

## 研究概要・成果の要旨

研究テーマ：火山噴火継続期を想定した降灰地域内の土砂流出監視システムの開発

研究代表者：羽田 靖史（工学院大学 工学部 機械システム工学科）

## 【研究概要】

本研究では、火山噴火継続期における火口周辺エリアの ril・ガリー浸食の発生および発達状況を定期的（継続的）に把握する技術を開発し、さらにその下流域（土石流の流下区間）において土石流の発生を検知する技術を開発することを目指す。当研究チームで開発してきた、降灰厚計測デバイスの運搬技術や適地選定技術を踏まえて、技術開発が著しい UAV や通信技術を活用し実用的な技術を開発する。

## 【研究成果の要旨】

噴火活動中の火山山腹では、降灰後の降雨により ril やガリーが発生し、土砂の生産源となっている。また、これらの土砂は、一定規模の降雨により土石流となって下流に大きな被害を生じることが懸念される。そのため、噴火による設定される立入規制となる火口近傍の ril・ガリー形成、及びその結果生じる土石流をモニタリングするための技術として、①ガリー浸食等の発生状況を把握する技術、②土砂流出の発生状況を検知する技術、について、最終年度である令和6年度は以下の成果が得られた。

## ①ガリー浸食等の発生状況を把握する技術の開発

昨年度までに行った要素技術の検討結果をもとに、可視光／赤外線カメラ、3D-LiDAR、雨量センサを搭載したガリー監視デバイスの実用試作を開発し、浅間山、有珠山、厚真町等の実フィールドでの実証実験を通して以下を実証した。

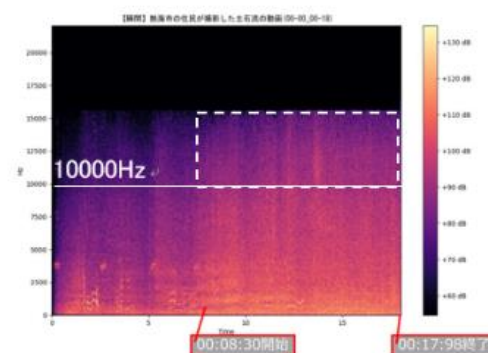
- ・可視光画像、赤外線画像、三次元形状、雨量を取得し通信で転送すること。
- ・LiDAR では 10m 先の 3cm の土砂移動が検知可能であること。
- ・省電力のため、雨天時にはより頻繁にシステム動作を行うこと。
- ・ドローンによる 2km の運搬を行い、35deg 斜面まで着地可能であること。
- ・取得したガリーの三次元形状から土砂流出量を推定できること。
- ・防水・防塵で、雨天時も含め 45 日間の長期監視が可能であること。
- ・移動機構を持たせた試作では 10deg 斜面で監視位置を変更可能であること。

特に厚真町での 45 日間の連続動作実験では、その間の 3 回の降雨のうち 10 月 19 日の降雨の影響で 10 cm から 30 cm 規模の土砂移動が発生したことを確認できた。同時に行った UAV 撮影から求めた土砂移動検知手法（従来手法）に比べて、より細かな土砂移動を、より細かい時間間隔で長期に監視可能であることを実証した。総じて、本研究によりガリー発生状況の把握技術が確立したといえる。



## ②土砂流出の発生状況を検知する技術開発

浅間山近傍で定常的に土砂流出が発生している箇所が存在しないため、ウェブにて公表されている土石流の音付き動画を収集し、周波数と音の強さを時系列でグラフ化してデータの特徴を確認した。また、土石流事例以外の環境音の解析を行い 10000Hz 以下の周波数を示すことが多いことが確認された。一方で、収集した土石流事例では、10000Hz 以上の周波数を示すことが確認されており、他の現象音と区別できる可能性があることが示された。



河川砂防技術研究開発  
【成果概要】

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |                                                     |  |                       |  |         |  |       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------|--|-----------------------|--|---------|--|-------|--|
| ①研究代表者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    | 氏 名（ふりがな）                                           |  | 所 属                   |  | 役 職     |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 羽田 靖史（はた やすし）                                       |  | 工学院大学 工学部 機械システム工学科   |  | 准教授     |  |       |  |
| ②研究テーマ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 名称 | 一般型【テーマ名】<br>火山噴火継続期を想定した降灰地域内の土砂流出監視システムの開発        |  |                       |  |         |  |       |  |
| ③研究経費（単位：万円）<br><br>※端数切り捨て。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    | 令和 4 年度                                             |  | 令和 5 年度               |  | 令和 6 年度 |  | 総 合 計 |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 165万円                                               |  | 165万円                 |  | 165万円   |  | 495万円 |  |
| ④研究者氏名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    | （研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。） |  |                       |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 氏 名                                                 |  | 所属機関・役職（※令和7年2月28日現在） |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 永谷圭司                                                |  | 筑波大学大学院システム情報系・教授     |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 白木克繁                                                |  | 東京農工大学大学院農学研究科・准教授    |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 皆川淳                                                 |  | 国際航業株式会社・主任技師         |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 島田徹                                                 |  | 国際航業株式会社・フェロー         |  |         |  |       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    | 銭谷彰                                                 |  | イームズロボティクス株式会社・取締役    |  |         |  |       |  |
| ⑤技術研究開発の目的・目標（様式地砂-1、地砂-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |                                                     |  |                       |  |         |  |       |  |
| <p>（目的）</p> <p>本研究は、噴火活動の継続する火山周辺域を想定し、立ち入り規制となる火口周辺域の土石流発生・流下状況を無人機器によって監視計測する技術開発を行い、現地での実証実験を通じて実用性を検証する。これらの技術開発により、降灰後土石流による防災対策に必要な情報を収集し、噴火後の2次的な被害拡大の防止・軽減することを研究目的とする。</p> <p>（調査・研究内容及び成果）</p> <p>実験場所：利根川水系砂防事務所管内の火山山麓（浅間山を想定）</p> <p>研究内容：</p> <p>① ガリー浸食等の発生状況を把握する技術開発<br/>開発目標 1：火山灰堆積地に生じる幅 5cm 程度のリルの発生について UAV 等を用いた遠隔調査により把握し、かつその発達状況をモニタリングできる技術を開発する。</p> <p>② 土砂流出の発生状況を検知する技術開発<br/>開発目標 2：UAV 等を用いて遠隔地から調査デバイスを運搬・設置し、土石流の発生を検知するデバイスを開発する。運搬距離は、水平距離で 1000m を目標とする。</p> |    |                                                     |  |                       |  |         |  |       |  |

## ⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

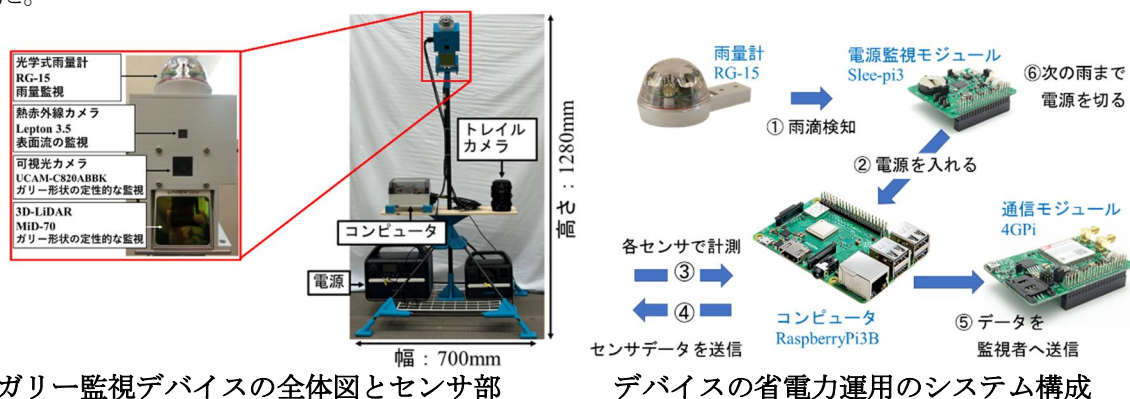
【FS型の場合は、FS研究と一般研究を別立てで記入してください】

噴火活動中の火山山腹では、降灰後の降雨によりリルやガリーが発生し、土砂の生産源となっている。また、これらの土砂は、一定規模の降雨により土石流となって下流に大きな被害を生じることが懸念される。そのため、噴火による設定される立入規制となる火口近傍のリル・ガリー形成、及びその結果生じる土石流をモニタリングするための技術として、①ガリー浸食等の発生状況を把握する技術、②土砂流出の発生状況を検知する技術、について、最終年度である令和6年度は以下の成果が得られた。

### ①ガリー浸食等の発生状況を把握する技術の開発

昨年度までに行った要素技術の検討結果をもとに、可視光／赤外線カメラ、3D-LiDAR、雨量センサを搭載したガリー監視デバイスの実用試作を開発し、浅間山、有珠山、厚真町等の実フィールドでの実証実験を通して以下を実証した。

昨年度行った試作をもとに、カメラ(可視光、赤外線)、3D-LiDAR、雨量センサを搭載したガリー監視センサの実用試作機を開発した。全体図と構成図を下に示す。システムは防水・防塵機能等は有しており、バッテリー動作し、定期的に起動し、各センサデータの取得と処理を行い、4G 通信網を用いてクラウド上にアップロードする。新規開発した四脚部分はドローンでの運搬・着地が可能である。またバッテリーの省電力のため、起動間隔を変更し、晴天時には1日に1回の計測、降雨時には雨量計の信号を元に1時間に1回の計測を行い、より時間的に詳細に計測可能とした。



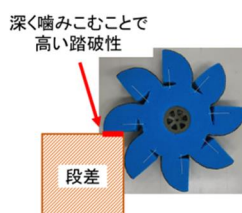
ガリー監視デバイスの全体図とセンサ部

デバイスの省電力運用のシステム構成

2024年7月には大宮けんぼグラウンド、10月には浅間山にてドローンを用いた運搬・着地実験を行い、精度よくデバイスを設置できることを確認した。また、移動機構を有するデバイスも試作し、2024年10月の浅間山では約10度の斜面で監視位置を変更できることを確認した。

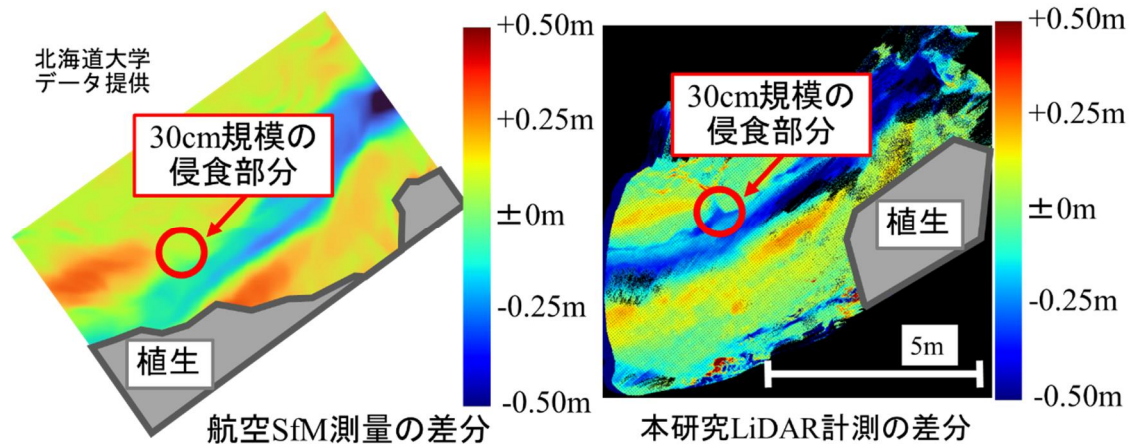


ガリー監視デバイスのドローン運搬

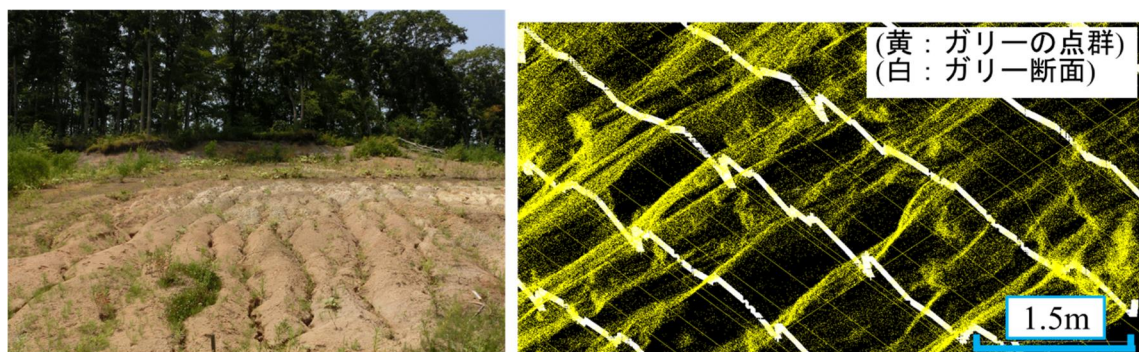


試作した移動可能な監視デバイス

また本研究ではより小さな土砂移動を把握することができる。類似の手法として、有人／無人航空機により上空から地形を取得する手法があり、広いエリアの土砂移動を取得可能であるが、コストが高く空間分解能が低い。下図は、2024年7月と8月に行ったUAVによるSfM測定の差分から求めた土砂移動の様子と、本研究で行ったLiDAR測定の差分から求めた土砂移動の様子の比較である。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がわかる。また、上述のように本研究手法では1時間ごとに計測ができるため、飛行間隔を短くすることが困難な航空測量と比べて時間的にもより詳細に土砂移動を把握することが可能である。とはいえ本研究の測定可能範囲は数十メートル程度であり、航空測量の方が広く計測することができることから、双方の手法を相補的に用いることが重要である。



さらに本研究では、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。北海道厚真町や有珠山において検証実験を行った。また、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。



北海道厚真町に見られるガリー

LiDARによるガリーの三次元計測データ

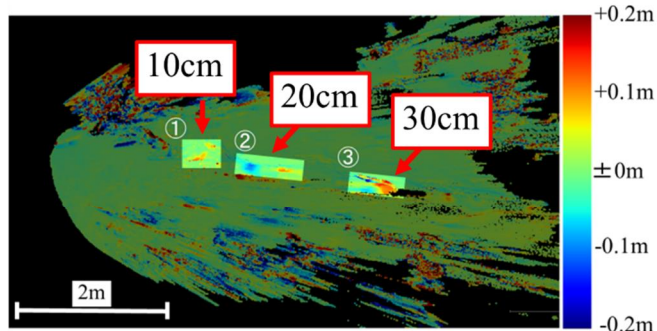
開発したデバイスを用いて、2024年10月16日～12月3日にかけて北海道厚真町のガリーにて45日間の長期監視実験を行った。その結果、実験期間中の3回の降雨のうち10月19日の降雨の影響で10cmから30cm規模の土砂移動が発生したことを特定できた。これにより従来の航空測量では難しかった、降雨毎の細かい時間間隔で長期に監視可能であることを実証した。しかしこの長期実験では、温度低下によるバッテリー能力の低下や、雨量計のノイズによる誤作動、夜間の可視光カメラの性能の低さなどの問題点が明らかとなっている。ノイズ対策および低温対策、暗所対策を含めた耐環境性を上げることが求められる。またこの長期監視実験では、デバイスの設置は手動で行っているため、ドローン運搬や移動機構も含めた統合実験が今後必要となるが、総じて、本研究によりガリー発生状況の把握技術が確立したといえる。



10/18のガリー



10/20のガリー



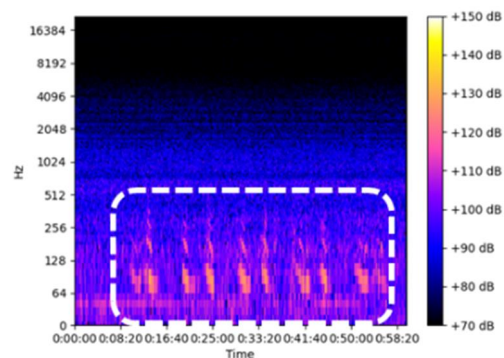
10/17と11/12の点群差分

可視光カメラでとらえた土砂移動の様子

LiDAR で検出した土砂移動の様子

## ②土砂流出の発生状況を検知する技術開発

R4 年度には、既往土砂移動検知センサの課題と対応方針を整理し、大気中に伝わる音を用いたセンサを活用する方針とした。また、使用するセンサは、国際航業㈱で自社開発中の音センサを使用することとした。



航空機の通過パターン  
(大型輸送機の編隊飛行)

## 音センサの概要 (左：センサ概要、右：取得データ事例)

R5 年度には利根川水系砂防管内の浅間山近傍で定常的に土砂流出が発生している箇所を選定するため、現地調査を行ったが、火山地域特有の透水性の良い地質の影響にて常時流水に乏しく、適切な場所が存在しなかった。



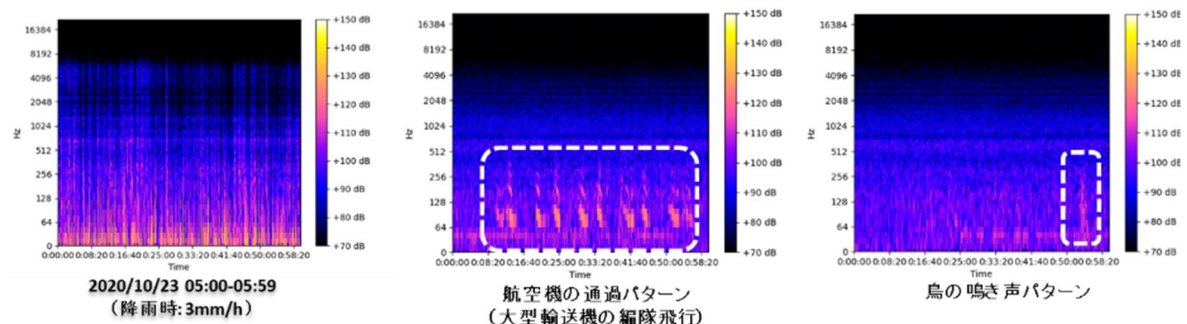
片蓋川の流況 (浅間牧場周辺)

そのため、ウェブにて公表されている土石流の音付き動画を収集し、周波数と音の強さを時系列でグラフ化しデータの特徴を確認した。対象とした動画は以下のとおりである。

### 土石流動画の収集事例

| 事例            | 日時             | 件数 |
|---------------|----------------|----|
| 台湾南投市信義鎮神木村   | 2012/06/12     | 2  |
| 長野県南木曾町       | 2014/07/09     | 1  |
| 奈良県十津川村山手谷    | 2015 年ころ（詳細不明） | 2  |
| 長野県飯山市        | 2017/05/22     | 1  |
| 静岡県熱海市        | 2021/07/03     | 6  |
| パキスタン コヒスタン地区 | 2022/07/27     | 1  |

また、土石流事例以外にも、ノイズとなりうる環境音として降雨や航空機の音についてデータ解析を行った。その結果、通常のノイズ音は 10000Hz 以下の周波数を示すことが多いことが確認された。



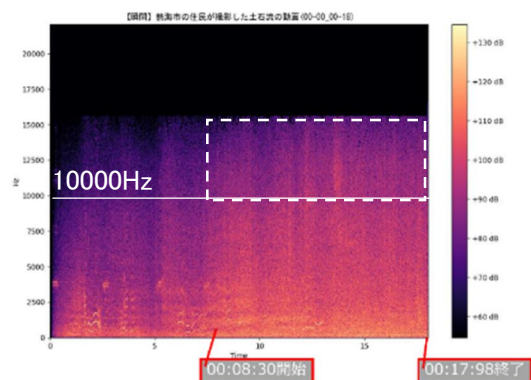
|        | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1k | 2k | 5k | 10k | 20kHz |
|--------|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-------|
| 日常会話   |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| 小鳥の鳴き声 |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| 犬の鳴き声  |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| 車の騒音   |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| ピアノの音  |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| 太鼓の音   |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |
| クラリネット |    |    |     |     |     |    |    |    |     |       |

【出典】音響の基礎  
<http://a011w.broad.jp/gpae/on05.htm>

一方で、収集した土石流事例では、10000Hz 以上の周波数を示すことが確認されており、他の環境音と区別できる可能性があることが示された。今後、実際の土石流観測事例を増やすことと合わせて、計測距離の違いによるデータの差異等を検証することを予定している。

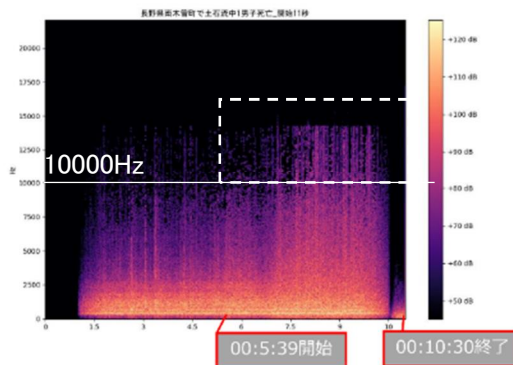


<https://www.youtube.com/watch?v=liXYKT3KgCY>





<https://www.youtube.com/watch?v=V1SHHxK5Sus>



## ⑦研究成果の発表状況・予定

- 1) 生出将士, 配島巽, 宮下裕貴, 羽田靖史, 島田徹, 厚井高志, 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, 砂防学会令和7年度砂防学会長野大会(予定).
- 2) 皆川淳, 島田徹, 永田直己, 金井啓通, 羽田靖史, 永谷圭司, 大坂剛, 須藤利夫, 村田友幸, 佐部浩太郎, 今井清貴, 立入困難地域における降灰厚計測機器開発と浅間山の調査計画への適用, 砂防学会令和7年度砂防学会長野大会(予定).
- 3) 生出将士, 配島巽, 宮下裕貴, 羽田靖史, ガリー監視デバイスの設置位置選定に関する検討, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2024), 3E4-03, アイーナ岩手, 12/18-20, 2024.
- 4) 配島巽, 生出将士, 宮下裕貴, 島田徹, 厚井高志, 羽田靖史, 地上設置型長期ガリー監視装置の開発と実証実験, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2024), 3E4-04, アイーナ岩手, 12/18-20, 2024.
- 5) 皆川淳, 金井啓通, 永田直己, 島田徹, 羽田靖史, 配島巽, 佐部浩太郎, 今井清貴, 大坂剛, 須藤利夫, 小林幸夫, 立入困難地域における最新技術を用いた調査計画検討事例, 令和6年度砂防学会研究発表会和歌山大会, P-8, 2024.
- 6) 金井啓通, 皆川淳, 永田直己, 金崎裕之, 坂本あいの, 島田徹, 羽田靖史, 厚井高志, 白木克繁, 永谷圭司, 立入困難地域における無人自動計測技術の開発と社会実装 ―火山噴火を題材として―, 令和6年度砂防学会研究発表会和歌山大会, P-10, 2024.
- 7) 配島巽, 黒崎翔大, 羽田靖史, 島田徹, 3D-LiDARを用いたガリー浸食量の推定, 令和6年度砂防学会研究発表会和歌山大会, P-16, 2024.

## ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

火山防災に関する専門家・行政機関の職員の集まる学会(砂防学会など)において開発したシステムの発表を行い、開発成果の情報発信を行った。

また、2023年10月24日、2024年10月31日には、小浅間山山麓にて、利根川水系砂防事務所、本省砂防部、土木研究所、群馬県、長野県、マスコミ関係者に他研究成果と併せた実験を公開し、技術開発、運用に関してご助言を頂いた。また信州火山防災の日でもデモンストレーションを行った。

### 掲載紙

読売新聞 24/12/04

建設工業新聞 24/11/01

建設工業新聞 23/10/26

上毛新聞 23/11/23

### ⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

計測自動制御学会 論文賞. 横山龍一, 羽田靖史, 永谷圭司, 2022年11月.

### ⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、研技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究により、我々の研究チームでは、噴火活動継続期における土石流発生源となるリル・ガリーの成長過程を定量的・経時的に監視する手法を確立できた。また、これらの監視デバイスをUAV等で立ち入り規制の外から搬入・設置・動作させ、実際に運用するための運用指針を検討した。今後はこれらを実用システムとして、量産・販売するための技術開発、ならびに複数の火山でのテスト運用を行ない、実用度を高める必要がある。

### ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

火山噴火時に立ち入り規制となる火口周辺域の情報収集能力の向上を図り、得られた情報により迅速で的確な災害対応に反映することが可能となる。類似の手法として、有人／無人航空機により上空から地形を取得する手法があり、広いエリアの土砂移動を取得可能であるが、コストが高く空間分解能と時間分解能が低い。本研究成果は10～30cm規模の細かい土砂移動を1時間おきに取得でき、またリル・ガリーの発達状況を映像で把握し、土石流の発生頻度など定量的な情報を取得するため、住民等への防災情報の提供を効果的に行うための材料を提供することが可能となることが期待される。