

# 河川基金助成事業

「平成 29 年九州北部豪雨災害の分析に基づく  
流木災害の L1・L2 設定基準の提案」

助成番号：2018-5211-027

九州大学大学院工学研究院  
教授 矢野真一郎

平成 30 年度

## 1. 序論

気象庁「災害をもたらした気象事例」([https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai\\_report/index.html](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai_report/index.html))には、日本国内で観測された気象災害がまとめられている。1945年から2018年に至るまでの豪雨災害を含む気象災害の事例がまとめられているが、2000年以降は豪雨災害の頻度が高まっている。また、豪雨災害のスケールが大きくなり、人的被害・物的被害が大きいものが近年増加している。平成29年7月九州北部豪雨では降水量の多かった筑後川右岸支川の流域で同時多発的な斜面崩壊や土石流により大量の土砂や流木が発生・流下した。福岡県・大分県では死者・行方不明者42名（平成31年3月現在）が確認され、流木による橋梁の閉塞に伴い洪水が河道から溢れる等の被害や橋梁の流出、多数の道路における流水による侵食・崩壊ならびに土砂・流木による埋没や斜面崩壊による寸断が生じ、復旧・復興の大きな障害となっている。平成30年7月西日本豪雨では西日本に停滞した前線および台風7号の影響で日本付近に暖かく非常に湿った空気が供給され続け、九州北部、四国、中国、近畿、東海、北海道地方の多くの地点で24、48、72時間降水量が観測史上1位になるなど、広い範囲における長時間の記録的な大雨となった。大雨により河川では堤防決壊とそれに伴う広範囲にわたる浸水被害、広島県を中心とした多数の土砂災害発生により死者237人、行方不明者8名（平成31年1月6日現在）と平成に入ってから豪雨災害としては死者が初めて200人を上回った。

昨今の豪雨災害による被害や頻度が大きくなっている背景に地球温暖化の影響があるとみられている。世界の年平均気温は長期的に見て上昇傾向にあり、気象庁の解析では1891年の統計開始以来100年あたり0.69℃の割合で上昇している。また日本の年平均気温は1898年の統計開始以来100年あたり1.14℃の割合で上昇している。2013年に公表されたIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第1作業部会の第5次評価報告書では「地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降のどの10年間よりも高温であり続けた。北半球では、1983年～2012年は過去1400年において最も高温の30年間であった可能性が高い（中程度の確信度）」と報告されており、現在進行形で地球温暖化の進行が進んでいることが報告されている。温暖化の進行による気温の上昇は降水量の増加とその規模を引き上げることに伴い、近年の豪雨災害の規模、あるいはそれ以上の規模の豪雨災害が高い頻度で起こる可能性が高まると考えられる。

将来へ向けて重要となることが予想される豪雨災害であるが、近年の大規模豪雨災害では流木の問題が同時に発生していることが多い。土石流、地滑り、山地崩壊から流出する流木は、河道を流下する際に流下能力が低い構造を持つ橋梁に集積し、ダム化してせき上げを起こすことで氾濫を助長したり、大量に集積して洪水時の大きな流体力を受けることで橋梁を破壊したりするなどの災害を引き起こす。これまでもいくつか豪雨災害での発生事例がある。平成24年7月九州北部豪雨では山国川や矢部川の支流星野川などで流木が橋梁に集積し氾濫を拡大させた箇所が発生した。平成29年7月九州北部豪雨では約21万 $m^3$ が発生しており、国土交通省(2017)の解析によると、溪流単位での流木流出率（単位面積あたりの流木発生量）は、従来の最大値であった $1,000m^3/km^2$ を大きく上回り、最大で $20,000m^3/km^2$ を記録した。このことは、温暖化の進行などに起因して降雨の形態が変化し、それに伴い斜面崩壊や流木流出がこれまでに無かった規模へ変化してきていることを示し

ている。新たなフェーズに入ってきた流木災害について、可能なハード・ソフト対策の研究が必要な時期になったと考えられる。

流木災害の研究は、豪雨災害の直接の被害原因となる土砂災害や洪水氾濫に目が向けられてきた歴史があることや流木発生のプロセスが複雑であることから、大きな進歩がみられていなかった。流木災害のリスク評価を行う上で、流木の発生から流下までのメカニズムは、地形、降水量、河川勾配など個々の河川に固有の条件に応じて異なることが予想されるが、汎用性のある流域圏全体での流木リスク評価手法を確立することが有用である。

本研究では、平成 29 年九州北部豪雨で発生した数多くの斜面崩壊と、それに伴う流木発生に着目し、それらの要因について統計的手法を用いた解析を実施する。得られた評価モデルにより、降雨や地形・地質などの情報を総合的に包含した流木発生量の評価モデルの開発を行う。これにより、流木災害において L1・L2 レベルの概念を構築するための一助になることを目指すものである。

## 2. 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における被災状況について

### 2.1 災害の概要について

福岡県から大分県にかけて平成 29 年 7 月 5 日から 6 日までに観測史上最も多い記録的な雨量を観測し、福岡県筑後北部から大分県北西部では「線状降水帯」が形成された。このため線状降水帯が形成された筑後川右岸域を中心に長時間強い雨が降り続けた。九州北部の 3 水系（遠賀川、筑後川、山国川）では氾濫危険水位を超える洪水が発生し、3 観測所で観測史上最高水位を更新した。

線状降水帯が形成された筑後川右岸流域（図-2.1）では朝倉雨量観測所、角枝雨量観測所においては平成 24 年 7 月 3 日出水及び、平成 24 年 7 月 14 日出水を上回る雨量を記録した。24 時間雨量は北小路公民館雨量観測所 894mm、鶴河内雨量観測所で 638mm、朝倉雨量観測所で 608mm を記録した。筑後川右岸流域では 7 月 5～7 日の累加雨量で、平成 24 年 7 月九州北部豪雨時の 1.2~4.8 倍もの雨量を記録した。さらに、24 時間雨量だけでなく、3、6、12 時間雨量も大きな値を記録している。

今次水害における死者・行方不明者および家屋被害が集中しており、死者・行方不明者が 42 名（平成 31 年 3 月 31 日現在）に対して、赤谷川では死者・行方不明者が 22 名と最も大きな被害を受けた。また、桂川では堤防が 3 箇所決壊し浸水面積が 1,106ha に達した。桂川上流、疣目川、黒川、奈良ヶ谷川、寒水川、白木谷川、赤谷川などの狭い谷底平野を形成する中小河川では山腹・土砂崩壊による被害だけではなく、土砂や流木による河道の埋塞や橋梁の閉塞により被害の拡大がみられた。

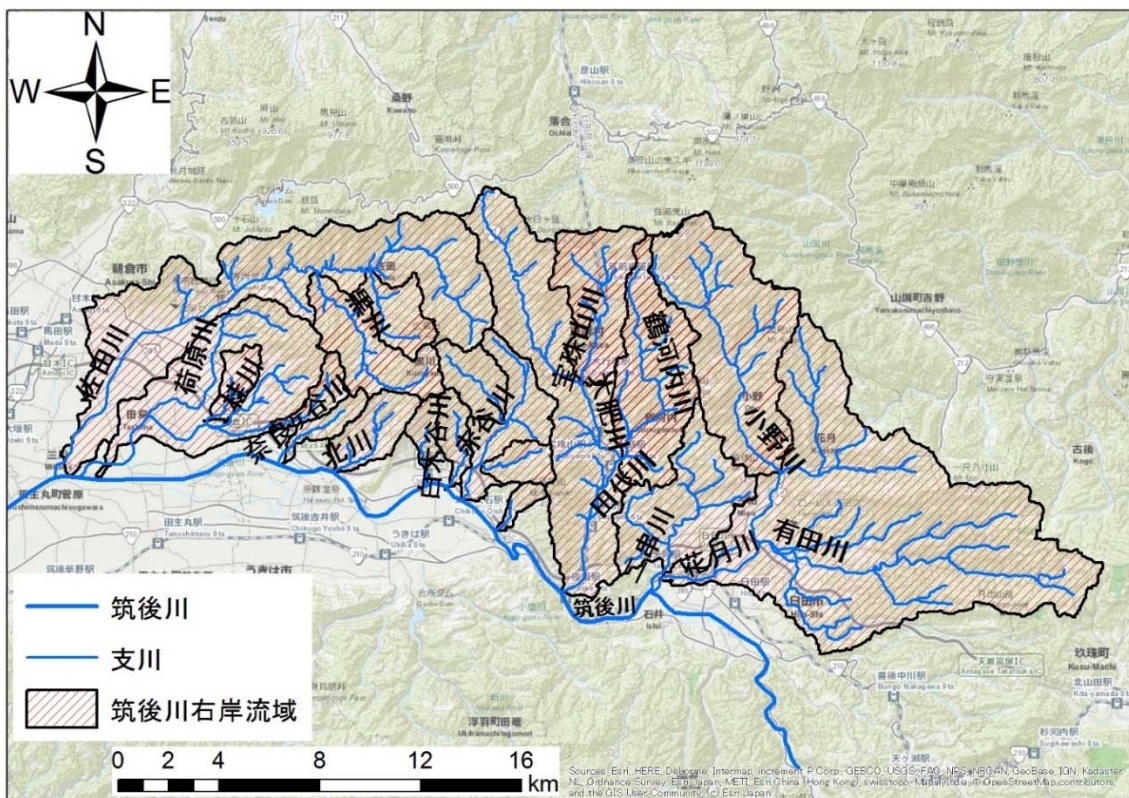


図-2.1 被害の大きかった筑後川中流右岸流域

## 2.2 流木発生量について

国土交通省の報告によると一連の豪雨により発生した流木量は約 21 万  $m^3$  と推定されている (図-2.2). 一般的な土石流災害における発生流木量との比較を行った結果, 過去の災害では単位面積あたりの発生流木量は概ね  $1,000m^3/km^2$  以下であったが, 今回の災害では 288 溪流中, 約半数の 134 溪流で  $1,000m^3/km^2$  を超えて流木が発生し, また赤谷川では, その約 20 倍近くに達するなど過去最大級の流木災害であった (図-2.3).

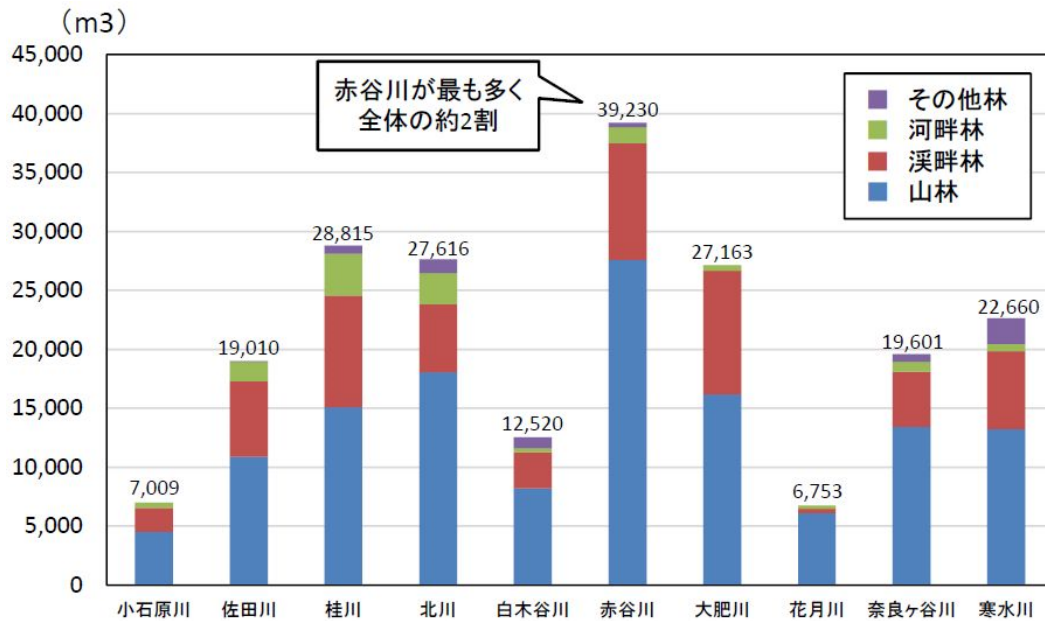


図-2.2 筑後川中流右岸支川の流木発生量 (国土交通省のデータより)

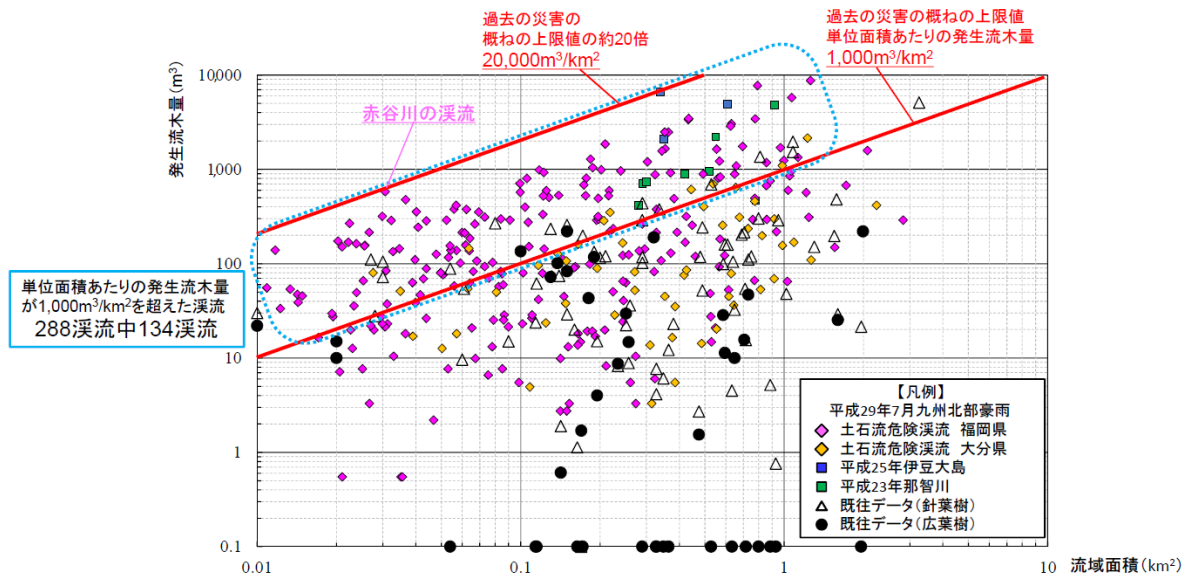


図-2.3 溪流単位の流域面積に対する流木発生量の関係 [国土交通省 (2017)]

## 2.3 赤谷川の被災について

ここでは, 本水害で最も被害の大きかった赤谷川についてのみ, 被災状況を報告する. 赤谷川は, 筑後川河口から約 60km 離れた支川である. 流域面積は  $19.9km^2$ , 河川延長 9.4km

の福岡県管理河川である。流域の81%を山林が占める。地形では筑後川合流点から乙石川合流点付近までは標高100m以下の緩やかな地形だが、それより上流側では急峻な地形である。河川の周辺では土砂堆積によって平坦面が形成された谷底平野となっている。今次水害では、崩壊面積が0.65km<sup>2</sup>と河川流域で最も大きい。

赤谷川では局地的かつ猛烈な雨によって斜面崩壊が同時多発的に発生し、谷底平野に対して洪水が大量の土砂や流木と共に流れ込んで氾濫したため、人的被害・家屋への被害が大きなものになった。上流部の小河内橋（図-2.4）は、多量の土砂・流木が流出した小河内川との合流点直下に位置しており、河道幅が比較的狭く、流木の供給が多かったため、流木が集積したと推測される。橋梁の上流側に流木が集積したことにより流路が左右岸に拡散され、拡散した流下部に存在した建物、上下流の護岸に被害が発生した。先述したように赤谷川流域では死者が今次水害で最も多い22名と推定されている。

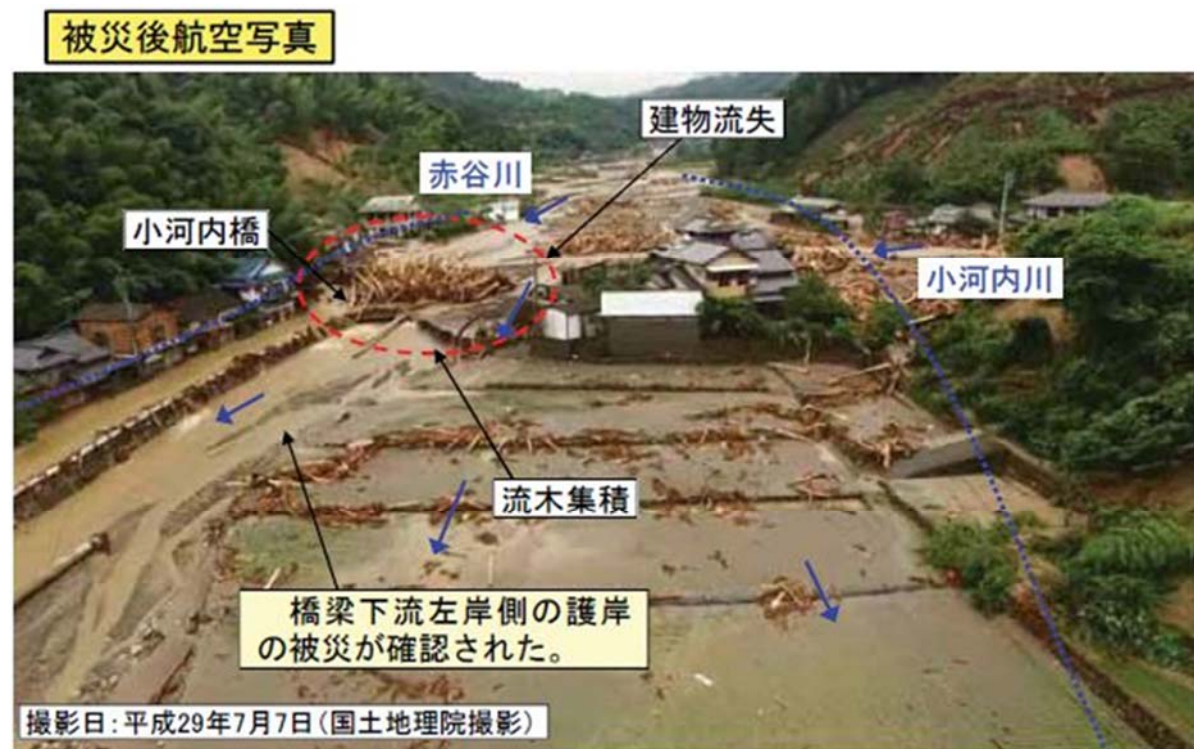


図-2.4 赤谷川小河内橋周辺での被災状況 [国土交通省・福岡県(2018)]

### 3. 研究方法

#### 3.1 対象流域について

本研究では福岡県朝倉市と東峰村に流れる筑後川中流域右岸側支川とし、**図-3.1**に示す河川流域を対象とする。すなわち、赤谷川（大山川、乙石川を含む）、寒水川、白木谷川、北川、奈良ヶ谷川、妙見川（桂川支川）、桂川上流（本川上流域）、黒川（佐田川支川）、疋目川（佐田川支川）大肥川上流（本川上流域のみ。宝珠山川を含む）とした。

小石原川と花月川、大肥川支流の鶴河内川に関しては、流木発生が少ないため除外した。また、佐田川本川については寺内ダムの流木捕捉により被害が小さいことや流域面積が大きいこと、流入支川が多いことを考慮し除外した。

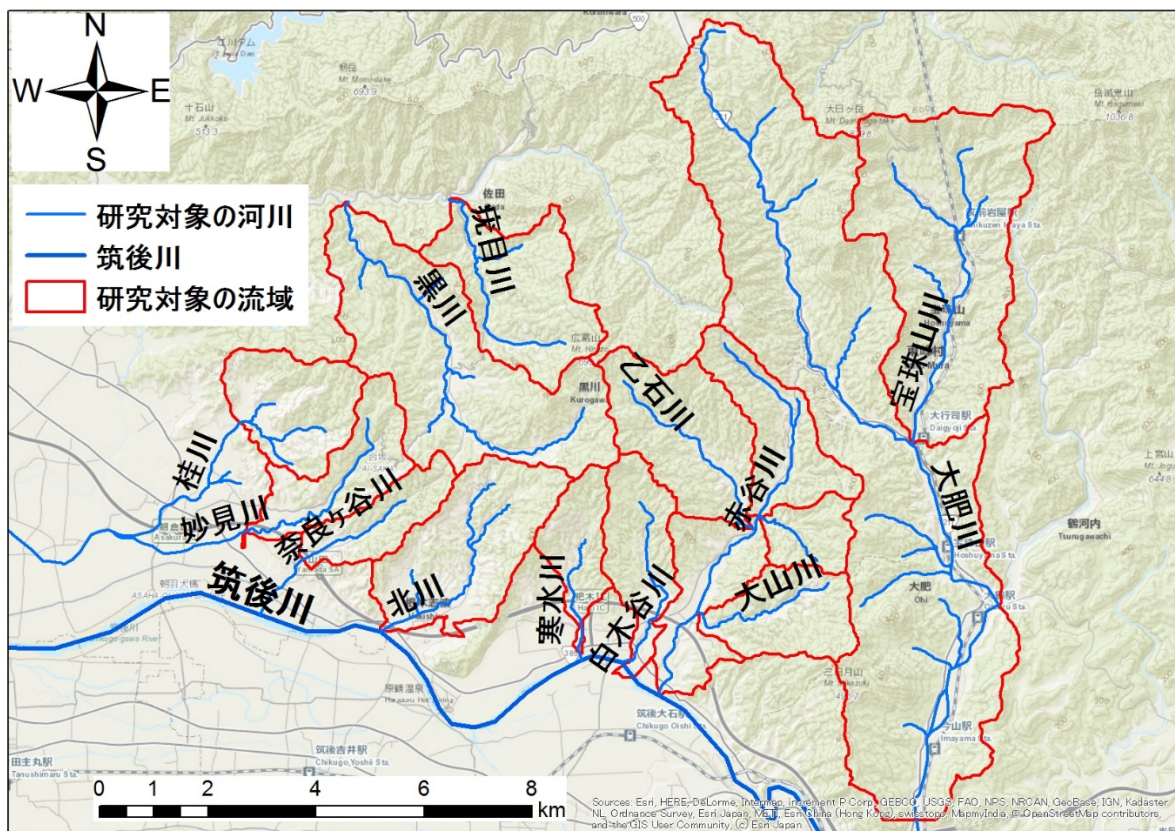


図-3.1 調査対象流域

#### 3.2 評価手法について

本研究では斜面崩壊に寄与すると考えられる様々な要因から斜面崩壊発生面積を算出可能とするモデルの開発にロジスティック回帰分析を用いることとした。

ロジスティック回帰分析は多変数解析の一種で、Truett *et al.*(1967)が心疾患のリスク研究から開発した統計理論による二項分布の確率モデルである。二項分布をロジスティックモデルに結合し、0 から 1 までの連続的な関数として成立させた後で、ロジスティック曲線を重回帰式で解くことによりモデルが構築されている。現象発生に関わるとみられる観測データや土地利用などの情報を量的変数・質的変数（説明変数）として取り入れてから、

与えられた条件の下で二値変数（目的変数）が用いた説明変数でどれくらい説明できるのかを定量的に分析する。

本研究では、研究対象の流域における斜面崩壊の発生・非発生を二値変数とし、現状で可能な範囲で導入する斜面崩壊に寄与すると考えられる様々な要因を説明変数とした。ここで、 $n$  個の変数の影響を線形の合成関数(3.1)で表す。この式を関数(3.2)に代入することで斜面崩壊の発生確率  $P(x)$  を算出するためのロジスティック関数(3.3)が表されることになる。

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (3.1)$$

$$F(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)} = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)} \quad (3.2)$$

$$P(x) = (\text{発生} \mid x_1, x_2, \dots, x_n) \frac{1}{1 + \exp(-z)} = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)} \quad (3.3)$$

ここで、 $\beta_i$ ：回帰係数（最尤法により決定）、 $X_i$ ：説明変数である。

$\beta_i$  および  $X_i$  は、表-3.1 に示すように斜面崩壊に寄与する要因の組み合わせの中でロジスティック関数(3.3)に代入するものとし、ないものがある。例えば、表-3.1 に示される case3 では(3.4)の式のようになる。この場合、 $\beta_1, X_1$ ：1時間雨量、 $\beta_2, X_2$ ：3時間雨量、 $\beta_3, X_3$ ：6時間雨量の情報のみで構成された関数を用いて解析する。

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (3.4)$$

斜面崩壊に寄与する要因の組み合わせでは、斜面崩壊が発生する場所の条件となる「素因」および斜面崩壊が発生するきっかけとなる「誘因」に分離している。素因には、地形や地質、地質構造、傾斜などの情報として傾斜角、断面曲率、地質（火山性地層、変成岩、深成岩）、累積流量、土壌被覆（草地、落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、裸地、草地＋裸地）を設定した。一方、誘因には、斜面崩壊発生時の1時間雨量、3時間雨量、6時間雨量、12時間雨量、24時間雨量を設定した。素因・要因の組み合わせについて今回は38ケースを設定している。



確率P(z)

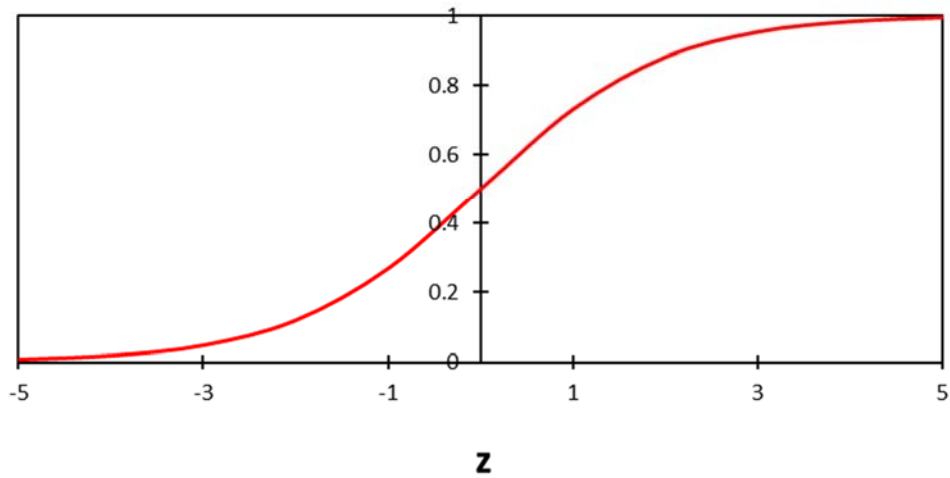


図-3.1 ロジスティックモデルの概念図

表-3.1 ロジスティックモデルに適用する素因・誘因の組み合わせ一覧

			case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	
素因	傾斜角	incl									
	断面曲率	scuv									
	地質	火山性	geo2								
		深成岩	geo3								
		変成岩	geo4								
	累積流量	kasen									
	土壌被覆	草地	grass								
		落葉広葉樹	dbf								
		常緑広葉樹	ebf								
		常緑針葉樹	enf								
裸地		land									
草地+裸地		kasen2									
誘因	雨量	1hr	rain1H	○					○	○	○
		3hr	rain3H		○				○	○	○
		6hr	rain6H			○			○	○	○
		12hr	rain12H				○		○	○	○
		24hr	rain24H					○	○		○

			case9	case10	case11	case12	case13	case14	case15	case16	
素因	傾斜角	incl	○	○	○	○	○	○	○	○	
	断面曲率	scuv	○	○	○	○	○	○	○	○	
	地質	火山性	geo2	○	○	○	○	○	○	○	○
		深成岩	geo3	○	○	○	○	○	○	○	○
		変成岩	geo4	○	○	○	○	○	○	○	○
	累積流量	kasen									
	土壌被覆	草地	grass								
		落葉広葉樹	dbf								
		常緑広葉樹	ebf								
		常緑針葉樹	enf								
裸地		land									
草地+裸地		kasen2									
誘因	雨量	1hr	rain1H	○					○	○	○
		3hr	rain3H		○				○	○	○
		6hr	rain6H			○			○	○	○
		12hr	rain12H				○		○	○	○
		24hr	rain24H					○	○		○

			case17	case18	case19	case20	case21	case22	case23	case24	
素因	傾斜角	incl	○	○	○	○	○	○	○	○	
	断面曲率	scuv	○	○	○	○	○	○	○	○	
	地質	火山性	geo2	○	○	○	○	○	○	○	○
		深成岩	geo3	○	○	○	○	○	○	○	○
		変成岩	geo4	○	○	○	○	○	○	○	○
	累積流量	kasen	○	○							
	土壌被覆	草地	grass			○	○	○	○	○	○
		落葉広葉樹	dbf			○	○	○	○	○	○
		常緑広葉樹	ebf			○	○	○	○	○	○
		常緑針葉樹	enf			○	○	○	○	○	○
裸地		land			○	○	○	○	○	○	
草地+裸地		kasen2									
誘因	雨量	1hr	rain1H	○	○	○				○	
		3hr	rain3H	○	○		○			○	
		6hr	rain6H	○	○			○		○	
		12hr	rain12H	○					○	○	
		24hr	rain24H		○					○	○

			case25	case26	case27	case28	case29	case30	case31	case32	
素因	傾斜角	incl	○	○	○	○	○	○	○	○	
	断面曲率	scuv	○	○	○	○	○	○	○	○	
	地質	火山性	geo2	○	○	○	○	○	○	○	○
		深成岩	geo3	○	○	○	○	○	○	○	○
		変成岩	geo4	○	○	○	○	○	○	○	○
	累積流量	kasen			○	○					
	土壌被覆	草地	grass	○	○	○	○				
		落葉広葉樹	dbf	○	○	○	○	○	○	○	○
		常緑広葉樹	ebf	○	○	○	○	○	○	○	○
		常緑針葉樹	enf	○	○	○	○	○	○	○	○
裸地		land	○	○	○	○					
草地+裸地		kasen2					○	○	○	○	
誘因	雨量	1hr	rain1H	○	○	○	○	○			
		3hr	rain3H	○	○	○	○		○		
		6hr	rain6H	○	○	○	○			○	
		12hr	rain12H	○		○					○
		24hr	rain24H		○		○				

			case33	case34	case35	case36	case37	case38	
素因	傾斜角	incl	○	○	○	○	○	○	
	断面曲率	scuv	○	○	○	○	○	○	
	地質	火山性	geo2	○	○	○	○	○	○
		深成岩	geo3	○	○	○	○	○	○
		変成岩	geo4	○	○	○	○	○	○
	累積流量	kasen					○	○	
	土壌被覆	草地	grass						
		落葉広葉樹	dbf	○	○	○	○	○	○
		常緑広葉樹	ebf	○	○	○	○	○	○
		常緑針葉樹	enf	○	○	○	○	○	○
裸地		land							
草地+裸地		kasen2	○	○	○	○	○	○	
誘因	雨量	1hr	rain1H		○	○	○	○	
		3hr	rain3H		○	○	○	○	
		6hr	rain6H		○	○	○	○	
		12hr	rain12H		○	○	○	○	
		24hr	rain24H	○	○		○	○	

### 3.3 使用するデータについて

#### 3.3.1 傾斜角

傾斜角については、得られた標高データから ArcGIS の計算ツールを用いて角度単位で出力することで得られる。図-3.2 に研究対象の河川と流域における傾斜角を示す。

ここで流木発生源になる斜面の傾斜角について考える。矢野ら(2016)は倒木が河道まで到達する可能性のある斜面角度が 30° 以上の箇所を流木発生源として考慮してきた。これは流木が斜面崩壊によって発生した倒木が河道まで到達して初めて河川に流出してできるものであり、流木発生源を定める根拠「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律」において角度が 30° 以上の箇所を急傾斜地としていたためである。

しかし、今次水害において国と福岡県が設置した筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会で、傾斜角については崩壊斜面のうち9割が $15^{\circ}$ 以上であったことや、斜面崩壊のリスクが高いと一般に考えられている $30^{\circ}$ 以上の斜面の割合が4割であったことが明らかにされている。また、矢野ら(2018)によると赤谷川流域の斜面崩壊状況と流木発生ポテンシャルから傾斜角 $10^{\circ}$ 以上の斜面が潜在的な流木発生源になることを結論付けている。これらのことより、 $30^{\circ}$ 以上の斜面のみを流木発生源として選定することが今次水害については不適切だと考えられた。そのため、本研究では得られた傾斜角より $10^{\circ}$ 以上の傾斜角を有する斜面を選定した。

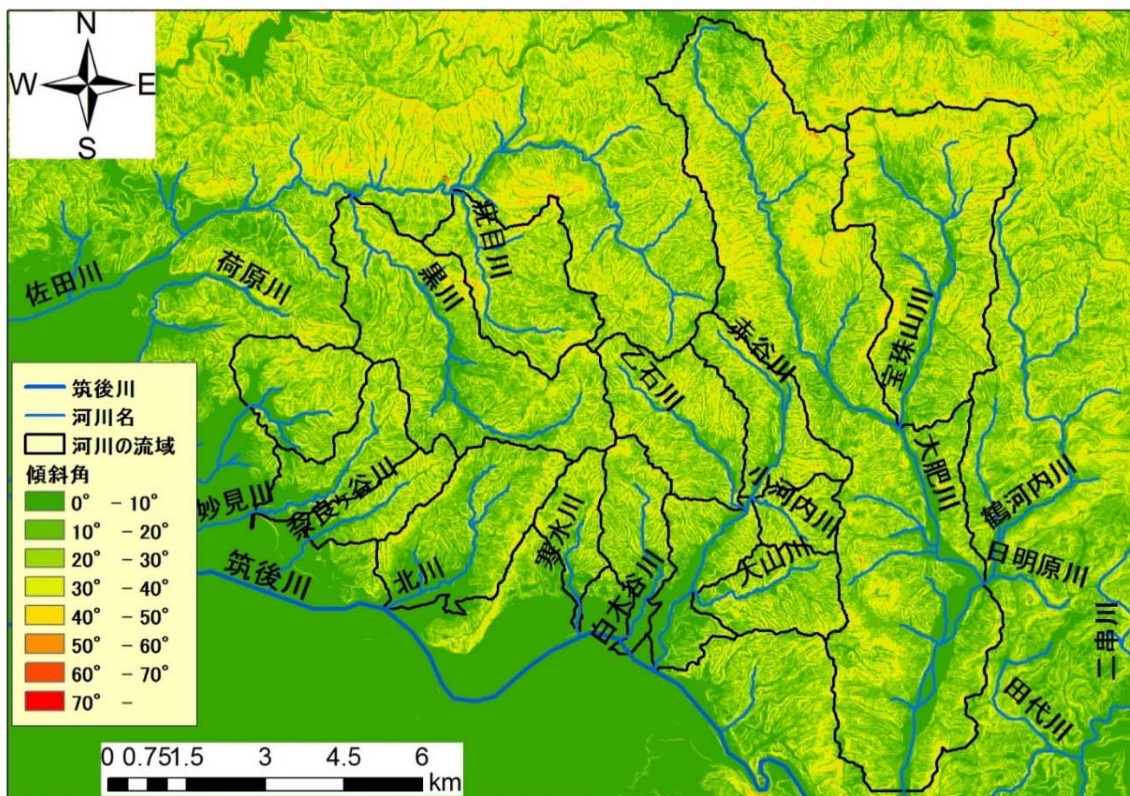


図-3.2 対象流域における傾斜角分布

### 3.3.2 断面曲率

断面曲率は斜面に平行で最大傾斜角の方向を示す。地表の流れの加速と減速に影響を与えるパラメーターである。断面曲率における正負の値の定義を図-3.3に示す。負の値(A)では地表で凸状となり流れが遅くなる。正の値(B)では地表で凹状となり流れが速くなる。ゼロの値(C)では地表が直線状である。

断面曲率については、得られた標高データから ArcGIS の計算ツールを用いて角度単位で出力することで得られる。図-3.4に研究対象の河川と流域における断面曲率を示す。

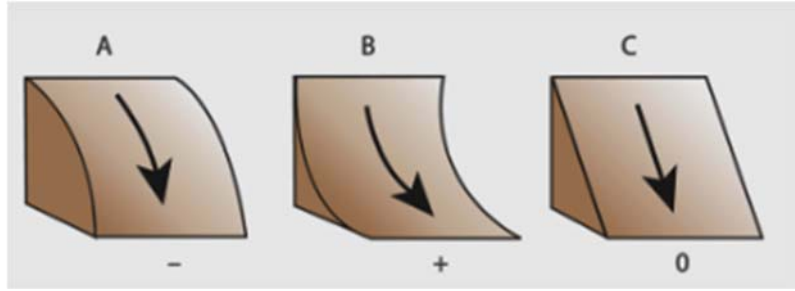


図-3.3 断面曲率の定義

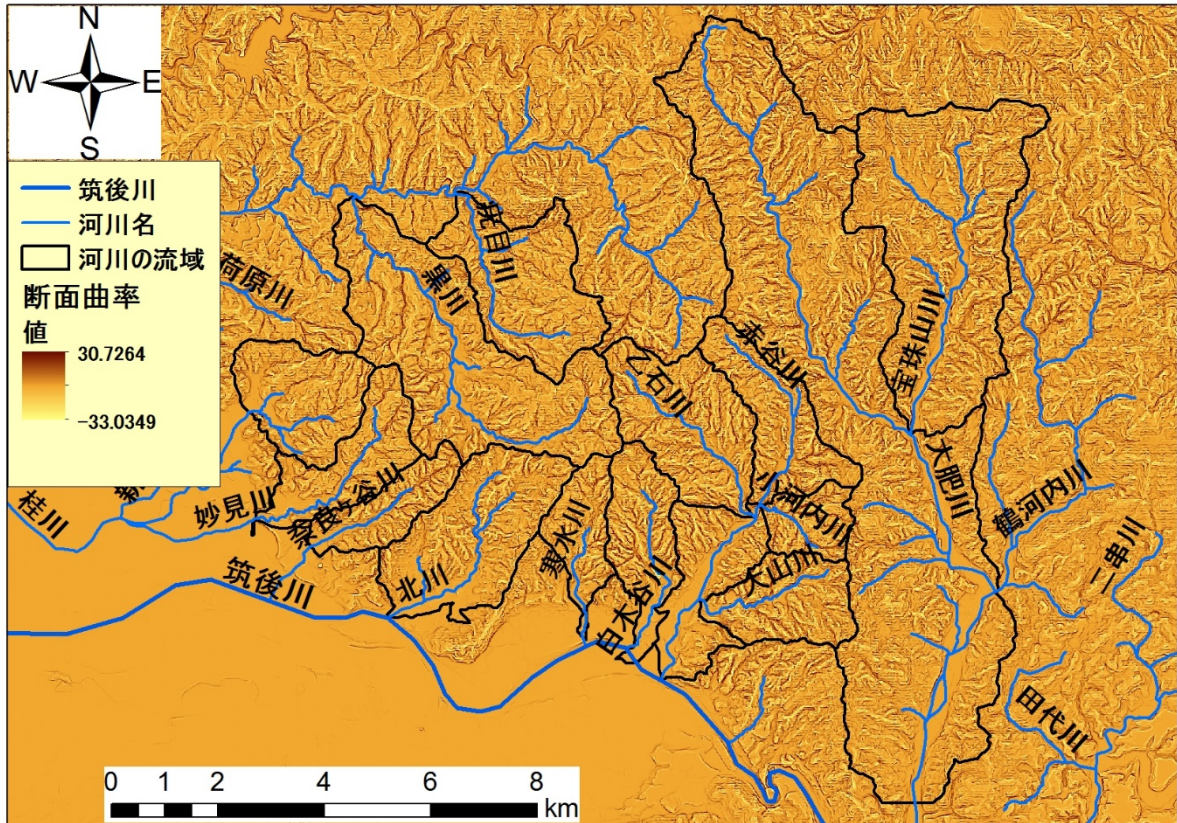


図-3.4 対象流域における断面曲率分布

### 3.3.3 累積流量

累積流量は地表の水の流れやすい箇所を特定し地形の山や谷を判別できる。作成手法は得られた標高データから ArcGIS の計算ツールを用いて流向データを作成する。次に流向データを ArcGIS の計算ツールを用いて累積流量データを作成することである。図-3.5 に研究対象の河川と流域における累積流量を示す。図中で、累積流量が大きいところは黒、小さいところほど白で表現されている。

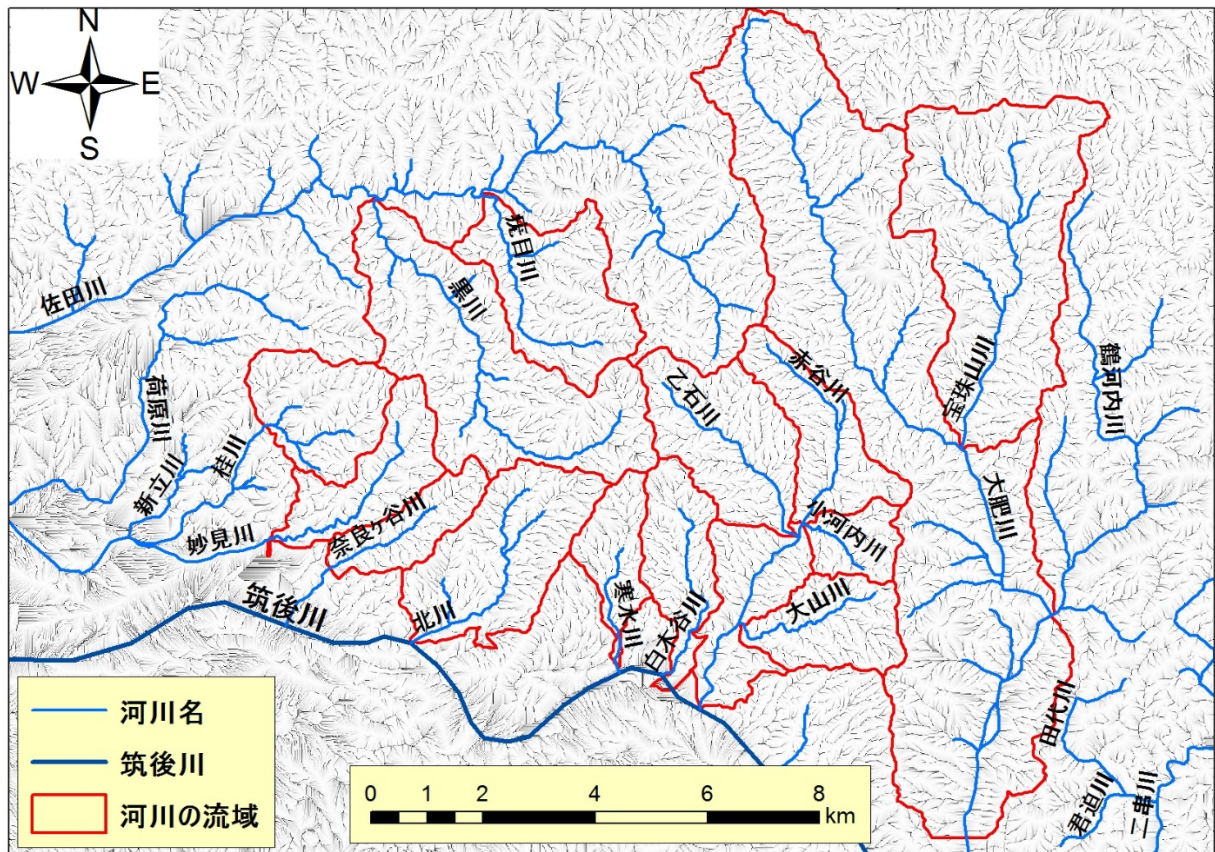


図-3.5 対象流域における累積流量分布

### 3.3.4 地質

筑後川右岸域では右岸域の西側（桂川，黒川，疣目川，妙見川，奈良ヶ谷川など）では主に変成岩で構成された地質をもつ．東側（大肥川や今回対象ではない花月川など）は火山岩類で構成されている．その間の地域（赤谷川，白木谷川，寒水川，北川）は深成岩類で構成されている．図-3.6に研究対象の地質図を示す．これは国土交通省国土政策局国土情報課で提供されている表層地質図のGISデータから作成している．

筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会によると，斜面崩壊の状況を地質別に見た場合に，深成岩（花崗閃緑岩）や変成岩を主体とした地域で崩壊が多く発生していることが報告されている．これを踏まえて本研究では，地質情報として研究対象の地質情報で大部分を占める変成岩類・深成岩類・火山岩類について表層地質図のGISデータをもとにロジスティック関数に当てはめることができるようデータ形式を変更し使用した．

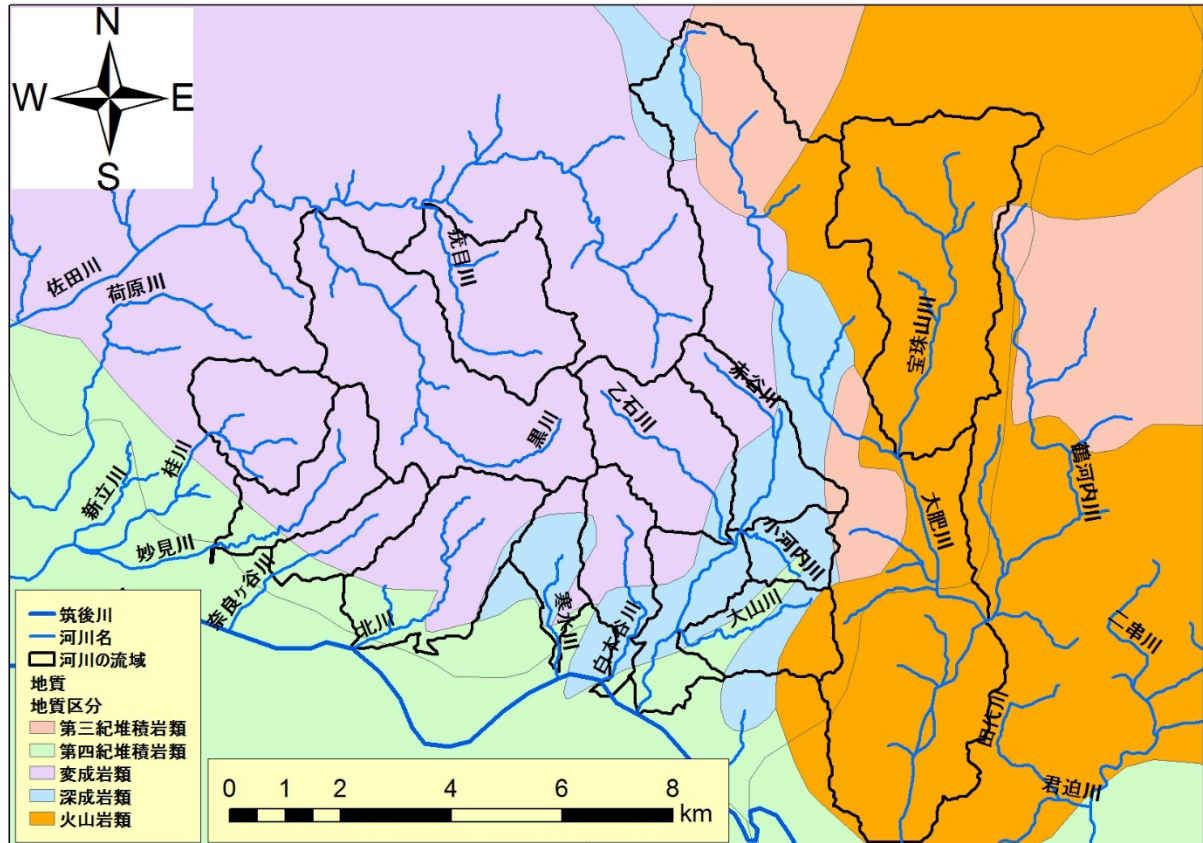


図-3.6 対象流域における地質分布

### 3.3.5 土壌被覆

地質に加えて表層の土地被覆の情報も本研究で取り入れる。表層が裸地や草地、荒廃した土地の場合に斜面崩壊が起こりやすい。また管理が放棄されている森林は表面植生が衰退して土壌が流亡しやすい。流木発生量の算出においては森林の有無を考慮する必要があるため、本研究では宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター (EORC)が提供する ALOS/AVNIR-2 高解像度土地利用土地被覆図 (バージョン 18.03) を用いることとした。

図-3.7 に研究対象の土地利用を示す。本研究では、提供データが 10m 解像度になっていたため、30m 解像度に処理した。その後得られたデータをロジスティック関数に当てはめることができるよう土地利用別にデータを分けて、形式を変更した上で使用している。

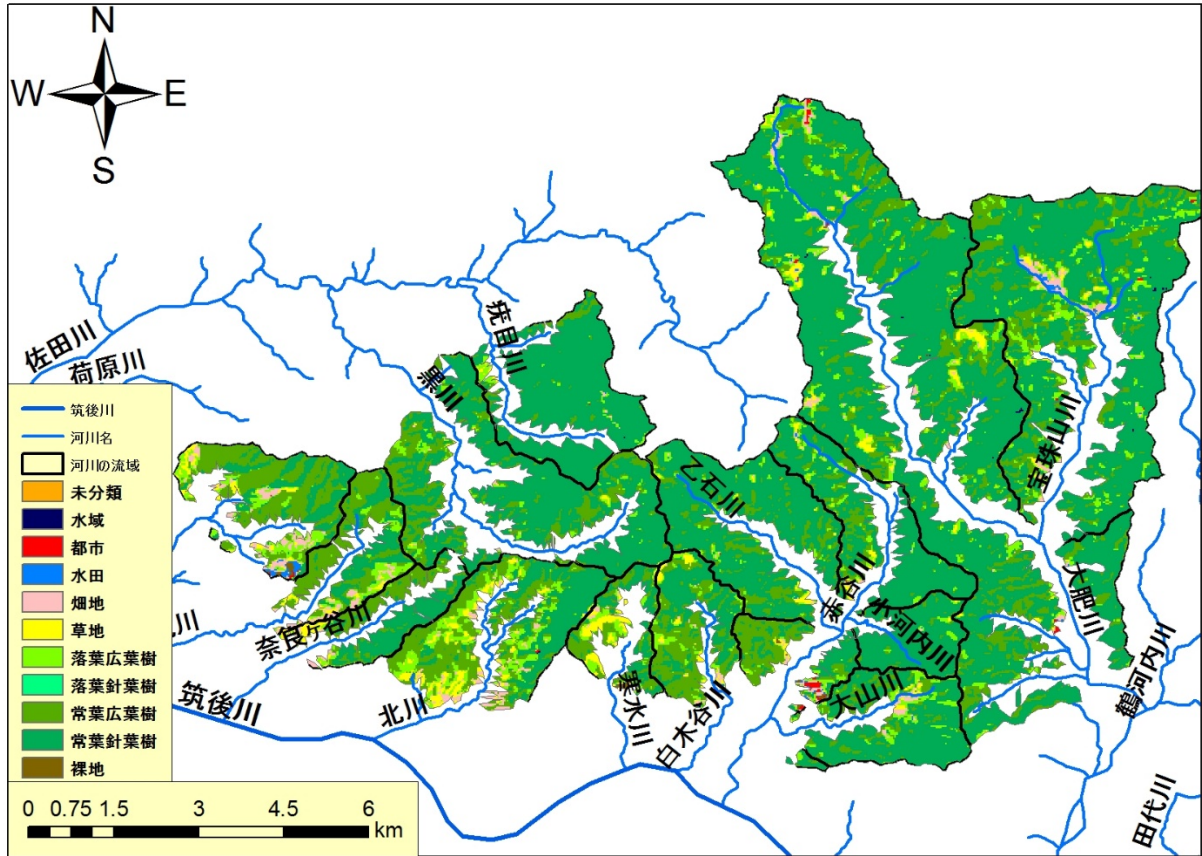


図-3.7 対象流域における土地利用分布

### 3.3.6 雨量

雨量データは国土交通省が公表している250mメッシュのC-X合成雨量データを用いた。雨量データは2017/07/05/00:00~23:59までの24時間分で、1分刻みのデータが存在する。このデータから1時間、3時間、6時間、12時間、24時間の5種類で時間最大雨量を算出した。一例として、図-3.8に24時間最大雨量の分布図を示す。

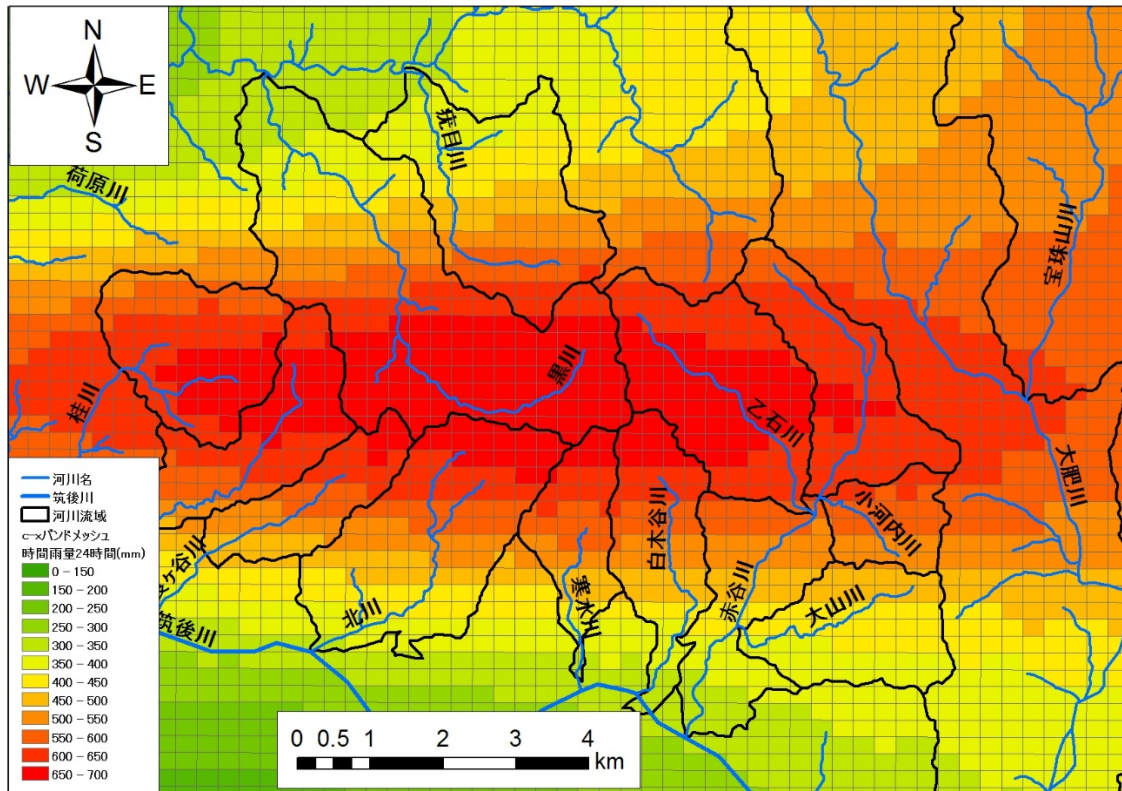


図-3.8 対象流域における24時間最大雨量分布

### 3.3.7 斜面崩壊地

本研究では、ロジスティック回帰分析を適用して斜面崩壊発生確率を地点毎に算定することで、斜面崩壊を評価するとともに流木発生量を算出することを試みる。本研究による流木発生量の算定の適用性を検討するために石川の経験式を参考に算出した流木発生量を求める上で、今次水害における斜面崩壊場所や面積が重要な情報となる。実際に国土交通省では筑後川右岸流域のいくつかの河川に対して国土交通省が航空機やヘリから撮影した斜め写真を用いて流木発生源の面積計測を行い、これに福岡県人工林収穫予測システムを用いて、樹齢45年を仮定した場合に推定される単位面積当たり材積量として  $54,900\text{m}^3/\text{km}^2$  を乗じて速報値としての流木発生量を算出している。

国土交通省のデータを使用して流木発生源を算出するにあたり問題が見受けられた。国土交通省のデータは斜めからの撮影によって得られた写真から作られたものであるために死角などで流木発生源を認識できなかった領域があると考えられる。実際に国土交通省管轄の国土地理院の今次水害における斜め写真（平成29年7月13日撮影）を見ると写真撮影の方向が公開されている。これと国土交通省のデータ、加えて国土地理院で公開されている空中写真及びヘリコプターによる撮影を利用して作成した被害状況判読図を ArcGIS 上で重ねた場合に斜め写真データで国土地理院の被害状況判読図との重複がほとんど見られない地域が発生していることが分かった。

例えば、佐田川支流の黒川・隈目川流域では斜め写真の撮影方向が向いていないことが分かった。そのため、当該領域では斜め写真を流木発生源の判断材料として用いていない



可能性がある。当該領域では国土交通省による崩壊箇所と国土地理院による崩壊箇所の数や重なり相違が大きく、国土交通省だけのデータを以って流木発生量の算定を行うのは好ましくないと考えられた。

また、桂川流域に対して西側・東側より双方向で斜め写真を撮影しているが、国土交通省の崩壊箇所データは国土地理院に比べてかなり少なかった。また、東側からの撮影は桂川流域と妙見川の間にある標高の高い部分に向けて行っており、標高の高い部分があることで斜め写真の中に死角が生み出されている可能性があると考えられる。

赤谷川流域に対して斜め写真の撮影方向が向いている部分と向いていない部分があった。特に赤谷川支流の乙石川では撮影方向が向けられていないと同時に、国土交通省と国土地理院の崩壊箇所の数に大きな相違がみられた。

一方で、国土地理院の崩壊箇所データについても問題があった。もともとなる国土地理院の被害状況判読図はあくまで空中写真及びヘリコプターからの撮影でできた画像を基に正射画像にしたものを読み取って作成したものであって現地踏査による結果は反映されていない。また、崩壊地と堆積地をまとめて崩壊箇所として表示していることもあり、国土地理院による崩壊箇所データは過大評価したものであると考えられる。

また、国土交通省と国土地理院の崩壊箇所データの相違について、重なる部分の割合や面積の計算を行った。その結果、共通部分が 158ha となっており、国土交通省と国土地理院の崩壊箇所の重なりが 24%しかないことも明らかになった。

国土交通省の崩壊箇所データにおける問題点及び国土地理院の崩壊箇所データにおける問題点の双方を確認し、本研究では流木発生源となる崩壊箇所の選定を次のように行った。

国土交通省の崩壊箇所データについては作成の流れが公表されており、崩壊箇所の選定を被災前後の比較から行うことや崩壊地と堆積地を分離していることから国土交通省の崩壊箇所データはそのまま使用する。国土地理院の崩壊箇所データは Google Earth を用いて当該領域と国土交通省及び国土地理院の崩壊箇所データを重ねてみると国土地理院のデータが崩壊地と堆積地の分離を行っていないことや森林以外の裸地などの崩壊も含んでいることから過大評価したものとと言える。そのため国土地理院のデータはそのまま使用しない。

国土地理院の崩壊箇所データは崩壊箇所をすべて網羅できていない国土交通省の崩壊箇所データを埋め合わせするために使用する。ただし国土地理院の崩壊箇所データは崩壊地と堆積地が分離できていないため、国土交通省九州地方整備局より入手した今次水害における崩壊地と堆積地の分類図を参照して国土地理院の崩壊箇所データで使用する部分を選定する。

選定方法は国土地理院の崩壊箇所データと今次水害の崩壊地のデータが重複する部分を ArcGIS で表示し、重複箇所ではない部分をすべて取り除いた。得られたデータは山林・河畔林・溪畔林の区別がついていないものであったため、流木発生量の 63% が山林から発生したことを根拠としてこのデータを山林の崩壊データとして扱うことにした。そのため、このデータに対して国土交通省の崩壊箇所データのうち、山林に関する崩壊箇所データを重複させて、重複した部分についてすべて取り除いた。その後、国土交通省の山林・河畔林・溪畔林・その他林を作成した崩壊箇所データと連結させる。これにより完成した崩壊箇所データを本研究では流木発生源として用いることとした。図-3.9 に本研究で用いる流

木発生源分布を示す.

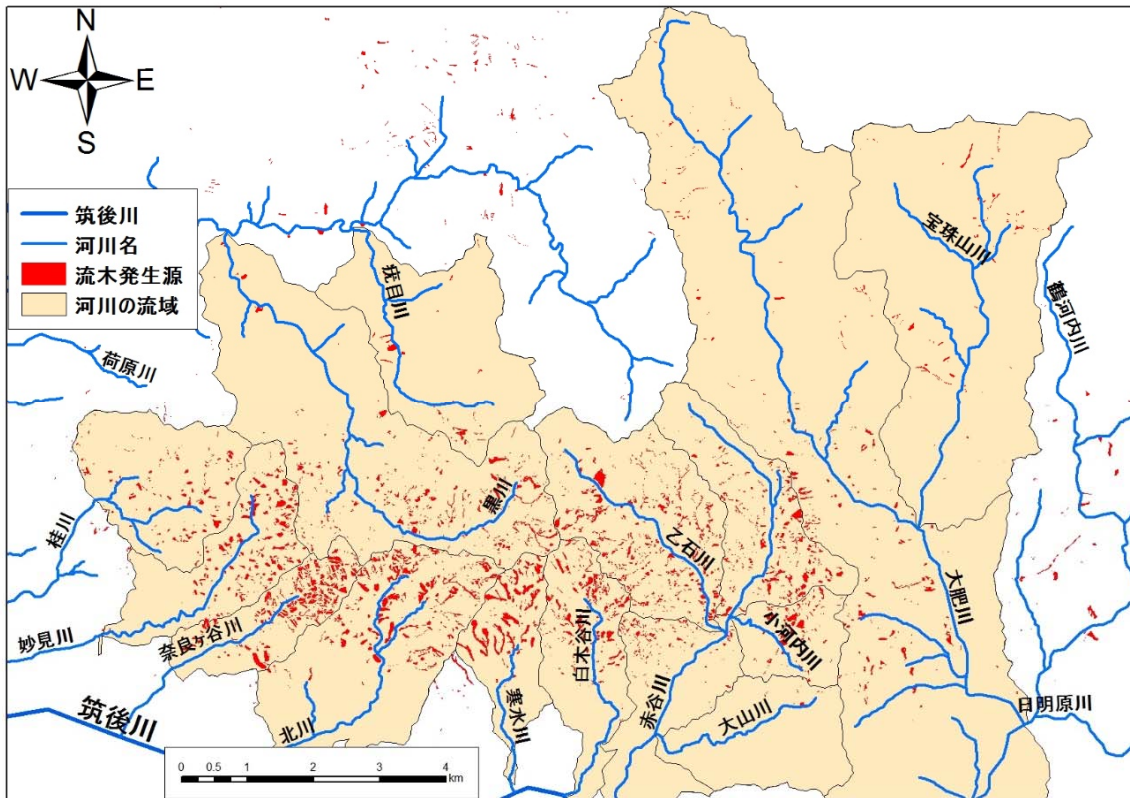


図-3.3 対象流域における流木発生源分布

## 4. 結果と考察

斜面崩壊要因の分析をロジスティック回帰分析により行った。最初は研究対象の 30m メッシュおよび要因別データを用意した。要因別データを作成するにあたり素因として、傾斜角・地質・断面曲率・累積流量を用いた。誘因として C-X 合成雨量データより最大 1 時間雨量、最大 3 時間雨量、最大 6 時間雨量、最大 12 時間雨量、最大 24 時間雨量を用いた。また、研究対象の 30m メッシュを作成する際は崩壊箇所データを用いた。崩壊箇所データは崩壊メッシュ数が 3,659 個、非崩壊メッシュ数が 209,257 個であった。30m メッシュのデータを作成する際は崩壊メッシュ数 3,659 個と同数の非崩壊メッシュ数をランダムサンプリングで抽出し、ランダムサンプリングによる変動を収束させるために 20 回の計算を実施し、抽出された崩壊メッシュに対する要因別データを組み合わせてロジスティック回帰分析に用いるデータを完成させた。完成データには 01, 02, …と番号で区別をつけて区別した。

溪流毎の斜面崩壊確率及び予測の崩壊地面積率をすべてのケースについて求め、この中から実績の崩壊地面積率を最も再現しているケースを判定する。判定項目は次に示す 3 つある。1 つ目は、溪流毎の斜面崩壊発生確率と実績崩壊地面積率の散布図において求められる決定係数の大小で判断する。決定係数が大きいほど、そのケースは再現性が高いと言える。2 つ目は溪流毎の斜面崩壊発生確率と実績崩壊地面積率の散布図で得られた近似曲線をもとに判定する。得られた近似曲線から見て±20%の範囲に含まれるデータの個数をカウントしケースごとの個数の合計を求める。個数の合計が高いほど近似曲線に対して散布図のデータのまとまりがよく実績崩壊地面積率を再現できていると言える。3 つ目は図示に用いた予測の崩壊地面積率と実績崩壊地面積率の数値を利用して判定する。各ケースに対してすべての溪流データから予測の崩壊地面積率と実績崩壊地面積率の相関係数を求める。相関係数が 1 に近い値を取るほど予測の崩壊地面積率と実績崩壊地面積率は正の相関が強いと言える。3 つの判定項目をもとに全ケース中の順位を算出し、すべての順位を足し合わせた結果、最も小さな順位になったものが今次水害を再現しているケースとする。

前述の 3 つの判定項目をもとに順位を算出し、順位の総和が最も小さいケースを最も再現性の高いデータとして判定したところ、case24 と判定された。case24 における溪流単位の予測崩壊地面積率を溪流面積に乗じて、溪流内の崩壊面積を求めた。これから流木発生量の算出を行った。同時に実績の流木発生量の算出を国のデータから行い、両者の結果を比較した。図-4.1 と 4.2 に崩壊面積率の分布を実績値と本モデルによる評価値から求めたものを示す。両者の一致度が高いことが確認できる。さらに、河川毎に流木発生量を求めた。図-4.3 にその分布を示す。また、実績値との比較を図-4.4 に示した。対象河川の大半が±20%範囲で説明できる傾向にあり、モデルの有効性が確認できた。

今回、九州北部豪雨被災地のデータを有効活用し、素因・誘因から斜面崩壊の傾向を表現できるモデルの開発をロジスティックモデルで構築できた。これより発生流木量も的確に表現できることが分かった。このようなモデルにより降雨規模に応じた流木発生量の評価が可能になったことから、気候変動の影響により降雨パターンが変化した場合の流木発生量への影響評価も可能になる。

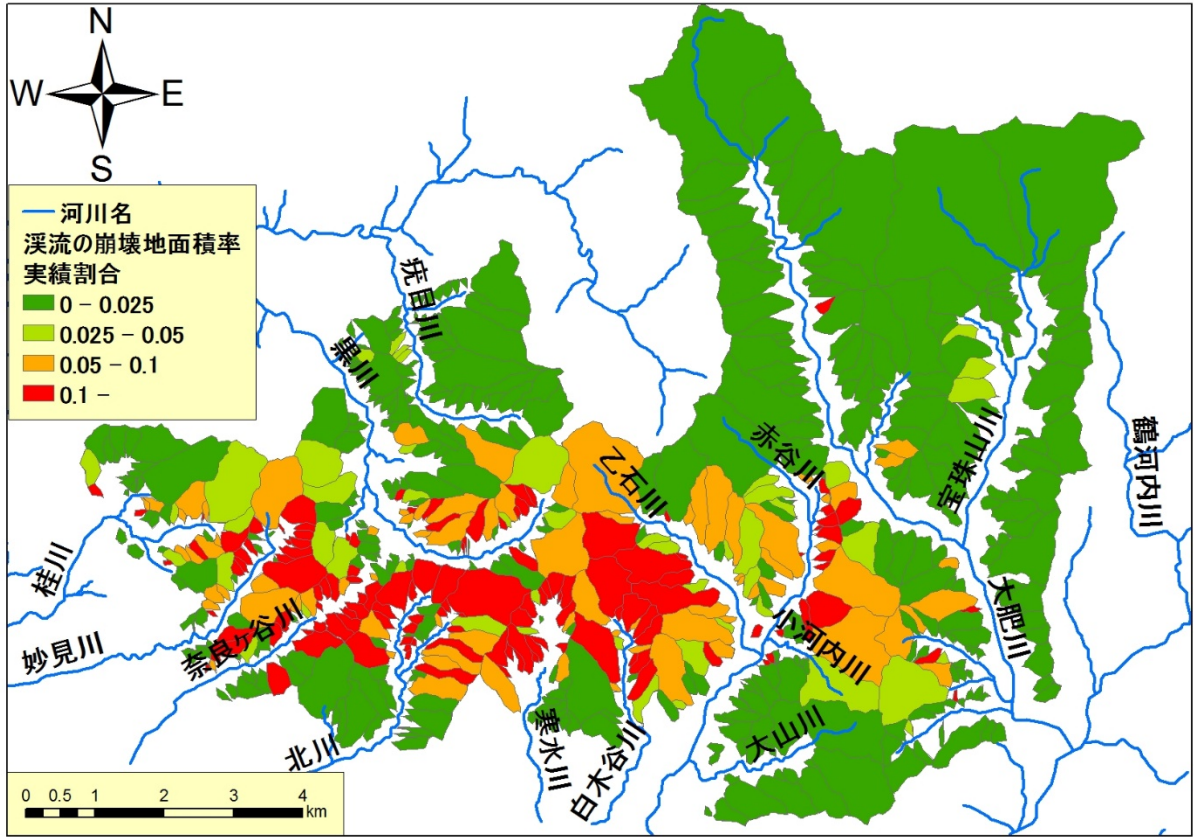


図-4.1 渓流毎の斜面崩壊面積割合の実績

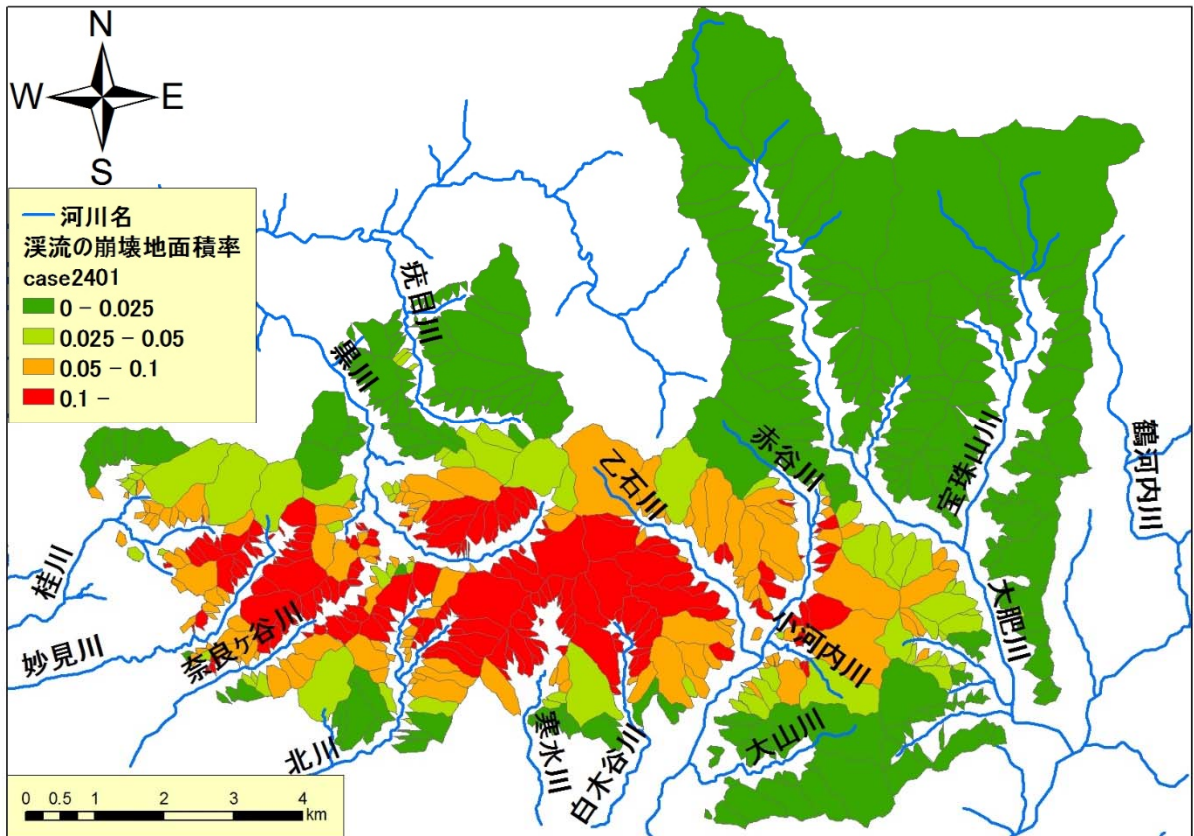


図-4.2 渓流毎の斜面崩壊面積割合の評価結果

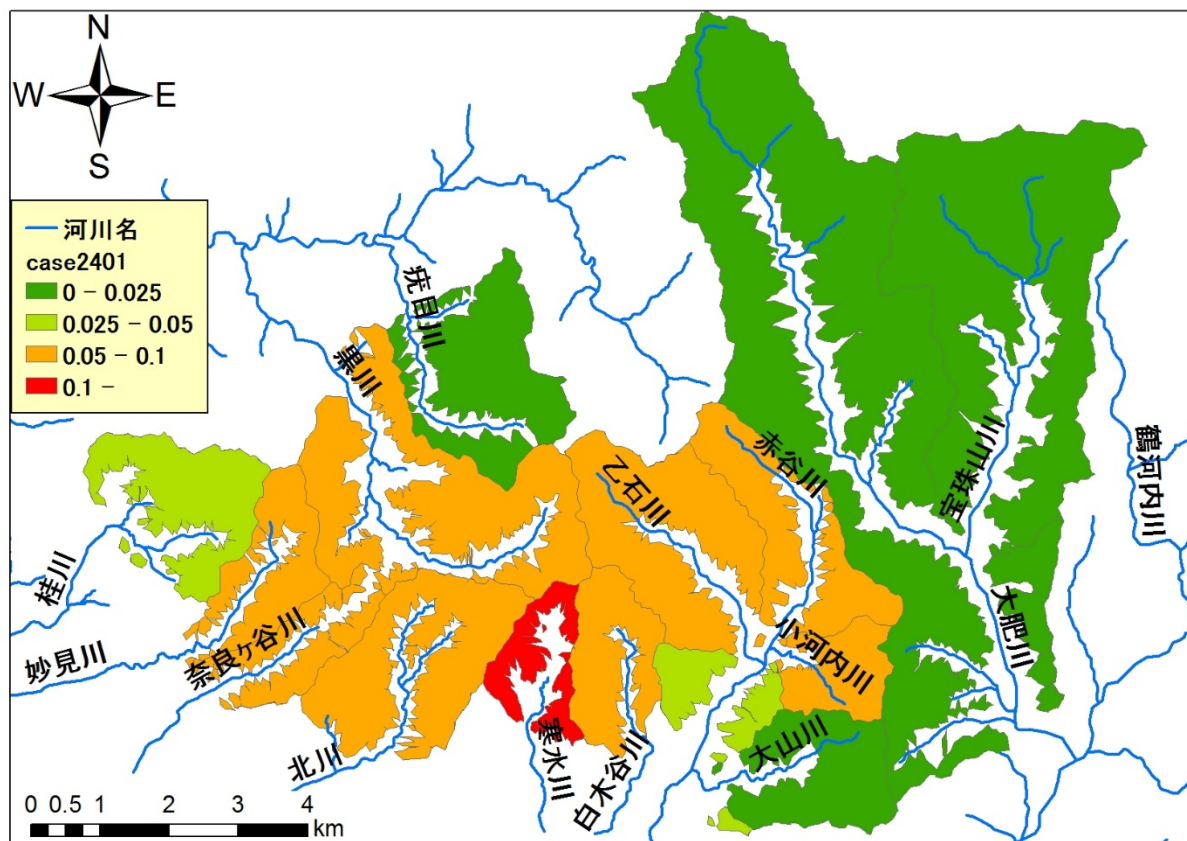


図-4.3 河川毎の流木発生量の評価結果

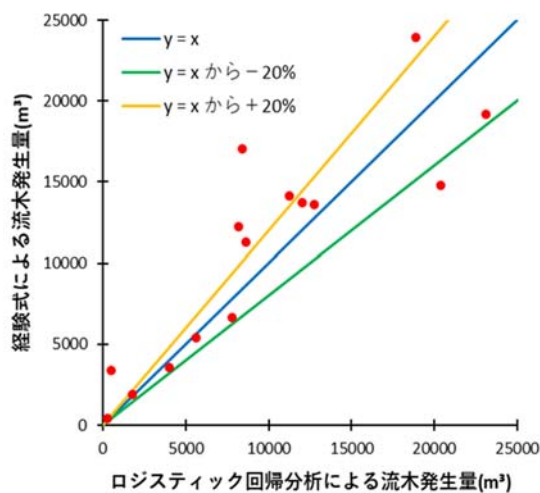


図-4.4 流木発生量の比較

また、河川計画における計画規模に応じて計画流木発生量に対応させることが可能になったと言える。このことから、河川計画上のL1・L2規模に応じて流木発生量も議論することが可能になり、流木の影響を加味した河川計画の策定が可能になったと言える。今後は、本モデルが他流域（平成30年西日本豪雨被災地を想定）で適用可能かを検証し、より汎用性のある評価モデルへと改良することが求められる。また、L1・L2流木災害を評価するための基準とそれに伴った災害リスク評価、ならびにそれらへの対応策の検討を行うことが求められる。

## 5. 結論

本研究では、斜面崩壊の発生に寄与すると考えられる要因をできるだけ多く用意し、多くの組み合わせにより実際の斜面崩壊状況を再現するためにロジスティック回帰分析を行った。これにより実際の斜面崩壊に近い再現ケースの判明や、今次水害による斜面崩壊に影響を与えた主な要因が何であるのかを明らかにすることができた。さらに、再現性の高いケースをもとに流木発生量の算出と実績の流木発生量との比較により本研究で作成したモデルの有効性を確認することができた。

一方で、斜面崩壊発生確率を斜面崩壊地面積率へ変換させる単回帰式を求める上でのデータの集計方法の問題や、最も高い再現性を研究対象全体から選ぶのか河川毎に細かく選んでいくのか、ケース選定で用いた決定係数や相関係数の差が小さい、流木発生量の算出と手法別の差異から生じた問題などモデル化にあたり、多くの問題が見出された。本モデルは GIS とフリーの統計ソフト、国土地理院や JAXA などの公的機関から無料で公開された土地情報などを盛り込むことで斜面崩壊発生確率や予測崩壊地面積率、流木発生量などの災害情報を算出でき、自治体などでの活用が期待できるものと考えられる。また、統計的に斜面崩壊や流木発生を解析することでこれまで以上に正確な流木発生量の予測につながると考えられる。またさらに、将来の地球温暖化を踏まえた降水に対応しての予測もできると考えられる。将来性のあるこのモデルに対して、本研究で挙げられる多くの問題点を解決していくことが必要である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって、(財)河川財団による平成30年度河川整備基金による援助を頂いた。また、九州大学工学部地球環境工学科4年正垣貴大君、同大学院工学府海洋システム工学専攻修士課程2年竹村大君、同1年大久保僚太君には現地観測のサポート、データ整理に尽力頂いた。また、対象河川を管理する国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所、ならびに福岡県県土整備部と流域内の森林を管理する福岡県には種々のデータ提供に対して協力頂いた。ここに記し、深甚なる感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)国土交通省(2017):平成29年7月九州北部豪雨は過去最大級の流木災害. <http://www.mlit.go.jp/common/001198670.pdf> (2018年5月時点) .
- 2)国土交通省・福岡県(2018):筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会報告書.
- 3)Truett, J. Cornfield, J and Kannel, W. (1967): A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham, *Journal of Chronic Disease*, 20, 511- 524.
- 4)矢野真一郎, 土橋将太, 堂菌俊多, 笠間清伸, 北隆範(2016): 流木発生ポテンシャルの概念に基づく花月川の橋梁における流木災害リスク評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72(4), I\_289-I\_294.
- 5)矢野真一郎, 大久保僚太, 津末明義, 竹村大, 富田浩平, 笠間清伸, 二瓶泰雄(2018): 平成29年7月九州北部豪雨による流木災害の発生要因に関する分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74(5), I\_1063-I\_1068.

## 助成事業者紹介

矢野 真一郎

現職：九州大学大学院工学研究院 教授（博士（工学））

