

DAS 記録のスラントスタックによる微小-小規模地震の震源過程
Source Process of Micro-to-Small Earthquakes from Slant-Stacking DAS Records

○船曳祐輝・宮澤理稔・荒木英一郎・田中愛幸
○Yuki FUNABIKI · Masatoshi MIYAZAWA · Eiichiro ARAKI · Yoshiyuki TANAKA

We developed a method for imaging the rupture process of micro-to-small earthquakes from Distributed Acoustic Sensing (DAS) records. We based our approach on the assumption that the direct P-wave signal from the source should align with P-arrival time differences across channels, whereas near-surface scattered waves behave as random noise and cancel out when stacking is applied. To isolate the direct waves from the source, we applied slant stacking on DAS records from several hundred neighboring channels. The resulting slant-stacked waveforms show good agreement with the results from different segments and with the vertical component of P-wave displacement recorded by conventional seismograms. This suggests that our approach effectively extracts the direct waves from the source utilizing DAS records.

地震の観測波形は震源時間関数と伝播経路の関数の畠み込み積分であり、震源での破壊過程を反映する。そのため、地震波の逆解析で震源過程を理解する研究が古くから成されてきた。しかし、従来の解析で得られるのはあくまで震源の平均的な描像であり、断層破壊の開始や終了が突発的か漸進的か、破壊伝播速度がどのように時間発展するのかといった細かな破壊過程は十分に解明されていない。特に M4 以下の小規模地震では 1 Hz 以上の高周波成分が卓越するが、それらは複雑な地下構造の影響を強く受けるため、震源過程解析に用いることが困難であり、このために、このサイズの地震の破壊過程の理解はいまだ不十分である。

Distributed Acoustic Sensing (DAS) と呼ばれる、光ファイバーケーブル内を通る後方散乱光の位相差から、ケーブルの軸歪を計測する観測技術が、近年注目を集めている。DAS は光ファイバーケーブルそのものを分布型の地震動センサーとするため、従来の地震観測点による観測とは異なり、地震動を地震波形ではなく、地震波動場として捉えることが可能である。この DAS の特性より、点では不明瞭な信号でも、多点稠密観測を行うことで、信号として明瞭に捉えることが可能である。

この DAS を用いることで、地震波の高周波成分からしか得られない小規模地震の震源過程の詳細が理解可能であると考える。能登半島では、2020 年頃から群発地震が発生しており、その監視のため、2023 年の 1-3 月、そして 7-9 月に、奥能登において 27 km の光ケーブルを用いた DAS 観測が実

施された（田中ほか、2023）。得られた地震波動場を観察すると、各 Channel における到達直後の P 波は、その到達時刻差に沿ってコヒーレントな一方、その後続波はインコヒーレントであることが見て取れる。到達直後の P 波の変位成分が震源時間関数に整合的であることはよく知られており、近接した Channel の P 波形がコヒーレントであるのは、これが震源過程を直接反映しているからであると言えよう。

そこで本発表では、上記のような、震源過程を反映していると思われる地震波動場を紹介し、さらに DAS 記録から小-中規模地震の震源過程を得るために、次の仮定を置く。すなわち、「震源由來の直達 P 波は、P 波の到達時刻差と同じ走時差で各 Channel に到達する。直達 P 波により励起された地表面付近の散乱波は、ランダムノイズと見なせ、足し合わせば消える」。連続する数百 channel (ケーブル長約 3km) の DAS 記録に対しスラントスタックを施することで、震源由來の直達波の抽出を試みた。得られたスラントスタック波形は、異なる区間にに対して本手法を適用した場合でも、通常の地震計で記録された P 波変位の鉛直成分と良い整合性を示す。このことから、本手法により、震源由來の直達波を有効に抽出できていると考えられ、DAS が小規模地震の震源過程解析に有用であることを示すものである。

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。