

奥能登での DAS 地震波観測記録にみられる S 波後続波について
 Reflected Waves Following S-waves Observed by DAS Seismic Observation in Oku-Noto

○濱野 智光・宮澤 理稔・荒木 英一郎・田中 愛幸

○Tomomitsu HAMANO, Masatoshi MIYAZAWA, Eiichiro ARAKI, Yoshiyuki TANAKA

Distributed Acoustic Sensing (DAS) measurements were conducted in 2023 and 2025 to densely observe earthquakes in Oku-Noto region, which was known for its significant seismic swarms. Among the earthquake data collected, we found that direct S-waves from some events were followed by smaller amplitude S-waves that may be reflected within the lower crust. To estimate the distribution of these reflection points, we utilized a method locating an image source. The identified reflection points were found at a depth of approximately 25 km above the Moho discontinuity.

1. はじめに

奥能登では 2020 年末から活発な群発地震活動が始まり、その活動領域内で 2024 年に M7.6 の能登半島地震が発生した。この群発地震活動は、流体が奥能登下の断層に供給されたことにより発生した可能性が指摘されている (Nishimura et al., 2023)。上記の背景をもつ奥能登で、地震活動や地殻変動の観測を目的とし、2023 年と 2025 年に分散型音響センシング (Distributed Acoustic Sensing; 以下、DAS という) を用いた観測が行われた。DAS は、光ファイバーケーブル内で生じるレイリー後方散乱光の位相変化が、ケーブル軸方向のひずみ変化に比例するという原理を利用したひずみ計測技術であり、時空間的に高密度な測定が可能である。奥能登での DAS 観測には、能登町から珠洲市までの全長約 28km の地中・架線ケーブルを利用した。群発地震の地震波記録が多く得られ、その中でも、能登半島北東端部で発生した地震の一部の記録に、S 波到達から約 7 秒後に明確な信号が地中ケーブル区間で確認された (図 1)。信号の特徴から、この信号は奥能登の地下構造を反映した S 波反射波 (以下、SxS 波と表記) であると考えられる。奥能登の地下構造の解明は、群発地震の発生の理解につながる可能性がある。本研究では、観測された SxS 波の反射源となる地下構造の特定を目的とし、SxS 波の走時を利用した反射源の位置推定を行った。

2. 観測条件及び観測記録

(1) 観測条件

全長約 28km のケーブルのうち、能登町を開始点とする 0km-6.5km 及び 25.8km-27.3km の 2 区間は

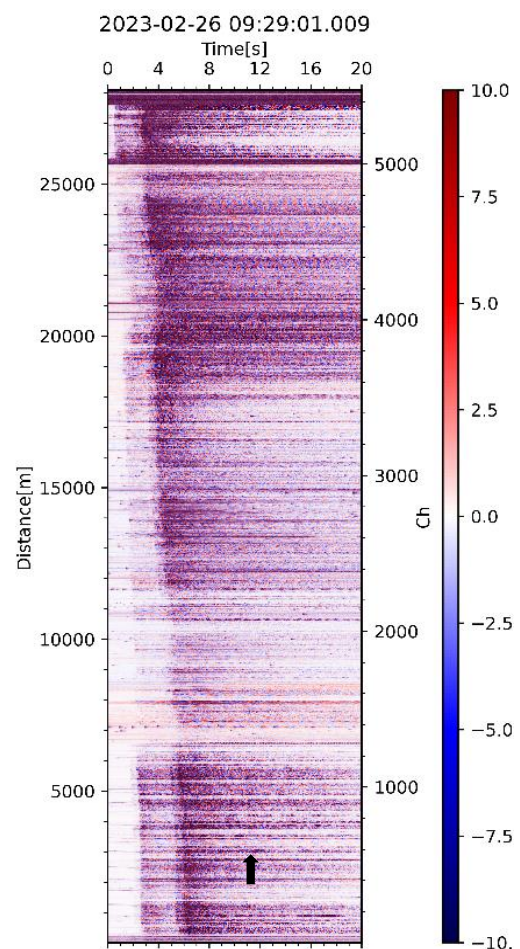


図1. 2023年2月26日09時29分にE137. 2488° , N37. 5167° , 深さ12. 24kmで発生したM4. 0の地震記録(図2内ID6)。右縦軸はチャンネル番号、左縦軸はケーブル軸上のチャンネル位置、横軸は経過時間を示す。2. 5km-6km区間で約10秒付近にSxS波が確認できる(図中矢印)。

地中、その他の区間は架線として敷設されている（図2参照）。このケーブルを用いて2023年に合計118日間、2025年に36日間の観測が、ゲージ長、空間サンプリング、時間サンプリングを変えて行われた。

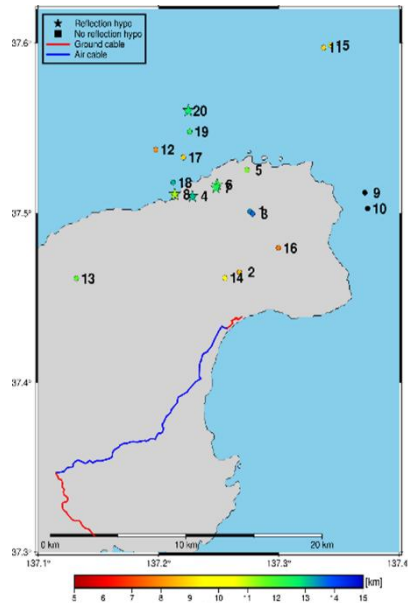


図2. 観測期間中に図領域内で発生したM3.0以上の地震の震央分布図。星印はSxS波が確認された地震、四角はSxS波が確認されなかった地震の震央を示す。各震央の右側に付記された番号は、地震が観測期間中に発生した順に対応している。図中の赤線、青線はそれぞれ地中、架線区間のケーブルを示す。

（2）SxS波を含む観測記録

図1は、2023年2月26日09時29分に能登半島北端部の深さ約12.2kmで発生したM4.0の地震の観測記録である（図2内ID6）。ケーブル全体にわたり、1秒-3秒及び3秒-7秒付近に確認される信号はそれぞれP波及びS波である。S波到達の約7秒後に2.5km-6km区間で一貫して確認される信号は、震源から放射されたS波が地下の反射体で反射しS波として観測された、SxS波であると考えられる。図2の領域内で観測期間中に発生したM3.0以上の地震は20個あった。これらの記録を目視で確認したところ、5個の地震でSxS波が確認された。

3. 手法

反射点の推定にはMatsumoto & Hasegawa (1993)の手法を応用した。この手法では、複数震源と1観測点からなる複数ペアから鏡像観測点を求め、

最終的に反射点を推定した。本研究では、DASの超高密観測という特徴を活用し、複数のDAS観測点と1つの震源の複数ペアから鏡像震源を求め、最終的に反射点を推定した。なお、SxS波の走時は目視で検出したうえ、反射点は観測点と震源を結ぶ鉛直面内に存在すると仮定してグリッドサーチにより求めた。

4. 結果

SxS波が確認できた5個の地震記録のうち、目視で検出可能だった3個を用いて反射点を推定した。図3は図1のM4.0の地震波記録を用いた解析結果である。反射点は深さ約25kmと推定された。他の2個の地震でも、反射点は同様の深さに求まった。これらは、群発地震の発生領域よりも深い、モホ面よりも浅い領域に位置する。

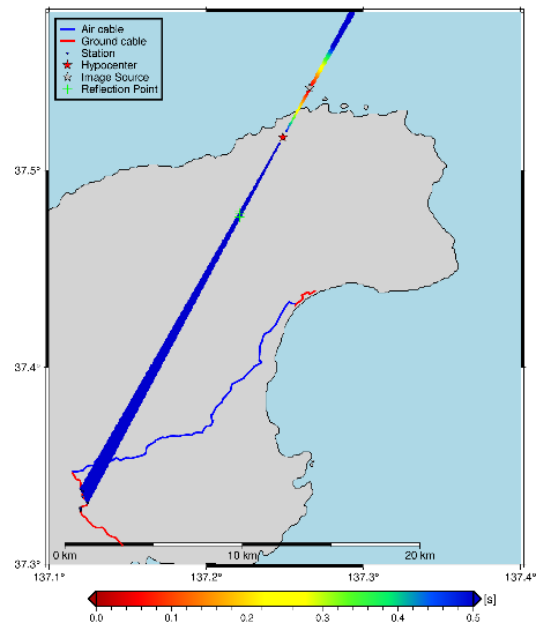


図2. 2023年2月26日09時29分にE137.2488°, N37.5167°, 深さ12.24kmで発生したM4.0の地震記録（図2内ID6）から推定された鏡像震源及び反射点の位置。赤星、灰色星、緑十字はそれぞれ実際の震源、推定された鏡像震源、推定された反射点を示す。図中の色のついた領域は、鏡像震源を含む水平グリッドサーチ領域の、各点におけるRMSE[s]を示す。

5. 謝辞

本研究はJSPS科研費JP22K19949, JP22H05306, JP23K17482および災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次), (第3次)の助成を受けました。