

12 - 2 光ファイバーケーブルと DAS による火山観測

Seismic observation at active volcanoes using fiber optic cables and DAS

西村 太志 (東北大学)

Takeshi Nishimura (Tohoku University)

光ファイバーケーブルを利用した DAS 観測は、超高密度の地震観測手法としての応用が期待され、最近世界各地で観測が行われるようになってきた。このシステムは、光ファイバーケーブルの一端に DAS という計測器を接続することでおよそ 50km にわたり、数メートルから数十メートルの測定間隔で地震動を記録することが可能で、また、光ファイバーケーブル自体がセンサー・地震波信号の伝達媒体であり、従来の地震観測点のように地震波信号を無線や有線で基地局に伝送する必要がない。このような特徴は、従来の火山地域での地震観測の課題を解決する。例えば、火山は雷が頻発し、また、火口付近では噴火発生時に火山灰や火山弾などに見舞われるが、これらの影響を受けないこのシステムは、安定して観測を継続することができる。さらに、超高密度な測定点を火山体の広い範囲に設定できることから、火山性地震や微動波形の相関を利用した解析や、火山浅部の短波長不均質構造の推定にも利用できることが期待される。

火山地域で DAS を利用した研究は、アイスランドにおけるものが最初であろう¹⁾。遠地地震や各種震動源の波形記録や、100 m 程の幅の断裂帯を伝播するトラップ波の検知などが紹介されている。最近行われたエトナ山での DAS 観測に関する論文では、DAS により記録される歪み信号を地震計の記録で検証したり、爆発的噴火に伴い同時に記録される地震波や空振波に多チャンネルデータ処理により分離した結果が紹介されている^{2),3)}。国内では、東北大学のグループが吾妻山や蔵王山で DAS 観測を行っている。今回、DAS 観測が火山観測に有効である一例として、国土交通省が道路沿いに敷設している光ファイバーケーブルを利用した吾妻山の DAS 観測研究の成果の一部を Nishimura et al. (2021)⁴⁾ をもとに紹介する。

吾妻山の浄土平付近では、火山性地震や微動の活動や火山性圧力源の活動が報告されている⁵⁾。浄土平から土湯ゲートまでの約 14 km にわたり、磐梯吾妻スカイライン道路沿いに南北方向に延びる光ファイバーケーブルを利用した DAS 観測が行われた。測定間隔は 10.2m、サンプリング周波数 1000 Hz で、観測期間は 2019 年 7 月の 3 週間ほどである。浄土平で発生した火山性地震が記録の例を第 1 図に示す。この地震は、浄土平周辺に設置された東北大学や気象庁の定常観測点の P 波と S 波の着信時から、浄土平の深さ約 0.5 km に震源が決定されている。この地震を使い、DAS 記録による震源決定の精度が調べられている。位相が不明瞭な地震や微動を解析することを想定し、数十メートル間隔で得られる地震波の波形相関をもとに、近接する測定点間の着信時差を得る。光ファイバーケーブルに沿った着信時差を理論値と比較することで、震源決定が行われた (第 2 図 (a))。また、震源から地震波が等方的に輻射され、幾何減衰および内部減衰する地震波の理論振幅と比較することで、震源が決定された (第 2 図 (b))。さらに、光ファイバーケーブルはほぼ直線的に敷設されていることから、震源決定精度をできるだけ向上させるため、これら 2 つの方法を統合して震源決定がされている (第 2 図 (c))。求められた震源と、定常観測点の P 波および S 波の着信時による震源を比較すると、その差は 1 km 程度となった。また、震源のわかっているこの地震を参照イベントとして、定常観測点の記録では震源決定できなかった地震の相対震源決定を行うことも可能である⁶⁾。

振幅を利用した震源決定の際には、測定点直下の地盤の効果をコーダ波規格化法で求めた地盤増幅特性で補正している。地盤増幅係数は、溶岩流の先端部などで大きな値を示す一方、浸食等で表層部が除かれた急峻な地形付近で小さい値を示す。光ファイバーケーブルは FEP 管（波付硬質ポリエチレン管）内に設置され、地面との接触状況は不明な点もあるが、短波長で変化する火山体浅部構造との比較ができることを示唆する。表面波分散曲線を利用した解析も適用するなどして、微細構造の推定が進むと考えられる。また、数メートルから十メートルの測定間隔で求められる地盤増幅係数は、強震動予測にも活用ができよう。

以上のように、従来、震源決定が難しかった P 波や S 波の不明瞭な火山性地震や連続的に震動が継続する火山性微動についても、DAS 観測により誤差 1 km 以内で決めることができることが明らかとなった。また地盤増幅係数などの解析は、火山体特有の浅部構造の理解を深めることができる。しかしながら、まだ解析例は少なく、信頼性を高めるためには、より多くの火山での DAS 観測の実践が必要であろう。また、火山活動モニタリングに利用するためには、超高密度多点データである DAS データの伝送方法や即時解析の技術向上が望まれる。

(西村太志)

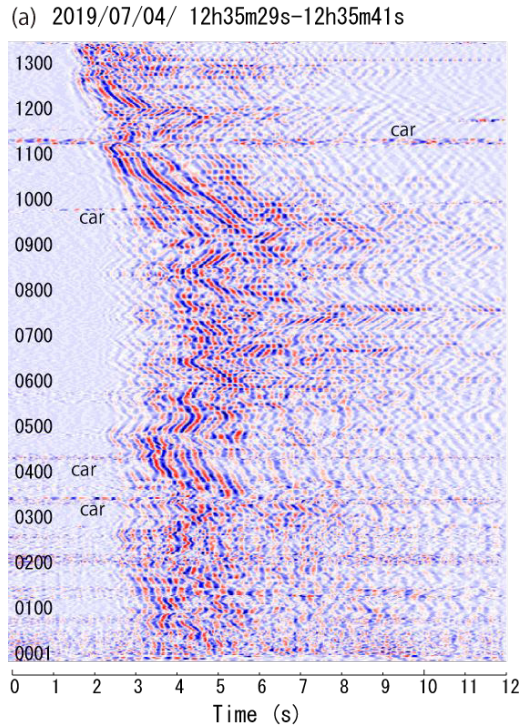
NISHIMURA Takeshi

謝辞

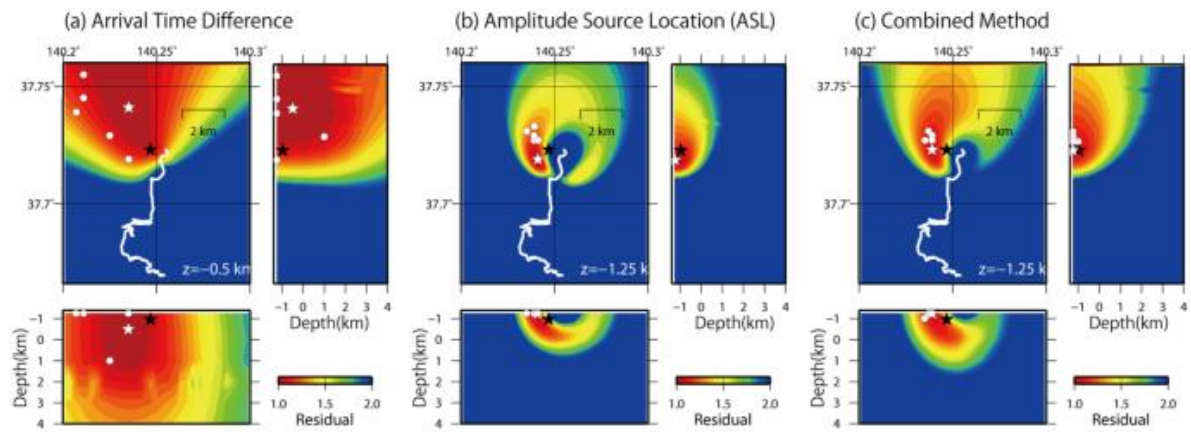
吾妻山や蔵王山の DAS 観測では、国土交通省が敷設した光ファイバーケーブルを利用した。国土交通省福島河川国道事務所、新庄河川事務所の方々に便宜を図っていただいた。

参考文献

- 1) Jousset, P. et al. (2018), *Nature Comm.* **9**, 2509. Dynamic strain determination using fibre-optic cables allows imaging of seismological and structural features.
- 2) Jousset, P., Currenti, G., Schwarz, B. et al. (2022), *Nature Comm.* **13**, 1753. Fibre optic distributed acoustic sensing of volcanic events., (2022)
- 3) Currenti, G., Jousset, P., Napoli, R., Krawczyk, C., and Weber, M. (2021), *Solid Earth*, **12**, 993-1003. On the comparison of strain measurements from fibre optics with a dense seismometer array at Etna volcano (Italy), *Solid Earth*, **12**, 993–1003, (2021) .
- 4) Nishimura, T. Emoto, K., Nakahara, H., Miura, S., Yamamoto, M. et al. (2021), *Scientific Reports*, **11**, 6319. Source location of volcanic earthquakes and subsurface characterization using fiber-optic cable and distributed acoustic sensing system.
- 5) 仙台管区气象台 (2020) 気象庁火山活動解説資料, https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.php, 平成 31 年・令和元年 (2019 年) の吾妻山の火山活動 .
- 6) 森作 史哉・西村 太志・中原 恒・江本 賢太郎 (2022), 日本地球惑星連合 2022 年大会, SVC-31 P07, Relative Hypocenter Determination of Volcanic earthquakes at Mt. Azuma using DAS System.



第 1 図 吾妻山の火山性地震（2019 年 7 月 4 日）の DAS 記録例. (Nishimura et al. (2021, Scientific Reports) の Fig.1(a)).
 Fig. 1 An example of DAS records: volcanic earthquakes at Mt. Azuma on July 4, 2019. (Fig. 1(a) of Nishimura et al. (2021, Scientific Reports))



第 2 図 着信時差と地震波振幅から求められた火山性地震の震源分布. 星印は 7 月 4 日の火山性地震で, 黒星は定常観測点により求められた震源, 白星は DAS 記録の着信時差, 振幅法により決められた震源を示す. 白丸は DAS 記録から求められたそのほかの火山性地震. カラーコンターは観測地と理論値との差. (a) 着信時差による震源, (b) 振幅法による震源, (c) 着信時と振幅を合わせて求められた震源. (Nishimura et al. (2021, Scientific Reports) の Fig.3).

Fig. 2 Hypocenters of volcanic earthquakes determined from analyses of arrival time differences and seismic amplitudes. Star symbols represent hypocenters of July 4 events: white stars are the hypocenters determined from P- and S-wave arrival times at permanent stations while black ones the hypocenters determined from DAS records. White circles are the hypocenters of other volcanic earthquakes. Color contours represent the residuals between the observation and calculations. (a) arrival time difference method, (b) amplitude source location method, (c) combined method using (a) and (b). (Fig. 3 of Nishimura et al. (2021, Scientific Reports))