

画像解析による3次元形状復元の可能性についての再考

正会員  
会員外

○ 味岡 取\*  
渡邊 弘行\*

画像解析                      SFM                      形状復元  
記録保存                      3D モデル

### 1. 3次元データの取得技術について

3次元データの活用とその取得技術は21世紀以後建設分野全体及び文化財の調査・保護・研究の分野において貢献をしてきた。取得技術は画像を用いる方法とレーザーを用いる方法に大別でき、前者の代表的な技術は写真測量(Traditional Photogrammetry)、後者は3Dレーザースキャニングである。3次元計測技術のルーツはこの写真測量にあり、1980年代以降一般に普及してきたが、21世紀に入ってから3Dレーザースキャニングが主流となりつつある<sup>1)</sup>。その要因として3Dレーザースキャナの計測には写真測量に比べて高い技術が必要なく安定的に必要なデータが取得できること、広範囲のデータを取得できることが挙げられる。しかし、3Dレーザースキャナはその機材が依然高価であり適用可能な範囲が機種仕様によって異なり、多くの状況に備えるにはいくつもの機種を揃えることが望ましいがそれはコスト的には難しいのが現状である。

その一方で、近年はコンピュータビジョンと呼ばれる分野において画像を用いた3次元形状の復元技術が注目されている。これは異なる位置から撮られた複数枚の画像のオーバーラップ部を解析し3次元モデルを復元するもので、その根幹技術はSFM(Structure from Motion)と呼ばれる。詳細については次章で述べるが従来の写真測量では困難であったような多量の画像を一括でオートマッチングに解析可能なことと解析に熟練の技術を要せずに3次元データが得られることが特徴として挙げられる。また、写真測量と同じように元の画像をテクスチャとして使用することでリアリティのある3Dモデルが得られる。この技術を文化財分野に用いることで3Dレーザースキャナを用いるよりも経済的かつ効率的に適切なデータが得られる可能性がある。本稿ではその技術について紹介をすると共に写真測量や3Dレーザースキャニングと照らし合わせて今後の画像による3次元計測技術の可能性について考えたい。

### 2. SFM(Structure from Motion)解析の概要

従来の写真測量は異なる位置から撮られた複数枚の画像の中からペアを作成し、共通する基準点を手作業で抽出し、既知座標を与えることでカメラの位置と姿勢を求めている。また、カメラのキャリブレーションが必要であり一般には異なるカメラや焦点距離で撮影された画像の解析は困難であった。

SFMの基本原理は写真測量と共通するが初期条件として基準座標値を入力する以外、解析はほぼ自動化されている。カメラの内外部パラメータをその過程で推定するためにキャリブレーションは不要であり、同様の理由で条件の異なる複数のカメラを用いた解析も可能である。図1<sup>2)</sup>のフロー図は画像撮影、点群生成、メッシュデータの生成までを示している。特徴はSIFT<sup>3)</sup>と呼ばれる特徴点<sup>4)</sup>の抽出と画像間でのマッチング機能である。適切な条件で撮影された1000万画素を超える画像であれば一枚あたり数百から数千点の特徴点が抽出され、画像間でマッチングされた後、各カメラの位置・姿勢の推定値と特徴点から生成された粗い点群(Sparse point cloud)を得る。これを用いて各ピクセルの3次元座標を計算し、より高密度な点群データ(Dense point cloud)を得る。この点群からメッシュデータを作成し元画像を貼り付けることで最終的な3Dデータが生成される。

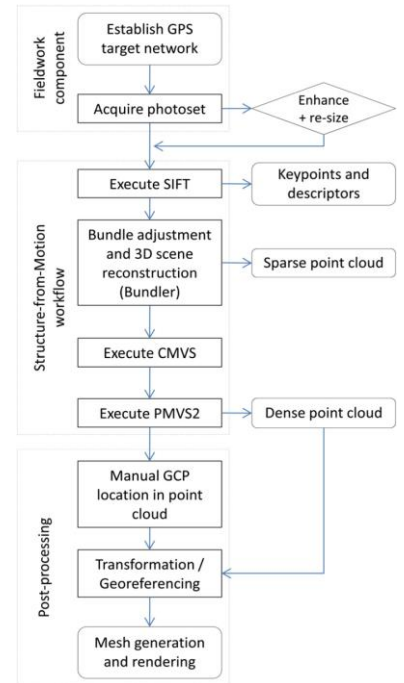


図1 SFMのワークフロー

適切な条件で撮影された1000万画素を超える画像であれば一枚あたり数百から数千点の特徴点が抽出され、画像間でマッチングされた後、各カメラの位置・姿勢の推定値と特徴点から生成された粗い点群(Sparse point cloud)を得る。これを用いて各ピクセルの3次元座標を計算し、より高密度な点群データ(Dense point cloud)を得る。この点群からメッシュデータを作成し元画像を貼り付けることで最終的な3Dデータが生成される。



図2 推定されたカメラの撮影位置・姿勢

### 3. SFM解析の適用可能性

画像を用いた3次元データの取得技術の特徴の一つとして様々なスケールの対象に適用可能なことが挙げられ



図3 コインの3Dモデル



図4 UAV(+GPS,IMU)

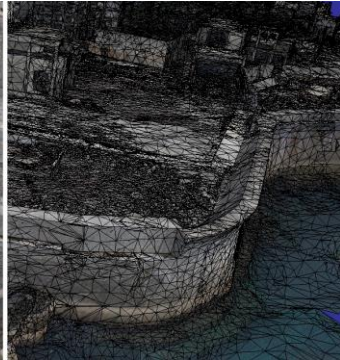


図5 軍艦島の3Dモデル(左:TIN,右:ワイヤフレーム)

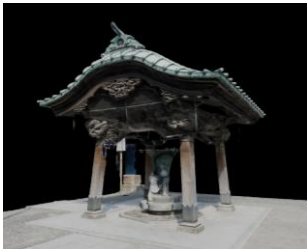


図6 SFMによる建築物の3Dモデル

る.3D レーザースキャナの場合,機種ごとの仕様により計測可能な距離の範囲や計測精度は基本的に固定されている.計測範囲はスキャナの盛替えを繰り返すことで範囲を広げることができるが計測距離を縮めることは出来ない.同様に精度も仕様を上限としてそれ以上良くすることは出来ない.また基本的に三脚の上など機材を固定して使用するものであり,動きながらの計測は出来ない.画像による計測の場合は,これらの制約を受けにくい.精度とモデルの解像度は主に対象との距離・レンズの焦点距離・カメラの画素数に依って予め調整が可能のため,目標精度や解像度に従って撮影方法を変えることにより柔軟に対応可能である.また対象範囲については解析条件に適う撮影が計測可能ならば遺物や加工痕のような詳細なデータが必要なものから建築全体や街並みといったスケールのもので計測可能である.近年普及の始まった UAV(Unmanned Aerial Vehicle)という無人飛行体にカメラを搭載すれば,GPS やリモートコントロールを使用して数 km 四方程度の計測が可能である.図5<sup>6)</sup>は UAV を使用して軍艦島全体を約 300 枚撮影しモデル化したものである.これまで写真測量は解析に煩雑な作業を要するため大規模な対象を精度

よく計測する用途には用いられてこなかったが SFM を用いることで 1000 枚を超えるような画像の処理が可能になり,大規模な対象や複雑な形状を持つ対象を精度よく計測する際に用いることが可能になった.

#### 4. SFM 解析の課題

SFM 解析にはいくつか課題が存在する.SFM 解析では SIFT による特徴点の抽出が大きなポイントであるため,プラスチックや単色塗料の塗布など表面が滑らかに仕上げられたものや反射する光沢素材は特徴点を抽出しにくく正確なモデリングは難しい.また,生成される 3D モデルについては未だ 3D レーザースキャナの方が信頼度は高いのが現状である.これは撮影画像の質を安定させにくいことと,光学センサーにより直接 3 次元座標を求める 3D レーザースキャナに対し写真測量では 2 次データにより 3 次元座標を得るためである.しかし,真値からの誤差という観点から精度を検証すると必ずしも 3D レーザースキャナより精度が悪いわけではない.技術的にどちらの方が精度が高いかは一概に言及することは出来ない.

#### 5. 今後の展望

SFM 解析は今後の 3 次元計測において重要な技術となり得る.現状多くの 3 次元計測が 3D レーザースキャナを用いて行われており徐々に機材の価格帯も下がってきているがデジタルカメラの高性能化はその比ではなく,ソフトウェアがより身近になればこの技術は広く普及するものと思われる.特に文化財の調査においてはデジタルカメラで記録した画像がそのまま 3 次元化され形だけでなく色の情報も同時に保存することが出来ることは有用であると考えられる.3D レーザースキャナは依然信頼性の高い 3D モデルの構築が可能であるが,計測の目的によっては SFM 画像解析も有用な選択肢の一つになり得ると言える.

#### 【註】

1. ここでの写真測量は主に地上(近接)写真測量を指す.航空写真測量は依然様々な用途に活用されている.
2. M.J.Westoby 他, Structure-from-Motion' photogrammetry A low-cost, effective tool for geoscience applications, Geomorphology 179 (2012)
3. SIFT(Scale Invariant Feature Transform)とは各画素に対して回転・スケール・照明環境の変化の中に不変な特徴量を見出す技術
4. 特徴点とは色彩や濃淡などの変化が顕著な画素のことを指す.
5. MMS や航空レーザー測量などの移動体からの計測方法はあるがこれらはここ扱っている地上型レーザースキャナに比べ精度が落ちるため用途は限られているため例外とする.
6. THE JOURNAL OF SURVEY 測量 2013.9 17 より

\*樹計測リサーチコンサルタント

\*KEISOKU Research Consultant CO.