

流域源頭部の土石流発生降雨パターンが示す土砂流出の長期的なサイクル -静岡県安倍川大谷崩での観測事例-

森林研究・整備機構 森林総合研究所 ○経隆 悠
 東京大学大学院農学生命環境科学研究科 堀田紀文
 静岡大学農学部 今泉文寿
 東京大学空間情報科学研究センター 早川裕弐
 東京都・森林事務所秋川林務出張所 増井健志

1. 研究の背景と目的

荒廃した流域源頭部では、凍結融解等によって生産・供給された土砂が、豪雨時に土石流となって流下する。この土砂生産と土砂流出（土石流発生）は数百年という長期間継続する場合があります、下流での直接的な被害だけでなく、河床上昇やダム堆砂といった問題を引き起こす。そのため、長期的な土砂流出量の推定が求められるが、源頭部での土石流の発生プロセスはよく分かっていない。また、土石流は堆積土砂の侵食によって発生・発達すると考えられるが、土石流の侵食速度は堆積土砂の勾配や水分条件の影響を受ける。そのため、過去の土石流の流下による堆積土砂の変化が、その後の土石流発生に必要な降雨パターンを変化させる可能性がある。本研究では、土石流の発生プロセスと発生降雨条件の時系列変化を明らかにすることを目的として、流域源頭部の土石流発生域を対象とした4年間の現地観測を行った。

2. 研究対象地

対象地は静岡県安倍川源頭部に位置する大谷崩・一の沢で、最高地点標高が約1900 m、流路長が約650 m、流域面積が約0.22 km²である。大谷崩は1707年に発生した大規模崩壊であり、一の沢では崩壊から300年以上経過した現在でも活発な土砂生産・流出が続いている。ここでは、土砂の生産と流出に季節的なサイクルが存在する。主に冬季から春先の期間、土砂は凍結融解によって斜面から生産され谷底に供給される。これらの土砂は、夏から秋にかけて豪雨時に土石流として流出する。

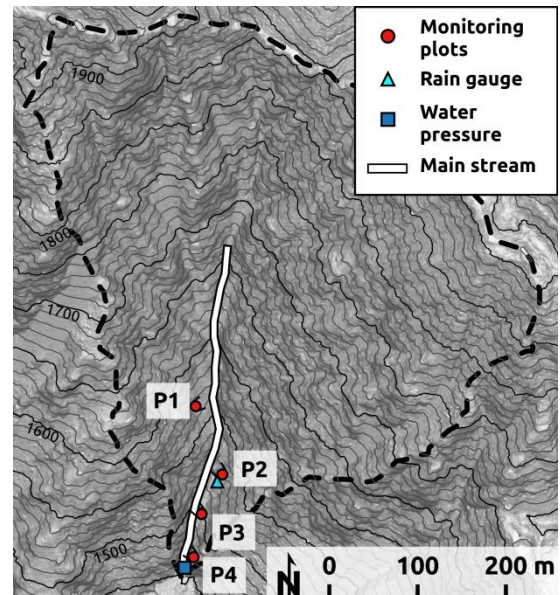


図-1 研究対象地

3. 方法

3.1 土石流と降雨の観測

土石流の流下をP1からP4に設置したビデオカメラまたはインターバルカメラで撮影し、流下タイミングを判読した。流下波形は谷出口（P4下部）に設置した圧力式水位センサーによって、雨量はP2付近に設置した雨量計によって、それぞれ1分間隔で計測した。無降雨時間が3時間以上継続した場合に、その前後を異なる降雨イベントとした。観測期間は2012年から2015年の4年間である。

3.2 降雨解析

Intensity-duration 法（ID 法）及び各降雨指標によって降雨と土石流の発生・非発生の関係を調べた。ID 法では、各降雨イベントの降雨継続時間と平均降雨強度の関係を両対数軸でプロットし、土石流発生降雨の下限値をべき乗関数で結ぶことで、土石流発生閾値を求めた。また、各降雨の最大10分間雨量および最大1時間雨量、総雨量を求めた。

これまでの観測結果から、対象地では土石流が10分間雨量5 mm以上の降雨で発生することが分かっ

ている¹⁾。ここで、降雨中に 10 分間降雨強度 5 mm を超える期間は分散的または連続的に現れると考えられる。この降雨パターンの違いを比較するために、cumulative time of rainfall intensity threshold index (CTI) と maximum duration of rainfall intensity threshold index (MDI) (それぞれ、各降雨イベント中の 10 分間降雨強度 5 mm 以上の累積時間または最大継続時間を、それぞれの観測期間の全降雨中の最大値で除した値) という新たな降雨指標を求めた。CTI と MDI は、それぞれ降雨中の 10 分間降雨強度 5 mm 以上の期間の累積または集中度を表す降雨指標である。

4. 結果と考察

観測期間中に 14 の降雨イベントで土石流の発生が確認された。ID 法および各降雨指標の比較から、土石流は最大 10 分間雨量 5 mm 以上で発生するが、平均降雨強度や総雨量などその他の降雨指標はばらつきが大きいことが分かった。また、最大 10 分間雨量 5 mm 以上の降雨であっても、土石流が発生しない場合があった。図 2 に最大 10 分間雨量 5 mm 以上の降雨の CTI と MDI の関係を示す。これにより、土石流は CTI または MDI が大きい降雨で発生することが分かった。つまり、土石流は 10 分間降雨強度が 5 mm を超えることに加え、そのような短期間に強い雨が蓄積または集中することで発生する。

インターバル撮影結果から、対象地の upstream 側では、10 分間降雨強度のピーク (約 5 mm/10 分) に対応して複数の土石流段波が発生・流下し、その多くは谷出口まで到達せずに堆積することが分かった。また、流動深 2 m 程度で谷出口まで到達する明確な土石流段波は、前述の複数の段波により河床の堆積土砂の空間分布が変化した後に発生・伝搬していた。このことは、複数の段波の発生が、土砂の空間分布の変化を通して、より発達した土石流段波の伝搬を促進することを示唆する。つまり、CTI・MDI は段波発生の累積または集中度を評価しており、上記の発達プロセスを反映した降雨指標であると言える。そのため、土石流の発生を他の降雨指標と比べ高精度に判定できる。

また、土石流がある年で 3 から 4 回発生した後では、非発生降雨の上限値と同程度の CTI と MDI をもつ降雨で土石流が発生した (図 2)。このことは、以前の土石流の流下により土砂量が減少した場合、より瞬間的に強い雨で土石流が発達・伝搬する危険性があることを示唆する。つまり、過去の土石流は、その後の土石流の発生降雨パターンを変化させる。しかしながら、翌年の 1 回目の土石流は、再び CTI または MDI が高い降雨で発生した。このことは、本研究対象地のように土砂生産と土石流発生時期に明確な季節性が存在する場合には、土砂生産期間中に堆積土砂量が増加することで、次の土石流の発生・発達に必要な降雨パターンがリセットされることを示唆する。言い換えれば、土石流が比較的同様の降雨パターンで発生し続ける流域は、土砂生産と土砂流出の長期的なサイクルを有する。

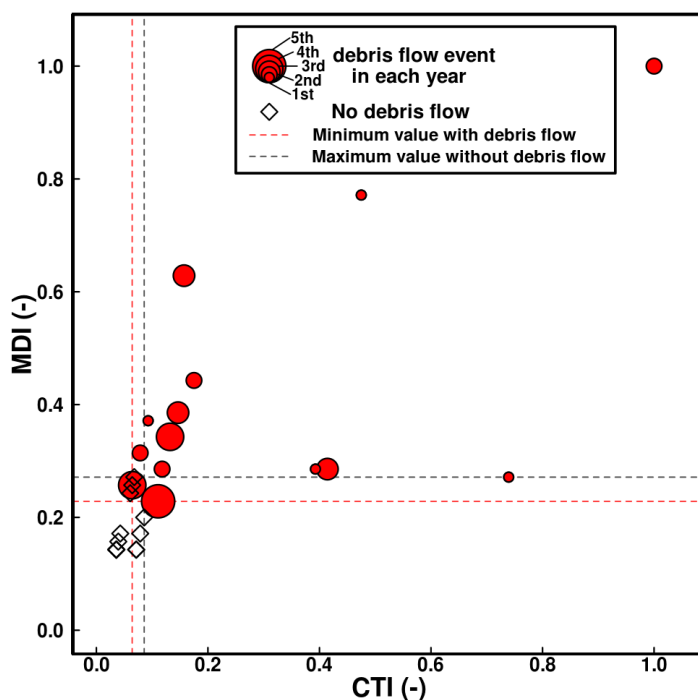


図-2 CTI・MDI と土石流発生・非発生の関係
赤点のサイズは各年の土石流発生順序を示す。

謝辞 本研究は特別研究員奨励費 (16J02197) の助成を受けたものである。

参考文献 1) Imaizumi et al. (2017), Natural Hazards and Earth Science Systems, 17, 1923-1938