

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23681

研究課題名(和文) 中長期時間スケールを対象とした流域貯留土砂の移動実態とその把握手法の検討

研究課題名(英文) Study on decadal-scale sediment storage and transport in mountain catchment

研究代表者

厚井 高志 (Koi, Takashi)

北海道大学・広域複合災害研究センター・准教授

研究者番号：40845294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：崩壊発生は流域内に大量の不安定土砂が供給するが、供給された土砂のその後の移動実態は研究事例が少なく明らかではない。本研究は、過去に大規模な土砂生産イベントがあった流域におけるこうした土砂の移動実態を明らかにした。調査地は1973年に豪雨により複数の崩壊や土石流が発生した北海道知内町小谷石中ノ沢流域である。時系列の航空写真判読および現地調査の結果、1973年イベント後、流域上流部から中流部にかけては小規模な土砂移動が継続していたこと、下流部では近年まで長期間にわたって土砂移動がほとんど生じていなかった一方、2013年の降雨イベント時に流域出口まで到達する土砂移動が生じたことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動の影響により豪雨頻度が増加し、今後もこの傾向が継続することが懸念されている。わが国はその地形・地質的特徴から過去に大規模な土砂生産があった流域が多く存在するにもかかわらず、こうした生産土砂がその後どのような挙動を示すのかといった知見はほとんどなかった。本研究は、流域内に存在する貯留土砂が降雨出水に応じてどのような挙動を示すかの想定に寄与することが期待でき、防災対策を検討する上で重要な知見を提示できた。本研究で対象とした流域のように、土砂生産から数十年経過後に大規模な土砂流出が引き起こされていたことは災害直後の施設整備やその後のモニタリングの重要性を改めて示している。

研究成果の概要(英文)：Although a large amount of unstable sediment is supplied to the catchment when large-scale landslide event occurs, the movement of post-production of such supplied sediment is not clearly understood due to few research cases. This study clarified the movement of stored sediment in the catchment where there was a large-scale landslide event in the past. The study site is the Nakanosawa catchment of Kotani'ishi in Shiriuchi town, Hokkaido, where multiple landslides and debris flows occurred due to heavy rainfall in 1973. As a result of time-series aerial photograph interpretations and field surveys, after the 1973 event, moderate-scale sediment movements continued from the upper reaches to the middle reaches of the catchment, and minimal sediment transportations occurred in the lower reaches for a long period of time until recent years. On the other hand, it was revealed that sediment discharge to reach the catchment outlet occurred during the 2013 rainfall event.

研究分野：砂防学

キーワード：流域貯留土砂 山地森林流域 航空写真 SfM 土砂移動 UAV 降雨出水 1973年北海道小谷石災害

## 1. 研究開始当初の背景

崩壊地などの明瞭な土砂生産源のない森林流域では侵食による土砂生産が大半となるが(矢部, 2003), 崩壊が発生すると圧倒的にその影響が強くなることが指摘されている(丸谷ら, 2000)。過去の土砂生産が数十年から時には数千年にわたって土砂流出に影響を与えているという指摘もあり(Korup, 2005), 例えば, わが国でも1923年の関東地震に伴う崩壊土砂が80年以上の長期にわたって流域内に貯留され, 最近も大きな土砂流出が継続していることが分かっている(Koi et al., 2008)。すなわち, 流域内で崩壊が発生すると流域内に大量の不安定土砂が供給され, 供給土砂の一部は崩壊発生直後に流域外に流出するが, 大部分は貯留土砂として流域内にとどまり, その後の降雨出水時に流域内を移動すると考えられる。大規模な出水イベントがあればこうした貯留土砂が再移動して大規模な土砂流出により下流域での災害を助長する危険性があるものの, 崩壊発生後に流域内に貯留された崩壊土砂の再移動について数十年程度の中長期的時間スケールを対象とした研究事例は少なく, その実態は十分に明らかにされていない。

山地流域では, その下流河道内で濁度計を用いた浮遊砂観測やハイドロフォンを用いた掃流砂観測が実施され流域からの流出土砂量を計測する研究事例が多くあるが, 流域内の貯留土砂を対象として移動状況を把握する研究は観測が難しいためほとんど実施されておらず, その把握手法は確立していない。特に長期的な土砂生産源の変化や土砂移動状況の把握には長期モニタリングが必要となるが, 今から観測を実施しても成果が得られるまで時間がかかる。また, 近年, 多視点ステレオ写真測量(Structure from Motion (SfM))に関する調査研究は盛んに実施されてはいるものの, UAVを用いた地形計測精度の検証や技術開発が主流であり, 長期的な地理情報の取得に活用される事例は極めて少ない。

## 2. 研究の目的

本研究では, 土砂生産イベント発生後を対象として, 数十年という時間スケールにおいて, 降雨履歴との比較や河道内への植生侵入状況から貯留土砂の移動実態を明らかにした。具体的には次のような課題の解決を目指した。

- I. 崩壊に伴う生産土砂の経時的な堆積分布の変化およびその把握手法の確立
- II. どのようなタイミング(誘因)で, どこで土砂移動が生じたのかを把握

## 3. 研究の方法

### (1) 調査地

調査地は北海道知内町小谷石地区の中ノ沢流域(流域面積3.3 km<sup>2</sup>)である。この地域の地質は中新世の緑色凝灰岩が主であり, 植生は針広混交林となっている。小谷石地区では1973年9月23日から25日に前線の活動に伴う豪雨(総雨量377 mm)により観測史上最大の時間雨量133 mmを記録した。この豪雨により流域内で複数の崩壊や土石流が発生し, 死者行方不明者7人, 家屋全壊97戸など甚大な被害がでた。中ノ沢流域での新規崩壊は43箇所, 崩壊面積は3.8 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>と報告されている(東ら, 1974)。この災害後, 流域内には北海道により複数の治山堰堤, 砂防堰堤が設置された。

### (2) 方法

大面積で崩壊が発生した土砂生産イベントを対象として, 中長期時間スケールを対象とした流域貯留土砂の(二次)移動実態の把握およびその把握手法を確立する。まず, 航空写真アーカイブデータを用いて(SfM)により三次元地形モデル(DSM)を作成し, GIS上で解析を実施して土砂生産後の経時的な土砂移動状況(堆積域・侵食域)の把握を試みた。小谷石地区では航空写真が1972年から2008年まで11時期(モノクロ, 撮影縮尺1/20,000。ただし, 1976年撮影分のみカラー, 撮影縮尺1/10,000)で取得できる。作成した三次元地形モデルは崩壊跡地等で現地計測結果と比較して精度を検証する。本研究では, 航空写真画像データは解析精度を高めるため高解像度(1,200 dpi以上)のものを取得した。SfMを用いた三次元地形モデルの作成にあたってはPix4Dmapperを使用した。なお, SfM実施にあたっては処理の妨げとなる航空写真画像の地上撮影域以外の四辺の余白部を切り取った画像データを作成した。また, SfM実施にあたっては予め地上評定点(GCP)を, 国土地理院1/25,000地形図から三次元の位置データ(地理座標および標高)を取得して与えた。作成した三次元地形モデルの解析にはESRI社ArcGISを用いた。

流域内の堆積土砂の二次移動の評価にあたっては, 河道内の樹木群落情報(植生侵入時期)から推定される土砂の滞留期間や水文観測データとの比較を行って, 土砂移動に関与する地形条件や水文情報(降雨強度, 想定流量等)を整理した。水文観測データは気象庁AMeDAS観測点「小谷石」を用いた。水文観測データの使用にあたっては, 各調査対象地付近で観測体制が整備されており, 1時間雨量(気象庁AMeDAS)が各災害の発生直後から最新のものまで入手した。なお, 小谷石地区の降水記録は1976年4月以降からしか公表されていないが, 発災時の降水量(1時間雨量)は過去の研究報告(内田, 1974)に記載のある値を用いた。本研究では前後24時

間無降雨となった場合を一連の降雨イベントとして整理した。さらに、樹木群落情報を活用にあたっては、流域河道で縦断的な現地調査を実施して、一斉同齢林を対象とした樹齢調査を実施した。樹齢調査にあたっては樹木の伐倒は行わず、比較的樹木への影響が軽微な成長錘を使用して樹齢を推定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 航空写真アーカイブデータを用いた堆積分布変化およびその把握手法の検討

取得した高解像度の航空写真画像を SfM 処理して、オルソ画像と DSM 画像を作成した。作成したオルソ画像、DSM データとともに、1976 年撮影の航空写真画像を使用したものについては、その他の撮影時期のものに比べると地形情報がある程度再現できた。これは、他時期撮影の航空写真はすべてモノクロ写真であったが、1976 年撮影の航空写真はカラー写真であったことも影響している可能性がある。しかしながら、解析に用いられるほど十分な精度でのデータ作成には至らなかった。このことは 2020 年に UAV を用いて新規に取得した航空写真画像から作成したオルソ画像、DSM 画像との比較からも明らかである (図 1)。清水ら (2020) は航空写真アーカイブデータ (撮影縮尺 1/8,000~1/15,000) を使用して SfM を実施し、1990 年雲仙普賢岳噴火後の地表面の地形情報把握を試みている。この検討結果を踏まえると、本研究で実施した検討で全体的に十分な精度が得られなかった要因として以下が考えられる。ア) 対象域が森林流域のため評定可能な地物が流域下部の集落付近にのみ集中し、広域かつ適切に GCP を設置することができなかった、イ) 比較的小さな撮影縮尺 (主に 1/20,000) の航空写真画像しか取得できなかった。

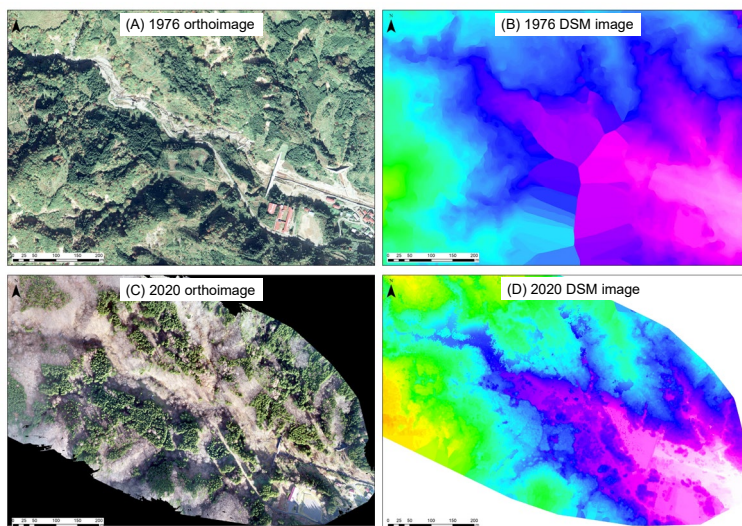


図1 航空写真画像から作成したオルソ画像と DSM 画像の比較

##### (2) 土砂生産後の流域土砂動態の把握

時系列の航空写真判読から災害直後に最下流に設置された砂防堰堤は 2008 年までほとんど堆砂しておらず、1973 年イベント後、流域出口まで到達するような土砂移動は 2008 年まではなかったと推定された。一方、中ノ沢で 2020 年に実施した現地調査から流域最下流に設置された砂防堰堤が満砂、堆砂地内に侵入した木本植生も土砂に埋没していたことから、比較的大規模な土砂移動が 2009 年以降に生じていたことが分かった。また、河道を縦断的に調査した一斉同齢林の樹齢は最下流から 26~28 年生 (ヤナギ類, 平均 27 年生), 27~33 年生 (ケヤマハンノキ, 平均 30 年生; 以上, 下流域), 14~17 年生 (ケヤマハンノキ, ヤナギ類, 平均 16 年生, 中流域), 20~28 年生 (ケヤマハンノキ, 平均 23 年生; 上流域) となり、中流~上流域の一斉同齢林のほうが比較的若かった。また、中流域から上流域にかけては大規模な一斉同齢林の形成は確認できなかった。このことから、流域上流部から中流部にかけては小規模な土砂移動が継続していること、下流部では近年まで長期間にわたって土砂移動がほとんど生じていなかったことが確かめられた。降雨履歴から年最大となる降雨イベントの降雨強度と降雨継続時間 (降り始めから降り終わりまで: 長期指標, 降り始めから最大時間雨量記録時刻まで: 短期指標) との関係を整理した結果、2013 年に 1973 年の降雨強度を上回る降雨イベントが発生していた (図 2)。この流域では 2009 年以降、新規崩壊の発生は確認されないことから、2013 年の降雨イベント時に河道内の貯留土砂が流域出口まで大量に移動したと考えられた。

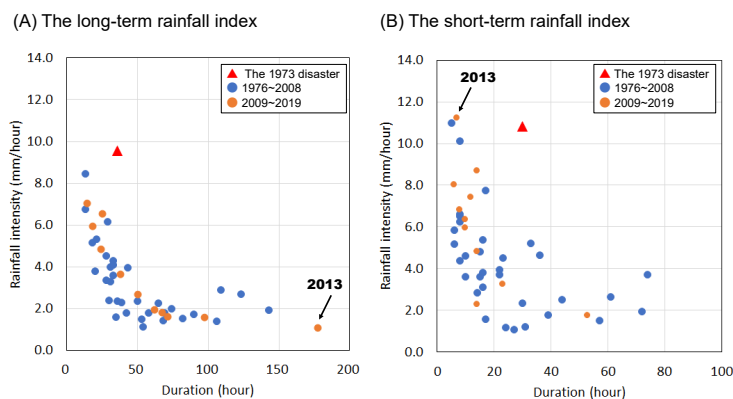


図2 年最大降雨イベントの降雨強度と降雨継続期間の関係

##### (3) まとめと今後の課題

本流域では、上流から中流部にかけては河道内で小規模な土砂移動が恒常的に生じたことに加え、崩壊発生から約 40 年後に高強度の降雨イベントが直接的な誘因となって貯留土砂の大規模な移動、土砂流出が引き起こされていたことが分かった。過去の航空写真画像データを用いた

地形情報の変化については十分な精度を得ることができず活用にはいたらなかったものの、堰堤の堆砂状況や樹木群落情報、降雨履歴等から貯留土砂の二次移動と想定される流域土砂動態を推定することができた。航空写真アーカイブデータを用いた SfM 処理にあたっては、航空写真上で評定点となりうる地点を適切に抽出したうえで、現地で GNSS 測量を実施するなどして GCP を精度よく反映することが今後の課題と言える。一方で、土砂生産から数十年経過していたにもかかわらずこの土砂に起因する大規模な土砂移動が発生していたことから、災害直後の施設整備の重要性が改めて示唆された。

<引用文献>

- ① 矢部和弘, 風化花崗岩山地における流出土砂量と森林被覆との関係, 砂防学会誌 56(4), 2003, 4-11
- ② 丸谷知己, 笠井美青, 牧田正代, 崩壊地を含む小面積流域における流出土砂量, 砂防学会誌 52(6), 2000, 24-31
- ③ Oliver Korup, Large landslides and their effect on sediment flux in South Westland, New Zealand, Earth Surface Processes and Landforms 30, 2005, 305-323
- ④ Takashi Koi, Norifumi Hotta, Ituro Ishigaki, Norimasa Matuzaki, Yoshimi Uchiyama, Masakazu Suzuki, Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan, Geomorphology 101, 2008, 692-702
- ⑤ 東三郎, 新谷融, 笹賀一郎, 昭和 48 年道南豪雨災害山崩れ実態調査, 溪流の土砂移動状況調査, 昭和 48 年度文部科学省研究費自然市街特別研究(1)802031:「昭和 48 年 9 月道南及び東北北部豪雨災害の調査と防災研究」研究報告(研究代表者:山岡勲), 1974, 32-51
- ⑥ 内田秀治, 昭和 48 年 9 月道南豪雨災害の気象特性の研究, 昭和 48 年度文部科学省研究費自然市街特別研究(1)802031:「昭和 48 年 9 月道南及び東北北部豪雨災害の調査と防災研究」研究報告(研究代表者:山岡勲), 1974, 1-12
- ⑦ 清水武志, 鈴木英夫, 泉山寛明, 河端智樹, 藤村直樹, アーカイブされたアナログ空中写真への SfM-MVS の適用, 砂防学会誌 72(6), 2020, 3-7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takashi Koi, Yasutaka Tanaka
2. 発表標題 Sediment dynamics after the 1973 landslide event in mountain watersheds of Hokkaido, Japan
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 Takashi Koi, Yasutaka Tanaka
2. 発表標題 Interdecadal-timescale storage and reactivate of landslide-derived sediment of fluvial systems in Hokkaido, Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 厚井高志, 田中健貴
2. 発表標題 1973年北海道小谷石で発生した豪雨災害後の流域土砂動態
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

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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