

融雪を考慮した土壌水分量の定量化に基づく斜面災害リスクの評価

Research on Risk Evaluation of Slope Disaster Occurrence
Based on Quantification of Soil Moisture Considering Snowmelt

室蘭工業大学 ○学生員 宮崎 高之 (Takayuki Miyazaki)
室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
室蘭工業大学 正 員 川村 志麻 (Shima Kawamura)

1. はじめに

札幌市と道南方面を結ぶ国道 230 号中山峠では、図-1 に示すように、過去の融雪期において斜面災害がたびたび発生している¹⁾。中でも、2000 年と 2012 年の災害は大規模な地すべりであり、長期間におよぶ交通の障害となるなど深刻度が大きいものと考えられる。災害の誘因として降雨に加え融雪が挙げられているものの、融雪やそれを含む災害発生危険度に関しては定量的な評価には至っていない。

斜面災害発生危険度の評価方法に関しては、実効雨量による手法や土壌水分量をタンクモデルによって考慮した土壌雨量指数を用いる手法が提案されている。土壌雨量指数は、気象庁と都道府県が共同で発表する「土砂災害警戒情報」²⁾として運用されているものの、対象とする斜面災害は大雨によるものであり、融雪を含む災害は含まれない。

そこで本研究では、災害現場付近における降雨に加え融雪を勘案した土壌水分量指数を推定すると共に、流域の水循環に基づき土壌水分の状態を表す流域貯留量の推定手法を提案した。また、以上の推定を包括した斜面災害発生危険度の定量的な評価を試みた。

2. 研究の背景

2-1 災害事例の概要

札幌市と道南方向を結ぶ国道 230 号中山峠では、2000 年 5 月の災害により、1969 年に開通して以来初めてとなる全面通行止めに至った(図-2)。写真-1:左 は 2000 年 5 月の被災現場での写真であるが、この災害において、延長約 550m、幅 50~90m の範囲で、約 200,000m³の土砂が崩壊した。崩壊により発生した地すべり土塊は下方にある無意根大橋の橋脚 P-3 の足元まで達したほか、薄別川まで達し、河道閉塞が発生した。

写真-1:右 は 2012 年 5 月の被災現場での写真であるが、この災害において、KP40.6 地点(起点:札幌市)では、道路幅約 10m、道路延長約 86m の範囲で地すべりが発生し、KP40.8 地点においては、盛土法面が幅(道路延長)約 40m、横断幅約 110m の範囲で、約 13,000m³の土砂が崩壊した。また、同日に地すべりのほか、切土のり面崩壊、盛土崩壊など数種類の災害が同時期に発生し、災害発生後、片側交互通行が再開されるまでに 20 日間を要した。

発生日時	災害形態
1998. 4/9	崩壊
2000. 5/15	地すべり
2006. 5/29	落石
2009. 5/5	崩壊
2012. 5/2	崩壊
2012. 5/4	崩壊
2012. 5/4	地すべり
2012. 5/4	盛土崩壊
2012. 5/4	盛土崩壊
2012. 5/30	盛土崩壊
2012. 6/1	盛土変状
2012. 6/1	盛土変状
2013. 4/7	盛土崩壊

図-1 災害履歴¹⁾

図-2 災害発生箇所及び気象観測所



写真-1 国道 230 号中山峠の被災状況

(左: 2000 年 5 月 15 日 右: 2012 年 5 月 4 日)

提供: 北海道開発局札幌道路事務所及び寒地土木研究所

2-2 近年の融雪期における水文環境の変化

融雪期に相次ぐ斜面災害の誘因を探るため、災害現場の北側約 5km に位置している豊平峡ダム管理所(図-2)で観測されている降水量、ダム流入量データを使用して近年の現場周辺の水文環境を整理する。

図-3 は豊平峡ダム管理所における日雨量の最大値の推移である。図中の水色の棒グラフは年最大日雨量、●印は融雪期にあたる 4 月～5 月の最大日雨量である。この図によると、年最大日雨量の既往最大は 1981 年であり、災害の発生した 2012 年 5 月 4 日の日雨量を超える大雨は幾度も発生していたことがわかる。また、融雪期に限定しても、本災害時の日雨量は既往最大ではなく、雨量規模においては本災害の特異性は見られなかった。ただし、近年融雪期に最大日雨量が増加するような兆候がみられ、注意が必要である。

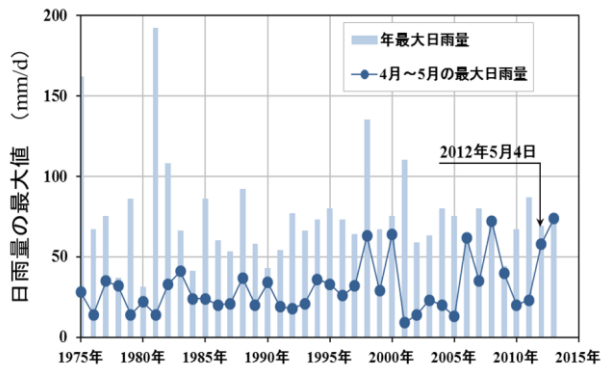


図-3 最大日雨量の推移（豊平峡ダム管理所）

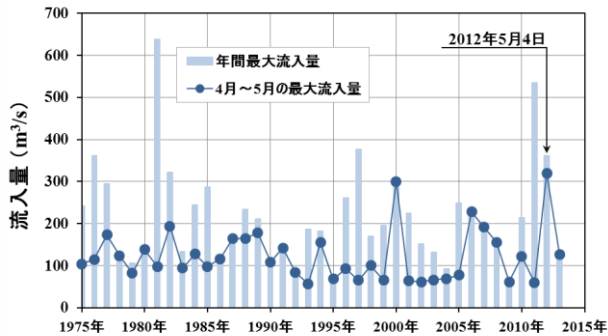


図-4 豊平峡ダムの年間および4月～5月の最大流入量

融雪や降雨は、土壌を通り河川に到達する。すなわち、土壌に供給された水量の多さは河川流量に現れる。そこで、災害現場を流域内に包含する豊平峡ダムにおける流出状況を調べたものが図-4である。この図は、1時間毎の流入量データから、1年間の最大値と4月～5月の最大値を抽出し図化した。図中、水色の棒グラフは1年間の最大値、青色の●印は4月～5月の最大値である。

図によると、流入量の最大値は、日雨量の最大値が観測された1981年、次いで2011年だが、災害が発生した2000年、2012年、2013年は融雪期に最大規模の流入量が記録されており、近年において融雪期に年間最大流入量となる傾向にあることがわかる。

以上から災害が発生した2000年、2012年の事例の誘因として、融雪水が大きく関与していたと考えられる。そこで、融雪量と土壌が貯留していた水量を定量化し、貯留量に注目して本災害と過去の大雨時における状況を比較する。

3. 研究の方法

3-1 土壌水分量指数とスネーク曲線による災害発生リスクの評価方法

現在北海道における土砂災害警報の発表には、危険度判定図（スネーク曲線）が用いられており、北海道の土砂災害発生基準線（Critical Line:CL）及び各気象台の短期降雨指標である60分雨量、長期降雨指標である土壌雨量指数の3つの要素によって判断されている³⁾。しかし、この手法においては融雪が考慮されていないため、

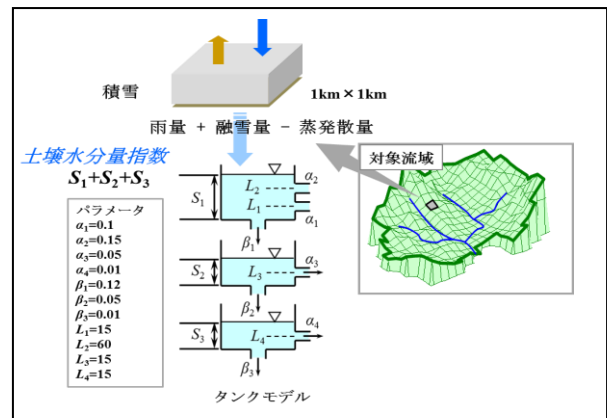


図-5 土壌水分量指数計算の模式図

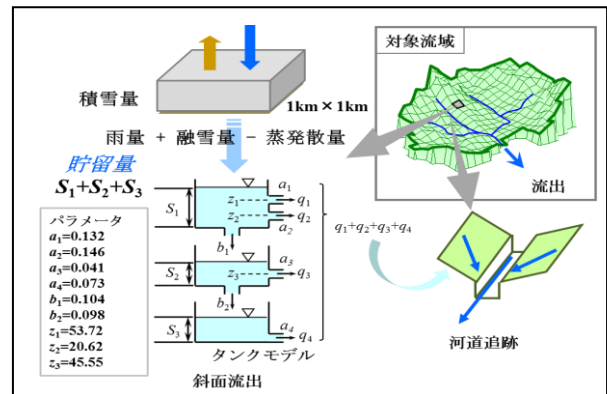


図-6 流域貯留量の模式図

本研究では融雪を考慮した土壌雨量指数を以後「土壌水分量指数 (Soil Water Index (SWI))」と称し、次節の計算により算出される流域貯留量と合わせて検証する。

土壌水分量指数の推定にあたり、融雪期における融雪量（時間単位）を白谷らが提案する手法⁴⁾により求めた。また、時間雨量データは災害現場付近の気象庁解析メッシュ雨量データを使用した。以上で算出された時間融雪量と時間雨量を気象庁で採用されている直列3段タンクモデル（図-5）に入力し、土壌水分量指数を算定した。タンクモデルの係数は現在気象庁で採用されている値を使用した²⁾。

3-2 流域貯留量による災害発生リスクの評価方法

災害の直接的な誘因となる土壌中に貯留される水分量（以下流域貯留量という）は、土壌水分計によって観測されるが、観測データのない状況においては推定した貯留量の妥当性を評価することが難しい。そこで、流域貯留量を流域水循環の一つの変数として考え、流域水循環を構成する水文諸量（雨量、雪量、発散量、流出量）を包括的に推定し、河川流量をもってその妥当性を検証することにした。

流域貯留量の推定にあたっては、白谷ら⁵⁾が構築した水循環モデル (Long-term Hydrologic Assessment model considering Snow process (LoHAS)) を使用した（図-6）。計算においては、まず積雪や融雪、蒸発散量といった水文諸量を、中津川ら^{6),7)}が提案する手法を用いてメッシュ単位で推定した。この手法は近藤ら⁸⁾の提案する2層

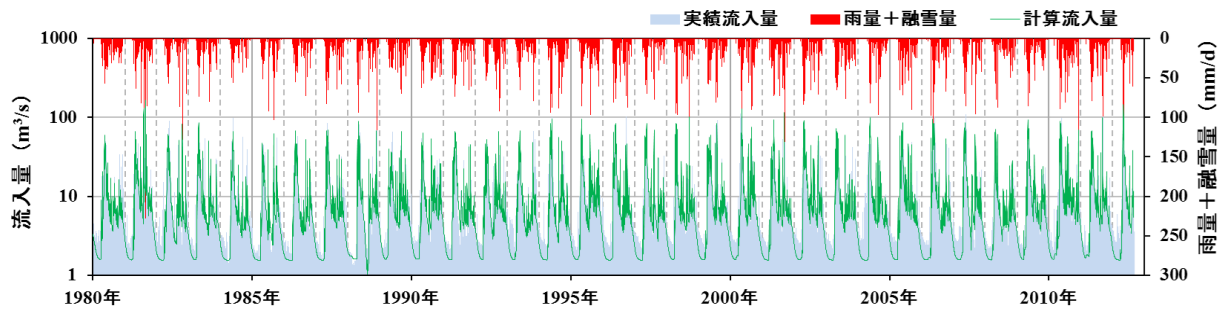


図-8 流入量の再現結果（豊平峡ダム 1980～2012 年）

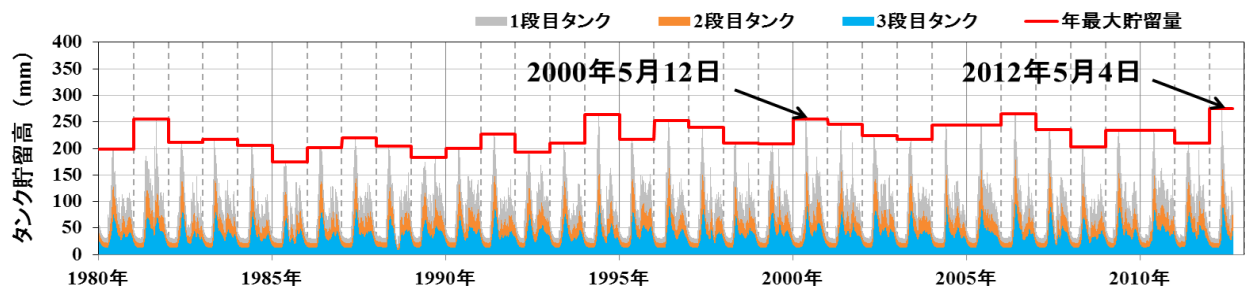


図-9 災害現場の流域貯留量の推定結果（豊平峡ダム 1980～2012 年）

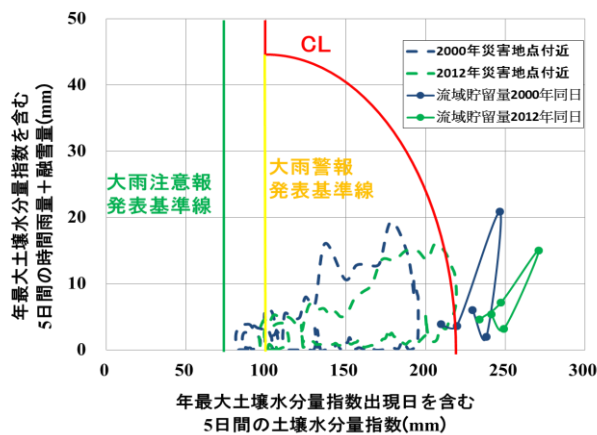


図-7 災害現場付近におけるスネーク曲線

モデルを基本に積雪・融雪過程を考慮したモデルである。これによって地上気象データ（日単位）から約 1km 四方のメッシュ毎に水文諸量（降雨、降雪、積雪、融雪、蒸発散量）を推定した。ここでは、基礎データとしてダム管理用に取得されているルーチンデータ（気温、湿度、降水量、風速、積雪深、日射量、気圧）を使用した。また地形や地被に関するデータは、石狩川ランドスケープ情報⁸⁾を用いた。

以上で算出された雨量、融雪量、蒸発散量を LoHAS に入力し、流出量を算定した。ここでは、メッシュの斜面流出量をタンクモデルで算出し、kinematic wave 法でダム地点までの河道追跡を行った。以上の計算によって得られる各タンクの貯留高を流域貯留量とみなした。タンクモデルの係数は、臼谷ら⁵⁾が使用した値を用いた。

なお、流域貯留量を求めるタンクモデルの特徴として、基本的には土壌水分量指数で用いるタンクモデルと同様であるが、3段目のタンクの浸透孔がないことで、水収支が担保されるという違いがある。

4. 結果と考察

4-1 土壌水分量指数の推定結果とスネーク曲線

図-7 は災害現場において 1 年間の土壌水分量指数を推定し、年最大土壌水分量指数が推定された日を含む 5 日間のスネーク曲線を作成した結果である。図中の青色・緑色の点線は、災害が発生した 2000 年、2012 年でのスネーク曲線を示しており、同色の実線は次節で推定される同日の流域貯留量及び日最大雨量を示している。基準線のうち、緑色が大雨注意報の発表基準線、黄色が大雨警報の発表基準線、赤色が土砂災害発生基準線（CL）を表している。この図によると、2 ヶ年とも土壌水分量指数が年最大となった時とほぼ同時期に災害が発生しており、ピーク時には大雨警報の発表基準線を大幅に超えている。また、2012 年 5 月 4 日 16 時には年最大となる 219mm の土水分量指数が推算されるとともに、CL も超えており、実際に同日に災害が発生していることから、当時の状況を踏まえたリスク評価が可能であることがわかる。

4-2 流域貯留量の推定結果

前節で述べた手法により、災害地点を包含する豊平峡ダムにおける日単位の流入量を再現し、実績流入量と比較した。対象期間は、最大の日雨量が観測された 1981 年を含むように 1980～2012 年とした。

流入量の再現結果を図-8 に示す。図中、水色の面は実績流入量、緑色の実線は計算流入量、赤色の棒グラフは雨量と融雪量の合計値である。この図によると、計算流入量はその年ごとの流量変動を概ね再現しており、このことからモデルにおいて流域の水収支および流域貯留量の変動も妥当に表現されているものと推察される。

図-9 は災害現場における流域貯留量を推定した結果

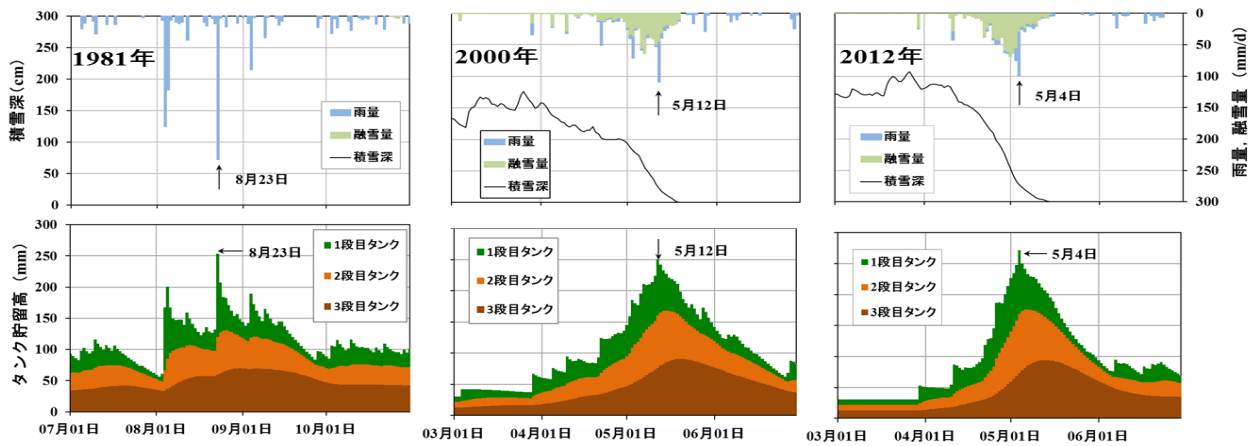


図-10 過去の大雨における貯留量の比較（上段：雨量，融雪量，積雪深，下段：タンク貯留量）

である。なお、ここでの流域貯留量は、災害現場を包含する4つのメッシュの値を平均したものをを用いる。図中の青色・オレンジ色・灰色はそれぞれ1段・2段・3段目のタンクの貯留高を表す。また赤色の実線は、それぞれの年における最大貯留量を表している。この図によると、災害現場の年最大貯留量は150mm～250mmで推移しているものの、1981年・2002年・2006年・2012年は250mmを超えている。貯留量の最大は2012年5月4日の271mmであり、災害の発生したこの事例が1980年以降の最大と推算された。

図-10は、1981年（日雨量の最大）、2000年（大規模融雪洪水）、2012年の水文諸量及び貯留状況を比較したものである。この図によると、日雨量の最大事例である1981年に比べ、融雪期に災害が発生した2000年や2012年の事例は土壌水分量の大きい状態が長く続く傾向にある。また、2012年5月4日の事例では、連日の融雪によって前日の貯留量が250mmにまで増大しているため、5月4日の雨量や融雪量が既往最大になるまでもなく、流域貯留量が既往最大に達したものと考えられる。

また、図-7より、流域貯留量が土壌水分量指数の値と比較して大きく、安全側の評価がなされていることがわかる。これは、現在の気象庁の運用では土壌雨量指数を計算するためのパラメータが日本全国で一定としているのに対し、流域貯留量は流域の特徴を反映したパラメータが設置されていることによるものと考えられる。

5. 結論

本研究において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 流域の水循環に着目した長期の水文諸量の推定と流出計算に基づき、土壌水分の状態を定量的に評価する方法を提案した。またその妥当性は、災害発生地点を含むダム流域の流入量をもって確認した。
- 2) 融雪を考慮した土壌水分量指数を算出し、スネーク曲線を作成することにより斜面災害の発生リスクを評価した。加えて、流域水循環に基づく流域貯留量を算出し、流域の特徴を反映した斜面災害の発生リスクを妥当に評価した。
- 3) 提案した手法に基づき、災害発生地点の貯留量を推定した。その結果、2000年と2012年の地すべりは貯

留量が最大の時に雨量と融雪による影響を伴い発生したと考えられる。

以上、流域水循環の視点から推定した貯留量は、土砂災害に関連する土壌水分を定量的に評価し、土砂災害危険度を判定する上で有効な情報と考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、平成26年度河川整備基金（助成番号25-1151-001）の助成を受けた。また、北海道開発局札幌道路事務所、（独）土木研究所寒地土木研究所防災地質チーム及び（一財）日本気象協会の松岡直基氏、臼谷友秀氏よりデータ提供等で協力して頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 伊藤佳彦，大日向昭彦，倉橋稔幸，日下部祐基，矢戸政仁：融雪期の道路斜面災害についての考察-国道230号を例として-，日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会平成25年度研究発表会講演予稿集，No33，pp.15～18，2013。
- 2) 気象庁；土壌雨量指数：
<http://www.jma.go.jp/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>
- 3) 北海道庁；北海道土砂災害警戒情報システム：
<http://www.njwa.jp/hokkaido-sabou/others/vocabulary.do>
- 4) 臼谷友秀，星清，中津川誠：熱収支法に基づく2段タンク型融雪流出モデルの適応，（財）北海道河川防災研究センター研究所紀要(XVII)，19，2006。
- 5) 臼谷友秀，中津川誠，松岡直基：融雪期の土砂災害に関連する土壌水分の定量評価，土木学会論文集B1（水工学）Vol.69，No.4，pp.403-408，2013。
- 6) 田澤寿，中津川誠：熱・水収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定，北海道開発土木研究所月報，N0.588，pp.19-38，2002。
- 7) 臼谷友秀，工藤啓介，中津川誠：石狩川流域における水循環の定量化について，水工学論文集，第49巻，pp.229-234，2005。
- 8) 近藤純生：水循環の気象学，朝倉書店，337p，1994。
- 9) （財）北海道河川防災研究センター：石狩川流域ランドスケープ情報，1998。