

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K01147

研究課題名(和文)地殻変動を考慮した活褶曲山地における地すべり地形発達史の解明

研究課題名(英文)Elucidation of landslide landform evolution processes in active fold zone considering crustal deformation

研究代表者

佐藤 浩(SATO, Hiroshi, P.)

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：60360468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：2018年北海道胆振東部地震後計測の航空レーザ測量データを再判読するとともに現地を調査し、地震時の岩盤地すべりのみを抽出した。その結果、岩盤地すべりは概ね先行研究が指摘するように層理面に平行な層すべりのプロセスを経ていることが分かった。また、GIS解析によれば、平取断層については地震時岩盤地すべりの分布とある程度、関連することが分かった。しかし、本地震の隆起が著しく、岩盤地すべりが密に分布していると思われる震央の南側の地震後計測の航空レーザデータを判読して岩盤地すべりの分布を明らかにすることは途上である。地震時岩盤地すべりの局在性と断層の位置との関連を見出すことは、今後の課題として残った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究で明らかにされている2018年北海道胆振東部地震の地震時の斜面崩壊の分布は、テフラ層すべりと岩盤地すべりが必ずしも十分に区別されておらず、岩盤地すべりの再滑動に応じた河道閉塞の危険性を十分に指摘できない。岩盤地すべりの判読に必要な地震後計測の航空レーザ測量データの計測範囲は震央の北側に偏っており、岩盤地すべり分布の全体像は把握できず不満は残ったが、現地調査を組合せて地震時岩盤地すべりの分布を明らかにした。この結果、地震時岩盤地すべりは概ね先行研究が指摘するように層理面に平行な層すべりのプロセスを経ていることが分かった。この成果は、今後の岩盤地すべり再滑動の評価にも有用と考えられる。

研究成果の概要(英文)：We revealed inventory of the deep-seated landslides induced by the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake by field surveys and interpretation of the airborne LiDAR data measured after the earthquake. It was also found that the earthquake-induced deep-seated landslides were slid on the slip surface parallel to bedding plane, as previous studies are locally reporting. Furthermore, GIS analysis revealed that locations of the interpreted deep-seated landslides are well correlated with the location of Biratori Fault in the area to the north of the earthquake's epicenter. Interpretation of the earthquake-induced deep-seated landslides lying to the south of the epicenter, where was remarkably uplifted by the earthquake, is still a work in progress. Therefore, to find the relation between locations of the deep-seated landslides and the location of Biratori Fault which is closely related with the uplift remain to be found.

研究分野：地形学

キーワード：地震 地すべり SAR 断層 北海道胆振東部 航空レーザ測量 LiDAR

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究の予備調査の段階で、厚真断層に近い厚真町吉野地区の 2018 年北海道胆振東部地震（以下、2018 年地震という）で引き起こされた地すべり（以下、地震地すべりという）を地質調査したところ、滑落崖からやや下がった山腹（標高 70m）に円礫を多数、観察した。このような円礫は水磨されなければ形成されず、しかも現河床（標高約 20m）より高位にあることから、吉野地区の地震地すべりの背後の稜線には、地殻変動の隆起を受けた河岸段丘の堆積物があると判断した。そして、このような地殻変動が過去の地震のみならず 2018 年地震でも生じて吉野地区をはじめとする 2018 年地震被災域における地震地すべりの発生の原因の 1 つになったのではないかと着想した。

### 2. 研究の目的

夕張山地は、現在も隆起している活褶曲山地である。ここでは、地震地すべりが多発した。先行研究によれば、地震地すべりの局在性は、地質図に示された厚真断層や平取断層などの地質断層の位置に支配されている。しかし、地震地すべりの局在性を指摘するために、この地震で観測された地殻変動と地質断層の位置を関連づけた研究例は見当たらない。

ところで、Fujiwara et al. (2019) によれば、これまで地質図では明らかになっていない地下の伏在断層が変位した可能性が指摘されている。本研究の目的は、地下の伏在断層による運動が、特定の地質断層の変位を助長して局所の地殻変動をもたらし、これが地震地すべりの局在性を与えたことを解明することである。

### 3. 研究の方法

#### (1) リニアメントと地震地すべりにおける岩盤地すべりの抽出

先行研究で明らかにされている地震地すべりの分布では、テフラ層すべりと岩盤地すべりが必ずしも十分に区別されておらず、岩盤地すべりの再滑動に応じた河道閉塞の危険性を十分に指摘できない。また、先行研究が依存する地震後計測の航空レーザ測量データの計測範囲が震央の北側に偏っているため、その分布も震央の北側に偏っているがこれは見かけであって、震央の南側では岩盤地すべりの発生が局所的には指摘されていても、その全体像は把握できていない。そのような不満はあるが、まず、震央の北側に分布が偏っている航空レーザ測量データを判読して地震地すべりのうち岩盤地すべりの分布とその種類を明らかにしようとした。また、地下の伏在断層との関わりを疑い、航空レーザ測量データと空中写真の判読を組合せてリニアメントを抽出した。

#### (2) SAR 干渉解析

地震前後に計測された PALSAR-2 データによる SAR 干渉解析で、先行研究が明らかにしている 2018 年地震の隆起域を同様に把握しようとした。また、先行研究が指摘した伏在断層とそれがもたらした変位が、余効変動として 2018 年地震後も続いているか、地震後に計測された PALSAR-2 データによる SAR 干渉解析で明らかにしようとした。

#### (3) 2018 年地震前後の航空レーザ測量データの比較による地殻変動の検出

厚真町の吉野地区と幌内地区を含む範囲では、2018 年地震の前（2006 年）と後（2018 年）の 2 時期に航空レーザ測量データが計測されている。2006 年と 2018 年のデータが依拠しているジオイドは異なるため、2006 年のデータを 2018 年のデータが依拠しているジオイドに合わせてその影響を排除した。次に、上空を遮るものがなく、レーザ反射点が密に存在することを期待して、厚真断層が道路を横切る吉野地区と、平取断層が道路を横切る幌内地区を含むように、アスファルト路面上の反射点から求められる標高差を吟味して、地震地すべりの局在性を地殻変動の観点から説明しようとした。2018 年地震後のアスファルト路面については側方流動などを受けて局所的に破壊されていることが空中写真の判読でわかっているため、そのような場所は避け、2 時期で平面位置の比較が可能な道路のセンターライン付近のレーザ反射点を選んだ。

#### (4) 現地の岩盤地すべりの地形・地質調査

現地では、恵庭火山からの約 2 万年前の火山噴出物や、樽前火山からの 9,000 年前、2,500 年前、西暦 1667 年、西暦 1739 年の火山噴出物が地表を被覆している。新しい年代に発生した地すべりほど古い年代の火山噴出物を地表に残さないことから、火山噴出物を鍵とし、地震地すべりの現地を地質調査して、厚真断層や平取断層の周辺の既往地すべり（2018 年地震よりも前から地形図で認められる地すべり）が過去の地震を反映して繰り返し滑動していて、その履歴が地下の地層に残されていないか、現地調査で検討するとともに、発生年代を特定（以下、編年という）しようとした。

### 4. 研究成果

#### (1) リニアメントと地震地すべりにおける岩盤地すべりの抽出結果

本研究で得られた震央より北側の岩盤地すべりの分布とリニアメントの分布を図 1 に示す。

岩盤地すべりについては、崩壊プロセスも考慮して「深層タイプ」「浅層タイプ」「スランプタイプ」に細分類できた。深層タイプは低角なすべり面を持ち、頭部にグラーベンが発達する。変動範囲は尾根を越えるなど、すべり面は斜面地形と平行しない。その形状から、外力の加わった地震地すべり特有のものと考えられる。浅層タイプは斜面に概ね平行にすべり落ちたもので、頭部には比高数 m の分離崖を持つ。スランプタイプは後方回転を伴い下部に隆起が見られるもので、頭部には比較的高い滑落崖を持つ（石丸ほか, 2022）。

図1を参照すると、平取断層沿いでは地震地すべりのうち岩盤すべりの深層タイプが卓越する。また、GIS 解析の結果によれば、厚真断層については岩盤地すべりの数が十分ではなく明確な結論が得られなかったが、平取断層については岩盤地すべりの分布とある程度、関連することが分かった。

(2) SAR 干渉解析の結果

SAR 干渉解析の結果、Fujiwara et al. (2019) が指摘しているとおり、震央の南側にも隆起域が広がっていることが分かった(図2で黄色から赤色の色変化の部分)。地震後の余効変動については、無変動であることが分かった。これは、2018年地震の規模がMj6.7と余効変動を示すには規模が小さく、また、震源の深さが37kmとやや深いこともあったためと思われる。2018年地震後も、伏在断層が周囲の特定の地質断層の変位を助長して同所の地殻変動をもたらした可能性が指摘できれば、2018年地震時にも同様のことがいえることを期待したが、その指摘には至らなかった。

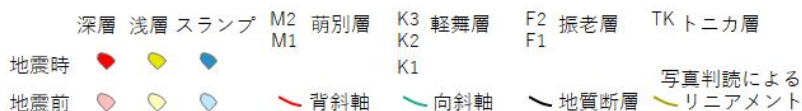
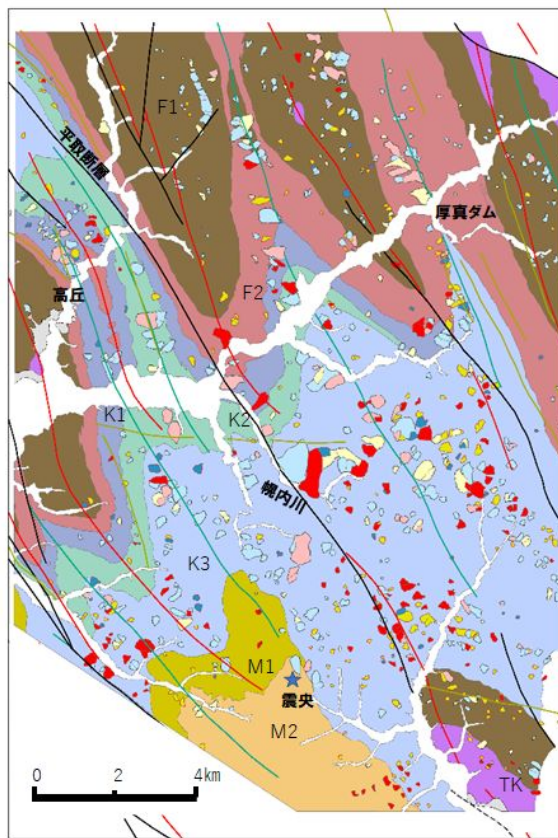


図1 岩盤地すべりの分布と地質 (石丸ほか, 2022)

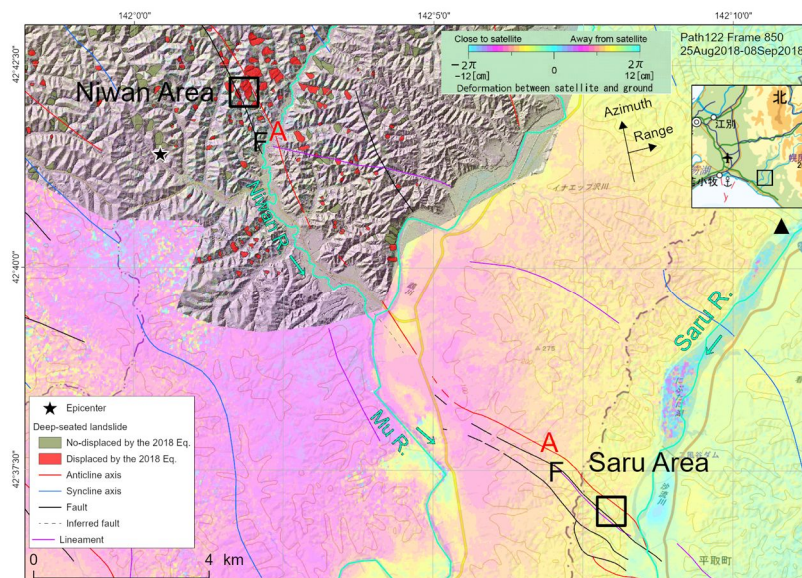


図2 SAR 干渉解析で明らかになった隆起域 (黄色から赤色) リニアメント (紫線) の分布 (佐藤ほか, 2023)  
岩盤地すべりの分布は石丸ほか (2022) による

(3) 2018年地震前後の航空レーザ測量データの比較による地殻変動の検出結果

図3に示すように、標高の高低が航空レーザ測量データの標高変化と調和しており、2006年と2018年のデータが依拠しているジオイドの違いによる見かけの影響が取り去られていない可能性があるが、少なくとも平取断層を横切る場所(図3で距離14.5km付近)では断層を挟んだ地殻変動性の標高の上下変位は認められない。厚真断層を横切る場所(図3で距離約6.5km)では標高の上下変位の弱い傾向がみられる(距離6.5km付近より距離6.9km付近のほうが標高は相対的に上昇)。しかし、付近の地震地すべりが移動体の末端部より道路へ向かって側方流動している可能性の反映とも考えられ、地殻変動の影響を明瞭には指摘できなかった(佐藤ほか, 2021)。

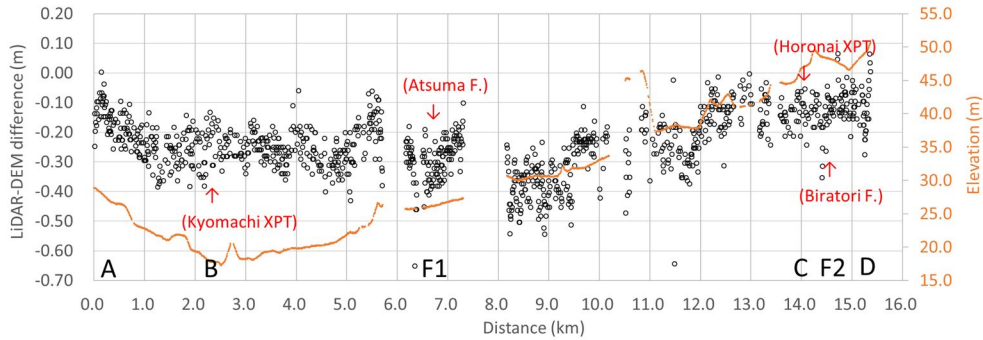


図3 2018年(地震後) - 2006年(地震前)の航空レーザ測量データの標高変化(白丸)と標高(橙色の線)(佐藤ほか, 2021)

(4) 現地の岩盤地すべりの地形・地質調査の結果

図4に示す厚真断層沿いの岩盤地すべりの露頭では、地表下の西暦1739年と西暦1667年の火山噴出物の層境界に乱れはなかったが、2,500年前の火山噴出物は漏斗状に鉛直下方に撓んで分布し、2,500年前の火山噴出物より下位の9,000年前の火山噴出物は、変位した軽舞層の硬質頁岩の縦方向の割れ目に楔状に落ち込むとともに、硬質頁岩の礫と混じる構造を観察した。この露頭は、2,500年前の火山噴出物の降下終了後に硬質頁岩が変位し、西暦1667年の火山噴出物降下以降は地すべり性の地表変動の履歴を受けていないことが示唆された。

図2の北西の似湾(にわん)エリアにおける岩盤地すべりの現地調査では、先行研究が指摘するように層理面に平行な層すべりのプロセスを経ていることが分かった。また、図2の南東の沙流エリアにおける岩盤地すべりは震央の南側に相当し、平取断層が渡河する沙流川右岸の斜面に相当する。ここで現地調査したところ、層すべりではなく、層理面に斜交する節理面ですべるプロセスを経ていることが分かった。

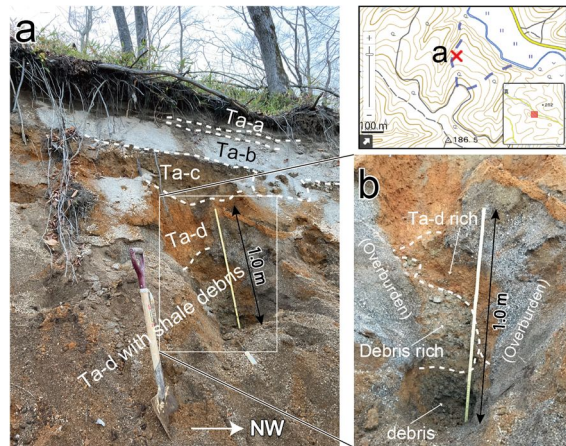


図4 厚真断層に沿う岩盤地すべりの露頭 (佐藤ほか, 2022)

(5) 総括

図1に示すように、地震地すべりのうち岩盤地すべりの分布を明らかにするとともに、崩壊プロセスを考慮して3つのタイプに分類した。このような岩盤地すべりの発生は、隆起しつつある新第三紀堆積岩からなり第四紀地殻変動によって隆起している丘陵の「塊状浸食拡大期」(小松原, 2023)にある地域で発生したと解釈される。また、岩盤地すべりは、断層の近傍では必ずしも層すべりで全て説明できるわけではないという重要な指摘を行った。これらの成果は、今後の岩盤地すべり再滑動の評価にも有用と考えられる。また、厚真断層沿いの1ヶ所の露頭だけの観察ではあるが、対象地域の岩盤地すべりの地形発達の編年の可能性を示唆した。

ただし、SAR干渉解析の結果、2018年地震の隆起が著しく、岩盤地すべりが密に分布している震央の南側の2018年地震後計測の航空レーザ測量データの所在は研究期間の最終年度に判明し、入手したものの岩盤地すべりの判読は途上である。このことから、岩盤地すべりの局在性と断層の位置との関連を見出すことは今後の課題として残った。明瞭な余効変動を見出せなかったことから、地下の伏在断層と本研究で明らかになったリニアメントと岩盤地すべり発生の

関連づけの検討までは至らなかった。

<引用文献>

Fujiwara S, Nakano T, Morishita Y, Kobayashi T, Yarai H, Une H, Hayashi K, 2019, Detection and interpretation of local surface deformation from the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake using ALOS-2 SAR data, Earth, Planets and Space, 71: 64, doi:10.1186/s40623-019-1046-2

佐藤 浩、石丸 聡、中埜貴元、金子 誠、宇佐見星弥、2 時期の航空レーザ測量データを用いた 2018 年胆振東部地震による地表変動の把握、日本地形学連合 2021 年秋季大会、2021、P08

石丸 聡、宇佐見 星弥、佐藤 浩、中埜 貴元、金子 誠、北海道胆振東部地震による岩盤地すべりの発生場の特徴、第 61 回日本地すべり学会研究発表会講演集、2022、2-17

佐藤 浩、宇佐見 星弥、石丸 聡、中埜 貴元、金子 誠、2018 年北海道胆振東部地震による岩盤地すべりの現地調査とその起伏量と発生率との GIS 解析、日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要、57 巻、2022、11-17

佐藤 浩、中埜 貴元、金子 誠、石丸 聡、宇佐見 星弥、2018 年北海道胆振東部地震による似湾川・沙流川の右岸地区における岩盤地すべりの現地調査、日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要、58 巻、2023、45-51

小松原 琢、隆起に伴う丘陵の地形発達と地震地すべりを起こしやすい斜面の特徴 新潟県の新第三紀泥岩分布地域の事例、日本地すべり学会誌、60 巻、2023、49-61

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 佐藤 浩・江口誠一・藁谷哲也	4. 巻 56
2. 論文標題 北海道安平町早来富岡のTa-d火山灰層中から採取された木片の14C年代の測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本大学文理学部自然科学研究所紀要 ( <a href="https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html">https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html</a> )	6. 最初と最後の頁 11-13
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 石丸 聡・千木良雅弘・田近 淳・小安浩理・地質研究所胆振東部地震調査班	4. 巻 463
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべりの特徴	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 防災科学技術研究所研究資料 ( <a href="http://id.nii.ac.jp/1625/00002337/">http://id.nii.ac.jp/1625/00002337/</a> )	6. 最初と最後の頁 97-102
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 無
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 佐藤 浩・宇佐見星弥・石丸 聡・中埜貴元・金子 誠	4. 巻 57
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震による岩盤地すべりの現地調査とその起伏量と発生率とのGIS解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本大学文理学部自然科学研究所紀要 ( <a href="https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html">https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html</a> )	6. 最初と最後の頁 11-17
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 佐藤 浩・中埜 貴元・金子 誠・石丸 聡・宇佐見 星弥	4. 巻 58
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震による似湾川・沙流川の右岸地区における岩盤地すべりの現地調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本大学文理学部自然科学研究所紀要 ( <a href="https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html">https://www.chs.nihon-u.ac.jp/institute/nature/kiyou/index.html</a> )	6. 最初と最後の頁 45-51
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 宇佐見星弥・佐藤 浩	4. 巻 60
2. 論文標題 1993年北海道南西沖地震による奥尻島の斜面崩壊の要因分析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本地すべり学会誌	6. 最初と最後の頁 16-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3313/jls.60.16	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13件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Makoto KANEKO, Norio OYAGI, Hiroshi P. SATO, Yusuke MURAMIMA
2. 発表標題 Landslides caused by the 2018 Hokkaido Iburi-tobu earthquake -Shallow slides of tephra deposits and deep-sheeted bedrock slides -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会(2020.7.12-16)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸 聡・千木良雅弘・田近 淳・地質研究所胆振東部地震調査班
2. 発表標題 北海道胆振東部地震で発生したテフラ層すべりの特徴
3. 学会等名 防災科学技術研究所研究集会「土砂災害予測に関する研究集会」(2020.12.4)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸 聡
2. 発表標題 北海道胆振東部地震による斜面変動 「地震による地すべり災害」から
3. 学会等名 第60回日本地すべり学会研究発表会(特別講演; 2021.9.15)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石丸 聡・小安浩理・八木浩司・林 一成・佐藤 浩・宇佐見星弥・山田隆二・佐藤昌人・井口 隆・高見智之・三嶋昭二・柴崎達也・細谷健介
2. 発表標題 2021年2月福島県沖を震源とする地震により発生したテフラ土層の長距離移動地すべり：福島県二本松の丘陵斜面の事例
3. 学会等名 第60回日本地すべり学会研究発表会（講演集 1-15；2021.9.16）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 浩・石丸 聡・中埜貴元・金子 誠・宇佐見星弥
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震による岩盤地すべりと地殻変動の関係
3. 学会等名 第60回日本地すべり学会研究発表会（講演集P-8；2021.9.15-16）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 浩・宇佐見星弥・石丸 聡・中埜貴元・金子 誠
2. 発表標題 2018年胆振東部地震被災域における岩盤地すべりの侵食深のGIS解析
3. 学会等名 日本地理学会2021年秋季学術大会（2021.9.18-19）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石丸 聡・小安浩理・八木浩司・林 一成・佐藤 浩・宇佐見星弥・山田隆二・佐藤昌人・井口 隆・高見智之・三嶋昭二・柴崎達也・細谷健介
2. 発表標題 福島県沖を震源とする地震により二本松で発生したテフラ土層の長距離移動地すべり
3. 学会等名 日本地すべり学会2021年地すべり・土石流災害調査報告会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 石丸 聡・小安浩理・八木浩司・林 一成・佐藤 浩・宇佐見星弥・山田隆二・佐藤昌人・井口 隆・高見智之・三嶋昭二・柴崎達也・細谷健介
2. 発表標題 2月の福島県沖を震源とする地震によるテフラ層すべり（速報）：二本松サーキット場の斜面
3. 学会等名 日本地すべり学会北海道支部研究調査委員会（2021.3.16）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 浩・宇佐見星弥・石丸 聡・中埜貴元・金子 誠
2. 発表標題 2018年胆振東部地震被災域における岩盤地すべりの断層からの距離のGIS解析
3. 学会等名 日本地理学会2021年春季学術大会（2021.3.26-28）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 浩・石丸 聡・中埜貴元・金子 誠・宇佐見星弥
2. 発表標題 2時期の航空レーザ測量データを用いた2018年胆振東部地震による地表変動の把握
3. 学会等名 日本地形学連合2021年秋季大会（P08；2021.12.5）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 浩・金子 誠・石丸 聡・宇佐見星弥・中埜貴元
2. 発表標題 2018年胆振東部地震で影響を受けた似湾川西岸域における岩盤地すべりの現地調査
3. 学会等名 日本地理学会2022年春季学術大会（2022.3.19-20）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石丸 聡・宇佐見星弥・佐藤 浩・中埜貴元・金子 誠
2. 発表標題 北海道胆振東部地震による岩盤地すべりの発生場の特徴
3. 学会等名 第61回日本地すべり学会研究発表会（講演集 2-17; 2022.9.28）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 浩・中埜貴元・金子 誠・石丸 聡・宇佐見星弥
2. 発表標題 平取断層，沙流川渡河地点付近の胆振東部地震による岩盤地すべりの地形的特徴
3. 学会等名 第61回日本地すべり学会研究発表会（講演集 P-33; 2022.9.27-30）
4. 発表年 2022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	石丸 聡  (ISHIMARU Satoshi)  (50446366)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所・研究主幹   (80122)	
研究分担者	中埜 貴元  (NAKANO Takayuki)  (60511962)	国土地理院（地理地殻活動研究センター）・その他部局等・研究官   (82116)	
研究分担者	金子 誠  (KANEKO Makoto)  (50823639)	公益財団法人深田地質研究所・その他部局等・主査研究員   (72692)	

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	藤原 智  (FUJIWARA Satoshi)  (40783345)	国土地理院（地理地殻活動研究センター）・その他部局等・技官    (82116)	

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