

令和 7 年 5 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2023～2024

課題番号：23K17773

研究課題名（和文）光ファイバーと分散型音響計測システムを用いた火山性土石流の速度の決定

研究課題名（英文）Determination of velocity of debris and mudflows by using optical-fibers and distributed acoustic sensing system

研究代表者

中道 治久（Nakamichi, Haruhisa）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00420373

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：土石流の検知はワイヤーセンサーとカメラにて行われる。前者であればワイヤー破損が生じるため次の土石流が検知出来ない。後者であれば夜間や悪天候時の土石流の見逃しがある。近年、光ファイバーと分散型音響計測システム（DAS）による地震および火山の観測が行われるようになった。そこで、光ファイバーを用いてDAS観測を行うことで、多数の地震計が桜島火山の河川にそって設置されている状況を実現した。DASによる記録とカメラ映像を比較することで、ワイヤーセンサーよりも多数の土石流の検知に成功した。また、土石流に伴う振動の振幅分布と位相解析にて振動源の位置の時空間変化を求め、土石流の移動経路の追跡に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土石流が発生する河川には砂防施設があり、光ファイバーが敷設されている。そのため、火山以外の土石流についてもDASを導入することで検知が可能となる。DASにより土石流に伴う振動を観測するため、天候に左右されずに土石流検知ができる。また、ワイヤーセンサーが補修できない状況においても、土石流検知が可能である。土石流の流動過程をDASから得られた多数箇所の振動から詳細に明らかした。そのため、DASを多くの河川に導入することで、土石流の流動過程の研究がより進展すると期待される。

研究成果の概要（英文）：Debris flows are typically detected using wire sensors and cameras. However, wire sensors become unusable once the wire is broken by a debris flow, preventing the detection of subsequent flows. Cameras, on the other hand, may miss debris flows that occur at night or during poor weather conditions. In recent years, seismic and volcanic monitoring using fiber optic cables and Distributed Acoustic Sensing (DAS) systems has become more common. In this study, DAS observations were conducted using optical fibers, effectively creating a network of numerous seismometers deployed along the rivers of Sakurajima volcano. By comparing DAS recordings with camera footage, we detected more debris flows than with wire sensors. Furthermore, by analyzing the amplitude distribution and phase of vibrations associated with debris flows, we determined the spatiotemporal changes in the vibration source location and successfully tracked the flow paths of the debris flows.

研究分野：火山物理学

キーワード：光ファイバー 分散型音響センシング 振動 土石流 火砕物 桜島火山

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土石流の検知はワイヤーセンサーとカメラにて行われる。前者であればワイヤー破損が生じるため次の土石流が検知出来ない。後者であれば夜間や悪天候時の土石流の見逃しがある。近年、光ファイバーと分散型音響計測システム(DAS)による地震および火山の観測が行われるようになった。土石流が発生している河川においては、ワイヤーセンサーとカメラによる監視が行われ、データは光ファイバーにて事務所に送られている。光ファイバーの空き線を活用してDAS観測を行うことができる。DASにより土石流に伴う振動を観測するため、直接的な土石流の影響を受けず、天候に左右されずに土石流検知が可能となる。

### 2. 研究の目的

噴火により火山灰や火山レキや火山岩塊といった火砕物が山体に停留する。そして、降雨により火砕物が流下し土石流が発生する。桜島火山では数十年間にわたって噴火が継続しており、火山性土石流が頻発している。そこで本研究では、光ファイバーとDASを用いて桜島の火山性土石流を検知し、土石流の速度を決定することを目的とする。土石流の速度の時空間変化から、土石流の発生トリガー、流下機構、そして停止機構などの流動過程を明らかにする。噴火活動が活発なため火山性土石流が頻発する桜島火山を対象とするが、本研究における目的が達成されれば、砂防施設の河川にそって敷設されている光ファイバーに適用可能であるため、火山以外の土石流への適用といった発展性がある。

### 3. 研究の方法

DASは光送受信ユニットから光をファイバーに入射して、ファイバーの各箇所からの散乱光をユニットで処理することで、ファイバーのセグメント箇所の伸縮(ひずみ)に変換する。これは、光ファイバーの媒質が不均質であるため入射光に対して後方散乱光が存在するから可能な歪み計測法である。特に、DASの使う散乱光の性質から、地震波周波数帯域の歪み速度の観測対象としている。

国土交通省大隅河川国道事務所は桜島の砂防施設を管理しており、土石流監視を行っている。同事務所は光ファイバーを河川沿いに敷設し、砂防施設に設置した土石流検知装置(ワイヤーセンサー・カメラ)と接続して桜島砂防出張所にて土石流を監視している。桜島の土石流は年10回以上発生している。そこで、空き的光ファイバーに対して、桜島砂防出張所にDASを設置して接続して振動観測を行う(図1)。

観測地点と時間を軸にした振幅のプロット(Waterfall Plot)を観測期間において連続的に作成して、噴火や通常地震との違いおよび、監視カメラ映像との比較から、Waterfall Plotに現れる振幅の特徴(上流と下流における振動の時刻など)から、土石流検知を試みる。また、土石流に伴う地震動の振幅分布と位相解析にて振動源の位置の時空間変化を求める。

なお、砂防施設および桜島砂防出張所における観測機器の設置にあたっては、国土交通省大隅河川国道事務所と事前の協議を行い、同事務所が指定する方法にて同事務所の設備の利用および借用のための申請を事前に行う。また、観測機器設置においては必要に応じて管理者の指示に従う。そして、観測機器撤去においても、同事務所と協議のうえ適切に対応する。



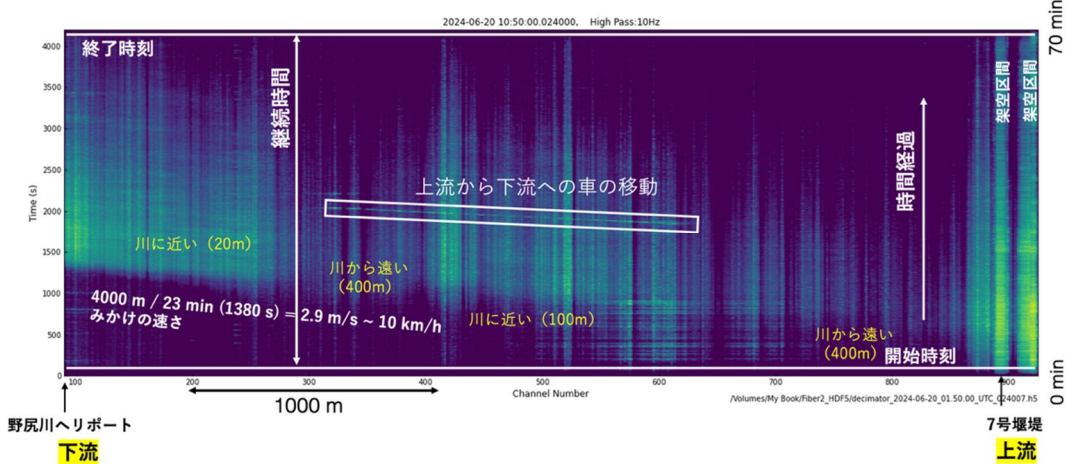
図1. 桜島火山におけるDAS観測。2024年6月3日から7月25日に観測を行った。砂防出張所に光送受信装置(インテロゲータ)を設置。光ファイバーの1系統は野尻川沿いの総延長4.5 kmで、925チャンネルに相当し、2系統は国土224号と有村川沿いの総延長8.7 kmで、1805チャンネルに相当する。サンプリング周波数は500Hz、測定間隔4.8 m、ゲージ長9.6 mである。

### 4. 研究成果

観測期間中のDAS記録からWaterfall Plotを作成し、ワイヤーセンサーで土石流検知されたときのWaterfall Plotの特徴を把握した。図2は土石流検知された時間帯におけるWaterfall Plotである。暖色で示される振幅の大きい振動が、時間の経過とともに上流から下流に流下す

ることが見て取れた。

図2 .野尻川の DAS 記録の Waterfall Plot。横軸はチャンネル番号で、水平距離に相当する。



縦軸は時間である。振幅が大きくなるにつれて色は寒色から暖色へ変化する。

土石流に伴う振動の Waterfall Plot の振幅の出方のパターン (図2) を参考にして、観測期間中の全ての記録を調べ、土石流の振動と思われる時間帯について、監視カメラの映像と見比べた。そして、観測期間内において野尻川で19回、有村川で16回の土石流を見出した (図3)。これらの回数はワイヤーセンサーで検知された観測期間内の土石流の、野尻川3回、有村川2回より有意に多い。これは、ワイヤーセンサーで検知された後に、ワイヤーの修復を行う前に、土石流が発生した場合は、ワイヤーセンサーでは検知出来ないこと、そして、ワイヤーより下の水位の土石流の場合はワイヤーセンサーで検知出来ないことが理由として考えられる。

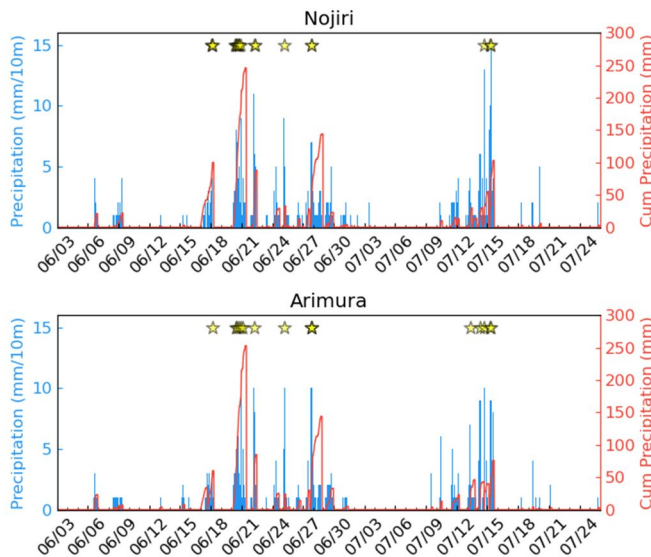


図3 .降水量 (青: 10分あたり、赤: 積算) と DAS の Waterfall Plot で検知した土石流発生時刻 (黄色星印) の比較。降水量が大きい時間帯で土石流が発生していることが見て取れる。

以上のことから、光ファイバーと DAS を用いて火山性土石流を検知することが可能であることが分かった。

2022年11月に DAS にて観測された野尻川の土石流に伴う振動について、振幅分布と位相解析にて振動源の位置の時空間変化を求めた。これによって、土石流の移動経路の追跡に成功した。大きな振幅の位置は、ワイヤーセンサーやビデオカメラで土石流が到達した時刻との対応が良いことも分かった。そして、土石流の速度は最大 19 m/s と推定され、砂防ダムからの距離、斜面の傾斜、および川幅との関係がみられた。DAS 観測から得られる、これらの関係をさらに調べることにより、土石流の流動過程をより理解できるようになることが期待される。

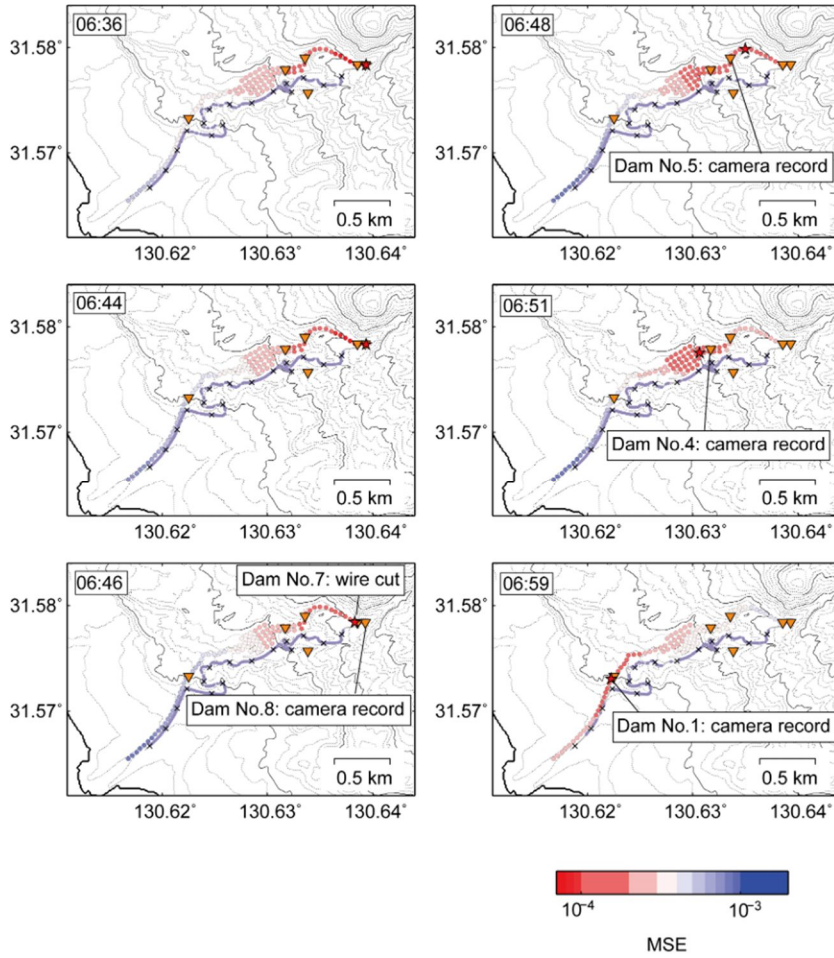


図4 . 土石流発生時の野尻川の振動源分布の時間変化。紫色で示される DAS のチャンネルは波形のコヒーレンスが 0.4 を超えている。オレンジの逆三角は砂防ダム、赤い星は最適な振動発生位置を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 田口貴美子・西村太志・中原 恒 廣瀬 郁・中道治久 江本賢太郎・濱中 悟
2. 発表標題 DAS システムにより観測された 2022 年 11 月 29日桜島野尻川沿い土石流に伴う地盤振動波形の解析
3. 学会等名 日本火山学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中道治久・江本賢太郎・米盛航平・田口貴美子・廣瀬 郁・西村太志
2. 発表標題 桜島の有村川と野尻川における2024年DAS観測と土石流検知
3. 学会等名 日本火山学会2024年度秋季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Haruhisa NAKAMICHI, Kentaro EMOTO, Kimiko TAGUCHI, Takashi HIROSE, Takeshi NISHIMURA
2. 発表標題 Debris Flow Detection Along Rivers in Sakurajima, Japan, Using a Distributed Acoustic Sensing System
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 22nd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2025年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	江本 賢太郎  (Emoto Kentaro)  (80707597)	九州大学・理学研究院・准教授    (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	田口 貴美子  (Taguchi Kimiko)  (80965335)	東北大学・理学研究科・助教     (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関