

雨量指標データ記録方法の改良による 未経験降雨指数算定の効率化

IMPROVEMENT OF RAINFALL INDEX DATA RECORDING METHOD FOR INCREASING EFFICIENCY IN UNPRECEDENTED RAINFALL INDEX CALCULATION

小杉 賢一郎¹・福田 幹¹

Ken'ichirou KOSUGI and Motoki FUKUDA

¹京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: kosugi.kenichirou.7s@kyoto-u.ac.jp

E-mail: fukuda.motoki.84w@st.kyoto-u.ac.jp

Key Words: *unprecedented rainfall index, sediment disaster vulnerability, rainfall index, warning system*

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ているが、最適な雨量指標は地質・地形・土質・土地利用・土砂移動形態等によって異なると考えられる。そこで小杉¹⁾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」という明確なものとなる。さらに小杉²⁾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、その時点が土砂災害発生危険度を評価する指数(未経験降雨指数 T_p)とすることを提案した。 T_p は、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」として定義される。

小杉²⁾およびKosugi^{3),4)}は、実災害事例の解析結果に基づき、 T_p は土砂災害の特性を的確に捉えた指標であり、個々の地点の既往歴に応じたきめの細かい警戒・避難情報を提供できる可能性や、正常性バイ

アスを軽減し住民の自発的な避難行動を促進できる可能性があることを考察し、 T_p の有用性を示している。その一方で、 T_p の算定には長期にわたる過去の雨量指標データを使用するため、例えば1 kmメッシュ毎に計算を行う場合においては膨大な量のデータを記憶しておく必要があり、コンピュータのメモリ容量が不足したり、計算処理に長時間を要したりする問題が発生することが考えられる。これらに対処するための効率化手法については、これまで十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、 T_p の算定の効率化のために、真に必要な過去の雨量指標データを特定し記録する方法を提案し、その効果について考察を加える。

2. 方法

(1) 未経験降雨指数の算定方法

はじめに小杉²⁾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。 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

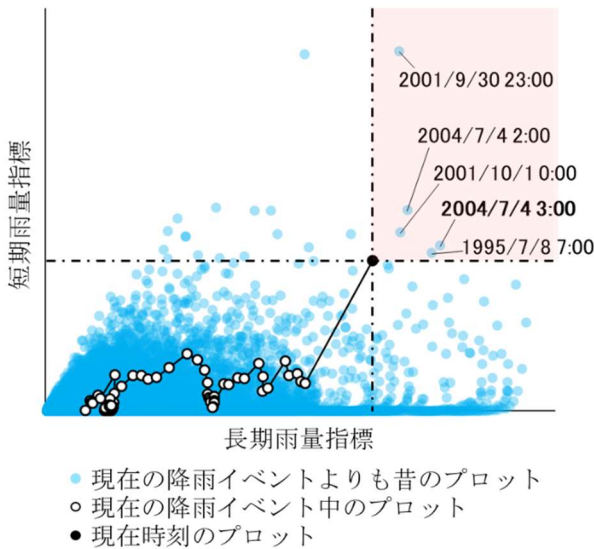


図-1 T_p 候補算定手法を説明するための模式図。小杉²⁾を改変。

$M_1 \geq M_2$ 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¹⁾に対応している。そして, 種々の候補のうち最

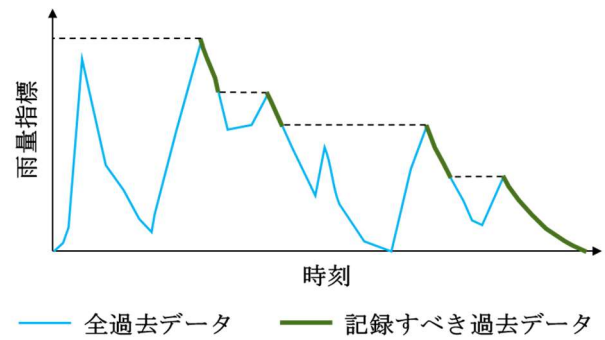


図-2 雨量指標が1つの場合の記録すべき過去データを示す模式図。

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無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, 検討対象としたいず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。

(2) 雨量指標データ記録方法の改良

上記したとおり, 各スネーク曲線図において未経験降雨指数 T_p の候補を算定する際には, 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」を使用する。以下では, これら過去の雨量指標データを, 単に過去データと呼ぶことにする。

過去データは膨大な数となるが, T_p 候補の算定においてその全てを記録しておく必要はない。以下では, 記録する必要がある過去データの特定方法を述べる。

a) $M_1 = M_2$ (雨量指標が1つ) の場合

単独の実効雨量の時系列に着目して T_p 候補を算定することに相当する。この場合, 全過去データ (図-2 の水色線) のうち T_p 候補算定のために記録すべきデータは, 「現在時刻の雨は, 時刻 T_p 以来の規模になっている」という T_p の定義より, 図-2 において緑線で示した部分のデータとなる。すなわち, 「過去データのうち最も新しい時刻のもの」から過去に向かって遡り, 最大値が更新し続ける限りそのデータを記録していけばよいことになる。

b) $M_1 > M_2$ (雨量指標が2つ) の場合

図-1 に示した方法で T_p 候補を算定することに相当する。この場合, 過去データの1つに着目すると,

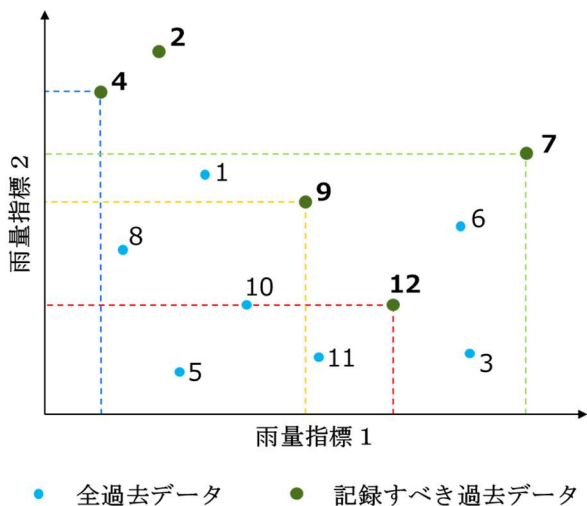


図-3 雨量指標が2つの場合の記録すべき過去データを示す模式図。古いデータから新しいデータに向かって順番に番号を振っている。

着目したデータ以下の値を持つ過去データ（着目したデータの左下の領域（境界線を含む）にある過去データ）のうち、着目したデータよりも昔のデータは T_p 候補になり得ない。このことから、 T_p 候補算定に必要な過去データの記録方法は次のようになる（図-3 参照）。

- ① 過去データのうち最も新しい時刻のものを記録する。
- ② ①で記録した過去データの左下の領域（境界線を含む）にある過去データを全て消去。
- ③ 残された過去データの内、最も新しい時刻のものを記録する。
- ④ ③で記録した過去データの左下の領域（境界線を含む）にある過去データ（但し、既に記録した過去データを除く）を全て消去。
- ⑤ 記録すべき過去データが無くなるまで上記③～④を繰り返す。

図-3 に模式的に示した例では、まず 12 番データ（最も新しい時刻のデータ）を記録し、その左下の領域にある 5、10、11 番データを消去する。次に、残されたデータの中で最も新しい時刻を持つ 9 番データを記録し、その左下の領域にある 8 番データを消去する。さらに、残されたデータの中で最も新しい時刻を持つ 7 番データを記録し、その左下の領域にある 1、3、6 番データを消去する。ここで、既に記録された 9、12 番データは消去しない。この作業を繰り返すことで、4 番、2 番のデータも順次記録されることになる。

なお、 $M_1 = M_2$ （雨量指標が1つ）の場合（図-2）で説明したデータの記録方法は、上記①～⑤の「記

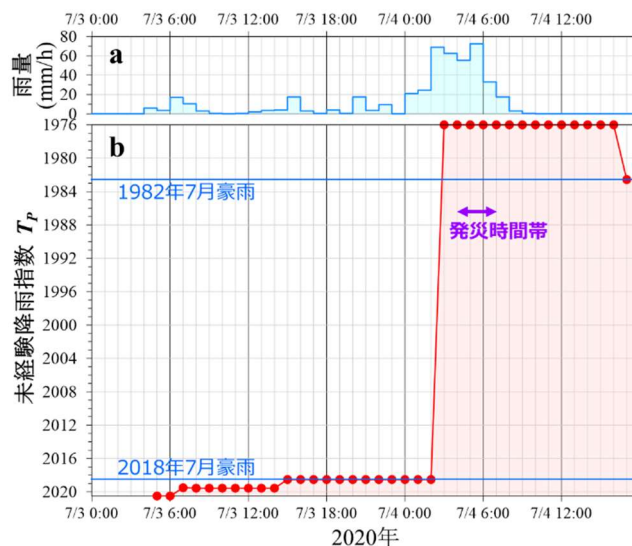


図-4 芦北災害に関する(a)雨量と(b) T_p の算定結果。小杉²⁾を改変。

録した過去データの左下の領域（境界線を含む）にある過去データ」を「記録した過去データ以下の値を持つ過去データ」に読み替えたデータ記録方法と同じ結果を与える。

(3) 解析対象

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、小杉²⁾と同じ雨量データおよび方法を用いて 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年の時間雨量であり、欠測部は気象庁の観測点もしくは水文・水質データベース掲載の観測点のうち、利用可能な最寄りの地点のデータを用いて補完した。半減期 M_1 、 M_2 は、0.1～3000 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（スネーク曲線図）を検討した。実効雨量の計算における初期値には、理論上の最小値であるゼロを与えた。

小杉²⁾では T_p 候補の算定において全過去データを用いているが、本研究では上記した方法で記録した過去データのみを用いて算定を行い結果を比較した。

3. 結果と考察

(1) 未経験降雨指数の算定結果

算定された未経験降雨指数 T_p の時系列を図-4b に示す。小杉²⁾と比べて全く同じ T_p が算定されており、本研究で提示した過去の雨量指標データの記録方法が、 T_p の算定結果を変化させることがないことが確かめられた。なお、1,326 通りのスネーク曲線図のそ

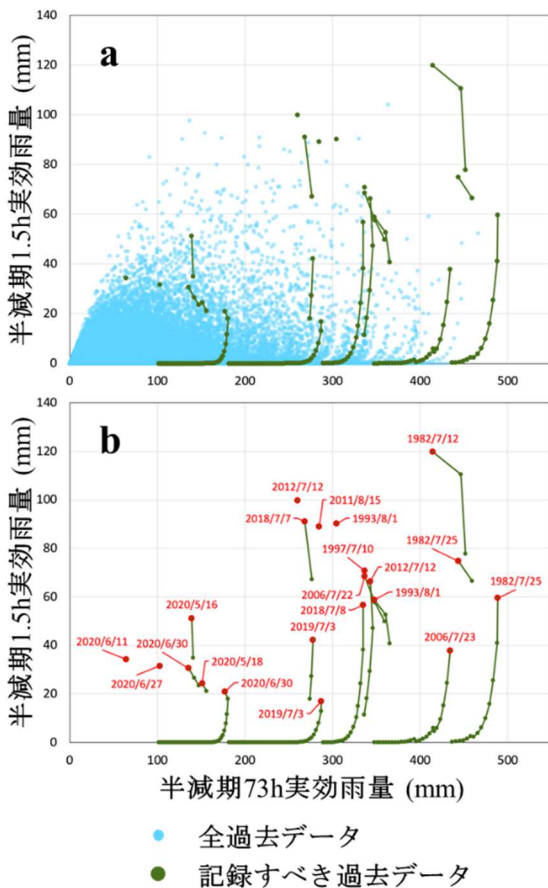


図-5 記録すべき過去データの特定結果。

それぞれで算定される T_p 候補も、本研究と小杉²⁾とで同一であることを確認している。

図-4b の T_p は、降雨開始直後の 7/3 7:00~14:00 において前年に発生した降雨イベント時まで遡り、過去およそ 1 年の間に経験した規模の降雨であったことが示されている。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（西日本豪雨）まで遡り、この豪雨以来の大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（図-4a）、 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、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た 1982 年 7 月豪雨⁵⁾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 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。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⁶⁾。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。なお、図-4b に示したデータのより詳細な解析結果については、小杉²⁾を参照されたい。

(2) 全過去データと記録すべき過去データの比較

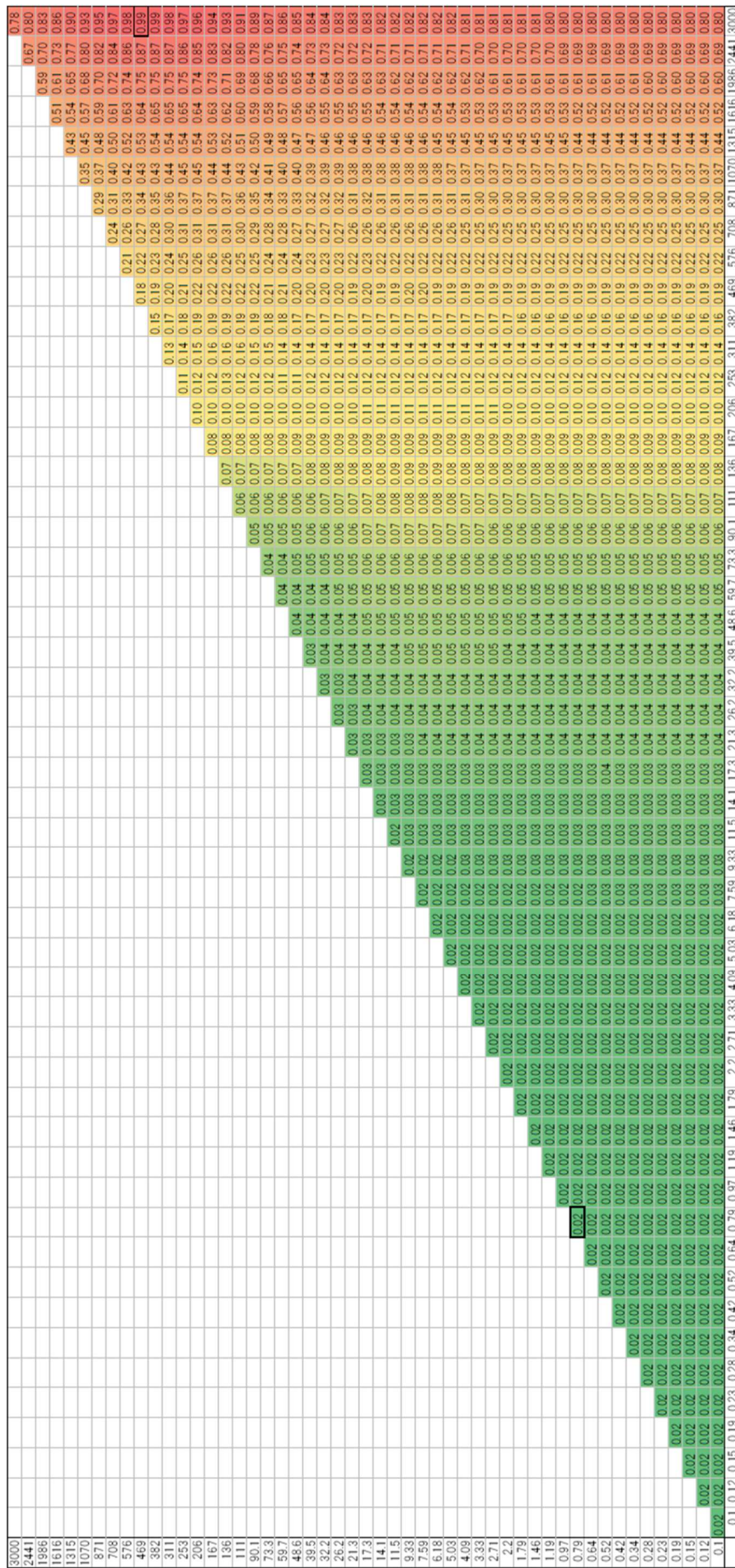
図-5a は、半減期 73 h 実効雨量と半減期 1.5 h 実効雨量を用いたスネーク曲線図を例として、全過去データと記録すべき過去データを比較したものである。全過去データ（図中のプロットの総数）が 390,124 個であるのに対し、記録すべき過去データは僅か 205 個であり、1,903 分の 1（0.053%）にまで減少している。すなわち、本研究で提示したデータ記録方法の導入が、メモリ容量削減と計算速度向上に大きく寄与するといえる。

図-5b には、記録すべき過去データを抽出して示した。記録すべき過去データが特定されると、その直前の過去データも記録すべきデータとなるケースが多く見られた。時系列的に連続したデータ（1h 間隔のデータ）となる場合を 1 つのグループと見なした場合、図-5b に示したデータは 21 グループに整理され、連続時間は 1~63 h（平均 9.8 h）であった。図-5b では、各グループにおける開始時刻のデータ（最も昔のデータ）を赤丸で囲み、その年月日を示しているが、生起時刻が古いデータグループほど右上に位置する傾向が読み取れる。

(3) 各スネーク曲線図の記録すべき過去データ

図-6 は、1,326 通りのスネーク曲線図の各々（異なる横軸半減期と縦軸半減期の組合せの各々）について、全過去データに対する記録すべき過去データの割合を示したものである。割合は、横軸半減期が大きくなるにつれて大きくなる傾向が認められる。割合の最小値は $M_1 = M_2 = 0.79$ h のときの 0.018% であり、最大値は $M_1 = 3000$ h、 $M_2 = 469$ h のときの 0.99% であった。割合が最大の場合であっても、記録すべき過去データは全過去データのおよそ 100 分の 1 であり、本研究で提示したデータ記録方法の導入が、使用する過去データの削減に大きく寄与しているといえる。

割合が最大であった $M_1 = 3000$ h、 $M_2 = 469$ h のスネーク曲線図について、図-5b のように時系列的に連続したデータをグループにまとめたところ、67 グループに整理され、連続時間は 1~390 h（平均 57.5 h）であった。これは、図-5b に示した $M_1 = 73$ h、 $M_2 = 1.5$ h の場合と比べて、グループ数にして 3.2 倍、



横軸半減期 M_1 (h)

図-6 各スネーク曲線図 (横軸・縦軸半減期の各組合せ) における全過去データに対する記録すべき過去データの割合。色付きセルの値が割合 (%) を表している。割合が最小・最大となる半減期の組合せを黒太線で示している。

平均時間にして 5.9 倍の増加である。半減期が長い場合、実効雨量が一旦大きく増加すると、その後の遞減が緩やかであるため大きな値が長期間維持されることになる。このことが、記録すべき過去データを増加させる要因になっていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、未経験降雨指数²⁾の算定の効率化を目的として、計算において真に必要な過去の雨量指標データを特定し記録する方法を提案した。本手法を用いることにより、記録しておくべきデータ量が元のデータ量の 0.018~0.99%にまで低下することが示され、メモリ容量削減と計算速度向上に大きく寄与することが考えられた。

謝辞：本研究は科学研究費（20H00434）の補助を受け実施した。

参考文献

1) 小杉賢一朗：斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手

法，砂防学会誌，67 巻，5 号，pp.12-23，2015.

2) 小杉賢一朗：土砂災害に対する警戒・避難のための未経験降雨指数の提案，砂防学会誌，75 巻，1 号，pp.3-14，2022.

3) Kosugi, K.: Unprecedented rainfall index for reducing fatalities caused by sediment-related disasters, Nat. Hazards, Vol.118, pp.1259-1280, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06048-0>

4) Kosugi, K.: Effectiveness of unprecedented rainfall index for achieving appropriate evacuation from the Kurume disaster in July 2023, Edited by Josef Schneider et. al, Conference Proceedings, Preliminary Version, INTERPRAEVENT 2024 - Vienna, Austria, pp.978-981, 2024.

5) 芦北町総務課：広報あしきた No.114, pp.3-4, 2014.

6) 地頭菌隆，伊倉万理，植弘隆，他 17 名：令和 2 年 7 月豪雨による熊本県の土砂災害，砂防学会誌，73 巻，4 号，pp.41-50，2020.

(2024. 5. 31 受付)