

位相シフト光干渉法を用いた振動観測システムを用いた火山観測
Volcano Observation Using a Multi-Channeled Seismometer System
with Phase-Shifted Optical Interferometry

○中道治久・平山義治（白山工業株式会社）

○Haruhisa NAKAMICHI, Yoshiharu HIRAYAMA (Hakusan Corporation)

We have developed an optical sensor as a seismic observation system suitable for a volcanic environment. A three-component sensor was developed that is smaller, lighter, and has a lower natural frequency than the previous one. The sensors were installed at three locations for array observation and seismic observations at Sakurajima volcano were conducted for six months from June 2019. Earthquake associated with 267 eruptions were recorded by the system during the observation period, and the array analysis results showed that the seismic waves traveled from shallow depths below the active crater. A comparative observation was also conducted with a micrometer, wherein noise from lightning surges was detected, however there was none in the optical sensor system. We developed a borehole type instrument and conducted a continuous seismic observation for two years. Therefore, the optical sensor system was shown to be suitable for seismic observations in volcanic environments.

1. はじめに

火山における地震観測は火口近傍の地表や山麓のボアホールにセンサを設置して行われる。火山活動を把握するためには長時間において安定して観測装置が稼働することが求められる。火山においては落雷や高温環境により装置が故障することがある。また、センサから電線を地面に這わせて延長して収録装置に接続した場合は、地震記録に雷サージの影響が顕著に表れる。電線を使う限りは避けて通ることが出来ない影響であるが、電線を地面に這わす必要のない観測装置を使って地震観測をすれば、落雷故障や雷サージノイズの混入などないはずである。電線を使わない地震観測手段として光ファイバーの活用が最近行われている。その一つとして、光ファイバー自身で地震動を観測する Distributed Acoustic Sensing (DAS) と呼ばれる方法がある。一方、光ファイバーを信号通信路として使い、光ファイバーにセンサを接続して振動を観測する方法として、位相シフト光干渉法によるセンサを用いた振動観測システム（光センサシステム）が開発された（Yoshida et al., 2016; 大江・他, 2018）。DAS が光ファイバーの延長方向の伸縮振動を計測する一方、光センサシステムでは並進加速度の3成分振動を計測する。光センサシステムでは地震波による地面の動きを捉えた振り子の振幅の変化をレーザー光の位相差と

してセンサで検出し、位相差を光信号として光ファイバーを通じて伝達して信号処理装置にて加速度に変換する。

ここでは、光センサシステムの開発および観測実施について述べる。特に、桜島で2019年に実施された地表における半年間のアレイ地震観測の結果と、2022年から現在まで実施している深井戸における長期連続地震観測について述べる。

2. 光センサシステムの開発と地表地震観測

2016年度から始まった次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業の火山観測に必要な新たな観測技術の開発として課題B2-2「位相シフト光干渉法による多チャンネル火山観測方式の検討と開発」が設定され、我々は火山環境に適した地震観測システムとして光センサシステムを開発してきた。初期の光センサシステムにおいて地表設置型3成分センサを用いて2016年に桜島にて、2017年に浅間山にて地震観測を行い火山性地震および人口地震の観測性能の評価と波形解析を行った（Tsutsui et al., 2019）。次に、固有周波数を低下させ、かつ小型軽量化された3成分センサを開発して、2019年6月から12月に桜島において地表設置型センサによる地震観測を行った（Nakamichi et al., 2022）。この観測では、ハルタ山観測室の敷地内にセンサを3箇所

に三角形に設置してアレイとした（図1）。

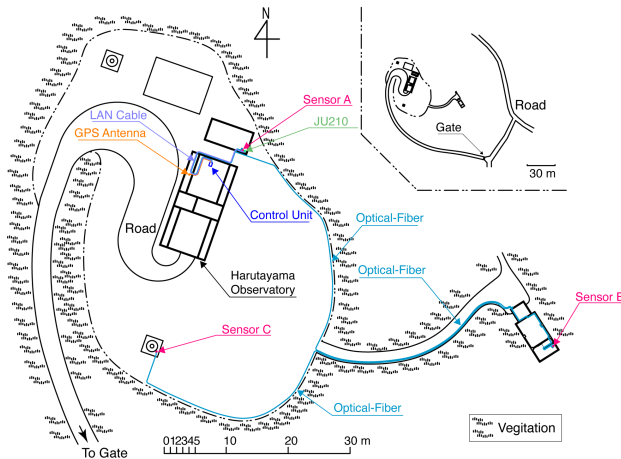


図1. 桜島ハルタ山観測室におけるアレイ地震観測の配置図。

そして、267 の噴火に伴う地震を観測し、アレイ解析から得られたスローネスから南岳火口直下の比較的浅部から到来していることが明らかになった (Nakamichi et al., 2022)。また、微動計（白山工業 JU210）を併設して比較観測を行ったところ、雷が発生していた時間では微動計記録には雷サージによるノイズが混入しているが、光センサシステムではノイズがないことが確認できた（図2）。このようにして、光センサシステムは火山における地震観測に適した性能を有することが示された。

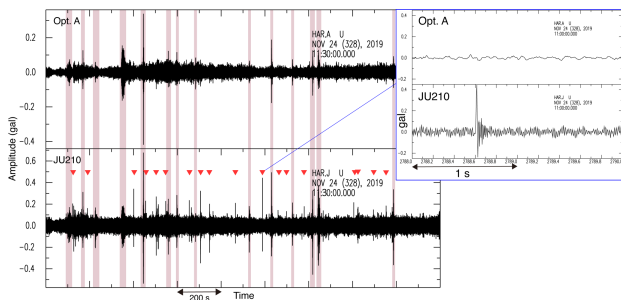


図2. 雷が発生していた時間帯（2019年11月24日午前11:30から12時）。上段 Opt. A は光センサ Sensor A で、下段は Opt. A に併設の微動計（JU210）の記録である。

3. 深部観測井を用いた耐熱評価観測

また、我々はボアホール筐体収納型の3成分センサの開発を進めてきた。そして、火山環境とし

て想定される高温環境下での光センサシステムの観測性能評価を行うために、新潟工科大学の敷地内にある原子力安全基盤機構（当時）が2012年に整備した深部地震動観測井（3000 m 深）に2022年2月にボアホールタイプセンサを1980 m 深の位置に設置して（図3）、現在も観測を継続している。

設置前に、観測井の温度測定をおこなったところ、センサ設置場所においては105°Cであった。したがって、高温環境における試験観測として適しており、波形データによる評価を進めている。



図3. 深部地震動観測井へ光センサボアホール筐体の設置風景。

ボアホールタイプセンサと近隣のF-net 柏崎の広帯域地震計の記録についてノイズスペクトルを比較したところ、脈動帯域および脈動より高周波数帯域において両者の差が小さい（図4）。一方、脈動帯域よりも低周波側では差が大きい（図4）。よって、脈動帯域の0.3Hzより高周波数における地震観測に適していることが分かった。

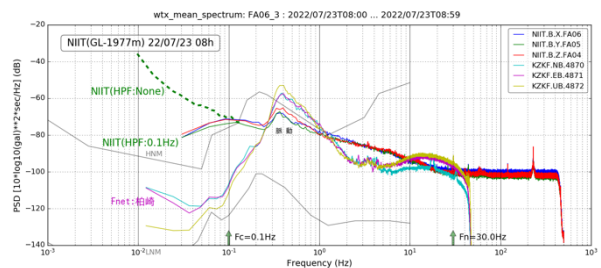


図4. 地動ノイズ部分における加速度スペクトル。