

気候変動に伴う西胆振地域での斜面災害危険度の推定

Research on slope disaster risk in the west Iburi area due to climate change

室蘭工業大学 ○学生員 吉岡優希 (Yuki Yoshioka)
 室蘭工業大学 学生員 関洵哉 (Junya Seki)
 室蘭工業大学 正員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

近年、集中豪雨の増加等の影響により、日本全国で斜面災害の危険性が增大している。2021年7月に発生した豪雨では、中部地方、関東地方で土石流、地すべり、がけ崩れなどの土砂災害が計263件発生した¹⁾。2020年7月の停滞前線による豪雨では、九州、東海地方、及び東北地方で土石流、地すべり、がけ崩れなどの土砂災害が計954件発生した²⁾。近年、過去に観測されたことのないような大雨による斜面災害が多発しており、現在、さらには将来起こりうる災害の見通しが望まれる。

北海道を対象とした気候変動に伴う土砂災害の研究として、二階堂ら³⁾は、室蘭地域を対象として、災害の経験の少ない地域でも気候変動によって斜面災害危険度が増大する可能性を指摘した。

本研究では、斜面災害の発生頻度が比較的高く、気候変動による降雨の増加が懸念される西胆振地域を対象に斜面災害危険度の判定を行った。まずは、実際に1983年に斜面災害が発生した登別の事例を検証した。次に、先行研究の室蘭市に加え、登別市、伊達市大滝区（以降、室蘭、登別、大滝）を対象に、気候予測データベース（d4PDF, database for Policy Decision making for Future climate change）の現在気候、将来気候の大量アンサンブル降雨量データを使用することで、現在、さらには将来起こりうる斜面災害リスクの定量的な評価を試みた。

2. 研究方法

2.1 対象地域の概要

本研究で対象とした室蘭、登別、大滝の位置を図-1に示す。各地域の人口は、室蘭は約80,000人⁴⁾、登別は約46,000人⁴⁾、伊達市は約33,000人⁴⁾である。室蘭、登別、大滝は斜面が多く、土砂災害警戒区域はそれぞれ395箇所、131箇所、132箇所、土砂災害特別警戒区域はそれぞれ332箇所、96箇所、105箇所である⁵⁾。その上、登別、大滝は多雨地域であり、潜在的に斜面災害の危険度が高い。また、住居が斜面に隣接し、日本有数の観光地である登別温泉が立地するなどの条件も相まって、斜面災害による人的、経済的被害も懸念される。実際に1980年には室蘭市大沢町、登別市富浦町、1983年には、登別温泉町で土砂災害による家屋の被害が873件発生している⁶⁾。

2.2 使用データ

(1) 観測雨量データ

本研究では、過去の降雨データとして、気象庁が提供するAMeDASの時間雨量を使用した。降雨データは、観測が行われた期間である、室蘭の1940年～2020年（81

年）、登別、大滝の1976年～2020年（45年）を対象とし、6月1日から10月31日までの時間雨量を使用した。

(2) d4PDF

d4PDFとは、全世界および日本周辺でそれぞれ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ケース、以降、現在気候）と4℃上昇時の5,400年分（将来60年×90ケース、以降、将来気候）が存在する。

本研究では長期間の降雨データから斜面災害発生危険度の評価を行うため、通年のデータが公開されているd4PDF20kmメッシュの室蘭、登別、大滝での降雨データを使用し、現在気候と将来気候の両面から斜面災害危険度の推定を行った。なお、対象期間は、夏期の大雨に起因する事例に着目し、現在気候（1951～2010年）、将来気候（2051～2110年）の6月～10月とした。

2.3 スネーク曲線による災害発生危険度の評価方法

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, 以下CL）、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（SWI）の3つの要素から判断⁷⁾される。ここで、CLは、国土交通省と気象庁の連携による土砂災害掲載避難基準雨量の設定方法（案）に基づき各地域に5kmメッシュで設定されている。具体的には、図-2のような模式図において、60分雨量とSWIのプロット（スネーク曲線）がCLを超過するか否かで土砂災害危険度の判定が行われる。SWIは、図-3に示す直列3段タンクモデル⁸⁾に時間雨量を入力することで算出される。

ここで、本研究で用いた室蘭、登別、大滝におけるCLの5kmメッシュ（「北海道建設部土木局河川砂防課」提供資料）の格子とd4PDF20kmメッシュを図-4に示す。

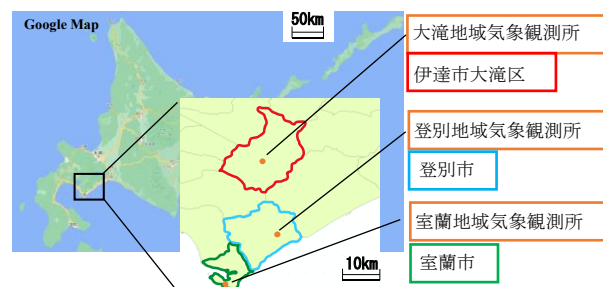


図-1 室蘭市、登別市、伊達市大滝区の位置図

2.4 d4PDF 降雨量の補正

登別における実測雨量と d4PDF 現在気候雨量の年最大 1 時間雨量のヒストグラムの比較を図-5 に示す。これより、d4PDF 雨量が実測より過小評価していることがわかる。従って、本研究では d4PDF 雨量のバイアス補正を行うこととした。補正にはクオントイルマッピング法（以降、QM 法）⁹⁾とピアニの手法（以降、ピアニ法）¹⁰⁾を用いて行い、各手法の精度を比較した。なお、補正にあたっては、実測データと d4PDF データにおいて、年最大 1 時間雨量を用いて補正を行った。図-6 に QM 法とピアニ法の模式図を表す。

ここで、QM 法とは、実測とモデルそれぞれの雨量の累積分布関数を作成し、雨量の累積確率の値を算出し、同じ累積確率の時の実測雨量を読み取り、その倍率に応じてモデル雨量を補正する手法である。例えば、図-6 に

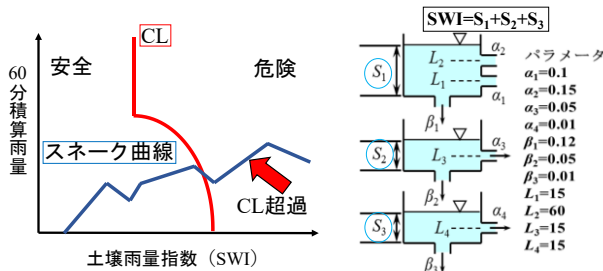


図-2 土砂災害危険度判定の模式図

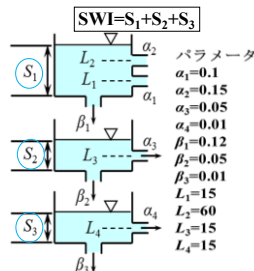


図-3 タンクモデル

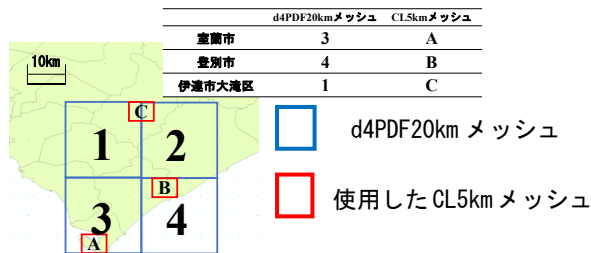


図-4 d4PDF 20km メッシュと使用した CL 5km メッシュ

ある累積確率 80%に対応する雨量は、実測は 42mm、現在気候は 20mm、将来気候は 32mm となる。ここから、現在気候の雨量は実測に合わせ 42mm に補正する。また、将来気候の雨量は、現在気候と実測雨量の倍率（ここでは $42/20=2.1$ 倍）を d4PDF 将来気候の雨量に乘以、 $32 * 2.1=67\text{mm}$ に補正する。これをすべての累積確率に対して行い、d4PDF の雨量を補正する。

また、ピアニ法とは、実測雨量と計算雨量を昇順にソートし、横軸に d4PDF 現在気候、縦軸に実測の雨量をとり、対応する順位の雨量をプロットする。その後、最小二乗法により近似直線を求めることで対象地域の雨量の補正を行う手法である。上記の手順を室蘭、登別、大滝のそれぞれで現在気候のアンサンブル 60 パターンすべてで行い、地域ごとの全アンサンブルの近似直線の傾きを求める。最後に、近似直線の傾きを平均したものを対象地域の代表的な補正倍率（図-6 の a）とし、将来気候の雨量にも補正倍率を乗じることで補正した。

3. 結果と考察

3.1 観測データを用いた SWI の計算結果

1983 年の登別市登別温泉町のスネーク曲線と CL を図-7 に示す。なお、登別の超過判定を行うにあたり、土砂災害警戒区域が多く、1983 年の事例で大きな被害が起きた登別温泉町地区（図-4 の CL 5km メッシュ B）を採用する。これより、スネーク曲線が CL を超過しており、斜面災害の危険度が高いことがわかる。超過時間は 8 時間となった。また、本事例では、1 時間当たり最大 126mm、1 日当たり 417mm という登別地域において観測史上過去最大の雨量が記録された。以上より、スネーク曲線と CL を用いた過去の斜面災害危険度判定の妥当性が確認できたため、同様の手法で d4PDF を用いた計算を行う。

3.2 雨量データの補正結果

室蘭、登別、大滝における、QM 法とピアニ法を用いた d4PDF 雨量のバイアス補正結果を表-1 に示す。表-

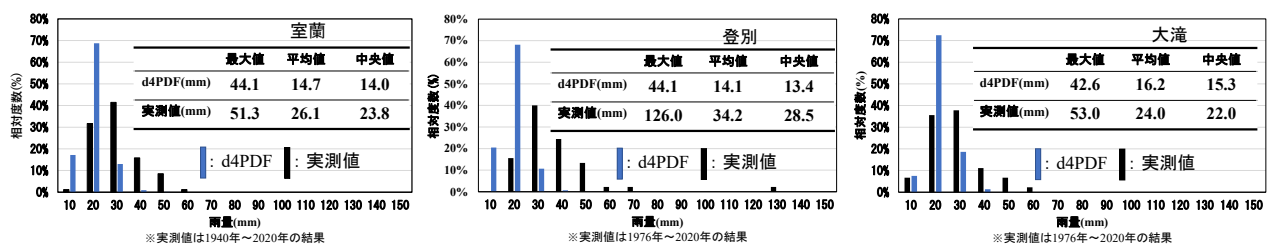


図-5 d4PDF 20km メッシュでの年最大 1 時間雨量のヒストグラム

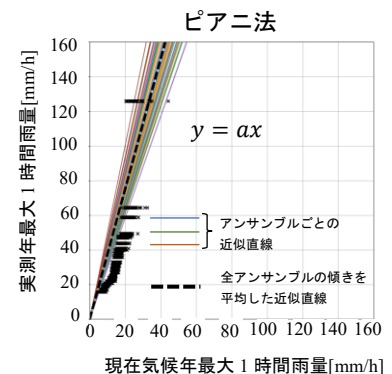
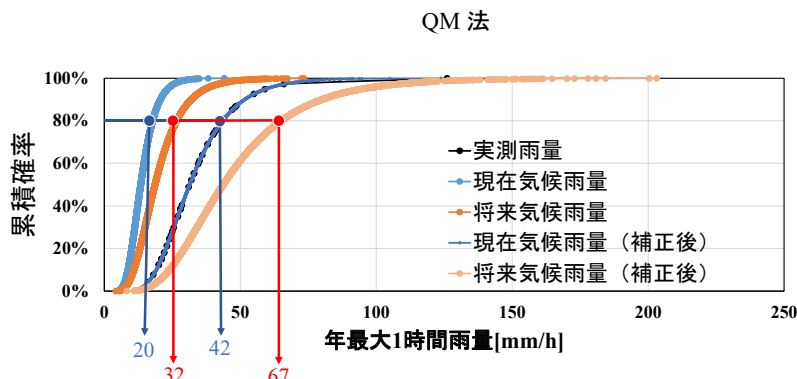


図-6 QM 法とピアニ法によるバイアス補正の模式図

1 より、ピアニ法を用いた補正よりも、QM 法を用いた補正のほうが、年最大1時間雨量の平均値、中央値、最大値いずれも実測の再現性が高い。また、総雨量の観点からも精度を比較するため、実測と d4PDF 現在気候の6～10月間の総雨量を比較した。表-2に結果を記す。QM 法においては、登別、大滝では d4PDF 現在気候データの平均値、中央値が実測に近い値を示す結果となったが、室蘭ではやや過大評価となった。一方、ピアニ法においてはいずれも過大評価となった。以上より、現実的な雨量を得るため、QM 法による雨量のバイアス補正を行うことが適切と判断した。

3.3 現在気候、将来気候の超過回数と発生頻度及び超過時間の比較

過去の実測雨量を用いて、既往事例での CL の超過判定を行った。結果を表-3に示す。ここで、超過時間とはスネーク曲線が CL を超過した総時間であり、超過回数とはスネーク曲線が CL を超過した回数である。結果として、室蘭、大滝では CL を超過することはなかったが、登別では45年に5回の割合で CL を超過することが分かった。次に、QM 法により補正した d4PDF 雨量を用い、現在気候 3,000 年と将来気候 5,400 年分すべてのケ

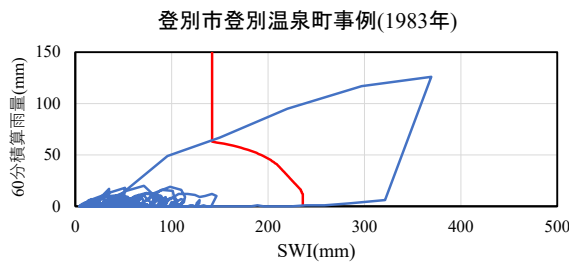


図-7 登別市登別温泉町における CL と 1983 年の災害時におけるスネーク曲線

表-1 室蘭、登別、大滝における実測と d4PDF 現在気候の年最大1時間雨量の比較

	実測雨量 [mm]	d4PDF 現在気候 (補正前)[mm]	d4PDF 現在気候 (QM法補正後)[mm]	d4PDF 現在気候 (ピアニの手法補正後)[mm]
室蘭				
最大値	51.3	44.1	84.3	74.6
平均値	26.1	14.7	26.1	24.9
中央値	23.8	14.0	24.5	23.7
登別				
最大値	126.0	44.1	123.8	165.9
平均値	32.7	14.1	33.8	53.2
中央値	27.0	13.4	32.7	50.3
大滝				
最大値	53.0	42.6	89.4	77.8
平均値	24.0	16.2	24.0	29.5
中央値	22.0	15.3	21.8	28.0

表-2 室蘭、登別、大滝における実測と d4PDF 現在気候の6～10月の総雨量比較

	実測雨量 [mm]	d4PDF 現在気候 (補正前)[mm]	d4PDF 現在気候 (QM法補正後)[mm]	d4PDF 現在気候 (ピアニの手法補正後)[mm]
室蘭				
最大値	1,130	1,449	2,312	2,452
平均値	709	710	1,096	1,202
中央値	688	698	1,076	1,180
登別				
最大値	2,085	1,276	2,493	4,800
平均値	1,199	618	1,130	2,324
中央値	1,156	606	1,102	2,282
大滝				
最大値	1,209	1,854	1,795	3,384
平均値	712	890	716	1,624
中央値	693	874	698	1,596

ースで SWI を計算し、スネーク曲線の CL 超過判定を行った。室蘭、登別、大滝における結果を表-4に示す。また、各地域での超過回数、超過頻度を表-5にまとめる。

結果より、現在気候では、室蘭で12年に1回、大滝で73年に1回の頻度で斜面災害が発生することが推測される結果となったが、登別では6年に1回と他地域に比べ高頻度で斜面災害が発生しうることが示された。これは、表-3に示す実測雨量を用いた9年に1回の頻度に近い値となっている。

また、将来気候では室蘭で3年に1回、大滝で10年に1回、登別で2年に1回と、現在に比べ高頻度で斜面災害が発生する可能性が示された。これは、将来の気候変動により降雨量が増加したことで、SWIが増加しスネーク曲線の超過度合が大きくなったことが要因と考えられる。以上より、d4PDFを用いることにより、室蘭、登別、大滝いずれも現在でも斜面災害が発生する可能性があり、将来気候においてはさらに頻度が増加する可能性が示された。特に登別地域においては、高い頻度で斜面災害が発生する可能性が示唆された。

3.4 現在気候と将来気候の最も超過時間の長い年におけるスネーク曲線

表-4より、室蘭、登別、大滝における、現在気候、将

表-3 室蘭、登別、大滝の実測雨量での斜面災害発生頻度

	室蘭	登別	大滝
超過回数(回)/(年)	0/71	5/45	0/45
発生頻度(回)/(年)	0/71	1/9	0/45
超過時間合計(h)	0	14	0

表-4 各地域での現在気候、将来気候での CL 超過回数および超過時間（上：室蘭、中：登別、下：大滝）

室蘭現在気候			室蘭将来気候		
順位 (位)	年数	超過時間 (h)	順位 (位)	年数	超過時間 (h)
1	HPB_m023_1952	49	1	HFB_GF_m110_2066	108
2	HPB_m004_1958	37	2	HFB_MI_m102_2066	83
3	HPB_m046_1980	33	3	HFB_MI_m110_2080	76
・	・	・	・	・	・
257	HPB_m090_1983	1	1806	HFB_MR_m115_2095	1
登別現在気候			登別将来気候		
順位 (位)	年数	超過時間 (h)	順位 (位)	年数	超過時間 (h)
1	HPB_m063_1968	38	1	HFB_MI_m110_2080	72
2	HPB_m048_1967	28	2	HFB_MI_m102_2066	56
3	HPB_m021_1990	25	3	HFB_GF_m110_2066	55
・	・	・	・	・	・
473	HPB_m090_2010	1	2288	HFB_MR_m115_2109	1
大滝現在気候			大滝将来気候		
順位 (位)	年数	超過時間 (h)	順位 (位)	年数	超過時間 (h)
1	HPB_m082_1961	17	1	HFB_MR_m105_2091	19
2	HPB_m048_1967	12	2	HFB_MR_m109_2051	18
3	HPB_m043_2006	5	3	HFB_MP_m101_2053	14
・	・	・	・	・	・
41	HPB_m089_2008	1	558	HFB_MR_m115_2101	1

表-5 d4PDF による室蘭、登別、大滝での斜面災害発生頻度

	室蘭		登別		大滝	
	現在気候	将来気候	現在気候	将来気候	現在気候	将来気候
超過回数(回)/(年)	257/3,000	1,806/5,400	473/3,000	2,288/5,400	41/3,000	558/3,000
発生頻度(回)/(年)	1/12	1/3	1/6	1/2	1/73	1/10
超過時間合計(h)	1,081	10,071	1,285	10,350	95	1,187

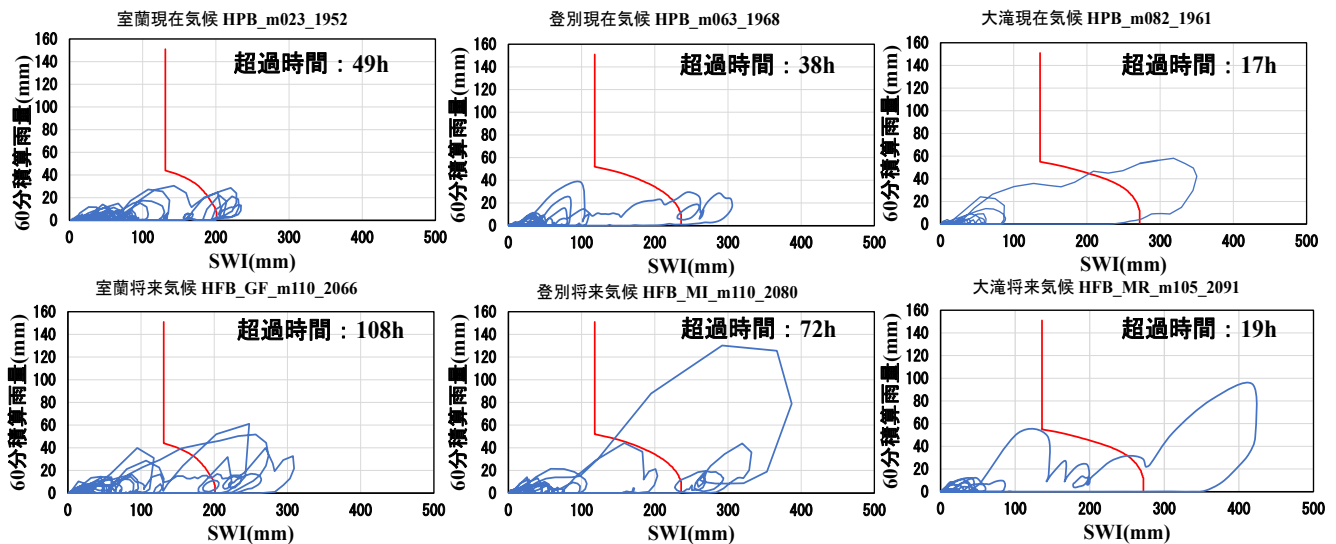


図-8 CL 超過時間が最も長いケースでの災害危険度評価 (左: 室蘭, 中: 登別, 右: 大滝)

表-6 バイアス補正の有無による斜面災害危険度評価の比較

	室蘭(バイアス補正なし)		室蘭(バイアス補正あり)	
	現在気候	将来気候	現在気候	将来気候
超過回数 (回)/(年)	7/3,000	200/5,400	257/3,000	1,806/5,400
発生頻度 (回)/(年)	1/429	1/27	1/12	1/3
超過時間 合計(h)	40	610	1,081	10,071

来気候の CL 超過時間が最も長いケースでのスネーク曲線と CL を図-8 に示す。これを見ると、将来気候では、特に登別や大滝のような多雨地域において、長時間にわたる降雨によって CL を超えた後も短時間に集中する大雨が推定されている。

3.5 バイアス補正の有無による斜面災害危険度の比較

二階堂ら³⁾は、d4PDF を用いて室蘭市における斜面災害危険度の評価を行ったが、降雨のバイアス補正は行っていない。バイアス補正の有無による斜面災害危険度の比較を表-6 に示す。例えば現在気候では、バイアス補正を行わない場合の CL の超過頻度は429年に1回だが、行った場合は12年に1回と、高頻度で超過している。このことから、d4PDF 雨量を用いて災害危険度を評価する際には、実測値との関係に留意しながら適切なバイアス補正を検討する必要がある。

4. 結論

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) d4PDF データが雨量を過小評価する可能性があり、QM 法のような適切なバイアス補正を行う必要があることがわかった。
- 2) 現在気候と将来気候で CL の超過回数と超過時間を比較し、将来気候では降雨量の増大に伴い、CL 超過回数の増加、CL 超過時間の長期化で、斜面災害の危険性が高まることが示された。
- 3) 将来的には SWI の増加をもたらす長期的な雨量と短期的な集中豪雨が影響し、斜面災害危険度を増大させる可能性があることが示された。

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からは情報提供をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省: 令和3年8月11日からの大雨による土砂災害発生状況, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r3dosha/r3_0811ooame.html(閲覧日: 2021/12/2)。
- 2) 国土交通省: 令和2年7月における土砂災害発生状況, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r2dosha/r2_07gouu.html (閲覧日: 2021/12/2)。
- 3) 二階堂樹ら: 気候変動に伴う室蘭地域での斜面災害危険度の推定, 土木学会北海道支部, 77, C-04, 2020。
- 4) 総務省統計局: 令和2年国勢調査, <https://www.stat.go.jp/index.html> (閲覧日: 2021/12/9)。
- 5) 北海道: 土砂災害警戒区域等の指定状況, <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/kss/72840.html> (閲覧日: 2021/12/2)。
- 6) 1983年9月の登別地方の豪雨災害, http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/publication/report/report0202/gshr55_083_090.pdf(閲覧日: 2021/12/2)。
- 7) 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>(閲覧日: 2021/12/2)。
- 8) Ishihara *et al.*: Runoff Model for Flood Forecasting, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, 29, 1, pp.27-43, 1979。
- 9) Matthias, J. T. *et al.*: Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal, *Climatic Change*, vol.112, pp.449-468, 2012。
- 10) Piani, C. *et al.*: Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, *Theoretical & Applied Climatology*, vol.99, pp.187-192, 2010。