

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14562

研究課題名（和文）積雪層内における選択的な水の流れが斜面変動へ及ぼす影響

研究課題名（英文）Effects of preferential water flow in snow layers on landslide activity

研究代表者

大澤 光 (Osawa, Hikaru)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：70839703

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：積雪層内の水移動過程を明らかにするため、ドローンによる空撮によって雪面直下の水の流下経路を調査するとともに、傾斜した積雪にて着色トレーサー試験を行い、それを再現するための2次元浸透流解析を行った。空撮の結果、傾斜した雪面上をスケールの異なる線状の雪凹が谷底凹地へ向かって発達しており、水移動の痕跡が観察された。傾斜や地形を変化させたトレーサー試験の結果、全実験において斜面では雪面で生じた水分の移動が鉛直方向よりも、斜面最大傾斜方向に卓越し、地表面への水の供給が凹地地形に集中することが明らかとなった。さらに、浸透流解析においても実験による選択的な浸透経路が再現された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、雪面で発生した水分が積雪層内を通り地表面へ到達し、積雪底面において水分の再配分を行う過程を明らかにすることから、融雪に起因する地すべり・斜面崩壊および融雪洪水といった融雪土砂災害全般の発生メカニズムへ寄与し、それらの予測手法や、効果的な地表水排水などの対策手法の立案において防・減災へと貢献する成果である。

研究成果の概要（英文）：To clarify the water movement process in the snow layer, aerial photography by a drone was used to investigate the water flow path below the snow surface, a dye water tracer test was conducted on a sloped snowpack and a two-dimensional water movement analysis was conducted to reproduce the results. Aerial photography revealed that linear snow concavities of different scales were developed on the sloped snow surface toward the valley floor depression, and traces of water movement were observed. The results of tracer tests with different slopes and topography showed that in all experiments, the water movement generated on the snow surface on the slopes was predominant in the direction of the maximum slope inclination rather than in the vertical direction, and that the water supply to the ground surface was concentrated in the concave topography. Furthermore, water movement analysis reproduced the experimental preferential infiltration pathways.

研究分野：斜面水文学

キーワード：融雪 融雪地すべり 選択的な水移動 側方流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国は国土の半分が豪雪地帯の指定を受け、その中でも日本海側の北陸・東北・北海道の中山間地は特別豪雪地帯とされる。そこでは、春の融雪を誘因とした土砂災害が毎年発生することから、国民の生命や財産また道路や鉄道の運行に被害を与え、大きな社会問題となっている。また、今後気候変動が進行するとともに、積雪地帯では全体的な積雪水量は減少するものの、極端な豪雪頻度の上昇が予測され (Kawase et al., 2016) これまで以上に融雪に伴う地すべりや崩壊数の増加や、大規模化が推定されていることから (Kawagoe et al., 2009) 積雪期の斜面動態を解明することは急務である。

積雪期における地すべり発生時期は融雪期のみならず厳冬期においても発生している (松浦ら 1996; 佐藤ら 2004)。その原因として、フェーン現象による暖かい強風が発生し雪面と大気の熱交換が促進されることで多量の融雪が生じ (萩村ら 2014) 地下水位の上昇に伴い斜面の有効応力が低下し、斜面安定度の低下に至ると考えられている。しかし、継続的に一ヶ月以上もの間、地表面へ水が供給される融雪期よりも、厳冬期における単発的な融雪イベント時に、なぜ間隙水圧は急上昇し斜面災害の発生に至るのか? という点が全く分かっておらず問題となっている。

そのメカニズムの主要因として、積雪層中に遮水層として働く氷板や、粒径の違いから起こる毛管障壁 (キャピラリーバリア) が含まれることから、それらが融雪イベントを経験するたびに水と接触することで融解され、変態することが影響すると考えた。図 1A に示すように、選択的な浸透レベルが高まっている厳冬期の融雪イベント時には、融雪水は斜面に沿って流下 (側方流動) し、水を集めつつ地形が緩やかになる谷部へ至り、局所的に大量の水分を地表面へ供給することが予想される。そのため、積雪層内において時間の経過とともに変化する水みちの空間的な分布を定量化し、その効果が斜面へ与える影響を体系化することで問題を解決する。

<引用文献> Kawase et al., (2016) Climatic Change, 139, 265-278. Kawagoe et al., (2009) Cold Reg. Sci. and Tech, 58, 120-129. 松浦ら (1996) 水文水資源学会誌, 9 (1), 48-56. 佐藤ら (2004) 日本地すべり学会誌, 41 (1), 37-42. 萩村ら (2014) 日本雪工学会誌, 30(2), 95-100

2. 研究の目的

本研究の目的は、空間時間変化することが予想される雪面から地表面までの水移動プロセスが斜面変動に対して及ぼす影響を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究は最大積雪深が 5 m を超す新潟県上越市の中山間地に位置する伏野地すべり地において以下の 1 から 3 の項目を実施する。

■ 1 | 積雪物性と水みちの時空間的な変化

流域スケールでの雪面における水みちの平面分布を多時期で明らかにするため、調査地を含む流域全体にてドローンによる空撮をおこない、オルソ画像から水の流れた痕跡である雪えくぼや線状の雪窟を検出し、雪窟発達特性の地形的解析をおこなう。

■ 2 | 斜面と地形の遷緩線における積雪層内の水移動プロセス

空間的な積雪層内の水移動の不均一性を明らかにするため、斜面と遷緩線におけるトレーサー試験および、その試験結果を再現しうる浸透流解析をおこなう。着色トレーサー試験後にトレンチを掘削し、断面の含水量測定および写真撮影を複数断面おこなう。また、得られた実験結果を用いて地表面へ到達する水量と場を数値実験で再現可能か、地盤内の水移動計算を積雪層に初めて応用した浸透流解析 (Hirashima model) を用いて検証をおこなう。なお、雪の基本的な物性を明らかにするため、散水斜面の直近においてピットを掘削し、雪質、密度、含水率を深さ 10 cm ごとに調査するとともに雪面熱収支の計算に必要な詳細な気象観測を行う。

■ 3 | 地盤内の飽和・不飽和状況と地すべりの挙動

地表面へ到達した水の不均一性を明らかにするため、地盤浅層部において土壌水分計を多点設置するとともに、地すべりに影響を与えるすべり面直上における間隙水圧の変動を非積雪期も含めて計測する。また、地すべりによる移動を捉えるため、地中伸縮計を設置する。

4. 研究成果

斜面積雪中における水の側方流の解明に向けたこれまでの研究と課題について、国内外の学術雑誌に掲載された既往文献をレビューし、積雪内部の観測、積雪底面流出量の空間分布に関する観測、土中の水分の観測、今後必要な実験の提案として、体系的にまとめ、総説化した。

積雪層内の水移動過程を明らかにするため、ドローンによる空撮によって雪面直下の水の流下経路を調査するとともに、傾斜した積雪にて着色トレーサー試験を行い、それを再現するための 2 次元浸透流解析を行った。空撮の結果、傾斜した雪面上をスケールの異なる線状の雪凹が谷底凹地へ向かって発達しており、水移動の痕跡が観察された。傾斜や地形を変化させたトレーサー試験の結果、全実験において斜面では雪面で生じた水分の移動が鉛直方向よりも、斜面最大傾斜

方向に卓越し、地表面への水の供給が凹地地形に集中することが明らかとなった。さらに、浸透流解析においても実験による選択的な浸透経路が再現された。本成果は、雪面で発生した水分が、積雪層内を通り地表面へ到達するまでの再配分過程を明らかにすることから、融雪に起因する地すべり・斜面崩壊および融雪洪水といった融雪土砂災害全般の発生メカニズムへ寄与し、それらの予測手法や、効果的な地表水排水などの対策手法の立案において防・減災へと貢献する成果である。

一方、積雪地域での地すべり発生リスク推定手法の高度化を目的として、地すべり試験地で気象や地すべり斜面内の地下水圧などの長期観測を行い、そのデータを基にして、雨水や融雪水の地中への浸透による地下水圧への短期的な変化を予測できるモデルを開発し、実測の地下水圧の変化を再現出来ることが明らかになった。本モデル化手法は、地下水排水や杭工事などの費用対効果の高い災害軽減策の設計や、地域住民の避難のための適切な降雨量や融雪量の基準の設定に貢献する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Osawa Hikaru, Matsushi Yuki, Matsuura Sumio, Okamoto Takashi | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Semipirical modeling of the transient response of pore pressure to rainfall and snowmelt in a dormant landslide | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Landslides | 6. 最初と最後の頁 245 ~ 256 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10346-023-02158-9 | 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 MATSUURA Sumio, OSAWA Hikaru, SHIBASAKI Tatsuya | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Destruction of Matsuno tunnel in Ban'etsu West Railway Line due to 1917 landslide during snowmelt period | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Japan Landslide Society | 6. 最初と最後の頁 154 ~ 160 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3313/jls.60.154 | 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 TOSA Shinichi, SHIBASAKI Tatsuya, MURAI Yusuke, HAGIWARA Nobuya, OKAMOTO Takashi, OSAWA Hikaru | 4. 巻 61 |
| 2. 論文標題 新潟県伏野地すべりにおける軽量ボーリングマシン掘削と水圧計埋設 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Japan Landslide Society | 6. 最初と最後の頁 54 ~ 59 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3313/jls.61.54 | 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 OSAWA Hikaru, TOSA Shinichi, MATSUURA Sumio, SHIBASAKI Tatsuya, DOI Issei, OKAMOTO Takashi、 | 4. 巻 61 |
| 2. 論文標題 大変位高速地すべりのための高分解観測システムの開発とその観測事例 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Japan Landslide Society | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 7 |
| 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 大澤光 | 4. 巻 85 |
| 2. 論文標題 積雪斜面における選択的な水の流れに関するレビューと今後の課題 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 雪氷 | 6. 最初と最後の頁 36-38 |
| 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 無 |
| 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 HIRASHIMA Hiroyuki、OSAWA Hikaru | 4. 巻 83 |
| 2. 論文標題 Review of the field studies on lateral flow in slope snow | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Snow and Ice | 6. 最初と最後の頁 555 ~ 567 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5331/seppyo.83.6_555 | 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 - |

[学会発表] 計15件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 土佐信一、柴崎達也、村井勇介、萩原伸也、岡本隆、大澤 光 |
| 2. 発表標題 積雪地域の地すべり地における埋設型間隙水圧計の設置事例 |
| 3. 学会等名 日本地すべり学会研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 土井一生、大澤光、平島寛行、岡本隆、松浦純生 |
| 2. 発表標題 積雪層を挟んだ地震観測による積雪層内の地震波伝播特性 |
| 3. 学会等名 東京大学地震研究所共同利用研究集会「陸海両域での超高密度観測時代の観測・解析手法と地震波伝播理論の新展開 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 大澤光、岡本隆、松浦純生、柴崎達也 |
| 2. 発表標題 積雪が斜面変動へ及ぼす影響に関するレビュー |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会(2022) (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 平島寛行、本吉弘岐、山口悟、大澤光 |
| 2. 発表標題 マルチライシメータの枠が積雪構造および側方流発生に与える影響 |
| 3. 学会等名 雪氷北信越 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 平島寛行、大澤光、山口悟、Francesco Avanzi |
| 2. 発表標題 積雪中における水の側方流 - 観測される側方流の水分移動モデルによる再現性と限界 - |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会(2022・札幌) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大澤光、平島寛行、松四雄騎、勝島隆史、岡本隆、松浦純生、竹内由香里、勝山祐太 |
| 2. 発表標題 斜面積雪層内における水の移動過程に関する野外実験 |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会(2022・札幌) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 HIRASHIMA Hiroyuki、OSAWA Hikaru、Francesco Avanzi、YAMAGUCHI Satoru |
| 2. 発表標題 Lateral flow of liquid water in snowpack |
| 3. 学会等名 International Symposium on Snow、International Glaciology Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 松浦純生、岡本隆、大澤光 |
| 2. 発表標題 来海沢地すべりの誘因についての検討 |
| 3. 学会等名 日本地すべり学会第60回研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 大澤光、平島寛行、岡本隆、土佐信一、松浦純生 |
| 2. 発表標題 地すべり地における積雪期の流出水量観測 |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 平島寛行、山口悟、Francesco Avanzi、Nander Wever、大澤光 |
| 2. 発表標題 積雪中の側方流による流出不均一の水分移動モデルを用いた再現計算 |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 松浦純生、岡本隆、大澤光 |
| 2. 発表標題 日本海側の中山間地帯における積雪環境の変動 |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 岡本隆, 大澤光, 渡部直喜 |
| 2. 発表標題 地すべり地に供給される融雪水量の時間・空間変動の評価 |
| 3. 学会等名 新潟大学災害復興科学研究所共同研究成果報告会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 大澤光、岡本隆、松浦純生、平島寛行 |
| 2. 発表標題 地すべり地における多雪年と少雪年の間隙水圧応答の比較 |
| 3. 学会等名 日本地すべり学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 大澤光、土井一生、平島寛行 |
| 2. 発表標題 雪崩を想定した音波の伝播特性の推定 |
| 3. 学会等名 日本雪氷学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 平島寛行、大澤光、松浦純生、岡本隆 |
| 2. 発表標題 水分移動モデルを用いた斜面積雪中における水分浸透実験の再現計算 |
| 3. 学会等名 日本雪氷学会 |
| 4. 発表年 2020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 |
|---------|---------|
|---------|---------|