

平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究 — 平成29年度科学研究費補助金(特別研究促進費) —

秋山 壽一郎*・重枝 未玲**

* 研究代表者 九州工業大学 名誉教授

** 九州工業大学大学院

要 旨

平成29年7月九州北部豪雨災害の総合的な調査・研究を行い、①今次豪雨の発生要因と機構、気象モデルによる線状降水帯の降水量の予測可能性と課題、②中小河川の洪水氾濫プロセスと浸水リスク、流木の発生状況と要因、流木の発生を止める森林保全や治山のあり方、③土砂災害の履歴、崩壊斜面の地形・地質と水文過程、土質・岩質が土砂流出量に及ぼす影響、同時多発表層崩壊発生時の土構造物の被災メカニズム、④土砂災害分布と発生機構、同時多発表層崩壊が土石流の流動特性に及ぼす影響、⑤今次豪雨災害に対する行政および地域対応と今後の備え、被災者支援の進捗状況、農業被害の実態を示した。

1. はじめに

平成29年7月5日正午頃に福岡県筑後地方から大分県日田地方にわたってバックビルディングタイプの線状降水帯が形成され、同日の夜にかけて停滞した結果、筑後川中流右岸流域(以下、筑後川右岸流域という)、遠賀川水系彦山川上流域、山国川上流域を中心に記録的な豪雨となった(国土交通省九州地方整備局, 2017)。特に筑後川右岸流域では、気象観測史上でも最大級の豪雨となり、死者・行方不明者38名、全壊家屋197戸、半壊家屋102戸、床上浸水1,195戸、床下浸水1,378戸の激甚災害となった(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。気象庁は、5日から6日にかけて九州北部で発生した豪雨を「平成29年7月九州北部豪雨」(以下、「29年豪雨」という)と命名した(国土交通省気象庁予報部業務課気象防災情報調整室, 2017)。

筑後川右岸流域では、5年前にも線状降水帯を原因とする「平成24年7月九州北部豪雨」(以下、「24年豪雨」という)が発生しているが(土木学会九州北部豪雨災害調査団, 2013)、29年豪雨は、気象庁朝倉雨量観測所で511.5mm、日田雨量観測所で329.5mm、国土交通省鶴河内雨量観測所で532mmの12時間雨量を記録するなど、24年豪雨を大きく上回った。その結果、同流域の中山間地域では24年豪雨では見ら

れなかった同時多発的な山腹・溪岸の斜面崩壊や土石流・泥流が発生し、さらに一部の中小河川では「土砂・流木を伴った急激な出水」(以下、「フラッシュフラッド」という)も発生したため、24年豪雨とは別次元の大災害となった。特に赤谷川においては、上流域では斜面崩壊によって発生した大量の土砂・流木により河道が埋塞・閉塞し、中流域では支川(乙石川、小河内川)から流入した大量の土砂・流木も加わって、フラッシュフラッドとして谷底平野を流下した結果、河道埋塞だけでなく谷幅が広がったところでは流路変動も生じ、土砂・流木災害が平野全域に拡大するなど、想像を絶する被害状況となった。下流域では、中山間地域の外縁部から筑後川合流点までは勾配の緩い沖積平野であるにもかかわらず、フラッシュフラッドの直進や流路変動によって土砂が広範囲に厚く堆積し、筑後川合流点まで土砂・流木が達したため、沿川家屋や田畑等にまで被害が及んだ(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。

赤谷川などで以上のような大災害となったのは、記録的な集中豪雨によって発生した大量の水・土砂・流木が、中山間地の上流域では土石流・泥流として、中流域と下流域ではフラッシュフラッドとして谷底平野と沖積平野を流れ下り、洪水・土砂・流木による複合災害となったためである。同様な災害



図1 各調査・研究グループの研究内容と相互の関係

は、高齢者グループホームで9名の人命が失われた平成28年台風10号による岩手県小本川などでも発生しており(天野, 2016), わが国の国土面積の約7割を中山間地域が占め, 1時間雨量が100mmを超える豪雨や局所的集中豪雨が近年増加傾向にあること(国土交通省気象庁, 2006)を踏まえれば, 中山間地域中小河川の豪雨災害がわが国の防災・減災における焦眉の課題であることに疑問の余地はない。国土交通省が全国の中小河川の緊急点検を実施し, 「透過型砂防堰堤等の整備」「浸水被害を解消するための河道の掘削・堤防整備」「低コスト水位計の設置」よりなる「中小河川緊急治水対策プロジェクト」(国土交通省水管理・国土保全局, 2017)に着手したのもその現れである。

本研究「平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」は, 中山間地域の豪雨災害が焦眉の課題であるとの認識に基づき, 平成29年度科学研究費補助金(特別研究促進費)により実施したものである。

研究組織は, 九州工業大学, 九州大学, 京都大学, 静岡大学, 長崎大学, 新潟大学, 福岡大学, 山口大学, 琉球大学, 気象庁気象研究所, 国立研究開発法人防災科学技術研究所の11の研究機関の研究代表者・研究分担者21名, 連携研究者13名の計34名の研究者で構成され, 気象学, 水文学・河川工学, 地盤工学, 砂防工学および危機管理・生活再建の5グループで調査・研究を推進する研究計画とした(図1)。

各調査・研究グループの研究計画に沿って, 発災後から6ヶ月程度にわたって, 以下の[1]~[5]に示す研究課題について調査・研究を実施した。可能な範囲で24年豪雨との比較検討を行うよう努めた。

- [1] 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性(気象グループ)
- [2] 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明(水文学・河川工学グループ)
- [3] 地盤災害の状況と被害分析(地盤工学グループ)
- [4] 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態把握(砂防工学グループ)
- [5] 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援(危機管理・生活再建グループ)

本稿では各グループの研究計画と成果の概要を示すとともに, [2]の中小河川の河川災害の実態解明に関する研究成果の一部を報告する。なお, 研究分担者・連携研究者のご紹介は, 「3. 各研究グループの研究計画と成果の概要」において, 研究成果報告書(秋山, 2018)のご担当分を参考文献として挙げることで代えさせていただいている。上記の課題の研究成果の詳細については, 研究成果報告書(秋山, 2018)を参照されたい。

2. 筑後川右岸流域の豪雨災害の概要

本研究で対象とした筑後川右岸流域と支川流域を図2に示す。同流域には, 本川の筑後川に加え, 支川の小石原川, 佐田川, 桂川, 奈良ヶ谷川, 北川, 寒水川, 白木谷川, 赤谷川, 大肥川, 花月川が貫流している。

同流域での3時間雨量および48時間雨量および流域平均雨量を図3に示す。雨量には, 国土交通省が運

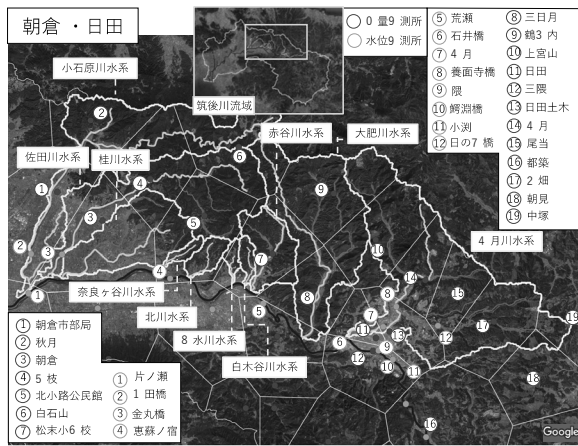


図2 筑後川右岸流域と支川流域

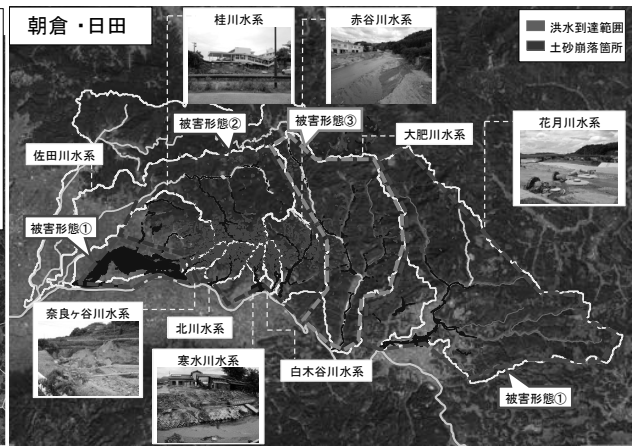
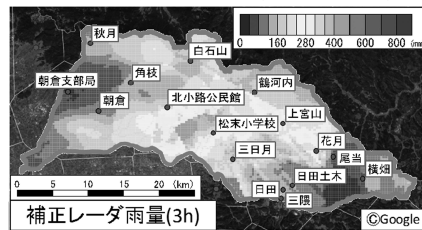


図4 筑後川右岸流域の被害形態



(a) 3時間雨量



(b) 48時間雨量

図3 筑後川右岸流域の雨量

用・管理するXRAIN(DIAS, 2017)を、流域内の雨量観測所の実績降雨に基づきダイナミックウィンドウ法(山口ら, 1993)と雨量限界値(山田ら, 2011)で補正したレーダー雨量を用いた。これより、本豪雨は、朝倉、北小路、松末、鶴河内雨量観測所を中心とした豪雨であり、北小路、松末雨量観測所間では、3時間雨量で48時間雨量の半分程度の雨量となっており、局地的な短時間豪雨であったことが確認できる。

この豪雨により、筑後川の片ノ瀬水位観測所と花月川の花月水位観測所で既往最大水位を記録した。一方で、多くの支川で水位計が設置されておらず、その状況は不明である。各河川流域の被害形態は、①流水による浸水被害を受けた流域、②大量の土砂や流木による河道埋塞に伴う流水被害を受けた流域、③大量の流木が橋梁に集積し、浸水被害を受けた流域の3つに分類(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)され、図4に示すように、被害形態①には桂川・花月川流域、被害形態②には佐田川上流域、桂川上流域、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川流域、被害形態③には大肥川流域が含まれる。被害形態①の桂川・花月川では、越水・溢水による外水と内水による広範囲な浸水被害が生

じた。被害形態②の佐田川上流域、桂川上流域、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川では、斜面崩壊や土流が同時多発的に発生し、河道の流下能力を超えた洪水が、大量の土砂と流木とともに谷底平野を流下し、河道の埋塞、橋梁部の閉塞を引き起こすとともに氾濫することで家屋・人的被害を拡大させた。被害形態③の大肥川では、流木が河道を閉塞することで、洪水氾濫が発生し、浸水被害が生じた(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。

この災害によって、福岡・大分の両県で、2017年12月21日時点で死者39名、行方不明者2名(朝日新聞, 2017)、浸水面積1,913ha、床上浸水1,195戸、床下浸水1,378戸、全壊家屋197戸、半壊家屋102戸の被害が生じた(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会, 2017)。国や県が管理する河川では堤防の損壊などが479件、緊急復旧工事が必要な大規模損壊が8件、斜面崩壊が300箇所(毎日新聞, 2017)で発生した。8月24日時点で被害総額は約2,200億円(日本経済新聞, 2017)となった。

3. 各研究グループの研究計画と成果の概要

各研究グループの研究計画と成果を以下に示す。

3.1 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性

気象グループでは、今次豪雨の発生要因と発生メカニズムの解明、山地地形が線状降水帯の形成に及ぼす影響、24と29年豪雨の発生環境場の違い、線状降水帯による降水量の予測可能性の検討を目的として、気象庁非静力学モデル、Weather Research and Forecastingモデル、気象数値モデルによる数値解析、気象データ分析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

[1] レーダー雨量や気象衛星赤外面像等の気象データや気象庁メソモデルの解析データに基づき、今

次豪雨の主要因は、線状降水帯の発生と長時間の停滞であること、線状降水帯の発生環境場と関連する、九州北部に位置していた地表付近の収束帯の強化・維持には、東シナ海での太平洋高気圧の局所的強化と大陸から朝鮮半島の東方に南下してきた停滞性のブロッキング高気圧の双方が関与したこと、このような大気循環場の形成は、過去の事例との比較に基づけば、稀な現象であったことを示した(川村・川野, 2018)。

- [2] 観測データと気象庁非静力学モデルによる数値解析に基づき、線状降水帯の構造はバックビルディング型であり、積乱雲が発生・発達しやすい不安定な大気状態が持続する中、九州北部付近の地表には温度傾度帯が形成されており、温度傾度帯付近で積乱雲が次々と発生し、東西に連なることで線状降水帯が形成されていたことを明らかにした(津口・清野, 2018)。
- [3] 24年豪雨の発生環境場との比較に基づき、低緯度域からの東シナ海経由の水蒸気の流入は極端ではなかったが、下層大気の潜在不安定は非常に高く、対流圏中層に-7°C以下の寒気が流入していたことが短時間の降水量が多くなった要因であったことを明らかにした。また、脊振山地等を除去した数値実験から、脊振山地や九州北部の山地が線状降水帯の降水の集中化や強化に寄与していた可能性を指摘した(津口・清野, 2018)。
- [4] Weather Research and Forecastingモデルによる水平格子幅 167mの高解像度数値解析に基づき、線状降水系の停滞性と持続性の再現と福岡県南部地域で500mmを超える雨量の再現が可能であることを示した(竹見, 2018)。
- [5] 気象数値モデルによる数値解析に基づき、線状降水帯に伴う降水量の予測可能性を評価したところ、6時間積算雨量100mm以上の強雨域に30～40km四方の位置ずれが認められたが、予測された雨量を局地化すれば観測された最大雨量を予測可能であること、GNSS可降水量やレーダ動径風や反射強度とのデータ同化では、系統的な予測精度の改善が見込めないことを明らかにした(加藤ら, 2018)。

3.2 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明

水文学・河川工学グループでは、局地的集中豪雨による急激な中小河川の水位上昇、それに伴う大規模な洪水氾濫、多量の流木や流動化した土砂による河道埋塞などの被害拡大に至った要因とメカニズム、洪水到達時間の短い中小河川流域における危機管理対策や流木の発生を抑制する森林保全や治山のあり

方の検討を目的として、氾濫状況や流木発生状況の現地調査、室内実験、降雨流出・氾濫解析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 降雨外力から流域流出、河道の洪水流、氾濫原の氾濫流を一体的に解析する降雨流出・氾濫解析に基づき、水文観測情報のない筑後川中流右岸流域の赤谷川や白木谷川等の流量・水位ハイドログラフと浸水状況を推定した(佐山, 2018)。
- [2] 花月川流域の現地調査と降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、同流域の洪水氾濫プロセスについて検討し、24年豪雨災害後の夕田橋の付け替えに伴う水位低下により4.4km～5.2km区間を中心に浸水被害が減少したこと、浸水被害や構造物の被災は、大流量の流下に加え、河道線形や中規模河床形態等の河道特性が要因であったことを示し、同河川では流下能力の確保のみならず河道特性を踏まえた河川改修が必要であることを指摘した(秋山ら, 2018a)。
- [3] 桂川流域での降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、朝倉、北小路公民館、角枝観測所のいずれかで10分間雨量が20mm以上あるいは流域平均10分間雨量が10mm以上で荷原川、桂川と荷原川の合流部周辺で浸水リスクが高くなること、桂川と荷原川の合流部の水位が16mを超えると浸水リスクが高くなることを示した(秋山ら, 2018b)。
- [4] 赤谷川流域の現地調査と降雨流出・洪水氾濫解析に基づき、斜面崩壊箇所の多くは48時間累積雨量が160mm以上であったこと、48時間累積雨量180mmを境に勾配20度の緩斜面でも崩壊が生じたこと、斜面崩壊箇所には比較的大きな掃流力が継続したことを明らかにした。また、斜面崩落による土砂供給のタイミングが河道変動や蛇行流路形成の速度に影響を及ぼすことを示した(秋山ら, 2018b ; 安田, 2018)。
- [5] 現地調査に基づき、流木の発生量と斜面の傾斜角および最大6時間雨量との間に相関があること、赤谷川流域では傾斜角10度以上の斜面地が潜在的な流木発生源であったこと、奈良ヶ谷川流域では可能最大流木発生量と同程度の流木が発生したこと、花月川流域では赤谷川などの他流域に比べて斜面崩壊地が少なかったため、流木発生量も少なかったことを明らかにした(矢野, 2018)。
- [6] 現地調査に基づき、流木の多くは針葉樹であり、過去の災害と比較して直径などの諸元は同様であるものの平地部まで到達した流木量は多いこと、土砂・流木の発生源である崩壊地のすべり面は根の生育限界よりも深く、流木を含む森林斜面崩壊土砂の到達距離は過去の災害と同程度

であること、砂防堰堤・治山堰堤は下流への土砂・流木量を抑制したものの、堰堤を埋没させるほど土砂量が多量であったことを示した。さらに、流木の流下被害軽減には、40度近い急傾斜地と溪床勾配約5度以上の溪岸で大木となった人工林の伐採、広葉樹の帯状の混植を進める森林管理が必要であることを指摘した(久保田, 2018)。

3.3 地盤災害の状況と被害分析

地盤工学グループでは、被災地の土砂災害発生履歴、崩壊・浸食・堆積土量と土砂流出メカニズム、表層崩壊発生場の予測手法、同時多発表層崩壊発生時の土構造物の被災メカニズムの検討を目的として、災害記録調査、土石流堆積物調査、崩壊斜面・ため池・道路・鉄道関連施設の現地調査と被災分析、室内実験を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 福岡県の既往災害記録と朝倉市山田地区の新旧土石流堆積物に対する調査研究に基づき、洪水・大雨に関する災害の発生間隔は福岡県全体(1630年以降)および朝倉(1896年以降)では、4年以下であること、朝倉市山田地区では過去に1151-1276年の間と1875-1976年の間に土石流が発生していた可能性があり、いずれの年代も史料における記事と対応していることを明らかにした。また、この2回の土石流の他にも土石流堆積物層が確認できることから、更に複数の土石流が発生していた可能性があることを指摘した(鈴木, 2018)。
- [2] 崩壊斜面の現地調査に基づき、今次土砂災害の特徴として、線状降水帯に沿った領域で表層崩壊が多発したことを示し、白木谷川流域での崩壊斜面の平均傾斜角は34.7度で、崩壊斜面の80%は傾斜角40度以下で発生したこと、斜面崩壊による発生土砂量は、寒水川、赤谷川上流部および奈良ヶ谷川流域では6割以上が変成岩質の斜面崩壊によるもの、乙石川、北川、赤谷川下流部および白木谷川流域では5割以上が花崗閃緑岩の斜面崩壊によるものであったこと、福岡県朝倉市白木谷川の花崗閃緑岩地帯において深層風化の程度を表す指標は、風化が進んでいないCMクラスから表層風化が進行しているDLクラスに区分されること、斜面崩壊地の頭部滑落崖背後では強風化部(地盤の硬さを示す換算N値 ≤ 4)が深度5.0mまで、崩壊地の側部では深度1.3mまで分布することなどを明らかにした。さらに、今次豪雨の斜面崩壊は、雨水浸透による斜面飽和度の上昇や斜面内地下水位の上昇によ

る斜面の不安定化だけではなく、斜面基部の洗掘消失による構造的な不安定化も要因であることを指摘した(安福ら, 2018; 笠間, 2018; 村上, 2018)。

- [3] 現地で採取したマサ土のせん断試験に基づき、同マサ土は、せん断時に過剰間隙水圧が発生しやすい性質を持っていることを明らかにし、今次豪雨による斜面崩壊発生機構が、豪雨時のすべり面液状化の発生であることを指摘した(福岡ら, 2018)。
- [4] 簡易貫入試験や引張破断強度測定に基づき、花崗閃緑岩を基盤とする斜面の浅部構造を把握し地表に平行に風化帯が発達していたこと、樹木根系による粘着力増分は深度方向に指数関数的に減少すること、無機質な地盤構成物の硬度と有機的な構成物による補強効果が表層崩壊のすべり面形成に影響を及ぼすことを明らかにした(松四・千木良, 2018)。
- [5] 土層厚の空間分布、樹木根系の土層補強効果と降雨浸透過程を考慮した斜面の安定性評価に基づき、地理情報システム上で表層崩壊の発生場を予測する手法の具体と課題を提示した(松四・千木良, 2018)。
- [6] ため池の現地調査と被災分析に基づき、福岡県朝倉市のため池では、4箇所の決壊、5箇所の損傷が確認され、ため池被害が最大3時間降水量の大きな地域に集中したことを示した(安福ら, 2018; 石蔵, 2018)。
- [7] 道路・鉄道関連施設の現地調査と被災分析に基づき、寺内ダムの洪水調節と流木補足により、ダム下流域では道路被害が低減されたこと、朝倉地区の道路被害の3分の2は、周辺斜面崩壊土砂の流入や沢や溪流からの雨水・土石・倒木の流入による被害であったこと、残りの3分の1は、洪水による浸食被害であったこと、道路被害発生箇所の3分の2程度は事後に湧水が確認されず、被害発生箇所は地下水位が高い場所だけでないことなどを明らかにした(安福ら, 2018; 廣岡, 2018)。
- [8] 今次豪雨災害の警報発令時刻とスネークラインの経時変化に基づき、土砂災害に対応した危険情報の早期提供には、尾根筋の豪雨を捉える位置での雨量の把握とリアルタイムのスネークライン情報が重要であることを指摘した(福岡ら, 2018)。

3.4 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態

砂防工学グループでは、土砂移動分布図の作成、流域形状・地質・降雨量と土砂移動形態との関係、

同時多発表層崩壊が土石流の流動に与える影響の検討を目的として、崩壊斜面の現地調査、空中写真の分析、土石流の数値解析を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 災害後の空中写真の分析に基づき、斜面崩壊や土石流などによる土砂移動分布図を作成し、山地小流域の流域形状・地質・降雨量と土砂移動形態との関係を示した(若月, 2018)。
- [2] 土砂災害危険度評価システムによる土砂危険度の時空間分布に基づき、土砂危険度が継続して高い流域において土砂災害が多発したことを示した(竹林, 2018)。
- [3] 土石流の数値解析に基づき、一つの溪流内に同時多発的に表層崩壊が発生した場合、土石流の流動特性として、一波目の土石流は多くの不安定土砂を巻き込んで規模が大きくなるが、二波目以降は不安定土砂の少ない溪流を流れ下るため規模が大きくなり、下流への流出土砂量はそれほど多くならないことを示した(竹林, 2018)。
- [4] 河川周辺の構造物の被災状況と流路形状の経年変化の調査結果に基づき、土砂流送が活発な急流河川では、流路形状が時間とともに変動し、橋脚周辺の浸食特性も時間とともに変化するため、橋梁の保守管理を実施するには流路変動についても注意する必要があることを指摘した(竹林, 2018)。

3.5 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援

危機管理・生活再建グループでは、今次豪雨災害時の行政と地域対応の課題と対策、被災者支援のあり方、農業被害の実態に基づく営農再開に必要な措置と課題の検討を目的として、地域防災計画と各種災害対応マニュアル等の資料調査、朝倉市・日田市・東峰村の自治体職員と朝倉市の地域コミュニティ協議会へのヒアリング調査、避難者の時系列的ならびに地理空間的データ整理による可視化分析、生活再建支援業務の実態調査、農業被害調査を実施する計画とした。研究成果は以下に示す通りである。

- [1] 資料調査、ヒアリング調査に基づき、事前の備え、今回の災害における対応と今後の課題を整理し、被災地では自主防災マップなど事前の備えが進んでいた一方で、自主防災組織が組織として機能していない実態や、地域によっては指定避難所が近くになく、指定外の公民館などに避難せざるを得なかった実態を明らかにした。今後の課題として、自治体は、地域特性を考慮した上で、住民に早期避難を促す必要があること、降雨や水位観測に基づく、地域特性を考慮

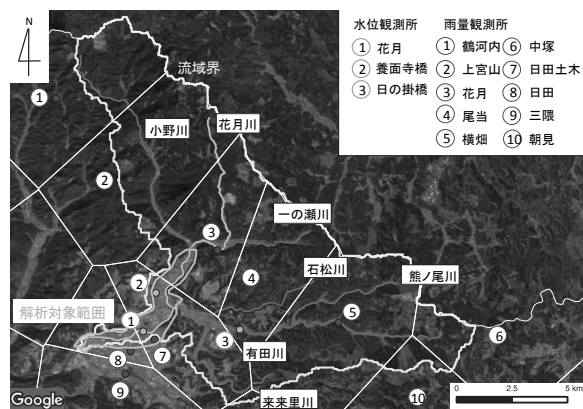


図5 花月川流域の概要

した避難判断基準を確立する必要があることを指摘した(神谷・吉田, 2018)。

- [2] 資料調査や生活再建支援業務の実態調査に基づき、避難者・避難世帯数の時系列変化と地理的空間分布を示すとともに、被災者生活再建支援業務が、過去の土砂災害と同様に「行方不明者の捜索」と「二次災害の回避」を優先させた結果、緩やかに進捗したこと、新しい形の生活再建支援業務として、「継続的な支援基盤をもった先進的な企業の支援の取り組み」「中間支援団体のニーズマッチングの調整」があったことを示した(田村・井ノ口, 2018)。
- [3] 農業被害調査に基づき、福岡県における農林水産被害については、朝倉市を中心に農地への土砂流入、冠水・浸水による被害が発生したこと、畜産関連施設等の被害については、朝倉市を中心に飼料倉庫半壊、牧草ロール流出、家畜水死、生乳廃棄、畜産用機械の損傷の被害が発生したこと、温室等栽培施設・機械の被害については、土砂流入、冠水・浸水によりハウスの全壊、一部損壊、付帯施設や機械の損壊等が発生したこと、農地・農業用施設の被害は9千か所を超え、被害金額も350億円に達したこと、赤谷川・白木谷川・寒水川の流域を対象に果樹園の被災状況を判別し、全体の40%が被害を受けていたこと、作目による大きな差異はなかったことを明らかにした。カキなどの果樹栽培農家では被害園地の廃園、後継者がいない農家で廃業も予想されており、被災後の営農状況については継続的な調査が必要であることを指摘した(山本, 2018)。

4. 中小河川の浸水リスクの把握

今次豪雨災害の特徴の一つとして、中山間地を貫流する中小河川で甚大な被害が生じた点がある。一般に、このような河川では洪水到達時間が短く、また水位観測も限られているため、降雨量が浸水リス

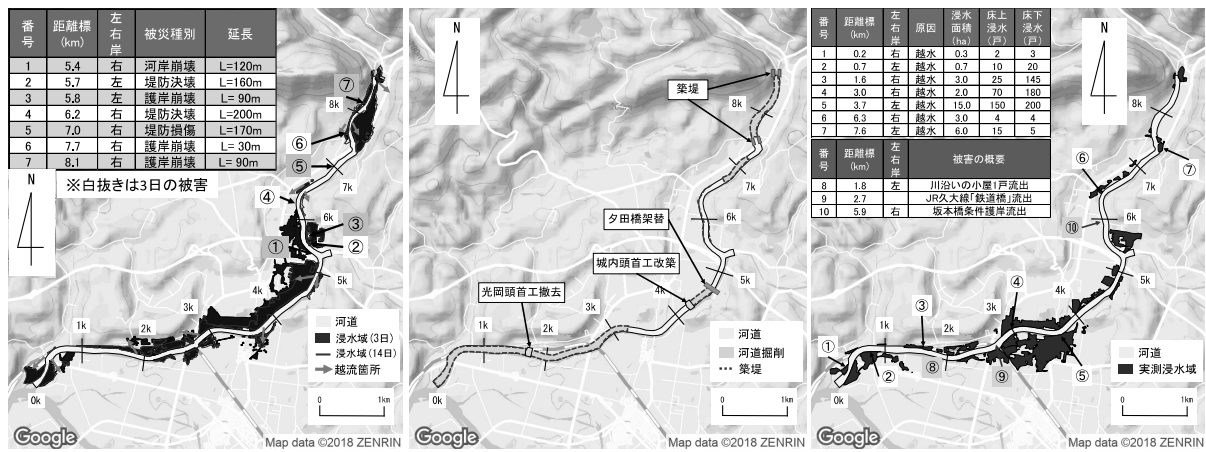


図6 24年豪雨による被害(左)、激特事業(中)、29年豪雨による被害(右)の概要

クを判断する情報となる。このようなリスクを把握するためには、降雨外力から洪水・氾濫の挙動をあらかじめ把握する必要がある。ここでは、「3.2 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明」の[2]で実施した花月川流域を対象にした流域流出・洪水氾濫解析と洪水氾濫プロセスの検討結果について述べる。

4.1 花月川流域と24年・29年豪雨災害の概要

(1) 花月川流域の概要

花月川は大分県日田市を貫流する流域面積130.2km²、流路延長59.6kmの筑後川支川である(国土交通省九州地方整備局, 2017)。本川との合流点から8.7kmまでが大臣管理区間、その上流が大分県管理区間である。直轄区間には、5つの堰と18つの橋が存在し、5.2km地点で有田川と、8.8km地点で小野川と合流している。3.38km左岸に花月水位観測所が設置されている。図5に、花月川流域の概要および観測所位置を示す。

(2) 24年豪雨による災害の概要

花月川流域では、平成24年7月3日と14日に2度の大きな出水が生じた。平成24年7月3日9:30に花月水位観測所で既往最大水位4.16mを記録し、その後、水位が低下したものの再度上昇し、7月14日7:30に4.37mを記録した(土木学会九州北部豪雨災害調査団, 2013)。図6に、7月3日の破堤2カ所、7月3日、14日の越水13カ所、浸水域を示す。浸水域は、距離標0~1km、距離標1~7km、距離標7km~の3つに分けられ、その要因は、大流量が流れたことに加え、距離標0~1km、距離標7km~では河道の流下断面の不足、距離標1~7kmでは破堤および夕田橋(距離標4.73km)での流木トラップによる河道の流下能力の低下であった。

(3) 花月川激甚災害対策特別緊急事業の概要

24年豪雨災害を受け、花月川・有田川は平成24年11月に激甚災害対策特別緊急事業(以下、激特事業)

の指定を受けた(工藤ら, 2015)。図6に激特事業の概要を示す。友田地区(0-1.7km)で掘削築堤護岸工事、玉川・丸の内地区(1.8-3.3km)で掘削護岸工事、光岡頭首工(1.8km)の撤去、2.8km右岸で樋管設置、城内頭首工(4.3km)の改築、夕田橋(4.73km)の架替、有田地区(4.3-4.73km)で掘削護岸工事、三和地区(5.5-7.3km)で掘削護岸工事、花月地区(7.5-8.7km)で掘削築堤護岸工事がなされ、平成28年度末までに概ね完了していた。河道掘削は高水敷の約2m切り下げを基本とし、夕田橋は旧橋の約30m下流に設置されて橋脚が3基から1基となり、桁下が約1m上昇した。

(4) 29年豪雨による災害の概要と激特事業の効果

29年豪雨では、7月5日19:50に花月水位観測所(3.38km)で、既往最大水位4.53mを記録した。図6に平成29年7月九州北部豪雨時の浸水域を示す。

24年、29年豪雨の浸水状況を比較すると、浸水面積はそれぞれ12.1ha、8.56haであり、約3割減少した。さらに、距離標4kmより、上流側では激特事業の効果により、浸水域が大きく減少している。一方で、距離標3km~4kmの左岸側では29年豪雨時の浸水域が大きくなった。この要因については、「4.3 結果と考察」で検討する。

4.2 解析の概要

29年豪雨時の花月川流域を対象に、レーダ雨量を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施した。図5の解析対象範囲と花月川の大分県管理区間を、洪水氾濫解析の対象とした。解析には、著者らの開発した「流域流出・洪水氾濫解析モデル」(秋山ら, 2010)を用いた。

解析対象時刻は、平成29年7月5日14時から6日3時とした。降雨外力には、図3を用いた。分布型流出解析には、標高データとして数値標高モデル10m(国土地理院, 2018)を100mメッシュに補間したものを、土

地利用データとしてALOS2(JAXA, 1997)を用いた。洪水氾濫解析には、河道横断面データとして平成29年の測量結果を、粗度係数として推定粗度係数と逆算粗度係数を、氾濫原の標高データとして航空レーザ測量1mメッシュDEMデータを計算格子で平均化したものを用いた。下流端境界条件には、筑後川右岸流域を対象に実施した分布型流出・1次元河道網洪水流解析から得られた水位ハイドログラフを用いた(重枝ら, 2018)。

4.3 結果と考察

(1) 再現性の検証

図7に、29年豪雨時の痕跡水位、花月観測所の実測水位、浸水域と解析結果との比較を示す。浸水域には、調査結果(国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所, 2017)および解析結果より得られた越水箇所も合わせて示している。これより、本解析結果は、花月観測所の実測水位、痕跡水位、浸水域、越水箇所を十分な精度で再現できることが確認できる。なお、渡里川については、氾濫原として取り扱っているため、図7の浸水域のように、河道に沿って浸水深が大きくなる。また、花月観測所でのピーク流量は1,340m³/s程度であった。

(2) 29年豪雨時の浸水プロセスの検討

図8に浸水深の経時変化を示す。図中には、流域平均降雨ハイトグラフ、花月観測所の水位・流量の解析結果、流出解析より得られた河道上流端の流量ハイドログラフも示している。なお、同図中の縦線の色は浸水プロセスの時刻と対応している。これより、今次豪雨時の浸水プロセスは次のようであったと考えられる。(1)7月5日の16:00頃には、流域平均10分間雨量が10mmを超える降雨があり、標高の低い箇所に降雨が集まり内水氾濫が生じる。(2)17:30頃には、再度、流域平均10分間雨量が10mmを超える豪雨があり、JR久大線鉄道橋付近の左岸を中心に、内水氾濫が拡大する。(3)花月川観測所の水位がピーク近くとなる19:20頃には、距離標0.2km付近の両岸、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生する。(4)その後、時間の経過とともに、氾濫水が河道へ排水され浸水域が減少する。

距離標0.8km付近においては、現地調査で右岸および左岸の堤防上および堤防付近の堤内地に細砂の散乱が確認され、右岸堤防上に流木の漂着が確認されたことから、下流域において外水氾濫が発生したと考えられる。一方で、解析ではそのような越水は確認されなかった。これは、この区間での河道横断面が短区間で変化しており、本解析ではそれを捉えることができず、同区間での水位を過小に評価したた

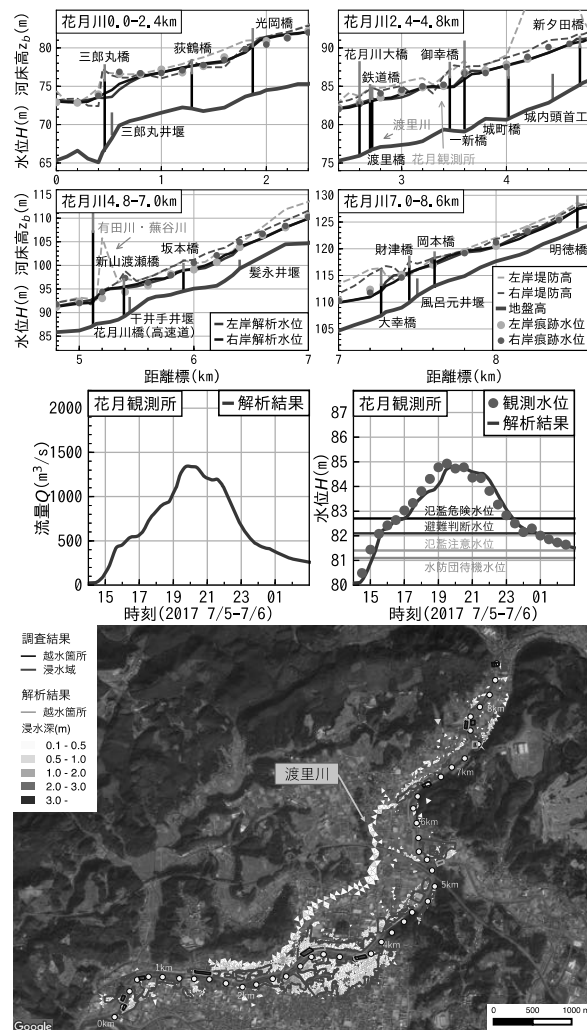


図7 29年豪雨時の痕跡水位(上), 花月観測所の実測水位(中), 浸水域(下)との比較

めと考えられる。

距離標5.2km付近では、図6に示すように、花月川と有田川の合流点付近において、花月川の左岸側に浸水域が確認される。この領域は花月川左岸堤防と県道676号線および背後の山地に囲まれており、蕪谷川が流れている。平成29年7月18日において、堤防上に細砂は確認されなかった。また、本解析でも花月川本川から、同領域への越水は認められなかった。このことから、本領域における氾濫は内水氾濫と推定される。ただし、本解析では蕪谷川を考慮していないことから、この内水氾濫を再現できていない。

(3) 距離標3km~4kmの左岸側での浸水

“4.1(2)”で述べたように、距離標3km~4kmの左岸側では、24年豪雨時に比べ、29年九州豪雨時の浸水域が大きくなった。本解析から、中流域の1.0~4.0km区間では、内水氾濫が生じ浸水深が大きくなった後、花月観測所の水位がピークとなる19:45頃に、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生し浸水域が広がったことが確認でき、

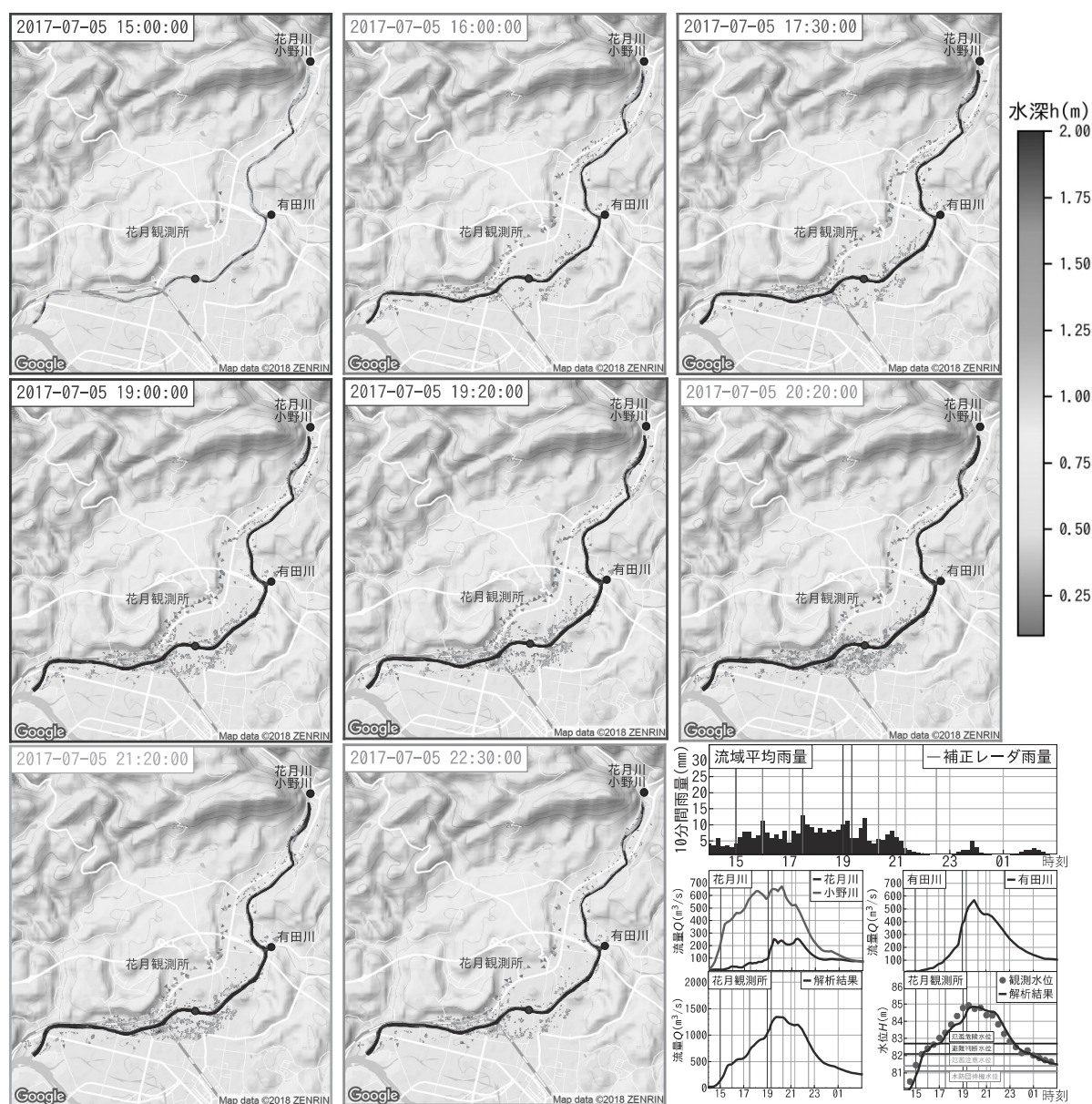


図8 浸水深の経時変化

同区間では最初に内水氾濫が生じ、その後、外水氾濫が生じたと考えられる。また、同区間周辺での距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km付近の左岸のいずれも河道線形により水衝部となっている。そのため、同区間よりも上流側が改修され、流量の低減がなく、流れの慣性力が大きな状態で流れが水衝部に衝突し水位が上昇したため、越水が生じたと考えられる。このように、同区間左岸側の浸水域の増加は、内水氾濫に加え、大流量の流下と同区間の河道線形が要因であったと考えられる。そのため、同区間の改修にあたっては、流下能力のみならず、河道の平面形状等の河道特性を考慮した改修が必要と考えられる。

4.4 まとめ

本検討から、(1)流域流出・洪水氾濫解析モデルが、

29年豪雨時の花月川流域での痕跡水位、水位ハイドログラフの実測値や浸水域などを十分な精度で再現できること、(2)今次豪雨時の浸水プロセスは、図8のようであったこと、などが確認された。

流域流出・洪水氾濫解析モデルは、降雨を外力としているため、気象モデルの降雨予測結果を用いることで、流出解析のパラメータ推定には課題が残るものの、詳細な浸水予測も可能になる。今後、この点についても検討し、同モデルを中山間地の中小河川の浸水リスクを把握する上で有用なツールにしたいと考えている。

5. おわりに

本研究「平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究」では、中山間地域の豪雨災害が焦眉の課

題であるとの認識に基づき, [1] 九州北部豪雨の要因分析と予測可能性, [2] 中小河川の洪水氾濫と流木災害の実態解明, [3] 地盤災害の状況と被害分析, [4] 斜面崩壊・土石流による土砂災害の実態把握, [5] 防災準備と災害時の対応および農業被害の実態解明と生活再建支援について調査・研究を実施し, ”3. 各研究グループの研究計画と成果の概要”に示す成果をとりまとめた。本稿の研究成果は途中経過であり, その後も研究は継続されている。中山間地域の中小河川の豪雨災害については, 沖積平野の大河川と比較して, 水文観測(降水量, 河川水位, 河川流量など)や被災状況等に関する実績データも少なく, また基礎的な知見や解析技術等も不十分な状態にあるのが実情である。すなわち, 降水量と崩壊土砂(質と量)との関係, 崩壊土砂の細粒成分が流動土砂に及ぼす影響, 非定常性や非平衡性の強い洪水流やフラッシュフラッドの予測技術など, 解明・解決が求められる課題が山積している。本研究成果が中山間地域の防災・減災に向けた一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究は, 科学研究費特別研究促進費(課題番号: 17K20140, 研究代表者: 秋山壽一郎)の助成を受けたものである。本特別研究促進費の交付にあたっては, 文部科学省開発局地震課防災室ならびに自然災害研究協議会の関係者の方々にご尽力を賜った。本研究の実施にあたっては, 標高データ等の基礎資料や現地調査等において, 国土交通省九州地方整備局河川部にご支援ご協力を賜った。さらに, 文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を受けた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

本研究の地盤工学グループの一員であった新潟大学災害・復興科学研究所 福岡 浩教授におかれましては, 平成30年6月5日に御逝去されました。ご生前のご厚情に深く感謝すると共にご功績を偲び, 謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

最後に, 平成29年7月九州北部豪雨災害でお亡くなりになられた多くの方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに, 被災された方々に心からのお見舞いを申し上げます。

参考文献

秋山壽一郎(2018): 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.252.
秋山壽一郎, 鬼束幸樹, 重枝未玲(2018a): 花月川の被害状況と平成24年7月九州北部豪雨災害との比較,

平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.69-p.80.

秋山壽一郎, 鬼束幸樹, 重枝未玲(2018b): 中小河川の浸水リスクの把握, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.81-p.88.

秋山壽一郎, 重枝未玲, 小園裕司(2010): 流域特性を考慮した都市域氾濫解析モデルと都市域での浸水プロセスの予知, 水工学論文集, 第54巻, pp.919-924.
朝日新聞(2017): 12月22日.

天野邦彦(2016): 平成28年に発生した水害の概要と国総研の対応, http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/kouenkai/kouenkai2016/pdf/161208_10.pdf.

石蔵良平(2018): 河川堤防およびため池の被災分析, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.165-p.176.

笠間清伸(2018): 斜面崩壊の形状分析と深層風化に関する現地調査, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.127-p.139.

加藤亮平, 下瀬健一, 清水慎吾(2018): 豪雨を引き起こした線状降水帯に伴う降水量の予測可能性, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.35-p.54.

神谷大介, 吉田 護(2018): 防災準備と災害時の対応, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.217-p.227.

川村隆一, 川野哲也(2018): 九州北部豪雨の発生環境場の解明, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.3-p.18.

工藤勝次, 永野貴也, 松本秀一(2015): 花月川激特事業での河川整備について, http://www.qsr.mlit.go.jp/n-shiryō/kenkyu/program/03/03_03.pdf.

久保田哲也(2018): 流木発生源と森林保全・治山, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.103-p.107.

国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所(2017): 平成29年7月九州北部豪雨の概要速報版.

国土交通省気象庁(2006): 気候変動監視レポート2006, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2006/pdf/CCMR2006_all.pdf.

国土地理院(2018): 基盤地図情報, <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>.

国土交通省水管理・国土保全局(2017): 全国の中小河川の緊急点検の結果を踏まえ, 「中小河川緊急治水対策プロジェクト」をとりまとめました, <http://www.mlit.go.jp/common/001212849.pdf>.

国土交通省気象庁予報部業務課気象防災情報調整室(2017): 平成29年7月5日から6日に九州北部地方で発生した豪雨の命名について, http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/19a/20170719_go

- uumeimei.pdf.
- 国土交通省九州地方整備局(2017):梅雨前線に伴う平成29年7月5日出水について(第3報)【筑後川水系・遠賀川水系・山国川水系】, http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_kasen03.pdf.
- 佐山敬洋(2018):九州北部豪雨被災域の降雨流出特性と観測情報のない中小河川流域における洪水予測の課題,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.59-p.67.
- 重枝未玲, 秋山壽一郎, 中木翔也, 勝原亮介, 大久保剛貴(2018):平成29年7月九州北部豪雨時の筑後川右岸流域を対象にした分布型流出・1次元河道網洪水解析,河川技術論文集,第24巻, pp.445-450.
- 鈴木素之(2018):土砂災害履歴調査,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.119-p.125.
- 竹林洋史(2018):斜面崩壊・土石流による土砂生産特性と河岸・河床変動による被災,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.197-p.205.
- 竹見哲也(2018):停滞性降水系による豪雨の定量的評価と発生機構の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.27-p.34.
- 田村圭子, 井ノ口宗成(2018):大規模水害・土砂災害における被災者生活再建支援過程の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.217-p.227.
- 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会(2017):筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書, http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo11.pdf.
- 津口裕茂, 清野直子(2018):線状降水帯の”形成(発生)メカニズム”について,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.19-p.26.
- 土木学会九州北部豪雨災害調査団(2013):平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書.
- 日本経済新聞(2017):8月24日.
- 廣岡明彦(2018):道路・鉄道関連施設の被災分析,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.177-p.184.
- 福岡浩, ハザリカ ヘマンタ, 権田 豊, 西井稜子(2018):斜面災害現地調査・発生機構・早期警戒,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.177-p.184.
- 毎日新聞(2017):7月13日.
- 松四雄騎, 千木良雅弘(2018):斜面水文および斜面崩壊過程の解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.141-p.151.
- 村上 哲(2018):溪流部における土砂発生機構,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.153-p.163.
- 安田浩保(2018):短時間での流路変動とそれに伴う氾濫域の拡大機構の推定,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.89-p.94.
- 安福規之, 笠間清伸, 石蔵良平, 廣岡明彦, 村上 哲(2018):地盤災害の概要,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.111-p.118.
- 矢野真一郎(2018):九州北部豪雨における流木災害の実態解明,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.95-p.102.
- 山口高志, 北川明, 小野寺直, 高水克哉, 幸弘美(1993):レーダ雨量計の精度向上について,河川情報研究, No.1, pp.91-104.
- 山田隆徳, 宮武真一, 小池仁治, 安部俊司, 小淵孝志, 今村英智, 柴卓(2011):部外雨量データの収集と利用について-他機関観測データ収集・高度利用装置の概要-, 測候時報, 第78巻, pp.141-161.
- 山本晴彦(2018):農業被害の実態解明と農営再開支援,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.237-p.252.
- 若月 強(2018):斜面崩壊・土石流の発生場所の把握と地形・地質との関係-特に,土砂移動分布図と土石流到達流域について-,平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, p.207-p.214.
- DIAS(2017): <http://www.diasjp.net/service/xrain/>.
- JAXA(1997):高解像度土地利用土地被覆図ホームページ, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.htm.