

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01371

研究課題名(和文) 地形プロセス, 地形発達, 空間情報の融合による表層崩壊の時空間解析へ向けた新展開

研究課題名(英文) A new approach to spatio-temporal analysis of shallow landslide from process geomorphology, historical geomorphology and spatial information science

研究代表者

八反地 剛 (Hattanji, Tsuyoshi)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：00418625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：プロセス地形学, 地形発達史, および空間情報技術を用いたアプローチを組み合わせることにより, 表層崩壊の発生までの時空間的な変動の分析を試みた。対象地域は山口県防府市, 広島県広島市, 宮城県丸森町の3か所の花崗岩流域であり, 各調査地において崩壊地や谷埋堆積物の年代測定により, 過去の崩壊発生時期や地形学的な変遷が明らかになった。また, 山口県と広島県の2つの調査地では微地形と崩壊発生に関係があることが明らかになったほか, 過去の人為的な影響の有無が崩壊発生に影響を与える可能性があることが示唆された。このほか, 電気比抵抗探査により, 崩壊に影響を与える脆弱な土層を簡易的に推定する方法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表層崩壊は土石流の発生源となっており, 豪雨に伴う土砂災害の主要因になっている。特に表層崩壊の発生履歴を明らかにすることは, 各地域の崩壊発生リスクを分析する上で貴重な情報となる。また, 微地形と崩壊発生の関係についての分析を行った結果, 人為的な影響の小さい地域では, 豪雨前の微地形(水路頭の集水面積)と崩壊の発生しやすさに関係があることを示唆するデータを示しており, この分析を進めることにより崩壊発生予測の改善にも寄与できる可能性があると考えている。

研究成果の概要(英文)：We attempted to analyze spatio-temporal analysis for shallow landslides by combining an approach using process geomorphology, historical geomorphology, and spatial information technology. The investigated areas are Hofu City, Yamaguchi Prefecture, Hiroshima City, Hiroshima Prefecture, and Marumori Town, Miyagi Prefecture. Dating of deposits in landslide scars and valley at each site revealed the ages of the past landslide events and geomorphological changes after the events. In addition, we also showed a relationship between microtopography (channel heads) and the occurrence of shallow landslides at the two sites of Yamaguchi and Hiroshima, and human impacts of the past may affect the occurrence of recent shallow landslides. In addition, we have also developed a method for estimating the topsoil layer, which becomes slip plane of landslides, based on electrical resistivity tomography.

研究分野：地形学

キーワード：地形学 山地 斜面 微地形 GIS

1. 研究開始当初の背景

表層崩壊がいつ、どこで発生するかを予測することは、近年頻発する土砂災害の予測のために必要不可欠な地形学的課題である。表層崩壊やそれに伴う土砂災害は、地形学のみならず、砂防学や地盤工学における主要な研究テーマであり、各領域において多くの研究の蓄積もある。地形学関連では、プロセス地形学の研究者らは、それらの工学的・力学的な解析を軸に表層崩壊の分析を進め、発達史地形学の研究者は年代分析などを中心に議論を進めてきた。このように従来は、それぞれの研究者が得意とする細分領域(プロセス地形学、発達史地形学など)を基盤として、別々の場所で個別に研究を進めることがほとんどであり、同一の調査地域において、プロセス地形学、発達史地形学、空間情報科学の研究者が同時に分析する総合的研究は限られていた。さらに、近年発達したレーザー航空測量などによる高精細地形情報により、斜面の微地形などの精密な情報を広範囲で判読できるようになり、それらの空間情報を共同研究の枠組みの基盤情報として共通に利用すれば、従来個別に進められてきた研究をさらに機能的に結びつけることも可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、近年豪雨によって土砂災害が生じた山地・丘陵地に複数の対象地域を設定し、プロセス地形学や発達史地形学のアプローチにより崩壊の発生条件や発生履歴を明らかにするとともに、空間情報技術によりこれらの成果を結びつけ、豪雨に伴う地形変化の実態を分析することを試みる。具体的には(1)プロセス地形学に基づく表層崩壊の発生条件、(2)物理モデルに基づく不安定性斜面マッピング(3)谷頭堆積物の構造・年代測定に基づく崩壊履歴の推定、(4)高解像度地形情報に基づく谷頭の微地形分析の4課題をサブテーマとして含む。さらに、それらの分析結果に基づき、表層崩壊の発生場所の予測に有益な情報を導出することを試みる。

3. 研究の方法

本研究では、上記の課題を遂行するために、調査地域を3か所設けた。申請書作成段階では西日本の山口県防府市、広島県広島市に限定していたが、その後2019年東日本台風に伴い、宮城県丸森町でも表層崩壊が多発したことから、研究実施の途上で丸森町を追加し、計3か所で研究を実施した。その後目的に示した4つの項目別に研究を実施した。なお、後述する物理探査については、試験的な試みを含むため、研究代表者の勤務地に近い茨城県桜川市で実施した。

テーマ(1)では、主として広島市の調査地において、崩壊地のせん断面付近の土層の強度測定や土層物性、土層深測定に基づいて無限長斜面安定解析を行った。また、崩壊予測において、将来崩壊が発生する可能性のある潜在崩壊面を把握することがきわめて重要であることから、物理探査により潜在的崩壊面の空間的な分布を把握できるかを検討した。

テーマ(2)では、高精細地形データ(LiDAR 1-m DEM)を用いて、物理モデル(SHALSTABモデル)に基づき崩壊危険度の分布図を作成する。本研究では研究着手段階ですでに物性値が得られていた山口県防府市を対象として分析を行った。

テーマ(3)では、山口県防府市、広島県広島市、宮城県丸森町の対象地域内の複数の谷頭を対象として調査を行った。1次谷堆積物や谷頭堆積物の構造を確認し、埋没土壌または木炭を採取し、それらの年代測定を行う。その結果に基づき、表層崩壊の発生履歴や谷頭地形の形成史を推定する。

テーマ(4)では、山口県防府市、広島県広島市における崩壊前的高精細地形データ(LiDAR 1-m DEM)に基づき、崩壊地あるいは未崩壊地内の過去の崩壊による水路地形を対象として、定性的および定量的な地形分析を行う。なお、2018年西日本豪雨が生じた広島県東部地域、2019年東日本台風で崩壊が生じた丸森町については、崩壊前的高精細地形データの入手に難航し、一部のデータが揃わなかったことから、詳細な分析は主に山口県防府市、広島県広島市において集中して実施した。

4. 研究成果

テーマ1. プロセス地形学に基づく表層崩壊の発生条件

(1) 斜面崩壊発生条件に関する研究 (Yoshihara et al., 2020. Tsukuba Geoenvironmental Sciences, vol.15 公表)

広島市安佐南区の権現山・阿武山周辺地域において2014年豪雨によって発生した複数の斜面崩壊を対象に、それらの地形的特徴の記載や物性分析に基づき、崩壊発生時の力学的条件を推定した。その結果、花崗岩地域および堆積岩地域の対象斜面では、土層がほぼ飽和した状態で崩壊が発生したことが推定された。

(2) 潜在崩壊面の空間分布の推定に関する研究 (Yoshihara and Hattanji, 2022 (in press), Journal of Applied Geophysics 公表)

茨城県の筑波山北部と広島県広島市安佐北区の未崩壊の谷頭部斜面において二次元電気探査を適用し、地下構造の推定の可能性を検討した。対象斜面には崩壊を引き起こしやすい表土層がある。水平成層構造を有する探査領域において、比抵抗分布は地下構造を良好に反映した。一方で、地下構造が3次的に変化する領域や、物性が漸移的に変化する領域では、再現性が低下した。表土とその下位構成物に物性の不連続面がある場合、比抵抗の上昇区間が出現し、表土層基底面（表土層とサブロライトの境界面）を検出できることが明らかになった。この方法で検出される表土層基底面は、簡易貫入試験の貫入抵抗値が低い面、すなわち潜在崩壊面と一致しており、この手法の適用により、潜在崩壊面の空間的な分布を大まかに把握できる。

(3) 崩壊発生後の地形変動に関する研究（鈴木ほか, 2021, 日本地形学連合発表）

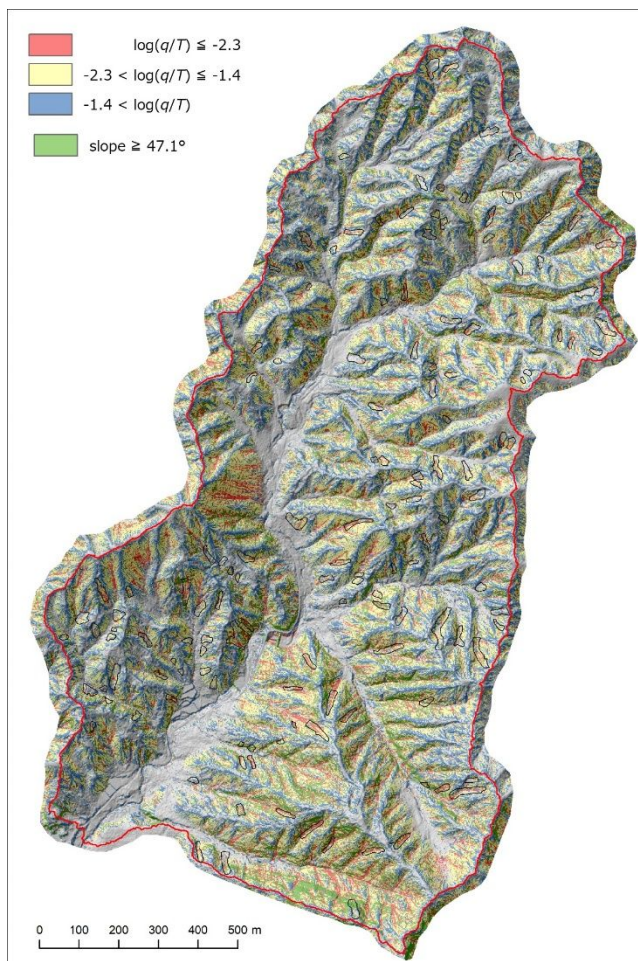
広島県安佐北区可部の2014年豪雨による表層崩壊跡地を対象にして、UAVを用いた写真地形測量を繰り返し実施し、崩壊後に崩壊地の地形がどの程度変化しているかを明らかにした。基盤岩が露出していた地表面は、安定状態であったが、集水面積が大きい水路頭の下流で、堆積物に覆われている地表面では、2021年の降雨後に侵食や堆積などの地形変化が生じることを示した。この知見は、崩壊発生後の水路頭の位置がどのようにして決定されているかを知るうえで重要である。

テーマ2．物理モデルに基づく不安定性斜面マッピング

(1) 山口県防府市における不安定性斜面マッピング（田中ほか, 2020, 地域学研究, 33号公表）

山口県防府市の剣川流域を対象として、既存の物理モデル（SHALSTAB）と高精細地形データ（LiDAR 1-m DEM）を用いて、不安定性斜面マップを作成した（図1）。得られたマップと2009年に実際に崩壊が発生した領域の分布を比較したところ、不安定性が高いと予想された多くの領域において、実際に崩壊が発生したことを確認した。この方法により崩壊発生ポテンシャルが高い領域の面的分布を可視化できることが明らかになった。

図1．山口県防府市剣川流域における崩壊危険度マップ（田中ほか, 2021）



テーマ3．谷頭堆積物の構造・年代測定に基づく崩壊履歴の推定

(1) 山口県防府市の事例（Kawano et al., 2020, JpGU発表；八反地ほか, 2022, 日本地理学会発表）

山口県防府市剣川流域内の2つの崩壊地を対象に、炭質物試料の年代測定と崩壊前の高精細地形データ解析を行い、崩壊前の谷頭凹地の埋積速度を推定した。試料の年代は1200～1400 cal ADの範囲にあり、崩壊前の高精細地形データから炭質物を含む層の上位に厚さ数mオーダー

の土層が発達していたことを推定した。崩壊前の谷頭凹地の埋積速度は谷頭凹地上部谷壁（滑落崖付近）において 0.9～2.1 mm/年、谷頭凹地の中央（崩壊地）において 2.1～6.9 mm/年に達することが明らかになった。この防府市で取得された埋積速度の値は、以下の 3-(2)で示している広島市の埋積速度の値よりも大きかった。防府市の埋積速度の値が非常に高い値を示している理由として、1200～1400 cal AD 頃の火入れと、それ以降のはげ山化の影響が示唆される。

(2) 広島市安佐南区・安佐北区の事例（古賀ほか, 2021, JpGU 発表；八反地ほか, 2022, 日本地理学会発表）

広島市安佐南区・安佐北区の 5 つの崩壊地を対象に、炭質物試料の年代測定と崩壊前の高精細地形データ（LiDAR 1-m DEM）の解析を行い、崩壊前の谷頭凹地の埋積速度を推定した。集水域内に城址など的人為的な地形変化が見られる流域では、埋積速度が大きく（概ね 1～3 mm/年）、地形曲率などの地形量と関係が見られないことが示された。人為的な影響を受けた流域を除いて自然的な谷頭凹地のみを対象とした場合には、埋積速度は地形曲率などの影響を受けることが明らかになった。

(3) 宮城県丸森町の事例（古市ほか, 2022, 東北地理学会発表）

宮城県丸森町の五福谷川流域の開析谷を対象として、谷埋堆積物（二次マサ）の年代測定を行った。放射性炭素年代分析の結果、2019 年東日本台風によって侵食された谷埋堆積物は 1000 y BP (950 AD) 頃～350 y BP (1600 AD) 頃の比較的温暖な時代に堆積したことが明らかとなった。また、沖積錐堆積物の層相変化と放射性炭素年代からは、少なくとも 1900 y BP (50 AD) 頃～1000 y BP (950 AD) 頃にも二次マサの堆積と侵食という反復性の地形プロセスが数回発生したと考えられる。また DEM の分析により、大雨による谷抜け型斜面崩壊は、五福谷川上流から中流沿いの河川堆積物の侵食とともに、下流部へ運搬された大量の土砂の主要な供給源であったことが推定される。

テーマ 4 . 高解像度地形情報に基づく谷頭の微地形分析

(1) 豪雨前後の水路頭変動と崩壊発生との関係（Hattanji et al., 2021, Geomorphology, vol. 393 公表）

豪雨前後の 2 時期に取得された高精細地形データ（LiDAR 1-m DEM）を用いて、広島県広島市安佐南区と山口県防府市の表層崩壊に伴う水路頭の変動について分析した。その結果、広島市安佐南区の調査地では、2014 年豪雨前の水路頭のうち集水面積が大きいもので崩壊が発生しやすかったことが明らかになった（表 1）。この現象は既存の谷頭地形変化に関する既存のモデルで説明できる。すなわち、過去のイベントからより長い時間が経過し、相対的に土砂の集積が進んでいた水路頭では、崩壊確率が高かったことを意味している。一方、山口県防府市の調査地では、水路頭の集水面積の大小にかかわらず、多数の斜面で崩壊が発生した。防府市では、はげ山化などの過去の人為的影響が強く、自然的な谷頭地形変化モデルが成立しなくなっている可能性を指摘した。

表 1 豪雨前の水路頭の集水面積別の崩壊発生・非発生に対するクロス集計表
（Hattanji et al., 2021 を翻訳および加筆）

広島地域	崩壊発生 水路頭の数	崩壊非発生 水路頭の数
水路頭のうち崩壊前の 集水面積の上位 5 個	4	1
その他の水路頭 (17 個)	4	13
広島地域合計	8	14
防府地域	崩壊発生 水路頭の数	崩壊非発生 水路頭の数
水路頭のうち崩壊前の 集水面積の上位 5 個	2	3
その他の水路頭 (16 個)	6	10
防府地域合計	8	13

引用文献

- 田中 靖・八反地 剛・山下久美子・古市剛久・土志田正二（2020）SHALSTAB と 1-m DEM による表層崩壊発生ポテンシャルの評価 -山口県防府市剣川流域での事例- . 地域学研究, 33, 31-45 .
- Hattanji, T., Kodama, R., Takahashi, D., Tanaka, Y., Doshida, S., Furuichi, T. (2021) Migration of channel heads by storm events in two granitic mountain basins, western Japan: Implication for predicting location of landslides. Geomorphology, 393, 107943.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 2件）

1. 著者名 田中 靖・八反地 剛・山下久美子・古市剛久・土志田正二	4. 巻 33
2. 論文標題 SHALSTABと1-m DEM による表層崩壊発生ポテンシャルの評価ー山口県防府市剣川流域での事例	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地域学研究	6. 最初と最後の頁 31-45
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 八反地 剛	4. 巻 89(10)
2. 論文標題 地球を俯瞰する自然地理学 近年多発する表層崩壊 地形学の視点	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 870-871
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 Hattanji, T., Kodama, R., Takahashi, D., Tanaka, Y., Doshida, S., Furuichi, T.	4. 巻 393,
2. 論文標題 Migration of channel heads by storm events in two granitic mountain basins, western Japan: Implication for predicting location of landslides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 107943
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geomorph.2021.107943	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 Yoshihara, N., Hattanji, T., Doshida, S., Tanaka, Y., Furuichi, T.	4. 巻 16
2. 論文標題 Geomorphological features of shallow landslides in hillslopes underlain by mixed rock of sandstone and mudstone: A case of heavy rainfall on August 20, 2014 in Hiroshima City, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tsukuba Geoenvironmental Sciences	6. 最初と最後の頁 15-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15068/00162380	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 八反地 剛	4. 巻 106(11)
2. 論文標題 【地形学×土】山地斜面の土と崩壊 地形学の視点から (特集 まだ知らない土のこと)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会誌	6. 最初と最後の頁 16-19
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 Yoshihara, N., Hattanji, T.	4. 巻 203
2. 論文標題 Estimation of shallow subsurface structures on granitic hillslopes based on electrical resistivity distribution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Geophysics	6. 最初と最後の頁 104704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jappgeo.2022.104704	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18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 八反地 剛・児玉 龍也・古市 剛久・土志田 正二・田中 靖
2. 発表標題 Colluvial deposits in first-order streams and channel head migration by shallow landslides: Case study in granitic basins, Asaminami, Hiroshima, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉原直志・八反地 剛
2. 発表標題 谷頭凹地の地下構造推定における電気探査の適用 筑波山花崗岩斜面における事例
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 河野孝俊・八反地 剛・古市剛久・土志田正二・田中 靖
2. 発表標題 山口県防府市剣川流域における1次谷堆積物の年代測定 - 埋没土壌と表層崩壊の関係について -
3. 学会等名 日本地形学連合2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉原直志・八反地 剛
2. 発表標題 電気探査による斜面土層構造の推定 - 筑波山の花崗岩斜面における事例 -
3. 学会等名 日本地形学連合2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hattanji, T.; Kodama, R.; Takahashi, D.; Tanaka, Y.; Doshida, S.; Furuichi, T.
2. 発表標題 Migration of channel heads by heavy rainfall events in two granitic mountain basins, western Japan: Implication for predicting location of landslides
3. 学会等名 日本地形学連合2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 靖・八反地 剛・山下久美子・古市剛久・土志田正二
2. 発表標題 LiDAR 1-m DEMを利用 した豪雨による表層崩壊危険度マップの作成
3. 学会等名 2020年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八反地 剛・河野孝俊・古市剛久・土志田正二・田中 靖
2. 発表標題 放射性炭素年代に基づく谷頭凹地堆積物の堆積時期
3. 学会等名 2020年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古市剛久・黒木貴一・村山良之・西城潔・近藤有史
2. 発表標題 2019年台風19号による宮城県南部の土砂移動堆積現象（緊急調査速報：五福谷川流域）
3. 学会等名 東北地理学会里山研究グループ2019年12月研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉原 直志・八反地 剛
2. 発表標題 花崗岩斜面谷頭部の比抵抗分布と浅層構造の関係
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawano, T.; Hattanji, T.; Furuichi, T.; Doshida, S.; Tanaka, Y.
2. 発表標題 Radiocarbon-based Chronology of Valley Head Deposits: A Case Study of Landslide Scars in Hofu, Yamaguchi Prefecture
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀 亘・八反地 剛・古市剛久・土志田正二・田中 靖
2. 発表標題 放射性炭素年代と高解像度DEMから推定された谷頭部周辺の埋積速度の分布 広島県広島市の花崗岩地域の事例
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hattanji, T.; Koga, W.; Furuichi, T.; Doshida, S.; Tanaka, Y.
2. 発表標題 Infilling rates of hollows in a landslide-prone area of Hiroshima City, western Japan: Estimation from radiocarbon dates and high-resolution DEMs
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 花七海・小倉 拓郎・八反地 剛・古市 剛久・田中 靖・土志田 正二
2. 発表標題 広島県の表層崩壊跡地における2021年夏季豪雨による土砂移動
3. 学会等名 日本地形学連合2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田 駿介・小倉 拓郎・八反地 剛
2. 発表標題 廃道を用いた山地斜面における土砂生産の評価 - 静岡県浜松市の事例 -
3. 学会等名 日本地形学連合2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 八反地 剛・古賀 亘・河野孝俊・古市剛久・土志田正二・田中 靖
2. 発表標題 谷頭凹地の埋積速度に対する中世以降の人間活動の影響
3. 学会等名 2022年度日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古市剛久・大丸裕武・村上亘・岡本隆・佐々木達・上田元
2. 発表標題 地形変化から見た日本の荒廃林地（ハゲ山）及び荒廃景観の意味とその変遷：地理学における対話
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土志田正二・新井場公德
2. 発表標題 令和元年東日本台風により発生した宮城県丸森町子安地区の崩壊における詳細地形解析
3. 学会等名 日本地すべり学会第60回（2021年度）研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古市剛久・黒木貴一・八反地 剛・村上 亘
2. 発表標題 台風1919豪雨による宮城県丸森町五福谷川流域での谷抜け崩壊イベント
3. 学会等名 2022年度東北地理学会春季学術大会
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	土志田 正二 (Doshida Shoji) (20526909)	総務省消防庁消防大学校(消防研究センター)・その他部局等・研究員(移行) (82665)	
研究分担者	田中 靖 (Tanaka Yasushi) (80348888)	駒澤大学・文学部・教授 (32617)	
研究分担者	古市 剛久 (Furuichi Takahisa) (60464202)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・森林総研特別研究員 (82105)	

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
---------	---------