

長期計測を行う地上設置型ガリー監視装置の開発と設置方法に関する研究

工学院大学 ○生出将士 配島巽 宮下裕貴 羽田靖史
国際航業株式会社 島田徹
北海道大学 厚井高志

1. 緒言

本研究は、地上のガリー近くに設置し、ガリー形状の変化を詳細かつ長期的に計測できる監視装置の開発を目的とする。噴火により降灰があった山腹斜面ではその後の降雨によりリルやガリーが発生し、これらが土砂生産源となることで降雨時に土石流が発生し下流で被害を引き起こすことがある[1]。土石流の発生規模を把握し、被害軽減をはかるためにはガリーの監視が重要となるが、噴火後の火口付近は立ち入り制限が敷かれるため、有人調査は困難である。本稿では我々の研究グループが開発している、従来よりも時間的、空間的に分解能が高いガリー監視手法を紹介し、監視機器の開発、監視地点への機器設置方法の検討、ならびにこれらの実証実験について述べる。

2. ガリー監視の従来手法と課題

ガリー計測は航空機を用いた計測が一般である。佐野ら[2]は桜島有村川上流域における航空レーザ測量データからガリーの発生発達および土砂移動の解析を行ない、計測間隔1年の2時期間の地形データから1.66kmの範囲で幅1.0m、深さ0.20mの土砂変化を計測した。しかし、上空からの計測では角度や精度が限定され、水平誤差が $\pm 0.30\text{m}$ 以内、垂直誤差が $\pm 0.15\text{m}$ の計測精度であったため、数cm規模のリルおよびガリーは把握できないものと考えられる。また航空機を用いる計測は、人員や予算、時間を要するため、計測間隔が空いてしまい、ガリーの形状変化の原因となる降雨の特定や、降雨の際の土砂移動の規模など、時間的により高分解能の計測ができないことも課題である。

3. ガリー監視装置の運用手法

本研究では、地上へのガリー監視装置の設置ならびに運用方法について、以下(1)から(4)に示す手法を提案する。ここでは監視するガリーの場所(監視地点)は決まっているものとする。概要図を図1に示す。本手法により範囲は狭いものの、空間分解能、時間分解能共に高い精度で計測ができる。

- (1) 三次元地形データを解析し、監視地点の近くで安全に着地できる地点(着地点)ならびに監視地点までの移動経路を選定する。
- (2) UAVで監視装置を空輸し、着地点に降ろす。
- (3) 監視装置は移動機構を有し、あらかじめ求めた経路に従い、着地点から監視地点まで移動する。
- (4) 監視装置はその場に停止し、ガリーを長期監視する。計測データは無線通信で転送する。

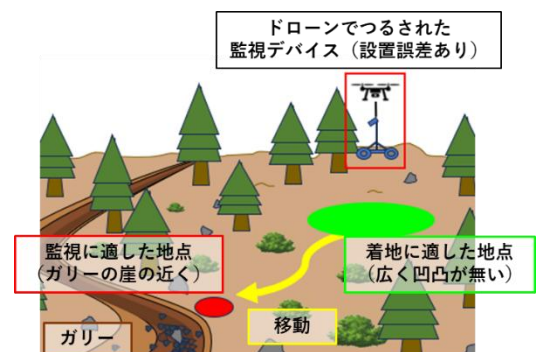


図1 提案手法の概要

4. 実証実験

我々は提案手法の検証を行うため、上述の(1)～(4)それぞれの実験を行った。

(1) 着地点の選定と監視地点までの経路の生成

監視地点はガリーの付近で凹凸や斜度が大きい場合があり必ずしも監視装置の着地には適しておらず、またドローンの揺れなどにより着地位置の誤差が生じる。そこで QGIS を用いて、監視装置の着地に適した条件（地面の斜度 15deg 以下、粗度 0.10m 以下、着地誤差 0.81m）に適した地点を着地点として選定した。また、着地点から監視地点までの移動経路をダイクストラ法を用いて生成した。その際に、移動可能な条件は斜度 20deg 以下、粗度 0.15m 以下を満たす場所とした。これらのパラメータは後述する監視装置の移動機構を元に設定した。図2に小浅間山を例にとった地形解析結果を示す。



図2 着地点の選定と移動経路の生成

(2) UAV を用いた監視装置の運搬・着地

後述する監視装置を、大宮けんぼグラウンドにおいてドローン（イームズロボティクス社製 E6150）を用いて吊り下げ運搬し、同じ場所に着地させる実験を7回行ったところ、そのずれ平均は36cmであった。

(3) 移動機構による着地点から監視地点までの移動

開発した監視装置用移動機構（図3）を図2の経路をもとに実際の浅間山山麓で走行させた。その際、移動のための操作は人間が行った。その結果、凹凸や斜面を正しくよけながら、設定した監視地点まで移動することができた。なお、この移動実験時の監視装置は、計測部分はダミーであったため、計測は行っていない。

(4) 監視装置による長期監視実験

開発したガリー監視装置の全体図を図4に示す。高さ1mの位置に光学式雨量計、熱赤外線カメラ、可視光カメラ、3D-LiDARが搭載されており、晴天時に24時間に1度、雨天時には1時間に1度の頻度で計測を行い、1か月以上の期間、4G-LTE網を用いて計測結果をクラウドにアップロードすることができる。また3D-LiDARでは、10m離れた3cm角の物体の移動を認識することができた。

2024年7月と8月に北海道有珠山の同一のガリーに対して、UAVによる上空からのガリーのSfM差分計測結果（図5）と、開発した監視装置による3D-LiDAR差分計測結果（図6）を比較した。本研究の手法がより詳細に土砂移動を把握できていることを実証した。

またこの装置を北海道厚真町のガリー監視に用いた結果、2024年10月16日から12月3日までの45日間にわたり監視を行なった。この期間中3回の降雨があったが、その中でガリーの形状変化をもたらしたのは10月19日の降雨であることを特定することができた。

また本研究では、ガリーの三次元形状からその土砂流出量を推定するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは3D-LiDARで計測した発生したガリーの断面形状からその幅と深さ、断面積を求め、積分することによりガリーから流出した土砂量を推定する。模擬ガリーで精度の検証を行い、約20%程の誤差があることを確認した。また厚真町のガリーでは流出土砂量を157.6m³と推定することができた。（図7）

5. 結言

ガリーを地上から長期監視するための設置手法の検討と監視装置の開発を行ない、従来の航空測量では難しかった、3cm程度の物体の移動や、土砂移動に寄与した降雨イベントを抽出可能な時間分解能で長期監視可能であることを実証した。しかし計測実験を通して、温度低下によるバッテリー能力の低下や、雨量計やLiDARの誤作動などの多くの課題も見つかった。また移動機構と監視装置の統合はまだできていないため、今後引き続き研究開発を行う。

参考文献

- [1] “降灰後の土石流対策について”，火山防災行政に係る調査企画委員会（第2回），2019年3月27日，国土交通省砂防部 砂防計画課
- [2] “桜島有村川上流における航空レーザ測量データに基づく2015年から2016年の活発な土砂生産場と土砂生産現象の分析”，地形，第44号第1号，p1-20, 2023, 佐野泰志，清水武志，石井靖雄



図3 監視装置用移動機構

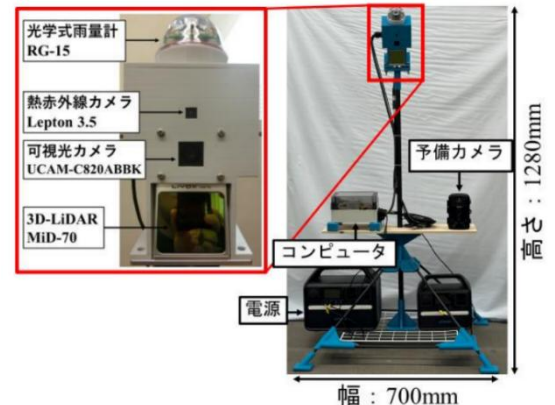


図4 開発したガリー監視装置の試作機

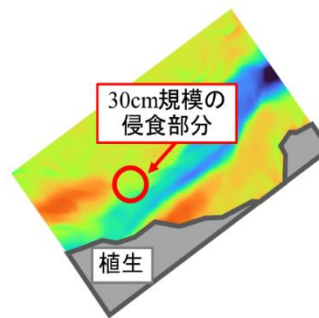


図5 航空 SfM 測量の差分

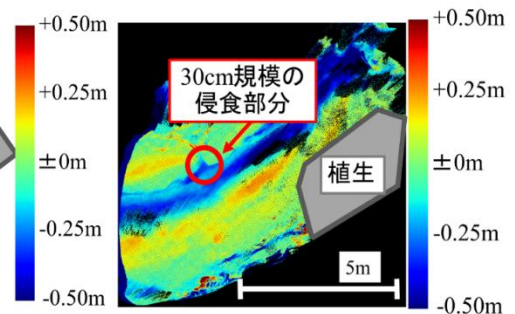


図6 提案手法 3D-LiDAR 計測差分

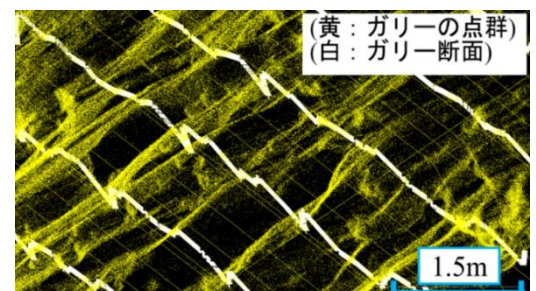


図7 3D-LiDAR によるガリーの三次元計測