

気候変動を考慮した融雪期土砂災害の危険度評価手法の確立

室蘭工業大学大学院 工学研究科

北海道大学大学院 工学研究院

北海学園大学 工学部

川 村 志 麻

石 川 達 也

所 哲 也

気候変動を考慮した融雪期土砂災害の危険度評価手法の確立

Risk assessment of geo-disaster in snowmelt season considering climate changes

川村 志麻¹・石川 達也²・所 哲也³

Shima KAWAMURA, Tatsuya ISHIKAWA and Tetsuya TOKORO

¹室蘭工業大学 大学院工学研究科 教授

²北海道大学 大学院工学研究院 教授

³北海学園大学 工学部 准教授

要 旨

平成30年3月9日、国道236号野塚峠トンネル付近で雪崩が発生し、道路施設等に影響を与えた。この被災状況を確認すると、雪崩に加え土砂が広範囲に堆積していることが確認されている。それゆえ、雪崩と土石流の発生も視野に入れた検討が必要である。気候変動の影響の顕在化も指摘されており、融雪期の雪崩と土石流の土砂災害が多発する可能性がある。本研究では、iRIC を用いて、気候変動を考慮した融雪期の土砂災害危険度評価手法の確立を目指す。本報告では、土石流解析ソフトiRIC Morpho2DHを用いて、新たに大量アンサンブルデータd4PDFによる当該地域の現在気候と将来気候による降雨量と気温を把握し、地形的集水特性を考慮した同解析から、将来気候における雪崩-土石流現象の被害発生リスクについて考察した。特に、雪崩と土石流（雪泥流）に対する土砂災害の堆積範囲・土砂量・流動距離を被害因子として将来気候における危険度を評価している。得られた結果から、雪崩-土石流発生箇所の推定、それに基づいた土砂発生量の推定に至るまでの簡易手法を提案した。

《キーワード：雪崩；土石流；気候変動；斜面災害リスク；将来気候》

1. はじめに

平成30年3月9日、一般国道236号北海道広尾町野塚トンネル付近において、雪崩が発生し、道路施設や交通網に影響を与えた。この融雪期災害の被災状況を確認すると、雪崩に加え、土砂が広範囲に堆積していることが確認されている。当時の連続雨量が293mmであることを考えると、同時に土砂流動の発生も視野に入れた検討が必要である。気候変動の影響の顕在化が指摘¹⁾されている中、このような融雪期の雪崩・土砂流動（土石流）被害が多発する可能性が指摘される。

本報告では、令和2、3年度に引き続き、土石流解析ソフトiRIC Morpho2DHを用いて、新たに大量アンサンブルデータd4PDFを用いた当該地域の現在気候と将来気候による降雨量と気温を把握し、地形的集水特性を考慮した同解析から、将来気候における雪崩－土石流現象の災害リスクについて検討した。ここでは、雪崩と土石流（雪泥流）に対する土砂災害の堆積範囲・土砂量・流動距離を被害因子として将来気候による危険度を評価している。得られた結果から、雪崩-土石流発生箇所²⁾の推定、それに基づいた土砂発生量の推定し、この種の現象に対する簡易検討手法を確立し、研究を総括した。

2. 北海道で発生した過去の土砂災害および雪崩災害の特徴

気候変動による影響を議論するために、はじめに北海道で発生した過去の土砂災害の特徴を把握する。ここでは、過去およそ100年の主な土砂災害の発生年月日、発生箇所、誘因、地形、表層地質を、地すべり学会北海道支部が発行した「北海道の地すべり'99」と「北海道の地すべり2012」と地盤工学会北海道支部が発行した「北海道の火山灰質土の分布と特徴、実務家のための火山灰質土～特徴と設計・施工、被災事例～」を参考²⁾³⁾⁴⁾とし、土砂災害の特徴を整理した。なお、発生箇所は広範囲にわたらないものに限定している。地形と表層地質は国土地理院（現：国土交通省（国土地理院））と国土庁（現：国土交通省）発行の「土地分類図」を用いて調査している⁵⁾⁶⁾。なお、**図-1**～**図-3**は、令和3年度の結果を再掲し、それに加え、地質年代による発災件数および北海道の約40%を占める降下火砕堆積物および火砕流堆積物の発生件数について整理した。それらの特徴と傾向を示す。

図-1は発生誘因の割合を示したものである。図より、最も多い誘因は降雨による事象であり、融雪や地震に関連するものも含めると70%以上を占める。また、融雪関連のものは約25%を占めている。このことから、融雪期災害に対する注意が必要であることがわかる。

次に、地域別の特徴を整理してみた（**図-2**）。ここでは、地域によって面積が大きく異なるため、単位面積当たりの発生件数として評価している。土砂災害発生件数が最も多い地域は後志地方で、最も少ない地域は十勝地方である。俯瞰的にみると、地域による違いはそれほど大きくはないが、山地が多い地域ほど件数が多く、台地や平地が多い地域ほど発生件数が少ない傾向にある。また、地形別では、山地が最も多く、次に砂礫台地、扇状地性低地が同数で続き、次いで丘陵地、火山地、ローム台地、岩石台地、三角州性低地となった。結果として、山地が突出して多いほか差はあまり認められない。地形分類図から判断すると、台地や低地での災害のほとんどが河川沿いに集中していた。低地では土石流や地すべりや盛土崩壊といった事例がみられた（**図-3**）。

さらに、地質年代ごとの発生件数について整理を行った（**図-4**）。発生件数は古第三紀よりも新第三紀、第四紀が非常に多い。古第三紀のものは粘板岩や泥岩などの固結堆積物、新第三紀から第四紀にかけては未固結堆積物や火山性岩石が多く、年代不明のものは軽石流堆積物や火山性岩石であった。このように、第四紀においては未固結堆積物の崩壊が多いことから、北海道の約40%を占める火山性堆積物⁴⁾について整理を行った。

図-5は降下火砕堆積物（テフラ）における発生件数について主な噴出源毎に分類したものである。平成30年北海道胆振東部地震では厚真町を中心にこの降下火砕堆積物が被害拡大の元凶となった⁷⁾。降下火砕堆積物は偏西風の影響を受け、東軸方向に分布する傾向⁴⁾にあり、道南から道東にかけて分布して

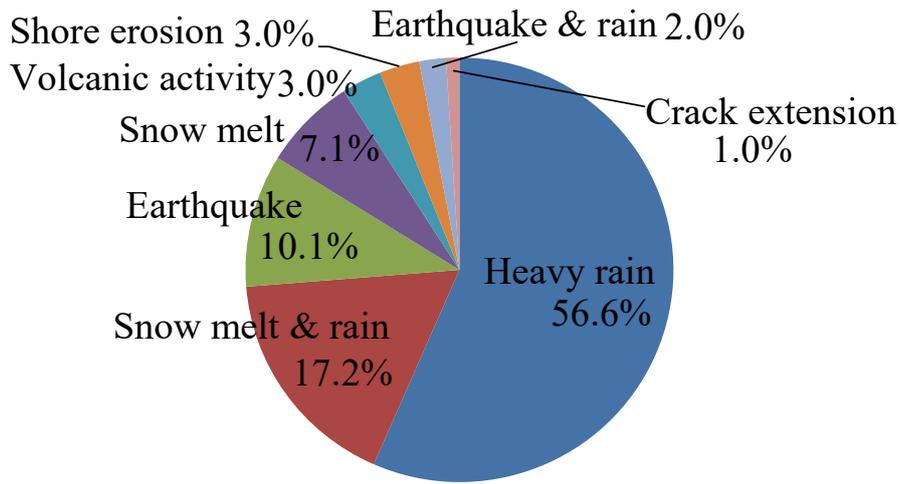


図-1 発生誘因の割合

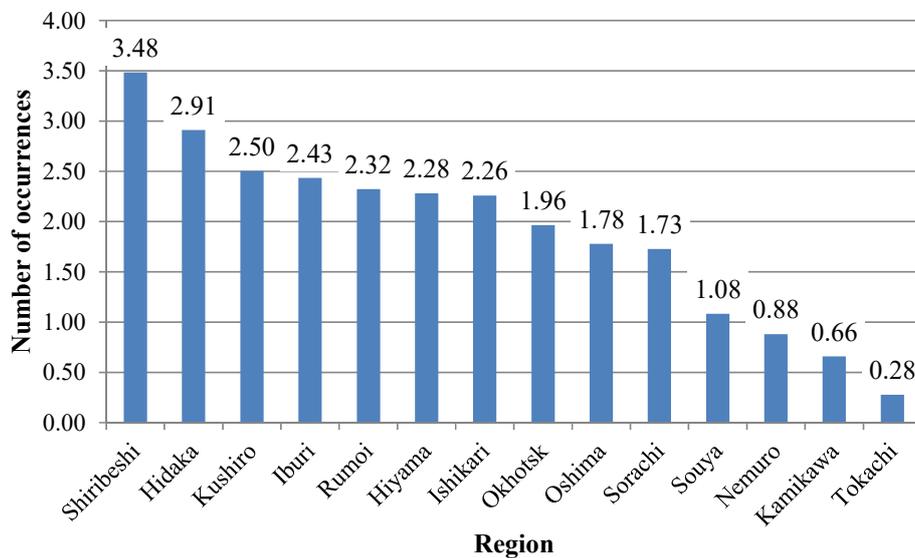


図-2 地域ごとの発生件数 (/1000km²)

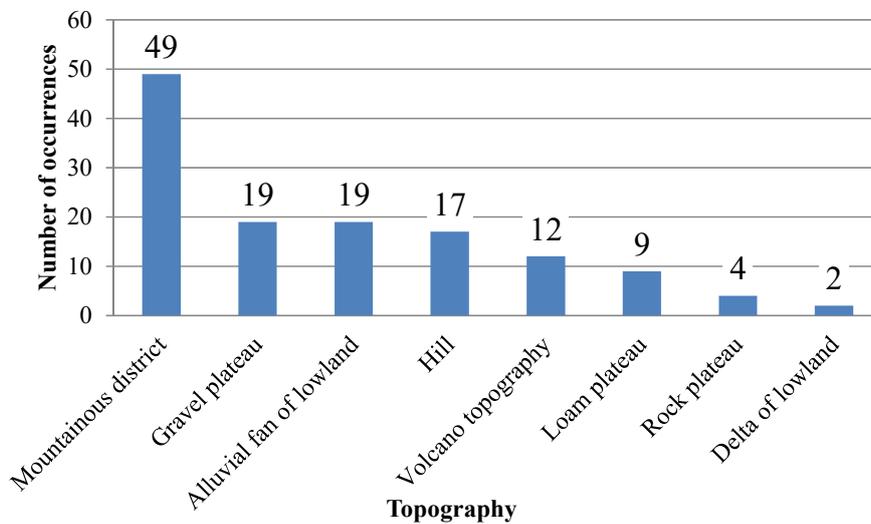


図-3 地形ごとの発生件数

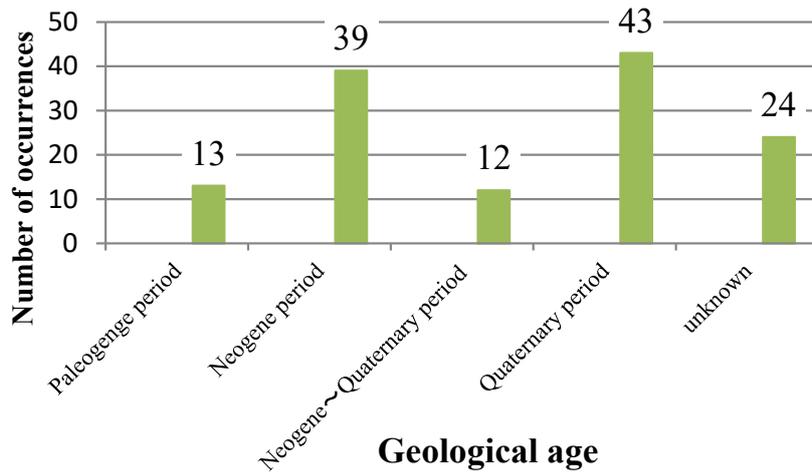


図-4 地質年代ごとの発生件数

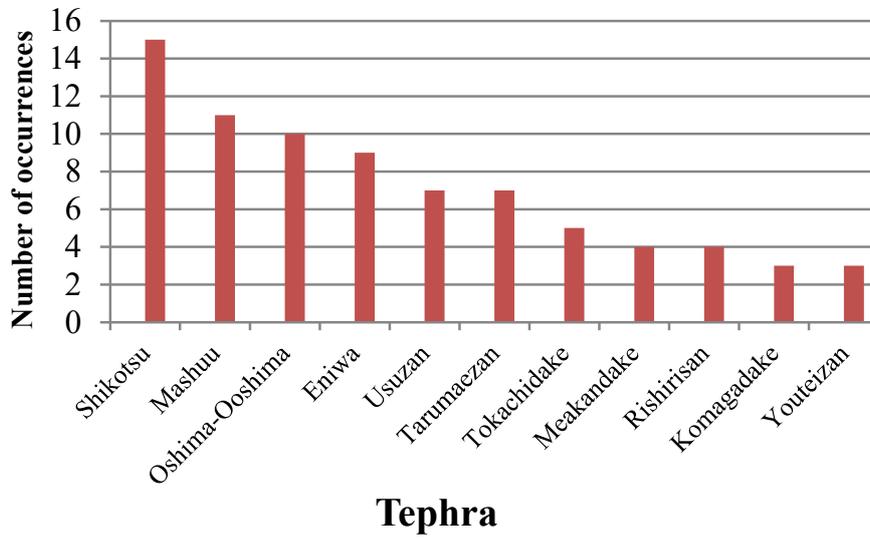


図-5 降下火砕堆積物の分布域の発生件数

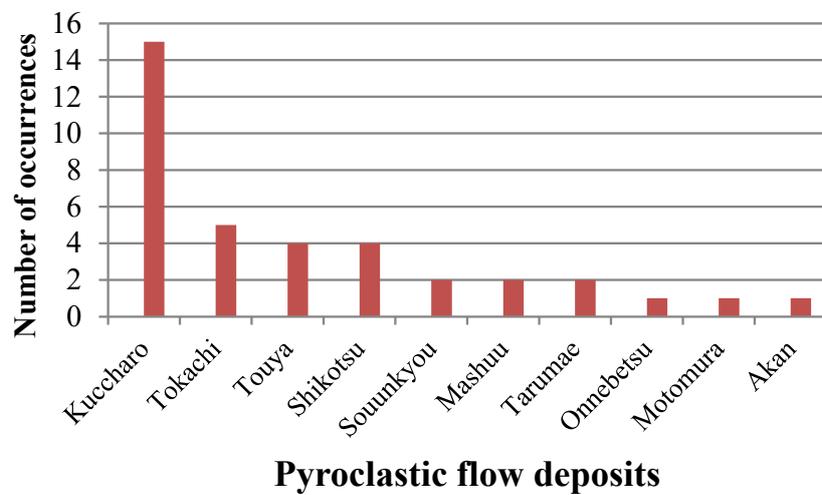


図-6 火砕流堆積物分布域の発生件数

いる。その中でも特に災害発生件数が多い堆積物は支笏降下火砕堆積物，摩周降下火砕堆積物の分布地域であった。なお，支笏降下火砕堆積物の分布域は日高山脈を越え，十勝地方まで達し，摩周降下火砕堆積物は釧路地域東部から根室地域にかけての広い範囲を覆っている。

同様に，火砕流堆積物による分類を図-6に示す。火砕流堆積物のある地域は，大きく支笏・洞爺，十勝岳周辺，道東地方に分けられる。特に，北見周辺のクッチャロ軽石流堆積物のある地域や美瑛・富良野周辺の十勝溶結凝灰岩，有珠山周辺の洞爺火砕流堆積物の順で発生頻度が高い。以上が北海道で発生した土砂災害の地質的な特徴となる。

一方，雪崩災害についても整理してみた。北海道における過去の雪崩災害の履歴⁸⁾（平成18年～令和元年）について整理したものを図-7に示す。図より，各年ばらつきはあるものの，3月～4月に発生する割合が高くなっている（緑線）。これは本研究で対象としている災害事例と同様に，降雨と融雪が急激に進んだ結果，雪崩が発生するケースが増えてきていることを示すものであろう。

以上のことから，北海道で発生する土砂災害は融雪期に多く発生していること，地域・地形による分類では山地が多い地域また比較的年代の新しい火山性の未固結堆積層で災害発生頻度が高いこと，さらには雪崩災害においても3月～4月に発生する割合が高くなっていることがわかる。よって，気候変動による影響を考慮すれば，今後，融雪期に雪崩-土砂災害の複合的な災害の発生頻度が高まる可能性があることが示唆された。

以下では，はじめに大量アンサンブルデータd4PDFを用いて算出した対象地域の現在気候と将来気候の降水量と気温の関係を把握し，次いで，今まで雪崩発生地点の特定が困難であった点を，将来気候での降水量から，斜面地形や融雪水の集まり方の観点から考察し，雪崩，雪泥流の発生予測が可能かどうかを検討した。また，将来的に同地域で雪崩・土石流災害が発生した場合を，発生土砂量の観点から考察し，将来気候に対する土砂災害の被害リスク評価について検討した。

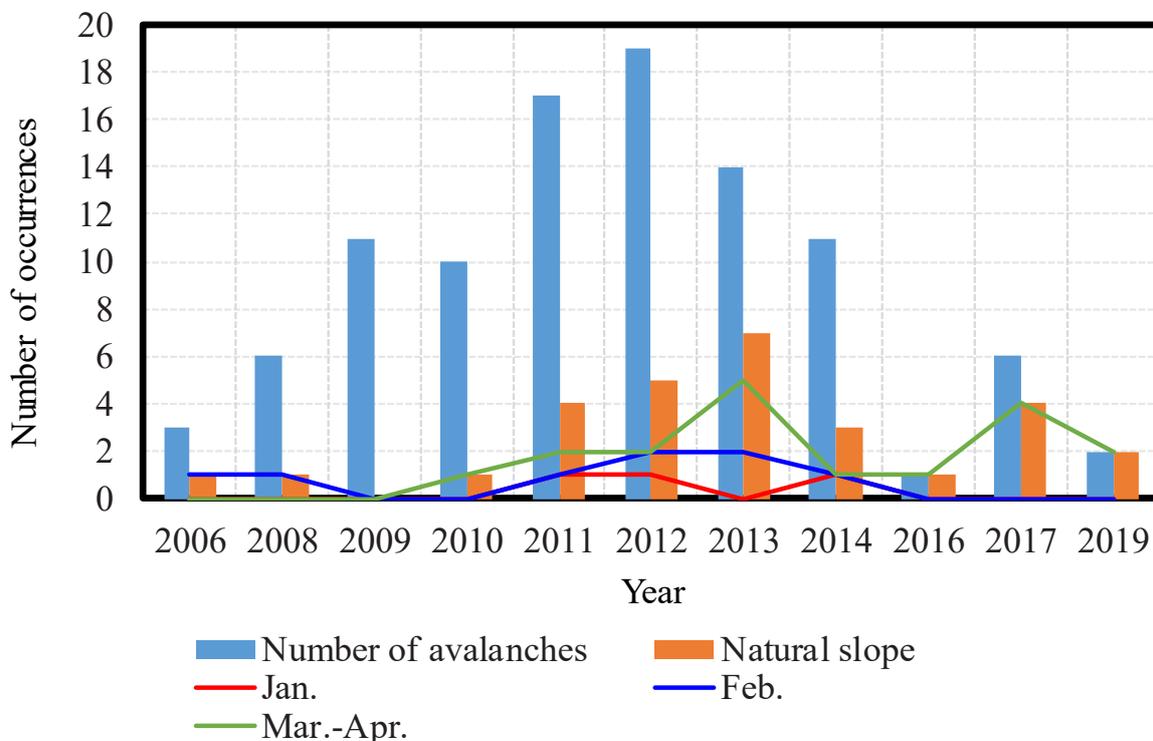


図-7 北海道における過去の雪崩災害の履歴発生誘因の割合

3. 当時の災害概要

平成30年3月9日11時20分頃、北海道国道236号野塚トンネル起点側坑口付近において(図-8)、大規模な雪崩が発生した。その後、16時10分に土石流発生情報が提供されているが、発生時間・規模などは不明となっている。

災害発生時は、平成30年3月9日に接近した前線と低気圧の影響により暖かく湿った空気とその周辺に流れ込み、気温が上昇し、災害直前までの連続雨量が293mm、最大時間雨量が37mmを記録した(図-9)。また、積雪深が22cm減少したことも確認されている。これにより、大雨と融雪が急激に進んだ結果、雪崩が発生したとされている。雪崩の規模は総量：約60,000m³、うち道路上：約7,000m³(高さ2m、幅60m、延長60m)であった⁹⁾。当時の状況を図-10に示す。雪崩堆積状況から確認されるように、雪崩と同時に土砂流動(土石流)が発生した可能性が高いことが伺える。

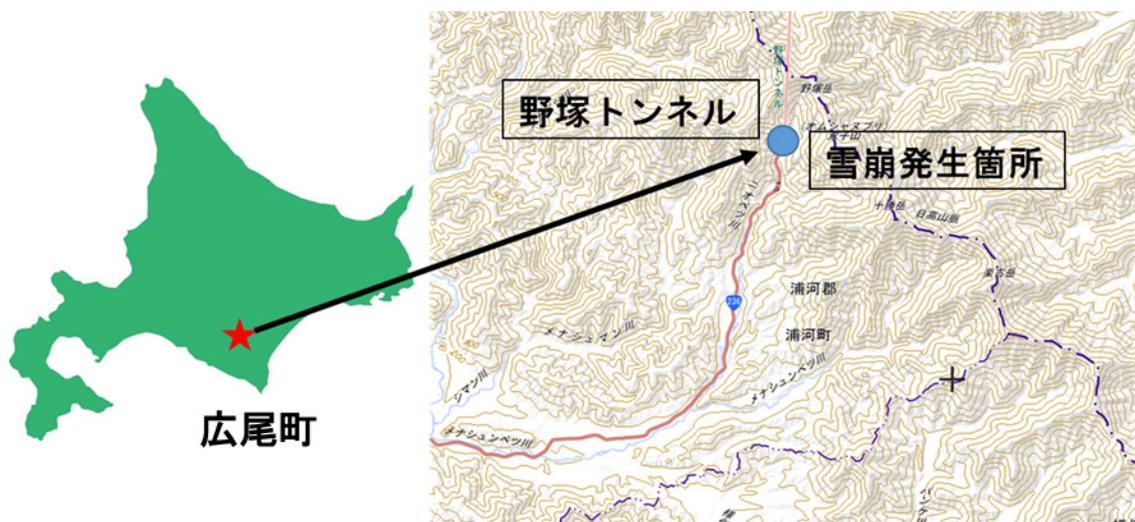


図-8 災害発生地点(国土地理院地図に加筆)

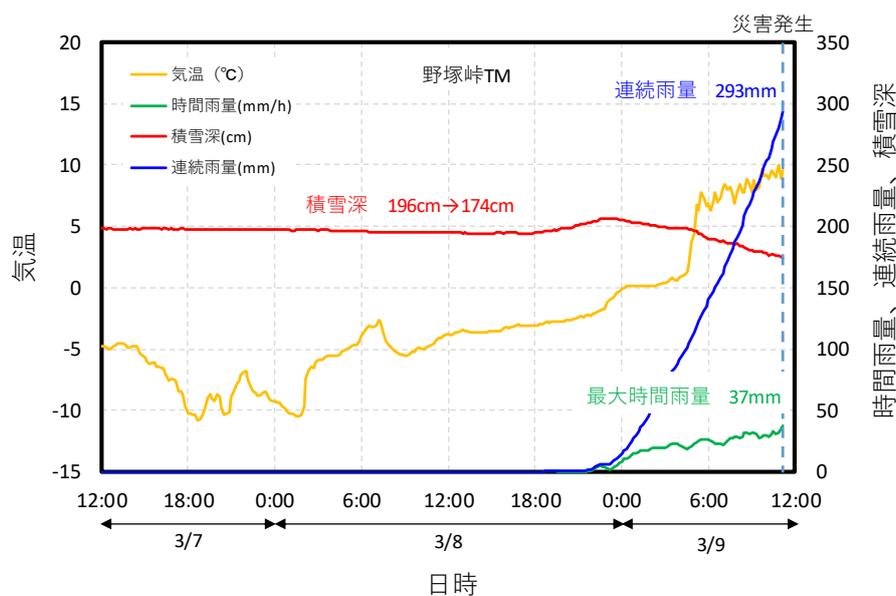


図-9 災害発生当時の気象情報(野塚峠TM, 北海道開発局室蘭開発建設部 提供)

本災害の発生の要因を災害資料⁹⁾について整理すると、次の地形的・現象論的な特徴が考えられる。

・地形的要因

野塚峠は急峻な日高山脈の西側に位置し、雪崩が発生しやすい谷地形が多い。実際、過去にはこの近隣11箇所雪崩が発生している(図-11)。このような地形では、雪崩や土石流が発生しやすいことから、雪・土砂の走路では樹木などが過去の土砂災害で流され、走路の障害物が少ないため流下速度が大きくなる(衝撃力が大きくなる)可能性がある。

・積雪状況による要因

気温上昇による大雨・融雪によって現地の積雪は、水を多く含んだ湿雪に変化していたと考えられる。湿雪内にあるザラメ雪は雪粒同士の結合が弱く、このザラメ雪が生成されたことで全層雪崩が発生した可能性が高い。

令和2年度の研究¹⁰⁾では、土石流解析ソフトiRIC Morpho2DHを用いた解析を行い、疑似的に雪崩と雪泥流現象の再現が可能であることを示しており、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、雪泥流が最も大きな被害が出ることを明らかにしている。

4. 使用した気候変動予測モデルと当該地域における将来気候の気温・降水量の変化

4.1. 使用した気候変動予測モデル

令和2年度と3年度の研究¹¹⁾¹²⁾では、気象庁のMRI-NHRCM20(気候変動予測モデル)¹³⁾の20km格子気象データを、千田ら¹⁴⁾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を使用している。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)¹⁵⁾および気象庁平年値¹⁶⁾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した。

令和4年度は、新たにアンサンブル気候予測データベース¹⁷⁾d4PDFを使用した検討を行った。解析範囲を図-12に示す。d4PDFは全世界および日本周辺領域について、それぞれ60km、20kmメッシュの高解像度大気モデルを使用した高精度モデル実験出力である。過去実験(現在気候)が対象期間1950年9月~2011年8月の60年間、アンサンブル数が100で計6000年分(日本周辺域はアンサンブル数50で計3000年分)、将来気候については、全球平均気温が産業革命以降4℃上昇した未来の気候状態について、対象

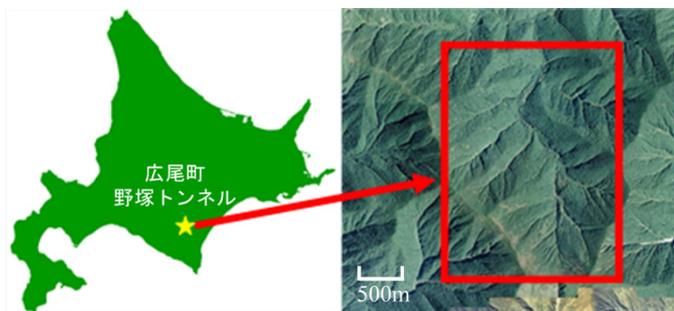


図-12 対象とした解析範囲

d4PDF概要		
	現在気候 (過去実験)	将来気候 (4℃上昇実験)
空間解像度	20km	20km
対象期間	1951年~2010年	2051年~2110年
アンサンブル数	10	30
気象項目	気温・降水量・融雪量	

60年×10メンバ
60年×30メンバ
600年
1800年

図-13 d4PDFの概要

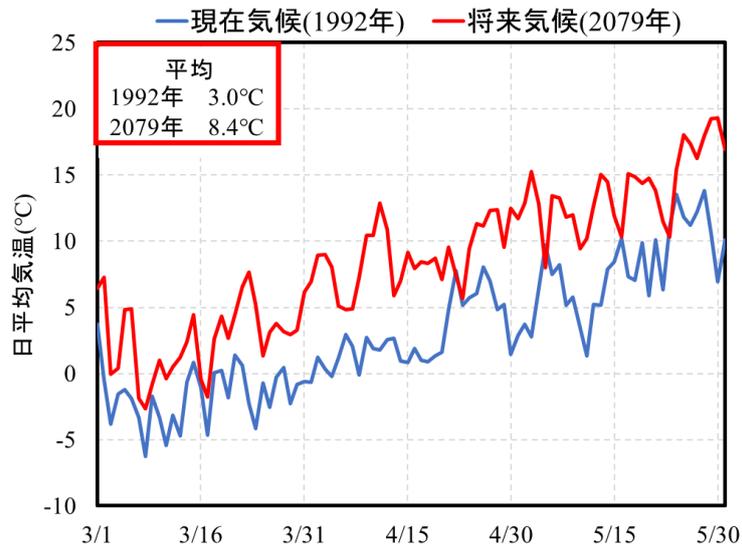


図-14 現在，将来気候の融雪期の日平均気温の変化

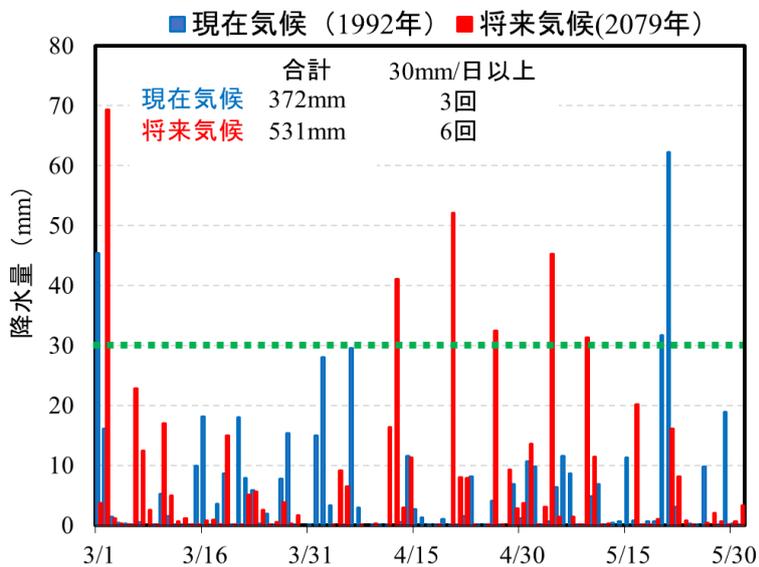


図-15 現在，将来気候の融雪期の日降水量の変化

期間2050年9月～2111年8月の60年間，アンサンブル数90（海水面温度SST分布6種類×15種類の摂動）の計5400年分のモデル実験を行っている．これらを用いることにより，将来の気候状態と現在の気候状態との比較が可能となる．

ここでは，現在気候，対象期間1951年～2010年，アンサンブル数10で，計600年分，将来気候，対象期間2051年～2110年，アンサンブル数30で，計1800年間の融雪期3～5月の気温・降水量・融雪量の時間データを使用した．また，将来気候については72時間で200mm以上の降雨出現率が高かった，海面水温パターンGF・MIを使用している．なお，d4PDFの概要を図-13に示す．

4. 1. 気候変動による気温と降水量の変化

d4PDFのデータに基づき，気温と降水量について整理した．図-14に3～5月の気温が現在気候および将来気候，それぞれの平均値に最も近い年の日気温の変化を示す．図より，融雪期である3～5月においても気温が大きく上昇していることが確認できる．また，気温が相対的にプラスになる日に着目すると，

将来気候（3/8）では現在気候（3/31）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。この傾向は、昨年度に実施したダウンスケーリングデータによる解析と同様である。

次に、同期間の3か月間の合計降水量と日降水量の変化を図-15に示す。図より、現在気候の1992年では3か月の合計降水量が372mmなのに対し、将来気候の2079年では531mm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62mmなのに対して将来気候は70mmとなっている。さらに、日降水量が30mmを超えた日（緑点線）の回数に着目すると、現在気候が3回、将来気候が6回と、将来気候では融雪期において降水量の多い日が増加することも確認できることから、将来気候では、この対象地域において、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¹⁸⁾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。

5. 雪崩の流下中に生成される凝集体とその評価

本災害事例では、前述のとおり、大雨と気温上昇に伴い融雪が急激に進み、また積雪が湿雪に変化したことで発生した全層雪崩と言われている。その発生機構を考えると、雪泥流¹⁸⁾¹⁹⁾に近い現象であると考えられる。雪泥流は、積雪が雨や融雪水の大量の水を含んで流動するものであり、a) 冬に土壌が凍結して不透水層を形成し、積雪の中に地下水が形成されることにより発生するものや b) 不透水層が形成されずに流動化を起こすものがある。ここでは、ケースb)において凝集体が生成されるとし、考察を行った。

沖田ら¹⁸⁾は融雪型火山泥流現象の基礎的な力学的特性を調べるため、模型斜面を用いた流下実験を行っている。その結果、融雪型火山泥流では、テフラ・水・雪から成る凝集体が形成されることを報告している。この凝集体の生成は、融雪型火山泥流の流下特性に強く影響を及ぼし、特に、この凝集体の存在が周りの水を吸収し、含水比を低下させるのに加え、せん断変形に対して抵抗する働きを示すことを実験的に明らかにしている。

ここでは、沖田らの研究成果に基づいて、雪崩の過程で形成される凝集体を再現し、さらにはそれが雪崩・土砂流動に影響を及ぼすことを明らかにする。ここでは、最も凝集体が形成されやすい条件下で再現実験を行った。再現方法は以下の通りである。①土と水の質量の割合を47%と38%とし、②各試料は実験直前まで0°C以下とする。③水、雪、土の体積は容器の体積の20%とする。土と雪と水の順にポットミル（直径100mm、500ml）に装入し、ポットミルを回転させることによって雪崩による流動・流下現象を簡易的に再現した。④ポットミルの回転時間と回転速度は、雪崩到達時間の推定値240秒と流下距離約1kmから決定した。

なお、後述する解析では、凝集体と土粒子と雪（湿雪であるザラメ雪として評価）の存在率（%）が必要となる。そのため、土質、土粒子の平均粒径の違いによる存在率の変化を定量的に評価した。ここで、存在率は以下の方法で算出している。

$$\text{土粒子存在率} = \frac{m_{soil}}{M} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ザラメ雪存在率} = \frac{m_{snow}}{M} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{凝集体存在率} = \frac{m_{aggregated\ blocks}}{M} \times 100 \quad (3)$$

M：封入した試料の総質量（※今回は579g）

m_{soil} ：凝集体以外の炉乾燥後土粒子質量

m_{snow} ：凝集体以外の雪の質量

$m_{aggregated\ blocks}$ ：凝集体質量（炉乾燥前）

なお、 m_{snow} は、水とザラメ雪がそれぞれ同じ比率で凝集体になったと仮定して、以下の式で算出した。

$$m_{snow} = \left(1 - \frac{m_{soil}}{M}\right) \times \frac{M_{snow}}{M_{snow} + M_w} \quad (4)$$

原位置条件（自然含水比2.5%、細粒分含有率13.9%）のもとで凝集体生成の可能性を検討した。現地試料の粒度分布および物理力学特性を図-16と図-17に示す。なお、支笏カルデラを噴出源とする駒岡火山灰質土も比較のため用いている。詳細は既報¹¹⁾に詳しい。一連の結果から、凝集体（土塊）の生成が確認され（図-18参照）、実際に凝集体を含む雪泥流が起こる可能性があることが明らかにされた。

次に、平均粒径 D_{50} （mm）を変化させた場合についての検討を行った。図-19は平均粒径と凝集体・土粒子・雪の存在率の関係を示したものである。図より、例えば平均粒径 D_{50} が1mmに着目すると、野塚峠土試料と駒岡火山灰質土の存在率に相違がないことがわかる。このことから、存在率は用いる土試料の種類にあまり影響しないことがわかる。また、各試料の平均粒径 D_{50} に対する存在率に着目すると、平均粒径の違いによる変化がないこともわかる。このことから、今回試験を行った粒径の範囲では、存在率は平均粒径 D_{50} に依存しないことが明らかにされた。以下、得られた存在率を平均した値、土粒子38.2%、凝集体16.1%、ザラメ雪5.7%を用いて、以下の検討を行った。

6. 解析の概要

6.1 解析方法

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^{例えば20)~23)}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¹²⁾では、はじめに雪崩・土石流の発生リスクが高い地点を、地形的集水特性の観点から調べている。その後、雪泥流条件での疑似流動解析を行った。ここでは、災害の被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。用いた解析手法と解析パラメータは以下のとおりである。

(1) 地形的集水特性を考慮した災害発生箇所の推定

ここでは、はじめに土砂流動と地形的特性から、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²⁴⁾を参考に2mmとした。

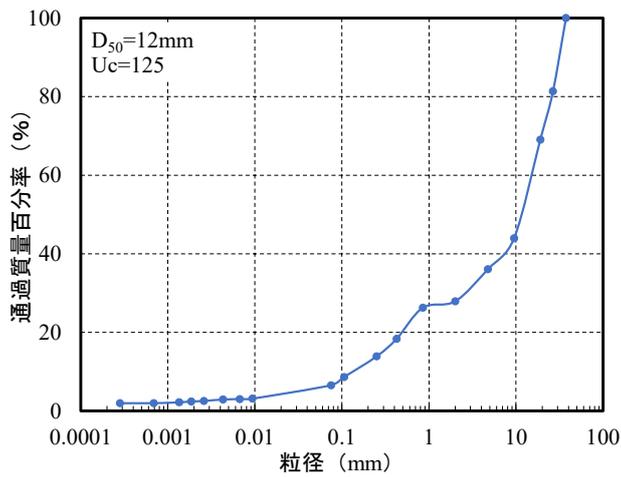


図-16 採取した土試料（野塚）の粒径加積曲線

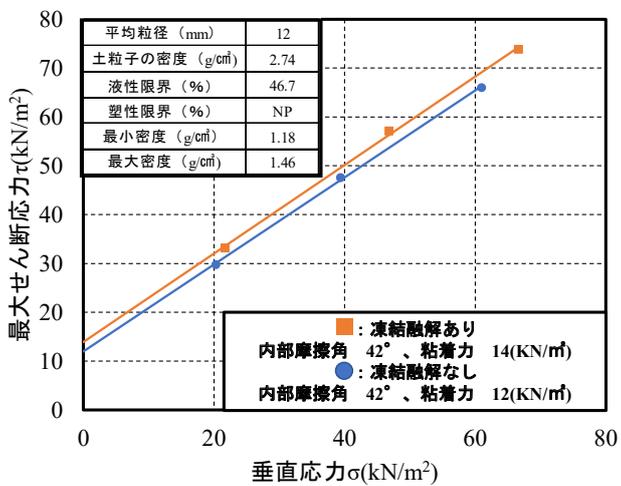


図-17 物理・力学試験（一面せん断試験）の結果

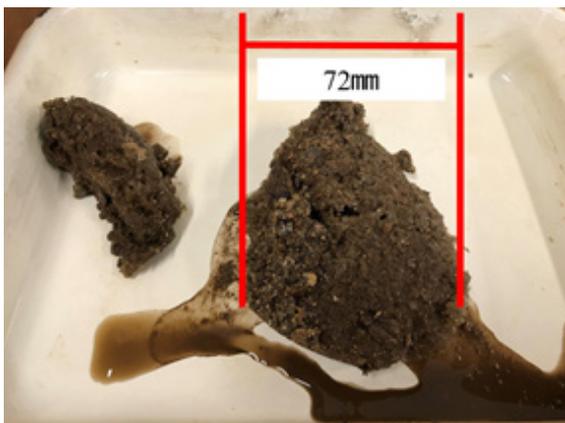


図-18 生成された凝集体（土塊）の一例

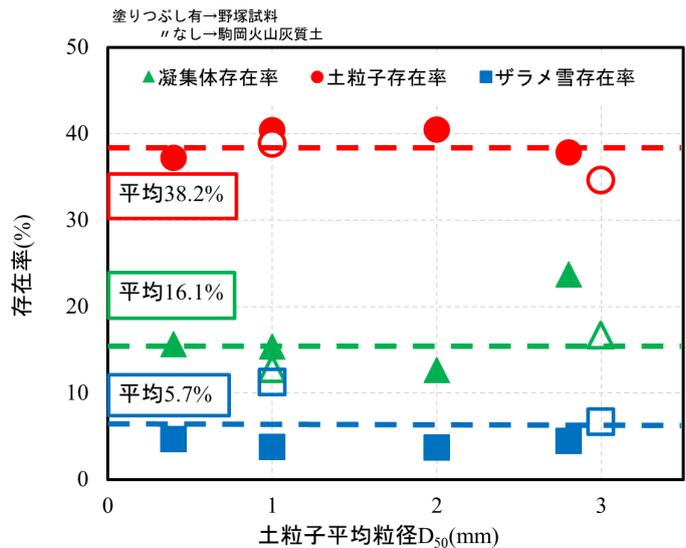


図-19 平均粒径の違いによる凝集体，土粒子，ガラス雪の存在率の変化

表-1 解析に用いたパラメータ(存在率)

	凝集体	野塚 土試料	野塚 土試料	ザラメ雪
平均粒径(m)	0.04	0.0006	0.028	0.002
流動前の存在率 (%)	0	20.6	26.4	15
流動後の存在率 (%)	7.1	16.8	26.4	8.7
内部摩擦角(degree)	42			
液体としてふるまう 土砂の割合	0.1			

(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-1に示す。雪泥流の解析では、前述のとおり、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。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。

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として解析を行った。

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 $\phi_d=42^\circ$ を解析に用いた（図-17参照）。

7. 解析結果と考察

7.1 平成30年3月9日に発生した災害事例²⁵⁾における解析

ここでは、対象領域に、将来気候での降水量（最大値）を与え、流水が発生した場合を想定し、どの箇所に降雨が集水するのかを、はじめに調べてみた。図-20に野塚トンネル周辺斜面の断面図と主な谷部での傾斜角を示す（国土地理院地図に加筆）。地形的な特徴として、この領域では傾斜約 26° （左側の赤線部）と約 16° と中～急斜面（右側の黄線部）が流下の主ルートになる可能性が高く、ここではこれらルートに着目した。図-21は、地形的特性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17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。既往の研究¹²⁾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-22に示す。用いた斜面崩壊の面積と深さ、最大浸食深さを表-2に示す。その結果、2方向からの雪崩・土砂がトンネル坑口手前で合流し、坑口周辺の堆積量は $98,000\text{m}^3$ となり、2018年3月の堆積量の1.6倍となった。坑口まで到達せず、斜面上に残った堆積量も $19,000\text{m}^3$ であった。これらの結果より、将来気候では降水量の増加により同時多発的に雪崩土砂流動が発生し、甚大な被害が出る可能性があることが示唆された。

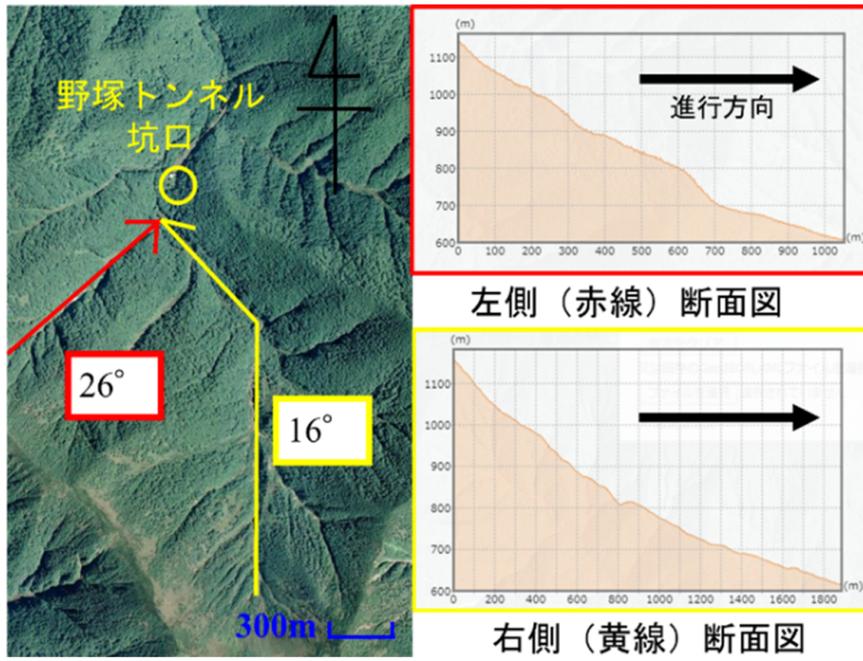


図-20 野塚トンネル周辺斜面の断面図と傾斜角

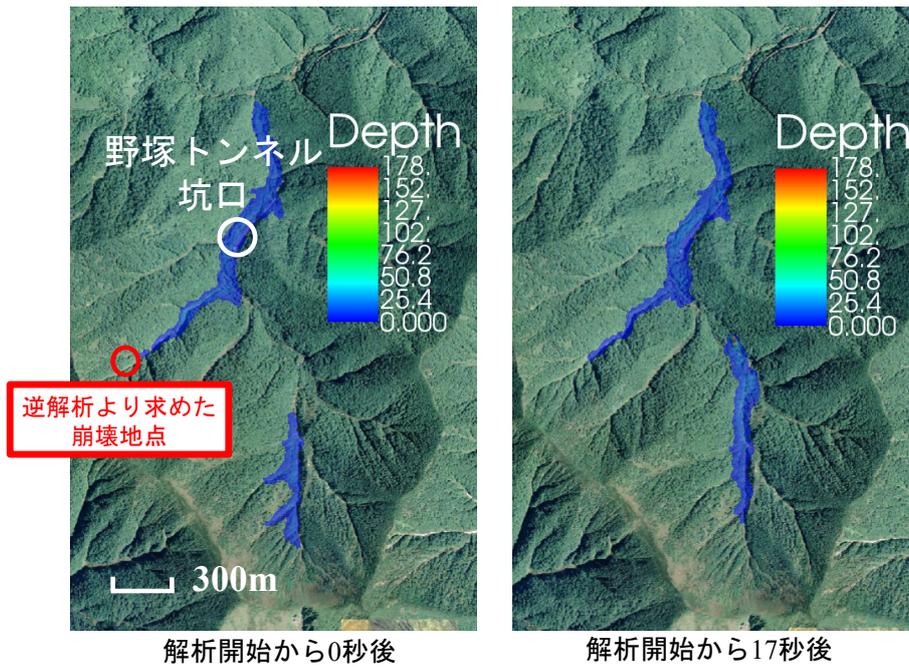


図-21 野塚トンネル周辺付近の流動発生地点

表-2 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)	
10×10	0.3	0.3

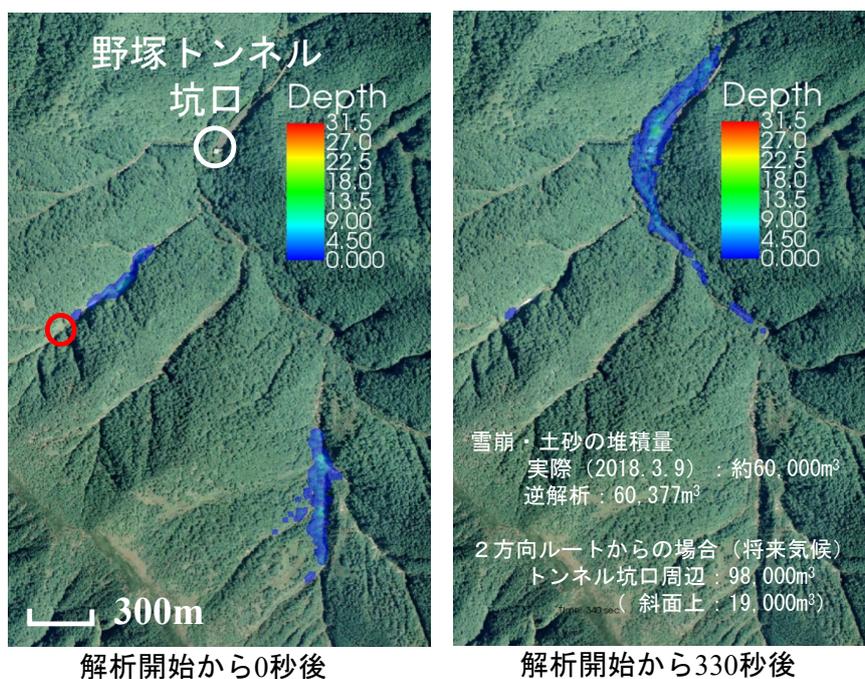


図-22 雪泥流解析結果

以上より，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，融雪期災害の増加が危惧される．また，野塚峠のような急峻な地形では，合流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．

また，iRIC Morpho2DHを用いて，疑似的に雪崩-土石流解析を行う場合には，

- (1) 地形的集水特性を考慮した災害発生箇所の推定
- (2) 雪泥流解析の実施

のフローで検討し，最終的に地形図などの標高により，本研究の範囲内では，簡易的に雪崩・土砂の堆積量を推定できることが示された．

8. まとめ

本研究で得られた土砂災害および雪崩災害の特徴および本解析条件下で得られた結論を以下に示す．

- 1) 過去の災害事例調査では，北海道における融雪期土砂災害は全体の25%を占めている．さらに，雪崩災害においても3月～4月に発生する割合が高くなっている．気候変動による影響を考慮すれば，今後，融雪期に雪崩-土砂災害の複合的な災害の発生頻度が高まる可能性がある．
- 2) 研究対象地域では雪崩災害が頻発している．また，将来気候において融雪期に気温が上昇し，降雨量の多い日も増える．このことから融雪期災害の増加が危惧される．
- 3) 雪崩-土石流の流下過程では，土と水と雪による凝集体が形成される可能性があり，その特徴を把握した．
- 4) 土石流解析を対象としたiRIC Morpho2DHでは，疑似的に雪泥流に対する解析も実施可能である．また，予測が難しい発生地点は，地形的集水の特徴を考慮することによって，簡易的に，精度よく推定が可能である．
- 5) iRICを用いた解析の手法では，はじめに解析領域に降雨量を与え，地形的集水特性から発生地点を推定し，その後，雪泥流解析を行うことにより，一連の雪崩-土砂流動解析が可能となる．
- 6) 今回新たに大量アンサンブルデータ (d4PDF) を用いた検討においても，これまでの検討結果と同様，雪崩-土砂災害の災害発生の危険性が高いことが確認された．

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、(一財)道路管理技術センターから情報の提供を頂いた。各種試験と解析の実施では室蘭工業大学 木戸菜摘、塩田彩乃各君の協力を得た。なお、本研究は令和4年度(一財)北海道河川財団の助成で行われた。記して、深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 工藤啓介, 長谷川裕史, 中津川誠: 気候変動が積雪寒冷地の汽水湖水質に及ぼす影響の評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.205-210, 2017.
- 2) 地すべり学会北海道支部: 北海道の斜面災害史, 北海道の地すべり '99, pp.4-9, 1999.
- 3) 日本地すべり学会北海道支部 北海道地すべり学会: 北海道での最近の地すべり災害-被災事例と教訓-, 北海道の地すべり2012, pp.15-34, 2012.
- 4) 地盤工学会北海道支部: 北海道の火山灰質土の分布と特徴, 実務家のための火山灰質土~特徴と設計・施工, 被災事例~, pp.9-20, 2011..
- 5) 国土地理院, 20万分の1土地分類基本調査, https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/l_national_map_20-1.html#prefecture01
- 6) 国土庁土地局, 土地分類図(地形分類図) 北海道 I から VII, 1977.
- 7) 2018年北海道胆振東部地震・大阪府北部の地震被害調査報告書, 地震被害シリーズNo.2, No.3, 土木学会, 372p., 2019.
- 8) (一財)北海道道路管理技術センター雪崩DB
- 9) 国道236号野塚峠にて雪崩発生 - 国土交通省 北海道開発局帯広開発建設部
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/release/rfqnf000000008wk-att/fns6al000000j130.pdf>
- 10) 川村志麻, 石川達也, 所哲也: 気候変動を考慮した融雪期土砂災害の危険度評価手法の確立, 研究所紀要(XXXII), (一財)北海道河川財団, pp.71-85, 2021.
- 11) 川村志麻, 石川達也, 所哲也: 気候変動を考慮した融雪期土砂災害の危険度評価手法の確立, 研究所紀要(XXXIII), (一財)北海道河川財団, pp.3-20, 2022.
- 12) 木戸菜摘, 川村志麻: 気候変動を考慮した融雪期に発生する雪崩 - 土砂流動現象の評価, 地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学会, Vol.63, 1-2-4, 2022.
- 13) 環境省: 環境省 地域気候変動予測データ (協力: 気象庁), 2018.12
- 14) 千田侑磨: 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
- 15) 気象庁: JRA-55領域ダウンスケーリング (DSJRA-55), 2017.3
- 16) 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/>
- 17) データ統合解析システム (DIAS), <https://diasjp.net/>
- 18) 沖田竜馬・河島克久・松元高峰・片岡香子・渡部俊(2018): 融雪型火山泥流の流動性に与える雪の影響, 寒地技術論文・報告集, 34, I-007.
- 19) 上石勲・和泉薫・小林俊一(1994): 雪泥流災害と雪泥の力学的性質, 自然災害科学, J.JSNDS 13-2, pp.205~215.
- 20) 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.
- 21) 川村志麻, 山田真嘉, 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研究発表論文集, 令和元年度土木学会北海道支部論文報告集, 第76号, C-07, 2020.

- 22) 川村志麻, 横山遼, 石川達也, 所哲也: 融雪期に発生した雪崩-土石流現象とその評価, 第76回土木学会年次学術講演会講演集, C部門, 2021.
- 23) 木戸菜摘, 川村志麻: 気候変動を考慮した融雪期土砂災害の評価, 土木学会北海道支部研究発表論文集, 令和3年度土木学会北海道支部論文報告集, 第77号, C-08, 2022.
- 24) 上石勲, 町田敬, 小田憲一, 山口悟, 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.
- 25) 加我直孝: 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(2015年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, No.5, 2015.