

河川流量データで降雨流出の地域特性を 反映した土砂災害警戒避難基準雨量

THE CRITICAL RAINFALL FOR WARNING AND EVACUATION FROM
SEDIMENT-RELATED DISASTERS BASED ON STREAM-FLOW DATA

只熊典子¹・竹本大昭²・海原荘一³・木下篤彦⁴・田中健貴⁵・菅原寛明⁶・中谷洋明⁷
Noriko TADAKUMA¹, Hiroaki TAKEMOTO², Soichi KAIHARA³, Atsuhiko KINOSHITA⁴,
Yasutaka TANAKA⁵, Hiroaki SUGAWARA⁶ and Hiroaki NAKAYA⁷

¹ 非会員 農修 株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1-21)

² 非会員 博士 (工) 株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1-21)

³ 正会員 博士 (工) 株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1-21)

⁴ 正会員 博士 (農) 国土交通省国土技術政策総合研究所(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター)
(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁵ 非会員 農修 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁶ 非会員 農学 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 (〒637-0002 奈良県五條市三在町1681)

⁷ 正会員 博士 (農) 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

Numerous sediment-related disasters have occurred in recent years. Hence, it is necessary to improve the predictability of such disasters so that we can develop effective warning and evacuation systems. For this purpose, we used the critical rainfall, based on the soil water index, calculated using a tank model of the entire country. We attempted to establish the critical rainfall based on real-time stream-flow data, but this index is as influential as the rainfall index obtained using the model presented in this study. The critical rainfall, which is based on stream-flow data, has the same precision as the soil-water index in the case of catchment areas less than 100 km².

Key Words : Stream flow, Sediment-related disaster, The critical rainfall for warning and evacuation

1. はじめに

西日本豪雨等により2018年は過去最多の土砂災害発生件数¹⁾となるなど、近年大規模な土砂災害が頻発しており、警戒避難の精度向上が喫緊の課題となっている。

土砂災害の警戒避難基準雨量に関する研究は古く、今までに様々な降雨指標が提案されてきたが²⁾、現在は60分積算雨量と土壌雨量指数の2軸を採用し、RBFNによる非線形モデル³⁾で発生限界線を設定する方法が採用されている⁴⁾。土壌雨量指数は3段タンクモデルの貯留高合計値により土壌水分・地下水位を表現する降雨指標⁵⁾であるが、そのパラメータは石原ら花崗岩のモデル流域のもの⁶⁾を全国一律で適用しており⁵⁾、各地域の降雨流出特性

が考慮されていない。しかし、実際の降雨流出特性及び土壌水分特性は地形・地質・気候等の影響を大きく受けるといった研究事例⁷⁻⁸⁾があり、これに代わる流域貯留の地域性を推定しうるものとして、リアルタイムかつモデルの影響の少ない実測データとして河川流量データがある。近年設置数が増加する危機管理型水位計の活用に向け、水位・流量面からの検討が不可欠であり、本研究では長期降雨指標を流域での河川流量または河川流量から求めた流域内の貯留量とした新たな土砂災害警戒避難基準案を検討した。

2. 検討対象地域及び使用したデータ

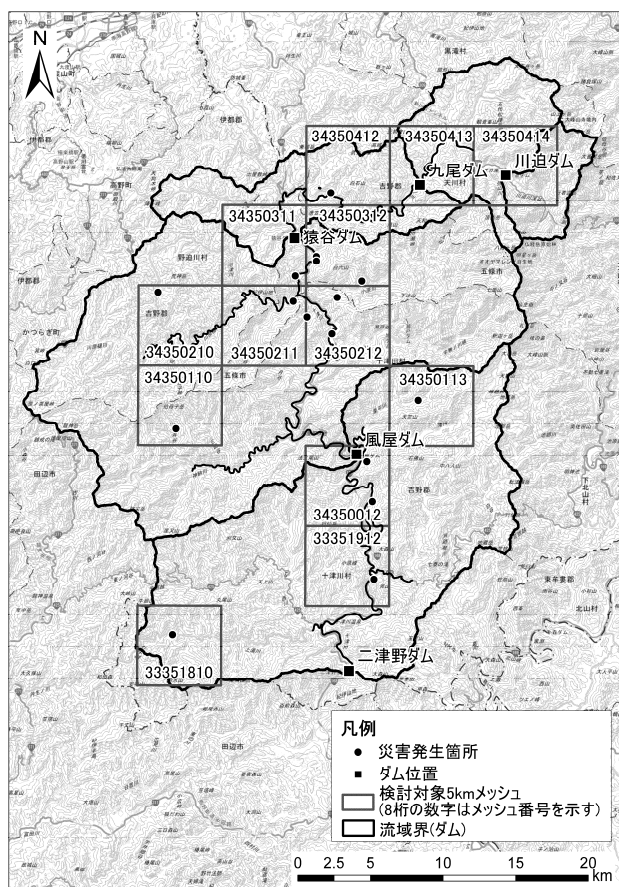


図-1 検討対象範囲(新宮川水系熊野川)
(図中の8桁の数字は5kmメッシュ番号)

(1) 検討対象地域

河川流量に基づく降雨指標を長期軸とする土砂災害警戒避難基準の検討の対象として、2011年の紀伊半島大水害による多数の土砂災害実績があり、流量データが豊富な新宮川水系熊野川流域のうち、二津野ダムより上流の流域(図-1)を対象とした。また、河川流量に基づく長期雨量指標の比較対象として、図-1に示す災害実績のある5kmメッシュの土壌雨量指数のデータも取り扱った。

(2) 河川流量に基づく警戒避難基準の長期雨量指標の算定方法

図-1に示した検討対象範囲には、流量観測所はなく、

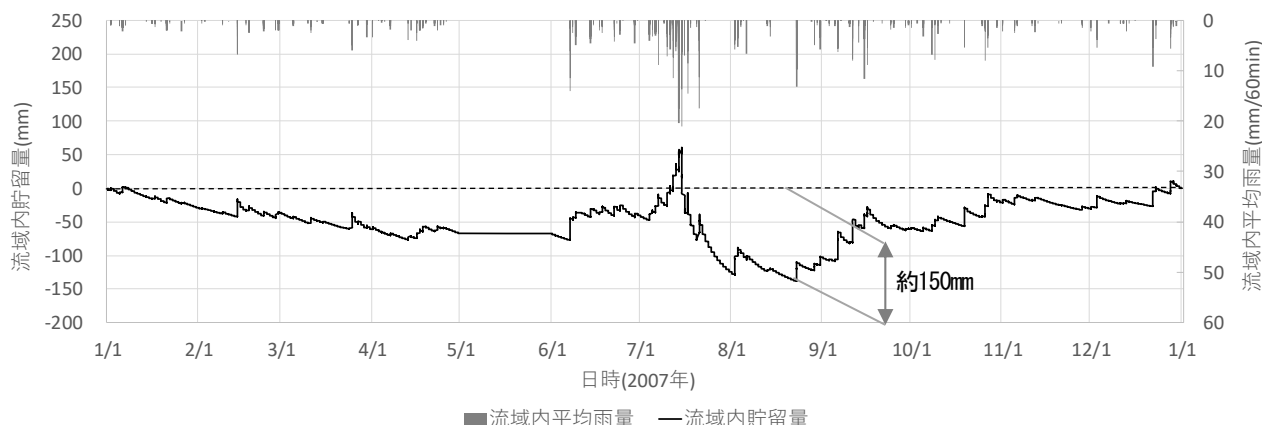


図-2 河川流量データから求めた流域内貯留量の1年間の変動(九尾ダム地点, 2007年)

水位観測局があるものの、中小洪水の流量では河道全幅で流下する状況ではなく、河川水位から求まる流量データは滞筋の移動により、精度が低い可能性がある。しかし、当該検討範囲には二津野ダムを含む5つのダムがあり、それらの各ダム水文諸元を補正し、人為的操作の影響を排除した自然状態の河川流量を求めた。

検討対象流域内で洪水調節機能を有するダムについては、流入量と放流量の差分流量を下流のダム地点流入量に加え、さらに観測地点の流域面積で除して比流量を求めた。なお、データの期間は2007年1月～2018年7月(10年以上)とした。この自然状態の河川流量に基づく比流量は土壌雨量指数の3段タンクにおける横穴流出量の合計値に該当する。また、降り始めからの連続雨量から比流量の累計値を差し引いた値が現行の土壌雨量指数に該当する雨量指標にあたり、本研究ではこれを流域内貯留量と表現している。

がけ崩れの場合は、土壌雨量指数や雨量と河川流量から求まる流域内貯留量のような土中水分を表現しうる指標が発生・非発生を左右すると考えられるが、土石流は溪流の流量増大により発生することもある。そこで、本研究では式(1)に示す河川流量を比流量換算したものと、式(2)に示す連続雨量から比流量の累積値(時間積分値)を差し引いた流域内貯留量の両方を求め、どちらが土砂災害発生との関連性が高いかについても把握することとした。

$$q = Q / A \quad (1)$$

$$Q_r = \Sigma_r - \Sigma_q \quad (2)$$

ここに、 q : 比流量(mm/s)

Q : 河川流量(m^3/s)

A : 流域面積(km^2)

Q_r : 流域内貯留量(mm)

Σ_r : 一連降雨における連続雨量(mm)

Σ_q : 比流量の累積値(mm)

河川流量は長期間無降雨の場合でも基底流量があり、土壌雨量指数のように連続計算した場合、図-2に示すように、1年間では約150mmのマイナス値が生じ、一定量

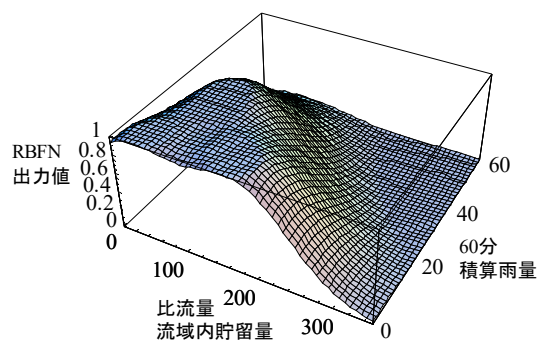


図-3 RBFN応答局面の例

表-1 検討ケース

ケース	短期雨量指標	長期雨量指標
Case1	流域内平均雨量 (アメダス60分雨量)	比流量
Case2	流域内平均雨量 (アメダス60分雨量)	流域内貯留量
Case3	60分積算雨量 (解析雨量)	気象庁土壌雨量指数

表-2 RBFNのパラメータ

パラメータ名	比流量 (Case1)	流域内貯留量(Case2) 土壌雨量指数(Case3)
グリッド間隔X軸	1	5
グリッド間隔Y軸	1	1
半径X軸	80	145
半径Y軸	80	80
正則化パラメータ λ_{max}	10,000	10,000
正則化パラメータ λ_{min}	1	1

表-3 Case1~Case3の検討結果一覧表

流量 観測 地点	検討対象 面積 (km ²)	Case1		Case2		Case3					
		短期指標：流域内平均雨量 長期指標：比流量		短期指標：流域内平均雨量 長期指標：流域内貯留量		短期指標：解析雨量 長期指標：気象庁土壌雨量指数					
		発生 捕捉率(%)	空振り率 (回/年)	発生 捕捉率(%)	空振り率 (回/年)	平均		最高		最低	
						発生 捕捉率(%)	空振り率 (回/年)	発生 捕捉率(%)	空振り率 (回/年)	発生 捕捉率(%)	空振り率 (回/年)
九尾	109.10	100	0.00	100	0.08	100	0.00	100	0.00	100	0.00
猿谷	202.71	100	0.08	100	0.08	100	0.00	100	0.00	100	0.00
風屋	662.19	100	0.17	100	0.25	100	0.04	100	0.00	100	0.33
二津野	1017.52	100	0.25	100	0.33	100	0.03	100	0.00	100	0.33

の降雨が生じるまで、長期雨量指標が正の値とならないため、一連降雨毎に流域内貯留量を0mmに戻した。

(3) 災害データ及び雨量データ

災害データについては、国土交通省の整理した土砂災害データのリストを使用した。雨量データについては検討対象流域及び周辺のアメダスデータ等をティーセン分割により補正したものとした。また、比較対象として用いる土壌雨量指数を長期雨量指標とした場合の短期雨量指標はメッシュ雨量データとした。なお、一連降雨の定義は土砂災害警戒避難基準と同様に24時間以上の無降雨期間で区切られるひとまとまりの降雨⁴⁾とした。

3. 河川流量による警戒避難基準雨量の検討方法

2007年1月～2018年7月の各ダム地点の流量データから求めた自然状態の河川流量を基に、前述の比流量と流域内貯留量を求め、それらを長期雨量指標として、土砂災害警戒避難基準雨量と同様の方法⁴⁾でRBFNの応答局面を作成した。また、2011年紀伊半島大水害時に発生した災害を警戒避難の対象災害とし、現行の土壌雨量指数を長期雨量指数とする応答局面から、各ケース・各流量観測地点において、対象災害を捕捉できるRBFNの出力値で2次元の発生限界線(CL)を求め、同一の災害捕捉率と

なる条件のCLで空振り率を求めた。

各検討ケースと警戒避難基準雨量の設定に用いた雨量指標の関係を表-1に示す。なお、RBFNの応答局面の設定におけるパラメータ³⁾については、2軸の降雨指標値の大小にあわせて変更する必要がある、現行基準のパラメータを参考として表-2に示す値を採用した。

4. 検討結果

Case1～3の各雨量指標の組合せにおける、各流量観測地点の空振り率の一覧を表-3に、本研究で対象災害とした2011年台風12号における猿谷ダム地点及び二津野ダム地点のCase1の長期雨量指標とCase3の土壌雨量指数の変化を図-4と図-5に、スネークライン上に災害発生タイミングを示したものを図-6と図-7に、同様にCase2の長期雨量指標とCase3の土壌雨量指数の値の変化を図-8と図-9に、スネークライン上に災害発生タイミングを示したものを図-10と図-11に示す。なお、図-1に示したように流域内には災害データのある5kmメッシュは複数存在するため、表-4における河川流量による長期指標の比較対象とした土壌雨量指数を長期指標としたCase3の空振り率は、各流量観測地点より上流に含まれる災害実績を有する5kmメッシュの空振り率の平均値、最高値、最低値も示した。

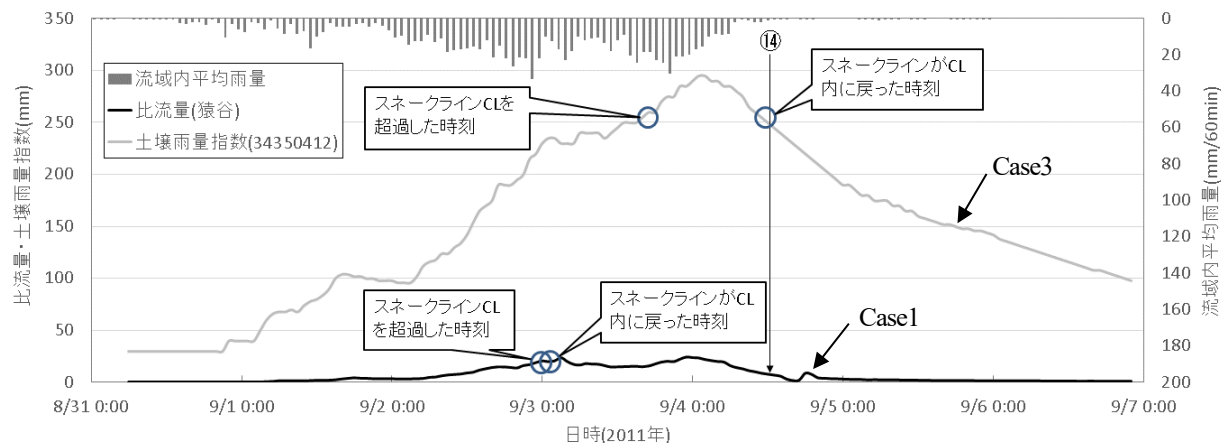


図-4 2011年台風12号における猿谷ダム地点の比流量と土壌雨量指数の変化(Case1及びCase3)
(図中の丸付き番号は図-1に記載した災害番号)

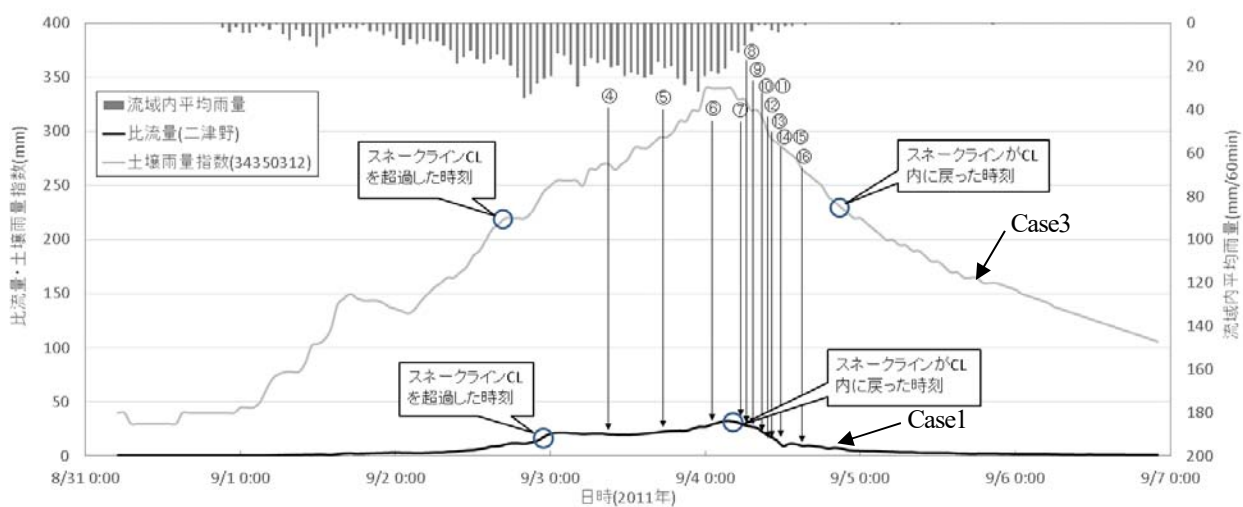


図-5 2011年台風12号における二津野ダム地点の比流量と土壌雨量指数の変化(Case1及びCase3)
(図中の丸付き番号は図-1に記載した災害番号)

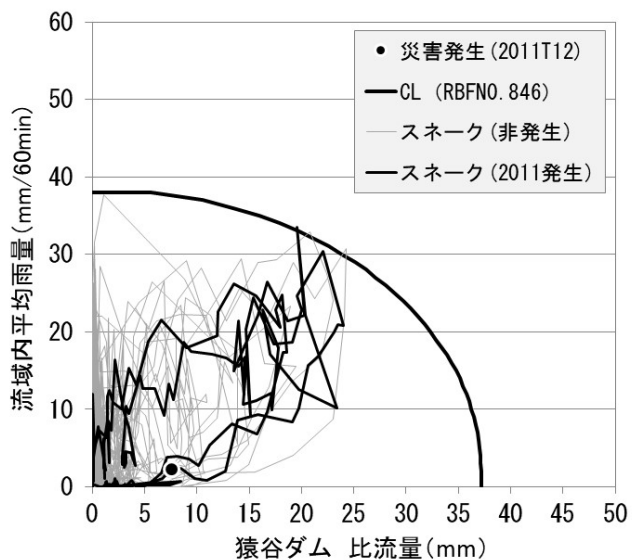


図-6 2011年台風12号における猿谷ダム地点の比流量を長期雨量指標としたスネークラインと災害発生タイミング (Case1)

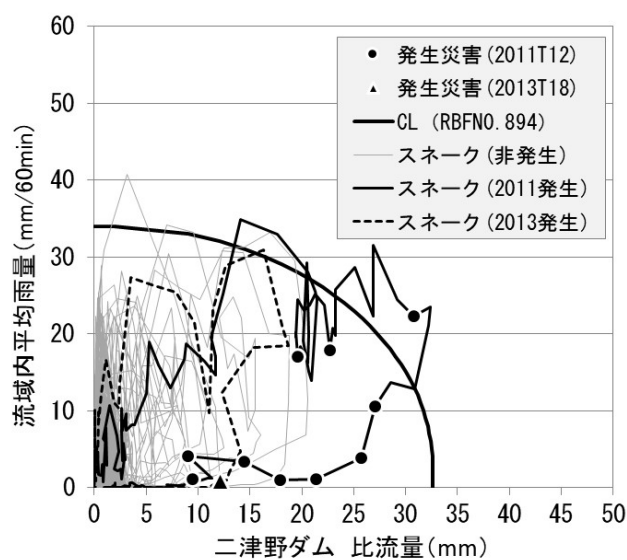


図-7 2011年台風12号における二津野ダム地点の比流量を長期雨量指標としたスネークラインと災害発生タイミング (Case1)

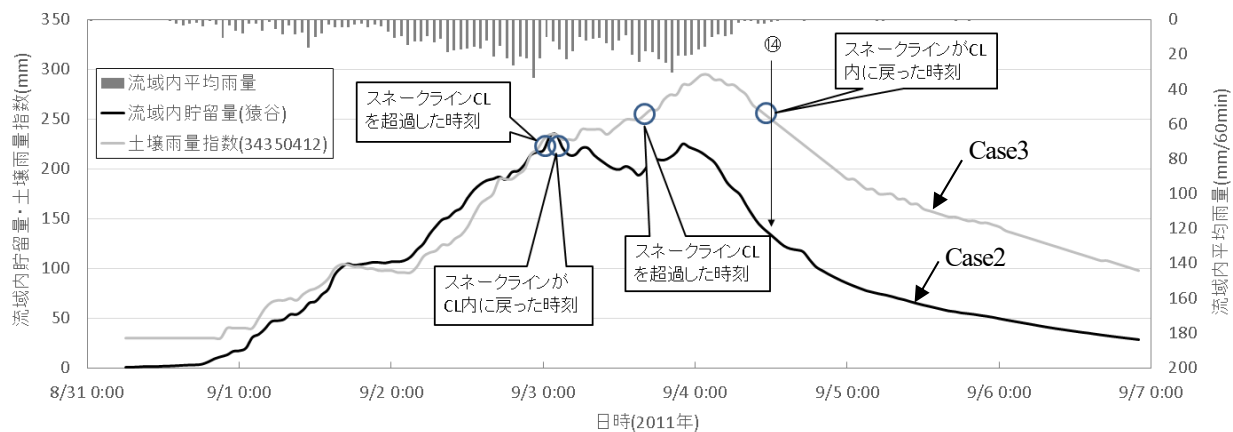


図-8 2011年台風12号における猿谷ダム地点の流域内貯留量と土壌雨量指数の変化(Case2及びCase3)
(図中の丸付き番号は図-1に記載した災害番号)

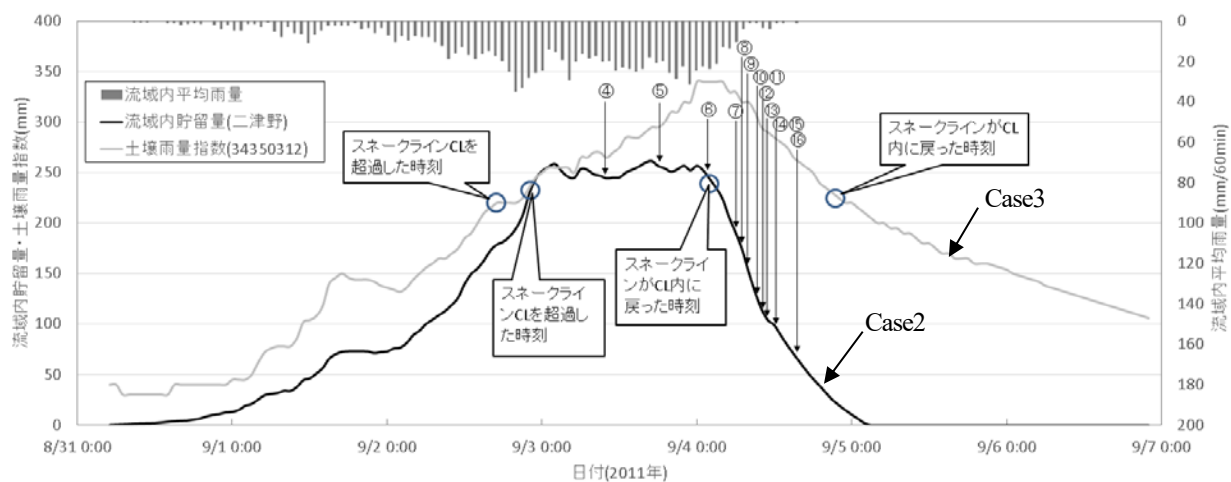


図-9 2011年台風12号における二津野ダム地点の流域内貯留量と土壌雨量指数の変化(Case2及びCase3)
(図中の丸付き番号は図-1に記載した災害番号)

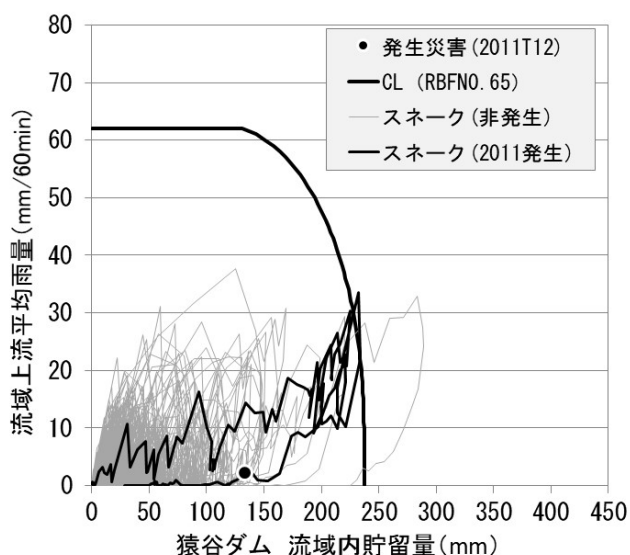


図-10 2011年台風12号における猿谷ダム地点の流域内貯留量を
長期雨量指標としたスネークラインと災害発生タイミング
(Case2)

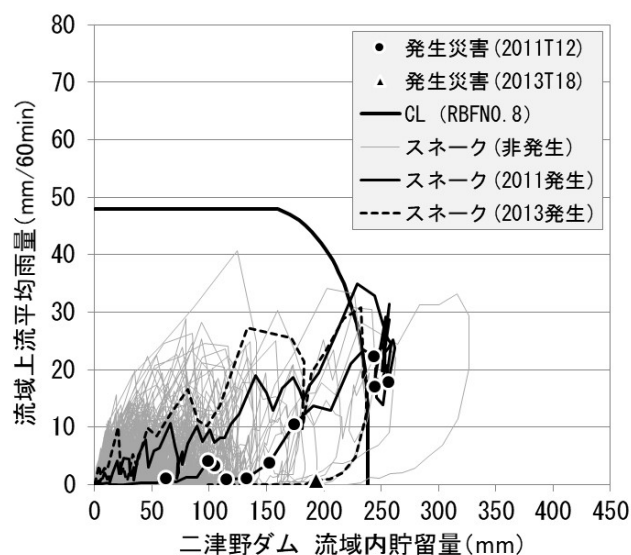


図-11 2011年台風12号における二津野ダム地点の流域内貯留量を
長期雨量指標としたスネークラインと災害発生タイミング
(Case2)

表-3ではCase1(比流量)もCase2(流域内貯留量)も下流の観測点ほど空振り率が増えていることから、流量観測地点から上流の流域面積が小さいほど、降雨流出と土砂災害の発生の関係性が高まり、土砂災害の発生をうまく捉えられている。これは、対象とする流域面積が小さいほど降雨の局地性を反映できるためと考えられる。一般的にRBFN応答局面と指標値の僅かな位置関係の違いで空振り率は変化するが、Case1の比流量、Case2の流域内貯留量、Case3の土壌雨量指数のいずれも九尾ダム地点程度の流域面積であれば、空振り率の差は極めて少ない。また、比流量はその時刻の瞬間的な値、流域内貯留量や土壌雨量指数のような累計値よりも指標値の範囲は小さいものの、長期雨量指標としてどちらも適用可能な精度を有していると言える。

Case2の流域内貯留量とCase3の土壌雨量指数はどちらも流域内の土壌水分を表現しているが、図-8、図-9では、流域内貯留の方が値の減衰が早くなっており、土壌雨量指数より地域の貯留効果の特性が反映されている降雨指標であることを示している。

2011年台風12号は深層崩壊が多発した災害⁹⁾であったが、図-6、図-7、図-10及び図-11では、どのケース・地点でもCL超過後かなり遅れて災害が発生しており、深層崩壊の場合は大規模な崩壊ほど降雨ピークから遅れて発生する特徴¹⁰⁾と矛盾しておらず、応答の遅い深部地下浸透に誘発されていたものと考えられる。

CLを超過するタイミングについては図-5、図-8、図-9のケースでは、土壌雨量指数(Case3)と大きく変わらないが、図-4のCase1(比流量、猿谷ダム地点)では、土壌雨量指数(Case3)よりも17時間超過が早くなっており、この事例では避難行動に対するリードタイムの面で有利となっていた。

5. まとめ

本研究では河川流量に基づく降雨指標により土砂災害警戒避難基準雨量を設定した。河川流量に基づく流域内貯留量のように累積値での降雨指標を求める場合、基底流量の影響を排除する必要があるが、100km²程度の流域面積の地点であれば、現行の土壌雨量指数に基づく基準雨量と同程度の精度を確保できることが明らかとなった。

本研究に用いた災害データは深層崩壊によるものが主体であったが、降雨ピークから発生の遅れが顕著ではない表層崩壊が多くを占めるような土砂災害に対し、河川流量に基づく流域内貯留量は、降雨ピーク後に指標値が

早く減衰する特性等を生かして警戒避難の解除の判断に活用できる可能性もあり、今後は表層崩壊の多発した地域等での検証や大きな流域面積の地点への適用を検討したい。

謝辞：本研究の実施にあたり、貴重なデータを提供いただきました国土交通省近畿地方整備局、和歌山地方気象台に対し、ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部: 今年土砂災害発生件数が過去最多を記録~平成30年の土砂災害発生件数の速報値を公表~, 国土交通省報道発表資料, 2018.
- 2) 寺田秀樹, 中谷洋明: 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法, 国土技術政策総合研究所資料, 第5号, 2001.
- 3) 倉本和正, 鉄賀博己, 東寛和, 荒川雅生, 中山弘隆, 古川浩平: RBFネットワークを用いた非線形な崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究, 土木学会論文集, 2001巻, 672号, p. 117-132, 2001.
- 4) 国土交通省河川局砂防部, 気象庁予報部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 国土交通省河川局砂防部: 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案), 2005.
- 5) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斉藤清: 土壌雨量指数, 天気, 48(5), pp.349-356, 2001.
- 6) Ishihara, Y and Kobatake, S: *Runoff Model for Flood Forecasting*, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 29(1), pp.27-43, 1979.
- 7) 虫明功臣, 高橋裕, 安藤義久: 日本の山地河川の流況に及ぼす地質の効果, 土木学会論文報告集, 第309号, 1981.
- 8) 内田太郎, 友村光秀, 佐藤悠, 浅野友子, 蒲原潤一: 比較水文学的アプローチによる山地流域の降雨流出応答の影響因子に関する一考察, 地形, 37(4), pp.579-595, 2016.
- 9) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 64, No.5, p. 43-53, 2012.
- 10) 八反地剛: 降雨を起因とする深層崩壊の特徴—崩壊土量と遅れ時間の関係—, 砂防学会誌, Vol.55, No.6, pp.74-77, 2003.

(2019. 4. 2受付)