

河川砂防技術研究開発

【成果概要】

		氏 名（ふりがな）	所 属	役 職	
①研究代表者		今泉文寿 (いまいずみふみとし)	静岡大学	准教授	
②技術研究 開発テーマ	名称	大規模土石流発生流域における土石流監視体制および対策の高度化			
③研究経費（単位：万円）		平成29年度	平成30年度	平成31年度	総 合 計
※端数切り捨て。		180万円	171万円	147万円	499万円
④研究者氏名		（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏 名		所属機関・役職（※平成31年3月31日現在）			
池田敦		筑波大学・准教授			
逢坂興宏		静岡大学・准教授			
柏原佳明		アジア航測株式会社・課長			
⑤ 研究の目的・目標					
（目的） 土石流の発生タイミングおよび規模は、降水量と共に流域内での生産土砂量や不安定土砂の貯留量の影響を受けるとされるが、未解明な部分が多い。そのため、既往の土石流に対する警戒基準は降水量のみに基づき設定されることが多く、土砂の生産量や貯留量を考慮した警戒基準の設定はほとんど行われていない。また土石流の規模の予測が適切に行えていないことが、土石流扇状地での効率的な除石の妨げとなっている。そこで本研究ではこれまでの調査結果のアーカイブおよび新たな現地観測により、山腹からの土砂の生産量や貯留量と土石流の発生条件および規模の関係性を明確化する。それをもとに土石流監視体制のおよび扇状地での除石対策の高度化を検討する。 （目標） 大規模崩壊地「大沢崩れ」を抱え、土砂量10万 m³を超える大規模土石流、および地域特有の現象であるスラッシュ雪崩がたびたび発生する富士山大沢川流域において、過去の測量結果や土石流（スラッシュ雪崩を含む）発生履歴のアーカイブ（平成29年度）と新たな現地観測（平成29～31年度）により、土砂生産量・貯留量と土石流の発生条件・流出土砂量との関係性を明確化し（平成30年度）、土石流監視体制および土石流規模の予測手法を検討する（平成31年度）。					

⑥研究成果

1. 土石流材料の貯留量の把握 1. 1 土砂生産・貯留量の経年変化の把握

富士山大沢崩れ（大沢川）において行われた11年間（2008～2019年）の航空測量の成果を解析することで、大沢崩れ内での土砂生産のタイプやタイミングの把握を行った（図1）。その結果、土砂生産のタイプは玄武岩質溶岩層の崩落と、スコリア層や崖錐でおきる面的な侵食の2つに分けられることがわかった（図2）。溶岩層の崩落のタイミング、規模は溶岩層の層厚と関係をし、溶岩層が薄いエリアでは毎年のように小規模な崩落を繰り返す傾向があり、溶岩層が厚いエリアでは突発的に大規模な崩落が発生することがわかった。この突発的な崩落が多く発生する年には大沢崩れの生産土砂量が多い傾向がみられる。また大沢崩れ内における不安定土砂の貯留量は、土砂生産や土石流による土砂流出の影響を受けて経年的に変化しており、大沢崩れ内の低標高帯において特に経時的な変動が明確であることがわかった。

1. 2 季節的な地形変化の把握

2010年10月2日から2011年11月23日にかけて計4回行われた高頻度の航空レーザー測量結果の解析、および2016年10月4日～2019年9月25日までに計7回行われた航空レーザー測量、UAVレーザー測量、UAV写真測量の成果を解析することで、土砂生産の季節的な変化を調べた。その結果、面的な侵食、崩落ともに、夏季の降雨期と冬季～春季にかけての凍結融解期の両時期におきていることが明らかになった。また、溶岩層の崩落に続きその斜面上方のスコリア層の侵食が進行する様子が確認された（図3）。スコリア層の侵食が進行するとさらにその斜面上方の溶岩層の崩落を誘発する可能性があるため、大沢崩れでは溶岩層とスコリア層の互層構造が土砂生産に深くかかわっているといえる。

1. 3 土砂生産プロセスの現地観測

面的な侵食が確認されるエリアにおいてタイムラプスカメラを設置し、土砂生産プロセスの現地観測を行った。その結果、夏季の降雨時にはソイルクリープや地表流による侵食により土砂がまとまって移動しているほか、落石に

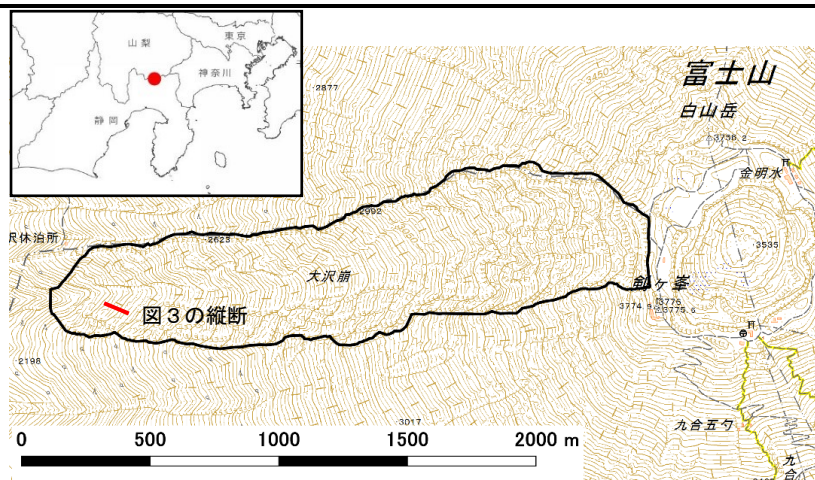


図1 大沢崩れ（源頭部）の位置および地形図

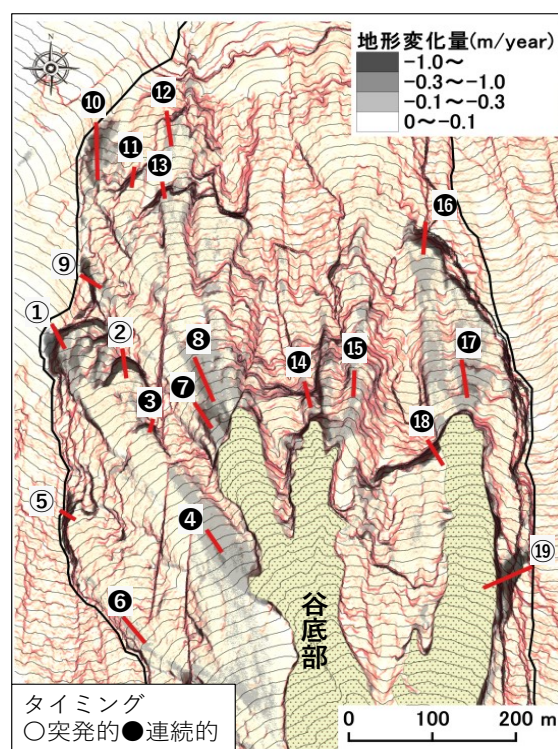


図2 大沢崩れ内斜面の地形変化量（2008～2016年）

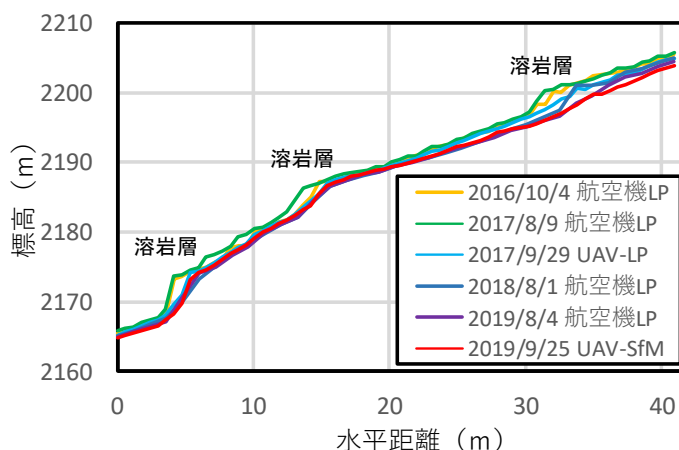


図3 大沢崩れ内の縦断地形の経時変化（2008～2016年）

はソイルクリープや地表流による侵食により土砂がまとまって移動しているほか、落石に

よって砂礫が個別に移動している様子も確認された。また、冬季には凍結融解等によりソイルクリープや落石が確認された。つまり、複数のプロセスが土砂生産に関わっているのが大沢崩れの特徴である。

また、土砂生産や土石流の発生に影響を及ぼすとされる地盤の凍結期間を把握するため、標高2900m～3700mまでの標高帯において、標高約100mおきに地表面、および深さ0.5mの地温を観測した。その結果、凍結期間は標高によって異なり、標高3500mまでは標高が高くなるにつれて凍結期間が長くなる傾向がみられることがわかった（図4）。2800m地点ではおよそ11月～4月、3500m地点においてはおよそ10月～6月の期間で季節凍土がみられた。

土石流発生域に位置する標高3200mにおいて、地表面から深さ2mまでの11深度において地温を観測し、深さ方向での凍結期間をしらべた。その結果、10月に地表面においてまず凍土が形成され、冬にかけて深さ方向へ凍結が進行していくこと、5月～6月には地表面から地下に向けた熱伝導、および降雨によってもたらされた水の浸透によって融解が進むことが明らかになった。

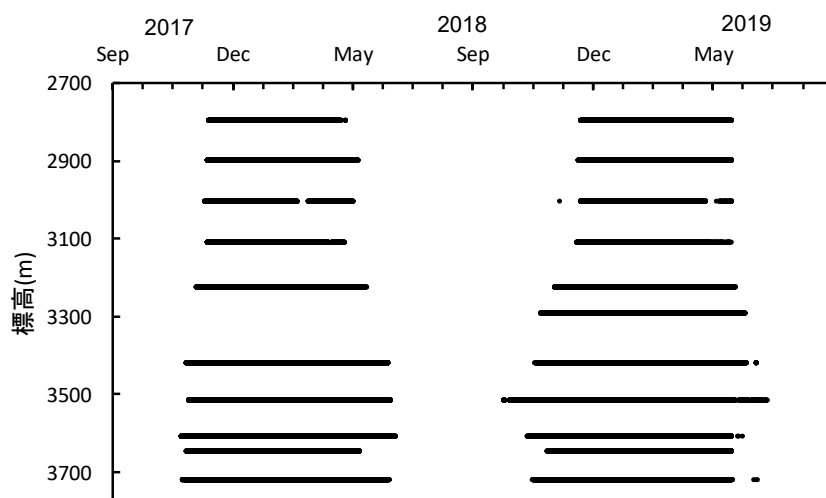


図4 深度0.5mにおける標高別の凍土形成期間

2. 土石流の監視体制の高度化

2. 1 過去の土石流の発生履歴のアーカイブ

富士砂防事務所により御中道観測所（大沢崩れ右岸、標高2350 m）において1971年から2014年までの43年間の期間に観測された雨量、および土石流（土砂流を含む）をアーカイブすることで、大沢崩れにおける土石流の発生条件（時間雨量、連続雨量）について検討した。発生条件は、予測的中率を表す指標であるスレツスコアにより求めた。既往の研究（例えば花岡ら、2007）と同様に、5～6月および11月～12月の地盤が凍結する時期において土石流発生条件の雨量（連続雨量、最大時間雨量）が低く、地盤がほとんど凍結しない7月～10月の時期には発生条件の雨量が高い結果となった。この傾向は既往の研究と同様の傾向である。その一方で、月による発生条件の区分を行った場合、凍土の形成開始期（10月）や消失期（6月後半）に、発生条件を適切に表していないと考えられる時期がみられた。そのため、月による条件の設定ではなく、地盤の凍結の有無に基づいた設定のほうが、より適切に土石流の発生を予測できると考えられる。

2. 2 土砂貯留量を考慮した発生条件の検討

土石流の監視体制の高度化には、流域内の不安定土砂量と土石流が発生するために必要な降雨との関係性を得る必要がある。また前節で示したように、凍土層の形成の有無の影響を受けて土石流の発生条件が季節的に変化する。そこで、土石流発生域における地盤の凍結の有無を推定したうえで、不安定土砂量を考慮した土石流の発生条件を検討した。

まず本研究では、AMeDAS富士山（山頂）、あるいはAMeDAS富士の気温の観測値と土石流発生域（標高3200m）における観測値を対比させることで、気温の観測値をもとに発生域の地表面温度を推定する手法を検討した。そのうえで、推定された地表面温度から積算寒度、積算暖度を算出し、それをもとに地盤の凍結深、融解深を推定した。その結果、0.25～1mの深度においては、土石流の発生に影響を及ぼすと考えられる季節凍土の形成期間（各深度の黒線の期間）を本手法によってほぼ推定で

きることがわかった（図5）。それよりも下層については推定結果と観測結果が一致しなかったが、観測された深い層の凍結期間は深さ1m付近よりも短いため、本手法によって1m深までの凍結期間を推定することで、凍結を考慮した土石流の発生条件を検討することが可能であると考えられる。

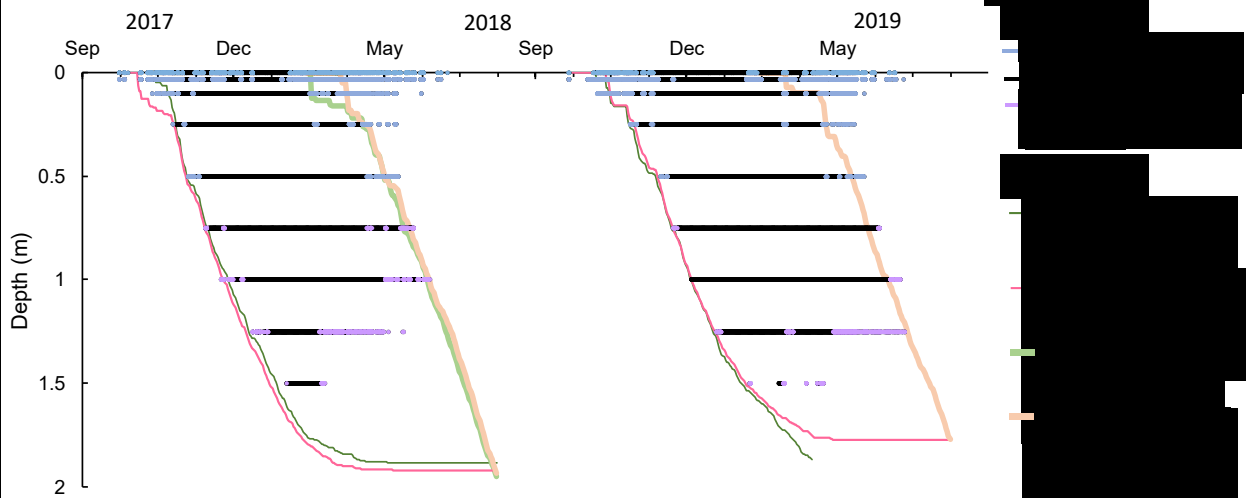


図5 標高 3200m 地点における深度ごとの凍結期間観測結果と気温をもとにした推定結果

上記の手法によって推定した地盤の凍結の有無、さらには不安定土砂の堆積土砂量の大小を踏まえた土石流の発生条件を、スレットスコアを用いて求めた(図6)。降雨指標としては短期の指標に最大時間雨量を、長期の指標に連続雨量を用いた。堆積土砂量の大小を分ける閾値を35万 m^3 としたが、これは両者のあいだで土石流の発生数が同様になるように設定したものである。また、図中にはスラッシュ雪崩も含めてプロットしている。その結果、凍結期には堆積土砂量に関わらず最大時間雨量20mm程度、連続雨量120mm程度で発生条件が求められた。時間雨量20mmは、南坂・岩田(1989)が求めた凍結スコリア層の透水係数(22 mmh^{-1})とほぼ一致する。堆積土砂量の影響がない原因として、凍結期は降雨が堆積物中にほと

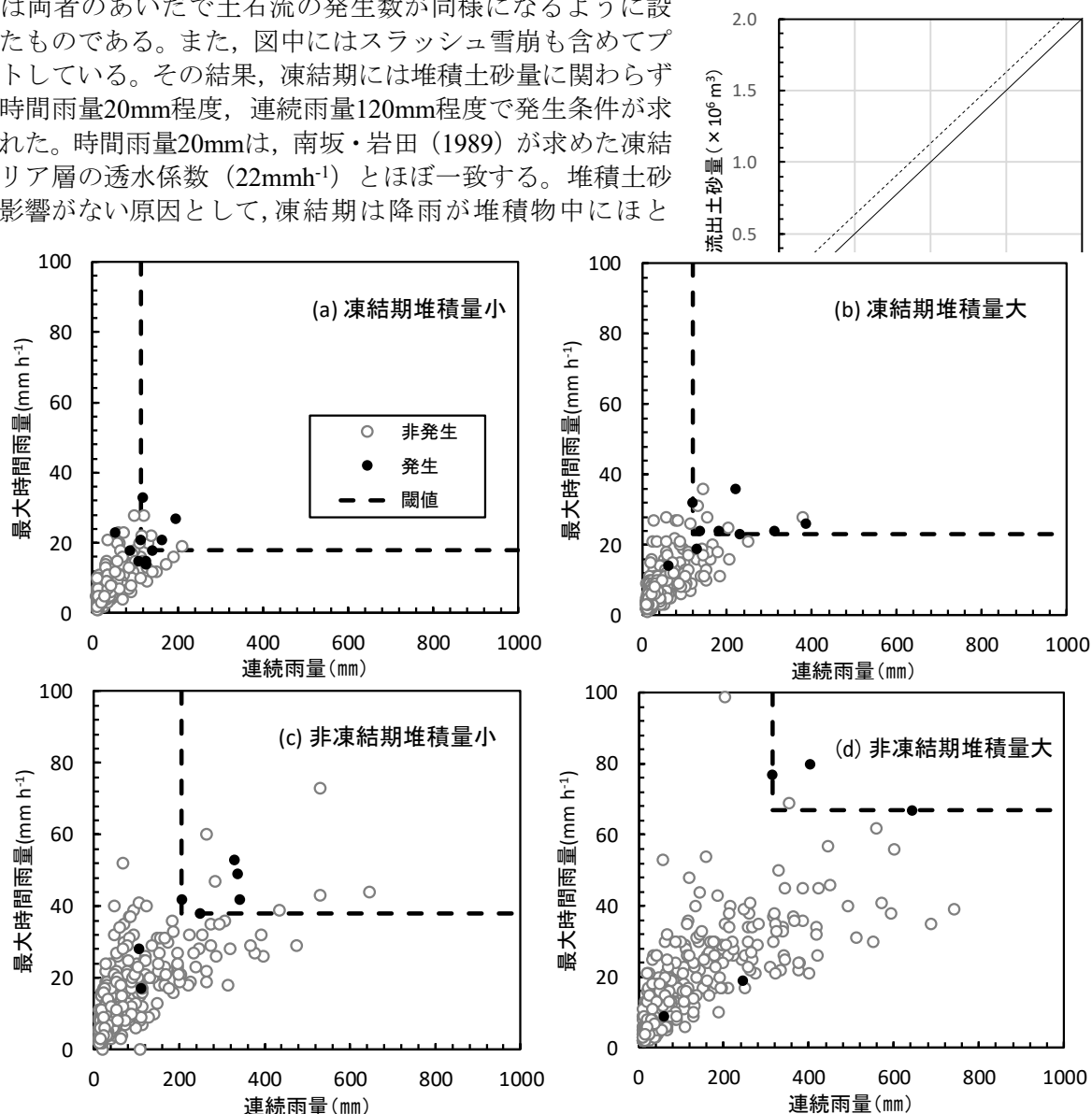


図6 凍土形成の有無および堆積土砂量の大小による土石流発生条件の違い(破線は発生条件)

んど浸透せずに土石流が発生しているためだと考えられる。観測されたスラッシュ雪崩はすべてこの推定凍結期の期間に発生していた。一方、非凍結期には土石流の発生に多くの降雨を必要とし、また堆積土砂量による発生条件の違いが確認された。堆積土砂量が多いときに最大時間雨量67mm、連続雨量314mm、堆積土砂量が少ないときに最大時間雨量38mm、連続雨量206mmであった。堆積土砂量が多い場合に大量の降雨を必要とする原因として、堆積量が多い場合は不安定土砂の飽和度の上昇がおきづらいことが考えられる。

2. 3 新たな監視体制の検討

以上より、発生域における地盤の凍結の有無により土石流の発生条件が変化し、さらには地盤の非凍結時には不安定土砂の堆積量が土石流の発生条件に影響することが明らかとなった。そのため、気温等の観測に基づいた発生域における地盤の凍結期間の推定と、定期的な航空レーザー測量による堆積土砂量の把握等の新たな監視体制を行うことで、今後土石流の予測精度を向上させることが可能であると考えられる。

3. 土石流の規模の予測

3. 1 土砂貯留量と土石流規模の関係性の検討

土石流の規模の予測のため、溪床の不安定土砂量と土石流規模（流出土砂量）との対応関係を調べた（図7）。その結果、両者の間には明確な関係性はみられなかった。また、堆積土砂量を超える規模の土石流が発生することもあった。その一方で、流出土砂量は堆積土砂量に平均年生産土砂量（13.3万 m^3 ）を加えた値を超えることはなかった。そのため、堆積土砂量に平均年生産土砂量を加えた値が大沢崩れで発生する土石流の最大値の目安になると考えられる。図7はイベント単位での検討であるが、年流出土砂量が堆積土砂量に平均年生産土砂量を超えることもなかった。また過去の土石流による流出土砂量の値を整理した結果、ひとつの土石流による流出土砂量には、堆積土砂量の大小に関わらず、30万 m^3 という上限値が存在した。

図7 堆積土砂量と流出土砂量の対比

（実線は流出土砂量が堆積土砂量と等しい場合、破線は流出土砂量が堆積土砂量に平均年生産土砂量を加えた値と等しい場合）

3. 2 発生しうる最大の土石流規模の評価

土石流の流出土砂量を決めるもうひとつの条件として、降雨（あるいは融雪等）に伴う水の供給量が考えられる。そこで、流域への降雨による水の供給量（流域面積に降雨強度を乗じた値）に流出係数を乗じることで水のピーク流量を算出し、さらに大沢川において過去に観測された土石流濃度（0.41）を勘案することで、土石流の流出土砂量の算出を試みた。流出係数が未知であるため、様々な流出係数を用いて流出土砂量を算出し、（安全側をとって）推定値が土砂流出量の観測値を上回るような流出係数を探索した（図8）。その結果、流出係数を0.4としたときに、推定値が必ず観測値を上回るようになった。

本章の結果を踏まえると、扇状地にある堆砂施設の空容量が大沢崩れの堆積土砂量に平均年生産土砂量を加えた値を下回る場合は緊急に除石をすべきであるが、そうでない場合は長期的な視点で除石を行うことが可能である。また、降雨前後のソフト対策や緊急対策には、上記の値に加え、ひとつの土石流による土砂流出量の最大値である30万 m^3 や降水量から推定される流出土砂量（図8）を流下しうる最大の土砂流出量の目安として活用可能であると考えられる。

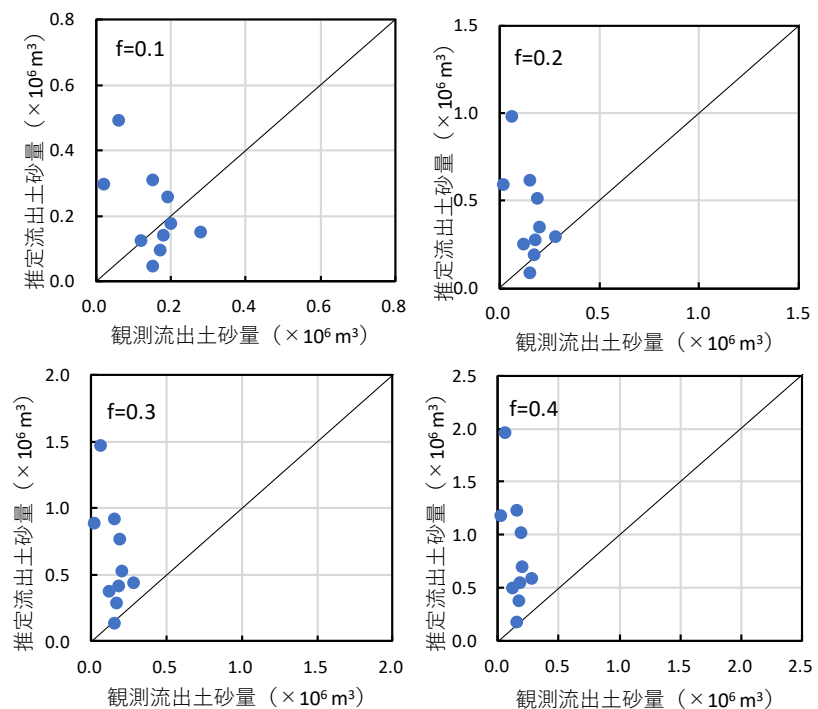


図8 観測流出土砂量と降水量をもとに推定した流出土砂量の対比

⑦研究成果の発表状況・予定

(論文)

岡本憲男・守口海・今泉文寿・逢坂興宏・土屋智(2018) 富士山大沢崩れにおける土石流の発生・流下状況, 中部森林研究, 66, 133-134

岡本憲男・逢坂興宏・守口海・土屋智・杉本宏之・鈴木聡・佐藤慎一・柏原佳明・西村直記(2019) 富士山大沢崩れにおける土砂生産と土石流発生場の特徴, 中部森林研究, 67, 101-104

山本一樹・今泉文寿・逢坂興宏・池田敦(2020) 富士山大沢崩れにおける凍土の季節変化と土石流発生の関係, 中部森林研究, 68, 印刷中

(学会発表)

岡本憲男・守口海・今泉文寿・逢坂興宏・土屋智(2017) 富士山大沢崩れにおける土石流発生・流下状況, 第三回山岳科学学術集会, 甲府市

小池野乃花・今泉文寿・逢坂興宏・土屋智(2017) 干渉SAR解析を用いた富士山大沢崩れにおける地形変動の抽出, 第三回山岳科学学術集会, 甲府市

岡本憲男・中村亮佑・今泉文寿・逢坂興宏・守口海・土屋智・杉本宏之・柏原佳明・西村直記(2018), 富士山大沢崩れにおける土砂生産の特徴とタイミング, 平成30年度砂防学会研究発表会, 米子市

今泉文寿・中村亮佑・岡本憲男・逢坂興宏・守口海・土屋智・杉本宏之・柏原佳明・西村直記(2018), 富士山大沢崩れにおける土石流の発生と溪床堆積物の堆積状況の関係, 平成30年度砂防学会研究発表会, 米子市

Imaizumi, F., Yamamoto, K., Ohsaka, O., Sugimoto, H., Suzuki, S., Sato, S., Kashiwabara, Y., Nishimura, N. (2019) Initiation conditions of debris flows in Ohsawa landslide, Mt. Fuji. 日本地球惑星学会 2019 年大会, 千葉市

山本一樹・今泉文寿・逢坂興宏・池田敦(2020) 富士山大沢崩れにおける凍土の季節変化と土石流発生の関係, 令和2年度砂防学会研究発表会, 名古屋市(予定)

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

以下の講演会において、研究成果の発信を行った

- ・平成30年度 森林土木事業技術講習会(静岡会場)「山地における不安定土砂の堆積状況と土砂移動」(平成31年2月1日開催, 森林土木技術者対象)
- ・静岡県防災講演会「静岡県東部地域における地質特性と土砂災害の事例、対策」(平成31年2月17日開催, 市民対象)。
- ・静岡県地質調査業協会地盤技術講習会「山地における不安定土砂の堆積状況と土砂移動」(令和元年7月19日, 地質調査技術者対象)
- ・ふじのくに防災学講座「土砂災害はいつどこでおきるのか? ~土砂災害の実態と対策~」(令和元年7月20日, 市民対象)
- ・大規模土砂災害を想定した合同演習「富士山周辺におけるスラッシュ雪崩の発生・流下特性と対策」(令和2年1月29日, 国土交通省, 静岡県, 市町村対象)。

⑨表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

小池野乃花・今泉文寿・逢坂興宏・土屋智（2018）干渉SAR解析を用いた富士山大沢崩れにおける地形変動の抽出，第三回山岳科学学術集会，甲府市，優秀ポスター発表賞

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

今後の研究課題としては以下の項目が考えられる。

- ・富士山では土石流とともにスラッシュ雪崩が発生し，本研究によってこれらの発生条件が「地盤凍結期」「非凍結期」の推定を行うことで得られることを示した。その一方で，土石流とスラッシュ雪崩の間で土砂濃度や流下範囲が異なる可能性がある。現象のタイプごとに施設が発揮する効果が異なるのか，さらには現在の土石流を想定した施設でスラッシュ雪崩による被害を十分に抑えることができるのかについて検討する必要がある。
- ・本研究により富士山では土砂生産や土石流・スラッシュ雪崩の発生が地盤の凍結の影響を大きく受けることが示された。今後温暖化が進行する中で，土石流やスラッシュ雪崩の発生のしやすさがどのように変化をするのかについて考察する必要がある。
- ・大沢崩れではここ20年余り，源頭部内の溪床堆積物が少ない状態が続いている。溪床堆積物の量が少ない場合，発生する土石流の規模が小さくなる一方で，土石流が直接的に溪床の基岩を下刻しやすくなるため，源頭部の斜面が不安定となり，今後土砂生産がさらに活発化する可能性がある。源頭部の下刻が土砂生産に及ぼす影響を明らかにする必要がある。
これまで富士砂防事務所との密な連携のもと研究を実施しており，同様の協力体制をとればこれらの研究課題に取り組むことができると考えられる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究により，大沢崩れにおける土砂生産過程，土砂流出過程，不安定土砂（溪床堆積物）堆積量についての経年変化を把握することができた。不安定土砂堆積量や地盤の凍結が土石流の発生条件に及ぼす影響を明らかにしたことにより，気象観測や定期的な航空レーザー測量を組み合わせた土石流の監視態勢の高度化についての提案を行うことができた。これまで国土交通省は各地において定期的な航空レーザー測量を各地で実施してきたが，それにより得られる不安定土砂量を警戒へ活用することで，降雨条件のみを基準にしていた従来の方法からの改善が見込まれる可能性がある。そのため今後は他の事務所・機関も含め，不安定土砂量を踏まえた警戒態勢の構築が望まれる。また，本研究課題により発生しうる最大規模の土石流の流出土砂量の推定方法を示したことにより，施設の確保すべき空容量についての検討が可能になったと考えられる。限られた予算で有効な土砂災害対策を行うためには計画的な除石が必要であり，本研究成果はそれに資するものである。