

10. 北海道における融雪土砂災害の危険性の現状と将来予測

松岡 直基^{1*}・山田 朋人²・中林 宏典¹・小倉 勉¹
小松 麻美¹・稲津 将³・佐藤 友徳⁴

¹一般財団法人日本気象協会北海道支社（〒064-8555 札幌市中央区北4条西23丁目）

²北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

³北海道大学大学院理学研究院（〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目）

⁴北海道大学大学院地球環境科学研究院（〒060-0810 札幌市北区北10条西5丁目）

* E-mail: matn@jwa.or.jp

近年の北海道における融雪期の土砂災害は、国道の長期間の通行止めや河川の河道閉塞を引き起こし、社会的に大きな影響を与えている。そこで連続雨量に融雪量を加味した“換算雨量”によって融雪期に土砂災害が発生する危険度を表現し、アメダスデータから現在どのような変化傾向にあるのかを確認した。次に、気候変動に伴う換算雨量の将来予測を、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの北海道グループ（RECCA-hokkaido）の成果を利用して行った。現状の増加傾向は確認できなかったが、9通りの気候予測値から将来は増加傾向の出現が多い結果となった。

Key Words : 土砂災害, 融雪, 換算雨量, 将来予測, RECCA

1. 北海道における近年の融雪土砂災害

我が国は台風や前線などによる大量の雨と急峻な地形とによって、土砂災害が絶えることは無い。北海道でも近年は短時間強雨や線状降水帯の増加などの降雨形態の変化もあって土砂災害が多く発生し、また融雪期の土砂災害が増加しているのも特徴である。

2012年4月から5月にかけて、札幌近郊の中山峠や、道南の後志利別川や道北の古丹別川で相次いで土砂災害が発生し、国道の長期間の通行止めや一時的な河道閉塞による氾濫が起こった。その後も2013年4月に再び中山峠で土砂災害が発生、道央のパンケ幌内川で地すべり、2015年4月には道東の羅臼で地すべりに起因すると考えられる海面隆起が起きている。

融雪期のがけ崩れなどの表層崩壊は、融雪水に降雨が加わって発生することが多いが、地すべりについては誘因となる地下水位との関係が複雑で、融雪量との対応もほとんど解明されていない。本研究でも個々の災害事例との対比ではなく、融雪期の土砂災害の誘因となる降雨量と融雪量に着目して議論を進める。

2. 融雪量の算定と土壌雨量指数

(1) 融雪量の算定

気象データによる融雪量の算定方法は、熱収支法から経験則まで多岐にわたる。ここでは北海道全域の融雪量を算定するので、一般に入手できる気象要素から計算可能な、簡便な方法を選択することにした。

簡便な方法には、古くから用いられている積算暖度法（デグリーデイ法やデグリーアワー法）がある。日平均気温や毎時気温に経験的な係数を乗ずることで融雪量を算定する手法である。しかし、同じ気温であっても積雪に吸収される日射量が多いほど、また強風によって積雪に与えられる顕熱伝達量が増えるほど融雪は促進されるので、この係数は融雪期を通して一定とは言えない。係数の背景には日射量や風速といった気温以外の融雪に関与する気象因子も含まれる。よって気候変動に伴う将来予測を議論するときには係数も変化させる必要があり、積算暖度法は本研究の目的には不適となる。

もう一つの簡易な算定方法として雪面低下法（以降SFL法）がある。積雪深の変化から雪面低下量 Δh [cm]を求

めて、融雪期の代表的な積雪表面密度 ρ_s [gcm⁻³] を乗じて融雪量 M_{SL} [mm] を得る手法である。SFL法は「消失した積雪＝融雪」ととらえる単純なモデルであるが、融雪期の積雪表面密度はほぼ一定値を保つことから、SFL法は将来の融雪量を推定するに当たって適当な手法であると考えられる。

積雪表面密度は、国道230号中山峠災害対策検討委員会において提示された¹⁾ 積雪の表面密度0.35 gcm⁻³が融雪期を通して一律に保たれるとした。なお試行錯誤の結果、日平均気温が2℃未満の場合には融雪が起こらないとした。

$$M_{SFL} = \rho_s \Delta h \times 10 \quad (1)$$

厳密な融雪熱量を得ることが可能な熱収支法と雪面低下法による融雪量の比較を図-1に示す。1時間単位の値では誤差があるものの、融雪量を一定程度の精度で再現できることがわかる。

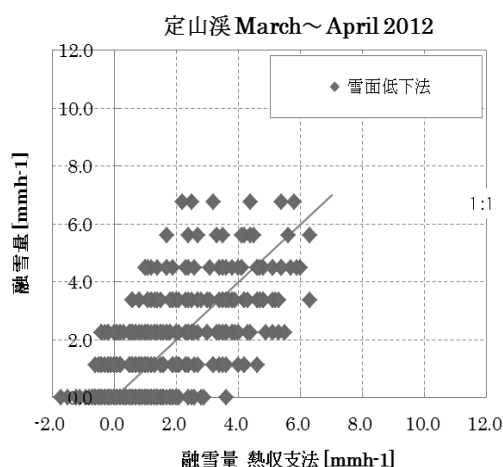


図-1 熱収支法と雪面低下法による融雪量の比較例

(2) 融雪期の土壌雨量指数の推移

気象庁では土壌雨量指数を用いて土砂災害の危険性を監視し、値が基準値を超えると都道府県と共同で土砂災害警戒情報を発表する。しかし、融雪量を考慮していないために使用は積雪の無い期間に限定される。ここでは気象観測値から雪面低下法で融雪量を算定し、雨量に融雪量を加えて融雪期の土壌雨量指数とした。

図2は、中山峠周辺の気象観測データに基づき2000年～2013年の14ヶ年について計算した融雪期の土壌雨量指数の経過である。毎日のように融雪が生ずるため土壌雨量指数は5月上旬から中旬にかけて増加しており、土砂災害が発生した2000年と2012年、2013年の3回のうち、14ヶ年中2012年は1位、2000年は3位の大きな値となっている。災害発生日と指数のピーク日も一致している。融雪

量を加味した土壌雨量指数は、融雪期の土砂災害の危険性を表す指標として有効であろう。

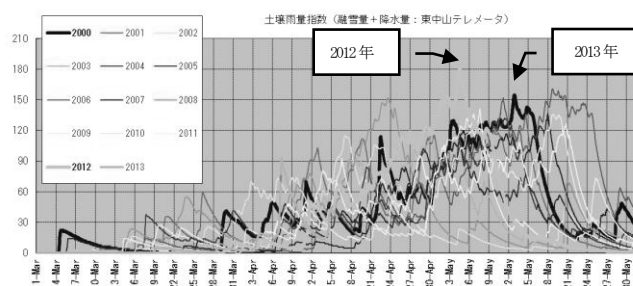


図-2 融雪期の土壌雨量指数の経過例 2000年～2013年

3. 換算雨量の導入

先に示した融雪期間中の土壌雨量指数は、長期間にわたり大きな値を維持している。土砂災害のポテンシャルは高いのだろうが、常に値が高いので災害の監視には使いづらいところがある。一方、融雪期の表層崩壊は融雪単独では起こりづらく、降雨を伴うことが多い。そこで、北海道開発局札幌開発建設部では、夏季間の連続雨量と同様の考えを導入した。すなわち無降雨が4時間継続すると連続雨量をゼロリセットし、降雨がある期間は融雪量を加える「換算雨量」を用いている。中山峠では2013年の災害を契機に、換算雨量を国道の管理に利用している¹⁾。

図-3は土砂災害が発生した2012年と2013年の融雪期間中の換算雨量、を示したものであり、土砂災害発生時には大きな値を示した。2000年から同様の計算を行ったところ、換算雨量が100 mmを超えた事例が4回あり、そのうち3回で土砂災害が発生している。連続換算雨量が融雪期の土砂災害の危険性を示す指標として利用可能であることを示している。

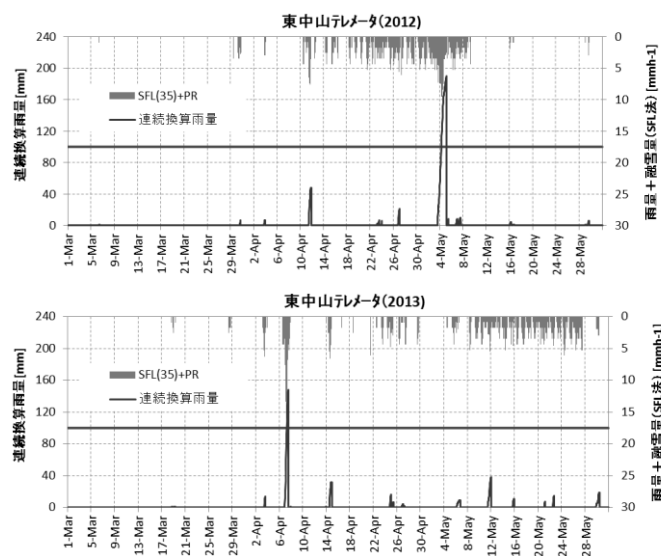


図-3 融雪期の換算雨量の経過例 上：2012年、下：2013年

4. 換算雨量の現状と将来予測

(1) 換算雨量の現状

融雪期に発生する土砂災害の危険性を表す指標として、北海道内の換算雨量を計算した。対象としたのは1984年から2013年の30融雪期で、北海道のアメダス約100箇所を対象とした。図-4の換算雨量100mm以上の合計量は2000年が最大で、2012年がそれに次いだ。中山峠での土砂災害が2000年、2012年、2013年と発生しており、全道的にも換算雨量の値が大きかったことを示している。換算雨量100mm以上の発生回数は、統計的に有意ではないものの1994年以降に多くなっている。

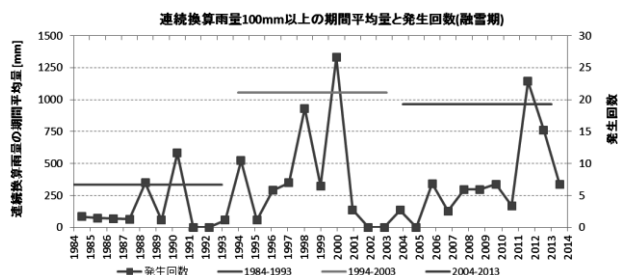


図4 北海道内のアメダスから計算した換算雨量の100mm以上の期間平均量と発生回数

(2) RECCA北海道の気候将来予測

気象データの将来予測値は、RECCA-hokkaido²⁾の研究成果を利用した。RECCAとは文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの略称であり、このうち北海道では平成22年度から26年度にかけて「北海道を対象とする総合的ダウンスケーリング手法の開発と適用」を行った。

RECCA-hokkaidoでは、3種類の全球気候モデルと3種類の地域気象モデルの組合せにより、10kmメッシュにダウンスケーリングされた9パターンの気候値を計算した。その内訳は気候モデル出力が、北海道における気候再現性が良い、東京大学などのMIROC3.2（以降MIROC）、ドイツ・マックスプランク研究所のECHAM5/MPI-OM（以降MPI）、および米国大気科学研究所のCCSM3（以降NCAR）である。領域モデルは、気象庁のJMA/MRINHM（以降JMA）、米国スクリプス海洋研究所のRSM（以降RSM）、及び米国を中心に開発されているWRF（以降WRF）である。3つの領域モデルとも解像度は約10kmであり、計算域は北海道全体を含む。

将来の条件は、社会経済シナリオが経済発展を重視しつつ化石燃料と新エネルギーの技術をバランス良く使う社会（SRES A1Bシナリオ）で、気候モデルの予測による全球平均気温が現在に比べて2℃程度上昇した年代である。これまでの研究では将来予測を一つの予測モデルで2050年代などと指定することが多いが、RECCA-

hokkaidoでは各予測モデルの不確実性を考慮して、2℃程度上昇という設定を行ったのが特徴である³⁾。

(3) 換算雨量の将来予測

北海道の気候将来予測の値は、該当するメッシュ101×51の計5151であるが、本研究では道内を均一に網羅し、かつ代表的な気象官署を含む11メッシュに着目した（図-5）。使用した将来予測の気象データは、該当11メッシュの積雪深、日降水量、日平均気温である。融雪量は雪面低下法で計算し、連続換算雨量は、日降水量が20mm以上の場合について計算を行った。

図-6は、北海道の融雪期（3～5月）における11メッシュの連続換算雨量の推移を表し、MPI/NHMの組み合わせによる現在と将来の結果である。連続換算雨量は60mm以上の場合を抽出し、期間総量と発生回数を示した。現在の期間総量の10年平均が723mmに対し、将来の平均値は810mmとなって112%の増加を予想している。発生回数は同様に84回から86回と2回増加している。現在、将来とも連続換算雨量は年による相違が大きく、また現在に関してもモデルによって連続換算雨量の値は異なっている。

さらに表-1には、現在、将来それぞれ10シーズンについて、連続換算雨量60mm以上の総発生回数と平均連続雨量について、各モデルに関して現在に対する将来の増減を示した。気候モデルではNCAR、領域モデルではNHMにおいて将来の連続換算雨量が多く、中でもNCAR/RSMの連続換算雨量は、現在の190%に達している。逆に将来の連続換算雨量が減少するのはMIROC/RSMの83%、MPI/WRFの87%であり、MIROC/WRF、MPI/RSMは現在とほとんど同様の結果となった。

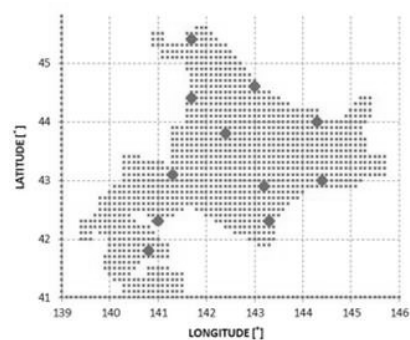


図5 気候モデル全メッシュと換算雨量を算定したメッシュ位置（丸印が抽出メッシュ）

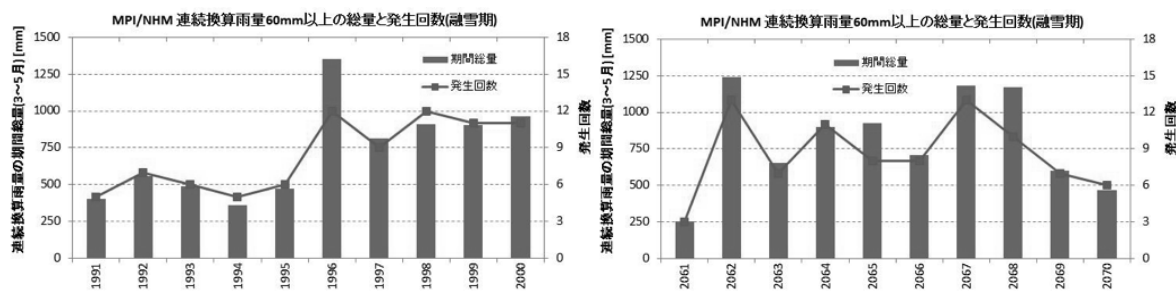


図-6 連続換算雨量の期間総量と60mm以上の発生回数 MPI/NHM

(左：現在、右：将来)

表-1 各モデル出力に基づく現在、将来それぞれ10シーズンにおける連続換算雨量60mm以上の総発生回数と平均連続換算雨

気候モデル 領域モデル		MIROC		MPI		NCAR	
		総発生回数	平均連続換算雨量 mm	総発生回数	平均連続換算雨量 mm	総発生回数	平均連続換算雨量 mm
NHM	現在	43	370	84	723	79	668
	将来	57	476	86	810	96	837
	増減	+14 回	129 %	+2 回	112 %	+17 回	125 %
RSM	現在	47	376	72	853	83	762
	将来	32	311	81	858	132	1446
	増減	-15 回	83 %	+9 回	101 %	+49 回	190 %
WRF	現在	57	495	92	791	81	767
	将来	57	519	73	692	99	1016
	増減	±0 回	105 %	-19 回	87 %	+18 回	132 %

5. まとめ

近年の北海道では融雪期に土砂災害が発生し、道路の通行止めなどによって社会生活に影響が出ている。しかし、北海道内のアメダスを用いた換算雨量の経過からは、統計的に有意な増加傾向は確認できなかった。なお、融雪量を加味した連続換算雨量は、土砂災害発生の指標として有効であることが確認された。次にRECCA-hokkaidoで得られた9通りの将来予測を用いて換算雨量の変化傾向を調べたが、増加5、減少2、現状と同じ2となった。

不確実性を考慮した北海道における融雪期土砂災害の危険性の将来予測は、半数以上が増加傾向を示す結果となった。

謝辞

北海道開発局建設部道路維持課から道路テレメータデータを、土木研究所寒地土木研究所水環境保全チームからは融雪観測データを提供いただきました。また、一般財団法人北海道道路管理技術センターからは道路管理技術委員会の資料の一部を使わせていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局札幌開発建設部, 2013: 国道 230 号中山峠災害対策検討委員会資料, pp3-9.
- 2) 稲津将, 山田朋人, 佐藤友徳, 中村一樹, 杉本志織, 宮崎真, 久野龍介, 2013: 北海道を対象とする総合的ダウンスケーリングの開発と適応, 細氷, 59, 2-22.
- 3) Masaru Inatsu, Tomonori Sato, Tomohito J. Yamada, Ryusuke Kuno, Shiori Sugimoto, Murad A. Farukh, Yadu N. Pokhrel and Shuichi Kure, 2015: Multi-GCM by multi-RAM experiments for dynamical downscaling on summertime climate change in Hokkaido, Atmospheric Science Letters, 16, 297-304.