

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03791

研究課題名(和文)地殻構造モニタリングに基づく断層すべりメカニズムの解明

研究課題名(英文)Study on mechanisms of fault slip by monitoring structure of Earth's crust

研究代表者

山下 太(Yamashita, Futoshi)

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波防災研究部門・主任研究員

研究者番号：90374165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：スロー地震の発生メカニズム解明に向け、イベントの発生に伴う地殻構造の時間変化推定を実施した。地下の電気伝導度構造を推定するためのMT法の連続観測を継続し、解析パラメタの時間変化を推定するための解析手法を改良した。その手法を2008年から四国西部で取得している時系列データへ適用し、2009年に四国西部において発生した深部低周波微動に同期する見かけ比抵抗及び位相の変化を検出した。また、フォワードモデリングにより、7 km以深の構造変化で説明できることを明らかにした。さらに、2010年に豊後水道において発生した長期的スロースリップに起因すると考えられる長期的な見かけ比抵抗低下の検出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本を含む世界各地のプレート沈み込み帯でスロー地震と呼ばれる地震波をわずかにしか放出しない現象が観測されている。近年の研究により、それらは限られた条件下で発生する特異な現象ではなく、通常の地震にも密接に関連していることが示唆されている。通常の地震との差はプレート境界の間隙水圧によるとの可能性が示されてきたが、本研究で地殻内流体の状態に敏感な電気伝導度の構造変化が検出されたことは、この仮説を裏付けるものである。本成果をさらに検討することにより、スロー地震の発生モデルにさらなる制約を加えることができると期待される。

研究成果の概要(英文)：To understand the mechanisms of the slow earthquakes by probing the associated structural changes around the plate interface, we processed continuous magnetotelluric (MT) data obtained at the observational sites in Western Shikoku, Japan. For the data processing, we improved the method proposed by Honkura et al. (2013), and then detected changes in the apparent resistivity and the phase accompanying with the occurrence of the deep-low frequency tremors below the observational sites in 2009. Based on the 2D resistivity model by Yamashita and Obara (2009), we estimated the structural change, which can generate the changes in MT parameters consistent with the observed ones. We further detected the long-term temporal changes in MT parameters synchronized with the long-term slow slip event occurred beneath the Bungo Channel in 2010. These results can constrain the model for the mechanisms of the slow earthquakes.

研究分野：地殻物理学

キーワード：地殻比抵抗 Magnetotelluric法 スロー地震 長期的スロースリップ 地殻内流体

1. 研究開始当初の背景

2000 年台初頭から、日本を含む世界各地のプレート沈み込み帯で地震波をわずかにしか励起しないスロー地震と呼ばれる現象が数多く発見され始めた (Obara and Kato, 2016, Science)。その多くは通常の地震とは異なる領域で観測されることから、当初は温度圧力条件や物質そのものの摩擦特性の違いにより発生可能な領域がそれぞれ限定されていると考えられていた。しかしながら近年、様々な観測により、スロー地震の発生域も近傍で発生した通常の地震のすべりに励起され高速にすべりうる事が確認されている。したがって何が通常の地震とスロー地震とを本質的に分けているのかは未だ明らかになっていない。ただし、スロー地震の発生には間隙水の挙動が関連しているという点は当該分野の研究者の共通的な認識となりつつある。例えば、スロー地震の一種である深部低周波微動が四国西部のプレート沈み込み帯で発生しているが、その発生域のごく近傍のプレート境界では間隙水圧が異常に高いと推定されている (Shelly et al., 2006, Nature)。また、山下・小原はこの地域において間隙水の状態に敏感な電気伝導度構造探査をおこない、深部低周波微動の直上に異常な高電気伝導度領域を発見している (Yamashita and Obara, 2009, AGU)。これはプレート境界もしくはより深部から放出された水であると考えられている。したがってスロー地震の発生時および前後の間隙水の挙動をモニターすることができれば、その発生メカニズムの理解に大きく貢献できるはずであるが、未だ成功例はない。そのようなモニタリングは通常の地震を対象にしたものでも極めて困難であるが、数少ない成功例として本蔵らの研究成果が挙げられる (Honkura et al., 2013, Nat. Commun.)。彼らは 1999 年のトルコ・イズミット地震の本震直前に断層帯の電気伝導度が上昇したことを非常に丹念なデータ解析により高い信頼性で明らかにした。彼らはその結果に基づき、可能性の一つとして、何らかの理由により間隙水圧が上昇しそれが断層のすべりをトリガーしたと解釈している。

スロー地震を対象とした研究において最も本質的な問題は、何が通常の地震とスロー地震とを分けているかということである。近年、海溝型巨大地震に先行してその震源域および近傍でスロースリップが発生していた例がたびたび報告されている (例えば、Kato et al., 2012, Science)。一方、南海トラフの沈み込み帯では固着域の近傍でスロースリップが定期的に観測されているが、それらは巨大地震に至ってはいない。これらの巨大地震に至る前駆的なスロースリップとプレート境界で定期的に発生するスロースリップが本質的に異なるものかどうかは現時点では不明なままである。この疑問に答えるためには、まずはスロー地震が発生する環境 (せん断応力、摩擦強度等) を明らかにする必要があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、間隙水圧変化が深部低周波微動の発生に与える影響を定量的に見積もることで、深部低周波微動発生域の摩擦強度を含む定量的モデルの構築に資する情報を得ることを目的とする。そのため、地殻内の間隙水の状態に敏感な電気伝導度を定常的にモニターするが、一般に、精度の高い電磁気モニタリングは極めて困難であることが知られている。これは地殻深部の電気伝導度構造を唯一推定可能な方法である MT (Magnetotelluric) 法の観測に人工的な電気ノイズが大きな影響を及ぼすためである。そのため、電気伝導度構造の変化を高い信頼性で定量的に示した例は世界においてもごくわずかであり、日本国内では極めて困難である。しかしながら研究協力者の本蔵は電場と磁場のコヒーレンシーがしきい値を越えるデータのみを使用する等の処理によってノイズの影響を可能な限り軽減し、1999 年イズミット地震時に生じた電気伝導度変化を捉えることに成功している (Honkura et al., 2013, Nat. Commun.)。本研究ではこの手法に改良を加え、より高い信頼性での推定をおこなう。

本研究ではスロー地震の一つである、四国西部のプレート境界で発生している深部低周波微動や長期的スロースリップ等をターゲットとする。スロー地震にともなう電気伝導度構造の変化が捉えられた例はこれまでにないため、本研究が予定通りに進めば、電気伝導度という新たなパラメタによって定量的モデル構築に向けた新たな拘束条件を提示できる。当初、スロー地震は限られた地域の限られた条件下でのみ発生する特異なものと理解されていたが、世界各地のかなり広範な地域で普遍的に発生することが明らかとなり、むしろスロー地震の特殊な場合が通常の地震との提案もある (Obara and Kato, 2016, Science)。したがって、スロー地震の発生メカニズムを解明することは、地震現象そのものを理解することに大きく貢献すると期待される。

3. 研究の方法

図1に防災科学技術研究所が四国西部に設置している2箇所のMT法連続観測点を示す。これらの観測点で取得されたデータは断続的ではあるものの2008年から蓄積されており、まずは過去のデータに本蔵の手法を適用して構造変化に起因する電気伝導度変化を検出するとともに、日本国内のノイズ環境に適応するよう手法を高度化する。さらに同時期のスロー地震の活動を調査し、それらと同期した電気伝導度変化の事例を積み上げる。対象地域では山下・小原が予備的な構造解析を実施し電気伝導度構造の二次元断面を推定している(Yamashita and Obara, 2009, AGU, 図2)ため、その構造を基準として、いつ、どの領域でどの程度の電気伝導度変化が生じたかを定量的に評価する。本蔵による先行研究(Honkura et al., 2013, Nat. Commun.)では地震の発生直前に震源域周辺の電気伝導度が上昇したことから、何らかの理由で間隙水圧が上昇して岩盤内のクラックが結合し、それがイズミット地震をトリガーしたと結論づけている。深部低周波微動等のスロー地震の発生に関しては、通常の地震に比べ間隙水の役割がより大きいと考えられるため、先行研究と同様に微動発生前に電気伝導度変化が観測されることが期待される。

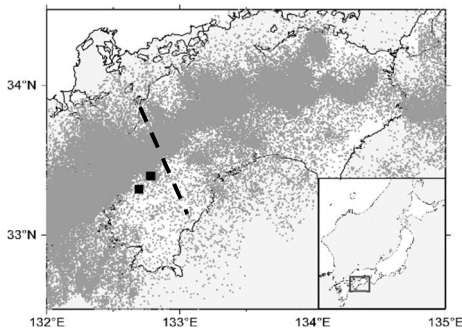


図1 本研究計画における研究対象領域。黒い四角は防災科学技術研究所が所有する二つの連続観測点。小さな点は深部低周波微動の震央。

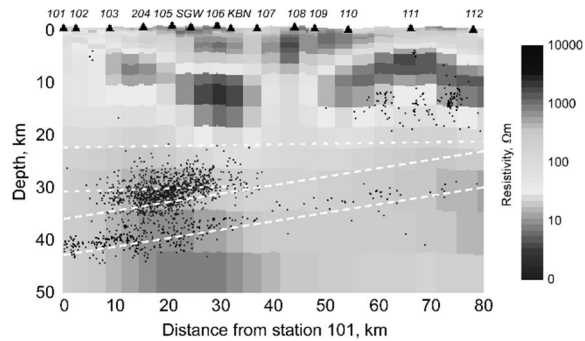


図2 図1中の破線に沿った電気伝導度構造の二次元断面。小さな点は深部低周波微動の震源。

4. 研究成果

四国西部における地殻電気伝導度構造の時間変化を検出するため、窪野観測点および生田観測点で2008年から蓄積していたMT(Magnetotelluric)法連続観測データのノイズ特性を詳しく調査し、それに応じたフィルターの設計とHonkura et al. (2013, Nature comm.)の手法に基づいた解析パラメタの設定をおこなった。具体的には、電場と磁場のコヒーレンシーの閾値が0.9以上となるデータのみを選出して計算に使用し、計算されたMT解析パラメタを1日毎に平均化した後、60日のカットオフ周期をもつローパスフィルターで処理することにした。さらに気温変動に由来する年周変動も取り除いた。これらの解析手順の改良により、MT解析パラメタの時間変化の安定性が向上した。

改良した解析手法を蓄積していたデータに適用して、約10年間に渡る見かけ比抵抗および位相の時間変化を统一的に推定し、得られた解析結果をデータベース化して任意の時期の見かけ比抵抗および位相を容易に閲覧できるようにした。その結果、生田観測点においては2011年から約1年間にわたって見かけ比抵抗が低下し、元のレベルへ戻った後にほぼ一定の値を示していることが明らかとなった(図3)。一方、生田観測点から北東に約10km離れた窪野観測点では10年以上にわたって長期的な変動は検出されなかった。2010年には豊後水道において長期的スローリップが発生したことが明らかになっている(例えばYoshioka et al., 2015, GJI)ことから、地殻深部で電気伝導度が変化しそれが検出された可能性がある。長期的スローリップが発生した豊後水道により近い生田観測点においてのみ見かけ比抵抗変化が観測されたことから、その原因となる構造変化が西側の限られた領域で発生したと考えられる。

また、2009年に四国西部で発生した深部低周波微動と同期する見かけ比抵抗の一時的減少及び位相の一時的増加が、窪野観測点及び惣川観測点(2010年に生田観測点へ移設)の両点で共通して発生していたことが明らかとなった(図4)。これらの変化は対象とする解析周波数によって異なっており、Yamashita and Obara (2009, AGU)が推定した2次元電気伝導度構造を基に発生した構造変化を検討した。推定した見かけ比抵抗及び位相の周波数毎の変化を説明する1次元構造の変化をフォワードモデリングで検討した結果、7kmの厚さの高比抵抗層(1000Ωm)下

における中間比抵抗層 (30 Ωm) で比抵抗が 30% 減少したことで説明できることが明らかとなった。

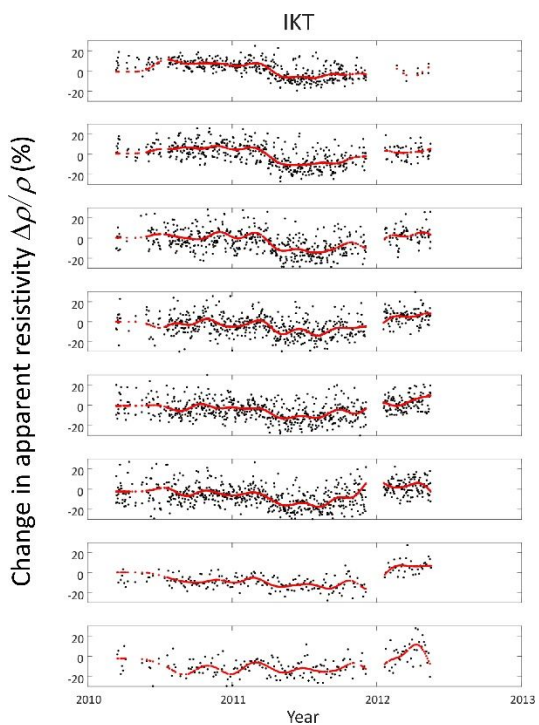


図 3 生田観測点で観測された見かけ比抵抗の一時的かつ長期的な低下。

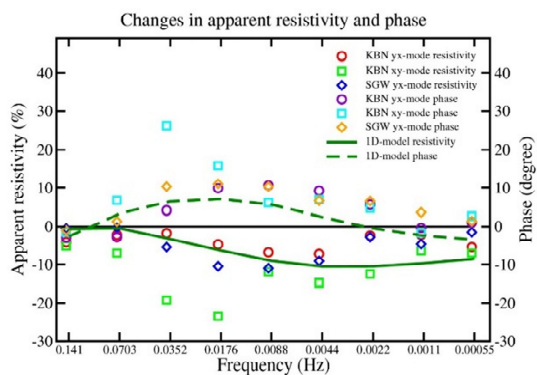


図 4 窪野観測点及び惣川観測点で観測された解析周波数毎の見かけ比抵抗及び位相の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yamashita, F. and Honkura, Y.
2. 発表標題 Long-term temporal change in crustal resistivity beneath western Shikoku
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamashita, F., Fukuyama, E., Xu, S.
2. 発表標題 Characteristics of Foreshock Activities Preceding the Main Rupture Observed on a 4m-long Laboratory Fault
3. 学会等名 10th ACES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下太・福山英一・徐世慶
2. 発表標題 4m長模擬断層面で観測された主破壊に至るまでの前震活動の特徴
3. 学会等名 2018年日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2018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
研究協力者	本蔵 義守 (Honkura Yoshimori)		東京工業大学 名誉教授

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------