

令和 3 年 4 月 19 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K17613

研究課題名（和文）UAVリモートセンシングによる土砂災害地の即時地質判読

研究課題名（英文）Immediate geological interpretation of sediment disaster area using UAV remote sensing

研究代表者

若狭 幸（Wakasa, Sachi）

弘前大学・地域戦略研究所・助教

研究者番号：40442496

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：無人航空機（いわゆるドローン）に搭載することが可能な特殊なカメラ（ここでは600～1050 nmの波長範囲で1nm毎に画像が取得できる液晶波長可変カメラ）を用いて、人間の目では識別することができない地質の違いを明らかにすることを目的とした。特に、地質を構成する鉱物の量を見分けることで、土砂災害を引き起こす鉱物がどのくらい地表面に存在しているのかを明らかにする手法を検討した。二次災害の恐れがあったり、広範囲で調査が必要な土砂災害地における地質の判読や鉱物量の推定に、本手法である無人航空機に特殊カメラを搭載して実施する空撮法が利用できることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、人が足を踏み入れることが困難な土砂災害地において、無人航空機による空撮により、その原因となったであろう地質を即時的に判断することができる技術革新研究であり、土砂災害の多い我が国において先陣を切って調査研究する学術的意義は大きい。この技術は即時的な技術でもあるが、広範囲の現地調査が可能であるという特性もあるため、2次被害を抑える効果と、砂防対策工事の効率化にも貢献することができるためその社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to understand the geological differences, which are undetectable by the human eye using a light camera (liquid crystal tunable filter, LCTF, camera capable of capturing images at a wavelength interval of 1 nm from 600 to 1050 nm) that can be mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV). I examined a method to assess the mineral content in the ground surface that causes sediment-related disasters by differentiating the mineral content comprising the geology. Aerial photography, which is conducted by mounting the LCTF camera on an UAV, can be used to interpret the geology and estimate the mineral content in areas associated with sediment-related disasters that are at a risk of secondary disasters or require extensive surveys.

研究分野：地形学、リモートセンシング、防災科学

キーワード：リモートセンシング 地質判読 土砂災害 無人航空機 ハイパースペクトルカメラ

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、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の災害調査では、非接触であるため二次災害を防ぎ、また即時性などに優れた無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) を用いた画像取得による調査が多く取り入れられている。UAV を用いた調査の多くは人間の視覚で認識可能な可視画像を取得するものであり、地形の変動や災害の規模などを捉えるために重要である。一方で、災害は地質に依存することが多く、災害発生直後にその地質的背景を調査する必要がある。しかし、地質を調査するには可視画像のみでは不十分であり、可視領域および近赤外領域の画像を取得する必要がある。

可視領域から近赤外領域の画像を用いた地質の分類はリモートセンシング分野において 1997 年ころから約 20 年にわたって精力的に研究がおこなわれてきているが、コストの問題と画像解像度の問題により局所的な災害研究には実装されていなかった。しかし、最近の画像取得能力の急激な発展や超小型衛星開発の急進に伴い、より多くの分野でより簡易的に経済的に実施できるようになってきた。特に UAV を用いた UAV リモートセンシングは撮影の自由度や即時性が向上し、その発展が期待されていた。

### 2. 研究の目的

本研究では UAV リモートセンシングで土砂災害地の地質情報を即時に判読することを目的とした。これまで UAV による災害調査は可視領域の画像取得のみであったが、本研究では液晶波長可変フィルタ (Liquid crystal tunable filter: LCTF) を通して画像を取得するイメージャである LCTF カメラを用いた。この LCTF カメラは、600-1050 nm の観測波長範囲内で 1nm 毎に画像を取得でき、重量が 3 kg 以内に設計されている独自に発注したカメラである。軽量であることから、UAV に搭載することが可能である。すなわち、本研究ではこの LCTF カメラを UAV に搭載して実施された空撮画像から、調査対象地域表面に分布する地質を推定する手法を確立することを研究のゴールとした。



図 1. 本研究で使用した LCTF カメラ (左) と LCTF を UAV に搭載した状態 (右)

### 3. 研究の方法

#### 3.1. LCTF-UAV リモートセンシング法の確立

本研究では、日本国内と国外において LCTF-UAV 空撮を実施した。LCTF カメラは特注品であるため、UAV への搭載法、UAV に搭載できた後の撮影法など、独自に調整した。第一に空撮を請け負う企業の選定、カメラを搭載する UAV の調整を実施した。第二に、日本国内では UAV への搭載調整、および平坦な安全な場所において試験飛行を実施した。第三に実際の調査地域において空撮に寄らない LCTF カメラによる試験撮影を実施した。最終的に調査地域において空撮

を実施した。



図 2. 空撮によらない LCTF カメラによる試験撮影と LCTF-UAV 空撮の様子 (Wi-Fi を利用し遠隔でカメラを操作している)

### 3. 2. LCTF カメラの地質判読への有効性の検証

LCTF カメラを用いて実際に地質判読が可能かどうかを検証した。前述した空撮に寄らない LCTF カメラによる調査地域の試験撮影において撮影場所の地表面物質試料を実験室に持ち帰り、実験室内において X 線回折分析を実施し、試料中の鉱物同定と鉱物の量比を推定した。また、同じ試料の反射特性を実験室内で分光器を用いて測定した。これら実験室における試料分析結果と、LCTF カメラによる画像データの比較を実施した。



図 3. 実験室における分光器による反射特性測定

## 4. 研究成果

### 4. 1. LCTF-UAV リモートセンシング法の確立

ここ数年で UAV を利用した技術が急速に発達し、それに伴い法整備が実施されてきた。UAV を飛行させるためには許可や、飛行運転免許が必要である国も増えてきた。そこで本研究では UAV 飛行を専門の技術者に依頼した。本研究で使用した LCTF カメラはこれまでのハイパースペクトルカメラと比較すると低価格であるとはいえ高額な機器であるため、技術者の選定は比較的難しかった。技術者選定や打合せから



図 4. UAV 専門技術者による LCTF カメラの搭載調整

から実際の飛行テストまで 1 年以上の時間を要した。また、LCTF カメラは、今回使用したものは 600-1050 nm の取得波長範囲のものを使用した。本来土砂災害等を引き起こす粘土鉱物にみられる反射特性は 1700-2500 nm の波長範囲に特徴のある膨潤性のある粘土鉱物である。しかし、1700-2500 nm の波長範囲のカメラは高額すぎて購入が困難であったため、今回使用したものを

使用した。これらの問題があったが、研究開始後の2018年夏には海外で、2019年2月には日本国内でも空撮に成功することができた。業者の選定に時間を要したが、本研究によりネットワークが構築されたため、今後の研究につながる成果が得られた。

実際の空撮時には反射特性を数値化するために標準色となる指標を撮影図郭内に設置した。これには、通常の分光分析の際に用いる標準板では小さすぎるため、グレーのレジャーマットを使用し、このレジャーマットと通常の標準版で比較して規格化することにより、最終的な反射特性値を計算した。また、空撮時の画像の取得は UAV に搭載したスティック PC を無線 (Wi-Fi) で遠隔操作することにより実施した。海外においては、この手法で画像を取得することができたが、日本では、リモコンから発出される電波と Wi-Fi が干渉することでスティック PC の操作ができなかった。他にも空撮には多数の問題が発生したが、最終的には UAV に LCTF カメラを搭載して空撮を実施するという手法が確立された。

#### 4.2. LCTF カメラの地質判読への有効性の検証

LCTF カメラによって得られた画像から得られる地表面物質のスペクトルが確からしいか明らかにするために、空撮に寄らない現地での LCTF カメラの画像と実験室で分析した試料の反射特性の結果を比較した (図5)。図5(b)の破線は実験室で取得した反射特性であり、実線が LCTF カメラで取得した画像を重ね合わせた画像の中の試料採取地点のピクセルの平均的な反射特性である。900 nm にある特異点については今後検証していく必要があるが、それ以外については実験室の結果と調和的であるため、LCTF カメラにより反射特性を捉えることが可能であることが実証された。

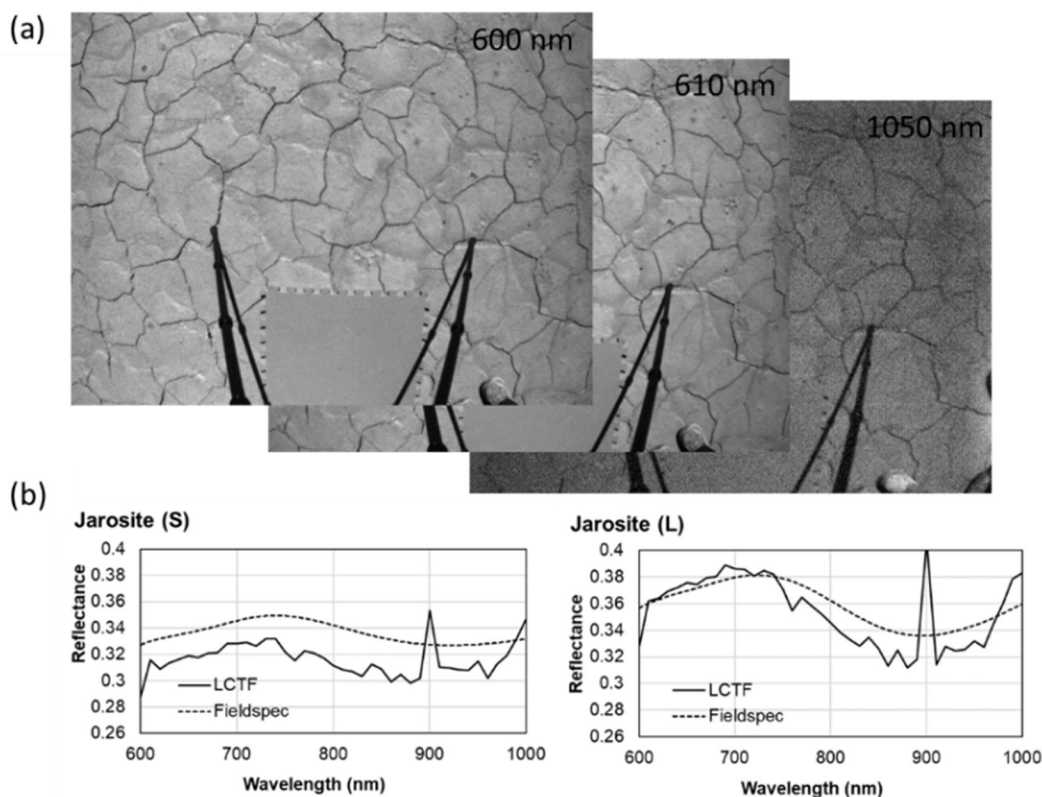


図5. (a)空撮に寄らないLCTFカメラによる試験撮影によって得られた画像の一例,(b)画像撮影地点で採取した地表面試料の実験室における分光分析結果(破線)とLCTFカメラ画像の解析によって得られた反射特性の比較

一方で、得られた波長特性から、その特徴的な波長である 750 nm と 910 nm の画像演算を実施し、その値と採取した試料の X 線回折分析結果を比較した結果が図 6 である。この図では、ジャローサイトという鉱物の量が大きいほど、画像演算結果が小さく、量が小さいほど演算結果が大きいという傾向が表れている。すなわち、LCTF カメラで得られた画像は、地表面物質の鉱物の量比を表すことが可能であることが明らかとなった。地表面物質は鉱物の混合体である地質から構成されるため、本研究の成果は LCTF カメラを用いて地質判読ができるということを表す。

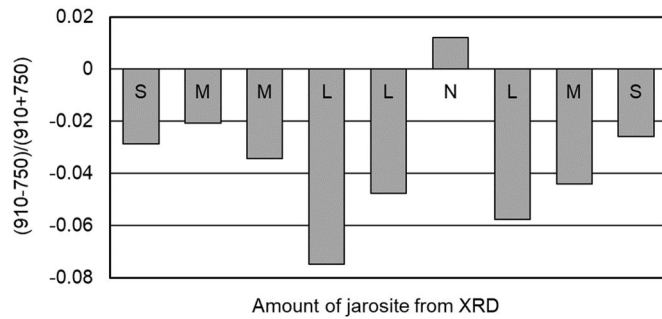


図 6. 地表面試料中のジャローサイトの量比と LCTF カメラの画像演算結果の比較

次に、空撮で得られた画像から地質の判読をすることが可能かどうかを検討した。空撮で得られた画像と地上で取得したものと大きく異なる点は、それぞれの波長の画像の取得位置がずれることであった。そのため、その位置の補正が自身の持つ技術ではできなかつたため、研究協力者に依頼した。本研究を今後発展させていくためには協力者が必要であることが明らかとなった。また、位置補正の外にもその他のカメラの補正も必要で、今回用いた LCTF カメラや得られたデータを用いたこれらのデータ処理についても研究協力者の協力を得て実施した。その結果、空撮画像の重ね合わせ、補正が実施され、図 7 のような地表面分布図を得ることができた。図 7 (a) は、撮影地点の可視画像であり、図中の丸印は地表面の試料の採取地点、丸の色は採取試料中の Jarosite の量比を表す。一方、図 7 (b) は LCTF-UAV 空撮で得られた画像を位置補正し、重ね合わせ、さらに画像解析した図である。主に緑色と青色で塗られたピクセルに注目してほしい。これは、緑色は Jarosite の量比が比較的多い物質が分布していることを示し、青色はその量比が少ないことを示している。すなわち、LCTF-UAV 空撮により、地表面上の地質分布（ここでは鉱物の量比）を得ることができたということが言える。

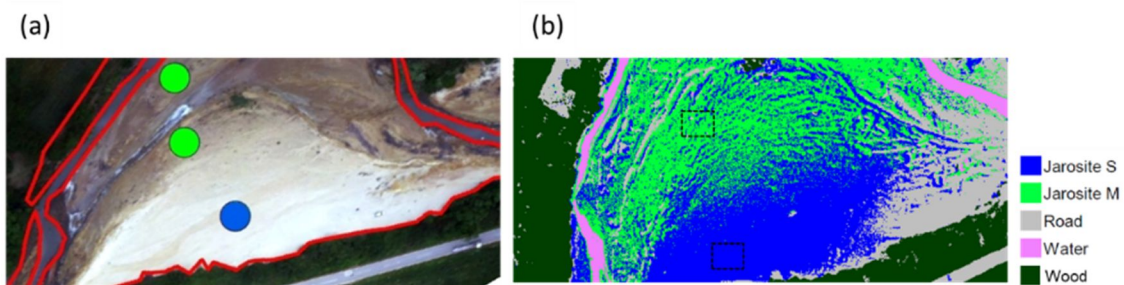


図 7. LCTF-UAV リモートセンシングによって得られた地質判読図

以上のように、本研究では LCTF カメラを UAV に搭載しリモートセンシングに活用することに成功し、そのカメラによってある特定の地質の判読ができることを確認した。今回は、600 - 1050 nm で判読が可能な鉄酸化鉱物を含む地質を対象に研究を行ったため、鉱物の量比まで示すことができたが、それ以外の鉱物については今後の研究で実施していきたい。そのためには、特に土砂崩壊地で優位に分布する膨潤性の粘土を判別することができるカメラの取得が必須である。また、画像の解析や UAV の飛行には専門の知識を要することも明らかになり、そのために、共同研究者や専門の技術者の協力が必要であることも明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3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<br>S. A. Wakasa, D. Ishiyama, T. Takeda, S. Dordievski, K. Hirose, L. Obradovic, V. Marinkovic, V. Gardic                                     | 4. 巻<br>-             |
| 2. 論文標題<br>Comparative analysis of waste material distribution between remote sensing data and geochemical map.                                      | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of 13th International Mine Water Association Congress- Mine Water & Circular Economy                                           | 6. 最初と最後の頁<br>793-800 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                                                                                                                        | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>若狭 幸                                                                                                                                       | 4. 巻<br>74            |
| 2. 論文標題<br>地学教育 中学生に対するキャリア教育・進路指導の一環としての大学における地学研究成果の紹介の実践例                                                                                         | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>秋田地学                                                                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>15-18   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                                                                                                                        | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Wakasa Sachi A., Takeda Tomomi, Marincovic Vladan, Hirose Kazuyo                                                                           | 4. 巻<br>79            |
| 2. 論文標題<br>Jarosite distribution maps based on the Sentinel-2 image band calculations and jarosite abundance analyses in the Bor mining area, Serbia | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Environmental Earth Sciences                                                                                                               | 6. 最初と最後の頁<br>-       |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s12665-020-09048-6                                                                                                | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Sachi A. Wakasa, Vladan Marincovic, Tomomi Takeda, Junichi Kurihara, Lidja Durdevac Ignjacovic, Tamara Urosevic, Renata Kovacevic          | 4. 巻<br>34            |
| 2. 論文標題<br>Investigation of Contaminated Soil Formed at River Bank Located Downstream of Mines                                                       | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Thai Environmental Engineering Journal                                                                                                     | 6. 最初と最後の頁<br>1-9     |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                                                                                                                        | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>古市剛久, 若狭幸, 水垣滋, 布川雅典 |
| 2. 発表標題<br>自然資源・環境としての土砂と土砂移動   |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2019年大会    |
| 4. 発表年<br>2019年                 |

|                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>O. Osenyeng, Y. Ogawa, S. Wakasa, K. Hirose                                                                          |
| 2. 発表標題<br>Risk assessment of heavy metals release and acidic water formation by mine waste material in Bor mining area, Serbia |
| 3. 学会等名<br>資源地質学会第69回年会学術講演会                                                                                                    |
| 4. 発表年<br>2019年                                                                                                                 |

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭 幸                               |
| 2. 発表標題<br>二、三のセンサーを搭載したUAVを用いたリモートセンシング研究の紹介 |
| 3. 学会等名<br>2019年度東北地理学会・北海道地理学会秋季学術大会         |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|                                                  |
|--------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭幸                                   |
| 2. 発表標題<br>UAVマルチ/ハイパースペクトルリモートセンシングを用いた災害調査の可能性 |
| 3. 学会等名<br>2020年日本地理学会春季学術大会                     |
| 4. 発表年<br>2019年                                  |

|                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Sachi Wakasa, Kazuyo Hirose, Vladan Marincovic, Sasa Stojanov, Tomomi Takeda, Shinsaku Nakamura |
| 2. 発表標題<br>Remote sensing work in Bor mine area supported by SATREPS project.                              |
| 3. 学会等名<br>International SATREPS conference, Mining and Environment in Future (国際学会)                       |
| 4. 発表年<br>2018年                                                                                            |

|                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Vladan Marinkovic, Sachi Wakasa, Kazuyo Hirose, Tomomi Takeda and Shinsaku Nakamura                   |
| 2. 発表標題<br>Methods of creation of ortophoto images and precise 3D terrain models using unmanned aerial vehicles. |
| 3. 学会等名<br>International SATREPS conference, Mining and Environment in Future (国際学会)                             |
| 4. 発表年<br>2018年                                                                                                  |

|                                                       |
|-------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>石山大三・増田信行・Z. Stevanovic・柴山敦・佐藤比奈子・川原谷浩・若狭幸 |
| 2. 発表標題<br>セルビア国ボール鉱山地域での環境解析と金属回収のシステム化と環境修復への仕組み作り。 |
| 3. 学会等名<br>日本資源地質学会                                   |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |

|                                                       |
|-------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭幸, Vladan Marinkovic                     |
| 2. 発表標題<br>鉱山活動によって人工的に改変された地形の変化量の測定：セルビア共和国ボール鉱山の例。 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2018年大会                          |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |



|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭幸, V. Marinkovic      |
| 2. 発表標題<br>セルビアボール鉱山からの流出廃棄物を作る地形. |
| 3. 学会等名<br>日本地形学連合2018年度秋季大会       |
| 4. 発表年<br>2018年                    |

|                                                   |
|---------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭 幸                                   |
| 2. 発表標題<br>UAVリモートセンシングを用いた地表面環境調査                |
| 3. 学会等名<br>あきた産学官連携フォーラム2017・秋田大学合同フォーラム・産学官交流プラザ |
| 4. 発表年<br>2017年                                   |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭 幸, 相澤敦生, 井岡聖一郎       |
| 2. 発表標題<br>地形学的手法を用いた地熱開発地域の探査法の開発 |
| 3. 学会等名<br>北東北女性研究者交流フェア           |
| 4. 発表年<br>2020年                    |

|                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Sachi A. Wakasa, Vladan Marincovic, Tomomi Takeda, Junichi Kurihara, Tamara Urosevic, Renata Kovacevic |
| 2. 発表標題<br>Environmental Impact of Riverbank Formed by Contaminated Soil                                          |
| 3. 学会等名<br>THE 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ENGINEERING, SCIENCE AND MANAGEMENT (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                                                   |

|                                          |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭 幸, 井岡聖一郎                   |
| 2. 発表標題<br>UAVリモートセンシングの地熱探査への応用の可能性について |
| 3. 学会等名<br>日本地熱学会令和2年学術講演会               |
| 4. 発表年<br>2020年                          |

|                             |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭 幸, 井岡聖一郎      |
| 2. 発表標題<br>地熱探査への地形学の応用     |
| 3. 学会等名<br>日本地形学連合2020年秋季大会 |
| 4. 発表年<br>2020年             |

|                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>佐藤比奈子, S. Djordjievski, 石山大三, 川原谷 浩, 若狭 幸, Lj. Obradovic, V. Marinkovic, V. Gardic, J. Petrovic, Z. Stevanovic |
| 2. 発表標題<br>セルビア国ボール鉱山地域の河川水と堆積物のバックグラウンド値と異常値の特徴                                                                          |
| 3. 学会等名<br>日本資源地質学会第67回年会講演会                                                                                              |
| 4. 発表年<br>2017年                                                                                                           |

|                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>S. Djordjievski, D. Ishiyama, Y., Ogawa, H., Sato, S. Wakasa, Lj. Obradovic, V. Marinkovic, V. Gardic, J. Petrovic, Z. Stevanovic |
| 2. 発表標題<br>Variation of chemical forms of metals in rivers from Bor mining area to Danube River                                              |
| 3. 学会等名<br>日本資源地質学会第67回年会講演会                                                                                                                 |
| 4. 発表年<br>2017年                                                                                                                              |

|                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>S.A. Wakasa, D. Ishiyama, T. Takeda, S. Djordjievski, K. Hirose, L. Obradovic, V. Marinkovic, V. Gardic |
| 2. 発表標題<br>Comparative analysis of waste material distribution between remote sensing data and a geochemical map   |
| 3. 学会等名<br>International Mine Water Association 2017 (国際学会)                                                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                                                                                    |

|                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>I. Svrkota, Z. Stevanovic, V. Marinkovic, S. Stojanov, Lj. Obradovic, D. Bugarin, S. Wakasa, D. Ishiyama, K. Hirose, T. Takeda, S. Nakamura |
| 2. 発表標題<br>Mining waste distribution in Bor Area, Serbia                                                                                               |
| 3. 学会等名<br>1st International KANPAI Symposium on Sustainable Management of Resources and Environment in the 21st Century (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                                                                                                                        |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>若狭幸, V. Marincovic    |
| 2. 発表標題<br>歴史的鉱山が環境や地形に与える影響について |
| 3. 学会等名<br>日本地形学連合2017年秋季研究発表会   |
| 4. 発表年<br>2017年                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>弘前大学・地域戦略研究所・若狭幸<br/> <a href="http://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/geothermalengineering/wakasa-sachi">http://www.iri.hirosaki-u.ac.jp/sections/sustainableenergy/geothermalengineering/wakasa-sachi</a></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)            | 備考 |
|-------|---------------------------------|----------------------------------|----|
| 研究協力者 | 栗原 純一<br><br>(Kurihara Junichi) | 北海道大学・理学研究院・特任准教授<br><br>(10101) |    |

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