

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03990

研究課題名(和文) 山体重力変形地形の発達史の解明とその斜面防災への活用

研究課題名(英文) Investigation on development history of deep-seated gravitational slope deformation and its application for slope disaster mitigation

研究代表者

小嶋 智 (Kojima, Satoru)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20170243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：奥美濃地域の冠山周辺にみられる山体重力変形地形は、約1万年前に形成されその後は変動することなく安定して存続しており、深層崩壊の前兆現象ではない。大和地域では平成30年、令和2年に地すべりが発生したが、その前後に行われた航空レーダ測定の結果、深層崩壊前には山体重力変形地形が発達していたことが確認できた。上高地地域では、梓川左岸の山地が大規模に山体変形していることが明らかとなった。南アルプス地域では現在活発に活動している口坂本地すべりと、その上部に認められる線状凹地の形成・発達とは関連がないことがわかった。スイスベドレット地域では氷河の後退に伴って形成された山向小崖を調査中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

山体重力変形地形には、長期に渡って安定して存在するものと、深層崩壊の前兆現象として形成されるものが存在することが明らかとなった。前者の多くは、最終氷期後の湿潤温暖期(約1万年前)に形成され、その後は安定している。一方、美濃帯の大和地域のように突発性地すべりの前に前兆現象として形成される山体重力変形地形も存在する。さらに、南アルプスの口坂本地域のように、長期に渡って継続的に地すべりを起こしている場合には、その上部にみられる山体重力変形地形は変化しない。以上のような事実を考慮しながら、山体重力変形地形を深層崩壊の予知に利用していく必要がある。

研究成果の概要(英文)：Deep-seated gravitational slope deformation (DSGSD) in the Kanmuriyama area was formed ca. 11,000 years ago, and not deformed after that. It means some of the DSGSDs are not the precursors of the deep-seated landslides. In the Yamato area there occurred landslides two times, and before the slides the DSGSDs were developed. On the other hand the Kuchisakamoto landslides in the Southern Alps in Japan have no relationship with DSGSDs on the ridges above the slides. In the Kamikochi area huge mountain slopes gravitationally deformed, and the inner geological structures are clarified by the geomorphological and geological surveys. Now I'm making the research on up hill-facing slopes in the Bedretto area in Switzerland where thick glacier was retreated after the Last Glacial Maximum.

研究分野：地質学、応用地質学、地形学

キーワード：山体重力変形地形 DSGSD 地すべり 深層崩壊 テフラ 放射性炭素年代 最終氷期

1. 研究開始当初の背景

二重山稜地形などの山体重力変形地形 (Deep-seated gravitational slope deformation、以下 DSGSD と略す) は、高山に顕著に発達することが知られていたため、かつては周氷河地形と考えられていた。しかし、2000 年代に入り航空レーダ測量によって作成された詳細地形図の解析により、濃い植生に覆われた標高 1000m 程度の山々にも DSGSD が密に発達することが知られるようになった。

2011 年の紀伊半島豪雨災害の際には数多くの深層崩壊が発生した。崩壊の前後で取得された航空レーダ測量結果から、深層崩壊を起こした場所では、崩壊の前兆現象として必ず DSGSD が発達していたことが知られ、DSGSD は深層崩壊予測・予知に利用できるのではないかとの期待が高まった。

しかし、DSGSD は、稜線から河川までの標高差が大きな山域では普遍的に発達している。これらが全て深層崩壊の前兆現象であるが、崩壊までの時間が長いだけなのか、あるいはこれらの DSGSD のうちの多くは (あるいは一部は) 深層崩壊の前兆現象ではない (深層崩壊とは無関係である) のかは不明であり、DSGSD を崩壊の予知に利用するためにはいくつかのハードルが存在していた。

2. 研究の目的

本研究は、DSGSD を深層崩壊の予知に利用するために必要な基礎知識を蓄積することを目的とし、できればそれを応用して深層崩壊の予知の実用化に道筋をつけることを視野に入れて研究を行った。

具体的には、条件の異なるいくつかの地域をテストフィールドとして取り上げ、それらの地域にみられる DSGSD の規模・特徴・発達史を明らかにした。そして、それらの結果に基づいて、深層崩壊予知の可能性を探った。取り上げた地域は以下の通りである。

(1) 奥美濃地域

奥美濃地域 (越美山系ともいう) には石灰岩・玄武岩・チャート・泥岩・砂岩や、それらをブロックとして含むメランジュからなるジュラ紀付加体が分布する。標高は 1000-1500m 程度であるが、地形は急峻で多くの DSGSD が分布することが知られている。

(2) 上高地地域

上高地の梓川左岸地域も美濃帯に属するが、本地域には成層した砂岩・泥岩のみが分布する。標高 1500-2500m の急峻な地形からなり、土砂生産も活発である。多くの DSGSD が分布する。

(3) 南アルプス井川地域

新生代古第三紀の碎屑岩類を主体とし玄武岩を伴う付加体が分布する。美濃帯に比べ固結度が低い岩石からなる。口坂本地域には現在も活動的な地すべりがあり、地すべりの活動と DSGSD の形成との関係を考察した。

(4) スイスベドレット地域

最終氷期に厚い氷河に覆われていた地域で、氷河後退後、山体にゆるみが生じ多くの特徴的な DSGSD が発達している。山麓に分布する岩屑堆積物から、多数の岩盤崩壊が発生していることが示唆されるが、モレーンとの識別が難しい。

3. 研究の方法

最初に、国土交通省の各地方整備局から、上記の (1)~(3) の地域の 1m-mesh DEM (digital elevation model) データを入手し、GIS ソフトウェア (ESRI 社の ArcGIS を使用) を用いて野外調査用詳細地形図を作成した。さらに GIS ソフトウェアを用いて DSGSD 地形解析を行った。具体的には、DSGSD の目視による抽出、その総延長や分布密度の計測、卓越方位とその地質構造との関係の考察などを行った。

野外調査では、DSGSD 地形の簡易測量を行い、DEM の精度では明らかにできない地形的な特徴を把握した。DSGSD が線状凹地をつくっている場合は、凹地埋積堆積物の有無を確認し、細粒な堆積物が厚く堆積している場合は、ハンドオーガボーリングを行い堆積物を採取した。場合によっては、凹地埋積堆積物の組成や構造を明らかにするために、トレンチを掘削し、壁面観察を行った。

野外で採取した凹地埋積堆積物中に植物遺体等が含まれていた場合には、放射性炭素年代測定により堆積物の年代を決定した。また、テフラの純層が挟まれていた場合やクリプトテフラが含まれている可能性がある場合は、テフラ分析を行った。具体的には堆積物の極細粒砂分画のプレパレートを作成し、粒子組成を明らかにした。火山ガラスについては屈折率測定や EPMA 分析を行い、テフラの起源を明らかにするとともに、堆積物の年代を推定した。

以上のデータをもとに上記の研究目的を達成した。研究開始前には SAR (Synthetic Aperture Radar) などの衛星データをもとに、広域に分布する DSGSD から深層崩壊の前兆となり得る特徴を持った抽出することも計画したが、解析に必要な精度を有するデータの入手が困難であることから断念した。

4. 研究成果

(1) 奥美濃地域

奥美濃地域では、冠山地域、若丸山地域、大和地域などで研究を行った。

冠山地域では、地形調査、ハンドオーガーボーリング調査、電気探査などを行った。その成果は Kojima et al. (2022) として論文公表した。冠山地域には南北に伸びる二重山稜地形とその間の線状凹地を埋めた堆積物からなる平坦面がみられる。堆積盆は西に開いた楔形で、堆積盆の西縁を限る重力性正断層により形成されたものと考えられる (図1)。堆積物の下底の年代、および挟まれる鬼界アカホヤテフラの層準の位置から、この DSGSD は、約 11,000 年前に形成され、その後、ほとんど変形していないことが明らかとなった。

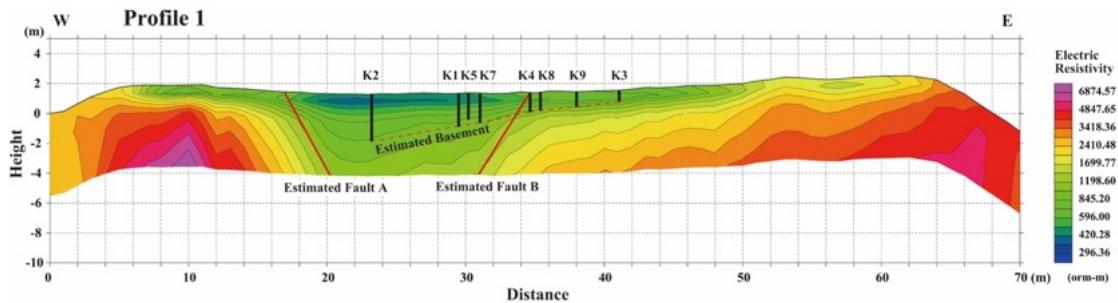


図1. 冠山地域の線状凹地の地下構造

色は電気比抵抗を、黒い縦線はハンドオーガーボーリングを、赤線は推定断層を示す。

若丸山地域では、DSGSD と活断層 (根尾谷断層) の関係を明らかにした。その成果は Komura et al. (2020) として論文公表した。若丸山地域の DSGSD の形成は根尾谷断層の活動と密接な関係があり、断層活動のたびに DSGSD が形成されたことが推定される (図2)。

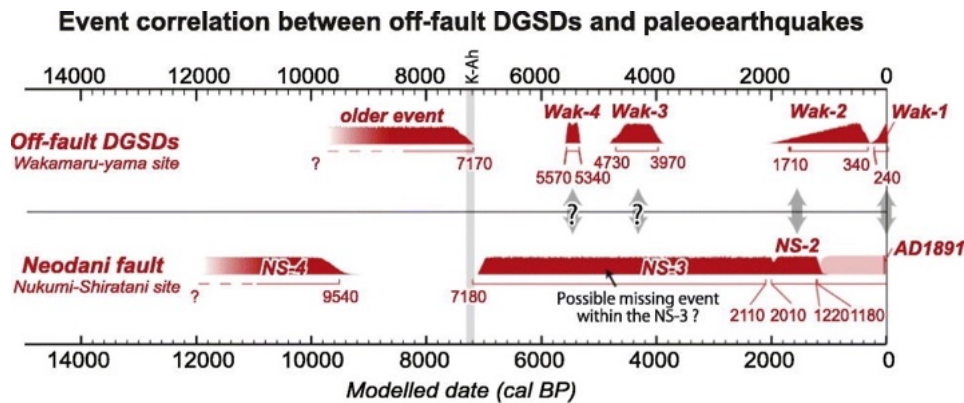


図2. 根尾谷断層の活動と若丸山の DSGSD (DGSDs) 形成の関係 (Komura et al., 2020 による)

大和地域では、平成 30 年 7 月豪雨の際に地すべり (広義) が発生し、さらに令和 2 年 7 月豪雨でも地すべりが発生した。2 回の地すべりの前後で航空レーダ測量が行われ微地形解析を行った。その結果、地すべり前に DSGSD が発達していく様子を確認することができた。

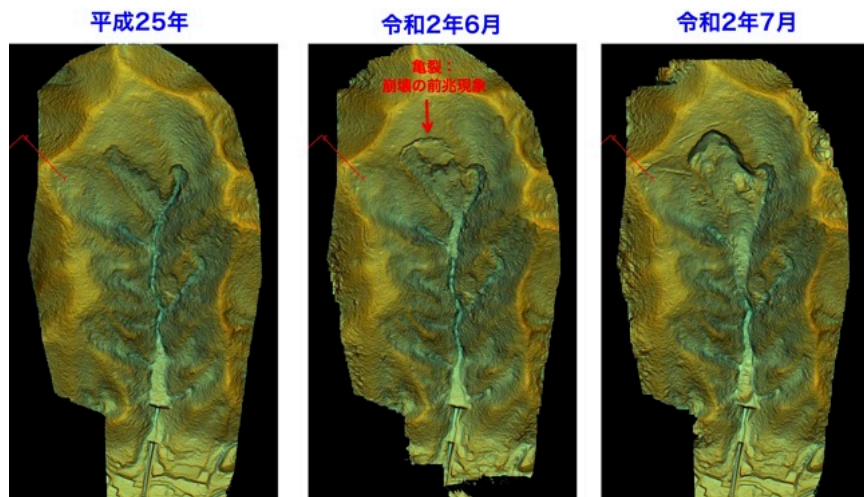


図3. 岐阜県大和町奥田洞の崩壊地における DSGSD の発達 (岐阜県提供)

(2) 上高地地域

上高地地域では、地形・地質学的観点から、DSGSD の調査を行い、その成果は永田・小嶋 (2021, 2023) の 2 件の論文に公表した。上高地、梓川左岸の徳本峠～蝶ヶ岳の稜線から河床の山体は美濃帯のジュラ紀付加体を構成する砂岩・泥岩からなる。山体をつくる地層の走向傾斜と斜面の走向傾斜はほぼ一致し、流れ盤構造となっているが、山体は DSGSD により変形し、一部は地すべりを引き起こしている (図 4)。

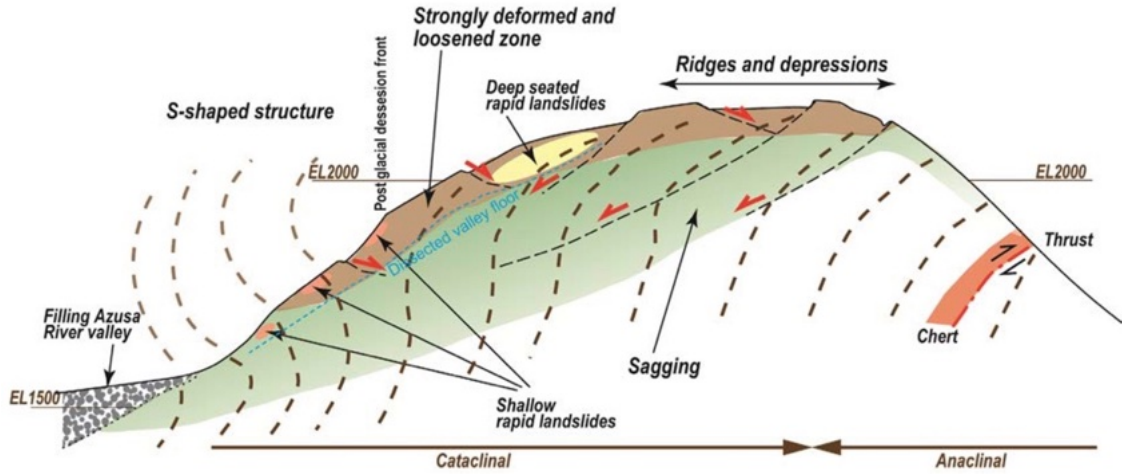


図 4. 上高地、梓川左岸の山体の内部変形構造 (永田・小嶋、2023)

(3) 南アルプス井川地域

南アルプス南部の山伏～勘行峰～三ツ峰の稜線上には様々な規模の二 (多) 重山稜地形が発達し、山体は DSGSD により深部まで変形していることが推定される。本地域南部には現在でも活発に活動している口坂本地すべりが存在する。この地すべりの活動とその稜線上に認められる二重山稜地形に伴われる線状凹地の形成の関連を考察したが、地すべりにより線状凹地が拡大している証拠は得られなかった。

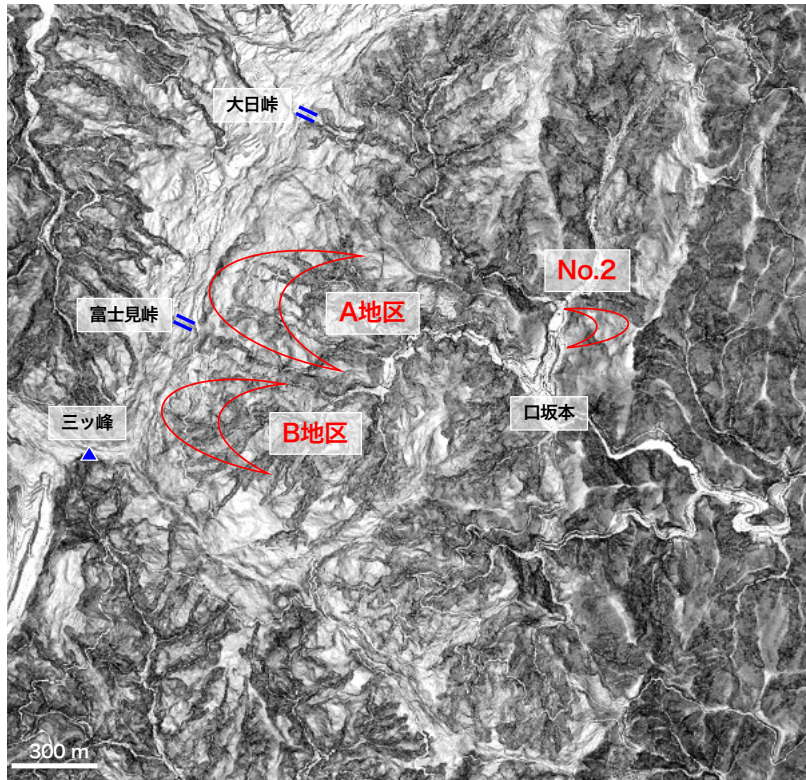


図 5. 南アルプス南部、大日峠から三ツ峰にかけての詳細地形と口坂本地すべりの分布

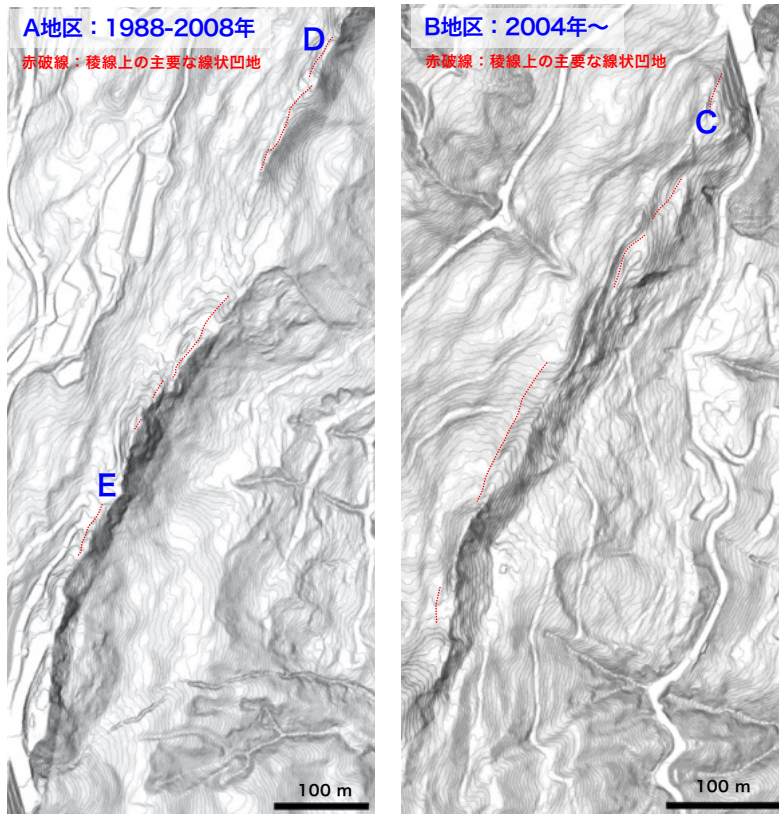


図6．口坂本地すべり A, B の上部の稜線上にみられる線状凹地

(4) スイスベドレット地域

スイス、ティチーノ州のベドレット地域を流れる U 字谷であるベドレット川は、最終氷期極大期 (Last Glacial Maximum) には厚い氷河に覆われていた。氷河が後退した後、U 字谷の両岸斜面は横支えを失い不安定化したため、多くの山向小崖が形成された。日本ではみられない、氷河に関連して形成された DSGSD の詳細を検討するために、1999 年に予察を行い、2022 年には線状凹地のトレンチ調査を行った。本研究は今後も継続して行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 永田秀尚・小嶋 智	4. 巻 6
2. 論文標題 長野県上高地, 梓川左岸斜面における重力変形体の内部構造	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 山の科学	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) 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 Kojima, S., Niwa, R., Iwamoto, N., Kaneda, H., Hattori, K., Komura, K., Yamazaki, Y. and Yasunaga, K.	4. 巻 63
2. 論文標題 Development history of deep-seated gravitational slope Ddeformation (DSGSD) in the Kanmuriyama area, central Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jour. Japan Soc. Eng. Geol.	6. 最初と最後の頁 2-12
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 Kojima, S., Kagami, S., Yokoyama, T., Kariya, Y., Katayama, Y. and Nishio, G.	4. 巻 -
2. 論文標題 Local tephra as an age-determination tool: Example of 2.3 ka Yakedake volcano tephra in Nagano Prefecture, central Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021)	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) 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 Kato, Y. and Kojima, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Spread-type landslides in volcanic terrains in Japan: A case study on the Edamatsu spread in Fukushima Prefecture.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021)	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) 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 永田秀尚・林 拙郎・篠田繁幸・藤井幸泰・伏木 治・日野康久・居川信之・地主卓弥・加藤靖郎・小嶋智・高木郁生・田村浩行・都築孝之・梅原正敏・吉田一也	4. 巻 62
2. 論文標題 平成30年7月豪雨による岐阜県での土砂災害	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用地質	6. 最初と最後の頁 82-91
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 Komura Keitaro, Kaneda Heitaro, Tanaka Tomoki, Kojima Satoru, Inoue Tsutomu, Nishio Tomohiro	4. 巻 365
2. 論文標題 Synchronized gravitational slope deformation and active faulting: A case study on and around the Neodani fault, central Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 107214-107214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2020.107214	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 永田秀尚・小嶋 智	4. 巻 4
2. 論文標題 長野県上高地南東山地における重力斜面変形とその発達過程	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 山の科学	6. 最初と最後の頁 1-15
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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 小嶋 智・永田秀尚
2. 発表標題 長野県, 上高地南東の徳本峠付近の山上凹地の形成年代
3. 学会等名 日本応用地質学会令和2年度研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Satoru Kojima, Saya Kagami, Tatsunori Yokoyama, Yoshihiko Kariya, Yoshikazu Katayama and Gaku Nishio
2. 発表標題	Local tephra as an age-determination tool: Example of 2.3 ka Yakedake Volcano tephra in Nagano Prefecture, central Japan
3. 学会等名	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	小嶋 智・三浦千明・藤田奈津子
2. 発表標題	長野県阿智地域に分布する梨子野川層に含まれる木片のAMS-14C年代
3. 学会等名	日本地質学会第126年学術大会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	小嶋 智・永田秀尚
2. 発表標題	北アルプス上高地, 西古池凹地埋積堆積物の組成と年代およびそこから推定される山体重力変形地形の形成過程
3. 学会等名	日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	小嶋 智・沢田和秀・立川瑞樹
2. 発表標題	地すべり活動とその前兆：岐阜県郡上市奥田洞と静岡市口坂本の事例
3. 学会等名	日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 小嶋 智・井上息吹・鶴飼隼太郎・加藤靖郎
2. 発表標題 福島県下郷町のスプレッド地すべり：地溝埋積堆積物およびすべり面粘土の特徴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋 智
2. 発表標題 私の地すべり研究：これまでとこれから
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023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
研究協力者	永田 秀尚 (Nagata Hidehisa)		
研究協力者	金田 平太郎 (Kaneda Heitaro)		
研究協力者	大谷 具幸 (Ohtani Tomoyuki)		

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	勝田 長貴 (Katsuta Nagayoshi)		
研究協力者	佐藤 浩 (Sato Hiroshi)		

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