

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H00717

研究課題名（和文）熊本地震時における震源断層の摩擦熱定量評価と特異な温度構造の解明

研究課題名（英文）Quantitative evaluation of frictional heat of the Futagawa fault ruptured during the Kumamoto Mw 7.1 earthquake and investigation of singular temperature structure in the area

研究代表者

林 為人（リンウェイレン）（Lin, Weiren）

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：80371714

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,100,000円

研究成果の概要（和文）：2016年の熊本地震の本震（Mw 7.0）が発生した後、深度700 mのFDB孔を含む3孔が阿蘇火山地帯で掘削され、震源断層の布田川断層を貫通した。本研究では、掘削のコア試料と検層データの解析を行い、布田川断層に沿って、現在の横ずれ断層運動と異なり、正断層運動を示す鉛直の落差が200 mにも及んでいることを発見した。また、布田川断層の地震時すべりの摩擦熱を確認するためにFDB孔の温度の深度分布と時間変化を正確に測定と観測をした。さらに、FDB孔で深度300 m以深の地下水に連結する水位の変動を観測して、第2帯水層が300 m以深の堆積岩層や先阿蘇火山岩類まで続いている可能性があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震は震源断層が高速で滑ることによって発生するため、断層の滑り特性は被害を引き起こす地表の地震動などを大きく左右する。2016年に発生した熊本地震（本震）の震源である布田川断層についてもその滑り特性は未解明の部分が多い。本研究では、熊本地震後に掘削された深度700mの調査孔を利用して、布田川断層に関する研究を行った。研究成果の一例として、布田川断層は熊本地震ではほぼ水平にずれるように滑っていたが、約9万年前までは縦に滑ることによる累積の鉛直落差が200 mにも及んでいることを発見した。このような研究の知見の積み重ねは、将来の地震・津波に対する防災・減災対策の構築にも資すると期待される。

研究成果の概要（英文）：After the Mw 7.0 mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, a 700 m-deep borehole and two shallow boreholes drilled for scientific investigation penetrated the Futagawa fault which ruptured during the mainshock. In this study, an ancient >200 m cumulative normal faulting displacement along the Futagawa fault dextrally slipped during the mainshock was identified by analyses of retrieved rock samples and logging data in the multiborehole drilling program. For identifying possible temperature anomaly caused by coseismic frictional heating of the Futagawa fault, measurements of temperature depth profile in the deep main borehole were repeated, and temperature change with time was monitored. In addition, observation of groundwater level in the main borehole in which groundwater is connecting to the aquifer below 300 m-depth suggested that the second aquifer layer traditionally confirmed at shallower than 200 m might extend to the formations below 300 m.

研究分野：固体地球物理学と地質学

キーワード：布田川断層 温度分布 地下水 応力状態

1. 研究開始当初の背景

地震は震源断層の高速すべりで発生し、そのすべりに伴い摩擦熱が生じることによって、断層面付近の温度が急激に上昇し、時には岩石が溶けるほどの高温になる。この地震時における断層の温度上昇ならびに摩擦熱発生量を知ることは、断層の地震時動的すべり挙動を解明するための鍵である。2011年のモーメントマグニチュード (Mw) 9.0の東北地方太平洋沖地震の震源断層を掘削するプロジェクト JFAST では、断層摩擦熱による温度異常を検知して、当該断層の摩擦係数が 0.08 と非常に小さかったことが明らかになった (Fulton et al., 2013)。その結果、50 m 以上にも及ぶ極めて大きな断層すべりならびに巨大な津波の発生に至ったことが解明された。これまで、断層のすべり摩擦熱による温度異常を測定した例は、1999年の Mw 7.6 台湾集々地震 (Kano et al., 2006)、2008年の Mw 7.9 中国四川地震 (Li et al., 2015) と前述の東北地震しかない。しかし、この3例はいずれも逆断層タイプの断層すべりであり、2016年に発生した Mw 7.0 の熊本地震のような横ずれタイプの断層すべりの温度異常測定は、世界的にまだ実施例がない。

日本列島およびその周囲において地震が多発している中、2016年4月16日に横ずれ断層タイプの布田川断層を震源断層として、Mw 7.0の熊本地震(本震)が発生した。この震源断層である布田川断層について、原子力施設等防災対策委託費による「布田川断層における深部ボーリング調査(京都大学, 2018)」では、断層試料採取と活動年代解析の手法開発を目的として、2017～2018年に深さ700 mまでの掘削調査孔が阿蘇火山地域に位置する益城町で掘削され、布田川断層を貫通した(図-1中のFDB)。したがって、この掘削孔を利用すれば、孔内の温度分布とそれの時間変化を正確に測定・観測することによって、布田川断層の地震時摩擦発熱による温度異常の有無を検証することが可能と考えられた。その一方で、本掘削孔で行った検層のデータ(京都大学, 2018)などより、深度約300 mから約400 mの区間において温度分布がほぼ一定であることが認められており、特異的な地下水循環系が形成されている可能性があることが示唆された。また、阿蘇火山地域を含む熊本地方では、地下水の利用が活発になされており、地下水観測も盛んに行われている。しかし、いずれの既存の地下水観測井の深度が200 m未満であるため、300 m以深における深層地下水の観測データはない状態であった。

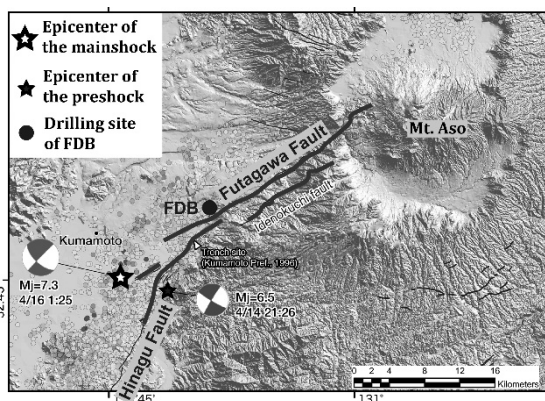


図-1 熊本地震(本震)の震源断層である布田川断層を貫く掘削調査孔 FDB の位置(Toda et al., 2016より改訂)。

2. 研究の目的

前節に述べた背景において、本研究の目的は次のように設定した。第1の目的は、熊本地震(本震)のような横ずれタイプの断層すべりの温度異常測定は、世界的にまだ実施例がないため、布田川断層掘削を貫く FDB 孔の温度分布を測定し、温度異常の有無を確認することとする。すなわち、FDB 掘削孔内において、特に断層の付近において、高精度な温度センサーを用いて温度の深度分布と時間変化を正確に測定し、横ずれ断層である布田川断層の熊本地震時の動的すべり摩擦熱による温度異常の有無を決定することである。また、本掘削孔での深度約300～400 mの区間でのほぼ均一な温度分布が特異的な地下水循環系が形成されていることを示唆していることから、第2の目的としては、この特異な温度構造の詳細を捉え、その形成メカニズムを解明し、布田川断層帯を含む阿蘇火山地域の地下水流動と循環の理解に繋げることを目指す。

3. 研究の方法

上記研究目的を達成するために、主として以下に示す原位置計測と観測・室内実験などの研究を実施した。(1) FDB 孔の掘削で得られた岩石コア試料の地質学的解析と検層データの解析、(2) 掘削孔内の連続深度における温度分布の計測、断層の深度を跨ぐ10点以上の重要な深度における温度の約4年間の長期にわたる経時変化の観測、(3) 掘削孔内の地下水位変化の長期観測(約4年間)、(4) 岩石コア試料を用いて密度、有効間隙率、熱物性、弾性波速度、比抵抗の測定、(5) 非弾性ひずみ回復(ASR)法による FDB 孔での原位置応力の測定を実施した。それに加えて、以上の(1～5)の内容に関連する岩石の力学特性や諸物性の測定手法の高度化研究や、応力測定手法をほかの類似掘削サイトでの応用に関する研究を多岐にわたって行った。

4. 研究成果

これまでの研究では、「3. 研究の方法」で述べた各種原位計測・観測や室内実験を実施した。各々の研究内容から得られた研究成果について、学術ジャーナルで発表した雑誌論文や国内外での学術研究発表会で行った学会発表の代表例を参考文献として示しながら、その概要を以下の項目ごとに簡潔に述べる。

(1) FDB 孔内の温度分布

地震断層の地震時動的すべりの摩擦熱は一時的なものであるため、時間の経過とともにその摩擦熱による温度分布の異常が徐々に小さくなるはずである。したがって、本研究の期間（5年間）内においてほぼ定期的に、計15回温度の連続深度プロファイルを取得した（図-2；学会発表：Lin et al., 2019；林ほか, 2023）。本研究では、ウィンチを用いて約3 m/minのほぼ一定速度で高精度（0.002°C）の温度センサーを孔内で降下・上昇させながら、温度の深度分布を測定した。測定結果の再現性を確認するために、約1 m/minの遅い速度での降下・上昇による測定のほか、静置した光ファイバ温度計をも用いて同孔内の温度プロファイルを測定した。その結果、同じような温度プロファイルを得ることができた（学会発表：林ほか, 2023）。掘削コア試料の地質学的解析から認められた深度461 mの断層の付近では、この温度測定の結果から温度の正のピークが認められたが、その時間変化が不規則なパターンを示し、定常ではない阿蘇火山活動の影響を受けた可能性が高いと考えられる。したがって、研究代表者は本科研費研究期間終了後にさらに3年間ほど、温度変化の経時変化を観測し続ける予定である。

(2) 布田川断層に沿う200 m超の正断層変位の発見

布田川断層掘削の複数の掘削孔（FDB-1, FDB-1R, FDP-1）から得られた岩石コア試料の地質学的解析と検層データの解析を行った結果、2016年熊本地震の本震を引き起こした布田川断層に沿って、現在のほぼ水平にずれる横ずれ断層運動と異なり、縦にずれる正断層運動を示す鉛直落差が200 mにも及んでいることを発見し、その原因に関する考察を行った（図-3；雑誌論文：Shibutani et al., 2022）。その結果、最後の阿蘇火山カルデラ噴火（約9万年前）を境に、布田川断層の活動方式が、正断層卓越の運動から横ずれ断層卓越の運動へ変化したことを破碎帯の地質学的観察と物理特性の解析から明らかにした。

(3) 布田川断層掘削 FDB 孔の間隙率分布

本研究では、断層活動などによる亀裂等が多く存在しているため、岩石コア試料が採取できなかった深度区間がある。岩石コア試料が存在しない部分を含むFDB孔において、間隙率の連続的な深度分布を得る目的で、音波検層から推定した間隙率とコア試料を用いて測定された間隙率の比較を行った。FDB孔に出現する堆積岩と火山岩類に対して、採取されたコア試料を用いて測定された間隙率に最も近い値を示す音波検層データを用いた間隙率の推定式を決定した。それを用いて、FDB孔の深度区間300~660 mの間隙率の連続的な深度

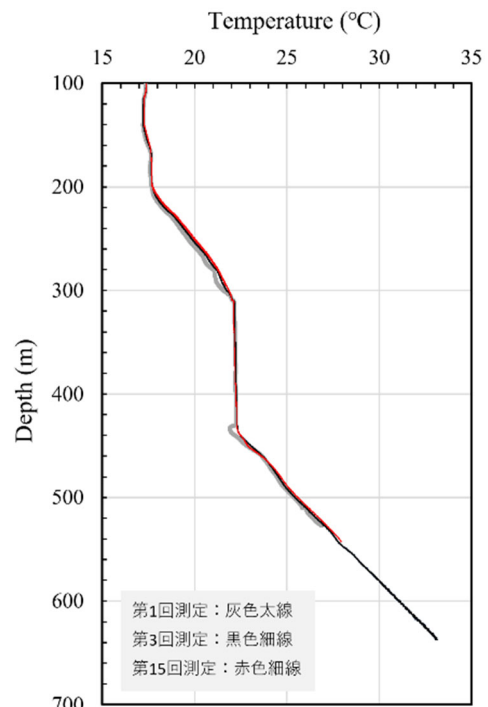


図-2 布田川断層を貫く FDB 孔内温度の連続深度プロファイル(林ほか, 2023 より改訂)。

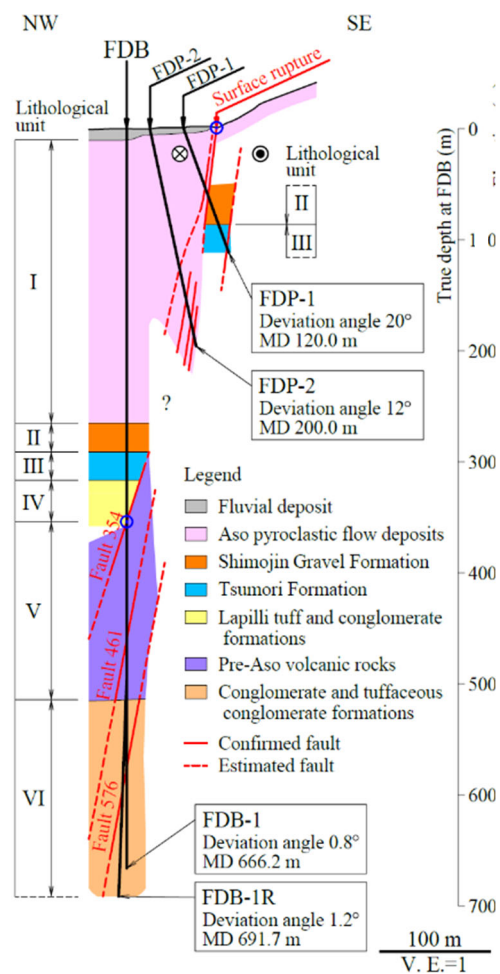


図-3 複数の掘削孔で明らかになった地質断面図；地質ユニット II（下陣礫層）と III（津森層）の境界は布田川断層に沿う大きな正断層型の変位が認められた（Shibutani et al., 2022 より）。

分布を明らかにした (図-4; 雑誌論文: Shibutani et al., 2024).

(4) 深度 300 m 以深の地下水の変動観測

布田川断層掘削の FDB 孔の 300 m 以深には、熊本地域の深層地下水帯水層 (第 2 帯水層) よりも古い地層が分布する。本研究では深度 300 m 以深の大深度深層地下水の動態を明らかにするために、FDB 孔において 3 年間以上の地下水位観測結果を取りまとめた (雑誌論文: 澁谷ほか, 2022)。FDB 孔での地下水位は年間を通して降雨の影響を受けており、時期により変動パターンが大きく異なる季節変動を示した。地下水位変動と降水量の観測結果から、熊本地域の主な地下水涵養域の上流側にある阿蘇外輪山地域からの地下水供給が水位変動と関係することが明らかとなり、300 m 以深の帯水層が降雨に対する応答を有する水位変動の特徴が示された。そして、FDB 孔と布田川断層沿いにある第 2 帯水層を対象とした阿蘇外輪山西麓台地の既設地下水位観測井の水位が、類似した水位変動パターンを示すことを明らかにした。これらの結果は、熊本地域に広く分布する阿蘇 1 ~ 阿蘇 3 火砕流堆積物を主とした第 2 帯水層が 300 m 以深の堆積岩層や先阿蘇火山岩類まで続いている可能性があることを示した。また、布田川断層の破碎帯が第 2 帯水層をさらに深部へ拡張させる役割を果たし、熊本地域の活発な地下水流動系に関連している可能性を示唆した。

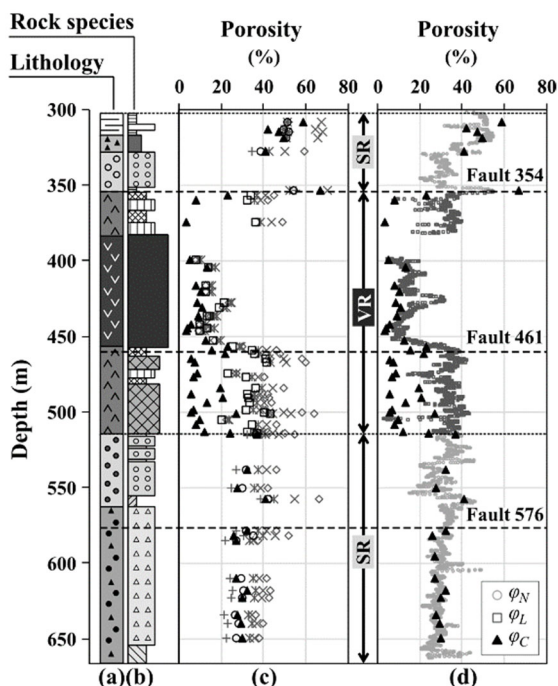


図-4 FDB 孔の岩質(a)、岩相(b)、各種間隙率の推定結果(c)、最適な間隙率の推定結果(d)の深度分布 (Shibutani et al., 2024 より)。

(5) 掘削コア試料を用いた熱物性の測定

FDB 掘削孔内の温度分布を解釈するためには各地層の岩石の熱物性を知ることが不可欠である。そこで、本研究ではシルト岩、砂岩、火山礫凝灰岩、礫岩、安山岩、凝灰質礫岩の 6 種類について、計 40 個の岩石コア試料に対して熱伝導率、熱拡散率、体積比熱、密度、有効空隙率の 5 項目の物性の測定を行った (表-1; 学会発表: 佐野ほか, 2021; 林ほか, 2021; Feng et al., 2023)。すべての岩種において飽和状態、乾燥状態の熱伝導率と有効空隙率との間には負の相関関係が認められた。また、同程度の有効空隙率を有する異なる岩種の飽和状態での熱伝導率は、最大で 40% 程度の差が見られ、岩種に対する依存性が大きいことが明らかになった。また、掘削で得られるコア試料とカッティングス試料を用いた熱物性の測定手法の開発研究と応用研究も実施した (雑誌論文: Lin et al., 2020; Janku-Capova et al., 2020; Sugamoto et al., 2023; 橋本ほか, 2024; 友松ほか, 2024)。

表-1 各種岩石の密度、空隙率、熱物性測定結果 (岩種毎の平均値、林ほか(2021)より改訂)

岩種	試料個数	湿潤密度 (g/cm ³)	粒子密度 (g/cm ³)	有効空隙率 (%)	熱伝導率 (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	熱拡散率 (mm ² /s)	体積比熱 (MJ/m ³ K)
シルト岩	2	1.64	2.79	63.6	0.93	1.01	2.45
砂岩	2	2.01	2.73	41.3	1.15	0.67	2.10
火山礫凝灰岩	2	1.97	2.80	46.4	1.01	1.25	0.88
礫岩	5	2.18	2.82	34.8	1.24	0.87	2.13
安山岩	18	2.55	2.75	11.5	1.52	0.80	2.10
凝灰質礫岩	11	2.21	2.75	30.7	1.23	0.78	1.79

(6) 熊本地震震源域における地震後の応力状態の測定

地震発生のメカニズムを考える上で、その震源域の応力状態は重要なパラメータとなる。本研究では、熊本地震 (本震) の震源断層である布田川断層を貫く掘削 FDB 孔から採取した、計 20 個の岩石コア試料に非弾性ひずみ回復法を適用し、そのうち 6 試料での原位置応力測定に成功した。その結果、布田川断層近傍では鉛直応力が最大主応力 (σ_1) となる正断層型の応力状態が支配的であることが明らかとなった (雑誌論文: 杉本ほか, 2021)。これは、地震時の横ずれ型の

断層運動により、地震発生前は水平面内にあったと推察される最大主応力 (σ_1) の値が著しく低下したことを示唆する。地震後の応力状態が正断層型であるという結果は、水圧破碎法や発震機構解を用いて求められた当該地域における応力測定の結果と調和的であった。さらに、最小水平主応力 (S_{hmin}) 方向は布田川断層の走向とほぼ直交しており、断層面上に横ずれすべりを引き起こす水平せん断応力が小さいことが判明した。また、本研究ではそのほかの掘削プロジェクトにおいて応力計測に関する研究（雑誌論文：Lin et al., 2023 *Earth and Planetary Science Letters*; Mafakheri B. et al., 2022; Mafakheri B. et al., 2024; Zhang et al., 2022 など）を実施したことに加え、掘削の岩石コア試料等を用いた強度特性に関する研究（雑誌論文：Lin et al., 2023 *Materials Transactions*; 神谷ほか, 2020; 宮崎ほか, 2024）を実施した。

参考文献

- Fulton P. et al., 2013, Low coseismic friction on the Tohoku-Oki fault determined from temperature measurements, *Science*, 342, 1214-1217, doi:10.1126/science.1243641
- Kano Y. et al., 2006, Heat signature on the Chelungpu fault associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *Geophysical Research Letters*, 33, L14306, doi:10.1029/2006GL026733
- Li H. et al., 2015, Long-term temperature records following the Mw 7.9 Wenchuan (China) earthquake are consistent with low friction, *Geology*, 43, 163-166, <https://doi.org/10.1130/G35515.1>
- Toda S. et al., 2016, Slip-partitioned surface ruptures for the Mw 7.0 16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, *Earth, Planets and Space*, 68, 188.
- 京都大学, 2018, 平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書 追加ボーリングコアを用いた断層破碎物質の分析: ボーリングコア及びボーリング孔を用いた応力測定 ② 布田川断層 (3/3), 208p, <https://www.nra.go.jp/data/000256426.pdf> (2024 年 5 月 30 日閲覧).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 33件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 22件）

1. 著者名 Shibutani Susumu, Lin Weiren, Sado Koichiro, Aizawa Akihiro, Koike Katsuaki	4. 巻 23
2. 論文標題 An Ancient >200m Cumulative Normal Faulting Displacement Along the Futagawa Fault Dextrally Ruptured During the 2016 Kumamoto, Japan, Earthquake Identified by a Multiborehole Drilling Program	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 e2020GC009108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GC009966	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 Lin Weiren, Yamamoto Yuhji, Hirose Takehiro	4. 巻 601
2. 論文標題 Three-dimensional stress state above and below the plate boundary fault after the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 117888 ~ 117888
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.epsl.2022.117888	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 Lin Weiren, Hirose Takehiro, Tadaï Osamu, Tanikawa Wataru, Ishitsuka Kazuya, Yang Xiaoqi	4. 巻 21
2. 論文標題 Thermal Conductivity Profile in the Nankai Accretionary Prism at IODP NanTroSEIZE Site C0002: Estimations From High Pressure Experiments Using Input Site Sediments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 e2020GC009108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GC009108	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 Lin Weiren, Nakamura Toshiaki, Kamiya Nana, Murata Sumihiko	4. 巻 64
2. 論文標題 Compressive Strength of a Pliocene Sedimentary Soft Rock Retrieved from Nankai Trough Ocean Drillings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2722 ~ 2728
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MT-Z2023007	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 Susumu Shibutani, Weiren Lin, Terasu Sano, Sumihiko Murata, Motohiro Fujii, Koichiro Sado	4. 巻 65
2. 論文標題 Estimation of Porosity for Sedimentary Rocks and Volcanic Rocks from Sonic Log Data in the Futagawa Fault Drilling	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-Z2024007	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 Sugimoto Tatsuhiro, Ishitsuka Kazuya, Lin Weiren	4. 巻 62
2. 論文標題 Theoretical Investigation on New Analyzing Procedure of Anelastic Strain Recovery Method for Stress Measurements Based on Bayesian Statistical Modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1695 ~ 1702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-Z2021015	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 Sugimoto Tatsuhiro, Yamamoto Yuhji, Yamamoto Yuzuru, Lin Weiren	4. 巻 61
2. 論文標題 A Method for Core Reorientation Based on Rock Remanent Magnetization: Application to Hemipelagic Sedimentary Soft Rock	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1638 ~ 1644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.Z-M2020832	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 Ishitsuka Kazuya, Tsuji Takeshi, Lin Weiren, Kagabu Makoto, Shimada Jun	4. 巻 72
2. 論文標題 Seasonal and transient surface displacements in the Kumamoto area, Japan, associated with the 2016 Kumamoto earthquake: implications for seismic-induced groundwater level change	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01275-2	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 Mafakheri Bashmagh Nazir, Lin Weiren, Murata Sumihiko, Yousefi Foad, Radwan Ahmed E.	4. 巻 239
2. 論文標題 Magnitudes and orientations of present-day in-situ stresses in the Kurdistan region of Iraq: Insights into combined strike-slip and reverse faulting stress regimes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 105398 ~ 105398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2022.105398	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mafakheri Bashmagh Nazir, Lin Weiren, Radwan Ahmed E., Manshad Abbas Khaksar	4. 巻 160
2. 論文標題 Comprehensive analysis of stress magnitude and orientations and natural fractures in complex structural regimes oil reservoir: Implications for tectonic and oil field development in the Zagros suture zone	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Marine and Petroleum Geology	6. 最初と最後の頁 106615 ~ 106615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpetgeo.2023.106615	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sugamoto Haruto, Ishitsuka Kazuya, Lin Weiren, Sakai Takemi	4. 巻 112
2. 論文標題 Measurement of thermal conductivities of drill cuttings and quantification of the contribution of thermal conduction to the temperature log of the Hachimantai geothermal field, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geothermics	6. 最初と最後の頁 102742 ~ 102742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geothermics.2023.102742	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Chongyuan, Lin Weiren, He Manchao, Tao Zhigang, Meng Wen	4. 巻 55
2. 論文標題 Determining In-Situ Stress State by Anelastic Strain Recovery Method Beneath Xiamen: Implications for the Coastal Region of Southeastern China	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Rock Mechanics and Rock Engineering	6. 最初と最後の頁 5687 ~ 5703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00603-022-02915-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 杉本達洋, 澁谷 奨, 林 為人, 村田澄彦	4. 巻 62
2. 論文標題 非弾性ひずみ回復法を用いた熊本地震震源域における深度700mまでの地震後応力状態の測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用地質	6. 最初と最後の頁 13~22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5110/jjseg.62.13	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 澁谷 奨・林 為人・佐渡耕一郎・神谷奈々・杉本達洋	4. 巻 63
2. 論文標題 布田川断層を貫通したボーリング調査孔における深度300 m以深の地下水位変動観測	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 応用地質	6. 最初と最後の頁 13~23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5110/jjseg.63.13	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 友松広大・神谷奈々・林 為人・石塚師也	4. 巻 73
2. 論文標題 堆積軟岩における熱伝導率およびP波速度の異方性と間隙率の関係	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 205~211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.73.205	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 橋本 駿・林 為人・石塚師也	4. 巻 72
2. 論文標題 カッティングス試料を用いたインタクトな岩石の熱伝導率測定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 828~835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.72.828	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 宮崎裕博・神谷奈々・林 為人・石塚師也	4. 巻 73
2. 論文標題 堆積軟岩における圧密降伏応力の異方性および弾性波速度・引張強度の異方性との比較	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 84～91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.73.84	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 石塚 師也、林為人、神谷奈々、奈良禎太	4. 巻 71
2. 論文標題 セグメント処理を行わずに作成したデジタル岩石モデルを用いた空隙径分布の異なる砂岩のP波速度の計算	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 235-242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.235	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 Ishii Mikihito, Murata Sumihiko, Ishitsuka Kazuya, Lin Weiren	4. 巻 208
2. 論文標題 Stability of novel cellulose-nanofiber-containing foam as environmentally friendly fracturing fluid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Petroleum Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 109512～109512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.petrol.2021.109512	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yang X., Lin, W., Yeh E-C., Xu, H., Xu, Z.	4. 巻 63
2. 論文標題 Analysis on the mechanisms of coseismic temperature negative anomaly in fault zones	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Geophysics	6. 最初と最後の頁 1422-1430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6038/cjg2020M0638	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Janku-Capova Lucie, Sutherland Rupert, Townend John, Lin Weiren	4. 巻 64
2. 論文標題 Thermal properties of the hanging wall of the central Alpine Fault, New Zealand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Zealand Journal of Geology and Geophysics	6. 最初と最後の頁 530 ~ 541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00288306.2020.1828939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 神谷奈々, 張 鋒, 福岡純一, 加藤優志, 林 為人	4. 巻 69
2. 論文標題 泥質岩の圧密過程におけるひずみ軟化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 250 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/j.sms.69.250	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 Wang Bin, Sun Dongsheng, Chen Qunce, Lin Weiren, Li A-Wei, Cao Hui	4. 巻 777
2. 論文標題 Stress-state differences between sedimentary cover and basement of the Songliao Basin, NE China: In-situ stress measurements at 6-7 km depth of an ICDP Scientific Drilling borehole (SK-II)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 228337 ~ 228337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2020.228337	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kamiya Nana, Yamamoto Yuzuru, Zhang Feng, Lin Weiren	4. 巻 29
2. 論文標題 Vitrinite reflectance and consolidation characteristics of the post middle Miocene Forearc Basin in central and eastern Boso Peninsula, central Japan: Implications for basin subsidence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12344	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 Lin W. and Tadaï O.
2. 発表標題 Relationship between thermal conductivity and porosity in sedimentary soft rocks by an experimental approach
3. 学会等名 Proceedings of the ISRM 15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Feng S., Lin W., Shibutani S., Sano T., Kamiya N.
2. 発表標題 Correlations between thermal properties and elastic wave velocities of volcanic rocks
3. 学会等名 Proceedings of the ISRM 15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shibutani S., Lin W., Sado K.
2. 発表標題 Fracture characteristics obtained from core observations and image logs in a borehole drilled through an active fault zone
3. 学会等名 Proceedings of the ISRM 15th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering & 72nd Geomechanics Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林 為人、澁谷 奨、神谷 奈々、佐渡 耕一郎、FENG Shuai、石塚 師也
2. 発表標題 布田川断層掘削における地質構造・温度分布・地下水の調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2023年大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 馮 帥, 林 為人, 濫谷 奨, 佐渡耕一郎, 重光勇太郎
2. 発表標題 Verification of the existence of vertical groundwater flow in a borehole using a heating flow meter
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田共喜, 林 為人, 石塚師也, 神谷奈々, 宮崎裕博, 友松広大
2. 発表標題 堆積軟岩の正規圧密プロセスにおける熱物性の変化特性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nazir Mafakheri B., Weiren Lin
2. 発表標題 Determining in-situ stress in the southeast Zagros fold and thrust belt by using image logs and conventional logs
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Lin W., Yamamoto Yuzuru, Byrne, T., Yamamoto Yuhji, Kamiya N., Hirose T., Ito, T.
2. 発表標題 Preliminary results of three-dimensional stress orientation in the Kumano forearc basin of the Nankai Subduction Zone, Japan by anelastic strain recovery measurements of core samples retrieved from IODP drilling sites C0025 and C0009
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomomatsu, K., Kamiya, N., Lin, W., Ishitsuka, K.
2. 発表標題 Anisotropy of thermal conductivity and P-wave velocity related to porosity using sedimentary soft rocks taken from the Mio-Pleistocene forearc basin in the Boso Peninsula, central Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Feng Shuai, 林為人, 神谷奈々, 佐野暉
2. 発表標題 Relationship between thermal conductivity and elastic wave velocity of rock core samples collected from Aso volcanic region in Kumamoto, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 友松広大, 神谷奈々, 林為人, 石塚師也
2. 発表標題 岩石の熱物性の異方性に関する実験的研究：新第三紀および第四紀堆積軟岩を例として
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本駿, 林為人
2. 発表標題 粒状試料を用いた岩石コア熱伝導率推定手法に対する検討
3. 学会等名 日本材料学会第71期通常総会・学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井元宏, 林為人, 澁谷奨, 石塚師也
2. 発表標題 火山地域産出の岩石を対象とした比抵抗特性に関する研究
3. 学会等名 2022年度資源・素材関係学協会合同秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅本大仁, 石塚師也, 林為人, 坂井健海
2. 発表標題 非定常面熱源法を用いたカッティングス試料の熱物性測定および N19-HA-1 坑井の温度プロファイルの考察
3. 学会等名 日本地熱学会令和4年学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lin, W., Yamamoto, Y., Hirose, T.
2. 発表標題 Three-dimensional stress state above and below the plate boundary fault after the Mw 9.0 Tohoku earthquake determined by ASR method from IODP Expedition 343
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mafakheri, N., Lin, W., Khaksar Manshad, A.
2. 発表標題 Present-day in situ stresses in the northeastern Zagros suture zone in the Kurdistan region of Iraq
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hashimoto, S., Lin, W.
2. 発表標題 Establishment of a new method for estimating the thermal conductivity of intact rock by using cuttings
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujii, M., Lin, W., Shibutani, S., Ishituka, K.
2. 発表標題 Estimation of porosity depth profile using a combination of electrical log and core data
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Feng, S., Lin, W., Sano, T., Shibutani, S., Kamiya, N.
2. 発表標題 Physical properties of rock. core samples collected from Aso volcanic region: relationships among porosity, thermal conductivity and elastic wave velocity
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mafakheili Bashmagh, N., Lin, W., Yousefi, F.
2. 発表標題 Using the combination of conventional logs, borehole image log, and six-arm caliper for determining the orientation and magnitude of principal in-situ stresses: A case study in Zagros suture zone in Kurdistan Region of Iraq
3. 学会等名 14th SEGJ International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigemitsu, Y., Ishitsuka, K., and Lin, W.
2. 発表標題 Surface displacement during the periods before and after the 2018 northern Osaka earthquake estimated by PSInSAR analysis
3. 学会等名 14th SEGJ International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 為人, 澁谷奨, 佐野 暉, 神谷奈々, 佐渡耕一郎
2. 発表標題 布田川断層のボーリング調査における孔内温度測定と岩石コアの熱伝導率測定
3. 学会等名 日本応用地質学会令和3年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Feng Shuai, 林 為人, 神谷奈々
2. 発表標題 Measurements of Thermal Properties and Plastic Wave Velocities of Rock Core Samples Collected from Aso Volcanic Region in Kumamoto
3. 学会等名 資源・素材学会関西支部 第18回「若手研究者・学生のための研究発表会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lin, W., Tadai, O., Hirose, T., Tanikawa, W., Yang, X.
2. 発表標題 Thermal conductivity under high-pressure conditions of core samples from IODP NanTroSEIZE input site C0012
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fujii, M., Lin, W., Ishitsuka, K., and Shibutani, S.
2. 発表標題 Resistivity characteristics of various core samples from Aso volcano and its discussion
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澁谷 奨, 林 為人, 杉本達洋, 佐渡耕一郎, 神谷奈々
2. 発表標題 布田川断層を貫通した深部ボーリングFDB孔における地下水変動の観測
3. 学会等名 令和2年度日本応用地質学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 為人・中村 敏明・村田 澄彦
2. 発表標題 海洋掘削による新第三紀堆積軟岩試料の三軸圧縮強度
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澁谷 奨, 林 為人, 佐野 暉, 藤井元宏, 佐渡耕一郎
2. 発表標題 活断層を貫通したボーリング孔における物理検層データおよびそれによる間隙率の推定
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野 暉, 林 為人, 村田 澄彦, 澁谷 奨
2. 発表標題 ホットディスク法による異なる岩種の熱物性の相違に関する研究
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井元宏, 林 為人, 石塚師也, 村田澄彦, 澁谷 奨
2. 発表標題 火山地域の掘削コア試料の室内比抵抗測定とその影響要因に関する考察
3. 学会等名 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Weiren LIN
2. 発表標題 A preliminary result of temperature depth profile in a drilling borehole penetrated the futagawa fault ruptured during the 2016 kumamoto Mw 7.1 Earthquake
3. 学会等名 International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Weiren Lin , Susumu Shibutani , Nana Kamiya , Tatsuhiro Sugimoto, Terasu Sano, Koichiro Sado , Yuzuru Yamamoto , Xiaoqiu Yang , Kazuya Ishitsuka and Masataka Kinoshita
2. 発表標題 Temperature measurements in a scientific-drilling borehole penetrated through the Futagawa Fault slipped during the 2016 Kumamoto earthquake (Mw 7.0)
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Sugimoto and Weiren Lin
2. 発表標題 Stress measurements in the vicinity of the Futagawa fault based on drilled rock core samples retrieved from a scientific-drilling borehole
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Terasu Sano, Weiren Lin, Susumu Shibutani and Takehiro Hirose
2. 発表標題 Measurements of thermal properties of core samples for interpreting an abnormal temperature depth profile observed in Futagawa fault drilling
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Shibutani, Weiren Lin, Koichiro Sado and Akihiro Aizawa
2. 発表標題 discussion on groundwater flow around the active Futagawa Fault based on geological structure and physical properties
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澁谷奨、佐渡耕一郎、相澤明宏、林為人
2. 発表標題 熊本県益城町の布田川断層帯における深部ボーリングFDB-1 孔の地質と岩盤物性
3. 学会等名 日本応用地質学会令和元年度研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

【研究成果】布田川断層での200 mを超える落差の発見 https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/news/topics/research/20220128 Volcanoes at fault if the Earth slips https://www.kyoto-u.ac.jp/en/research-news/2022-04-25-0 Volcanoes at fault if the Earth slips https://www.eurekalert.org/news-releases/950488
--

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	山本 由弦 (Yamamoto Yuzuru) (10435753)	神戸大学・理学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	木下 正高 (Kinoshita Masataka) (50225009)	東京大学・地震研究所・教授 (12601)	
研究分担者	濱田 洋平 (Hamada Yohei) (80736091)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員 (82706)	

	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	澁谷 奨 (Shibutani Susumu)	京都大学・工学研究科・大学院生 (14301)	検層データとコア試料の解析などの担当

6. 研究組織（つづき）

	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	杉本 達洋 (Sugimoto Tatsuhiro)	京都大学・工学研究科・大学院生 (14301)	ASR法による原位置応力の測定の担当
研究協力者	馮 帥 (Feng Shuai)	京都大学・工学研究科・大学院生 (14301)	コア試料の熱物性測定 of 分担
研究協力者	佐野 暉 (Sano Terasu)	京都大学・工学研究科・大学院生 (14301)	コア試料の熱物性測定 of 分担
研究協力者	マファクヘリ ナジル (Mafakheri B. Nazir)	京都大学・工学研究科・大学院生 (14301)	応力解析 of 分担
研究協力者	神谷 奈々 (Kamiya Nana)	京都大学・工学研究科・大学院生～特別研究員～助教 (14301)	原位置計測・観測 of 分担
研究協力者	石塚 師也 (Ishitsuka Kazuya)	京都大学・工学研究科・助教～講師 (14301)	観測データ解析 of 分担

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

中国	Chinese Academy of Geological Sciences	Chinese Academy of Sciences		
ニュージーランド	Victoria University of Wellington			