

## d4PDF を用いた降雨と融雪を誘因とする積雪寒冷地域の斜面災害危険度の推定

室蘭工業大学 ○学生員 片寄陸 (Riku Katayose)  
 室蘭工業大学 学生員 関洵哉 (Junnya Seki)  
 室蘭工業大学 正員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)

## 1. はじめに

近年、北海道等の積雪地域では融雪期の大雨によって引き起こされる斜面災害の増加が懸念されている。今後、気候変動により気温が上昇すると、このような傾向はさらに深刻化すると考えられる。そのため、降雨に加え融雪を勘案した斜面災害発生危険度の評価が必要と考えられる。そこで本研究では、過去に災害があった中山峠を対象に危険度の評価を行った。

## 2. 研究方法

## 2.1 CL 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は、図-1 に示すようなダイアグラムにおいて 60 分雨量と SWI のプロット(スネーク曲線)が CL を超えるかどうか判定が行われる。SWI の計算では、図-1 に示す直列 3 段タンクモデルを利用する。CL は国土交通省と気象庁の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案)<sup>1)</sup>に基づき各地域に設定されている(以降、CL<sub>1</sub> と称する)。加えて、本研究では降雨のほか融雪を考慮するため、積雪・融雪期(本研究では1月～5月、11月～12月)には宮崎ら<sup>2)</sup>の研究で得られた CL (以降 CL<sub>2</sub> と称する)を使用した。CL<sub>1</sub> と CL<sub>2</sub> を図-2 に示す。なお、本研究では 2000 年に災害が発生した地点を含む CL を対象とし、土砂災害危険度の推定を行った。

## 2.2 d4PDF の降水量、気温データ

d4PDF は、全世界および日本周辺についてそれぞれ 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。実験は全球実験と日本周辺の領域実験に大別され、過去の気候状態と、将来において全球平均気温が 4℃ 上昇した気候状態でモデル実験が行われた。データは過去 3,000 年分(過去 60 年×50 メンバー、以下、現在気候)と 4℃ 上昇時の 5,400 年分(将来 60 年×90 メンバー、以下、将来気候)がある。本研究では、気候変動による気温の上昇や降雨の増加に伴う中山峠での斜面災害の危険度を評価するため、現在気候、将来気候の 20km メッシュ降水量データ(以下、d4PDF 降水量データ)と 20km メッシュ気温データ(以下、d4PDF 気温データ)を使用した。

## 2.3 d4PDF データの補正

抽出した d4PDF 20km メッシュの平均標高は、評価対象とした CL メッシュ内の平均標高と異なる。そのため、標高差から気温減率によって d4PDF 気温データを対象地域の気温に補正する。補正した気温データを用いて d4PDF 降水量データを 0℃ 以上は雨、0℃ 以下は雪として降雨と降雪に判別した。

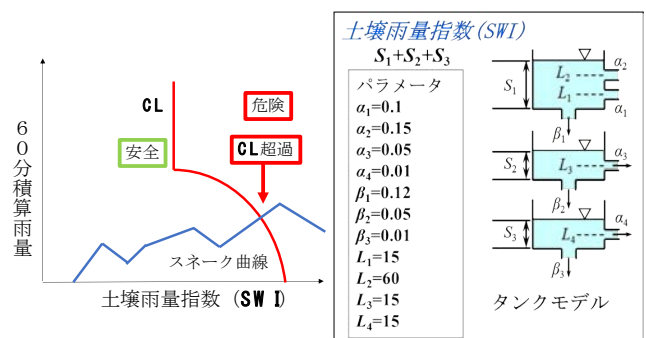


図-1 土砂災害危険度判定の模式図と  
土壌雨量指数 (SWI) のパラメータ

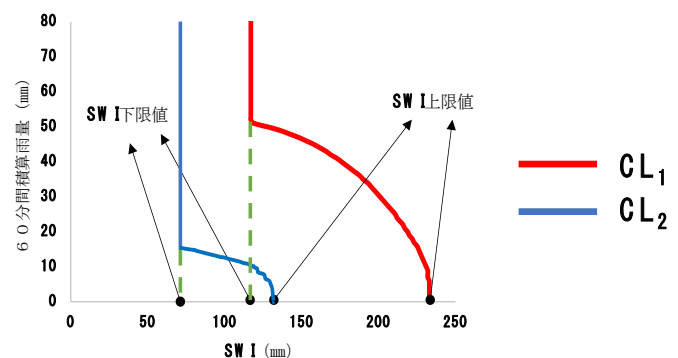


図-2 CL<sub>1</sub> と CL<sub>2</sub> の比較

## 2.4 積雪水量の推定

d4PDF 降水量データから、気温により降雨量と降雪量を判別する。近藤<sup>1)</sup>は相対湿度を用いた以下の式を提案している。

ここで、 $T_c$ は臨界温度(℃)、 $rh$ は相対湿度である。降

$$T_c = 7.7 - 6.6rh \quad (1)$$

水時の条件から  $rh = 1$ 、すなわち  $T_c = 1.1$ ℃ として  $T_c = 0$ ℃ の結果と比較したところほぼ同様であった。本論文では気温が 0℃ を超えたものを降雨量、0℃ 以下を降雪量と判別し、降雪量は積雪水量として積算していく。

## 2.5 融雪量と蒸発散量を考慮した SWI の算出方法

SWI の算出には降雨量を用いるが、通年の計算では降雨量のほか融雪量の考慮が必要である。本研究ではデグリーアワー法を用いて融雪量を推算した。融雪量は、d4PDF 降水量データを気温で 0℃ を上回った度数に相当する値としてを次式から算出する。

$$m_t = k_{dhf} \cdot T_{dnt} \quad (2)$$

ここで、 $m_t$ は融雪量 (mm/h)、 $T_{dnt}$ は 0℃ を上回った度数 (デグリーアワー) (deg)、 $k_{dhf}$ はデグリーアワーファクター (mm/deg/h) である。デグリーアワー

ファクターは実務への適用を考え固定値とし、中津川ら<sup>12)</sup>による 0.15 mm/deg/h を採用した。また、積雪がなくなった時点で融雪量は0とする。さらに、本研究では、SWI の算出に蒸発散量を考慮する。対象範囲の蒸発散量は、ソーンスウェイト法<sup>13)</sup>で推算した。月蒸発散量を対象月の日数×24 時間で除し、1 時間毎の蒸発散量を算出する。SWI は、デグリーアワー法で算出した融雪量と降雨量から、蒸発散量を引いた値を入力し推算した。

## 結果と考察

### 3.1 CL とスネーク曲線による危険度の評価結果

d4PDF 現在気候と将来気候でスネーク曲線を作成し、CL の超過判定を行った。なお、夏期は CL<sub>1</sub>、積雪・融雪期は CL<sub>2</sub> を用いて超過判定を行なった。結果を表-1 に示す。これより将来気候では、現在気候に比べ超過回数が夏期では微増、積雪・融雪期では顕著に増加している。そのため、将来は年間を通して土砂災害の発生に注意が必要と考えられる。積雪・融雪期の CL 超過時間を表-2 にまとめる。なお、夏期の 4 ケースでは超過時間が最長でも 1 時間であったため、特に危険度が高いと考えられる積雪・融雪期を重点的に評価した。また、表-2 において現在気候、将来気候で超過時間がともに 1 位である 2 ケースのスネーク曲線を図-3 に示す。これらは現在気候、将来気候ともに、融雪期の 4 月～5 月に CL を超過している事例であった。さらに、表-2 と図-3 より、現在気候、将来気候とも SWI の増加によって CL を超える傾向が共通しており、将来気候で超過時間が増加していることから、長期的な降雨や融雪による土壌水分量の増加による斜面災害に注意が必要であることが示唆される。

### 3.2 CL 下限値の超過時間の判定

スネーク曲線が CL の SWI 下限値を超過した場合、いつ斜面災害が発生してもおかしくない状況であると考えた。その回数を推算することで斜面災害危険度の評価を行う。図-3 に SWI 下限値の月別の超過回数の変化を示す。月ごとの SWI 下限値超過回数は、現在気候は 4 月、5 月に増加するのに対し、将来気候では 3 月、4 月に増加している。これは、将来気候では融雪期が早まることで早い時期からの斜面災害発生に注意が必要であることが示唆される。

## 3. 結論

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 現在気候、将来気候の CL の超過回数と超過時間の比較により、将来にわたって夏期に比べ積雪・融雪期の斜面災害の危険性が高まることが推察された。
- 2) SWI の下限値の超過回数を現在気候、将来気候で比較した結果、将来気候では 1 か月程度超過回数が増える月が前倒しとなるため、斜面災害に対する早めの警戒が必要と考えられる。

**謝辞：**本研究は、JSPS 科研費（課題番号 20H02404, FY2020～2023）の助成を受けたものである。また、北海道大学の山田朋人氏、星野剛氏（現寒地土木研究所）、ならびに（一財）日本気象協会の松岡直基氏からは有益な情報提供をいただいた。ここに記す

表-1 現在気候、将来気候の夏期、積雪・融雪期の CL 超過回数と発生頻度

	CL 超過回数 (回)		発生頻度 (回/50)	
	夏季	融雪期	夏季	融雪期
現在気候	0	49	0	0.8
将来気候	4	159	0.04	1.5

表-2 積雪・融雪期における現在気候、将来気候の超過時間

順位	現在気候	超過時間 (h)	順位	将来気候	超過時間 (h)
1位	HPB_m 050_1990	15	1位	HFB_4K_GF_m 107_2055	24
1位	HPB_m 060_1974	15	1位	HFB_4K_M_P_m 106_2051	24
3位	HPB_m 062_2009	12	3位	HFB_4K_HA_m 109_2081	21
.	.	.	.	.	.
49位	HPB_m 086_2009	1	159位	HFB_4K_M_R_m 115_2073	1

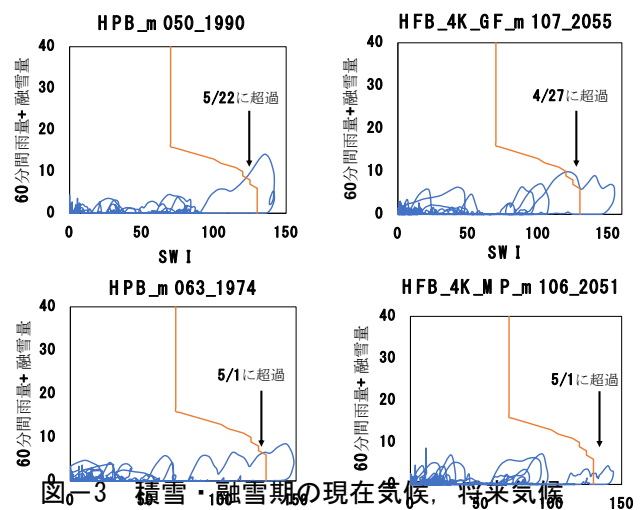


図-3 積雪・融雪期の現在気候、将来気候の CL とスネーク曲線（表-5 の同じで 1 位の 2 ケース、左：現在気候、右：将来気候）

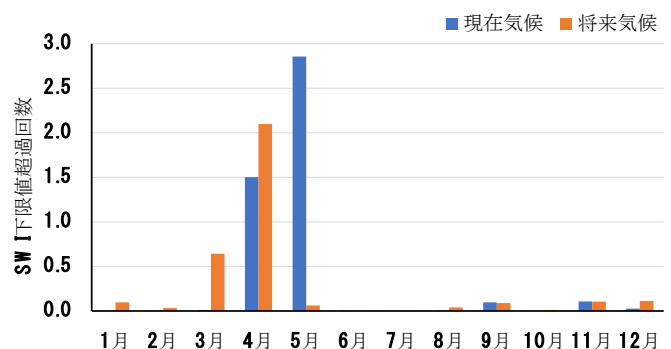


図-4 SWI 下限値の月別超過回数

て謝意を表す

## 参考文献

- 1) 国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部、国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（案），2005。
- 2) 宮崎嵩之ら：土砂災害発生危険度評価のための実用的融雪量算出法の提案，土木学会論文集 B1（水工学），73，4，pp.1375-1380，2017。