

噴火降灰後の土石流発生の検知を目的としたガリー浸食監視手法の提案

工学院大学 ○配島巽 羽田靖史
国際航業株式会社 島田徹 皆川淳 金井啓通
東京大学 永谷圭司

1. 緒言

噴火により火山灰が堆積した流域では、土壌の浸透能が著しく低下するため、降雨による表面流が発生し、土壌表面を浸食することで、ガリーが発生・発達する[1]。ガリーは、雨水や土砂を集中させ土石流の原因となる[2]。しかし、ガリーが発達する噴火中の火口周辺は立入規制となる場合が多く、表面流の発生やガリー形成の過程を現地で詳細に監視することが困難である。この過程を長期に監視するシステムの構築ができれば、土石流の発生を予測するために有効な知見が得られると考えられる。本研究では、ガリー監視のためのセンサの選定を目的とし、本稿ではガリー監視に必要な項目、現場設置型装置に必要なセンサの評価、ガリー監視の課題についてまとめた。

2. ガリー監視に必要な項目

ガリー監視で必要となる計測量は、ガリーの幅及び深さ、ガリー形成に伴う浸食・堆積量、雨量や表面流の流量、ガリーの本数である。特にガリーの状態の変化が想定される、降雨前後、降雨中及び、表面流発生中の監視が求められる。

3. 評価に使用したセンサ

ガリー監視のための現場設置型装置に必要なセンサについて、ガリーの形状取得や表面流の流量を監視したいことから、一般的な CMOS カメラに加え、RGB-D カメラ、3D-LiDAR、赤外線カメラの計 4 種を評価した。RGB-D カメラは、通常の画像情報だけでなく、赤外光を投光するタイプのアクティブステレオ方式で深度情報を取得することが可能なセンサである。また、LiDAR は物体にレーザーを照射し、対象物までの往復時間から物体までの距離を測定するセンサである。また、今回使用した Livox Technology 社製 MID-70 はレーザーの照射時間が長いほど分解能が高まる。以上より RGB-D

カメラ及び 3D-LiDAR はガリーの 3 次元地形の取得が可能と考えた。また表面流の監視について、水深が小さく、泡立ちや水面形状変化が少ない水流は、可視画像では水面を識別できない場合があるため、赤外線カメラを試用し評価を行った。表 1 に各センサの仕様を示す。

4. フィールドにおけるセンサ試験

4.1 フィールド試験について

2022 年 11 月、群馬県浅間山付近の溶岩円頂丘である小浅間山にてセンサ評価のためのフィールド試験を実施し、ガリーの撮影及びセンサによるガリーの形状取得を行った。またガリーに泥水を流し、その様子を赤外線カメラで撮影した。図 1 に試験で使用したセンサ群を三脚に取り付けた様子を示す。



図 1 調査で使用したセンサ群

4.2 センサの評価

4.2.1 BSW20KM11

CMOS カメラの BSW20KM11 の使用により晴天時のガリーの様子を 1280×720px で撮影できることを確認した。定量的ではないが CMOS カメラによる監視は、ガリーの幅及び深さ、ガリー形成に伴う浸食・堆積量、降雨や表面流の発生状況、ガリーの本数が把握できる。

Table 1 使用したセンサの性能

	CMOS カメラ	RGB-D カメラ	3D-LiDAR	赤外線カメラ
型番	Buffalo 社製 BSW20KM11	Intel 社製 RealSense D455	Livox Technology 社製 Mid-70	TELEDYNE FLIR 社製 FLIR Duo Pro R
解像度 / px	1920×1080	1280×720	—	640×512
視野角度 / deg	120	86×57	70.4(円形の視野)	56×45
距離精度 / m	—	4m に対し±2%の誤差	0.02	—
撮影(測定)可能距離 / m	0.01 ~ ∞	0.6 ~ 6.0	0.05 ~ 260	—
熱感度 / °C	—	—	—	0.05
温度測定の誤差 / °C	—	—	—	±5 or 読取り値の 5%以内
消費電力 / W	—	—	8	10
重量 / g	70	74	580	325

4.2.2 Real Sense D455

RGB-D カメラの Real Sense D455 は、太陽光により、赤外反射光を撮影することが困難となり、ガリーの 3 次元地形が取得できなかった。仮に Real Sense D455 による形状取得が可能の場合でも、測定可能距離は最大 6m と 3D-LiDAR と比べ短いため、監視の視野は限定される。以上から Real Sense D455 はガリー計測には適していないと考える。

4.2.3 Mid-70

3D-LiDAR の Mid-70 をガリーの監視に使用したことで、ガリーの 3 次元地形が取得できた。図 2 は Mid-70 で取得した 3 次元点群データであり、画像下中央から上中央にかけ深さ 0.1m から 0.2m 程の溝状の地形が確認でき、ガリーの形状が取得できていることがわかる。Mid-70 の使用による形状取得により、ガリーの幅や深さ及び本数が計測できる。また、ガリー形成に伴う浸食・堆積量が監視できると考える。そのため CMOS カメラの監視に加え、Mid-70 を使用することで、ガリーの状態変化が捉えやすいと考える。

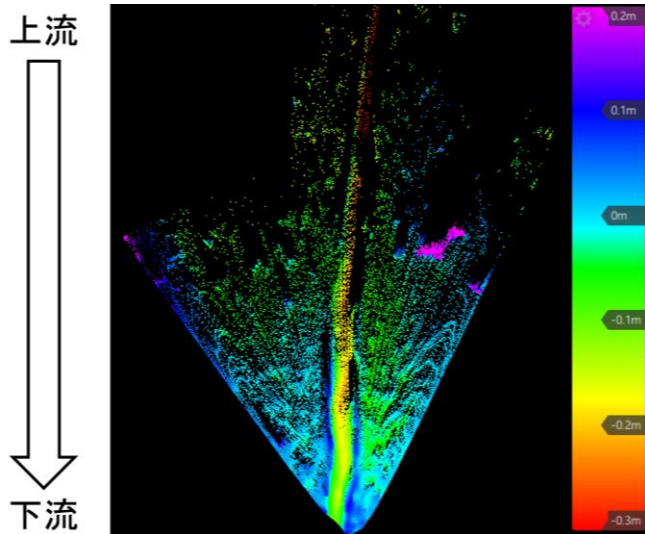


図 2 3D-LiDAR で取得した 3 次元点群データ

4.2.4 FLIR Duo Pro R

ガリーに泥水を流し、その様子を赤外線カメラの FLIR Duo Pro R で撮影したところ、泥水の流れる様子が確認できた。図 3 は FLIR Duo Pro R で撮影した表面流を起こし始めてからの 1sec ごとの様子であり、画像中央に泥水が白く映っている。しかしこれは土壌と泥水の温度に顕著な差があった為と考えられ、FLIR Duo Pro R は表面流を確認しやすいとは言いきれないと考える。赤外線カメラは物体から放射される赤外線を可視化できるものであり、同じ物体の温度は同じ色表示となる。表面流が発生する降雨中や降雨後は、土壌が降雨により温度変化するため、自然環境下では土壌と表面流の温度値は近くなると考えられる。今回の実験のみでは、FLIR Duo Pro R による表面流の監視の有効性について評価しきれないため、観察事例を増やしていく必要がある。

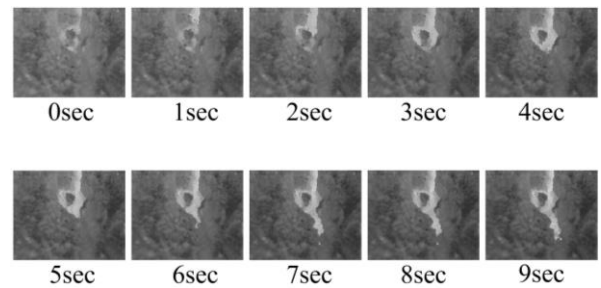


図 3 赤外線カメラで撮影した表面流の様子

5. ガリー監視の課題

5.1 監視期間と時間分解能

ガリー等の発生・発達を無人で長期間の監視することを目指しているが、火山地帯は電源の常時供給ができない可能性があるため、電源の観点から無人機の設定から回収までが長期間かつ常時監視することは難しい。監視期間の決定は今後の課題として挙げられる。またガリーの撮影及びセンサによるデータの取得の時間分解能について、継続的な監視が可能となる監視時間の計画は課題と考え、今後議論を深める必要がある。

5.2 監視対象とするガリー

監視対象とするガリーについて、単独のガリーに注目して監視することで、解像度の高いガリーの形状が取得できるが、土石流の発生予測のための監視を考慮すると単独のガリーだけでは情報が少ない。反対に、複数のガリーを監視する場合、土石流の発生予測の情報は多くなるが、ガリーからの距離が離れる分、CMOS カメラの分解能の低下するため、1 つのガリーの解像度は低くなる。また一定の解像度を得るには MID-70 の駆動時間を長くする必要があり、時間分解能の低下や電源の消費が考えられる。監視対象とするガリーについても課題と考え、今後議論を深める必要がある。

6. 結言

本稿では、ガリーの監視に必要な項目についてまとめ、多種のセンサでガリーを撮影及びデータを取得し評価を行った結果、CMOS カメラの BSW20KM11 と 3D-LiDAR の MID-70 の使用が有効であることを述べた。また、ガリーの監視期間や監視対象のガリーについては課題と考え、今後議論を深める必要がある。

謝辞

本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野（砂防）によって実施されました。また、国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所からは、実験用のフィールドを提供していただきました。ここに感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 小橋澄治, 水山高久, 小杉賢一朗, ヘンドロヤント, “雲仙火山における降下堆積物の浸透特性”, 新砂防=Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering: 砂防学会誌 47(1), p47-50, 1994-05
- [2] “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