

PPK を利用した UAV-SfM による火口周辺の積雪深計測

株式会社建設技術研究所 ○内柴良和、笹山隆、家田泰弘、河野元  
国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所 三浦英晃、土田海斗

1. はじめに

冬季、火口周辺に積雪のある火山が噴火すると、融雪型火山泥流が発生する可能性がある。融雪型火山泥流による危険区域を数値シミュレーション等で予測するためには火口周辺の積雪状況を把握することが必要であるが、活動が活発化した火山の火口周辺で積雪観測を行うのは容易ではない。

そこで今回、福島県の安達太良山をフィールドに噴火時の規制区域外から UAV を使用して火口周辺の空撮を行い、SfM (Structure from Motion) 解析により積雪分布を面的に把握する実証試験を行ったので報告する。

2. UAV-SfM による積雪深計測の留意点

2.1 位置精度の確保 (PPK 利用)

非積雪期の LP データ等との差分で積雪量を把握するためには、高い位置精度(数 cm 程度)を持った地形データを作成することが求められる。高精度な SfM 解析を行う手法として、地上基準点(GCP)を配置することが一般的であるが、活動的な火口周辺で GCP を配置することは困難であり、事前に設置しておいても積雪により見えなくなる可能性がある。この課題に対しては PPK (Post Processing Kinematic:後処置キネマティック)方式を利用し、UAV の位置情報を高精度で取得することで解決が可能である。

2.2 写真撮影

積雪面の空撮画像は、表面テクスチャーに乏しいため、写真間の特徴点が不足することがネックとなるが、既往の研究により RAW 画像を利用することでこの問題が解決できることが示されている<sup>1)</sup>。

2.3 精度検証 (R 元年度検証試験)

先行試験として令和元年度に PPK システムを搭載した UAV による積雪深計測の実証試験を実施した<sup>2)</sup>。その結果、UAV-SfM により計測した積雪深と実測値の誤差は10cm以下であり、実用上十分な精度で計測できることが確認された。

3. 安達太良山火口周辺積雪深計測実証試験概要

3.1 離発着場所

安達太良山の噴火警戒レベルによると、融雪型火山泥流が居住地に影響を及ぼす可能性があるレベル4・5の場合、火口(沼ノ平)から4kmの区域が影響範囲として規制される。そこで、火口から4kmの圏外である「母成峠駐車場(標高964m)」を UAV 離発着場所とした(図1)。

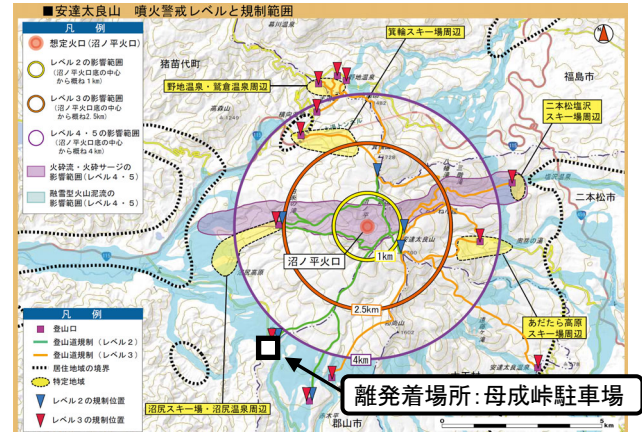


図1 離発着点位置 (図は安達太良山の噴火警戒レベルより)

3.2 使用機材選定

離発着場所から火口壁の最標高地点(1,709m)までは直線距離で約5.5km、高低差約800mあり、長距離かつ高高度の飛行が必要となる。また、冬季は風の強い日が多く耐風性能も機体に求められる。長距離飛行の信頼性と耐風性能の観点では回転翼と比較して固定翼タイプの UAV が適しているが、母成峠駐車場に滑走路を確保することはできない。そこで、本試験では、滑走路を必要としない垂直離着陸型(VTOL)の固定翼機を使用することとした。

使用した機体を図2に示す。なお、この機体に PPK システムを搭載して試験を実施した。



項目	仕様
機材	Wingcopter178 Heavy Lift
寸法	178cm×132cm×52cm
最大離陸重量	16kg
カメラ画素数	11,644×8750 (1億画素)
レンズ	35mm
地上解像度	約3cm/px

図2 使用機材 (VTOL 型 UAV)

4. 実証試験結果

令和3年1月28日に実証試験を行った。離陸からの総飛行距離は約22km、飛行時間は19分であった。

また、試験当日の気象庁猪苗代観測所(標高519m)の最深積雪深は28cmであった。

#### 4.1 SfM 解析

火口上空を旋回しながら対地高度約 260m で撮影した垂直写真 468 枚を使用して SfM 解析を行い、オルソフォト、DSM (Digital Surface Model) を作成した。解析ソフトには Agisoft Metashape Professional を使用した。

図 3 に沼の平火口のオルソフォトを示す。火口底は概ね積雪に覆われているが、南西部に地表が露出している箇所が確認できる。ここは、気象庁資料による地熱帯の位置と合致するため、地熱の影響で積雪していないものと推測できる。

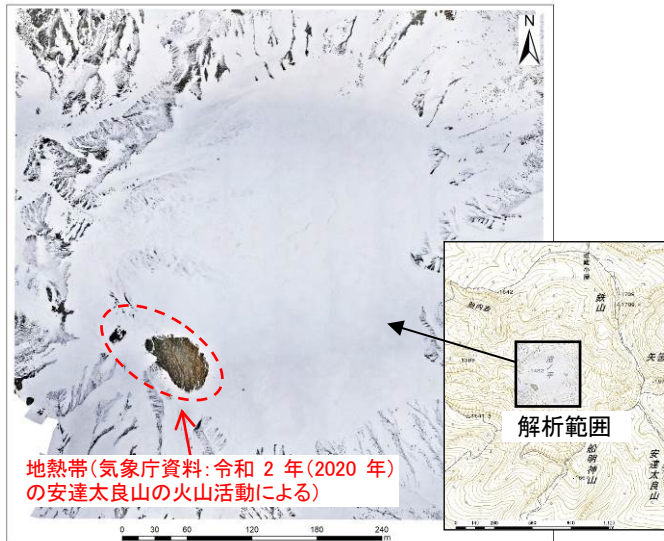


図 3 火口底のオルソフォト

#### 4.2 積雪分布図 (差分解析)

作成した DSM と令和 2 年 8 月に LP で計測した地形データとの差分を取って、沼の平火口の R3.1.28 の積雪分布図を作成した (図 4)。火口底の積雪は一律ではなく谷筋を埋めるように積雪している様子が確認できる。オルソフォトで地表が露出している部分の積雪深は概ね 1cm 以下を示していることから、積雪深の計測精度は確保できていると判断できる。

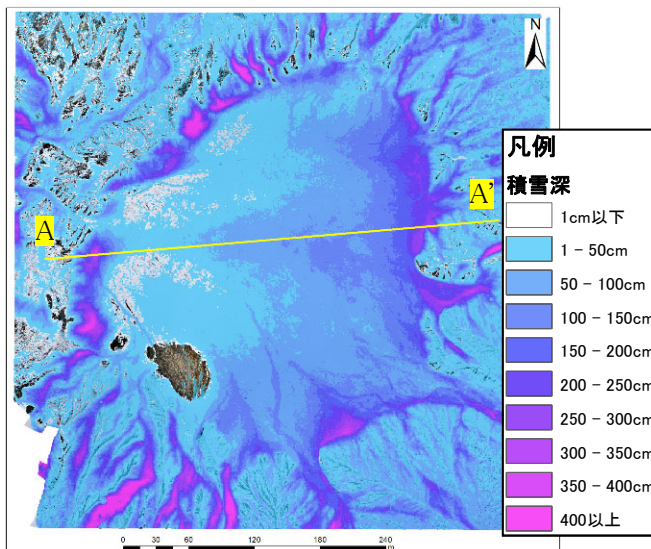


図 4 火口底の積雪分布図

#### 4.3 安達太良山火口周辺の積雪特性

図 4 の A-A' 断面における積雪断面図を図 5 に示した。火口壁と火口底の境界部では 3.0m 以上の厚い積雪が確認でき、風による吹き溜まりを形成しているものと考えられる。また、火口底は東部から西部にかけて緩やかに傾斜しており、積雪深も傾斜方向に減じていく様子が確認できた。

表 1 に解析範囲全体の積雪量と最大及び平均の積雪深を集計した。解析範囲内の積雪量は約 17.1 万 m<sup>3</sup> で最大積雪深は 7m、平均積雪深は 0.75m であった。参考までに安達太良山のハザードマップでは沼の平火口の平均積雪深を 2m と見積もっている。

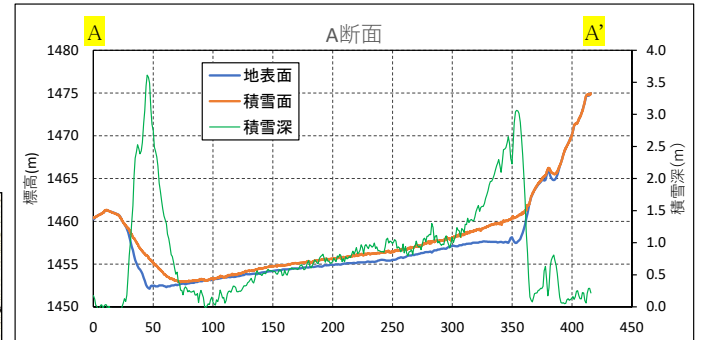


図 5 積雪断面図 (A-A' 断面)

表 1 積雪量と最大平均積雪深

集計区分	積雪量 (m <sup>3</sup> )	最大積雪深 (m)	平均積雪深 (m)
解析範囲全体	171,025	7.00	0.75

#### 5. まとめ

今回の試験の結果、垂直離着陸型の固定翼 UAV を利用することで、噴火現象の影響範囲外にある狭い離発着陸場所から火口まで長距離飛行して火口の写真を撮影できることが実証できた。

また、PPK システムを利用することで既存 LP との差分から火口の積雪状況を面的に精度良く把握できることを確認した。火口付近の積雪は地熱の影響等もあり一律ではないため、融雪型火山泥流のリアルタイムハザードマップを作成するために入力する融雪水量の設定には、面的に積雪状況を把握することが重要であると考えられる。

今後は融雪型火山泥流の発生が予測されている他火山でも離発着陸場所や飛行ルートを検証を行い、融雪型火山泥流のリアルタイムハザードマップ作成手法として確立を目指したい。

#### 【参考文献】

- 1) 内山, 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
- 2) 松芳, 他 (2020) : PPK を利用した UAV-SfM による積雪深計測の検証, 2020 年度砂防学会研究発表会概要集