

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780141

研究課題名(和文)大規模崩壊地からの土砂生産過程の解明と生産量の推定

研究課題名(英文)Sediment supply processes from large-scale landslides

研究代表者

今泉 文寿 (Imaizumi, Fumitoshi)

静岡大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80378918

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)：大規模崩壊地はその形成後も、岩盤の風化や拡大崩壊により長期間土砂を生産し続け、流域の中での主要な土砂供給源となる。そこで大規模崩壊地を対象に、土砂生産のタイミングと土砂生産量の空間分布を、現地調査やGIS(地理情報システム)による解析によって調べた。その結果、大規模崩壊地からの土砂生産は、風化等の定常的な現象や、崩壊地内の二次的な拡大崩壊のような突発的な現象を含む、複数の現象からなることを明らかにした。また、それらの現象には、地層構造が大きく関係していることを明らかにした。「岩盤平行後退モデル」および「多層構造を有する斜面における斜面安定モデル」により、土砂生産プロセスの説明を行った。

研究成果の概要(英文)：Large scale landslides continuously supply sediment after their initial failure. In this study, we investigated timing and volume of sediment supply by field surveys and GIS (Geographic Information System) analyses. Sediment supply from hillslopes were composed of multiple sediment supply processes, including chronic weathering of the bedrock and episodic slope failure expanding the landslide. Spatial activities of these processes were highly affected by the geological structure in the landslide. We successfully explained sediment supply processes by "parallel retreat model" and "slope stability model for the slopes with multi-layer geological structure."

研究分野：砂防工学

キーワード：大規模崩壊地 土砂生産 凍結融解 崩壊 レーザー測量 砂泥互層

1. 研究開始当初の背景

大規模崩壊地はその形成時に大規模な土砂災害を引き起こすだけでなく、形成後も岩盤の風化作用や拡大崩壊により継続的に土砂を生産し続ける。このためいちど大規模崩壊地が形成されると、数10年～数100年という長期間にわたる流域内での主要な土砂供給源となる場合がある。

代表者は従前より、大規模崩壊地内の渓流で発生する土石流に関する研究を行ってきており、特に土石流の発生・発達過程について大きな成果を残してきた。山腹、岩盤での土砂生産は、渓流で土石流の発生場を形成する重要な要因であると同時に、モデルを適用する上での境界条件となる。そのため土石流の発生予測、規模予測の精度向上のためには崩壊形成時のみならず形成後の土砂生産量に関する評価手法が必要である。しかしながら大規模崩壊地に関する既往の研究の多くは、その形成に及ぼす地質・地形要因、および降雨や地震等の形成の誘因の検討に関するものが多く、形成後の土砂生産過程については未解明のままであった。このことが大規模崩壊地における土石流研究のボトルネックとなっていた。大規模崩壊地形成後の土砂生産量を把握しなければ、適切な土石流の発生・規模予測はできず、土砂災害に対する有効な対策ができない。土砂災害に関する研究のみならず、大規模崩壊が発生した地域において、将来的な流域の土砂動態や河川地形の変化、河川生態系の推移を予測するためにも、崩壊地形成後の土砂生産量の把握は不可欠である。しかし現状では未解明な部分が多いため、それが砂防工学、地形学、生態学等にわたる関連研究の進展の妨げとなっていた。

2. 研究の目的

本研究では、大規模崩壊地の発生するリスクが特に高い破砕帯堆積岩地域における崩壊地からの土砂生産過程の解明、および生産量の推定を目的とする。ここでの「土砂生産」とは、崩壊地の形成によってむき出しになった岩盤斜面の風化・侵食現象を指す。生産された土砂が渓流において土石流、掃流砂として二次的に移動する現象は本研究の対象外とする。具体的には以下のとおりである。

(1) 調査・解析による大規模崩壊地内での土砂生産の実態把握

大規模崩壊地内の不安定な斜面を対象として定期測量を行い、加えて大規模崩壊地において過去に得られた測量成果を解析することで、大規模崩壊地内部における土砂生産量の空間分布を求める。そして土砂生産のタイミングの違い、さらには地形変化の様子をもとに土砂生産のタイプ(崩壊、凍結融解等)を特定する。

(2) 土砂生産量の空間分布に影響を及ぼす要因の特定

上記の測量箇所を対象とし、詳細な地質図の作成や空中写真解析による長期的な地形変

化の調査を行う。また現地では地表面温度や降水量の観測をあわせて行う。これらと現地測量によって得られる土砂生産量の空間分布、さらにはその時系列的な変化を対比させることで、土砂生産量の多寡や土砂生産のタイプに影響を及ぼす地質・地形・気象要因の特定を行う。

(3) 既往の土砂生産モデルの大規模崩壊地への適用

上記の結果明らかになる土砂生産のタイプごとにモデルを適用し、大規模崩壊地からの土砂生産の説明を試みる。既往のモデルは大規模崩壊地を対象とした適用事例がほとんどないため、この点は本研究の独創性のひとつである。

3. 研究の方法

(1) 地形計測

南アルプスに位置する我が国国有数の大規模崩壊地、赤崩(図1)および大谷崩において、地上型レーザーキャナにより崩壊地内部の地形計測を行う。測量は年2回程度とし、前後の測量結果の標高の差分から生産土砂量を推定する。また、過去に行われた航空レーザー測量の結果を活用し、より長期間(過去10年程度)の土砂生産量についての解析も行う。



図1 赤崩の源頭部の様子

(2) 温度観測、地質図作成

大谷崩、赤崩ともに自記式温度計による岩盤の地表面温度の観測、および転倒マス型雨量計による雨量観測を行う。加えて、文献調査や現地踏査にもとづき、計測対象地の詳細な地質図を作成する。

(3) 空中写真の解析

赤崩、大谷崩では1948年以降5年に一度程度の頻度で空中写真が撮影されている。これを写真処理ソフトによって解析することで過去の地形を再現し、長期的な崩壊地内の地形変化を明らかにする。

(4) モデルの適用

大谷崩、赤崩を対象とし、土砂生産のタイプごとに土砂生産モデルを適用する。定常的な土砂生産については、岩盤平行後退モデルを適用し、土砂生産に伴う岩盤の後退過程の説明を試みる。また、突発的に起こる二次的な

斜面崩壊については、多層構造を有する斜面における斜面安定モデルによりその特徴を説明する。

4. 研究成果

(1) 地形計測

赤崩および大谷崩における地上型レーザースカナによる現地計測、および過去に行われた航空レーザー測量による計測結果を解析したところ、大規模崩壊地からの土砂生産は複数の現象により複合的になされていることが明らかになった。代表的な土砂生産として、岩盤の風化等による面的で比較的浅い侵食（平均侵食深 30 mm/yr 以下程度）、および大規模崩壊地内で二次的に発生する崩壊現象（1 イベントによる侵食深 5 m 以上）があげられる。前者は毎年おきる定常的な土砂生産現象であり、また後者は局所的、突発的におきる土砂生産現象である。また鉛直方向の侵食深は地質構造、および地形の影響を強く受けていることが明らかになった。面的で浅い土砂生産現象は、砂岩で構成された急崖において鉛直方向の侵食量が大きく、また泥質岩で構成された比較的なだらかな斜面において鉛直方向の侵食深が小さかった（図 2；Imaizumi et al., 2015）。

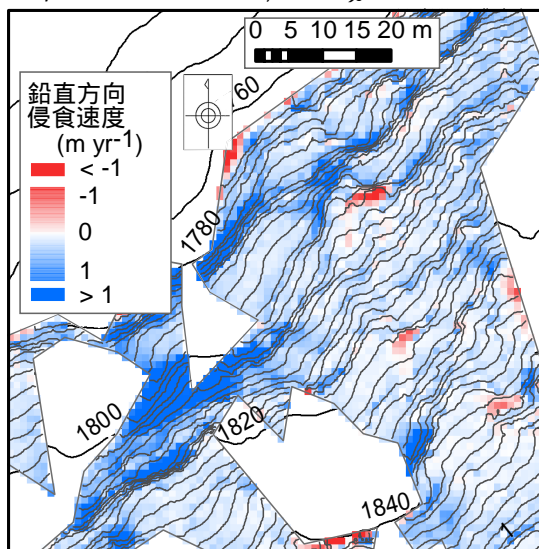


図 2 赤崩内部における岩盤の鉛直方向の侵食速度（2007 年～2011 年、侵食速度の高い部分は主に砂岩、低い部分は主に泥質岩）

(2) 温度観測，地質図作成

現地観測の結果、赤崩・大谷崩では岩盤表面の温度が冬季～春先にかけて 0 を頻繁に上下していることがわかった。定期的な測量によってこの時期に大量の土砂生産が確認されたため、冬季の岩盤中の水分の凍結融解作用に伴う風化が両崩壊地の土砂生産、特に定常的な土砂生産に大きく関与していることが示唆された（今泉ら，2012）。また、両崩壊地の中の地質を調べたところ、一つの崩壊地の内部であっても複雑な地質構造をしており、層ごとに岩質、節理の密度、褶曲等が異なっていることが明らかになった。

(3) 空中写真の解析

空中写真から再現された地形の解析により長期的な地形変化を調べたところ、ガリー（地表流の侵食によって形成される V 字状の地形）周辺部において特に侵食量が大きいことがわかった。このことから、斜面からの土砂生産量は、ガリーによる下刻作用の影響を受けることが明らかになった。

(4) モデルの適用

定常的な現象と突発的な現象それぞれを対象に、モデルによる説明を試みた。

定常的な土砂移動現象に対しては、岩盤の平行後退モデルを適用した。このモデルは、岩盤の侵食速度を従来のように鉛直方向に沿って評価（図 2）するのではなく、地層の傾斜方向に評価するものである（図 3）。これにより、地層構造が侵食量や地形発達に及ぼす影響が可能となる。その結果、赤崩の定常的な土砂生産による侵食速度は、地層方向にみると空間的にほぼ一様であることがわかった（図 3；Imaizumi et al., 2015）。つまり、地形を維持したまま、地層方向に地表面が後退していることになる。岩石の性質そのものに着目すると、砂岩は泥質岩と比較して風化に対する抵抗力が一般的に高いが、砂岩の分布域は傾斜が急峻であることから地形的には土砂生産をおこしやすいといえる。この 2 つの因子が重なり、結果的に砂岩と頁岩の侵食速度が同じとなったと考えられる。

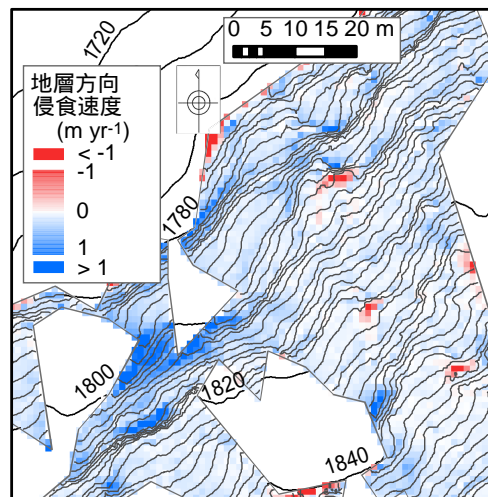


図 3 赤崩内部における岩盤の地層方向の侵食速度（2007 年～2011 年、図 2 と比較して侵食速度の空間的な差異が少ない）

突発的な土砂生産現象については、多層構造を有する斜面における斜面安定モデルを導き出し、崩壊の説明を試みた（今泉・宮本，2013，Imaizumi and Miyamoto, 2014）。モデルにおいて多層構造を想定した理由は、大規模崩壊地が性質の異なる地層が重なる地域に多く発生するからであり、赤崩や大谷崩もそのような地域に位置する。本研究によりモデルを検討した結果、地層の間で透水性が大

大きく異なる場合、斜面内に大きな間隙水圧が発生し、崩壊の発生につながることをあらかじめにした。室内実験において、透水性の異なる地層に水を浸透させて間隙水圧の分布を計測したところ、本モデルによる推定値とほぼ同様となり、本モデルの有効性を裏付けることができた (Imaizumi et al., 2013)。

<引用文献>

- 今泉文寿・西井稜子・村上 亘・宮前 崇・小川泰浩・大丸裕武(2012) 気象要素が大規模崩壊地における土砂生産へ及ぼす影響, 平成 24 年度砂防学会研究発表会
- 今泉文寿・宮本邦明(2013)多層構造を有する地層を鉛直浸透する場での間隙水圧と有効応力の分布, Vol. 65, No. 5, p.3-10
- Imaizumi, F., Miyamoto, K., Matsumura, Y. (2013) Experimental Study of Pore Water Pressure in Multi-layer Soil Structure, In Proceedings of 4th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, 141-146
- Imaizumi, F., Nishii, R., Murakami, W., Daimaru, H. (2015) Parallel retreat of rock slopes underlain by alternation of strata, *Geomorphology*, 238, 27 - 36 , DOI:10.1016/j.geomorph.2015.02.03

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

- 宥免憲樹・経隆 悠・今泉文寿・土屋智・逢坂興宏 (2015) インターバルカメラを用いて撮影した大谷崩「一の沢」における砂礫型土石流, 中部森林研究, 63, p. 137-140, 査読有
- Imaizumi, F., Nishii, R., Murakami, W., Daimaru, H. (2015) Parallel retreat of rock slopes underlain by alternation of strata, *Geomorphology*, 238, p. 27-36, DOI:10.1016/j.geomorph.2015.02.03, 査読有
- Imaizumi, F., Sidle, R. C., Togari-Ohta, A., Shimamura, M. (2015) Temporal and spatial variation of infilling processes in a landslide scar in a steep mountainous region, Japan, *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, p. 642-653, DOI: 10.1002/esp.3659, 査読有
- 今泉文寿・外狩麻子(2014) 山岳斜面における土砂移動の現地観測, 中部森林研究, 62, p. 77-80, 査読有
- Imaizumi, F., Miyamoto, K. (2014) Pore water pressure in two-dimensional slopes with multi-layer soil structure, In Proceedings of 5th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, p. 9-17, 査読有

今泉文寿・宮本邦明(2013)多層構造を有する地層を鉛直浸透する場での間隙水圧と有効応力の分布, Vol. 65, No. 5, p.3-10, 査読有

Miyamoto, K., Imaizumi, F. (2013) A theoretical explanation of triggering condition of deep-seated landslide, Proceedings of 3rd International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, p. A-5,1-8, 査読有

松岡憲知・今泉文寿・西井稜子(2013) 南アルプスにおける地形変動と土砂収支-最近の研究動向と展望-, 地学雑誌, 122, p. 591-614, 査読有

Imaizumi, F., Miyamoto, K., Matsumura, Y. (2013) Experimental Study of Pore Water Pressure in Multi-layer Soil Structure, In Proceedings of 4th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, p. 141-146, 査読有

Hotta, N., Kubo, T., Imaizumi, F., Miyamoto, K., Lee, S.P., Tsai, Y.L., and Shieh, C.L. (2013) Influence of past landslides and resulting sedimentation in a sediment disaster at Shao-ling village, Taiwan, during Typhoon Morakot, 2009, In Proceedings of 4th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, p. 117-124, 査読有

今泉文寿・Roy C. Sidle・外狩麻子・島村誠 (2013) 崩壊地周辺におけるソイルクリープの長期観測, 地形, Vol.34, 129-141, 査読有

[学会発表](計 18 件)

- Imaizumi, F., Hayakawa, Y.S., Hotta, N., Tsunetaka, H., Tsuchiya, S., Ohsaka, O. (2015) Interactions between accumulation conditions of sediment storage and debris flow characteristics in a debris-flow initiation zone in Ohya landslide, Japan, EGU General Assembly 2015, 2015/4/12 ~ 4/17, Austria Centre Vienna (Vienna, Austria)
- Tsunetaka, H., Hotta, N., Imaizumi, F., Hayakawa, Y. S., Yumen, N. (2015) Interaction between riverbed condition and characteristics of debris flow in Ichino-sawa subwatershed of Ohya-kuzure landslide, Japan, EGU General Assembly 2015, 2015/4/12 ~ 4/17, Austria Centre Vienna (Vienna, Austria)
- Imaizumi, F., Tsuchiya, S., Ohsaka, O. (2014) Field observations of debris-flow initiation processes on sediment deposits in a deep-seated landslide, In Proceedings of the 2014 International Debris-Flow Workshop, 2014/10/2 ~ 10/3, National Cheng Kung University (Tainan, Taiwan)

Imaizumi, F. (2014) Monitoring of deep-seated landslides in Southern Japanese Alps, 2014 International Workshop on Large-scale Landslide, 2014/10/1, National Cheng Kung University (Tainan, Taiwan) 招待講演

西井稜子・今泉文寿(2014) 南アルプスにおける過去 40 年の大規模崩壊の発生状況と土砂生産, 日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会, 2014/4/28 ~ 5/2, パシフィコ横浜 (横浜市)

Imaizumi, F., Miyamoto, K. (2014) Pore water pressure in slopes composed of multi-layer geological structure, 日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会, 2014/4/28 ~ 5/2, パシフィコ横浜 (横浜市)

八木浩司・佐藤剛・今泉文寿・林一成 (2014) 重力性山体変形現象の発生時間スケールと地震-静岡県口坂本地すべり上部~山伏にかけての稜線での掘削調査-, 日本地理学会 2014 年春季学術大会, 2014/3/27 ~ 3/30, 国土館大学 (東京都世田谷区)

Hayakawa, Y.S., Imaizumi, F., Hotta, N., Tsunetaka, H. (2013) Time-series analysis on bed morphology affected by debris flows along a headwater steep channel in Ohya-kuzure landslide, central Japan. American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, 2013/12/9 ~ 12/13, Moscone Centre (San Francisco, USA).

木村克己・今泉文寿・西井稜子・大八木規夫・井口 隆・池田 宏 (2013) 大井川上流域の「赤崩」の付加体地質学, 日本地質学会学術大会, 2013/9/14 ~ 9/16, 東北大学 (仙台市)

Hayakawa, Y. S., Imaizumi, F., Hotta, N., Tsunetaka, H. (2013) High-resolution morphological analysis of debris-flow affected channel bed in Ohya-kuzure landslide, central Japan, IGU 2013 Kyoto Regional Conference, 2013/8/4 ~ 8/9, Kyoto International Conference Centre (Kyoto)

今泉文寿・伊藤 広・土屋 智・逢坂興宏 (2013) 砂礫堆積面における表面流出と砂礫の流動化, 平成 25 年度砂防学会研究発表会, 2013/5/29 ~ 5/31, 静岡市民文化会館 (静岡市)

経隆 悠・堀田紀文・今泉文寿・早川裕弐・伊藤 広・土屋 智 (2013) 大規模崩壊地における土石流の流下と微地形条件の相互作用, 平成 25 年度砂防学会研究発表会, 2013/5/29 ~ 5/31, 静岡市民文化会館 (静岡市)

今泉文寿・西井稜子・村上 亘・小川泰浩・宮前 崇・大丸裕武 (2013) 大規模崩壊地内部での地質構造が土砂生産量, 地形へ及ぼす影響, 日本地球惑星科学連合 2013 年

度連合大会, 2013/5/19 ~ 5/23, 幕張メッセ (千葉市)

Hayakawa, Y., Imaizumi, F., Hotta, N., Tsunetaka, H. (2013) Temporal changes in erosion rates and patterns in Ichinosawa subwatershed of Ohya-kuzure landslide, central Japan, 日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会, 2013/5/19 ~ 5/23, 幕張メッセ (千葉市)

石川怜志・堀田紀文・今泉文寿・岩田知之・土屋 智 (2012) 溪流源頭部の微地形条件が土石流の発生・流動過程に与える影響, 平成 24 年度砂防学会研究発表会, 2012/5/23 ~ 5/25, 高知県立県民文化ホール (高知市)

今泉文寿・西井稜子・村上 亘・宮前 崇・小川泰浩・大丸裕武 (2012) 気象要素が大規模崩壊地における土砂生産へ及ぼす影響, 平成 24 年度砂防学会研究発表会, 2012/5/23 ~ 5/25, 高知県立県民文化ホール (高知市)

西井 稜子・今泉文寿・村上 亘・大丸裕武・宮前 崇・小川泰浩 (2012) 山岳地における大規模崩壊地の削剥速度, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 2012/5/20 ~ 5/25, 幕張メッセ (千葉市)

Nishii, R., Imaizumi, F., Murakami, W., Daimaru, H., Miyamae, T., Ogawa, Y. (2012) LiDAR monitoring of retrogressive processes on the steep rockslope of a large landslide in the Japanese Alps, EGU General Assembly 2012, 2012/4/22 ~ 4/27, Austria Center Vienna (Vienna, Austria)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今泉 文寿 (IMAIZUMI, Fumitoshi)

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号: 80378918