

土砂災害に対する警戒・避難における未経験降雨指数の有用性について

京都大学大学院農学研究科 小杉賢一朗

1. はじめに

現行の土砂災害警戒技術では、全国一律の雨量指標が用いられ、地質・地形・土質等の違いが考慮されていない。とはいえ、膨大な数にのぼる危険箇所の一つ一つに最適雨量指標を定めることは困難である。そこで小杉（砂防学会誌, 67(5), p.12～, 2015）は、様々な指標の組合せで多数のスネーク曲線図を描くことによって、土砂災害の危険性を種々の見方から評価する手法を提案した。さらに、各々のスネーク曲線図において既往最大値を結んだ線を CL に設定することを提案した。この手法における避難の根拠は「未曾有の豪雨になっているから」という明確なものであり、住民の自発的な避難行動を促進すると期待される。

ただしここで問題となるのは、スネーク曲線既往最大値を算定する雨量データの期間である。より過去にまで遡って長期間のデータを使用すれば正確な既往最大値を検出でき、空振りを減らすことができる。一方、斜面や流域の特性に時間的変化が生ずる可能性を考えると、むやみに過去に遡ることが適切とは限らない。そこで小杉（砂防学会誌, 75(1), p.3～, 2022）は、「過去のどの時点まで遡れば『現在降っている雨が既往最大値超過ではない』という状況が出現するか」を検討し、その時点をと土砂災害発生危険度を評価する指数（未経験降雨指数）とすることを提案した。本研究では、実際の土砂災害事例の解析に基づき、未経験降雨指数の有用性について考察を加えた。

2. 方法

以下、小杉（2022）を出典として未経験降雨指数 T_P の算定方法を概説する。スネーク曲線図において「現在時刻から過去に遡ったときに、『既往最大値超過ではない』という状況が初めて出現する時刻」を T_P とする。 T_P は各時刻において算定され、雨量の時系列に応じてその時系列が決まる。現在時刻における T_P の具体的な算定手順は次のとおりである。

- ① 観測開始から現在時刻までの全期間の雨量データを用いて、半減期がそれぞれ M_1 , M_2 （ただし $M_1 \geq M_2$ とする）の 2 種類の実効雨量 $X(M_1, t)$, $X(M_2, t)$ を算定し（ t は時刻を表す）、 $X(M_1, t)$ を横軸に $X(M_2, t)$ を縦軸にとって、図-1 のようなスネーク曲線図を描く。図上に落とされた個々の点を、以下ではプロットと呼ぶ。
- ② スネーク曲線図上の「現在の降雨イベントよりも昔のプロット」のうち降雨イベント中のものを全てを対象として、現在時刻のプロットからみて右上の領域（図-1 中の赤色四角で示した領域。但し、境界線を含む。）にあるものを全て抽出する。なおここでは、過去 24 時間の雨量がゼロより大きい場合を降雨イベント中と判断し、24 時間以上の無降雨期間によって降雨イベントが区切られると考えた。
- ③ ②で抽出したプロットのうち、「時刻が最も新しいプロット」の時刻を未経験降雨指数 T_P の候補とする。図-1 に示した例の場合、 T_P の候補は「2004/7/4 3:00」となる。
- ④ M_1 と M_2 の組合せを①とは異なる組合せに設定した上で、全期間の雨量データを用いて新たなスネーク曲線図を描き、上記②～③を行って新たな T_P の候補を定める。この作業を、種々の M_1 と M_2 の組合せについて繰り返し、種々のスネーク曲線図の各々について T_P の候補を定める。
- ⑤ 以上により得られた T_P の候補のうち、最も過去に遡った時刻を未経験降雨指数 T_P とする。

上記の T_P 算定プロセスにおいて種々のスネーク曲線図を用いることは、「土砂災害の発生予測に有効と考えられる種々の見方」で降雨の特徴を分析すること（小杉, 2015）に対応している。そして、種々の候補のうち最も過去に遡った時刻を採用する（上記⑤）ことによって、 T_P は「この時刻まで遡らなければ、少なくとも一つの見方において、現在時刻の雨が、過去に経験したことのない規模になっている（既往最大値超過の状況にある）」ことを表している。換言すれば、「 T_P まで遡れば、検討対象としたいいずれの見方をした場合でも、現在

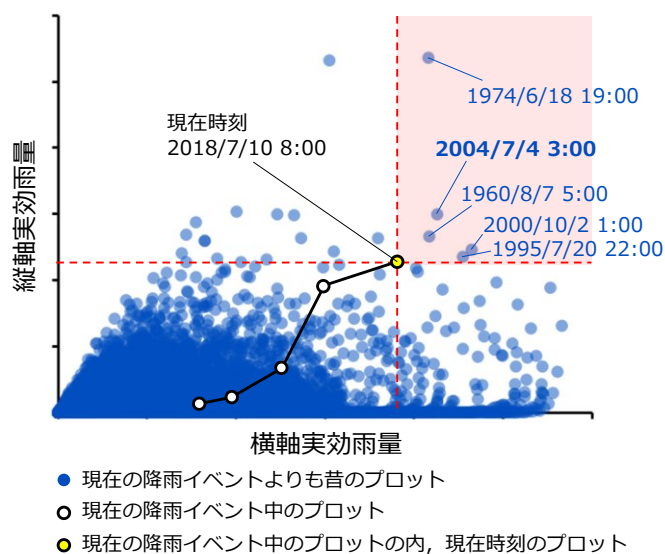


図-1 T_P 候補の算定方法（小杉（2022）を改変）

時刻の雨が、過去に経験したことのある規模になっている（既往範囲内の状況にある）」ことを表している。以上の意味合いにおいて、「現在時刻の雨は、時刻 T_p 以来の規模になっている」と考えることができる。

以下の解析では、半減期 M_1 , M_2 （ただし $M_1 \geq M_2$ ）を 0.1~1500 h の範囲で、その対数値の変化量が一定になるようにして計 51 通りに設定し、合計 1,326 通りの組合せを検討した。実効雨量の初期値はその時刻に対応する平年値に設定した（Kosugi, 2023, Nat Hazards, <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06048-0>）。

3. 結果

2021 年 8 月に長崎県雲仙市で発生した土砂災害を対象として T_p の算定を行った結果を図-2 に示した。用いたデータは気象庁雲仙岳の 1974 年 4 月~2021 年 8 月の時間雨量である。（計算の詳細は Kosugi (2023) を参照のこと。） T_p は、8/11 12:00 以前は約 1 ヶ月前までしか遡らないが、8/11 13:00~8/12 15:00 は 2020 年 7 月まで遡り、およそ 1 年ぶりの降雨規模であることを示している。土砂災害警戒情報は、この時間帯終盤の 8/12 13:17 に発表されている。避難指示が発表された 8/12 16:00 には、 T_p は 2015 年 6 月まで遡り、およそ 6 年ぶりの降雨規模であった。その後 8/12 19:00~23:00 には T_p は 1982 年 7 月まで遡り、およそ 39 年ぶりの大雨となった。そして 8/12 23:00~8/13 0:00 の 81 mm の降雨によって T_p は 1974/4/1 0:00（雨量データ開始時刻）まで遡り、その後もこの状況が継続した。つまり、雨量の観測開始以来経験したことのない規模の雨になっていた。小地獄地区での斜面崩壊は 8/13 4:00 頃に発生し、3 名の死者が出ている。また、八万地獄地区の崩壊は 8/13 18:30 頃に発生したとされている（地頭菌ら, <https://jsece.or.jp/wp-content/uploads/2021/12/nagasaki202111.pdf>）。よってこれらの崩壊の発生は、いずれも未経験降雨指数の示す「過去に経験したことのない降雨の状態」と対応していた。このような情報を提供することで、正常化バイアスが軽減され適切な避難行動に結びつく可能性が考えられる。

図-3 には、8/13 0:00, 2:00, 4:00 の時点で、 T_p 候補が雨量データ開始時刻まで遡った半減期の組合せを示した（図中の色が濃くなった部分が該当）。81 mm の時間雨量があった直後の 0:00 には、 $3.2\text{h} \leq M_1$ かつ $12.2\text{h} \geq M_2$ の多くのスネーク曲線で既往最大値超過の状況となっている。その後、時間の経過とともに既往最大値超過を示す M_2 の上限が次第に大きくなっている。図-4a には、 $M_1=69\text{h}$, $M_2=1.5\text{h}$ のスネーク曲線図を示した。今回の豪雨のスネーク曲線（赤線）は 8/13 0:00 に既往のスネーク曲線（青点）を超過し、その後も超過が継続している。一方、図-4b に示した $M_1=1021\text{h}$, $M_2=1.8\text{h}$ のスネーク曲線図では 8/13 4:00 までに既往最大値超過は起きていない。このように、個々の対象地について十分な知見が得られていない場合には、雨量指標を一律に固定せず種々の見方（指標）で降雨の既往最大値超過を調査することが必要だと考えられる。

本研究は科研費（20H00434）の補助を受けた。当日の発表では他の災害事例についても議論する予定である。（連絡先：kosugi.kenichirou.7s@kyoto-u.ac.jp）

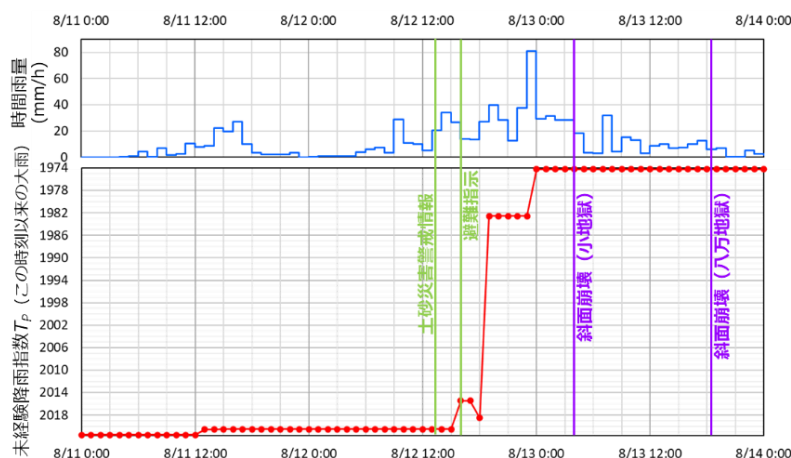


図-2 時間雨量と T_p の時系列（Kosugi (2023) を改変）

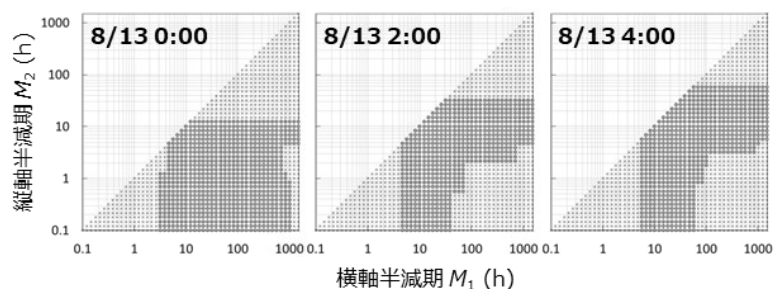


図-3 既往最大値超過を示す半減期の組合せ（一部の出典は Kosugi (2023)）

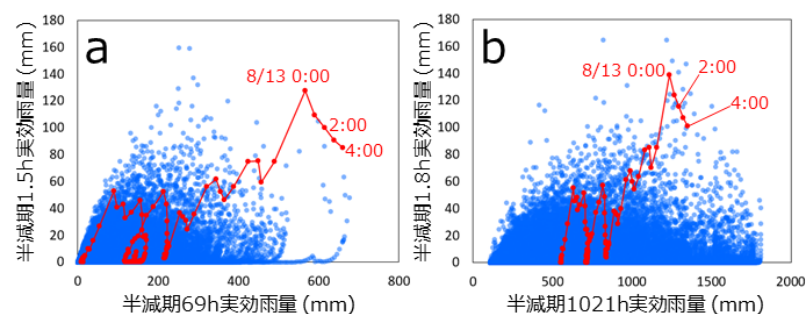


図-4 スネーク曲線図