

# 融雪期の大雨や急激な融雪に伴う災害発生地域における融雪水を加えた土壌雨量指数について

THE SOIL WATER INDEX WITH SNOWMELT IN DISASTERS AREAS  
DUE TO HEAVY RAIN AND RAPID SNOWMELT DURING SNOWMELT SEASON

岡崎 健治<sup>1</sup>・川又 基人<sup>2</sup>・吉野 恒平<sup>2</sup>・倉橋 稔幸<sup>2</sup>

Kenji OKAZAKI, Moto KAWAMATA, Kohei YOSHINO and Toshiyuki KURAHASHI

<sup>1</sup> 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1-3-1-34)

E-mail: 90185@ceri.go.jp

<sup>2</sup> 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1-3-1-34)

**Key Words:** soil water index, heavy rain, rapid snowmelt, snowmelt season

## 1. はじめに

近年、融雪期において多量の降雨や気温上昇に伴う急激な融雪に起因する湿雪雪崩や雪泥流が発生し甚大な被害をもたらされている。例えば、2018 年 3 月の北海道広尾町野塚では 80cm 降雪した 1 週間後に 280mm を超える連続降雨によって大量の水を含んだ湿雪雪崩及び土砂流出に伴うデブリが約 60,000 m<sup>3</sup>発生し 12 日間の通行止めや道路施設に被害が生じた(図-1)<sup>1),2)</sup>。また、融雪期の北海道美瑛町俵真布でも 130mm 以上の降雨等によって板状で数 m サイズの河川氷を含む雪泥流が発生し護岸改修工事中の男性作業員 1 名が巻き込まれた<sup>3)</sup>。このような融雪



図-1 北海道広尾町野塚地区で発生した災害<sup>2)</sup>

期の災害はその発生要因も複合的で予測が難しいことから、発生源となる地盤や降雨降雪に対する安定性の評価方法の構築、より適切な道路等の管理の支援に向けた技術開発が求められている<sup>4)</sup>。

これまで筆者らは、前述の北海道広尾町野塚地域での土砂流出が発生した斜面を対象に、災害前後に航空レーザー測量によって計測された数値地形図の解析と現地調査を行い、斜面上流部での標高差分の減少や中流部で増加する状況をもとに斜面の侵食や土石流の痕跡を明らかにした<sup>5)</sup>。このような事象は多量の降雨等によって生じると考えられるが融雪期には、さらに地盤への融雪水の供給があり、融雪期でない時期よりも高い含水状態にあると考えられる。融雪期の含水状態を指標化できれば、融雪水や降雨として地中に水が加わることによる災害の発生予測に繋がるものと考えられる。

そこで本稿では、まず、調査対象地域の災害記録と融雪期の気象データを整理し、後述する降雨量と融雪水量をあわせた合算水量を求めた。降雨量は気温別に求め、融雪水量は汎用融雪水量係数<sup>6),7)</sup>から求めた。また、この合算水量から融雪期の地盤内の貯留水量である土壌雨量指数(以下、合算土壌雨量指数と呼ぶ)を計算した。そして、融雪期における積雪の有無に応じた合算土壌雨量指数の違いを分析した。

## 2. 調査地の概要

### (1) 調査地

調査地は一般国道 236 号広尾町野塚地区である。一般国道 236 号は北海道十勝管内帯広市と日高管内浦河町を結ぶ主要幹線国道である。これまで当地域では道路施設に被害を与える雪崩や土砂災害が発生している（図-1）。2018 年 3 月 9 日に発生した湿雪雪崩を伴う土砂流出ではトンネルの電気室が破壊された<sup>1)</sup>。また同時に同地域の斜面でも湿雪雪崩を伴う土砂流出が発生し道路施設にも被害が出た。

### (2) 調査地の地質と地形

当地域の地質は日高帯の白亜紀～古第三紀のホルンフェルス化した堆積岩類である<sup>9)</sup>。また当地域は日高山脈の非火山山地のなかでも険しい山地であり、山頂小起伏面や谷底平坦面もなく直線的な谷壁斜面で構成されるような地形の特徴を持つ<sup>10)</sup>。なお前述の土砂流出はこの谷壁斜面で発生した崩壊を起因した。

## 3. 分析方法

### (1) 災害記録と融雪期の気象

当地域の国道では 2010～2020 年に 43 地点での災害発生によって 18 回の通行止めが発生した。そのうち災害の概要や、通行止め開始前後の気象データが入手できた後述する表-1 の 6 事例を抽出した。災害の内訳は降雪による雪崩が 5 回、降雪後の降雨による雪崩を伴う土砂流出が 1 回である。

まず、これらの事例における降雨と降雪について、24 時間無降雨と無降雪後からの降り始めから通行止め開始時までの累積量、その継続時間、降雨と降雪の降り始めから 2mm 以下が 3 時間継続した後までの 1 時間当たりの最大時間量、通行止め開始時の積雪深、及び平均気温を整理し通行止め開始に至るまでの気象の変化や進行状況を調べた。なお、当地域

の国道は大雪時の予防的通行規制区間<sup>11)</sup>となっているが、これまで表-1 に示すような融雪期の災害時に一般通行車両が巻き込まれた事例はない。

次に、表-2 のとおり 2014～2023 年における 3～6 月の最大積雪深、積雪深最大月日、消雪月日、最大積雪深から消雪までの日数、積雪深が 100cm 未満となる月日を整理し、当地域の平年における気象の変化を調べた。ここで、気象データは国道の維持管理に使用されている道路テレメータの観測値を用いた。なお 2018 年は湿雪雪崩を伴う土砂流出によって気象観測機材等が損傷し、その後の観測値は記録されていないため災害発生前までの値を使用した。

### (2) 合算水量の計算

降雨量と融雪水量をあわせた 3～6 月の合算水量を国道の維持管理に使用されている道路テレメータの降水量（降雨量と降雪量）から求めた。なお、本文では単に合算水量と呼ぶときには 1 時間あたりの合算水量のことを指す。

まず、降雨量は気温が 4℃を超える時の降水量として求めた<sup>6),7)</sup>。気温が 4℃以下の降水量は降雪量として扱い降雨量に含めていない（図-2）。

融雪期の気温は 0℃を前後する場合、雨と雪が混在する。しかし両者をあわせた降水量しか観測されていない。そこで、これまで北海道内 4 地点で 3～4 月に調査した相対湿度に基づく雨と雪の閾値となる気温からこの 4℃を設定した<sup>12)</sup>。

次に、融雪水量は汎用融雪水量係数（0.232 mm/℃/hour）<sup>6),7)</sup>に 0℃以上の気温を乗じて 1 時間毎に求めた。この汎用融雪水量係数は、これまで北海道内での積雪調査に基づく平均的な融雪係数と積雪密度から設定した値であり、北海道内で積雪時に積雪調査が行われていない地域での計算にも使用できる値である。

### (3) 合算土壌雨量指数の計算

一般に土壌雨量指数は降水量が経時的に地盤内に

表-1 2010～2020 年の融雪期に発生した災害と気象の記録

No.	災害事象	通行規制状況	降雨・降雪の降り始めから通行止め開始時までの値				
			累積量	継続時間	最大時間量	積雪深	平均気温
1	雪崩	連続降雪による事前通行止め	降雪 41 cm	10 時間	降雪 7 cm	202 cm	-1.5 ℃
2	雪崩	連続降雪による事前通行止め	降雪 47 cm	19 時間	降雪 5 cm	242 cm	-0.2 ℃
3	雪崩	連続降雪による事前通行止め	降雪 37 cm	10 時間	降雪 7 cm	140 cm	-7.1 ℃
4	雪崩	連続降雪による事前通行止め	降雪 18 cm	8 時間	降雪 6 cm	166 cm	-4.3 ℃
5	雪崩	連続降雪による事前通行止め	降雪 28 cm	10 時間	降雪 6 cm	170 cm	-5.0 ℃
6	雪崩と土砂流出	降雪後の連続降雨による事前通行止め	降雨 288 mm	14 時間	降雨 35 mm	206 cm	3.7 ℃

表-2 2014～2023 年における融雪期の気象状況

年	最大積雪深(m)	積雪深最大月日	消雪月日	積雪深最大から消雪までの日数(日)	積雪深が100cm未満となる月日
2014	158	3月13日	4月27日	45	4月7日
2015	305	3月13日	5月4日	53	4月26日
2016	150	3月1日	4月21日	51	3月26日
2017	151	3月31日	5月2日	32	4月7日
2018	(229)	(3月2日)	—	—	—
2019	112	4月2日	4月30日	28	4月10日
2020	225	3月5日	5月12日	67	5月1日
2021	179	3月3日	5月5日	63	4月13日
2022	192	3月19日	4月30日	42	4月11日
2023	127	3月4日	4月18日	45	3月10日
平均	178	3月14日	4月30日	47	4月9日

( ) 内は災害発生時前までの観測値である

どれだけ貯留されているのかを3つのタンクモデルによって表現される指標であり、それまでの最大値と比較することで土砂災害発生の警戒情報を発令するか否かの判断に使用されている<sup>8)</sup>。その判断では時間雨量を短期指標、土壌雨量指数を長期指標として両者の時系列の履歴を現すスネーク曲線が作成される。その曲線がそれまでの災害未発生の履歴に基づく基準値を超えまたは超過が予測される状況にあるかどうかを判断することで災害発生の予測に使用されている。また、50年確率値や、それまでの最大履歴値で正規化した値に基づく基準値が用いられる場合もある<sup>13)</sup>。一方で降水量に応じた災害発生の状況によっては基準値の見直しも行われている<sup>14)</sup>。

しかし本調査では、降雨量と融雪水量を合算した水量を地盤に浸透する水分量として扱いたいため、通常の土壌雨量指数の計算で用いる1時間雨量を前節の合算水量に置き換えて3～6月の土壌雨量指数を合算土壌雨量指数として求めた。

次に、現地に積雪(1cm以上の積雪)がある状況で融雪水が供給される場合と、積雪がなく融雪水が供給されない場合の合算土壌雨量指数を求めて合算水量との関係を分析した。

#### (4) 道路管理での連続雨量と合算土壌雨量指数

当地域における国道の通行規制の判断には積雪深100cm以上かつ連続雨量80mm以上となる条件が適用されている<sup>1)</sup>。なお、この連続雨量は融雪水量を合算していない時間雨量の累積値である。この値と合算土壌雨量指数を比較することで、通常道路管理で用いる値に対応する地盤内の貯留水量の状態を評価することができる。なお、連続雨量の計算にあたり、降雨量と融雪水量は2mm以下が3時間継続した後までのデータを使用した。

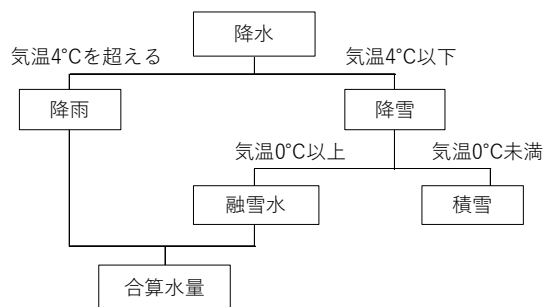


図-2 本分析で用いる気象データの取り扱い

次に、3～6月に現地に積雪があり融雪水が供給される状況かつ連続雨量80mmに達した5事例と、積雪がない状況で連続雨量80mmに達した11事例について、平均気温が4°Cを超える条件で合算土壌雨量指数を求め両者の違いについて考察した。

## 4. 分析結果

### (1) 災害記録と融雪期の気象

表-1に2010～2020年の融雪期に発生した災害と気象の記録を示す。事例1～5の状況をまとめると、雪の降り始めから平均13時間(8～19時間)で平均34cm(18～47cm)の積雪となり、その最大時間量は平均6cm(5～7cm)であった。また、積雪深は平均184cm(140～242cm)で気温が平均-3.6°C(-7.1～-0.2°C)であった。当地域では、このような気象状況で雪崩が発生し通行止めを要する状況であった。とくに事例6は前述した土砂流出であり、その発生時の急激な気象変化や地盤内での貯留水量を以下の節で分析した。

表-2に2014～2023年の融雪期の気象状況を示す。当地域では平年3月14日に最大積雪深の平均183cm(112～305cm)に至る。その平均47日(28～67日)後の4月30日に消雪する。日当たりの雪面低下量は3.9cmとなる。また、積雪深が100cm未満となる月日は平年で4月9日であった。

### (2) 合算土壌雨量指数と合算水量

図-3に2014～2023年の調査地の融雪期3～6月における合算土壌雨量指数と合算水量を示す。図中のスネーク曲線上の◆印は、2018年3月9日の災害発生時の合算土壌雨量指数と合算水量である。

合算土壌雨量指数は0～214mm、合算雨量は0～42mmの範囲であった。合算土壌雨量指数は概ね160mm以下、合算水量は概ね15mm以下の範囲に多くのデータが分布する。ここで、合算水量が15mm以下であっても土壌雨量指数が高い状態となる場合があ

る。このことから融雪期には気温の上昇で融雪水が地盤に供給され、地盤内では比較的含水状態の高い状態にあることが推察される。

図-4 に 2018 年 3 月 9 日の災害の発生前～発生時における気象の記録を示す。気温は災害発生 10 時間前からプラス側であった。降雨は 14 時間前から始まり、最大時間量は 35mm であった (表-1 の事例 6)。この気温上昇と連続降雨の影響で 206cm の積雪深が 11 時間後の災害発生時に 175cm と 31 cm 低下し、前述した日当たりの雪面低下量 3.9mm のおよそ 8 倍の雪面低下が生じた。

次に、前述した 2014～2023 年の融雪期 3～6 月の合算土壤雨量指数 160mm、合算水量 15mm に対して災害発生時の値を比較すると、合算土壤雨量指数 159mm は 160mm に近く、合算水量 37mm は 15mm の 2 倍以上であった。ただし、災害発生時の値は、それまで経験した土壤雨量指数と合算水量の最大値よりも低い値であり、ピーク時に必ずしも災害が発生するとは限らないことが分かった。

以上のことから、合算土壤雨量指数と合算水量は当地域での災害発生の可能性が高まる状態を評価するための目安となるが、その値に至るまでの地盤内での貯留水量の経時変化や、降雨と融雪水が過剰に供給される直前の貯留水量の状態を加味できることがより望ましい。

### (3) 積雪の有無別の合算土壤雨量指数と合算水量

図-5, 6 に融雪期に積雪がある状況での合算土壤雨量指数と合算水量、その頻度分布を示す。まず、調査期間内において、積雪がある状況での合算土壤雨量指数は 0～166mm であり 0～150mm に 99% のデータが分布する。合算水量は 0～37mm であり 0～10mm に 99% のデータが分布する。

次に、図-7, 8 に融雪期に積雪がない状況での合算土壤雨量指数と合算水量、その頻度分布を示す。

調査期間内において、積雪がない状況での合算土壤雨量指数は 0～217mm であり 0～80mm に 97% のデータが分布する。また合算水量は 0～42mm であり 0～10mm に 98% のデータが分布する。

ここで、積雪がある状況とない状況で合算土壤雨量指数を比較すると、後者では 97% が 0～80mm であるのに対し、前者は 99% が 0～150mm である。このことは積雪のある状況では融雪水量が地盤に供給されていることから積雪のない状況よりも高い値を示すものと考えられる。一方、最大値が後者で大きい理由は、時間当たりの大きい降雨によって合算水量が大きくなり、あわせて合算土壤雨量指数も大きくな

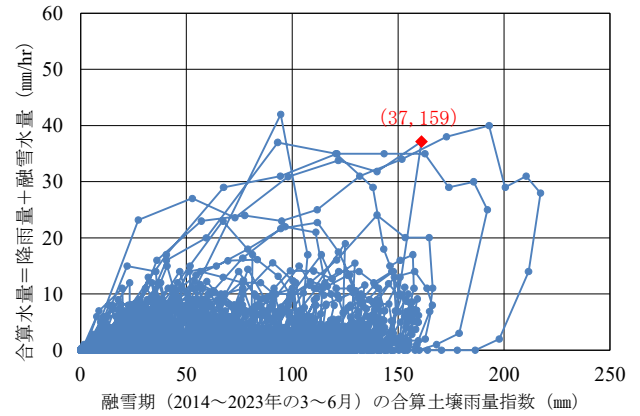


図-3 合算土壤雨量指数と合算水量

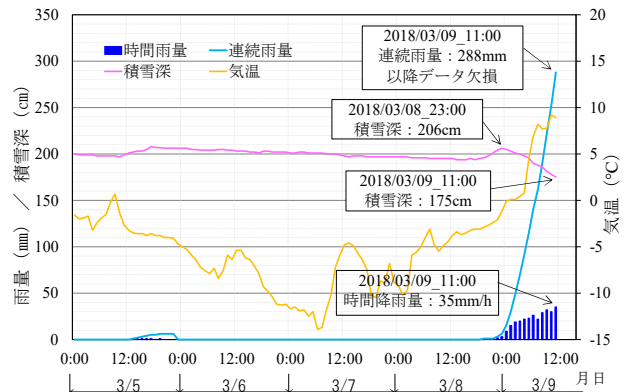


図-4 調査地の災害の発生前から発生時の気象

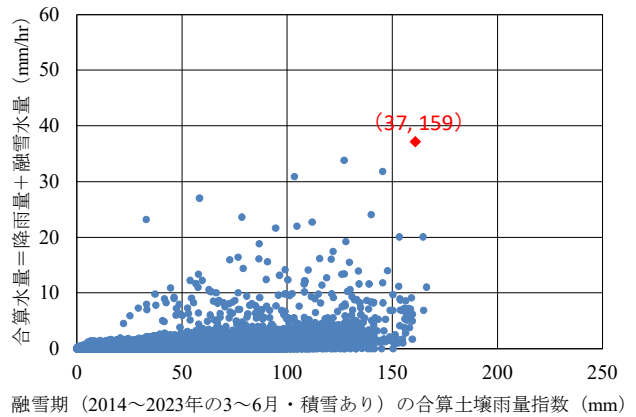


図-5 積雪がある状況での合算土壤雨量指数と合算水量

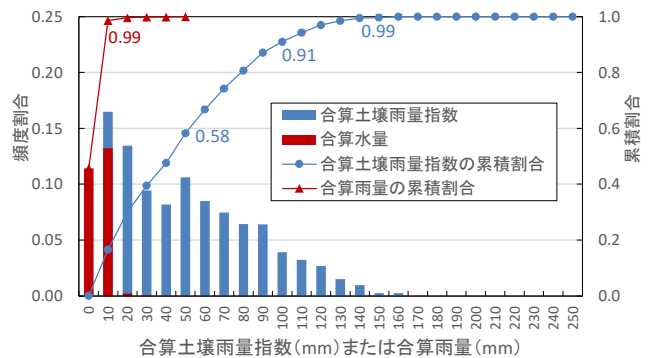


図-6 合算土壤雨量指数と合算水量の頻度分布(積雪あり)

ったことが考えられる。

なお、災害発生時の合算土壌雨量指数 159 mm は最大値（積雪のない状況での 214mm）より小さいが、積雪がある状況での最大値 166mm と近い値である。このことは、積雪があり融雪水が地盤に供給されると最大履歴値より小さい値でも災害が発生する場合のあることが考えられる。これらのことから当地域では積雪がある状況で合算土壌雨量指数 150mm を目安として、その値を上回ると災害発生の可能性が高まる状態になることが推察される。

#### (4) 道路管理での連続雨量と合算土壌雨量指数

図-9 に当地域における国道の通行規制を判断する条件である積雪深 100cm 以上かつ連続雨量が 80mm 以上となった事例での連続雨量の最大値と合算土壌雨量指数の最大値の関係を示す。

連続雨量と合算土壌雨量指数には積雪の有無別に、それぞれ高い相関がみられる。図の「積雪あり」の回帰式によって連続雨量 80 mm から合算土壌雨量指数を求めると 79 mm となる。一方、前述した当地域における合算土壌雨量指数の上限値 150mm から連続雨量を求めると 215mm、災害時の合算土壌雨量指数 159mm から求めると 232mm となり、災害発生時の連続雨量 288 mm（図-4）よりも低い値を与えることが分かった。また、この値が道路管理での連続雨量に基づく、湿雪雪崩を伴う土砂流出が発生する目安になると推察される。

### 5. まとめと今後の課題

本調査の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 本地域で 2018 年 3 月 9 日に発生した災害時には 2014～2023 年の記録による日当たり雪面低下量 3.9cm の約 8 倍の雪面低下が 11 時間で生じた。
- 2) また、2014～2023 年の融雪期 3～6 月における融雪水を加えた合算土壌雨量指数を積雪の有無に応じて求めた結果、積雪が残っていて融雪水が供給される状況では合算土壌雨量指数が 0～150 mm の範囲にあることが分かった。
- 3) 道路管理での連続雨量と合算土壌雨量指数の関係を分析した結果、両者の相関は良いことが分かった。この関係式をもとに災害発生時の合算土壌雨量指数から連続雨量を求めた結果、災害時の連続雨量より低い値となり、湿雪雪崩に伴う土砂流出の目安になることが推察された。

今後は、融雪期の災害事例をより多く収集分析するとともに、融雪期の気温上昇に伴う連続的な地盤

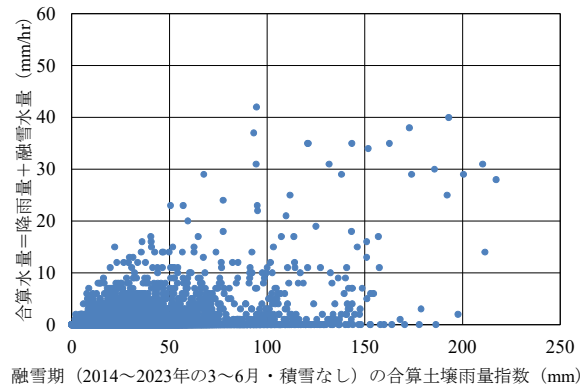


図-7 積雪がない状況での合算土壌雨量指数と合算水量

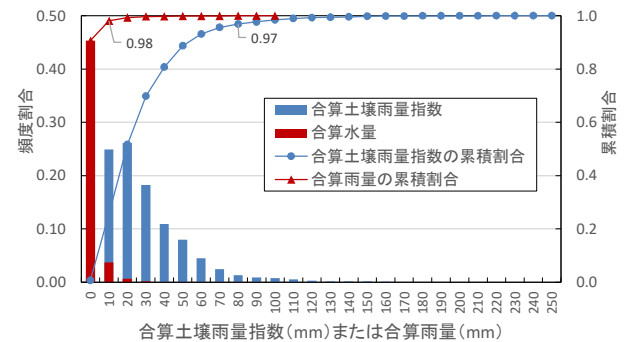


図-8 合算土壌雨量指数と合算水量の頻度分布（積雪なし）

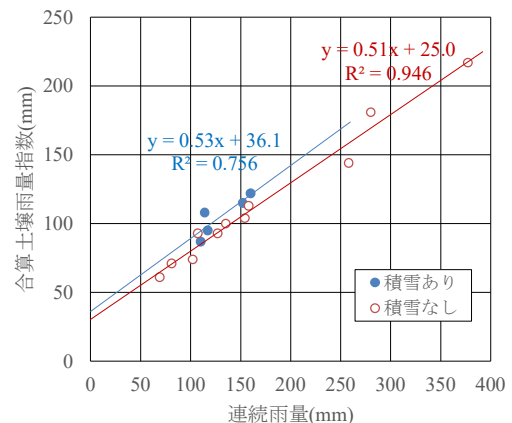


図-9 連続雨量と合算土壌雨量指数

内への融雪水の供給、さらに、そこに降雨が供給された状況を現わすことができる指標や新たな目安について検討を進めるとともに、災害発生との関係についても分析を進めたい。

**謝辞：**本調査にあたり、調査資料等の提供ならびに現地調査にご協力いただいた国土交通省北海道開発局帯広開発建設の関係各位に記して深謝致します。

#### 参考文献

- 1) 山本佳宏, 村上勇一, 青木卓也：一般国道 236 号天馬

- 街道における広域道路雪崩に対する自主的道路規制の運用, 第 64 回北海道開発技術研究発表会論文集, pp. 601-606, 2020.
- 2) 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部: 国道 236 号野塚峠防災検討会 (概要), [https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/douro\\_keikaku/ct111r000000015o-att/fns6al000000mqft.pdf](https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/douro_keikaku/ct111r000000015o-att/fns6al000000mqft.pdf), 2024.3.24.
- 3) 河島克久, 伊豫部 勉, 沖田竜馬: 2018 年 3 月 9 日の Rain-on-Snow イベントに伴って北海道で発生した雪泥流災害, 雪氷研究大会 (2018・札幌) 講演要旨集, p. 56, 2018.
- 4) 環境省: 気候変動適応計画, [https://www.env.go.jp/earth/earth/tekiou/page\\_00004.html](https://www.env.go.jp/earth/earth/tekiou/page_00004.html), 2023.12.10.
- 5) 川又基人, 岡崎健治, 島田智宏: 一般国道 236 号天馬街道における雪崩発生斜面の地形及び堆積物の特徴, 第 67 回北海道開発技術研究発表会論文, 安-70(道), 2024.
- 6) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所防災地質チーム: 融雪期における切土法面・道路斜面災害の調査マニュアル (案), 43p, 2024. <https://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>, 2024.3.24.
- 7) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所防災地質チーム: 融雪期における切土法面・道路斜面災害の調査マニュアル (案), 参考資料 2, 融雪指標の計算方法, 12p, 2024. <https://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>, 2024.3.24.
- 8) 気象庁: 土壌雨量指数, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>, 2024.3.24.
- 9) 七山 太: 北海道中軸部南部, “中の川層群” の層序と岩相, 地質学雑誌, 第 98 巻, Vol. 11, pp. 1041-1059, 1992.
- 10) 米倉伸之, 貝塚爽平, 野上道男, 鎮西清高: 日本の地形 1, 総説, 349p, 2001.
- 11) 国土交通省: 大雪時の予防的通行規制区間, <https://www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/yukimichi3.html>, 2024.3.24.
- 12) 日外勝仁, 田本修一, 倉橋稔幸: 融雪を考慮した土壌雨量指数に基づく事前通行規制に関する分析, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会予稿集, III-186, 2022.
- 13) 松山 洋, 田中大輔, 齋藤 仁: 50 年確率値を用いた土砂災害発生危険度の評価ー土壌雨量指数と 1 時間雨量を用いてー, 水文・水資源学会 2014 年度研究発表会要旨集, p. 100068, 2014.
- 14) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 気象庁大気海洋部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方, 2023.

(2024. 5. 31 受付)