

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03894

研究課題名(和文)大規模フラクチャーの強度・透水性を非破壊技術で把握できるか？

研究課題名(英文) Can we understand strength and hydraulic permeability of a large fracture zone by using geophysical technique?

研究代表者

後藤 忠徳 (Tada-nori, Goto)

兵庫県立大学・理学研究科・教授

研究者番号：90303685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：陸上や海底に数多分布する大規模なフラクチャーの透水性や力学的強度を知るために、本研究では、地殻の非破壊探査(電気・電磁探査および地震探査)と地質学的・地球化学的調査を組み合わせた新たな技術を開発した。全岩の透水係数を適切に推定できる岩石物理モデルの構築、岐阜県阿寺断層周辺の地下構造の精密可視化、南海トラフ熊野灘における海底下構造調査などを実施し、海・陸の断層破砕帯沿いの高間隙・高透水ゾーンの議論を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陸上や海底に分布する活断層は様々な活動度を有している。従来の地表付近での地質学的な活動度推定は有効ではあるが、大規模な活断層やそれに伴う大きなフラクチャーについては、空間的な分布範囲が広く深いため、フラクチャーの強度や透水性を把握する技術がなかった。本研究によって、物理探査による広域・間接的な情報を用いることで、この問題を克服するための基礎的知見を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the hydraulic permeability and strength of large-scale fractures distributed below the land and sea, in this study, we developed a new technology based on the combination of geophysical exploration of the crust (electrical/electromagnetic exploration with seismic survey), geological and geochemical studies. Proposal of a rock physics model for estimation of the bulk hydraulic permeability, detailed visualization of the subsurface structure around the Atera active fault in Gifu prefecture, surveys of subseafloor structure off Kumano, in the Nankai Trough, and so on, were successfully done. Discussions were also done on high porosity and high permeability along damage zones along land/marine active faults .

研究分野：物理探査学

キーワード：フラクチャー 比抵抗 活断層 南海トラフ 透水性

## 1. 研究開始当初の背景

資源エネルギーの探査・開発を行う際に、フラクチャー（岩盤や堆積層中の割れ目）の特性把握は必須である。例えば地球温暖化対策やエネルギーの持続可能性の面から、地熱発電が世界的に注目されているが、地熱エネルギーの源である熱水貯留層はフラクチャー帯に形成されることが多い。地熱地域において、高透水性の大規模フラクチャーが地下深部に存在する場所は地熱発電の適地と考えられている。また油ガス開発においては、石油増進回収法（EOR）の一つとして水攻法（注入井に水などを圧入し、回収井から油ガスを回収する技術）が行われているが、フラクチャーを含む地層の透水性が把握できなければ、効率の良い油ガス回収は困難である。シェールオイル・シェールガス開発で利用される水圧破砕法（高圧注入水により岩盤を破砕する技術）においても、フラクチャーの力学的強度や透水性の把握が必要である。陸上と同様に、海底下のフラクチャー特性把握も必要とされている。東海沖などの海底に広がるメタンハイドレートは、メタンガスを含む地下水が海底下のフラクチャーを通して移動・蓄積することによって生成されると考えられている。その一方で南海トラフ海域の一部では、付加体内部の逆断層沿いに海底疑似地震波反射面（BSR）が認められず、逆断層に沿って流れる地下水によりメタンハイドレートの生成阻害や消失が起きていることも指摘されている。これらの生成・分解過程を定量的にモデル化するためには、フラクチャーの透水性が情報として必要である。またエネルギー利活用後の、いわゆるバックエンドにおいては、フラクチャー特性把握の重要性は増加する。二酸化炭素の海底下貯留や放射性廃棄物地中処分の安全性評価においては、貯留地・処分地での地下水流動や岩盤強度におけるフラクチャーの役割が大きいためである。

フラクチャーの強度・透水性の理解においては、従来は掘削調査に専ら頼ってきた。例えば掘削で得られる岩石試料を用いた諸実験（透水試験・圧縮試験等）や、孔内における諸計測（検層・注水実験等）によって小規模なフラクチャーの特性把握がなされてきた。しかし大規模なフラクチャーについては、高い破砕度のために掘削そのものが困難であり、仮に掘削に成功しても大規模フラクチャーを含む岩石試料の採取は難しい。また孔内計測を実施しても、掘削孔という小さなスケールでの調査結果のみからは、大規模なフラクチャー全体の（特に掘削孔から離れた部分での）特性把握には問題があった。この弱点を補うため、地殻の非破壊探査（物理探査）が実施されてきた。例えば地震探査によって地層やフラクチャーの形状が把握可能であり、また電気・電磁探査によって地殻中の水の有無やフラクチャーの有無が可視化されてきた。ただしこれらの物理探査は「フラクチャー探し」には用いられるものの、物理探査情報から地下深部（例：1km深）に存在する大規模フラクチャーの強度や透水性が定量的に議論されることはなかった。そこで本研究では、小規模・大規模、陸上・海底といった様々なフラクチャーを対象に、「大規模フラクチャーの強度や透水性の定量的情報を、非破壊探査技術で把握できるか？」といった、資源探査・開発において重要な問題へアプローチする。

## 2. 研究の目的

本研究では、幅 10m を超え、深さ数百 m 以上に位置する大規模なフラクチャーの力学的強度や透水性を把握することを目的として、大小フラクチャーを含む岩体を用いた数値シミュレーションと岩石物理モデルを軸に、地殻の非破壊探査（電気・電磁探査および地震探査）と岩盤の地質学的・地球化学的調査を組み合わせた新たな技術開発を実施した。

従来の研究では、岩石実験や露頭観察に基づく小規模のフラクチャーの測定や解析と、物理探査に基づく大規模なフラクチャー（活断層）のイメージ化や解釈は、まったく別々の調査グループによって行われてきた。どちらも同じフラクチャーをターゲットにしているにも関わらず、手法の違いなどにより統合解析は進んでいない。本研究では異分野の地球科学者による新たな研究グループを立ち上げる。さらに、分野間の壁を取り払うために、岩石やフラクチャーから構成される“デジタル岩石モデル”を導入する。本研究ではデジタル岩石モデルの一つである、Discrete Fracture Network (DFN) モデルを用いる。DFN モデルに岩石物理学モデル（例：間隙率と比抵抗を結びつけるアーチーの式などの理論値）を適用すると、岩盤の比抵抗分布や地震波速度分布を計算できる。これを物理探査によって得られる実測値と比較することでフラクチャーパラメータを決定できると考えられる。これにより、小規模フラクチャーの詳細情報と、物理探査によってイメージ化される大規模フラクチャーとを結びつけることが可能となると思われる。得られた DFN モデルは別の数値シミュレーションコードを通じて、地下水流動パターン解析や、応力に対する岩盤の変形過程の予測に利用する。

本研究では、実際に野外でもフラクチャーの諸調査を行う。フラクチャーのサイズや状況が異なる 3 つの地域で実施し、得られる結果の相互比較を行うこととする。すなわち、i) 花崗岩地域（岐阜県瑞浪市）の地下 500m の坑道内におけるフラクチャーの観察や、物理探査データを用いた透水性の推定、ii) 陸上活断層（岐阜県中津川市：阿寺断層）周辺での電磁探査に基づく断層破砕帯の推定、iii) 海底活断層（南海トラフ熊野灘の逆断層帯）での海底電磁探査を実施する各地域での実施内容については、次項で述べる。

### 3. 研究の方法

本研究は、室内・野外調査と数値計算からなる。大きく4つのパートから構成される。このうち「1」については比較的小規模なフラクチャーの研究であり、「2」は比較的大規模なフラクチャーの研究である。また研究分担者・協力者の各担当についても記す。

#### 1a) 花崗岩地域の地下500mの坑道内における実験（担当：後藤・柏谷・小池）

瑞浪超深地層研究所（JAEA）の研究坑道の露岩部（地表下500m）を利用して、フラクチャーを含む岩盤の比抵抗・透水係数・一軸圧縮強度・地震波速度を多地点で測定する。既に得られている地質学的な情報（フラクチャーの密度や方位）の精査を行い、物性値との比較を実施する。また坑道内で地震探査・比抵抗探査データを活用し、壁面や孔壁から数m範囲の透水係数の推定を実施する。さらに坑道内の地下水サンプルを取得して、地球化学的性質を明らかにする。

#### 1b) 坑道内測定の結果を用いた岩盤シミュレーション（担当：後藤・柏谷・山口）

1aのフラクチャー情報を元に、Discrete Fracture Network (DFN) モデルを構築する。フラクチャーを含む場合の岩石物理学モデルをDFNモデルへ適用することで、比抵抗構造・地震波速度構造などの分布を推定し、実測値と比較する。またDFNモデルの未知数（フラクチャーの平均的な長さ）を決定できるため、DFNモデルから透水構造を予測可能となる。構築した手法を、坑道内での物理探査結果に適用し、透水係数の推定値と実測値と比較して、透水性推定技術の信頼性について評価する。また個別要素法を用いた岩盤変形・破壊シミュレーターを開発し、岩盤強度についても推定できる手法を構築する。

#### 2a) 陸上活断層周辺の岩盤強度・透水性の解明（担当：山口・村上・加藤・西尾）

陸上活断層の破碎帯の規模や形状を調べるために、阿寺断層（岐阜県中津川市）において、地下比抵抗構造調査（AMT探査）を実施する。これによって水平3km程度、深さ2km程度の比抵抗構造を求めることができる。阿寺断層では、断層周辺での掘削や地震探査・重力探査が既に行われているため、得られた比抵抗構造と1bのDFNモデルや岩石物理学から、活断層沿いの破碎度を定量化することが可能である。活断層の強度・透水性も推定できるので、岩盤変形・破壊シミュレーターを利用すれば、将来的には地殻変動や地震発生のパターンを数値計算から推測することが可能となる。また主に西日本の活断層において湧水を採取し、地殻深部からの上昇流体に含まれる化学成分の分析から大規模フラクチャーの透水性における役割を検討する。

#### 2b) 海底活断層の岩盤強度・透水性の解明（担当：笠谷・市原・田所・後藤）

既に掘削データや地震波速度構造が得られている南海トラフ熊野灘の分岐断層（海底面～深さ数km程度）をターゲットとして、海底電磁探査を行う。自然の電磁場信号を用いたMT探査と、人工電流源を用いたCSEM探査の双方を実施する。得られた地下比抵抗構造から、海底下の間隙水分布についての知見を得る。これによって将来的には、比抵抗構造と地震波速度構造を統合解析することで（1b）分岐断層や逆断層帯の透水性や強度について推定することが可能となる。また地殻変動や地震活動のパターンの議論も可能となるであろう。本電磁探査については、海底地殻変動観測点の近くで実施する。これによって地殻変動の推定と実測の比較を行うことができる。

### 4. 研究成果

#### 1a) 花崗岩地域の地下500mの坑道内における実験

まず、瑞浪超深地層研究所で坑道内での物性データを取得し、幅約10mのフラクチャーの透水性や岩盤強度と比抵抗・地震波速度の関連性を議論した。フラクチャー分布と弾性定数、比抵抗、透水係数を比較し、互いにより相関性が見られること、また坑道にみられる2つの大きなフラクチャー周辺で、フラクチャー密度や諸物性値に変動がみられることが認められた。さらに、瑞浪地域での掘削試料（花崗岩）について、実験室内でも透水係数や比抵抗・地震波速度を測定し、透水係数とその他の物性値の関係性について明らかにした。坑道内で採取した地下水の地球化学的文責も進めた。得られた化学データに基づいて地下水流動のシミュレーションを実施したところ、坑道で見られる大規模なフラクチャーの透水係数を求めることができ、またフラクチャーが地下水流動に大きな影響を与えていることも明らかとなった。

#### 1b) 坑道内測定の結果を用いた岩盤シミュレーション

比抵抗情報と掘削情報からフラクチャーネットワーク分布（DFNモデル）を推定する手法を開発した。この手法の妥当性を検討するために、DFNモデルから透水係数分布を算出し、これを実測値として比較した。その結果、両者はよい一致を示したため、同手法の妥当性を検証できた。

さらに亀裂性花崗岩岩盤について、マイクロフラクチャーとマクロフラクチャーからなる岩石物理学モデルを新たに提案した。その結果、地震波速度・比抵抗等に基づいて、フラクチャー間隙率や全岩の透水係数を適切に推定することが示された。本手法の妥当性を確認するために、岐阜県瑞浪市で得られた検層データに本手法を適用した。その結果、透水係数分布の予測値と、推理試験による実測値は良く一致した。従って本研究では、DFNモデルに加えて、新たな岩石物理学モデルの構築に成功した。将来的には両者を組み合わせることで、透水係数や岩盤強度の推定精度をさらに向上させたハイブリッド岩盤モデルを作成する予定であり、本研究でその具体的な目処がたった。

#### 2a) 陸上活断層周辺の岩盤強度・透水性の解明

岐阜県阿寺断層で地表電磁探査を実施した。ここでは自然の電磁場変動（10kHz～0.1Hz）を測定し、地下比抵抗構造を求めるAMT探査を用いた。活断層浅部～深さ数kmを高解像度で可視化

するために、AMT 探査を 24 地点で実施した。得られたデータを満足するように、ABIC 最小化法による Inversion によって地下比抵抗構造の解析を進めた。最終的に求められた地下の比抵抗分布は、既存の掘削データと整合的であった。また阿寺断層沿いには幅 500m 以上の低比抵抗帯が検出された。既存の地震探査データや重力異常と対比すると、この低比抵抗帯は地震波散乱が激しく、低密度であると思われる。従って、これは阿寺断層に沿う破砕帯（ダメージゾーン）であると考えられる。比抵抗から間隙率を求めることにも成功した。

このような破砕帯の規模と断層運動を考えるためには、室内実験・数値実験による検討が必要である。阿寺断層のような横ずれ断層沿いの岩盤の変形・破壊については、砂箱を用いたアナログ実験例は多数あるものの、数値シミュレーションによる検討例はほとんどなかった。そこで本研究では新たに、岩盤変形・破壊シミュレーターを開発した。開発にあたっては、1b の岩盤モデルを参考とした。ここでは、大変形・破壊を数値的に安定して扱うことができる個別要素法を採用した。横ずれ断層に伴うダメージゾーンを岩盤強度の低下ゾーンと仮定して、数値モデルを作成して変形・破壊シミュレーションを実施した。その結果、地表の地質調査や地形観察に見られるような変形・破壊パターンを再現することに成功した。さらに、活断層を横切る断面で得られた比抵抗構造を説明しうるような、断層沿いの破壊分布のシミュレーションにも成功した。

これらにあわせて、西日本各地の活断層沿いの湧水・温泉水の分析を進めて、地殻流体分析技術の高度化やモデル化を図った。その結果、地格深部起源の流体の検出に成功した。

## 2b) 海底活断層の岩盤強度・透水性の解明

南海トラフにおける海底電磁探査を実施するため、海洋研究開発機構の調査船利用公募に申請し、複数の航海提案が採択された。まず、海洋研究開発機構の調査船「かいらい」を用いた 2020 年 12 月の航海では、南海トラフ熊野灘の陸側斜面域（水深約 2000m~4000m）において、人工電流源を使用した海底電磁探査を実施した。ここには多数の逆断層が分布しており、また海底地殻変動観測も行われているため、地下比抵抗構造とこれらとの比較を今後進めることが可能である。次に調査船「白鳳丸」を用いた 2021 年 1 月の航海では、前年に海底に設置した海底電位差磁力計の回収を行った。海底に設置したすべての装置の回収に成功した。得られたデータの一部の解析を進めたところ、陸側斜面直下~沈み込む海洋地殻（深さ 20km 程度）において、周囲より低比抵抗な特徴が認められた。1a, 1b の岩石モデルを用いた議論から、この海底下の低比抵抗部は、断層破砕帯などに沿った高間隙・高透水ゾーンであると考えられ、低強度の断層部を示す可能性が示唆された。本地下構造の調査測線は、海底地殻変動観測点の近傍に選定されているため、今後の海底地殻変動観測の結果と対比するとともに、前述の岩盤変形・破壊シミュレーターを用いることで、活断層強度の推定につながるものと考えられる。

## 研究発表（1a, 1b, 2a, 2b）

（雑誌論文、査読有）

1. 大田優介, 後藤忠徳, 小池克明, 柏谷公希, 林為人, 多田井修, 笠谷貴史, 金松敏也 & 町山栄章. (2018). 海底熱水活動域で得られた岩石試料の電気伝導度特性に基づく岩石物理モデルの構築. 物理探査, 71, 43-55. 10.3124/segj.71.43
2. Nakamura, S., Ebihara, Y., Fujita, S., Goto, T., Yamada, N., Watari, S., & Omura, Y. (2018). Time Domain simulation of geomagnetically induced current (GIC) flowing in 500 kV power grid in Japan including a three dimensional ground inhomogeneity. Space Weather, 16(12), 1946-1959. 10.1029/2018SW002004
3. Magaia, L. A., Koike, K., Goto, T., & Masoud, A. A. (2019). Discriminating weathering degree by integrating optical sensor and SAR satellite images for potential mapping of groundwater resources in basement aquifers of semiarid regions. Natural Resources Research, 28(3), 1197-1215. 10.1007/s11053-018-9445-9
4. Usui, Y., Kasaya, T., Ogawa, Y., & Iwamoto, H. (2018). Marine magnetotelluric inversion with an unstructured tetrahedral mesh. Geophysical Journal International, 214(2), 952-974. 10.1093/gji/ggy171
5. Kawada, Y., & Kasaya, T. (2018). Self-potential mapping using an autonomous underwater vehicle for the Sunrise deposit, Izu-Ogasawara arc, southern Japan. Earth, Planets and Space, 70(1), 1-15. 10.1186/s40623-018-0913-6
6. Nara, Y., Harui, T., & Kashiwaya, K. (2018). Influence of calcium ions on subcritical crack growth in granite. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 102, 71-77. 10.1016/j.ijrmms.2018.01.001
7. Onda, S., Sano, Y., Takahata, N., Kagoshima, T., Miyajima, T., Shibata, T., Pinti, D., Lan, T., Kim, N., Kusakabe, M., & Nishio, Y. (2018). Groundwater oxygen isotope anomaly before the M6. 6 Tottori earthquake in Southwest Japan. Scientific reports, 8(1), 1-7. 10.1038/s41598-018-23303-8, 2018.
8. 石須慶一, 後藤忠徳, 笠谷貴史, & 岩本久則. (2019). 海底熱水鉱床調査における深海曳航式電気探査の有効性評価. 物理探査, 72, 122-138. 10.3124/segj.72.122
9. Ishizu, K., Goto, T., Ohta, Y., Kasaya, T., Iwamoto, H., Vachiratienchai, C., Siripunvaraporn, W., Tsuji, T., Kumagai H., & Koike, K. (2019). Internal structure of a seafloor massive sulfide deposit by

- electrical resistivity tomography, Okinawa Trough. *Geophysical Research Letters*, 46(20), 11025-11034.  
10.1029/2019GL083749
10. 岡本拓, 後藤忠徳, 笠谷貴史, 寺西陽祐, 石須慶一, 稲盛隆穂, 阿部進, & 高井克己. (2020). 三次元海洋電磁探査の高度化に向けた技術開発と課題, *石油技術協会誌*, 85(1), 54-61.
  11. de Sa, V. R., Koike, K., Goto, T., Nozaki, T., Takaya, Y., & Yamasaki, T. (2021). A combination of geostatistical methods and principal components analysis for detection of mineralized zones in seafloor hydrothermal systems. *Natural Resources Research*, 30(4), 2875-2887.  
10.1007/s11053-020-09705-4
  12. Sato, S., Goto, T., & Koike, K. (2020). Spatial gradients of geomagnetic temporal variations causing the instability of inter-station transfer functions. *Earth, Planets and Space*, 72(1), 1-19.  
10.1186/s40623-020-01231-0
  13. Tomita, S. A., Koike, K., Goto, T., & Suzuki, K. (2020). Numerical simulation based clarification of a fluid flow system in a seafloor hydrothermal vent area in the middle Okinawa Trough. *Geophysical Research Letters*, 47(20), e2020GL088681.  
10.1029/2020GL088681
  14. Chang, P. Y., Goto, T., Hu, X., & Um, E. (2020). A review of electromagnetic exploration Techniques and their applications in East Asia. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 31(5).  
10.3319/TAO.2020.11.05.01
  15. Sato, S., Goto, T., Kasaya, T., & Ichihara, H. (2021). Method for obtaining response functions from noisy magnetotelluric data using frequency-domain independent component analysis Noise reduction of MT data using FDICA. *Geophysics*, 86(1), E21-E35.  
10.1190/geo2018-0792.1
  16. Asaue, H., Koike, K., Yoshinaga, T., Goto, T., & Yoshida, H. (2021). Development and application of a variable-frequency-based electric sounding system for increasing the accuracy of aquifer detection. *Natural Resources Research*, 30(4), 3017-3034.  
10.1007/s11053-020-09791-4
  17. Maruoka, T., Nishio, Y., Kogiso, T., Suzuki, K., Osawa, T., Hatsukawa, Y., & Terada, Y. (2020). Enrichment of chalcophile elements in seawater accompanying the end-Cretaceous impact event. *GSA Bulletin*, 132(9-10), 2055-2066.  
10.1130/B35403.1
  18. Sano, Y., Kagoshima, T., Takahata, N., Shirai, K., Park, J. O., Snyder, G. T., Shibata, T., Yamamoto, J., Nishio, Y., Chen, A. T., Xu, S., Zhao, D., & Pinti, D. L. (2020). Groundwater Anomaly Related to CCS-CO2 Injection and the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake in Japan. *Frontiers in Earth Science*, 8, 611010.  
10.3389/feart.2020.611010
  19. Morishita, Y., & Nishio, Y. (2021). Ore genesis of the Takatori tungsten-quartz vein deposit, Japan: Chemical and isotopic evidence. *Minerals*, 11(7), 765.  
10.3390/min11070765
  20. Tanimizu, M., Sugimoto, N., Hosono, T., Kuribayashi, C., Morimoto, T., Ito, A., Umam, R., Nishio, Y., Nagaiishi, K., & Ishikawa, T. (2021). Application of B and Li isotope systematics for detecting chemical disturbance in groundwater associated with large shallow inland earthquakes in Kumamoto, Japan. *Geochemical Journal*, 55(4), 241-250.  
10.2343/geochemj.2.0633
  21. Momose, K., Shioyama, M., Hori, M., Kandori, K., & Nishio, Y. (2021). Combined tracers in hot spring waters across the Kii Peninsula, Japan: Implications for the origins of metamorphic fluids of the SW Japan forearc. *Geochemical Journal*, 55(5), 289-300.  
10.2343/geochemj.2.0637
  22. Usui, Y., Uyeshima, M., Ogawa, T., Yoshimura, R., Oshiman, N., Yamaguchi, S., Toh, H., Murakami, H., Aizawa, K., Tanbo, T., Ogawa, Y., Nishitani, T., Sakanaka, S., Mishina, M., Satoh, H., Goto, T., Kasaya, T., Mogi, T., Yamaya, Y., Shiozaki, I., & Honkura, Y. (2021). Electrical Resistivity Structure Around the Atotsugawa Fault, Central Japan, Revealed by a New 2 D Inversion Method Combining Wideband MT and Network MT Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(4), e2020JB020904.  
10.1029/2020JB020904
  23. de Sa, V. R., Koike, K., Goto, T., Nozaki, T., Takaya, Y., & Yamasaki, T. (2021). 3D geostatistical modeling of metal contents and lithofacies for mineralization mechanism determination of a seafloor hydrothermal deposit in the middle Okinawa Trough, Izena Hole. *Ore Geology Reviews*, 135, 104194.  
10.1016/j.oregeorev.2021.104194
  24. Wu, J., Goto, T., & Koike, K. (2021). Estimating fractured rock effective permeability using discrete fracture networks constrained by electrical resistivity data. *Engineering Geology*, 289, 106178.  
10.1016/j.enggeo.2021.106178

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishizu Keiichi, Vachirastienchai Chatchai, Siripunvaraporn Weerachai, Goto Tada-nori, Kasaya Takafumi, Iwamoto Hisanori	4. 巻 72
2. 論文標題 Evaluations of effectiveness of marine deep-towed DC resistivity survey in investigation of seafloor massive sulfide deposits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BUTSURI-TANSA(Geophysical Exploration)	6. 最初と最後の頁 122 ~ 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3124/segj.72.122	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 Ishizu K., Goto T., Ohta Y., Kasaya T., Iwamoto H., Vachirastienchai C., Siripunvaraporn W., Tsuji T., Kumagai H., Koike K.	4. 巻 46
2. 論文標題 Internal Structure of a Seafloor Massive Sulfide Deposit by Electrical Resistivity Tomography, Okinawa Trough	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 11025 ~ 11034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL083749	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 岡本拓, 後藤忠徳, 笠谷貴史, 寺西陽祐, 石須慶一, 稲盛隆穂, 阿部進, & 高井克己	4. 巻 85
2. 論文標題 三次元海洋電磁探査の高度化に向けた技術開発と課題	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 石油技術協会誌	6. 最初と最後の頁 54 ~ 61
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 -
1. 著者名 Ohta Yusuke, Goto Tada-nori, Koike Katsuaki, Kashiwaya Koki, Lin Weiren, Tadai Osamu, Kasaya Takafumi, Kanamatsu Toshiya, Machiyama Hideaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Construction of rock physics model based on electrical conductivity characteristics of rock samples obtained in seafloor hydrothermal areas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BUTSURI-TANSA(Geophysical Exploration)	6. 最初と最後の頁 43 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3124/segj.71.43	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 Nakamura S., Ebihara Y., Fujita S., Goto T., Yamada N., Watari S., Omura Y.	4. 巻 16
2. 論文標題 Time Domain Simulation of Geomagnetically Induced Current (GIC) Flowing in 500 kV Power Grid in Japan Including a Three Dimensional Ground Inhomogeneity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Space Weather	6. 最初と最後の頁 1946 ~ 1959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018SW002004	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 Magaia Lu?s Andr?, Koike Katsuaki, Goto Tada-nori, Masoud Alaa Ahmed	4. 巻 28
2. 論文標題 Discriminating Weathering Degree by Integrating Optical Sensor and SAR Satellite Images for Potential Mapping of Groundwater Resources in Basement Aquifers of Semiarid Regions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Natural Resources Research	6. 最初と最後の頁 1197 ~ 1215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11053-018-9445-9	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 Usui Yoshiya, Kasaya Takafumi, Ogawa Yasuo, Iwamoto Hisanori	4. 巻 214
2. 論文標題 Marine magnetotelluric inversion with an unstructured tetrahedral mesh	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 952 ~ 974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggy171	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 Kawada Yoshifumi, Kasaya Takafumi	4. 巻 70
2. 論文標題 Self-potential mapping using an autonomous underwater vehicle for the Sunrise deposit, Izu-Ogasawara arc, southern Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-018-0913-6	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 Nara Yoshitaka, Harui Tomoki, Kashiwaya Koki	4. 巻 102
2. 論文標題 Influence of calcium ions on subcritical crack growth in granite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	6. 最初と最後の頁 71~77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrmms.2018.01.001	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14件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 後藤忠徳・小路久稔・川口草太・山口覚・山中裕斗・古川大悟・相澤広記
2. 発表標題 布田川断層西原村地域の浅部地下比抵抗構造とその信頼度
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 後藤忠徳・川口草太
2. 発表標題 活断層の透水性は定量化できるのか？
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 山口覚・山中裕斗・三村明・福江一輝・古川大悟・後藤忠徳・小路久稔・川口草太・相澤広記・高倉伸一
2. 発表標題 2016年熊本地震において断層すべり量が異なる2つの地域の浅部比抵抗構造
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 Sota Kawaguchi, Tada-nori Goto and Koki Kashiwaya
2. 発表標題 Development of estimating permeability of rock mass based on physical data
3. 学会等名 International Symposium on Rock Engineering for Innovative Future (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jin Wu, Katsuaki Koike and Tada-nori Goto
2. 発表標題 A numerical study of seismic velocity change due to a tunnel excavation in a fractured rock mass
3. 学会等名 International Symposium on Rock Engineering for Innovative Future (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tada-nori Goto
2. 発表標題 Internal Structure of a Seafloor Massive Sulfide Deposit by Electrical Resistivity Tomography, Off Shore of Japan
3. 学会等名 2019 KIOST International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤忠徳
2. 発表標題 地下の水の動きは物理探査で可視化できるか？
3. 学会等名 農業農村工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Sato, S. and Goto, T.
2 . 発表標題 Improved algorithm of Frequency Domain Independent Component Analysis for magnetotelluric data processing
3 . 学会等名 The 24th EM Induction Workshop ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yamada, Y., and Goto, T.
2 . 発表標題 Feasibility study of inversion using Tipper data for analysis of resistivity structure in geothermal field
3 . 学会等名 The 24th EM Induction Workshop ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kawaguchi, S., and Goto, T.
2 . 発表標題 Hydraulic permeability of granitic bedrock estimated from resistivity and young ' s modulus
3 . 学会等名 The 13th SEGJ International Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Koji, H., and Goto, T.
2 . 発表標題 Reliability evaluation of 2-D resistivity structure derived by magnetotelluric survey using Markov Chain Monte-Carlo method
3 . 学会等名 The 13th SEGJ International Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Wu, J., and Goto, T.
2. 発表標題 Quantitative estimation of hydraulic permeability of a fractured rock mass using a conditioning discrete fracture network constrained by electrical resistivity
3. 学会等名 15th International Symposium on Mineral Exploration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Goto, T., Ishizu, K., Vachiratienchai, C., Siripunvaraporn, W., Kasaya, T., and Iwamoto, H.
2. 発表標題 First resistivity image of seafloor ore deposits at an active hydrothermal field, Okinawa Trough, Japan
3. 学会等名 15th International Symposium on Mineral Exploration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ohta, Y., Goto, T., Koike, K., Kashiwaya, K., Lin, W., Tadai, O., Kasaya, T., Kanamatsu, T., and Machiyama, H.
2. 発表標題 Study on physical properties and mineral compositions of rock samples obtained from seafloor hydrothermal area
3. 学会等名 15th International Symposium on Mineral Exploration (国際学会)
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
研究分担者	柏谷 公希  (Kashiwaya Koki)  (40447074)	京都大学・工学研究科・准教授    (14301)	

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
研究分担者	山口 覚 (Yamaguchi Satoru)  (70191228)	大阪市立大学・大学院理学研究科・教授  (24402)	
研究分担者	西尾 嘉朗 (Nishio Yoshiro)  (70373462)	高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・准教授  (16401)	
研究分担者	笠谷 貴史 (Kasaya Takafumi)  (90373456)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(海底資源センター)・グループリーダー  (82706)	
研究分担者	市原 寛 (Ichihara Hiroshi)  (90553074)	名古屋大学・環境学研究科・助教  (13901)	
研究分担者	田所 敬一 (Tadokoro Keiichi)  (70324390)	名古屋大学・環境学研究科・准教授  (13901)	
研究分担者	村上 英記 (Murakami Hideki)  (10166259)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授  (16401)	

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