

# 平成29年7月九州北部豪雨に伴う朝倉市内における文化財被害 および斜面崩壊に起因する地質・地形・降雨量の空間分析

Damage of cultural heritage in Asakura city and spatial analysis of geology, topography, and rainfall factors of slope failure by heavy rainfall in Northern Kyushu district in July 2017

檀上徹<sup>1</sup>・石澤友浩<sup>2</sup>

Toru Danjo and Tomohiro Ishizawa

<sup>1</sup>国立研究開発法人防砂科学技術研究所 特別研究員 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

Assosiated Research Fellow, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

<sup>2</sup>国立研究開発法人防災科学技術研究所 主任研究員 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

Chief Researcher, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Much of the cultural heritage in Asakura city, Fukuoka prefecture, was damaged heavy rainfall in Northern Kyushu district in July 2017. We conducted a field survey and interviews in the damaged areas and analyzed geology, topography, and rainfall factors involved in slope failure. Tangible cultural property and historic sites at five sites were damaged. The rate of slope failure on steep slopes was higher in areas of volcanic rocks than in areas of metamorphic and plutonic rocks. The 80 % of slope failures in Asakura city was occurred when the maximum hourly rainfall was  $\geq 110$  mm and total rainfall was  $\geq 615$  mm.

**Keywords:** heavy rainfall, slope failure, spatial analysis

## 1. はじめに

2017年7月5～6日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響等により、九州北部地方で記録的な大雨となった。特に、7月5日0:00～7日0:00の地上雨量計による総降雨量は福岡県朝倉市で586.0mmを記録した。さらに24時間降雨量は、545.5mmを記録し、気象庁が1976年に観測してから最も多い降水量を記録した<sup>1)</sup>。そのため朝倉市内では、筑後川水系の支川で多数の斜面崩壊・土石流・河川氾濫が発生し、住宅・道路・河川・橋梁等の構造物への被害が多数生じた。朝倉市が公表している被害状況<sup>2)</sup>では、人的被害は死者・行方不明者35名、負傷者16名、住家被害は全壊260棟、半壊782棟、床下浸水427棟にのぼっている。

本論文では、本豪雨により多数の文化財にも被害が及んだことから、朝倉市内における文化財の被害状況について、現地調査およびヒアリング結果からまとめる。さらに、被害状況の多くが斜面崩壊や土砂流出に関わる事例が多く、朝倉市内においても多数の斜面崩壊が発生したことから、本豪雨に伴う斜面崩壊が発生した素因（地形・地質）および誘因（降雨量）の空間分析を行うことで、斜面崩壊に起因する要因の分析を行うこととした。

## 2. 朝倉市内における文化財への被害状況

表1に朝倉市内で現地調査およびヒアリングを実施した文化財一覧と被害状況について示す。ここでは主

に、文化財の中でも有形文化財（建造物）と史跡を中心に現地調査および現地の住民や市役所へのヒアリングを行った。各文化財の位置を図1に示す。なお、虚空蔵山古墳群（No.21）および松の木遺跡（No.22）については、位置が分からなかったため記載していない。文化財の被害は5箇所で見られ、主に土砂による影響であった。

朝倉市杷木志波地区に位置する国指定重要文化財（建造物）の普門院本堂（No.1）では、約550m離れた

表1 朝倉市内で現地調査およびヒアリングを実施した文化財一覧と被害状況

No.	名称	文化財種類	所在地	被害状況
1	普門院本堂	国指定重要文化財（建造物）	朝倉市杷木志波 普門院	本堂に土砂流入
2	秋月城本門（黒門）附 長屋門	県指定有形文化財（建造物）	朝倉市秋月	なし
3	石田家住宅	県指定有形文化財（建造物）	朝倉市秋月	なし
4	石造秋月の目鏡橋	県指定有形文化財（建造物）	朝倉市秋月	なし
5	木造須賀神社本殿	県指定有形文化財（建造物）	朝倉市甘木	なし
6	旧石井家住宅	県指定有形文化財（建造物）	朝倉市宮野	なし
7	旧田代家住宅	市指定有形文化財（建造物）	朝倉市秋月	なし
8	仁鳥の石造桁橋	市指定有形文化財（建造物）	朝倉市秋月	なし
9	久保島の石造桁橋	市指定有形文化財（建造物）	朝倉市三奈木	石造桁橋の流出
10	朝倉市平塚川添遺跡公園01	国指定史跡	朝倉市平塚	なし
11	杷木神籠石	国指定史跡	朝倉市杷木林田	史跡内の一部で法面崩壊
12	小田茶臼塚古墳	国指定史跡	朝倉市小田	なし
13	堀川用水及び朝倉揚水車	国指定史跡	朝倉市山田	土砂流入による水車の根詰まり
14	女男石護岸施設	県指定史跡	朝倉市千手・長谷山	なし
15	狐塚古墳	県指定史跡	朝倉市入地	なし
16	長安寺跡	県指定史跡	朝倉市須川	なし
17	秋月城跡	県指定史跡	朝倉市秋月野鳥	史跡内の一部で法面崩壊
18	堤当正寺古墳	県指定史跡	朝倉市堤	なし
19	宮地嶽前方後円墳	市指定史跡	朝倉市宮野 宮地嶽公園内	なし
20	湯の隈装飾古墳	市指定史跡	朝倉市宮野	なし
21	虚空蔵山古墳群	市指定史跡	朝倉市須川	なし
22	松の木遺跡	市指定史跡	朝倉市大庭	なし
23	恵蘇八幡宮 1・2号墳	市指定史跡	朝倉市山田	なし
24	関守の墓	市指定史跡	朝倉市山田 恵蘇八幡宮	なし
25	井出野遺跡	市指定史跡	朝倉市比良松	なし
26	南淋寺	-	朝倉市宮野	土砂流入

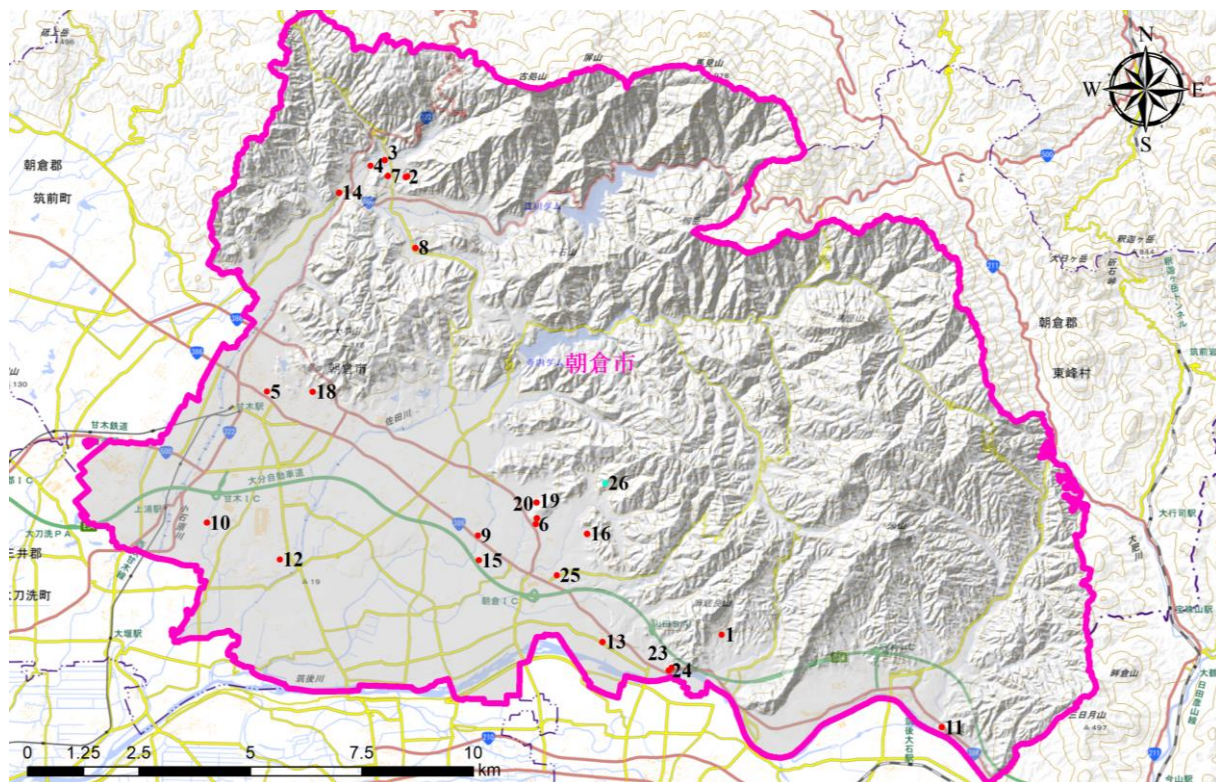


図1 表1に示す各文化財の位置（背景に地理院地図を使用）



崩壊前 地形図（国土地理院の災害判読範囲を加筆）

崩壊後 航空写真



図2 普門院に流入した土砂経路および崩壊前後の比較



図3 普門院における被害状況と復旧前後の比較





写真1 久保島の石造桁橋の流出前後および豪雨時の水位の痕跡



図4 南淋寺境内および周辺での被害状況

上流域で斜面崩壊が発生した。崩壊斜面の地質は泥質片岩に分類され、崩壊源頭部付近には、治山ダムが設置されていたが、土砂で埋まり越流したことで、谷地形に沿って流下し普門院へ土砂・倒木・雨水が流入した（図2）。ヒアリングの結果、建物1の北側の道路との境から上流域の大量の土砂、流木、岩、泥水が流れ込んだ。その結果、境内で土壌侵食や上流域からの土砂流入により、国指定の重要文化財である普門院本堂の床下に土砂が流入し、約0.4m堆積する被害となった（図3）。また、境内にある2棟の建物が土砂により押し潰されたり建物の土台が侵食する等の被害が発生した。調査を行った2017年8月24日時点で、床下の土砂および建物の撤去は終わっていた。普門院境内には、国指定重要文化財（美術品）の木造十一面観音立像や県指定天然記念物の普門院のビャクシンがあったが、双方とも被害はなかった。

朝倉市三奈木地区に位置する荷原川に架かった長さ14.9m、幅3.6mの花崗閃緑岩の切石で造られた市指定有形文化財（建造物）の久保島の石造桁橋（No.9）（写真1(a)）が、本豪雨により流された（写真1(b)）。周辺の護岸の侵食も激しく、道路にも被害が及んでいた。周辺住民の当時の話しによると、「豪雨により上流から流れてきた流木が橋脚に詰まったことで、桁橋の上流側の水位が上昇し越流した。さらに、相次ぐ流木と河川流量の増加に伴い、橋脚と橋桁が流された。」という状況であった<sup>3)</sup>。また、護岸沿いの擁壁に水位の跡が残っていたことから計測すると約2.2mであり、調査日（天候は晴れ）の水位は河床から0.2~0.3mの水位だったことから、豪雨時は非常に高い水位に達していたことが分かる（写真1(c)）。

朝倉市秋月野鳥地区に位置する県指定史跡の秋月城跡（No.17）において、火山岩類地域の小規模な法面崩壊が発生した。2017年8月24日の調査時には、ブルーシートが掛けられ簡易な対策はなされていた。また

朝倉市秋月地区と秋月野鳥地区の一部地域は、全国で唯一、城下町全体が国の重要伝統的建造物群保存地区（58.6ha）に選定されており、県や市が指定した有形文化財（建造物）（No.2, 3, 4, 7, 8）が多く残っている。本豪雨によりこれらの文化財への被害はなかったが、重要伝統的建造物群保存地区内の石橋が破損した。

朝倉市杷木林地地区に位置する国指定史跡の杷木神籠石（No.11）の史跡内において、場所の特定はできなかったが、法面崩壊が発生したとの報告を得た。また、朝倉市山田地区に位置する国指定史跡の堀川用水及び朝倉揚水車（No.13）において、流木や土砂が流入したことで根詰まりを起こし、三連水車が稼働できない被害が生じた。なお、2017年8月2日に復旧作業を終えて稼働している。

朝倉市宮野地区に位置する南淋寺（No.26）では、国指定重要文化財（彫刻）の木造薬師如来坐像や県指定有形文化財の梵鐘が安置されており、本豪雨により南淋寺後背斜面の土砂災害に伴い、大量の土砂が境内に流入した（図4）。幸いにも、文化財および本堂等の建物には被害はなかったが、宝蔵の床下および本堂裏では、約0.2~0.3mの土砂が堆積した跡が残っていた。崩壊斜面の地質は砂質片岩に分類され、崩壊による基盤の露岩状況を見ても、ペラペラと剥がれやすいシート状の構造である。源頭部の崩壊深は約1.0m、幅は約12.3mであった。境内に流入した土砂は細粒分が卓越し、巨石等は全く見られず、境内の建物があるところから約60mは勾配が緩くなっていること、源頭部のサンプリング結果より細粒分含有率が84.5%と高いことから、流動時の摩擦により流動距離が抑えられた可能性も考えられる。また、南淋寺の門構えおよび周辺には、土砂の流入跡や浸水跡が残っており、フェンスや側溝等の構造物が破損し、周辺住民によると「道路が冠水し川のようにになっていた。」という状況であった。

### 3. 斜面崩壊に及ぼす素因・誘因の空間分析

#### (1) 分析方法

九州北部豪雨により発生した朝倉市内の斜面崩壊と崩壊箇所の地形・地質的特徴を把握するために、ArcGISを用いた解析を行った。解析では、国土地理院地理院地図の10 mメッシュ数値標高モデル<sup>5)</sup>（以後、10mDEMと呼ぶ）、20万分の1日本シームレス地質図<sup>6)</sup>を用いて、斜面崩壊と斜面傾斜角<sup>7)</sup>、曲率<sup>8)</sup>、地質との関係について分析した。さらに、1 kmメッシュの気象庁解析雨量データ<sup>9)</sup>を用いて雨量分析を行った。

斜面崩壊発生位置の特徴を把握する上で、斜面崩壊発生位置の定義を行う必要がある。降雨に伴う崩壊は、例えば、地下水位上昇に伴いのり先から進行性崩壊が発生するケースや、法肩から崩壊するケース等、様々な崩壊形態を要する。そのため、崩壊状況をリアルタイムで把握することは不可能であるため、正確な斜面崩壊発生位置の特定は困難である。そこで、既往の研究において、斜面崩壊発生位置の滑落崖に着目した研究例<sup>10)</sup>が多いことから、本論文でも同様に崩壊地の最も標高が高い位置、すなわち源頭部を斜面崩壊発生位置として定義する。斜面崩壊発生位置の特定には、国土地理院の「平成29年7月九州北部豪雨に伴う被害状況判読図<sup>11)</sup>」、国土地理院の「空中写真<sup>11)</sup>」、株式会社パスコの「（速報）航空写真を用いた崩壊地判読<sup>12)</sup>」を用いた。複数の崩壊斜面が一つのまとまりとして判読されている地点については（図5）、資料を分析し判読できる限り、各崩壊地の最も標高が高い位置を源頭部として設定し分析を行った。

本論文での斜面崩壊発生位置の判読は、航空写真等で判別できる大きさであることから、小さい崩壊または、樹木等で崩壊地が見えない箇所等の見落としは十分にあることを予め留意頂きたい。

#### (2) 分析結果

崩壊発生位置の定義に基づき斜面崩壊源頭部の判読を行った結果、4,555箇所を抽出した（図6）。斜面崩壊発生数は、朝倉市、日田市、東峰村、添田市、中津市、嘉麻市の順に多く、朝倉市での斜面崩壊発生数は全体の約78%を占める。そこで本節では、最も斜面崩壊発生数が多かった朝倉市に着目して分析を行う。なお、本論文にお

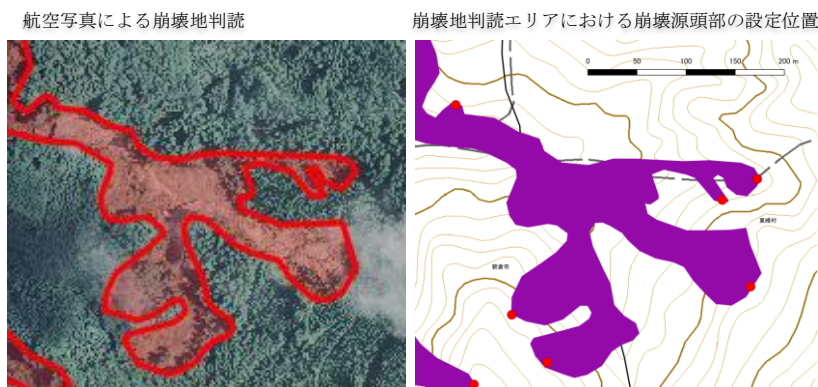


図5 複数の崩壊斜面における崩壊発生位置の定義



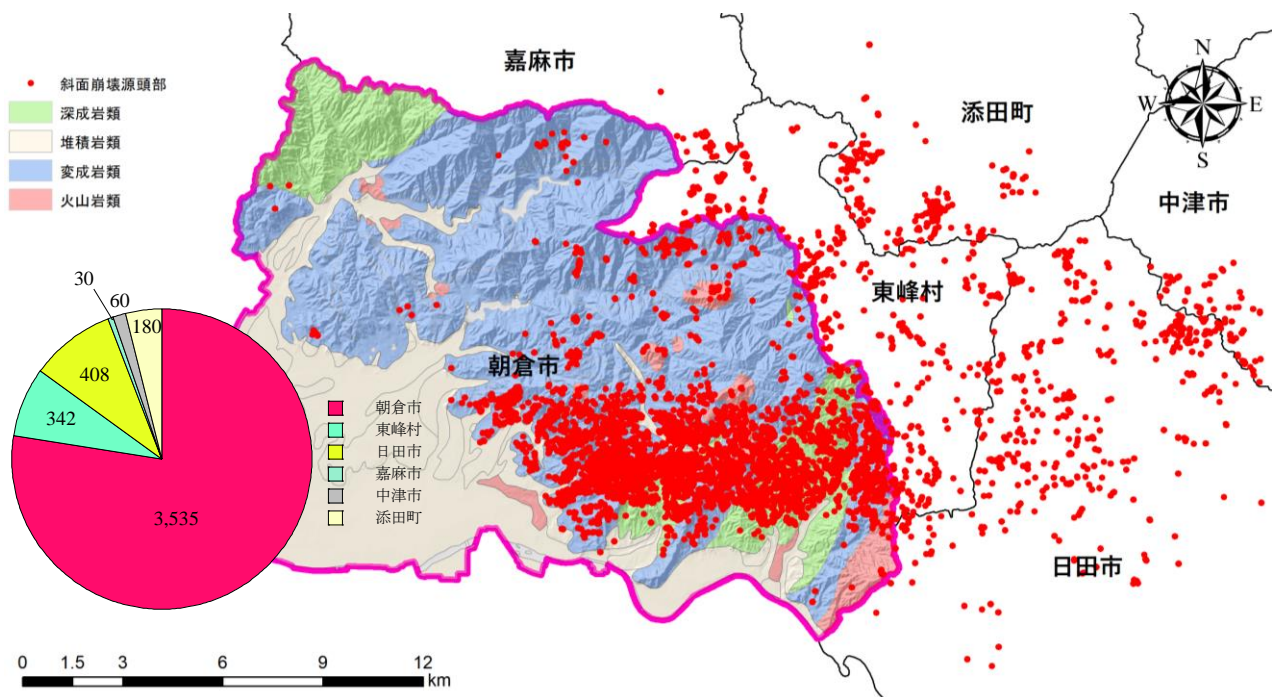


図6 崩壊源頭部のプロットと朝倉市内の地質分類

表2 崩壊源頭部の地質、斜面崩壊発生数、面積、崩壊発生密度

地質分類	地質名	崩壊数	相対度数	崩壊数	相対度数	面積	崩壊発生密度
		-	%	-	%	km <sup>2</sup>	km <sup>-2</sup>
変成岩類	後期始新世-前期漸新世(PG3)の海成または非海成堆積岩類	1	0.03	2,296	64.95	127.67	18.0
	三郡-周防変成岩類の苦鉄質片岩	121	3.42				
	三郡-周防変成岩類の砂質片岩	192	5.43				
	三郡-周防変成岩類の泥質片岩	1,953	55.25				
	三郡-周防変成岩類の石灰質片岩	0	0.00				
	中期始新世(PG2)の海成または非海成堆積岩類	29	0.82				
火山岩類	後期更新世(Q3)の火山岩類(非アルカリ火砕流)	0	0.00	119	3.37	8.79	13.5
	後期中新世-鮮新世(N3)の非アルカリ 苦鉄質火山岩類	119	3.37				
	前-後期白亜紀(K1-2)の花崗岩	0	0.00				
深成岩類	前-後期白亜紀(K1-2)の花崗閃緑岩	1,074	30.38	1,074	30.38	30.36	35.4
	前-後期白亜紀(K1-2)の苦鉄質深成岩類	0	0.00				
	完新世(H)の人工改変地	0	0.00				
堆積岩類	後期更新世(Q3)の低位段丘堆積物	0	0.00	46	1.30	77.34	0.6
	後期更新世(Q3)の中位段丘堆積物	9	0.25				
	後期更新世-完新世(H)の海成または非海成堆積岩類	37	1.05				
	その他	0	0.00				
合計 (朝倉市)		3,535	100.00	3,535	100.00	246.67	

る地質・地形の空間分析は、10mDEMを用いていることから、10mメッシュでの分析結果であり、気象庁解析雨量は1kmメッシュの分析結果であることを予め留意頂きたい。

表2に朝倉市内における崩壊源頭部の地質、斜面崩壊発生数、面積、崩壊発生密度について示す。朝倉市の市街地では堆積岩類が分布しており、山岳地域においては、変成岩類、火山岩類、深成岩類で構成されている。崩壊源頭部の地質分類を見ると、変成岩類が全体の約65.0%を占めており、泥質片岩、砂質片岩、苦鉄質片岩が主である。次に、深成岩類の花崗閃緑岩が約30.4%を占め、非アルカリ 苦鉄質火山岩類で構成される火山岩類は約3.4%ほどであった。一方、崩壊発生密度は深成岩類が1km<sup>2</sup>当たり35.4箇所と他の地質と比べて多かった。

図7に各地質分類における斜面傾斜角の5度毎の崩壊源頭部の相対度数を示す。変成岩類、深成岩類は25~30度がピーク値であるが、火山岩類は30~35度が最も多いことから、火山岩類では急斜面での崩壊割合が多かった。表3に各地質の崩壊源頭部における崩壊地と朝倉市全体の平面曲率に基づく斜面分類の相対度数

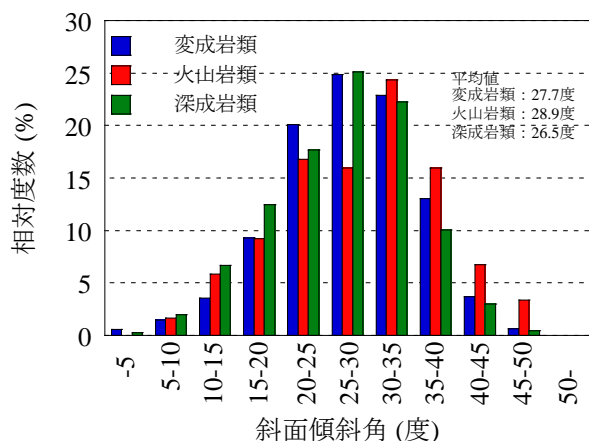


図7 各地質分類における斜面傾斜角の5度毎の相対度数

表3 各地質の崩壊源頭部における崩壊地と朝倉市全体の平面曲率に基づく斜面分類の相対度数

対象	地質分類	地形分類の相対度数 (%)		
		尾根型斜面	直線型斜面	谷型斜面
崩壊地	変成岩類	38.41	33.93	27.66
	火山岩類	40.68	25.42	33.90
	深成岩類	42.83	32.22	24.95
	全域	39.83	33.30	26.87
朝倉市全体	変成岩類	34.38	39.02	26.60
	火山岩類	30.30	42.48	27.22
	深成岩類	35.06	35.64	29.30
	全域	24.62	56.03	19.35

表4 各地質の崩壊源頭部における最大1時間雨量の相対度数

地質分類	最大1時間雨量(mm/h)の相対度数 (%)														平均 (mm/h)
	-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-	
変成岩類	0.00	1.31	2.74	0.35	4.05	1.66	2.96	8.62	57.62	19.47	0.74	0.00	0.48	0.00	118.0
火山岩類	0.00	0.00	1.68	19.33	0.84	0.00	5.88	20.17	47.06	5.04	0.00	0.00	0.00	0.00	108.7
深成岩類	0.00	0.09	0.00	1.49	0.19	2.61	11.55	24.02	45.72	13.59	0.74	0.00	0.00	0.00	118.5
全域	0.00	0.88	1.84	1.33	2.74	1.87	5.63	13.72	54.00	16.97	0.71	0.00	0.31	0.00	117.9

表5 各地質の崩壊源頭部における総雨量の相対度数

地質分類	総雨量 (mm) の相対度数 (%)																平均 (mm)
	-250	250 -300	300 -350	350 -400	400 -450	450 -500	500 -550	550 -600	600 -650	650 -700	700 -750	750 -800	800 -850	850 -900	900 -950	950-	
変成岩類	0.13	1.09	0.13	2.35	3.57	0.91	2.83	2.57	12.20	21.39	10.32	13.98	9.06	18.03	1.44	0.00	706.8
火山岩類	0.00	0.00	0.00	1.68	20.17	0.00	10.08	6.72	18.49	21.01	21.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	594.7
深成岩類	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	1.30	17.78	35.20	18.62	9.96	13.59	0.00	2.89	0.00	0.00	659.4
全域	0.11	0.71	0.08	1.58	3.00	0.76	2.69	7.33	19.29	20.25	10.89	13.47	6.03	12.84	0.96	0.00	689.3

を示す。本分析は試行錯誤の結果、平面曲率が-0.5~0.5を直線型斜面とみなすこととした。一般的に降雨による斜面崩壊は谷型斜面で発生することが多いとされているが、朝倉市内においては谷型斜面に分類される地域での崩壊が少ない結果となった。その理由として、朝倉市内全体の地形分類が、尾根型斜面や直線型斜面が元々多いことが考えられる。

表4に各地質の崩壊源頭部における最大1時間雨量の相対度数、表5に各地質の崩壊源頭部における総雨量（2017年7月5日0:00~7月7日0:00）の相対度数について示す。いずれの地域においても、最大1時間雨量が120-130mm/hの降雨分布が多かった。また各地質の斜面崩壊の8割は、変成岩類地域で115.0mm/h以上、火山岩類地域で70.0mm/h以上、深成岩類で110.0mm/h以上であったことから、斜面崩壊発生数と同様の傾向であった。総雨量を見ると、火山岩類地域では750mm以下にすべての崩壊地が該当するが、変成岩類、深成岩類地域では750mm以上の分布も多く、平均値を見ても火山岩類地域に比べ変成岩類地域では100mm以上多い降雨量があった。各地質の斜面崩壊の8割は、総雨量が変成岩類地域で629.0mm以上、火山岩類地域で414.0mm以上、深成岩類地域で601.0mm以上であり、斜面崩壊発生数と同様の傾向であった。また、全域では最大1時間雨量が110.0mm以上、総雨量が615.0mm以上で斜面崩壊の8割が発生していた。

2章で示した普門院（No.1）および南淋寺（No.26）に被害を及ぼした斜面崩壊源頭部を分析すると、地質は双方とも最も斜面崩壊発生数が多い変成岩類に分類され、斜面傾斜角はそれぞれ35.8度、31.3度と崩壊斜面の平均値よりも大きかった。降雨量については、それぞれ最大1時間雨量が125.0mm/hと多かった。総雨量は、普門院で638.0mm、南淋寺で781.0mmと南淋寺では非常に多かったことから、斜面崩壊が発生する要因を有していたことが分かった。

## 4. おわりに

本論文では、2017年7月に発生した九州北部豪雨に伴う朝倉市内の文化財の被害状況について、現地調査およびヒアリング結果を基にまとめた。また、10mDEMおよび1kmメッシュの解析雨量を用いて本地域における斜面崩壊に起因する素因・誘因の空間分析を行った。以下に、得られた知見を示す。

- 1) 朝倉市内の国、県、市に指定された有形文化財（建造物）と史跡を中心に被害調査を行った結果、5箇所の文化財において土砂や水害による被害が生じた。特に普門院では、国指定文化財の本堂に土砂が流入が見られ、境内の2つの建物も土砂により取り壊しを余儀なくされるような甚大な被害が生じた。市指定文化財の久保島の石造桁橋に至っては、流木や河川増水に伴い流出した。また、南淋寺では文化財を保管している宝蔵の後輩斜面が崩壊し床下に土砂が流入する等、宝蔵内の文化財への被害が生じる危険性があった。
- 2) 朝倉市内における素因（地形・地質）分析を行った結果、泥質片岩と花崗閃緑岩での斜面崩壊発生数が多かった。そのため、朝倉市内で広く分布している変成岩類地域での斜面崩壊発生数が多く、崩壊発生密度では深成岩類地域が高かった。また、崩壊斜面の源頭部の傾斜角については、火山岩類地域で30-35度でピーク値を示したことから、変成岩類、深成岩類地域と比べ急斜面での崩壊割合が多かった。さらに、一般的に降雨による斜面崩壊は谷地形で発生するケースが多いとされているが、朝倉市内全体の地形分類が、尾根型斜面や直線型斜面が元々多いことから谷地形斜面での崩壊数が少なかった。
- 3) 朝倉市内における誘因（降雨量）分析を行った結果、最大1時間雨量、総雨量の斜面崩壊の8割の値を見ると、変成岩類、深成岩類、火山岩類地域の順に多く、斜面崩壊発生数と同様の傾向であった。朝倉市内全域で見ると、最大1時間雨量が110.0mm以上、総雨量が615mm以上で斜面崩壊の8割が発生していた。
- 4) 文化遺産を有する普門院（No.1）および南淋寺（No.26）に被害を及ぼした斜面崩壊源頭部を分析すると、本豪雨により斜面崩壊が発生した要因（地質・地形・降雨量）を有していたことが分かった。

**謝辞：**本豪雨における被害状況のヒアリングを行うに当たり、福岡県朝倉市教育部 文化・生涯学習課の皆様にご協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 気象庁（2017）：24時間降水量一覧表，([http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/pre\\_rct/index24\\_rct.html](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/pre_rct/index24_rct.html), 2018.6.11)
- 2) 福岡県朝倉市（2018）：平成29年7月5日からの大雨による災害対応・被害状況について（第367報），(<http://www.city.asakura.lg.jp/www/contents/1474980325813/index.html>, 2018.6.11)
- 3) 檀上徹・石澤友浩：平成29年7月九州北部豪雨に伴う地盤災害被害について，防災科学技術研究所主要災害調査，No.52，pp.1-10，2018.
- 4) 福岡県朝倉市：久保島の石造桁橋（朝倉市指定有形文化財），(<http://www.city.asakura.lg.jp/www/contents/1297734450666/index.html>, 2018.6.11)
- 5) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, 2018.6.5)
- 6) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（2015）：20万分の1日本シームレス地質図2015年5月29日版，(<https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&>, 2018.6.11)
- 7) Peter A. Burrough, and Rachael A. McDonnell, “Principles of geographical information systems,” Oxford University Press, pp.190, 1998.
- 8) Lyle W. Zevenbergen Colin R. Thorne, “Quantitative analysis of land surface topography,” Earth Surface Process and Landforms, Vol.12, pp.47-56, 1987.
- 9) Nagata K. ‘Quantitative precipitation estimation and quantitative precipitation forecasting by the Japan Meteorological Agency’. RSMC Tokyo Typhoon Center Technical Review, 13, pp. 37–50, 2011. (<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/techrev/text13-2.pdf>, 2018.6.11).
- 10) 沖村孝・鳥居宣之，永井久徳：地震後の降雨に伴う山腹斜面崩壊の地形立地解析，神戸大学都市安全研究センター研究報告，Vol.2，pp.19-31，1998.
- 11) 国土交通省国土地理院（2017）：平成29年7月九州北部豪雨に関する情報，([http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka\\_ooita-heavyrain.html](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html), 2018.6.11)
- 12) 株式会社パスコ（2017）：2017年7月九州北豪雨災害，([http://www.pasco.co.jp/disaster\\_info/20170708/](http://www.pasco.co.jp/disaster_info/20170708/), 2018.6.11)