

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05538

研究課題名(和文)地震波干渉法で探る地震発生と水の関係

研究課題名(英文)The Deep Crustal Fluid Observations Using the Seismic Interferometry

研究代表者

片尾 浩(KATAO, Hiroshi)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：80221878

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：近畿地方中北部の北摂・丹波地域は定常的に微小地震活動が活発である。この活動には地殻内の流体の存在が大きな要因であると考えられている。この地域で観測される微小地震波形に見られる顕著な後続波の解析から、下部地殻の深さ約20～25kmにS波の反射面が存在することが知られている。この反射面には流体が多量に存在すると推定されるが、従来の自然地震観測で反射面を詳しく調べるには様々な制約による限界があった。本研究では地震波干渉法を用いることにより、自然地震の発生状況に制約されるずに、深部反射面の詳細な形状を調べ、深部流体の存在範囲とその上部の地震活動との因果関係を明らかにすることを目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震の発生には地下の流体(水)が深く関わっていると考えられている。定常的な微小地震多発地帯である北摂・丹波山地直下の下部地殻には、流体の関与を示唆する顕著なS波反射面が存在することが、自然地震観測から知られていた。しかしながら、その周辺の地震があまり発生しない場所では、反射面の検知は困難であり、地下流体の存在により地震が引き起こされているのか、地震があるので直下の反射面を検知できているのかを判別できない。

本研究では、地震活動域の周辺も含む広域で、震動源として自然地震を必要としない地震波干渉法を用い、深部反射面(流体)の存在範囲と形状、その上部の地震活動との因果関係を解明することを目的とする。

研究成果の概要(英文)：Seismic activity in the northern Kinki district, Central Japan, is very high. It is considered that seismic activities are caused by fluid which exists at deep part of the crust. From the analyses of the later phases on the seismogram observed at the Tamba region, the existence of the S-wave reflector is known at the lower crust. High reflectivity of this reflector shows the existence of the fluid at the lower crust beneath the seismic active region. To investigate the detail of the reflector, we performed the interferometry analyses using data of the dense seismic observations around the northern Kinki region. For this purpose, we newly installed mass storage system to process the huge seismic data from continuous recording instruments. The results of the interferometer analyses do not show clear auto-correlation signals from the deep reflector at present. However, we continue the processing and analyses to detect the significant signal.

研究分野：地震学

キーワード：地震波干渉法 稠密地震観測 地殻内反射面 微小地震活動

1. 研究開始当初の背景

近畿地方中北部の北摂・丹波地域は定常的に微小地震活動が活発である。これらの活動は近年発生した大地震の余震ではなく、特定の活断層に沿うことなく広く面状に分布していることや、長年にわたりほぼ一定の地震発生レートを保ち極めて定常的であることなどの特徴がある。周辺には第四紀火山活動も無く、他地域では見られない特異な定常的活動の原因はよくわかっていないが、地殻内の流体の存在が大きな要因であると考えられている。(; など)

この地域で観測される微小地震の観測波形には、初動からおよそ10秒後に顕著な後続波が見られる例が多い。後続波の振幅は非常に大きく、直達S波のそれに匹敵する場合もある。これは下部地殻の深さ約20~25kmに存在し、北向きにやや傾き下がる反射面から返ってくるS波であることが知られている(; ; など)。その高い反射係数から、この反射面には流体が多量に存在していると推定される。反射面に潤沢に存在する水が上部地殻へと上昇していき、定常的な微小地震活動を引き起こす原因となっている可能性が高い。すなわち、地殻深部の流体の存在と地震発生には密接な関係があり、内陸地震発生のメカニズムを解明する上で重要な問題である。

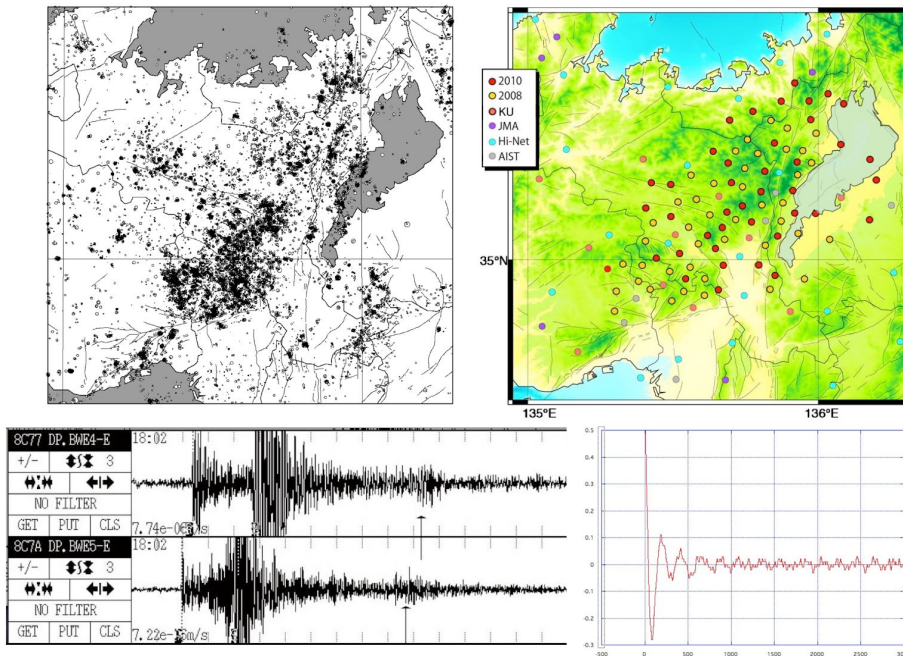
2. 研究の目的

自然地震の観測に基づく反射波解析により、北摂・丹波山地の微小地震が活発な地域と、その直下の反射面の存在範囲はほぼ一致するという結果が得られている()。大阪平野や滋賀県東部など北摂・丹波山地に隣接する地域の微小地震活動は低調で、下部地殻反射面も検知されていない。しかし、そもそも自然地震が少ない場所では、反射面を検知することが困難であり、反射面(地下流体)がその上の地震活動を引き起こしているのか、地震が頻発するのでその下の反射面が検知し易いのかを判別できない。いわば「鶏が先か卵が先か」ともいえるこの疑問に決着をつける必要がある。

近年、地震波干渉法 (Seismic Interferometry) を用いた地下構造の解析が盛んに行われるようになってきた。近畿地方に地震波干渉法による解析の例としては、三輪(2015) が約2年間にわたる広帯域地震観測網(F-net)の雑微動記録から深さ35kmのモホ面からのP波およびS波の反射を実体波として捉えている。本研究では、震動源としての自然地震に依存しない地震波干渉法を用いることにより、近畿地方中北部において深部S波反射面の存在の有無を検証し、下部地殻の流体の存在範囲と、その上部の地震発生頻度との因果関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

使用するデータは、周辺地域における大学、気象庁、防災科学技術研究所等による高感度地震観測網のオンラインデータに加え、京都大学防災研究所で2008年末より琵琶湖西岸から北摂・丹波山地にかけて83点の臨時観測点を設けて行っている稠密オフライン観測(;)のデータを用いている。稠密地震観測ではオフラインで地震波形を連続して現地収録(サンプリング周波数250Hz)、これらをほぼ半年に1度回収している。これらに、オンライン高感度地震観測網のデータを加えて統合し、地震学分野では標準的なwinフォーマットで保存する。連続地震波形データの容量は230GB/月に達し、現在までに約8年間におよぶ連続波形データ(総計約23TB)が取得されている。従来、蓄積されていたデータはオフラインの磁気テープに収録されていたが、本研究では大容量ストレージを整備し、その上にこれまで収録されていたデータを転送して、ランダムアクセスによる解析が可能な環境を整えた。また、新たに収録/編集されたデータも順次、大容量ストレージに追加する作業を行っている。



図：（左上）近畿地方北部における微小地震の震央分布（右上）稠密地震観測の観測点
（左下）自然地震の観測波形に見られる顕著な反射波の例（右下）スタックした自己相関関数の例

従来の地震観測によって、地殻深部反射面からの反射波が最も顕著に観測される京都府亀岡市周辺の複数の観測点のデータを用いて、連続記録の自己相関関数を求め、それらを長期間にわたりスタッキングすることで、反射波に対応するシグナルの検出を試みた。連続記録を1時間毎の波形データを切り出し、特定の1時間につき1サンプルずつずらしながら最大30秒間の自己相関関数を計算した。波形相関計算に先立ち、1ビット化処理を波形に施し、地震やノイズの振幅情報を削除し位相情報のみを用いることとした。それら1時間毎に得られた自己相関関数を、1ヶ月～2年間にわたりスタッキングして得られた関数波形から反射波シグナルの検出を試みた。

4. 研究成果

現在までの解析では、顕著な反射波シグナルを検出することには成功していない。反射波を含む自然地震波形データでは、約10秒遅れて自己相関関数に顕著なピークが現れることを確認している。常時微動の相関関数にも同様に、遅延時間10秒付近にピークが現れることが期待されたが、顕著なシグナルの発見には至らなかった。地表における常時微動が、地殻深部の反射面に達して戻るまでの十分なパワーを持っていないとも考えられる

しかしながら、常時微動や反射波の卓越周波数帯域を考慮し適切なフィルタリングにより最適な解析周波数帯域を探ることで、検出力を向上できる可能性がある。また、地震波干渉法解析ではよく用いられているという理由から安易に1ビット化処理を行うことも再考を要するであろう。1ビット化処理は自然地震などが「ノイズ」として混入することを防ぐ意味があるが、もともと波形データが持っている振幅情報を捨てているとも言える。1点の観測点のみで行う自己相関関数解析の場合は、自然地震も大きな妨げにはならないと考えられ、その場合は冬期など常時微動の振幅が大きい時期のデータを積極的に活用する方法も考えられる。

さらに、自己相関関数解析に並行して複数観測点間の相互相関関数を利用する解析を試みる必要がある。北摂・丹波山地の反射面は、北に向かって傾き下がる形状をしていることが自然地震の解析から知られているため、2点の観測点ペアの相対位置と、反射面の傾きを考慮すると、効率よく反射波の検知ができる可能性がある。

今後は、稠密地震観測を維持しつつ、新たに取得される地震波形データも随時追加しながら、

本研究で整備した大容量ストレージ等を活用して丁寧な解析を進めていく予定である。

<引用文献>

Aoki S., Y. Iio, H. Katao, T. Miura, I. Yoneda and M. Sawada, Three-dimensional distribution of S wave reflectors in the northern Kinki district, southwestern Japan, Earth Planets Space, 68:107, DOI 10.1186/s40623-016-468-3, 2016.

飯尾能久, 次世代型地震観測システムの開発と運用～満点(万点)を目指して～, 京都大学防災研究所年報, 54, A, 17-24, 2011.

片尾 浩, 近畿地方の微小地震活動域直下に存在する顕著な地殻内反射面, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, E12-05, 1994.

片尾 浩, 丹波山地の地震活動, 月刊地球, 号外 No.38, 42-49, 2002.

片尾 浩, 陸の上の水っぱい話, 月刊地球, 号外 No.51, 286-292, 2005.

片尾 浩, 稠密地震観測による近畿地方北部の地震活動と地殻構造, 京都大学防災研究所年報, 56, B, 167-172, 2013.

Katoh, S., Y. Iio, H. Katao, M. Sawada, K. Tomisaka, T. Miura and I. Yoneda, The relationship between S-wave^{core} reflectors and deep low-frequency earthquakes in the northern Kinki district, southwestern Japan, Earth, Planets and Space, 70:149 <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0921-6>, 2018.

三輪直寛, 地震波干渉法による西南日本下の地震波反射面の検出, 京都大学大学院理学研究科 修士論文, 2015.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計4件)

片尾 浩, 近畿地方の微小地震活動域直下に存在する顕著な地殻内反射面, 日本地震学会秋季大会, 2017年10月

片尾 浩, 地震波干渉法で探る地震発生と水の関係(2), 京都大学防災研究所研究発表講演会, 2018年2月

片尾 浩, 地震波干渉法で探る地震発生と水の関係(2), 日本地震学会秋季大会, 2018年10月

片尾 浩, 地震波干渉法で探る地震発生と水の関係(2), 京都大学防災研究所研究発表講演会, 2019年2月

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 片尾 浩

ローマ字氏名: KATAO, Hiroshi

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 防災研究所地震予知研究センター

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 80221878

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。