

PPK を利用した UAV – SfM による積雪深計測の検証

国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所 松芳健一、宇佐美淳^{※1}
(株) 建設技術研究所 鴨志田毅、池上浩二、内柴良和、○河野元

1. はじめに

火山噴火時には土砂災害防止法および緊急減災対策砂防計画に基づく緊急調査を実施し、被害が及ぶおそれのある区域等に関する情報を迅速に発表する必要がある。

しかし、実際の火山噴火発生時には、火山現象によって調査員が被災する可能性があるだけでなく、噴火警戒レベル引き上げに伴う火口周辺・入山規制や居住地域での避難勧告・指示等によって、緊急調査を実施することが困難なケースも多い。安全かつ効率的な緊急調査手法として、無人航空機(UAV: Unmanned aerial vehicle)の利用が有効と考えられ、実際に活用されている事例もある(例: 草津白根山, 2018年の噴火など)。

今回対象とした福島県に位置する安達太良山では、冬季噴火時の融雪型火山泥流による甚大な被害が想定されており、融雪型火山泥流のリアルタイムシミュレーションを実施するための火口付近の積雪量把握が重要であると考えられる。

2. 検証の目的

前述のように、冬季における安達太良山の噴火では、融雪型火山泥流が発生するおそれがある。融雪型火山泥流の正確な被害想定のためには、火口周辺の積雪量を安全かつ迅速に計測する必要があるが、安達太良山山頂付近では積雪観測が実施されていないため、この点においてUAVの活用が期待される。そこで、緊急減災対策の行動計画検討の一環として、UAVによる実効的な積雪量計測を確立することを目的に検証を行うこととした。

3. 既往の研究

UAVで撮影した画像からSfM(Structure from Motion)により三次元モデルを作成し、積雪前後の地形モデルとの差分により積雪量を把握する研究が雪崩の研究分野等において実施されている。特に積雪面のSfMでは、一面が白く表面テクスチャが乏しいため、写真間の特徴点不足がネックとなるが、これを解消するためには、RAW画像(色や明るさを補完・補正する前)を利用することが推奨されている(図-1: 内山・他, 2014)。

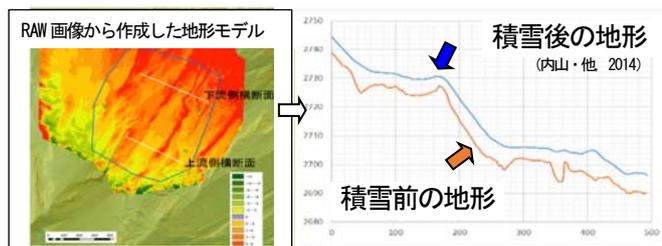


図-1. RAW画像とSfMを活用した積雪深推定の例

※1: 現・仙台河川国道事務所

4. 検証内容

4.1 検証のポイント

積雪前の地形モデルとの差分解析を行うためには、SfMにより作成するモデルに正確な位置情報を付与する必要がある。位置情報は、地上基準点(GCP)を設置して精度を高めているが、火口周辺の積雪調査の場合、GCPを設置することは極めて困難である。そこで、本検証では、GCPを設置せずに高精度の位置座標を取得できる技術であるPPK^{※2}を利用し、火山調査において実用的なUAVによる積雪量観測手法について検証を行った。



図-2. PPKを搭載したUAVと解析対象(駐車場)

※2: PPK(Post Processing Kinematic)→地上基準点(GCP)を設置しなくても高精度に位置座標を取得できるシステム。UAVに搭載する高精度のGNSS受信機と電子基準点に基づく仮想基準点を用いることで、高精度の座標を持った写真を撮影できる(水平、垂直誤差=±3cm)。

4.2 検証手順

使用した機体はPPKシステムを搭載したDJI社製のInspire2であり、解析対象は安達太良山山腹の母成駐車場(約50m×100mの範囲)とした(図-2)。焦点距離35mmのカメラでRAW画像を取得し、解析ソフトはAgisoft Metashape Professionalを使用した。検証の概要を以下に示す。

- (1) 高度100mからの空撮
 - ・高度 100m で空撮を行った。
 - ・空撮画像の SfM 処理により積雪期地形モデルを作成し、H20LP との差分解析により積雪状況を計測する。
- (2) 高度50mからの空撮
 - ・高度による積雪期地形モデルの計測精度を検証するため、高度 50m で空撮を行った。
 - ・その他の条件は、検証(1)と同じ。
- (3) 人工的な地形改変後の高度50mによる空撮
 - ・地形変化の測定精度を検証するために、人工的な積雪面の改変を行った後に高度 50m から空撮を行った。
 - ・検証(2)の地形モデルとの差分解析により、地形変化測定精度を検証する。

5. 検証結果

各検証におけるSfMとH20LPを用いた三次元モデルの差分解析の結果では、駐車場の縁石に吹きたまっている積雪が表現される等、駐車場内の積雪分布は概ね表現されていることが確認できた。各検証の結果を以降に示す。

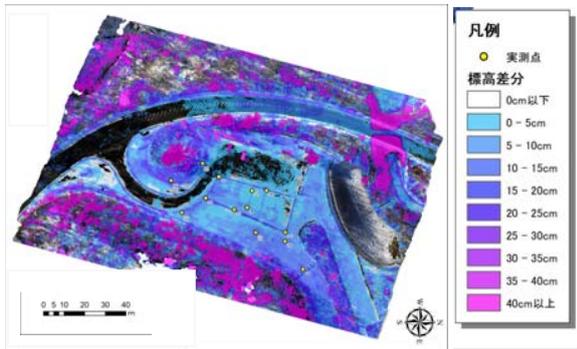


図-3. H20LP と高度 100m の SfM 地形モデルの差分

5.1 高度 100m からの空撮

撮影画像94枚で解析を行った。複数点において当日実測した値とSfM計測値を比較した図-4を見ると、その差は平均数cm以内であり、融雪型火山泥流の規模検証としての精度は十分確保できていると考えられる。

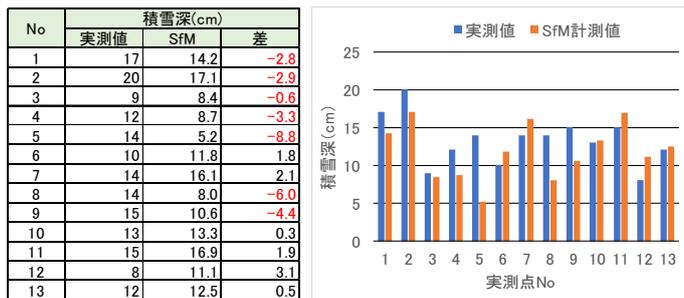


図-4. 実測値と計測値の比較 (高度 100m と H20LP)

5.2 高度 50m からの空撮

撮影画像234枚で解析を行った。図-5に当日実測した値と高度50mと前述の高度100mによるSfM計測値の比較を示す。両高度による空撮での差は、1~4cm程度であり、高度100mとの差は大きくないと言える。

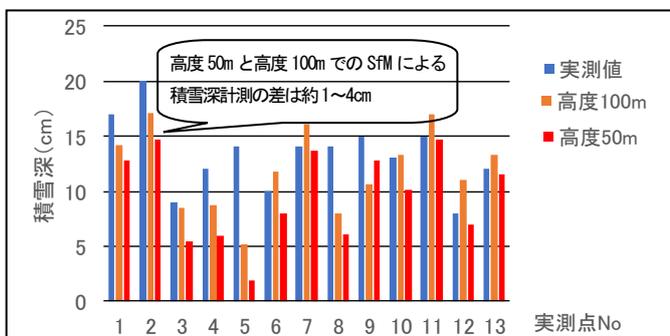
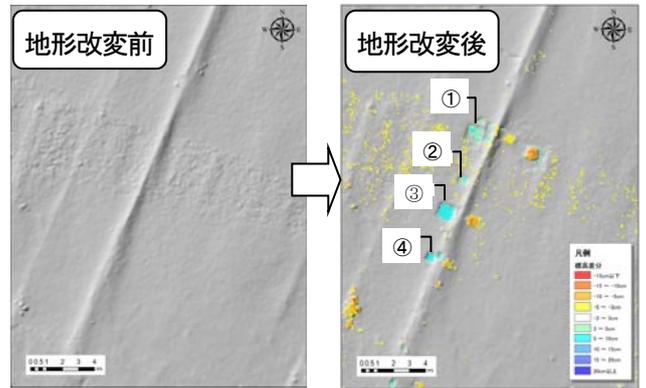


図-5. 実測値と計測値の比較 (高度50mと高度100m)

5.3 人工的な地形改変後の高度 50m による空撮

雪面を人工的に改変した後に高度50mで空撮を行った。図-6に示すのが改変後に空撮した写真から作成した地形モデルあり、図中①~④で改変箇所を明瞭に把握できる。



| 改変地 | サイズ | | | 容積 (cm ³) | Sfm解析 | |
|-----|-----------|-----------|------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| | 縦 (cm) | 横 (cm) | 深さ (cm) | | 平均深さ (cm) | 容積 (cm ³) |
| ① | 100 | 100 | 5 | 50,000 | 3.4 | 30,944 |
| ② | 50 | 50 | 5 | 12,500 | 3.6 | 8,738 |
| ③ | 100 | 100 | 8 | 80,000 | 6.8 | 58,695 |
| ④ | 50 | 50 | 10 | 25,000 | 7.7 | 10,804 |

図-6. 地形改変前後の差分図と積雪深の解析結果

図-6の地形改変後の地形モデルの差分解析図から、改変地のサイズに対してSfMで作成した地形モデルで計測した平均深さや容積も概ね実測に近似した値が得られている。UAV空撮によるSfM差分解析では、少なくとも10cm程度の精度で積雪深の把握は可能と判断される。

6. 検証の成果

PPKを活用したUAV検証の成果を以下に示す。

- UAV 測量の緊急調査への適用に最大のネックとなるのは地上基準点(GCP)の設置であるが、PPK方式を採用することで基準点設置を省略しても十分な精度を有する画像取得が可能であることが明らかとなった。
- 積雪面の地形モデルを精度よく作成するためには、既往文献のとおりRAW画像を取得して解析することで解決できる。
- 高度の違いによる地形モデル作成精度の差は小さく、高度100mでも十分な精度の地形モデルが作成可能である。
- 既存LPとの差分により、積雪深を10cm以下の誤差で計測可能であり、融雪型火山泥流の発生規模を予測するための他の積雪深把握手法としては、十分な精度を有していることが確認できた。
- 安達太良山のように山頂付近で積雪観測されていない火山でも、既存のLPデータとの比較によって、実質1日程度あれば計測可能である(積雪前のUAVによる事前の地形データ取得の時間や火口付近まで調査員が赴くリスクやを回避)。

これらのことから、冬期の火山緊急調査において、UAVを用いて積雪深を安全かつ迅速に把握することが可能であると考えられ、より迅速なリアルタイムハザードマップの作成のために有効な手段になる可能性がある。

【引用文献】内山正一郎、他(2014): SfMによる積雪環境の三次元モデリングと積雪深推定, 雪氷研究大会(2014・八戸) 予稿集