

## スネーク曲線の既往最大値超過に基づく土砂災害発生予測 — 警戒・避難のための未経験降雨指標の提案 —

京都大学大学院農学研究科

○小杉賢一朗・福田幹・郷間未森・正岡直也

### 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。とはいっても、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何百種類も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。

遡り期間を柔軟に変化させることにより、きめ細かな警戒情報を提供できると考えられるが、これによって危険度判定結果が複雑化し、返って混乱を生じさせるおそれもある。そこで本研究では、よりシンプルに「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」を検討した。そして土砂災害発生危険度を評価する「未経験降雨指標」を提案し、その有用性について考察を加えた。

### 2. 方法

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」を未経験降雨指標  $T_P$  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した。
- 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標  $T_P$  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標  $T_P$  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

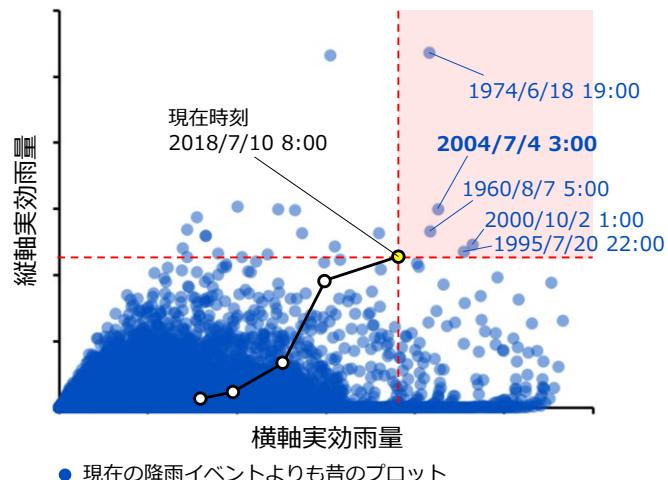


図-1 未経験降雨指標  $T_P$  の候補の算定方法

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、検討対象としたいざれの見方をした場合でも、現在時刻の雨が、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。

本研究では、半減期  $M_1, M_2$ （ただし  $M_1 \geq M_2$ ）を  $0.1 \sim 3000\text{ h}$  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。この半減期の設定範囲は小杉（2015）の設定範囲 ( $0.1 \sim 2784\text{ h}$ ) に倣つものであり、降雨の強度に重きを置いた指標から積算値に重きを置いた指標まで、幅広く検討できるように定めている。

令和 2 年（2020 年）7 月豪雨による熊本県葦北郡芦北町の土砂災害を対象として  $T_P$  の算定を行った。用いたデータは、気象庁アメダス田浦で観測された 1976～2020 年の時間雨量である。

### 3. 結果

算定された未経験降雨指数  $T_P$  の時系列を図-2 に示す。図の縦軸には、芦北町の過去の主な豪雨災害の時刻も示している。

降雨開始直後の 7/3 7:00～14:00 の  $T_P$  は、前年の 2019/6/26 もしくは 2019/7/20 に発生した降雨イベント時まで遡っている。つまりこの時間帯においては、過去およそ 1 年間の間に経験した規模の降雨になっていたことが示されている。更に降雨が継続した 7/3 15:00～7/4 2:00 になると、 $T_P$  は、2018/7/2 に発生した 2018 年 7 月豪雨まで遡った。すなわちこの時点では、2018 年 7 月豪雨以来の大暴雨になっていたことが示されている。

7/4 3:00 には時間雨量（2:00～3:00 の雨量）が 69 mm に急増し、 $T_P$  は雨量観測開始時刻（提供されているアメダスデータの先頭時刻）である 1976/1/1 0:00 まで遡った。すなわちこの時点では、図中に示した「過去に豪雨災害を引き起こした降雨イベント」の規模を超過し、雨量が観測され始めて以来経験したことのない規模の雨になっていたことがわかる。その後 6:00 までおよそ 60～70 mm の時間雨量が継続し、10:00 に降雨が終了するまでの積算雨量は 465.5 mm に達した。 $T_P$  は、7/4 16:00 まで継続して雨量観測開始時刻まで遡っており、「過去に経験したことのない降雨」の状態が計 14 時間維持された。ここで、アメダス田浦観測所周辺で起きた土砂災害の発生時刻は 7/4 4:00 過ぎ～7:00 前とされている（地頭菌ら、砂防学会誌、73(4), p.41～, 2020）。すなわちこれらの土砂災害は、いずれも  $T_P$  が雨量観測開始時刻まで遡った時間帯に発生しており、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」が土砂災害の発生と対応していることがわかる。

図-2 中に示した 1982 年 7 月豪雨による災害は、芦北町の歴史において特筆される甚大な被害を引き起こしており（芦北町『広報あしきた No.114』），地元住民の記憶に残る災害となっている。 $T_P$  の時系列を用い、このような「ベンチマーク的豪雨」を上回る規模になることを示すことで、正常化バイアスが抑制され適切な避難行動に結びつく可能性が考えられる。 $T_P$  の時系列グラフでは、このような豪雨の直後や、土砂移動を引き起こした他の豪雨の直後の時刻を縦軸に設定し、CL とすることが有効になる可能性が考えられる。また個々の斜面や渓流で、豪雨・地震・強風・土地改変等を原因として土砂移動に対する抵抗力が低下する事象が生じた場合は、その時刻を各々の斜面や渓流の CL に設定し、危険性を個別に判断する方法もあり得よう。

本研究は国交省河川砂防技術研究開発公募制度の補助を受けた。なお当日の発表では、実効雨量を用いた解析の妥当性や既往最大値超過状況の定量化についても議論する予定である。kosugi.kenichirou.7s@kyoto-u.ac.jp

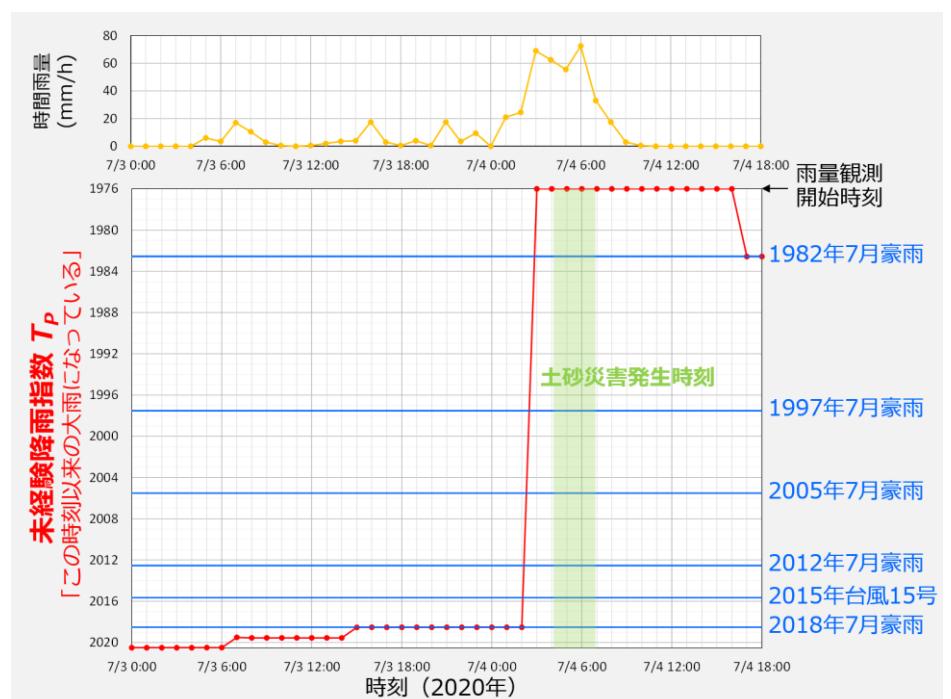


図-2 令和 2 年 7 月豪雨（芦北町）における未経験降雨指数  $T_P$  の時系列