

論文

平成29年7月九州北部豪雨における土砂移動と降雨の関係^{*1}江藤稚佳子^{*2}・水野秀明^{*3}・久保田哲也^{*3}

江藤稚佳子・水野秀明・久保田哲也：平成29年7月九州北部豪雨における土砂移動と降雨の関係 九州森林研究 72：47－50，2019
 平成29年7月九州北部豪雨で土砂流出が激しかった妙見川と奈良ヶ谷川を対象に、土砂移動が生じた流域や谷の分布、土砂移動と降雨の関係を明らかにした。その結果、妙見川が13個、奈良ヶ谷川が15個の小流域に分割され、1次谷以上の谷の総数が110本となった。このうち、19個の小流域で土砂の流出が確認され、63.4%の谷において、土砂は1次谷もしくはそれよりも上流から動き始めたことが明らかとなった。小流域内に存在する谷の総数が多い場合、小流域に降水として供給された水量が大きくなるほど、その小流域内で土砂移動の生じる谷の割合が増えることが明らかとなった。一方、小流域内に存在する谷の総数が少ない場合、降水として小流域に供給された水量がほぼ同じであったにもかかわらず、土砂移動の発生の有無に差があることが明らかになった。

キーワード：平成29年7月九州北部豪雨，土石流，谷次数，降雨強度

I. はじめに

平成29年7月九州北部豪雨は福岡県朝倉市、東峰村、大分県日田市をはじめとする周辺地域に大量の降水をもたらし、崩壊や土石流に伴って大量の土砂と流木を流出させ、甚大な被害を生じさせた(丸谷ほか，2017)。特に、被害の集中した福岡県に着目すると、平成29年12月25日時点で死者が37名、行方不明者は2名で、全壊家屋が270軒、半壊家屋が834軒もの被害が生じた。道路もいたるところで被災した。例えば、奈良ヶ谷川流域では、写真-1に示すように、道路の下に埋設されたカルバートが流砂によって閉塞し、道路の路面や舗装が損傷するという被害が生じた。

この降水イベントは非常に稀な現象で、土石流等による土砂災害の対策で想定した生起確率よりも低いものであった。AMeDAS朝倉の観測データによると、この降水イベントは同月4日6時頃から同月10日0時頃まで継続した。時間雨量の最大値は同月6日15時から16時の間で106.0mm、24時間雨量の最大値は同月5日10時から6日10時の間で543.5mm、累加雨量は同月4日6時から10日0時の間で654.6mmであった。AMeDAS朝倉における1976年から2016年までの観測結果をGumbel法で分析したところ、時間雨量は100年超過確率規模で81.0mm、400年超過確率規模で93.7mmであった。また、24時間雨量は100年超過確率規模で308.1mm、400年超過確率規模で361.0mmであった。このように、時間雨量と24時間雨量はともに400年超過確率規模を上回る値であった。さらに、国土交通省提供のXRAINデータを分析したところ、平成29年7月5日10時頃から21時頃にかけて小岳山(496.4m)、米山(標高690.9m)、広蔵山(標高703.0m)、堂所山(標高414.5m)、麻底良山(標高294.8m)等の周辺で80mm/hを超える降雨強度の降雨が断続的に生じた。

このような稀な降雨イベントに着目して、土石流が発生した流



写真-1. 奈良ヶ谷川流域の道路の被災状況(江藤ほか，2018)

域や谷の特徴を分析することは、土砂災害の対策をより効果的に講じる上で非常に重要である。既往研究を見ても、土石流が発生した谷の特徴を系統的に調べた事例は、例えば林ほか(2007)があるだけで、余り見当たらない。さらに、平成29年7月九州北部豪雨のように100年超過確率規模を大きく上回るような事例について、土石流の流下状況を整理した事例もほとんど見当たらない。そこで、本研究では、土石流等による流出土砂量を算出する上で基礎的な資料を整理することを目標に、妙見川と奈良ヶ谷川に着目して、土砂移動の生じた流域や谷の分布、土砂移動と降雨の関係を明らかにすることを目的とする。

II. 調査地と方法

1. 調査地

図-1は本研究の調査地で、平成29年7月九州北部豪雨により土砂および流木の流出が激しく、甚大な被害を引き起こした妙見川流域と奈良ヶ谷川流域である。両流域の地質は主に苦鉄質片岩および泥質片岩からなる(丸谷ほか，2017)。また、植生は主

^{*1} Eto, C., Mizuno, H. and Kubota, T.: Relationship between sediment movements and rainfall in July 2017 Heavy Rain in Northern Kyushu.

^{*2} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

^{*3} 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

にスギおよびヒノキの植林で、一部がアカマツ（環境省自然環境局生物多様性センターウェブサイト）および広葉樹林（林野庁, 2017）である。丸谷ほか（2017）の報告によれば、妙見川では砂防堰堤が4基、治山堰堤が少なくとも1基、それぞれ設置されていた。それらの施設が土砂と流木を捕捉し、下流への流出を防いだ。一方、奈良ヶ谷川では砂防堰堤が1基設置されていたものの、土砂と流木が下流へ流出した。砂防堰堤と治山堰堤による土砂や流木の捕捉効果は丸谷ほか（2017）に詳しく報告されているので、そちらを参考にさせていただきたい。

2. 方法

本研究では、まず、妙見川流域と奈良ヶ谷川流域を地形に着目して小流域に分割する。次いで、小流域内での谷次数を区分し、一連の谷を抽出する。さらに、オルソ画像から土砂流出の生じた箇所を読み取る。その後、それぞれの小流域内の谷の位置と土砂移動の生じた谷を比較して、土砂移動の生じた流域や谷の分布、土砂移動と降雨の関係性を明らかにする。

小流域の分割方法は次のとおりである。まず、国土地理院の基盤地図情報に格納された等高線のベクトルデータより、谷地形を呈する谷を抽出する。谷地形の判断基準は国土交通省国土技術政策総合研究所（2016）を参考とした。標高の高い位置から低い位置に向かって、谷地形の判断基準を満たしている箇所を曲線で繋ぐ。その曲線が妙見川もしくは奈良ヶ谷川の本川に流入する地点を谷の下流端とする。その後、その小流域の下流端から上流で、谷を包含するように流域界を描き、小流域の流域界とする。谷はホートンの分類方法（Hewlett, 1969）に従って谷次数を計測する。なお、1次谷を含まない箇所は小流域として分割しない。

土砂移動の生じた範囲は、災害直後の平成29年7月13日に撮影された航空写真から作成されたオルソ画像より判読する。

小流域における谷の数の数え方とそれぞれの谷における土砂の流入した位置は図-2に示すとおりである。図中の(a)に示すように、小流域内では4つの谷が存在する。それぞれの谷における土砂移動の状況は図中の(b)に示すようになる。この時、土砂の流入した位置は、1の谷の場合で1次谷、2の谷の場合で1次谷、3の谷の場合で2次谷、4の谷の場合で2次谷と分類する。

各小流域における降雨強度は国土交通省のXRAINの観測データを用いて推測する。観測データは250mメッシュで平成29年7月4日00:00から同月10日00:00までの期間に観測されたもので、10分おきの計測値とする。なお、利用したXRAINデー

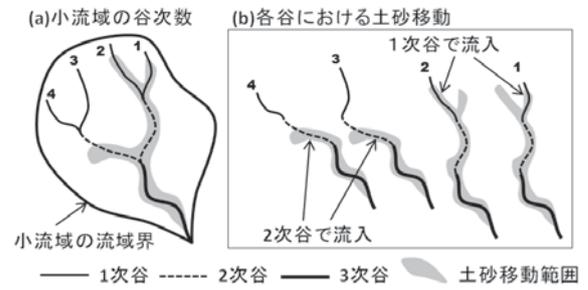


図-2. 谷の数の算出方法と土砂の流入位置

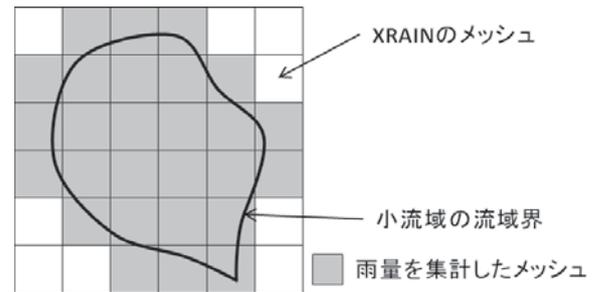


図-3. XRAINデータの集計イメージ

タは、国土交通省より提供されたものである。小流域における降雨強度の計算方法は次のとおりである。まず、各時刻において、図-3に示すように、小流域の流域界と一部でも重なるXRAINのメッシュを抽出する。次いで、抽出したXRAINのメッシュの全てに対して、その面積と降雨強度の値を掛け合わせる。そのかけ合わせた値の総和を計算し、その値を抽出したXRAINのメッシュの面積の総和で割り、降雨強度の平均値を算出する。その平均値を小流域における降雨強度（以降、「流域平均降雨強度」と呼ぶ）とする。

Ⅲ. 結果

1. 小流域と谷の数および土砂移動の範囲

図-4は小流域に分割した結果とオルソ画像より判読した土砂移動の範囲を示したものである。それぞれの小流域に番号を付与した。図中の数字は小流域番号を示す。妙見川流域は13個、奈良ヶ谷川流域は15個の小流域に分割できた。このうち、土砂の移動の痕跡が見られた小流域は19個であった。

表-1は各小流域の流域面積と谷次数ごとの土砂移動が発生した谷の数を示したものである。小流域の面積は最小で9,460m²、最大で1,242,712m²となった。また、谷の総数は両流域で110本となった。最も多く谷を有する小流域は、小流域番号14で36本であった。谷が1本しか存在しない小流域は、小流域番号6, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 21, 23, 25, 28の11個であった。土砂移動が認められた谷は89本で、土砂が1次谷に流入した谷は73本、土砂が2次谷に流入した谷は13本、土砂が3次谷に流入した谷は3本であった。小流域内に存在する谷の数は、小流域の面積が大きくなるほど、多くなる傾向となった。このことから、63.4%の谷において、土砂は1次谷、もしくはそれよりも上流から動き始めたことが明らかとなった。14.5%の谷では、土砂



図-1. 調査地の位置

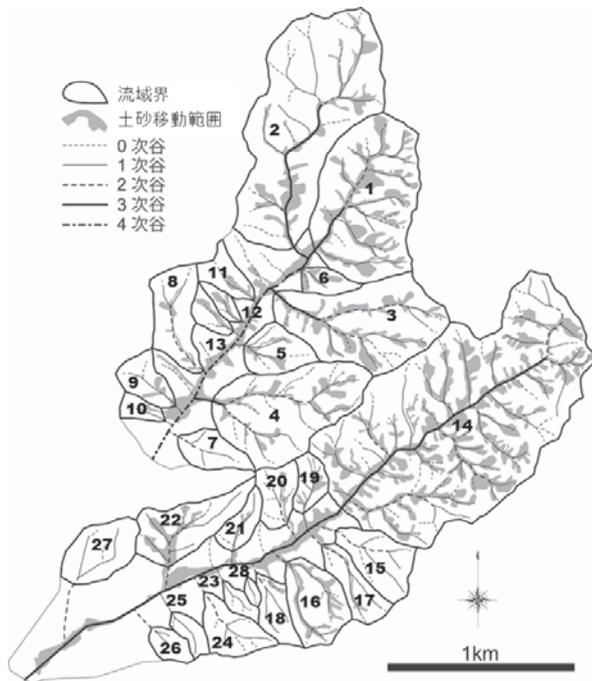


図-4. 妙見川と奈良ヶ谷川の小流域の分割と谷次数区分

表-1. 小流域の流域面積と谷数

流域	小流域番号	流域面積 (m ²)	谷の総数	土砂が流入した谷の数			
				1次谷	2次谷	3次谷	なし
妙見川	1	420,426	11	10	1	0	0
	2	630,351	9	6	0	3	0
	3	333,028	5	4	1	0	0
	4	320,595	6	5	1	0	0
	5	77,480	3	2	0	0	1
	6	34,940	1	1	0	0	0
	7	61,251	3	0	0	0	3
	8	115,495	2	1	1	0	0
	9	56,970	1	1	0	0	0
	10	24,827	1	1	0	0	0
	11	48,315	1	1	0	0	0
	12	20,976	1	1	0	0	0
	13	30,661	1	1	0	0	0
奈良ヶ谷川	14	1,242,712	36	30	5	0	1
	15	104,785	4	0	0	0	4
	16	122,321	2	2	0	0	0
	17	71,391	2	1	1	0	0
	18	56,216	2	0	0	0	2
	19	43,686	1	1	0	0	0
	20	61,907	2	1	1	0	0
	21	43,476	1	1	0	0	0
	22	141,652	5	3	2	0	0
	23	22,149	1	0	0	0	1
	24	80,236	3	0	0	0	3
	25	28,735	1	0	0	0	1
	26	32,049	2	0	0	0	2
	27	105,541	2	0	0	0	2
	28	9,460	1	0	0	0	1
合計		4,341,634	110	73	13	3	21

が2次谷もしくは3次谷から動き始めており、土砂が溪岸の山腹斜面もしくは他の谷から流れ込んだことが明らかとなった。残りの谷では土砂が移動しなかったことが明らかとなった。

2. 土砂移動と降雨の関係

図-5は小流域内に存在する谷のうち、土砂移動が生じた谷の

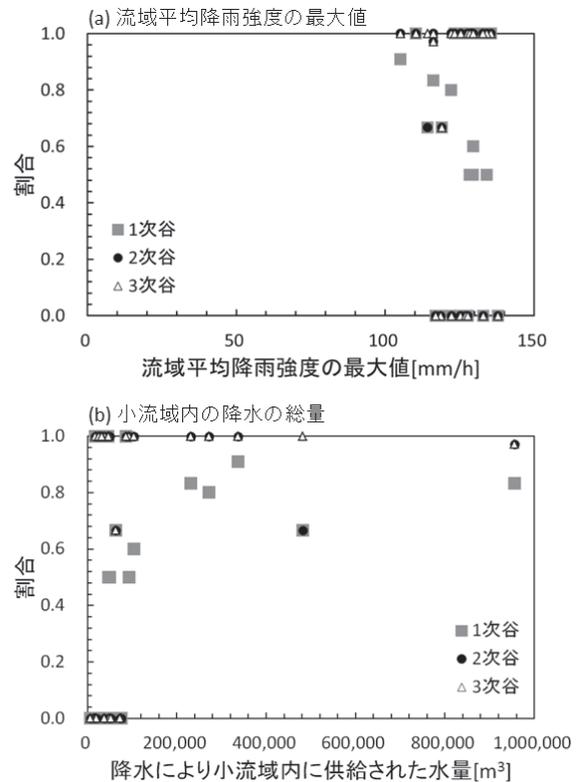


図-5. 小流域内に存在する谷のうち土砂移動の生じた谷の割合

割合（以後、単に「割合」と略す）と降雨特性の関係を示したものである。降雨特性として流域平均降雨強度の最大値を採用した図が図中の (a)、平成29年7月4日00:00から同月10日00:00までに小流域内に降水として与えられた水の総量を採用したものが図中の (b) である。図中では、土砂移動の生じた谷として、土砂が流入した位置が1次谷の場合の谷（図中の凡例で「1次谷」と表記）、1次谷もしくは2次谷の場合の谷（図中の凡例で「2次谷」と表記）、1次谷もしくは2次谷もしくは3次谷の場合の谷（図中の凡例で「3次谷」と表記）に分類した。これは、他の谷から当該の谷に土砂が流れ込んだ場合を除外するか否かによる違いを見るためである。凡例の「1次谷」は除外した場合を意味し、凡例の「2次谷」もしくは「3次谷」は除外しない場合を意味する。なお、流域平均降雨強度の最大値は105 mm/hから138 mm/hの範囲であった。最も小さい値は小流域番号1で、最も大きい値は小流域番号7で生じた。また、小流域内に降った降水の総量は6,564 m³から955,761 m³であった。最も小さい値は小流域番号28で、最も大きい値は小流域番号14で生じた。

図-5 (a) を見ると、凡例が「1次谷」の場合、割合の値は流域平均降雨強度の最大値が大きくなっても、0~1までで広く分布した。顕著な傾向はみられなかった。凡例が「2次谷」もしくは「3次谷」の場合の約9割において、割合は0もしくは1となった。

図-5 (b) を見ると、凡例が「1次谷」の場合、小流域内に降った降水の総量の値が大きくなると、割合の値は徐々に大きくなった。凡例が「2次谷」もしくは「3次谷」の場合の約9割において、割合は0もしくは1となった。

IV. 考察

割合が0となった小流域、すなわち土砂移動の痕跡の見られなかった小流域は表-1よりの9個存在した(小流域番号7, 15, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28)。それらの小流域内に存在する谷の数は1から4本であった。それらの小流域に降水として供給された水量は6,564 m³から75,470 m³であり、図-5(b)から分かるように、他の小流域と比べて少なかった。

一方、割合が1となった小流域は9個存在した(小流域番号6, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 21)。小流域番号16を除くと、小流域内に存在する谷の総数は1であった。それらの小流域に降水として供給された水量は17,172 m³から85,985 m³であり、図-5(b)から分かるように、他の小流域と比べて少なく、前述の土砂移動の痕跡の見られなかった小流域とほぼ同じ範囲であった。このように降水として供給された水量がほぼ同じであったにもかかわらず、土砂移動の発生の有無に差が見られた。その差が生じた理由はここではまだ解明できていない。土砂の移動形態は土砂の比重、谷の勾配、水深といった要因で変化する。水深は谷の勾配や谷の幅等の地形的な要因と谷に堆積していた土砂の粒形等による流れの摩擦の要因に影響を受ける。このことから、特に谷の勾配や谷の幅といった地形的な要因を考慮してさらに解析を進めれば、その差が明らかになると期待される。

割合が0もしくは1以外的小流域に着目すると、流域平均降雨強度の最大値が大きくなるほど、割合が小さくなった。これは、流域平均降雨強度の最大値が大きかった小流域において、たまたま谷の総数が2本といったように少なかったことが影響していると推察される。なお、この傾向は小流域の分割方法に起因する可能性があるため、他の流域に適用する際には慎重に検討する必要がある。また、小流域に降水として供給された水量が大きくなるほど、割合は大きくなった。また、土砂の流入位置が2次谷、3次谷と下流になるほど、割合が大きくなった。これは、表面流の流量が下流に行くほど大きくなるため、土砂移動が生じやすくなったためと推察される。

V. おわりに

本研究では、福岡県朝倉市を流れる妙見川流域と奈良ヶ谷川流域に着目して、平成29年7月九州北部豪雨による降水量と土砂移動の発生の関係を分析した。その際、両流域を小流域に分割し、谷の本数を整理した。その結果、妙見川流域は13個、奈良ヶ谷川流域は15個の小流域に分割できた。それらの小流域における

谷の総数は110本であった。28個の小流域のうち19個の小流域において、土砂が移動したことが明らかとなった。63.4%の谷において、土砂は1次谷もしくはそれよりも上流から動き始めたことが明らかとなった。また、14.5%の谷では、土砂が2次谷もしくは3次谷から動き始めており、土砂が溪岸の山腹斜面もしくは他の谷から流れ込んだことも明らかとなった。残りの谷では土砂が移動しなかったことが明らかとなった。

小流域内に存在する谷の総数が多い場合、小流域に降水として供給された水量が大きくなるほど、その小流域内で土砂移動の生じる谷の割合が増えることが明らかとなった。

一方、小流域内に存在する谷の総数が少ない場合、降水として小流域に供給された水量がほぼ同じであったにもかかわらず、土砂移動の発生の有無に差があることが明らかになった。これは、土砂の比重に加えて谷の勾配といった地形条件を加味する必要があることを示唆している。今後、それらの要因を考慮してさらに解析を進めていきたいと考えている。

VI. 謝辞

現地調査を行うにあたり、国土交通省、福岡県、砂防学会並びに九州大学農学部森林保全学研究室の皆様は大変お世話になった。また、現地調査並びに解析を行うにあたり、一般社団法人全国治水砂防協会より研究助成をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 江藤稚佳子ほか(2018)平成30年度砂防学会研究発表会概要集: 481-482
- 林真一郎ほか(2007)平成19年度砂防学会研究発表会概要集: 492-493
- Hewlett J. D. (1969) Principles of Forest Hydrology, The University of Georgia Press: 19
- 環境省自然環境局生物多様性センター URL: <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-002.html#webgis/503006> (2018年11月27日利用)
- 国土交通省国土技術政策総合研究所(2016)国総研資料904:8
- 丸谷知己ほか(2017)砂防学会誌70(4):31-42
- 林野庁(2017)「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ:7
- (2018年11月9日受付:2018年12月7日受理)