

Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm in the Noto Peninsula, central Japan

*Tomomi Okada¹, Martha Savage², Shin'ichi Sakai³, Keisuke Yoshida¹, Naoki Uchida⁴, Ryota Takagi¹, Shuutoku Kimura¹, Satoshi Hirahara¹, Toru Matsuzawa¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington, New Zealand, 3. The Interfaculty Initiative in Information Studies, University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1. はじめに

石川県能登地方では、2020年8月ごろから地震活動が活発化し、2022年8月時点でも継続している。地震活動の活発化の原因としては、地下の変動源による応力変化と流体圧の上昇などが考えられている。本研究では震源域に設置した臨時観測点および定常観測点を用いたS波スプリッティング解析により、S波偏向異方性について検討を行った。また、地震波速度トモグラフィ解析により、震源域の地震波速度構造について検討を行った。

2. 手法・データ

S波スプリッティングについて、本研究では、Silver and Chan (1991)を基としたMFAST (Savage et al., 2010)を使用した。MFASTでは、様々な位置や長さの時間窓による解析結果のクラスター分析を行う。そのことでS波偏向異方性を安定にかつ高速に推定することができると期待される。

データは、2022年6月末から震源域に設置した臨時観測点および定常観測点による波形データを用いた。地震計は短周期地震計（固有周波数：1Hzまたは2Hz）、または広帯域地震計である。サンプリング周波数は100Hzである。

地震波速度構造について、手法は、ダブルディファレンストモグラフィ法（Zhang and Thurber, 2003, 2006）を用いた。2020年2月～2022年7月までの1648個の地震を解析に用いた。

3. 結果

S波偏向異方性の空間分布

異方性の卓越方向は概ね東西方向と南北方向に推定された。東西ないし北西-南東方向の異方性は、最大水平圧縮軸方向と概ね一致する。したがって、応力による異方性が観測された東西方向の異方性の原因として考えられる。一方、概ね東西方向と南北方向の走向を持つ断層が確認されており、構造的な異方性を見ている可能性も考えられる。

S波偏向異方性の時間変化

定常観測点の一つである、N.SUZHについて、異方性の時間変化を検討した。異方性の方向については、顕著な時間変化は見られなかった。異方性の大きさについては、2021年の6～9月ごろ以降の期間において、それ以前の期間に比べて、特に震源域の西部での活動に対し、大きな異方性が観測された可能性がある。

地震波速度構造

震源域深部、深さ18kmに高いVp/Vs領域を確認した。この領域では周囲と比べて、やや大きなP波速度が得られた。対象領域には第三紀の火成岩が分布していることから、高いVp/Vs領域は古いマグマだまりを示している可能性があり、そこから放出された（あるいはそこを経由した）流体がこの群発地震活動に関わっていることを示唆する。

議論

この地震活動は、比較的断層構造の発達した未熟な応力性の異方性が分布し、深部に流体を示唆する高いVp/Vsの領域が確認される南部より活動が開始した。その後、断層構造が発達している構造的な異方性が分布する北部での活動が活発となった。

Introduction

Seismic activity in the Noto region of Ishikawa Prefecture has increased since August 2020 and has

continued as of August 2022. Stress changes due to subsurface sources and increases in fluid pressure are discussed as the causes of the seismic activity increase. In this study, S-wave polarization anisotropy was investigated by S-wave splitting analysis using temporary and permanent stations located in the epicenter area. We also investigated the seismic wave velocity structure in the source region by analyzing seismic wave velocity tomography.

Methodology and Data

In this study, we used MFAST (Savage et al., 1990), based on Silver and Chan (1991); MFAST performs a cluster analysis of the analysis results by time windows of various locations and lengths. MFAST is expected to provide a stable and fast estimation of S-wave polarization anisotropy. The data were waveform data from permanent and temporary stations set up in the epicenter area since June 2022. The seismographs were short-period seismographs (natural frequency: 1 Hz or 2 Hz) or broadband seismographs. The sampling frequency was 100 Hz. For seismic tomography analysis, the double-difference tomography method was used (Zhang and Thurber, 2003, 2006). We used 1648 earthquakes from February 2020 to July 2022 for the analysis.

Results

Spatial distribution of S-wave polarization anisotropy

The directions of anisotropy were generally in the east-west and north-south directions. The east-west or NW-SE anisotropy generally coincides with the direction of the maximum horizontal compression axis. Therefore, stress-induced anisotropy can be the cause of the observed east-west anisotropy. On the other hand, faults with strike directions generally east-west and north-south have been identified, and structural anisotropy may be another cause.

Time variation of S-wave polarization anisotropy

We examined the time variation of anisotropy at N.SUZH, one of the permanent stations. No significant time variation was observed in the direction of anisotropy. Larger anisotropy was observed, particularly for the activity in the western part of the focal area, from about June-September 2021 compared to the period up to that period.

Seismic velocity structure

A high V_p/V_s region was identified beneath the focal area, at a depth of 18 km. This high V_p/V_s region has slightly larger P-wave velocities than the surrounding area. Since Tertiary igneous rocks are distributed in the target area, the high V_p/V_s region may represent an old magma reservoir, suggesting that fluids released from (or through) the magma reservoir are involved in this seismic swarm.

Discussion

This seismic activity started in the southern part of the area, where relatively immature fault structure development, stress anisotropy is distributed, and high V_p/V_s regions suggestive of fluid at depth are identified. Subsequently, activity became more active in the northern part, where structural anisotropy with well-developed fault structures is distributed.