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

工学院大学　脇本健太，横山龍一，羽田靖史
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，金崎裕之，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って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，①事前にスケールを設置し UAV で確認する手法[1)]，②UAV で計測機器やスケールを設置して計測する方法[2)3)]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．本研究は，噴火に伴う立入規制区域内において，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．さらに，デバイスの運用に向けて，浅間山山麓にて実証実験や計測適地選定方法の検証を目的とした現地試験を実施した．以上の開発成果と現地試験結果について報告を行う．

2. デバイスの概要

本研究で開発したデバイスは，UAV に吊り下げて運搬・設置するため，軽量であること（数kg程度），傾斜地（勾配 30 度まで）でも安定して設置できることなどの性能が求められる．また，降灰厚の計測は，土砂災害防止法による緊急調査の必要性の判断根拠となる降灰厚 1 ㎝を判定できることが求められるため，表層の 2 ㎝程度の火山灰を除去し，除去した部分の画像から降灰厚を計測することを目標とした．

以上の開発目標を踏まえて，デバイスは設置地点の降灰を除去するブラシを降下・回転させる部分を四脚にて支持する機構とし，降灰除去前後の地表形状の差分を三次元距離センサーで計測する方法とした（図-1）．このデバイスは重さ 3.8 ㎏で UAV に吊下げ，目標とする計測地点に運搬後，UAV 用のウィンチにより地表面に設置し，降灰状況を計測後に UAV から切り離さず回収する(図-2)．なお，三次元距離センサーはインテル社製 Realsense Depth Camera D415 を使用したほか，周辺の降灰状況を確認するための全方位カメラ（Ricoh　Theta V），計測地点の位置情報を計測するための GPS 等を搭載した．また，降灰を除去するためのブラシは，複数の材質で試験をした上で，湿った灰にも対応できたポリプロピレン製を採用した．

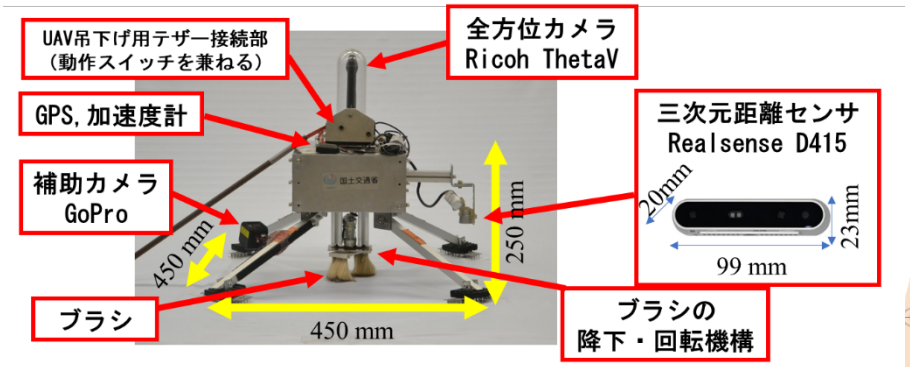

図-1　降灰厚計測デバイスの概要

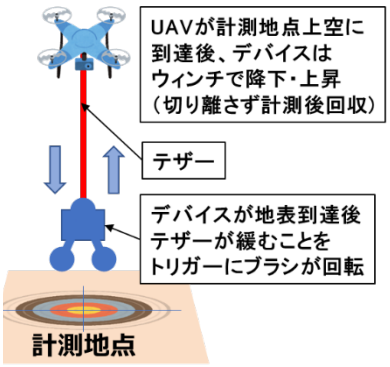

図-2　計測イメージ

3. 計測適地の選定方法

デバイス設置の適地は，障害要素の無い場所を地形モデルから抽出する．そのために，調査対象範囲について UAV による空撮画像を取得し，Structure from Motion （以下，SfM）を用いて地形モデルを作成する．障害要素は，既往の実証実験[4)]で，樹木や低木などの植生の有無，斜面勾配，地表の凹凸などが重要であることが報告されている．そのため，調査用デバイスの設置適地の抽出は，図-3 に示す作業フローの手順で実施した．また，地形モデルから適地を抽出するために，同報告で作成したプログラムを使用した．なお，迅速な適地選定を実施するために必要な UAV 飛行計画についての検討は，本研究発表会の「緊急時における観測機器設置地点の選定を目的とした UAV 飛行計画効率化検証」（北原ら）や既往報告[5)]にて，別途報告しているため参照されたい．

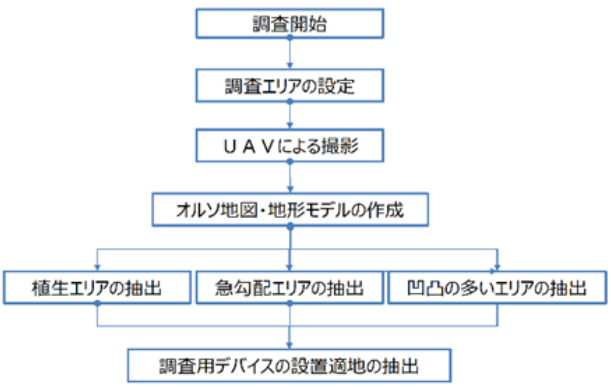

図-3　適地選定の流れ

4. 現地試験結果

デバイスの実証実験や適地選定方法の検証を目的とした現地試験を，浅間山山麓の片蓋川流域にて実施した．最初に，UAV 空撮画像から作成した地形モデルを用いてデバイスによる計測に適する地点選定を行った．障害要素を考慮した適地の条件として，SfM により作成した点群データを基に①勾配条件：0.25m メッシュの傾斜量データが 15° 未満，②凹凸条件：同メッシュサイズ内の点群データによる標高値の標準偏差が 0.06m 以下，③植生条件：点群データの色情報が無彩色の部分を適地として選定した．これらの条件により抽出したエリアの事例を図-4 に示す．適地として抽出された地点を現地で確認した結果，適地の条件を概ね表現しており，適地選定手法としては，妥当と判断した．

また，降灰厚計測デバイスを UAV から吊り下げて運搬・設置・降灰層厚の計測を模擬的に実施する現地実験を 19 回行い，18 回の正常動作を確認した．さらに，三次元距離センサーで 2cm 厚の灰を除去した範囲を計測したところ平均 2.20cm 標準偏差 0.09cm で計測できた（図-5）．これにより，1 割程度の誤差で降灰厚を計測ができることが確認できた．

図-4　適地選定事例（片蓋川 1 号・2 号堰堤付近）

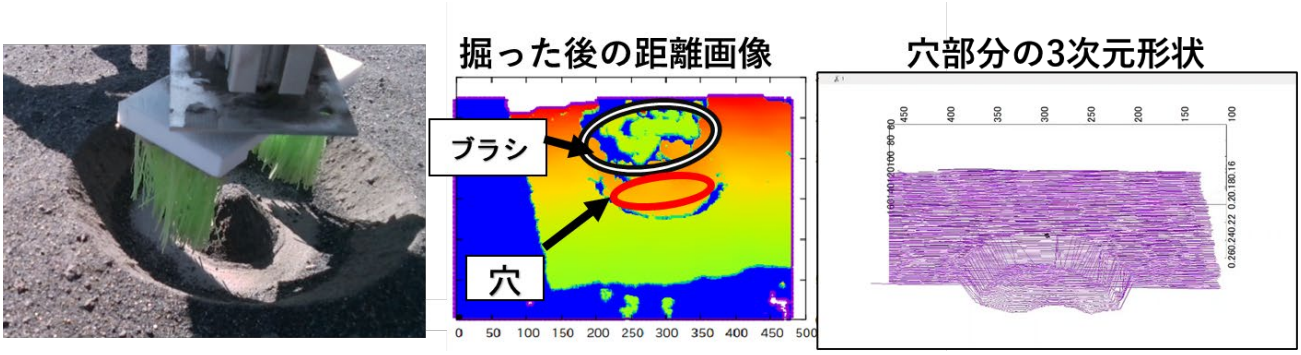

図-5　デバイスによる計測事例（左：降灰除去状況　中央：三次元距離センサー画像　右：三次元データ）

5. まとめ

ブラシの回転制御と上下動制御の機構により安定した火山灰除去が可能で，UAV により運搬できるデバイスを開発した．また，デバイスにより計測可能な適地を選定するための手法を検討し，現地検証により妥当性を確認した．さらに，3 次元距離計測センサーを搭載し，ブラシ回転による火山灰除去前後の形状を比較することで降灰厚を定量的に把握できることを実証実験で確認した．

6.今後の課題

実際の災害時を想定して迅速な適地選定～計測作業をとなるように，多様な現地条件でのデバイスの動作検証を重ねることが重要と考えられる．さらに、実用化を目指して，緊急時に具体的な作業手順を参照できるように，実際に必要となる調査時間や作業体制について整理した上で，作業手順書としてまとめることを検討したい．また，デバイス自体については，実用に向けたわかりやすい操作インタフェースや，降灰厚計測の精度向上等について，引き続き検討を進める予定である．

【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）堤ら（2019），“UAV を用いた火山灰堆積状況および浸透能の概略把握の試み（その２）”，令和元年度砂防学会研究発表会概要集，P-165，3）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，R12-006，4）永谷ら（2019），“飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験”，第 19 回建設ロボットシンポジウム，5）北原ら（2020），“緊急時の観測機器の設置地点選定を目的とした UAV 飛行計画の効率化”，令和元年度砂防学会研究発表会概要集 R12-021