

火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚計測手法の開発と検証

工学院大学 羽田靖史, 柳澤恵里佳, 横山龍一
東京大学 永谷圭司

イームズロボティクス株式会社 銭谷彰

国際航業株式会社 皆川淳, 島田徹, 永田直己, 金井啓通, 坂本あいの, 北原遼太

1. はじめに

火山噴火時は、火山灰等の堆積により土石流が発生しやすくなるため、渓流の降灰状況や雨量を観測する必要がある。しかし、火口周辺は立ち入り制限区域内となるため、火口近傍に源頭部をもつ渓流は、遠隔からの迅速な降灰状況把握が求められる。近年は無人調査技術の開発が進められており、事前にスケールを設置し UAV で確認する手法¹⁾、UAV で計測機器やスケールを設置して計測する方法²⁾などがある。しかし、これらの手法は、噴火前に降灰範囲を想定してスケール等を設置することが前提であり、設置するタイミングや場所を決定することが難しいことや、設置と計測という2段階の作業を要するという課題がある。これらの課題に対して、著者たちは R2 年度に、降灰堆積後に調査地点の降灰厚を直接計測する機材（降灰厚計測デバイス、以下、デバイス）およびデバイスを UAV により運搬・設置する技術を開発した³⁾。本研究では、これらの技術の機能向上、及び実用化を目指した浅間山での実施手順の現地検証（対象範囲を図-1 に示す）を行い、調査に必要となる所要時間や留意点について整理した結果の報告を行う。

2. デバイスの概要と改良点

R2 年度の検証において、当初目標としていた 2cm 程度の火山灰を除去し、厚さを計測できることが確認されたため、R3 年度では、より厚い降灰に対応できるようにデバイスの改良を行った。目安とした厚さは、既往の噴火事例において、降灰後の土石流が発生する可能性が高くなる 10cm とした。

10cm の降灰厚を計測するためには降灰厚の表面から深さ 10cm の穴を作成する必要がある。そのため、10cm 掘り進めることができるようにデバイスのサイズを大きくした（図-2）。次に、10cm の厚さの降灰に模した土砂に対して、ブラシを回転させて土砂の底が目視で確認可能なブラシ形状を検討した。ブラシ部分だけでは掘った灰が穴の中に戻ってきてしまうという問題から、掘った灰を穴の外に掻き出す機構として、水平に対して 45° に羽をつけたブラシを選定した（図-2）。



図-1 現地検証位置（浅間山山麓片蓋川）

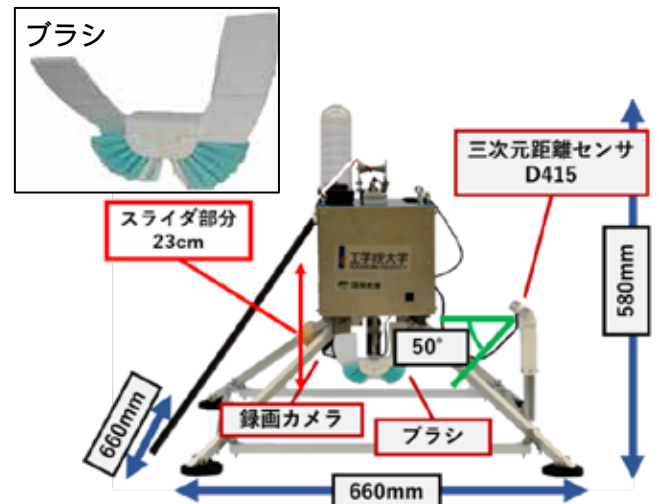


図-2 改良したデバイスの概要

3. 検証結果

以上の改良を踏まえて、現地実験にて計測精度の検証を行った。検証では、コンクリート上に 9.1cm の灰を堆積させ、デバイスのブラシで掘削した形状をデバイス付属の三次元センサで計測したデータと、人が様々な方向から撮影した写真から SfM により作成したデータを比較した。三次元センサを用いた本研究の手法により計測した三次元点群データを図-4 左側、216 枚の写真から SfM により三次元を行い、穴の中心付近で地面に対して垂直に切った断面の形状を図-4 右側に示す。現地検証時は、モータの駆動力不足により 10cm までの掘削は困難であった。算出結果の最深部は 3.6cm、SfM による三次元復元の結果の最深部は 3.5cm であり、三次元センサが SfM と同程度の計測精度であることがわかった。なお、別途予備実験では、6.1cm までの掘削が可能であった。



図-3 改良型のデバイスによる掘削状況

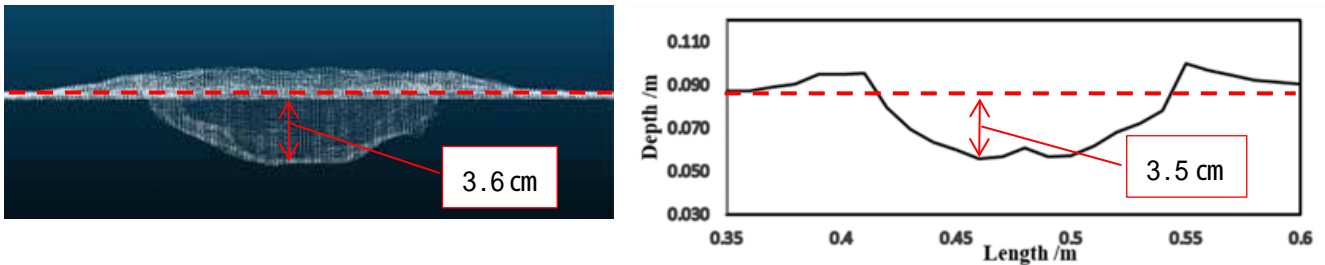


図-4 改良型のデバイスと SfM による計測結果 (左: デバイス 右: SfM)

4. 手順と留意点の整理

本デバイスを実際に運用し結果を得る際の課題や留意点を確認するため、現地検証を浅間山山麓の片蓋川で実施した。検証では、降灰厚計測の一連の流れ(表-2の～)を模擬的に実施し、各作業にかかった時間を計測した。なお、本検証にて UAV の空撮や SfM 対象範囲は R2 年度の計測範囲のうち半分程度とした(図-1, 表-1)ため、解析時間は半分以下となっている。また、具体的な実施手順と所要時間、及び留意点を表-2に整理した。結果として、空撮計画や各種資機材を事前に準備することにより最短 5 時間程度で降灰厚が把握可能であるが、適地選定用データを作成するための SfM 処理に 2 時間程度必要であった。短時間に計測を行うためには、UAV 空撮計画に加え SfM 解析条件を事前に整理しておくことが重要となる。

表-1 UAV 計測・SfM 解析諸元

| 計測・解析諸元 | R2 | R3 |
|---------|--------|-------|
| 対地高度 | 100m | |
| 地上解像度 | 約2.4cm | |
| 撮影間隔 | 1 枚/s | |
| ラップ率 | 0L96% | SL60% |
| 解析写真枚数 | 1021枚 | 512枚 |
| SfM解析時間 | 約7時間 | 約2時間 |

表-2 実施手順と所要時間及び留意点

| 実施項目 | | 時間(時間:分) | | 留意点 |
|----------------------|--|----------|------|---|
| 実施手順 | 作業内容 | 所要時間 | 累積 | |
| UAVによる空撮 | 資機材準備 飛行テスト、空撮飛行、 結果確認、データ移動 | 0:48 | 0:48 | ・飛行実施中の噴火リスクへの対応 ・効率的な撮影範囲、ラップ率の事前設定 |
| 三次元化処理 (SfM処理) | 写真選定、計算パラメータ設定 処理(点群作成まで) 結果のエクスポート | 2:13 | 3:01 | ・解析時間削減のための不要写真の削除 ・必要範囲の点群データ生成確認 ・解析条件の事前設定 |
| デバイス設置のための 適地選定 | 計算準備 適地選定処理 結果のエクスポート | 0:07 | 3:08 | ・処理結果とオルソフォトを比較すること による妥当性検証 |
| 降灰厚計測のための 飛行計画作成 | 飛行コース、計測箇所決定 計画の確認 | 0:20 | 3:28 | ・GCP補正が使用できないため、コース設定 時に標高値の精度には留意し、必要に応じて 飛行高度は高めに設定 |
| 降灰厚計測 (降灰厚計測デバイス) | 資機材準備(動作確認) 飛行テスト・デバイス稼働飛行 取得成果変換・確認、降灰厚算定 | 0:51 | 4:19 | ・三次元画像と補助カメラ、全方位カメラ を比較することによる妥当性検証 |

5. まとめ

R2 年度に開発したデバイスのスケールアップ、及びブラシの改良によって 2cm 以上の掘削を可能とした。また、実運用に向けて UAV の空撮から降灰厚計測までの一連の流れを活火山である浅間山山麓で実施し、所要時間や留意点を整理した。その結果、試験機材や UAV 飛行計画の準備をすることで、5 時間程度で降灰厚を計測することができたが、SfM 処理がボトルネックとなることが確認された。

6. 今後の課題

実際の災害時を想定して迅速な適地選定～計測作業となるように、火山ごとに UAV 空撮計画や SfM 処理の解析条件の事前検討が重要と考えられる。さらに、多様な現地条件での動作検証や適地選定プログラムの汎用性を向上させることで、デバイスの信頼性や運用性を向上させることが重要と考えられる。

【謝辞】

本研究は、河川砂防技術研究開発地域課題分野委託の支援を受けました。また、国土交通省利根川水系砂防事務所には、現地試験実施のために関係機関と調整をして頂きました。ここに厚く御礼を申し上げます。

【参考文献】

1) 金崎ら(2018), “火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その2”, 平成30年度砂防学会研究発表会概要集, V-125 2) 家田ら(2020), “火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニットならびに UAV を用いた運搬手法の開発への取り組み(その3)”, 令和元年度砂防学会研究発表会概要集, R12-006 3) 脇本ら(2021), “火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚計測デバイスの開発”, 令和3年度砂防学会研究発表会概要集, R1-022