

令和 2 年 5 月 1 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16381

研究課題名（和文）超高解像度の地震波トモグラフィを用いた地殻流体マッピングによる地震発生場の解明

研究課題名（英文）Investigation of inland earthquake nucleation by mapping crustal fluids using seismic tomography

研究代表者

浅森 浩一（Asamori, Koichi）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・研究副主幹

研究者番号：80421684

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震波トモグラフィなどによって地殻流体の詳細な流体分布を推定し、地殻流体と内陸地震や活断層の分布・発生様式との関連性を検討した。その結果、事例とした3つの内陸地震の震源域及び活断層の分布域のいずれにおいても、断層の形成や地震の発生に関与したと考えられる地殻流体が認められた。特に、横ずれ型の地震活動域では、その震源断層における流体の通路の存在を示唆する地震学的特徴が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で示された各タイプの断層運動と地殻流体との関連性のうち、特に横ずれ型の震源断層に見出された流体通路の存在は、その検出や状態監視が、未知の活断層の存在やその活動可能性を評価する指標となり得る可能性を示すと考えられ、同様の事例を更に積み重ねることで地震災害リスクの評価への応用が期待される。また、このような流体通路の検出方法は、地震活動に伴う地下水理場の顕著な擾乱といった高レベル放射性廃棄物の地層処分において考慮すべき現象の評価にも有効であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the spatial relationship between the crustal fluids and the rupture nucleation of inland earthquakes using high-resolution seismic tomography, magnetotelluric soundings and S-wave splitting. The crustal fluids that may contribute to the rupture nucleation have revealed in three seismic source regions. In particular, a fluid pathway that may play a role on supplying fluids into the strike-slip seismic faults, was detected in the upper crust.

研究分野：地震学

キーワード：地殻流体 内陸地震 活断層 地震波速度 比抵抗

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大地震の発生や断層の形成には、地殻内に局所的に分布する流体(地殻流体)が深く関与していると考えられているが、その詳細な分布は把握されていない。また、近年発生したマグニチュード(M)6クラス以上の多くの内陸地震は、活断層から離れた地域に生じており、いわゆる“未知”の活断層によって引き起こされたと考えられている。

これらに関連する震源断層をすべて明らかにすることは困難であるが、その存否の可能性を科学的に示す努力を払うことが、自然災害の低減にとって不可欠となる。沈み込み帯で発生する地震には、主にプレート境界地震、スラブ内地震及び上盤プレートの内陸地震の3つがあるが、これらのいずれの地震についても、その発生過程には流体の存在が極めて重要な役割を果たしていると考えられている。このうち、内陸地震については、地殻深部やマントルから上昇する流体が下部地殻や断層面の強度を低下させ、大地震を引き起こすといったモデルが提唱されている。

このような未知の活断層に起因する内陸地震の震源域には、これまでの研究によって地殻流体が見出されている。また、国内の活断層の活動間隔がおよそ千年を超えることからすれば、すでに発生した大地震の震源域以外の地域に分布する地殻流体を如何にして正確に推定できるかが、将来の地震災害リスクを評価するための重要なポイントとなる。すなわち、地殻流体を正確にマッピングできれば、未知の活断層による地震災害リスクが高い場所をあらかじめ特定できる可能性があると期待される。

2. 研究の目的

日本列島の内陸地震は、マントル・ウェッジから上昇してきた流体が下部地殻の強度を低下させ、その上の地殻に応力が集中して破壊が生じるとのモデルが提唱されている。さらに、これらの流体によって下部地殻のみならず上部地殻も局所的に非弾性変形が生じるため、地殻全体としての変形を一様化する過程で、非弾性変形領域の周辺で大きな内陸地震が発生すると考えられている。また、地下深部の断層面に流体が侵入した場合には、間隙水圧の上昇によって断層の強度が低下し、地震活動を引き起こすといったモデルも示されている(例えば、Sibson, 1990)。

このため、地殻流体が存在する領域の周辺では相対的に地震災害リスクが高いと考えられるが、このような地震活動を引き起こす震源断層のタイプや形状と地殻流体の分布との相対的位置関係については未解明である。そのため本研究では、逆断層、正断層、横ずれ断層といったそれぞれのタイプの活動域における地殻流体の分布を詳細に推定し、その関連性について検討した。

3. 研究の方法

本研究では、地震波トモグラフィー法によって、過去の大地震の震源域や活断層の分布域等を対象として三次元地震波速度構造を推定するとともに、地磁気・地電流(MT:magnetotelluric)法により比抵抗構造を推定し、これらをもとに地殻流体をマッピングした。次に、ここで得られた地殻流体の分布と、内陸地震の震源断層や活断層の分布とを比較し、地殻流体と内陸地震の発生域との相対的位置関係について検討した。これにより、逆断層、正断層、横ずれ断層といったそれぞれのタイプについて、未知の活断層の存在や活動性の評価に有用な情報の抽出を試みた。本研究では、逆断層型、正断層型、横ずれ断層型の地震・断層活動域として、それぞれ2014年長野県北部地震(神城断層地震)、征矢原断層、1965年以降に活発化した松代群発地震の活動域を選定した。

4. 研究成果

1965年8月に第四紀火山である皆神山を中心として生じた松代群発地震では、M5以上の地震を含む地震活動が約二年間にわたって継続し、この地震活動に伴って多量の湧水が生じたことが報告されている(例えば、奥澤・塚原, 2001)。この地震活動域の近傍に活断層は認定されていないが、当時観測された地震活動や地殻変動等から、二つの共役な横ずれ伏在断層(松代地震断層、東長野断層)の活動が推定されている(Tsuneishi and Nakamura, 1970; Kisslinger, 1975)。この群発地震の活動域を対象とした地震波トモグラフィーによって三次元地震波速度構造を推定した結果、松代群発地震の活動域下には、下部地殻からマントル・ウェッジに連続する地震波低速度体が分布することが明らかになった(図1)。この地震波低速度体は、その周辺で低周波地震の発生が認められること等から、第四紀火山である皆神山に供給するメルト等のマントル起源流体の存在を示唆すると考えられる。

また、同領域に対してMT法電磁探査を用いて上部地殻の二次元比抵抗構造を推定した結果、群発地震の活動時に認められた湧水域の直下に、およそ鉛直に延びる低比抵抗体が認められた(図2)。この低比抵抗体は、その深部に上述の地震波低速度体が分布することや、地表で採取された土壤ガスがマントル起源の流体の供給を示唆する高いヘリウム同位体比(6.5 Ra)が観測されている(Wakita et al., 1978)ことから、メルトの固化に伴って地殻内に放出され、上部地殻内を上昇する水等の流体上昇経路を映し出していると考えられる。また、これらの地震活動や震源断層の活動には、マントルから地殻の震源断層に侵入した流体が関与したと推定される。

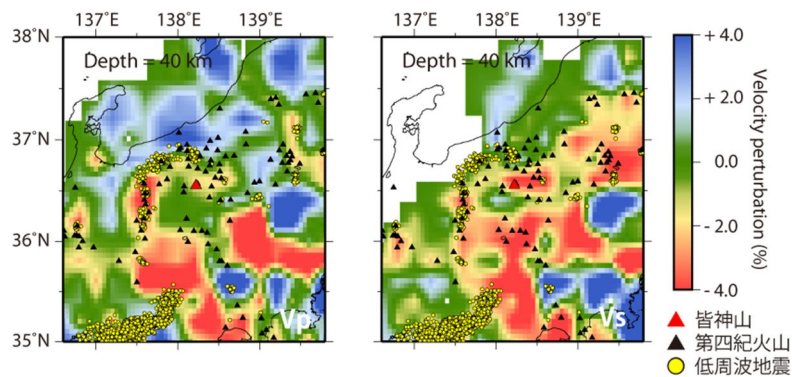


図 1 地震波トモグラフィーにより推定されたマントル最上部における松代群発地震の活動域周辺のP波速度 (V_p) 及びS波速度 (V_s) 分布

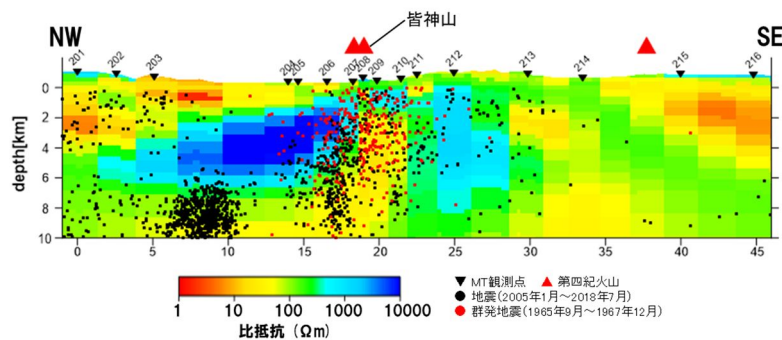


図 2 MT 法電磁探査により推定された松代群発地震の活動域周辺の二次元比抵抗構造

本研究では地殻流体と断層面との関連性をより詳細に検討するため、同領域を対象としてS波スプリッティング解析を適用し、この領域のS波偏向異方性を推定した。その結果、群発地震活動域周辺の速いS波の振動方向は、広域的な最大水平圧縮軸の方向や松代地震断層の走向（北西-南東方向）と整合的であった。しかしながら、湧水域に位置する観測点では最大水平圧縮軸の方向とは異なり、東長野断層の走向（北東-南西方向）と一致することが明らかになった（図3）。これらのことから湧水域は、松代地震断層の運動に関連して発達したクラックが卓越する領域と、それにおよそ直交する東長野断層とが交差する領域に相当する可能性が高いと考えられる。以上の結果は、上部地殻では開口クラックが発達した断層の交差部が流体の主な上昇経路として機能した可能性を示唆すると考えられ、このような流体上昇経路の存在やそれを通じた震源断層への流体流入が、伏在する横ずれ断層の活動に関与したと推定される。

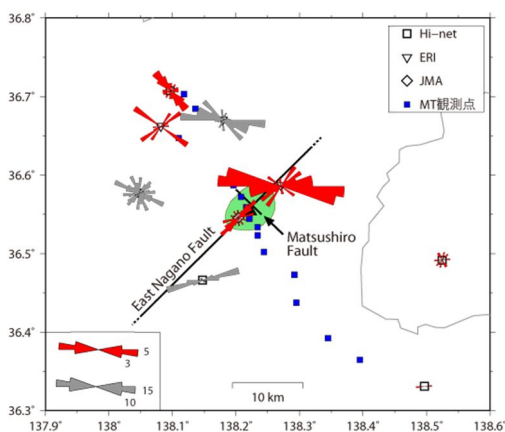


図 3 S波スプリッティング解析により推定された速いS波の振動方向の分布（緑棒は湧水域を示す。）

2014年長野県北部地震（M 6.7）の震源域においては、MT法電磁探査に基づいて地殻の二次元比抵抗構造を推定し、詳細な震源分布や地震波速度構造との比較を行った。その結果、余震分布から推定される震源断層（逆断層）に沿って、その下位に地殻深部を起源とする流体が分布する傾向が認められた。さらに、これと同じく逆断層型の地震活動である1962年宮城県北部地震（M6.5）においても同様の傾向が見られることから、震源域に見出されたこれらの地殻流体は、内陸大地震の発生や逆断層の形成に関与した可能性が考えられる。また、正断層である征矢原断層下において地震波速度構造及び比抵抗構造を推定した結果、断層下の下部地殻にマントルを起源とする流体が分布することが明らかになった。

以上の成果は、内陸地震の発生や断層の形成に地殻深部の流体が関与した可能性を示唆する。また、特に横ずれ断層の地震活動域において、地震活動に伴う水理学的現象の原因となった流体供給経路が断層面上に検出されたことは、その存在が未知の活断層の存在を評価する上で有効な指標となり得る可能性を示唆すると考えられる。さらに、今後の研究によって断層面内に局在する流体供給経路の状態変化と地震活動との時間的相関性を見出すことができれば、その監視により地震災害リスクの切迫度等を評価できる可能性も期待できる。

<引用文献>

Sibson, R. H., Rupture nucleation on unfavorably oriented faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 1990, 1580-1604.

奥澤 保, 塚原弘昭, 松代群発地震地域に湧出する深層地下水, *地震*, 53, 2001, 241-253.

Tsyneishi, Y. and Nakamura, K., Faulting associated with the Matsushiro swarm earthquakes, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, vol.48, pp.29-51, 1970.

Kisslinger, C., Processes during the Matsushiro, Japan, earthquake swarm as revealed by leveling, gravity, and spring-flow observations, *Geology*, 3, 1975, 57-62.

Wakita, H., Fujii, N., Matsuo, S., Notsu, K., Takaoka, N., "Helium Spots": Caused by a Diapiric Magma from the Upper Mantle, *Science*, 200, 1978, 430-432.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡部 豪、浅森 浩一、奥山 哲、雑賀 敦、梅田 浩司
2. 発表標題 地殻流体の存在を考慮した地殻変動シミュレーションの試み
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018 年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅森浩一、濱友紀、梅田浩司、田中秀実
2. 発表標題 2014年長野県北部地震（M6.7）の震源域における比抵抗構造の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅森浩一、濱友紀、梅田浩司
2. 発表標題 九州前弧域における地震波速度構造及び比抵抗構造から推定される地殻流体
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 浅森浩一、平塚晋也、小川大輝、島田耕史、丹羽正和
2. 発表標題 松代群発地震の活動域における流体分布と湧水の上昇経路
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本山葵、小川康雄、上嶋誠、浅森浩一、内田利弘、長谷英彰、小山崇夫、坂中伸也、山谷祐介、相澤広記、市來雅啓
2. 発表標題 日本東北地方南部の地殻の三次元比抵抗構造
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2019 年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本山葵、市來雅啓、小川康雄、上嶋誠、浅森浩一、内田利弘、小山崇夫、坂中伸也、長谷英彰、相澤広記、山谷祐介
2. 発表標題 A three-dimensional electrical conductivity model of the crust beneath the southern Tohoku district, NE Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡部豪、浅森浩一
2. 発表標題 南九州せん断帯の GNSS 観測と数値モデリング
3. 学会等名 日本地震学会 2019 年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----