

火山地域における UAV 等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、清水万莉子、近藤圭悟、井内拓馬、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(現九州地方整備局企画部)、梅本健児、福永みり

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、多様な環境に対応した調査ユニットを開発するとともに、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、各種カメラを活用した緊急調査手法の実証実験を行った。

2. UAV による降灰後土石流流出状況の把握手法の開発

(1) UAV 空撮による土石流流出状況の把握

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た。昨年度に続き鹿児島県桜島の有村川(図 1)において 2021 年 7 月～



図 1 UAV 空撮対象範囲図

2023 年 8 月の期間に土石流発生前後の 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た(図 2)。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 2 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。その後、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 月には崖錐脚部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 月から 2023 年 8 月までの間、5 回の土石流が発生している。2021 年 8 月に生じた溪床の閉塞や 2022 年 2 月に左岸崩壊で生じた崖錐は、2023 年 8 月の時点で大部分が流失し、2021 年 8 月以前の状態に戻ったように見える。このことから当該地点は、2021 年 8 月以降に溪

床に蓄積された不安定土砂による土石流の発生ポテンシャルが高い状態から、通常の状態に一旦回復したと考えられる。このように、高頻度の UAV 空撮を行うことで流域内の土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や緊急減災対策実施に活用すべき重要な情報となる。

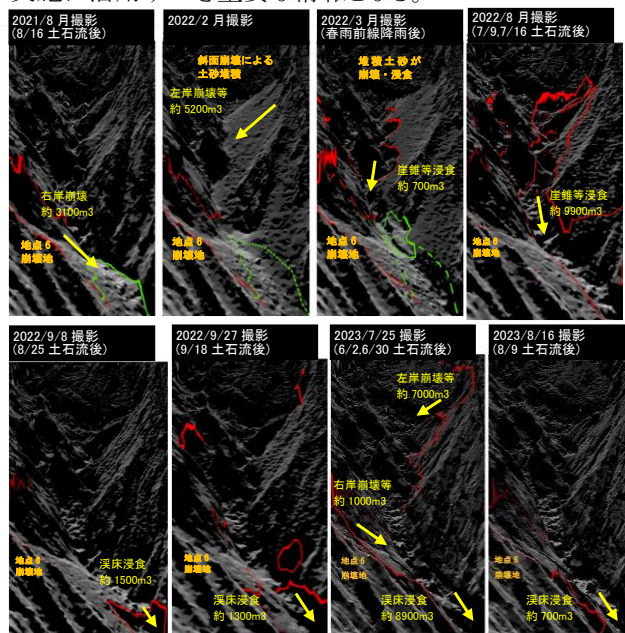


図 2 有村川(小流域 2 地点 6)の UAV 空撮による地形変化把握

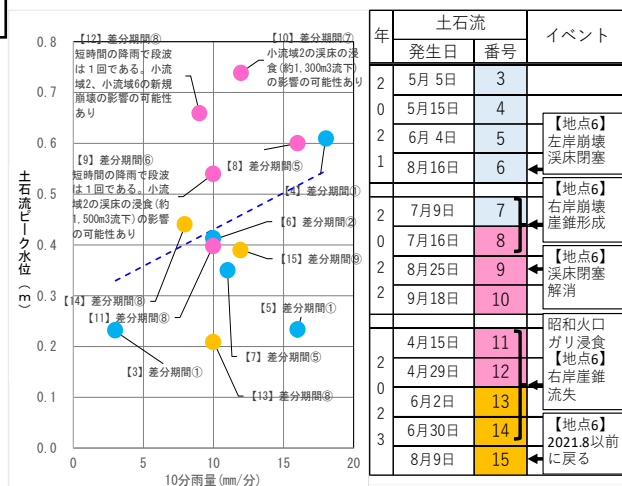


図 3 UAV 空撮地形変化と土石流水位の分析

(2) 土石流発生前後の地形変化と土石流下状況

高頻度空撮により把握した土石流発生域の地形変化は土石流シミュレーションの土砂供給条件等のパラメータ設定に活用できると考えられる。そこで、上記の地形計測結果と土石流発生規模や波形について試行分析した。土石流発生データは国土交通省大隅河川国道事務所から土石流水位観測データを提供いただいた。源頭域に不安定土砂が蓄積された状態の時には、降雨規模が小さくても土石流が発生しやすく規模も大きくなると想定される。そこで、差分解析で得られた土砂生

産イベントと、土石流ピーク水位および 10 分間雨量を整理した(図3)。その結果、地点6における溪床閉塞や崖錐形成のタイミング(土石流番号 6【2021.8】～7【2022.7】)から、降雨に対する土石流水位が高い傾向になり、崖錐等が流失した時期の土石流番号 13【2023.6】以降に低下する傾向がみられた。この傾向が当地点の地形変化のみによって生じているとはいえないが、このような分析を行うことで、土砂生産域の状況から数値シミュレーションを実施する際の条件設定の参考になると考えられる。

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見直し

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た調査ユニット(図4)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(図5)を開発してきた。



図4 調査ユニット

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、観測子機から携帯回線でクラウドにデータをアップロードする親機まで、LPWA 通信(LoRa)で観測データを伝送する仕組みとしており、さらに見通し外領域への中継伝送手法も確立している。昨年度より、携帯電話圏内で簡便に運用できるようにするため、観測子機とデータアップロード親機の機能を有する LTE 版調査ユニットを開発している。また、LTE 版、LoRa 版いずれについても専用の基板を製作(BM&W 社)し、耐久性の向上および小型軽量化を図った。さらに、1 ユニットにつき従来は 1 センサーしか搭載できなかったものを 2 センサー搭載できるように改良した。これにより 1 回の設置作業で距離センサーと土壌水分センサーを両方設置でき、効率的な体制構築が可能となった。(図6)

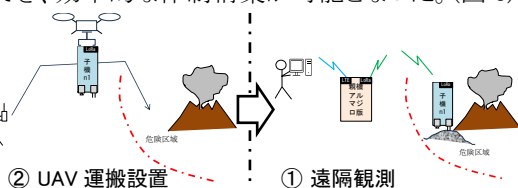


図5 調査ユニット運用イメージ

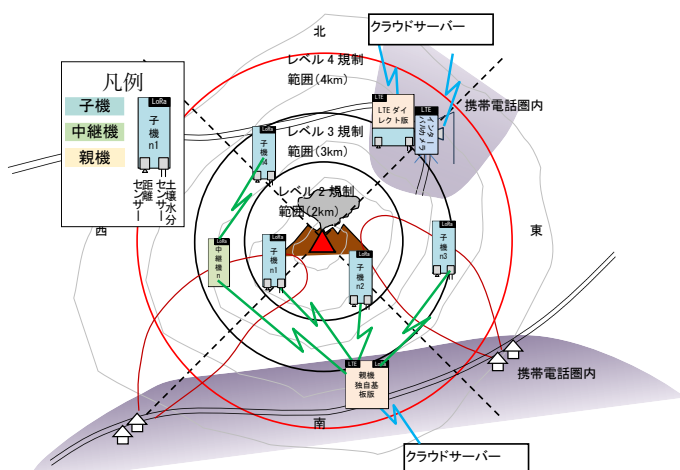


図6 改良版調査ユニットによる監視体制イメージ

4. 赤外線カメラ等による降水浸透特性や降灰状況の面的な把握の試行

調査ユニット設置箇所が土壌水分の分布として特異な地点であると、降灰による浸透能の低下、回復状況を適切に把握できない可能性がある。そこで、赤外線カメラ等で設置箇所が周辺の降水浸透環境と比較して特異な箇所でないことを確認する手法を試行した。あわせて、マルチスペクトルカメラを用いた降灰厚の簡易な推定手法についても検討した。

土壌上に火山灰を人為的に堆積させて散水し、赤外線カメラ(FLIR ONE Gen3)による撮影を行った。その結果、散水前後の温度分布の変化から、面的な土壌水分状態の偏りが把握できることを確認した(図7)。このことから、降雨後に赤外線カメラを搭載した UAV 等で調査ユニット周辺を撮影することで、土壌水分観測点が面的に特異な箇所ではないことが確認できると考えられる。

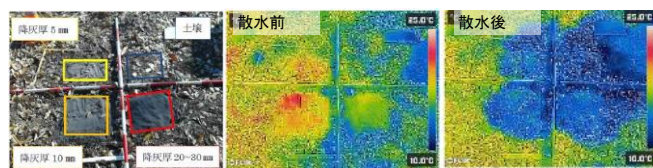


図7 赤外線カメラによる土壌水分状況の面的な把握

また、UAV で降灰厚を面的に把握する方法として、植生に火山灰が付着することで光の反射特性が変化することを念頭に、植生上に火山灰を降らせて、UAV に搭載可能なマルチスペクトルカメラ(MicaSense RedEdge3)を用いて光の反射特性の変化を分析した。その結果、広葉樹と針葉樹で程度の差はあるものの、地表面における降灰厚が 0～3cm が増加するにつれて葉に付着する火山灰が増加することで、可視光の赤波長の反射が増加し NDVI 値としては減少する傾向がみられた(図8)。このことから、UAV に搭載したマルチスペクトルカメラで樹林等を空撮することにより面的に降灰厚が推定できる可能性があると考えられる。

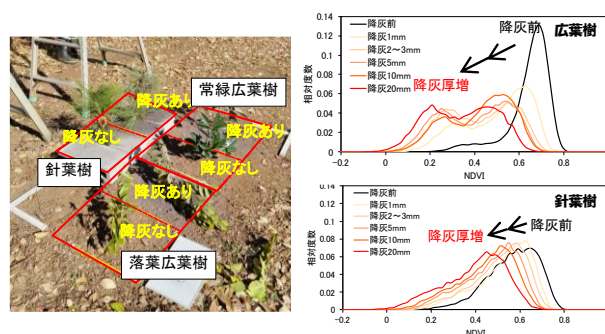


図8 降灰厚変化に伴う植生の反射特性の変化

5. まとめ

これまでの成果から、UAV 等を活用した火山地域における危険区域内の土砂生産に関わる様々な調査方法の有効性が確認され、一部技術については現地運用可能な状態にある。今後はこれらの技術を実際の噴火対応時に現場運用できるように、体制構築に向けた訓練や実地運用試験等を行うことが重要である。

<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