

# (14) UAV空撮画像における3次元モデリング (SfM/MVS) ソフトウェアの特性比較

北川 悦司<sup>1</sup>・村木 広和<sup>2</sup>・吉永 京平<sup>3</sup>・山岸 潤紀<sup>3</sup>・津村 拓実<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5-4-33)

E-mail: kitagawa@hannan-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 国際航業株式会社 センシング開発部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

E-mail: hirokazu\_muraki@kk-grp.jp

<sup>3</sup>非会員 阪南大学 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5-4-33)

近年、地上分解能が小さい空中写真を容易に撮影できる手段としてUAV (Unmanned Aerial Vehicle) が注目を集めている。このUAV空撮画像を用いた3次元計測には、一般的にSfM(Structure from Motion)とMVS (Multi-View Stereo)を用いた3次元モデリングソフトウェアが利用される。しかし、これらのソフトウェアは、それぞれ傾向が異なることが指摘されている。そこで、本研究では、現在多く利用されているPix4DとPhotoScanの2つのソフトウェアについて、実験から特徴を導き出し、それぞれの違いについて比較した。その結果、SfM処理時に各ソフトウェアにおいてレンズ補正式が異なる点や、PhotoScanが見た目は綺麗であるが変異抽出に弱い傾向があること、Pix4Dは点群のZ値が若干揺れるが変異抽出しやすいことなどの比較結果を得ることができた。

**Key Words :** UAV, 3D Modeling, SfM(Structure from Motion), MVS (Multi-View Stereo), photogrammetry

## 1. はじめに

近年、「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)」<sup>1)</sup>が発表されるなど、地上分解能が小さい空中写真を容易に撮影できる手段としてUAVが注目を集めている。このUAV空撮画像を用いた3次元計測は、一般的にSfMとMVSを用いた3次元モデリングソフトウェアが利用される。しかし、これらのソフトウェアは、それぞれ傾向が異なることが指摘<sup>2)</sup>されているが、それぞれのソフトウェアを比較した事例は少ない。ソフトウェアを比較した既存研究としては、国土地理院の研究報告<sup>2b)</sup>があるが、検証点における評価のみで、3次元形状の比較はあまり行われていない。また、写真測量において重要なレンズディストーション補正などのアルゴリズムの比較などが行われていないなど、まだまだ傾向を知るためには情報不足な現状である。そこで、本研究では、現在多く利用されているPix4DとPhotoScanの2つのソフトウェアについて、実験から特徴を導き出し、それぞれの違いについて比較することを目的とする。

## 2. 実験内容

本研究では、表-1に示す3つの実験データを利用し、Pix4DmapperDesktopVer.4.1.24 と PhotoScan Professional-Ver.1.4.1.5925で3次元計測を行った。3次元計測の流れは、どちらのソフトウェアも、カメラ位置算出→GCP設定→カメラ位置再計算の流れでSfM処理を行い、その後MVS処理の3次元点群生成を行った。利用する画像のサイズについては、どちらのソフトウェアもカメラ位置算出時は1/1、点群生成時は1/2のデフォルトの設定で行った。また、画像に付加されているGNSSの情報を利用した場合、PhotoScanの場合のみ精度が悪くなったため、本研究ではGNSS情報は削除し、GCPのデータのみで計測した。

表-1 実験データ

	場所	撮影高度	地上分解能	枚数	GCP 標定点	検証点
データ1	宮城県気仙沼市	約40m	約1.0cm	144	5点	7点
データ2	岡山県児島湾干拓地 海岸保全施設	約40m	約0.5cm	517	5点	17点
データ3	福岡県宗像市 グローバルアリーナ スタジアム	約150m	約2.5cm	64	5点	なし

### 3. SfM処理の比較

本研究では、それぞれのソフトウェアのSfM処理部分について、検証点における3次元座標の精度比較と、写真測量の内部標定要素として精度に大きな影響を与えるレンズディストーション補正式の比較を行った。

#### (1) 検証点における3次元座標の精度比較

表-1のデータ1とデータ2について、前もって対空標識を配置してトータルステーションなどで計測しておいた3次元座標を正値とし、各ソフトウェアの3次元座標との差分を取り、RMSEを求めて比較した。その結果をGCPとして用いた標定点と、確認用の検証点とに分けて表-2に示す。表-2より、今回のデータではPix4Dの方が精度的には同等もしくは高精度となる結果となった。水平成分と高さ成分に分けて見てみると、水平成分については、Pix4Dの方が高精度であった。高さ成分については、データ1ではPix4D、データ2ではPhotoScanが高精度となった。また、GCPとして用いた標定点に関しては、Pix4Dの方が高精度となった。

#### (2) レンズディストーション補正式の比較

SfMソフトウェアは、内部でセルフキャリブレーションを行う機能を持っている。そこで、既研究<sup>3)</sup>において、(公社)日本測量協会のカメラキャリブレーションサービスによって得られるカメラ検定結果(焦点距離、主点位置のズレ、放射方向歪み、接線方向歪み)を固定値として各ソフトウェアに入力して比較を行っている。そして、カメラ検定結果を各ソフトウェアに入力すると精度が著しく低下することを指摘している。しかし、写真測量の理論上このように著しく低下することは考えられないため、筆者らは測量協会と各ソフトウェアのレンズ補正モデルが異なると考え、マニュアル<sup>4)5)</sup>の調査や実験などを行った。その結果、表-3のように、それぞれが異なる補正モデルであることがわかった。そのため、測量協会のカメラ検定結果をSfMソフトウェアに入力する場合は、それぞれに適合した変換式を作成し、変換後の値を入力する必要があることがわかった。

表-2 SfM処理の結果 (単位 : m)

			水平成分 (XY) RMSE	高さ成分(Z) RMSE	全成分 RMSE
標定点残差	データ1	PhotoScan	0.051	0.036	0.063
		Pix4D	0.027	0.033	0.043
	データ2	PhotoScan	0.027	0.010	0.166
		Pix4D	0.006	0.008	0.010
検証点残差	データ1	PhotoScan	0.054	0.053	0.075
		Pix4D	0.041	0.044	0.060
	データ2	PhotoScan	0.025	0.024	0.034
		Pix4D	0.006	0.033	0.033

表-3 レンズディストーション補正式の比較

	補正モデル	変換方向	座標の単位	主点位置の表現方法
測量協会	Australisモデル	補正前→補正後	正規化なし	主点位置の座標
PhotoScan	Australisモデル	補正後→補正前	fで正規化	中心からのオフセット
Pix4D	Australisモデル	補正前→補正後	-fで正規化	主点位置の座標

### 4. MVS処理の比較

本研究では、それぞれのソフトウェアのMVS処理部分について、検証点の座標精度ではなく、変異などの形状の特性について比較を行う。

#### (1) PhotoScanのフィルタリング処理

PhotoScanは、3次元点群を発生させるMVSの処理内で、深度フィルタ (Depth filtering modes) <sup>4)</sup>を行っている。つまり、写真測量で点群を発生させた後に、ノイズ処理を行っていることになる。強いフィルタリングを行うほど、信頼性の高い点だけが残る代わりに細部の点群が失われる可能性がある。デフォルトでは「強」が選択されているが、細部の点群が必要であれば「弱」を選ぶことが推奨されている。「無効」も設定できるが、ユーザマニュアル<sup>4)</sup>で推奨されていない。そこで、PhotoScanの深度フィルタ「強」と「弱」の違いについて表-1のデータで実験を行った。その結果、下記の特徴が確認された。

- 1) 「弱」の方が、形状がおかしい点群が発生しやすい。特に、細かい凹凸がある場所がおかしくなりやすい。見た目は「強」の方がかなり良い。
- 2) 点群が少ない構造物 (特に平面になっていない電柱など) は深度フィルタ「強」で処理した場合、削除される可能性が高い。
- 3) 「強」の方が、点群がより平滑化されるので見た目はよくなるが凹凸を若干表現できなくなっている。

#### (2) 点群の高さの揺れ

データ2のコンクリート部分のグラウンドデータの断面図の比較を図-1に示す。Pix4Dは1点1点対応点を算出し、写真測量で抽出した点を出力していると思われる。そのため、撮影高度やカメラの画素数に依存して、点群の高さに揺れ (データ2の条件では上下1cm (2ピクセル) 程度) が生じる。PhotoScanは、写真測量以外に平面形状の特性などを用いて平面上に大量の点群を生成していると思われる。さらに、フィルタリングも内部で行っているため、凹凸が出やすい「弱」のフィルタの場合でも、点群の高さの揺れはPix4Dに比べてかなり小さい。この結果より、PhotoScanの方が高さの揺れが少ないが、形状によっては細かな変異が消えてしまう可能性があることがわかった。

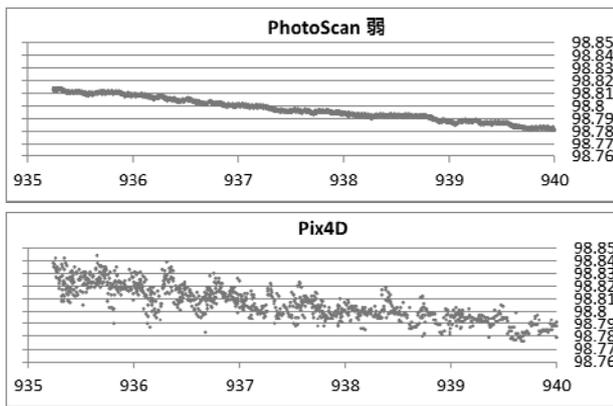


図-1 点群の高さの揺れ (単位:m)

### (3) 細かい凹凸の変異

PhotoScanでは、細かい凹凸が繰り返されている場合、図-2のトタン屋根のように形状が崩れてしまうか、図-3の競技場の観客席のように凹凸が平ら(図-4)になってしまうか、のどちらかになる可能性が高く、変異を抽出しにくい。Pix4Dに関しては、点群の高さ精度の揺れ(上下に地上分解能×2ピクセル程度)があるため、その値と同等以上の変異であれば抽出できる。しかし、揺れ幅より小さい変異を抽出したい場合は、RANSAC法などの点群処理を別途行う必要がある。

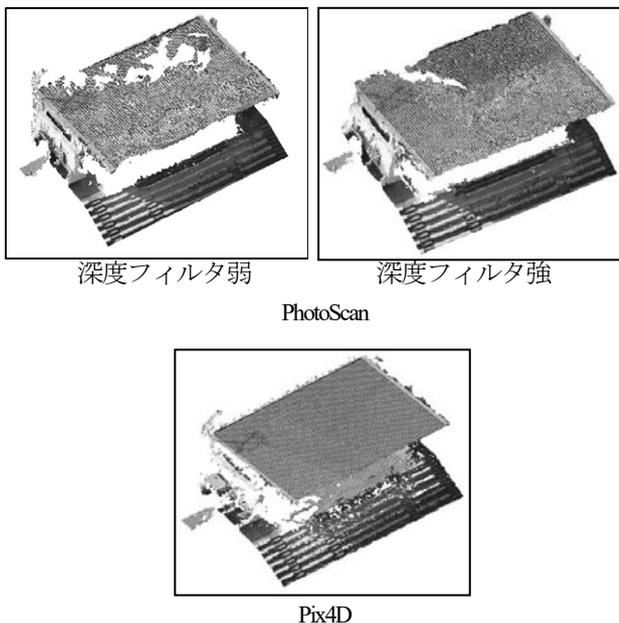


図-2 細かい凹凸の変異 (データ3のトタン屋根)



図-3 データ3の観客席画像 (断面図作成部分)

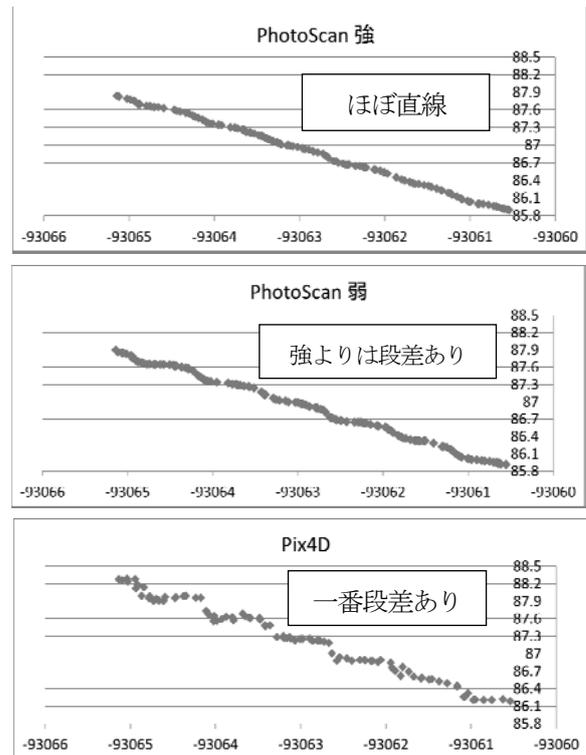


図-4 細かい凹凸の変異 (観客席の断面図) (単位:m)

### (4) 平面の段差の変異

データ2の堤防の天端の目地部分の段差(2cm)の箇所(図-5)について検証を行った。検証部分の断面図を図-6に示す。図-6より、PhotoScanとPix4Dの両方も段差は抽出できている。しかし、PhotoScanは段差が出やすい深度フィルタ弱でも段差が1cmと小さくなっている点、Pix4Dは2cmの段差を表現できている点もあるが上下1cmの揺れがある点が課題である。別途点群処理を施せば、Pix4Dで高精度に段差を判断できる可能性は高い。

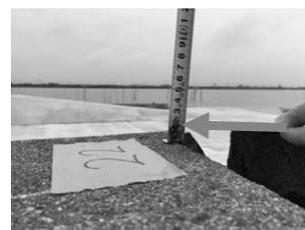


図-5 堤防の天端の段差(2cm)

※板が見にくいため画像上に線を描画

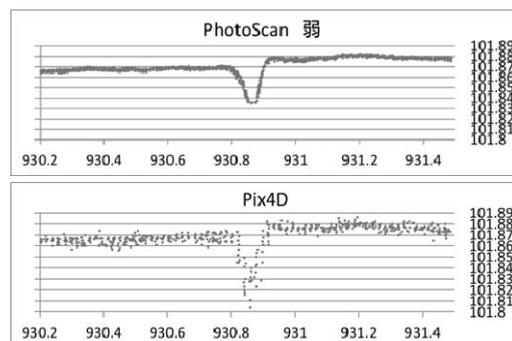


図-6 堤防の天端の断面図 (単位:m)

(5) 点群の発生箇所

Pix4Dは、1点1点対応点マッチングして写真測量をしていると想定されるため、画像に写っていない部分に点が発生しにくい。しかし、PhotoScanは、対応点マッチング以外に平面形状などを利用していると想定されるため、写真に写っていない箇所にもゴミの点が多く発生する。深度フィルタを「強」にすると若干少なくなるが、それでも図-7のように削除できない点群が多く発生する。

(6) 影

影の部分の比較を図-8に示す。Pix4Dは、一般的な写真測量と同様に、撮影位置や角度によって形状が異なる影に若干弱いことがわかった。屋根の下の部分に、PhotoScanにはない点群があるのも、影の影響によるゴミデータが発生しているためである。しかし、PhotoScanは、平面形状を利用している点や、フィルタリングを内部で行っていることから影によるゴミデータが発生しにくいことがわかった。

(7) MVS処理の考察

本研究におけるMVS処理の実験結果の考察をまとめた物を表-4に示す。

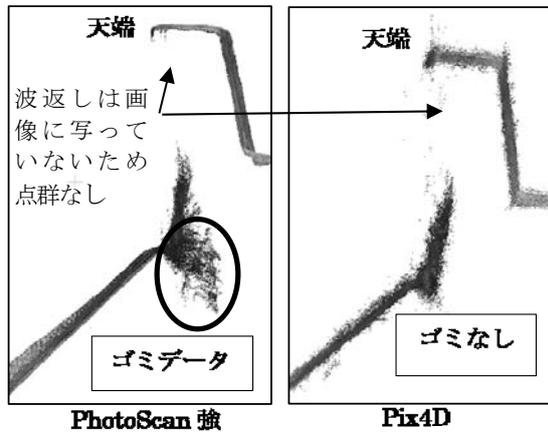


図-7 点群の発生箇所 (堤防)

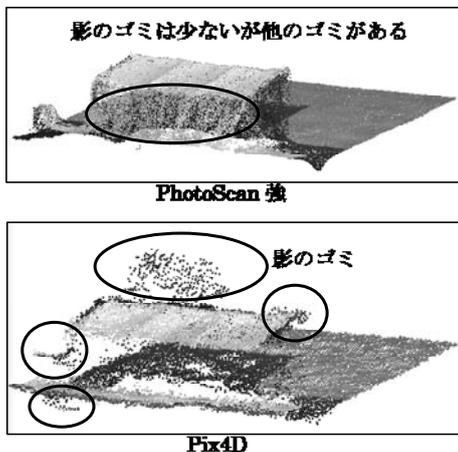


図-8 影の影響

表-4 比較結果の考察

Pix4D
<ul style="list-style-type: none"> <li>・1点、1点写真測量で行っていると想定する。 (高精度に揺れがあるため見栄えは若干よくないが、変異を抽出できる。)</li> <li>・点群精度が安定している。 (揺れはあるものの、ほぼすべての形状で安定的に3次元点群を生成でき、間違っただ点が影や水、ガラス以外に発生しにくい)</li> <li>・影の点群精度が悪くなる。</li> </ul>
PhotoScan
<ul style="list-style-type: none"> <li>・点群密度が多い。</li> <li>・写真測量以外に平面形状の特性を利用して点群を発生させていると想定する。 フィルタリングも行っている。 (見栄えは良くCGなどに向いているが、変異が丸められ測量や変異抽出には形状によっては不向き)</li> <li>・点群精度が悪くなる場所がある。 (平面の延長上などに間違っただ点が発生する可能性がある。細かい凹凸がある箇所が上手く計測できないことがある。など)</li> <li>・平面以外の構造物が捨てられることがある。 (照明や電柱など)</li> </ul>

5. おわりに

本研究では、現在多く利用されているPix4DとPhotoScanの2つのSfM/MVSソフトウェアについて、同一環境で実験を行い、比較することを目的とした。その結果、SfM処理時に各ソフトウェアにおいてレンズ補正式が異なる点や、PhotoScanが見た目は綺麗であるが変異抽出に弱い傾向があること、Pix4Dは点群のZ値が若干揺れるが変異抽出しやすいことなどの比較結果を得ることができた。

謝辞

データに関して、「知の集積と活用」による研究開発モデル事業の「農業水利施設ストックマネジメントの高度化に関する技術開発」の「ストックマネジメント効率化コンソーシアム」からご提供していただいたことをここに礼申し上げます。

参考文献

- 1) 空中写真測量(無人航空機)を用いた 出来形管理要領(土工編)(案), 国土交通省, 2017.
- 2) 菅井秀翔, 宮地邦英, 中村孝之, 南秀和, 橋克巳: UAVを活用した写真測量の精度検証, 国土地理院時報, 国土地理院, 第129集, pp.147-157, 2017.
- 3) 早坂寿人, 大野裕幸, 大塚力, 関谷洋史, 瀧繁幸: UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証, 国土地理院時報, 国土地理院, 第127集, pp.107-116, 2015.
- 4) Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.4, 2018.
- 5) How are the Internal and External Camera Parameters defined?, <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559089-How-are-the-Internal-and-External-Camera-Parameters-defined?>>, (入手2018.6.10).