

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月11日現在

機関番号：10101

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2014～2018

課題番号：26109004

研究課題名（和文）観察・観測による断層帯の発達過程とミクロからマクロまでの地殻構造の解明

研究課題名（英文）Investigation of fault development and crustal structure from microscopic to macroscopic scales based on geological and seismic observations

研究代表者

竹下 徹 (Takeshita, Toru)

北海道大学・理学研究院・特任教授

研究者番号：30216882

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 179,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、2000年鳥取県西部地震の震源地域における世界に例を見ない小さなスケール（sub-km）の分解能での地震観測により複雑な断層面の形状や非ダブルカップル地震の存在が初めて明らかにされた。また、現在の余震は中新世以来形成された地質断層の再活動によることが明らかとなった。成熟した白亜紀後期に形成された中央構造線断層帯について、断層帯のアーキテクチャーが高精度で明らかになったほか、歪の局所化の過程と原因の究明に進展があった。また、本来流動的な下部地殻の断層帯においても地震性の破壊は生じており、破壊した細粒岩石では反応促進の粒径依存型のクリープで変形が進行していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

断層帯の構造や発展、および歪の局所化といった研究は国際的に見て、近年、大きな注目を集めている先進的な研究テーマである。我々が今回得た研究成果は、新知見を多く含み国際的に見ても高いレベルにある。したがって、研究成果は本分野の研究者にとって広く有益であるほか、今後本分野の研究を推進するものとして学術的に高く評価される。社会的に見ても、2011年の東北地方太平洋沖地震以後、熊本、鳥取県中部、大阪北部、北海道胆振地方等、大規模な内陸地震が頻発しており、地震発生の仕組みを明らかにすることは喫緊の課題であるほか、本研究の成果は地震の長期予測にもつながって行く可能性が高いものとして高く評価される。

研究成果の概要（英文）：In this research, the seismic observations with sub-km resolution conducted in the hypocenter region of the 2000 Tottori earthquake, which was the first challenging ones in the world, have revealed a very complex shape of fault plane and existence of non-double couple earthquakes for the first time. Geological observations conducted in the same area have clarified that aftershock of this earthquake is caused by the reactivation of faults which have been formed along the major fault strand since the Miocene age. On the Median Tectonic Line fault zone formed in the Late Cretaceous, the detailed architecture has been clarified, and our understanding for the processes and mechanism of strain localization has been advanced. Furthermore, it has been clarified that seismic rupture even occurs in the lower part of crust, which is ductile otherwise, and in the fractured fine-grained rocks further deformation proceeds by grain-size sensitive creep enhanced by metamorphic reactions.

研究分野：構造地質学

キーワード：断層帯の発展 歪の局所化 断層岩 下部地殻の破壊 鳥取県西部地震の余震域 高分解能地震観測

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

これまで、地殻上部の低温下では岩石は断層破壊（摩擦すべり）により、地殻下部の高温下では岩石は構成鉱物の流動により変形すると考えられ、脆性一延性転移点で岩石の破壊・流動実験に基づいて数百 MPa に達する高い地殻の強度が推定されて来た。一方、地殻上部の断層帯では、流体存在下で圧力溶解クリープに調節される雲母・粘土鉱物の摩擦すべりが卓越することで著しい強度の低下が生じ、断層に沿うクリープが起っていることが、サンアンドレアス断層の掘削研究を含む最近の研究から指摘されている（例えば Gratier et al., 2012）。一方、地震時のすべり量の大きい領域周辺で弾性波速度が速い傾向にあることが報告されている。これは断層周辺の媒質特性がすべり分布に関係している可能性を示唆している。また、断層帯内の剪断強度は周囲の亀裂方向に影響を及ぼすことが知られている。断層全体の構造やすべり特性を診断するには、地震観測による従来の速度構造分解能 2-3 km を超える、検出限界に近い 1 km スケールの構造推定、sub-km の分解能での断層帯亀裂分布推定、および地質・岩石学的方法による断層物質特性把握を結合することが求められる。

2. 研究の目的

日本列島の地殻ダイナミクスは、弱線である断層の強度に大きく支配される。本研究では、断層帯のマクロ（数 10 km スケール）からミクロ（顕微鏡スケール）までの観測・観察に基づき、断層の構造、岩石の変形、化学反応過程・物質移動等を解析する。これにより、断層に沿う地震発生サイクルの中で、断層帯における低速・高速変形の物理的、化学的過程・機構の実体解明を目指す。同時に、B02（変形実験班）の実験結果、A01（応力班）により地震学的に得られる地殻応力データと比較検討を行う。さらに、高精度・高分解能の地震観測により微小地震の震源・発震機構、構造イメージを取得し、断層帯の物理・化学的理解と結合して地震断層すべりの実体、成因の理解を進め、地殻変形の解明に寄与する。

3. 研究の方法

主として、地質サブグループと地震観測サブグループに分かれて研究を行った。

地質サブグループ：

（1）中央構造線断層帯の発展と歪の局所化の解析（竹下・重松・藤本・亀田・藤内）：

地下深部で塑性流動したマイロナイトおよび地震発生領域深部で脆性的に変形したカタクレーサイトについて、走査型電子顕微鏡(SEM)等を用い、変形微細構造や運動方向の観察、再結晶石英の結晶方位解析、鉱物の化学組成に基づく変形時の温度推定を行った。カタクレーサイトについて、鉱物相や空間分布を、微視的には SEM、巨視的には X 線回折と蛍光 X 線全岩分析により明らかにした。断層ガウジについてはカタクレーサイトと同様の解析に加え、条線に基づき運動方向を決定した。以上により明らかになった異なる変形様式の断層岩の空間分布を、三次元点群処理と衛星測位等により地理的位置座標を取得、最小二乗法で空間補間を行うことで明らかにした。さらに、石英脈等の鉱物脈の方向データを用いた応力インバージョンを行い、断層帯および周辺における間隙流体圧の実体、脆性変形との関連を明らかにした。

（2）下部地殻の変形過程・機構の推定（豊島・奥平）：

天然に産する斑れい岩（下部地殻岩石）などに発達する複数の小規模剪断帯を研究対象として、変形機構遷移（転位一拡散クリープ遷移）にとって最も重要な長石や輝石の細粒化過程を明らかにした。具体的には、(a) 各種分析機器を用いた再結晶粒子の結晶方位解析や化学組成分析、(b) 再結晶粒子の化学組成に基づく熱力学的解析を行った。これらの分析により、下部地殻構成鉱物の細粒化過程と変形機構、変形時の温度・圧力・流体組成の推定を行った。

（3）鳥取県西部地震震源域の断層の発展過程の解析（廣野・小林・向吉）：

リニアメントが不明瞭であるにも関わらず地震活動が活発な地域における断層分布、およびそれら断層の発達過程について明らかにすることを目的とし、2000 年鳥取県西部地震余震域において網羅的な断層分布の把握を行った。また、確認された断層の発達過程および断層物質の鉱物学的特徴を明らかにすることを目的とし、断層の古応力解析、K-Ar 法による断層形成年代推定、断層岩の XRD 分析を行った。

地震観測サブグループ（松本・酒井・加藤）：

（4）鳥取県西部地震震源域における高分解能地震観測

平成 26 年度および 27 年度は、A01（応力班）と鳥取県西部地震震源域における観測を共同で行い、データ収録を進め地震活動の特徴を把握した。また、地震波速度トモグラフィについて解析を進め、背景構造を推定する準備を行ったほか、地震波減衰構造推定法の改良を進めた。A01 の地震観測点は 150 点程度であり、得られるデータから従来の約 2 倍の分解能をもつ構造が推定できた。これにより、断層帯でのすべり不均質を生む背景についての知見を得た。

平成 28 年度以降は断層面亀裂分布推定に向けて、大量のデータ収録・処理システムの開発を A01 班と協力して進めた。28 年度は断層深部形状検出システムを導入し、従来なかった地震観測システムで、余震域をカバーするおよそ半径 17 km の地域に千点の観測システムを展開

した。密度はほぼ 1 点/1 km² となり、sub-km の精度で微小亀裂の分布推定を行った。この自然地震観測としては類を見ない密度での観測は、簡易地震計、携帯電話を用い、受信局にデータ収録することで処理を行った。地震計や収録計を簡易なものにすることで安価にし、微小亀裂検出に特化したシステムを構築した。横ずれ断層が卓越する鳥取県西部では、微小亀裂の方位推定が 1 度の精度で行えるため、亀裂分布のみではなく絶対応力測定も可能となった。29 年度に開発したシステムによる観測を行い、地震活動、亀裂分布について知見を得た。

4. 研究成果

地質サブグループ：

(1) 中央構造線断層帯の発展と歪の局所化 (竹下・重松・藤本・亀田・藤内)

三重県西部飯高町の中央構造線断層帯の構造は概ね東西走向、北傾斜で、大きく領家帯内のマイロナイトを含む左横ずれの構造と、右横ずれのカタクレサイトを含む構造に分かれる。切断関係から後者の構造は前者より新しい。領家帯岩石と三波川帯変成岩の岩相境界は後者に含まれる。マイロナイトを含む左横ずれの構造は、岩相境界から北側 300 m 程度までに分布する。分布域北限付近は、より高温変形の特徴を示すマイロナイトが分布し、より南に行くと、低温変形の特徴を示すマイロナイト、さらに脆性的に変形したカタクレサイトの分布する。左横ずれの構造分布域の南限付近には、ウルトラマイロナイトと黒色カタクレサイトの、厚さ 10 m 程度の互層領域が見られる。この領域は左横ずれ構造の最終的な変形集中域として大きな変位をまかなっていたと考えられる。

調査範囲の西部では、中央構造線から 300 m 北までにはトーナル岩を原岩とするプロトマイロナイト、300 m から 800 m の部分にはカリ長石の巨晶を含む花崗岩マイロナイトが分布する。花崗岩マイロナイトの部分は、石英の再結晶粒子のサイズ・形状、c 軸ファブリックおよび 2 長石温度計に基づき、温度の低下とともに北部から南部へ歪の局所化が進行した (図 1)。さらに、中央構造線から 50 m 以内に分布するウルトラマイロナイト中では、r-集中を伴うタイプ-I クロスガードルやランダム c 軸ファブリックが認められた (Czertowicz et al., 2019)。従って、塑性変形は最終的に中央構造線断層帯に沿う厚さ 50 m のウルトラマイロナイトに集中したと類推される。

右横ずれのカタクレサイトを含む構造は、北側に右横ずれのカタクレサイト、岩相境界の南側に運動方向が異なる最新すべり面が分布する (Shigematsu et al., 2017)。領家帯側では緑

泥石温度計から 変形温度は 300 °C 付近であり、また、三波川帯側では白雲母の塑性変形が見られ、脆性領域最深部における変形が示唆される。三波川帯中の最新すべり面付近では、造構応力場の変化に対応した運動方向の変化が見られ、最新すべり面は幅数 cm 程度のスメクタイトに富む層で、正断層性の運動を起こした。さらに、飯高町赤桶で掘削されたボーリング掘削コア (Shigematsu et al., 2012 など) について、領家花崗岩由来のカタクレサイト中の割れ目密度の増加に伴う元素移動と鉱物の溶解・沈殿の過程が明らかにされた (Kaneko et al., 2017)。

なお最新すべり面付近の運動方向は三重県と奈良県の県境付近では、上記正断層運動の後に逆断層運動と右横ずれ運動を経験していることを確認した。これらのより新しい活動は中央構造線の第四紀における活動と調和的である。三重県と奈良県の県境から一定距離離れた場所に、第四紀における破壊停止域があった可能性が示唆される。

愛媛県西条市の中央構造線主断層面から 2 km 以内の岩石に発達する鉱物脈群 (主に方解石脈と石英脈) の方向分布密度 (ばらつき具合) を調べた結果、上盤の和泉層群中では断層コアに近い場所ほど鉱物脈が形成した時の間隙流体圧比が高かった可能性を示した。

(2) 下部地殻の変形過程・機構の推定 (豊島・奥平)：

かつて下部地殻において形成され、現在は地表に露出している剪断帯を直接観察することにより、下部地殻の変形過程・機構を推定することを目的とし、研究を行った。このような目的のもと、ノルウェー北部 Sørøya 島に産する Hasvik 斑れい岩中の幅数 cm の狭長な剪断帯、およびノルウェー北部 Vesterålen 諸島に分布する幅数 m 規模の Eidsfjord 剪断帯を研究対象とした。

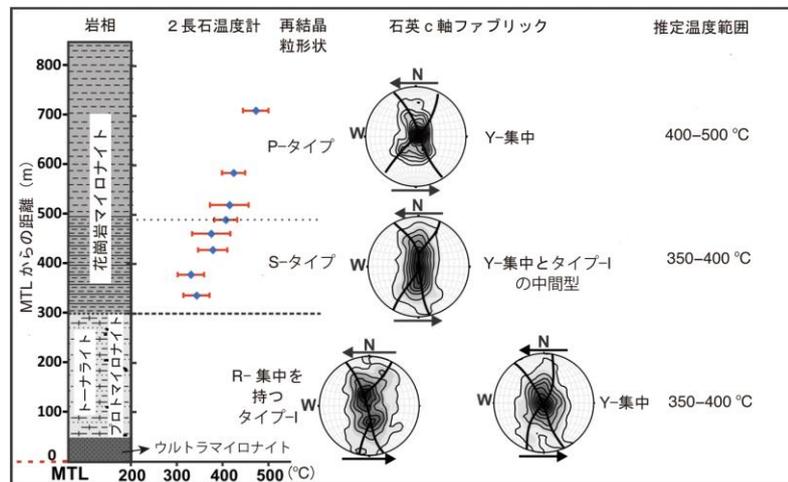


図 1 三重県赤岩谷ルートにおける中央構造線断層帯中の微細構造と 2 長石温度計から推定された変形時温度。赤線は推定された温度範囲を示す。Bui (2019, 北海道大学博士論文) より。MTL：中央構造線。

岩石学的・構造地質学的解析を行った結果、両地域において共通した形成過程・機構を見いだした。それは、(1) 破壊による狭長な破碎帯の形成、(2) 破碎帯への H₂O を主成分とする流体の浸透、(3) 加水変成作用による新たな再結晶鉱物の形成、(4) 粒径依存型クリープによる変形という一連の過程で、低粘性（斜長石集合体の粒径依存クリープの流動則から導かれる有効粘性率は、Hasvik 剪断帯で $\sim 10^{16}$ Pa s、Eidsfjord 剪断帯で $\sim 10^{18-19}$ Pa s）の剪断帯が形成されるというものであった（Okudaira et al., 2015, 2017）。Eidsfjord 剪断帯で認められた斜長石集合体の粒径依存型クリープは、拡散クリープや転位緩和型粒界すべりではなく、斜長石の特定の結晶面が発達し、その面におけるすべりが卓越するようなタイプの粒界すべりであったことが指摘された（Soda et al., in press）。

また、Eidsfjord 剪断帯における解析から、下部地殻条件（600 °C, 0.7 GPa）における粉碎現象（pulverization）を世界で初めて報告した（Soda and Okudaira, 2018）。粉碎した岩石では浸透率が上昇することが期待されるため、地殻における流体の主要な通路となり、下部地殻のレオロジー構造を大きく改変する可能性が高い。さらに、Eidsfjord 剪断帯において、最低 2 回（初期：650 °C, 0.95 GPa, 晩期：600 °C, 0.7 GPa）の破壊・変成作用が斜長石の組成累帯構造に基づき認識された（Soda et al., submitted）。

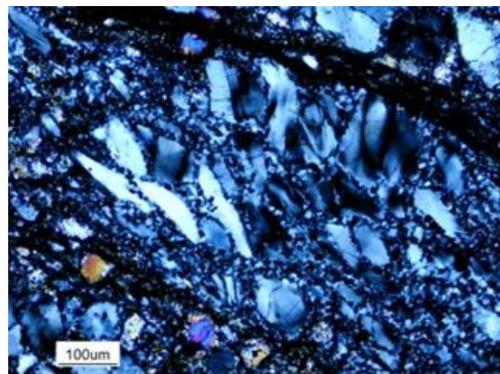


図2 バルジと極細粒斜長石粒によって縁取られている斜長石破砕片。

東南極ナピア岩体トナー島の、シュードタキライトを伴う延性剪断帯を解析した。その結果、下部地殻条件（グラニュライト相条件：700-800 °C, 0.8 GPa）において、マイロナイト化と脆性変形・高速すべり（破碎・カタクレーサイト化・シュードタキライトの形成）とが繰り返し起こったことが明らかとなった。グラニュライト相条件において形成された本シュードタキライト生成断層帯内のマイロナイトには、その周辺マイロナイトと違い、高歪速度延性変形によって形成されたものが認められる。これ以外にも、本シュードタキライト生成断層帯には、断層岩種、LPO、再結晶粒径、変形微細構造などにおける多様性が存在し、その多様性は、歪速度、差応力、転位クリープにおけるすべり系、変形メカニズムにおける多様性（低温型～高温型）を示している。このような多様性によって、下部地殻断層におけるメカニカルな・物質的な不安定性が生まれ、それが下部地殻条件での地震性高速すべりを誘導した可能性が見出された。また、シュードタキライト生成断層帯中の斜長石破砕片は、グラニュライト相条件における地震時のカタクレーシスによって形成された後、バルジと極細粒（2-5 µm）斜長石粒によって縁取られている（図2）。これらの極微粒再結晶粒は地震後の応力緩和によって形成された可能性がある。

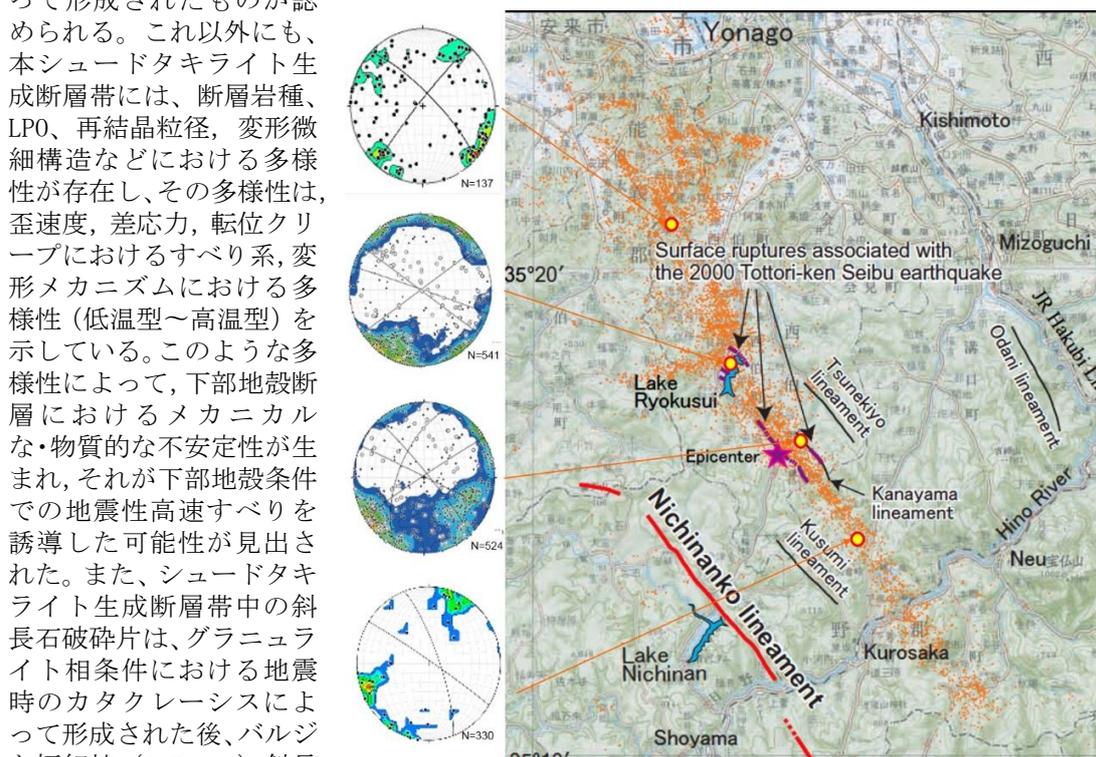


図3 2000年鳥取県西部地震余震域（橙色の点群部分）周辺の地表に露出する多数の断層の姿勢（シュミットネット、下半球投影）。杉山ほか（2004）に加筆。

(3) 鳥取県西部地震震源域の断層の発展過程の解析（廣野・小林・向吉）：

2000年鳥取県西部地震余震域の地表に露出する断層の分布およびそれらの発達過程、地震観測と地表の断層との関係について明らかにすることを目的として、同余震域周辺における地質踏査を行った。調査の結果、調査範囲に1500条を超える多数の小断層が発達していることが明らかとなった。これらの断層姿勢は、その多くが余震の延びの方向と調和的ではあるものの、余震域中央部付近など、一部の地域においては、余震の延びに対して10-30°程度反時計回りし

た方向に姿勢が集中するといった特徴を示した。この断層姿勢の特徴は、下記 (4) 「鳥取県西部地震震源域における高分解能地震観測」や Yukutake and Iio (2018) によって示された地下の断層形状と概ね一致する。XRD 分析による地表の断層の断層岩鉱物分析を行ったところ、鉱物組成も断層姿勢と同様に地域性を要することが明らかとなった。また、これらの断層の古応力解析および K-Ar 年代法による断層形成年代測定を行ったところ、日本海拡大およびフィリピン海プレートの沈み込みに伴うと考えられる複数の応力場によって形成された断層であることが明らかとなった。以上より、2000 年鳥取県西部地震震源域の地表に露出する多数の断層は、古い地質時代に形成された古傷であり、それらが現在の応力状態において再活動していることを示していると解釈される。

地震観測サブグループ (松本・酒井・加藤) :

(4) 鳥取県西部地震震源域における高分解能地震観測

地震観測サブグループでは、深部断層形状検出装置を 2016 年度に開発した。これは、低消費電力で、携帯電話回線を通じてデータを伝送する機能を持ち、軽量で設置・運用が極めて容易なものである。これらを鳥取県西部に展開するべく、地方自治体・ボランティアの協力を得て設置場所の特定・交渉を行い、許可を受けた。2017 年 3 月から 2018 年 4 月にかけて、上記の装置 1000 台を展開し、連続波形記録を取得した。波形記録に対して自動イベント検出処理を適用し、震源決定精度の高い 5000 個以上の微小地震を検出した。検知能力はマグニチュード -0.5 程度であった。詳細にデータを解析した結果、2000 年鳥取県西部地震の震源断層の近傍で発生する微小地震を多数検出し、断層面が複雑な形状を示すことを明らかにした。また、流体の存在を示唆する非ダブルカップル

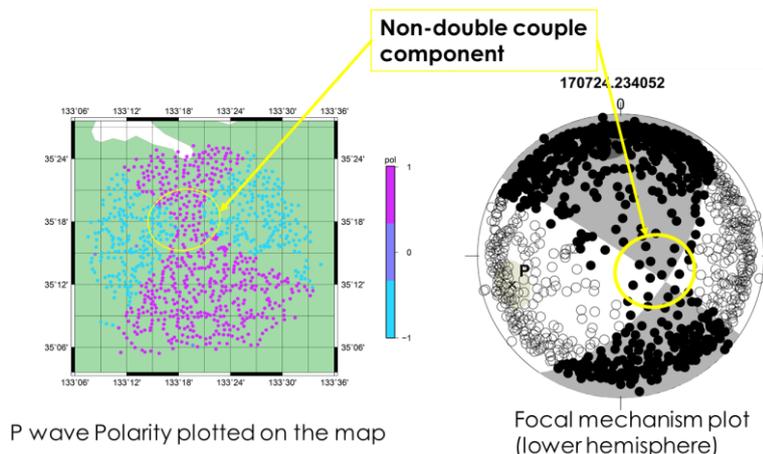


図 4 鳥取県西部地震震源域で得られたマグニチュード 2 クラスの地震の P 波初動極性分布と発震機構解。初動極性 (左図) は紫が UP、水色が Down を示し、観測点位置にプロットされている。右図は下半球等積投影による、発震機構解。黒・白が UP、Down を示す。

成分の大きな地震を高い精度で決定できた (図 4)。これは、震源域に 500 個以上の観測点が高密度に分布することで初めて検出できる特徴であり、規模の小さい地震にも有意な非ダブルカップル成分があることを世界ではじめて発見した。さらに、鳥取県西部地震直後の活動と 18 年たった今回の地震活動から非弾性ひずみ量を推定し、本震断層面の場所によってひずみ速度の減少率に違いがあることを示した。このことは、断層の下部延長における滑りの可能性を示唆する。一方、断層深部で発生する低周波地震には、特異な震源過程を有するものが存在することも新たに見出した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 91 件)

- ① The architecture of long-lived fault zones: insights from microstructure and quartz lattice-preferred orientations in mylonites of the Median Tectonic Line, SW Japan, Czertowicz, T. A., Takeshita, T., Arai, S., Yamamoto, T., Ando, J.-I., Shigematsu, N., and Fujimoto, K.-I., Progress in Earth and Planetary Science, 査読有, 6, 2019. doi.org/10.1186/s40645-019-0261-6
- ② Source fault model of the 2018 Mw 5.6 northern Osaka earthquake, Japan, inferred from the aftershock sequence, Kato, A., and Ueda, T., Earth, Planets Space, 査読有, 71, 2019. doi.org/10.1186/s40623-019-0995-9
- ③ Slip parameters on major thrusts at a convergent plate boundary: regional heterogeneity of potential slip distance at the shallow portion of the subducting plate, Mukoyoshi, H., Kaneki, S., and Hirono, T., Earth, Planets Space, 査読有, 70, 2018. doi:10.1186/s40623-018-0810-z
- ④ Prestate of stress and fault behavior during the 2016 Kumamoto Earthquake (M7.3), Matsumoto, S., Yamashita, Y., Nakamoto, M., Miyazaki, M., Sakai, S., Iio, Y., Shimizu, H., Goto, K., Okada, T., Ohzono, M., Terakawa, T., Kosuga, M., Yoshimi, M., and Asano, Y., Geophys. Res. Lett., 査読有, 45, 637-645, 2018. doi:10.1002/2017GL075725

- ⑤ Evolution of the Median Tectonic Line fault zone, SW Japan, during exhumation, Shigematsu, N., Kametaka, M., Inada, N., Miyawaki, M., Miyakawa, A., Kameda, J., Togo, T., and Fujimoto, K., *Tectonophysics*, 査読有, 696-697, 52-69, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.12.017>
- ⑥ Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan, Shito, A., Matsumoto, S., Shimizu, H., Ohkura, T., Takahashi, H., Sakai, S., Okada, T., Miyamachi, H., Kosuga, M., Maeda, Y., Yoshimi, M., Asano, Y., and Okubo, M., *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 44, 7766-7772, 2017.
doi.org/10.1002/2017GL074593
- ⑦ Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions, Hirono, T., Tsuda, K., Tanikawa, W., Ampuero, J. P., Shibazaki, B., Kinoshita, M., and Mori, J. J., *Sci. Rep.*, 査読有, 6, 28184, 2016.
[doi:10.1038/srep28184](https://doi.org/10.1038/srep28184)
- ⑧ Complete ⁴⁰Ar resetting in an ultracataclasite by reactivation of a fossil seismogenic fault along the subducting plate interface in the Mugi Mélange of the Shimanto accretionary complex, southwest Japan, Tonai, S., Ito, S., Hashimoto, Y., Tamura, H., and Tomioka, N., *J. Struct. Geol.*, 査読有, 89, 19-29, 2016.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2016.05.004>
- ⑨ Foreshock migration preceding the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Japan, Kato, A., Fukuda, J., Nakagawa, S., and Obara, K., *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 43, 8945-8953, 2016. <https://doi.org/10.1002/2016GL070079>
- ⑩ The 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kato, A., Nakamura, K., and Hiyama, Y., *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.*, 査読有, 92, 358-371, 2016. [doi:10.2183/pjab.92.359](https://doi.org/10.2183/pjab.92.359)
- ⑪ Inelastic strain rate in the seismogenic layer of Kyushu Island, Japan, Matsumoto, S., Nishimura, T., and Ohkura, T., *Earth, Planets Space*, 査読有, 68, 2016.
[doi:10.1186/s40623-016-0584-0](https://doi.org/10.1186/s40623-016-0584-0)
- ⑫ Method for estimating the stress field from seismic moment tensor data based on the flow rule in plasticity theory, Matsumoto, S., *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 43, 8928-8935, 2016. doi.org/10.1002/2016GL070129
- ⑬ High-temperature fracturing and subsequent grain-size-sensitive creep in lower crustal gabbros: Evidence for coseismic loading followed by creep during decaying stress in the lower crust? Okudaira, T., Jerábek, P., Stünitz, H., and Füsseis, F., *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 査読有, 120, 3119-3141, 2015.
[doi:10.1002/2014JB011708](https://doi.org/10.1002/2014JB011708)
- ⑭ Determining changes in the state of stress associated with an earthquake via combined focal mechanism and moment tensor analysis: Application to the 2013 Awaji Island earthquake, Japan, Matsumoto, S., Katao, H., and Iio, Y., *Tectonophysics*, 査読有, 649, 58-67, 2015. [doi:10.1016/j.tecto.2015.02.023](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.02.023)
- ⑮ Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone, Matsumoto, S., Nakao, S., Ohkura, T., Miyazaki, M., Shimizu, H., Abe, Y., Inoue, H., Nakamoto, M., Yoshikawa, S., and Yamashita, Y., *Earth, Planets Space*, 査読有, 67, 2015. [doi:10.1186/s40623-015-0342-8](https://doi.org/10.1186/s40623-015-0342-8)

[学会発表] (計 243 件)

- ① Kato, A., S. Matsumoto, Y. Iio and S. Sakai, Precise hypocenters determined by the "0.1 Mantle" hyper dense seismic network: Implication of faulting structure linked to geological observation, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ (千葉), 2018年5月23日

[図書] (計 8 件)

- ① Kaneko, Y., Takeshita, T., Watanabe, Y., Shigematsu, N., Fujimoto, K.-I. (2017), Alteration reaction and mass transfer via fluids with progress of fracturing along the Median Tectonic Line, Mie Prefecture, southwest Japan. In Ito, Y. ed., "Evolutionary Models of Convergent Margins - Origin of Their Diversity", ISBN 978-953-51-5130-2, InTechOpen, 117-138. [doi:10.5772/68112](https://doi.org/10.5772/68112)

[その他]

ホームページ等

<http://cd.dpri.kyoto-u.ac.jp/> 地殻ダイナミクス

※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。

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：酒井 慎一
ローマ字氏名：Sakai Shinichi
所属研究機関名：東京大学
部局名：地震研究所
職名：准教授
研究者番号（8桁）：00251455

研究分担者氏名：豊島 剛志
ローマ字氏名：Toyoshima Tsuyoshi
所属研究機関名：新潟大学
部局名：自然科学系
職名：教授
研究者番号（8桁）：10227655

研究分担者氏名：藤内 智士
ローマ字氏名：Tonai Satoshi
所属研究機関名：高知大学
部局名：教育研究部自然科学系理学部門
職名：助教
研究者番号（8桁）：10632557

研究分担者氏名：奥平 敬元
ローマ字氏名：Okudaira Takamoto
所属研究機関名：大阪市立大学
部局名：大学院理学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：20295679

研究分担者氏名：加藤 愛太郎
ローマ字氏名：Kato Aitaro
所属研究機関名：東京大学
部局名：地震研究所
職名：准教授
研究者番号（8桁）：20359201

研究分担者氏名：小林 健太
ローマ字氏名：Kobayashi Kenta
所属研究機関名：新潟大学
部局名：自然科学系
職名：講師
研究者番号（8桁）：30283005

研究分担者氏名：松本 聡
ローマ字氏名：Matsumoto Satoshi
所属研究機関名：九州大学
部局名：理学研究院
職名：准教授
研究者番号（8桁）：40221593

研究分担者氏名：亀田 純
ローマ字氏名：Kameda Jun
所属研究機関名：北海道大学
部局名：理学研究院
職名：准教授
研究者番号（8桁）：40568713

研究分担者氏名：廣野 哲朗
ローマ字氏名：Hirono Tetsuro
所属研究機関名：大阪大学
部局名：理学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：70371713

研究分担者氏名：藤本 光一郎
ローマ字氏名：Fujimoto Koichiro
所属研究機関名：東京学芸大学
部局名：教育学部
職名：教授
研究者番号（8桁）：80181395

研究分担者氏名：重松 紀生

ローマ字氏名：Shigematsu Norio

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：活断層・火山研究部門

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：80308163

研究分担者氏名：向吉 秀樹

ローマ字氏名：Mukoyoshi Hideki

所属研究機関名：島根大学

部局名：総合理工学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：80744200