

繰り返し発生する土石流に対する警戒・避難手法

一 未経験降雨指数を用いた藤原岳土石流の解析事例 一

京都大学農学研究科

小杉賢一朗

京都大学農学研究科（現・三菱UFJ銀行） 万田純菜

1. はじめに

地震や豪雨による崩壊や火山噴出物の堆積などによって大きく荒廃した溪流では、その後の降雨によって土石流が頻繁に発生することが知られている。この様な溪流では、土石流に対する警戒・避難を実施するための雨量基準を緊急に定める必要があるが、その決定方法は確立されておらず、土石流発生の実績に基づいて経験的に定められることが多い。また一般的に、時間の経過とともに土石流の発生頻度は低下する傾向がみられ、警戒・避難基準の見直しが必要となるが、その方法も確立されていない。

他方、筆者らは近年の研究において、斜面や流域の履歴や降雨履歴に基づき警戒・避難の基準を自動的・客観的に定めることのできる未経験降雨指数を提案している（小杉，2022）。これまでこの指数を用いた解析によって、過去に特段の異変が起きていない箇所では既往降雨の最大値を基準とすることによって（Kosugi, 2023）、地震に因る強い振動を受けた箇所では地震後に発生した降雨の最大値を基準とすることによって（堤ら，2026）、適切な警戒・避難を実施できる事例が示されている。

本研究では、この「履歴に基づいた警戒・避難」の手法を土石流が頻発する溪流に適用し、その有効性や課題について検討を加えた。

2. 方法

研究の対象地は、藤原岳を源とする土石流が繰り返し発生している三重県いなべ市とした。藤原岳はいなべ市と滋賀県東近江市との境界に位置する標高 1,140 m の山であり、地質は美濃帯の中・古生層で、主に石灰岩から成る。この地域では 1998 年 4 月 22 日に三重県北部を震源とするマグニチュード 5.5、最大震度 4 の地震が発生している。この地震以前のおよそ 60 年間については、藤原岳における土石流の発生は特に報告されていないが、この地震を境として、山頂よりそれぞれ東および北東に流下する西之貝戸川と小滝川において豪雨時に土石流が発生するようになった。土石流の発生回数は、2012 年までの 15 年間で計 12 回におよんでいる。表-1 は土石流を引き起こした降雨イベント（土石流発生イベント）の諸元を平谷（2009）を参考にまとめたものである。表中の土石流の発生時刻については、三重県による報告と池田（2011）および佐野（2017）も参照している。

本研究では、藤原岳に最寄りの地点で観測された長期（1976～2012 年）の 1 時間雨量データを使用して、各種半減期の実効雨量を連続的に算定し、降雨規模の解析に用いた。具体的には、1976～1991 年は気象庁北勢観測所、1992 年は三重県中里観測所、1993～2001 年は三重県阿下喜観測所、2002 年以降は三重県藤原岳観測所のデータを使用し、欠測部分に関しては最寄りの観測所のデータで補完した。なお、降雨イベント②が発生した 1999 年 8 月 19 日については、雨量分布に大きな空間変動が見られたため、三重県が西之貝戸 1 号堰堤に一時的に設置していた雨量計のデータを使用した。実効雨量の初期値はゼロに固定しているが、解析期間より大幅に過去に遡った 1976 年から連続して計算を行ったため、初期値が結果に及ぼす影響は見られなかった。

3. 結果

図-1 は、半減期 72h 実効雨量と半減期 1.5h 実効雨量の組合せによるスネーク曲線を、表-1 の土石流発生イベントによって区切られる期間別に示したものである。このスネーク曲線は、旧建設省時代に警戒・避難に活用されたものであり、現行手法で用いられる土壌雨量指数と 60 分雨量を用いたスネーク曲線と概ね同様の降雨規模評価を実施できる。

表-1 土石流発生イベントの諸元

イベント名	年	月日	発生流域	流出土砂量(m ³)	土石流発生時刻(池田)	土石流発生時刻(佐野)
①	1998	4月22日			地震発生	
		7月29日	西之貝戸川	—		
②	1999	3月16日			地震発生	
		8月19日	西之貝戸川 小滝川	3,000 10,000	17時頃	
③		9月24日	西之貝戸川	37,000	9-11時頃	
			小滝川	5,000	9-11時頃	
④	2002	7月9～10日	西之貝戸川	—	9日23時頃	23時30分
			小滝川	21,080	10日0時	
⑤		7月17日	西之貝戸川	39,860	9時過ぎ頃	
			小滝川	20,970	9時過ぎ頃	
⑥	2003	8月8日～9日	西之貝戸川	26,000	8日22時28分頃	
			小滝川	50,000	8日22時27分頃	
⑦	2004	6月21日			14時20分	
⑧		9月29日			21時50分	
⑨		10月20日			17時20分	
⑩	2008	9月3日	西之貝戸川	37,600	2日17時頃	
			小滝川	47,300		
⑪	2012	9月8日				7時40分
		9月17～18日	西之貝戸川 小滝川	63,300 132,600	18日10時頃	

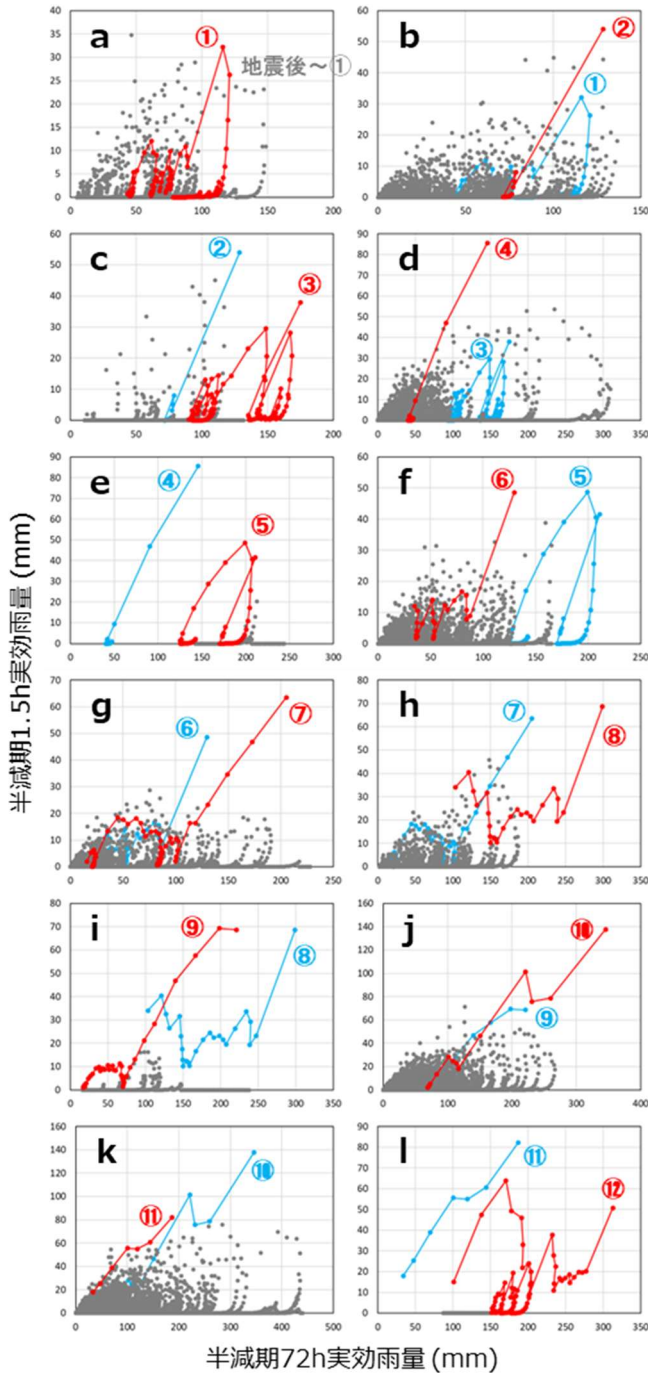


図-1 期間別のスネーク曲線

土石流発生イベントのスネーク曲線は表-1 で用いた番号で示され、土石流発生時刻(分は切り上げ)まで表示されている。灰色○は、各パネルの2回の土石流発生イベントの間の期間のスネーク曲線を表す。

のうち、上記の基準を用いた場合に土石流の発生を捕捉できた(見逃しが生じなかった)イベントの数」をプロットの色で表している。横軸半減期 7.6~3000h, 縦軸半減期 0.1~2.2h の範囲の多くのスネーク曲線において、12 イベント全ての土石流を捕捉する結果となっている。

当日の発表では、提案した手法の有効性や課題について、空振りの発生状況も踏まえた解析結果を報告する。

本研究の一部は科学研究費(26H02179)の助成を受けて実施した。データを提供いただいた山田孝先生ならびに三重県の関係各位に謝意を表す。

引用文献: 平谷和記, 砂防学会誌, 62(3), 74-79, 2009; 池田暁彦, 土石流の発生・流出過程に関する研究, 京都大学学位論文, 2011; 小杉賢一朗, 砂防学会誌, 75(1), 3-14, 2022; Kosugi, K., Nat Hazards, <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06048-0>, 2023; 佐野泰志, 降雨指標を用いた溪床堆積物再移動型土石流発生過程における各水文現象の発生限界評価, 三重大学修士論文, 2017; 堤ら, 砂防学会誌, 78(6), 52-63, 2026

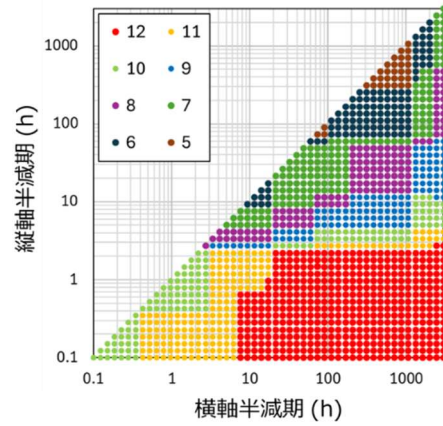


図-2 種々のスネーク曲線による土石流捕捉数

1998年4月22日の地震後に初めて土石流を引き起こした降雨イベント(表-1の土石流発生イベント①)のスネーク曲線(図-1aの赤色○)は、この地震からイベント①の間の期間のスネーク曲線(図-1aの灰色○)の最大値を超過していることから、イベント①が地震後に初めて経験する規模の雨であったことがわかる。図示はしていないが、この地震の発生以前の降雨イベントでは、イベント①を超えるスネーク曲線が記録されていた。よってイベント①による土石流は、地震によって異変が生じた流域において、地震後に初めて経験する規模の降雨によって引き起こされたと考えられる。次に図-1bでは、土石流発生イベント②のスネーク曲線が、イベント①と②の間の期間のスネーク曲線(灰色○)の最大値を超過していることから、イベント②がイベント①の後に初めて経験する規模の雨であったことがわかる。さらに図-1c~lより、イベント③~⑫の全てについても図-1bと同様の結果が得られていることがわかる。すなわち、いずれの土石流発生イベントにおいても、直前の土石流発生イベントよりも後の期間において記録されたスネーク曲線の最大値を超過するスネーク曲線が記録されていたことになる。以上の結果をまとめると、「地震や土石流発生による荒廃が発生した後に初めて経験する規模の雨」であることを基準とすることによって、見逃しのない警戒・避難を実施できる可能性が示唆された。(但しここでの判定では、発生時刻を時間単位で切り上げて評価していることに注意。)

図-1と同様に見逃しのない降雨規模評価を行えるスネーク曲線の探索を行った結果を図-2にまとめた。この図では、半減期の異なる実効雨量の組合せを用いた種々のスネーク曲線の各々について、「12 イベント