

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18790

研究課題名（和文）分光反射特性を活用した新たな山地災害調査法の探索

研究課題名（英文）Risk assesment of sediment disasters by multispectral imagery

研究代表者

今泉 文寿（Imaizumi, Fumitoshi）

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：80378918

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：土砂移動の活発さや過去の土砂移動履歴と地表面の分光反射特性との関係性を明らかにするため、静岡県北部大谷崩を対象として、土石流の現地観測や過去の土石流発生履歴の整理、ドローンによる土石流渓流の撮影を行った。その結果、地表面の分光反射特性が土砂移動後の植生の回復に伴って変化すること、高解像度画像により土石流渓流の土砂の粒径を自動抽出可能であることなどを明らかにした。本研究を汎用的なものとするため、土砂移動特性や地質が異なる他の地域においてもドローンを用いた計測を行った。また空間情報学、地形学、リモートセンシング学など、様々な研究者とともに共同で現地調査を実施することで、学際的な研究をすすめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、地表面の分光反射特性が、土石流発生後の経過年数とともに変化することを示した。この研究成果は学際的な研究と、土石流の発生頻度が極めて高い流域で行った現地観測の結果得られたものであり、国際的にみても新規性が高い。この知見を用いれば、渓流の過去の土石流の発生履歴を1回のドローンを用いた調査により、推定することができるようになる。そのため、土砂災害への対策を立案するための調査への活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Aim of this study is to clarify relationship between the sediment transport history and spectral reflection characteristics in the debris flow torrents. Field monitoring of the debris flow, analysis of debris flow records, and UAV photography of multi-spectral images were conducted in the Ohya landslide, north Shizuoka, central Japan. Our study clarified temporal changes in the reflection characteristics after occurrence of debris flow, mainly affected by the recovery of vegetation. We also demonstrated that grain size in the debris flow torrent can be automatically detected using high-resolution UAV images. UAV photogrammetry was also conducted in other large-scale landslides with different sediment transfer characteristics and geology. We conducted disciplinary studies with researchers from many academic fields such as spatial information science, geomorphology, and remote sensing science.

研究分野：砂防学

キーワード：土石流 分光反射特性 攪乱

1. 研究開始当初の背景

近年、過去に経験のない規模の豪雨により、大規模な山地災害が相次いで発生している。山地災害への対策を講じる際には、現地踏査やボーリング、各種地盤探査が行われているが、これらは広域調査に向いておらず、労力、予算等の制約も重なり、局所的な情報しか得られない。航空レーザーによる地形測量を活用した土砂移動の把握も行われているが、土砂移動発生前後を含む多時期の計測が必要であり、数10年～数100年に一度の頻度でおきる突発的な災害のリスク評価には課題が残る。そのため激甚化する山地災害への有効な対策のため、新たな調査手法の構築が期待されている。その一方で、近年はUAV(ドローン)の進化が目覚ましく、またUAVに掲載可能なマルチスペクトルカメラの普及が進んでいる。マルチスペクトルカメラにより得られる分光反射特性は地表面に関するものであり、地中の情報ではないものの、過去の土砂移動タイミングを推定するうえでの材料となる植生・地衣類の被覆状況、土壌形成や岩盤の節理密度に影響される地表面の水分量など、過去の土砂移動履歴や現在の土砂移動の活発さに関する情報を、1度の撮影で取得できる可能性を有する。また、既往の調査手法にはない面的かつ空間解像度の高い情報が得られるという特長を有する。そのためUAVやマルチスペクトルカメラを用いた山地災害調査法の開発が期待される。

2. 研究の目的

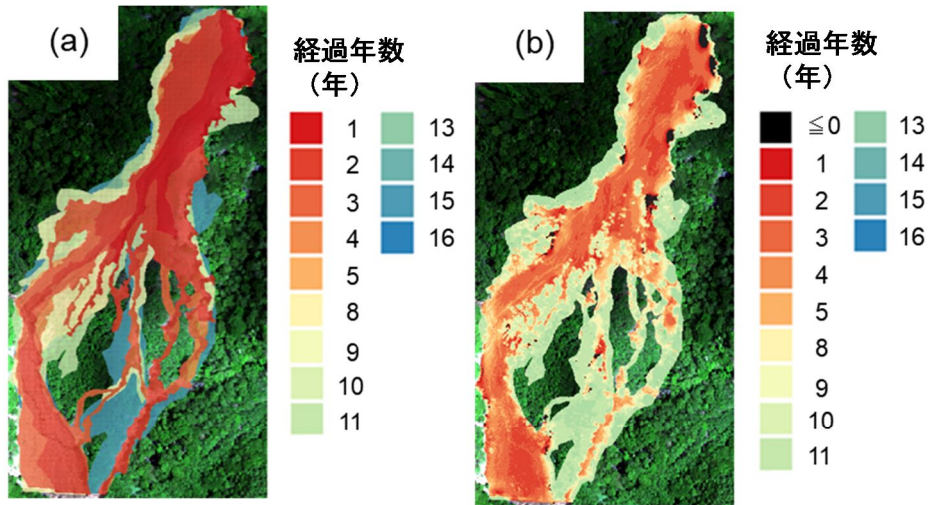
本研究では、空間情報学、地形学、リモートセンシング学の研究者らと連携し、土砂移動の活発さや過去の土砂移動履歴と地表面の分光反射特性との関係性を明らかにする。この結果をもとに、UAV搭載マルチスペクトルカメラを用いた土砂移動の活動性の評価を試みる。また、UAVを用いた土石流渓流の石礫の粒径調査を行い、土石流の流下特性を明らかにする。これにより、分光反射特性の防災システムへの活用という、これまでにない学術領域へ挑む。

3. 研究の方法

世界的に見ても土砂移動が活発であり、日本三大崩れのひとつに数えられている静岡県北部「大谷崩(おおやくずれ)」を研究対象地とする。大谷崩では岩盤の風化(凍結融解)による土砂生産が冬季に活発に行われ、崩れ内部の谷底に大量の不安定土砂が堆積する。梅雨期～台風期には毎年数回程度、不安定土砂が土石流として流下し、扇状地を攪乱する。土石流の流下経路が時間変化するため、扇状地には攪乱後の経過年数に応じた多様な植生、土壌条件が存在する。大谷崩において、UAVに搭載されたマルチスペクトルカメラ(RedEdge-MX)、可視画像カメラ(Phantom4 RTK)および赤外線カメラ(Mavic 2 Enterprise Advanced)により、崩れ内部の様子を撮影する。撮影時期は1.岩盤の風化(凍結融解)による冬季の活発な土砂生産が終了し、開葉がはじまるまで(4月～5月)、2.梅雨期の土砂移動の終了後(着葉期、7～8月)、3.台風期が終わり落葉も終了した時期(10～11月)の3時期である。そして SfM (Structure from Motion) によりオルソ化(正射投影)するとともに、NDVI等の分光反射特性に関わる既往の指標を算出する。マルチスペクトルカメラによる撮影と同時期に、UAVにより高解像度可視画像を撮影し、SfMにより地形モデルおよびオルソ可視画像を作成する。そして多時期間の標高変化およびオルソ可視画像の変化により、現在の土砂移動のタイミング、位置、量を明らかにする。あわせて現地で、岩盤調査(地質、節理等)および地表被覆調査(植生、土壌、粒径等)を行う。これらを検証データとし、分光反射特性の季節変化を考慮したうえ、統計的手法および機械学習により、分光反射特性を用いた渓流における土石流発生履歴の推定を試みる。また、UAVの画像を用いた、石礫の粒径の推定を、既存の粒径抽出ソフト(BASEGRAIN)および機械学習によって行う。そのうえで、分光反射特性等をもとにして推定される土砂移動に関する面的な情報を中山間地の防災システムへ活用する方法について検討する。

4. 研究成果

大谷崩における現地観測や過去の航空測量成果(有人機航空レーザー測量、UAV-SfM)の整理により、大谷崩内の土石流流路や土石流扇状地における土石流発生後の経過年数の空間分布を明らかにした。多くの場所で5年以内に土石流を経験している一方で、17年以上土石流の影響を受けていないエリアもみられた。近年土石流を経験したエリアでは、ヤマハンノキやオノエヤナギ、ホソエカエデなどの先駆性樹種の実生がまばらに生育していた。土石流の影響を長期間受けていないエリアでは、上記の樹種に加え、ミズメ、カツラ、イヌシデなどの樹種もみられ、樹冠はほぼうっ閉していた。UAVを用いた土石流渓流の撮影の結果、波長帯ごとの反射率および植生指標(NDVI, NDRE)は、地形変化から求められた土石流発生後の経過年数と関係性を有することが明らかとなった。特に、植生指標と土石流発生年後の経過年数の関係性が明確であった。土石流発生後の先駆性樹種の侵入、さらには成長に伴う植生被覆率の増加が、これらの反射率や指標の増加につながったものと考えられる。植生指標と土石流発生年後の経過年数の関係性についての線形回帰を行ったうえで、植生指標と回帰式を用いた土石流発生年後の経過年数の推定を試みた(図)。その結果、この方法により、標準誤差4年程度で土石流発生後の経過年数を推



(a) 地形変化から求めた実際の土石流発生後の経過年数

(b) NDVIから推定した土石流発生後の経過年数

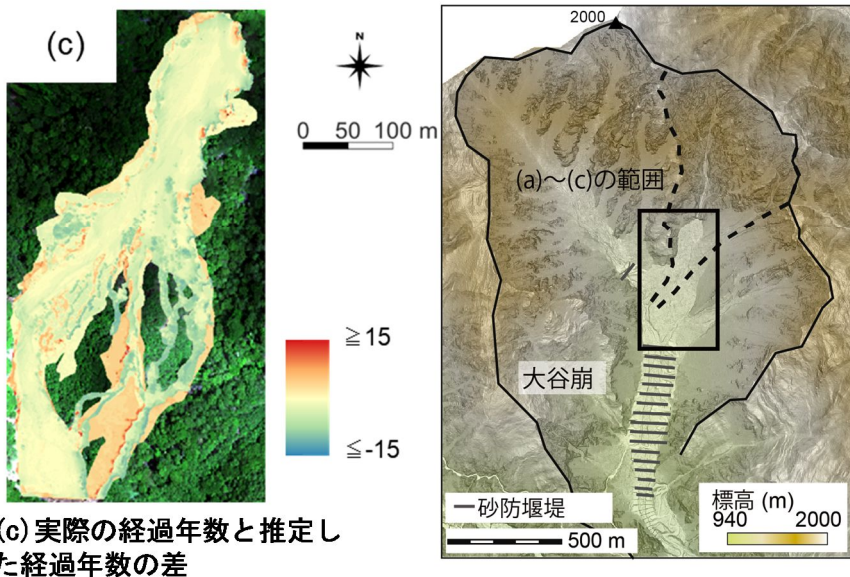


図 NDVIを用いた土石流発生後の経過年数の推定

定できることがわかった。また推定精度は、解析のグリッドサイズの影響を受けることが明らかとなった。7月に撮影した画像を用いたNDVIによる経過年数の場合、5mグリッドのデータのほうが、1mグリッドのデータよりも高い精度で推定を行うことができた。土石流の発生からの経過年数が小さい場合、石礫で覆われた地表面上にパッチ状に小さな植生が確認できる状態となる。このとき1mグリッドでは、植生を含むグリッドセルと含まないグリッドセルでNDVIの値が大きく異なり、このことが1mグリッドを用いた推定結果において、ばらつきが大きくなる原因となったと考えられる。また、7月に撮影した画像から得たNDVIと土石流発生年後の経過年数の線形回帰式を、他の季節(5月, 10月)において撮影した画像へ適用することで、土石流発生後の経過年数の推定を試みた。その結果、他の時期においても3~5年程度の標準誤差で、土石流発生後の経過年数を推定できることがわかった。本研究を汎用的なものとするため、大谷崩に加え、山梨県七面山(しちめんざん)や、スイスマッターバレーなど、土砂移動特性や地質、植生が異なる他の地域においてもドローンを用いた計測を行った。

また本研究では、石礫の粒径の空間分布をUAV画像から推定した。BASEGRAINによる解析の結果、大きな礫の抽出は精度よく行えるものの、小さな礫の抽出には課題が残ること、UAV画像の撮影高度が解析の精度に大きな影響を与えることを明らかにした。また、様々な機械学習を用いることで、UAV画像から石礫の抽出と粒径の推定を行ったところ、Random TreeとSupport Vector Machineの解析精度が高かった。さらには機械学習を行うことで、土石流渓流に堆積する石礫の生産源の地質の推定や、土石流発生直後の実生の回復状況の把握も可能であることが示唆された。

本研究が提案する、分光反射特性を活用した土石流発生後の経過年数の推定を行えば、渓流の過去の土石流の発生履歴を、UAVを用いた1回の調査により、把握することができるようになる。特にこの方法は、過去に航空レーザー測量や空中写真撮影が行われていない地域で有効である。

また、UAV を用いることで、土石流渓流における石礫の粒径の把握や、石礫の生産源の特定が可能となることが示唆された。これらの情報は、土石流対策を講じる上で極めて有益な情報である。そのため本研究で得られた成果を応用すれば、災害調査手法の改善や、有効な対策の立案につながる可能性がある。

本研究は、空間情報学、地形学、リモートセンシング学など、様々な研究者とともに共同で実施した。そのため、分光反射特性や UAV 画像を用いた新たな研究領域の創出につながる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yokoyama, K., Imaizumi, F., Egusa, T.	4. 巻 15(2)
2. 論文標題 A review of groundwater observation methods for slow-moving landslide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Erosion Control Engineering	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13101/ijece.15.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Imaziumi, F., Osanai, N., Jato, S., Koike, M., Kosugi, K., Sakai, Y., Sakaguchi, H., Satofuka, Y., Takayama, S., Tanaka, T., Nishi, Y.	4. 巻 15(1)
2. 論文標題 Debris flow disaster in Atami, Japan, in July 2021	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Erosion Control Engineering	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13101/ijece.15.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yokoyama, K., Egusa, T., Ikka, T., Yamashita, H., Imaizumi, F.	4. 巻 16(1)
2. 論文標題 Effects of shallow groundwater on deep groundwater dynamics in a slow-moving landslide site	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Erosion Control Engineering	6. 最初と最後の頁 16(1)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13101/ijece.16.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Imaizumi, F., Ikeda, A., Yamamoto, K., Ohsaka, O.	4. 巻 9
2. 論文標題 Temporal changes in the debris flow threshold under the effects of ground freezing and sediment storage on Mt. Fuji	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth Surface Dynamics	6. 最初と最後の頁 1381-1398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/esurf-9-1381-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 今泉文寿・小山内信智・加藤真雄・小池優・小杉賢一朗・坂井祐介・坂口宏・里深好文・高山翔揮・田中隆文・西陽太郎	4. 巻 74(5)
2. 論文標題 令和3年7月静岡県熱海市で発生した土石流災害	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 砂防学会誌	6. 最初と最後の頁 34-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oya, S., Imaizumi, F., Takayama, S.	4. 巻 12
2. 論文標題 Field monitoring of pore water pressure in fully and partly saturated debris flows at Ohya landslide scar, Japan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Earth Surface Dynamics	6. 最初と最後の頁 67 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/esurf-12-67-2024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Imaizumi, F., Oya, S., Takayama, S.	4. 巻 1
2. 論文標題 Initiation and runout characteristics of partially saturated debris flows in Ohya landslide scar	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation	6. 最初と最後の頁 3013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayama, S., Karasawa, R., Imaizumi, F.	4. 巻 21
2. 論文標題 Depth-averaged mixture model for development processes of debris flows over a steep unsaturated mobile bed	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Landslides	6. 最初と最後の頁 1173 ~ 1187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10346-023-02202-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 奥水健一, 石丸聡, 今泉文寿, 川上源太郎
2. 発表標題 地質の違いに着目した土石流発生に寄与する地形因子の検討: 沖積錐分布に基づく決定木分析
3. 学会等名 令和4年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satgada, C. P., Imaizumi, F., Egusa, T.
2. 発表標題 Effect of the landslides occurrence on the soil carbon/nitrogen loss in the southern Japanese Alps, Japan
3. 学会等名 Alps, Japan Geoscience Union 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ballesteros Canovas, J. A., Nishii, R., Kariya, Y., Imaizumi, F., Matsuoka, N., Stoffel, M.
2. 発表標題 Linking long-term debris flow and typhon activity in the Japanese Alps: insights from tree-ring records
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Imaizumi, F., Yamamoto, R., Ikeda, A.
2. 発表標題 Runout characteristics of debris flow under effects of ground freezing on Mt. Fuji
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今泉文寿、山本蓮、池田敦、逢坂興宏、柏原佳明、西村直記
2. 発表標題 富士山大沢川における土砂流出形態と侵食堆積特性の関係
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大屋俊祐、今泉文寿、堀田紀文、經隆悠、早川裕弐
2. 発表標題 大谷崩における土石流の流動形態と間隙水圧の関係
3. 学会等名 令和3年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋英成、今泉文寿、高山翔揮、蓮容龍信
2. 発表標題 荒廃溪流源頭部における土石流流下特性と間隙水圧との関係
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高山翔揮、今泉文寿
2. 発表標題 溪流源頭部における土石流の発生・発達過程に関する研究
3. 学会等名 令和5年度砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Dahal., S., Imaizumi, F.
2. 発表標題 Grain Size Distribution Characteristics of Debris Flow Torent in Ohya Landslide, Central Japan
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Imaizumi, F., Oya, S., Takayama, S.
2. 発表標題 Field monitoring of pore-water pressure in debris flow
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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1件

国際研究集会 Landslides and related phenomena in JpGU 2022	開催年 2022年～2022年
---	--------------------

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		
スイス	University of Geneva		
イラン	ARREO		