

# 超過確率年を用いた土砂災害警戒避難 基準雨量の有効性

EFFECTIVENESS OF SEDIMENT RELATED DISASTER EARLY WARNING  
STANDARD RAINFALL USING THE OF EXCESS PROBABILITY YEAR

竹本 大昭<sup>1</sup>・海原 荘一<sup>2</sup>・木下 篤彦<sup>3</sup>・田中 健貴<sup>4</sup>・中谷 洋明<sup>5</sup>  
Hiroaki TAKEMOTO, Soichi KAIHARA, Atsuhiko KINOSHITA, Yasutaka TANAKA  
and Hiroaki NAKAYA

<sup>1</sup>(株)エイト日本技術開発 (〒732-0055 広島県広島市東区東蟹屋町 15 番 3 号)

<sup>2</sup>(株)エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町 3 丁目 1-21)

<sup>3</sup>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)

<sup>4</sup>北海道大学(〒060-8589 北海道札幌市北区北 9 条西 9 丁目)

<sup>5</sup>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)

**Key Words:** *early warning, standard rainfall, excess probability, debris flow, slope failure*

## 1. はじめに

平成 25 年から大雨特別警報が運用され、以降毎年のように大雨特別警報が発表されている。気象庁の大雨特別警報は、大雨警報や土砂災害警戒情報の発表後も雨がさらに降り続き、土砂災害の危険度分布(土砂災害警戒判定メッシュ情報)で「極めて危険」が出現している状況下で、数十年に一度の大雨となりさらに雨が降り続くと予想される場合に、大雨特別警報(土砂災害)を発表することとしている(気象庁 HP)<sup>1)</sup>。具体的には 50 年に一度以上という超過確率年の考え方を採用している。

近年、土砂災害の発生予測においても超過確率年が注目されてきた。林ら(2014)<sup>2)</sup>は、土砂災害被害と降雨確率規模、災害発生頻度の関係について既往の資料を整理し傾向分析を行った。國友ら(2015)<sup>3)</sup>は、連携案手法<sup>4)</sup>において、応答曲面から得られる RBFN 出力値は、同じ値であっても地域の降雨特性により、その確率的意味が異なることから、同一の RBFN 出力値が確率的に同等の意味を持つためには RBFN 解析におけるパラメータ設定方法の検討が必要になる

と指摘している。佐藤ら(2017)<sup>5)</sup>は、応答曲面を構成するすべての降雨データの RBFN 出力値を求め、その RBFN 出力値の超過確率年に基づいた RBFN 出力値線を確認評価として採用する方法を提案している。

執印ら(2018)<sup>6)</sup>は CL の縦軸と横軸の降雨指標に雨量値ではなく超過確率年を用いて、単一降雨指標 IRPI という超過確率年を採用したスネーク曲線を提案した。この指標を用いることで平成 25 年伊豆大島のような甚大な災害における発生降雨と非発生降雨のイベント特性の違いが認識されることを提示した。さらに執印ら(2020)<sup>7)</sup>では確率年を連携案の枠組みの中に導入する方法として、60 分積算雨量と土壌雨量指数を 2 年確率値で除して標準化する方法を広島県の呉特別地域気象観測所のデータで検討している。

このように確率年の考え方を導入する方法が多数提案されており、感覚的にもわかりやすい指標といえる。ただし、降雨確率は大きな降雨イベントの経験により確率分布モデルを見直す必要があることや、基準雨量の雨量指標として採用する場合は、超過確率年の計算に際してメッシュ雨量を使用する必要がある。これらの影響が明らかでない点に加えて、実

際に基準雨量を適用する比較的広い範囲(各都道府県を数ブロックに分割した程度の範囲)において、降雨確率を用いた手法と連携案手法の精度を比較検証した事例はない。そこで、本研究では、近年豪雨災害が集中発生した広島市・呉市を対象として、執印ら(2018)<sup>6)</sup>の手法を応用したCL設定(以下、超過確率CLと称する)について精度を検証し、超過確率CLの有効性について検証することとした。

## 2. 検討対象地域及び使用したデータ

### (1) 検討対象地域

検討対象地域は、図-1に示す広島県全域とし、超過確率CLの検証に当たってはCL設定ブロックのうち、1999年、2014年等と複数時期での土砂災害発生履歴を有する広島県CL設定ブロックとした。超過確率CLの設定単位はCLの精度検証に使用される3次メッシュ(1kmメッシュ)単位とした。なお、メッシュ数は、広島・呉CL設定ブロックで2,170(広島県全域で8,007)となる。

### (2) 使用した降雨データ及び超過確率年算定方法

確率分布モデルの検討に用いた降雨データは1988年1月～2018年9月までのおよそ30年間のメッシュ雨量データ(RAP及びGRIB2形式)を採用した。メッシュ雨量データの精度のばらつきはあるものの、これより超過確率年が30年確率以下については一定の精度を有していると考えている。なお、1988年～2001年4月まで解析雨量は5kmメッシュ、1時間更新であり、2001年4月～2005年12月までは2.5kmメッシュ、30分更新であるため、上記期間内の解析雨量は5kmメッシュ内または2.5kmメッシュ

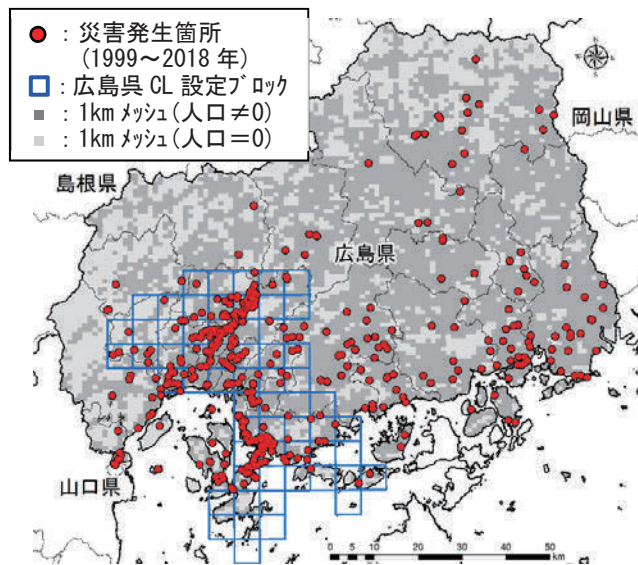


図-1 検討対象地域と災害発生箇所

内の1kmメッシュは全て同じ値を使用している(2006年1月以降の解析雨量は1kmメッシュ単位)。

超過確率年を求める雨量指標は、連携案と同様に60分積算雨量と土壌雨量指数のデータ(1kmメッシュ単位、1時間毎)とした。1988年から各災害前年までのRAP形式及びGRIB2形式のデータから1kmメッシュ単位で各年の最大値を抽出し、確率分布モデルについては、Gumbel分布と一般化極値分布(GEV)の両方の係数を求めた。この二手法を用いた理由はGumbel分布と一般化極値分布(GEV)を用いて日本の各地方の水文極値の頻度解析を行った田中(2010)<sup>8)</sup>の研究によると、日本の南北で分布の適性が異なるという結果を参考としたものであり、これら二つの分布モデルについて、SLSCによる適合度評価(中小河川計画検討会(1999)<sup>9)</sup>)で、値が小さいモデルを採用した。これらの計算結果を用いて1988年～2018年の超過確率計算等を行った(図-2)。

1988年から各災害前年までのRAP形式及びGRIB2形式のデータから1kmメッシュ単位で各年の最大値を抽出(異常値は除外)

Gumbel分布とGEVの両方の係数を計算

適合度評価のためにSLSC値を求め、SLSC値が小さい分布モデルを採用

災害発生年以降の60分積算雨量、土壌雨量指数の超過確率年を算定

図-2 60分積算雨量、土壌雨量指数の超過確率算定方法

表-1 本検討に使用した災害データ(1999年～2018年)  
上段：広島県全体、下段：広島県ブロック

年	災害種別		合計
	土石流	かけ崩れ	
1999	69 (52)	113 (95)	182 (147)
2002	0 (0)	1 (1)	1 (1)
2003	0 (0)	4 (4)	4 (4)
2004	1 (0)	18 (12)	19 (12)
2005	10 (7)	12 (5)	22 (12)
2006	5 (0)	17 (9)	22 (9)
2007	0 (0)	2 (1)	2 (1)
2009	0 (0)	21 (16)	21 (16)
2010	42 (3)	26 (11)	68 (14)
2011	0 (0)	2 (0)	2 (0)
2012	0 (0)	9 (2)	9 (2)
2013	0 (0)	12 (3)	12 (3)
2014	85 (83)	50 (43)	135 (126)
2015	0 (0)	8 (4)	8 (4)
2016	6 (0)	83 (35)	89 (35)
2018	27 (18)	5 (1)	32 (19)
合計	245 (163)	383 (242)	628 (405)

### (3) 使用した災害データと選別方法

災害データについては、国土交通省で整理した土砂災害データリスト(都道府県より災害報告として国土交通省に提出したもの)のうち、降雨に起因した災害データに限定した。また、災害降雨の確率評価には少なくとも10年程度はデータが必要と考え、災害データの対象期間を1999年～2018年とした。

災害発生件数は、広島県CL設定ブロックで405件(広島県全域で628件)あり、災害種別毎に本検討に使用した災害データを整理した(表-1)。災害時刻不明なデータについては、連携案手法において、一連降雨中で最も土砂災害のリスクが高まるRBFN値が最小となる時刻に設定した。

## 3. 検討方法

### (1) 検討条件と検討方法

執印ら(2018)<sup>6)</sup>の手法と同様に算定した60分間積算雨量の超過確率年をY軸と土壌雨量指数値の超過確率年をX軸とし、X軸とY軸は対数表示とした。CLについてはX軸とY軸ともに同じ次元であることから、以下の式によって設定した。

$$X = 10^{R \times \cos(\theta)} \quad (1)$$

$$Y = 10^{R \times \sin(\theta)} \quad (2)$$

ここに、R: 超過確率年  $1/N \log(N)$

$\theta$ :  $\theta = 0$  度～90 度(4分の1円)

超過確率CLの設定間隔は低確率ほど変化が大きく、高確率ほど超過回数が多くなるため、1/2～1/10では1年間隔、1/15～1/100では5年間隔とした。

### (2) 検討内容

60分間積算雨量及び土壌雨量指数の確率分布モデルを用いて、広島県全域の超過確率雨量分布と1kmメッシュ毎の災害発生率の関係から、超過確率雨量による災害発生事例と非発生の分離性を確認し、降雨指標としての適用を把握した。

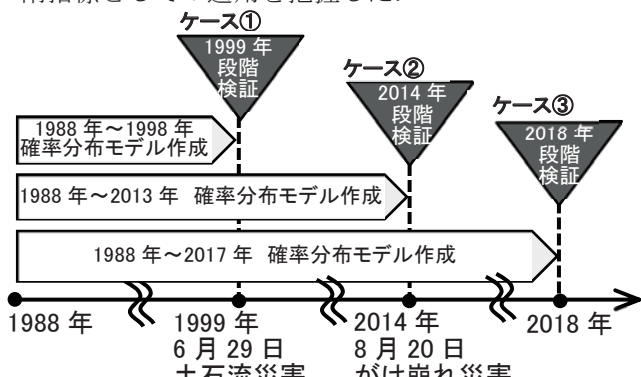


図-3 検討期間を示した数直線図(イメージ)

次に、60分積算雨量及び土壌雨量指数の超過確率年を用いた超過確率CLを設定し、設定したCLの有効性を確認するため、5kmメッシュ単位で設定した連携案手法と精度比較を行った。また、同じ3次メッシュ(1km)内で複数回、災害履歴を有するメッシュについては、その災害の前年までの確率分布モデルを求め、翌年の災害発生年の予測精度を検証する等、図-3のケース①～③に示すように、段階的に精度検証を実施した。

## 4. 解析結果と考察

### (1) 超過確率降雨と土砂災害発生との関係

超過確率降雨と土砂災害発生の解析結果を図-4、図-5に示す。なお、超過確率雨量については、確率分布モデルの設定に使用した降雨データ期間が約30年である30年超過確率雨量に着目することとした。図-4の土壌雨量指数のケースでは、概ね30年超過確率雨量が大きいほど、災害発生率が高くなる傾向にあり、図-5の60分間積算雨量についても土壌雨量指数値ほどではないが同様の傾向を示した。このことは、超過確率の違いが土砂災害の発生・非発生の分離に寄与できることを示している。

図-4、図-5に示した災害発生率は、超過確率雨量の各カテゴリ(10カテゴリ)に該当する全1kmメッシュ

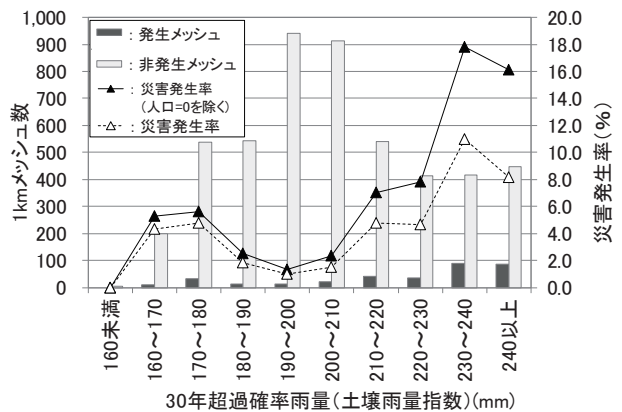


図-4 30年超過確率雨量(土壌雨量指数)と災害発生率

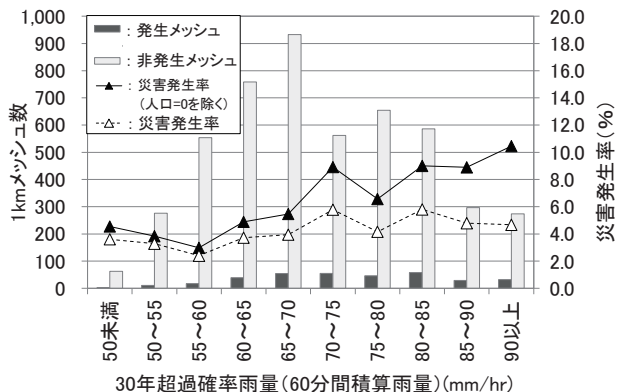


図-5 30年超過確率雨量(60分間積算雨量)と災害発生率

メッシュ数に対する災害が発生した 1km メッシュ (以下、発生メッシュと称する) 数の割合で評価した。

また、今回、解析に使用した災害データは、当該ブロック内で発生した土砂移動実績を全て網羅したものでなく、あくまで人命または家屋被害により災害報告が提出されたものであることから、災害が発生していない 1km メッシュ (非発生メッシュ) から、人口<sup>10)</sup>が 0 の 1km メッシュを除いて災害発生率を算定した (人口=0 の 1km メッシュは、図-1 参照)。人口が 0 の 1km メッシュを含めた災害発生率について、参考までに図-4 に破線で表示した。

続いて、図-4 に対応した 30 年超過確率雨量 (土壤雨量指数) の分布と災害発生箇所的位置図を図-6 に示す。図-6 より、広島県内では、広島市を中心した西側と福山市、尾道市等の東側、庄原市等の北側において超過確率雨量の傾向が分かれている。特に西側の広島市では、同じ超過確率年の雨量が大きいことから、経験降雨を上回る降雨を何度も経験している (雨が降り易い) ため、災害発生率が高くなっているものと考えられる。一方、東側の福山市等では、同じ超過確率年の雨量が広島市に比べて相対的に小さく、大きな降雨の経験が少ないと評価できる。ただし、福山市等でも比較的多く土砂災害が発生しているため、経験降雨の異なる地域では、土砂災害が発生する条件等も異なると考えられる。また、図-5 で人口=0 を除いた場合に災害発生率が増加傾向に転じている。この理由は、人口=0 の非発生メッシュを除いたことで、レポートバイアス (人口のないメッシュでは災害が報告されない) が軽減されたためと考えられる。

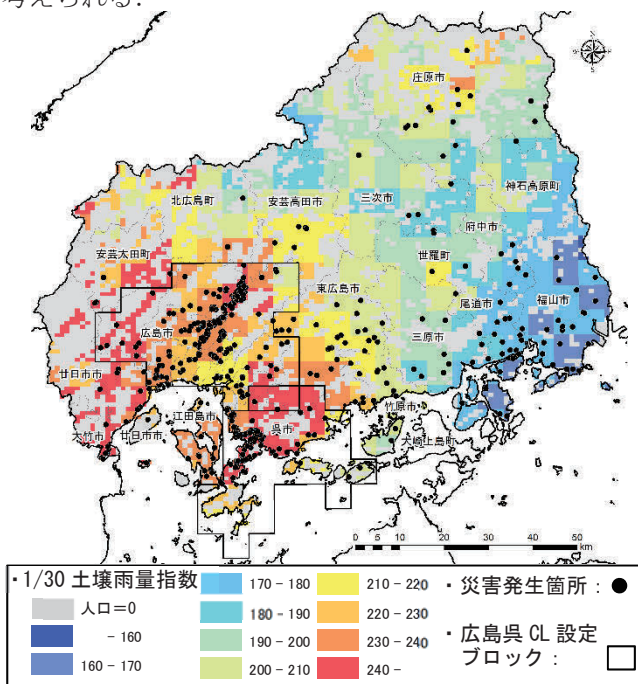


図-6 災害発生位置と 30 年超過確率の土壤雨量指数分布

## (2) 超過確率 CL と連携案との精度比較

土砂災害警戒避難基準雨量の雨量指標として従来の降雨量ではなく、超過確率年を導入した雨量指標の方が精度が向上するかどうかを確認するため、本研究では、広島県 CL 設定ブロックにおいて、超過確率年に基づく CL として、執印ら (2018)<sup>6)</sup> の手法と同様に、雨量指標として 60 分積算雨量及び土壤雨量指数の超過確率年を用いた。

また、超過確率 CL の精度比較のため、通常の場合の連携案手法による CL (以下、連携案 CL と称する) を超過確率 CL と同期間の雨量データを用いて再設定した (現運用の CL とは異なる)。RBFN 値については、後述する超過確率 CL と災害捕捉率が同等となる閾値を 0.05~0.95 (0.05 刻み 19 ケース) の中から選定した。なお、純粹に雨量指標の有効性を確認するため、土壤雨量指数の下限値は設定せず、また、RBFN 解析パラメータについては、平成 29 年 11 月 6 日の事務連絡<sup>11)</sup> に基づく最新パラメータを使用した。

以上の方法による精度検証結果を表-2 に示す。有効性の指標としては、災害捕捉率と空振頻度の 2 指標とした。災害捕捉率は、各 5km メッシュ内で発生した全災害降雨数に対する CL を超過した降雨数の割合で評価した。広島県 CL 設定ブロック内には、5km メッシュが 43 個あるため、43 個の 5km メッシュの中で最大、平均、最小となる捕捉率を求めた。

空振頻度については、比較対象とする通常の場合の連携案 CL での各閾値 (RBFN 値) の災害捕捉率と超過確率 CL での各閾値 (超過確率年) の災害捕捉率を比較し、捕捉率が同レベルとなる閾値の空振頻度を比較した。また、5km メッシュ内のいずれかの 1km メッシュにおいて非発生降雨が CL を超過した場合に空振りと評価した。このため、空振頻度は各 5km メッシュの内の空振降雨数を 1km メッシュ数及び検証期間 (20 年) 当りで評価し、43 個の 5km メッシュの中で最大、平均、最小となる指標値を示した。

表-2 より、超過確率 CL では連携案 CL に比べて、空振頻度が 5km メッシュの最大で 1km メッシュ当り約 0.2 (最大値 1.38-1.21) 回/年 (全 1km メッシュ :

表-2 連携案 CL と超過確率 CL の精度比較結果 (1999~2018)

適用手法	ブロック内 5km メッシュ	災害捕捉の視点		空振りの視点	
		捕捉 件数	災害 捕捉率 (%)	空振 降雨数 (回/1km メッシュ当り)	空振頻度 (回/年/ 1kmメッシュ 当り)
連携案CL	最大値	50.0	100.0	28	1.38
	平均値	8.1	85.7	12	0.58
	最小値	0.0	0.0	0	0.02
超過確率CL	最大値	50.0	100.0	25	1.21
	平均値	8.1	86.2	11	0.57
	最小値	0.0	0.0	1	0.04

2,170 メッシュでは 18 回/年)低減されているが、大幅な改善にまで至らなかった。

### (3) 複数回の災害履歴を有するメッシュにおける段階的な精度検証結果

大規模な降雨イベントを経験すると同じ降雨規模でも超過確率年が対象とする雨量が変化するため、ここでは超過確率 CL に対する上記の影響を確認した。検討対象地域では、平成 11 年 6 月 29 日と平成 26

表-3 1999 年～2018 年までの連携案 CL と超過確率 CL の精度比較結果一覧表 (51325346)

ケース	確率年 検討期間	検証 期間	比較手法	連携案CL	超過確率CL
① 1999年 段階	1988～ 1998年 ※10年間	1999年 ※1年間	基準	RBFN値 0.60	超過確率 1/30
			災害捕捉率(%)	100.00	100.00
			空振頻度(回/年)	0.00	0.00
② 2014年 段階	1988～ 2013年 ※26年間	2000～ 2014年 ※15年間	基準	RBFN値 0.60	超過確率 1/10
			災害捕捉率(%)	100.00	100.00
			空振頻度(回/年)	0.13	0.13
③ 2018年 段階	1988～ 2018年 ※31年間	2015～ 2018年 ※4年間	基準	RBFN値 0.60	超過確率 1/8
			災害捕捉率(%)	100.00	100.00
			空振頻度(回/年) ※4年間で算定	0.25	0.25

年 8 月 20 日の複数の豪雨が発生し、多数の土砂災害が発生している。このため、検討期間を図-3 に示した 3 期間に分割して通常の連携案の CL との精度等の違いを確認した。ここでは、代表的事例として 1km メッシュ番号：51325346(広島市安佐南区)について連携案 CL との精度の比較結果を表-3 に示す。

図-7 下半分の図中にある 1/10 年のラインや 1/100 年のラインを本稿では、等超過確率年線と称し、これらの中から適切な超過確率年を超過確率 CL と定義した。また、連携案 CL での発生・非発生の降雨量と超過確率年が対比できるように図-7 には Y 軸に 60 分間積算雨量の超過確率年、X 軸に土壌雨量指数の超過確率年をとった 2 軸平面上に主要な等超過確率年線と超過確率年に基づくスネーク曲線を示した。

図-7 より、この事例では 1/10 年を境界に発生と非発生降雨の分布密度が明確に異なり、1/10 年を超過確率 CL とした場合は、連携案 CL と同程度の精度となる。また、1999 年の発生降雨は災害当時 1/30 年であったが、現時点までに同等以上の非発生降雨を経験したことで 1/10 年未満となる一方、2014 年の発生降雨は現時点でも 1/100 年以上の降雨となる等、本手法においても 2014 年の災害降雨規模の異常さを表現できている。なお、2014 年の災害降雨を含まないケース②と含めたケース③において、確率評価が 1/600 年から 1/150 年に大きく変化している。ケース②、③ともにデータ数は概ね 30 年であるため、本手法では 1/30 年を超える豪雨の経験前後では確率評価が安定しない課題があるといえる。

今後、1/10 年未満の降雨イベントで災害が発生し

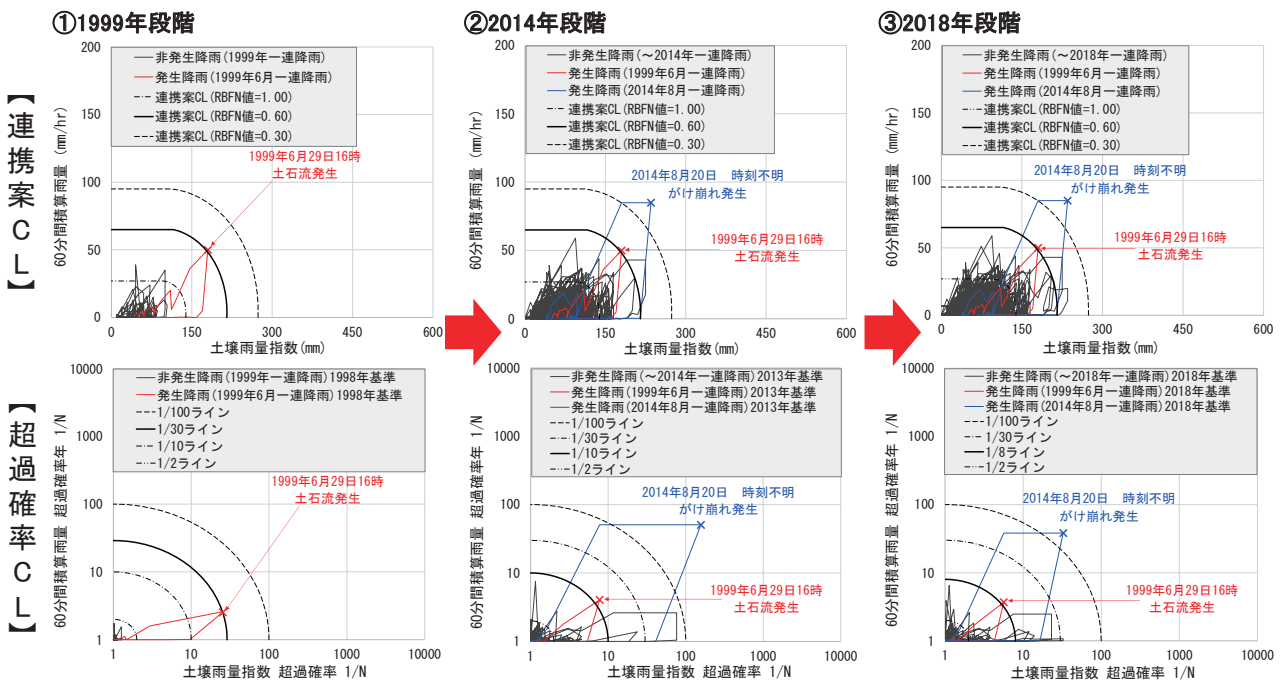


図-7 5km メッシュ：34320907 1km メッシュ：51325346  
1999 年～2018 年までの連携案 CL と超過確率 CL 及び発生・非発生降雨の推移

ない、かつ 1/10 以上の非発生降雨の精度が高い場合にこの発生降雨を CL 対象災害としない等の選択も考えられるが、降雨規模＝災害規模ではないため、本指標と流出土砂量や被害状況等の指標と併せて CL 対象災害を評価することが重要と考える。また、この事例では 1/10 年を超える非発生降雨が存在する。このような降雨の場合、人家のない山間部等において家屋被害がない土砂移動が生じていないか、道路災害等での報告はないか等、空振りかどうか自体を精査すべきであり、その土砂移動の確認対象降雨を超過確率年からも判断できる利点がある。

## 5. おわりに

本研究では、メッシュ雨量データに基づき、執印ら(2018)<sup>6)</sup>の手法を応用して、超過確率年に基づいた CL 設定方法(超過確率 CL)を検討した。降雨確率年是一般住民が感覚的にわかりやすく、基準雨量設定上も災害のない非発生メッシュの根拠としても期待できる可能性はある。ただし、通常の連携案 CL と超過確率 CL において過去 20 年間で空振頻度を比較した結果、後者の方が若干ではあるが、空振りが少ない傾向を示したが、大幅な改善には至らなかった。

超過確率年は、広島災害の事例のように豪雨を経験することで低下する(言い換えれば、超過確率年に対する雨量が増加する)等、超過確率年数に対してデータ年数が短い場合、豪雨経験前後で値が安定しない課題がある。その一方で 2014 年の広島豪雨等の異常な豪雨については 100 年確率以上と評価される等、本手法では降雨規模の異常さを表現できる利点があると考えている。また、連携案 CL(現行 CL ではなく本研究で再設定したもの)と本手法の比較において約 1/10 年確率に相当していることが確認できた。

超過確率年を降雨指標に導入しても判別精度が向上しなかった理由としては、現行の連携案を含む警戒避難基準の設定方法として、警戒避難の対象災害を設定し、それに合わせて基準線を調整する方法を採用していることが挙げられる。具体的には、野村ら(2020)<sup>12)</sup>の検討事例のように、仮に降雨指標を入れ替えたとしても、変更前後の降雨指標が概ね線形の関係にあれば、対象災害のスネーク曲線や非発生降雨イベントのスネーク曲線も基準雨量も相似形で移動するため、発生・非発生の判別精度に影響がほとんどないことが挙げられる。

今後の課題としては、災害事例が比較的少ない地域での検証、確率値の精度向上のため、地上雨量計による解析雨量の補完、確率降雨 CL におけるスネ

ーク曲線では降雨の降り始めの動きは小さいが、危険度が高まった時に急激に変動するため、事前の危険度把握方法の検討等が挙げられる。

## 参考文献

- 1) 気象庁ホームページ(特別警報について)：  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq18.html> ,  
2019. 10 参照。
- 2) 林真一郎・内田太郎・蒲原潤一：土砂災害被害と降雨確率規模、災害発生頻度の関係、土木技術資料, Vol. 56, No. 1, p. 40-43, 2014.
- 3) 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), p. 9, 2005.
- 4) 國友優・神山嬢子・倉本和正・池田寛・秦雅之・來須洋二：降雨出現確率法に基づく土砂災害発生危険基準線の信頼性向上に関する一考察, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, pp. A-256~A257, 2015.
- 5) 佐藤丈晴・竹本大昭：確率降雨量の概念を考慮した発生限界雨量線の設定方法, 砂防学会誌, Vol. 69, no. 6, p. 24-32, 2017.
- 6) 執印康裕・堀田紀文・山川陽佑・鈴木雅一：確率年を用いた単一降雨指標による土砂災害発生危険度の評価について —東京都伊豆大島を事例として—, 砂防学会誌, Vol. 71, No. 1, p. 28-34, 2018.
- 7) 執印康裕・加藤誠章・堀田紀文・鈴木雅一：現行の土砂災害警戒システムの様式から導出される確率年による土砂災害発生危険度の評価について, 砂防学会誌, Vol. 73, No. 1, p. 40-44, 2020.
- 8) 田中茂信：毎年・非毎年時系列資料を用いた水文極値の頻度解析に関する研究, 京都大学博士論文, p. 37  
<http://hdl.handle.net/2433/97974>, 2019. 10 参照。
- 9) 中小河川計画検討会：中小河川計画の手引き  
<http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/material/pla-boo-1-01.pdf>, 2019. 10 参照。
- 10) 国土交通省国土政策局国土情報課 1km メッシュ別将来推計人口(H30 国政局推計)  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>, 2010. 10 参照。
- 11) 土砂災害警戒情報の発表の判断に用いる基準の見直しについて, 国土交通省砂防部砂防計画課, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 気象庁予報部業務課 2017. 11.
- 12) 野村康裕・海原荘一・竹本大昭・内田太郎・中谷洋明：地質特性ごとの土砂災害危険度評価に適した降雨指標に関する一考察, 砂防学会誌, Vol. 73, No. 2, p. 42-47, 2020.

(2020. 7. 1 受付)