

気候変動を考慮した融雪期土砂災害の評価

Evaluation on avalanche and debris flow phenomena in snow-melt season considering global warming

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院

○学生会員 木戸菜摘 (Natsumi Kido)
正 会 員 川村志麻 (Shima Kawamura)

1. はじめに

北海道は、他地域に比べ、厳しい積雪寒冷気候下にある。そのような地域では、水資源を積雪に依存していることから、気候変動の影響¹⁾が大きいと言われている。将来気候の気温上昇や降水量の増加に伴い、融雪期における雪崩・土石流リスクの増加が懸念されている。既往の研究²⁾では、平成30年3月9日に、一般国道236号北海道広尾町野塚トンネル付近で発生した雪崩災害³⁾について、土石流解析ソフト iRIC Morpho2DH を用いた解析を行い、雪崩と雪泥流現象の再現が可能であることを示している。今回対象にしている野塚トンネル付近は急峻な日高山脈の西側に位置し、雪崩が発生しやすい地形のため、本災害以外にも過去に複数回雪崩が発生している。例えば、平成27年3月2日には同路線上で雪崩が発生し、それによって近隣にある2級河川が閉塞され、河川を乗り越えた雪崩が道路を塞いだ事例もある⁴⁾。また、野塚峠では雪崩発生地点が複数箇所同時発生した災害も報告されている。本研究では、過去の研究と同様に、iRIC Morpho2DH を用いて、今まで雪崩発生地点の特定が困難であった点を、斜面地形や融雪水の集まり方の観点から災害発生リスクを考察し、雪崩、雪泥流の発生予測が可能かどうかを検討した。その後、気候変動の影響を考慮し、将来気候における雪崩・土石流発生の災害評価を行った。

2. 使用データ

対象地域を図-1に示す。本研究では、気象庁のMRI-NHRCM20（気候変動予測モデル）⁵⁾の20km格子気象データを、千田ら⁶⁾が北海道全域を対象に1km格子毎に統計的ダウンスケーリングした高解像度のデータセット（以下、1km格子NHRCM20と称す）を使用した。このデータセットはDSJRA-55（領域ダウンスケーリングモデル）⁷⁾および気象庁平年値⁸⁾を用いてバイアス補正し、ダウンスケーリングしたものである。また、予測シナリオは地球温暖化への対策を一切行わなかった場合の最悪のシナリオであるRCP8.5シナリオ⁹⁾について、海面水温SST1～SST3の中で最も海面水温の高くなるSST3を採用し、現在気候との最も大きい変化量を評価する。対象期間は現在気候（1984年9月～2004年8月）、将来気候（2080年9月～2100年8月）とする。表-1にNHRCM20および1km格子NHRCM20の概要を示す。

3. 気候変動による気温と降水量の変動

現在および将来気候の各20年間で3-5月の気温が最も平均に近い年の気温変化を図-2に示す。融雪期である3-

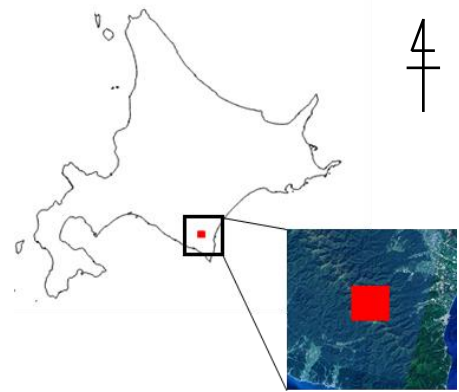


図-1 今回対象とした解析範囲

表-1 NHRCM20 の概要

MRI-NHRCM20→1km格子NHRCM20		
	現在気候	将来気候
空間解像度	20km→1km	20km→1km
対象期間	1984年9月～2004年8月 (日データ)	2080年9月～2100年8月 (日データ)
将来予測シナリオ	—	RCP8.5
海面水温パターン	HadISST	SST3
気象項目	降水量・気温	

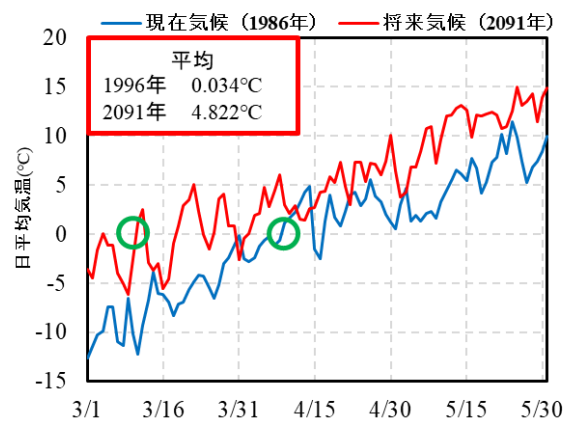


図-2 融雪期の日気温変動

5月においても気温が上昇していることがわかる。また、気温がプラスになる最初の日に着目すると、将来気候では現在気候より1か月近く早まっていることから、冬の終わりが早まっていることがわかる。

次に同期間の3か月間の合計降水量と日降水量を図-3

に示す。現在気候の1996年では3か月の合計降水量が328mmなのに対して将来気候の2091年では600mmと大きく増加していることがわかる。また、最大日降水量に着目すると現在気候が43mmなのに対して将来気候は80mmとこちらも倍近く増加している。さらに、40mm以上の降水量となる日数も増えていることから、将来気候では、この領域において、融雪期の日降水量が増加することが指摘される。実際、北海道では、融雪期の雪崩・土砂災害は増加傾向⁹⁾にあることから、今後は多方面から災害リスクを議論することが重要となろう。

4. 解析概要

本研究で使用した iRIC は水工学に関わる数値シミュレーションツールである。ここでは、その中の一つである土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバ Morpho2DH を用いた解析を行った。解析モデルでは、掃流力・抵抗係数・河床位が求められるようになっている。なお、詳細は既報^{10), 11)}に詳しい。iRIC Morpho2DH では「流れのみ」、「掃流砂・浮遊砂」、「土石流・泥流」の3種類の解析が可能である。本解析では、はじめに雪崩・土石流の発生リスクが高い地点を、流体の流れやすさと集水地形の観点から調べた。その後、雪泥流条件での疑似解析を行った。ここで、実際のデブリ量に対する逆解析を行った既往の研究⁴⁾では、雪崩・土石流・雪泥流（土石流と雪崩が同時発生したもの）の3種類の堆積範囲・堆積量・流動距離を比較した際、雪泥流が最も甚大な被害がでることを明らかにしている（表-2 参照）。ここでは、災害の影響が大きい雪泥流現象に着目し、評価を行うことにした。用いた解析のパラメータの設定は以下のとおりである。

(1) 流体の流動特性の評価と集水箇所の推定

ここでは、はじめに流体の流れやすさと集水箇所から、最も雪崩・土砂災害が発生しやすいと考えられる箇所の推定を行う。

① 「境界条件」

本解析では「流量」と「下流端水位」を設定し、ある流域に所定の流量を与えた。流量は開始時から終了時まで一定としている。下流端水位は開始時のみ 0m に設定した。

② 「河床材料の種類」

「河床材料」は一様砂から混合砂まで解析可能であり、ここでは河床材料をザラメ雪の一様材料として評価した。また、ザラメ雪の平均粒径は上石らの研究¹¹⁾を参考に 2mm とした。

(2) 雪泥流解析

① 「河床材料の種類」

雪泥流解析では、野塚峠で採取した土試料とザラメ雪の混合土砂流として評価した。

② 「土粒子の存在率および平均粒径」

野塚峠で採取した土試料とザラメ雪の平均粒径と存在率を表に示す。雪泥流の解析では、流下過程で生成される可能性の高い凝集体（雪・流動土砂の混合体）から、流動前の土粒子の存在率および流動開始後の存在率を算定した。既往の研究¹²⁾より、凝集体の全体

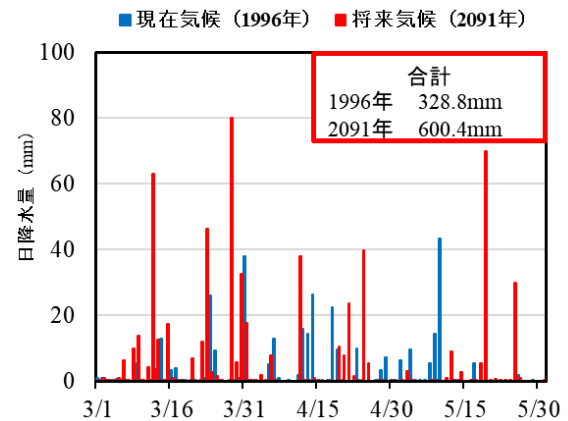


図-3 融雪期の日降水量

表-2 既往の研究の解析結果

	雪崩	土石流	雪泥流
堆積範囲 (㎡)	17,171	8,173	20,965
堆積量 (㎡)	21,609	1,448	60,377
流動距離 (m)	1,117	1,035	1,123

表-3 解析に用いたパラメータ

	野塚峠土試料	ザラメ雪
平均粒径(m)	0.012	0.002
流動前の存在率(%)	47	15
流動後の存在率(%)	47	15
内部摩擦角 (degree)	42	
液体として振る舞う土砂の割合	0.1	

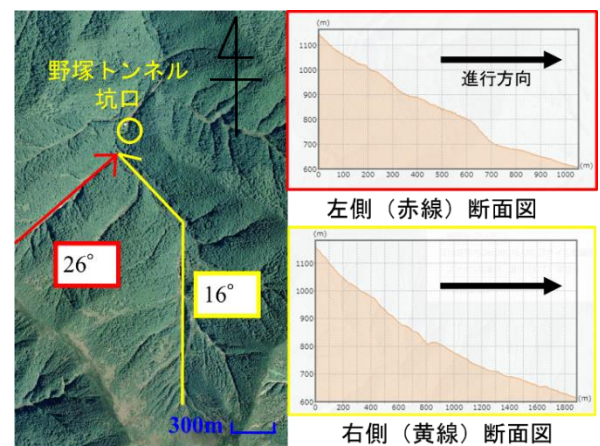


図-4 野塚トンネル周辺斜面の断面図と傾斜角

に占める土粒子の割合は $F_c=0\%$ では47%であることが明らかにされている。その値を代表値として解析に用いた。また、平均粒径は、野塚峠の土試料では 12mm、ザラメ雪の粒径は(1)の解析と同様、2mm とした。野塚峠の土試料とザラメ雪の平均粒径と存在率を表-3に示す。

③ 「流体として振る舞う土砂の割合」

iRIC では、0.2mm 程度以下の土砂の割合によって

流体として振る舞う割合が規定されている．本解析では既往の研究の粒度試験より，その割合を 0.1 とし解析を行った．

④「内部摩擦角（せん断抵抗角）」

地盤工学会基準の土の一面せん断試験方法（JGS 0561）に基づき，野塚峠土試料に対し一面せん断試験を行い，得られたせん断抵抗角 $\phi=42^\circ$ を解析に用いた．

5. 解析結果と考察

ここでは，この領域に，ある一定量の降雨があり，流水が発生した場合を想定し，どの箇所に流体が集水するのかを，はじめに調べてみた．図-4に野塚トンネル周辺斜面の断面図と傾斜角を示す（国土地理院地図に加筆）．左側の赤線部の斜面は傾斜約 26° ，右側の黄線部斜面は約 16° と中～急斜面であった．図-5は，図-4について，流体の流れやすさと集水地形の観点から災害発生地点を特定した結果を示す．図の左側は解析開始から 0 秒後，右側が 35 秒後に，流れが発生する様子を示している．解析結果より 2 方向から流体が流れ込み，合流時にはその流量が増加することがわかる．前述のように，既往の研究では，実際の雪崩のデブリ量から逆解析によって雪崩発生箇所を推定しているが，その地点は図の左側の赤丸の地点であり，今回の流れやすさと集水地形を考慮した解析結果の左側のルートと一致する．仮に 2 ルート（左右図）で同時多発的に雪泥流が発生するケースでは，被害が拡大する可能性が指摘される．

ここでは，前述の 2 つの主ルートから崩壊が発生したと仮定し，雪泥流条件で雪崩・土砂の堆積量の推定を行った．その結果を図-6に示す．左図が図-4に示した赤色の経路での結果であり，解析開始から 106 秒後の堆積状況を示す．また，右図が図-4において黄色で示した経路であり，解析開始から 238 秒後の堆積状況である．ここで用いた斜面崩壊の面積と深さ，最大浸食深さは表-4に示すとおりである．解析結果より，赤線の経路は合流直前の堆積量は約 $67,000 \text{ m}^3$ ，黄線の経路は約 $24,000 \text{ m}^3$ ，合計は $91,000 \text{ m}^3$ となり，既往の研究²⁾で得られた雪泥流の堆積量 $66,000 \text{ m}^3$ と比較すると堆積量が約 1.4 倍増加することがわかる．このことから，中～急斜面で合流地点のある斜面では，複数方向からの雪泥流が合流し，被害が拡大する可能性がある．

さらに，野塚峠トンネル近隣において，同様の災害リスクのある地点の解析を行った．最初の解析範囲（野塚峠）と類似地形による解析範囲を図-7に示す．はじめに，斜面の断面図と傾斜角を図-8に，流体の流れやすさと集水地点の解析結果を図-9に示す．この地点も上側が 25° ，下側が 21° の中～急斜面であり，先ほどの解析と同様，分岐している部分から流水が始まり，合流後にその流量が増加している．雪泥流解析の結果を図-10に示す．左図が解析開始から 20 秒後，右図が 110 秒後の様子である．その結果，堆積量は約 $5,100 \text{ m}^3$ となった．また，今回の類似地形の解析では，雪泥流は道路まで到達しなかったが，雪泥流等の流体の流れやすさによっては，被害が拡大する可能性もある．

以上より，野塚峠のような急峻な地形において，合流

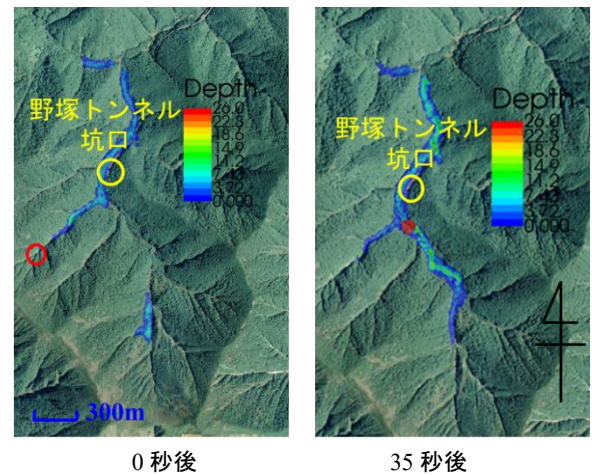


図-5 野塚トンネル周辺 流動発生地点の推定解

表-4 斜面崩壊面積と浸食深さ

斜面崩壊体積(m^3)		最大浸食深さ(m)
表面積(m^2)	深さ(m)	0.3
10×10	0.3	

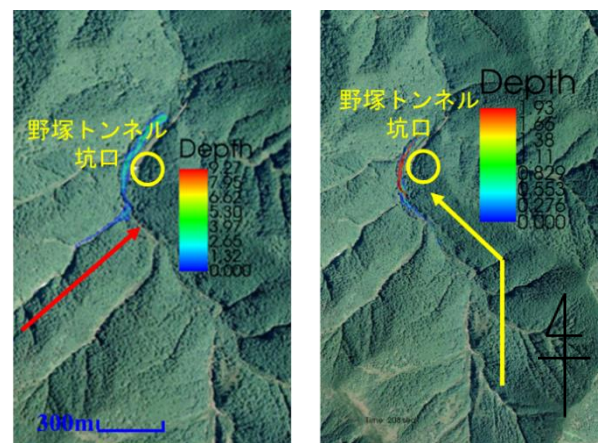


図-6 野塚トンネル周辺 雪泥流解析結果

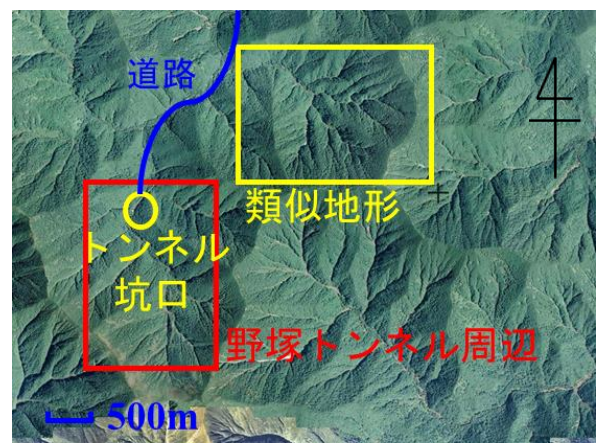


図-7 解析範囲の位置関係

部のある斜面は雪崩・土砂流動の発生時に、被害が拡大する可能性が高いことが示された。なお、用いたパラメータの設定については、妥当性も含め、今後さらなる検討が必要である。

6. まとめ

一連の解析を行った結果、以下のような結論を得た。

- (1) 将来気候では、融雪期において気温が上昇し、雨量の多い日が増える。融雪期災害の増加が危惧される。
- (2) 土石流解析を対象とした iRIC Morpho2DH では、用いるパラメータを設定することによって、疑似的に雪泥流、雪崩現象を再現することが可能である。
- (3) 急峻な地形かつ合流部のある斜面では、同時多発的に雪崩・雪泥流災害が発生する可能性がある。

謝辞

本研究を実施するにあたり、北海道開発局室蘭開発建設部より、試料ならびに、各種災害情報の提供を頂いた。なお、本研究は、令和3年度一般財団法人北海道河川財団研究助成金の補助を受けて行われた。また、利用したデータセットは、文部科学省委託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム (DIAS) と気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の下で、収集・提供されたものである。記して、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書第1作業部会報告書 (自然科学的根拠) の公表について、pp.10, 2013.9,
- 2) 横山遼, 川村志麻, 楠田佑平, 土木学会北海道支部年次研究論文発表会, 土木学会, 令和2年度土木学会北海道支部年次研究論文集, 第77号, C-05, 2021.1
- 3) 国土交通省 北海道開発局：国道236号野塚峠にて雪崩発生
- 4) 加我 直孝, 佐藤 敏宏, 林 弘幸：一般国道236号 (天馬街道) 野塚峠における雪崩事前通行規制について, 第59回 北海道開発技術研究発表会発表論文, 2015
- 5) 環境省：環境省 地域気候変動予測データ (協力：気象庁), 2018.12
- 6) 千田佑磨：北海道全域の気候変動の影響を推定するための高解像度 Downscaling 情報の作成, 平成30年度室蘭工業大学卒業論文, 2019.3
- 7) 気象庁：JRA-55 領域ダウンスケーリング (DSJRA-55), 2017.3
- 8) 気象庁ホームページ：過去の気象データ (平年値), (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>)
- 9) 川村志麻：気候変動脆弱地域の複合地盤災害のリスク評価に関するワークショップ, 土木学会北海道支部, 2021.5.12.
- 10) 山田真嘉, 川村志麻, 岩間結：融雪期に発生した雪崩・土砂流動現象とその評価, 土木学会北海道支部

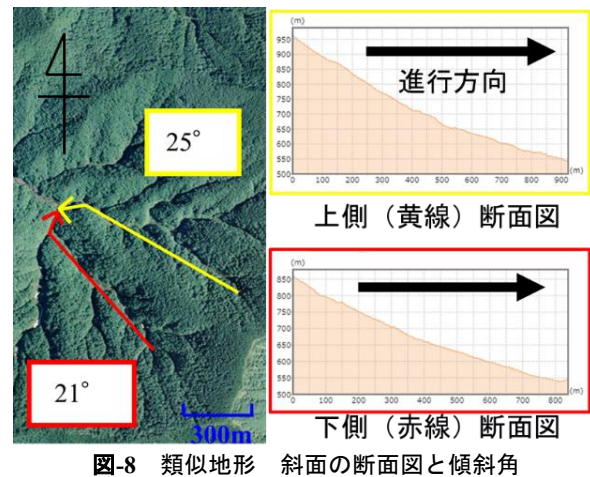
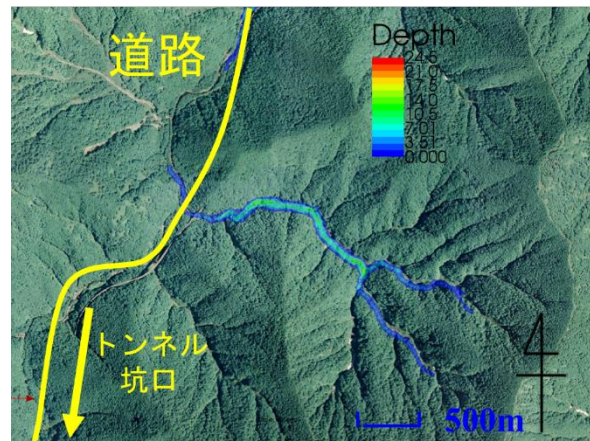
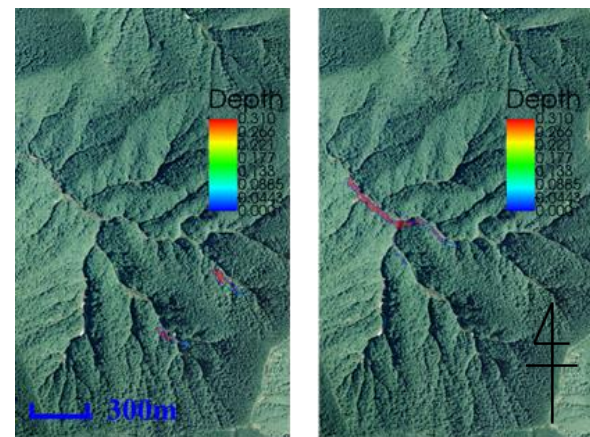


図-8 類似地形 斜面の断面図と傾斜角



50 秒後

図-9 類似地形 水の流れの解析結果



20 秒後

110 秒後

図-10 類似地形 雪泥流解析結果

研究発表論文集, 第76号, No. C-07, 2020.1

- 11) 上石勲, 町田敬, 小田憲健一, 山田悟, 佐藤篤司：雪粒同士の結合が弱い湿雪の粘着力と内部摩擦角の測定, 雪氷研究大会, 2009.
- 12) 川村志麻, 山田真嘉：融雪期に発生した雪崩・土砂流動現象とその工学的評価, 第55回地盤工学会研究発表会講演集, No. 22-12-1-06, 2020.7