

火山地域における UAV 及び IoT 調査ユニットを活用した危険区域調査手法の開発

株式会社建設技術研究所 ○家田泰弘、井内拓馬、河野元、伊藤巧、岩佐直哉
国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 酒匂俊輔、平野礼、三戸谷健

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 を活用した調査手法を検討してきた。本年度は、様々な条件の火山を対象として有効性の高い危険区域調査手法を体系的にとりまとめるとともに、無人航空機による空撮及び SfM 解析等を活用した降灰後土石流流出状況の把握手法や、IoT センサーを搭載した調査ユニットを活用した緊急調査手法の実証実験等を行った。昨年度に引き続き桜島における高頻度 UAV 空撮による土石流前後の地形変化の取得に成功しており、さらにこれらの調査を活動中の火山でも安全かつ効率的に実施するための完全自律飛行システムの適用性を検討した。また、桜島、阿蘇山において IoT センサー搭載調査ユニットの長期観測試験を実施し、耐久性向上等の改良を行うとともに、通信環境に応じて機器構成を変更できるように新しいタイプの調査ユニットを試作した。

2. UAV による降灰後土石流流出状況の把握手法の開発

UAV 空撮及び SfM 解析技術、PPK 技術等を活用し、火山噴火後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）が把握できる地形データを作成した。昨年度に続き鹿児島県桜島の有村川において 2021 年 7 月～2023 年 9 月の期間に複数回 UAV 空撮を実施し、実施毎に撮影画像の SfM 解析を行い、DSM 及びオルソ画像を作成した。さらに各時期間の地形データについて差分解析を行い、出水前後の地形変化を把握し土砂収支の推定を行った。2021 年 8 月までの状況は家田ら(2023)で詳細に報告している通り、2021 年 8 月 16 日の土石流発生時に源頭域の右岸斜面（小流域 3 地点 6）において 3100m³ 程度の崩壊が発生し、溪床を閉塞するような形で堆積した。この後、2022 年 2 月時点で土石流は発生していないが小規模な溪岸崩壊やガリー浸食により閉塞箇所周辺に土砂が

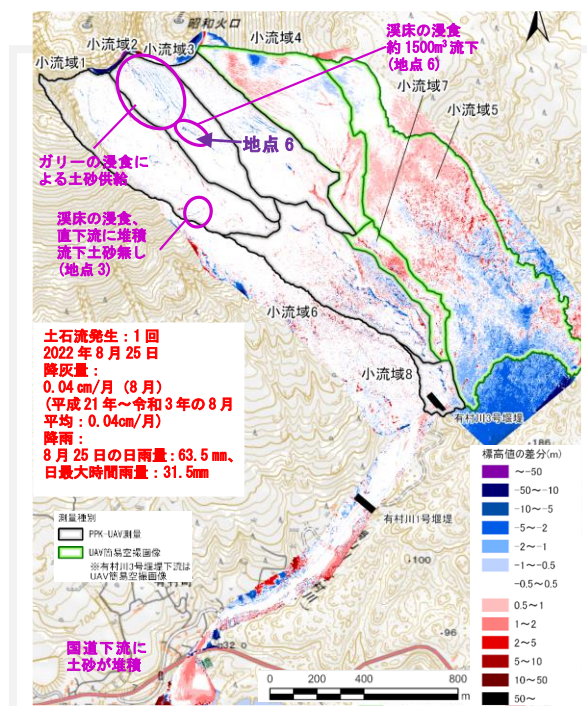


図-1 撮影対象領域（2022/9/8 の差分解析の例）

堆積し、左岸側に新たな崖錐が生じている。さらに 2022 年 3 月には春雨前線の降雨によって崖錐脚部が浸食され、2022 年 8 月には左岸で発生した崖錐の大部分が流出していることがわかる。この間 7/9 と 7/16 に連続的に土石流が発生しており、源頭域から河口域までの一連の土砂収支としては 10 万 m³ 程度の浸食傾向となっていた。さらに 2022 年 9 月には 8 月 25 日と 9 月 18 日に発生した土石流を挟んだ 9 月 8 日と 27 日に UAV 空撮を行うことができており、両期間で地点 6 崩壊地直下に残存していた溪床堆積土砂からそれぞれの降雨後に 1500m³ 程度、1300m³ 程度の浸食が見られた。地点 6 以外についても詳細な地形データを取得することができており、これらを分析することで当該期間に発生した土石流の発生機構を推定できる可能性があり、土石流流出解析時の土砂供給方法等を決定する際の有益な情報になると考えられる。また、このように高頻度な UAV 空撮を行うことで、噴火後に繰り返し発生する降灰後土

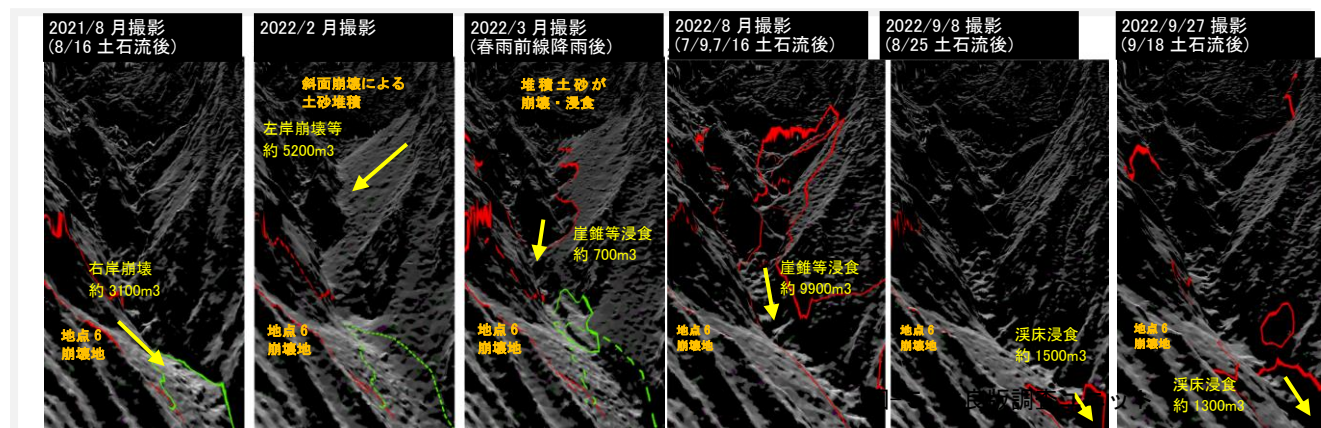


図-2 有村川源頭域の UAV 空撮地形データによる地形変化の把握

石流の発生リスクを把握することが可能になり、土砂災害防止法における緊急調査等の重要な情報となる。

一方で、これらの UAV 空撮を実施するにあたり、これまでは UAV 運用者が現地へ赴きマニュアル飛行あるいは自律飛行による空撮を実施してきた。しかしながら、火山噴火時には噴石等による被災の可能性もあり 2～4km 程度の範囲は立ち入りできなくなる。一方で、近年 UAV の自動離発着、格納、充電、データ伝送等を自動で行う完全自律運用システム(以降、ドローンポート)が UAV 関連各社から発表されており、砂防領域での運用事例なども見られ始めている。そこで、桜島において現地調査を行い、ドローンポートの適用性の確認を行った。適用性の確認にあたっては、電源、通信手段、搬入路等の観点で調査を行った。その結果、桜島では野尻川や黒神川などで適用可能な箇所があり、通信手段を確保できれば有村川でも運用できる可能性があることを確認した。火山地域でドローンポートを運用するにあたって、電源と通信手段の確保および火山灰の稼働箇所への影響が問題となり、無人での目視外運用となる場合の航空法上の扱いも含めて今後の課題である。

3. 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

これまで、筆者らは降灰厚や降雨浸透状況の変化を把握するための調査ユニットを 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を開発している。

調査ユニットは携帯電話通信圏外からもデータを伝送できるように LPWA 通信を用いて子機から携帯電話通信圏内の親機まで観測データを伝送する仕組みとしており、過年度までの実証実験を通じて、見通し外領域での中継装置を活用した UAV による遠隔設置、観測データの中継伝送手法を確立した。本年度は、多様な条件の火山における適用性を向上するための調査ユニットおよびその運用手法の改良を実施した。

これまで携帯電話通信が困難な火山源頭域での運用を想定して、前述のとおり親機子機および中継機によるデータ伝送を行う構成としていたが、全国の主要な活火山の通信環境を整理した結果、半数以上の火山で携帯電話通信圏内領域を利用できることが明らかに

なった。そこで、携帯電話通信圏内領域が比較的広く分布している阿蘇山を対象に、従来型の調査ユニットによる長期観測試験を行うとともに、従来の観測子機と伝送親機の両機能を統合した LTE 版調査ユニットを試作し現地試験を行った。なお、LTE 版調査ユニットは、通信のための消費電力が大きくなる傾向にあるため、消費電力の小さい LTE-M による通信(SORACOM 社)を採用し、小型のソーラーパネルとリチウムバッテリーを搭載することで 2 か月程度の稼働期間を確保した。これとあわせて、専用の基板を製作(BM&W 社)することで、従来版で課題となっていた空中配線箇所の断線等を抑制し、小型軽量化を図った(総重量 1kg 未満)。

調査ユニット設置後の距離センサーの計測結果を下図に示す。降灰厚ではないが、積雪の増減に伴い、積雪深の増減を距離センサーから計測できていることを確認した。併設したインターバルカメラ調査ユニットの画像からも積雪深計測値の妥当性が確認できた。

4. まとめ

有効性が確認できた UAV を活用した火山地域における降灰度土石流流出状況の把握手法を引き続き実施し、土石流流出解析精度向上等に活用するとともに、火山噴火時の緊急調査として、ドローンポート等の完全自律運用機材による調査の効率化、安全確保手法を検討することがのぞましい。また、調査ユニットによる緊急調査はこれまでの親機、子機構成の調査ユニットについては把持装置等を含めて UAV 遠隔運搬手法が確立しているが、LTE 版の調査ユニットについてもウインチ運搬等を含む現地設置、および長期観測運用試験を行い実用に向けた課題を把握する必要がある。また、これらの手法を組み合わせた総合的な緊急調査手法を確立し、実際の噴火災害時に活用できるように、作成したマニュアルを活用した訓練や講習会等により体制を構築しておくことが重要である。

<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

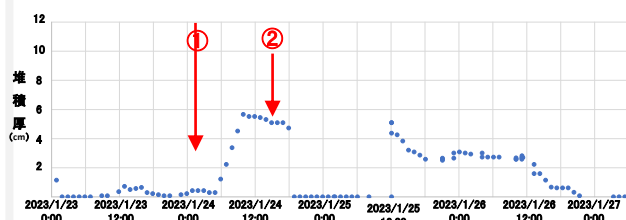


図-3 距離センサー観測結果



左図①1/24日3時積雪0cm



左図②1/24日15時積雪5cm

図-4 インターバルカメラユニットの画像

表-1 調査ユニット実地試験で得られた課題と対応

	課題	対応
稼働期間	汎用性を重視し、市販のアルカリ乾電池による運用としていたが、寒冷地の場合、稼働期間が数週間～1か月弱程度であったため、稼働期間の延伸が望ましい。	バッテリーを大容量のリチウムバッテリーに変更した。(稼働期間1か月以上)
耐久性	機器内部の配線が断線等の故障原因となりやす。	専用基板を作成し空中配線やハンダ付け箇所を減らし耐久性を向上した。
通信方法	携帯電話回線の入らない箇所での運用を前提としてLoRaによる親子構成を前提としたが、携帯電話圏内については子機から親機への伝送は必須ではない。	LTEダイレクト版の調査ユニットを試作し、運用試験を行った。(太陽光パネルと大容量バッテリーを搭載、重量1kg未満)



図-5 改良版調査ユニット

