

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：25407

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23537

研究課題名（和文）花崗岩地域における土石流発生の周期性とリスク評価に関する研究

研究課題名（英文）Research on periodicity and risk assessment of debris flow occurrence in granite area

研究代表者

加藤 誠章（Kato, Nobuaki）

福山市立大学・都市経営学部・准教授

研究者番号：40845476

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、繰り返し発生する土石流災害において、過去の災害が及ぼす影響を明らかにするために、呉市南部における1945年、1967年、1999年、2018年の4回の土石流災害を対象として、空中写真判読の結果と、各イベント時の降雨、道路等の人工構造物、過去の崩壊の影響について評価を行った。その結果、土石流発生のトリガーとなった崩壊の発生数は、既往最大となる降雨指標（半減期の異なる実効雨量）の数と関係があること、また、人工構造物や過去に崩壊が発生した斜面の周辺斜面においては、その後の降雨イベントにおいて崩壊が発生しやすい状況になる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

土石流災害警戒情報は、降雨が過去に土石流災害が発生しなかった条件を上回る、あるいは、上回ることが予想されるときに発表される。この情報は、土石流災害の発生危険度のみを評価するものであり、発生が懸念される崩壊・土石流の数量や規模を予測するものではない。

本研究では、繰り返し土石流災害が発生する呉市南部地域において、過去最高となる降雨指標のパターン数と崩壊・土石流の数量・規模に関係があることを明らかにした。また、過去の崩壊や人工的な地形改変が以降の土石流移動に与える影響があることを明らかにした。

本成果を適用することにより、より適切かつ高度化した土石流災害発生予測が可能になることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the effects of past disasters on the occurrence of landslide disasters.

Targeting the southern part of Kure City, where debris flow disasters occurred four times in 1945, 1967, 1999, and 2018, the areas where collapses and debris flows occurred were identified by aerial photograph interpretation. We evaluated the effects of rainfall, man-made structures, and past collapses on these collapses.

As a result, it was confirmed that the number of landslides that triggered the occurrence of debris flows was related to the number of rainfall indices (effective rainfall with different half-lives), which was the largest in the past. In addition, it was found that man-made structures and surrounding slopes of slopes that collapsed in the past are prone to collapse in subsequent rainfall events.

研究分野：砂防工学

キーワード：土石流 周期性 免疫 降雨 崩壊

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

平成30年（2018年）7月豪雨では、西日本を中心として土石流等により、死者・行方不明者が232名にのぼる甚大な被害が生じた。本災害において被害が顕著であった広島県西部では、第二次世界大戦後に複数回の土石流災害が記録されており、同一あるいは隣接する溪流で土石流が繰り返し発生している状況にある。

一般に、土石流の発生源となる崩壊の発生においては、免疫性（崩壊が発生することにより表土が流出するため、その後の風化等による表土の掲載までの期間に次の崩壊が発生しにくくなること）があるといわれており（小出：1973）、土石流・崩壊の発生頻度に関する研究は、主に地形学的な分野において、以下のアプローチでそれぞれ進められてきた。

#### ○手法 A：斜面中の風化速度や土層の形成速度に着目した手法

例えば下川（1983）は、複数の時期に発生した表層崩壊跡地における、崩壊からの経過年数と土層厚の関係より、紫尾山風化花崗岩において崩壊後200年で初期の表層崩壊発生時と同条件になるとしている。

#### ○手法 B：土石流の堆積により生じた扇状地等の堆積物調査による手法

西山他（2015）は過去の推定手法について堆積物の調査箇所及び年代推定法による分類、整理を行っており、調査方法としては、 $^{14}\text{C}$ 、層序、テフラ、考古遺物、年代ウィグルマッチング、空中写真等が用いられている。その中で、風化花崗岩に関しては、六甲山地の流域における発生頻度10<sup>4</sup>年に1回（六甲土石流団体研究グループ：2001）が最も高頻度であると述べている。

1つの流域には複数の斜面が存在するため、土石流の発生頻度と崩壊の発生頻度は異なる。しかしながら、斜面崩壊には免疫性があるため、土石流の発生の有無・規模には過去の崩壊の発生履歴が影響していると考えられる。いずれの手法においても、土石流の発生した溪流において、過去の崩壊・土石流の発生はどのような影響を及ぼしているのかについては、必ずしも明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の通りである。

- (1)過去の崩壊履歴・土石流の発生履歴が次の土石流の発生の有無・規模に及ぼす影響を明らかにし、土石流に対するリスク評価の精度向上を図ること。
- (2)日本においては高頻度で土砂移動や災害が発生する地域が存在し、道路等の開発も多く進められてきた。これらの過去の土砂移動や道路等の開発に伴う地形等の変化の影響を把握すること。

土石流等の土砂災害の発生には、地形、地質、植生、降雨（波形、分布）、土地利用等多様な条件が影響を及ぼしていると考えられるため、広域を対象として過去の土砂移動イベントの影響の有無を評価することは難易度が高い。一方、地質・地形が均質で、雨量観測点からの距離が近い箇所を抽出すれば、考慮すべき条件をある程度絞ることが可能であると考えられる。

広島県呉市においては、過去に多くの土砂災害が発生しており、その中でも、1945年枕崎台風、1947年7月豪雨、2018年7月豪雨に関しては、土砂災害の分布図が公表されている。小笠原（2019）は、同3イベントについて、既往判読及び独自の判読により呉市周辺域の崩壊地分布の重ね合わせを行っており、対象地区において、全3イベントでの土砂移動が確認されている。

本研究では、雨量観測点からの距離が近く、1945年以降の複数の土砂災害の分布図が報告されている広島県呉市南部に位置する、休山（標高497m）、高鳥山（標高380m）が縦断する長さ約10km、幅約4kmの呉市中心部の東側に位置する半島を対象範囲とした。

### 3. 研究の方法

#### (1)空中写真判読

同地域を対象とする既往の判読結果や災害分布図は精度や範囲が異なるため、本研究では、新たに空中写真判読を実施した。1945年災害については、1946、1947年に撮影された米軍写真を、1967、1999、2018年災害については国土地理院撮影の空中写真をそれぞれ用いた。

#### (2)崩壊と過去の土砂移動や人為的な地形改変との関係の分析

空中写真判読に基づく崩壊地と、土砂災害発生前後の地形図との位置関係に基づき、各イベントにおける崩壊前の地形変化について分析を行った。

#### (3)各イベントにおける降雨パターンの分析

呉特別地域気象観測所の降雨データを使用し、各イベントにおける降雨の特徴の分析を実施した。

#### 4. 研究成果

(1) 空中写真判読に基づく呉市南部における過去の土砂移動について  
空中写真判読結果を図1に示す。  
なお、今回作成した判読図においては、イベント前の状況を把握していないため、豪雨の発生以前から崩壊等が発生していた可能性は排除できず、また、豪雨から空中写真が撮影されるまでの期間に発生した崩壊も含まれるため、時間的精度については留意が必要である。

空中写真判読により、以下の結果が得られた。なお、崩壊判読結果の内、B、Cに該当する例を図2に示す。

- A) 複数のイベントにおいて、源頭部まで一致する崩壊は極めて少ない  
(なお、先述の通り現時点の判読においては豪雨イベント前の状況を把握していないため、精度向上のためにイベント前の空中写真判読が求められる)。
- B) 前回のイベントで崩壊が発生した源頭部のさらに上部において崩壊が発生する事例が複数認められる。
- C) 複数イベントにおいて同一溪流で土石流が発生している場合、崩壊地が隣接している事例が複数認められる。

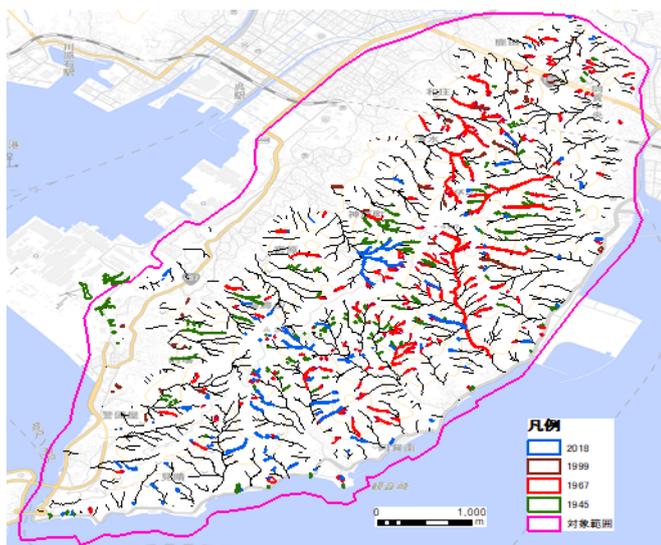


図1 呉市南部における1945年、1967年、1999年、2018年災害時の土砂移動判読結果

2018年7月豪雨では、東広島市の広島国際大学近隣斜面等、源頭部の勾配が $20^\circ$ 未満の極めて緩い勾配で土石流が発生する事例が認められた。対象範囲において、イベントごとに崩壊源頭部の勾配の違いを確認するために、判読されたそれぞれの崩壊地源頭部の勾配を確認し比較を行った。勾配別の判読箇所数を図3に示す。なお、勾配は現地形のLPデータを用い、源頭部から概ね20m程度の標高差に基づき算出した。図3より、2018年7月豪雨により発生した崩壊に関しては、緩勾配の崩壊が相対的に多いことが確認された。

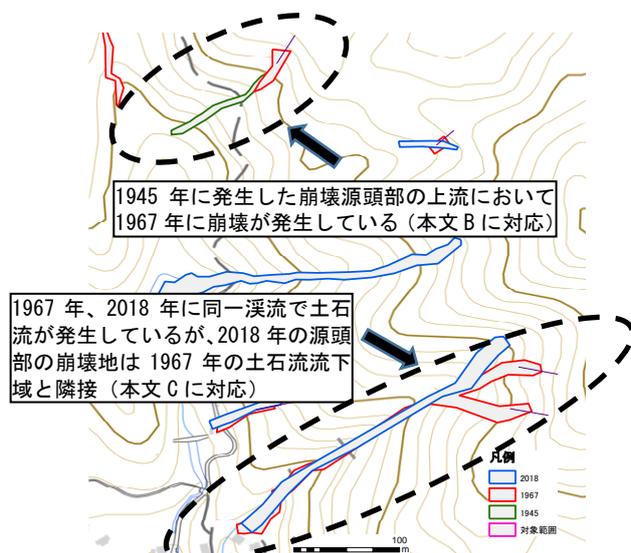


図2 1945年、1967年、2018年災害による土砂移動痕跡の位置関係の例

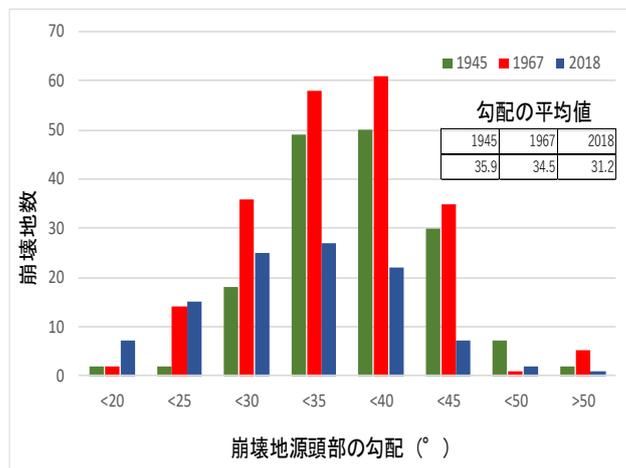


図3 1945年、1967年、2018年における崩壊地源頭部の勾配と崩壊地数の関係

(2) 各イベントで発生した崩壊と過去の土砂移動や人為的な地形改変との関係について

土砂災害発生前後の地形図と判読した崩壊地との位置関係に基づき、各イベントにおける崩壊の内訳を図4に示す。なお、人工構造物周辺斜面は、建設・拡幅された道路盛土を源頭部とする斜面や道路沿いの斜面の崩壊等であり、ここでは両者の合計値を表示している。また、土石流が流下した溪流に面する斜面の崩壊は土石流の流下が崩壊発生のものである可能性もある

め、ここではその他に分類した。

図 4 より、降雨イベントによって判読された崩壊の数が大きく異なること、人工構造物や既往崩壊斜面周辺における崩壊の割合が増加している傾向が認められた。後者については、無作為に斜面崩壊が発生したとしても、1945 年以降に交通網や住宅の建設が進められたことや、1945 年より前の空中写真判読結果が存在しないことにより同様の傾向が生じる事となる。しかしながら、本地区の斜面が道路や住宅に近接している割合は 50%より十分に小さいため、人工構造物周辺斜面においては、地形改変後の降雨イベントにおいて崩壊が発生しやすい状況にあったことは明らかである。

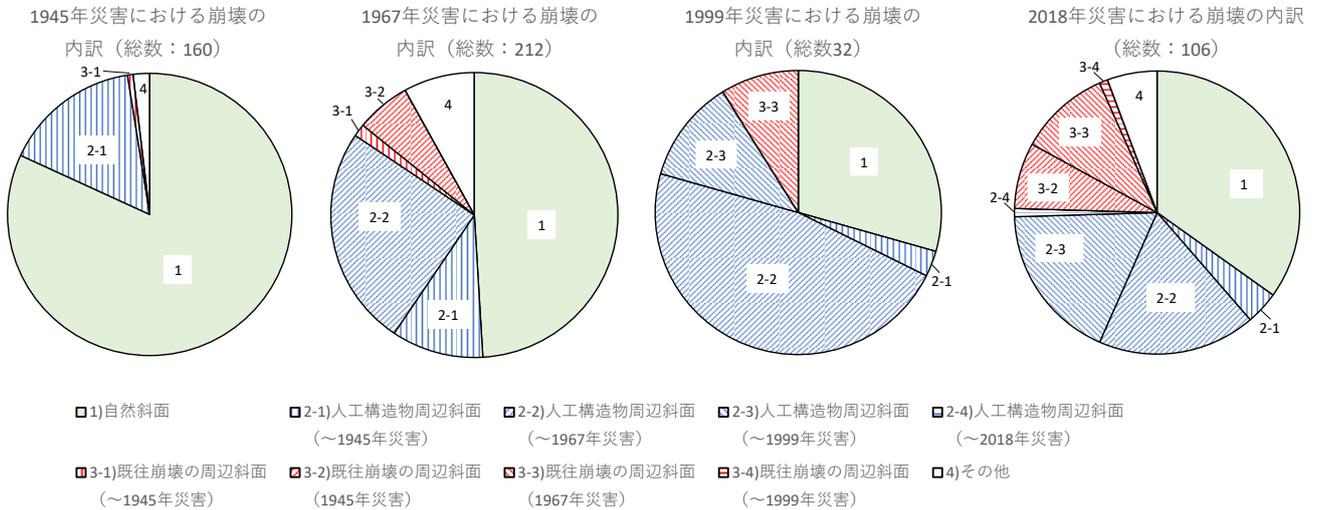


図 4 各イベントにおける崩壊の内訳

(3) 異なる半減期の実効雨量の組合せを用いた各イベントにおける超過状況について

現行の土砂災害警戒避難基準雨量で用いられている土壌雨量指数と 60 分積算雨量の組合せの大小は、発生する崩壊・土石流の数や規模を説明するものではなく、執印ら (2020) は本地区の SDRP は 1967 年災害、1999 年災害、2018 年災害の順に大きかったと報告している。また、打萩 (1971) に示されるような連続雨量と崩壊面積率との正の相関は、本地区の異なるイベント間では成立していない。

各災害において判読された崩壊数が大きく異なることについて、それぞれのイベントにおける降雨の特徴の影響を評価することを目的として、小杉 (2015) の手法を参考とし、既往最大となる実効雨量の組合せを図 5 に示す。雨量は、呉特別地域気象観測所のデータを使用した。大小の比較においては、執印ら (2020) の手法を援用し、実効雨量を 2 年確率値で除したときの原点からの距離で評価を行った。なお、降雨データは 1945~1949 年は欠測となっており、1945 年災害においては 4 時間ごとの合計値が観測データとして残存するが、多くの降雨指標において 1967 年災害よりも小さい。

図 5 より、1967、1999、2018 のいずれのイベントにおいても、既往最大となる異なる半減期の組合せが存在することが確認された。また、既往最大となる半減期の組合せは降雨イベントにより異なる。1967 年災害においては、ほとんどの組合せで既往最大となった一方、1999 年災害においては、短期的な指標、2018 年災害においては、長期的な指標において既往最大となった。定量的な比較は困難であるものの、崩壊の発生数は、既往最大値を観測した組合せ指標の数量と整合的な結果となった。

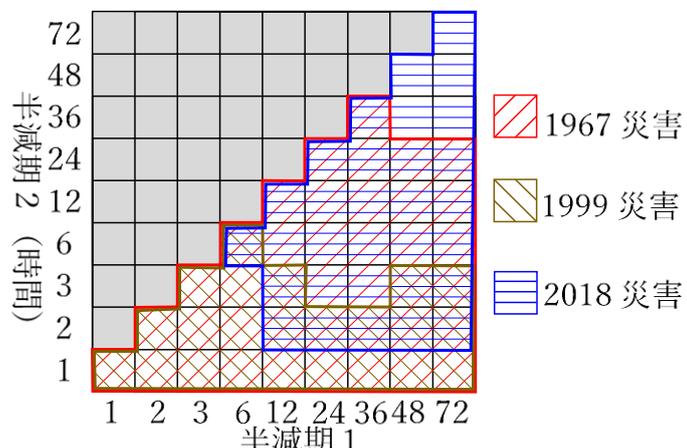


図 5 既往最大値を観測した実効雨量半減期の組合せ

#### (4)まとめ

本研究では、呉市南部における、1945年、1967年、1999年、2018年の4回の土石流災害を対象として、空中写真判読の結果と、各イベント時の降雨、道路等の人工構造物、過去の崩壊の影響について評価を行った。その結果、人工構造物や既往崩壊斜面周辺における崩壊の割合が増加傾向にあることが示された。また、崩壊の発生数と既往最大となる実効雨量の組合せの数量が整合的であることが明らかとなった。

人工構造物や過去の崩壊地の周辺斜面において、崩壊が多い理由として、地形改変等に伴い斜面の安定性が変化することが考えられる。そのため、道路や住宅開発が顕著な地域や広範囲に崩壊が発生した地域においては、地形改変後の降雨のみを用いて、基準雨量を設定することが精度向上に寄与すると考えられる。

#### 引用文献

小出博 (1973) : 日本の国土, 東京大学出版会, pp.417-541.

小杉賢一郎 (2015) : 斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法、砂防学会誌, Vol.67, No.5, pp.12-23.

西山賢一, 若月強 (2015) : 日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度、応用地質, Vol.55, No.6, pp.325-333.

小笠原洋 (2019) : 呉市周辺における崩壊発生地の分布、日本応用地質学会中国四国支部令和元年度研究発表会概要集、pp.49-54.

六甲土石流団体研究グループ (2001) : 六甲山地南麓扇状地での土石流・洪水堆積物の堆積時期・堆積場の変遷、地球科学, Vol.55, pp.201-216.

下川悦郎 (1983) : 崩壊地の植生回復過程、林業技術, No.496, pp.23-26.

執印康裕, 加藤誠章, 堀田紀文, 鈴木雅一 (2020) : 現行の土砂災害警戒システムの枠組みから導出される確率年による土砂災害発生危険度の評価について、砂防学会誌, Vol.73, No.1, pp.40-44.

打萩珠男 (1971) : ひと雨による山腹崩壊について、新砂防, Vol.23, No.4, pp.21-34.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤誠章, 中井真司, 小笠原洋
2. 発表標題 呉市南部における土石流の発生履歴について
3. 学会等名 令和2年度（公社）砂防学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤誠章, 中井真司, 小笠原洋
2. 発表標題 土石流・崩壊の発生に過去の土砂指導が与える影響について
3. 学会等名 令和3年度（公社）砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021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
---------	---------