

火山地域における UAV・IoT センサー・SfM 技術等を活用した危険区域調査手法の開発

(株) 建設技術研究所 ○清水万莉子、家田泰弘、近藤圭悟、藤井朗汰、伊藤巧、吉川寛朗
国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 矢野敦久、井上遥

国立大学法人神戸大学 ゴメス・クリストファー

1. はじめに

火山活動が活発化した際に砂防部局では土砂災害防止法に基づく緊急調査等のために降灰状況や土石流流出状況等を把握する必要がある。このための調査を安全かつ効率的に実施するために筆者らは立入困難な危険区域における UAV や IoT センサーを搭載した調査ユニット等を活用した調査手法を検討してきた。

本年度は、昨年度改良した調査ユニットを安全に UAV で運搬する手法を検討し、実運用を念頭に活発な離島火山での実地検証によりユニットの運搬、設置、運用等の現地適用性を確認した。また、桜島を対象に従来検討してきた UAV 空撮による地形変化計測に加え、低コストで観測頻度を補完する簡易な地形取得方法を検討した。

2. UAV で運搬する IoT 調査ユニットによる降灰状況等の緊急調査計画

調査ユニットは、降灰厚や降雨浸透状況の変化を把握するために距離センサーや土壌水分センサーを搭載しており、UAV で危険区域内に運搬設置し時間分解能の高い降灰状況等の情報を取得する調査手法である。調査ユニットは図 1 の通り 3 種類あり、現地状況や観測目的に応じて使い分ける。LoRa 版は、携帯電話通信圏外からもデータを伝送できるよう、LoRa 通信で親機へデータを送信し親機から携帯電話回線でデータを伝送する。LTE ダイレクト版は、携帯電話回線が入る領域であれば単独で観測、伝送が可能であり、太陽光パネルにより充電しながら運用が可能である。堆積構造調査ユニットは携帯電話回線で直接クラウドサーバー上にアップロードされる。



図 1 調査ユニット

2.1 UAV による運搬手法の検討

UAV による運搬は、従来着陸式把持装置とウィンチ装置による設置手法を適用してきたが、適用条件として着陸式は平坦裸地が必要であり、ウィンチは操作系統が複雑になる等の課題があった。これに対して、本年度は UAV にオートリリースカラビナをとりつけ、機体を降下させて設置する手法を開発した。

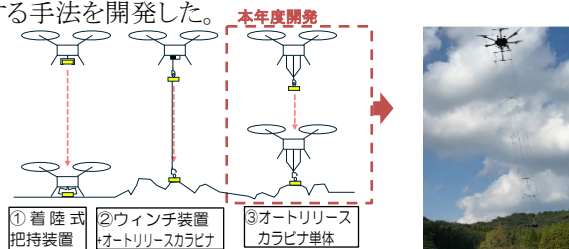


図 2 各種運搬手法イメージ

2.2 離島火山での実地検証

過年度に検討・開発した調査ユニット(改良版)を用いて、実際に噴火による降灰が想定される火山において、運用計画検討、遠隔設置、継続観測を試行した。

対象火山は、これまでに調査ユニット運用試験を実施した箇所を除き、噴火警戒レベルが2以上であり、かつ近年活動が活発で噴火警戒レベルの変更に伴い立入規制範囲が拡張している火山とし、「諏訪之瀬島」を選定した。

2.2.1 UAV による調査ユニットの運搬試験

諏訪之瀬島での UAV による調査ユニット運搬試験は、2024/12/3～12/5 にかけて実施した。発着点には UAV 操縦者、補助操縦者、監視者、作業統括者を配置し、運搬機は Matrice600、チェイス機は Mavic3 を用いた。設置地点の監視員による監視に加え、チェイス機による対地高度の確認を行い、安全に機器の設置ができた。マニュアル飛行による設置作業は補助者による誘導が必要であり、監視者と常時連絡を取りあう体制構築が重要と分かった。

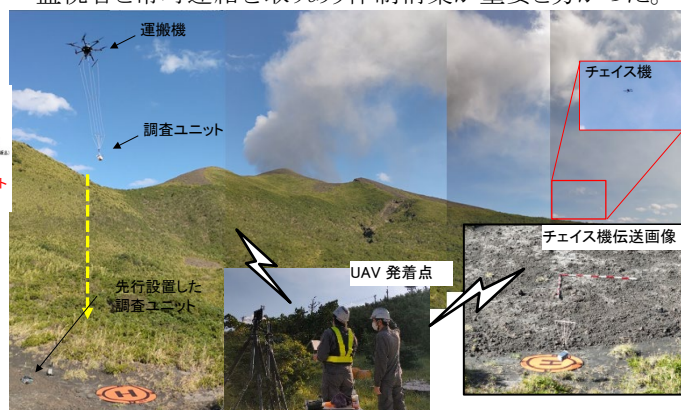


図 3 チェイス機画像および運搬機 FPV 画像を確認しながらのマニュアル飛行によるオートリリースカラビナを用いた調査ユニット設置状況

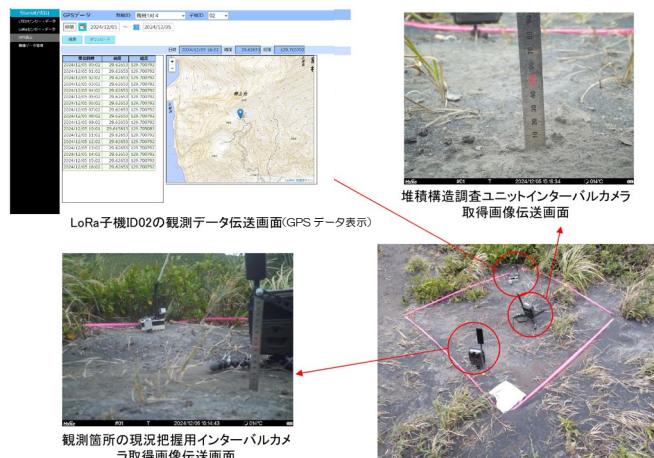


図 4 現地に設置した調査ユニットとデータ伝送状況
2.2.2 調査ユニットによるデータ伝送・観測試験

UAV により遠隔設置した調査ユニットを用いて、継続的なデータ伝送、観測試験を 2024/12/5 から 2025/2/25 までの期間で実施し、観測データから降雨に伴う土壌水分の変化を把握できた。期間内に降雨に対する土壌水分の応答関係が顕著に変化しておらず、距離センサーの観測値にも変化はなかったため、期間内に顕著な降灰はなかったと考えられる。

3. 降灰後土石流流出状況の把握手法検討

3.1 UAV 空撮による地形データの作成・解析

火山噴火時の降灰後に繰り返し発生する土石流流出状況(土砂収支、河床変動状況)を把握する手法として、従来の有人機による LP 計測に加えて、より低コストで高頻度の調査が可能な UAV 空撮及び SfM 解析による土石流発生前後の地形計測を実施してきた。昨年度に引き続き、有村川流域で 2024 年 7 月～9 月の期間に土石流発生前後に 3 回 UAV 空撮を実施し、SfM 解析から DSM 及びオルソ画像を作成し、各期間の地形データの差分解析を行い出水前後の地形変化を把握した。2021 年に顕著な崩壊が発生した昭和火口火砕丘脚部に位置する地点 6 では、断続的に溪岸崩壊が発生し、一時的に土砂が閉塞、一定レベルに達すると流出する動きを繰り返しており、火砕丘からの土砂流出を調節している可能性があることが分かった。

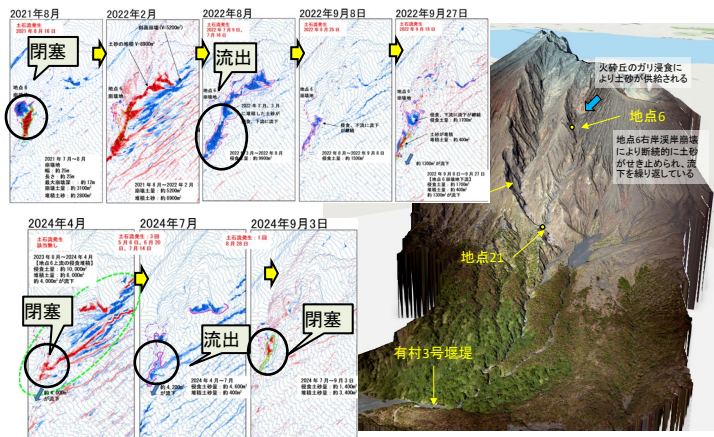


図 5 地点 6 の土砂移動の変遷

3.2 簡易な地形取得方法の検討

従来は、定期的な UAV 空撮により土砂動態を計測していたが、火山噴火後の出水のたびに現地へ行く必要があるため、費用がかかる(コスト)、大規模噴火後には立入規制により現場に入れない可能性がある(安全)、計測の可否は天候に左右されるためデータの時間分解能が低くなってしまう(観測頻度)等の課題があった。

そこで、火山噴火対応を念頭に、これまでの UAV 空撮による計測に加え、低コストで観測頻度を補間する簡易な地形取得方法として、「地上カメラによる SfM 解析」を検討した。複数回の試行結果を踏まえて、撮影位置は対象物からの離隔と適切なラップを確保するために、桜島島外からの撮影も含めて実施した(図 6)。

3.3 差分解析による精度検証

地上 SfM 解析により得られた DSM データ(2025 年 2 月 19 日(本年度実施))と PPK-UAV 計測(2022 年 3 月 30 日(過年度実施))の DSM データ、PPK-UAV 計測(2024 年 9 月 27 日(今年度実施))と PPK-UAV 計測(2022 年 3 月 30 日(過年度実施))の DSM データの差分解析を行い、2 つを比較することで地上 SfM 解析の精度について確認した。

両者を比較すると、土砂動態の傾向が類似しており、2~5m 程度のガリーの侵食傾向が表現できていたことが分かる。また、斜面の部分は、多少の影やゆがみがあっても大きな誤差は出にくいことが分かった。(図 7)

以上より、地上 SfM 解析は一定程度の精度を持つことが確認された。

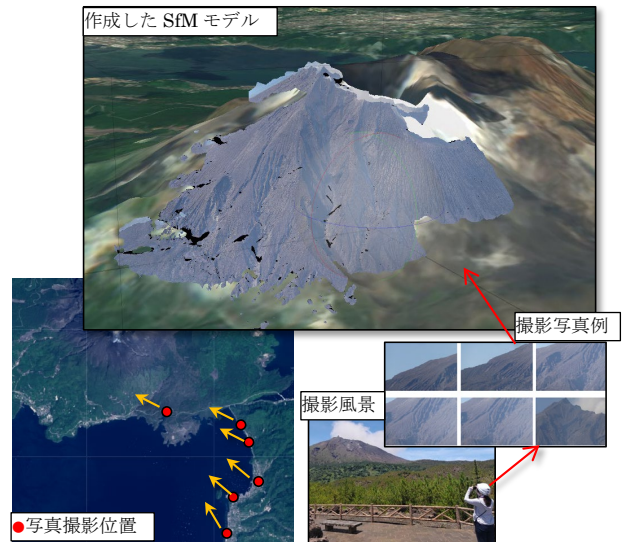


図 6 地上撮影による SfM 解析地形データの作成状況

差分 (①地上SfM解析-③PPK-UAV計測 (2022.3.22))

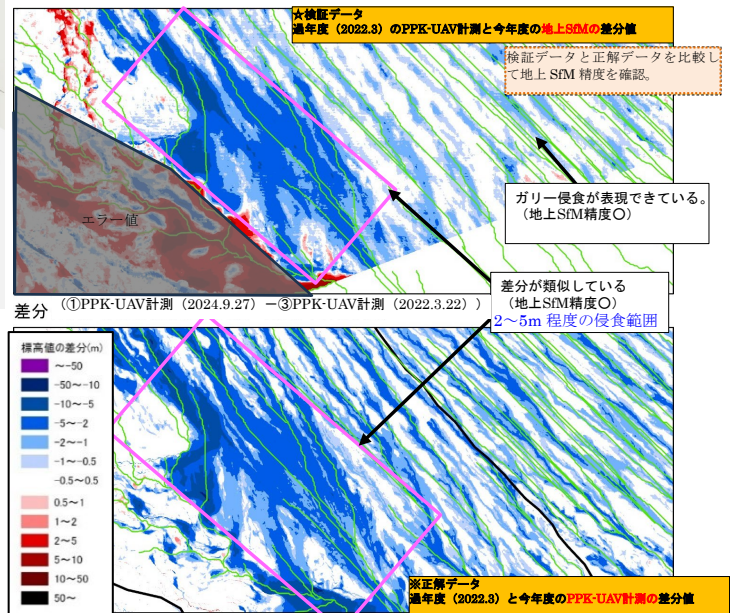


図 7 差分解析結果の比較 (地点 6 付近拡大)

4. まとめ

調査ユニットについては、活発な噴火活動を続ける火山において実際の災害対応に近い条件での実証実験を行い、その有効性を確認することができた。これにより、調査ユニットを実際の噴火災害対応時の緊急調査の一環として運用していく目途が立ったといえる。また、火山噴火後の地形データ取得方法については UAV だけではなく地上カメラによる簡便な手法も活用できることが確認された。これにより、火山噴火時に UAV を飛行させることなく、安全、低コスト、高頻度に地形データの取得が可能となる。

今後はこれらの緊急調査技術を活用し、他の調査手法と総合してより安全かつ効率的な火山噴火対応手法の確立を目指す。

<参考文献>

家田泰弘・河野元・酒匂俊輔・黒木隆・内藤 博, 「桜島有村川における 1 回の土石流による地形変化」, 砂防学会誌 Vol.75, No.5, 2023 年 1 月