

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H02954

研究課題名（和文）地震破壊伝播機構解明のための長大岩石摩擦実験研究

研究課題名（英文）Studies on Earthquake Rupture Propagation Using Large-scale Friction Experiments

研究代表者

福山 英一（Fukuyama, Eiichi）

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60360369

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：断層長4mの長大岩石摩擦試験機を構築・稼働させ、地震の破壊開始と成長を模擬する実験を行った。初期クラックの生成から不安定すべりへの移行過程を精度良く捉え、臨界クラックサイズは、Uenishi and Riceの予測と整合的であることを確認した。また、初期クラック生成に至る過程において発生する前震の大きさはその場所における載荷速度と相関があり、前震発生のレオロジー的な性質をとらえた。また、断層長1.5mの大型岩石摩擦試験機の実験データを用いた解析により、前震の発生とスロースリップの発生は相補的であり、どちらが発生するかは、すべり面の不均質具合に依存していることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、地震の破壊核生成と破壊伝播の研究は、理論的な枠組みに基づいた数値計算か、アクリルやプラスチックなどの擬似物質を使った実験しか行われてこなかったが、今回運用を開始した断層長4m長大岩石摩擦試験機により、精度良く地震の初期クラックの形成から不安定破壊への移行プロセスを捉えることができた。特に、前震の粘弾的な性質は、実際の岩石の性質を反映した結果であり、非常に重要な成果である。ここで得られた結果を、岩石摩擦の構成則に反映し、現実に近い環境を模擬できる大型数値シミュレーションに組み込むことで、将来の大地震発生シナリオの構築に貢献できるかもしれない。

研究成果の概要（英文）：By constructing a 4m-long rock friction experiment apparatus, we conducted several experiments on the initiation and propagation of earthquake rupture process. We confirmed that the critical initial crack size was consistent with that reported by Uenishi and Rice. The magnitude of the foreshocks that occurred during the initiation process were proportional to the local loading velocity, indicating that the generation of foreshocks might be related to the rheological process. In addition, using the 1.5m-long rock friction apparatus data, whether foreshock or slow slip occur depends on the heterogeneity on the fault surfaces and they occurred complementally each other.

研究分野：地震学

キーワード：断層摩擦 初期クラック 破壊伝播

1. 研究開始当初の背景

地震破壊伝播の研究は、野外観測データの解析によって得られた破壊伝播モデルと、数値シミュレーションによって構築された理論モデルによって主に行われてきた。しかしながら、破壊伝播を支配している断層摩擦構成則パラメータを把握するには絶対応力の情報が必要であり、野外観測データからは得ることができない。なぜなら、野外観測データから得られる情報は、弾性波を通しての情報であるので、地震発生場での応力変化の情報は持っているものの、絶対応力の情報は持っていない。もっとも、地震発生域内部において観測を行えば、摩擦構成則パラメータに関する情報を直接得ることが出来るが、通常地下10km以深で起こる地震の発生層内部での観測は現状の技術ではほぼ不可能である。また、地震発生場所と発生時刻の事前予測は現在我々が持っている知識では不可能に近いので、時間や場所が想定できない地震発生層内部における観測は現実的ではない。摩擦構成則の検証を行うためには、実験的なアプローチが必須である。

近年、プラスチック素材などの疑似媒体を用いた破壊伝播研究が行われてきた。弾性波速度の遅い疑似媒体を使うことで、さほど大きな試料を用いた実験をしなくても、破壊伝播のデータを得ることが出来るからである。しかしながら、これまで行われてきた高速すべり摩擦実験より、地震破壊伝播時の摩擦は、摩耗物の生成とすべり面における温度上昇が重要な役割をしていることが知られており、実際の岩石を用いた破壊伝播実験による理論の検証及び改良が求められている。福山・他は、2011年～2015年の間、防災科学技術研究所所有の耐震実験用大型振動台を用いて、断層長1.5mの岩石試料を用いた摩擦実験を行った。耐震実験用の振動台を用いることにより、比較的速い速度の載荷(最大1m/s)と長い距離の変位(最大0.4m)の実験が可能となる。これらの実験によって、比較的すべり速度の速い状況下におけるメートルサイズの岩石試料の摩擦の振る舞いにおいて、これまで知られていなかった摩耗メカニズムが存在し、断層面サイズ依存性が存在することがわかった。これまでは、大型岩石試料を用いた摩擦実験は世界的に見てもあまり行われておらず、しかも、すべり速度やすべり変位の大きい実験は、小型岩石試料を用いて同じところを何度もすべる回転式摩擦試験機による結果のみであった。それゆえ、山下・他の実験結果は非常に重要であり、さらに研究を推進していく必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、福山・他で得られた一連の知見をもとに、破壊伝播距離のより長い試料長4mの岩石を用いた破壊伝播実験を行い、地震の初期破壊拡大メカニズム、地震破壊伝播速度の変化、超S波速度破壊伝播モードへの遷移、破壊停止などを実験的に再現し、これらをコントロールするパラメータを推定することにある。さらに局所的な応力分布や摩擦係数のゆらぎを精密に調べ、空間的不均質が摩擦に及ぼす影響を調べることにある。岩石は弾性波速度が速いため、破壊伝播の詳細をとらえるためには、長い破壊伝播距離を必要とし、今回の長大岩石試料を用いた摩擦実験は、まさに、その要求を満たす実験である。

3. 研究の方法

(1) 防災科学技術研究所において構築中の岩石摩擦試験機を稼働状態にし、長さ4mの岩石試料を用いた二軸摩擦実験を開始する。まず、基礎的なデータを取得し、試験機の特・性能の把握を行う。特に、岩石試料長手方向に多数点設置した歪みゲージによって測定された歪データの解析により、岩石試料各部に期待通りの法線応力や剪断応力が断層面に均等にかかっているかの確認をする。この際、有限要素法解析により、試験機の構造を考慮した力学変形計算を行い、測定した歪変形量と比較し、空間的ばらつきの程度を把握する。

(2) 試験機の立ち上げと平行して、事前に、有限要素法や境界積分方程式法による断層面における応力の蓄積解放過程のシミュレーションを行い、得られるstick slip eventの破壊伝播データを事前に予測しておく。この事前予測作業によって得られたデータをもとに、それぞれのセンサーの最適な配置を計画する。

(3) 予備的な実験を行いstick slip eventのデータを取得し、破壊の伝播速度を確認し、実験条件の調整を行う。また、歪ゲージや変位計などのセンサーの設置位置の確認を行い、データ解析に最も適したセンサ配置にチューニングする。stick slip eventの破壊開始位置や破壊伝播速度は、断層面にかかっている応力のばらつきと、断層面のダメージ具合によって決まることが知られているので、断層面の状態をモニターしながら、実験を進めていく。

(4) stick slip eventの破壊伝播速度をコントロールする要因を精査し、実際の実験において、破壊伝播速度をコントロールした実験を行うことを目指す。載荷時に実際に歪ゲージで測定された局所的な法線応力、剪断応力を有限要素法による計算と比較し、空間的な不均質を及ぼす原因を調査する。さらに、断層面にかかっている剪断応力/法線応力分布とstick slip eventの破壊伝播速度との関係を調べ、剪断破壊の伝播の性質を理論的に記述できるかどうかを調べる。

(5) 破壊伝播速度と、断層面の性質や断層面の応力状態との関係が実験的に得られたならば、その知見を利用して、破壊核が形成され、不安定すべりが始まり、破壊伝播が加速し、通常の地震破壊で見られるレーリー波速度以下での伝播モードから超S波速度伝播モードへの遷移が起こり、最終的に破壊が停止するような、一連の破壊伝播のデータを取得・解析する。破壊フロント近傍の歪場と変位場を歪みゲージや変位計などにより精密に測定し、破壊フロント近傍の弾性エネルギーの収支を精密に推定する。得られたエネルギー収支と破壊伝播速度の変化の関係を調べ、破壊伝播の加速や減速の要因を抽出する。

4. 研究成果

(1) 長さ4mの岩石試料を用いた長大2軸摩擦試験機を立ち上げ、動作確認のための実験を行い、試験機が期待通りの動作をしていることを確認した。さらに、模擬断層面近傍の長大岩石試料の長手方向にひずみゲージ、変位計、AEセンサーを多点アレーとして設置し、スティックスリップ地震の際の断層の動きとそこに働いている剪断応力や法線応力の変化、不安定滑りによる高周波波動の発生状況を時空間的にモニターした。その結果、岩石試料にせん断変位を一定速度で与え続けると、スロースリップ域が加力とともに増大し、最後に残った固着域(アスペリティ)から不安定な地震性破壊が生成伝播していく様子を捉えることができた。この現象は、巨大地震の際に理論研究から予測されている、プレスリップや前震が発生したのち、巨大地震が発生

するというシナリオと符合している。さらに、多点の変位計による断層変位の時空間モニターにより破壊伝播速度の推定を行うことに成功し、剪断応力と法線応力の応力比の時空間分布との関係から、断層面における強度変化と破壊伝播の関係を調査するための基本的なデータを得ることができた。

(2) 長さ4mの岩石試料を用いた長大2軸摩擦試験機を用いて、いくつかの試験的な岩石摩擦実験を行なった。これらの実験により、初期のゆっくりすべりは岩石の両端から開始し、徐々に中心部に向かって広がり、すべり残りがああるサイズになった時点で不安定すべりに移行し、中心部から両端に向かって高速すべりが伝播する様子をひずみゲージ、渦電流変位計、AEセンサーのアレイによってとらえることができた。この現象は、プレート境界上で発生している繰り返し地震の解析によって得られているアスペリティ周囲の定常的なすべりとアスペリティの周期的な破壊による繰り返し地震の発生と類似性が高く、プレート境界において起こっている不均質すべり現象のアナログ現象として、詳細な解析の意義のあるデータを得ることができた。また、不安定すべりの発生に先立ち、多数の前震の発生も確認されている。この現象は、本摩擦試験機によって再現性が高く得られている。

(3) 長さ4mの岩石試料を用いた長大2軸摩擦試験機による岩石摩擦実験データを解析したところ、ゆっくりすべりから高速すべりへ移行する際のクラックの臨界サイズは、Uenishi & Rice (2003)らが提唱している震源核サイズと定性的に合致することが確かめられ、震源核サイズが断層摩擦の性質で決まることが実験的に裏付けられた。また、不安定すべりの発生に先立ち、多数の前震の発生も確認されており、これらの前震活動は、断層面の不均質さと関連があり、断層面の性質を変化させると前震活動の様子が変化することが実験的に確認されており、前震活動は断層面上での剪断応力分布を反映しているものと考えられる。

(4) 長さ4mの岩石試料を用いた長大2軸摩擦試験機による岩石摩擦実験によって、岩石両端から初期のゆっくりすべりの開始、徐々に中心部に向いすべり残りがああるサイズになった時点で不安定すべりに移行、中央部のすべり残り部分を破壊したのち両端に向かって高速すべりが伝播する現象が、ひずみゲージ、渦電流変位計、AEセンサーアレイによって捉えられており、その詳細な解析を行なった。ゆっくりすべりの進展に伴い、その伝播フロントの先端において前震の発生も観測されており、前震の大きさ(マグニチュード)と前震発生直前のその点における歪速度(ゆっくりすべりのすべり速度)とを比較すると、正の相関があることがわかった。このような前震の発生は、歪速度が前震の大きさを制御している摩擦則が関連していることが想定され、岩石のレオロジー効果との関連が示唆される。測定された現象は、ゆっくりすべりと不安定すべりを繋ぐ現象として注目される。

(5) 大型岩石摩擦試験機を用いたガウジ層の存在が摩擦パラメータに及ぼす影響を調べることに焦点を置いた研究を行った。ガウジ層を含む岩石摩擦実験を行い、ガウジ層を含まない場合との実験結果の比較を行い、速度状態依存摩擦則における a, b にはあまり大きな影響を与えないものの、 D_c はガウジ層がある場合2オーダーほど大きくなる結果が得られた。これは、ガウジ層の存在がすべり発生後の摩擦の性質を大きく変化させることを示している。また、ガウジ層が成長していく過程において速度状態依存摩擦パラメータの推定を行い、 D_c 値の増加のプロセスをモニターすることができた。

(6)大型岩石摩擦試験機を用いた岩石摩擦実験のデータを解析し、不安定滑り前に発生する前震とスロースリップが相補的に発生していることを見出した。また、前震が卓越して発生するかどうかはすべり面の不均質さに依存していることがわかった。この現象は、巨大地震の前に前震活動が存在するかどうかに関しての重要な示唆を与えているものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Xu Shiqing、Fukuyama Eiichi、Yamashita Futoshi、Takizawa Shigeru	4. 巻 524
2. 論文標題 Evolution of Fault-Interface Rayleigh Wave speed over simulated earthquake cycles in the lab: Observations, interpretations, and implications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 115720 ~ 115720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.115720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Aiyama K.、Mizoguchi K.、Hirano K.、Takizawa S.	4. 巻 126
2. 論文標題 Effects of sample preparation on the microstructural signatures of faulting in clay-bearing fault gouge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Structural Geology	6. 最初と最後の頁 100 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsg.2019.06.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Xu Shiqing、Fukuyama Eiichi、Yamashita Futoshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Robust Estimation of Rupture Properties at Propagating Front of Laboratory Earthquakes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 766 ~ 787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016797	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Xu Shiqing、Fukuyama Eiichi、Sagy Amir、Doan Mai-Linh	4. 巻 733
2. 論文標題 Physics of Earthquake Rupture Propagation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2018.04.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukuyama Eiichi, Tsuchida Kotoyo, Kawakata Hironori, Yamashita Futoshi, Mizoguchi Kazuo, Xu Shiqing	4. 巻 733
2. 論文標題 Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 182 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2017.12.023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita Futoshi, Fukuyama Eiichi, Xu Shiqing, Mizoguchi Kazuo, Kawakata Hironori, Takizawa Shigeru	4. 巻 733
2. 論文標題 Rupture preparation process controlled by surface roughness on meter-scale laboratory fault	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 193 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2018.01.034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xu Shiqing, Fukuyama Eiichi, Yamashita Futoshi, Mizoguchi Kazuo, Takizawa Shigeru, Kawakata Hironori	4. 巻 733
2. 論文標題 Strain rate effect on fault slip and rupture evolution: Insight from meter-scale rock friction experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 209 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2017.11.039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukuyama Eiichi, Yamashita Futoshi, Mizoguchi Kazuo	4. 巻 175
2. 論文標題 Voids and Rock Friction at Subseismic Slip Velocity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Pure and Applied Geophysics	6. 最初と最後の頁 611 ~ 631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00024-017-1728-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita Futoshi, Fukuyama Eiichi, Xu Shiqing, Kawakata Hironori, Mizoguchi Kazuo, Takizawa Shigeru	4. 巻 12
2. 論文標題 Two end-member earthquake preparations illuminated by foreshock activity on a meter-scale laboratory fault	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24625-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamashita F., Fukuyama E., Xu S.	4. 巻 127
2. 論文標題 Foreshock Activity Promoted by Locally Elevated Loading Rate on a 4 m Long Laboratory Fault	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2021JB023336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB023336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mizoguchi Kazuo, Uehara Shin-ichi, Hirose Takehiro, Iizuka Sachiko	4. 巻 73
2. 論文標題 Frictional stability of porous tuff breccia under subsurface pressure conditions and implications for shallow seismicity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01419-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計61件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 福山英一、山下太、Xu Shiqing
2. 発表標題 岩石摩擦実験において観測されたゆっくりすべりの超音速破壊伝播
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 山下太・福山英一・徐世慶
2. 発表標題 4m長の模擬断層上で観察されたすべり速度に依存する前震活動
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 Yamashita, F., Fukuyama, E. and Xu, S.
2. 発表標題 Two types of foreshock activities observed on a meter-scale laboratory fault: Slow-slip-driven and cascade-up
3. 学会等名 The 7th International Conference on Coupled THMC Processes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamashita, F., Fukuyama, E. and Xu, S.
2. 発表標題 Foreshock activities controlled by slip rate on a 4-meter-long laboratory fault
3. 学会等名 The 7th International Conference on Coupled THMC Processes (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福山英一、徐世慶、山下太
2. 発表標題 破壊伝播速度のパラドックス
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下太・福山英一・徐世慶
2. 発表標題 大型岩石摩擦実験で再現されたCascade-upプロセス
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiichi Fukuyama, Shiqing Xu and Futoshi Yamashita
2. 発表標題 Paradox in Rupture Propagation Velocity
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamashita, F., Fukuyama, E. and Xu, S.
2. 発表標題 Foreshock activities controlled by slip rate on a 4-meter-long laboratory fault
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Samson Benjamin Marty, Alexandre Schubnel, Blandine Gardonio, Harsha S. Bhat, Jerome Aubry, Eiichi Fukuyama and Raul I Madariaga
2. 発表標題 Foreshock dynamics controls by stress heterogeneity: an experimental approach
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝口一生・上原真一・谷口友規・飯塚幸子・飯田高弘・渡辺剛士
2. 発表標題 高間隙な凝灰角礫岩の脆性-延性遷移に関する三軸変形試験：能登半島に産する中新世穴水累層を例として
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝口一生・佐々木俊法・飯田高弘・田中竹延
2. 発表標題 大分市端登地域に分布する後期白亜紀大野川層群頁岩中に発達する小規模断層の活動性及び破碎帯構造の特徴
3. 学会等名 日本地震学会 2019 年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上原真一・西村佳也・溝口一生
2. 発表標題 Experimental constraints on origins of high Vp/Vs anomalies in slow slip regions
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuo Mizoguchi , Sachiko Iizuka
2. 発表標題 The relationship between mechanical behaviors and surface roughness of submeter-sized granite sample in bi-axial friction experiments
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Uehara , Takahiro Iida , Kazuo Mizoguchi
2. 発表標題 Brittle-ductile transition in porous tuff breccia from the Miocene Anamizu Formation, Noto Peninsula: constraints from tri-axial deformation experiments
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano, S., H. Kawakata, I. Doi
2. 発表標題 Foreshock activity detection by a threshold-free matched-filter technique
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角谷 剣、川方裕則、平野史朗
2. 発表標題 模擬砂層地盤を用いた弾性波モニタリングによる強震動に伴う弾性波応答特性の変化の検討
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakayama, M., H. Kawakata, S. Hirano, I. Doi
2. 発表標題 Propagation characteristic changes of elastic waves transmitted through a sand soil in water injection and drainage processes
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kakutani, T., H. Kawakata, S. Hirano
2. 発表標題 Seismic response change of a sand soil after strong motion, revealed by a transmission laboratory experiment
3. 学会等名 AGU 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下田晃嘉, 福山英一, 山下太, 徐世慶
2. 発表標題 岩石摩擦強度と誘発地震の発生に関する研究
3. 学会等名 資源・素材学会関西支部第16回若手研究者・学生のための研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田秀人, 福山英一
2. 発表標題 誘発地震の最大規模推定に向けて断層破壊伝播シミュレーション
3. 学会等名 資源・素材学会関西支部第16回若手研究者・学生のための研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Futoshi Yamashita, Eiichi Fukuyama, Shiqing Xu
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 Eiichi Fukuyama, Futoshi Yamashita, Shiqing Xu
2. 発表標題 Superfast Propagation of Slow Slip Rupture in Large-scale Rock Friction Experiments
3. 学会等名 10th ACES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akemi Noda, Tatsuhiko Saito, Eiichi Fukuyama, Toshiko Terakawa, Mitsuhiro Matsu'ura
2. 発表標題 A New Methodology for the Estimation of Crustal Stress from the Comparison of Coseismic Shear Strain Energy Change with Aftershock Activity
3. 学会等名 10th ACES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirano, S., Toyomoto, Y., Kawakata, H., and Doi, I.
2. 発表標題 Application of Extreme Value Theory to a Matched-Filter Analysis
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長模擬断層面で観察された種破壊に至るまでの前震活動の特徴
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山英一・山下太・徐世慶
2. 発表標題 高速伝播するゆっくりすべり
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田朱美・齊藤竜彦・福山英一・寺川寿子・松浦充宏
2. 発表標題 弾性・非弾性歪み解析を用いた地震間の応力蓄積・解放の推定：別府 - 島原地溝帯周辺域への適用
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shiqing Xu, Eiichi Fukuyama and Futoshi Yamashita
2. 発表標題 Evolution of Fault Zone Properties Inferred from Fault-Interface Rayleigh Wave Speed Measurement
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eiichi Fukuyama, Futoshi Yamashita and Shiqing Xu
2. 発表標題 Superfast Propagation of Slow Slip Rupture
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akemi Noda, Tatsuhiko Saito, Eiichi Fukuyama, Toshiko Terakawa and Mitsuhiro Matsu'ura
2. 発表標題 Estimation of gradual stress changes before the 2016 Mw7.0 Kumamoto, Japan, earthquake
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福山 英一、山下 太、Xu Shiqing、滝沢 茂、溝口 一生、川方 裕則
2. 発表標題 Conceptual Model for Precursory Slow Slip and Foreshocks based on the Balance of Stiffness on and around the Fault
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiqing Xu, Eiichi Fukuyama, Han Yue, Jean-Paul Ampuero
2. 発表標題 Sequential activation of reverse and normal faulting in the upper plate during the 2011 Tohoku earthquake
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiqing Xu, Eiichi Fukuyama, Futoshi Yamashita, Kazuo Mizoguchi, Shigeru Takizawa, Hironori Kawakata
2. 発表標題 Strain rate effect on rupture nucleation and mainshock propagation speed
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 太、福山 英一、溝口 一生
2. 発表標題 摩擦すべりしている模擬断層の接触状態をモニターするための電気伝導度連続測定
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 太、福山 英一、Xu Shiqing、川方 裕則、溝口 一生、滝沢 茂
2. 発表標題 Influence of fault surface condition on slip stability in large-scale biaxial friction experiment
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihiro Kaneko, Eiichi Fukuyama, Ian Hamling
2. 発表標題 Slip-weakening distance and strength drop inferred from nearfault deformation during the 2016 M7.8 Kaikoura earthquake
3. 学会等名 IAG-IASPEI Joint Assembly (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Eiichi Fukuyama
2. 発表標題 Near-fault Tilt Motion and Conjugate Faulting
3. 学会等名 IAG-IASPEI Joint Assembly
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻村優志・川方裕則・福山英一・平野史朗・山下太・徐世慶・溝口一生・滝沢茂
2. 発表標題 大型岩石試料のスティック・スリップ試験中に発生した繰り返し地震的活動について
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下太・福山英一・徐世慶・溝口一生・川方裕則・滝沢茂
2. 発表標題 メートルスケールの岩石模擬断層で観察された破壊過程と断層面の状態が及ぼす影響
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福山英一・土田琴世・川方裕則・山下太・溝口一生・徐世慶
2. 発表標題 2次元地震破壊伝播の実験室における直接観察
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Samson Benjamin Marty, Alexandre Schubnel, Blandine Gardonio, Harsha S. Bhat and Eiichi Fukuyama
2. 発表標題 In-situ investigation of relations between slow slip events, repeaters and earthquake nucleation
3. 学会等名 American Geophysical Union 2017 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Futoshi Yamashita, Eiichi Fukuyama, Shiqing Xu, Hironori Kawakata, Kazuo Mizoguchi and Shigeru Takizawa
2. 発表標題 Two types of foreshock activities observed on meter-scale laboratory faults: Slow-slip-driven and cascade-up
3. 学会等名 American Geophysical Union 2017 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 米田直明・川方裕則・平野史朗・吉光奈奈・高橋直樹
2. 発表標題 三軸圧縮試験下で発生するAEのb値の推定に向けた震源決定-広帯域観測による検討-
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoaki Yoneda, Hironori Kawakata, Shiro Hirano, Nana Yoshimitsu, Naoki Takahashi
2. 発表標題 Extraction of AE events to estimate their b values under a triaxial compressive condition -Examination using continuous broadband records-
3. 学会等名 American Geophysical Union 2017 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuo Mizoguchi, Takehiro Hirose
2. 発表標題 Transient water adsorption on newly formed fault gouge and its relation to frictional heating
3. 学会等名 American Geophysical Union 2017 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青柳恭平, 木村治夫, 溝口一生
2. 発表標題 2016年熊本地震の破壊停止に関わる速度構造
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飯田高弘, 溝口一生, 田中竹延, 飯塚幸子
2. 発表標題 種子島四万十帯頁岩中に新たに 発見した非活断層の破砕帯構造
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝口一生, 飯塚幸子, 飯田高弘
2. 発表標題 中型2軸摩擦試験機による断層面形状の実験的研究
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Futoshi Yamashita, Eiichi Fukuyama, Akihiro Shimoda and Shun Watanabe
2. 発表標題 Frictional property of metagabbro gouge on a meter-scale laboratory fault
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下 太、福山 英一、下田 晃嘉、渡辺 俊
2. 発表標題 メートル規模でのガウジ摩擦実験
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下田 晃嘉、山下 太、福山 英一、渡辺 俊
2. 発表標題 大型摩擦試験機を用いて得られた変斑レイ岩ガウジの摩擦パラメータ
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石山 諒、福山 英一、Bogdan Enescu
2. 発表標題 Temporally variable estimation of friction parameters using machine learning
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下 太、福山 英一、下田 晃嘉、渡辺 俊
2. 発表標題 Gouge friction on a meter-scale laboratory fault
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下田 晃嘉、福山 英一、山下 太、Xu Shiqing
2. 発表標題 系の韌性と不安定すべりー実験室と自然界
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福山 英一、山下 太、徐 世慶、溝口 一生、滝沢 茂、川方 裕則
2. 発表標題 What can we learn from meter-scale rock friction experiments?
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xu, S., Ding, X.-T., Fukuyama, E. and Yamashita, F.
2. 発表標題 How to Generate an Observable Phase of Backward-Propagating Rupture?
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ishiyama, R., Fukuyama, E., and Enescue, B.
2. 発表標題 Estimation of Time-Variable Friction Parameters Using Machine Learning
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保 蔵馬、山下 太、福山 英一
2. 発表標題 波動伝播シミュレーションを用いた4m二軸岩石摩擦試験機におけるAEセンサキャリブレーション
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺 俊、山下 太、前田 純伶、下田 晃嘉、福山 英一
2. 発表標題 大型載荷速度変化摩擦試験によって形成されたガウジ層の微細構造
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保 蔵馬、福山 英一、山下 太
2. 発表標題 4m岩石摩擦実験におけるイベント解析に用いるグリーン関数計算のための波動伝播シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺 俊、福山 英一、山下 太、下田 晃嘉
2. 発表標題 ガウジ層を含む載荷速度変化摩擦試験時に発生するAEイベント
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021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
研究分担者	山下 太 (Yomashita Futoshi) (90374165)	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 (82102)	
研究分担者	川方 裕則 (Kawakata Hironori) (80346056)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	
研究分担者	溝口 一生 (Mizoguchi Kazuo) (50435583)	一般財団法人電力中央研究所・地球工学研究所・主任研究員 (82641)	

	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	徐 世慶 (Xu Shiqing)	中国南方科技大	
研究協力者	滝沢 茂 (Takizawa Shigeru)	防災科学技術研究所	

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1件

国際研究集会 10th ACES International Workshop	開催年 2018年～2018年
--	--------------------

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
---------	---------