

河川砂防技術研究開発【成果概要】

研究代表者		氏名（ふりがな）	所属	役職	
		小杉賢一朗 （こすぎけんいちろう）		京都大学	教授
技術研究 開発テーマ	名称	降雨の既往最大値超過を基軸とした革新的な警戒避難情報提供技術の開発			
研究経費 （単位：万円） 端数切り捨て。		令和元年度	令和2年度	令和3年度	総合計
		1,554万円	1,727万円	1,706万円	4,988万円
研究者氏名		（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏名		所属・役職（令和4年3月31日現在）			
五味 高志		東京農工大学農学研究院・教授			
勝山 正則		京都府立大学・教授			
芳賀 弘和		鳥取大学農学部・准教授			
福山 泰治郎		信州大学農学部・助教			
山川 陽祐		筑波大学生命環境系・助教			
中谷 加奈		京都大学農学研究科・助教			
正岡 直也		京都大学農学研究科・特定助教			
研究の目的・目標					
<p>現行の警戒避難技術（以下、現行技術）では、一つのメッシュを対象に土壌雨量指数と60分間雨量によるスネーク曲線を描き、この図上に設定した土砂災害発生危険基準線（CL）を超過することが予測される場合に土砂災害警戒情報を発表しているが、以下の課題があると考えられる。</p> <p>全国一律の雨量指標が用いられており、地質、地形、植生、土地利用、土砂移動形態（表層崩壊、深層崩壊、土石流）等の違いが考慮されていない。</p> <p>CLの設定根拠が必ずしも明確でなく、対象災害の選び方次第でCLが変化してしまう。また、災害非発生メッシュにおいて、CL設定の客観的根拠が乏しい。</p> <p>CL設定に用いる手法（RBFN）が難解であり、空振りが発生した場合に住民の納得が得られる説明が難しい。また、空振りの知見を直ちに活用できているとは言い難い。このため、空振りによる負の影響が蓄積される恐れが大きいと考えられる。</p> <p>各メッシュにおいてCLが一律に固定されており、メッシュ内の個々の斜面や溪流の特徴の違いが反映されていない。</p> <p>CL超過後の土砂災害の危険度を定量的に知らせる方法が確立されていない。</p> <p>本研究では、上記した現行技術の問題を解決する革新的な警戒避難情報提供技術を開発し、社会実装可能なシステムとして提案することを目的とする。本研究の基礎となるアイデアは、</p> <p>(1) 雨量指標を固定せず様々な指標の組合せで種々のスネーク曲線を描くことで、土砂災害の危険性を多角的に評価する</p> <p>(2) 過去の全ての雨量データを用いてスネーク曲線を描き、その右上端にある点を結んだ線（スネーク曲線既往最大値）をCLに設定する</p> <p>であり、本研究ではこれらのアイデアに基づき開発した手法を災害事例に適用し有効性を検証することにより、実用性の高い技術として提案することを目指す。</p>					

研究成果

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、植生、土地利用、土砂移動形態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（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土砂災害発生危険基準線（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可能性があるから」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の計算に用い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より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と期待される。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（過去のある時刻まで遡った場合の、その時刻から現在の降雨イベントの開始時刻までの期間）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」を検討する手法の開発を試みた。具体的には、土砂災害発生危険度を評価するための新たな指標である未経験降雨指数 T_P と新たな土砂災害発生危険基準値 T_C を提案し、実災害への適用結果に基づいて、その有用性と活用方法について考察を加えた。なお本稿の内容は、主として小杉ら（2021）、小杉（2022）、小杉・福田（2022）の内容を、砂防学会の許可を得て抜粋し加筆修正したものである。

2. 未経験降雨指数 T_P の算定方法

小杉（2022）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」を未経験降雨指数 T_P と定義した。 T_P は雨量の時系列データを用いて算定され、各時刻においてその値が定まる。あ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。

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、 $X(M_1, t)$ を横軸に $X(M_2, t)$ を縦軸にとって、図-1 に示した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。

スネーク曲線図上の「過去の降雨イベント中のプロット」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 中の灰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。なお本研究では、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。

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。

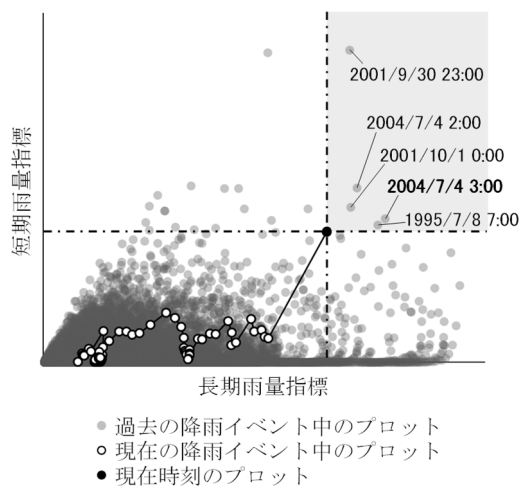


図-1 未経験降雨指数 T_P の候補の算定手法に関する模式図（小杉（2022）の図-2 を引用）

M_1 と M_2 の組合せを 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図-1と同様の新たなスネーク曲線図を描き、上記 ~ 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。

以上により得られた T_P の候補のうち、最も過去に遡ったものを未経験降雨指数 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) ことによって、 T_P は「遡り期間の設定において T_P 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、「遡り期間の設定において T_P まで遡れば、分析に用い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である(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 より後の期間における最大規模になっている」と考えることができる(以上、小杉(2022)より引用)

「土砂災害の発生予測に有効と考えられる種々の見方」に関して、本研究では 1326 種類のスネーク曲線図を用いて降雨の特徴を分析した。すなわち、半減期 M_1, M_2 (ただし $M_1 \geq M_2$) を 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、考えられる全ての M_1, M_2 の組合せから成るスネーク曲線図を用いた。

3. 結果

3.1 検討事例 1 (熊本県葦北郡芦北町の土砂災害)

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のデータ開始時刻(以下、雨量観測開始時刻とする)である 1976 年から 2020 年までの時間雨量である。雨量データの欠測部は、気象庁の観測点もしくは水文・水質データベース(<http://www1.river.go.jp/>)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。

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 5:00 ~ 6:00 の T_P は、直前の 6/29 ~ 7/1 の降雨イベント時(総雨量 115 mm)まで遡っている。これは、この時間帯の降雨が未だ直前の降雨イベントの規模を下回っていたことに対応している。続く 7/3 7:00 ~ 14:00 の T_P は、前年(2019 年)の 6/26 ~ 7/4 もしくは 7/20 ~ 23 の降雨イベント時(それぞれ総雨量 451, 116 mm)まで遡っており、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。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 月豪雨より後の

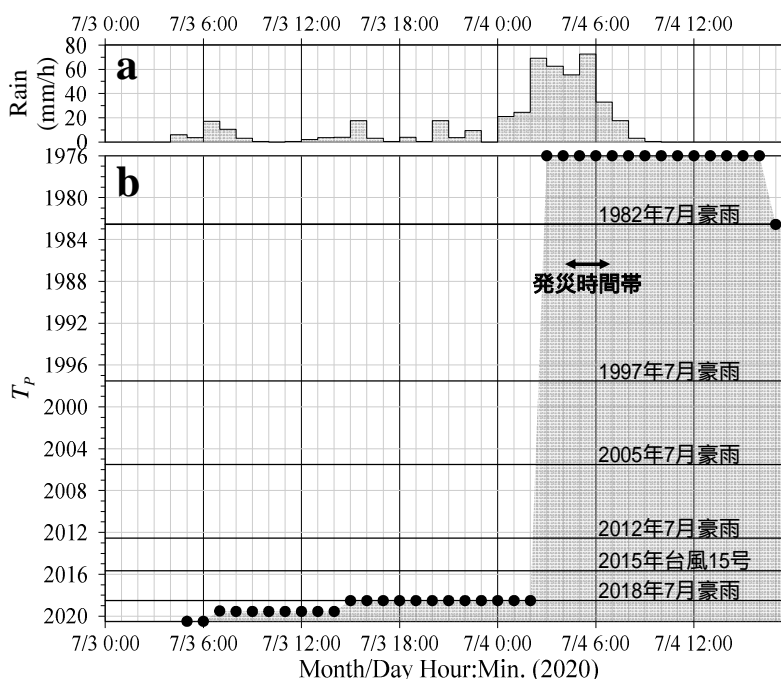


図-2 芦北町の災害における実況雨量と T_P 算定値の時系列 (小杉(2022)の図-4を引用)

期間における最大規模の雨になっていたといえる。

7/4 2:00~3:00 には時間雨量が 69 mm に急増し、3:00 の T_P はアメダス田浦の雨量観測開始時刻である 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「過去の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雨になっていたことがわかる。

その後、7/4 3:00~5:00 にはおよそ 60 mm の時間雨量が継続し、さらに 5:00~6:00 の時間雨量は今回の降雨イベントで最大の 72.5 mm を記録した。降雨はその後も 10:00 まで継続し、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、「雨量観測開始以来、経験したことのない降雨の状態」が計 14 時間維持されていた。

アメダス田浦から約 4.0 km 離れた芦北町伏木氏では、7/4 5:00 頃に斜面崩壊が発生している。また芦北町田川の斜面崩壊（アメダス田浦からの距離約 8.4 km）は 7/4 4:00 過ぎ、芦北町女島の斜面崩壊（同約 9.2 km）は 5:15 ごろに発生したとされている。さらに芦北町女島の土石流（同約 9.2 km）の発生時刻は 7:00 前と推測されている（地頭園ら、2020）。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（芦北町総務課、2014）、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、正常性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。

3.2 検討事例 2（和歌山県那智勝浦町における警戒避難）

自然斜面や溪流において雨水流動や土砂移動に係る物理特性を正確に把握することは困難であり、土砂災害の予測精度向上には未だ多くの課題が残されている。現状の土砂災害に対する警戒避難技術においても、見逃しを軽減しようとして CL を低く設定することにより空振りが増えてしまう問題が指摘されている。このため警戒避難技術では、たとえ空振りしてもその後の住民の避難行動に負の影響を与えないことが重要になると考えられる。具体的には、空振りにより得られた「この規模の降雨では災害が発生しないであろう」という知見が直ちに活用され、次回以降の空振りの減少に直結することが重要になる。しかしながら現行の方法では、一般に、一度設定された CL の見直しに時間と手間がかかることが多い。

一方、未経験降雨指数 T_P の計算に当たっては常に最新の雨量データが用いられる。よって T_P を用いた土砂災害危険度評価手法においては、空振りが発生した場合でもその知見が直ちに活用される仕組みが自ずと整っている。ここでは、大規模土砂災害発生後の警戒避難における未経験降雨指数の活用について、現行手法との比較に基づき検討を行った。

和歌山県那智勝浦町では 2011 年 8 月 30 日~9 月 6 日の紀伊半島大水害時に斜面崩壊や土石流が多発し、市野々地区、井関地区、川関地区において甚大な被害が発生した。ここでは、市野々地区にある観測

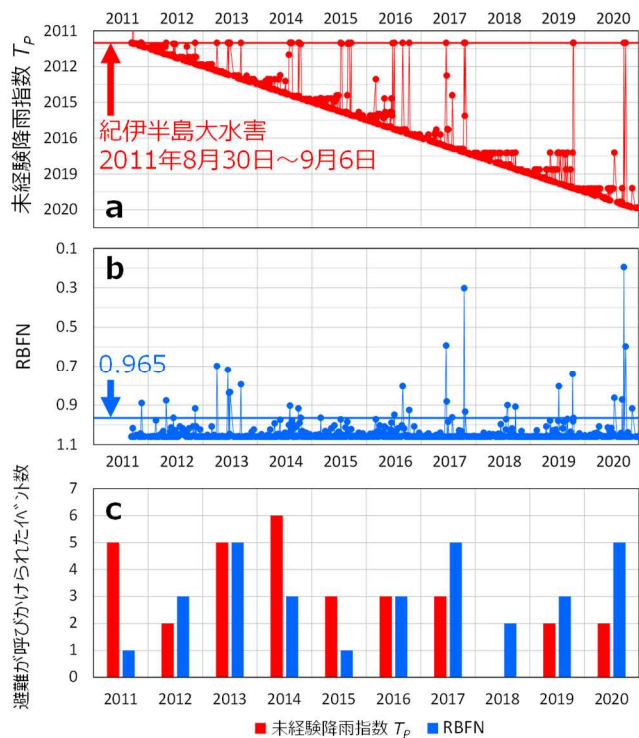


図-3 T_P とRBFN値の時系列および避難が呼びかけられた降雨イベント数（小杉ら（2022）の図-2を引用）

局の時間雨量データ（2003年1月1日～2020年7月31日）および和歌山県土砂災害啓発センターの敷地内に設置された観測局の時間雨量データ（2020年8月1日～12月31日）を使用し、前述の方法で T_P を算定した。なお国交省砂防部と国総研土砂災害研究部による土砂災害データベース（非公開）には、紀伊半島大水害よりも後の期間（2020年12月31日まで）において、解析対象地区における災害発生記録はみられなかった。

図-3aには、各降雨イベントにおける T_P （イベント中に最も過去まで遡った値）を時系列で示している。紀伊半島大水害直後の2011年9月19日に発生した積算雨量183mmの降雨イベントでは、紀伊半島大水害の際に大きく増加した半減期の長い実効雨量が十分に低下しないうちに再び大きく増加した。これが効いて T_P は1998年9月24日まで遡った。この降雨イベントを除けば、それ以降の約9年間に発生した全ての降雨イベントにおいて、 T_P はどんなに遡っても紀伊半島大水害までである。つまり、紀伊半島大水害を引き起こした降雨イベントを含め、それ以降に発生した降雨イベントにより既に経験した規模の降雨であることを表している。

もし T_P が紀伊半島大水害を引き起こした降雨イベント時より昔に遡るようなことになれば（すなわち、紀伊半島大水害を引き起こした降雨イベントを超過する規模の降雨であるとしたら）、甚大な被害が発生する可能性が極めて高いことから、避難行動が必要なことは明白であろう。一方、 T_P が紀伊半島大水害を引き起こした降雨イベント時まで遡ったとしたら、それは紀伊半島大水害より後の期間において初めて経験する規模の降雨になっていることを意味している。市野々地区、井関地区、川関地区では、紀伊半島大水害時に発生した多くの斜面崩壊や土石流によって流域が大きく荒廃し、斜面崩壊や土石流等の土砂移動の発生に対する抵抗力が低下したことが考えられることから、「紀伊半島大水害より後の期間において初めて経験する規模の降雨である」ことは避難行動を起こすべき適切な根拠になる可能性が考えられる。以上に基づき「 T_P の紀伊半島大水害時以前への遡り」を避難の根拠とした場合、図-3aに示した期間において避難が呼びかけられた降雨イベントの総数は31であった。

図-3bは同期間におけるRBFN値の時系列である。閾値を0.965に設定した場合、期間全体で閾値を超える降雨イベントの総数が図-3aと同じ31となった。すなわち総数でみた場合、「 T_P の紀伊半島大水害時以前への遡り」を根拠にすることは、RBFNの閾値を0.965に設定することと同等であったことになる。さらに図-3cでは、 T_P とRBFNの各々を用いた場合に避難が呼びかけられた降雨イベントの数を年ごとにまとめている。総数は同じであるが、 T_P を用いた場合の方が期間前半で多く、後半で少なくなっていることがわかる。すなわち T_P を用いると、紀伊半島大水害の直後はより頻繁に避難の呼びかけをすることになるが、時間の経過とともにその回数が相対的に減少している。これは空振りを繰り返すたびに知見が自然と蓄積されていくからであり、理に適った手法になっている可能性が考えられる。

3.3 土砂災害発生危険基準値 T_C の提案

2006年7月豪雨における真庭市の災害では、未経験降雨指数 T_P が、甚大な風倒木被害を発生させた2004年台風23号の襲来時以前に遡った時刻に発生しており、風倒木被害を受けて強度低下した斜面が、その後初めて経験する規模の降雨によって崩壊した可能性が示唆された。さらに2016年熊本地震による激しい揺れを経験した南阿蘇村立野地区では、地震後の2度の降雨イベントで土砂移動が発生していたが、これらのイベント中には、 T_P が熊本地震よりも昔に遡り、地震後に初めて経験する降雨規模になっていた。これらの結果に基づき、新たな土砂災害発生危険基準値として、過去に「斜面崩壊や土石流の発生に対する抵抗力が低下する事象（抵抗力低下事象）」が生じた時刻 T_C を用いることが提案された。すなわち、 T_P が T_C より昔に遡れば危険度が高く、 T_P の遡りが T_C より後の時刻に留まっていれば危険度が低いと判断することが妥当との考えが示された。

さらに3.2の結果に基づくことにより、紀伊半島大水害時に「斜面崩壊や土石流の発生に対する抵抗力が低下する事象（抵抗力低下事象）」が生じたと考え、紀伊半島大水害を発生させた降雨イベントの終了時刻に T_C を設定することが有効である可能性が考えられた。

謝辞

本研究の実施に当たり、各種情報・データを提供いただいた国土交通省、国土技術政策総合研究所、紀伊山系砂防事務所、熊本県、岡山県、和歌山県、那智勝浦町、芦北町、(株)気象工学研究所に謝意を表す。

引用文献

- 芦北町総務課(2014)広報あしきたNo.114, 芦北町, p.3-4
地頭菌隆・伊倉万理・植弘隆・他17名(2020)令和2年7月豪雨による熊本県の土砂災害, 砂防学会誌, Vol.73, No.4, p.41-50
小杉賢一朗(2015)斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法, 砂防学会誌, Vol.67, No.5, 12-23
小杉賢一朗(2022)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, Vol.75, No.1 (印刷中)
小杉賢一朗・福田幹(2022)大規模土砂災害発生後の警戒・避難における未経験降雨指数の活用について - 平成23年紀伊半島大水害後の事例分析 -, 令和4年度砂防学会研究発表会概要集, p.147-148
小杉賢一朗・福田幹・郷間未森・正岡直也(2021)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数の提案 -, 令和3年度砂防学会研究発表会概要集, p.15-16

研究成果の発表状況・予定

代表的な論文

小杉賢一郎 (2022) 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, Vol.75, No.1 (印刷中)

Katsuyama, M., Ohte, N., Kosugi, Y., Tani, M. (2021) The Kiryu Experimental Watershed: 50 years of rainfall runoff data for a forest catchment in central Japan. Hydrol. Process., 35: e14104. DOI: 10.1002/hyp.14104.

報告等

福山泰治郎・内川義行・小野裕 (2021) 2020年7月1日の豪雨により根羽村で発生した崩壊と土石流, 信州大学農学部AFC報告, Vol.19, p.79-88

知的財産権の取得状況

国立大学法人京都大学 (2021) 土砂災害予測方法及び土砂災害予測装置, 特願2021-079333, 2021/5/7

企業とのタイアップ状況

上記特許について, 民間企業とオプション契約 (非独占的交渉型) を締結

学会等における発表状況

小杉賢一郎, 福田幹: 大規模土砂災害発生後の警戒・避難における未経験降雨指数の活用について - 平成23年紀伊半島大水害後の事例分析 -, 2022年度砂防学会研究発表会

福田幹, 小杉賢一郎, 正岡直也: 複数のスネーク曲線を考慮することによる土砂災害発生予測手法の検討, 2022年度砂防学会研究発表会

木村佑, 小杉賢一郎, 正岡直也, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽: 紀伊山地における空中電磁探査結果を用いた基岩内地下水位の推定とその精度の向上に関する検討, 2022年度砂防学会研究発表会

小杉賢一郎, 福田 幹: 実効雨量を用いた森林流域における降雨流出のモデル化, 第133回日本森林学会大会, 2022

福田幹, 小杉賢一郎, 正岡直也: 複数の雨量指標の既往最大値との比較による土砂災害発生の予測, 第133回日本森林学会大会, 2022

浅野陽平, 勝山正則: 塩化物イオン収支を用いた隣接小流域における深部地下水浸透量の定量化, 第133回日本森林学会大会, 2022

芳賀弘和, 勝山正則, 小杉賢一郎: 火山噴出物由来の地質を持った0次谷における流出継続時間の縦断変化, 第133回日本森林学会大会, 2022

Nguyen Thi My Linh, Takashi Gomi, Chen-Wei Chiu, Dinh Quynh Oanh, Yuichi Onda: Run off generation and bedrock groundwater responses in headwater catchments with sedimentary rock, 第133回日本森林学会大会, 2022

Katsuyama, M., Shirai, R., Fukushima, K., Onishi, Y., Koba, K.: Effects of denitrification process on the difference in streamwater nitrate concentration between neighboring subcatchments in a temperate forest, Japan., AGU Fall Meeting, Online/New Orleans, 2021.12.16.

小杉賢一郎, 福田幹, 郷間未森, 正岡直也: 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, 2021年度砂防学会研究発表会

福田幹, 小杉賢一郎, 正岡直也: 解析雨量・降水短時間予報によるスネーク曲線の既往最大値を利用した土砂災害発生予測, 2021年度砂防学会研究発表会

木村佑, 小杉賢一郎, 正岡直也, 小竹利明, 山田拓, 柴田俊: 紀伊山地における空中電磁探査結果と基岩内地下水位の関係性, 2021年度砂防学会研究発表会

Nguyen Thi My Linh, Takashi Gomi, Chen-Wei Chiu, Yuichi Onda, Maki Tsujimura: Analysis of bedrock groundwater and its interaction with base flow in a forested headwater catchment, 2021年度砂防学会研究発表会

小杉賢一郎, 郷間未森: 森林斜面における地下水挙動と実効雨量の対応関係, 日本森林学会大会発表データベース, 2021年 132 巻 P-297

柴田夏希, 勝山正則, 系数哲, 正岡直也, 中村公人, 小杉賢一郎: 森林流域における渓流水高頻度電気伝導度データの分解によるイオン動態比較, 第132回日本森林学会大会, 2021

勝山正則, 鶴田健二, 村中麻咲, 小杉緑子: δ -ダイヤグラムを用いた森林流域内の水移動に伴う安定同位体比変動の解析, 第132回日本森林学会大会, 2021

白井峻太, 勝山正則, 福島慶太郎, 大西雄二, 木庭啓介: 森林流域における湧水・渓流水NO3-濃度形成への脱窒の影響とその地点間比較, 第132回日本森林学会大会, 2021

柴田夏希, 勝山正則, 系数哲, 正岡直也, 中村公人, 小杉賢一郎: 森林流域における渓流水高頻度電気伝導度データの分解によるイオン動態比較, 第132回日本森林学会大会, 2021

滝澤遼, 勝山正則, 申基澈, 正岡直也, 小杉賢一郎: 花崗岩山地におけるストロンチウム同位体比を用いた基岩内地下水動態の解明, 第132回日本森林学会大会, 2021

山川 陽祐, 北本 楽, 内田 太郎, 羽鹿 孝文: 山地上流域河川における豪雨時の流量観測, 第132回日本森林学会大会, 2021

Katsuyama, M., Tsuruta, K., Muranaka, M., Kosugi, Y.: Stable isotope signature along hydrological processes in a temperate forest, Japan, AGU Fall Meeting, Online, 2020.12.10.

村上智哉, 小杉賢一郎, 正岡直也: 間隙の連結性を考慮した森林土壌における降雨浸透の解析, 2020年度砂防学会研究発表会

稲岡諄, 小杉賢一郎, 正岡直也, 谷知幸, 系数哲: 堆積岩山地における降雨流出特性の空間変動, 2020年度砂防学会研究発表会

寺山祐司, 正岡直也, 小杉賢一郎: 花崗岩山地における風化基岩内の亀裂が雨水浸透に及ぼす影響, 2020年度砂防学会研究発表会

谷知幸, 正岡直也, 小杉賢一郎: 大起伏堆積岩山地における水質を基にした流向・流速計測による地下水流動経路の把握, 2020年度砂防学会研究発表会

小杉賢一郎, 福田幹, 正岡直也: 既往最大値超過に着目した土砂災害誘発降雨の解析, 2020年度砂防学会研究発表会

福田幹, 小杉賢一郎, 正岡直也: 解析雨量および予測雨量を用いた既往最大値超過に基づく土砂災害危険度評価, 2020年度砂防学会研究発表会

稲岡 諄, 小杉 賢一郎, 正岡 直也, 谷 知幸, 系数 哲: 堆積岩山地における地形と地質構造が降雨流出に及ぼす影響, 日本森林学会大会発表データベース, 2020年 131 巻 P1-219

正岡 直也, 小杉 賢一郎, 藤本 将光: 山地源流域における基岩内地下水面形状が水収支に及ぼす影響, 日本森林学会大会発表データベース, 2020年 131 巻 J5

小杉 賢一郎, 正岡 直也, 廣田 大空, 白髭 一磨, 矢野 治, 永田 葉子: 大起伏花崗岩山地の降雨流出に流域規模が与える影響, 日本森林学会大会発表データベース, 2020年 131 巻 J3

勝山正則, 大手信人: 森林攪乱後 20 年間の渓流水硝酸イオン濃度変動, 第131回日本森林学会, 2020

白井峻太, 勝山正則, 福島慶太郎, 大西雄二, 木庭啓介: 森林流域の地下水における脱窒プロセスの時空間変動とその要因, 第131回日本森林学会, 2020

Katsuyama, M., Ohte, N., Kosugi, Y.: The Kiryu Experimental Watershed: 50-years forest dynamics and hydro-biogeochemical studies in Central Japan, AGU Fall Meetin

g, San Francisco, 2019.12.9.
Katsuyama, M.: Long term increasing trend of line conditioned excess in groundwater, JpGU Meeting 2019, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 2019.5.28.

研究成果の社会への情報発信

2022年1月6日開催「大阪府都市整備部防災講演会」にて講演
土砂災害に対する適切な警戒・避難について 近年発生した災害事例に基づく検討(小杉賢一郎)

2021年1月19日開催「近畿地方整備局技術スペシャリスト会議(土砂災害研究会)」にて講演
土砂災害警戒避難における降雨データの活用方法について(小杉賢一郎)

2021年1月6日開催「洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会(気象庁)」の資料への情報提供 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kentoukai/arikata/part1/siryou4.pdf>(小杉賢一郎)

表彰、受賞歴

令和3年度砂防学会「オンライン大会」若手優秀発表賞(ポスター発表)
解析雨量・降水短時間予報によるスネーク曲線の既往最大値を利用した土砂災害発生予測(福田幹, 小杉賢一郎, 正岡直也)

第133回日本森林学会大会学生ポスター賞
塩化物イオン収支を用いた隣接小流域における深部地下水浸透量の定量化(浅野陽平, 勝山正則)

研究の今後の課題・展望等

近年, 気候変動による降雨規模の増大と, それに伴う土砂災害の増加や激甚化が懸念されている。このような状況下において, 現在の降雨の規模を「どのくらい過去に遡れば既に経験したことのある雨になっているか」で評価する未経験降雨指数 T_P は, 直接的でわかりやすいと考えられ, 土砂災害に対する警戒避難への有効活用が期待される。加えて, 個々の斜面や溪流の履歴(性状変化の有無や時期)に応じて土砂災害発生危険基準値 T_C を個別に設定し, きめ細かな判断を行うことによって, 見逃しと空振りの両方を少なくした警戒避難に繋がる可能性も考えられる。

このように本研究では, 現行技術とは大きく異なる警戒避難情報を提供する新たなアイデア・手法・技術を提案した。革新的なアイデア・手法・技術であり, 大きなポテンシャルを持っている可能性が考えられるが, その一方で今後の社会実装に向けて検討・解決すべき課題が多々存在している。具体的に考えられる課題として, 以下の点などを挙げることができる。

- アイデア・手法・技術の正当性・健全性について, 理論的および実証的な検証を進めること。
- 未経験降雨指数 T_P と土砂災害発生危険基準値 T_C の活用方法・有効性に関して, 検討を深化させ, 多くの事例を用いて検証すること。 T_C の根拠となる「抵抗力低下事象の誘因」に関しては, 本研究では風倒木被害, 地震動, 豪雨による流域荒廃を検討したが, 他の誘因も含め, 多くの事例解析に基づく検討が必要である。
- T_C の適切な設定方法について検討を進めること。例えば, 風倒による樹木の枯死については, 樹木根系の腐食による地盤補強機能低下が徐々に進行することが考えられるため, 枯死が生

じた時刻よりも少し遅めに T_c を設定する必要がある可能性も考えられる。

- 新たに T_c を設定した直後の期間は空振りが増大することが考えられ、対応策の検討が課題となる。
- T_p の計算に用いるスネーク曲線図の種類や数の妥当性を検討すること。具体的には、実効雨量の半減期の設定方法や、他の雨量指標を用いる必要性などが検討項目となる。
- 上記の検討を実施するにあたり、渓流水位・流量、土壌層内地下水位、基岩層内地下水位データの拡充および最適雨量指標特定方法の高度化を図り、地質等のカテゴリー毎に警戒避難情報提供に使用するスネーク曲線図の種類や数を高精度に定めていくことが、見逃し・空振りの軽減に重要である。
- 雨量の観測誤差、空間的ばらつき、データの時間分解能の影響を検討すること。解析雨量や各自治体などが展開する雨量計のデータを活用した解析も重要となる。

今後、本研究のアイデア・手法・技術の実用化に向けた検討を進める過程で、以上のような課題以外にも多くの課題が出現することが予想されるが、土砂災害の軽減に寄与できるように、課題の解決に取り組んでいきたい。

研究成果の河川砂防行政への反映

本研究の新たな技術により提供される警戒避難情報は、根拠が明確で分かりやすいことに加え、個々の斜面や溪流の違いを考慮している。このため、現行技術に基づく情報を補足し、よりきめ細かな判断をサポートする目的で活用されると期待される。さらに、運用実績を積んで現行技術に対する優位性を検証することにより、将来的には主たる警戒避難情報として活用される可能性も考えられる。