

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04066

研究課題名(和文)地球化学的・岩石学的手法を用いた地震時の断層内流体/溶融プロセスの定量的評価

研究課題名(英文) Evaluation of coseismic fluid and melt processes in earthquake faults by geochemical and petrological analyses

研究代表者

石川 剛志 (ISHIKAWA, Tsuyoshi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・研究所長

研究者番号：30270979

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：地震は断層が滑ることによって生じ、断層の岩石には過去に起こった地震現象が記録されている。本研究では、日本のような沈み込み帯において地震時の断層の滑りに大きな影響を与えられている断層と水(流体)との相互作用、および断層の溶融を、断層岩の化学分析に基づき評価する手法の構築を行った。流体との相互作用については、地震時の高速滑りの摩擦熱による350℃以上のものから、非地震性滑りに関係した比較的低温のものまで包括的な理解を可能とした。また、リチウム・ホウ素同位体比が新たな評価指標となり得ることを示した。摩擦熱による断層の溶融については、地球化学的モデリングに基づく評価法を世界で初めて確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

摩擦熱による流体圧上昇(熱圧化：thermal pressurization)や摩擦溶融は、沈み込み帯の地震時において断層強度を著しく低下させることで断層の破壊伝播を促進し、巨大津波の発生にもつながると考えられている。しかしながら、前者にあっては地震時に存在していた流体が地震後に断層から散逸すること、後者にあっては溶融の痕跡が断層の変質により失われることで、地震断層においてそれらの履歴を評価するのは困難であった。本研究は、断層岩の化学分析に基づく新手法を提供することでそれらの定量的評価を可能とし、津波を誘起する大きな断層滑りの履歴の把握など、防災・減災上有用な情報の取得につながる。

研究成果の概要(英文)：Fault rocks formed by earthquake slip provide useful information for understanding coseismic physicochemical processes within the fault zones. This study was aimed at developing new methods for evaluating fluid-rock interactions and frictional melting, both of which are considered to enhance the earthquake slip in subduction zone, based on geochemical analyses of the fault rocks. The new methods enabled not only to evaluate coseismic fluid-rock interactions at high temperatures (>350 deg. C) but also to assess the effects from aseismic-slip-induced fluid processes at low temperatures. It was shown that lithium and boron isotopes can be effective tracers of fluid processes in the faults. Geochemical modeling for the evaluation of frictional melting was also successfully developed.

研究分野：地球化学、岩石学

キーワード：地震 断層 地球化学 流体岩石相互作用 摩擦溶融

1. 研究開始当初の背景

(1) 地震時の高速滑り (m/s オーダー) が断層の強度を一般的に低下させることは、様々な岩石を用いた摩擦実験等により明らかにされている (Di Toro *et al.*, 2011)。地震時の断層強度を低下させる要因としては間隙水圧の上昇や摩擦溶融 (Sibson, 1975; Spray, 1993) などがある。特に前者については、沈み込み帯の断層のように透水率が低い場合、高速滑りで発生した摩擦熱を水 (流体) が吸収して間隙水圧が上昇し、有効応力 (= 垂直応力 - 間隙水圧) が下がることで断層強度が著しく低下する可能性がある (Sibson, 1973; Andrews, 2002)。これが、いわゆる熱圧化 (thermal pressurization) であり、断層の破壊伝播を促進し、巨大津波発生にもつながる要因として重要視されている。しかしながら、断層岩から過去の熱圧化履歴の情報を取り出すことは容易ではない。なぜならば、地震時に熱圧化した断層内には高温高压の流体が生じるが、地震後速やかに散逸するため、冷却後の断層岩の物性等にはその痕跡が残りにくいからである。

(2) 研究代表者は、1999 年台湾集集地震で活動したチェルンブ断層の滑り帯の岩石に明瞭な微量元素組成・同位体組成の変化を見出し、それが地震時における 350 以上の高温流体との相互作用で生じたことを明らかにした (Ishikawa *et al.*, 2008)。これは、断層岩の組成から地震時の高温流体の存在を立証し、熱圧化を強力に支持した画期的な成果となった。また、研究代表者は、四万十付加体のシュードタキライト (摩擦溶融で生じたメルトの冷却固化物) を含む断層岩に微量元素の特異な濃集を見出した (Honda, Ishikawa, *et al.*, 2011)。これらのことにより、地震時の断層内流体プロセスのみならず、摩擦溶融プロセスを断層岩の化学分析に基づいて評価する可能性が拓かれつつある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者がこれまで行ってきた断層岩の地球化学的・岩石学的解析法を発展させることで、熱圧化を含む地震時の断層内流体プロセスや、断層の摩擦溶融プロセスを、沈み込み帯の様々な断層について定量的に評価できる実用性の高い手法を構築することである。

3. 研究の方法

(1) 流体岩石相互作用の評価

沈み込み帯の付加体 (房総、四万十、コディアック) に存在する、過去に地震断層の滑り帯を構成していた断層岩および周囲の母岩について鉱物分析、主成分・微量元素分析、同位体分析を行った。その際、鍵となるのは流体岩石相互作用で移動しやすいリチウム (Li)、ルビジウム (Rb)、セシウム (Cs)、ストロンチウム (Sr) などの元素である。母岩から推定される断層岩の原岩組成と断層岩の実際の組成とを比較してその偏差を得、それを固相 / 流体間の元素の分配係数を用いた微量元素モデリングで解析した。それにより、断層岩が流体岩石相互作用を過去に経験したか否か、経験していた場合にはその温度や流体 / 岩石比を推定した。

また、流体で移動しやすい代表的な元素である Li およびホウ素 (B) については、固相 / 流体間の同位体分別係数に温度依存性があることが知られており (Wunder *et al.*, 2005; 2006)、本研究ではこれらの同位体比が地震断層における流体岩石相互作用の新たな温度指標となり得るかについて検討した。

主成分元素の分析は蛍光 X 線分析法 (XRF)、微量元素の分析は ICP 質量分析法 (ICP-MS)、同位体比の測定はマルチコレクター ICP 質量分析法 (MC-ICP-MS) または表面電離質量分析法 (TIMS) で行った。

(2) 摩擦溶融の評価

四万十付加体牟岐地域で発見されているシュードタキライトおよび母岩 (Ujii *et al.*, 2007) について、主成分・微量元素分析と Sr 同位体分析を行った。シュードタキライトには急冷ガラスが残る比較的新鮮なもの、断層活動後の熱水変質で完全に粘土化したものがあり、それらについての比較も行った。シュードタキライト脈の厚さは数 mm 以下と微細であるため、PC 制御のマイクロドリルを用いて変形組織に沿った微小サンプリングを行った。流体岩石相互作用の場合と同様に、原岩組成と断層岩組成とを比較してその偏差を得、地球化学的解析を行った。

(3) 微量・高精度同位体分析技術の開発

断層岩からサンプリング可能な試料量は一般に少なく、マイクロドリルを使ったサンプリングの場合はわずか 1 mg 以下となる。そのため、そのような試料について信頼性の高い同位体データを得るためには、微量試料の高精度分析技術が必要となる。本研究では、B、Sr、ネオジウム (Nd) の同位体分析法の開発を行った。

4. 研究成果

(1) 流体岩石相互作用の評価

房総付加体

房総付加体の埋没深度 1~4km のシルト岩中に発達する 3 本の主要断層帯 (A、B、C: 図 1) について分析を行った。その結果、断層帯 C の滑り帯では台湾チェルンブ断層の場合と類似し

た Li、Rb、Cs の顕著な減少が認められ、微量元素モデリングにより温度 350 °C、流体 / 岩石比が積算で 7 程度の流体岩石相互作用を地震時に経験したと判定された(図 2c)。このことは、この断層帯において地震時の高速滑りにより熱圧化が生じた可能性を示唆している。一方、断層帯 A・B については、そのような高温の流体岩石相互作用の履歴が検出されず、むしろ Li、Rb、Cs がやや増加していた(図 2a, b)。このことは、非地震性滑りによって細粒化された火山砕屑物を主体とする断層内の成分が比較的低温で間隙水と反応して粘土鉱物(スメクタイト、イライト)を新たに生じたと考えられると理解できる(すなわち熱圧化は生じていない)。これらのことは、同一の付加体内で、熱圧化を生じた断層と生じなかった断層を識別できたことにとどまらず、付加体の比較的浅部での断層帯の発達過程における、滑り形態と流体岩石相互作用の変化を捉えたものと解釈できる。本成果は論文として発表した(Hirono and Ishikawa, 2018)。

四万十付加体

四万十付加体の延岡衝上断層は、かつての巨大分岐断層であると考えられている。本研究では、砂岩・泥岩メランジュ中に発達した厚さ 1.5mm の滑り帯を分析した。この滑り帯には Li、Cs の顕著な増加が認められた。微量元素モデリングによると、この組成的特徴は房総付加体の断層帯 A・B のようなシナリオでは説明できず、Li、Cs に富む高温流体(250~350 °C)が地震の直後に深部からパルス状に上昇してきて断層岩と反応した結果と考えられる。本成果は論文として発表した(Hasegawa *et al.*, 2019)。

コディアック付加体

コディアック付加体の Pasagshak Point 衝上断層は、かつて地震発生帯深度のプレート境界断層であったとされている。この断層については、微量元素モデリングに基づき、地震時に 350 °C 以上の流体岩石相互作用が生じたことが既に推定されている(Yamaguchi, Ishikawa *et al.*, 2014)。本研究では、主として同位体比の追加分析を行った。それらのデータを加えた再解析により、地震時に断層岩と反応した流体は、下盤プレートの玄武岩地殻に由来する可能性が高いことが示された。また、Li・B 同位体比のデータからは、上記の微量元素モデリングとは独立に、流体が 400 °C 程度で断層岩と反応したという予察的結果が得られた。これらのことから、断層岩の地球化学的解析は流体岩石相互作用の有無や温度の推定のみならず断層流体の起源推定にも有用であること、Li・B 同位体分析が新たな断層内流体プロセスの解析ツールとなり得ることが示された。本成果は国内・国際学会で発表した。

(2) 摩擦溶融の評価

四万十付加体牟岐地域の断層の分析により、シュードタキライトは、母岩に比べると多くの微量元素の濃度が異常に高く、最大 5 倍に達することが明らかとなった(図 3A)。しかしながら、全ての微量元素が同じ濃集度を示すのではなく、石英や斜長石に入

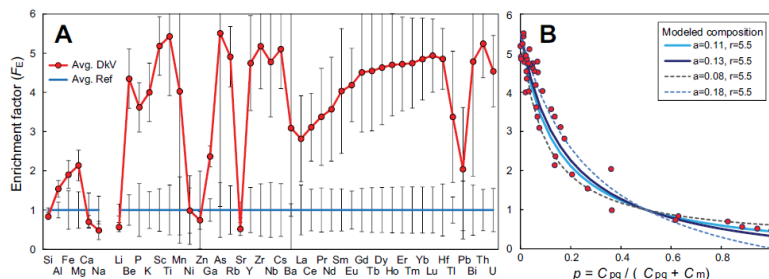


図 3 四万十付加体牟岐地域のシュードタキライトの化学組成(母岩比)とモデリング

りやすい元素ほど濃集度が低い傾向が認められた(なお、この傾向は変質の程度によらず一定であった)。このことは、地震時の断層滑り帯における短時間の摩擦加熱で、イライトを主体とした細粒基質が選択的にほぼ全溶融する一方、石英や斜長石のクラストはほとんど溶融しないと

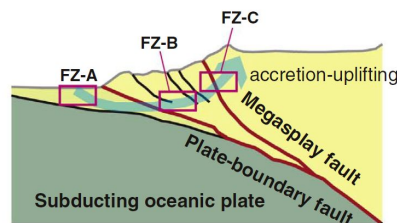


図 1 房総付加体の 3 つの主要断層帯の位置関係の概念図

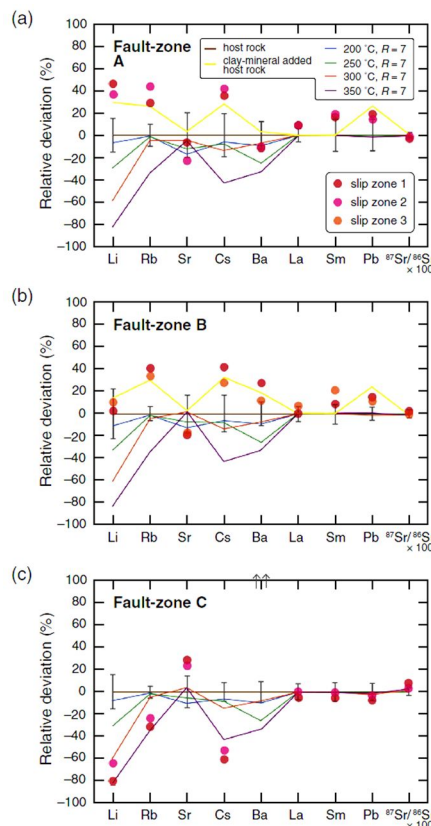


図 2 房総付加体の 3 断層滑り帯の化学組成(母岩比)とモデリング

いう、非平衡溶融が起こったと考えるとうまく説明できる。この仮説に基づき、イライト基質石英・長石クラスト間の各元素の相対濃度比 (p 値) を見積ったところ、シュードタキライトの元素濃集度と非常に良い相関があることが分かった (図 3 B)。この関係性に基づき非平衡溶融の地球化学的モデリング手法を新たに開発した。その結果、シュードタキライトにおける元素濃集度の特徴をほぼ完全に再現することに成功した (図 3 B の曲線)。本成果は論文として発表した (Ishikawa and Ujiie, 2019)。

(3) 微量・高精度同位体分析技術の開発

上記(1) 等への適用に向け、MC-ICP-MS を用いた B 同位体比の高精度分析法を開発し、論文として発表した (Kimura *et al.*, 2016; Tanimizu *et al.*, 2018)。また、TIMS を用いた Sr 安定同位体比高精度分析法、微量 Nd の高精度同位体分析法も開発し、それぞれ論文発表した (Wakaki *et al.*, 2017; Wakaki and Ishikawa, 2018)。

(4) まとめ

本研究では、研究代表者が開発した地球化学的・岩石学的手法を発展・拡張することで、断層岩の分析に基づき、断層内における流体岩石相互作用を、高速滑りの摩擦熱による 350 以上のものから、非地震性滑りに関係した比較的低温のものまで包括的に理解することが可能となった。また、流体の起源物質を特定するための情報が断層岩から得られることが新たに判明したほか、リチウム・ホウ素同位体比が断層内の流体岩石相互作用の新たな評価指標となり得ることが分かった。地震時における 350 以上の高温流体の存在は熱圧化を示唆するものであり、その発生の有無を評価できることは、過去に巨大津波を引き起こすような大きな滑りを起こした断層帯を判定する手法の構築に向けた大きな一歩である。

摩擦熱による断層の溶融については、地球化学的モデリングに基づく定量的な評価法を世界で初めて確立した。沈み込み帯のシュードタキライトについては、その産出が稀なのは、断層帯で摩擦溶融が稀にしか起こらないためなのか、それとも単に稀にしか保存されない(熱水変質を免れない)ためなのか、という論争が繰り返されてきた。本研究の手法はこの論争の決着に向けて摩擦溶融に関する新たな強力な判定法を提供するとともに、未だ謎の多い、水に富む沈み込み帯断層における摩擦溶融プロセスを理解するための有用な解析法となると考えられる。

< 引用文献 (本研究の成果に係るものを除く) >

- Andrews, D.J. (2002) A fault constitutive relation accounting for thermal pressurization of pore fluid. *J. Geophys. Res.*, **107**, 2363.
- Di Toro, G., *et al.* (2011) Fault lubrication during earthquakes. *Nature*, **471**, 494-498.
- Honda, G., Ishikawa, T., *et al.* (2011) Geochemical signals for determining the slip-weakening mechanism of an ancient megasplay fault in the Shimanto accretionary complex. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L06310.
- Ishikawa, T., *et al.*, (2008) Coseismic fluid-rock interactions at high temperatures in the Chelungpu fault. *Nature Geosci.*, **1**, 679-683.
- Sibson, R.H. (1973) Interactions between temperature and pore-fluid pressure during earthquake faulting and a mechanism for partial or total stress relief. *Nature Phys. Sci.*, **243**, 66-68.
- Sibson, R.H. (1975) Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **43**, 775-794.
- Spray, J.G. (1993) Viscosity determinations of some frictionally generated silicate melts: Implications for fault zone rheology at high strain rates. *J. Geophys. Res.*, **98**, 8053-8068.
- Ujiie, K., *et al.* (2007) Pseudotachylites in an ancient accretionary complex and implications for melt lubrication during subduction zone earthquakes. *J. Struct. Geol.*, **29**, 599-613.
- Wunder, B., *et al.* (2005) The geochemical cycle of boron: constraints from boron isotope partitioning experiments between mica and fluid. *Lithos*, **84**, 206-212.
- Wunder, B., *et al.* (2006) Temperature-dependent isotopic fractionation of lithium between clinopyroxene and high-pressure hydrous fluids. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **151**, 112-120.
- Yamaguchi, A., Ishikawa, T., *et al.* (2014) Fluid-rock interaction recorded in black fault rocks in the Kodiak accretionary complex, Alaska. *Earth Planet. Space*, **66**:58.

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 1件／うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|------------------------|
| 1. 著者名 Hasegawa, R., Yamaguchi, A., Fukuchi, R., Hamada, Y., Ogawa, N., Kitamura, Y., Kimura, G., Ashi, J. and Ishikawa, T. | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Postseismic fluid discharge chemically recorded in altered pseudotachylite discovered from an ancient megasplay fault: an example from the Nobeoka Thrust in the Shimanto accretionary complex, SW Japan | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 36 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1186/s40645-019-0281-2 | 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 Kubota, K., Yokoyama, Y., Ishikawa, T., Sagawa, T., Ikehara, M., and Yamazaki, T. | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Equatorial Pacific seawater pCO ₂ variability since the last glacial period | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 13814 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1038/s41598-019-49739-0 | 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 Brodsky, E. E., Mori, J. J., et al. (including Ishikawa, T.) | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 The state of stress on the fault before, during and after a major earthquake | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Annual Reviews in Earth & Planetary Sciences | 6. 最初と最後の頁 2.1-2.26 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060507 | 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 Ishikawa, T. and Ujiie, K. | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Geochemical analysis unveils frictional melting process in a subduction zone fault | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Geology | 6. 最初と最後の頁 343-346 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1130/G45889.1 | 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 Tanimizu, M., Nagaishi, K. and Ishikawa, T. | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 A rapid and precise determination of boron isotope ratio in water and carbonate samples by multiple collector ICP-MS | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Analytical Sciences | 6. 最初と最後の頁 667-674 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.18SBP05 | 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 若木重行, 川合達也, 永石一弥, 石川剛志 | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 多段抽出クロマトグラフィーを利用した地質試料に対するSr-Nd-Pb逐次化学分離法 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 JAMSTEC Report of Research and Development | 6. 最初と最後の頁 1-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5918/jamstecr.27.1 | 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 Hirono Tetsuro, Ishikawa Tsuyoshi | 4. 巻 724-725 |
| 2. 論文標題 Tectono-seismic characteristics of faults in the shallow portion of an accretionary prism | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Tectonophysics | 6. 最初と最後の頁 179 ~ 194 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tecto.2018.01.014 | 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 Wakaki Shigeyuki, Ishikawa Tsuyoshi | 4. 巻 424 |
| 2. 論文標題 Isotope analysis of nanogram to sub-nanogram sized Nd samples by total evaporation normalization thermal ionization mass spectrometry | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Mass Spectrometry | 6. 最初と最後の頁 40 ~ 48 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijms.2017.11.014 | 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 Kubota Kaoru, Yokoyama Yusuke, Ishikawa Tsuyoshi, Suzuki Atsushi, Ishii Masao | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Rapid decline in pH of coral calcification fluid due to incorporation of anthropogenic CO2 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 7694 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-07680-0 | 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 Kimura, J., Chang, Q., Ishikawa, T. and Tsujimori, T. | 4. 巻 31 |
| 2. 論文標題 Influence of laser parameters on isotope fractionation and optimization of lithium and boron isotope ratio measurements using laser ablation-multiple Faraday collector-inductively coupled plasma mass spectrometry | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry | 6. 最初と最後の頁 2305-2320 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6ja00283h | 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 Wakaki, S., Obata, H., Tazoe, H. and Ishikawa, T. | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 Precise and accurate analysis of deep and surface seawater Sr stable isotopic composition by double-spike thermal ionization mass spectrometry | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Geochemical Journal | 6. 最初と最後の頁 印刷中 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 石川 剛志, 山口 飛鳥 |
| 2. 発表標題 Kodiak付加体のアルバイトを伴う黒色断層岩の起源：地球化学分析からの制約 |
| 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 石川 剛志, 山口 飛鳥 |
| 2. 発表標題 コディアック付加体のプレート境界断層岩の形成に寄与した流体の起源 |
| 3. 学会等名 2019年度日本地球化学会年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 尾澤 ちづる、石川 剛志、氏家 恒太郎 |
| 2. 発表標題 Origin of frictional melt in the Jurassic accretionary complex of the Mino Belt on the basis of trace element and isotope analysis |
| 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 Chizuru Ozawa, Tsuyoshi Ishikawa and Kohtaro Ujiie |
| 2. 発表標題 Geochemical evidence for source materials of frictional melt: an example from the pseudotachylyte in the Jurassic accretionary complex, central Japan |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tsuyoshi Ishikawa and Asuka Yamaguchi |
| 2. 発表標題 Origin of fluids involved in paleo-plate-boundary decollement in the Kodiak accretionary complex |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tsuyoshi Ishikawa and Asuka Yamaguchi |
| 2. 発表標題 Chemical characteristics and source of the fluid involved in the black fault rocks in the Kodiak accretionary complex |
| 3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Chizuru Ozawa, Tsuyoshi Ishikawa and Kohtaro Ujiie |
| 2. 発表標題 Origin of frictional melt in the Jurassic accretionary complex of the Mino-Tamba Belt, central Japan on the basis of trace element and isotope analyses |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石川 剛志, 山口 飛鳥 |
| 2. 発表標題 Kodiak付加体のアルバイトを伴う黒色断層岩形成に寄与した流体の起源 |
| 3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会 (2018札幌大会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 尾澤 ちづる, 氏家 恒太郎, 石川 剛志 |
| 2. 発表標題 微量元素からひもとく摩擦熔融物の起源 |
| 3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会 (2018札幌大会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小川 文彰, 石川 剛志, 金木 俊也, 廣野 哲朗 |
| 2. 発表標題 和歌山県日高川層群に発達する巨大分岐断層の滑り挙動の解明 |
| 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 Ishikawa, T. and Ujiie, K. |
| 2. 発表標題 Characterization of frictional melting processes in subduction zone faults by trace element and isotope analyses |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ogawa, T., Ishikawa, T., Kaneki, S. and Hirono, T. |
| 2. 発表標題 Geochemical anomaly in ancient subduction boundary fault: Trench-parallel heterogeneity |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石川 剛志、氏家 恒太郎 |
| 2. 発表標題 断層岩の地球化学分析による沈み込み帯断層の摩擦溶融履歴評価 |
| 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 石川剛志、氏家恒太郎、川合達也、永石一弥 |
| 2. 発表標題 断層岩の地球化学分析による沈み込み帯断層の摩擦溶融履歴評価 |
| 3. 学会等名 2017年度日本地球化学会第64回年会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川合達也、永石一弥、石川剛志、氏家恒太郎 |
| 2. 発表標題 断層岩の微細組織に沿った主成分・微量元素およびSr同位体分析 |
| 3. 学会等名 2017年度日本地球化学会第64回年会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tsuyoshi Ishikawa |
| 2. 発表標題 Evaluation of coseismic physicochemical processes in fault zones based on geochemical analyses of fault rocks |
| 3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2016 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tsuyoshi Ishikawa, Jun Matsuoka, Kazuya Nagaishi, Jun Kameda, James Sample |
| 2. 発表標題 Boron and lithium isotope constraints on fluid-rock interactions in the shallow megathrust at the Japan Trench |
| 3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2016 (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石川剛志・永石一弥・松岡淳・亀田純・James Sample |
| 2. 発表標題 ホウ素・リチウム同位体を用いた日本海溝プレート境界断層浅部における流体岩石相互作用の評価 |
| 3. 学会等名 日本地質学会第123年学術大会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石川剛志, 川合達也, 永石一弥, 氏家恒太郎, 亀田純, 三島稔明 |
| 2. 発表標題 微小量断層岩の微量元素・同位体比の包括分析：1. マイクロサンプリングと主成分・微量元素分析 |
| 3. 学会等名 2016年度日本地球化学会 第63回年会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石川剛志, 永石一弥, 川合達也, 若木重行, 氏家恒太郎, 亀田純, 三島稔明 |
| 2. 発表標題 微小量断層岩の微量元素・同位体比の包括分析：2. Li・B・Sr・Nd・Pb 同位体分析 |
| 3. 学会等名 2016年度日本地球化学会 第63回年会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tsuyoshi Ishikawa, Kohtaro Ujiie |
| 2. 発表標題 Evaluation of frictional melting on the basis of trace element analyses of fault rocks |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2016 (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高知コア研究所 - 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)
<http://www.jamstec.go.jp/kochi/>

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|