:

再生中のビデオフレームのMISB準拠メタデータの名称と値のリストの一覧表を表示する。「記録」機能を使うと再生中のビデオフレームのメタデータをCSVファイルに書き出して属性データとしてGISで利用できる。

今回検証した方法で計算したフットプリントの位置精度は、厳密な計測には使えないが、オペレータが介在してマニュアルで目視により情

報を判読、抽出するジオタギング、監視等の業務には充分と判断した。

今回は、ドローンで動画を撮影した時にプラットフォームの位置情報(GPS データ) やセンサーの姿勢に関するメタデータのテレメトリー情報が取得されないケースを想定し、SfM ソフトを使って不足している MISB 準拠のメタデータを GIS と連携して動画そのものから計算して補足し、それを動画に書き戻して MISB 準拠の動画を作成することを試み、検証した。

このアプローチの有効性は十分に証明できたと考える。

今回二つの検証用動画データの撮影に使われたドローンは、両方共 DJI 製で、EXIF 情報によれば搭載されているカメラはソニーの OEM で FC330 であった。このカメラは静止画ではピクセルサイズ 4000 × 3000 をサポートしており、動画も同じ解像度で撮影されていた。動画から切り出した画像が鮮明で、SfM 処理の精度は想像以上に良かった。

5. 課題と将来展望

本来は、ドローンの制御システム、もしくは、動画を取得するセンサーが、プラットフォームに搭載されたテレメトリー用のハードウェア、例えばジンバル、IMU、GPS 等からの信号を同期、合成処理して MISB 準拠の動画を出力するのが理想である。(図6)

筆者は、近い将来には、カメラ、または、センサーの動画モードが、カメラの筐体に統合された GPS、IMU 等から必要な信号を取得、処理して、MISB 準拠の動画、あるいは、ストリームデータを出力する仕様を備える日が来ると想像している。

現在販売されている普及型のデジタルカメラのほとんどが EXIF 情報付の静止画データを出力する。これと同様にカメラの動画モードがデフォルトで MISB 準拠の動画を出力する日が来



図6 MISB 準拠動画データ作成方法

ると信じたい。

以下、今回の検証作業時に気付いた課題である。

- ・ MISB 準拠の動画にエンコードされた外部標準用のメタデータの精度とその取得、作成方法を評価するために必要な品質管理用のタグと参照モデルの設計と普及促進
- ・ MISB 標準の国内普及促進活動の継続、例えば MISB 準拠の動画データ、または、後処理のマルチプレクサ処理に必要なテレメトリーデータを動画に合わせて取得、納品することを発注者が仕様で指定する等
- ・ 動画のフレームによっては、明らかにフットプリントの位置が間違っているもの、もしくは 180 度対称的にフリップしてしまったと思われるものがあつた。明らかにエラーと思われるフットプリントの位置データを判別・修正・除去する方法を考案する必要がある
- ・ 現在、MISB 準拠の動画ストリーミングサービスを入力ソースとして検証できる公開サイト、サーバ環境がない。MISB 準拠動画アーカイブ管理システムの有効性を検証するために新たに構築する必要がある

6. まとめ

Esri/ESRI ジャパンとしては、様々なドロー

ンで撮影した動画データを GIS で統合して活用するためのワークフローを整理し、そのノウハウをユーザコミュニティで公開、共有したい。Drone2Map と ArcGIS Full Motion Video Add-in の検証に使えるデータがあれば、ドローンシステムのメーカー、モデルに係らずユーザと横断的に連携して検証を継続したい。

■謝辞

今回の検証に使用した動画データは以下の方々のご厚意により提供されたものです。この場を借りて心よりご協力に感謝いたします。

- ・酪農学園大学 金子正美 教授
- ・有限会社 大光電気 前田貫一 様

参考文献

- 1) MISB (Motion Imagery Standards Board) 米国動画標準審議会、URL: <http://www.gwg.nga.mil/misb/>、2016 年 8 月アクセス、「ミスビー」、または、「ミズビー」と発音。米国の国防省、情報コミュニティー、国家地理空間情報システムのための動画に関する標準を作成、検討、提言する責任を負う組織。NGA が運営する GWG (Geospatial Intelligence Standards Working Group) の配下にある。

- 2) ESRI ジャパン株式会社、Drone2Map for ArcGIS、URL: <http://www.esrij.com/products/drone2map/>、2016 年 8 月アクセス
- 3) Esri, ArcGIS Full Motion Video Add-in, URL: <http://www.esri.com/products/arcgis-capabilities/imagery/full-motion-video>、2016 年 8 月アクセス
- 4) Wikimedia Foundation, Wikibooks, “FFMPEG An Intermediate Guide/image sequence”, URL: https://en.wikibooks.org/wiki/FFMPEG_An_Intermediate_Guide/image_sequence#Making_an_Image_Sequence_from_a_video, 2016 年 8 月アクセス、“ffmpeg -i [入力動画ファイル名] -vf fps=1 image-%03d.png” を実行。

■執筆者

鈴木 茂雄 (すずき しげお)
ESRI ジャパン株式会社

(共著者) 所属は筆頭著者に同じ
岸本 直子 (きしもと なおこ)