

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 ( 共通 )

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 元 年 6 月 1 8 日現在

機関番号： 1 2 1 0 2

研究種目： 基盤研究(C) ( 一般 )

研究期間： 2016 ~ 2018

課題番号： 1 6 K 0 1 2 1 4

研究課題名 ( 和文 ) 高解像度DEMを用いた流路地形判読に基づく表層崩壊予測モデルの改良

研究課題名 ( 英文 ) Improving prediction models for shallow landslides based on channel-head mapping using LiDAR DEMs

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： 0 0 4 1 8 6 2 5

交付決定額 ( 研究期間全体 ) : ( 直接経費 ) 3,400,000 円

研究成果の概要 ( 和文 ) : 水路頭の位置が過去の崩壊履歴に対応するという仮説のもと、高解像度DEMによる水路網の判読、斜面安定度マッピング、放射性炭素年代測定を組みあわせて、崩壊発生予測手法の改善を試みた。対象地域に山口県防府市と広島県広島市安佐南区の2地域を選定した。分析の結果、広島市の調査地では、集水面積が大きい水路頭の崩壊発生率が高いことを示した。また、水路頭の移動量が大きい水路頭の堆積物は相対的に古い放射性炭素年代を示した。一方、防府市ではこの傾向が明瞭ではなく、相対的に古い放射性炭素年代を示す水路頭では、豪雨時による位置移動がほとんどなかった。このため仮説がそのまま適用できないケースがあることも示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

斜面崩壊位置の予測は土砂災害を予測するうえで非常に重要である。2018年西日本豪雨で多発した表層崩壊の場合、時間がたつにつれて崩壊リスクが高くなるという現象 ( 免疫性 ) が知られている。現在の崩壊予測では、過去の崩壊履歴を考慮に入れていないため、それらを考慮した予測手法の確立が必要である。本研究では、最近取得できるようになった高解像度の地図を利用し、微地形の分析を崩壊の予測に生かそうという試みである。研究の結果、予測手法が適用可能と思われるケースとそうでないケースの両方が確認された。今後、具体的な展開に向けてさらに検討が必要であることが明らかになった。

研究成果の概要 ( 英文 ) : Timing of the past-landslide events is essential for detecting slopes with higher potential for landsliding. This study proposes that location of channel heads will be an useful index for estimating timing of the past landslide events. We have examined landslide risk mapping, dates of colluvial deposits, channel-head migration in two granitic mountains (Hofu and Hiroshima-Asaminami) where debris-flow disaster occurred in recent years. In Hiroshima-Asaminami site, channel heads with large source areas have higher potential of landsliding. In addition, such deposits around channel heads have relatively older radiocarbon dates. These valley heads have been buried in longer distance (more than 50 m) along the old channel since the last landslide event. In contrast, similar relationship has not clearly been shown in Hofu site, although the number of dating samples is not enough. Further data will be required for application of the method for prediction of landslide locations.

研究分野： 地形学

キーワード： 地形学 微地形 土砂災害 花崗岩 斜面崩壊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

山地・丘陵地において発生する表層崩壊の主要な予測モデルとして、単純な地形量（集水面積・傾斜）に基づく物理モデルが普及しているが、その適用には限界がある。その理由の1つとして、一般的に「崩壊の免疫性」として知られている過去の崩壊履歴が考慮されていないことが挙げられる。すなわち同じような集水面積、傾斜を持つ谷頭斜面であっても、前回からの崩壊からの時間は場所によって異なっているため、同一地形条件でも崩れたり崩れなかったりするという状況が生じている。この問題の解決は容易ではないが、近年では航空レーザ測量に基づく高解像度 DEM が利用できるようになった。このため、以前は現地調査でしか判別できなかった谷頭周辺の微地形も高解像度 DEM により判読することができるようになった。一方で、1980 年代から 1990 年代にかけて、崩壊発生に伴い水路頭の位置が変動するという仮説が出されていた。この考え方はこれまで検証されていなかったようであり、新技術によって過去に提示された仮説について、検証することが可能になった。

## 2. 研究の目的

本研究では、水路頭の位置が過去の崩壊時期の指標となるという仮説を検証するとともに、流路の発達状態を考慮した崩壊発生予測モデルを再構築することを試みる。この仮説は、過去の崩壊時期からの時間が十分に経過すれば、水路の埋没が進み、水路頭の集水面積が大きくなるという概念モデルに基づいている。すなわち、水路頭の集水面積が大きい谷頭では、崩壊の危険度が高いということを意味している。本研究課題では、この仮説が成立するかどうかについて検証し、崩壊発生予測モデルの再構築を試みる。

## 3. 研究の方法

本研究課題に対して、高解像度 DEM による水路網の判読、斜面安定度マッピングの技術、水路頭堆積物の形成年代の3種類の情報を重ね合わせて分析することを試みた。研究対象地域として、山口県防府市、広島県広島市安佐南区を選定した。防府市では 2009 年に、広島市安佐南区では 2014 年に土石流災害が発生した。両地域とも花崗岩類を基盤としており、防府市には付近に花崗閃緑岩を基盤とする山塊、広島市安佐南区には堆積岩あるいは変成岩類を基盤とする山塊も隣接している。研究内容は以下の3つのサブテーマにより構成される：（サブテーマ1）崩壊予測分布図の作成、（サブテーマ2）豪雨に伴う水路頭の変動、（サブテーマ3）水路頭堆積物の年代測定。テーマ1について、各対象地域の崩壊斜面周辺において、土層物性を測定した。これに基づき斜面の力学的安定性を分析し、崩壊予測分布図を作成した。また、崩壊発生域の集水面積や傾斜などの地形条件を GIS により分析した。テーマ2について、各対象地域において、2016 年から 2017 年に現地調査を行い、崩壊後の水路頭の位置を特定した。また豪雨前の高解像度 DEM に基づき、豪雨前後の水路頭位置の変動を推定した。テーマ3について、各地域において、複数の水路頭やその周辺の堆積物を詳細に調査し、埋没土壌中の木炭片の放射性炭素年代を分析した。年代値に基づき、崩壊前に水路頭を埋めていた堆積物の形成年代を推定した。

## 4. 研究成果

テーマ1の崩壊危険度分布図の作成のために、防府市の花崗岩地域と花崗閃緑岩地域において、土壌物性の測定や崩壊条件の比較を行った。その結果、花崗岩地域では周辺の花崗閃緑岩地域に比べると、同一の傾斜条件に対して、崩壊に必要な集水面積が小さく、崩壊しやすい地盤条件であったことが明らかになった（Yamashita et al., 2017）。また、広島市安佐南区の花崗岩斜面やその周辺の崩壊地でせん断強度を測定した。その結果、近接する堆積岩斜面に比べてせん断強度が小さく、薄い土層でも崩壊しやすいことが明らかになった（吉原ほか, 2018）。また、斜面安定度分布図作成に必要な集水面積の計算手法の確立を試みる目的で、手作業のほか3種類の異なるアルゴリズムにより計算した集水面積を比較した。その結果、D-infinity 法による集水面積の計算が有効であることが明らかになった（田中ほか, 2017）。防府市の物性測定値や地形分析の結果に基づき、剣川流域の安定性分布図を作成した。得られた数値をそのまま利用すると、崩壊を引き起こす降雨強度の閾値が実際の値より小さくなるが、透水量係数を大きく設定することにより、問題が解消できることが示された（田中ほか, 2018）。

テーマ2の水路頭について、詳細な分析を行った結果、広島市安佐南区の調査地では豪雨前には集水面積 10000 平方メートル以上の水路頭が存在していたが、豪雨の際それらの水路頭の集水域内では崩壊が発生し、新たな水路頭が斜面上部に形成されたことにより、大集水域の水路頭が消失する傾向があった。また、豪雨に伴って形成された水路頭には集水面積と勾配に明瞭な負の相関関係がみられた。防府市の調査地では、豪雨に伴って形成された水路頭には集水面積と勾配に明瞭な負の相関関係がみられたものの、集水面積の大きな水路頭での崩壊発生率は比較的小さかった（八反地ほか, 2017）。

テーマ3の水路頭の堆積物年代について、各地域でそれぞれ3か所の水路頭において、埋没土壌中の木炭を分析した。その結果、防府市の年代値は 345-810 y BP、広島市安佐南区の水路頭付近の木炭の年代値は 670-1194 y BP の範囲にあることを明らかにした（八反地ほか, 2018, 2019）。防府市での年代値のばらつきは各1次谷の傾斜の違いに対応しており、それに伴う崩壊周期の違いに対応していると考えられる（八反地ほか, 2018）。また、広島市安佐南区のデータ

には、水路頭周辺の堆積物の年代が古くなるほど、1 次谷における水路頭の変動量が大きくなる傾向があり、崩壊周期と水路頭の移動に関係があることが示唆された（八反地ほか，2019）。

最後に、本研究課題で設定した仮説、すなわち水路頭位置が崩壊発生危険度の指標になりうるかどうかを検討した。広島市安佐南区では現時点で 3 事例のデータであり、数が限定されているものの、崩壊前の水路頭の位置が、崩壊危険度の指標にすることができる可能性がある（八反地ほか，2019）。すなわち、集水面積の大きい水路頭を含む 1 次谷流域は、相対的に崩壊危険度が高いという仮説が、広島市安佐南区の対象地域では成立する可能性がある。

しかし、防府市の対象流域の現時点の分析結果は、本研究課題の仮説とは整合しないようである。すなわち、防府市の調査地域内で最も古い年代（810 yBP）を示した 1 次谷流域（HF38）では、豪雨前後で水路頭の位置がほとんど変動しなかった。また、HF38 流域の崩壊前の水路頭の集水面積（約 1000 m<sup>2</sup>）は平均的な大きさであり、特別に集水面積が大きいというわけでもなかった。事例数が十分ではないものの、この事例は水路頭の位置のみを崩壊発生危険度の指標として扱うことの難しさを反映している。

一方、防府市の対象地域では、本研究の成果により、物理プロセスに基づく崩壊危険度分布図と水路頭周辺の堆積物の年代を比較することができた。前述の 1 次谷流域（HF38）について、崩壊危険度分布図上では、比較的危険度が低い小流域であった。すなわち、地形条件（集水面積・傾斜）に基づく危険度は相対的に低いものの、前回の崩壊あるいは侵食イベントから十分に時間が経過しており、斜面発達史的な視点では危険な領域であったとも考えられる。なお、HF38 流域には谷頭の複数の個所に 810 yBP 前後の年代を示す明瞭な埋没土壌の露出を確認でき、その上位に 1 m 程度の層厚をもつ崩壊土層の本体があったことから、はげ山化など何らかの人為的要因が低危険度斜面の崩壊発生に影響を与えたことも示唆される。

今後の課題として以下の点が挙げられる。（１）現時点では、水路頭堆積物の年代測定の事例数が十分ではなく、さらにデータを蓄積する必要がある。そのうえで水路頭位置の指標が有効であるかどうか、どのような地域に適用できるかについても検証する。また、（２）対象とする微地形を「水路頭」に限定せず、他の谷頭微地形に着目した危険度予測手法について、検討を進める必要がある。関連して、（３）はげ山化など過去の土地利用や植生変化の崩壊発生への影響の有無とその程度を評価する必要がある。

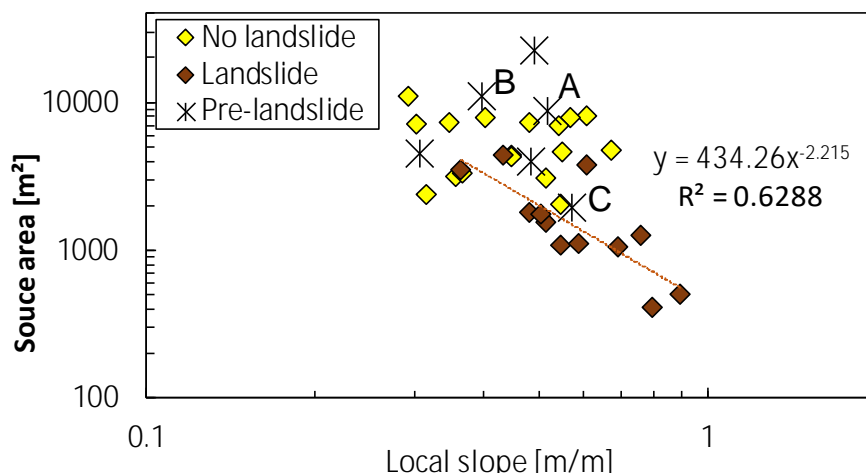


図 1 広島市安佐南区の花崗岩地域における水路頭の集水面積と傾斜の関係

（図 1 の補足説明）黄色と茶色はいずれも 2017 年現地調査で確認した水路頭であり、茶色は崩壊が発生した地点、黄色は崩壊が発生しなかった地点である。\* 印は崩壊が発生した 1 次谷について、崩壊前の水路頭の位置をプロットしたものである。水路頭 A、B は崩壊前の時点で、集水面積が大きな水路頭であり、埋没が進んでいたことを示す。一方水路頭 C は集水面積が小さく埋没が進んでいなかった。水路頭堆積物の年代は、C、B、A の順に古くなり、最も古い水路頭 A では 1100～1200 yBP の年代を示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

Hattanji, T., Matsushi, Y., Matsuzaki, H., Wasklewicz, T.A., 2019. The role of debris flow on total denudation in small basins of the Ashio Mountains, Japan, *Geomorphology*, 329, 129-137.

土志田正二 2018 平成 26 年 8 月 20 日広島豪雨における土砂災害現象について *安全工学*, 57, 22-27.

Yamashita, K., Hattanji, T., Tanaka, Y., Doshida, S., 2017. Topographic characteristics of rainfall-induced shallow landslides on granitic hillslopes: A case study in Hofu City, Yamaguchi Prefecture, Japan. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, 13, 23-29.

〔学会発表〕(計 12 件)

八反地剛・児玉龍也・古市剛久・土志田正二・田中 靖, 2019. 表層崩壊にともなう水路頭の移動と1次谷流域堆積物の年代の関係 - 広島県広島市安佐南区の花崗岩流域の事例 - .日本地理学会 2019 年春季学術大会, 2019 .

Hattanji, T., Kodama, R., Furuichi, T., Doshida, S., Tanaka, Y., 2019. Colluvial deposits in first-order streams and channel head migration by shallow landslides: Case study in granitic basins, Asaminami, Hiroshima, Japan. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 .

吉原直志・八反地剛・田中靖・土志田正二・古市剛久, 2018. 付加体堆積岩山地における表層崩壊の発生条件 2014 年広島豪雨の事例 . 日本地球惑星科学連合 2018 年大会 .

土志田正二・新井場公德, 2018. 平成 29 年 7 月九州北部豪雨日田市小野地区の崩壊における UAV 空撮を用いた数値地形解析. 第 57 回日本地すべり学会研究発表会 .

八反地剛・古市剛久・河野孝俊・土志田正二・田中 靖, 2018. 山口県防府市剣川流域における谷頭凹地・1 次谷流域堆積物の年代測定. 日本地形学連合 2018 年秋季大会 .

田中 靖・八反地 剛・山下久美子・古市剛久・土志田正二, 2018. SHALSTAB と 1 m-DEM による表層崩壊予測地図の検証: 山口県防府市剣川流域での事例. 日本地形学連合 2018 年秋季大会 .

土志田正二・新井場公德・清水幸平, 2018. 斜面災害現場における二次崩壊発生危険箇所の地形的アプローチ-北海道胆振東部地震の技術支援を踏まえて-. 日本地形学連合 2018 年秋季大会 .

八反地 剛・児玉龍哉・高橋大地・土志田正二・田中 靖・古市剛久, 2017. 表層崩壊が水路頭の移動に及ぼす影響 広島県広島市および山口県防府市の事例 . JpGU-AGU Joint Meeting 2017 .

田中 靖・八反地 剛・児玉龍哉・土志田正二, 2017. 一般的な流域処理アルゴリズムと高解像度 DEM を用いた上流域面積計測の精度. 日本地形学連合 2017 年秋季大会 .

Doshida, S., 2017. Evaluation of secondary slope failure susceptibility using detailed topographic data. The 4th Slope Tectonics Conference.

土志田正二・新井場公德, 2016. 平成 26 年 8 月広島豪雨により発生した二次崩壊現象の解明. 平成 28 年度砂防学会研究発表会 .

澤村朱美・八反地 剛, 2016. 花崗岩類を基盤とする山地源流域における流路発生条件 - 茨城県多賀山地の事例 - , 日本地形学連合 2016 年秋季大会 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://chikei-tsukuba.blogspot.com/2013/04/hattanji-tsuyoshi.html>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 土志田 正二

ローマ字氏名: Shoji DOSHIDA

所属研究機関名: 総務省消防庁消防大学校(消防研究センター)

部局名: 技術研究部地震等災害研究室

職名: 主任研究官

研究者番号(8桁): 20526909

研究分担者氏名: 田中 靖

ローマ字氏名: Yasushi TANAKA

所属研究機関名: 駒澤大学

部局名: 文学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 80348888

(2)研究協力者

研究協力者氏名：古市剛久

ローマ字氏名：Takahisa FURUICHI

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。