

# 令和2年7月九州豪雨災害 調査団報告書



令和3年4月

土木学会水工学委員会

令和2年7月九州豪雨災害調査団

<表紙写真>

撮影場所：八代市坂本 坂本中学校付近

撮影者：大本 照憲

撮影日：2020年7月16日

# 令和2年7月九州豪雨災害 調査団報告書

令和3年4月

土木学会水工学委員会

令和2年7月九州豪雨災害調査団



## はしがき

気象庁は令和2年7月九州豪雨災害が線状降水帯による記録的大雨であることを報告した。7月の九州における線状降水帯の発生件数は9事例であったが、特に7月4日の線状降水帯は最大級で、梅雨前線の南側に大量の水蒸気を含む大気の流れ(大気の川)を伴い、球磨川流域の上空では東西方向に長さ276km、滞留時間13時間であることが指摘された。

気象庁は平成30年西日本豪雨および令和元年東日本台風災害など異常気象が予想される際には事前に記者会見を開き住民に警戒を呼び掛けていたが、本豪雨では前日に特別警報が発令されることは無かった。7月3日時点では4日18時までの24時間雨量を「多いところで200mm」と予想したが、実際には400mmを超えた。気象庁が大雨特別警報を発表したのは翌日の7月4日4時50分であった。

総務省消防庁によれば今次の人的被害(2021年2月26日付)は、全国では死者84名、行方不明者2名、熊本県では死者65名、行方不明者2名であった。熊本県では、死者・行方不明者は、全体の78%を占め、特に球磨川では河川災害による死者が50名に達した。

また、住家被害についても全国では全壊1,620棟、半壊4,509棟に対して熊本では1,470棟、半壊3,023棟であった。下記のように、最近10年間の主だった河川災害を抽出してみると、全国的には毎年の様に大規模な水害に見舞われている。異常気象が常態化した様にも読み取れる。

### 最近10年間の水害

2020年 令和2年7月九州豪雨災害

2019年 令和元年8月佐賀豪雨災害

令和元年東日本台風災害

2018年 平成30年7月西日本豪雨災害

2017年 平成29年7月九州北部豪雨

2016年 平成28年8月北海道豪雨(平成28年4月16日熊本地震)

2015年 平成27年関東・東北豪雨

2014年 平成26年8月豪雨(広島土砂災害)

2012年 平成24年7月九州北部豪雨

2011年 平成23年台風12号紀伊半島豪雨災害

平成23年7月新潟・福島豪雨

(2011年3月11日東日本大震災)

注：朱書きは九州が中心となった災害

今次水害では住家被害の特に激しかった球磨川沿いの球磨村・茶屋集落では犠牲者がゼロであった。地元の方から球磨村村長による午前4時18分、5時30分の2回に及ぶ必死の避難の呼びかけ、住民間での助け合いが功を奏したとお聞きした。一方では、球泉洞駅前では2軒の家屋が流失し、球磨川に取り込まれて家族全員5名が犠牲となった。家と駅間の小さな道路が激流となり避難出来なかったために屋根に逃れたが願いは届かなかった。球泉洞駅に避難していれば、そこから高台に逃げることも可能であることが確認出来た。改めて、早期の避難の重要性を実感した。

ところで、大規模災害においては、社会システムに Fail Safe の設計や多重安全装置を組み込み、シス

テムを破綻させないことが肝要である。人的・物的被害を最小化するためには、異常気象に対する超過洪水対策として明治以前に多用された不連続堤防としての甲州流の霞堤，肥後の轡塘や乗越堤，肥前の野越に観られる様に土地利用形態に合わせて流域に安全弁を実装することも考えられる。

最後に，本災害調査団の研究を円滑に遂行させる上で研究助成の支援を頂いた公益財団法人河川財団および公益財団土木学会西部支部，更には本調査団に対して貴重な資料を提供，調査の便宜を図って頂いた国土交通省，熊本県および関係機関各位に対して深甚なる感謝の意を表します。

令和2年7月九州豪雨災害で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げると共に，被災された地域の一刻も早い復興を願っています。

本報告書が，今後の河川災害および土砂災害における防災・減災に役立てば幸甚です。

令和3年3月22日

土木学会水工学委員会

令和2年7月九州豪雨災害調査団団長

熊本大学 大本照憲

# 目次

はしがき

## 第1編 令和2年7月九州豪雨災害の概要

- ・第1章 九州全体の被害状況 ..... 1
- ・第2章 今次水害の人的被害の特徴 ..... 9
- ・第3章 今次災害の主な特徴と報告書の構成 ..... 15

## 第2編 令和2年7月豪雨の特徴

- ・第1章 豪雨をもたらした気象条件 ..... 19
- ・第2章 九州主要一級河川流域における各種降水観測手法の検証 ..... 27

## 第3編 球磨川流域の豪雨災害

- ・第1章 球磨川流域の被害概要 ..... 35
- ・第2章 昭和40年7月球磨川洪水における市房ダムの風評被害について ..... 47
- ・第3章 人吉市街地-球磨村渡地区における洪水痕跡調査 ..... 57
- ・第4章 球磨川流域を対象にした降雨流出・洪水氾濫解析 ..... 63
- ・第5章 球磨川における流出氾濫再現シミュレーション ..... 73
- ・第6章 球磨村渡地区における洪水氾濫特性 ..... 83
- ・第7章 人吉市・中川原公園および橋梁が洪水流に与えた影響 ..... 91
- ・第8章 球磨川流域の建物被害と人的被害の関係 ..... 101
- ・第9章 神社仏閣の分布から見る球磨川の浸水状況の調査 ..... 115
- ・第10章 川辺川合流点上流の本川氾濫原の特性について ..... 121
- ・第11章 支川を対象とした球磨川流域における流域治水の可能性 ..... 129
- ・第12章 球磨川における土砂崩壊に関する速報 ..... 137
- ・第13章 球磨川流域の流木災害 ..... 143
- ・第14章 市房ダム、川辺川ダム（存在する場合）の治水効果算定 ..... 153

## 第4編 筑後川流域の豪雨災害

- ・第1章 筑後川流域の被害概要 ..... 161
- ・第2章 水位情報に基づく出水状況の把握 ..... 169
- ・第3章 筑後川上流ダムの効率的運用の可能性検討 ..... 175
- ・第4章 大分県九重町野上地区における浸水痕跡調査 ..... 183

・第5章 大分県玖珠川流域における浸水被害	189
・第6章 筑後川中流域（久留米市・鳥栖市）における内水氾濫について	197
・第7章 筑後川支流合流部の内水氾濫状況	205
・第8章 筑後川上流松原・下笠ダム上流域の流木発生	211

## 第5編 大分・肝属・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害

・第1章 大分川の氾濫調査	219
・第2章 鹿児島県における被災事例の整理	227
・第3章 芦北地方の豪雨被害について	235
・第4章 大牟田市内の内水氾濫状況	241
・第5章 祓川の氾濫調査	247
・第6章 佐賀県鹿島市における豪雨災害について	251
・第7章 郡川流域における被災状況調査	259

## 第6編 被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響

・第1章 衛星画像を用いた被災領域の状況	267
・第2章 SNS情報の解析による浸水深と氾濫流速の算定	279
・第3章 沿岸水環境への影響	289
・第4章 出水による八代湾への流木の影響について	297

## 第7編 将来の豪雨災害に対する備え

・第1章 令和2年7月の九州北部豪雨時における避難情報の発令および高齢者福祉施設の対応と課題	305
・第2章 八代市におけるタイムラインを活用した避難対応に関する調査－教訓と今後の課題－	313
・第3章 九州における甚大な豪雨災害リスクの増大について	321

## 第8編 まとめと今後に向けた提言

・第1章 まとめと今後に向けた提言	327
-------------------	-----

# 第 1 編

## 令和 2 年 7 月九州豪雨災害の概要

九州大学 田井 明  
九州工業大学 重枝 未玲



## 第1章 九州全体の被害状況

九州工業大学 重枝 未玲

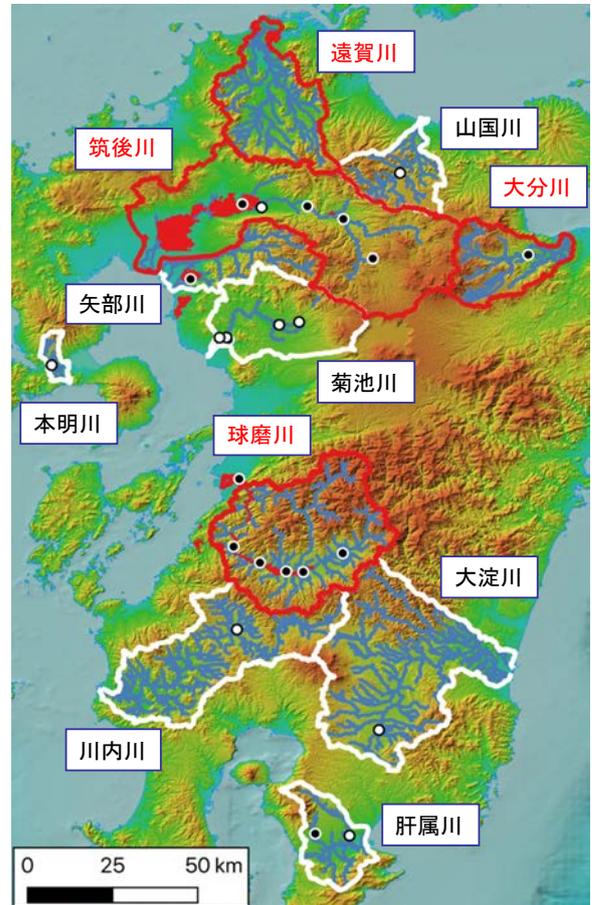
### 1.1 はじめに

令和2年7月豪雨では、7月3日から暖かく湿った空気が九州付近に集中して流入し、『7月3日(金)～7月4日(土)に九州南部』、『7月5日(日)～7月8日(水)に九州北部』で記録的な豪雨となった(気象庁, 2020)。令和2年7月豪雨時に九州地方では、熊本県、鹿児島県、福岡県、佐賀県、長崎県の5県に大雨特別警報が発表され、最大級の警戒が呼びかけられた(気象庁, 2020)。

この豪雨により、九州内の一級河川の10水系で氾濫危険水位を超過、4水系で氾濫が発生した(国土交通省九州地方整備局, 2020)。図1.1に、氾濫危険水位を超過、氾濫が発生した4水系を示す。氾濫が発生した河川は、球磨川水系球磨川、遠賀川水系彦山川、筑後川水系筑後川、花月川、庄手川、大分川水系大分川であり、特に、球磨川、筑後川流域で甚大な被害となった。本章では、九州地方全体の降雨の概要と被害状況について示す。なお、図中の背景図には、国土地理院の地理院タイル(国土地理院, 2020a)を用いた。なお、以降の背景図には、特別な断りのない限り、国土地理院の地理院タイルを用いている。

### 1.2 降雨の概要

図1.2に、XRAIN(DIAS, 2020)より求めた九州地方の降雨強度の経時変化を示す。なお、図中の背景図には、オープンストリートマップ(OpenStreetMap, 2020)を用いている。これより、(1)7/4 8:00頃には球磨川流域で、(2)7/6 8:00頃には肝属川流域で、(3)7/6 16:00頃には本明川流域、矢部川流域、菊池川流域や大牟田市で、(4)7/6 18:00頃には菊池川、筑後川、山国川流域で、(5)7/7 22:00には球磨川、菊池川、筑後川、大分川、山国川、遠賀川流域で、(6)7/8 5:00頃には肝属川流域を除きほとんどの流域で雨域が消滅していること、などが確認できる。



■ 氾濫の発生	・球磨川, 遠賀川, 筑後川, 大分川	
■ 氾濫発生情報		
・球磨川	7/4	5:55
・彦山川	7/6	15:50
・筑後川上中流部	7/7	8:35, 7/8 1:00
・大分川	7/8	0:40
■ 氾濫状況		
・球磨川	決壊2箇所 越水5箇所 溢水28箇所	
・彦山川	溢水1箇所	
・筑後川	越水1箇所 溢水3箇所	
・花月川	溢水2箇所	
・庄手川	溢水2箇所	
・大分川	越水1箇所	

図1.1 九州地方の河川災害の概要

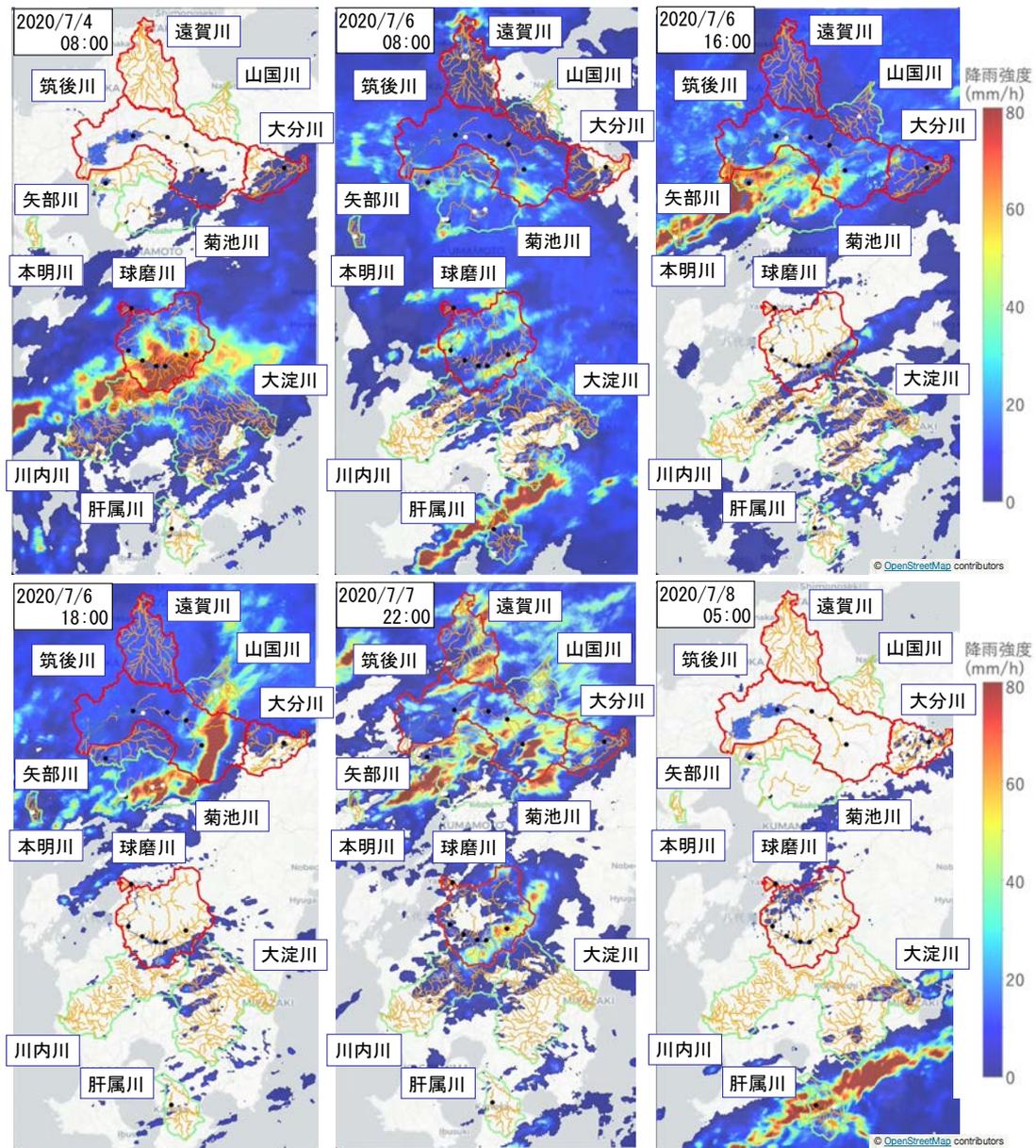


図 1.2 九州地方の降雨強度の経時変化(背景図にはオープンストリートマップ(OpenStreetMap, 2020)を用いている)

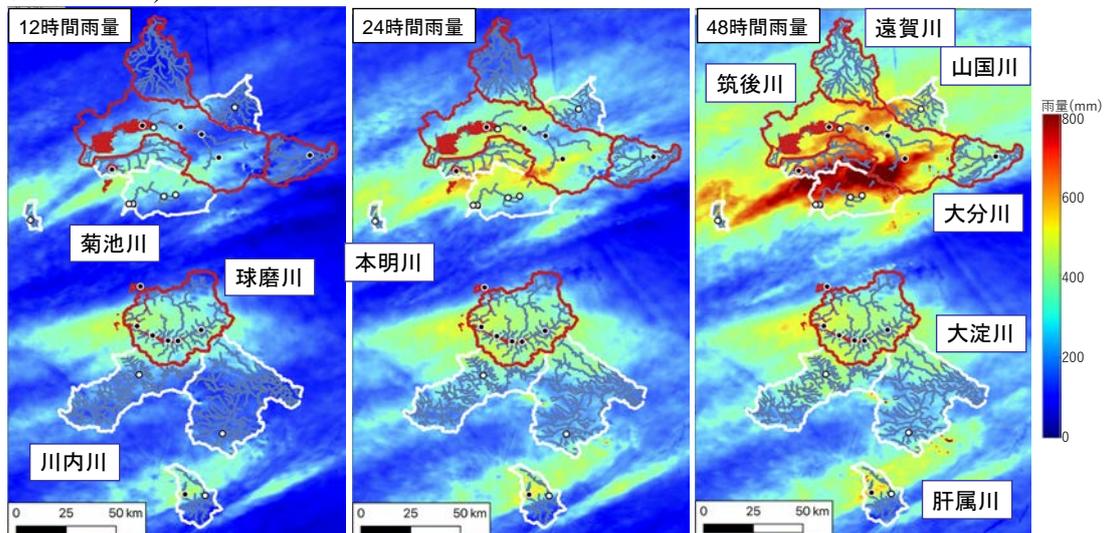


図 1.3 XRAIN(DIAS, 2020)より求めた 12, 24, 48 時間雨量

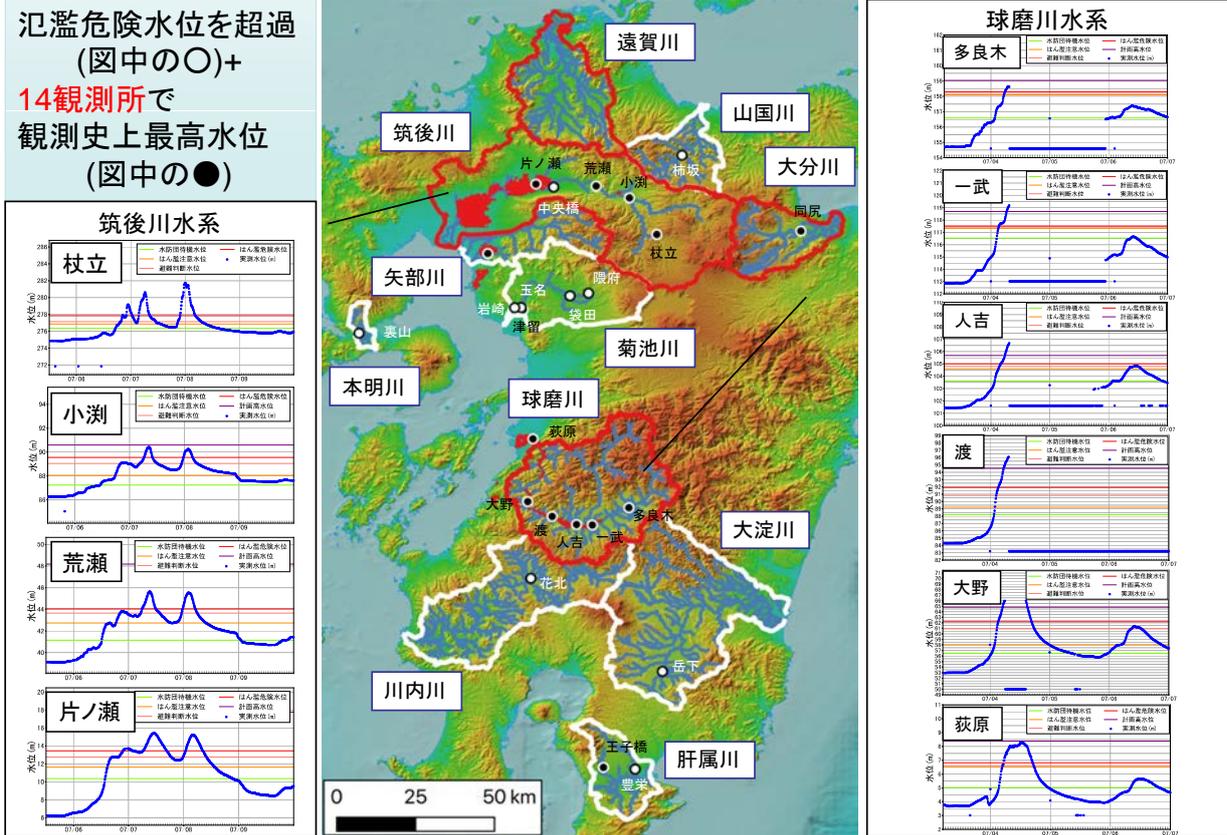


図 1.4 今次豪雨で氾濫危険水位を超過，観測史上最高水域を記録した水位観測所

図 1.3 に、XRAIN(DIAS, 2020)より求めた 12, 24, 48 時間雨量を示す。各流域の計画降雨継続時間は、矢部川で9時間，球磨川，菊池川，川内川で12時間，本明川で1日，遠賀川，山国川，大分川，肝属川で2日，筑後川，大淀川で48時間である。これより，豪雨は今回の豪雨では被害の甚大であった球磨川，筑後川と菊池川，矢部川流域および大牟田市で集中していることが確認できる。球磨川，筑後川の計画降雨量は，それぞれ262mm/12時間，521mm/48時間であり，いずれの流域もそれを超えるあるいは近い雨量が降ったことも確認できる。

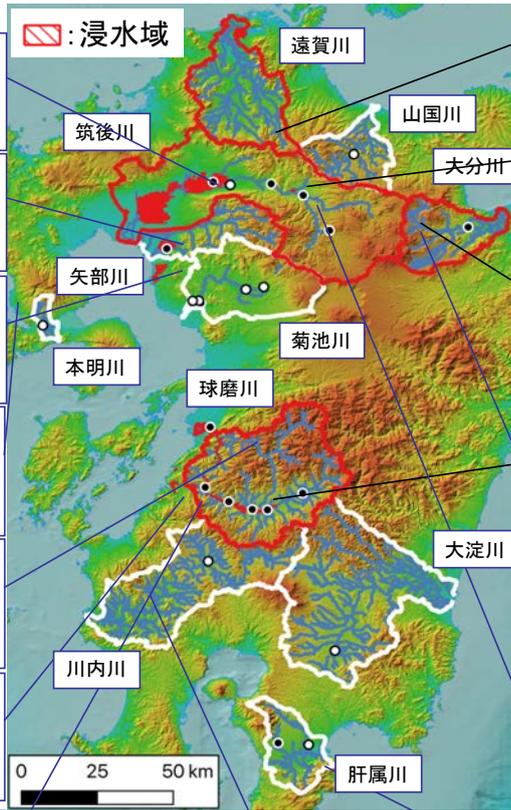
### 1.3 今次豪雨の九州地方全体の被害状況

#### 1.3.1 河川水位の状況

この豪雨により，九州内の一級水系の10水系で氾濫危険水位を超過，4水系で氾濫が発生した。国が管理する河川では，図 1.4 に示すように，10水系の水位観測所において，氾濫危険水位を超過する洪水が発生し，14の水位観測所で観測史上最高水位を記録した(国土交通省九州地方整備局，2020)。氾濫危険水位を超過した水位観測所は○で，観測史上最高水位を更新した水位観測所は●で示している。図中には筑後川と球磨川の各観測所の水位もあわせて示している。今次豪雨災害での球磨川では，出水直後，水水文質データベース(国土交通省，2020c)より取得できた水位観測データは，欠損データが数多くあった。後にデータローガーからデータが抽出され，人吉，渡の水位観測所以外の観測所では水位データが存在することがわかった。また，人吉水位観測所の近傍の人吉大橋には危機管理型水位計が設置されており，その危機管理型水位計のみが周辺の水位を観測していた。

■ 県管理河川

久留米市等(筑後川水系) ・浸水面積:約3,980ha ・床上浸水: 493戸 ・床下浸水:3,164戸
みやま市・八女市等(矢部川水系) ・浸水面積: 513ha ・床上浸水: 28戸 ・床下浸水: 45戸
大牟田市等 ・浸水面積: 722ha ・床上浸水: 1,577戸 ・床下浸水: 4,048戸
大村市等 ・浸水面積: 36.9ha ・床上浸水: 20戸 ・床下浸水: 158戸
八代市(球磨川水系) ・浸水面積: 54ha ・床上浸水: 90戸 ・床下浸水: 47戸
芦北町(球磨川水系) ・浸水面積: 349ha ・床上浸水: 1,523戸 ・床下浸水: 402戸
球磨村・相良村等(球磨川水系) ・浸水面積: 59.3ha ・全半壊家屋・床上下浸水: 821戸



■ 国管理河川

遠賀川水系 ・浸水面積: 0.8ha ・床上浸水: 0戸 ・床下浸水: 2戸
筑後川水系(日田市) ・浸水面積: 61.5ha ・床上浸水: 107戸 ・床下浸水: 27戸
大分川水系 ・浸水面積: 1.6ha ・床上浸水: 5戸 ・床下浸水: 0戸
球磨川水系 ・浸水面積: 約1,018ha ・床上・床下浸水: 約6,105戸
由布・大分市(大分川水系) ・浸水面積: 19.5ha ・床上浸水: 66戸 ・床下浸水: 94戸
九重・玖珠・日田(筑後川水系) ・浸水面積: 128.2ha ・床上浸水: 455戸 ・床下浸水: 128戸

薩摩川内・えびの市等(川内川水系) ・浸水面積: 69ha ・床上浸水: 14戸 ・床下浸水: 11戸	鹿屋市(肝属川水系) ・浸水面積: 10ha ・床上浸水: 14戸 ・床下浸水: 2戸
--	--

図 1.5 浸水被害の概要

表 1.1 治水施設の効果

水系名	ダム名	最大流入量(m <sup>3</sup> /s)	最大放流量(m <sup>3</sup> /s)	貯水量(千m <sup>3</sup> )	水位観測所名	水位低減効果(m)
川内川	鶴田ダム (7/3~7/4)	約2,917	約1,503	約42,761	宮之城	約2.03
大分川	大分川ダム (7/5~7/8)	約215	約17	約5,375	胡麻鶴	約0.6
筑後川	松原・下笠ダム (7/6~7/7)	約3,348 (松原・下笠ダム合計)	約944 (下流の松原ダム)	約54,744 (松原・下笠ダム合計)	小瀨	約1.19
筑後川	松原・下笠ダム (7/7~7/8)	約3,475 (松原・下笠ダム合計)	約1,102 (下流の松原ダム)	約27,099 (松原・下笠ダム合計)	小瀨	約1.18
山国川	耶馬溪ダム (7/6~7/8)	約560	約397	約2,168	上曾木	約0.56
菊池川	竜門ダム (7/6~7/8)	約296	約196	約2,663	隈府	約0.79
本明川	本明川ダム (7/5~7/7)	約215	約38	約2,120	裏山	約0.5

氾濫の発生は、図 1.1 に示すように、球磨川、遠賀川、筑後川、大分川で確認された。氾濫発生情報は、球磨川で 7/4 5:55 に、遠賀川水系の彦山川で 7/6 15:50 に、筑後川上中流部で 7/7 8:35、7/8 1:00 に、大分川で 7/8 0:40 に発表されている。球磨川では 2 箇所の破堤、5 箇所の越水、28 箇所の溢水が、遠賀川水系彦山川では 1 箇所の溢水が、筑後川では 1 箇所の越水、3 箇所の溢水が、筑後川水系花月川では 2 箇所の溢水が、筑後川水系庄手川では 2 箇所の溢水が、大分川では 1 箇所の越水が確認されている(国土交通省, 2020a)。

表 1.2 河川管理施設の被害状況

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
球磨川	球磨川	左岸	6k200	川震法尻バイピング 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	6k500	低水護岸天端盛土一部流出 200m
球磨川	球磨川	左岸	8k800	坂路一部損壊 1箇所
球磨川	球磨川	左岸	10k400	低水護岸裏一部流出 50m
球磨川	球磨川	左岸	10k800	階段護岸一部破損 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	12k800	道路基礎一部洗掘 5m
球磨川	球磨川	右岸	13k000	道路一部流出 20m
球磨川	球磨川	右岸	13k300	深水橋橋台等流出 30m
球磨川	球磨川	左岸	13k700	道路一部陥没 3カ所
球磨川	球磨川	左岸	14k100	護岸損壊 130m
球磨川	球磨川	左岸	14k400	護岸損壊 7m
球磨川	球磨川	右岸	14k401	護岸損壊 70m
球磨川	球磨川	右岸	15k150	坂路一部損壊 30m
球磨川	球磨川	右岸	16k400	坂路一部損壊 40m
球磨川	球磨川	右岸	17k000	護岸損壊 350m
球磨川	球磨川	右岸	18k100	護岸損壊 71m
球磨川	球磨川	左岸	18k200	護岸損壊 61m
球磨川	球磨川	右岸	18k400	護岸損壊 102m
球磨川	球磨川	右岸	19k000	護岸損壊 200m
球磨川	球磨川	右岸	20k800	護岸損壊 80m
球磨川	球磨川	左岸	24k900	護岸損壊 40m
球磨川	球磨川	右岸	26k000	護岸損壊 14m
球磨川	球磨川	左岸	38k200	護岸被災 55m
球磨川	球磨川	左岸	39k600	護岸損壊 35m
球磨川	球磨川	右岸	40k500	護岸損壊 740m
球磨川	球磨川	左岸	42k000	護岸損壊 45m
球磨川	球磨川	左岸	43k200	護岸損壊 170m
球磨川	球磨川	左岸	47k000	護岸損壊 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	48k100	護岸損壊 30m
球磨川	球磨川	右岸	52k760	護岸損壊 10m
球磨川	球磨川	左岸	52k000	護岸損壊 30m
球磨川	球磨川	右岸	52k625	舟戸排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	52k700	川表法崩れ 20m
球磨川	球磨川	右岸	52k965	渡第二排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	52k970	渡排水施設 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	53k000	天端舗装被災 15m
球磨川	球磨川	右岸	53k300	渡第三排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	53k400	川表法崩れ 20m
球磨川	球磨川	右岸	53k400	今村第一排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	53k700	今村第二排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	53k750	今村排水施設 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	54k380	地下第二排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	54k600	低水護岸崩れ、坂路洗掘、舗装損傷 50m
球磨川	球磨川	右岸	54k940	地下排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	左岸	55k000	堤防決壊 10m
球磨川	球磨川	右岸	55k200	堤防一部陥没 10m
球磨川	球磨川	右岸	55k345	山口排水樋管 1箇所
球磨川	球磨川	左岸	56k000	護岸損壊 20m
球磨川	球磨川	右岸	56k400	堤防決壊 30m
球磨川	球磨川	右岸	57k350	釜場排水樋管管理橋流出 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	58k800	堤防川裏部流失 165m
球磨川	球磨川	右岸	61k200	小段張コンクリート一部損傷 10m
球磨川	球磨川	右岸	61k330	九日町排水機場 1箇所
球磨川	球磨川	右岸	64k400	川表法崩れ 350m
球磨川	球磨川	右岸	64k600	堤防川裏部流失 5m
球磨川	球磨川	右岸	65k350	天端舗装被災 45m
球磨川	球磨川	右岸	65k640	法面洗掘・法崩れ 5m
球磨川	球磨川	右岸	66k180	法面洗掘・法崩れ 17m
球磨川	球磨川	右岸	66k200	球磨川第四橋梁右岸側堤防損壊 20m
球磨川	球磨川	左岸	71k600	低水護岸一部損傷 350m
球磨川	球磨川	左岸	78k600	連接ブロック被災 20m
球磨川	球磨川	右岸	81k700	護岸流出 20m
球磨川	球磨川			CCTV故障 24台
球磨川	球磨川			CCTV予備発電機故障 19台
球磨川	球磨川			光ケーブル断線 40km
球磨川	球磨川			テレメータ故障 2局
球磨川	球磨川			配電設備故障 1事務所
球磨川	球磨川			予備発電設備故障 1事務所
球磨川	球磨川			直流電源装置故障 1事務所
球磨川	球磨川			多重無線装置故障 1局
球磨川	球磨川			ネットワーク設備故障 6設備
球磨川	球磨川			電話交換設備故障 1設備
球磨川	球磨川			CCTV監視設備故障 1設備
球磨川	前川	左岸	4k500	護岸小段流出 10m
球磨川	前川	左岸	4k600	護岸小段流出 30m
球磨川	前川	左岸	4k700	洗掘 10m
球磨川	川辺川	右岸	0k400	堤防川裏部流失 10m
球磨川	川辺川	右岸	0k545	八田排水樋管 1箇所
球磨川	五木小川	右岸	0k200	護岸損壊 100m
球磨川	五木小川	右岸	0k700	護岸損壊 150m
球磨川	五木小川	右岸	0k800	護岸損壊 150m

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
筑後川	筑後川	右岸	39k600~39k900	川震法尻バイピング等 1箇所
筑後川	筑後川	左岸	46k800	護岸損壊 200m
筑後川	筑後川	右岸	58k400	護岸損壊 300m
筑後川	筑後川	左岸	62k200	護岸被災 80m
筑後川	筑後川	左岸	63k800	護岸損壊 50m
筑後川	筑後川	左岸	82k700	護岸損壊 100m
筑後川	佐田川	左岸	0k900	漏水 50m
筑後川	佐田川	右岸	2k200	漏水 100m
筑後川	庄手川	左岸	2k000	護岸損壊 100m
筑後川	玖珠川	右岸	0k000~0k600	護岸損壊 600m

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
遠賀川	遠賀川	右岸	43k500	護岸損壊 20m
遠賀川	遠賀川	左岸	46k600	堤防欠損 100m
遠賀川	遠賀川	左岸	47k300	低水護岸損壊 5m
遠賀川	遠賀川	右岸	44k800	堤防洗掘 3m
遠賀川	彦山川	右岸	2k000	護岸損壊 30m
遠賀川	彦山川	右岸	3k100	護岸損壊 40m
遠賀川	彦山川	左岸	11k200	護岸損壊 110m
遠賀川	彦山川	右岸	13k600	護岸損壊 125m
遠賀川	彦山川	左岸	20k600	護岸損壊 60m
遠賀川	彦山川	左岸	23k200	護岸損壊 32m
遠賀川	彦山川	右岸	27k600	護岸損壊 45m
遠賀川	彦山川	左右岸	29k800	護床工被災 15m
遠賀川	彦山川	右岸	30k600	護岸損壊 50m
遠賀川	彦山川	右岸	30k800	護岸損壊 50m
遠賀川	彦山川	左岸	31k200	護床工被災 20m
遠賀川	彦山川	左岸	31k500	低水護岸損壊 5m
遠賀川	彦山川	右岸	31k600	護岸損壊 15m
遠賀川	彦山川	右岸	32k800	護岸損壊 45m
遠賀川	彦山川	左岸	34k200	護岸損壊 15m
遠賀川	彦山川	右岸	34k200	護岸損壊 40m
遠賀川	彦山川	右岸	34k200	護岸洗掘 10m

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
大分川	大分川	右岸	15k900	護岸損壊 115m
大分川	七瀬川	左右岸	3k200	護床工被災 105m
大分川	賀来川	右岸	2k200	護岸損壊 15m
大分川	大分川	左岸	12k900	護岸損壊 15m
大分川	大分川	左岸	13k400	護岸背面洗掘 15m
大分川	大分川	右岸	15k400	河岸浸食 15m
大分川	賀来川	左岸	0k800	河岸浸食 15m

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
菊池川	繁根木川	右岸	2k600	堤防洗掘 30m
菊池川	迫間川	右岸	4k350	堤防洗掘 15m
菊池川	迫間川	右岸	7k750	堤防洗掘 40m
菊池川	菊池川	右岸	28k000	河床洗掘 50m
菊池川	菊池川	左岸	47k800	洗掘・低水護岸損壊 20m

水系	河川名	地点	被害状況	被害状況
矢部川	矢部川	左岸	17k700	護岸損壊 75m
矢部川	矢部川	右岸	17k000	護岸被災 240m
松浦川	厳木川	右岸	4k100	護岸損壊 80m
大淀川	大淀川	左岸	76k300	護岸損壊 1箇所
緑川	緑川	左岸	8k000	護岸損壊 40m



図 1.6 土砂災害の発生状況(国土交通省, 2020b)

### 1.3.2 浸水被害の概要

この出水によって、国が管理する河川、県が管理する河川で浸水被害が生じた。各水系の浸水面積、床上、床下浸水した家屋戸数を、一部地域について図 1.5 に示す。図中の赤いハッチは浸水域を示しており、国土地理院の浸水推定図を用いた(国土地理院, 2020b)。また、ここには記載のない地域においても浸水被害が発生しており、九州の全域で被害が生じている。特に、球磨川水系および筑後川水系で浸水被害の多くが集中し、図中に示すように多数の家屋被害も発生した。球磨川水系は外水氾濫であり、筑後川水系の上流域は外水氾濫、下流域は内水氾濫であった。

今回の災害では、多くのダムがその機能を発揮し浸水被害を軽減した。各ダムの効果をまとめたものを、表 1.1 に示す。今次豪雨で水位低減効果が大きかったダムは、鶴田ダム、松原・下笠ダム、竜門ダムであり、鶴田ダムは宮之城水位観測所で約 2.03m、松原・下笠ダムは小淵水位観測所で約 1.19m、竜門ダムは隈府水位観測所で 0.79m の水位低減効果があった。その他のダムについても、各水位観測所で 0.5~0.6m の水位低減効果が確認されている(国土交通省九州地方整備局, 2020)。

### 1.3.3 河川管理施設の被害の概要

今次出水では河川管理施設にも被害が生じた。各水系での河川管理施設の被害状況をまとめたものを表 1.2 に示す。河川管理施設の被害の多くは護岸損壊である。今回の出水では、最も重要な河川管理施設である堤防にも複数の河川で被害が生じた。球磨川では堤防決壊、球磨川、筑後川では川裏法尻でのパイピング、遠賀川で堤防欠損、菊池川では堤防洗掘が発生した。

表 1.3 県別の被害額（単位：百万円）

県名	公共施設関係	農林水産関係	教育関係	商工・その他	総額
福岡(令和2年7月30日時点)	18,500	9,800	400	5,500	34,200
熊本(令和2年10月28日時点)	155,416	101,911	4,903	294,227	556,457
佐賀(令和3年1月22日時点)	2,950	5,440	24	656	9,070
大分(令和2年8月3日時点)	33,293	12,763	204	378	46,638
長崎(令和2年8月7日時点)	8,645	6,267	7	-	14,919
宮崎(令和2年8月5日時点)	4,760	2,644	-	-	7,404
鹿児島(令和2年8月31日時点)	16,536	9,280	-	330	26,146
				総額	694,834

#### 1.3.4 土砂災害による被害

図 1.6 に、本豪雨で発生した土砂災害の発生状況を示す(国土交通省, 2020b)。同資料には、九州地方以外も含まれているが、本豪雨での九州地方の土砂災害発生件数は、2020年8月21日12:00時点で、熊本県で222件、鹿児島県で69件、福岡県で58件発生している。福岡県朝倉市杷木や熊本県葦北郡津奈木町では土石流が、同郡芦北町や大分県日田市天瀬町ではがけ崩れが発生した。平成29年7月九州北部豪雨で人災な被害を受けた朝倉市杷木松末では、7月5日から雨により大量の土砂が流出した。朝倉市杷木松末の乙石川遊砂地では約16,000m<sup>3</sup>の土砂を、赤谷13砂防堰堤では約1,000m<sup>3</sup>の土砂を捕捉し、下流域での被害防止に貢献したことも確認されている(国土交通省九州地方整備局, 2020)。

#### 1.3.5 県別の被害総額

表 1.3 に、県別の被害総額を示す。九州地方の7県で6,948億円の被害額となった(福岡県, 2020, 熊本県, 2020, 佐賀県, 2021, 大分県, 2020, 長崎県, 2020, 宮崎県, 2020, 鹿児島県, 2020)。被害額は、熊本県、大分県、福岡県が大きく、それぞれの被害額は、5,565億円、466億円、342億円であった。

### 1.4 まとめ

本章では、今次豪雨における九州地方全体の降雨の概要と被害状況を概説した。より詳細な調査報告については、各流域での調査報告を参照されたい。

#### 謝辞

本調査を実施するに当たり、公益社団法人土木学会西部支部、公益財団法人河川財団から財政的支援を頂いた。国土交通省九州地方整備局、気象庁、熊本県、国土地理院、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)からはデータの提供を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

DIAS : <http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2020.

OpenStreetMap : <https://openstreetmap.jp>, 2020.

大分県 : 「令和2年7月豪雨」に係る被害状況等について、  
<https://www.pref.oita.jp/site/202007saigaiinfo/r0207gouhigaijoukyou.html>, 2020.

鹿児島県 : 令和2年7月3日からの大雨による被害状況等, 2020.

## 第1編

気象庁：「令和2年7月豪雨」の特徴と関連する大気の流れについて（速報），2020.

熊本県：令和2年7月豪雨復旧・復興本部会議(第3回)，2020.

国土交通省：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp>，2020c.

国土交通省：令和2年7月豪雨災害による被害と対応，2020b.

国土交通省：令和2年7月豪雨災害による被害状況等について(第52報)，2020a.

国土交通省九州地方整備局：令和2年7月豪雨の概要と対応(第2報)，2020.

国土地理院：浸水推定図，[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html)，2020b.

国土地理院：地理院タイル，<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>，2020a.

佐賀県：令和2年7月6日からの大雨による被害状況等（令和3年1月22日9時現在），

<https://www.pref.saga.lg.jp/bousai/kiji00375923/index.html>，2021.

長崎県：令和2年7月豪雨に係る被害状況，<https://www.pref.nagasaki.jp/sb/damage/view.php?num=417>，2020

福岡県：令和2年7月豪雨に伴う災害対策本部会議(第10回)，2020.

宮崎県：令和2年7月豪雨(7月3日から12日の大雨)による被害状況等について，

<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/kiki-kikikanri/kurashi/bosai/20200721090058.html>，2020.

## 第2章 今次水害の人的被害の特徴

九州大学 田井 明

### 2.1 人的被害の概要

本章では今次水害における九州地方の人的被害の特徴について述べる。調査は現地調査、熊本県の公表データ（熊本県）、マスコミの報道内容の情報を収集し、考察などを行った。

図 2.1 に市町村別の人的被害の状況を示している。九州地方における死者・行方不明者は計 79 名（死者 77 名，行方不明者 2 名）で県別では熊本県が最も多く 67 名で，次いで大分県が 6 名，長崎県 3 名，福岡県 2 名，鹿児島県 1 名であった（令和 3 年 2 月 26 日現在）。

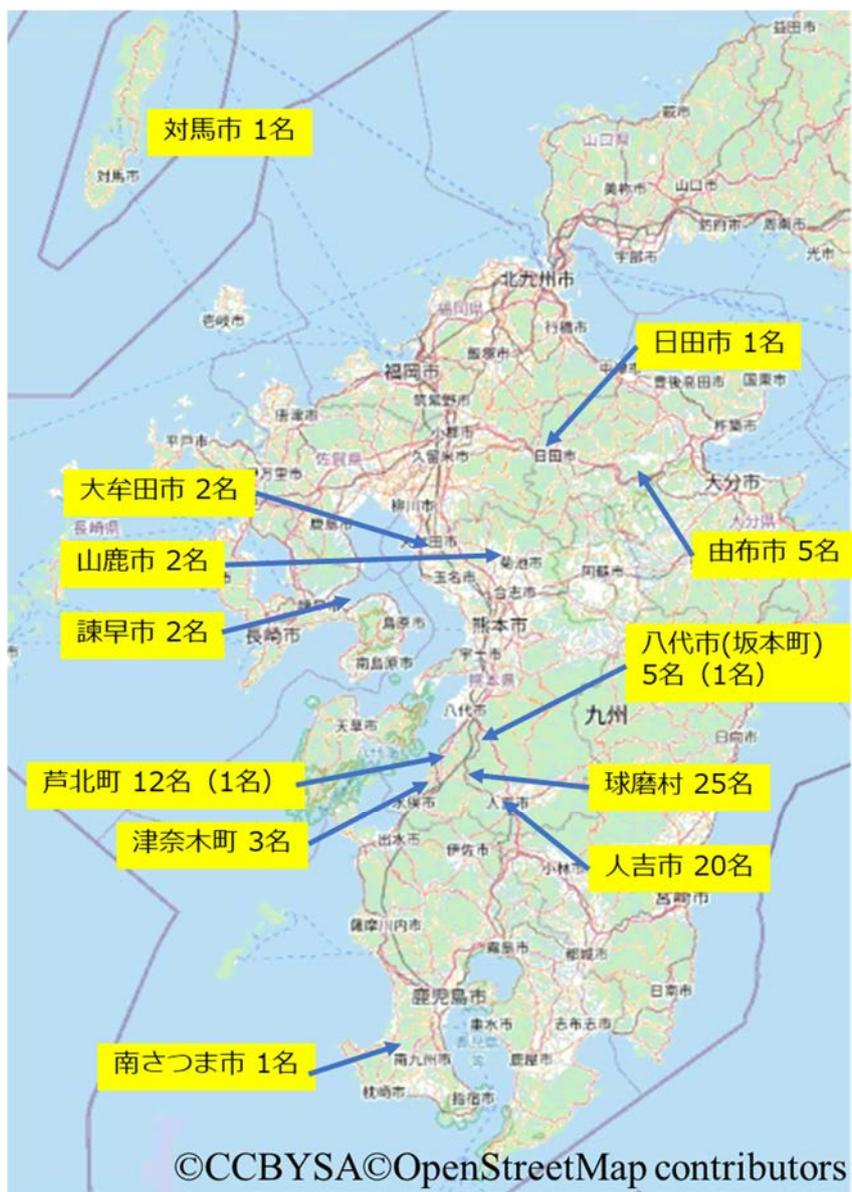


図 2.1 市町村別の人的被害の状況

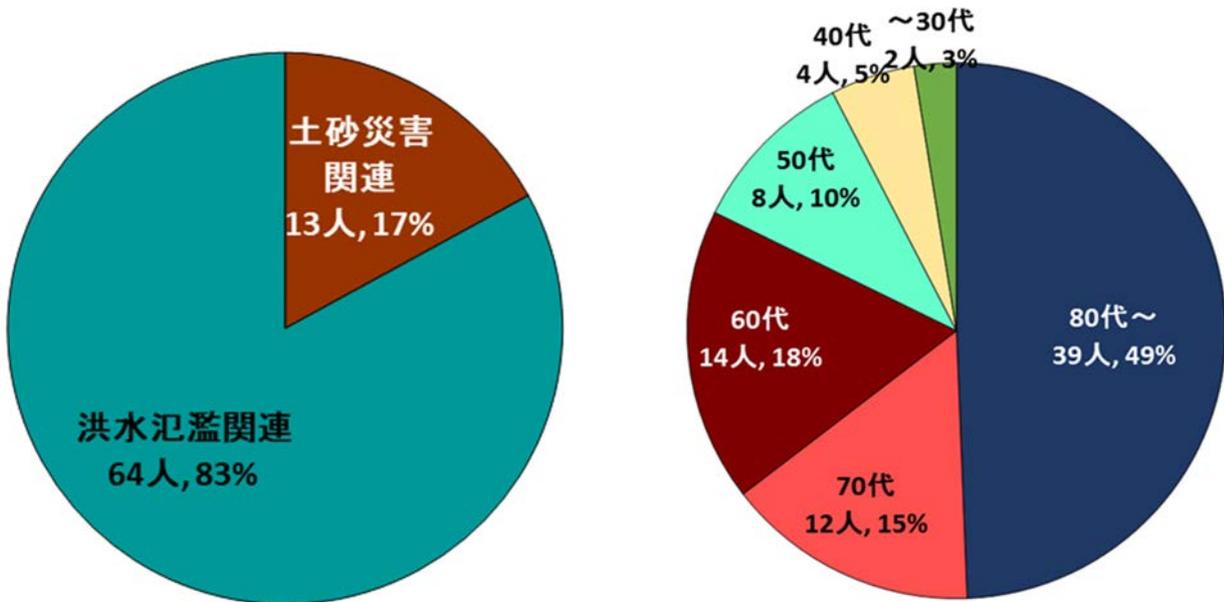


図 2.2 令和 2 年 7 月豪雨の九州内での原因別死者・行方不明者の割合

図 2.3 令和 2 年 7 月豪雨の九州内での年代別死者・行方不明者の割合

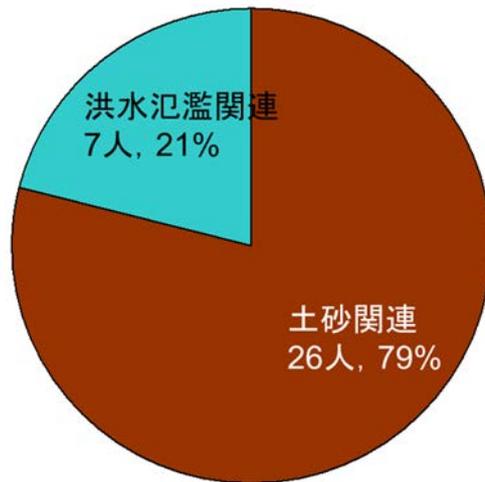


図 2.4 平成 24 年九州北部豪雨時の九州内での原因別死者・行方不明者の割合

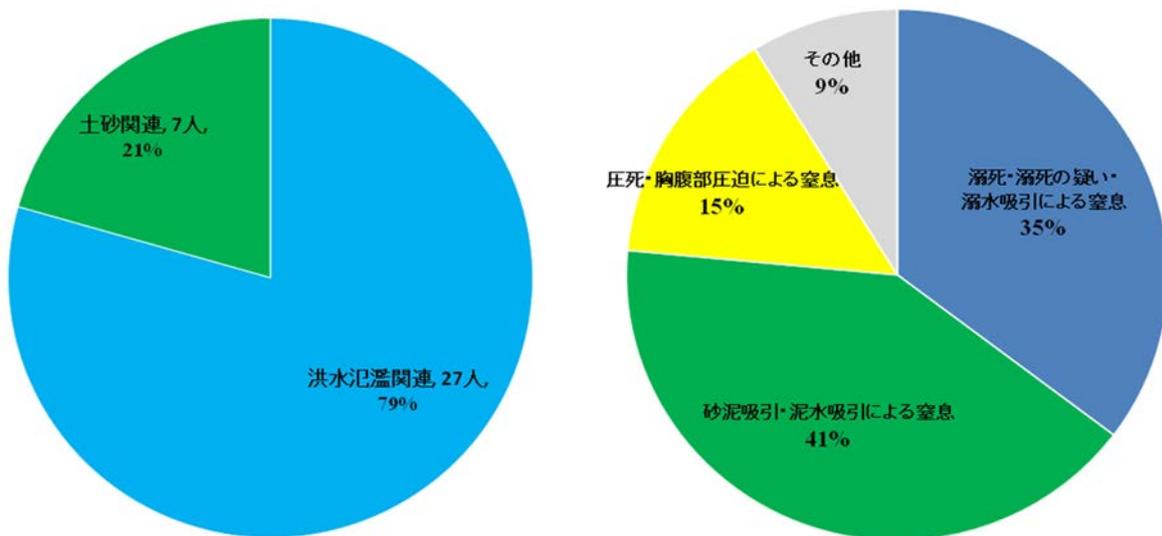


図 2.5 平成 29 年九州北部豪雨時の九州内での原因別死者・行方不明者の割合 (左図：要因別, 右図：検死結果 (福岡県警データより作成, 朝倉市のみ))

## 第1編

図 2.2 には令和 2 年 7 月豪雨の九州内での原因別死者・行方不明者の割合を示している。原因は、熊本県が公表した死因のデータや報道資料などから、洪水氾濫に起因するものと土砂災害に起因するものに分類した。これより、今次水害においては、洪水氾濫関連による人的被害が多くなっていることが分かる。熊本県が公表した死因データでは、熊本県内では犠牲者 65 名中 54 名が溺死もしくは溺死の疑いとされており、死因の中で最も多くなっていた。図 2.3 には今次水害における九州地方の年齢別犠牲者の数を示している。60 代以上の犠牲者が全体の 8 割を占めており、災害弱者である高齢者の犠牲者が多いことが分かる。図 2.4 に平成 24 年九州北部豪雨時の九州内での原因別死者・行方不明者の割合、図 2.5 に平成 29 年九州北部豪雨時の九州内での原因別死者・行方不明者の割合を示しており、こちらは左図の要因別とともに、右図に福岡県警データより作成した朝倉市の検死結果をまとめたものを示している。平成 24 年九州北部豪雨は阿蘇地方の土石流などの土砂災害による人的被害が多く、これは長崎豪雨などの九州地方の過去の豪雨災害で生じてきた傾向と類似していた。一方、平成 29 年九州北部豪雨では筑後川中流部の中小河川に沿いに犠牲者の多くが生じ、洪水氾濫関連の犠牲者が多くなっていた。しかし、福岡県警の検死結果からは河川沿いの犠牲者であっても、砂泥の吸引などの土砂を直接の要因とする犠牲者が最も多くなっており、河川を流れ下ってきた砂泥により犠牲になられた方が多かったことが分かる。一方、今次水害においては前述したように溺死の割合が多く、近年の九州地方で生じた水害の中でも特徴的なものであったと考えられる。

## 2.2 人的被害発生状況

本節では現地調査や報道資料などをもとに流域別にどのように人的被害が生じたのか説明する。

### 2.2.1 球磨川流域

球磨川流域では今次水害で最も多くの人的被害が生じた。中でも多くの人的被害が生じたのが、特別養護老人ホーム「千寿園」(写真 2.1)の事例である。千寿園では 80 代以上の高齢者 14 名が犠牲になっている。今次水害ではこの事例以外の特別養護老人ホームでも犠牲者は出ていないものの危機的な状況が生じている(産経 WEST, 2020)。また、九州地方では 2010 年奄美豪雨でも特別養護老人ホームで豪雨災害時に犠牲者が生じている。



写真 2.1 特別養護老人ホーム「千寿園」の外観



写真 2.2 八代市坂本町の被災の様子

## 第1編

人吉盆地内では前述の千寿園での犠牲者を除くと、人吉市内で20名、球磨村渡で2名の方が犠牲となった。そのうち屋内で発見された方が12名、屋外で発見された方が8名であった。屋外で発見された方々の中には、自宅が全壊し氾濫流に流された事例や避難中に車で氾濫流に流された事例が確認された。また、一度、避難所に避難したがペットが心配になり自宅に戻られて被災し、犠牲になられた事例もあった。

次に、人吉盆地より下流の球磨川中流部狭窄部では球磨村神瀬で3名、球磨村一勝地6名で、八代市坂本町(写真2.2)5名、芦北町天月で1名の計15名の死者行方不明者が生じている。球磨川中流部は延長43Kmにおよぶ山間狭窄部となっており、洪水時に水位が上昇しやすい地形となっており、2階の屋根に避難していたが濁流にのまれてしまった事例などが確認された。

住民の方の証言から、既往の水害時の経験をもとに2階などに避難すれば大丈夫と判断された方が複数人確認された。犠牲者のなかにも自宅のほうが安全と判断し避難を断った方もおられた。一方で、過去の水害で床上以上の甚大な被害を受けた場所に今次水害時も住まれている方の中には迅速に避難を完了されていた方もおられた。どちらの場合も過去の災害経験が避難行動に大きく影響していることが分かる。

### 2.2.2 芦北地方

芦北地方では芦北町と津奈木町で死者行方不明者合わせて14名の人的被害が生じた。そのうち11名は前述した通り土砂災害による犠牲者である。小田浦地区で2名、田川地区で3名、女島地区で2名、伏木氏地区で1名、福浜地区で3名となっている。いずれの土砂災害も一つの土砂災害による被害範囲は狭く、一つの家でご夫婦やご家族と一緒に被災されている事例が多い。また、家の2階にいた方は救助され、1階に居られた方々が犠牲となった事例もあり、土砂災害の被害は非常に局所的に生じていることが分かる。また、人吉方面から芦北方面に乗用車で帰宅途中に被災し犠牲になられた方もいる。

### 2.2.3 大分川流域

大分川流域の湯平地区では4名の住民が車で避難中に被災し、亡くなっている。4人は湯平温泉で旅館を営まれているご家族であり、乗用車で避難中に花合野川沿いの道路で氾濫水により動けなくなると推定されている。また、挾間町の男性は7月8日午前3時ごろ外出中に車ごと流された。8日朝、同町挾間の黒川(大分川支流)で本人の軽乗用車が見つかり、14日昼前に大分市荏隈の大分川で発見された。

### 2.2.4 大牟田市

大牟田市では内水による浸水により2名の高齢者が自宅内で亡くなっている。A氏は消防に通報し救助を要請した。しかし、消防隊が駆け付けた時には自宅付近はボートでしか近づけない状態となっており、ご自宅で発見された。B氏は自宅アパート1階の自宅で溺れて亡くなった。急激な水位の上昇で孤立し、避難できなかった可能性がある。

### 2.2.5 その他の地域

その他の地域では、筑後川留意区天ヶ瀬地区、山鹿市(2名)、南さつま市、対馬市でいずれも洪水氾濫流により犠牲者が生じている。

## 第1編

諫早市高来町では土砂災害により2名の方が亡くなっている。この土砂災害は2020年7月25日に生じたもので一連の豪雨が落ち着いてきた無降雨時に同町観光スポットである「轟峡」で発生したものである。諫早市の7月の総雨量は931.5mmと平年値393.7mmを大きく上回っており、土砂災害が生じやすい状況であったと考えられている（西日本新聞,2020）。

### 2.3 まとめ

本章では今次水害における人的被害について速報的にまとめた結果を報告した。

全体的に過去の水害と比較して溺死などの洪水氾濫流に起因する犠牲者が多かったことが特徴的であった。また、球磨川流域の特別養護老人ホームでの被災事例などから従来から課題となっている高齢者などの災害弱者の避難体制の整備が十分でないことが示唆された。

今次水害において熊本県より犠牲者の氏名、住所、死因などのデータが公表された。データの公表にはご遺族の同意を要件としているが全員分が公開されている。このような貴重なデータを活かし、人的被害発生メカニズムの解明や対策の立案を行っていくことが必要である。

### 謝辞

本報告の作成にあたり、九州大学大学院の鍋島孝顕氏に支援いただいた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

熊本県：令和2年7月豪雨に係る熊本県災害対策本部会議資料（第29回），2020。

産経WEST：「奇跡重なっただけ」床上浸水80センチ熊本・芦北町の特養 入所者全員生還も避難に課題」，<https://www.sankei.com/west/news/200717/wst2007170044-n1.html>，2020年7月17日

西日本新聞：「まさか…」住民絶句 地盤緩み土砂一気 諫早市崖崩れで母娘死亡，  
<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/629498/>，2020年7月26日



## 第3章 今次災害の主な特徴と報告書の構成

九州工業大学 重枝 未玲

### 3.1 はじめに

今次豪雨災害では第1章に示すような災害が発生した。今次豪雨はコロナ禍での災害であったことが特徴の一つである。ここでは、コロナ禍での災害調査について記録を残すとともに、今次災害の主な特徴と本報告書の構成を示す。

### 3.2 コロナ禍での災害調査

公益社団法人土木学会水工学委員会では、7月4日(土)に、マスコミ報道等により被害の全貌が明らかになりつつあった状況で、災害調査団を結成することを決めた。はじめ、球磨川流域を中心とした九州南部を中心に災害調査を実施することとし、「令和2年7月九州南部豪雨災害調査団」を結成したが、その三日後の7月7日(火)には九州北部を中心に豪雨災害が発生し、その被害の大きさから「令和2年7月九州豪雨災害調査団」と名称変更し、学術面から豪雨災害の実態解明、自然的・社会的特徴および災害の因果関係を明らかにし、貴重な教訓を得て今後の対策につなげることを目的に調査を実施することとした。調査団メンバーは表3.1に示す通りである。発災後、雨の日が多く、道路の被害も多く、これに加えコロナ対応のために、現地入りが困難な中、災害調査は進められた。

今回の調査は、コロナ禍の中で実施されることから、対象地域では慎重な対応が求められた。調査団は、水工学委員会水害対策小委員会との議論を重ね、新型コロナウイルスの発生・拡大防止のために、以下のような方針で慎重に調査を進めることとした。全国的にGo To トラベルキャンペーンが実施された際には、九州、中国、四国地区以外の団員の現地入りも可能としたが、令和3年1月に1都3県に緊急事態宣言が発出された後は、調査の自粛をお願いした。災害調査にもかかわらず、現地入りが果たせなかった団員もおられた。

#### ■新型コロナウイルスの発生・拡大防止のための方針

- ・ 通常の災害調査における安全対策に加えて、新型コロナウイルスの感染・拡大と熱中症対策をしっかり行って現地調査を実施して下さい。なお、現時点で現地調査が可能な団員は、九州、中国、四国地区の団員に限ります。
- ・ 調査団で集合し一斉調査することは予定しておりません。
- ・ 各大学・組織の行動指針に従い、必要最低限の人員で現地調査を実施して下さい。
- ・ 現地での調査ではマスクやフェースガードを着用して下さい。ただし、熱中症対策は行って下さい。特に聞き取り調査については、社会的距離を保った上で実施して下さい。
- ・ 調査前後、機器等を消毒用アルコールで消毒して下さい。

表 3.1 土木学会水工学委員会「令和2年7月九州豪雨災害調査団」メンバー

氏名	役割	所属	氏名	役割	所属
1 大本 照憲	団長	熊本大学工学部	27 杉原 裕司	団員	九州大学大学院総合理工学研究院
2 矢野 真一郎	副団長	九州大学大学院工学研究院	28 鮎本 健治	団員	日本ミクニヤ株式会社
3 石田 桂	幹事	熊本大学工学部	29 鈴木 誠二	団員	長崎大学
4 重枝 未玲	幹事	九州工業大学大学院工学研究院	30 清野 聡子	団員	九州大学
5 赤松 良久	団員	山口大学大学院	31 田井 明	団員	九州大学大学院工学研究院
6 秋山 壽一郎	団員	九州工業大学名誉教授	32 田中 亘	団員	長崎大学
7 朝位 孝二	団員	山口大学大学院創成科学研究科	33 辻本 剛三	団員	熊本大学
8 池畑 義人	団員	日本文理大学工学部	34 津田 守正	団員	水資源機構
9 石川 忠晴	団員	東京工業大学名誉教授	35 寺村 淳	団員	九州大学工学研究院
10 石塚 正秀	団員	香川大学創造工学部	36 二瓶 泰雄	団員	東京理科大学
11 泉 典洋	団員	北海道大学大学院工学研究院	37 橋本 彰博	団員	福岡大学工学部
12 鶴崎 賢一	団員	群馬大学大学院理工学部	38 林 博徳	団員	九州大学
13 大串 浩一郎	団員	佐賀大学教育研究院自然科学域理工学系	39 林 義晃	団員	福岡大学工学部
14 岡田 将治	団員	高知工業高等専門学校	40 平川 隆一	団員	前橋工科大学
15 押川 英夫	団員	佐賀大学教育研究院自然科学域理工学系	41 藤森 祥文	団員	愛媛大学大学院理工学研究科
16 川越 典子	団員	日本工営福岡支店流域水管理部	42 古里 栄一	団員	鹿児島大学南九州・南西諸島域共創機構
17 北川 慶子	特別団員	聖徳大学 心理・福祉学部	43 松本 健作	団員	群馬大学大学院理工学部
18 小林 健一郎	団員	神戸大学都市安全研究センター	44 丸谷 靖幸	団員	九州大学大学院工学研究院
19 小松 利光	団員	九州大学名誉教授	45 溝口 敦子	団員	名城大学
20 小森田 智大	特別団員	熊本県立大学	46 皆川 朋子	団員	熊本大学
21 齋田 倫範	団員	鹿児島大学学術研究院理工学域	47 峯 浩二	団員	日本ミクニヤ株式会社
22 佐藤 達郎	団員	九州大学	48 森山 聡之	団員	福岡工業大学社会環境学科
23 佐野 雄一	特別団員	日本ミクニヤ株式会社	49 森脇 亮	団員	愛媛大学大学院理工学研究科
24 島谷 幸宏	団員	九州大学	50 矢倉 貴文	特別団員	日本工営福岡支店流域水管理部
25 清水 義彦	オブザーバー	群馬大学大学院理工学部	51 山口 創一	団員	九州大学大学院総合理工学研究院
26 白水 元	団員	山口大学大学院創成科学研究科			
		中・四国支部のメンバー			九州・中・四国以外のメンバー

コロナ禍であったため、団員との情報共有は全てオンラインとした。オンラインストレージを準備し、団員全員が情報を共有できるようにした。令和2年8月、10月、令和3年1月の3回ほどのオンラインで意見交換会を開催し、情報の共有化を図るとともに議論を深めた。画面越しの議論ではあったが、オンラインで参加しやすかったこともあり、遠方を含め多くの研究者が出席でき、本調査を進める上で大変有意義な場となった。

### 3.3 今回の災害の主な特徴と報告書の構成

ここでは、全体を通じて今次災害で見られた特徴を示す。詳細については、第2章以降を参照されたい。

- ① 今次豪雨では、「大気の水蒸気」と表現されるような大量の水蒸気が帯状に流れ込む現象が発生し、豪雨災害を引き起こした(読売新聞, 2020)。大量の水蒸気が九州に流入・停滞し豪雨が発生した(西日本新聞, 2020)。線状降水帯が複数発生した(気象庁, 2020)。九州5県に大雨特別警報が発表され、最大級の警戒が呼びかけられた(気象庁, 2020)。災害が発生した気象条件と流域別の雨量について、第2編で報告する。
- ② 九州全域で浸水被害が発生した。九州内の一級水系の10水系で氾濫危険水位を超過し、4水系で氾濫が発生した。14の水位観測所で観測史上最高水位を更新した。一級河川の外水氾濫に加え、中

## 第1編

小河川の内水氾濫が被害を拡大させた。山地、盆地などの流域地形や狭窄部、急流谷底河川などの河川地形による流下型の氾濫形態、本川の水位上昇に伴う支川合流部の堰上による氾濫、急激な水位上昇、家屋崩壊、落橋、堤内から堤外地に向う流れによる破堤、昭和28年以来の外水氾濫、毎年のように発生する内水氾濫などの特徴的な現象が生じた(国土交通省九州地方整備局, 2020)。さらに、沿岸域には出水による濁水と流量が流入した。これまで不明なことが多かった発災時の状況がSNSや衛星データで捉えることができるようになった。球磨川の災害については第3編で、筑後川の災害について第4編で、大分川・肝属・川内川・中小河川流域の調査結果については第5編で、今次出水が沿岸域に及ぼす影響や水害時の状況把握の新技术については第6編で報告する。

- ③ 今次豪雨災害時の避難は、急激な水位上昇に伴う中での避難であった。また被災した流域には、平成29年九州北部豪雨で被災を受けた流域や毎年のように内水氾濫が発生する流域も含まれており、将来の九州の豪雨災害リスクの増大を示すものであった。今次豪雨時避難情報やタイムラインに基づく避難対応、九州における将来の豪雨災害リスクについては第7編で述べる。

最後に上記を総括し、今後の河川災害の対応への提言を第8編で示す。

## 3.4 まとめ

本章では、コロナ禍で災害調査を記録として残すとともに、今回の災害の主な特徴と報告書の構成を示した。新型コロナウイルス感染症の感染拡大などの関係により今回の報告書には報告を掲載できなかった団員や、報告書のページ数の制限で調査結果を十分に報告できなかった団員もいるが、論文化するなどの形での報告を期待したい。

### 参考文献

気象庁：「令和2年7月豪雨」の特徴と関連する大気の流れについて（速報），2020。

国土交通省九州地方整備局：令和2年7月豪雨の概要と対応(第2報)，2020。

西日本新聞：7月豪雨「小低気圧」が影響 大量の水蒸気流入，最大規模の線状降水帯，  
<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/677698/>，2020。

読売新聞：流量は信濃川の800倍，「大気の水」熊本豪雨時に発生，  
<https://www.yomiuri.co.jp/science/20200711-OYT1T50158/>，2020。



## 第 2 編

### 令和 2 年 7 月豪雨の特徴

熊本大学

石田 桂

福岡大学

林 義晃

福岡大学

橋本 彰博



## 第1章 豪雨をもたらした気象条件

熊本大学 石田 桂

## 1.1 はじめに

気象庁の発表によれば、令和2年は梅雨明けが平年値より非常に遅く、沖縄や奄美地方を除いて7月末付近であった。梅雨明けは九州南部でも7月28日（平年値より14日遅れ）、九州北部では7月30日（11日遅れ）であった。結果として日本各地に豪雨を生じ、「令和2年7月豪雨」の期間は7月3日から7月31日とされた。九州を中心に長期間に渡り大雨をもたらした7月3日～14日にかけての大気の状態についても気象庁から速報が出されている（気象庁，2020）。本調査では、気象庁の速報とは少し異なった視点から、九州に豪雨をもたらした気象条件、特に大気中水蒸気輸送に注目し解析を行なった。また、解析には欧州中期予報センター(ECMWF)が提供する大気再解析データ ERA5 及び ERA5 Back Extension を用いた。ERA5 の時空間解像度はそれぞれ1時間、0.25度×0.25度であり、再解析データとしては非常に詳細である。また、ERA5 は1979年から現在までのデータを提供しており、Preliminary Version ではあるが Back Extension として1950年からのデータが最近追加された。この詳細な長期間の大気情報を利用し、令和2年7月の大気の状態を解析し今次豪雨をもたらした気象条件の調査を行なった。以降、ERA5 及び ERA5 Back Extension をまとめて ERA5 と呼ぶ。

## 1.2 豪雨時の水蒸気輸送(WVF)

九州において豪雨が発生した7月上旬の九州付近の Water Vapor Flux を図1.1に示す。7月3日19:00～4日6:00の Water Vapor Flux の平均値を見ると、九州南部に大気中の水蒸気が収束している(図1.1a)。また、7月6日7:00～18:00の Water Vapor Flux の平均値(図1.1b)は九州の熊本以北に集中している。このように水蒸気が収束したことにより、7月上旬に九州で豪雨が発生したものと考えられる。

次に、7月上旬の大気中水蒸気輸送(Water Vapor Flux)などを調べた。ERA5 から1時間毎の東向き Water Vapor Flux, 北向き Water Vapor Flux, 可降水量, 海面温度, 及び蒸発散量を抽出した。東向き・北向き Water Vapor Flux から絶対値及び向きを計算した。また、ERA5 に含まれるデータ名 Evaporation は簡

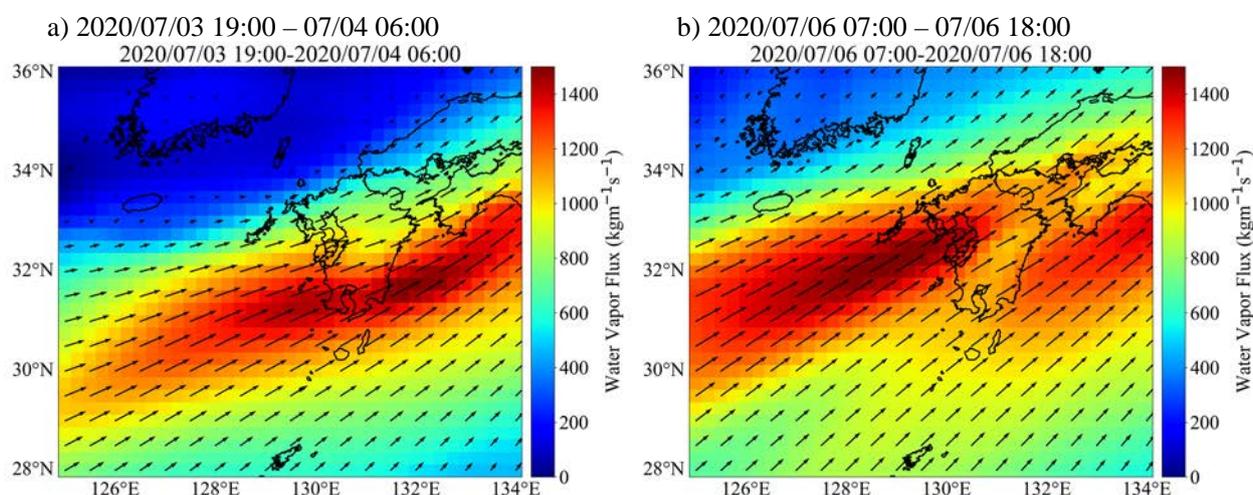


図1.1 7月3日19:00～4日6:00及び7月6日7:00～18:00の12時間平均 Water Vapor Flux

第2編

易モデルによる蒸散量を含むため蒸発散量として使用した。ただし、Evaporation データには凝縮も含まれており負値として扱われている。

図 1.2 にアジア周辺における 7 月 1 日～3 日及び 7 月 5 日～7 日の 3 日間平均の Water Vapor Flux, 可降水量, 海面温度, 及び蒸発散量を示す。7 月 1 日～3 日における Water Vapor Flux (図 1.2a) を見るとインド洋から東南アジアを通り南シナ海・東シナ海を通る水蒸気の流れが見受けられる。そして、南

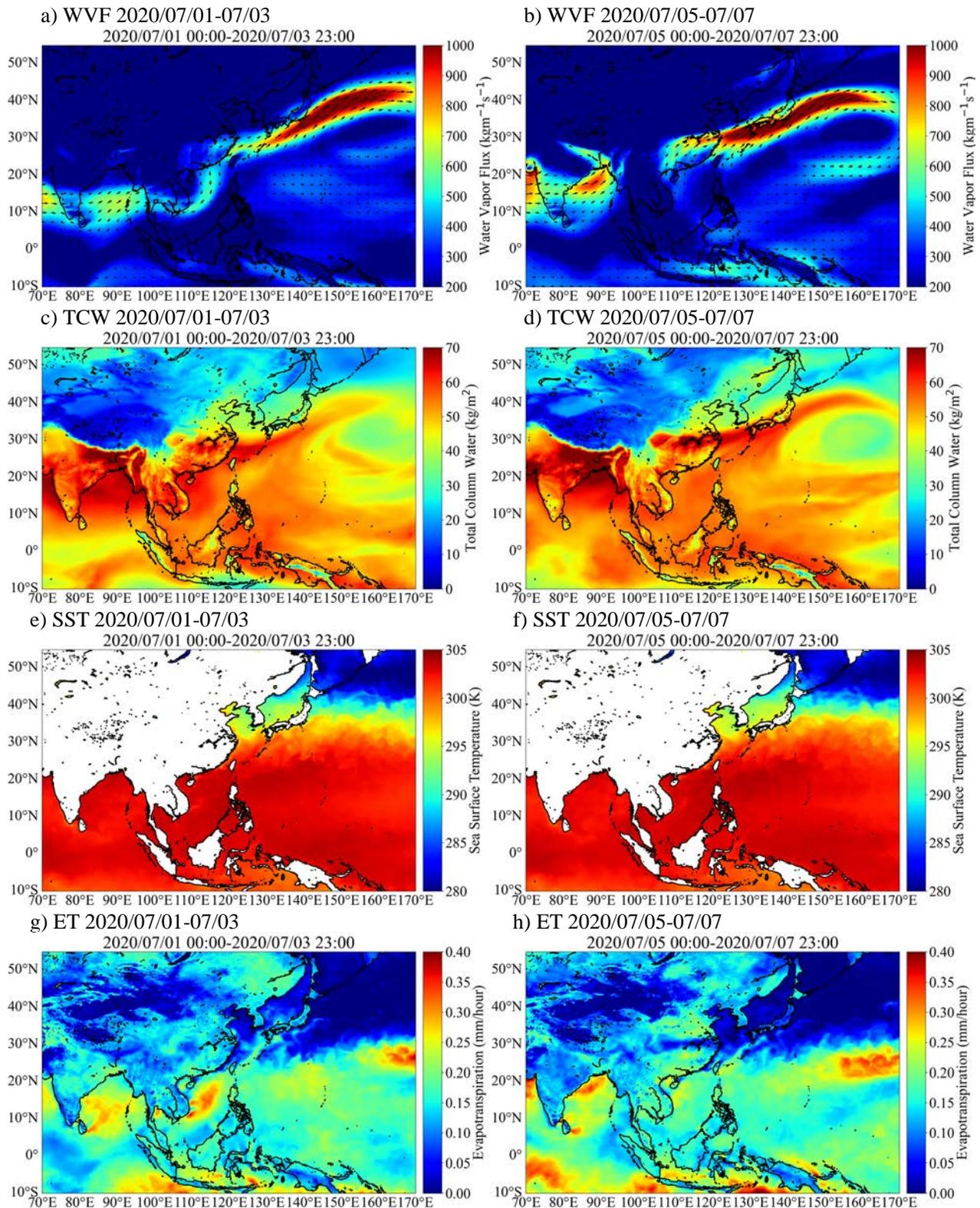


図 1.2 7 月 1 日～3 日及び 7 月 5 日～7 日の 3 日間平均の a,b)Water Vapor Flux (WVF), c,d)可降水量 (TCW), e,f) 海面温度(SST), 及び g,h)蒸発散量(ET)。

## 第2編

シナ海から中国方向への流れと中国・台湾間の台湾海峡を通る流れが発生している。そこから、九州の方向に流れ込んできているのがわかる。また、太平洋からも強くはないが広範囲に亘り日本に向かう水蒸気の流れが確認される。図 1.2c に示すように、可降水量は九州より南側で高い値を示している。特にインド洋、南シナ海西側、台湾北側の中国と沖縄諸島の間など、**Water Vapor Flux** が強くなっている領域で比較的高くなっている。海水面温度は南シナ海や太平洋の緯度 10 度～25 度程度の範囲や南シナ海で高い傾向にある（図 1.2e）。さらに、蒸発散量（図 1.2g）を見ると、約緯度 25 度以南で高い傾向にあり、インド洋や南シナ海を特に高い領域がある。沖縄諸島の西側や九州周辺の海域でも周辺と比べ蒸発散量が高くなっている。以上のように、**Water Vapor Flux** の 3 日平均値を見るとインド洋からまとまった水蒸気の流れが日本にまで流れ込んできているように見受けられるが、他の変数を見ると途中で海水面温度の高い領域において海面からの蒸発により多くの水蒸気が供給されていたと考えられる。さらには、沖縄諸島西側において蒸発した水分も 7 月 3 日～4 日の九州南部の豪雨に寄与している可能性がある。

7 月 5 日～7 日における **Water Vapor Flux** の平均値（図 1.2b）は、7 月 1 日～3 日と同様に中国から東向きに強い値を示しているが、他の領域では 7 月 1 日～3 日と違いがある。7 月 5 日～7 日には、インド洋から東シナ海を通る流れが見受けられない。一方で、フィリピンとインドネシアの間を通過後、南シナ海を通り中国に流れ込んでいる流れが存在する。海水面温度（図 1.2f）を見ると 7 月 1 日～3 日の大きな違いは見受けられないが、可降水量は 7 月 1 日～3 日には南シナ海の西側で値が大きくなっているのに対し、7 月 5 日～7 日には特徴的な差は無くなっている（図 1.2d）。それに伴い、7 月 1 日～3 日に南シナ海西側で大きな値を示していた蒸発散量が 7 月 5 日～7 日には小さくなっている（図 1.2h）。それに対し、蒸発散量が中国と台湾近海で 7 月 1 日～3 日より大きくなっている。これに伴い、7 月 5 日～7 日には中国側及び台湾の東側海域からの **Water Vapor Flux** の流れが強まっているように見受けられる（図 1.2b）。特に、中国の長江流域で可降水量が強まっており（図 1.2d）、そこから多量の水蒸気が日本の方向に流れ込んでいる（図 1.2b）。

上記に加え、東アジア周辺における 7 月 2 日 8:00～4 日 0:00 の **Water Vapor Flux** の時系列変化を調べた（図 1.3）。7 月 2 日 8:00 時点では、台湾海峡に特に強い水蒸気の流れがあり、他にも中国を通る流れと、台湾の東側から沖縄諸島を通る流れが見受けられる（図 1.3a）。7 月 2 日 16:00 には、沖縄諸島右辺で **Water Vapor Flux** が強まっている。また、中国の長江流域で水蒸気が集積している（図 1.3b）。その後、台湾海峡や沖縄諸島付近で **Water Vapor Flux** が強まっており、長江流域の水蒸気の流れも徐々に東向きを変えている（図 1.3c）。7 月 3 日 8:00 には、長江流域からの水蒸気の流れと、台湾海峡からの流れが合わさり、東シナ海の中国寄りの領域で **Water Vapor flux** が強まっている（図 1.3d）。加えて、太平洋を時計回りに流れ強くはないが広範囲にわたり水蒸気が流れ込んできている。これら複数の流れが合わさり、7 月 3 日 8:00 以降、九州の西側海域で **Water Vapor Flux** を強まり、それが九州を含む日本に流れ込んできている。以上のように、様々な地域から複数のルートを通り水蒸気が集積し、図 1.1a に示すような **Water Vapor Flux** が九州南部において収束したものだと考えられる。

### 1.3 九州周辺における水蒸気輸送の経年変化

ERA5 を用い過去 71 年間（1950 年～2020 年）の 7 月上旬（7 月 1 日から 14 日の 2 週間）における可降水量及び **Water Vapor Flux** の経年変化及び Trend の有無を調べた。まず、ERA5 の 1 時間毎の値から各年における 7 月上旬の可降水量、**Water Vapor Flux** の絶対値、及び北向き・東向き成分の平均及び 99 パ

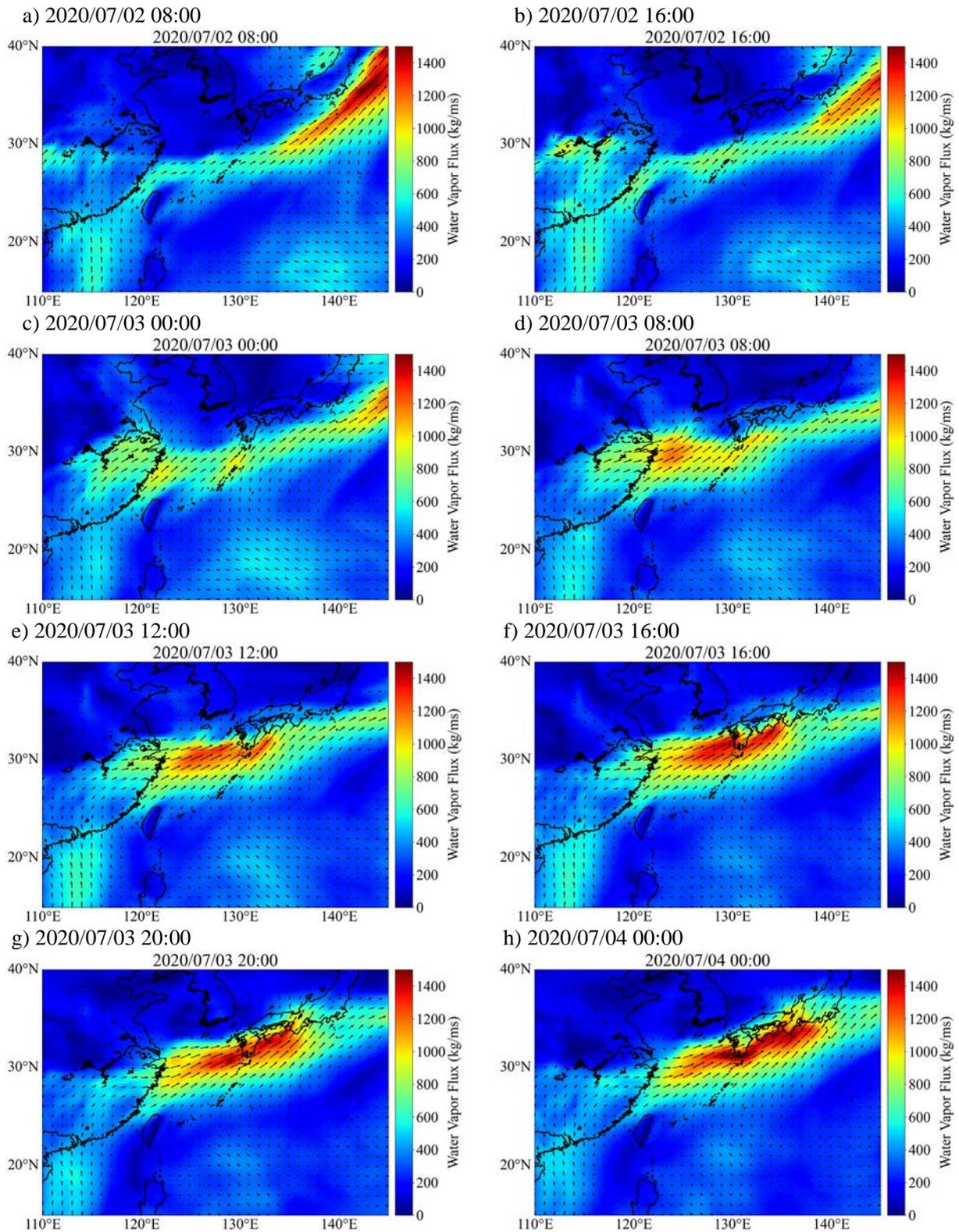


図 1.3 7 月 2 日 8:00～4 日 0:00 の Water Vapor Flux.

一センタイル値を 0.25 度×0.25 度の各グリッドで求めた。7 月は計 336 時間（14 日×24 時間）であることから 99 パーセンタイル値は多いものから約 3 番目の値を示す。過去 71 年間（1950 年～2020 年）の各年において求めた 7 月上旬における各値を元に、Trend の有無は Mann-Kendall Trend Test を用いて調べ、経年変化は Theil-Sen Estimator を用いて求めた。

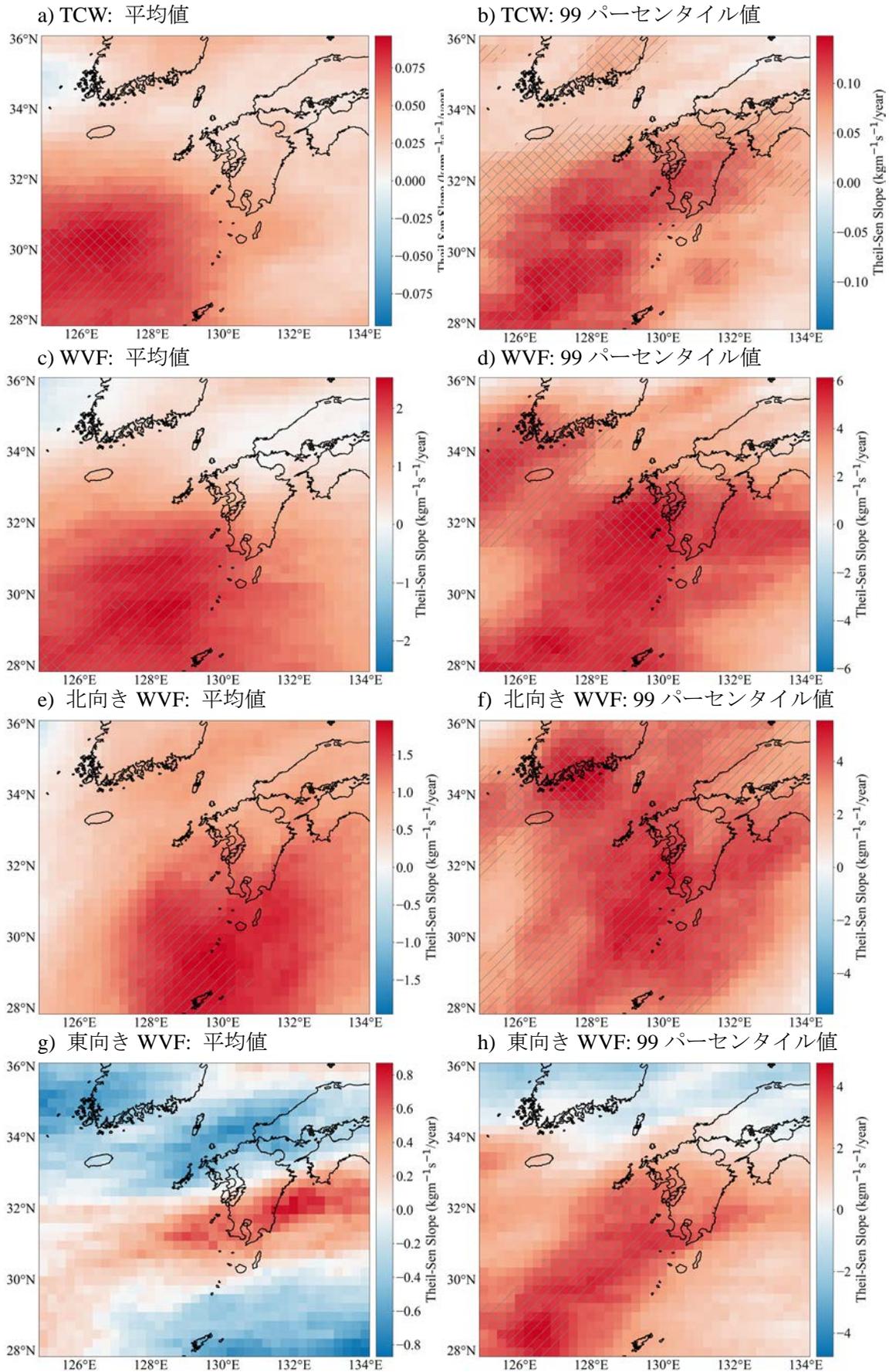


図 1.4 7 月 1 日～14 日における可降水量(TCW), Water Vapor Flux の絶対値及び北向き・東向きの成分の平均値と 99 パーセンタイル値の経年変化. (Mann-Kendall Test で P-value が 0.05 以下の部分を斜線で示す.)

## 第2編

図 1.4 に九州周辺における可降水量、Water Vapor Flux の絶対値、及び北向き・東向き成分の経年変化 (kg/m/s/year) 及び Trend の有無を示す。平均値を見ると、可降水量及び Water Vapor の絶対値は Theil-Sen Slope の値が九州周辺の広い範囲にわたり正の値を示し、特に九州南西において比較的傾きが大きくなっている。Mann-Kendall Trend Test の結果によれば、それぞれの月平均値は九州南西において特に経年変化率が大きい領域において顕著な上昇傾向を示している (図 1.4a,c)。北向き Water Vapor Flux の平均値は Water Vapor Flux の絶対値よりも東側で経年変化率が大きくなっている。そして、九州南西の海域及び鹿児島辺りで顕著な上昇傾向を示している (図 1.4e)。東向き Water Vapor Flux の平均値は、九州南部を含む緯度帯において西から東向き、他の緯度帯において東から西向きの経年変化が得られた。ただし、Trend の存在は見受けられなかった (図 1.4g)。

次に各 99 パーセンタイル値を見ると、可降水量及び Water Vapor Flux の絶対値ともに経年変化率がほぼ領域全体で大きくなっている。99 パーセンタイル値は平均値より特に九州上で経年変化率が大きくなっている。そして、Trend Test では、九州南西だけでなく九州上を含むより広範囲において顕著な上昇傾向が確認された (図 1.4b,d)。北向き Water Vapor Flux ではほぼ領域で顕著な上昇傾向が確認され、過去 71 年間で北向きの水蒸気の流れが強まっていると考えられる (図 1.4f)。一方、東向き Water Vapor Flux では顕著な上昇傾向が確認された領域は九州南西の海域に限られている。可降水量 (図 1.4g) の経年変化率が高い領域であることから、東向き Water Vapor Flux の上昇傾向は大気中水蒸気量に依存しているものと考えられる。

### 1.3 九州周辺における水蒸気輸送の過去との比較

2020 年 7 月上旬 (7 月 1 日から 14 日の 2 週間) と可降水量及び Water Vapor Flux を過去 71 年間 (1950 年～2020 年) の 7 月上旬との比較を行なった。前節と同様に、ERA5 の 1 時間毎の値から各年における 7 月上旬の可降水量、Water Vapor Flux の絶対値、及び北向き・東向き成分の平均及び 99 パーセンタイル値を 0.25 度×0.25 度の各グリッドで求めた値を用いて、各グリッドにおいて 2020 年 7 月上旬の各値が過去 71 年間のうち何番目に当たるのかを調べた。

図 1.5 に各グリッドで求めた順位(Rank)を示す。上位 3 位以内のグリッドを片側斜線、過去最大であるグリッドを両側斜線で示している。平均値で見ると、可降水量及び Water Vapor Flux の絶対値は 2020 年 7 月上旬の値が九州含む広範囲において過去 71 年間でも高い値であったことが分かる (図 1.5a,c)。特に Water Vapor Flux の絶対値は九州南部において 3 位以内である (図 1.5c)。北向き Water Vapor Flux も上位の値を示しており (図 1.5e)、東向き Water Vapor Flux は九州北部を除き九州上で過去 3 位以内の値を示している (図 1.5g)。

99 パーセンタイル値で見ると、可降水量は九州北部を通る東西に伸びた範囲において過去最大値を示している。鹿児島南部においても 3 位以内の値であった (図 1.5b)。Water Vapor Flux の絶対値に関しては、過去 3 位以内を示すグリッドはなかったが九州北部と南部それぞれの地域において上記の値を示している (図 1.5d)。北向き Water Vapor Flux は上位 10%～30%程度の地域が多いのに対し (図 1.5f)、東向き Water Vapor Flux は九州北部と南部で特に災害を引き起こした地域周辺で過去 3 位以内の値を示している (図 1.5h)。東向き Water Vapor Flux の 99 パーセンタイル値が九州南部において上位の値を示している領域は 7 月 3 日～4 日の Water Vapor Flux が強くなっている領域 (図 1.1a) と重なっている。

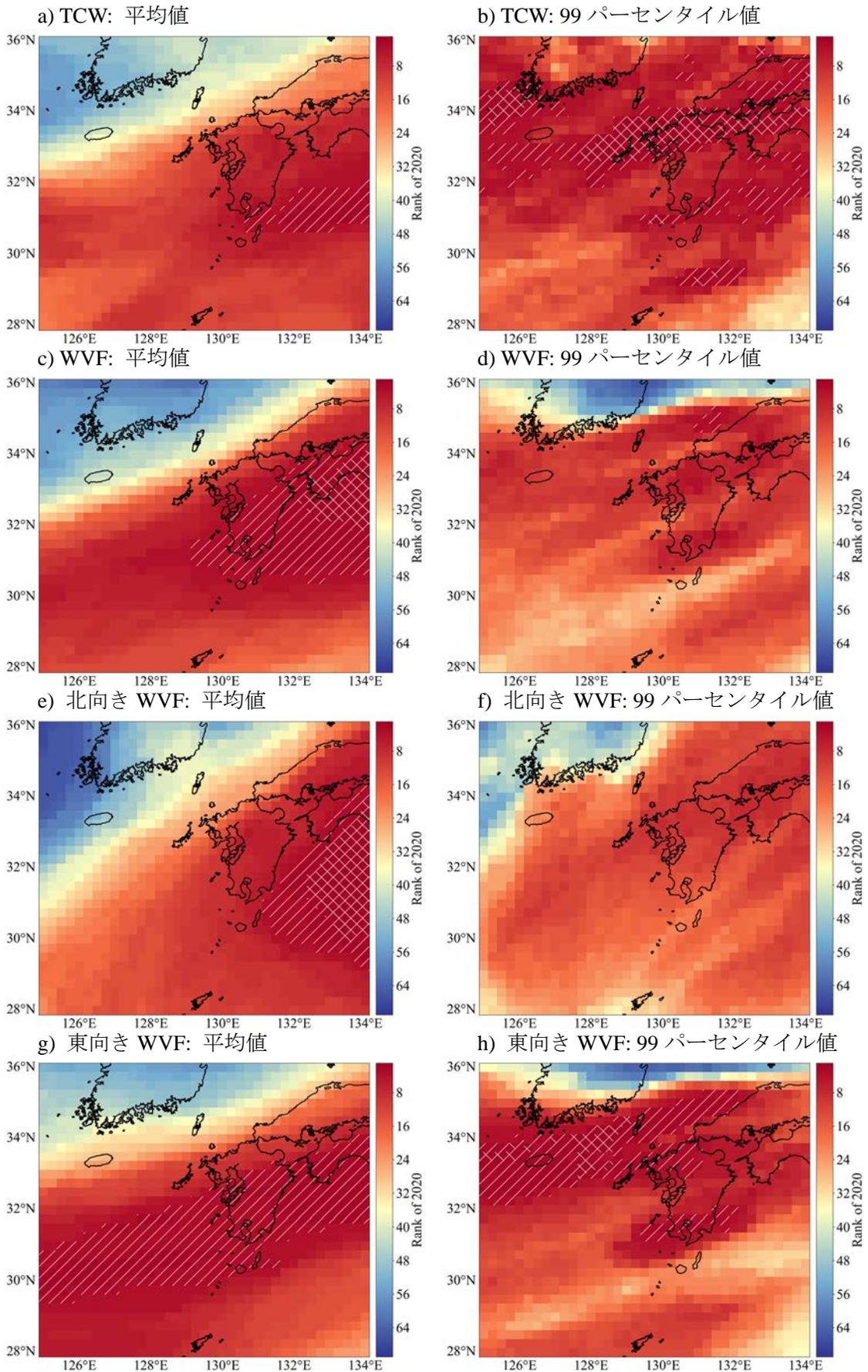


図 1.5 7 月 1 日～14 日における可降水量(TCW), Water Vapor Flux の絶対値及び北向き・東向きの成分の平均値と 99 パーセンタイル値の 71 年間 (1950 年～2020 年) 中の 2020 年の値の順位. 片側斜線は 3 位内, 両側斜線は 1 位である地点を示す.

## 第2編

### 1.3 まとめ

今次の豪雨災害時には、南側から複数の経路を通り湿った空気が輸送されてきたことが示された。また、99パーセンタイル値の経年変化では、北向き Water Vapor Flux がより広範囲で顕著な上昇傾向を示したのに対し、今次豪雨時は東向き Water Vapor Flux が特に強かった。このことから、長期間の変化傾向よりも2020年7月上旬の特徴的な湿った空気の流れが九州上における水蒸気の収束に寄与していた可能性がある。ただし、2020年7月上旬の北向き Water Vapor Flux の99パーセンタイル値も過去71年間で比較的高い値を示しており、また可降水量の99パーセンタイル値も過去71年で顕著な上昇傾向を示している。これらのことから、大気中水蒸気量・輸送量の経年変化も今次豪雨に寄与していた可能性は高いと考えられる。

### 1.4 今後の課題

本調査結果が示すように大気中水蒸気量は顕著な増加傾向を示している。そのような状況下で今次豪雨時のような水蒸気の収束が発生すれば更なる豪雨被害がもたらされる可能性は十分にある。豪雨による被害の軽減には、水蒸気輸送の観測精度の向上、大気シミュレーションモデルの改良、豪雨をもたらす現象のより深い理解など、様々な事柄がまだ必要である。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、欧州中期予報センター(ECMWF)が提供する大気再解析データ ERA5 及び ERA5 Back Extension を用いた。

### 参考文献

気象庁：「令和2年7月豪雨」の特徴と関連する大気の流れについて，2020.

<http://www.jma.go.jp/jma/press/2007/31a/r02gou.pdf>

## 第2章 九州主要一級河川流域における各種降水観測手法の検証

福岡大学 林 義晃, 橋本彰博

### 2.1 九州地方における令和2年7月豪雨の降水特性に関する概要

2020(令和2)年7月3日から8日にかけて、九州地方では梅雨前線が停滞し、記録的な豪雨に見舞われた。各地上雨量観測所における各時間の既往最大降水量が軒並み更新され、福岡県と大分県の県境に設置されている気象庁椿ヶ鼻観測所では、最大48時間降水量(7月5日24時～7日23時)が792.5mmと既往1位となった。

図2.1に、7月3日から8日までの九州地方における気象庁レーダー・アメダス解析雨量の積算降水量分布を示す。これより、6日間で800mmを超えるような高降水域(図中の紫色)が主に3箇所見られた。九州地方の平均的な年間降水量が2000～3000mm程度であることを仮定すると、この高降水域では、年間降水量の約4割の降水量が1週間弱で降ったことになり、猛烈な降水現象であったことがわかる。また、どの領域も前線性降雨の特徴の一つである帯状の降水域を有しており、特に熊本県と鹿児島県の県境付近の領域(図中の①)では、他の領域よりも広範囲に高降水域が存在していることもわかる。

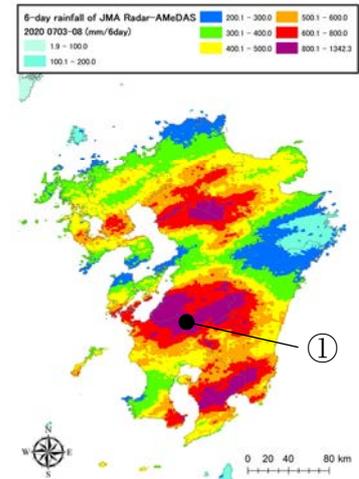


図2.1 7月3～8日における九州地方の積算降水量分布

図2.2に、図2.1と同期間と降水データを用いた日降水量分布を示す。本豪雨の大きな特徴の一つとして、期間の前半が九州南部地方、後半が九州北部地方において大雨が降っていることがわかり、各期間で高降水域の位置が異なる点である。さらに、どの地域でも、日降水量で500mmを上回るような高降水域が観測されていることから、日降水量としては「平成29年7月九州北部豪雨」や「令和元年佐賀豪雨」とほぼ同規模であったが、その範囲が九州地方の南北にわ

特徴の一つとして、期間の前半が九州南部地方、後半が九州北部地方において大雨が降っていることがわかり、各期間で高降水域の位置が異なる点である。さらに、どの地域でも、日降水量で500mmを上回るような高降水域が観測されていることから、日降水量としては「平成29年7月九州北部豪雨」や「令和元年佐賀豪雨」とほぼ同規模であったが、その範囲が九州地方の南北にわ

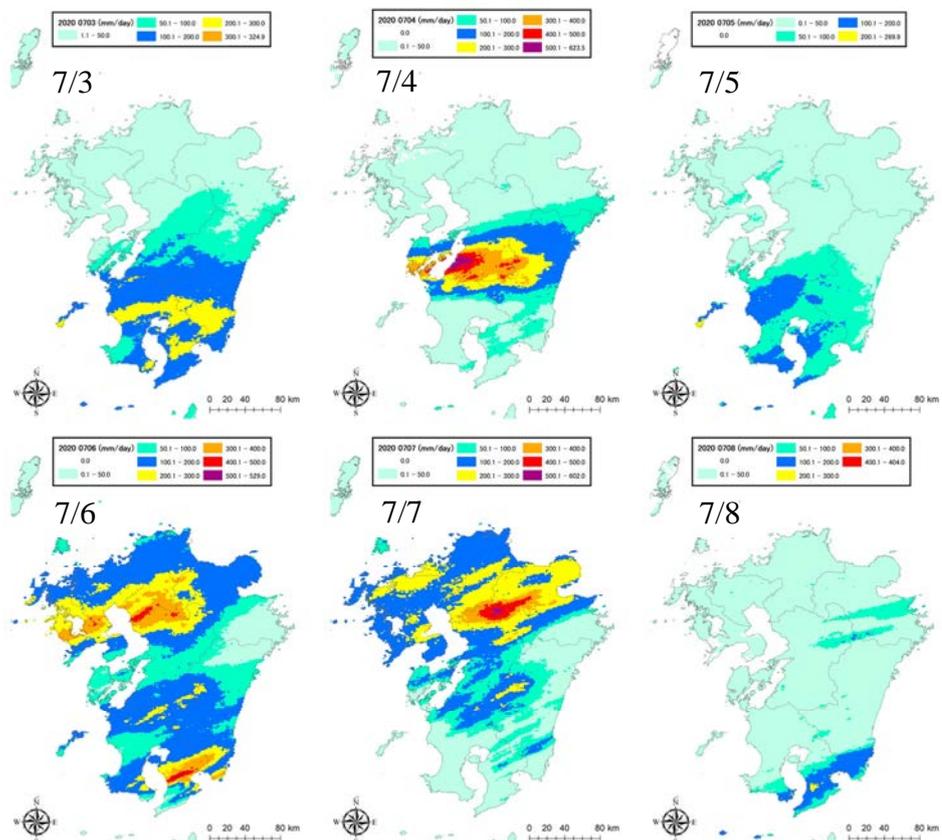


図2.2 7月3～8日における九州地方の日降水量分布

## 第2編

たって広域的に分布していることが、近年九州地方で頻発している局地的な豪雨とは異なる特徴であることが言える。

### 2.2 九州の主要一級河川流域内における各種観測手法の降水分布と面積雨量

前節の通り、7月3～8日にかけて九州の各地では、日降水量500mmを超えるような規模の高降水域が生じており、それらに含まれる河川流域では洪水や氾濫・浸水被害、土砂災害により、貴重な人命・財産を失う被害が生じた。そのため、それらの領域が流域内に含まれる河川において、今次豪雨がどのような降水特性であったかを把握する必要がある。本検証では、今次豪雨で氾濫が発生したか、氾濫危険水位を超えた九州地方の一級河川のうち筑後川、大分川、球磨川、川内川、肝属川の5河川を対象とした。解析期間は、前節で示した通り、地域によって高降水域が生じた日が異なることから、九州北部地方に位置する筑後川と大分川では7月5～8日の4日間、九州南部地方に位置する球磨川、川内川、肝属川では7月3～8日の6日間とした。

降水特性の解析では、既往研究(林ら, 2018)や過去の災害調査報告(土木学会, 2020)から、同一流域でも降水観測手法によって、その結果が大きく異なる場合があるため、本報告では地上雨量観測所、気象庁レーダー・アメダス解析雨量(以下、解析雨量)、国土交通省 XRAIN(eXtended RAdar Information Network)の3種類の観測手法による降水データを用いた。なお、地上雨量観測所による降水分布は、流域内に設置された、気象庁と国土交通省水管理・国土保全局が管理する観測所を用い、解析期間内に1時間単位で全く欠測していない観測所のみを対象とした。その上で、IDW(Inverse Distance Weighting)法(ESRI, 2021)による内挿補間を実施して空間分布を作成し、残り2種類のレーダー観測による降水分布と比較する。

以上により、それぞれの流域内における降水分布と面積雨量を明らかにし、流出解析などの基礎デー

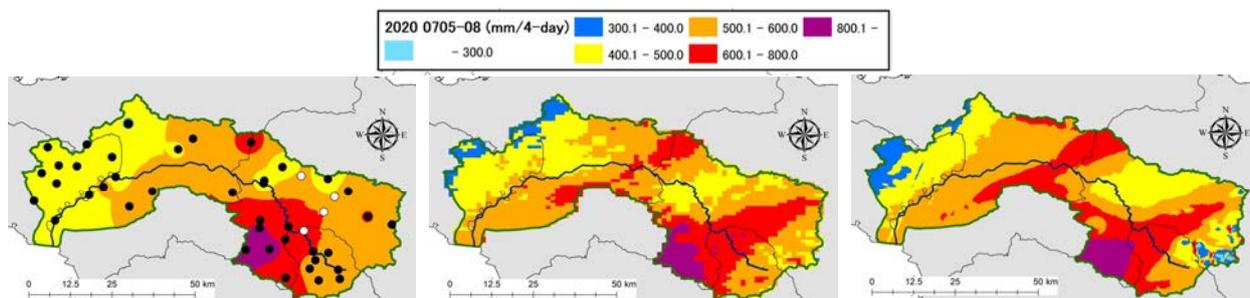


図 2.3 筑後川流域における各観測手法の7月5～8日の積算降水量分布 (左から地上雨量観測所, レーダー・アメダス解析雨量, XRAIN)

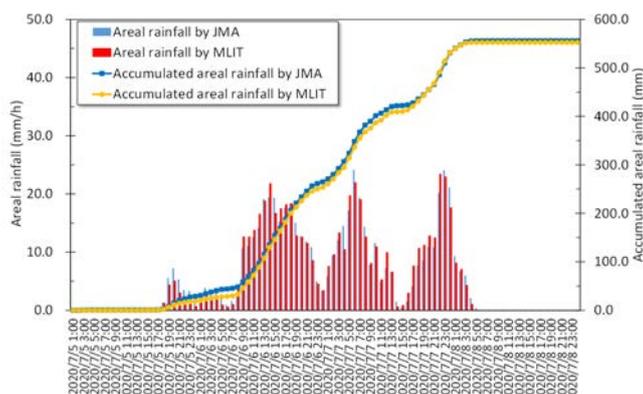


図 2.4 筑後川流域におけるレーダー・アメダス解析雨量と XRAIN による面積雨量の時系列

## 第2編

タとして用いられる各種降水データの選択に資する知見も示す。

### 2.2.1 筑後川流域

図 2.3 に、筑後川流域内における地上雨量観測所、解析雨量、XRAIN の積算降水分布を示す。今回の豪雨では、上・中流域を中心に多くの降水が生じており、特に上流域の左支川側では顕著である。また、いずれの観測手法でも最大積算降水量が 1000 mm 程度と、猛烈な降水現象であったことがわかる。次に、各観測手法による降水分布を比較すると、大きく分布が異なるような領域は見られなかった。詳細に見ていくと、上流域と中流域において、地上雨量観測所の降水分布が 2 つのレーダー観測と比べて、やや過小傾向となっている。ここで、図中の地上雨量観測所による降水分布には、黒点で流域内の観測所の位置を示しており、白点がデータ欠測が生じていた観測所を示している。これからわかる通り、上流域においては、その周辺のデータ欠測した観測所が見られ、その影響が要因の一つとして考えられる。そのため、筑後川の上流域および中流域に位置する流域を対象として降水データを用いる際は、注意を払う必要がある。

図 2.4 に、筑後川流域における解析雨量と XRAIN による面積雨量の 1 時間降水量とその積算値の時系列を示す。流域内の降水分布と同様に、解析雨量と XRAIN の面積雨量では、ピーク値とその発生時間帯がほぼ同等であり、最終的な積算値の差も 3.2 mm とほぼ同等であった。よって、面積雨量については、解析雨量と XRAIN では、同様のデータ特性であることがわかる。

### 2.2.2 大分川流域

図 2.5 に、大分川流域内における地上雨量観測所、解析雨量、XRAIN の積算降水分布を示す。筑後川流域と同様に、大分川流域でも各観測手法で大きく異なるような分布は見られなかったが、最大積算降水量については、XRAIN と残り 2 つの観測手法でかなり異なることがわかった。詳細に見ていくと、地

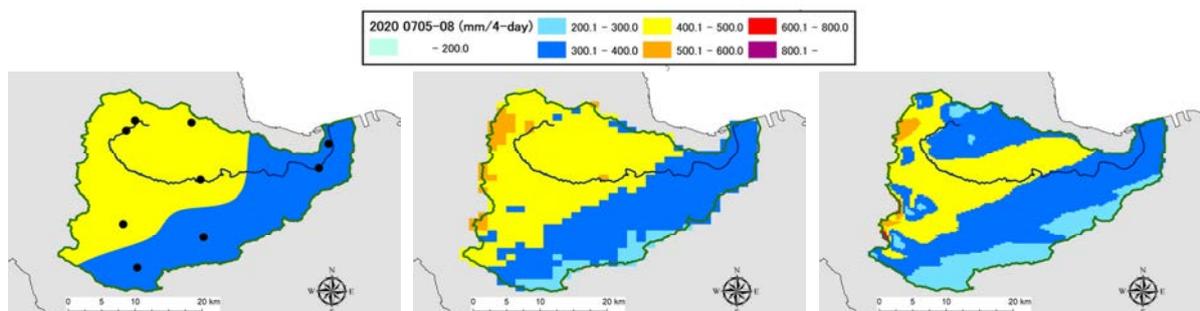


図 2.5 大分川流域における各観測手法の 7 月 5～8 日の積算降水量分布 (左から地上雨量観測所、レーダー・アメダス解析雨量、XRAIN)

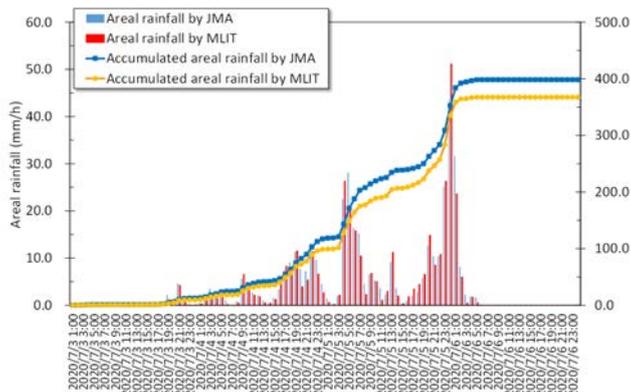


図 2.6 大分川流域におけるレーダー・アメダス解析雨量と XRAIN による面積雨量の時系列

## 第2編

上雨量観測所では、解析雨量や XRAIN とは異なり、上流域の流域界付近で高降水域が見られない。これは、その付近が高標高域であり、地上観測所が設置されていないことがその要因の一つとして考えられる。また、2つの観測手法(地上雨量観測所と解析雨量)と XRAIN で、上流域の左支川側で降水分布が多少異なる部分も見られ、同様に上流域の右支川側の流域界付近で、XRAIN では局地的な高降水域が観測されている。よって、上流域が含まれる領域においてこれら降水データを用いる場合は、注意を払う必要がある。

図 2.6 に、大分川流域における解析雨量と XRAIN による面積雨量の 1 時間降水量とその積算値の時系列を示す。7 月 4 日 19 時以降で、解析雨量と XRAIN の積算雨量で差が生じ始めており、強雨発生時にやや違いが生じているものの、最終的な積算値の差は 18.3 mm とおおむね同等であった。両データで差が生じた要因の一つとして、強雨が生じた時間帯における降水分布とその量の違いが考えられる。

### 2.2.3 球磨川流域

図 2.7 に、球磨川流域内における地上雨量観測所、解析雨量、XRAIN の積算降水量分布を示す。球磨川流域では、筑後川と同様に、いずれの観測手法でも最大積算降水量が 1000 mm を超えている領域があり、猛烈な降水現象であったことがわかる。次に、各観測手法による比較を行うと、地上雨量観測所ではデータの欠測が多く見られ、強雨が生じた 7 月 4 日未明から朝にかけてデータの欠測が特に相次いでいた。本解析条件である解析期間中に欠測なく降水データが取得できていた観測所は 31 箇所中 9 箇所(全体の 3 割弱)しかないことがわかった。そのため、地上雨量観測所による降水分布は、上流域の右支川側では他のレーダー観測と比較して過大評価、逆に中・下流域の左支川側では過小評価になっており、レーダー観測とはかなり異なる降水分布となる領域が多いことがわかる。解析雨量と XRAIN においては、中流域において高降水域の分布にやや違いが見られるものの、おおむね同様の降水分布であることがわかる。以上のことから、本流域は、地上雨量観測所のデータ取得状況から、レーダー観測による降

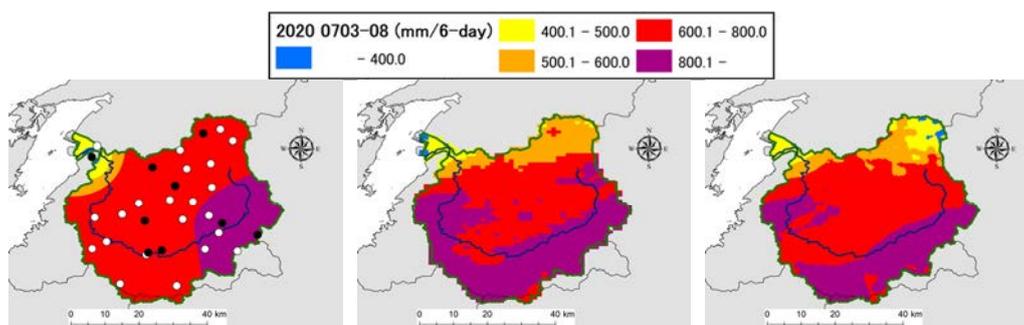


図 2.7 球磨川流域における各観測手法の 7 月 3～8 日の積算降水量分布  
(左から地上雨量観測所, レーダー・アメダス解析雨量, XRAIN)

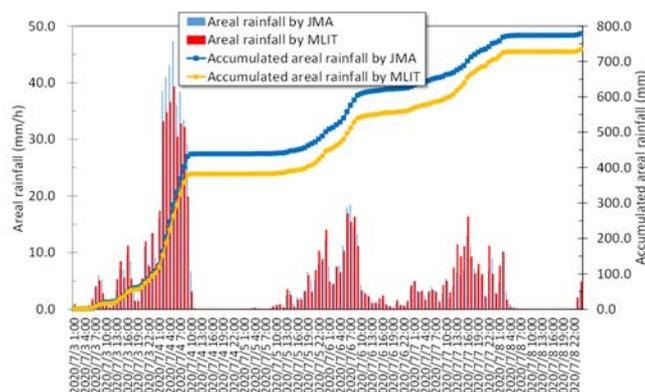


図 2.8 球磨川流域におけるレーダー・アメダス解析雨量と XRAIN による面積雨量の時系列

## 第2編

水データの方がより正確な分布を示していることが考えられる。

図 2.8 に、球磨川流域における解析雨量と XRAIN による面積雨量の 1 時間降水量とその積算値の時系列を示す。7 月 4 日未明からの強雨で解析雨量と XRAIN で差が生じているが、それ以降ではほぼ同様の降水特性であり、最終的な積算降水量の差は 43.9 mm と、観測手法でやや異なることがわかる。

### 2.2.4 川内川流域

図 2.9 に、川内川流域内における地上雨量観測所、解析雨量、XRAIN の積算降水量分布を示す。川内川流域でも、球磨川流域と同様にどの観測手法でも最大積算降水量が 1000 mm を超えている領域があることがわかった。また、その降水分布も、各観測手法でおおむね同様であった。詳細なところでは、上流域において地上雨量観測所の高降水域の分布が、他のレーダー観測とやや異なる部分がみられた。これも、先述の球磨川流域と同様に地上雨量観測所のデータ欠測による影響がその要因の一つとして考えられる。解析雨量と XRAIN でも、上流域の高降水域で多少分布が異なるため、上流域を対象として降水データを用いた種々の解析を行う場合、注意を払う必要がある。

図 2.10 に、川内川流域における解析雨量と XRAIN による面積雨量の 1 時間降水量とその積算値の時系列を示す。降り始めから、両データ間で違いが生じており、強雨が発生するごとに、その差も大きくなっていることがわかる。そのため、最終的な積算値の差が 40.6 mm と、先述の球磨川流域と同様の規模であり、両データではやや異なる特性であった。

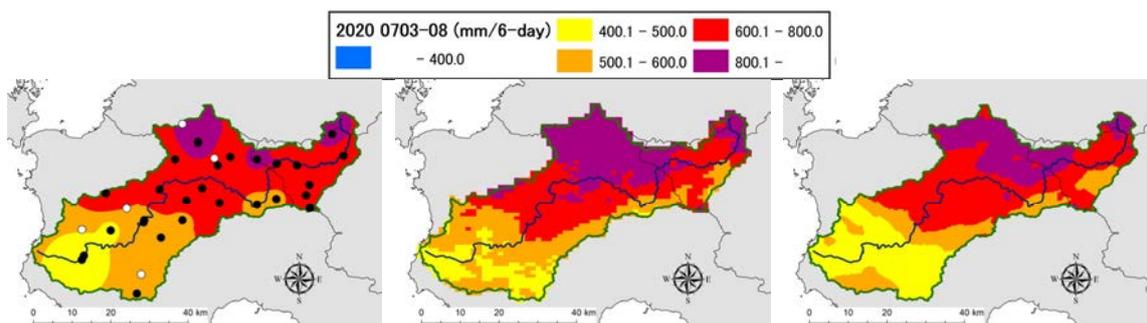


図 2.9 川内川流域における各観測手法の 7 月 3～8 日の積算降水量分布  
(左から地上雨量観測所、レーダー・アメダス解析雨量、XRAIN)

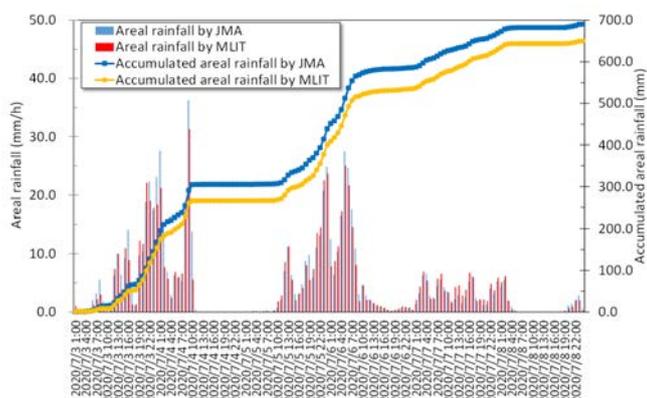


図 2.10 川内川流域におけるレーダー・アメダス解析雨量と XRAIN による面積雨量の時系列

### 2.2.5 肝属川流域

図 2.11 に、肝属川流域内における地上雨量観測所、解析雨量、XRAIN の積算降水量分布を示す。肝属川流域でも、最大積算降水量が 1000 mm を超えている領域があり、今回解析の対象とした九州南部地方に位置する 3 河川全てにおいて、6 日間の積算降水量が 1000 mm を超えている領域が存在することが

## 第2編

わかった。各観測手法で比較すると、どの手法でもおおむね同様の降水分布であることがわかる。詳細に見ていくと、XRAIN では下流域で他の手法と比べて、レーダービームのセクタ形状に酷似した不自然かつ降水量の小さな領域(図中の点線枠)が見られることから、本データの使用には十分な検証が必要であると考えられる。

図 2.12 に、肝属川流域における解析雨量と XRAIN による面積雨量の 1 時間降水量とその積算値の時系列を示す。肝属川流域でも、川内川流域と同様に、降り始めから両データで差が生じ始めており、強雨が発生するたびに、その差も大きくなっていることがわかる。その結果、最終的な積算降水量の差が 84.0 mm と、かなりの量の違いが生じた。そのため、両データの使用については、十分な検証が必要であることがわかる。

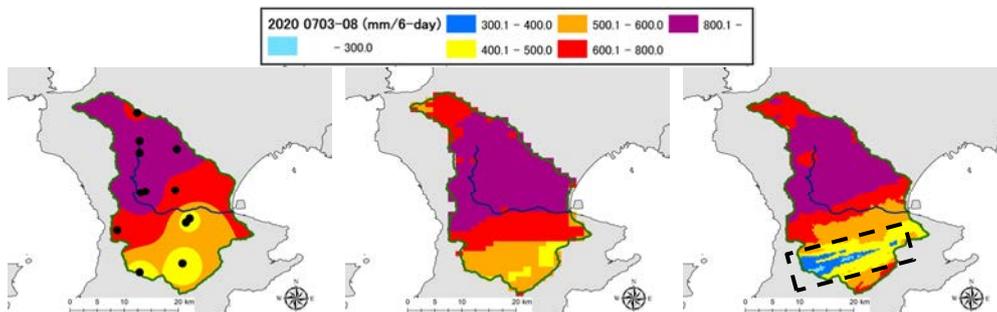


図 2.11 肝属川流域における各観測手法の 7 月 3～8 日の積算降水量分布 (左から地上雨量観測所, レーダー・アメダス解析雨量, XRAIN)

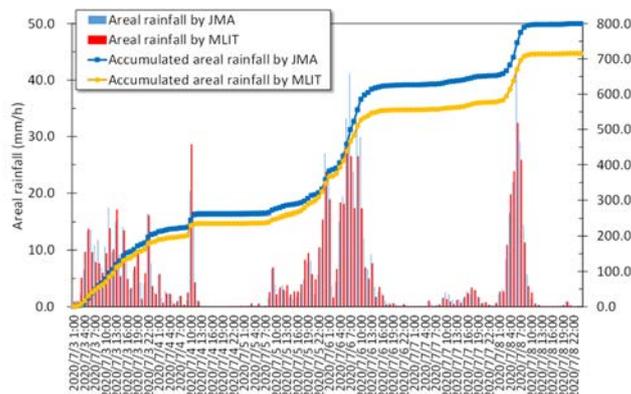


図 2.12 肝属川流域におけるレーダー・アメダス解析雨量と XRAIN による面積雨量の時系列

## 2.3 まとめ

本検証では、今次豪雨で被災した九州の主要一級河川として 5 河川を抽出し、地上雨量観測所による降水分布と 2 種類のレーダー観測による降水分布を比較し、さらに流域内における面積雨量を算出して、各観測手法でどのようなデータ特性になっているかを中心に解析を行った。

その結果、球磨川を除く 4 河川では、どの観測手法でもおおむね同様な降水分布であったことがわかった。しかし、球磨川については、流域内に設置された地上雨量観測所のデータ欠測が多く、レーダー観測による降水分布との比較で、上・中・下流域のいずれの領域でも正確な降水分布を表現できない可能性が高いことがわかった。面積雨量において、九州北部に位置する筑後川や大分川では、ピーク時や積算値において解析雨量と XRAIN に大きな差は生じていないが、九州南部に位置する球磨川、川内川、肝属川では、強雨の発生時間帯を中心に両データで差が生じており、今回の解析対象において最も南に位置する肝属川では 6 日間の積算値の差が最大 84.0 mm 生じていた。全ての流域に共通する事項とし

## 第2編

て、解析雨量が XRAIN より過大になっている点であり、両データの使用には事前に十分な検証が必要である。

### 2.4 今後の課題

各流域の各観測手法によって、データ特性がほぼ同様であったり、そうではなかったりする特徴がみられた。その要因を調べるために、特にレーダーによる観測データについて、反射因子(Zh)など降水量推定に関連するデータ特性をさらに分析する必要がある。

#### 謝辞

本検証で使用したデータについて、レーダー・アメダス解析雨量は気象庁、XRAIN は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)より、それぞれ提供していただいた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

林義晃, 手計太一, 橋本彰博, 永島健: 平成29年7月九州北部豪雨の被災流域における各種レーダデータの面積雨量に関する比較検討, 第26回地球環境シンポジウム講演集, pp.15-19, 2018.

土木学会水工学委員会: 令和元年台風19号豪雨災害調査団報告書(中部・北陸地区), 222pp., 2020.

ESRI: IDWの仕組み, <https://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>, (閲覧: 2021年2月19日)



## 第3編

### 球磨川流域の豪雨災害

鹿児島大学	齋田 倫範
九州大学	島谷 幸宏
九州大学	杉原 裕司
九州大学	田井 明
九州大学	寺村 淳
九州大学	林 博徳
九州大学	丸谷 靖幸
九州大学	矢野 真一郎
九州工業大学	秋山 壽一郎
九州工業大学	重枝 未玲
熊本大学	大本 照憲
熊本大学	皆川 朋子
群馬大学	鵜崎 賢一
神戸大学	小林 健一郎
佐賀大学	押川 英夫
東京工業大学	石川 忠晴
東京理科大学	二瓶 泰雄
日本ミクニヤ	佐野 雄一
日本ミクニヤ	鮎本 健治
日本ミクニヤ	峯 浩二
福岡大学	橋本 彰博
福岡工業大学	森山 聡之
前橋工科大学	平川 隆一
山口大学	赤松 良久



## 第1章 球磨川流域の被害概要

熊本大学 大本 照憲

## 1.1 流域特性(国交省河川局, 2006)

熊本県南部を流れる球磨川(図 1.1 参照)は, その源を熊本県球磨郡銚子笠(標高 1,489m)に発し, 幹線流路延長 115km, 流域面積 1,880km<sup>2</sup>, 九州では 20 本の一級水系の中で流域面積および幹線流路延長において 3 指に入る。また, 古来には舟運が盛んで, 最上川, 富士川と並ぶ日本三大急流の一つに数えられている。

球磨川流域の地形は, 河床勾配が約 1/7,000 である遥拝堰下流部の沖積平野部, 河床勾配が 1/300~1/1,000 の遥拝堰から球磨村渡の間の山間狭窄部, 河床勾配が約 1/500 相当の渡から川辺川合流点・西村の間の人吉・球磨村盆地, 合流点・西村より上流の球磨川上流域, 川辺川上流域に大別される。各区間の流域面積は, 球磨川上流域で 550km<sup>2</sup>, 川辺川上流域 534km<sup>2</sup>, 人吉・球磨盆地 380km<sup>2</sup>, 山間狭窄部と平野部で 434km<sup>2</sup>である。

球磨川には 82 本の中小河川が流入し, 球磨川上流域では 6 本の代表的右支川に小川内川, 牛繰川, 宮ヶ野川, 阿蘇川, 田頭川, 野間川, 13 本の左支川には湯山川, 牧良川, 都川, 仁原川, 鶴川, 柳橋川, 伊良川, 井口川, 免田川, 水無川, 大谷川, 高柱川, 小さで川がある。

川辺川は, 本川上流の流路 40km に較べて長く 61km であり, 深い谷を刻み, 中小河川の数 は 6 本であり相対的に少なく右支川に小原川, 小鶴川, 五木小川, 左支川に縦木川, 久連子川, 梶原川がある。



図 1.1 球磨川流域 (提供: 熊本大学・石田桂先生)

## 第3編

球磨川沿いの渡から川辺川合流点・西村までの距離は14kmで、その間の人吉・球磨村盆地では、4本の右支川があり山田川、万江川、馬氷川、小川、5本の左支川に鳩胸川、胸川、永野川、鹿目川、鶉川がある。

球磨村渡から遥拝堰までの山間狭窄部の距離は約45kmであり、この間の東側分水嶺は約1000m程度に対し、西側分水嶺は500m以下である。この間の中小河川は、6本の右支川に中園川、川内川、市ノ俣川、油谷川、中谷川、深水川、7本の左支川に那良川、芋川、告川、漆川内川、天月川、大尼田川、百済木川がある。中小河川は、いずれも流路長5~10km、勾配1/5~1/10であり急流支川であり、峡谷的流域を発達させた。

最下流の八代平野では、派川の前川、南川と共に不知火海（八代海）に注ぐ。

流域内には、下流部に熊本県第2の都市である八代市が、上流部に球磨地方の主要都市である人吉市が存在する。人吉市は、鎌倉期に東国御家人相良氏が球磨の地に所領を獲得し、更には戦国期には戦国大名として八代まで進出、このことが両地方を結ぶ峻険な山岳道路の活用を促したことが指摘されている。近世には人吉―八代間の水運が林正盛により寛文年間（1661-73）に開発された（熊本県教育委員会、1988）。

## 1.2 人的・物的被害

### 1.2.1 災害の被害実態

熊本県危機管理防災課のまとめ（12月25日付）によれば、人的被害は熊本県全体で67人、うち球磨川流域で50人であった。表3は、球磨川流域の市町村別の死者数を示す。球磨川流域の人的被害は50人うち36人が人吉・球磨地区、14名が遥拝堰から球磨村渡の間の山間狭窄部であり、流下型氾濫形態によって被害が生じた。住宅被害は全壊1490棟（人吉市(900棟)、球磨村(332棟)、芦北町(72棟)、半壊3,092棟(人吉市(1443棟)、球磨村(74棟)、芦北町(910棟))、床上浸水329棟、床下浸水561棟、一部損壊1,940棟であった。また、熊本県の被害総額は5,564億円、そのうち建築物1,900億円、公共土木施設1,554億円、農林水産関係1,019億円、商工・観光関係699億円、廃棄物処理204億円に達した。被害総額の5,564億円は、熊本地震の3兆8,000億円につぐ戦後第2位の被害額である。

### 1.2.2 人的被害

図1.2は、令和2年7月の人吉・球磨盆地の人的被害36名と浸水深の状況を示す。人吉地区では、20人の人的被害が発生している。その中で人吉市では地表高の低い右岸側堤内地で浸水の範囲が広く、球磨川と山田川の合流点付近で浸水深が大きくなっていることが分かる。

球磨川右岸に沿って多くの人的被害が発生したのは、中川原公園および水の手橋、大橋、人吉橋の橋桁の表面流阻害による水位の急激な上昇、その結果として2mを超える越流水深が発生したことが主因と考えられる。この件については、今後の対策を含めた詳細な検討が必要である。

また、万江川と球磨川の合流点付近も同じように浸水深が大きい。

球磨村・渡地区では、16人の人的被害が発生している。そのうち14名は介護老人施設の千寿園の入所者となっている。支川である小川からの氾濫流が主因であるが、この場所では小規模な土石流も発生した。

図1.3は、遥拝堰から球磨村渡の間の山間狭窄部では、氾濫流によって溺死として14名の内の13名が犠牲になった場所を示す。球磨川沿いの芦北町簸瀬地区でも1名が溺死で亡くなった。谷底平野では、

第3編

水位が大幅に増水したため河道の一部となり，浸水深および氾濫流速とも極めて大きく，川沿いの住家の多くは基礎工を残すのみで流失した。

犠牲者の年齢構成は，50歳代4名，60歳代7名，70歳代10名，80歳代22名，90歳代7名であった。70歳を超えた割合は78%であり，高齢者の方々の犠牲割合が高いことが分かる。

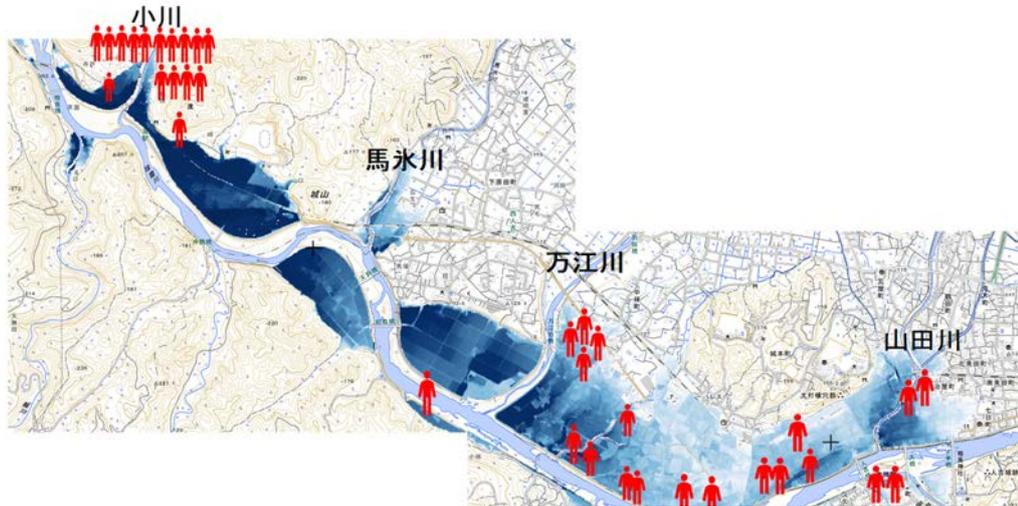


図 1.2 人吉・球磨盆地における人的被害場所 (出典国土地理院，2020 および朝日新聞，2020)

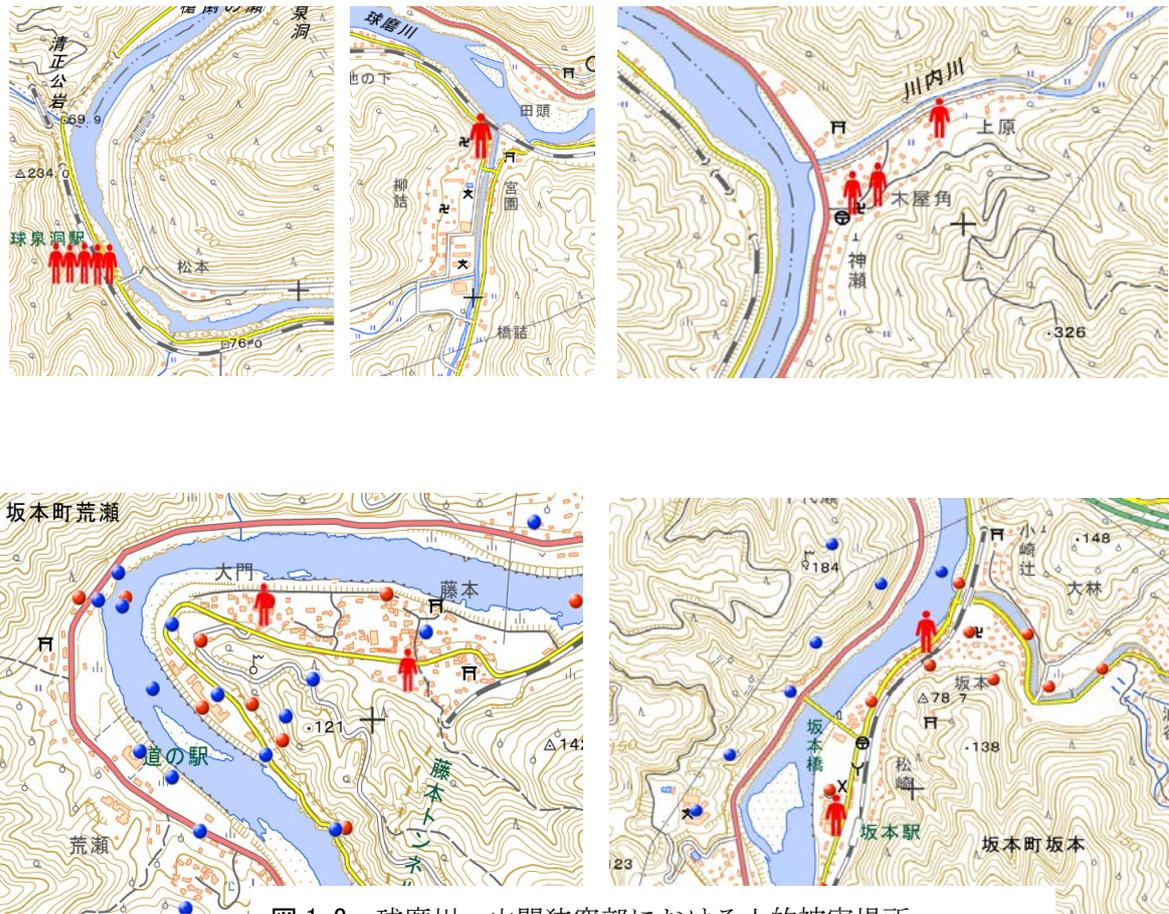


図 1.3 球磨川・山間狭窄部における人的被害場所

### 第3編

#### 1.2.3 住家被害

球磨川の氾濫状況を象徴する箇所は、1)球磨川と山田川の合流部で地表高の低い青井阿蘇神社の近傍、2)万江川合流部の左岸側堤内地、3)万江川合流点から球磨川渡地区までの区間で連続した蛇行部および4)八代市坂本地区の家屋流失である。

図 1.4 は、青井阿蘇神社境内の楼門が 1.5m であったことを示す。人吉市史によれば寛文 9 年（1669 年）8 月に青井阿蘇神社の楼門が 3 尺(0.9m)余り浸水したことを示す。記録上、351 年間の中で今次水害が最大の浸水深であったことが分かる。境内の地表高は周辺の道路より 2.8m 高い位置にあり、道路標識には昭和 40 年の浸水深 2.3m に対して今次の令和 2 年水害では 4.3m に達し、2m も浸水深が大きい。なお、同一場所で昭和 57 年水害では 1.3m の浸水深であった。



図 1.4 青井阿蘇神社周辺の浸水状況



図 1.5 球磨川と万江川の合流部における浸水状況

### 第3編

図 1.5 は、万江川合流部近傍で球磨川に近い堤内地の洪水痕跡を示す。家屋の流失は発生していないが、道路上では大量の土砂が堆積した。浸水深は、4m に達し、いずれも昭和 57 年水害の浸水深 1.2m を大幅に上回った。

図 1.6 は、人吉・球磨盆地の出口である球磨村・渡地区の被害状況を示す。渡地区では、浸水深が 6m を超えると同時に家屋の流失が顕著であり、基礎型枠のみが残る住家被害が目視された。また、家屋は全壊で屋根瓦の多くが剥がれているのが分かる。また、小川が球磨川に合流する地点では流木が住家の屋根や道路上に散在し、家屋は大破していた。灌木や雑草による洪水痕跡から浸水深は 6.2m であった。

図 1.7 は、渡地区上流の蛇行部に沿った堤内地の被害状況を示す。沖鶴橋付近の国道 219 号では電線の洪水痕跡から浸水深は、6m 近くに達していることが分かる。また、電柱や道路標識も転倒していることが分かる。なお、球磨川に近い沿道では電柱や道路標識は転倒していないことから 219 号線は氾濫流が短絡したことが考えられる。

万江川合流点から球磨村渡地区までの区間では、連続した蛇行が続き、蛇行度  $S$  は、下流から上流に向けて 1.20, 1.26, 1.61 であり、蛇行区間の堤内地の浸水深は何れも 6m を超えた。災害時における河道部の代表水深が 13~15.5m の範囲にあることから、相対水深は 0.39~0.46 の範囲にあり、相対水深が 0.3 を超えると複断面蛇行流れの流況を示す(福岡ら, 1999)。即ち、堤内地の浸水が低い場合には単断面蛇行流れとなるが、浸水深が大きくなれば堤内地から河道部への流れ込みによる影響が大きく河道部の二次流は堤内地の流れ込みに支配され、更に、堤内地の氾濫流は直進性が高まり高速化されたことが予想される(Shiono & Muto, 1998)。

図 1.8 は、山間狭窄部の下流域にあたる、左岸側堤内の八代市坂本町合志野地区および右岸側堤内地の坂本駅近傍の住家被害を示す。国道 219 号線に沿った家屋は、多くの家屋は流失していることが分かる。球磨川の洪水流は、国道 219 号線を河道の一部として、高速で流下したことが伺える。特に、道路上は粗度が小さいことから住家への破壊力が高まったことが予想される。また、鉄筋コンクリートの建物は、その壁面に何本もの流木が突き刺さり大破した。現在、球磨川では、市房ダム上流域での山腹崩壊の他に小川および川内川の土石流が報告されている。この他にも土石流や河畔林の流木の発生も考えられる。

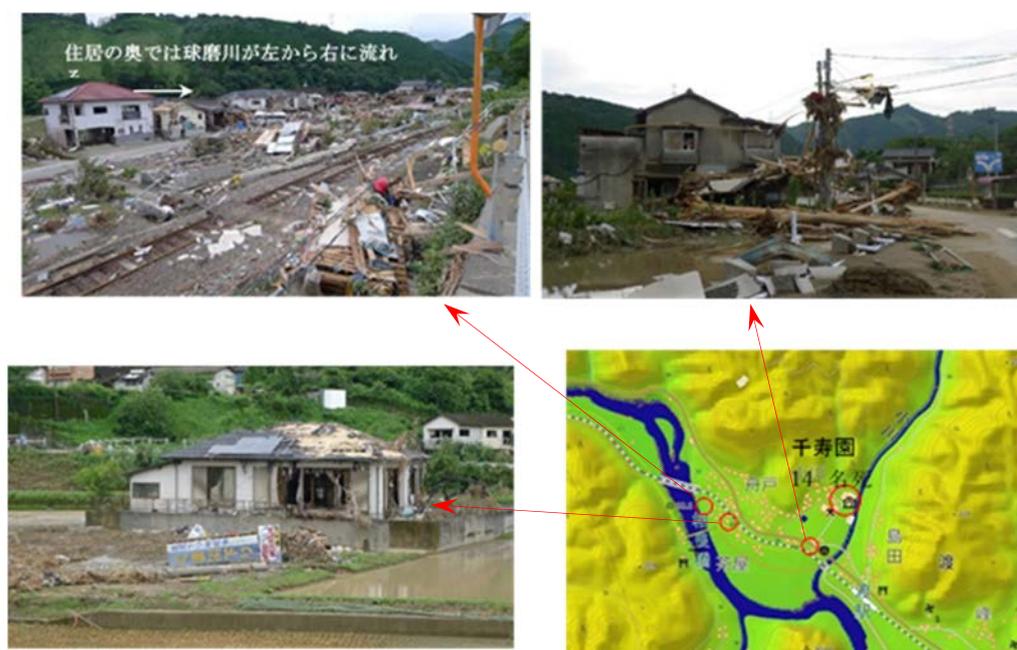


図 1.6 球磨村・渡地区における氾濫被害



図 1.7 沖鶴橋付近の蛇行部に沿った堤内地の被害状況



図 1.8 八代市・坂本市区における氾濫被害

### 1.3 降雨特性

#### 1.3.1 雨量および水位の時系列

図 1.9 は、7月3日0時から7月4日11時までの36時間における球磨川水系の各観測点における毎正時の1時間降水量および累積降水量の時系列を示す。球磨川流域には、気象庁の観測点が球磨川流域に6か所、川辺川流域に1か所、万江川流域に1か所存在する。

人吉観測所における最大降雨強度は68.5mm/hr、7月3日20時から7月4日9時の14時間雨量369mm、24時間雨量は410mmを観測した。球磨川下流の八代観測点を除いたほかの7つの観測点では、36時間の累加雨量が418.5mm～497mmとなっており、雨量の空間分布として球磨川流域では一様に雨が降ったことが考えられる。降水期間については球磨川本川の観測所では2時から9時にかけて1時間に30mmを超える激しい雨が降っている時間が多いが、途中で雨が弱まる時間帯がある。支流の川辺川流域の五木観測所と万江川流域の山江観測所では雨が弱まる時間はなく、2時から7時にかけて激しい雨が降り続けている。ピーク時間については、球磨川本川の観測点では2時と7、8時の2つのピークが現れており、支流の観測点においては、4時および5時にピークを迎えている。

図 1.10 は、人吉市大橋および川辺川柳瀬地点における水位時系列を示す。なお、大橋地点における水位計は危機感型水位計である。

人吉市大橋地点における水位は、7月4日9時50分にピーク水位7.25mを記録した。このことは、球磨川特殊堤における越流水深は2mを超えたことを意味し、更に午前7時30分から8時の30分間で0.9mの水位上昇が見られる。後述するように、水位の急上昇は表面流が橋桁に衝突し、流速の急減、水位上昇に導いたことが予想される。

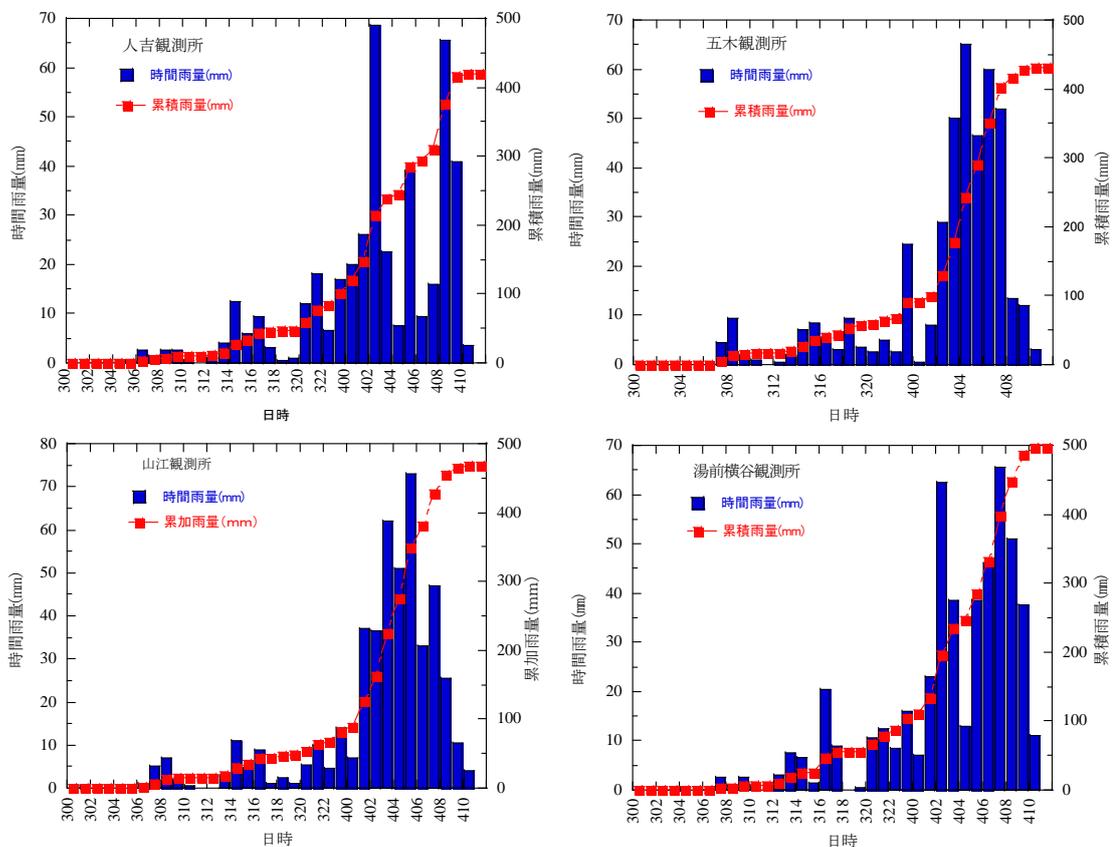


図 1.9 球磨川流域の雨量観測地点の時系列(2020年7月3日,4日)

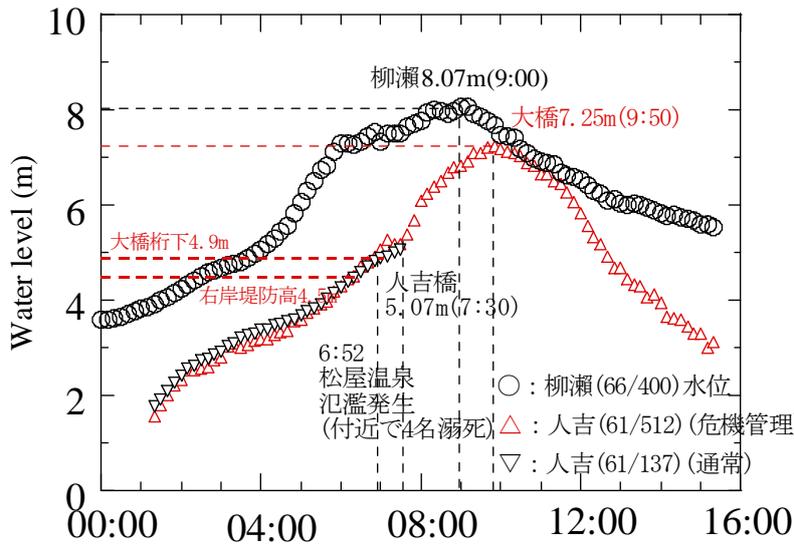


図 1.10 人吉市における水位時系列(2020年7月4日)

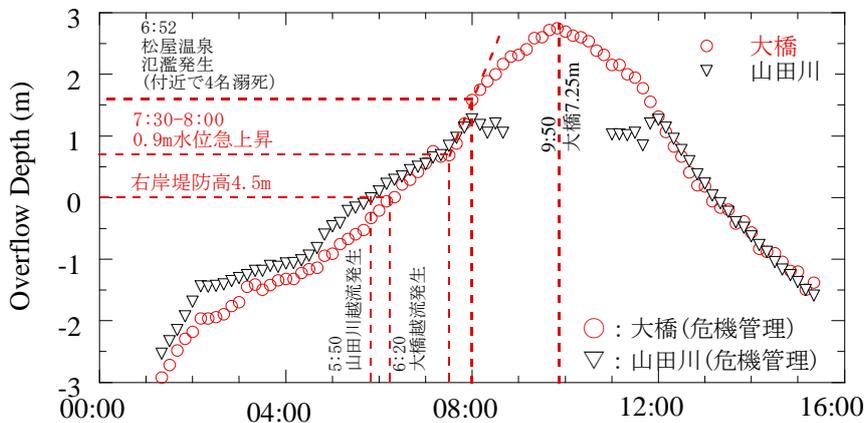


図 1.11 人吉市における水位時系列(2020年7月4日)

人吉水位観測所で観測史上最大だった1965年7月2日の5.05mを2.20m上回った。

図 1.11 は、球磨川大橋地点における越流水深と合流点近傍における山田川の越流水深の水位時系列を示す。山田川は球磨川水位の上昇に伴うバックウォーターの影響により堤内地の氾濫が5時50分に発生した。更に、熊本県の監視カメラによれば球磨川の上昇により球磨川から山田川への逆流が6時50分頃から始まり、9時20分には球磨川鉄道橋の枕木が浸水していることが認められた。合流部近傍では山田川と球磨川の両者の越流の影響を受けた氾濫であったため被害が拡大したことが伺える。

### 1.3.2 地点雨量の降雨の確率年

図 1.12 は人吉観測点における年最大6時間雨量、年最大14時間雨量、年最大24時間雨量の再現期間を示す。統計解析では、財団法人国土技術センターで公開されている水文統計ユーティリティを用いた。統計に用いたデータは、気象庁ホームページで公開された1950年から2020年までの毎正時の時間雨量である。

比較的適合度の高いガンベル分布(Gumbel)、一般化極値分布 (Generalized Extreme Value distribution : Gev)、対数ピアソンⅢ型分布(LogP3)、対数正規分布3母数クォンタイル法(LN3Q)、対数正規分布2母

第3編

数(Slade I,L 積率法)(LN2LM) , 対数正規分布 2 母数(Slade I,積率法)(LN2PM)の 6 種類の確率分布, および母数推定を行った. 確率分布の適合度評価基準である標準最小二乗基準 SLSC(Standard Least-Square Criterion)によれ  $SLSC < 0.04$  (相関係数  $COR > 0.98$ )の条件を満足する必要がある.

全体的に適合度の高かった一般化極値分布(GEV)を用いて検討したが, 超過確率が 0 となる場所がある観測所の各年最大時間雨量の確率分布はガンベル分布(Gumbel)を用いて検討する. 再現期間は以下の関係式から得られる.

- 一般化極値分布(Gev)  $F(x) = \exp\{-[1-(k/a)(x-c)]^{1/k}\}$
- ガンベル分布  $F(x) = \exp\{-\exp(-(x-c)/a)\}$

ここに,  $x$ : 雨量(mm)  $a$ : 尺度母数  $c$ : 位置母数  $k$ : 形状母数

- 超過確率  $W(x) = 1 - F(x)$
- 再現期間  $T = 1 / (W(x))$

Gumbel 分布を適用すれば, 人吉観測地点における再現期間  $T$  年は, 年最大 6 時間雨量で 38 年 ( $SLSC=0.020, COR=0.995$ ), 年最大 14 時間雨量で 855 年 ( $SLSC=0.035, COR=0.986$ ), 年最大 24 時間雨量で 214 年 ( $SLSC=0.019, COR=0.996$ ) である.

図 1.13 は, 降雨継続時間に対する再現期間および累加雨量を示す. 再現期間は一般化極値分布, ガンベル分布をもとに評価した. 令和 2 年 7 月豪雨の降水量は人吉観測所で降雨継続時間が 14 時間において再現期間が最大値の 855 年を示すことが分かる. また, どの観測所も再現期間のピークが 400 年を上回る規模の降雨が発生したことが分かる. 八代観測所では再現期間のピークが 7 年となっており, 他の観測所と比較して規模の小さい降雨であった. 球磨川本川の観測所の再現期間のピークにおける降雨継続時間は 9~14 時間, 支川の 2 つの観測点の再現期間のピークにおける降雨継続時間は 6 および 7 時間となっており, 球磨川本川の降雨継続時間が長い時間でピークに達している.

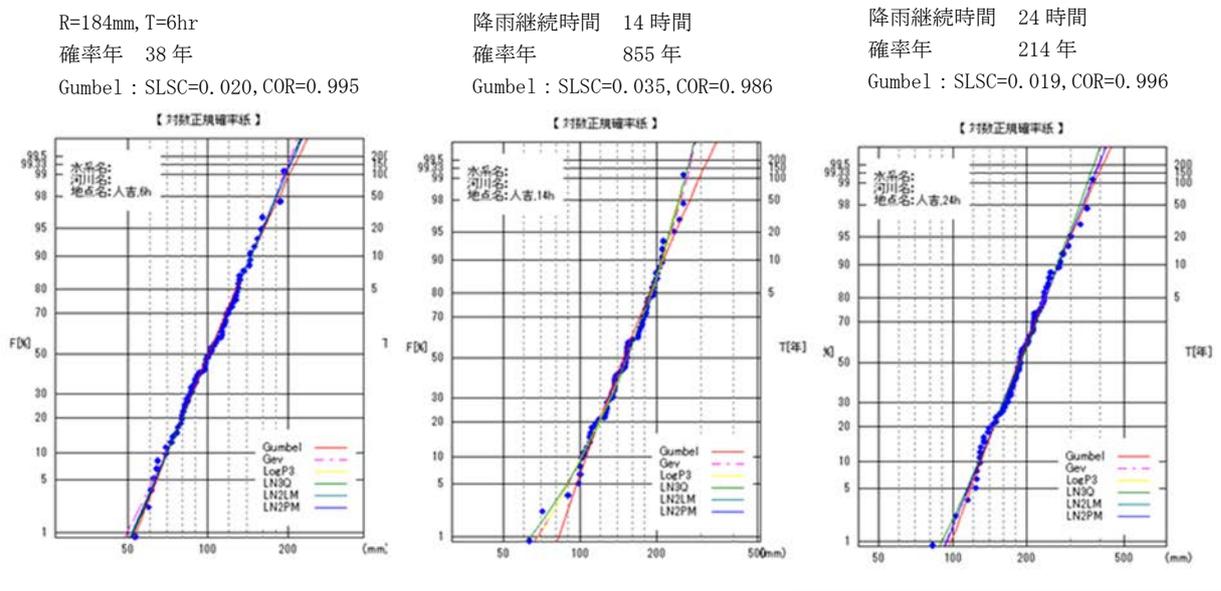


図 1.12 人吉市雨量観測所における確率年 (2020 年 7 月水害)

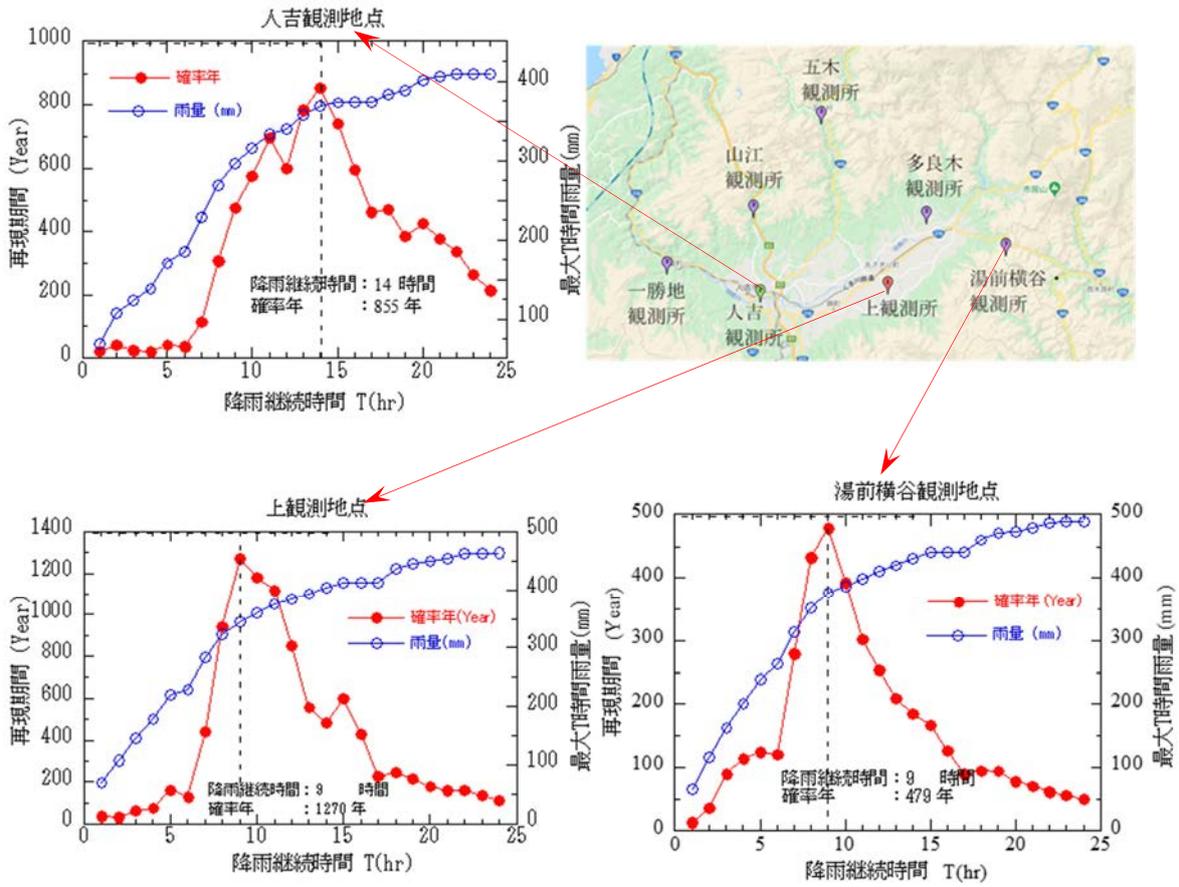


図 1.13 降雨継続時間における確率年 (2020年7月水害)

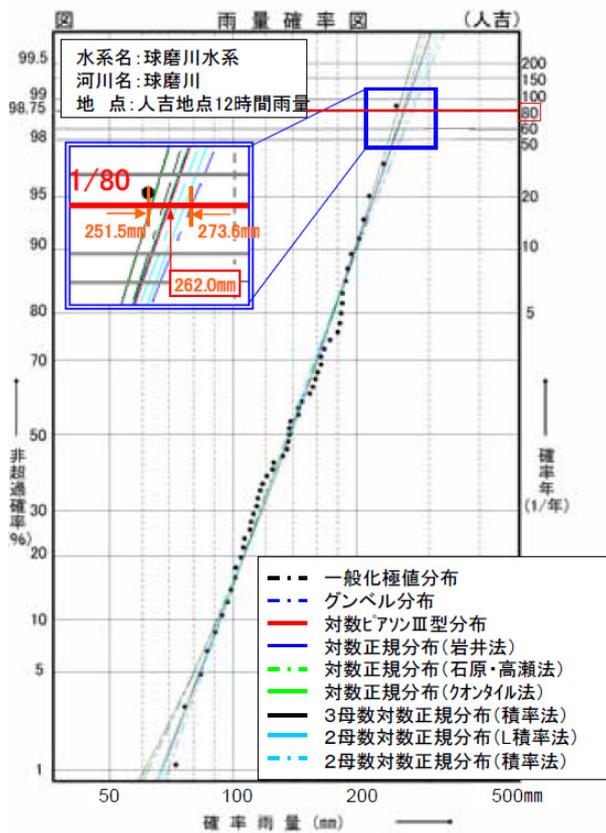


図 1.14 人吉市における流域平均雨量の確率 (出典:国土交通省)

表 1.2 人吉地点・流域平均雨量の確率年  
R.2年7月の流域平均雨量  
R=339mm/12時間  
グンベル分布  
確率年 T=746年

人吉地点の確率年

降雨継続時間 (hr)	累積雨量 (mm)	確率年 (Year)
10	316.00	576
11	333.00	698
12	339.00	599
13	357.00	784
14	369.00	855
15	373.00	743

## 第3編

### 1.3.3 流域平均雨量の確率評価

図 1.14 は、国土交通省九州地方整備局によって提供された人吉地点において降雨継続時間 12 時間、流域平均雨量における再現期間 80 年の計画雨量 262mm/12 時間に対する根拠資料を示す。

同図を用いて令和 2 年 7 月豪雨の人吉地点における降雨継続時間 12 時間で最大の流域平均雨量 339 mm の再現期間は Gumbel 分布を適用すれば 746 年であった。表 1.2 は、人吉観測点における降雨継続時間 10 から 15 時間までの累積雨量と再現期間である。流域平均雨量の再現期間はおおむね人吉観測点の再現期間と近い値になっていることが分かる。このことから今回の降雨の特徴として球磨川流域に一樣に雨が降ったということが考えられる。

## 1.4 まとめ

本報告では令和 2 年 7 月 4 日に発生した球磨川水害の人的・物的被害を取り纏めると共に、自然外力である雨量の降雨継続時間に応じた確率年を評価した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 人吉市の水の手橋、大橋および人吉橋の橋桁および中川原公園は球磨川水洪水の水位を急上昇する可能性があることを指摘した。
- 2) 球磨川流域における各雨量観測所の雨量データから降雨継続時間に応じた確率年を算定した。確率年は、人吉観測地点では降雨継続時間 14 時間で 855 年、上観測地点では 9 時間 1270 年、湯前赤谷観測地点では 9 時間で 479 年であった。更に、人吉市における流域平均雨量は、降雨継続時間 12 時間で 746 年であった。
- 3) 人吉市における被害者 20 名は、球磨川氾濫が急激であり、その原因は球磨川支川からの流量ピークが重なったことに加えて中川原公園および橋梁の影響が大きいことが示唆された。
- 4) 球磨川水害では流下型氾濫形態を取り、人吉・球磨盆地の出口に発達した連続蛇行部では堤内地が複断面蛇行流の一部となったこと、山間狭窄部では谷底平野の氾濫流となり、人的被害および住家流失を惹起したことが示唆された。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州整備局八代河川国道事務所、熊本県土木部河川課から多大なご協力を頂いた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

## 参考文献

Shiono, K. & Muto, Y.: Complex flow mechanisms in compound meandering channels with overbank flow, *J. Fluid Mech.*, 376, pp.221-261, 1998.

朝日新聞：九州豪雨 1 カ月、8 月 3 日、2020

熊本県危機管理防災課：令和 2 年 7 月豪雨に関する被害状況等について、  
[https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/74612\\_93284\\_misc.pdf](https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/74612_93284_misc.pdf) , 2020.

熊本県教育委員会：熊本県歴史の道調査－球磨川水運－, 1988.3

国土地理院：令和 2 年 7 月豪雨に関する情報、<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/>, 2020.

国交省河川局：球磨川水系の流域及び河川の概要。国交省, pp.88, 2006.

福岡捷二・小俣 篤・加村大輔・平生昭二・岡田将治：複断面蛇行河道における洪水流と河床変動, 土木

第3編

学会論文集, 621/II-47, pp.11-22, 1999.

## 第2章 昭和40年7月球磨川洪水における市房ダムの風評被害について

熊本大学 大本 照憲

## 2.1 球磨川の水害史

表 2.1 に球磨川流域の災害記録の概要を示す。熊本県では、一級河川の菊池川、白川および緑川は、台風と較べて梅雨前線による水害の発生頻度が高い。一般に台風が日本に近づく場合、九州の南方海上で停滞し、九州では南または南東方向の風が卓越し、水蒸気の輸送が長時間続くことが多い。水蒸気は気体から固体又は液体に相変化する際に大量に潜熱を放出し、台風のエネルギー源となる。

九州山地が南北に連なっているためにその南東部に位置する宮崎県や大分県は地形性効果により九州山地の東側で強い上昇気流が発生し大量の雨が降り、一方の西側に位置する熊本県では相対的に降雨は少なくなる。しかしながら、球磨川流域は、九州山地の南端に当たり、台風の影響も大きい。表 2.1 によれば、大きな水害原因は、台風が 6 回、梅雨前線が 8 回であり、両者の影響を受けることが分かる。

令和 2 年 7 月豪雨災害前の浸水被害では、1669 年(寛文 9 年)に青井阿蘇神社楼門 3 尺余(約 1m)浸水と記されており、記録上、最大規模の浸水深であったことが分かる。なお、人的・物的被害が最も多き水害は、1755 年(宝暦 5 年)における瀬戸石山・崩落に伴う天然ダム発生・崩壊(高さ約 50m)、山津波発生、死者 560 名であることが分かる。

今次の球磨川水害は、青井阿蘇神社楼門における浸水深 1.5m であったことから、1669 年(寛文 9 年)の浸水深 1m を上回る事となった。このため、流量規模による確率年は、350 年を上回ることが予想される。

## 2.2 昭和 40 年 7 月洪水に対する人吉・球磨盆地の住民の反応

国土交通省九州地方整備局によれば、昭和 40 年 7 月洪水では、死者・行方不明者は 6 名、住家被害は家屋損壊 1,281 戸、床上浸水 2,751 戸、床下浸水 10,074 戸、最大流量は、人吉地点で  $5,700\text{m}^3/\text{s}$ 、横石地点で  $7,800\text{m}^3/\text{s}$  であった。

国土交通省は、昭和 40 年 7 月洪水を基に、球磨川水系河川整備基本方針として計画高水の人吉地点で確率年 80 年、流下能力  $4,000\text{m}^3/\text{s}$ 、横石地点で確率年 100 年、流下能力  $7,800\text{m}^3/\text{s}$  とした。なお、川辺川にはダムの建設によってピーク流量のカットを  $3,000\text{m}^3/\text{s}$  とした(第 44 回河川整備基本方針検討小委員会, 2006)。

人吉・球磨盆地に住む市民の多くは、貯留型の川辺川ダム建設に対して懐疑的であった。その理由として、1)基本高水流量および川辺川ダムピーク流量のカットに対する過大評価、2)河川環境の劣化を懸念、3)昭和 40 年 7 月洪水における市房ダムの操作ミスによる被害の 3 点が挙げられる。国土交通省は、上記指摘事項 3)に対して平成 18 年に開催された 44 回河川整備基本方針検討小委員会(球磨川水系河川整備基本方針)において以下の様に回答した(第 44 回河川整備基本方針検討小委員会, 2006)。

○ダムの操作は流入量より放流量を少なくしており、下流のピーク流量を下げる事があっても悪化させることはない。

○様々な洪水に対応するため操作規則を定めていることから、例えば、昭和 40 年 7 月洪水のように容量に余裕がある場合もあれば、昭和 46 年 8 月のように容量をフルに活用している場合もある。

### 第3編

○昭和40年7月洪水で人吉市街部に甚大な被害をもたらした原因は、市房ダム下流の支川、特に川辺川から大量に洪水が流入したことによるものと推測される。

○昭和40年7月洪水において、「人吉市内で30分ほどで一気に2mも水位が上がった。」という意見があり、当時の河道状況による氾濫シミュレーションを行った。その結果、市街地の一部で30分間に2m程度の水位上昇が生じる可能性があることを確認した。

球磨川流域・住民聞き取り調査報告集編集委員会(球磨川流域・住民聞き取り調査報告集編集委員会, 2008)によれば、「おそらく、人吉市街地で水害に遭った人で、ダムを作るといふものはおらんですよ。昭和40年の水害は市房ダムができて、水が溜まったから放流したんですよ。あんな急に水害になるはずがないんですから。」との発言があった。

市房ダムが原因で人吉市の水害が拡大したと考える方々に客観的証拠となる資料の提示は無かった。

表 2.1 球磨川の水害履歴

発生日	発生原因	被害状況
1669年(寛文9年)		青井阿蘇神社楼門3尺余(約1m)浸水, 大橋・小俣橋流失, 流失家屋1,432戸, 死者11人)
1713年(正徳3年)		家屋全壊185戸, 死者1名, 市房山に山津波発生, 巨岩が麓を埋める
1755年(宝暦5年)		6月8日~6月9日の豪雨, 瀬戸石山・崩落に伴う天然ダム発生・崩壊(高さ約50m), 山津波発生, 死者560名(八代藩506名, 相良藩54名), 家屋流失・全壊2,401戸(八代藩2,118戸, 相良藩283戸)(藩主:細川重賢の時代)
1766年(明和3年)		田畑存亡12,988石, 餓人456名
1927年(昭和2年)	—	家屋損壊・流出32戸, 浸水家屋500戸
1944年(昭和19年)	—	家屋損壊・流出507戸, 床上浸水1,422戸
1954年(昭和29年)	台風	家屋損壊・流出106戸, 床上浸水562戸
1963年(昭和38年)	前線	家屋損壊・流出281戸, 床上浸水1,185戸, 床下浸水3,430戸
1964年(昭和39年)	台風	家屋損壊・流出44戸, 床上浸水753戸, 床下浸水893戸
1965年(昭和40年)	梅雨	家屋損壊・流出1,281戸, 床上浸水2,751戸, 床下浸水10,074戸, 最大流量(人吉:5,700m <sup>3</sup> /s, 横石:7,800m <sup>3</sup> /s)
1971年(昭和46年)	台風	家屋損壊・流出209戸, 床上浸水1,332戸, 床下浸水1,315戸, 最大流量(人吉:5,300m <sup>3</sup> /s, 横石:7,100m <sup>3</sup> /s)
1972年(昭和47年)	梅雨	家屋損壊・流出64戸, 床上浸水2,447戸, 床下浸水12,164戸, 最大流量(人吉:4,100m <sup>3</sup> /s, 横石:5,500m <sup>3</sup> /s)
1982年(昭和57年)	梅雨	家屋損壊・流出47戸, 床上浸水1,113戸, 床下浸水4,044戸, 最大流量(人吉:5,500m <sup>3</sup> /s, 横石:7,100m <sup>3</sup> /s)
1999年(平成11年)	台風	床上浸水3戸, 床下浸水20戸
2004年(平成16年)	台風	床上浸水13戸, 床下浸水36戸, 最大流量(人吉:4,300m <sup>3</sup> /s, 横石:5,800m <sup>3</sup> /s)
2005年(平成17年)	台風	床上浸水46戸, 床下浸水73戸, 最大流量(人吉:4,600m <sup>3</sup> /s, 横石:6,700m <sup>3</sup> /s)
2006年(平成18年)	梅雨	床上浸水41戸, 床下浸水39戸
2008年(平成20年)	梅雨	床上浸水18戸, 床下浸水15戸
2011年(平成23年)	梅雨	床上浸水4戸, 床下浸水4戸
2020年(令和2年)	梅雨	青井阿蘇神社楼門(1.5m)浸水, 家屋全壊1470戸・半壊3023戸, 床上浸水1519戸, 床下浸水1144戸

図 2.1 は、44 回河川整備基本方針検討小委員会(第 44 回河川整備基本方針検討小委員会, 2006)における提出資料の一部である。ダム湖の最高水位は、280.375m に達しているが、貯留可能最高水位であるサーチャージ水位 283m までに 2.625m の余裕があることがわかる。また、昭和 40 年 7 月 3 日午前 7 時頃までにダム湖の水位が上がっていることからダムからの放流量は流入量より小さいことがわかる。即ち、市房ダムからの放流によって人吉市で水害が拡大する根拠の無いことが分かる。

今次水害では、人吉市においては水の手橋、大橋および人吉橋の橋桁および欄干が水没するまでの水位に達し、特殊堤からの越流水深は 2m 以上となった。一方で、市房ダムには約 2 万 m<sup>3</sup> の流木を捕捉し、ダム下流域における流木被害の発生を止めた。大量の流木が橋梁に引っ掛かり、閉塞状態になった場合、球磨川は流下能力を失い、流木を伴う氾濫流は人吉市街地を襲う可能性があった。市房ダムは極めて大きな働きをしたことが読み取れる。

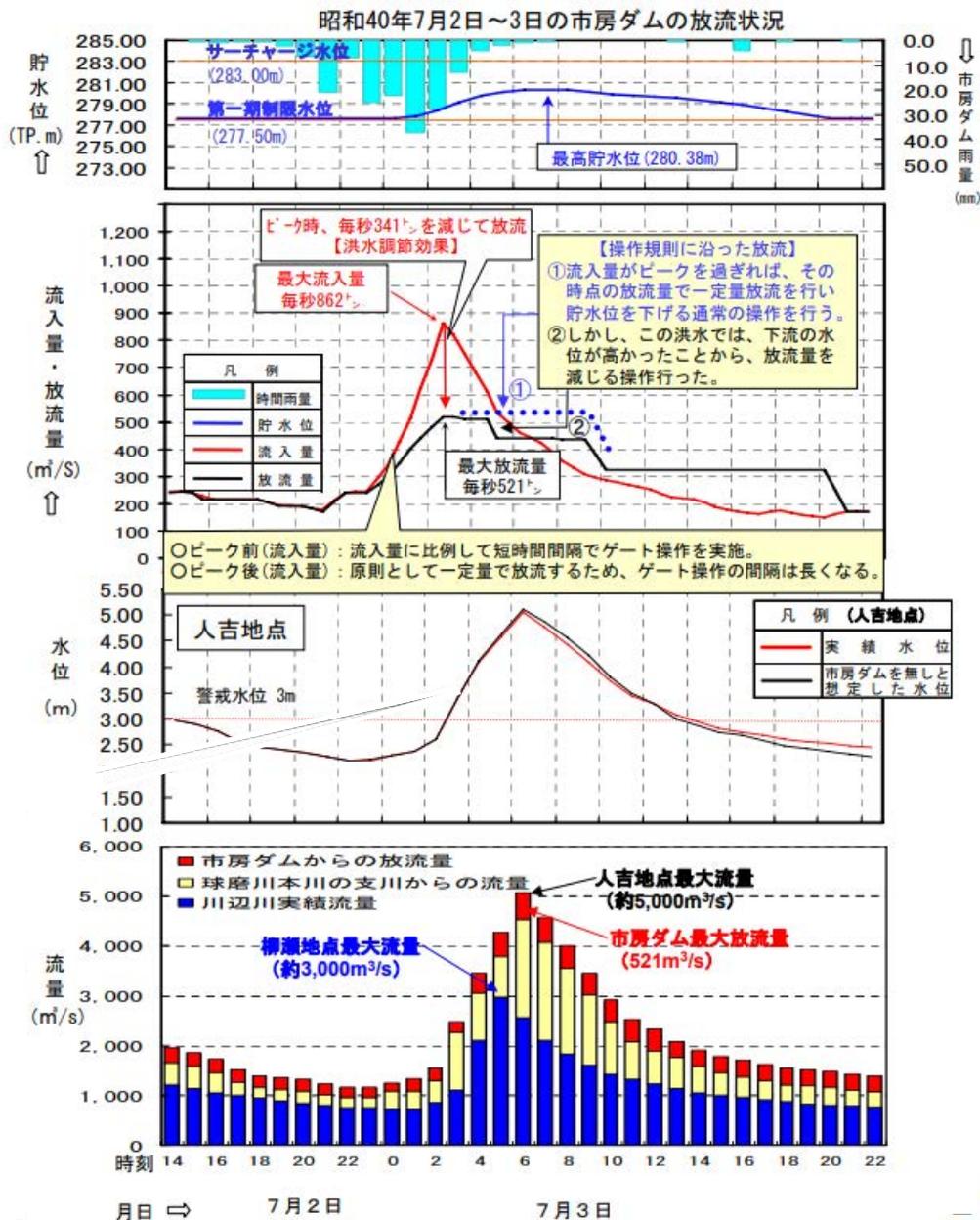


図 2.1 昭和 40 年 7 月 2 日～3 日における市房ダム操作

## 第3編

著者は、「球磨川水系の治水に関する客観性検討委員会」の委員として昭和40年7月球磨川洪水体験者の聞き取り調査を実施し、章末に報告書を添付した(付録を参照)。

### 2.3 まとめ

本章を記す理由は、「ダムは水害をひきおこす」(球磨川流域・住民聞き取り調査報告集編集委員会, 2008)), 「川辺川ダムはいらん」(川辺川ダムブックレット編集委員会, 2005)で記載のあった水害体験者の方々の証言が噂に基づくものであったためである。更に、令和2年10月29日付の西日本新聞および毎日新聞によれば、共同通信社が行った球磨川治水に関する流域住民300人のアンケート結果を知ったことによる。アンケート結果によれば、ダム「不要」、「やや不要」の反対意見を選んだ人は計34%(103人)で、ダム「必要」、「やや必要」の賛成計29%(87人)を上回った。自宅や事業所が被災した180人の内、ダム「反対」計37%(67人)、「賛成」計26%(47人)である。一方、被災していない120人については、「反対」計30%(36人)、「賛成」計33%(40人)であることから、被災者の方がダムは不要と回答した割合が高い。

川辺川ダムによって直接的恩恵を受ける被災者の方々の理解を得ることの難しさを痛感する結果となっている。

廣井修著「流言とデマの社会学」(廣井, 2001)に、「流言の量は問題の重要性和状況のあいまいさの積に比例する」とある。「重要な問題」とは自分の生命や財産が脅かされることであり、「あいまいな状況」とは、情報が不足したり、統制されているような状況で、災害時や戦時に流言が発生しやすい。流言の発生と伝播を抑えるためには、行政側から早い段階で客観的情報の提示と誠実で丁寧な説明が必要であった。球磨川流域の復興を一刻も早く実現するためには、行政と住民の信頼関係は不可欠である。

### 参考文献

川辺川ダムブックレット編集委員会：川辺川ダムはいらない，花伝社，2005年8月

球磨川流域・住民聞き取り調査報告集編集委員会：ダムは水害をひきおこす,花伝社，2008年4月

第44回河川整備基本方針検討小委員会：資料2 市房ダムの洪水調節について(平成18年7月19日付),[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kihonhoushin/060719/pdf/s2.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kihonhoushin/060719/pdf/s2.pdf), 2006.

廣井修著：流言とデマの社会学，文芸春秋，平成13年(2001年)8月

球磨川水系の治水に関する客観性検討委員会

委員長 小松利光先生

## 昭和40年7月球磨川洪水体験者の聞き取り調査について

熊本大学工学部環境システム工学科  
大本照憲

はじめに

本調査は、昭和40年7月洪水で水害を体験された方々から当時の事で記憶に残っていることや個人所有の資料の有無をお聞きした上、これまでに国土交通省から提出されたデータを体験者の意見と照合し、データの信頼性を評価・検討するためのもので、第一回「球磨川水系の治水に関する客観性検討委員会」において実施されることが決定されたものである。聞き取り調査によって得られた意見は下記の通りである。聞き取り調査に立ち会った者としての所見も併せて記す。

なお、昭和40年7月洪水から現在まで約36年間が経過していることから、ヒアリングに協力して頂いた方々は記憶を確かなものにするために古い資料を探して下さった方が大半であった。また、ご病気で体が不自由な方も快く聞き取り調査に協力して下さい、聞き取り調査にご協力頂いた全ての方に厚くお礼申し上げます。

実施日：平成13年8月28日（火）9:00～17:00

9月1日（土）15:00～17:00

場所：川辺川ダム工事事務所，人吉旅館，水上村役場，体験者宅

対象者：

人吉市（球磨川と川辺川の合流点より下流約4km位置）

球磨川大水害を伝える水害被害者の会

当時人吉市出張所職員（水位観測担当）

当時人吉市消防署職員（船で救助活動）

水上村（市房ダムおよびその直下流）

当時役場防災担当者（水上村長）

多良木町（市房ダムより下流約10km位置）

当時役場防災担当者（元助役）

球磨郡相良村柳瀬（川辺川下流位置）

当時役場防災担当者，柳瀬在住（観測所横）

当時の市房ダム操作担当者

事務局

川辺川工事事務所：川崎調査設計課長，上村係長

八代工事事務所：宮村係長

### 第3編

人吉市（球磨川と川辺川の合流点より下流約4km位置）

#### ■「球磨川大水害を伝える水害被害者の会」の方々の意見

##### 降雨事象

- ・人吉市では一滴の雨も降っていなかった。
- ・屋根に避難している時、雨は降っていなかった。
- ・空に星が出ていた、

##### 河川流況

- ・洪水ピークは7月3日午前6時頃
- ・人吉大橋の欄干まで水位が来ている写真がある。
- ・市房ダムが出来るまでは、川の状況から浸水被害への対応はうまく行っていたが、昭和40年の水害では経験が生かされなかった。
- ・水は少し濁った程度だった。
- ・建設省が公表した人吉の最高水位は、左岸と右岸で異なるのはどうしてか。
- ・五日町の水位観測員は、水位観測機械は測定不能になったと言っている。
- ・相良村深水地区では、川辺川の水位は4時30分には引き始めていた。

##### 堤内地

- ・市街地では、ピーク前の30分間に2mの水位上昇があった。
- ・城内にある石碑が少し流された。
- ・球磨川と山田川の合流点付近にある新温泉では昭和40年の洪水痕跡がある。
- ・肥薩線の線路が浸水した。

##### ダム操作

- ・市房ダムが操作ミスをして、大量の水を放流した疑いがある。
- ・ダムを管理した人達がマージャンをやっていたと聞いた。
- ・ダムの両脇から水が溢れ道路を流れていたと聞いた。
- ・建設省が出しているデータは改竄されている。

#### ■当時人吉市消防署職員（船で救助活動）

- ・朝3時30分頃に船に溜まった水を汲み出しに行った時には、土砂降りの雨だった。川の水位が普段の洪水の水位より高かった。
- ・合羽を着て消防署に出勤しようとした時には、小雨がパラパラと降っていた。
- ・対岸が見えてきた4時30分頃には、西瀬橋では水位が橋桁まで来ており通行不能であった。
- ・空が明るくなり、亀が淵に救助に出かけた時には、家は1軒だけ残っており、残りは流されていた。
- ・その後、人吉橋を渡り手塚病院付近に救助に向かった時には、水位はひたひた(?)まできていた。
- ・中川原にあった消防署は1階が1mほど浸かっていた。
- ・九日町では家の2階から出入りしていたと聞く。当時、九日町付近には堤防はなかった。
- ・亀が淵付近では竹藪が川に迫りだし、川幅が狭くなっていた。亀が淵の浸水深は軒付近までで、舟竿が1mほど水上に出ていたため、浸水深さは4m程度であった。

### 第3編

#### ■当時人吉市出張所職員で水位観測

- ・宿直していて、朝2時30分頃、川が増水しているとのことで水位観測に従事した。
- ・観測は原則毎正時であるが、警戒水位近くでは30分間隔、もしくはそれより短い間隔であった。
- ・観測していた時、雨は降っていたが激しくはなかった。
- ・(洪水のピーク時付近には)水位は城の石垣の天端を越えそうであったので、箱尺を河岸の桜の木のようなものに括り付け、双眼鏡で水位を観測したものと思う。
- ・水位観測結果は、ファイルになった水位記録簿に毎正時か30分毎に記録されていた。災害報告書には、毎正時が記録されていたように思う。
- ・出張所も浸水していたので八代の工務課長から避難命令が出され、グランド脇に避難した。避難する際、重い無線機を水に浸からないようにテーブルの上に載せた。
- ・河川水位の上昇速度は毎時70cm～100cm程度だったように思う。数値の記憶は定かでない。
- ・洪水ピーク前に、浮子を用いて洪水流観をやった。

#### 球磨川本川市房ダム

#### ■当時水上村防災担当および社会課長（日誌在り）

- ・昭和40年7月の洪水に対する被害の記憶は殆ど無い。昭和29年と昭和46年は良く覚えている。
- ・水上村では昭和40年には災害救助法の適用を受けていない。
- ・水上村歴史年表や水上村史にも、昭和40年の水災害の記述は無い。
- ・貯水池の水がダムを越流したことは無い。断言できる。当然、見た人も無い。
- ・日誌には、7月4日に参議院選挙が実施されたと書かれている。大きな水害があれば、実施されなはず。
- ・昭和46年の水害では、ダムが崩壊するかもしれないとの放送があり、みんなで避難した記憶がある。

#### 球磨川本川市房ダム下流の多良木町

#### ■当時役場の防災担当

- ・市房ダムが出来る前は、年に1,2回程度の浸水を受けて苦労していたが、ダム完成後は浸水した記憶は無い。水不足の問題も無くなり喜んでいる。
- ・昭和40年7月には大宮橋付近の堤防天端付近まで水位が上がり、中学校に30名程度の人達が避難したが、溢れるまでには至らなかった。

#### 川辺川相良村

#### ■当時役場の防災担当、柳瀬水位観測所付近に在住

- ・昭和38年、39年、40年と3年連続して水害を受けた。昭和38年と40年を比較すれば40年の方が若干水位が高かったのではないかと。昭和57年は更に水位が高かった。
- ・川辺川合流点付近の鉄道橋では一時、水位がダムアップしていた。
- ・川辺川の水位上昇は速かった。

#### 市房ダム管理所

#### ■当時の市房ダム操作担当者

### 第3編

- ・昭和40年の操作に間違いはなかった。
- ・全ての洪水においてダム操作を投げ出し、逃げたことはない。
- ・職務が割り当てられており麻雀をする暇はない。
- ・ダムを水が越えたことは無い。
- ・放流の手順は、自動流入量計算機の結果を放流係に渡し、放流係が手計算の流入量と流入部の流量計データを照合、確認し、放流量及びゲート開度を決定。これを操作担当がゲート開度を設定してボタンを押すという流れであった。
- ・流入量計算機のチャートはタイプ印字されるので書き替えの余地はない。
- ・昭和40年7月5日の新聞に最大流入量862 m<sup>3</sup>/sec, 最大放流量496 m<sup>3</sup>/sec (発電放流量25 m<sup>3</sup>/sec 含まず.) の記述がある。
- ・昭和40年は湯前線の川村駅と球磨川を渡る鉄道橋あたりが川辺川方面から押し出されるように曲がった。
- ・昭和40年当時15名で管理に当たり、そのうちゲート操作に携わったのは5名いた。
- ・昭和46年は台風の横風で放流水が発電所の方に流され導流壁が倒れた。
- ・昭和46年は発電所の職員が避難した。

### 所見

本調査は、川辺川ダム建設とは切り離し、昭和40年7月水害に限定して実施したものである。当水害に関しては、既に宮崎大学杉尾哲教授および九州大学平野宗夫名誉教授によって市房ダムの放流が人吉市における水害の直接原因では無いことがデータを基に工学的に明らかにされている。本論では、聞き取り調査から得られた意見および降雨、河川水位および河川流量の記録から市房ダムの放流が人吉市の水害に与えた影響について検討した。市房ダムの放流に対して疑念を持たれた「球磨川大水害を伝える水害被害者の会」の方々からの意見を集約すれば以下の3点に纏められる。

- ① 人吉市では、洪水ピーク時(7月3日午前6時)頃には雨は殆ど降っていなかったにも係わらず、上流より大量の水が流れ、市街地では外水氾濫が生じた。人吉市においては、ダムが建設された昭和35年以後には経験の無い程に市街地の浸水深が短時間に増加したのは、市房ダムの異常放流に起因した球磨川本川からの流量が原因ではないのか。
- ② 市房ダムゲートの操作担当者は、洪水期間中にマージャンをやっていたという噂が有り、ダムから貯留水がオーバー・フローしているのを目撃したと言う住民の話も有る。
- ③ 国土交通省から提出されたデータには改ざんの疑いがある。

実測データおよび聞き取り調査の結果から市房ダムからの異常放流は認められない。その根拠は下記の通りである。

- 1) 国土交通省から提出のあった実測データによれば、人吉市では7月3日午前6時頃に洪水ピークを迎え最大流量約5000 m<sup>3</sup>/secであり、その内の約6割に相当する約3000 m<sup>3</sup>/secの流量が川辺川柳瀬地先で観測されている。球磨川本川に流入した市房ダムからの最大放流は521 m<sup>3</sup>/sec(継続時間55分)である。故に、人吉地点における最大流量約5000 m<sup>3</sup>/secに占める市房ダムからの放流量は約10%となる。市房ダムが無い場合には水上地先における最大流量が862 m<sup>3</sup>/secに達することを考えれば、市房ダムが無い場合には人吉市に

### 第3編

において更に被害が激甚なものになっていたことが予想される。

- 2) 水上村防災担当者の発言内容および当時の日誌より、「球磨川大水害を伝える水害被害者の会」が主張する「洪水がダムを越流したとする地元の話」は、水上村では皆無であった。最大放流量時におけるダム貯水位(279.1m)は最大満水位(283.01m)までに約 3m の余裕が有ることから、但し書き操作によるダム放流でも無く、昭和 40 年 7 月洪水において市房ダムの異常放流は認められない。
- 3) 当時、市房ダム管理所に勤務した人数は 15 名であり、その内ダム操作に直接携わった人数は 5 名である。ダム操作に関係した 2 名の方は、マージャンのルールも知らないし、やったことも無いとの事である。また、「市房ダム操作規則」に従って、ダムへの流入流量に対して一定率調整方式でダム放流量の設定、ゲート開度の操作が実施されたことを説明され、ダム操作で間違いを犯した経験は一度も無いとの話であった。昭和 40 年 7 月洪水におけるゲート開度および放流量の経時変化を示した図を参照すれば、洪水期間中慎重にゲート操作していたことが認められる。
- 4) 国土交通省からの提出データと聞き取り調査の対象者からの発言内容を照合した所、証拠を持たない風評に類するものを除けば、整合性の取れたものであり、実測データに矛盾は無いことから、データを改ざんしたとは認められない。

今回の聞き取り調査から考えられたことを付言する。人吉市では、市房ダムが完成した昭和 35 年以降の昭和 38 年、39 年および 40 年に 3 年連続して水害に見舞われた、現在でもそうであるが、地元住民の中にはダムの治水機能について十分な理解が得られていないこと、昭和 40 年 7 月の水害では洪水ピーク時の午前 6 時頃に人吉市では雨が殆ど降っておらず、さらにその時刻に「市房ダムからの放流があるから、注意するように」との警告が発せられている。そのため、被害を受けた方の中には氾濫水は自然現象とは認めず、ダム操作の人為的ミスによって発生したものと誤解したものと考えられる。東京大学新聞研究所によれば 1982 年 7 月の長崎水害においても「ダムが決壊した（から水があふれた）」という流言が流布し、調査対象者の 31.6%が耳にし、その内の 7.7%がその噂を信じたか半信半疑であったことが報告されている（東京大学新聞研究所編「災害と情報」、1986 年）。球磨川沿線の道路には、各所に「危ない！ダムの放流による増水に注意」と記した表示板が立てられており、一般の人達は表示板よりダムの放流が原因で洪水の危険に晒されると誤解することも考えられる。

また、現在市房ダムの放流量は、ダムへの流入流量とダム貯水量のみから決定されており、人吉市における水位・流量の情報（水害の状況）が反映されていない。この点が人吉市民の反感を買ったものと言える。それ故、市房ダムの運用規定に、人吉市における流量を盛込む必要があると考える。

九州大学名誉教授の平野先生は、不適切な情報伝達と説明責任の欠如がダム原因説を生み出した主因であると指摘した。市房ダムの放流量の設定法やダム放流に対する掲示板に工夫の余地があるものと考えられる。



### 第3章 人吉市街地-球磨村渡地区における洪水痕跡調査

九州大学 田井 明 福岡大学 橋本 彰博 佐賀大学 押川 英夫  
日本ミクニヤ 峯 浩二, 鮎本 健治, 佐野 雄一  
鹿児島大学 齋田 倫範 群馬大学 鵜崎 賢一 九州大学 杉原 裕司

#### 3.1 はじめに

令和2年7月3日から7月31日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、日本各地で大雨になり、人的被害や物的被害が発生した。九州地方では7月4日から8日にかけて記録的な大雨となり、九州地方の多くの地点で、24, 48, 72時間降水量が観測史上1位の値を記録した。特に、球磨川中流域人吉盆地では7月4日に大規模な洪水氾濫が生じ、甚大な被害が生じた。本章では、人吉市街地から球磨村渡地区の浸水状況を定量的に明らかにするため、被害状況調査および洪水痕跡高調査を実施した結果を報告する。

#### 3.2 人吉盆地での洪水被害の概要

本研究の対象領域である人吉市街地から球磨村渡地区は、人吉盆地の末端で中流部山間狭窄部の直上流にあたるため流下能力が不足し洪水氾濫が生じやすく、甚大な被害が過去にも生じてきた地域である。今次災害では、7月4日の未明から時間雨量30mmを超える雨が継続し、4日10時頃、人吉地点で約7,400m<sup>3</sup>/s（計画高水流量4,000m<sup>3</sup>/s）、渡地点で約9,800 m<sup>3</sup>/s（計画高水流量5,500m<sup>3</sup>/s）のピーク流量が生じたと推定されている（国土交通省・熊本県，2020）。治水地形分類では氾濫平野、旧河道、低い段丘が混在する地形上に、人吉市街地では人口密集地帯が形成され、そこから渡地区に向かうにつれて水田や畑が広がっていく土地利用となっている。

本章で対象とする人吉盆地内では今次水害で最も多くの人的被害が生じた。中でも多くの人的被害が生じたのが、特別養護老人ホーム「千寿園」(写真3.1)の事例である。その他、人吉盆地内では前述の千寿園での犠牲者を除くと、人吉市内で20名、球磨村渡で2名の方が犠牲となった。そのうち屋内で発見された方が12名、屋外で発見された方が8名であった。屋外で発見された方々の中には、自宅が全壊し氾濫流に流された事例や避難中に車で氾濫流に流された事例が確認された。また、一度、避難所に避難したがペットが心配になり自宅に戻られて被災し、犠牲になられた事例もあった。



写真3.1 特別養護老人ホーム「千寿園」の外観

3.3 調査の概要

洪水痕跡高調査は7月10日,11日,13日,堤防高測量は7月27日,28日に実施した。洪水痕跡高は痕跡が明瞭なものおよび住民の方の証言や写真, SNS での情報などを照らし合わせながら最大水位として確定できるもののみをスタッフにより測定した(図3.1)。洪水痕跡位置の地盤高および堤防高はRTK-GNSSにより測量した。



図3.1 調査の様子(上・中段:住民提供写真を用いた推定, 家屋内の痕跡からの推定)



図 3.2 調査対象範囲

### 3.4 調査結果

図 3.2 に、本調査での調査範囲を示す。図 3.3 に図 3.2 に示した領域別に黒字で浸水深、青字で浸水水位（標高）、赤字で堤防高（標高）を示す。

領域 1 は、人吉駅や青井阿蘇神社、温泉旅館が並ぶ人吉市の中心市街地である。まず、浸水水位と堤防高を比べると概ね直近の堤防上プラス 2m の浸水水位となっていることが分かる。また、領域 1 の上流端で堤防高が約 106.5m から約 101.6m と約 5m 減少しているのに対し、浸水水位は約 108.3m から約 103.2m とこちらも約 5m 減少しており、氾濫流も河川勾配に沿って分布していたことが分かる。また、浸水水位は球磨川横断面直角方向には河道から離れてもほとんど値は変化していないことが分かる。以上より、この領域において氾濫流は球磨川に沿って河道から鉄道線路のあたりまで同様の水位で流下したことが推定される。浸水深は、地盤高によってバラついてはいるが、地盤高が低い場所がある国道 445 号に沿って浸水深が大きくなっている地点がある。また、領域 1 の西部の万江川左岸部下林町付近では浸水深が大きくなっている。この付近は治水地形分類(国土地理院, 2020)では氾濫平野および旧河道に分類されている地域となっており、地盤が比較的低く、浸水深が高くなりやすかったと考えられる。図 3.4 に領域 1 で生じた人的被害の発生場所を示す。浸水深さの大きかった国道 445 号に沿いや下林町付近で人的被害が多く発生していることが分かる。全員の死因は溺死であるが、下林地区で亡くなった方は全員屋内で発見された一方で、下薩摩瀬地区で亡くなった方は屋外で発見されているなど被災形態が異なる可能性がある。

領域 2 は、河道と段丘面に囲まれた氾濫平野および低い段丘面に分類される地形である。直近の堤防上プラス 2~3m の浸水水位が生じている。領域 2 では 2 ヲ所の破堤が生じているが、いずれも堤内地から堤外地への逆越流により破堤したものと推定されている(国土交通省, 2020)。浸水深は 3m を超える地点が多く、領域西部の左岸では 5m 前後に達している地域もある。領域 2 では左岸で一度避難

第3編

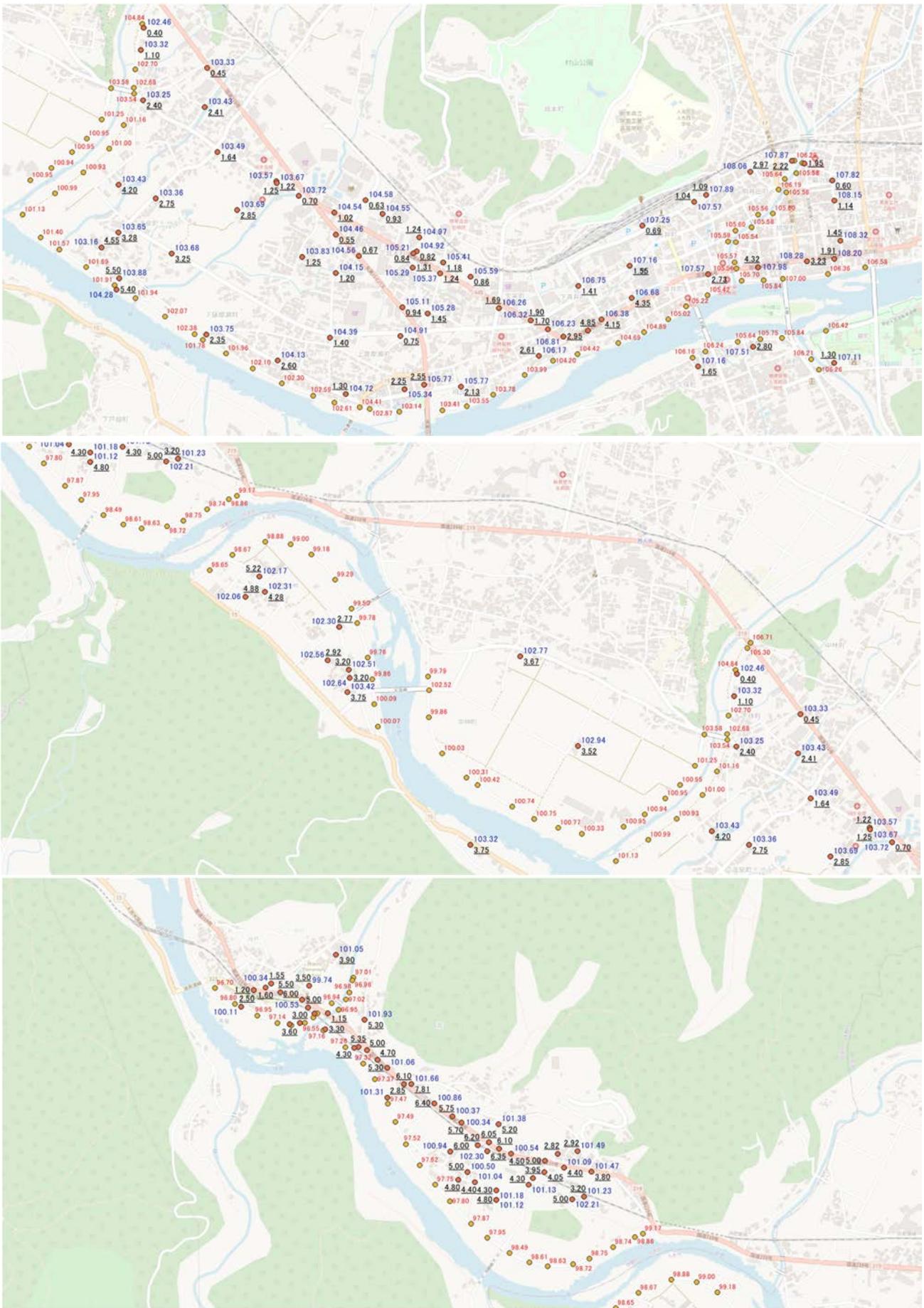


図 3.3 調査結果 黒字：浸水深，青字：浸水水位（標高），赤字：堤防高（標高）  
（上段：領域 1，中段：領域 2，下段：領域 3）

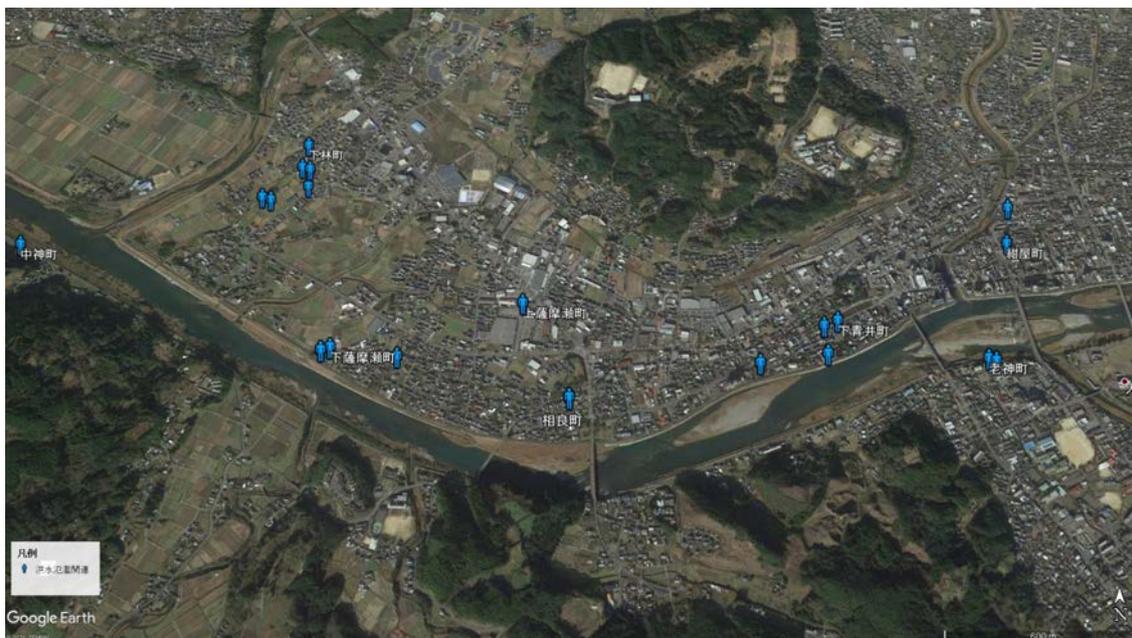


図 3.4 領域 1 における人的被害発生場所（GoogleEarth により作図）

された後に自宅に戻られて被災した事例もある。全体的には領域 2 では住民の証言によると過去に何度も被災しているため防災意識が比較的高く、避難は迅速に行われたようで、浸水深に比べて人的被害は比較的少なかったと考えられる。

領域 3 は、球磨村渡地区を中心とする場所である。この領域では直近の堤防上 3m 以上の浸水水位が生じている地点が多数ある。特に、小川両岸では直近の堤防上プラス 4～5m の浸水水位が生じていることが分かる。浸水深は、最大で 7.81m と今回計測した中で最大の浸水深を計測するほか、5m を超える地点も多く見られ、領域全体として大きな浸水深が生じていた。領域 3 でも、領域 2 と同様に過去に何度も被災しているため住民の防災意識が比較的高く、避難は迅速に行われたようで、千寿園での事例を除けば浸水深に比べて人的被害は比較的少なかったと考えられる。

### 3.5 まとめ

人吉盆地の洪水痕跡調査と人的被害状況の調査を実施した。今後、数値シミュレーションなどの解析を進めて、詳細な浸水過程および氾濫流速を明らかにし、被害拡大メカニズムの解明を行っていきたい。幾つかの図は OpenStreetMap, Google Earth を用いて作成したことを付記する。

### 謝辞

本調査を遂行するにあたり、九州大学環境流体力学研究室於久達哉氏、大松和暉氏、鍋島孝顕氏、竹下佳佑氏に協力いただきました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

- 国土交通省・熊本県：第 2 回令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料，2020。
- 国土地理院:治水地形分類図 <https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/bousaichiri41049.html>，2020。
- 国土交通省：第三回球磨川堤防調査委員会，2020。



## 第4章 球磨川流域を対象にした降雨流出・洪水氾濫解析

九州工業大学 重枝 未玲・秋山 壽一郎

### 4.1 はじめに

令和2年7月豪雨では、7月3日～4日に九州南部で記録的な豪雨となり、球磨川流域を中心として甚大な被害が生じた。球磨川流域は、日本を代表する急流河川流域であり、同流域では急激な水位上昇による本・支川の大規模な洪水氾濫、橋梁群の流出等の急流河川流域特有の被害が発生した。このような急流河川における洪水氾濫特性を調査・研究することは、流域治水を含め、極端気象時代を迎えるわが国の今後の防災・減災において極めて重要な情報を提供できると考えられる。本章では、球磨川上流域の流量の推定および令和2年7月豪雨時の球磨川流域中・上流域を対象に、降雨流出・洪水氾濫解析を実施し、同流域での降雨流出・洪水氾濫プロセスを検討した。

### 4.2 球磨川流域と災害の概要

#### 4.2.1 球磨川流域の概要(国土交通省, 2007)

球磨川は、熊本県南部の人吉盆地を貫流する一級河川である。その流域面積は1,880km<sup>2</sup>、幹線流路延長は115kmであり、周囲を急峻な山々で囲まれている。球磨川上流域には市房ダムがあり、免田川、小さで川、川辺川、山田川、万江川などの支川が合流している。同流域の土地利用は山地等が83%、水田や果樹園等の農地が7%、住宅等の市街地が約10%を占めている。市房ダム～渡地点を上流部、渡～遙拝堰までを中流部、遙拝堰～河口までを下流部として分類されている。図4.1に、球磨川流域の概要、本・支川、地上雨量・水位観測所、市房ダム等のダムを、図4.2にALOS2(JAXA, 1997)より作成した流域の土地利用を示す。背景図については、いずれも国土地理院の地理院タイル(国土地理院, 2020a)を用いた。

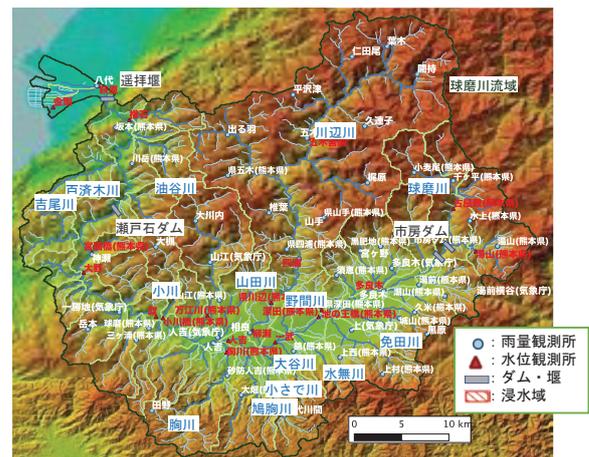


図 4.1 球磨川流域の概要

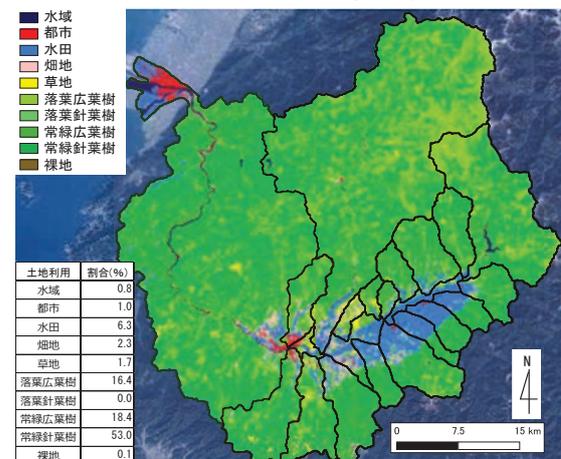


図 4.2 球磨川流域の土地利用

#### 4.2.2 令和2年7月豪雨による災害

令和2年7月豪雨では、7月3日深夜～7月4日の12時に複数の線状降水帯が発生し、球磨川流域で豪雨となった(国土交通省九州地方整備局・熊本県, 2020)。図4.3に、XRAIN(DIAS, 2020)より求めた球磨川流域での降雨強度と累加雨量の経時変化、図4.4にXRAIN及び地上観測雨量(国土交通省, 2020)より求めた球磨川の人吉観測所より上流流域での流域平均雨量を示す。これらより、(1)7/4の1時頃に上流域で、3時半頃には中流域で、6時10分～8時10分には中・上流域で豪雨となったこと、(2)球磨川本川に沿っ

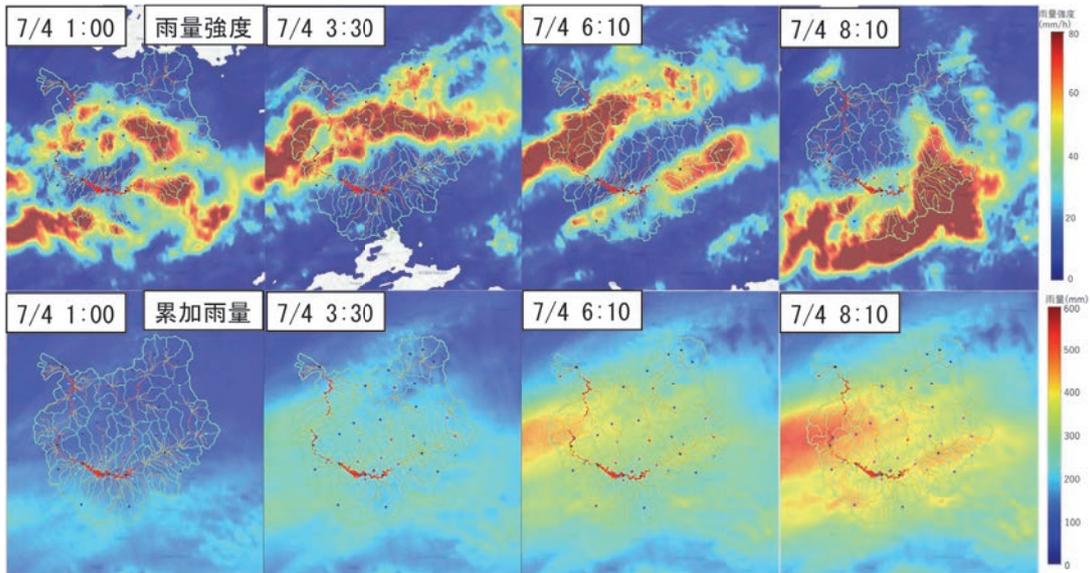


図 4.3 XRAIN(DIAS, 2020)より求めた球磨川流域での降雨強度と累加雨量の経時変化

て豪雨域が発生していること, (3)XRAIN(DIAS, 2020)と地上雨量より求めた球磨川上流域の流域平均雨量の波形には大きな差がないこと, (4)12 時間雨量については, XRAIN(DIAS, 2020)で 288mm, 地上雨量で 309mm 程度であり, 計画降雨量の 262mm を超えたこと, などが確認できる。

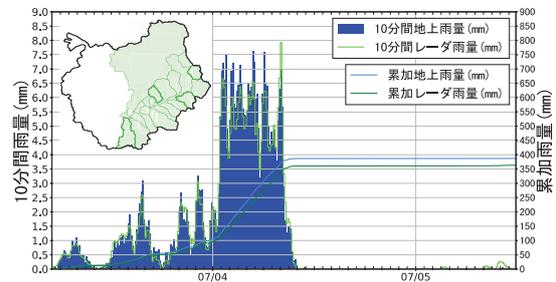


図 4.4 人吉観測所より上流域での流域平均雨量

この豪雨により, 球磨川流域では, 複数の水位観測所で計画高水位を超え欠測が生じた. 破堤は 2 箇所, 溢水・越水は 11 箇所が発生し, 14 の道路橋, 3 の鉄道橋が流失した(国土交通省九州地方整備局・熊本県, 2020). 図 4.5 に, 球磨川流域での溢水・越水地点, 破堤地点, 流出した橋梁, 浸水域をまとめたものを示す. 熊本県で死者 65 名・行方不明者 2 名であり球磨川流域では 50 名の死者となった. その多くは人吉市街地, 球磨村渡地区に集中していた。

### 4.3 球磨川流域の流量の推定

#### 4.3.1 解析の概要

流量の推定には「水面形を与条件とした流量・粗度係数の推定法」(重枝ら, 2017, 重枝ら, 2018a)(以下, 推定法と呼ぶ.)と分布型流出・1次元河道網洪水流解析モデル(重枝ら, 2018b)(以下, 洪水追跡モデルと呼ぶ)を用いた. 洪水追跡モデルは, 流出解析モデルの「セル分布型流出解析モデル」(重枝ら, 2010)と1次元洪水流解析モデルの「1次元河道ネットワークモデル」(重枝ら, 2018c)で構成され, ①では標高や土地利用などの流域特性を考慮した上で流域の雨水の挙動の予測を, ②では河道幅の変化などの河道特性や橋梁等の河川構造物を考慮した上で洪水追跡を行う. 両モデルは, ①より求まる河道への流出流量を②の境界あるいは内部境界条件として与えることで接続される. これらの推定法やモデルの詳細については, 参考文献を参照されたい。

今回の解析では, 河道と氾濫原を1横断面で1次元解析的に取り扱うことで氾濫を考慮した. そのため, 氾濫原を平面2次元解析で取り扱った解析に比べ, 氾濫流は下流に流下しやすく, 氾濫を含む流量は大きく評価される可能性がある。

第3編

解析対象領域は、図 4.6 に示す球磨川上流域である。いずれの解析も、平成 30 年測量の横断面データと数値地図標高の 5m メッシュ(国土地理院, 2020b)より解析横断面を作成した。

推定法の実行に必要な水位と一区間の粗度係数には、痕跡水位(令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会, 2020)と最上流端の粗度係数を与えた。最上流端の粗度係数は、解析対象の全区間で、粗度係数を与える一区間を変更した解析を実施し、粗度係数が 0 や流量がマイナスになるなど、流量や粗度係数が非物理的な値とならない区間の解析結果に基づき平均値から求めた。この際の粗度係数には、計画粗度係数を用いた。

洪水追跡モデルによるピーク流量の推定では、解析対象時刻を 2020 年 7 月 3 日 0 時 20 分から 5 日 12 時とした。雨量には国土交通省が運用・管理する(DIAS, 2020)を用いた。分布型流出の標高データには、数値地図標高 10m メッシュ(国土地理院, 2020b)を 30m メッシュに補間したものを、土地利用には ALOS2 (ALOS2, 1997)を用いた。分布型流出解析のモデルパラメータは以下のように設定した。まず、実験計画法により解析条件を設定し、この解析条件で解析を実施した。次に、市房ダム流域と川辺川流域における実測流量、水位流量曲線より求めた流量との誤差が最も小さいパラメータの組み合わせを最適値とした。さらに、その他の流域については市房ダム流域と川辺川流域は平均値を与えた。地中流に関するパラメータについては、森林の土地利用のみ考慮した。その他の土地利用は、それぞれの標準的な等価粗度係数を与えた。なお、川辺川流域は水域の等価粗度係数も独立変数とした。表 4.1 にモデルパラメータの範囲を示す。実験計画法の解析条件は、市房ダムと川辺川流域でそれぞれ 54 と 68 通りであった。解析横断面には推定法と同様なものを、粗度係数には推定法より得られた流量から洪水痕跡に基づき求めた逆算粗度係数を、痕跡水位が測定されていない断面には計画粗度係数を与えた。橋梁は、水の手橋、球磨川第三橋梁、球磨川第四橋梁、木綿葉大橋を考慮した。下流端境界条件には、図 4.7 に示す大橋水位観測所の水位の経時



図 4.5 球磨川流域での被害の概要

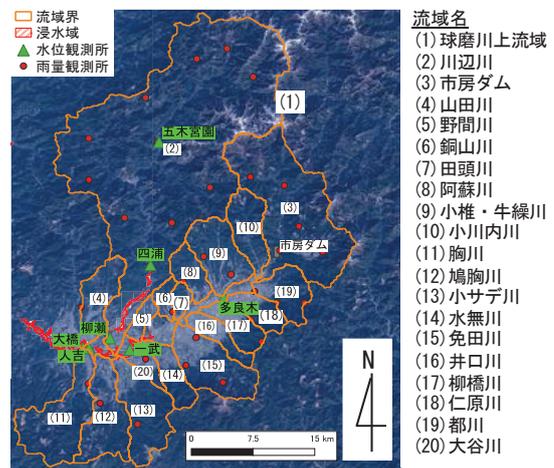


図 4.6 球磨川上流域

表 4.1 モデルパラメータの範囲

	森林					水域
	$N(m^{-1/3} \cdot s)$	$k_o(m/s)$	$d_e(m)$	$d_s(m)$	$\beta$	$N(m^{-1/3} \cdot s)$
市房ダム	0.4~0.8	0.0000001~0.05	0.2~0.4	0.2~0.4	2~6	0.05
川辺川	0.4~0.8	0.0000001~0.05	0.2~0.4	0.2~0.4	2~6	0.035~0.15

表 4.2 モデルパラメータ値

	森林					水域
	$N(m^{-1/3} \cdot s)$	$k_o(m/s)$	$d_e(m)$	$d_s(m)$	$\beta$	$N(m^{-1/3} \cdot s)$
市房ダム	0.6	0.025	0.16	0.4	2	0.05
川辺川	0.6	0.025	0.2	0.4	2	0.0925
その他	0.6	0.025	0.18	0.4	2	0.07125

変化を与えた。

4.3.2 流量の推定結果

図 4.8 に、最適パラメータによる市房ダム流域と川辺川流域の流量ハイドログラフを示す。

図中には観測結果あるいは水位流量曲線より

推定された流量も合わせて示している。これより、(1)いずれの流域も、観測結果の波形を概ね再現できていること、(2)市房ダム流域では、ピーク流量を 8%程度で再現していること、(3)川辺川流域では、ピーク流量の発生時刻が観測値より 1 時間程度早いため、流量を 4%程度大きく評価していることがわかる。本解析では河道を一つの計算格子で取り扱っており、河道平面形状を適切に取り扱うことができないため流下時間が早く、このような差が生じたと考えられる。

表 4.2 に、市房ダム流域と川辺川流域の最適モデルパラメータ値を示す。これより、(1)市房ダム流域の値と川辺川流域の値が同程度であること、(2)土層厚は 0.4m であり、球磨川流域の森林保水機能の 0.2m~0.4m の範囲(令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会, 2020)にあること、などが確認できる。

図 4.9 に、洪水追跡モデルより得られたピーク流量、推定法による推定結果の縦断変化を示す。図中には令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会で示された市房ダムを考慮した氾濫戻しを含む推定流量(令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会, 2020)をオレンジの○で示す。なお、検証委員会の推定流量は、平面 2 次元洪水氾濫解析結果と整合するように、降雨に地上雨量を用いた貯留関数法で解析をされている。推定法と洪水追跡モデルによるピーク流量は、62km~63km の区間を除き概ね一致しており、その妥当性が確認できる。一方で、推定法では、62km~63km の区間では橋梁が存在しており、この流水抵抗を考慮できないため流量の再現性が低下したと考えられる。この点については、今後推定法の改善をしたいと考えている。また、洪水追跡モデルによるピーク流量は検証委員会の流量と概ね一致しており、人吉地点では検証委員会の流量は妥当であることも確認できる。

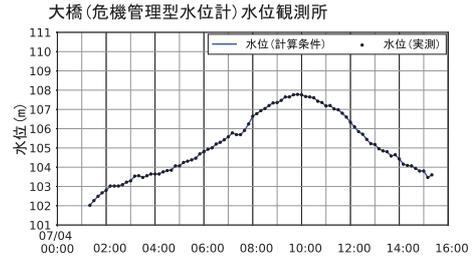


図 4.7 大橋水位観測所の水位の経時変化

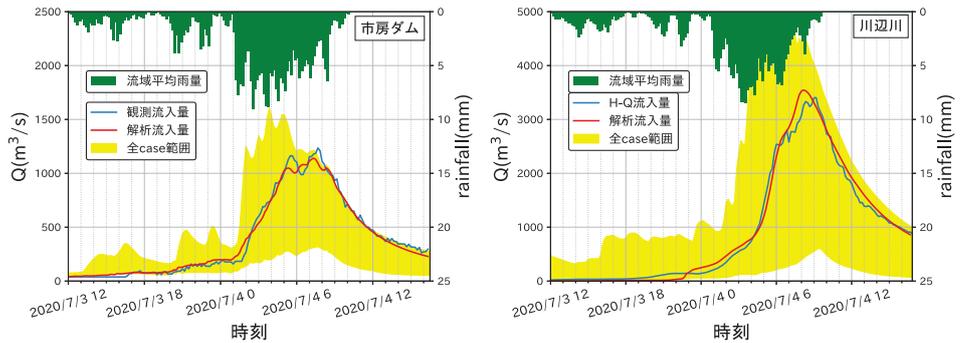


図 4.8 市房ダム流域と川辺川流域の解析流量ハイドログラフ

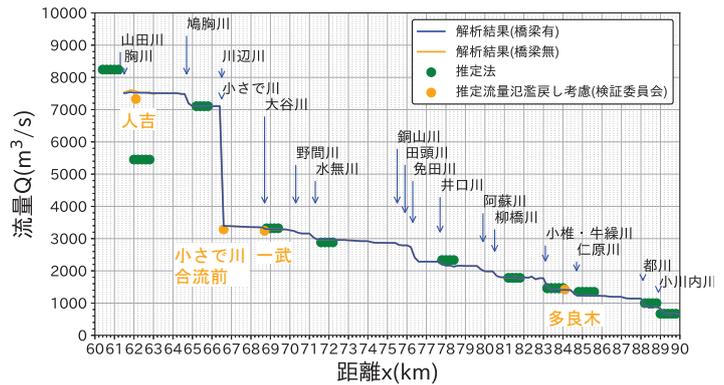


図 4.9 ピーク流量のまとめ

### 第3編

図 4.10 に、洪水追跡モデルより得られたピーク水位の縦断変化と痕跡水位との比較を示す。ピーク水位の縦断変化の比較には、橋梁を考慮していない結果もあわせて示している。図中には推定法で用いた痕跡水位の縦断変化も合わせて示している。これより、(1)本洪水追跡モデルは痕跡水位を再現していること、(2)橋梁の有無による水位の違いは、水の手橋から球磨川第三橋梁の区間で大きいこと、などが確認できる。水の手橋の桁高は標高 106.64m にあり、痕跡はそれよりも大きいことから水位は橋桁に到達しており、その影響が大きくなったと考えられる。また、全区間を通じて、解析結果は痕跡水位を再現していることから、図 4.9 の支川からの流入流量の妥当性も確認できる。

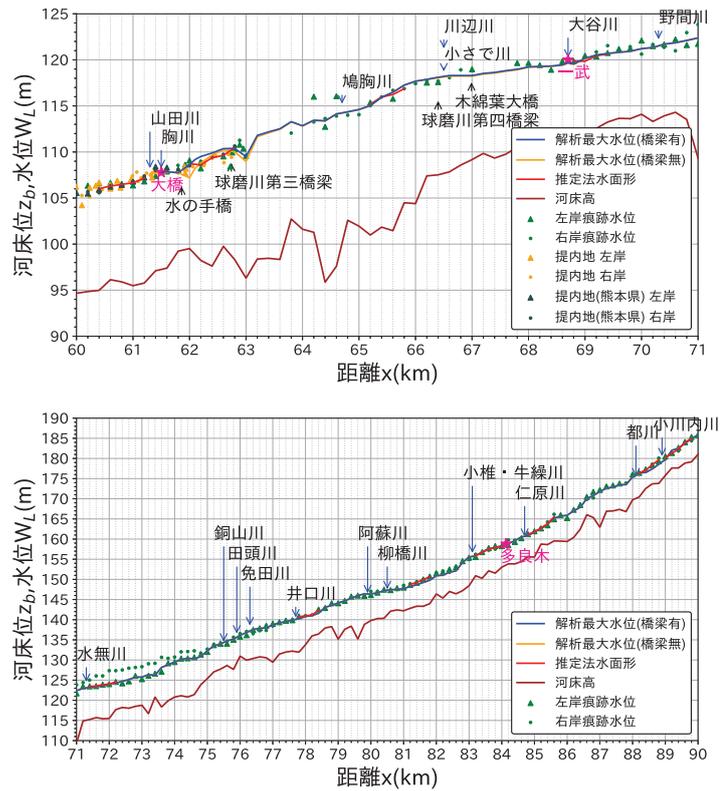


図 4.10 ピーク水位、痕跡水位の縦断変化

## 4.4 球磨川流域の降雨流出・洪水氾濫プロセスの検討

### 4.4.1 解析の概要

降雨流出・洪水氾濫プロセスの検討には、「地中流を考慮した降雨流出・洪水氾濫ダイナミックモデル」(重枝ら, 2019)(以下、降雨流出・洪水氾濫モデルと呼ぶ)を用いた。同モデルでは、流域の地表面流、河道の洪水流、氾濫原の氾濫流をダイナミックモデルで、地中流を diffusion wave 法で取り扱う。

解析対象範囲は、図 4.11 の球磨川の県管理の深田水位観測所から大野水位観測

所までの区間とこの区間に流入する支川である川辺川の柳瀬、胸川の胸川、万江川の万江川水位観測所までの区間とこれらの流入域を除いた球磨川流域とした。降雨外力には国土交通省が運用・管理する XRAIN(DIAS, 2020)の雨量を、上・下流端境界条件には、「4.3 球磨川流域の流量の推定」で推定した各観測所の流量ハイドログラフと、実測水位ハイドログラフを用いた。解析領域は、361,359 個の三角セルで分割した。240 分割した領域で並列計算を行った。標高には図 4.11 に示す 5m メッシュの LP データを、土地利用には ALOS2(ALOS2, 1997)のデータを用いた。解析対象時刻は、令和 2 年 7 月 4 日 1 時 00 分から 16 時 30 分とした。橋梁は、区間中の 13 橋梁(図中の黒字の球磨橋、球磨川第二橋梁、相良橋、

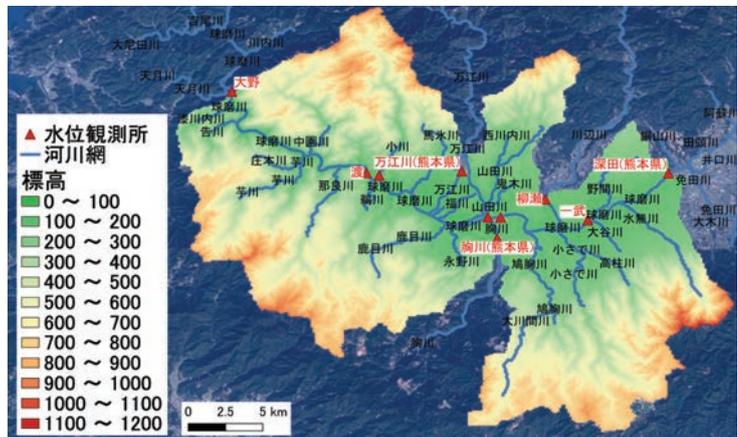


図 4.11 解析対象範囲の概要

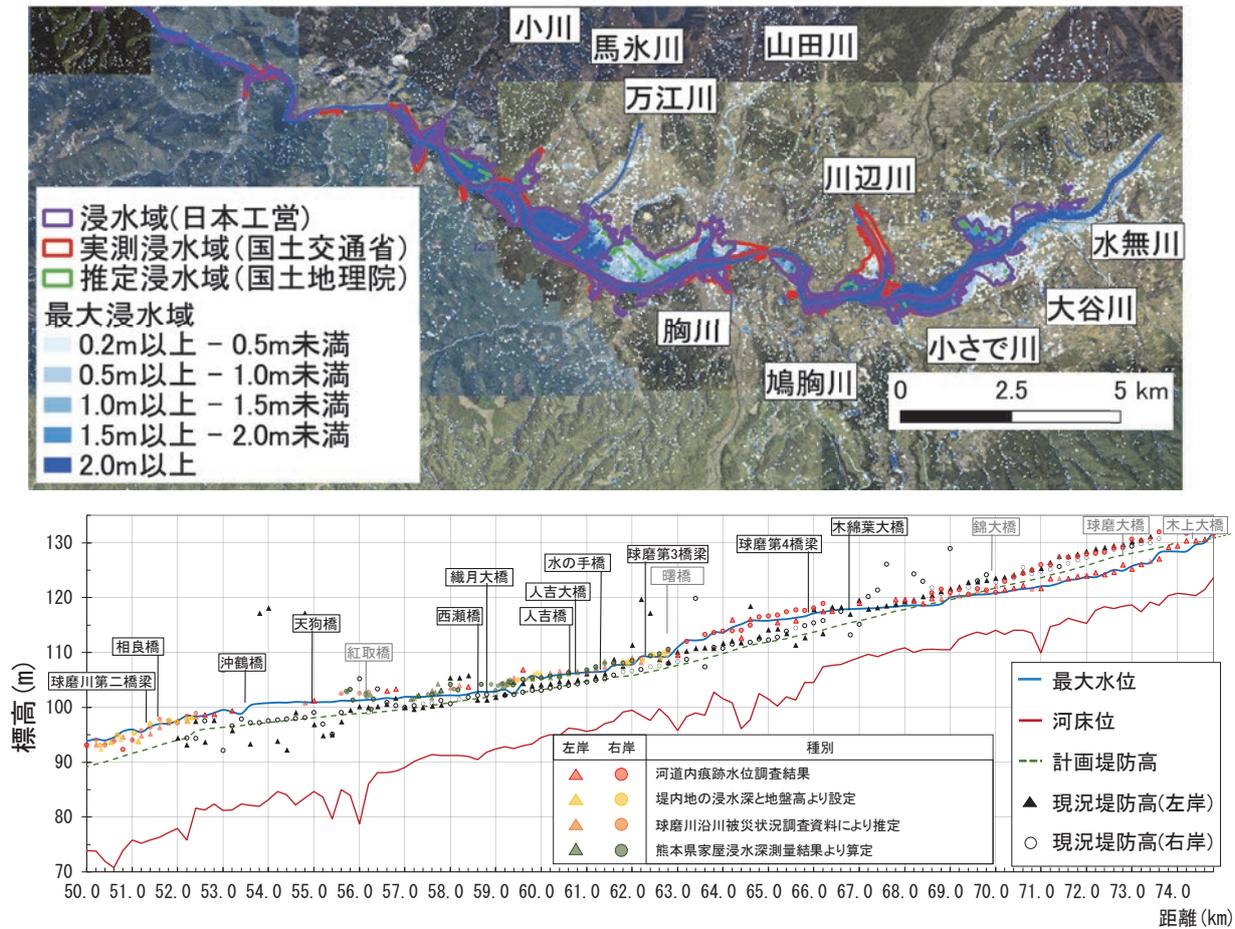


図 4.12 最大浸水域とピーク水位と痕跡水位との比較

沖鶴橋，天狗橋，西瀬橋，織月大橋，人吉橋，人吉大橋，水の手橋，球磨第3橋梁，球磨第4橋梁，木綿葉大橋)を考慮した．なお，図中のグレーの文字で示す橋，橋の流出や破堤は考慮していない．粗度係数については，河道には計画粗度を，氾濫原には土地利用に応じた値を，降雨の土壌への浸透は土地利用が森林の場合にのみ考慮した．

4.4.2 結果と考察

図 4.12 に，解析対象領域の実測浸水域(令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会，2020，国土地理院，2020c)と解析最大浸水域との比較，距離標 50~74.8km の痕跡水位と解析最大水位との比較を示す．これより，(1)解析最大浸水域は，実測浸水域を若干小さく評価しているものの概ね再現していること，(2)解析最大水位は，距離標 58.0k~59.6km で痕跡水位を小さく評価していること，などが確認できる．距離標 58.0k~59.6km 区間については，左岸側の支川の浸水域も小さいことから，支川からの流入が十分でない可能性もある．解析結果は，最大浸水域，痕跡水位を概ね再現していることから，以下では，この結果に基づき解析対象領域での降雨流出・洪水氾濫プロセスを検討した．

図 4.13 に，解析対象領域の地表面流水深(河道内水深，浸水深)，地表面流流速の絶対値，地中流水深を示す．これより，流域流出・洪水氾濫プロセスは次の通りであったと考えられる．(1)豪雨となる 7 月 4 日 1 時 30 分頃には，万江川合流点～深田水位観測所の区間周辺の森林以外の土地利用の領域で，地表面流流速が生じる．(2)7 月 4 日の 5 時頃には，小川上流域，大野水位観測所周辺で豪雨となり，小川上流域で地中流水深が上昇し表面流流速が生じ，小川への流入が開始する．(3)渡地区や人吉市街地では，7 月 4 日の 5 時~6 時頃から浸水が開始する．(4)その後，豪雨が北東から南西へ移動するため，地中流水

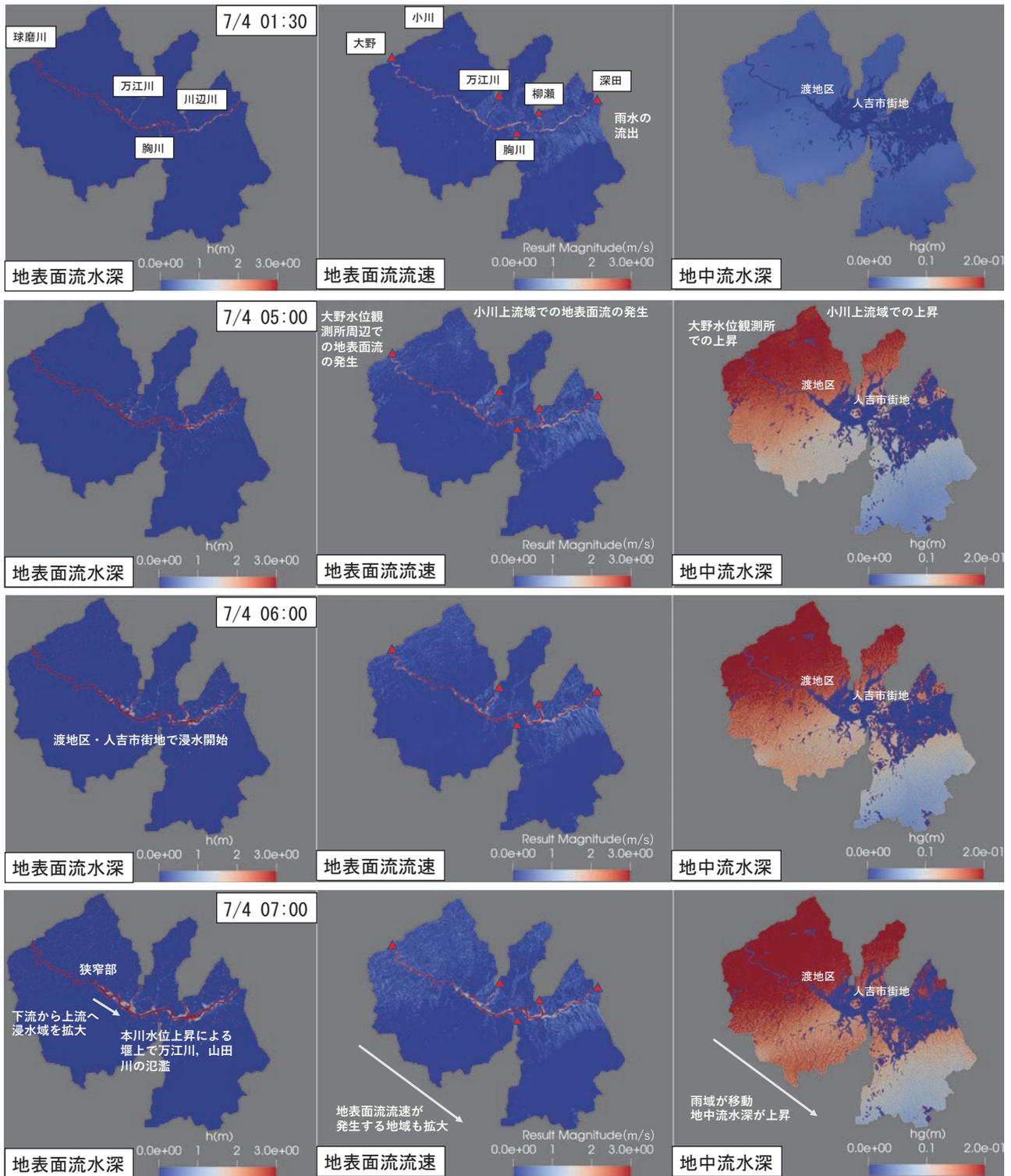


図 4.13 地表面流水深・流速，地中流水深の経時変化

深も同様な方向で上昇し，それに伴い地表面流が発生する地域も拡大する。(5)6時から8時にかけて，渡地区から万江川合流部付近までは，渡地区の狭窄部の堰上の影響により，小川周辺を含む渡地区で浸水深が急増し，下流から上流へと浸水域を拡大させる。(6)人吉市街地では，万江川や山田川の支川が本川の水位上昇により氾濫し，本川が氾濫することで市街地の浸水深を拡大させる。(7)人吉市街地の浸水深は9時50分頃にピークを迎える。(8)10時ごろから浸水深が低下，地中流水深も低下し11頃には地表面流流速の発生領域も減少する。(9)14時を過ぎると，多くの地域で浸水域が解消される。14時の地

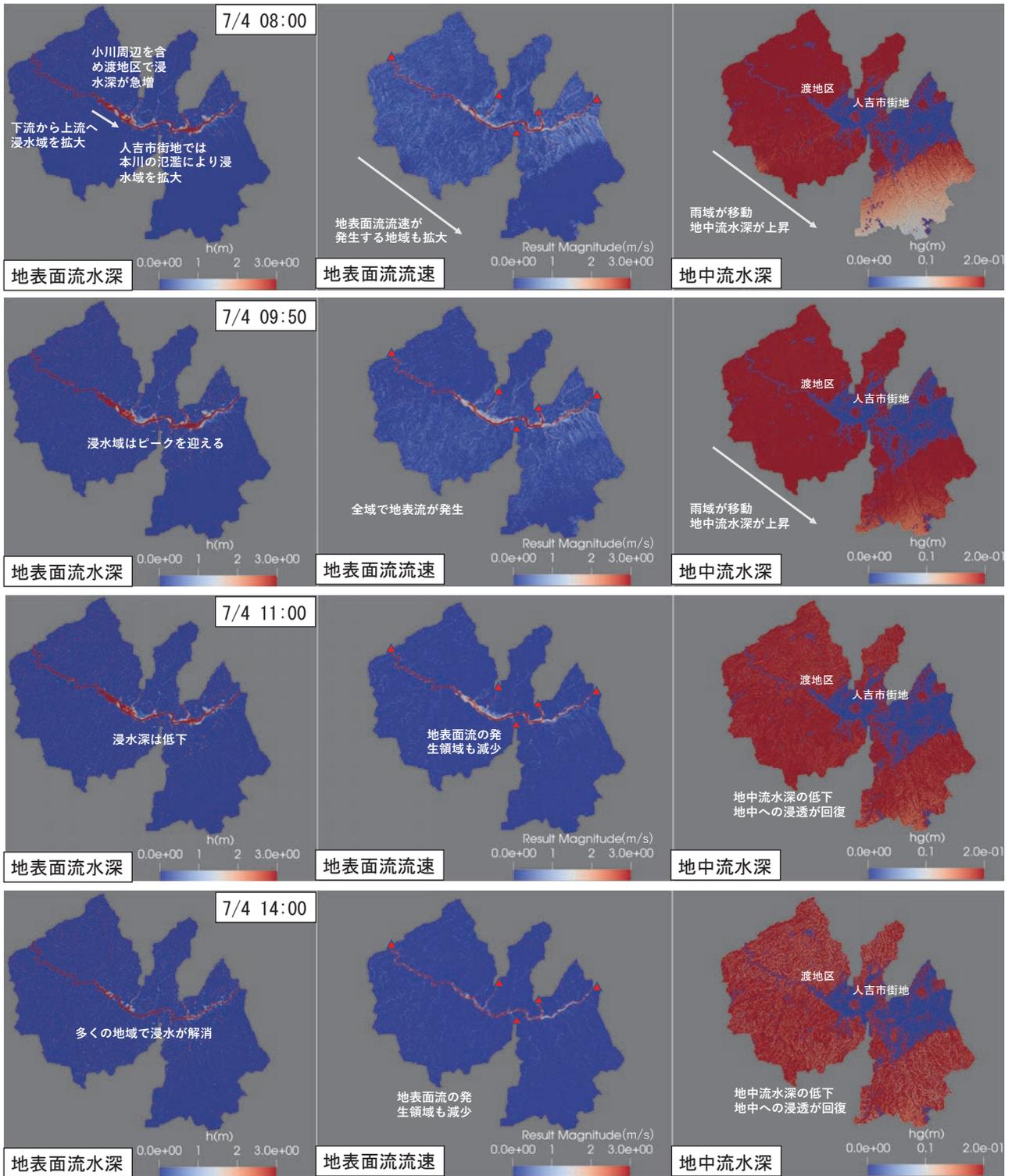


図 4.13 地表面流水深・流速，地中流水深の経時変化(続き)

中流水深は高く少しの雨でも地表面流が発生し，被害が拡大する可能性が高い状況であったと考えられる。

このように，渡より上流～万江川合流付近までの区間では，7月4日6時頃から氾濫が発生し，狭窄部から上流側へと浸水域を拡大させた。人吉市街地では本川の水位上昇により支川で堰上背水が生じ支川で氾濫が生じた後，本川が氾濫することで浸水域を拡大させた。球磨川本川の水位が低下すると，支川によって氾濫水は排水され，14時には多くの地域で浸水が解消された。浸水深は，人吉市街地に比べ，渡地区～万江川の地域で大きく，そこでの被害が甚大であったことが窺える。

### 第3編

今回の降雨パターンは、地中流水深からも明らかなように、豪雨域は球磨川中流域の北西から上流域の南東へ、球磨川の流下方向とは逆に移動した。今回の解析結果を見ると、中流域の豪雨によって大野水位観測所の水位が上昇したタイミングで雨域が移動し、上流からの流量を上昇させ氾濫を拡大させたと考えられる。特に小川は雨域の移動経路に流域が位置しており、長時間豪雨が続いた領域であるため被害が大きかったと考えられる。このような降雨パターンが、今回の被害を増大させた要因の一つと考えられる。

#### 4.4 まとめ

本調査から、以下が確認された。

- (1) 推定法、洪水追跡モデルの推定流量と検証委員会の推定流量をまとめると図 4.9 のようになる。今次豪雨の人吉地点の氾濫戻しを含む流量は、検証委員会の推定流量程度の  $7,400\text{m}^3/\text{s}$  であったと考えられる。
- (2) 球磨川流域の大野～深田水位観測所間の流域での洪水氾濫プロセスは、図 4.13 であったと考えられる。渡より上流～万江川合流付近までの区間では、狭窄部の堰上により小川等の支川群が氾濫した後、本川が氾濫し、狭窄部から上流側へと浸水域を拡大させ、人吉市街地では本川の水位上昇により支川で堰上背水が生じ支川で氾濫が生じた後、本川が氾濫することで浸水域を拡大させたと考えられる。いずれも球磨川本川の水位が低下すると、支川によって氾濫水は速やかに排水されたと考えられる。

#### 4.5 今後の課題

今回の解析で、流域レベルでの雨水の挙動を捉えることができるようになった。今後、モデルの定量的な検証を実施する必要がある。特に、支川からの流入流量の再現性については検討が必要となる。今回の解析結果に基づけば、球磨川本川の狭窄部上流での水位上昇に伴い支川の氾濫が生じ、本川の氾濫後被害が拡大した。また、本川水位が低下すると氾濫水は速やかに排水された。浸水状況が 10 分間で大きく変化する地域もあった。球磨川流域の治水には、本川の水位低下が不可欠である。流域治水や危機管理対策を検討する上で、降雨パターン、本川水位の上昇、これに伴う支川の水位上昇、氾濫状況との関係を整理し、流域での雨水の挙動と豪雨時の浸水リスクを把握することが必要と考えられる。

#### 謝辞

本研究を実施するに当たり、国土交通省九州地方整備局、国土交通省国土地理院、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。日本工営の川越典子様、矢倉貴文様には浸水域のデータの提供を受けた。また、本学学部生の伊藤翔吾君、林泰史君には解析の実行、本学大学院生の桂佑樹君、金屋諒君、太田幸子さん、吉永僚介君にはデータ整理等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

DIAS : <http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2020.

JAXA: 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](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.htm), 1997.

### 第3編

国土交通省：球磨川水系河川整備基本方針，2007.

国土交通省：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp>，2020.

国土交通省九州地方整備局・熊本県：第1・2回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料，2020.

国土地理院：地理院タイル，<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>，2020a.

国土地理院：基盤地図情報，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，2020b.

国土地理院：浸水推定図，[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9)，2020c.

重枝未玲，秋山壽一郎，小園裕司：遠賀川流域の分布型流出解析と複数の支川を考慮した平面2次元洪水追跡，河川技術論文集，第16巻，pp.443-448，2010.

重枝未玲，秋山壽一郎，阿部琢哉，田口英司，武久晋太郎，西山晋平：洪水痕跡によるピーク水位時の流量と粗度係数の推定，河川技術論文集，第23巻，pp.73-78，2017.

重枝未玲，秋山壽一郎，田口英司，武久晋太郎：水面形の経時変化に基づく複断面直線水路での流量・合成粗度係数の推定，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74, No.4, I649-I654, 2018a.

重枝未玲，秋山壽一郎，中木翔也，勝原亮介，大久保剛貴：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次元河道網洪水流解析，河川技術論文集，第24巻，pp.445-450，2018b.

重枝未玲，秋山壽一郎，Adelaida Castillo DURAN，中木翔也，西山晋平，勝原亮介：1次元河道ネットワークモデルを用いた分布型流出・洪水流解析と彦山川流域への適用，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74, No.4, pp.I1495-I1500, 2018c.

重枝未玲，秋山壽一郎，王 少博，勝原亮介：地中流を考慮した地表面流・洪水氾濫ダイナミック解析モデルの構築，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.75, No.2, pp.I1303-I1308, 2019.

令和2年7月球磨川豪雨検証委員会：参考資料，2020.

## 第5章 球磨川における流出氾濫再現シミュレーション

山口大学 赤松 良久

## 5.1 はじめに

令和2年7月豪雨によって発生した球磨川流域における浸水被害は流域内4市5町5村の内、特に人吉・球磨盆地に位置する熊本県人吉市および球磨村に集中した。人吉市は平成18年で全人口の16%が集中する都市であり、人吉・球磨盆地は周囲を急峻な山々に囲まれ、多くの急流支川が流入し、山地部に降った雨が集まりやすい地形となっている。球磨川では本川の流量の低減を図るため市房ダムにより洪水調整を実施しており、また、上記に記した1972年の豪雨災害を受けて左岸側で引堤により河積を拡大している。上記に記した甚大な被害をもたらした豪雨災害時の人吉市を流れる流量は昭和40年(1965年)7月の出水で約 $5700\text{m}^3/\text{s}$ 、昭和47年(1972年)7月の出水で約 $5500\text{m}^3/\text{s}$ であったが、令和2年7月豪雨で流れた流量の推定値は約 $7400\text{m}^3/\text{s}$ と報告されており、過去の甚大な被害をもたらした豪雨時の約1.5倍の流量が流下したと考えられ、昭和以降で最も多くの流量が人吉市を流下したと言える。図5.1に国土地理院公開の氾濫範囲を示す。図中のAは当該災害で人的被害が発生した養護老人ホーム千寿園の位置、また図中のB1、B2はそれぞれ当該災害で本川の破堤が発生した位置を示している。本章では、iRICのNays2D floodを用いた河川氾濫の再現シミュレーションによって当該範囲(人吉・球磨盆地)における河川氾濫の特徴を検討した。

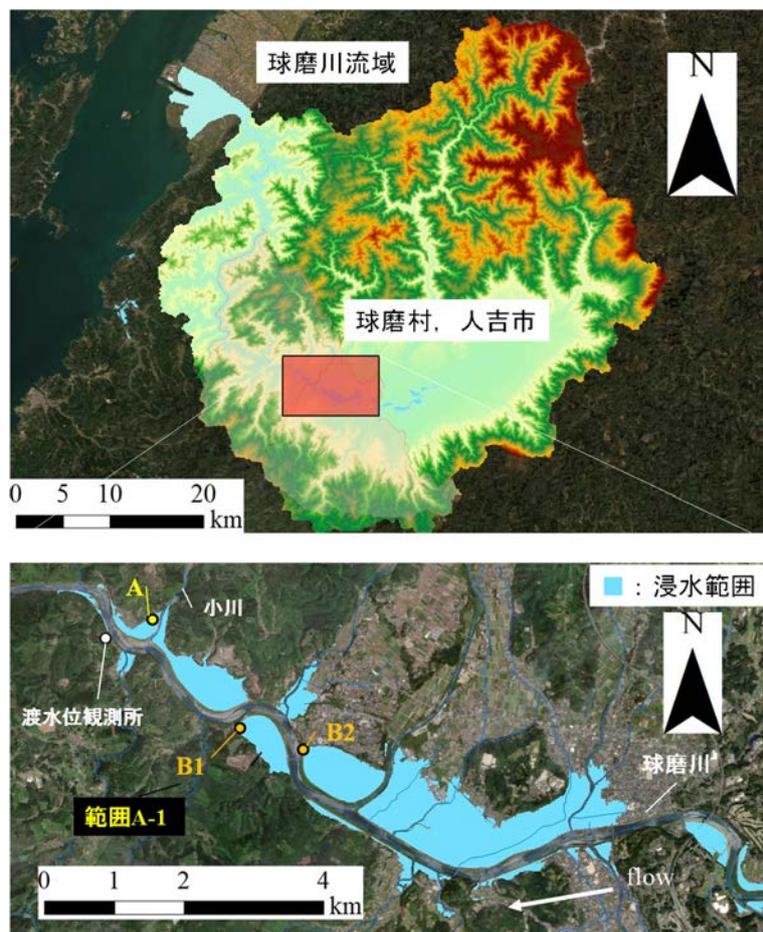


図5.1 解析対象域

## 5.2 解析条件

### 5.2.1 浸水被害集中地域全体を対象とした解析 (Case1)

まず、図 5.1 で示した浸水範囲全体を対象とした氾濫解析を行った (Case1)。堤外地の地形データには平成 28 年度の河川横断測量成果を用い、堤内地の地形データには 5m および 10m メッシュの数値標高モデルを用いた。堤外地、堤内地の粗度係数は岩佐らの値を参考に、それぞれ 0.03, 0.025 とした。計算格子間隔は 10m とし、計算時間間隔は 0.1 秒とした。下流端の境界条件は自由流出にしている。前述したように球磨川の人吉市における流量は推定値で約  $7400\text{m}^3/\text{s}$  であるとされているが、これは河川整備基本方針で定めた基本高水のピーク流量である  $7000\text{m}^3/\text{s}$  を上回る規模の流量であり、この想定を上回る流量の流下により本川に設置された人吉市内の水位観測所はすべてピーク時付近で欠測していた。従って、RRI モデルによる流出解析にて流量を把握し、当該流量を上流端および側方の境界条件として入力した。図 5.2 に本ケースの解析範囲および流量を導出、また氾濫解析時に入力した支川および本川の位置を示す。流量を導出した支川は、小川、馬氷川、万江川、山田川、鬼木川、胸川、永野川、鹿目川、鶴川、水路の、9 河川 3 水路である。また、図 5.3 に各ケースで境界条件として与えた本川および支川の流量を示す。本川ではピーク時 (2020/7/4 10:00) に各支川に合流する前に  $7572\text{m}^3/\text{s}$  の流量が流れており、主要な支川 (小川、馬氷川、万江川、山田川、鬼木川、胸川、永野川、鹿目川、鶴川) のピーク時の平均流量 ( $269.4\text{m}^3/\text{s}$ ) のおよそ 28.1 倍もの流量が流下していたという結果が示された。

### 5.2.2 千寿園付近の詳細な解析 (Case2)

次に、千寿園付近の詳細な氾濫解析を行った (Case2)。堤外地の地形データには、Case1 と同様に平成 28 年度の河川横断測量成果を用いた。堤内地の地形データには UAV 写真測量によって得られたデータ (0.5m メッシュ) と 5m および 10m メッシュの数値標高モデルを組み合わせたデータを用いた。粗度係数は Case1 と同様の値を使用した。計算格子間隔は 3m とし、計算時間間隔は 0.03 秒とした。下流端の境界条件には Case1 の結果で当該解析の下流端に相当するセルの水位時系列を入力した。なお、本解析では、小川における背水の影響を検討するために、上記の条件での解析 (以下、Case2-1 と称す) に加えて、小川のみを対象とした解析を実施した (以下、Case2-2 と称す)。計算格子間隔、計算時間間隔、粗度係数、小川の流量は Case2-1 と同様であるが、Case2-2 では下流端を自由流出とし、球磨川の背水の

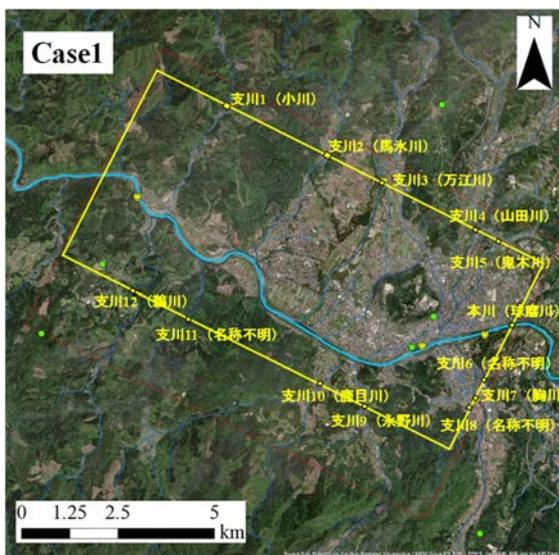


図 5.2 Case1 解析範囲および流量入力位置

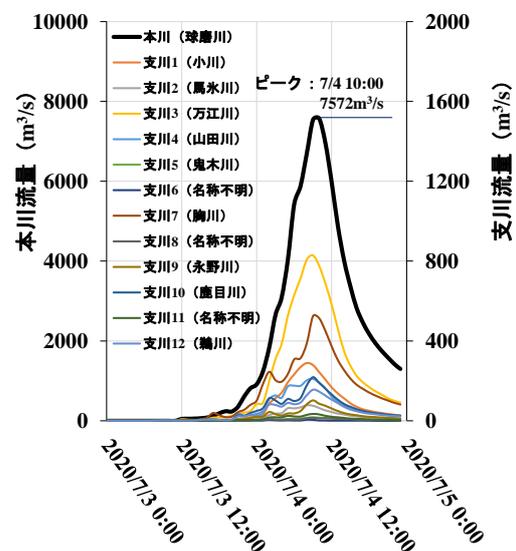


図 5.3 Case1 入力流量時系列

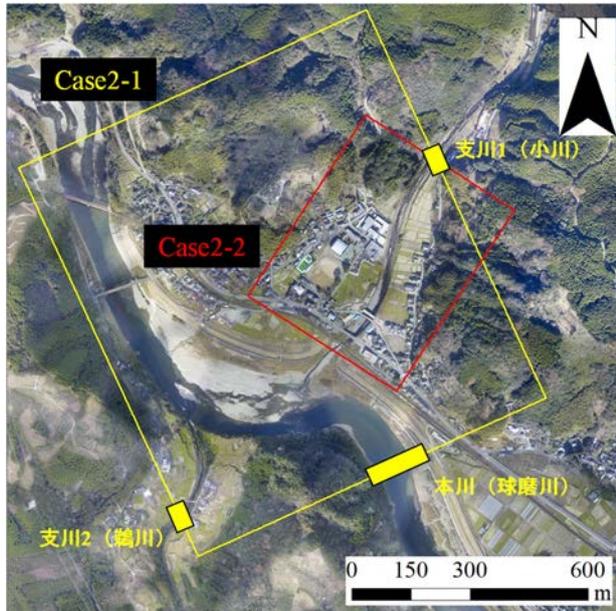


図 5.4 Case2 の解析範囲流量入力位置

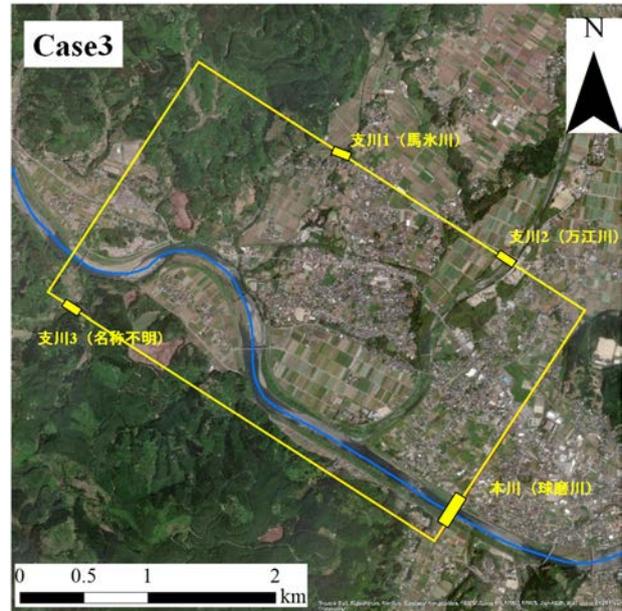


図 5.5 Case3 解析範囲および流量入力位置

影響を考慮しない氾濫解析としている。Case2-1 および Case2-2 の解析範囲および流量を入力した位置を図 5.4 に示す。流量は RRI モデルによって導出した本川，小川，鶴川の流量を入力した。

### 5.2.3 破堤地点付近の詳細な解析 (Case3)

最後に、破堤地点付近の詳細な氾濫解析を行った (Case3)。地形データには Case2 と同様の地形データを入力している。粗度係数は Case1 と同様の値を使用した。計算格子間隔は 3m とし、計算時間間隔は 0.03 秒とした。下流端の境界条件には Case1 の結果で当該解析の下流端に相当するセルの水位時系列を入力した。図 5.5 に本ケースの解析範囲及び流量を入力した支川および本川の位置を示す。流量は RRI モデルによって導出した本川，馬水川，万江川，水路の流量を入力した。

## 5.3 解析結果

### 5.3.1 浸水被害集中地域全体を対象とした解析 (Case1)

Case1 の計算値 (最大水深) と研究室で独自に測定した実績水深，国土交通省九州地方整備局が測定した痕跡水深 (一部) のコンターを図 5.6 に示す。また、両値を比較したグラフを図 5.7 に示す。なお、国土交通省の痕跡水深の位置に関しては、国土交通省の報告資料<sup>8)</sup>に掲載されている位置と写真を元に、Google Map 等の機能で確認しながら手動でプロットした。計算値と実績水深はおおよそ一致しており、その平均残差は 0.65m であった。また、図 5.8 に渡水位観測所と小川での実績水位と Case1 で得られた計算値 (水位) を比較したグラフを示す。両水位とも、計算値と実績水位のおおよその一致が見られた。以上から、本解析には十分な再現性があると考えられる。

### 5.3.2 千寿園付近の詳細な解析 (Case2)

図 5.9 に Case2-1 で水位の時系列を検証した地点および各地点における水位の時系列を示す。水位の時系列は、球磨川と小川の合流部付近，小川橋，千寿園の玄関，千寿園の裏手で導出した。時系列を詳細に検討した結果、千寿園はまず裏手から小川による氾濫によって 2020/7/3 4:50 から浸水が始まり、そ

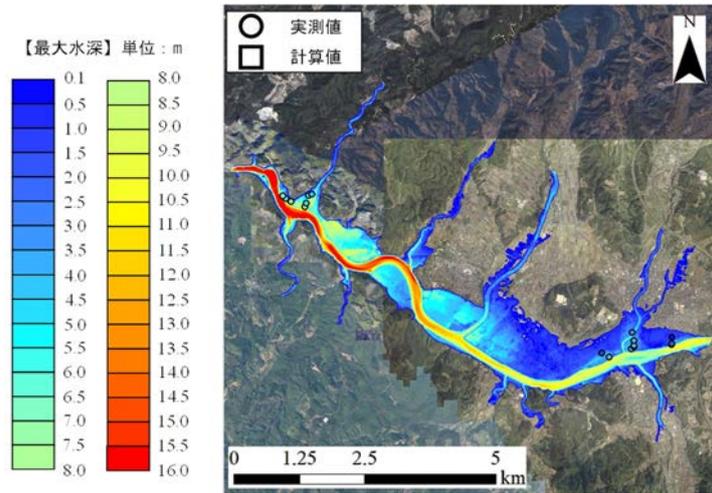


図 5.6 実績水深および計算値（最大水深）のコンター

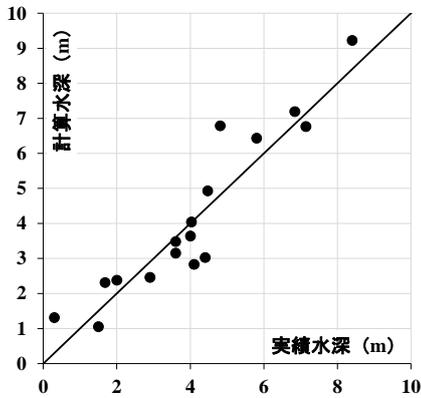


図 5.7 実績水深と計算値（最大水深）の比較

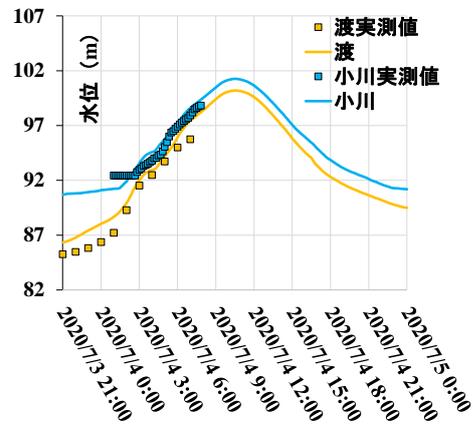


図 5.8 実績水位と計算値（水位）の比較

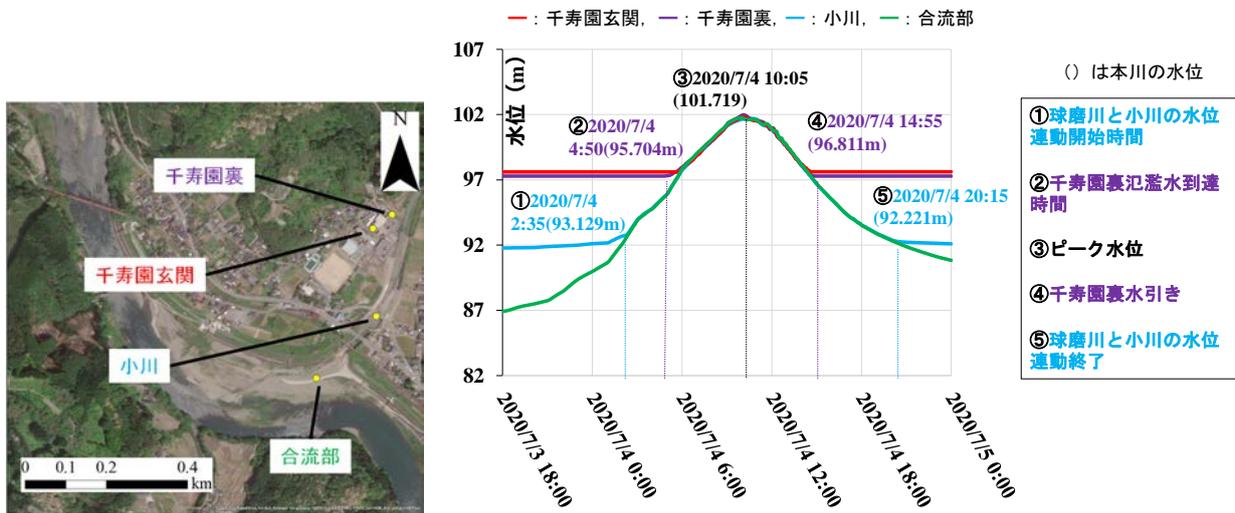


図 5.9 Case2-1 水位検証点および各点での水位時系列

の後本川からの氾濫水が 5:50 に千寿園の玄関に到達した。その後、1.62cm/分の速さで水位が上昇し、6:50 に冠水し、10:05 にピークを迎え、1.56cm/分の速さで低下し、2020/7/4 14:55 に完全に引いたことが明らかになった。千寿園付近では、2020/7/4 5:30 頃に小川からの氾濫、2020/7/4 7:00 頃に千寿園とまごころ苑を繋ぐ渡り廊下から一気に浸水したという証言がある。図 5.10 に小川の堤防上の流速および渡

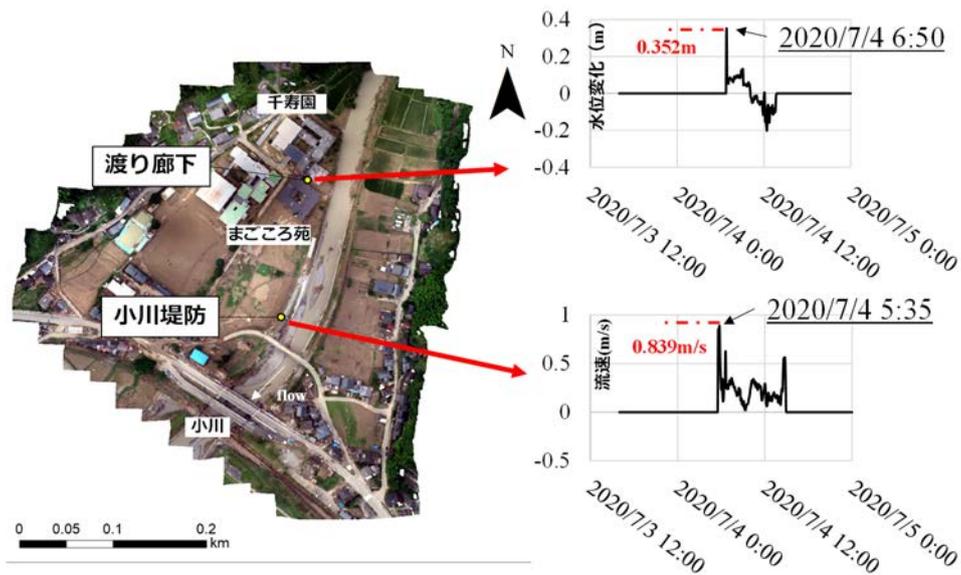


図 5.10 千寿園とまごころ苑の渡り廊下前における水位および小川堤防における流速の時系列

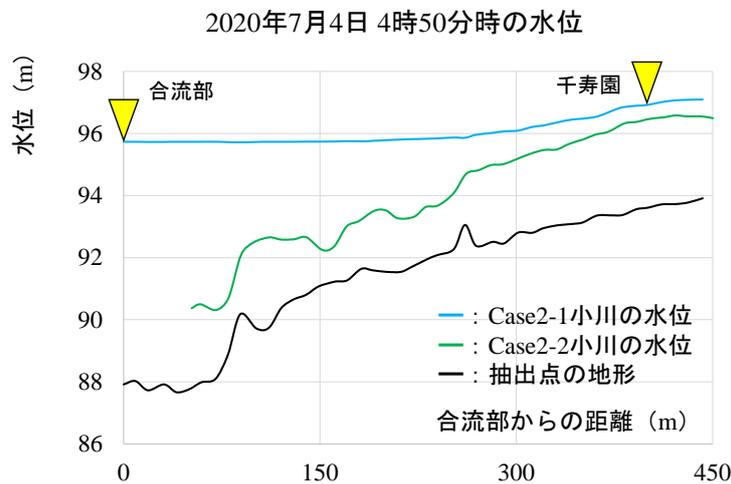


図 5.11 千寿園への水位到達時における Case2-1 と Case2-2 での水位比較

り廊下付近の水位増加分の時系列，そして検証した点の位置を示す．小川堤防上で堤外地から堤内地に向かう速い流速が確認された時刻(2020/7/4 5:35)と渡り廊下付近で急激に水位が上昇した時刻(2020/7/4 6:50)はおおよそ証言と一致しており，計算の妥当性が示された．

図 5.11 に Case2-1 と Case2-2 から得られた小川の水位縦断分布を比較（千寿園裏に氾濫水到達時：2020/7/4 4:50）した結果を示す．本図から，災害時は背水の影響で小川の水位が上昇していることが明らかになり，千寿園付近で Case2-1 は Case2-2 より約 48.8cm 高い水位となっていたことが確認された．また，図 5.12 に各時刻における両ケースの水位の縦断分布を示す．ピーク時(2020/7/4 10:05)に近づくにつれて，両ケースの水位差が広がっていることが確認でき，ピーク時における水位差は，千寿園付近で 4.75m であった．また，図 5.13 に両ケースでの最大水深コンターを示す．Case2-1 では氾濫水が渡地区全体に及んでいるのに対して，Case2-2 では氾濫は千寿園裏の一部にとどまり，小川左右岸側への住宅地への氾濫は発生しなかった．これらの結果から，本川の水位上昇に伴う背水の影響が無ければ小川の氾濫は発生しなかった可能性が示され，支川と本川の合流部の危険性が明確に示された．

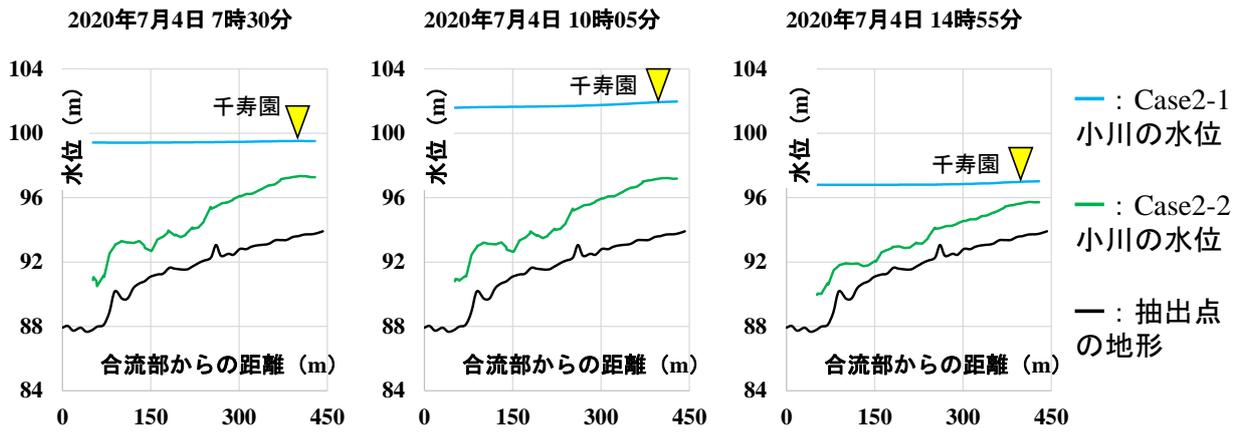


図 5.12 Case2-1 と Case2-2 で共通する地点における水位差と水位差変動量の時系列

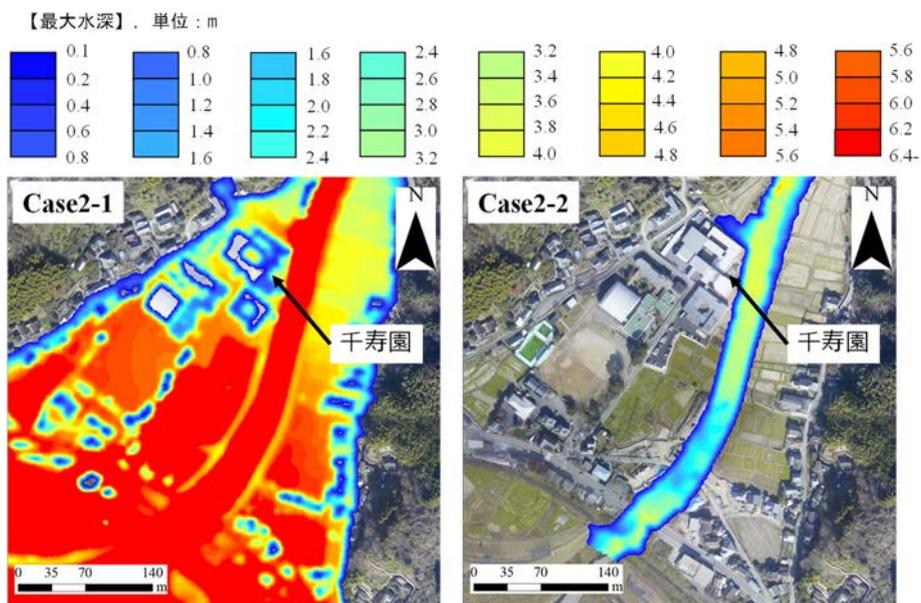


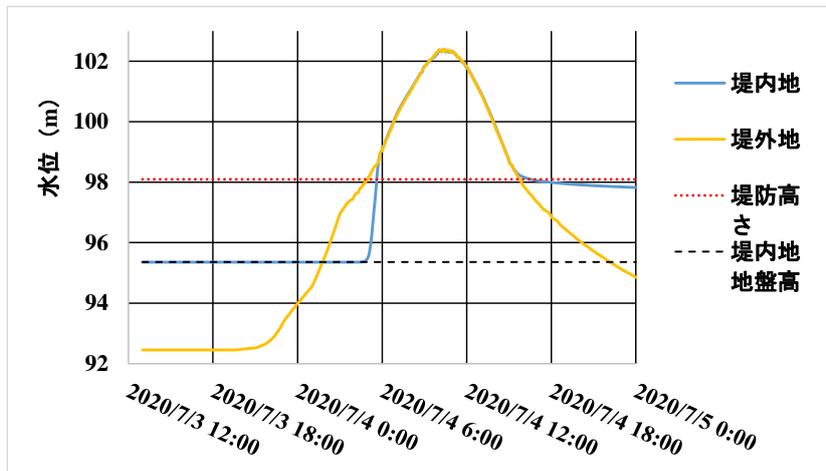
図 5.13 Case2-1 および Case2-2 における最大水深コンター図

### 5.3.3 破堤地点付近の詳細な解析 (Case3)

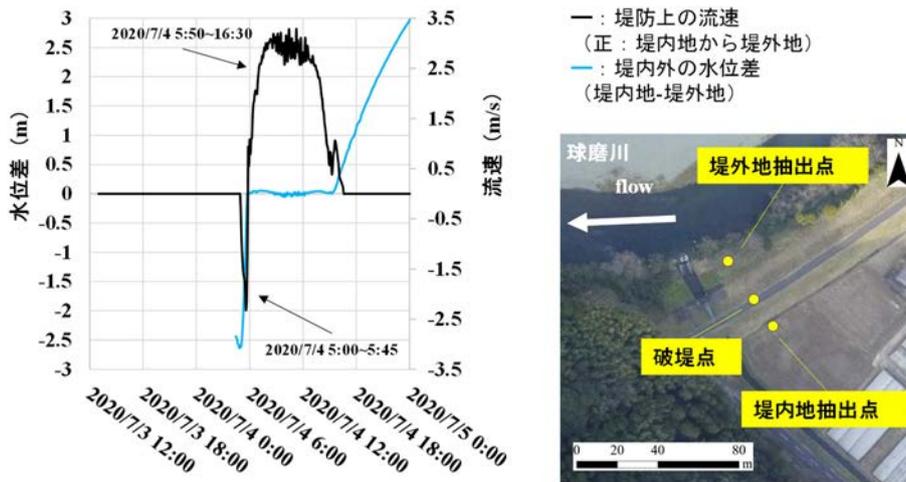
図 5.14 は破堤が発生した地点および破堤の様子を示している。なお、地点 1 で 10m、地点 2 で 30m の破堤が発生した。図 5.15 は破堤地点 1 における Case3 で得られた破堤付近の本川と堤内地の水位差（堤内地-本川）と堤防上の流速の時系列である。図 5.15(a) は、破堤地点 1 での検証ポイントにおける水位の時系列を示している。また、図 5.15(b) は、同地点での堤内外の水位差および堤防上の流速の時系列を示している。なお、水位差は堤内地の検証ポイントに水が到達して以降の結果を示している。両地点の水位に関して、破堤地点 1 では堤外地の水位が堤防高さを超えた後に堤内外の水位が一致し、2020/7/4 5:45~15:30 まで両水位がほとんど連動していること（水位差が 5cm 未満であること）が確認できた。また水位差と流速に関して、2020/7/4 1:50 頃から堤外地の水位が堤内地の地盤高を上回り、2020/7/4 5:40 までその状態が続いた。そして 2020/7/4 5:45~15:40 まで水位差がほぼ無い状態となった。堤内外の流速に関して、堤防上では 2020/7/4 5:00~5:45 まで堤外地から堤内地に向かう 0.1m/s 以上の流速が確認され最大は 2.324m/s (2020/7/4 5:35) であった。そして 2020/7/4 5:50~16:30 まで堤内地から堤外地に向かう 0.1m/s 以上の流速が確認され、最大は 3.29m/s (2020/7/4 11:15) であった。また、当該破堤地点では



図 5.14 破堤地点および破堤状況 (国土交通省九州地方整備局, 2020)



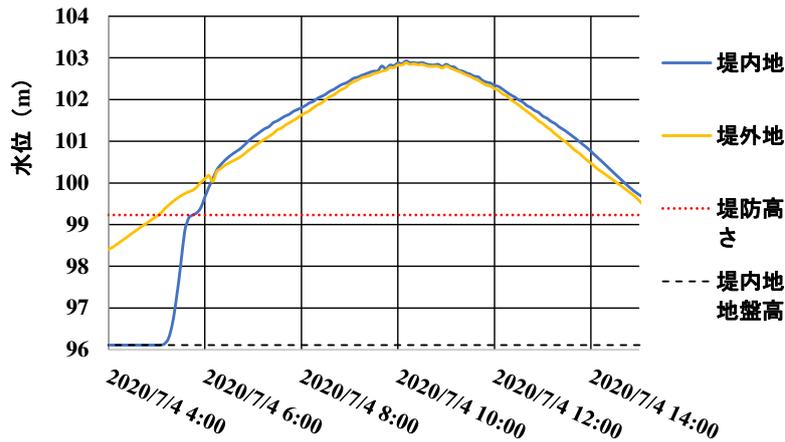
(a) 破堤地点近くの堤内外地における水位時系列



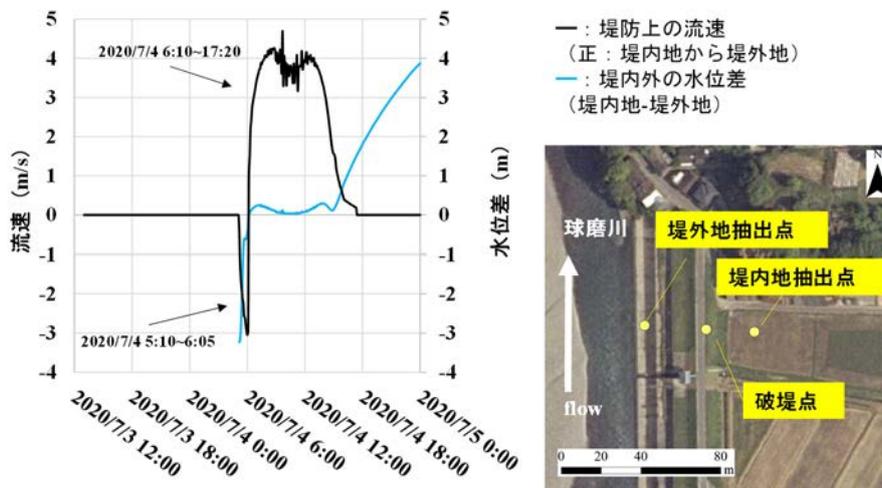
(b) 堤防上の流速と堤内外の水位差

図 5.15 破堤地点 1 の検証結果

実に 6 時間 55 分ほど (2020/7/4 7:05~14:00) 連続して堤内地から堤外地に向かう、2m/s を超える流れが発生していたことが示された。これらの結果から、破堤地点 1 では、先に堤外地から堤内地に向かう流れが 45 分ほど継続した後に、堤内地から堤外地に向かう流れが 2020/7/4 5:50~16:30 まで発生し、その



(a) 破堤地点近くの堤内外地における水位時系列



(b) 堤防上の流速と堤内外の水位差

図 5.16 破堤地点 2 の検証結果

内 6 時間 55 分は 2m/s を超える流れであったことが示された。また、水位が連動していた時は連動が確認された最初の時間 (2020/7/4 5:45) を除き、全ての時刻において堤内地から堤外地に向かう流れであったことが示された。図 5.16 は破堤地点 2 における Case3 で得られた破堤付近の本川と堤内地の水位差 (堤内地-本川) と堤防上の流速の時系列である。図 5.16(a) は、破堤地点 2 での検証ポイントにおける水位の時系列を示している。また、図 5.16(b) は、同地点での堤内外の水位差および堤防上の流速の時系列を示している。なお、水位差は堤内地の検証ポイントに水が到達して以降の結果を示している。両地点の水位に関して、破堤地点 2 では堤外地の水位が堤防高さを上回って 5 分後に堤内地の水位が上昇し、2020/7/4 5:10~6:05 まで堤外地が堤内地の水位を上回る状況が続いた。その後、2020/7/4 6:10 からは堤内地の水位が堤外地を上回る状態が続き、水位差が 10cm 未満の時間帯は 2020/7/4 9:00~12:05 であった。堤内地の水位が上昇し始めた (2020/7/4 5:10) 同時刻に堤防上に 0.45m/s の堤外地から堤内地に向かう流れが確認された後、堤外地から堤内地に向かう流れは 2020/7/4 6:05 まで続き、そのピークは 3.05m/s (2020/7/4 6:00) であった。その後、堤内地から堤外地に向かう流れが 2020/7/4 6:10~17:20 まで続き、そのピークは 4.69m/s (2020/7/4 9:40) であった。また、当該破堤地点でも実に 7 時間 25 分ほど (2020/7/4 6:40~14:05)、堤内地から堤外地に向かう、3m/s を超える速い流れが発生していたことが示された。これらの結果から、破堤地点 2 では、先に堤外地から堤内地に向かう流れが 55 分ほど継続し

### 第3編

た後に、堤内地から堤外地に向かう流れが2020/7/4 6:10~17:20まで発生し、その内7時間25分は3m/sを超える非常に速い流れであったことが示された。

令和元年台風第19号では、関東地方の一級河川において法尻付近での流速が3m/s以上で破堤が発生しており、破堤2の地点では、2020/7/4 6:40~14:05まで連続して3m/s以上の戻り流が発生していたことから、破堤地点2では戻り流が原因で破堤が発生した可能性は極めて高い。破堤地点1では堤防上の流速は2m/s以内であったものの、長時間に亘る戻り流が破堤を促したと推察される。両破堤地点は堤内地において標高の低く流れの集まりやすい場所であり、このような場所では戻り流による破堤の可能性が高いことが示された。

## 5.4 まとめ

令和2年7月豪雨により被害を受けた人吉市渡地区においてUAV写真測量によって得られた詳細な地形データとRRIモデルおよびiRICを用いて、球磨川の上流域の流出氾濫再現シミュレーションを実施した。球磨川の渡地区を流れる支流の小川では球磨川の背水の影響で大幅な水位上昇が起こったことを明らかにするとともに、当該災害で人的被害が発生した養護老人ホーム千寿園における氾濫の状況を再現することができた。また、人吉市街地下流の標高の低く流れの集まりやすい場所では、堤内地から河川内への強い戻り流が長時間にわたって発生しており、それによって2か所での破堤が起こった可能性が高いことが示された。

### 参考文献

- 岩佐義郎, 井上和也, 水島雅文: 氾濫流の水理の数値解析法, 京大防災研年報, 第23号 B-2, pp.305-317, 1980.
- 一般社団法人 iRIC-UC: iRIC Software, H30.7, <http://i-ric.org/ja/>, 2020.
- 岡村未対: 令和元年台風第19号災害における河川堤防の破堤, 消防防災の科学, No.141, 特集令和元年台風15号・19号(2), pp.13-18, 2020.
- 国土交通省: 球磨川水系の流域及び河川の概要, 第40回河川整備基本方針検討小委員会資料一覧, 2006.
- 国土交通省: 球磨川の主な災害, 2008, [https://www.mlit.go.jp/river/toukei\\_chousa/kasen/jiten/nihon\\_kawa/0911\\_kumagawa/0911\\_kumagawa\\_02.html](https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0911_kumagawa/0911_kumagawa_02.html) (2021年1月閲覧).
- 国土交通省河川局: 球磨川水系河川整備基本方針, pp.3, 2007.
- 国土交通省九州地方整備局: 球磨川堤防調査委員会, pp.11, 2020.
- 国土交通省九州地方整備局, 熊本県: 第1回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料, 2020.
- 国土交通省九州地方整備局, 熊本県: 第2回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料, 2020.
- 国土地理院: 令和2年7月豪雨に関する情報, 浸水推定段彩図の浸水範囲の輪郭線, [https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html), (2020年1月閲覧)
- 西日本経済新聞: 千寿園を巡る状況, <https://www.nishinippon.co.jp/image/214461/> (2021年2月19日閲覧).



## 第6章 球磨村渡地区における洪水氾濫特性

前橋工科大学 平川 隆一

## 6.1 はじめに

令和2年7月豪雨によって、人吉・球磨盆地において大規模な浸水被害が発生した（熊本県，2020）。特に球磨郡球磨村渡地区では、浸水に加えて氾濫流による多くの家屋流失も確認されている。水害の際の流失による被害は深刻である。流失建物の内部に取り残された人は生命の危険にさらされる。流失した建築物は漂流物となって他の建築物や避難者・遭難者に衝突して災害を増幅させるばかりか、出火すると漂流しながら延焼を引き起こす、災害がおさまった後も、瓦礫となって散らばり災害復旧の妨げとなる（桑村，2017）。本章では、球磨郡球磨村渡地区において複断面蛇行流れに類似した氾濫流の挙動を把握し、家屋倒壊等氾濫想定区域の検証を行う。

## 6.2 流域概要、建築物の被害概要

球磨川は、熊本県球磨郡銚子笠を水源とし八代海に注ぐ幹川流路延長 115km、流域面積 1,880km の一級河川である。最上川および富士川と並ぶ日本三大急流として知られている。流域図および球磨村渡地区付近の写真（国土交通省九州地方整備局）を図 6.1 および図 6.2 に示す。

球磨郡球磨村渡地区の治水地形分類図を図 6.3 に示す。蛇行部が 2 つ連続している。上流側の蛇行部の地下集落には、旧河道が存在している。その下流の今村集落は段丘面に位置している。下流側の茶屋



図 6.1 球磨川流域図



図 6.2 球磨川渡地区付近の航空写真 (国交相資料に加筆)

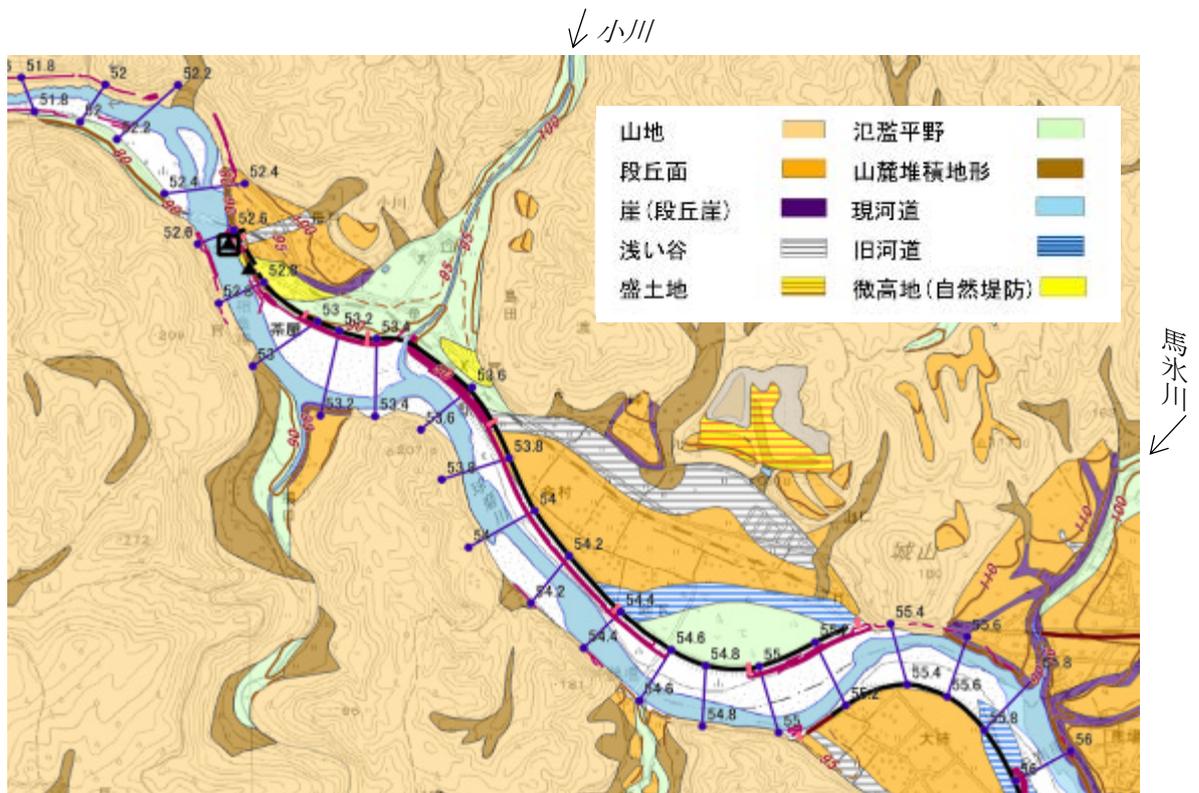


図 6.3 球磨川渡地区付近の治水地形分類図 (地理院地図より作製)

集落では、上流側は氾濫平野、下流側は微高地（氾濫平野）であることが確認できる。

この地区に流入する支川のうち、右岸に合流する馬氷川および小川の流域面積を、GIS を用いて求めた。その結果、馬氷川の流域面積は 16.7km<sup>2</sup>、小川の流域面積は 29.1km<sup>2</sup>であった。

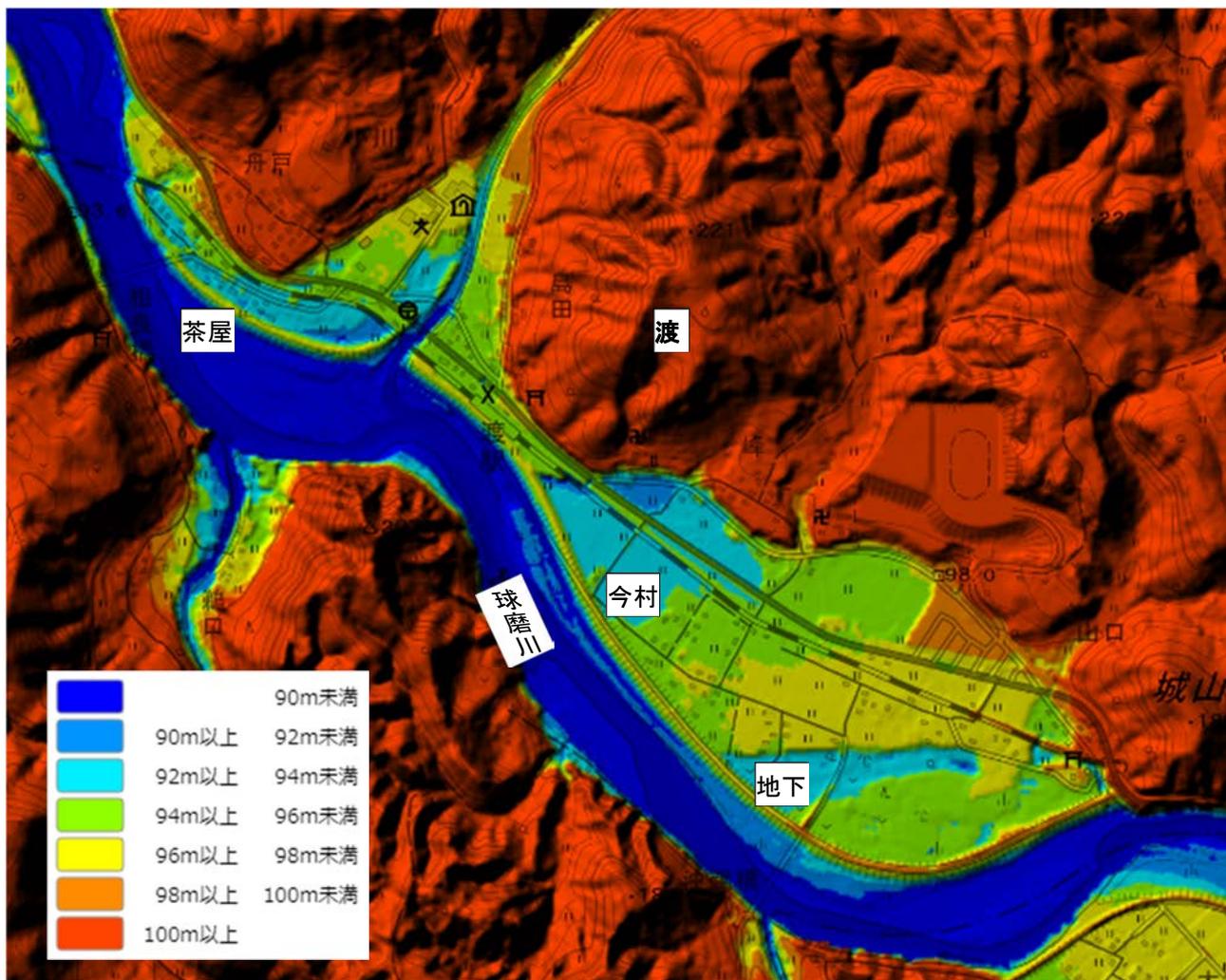


図 6.4 球磨川渡地区付近の標高（地理院地図にて作製）

上記集落周辺の標高図（地理院地図にて作製）を図 6.4 に示す。地下集落では、旧河道部で低く、その背後の地盤高は高くなっている。そこから今村集落にかけて、地盤高は緩やかに低くなり、渡駅付近では2m程度高くなっていることが確認できる。下流の茶屋集落では、堤防と鉄道に囲まれた範囲で地盤は全体的に低くなっている。

球磨川上流部の洪水浸水想定区域図（計画規模）（国土交通省九州地方整備局）を、図 6.5 に示す。茶屋集落、今村集落、地下集落のいずれも浸水した場合に想定される水深は、0.5m～5.0mである。

洪水浸水想定区域図（家屋倒壊等氾濫想定区域（氾濫流））を図 6.6 に示す。茶屋集落、今村集落、地下集落の家屋のほとんどが、家屋倒壊等氾濫想定区域に指定されている。

球磨村渡地区茶屋集落の被害の状況写真を図 6.7 および図 6.8 に示す。堤防と鉄道に挟まれた領域で、線路側の家屋が流失し、堤防側の家屋は流失を免れていることが確認できる。これは、洪水流が低水路や堤防に沿って流下したのではなく、右岸側支川の小川との合流地点付近で洪水流が導流堤（上久保，2014）や堤防を乗り越え、障害物が少なく流れやすい鉄道沿いに流れが集中し、そこを高速で流下したためだと考えられる。

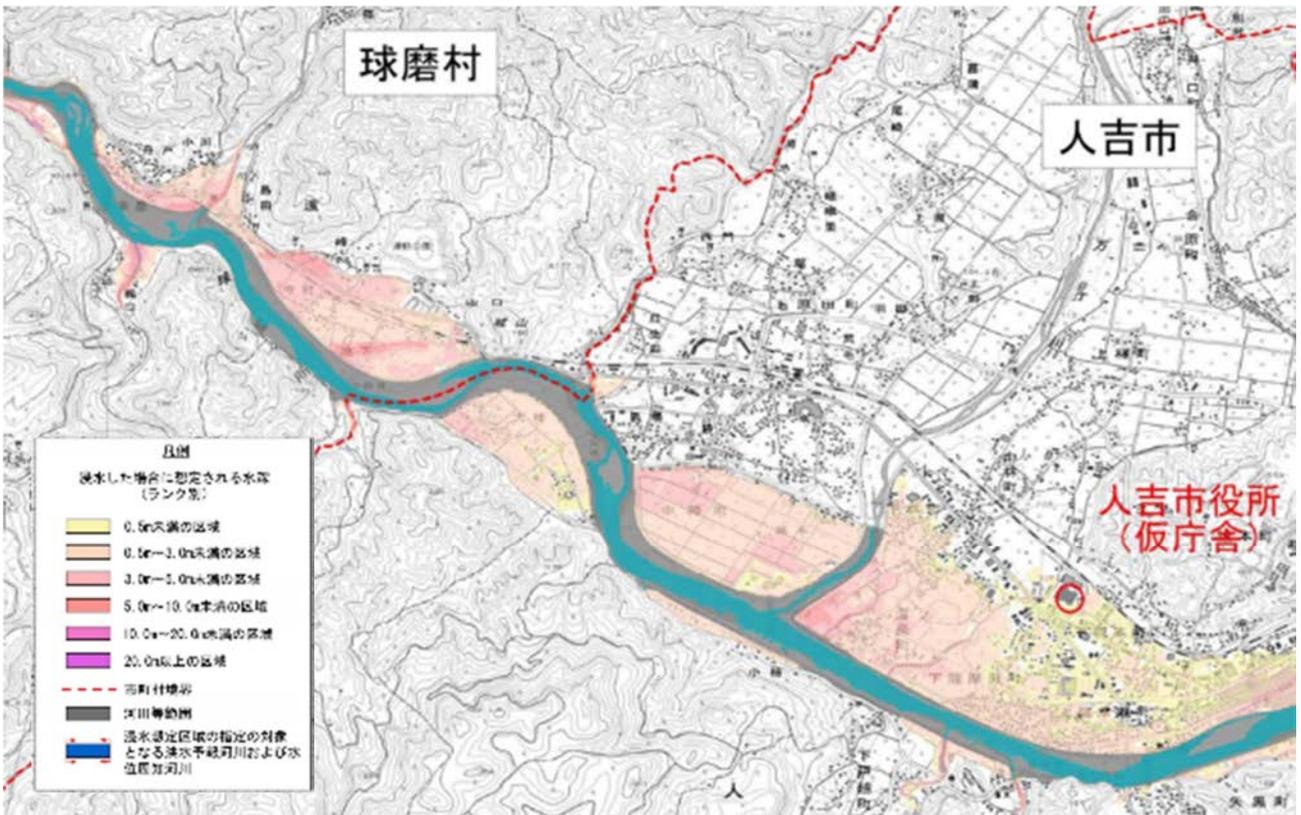


図 6.5 浸水想定区域図 (計画規模) (国土交通省資料の一部。)

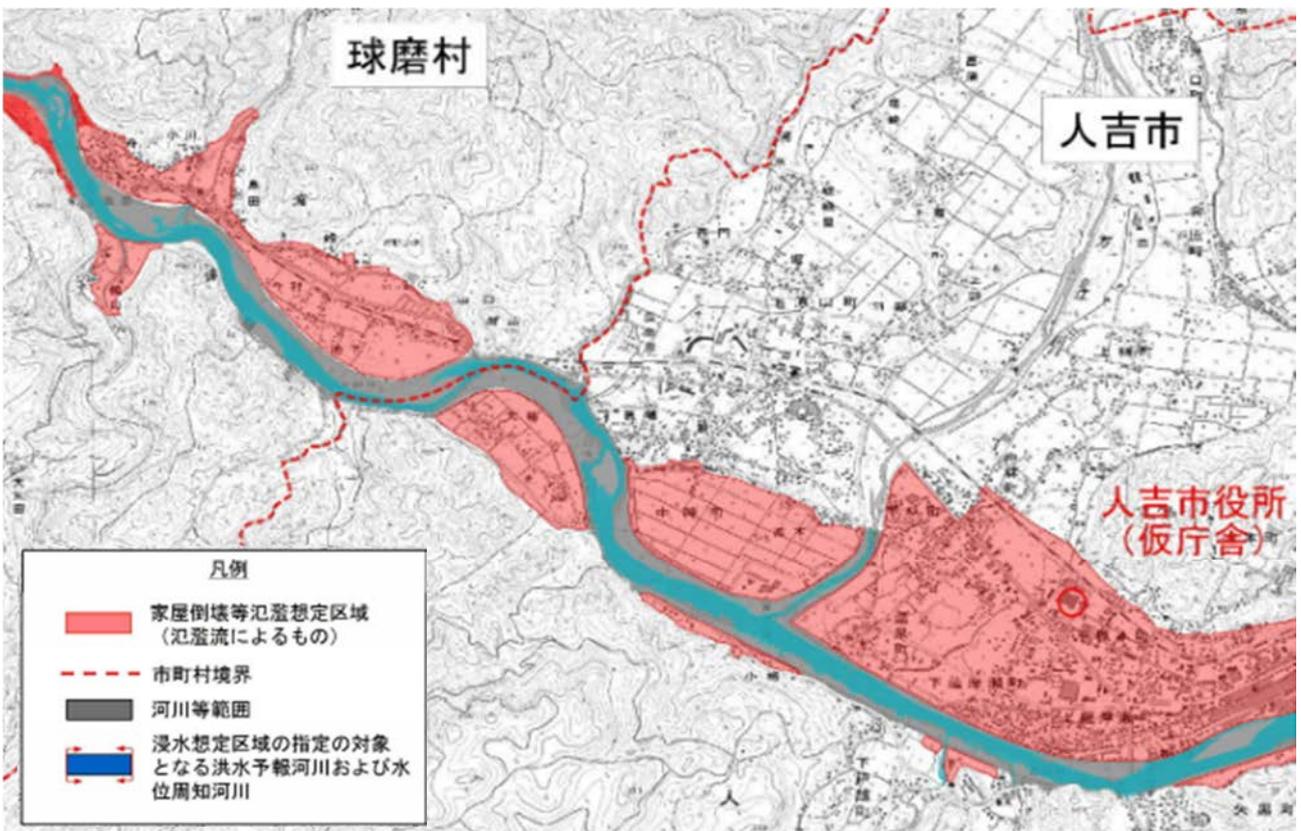


図 6.6 家屋倒壊等氾濫想定区域 (氾濫流) (国土交通省資料の一部。)

渡地区の家屋被害の内、流失家屋の位置を図 6.9 に示す。家屋被害は被害度によって床下浸水，床上



図 6.7 被害の状況. 7月10日午前8時30分頃. (球磨村渡地区) (熊本県資料に加筆)



図 6.8 被害の状況. 7月08日撮影. (球磨村渡地区) (写真提供: 熊本大 大本先生)

浸水や、軽微、小破、中破、大破、崩壊、流失などに分けられるが、ここでは水害前後の航空写真から、基礎だけを残してあるいは基礎もほとんど上部構造の全体または大部分が消え失せていることが判別可能な、流失のみを赤色の四角でプロットした。球磨郡渡地区のうち、球磨川上流側の地下集落および今村集落では、集中した箇所で見られる様子は見られない。図 6.4 の標高図と比較すると、家屋流失が確認できたほとんどは 94m 以上 96m 未満の領域であった。なお、地下集落上流の青色で囲んでいる箇所は、植生が矢印方向に倒れているのが確認できた箇所である。この領域では流体力が特に大きく働いたことが考えられる。

渡地区下流側の茶屋集落を見ると、家屋流失の場所は集中しているように見える。特に、鉄道と県道に挟まれた領域で家屋流失が多いことが確認できた。このことから、氾濫流はこの狭い範囲に集中していたと考えられる。なお、赤で囲った3箇所の領域は、流木の堆積が確認できた箇所である。

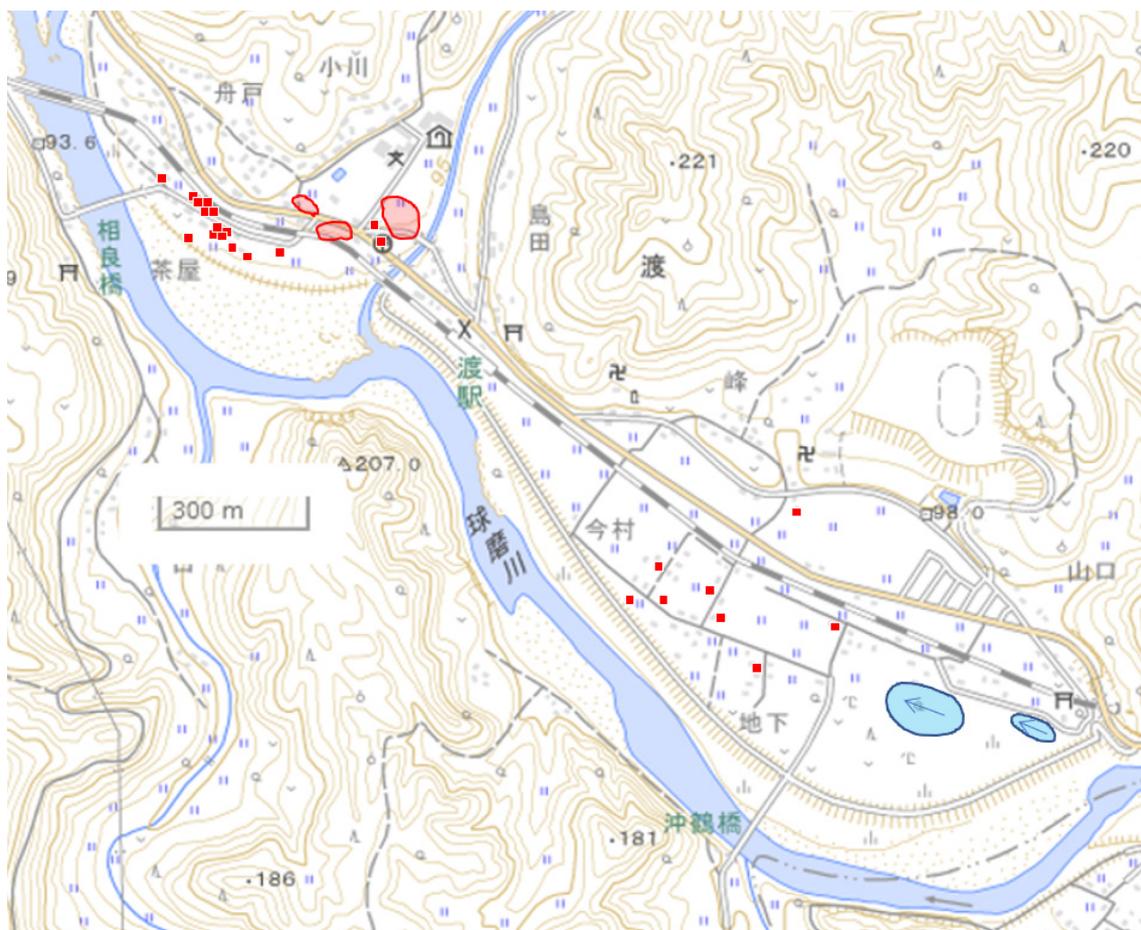


図 6.9 球磨村渡地区の家屋流失状況

表 6.1 各蛇行部における蛇行度と相対水深

	茶屋集落	地下・今村集落	大柿集落
蛇行度	1.20	1.26	1.61
相対水深	0.43	0.43	0.5

球磨郡渡地区の蛇行部の蛇行度(=蛇行流路長 / 蛇行波長)(石垣ら, 2010)と相対水深(浸水深 / 蛇行河道部の水深),および人吉市の大柿地区の蛇行度と相対水深を表 6.1 に示す. 蛇行度は上流から 1.61, 1.26, 1.20 であり, 下流に向かって小さくなっている. 相対水深は, 上流から 0.5, 0.43, 0.43 であった. これらはすべて 0.3 を大きく上回っており, 水位ピーク付近では高水敷から低水路への流れ込みによる二次流が卓越する複断面蛇行流れであったと考えられる.

### 6.3 洪水氾濫シミュレーションによる検討

氾濫水が集落や橋梁を襲い, 家屋の流失に加えて, 九州を横断する国道 219 号や JR 薩肥線等の主要交通網も, 浸水被害や橋梁流失の被害を受けた. ここでは, 球磨郡渡地区の地下集落, 今村集落, 茶屋集落における, 蛇行流れと氾濫流による流下型氾濫がどのような挙動で流下したのを知るために, 氾濫流解析から考察した.

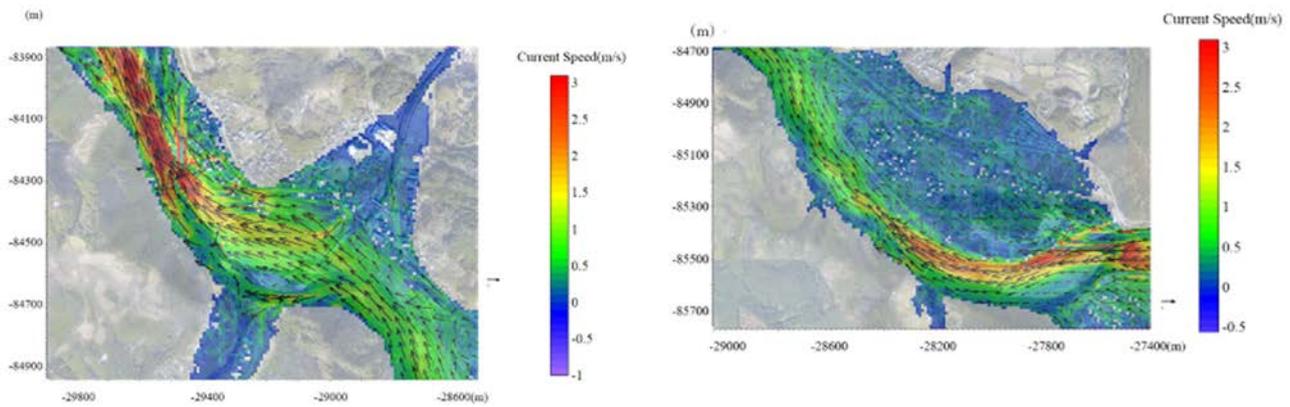


図 6.10 流速分布（左：茶屋集落，右：地下および今村集落.）

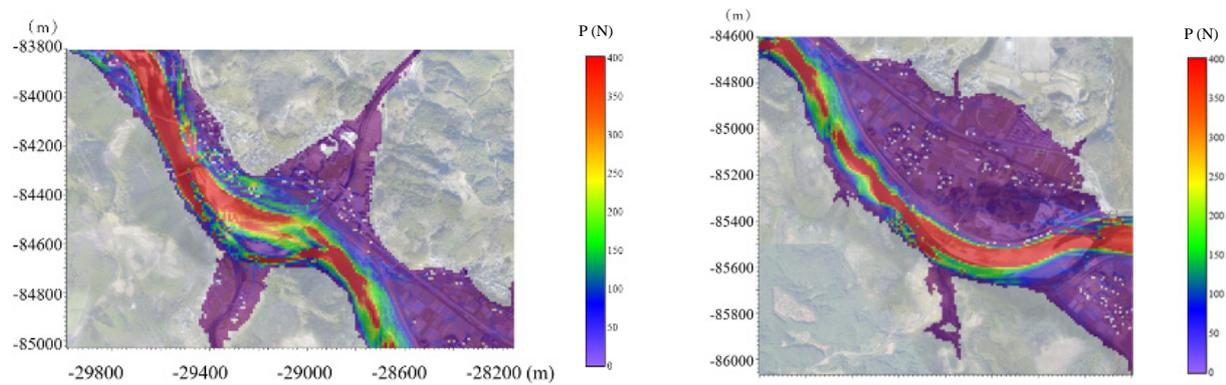


図 6.11 流体力分布（左：茶屋集落，右：地下および今村集落.）

二次元氾濫解析に用いた地形データは、国土地理院・基盤地図データ（5m メッシュ）を用いた。執筆時点で球磨川本川および支川の流量の情報はなく、ここでは茶屋地区の氾濫水深がおおよそ再現できるように試行的に決めた。その結果、球磨川本川のみを考慮して流量  $10,000\text{m}^3/\text{s}$  としてこれを一定時間与えた。

流速分布および流速ベクトルを図 6.10 に示す。茶屋集落の蛇行部では、JR 渡駅の対岸側に形成されている主流部は蛇行部の上流側で低水路に沿って流下しておらず、右岸堤防に沿って主流部を形成していることが確認できる。これは、蛇行部上流部で左岸側にあった洪水流の中心部が、遠心力によって茶屋集落上流部の右岸堤防を乗り越えたと考えられる。また、堤防を乗り越えた流れは、そのまま直進して山地が北から南に張り出している所に向かって流下し、張り出しの頂部近傍で流速は速くなっている。それらの二手に分かれた流れは蛇行部下流側で合流し、流失した相良橋付近で高速流となっていることが確認できる。

氾濫流が家屋に作用する力である流体力の分布を図 6.11 に示す。ここでは、よどみ点での速度圧  $\rho v^2/2$  と抗力係数  $C_d$  を用いた次式で表した。

$$P = C_d \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot Bh$$

ここで、 $C_d$ ：抗力係数、 $B$ ：流れ直交方向の構造物の幅、 $h$ ：構造物の影響を受けない接近流の浸水深である。今回、抗力係数はアメリカの連邦緊急事態管理庁 FEMA が推奨している  $C_d = 2.0$ 、構造物の幅は  $B = 10$  とした。

地下および今村集落の蛇行部において堤内地で流体力が大きいのは、上流端と下流端であることが確

### 第3編

認できる。ただし、家屋流失箇所での明瞭な極大値は確認できなかった。これは、複断面蛇行部における流れの三次元構造が考慮できていないためだと考えられる。茶屋集落においては、堤内地の鉄道と堤防に挟まれた範囲に、流体力の大きい領域が形成されていることが確認できる。これは、航空写真で家屋流失が確認できた領域と概ね一致する。

## 6.4 まとめ

本調査によって得られた知見は以下の通りである。

- ・浸水想定区域図（計画規模）から、渡地区の水深は0.5～5mとされていた。家屋倒壊等氾濫想定区域（氾濫流）によると、渡地区では山地以外の箇所はすべて指定されていた。そのような中で、今回の水害では茶屋地区の家屋流失が目立ったのは、堤防と鉄道に挟まれた、流体力の大きい領域であった。
- ・球磨川の球磨郡球磨村渡地区における氾濫流の挙動は流下型氾濫形態である。支川からの流入を考慮しない計算からは、氾濫流は連続した蛇行部の上流から堤防を乗り越えて堤内地に侵入したことが確認された。ただし、内水氾濫対策の排水ポンプや外水氾濫対策の小川合流点での導流堤などの整備が進む中で、それらの対策想定規模を上回る氾濫流の流下が今回の被害をもたらしたことが認められた。

## 6.5 今後の課題

国内に多く見られる複断面蛇行河道における流れの三次元構造を明らかにし、蛇行部が洪水流の流下にどのような影響をおよぼすかを検証し、有用な治水対策を見いだすことが重要となる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局にはデータ提供等で多大な協力を得た。また、氾濫解析では卒業生の陳翔博士（現・水資源機構）の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

石垣泰輔，武藤裕則，Koji Shiono：複断面流れの構造と抵抗予測，ながれ 29，pp.177-186，2020。

上久保祐志，藤野和徳，岩部司，堂園俊多，的場孝文，村岡薫：球磨川流域における減災対応に関する官学連携の取組，土木学会論文集F6（安全問題），No.70，No.2，pp.I\_53-I\_58，2014。

熊本県：令和2年7月豪雨に係る「くまもと復旧・復興有識者会議」，会議資料，令和 2年 8月30日，<http://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/1/51191.html>。

国土交通省河川局：球磨川水系河川整備基本方針，[http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/kumagawa\\_kasen/kihon\\_seibi.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/kumagawa_kasen/kihon_seibi.html)

国土交通省九州地方整備局：球磨川水系洪水浸水想定区域図，[http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/bousai/kuma\\_shinsui.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/bousai/kuma_shinsui.html)

福岡捷二，小俣篤，加村大輔，平生昭二，岡田将治：複断面蛇行河道における洪水流と河床変動，土木学会論文集，621/II-47，pp.11-22，1999。

## 第7章 人吉市・中川原公園および橋梁が洪水流に与えた影響

熊本大学 大本 照憲

## 7.1 中川公園周辺の浸水情報

## 7.1.1 人吉市・中川原公園の浸水状況

図 7.1 は、2020 年 11 月 19 日にドローンを用いて撮影した人吉市中川原公園および上流の水の手橋、大橋、人吉橋を示す。また、右支川の山田川および左支川の胸川が球磨川に合流する。

図 7.2 は、球磨川絵図に示された人吉市街部を示す。中川原公園は、河道中央部に発生した礫洲を固定化したものである。この礫洲は、右岸側の滞筋に架かる大股橋、左岸側の滞筋に架かる小俣橋を接続するために利用されていた。人吉市史によれば、大股橋、小俣橋の最初の普請は 1607 年、伊能忠敬（1810 年）の測量では「球磨川二流、大股 63 間(115m)、小俣 51 間(93m)」であるとの記載があった。球磨川の大橋地点における川幅は、江戸後期で 208m であるのに対して現在は、240m あり、更に周辺の河道幅より広がっていることが分かる(熊本県教育委員会、1998)。中洲の固定化により河岸浸食が進行したことが予想される。

リスクマネジメントでは、リスクはハザード、暴露および脆弱性の 3 点から評価される。人吉市は、四方を山で囲まれた盆地であり、右岸支川の川辺川と球磨川本川の出水形態によっては河川流量が集中しやすくハザードが大きく、人口・資産が集中した中核都市であることから暴露も大きく、更に山田川



図 7.1 中川原公園および水の手橋・大橋・人吉橋 (2020.11.19 撮影)

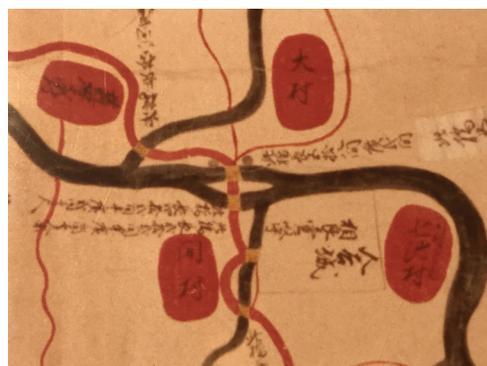


図 7.2 江戸後期の球磨川絵図(大股橋, 小俣橋)

### 第3編

および胸川の合流，礫洲による自然起源の脆弱性，3本の橋が加わることによる流下能力の低下に伴う人工起源の脆弱性が高い場所となっている。

図7.3は，山田川が球磨川に合流部する近傍で4名が溺死した地点の浸水状況を示す。

河川管理用道路が人吉橋に交差する地点では，橋桁下から道路までの高さ1.6m，特殊堤の高さ0.9mである。そのため，特殊堤天端から橋桁までの高さは僅か0.7mしかないことが分かる。橋桁の高さ1.6m，高欄1.0mであり，ゴミが高欄に引掛かれば高さ2.6m長さ200m相当の横断構造物として表面流の障害物となったことが予想される。大橋および水の手橋にも高欄にゴミが引掛かっていることが確認された。

人吉橋の直上流の右支川である山田川では，午前8時頃にはバックウォーターにより球磨川から山田川上流に遡上する流れ，10時頃には道路橋および鉄道橋が水没していることが熊本県の監視カメラの録画(球磨川鉄道橋地点)により確認出来た。

特に，大橋では高欄が漂流物により破壊されていること，また，水の手橋の直上流の右岸近傍に住み，被害を受けた方々からの聞き取り調査では水の手橋の主桁に流木が当たり始めたころから急激に特殊堤から越流氾濫が発生したとの証言を得た。



図7.3 球磨川と山田川の合流部近傍（4名溺死）

#### 7.1.2 危機管理型水位計による水位ハイドログラフ

図7.4は人吉観測点(61km/137)，球磨川と川辺川の合流点近傍の柳瀬観測点(66km/400)および人吉大橋に設置されている国土交通省の危機管理型水位計(61km/512)における水位時系列を示す。柳瀬観測点では7月4日9時においてピーク水位8.07m，人吉大橋危機管理水位計では同日9時50分にピーク水位7.25mを記録した。また，7時30分から8時00分までの30分で0.9mの急激な水位上昇が発生している。越流氾濫は，13時10分頃に終えていることが分かる。

図7.5は，球磨川の大橋地点および熊本県により球磨川合流点近傍の山田川に設置された熊本県の危

### 第3編

機管理型水位計を基にした越流水深である。なお、堤防高さは、計画堤防高を基準としているため実際の越流水深とは若干異なることが考えられる。

山田川の水位は、7月4日午前7時30分までは球磨川の水位より若干高い値を示し、7時50分～8時40分の間ではほぼ一定の値1.2mを示し、その後11時まで欠測となり、12時過ぎから急劇に低下し、13時20分には越流氾濫が止まっていることが分かる。

記録上、人吉観測地点における最高水位は昭和40年7月2日に5.05mであったが令和2年7月4日では7.25mに達し、2.2m上回ったことが分かる。

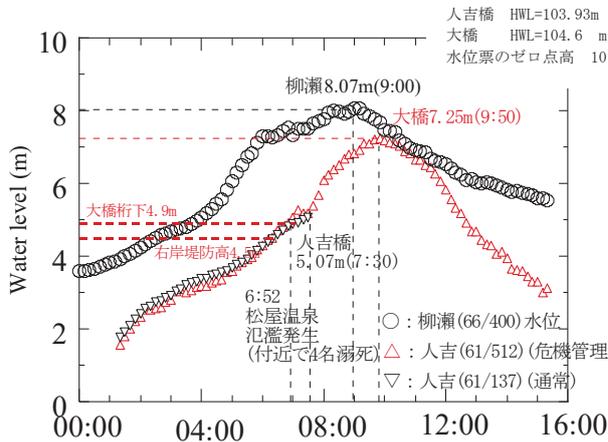


図 7.4 人吉における水位ハイドログラフ

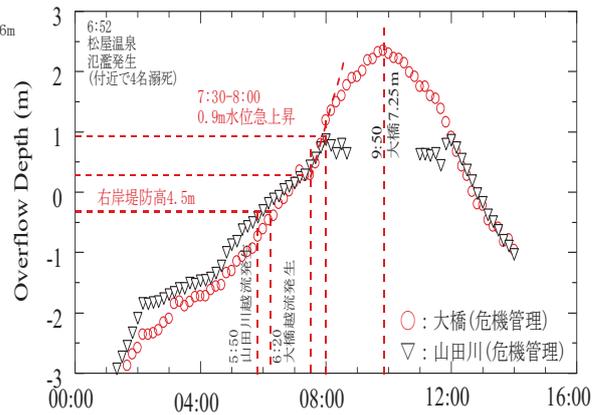


図 7.5 越流水深の時系列

## 7.2 人吉・球磨盆地の河道形状

図 7.6 は、人吉・球磨盆地における平均河床高および堤防天端の縦断分布を示す。図 7.7 は、河道満水状態における水深の縦断分布を示す。渡地区から柳瀬地区の間で平均河床勾配は、1/550 であることが分かる。なお、人吉・球磨盆地では流出した橋梁は、JR 橋梁の球磨川第二橋梁、第三橋梁、第 4 橋梁の 3 本、道路橋では相良橋、沖鶴橋、天狗橋、西瀬橋の流出 4 本であった。JR 橋梁は何れも十分なクリアランスが無かったこと、道路橋もクリアランス不足であった。

平均河床高から堤防天端までの水深は、52km/600～71km/00の間では縦断方向の平均値は 9.64m であるが、河口から上流 61km～62km では 5.9m～7.2m 程度であり、河道満水状態の水深が 3m 近く小さくなる事が分かる。この区間には、中川原公園が存在するために流水断面積が小さくなり、流下能力が低下することが予想される。

図 7.8 は、2020 年 7 月豪雨災害の前後における人吉橋～水の手橋の間における河床横断形状を示す。中川原公園を横断する河道断面 61km/400, 61km/600 であり、61km/400 における濬筋部は右岸側で 97.0m, 左岸側で 98.2m の高さ、中川公園の地表高は最大で 103.6m あることから平均的標高差は 6.0m, 61km/600 においても標高差は 6.0m であり、水深相当の高低差がある。また、災害前後の河床変動は、大橋下流における平均河床高は、61km/200 では 0.22m 上昇、61km/400 でも 0.22m 上昇した。

一方、大橋上流における平均河床高は、61km/600 では 0.03m 上昇、61km/800 でも 0.07m 低下した。人吉橋～大橋の間では、若干河床上昇する傾向があり、大橋上流では顕著な河床変動は無いことが分かる。局所的には、河岸付近で 1.6m 程度土砂の堆積が見られ、大橋直上流の 61km/600 では中川公園において 1.8m 程度の洗掘が生じたことが分かる。

一方、大橋上流における平均河床高は、61km/600 では 0.03m 上昇、61km/800 でも 0.07m 低下した。

第3編

人吉橋～大橋の間では、若干河床上昇する傾向があり、大橋上流では顕著な河床変動は無いことが分かる。局所的には、河岸付近で1.6m程度土砂の堆積が見られ、大橋直上流の61km/600では中川公園において1.8m程度の洗堀が生じたことが分かる。

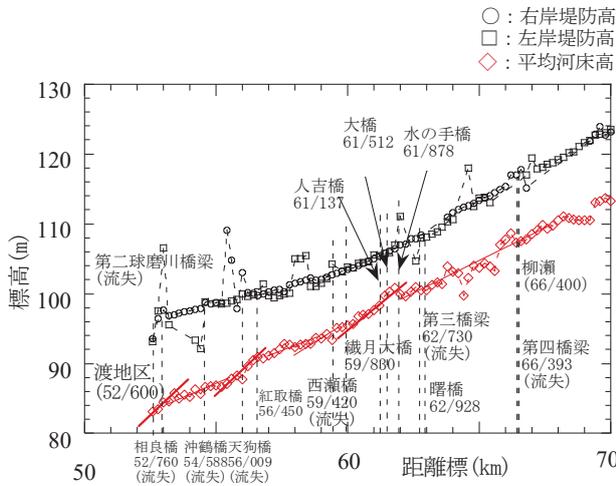


図 7.6 平均河床高の縦断変化

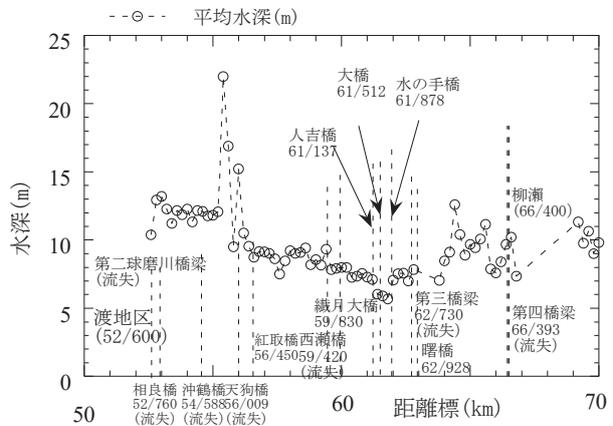


図 7.7 河道満水状態における水深

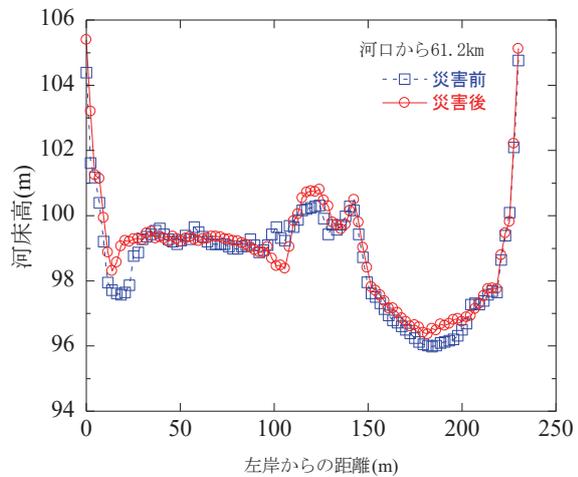
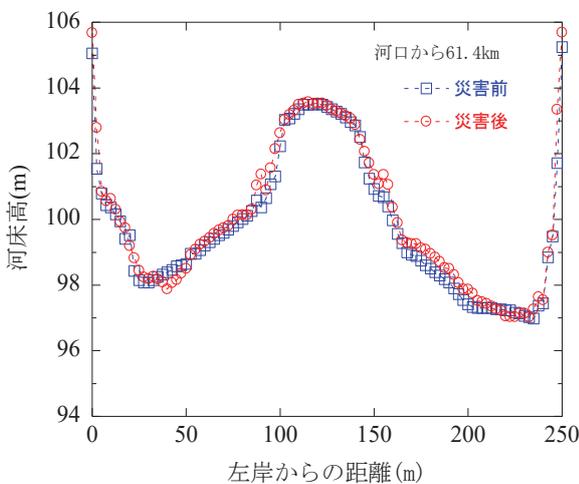
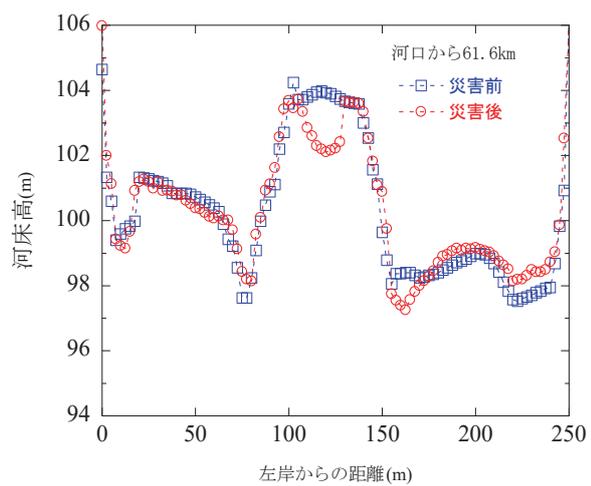
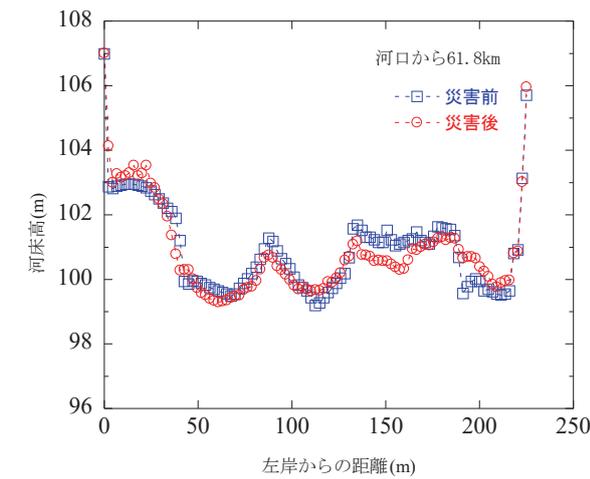


図 7.8 河道横断形状

## 7.3 中川原公園および橋梁が洪水流に与える影響

## 7.3.1 実験概要

洪水最盛期に人吉橋、大橋、水の手橋の3橋は水没した。また、中川原公園の現地調査から、中川公園および3つの橋梁は洪水時の水位を高め、球磨川右岸側の氾濫流を強めたことが示唆された。このため、人吉橋から水の手橋の間における洪水流を再現するために縮尺1/400で水理模型実験を実施した。なお、模型実験では既存の室内開水路を用いたため、両岸からの越流氾濫は発生させていない。右岸側支川の山田川および左岸側支川の胸川も再現されていない。このため、最盛期にはバックウォーターにより球磨川から山田川および胸川への逆流、両支川からの氾濫も無視した。また、中川原公園には樹木やトイレもあるが、これらも模型では省略した。本実験では、水没した中川原公園および3本の橋梁が洪水流の水位に与える影響を単純化した境界条件の下で検討した。

## 7.3.2 中川原公園および橋梁の模型

中川原公園は、ドローンを用いた地形測量を基に3Dプリンターにより模型を作成した。中川原公園を除いた河床地形は、計画粗度 $n=0.03$ のみを再現した平坦河床としている。また、3つの橋梁は現地調査により橋長、橋脚、橋桁、高欄を1/400で再現している。

図7.9および図7.10は、中川原公園の地形および3Dプリンターによって作成した模型を示す。特に、中川原公園を横断する大橋では、川幅245mに対して橋脚は5本あり、中央の橋脚の支間長は約45mであり大橋地点では2径間の92mが中川公園により塞がられていた。このため、6径間の内の約2径間では流下能力を失うことになり、大橋地点では治水上弱点となることが予想される。

大橋から中川原公園への取付け道路を下った地点から目視した橋脚周辺では局所洗堀が発生していることが認められた。このことは、大橋直上流の61km/600における中川公園の局所洗堀1.8mとも対応している。また、中川原公園には代表径20~30cm相当の巨石が散在していた。

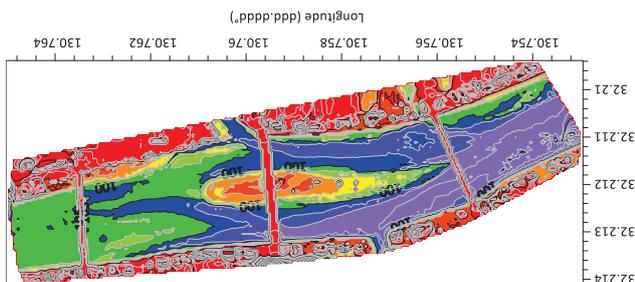


図7.9 人吉市・中川原公園の地形

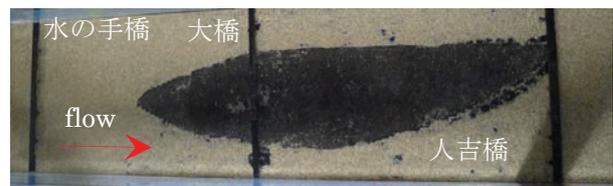


図7.10 3Dプリンターで作成した中川原公園の模型

## 7.3.3 実験装置および方法

実験に使用した水路は、図7.11の様に長さ15m、幅60cm、高さ40cmの可変勾配型の循環式直線水路である。国土交通省九州地方整備局によれば人吉地点上流での氾濫がなく、さらに市房ダムが無かった場合に想定されるピーク流量は、概ね $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ であることが推定されている。本実験では流量を $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、参考流量として $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の3種類を対象とした。流れは、常流であることから下流端の堰により人吉橋下流の200m位置において所定の流量に対する等流水深に設定した。

流速の計測には、非接触型の代表的な画像処理法であるPIV(Particle-Image Velocimetry)法を用いた。

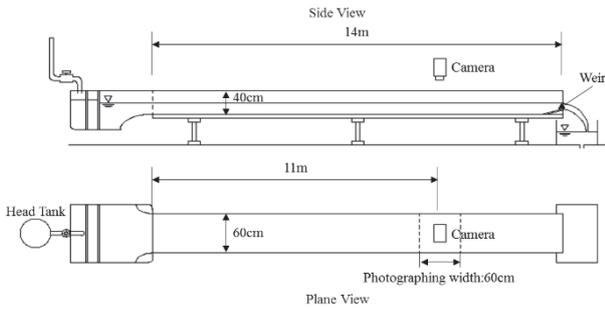


図 7.11 実験水路

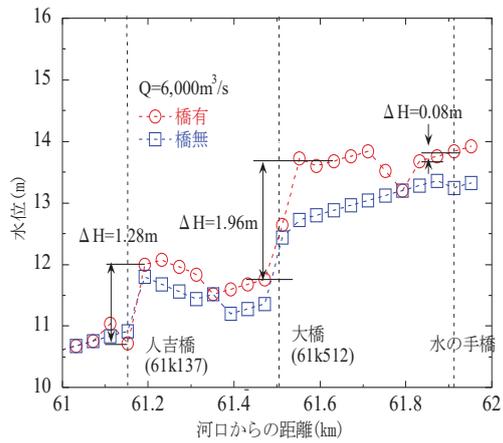


図 7.12 水位の縦断方向変化 (6,000 m<sup>3</sup>/s)

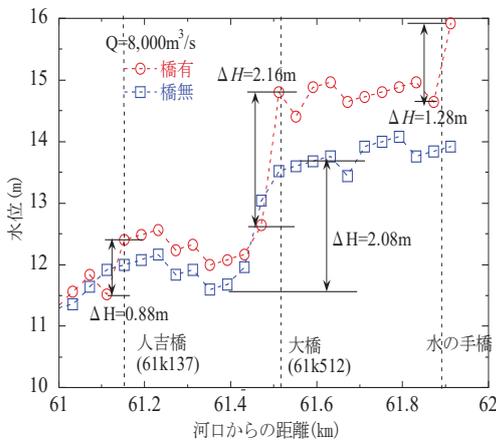


図 7.13 水位の縦断方向変化 (8,000 m<sup>3</sup>/s)

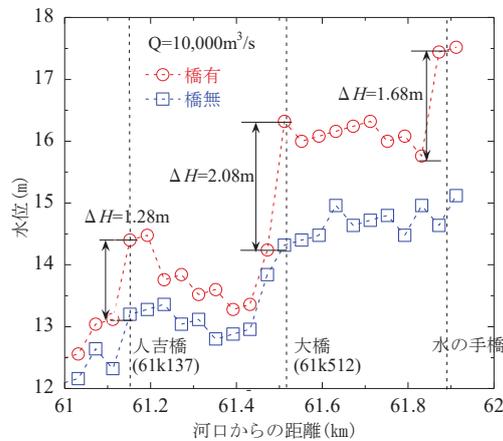


図 7.14 水位の縦断方向変化 (10,000 m<sup>3</sup>/s)

勾配 1/500 においては 250fps(frame per second), 1024×1024(pixel)のモノクロビデオ画像としてコンピューターハードディスクに記録され、PIV法により画像処理を行った。表面流速のトレーサーとして粒径 100 $\mu$ m, 比重 1.02 のナイロン粒子を注入した。また、水面下の主流方向、横断方向および鉛直方向の流速は、I型およびL型のセンサーを用いた電磁流速計により計測した。水位は、ポイントゲージを用いて計測した。

座標系は、大橋地点における右岸の河床を原点とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸、鉛直上方に z 軸を取る。室内実験では x 軸は大橋の位置を原点にとり、y 軸は右岸を原点とした。

水位は、大橋を基準に上流 480m, 下流 560m の区間において 40m おきに 26 測点を取り計測した。また、水面下における流速の計測断面は、中川原公園の先端部 x=-200m, 頂部 x=80m, 末端部 x=400m に、x=-60m, x=240m の 2 計測線を加えた計 5 計測断面とした。各断面の計測位置は、横断方向には 20m おきに 11 点、鉛直方向には河床から z=4m, 6m, 8m である。

### 7.3.4 中川原公園および橋梁が水位に与える影響

図 7.12～図 7.14 は、各種流量における縦断方向の水位変化を示す。橋梁の水位への影響は、流量 6,000 m<sup>3</sup>/s では、表面流が橋桁に衝突していないことから橋脚のみの影響に対して、流量 8,000 m<sup>3</sup>/s および 10,000 m<sup>3</sup>/s では、表面流は全ての橋桁に衝突した。

流量 6,000 m<sup>3</sup>/s では、橋梁が無い場合には人吉橋 61km/137 から 61km/400 の区間では水位の変化は若

### 第3編

干低下傾向を示すが顕著な変化は無いが、61km/400より上流方向に急激な水位上昇が見られ61.4km から61.6kmの200m間で、1.6m程度の上昇が読み取れる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて人吉橋～大橋の区間では局所流により中洲に対して逆位相の形状を取り、大橋より上流では顕著な水位上昇が見られ、水の手橋より直上流では、橋脚の影響により1.28m高くなることが認められる。

流量8,000 m<sup>3</sup>/sの水位は、橋梁が無い場合には流量6,000 m<sup>3</sup>/sの水位とは類似の変化傾向を持ち、人吉橋～大橋の区間では中洲に対して逆位相の形状を取り、大橋付近で上流方向に顕著な水位上昇が見られ、61.4km から61.6kmの200m間で、2.08m程度の上昇が読み取れる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて水位が人吉橋～大橋の区間では約0.4m高くなり、大橋より上流では大橋直上位置で1.28m、水の手橋直上位置で2.0mであることから、人吉橋、大橋および水の手橋の3橋梁により最大で2m近く水位を高め、特に大橋より上流でその影響は大きいことが分かる。

流量10,000 m<sup>3</sup>/sの水位は、橋梁が無い場合には流量6,000 m<sup>3</sup>/sおよび8,000 m<sup>3</sup>/sの水位形状が類似し、中川原公園の縦断形状に対して逆位相の関係を持ち、人吉橋～大橋の区間では人吉橋近傍61.23km地点で最大値13.36m、61.35km地点で最小値12.80mを示し、大橋より上流61.63kmで最大値14.96m、これより上流では大きな変化は無いことが分かる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて水位が人吉橋～大橋の区間では約0.4m～0.8m高くなり、大橋直上流では61.63km位置で2.08m高く、水の手橋直上流61.91km位置で2.4m高くなる。

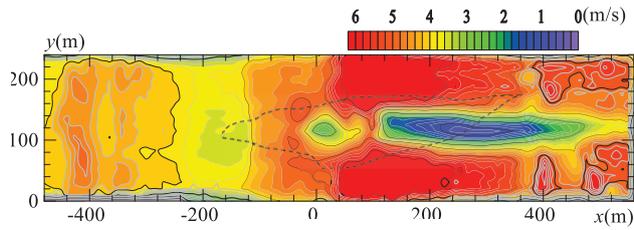
中川原公園は、大橋近傍より上流において急劇に水位を上昇させることが流量6,000 m<sup>3</sup>/s,8,000 m<sup>3</sup>/sおよび10,000 m<sup>3</sup>/sの全てにおいて認められた。特に、今次流量規模の8,000 m<sup>3</sup>/sでは橋梁が無い場合には大橋上流で2.08m程度の水位上昇、更に橋桁が水没する場合には橋梁が無い場合に較べて、大橋直上位置で1.28m、水の手橋直上位置で2.0mであることが明らかにされた。なお、本実験では越流氾濫が無い条件下での結果であり、実際より大きくなる傾向がある。

#### 7.3.5 中川原公園および橋梁が表面流速に与える影響

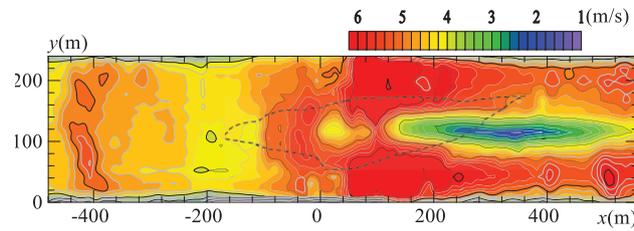
粒子画像流速計測法PIVから得られた流量6000 m<sup>3</sup>/s、8000 m<sup>3</sup>/sおよび10000 m<sup>3</sup>/sにおける河道内の主流速Uおよび二次流の横断方向成分Vのカラー・コンターを、各々、図7.15～図7.18に示す。

主流速Uは橋梁がない場合には、いずれの流量でもx=40m～200mまでの区間で流速が6m/sを超える流速が現れている。この区間は中川原公園によって河道が狭くなっている区間でありこの区間で加速域になっていると考えられる。また、流量6000 m<sup>3</sup>/sおよび8000 m<sup>3</sup>/sでは、中川原公園上の120m<x<520m、80m<y<140mの領域で流速が1m/sから3m/sの低速の領域が見られる。流量10000 m<sup>3</sup>/sでは6000 m<sup>3</sup>/sや8000 m<sup>3</sup>/sほど顕著な低速域は見られないが、200m<x<480mの比較的狭い範囲で流速が2m/sから3m/sの低速域が存在している。橋梁がある場合では、橋梁がない場合に比べて流速が小さくなるが、40m<x<360mの区間において濡筋部で高速域が形成されている。また、橋梁がない場合と同じ領域で低速域も形成されている。橋梁がある場合は、トレーサーが橋脚や欄干にたまりデータの信頼性が低い区間がある。

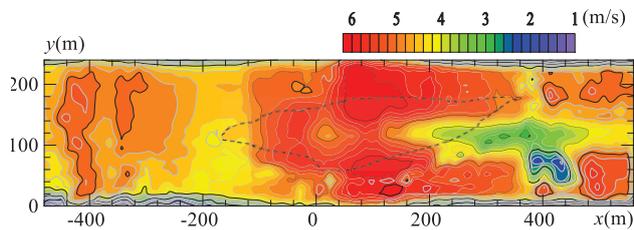
二次流の横断方向成分Vでは、いずれの流量においても橋梁がある場合とない場合にかかわらず、中川原公園上流側である-200m<x<0mの区間で右岸では右岸方向の流速が現れ、左岸では左岸方向の流速が現れている。このことからこの区間ではyが100mから120m付近で発散するような流れが生じていることが考えられる。一方、中川原公園下流側である200m<x<520mの区間では、0m<y<100mにおいて左岸方向の流速が現れ、100m<y <200mにおいて右岸方向の流速が発生している。このことからこの区間では100m<x<140mの区間で収束するような流れが生じていることが考えられる。



(a) 6,000 m<sup>3</sup>/s

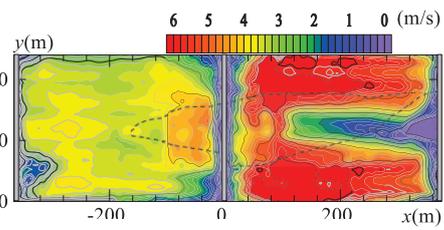


(b) 8,000 m<sup>3</sup>/s

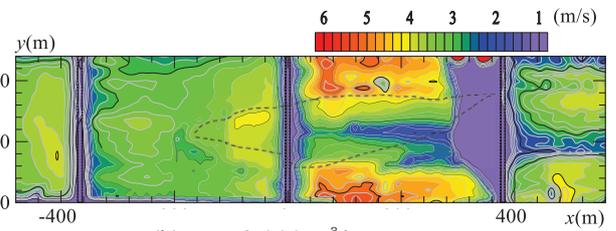


(c) 10,000 m<sup>3</sup>/s

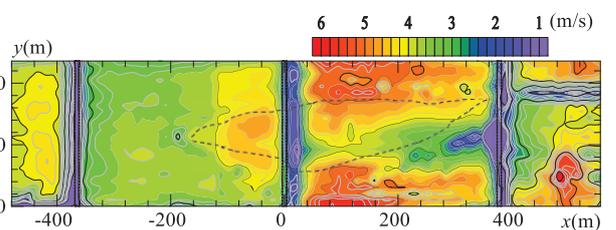
図 7.15 主流速 U のコンター(橋無)



(a) 6,000 m<sup>3</sup>/s

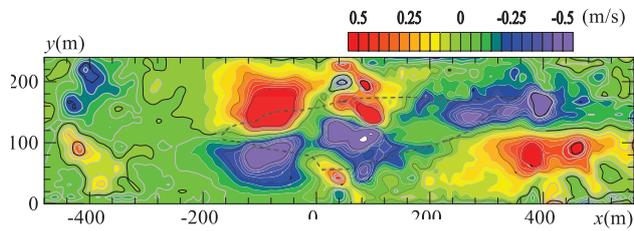


(b) 8,000 m<sup>3</sup>/s

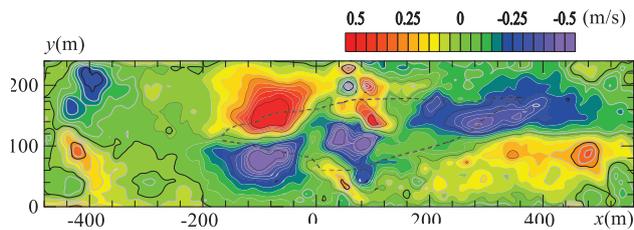


(c) 10,000 m<sup>3</sup>/s

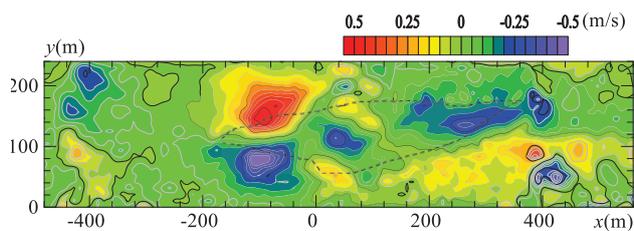
図 7.16 主流速 U のコンター(橋有)



(a) 6,000 m<sup>3</sup>/s

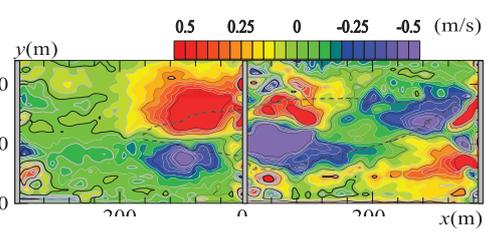


(b) 8,000 m<sup>3</sup>/s

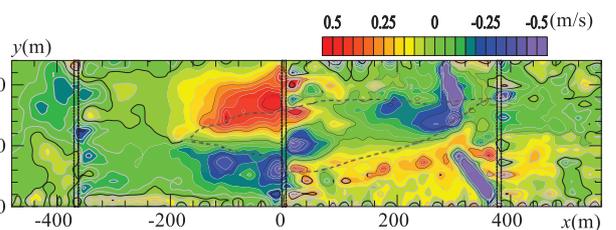


(c) 10,000 m<sup>3</sup>/s

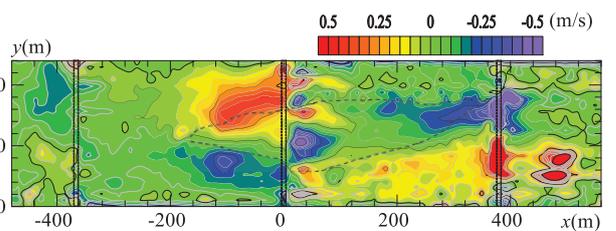
図 7.17 二次流 V のコンター(橋無)



(a) 6,000 m<sup>3</sup>/s



(b) 8,000 m<sup>3</sup>/s



(c) 10,000 m<sup>3</sup>/s

図 7.18 二次流 V のコンター(橋有)

第3編

7.3.6 表面流の解析による上昇・下降流の同定

表面流における連続条件から、

$$\partial W / \partial z = -(\partial U / \partial x + \partial V / \partial y) \tag{1}$$

となる。水表面で  $W = 0$  を仮定すれば、

$$\partial W / \partial z > 0 \quad \text{下降流} \tag{2}$$

$$\partial W / \partial z < 0 \quad \text{上昇流} \tag{3}$$

となる。

図 7.19 および図 7.20 は、各々、表面流速の主流方向成分  $U$  および横断方向成分  $V$  の空間勾配から得られる式(1)の右边を表している。表面流の解析によって得られた上昇流位置は朱色で下降流位置は青色で表現されている。橋梁がない場合には、上昇流が顕著な場所は、 $-200\text{m} < x < 100\text{m}$ 、 $50\text{m} < y < 150\text{m}$  に当たる中川原公園の上流側、および  $400\text{m} < x < 520\text{m}$  の区間では  $0\text{m} < y < 100\text{m}$  および  $140\text{m} < y < 240\text{m}$  に当たる河岸付近である。一方、下降流は  $160\text{m} < x < 400\text{m}$ 、 $80\text{m} < y < 180\text{m}$  に当たる中川原公園の下流側である。

橋脚がある場合には、上昇流が顕著な場所は、 $-200\text{m} < x < 40\text{m}$ 、 $50\text{m} < y < 150\text{m}$  に当たる中川原公園の上流側であることが分かる。

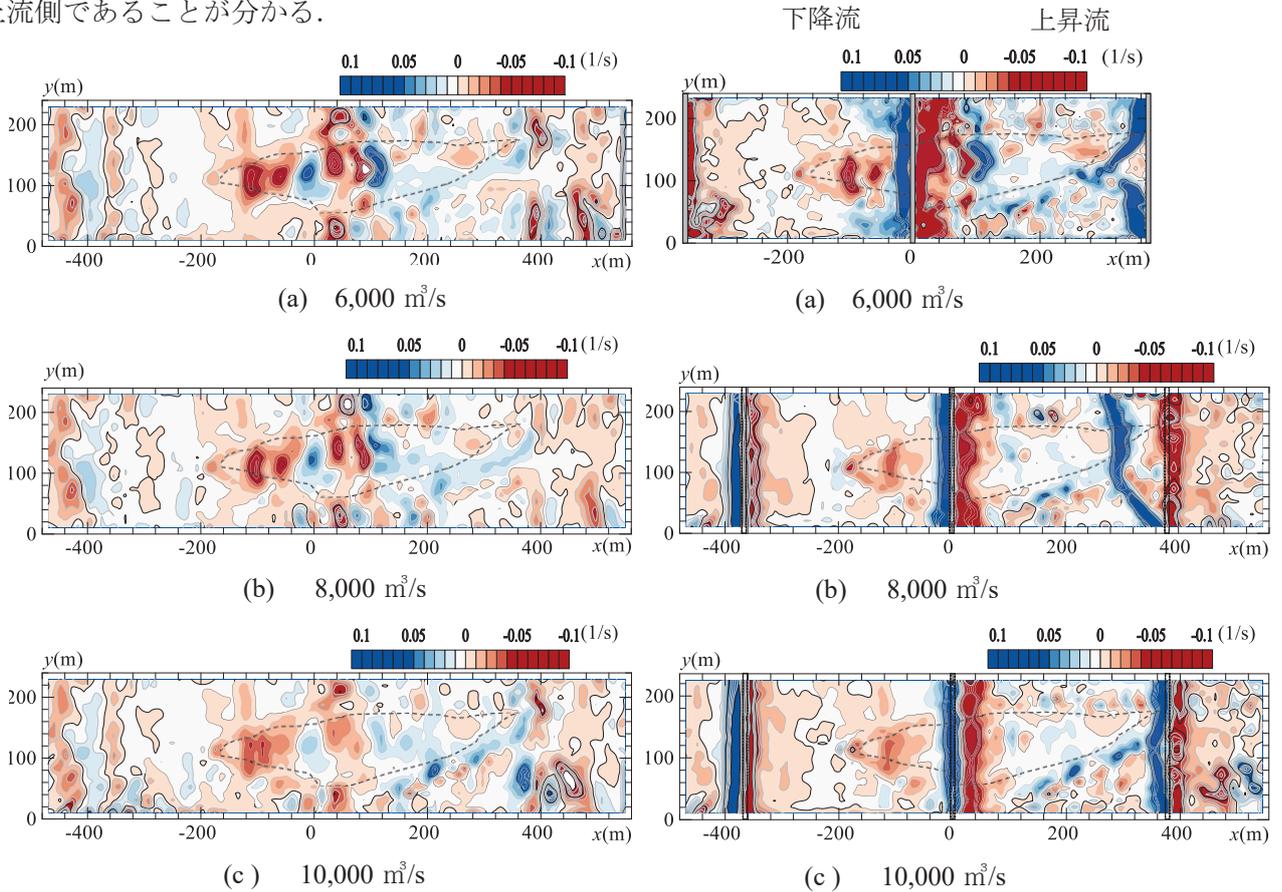


図 7.19  $\partial W / \partial z = -(\partial U / \partial x + \partial V / \partial y)$  (橋無)

図 7.20  $\partial W / \partial z = -(\partial U / \partial x + \partial V / \partial y)$  (橋有)

7.4 まとめ

本章では、令和2年7月4日に発生した球磨川水害の人的・物的被害の実態を明らかにすると共に、

### 第3編

模型実験を通して中川原公園および橋梁が異常洪水流に与える影響について検討した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 中川原公園は、大橋近傍より上流において急劇に水位を上昇させることが流量  $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$  および  $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$  の全てにおいて認められた。特に、今次流量規模の  $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$  では橋梁が無い場合には大橋上流で  $2.08\text{m}$  程度の水位上昇、更に橋桁が水没する場合には橋梁が無い場合に較べて、大橋直上位置で  $1.28\text{m}$ 、水の手橋直上位置で  $2.0\text{m}$  であることが明らかにされた。なお、本実験では越流氾濫が無い条件下での結果であり、実際より大きくなる傾向がある。
- 2) 今次災害流量  $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$  において主流速は、橋梁が無い場合には中川原公園上で  $1\text{m/s} \sim 3\text{m/s}$  の低速領域、滞筋部では  $6\text{m/s}$  を超える高速域を形成することが認められた。橋梁が有る場合には、橋梁の上流域で流速は大幅に低減する。
- 3) 二次流の横断方向成分から、表面流は  $-200\text{m} < x < 0\text{m}$  に当たる大橋上流の中川原公園上では発散域、 $200\text{m} < x < 400\text{m}$  に当たる大橋下流の中川原公園上では収束域となることが認められた。
- 4) 表面流の解析によって得られた上昇流位置は橋梁がない場合には、 $-200\text{m} < x < 100\text{m}$ ,  $50\text{m} < y < 150\text{m}$  に当たる中川原公園の上流側、一方、下降流は  $160\text{m} < x < 400\text{m}$ ,  $80\text{m} < y < 180\text{m}$  に当たる中川原公園の下流側である。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州整備局八代河川国道事務所、熊本県土木部河川課から多大なご協力を頂いた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

### 参考文献

熊本県教育委員会：熊本県歴史の道調査-球磨川水運-,熊本県文化財調査報告・第99集,1988年3月

## 第8章 球磨川流域の建物被害と人的被害の関係

東京理科大学 二瓶 泰雄

## 8.1 はじめに

令和2年7月豪雨は、7月3～31日にて梅雨前線の影響により、西日本から東北地方の広い範囲で記録的な大雨となった。これにより、全国の広い範囲に人的・住家被害が発生した。人的被害は、死者84名、行方不明者2名、重傷23名、軽傷54名、家被害は全壊1,621棟、半壊4,504棟、一部破損3,503棟、床上浸水1,681棟、床下浸水5,290棟という甚大な被害が発生した（内閣府、2021年1月7日版）。この中でも、人的被害のうち死者・行方不明者の和は、熊本県が67名（全体の77.9%）、九州全体で79名（同91.8%）と突出している。また、住家被害の合計でも熊本県7,412棟（同44.7%）、九州全体で14,115棟（同85.0%）となり、熊本県を中心とした九州地方における被害が多い。

2020年7月3～4日において、線状降水帯が球磨川流域全域にかかったため、上記の熊本県に甚大な被害が生じた。この大雨による12時間雨量は、人吉上流域で321mm、横石上流域で347mmとなり、これは計画降雨量の262mm（人吉、計画規模1/80）、261mm（横石、計画規模1/100）を大きく超える雨量であった（国交省九州地方整備局、2020）。これにより、球磨川本川にて浸水面積1020ha、家屋被害約6110戸、支川の川辺川でも130ha、約170戸の浸水被害が発生し、球磨川流域における犠牲者数は50名に達した（国交省九州地方整備局、2020）。また、今次水害により、17の橋梁が流失した。

本章では、球磨川流域の人的被害や浸水・建物被災状況を調査し、人的被害に及ぼす水理学的要因（浸水深や建物流失状況）を明らかにすることを目的とする。2020年度はコロナ感染拡大のため現地調査に大きな制約があったため、地元の研究者との連携や行政機関・マスメディアからの情報収集、インターネットを活用し、発災直後の被災状況の把握に努めた。

## 8.2 研究方法

## 8.2.1 球磨川流域の概要

球磨川は、幹川流路延長115km、流域面積1,880km<sup>2</sup>の一級河川であり、急峻な山々を上流域に抱える三大急流の一つである。流域の土地利用としては、山地が約83%、農地が約7%、市街地が約10%となっており、大部分が山地となっている。球磨川の河床勾配は、市房ダムから渡地点（52kp）までの上流域では1/200～1/600、渡地点から遙拝堰までの中流部で1/300～1/1000、遙拝堰からの下流部では1/7000となっている。上流部（52kp～）は球磨盆地、中流部（10～52kp）は幅の狭い狭隘河道、下流部（0～10kp）は八代平野を有し、ボトルネックとなりやすい盆地と狭窄部が存在する。支川は最大の川辺川を始め、万江川や山田川、川内川、油谷川などがある。

## 8.2.2 遠隔での被害情報収集

今次水害では、コロナ禍のため、発災直後は現地に行けずに、遠隔で情報収集した。人的被害については、熊本県「令和2年7月豪雨に係る熊本県災害対策本部会議」公開資料より、死者氏名、年齢、住所等を収集した。浸水情報は、国土地理院・浸水推定図で公開している浸水範囲の輪郭を取得した。さらに、輪郭線上の標高を浸水位として内挿して、地盤標高との差を取り浸水深マップを作成した。建物被

### 第3編

害については航空写真(令和2年7月豪雨に関する防災科研クライシスレスポンスサイト)から「流失」家屋を特定した。

#### 8.2.3 現地調査概要

洪水氾濫状況と建物被災状況を把握するための現地調査を2020/11/11-12, 11/25-26, 12/16-17の計3回実施した。調査対象地域は球磨川の9kpから62kpまでの区間とした。調査内容は、洪水痕跡調査と建物被害調査の2つとした。洪水痕跡調査では、犠牲者が発生した場所を中心として、RTK-GNSS(R10, Trimble社製)とスタッフを用いて浸水深と浸水位を測定した。調査地点数は計120点である。建物被害調査としては、ゼンリン住宅地図に示されている建物(小屋等の住宅以外の建築物も含む)を対象に、建物の状態を「流失」、「浸水有」、「浸水無」の3段階で評価した。また、私有地等において直接目視できなかった範囲については、被災後の航空写真を基に判定を行った。ここでの「流失」とは洪水流により家屋が完全に流されているケースだけでなく、原位置から離れて傾斜したケース、土砂で埋まっているケースとした。流失でない場合は、浸水範囲内の場合は「浸水有」、それ以外は「浸水無」とした。

### 8.3 洪水氾濫・建物被害状況

#### 8.3.1 河川水位の時間変化特性

まず、今次豪雨における洪水状況を把握するために、流域平均の時間・累積雨量及び河川水位の経時変化を図8.1に示す。この流域平均雨量は、流域内の雨量観測点(計22地点)の時間雨量を算術平均したものであり、累積雨量は2020/7/3 0時から求めた結果である。また、河川水位に関しては、球磨川本川の上流より一武(河口より68.7kp),人吉(62.0kp),渡(52.7kp),大野(39.9kp),横石(12.8kp),萩原(6.7kp)における10分ごとの実測水位(図中実線)と共に、各地点の計画高水位(HWL, 図中点線)を図示している。なお、今次豪雨では河川水位の欠測が多く、一武・人吉・渡・大野地点でも欠測した。このうち、一武・大野地点では、ロガーデータの記録値(国交省九州地方整備局, 2020)を用いて補間した。また、人吉地点については、500m下流の大橋地点における危機管理水位計の実測値を用いて、欠測期間(7/4 7:40以降)における水量が両地点で同一であると仮定して補間した。そのため、図中では、データ欠測は渡地点のみであり、欠測期間は7/4 7:40以降であ

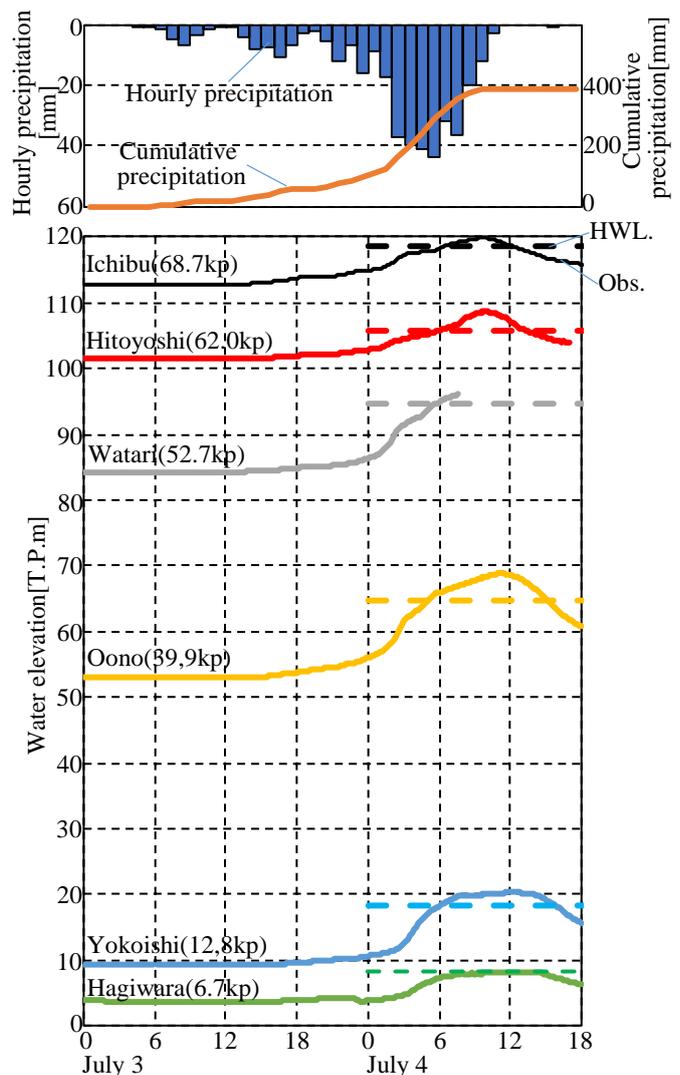


図8.1 時間・累積雨量(流域平均)と河川水位の時間変化(下図の実線は実測水位, 点線は各地点のHWLを各々示

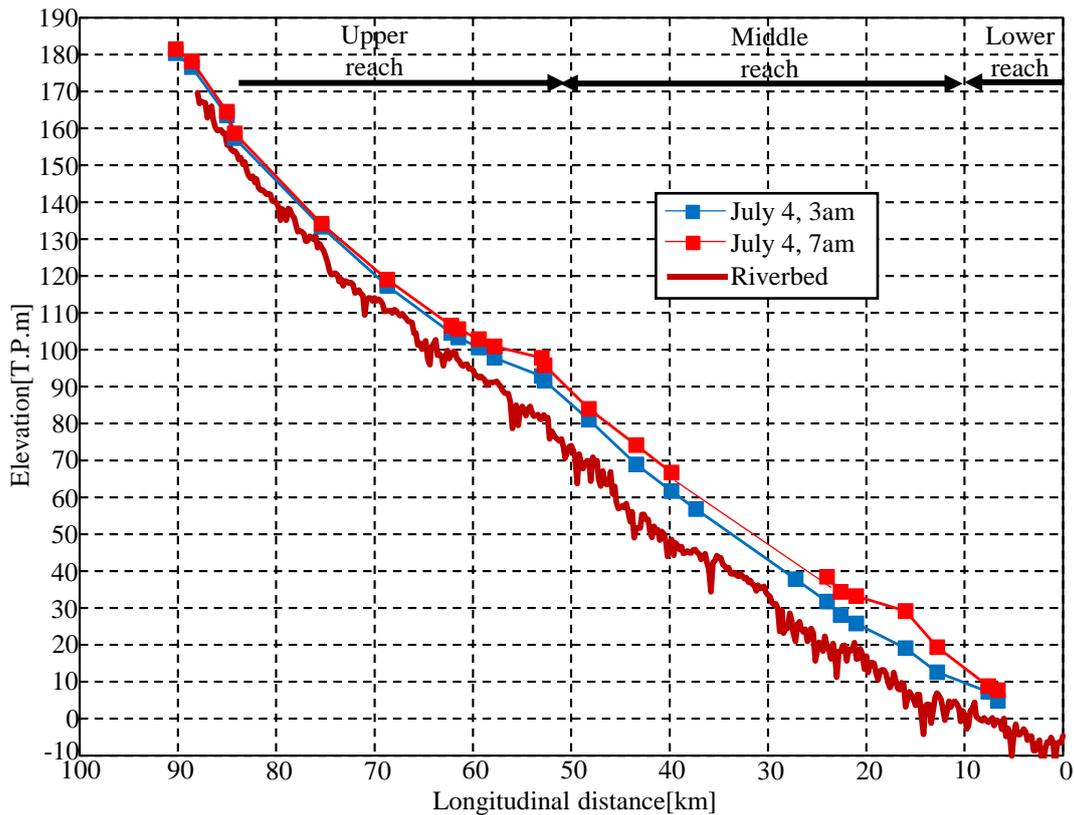


図 8.2 7/4 3時と7時における河川水位縦断分布

る。この図を見ると、7/3より断続的に雨が降り、7/4 2時～7時まで時間雨量は30mmを超え、ピークの時間雨量は同日5時の43.7mmであった。累積雨量は、トータルで390mmに達し、12時間雨量の最大値は310mmと計画雨量(261mm/12h)の約1.2倍に達した。

一方、河川水位に関しては、7/3午後から夕方にかけて、緩やかな水位上昇が上流、中流、下流地点と順番に見られた。7/4 0時頃より中流部の大野・渡地点において1時間で0.5m以上の水位急上昇が見られ、その後に上流の一武・人吉地点や下流の横石・萩原地点でも水位急上昇が記録された。雨が概ね止んだ7/4 9時過ぎにピークを迎え、各地点のピーク時刻は、一武9:30、人吉9:50、大野11:20、横石12:00、萩原12:20となった。このように上流・一武地点と下流・萩原地点のピーク時間差から求められる洪水波の伝播速度は5.44m/sと非常に大きく、非常に短時間に洪水波が伝播したことが分かる。萩原地点を除く水位観測地点におけるピーク水位は、HWLを長時間超えており、HWL超過開始時間は7/4 5、6時台と早朝であった。また、人吉・渡地点では堤防高を上回る水位を記録した。

### 8.3.2 河川水位縦断分布特性

次に、河川水位の縦断分布特性を把握するために、球磨川本川沿いの水位観測所における実測水位の縦断分布を図8.2に示す。ここでは、増水期前半(7/4 3時)と増水期後半(同7時)における実測値と最深河床(国交省九州地整提供)を図示する。本川沿いにおける従前の自記水位計の観測地点(多良木(84.2k p)、一武、人吉、渡、大野、横石、萩原地点)に加えて、危機管理型水位計17地点、合わせて24地点の結果を表示している。危機管理型水位計に関しては堤防高を基準とした水位が公開されているため、標高表示(T.P.)に直す際には、堤防高の実測値などから換算している。なお、この換算値は速報値であり今後変わる可能性があることに注意されたい。これより、全般的には水面は河床と概ね平

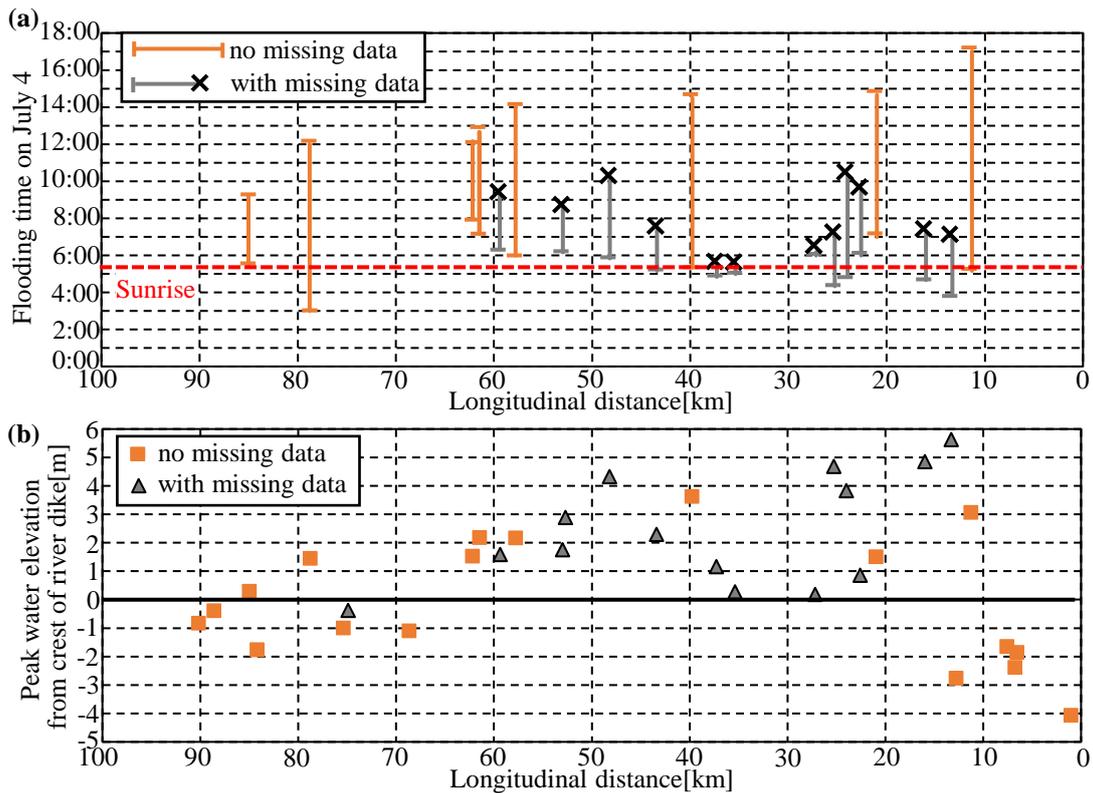


図 8.3 球磨川本川における氾濫発生期間(a)と堤防高を基準としたピーク水位(b)の縦断分布 (図中 (a): 氾濫発生期間の表示では、データ欠測無, 有の観測所はオレンジ, グレーで示し, データ欠測開始時を×印で表示する.)

行になっているが、52kpの狭窄部入り口から上流側の水面勾配が河床と比べて緩やかであり、その様子は7/4 3時時点よりも7時時点の方が顕著になっていることが分かる。これは狭窄部における水位上昇の影響が上流部にも伝播するバックウォーター現象が生じているためであり、この影響は少なくとも人吉地点(62kp)までは現れているものと考えられる。

次に、これら水位データを用いて、洪水氾濫がいつ、どこで発生したかを把握するために、氾濫発生期間と堤防高を基準としたピーク水位の縦断分布を図8.3に示す。ここでは、水位が堤防高を超えて氾濫発生した後にデータ欠測が発生したことを考慮し、図中(a)の氾濫発生期間についてデータ欠測の無かった地点ではオレンジの実線、データ欠測があった地点ではグレーの実線で分けて示し、かつ、データ欠測が発生した時刻を×印で明示している。また、図中(b)でもデータ欠測の有無に応じて、グレー、オレンジのマークで表示している。データ欠測があった地点では、データ欠測までの結果が示されているため、氾濫期間やピーク水位は過小評価していることに留意されたい。まず、52kpより上流域に着目すると、氾濫開始は、川瀬橋(78.8kp)を除くと5-7時台に集中しており、日の出時刻(5:14)より後に氾濫が発生している。この氾濫発生時刻は、85kp・大王橋では5:30、次に57kp護岸6:00となり、61.5kp・大橋では7:30となっており、単純に上流側からの洪水伝播だけない状況が読み取れる。氾濫期間は12-14時台まで継続しており、最大8時間の氾濫が確認される。上流域のピーク水位は、川辺川合流点(66kp)より上流地点の多くは堤防高基準のピーク水位は負になっており、氾濫発生は限定的である。一方、川辺川合流点(66kp)より下流側ではピーク水位は2-3mとなっており、一般的な越流水深が大きくて50m程度であることを考えると非常に大きな値であり、河道周辺の堤内地一帯が浸水した状況が伺える。なお、78.8kp・川瀬橋でのデータは氾濫発生が非常に早いこととピーク水位も大きく、周辺の観測地点とは異なる結果となっており、今後データが必要である。

### 第3編

次に10kp～52kpの中流域に着目すると、氾濫開始は早くて3:50であり、4時台を記録した観測地点が13-37kpに集中して存在している。これより、このエリアでは日の出前に氾濫が開始したことを意味する。氾濫は14時から17時まで継続しており、上流域よりもより長時間にわたり氾濫が生じていたことが分かる。また、堤防高基準のピーク水位は3mを超える地点が多く、最大値は深水橋(13.3kp)にて5.6mを記録した。この深水橋ではデータ欠測が生じたため、実際はもっと大きなピーク水位であったと考えられる。

最後に下流域(～10kp)では、ピーク水位は堤防高よりも低く、外水氾濫は発生していない。以上より、洪水氾濫は上・中流域の非常に広い範囲で発生しており、そのピーク水位や氾濫発生期間は中流域でより顕著であったことが分かる。なお、このような大規模な洪水氾濫に伴って、多くの自記水位計の欠測が発生した。球磨川本川沿いの水位欠測地点は、従前の自記水位計では8地点中5地点、危機管理型水位計では24地点中13地点となっている。氾濫発生前のデータを計測・発信できている地点が多いが、いざ氾濫が起こると欠測が生じるのは危機管理上問題があり、氾濫時も想定した水位計の設置位置の見直しは急務の課題である。

#### 8.3.3 洪水氾濫状況

今次水害における洪水氾濫状況を把握するために、球磨川上流域における浸水深・浸水位コンターを図8.4に示す。コンター作成に当たっては、本調査団の九大・矢野先生、田井先生、山口大・朝位先生、赤松先生、東京理科大・二瓶の各研究グループにより観測された痕跡浸水深・浸水位をベースに算出した(観測点数 $n=301$ )。ここでは、まず実測の「点」浸水位を空間的に内外挿し、得られる「面」浸水位コンターを求める。その面浸水位と標高データ(DEM, 5m解像度)の差から「面」浸水深コンターを算定している。ただし、痕跡調査の範囲が52-62kpに集中しているため、他のエリアでは、国土地理院が発災直後に公表した浸水推定図に示されている「浸水範囲の輪郭線」を用いた。具体的には、浸水範囲の水際(=輪郭線上)の標高が周辺の浸水位と等しいと仮定して浸水位をGIS上で内挿し、地盤標高との差から浸水深を求めた結果である。なお、国土地理院の浸水推定図と国交省による浸水範囲(国交省九州地整, 2020)を比較し、国土地理院データが過小評価している領域については、国交省データと一致するように修正した。また、川辺川周辺でも浸水しているが、一部しか図化できていないことにも注意されたい。なお、浸水深マップは球磨川全域にわたり作成しているが、ここでは、大きな被害が発生した上流部の51～63kpのみを表示している。また、浸水深マップ中のみ、実測の点浸水深データも図示している。

これより、まず、浸水深マップに関しては、人吉市街地を含む広い範囲で浸水しており、狭窄部入り口(52kp)に近づくほど浸水深は大きくなっている。実測浸水深の最大値は球磨村渡地区において8.4mを記録しており、これは、家屋3階分(1階分を高さ3mと想定)に相当している。このような8mを超える浸水深は、人家を含むエリアの洪水氾濫としては近年まれに見る記録的な浸水深と言える。また、浸水深5mを超える範囲は52～59kpと広い範囲に存在しており、これは狭窄部におけるバックウォーターの影響を受けているためと考えられる(図8.2)。浸水深5mは家屋の2階でも大人が十分立ってられない水深であるので、1階から2階への垂直避難が通用しない洪水氾濫が広範囲に発生したことが分かる。球磨川に合流する支川周辺でも浸水が発生しており、特に、合流部近傍の浸水深が大きくなっていることも特徴的である。これは本川水位上昇によるバックウォーター現象が支川にも波及しているためであり、本川狭窄部→本川上流部→支川とバックウォーター現象が連鎖的に発生していることが今次豪雨の球磨川でも見られた。

第3編

次に、浸水位コンターを見ると、氾濫域における縦断方向の水面勾配は 52～59kp までは緩やかであり、59kp より上流では相対的に急になっている。また河川横断方向には概ね一様な浸水位となっている。これは球磨川本川と周辺の氾濫域全体が「一つの大きな河道」となって洪水が流下したためであると考えられる。なお、河道と氾濫域における浸水位の横断分布を詳細に見ると、上記のように概ね一様であるが、大橋（61.5kp）付近では河道内の方が氾濫域よりも高かった（図面省略）。これは橋梁自体や橋梁に捕捉された流木による流体抵抗に伴う局所的な水位上昇が影響している。

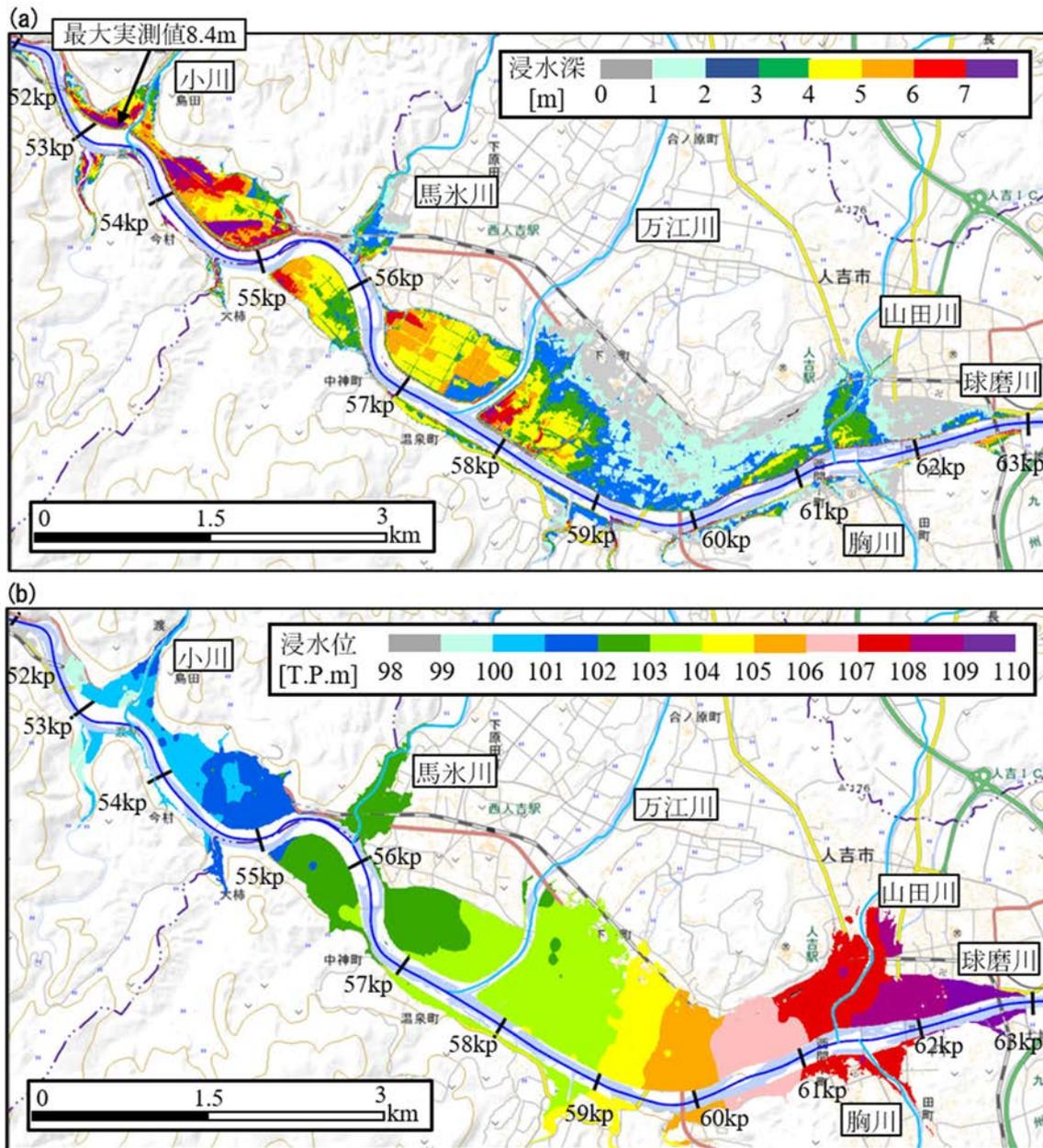


図 8.4 球磨川 51～63kp 周辺における浸水深コンター(a)と浸水位コンター(b)

得られた浸水深コンターより、球磨川流域全体における氾濫面積と氾濫水量を求めた結果、それぞれ約 10.4km<sup>2</sup>、2.5 千万 m<sup>3</sup>であった。この比より氾濫域における平均浸水深が得られ、今次水害における平均浸水深は 2.43m となり、近年の洪水と比べて浸水深が大きな洪水氾濫であったことが分かる。

8.3.4 建物被害

第3編

今次水害では、前述のように自宅流失に伴う人的被害が大きな特徴の一つであったことから、球磨川本川沿いにおける建物被害マップを図8.5～7に示す。ここでは、建物被害として「流失」を赤丸、「浸水有」を青丸で表示している。また、橋梁被害も合わせて表示している。まず、9～29kp（図8.5）に着目すると、13kpより下流では、家屋被害は「浸水有」のみとなっているが、13kpより上流では浸水有だけでなく、「流失」はスポット的に発生して、17-20kp、24-26kpで多い。ただし、流失が左右岸や外岸・内岸のいずれかに集中している様子は見られない。被害形態としては、写真①のように、洪水流により1, 2階ともに窓や壁面が突き抜けている大規模な損壊も多く見られた（ここでは浸水有と判定）。また、「流失」としては写真②のように建物の一部が水平移動するパターンが散見された。また、油谷川等の支川沿いにおける流失発生も多いことが分かる。

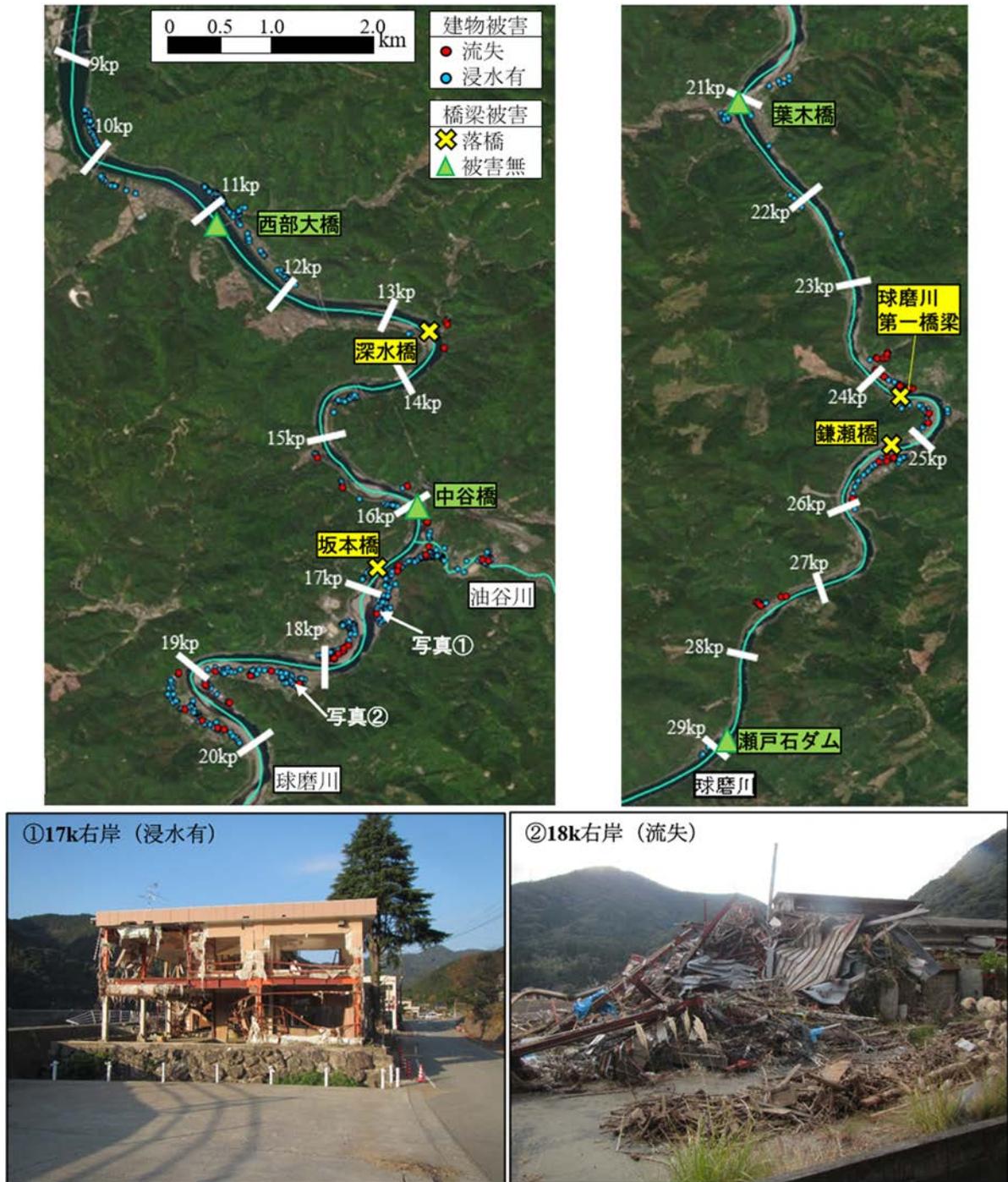


図8.5 建物被害・橋梁被害マップ（左：9～20kp，右：21～29kp）

第3編

次に29～51kp（図8.6）を見ると、上記の9～29kpと同様に、本川沿いの建物は「浸水有」が多く、「流失」が散在している。支川沿いの家屋被害が多く、写真③のように、土砂で埋没している家屋が多く存在した。このように中流部に合流する支川の多くでは土砂・洪水氾濫が発生し、甚大な建物被害につながった。また、写真④では建屋ごと流失しており、周囲では側岸侵食による護岸崩壊も発生した。この地点では家屋流失による人的被害も発生した。



図 8.6 建物被害・橋梁被害マップ (29～51kp)

最後に 52kp～63kp の結果（図 8.7）に関しては，上流側から狭窄部入口の 52kp に近づくにつれて流失の発生が顕著になっており，特に 52～57kp では浸水範囲全体において流失が発生している．また，57kp より上流部でも非常に多くの建物の浸水が発生し，流失は本川付近や支川（山田川）沿いに限定されていることが分かる．

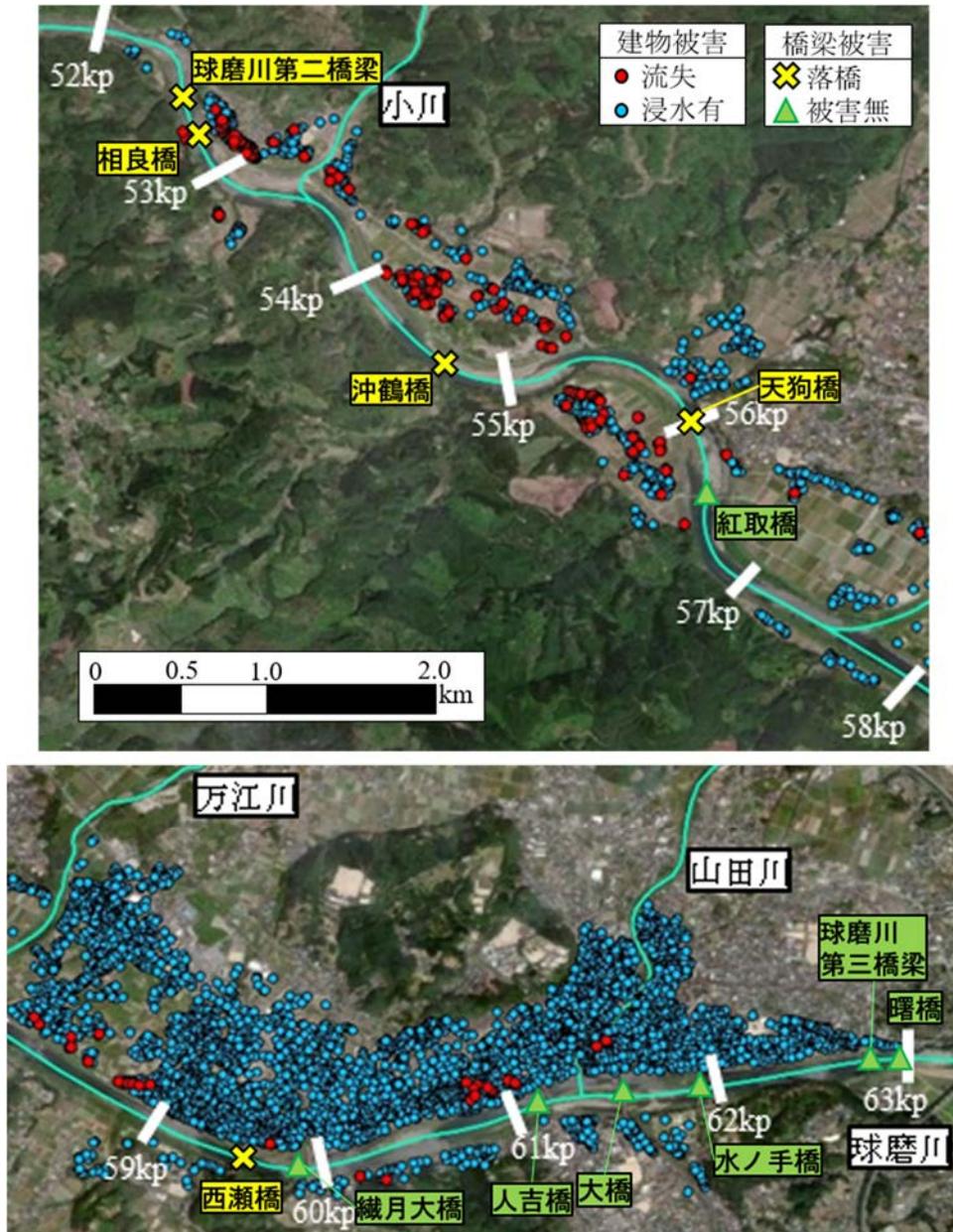


図 8.7 建物被害・橋梁被害マップ（52～63kp）

このような建物被害を定量的に検討するために，本川沿いにおける建物流失数の縦断分布を図 8.8 に示す．ここでは，縦断方向 1km 毎に右岸・左岸の建物流失数の和及び流失率（流失建物数を浸水範囲の建物数で除したもの）と共に，流入支川分も表示している．なお，主な被害が確認された 10kp～62kp を対象範囲として図示している．これより，まず，本川における流失建物数としては，52kp～55kp の上流域において顕著となり，1km 当たり 40 棟を超える箇所も存在している．また，10～52kp の中流域では，広い範囲に建物流失が発生しているが，家屋自体が少ないため上流域よりは流失数は小さい．中流域の中では 17-19kp（八代市坂本町）や 24-26kp と比較的下流に近いエリアの被害が大きい．一方，本川沿いの流失率に関しては，上流域では最大で 40% を超えており，流失数と同様に大きな値を記録している．

### 第3編

中流域の流失率は、49-50kp で 100%となっているが、これは家屋数自体が 2 棟であった。その地点を除いても流失率 20%を超える箇所が 34-36kp, 43-45kp で見られ、中流域の中では相対的に上流側のほうが顕著であった。また、支川の建物被害は本川と同程度であり、特に川内川で顕著であった。

被害にあった建物に関しては、人が主に住みかとしている母屋等の「主建物」ばかりではなく、物置や小屋などの「附属建物」が散見された。この主建物と附属建物の流失数をまとめた結果を図 8.9 に示す。ここでは、本川沿いの中流域（10-52kp）と上流域（52-62kp）、支川沿いに分けて図示している。これより、流失数としては、主建物は 101 棟、附属建物は 202 棟、合計 303 棟であった。また、流失した主建物の内訳としては、本川上流が主となっているが、本川中流や支川も約 1/4 ずつであった。この中で人的被害が発生したのは、43-44kp 左岸（2 棟）と 59-60kp 右岸（1 棟）のみであり、水平避難が遅れていれば、さらなる人的被害発生につながった可能性が高い。

建物被害状況を詳細に検討するために、最大の被害があった球磨村渡地区・茶屋集落における建物被害・浸水深マップを図 8.10 に示す。これより、狭窄部入り口（図中点線）において、帯状に多くの建物が流失した。ここは、JR 肥薩線線路と河川堤防に挟まれた低地かつ狭窄部入り口という特殊な地形が高速流を生み、建物流失に至ったものと推察される。

#### 8.4 人的被害状況

人的被害の発生位置は、上流部人吉市が最大の 25 名、中流部球磨村が 20 名と続く。球磨村では特別養護老人ホーム・千寿園の入所者 14 名が犠牲となった。また中流狭隘部の芦北町や八代市・坂本町でも計 5 名が亡くなった。この犠牲者の被災状況をまとめたものを図 8.11 に示す。ここでは、犠牲者の年齢、被災場所・要因、浸水開始時間、浸水深を円グラフで表示している。このうち、浸水開始時間と

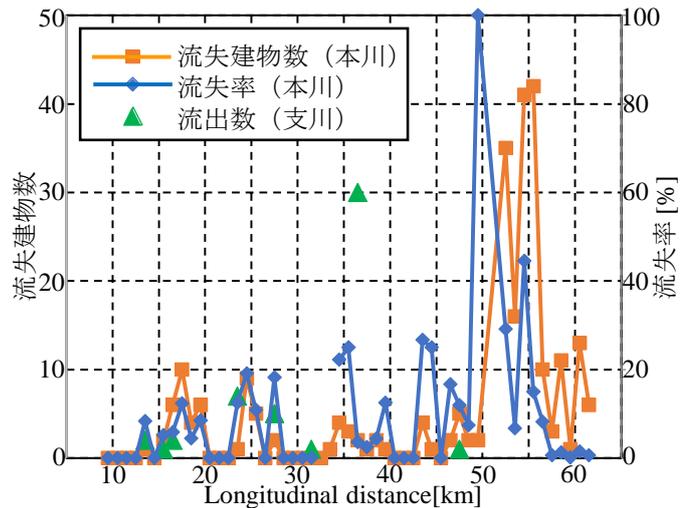


図 8.8 流失建物数（本川・支川）と流失率（=流失数/浸水範囲の家屋数，本川）の縦断分布

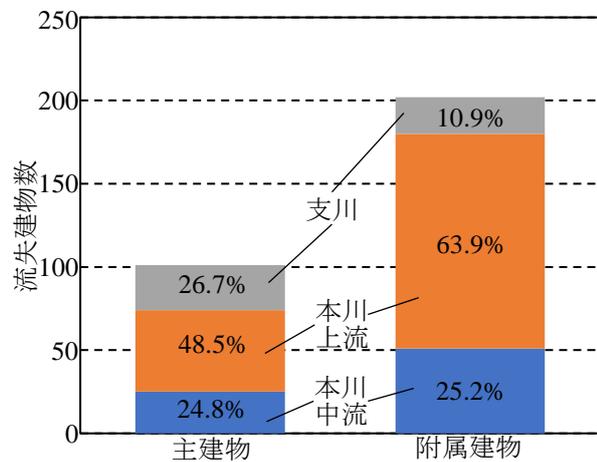


図 8.9 主建物・附属建物別の流失建物数

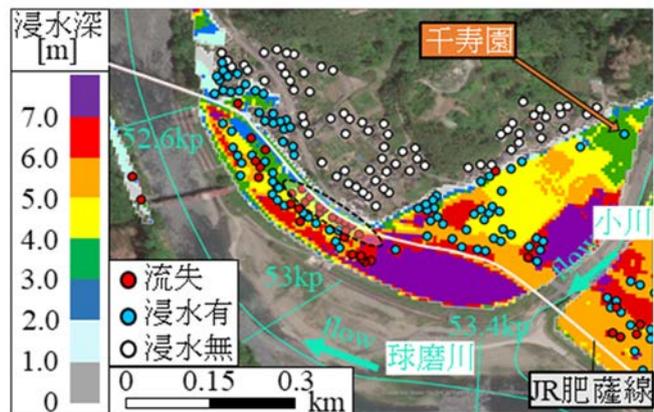


図 8.10 球磨村渡地区の建物被害・浸水深マップ

第3編

浸水深は、被災場所における各々の結果であり、浸水開始時間は洪水氾濫シミュレーション結果（上流域）と水位観測結果（中流域）、浸水深は痕跡調査結果に基づいている。まず、年齢としては、全員50歳以上であり、最も多い年代は80歳代であった（44%）。また、65歳以上の高齢者は43名（86%）、75歳以上の後期高齢者は35名（70%）であり、これまでの水害と同様に、高齢者が大半を占めていることが分かる。

被災場所（犠牲者が発災時にいたと思われる場所）は、同図(b)に示すように、自宅が44名、屋外（自宅前）が4名、不明は2名であった。これより自宅内やすぐそばが48名（全体の96%を）となり、大半の犠牲者が自宅に滞在し、水平避難をしなかった、もしくは試みたが間に合わなかったと考えられる。自宅内の発見場所としては、44名中1階が35名、2階が2名、自宅流失が7名であった。1階で発見された方の自宅は平屋が14名、2階建てが21名であり、垂直避難すらできなかった状況が過去の災害（2018年西日本豪雨や2019年台風19号）と同様に見られた。この21名中14名は前述の千寿園の入所者であり、要支援者の事前避難はもちろんのこと、万が一に備えた効果的な避難誘導対策の重要性が示唆された。また今次水害では2階建ての自宅2階で被害を受けたことや自宅流失の被害が多いことも大きな特徴であり、垂直避難が通用しない災害であったことが分かる。

次に、浸水開始時間としては、日の出前の4時台が3名（6%）おり、これはいずれも八代市・坂本町在住であった。また、日の出頃に相当する5時台は18名（36%）存在し、場所は上流・中流に分布している。また、6時台は11名（22%）、7時台は16名（32%）であり、5時台も含めると全体の90%は朝早い時間（AM5～7時頃）から浸水したことが分かる。そのため、浸水時には真っ暗闇という状況では

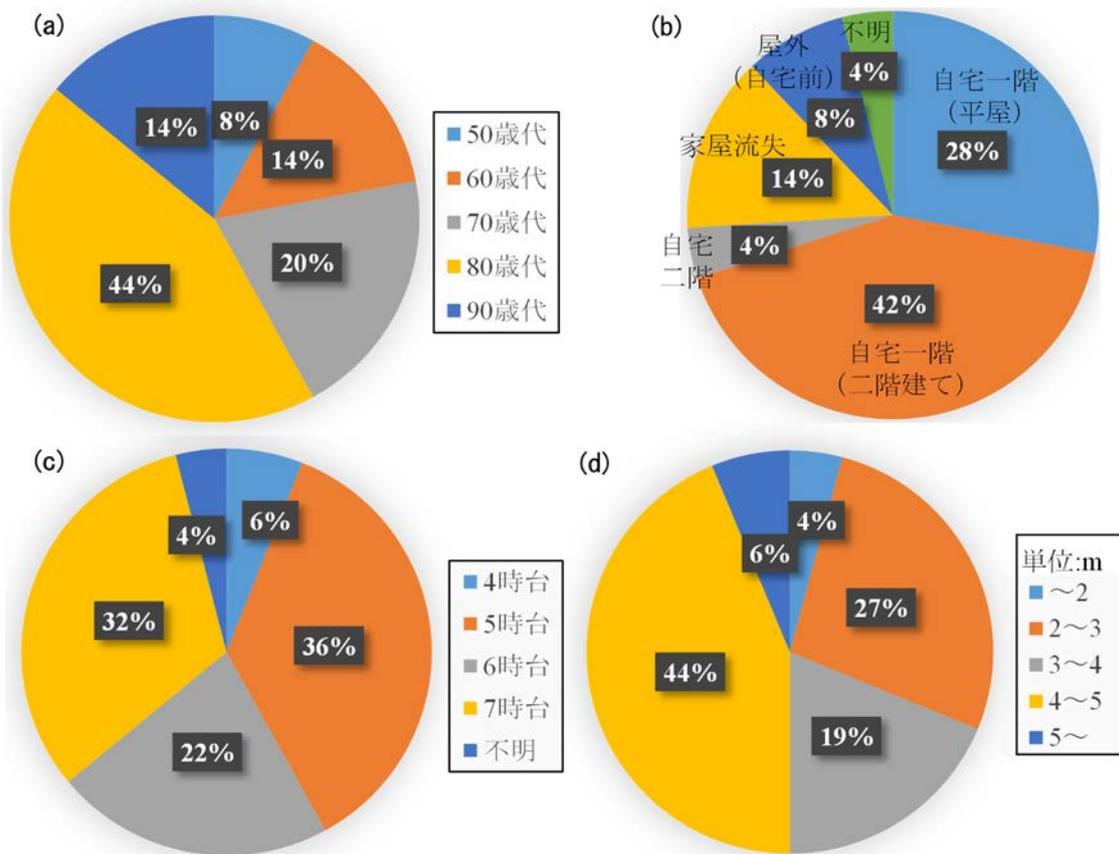


図 8.11 人的被害発生状況 ((a)年齢, (b)被災場所・要因, (c)浸水開始時刻, (d)浸水深)

### 第3編

なく、多少の光があったものと推測されるが、それでも垂直避難すらできなかった状況が発生したこととなる。この中には、就寝中で浸水発生に気づけなかった方もいるものと推測され、前日夜（就寝前）までに大雨予報が出れば住民の備えも変わったと推察される。

最後に、被災場所の浸水深としては、浸水深 2m 以下も 4%(2名)いるが、大多数は 2m 以上となっていることが分かる。このように、目安の下限値 2m は屋内の床面基準では 1.5m 程度の水深に相当しており、大人が立てるかどうかの浸水で人的被害が発生していることが分かる。また、今次水害では浸水深 5m 以上の犠牲者は 3 名おり、そのうち 2 名が自宅二階で発見された。このように、今次水害では、広範囲に 5m 以上の浸水が発生し、それによる人的被害が発生していることが確認された。

## 8.5 まとめ

本章で得られた知見は、以下のとおりである。

- ・河川水位のピーク時刻は、一武 9:30、人吉 9:50、大野 11:20、横石 12:00、萩原 12:20 となり、上流・一武地点と下流・萩原地点のピーク時間差から求められる洪水波の伝播速度は 5.44m/s と非常に大きく、非常に短時間に洪水波が伝播した。
- ・氾濫開始時間は上流域では 5-7 時台に集中しており、日の出時刻（5:14）より後に氾濫が発生していた。一方、中流域では、氾濫開始は早くて 3:50 であり、4 時台を記録した観測地点が 13-37kp に集中して存在しており、日の出前に氾濫が開始していた。
- ・上流域では、浸水深 5m を超える範囲が 52~59kp の広い範囲に存在していた。浸水深 5m は家屋の 2 階でも大人が十分立ってられない水深であるので、1 階から 2 階への垂直避難が通用しない洪水氾濫が広範囲に発生したことが分かる。また、球磨川に合流する支川周辺でも浸水が発生しており、本川狭窄部→本川上流部→支川とバックウォーター現象が連鎖的に発生していることが示された。
- ・建物被害のうち「流失」建物数は全体で 300 棟超に達し、そのうちの約 1/3 は主建物であった。また、流失建物は球磨川の全域で発生し、52kp よりも本川沿いの上流域が約半分、10~52kp の中流域で約 1/4 であり、残りの 1/4 は支川沿いであり、これは土砂・洪水氾濫により生じた。
- ・球磨川流域における今次水害における人的被害の特徴としては、50 名という甚大な被害が発生したことに加えて、家屋流失による犠牲者 7 名と自宅 2 階で発見された 2 名がいたという垂直避難が通用しなかった事例（50 名中 9 名、18%）が多く発生したことが挙げられる。

これらの結果に基づく今後に向けた提言は、以下のとおりである。

- ・今次水害のような大規模洪水氾濫に伴って、多くの自記水位計の欠測が発生した。球磨川本川沿いの水位欠測地点は、従前の自記水位計では 8 地点中 5 地点、危機管理型水位計では 24 地点中 13 地点に達した。氾濫発生前のデータを計測・発信できている地点が多いが、いざ氾濫が起ると欠測が生じるのは危機管理上問題があり、氾濫時も想定した水位計の設置位置の見直しは急務の課題である。特に、山間部を流れる狭隘河道部における水位計の設置体制に関しては見直しが必要であり、人工衛星を用いたリモートセンシングなどの新技術の本格導入が求められる。
- ・今次豪雨の浸水被害は、「支川の合流点」や「狭窄部の上流」という過去にも繰り返し発生したエリアで生じ、結果として甚大な人的被害に結び付いた。このような浸水時の人的被害リスクが高い「水害ホットスポット」を抽出し、土地利用規制の導入（新規建築の禁止等）や積極的な移転促進などを行う必要がある。

### 第3編

・要支援者・配慮者の被害が後を絶たない現実を考えると、水害を含む災害リスクの低いエリアに高齢者福祉施設への誘導を行うことが不可避である。また、施設内での垂直避難を有効に行う対策も必要不可欠であり、その一つとして救命胴衣の利活用は有効である。

・早めの水平避難は原則であるが、氾濫開始が7/4の未明から早朝にかけて行ったことを考慮すると、前日夜の就寝前までに避難の判断が可能な情報発信が必要である。そのため、気象予報の中でも災害に直結する大雨が何パーセントの確率で発生するかという確率予報を行う必要がある。また、避難判断に直結する氾濫危険水位や氾濫発生に至る雨量（日雨量や12時間雨量など）を算出し、開示することが重要である。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局にはデータ提供等で多大な協力を得た。また、痕跡浸水深の実測データの多くは、九州大学・矢野真一郎教授、田井明准教授、山口大学・朝位孝二教授、赤松良久教授、白水元助教、福岡大学・橋本彰博准教授、群馬大学・鶴崎賢一准教授、鹿児島大学・斉田倫範准教授、日本ミクニヤ(株)の皆様による調査結果をご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

国土交通省九州地方整備局、熊本県：第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料（令和2年8月25日），2020。

国土地理院：令和2年7月豪雨に関する情報，浸水推定図，[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9)。

内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況について（令和3年1月7日現在），2021。



## 第9章 神社仏閣の分布から見る球磨川の浸水状況の調査

福岡工業大学 森山 聡之

### 9.1 はじめに

近年、台風やゲリラ豪雨による大規模かつ突発的な豪雨によって、毎年のように各地で河川が氾濫し被害をもたらしている。気候変動の問題はこれらの災害が増加する要因として考えられており、実際に日本でも気温の上昇や降水日が減少する一方で一回の降雨量が増加するなどの傾向が見られる（環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁，2018）。これらの傾向は流域の複合的な水害や土砂災害を招き、甚大な被害が各地で発生することが懸念され現状の把握と対策が必要であると考えられる。

一方で、「水害による被害は年々増加拡大している」という認識を持つ人も少なくない。セコム株式会社が2019年に実施した「防災に関する意識調査」では、今後災害の増加や被害の拡大の可能性があるかと思うかという問いに対し88.2%が懸念すると回答した（セコム株式会社，2019）。実際に被害が増加拡大しているかについては様々な調査方法が考えられるが、本調査では神社仏閣の浸水状況を一つの指標として捉え水害の拡大傾向について考察する。

一般的に神社は災害に強い土地に位置するといわれており、実際に東日本大震災では多くの神社が津波の被害から免れた事が指摘されている（高田・梅津・桑子，2012）。神社のこのような特性は、被害状況の変化や気候変動の影響が出始めているかを示す一つの指標となると考え、球磨川流域の人吉市を対象に調査を行った。

### 9.2 目的

神社仏閣の分布と浸水状況から令和2年7月豪雨の被害を考察し、浸水区域と神社の関係や特徴について推測する。

### 9.3 方法

#### 9.3.1 災害調査の手法

神社仏閣の分布と浸水状況を視覚的に表現する方法としてはGISを用いた地図の作成が有効であると考え、今回はArcGIS Proを用いた。地図作成に必要な情報は、令和2年7月豪雨の浸水状況については国土地理院より公開されており（国土地理院，2020b）、その他ハザードマップや避難所等の必要な情報についても国土交通省の公開している国土数値情報ダウンロードサービス（国土交通省，2020）を用いて入手した。一方で神社仏閣に関しては文献調査を基に神社仏閣の住所を調査しジオコーディングを行い、緯度経度に変換した。文献には全国神社名鑑（全国神社名鑑刊行会史学センター，1997）、寺院大鑑（寺院大鑑刊行会:久遠出版，1994）を用い、文献より人吉市に位置する神社仏閣の住所を調査しExcelに記録、csvファイルに変換後、国土地理院の公開している地理院地図（国土地理院，2020a）にデータを読み込ませる手法で行った。地理院地図には住所を含むcsvデータを読み込ませることで自動的にジオコーディングを行うことのできる機能があり、また作成したデータをKML形式で保存することも可能なため、円滑にArcGIS Proに読み込ませることができた。

### 第3編

#### 9.3.2 GIS を用いた比較調査

9.3.1 の方法で入手したデータを ArcGIS Pro 上に表示した (図 9.1)。 図 9.1 には作成した神社の位置, 仏閣の位置のデータ, 国土交通省の公開しているデータ (国土地理院, 2020b) からは令和 2 年 7 月豪雨の浸水状況, 国土数値情報ダウンロードサービスからは土砂災害警戒区域, 洪水浸水想定区域, また神社仏閣の分布との比較対象として避難施設, 市町村役場等及び公的集会施設のデータを用いた。

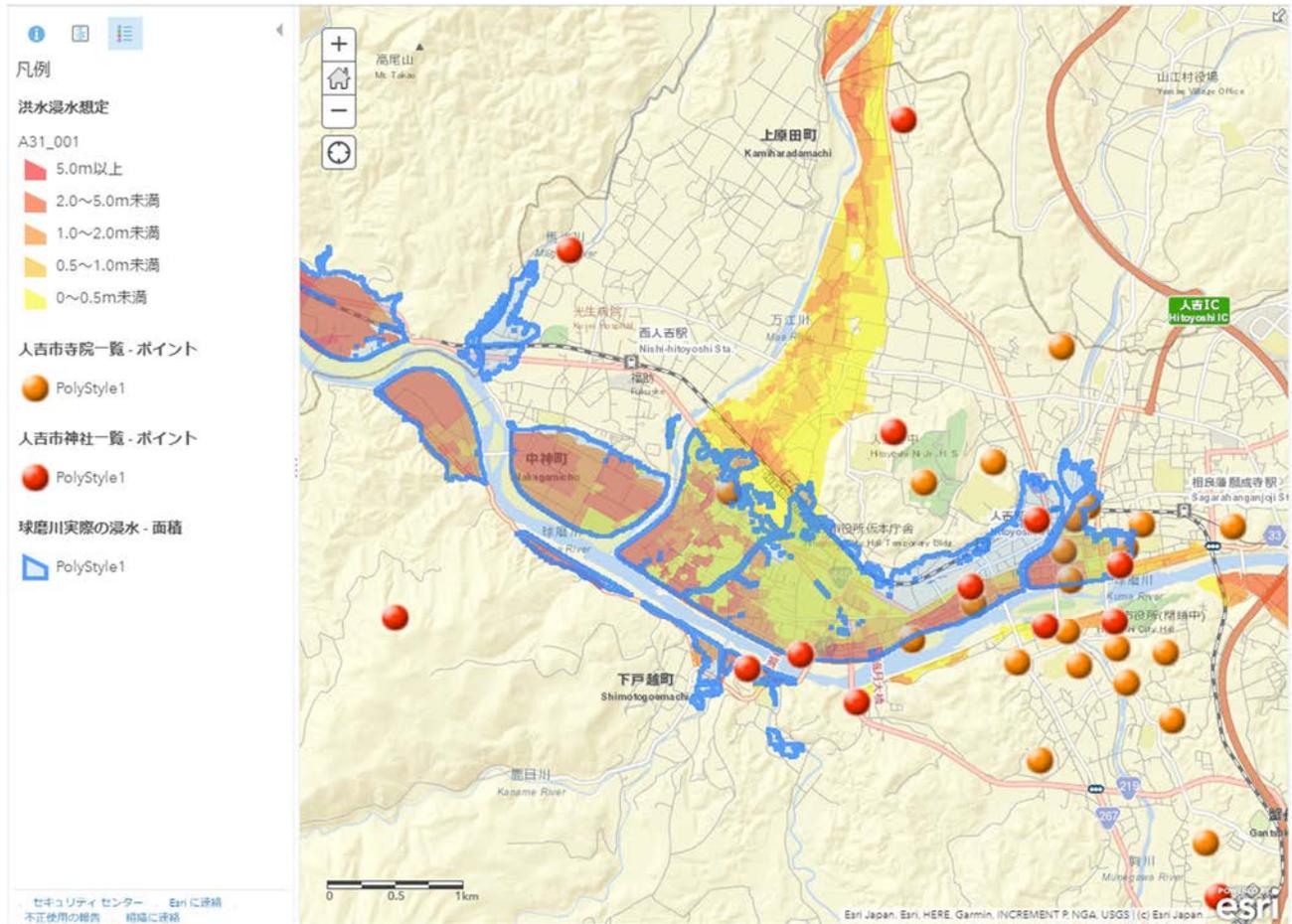


図 9.1 球磨川の浸水状況と神社仏閣の位置

## 9.4 結果

### 9.4.1 祭神

今回調査した神社についてまとめたものを表 9.1 に示す。祭神は阿蘇神社の祭神である建磐龍命 (タケイタワツノミコト) や, 瓊瓊杵命 (ニニギノミコト), 菅原道真など, 五穀豊穡や学業成就を願う神社が多かった。東日本大震災で被害を受けにくかったとされる須佐之男命 (スサノオノミコト) を祭る神社など水害に関連する祭神は見られなかった。

### 9.4.2 浸水率

実際に神社がどの程度水害を避けているのかを捉えるため, 避難所と比較しその浸水率を調査した。浸水率は図 9.1 と図 9.2 を参考に GIS 上で表示される人吉市の神社や避難所の数と, 図の実際の浸水線の内側に位置する数を用いて独自に求めた。神社は 16 社中 4 社が浸水しており浸水率は 25%, 避難所は 116 か所中 29 か所が浸水しており浸水率は 25%となり, 神社と避難所の浸水率は偶然であろうが一致する結果となった。

表 9.1 人吉市の神社一覧

神社名	創建	祭神	本殿の向き	包括	住所
相良神社	1880年	相良家歴代当主	南	神本	熊本県人吉市麓町35-1
老神神社	807年	瓊瓊杵命(霧島神宮と団体)	東	神本	熊本県人吉市老神町22
若宮神社	1331年	若宮八幡大神、菊池惟威	不明	神本	熊本県人吉市五日町76
井口八幡宮	1247年	応神天皇	東	神本	熊本県人吉市井口町949
青井阿蘇神社	806年	健甕龍命、阿蘇津媛命、國造連甕玉命	南東	神本	熊本県人吉市上青井町118
岩屋熊野座神社	1233年	伊邪那美命、速玉男命、事解男命	西	神本	熊本県人吉市東間上町3799
赤池菅原神社	不明	菅原道真	不明	神本	熊本県人吉市赤池水無町590
中島阿蘇神社	不明	建甕龍命、阿蘇津姫命、國造連甕玉命	南	神本	熊本県人吉市下田代町1335
薩摩瀬神宮	不明	瓊瓊杵命	南西	神本	熊本県人吉市上薩摩瀬町334
矢黒神社	不明(806年?)	三十一社の分霊	北東	神本	熊本県人吉市矢黒町1861
唐渡神社	不明	菅原道真	北	神本	熊本県人吉市下戸越町唐渡神1056
遙拜阿蘇神社	806年または1260年	建甕龍命はじめ家族神十二神(阿蘇神社と団体)	西	神本	熊本県人吉市上林町610
原田菅原神社	不明	菅原道真	不明	神本	熊本県人吉市下原田町字西門17
白木神宮	不明	不明	北東	神本	熊本県人吉市中神町大柿656
金光教人吉西教会	不明	—	—	金光	熊本県人吉市駒井田町1058-22

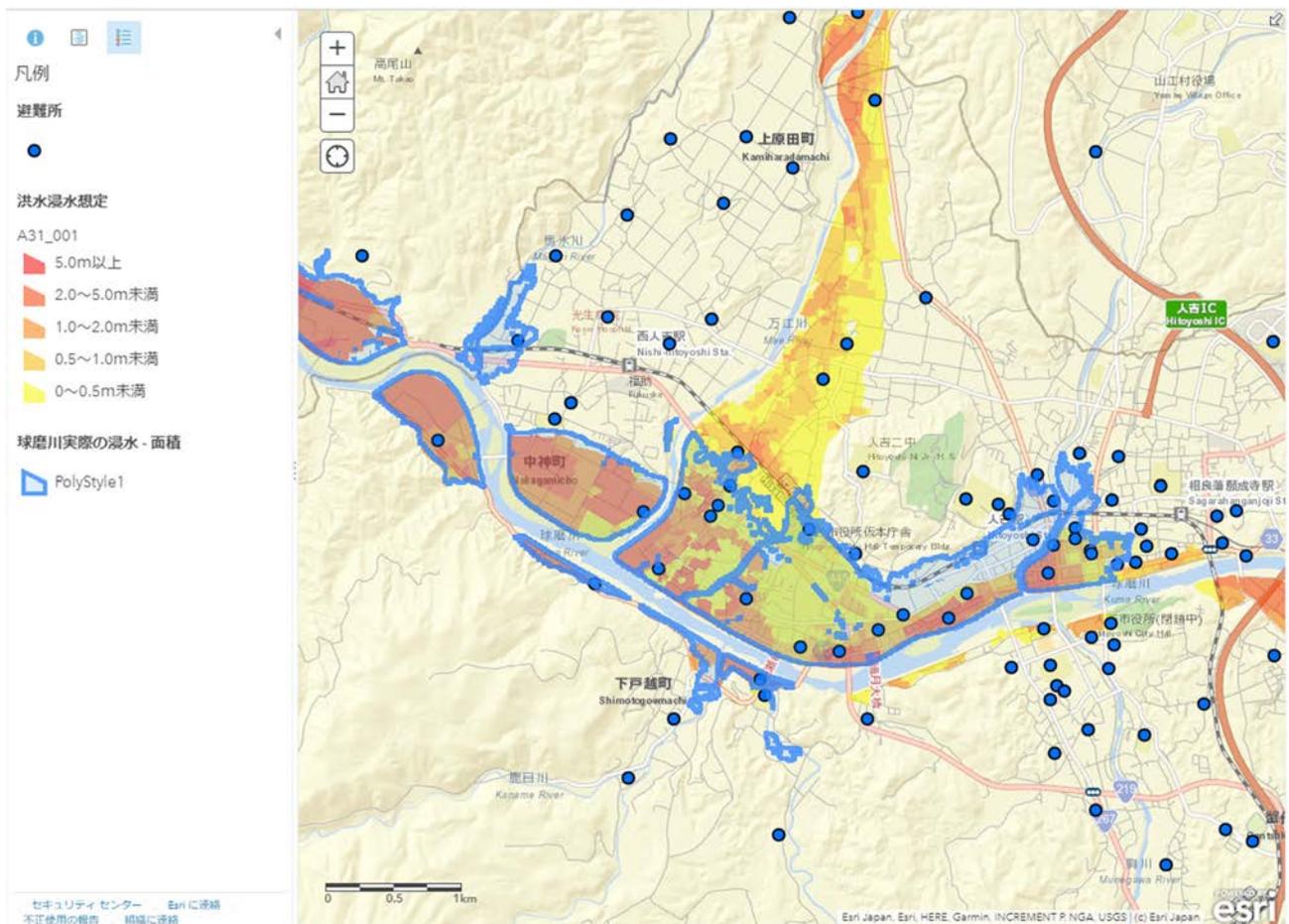


図 9.2 球磨川の浸水状況と避難所の分布

### 9.4.3 本殿の向き

本殿の向きの調査にあたっては Google マップのストリートビュー機能を用い方角を推定した。図 9.3 に示すように方角が推定できた多くの神社で本殿は球磨川や支流の方角をむいていることが分かった。

### 9.4.4 成立年代の古い神社の配置

神社は延長 5 年 (927 年) に編纂された延喜式神名帳に記載されたものを式内社、当時から存在した

### 第3編

が延喜式神名帳に記載されなかったものを式外社として区別することができる。人吉市にはこれと同年代またはそれ以前に成立した神社が3社存在しており（うち1社は諸説あり）、3社を抽出して図9.4に示した。選出した3社は他の神社と比較して市の中心部に位置しており、同時に球磨川に近い場所にも位置していることが分かった。

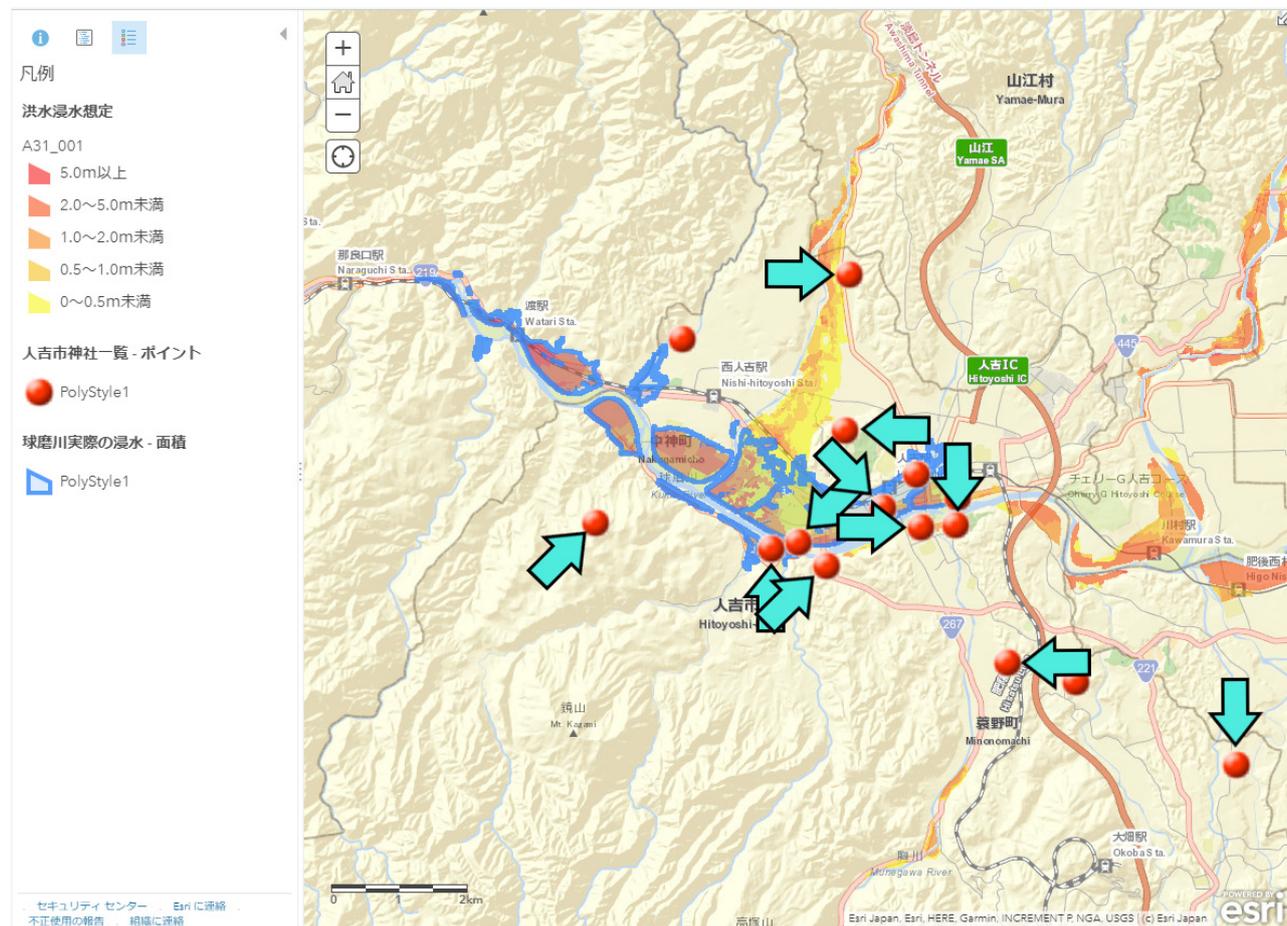


図 9.3 球磨川の浸水状況と神社の本殿の向き

### 9.5 考察

本殿の向きが球磨川の方向を向いていることや神社自体が川の近くに位置していることから、祭神として祀られていないとしても、人吉市の神社と球磨川には関連性があり人々が球磨川とともに生活してきた中に神社の存在があった可能性が考えられる。また9世紀までに成立したような古い神社が球磨川の近くに位置し続けていることから、成立当時と比較した場合大きな浸水範囲の拡大は起こっていないと考えられる。

### 9.6 結論

本殿の向きや神社の配置から、人吉市において球磨川の氾濫と神社の配置がある程度関連していることが考えられる。また神社全体の浸水状況から、令和二年7月豪雨では過去約1200年間と比較して大規模な浸水は起こっていない可能性が高い。

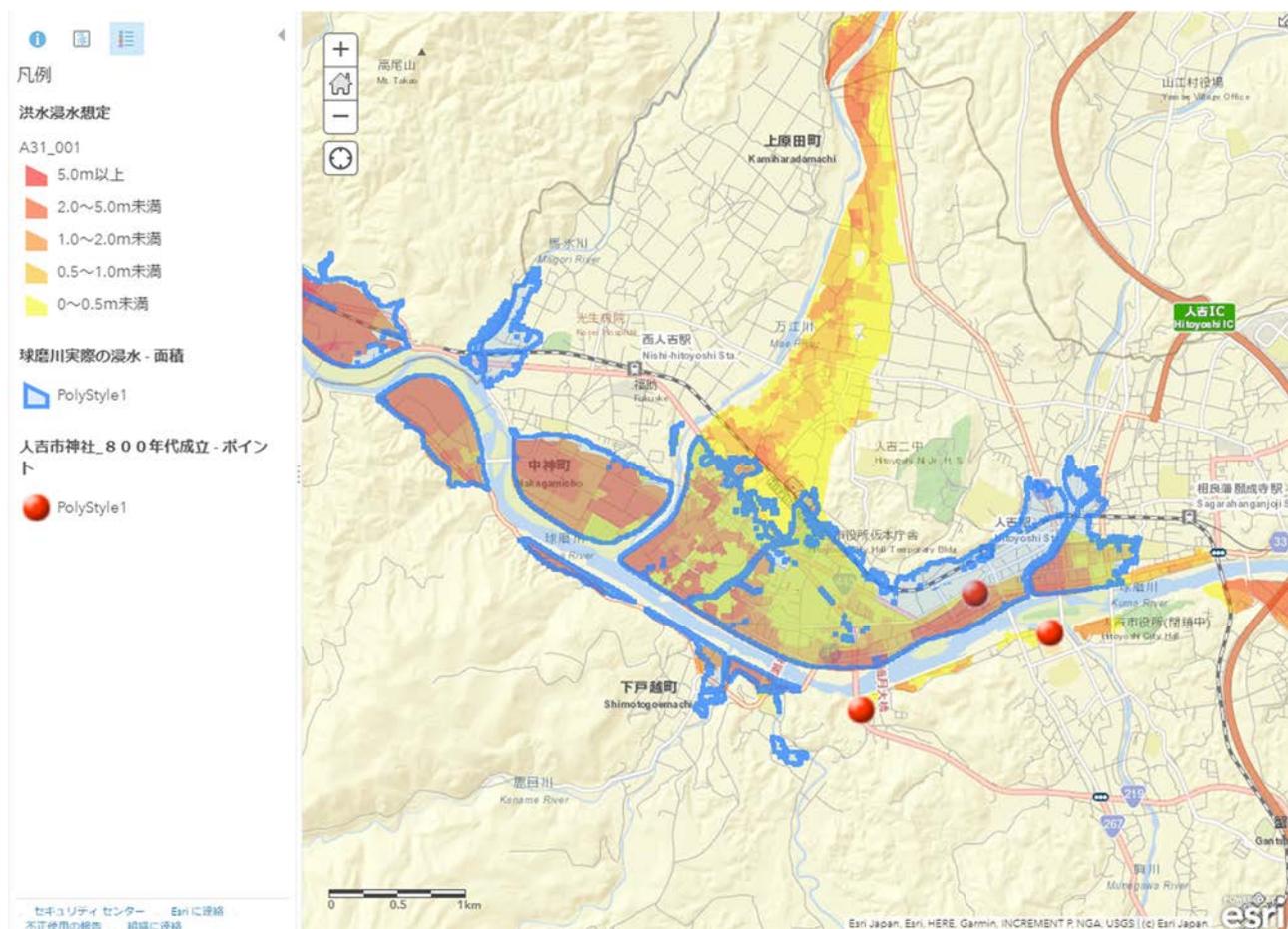


図 9.4 球磨川の浸水状況と 9 世紀成立の神社

## 9.7 課題

令和二年 7 月豪雨においては一部浸水した神社が存在したが、球磨川は氾濫の頻度の高い河川であり、近年発生した他の水害において今回浸水した神社の浸水状況を調査し比較することが望ましい。また今回浸水想定区域外の地域でも浸水がみられており、その地域における過去の浸水状況の調査も行う必要があると考える。

今回は大規模な浸水域の拡大は起こっていないとしたが、気候変動による影響が表れていないと言えるまでには至っていない。データの精度を向上させるためにも他地域でも同様の調査を行いたい。

## 謝辞

今回調査解析をいただいた森山研究室の荒牧敬氏、発表内容を作成するにあたって助言をいただきました山口哲也氏と人吉市およびその周辺の現地調査に協力いただいた重松貴子氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

環境省，文部科学省，農林水産省，国土交通省，気象庁：気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018 ～日本の気候変動とその影響～，2018。

国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，2020。

### 第3編

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (2020.12.17 閲覧)

国土地理院: 地理院地図/GSI Maps, 2020a.

<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>  
(2020.12.17 閲覧)

国土地理院: 令和2年7月豪雨に関する情報, 2020b.

[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html) (2020.12.17 閲覧)

寺院大鑑刊行会: 寺院大鑑 3巻(中国・四国・九州), 久遠出版, 1994

セコム株式会社: 「防災に関する意識調査」調査項目・調査結果 データ集, 2019.

[https://www.secom.co.jp/corporate/release/2019/pdf\\_DL/nr\\_20191211.pdf](https://www.secom.co.jp/corporate/release/2019/pdf_DL/nr_20191211.pdf) (2021.2.27 閲覧)

全国神社名鑑刊行会史学センター(編纂): 全国神社名鑑 下巻, 全国神社名鑑刊行会史学センター, 1997.

高田知紀, 梅津喜美夫, 桑子敏雄: 東日本大震災の津波被害における神社の祭神とその空間的配置に関する研究, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol.68, No.2, I\_167-I\_174, 2012.

## 第10章 川辺川合流点上流の本川氾濫原の特性について

東京工業大学 石川 忠晴

### 10.1 はじめに

#### 10.1.1 本調査の視点

関東に居住している筆者は、コロナ騒動のために、2020年球磨川水害（以下、今次水害という）を現地調査する機会がなかった。そこでweb site等に公開されているデータをもとに、通常の水害調査とは異なる視点で今次水害を分析することにした。始めに本調査における筆者の視点を述べておく。

従来の大水害に対する即時的学術調査は、降雨の時空間分布や被害形態の“特異性”に着目して行われることが多かった。大水害は「稀に生じる特異な事象」と考えられていたからである。しかし近年のように毎年起きるとなれば、個々の水害の特異性だけでなく“共通性”に着目した調査も必要になると思う。譬えとして適当かどうかかわからないが、異なる地域で「同じような手口の犯罪」が発生している場合、各県警が別々に捜査するよりも、県境を跨いだ合同捜査で明らかとなる犯罪の共通性を手掛かりに、捜査を効率化できると考えられる。そこで九州人でない筆者は、最近の関東・東北における水害と今次水害の共通性に着目して捜査を開始することとした。

大水害の直接原因は言うまでもなく集中豪雨である。しかし降雨の時空間分布は個別性・地域性が高く、また人間が気象条件を制御できるわけでもない。そこで、人間が行う治水事業と水害の関係に着目し、今後の水害軽減に向けた調査が重要となる。現在の治水事業は『築堤などにより河道断面を拡大し、洪水を海まで安全に流す』という近代治水思想に基づいている。ところが現行の目標治水安全度の達成は遙か先であり、加えて気候変動による豪雨の増大が懸念される現状では、氾濫をある程度許容する対策とせざるを得ない(石川, 2020)。しかし現在の治水事業には「氾濫を計画に含める」という発想がない。一方、十分な河道流下能力を確保できなかった江戸時代には、「河川氾濫を前提とした流域治水」が行われていた。そこで、江戸時代の技術者と同様に“流域地形と氾濫”という視点から考察を始めたい。

図10.1は流域の概念図である。山地から流出する洪水は、沢や小川や支川を経て本川河道に集まり流下するが、水量が大きいと河道を溢れながら流れることになる。洪水が溢れる場所が氾濫原であり、我々の多くは氾濫原もしくはその近傍に居住している。上述の近代治水思想は、連続堤防により洪水を細い河道に閉じ込めて氾濫を許さないとしているが、近年の水害はこの思想の貫徹が困難であることを示している。

図10.2に示すように、日本では大河川と言われる利根川や信濃川でも大陸河川に比べればかなり急勾配である。したがって大洪水を河道に集中させると流速が増大し、ピーク流量も増加する。また氾濫原の勾配は河川の縦断勾配とほぼ同じであるから、氾濫水も滞留せずに流下する。そこで江戸時代の技術者は、まず流域地形を詳しく調査し、その特徴から治水の方針を発想したわけである(Ishikawa & Akoh, 2019)。彼らと同様に流域地形の特徴分析から過去の水害を振り返れば何が見えてくるか、それを次節で考えてみたい。

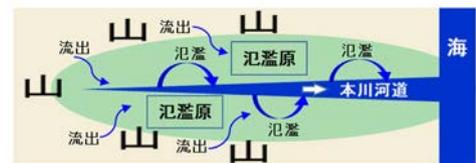


図 10.1 流域の概念図

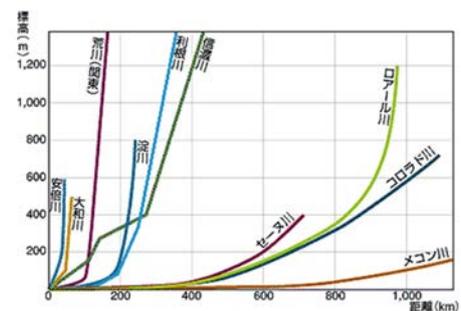


図 10.2 河川の縦断勾配

10.1.2 近年の一級河川における水害の特徴

近年の一級河川における水害状況には2つの顕著なパターンがある。一つは河道整備の上流への延伸により洪水が中下流部にストレートに流れるようになったことである。築堤に関する規定によれば、計画高水位(HWL)の上に一定の余裕高を設け、さらに堤防沈下を見込んだ余盛を行うことになっている。したがって、河道の「実質流下能力」はHWLに対応する「公称流下能力」より遥かに大きくなる。2019年の千曲川出水での飯山盆地や長野盆地における大きな堤防越流や、阿武隈川出水での本川からの背水による軒並みの支川破堤は、河道改修の上流延伸と無縁ではないだろう。因みに図10.3は阿武隈川上流部の主要観測所における超過水位(最高水位-HWL)を示しているが、須賀川と阿久津(郡山市内)では1.6mと1.3mにも達していた。しかし水位がHWLをそこまで超過しても概ね“流しきっていた”のである。その結果、河積に余裕のない支川が軒並みやられたわけである。

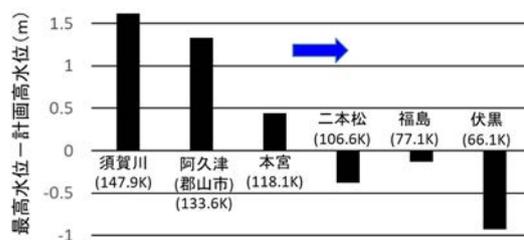


図10.3 2019年水害での阿武隈川超過水位

もう一つは堤防が氾濫流路を塞ぐパターンである。図10.4は2019年出水における久慈川・浅川合流点付近の浸水推定段彩図(国土地理院)である。集落の多くは氾濫原よりやや高い場所にあるため浸水を免れていたが、合流点付近の集落だけは、微高地にあるにも関わらず、整備された堤防が氾濫水を塞ぎ上げたために水没している。合流点付近では本川からの背水による氾濫を防止するために、支川の一定区間を“本川並み堤防”とするが、上流で氾濫が生じた場合には浸水深を増加させるとともに、洪水後の排水を阻害するので水害を増大させてしまう恐れがある。



図10.4 合流部の浸水例

同様の大規模な事例として、2005年鬼怒川破堤に伴う常総市の水害がある。江戸時代初期の河道付け替え以前は、鬼怒川と小貝川は図10.5(a)に示す鬼怒川低地を流れていた。その後も大出水で氾濫すると青矢印に示すように流れたと考えられる。(b)の薄水色が2015年の浸水域を示しているが、(c)に示す小貝川の堤防のため浸水深が増加し、最後まで排水ができなかった。因みに国交省の浸水想定区域図は実際の氾濫区域とよく合致しており、鬼怒川ないし小貝川が破堤すればこのような事態になることはわかっていたと言える。なお(d)に示す伏せ越しは氾濫水を下流に導く仕掛けとして古くから事例がある。

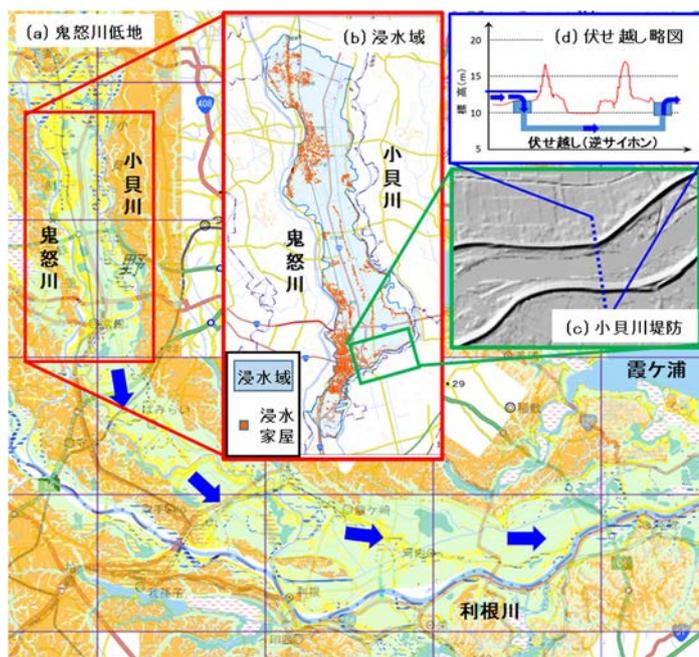


図10.5 2015年鬼怒川災害関連の図

以上の事例説明の目的は、治水担当者を責めるためのものではない。例えば、阿武隈川で起きた本川背水による支川破堤を防ごうとして支川堤防を嵩上げすれば、久慈川のように排水不良を助長することになるであろう。本稿の目的は、このような近代治水のパラドックス(つまり治水事業の進捗が却って水害を助長するということが、球磨川の今次水害でもあったかどうかを明らかにすることである。

## 10.2 解析対象地域とその特徴

### 10.2.1 浸水区域の変化

図 10.6 の左に示す球磨川流域図には浸水想定区域図が水色で記入されている。また中央には、現在の治水計画の対象となった 1965 年出水での浸水域を拡大して示している。なお紙面節約のために両図の方位を少し変えている。両者で浸水範囲はほぼ同じであることがわかる。本川沿いの浸水域は、川辺川合流点の下流と上流に分かれており、面積的には上流側が大きかった。

一方、国交省資料による 2020 年出水での氾濫域が右の図に赤で示されている。念のため国土地理院の浸水推定段彩図も同じ縮尺で示しているが、両者はほぼ一致している。左および中央の図と比較すると、今次出水での浸水域は川辺川合流点より上流で大幅に縮小していることがわかる。

球磨川本川上流の市房ダムは 1960 年(昭和 35 年)に竣工しており 1965 年出水では洪水調節を行っていることから、この浸水域の縮小は本川沿い氾濫域における種々の改修工事(河道改修および耕地整理)によっているものと考えられる。

さて、上流域での浸水範囲の縮小は、以前は上流で滞留していた水量が流下したことを意味している。一方、人吉市街地の下流は長区間にわたり峡谷であるため、洪水は峡谷部入り口で塞き上げられるから、上流からの水量の増加が人吉での水位上昇に直結する。したがって今次出水での人吉市内における未曾有の水位上昇の一因として、川辺川合流部より上流の本川沿い氾濫原の開発が考えられるであろう。



図 10.6 人吉市上流の浸水区域の変化. 左：浸水想定区域，中央：1965 年出水時の浸水区域  
右：2020 年出水時の浸水区域（国交省資料，国土地理院浸水推定段彩図）

### 10.2.2 上流域氾濫原の特徴

川辺川合流点より上流の治水地形分類図を図 10.7 上段に示す。また図中緑枠の部分の拡大図を、凡例と共に下段に示す。なお紙面の制約から氾濫原軸線が左右になるよう配置しており、図の上が北西、球磨川の流向は右から左である。そこで以下では北西を“右岸側”，南東を“左岸側”という。氾濫原の縦断距離は約 14km，平均の幅は約 1km である。

左岸側の茶色の区域は緩傾斜の段丘面となっており、くま川鉄道と国道 219 号線が走り、それらに沿って住宅が分布している。一方、右岸側は山地となっており集落は少ない。また、氾濫原の中の自然堤防上にも家屋は分布するが比較的少数である。明治 44 年発行の地図によれば、この地域の集落分布に大きな変化はなく、昔から洪水氾濫を考慮した居住形態が発達していたと考えられる。

図中には旧河道が多数あるが、それらが氾濫原軸線に対して約 45 度の角度をなすことから、左岸流域の山地および段丘面からの流出水は氾濫原を斜めに横切り球磨川に流入すると考えられる。

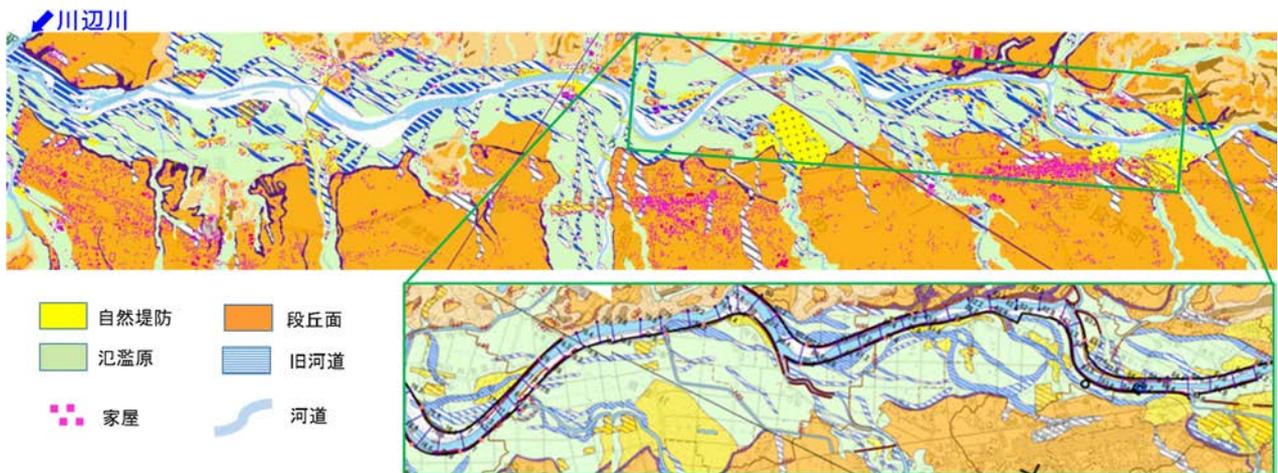


図 10.7 検討対象区域の治水地形分類図および家屋分布

図 10.8 および図 10.9 に、地理院地図から作成した氾濫原軸線を基準とする縦断方向断面図と横断方向断面図の例を示す。縦断勾配は約 1/300 である。一方、横断形状は支流や旧河道のために凹凸が大きいが、左岸側堤外地の平均勾配は約 1/300 で、縦断勾配と同じである。このことは斜面方向が氾濫原軸線に対して 45 度の角度を持っていることを示しており、図 10.7 に示した旧河道の平均的方向と一致している。なお地理院地図の標高データは、測量時に水面であった場所が異常値となっているので、それらを青のハッチで示している。

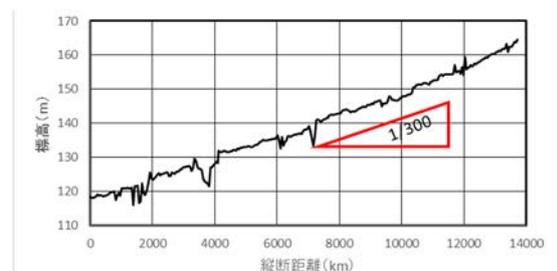


図 10.8 氾濫原の縦断分布

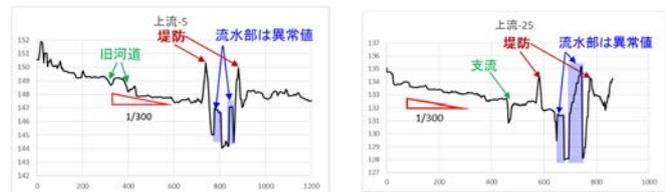


図 10.9 氾濫原の縦断分布

人吉観測所より上流は、川辺川流域(470.0 km<sup>2</sup>)，市房ダム流域(157.8 km<sup>2</sup>)，本川残留域(509.2 km<sup>2</sup>)の3小流域に区分される。残留域からの流出水のかなりの部分は、当該氾濫原を経由して本川に流入する。そこで、上記の面積比率と、今次出水では南東側斜面で降雨量が多かったことから、今次出水の人吉観測所流量のうち、当該氾濫原から本川に流入した水量の占める割合が大きかったものと考えられる。

### 10.3 氾濫原遊水効果の評価

#### 10.3.1 解析方針

前節で述べたように、川辺川合流点上流の本川氾濫原は、従来は広い範囲で浸水していたが、今次出水では浸水範囲が大きく減少していた。一方、流域面積および今次出水の降雨データからすると、調査対象氾濫原への流入量はかなり大きかったと考えられる。したがって、同氾濫原での遊水効果の減少により残留域からの流出水が人吉盆地にストレートに流下したことが、人吉市内の異常な水位上昇の一因であった可能性がある。

氾濫原の遊水機能減少の主な原因として堤防整備と耕地整理が考えられる。堤防高は図 10.9 に示したように 2 m 程度であり、それほど大きな堤防ではない。しかし氾濫原の縦断勾配が 1/300 であることから、かなりの流量を流せると考えられる。一方、1960年に竣工した市房ダムの灌漑面積は 3,570 ha あ

り、**図 10.7** に示した氾濫原(黄緑)と左岸段丘面(茶色)のほぼ全域をカバーしている。灌漑事業は耕地整理と排水路整備を伴うから、左岸流域からの流出率が増大した可能性は高い。

しかし今回の短期間の調査でそれらの実態を整理して水理特性の変化を評価することは容易でない。リアルで詳細な流出解析は、国交省が始めようとしている「流域治水プロジェクト」の中で検討されるべきものと考えられる。そこで本稿では、10.2.2 で述べた地形的特徴を踏まえて氾濫原をモデル化し、堤防建設と耕地整理に伴う排水能力増加が下流の洪水ハイドログラフに与える影響を数値シミュレーションにより概算した。また同モデルを用いてハイドログラフの先鋭化を緩和する方法について検討した。

10.3.2 氾濫原モデル

a) 地形モデル

地形モデルの基本形を**図 10.10** の上段(Case-1：自然状態)に示す。氾濫原は縦断方向 14 km、横断方向 1 km の矩形とし、縦断勾配と横断勾配はともに 1/300 としている。つまり斜面方向は軸線に対して 45°、勾配は $1/300\sqrt{2}$  である。河道は幅および縦断勾配がそれぞれ 160m と 1/300 の矩形断面水路で、右岸(図の上側)は山付き、左岸は無堤とした。河道上流端から  $Q_0$ 、氾濫原の上端から単位距離当たり  $q_0$  の率で流入がある。河道深さは次項に述べる平均年最大流量で満杯状態になるよう与えている。

同図の下段は開発後のイメージを示しており、河道左岸は十分な高さで築堤されたものとする。また氾濫原には 1 km おきに幅 40 m の矩形断面排水路が設置され、深さは基本流量条件で満杯状態になるよう与える。なお排水路両側も十分な高さで築堤されているものとする。つまり本条件では氾濫原に浸水は生じない。なお計算領域周囲の色分けについては「d) 境界条件」で説明する。

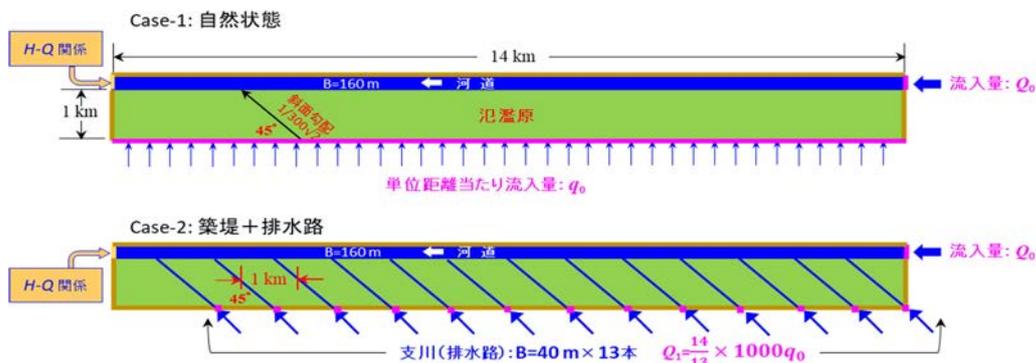


図 10.10 地形モデル。上段：基本地形，下段：開発後の状態

b) 河道満杯流量

**図 10.11** は球磨川の河川整備計画のために作成された人吉地点の「流量確率図」である。平均年最大流量を超過確率 50% 流量とすると約 2,200 m<sup>3</sup>/s となる。これを川辺川流域，本川上流山間流域，残留域の面積で案分すると，それぞれ約 950 m<sup>3</sup>/s, 500m<sup>3</sup>/s, 約 750 m<sup>3</sup>/s となる。したがって本川の河道断面規模を支配する流量は次式で与えられる。

$$Q^f(x) = Q_0^f + q_0^f x, \quad Q_0^f = 500\text{m}^3/\text{s}, \quad (1)$$

$$q_0^f = [750 \text{ m}^3/\text{s}]/[14,000\text{m}] = 0.0536 \text{ m}^2/\text{s}.$$

ここに、 $x$  は流下距離、 $Q^f(x)$  は河道満杯流量であり、その他の変数は**図 10.10** で定義されている。この  $Q^f(x)$  がマンニングの式を満足するように河道深さを定めた。また Case-2 における支川

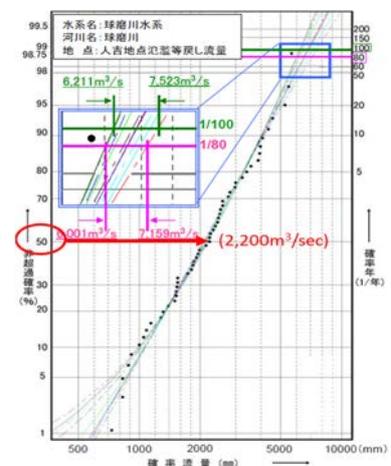


図 10.11 人吉地点の流量確率

深さも便宜的に図中に示す  $Q_1$  を満杯流量として定めた。マンニングの粗度係数はいずれも 0.05 とした。

c) 洪水ハイドログラフ

上流端流入量  $Q_0$  と横流入量  $q_0$  の時間波形を図 10.12 に示すように与えた。まず河道満杯となる  $Q_0^f$  と  $q_0^f$  で助走計算を行い定常流を形成した後、3 時間の継続時間で正弦波形の洪水波を加えた。洪水流の振幅は満杯流量の 2.5 倍とした。したがって下流端での最大流量は河道満杯流量 ( $1,250 \text{ m}^3/\text{s}$ ) の 3.5 倍の  $4,375 \text{ m}^3/\text{s}$  となる。仮に川辺川流域からも同じ倍率の洪水流量 ( $950 \text{ m}^3/\text{s} \times 3.5 = 3,325 \text{ m}^3/\text{s}$ ) が到達するとすれば、人吉での合計最大流量は  $7,700 \text{ m}^3/\text{s}$  となり、今次出水の推定流量と同オーダーである。

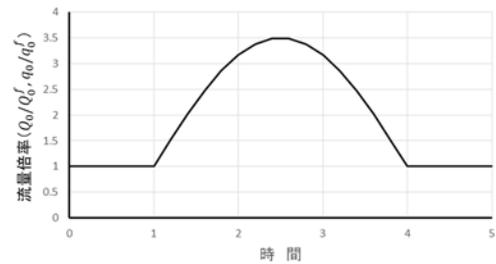


図 10.12 洪水波形

d) 境界条件

計算境界条件の種類を図 10.10 で色分けしている。Case-1 では上述のハイドログラフが河道上流端と氾濫原流入境界(ピンク線)で与えられる。Case-2 での氾濫原流入量は各水路の端点(■)において  $Q_1$  で示す式で集中的に与えられる。その他の氾濫原外縁と河道右岸(黄土色線)は不透過境界である。川辺川合流点の直上流は狭窄部になっているので、モデル河道では河道部分のみを開けてあり(黄色線)、そこでの境界条件はマンニングの式で規定される  $H-Q$  関係式で与えられる。

e) 解析結果

図 10.13 に下流端 ( $x=14 \text{ km}$ ) における流量の時間変化を示す。自然状態(Case-1)のピーク流量は約  $3,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、築堤と排水路整備の後(Case-2)では約  $4,200 \text{ m}^3/\text{s}$  である。後者は流入量ピーク ( $4,375 \text{ m}^3/\text{s}$ ) とほぼ同じである。またピーク発生時刻は、整備後に 35 分ほど早くなっている。これらの波形の差が本モデル地形における氾濫原の遊水効果を示していることになる。なお、本モデルでは氾濫原を滑らかな平面としているが、実際には窪地貯留や地下浸透による貯留効果もあると思われる。

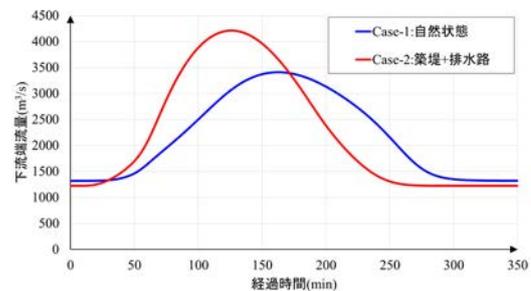


図 10.13 下流端の流量ハイドログラフ

図 10.14 に洪水ピーク時の水深分布を拡大して示す。自然状態では氾濫原全体が浸水するが、河道沿いの水深は  $1.6 \text{ m}$  程度、氾濫原への遡上距離は  $500 \text{ m}$  ほどである。それ以外の浸水域は、氾濫原斜面上端部からの流入水が広く氾濫したことによるが、水深は  $0.2 \text{ m}$  程度である。一方、Case-2(築堤+排水路)では浸水は生じないが、排水路内水深は斜面上流端でも  $2.2 \text{ m}$ 、河道沿いでは  $3.0 \text{ m}$  を超えている。排水路深さが  $1.17 \text{ m}$  であるから、 $2.0 \text{ m}$  程度の堤防を支川に設ける必要がある。

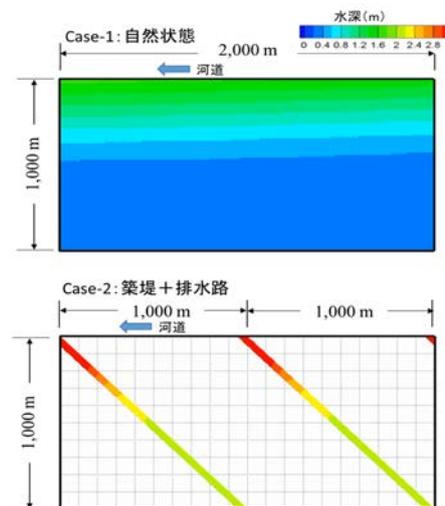


図 10.14 水深の空間分布

以上から 2 つのことが言える。一つは氾濫原の遊水機能は主に河道沿いでの氾濫によっていることである。これは氾濫原斜面が河道軸に対して  $45^\circ$  傾いているからである。したがって、堤防を河道から離して設置することにより遊水効果の保全が期待できると考えられる。これは一種の「河道内貯留」とも言える。もう一つは、排水路からの氾濫を防止するためには  $2 \text{ m}$  程度の堤防が必要だということである。この高さは農道の交通に支障を与える恐れがある。以上を踏まえて、遊水効果を保全する堤防システムを以下に考察する。

## 10.4 遊水効果回復手段の検討

### 10.4.1 解析条件

前節の結果に基づき、まず引堤により河岸沿いの空間で遊水・貯留することを考え、**図 10.15** に赤線で示す堤防法線を設定した。高水敷幅は 150 m としているが、排水路への流れの集中を避けるために、合流部を広くとっている。なお 1 km の支川間隔で同じパターンの繰り返しとなるので、ここでは 1 本の支川について拡大して示している。本川堤防は越水が生じないように十分な高さとし、計算結果から必要堤防高を推定することとした。排水路の諸元および設置位置は Case-2 と同じだが、本川からの背水の影響による氾濫域を調べるために、(a)では支川堤防を設置しなかった。一方(b)では、支川氾濫による遊水機能を確保しつつ浸水域を限定するために、霞堤の変形である「矢羽堤(緑線)」を設置した。堤高は霞堤部分と連続堤部分ともに 1 m とし、農作業の障害にならないようにした。

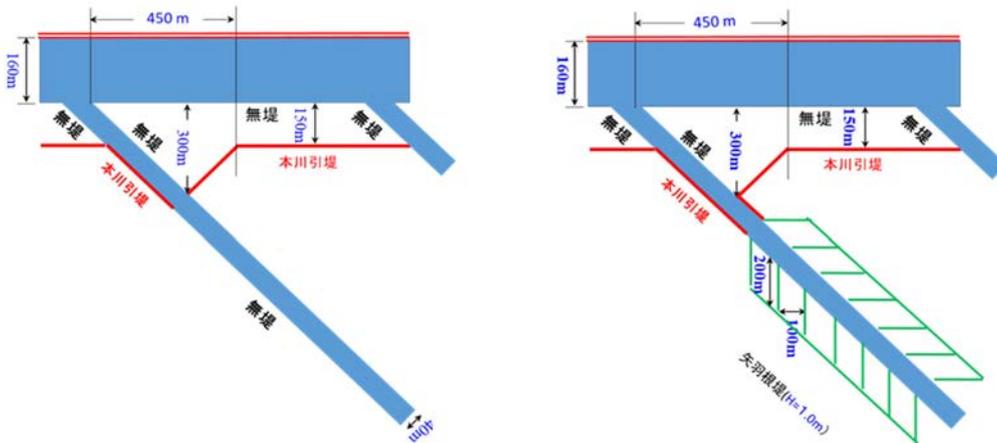


図 10.15 河道貯留の堤防配置。 左：支川堤防なし(Case-3) ， 右：支川矢羽堤(Case-4)

### 10.4.2 解析結果

#### a) 浸水深分布

**図 10.16** に、上流から 3 番目と 4 番目の排水路付近での洪水ピーク時における浸水深空間分布を示す。を示している。なお、氾濫は上流から下流に伝播するが、氾濫形状はほとんど変化していなかった。Case-3、Case-4とも河道からの氾濫は本川堤防(**図 10.15** 参照)によりほぼ止められており、堤防表側の水深は 2 m 弱となっている。Case-3 の場合は排水路からの氾濫水が広い範囲に広がって堤防に達し、堤防裏側でも 1 m 弱の水深となっている。一方、Case-4 では、排水路からの氾濫水は矢羽根堤により概ねトラップされるため、堤防裏側の浸水深は 0.2 m 程度に収まっている。このわずかの氾濫水は矢羽根堤の最下流端での越流により生じているので、この部分を多少高上げする必要があったと思われる。

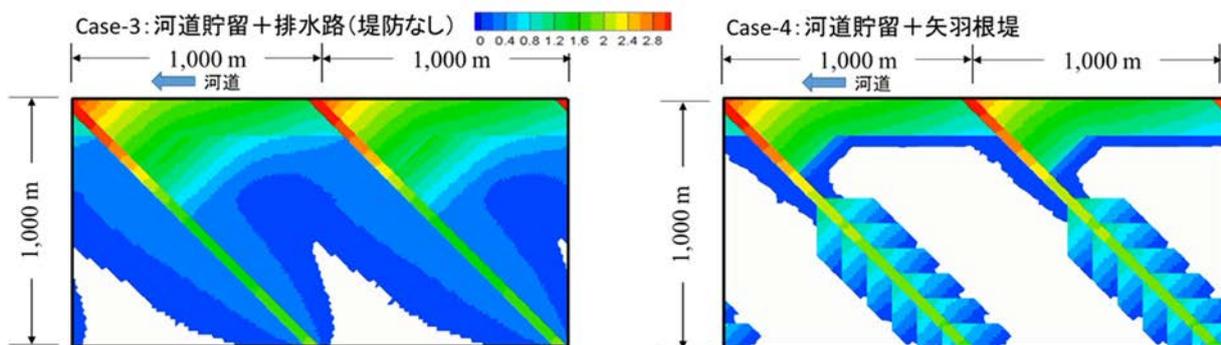


図 10.16 浸水深の空間分布。 左：支川堤防なし(Case-3) ， 右：支川矢羽堤(Case-4)

### 第3編

#### b) 下流端の流量波形

下流端での流量時系列を図 10.17 にまとめて示す。

Case-1 と Case-2 は図 10.13 に示したものと同一である。堤防を 150 m セットバックした Case-3 と Case-4 は、河道貯留の効果によって到達時間が伸びていることがわかる。またピーク流量は自然状態 (Case-1) と改修後 (Case-2) の中間となっている。また Case-3 と Case-4 には差がほとんど見られないので、浸水面積の少ない Case-4 (矢羽根堤)の方が好ましいと考えられる (図 10.16 参照)。

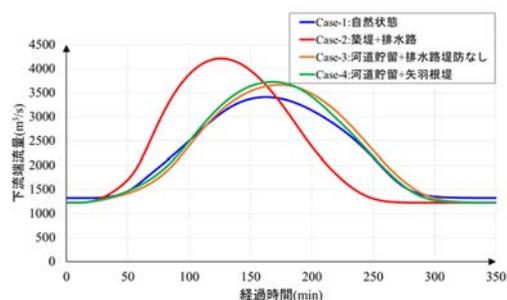


図 10.17 下流端の流量波形

#### c) 水深縦断分布と必要堤防高

図 10.18 に、本川河岸水深 (河道水位と河岸地盤高の差) の縦断分布を、洪水開始から 50 分ごとに示す。流入量のピークは  $t=90$  min (灰色線の付近) で生じているが、上流端流入量よりも氾濫原からの横流入量の方が大きいので (2 : 3 の比率)、波形伝播はそれほど明確でない。なお細かい変動のピークは排水路合流部に対応している。

図 10.15 に示したように本川堤防は 150 m セットバックしており、また氾濫原の横断勾配は 1/300 であるから、河岸と堤防敷には 0.5 m の標高差がある。そのことを念頭に置けば、今次出水のような大出水であっても、(余裕高を除いた) 必要堤防高は上流で 1.5 m, 中流で 2.0 m 強, 最下流で 2.5 m 強となる。つまり図 10.9 に示した現況堤防と大きな差はない。

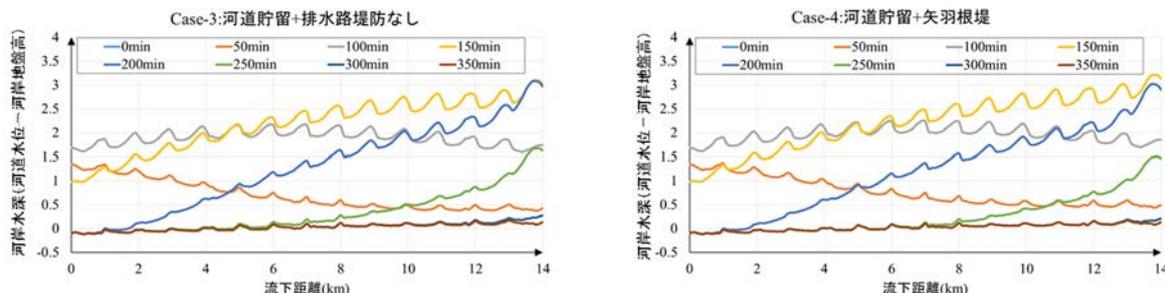


図 10.17 超過水深縦断分布。 左：支川堤防なし (Case-3) , 右：支川矢羽堤 (Case-4)

## 10.5 おわりに

人吉市に発生した異常水位の直接的な原因は「稀な集中豪雨」である。しかし今後の気候変動によって「稀が稀でなくなる」こともあり得る。そこで上流での流出抑制対策が重要となり、本流域では川辺川筋のダム建設が議論の焦点になっている。一方、本川筋氾濫原の遊水機能保全も洪水ピーク流量をある程度減少させる可能性がある。それらを組み合わせた複合的治水施策の検討が今後必要になると思われる。

### 謝辞

数値計算にあたり、赤穂良輔氏 (岡山大学准教授) の助力を得た。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 石川忠晴: 今後の超過洪水対策における計画的氾濫について, 水学会誌, 33巻, 6号, pp.263-270, 2020.  
Ishikawa, T. and Akoh, R.: Assessment of flood risk management in lowland Tokyo areas in the seventeenth century by numerical flow simulations, *Environmental Fluid Mechanics*, 19, pp.1295-1307, 2019.

## 第11章 支川を対象とした球磨川流域における流域治水の可能性

九州大学 島谷幸宏, 林博徳, 寺村淳  
熊本大学 皆川朋子

## 11.1 流域治水の概念

2009年7月24日、福岡市中心部を流下する樋井川が氾濫し樋井川沿いの住宅地が被害を被ったことを契機に、2009年10月4日、九州大学・福岡大学・九州産業大学などの学識者と地元住民らで樋井川流域治水市民会議が立ち上がり、わが国における流域治水の嚆矢となった。樋井川流域治水市民会議は2010年1月に行政に対して、「樋井川流域治水に関する市民提言」を行っている（樋井川流域治水市民会議、2010）。その中で、「流域治水は、流域全体で取り組む治水のことです。河道改修と下水道整備だけにとどまらず、流域全体で、雨水の貯留・遊水・浸透などの流出抑制を図り、かつソフトな防災対策を含んだ総合的な取り組みです。流域治水では洪水抑制に加え、氾濫をある程度許容する一方で、被害を最小限にするあらゆる方策を講じます。流域治水対策は、河道改修と下水道整備を中心とした緊急対策と、流域における貯留・遊水、浸透などの流域対策の双方を実施するものです。樋井川の流域治水では、治水対策を環境、福祉へとつながる地域づくりとしての広い概念で流域治水という用語を用いています。」と定義している。樋井川流域治水では、治水対策に合わせて環境を改善し、環境教育、福祉、地域づくりへと発展させる、事をうたっており、治水対策を地域づくりの一環として行うところに特徴がある。樋井川流域治水市民会議の成果は樋井川の河川整備計画に位置付けられたが、本格的な施策として推進されるまでには至っていない。樋井川流域治水市民会議は45回開催され、2015年11月に終了し、「あまみず社会研究会」にその活動は引き継がれている。

2011年5月に滋賀県は滋賀県流域治水基本方針(案)（滋賀県、2011）を発表し、わが国の行政政策としての流域治水の嚆矢となり、2014年3月には、滋賀県流域治水の推進に関する条例が施行された。滋賀県は、「どのような洪水にあっても、①人命が失われることを避け（最優先）、②生活再建が困難となる被害を避けることを目的として、自助・共助・公助が一体となって、川の中の対策に加えて川の外の対策を、総合的に進めていく治水」と定義している

2020年7月社会資本整備審議会は「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～」の答申（気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会、2020）を行い、それに伴い、国土交通省は流域治水の施策へと大きく転換を図りつつある。国土交通省は「河川、下水道等の管理者が主体となって行う従来の治水対策に加え、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、その河川の流域全体のあらゆる関係者がさらに協働して流域全体で水害を軽減させる治水対策」としている。すなわち、流域におけるあらゆる主体の参画のもと、地域の特性に応じ、①なるべく氾濫を防げるよう治水施設の整備等を進めることに加え【氾濫を防ぐための対策（ハザードへの対応）】②治水施設の能力を上回る大洪水の発生により、氾濫した場合を想定して被害を回避するためのまちづくりや住まい方の工夫等の対策【被害対象を減少させるための対策（暴露への対応）】③氾濫の発生に際し、的確・適切に避難できるようにするための体制の充実といった被害軽減のための対策と、被災地における早期の復旧・復興のための対策【被害の軽減・早期復旧・復興のための対策（脆弱性への対応）】の3要素を多層的に進める「流域治水」に流域一体となって取り組みとしている。

## 第3編

また、従来行ってきた総合治水との違いを、都市部のみならず全国の河川に対象を拡大し、河川改修等の加速化に加え、流域のあらゆる既存施設を活用し、リスクの低いエリアへの誘導や住まい方の工夫も含め、流域のあらゆる関係者との協働により、流域全体で総合的かつ多層的な対策を実施する。」としている。

熊本県は2020年7月の球磨川水害を契機に「緑の流域治水」を復旧・復興計画の基本を「緑の流域治水」(熊本県, 2020)とした。「緑の流域治水」とは、「流域全体の総合力による“緑の流域治水”～生命・財産を守る安全・安心の最大化と環境への影響の最小化のベストミックス～」とされ、国土交通省が進めようとする流域治水に環境面を強化した考え方と言える。

### 11.2 流域治水対策 現在進められようとしている具体的対策

樋井川流域治水市民会議の提言(樋井川流域治水市民会議, 2010)では、2009年7月洪水に対応する緊急対策として(堆積土砂の掘削, 拡幅, 横断工作物の見直しなどによる河川整備, 下水道・水路の逆流防止策の実施)および流域対策として森林土壌の保時, 農地保全, 公園・学校・公共施設・道路・住宅などでの貯留・浸透対策などをあげている。

滋賀県(滋賀県, 2011)では「**ながす**(河道内で洪水を安全に流下させる対策) 洪水をできるだけ川の外へ溢れさせないように河川や水路等を整備する対策. 河道内に整備される洪水調節施設(ダムなど)も含む」「**ためる**(流域貯留対策) 調整池, グラウンド, 森林土壌, 水田, ため池での雨水貯留など, 河川や水路等への急激な洪水流出を緩和する対策」「**とどめる**(はん濫原減災対策) 輪中堤, 二線堤, 霞堤, 水害防備林, 土地利用規制, 建築物の耐水化など, 河川や水路等の整備水準を超える洪水によりはん濫が生じた場合にも, まちづくりの中で被害を最小限に抑える対策」「**そなえる**(地域防災力向上対策) 防災訓練や防災情報の発信など, 避難行動や水防活動など即時的判断を伴う災害対応をより強化する対策」の4方策を流域治水対策と分類している。

国土交通省では気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会の答申に基づき流域治水対策のハザードへの対応として①氾濫水を減らす(粘り強い堤防, 土地利用規制, 水防など), ②流水をためる(既存ダムの有効活用, 霞堤など遊水機能の強化・保全など), ③雨水を流域のあらゆる場所でためる(都市部内水対策, 水田, ため池の利用など)の3手法を示している。

熊本県の緑の流域治水では, 具体的なメニューはまだ挙げられていない。

### 11.3 流域治水対策の基本技術

流域治水対策は, 今後の気候変動も踏まえるとこれまでの河川改修やダム整備のみの治水方式では, 国民の生命財産が守れないために, 流域全体で流出抑制を行い, また氾濫流を制御し氾濫域を限定あるいはハザードの強度を軽減させ, それでも甚大な被害が発生する場所については, 土地利用の規制や誘導を行う対策と言える。

流出抑制の基本技術は**貯留(retention)**, **浸透(infiltration)**, **遅延(detention)**の3手法と言われることが多いが, これらを組み合わせて流域治水対策が実施される。貯留とは雨水を貯留することによりピーク流量を減らす, あるいは/および, 洪水到達時間を遅らせる手法である。浸透は基盤層あるいは土壌へ雨水を浸透させピーク流量の低減あるいは洪水の遅れを発生させる手法である。遅延とは, 時間を遅らせることにより洪水波のずれやピーク流量の低減をもたらす手法である。諸外国では detention pond は

### 第3編

しばしばみられるが、日本では洪水時間の遅れを洪水対策として活用している例は見られないが、流域治水対策のメニューとしては重要である。

これまでオンサイト(降った雨をその場所で貯留・浸透させる)による都市域の流出抑制手法は図 11.1 に示すとおり、表面貯留、間隙貯留、浸透からなり、このうちのいくつかが使われる。海外で実施されているバイオスウェールなどの道路に設置されているグリーンインフラも、多くのものが3つすべての流出抑制手法を活用している。浸透柵や浸透トレンチなどは、表面貯留を欠く施設であり、底を遮水した調整池は間隙貯留と浸透を欠く施設である。表面貯留の代表例としては、田んぼダムがあげられ、コストが安く、流出孔の大きさを調節することにより、大きな外力にも対応できる可能性があるので期待されるが、稲作への影響を軽減するための排水機能と治水機能を分離することが普及には重要であることが、吉川(私信)より提案されている。

表面貯留はその体積がすべて貯留量となるが、間隙貯留では間隙率と残留水の影響を取り除く必要がある。浸透は浸透面積に単位時間当たりの浸透量を乗じて求めることができるが、基盤層の土壌や地質によってその値は異なる。初期浸透能は極めて高いが、浸透が継続すると徐々に浸透量は減少し、最終浸透能に近づくことが知られている。設計には最終浸透能が用いられ、花崗岩で1時間20mm程度、関東ロームは東京都の浸透施設の基準で140mmと定められている。東京都の基準には黒ボク土にも言及されており100mm程度とされており、人吉盆地に適用できる可能性がある。

最終浸透能においても、黒ボク土は時間100mmと高い値を示すため浸透施設は、浸透面積を大きく取れば、非常に大きな浸透量を期待できる。オンサイト型であれば豪雨時にも表面流はほとんど生じないと考えられるが、実際には表面に細かい土粒子によるクラスト層が形成され浸透能が低下するため、クラストが発生しないための土中に水を直接導くような工夫が必要である。

浸透施設は降雨強度が弱い時に浸透によって上部の貯留層に貯留量を回復させることができるため、浸透層との組み合わせは重要である。国土交通省の対策では浸透はあまり考慮されていないように思われる。

貯留の方法としては、田んぼダムのほか、遊水地、ため池、ダムなどが従来技術としてあげられるが、新しい技術として水田に積極的にバックウォーター型であふれさせる**もたせ**、氾濫原を薄く流す**flood way**、川から離れたところに作る**離れ遊水地**、氾濫原の中の**湿地**などがあげられる。

遅延は流量を低減する際に重要な視点である。洪水が到達するまでの時間をなるべく遅くし、それによって支流や排水路から集まる流量のピークを結果的にずらすことにより、流量を低減する方法である。方法論的には河道や排水路の粗度を上昇させる、河道の蛇行を復元する、河道の一部を拡幅する、氾濫域に樹林帯を設置する、上流の改修にあたって流路工を設置しないなどがあげられる。

流域治水のもう一つの技術的手法は氾濫流のコントロールである。氾濫流のコントロールには、2つあり、1つは氾濫域を限定させる手法、もう一つは氾濫域の流速を低減させる方法である。

前者は2線堤や堤内地横堤、霞堤、輪中堤などが手法として挙げられ、後者としては樹林帯などの手法が考えられる。

流域治水には多様な手法があり、それぞれの要素技術の効果が十分に明らかになっているわけではなく、アイデアも出尽くしている状況にもないが、気候変動下において開発が期待される技術である。

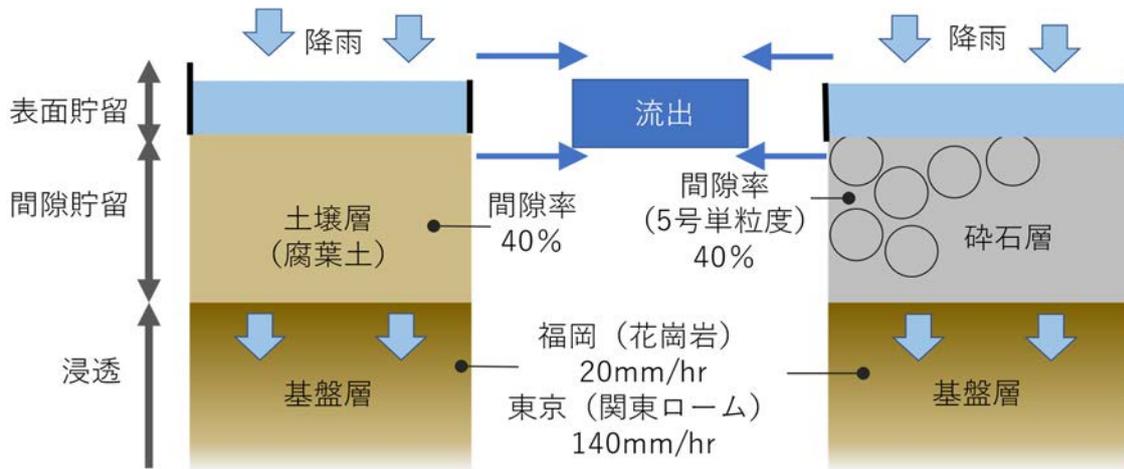


図 11.1 オンサイトの雨水処理施設の貯留・浸透の求め方，田浦（2021）

#### 11.4 水無川を対象としたもたせ堤を用いた流域治水対策

水無川は大平山を水源に錦町を流下する，流域面積 20.6 km<sup>2</sup>の球磨川の左 2 次支川である(図 11.2)．流域の約 7 割は山地で，残りの 30%は平地でその大部分は農地である．水無川には左支川として志戸内谷が流下している．水無川は河岸段丘を形成しており，低位段丘面には，ほとんど家屋がなく，家屋は高位段丘面に立地している．志戸内谷沿いの低位段丘面は樹林帯となっている．



図 11.2 水無川平地部の状況

この水無川を対象として流出抑制手法を考えてみる．ほとんど人家がない低位段丘面が広がっている

### 第3編

ために、ここに洪水時氾濫させることを考える。氾濫する際にバックウォーター型で氾濫し、氾濫流速が遅く、かつ平常時は水田として利用でき、最小限の構造物で設置可能な、もたせ堤(図 11.3)を提案する。「もたせ」とは、福岡県の柳川の水路に見られる、水路の一部を狭くし、流域全体で洪水を受け持たせることによって、洪水が下流に集中することを防ぐ構造物である。スイスやドイツなどでも用いられている手法で、直列型の遊水地あるいは小型の穴あき堤と見てもよいものである。

低位段丘面を横切っている道路をかさ上げし、道路と交差する河川の幅を狭めることによって下流への流下能力を制限し、洪水を分散させるための施設である。構造物としては、道路のかさ上げによる横断方向の堤防(もたせ堤)と河川の幅を狭めるためのオリフィスや水門および均等に氾濫させるための、もたせ堤上流側の池などからなる。

水無川沿いの地形勾配が 1/100 程度、志戸内谷沿いの地形勾配が 1/35 程度であるため、高さが 2m のもたせ堤を作ると、水無川が 200m、志戸内谷が 105m の範囲で遊水されることになる。

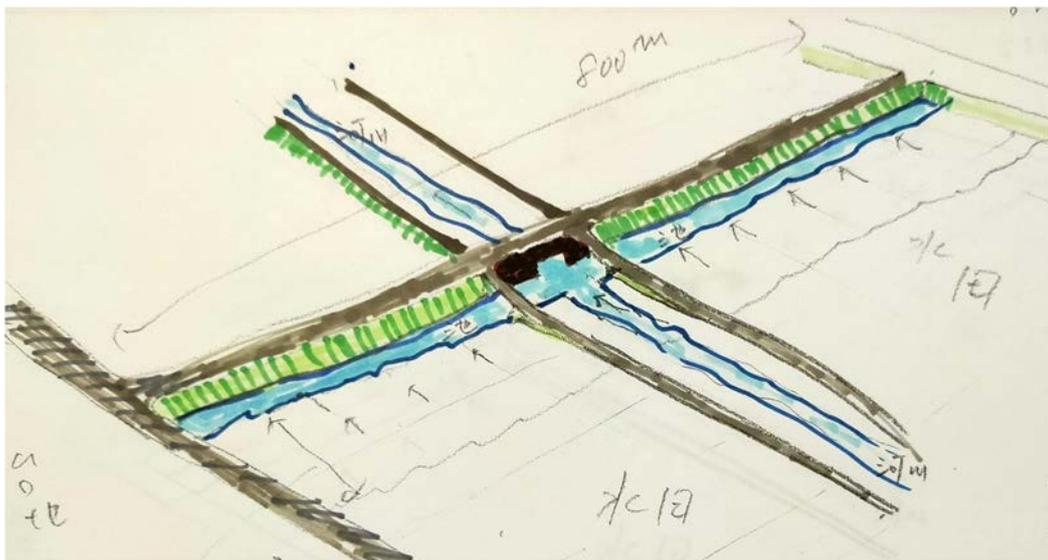


図 11.3 もたせ堤概念図

#### 11.4.1 検証方法

水無川流域においてもたせ堤による流量抑制効果を検証するため、洪水シミュレータ DioVISTA を用いて解析を行った。この解析ソフトは、降雨から河川に流れ込む現象をキネマティックウェーブモデル、河川内の流れを 1 次元不定流、河川を越流した水の流れを氾濫モデル 2 次元不定流で計算し、それぞれを接続器でつなぐことで一体的な解析を行う。地形データは国土地理院が公開している国土地理院基盤地図情報を基本としている。河川モデルの適用範囲は地形データを基に河道断面を定義しているが、川幅の狭い地点では実際に測量し河道断面を定義している。降雨は令和 2 年 7 月豪雨における 7 月 3 日 0:



図 11.4 左 シナリオ 2 右 シナリオ 3 ピンクのラインがもたせ堤

### 第3編

00 から 7 月 5 日 0 : 00 までの球磨川流域における雨量データを基に極端豪雨時の降雨シナリオを作成している。マニングの粗度係数は、河川では原田ら(2012)を参考に一般河道粗度 0.033 と設定し、氾濫域における氾濫モデルでの粗度係数は橋本(1978)を参考に山地を 0.050、水田を 0.040 と設定した。浸水を山地と水田のみに抑えるため、氾濫域ではそれらの粗度係数のみ与えている。今回検証するスリット形状のもたせ堤は、河川モデル内でスリットを作成し、氾濫モデル内で無限の高さの堤防を作成している。スリットの幅は水無川で 4m、志戸内谷川で 2m に設定し、高さは水無川で 10m、志戸内谷川で 4m に設定している。比較対象はシナリオ 1: 現況、シナリオ 2: もたせ堤を設置(図 11.4)、シナリオ 3: もたせ堤をさらに増加して設置(図 11.4)の 3 シナリオである。

シナリオ 1 では、現況におけるシミュレーションを行った。その中で、現地調査で特定した破堤位置と合致させることで再現度を高めた。シナリオ 2 及びシナリオ 3 では、水無川および志戸内谷川の中流部から上流部に一定間隔でもたせ堤を設置している。もたせ堤の設置間隔は、平均勾配から水無川は約 600m 毎に設置し、志戸内谷川は約 100m 毎に設置している。またシナリオ 3 の志戸内谷川では、浸水範囲を小さくすること、及び自然資源を活用することを目的として、シナリオ 2 の結果を考慮し、スリット幅の変更と堤防の設置を行っている。これら 3 つで、水無川下流端流量、志戸内谷川下流端流量、浸水範囲を比較する。

#### 11.4.2 結果

水無川最下流端の流量ヒドログラフ(図 11.5)を見ると、最大ピーク流量は、シナリオ 1 で 443  $\text{m}^3/\text{s}$ 、シナリオ 2 で 293  $\text{m}^3/\text{s}$ 、シナリオ 3 で 257  $\text{m}^3/\text{s}$  となり最大ピーク流量の到達時間は、シナリオ 1 に比較しシナリオ 2 は 5 分 28 秒遅れ、シナリオ 3 はシナリオ 2 より 12 分 45 秒遅れた。

志戸内谷のヒドログラフ(図 11.6)より最大ピーク流量は、シナリオ 1 で 110  $\text{m}^3/\text{s}$ 、シナリオ 2 で 67  $\text{m}^3/\text{s}$ 、シナリオ 3 で 43  $\text{m}^3/\text{s}$  となった。最大ピーク流量の到達時間の差は、シナリオ 3 はシナリオ 1 より 21 分 17 秒遅れ、シナリオ 3 はシナリオ 2 より 1 分 8 秒遅れた。

浸水深は シナリオ 1 で最大 1.60m、シナリオ 2 で最大 7m、シナリオ 3 で最大 5m であった。

シナリオ 1、シナリオ 2 を比較することで、もたせ堤は大きく流量を減少させることが明らかになった。もたせ堤はスリット形状としたが、オリフィス形状にすることで、道路として活用できるなど、遊水地

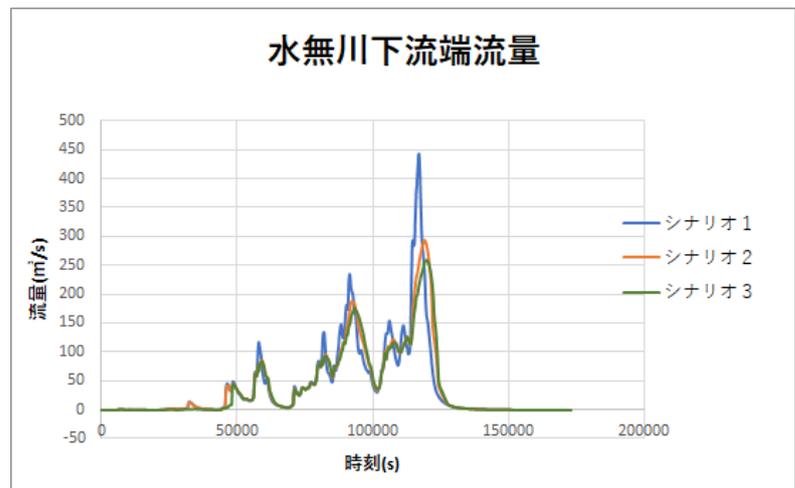


図 11.5 水無川下流端流量

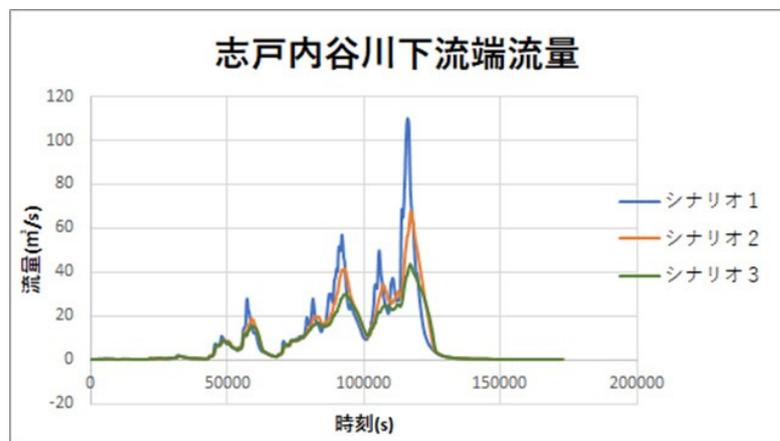


図 11.6 志戸内谷川の流量

### 第3編

に比べ多くの活用方法があると考えている。また、シナリオ2、シナリオ3を比較すると、もたせ堤を増設し、河道を適当な大きさに設定することにより、下流端流量の減少、浸水深の減少が可能となった。志戸内谷において、氾濫流を管理するために堤防を設置したが、令和2年7月豪雨の際には1mの高さで十分足りることがこの浸水深からわかる。水無川では、浸水深は5m程度の地点もあり、流量、川幅及び地形等に対応させたスリット幅を検討する必要がある。河岸付近での流速はどのシナリオでも大きかった。この流速を小さくすることは、資産を守る上で重要であり、河岸に樹林地を設けることなどの対策を講じる必要がある。

水無川流域で洪水シミュレーションを行い、急勾配であるこの流域においても、氾濫域での一時的な貯留がピーク流量に影響を与える可能性があることを検証できた。もたせ堤は遊水地よりも費用対効果を得られる可能性を持っていることも検証できた。一方、本研究では、もたせ堤の設定を統一化したことで、もたせ堤を最大限に活かしていないと考えている。もたせ堤に関して、今後実験等を通して、スリット幅や高さ等のあらゆる条件の対応関係を検証することが、洪水による被害を軽減するために重要である。

## 11.5 まとめ

本章では、著者らの考える流域治水の概念、基本技術を取りまとめるとともに、水無川を対象としたもたせ堤の可能性について言及した。

流域治水対策には多様な手法があるため、要素技術の開発、それらの統合手法、さらにそれらの機能の評価指標等の開発が急務である。

もたせ堤は急こう配の河川においても一定の流出抑制効果が見込める。

### 参考文献

気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会:答申骨子(案),

[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinikai/kikouhendou\\_suigai/4/pdf/06\\_toushin\\_an.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinikai/kikouhendou_suigai/4/pdf/06_toushin_an.pdf). 2020.

熊本県:令和2年7月豪雨からの復旧・復興プラン,

[https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/70794\\_75064\\_misc.pdf](https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/70794_75064_misc.pdf), 2020.

滋賀県:滋賀県流域治水基本方針(案),

[https://www.shigaken-gikai.jp/voices/GikaiDoc/attach/Nittei/Nt1903\\_05.pdf](https://www.shigaken-gikai.jp/voices/GikaiDoc/attach/Nittei/Nt1903_05.pdf), 2011.

田浦扶充子, 都市域における分散型の水管理システムに関する研究, 九州大学博士論文, 2021.

橋本岩夫. "流出解析における特性曲線法の等価粗度に関する基礎的研究." 石川県農業短期大学研究報告8, 33-38. 1978.

樋井川流域治水市民会議:樋井川流域治水に関する市民提言,

<https://sites.google.com/site/hihikawashiminkaigi/home/teigensho>, 2010.



## 第12章 球磨川における土砂崩壊に関する速報

福岡工業大学 森山 聡之

## 12.1 はじめに

2019年に球磨川流域でシカの食害により土砂災害の危険性が高まっているのではないかとこの相談を住民より受け、筆者らは八代市坂本町周辺での調査を同年6月に実施した(森山ら, 2019, 2020)。それによれば、広葉樹林の低木や下草が完全に無くなっているか、シカが選好しない下草が残っている状況であり、土砂災害へ直結する可能性が高いと指摘していた。

本報はこの視点から速報として同町周辺の土砂崩壊の様子を報告するものである。

## 12.2 調査範囲と方法

## 12.2.1 災害調査の範囲

図12.1に2020年9月1日の調査において写真を撮影したポイントを示す。

## 12.2.2 撮影地点概説

球磨川本線沿いで一見すると洪水被害に見えるが実は土砂も流入している所が多数見られた。図12.1のP1における写真を写真12.1に、図12.1のP2における写真を写真12.2に示す。これらの地点では洪水と土砂災害が起こったと考えられる。

さらに図12.1のP4における写真を写真12.3、写真12.4に示す。この地点は本線沿いの民家であるが、聞き取りによれば道路側の写真12.3に示すように手前の駐車場が土砂で埋まったとのことである。さらに、民家の横の斜面は写真12.4に示すように、下草はほとんど消失していた。

図12.1のP5における写真を写真12.5に示す。この地点は道路の横に崖があり、至る所で礫が堆積していた。

図12.1のP5付近における写真を写真12.6に示す。この地点は球磨川鉄道であり、肥薩線の時代から112年目にして洪水のみならず土砂災害でも大きな被害を受けた。

図12.1のP6付近における写真を写真12.7

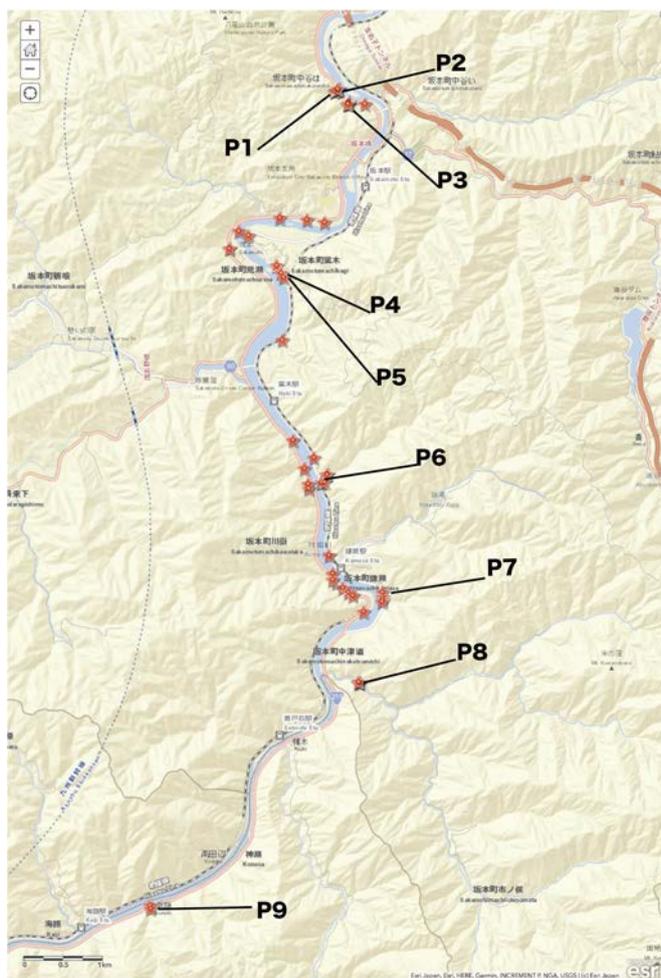


図12.1 調査地点(写真撮影ポイント)  
星型のマーカーが撮影ポイントである。



写真 12.1 P1 における洪水と土砂災害の被災状況



写真 12.2 P2 における洪水と土砂災害の被災状況



写真 12.3 P3 における土砂災害の被災状況  
民家の前に土砂が堆積している。



写真 12.4 P3 における土砂災害の被災状況  
民家の横の広葉樹林には下草があまり生えていない。



写真 12.5 P4 における土砂災害の被災状況  
至る所に礫が堆積している状況がみられた。



写真 12.6 P5 付近における土砂災害の被災状況  
球磨川鉄道は洪水のみならず土砂災害でも大きな被害を受けた。

に示す。この地点は支流の行徳川の溪流横に畦畔林がかなり倒され流木となっていた。2021年2月28日の調査では、この畦畔林は東京大学演習林の蔵治光一郎教授により、細くて高い上に単位面積当たり2500本はありそうだという事実から、施業放置林（いわゆる「もやし林」）と判断された。このような支流の上流への調査を進めることで、土砂崩壊がかなり起きている事実が明らかになると推定されるが、道路も崩壊しているため復旧次第、順次調査が必要である。

図 12.1 の P6 より上流を写真 12.8 に示す。写真 12.8 に示すように砂防ダム（治山ダムの可能性もあり、未確認）の側岸から抜けた土砂が下流を襲ったものと考えられる。



写真 12.7 P6 における土砂災害の被災状況もやし林となった畦畔林。



写真 12.8 P6 の上流に砂防ダムが設置されていたが、左の側岸から土砂が抜けていた。



写真 12.9 P7 における土砂災害の被災状況支流から流出した礫が本川まで到達していた。

図 12.1 の P7 における写真を写真 12.9 に示す。この地点は三坂であり、支流から流出した礫が本川まで到達しており、民家が礫で埋まっていた。

図 12.1 の P8（市ノ俣川中津道集落）における写真を写真 12.10 に示す。この地点には支流の市ノ俣川の溪流横に建っている民家があり、礫で埋まっていた。

図 12.1 の P9 における写真を写真 12.11 に示す。この地点は多武除急傾斜地崩壊危険区域であり、支流から流出した礫が本川まで到達しており、支流端沿いの民家や傾斜地崩壊危険区域を示す看板までが礫で埋まっていた。



写真 12.10 P8 における土砂災害の被災状況支流の溪流も礫が堆積していた。



写真 12.11 P9 における土砂災害の被災状況多武除急傾斜地崩壊危険区域の看板が埋もれている。

九州北部豪雨で被災した赤谷川および白木谷川の状況を写真 12.12 および写真 12.13 に示す。これらでは砂やシルトが多く流出していた。これに対し写真 12.10, 12.11 では明らかに礫が多い。これは地質の違いなのかそれとも他の原因なのか今後調査が必要である。



写真 12.12 福岡県朝倉市赤谷川上流  
(2017年7月撮影)



写真 12.13 福岡県朝倉市白木谷川中流  
(360VRカメラにより2017年8月撮影)

### 12.2.3 調査結果

以上の状況から、確認には道路の復旧を待つ必要があるが、かなりの地点で土砂崩壊や土石流が発生してそれが支流を經由して本流に達していると推測できる。その原因も、豪雨だけでなく、皆伐後の放置による崩壊の問題は以前から指摘されている。その他、シカの食害、落葉広葉樹から常緑広葉樹への遷移、あるいは施業不足等により林内が暗くなり、下草や低木が失われ、林内雨により根がむき出しになって崩壊した可能性がある。

## 12.3 まとめ

今回の豪雨災害は、土砂災害に関しては2017年の北部九州豪雨と比較すると、流木のみならず礫が多い印象が非常に強い。また各所で下草や低木の消失が目立つことや今まであまり被害がなかった肥薩線の土砂災害による被災状況から、シカの食害、落葉広葉樹から常緑広葉樹への遷移、あるいは施業不足等により、従来と比べ土砂災害が増加し、斜面が不安定化している可能性が高いと考えられるため、今後詳細な調査検証を行う必要がある。

## 12.4 今後の課題

シカの食害と土砂災害の関係を定量化、あるいは比較的シカの食害が少ないと言われている隣の芦北町や球磨村との比較を行うこと。その際、雨量が同じ程度であったかXRRAINデータを解析する事、土砂災害発生状況を確認するために、さらに上流までのドローンによる空撮と3次元モデルによる可視化、加えて赤外線センサーによる食害の程度の観測を行う必要があると考えている。

### 謝辞

本調査を遂行するにあたり、東京大学演習林の蔵治光一郎教授には森林水文学の立場から、多大の示唆をいただいた。また「坂本町災害支援チーム ドラゴントレイル」のつる詳子氏はじめ同チームの諸兄弟には現地での案内やデータ取得等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

### 第3編

#### 参考文献

森山聡之，つる詳子：球磨川坂本地区周辺におけるシカの食害と斜面崩壊について，応用生態工学会研究発表会要旨集，2019.

森山聡之，つる詳子：球磨川のシカ食害と斜面崩壊について，福岡工業大学総合研究機構環境科学研究所所報，Vo.3，2020.



## 第13章 球磨川流域の流木災害

九州大学 矢野 真一郎

九州大学 丸谷 靖幸

### 13.1 はじめに

近年頻発している大規模水害においては、山地の豪雨に起因して斜面崩壊が多数発生し、その結果として土砂と流木が河道へ流出し、水害による被害を拡大する傾向が概ね見られている。例えば、平成24年7月九州北部豪雨では、山国川、花月川（筑後川水系）、玉来川（大野川水系）、合志川（菊池川水系）、白川などで流木による被害が発生した（土木学会九州北部豪雨災害調査団，2013）。花月川では、夕田橋に流木が集積した結果、上流側に堰上げが発生したため堤防からの越流が生じ、日田市内にはん濫が生じた（矢野ら，2016）。平成28年の台風10号では岩手県を流れる2級河川小本川において流木災害が発生し、グループホームで高齢者の被害者が多く出た（末次，2017）。平成29年7月九州北部豪雨では、過去最大の溪流面積あたりの流木流出量を記録し、筑後川中流域右岸側の支川において甚大な流木災害が発生した（矢野ら，2018）。平成30年7月の西日本豪雨では、広島県の太田川水系三條川などで流木に伴う橋梁被害が発生している（井上ら，2019）。さらに、令和元年東日本台風では、宮城県丸森町を流れる阿武隈川水系の内川・五福谷川・新川の流域で大規模な斜面崩壊が多発し、大量の流木と土砂が下流の集落を埋め尽くした（矢野ら，2020）。

このように、今後も起こり続けるだろう大規模豪雨や強大な台風における流木災害については、その防災・減災に向けた対策が急がれる。また現在、国が進めている気候変動の影響を踏まえた治水計画への展開においても、土砂と流木の影響を加味した河川計画への研究や技術開発の必要性が謳われている（気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会，2019）。

令和2年7月豪雨では、7月3日から4日にかけて球磨川流域で大雨をもたらした。本章では球磨川における流木災害の実態について現地調査を行った結果を報告する。加えて、矢野ら(2020)が令和元年東日本台風による丸森町の4河川において、正垣ら(2020)が平成29年7月九州北部豪雨による筑後川中流右岸支川15河川において、津末ら(2021)が平成30年西日本豪雨による被災河川において、それぞれ開発しているロジスティックモデルによる流木発生量評価モデルを適用し、球磨川支川の川辺川に建設する方針が示された川辺川ダムの集水域における流木リスクの評価などを試みたので、併せて報告する。

### 13.2 球磨川流域における流木災害の状況

令和2年7月豪雨では、7月3日から4日午前中にかけて球磨川流域に大雨が発生した。流域内の代表的な雨量観測所の7月3日0時から4日24時までの48時間雨量として、気象庁の人吉地点で420mm、上地点で466.5mmが得られている（国土交通省九州地方整備局，熊本県，2020a）。球磨川の河川整備方針では、基本高水流量として再起確率1/80の12時間累積雨量に対して人吉地点で7,000 m<sup>3</sup>/sが設定されている。国土交通省が試算した結果では、今次水害のピーク流量は7,900 m<sup>3</sup>/s（氾濫戻し、市房ダムなしの場合）であった（国土交通省九州地方整備局，熊本県，2020b）。このように方針規模を越える流量が見られた洪水であり、相当量の土砂と流木が流出したことが想定された。

流木量については、球磨川流域全体についての包括的なデータが存在していないため、現状では断片

### 第3編

的なデータを基に議論せざるを得ない。まず、球磨川本川上流の球磨郡水上村にある市房ダム（熊本県管理，集水面積：157.8 km<sup>2</sup>，総貯水容量：40.2 百万 m<sup>3</sup>，昭和 35 年運用開始，洪水調整・発電・かんがいの多目的ダム（熊本県，2020a））において，約 20,000 m<sup>3</sup>（推定値）の流木捕捉を行っている（国土交通省九州地方整備局，熊本県，2020b）。一方，球磨川の支川においては被害が甚大だったことから，国による権限代行で流木処理が行われた河川があった。それら代行事業における撤去量データより，表 13.1 に示す流木量が得られている。加えて市房ダムの直下にある幸野（この）ダム（熊本県管理，集水面積：161.1 km<sup>2</sup>（ただし，市房ダムを含む），総貯水容量：325.9 千 m<sup>3</sup>，昭和 36 年運用開始，発電・かんがいの多目的ダム（熊本県，2020b））における流木量も併せて示す。

これらの情報，ならびに著者らが発災直後（2020 年 7 月 7 日，11～12 日）に行った先行調査で見られた流木発生状況を基に，調査地域を市房ダム上流域，万江川，川辺川，小川などの支川流域に限定して行った現地調査から得られた流木発生源の情報を以下に解説する。

#### 13.2.1 市房ダム上流域について

市房ダム上流域において，2020 年 10 月 18～20 日ならびに 12 月 11～13 日に現地調査を行い，流木発生源となる斜面崩壊地の位置，崩壊面積などを調べた。崩壊地の探索は，初回の調査において，河道をいくつかの領域に区分して各エリアでドローン（Mavic 2 Pro, DJI 社製）を飛行させ，連続的に写真撮影をし，その画像から崩壊地の位置を特定した。そして，2 度目の調査では，特定している崩壊地上空にドローンを飛行させ，上空から写真測量を行った。ただし，斜面への人のアプローチがほとんどの箇所できなかつたため，対空標識を設置して行うような精度の高い測量は行っていない。また，事前調査で特定されていなかった斜面崩壊を発見した場合には，その場でドローン測量を追加実施して，極力多

表 13.1 流木データ（\*以外は九州地方整備局まとめ）

河川名	流木量(t)	流木量(m <sup>3</sup> )	備考
市之俣川	9	12.9	
川内川	88	125.7	
芋川	8	11.4	庄本川を含む
中園川	31	44.3	
小川	97	138.6	
鶴川	10	14.3	
幸野ダム*	6.15	8.8	熊本県まとめ

※流木量は重量で示されているため，比重 0.7 で体積換算した。



図 13.1 斜面崩壊地オルソ画像（市房ダム上流球磨川本川，I-2 地点他）



図 13.2 斜面崩壊地オルソ画像（市房ダム上流湯山川，Y-5 地点他）

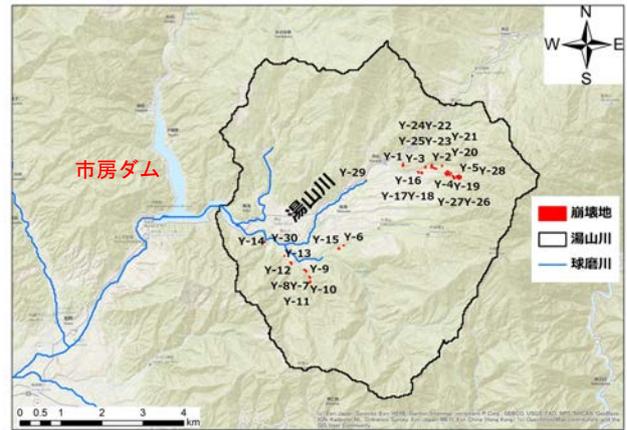
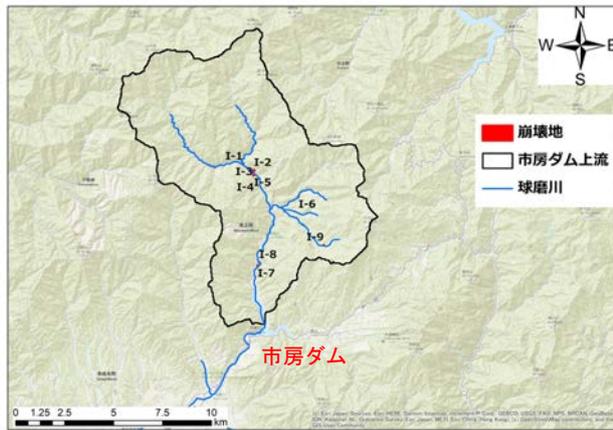


図 13.3 崩壊地位置 (ダム上流球磨川本川流域)

図 13.4 崩壊地位置 (ダム上流湯山川流域)

表 13.2 各崩壊地の面積と推定流木発生量 (市房ダム上流域)

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
球磨川本川流域	I-1	0.041	22.5	湯山川流域	Y-11	0.014	29.2
	I-2	0.253	138.9		Y-12	0.056	0.0
	I-3	0.058	0.0		Y-13	0.032	0.0
	I-4	0.003	0.0		Y-14	0.024	17.7
	I-5	0.075	0.0		Y-15	0.049	13.3
	I-6	0.014	0.0		Y-16	0.074	27.1
	I-7	0.033	18.4		Y-17	0.041	40.7
	I-8	0.024	0.0		Y-18	0.042	22.7
	I-9	0.015	0.0		Y-19	0.078	23.1
湯山川流域	Y-1	0.064	35.4		Y-20	0.043	43.0
	Y-2	0.064	35.0		Y-21	0.021	23.4
	Y-3	0.072	39.5		Y-22	0.016	11.8
	Y-4	0.179	98.1		Y-23	0.026	8.6
	Y-5	0.600	0.0		Y-24	0.014	14.5
	Y-6	0.034	0.0		Y-25	0.024	7.9
	Y-7	0.019	10.7		Y-26	0.018	13.0
	Y-8	0.014	7.6		Y-27	0.025	10.0
	Y-9	0.061	33.4		Y-28	0.013	13.6
	Y-10	0.053	35.4		Y-29	0.026	7.1
					Y-30	0.011	0.0

数の崩壊地データの取得に努めた。撮影した多数の写真を重ね合わせることでオルソ画像化した。データ処理にはソフトウェア Metashape (Agisoft 社製) を用いた。最終的に、ポリゴン化した崩壊地データをドローンで記録された座標データを用いて GIS 上に整理した。

図 13.1, 2 にオルソ画像化した崩壊地 2 カ所について一例として示した。市房ダムの集水域は球磨川

### 第3編

本川流域と支川の湯山川流域に大きく区分される。それら流域について、今回の調査で取得された崩壊地の位置図を図13.3, 4にそれぞれ示した。また、表13.2に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示した。今次豪雨では両方の流域における降雨は同程度であったが、斜面崩壊は湯山川流域の規模が相対的に大きかった。流木発生量 $V$ は、矢野ら(2020)などで用いた崩壊面積 $A$ に単位面積あたり材積量 $\beta_{tw}$ を乗じる方法で算出した。その際、表面被覆データから針葉樹、広葉樹、裸地・草地に分類し、それぞれの $\beta_{tw}$ を $54,900\text{ m}^3/\text{km}^2$ ,  $100\text{ m}^3/\text{km}^2$ ,  $0\text{ m}^3/\text{km}^2$ としている。この流域で最大の崩壊はY-5地点で $A=0.6\text{ ha}$ であった。両流域で発生した合計流木量は $770.8\text{ m}^3$ であり、市房ダムに流入したと推定された量と比べると1割以下と非常に小さい。これは、崩壊地を完全に網羅できていない可能性があること、河畔林由来の流木量をカウントしていないこと、過去の出水で河道などに堆積していた倒木や間伐材の流入量が含まれていないこと、さらに市房ダムの流木捕捉量は貯水池内に浮かんだ流木の面積から概算されたものであり誤差があることなどが考えられる。H29九州北部豪雨、H30西日本豪雨、ならびにR1東日本台風などの近年の大規模水害では斜面崩壊地のデータが国土地理院や国土交通省による航空写真からの解析結果として公開されることが多く、流域内の斜面崩壊地を網羅的に把握できていたが、今回はそのような情報が無く、自前でデータを収集せざるを得なかった。山地におけるドローン調査では、平地と比べコントローラーとドローン本体間の通信距離が小さくなるなど、広範囲な飛行が困難なこともあり、十分に調査しきれていない。今後、行政による崩壊地の包括的なデータセットが公開された後に、再度評価する必要がある。

#### 13.2.2 万江川流域について

球磨川の2番目に大きい支川である万江川流域(流域面積 $90.3\text{ km}^2$ )において、2020年12月11~13日に現地調査を行い、流木発生源となる斜面崩壊地の位置、崩壊面積などを調べた。調査方法は前述の市房ダム上流域と同様である。

図13.5に崩壊地オルソ画像の一例を、また取得された崩壊地の位置図を図13.6にそれぞれ示す。また、表13.3に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示す。この流域で最大の崩壊はM-6地点で $A=0.159\text{ ha}$ ,  $V=87.2\text{ m}^3$ であった。流域で発生した合計流木量は $320.7\text{ m}^3$ と見積もられた。



図13.5 斜面崩壊地オルソ画像(万江川、M-6地点他)



図13.6 崩壊地位置(万江川流域)

表 13.3 各崩壊地の面積と推定流木発生量（万江川）

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
万江川流域	M-1	0.106	58.2	万江川流域	M-7	0.125	68.4
	M-2	0.034	0.0		M-8	0.019	0.0
	M-3	0.083	45.8		M-9	0.022	11.9
	M-4	0.021	0.0		M-10	0.062	33.9
	M-5	0.067	0.0		M-11	0.011	5.9
	M-6	0.159	87.2		M-12	0.017	9.3

13.2.3 川辺川流域について

最も大きい支川である川辺川流域（流域面積 533 km<sup>2</sup>）において、2020年12月11～13日に現地調査を同様に行った。ただし、日程上の都合で川辺川本川沿いの中流域までの範囲での調査となった。

図 13.7 に崩壊地オルソ画像の一例を、また取得された崩壊地の位置図を図 13.8 にそれぞれ示す。また、表 13.4 に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示す。中流域までで最大の崩壊は K-3 地点で A=0.086 ha, V=47.4 m<sup>3</sup>であった。川辺川本川中流域までで発生した流木量は 104.9 m<sup>3</sup>と見積もられた。

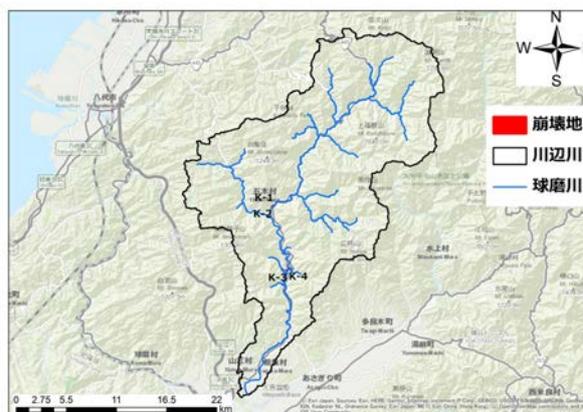


図 13.7 斜面崩壊地オルソ画像（川辺川. K-3 地点他） 図 13.8 崩壊地位置（川辺川流域）

表 13.4 各崩壊地の面積と推定流木発生量（川辺川）

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
川辺川	K-1	0.034	0.0	川辺川	K-3	0.086	47.4
	K-2	0.052	28.4		K-4	0.053	29.1

13.2.4 小川，中園川流域について

最後に球磨川支川の小川（流域面積 29.8 km<sup>2</sup>）と中園川（33.2 km<sup>2</sup>）について、2020年10月18～20日ならびに12月11～13日に現地調査を同様に行った。ただし、小川においては道路が崩落しており中流域まで、中園川も下流域で道路が崩落しており下流の狭い範囲のみの調査となった。小川については、先行調査の際に球磨川との合流地点となる渡地区周辺で大量の流木がはん濫流によって堤内地に流入

第3編

し、家屋を破壊した様子が見られた（図 13.9）。また、ドローンで撮影した写真によって流木が小川右岸側の渡小学校横の道路や周辺の家屋に堆積している様子が見られた（図 13.10）。これらの流木は堆積



図 13.9 流木被害状況（渡地区、2020/7/7 撮影）



図 13.10 流木被害状況（渡地区、2020/7/11 撮影）



図 13.11 斜面崩壊地オルソ画像（小川、O-16 地点他）



図 13.12 斜面崩壊地オルソ画像（中園川、N-1 地点他）

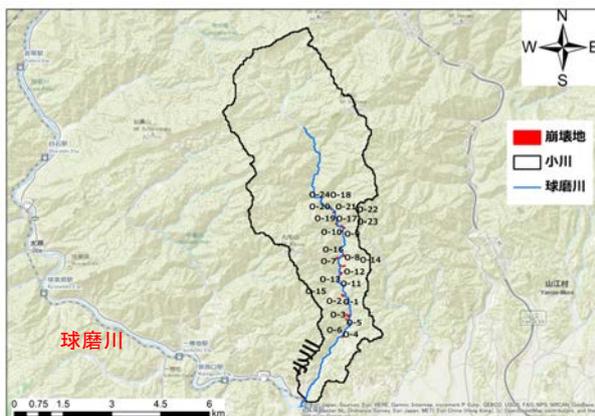


図 13.13 崩壊地位置（小川流域）



図 13.14 崩壊地位置（中園川流域）

表 13.5 各崩壊地の面積と推定流木発生量（小川流域）

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
小川流域	O-1	0.083	45.5	小川流域	O-13	0.050	27.3
	O-2	0.070	38.7		O-14	0.018	10.1
	O-3	0.044	24.2		O-15	0.012	6.7
	O-4	0.033	0.0		O-16	0.109	60.1
	O-5	0.081	44.2		O-17	0.032	17.7
	O-6	0.105	57.7		O-18	0.012	0.0
	O-7	0.053	0.0		O-19	0.034	0.0
	O-8	0.052	28.6		O-20	0.018	0.0
	O-9	0.063	34.7		O-21	0.031	0.0
	O-10	0.036	0.0		O-22	0.013	0.0
	O-11	0.024	13.3		O-23	0.016	0.0
	O-12	0.062	34.2		O-24	0.010	0.0

状況から、球磨川本川からではなく小川から流出したものと推測される。

図 13.11, 12 に崩壊地オルソ画像の一例を、また取得された崩壊地の位置図を図 13.13, 14 にそれぞれ示す。また、表 13.5 に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示す。この流域で最大の崩壊は O-16 地点で  $A=0.109$  ha,  $V=60.1$  m<sup>3</sup> であった。流域で発生した合計流木量は 442.9 m<sup>3</sup> と見積もられた。表 3.1 に示された小川の流木量より大きいのが、これは本川まで到達して流下した分が加わるためと推測される。

小川より下流で合流する中園川については、下流で道路の大規模な崩落があり、上流へ向かうことができなかった。崩落箇所周辺で見られた 3 つの斜面崩壊からの流木発生量は、65.7 m<sup>3</sup> と見積もられた。

### 13.3 ロジスティックモデルによる球磨川の流木発生量評価の試み

近年の大規模流木災害においては多数の斜面崩壊データ取得が可能であったことから、正垣ら(2020)、矢野ら(2020)、津末ら(2021)は、ロジスティック回帰分析手法を用いて、流木発生量を予測可能とする統計モデルを各豪雨イベントに対して開発した。

正垣ら(2020)は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨で斜面崩壊・流木災害の被害が顕著であった筑後川中流部支川 15 河川を対象にして、斜面崩壊に寄与すると考えられる主要な要因を説明変数として組み込み、ロジスティック回帰分析を行った。各河川で概ね±20%の精度で流木発生量を予測している。津末ら(2021)は、平成 30 年西日本豪雨で被災した呉市、東広島市、宇和島市の被災 17 河川を対象に同様にロジスティックモデルを作成し、概ね±20%の精度で各河川の流木発生量を予測している。さらに矢野ら(2020)は、令和元年東日本台風で被災した宮城県丸森町の被災 4 河川を対象にロジスティックモデルを作成し、やはり概ね±20%の精度で各河川の流木発生量を予測した。

そこで、これら既存のモデルを球磨川流域へ適用し、今次豪雨での流木発生量の再現を試みた。まず、対象流域を 30m メッシュに区分し、要因データを作成した。要因データは斜面崩壊に寄与する素因として、傾斜角・地質・断面曲率・累積流量・土壌被覆を用いた。誘因として最大累積雨量（1 時間・3 時間・6 時間・12 時間・24 時間）を設定した。ここでは、2012 年、2017～2020 年の各年の最大降雨イベントについて国土交通省の C-X 雨量データから得られる各時間の最大累積雨量を作成した。

次に既存のロジスティックモデルを適用し、メッシュ毎の斜面崩壊発生確率  $P(z)$  を次式より算出する。

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

ここで、 $z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$ 、 $\beta_i$ ：回帰係数（最尤法により決定）、 $X_i$ ：説明変数である。各モデルにおける $\beta_i$ を、表 13.6 に示す。なお、H29 豪雨と H30 豪雨のモデルでは、最大累積雨量について各時間雨量間での多重共線性を回避するために、一つ小さい時間の雨量を差し引く操作を行っている。

次に、メッシュ毎に得られた  $P(z)$  を溪流単位で集計し平均することで、溪流毎の平均斜面崩壊発生確率  $\overline{P(z)}$  を算出する。そして崩壊した溪流のデータから決定された崩壊地面積率と  $\overline{P(z)}$  の単回帰式を用いて、崩壊地面積率を予測する。最後に、流木発生量  $V$  は各溪流における崩壊面積  $A$  から、上述の現地調査による斜面崩壊地からの算出方法を適用して算出した。モデルの詳細は各文献を参照されたい。

表 13.6 各モデルの回帰係数

z 要因	区分	H29モデル回帰係数	H30モデル回帰係数	R1モデル回帰係数		
素因	傾斜角	0.068	0.025	0.027		
	平面曲率	-16.909		21.108		
	地質	火山岩	-0.346	2.142	10.605	
		深成岩	0.048	2.711	11.780	
		変成岩	0.561			
		堆積岩		1.448	11.054	
	累積流量	1.033	0.037	1.827		
	土壌被覆	広葉樹	1.004	1.890	-0.100	
		針葉樹	-1.235	1.789	-1.268	
		草地+裸地	-0.272	0.519	0.582	
誘因	最大累積雨量	1時間	0.065		0.018	
		3時間	※0.022		0.033	
		6時間	※0.030	0.023	0.009	
		12時間		※0.077	0.101	
		24時間		※0.013	-0.103	
		切片	-14.953	-15.502	-15.304	
		※各時間雨量の差分を取り扱う				

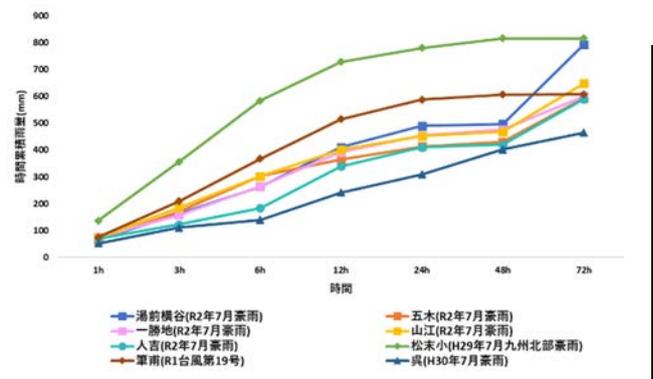


図 13.15 各モデルの対象豪雨と今次豪雨の累積雨量パターンの比較

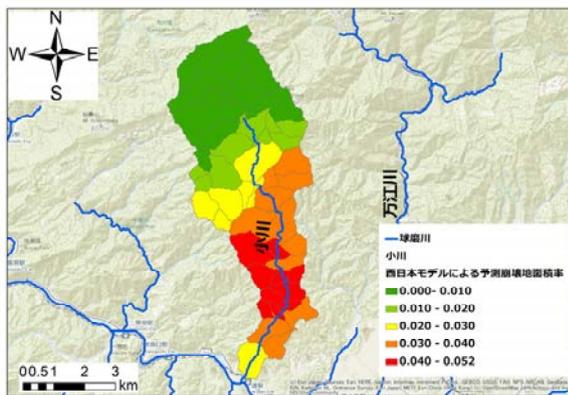


図 13.16 H30 豪雨モデルにより算出した小川流域の崩壊地面積率の分布

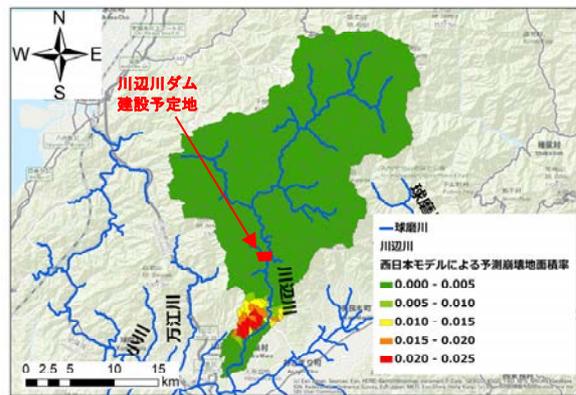


図 13.17 H30 豪雨モデルにより算出した川辺川流域の崩壊地面積率の分布

次に既存3種のロジスティックモデルを適用し、流木発生量を評価した。今次水害で評価を行った場合、H29 と R1 豪雨モデルでは流木の発生が見込めない結果を示す河川があったが、H30 豪雨モデルでは検討した全ての河川で流木発生量が評価された。これは、今次豪雨の球磨川流域における降雨パターンが比較的 H30 豪雨に近かったため、そのモデルで考慮された累積雨量の組み合わせが有効に機能したためと考えられる（図 13.15）。なお、各流域における発生流木量の実績データとして利用可能なものがないため、計算結果の再現性についての議論はできない。

図 13.16, 17 に H30 豪雨モデルによる今次豪雨に対する小川と川辺川流域における溪流毎の崩壊地面

積率分布の評価結果を示した。小川では今回調査を行った中下流域に崩壊が集中する結果となった。しかし、崩壊面積は過大評価気味であった。川辺川については、下流域に崩壊地が集中している。川辺川ダムは流水型ダムとしての建設が計画されているが、流水型ダムの問題の一つとして、土砂・流木が排水孔に大量に集積することで排水不能が起こる可能性が指摘されている。今回の評価結果によると、R2豪雨では川辺川ダム上流域からの流木発生の可能性は低いという結果を示した。このことはR2豪雨が持つパターンに対してはダムへ流木が流入するリスクは比較的小さいことを示している。ただし、現地調査ではダム建設予定地上流にも崩壊地が見つかっており、他の降雨パターンについての詳細な検討が必要である。

## 13.4 まとめ

球磨川について今次豪雨による流木の発生が顕著であった流域についての発生源調査をドローンによる写真測量により行った。その結果、球磨川全域ではないが80カ所以上の斜面崩壊地データを収集できた。しかしながら、行政により報告されている発生流木量の推定値に比べそれら斜面崩壊地からの流木発生量の総量はかなり少ないものであった。ドローンでは飛行距離の限界や山地の斜面上を飛行する際に墜落のリスクがあることなどから広域の調査を行うには限界があるため、崩壊地の全容を捉えきれていないためと考えられた。国などによる航空写真撮影や衛星データなどを用いた広範囲のリモートセンシングによる包括的なデータ収集が必要である。

また、過去の大規模流木災害から開発された流木発生量の評価するためのロジスティックモデルを球磨川流域へ適用した。その結果、降雨パターンが比較的近い平成30年西日本豪雨に最適化したモデルにより、今次豪雨による斜面崩壊の発生の傾向性が表現できた。今次豪雨による災害を受けて建設が表明された川辺川ダムの集水域においては、比較的流木の発生する可能性が低いことが示された。このことは一般的に大量の土砂や流木の流出についての脆弱性が指摘されている流水型ダムを建設する上では、好条件が示されたことを意味している。

## 13.5 今後の課題

まず、今次豪雨において球磨川流域で発生した斜面崩壊地の包括的なデータの作成が必要不可欠である。これが揃うことで、同流域における今次豪雨に起因する流木発生の要因分析が完全な形で可能になる。加えて、本調査で適用したロジスティックモデルは他の水害に最適化されていることから、今次豪雨に最適化したモデルの開発が必要である。調査で得られた崩壊地データは、統計解析するのに数的に十分であるが、今回まだ崩壊が確認できていないエリアにある崩壊地を適切に評価しなければモデル開発に支障があることから、包括的データの整備が必要不可欠である。

川辺川に建設される可能性が高まっている流水型ダムについての懸念事項の一つである流木流入の影響については、現状の解析ではリスクは相対的に低いと示されたが、これについてもより信頼性の高い評価のために今次豪雨に最適化したモデルによる再解析が必要である。

今次災害に限らず流木災害については、発生量データの精度が高くないことや、発生したタイミングが不明確であることが多く、検証が困難であることが多い。現在、国が進めている気候変動の影響を組み込んだ治水計画への方針転換においても、土砂や流木の影響を加味する必要性が指摘されている。こ

### 第3編

これらのリスク評価を合理的に、かつ精度良く行うためにも基礎データの収集体制の確立が求められる。

また、流木災害の減災については、基本的には発生源対策となる森林の健全な管理、砂防施設の充実、ダムにおける網場の強化、河道における流木捕捉施設整備、危険性の高い橋梁の改修促進、などが重要であるが、両河川流域においてこれらを適切に行うためにも、流域一貫した流木災害リスク評価手法の確立が求められる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局、熊本県にはデータ提供等で多大な協力を得た。また、現地調査とデータ解析、ならびにロジスティックモデル解析においては、九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻の正垣貴大君、Wu Yiewn 君、矢藤壮真君、九州大学工学部地球環境工学科の小林知朋さん、福田凌大君、他九州大学環境流体力学研究室の学生諸氏に多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 井上隆, 山村優佳, 二瓶泰雄: 豪雨時の橋梁被害リスク評価指標の検討～H30年西日本豪雨の三條川橋梁被害縦断分布データを用いて～, 土木学会論文集B1 (水工学), 75(2), pp.I\_1417-I\_1422, 2019.
- 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会: 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言, p.25, 2019.
- 熊本県: 市房ダムの概要, 2020a, <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/106/2587.html> (2021年2月1日現在).
- 熊本県: 幸野ダムの概要, 2020b, <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/120/5213.html> (2021年2月1日現在).
- 国土交通省九州地方整備局, 熊本県: 第1回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料, 2020a, [http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/r0207\\_ryuikitisui\\_goukensho/index.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/r0207_ryuikitisui_goukensho/index.html) (2021年2月1日現在).
- 国土交通省九州地方整備局, 熊本県: 第2回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料, 2020b, [http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/r0207\\_ryuikitisui\\_goukensho/index.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/r0207_ryuikitisui_goukensho/index.html) (2021年2月1日現在).
- 正垣貴大, 津末明義, Wu Yiwen, 矢藤壮真, 矢野真一郎, 笠間清伸: ロジスティック回帰分析による平成29年7月九州北部豪雨における流木発生傾向推定モデルの改良, 令和2年度土木学会年次学術講演会概要集, 2020.
- 末次忠司: 平成28年の台風10号による福祉施設の被災と減災対策, 水利科学, 354, pp.98-106, 2017.
- 津末明義, 正垣貴大, 矢野真一郎, 他: 平成30年西日本豪雨における流木災害評価のためのロジスティック回帰分析, 2021. (投稿準備中)
- 土木学会九州北部豪雨災害調査団: 平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書, p.104, 2013.
- 矢野真一郎, 土橋将太, 堂蘭俊多, 笠間清伸, 北隆範: 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), pp.I\_289-I\_294, 2016.
- 矢野真一郎, 大久保遼太, 津末明義, 竹村大, 富田浩平, 笠間清伸, 二瓶泰雄: 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), pp.I\_1063-I\_1068, 2018.
- 矢野真一郎, 正垣貴大, 矢藤壮真, 津末明義, Wu Yiwen, 笠間清伸: 令和元年東日本台風による丸森町における斜面崩壊のロジスティックモデルの開発と流木発生量の推定, 土木学会論文集B1 (水工学), 76(1), pp. 253-263, 2020.

## 第14章 市房ダム，川辺川ダム（存在する場合）の治水効果算定

神戸大学 小林健一郎

## 14.1 序論

令和2年7月球磨川豪雨は，7月3日0時～7月4日24時で，気象庁人吉雨量観測所で420mmの降雨を記録した．これまでの人吉の7月平均雨量は471.4mmであった．7月4日未明から朝にかけては線状降水帯による時間雨量30mmを超える雨が8時間降り続いた．球磨川本川沿いの多良木や人吉では，6, 12, 24時間雨量において昭和40年7月洪水や昭和57年7月洪水を上回る降雨を記録した（福岡管区気象台，2020；国土交通省九州地方整備局，2020）．本稿ではかかる状況で球磨川流域の市房ダムがどのような効果を発揮したのかを考察した．また，同様に仮に川辺川ダムが存在した場合にどのような効果を発揮しえるのかについても考察した．

## 14.2 計算条件

図14.1に球磨川流域図を示す．同図には市房ダムおよびその流域，川辺川ダム予定地付近およびその流域，ならびに後述するが2次元計算領域を示した．図14.2には市房ダムの毎正時の観測流入量と放流量を示す．図14.3には角・野原（2020）が流出モデルにより計算した川辺川ダム地点における計算流入量と，川辺川ダムがあった場合の計算放流量を示す．まず，再現計算として図14.2の観測放流量，図14.3の計算流入量を図14.1の市房ダム，川辺川ダム地点に入力して，計算領域において浅水流方程式による2次元計算を実施した．計算領域（図14.1）は，5m解像度で，26.545km×16.995kmの範囲（5309×3399=18045291節点）で，計算開始時刻は2020/7/3 18:00，24時間の計算を実施した．降雨には解析雨量を用いている．この設定で富岳を用いると256CPUで30分程度の計算時間である．適用した浅水流方程式は以下のようなものである（Kobayashi et al., 2015）．

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (3)$$

ここに， $h$ は水深， $n$ はマニング粗度係数（本稿では0.05）， $M = uh$ ， $N = vh$ ， $M$ ， $N$ は流量フラックス， $u$ ， $v$ はそれぞれ $x$ 方向， $y$ 方向の流速， $H$ は水位である．計算領域最外縁では，完全越流公式に基づいて水が流出するとした．したがって，計算領域外における背水の影響は考慮していない．

## 14.3 計算結果

計算領域での水深計算結果を図14.4に示す．図の赤線は国土地理院（2020）による痕跡氾濫範囲であり，計算結果はこの痕跡によく一致しているのがわかる．次に，この再現計算で地点水深を抜き出し出力，これを観測水深と比較した結果を図14.5～7に示す．比較したのは図14.1にあるように球磨川

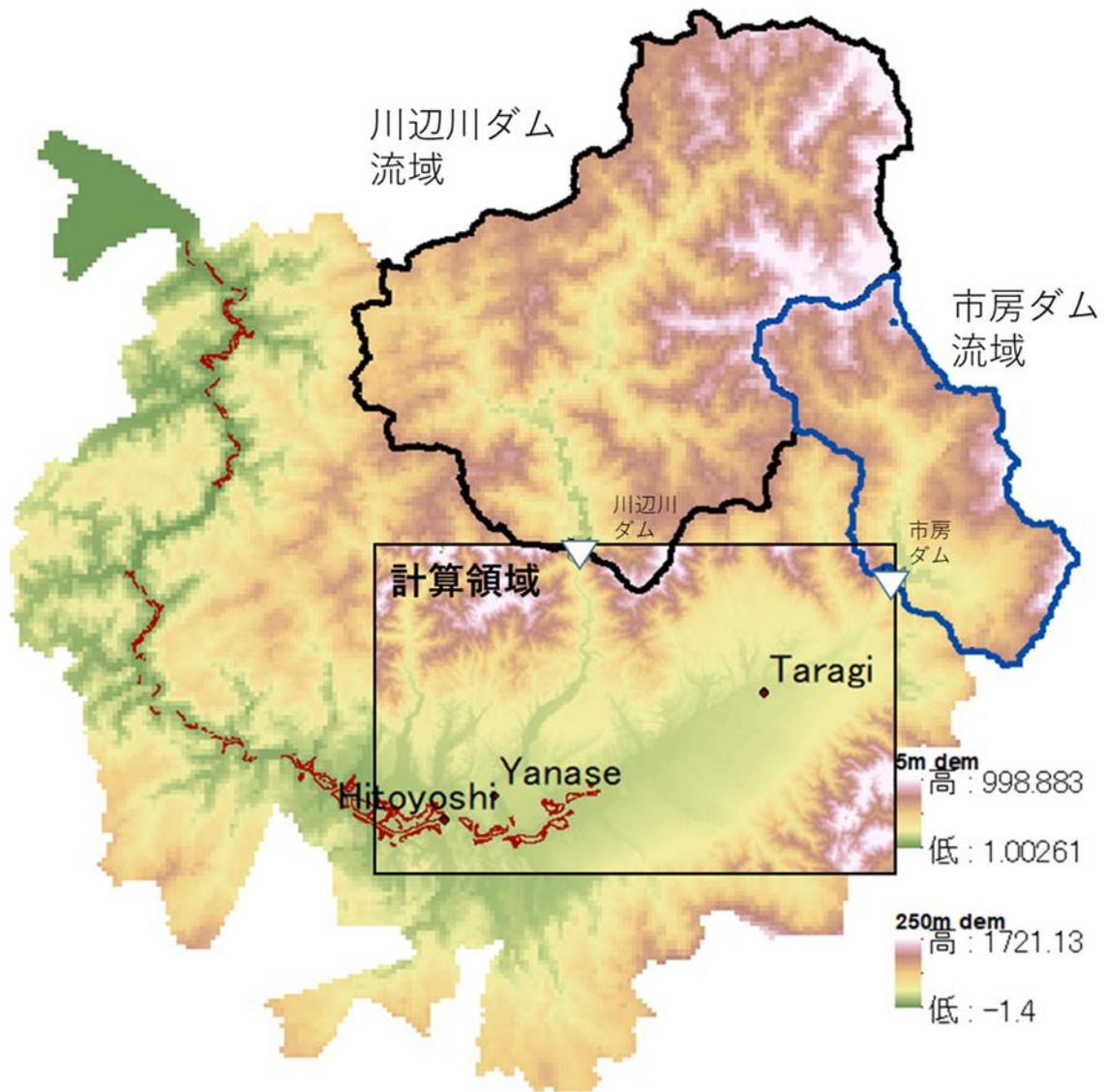


図 14.1 球磨川流域図  
2020.7.3JST-7.4JST

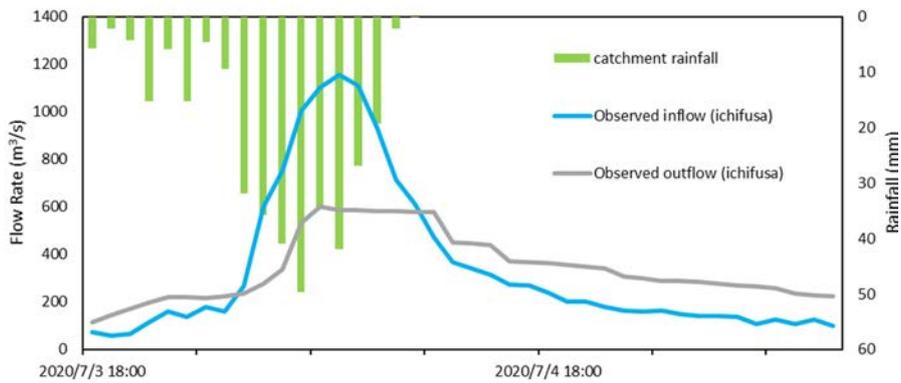


図 14.2 市房ダム観測流入量・放流量（毎正時）

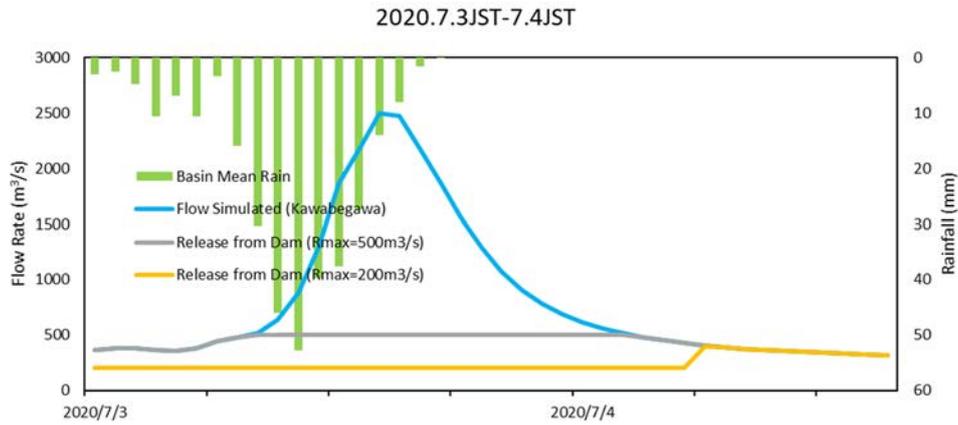


図 14.3 (仮想) 川辺川ダム計算流入量・放流量 (毎正時) (角・野原, 2020 より)

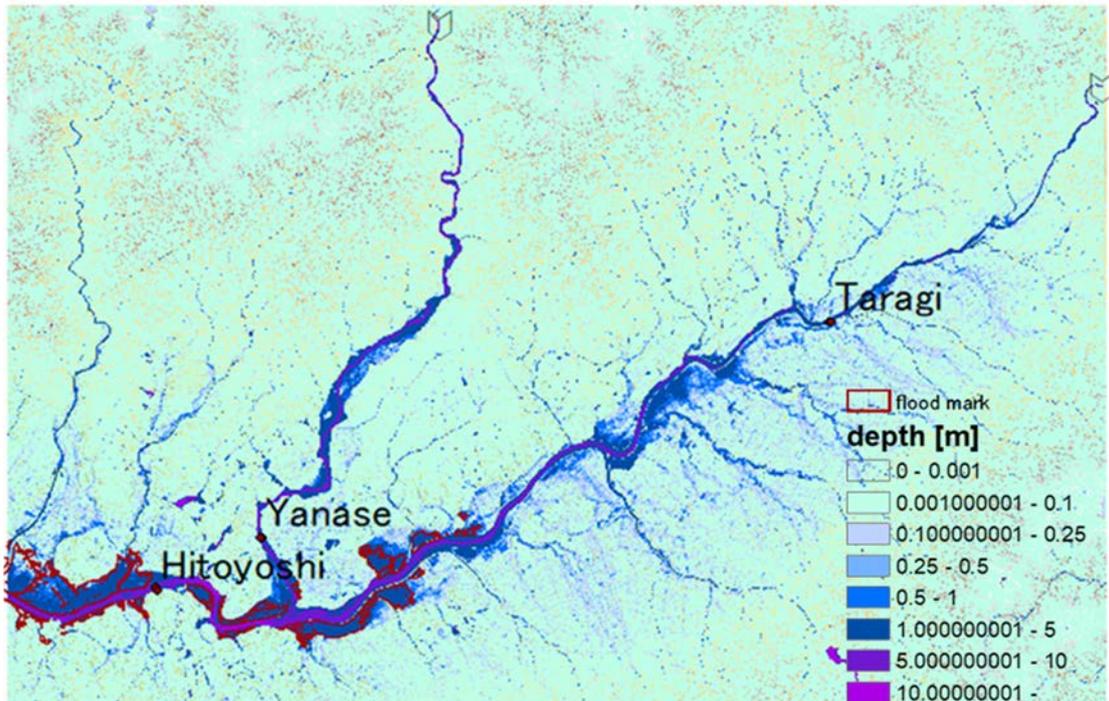


図 14.4 水深計算結果 (2020/7/4, 9:00:00)

本流の多良木, 人吉, 川辺川の柳瀬地点である。観測水深が2次元計算水深のどの位置に該当するのか厳密には不明なため, 必ずしも同じ地点の比較をしていない可能性があるが, 参考として示す。これにより柳瀬, 多良木, 人吉については比較的良く観測を計算結果は再現していることが見て取れる。なお, 初期時刻については水がないので水深がゼロである。

次に, 市房ダムがない場合を想定し, 市房ダムへの観測流入量そのまま放流される場合を計算した場合の人吉付近の水深計算結果を図 14.8 左上に示す。他方, 市房ダムにおいて観測放流量を与えた場合について図 14.8 右上に示す。これらの図を見ると, その差は比較的小さいことがわかる。図 14.8 左下には, 市房ダムから観測放流量かつ川辺川ダムから計算放流量 (Rmax=200) を与えた場合の計算結果を示した。これにより, 市房ダムかつ川辺川ダムがある場合は, 一定の治水効果があることが見て取れる。また, 図 14.8 右下には, 市房ダムおよび川辺川ダムからの放流が無いとする, つまり, 市房ダム, 川辺川ダム流域以外の残流域のみからの流出による本川の水位上昇を考慮した計算結果を示す。これは山田川において背水が生じにくい計算設定として, 主に山田川流域単体における浸水を示すことを目的として実施した。さらに, 浸水範囲内の青井阿曾神社における水深を抽出した図 14.9 右を示す。これ



図 14.5 計算・観測水深（柳瀬）

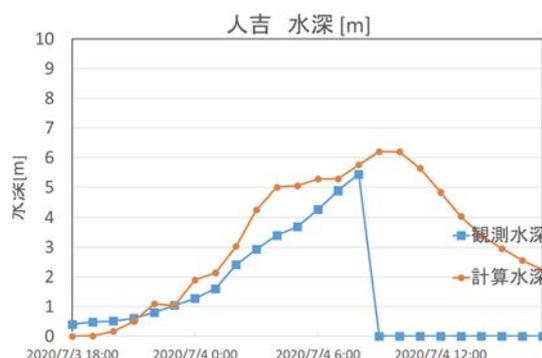


図 14.6 計算・観測水深（人吉）



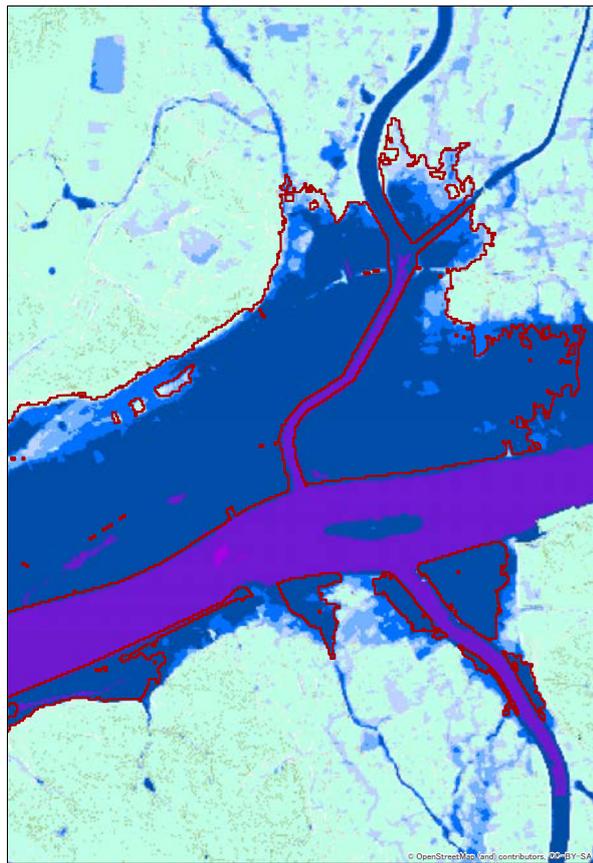
図 14.7 計算・観測水深（多良木）

によると、市房ダムがあることによる神社の水深低減効果は0.18m、川辺川ダムがある場合は0.94mであった。また、市房、川辺川ダムからの放流をゼロとする場合、青井阿曾神社付近の水深は7cmとなり、山田川で球磨川への排水不良が無い場合、青井阿曾神社においては浸水がそれほど発生しないという計算結果になった。

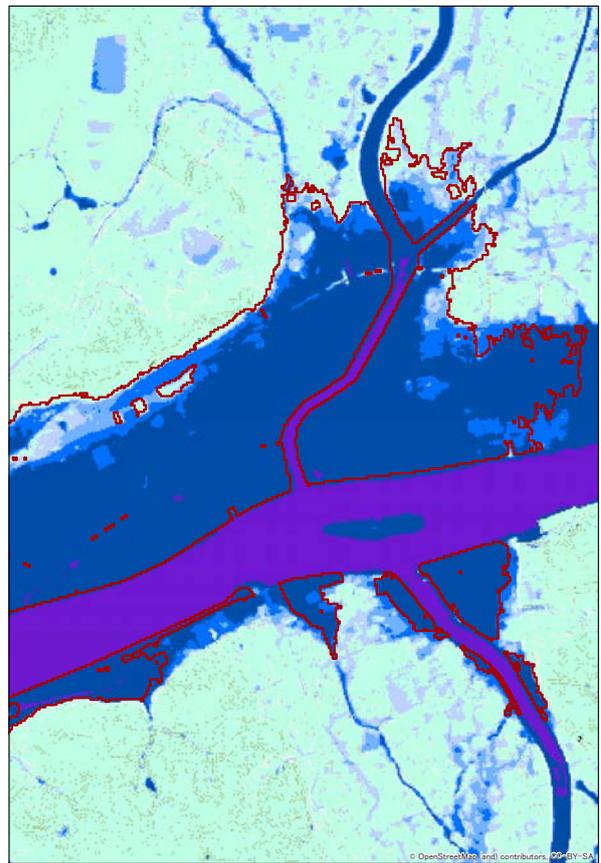
図 14.10 に山田川の観測地点3（図 14.98）における水深を、再現計算（川辺川計算流入量，市房ダム観測放流量），両ダムが無い場合（川辺川計算流入，市房観測流入），両ダムがある場合（川辺川計算放流（ $R_{max}=200$ ），市房観測放流），及びダムから無放流の場合（ダム流域なし）について示す。

#### 14.4 今後の課題

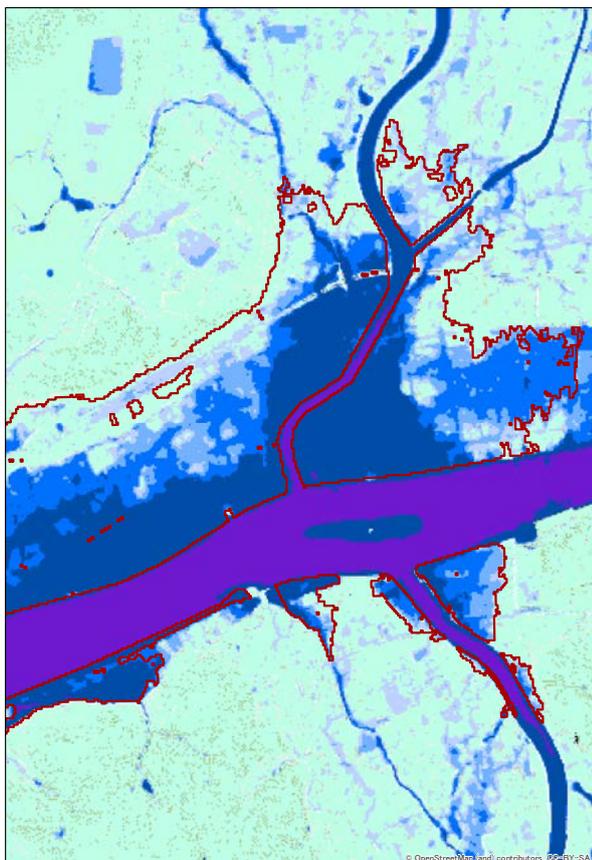
本稿では速報としての計算結果を示したが、川辺川ダム等の効果については現時点での具体的な講評を控えることとする。注意点として、本研究の浸水計算は5m解像度で実施しており、現在一般的に入手可能な標高データとしては最高解像度であるが、5m解像度でも特に中小河川の局所的な堤防天端高（パラペット等含む）は必ずしも再現できていない場合がある。したがって、今後地域の実情に合わせた精査が必要である。現時点でも人吉地点の計算結果を精査すると国土交通省・熊本県のモニタリングカメラ観測結果と比較して浸水が早く発生することが分かっている。これは、山田川沿いの堤防高が実際より低いことが想定され、実際には現地の局所的な堤防により特に浸水初期に浸水範囲がより限定される可能性があると考えている。また、今後推定流量がより確かになってきた段階で、この側面からの精査も必要である。しかしながら、速報としての意味はあると考えここに掲載するものである。今後内容は変わる可能性があることに留意されたい。



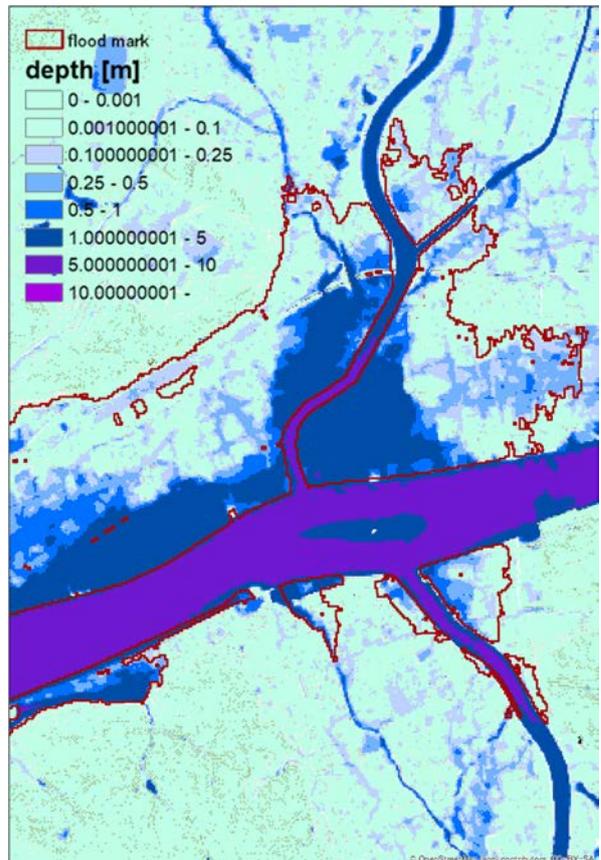
市房ダムなし，川辺川ダムなし



市房ダムあり，川辺川ダムなし



市房ダムあり，川辺川ダムあり



市房ダム，川辺川ダムからの放流なし  
(ダム流域なし)

図 14.8 人吉付近水深計算結果 (2020/7/4, 9:00:00)

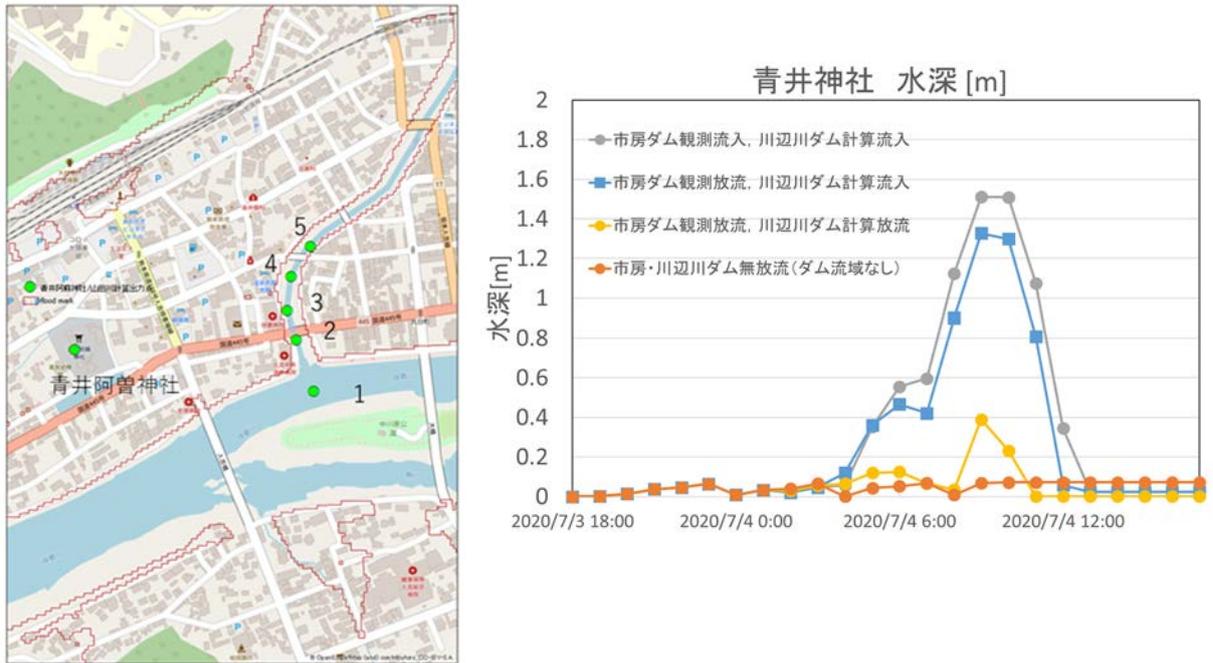


図 14.9 青井阿曾神社および水深抽出地点 (左), 青井阿曾神社水深 (右)

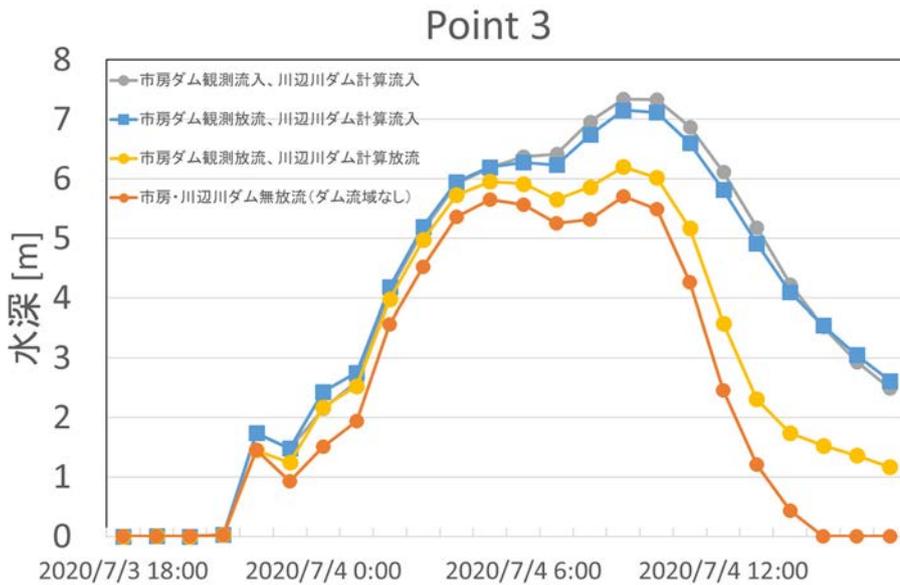


図 14.10 観測点 3 (図 14.9) における水深

謝辞

本研究は、京都大学：角哲也，野原大督，神戸大学：田村篤志，穴瀬博子，ダム工学会 WG，気象庁：川畑拓也，気象業務支援センター：Le Duc，大泉伝，上智大学：黄光偉，他と実施していますことを記載します。また，国土交通省，熊本県とは結果の解釈について意見交換をしました。ここに記して感謝いたします。

### 第3編

#### 参考文献

Kobayashi K., D. Kitamura, K. Ando, N. Ohi: Parallel computing for high-resolution/large-scale flood simulation using the K supercomputer, Hydrological Research Letters, Vol. 9, No. 4, pp. 61-68, 2015

国土交通省・九州地方整備局：第一回令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料，  
[http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site\\_files/file/bousai/gouukensho/20200825shiryou1.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/bousai/gouukensho/20200825shiryou1.pdf), 2020 (2020年2月15日アクセス)

国土地理院：令和2年7月豪雨に関する情報，

[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9), 2020 (2020年2月15日アクセス)

角哲也・野原大督：2020年7月球磨川水害速報（市房ダムおよび川辺川ダムに着目して）

[http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/content/files/DisasterSurvey/2020/report\\_KumaRiverFloods2020\\_v3.pdf](http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/content/files/DisasterSurvey/2020/report_KumaRiverFloods2020_v3.pdf),  
2020 (2020年2月15日アクセス)

福岡管区气象台：災害時気象資料 -令和2年7月3日から4日にかけての熊本県・鹿児島県の大雨について，  
[https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20200705\\_fukuoka.pdf](https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20200705_fukuoka.pdf), 2020 (2020年2月15日アクセス)



# 第4編

## 筑後川流域の豪雨災害

香川大学	石塚 正秀
九州大学	田井 明
九州大学	丸谷 靖幸
九州大学	矢野 真一郎
九州工業大学	秋山 壽一郎
九州工業大学	重枝 未玲
高知工業高等専門学校	岡田 将治
佐賀大学	大串 浩一郎
水資源機構・香川大学	津田 守正
日本文理大学	池畑 義人
福岡大学	橋本 彰博



## 第1章 筑後川流域の被害概要

九州大学 矢野 真一郎

### 1.1 令和2年7月豪雨における筑後川流域の降雨

令和2年7月3日から8日にかけて、日本周辺に停滞した梅雨前線の影響を受け、暖かく湿った空気が流れ込み、九州南部から近畿、東海、甲信地方までの範囲で大雨が発生した。気象庁(2020a)はこの一連の大雨を「令和2年7月豪雨」と命名した。その後、7月31日まで全国で大雨が発生しており、そこまですべてをこの豪雨に含めた[気象庁(2020b)]。本章では、7月5日から8日にかけて筑後川流域で降った大雨に関する被災状況の概略について解説する。

筑後川は九州最大の一級河川であり、幹川流路延長143km、流域面積2,860km<sup>2</sup>を持つ(図1.1)。坂東太郎(利根川)、四国三郎(吉野川)とならび筑紫次郎と称される我が国有数の大河川で暴れ川である。流域は熊本県阿蘇郡瀬の本を源流とし、大分県、福岡県、ならびに佐賀県をまたぐ。沿線の主要な都市として、日田市(人口64,043人(R2/12/1現在))、久留米市(304,672人)、鳥栖市(73,968人)、大川市(33,425人)、ならびに佐賀市(231,723人)がある。流域内の平均年間降水量は約2,140mmであり、全国平均値(1,560mm)の約1.4倍である。特に、松原・下笠ダムの上流域は多雨地帯であり3,000mmを超える箇所もある[国土交通省(2018)]。現在の河川計画(平成30年に更新)では、基準点である荒瀬地点の整備方針流量が10,000m<sup>3</sup>/s、整備計画流量が6,900m<sup>3</sup>/s(うち河道への配分流量は5,200m<sup>3</sup>/s)となっている。



図1.1 筑後川水系

## 第4編

筑後川は過去に多くの大洪水を経験してきた。特に、昭和28年洪水（西日本水害）では多数の堤防決壊が発生し、147名の死者がでた。最近では、平成24年7月九州北部豪雨、平成29年7月九州北部豪雨、ならびに平成30年西日本豪雨が発生し、今回の水害を含めると9年間に4回の大規模洪水に襲われている。平成24年水害では、日田市を流れる支川の花月川で2週間に2回の既往最大洪水が発生し、1度目（7月3日）で2カ所の堤防決壊が発生し市内中心部が浸水した。2度目（7月14日）では堤防の応急復旧が24時間体制で実施された復旧作業によりギリギリで間に合い、1度目を上回る洪水ではん濫が発生したものの、浸水規模は少なく済んでいる。平成29年水害では中流域右岸側の朝倉市、東峰村、日田市で大規模な土砂・流木流出が起こり、42名の死者・行方不明者がでた。平成30年水害では、後述するとおり久留米市で内水はん濫が発生したり、福岡県筑前町の農業用ため池の中島池で大規模な決壊が生じたりしている。

今次豪雨における降雨は、筑後川流域全体で累積雨量500mmを超えたところが多かった。下笠ダムの下笠雨量観測所では、7月5日17時から8日5時までの期間で812mmを記録した。1時間最大雨量は7日6時の107mmであった〔国土交通省(2020)〕。図1.2,3に玖珠川流域の玖珠地点、ならびに本川下流域の久留米地点におけるハイエトグラフを示す。玖珠での7月の1ヶ月降水量の平年値が349.9mmであるのに対して、今次豪雨での累積雨量は548mmに達している。同様に久留米では7月平年値329.4mmに対し、今次豪雨は546.5mmであった。よって、両地点は7月1ヶ月分の1.57倍と1.66倍の降雨を記録した。この大雨により筑後川の水位は荒瀬地点で昭和43年からの観測史上最高の7.90m（従来は平成24年豪雨の7.35m）を記録した。図1.4,5に玖珠川の小ヶ瀬（おがせ）地点、ならびに本川下流域の瀬の下地点における水位ハイドログラフを示す。両地点でも平成24年の既往最高水位を上回る観測史上最高水位を記録した。

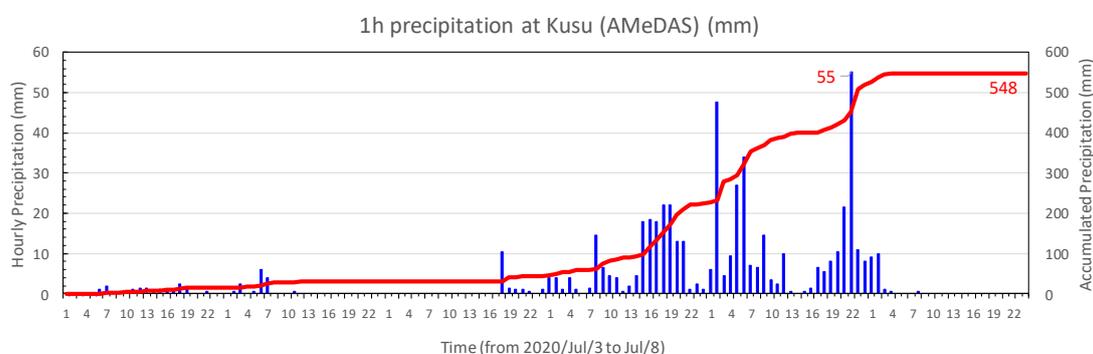


図1.2 今次水害における玖珠地点のハイエトグラフ [7月3日から8日まで]

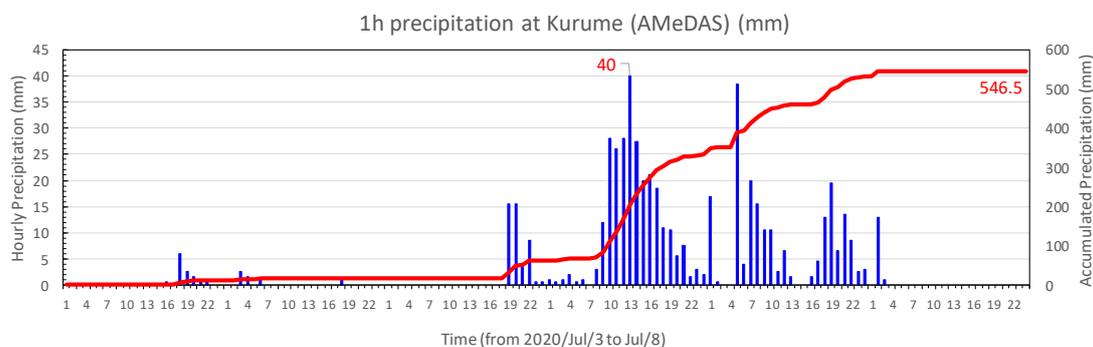


図1.3 今次水害における久留米地点のハイエトグラフ [7月3日から8日まで]

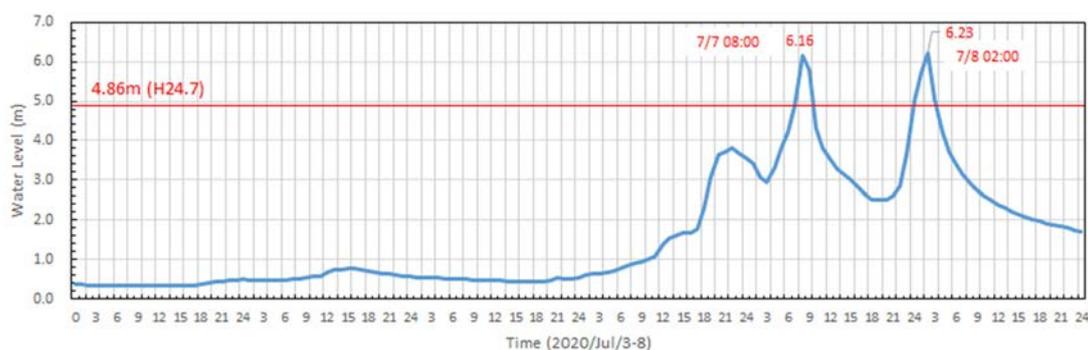


図 1.4 今次水害における小ヶ瀬地点（玖珠川）の水位ハイドログラフ  
[7月3日から8日まで。赤線はこれまでの既往最高水位]

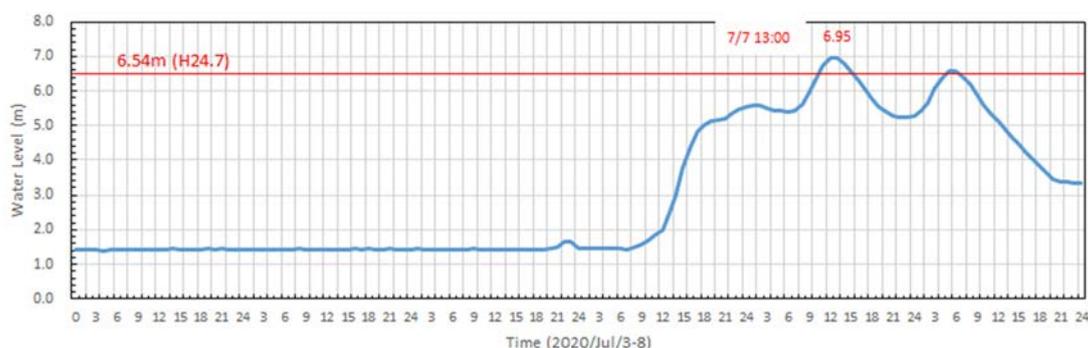


図 1.5 今次水害における瀬の下地点の水位ハイドログラフ  
[7月3日から8日まで。赤線はこれまでの既往最高水位]

なお、今次豪雨ではないが、久留米において令和2年6月27日07:03～08:03に既往最大の時間降水量92.5mmを記録している。この降雨による被害は発生していないが、今後の久留米市における内水対策を考える上では重要であるため、付記する。

## 1.2 今次水害における筑後川流域での特徴的な被災状況

### 1.2.1 玖珠川での被災

筑後川最大の支川である玖珠川（延長56km、流域面積531km<sup>2</sup>）では、500mmを超える累積雨量（図1.2）を記録する大雨により、既往最大水位を2度超えた（図1.4）。筑後川との合流点から2km程度上流に位置する小ヶ瀬地点における高水流量観測では、7月7日のピーク直前（7:39、水位5.93m）で測定されており、3,450m<sup>3</sup>/s程度<sup>注1)</sup>の流量と推測されている。玖珠川の整備方針流量は筑後川合流点において3,900m<sup>3</sup>/s、整備計画流量は3,100m<sup>3</sup>/sであることから、今次洪水における7月7日と8日に記録されたピークは方針流量レベルであったと推測される。

この既往最大洪水により、日田市天ヶ瀬町においてははん濫が発生し、1名の方が犠牲となった。なお、筑後川での死者はこの1名のみである。天ヶ瀬は玖珠川両岸に温泉宿が連なる観光地で、谷底河川を形成している。今次水害では左岸の温泉街を通る道路面から2m程度の浸水深を記録しており（写真1.1）、道路上を高速流が通過した。また、新天ヶ瀬橋が落橋した（写真1.2）。谷底河川を高速で流れる被災形態は、今次豪雨での球磨川中流部でも起こっているが、宅地等のかさ上げや河道の拡幅にも限界があることから、対策が難しいと考えられる。

[注1) 速報値であり修正される可能性がある。]



写真 1.1 天ヶ瀬での洪水痕跡



写真 1.2 新天ヶ瀬橋の落橋

### 1.2.2 下笠ダムにおける異常洪水時防災操作とそれを受け止めた松原ダム

筑後川上流域には昭和 28 年洪水を受けて建設された松原ダムと下笠ダムが存在している。両ダムは昭和 47 年に竣工した直列に配置されたダムであり、下笠ダムの直下が松原ダム湖になっている。下笠ダムは、集水面積 185 km<sup>2</sup>、総貯水容量 59.3 百万 m<sup>3</sup>、梅雨期の洪水調節容量 51.3 百万 m<sup>3</sup> の多目的ダムである。松原ダムは、それぞれ 491 km<sup>2</sup>（下笠ダム集水域を含む）、54.6 百万 m<sup>3</sup>、45.8 百万 m<sup>3</sup> の多目的ダムであり、下笠ダムの放流水と筑後川本川である杖立川からの流入水を受け入れる。

今次水害では下笠ダムにおいて建設後初めてとなる異常洪水時防災操作が行われた。図 1.6 に下笠ダムの操作状況を示す。2 山目となる 7 月 7 日 6 時のピーク時では貯水位が異常洪水時防災操作開始水位までには達していないが、その後の流入で超過し、10:30 に異常洪水時防災操作が開始され、計画最大放流量 350 m<sup>3</sup> を越え、8 日 0 時に最大放流量 1,250 m<sup>3</sup> を記録した。ただし、今回の放流を全て松原ダムがカットすることに成功している。松原ダムの操作状況は図 1.7 に示す通りであり、計画最大放流量 1,100 m<sup>3</sup> を越える放流は行われていない。松原・下笠ダムによる防災操作の効果として、下流の大山川（玖珠川との合流点より上流の本川の名称）の水位を 3 m 以上低減させたと見積もられている [筑後川ダム統管理事務所(2020)]。さらに、両ダムでは上流域の斜面崩壊に起因する流木を合計約 6,000 m<sup>3</sup> 捕捉した。本稿執筆時点で堆砂量は発表されていないが、流木量の多さから相当な量の土砂を捕捉したと推測される。このように両ダムの防災効果は非常に大きいものであった。

### 1.2.3 昭和 28 年洪水後初めての筑後川本川でのはん濫発生

前節で松原・下笠ダムの防災効果について説明したが、玖珠川との合流点より下流ではその効果が薄れた。これは玖珠川の流量が非常に大きかったことに起因しており、ダムなどの貯留施設がほとんどない玖珠川の流量調整の困難さを示している。合流点より下流は、日田市の中心街を流れ、温泉街の下流で三川への分岐があり、それらが再度合流した直後に、支川の花月川が合流している。その合流点付近である友田地区でははん濫が発生した。

本川が氾濫するのは昭和 28 年洪水以来 67 年ぶりであった。ただし、浸水面積は約 3 ha（ただし周辺の支川沿いや下流なども合わせると 52.7 ha [筑後川ダム統管理事務所(2020)]）であり、被害規模は天ヶ瀬や球磨川などと比べると大きくなかったが、家屋や商業施設が床上浸水した [国土交通省(2020)]。この地点は、平成 30 年に変更された河川整備計画でも築堤が計画されていたが、今次水害では事業前で防ぎきれなかった。なお、今次水害を受けて令和 2 年度の防災・減災対策等強化事業推進費が充当されたため、築堤が事業化された。

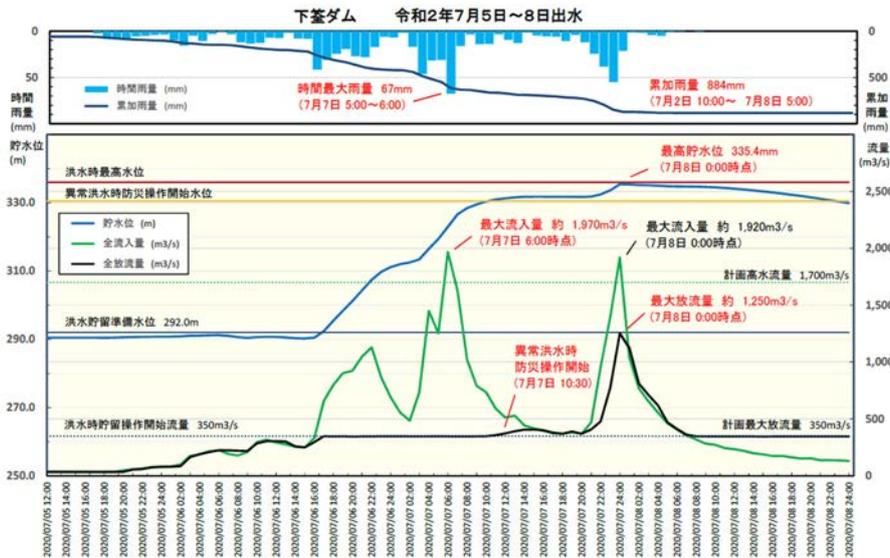


図 1.6 今次水害における下笠ダムの操作状況 [筑後川ダム統合管理事務所(2020)より]

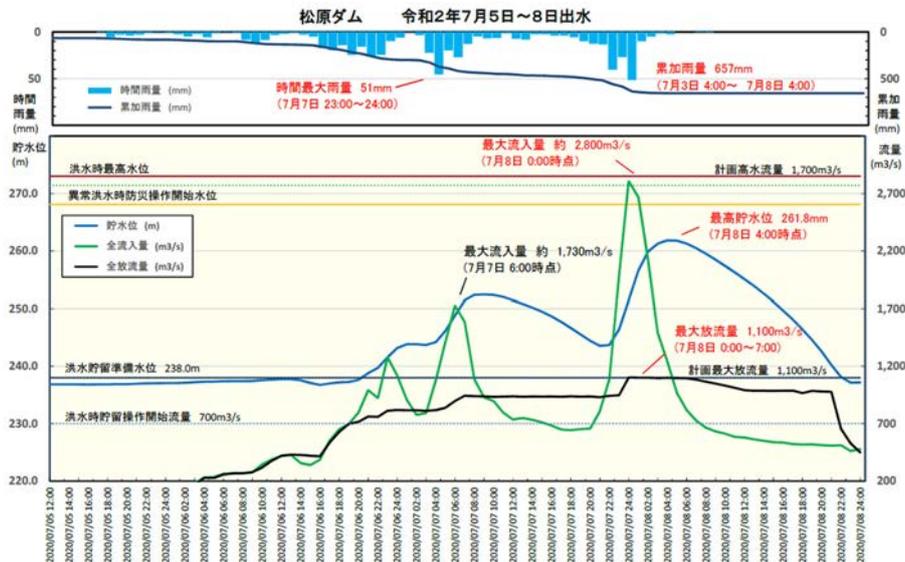


図 1.7 今次水害における松原ダムの操作状況 [筑後川ダム統合管理事務所(2020)より]

### 1.2.4 数年続けて発生している内水はん濫

流域の最大都市である久留米市を含む下流域の都市において、図 1.8 に示すような内水による浸水が発生した。近年このあたりでは、支川の中小河川からほぼ毎年内水はん濫が発生している。特に平成 30 年 7 月の西日本豪雨では、大規模な浸水が発生し、水門の状態や排水機場の稼働状況、ならびにそれらがもたらす内水はん濫に関する住民への情報提供が不十分であったことが指摘された。特に水門を閉めることが本川からの逆流を防ぐこと、すなわち本川の水位が高いときに無堤である合流点において堤防を連続させる状態を作り出すことが一般の住民にはほとんど理解されていないことが明らかとなった。

そこで排水路等の管理者である久留米市・大木町・大刀洗町、河川管理者である福岡県、ならびに筑後川との合流点における排水機場や水門の管理者である国土交通省九州地方整備局は、久留米市街地周辺内水河川連絡会議を設置し、内水対策を協議した。ここでは、浸水被害の大きい 6 河川（山ノ井川、金丸川・池町川、下弓削川、江川、大刀洗川、陣屋川）が対象とされた。そして令和 2 年 3 月に、平成

## 第4編

30年規模の内水に対して床上浸水を極力減少させる対策メニューを組み合わせた計画を発表していた [例えば、久留米市・福岡県・国土交通省筑後川河川事務所(2020)など]。

しかしながら今回、事業開始前に内水はん濫が発生する事態に陥った。対策事業を加速化することが求められるが、それらが完了したとしても計画規模（超過確率 1/10）以上の豪雨に対しては当然ながら被害が発生する。また、既存施設等の立地により土地利用に対する制約が厳しい都市域での内水対策には自ずと限界があることから、都市計画の中に外水対策に加えて内水対策の考え方を組み込んでいくことも求められる。

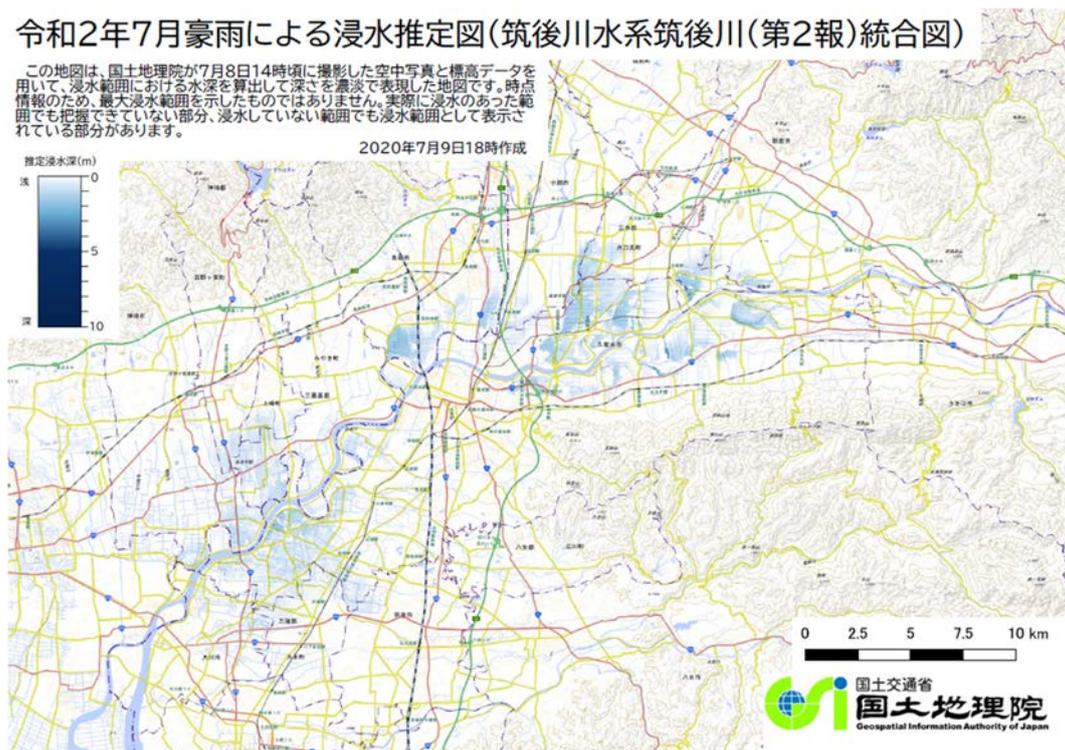


図 1.8 今次水害における内水はん濫域 [国土地理院 [https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/202007/shinsui/08\\_shinsui\\_chikugo\\_chikugo\\_tougou.pdf](https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/202007/shinsui/08_shinsui_chikugo_chikugo_tougou.pdf)]

### 1.3 まとめ

今次豪雨における筑後川流域内で発生した被災について概要を解説した。ここで詳しく紹介しなかったこととして、本川 39k600 地点で発生した堤防決壊を予兆させる自噴現象の発生 [筑後川堤防調査委員会(2020)]、松原・下釜ダム上流域での斜面崩壊と流木発生、平成 29 年九州北部豪雨後の赤谷川などで整備された砂防施設による土砂流出制御、水資源機構管理ダム（小石原川ダム、寺内ダム、大山ダムなど）における防災操作の効果や流木の捕捉、などの個別事象もあった。流木については第 8 章で解説するが、その他については割愛する。

今次水害では筑後川での死者は天ヶ瀬での 1 名のみであり、外水はん濫は日田市での比較的小規模な浸水のみであった。一方、内水はん濫が発生した久留米市では、筑後川が流入する有明海が大潮期であったことも重なり水門を開けることができず水が数日間引かない事態も起こった。

令和元年東日本台風による千曲川などの洪水を受けて、国は治水の方針を転換し、いわゆる「流域治水」をその中心に置くことを決めた。これは流域内の重要地点を守るために相対的に重要度が低い地域

## 第4編

にリスクを許容させ、貯留の負担を強いることにも繋がる。これら上下流バランスへの配慮に加え、筑後川でも見られた本支川間でのアンバランスの適正化も求められる。「流域治水」は気候変動による水害外力増加への適応策の切り札と見なされているが、国の方針では平均気温が2度上昇した場合を想定した計画論になっており、当面はそれ以上の外力増加までは考慮しない[社会資本整備審議会(2020)]。我々は気候変動緩和策こそが最大の治水対策になることを再認識し、緩和策と適応策の両輪を十分に回す努力をしなければならない。

## 謝辞

本研究にあたり、国土交通省九州地方整備局にはデータ提供等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

気象庁：令和2年7月3日からの豪雨へ名称を定めることについて，2020a.

気象庁：令和2年7月豪雨，2020b.

久留米市・福岡県・国土交通省筑後川河川事務所：金丸川・池町川総合内水対策計画，2020.

国土交通省：筑後川水系河川整備計画(変更)，2018. <http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/gaiyou/seibikeikaku/chikugohenkou/index.html> (2020年12月時点)

国土交通省：令和2年7月豪雨における出水について（第2報），2020.

社会資本整備審議会：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～ 答申，2020.

筑後川ダム統合管理事務所：令和2年7月豪雨の概要と松原ダム・下釜ダムの防災操作について，2020.

筑後川堤防調査委員会：筑後川堤防調査委員会報告書，2020.



## 第2章 水位情報に基づく出水状況の把握

九州工業大学 重枝 未玲・秋山 壽一郎

## 2.1 はじめに

令和2年7月豪雨では、7月5日から8日にかけて、梅雨前線の活発な活動により九州北部の広範囲に強い雨域がかかり、九州内の一級水系で洪水が発生した(国土交通省九州地方整備局, 2020)。本章では、今次豪雨で甚大な被害を受けた筑後川水系の上流域を対象に、降雨、被害状況と水位情報に基づく1次元解析を用いて、筑後川、玖珠川、隈川、庄手川、花月川の出水状況の把握を行った。

## 2.2 筑後川流域と豪雨災害の概要

## 2.2.1 筑後川流域の概要(国土交通省九州地方整備局, 2006)

筑後川は、一級水系筑後川水系の本流であり、その流域面積は2,860km<sup>2</sup>、幹線流路延長は143kmである。筑後川の土地利用は、山林が約56%、水田や果樹園の農地が約21%、宅地等の市街地が23%を占めている。筑後川は、上流域で玖珠川と合流した後、隈川や庄手川へと分派され、花月川と合流する。

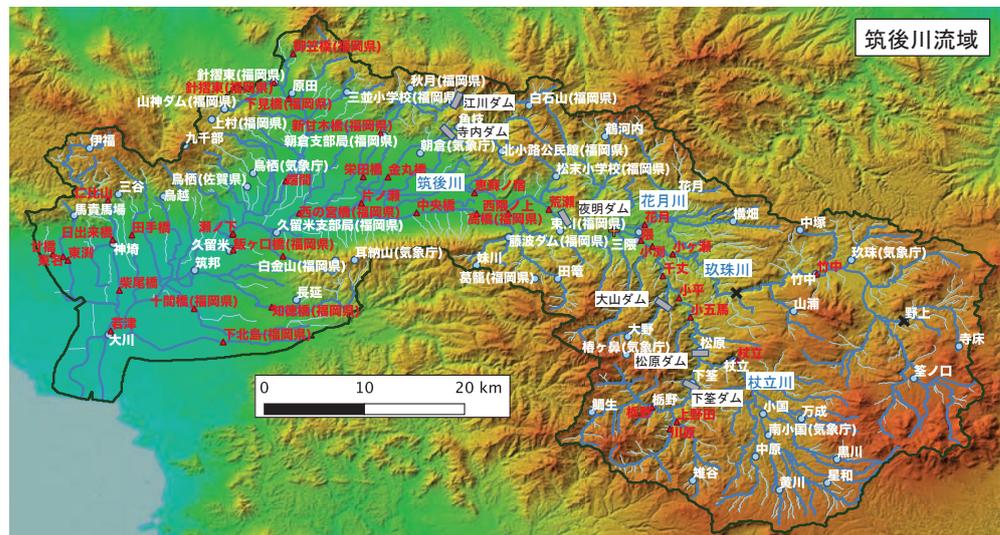


図 2.1 筑後川流域の概要

計画基準点は荒瀬であり、そこでの計画高水流量 6,000m<sup>3</sup>/s、整備目標流量 5,200m<sup>3</sup>/s である。上流域には下釜ダム、松原、大山、夜明ダムがある。図 2.1 に、筑後川流域の概要、本・支川、地上雨量・水位観測所、ダムを示す。背景図には、国土地理院の地理院タイル(国土地理院, 2020a)を用いた。

## 2.2.2 豪雨災害の概要(国土交通省九州地方整備局, 2020)

令和2年7月豪雨では、7月3日から暖かく湿った空気が九州付近に集中して流入し、筑後川流域では、7月5日18時~7月8日4時に豪雨となった。図 2.2 に、XRAIN(DIAS, 2020)より求めた筑後川流域での降雨強度と累加雨量の経時変化、図 2.3 に XRAIN 及び地上観測雨量(国土交通省, 2020)より求めた筑後川の荒瀬観測所より上流流域での流域平均雨量を示す。これらより、(1)豪雨域は、7/6 午前から7/7の6時まで下流から上流域に移動したこと、(2)その後7/8の5時まで全域で雨を降らせたこと、(3)荒瀬観測所より上流域の流域平均48時間雨量は、XRAINで559mm、地上雨量で544mmと計画規模と同程度であったこと、などが確認できる。

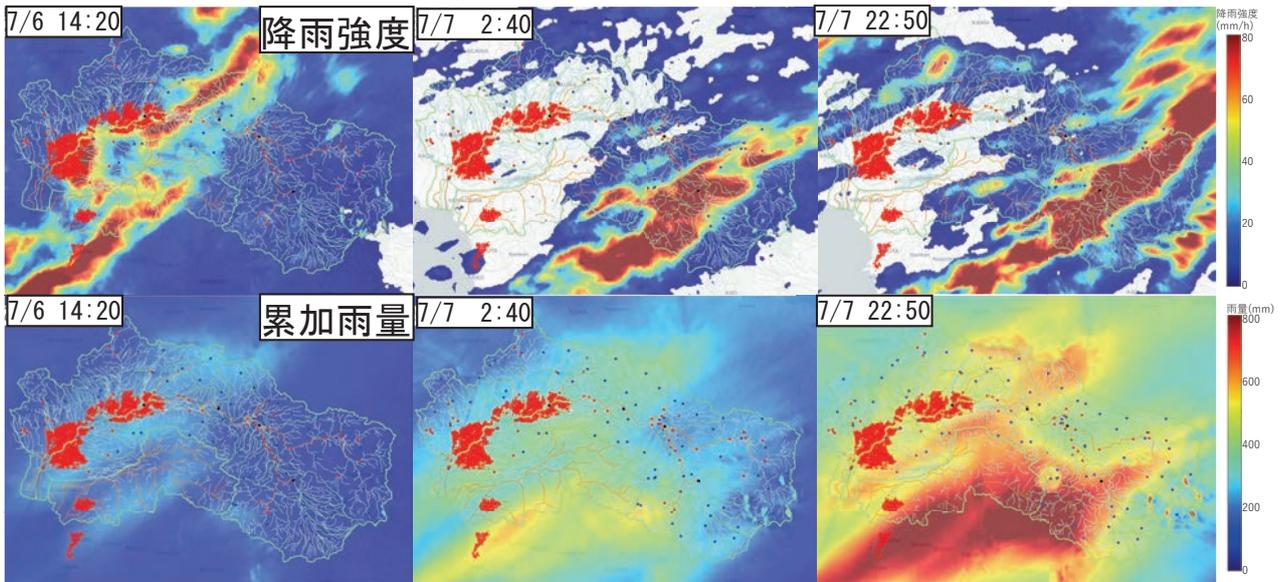


図 2.2 XRAIN(DIAS, 2020)より求めた筑後川流域での降雨強度と累加雨量の経時変化

この豪雨により、筑後川流域では、杖立、小湊、荒瀬、片ノ瀬水位観測所で観測史上最高水位を記録した。本川の距離標 72km 付近では、昭和 28 年以降はじめて外水氾濫が発生した。下流域では支川の内水氾濫が発生し、3~4 年連続して浸水した地域も存在する。上流域の玖珠川では、天ヶ瀬温泉街での浸水、道路橋と鉄道橋の流失が生じた。図 2.4 に、筑後川流域での溢水地点、流出した橋梁、浸水域をまとめたものを示す。浸水域については、国土地理院の浸水推定図(国土地理院, 2020b)を用いた。

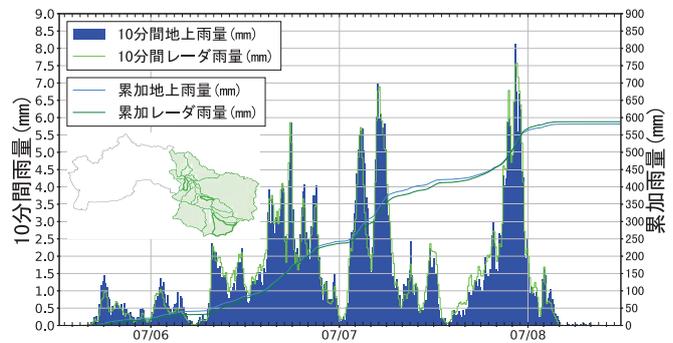


図 2.3 荒瀬観測所より上流流域での流域平均雨量

## 2.3 水位情報に基づく洪水流の再現解析

ここでは、筑後川上流域の玖珠川、筑後川、隈川、庄手川、花月川を対象に、①水面形を与条件とした流量・粗度係数の推定(重枝ら, 2017)を実施した後、粗度係数の推定結果と流量の推定結果と痕跡水位から得られる逆算粗度係数を用いて、②水位を上下流端の境界条件とした 1 次元河道ネットワーク解析(重枝ら, 2018)に基づき、今次出水の洪水流の再現を試みた。解析法の詳細については参考文献を参照されたい(重枝ら, 2017, 2018)。なお、本解析では越水による氾濫は考慮していない。

### 2.3.1 解析の概要

解析対象領域は、筑後川水系の筑後川、玖珠川、隈川、庄手川、花月川である。図 2.5 に、解析対象河川の概要及び水位観測所を示す。水面形を与条件とした流量・粗度係数の推定では、図 2.5 中の赤枠で囲まれた区間で実施した。同推定法では水面形と一区間の粗度係数を与条件とする必要があるため、ここでは水面形に痕跡水位を、粗度係数に計画粗度係数を与えた。なお、痕跡水位については、左右岸の平均水位を与えた。解析対象区間で粗度係数を与える一区間を変更した解析を実施し、各区間で得られた粗度係数値を平均したものを最終的な解析に用いた。最終的な解析では、上流端の粗度係数を与条

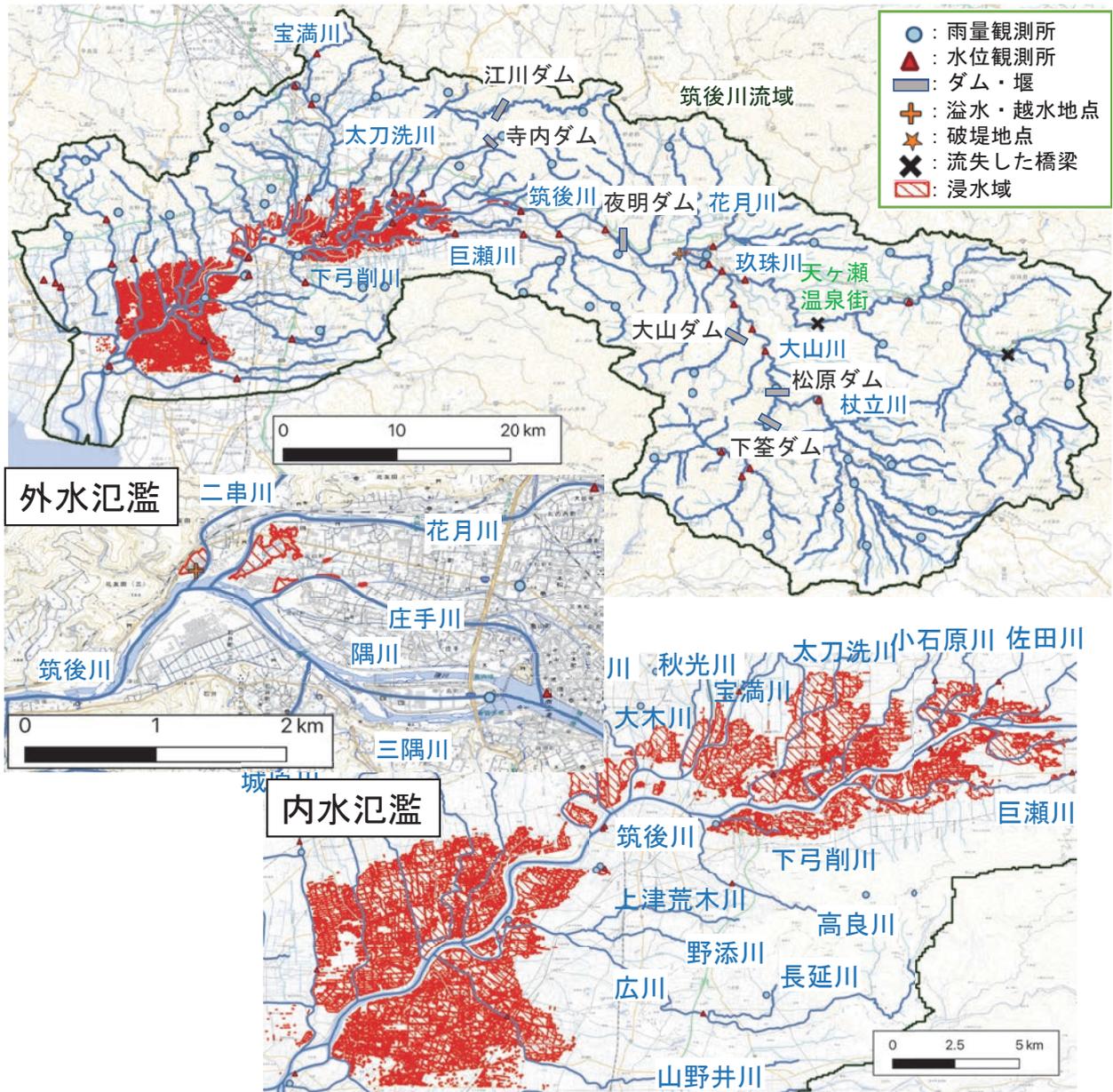


図 2.4 筑後川流域での溢水地点，流出した橋梁，浸水域

件とし，流量と粗度係数を推定した．1次元河道ネットワーク解析の解析対象区間は，千丈観測所，小ヶ瀬観測所，花月観測所を上流端とし，荒瀬観測所を下流端とする区間とした．解析は観測水位を与えた非定常解析と観測ピーク水位を与えた定常解析を実施した．非定常解析の解析時間は2度のピークをカバーできるよう2020年7月7日3:00から7月8日6:00までとした．解析の境界条件には，図2.6に示す観測水位を与えた．粗度係数は水面形を与条件とした推定法から得られた逆算粗度係数，推定法を適用していない区間については推定法から得られた流量と痕跡水位から得られる逆算粗度係数を与えた．なお，痕跡水位が不明な区間については各河川の計画粗度係数を与えた．筑後川，玖珠川，隈川，庄手川，花月川の河道横断面図には，いずれも，それぞれ平成31年，平成30年，平成25年，令和元年，平成29年を用いた．また，境界条件，水位流量曲線の計算に用いた観測水位，流量データは国土交通省の水文水質データベース(国土交通省，2020)から取得した．

### 2.3.2 出水状況の把握

図 2.7 に，1次元河道ネットワーク解析の非定常解析結果のピーク水位，痕跡水位を用いた定常解析

第4編

結果と痕跡水位との比較を示す。なお、図中には推定法で用いた水面形もあわせて示している。これらより、1次元河道ネットワーク解析より得られた定常解析結果および非定常解析結果のピーク水位は、隈川、庄手川の分派や、玖珠川、花月川の合流部を含め、本・支川のいずれの区間も痕跡水位と概ね一致していることが確認できる。定常解析と非定常解析のピーク水位とに差が生じている区間は、夜明ダム上流から69km、筑後川の合流点付近の庄手川0km～0.6kmであり、この区間では河道の貯留

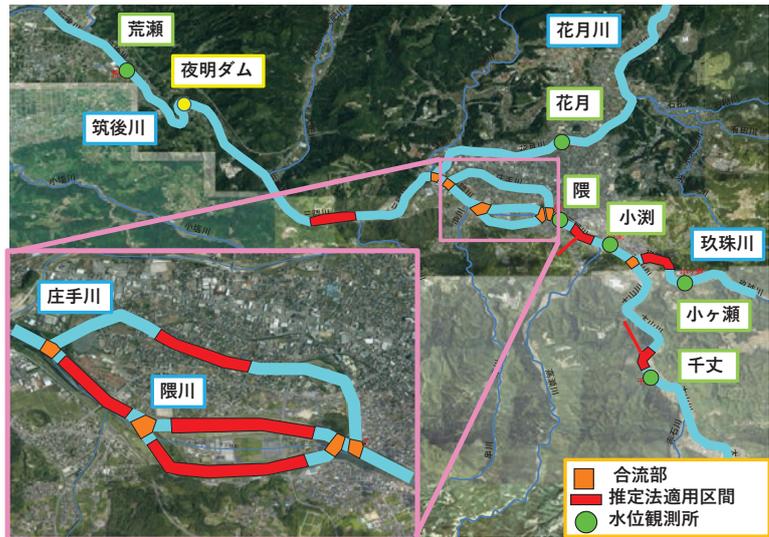


図 2.5 解析対象河川の概要及び水位観測所

効果により、非定常解析結果の流量が低減したと考えられる。

痕跡水位・解析水位のいずれも、筑後川の70km付近、今次出水で氾濫が発生した72.0km付近、隈観測所～玖珠川の合流点までの75.2km～77.2kmの区間で、庄手川の1.0～2.6kmの区間で計画高水位付近まで上昇していたこと、筑後川と玖珠川との合流

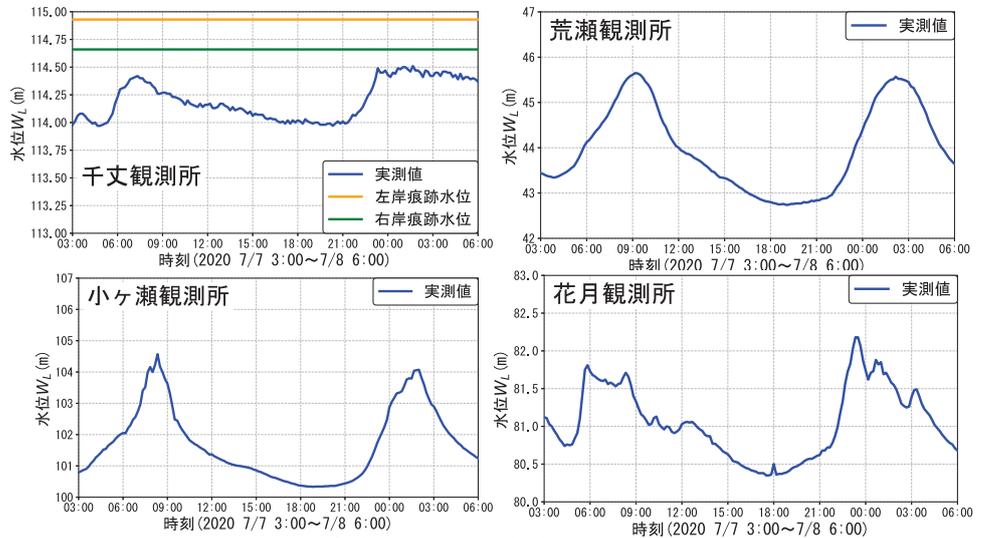


図 2.6 解析に用いた水位ハイドログラフ

点上流の玖珠川の0～1.0km区間では計画高水位を超えたことが確認できる。今次出水では、同区間で危険な状況にあったと考えられる。

図 2.8 に、解析対象区間内の小淵観測所、隈観測所の水位ハイドログラフを示す。なお、本解析が小淵観測所の水位や隈観測所の痕跡水位を小さく評価しているのは下流の支川である高瀬川の流入を考慮していないためと考えられる。隈観測所、小淵観測所のいずれも二山波形であり、図 2.6 の千丈、花月を除き、いずれの観測所も一つ目の山の最高水位が大きい。一方で、二山目は水位の高い時間帯が長く、洪水の継続時間が長いことも確認できる。

図 2.9 に、各観測所での非定常解析、定常解析、推定法より得られた流量の比較を示す。図中には水位流量曲線より得られたピーク流量も合わせて示す。また、左右岸の痕跡の差が大きな区間には、左右岸の痕跡を与えた推定法による推定流量も黄色のハッチで示している。各観測所の定常解析と推定法の流量は概ね一致しており、一方で非定常解析結果は、先述した貯留効果により千丈観測所を除き流量は小さい。これらより、今次出水での流量は、千丈、小ヶ瀬、小淵、隈、花月、荒瀬観測所で、それぞれ 1,400～2,200m<sup>3</sup>/s、2,200～3,500m<sup>3</sup>/s、4,600～4,900m<sup>3</sup>/s、4,700～4,900m<sup>3</sup>/s、260、4,700～5,160m<sup>3</sup>/s 程度で

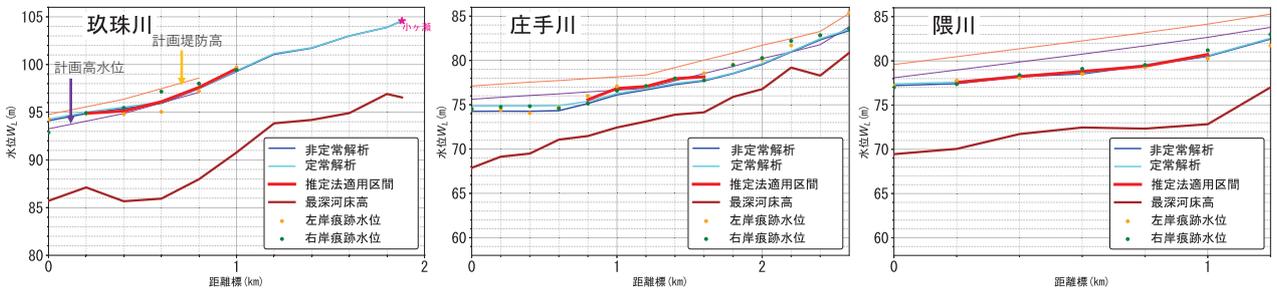
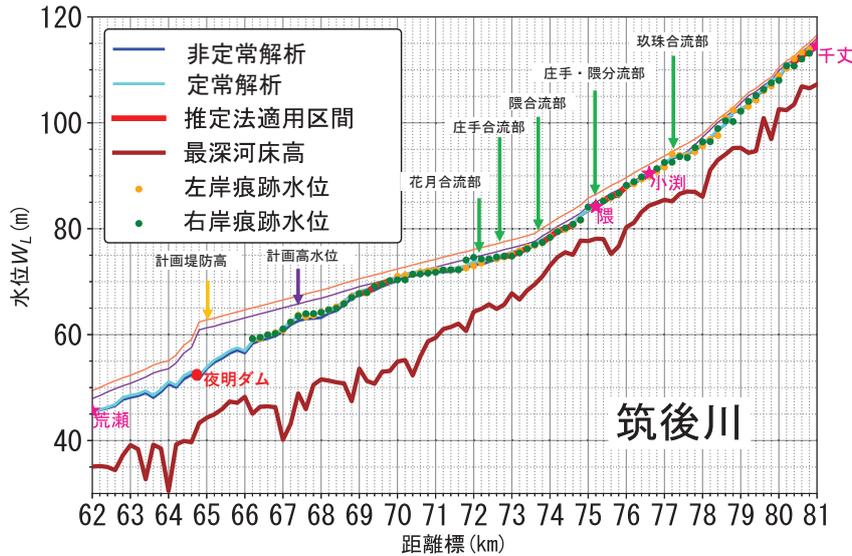


図 2.7 非定常解析のピーク水位，定常解析結果と痕跡水位との比較

あったと推察される。

筑後川の玖珠川合流前，隈観測所～荒瀬観測所での河道分担分の整備目標流量は，それぞれ  $1,350\text{m}^3/\text{s}$ ， $4,000\text{m}^3/\text{s}\sim 5,200\text{m}^3/\text{s}$  であり，玖珠川の整備目標流量は  $3,100\text{m}^3/\text{s}$  である．このように，本出水で解析・痕跡水位が計画高水位近くまで上昇あるいは超えた区間では，整備目標流量に近い流量あるいは超えた流量が流れたと推察される。

## 2.4 まとめ

本章では，今次豪雨の降雨，被害状況，出水状況の把握を行なった．これより，(1)今回の豪雨は計画規模程度の雨量であったこと，(2)筑後川の70km付近，今次出水で氾濫が発生した72.0km付近，隈観測所～玖珠川の合流点までの75.2km～77.2kmの区間で，庄手川の1.0～2.6kmの区間で計画高水位付近まで上昇していたこと，筑後川と玖珠川との合流点上流の玖珠川の0～1.0km区間では計画高水位を超えたこと，(3)今次出水での流量は，千丈，小ヶ瀬，小淵，隈，花月，荒瀬観測所で，それぞれ  $1,400\sim 2,200\text{m}^3/\text{s}$ ， $2,200\sim 3,500\text{m}^3/\text{s}$ ， $4,600\sim 4,900\text{m}^3/\text{s}$ ， $4,700\sim 4,900\text{m}^3/\text{s}$ ， $260$ ， $4,700\sim 5,160\text{m}^3/\text{s}$  であったこと，などが確認された。

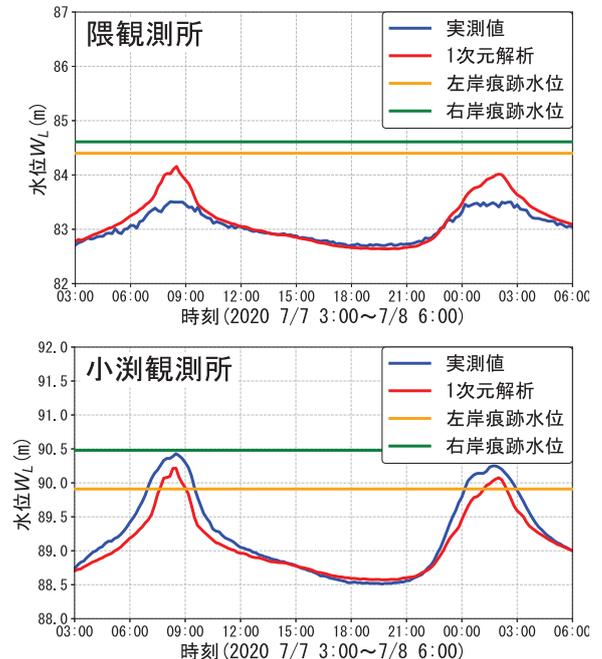


図 2.8 水位ハイドログラフの比較

## 2.5 今後の課題

本出水では、昭和28年以降はじめて、筑後川で外水氾濫の発生が確認された。図2.2の累積雨量からも明らかなように、今回の豪雨は筑後川上流部に集中した豪雨であり、このような降雨の振り方は、筑後川の荒瀬より上流域の洪水被害を増大させる降雨パターンの可能性がある。今後、筑後川流域で危険となる降雨パターンと、その時の水位のレスポンスを把握すること

は、今後の危機管理に有用な情報になると考えられる。また、水位情報に基づく洪水流の予測がリアルタイムでなされるようになれば、水位の点情報だけでなく水面形のような線情報を予測できるようになる。このような手法の解析精度が向上すれば、危機管理型水位計と組み合わせることで有用な防災・減災技術になると考えられる。

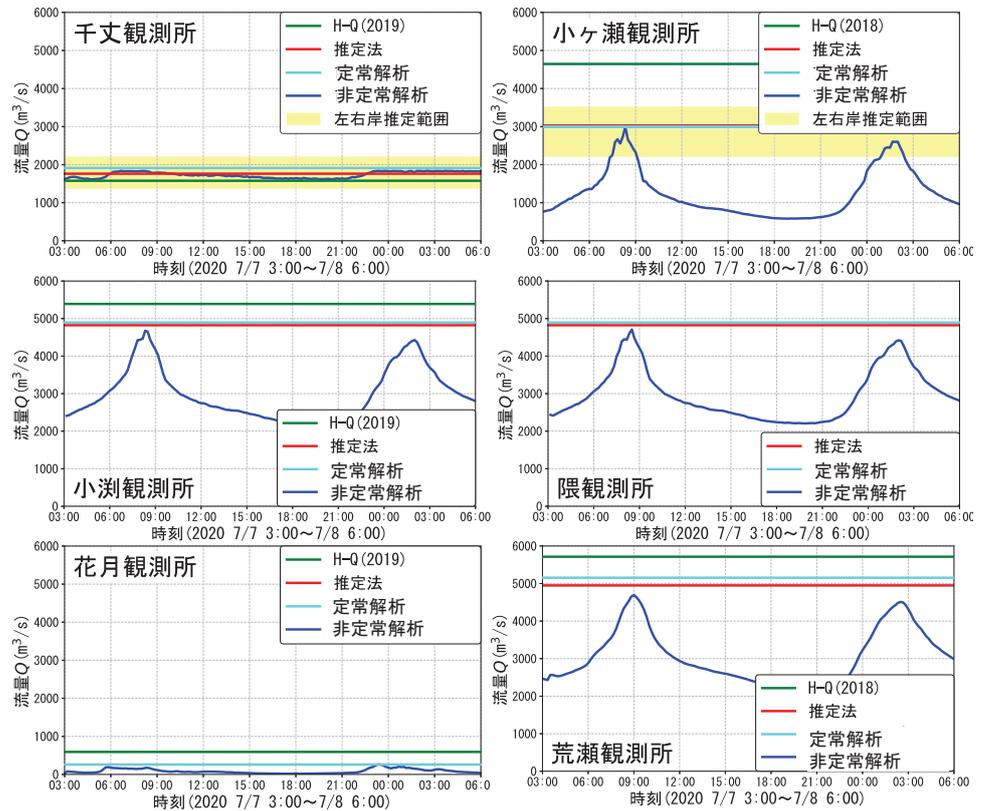


図 2.9 各観測所での流量ハイドログラフと推定流量の比較

## 謝辞

本研究を実施するに当たり、国土交通省九州地方整備局、国土交通省国土地理院、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。また、本学学部生の西村康陽君、伊藤翔吾君、林 泰史君には解析の実行、本学大学院生の桂佑樹君、金屋諒君、太田幸子さん、吉永僚介君にはデータ整理等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- DIAS : <http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2020.
- 国土交通省 : 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>, 2020.
- 国土交通省九州地方整備局 : 筑後川水系河川整備計画, 2006.
- 国土交通省九州地方整備局 : 令和2年7月豪雨の概要と対応(第2報), 2020.
- 国土地理院 : 地理院タイル, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, 2020a.
- 国土地理院 : 浸水推定図, [https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html), 2020b.
- 重枝未玲, 秋山壽一郎, 阿部琢哉, 田口英司, 武久晋太郎, 西山晋平 : 洪水痕跡によるピーク水位時の流量と粗度係数の推定, 河川技術論文集, 第23巻, pp.73-78, 2017.
- 重枝未玲, 秋山壽一郎, 中木翔也, 勝原亮介, 大久保剛貴 : 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次元河道網洪水流解析, 河川技術論文集, 第24巻, pp.445-450, 2018.

## 第3章 筑後川上流ダムの効率的運用の可能性検討

香川大学 石塚 正秀  
水資源機構・香川大学 津田 守正

## 3.1 筑後川上流の気象，洪水状況

## 3.1.1 浸水の発生状況

2020年7月5日から8日に至る梅雨前線の活発な活動による大雨は、筑後川上流部に記録的な洪水をもたらした。筑後川上流の小淵水位観測所においては、7月7日8:30に観測史上最高水位を観測し、その約4km下流、支川の花月川と二串川が合流する付近では、7月7日から8日にかけて約52.7haの浸水が生じた（九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所，2020）。氾濫が国土交通省筑後川河川事務所によって確認されたのは、7月7日8:05、8日0:45の2回であった（九州地方整備局筑後川河川事務所，2020）。図3.1は、7月7日11時までに収集されたSNS画像により国土地理院が作成した浸水範囲推定図に加筆したものである（[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9)）。

筆者らは、2020年10月17日に花月川・二串川合流点付近の現地調査を行った。写真3.1及び写真3.2に、九州地方整備局により撮影された氾濫時の状況と、調査時の状況をあわせて示す。

写真3.1は筑後川右岸側から上流向きに撮影した写真であり、写真右手を手前側に向けて筑後川が流下する。写真の左上方向で花月川と二串川が合流する。CCTVカメラの上流側の堤防が若干低く、そこを通じて筑後川本川からの水が右岸側に向けて氾濫したと考えられる。

写真3.2は二串川右岸側から左岸側を向けて撮影した写真である。建物の奥側を写真左から右側に向けて二串川が流下し、その直下で筑後川本川に合流する。筑後川本川から右岸側に溢れた水が二串川を通じて建物手前の駐車場を浸水させたものと考えられる。

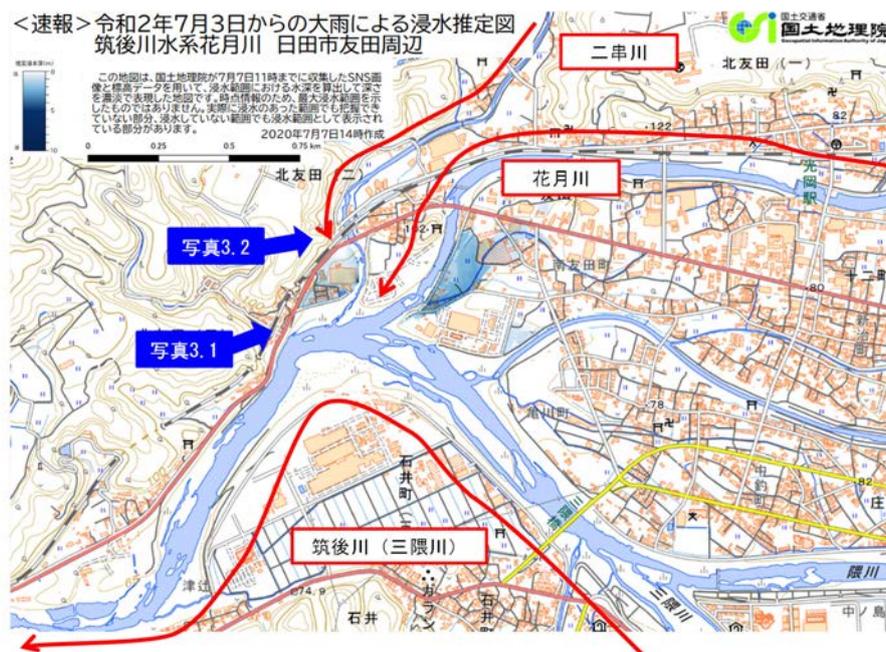


図3.1 筑後川と花月川・二串川合流点付近の浸水範囲推定（国土地理院資料に加筆）



(a) 氾濫時の状況（九州地方整備局写真に加筆）



(b) 調査時 2020年10月17日

写真 3.1 花月川・二串川合流点付近（筑後川本川右岸から上流に向けて撮影）



(a) 氾濫時の状況（九州地方整備局写真に加筆）



(b) 調査時 2020年10月17日

写真 3.2 二串川合流点付近（二串川右岸から左岸方向を撮影）

### 3.1.2 筑後川上流ダムの運用概況

図 3.2 に、荒瀬地点上流の概略図を示す。筑後川上流には、国土交通省が管理する松原ダムと下釜ダム、水資源機構が管理する大山ダムの計3基の多目的ダムが設置されており（写真 3.3）、これらのダムは洪水調節機能を保持している。

このうち特に、松原ダム、下釜ダムは7月6日に防災操作を開始し、7月6日から7日、7月7日から8日の2回、ダムに洪水を貯留した。両ダムの運用により小淵地点水位を7日には約 0.89 m、8日には 1.04 m 低下させ、水位が計画高水位を超過するのを防いだ（筑後川ダム統合管理事務所、2020）下釜ダムでは 1973 年の運用開始以降で初めて、異常洪水時防災操作を行った。また、松原ダムでは 1973 年の運用開始以降で初めて、計画最大放流量 1,100 m<sup>3</sup>/s を放流した。

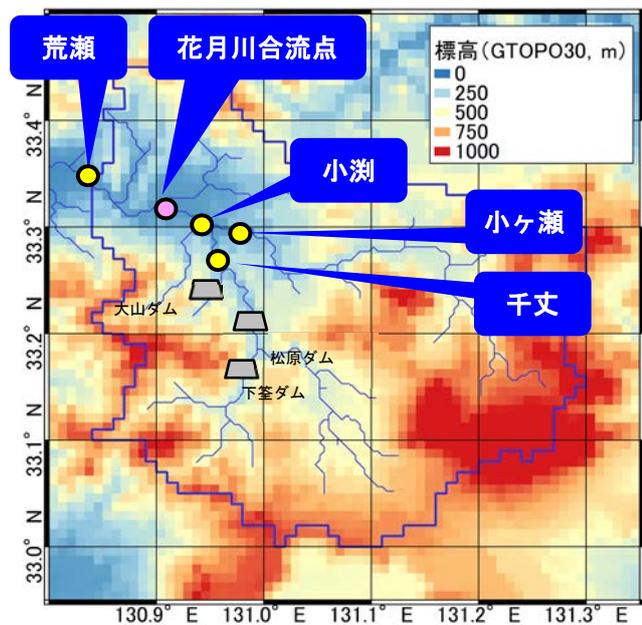


図 3.2 荒瀬地点上流域の標高図



写真 3.3 筑後川本川ダム群 (2020年10月18日撮影)

### 3.2 気象、水象状況

図 3.3 に国土交通省、気象庁、大分県の観測データから算出した 7 月 1 日から 31 日までの荒瀬地点上流及び松原ダム上流の流域平均降雨量を示す。荒瀬上流、松原ダム上流ともに、7 月 6 日から 7 日にかけて降雨が集中し、時間雨量 40 mm を超える強い降雨が生じた。降雨が集中した 7 月 3 日から 8 日までの合計降雨量の空間分布を図 3.4 に示す。赤く着色された 800~1000 mm の強い降雨が、本川上流の松原ダム、下笠ダムの集水域で観測されている。一方、支川の花月川流域は、薄い青色で着色された合計雨量 400~500 mm の範囲に含まれており、本川上流域に比べると比較的少なかった。

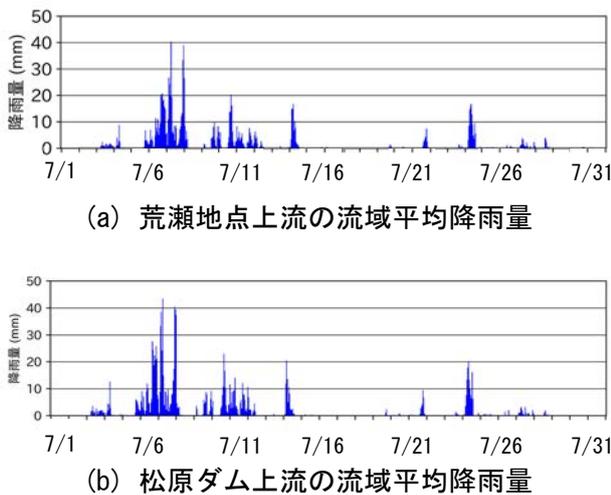


図 3.3 降雨状況  
(7 月 1 日~31 日の時間雨量)

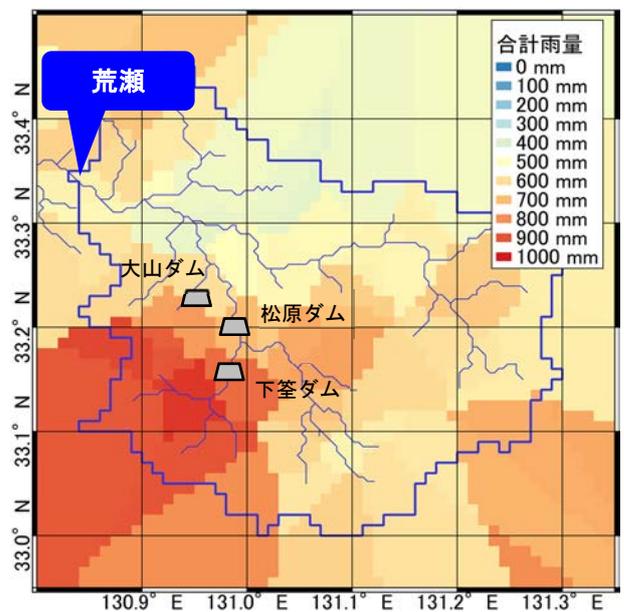


図 3.4 降雨状況  
(7 月 3 日~8 日の 6 日合計雨量)

図 3.2 に示した、小淵、小ヶ瀬、千丈の 3 カ所の水位観測所を対象に、7 月 3 日から 8 日の河川流量を水位-流量関係 (H-Q) より推計した結果を図 3.5 に示す。千丈地点は筑後川本川に対する玖珠川の合流地点よりも上流に位置しており、松原ダム、下笠ダム、大山ダムの計 3 基のダムの洪水調節により、

第4編

7日から8日の河川流量の増減は比較的小さい。一方、玖珠川に位置する小ヶ瀬地点では、上流に洪水調節ダムが存在しないため、河川流量の増減が激しい。この影響で、玖珠川合流後の筑後川本川に位置する小淵地点では約4,000 m<sup>3</sup>/sを超える2度の流量ピークが表れている。

7月3日から17日までの松原ダム、下笠ダムの流入量、放流量、貯水量を図3.6～図3.9に示す。下笠ダムへの流入量が1,500 m<sup>3</sup>/sを超えるピークは7月7日と8日に2回観測されたが、その後の降雨により7月11日にも約500 m<sup>3</sup>/sまで流入量が上昇し、洪水貯留操作開始流量(350 m<sup>3</sup>/s)を上回った。図3.9のように、下笠ダムでは7月8日に貯水量がほぼ満水となり、異常洪水時防災操作が実施された。このため、松原ダムの流入量は8日0:20に最大2,977 m<sup>3</sup>/sに達し、計画最大放流量1,100 m<sup>3</sup>/sの放流が実施された。松原ダムでは計画満水位時の貯水容量の約6割まで貯留された。なお、大山ダムの最大流入量は約250 m<sup>3</sup>/s、最大放流量は約120 m<sup>3</sup>/sであり、下流への影響は比較的小さかった。

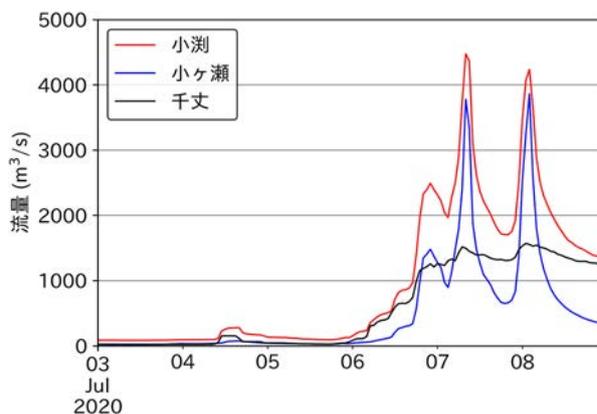


図3.5 河川流量  
(7月3日～8日, H-Q から推計)

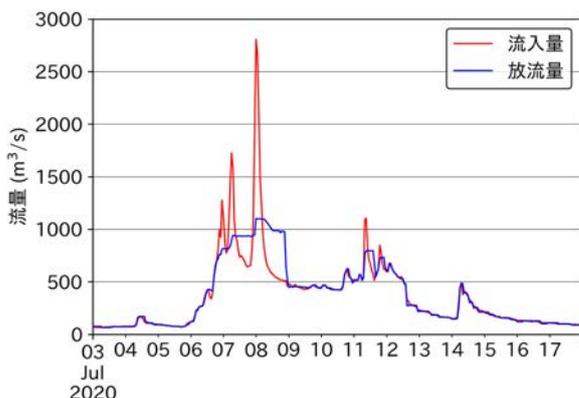


図3.6 松原ダム流入・放流量

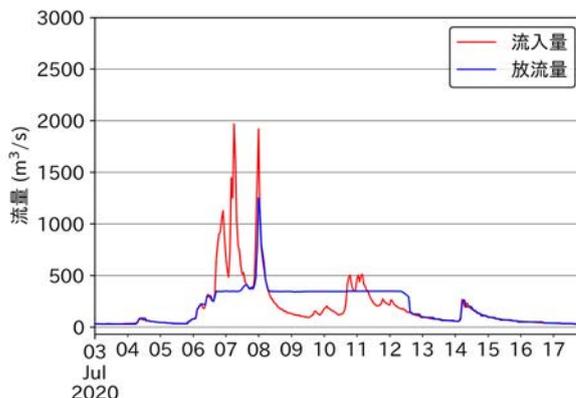


図3.8 下笠ダム流入・放流量

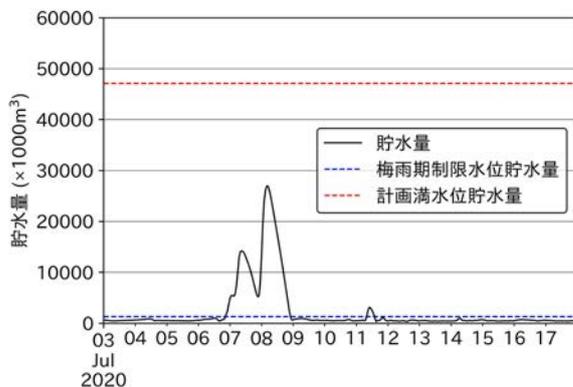


図3.7 松原ダム貯水量

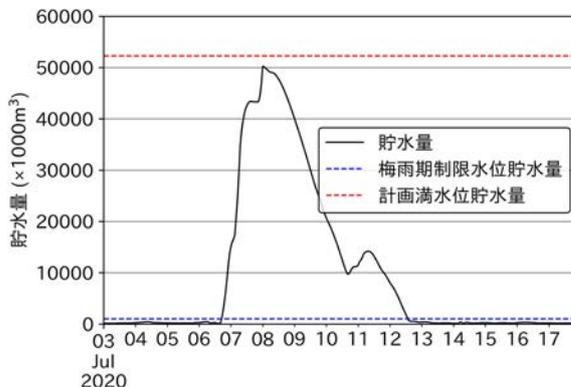


図3.9 下笠ダム貯水量

## 3.3 氾濫軽減の可能性検証

2020年7月3日から8日までの期間を対象に、本川花月川合流地点より上流側の範囲の降雨流出解析を行い、将来的な洪水予測技術やダム運用の高度化による氾濫軽減の可能性を検証した。

通常、洪水時のダム放流量は、予め定められている運用ルールに基づき決められる。しかし、洪水の終わりが相当程度確実に見通せる場合には、ダム下流の氾濫をより軽減するために放流量を減らし、ダムへの貯留量を増やす特別防災操作を実施することができる（国土交通省、2017）。今回の洪水の場合、**図 3.2**に示した通り、7月8日以降11日頃にかけて降雨が継続していた。また、8日の段階では下笠ダムが異常洪水時防災操作に移行しており、松原ダムへの流入量の増加が確実に見込まれていた。このため、7月7日から8日にかけて、松原ダムでより多くを貯留する特別防災操作への移行を判断するのは極めて困難であったと推察される。

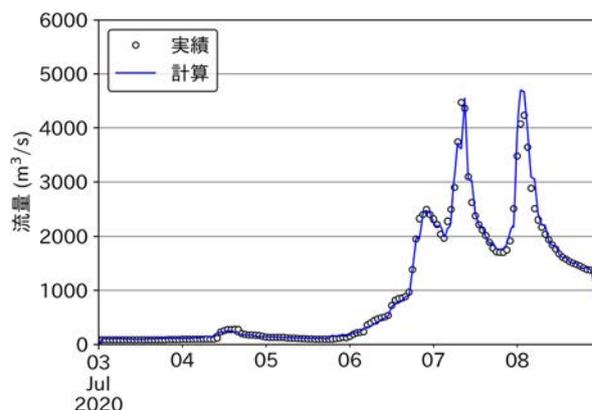
本検討は、仮に降雨量や支川からの流入量が正確に予測でき、理想的なダム運用を行った場合に、氾濫を回避できる可能性があったかどうかを解析し、今後の技術開発のための試金石とするものであり、現行の降雨予測、河川流量予測精度のもとで同様の操作が可能であるというものではない。

流出計算には、斜面からの降雨流出と河川流量をキネマティックウェーブ法により計算する分布型流出解析モデル（morimatic-model）を用いた。（国研）土木研究所 ICHARM が開発した IFAS（総合洪水解析システム）を使って、1 km メッシュの落水線図、河道図を作成し、この情報を使って流出計算を行った。モデル構築のための標高データは USGS（アメリカ地質調査所）から提供されている GTOPO30 を用いた。USGS の GLCC-Land Use を用いて、土地利用を森林、畑地等に区分してパラメータを設定した。計算時間間隔は10分単位とした。

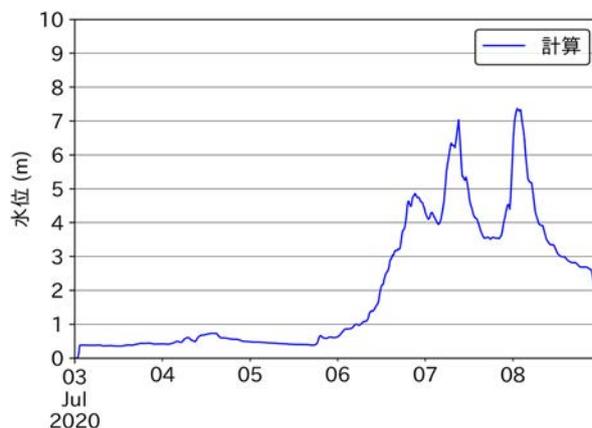
入力データとして、地上観測雨量（67地点、国土交通省、気象庁、大分県観測）、上流ダム放流量（松原ダム、大山ダム）、水位から推計した河川流量（小ヶ瀬地点、花月地点）を用いた。これらの入手データの観測間隔は1時間であったので10分間隔に補間して用いた。

**図 3.10**に、小淵地点河川流量の計算結果を実績とあわせて示す。計算では、8日のピーク流量が過大評価されているものの、全体的な流出形状をよく再現できた。

**図 3.11**に花月川合流地点水位の推計結果を示す。筑後川河川事務所により氾濫が確認されたのは、7月7日8:05、8日0:45の2回であったが、7月7日8時の計算水位が6.2 m、8日0時の水位が6.1 mであり、氾濫のタイミングは計算水位が6~7 mを超えた時間帯に相当する。そこで、本検討では、当該地点の計算水位が6~7 mを超えた場合に氾濫が発生すると仮定した。この水位はあくまで本モデル



**図 3.10** 小淵地点流量（実績（H-Qからの推計）と計算（流出計算からの推計））



**図 3.11** 花月川合流地点の推計水位

## 第4編

上の値であり、現地の水位がこの値を超えた場合に氾濫が発生するというものではないことを申し添える。

なお、1回目の氾濫が確認された7月7日8時前後で、計算水位が6mを上回ったのは6時40分頃から9時40分頃までの3時間程度であった。2回目の氾濫が確認された7月8日0時前後で計算水位が6mを上回ったのは8日0時頃から8日3時30分頃までの3時間半程度であった。

花月川合流点で氾濫を回避するための目標水位を、本モデル上の計算水位で7.0mあるいは6.0mと仮定し、河川流量の逆計算手法 (Tsuda and Ishizuka, 2020)を用いて、そのために必要とされる松原ダム放流量と貯留量を試算した。この河川流量逆計算手法とは、通常の流出計算とは逆に、河川の下流側から上流側に向けて時間を遡りながら計算を進めることで、下流側の水位や流量に対応する上流側の水位や流量を推計する手法である。

図3.12及び図3.13に目標水位に対応する松原ダム放流量の推計結果と、その場合の貯水量の推移を示す。図3.12より、珍珠川からの流入量が大きく増えた、7日8時頃、8日0時頃にタイミングを合わせて、松原ダム放流量をピンポイントで大きく低減させる必要があることが示唆された。下流の目標水位を6.0mとした場合、図3.13のように松原ダム貯水位は計画満水位近くまで上昇する可能性がある。ただし、この計算ではダム下流の急激な水位変動を避けるための、放流量の変化幅の制約条件等は考慮しておらず、これを含めた場合、ダムへの貯留量は増える可能性がある。

以上の結果より、仮に支川の河川流量や降雨情報等が正確に知り得た場合に、理想的なダム運用を行うことができれば、ダムの容量を活用して氾濫を軽減できる可能性が示唆された。しかし一方、ここでは降雨予測、河川流量予測に含まれる不確実性を考慮していないため、現時点の技術水準からすると非現実的な仮定でもある。本検討では当時の降雨予測情報を用いた操作の検証は未実施であるため、本検討で示したような理想的な運用に対して、現実的にどこまで実装できるかについては、更なる検証が必要である。

### 3.4 まとめ

2020年7月5日から8日に至る梅雨前線の活発な活動による大雨は、筑後川上流部において記録的な洪水をもたらした。筑後川本川と支川の花月川、二串川が合流する付近では、7月7日から8日にかけて浸水範囲約52.7haの浸水が生じた。筑後川本川上流にある松原ダム、下釜ダム、大山ダムの3基

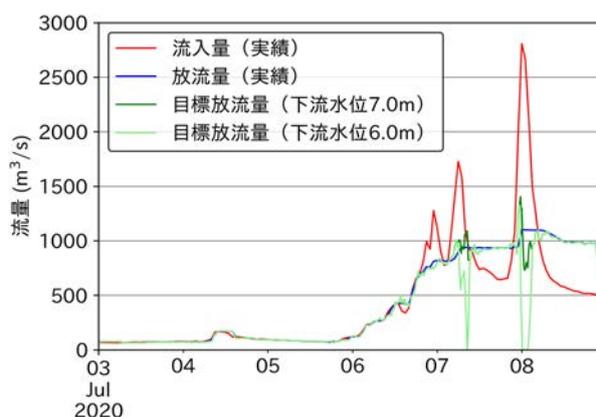


図3.12 花月川合流点水位を目標水位（7.0 m, 6.0 m）に抑える場合の松原ダムの放流量

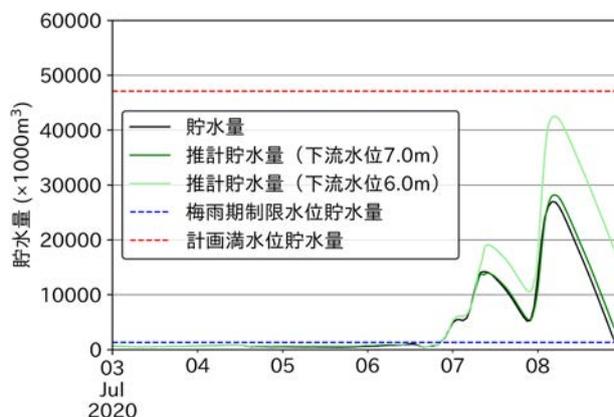


図3.13 花月川合流点水位を目標水位（7.0 m, 6.0 m）に抑える場合の松原ダムの貯水量

## 第4編

のダムにより、洪水調節が行われたが、支川の玖珠川上流には洪水調節を行うダムが存在せず、河川流量の大きな増減がみられた。これにより、玖珠川合流後の小淵地点では約 4,000 m<sup>3</sup>/s 超える流量ピークが2回生じた。この結果、花月川合流点付近での氾濫が生じたものと考えられる。

洪水時のダム運用においては通常、予め定められた運用ルールに基づき放流量が決められるが、洪水の終わりが相当程度確実に見通せる場合には、ダム下流の氾濫をより軽減するために放流量を減らし、より多くの洪水をダムに貯留する特別防災操作を実施することができる。今回の洪水の場合、氾濫が発生した7日8時ごろ、8日0時ごろにおいても降雨が継続していたことや、下笠ダムが異常洪水時防災操作に移行していたことから、その下流の松原ダムで特別防災操作に移行するのは困難であったと考えられる。

本検討では、今後の洪水予測技術やダム運用の高度化による洪水軽減の可能性を検証するため、2020年7月3日から8日までの期間を対象に、本川花月川合流地点より上流側の範囲を対象とした降雨流出解析を行った。玖珠川から本川に合流する流量の増大のタイミングにあわせて、松原ダム放流量を極端に減少させることで、花月川合流地点での水位を低下させ、氾濫が発生したと推計される水位上昇を回避できた可能性がある。しかし、玖珠川合流までの本川において急激な水位変動を生じさせる可能性があった。なお、この検討は、仮に降雨量や支川からの流入量が正確に予測でき、理想的なダム運用を行った場合に、氾濫を回避できる可能性があったかどうかを解析したものである。現行の降雨予測、河川流量予測精度のもとで同様の操作が可能であるというのではなく、実運用時に生じる関係機関間での調整のための時間等も考慮していない。

また、本検討では当時の降雨予測情報を用いた同様の操作の可否は未検証であり、当時入手し得た情報を用いて、本検討で示したような理想的な運用をどこまで実装できるかについて、更なる検証が求められる。

### 3.5 今後の課題

本調査では、正確な降雨予測、河川流量予測が可能であったという仮定のもとで、下流水位を低減するための上流側のダム運用を、河川の下流側から上流側に向けて河川流量を推計する逆計算手法により推計した。筑後川上流域の洪水に対して、当該手法を適用したのは今回が初めてであるが、過去に発生した様々なタイプの洪水への適用により、ダムの洪水調節効果をより発揮するための運用ルールの検証に活用できるものと考えられる。

防災操作対応に、予め定められたダムの洪水調節ルールにとらわれず、より洪水を軽減するための操作を行うことが期待されてきている。一方、本洪水のように玖珠川のような流量規模の大きな支川の流量変動を、別の河川系統に位置する松原ダムの運用で調節しようとする場合の難しさが明らかとなった。このようなケースでは、玖珠川の流量の増大のタイミングにあわせて、松原ダム放流量を大幅に低減させなければならず、反対にダム直下から玖珠川合流点までの範囲の流量変動幅が増大することになる。その点、ダム下流から玖珠川合流までの区間では、比較的大きな支川の流入がないため、仮にダム下流で降雨が多く、ダム上流で少ないような場合には、ダムにより多くの洪水を貯留する運用が適用しやすいであろう。しかし、ダムから下流目標地点への距離が短いほど、ダムからの放流水の到達が早く、より迅速な意思決定や、種々の伝達、調整に対する時間的猶予が限られる。このような点も含め実際上のダム運用の限界を把握したうえで、ダム運用に対しても過度の期待が持たれないような情報提供を行うことが、今後も引き続き重要であると思われる。

## 第4編

なお、本検討で用いた河川流量の逆計算手法は、河川の目標水位または目標流量が与えられた場合、河川流量を上流側に向けて逆算することで、その条件を達成するために求められる上流のダム運用が1連の計算により算出することが可能であり迅速性に優れている。現行の降雨予測の不確実性を踏まえて、どこまで理想的な運用に近づけられるかを認識し、不確実性を回避するための方策についても加味したうえで、実地への適用を模索することが期待される。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局にはデータ提供等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所：令和2年7月豪雨出水概要速報版，令和2年7月28日，2020.
- 国土交通省九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所：令和2年7月豪雨の概要と松原ダム・下笠ダムの防災操作について，2020年10月12日（速報），2020.
- 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課：ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説，pp.12-14，2017.
- Tsuda, M. and Ishizuka, M., Flexible Reservoir Flood Control Using a Reverse Routing Method with a Kinematic Wave Equation, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 76, No. 2, I\_847-I\_852, 2020.

## 第4章 大分県九重町野上地区における浸水痕跡調査

日本文理大学 池畑 義人

## 4.1 九重町における被災の概況

九重町は図 4.1 に示すように大分県西部に位置し、玖珠川の支川である野上川、鳴子川、町田川流域の 271km<sup>2</sup> の面積を有している。町の東南部にはくじゅう連山に囲まれた高原地区が広がっている。現在の人口は約 9,000 人であり、阿蘇くじゅう国立公園の観光資源を活かした観光業が基幹産業となっている。今回の調査で対象とした野上地区は先に挙げた3つの河川の合流点付近に位置しており、町役場と JR 豊後中村駅が置かれる町の行政の中心地となっている。今回の水害で九重町における人的被害は生じなかったものの建物被害は全壊 7 棟、半壊 78 棟、一部損壊 101 棟、床上浸水 75 棟、床下浸水 96 棟、非住家の被害 2 棟で合計 359 件だった。これは大分県の住宅被害の 24%を占めている。道路被害は 45 件、河川被害は 367 件で、それぞれの被害件数は大分県全体の 12%と 33%を占めている（大分県生活環境部）。このことから大分県の中でも九重町では大きな被害が生じていることがわかる。九重町における被害は、南部の宝泉寺温泉地区と中心部の野上地区に集中している。宝泉寺温泉では旅館 4 件が被災して休業している（経済産業省大臣官房広報室）。

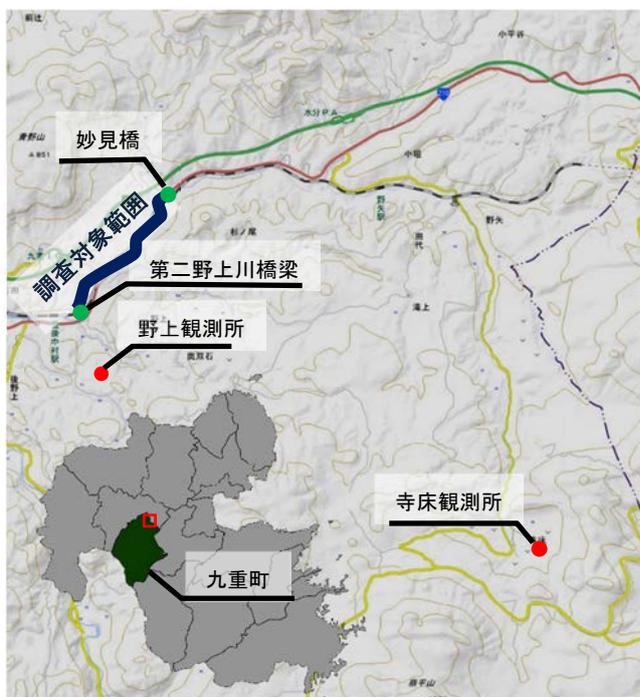


図 4.1 九重町の位置と本章における調査範囲  
(国土地理院 GSI Maps を改変)

## 4.2 野上川流域の降雨の状況

野上川流域では図 4.1 に示すように国土交通省が野上観測所、およびその上流の寺床観測所で雨量観測を行っている。この付近では7月3日から断続的に雨が降り続けていた。この雨は7月7日に降水量のピークを迎え、筑後川流域に大きな被害をもたらした。図 4.2 に7月7日の両観測所におけるハイエトグラフを示す。この図から野上川流域では、6時頃と23時頃に降雨のピークがあったことがわかる。日降水量は野上で 403 mm、寺床で 314 mm、1時間最大降水量は野上で 84 mm/h（7月7日6時）、寺床で 63 mm/h（7月7日24時）であった。

## 4.3 調査結果

7月12日に野上地区において実地・ヒアリング調査および浸水痕跡調査を行った。実地・ヒアリング調査は図 4.1 に示すように野上川沿いに豊後中村駅から妙見橋までを調査範囲とした。浸水痕跡は JR

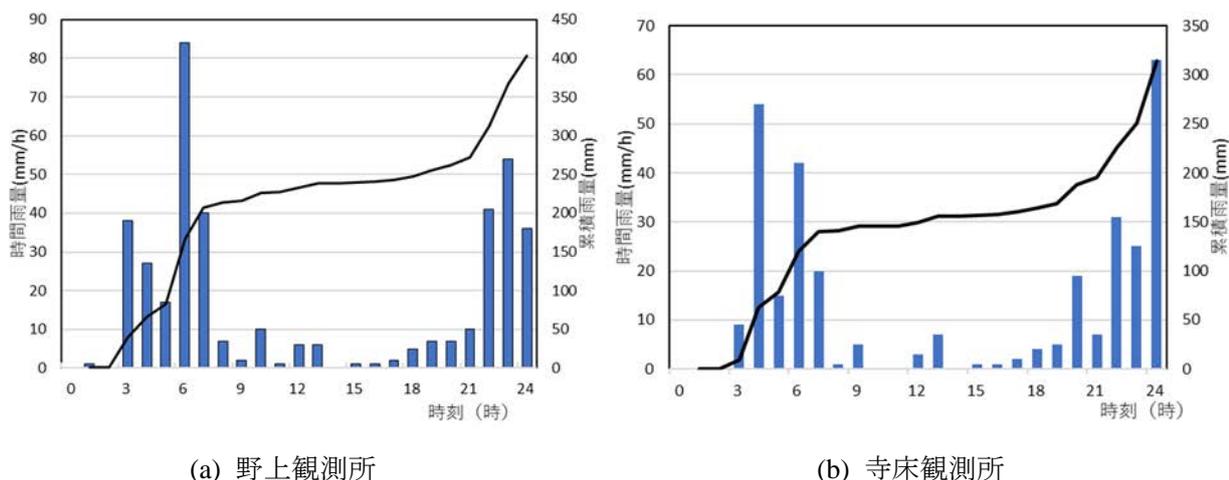


図 4.2 野上川流域の雨量観測所における 7 月 7 日のハイエトグラフ

久大本線の第二野上川橋梁付近から上流側の約 300 m の区間を調査した。

#### 4.3.1 実地・ヒアリング調査

図 4.3(a)に示すように JR 久大本線の第二野上川橋梁が流失するとともに付近では路盤が崩壊した(大分合同新聞)。この橋梁の流出により久大本線は 2021 年 2 月 28 日まで運休となった。図 4.3(b)に示す住宅は第二野上川橋梁の住宅である。この住宅では一階部分でほとんどの家財が流失していた。図 4.3(c)は第二野上川橋梁付近の集会場における浸水痕跡調査の様子である。この地点における痕跡水深は 165 cm であった。図 4.3(d)は地区の中心部の寺田橋の様子である。寺田橋では高欄が流失しており通行止めとなっていた。その一方で、橋脚、高欄等に流木は認められず、ヒアリングでも流木の流出は少なかったという証言が得られた。図 4.3(e)は右田地区における JR 久大本線の路盤流失の様子を示している。この盛土部分は下に通された暗渠を通じて河川水を流していたが、暗渠の流水能力を超えた河川水が線路の上を越流した結果、盛り土が崩壊したと考えられる。図 4.3(f)は高欄と路盤が流失した妙見橋の様子である。妙見橋は 1898 年に架設された石橋で、橋長 18.6m、橋幅 4.5m、径間 13.2m の単アーチ構造となっている。妙見橋を含む 4 基の石橋は野上石橋群として九重町有形文化財に指定されている(岡崎, 2007)。妙見橋付近で住民にヒアリングしたところ、妙見橋が損傷するような水害は少なくとも過去 50 年は発生したことがないという証言を得られた。

#### 4.3.2 浸水痕跡調査

7 月 12 日に野上地区において行った浸水痕跡調査の結果を図 4.4 に示す。この調査で標高の基準は寺田橋の左岸側の道路面上としている。河床高は寺田橋より下流側は実測、上流側は国土地理院の DEM データから読み取っている。地盤高と浸水痕跡高は図 4.4(b)で示すように道路沿いに測定した。また浸水痕跡高の最下流の点のみが道路から離れた点で測定したので、最下流の点では浸水痕跡高が地盤高より低くなっている。

浸水痕跡は寺田橋から上流に 250 m 付近までの範囲で認められた。図 4.4(a)から  $x=250$  m 付近での浸水痕跡高が地面から 2 m 程度の高さとなっており、洪水の水深が最大となっている。ここから下流に向かって地盤と並行に浸水痕跡高は下がっている。しかし、 $x=50$  m 付近から急速に水位が低下している。これは河床高の低下によるものと考えられる。また、図 4.4(b)の写真から測線の上流では植生が湾曲部



(a) 野上川第二橋梁の流失



(b) 野上川第二橋梁付近の被災した住宅



(c) 野上川第二橋梁付近の浸水痕跡調査



(d) 高欄が流出した寺田橋



(e) JR 久大本線の路盤の流出



(f) 高欄と路盤が流失した妙見橋

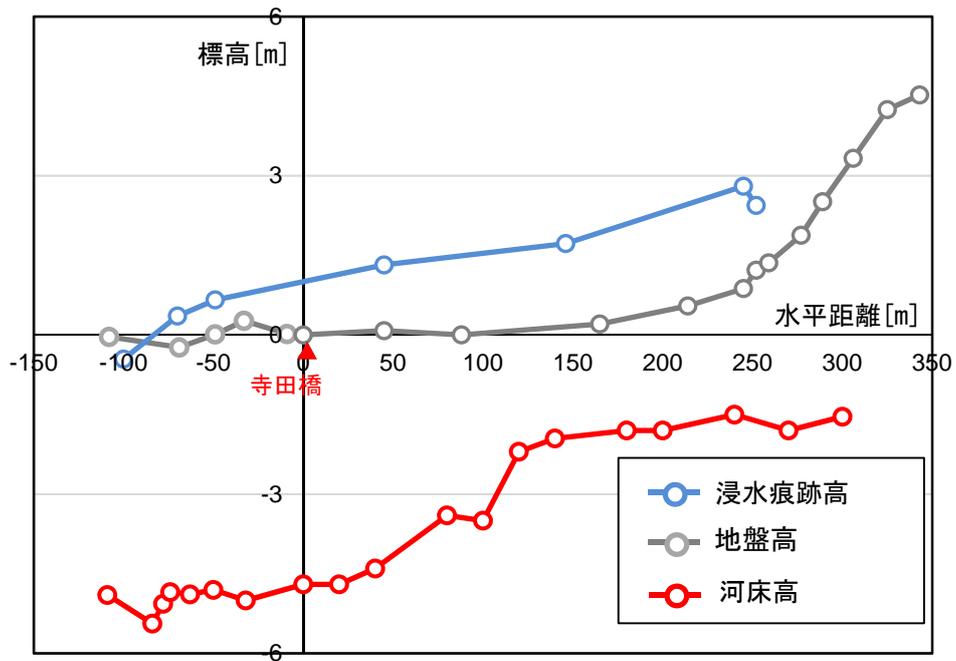
図 4.3 野上地区における被災状況

の外側に倒れ、下流では湾局部の内側に倒れている。

以上のことから、河川の湾曲部で慣性力によって河川水が越水して、そのまま河床が下流に向かって低下する勾配に従って水深が低下していることが示唆される結果となった。

#### 4.4 まとめ

今回の調査から令和2年7月の水害は野上地区のみならず、久大本線などの大分県西部と福岡を結ぶ



(a) 浸水痕跡高と地盤高，河床高の比較



(b) 基準点，測線および漂流物等の様子

図 4.4 浸水痕跡調査の結果

社会基盤にも大きな被害を与えたことがわかった。また九重町指定文化財である野上石橋群も大きな被害を受けたこともわかった。浸水痕跡調査の結果から河川の氾濫については河川の湾曲による影響が大きいことが示唆される結果となり，洪水によって倒された植生の向きがそれを裏付ける結果となった。

#### 4.5 今後の課題

今後は，詳細な地形を調査して野上川における氾濫シミュレーションを行い，氾濫の原因を特定する計画である。そのために，現在は詳細な地形データを収集している。

現在，久大本線は野上川第二橋梁の補修が終わり 2021 年 3 月 1 日に運行を再開することとなった（九

## 第4編

州旅客鉄道株式会社)。久大本線は2017年にも水害で橋梁が流出し、2018年7月に全線復旧したばかりであった。久大本線は地域住民の生活路線であるとともに、由布院を中心とした大分県中西部の観光に対して大きな影響を持つ路線である。このような地方路線を維持し、災害への脆弱性を克服するため、今後は水工学、河川工学からのアプローチが必要とされるかもしれない。

野上石橋群と同様に大分県には多くの歴史価値を有する石橋がある。そのひとつで、中津市指定有形文化財である馬溪橋が2012年に九州北部豪雨により損壊した。このときは馬溪橋自体が引き起こす流下阻害についても議論がなされた(矢野ら, 2017)。流下阻害を不安視する市民からは撤去の要望もあったが山国川床上浸水対策特別緊急事業において学識者が中心となった合意形成が図られ景観と防災に配慮した馬溪橋の修復が実現した。今回の水害で損壊した歴史的構造物についても、地方自治体の厳しい財政状況の中で防災と歴史的景観に配慮した議論が求められている。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、九州大学大学院工学研究院の田井准教授と群馬大学大学院理工学研究府の鶴崎准教授には調査へのアドバイスなどで多大な協力を受けた。また、日本文理大学工学部の高野飛雅君には調査やデータの取りまとめなどで協力を受けるとともに、2019年の台風による自らの被災体験をもとに、親身になって被災者インタビューに取り組んでくれた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 大分県生活環境部防災局防災対策企画課:「令和2年7月豪雨」に関する災害情報について(最終報)  
経済産業省大臣官房広報室: 令和2年7月豪雨による被害・対応状況について(7月13日(月曜日)5時30分時点)
- 岡崎文雄: 大分の石橋探訪, 別府大学メディア教育・研究センター地域連携部, vol.28: 大分市(1), 2007
- 大分合同新聞: 玖珠川、三隈川が氾濫 久大線の鉄橋流失、日田市の女性流され不明(2020年7月8日)
- 九州旅客鉄道株式会社: 久大本線が全線で運転再開します!(2021年1月15日プレスリリース)
- 矢野真一郎, 土橋将太, 富田浩平, 堂園俊多, 笠間清伸: 山国川流域における砂防ダム・貯水ダムの流木災害リスク低減効果と橋梁改修によるリスク変動の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.I\_349-I\_354, 2017.



## 第5章 大分県玖珠川流域における浸水被害

高知工業高等専門学校 岡田 将治

## 5.1 はじめに

筑後川支川の玖珠川では、令和2年7月7日の大分県日田市天瀬地区において、河川沿いの温泉街が浸水する被害を受けた。しかし、国土地理院の浸水推定図速報には日田市街までしか掲載されておらず、それより上流域の浸水被害状況が把握できなかったため、大分県玖珠町戸畑地区および日田市天瀬地区を対象に7月17日以降複数回の現地調査を実施し、UAV空撮画像を用いた地形測量(SfM)により詳細な地形を計測して浸水被害状況を把握した。さらに、Nays-2DFlood (iRIC Software)による氾濫解析を行って当該地区における被災流量の推定と氾濫被害に至る過程を明らかにした。

## 5.2 降雨状況および過去の出水時との比較

図5.1に玖珠川の流域図を示す。玖珠川は筑後川流域の最上流部に位置する支川で、大分県玖珠郡九重町、玖珠町および日田市を流れる。河川延長は56km、流域面積は529km<sup>2</sup>であり、日田市街地のの上流において大山川と合流して三隈川となる。ここでは、氾濫被害が発生した玖珠町戸畑地区と日田市天瀬地区を調査対象とした。両地点間の流下距離は約12kmである。

図5.2に気象庁解析雨量データから作成した2020年7月5日12時から9日12時までの総降雨量コンター図を示す。南西部の大山川上流域では900mmを超す雨量が記録されており、玖珠川流域では全域で500~600mm程度を記録している。大分県の雨量観測地点における総降雨量は、青野山617mm、町田543mmであった。特に、気象庁アメダスの玖珠雨量観測地点では、7月7日の日降水量が294mmと観測史上1位を記録し、前日7月6日についても181mmで観測史上8位となったことから、これまで経験したことがないような降雨が連日にわたって降ったことがわかる。



図 5.1 玖珠川の流域図

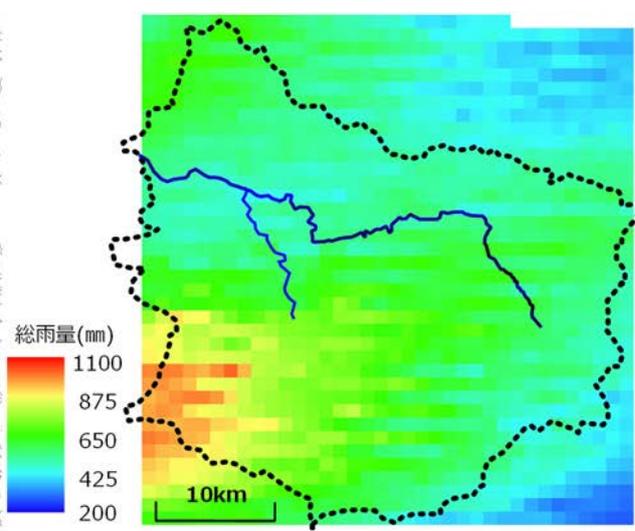


図 5.2 2020年7月5日12:00~7月9日12:00の期間の総降雨量(気象庁解析雨量)

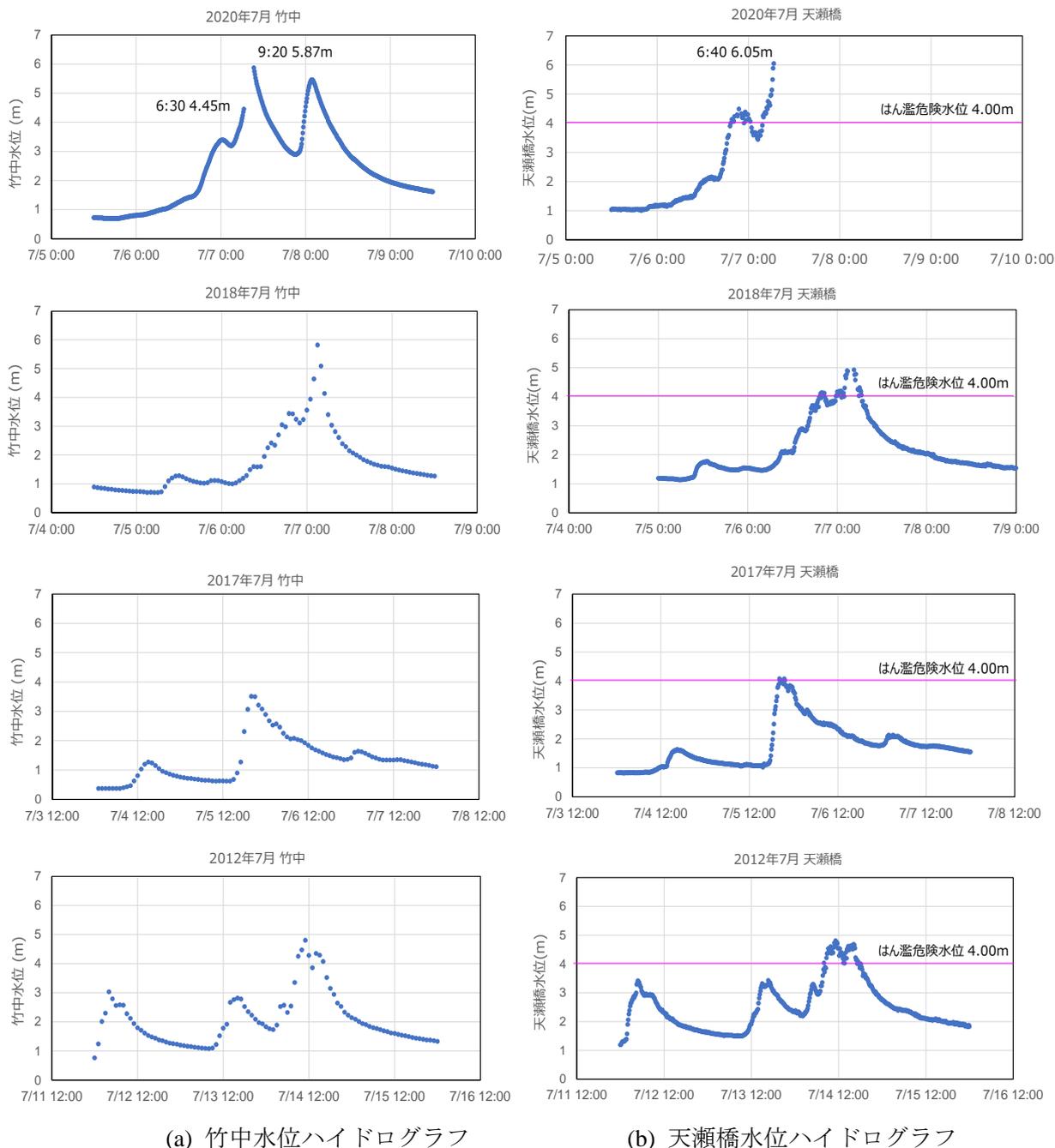


図 5.3 近年 4 回の出水時における竹中，天瀬橋の水位ハイドログラフ

図 5.3 に国が管理する竹中(玖珠町戸畑)と大分県が管理する天瀬橋(日田市天瀬)における水位ハイドログラフを示す。また、近年発生した豪雨発生時と比較するため、2018年(平成30年西日本豪雨)、2017年(平成29年7月九州北部豪雨)および2012年(平成24年7月九州北部豪雨)の水位ハイドログラフも合わせて示す。図より、竹中と天瀬地点は区間距離が約12kmと近いこと、洪水波形が類似していること、2012年から2018年までの計3回の出水の中では2017年出水が比較的小さく、2018年出水のピーク水位が最も大きかったこと、2020年出水は、それをさらに上回る規模であったことがわかる。特に、2020年出水では7月7日の朝方に竹中および天瀬橋水位観測所のピーク付近の水位が欠測となっており、天瀬橋においては2021年2月現在でも閉局となっている。



図 5.4 玖珠町戸畑地区(竹中水位観測所)付近の平面図



図 5.5 玖珠町戸畑地区(竹中水位観測所)付近の氾濫痕跡(7月17日：岡田撮影)

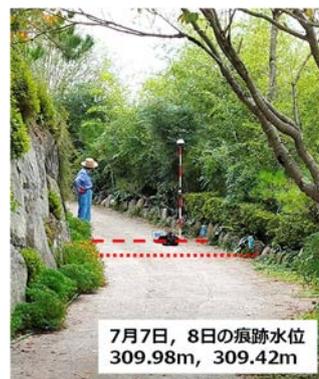


図 5.6 戸畑地区の痕跡水位

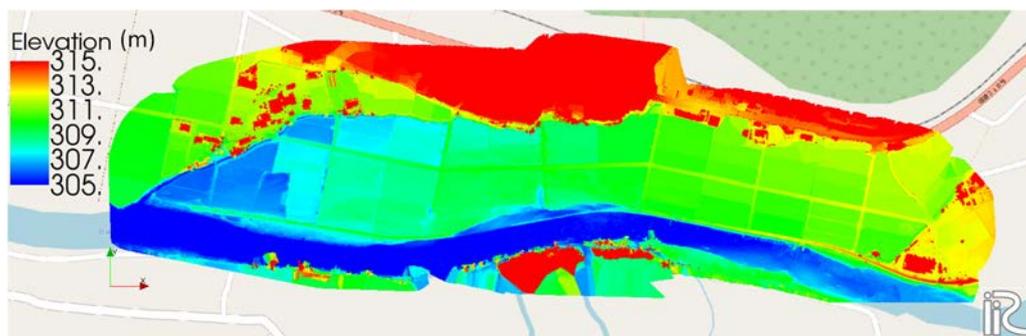


図 5.7 玖珠町戸畑地区(竹中水位観測所)付近の地表面高(DSM)コンター

### 5.3 玖珠町戸畑地区の被害状況

図 5.4 に玖珠町戸畑地区付近の平面図を示す。この区間には国が管理する竹中水位観測所(大山川合流部から 24.8km 上流地点)がある。河川沿いには田畑が広がり、民家は川から少し離れた高台に多く建てられている。図 5.5 に UAV で上空から撮影した氾濫痕跡を示す。右岸側の竹中水位観測所の下流約 200m 区間において越流し、裏法肩の侵食が進行して破堤が発生しており、堤内地に土砂が堆積しているのがわかる。近隣住民の方に洪水痕跡について聞き取りを行ったところ、図 5.6 に示すように高台の住居に上る坂道の途中に7月7日と翌日8日の痕跡が詳細に記録されていた。RTK-GNSS を用いて標高の計測を行ったところ、それぞれ 309.98m および 309.42m であった。国土交通省水文学質 DB によれば、竹中水位観測地点のゼロ点高が 304.58m であることから、約 600m 下流側の地点においても水位標の



図 5.8 日田市天瀬地区(天瀬橋水位観測所)付近の平面図



図 5.9 日田市天瀬地区のオルソ画像と橋梁の位置

読み値 5.4m に相当する高さに洪水痕跡が残っている。

浸水した領域の地盤高を計測するために、DJI 社の Phantom4-RTK を用いて 72m 上空(解像度 2cm)から画像取得を行い、写真測量ソフトウェア(Pix4D Mapper)により三次元の点群データを得た。図 5.7 に撮影した範囲の地表面高コンターを示す。河川沿いおよび右岸の田畑部には面的に標定点を設置しているが、図中央上部の標高が高い箇所には設定していないため、出力された標高の精度は高くない。図より、右岸の破堤区間の地盤高が低くなっていること、右岸側の田畑の地盤高に着目すると、1400m の縦断距離に対して約 6m の高低差があり、堤防を越水した水は田畑を流下して、標高が 5m 程度高くなる地形で堰き止められ、支川から再び河道に戻るような特徴を持っているのがわかる。

#### 5.4 日田市天瀬地区の被害状況

図 5.8 に日田市天瀬地区(天瀬橋水位観測所)付近の平面図を示す。5.3 で示した玖珠町戸畑地区から約 12km 下流にある。約 2km の区間の河川沿いに温泉街があり、ホテルや飲食店が軒を連ねている。図 5.9 に日田市天瀬地区のオルソ画像を示す。橋梁は下流側から新湯山橋、水位計が設置されている天瀬橋、宿泊施設(成天閣)の吊橋、新天ヶ瀬橋がある。上流にあった青いトラス橋の新天ヶ瀬橋は、ピーク水位付近と考えられる 7 月 7 日午前 7 時から 7 時 30 分の時間帯に約 100m 下流に流された。また、新天ヶ瀬橋の上流左岸の民家において、民家の女性が流されたと日田署に通報(7 時 50 分頃)があった。

図 5.10 に大分県から提供いただいたピーク水位直前の天瀬橋 CCTV カメラ画像(7 月 7 日 6 時, 6 時 30 分および 7 時)を示す。10 分間隔で画像が取得されているが、図中の 7 時の画像が最後のもので、7



図 5.10 ピーク水位直前の天瀬橋 CCTV カメラ画像(大分県より提供)  
(左側より 6時, 6時30分, 7時の状況)



図 5.11 天瀬橋中央部と左岸部における水位標高さと標高

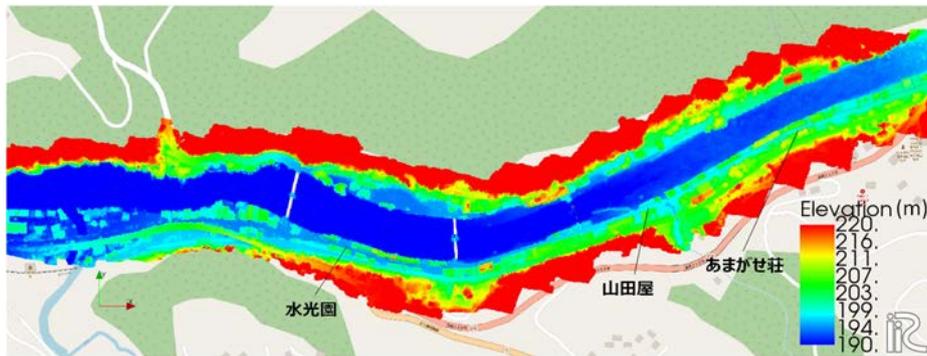


図 5.12 日田市天瀬地区の地表面高(DSM)コンター



図 5.13 痕跡浸水深 (左から水光園, 山田屋, あまがせ荘)

時 10 分以降の画像は機器の故障により取得できていない。しかしながら、SNS 上では 7 時以降のもの  
と見られる天瀬橋に濁流が乗り越えている画像も確認されていることから、新天ヶ瀬橋が落橋したと言  
われている 7 時から 7 時 30 分の時間帯にピークになったと推察される。

図 5.11 に天瀬橋の水位標高さと RTK-GNSS で計測した標高を示す。中央部の天端高は 197.85m であ  
り、左岸詰めが 194.90m であった。CCTV カメラの画像を確認すると、6 時 20 分以降に水位が上昇して  
主桁下部に流れが衝突し始めている。この時刻の水位は 5.50m であり、6 時 40 分に 6.05m を計測した

## 第4編

後、欠測となっている。図 5.12 に日田市天瀬地区の地表面高(DSM)コンターを示す。Phantom4-RTK を用いて玖珠町戸畑地区で実施した写真測量と同じ条件で画像を取得し、三次元の点群データを得た。精度検証のために河川沿いで計測した地盤高データと比較した結果各地点において標高の偏差 10cm 以内の高い精度で出力されていることを確認している。図の右端から新湯山橋までの約 1.1km の縦断距離に対して、河川沿い道路の標高差は約 5.5m、すなわち 1/200 であった。図 5.13 に主要地点の痕跡浸水深の状況を示す。各地点の位置は図 5.12 に記載している。道路からの浸水深は、上流のあまがせ荘前で 2.3m、山田屋前で 1.5m、水光園玄関前および駐車場で 1.1m であり、上流から下流に向かって浸水深が小さくなる傾向が確認できる。これに関しては、当該地区の浸水状況を調査した他のグループからも同様の結果が報告されている。

## 5.5 戸畑，天瀬地区における流量ハイドログラフの推定および氾濫解析

### 5.5.1 流量ハイドログラフの推定

図 5.3 で示したように、2020 年 7 月出水では竹中および天瀬橋水位観測地点において、ピークの時間帯の水位データが得られていない。そのため、UAV 写真測量によって詳細に得られた河川地形、実測できた時間帯の水位および痕跡水位(図 5.6 および図 5.9)を用いて、iRIC ソフトウェアの Nays2D Flood により両地区における流量ハイドログラフを推定し、洪水時の氾濫状況の把握を試みた。ただし、本手法では水面下の地形が計測できていないため、はじめに地形計測時の平水時の流量を目視で  $20\text{m}^3/\text{s}$  と仮定し、計測区間における平均河床高を設定した。戸畑地区では田畑が主要な土地利用であるため、解析格子サイズを 5m とし、粗度係数を一律 0.03 とした。また、空撮範囲外であった上流側には国土地理院 5m メッシュ標高データを追加した。破堤した区間の堤防天端高については、残存する上下流の堤防の天端高を参考に設定した。天瀬地区については、河川沿いの狭い道路の流れを再現するために計算格子を 1.5m とし、粗度係数は岩が多く露出していることから 0.04 とした。また、1 回目のピークの時間帯に落橋した新天ヶ瀬橋はそのまま河道内に残した状態で計算を行っている。

図 5.14 に推定された戸畑および天瀬地区の流量ハイドログラフを示す。上流の戸畑におけるピーク付近の流量は 7 時に  $1000\text{m}^3/\text{s}$ 、8 時に  $1600\text{m}^3/\text{s}$  であった。また、翌日深夜の 2 回目のピーク時は、7 月 8 日 1 時 40 分に  $1000\text{m}^3/\text{s}$  であった。天瀬においては、7 時に  $1500\text{m}^3/\text{s}$ 、8 時に  $2200\text{m}^3/\text{s}$  であった。これらの流量値の妥当性および天瀬のピーク以降の流量ハイドログラフについては、現在 RRI モデルによる流出解析を行っており、その結果からも検証を行う予定である。

### 5.5.2 玖珠町戸畑地区の氾濫状況

図 5.15 に玖珠町戸畑地区における各時刻の水深と流速ベクトルの解析結果を示す。図 5.15 (a)は 7 月 7 日 6 時 30 分の流量  $680\text{m}^3/\text{s}$  時の流況である。流量の増加とともに河道内の流れが直進性を増して水衝部となり、当該出水において破堤したこの地点から越流を始めている。

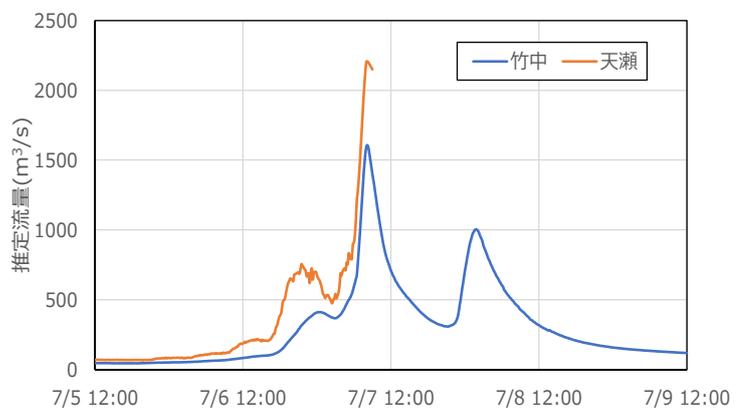
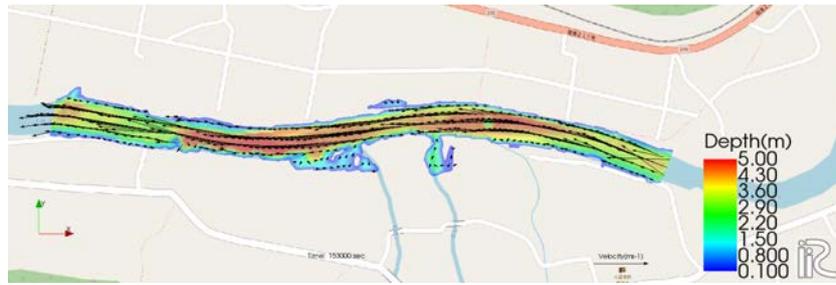
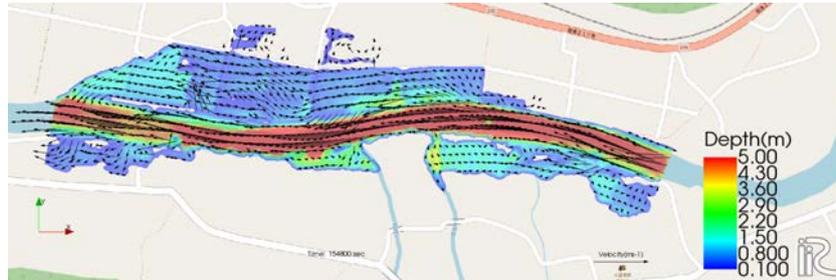


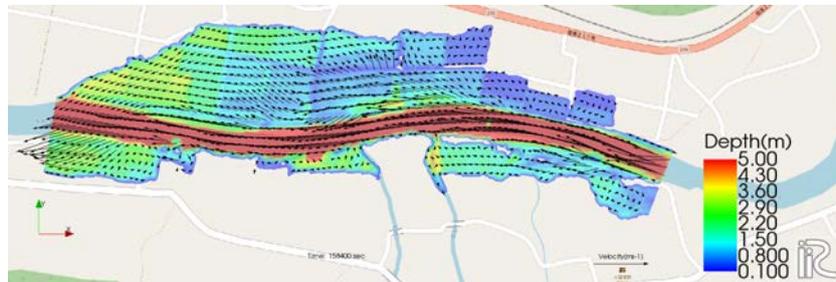
図 5.14 推定された流量ハイドログラフ



(a) 7/7 6:30  $Q=680\text{m}^3/\text{s}$



(b) 7/7 7:00  $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$



(c) 7/7 8:00  $Q=1592\text{m}^3/\text{s}$

図 5.15 珍珠町戸畑地区における氾濫解析結果 (各時刻の水深と流速ベクトル)



(a) 7/7 6:40  $Q=1286\text{m}^3/\text{s}$



(b) 7/7 8:00  $Q=2200\text{m}^3/\text{s}$

図 5.16 日田市天瀬地区における氾濫解析結果 (各時刻の水深)

## 第4編

また、解析区間の下流端付近の右岸にある支川では、本川からの背水が始まる。図 5.15 (b)は流量  $1000\text{m}^3/\text{s}$  時の流況である。越流した水が右岸の田畑を流下する流速ベクトルは全て下流向きになっており、支川から本川に還流している。したがって、流量がこの値を超える時間帯から、右岸の堤内地は河道の一部となって氾濫水が流下するようになる。さらに、ピークの時間帯の図 5.15 (c)では、浸水範囲が拡大し、下流側の標高の低い区域の浸水深は  $4\text{m}$  程度まで上昇しており、川側の比較的標高の低い民家 1 軒が浸水被害を受けた。

### 5.5.3 日田市天瀬地区の氾濫状況

図 5.16 に日田市天瀬地区における各時刻の水深の解析結果を示す。図 5.16 (a)は、7月7日6時40分の流況で、上流左岸にある駐車場等の川沿いに建物がない箇所から河川水が溢れ、道路が冠水し始めている。大分合同新聞(7月8日)の記事によれば、午前6時半前後から川が溢れ始めたとされているため、時間は概ね合っている。図 5.16 (b)には、ピークの時間帯の8時の状況を示す。図 5.13 に示した上流側のあまがせ荘および山田屋の付近の浸水深は、実測値と同程度であった。また、図 5.9 に示した天瀬地区で犠牲となった方が流された民家前の道路では浸水深が  $2\text{m}$  を超えており、流速も毎秒  $1\text{m}$  以上となっている。この付近では山側斜面と川側に宿泊施設があり、氾濫した水が狭い道路に集中するため、高流速となりやすい地形特性となっている。一方、下流にある水光園付近の浸水深は実測値よりも若干小さく、SNS にひざ下程度の冠水状況が投稿されていた天ヶ瀬駅前道路では一部が冠水するのみである。これは図 5.10 に示した天瀬橋橋梁に堰き止められた水が左右岸に溢れて流下したと考えられ、本解析ではこれらの影響を考慮できていないため、左岸下流部の浸水状況の再現性が低くなっている。しかしながら、UAV 空撮画像を用いた写真測量により詳細な地形を取得し、氾濫解析によって河川流況、川からの堤内地側への氾濫および河川沿いの幅員  $4\text{m}$  程度の狭い道路を流れる流況まで概ね再現できており、当該地区の氾濫被害の発生過程を概ね明らかにすることができた。

## 5.6 おわりに

筑後川上流域の玖珠川において 2020 年 7 月 7 日から 8 日に発生した浸水被害を対象に、現地調査を実施して氾濫被害状況を把握した。さらに、氾濫解析により両地区の氾濫流量を推定し、被害の発生過程を考察した。これまでに得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 玖珠川で 2020 年 7 月豪雨により発生した洪水は、近年の 2012 年 7 月、2017 年 7 月および 2018 年 7 月時よりも大きい規模であった。玖珠町戸畑および日田市天瀬における 7 月 7 日 7 時から 8 時の時間帯のピーク流量は、それぞれ  $1600\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2200\text{m}^3/\text{s}$  と推定された。
- 2) 玖珠町戸畑地区では、流量  $680\text{m}^3/\text{s}$  程度から右岸側の田畑へ越流が起こった後、 $1000\text{m}^3/\text{s}$  程度から下流側で還流されるため、現状ではそれ以上の流量規模の洪水に対しては遊水効果がほとんどない。
- 3) 日田市天瀬地区では、 $1300\text{m}^3/\text{s}$  程度から道路への氾濫が確認され、水位の上昇により天瀬橋に衝突した水が左右岸から溢れ、下流側の浸水深を増加させた可能性が示唆された。

## 謝辞

本調査の実施にあたり、大分県から玖珠川水位データおよび天瀬橋 CCTV カメラデータを提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 第6章 筑後川中流域（久留米市・鳥栖市）における内水氾濫について

佐賀大学 大串 浩一郎

## 6.1 筑後川中流域（久留米市・鳥栖市）の概要と令和2年7月の降雨・河川の状況

筑後川中流域の久留米市は、福岡県南部の筑後平野のほぼ中央に位置し、面積229.96km<sup>2</sup>、人口約30万4千人（令和3年3月現在）の地方都市である。久留米市は近世には久留米藩有馬氏21万石の城下町として常に筑後地方の中核的位置を占めてきた。一方、同じ筑後川中流域で久留米市の隣に位置する鳥栖市は、面積71.73km<sup>2</sup>、人口約7万3千人（令和2年現在）と同様の佐賀県東部の地方都市である。近世には鳥栖市の北東部は対馬藩宗氏の田代領、鳥栖市南西部は佐賀藩鍋島氏に属していた。明治以降、鳥栖市は鉄道の町として、また、九州道・長崎道・大分道など高速道路の分岐という交通の要衝として発展してきた。この筑後川中流域における戦後最大の水害は昭和28年6月の西日本水害である。この洪水の被害は甚大で、死者147名、流出全半壊12,801棟、床上、床下浸水がそれぞれ49,201棟、46,323棟、被災者数54万人を記録した。その後、昭和32年、筑後川水系治水基本計画が策定され、大石分水路、松原・下釜ダムの建設、河道の流下能力を高める整備などが進められ、筑後川水系工事実施計画に改定後、上流ダム群や原鶴分水路、筑後大堰などが整備された。平成9年には筑後川水系河川整備方針・同計画が策定され現在に至っている。

令和2年7月、九州北部では、5日から8日にかけて梅雨前線が停滞し、大気の状態が非常に不安定な状況が続いたことで、筑後川流域では広い範囲で長時間にわたり強い雨が継続し、48時間雨量は久留米観測所では420mm、鳥栖観測所では451mm、日田観測所で434mmを記録し、各地で観測史上最大の降雨量を記録した。また筑後川本川において、観測史上最高水位を3観測所で記録した。対象区域では片ノ瀬観測所が観測史上最高水位の10.52mを記録した。瀬ノ下観測所は観測史上最高水位を記録しなかったものの、42.5時間にわたり氾濫注意水位を超過し避難判断水位を記録した。図6.1、図6.2に対象河川の水位観測所水位の時間的変化（筑後川河川事務所資料、2020）を示す。

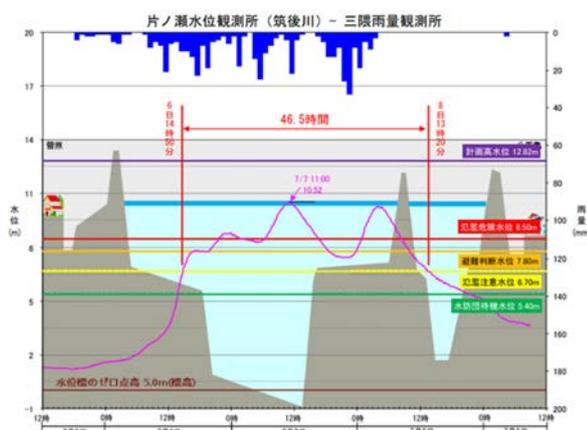


図 6.1 片ノ瀬観測所水位の変化  
（筑後川河川事務所資料、2020）

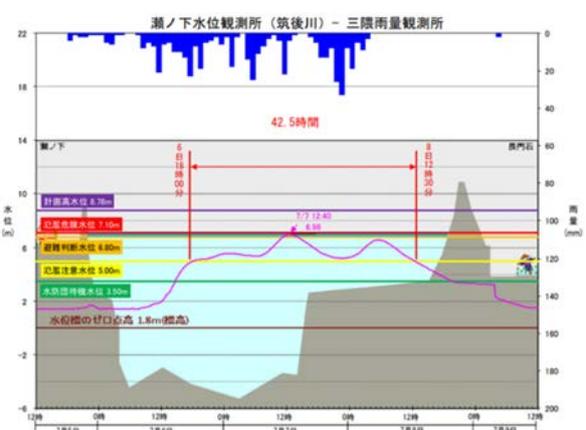


図 6.2 瀬ノ下観測所水位の変化  
（筑後川河川事務所資料、2020）

筑後川流域では、51箇所の排水機場が存在しており（図6.3）、全ての排水機場の合計排水能力は、約565.2m<sup>3</sup>/s、片ノ瀬～瀬ノ下間の排水機場の合計排水能力は約160m<sup>3</sup>/sである。令和2年7月豪雨にお

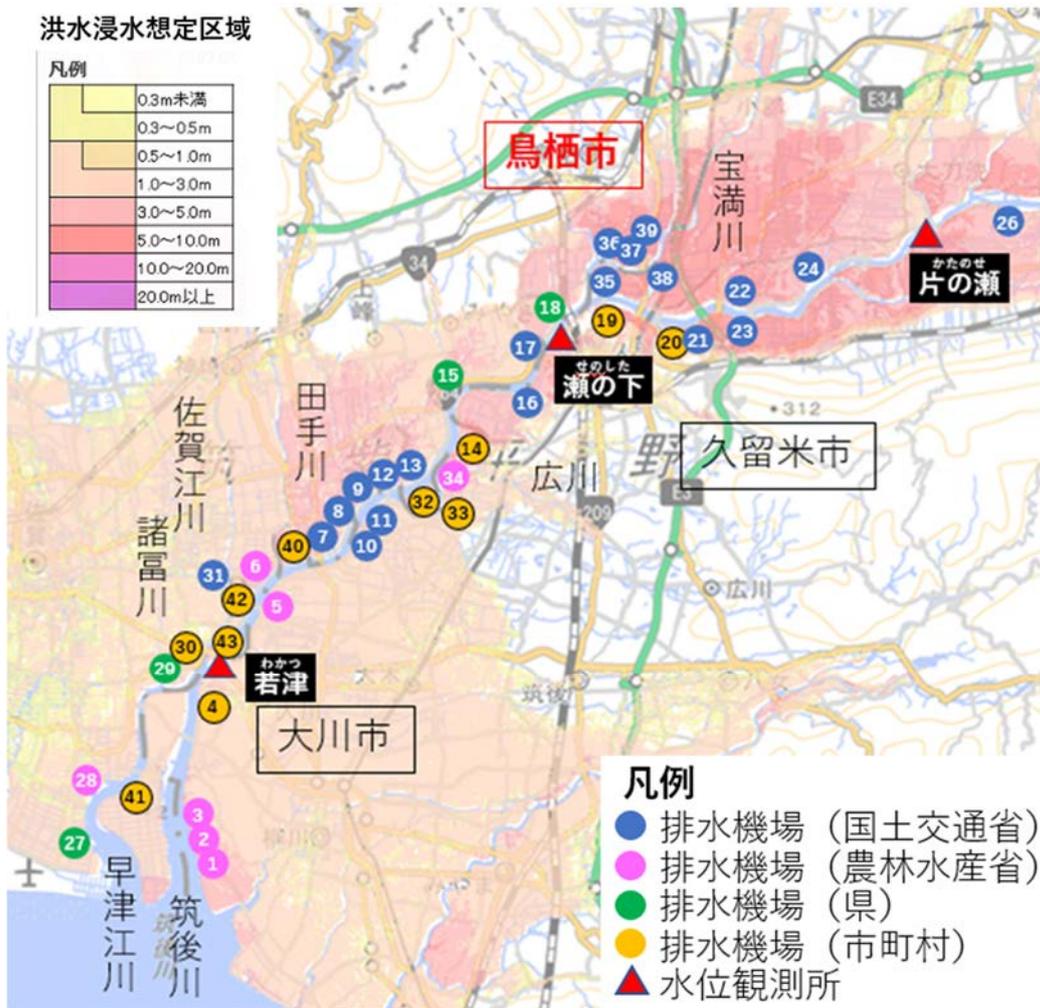


図 6.3 筑後川の排水機場一覧（筑後川河川事務所資料，2019a）

いては、雨量が最も多かった7月6日午後から7日夜にかけて排水機場が集中的に稼働した。しかし、それでも久留米市・鳥栖市で内水氾濫による浸水被害が発生した。特に久留米市は、平成30年7月豪雨（西日本豪雨災害）、令和元年7月豪雨、令和2年7月豪雨と過去3年、浸水被害が連続して発生した（表6.1）。

表 6.1 久留米市の被害内容（久留米市資料，2020）

	H29.7九州 北部豪雨	H30.7月豪雨	R1.7月豪雨	R1.8月豪雨	R2.7月豪雨
人的被害	3名 (軽傷)	0名	1名 (軽傷)	0名	0名
住家被害 (内床上浸水)	1棟 (1棟)	1,434棟 (423棟)	136棟 (89棟)	45棟 (29棟)	1,955棟 (335棟)
道路被害	14件	369件	58件	127件	191件
河川被害	0件	14件	25件	34件	37件
土砂被害	0件	43件	0件	0件	7件
農産物及び施設・機械被害	0.4億円 被害面積 856.5ha	25.3億円 被害面積 1,025.7ha	2.8億円 被害面積 172.6ha	5.6億円 被害面積 872.7ha	16.3億円 被害面積 2,412.0ha

## 第4編

久留米観測所によると7月5日18時~11日04時までの雨量は総雨量772mm,7月7日9:10までの24時間雨量360.5mmを記録しており,総雨量の約半分を占めていることがわかる.筑後川支川の大刀洗川の越水,陣屋川の溢水,金丸川の溢水,下弓削川の溢水,古川の溢水,山ノ井川の溢水や内水氾濫により多くの家屋の浸水被害が発生した(内閣府資料,2021).表6.1に令和2年7月豪雨と過去の災害を比較した表を示す.令和2年7月豪雨による被害は,床下浸水1,620棟,床上浸水が335棟,道路被害191件,河川被害37件,土砂被害7件,農産物及び施設・機械被害は16.3億円,被害面積2,412haと近年の豪雨と比べても被害が大きく,とりわけ住家被害は過去3年で最大であった.写真6.1,写真6.2に久留米市の浸水被害の様子を示す.また,久留米市・鳥栖市の浸水状況を図6.4に示す.



写真 6.1 久留米市東合川地区の浸水状況



写真 6.2 久留米市城島町の浸水状況



図 6.4 令和2年7月豪雨による久留米市・鳥栖市の浸水状況(国土地理院資料,2020)

一方,鳥栖市では,令和2年7月の被害は床上浸水が1戸のみ,浸水面積が約600ha(ほとんどが水田)である.宝満川支川の沼川の兩岸,大木川の左岸側の浸水はいずれも内水氾濫によるものである.

## 6.2 筑後川中流域(久留米市・鳥栖市)の内水氾濫とその対策に関する検討

本調査では浸水範囲が広範囲にあることから,筑後川中流域の久留米市と鳥栖市のそれぞれ一部の区域について開水路1次元流れ解析により外水ならびに内水の計算を行った.内水域については,河川と同様に河道として扱い,平均的な内水深を求めることとした.

### 6.2.1 久留米市の内水氾濫解析

第4編

対象区域図を図 6.5 に示す。解析対象区域の上流端を筑後川の片ノ瀬観測所(35.4km 地点)、巨瀬川の中央橋観測所(筑後川合流点より 9.98km)、宝満川の端間観測所(筑後川合流点より 7.98km)の実測流量を与えた。安良川(宝満川合流点より 2.50km)には流量観測所がないため、水位観測所より上流域に一山洪水を与えて H-Q 式を求めて、実測水位から流量に換算して与えている。下流端を筑後大堰(23km 地点)とした。上記の境界条件をまとめたものを、図 6.6 に示す。下弓削川、陣屋川、太刀洗川は洪水時水門が閉門していたため、排水機場のポンプ排水によって筑後川に排水する処理を行った。マンニングの粗度係数については、水理公式集を参考に河道の状況を考慮し横断面毎に与えた。低水路は 0.02~0.03、高水敷は 0.05~0.15 を与えた。本研究では、DHI の 1 次元解析ソフトの MIKE11 を用いて計算を行った。解析期間は令和 2 年 7 月 6 日~13 日である。タイムステップは 1 秒とした。また、解析範囲には合計 11 箇所の排水機場があり、その総排水量は約 160m<sup>3</sup>/s である。この中で最も大きい規模は大刀洗排水機場の

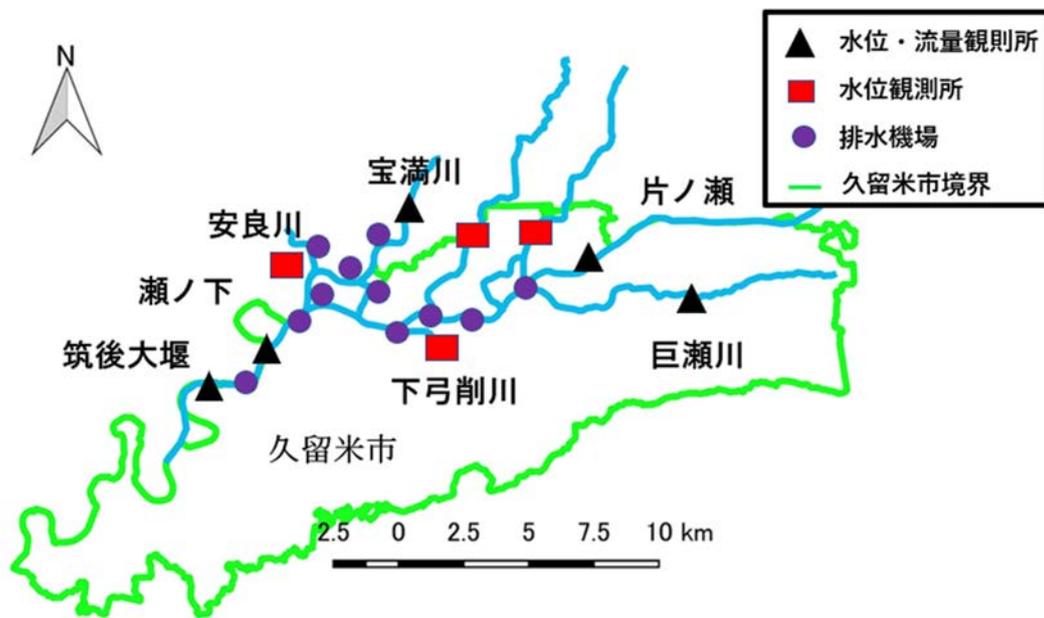


図 6.5 久留米市の内水氾濫解析における対象区域図

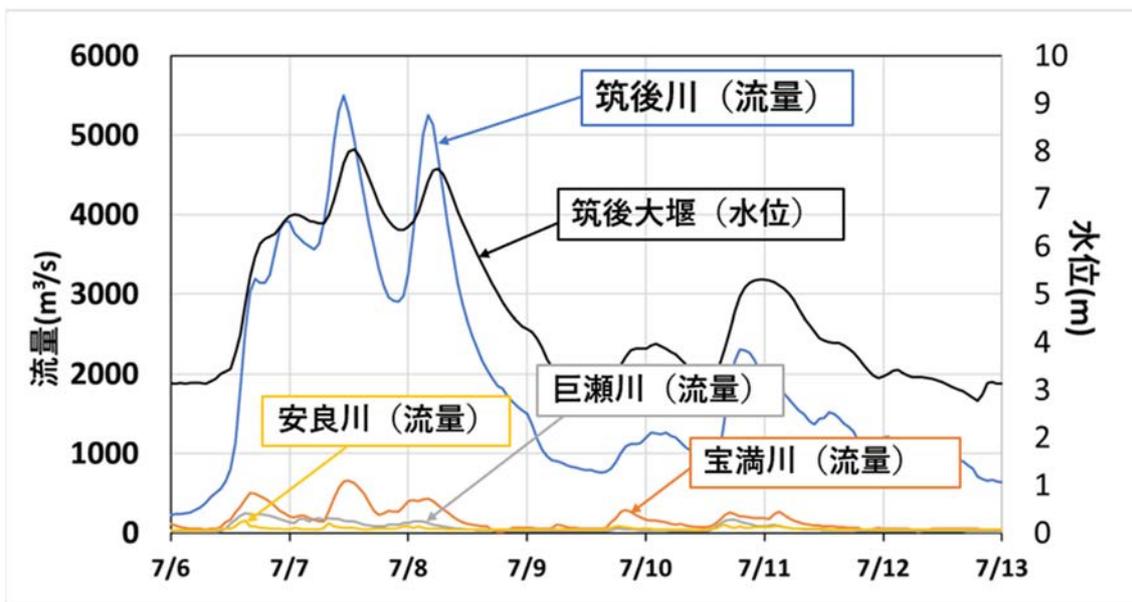


図 6.6 久留米市の内水氾濫解析における境界条件

第4編

27.2m<sup>3</sup>/sである。また、筑後川の支川には数多くの水門・樋門があり、平時時、水門は開門しているが、本川水位のピーク時には逆流を防ぐために水門は閉門しておりポンプ排水によって支川の水位低減を行っている(筑後川河川事務所資料, 2020b)。

令和2年7月豪雨の際、対象流域において越水は

発生しなかったが、排水機場のポンプからの排水が追い付かず、内水氾濫が発生した。そのため、ポンプを増設した際に外水位に与えた影響を明らかにすることとした。図6.7にポンプ排水の有無による筑後川外水位の比較と流入支川河口の河床高を示す。またピーク時の外水位の水位差は0.051mとなりポンプ排水が外水位に及ぼす影響は小さいことが分かった。

ポンプ排水が外水位に及ぼす影響が小さいことがわかったので、排水量を増加させることで、内水位低減の効果を明らかにすることとした。対象地区の内水域モデルを図6.8に示す。

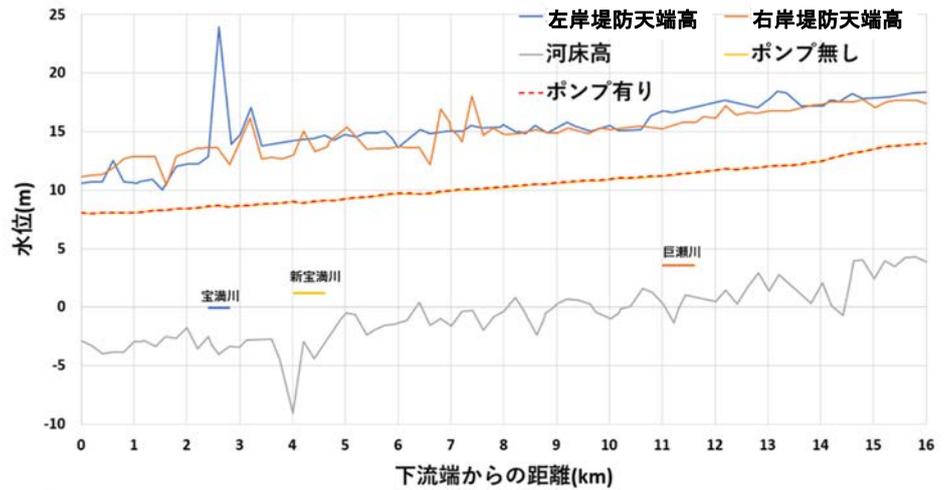


図 6.7 ポンプ排水の有無による外水位の比較と流入支川河口の河床高



図 6.8 久留米市における内水域モデルの位置図

ポンプを倍に増設した時の東合川地区の水位分布を図6.9に示す。図より東合川地区では最大で0.47m浸水深を低減することができた。東合川地区はその効果が大きく、床上浸水から床下浸水まで被害を低減することができた。また、ポンプを倍に増設することで北野町西部は0.27m、北野町東部では0.13m最大浸水深を低減することができた。しかし、ポンプの設置位置から遠ざかれば内水位の低減効果は当然のことながら小さくなる。堤内地の集水面積、ポンプ容量、流域平均総雨量などによりこの水位低減量は変わる。このことを示すために、これらの諸量を一覧にしたものを表6.2に示す。

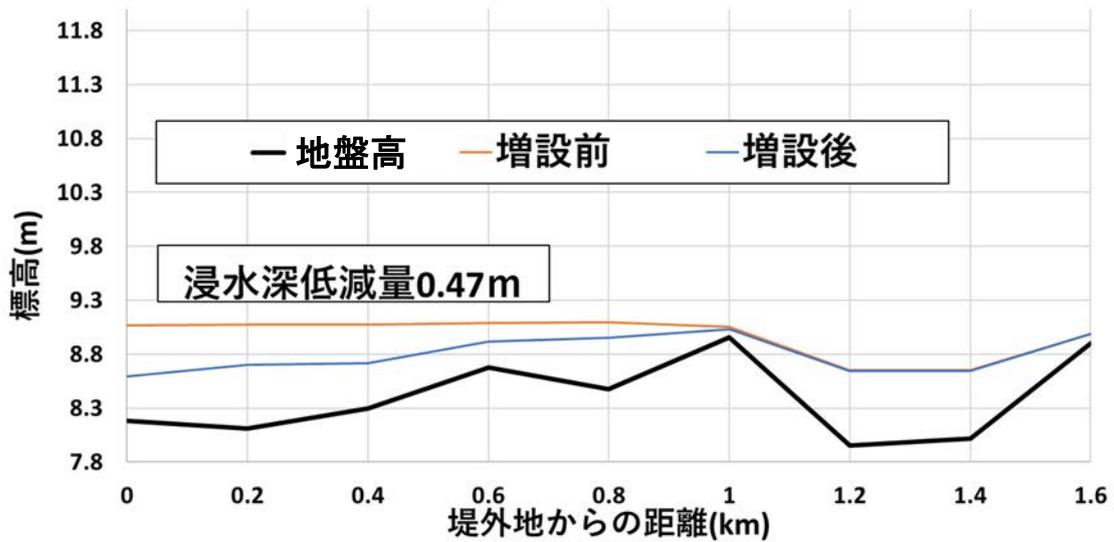


図 6.9 東合川地区におけるポンプ増設前後の水位分布の比較

表 6.2 久留米市の内水氾濫解析における各堤内地の特性値

	集水面積 (km <sup>2</sup> )	流域平均総 雨量(mm)	氾濫水量 (m <sup>3</sup> )	ポンプ排水 量A(m <sup>3</sup> /s)	ポンプ排水 量B(m <sup>3</sup> /s)	排水時間 A(h)	排水時間 B(h)	水位低減 量(m)
	(A)	(P)	(P×A)	(Q <sub>A</sub> )	(Q <sub>B</sub> )	(T <sub>A</sub> )	(T <sub>B</sub> )	
東合川地区	1.476	624	921,024	30	60	8.5	4.3	0.47
北野町西部	9.63	572	5,508,360	54	108	28.3	14.2	0.27
北野町東部	6.392	547	3,496,424	27	54	36.0	18.0	0.13

表 6.2 によれば、東合川地区におけるポンプ増設よりも北野町、特に北野町東部でポンプ排水能力がかなり不足していると言える。

### 6.2.2 鳥栖市の内水氾濫解析

前節の久留米市と同様の方法で鳥栖市についても検討した。対象地区の概要を図 6.10 に示す。



図 6.10 鳥栖市の内水氾濫解析の対象地区

第4編

本調査では現在の宝満川の河道の評価と排水機場のポンプ排水の内水位低減の効果を評価するため、1次元不定流解析により令和2年7月豪雨時の鳥栖市における筑後川・宝満川流域の流況を再現し、さらにポンプ排水の効果の評価ならびに当該地区の治水対策案について検討した。解析期間は令和2年7月6日～7月10日である。境界条件として、上流端には筑後川・巨瀬川・宝満川の実測流量、下流端には筑後大堰には筑後大堰の実測水位を与えた。また、堤内地の水位の再現のため、筑後川・宝満川流域を雨量観測所（鳥栖雨量観測所、酒井上橋雨量観測所、久留米雨量観測所）の位置でティーセン分割し、堤内地の排水地点が属する各流域の雨量観測所の流域平均雨量を算定した。さらに、100年確率降雨による当該内水域の浸水とその対策を検討した。解析の結果を内水域2及び内水域4について図6.11と図6.12にそれぞれ示す。図中の実測値は国土地理院による観測値を読み取った値である。内水域2は、宝満川と大木川に挟まれた地区で、内水域4は安良川と沼川に挟まれた地区である。どちらも内水氾濫

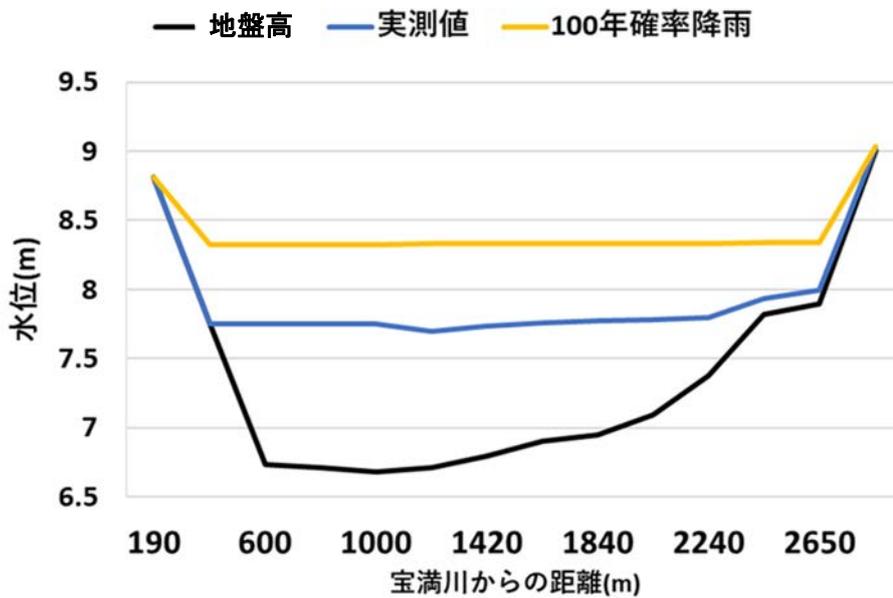


図 6.11 内水域2における浸水深と100年確率降雨の場合の浸水深の解析結果

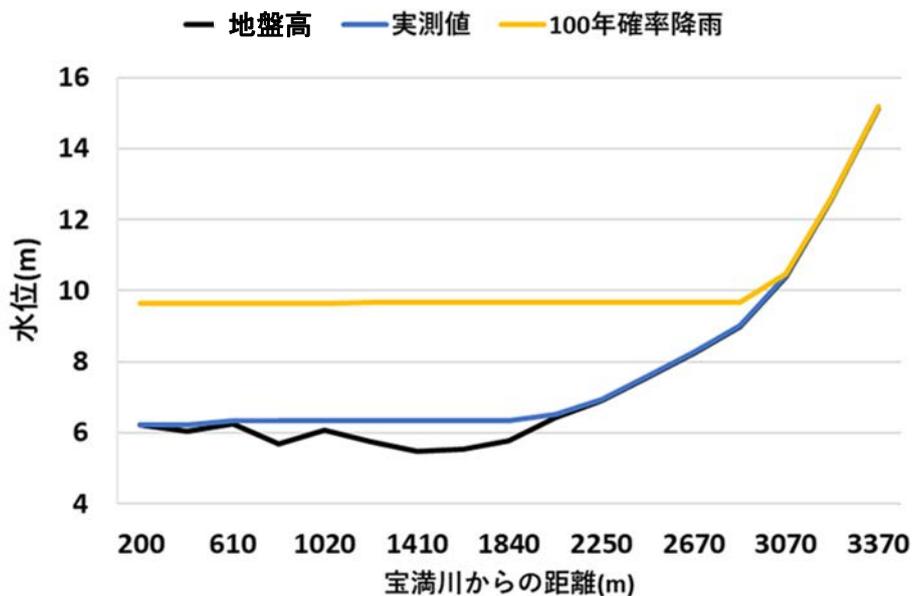


図 6.12 内水域4における浸水深と100年確率降雨の場合の浸水深の解析結果

## 第4編

が起きやすい地区である。どちらの地区も他の内水域1あるいは内水域3と比較してその面積が比較的広い割には排水機場の排水能力が小さいか排水機場がない地区となっている。特に内水域4では100年確率降雨で4m以上の浸水深となる土地の特性を持つ。そのため、100年確率降雨を与えた場合に比較的大きい浸水深を示したと思われる。

### 6.3 まとめ

本調査では、筑後川中流域の久留米市ならびに鳥栖市における令和2年7月豪雨災害の状況を調査した。どちらの地区についても筑後川や宝満川の水位が高い状態が続き、流入支川や内水域において内水氾濫が発生していること、さらに流入支川では越水や溢水が発生し被害が甚大化したことが明らかとなった。本調査では、当該地区について1次元流れ解析を用いることにより、近似的ではあるが筑後川中流域の内水・外水の解析により令和2年7月豪雨災害の再現を行うとともに、ポンプ排水の増強でどの程度それが緩和されるのかについて推定した。特に久留米市では3年連続で内水氾濫が発生していることもあり、また令和3年以降も同様の豪雨が想定されることから、早急な対策を講じることが必要であると思われる。それは、ハード対策に留まらず、ソフト対策も含めてできる所からあらゆる対策を実施することにより、少しでも浸水リスクの低減に繋がるような取り組みを関係自治体・住民で取り組んでもらいたい。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局、佐賀県県土整備部河川砂防課、福岡県久留米県土整備事務所、水資源機構筑後川局にはデータ提供等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

久留米市総務部防災対策課：令和2年7月豪雨による被害状況と災害対応について，2020.8.

国土地理院：令和2年7月豪雨に関する情報，2020.

[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html)

筑後川河川事務所：筑後川排水ポンプ場運転調整要項（案），2019a.

筑後川河川事務所：筑後川排水ポンプ場運転調整会議（第2回）説明資料，2019b.

筑後川河川事務所：令和2年7月豪雨出水概要 2020-7.

[http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/newstopics\\_files/20200728/20200728.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/newstopics_files/20200728/20200728.pdf)

内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況等について，2021.1.

## 第7章 筑後川支流合流部の内水氾濫状況

福岡大学 橋本 彰博, 九州大学 田井 明

### 7.1 筑後川流域の出水状況

#### 7.1.1 降雨状況

今回の豪雨では、筑後川流域の広い範囲で高強度の降雨が観測された。気象庁全国合成レーダーGPV から得られた降雨分布を図 7.1 に示す。上・中流域において積算降雨が大きく、特に松原・下釜ダム上流域において5日から8日までの4日間で800mmを超える積算雨量が観測された。図 7.2 に7月5日から8日までの、気象レーダ（気象庁）から得られた流域平均雨量と累積雨量の経時変化を示す。5日夕方から降り始めた雨は6日、7日および8日未明と3回のピークを持ち、6日3時から8日2時までの48時間雨量は507.9mmを記録した。

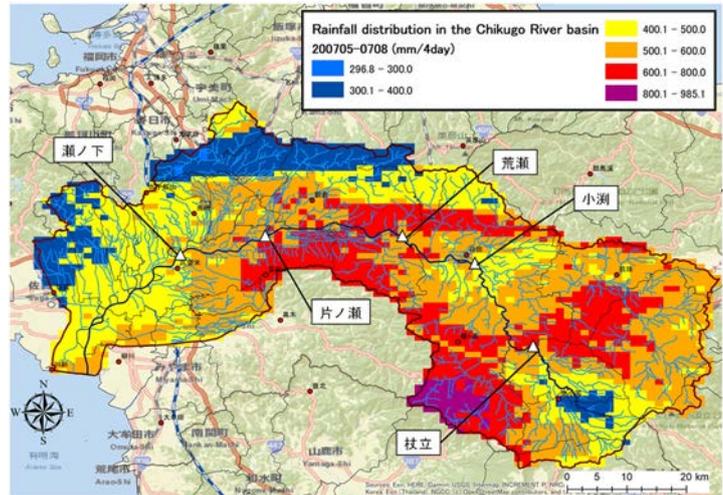


図 7.1 筑後川流域の4日間（7/5～8）積算雨量分布（図中の△は主要な水位観測所を表す）

#### 7.1.2 水位と浸水概要

今回の出水で筑後川本川では杖立、小湊、荒瀬、片ノ瀬観測所の4観測所で観測史上最高水位を記録した。また、降雨が約3日間にわたったことで本川水位の高い状況が長時間継続し、合流する支川では水門が閉鎖され20機の排水機場において排水運転が実施された。しかしながら、排水能力を超える出水で

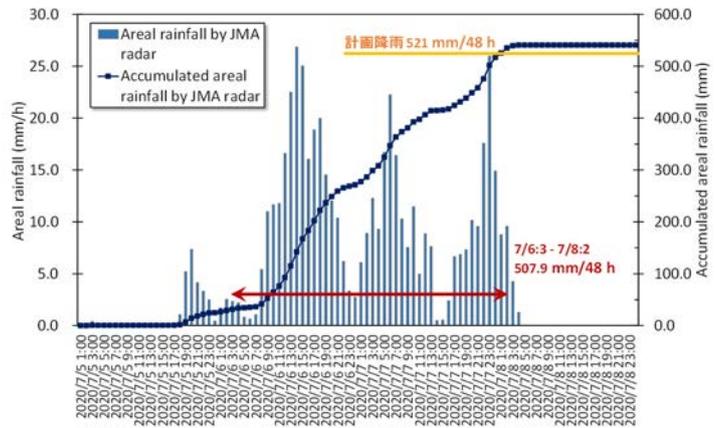


図 7.2 7月5日から8日までの流域平均雨量の経時変化

あったため多くの支川で内水氾濫が発生し、長時間にわたる水門の閉鎖により冠水状態が長期化した。

図 7.3 に片ノ瀬、瀬ノ下観測所の水位変化を示す。片ノ瀬観測所では46.5時間、瀬ノ下観測所では42.5時間にわたり氾濫注意水位を超過した。図 7.4 に筑後川流域の浸水域を水位観測所の位置と併せて

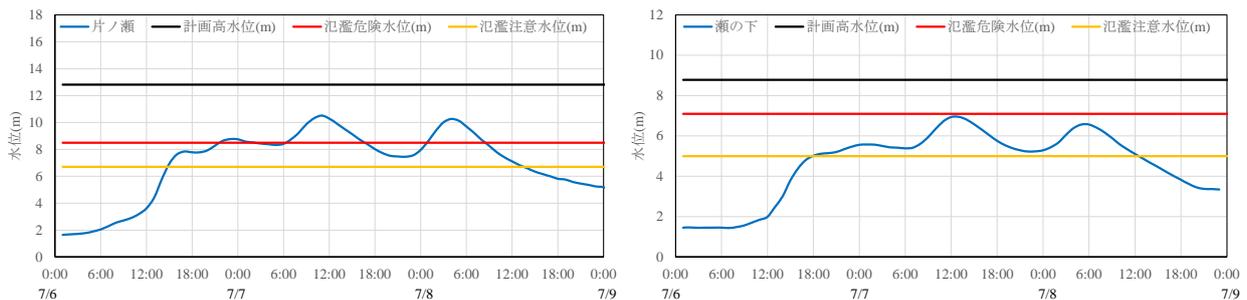


図 7.3 筑後川本川の水位変化(左：片ノ瀬，右：瀬ノ下)

## 第4編

示す。福岡県久留米市内において内水氾濫が発生した主な支川は陣屋川、大刀洗川、巨瀬川、江川、下弓削川、金丸川、山ノ井川である。久留米市では人的被害はなかったものの、家屋の浸水被害は1,955棟（うち床上浸水335棟）、農産被害面積2,412haであった（7月26日現在、久留米市発表）。本報告書では大刀洗川、陣屋川および金丸川における浸水被害状況を取り上げる。

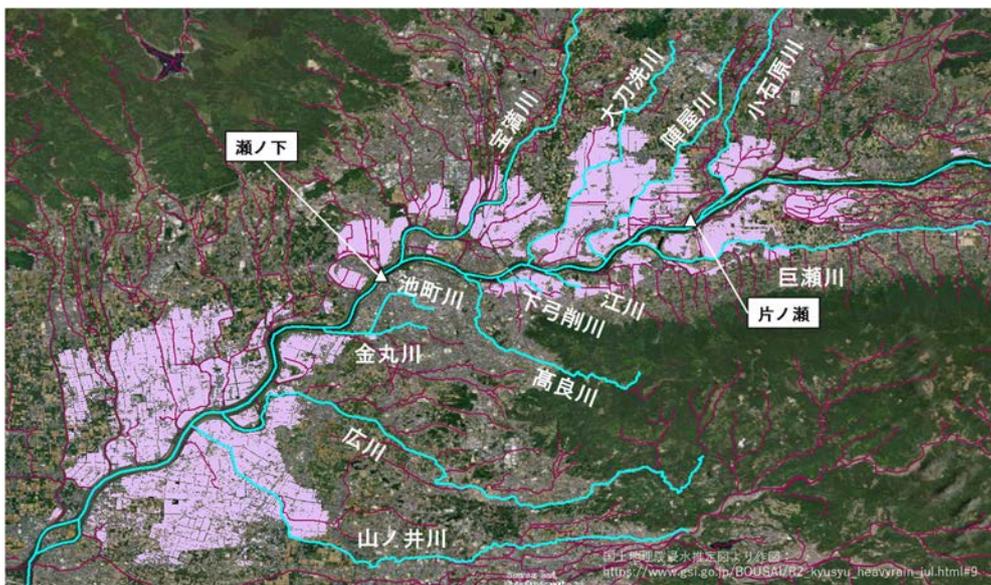


図7.4 筑後川支川の浸水域（浸水域は国土地理院の浸水想定図より作成）

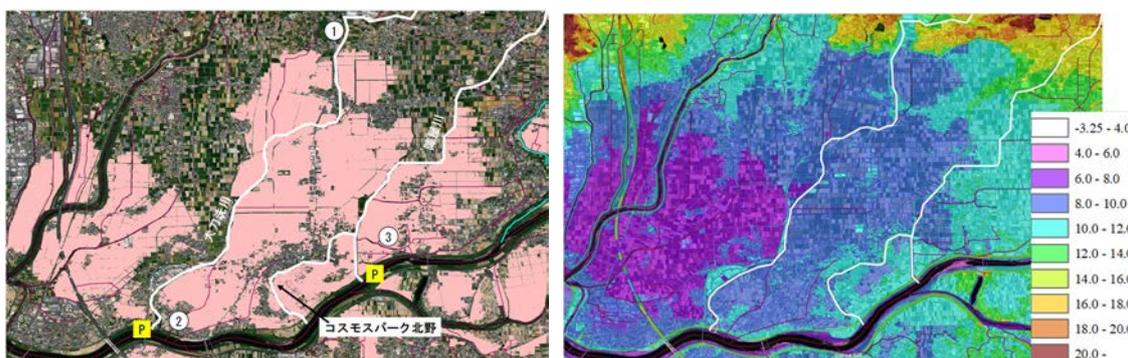


図7.5 大刀洗川および陣屋川の浸水域（左、Pはポンプ場）と標高分布（右）



写真7.1 痕跡水位（左：図7.5中①，中：図7.5中②，右：図7.5中③）

## 7.2 支川合流部の内水氾濫状況

### 7.2.1 大刀洗川

大刀洗川流域における浸水被害について、家屋被害は床上浸水34戸、床下浸水245戸と浸水面積に対して比較的少なかったものの、田畑の浸水面積が約1,110haと流域面積(33.6km<sup>2</sup>)の約33%を占めた。

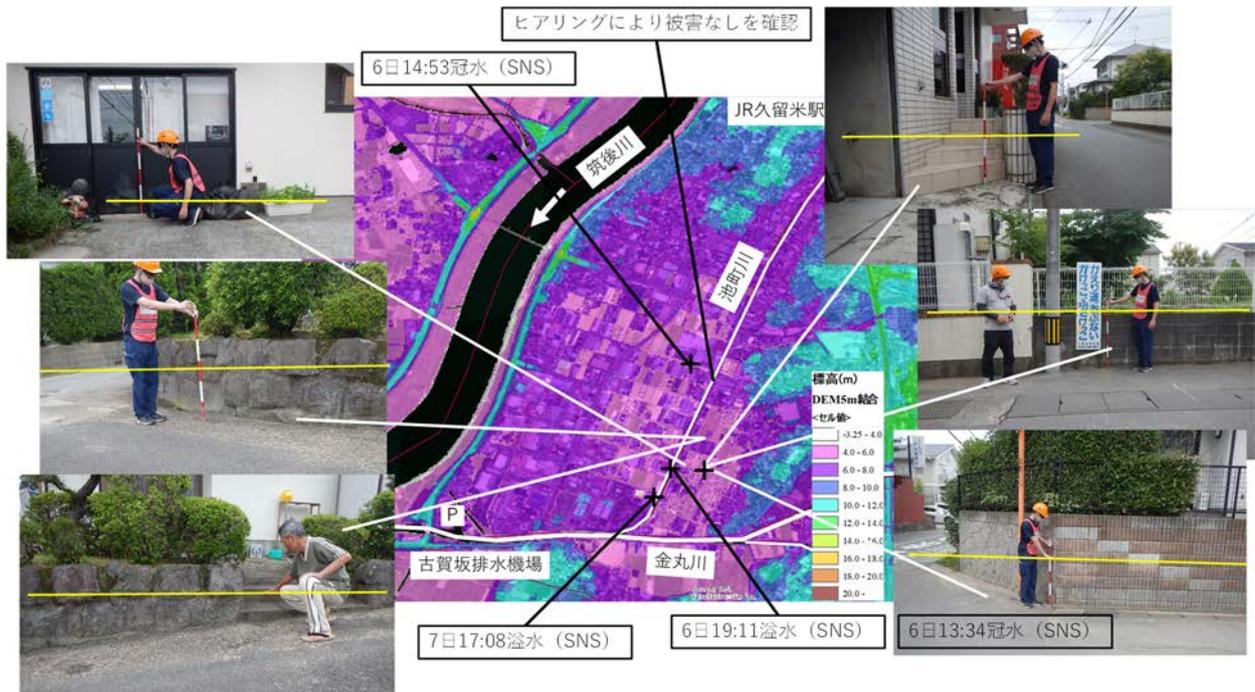


図 7.6 金丸川流域（池町川）における標高分布と痕跡水位

大刀洗川および陣屋川の浸水域と数値標高モデル 5m メッシュ（国土地理院）を基に作成された標高分布を図 7.5 に示す。筑後川の氾濫平野である筑紫平野の大部分が浸水していることが分かる。浸水域は主に農地で特にビニールハウスで栽培される農作物に被害が発生しており、現地での痕跡水位調査から浸水深は約 1m 程度であった（写真 7.1）。一方、住宅は微高地に建てられていたり、基礎を嵩上げしたりしているため、浸水被害はそれほどでなかったと推察される。

### 7.2.2 陣屋川

陣屋川流域では、家屋被害が床上浸水 67 戸、床下浸水 457 戸、田畑の浸水面積 360ha と大刀洗川よりも家屋被害が大きく、特に下流部（合流部）のコスモスパーク周辺の住宅地において浸水被害が発生した。今回の水害の特徴として浸水状態が長時間に及んだことがあげられる。7.1 節で述べたように、筑後川本川水位が高い状態が継続し、本川上流域では 7 日から 8 日にかけて 6 日を上回る降雨量を記録して一度低下した本川水位は再度上昇した。このため、6 日の夕方から閉鎖されていた水門は 7 日夜（大刀洗川では夕方）に一度開かれたものの、8 日未明に再度閉鎖された。この結果、陣屋川では水門閉鎖合計時間が 40 時間（大刀洗川では約 32 時間）に及んだ。

### 7.2.3 金丸川

金丸川流域は久留米市街地に位置しており、下流域で久留米市中心部を流れる支川の池町川が合流して古賀坂水門で筑後川河川区域に入る。下流域左岸側に水田があるものの、流域のほとんどが市街地である。今回の豪雨

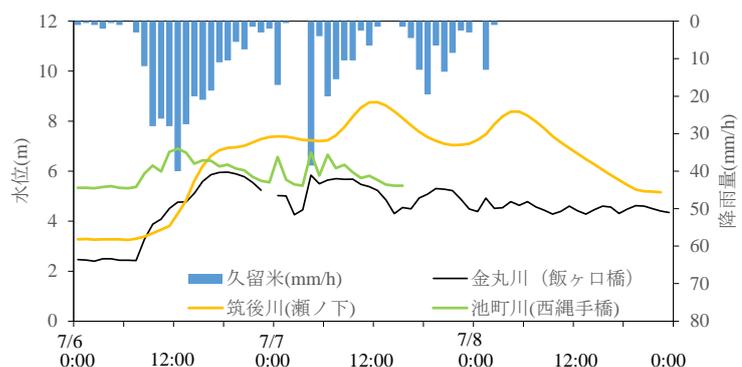


図 7.7 久留米（気象庁）の降雨と河川水位の経時変化

## 第4編

による被害は、家屋被害として床上浸水 66 戸、床下浸水 583 戸、田畑の浸水面積 42ha と市街地であるため、家屋の浸水被害が目立った。

図 7.7 にアメダス（久留米）の降雨量と河川水位の経時変化を示す。これより、6 日 12 時に降雨のピークが表れ、池町川の水位も同時刻に最高値に達している。現地においてヒアリング調査を行った結果、地盤高が一番低い箇所において 1m 程度の浸水があったことが分かっている（図 7.6）。また、金丸川下流端（筑後川合流点）の古賀坂排水機場が 6 日 14 時 13 分に稼働を始め、水門が閉鎖されたのは 6 日 15 時 28 分（久留米市）であるが、SNS の情報から 6 日 13 時半頃には道路の冠水が始まっており、この時点で内水氾濫が発生していたことが推察される。

図 7.7 から、支川水位よりも本川水位が高い状況は他の支川と同様に長時間に及んでおり、SNS 情報から 7 日 17 時頃はまだ冠水が確認されているが、8 日 12 時までには収集された情報（SNS 画像、報道、航空写真等）から作成された国土地理院の浸水想定図では浸水域になっておらず、この流域の冠水継続時間は他の流域と比べると短かったことが推察される。

### 7.3 金丸川下流域（池町川）の土地利用の変遷

久留米市内では 3 年連続で浸水被害が発生しており、特に金丸川流域（池町川）では今回の降雨災害の 10 日前の 6 月 27 日早朝に久留米（アメダス）で観測史上最大となる時間 92.5mm を記録し、浸水被害が発生している。そこで、久留米市中心部を流れる金丸川下流域の浸水頻発エリアの特性について、土地利用の変遷に着目して検討する。

国土数値情報の「土地利用細分メッシュ」をもとに土地利用の変化を調べた。解析には ArcGIS を使い、平成 30 年 7 月豪雨の浸水域と重なる領域を抽出した。金丸川下流域の浸水範囲内における土地利用分布を図 7.8 に示す。これより浸水域は S51 ではその多くが田もしくは河川地及び湖沼であり、特に田の割合は浸水域の 54.2% であった。これに対し H28 には建物用地が多くを占めており、田の割合は 14.3% と 73.6% 減少していた。また S51 の田の面積を 100% としたとき、田がどの土地利用に変わったのか調べたところ、76.3% が建物用地に転用されたことが分かった。

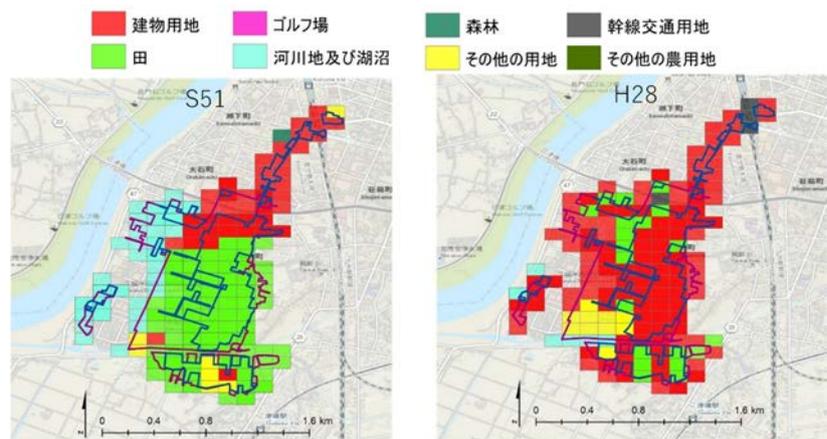


図 7.8 平成 30 年 7 月豪雨の池町川浸水域における土地利用  
(左：S51，右：H28)

以上より、浸水範囲において以前は田であったところの多くが建物用地に転用されていることが明らかとなった。令和元年に実施した同地域でのヒアリング調査から、古くからの居住者や意識の高い人は、自分の居住地が浸水する地域であるかどうかについて把握しているが、一方で新しく移入した住民にはそこまでの認識がない場合が多く、建て始めて初めて知ったとする意見もあった。2020 年 8 月に宅地建物取引業法の改正により不動産取引時において、水害リスクを説明することが義務付けられているものの、購入者や注文者、発注者、建築主も自身で浸水リスクの有無を調べることが求められる。また、公共施設においては、実績浸水深や想定浸水深の標識を設置するなどして、初めて訪れた人でも浸かりや

## 第4編

すいかどうかを認識できることなどの工夫も必要ではないかと考えられる。

### 7.4 まとめ

本章では筑後川流域の出水概要と支川合流部における内水氾濫についてまとめた。今次水害では、排水能力を超える支川流量に加え、降雨が約3日間にわたったことで本川水位の高い状況が長時間継続したことで合流する支川の水門が長時間にわたり閉鎖されたため、多くの支川で内水氾濫が発生し、冠水・浸水状態が長期化した。今回調査した支川のうち、大刀洗川では浸水域は主に農地でありビニールハウスで栽培される農作物に被害が発生していた。一方、久留米市中心部を流れる金丸川では他の支川に比べて冠水・浸水時間は短かったものの、家屋の浸水被害が目立った。さらに土地利用の変化を調べた結果、浸水範囲の半分以上が田から建物用地に転用されたところであることが明らかとなった。

### 7.5 今後の課題

今回被害が発生した支川のいくつかについては、平成30年7月豪雨と同程度の降雨に対して既に国、福岡県および久留米市が連携した総合内水対策計画が策定されているが、今回のように本川水位が高い状態が継続するような場合に被害が生じるかどうかの検証が必要である。3年連続で浸水被害が発生している支川流域では早急な対策の実装が望まれる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省筑後川河川事務所にはデータ提供等で多大な協力を得ました。また、気象庁全国合成レーダーGPVは、京都大学生存圏研究所が運営する生存圏データベースによって収集・配布されたものです。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

国土地理院 令和2年7月豪雨”浸水推定図”

[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9)



## 第8章 筑後川上流松原・下笠ダム上流域の流木発生

九州大学 矢野 真一郎

九州大学 丸谷 靖幸

## 8.1 はじめに

近年頻発している大規模水害においては、山地の豪雨に起因して斜面崩壊が多数発生し、その結果として土砂と流木が河道へ流出し、水害による被害を拡大する傾向が概ね見られている。例えば、平成24年7月九州北部豪雨では、山国川、花月川（筑後川水系）、玉来川（大野川水系）、合志川（菊池川水系）、白川などで流木による被害が発生した（土木学会九州北部豪雨災害調査団，2013）。花月川では、夕田橋に流木が集積した結果、上流側に堰上げが発生したため堤防からの越流が生じ、日田市内にはん濫が生じた（矢野ら，2016）。平成28年の台風10号では岩手県を流れる2級河川小本川において流木災害が発生し、グループホームで高齢者の被害者が多く出た（末次，2017）。平成29年7月九州北部豪雨では、過去最大の溪流面積あたりの流木流出量を記録し、筑後川中流域右岸側の支川において甚大な流木災害が発生した（矢野ら，2018b）。平成30年7月の西日本豪雨では、広島県の太田川水系三條川などで流木に伴う橋梁被害が発生している（井上ら，2019）。さらに、令和元年東日本台風では、宮城県丸森町を流れる阿武隈川水系の内川・五福谷川・新川の流域で大規模な斜面崩壊が多発し、大量の流木と土砂が下流の集落を埋め尽くした（矢野ら，2020）。

このように、今後も起こり続けるであろう大規模豪雨や強大な台風における流木災害については、その防災・減災に向けた対策が急がれる。また現在、国が進めている気候変動の影響を踏まえた治水計画への展開においても、土砂と流木の影響を加味した河川計画論に関連する研究や技術開発の必要性が謳われている（気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会，2019）。また、平成24、29年の両方の豪雨で被災した大分県日田市の花月川では気候変動に伴う降水量増加が与える流木災害リスクの増加が評価されている（矢野ら，2018b）。

令和2年7月豪雨では、7月5日から8日にかけて筑後川流域で大雨をもたらした。本章では、筑後川流域のうち流木が顕著に発生したことが確認された松原・下笠ダム上流域における流木災害の実態について現地調査を行った結果を報告する。加えて、矢野ら(2020)が令和元年東日本台風による丸森町の4河川において、正垣ら(2020)が平成29年7月九州北部豪雨による筑後川中流右岸支川15河川において、津末ら(準備中)が平成30年西日本豪雨による被災河川において、それぞれ開発しているロジスティックモデルによる流木発生量評価モデルを筑後川流域へ適用し、近年の降雨状況に応じた筑後川の流域一貫した流木リスクの評価を試みたので、併せて報告する。

## 8.2 今次水害における流木災害

令和2年7月豪雨では、7月5日から8日未明にかけて筑後川流域に大雨が発生した。流域内の代表的な雨量観測所である国交省の下笠地点で7月5日17時から8日5時までの60時間累積雨量として812mm、1時間最大雨量として7日6時の107mmが記録されている（国土交通省九州地方整備局，2020）。流域での最大60時間雨量は鯛生雨量観測所の936mmであった。また、気象庁のアメダス玖珠では、512mmが記録された。今次豪雨では、筑後川支川の玖珠川で大規模なはん濫が発生し、谷底河

## 第4編

川となっている日田市天ヶ瀬において兩岸の温泉街を高速流が通過し、死者1名を出した。また、本川上流にある下釜ダムにおいて昭和47年の供用開始以降初めて異常洪水時防災操作が行われ、7月8日0時に計画最大放流量350 m<sup>3</sup>/sを大きく越える放流量1,250 m<sup>3</sup>/sが記録された。ただし、今回の放流を全て直下にある松原ダムがカットすることに成功しているため、この放流によるダム下流への直接的な被害はなかった。また、下流域の久留米市周辺では筑後川に合流する支川において内水はん濫が発生し、本川水位が下がるのに時間を要したため、排水に時間がかかるなど脆弱性を露呈した。このように、今次水害では球磨川と比べると小さいものの大きな被害が発生している。

流木量については、球磨川同様に流域全体についての包括的なデータが存在していないため、現状では断片的なデータを基に議論せざるを得ない。玖珠川では大きな出水が起こっているが、現状では流木が大きく作用した被災形態は報告されていない。一方、本川上流の松原ダムと下釜ダムではそれぞれ3,380 m<sup>3</sup>、2,710 m<sup>3</sup>の流木が捕捉された(国土交通省九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所, 2020)。また、水資源機構が管理する寺内ダム(集水面積: 51 km<sup>2</sup>, 総貯水容量: 18 百万 m<sup>3</sup>, 昭和63年運用開始, 洪水調整・かんがい・上水などの多目的ダム)で1,030 m<sup>3</sup>が回収され、大山ダムでも流木が回収されたが回収量は明らかになっていない。寺内ダムは平成29年7月九州北部豪雨の被災河川である筑後川支川の佐田川にあり、H29水害では上流から流入した水、土砂、流木を全て受け止めたことで下流を完全に守ることができたダムである。今次水害ではH29水害で発生した倒木等が流出した分があったのではないかと推測されるが、この点については情報が揃っておらず不明であるので、今後の解明が必要と考えられる。

これらの情報、ならびに著者らが2020年10月15～16日に行った先行調査で見られた流木発生状況を基に、調査地域を松原ダム、下釜ダム上流域に限定して行った現地調査から得られた流木発生源の情報を以下に解説する。

### 8.2.1 松原ダム上流域について

筑後川本川上流の大分県日田市大山町にある松原ダム(国直轄, 集水面積: 491 km<sup>2</sup>(下釜ダム集水域も含む), 総貯水容量: 54.6 百万 m<sup>3</sup>, 昭和48年運用開始, 洪水調整・発電・上水などの多目的ダム)において、約3,380 m<sup>3</sup>(推定値)の流木捕捉を行っている(国土交通省九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所, 2020)。松原ダムへは直上にある下釜ダムからの放流水と筑後川本川である杖立川からの水が流入している。下釜ダム上流域からの流木は下釜ダムで捕捉されるため、松原ダムへは杖立川流域からの流入と考えて良い。

そこで、杖立川流域における斜面崩壊の状況を球磨川と同様な調査手法(第3編第13章を参照されたい)で、2020年11月19日に実施した。図8.1に崩壊地オルソ画像の一例を、また取得された崩壊地の位置図(後述の下釜ダム上流域も含む)を図8.2にそれぞれ示す。また、表8.1に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示す。

最大の崩壊はT-3地点(杖立温泉周辺)でA=0.386 ha, V=81.2 m<sup>3</sup>であった。杖立川沿いで発生した合計流木量は156.9 m<sup>3</sup>と見積もられた。この量はダムで捕捉された量の1割にも満たない量であり、現状で

表 8.1 各崩壊地の面積と推定流木発生量(松原ダム上流杖立地区)

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
杖立	T-1	0.080	36.4	杖立	T-3	0.386	81.2
	T-2	0.072	39.3				



図 8.1 斜面崩壊地オルソ画像(杖立川 T-3 地点)



図 8.2 崩壊地位置(松原・下釜ダム上流域)

は発生源を特定できていない箇所が多数あると見込まれる。また、下釜ダムで異常洪水時防災操作が行われていることから、非常用洪水吐き(クレストゲート)から松原ダムへ流木が流下した可能性もある。

### 8.2.2 下釜ダム上流域について

筑後川本川上流の大分県日田市大山町にある松原ダムの直上に位置する下釜ダム(国直轄, 集水面積: 185 km<sup>2</sup>, 総貯水容量: 59.3 百万 m<sup>3</sup>, 昭和 48 年運用開始, 洪水調整・発電などの多目的ダム)において, 約 2,710 m<sup>3</sup>(推定値)の流木捕捉を行っている(国土交通省九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所, 2020)。下釜ダムへは筑後川支川である津江川からの水が流入している。

そこで, 津江川流域における斜面崩壊の状況を球磨川と同様な調査手法で, 2020 年 11 月 19 日に実施した。図 8.3, 4 に崩壊地オルソ画像の一例を示す。崩壊地の位置は図 8.2 に示している。また, 表 8.2 に各崩壊地の面積と推定される流木発生量を示す。中流域までで最大の崩壊は S-9 地点で A=0.260 ha, V=142.9 m<sup>3</sup>であった。下釜ダム集水域で発生した合計流木量は 428.7 m<sup>3</sup>と見積もられた。やはり松原ダム同様, ダムで捕捉された 16%程度であり, 他の発生源があることが推測される。



図 8.3 斜面崩壊地オルソ画像(杖立ダム上流. S-9 地点)



図 8.4 斜面崩壊地オルソ画像(杖立ダム上流. S-11 地点)

表 8.2 各崩壊地の面積と推定流木発生量（下笠ダム上流域）

エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )	エリア	地点	崩壊面積 (ha)	流木発生量 (m <sup>3</sup> )
下笠ダム上流域	S-1	0.049	27.1	下笠ダム上流域	S-7	0.021	11.5
	S-2	0.067	35.6		S-8	0.008	4.1
	S-3	0.028	15.3		S-9	0.260	142.9
	S-4	0.016	8.6		S-10	0.139	59.9
	S-5	0.024	0.2		S-11	0.211	115.8
	S-6	0.014	7.6				

### 8.3 ロジスティックモデルによる筑後川の流域一貫した流木発生量評価の試み

本報告書第3編第13章において説明したように、正垣ら(2020)、矢野ら(2020)、ならびに津末ら(2021)は、ロジスティック回帰分析手法を用いて、流木発生量を予測可能とする統計モデルを各豪雨イベントに最適化する形で開発している。そこで、これらのモデルを筑後川流域へ適用し、流域一貫した流木発生量の評価を試みた。モデルの説明は第3編第13章で行っているため、そちらを参照されたい。

まず、既存のモデル（H29モデル：平成29年九州北部豪雨を筑後川中流の支川流域へ適用したモデル、H30モデル：平成30年西日本豪雨を広島県と愛媛県の被災河川に適用したモデル、R1モデル：令和元年東日本台風による豪雨を宮城県丸森町の阿武隈川支川に適用したモデル）を今次豪雨に対して適用して、流木発生源となる斜面崩壊の発生についての再現性を検証した。詳細は割愛するが、適用した結果H29モデルとR1モデルでは斜面崩壊の発生が起これないと判定された。唯一H30モデルによって斜面崩壊の発生が判定されたので、以後この結果について記す。

まず、図8.5に既存3モデルで対象とした豪雨と今次豪雨について、各時間の最大累積雨量を比較した。赤線で示す今次豪雨は緑線で示したH30モデルの対象降雨に最も近いことが分かる。このことが、H29モデルとR1モデルでは斜面崩壊を適切に評価できなかった主な理由となる。すなわち、統計モデルであるロジスティックモデルでは、対象降雨と対象地域に対して個別にモデル開発を行わなければ精度良い評価は難しいことが示されたことになる。ロジスティックモデルの開発には、統計的有意性を確保するためある程度の数（通常は説明変数の10倍以上の数が必要であり、今回のモデルでは14個程度の説明変数を用いることから最低でも崩壊地70個、非崩壊地70個の計140個程度が必要）の斜面崩壊データを必要とすることから、今回の現地調査で確認された14箇所の崩壊地データでは困難である。

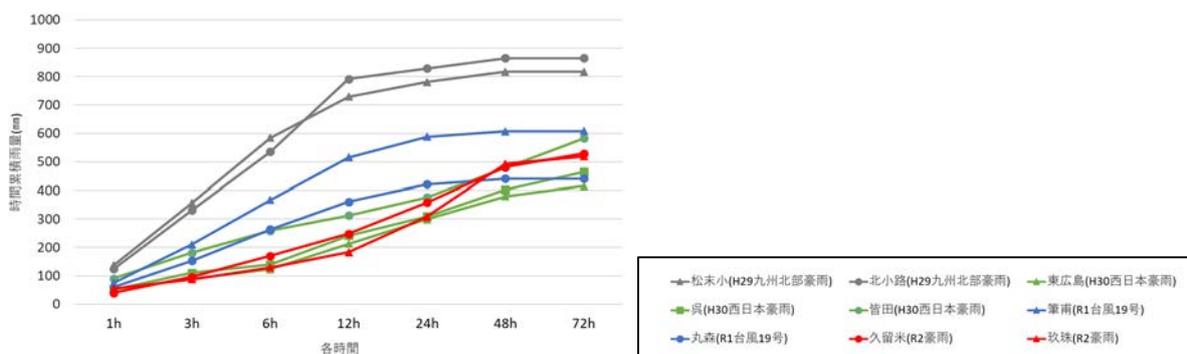


図 8.5 各モデルの対象豪雨と今次豪雨の累積雨量パターンの比較

図 8.6 に H30 モデルを適用して今次豪雨における斜面崩壊を評価した結果を示す。今回斜面崩壊が調査等で確認されている松原・下釜ダムの上流域で最も崩壊が発生するように評価されていることが分かる。また、中流域の左右両岸でも発生するように示された。これは、図 8.7～11 に示すように各時間最大累積雨量に対する雨量が多い分布域とよく一致していた。しかし、明らかに崩壊地が過大評価されて

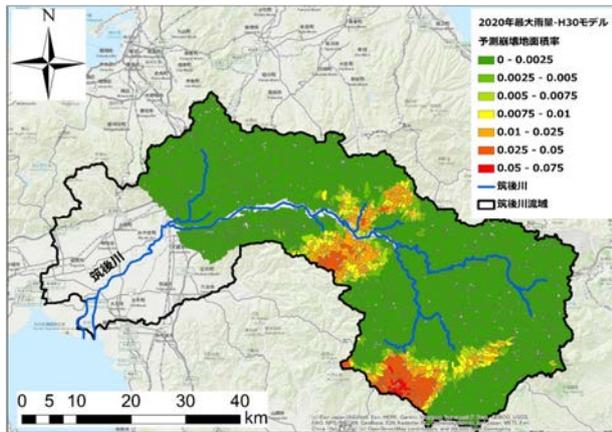


図 8.6 H30 モデルによる今次豪雨での斜面崩壊評価結果

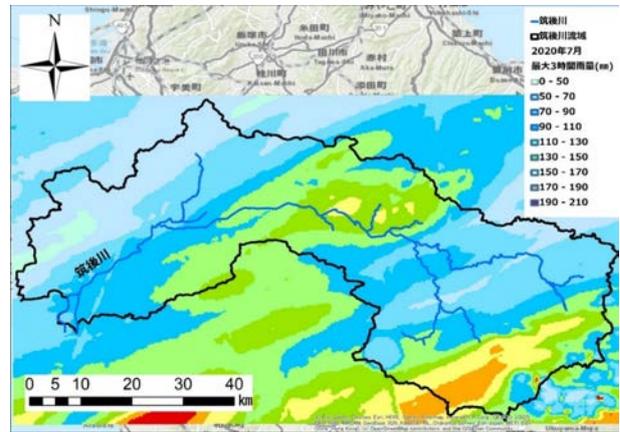


図 8.7 今次豪雨の 3 時間最大累積雨量の分布 (XRAIN より抽出。期間 7/3-7/11)

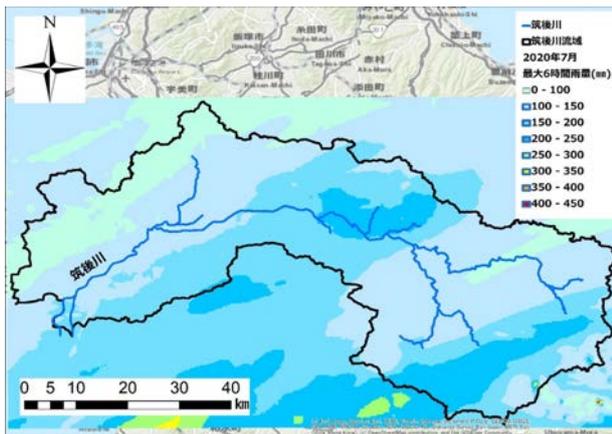


図 8.8 今次豪雨の 6 時間最大累積雨量の分布 (XRAIN より抽出。期間 7/3-7/11)

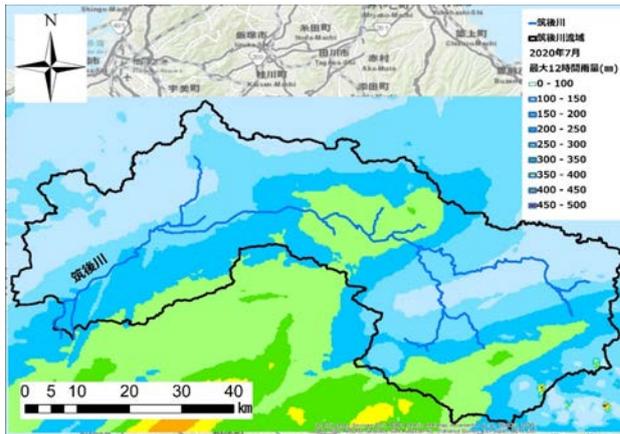


図 8.9 今次豪雨の 12 時間最大累積雨量の分布 (XRAIN より抽出。期間 7/3-7/11)

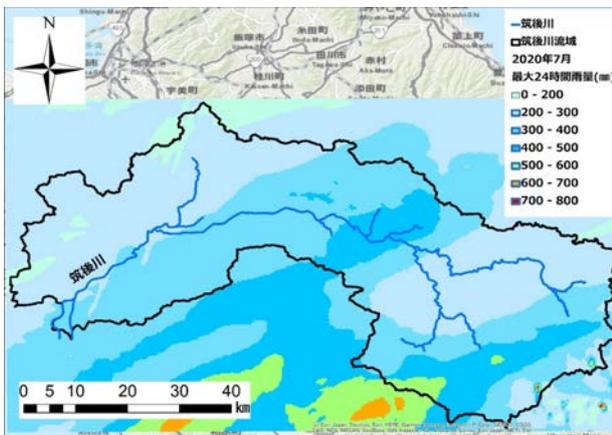


図 8.10 今次豪雨の 24 時間最大累積雨量の分布 (XRAIN より抽出。期間 7/3-7/11)

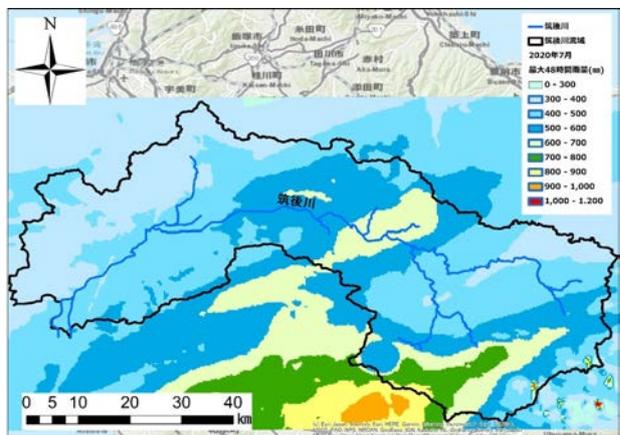


図 8.11 今次豪雨の 48 時間最大累積雨量の分布 (XRAIN より抽出。期間 7/3-7/11)

## 第4編

いる。このことから、改めて崩壊地の包括的なデータセットを整備して今次水害に最適化したモデルを構築する必要があると言える。

### 8.4 まとめ

筑後川流域において今次豪雨による流木発生が顕著であった松原・下釜ダム上流域についての発生源調査をドローンによる写真測量により行った。その結果、14カ所の斜面崩壊地データを収集できた。しかしながら、両ダムで捕捉されたと報告されている流木量の推定値に比べそれら斜面崩壊地からの流木発生量の総量はかなり少ないものであった。ドローンでは飛行距離の限界や山地の斜面上を飛行する際に墜落のリスクがあることなどから広域の調査を行うには限界があるため、崩壊地の全容を捉えきれていないためと考えられた。航空写真や衛星データなどを用いた広範囲のリモートセンシングによる包括的なデータ収集が必要である。

また、過去の大規模流木災害から開発された流木発生量を評価するためのロジスティックモデルを筑後川流域へ適用した。その結果、降雨パターンが比較的近い平成30年西日本豪雨に最適化したモデルにより、今次豪雨による斜面崩壊の発生の傾向性が表現できたが、崩壊地は過大評価された。

### 8.5 今後の課題

まず、今次豪雨における筑後川流域全体で発生した斜面崩壊地の包括的なデータの作成が必要不可欠である。これが揃うことで、今次豪雨に起因する流木発生の要因分析が可能になる。加えて、本調査で適用したロジスティックモデルは他の水害に最適化されていることから、今次豪雨に最適化したモデルの開発が必要である。ただし、これは統計モデルの作成上、相当数( $n>70$ )の斜面崩壊の発生が前提となるため、今次豪雨では十分な崩壊地数がない可能性がある。今回の調査で得られた崩壊地データは、統計解析するには数的に不十分であることや、崩壊が確認できていないエリアにある崩壊地を適切に評価しなければモデル開発ができないことから、少なくとも包括的なデータの整備が不可欠である。筑後川流域では平成24年九州北部豪雨、平成29年九州北部豪雨で多数の斜面崩壊が発生している。これらのデータを有効活用することで、ある程度の普遍性があるモデルの作成ができる可能性もある。

本報告書第3編第13章でも述べたように、今次災害に限らず流木災害については、発生量データの精度が高くなく、発生したタイミングも不明確であることが多いため、事後の検証が困難であることが多い。流木災害リスク評価を合理的、かつ精度良く行うためにも、災害発生後の基礎データの収集体制の確立が求められる。加えて、森林がある山地における地質や地盤力学的なデータの充実や、樹木の根系や森林の状況が斜面崩壊に与える影響などの研究も進められるべきである。

また第3編第13章の繰り返しになるが、流木災害の減災には、発生源対策となる森林の健全な管理、砂防施設の充実、ダムにおける網場の強化、河道における流木捕捉施設整備、危険性の高い橋梁の改修促進、などが重要である。これらを適切に行うためにも、流域一貫した流木災害リスク評価手法の確立が求められる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局、水資源機構にはデータ提供等で多大な協力を得た。また、現地調査とデータ解析、ならびにロジスティックモデル解析においては、九州大学大学

## 第4編

院工学府海洋システム工学専攻の正垣貴大君, Wu Yiwen 君, 矢藤壮真君, 九州大学工学部地球環境工学科の小林知朋さん, 福田凌大君, 他九州大学環境流体力学研究室の学生諸氏に多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 井上隆, 山村優佳, 二瓶泰雄: 豪雨時の橋梁被害リスク評価指標の検討～H30年西日本豪雨の三條川橋梁被害縦断分布データを用いて～, 土木学会論文集B1 (水工学), 75(2), pp.I\_1417-I\_1422, 2019.
- 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会: 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言, p.25, 2019.
- 国土交通省九州地方整備局: 令和2年7月豪雨における出水について (第2報), 2020.
- 国土交通省九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所: 令和2年7月豪雨の概要と松原ダム・下笠ダムの防災操作について, 2020.
- 正垣貴大, 津末明義, Wu Yiwen, 矢藤壮真, 矢野真一郎, 笠間清伸: ロジスティック回帰分析による平成29年7月九州北部豪雨における流木発生傾向推定モデルの改良, 令和2年度土木学会年次学術講演会概要集, 2020.
- 末次忠司: 平成28年の台風10号による福祉施設の被災と減災対策, 水利科学, 354, pp.98-106, 2017.
- 津末明義, 正垣貴大, 矢野真一郎, 他: 平成30年西日本豪雨における流木災害評価のためのロジスティック回帰分析 (仮), (投稿準備中).
- 土木学会九州北部豪雨災害調査団: 平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書, p.104, 2013.
- 矢野真一郎, 土橋将太, 堂菌俊多, 笠間清伸, 北隆範: 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), pp.I\_289-I\_294, 2016.
- 矢野真一郎, 土橋将太, 笠間清伸, 竹村大, 富田浩平, 楊東, 津末明義: 気候変動による降水量変化が河川流域の流木災害リスクへ与える影響に関する評価, 土木学会論文集B1 (水工学), 74(4), pp.I\_1327-I\_1332, 2018a.
- 矢野真一郎, 大久保遼太, 津末明義, 竹村大, 富田浩平, 笠間清伸, 二瓶泰雄: 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), pp.I\_1063-I\_1068, 2018b.
- 矢野真一郎, 正垣貴大, 矢藤壮真, 津末明義, Wu Yiwen, 笠間清伸: 令和元年東日本台風による丸森町における斜面崩壊のロジスティックモデルの開発と流木発生量の推定, 土木学会論文集B1 (水工学), 76(1), pp. 253-263, 2020.



## 第5編

### 大分・肝属・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害

愛媛大学	森脇 亮
愛媛大学	藤森 祥文
鹿児島大学	齋田 倫範
九州大学	田井 明
佐賀大学	大串 浩一郎
佐賀大学	押川 英夫
長崎大学	鈴木 誠二
長崎大学	田中 亘
日本ミクニヤ	佐野 雄一
日本ミクニヤ	鮎本 健治
日本ミクニヤ	峯 浩二
日本文理大学	池畑 義人
福岡大学	橋本 彰博
福岡大学	林 義晃



## 第1章 大分川の氾濫調査

愛媛大学 森脇 亮・藤森 祥文 (1.1, 1.2, 1.3)  
 日本文理大学 池畑義人 九州大学 田井明(1.4, 1.5)

### 1.1 天神橋付近の浸水痕跡調査

本節では天神橋（河口から約 16.2 km）左岸付近の浸水についてその痕跡調査の結果を報告する。現地調査は7月23日に実施した。調査内容は浸水痕跡高の計測と聞き取り調査である。図 1.1 に大分川流域図に天神橋の位置を示す。また、図 1.2 に天神橋付近の詳細図と痕跡調査を行った工場の地点を丸印で示す。図 1.2 には調査時の写真も合わせて示す。

この場所には工場があり、工場の窓の泥の痕跡より 92 cm の浸水深を確認した。工場関係者の聞き取り調査から、この地点では7月8日の0時30分から浸水が始まり、0時42分には約70 cmの浸水深となったことが確認できた。また、工場関係者の証言により、同日の1時20分には浸水深は膝下にも下がったことも確認した。

国交省の調査（国土交通省九州地方整備局，2020）でもこの範囲の浸水は大分川からの越水であることが報告されている。浸水被害の発生時刻は8日0時34分発生となっており、工場関係者のコメントとも一致している。また、国交省の調査において、浸水範囲は図 1.2 の赤枠と示されているが、SNS 等に投稿された情報では図中の赤矢印の方向へ道路に沿って水が流れている様子や、黒丸印地点で湛水している様子も見られた。それらの情報を考慮すると浸水範囲は赤枠の範囲よりもやや西側まで広がっていることが推測される。



図 1.1 天神橋位置図（国交省流域図に加筆）



図 1.2 天神橋詳細と浸水痕跡

## 1.2 庄内町櫟木の被災状況



図 1.3 庄内町櫟木の調査箇所位置図



写真 1.1 庄内町櫟木の久大本線流失

本節では由布市庄内町櫟木（河口から約 22.8 km）付近の左岸における調査結果を述べる。現地調査は7月23日に実施した。位置詳細を図1.3に示す。

この地点では久大本線と田んぼの間（図1.3の楕円部）に山からの雨水が貯まり、その水位の上昇の結果、土砂が崩壊したことがわかった（工事関係者からの聞き取り）。崩壊部分を久大本線方向に撮影した写真を写真1.1に示す。土砂は写真右から左へ流れている。この幅約10mの崩壊により、久大本線が流失した。土砂は大分川本川に流入したと考えられる。

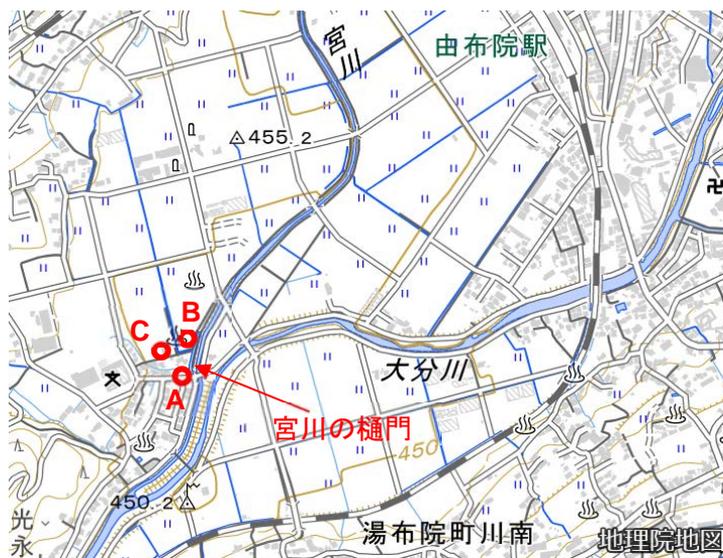


図 1.4 湯布院町北川の調査箇所

## 1.3 湯布院町川北地区の浸水痕跡調査

本節では由布市湯布院町北川地区の浸水について、その痕跡調査の結果を報告する。現地調査は7月23日に実施した。調査内容は浸水痕跡高の計測と聞き取り調査である。図1.4に調査地で得られた痕跡と聞き取りの結果が得られた地点を示す。浸水範囲は大分川と大分川支川の宮川が合流する付近の右岸の地区である。大分川と宮川の合流部は背割堤の形状をしている。A点の住家では40cmの浸水深痕跡を確認した。A点の住民からの聞き取りでは、大分川の水位が上昇したことにより、宮川の水位が上がり、逆流したことがわかった。このとき宮川の樋



写真 1.2 湯布院町北川のB点の浸水深

## 第5編

門は開いていたため住宅地（宮川右岸側）へ浸水が発生したと考えられる。また、A点の住民は7月6日16:30に避難を開始した後、一度夜中に家に戻ったが、翌日（7月7日）の昼に再度雨が降り、再び避難している。

B点の住家では住民の聞き取り調査により浸水深が100cmであることを確認した（写真1.2）。この住民から宮川右岸からは越水していないとの情報提供もあり、調査時に宮川右岸の踏査を実施したが、情報のとおり越水がないことを確認した。

この調査範囲において最大浸水範囲の水際線を見ることはできなかったが、C点の建物の基礎部分に消毒剤が撒かれていることを確認したため、C点付近まで浸水していたと推測できる。

### 1.4 湯平温泉街の被災状況の調査

湯平温泉は図1.5に示すように大分川上流部の支川花合野川沿いにある温泉街である（写真1.3）。約800年前開かれ江戸時代後期に温泉街として骨格が出来あがった歴史のある温泉街である（湯平温泉観光案内所WEBより）。温泉街の中央を流れる花合野川は、図1.6に示すように勾配1/10程度の急流であり、温泉街区間ではコンクリートもしくは石積みで3面張に護岸されている。

住民の証言や下流の水位観測所のデータによると浸水被害は7月7日深夜から8日早朝にかけて生じたと推定される。同地区の被害は花合野川に沿って生じた。温泉街にある20件の旅館のうち7軒が床上浸水、泥の流入、駐車場の陥没などの被害にあったとされている（大分合同新聞、2020a）。写真1.4に湯平温泉街の被災状況を示す。写真1.4(1)は、花合野川沿いにある建物の被災状況を示している。川に近い建物の1階部分は石積みの護岸ごと抉られており、建物の基礎部分が中に浮いたような状態になっている。水しぶきは満水位と推定される道路面から4m以上に達しており（写真1.4(2)）、高速の濁流が流下したと推定される。写真1.4(3)は砂湯と呼ばれる共同浴場の被災状況である。砂湯は花合野川左岸に面しており、さらに通常時の水面よりも低い位置に湯船が設置されているなどから洪水流の影響を大きく受け、建造物は破壊され基礎がむき出しの状態になった。写真1.4(4)のように護岸にも多数の被害が生じていた。また、湯平温泉街では、自前の泉源を有する旅館以外は4か所の泉源から川沿いに張り巡らされたパイプを通して湯を引いているが、そのパイプはいたるところで断裂し、湯が使えない状態となった（大分合同新聞 a）。建物の構造には大きな被害が生じなかった旅館でも泥流が流れ込んだために温泉や床上に被害が生じた。写真1.4(5)は花合野川に直接面していない床上浸水の被害を受けた住宅の一階部分であるが大量の土砂が流入していた。写真1.4(6)は床上浸水被害を受けた建物内の被災状況である。床上20cm以上にはっきりと泥水の痕跡が残っており、建物の構造は無事な場合でも復興には多大な時間・労力・費用を要すると考えられる。一方、住民の証言によると川に面しておらず、温泉街のメイン通りである石畳の通りより山側の建物では、石畳の上を氾濫流が高速で流れたが、浸水深は小さく被害も小さい建物が多かったようである。

この地区では、4人の住民が車で避難中に被災し、亡くなっている。4人は湯平温泉で旅館を営まれているご家族である。乗用車で避難中に花合野川沿いの道路で氾濫水により動けなくなったと推定されている。ご家族が避難に使った花合野川に沿いの県道537号線は大きく崩落している箇所があり、その付近で被災したと考えられる（大分合同新聞、2020b）。



図 1.5 湯平温泉街の位置



写真 1.3 花合野川と湯平温泉街

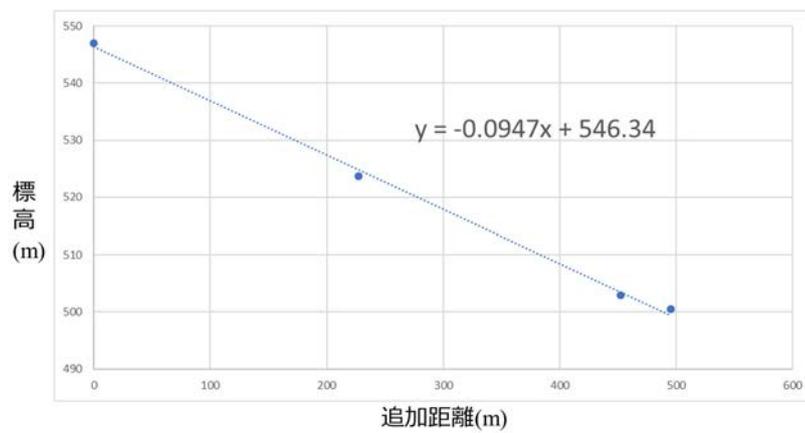


図 1.6 湯平温泉街の河床勾配



写真 1.4 湯平温泉街の被災状況

## 1.5 鬼崎地区および小野屋・大龍地区の被災状況について

本節では、大分川中流域の鬼崎地区および小野屋・大龍地区の調査結果について報告する。図1.7に示すように両地区共に、山地と段丘面に挟まれた大分川本川の氾濫平野に位置している。

図1.8に示す国土交通省同尻水位観測所では、7月7日5:00に4.46mを記録した後、水位は徐々に低下したが7月7日19:00頃から再び上昇をはじめ、7月8日0:00に5.08mと氾濫危険水位4.8mを超過した。その後、閉局となった。国土交通省の資料によると7月8日0:50に既往最高水位5.50m（1993年9月3日に記録）を大きく上回る6.40mを記録したことが報告されている。

また、両地区ともハザードマップで浸水しやすいことが想定されていた地区である（由布市洪水ハザードマップ挾間町・庄内町版，2019）。



図1.7 小野屋・大龍地区および鬼崎地区の位置

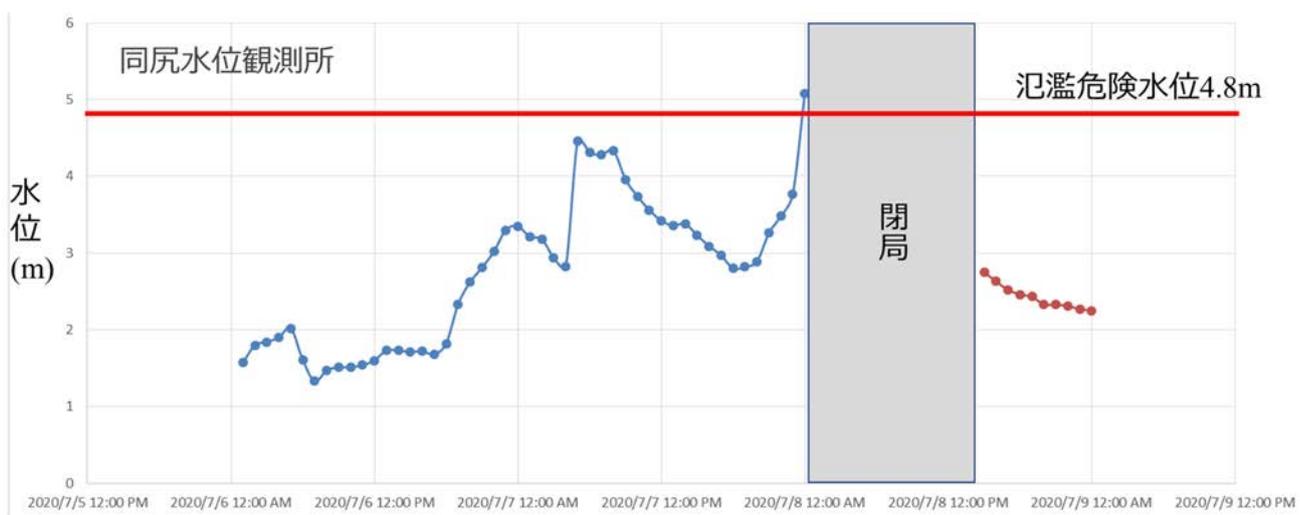


図1.8 同尻水位観測所の水位変化

(1)



(2)



(3)



(4)



写真 1.5 鬼崎地区の被災状況

(1)



(2)



写真 1.6 小野屋・大龍地区

## 第5編

鬼崎地区の被災状況調査結果を写真1.5に示す。写真1.5(1)は、同地区の挟間多目的公園に建てられていた看板であり、土砂の堆積により公園の使用が出来なくなったことが分かる。同地区では道路面上に砂の堆積が確認され、越水と共に大量の土砂も流入したことが分かる。写真1.5(2)は、堂尻橋の被災状況である。橋脚や橋梁欄干部に流木などが堆積していることが分かる。同尻橋の欄干は同地区の地盤面と比較して高い位置にあるため同地区は浸水被害が生じたことが分かるが、調査日時点(2020年7月17日)で明確な洪水痕跡を確認することは出来なかった。また、目視では橋梁構造自体に大きな損傷は確認されなかったが、調査日時点で通行止めになっていた(写真1.5(3))。写真1.5(4)は、同地区にある由布大分環境衛生組合の様子で、災害ゴミの集積場として利用されていた。

鬼崎地区の下流側に流入する支川の黒川では、7月8日3:40ごろ車でコインランドリーに向かった男性が車ごと川に流されお亡くなりになっている(大分合同新聞, 2020c)。

小野屋・大龍地区の被災状況調査結果を写真1.6に示す。同地区は、前述したとおり、河岸段丘に挟まれた狭い氾濫平野上にあること、さらに阿蘇野川と大分川が合流直下に位置すること、小挟間川が左岸側から流入すること、直下流では芹川が合流すること、芹川合流後、大分川本川が左に蛇行すること、など水位が高くなりやすい地形条件となっていると考えられる。写真1.6(1)は、新竜橋の被災の様子で橋脚や欄干に流木などが堆積していることが分かる。さらに、欄干は中央部で破壊されていることも確認できる。写真1.6(2)は、同地区左岸側の護岸被害の様子である。右岸側住民からの聞き取りより、ほとんどの家で床上浸水が生じていたと考えられる。

### 1.6 まとめ

本章では、大分川流域の現地調査・聞き取り調査を実施した。その結果、以下が確認された。

- (1) 大分川16.2km付近の天神橋周辺では、7月8日0時30分頃から浸水が発生した。
- (2) 庄内町櫛木では、土砂の崩壊により久大本線が流出した。
- (3) 湯布院町川北地区では、大分川の水位上昇により支川の宮川で逆流が生じ浸水が発生した。
- (4) 湯平温泉街では、7月7日の深夜から8日の早朝にかけて、大分川支川の花合野川沿いで浸水被害が発生した。
- (5) 鬼崎地区、小野屋・大滝地区では、浸水被害が発生しており、いずれも橋脚や欄干に流木が堆積していた。

### 参考文献

大分合同新聞：「湯平温泉見えぬ復旧」, 2020年7月16日, 2020a.

大分合同新聞：「避難途中、車ごと流されたか 豪雨の由布市で家族4人不明」2020年7月9日, 2020b.

大分合同新聞：「挟間町の男性、遺体見つかる 豪雨災害、大分県内2人目の犠牲者」2020年7月15日, 2020c.

国土交通省九州地方整備局：令和2年7月豪雨における出水について(第2報), 令和2年7月10日.

湯平温泉観光案内所 WEB：<http://www.yunohira-onsen.jp/info-history.html>, 2020.

由布市洪水ハザードマップ挟間町版：

<http://www.city.yufu.oita.jp/wp-content/uploads/2019/07/kouzuihazardmap-hasama.pdf>, 2019.

由布市洪水ハザードマップ庄内町版：

<http://www.city.yufu.oita.jp/wp-content/uploads/2019/07/kouzuihazardmap-shounai.pdf>, 2019.

## 第2章 鹿児島県における被災事例の整理

鹿児島大学 齋田 倫範

九州大学 田井 明

## 2.1 鹿児島県内の状況

## 2.1.1 鹿児島県および宮崎県南部における7月3日から8日にかけての気象概況

7月3日から4日朝にかけて梅雨前線が九州南部から九州北部付近へ北上し、南からの暖かく湿った空気が流れ込み、大気の状態が不安定となった。このため、7月3日昼前から断続的に激しい雨となり、7月3日夜には薩摩半島の西方海上で発達した雨雲が線状に連なって東進し、鹿児島県薩摩地方や大隅地方、および宮崎県の山沿いを中心に大雨となった（鹿児島地方気象台、2020a、宮崎地方気象台、2020a）。

7月4日に九州南岸まで南下していた梅雨前線が九州北部付近まで北上し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んで、大気の状態が不安定となった。このため、鹿児島県本土では7月5日から6日にかけて記録的な大雨となった。その後、九州付近に停滞した梅雨前線に向かって、太平洋高気圧の周辺から暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、宮崎県では大気の状態が不安定な状況が続き、7月8日にかけて大雨となった。鹿屋では、5日から6日にかけての2日間の総降水量が、7月の月降水量の平年値（353.4 mm）を上回る526.0 mmとなった（鹿児島地方気象台、2020b、宮崎地方気象台、2020b）。

期間中の降水量の最大値を表2.1～表2.3にまとめる。1時間降水量については、鹿屋、東市来、八重山、志布志、吉ヶ別府、加久藤、72時間降水量については、鹿屋、吉ヶ別府、志布志、指宿で観測史上1位の値を更新した。その他、鹿屋では、3、6、12、24時間降水量および日降水量、志布志では、6、12、24時間降水量が観測史上1位の値となった。

表2.1 1時間降水量、3時間降水量の最大値（鹿児島県、宮崎県内のアメダスの上位5地点）

最大1時間降水量			最大3時間降水量		
109.5	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 6:24	178.0	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 8:40
98.5	東市来（鹿児島県日置市）	7月3日 21:35	176.5	八重山（鹿児島県薩摩川内市）	7月3日 22:50
94.5	八重山（鹿児島県薩摩川内市）	7月3日 21:39	172.5	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 8:30
88.0	志布志（鹿児島県志布志市）	7月6日 9:44	149.0	志布志（鹿児島県志布志市）	7月6日 11:20
86.0	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 8:31	138.0	大隅（鹿児島県曾於市）	7月6日 5:40

表2.2 6時間降水量、12時間降水量の最大値（鹿児島県、宮崎県内のアメダスの上位5地点）

最大6時間降水量			最大12時間降水量		
303.5	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 11:00	414.5	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 11:00
247.0	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 8:40	340.0	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 8:40
221.5	志布志（鹿児島県志布志市）	7月6日 11:20	320.0	西米良（宮崎県児湯郡西米良村）	7月4日 9:30
221.0	大隅（鹿児島県曾於市）	7月6日 8:20	306.5	紫尾山（鹿児島県薩摩郡さつま町）	7月6日 7:10
210.5	椎葉（宮崎県東臼杵郡椎葉村）	7月4日 7:20	285.0	大隅（鹿児島県曾於市）	7月6日 8:50

表2.3 24時間降水量、72時間降水量の最大値（鹿児島県、宮崎県内のアメダスの上位5地点）

最大24時間降水量			最大72時間降水量		
496.0	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 14:50	754.0	鹿屋（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 12:30
428.5	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 16:10	697.0	えびの（宮崎県えびの市）	7月6日 6:50
399.0	西米良（宮崎県児湯郡西米良村）	7月4日 10:10	692.0	吉ヶ別府（鹿児島県鹿屋市）	7月6日 9:40
387.5	えびの（宮崎県えびの市）	7月4日 9:40	689.0	紫尾山（鹿児島県薩摩郡さつま町）	7月6日 10:10
383.0	紫尾山（鹿児島県薩摩郡さつま町）	7月6日 9:20	622.0	大口（鹿児島県伊佐市）	7月6日 14:30

## 第5編

### 2.1.2 鹿児島県内の被害概要

鹿児島県内の主な河川関係の被害については、7月3日22時頃に川内川水系の百次川と勝目川（薩摩川内市）で堤防が決壊したほか、7月4日8時頃に同水系の羽月川に合流する山野川（伊佐市）で溢水が発生した。7月6日10時頃には、大淀川本川（曾於市末吉町付近）、肝属川本川（鹿屋市上祓川町付近）、安楽川（志布志市）、高須川（鹿屋市）でも、相次いで溢水が発生した（鹿児島県災害対策課，2020）。

鹿児島県内の家屋被害（図2.1，図2.2）としては、住家の床上浸水129棟，床下浸水385件であった。床上浸水についてみれば、7月6日の朝に線状降水帯の影響を受けた大隅地方（鹿屋市50棟，志布志市15棟，その他8）と北薩地方（薩摩川内市35棟，出水市5棟，その他2）で特に多かった（鹿児島県災害対策課，2020）。

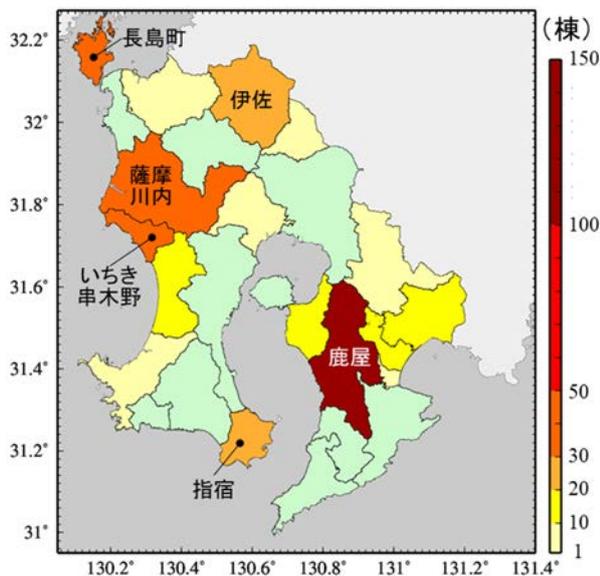


図2.1 各自治体の住家浸水棟数（床下浸水）

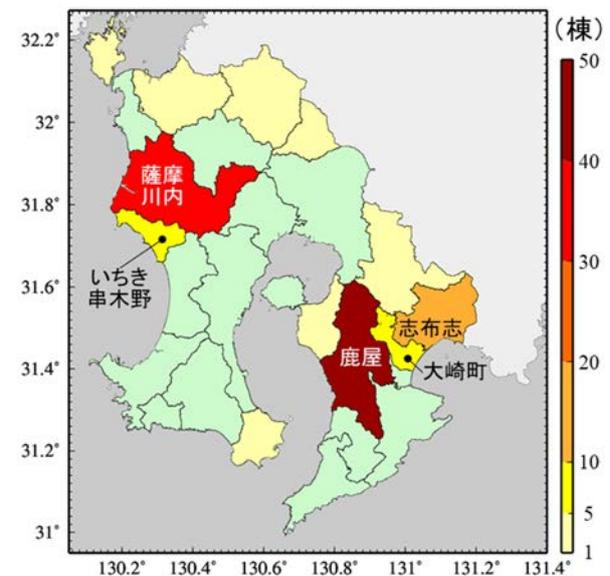


図2.2 各自治体の住家浸水棟数（床上浸水）

## 2.2 川内川水系

### 2.2.1 百次川・勝目川

川内川水系の県管理河川では、百次川と勝目川の合流部付近（図2.3，図2.4）において、写真2.1，写真2.2，写真2.3に示すように、百次川の右岸で約76m，勝目川左岸で約15mわたって堤防が決壊した（鹿児島県災害対策課，2020）。百次川の北側，および勝目川西側の市街地で広範囲にわたって浸水被害が生じた。浸水深は最大1.3m，浸水範囲は50,000m<sup>2</sup>とされている（南日本新聞，2020a，2020b）。調

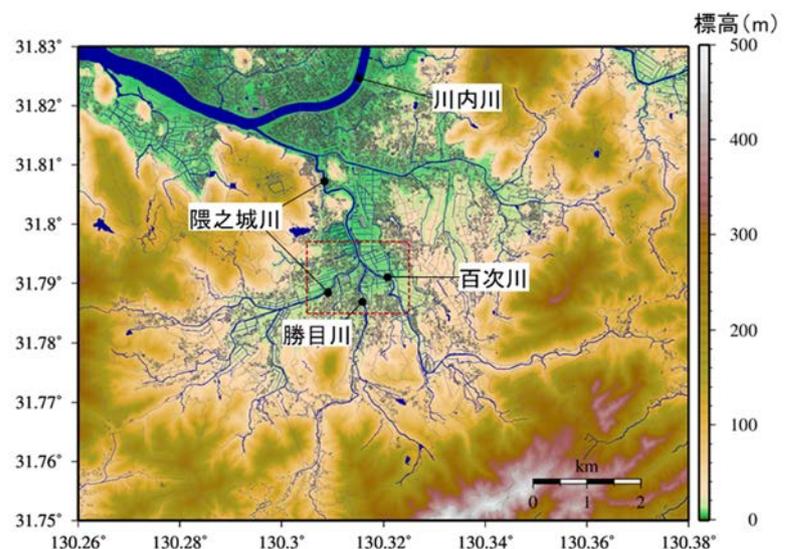


図2.3 百次川・勝目川の概略図

第5編

査は、7月19日、8月2日、16日に実施し、UAVによる被災箇所を撮影を中心に行った。調査実施が被災から16日経過後以降であったため、浸水深の分布を把握するには至っていないが、調査の際に確認された痕跡に基づく、勝目川西側の市街地の浸水深の最大値は1.36mであった。百次川は、勝目川と合流後、その地点から約180m下流で隈之城川に合流する。隈

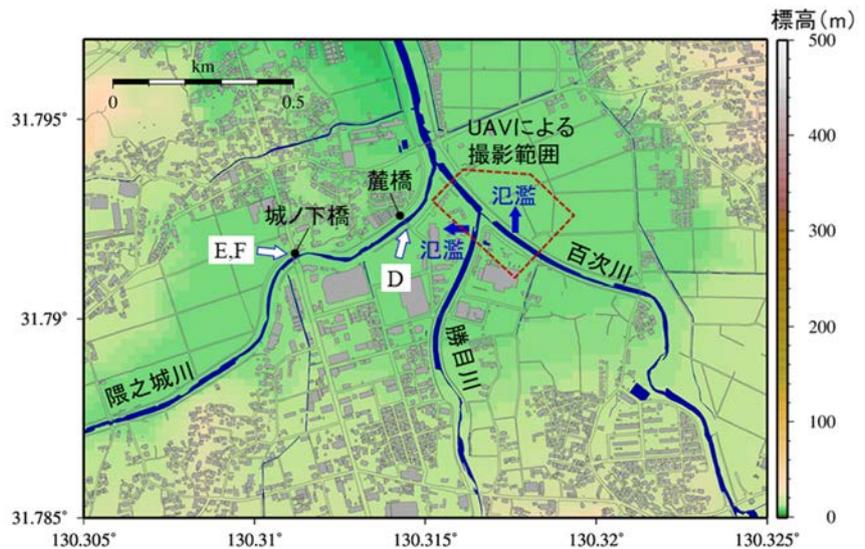


図 2.4 被災箇所周辺の概略(図 2.3 破線矩形部)

之城川の氾濫は報告されていないものの、漂流物の集積状況(写真 2.4～写真 2.7)から、水位が城ノ下橋や麓橋の橋桁まで達していたと判断される。河道内の痕跡の相対的な関係から、百次川の勝目川合流部の水位上昇に影響を及ぼしていた可能性も考えられる。



写真 2.1 被災箇所(百次川); 写真 A



写真 2.2 被災箇所(百次川); 写真 B



写真 2.3 UAVによる被災箇所の空撮写真



写真 2.4 被災箇所（百次川）；写真 C



写真 2.5 橋梁への漂流物の集積状況（宮之城川・麓橋）；写真 D



写真 2.6 橋桁への漂流物の集積状況（宮之城川・城ノ下橋）；写真 E



写真 2.7 漂流物の集積状況（宮之城川左岸・城ノ下橋付近）；写真 F

### 2.2.2 山野川

球磨川流域と隣接する川内川水系羽月川の支川・山野川（図 2.5, 図 2.6）において、溢水氾濫が発生し、約 1.5km にわたって河岸や護岸の流失が生じた（鹿児島県災害対策課, 2020, 南日本新聞, 2020c）。調査は、7 月 19 日, 8 月 2 日, 16 日に実施し, UAV による被災箇所の撮影を中心に行った。

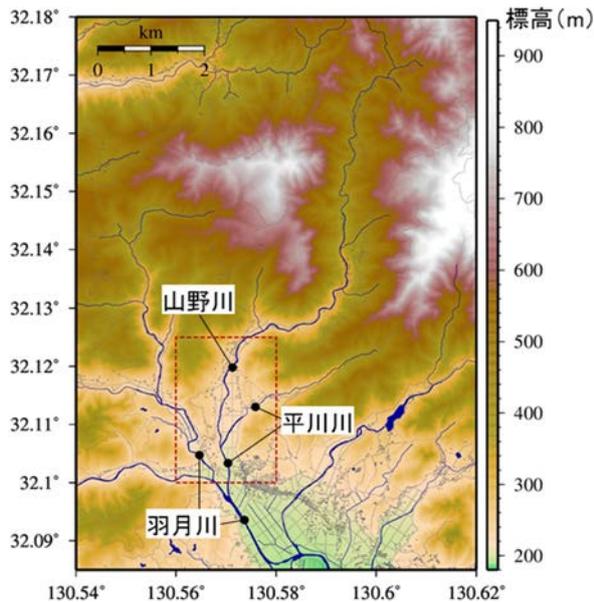


図 2.5 山野川周辺の概略図

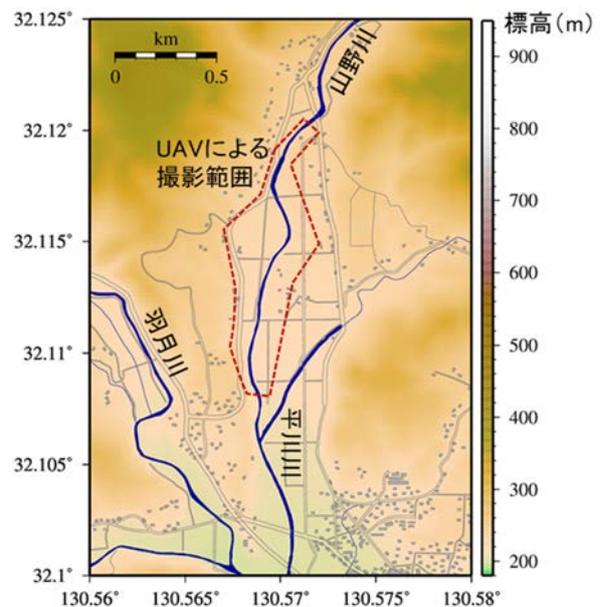


図 2.6 被災箇所周辺の概略(図 2.5 破線矩形部)

氾濫域の大部分が水田であったことに加え, 同地域の調査も被災から 16 日経過後以降となったため,

浸水状況の実態把握には至っていない。しかしながら、並走する道路におけるアスファルト舗装の破損や農地内のビニルハウスの倒壊の発生が確認された（写真 2.8～写真 2.18）。また、水田内への土砂の移動・堆積状況から、右岸側の氾濫については、氾濫区間の上流から西側に大きく広がりつつ、相当に大きな流速を伴って、流下していたと推察される。

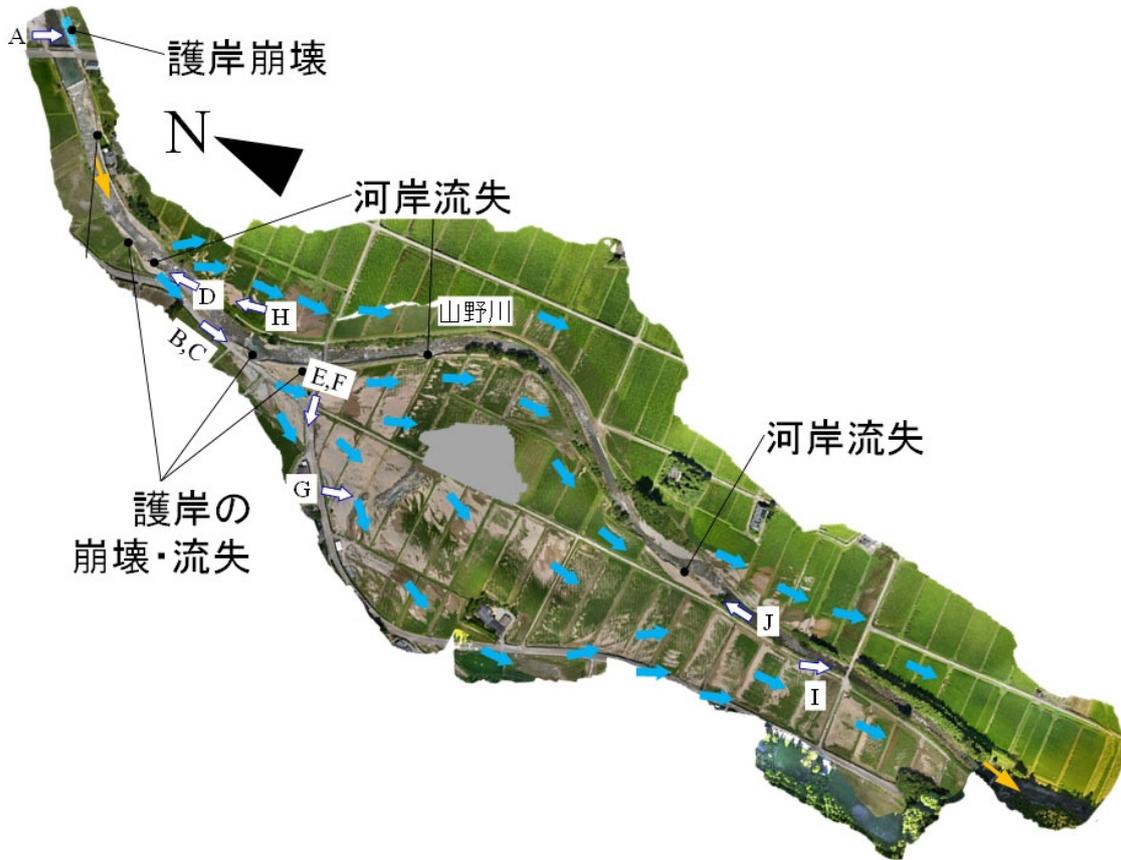


写真 2.8 UAV による被災箇所空撮写真  
 (青矢印：土砂の堆積状況や植生の状況に基づく氾濫流のおおよその流向)



写真 2.9 護岸（左岸）被災箇所；写真 A



写真 2.10 道路被災箇所；写真 B



写真 2.11 護岸（右岸）被災箇所；写真 C



写真 2.12 河岸（右岸）流失箇所；写真 D



写真 2.13 道路被災箇所；写真 E



写真 2.14 道路被災箇所；写真 F



写真 2.15 ビニルハウス被災状況；写真 G



写真 2.16 川裏部（左岸）被災状況；写真 H



写真 2.17 橋梁への漂流物の集積状況；写真 I



写真 2.18 河岸被災状況；写真 J

## 2.3 肝属川水系

### 2.3.1 新川町地区の内水氾濫

肝属川沿いの鹿屋市新川町地区では、2020年7月6日に内水氾濫が発生した。SNS等での情報から8時頃に急激に浸水深が増大したと推察される。同地域における痕跡高調査は、2020年7月12日に実施した。洪水痕跡高は、SNSでの情報や住民の方の証言と照らし合わせながら、痕跡が明瞭なものをスタッフにより測定した。痕跡高に関する測量は7月25日、26日に実施した。

図 2.7 に新川町地区付近の浸水深（水位，T.P.）を示す。堤防標高は一部を抜粋して掲載している。新川地区では、最大で約 1m の浸水深が確認された。多くの建物で嵩上げ等の対策がとられていたが、地区内の複数の家屋が床上浸水に見舞われた。住民の証言では、道路の冠水は頻繁に起こるが、床上浸水が生じる規模の内水氾濫はこれまでに経験がないとのことであった。また、比較的短時間（数分～10分程度）で急激に浸水深が増大したとの証言も得られた。

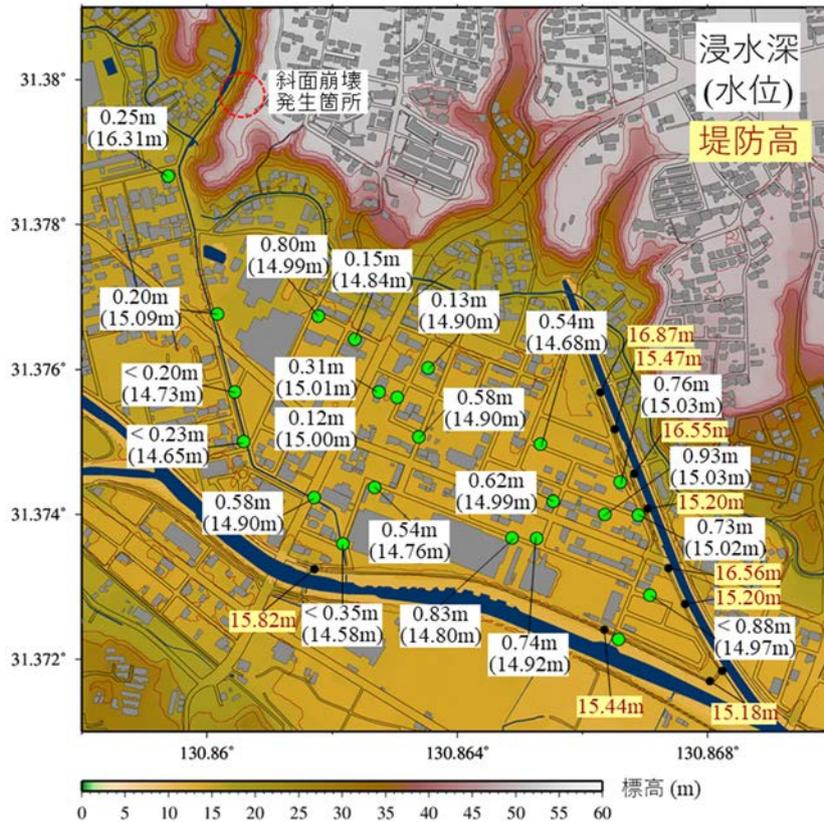


図 2.7 新川町地区（鹿屋分水路西側）の浸水深

新川町地区は、笠野原台地の南側に位置しており、直接的な降雨に加え、台地への降雨が同地区に流入したと推察される。また、肝属川流域は、軽石を多く含むシラス地盤に覆われているとされており、軽石の流出・集積が多く確認された（写真 2.19～写真 2.22）。内水氾濫発生当日（住民の方の証言によれば、朝 7 時～8 時頃）に、同地区西側の内水路上流（図 2.7）で斜面崩壊が発生しており、これが軽石の流出の一因と考えられる。また、崩壊土砂の一部が内水路に流入したと推察され、今回の急激な浸水深の増大に影響した可能性も考えられる。この点については、詳細な検討が必要である。



写真 2.19 内水路沿いに堆積したシラス



写真 2.20 内水路沿いに堆積した軽石



写真 2.21 道路上に集積した軽石



写真 2.22 斜面崩壊状況

## 第5編

### 2.3.2 鹿屋市上祓川町の外水氾濫

肝属川本川の湾曲部上流側にあたる鹿屋市祓川町・大園橋付近において、前項の内水氾濫とほぼ時を同じくして、溢水氾濫が発生した（鹿児島県災害対策課，2020，南日本新聞，2020c）。これにより、近隣の住宅で床上浸水が生じた（写真 2.23，写真 2.24）。



写真 2.23 漂流物の集積状況  
(肝属川・大園橋)



写真 2.24 漂流物の集積状況  
(肝属川・大園橋上流側の橋梁)

## 2.4 まとめ

鹿児島県内では、大隅地方をはじめ、県内各地で浸水被害を伴う氾濫が多発した。また、シラスが広く分布する鹿児島では、斜面崩壊およびそれによる家屋倒壊や幹線道路の機能不全も多く発生した。新川町地区の内水氾濫にもみられるように、これまでに経験のないような豪雨で、既存施設では排水が追いつかないケースも生じやすくなっていると推察される。夜間に氾濫が発生した百次川・勝目川周辺では、避難情報の提供に際し、難しい判断に迫られたようである。線状降水帯による強い降雨を含め、短時間で目まぐるしく変化する状況への対応には、やはり早期避難が重要と考えられる。

### 参考文献

鹿児島地方気象台：災害時気象資料-令和2年7月3日から4日にかけての鹿児島県の大雨について-，  
p.19, 2020a.

鹿児島地方気象台：災害時気象資料-令和2年7月5日から6日にかけての鹿児島県の大雨について-，  
p.19, 2020b.

宮崎地方気象台：災害時気象資料-令和2年7月3日から4日にかけての宮崎県の大雨について-， p.17，  
2020a.

宮崎地方気象台：災害時気象資料-令和2年7月6日から8日にかけての宮崎県の大雨について-， p.19，  
2020b.

鹿児島県災害対策課：令和2年7月3日からの大雨による被害状況等（2020年8月31日時点）， p.13, 2020.  
南日本新聞，2020年7月5日朝刊， p.29, 2020a.

南日本新聞，2020年8月4日朝刊， p.23, 2020b.

南日本新聞，2020年7月7日朝刊， p.23, 2020c.

### 第3章 芦北地方の豪雨被害について

佐賀大学 押川 英夫 九州大学 田井 明  
日本ミクニヤ 峯 浩二, 鮎本 健治, 佐野 雄一

#### 3.1 被害の概要

令和2年7月3日から4日の豪雨では、雨域が東西に分布したため、人吉盆地の西側に隣接する芦北地方でも甚大な被害が生じた。この地方では、浸水被害に加えて土砂災害による人的被害が多発した。図3.1に示す芦北町小田浦、同町田川、同町女島、同町伏木氏、津奈木町福浜で発生した土砂災害により12名の方が犠牲になった。写真3.1に女島地区での土砂災害の様子を示す。これは、人的被害の多くが洪水流による溺死であった令和2年7月豪雨の全体の中でも特徴的であったと考えられる。洪水に

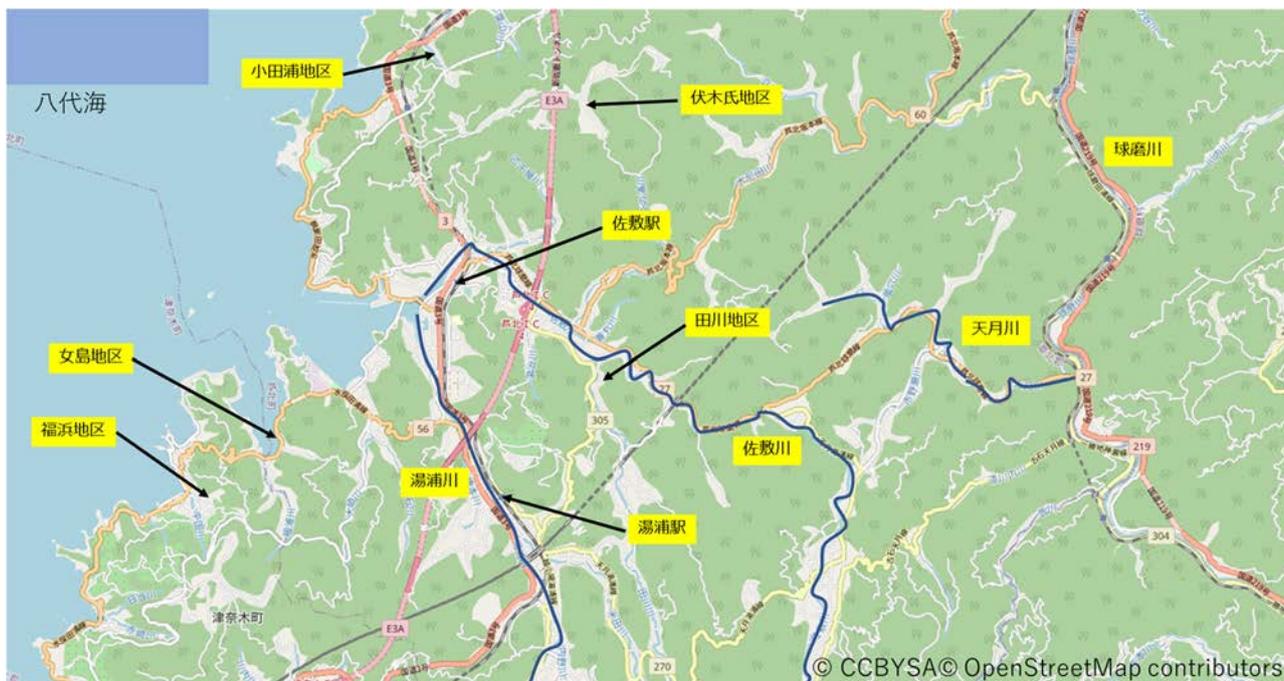


図 3.1 芦北地方周辺の様子と主な河川，土砂災害の発生の位置



写真 3.1 女島地区の土砂災害の様子

については、芦北市街地に河口部を有する佐敷川（流域面積 67km<sup>2</sup>）や湯浦川（流域面積 42 km<sup>2</sup>）をはじめ近隣の2級河川流域で多くの浸水被害が発生した。

### 3.2 佐敷川および湯浦川流域の浸水および護岸などの被害状況

本節では佐敷川および湯浦川流域の浸水及び河川被害状況について説明する。図 3.2 に痕跡水位の調査結果を示す。佐敷川および湯浦川流域の平地ではほぼ全域で浸水被害が生じていることが分かる。湯浦駅周辺では左岸・右岸ともに広範囲に床上浸水が生じていた。図 3.3 には佐敷川河口部周辺

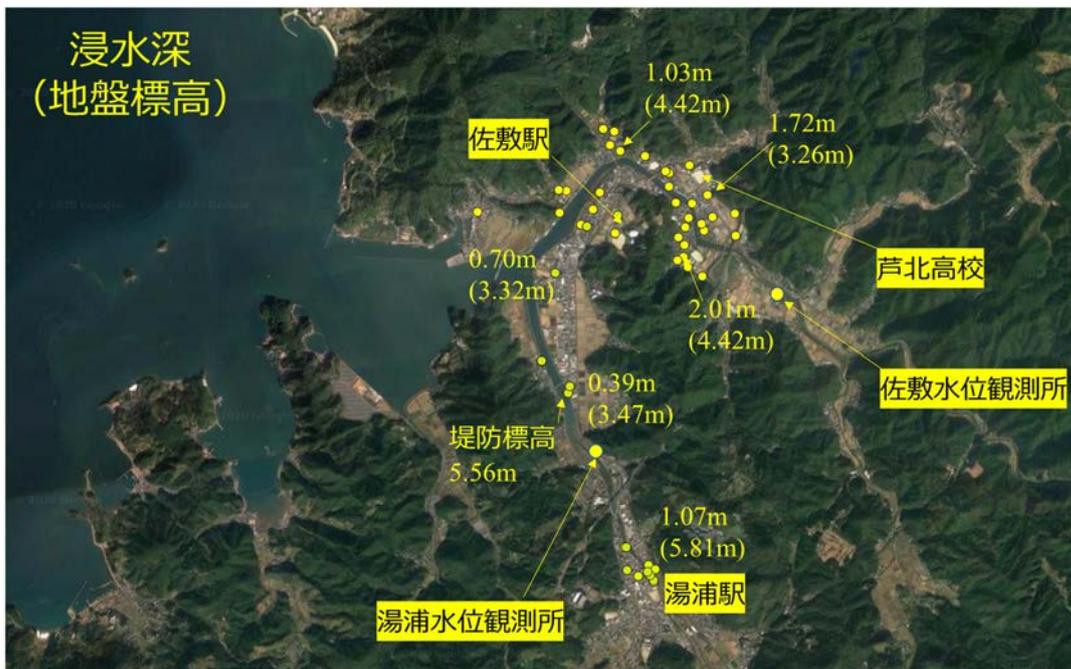


図 3.2 浸水深の調査結果

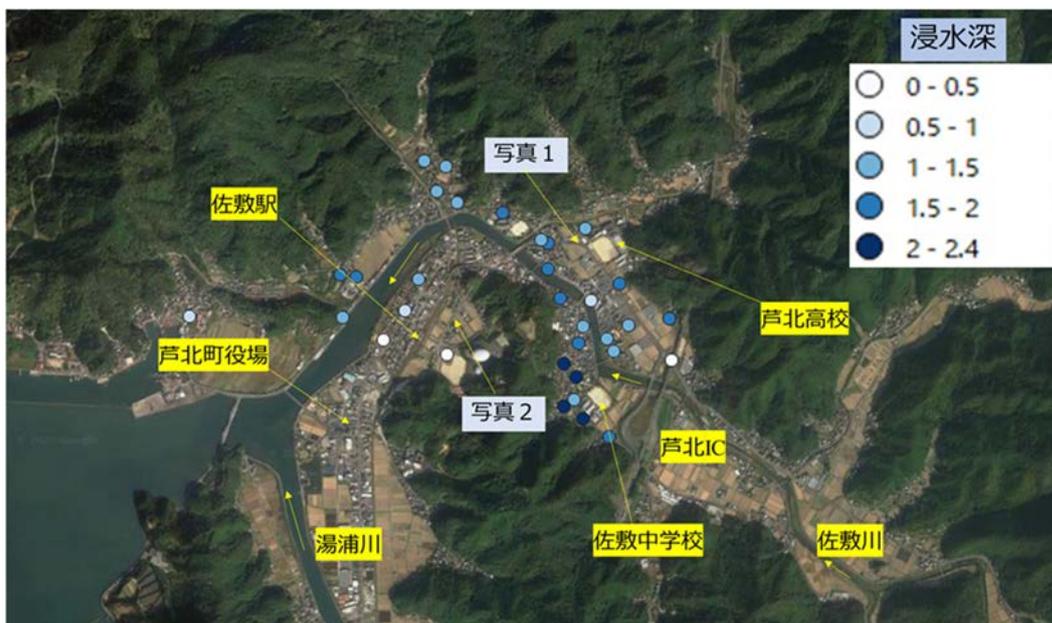


図 3.3 佐敷川河口部周辺の浸水深の調査結果

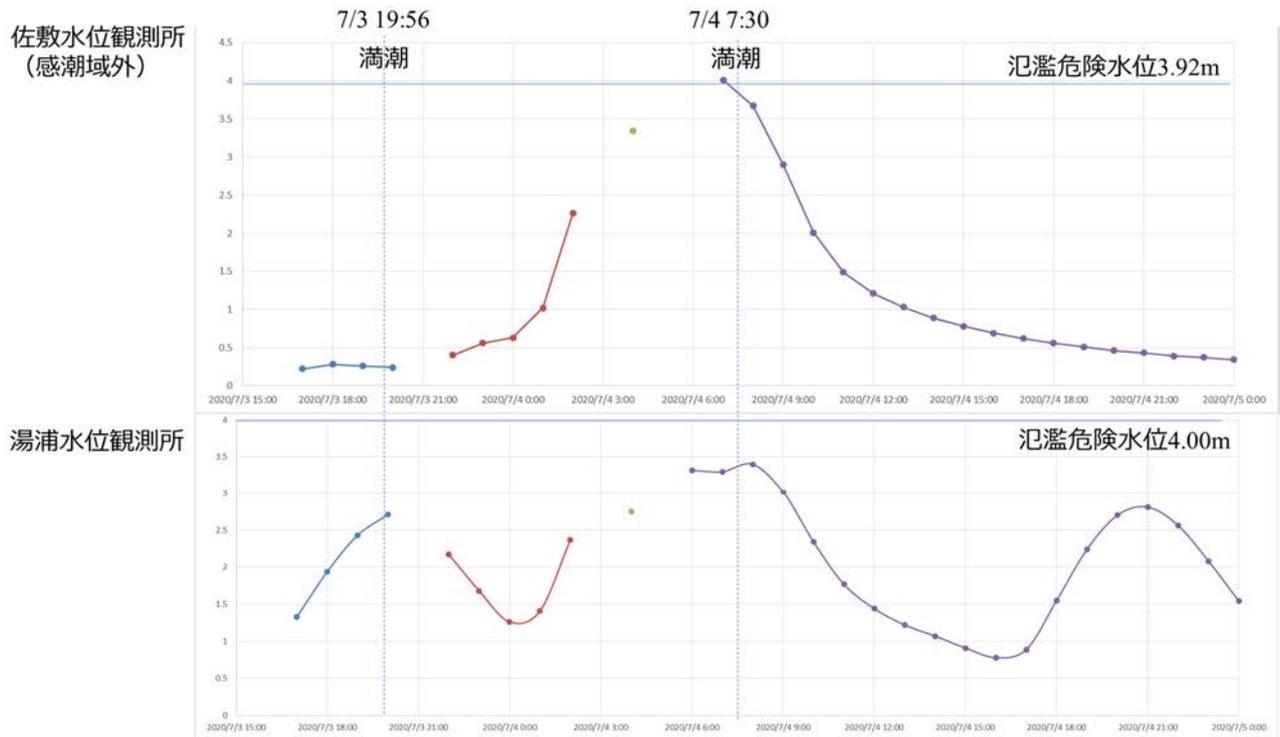


図 3.4 水位観測結果 (佐敷, 湯浦)



写真 3.2 浸水の状況 (住民提供写真)

の浸水深を示している。これより、佐敷川左岸の佐敷中学校周辺で 2m を超える浸水深が生じるなどこの地区の中でも特に浸水被害が大きかったことが分かる。

図 3.4 に佐敷水位観測所と湯浦水位観測所の水位変化を示す。佐敷水位観測所では 7 月 4 日 0 時ごろから水位上昇が始まり、3 時～5 時の間は欠測となっている。湯浦水位観測所は感潮域に位置するため潮汐の影響を受ける。こちらも 3 時～5 時の間は欠測となっている。7 月 4 日は 7 時 30 分に満潮になるため、河川流量の増加と潮位の上昇により河口部では浸水被害が拡大した可能性がある。写真 3.2 には地元住民から提供頂いた浸水時の写真を示す。写真 3.2 左は芦北高校周辺の浸水の様子であり、2m 近

第5編

い浸水深が生じていたと考えられる。写真3.2右は佐敷駅周辺の浸水の様子であり、床上浸水が広範囲に生じたことが分かる。



写真 3.3 佐敷川および湯浦川の護岸などの被害の様子

第5編

写真3.3は佐敷川および湯浦川の護岸などの被害の様子を示したものである。写真3.3(1)は佐敷川支流の宮浦川の合流点の諏訪橋付近の護岸被害の様子である。合流点右岸部の護岸が崩壊し、道路案内標識ごと陥没していることが分かる。写真3.3(2)は河川横の道路の陥没の様子で吸出しにより生じたと考えられる。写真3.3(3)(4)(6)は、護岸被害の様子を示している。写真3.3(5)は、佐敷川と九州新幹線の交差する場所の護岸被害の様子である。



写真3.4 天月川流域の被害の様子

### 3.3 天月川流域の被害状況

天月川は球磨川の支川であり、この川に平行して県道27号線があり、人吉・球磨川側から芦北側への主要な道路となっている。写真3.4は天月川流域の被害の様子を示したものである。

写真3.4(1)は天月川と球磨川の合流部付近の様子である。下流側から見た写真3.4(2)から分かるように鉄道橋梁上部に浸水跡があり、右岸の住宅は屋根に届く程の浸水被害を受けた。住宅の屋根の浸水跡のTPは67.43mで鉄道橋梁上部の浸水跡もレベルで確認したところほぼ同じ高さであった。鉄道橋の真下の河床高53.17m(洪水後の河道の中央付近)から水深を求めると14.26mとなり、その位置付近の写真3.4(3)からも推察される河床の上昇を考慮しなくても14m以上の最大水深になっていたものと考えられる。3m以上の浸水深の右岸側の住宅は何れも新しく、2段の護岸がかなり高くなっていることから鉄道橋の桁の高さを考慮して新築されたことが伺える。なお、球磨川との合流点より上流側(約250m)で天月川の河岸の立ち木に引っかかっていた流木の高さが66.92m(≒67.43m:住宅の屋根の浸水跡)であったことから、バックウォーターにより天月川の水位が上昇していたものと考えられる。

写真3.4(4)は大野温泉センター近くの橋で梁部が破損していることが分かる。写真3.4(5)は、氾濫流により河川横にある水田が損壊している様子である。写真3.4(6)は、河川横の道路陥没の様子で、蛇行部のコンクリート護岸が損壊していることが分かる。

### 3.4 人的被害について

芦北地方では芦北町と津奈木町で死者行方不明者合わせて15名の人的被害が生じた。そのうち11名は前述した通り土砂災害による犠牲者である。小田浦地区で2名、田川地区で3名、女島地区で2名、伏木氏地区で1名、福浜地区で3名となっており、ご夫婦やご家族で在宅中に被災されている事例が多い。また、人吉方面から芦北方面に乗用車で帰宅途中で被災し犠牲になられた方もいる。

### 3.5 まとめ

芦北地方では芦北町と津奈木町で死者行方不明者合わせて15名の人的被害が生じた。そのうち11名は前述した通り土砂災害による犠牲者であった。広範囲に浸水被害も生じており、潮位との関係で被害が拡大した可能性がある。

本調査を遂行するにあたり、芦北町漁業協同組合上塚様より浸水時の写真を提供していただきました。ここに深甚なる謝意を表します。

## 第4章 大牟田市内の内水氾濫状況

福岡大学 橋本 彰博, 林 義晃 九州大学 田井 明

### 4.1 降水の状況

福岡県では4年連続で大雨特別警報が発表され、筑後地域から筑豊地域南部で記録的な大雨を観測した。本章で対象とする大牟田市では最大時間雨量105mm、48時間雨量727mm(7/5 23:30~7/7 23:30,福岡県雨量計)を観測した。気象庁の大牟田観測所では48時間雨量666.5mmと観測史上最大を記録した。図4.1は7月6,7日の2日間の累積雨量を示しており、大牟田市から西方向に累積雨量600mm以上の領域が広がっていることが分かる。図4.2は大牟田地点での雨量を示したグラフであるが、7月6日の日中に強い雨が数時間継続していることが分かる。

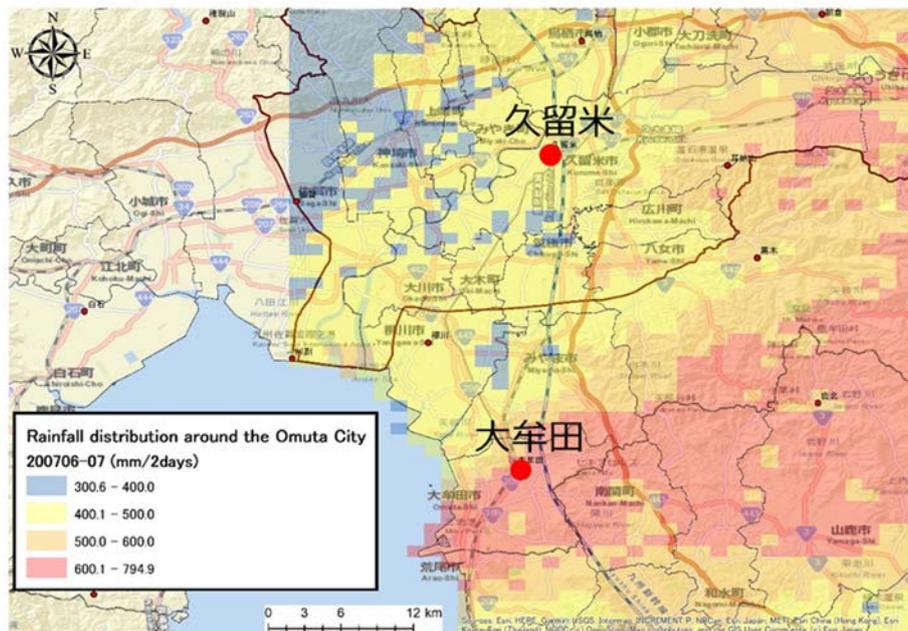


図4.1 7月6,7日の累積雨量分布

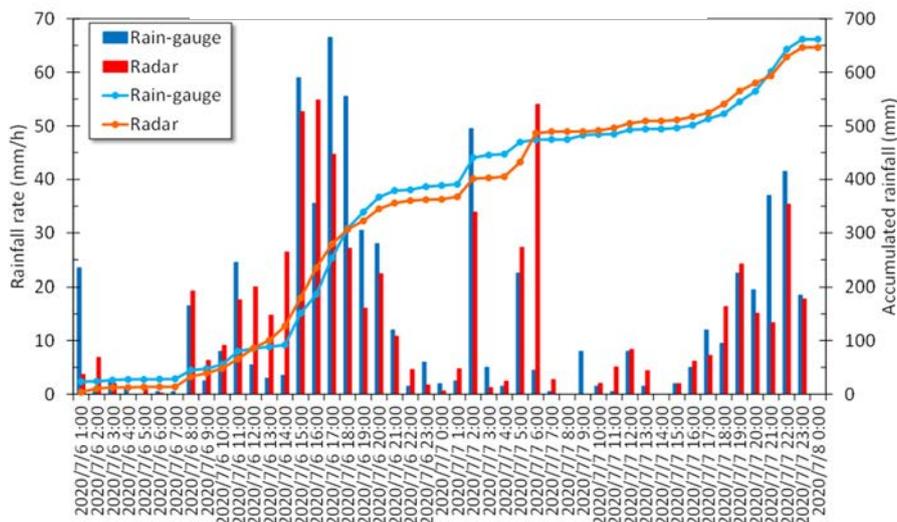


図4.2 大牟田地点での雨量の経時変化

## 4.2 大牟田市の土地利用と浸水被害の特徴

大牟田市内には南から諏訪川、大牟田川、堂面川の3本の2級河川が流れており、その3流域全てで内水を主要因とした浸水が生じた。図4.3は国土地理院浸水推定図(国土地理院, 2020)より作図した浸水分布である。この図より大牟田市内はJR大牟田駅を含む中心市街地の大半で浸水被害が発生したことが分かる。さらに大牟田市沿岸には埋立地が内陸部より高く造成されており(図4.4), その境界部分より内陸側で浸水被害が広がっていることが特徴的である。埋立地との境界線の多くには過去の防潮堤が残されており(写真4.1), 内水は、川と防潮堤により行き場を失い、防潮堤より内陸側で最も河口に近い地域で浸水被害が生じやすい土地利用になっている。そのためポンプ排水による排水が必要不可欠になっている。さらに、河川水位が有明海の潮汐の影響を大きく受けることも特徴的である。



図4.3 浸水分布

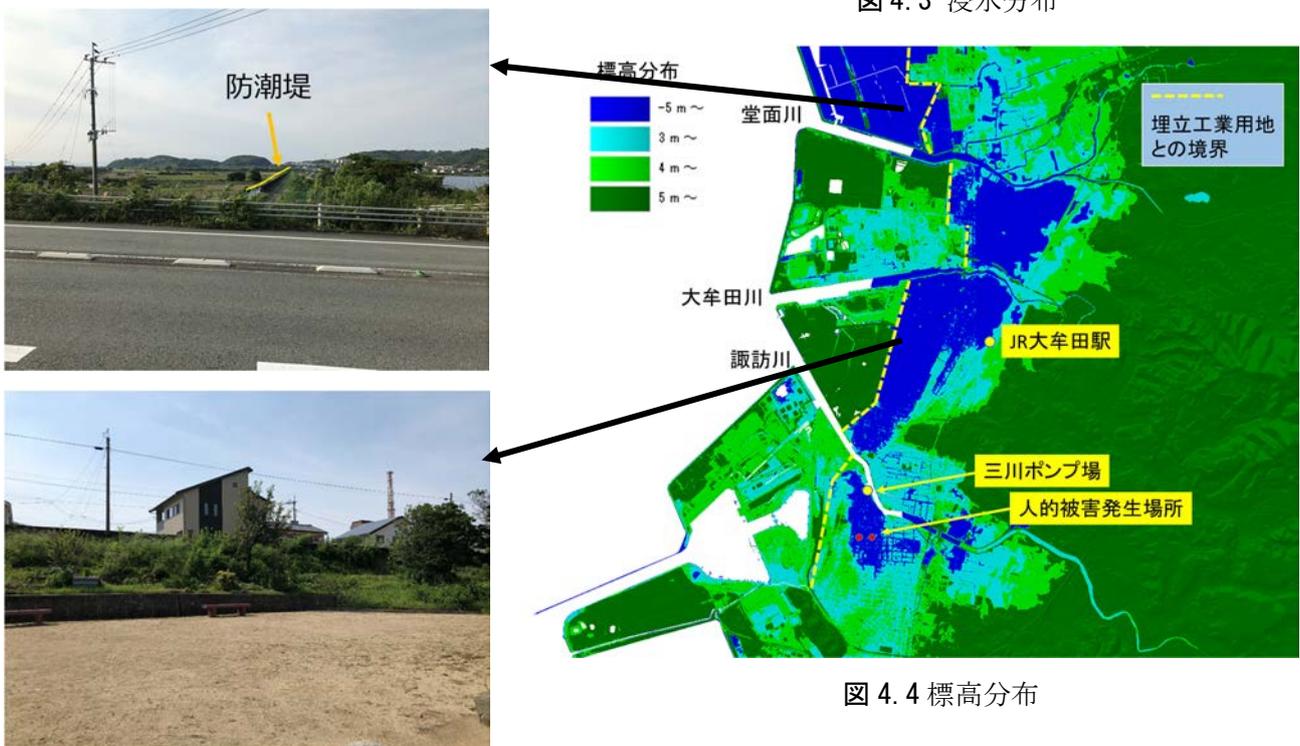


図4.4 標高分布



写真4.1 内陸部に残された防潮堤

### 4.3 諏訪川左岸部の浸水被害について

本節では人的被害が生じるなど大牟田市の中でも被害が大きかった諏訪川左岸の浸水被害について詳しく述べる。まず、浸水被害が生じた7月6日の避難勧告、降水量、潮汐などの経過について図4.5に示す。14:15には避難準備・高齢者等避難開始、15:25に避難勧告、16:40に避難指示、16:30に大雨特別警報、20:30に三川ポンプ場浸水のため停止

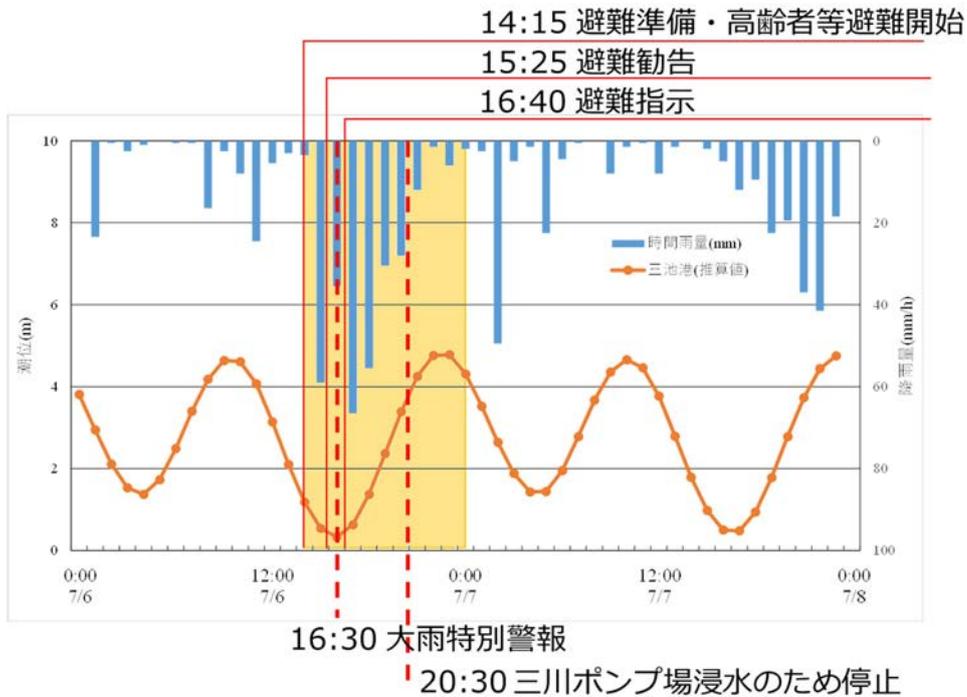


図4.5 避難勧告、雨量、潮汐などの経過



図4.6 諏訪川左岸部の浸水深と水位

第5編

別警報が出されている。一方で、SNS等の情報より、7月6日15時過ぎから大牟田市内で冠水が始まっていることが確認できるため、浸水深が高い地域では避難が既に難しくなっていた可能性がある。また、雨量のピーク時の潮汐は干潮のタイミングであったためこのことによる被害の増大は少なかったと考えられる。しかし、20:30に三川ポンプ場（写真4.2）が浸水のため故障し排水が停止したタイミングでは潮位が満潮に向かって高くなっている時間帯であり、この時間帯は内水が排水出来ずに滞留し続けたと考えられる。



写真4.2 三川ポンプ場

図4.6に諏訪川左岸部の浸水深と水位の調査結果を示す。1.20mから1.58mの浸水が生じており、多くの家屋が床上浸水の被害を受けたと考えられる。また、浸水位は、3.31mから3.89m程度であった。浸水位と堤防高さの関係を調べるために、図4.7に示す範囲で地盤高測量を実施した。その結果を図4.8に示す。結果より、浸水位は堤防天端高より低いことが分かる。このことと、現地調査時に堤防を越流したような痕跡を見つけることが出来なかったことからこの地域の浸水の主要因は内水であり、20:30にポンプが停止したことで滞留時間が増加し、被害が拡大したと推察できる。



図4.7 地盤高測量ライン

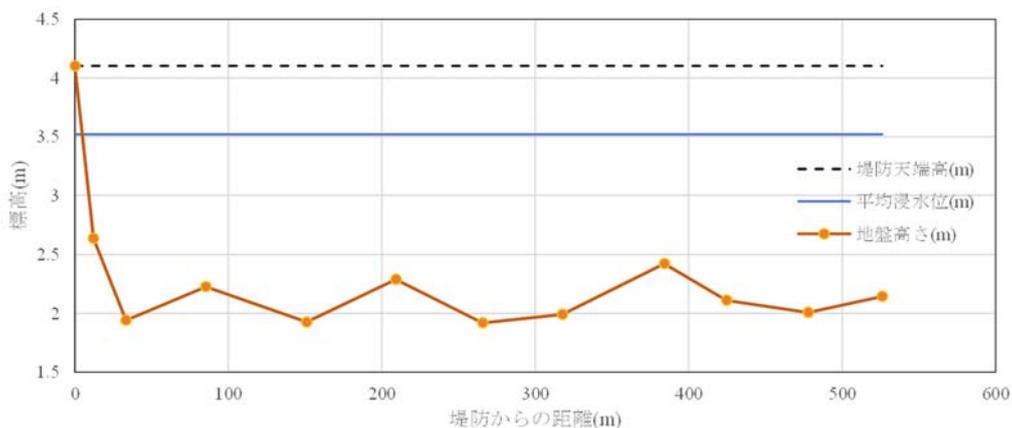


図4.8 地盤高測量の結果1

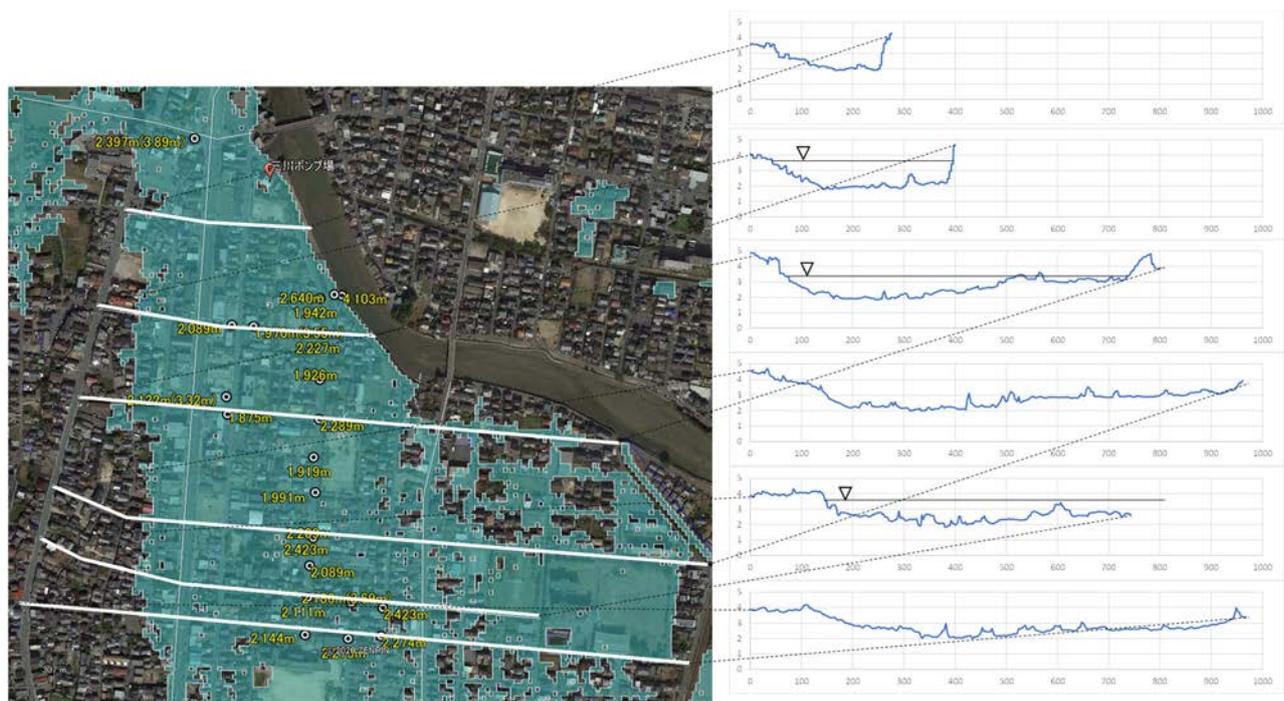


図 4.9 地盤高測量の結果 2

諏訪川左岸部では2名の高齢者（87歳，84歳）が床上浸水した自宅内で犠牲となっている。

#### 4.4 まとめ

大牟田市では沿岸の埋め立て地が内陸部より地盤高が大きいため，川と防潮堤により行き場を失い，防潮堤より内陸側で最も河口に近い地域で浸水被害が生じやすい土地利用になっている。そのためポンプ排水による排水が必要不可欠になっているが，今回，人的被害が生じた諏訪川左岸部では潮位が上昇するタイミングでポンプが故障し，排水ができなくなり被害が拡大したと考えられる。

#### 参考文献

国土地理院：令和2年7月豪雨”浸水推定図”，[https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2\\_kyusyu\\_heavyrain\\_jul.html#9](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R2_kyusyu_heavyrain_jul.html#9)，2020。



## 第5章 祓川の氾濫調査

愛媛大学 森脇 亮  
藤森 祥文

### 5.1 流域概要と流況の概要

祓川は大分県管理の二級河川である（大分県，2019）。祓川の流域面積は 7.48 km<sup>2</sup> で，幹線流路延長は 4473 m である。図 5.1 に祓川の流域図と，浸水被害があった下八幡地区（河口から約 2.2 km）の位置を示す。また図 5.1 には祓川水位観測所の位置も示している。



図 5.1 祓川流域と下八幡地区位置図

本豪雨における 7 月 6 日 0 時から 7 月 9 日 0 時までの雨量と祓川水位観測所の水位を図 5.2 に示す。雨量は祓川流域に最も近い大分アメダスの観測値であり，水位は 10 分間隔のデータである。降雨は 6 日の 18 時に 10 分雨量 4.5 mm を観測し始めた後，23 時頃から 7 日 3 時頃までは一旦小康状態となるが，7 日 4 時 10 分には 10 分雨量 13.5 mm を記録し，1 度目のピークとなる。その後断続的に降雨があり，8 日 0 時 00 分に 10 分雨量 18.0 mm となり 2 度目のピークとなる。

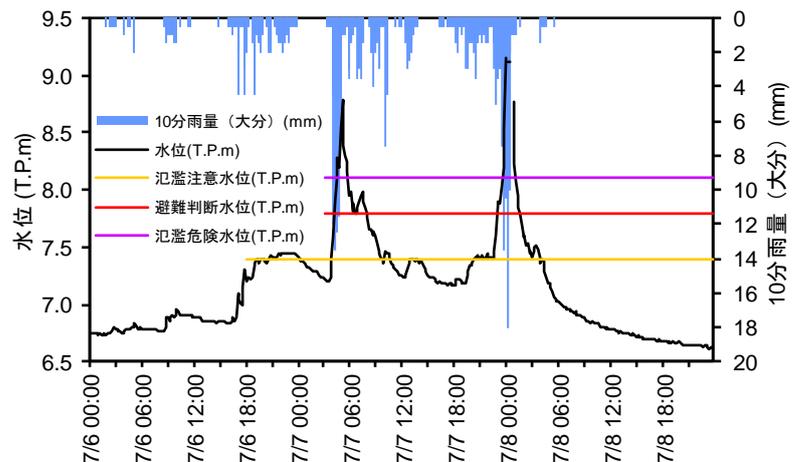


図 5.2 10分雨量（大分）と祓川水位

祓川水位も降雨に応じて上昇と下降を繰り返している。1 度目の降雨ピークがあった約 1 時間後の 7 日 5 時 00 分に水位は 8.78 T.P.m となり氾濫危険水位を超過し，2 度目の降雨ピークにおいてはほぼ同時刻の 23 時 50 分に水位は前の水位ピークよりも大きい 9.15 T.P.m を記録している。8 日 0 時 00 分と 0 時 30 分の記録は欠測である。祓川洪水浸水想定区域図（計画規模）は 12 時間総雨量 325 mm で計算されているが，本豪雨においては 7 日 2 時から 14 時までの 12 時間で 140.5

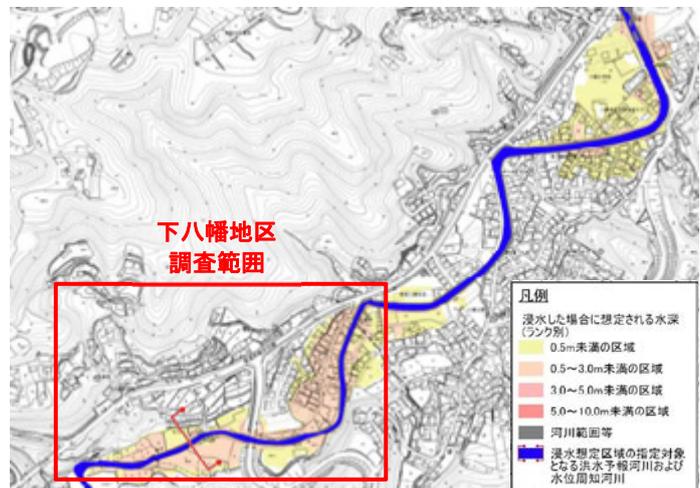


図 5.3 祓川洪水浸水想定区域図（計画規模）（抜粋）

mm となり，計画規模雨量の半分以下であった．祓川洪水浸水想定区域図（計画規模）では下八幡地区で浸水があった祓川左岸は0.5～3.0m未満の区域にある（図5.3）．また，今回の聞き取り調査からは図5.3に示している右上の範囲（八幡小学校周辺）で浸水はないことが確認できた．

## 5.2 浸水痕跡調査と聞き取り調査

祓川における現地調査は，7月23日に実施した．現地調査の項目は，主に浸水痕跡調査と，住民の聞き取り調査である．河口から上流へ向かって浸水箇所を聞き取りなどで確認しながら下八幡地区まで移動した．下八幡地区の調査後は放生池へ移動した．

図5.4に下八幡地区の浸水範囲の拡大図と浸水痕跡調査結果を示す．

A点，B点ではそれぞれ110cm，95cmの浸水深を確認した．B点を



図5.4 下八幡地区の浸水痕跡調査結果

を写真5.1に示す．B点では住民の聞き取りから「東八幡に水位観測所（祓川水位観測所）があり，2.7 m（9.1 T.P.m）を超えたという情報をもとに避難した」（括弧内は著者ら補足）との証言も得た．



写真5.1 B点の様子



写真5.2 D点の様子

との証言も得た．祓川水位観測所で水位が2.7 m（9.1 T.P.m）を超えるのは7月23日20時50分なので，この時刻に避難を開始したと推定できる．この地区の住民が水位情報を常に確認しながら行動しているこ



写真5.3 E点の様子



写真5.4 F点の様子

## 第5編

とが推測できる事例である。また、同住民の聞き取りから「8日0時30分に水位が急激に上昇した」こともわかった。この時刻の前後は欠測もあるが、水位9.11～9.15 T.P.mが観測されたときとも一致する。

C点では45 cmの浸水深が確認できた。C点から下流のD点（左岸）では護岸裏の洗掘が見られ、D点付近から堤内に水が流れ込んだと考えられる（写真5.2）。その下流のE点の状況を写真5.3に示す。E点付近では土砂や草の倒れる向きなどから、左岸のパラペットに沿うように流れた痕跡が確認できた。この流れはF点の方へも向かい、F点では氾濫流が当たることで住宅横のブロック塀が倒れている様子が確認できた（写真5.4）。氾濫流の流下過程は図5.4の矢印で示している。



写真5.5 放生池

放生池はF点の方へも向かい、F点では氾濫流が当たることで住宅横のブロック塀が倒れている様子が確認できた（写真5.4）。氾濫流の流下過程は図5.4の矢印で示している。

祓川の上流端に位置する放生池（放生溜池）の状況を写真5.5に示す。堤体の池側が一部崩壊していることや、堤体下流側の一部崩壊（写真奥）も確認できた。放生池は堤高19.1 m、堤頂長93 m、総貯水量220,000 m<sup>3</sup>の農業用溜池である。放生池は大分市ため池ハザードマップの対象となっている（大分市、2020）。決壊した場合には、祓川の河口まで浸水が想定されており、今回浸水した下八幡地区では浸水深5 m未満、祓川河口でも2 m未満と示されている。調査時、池には貯水されておらず豪雨時の水位は確認できていないが、今後は放生池の破堤と豪雨が同時に発生した場合の浸水想定を実施しておくことが必要かもしれない。

### 5.3 まとめ

令和2年7月豪雨によって浸水被害があった祓川左岸の下八幡地区において浸水痕跡調査と聞き取り調査を行った。下八幡地区では最大で100 cm前後の浸水深が確認できた。大分アメダスの雨量を参考にすると、当該範囲では浸水想定計画規模雨量の約半分で発生していることがわかった。また、祓川上流の放生池において堤体の一部が崩壊していることを確認した。

### 5.4 今後の課題

祓川水位観測所の観測値を参考に避難したという事例もあったように、水位と避難行動を直接的に結びつけられるように、住民に水位を周知することが重要であると考えられる。また、放生池の堤体を強化するとともに、堤体決壊と豪雨が同時発生するケースについても浸水想定を実施しておくことが必要となるかもしれない。

### 謝辞

本報告では大分県大分土木事務所にデータ提供で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

### 参考文献

- 大分県：祓川水系 祓川洪水浸水想定区域図（計画規模）、平成31年、2019。
- 大分市：大分市ため池ハザードマップ放生ため池避難地図、2020。



## 第6章 佐賀県鹿島市における豪雨災害について

佐賀大学 大串 浩一郎

### 6.1 対象流域と降雨と河川の状況

本調査の対象地区は佐賀県鹿島市を流れる浜川と石木津川の2つの中小河川流域である。研究対象地域を図6.1に示す。流域面積はそれぞれ17.5km<sup>2</sup>、16.3km<sup>2</sup>、幹川流路延長はそれぞれ10.2km、8.2kmである。

佐賀県では、令和2年7月6日の朝から夕方にかけて、局所的に猛烈な雨や非常に激しい雨が降り、鹿島市付近と嬉野市付近では、6日15時30分までの1時間に約110ミリの猛烈な雨により、記録的短時間豪雨が発表された(図6.2)。

6日16時30分に大雨特別警報が6市町(佐賀市、武雄市、白石町、鹿島市、嬉野市、太良町)に発表され、この大雨特別警報は7日11時40分にはすべて大雨警報に切り替わった。令和2年令和2年7月7日時の被害状況として人的被害0件、土砂崩れ42件、通行止め9件、道路冠水14件※その他市道で30~40カ所一部損壊等が確認された。また、河川からの濁流があふれて祐徳稲荷神社商店街や他地区の農地や市道を含め広範囲にわたって住宅浸水被害が起こった。表6.1に住宅被害の一覧を示す(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)。 ※全壊一軒は土砂災害によるもの(佐賀県鹿島市山浦白鳥尾地区)。

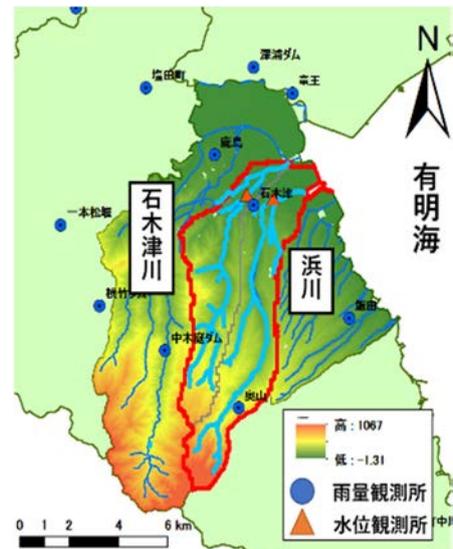


図6.1 調査対象流域

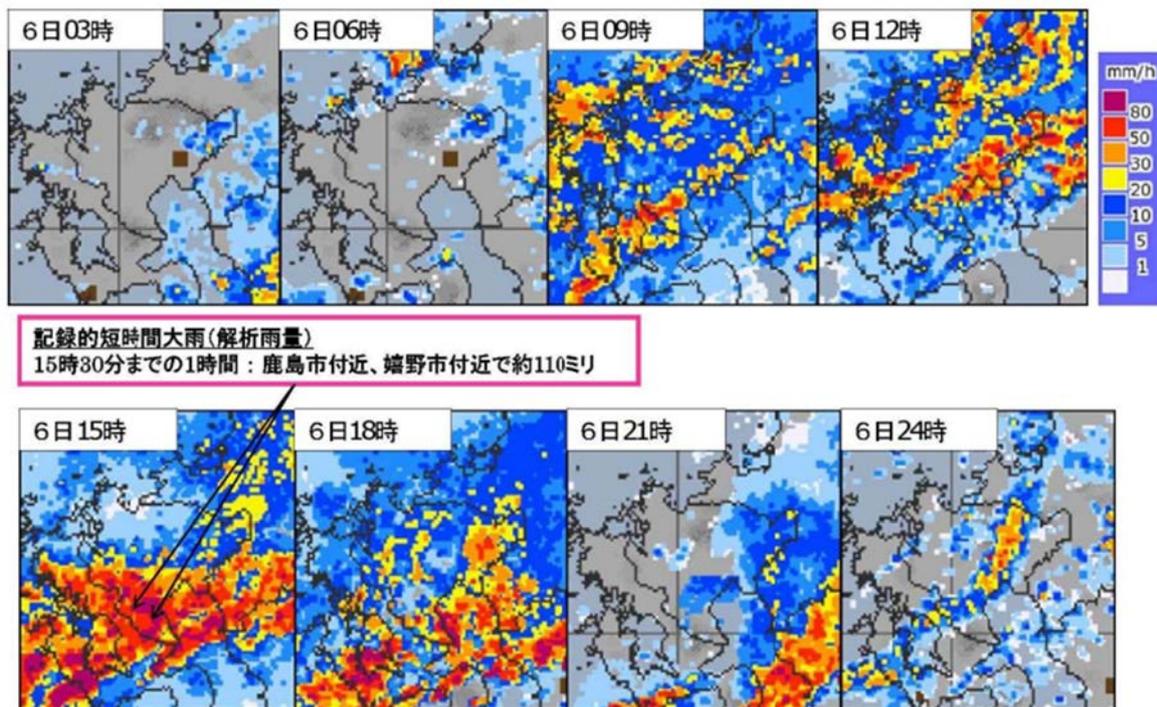


図6.2 令和2年7月6日大雨の状況 (佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

第5編

令和2年7月豪雨時の対象河川の水位観測所を図6.3, 図6.4に示す。対象河川である浜川の薬師橋水位観測所では6日15:20~16:40の間氾濫注意水位を記録し、出水による最大水深は2.36mであった。石木津水位観測所は15:20~16:10の間氾濫危険水位を記録、出水による最大水深4.15mであった。また令和2年7月豪雨の17:00頃の河川の状況を写真6.1, 写真6.2に示す。

表 6.1 鹿島市住宅被害一覧(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

鹿島市住宅被害(令和2年7月27日15:00現在)					
全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	計
1	2	8	5	81	97

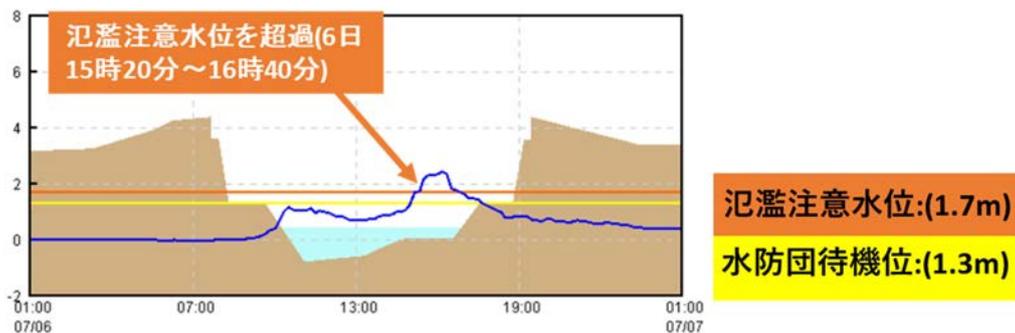


図 6.3 令和2年7月6日 薬師橋水位観測所-浜川(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

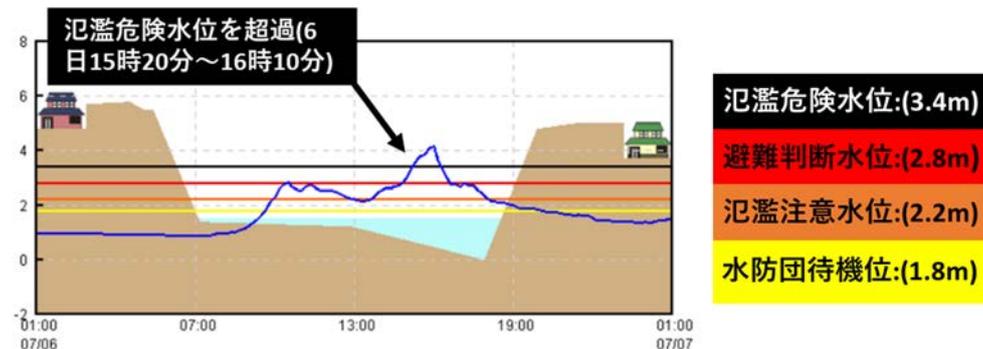


図 6.4 令和2年7月6日 石木津川水位観測所-石木津川(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)



写真 6.1 浜川洪水時の状況  
(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)



写真 6.2 石木津川洪水時の状況  
(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

6.2 被災エリア

研究対象地区浜川流域で上流から中流部において溢水による浸水が確認された。浜川 4km 地点にあ

第5編

る上古枝橋地点の様子を写真 6.3 に示す。7月6日夕方 16:00 頃上古枝橋の狭窄部で洗掘が起き7日から8日まで応急復旧工事がされている。また、16:00 時頃浜川 3.2km 地点にある祐徳稲荷神社前の神橋の狭窄部より溢水が確認された(写真 6.4)。6日の記録的な大雨で浜川左岸側の門前町商店街(20店舗程度)一帯が床下浸水した。左岸側でも駐車場全域で浸水した。佐賀県鹿島市古枝の祐徳稲荷神社・門前商店街では7日、泥のかき出しなど片付け作業に追われた。



写真 6.3 令和2年7月6日浜川 4km 上古枝応急復旧工事の様子  
(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)



浜川祐徳稲荷前: 神橋



左岸側: 門前商店街で約20棟が床下浸水

右岸側: 神橋からの越水

出典: 佐賀新聞

写真 6.4 令和2年7月6日浜川 3.2km 祐徳稲荷神社前神橋からの越水状況  
(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

### 6.3 気象的特徴

対象流域内になる奥山観測所にて過去の水害昭和51年9月と令和2年7月豪雨時の1時間降雨量と24時間降水量を比較した。過去の水害と比較したものを図6.5に示す。従来の豪雨災害と比較しても令和2年7月豪雨は既往最大だったことが分かる。また、平成30年7月豪雨と平成29年7月九州北部豪雨の降雨パターンの比較を図6.6に示す。平成30年豪雨では長時間の雨が続いたが、平成29年九州北部豪雨では短期間で一気に降水したものの累積雨量はほぼ同様の値であり、令和2年7月豪雨時も同規模を示している。また、中小河川では降雨から流路延長が小さい為、一気に降った後、短時間に流出するという特徴により、令和2年豪雨においては浜川の急激な水位上昇と短期間で局所的な水害が発生したと考えられる。

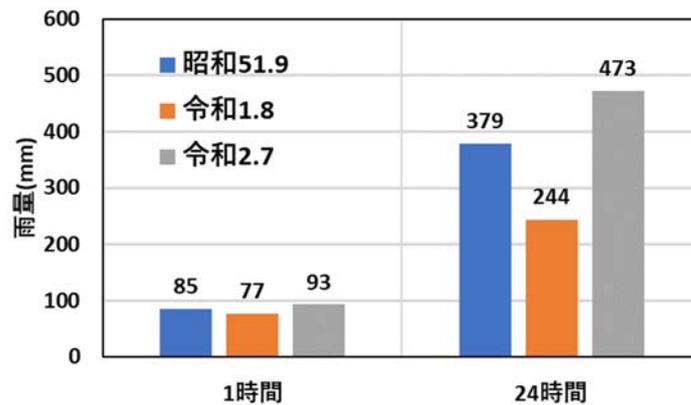


図 6.5 過去の水害における降雨量比較(奥山雨量観測所) (佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

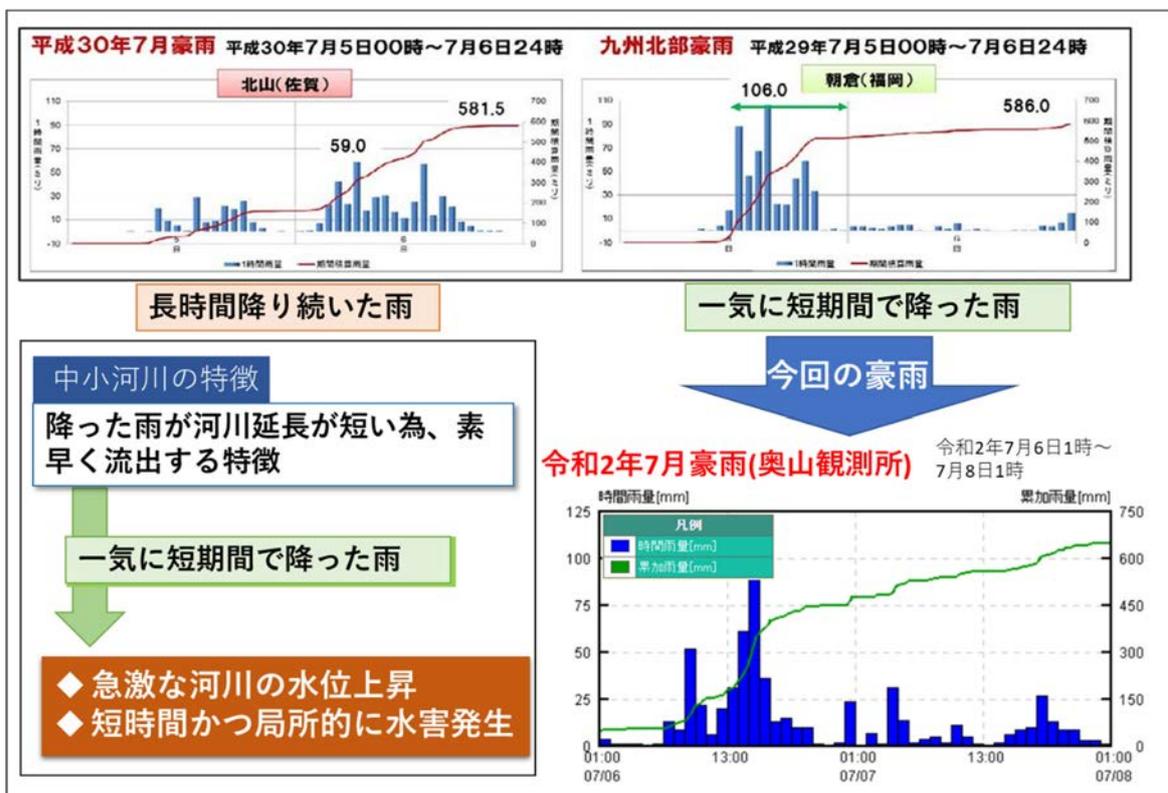


図 6.6 令和2年豪雨と平成30年九州北部豪雨の降水量比較(佐賀県県土整備部河川砂防課, 2020)

## 6.4 レーダー解析雨量を用いた氾濫数値シミュレーション

本研究では、DHIのMIKE 11及びMIKE FLOODを用いて、浜川・石木津川河川の流況と周辺地域の氾濫状況を定量的に評価するために、1次元不定流解析及び2次元氾濫解析を行った。解析手法の説明は省くが、入力データとしてレーダー解析雨量を用い、流出解析により境界条件を算定し1次元ならびに2次元数値解析を実施した。地盤高のLPデータは国土交通省九州地方整備局より、浜川の断面データは、佐賀県県土整備部杵藤土木事務所から(佐賀県県土整備部杵藤土木事務所,2021)、橋梁データは佐賀県杵藤土木事務所ならびに鹿島市環境建設部都市建設課から提供いただいた。

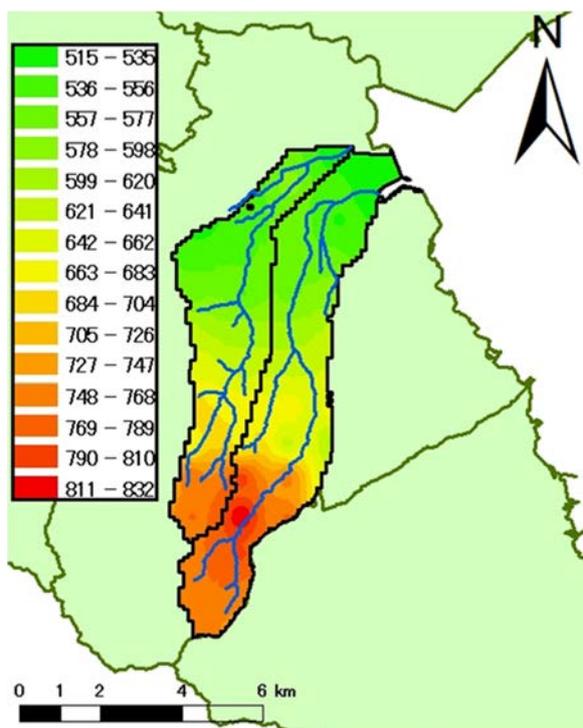


図 6.7 令和2年7月6日レーダー解析雨量より算出した24時間降雨の等雨量線図

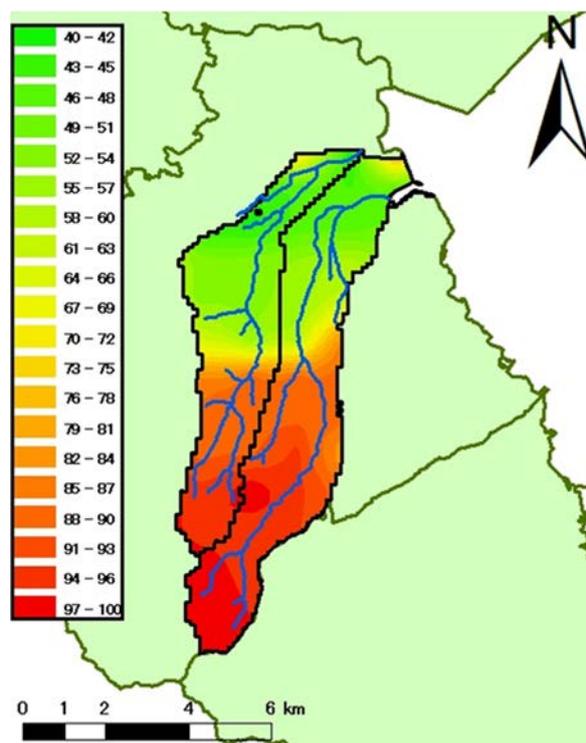


図 6.8 令和2年7月6日レーダー解析雨量より算出した日最大雨量の等雨量線図

令和2年7月豪雨時の対象河川のレーダー解析雨量24時間雨量分布図と最大雨量分布図を図6.7と図6.8に示す。浜川の上流部で日降雨832mm、石木津川上流部で789mmを記録している。本研究対象地区である浜川流域・石木津川流域では令和2年7月豪雨時、中流部から上流部において記録的な降雨を記録した為、短期間の豪雨から急激な水位上昇に対応出来ず、溢水による浸水被害や土砂災害が起こったと考えられる。

令和2年7月豪雨のピーク時間やピーク流量、平水流を再現する為、流量の修正を行った。流出解析の結果から計算水位と実測値と部分的に一致し、大まかな再現ができた。しかし、時間的乖離またピーク流量時に水位の不自然なくぼみが発現したため浜川・石木津川の流量修正を行った。流出解析から得られた流量と水位の関係からHQ曲線を作成し、実測データから流量の修正を行った。浜川・石木津川の修正流量から算出した水位観測所地点の計算水位と実測水位との比較を図6.9に、修正流量を図6.10に示す。修正流量を境界条件として令和2年7月豪雨再現計算を行った。

令和2年7月豪雨の浸水被害を把握し、今後の浸水被害低減を検討する為、2次元氾濫解析を行った。祐徳稲荷神社へと続く約390mの参道にお土産物産や食事処が幹を連ねる商店街がある。令和2年7月

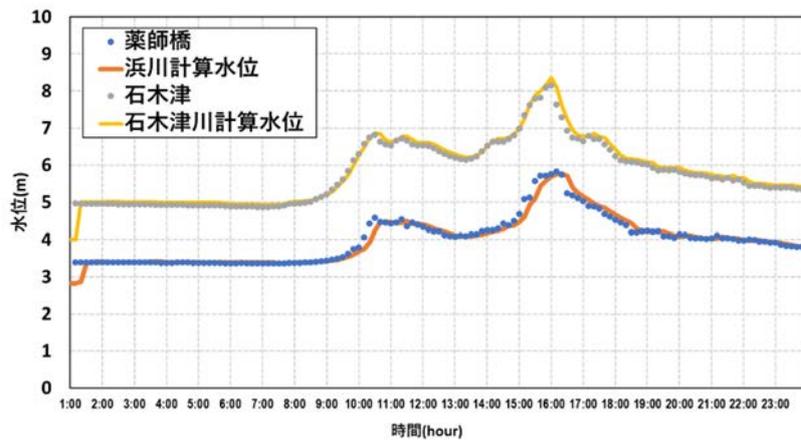


図 6.9 薬師橋水位観測所・石木津川水位観測所と修正流量から算出した水位の比較

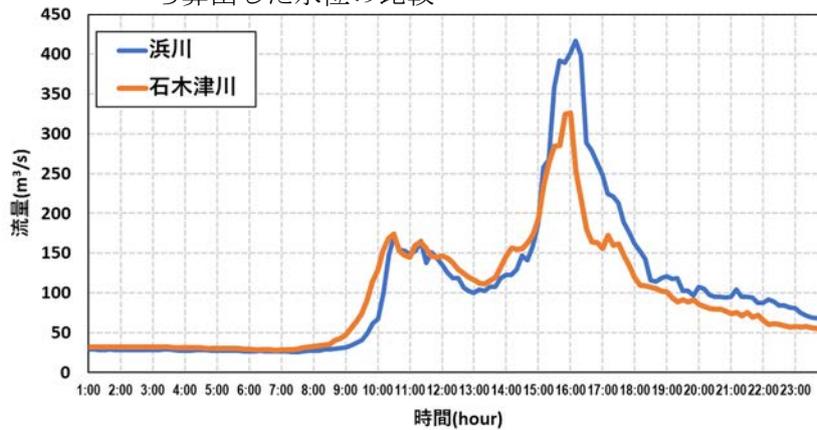


図 6.10 浜川石木津川修正流量

豪雨時、この商店街に浸水被害が起こった。氾濫解析の結果を図 6.11 に示す。流量が上昇する 15:30 頃から神橋から溢水が起き、左岸の門前町商店街、右岸の駐車場や酒屋が浸水した。16:15 頃に最大浸水深を記録した。また、2次元氾濫解析の結果からそれぞれ観測点Ⅰ～Ⅲ地点を抽出し、聞き取り調査と痕跡線から得られた浸水深と比較した。検討地点Ⅰ～Ⅲ地点を図 6.11、各地点の水深の時間変化と痕跡線の比較を図 6.12 に示す。門前町商店街付近での浸水深は概ねの再現ができていていると考えられる。

この商店街は参道を中心として右側と左側では浸水特性が異なる。門前町商店街の右側は左側に比べ標高が低くなっているため溢水による流水がより滞水しやすい。左側では山側からの流出により浸水しやすい。このため、令和2年7月豪雨時、参道側では浜川からの溢水、山側では山際からの浸水被害が起きた。また、氾濫解析の結果から稲荷橋の 3k/100 地点や 2k/000～2k/900 での

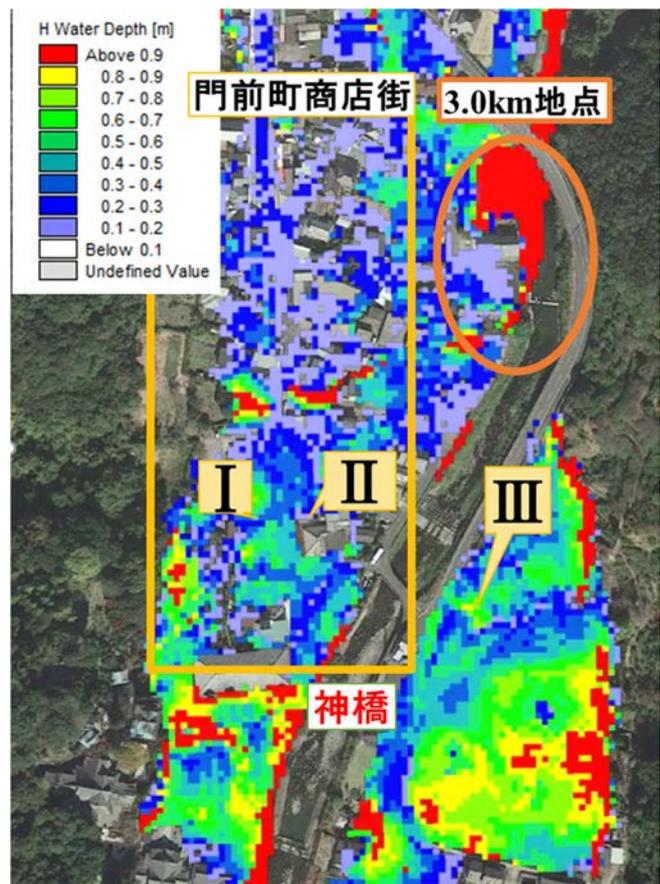


図 6.11 門前町の検討箇所位置と浸水深

第5編

緩やかな溢水が確認されたが実際との比較確認ができなかった。計算結果の溢水箇所は河川改修が未完了部分である為、外水位上昇に対し脆弱箇所であると考えられる。石木津川でも令和2年7月豪雨の氾濫解析の結果から中流部にて溢水が起こった。しかし大部分が田畑のため溢水記録は確認されなかったと考えられる。

次に、将来的な豪雨に対応した対象流域の治水対策の検討を行うため、1/100 確率降雨による2次元氾濫解析を行い、氾濫リスクの評価を行った。図6.13に24時間最大浸水深の分布図を示す。この計算では有明海の潮位については計画高潮位を下流端境界条件として与えている。また、図6.14、図6.15にはそれぞれこの時の浜川最大水位縦断面図と石木津川最大水位縦断面図を示している。薬師橋付近の1k000地点まで溢水が起こり、鹿島市市街地である浜町や伝統的建造物保存地区である浜中町八本木宿地区(左岸側)、浜庄津町浜金屋町地区(右岸側)でも浸水リスクがあることが分かった。さらに、多々良合流部(浜川0k800地点)でも溢水リスクが高いことが明らかとなった。

石木津川は中流部から下流部にかけて溢水が起こった。石木津川では昭和57年以降河川改修が行われていないことから現況流下能力が低く河川全体で溢水が起こったものだと考えられる。その為、浸水範囲が広く左岸側で大規模な浸水が起こり、住宅街

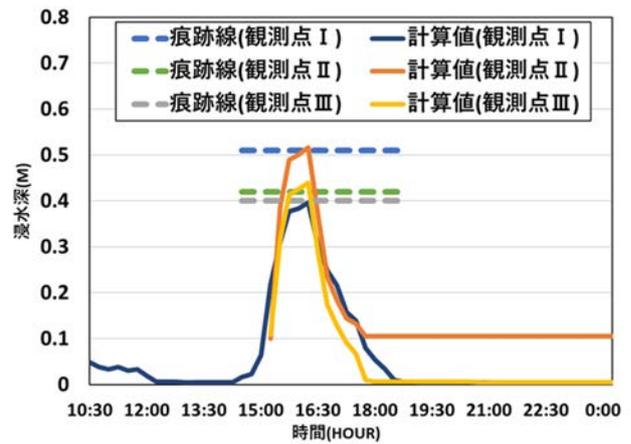


図 6.12 各地点の浸水深の痕跡線との比較

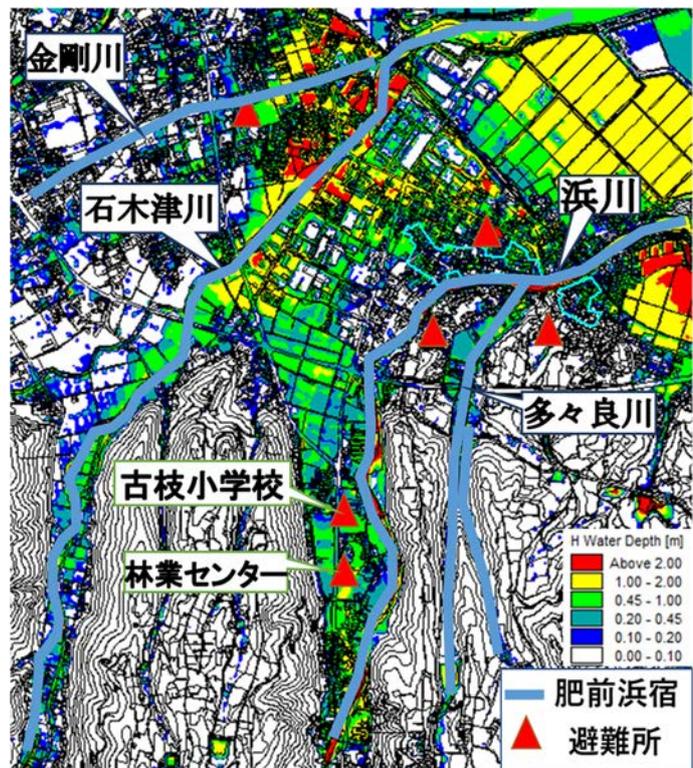


図 6.13 浜川・石木津川氾濫解析結果 (1/100 確率降雨・計画高潮位)

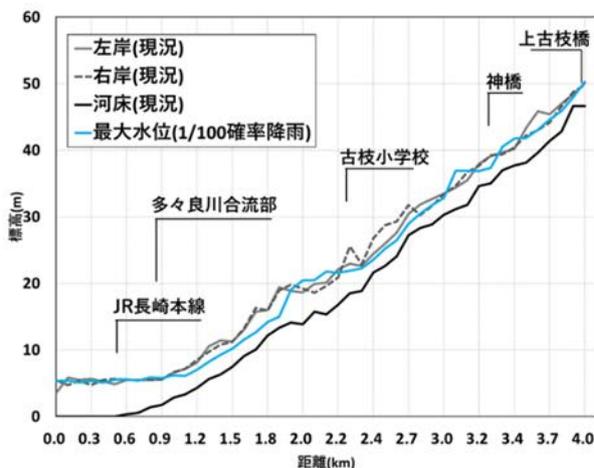


図 6.14 浜川縦断面図と最大水位(1/100 確率降雨・計画高潮位)

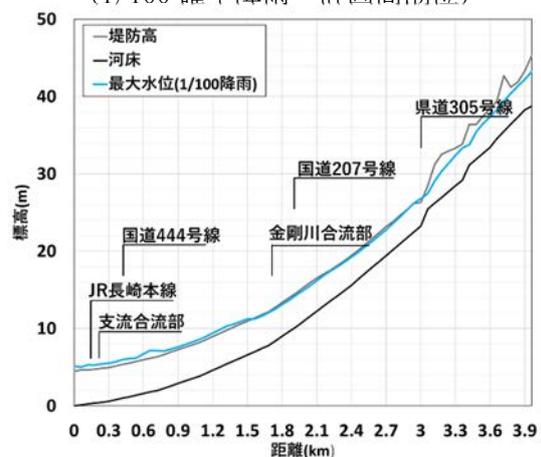


図 6.15 石木津川縦断面図と最大水位 (1/100 確率降雨・計画高潮位)

## 第5編

が浸水する結果となった。図 6.13 は、この計算条件では避難所も浸水することを示している。避難所の多くは氾濫平野に位置し、低平地であることから、内水氾濫によるものと、浜川 2k000 地点からの溢水等により、特に災害避難所である古枝小学校付近、林業センターの浸水リスクが高く、危険であると考えられる。

次に、浜川・石木津川流域内の(河口から 4km 地点までの)住宅密集地における浸水リスクの検討を行った。治水経済調査マニュアル(国土交通省水管理・国土保全局, 2020)によれば、建築基準法等との整合からメッシュ水深が 45cm 以上を床上浸水とされている。国土地理院の地図基盤情報ダウンロードサービスにより建築物群を入手し、1/100 確率降雨の氾濫解析結果から床上浸水・床下浸水の抽出を行った。表 6.2 に建築物の浸水数を示す。令和 2 年 7 月の外水位のみ考慮すると、浜川・石木津川の溢水により浸水建築物数 291 棟、さらに計画高潮位の場合の溢水では 436 棟の浸水数であった。1/100 確率降雨条件を考慮した場合では、降雨のみの場合、降雨と溢水の場合、更に計画高潮位を与えた場合の結果が表 6.2 のように得られた。

表 6.2 浜川・石木津川流域建築物浸水数

	降雨+溢水+計画高潮位	降雨+溢水	降雨	高潮
床下浸水	1898	2074	2040	346
床上浸水	1021	527	289	617
合計	2919	2601	2329	963

## 6.5 まとめ

本調査では令和 2 年 7 月の豪雨による佐賀県鹿島市の被災状況を調査し、従来の豪雨災害と比較しても令和 2 年 7 月豪雨は既往最大だったことが分かった。さらに、レーダー解析雨量と地理情報、水理・水文情報を元に氾濫数値シミュレーションを行うことにより、浜川・石木津川流域の浸水リスクを検討した。その結果、浜川の下流域の河川整備が既に行われている箇所以外で溢水等による浸水リスクが高いことが明らかとなった。特に祐徳稻荷神社や浜町、石木津川左岸側での床上浸水リスクが非常に高いことが分かった。今後、未改修区間の速やかな整備が望まれるが、既に整備された区間においてもより大きな確率降雨や河口の潮汐のタイミングによっては浸水が避けられないことから、住民と連携したさらなる流域対応の防災・減災への取り組みが必要である。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局、佐賀県県土整備部河川砂防課、佐賀県県土整備部杵藤土木事務所、鹿島市建設環境部都市建設課にはデータ提供等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

国土交通省水管理・国土保全局：治水経済調査マニュアル(案), 2020.

佐賀県県土整備部河川砂防課：令和2年7月豪雨における県管理河川の出水状況等について, 7.28.2020.

佐賀県県土整備部杵藤土木事務所：浜川災害復旧緊急委託（出水調査解析）報告書, 1.2021.

## 第7章 郡川流域における被災状況調査

長崎大学 鈴木 誠二

長崎大学 田中 亘

### 7.1 郡川流域における被災状況

#### 7.1.1 郡川流域における被災状況

令和2年7月豪雨は、長崎県大村市、諫早市において甚大な被害をもたらし、郡川水系（郡川、よし川）、大上戸水系（藤の川、大上戸川）、鈴田川水系（鈴田川、針生川）で浸水被害が発生した（図7.1）。特に郡川水系では、支川の佐那河内川が破堤し、大規模な外水氾濫が発生した。

図7.2に7月6日の郡川の鬼橋における水位と大村雨量観測所の10分間降水量を示す。長崎県大村市周辺においては、6日の未明から雨が降り続き、日雨量359mm、時間最大雨量101mm（15:30）を記録した（いずれもアメダス大村観測所）。



図7.1 大村市周辺の浸水状況

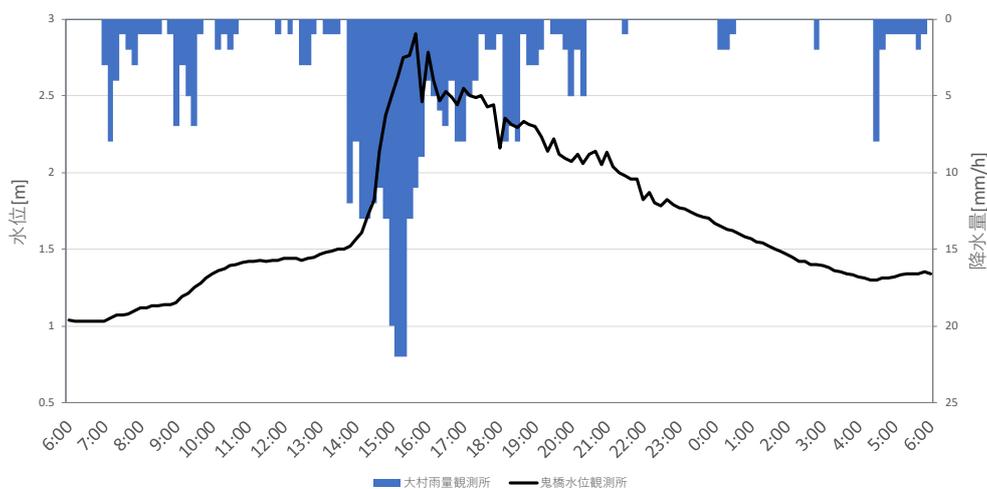


図7.2 郡川の鬼橋における水位と大村雨量観測所の時間降水量（7月6日）

大村市の氾濫河川において、7月12日から16日に洪水痕跡調査を行った。郡川水系（郡川、よし川）、

## 第5編

大上戸水系（藤の川，大上戸川），鈴田川水系（鈴田川，針生川）の洪水痕跡調査に基づく想定浸水範囲を図 7.3，図 7.4，図 7.5 に示す。

郡川水系においては支川の佐那河内川において大規模な破堤が起こった。郡川との合流地点から約 300m 上流の佐那河内川の右岸側で護岸が崩壊した（写真 7.1）。洪水痕跡調査に基づく郡川水系及びよし川の予想浸水深を図 7.6 に示す。破堤部付近において 2m を超える浸水が生じたと推測された。破堤箇所からの外水は，北へ流下し，流域界をまたいで隣のよし川に流れ込んだと推測される。この外水氾濫により，郡川右岸側及びよし川流域の多くの家屋と農地に被害が生じた。

郡川の右岸側及びよし川流域の多くの農地や家屋が浸水した。大上戸水系においては，藤の川において床上浸水 3 戸，床下浸水 42 戸，大上戸川本川において床上浸水 6 戸が発生した。鈴田川水系の針生川においては，床上浸水 1 戸，床下浸水 11 戸が発生した。



図 7.3 郡川水系及びよし川の浸水状況



図 7.4 大上戸水系（藤の川，大上戸川）の浸水状況



図 7.5 鈴田川水系（針生川）の浸水状況



写真 7.1 佐那河内川破堤部の様子。写真は下流側より撮影。右岸側が土嚢にて応急復旧されている

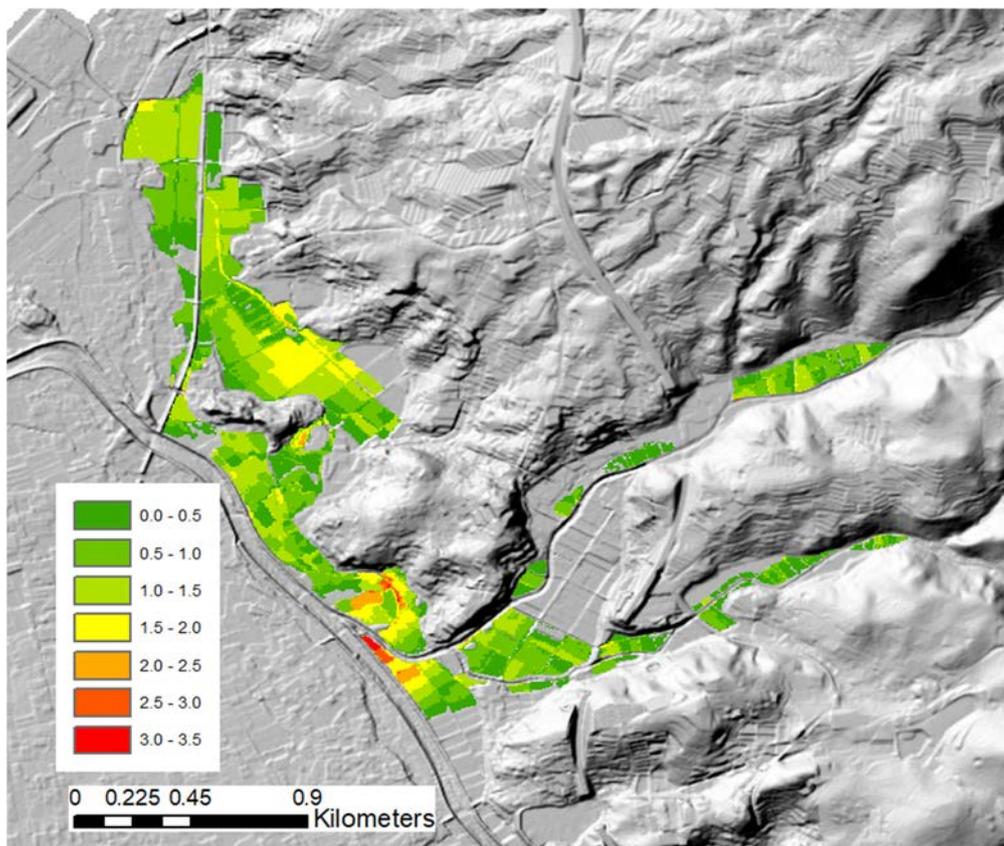


図 7.6 郡川水系における洪水痕跡調査に基づく予想浸水範囲と予想浸水深

## 7.2 郡川流域におけるアンケート調査

### 7.2.1 アンケート調査の概要および結果

令和2年10月7日から10月30日に、浸水被害調査で作成した浸水マップを参考にして、郡川周辺と浸水被害があったとみられる地域の住宅を対象とし、アンケート調査を実施し、149部の回答を得られた。なお、調査方法は訪問面接調査とした。

アンケート項目は、災害時にどこにいたか、避難をしたかや、どこに避難をしたか等の「当日の行動について」と、居住地域の安全性、ハザードマップの認知率や、災害に対し日ごろから準備していることなどの「災害に対する意識について」と、性別や年齢などの「回答者の属性」、「その他自由記入欄」である。

一例として、図7.7にハザードマップの認知率、図7.8に空振りに対する結果を示す。ハザードマップの存在を認識している割合は81%と、非常に高い結果となった。また、「空振り（避難勧告などがでたが結果的に何も被害が発生しなかった場合）」に対しては91%もの人が何度空振りになっても

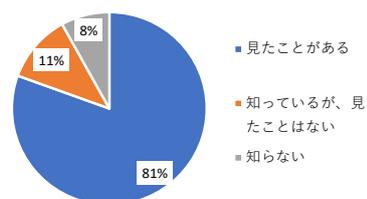


図 7.7 ハザードマップの認知率

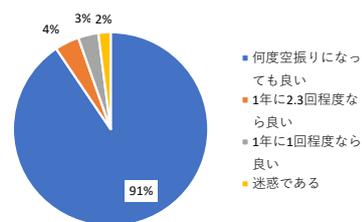


図 7.8 空振りに対する認識

## 第5編

良いと考えていることが明らかとなり、避難に対して抵抗のある人は少ないという結果となった。避難所の位置については、約88%の人が避難所の位置を把握していた。しかし、地区によっては、避難所の位置が適切でないとする人が75%に上った。詳細に分析をすると避難所までの道のりに写真7.2に示すアンダーパスがあり、避難経路に課題があることがわかった。



写真 7.2 アンダーパス

### 7.2.2 避難の判断に影響を及ぼした潜在的要因

避難の判断に影響を及ぼした潜在的要因を明らかにするために、アンケート結果について、数量化Ⅱ類を用いて統計的に解析を行った。数量化Ⅱ類における予測モデル式を式(1)に示す。

$$y = (a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12}) + (a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + a_{23}x_{23}) + \dots \quad (1)$$

ここで、 $y$ ：被説明変数、 $a_{ij}$ ：係数、 $x_{ij}$ ：説明変数である。

今回の解析では、「避難した・してない」を被説明変数とし、「性別」、「年齢」、「避難経路」、「川からの距離」、「次に災害が起こった場合避難をするか」、「豪雨災害に対する居住地域の認識」、「ハザードマップの認知率」、「避難について」、「避難所の位置に対する認識」、「空振りに対する認識」、「浸水域」の計11項目を説明変数としてモデルを構築した。なお、回帰モデル式の精度は、約70%であった。

数量化Ⅱ類を用いた解析結果を表7.1に示す。避難行動の判断に、最も影響を与えた要因は「次に災害が起こった場合避難をするか」、次いで「年齢」、「川からの距離」であった。一方で、避難行動の判断に、最も影響を与えなかった項目は、「豪雨災害に対する居住地域の認識」、次いで、「ハザードマップの認知率」であった。つまり、ハザードマップは、避難行動の際にあまり参考とされないことが明らかとなった。

アンケートの分析結果から、一度避難を経験することで、人々の避難意識が高まることが明らかとなった。このことから、防災訓練時に実際に避難行動訓練を実施することが、避難行動の決断を促すのに有効だと考えられる。また、避難行動の判断にはハザードマップの認知率はあまり影響しないことが明らかとなった。つまり、住民の多くはハザードマップを認知しているものの、十分に理解されていないということが推察される。ハザードマップをより理解し易く改良する必要があると考えられる。さらに、ハザードマップを見ながら避難行動訓練を実施するなどの工夫が、適切な避難行動につながると考えられる。

表7.1 数量化Ⅱ類を用いた解析結果

説明変数	カテゴリー	係数	レンジ	重要度 (順位)
性別	男	0.054715932	0.087663	7
	女	-0.032947228		
年齢	20代	-0.153967023	0.402901	2
	30代	0.248934112		
	40代	-0.03205047		
	50代	-0.123868449		

	60代	-0.030787101		
	70代以上	0.03655053		
避難経路	避難できる	-0.043993296	0.059324	9
	避難しにくい	0.014679649		
	避難できない	0.015330483		
次避難をするか	はい	0.191768002	0.76488 (0.64049)	1
	いいえ	-0.448725793		
	わからない	0.316162247		
川からの距離	近い	0.050096647	0.233263	3
	遠い	-0.183165867		
大雨	安全	-0.011041532	0.013057	11
	安全でない	0.002015518		
浸水域	してない	-0.042047569	0.122845	6
	した	0.080797288		
ハザードマップの認知率	見たことがある	0.003582116	0.033363	10
	知っている	-0.028627733		
	知らない	0.004734794		
避難について	避難勧告がでたら 避難すると思う	0.099362795	0.159236	5
	避難指示がでたら 避難すると思う	-0.059873409		
	周りが避難したら 避難すると思う	0.053965316		
	避難しないと思う	0.03161718		
避難所の位置	適切	-0.032044439	0.063662	8
	適切ではない	0.03161718		
空振りについて	何度空振りになっ ても良い	0.009554374	0.215782	4
	年に2, 3回程度な ら良い	-0.071705833		
	年に1回程度なら 良い	-0.048184792		
	迷惑なのでやめて ほしい	-0.206227169		

### 7.3 まとめ

令和2年7月豪雨において長崎県大村市，諫早市において甚大な被害をもたらした，郡川水系（郡川，よし川），大上戸水系（藤の川，大上戸川），鈴田川水系（鈴田川，針生川）で浸水被害が発生した。特に，郡川水系においては支川の佐那河内川において大規模な破堤が起こったが，人的被害は見られなかった。これは，郡川流域住民の適切な避難行動に起因したものと考えられる。アンケート調査の結果，諫早大水害の経験や教訓が引き継がれており，ハザードマップの認知率が高いなど，防災意識が非常に高く，災害前に親戚の家や知人の家へ避難した住民も多く見られた。一方で，災害時に避難行動を起こす際に，ハザードマップは活用されていないことが明らかとなった。

### 7.4 今後の課題

豪災害が激甚化するなかで，人的被害を最小限に抑えるためには，流域住民一人一人の適切な避難行動が必須である。郡川流域において，避難をした住民は，豪雨前に事前に避難をしたケースが多い。一方で，災害時には情報が少ないために，ほとんどの住民は避難行動を起こすことができなかった。避難行動を支援するツールとしてハザードマップが活用されているが，災害時には，リアルタイムの災害情報が非常に重要となる。特に，中小河川においては，災害情報が大河川に比べ少ない。今後は，中小河川においてもリアルタイムで浸水状況等の情報を提供できる強力な避難行動支援ツールが必要と考えられる。



## 第 6 編

### 被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響

鹿児島大学	齋田 倫範
九州大学	杉原 裕司
九州大学	田井 明
熊本大学	辻本 剛三
熊本県立大学	小森田 智大
群馬大学	鵜崎 賢一
佐賀大学	押川 英夫
日本文理大学	池畑 義人
福岡大学	橋本 彰博
山口大学	朝位 孝二
山口大学	白水 元



## 第1章 衛星画像を用いた被災領域の状況

山口大学 朝位孝二  
白水 元

## 1.1 災害の概況と発災後の衛星探査

## 1.1.1 はじめに

令和2年7月豪雨は、九州・東海・東北など多くの地方で記録的な降水を引き起こし、全国で約65万世帯、約140万人に避難指示が発令された。7月3日夜には梅雨前線が九州北部地方に北上し、低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだことで、大気が不安定な状態となり、7月3日から4日の2日間の降雨は7月の平均月間雨量と同等規模となる大雨であった。熊本県の球磨川中流域では、この大雨により洪水が発生し、球磨川の堤防2箇所が決壊し、数箇所でも越水、人吉市の中心市街は記録的な浸水深を経験し、多数の家屋が浸水した。また、支川の小川と球磨川の合流部に位置する球磨村渡の特別養護老人ホームでは14名の犠牲者が出る等、人的にも甚大な被害が生じた。

かねてより発災後短時間で被災地の画像を取得し被災状況や二次災害の危険状況の把握を目的として、Lバンド合成開口レーダ「PALSAR-2」を搭載した陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALSO-2)が運用されている。合成開口レーダー(SAR)は人工衛星から電磁波を発射し、地表面からの後方散乱波を受信し地表面の状態を把握するもので、豪雨による河川氾濫や浸水などの気象災害に対して有力な観測手段となっている。今回の令和2年7月豪雨についても、発災直後からこのだいち2号による観測が実施され、筆者らは浸水域情報をいち早く提供した(防災科研, 2020)。本研究では、今後の発災直後の浸水深度情報提供の迅速化や精度向上に向け、球磨川流域における観測成果であるPALSAR-2合成開口レーダ画像と数値標高モデル(DEM)と組み合わせて浸水深分布を推定する手法(白水ら, 2019)の本災害への適応についての検討した結果を示す。加えて、今日多数利用可能となった民間の高解像度光学衛星による観測成果を利用し、洪水による家屋被害を検出した。流況の検討に資するデータとするため、発災前後の家屋の移動方向等を整理した結果を示す。

## 1.1.2 だいち2号による球磨川流域観測

球磨川流域を対象とした発災直後のPALSAR-2高分解能モード1(単偏波, 観測幅50km, 分解能3

表1.1 発災直後のだいち2号による球磨川のSAR観測

シーンID	観測日時 JST	衛星進行方向	観測方向	オフナディア角 (deg)	偏波
ALOS2330172910- 200704	2020/7/4 13:13	Descending	LEFT	50.9	HH
ALOS2330240640- 200704	2020/7/5 0:04	Ascending	RIGHT	18	HH
ALOS2330462970- 200706	2020/7/6 12:18	Descending	RIGHT	32.4	HH

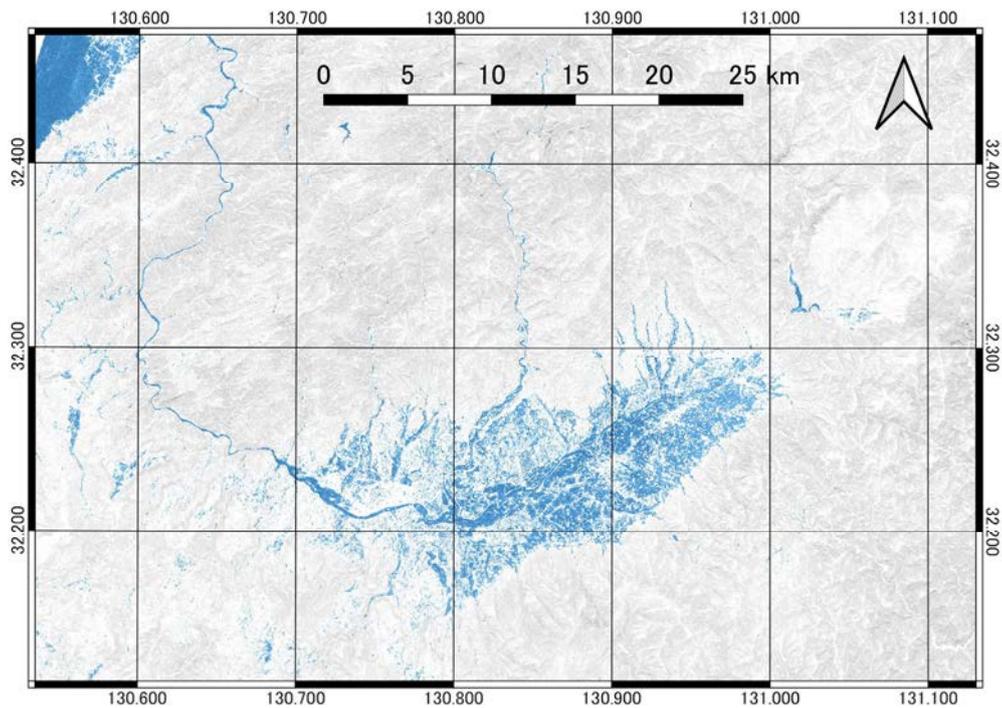


図 1.1 球磨川流域の SAR 観測結果から検出した水域（着色箇所）



図 1.2 球磨川流域内の浸水深推定対象範囲（国土交通省八代河川国道事務所資料を加工）

m) による観測は、日本時間 7 月 4 日昼、7 月 5 日未明、7 月 6 日昼に行われている。表 1.1 に観測条件の概要を示す。衛星進行方向は衛星の南北の移動方向を示し、Descending は南下しながらの観測であることを示す。北上中の観測の場合は Ascending と表現される。観測方向は進行方向を正面として左側 (LEFT) にセンサを振った観測または右側 (RIGHT) に振った観測かを示す。オフナディア角は衛星の直下と衛星から観測対象中心を覗いた線とがなす角である。図 1.1 に示す広域の浸水範囲の可視化には 7 月 4 日と 7 月 6 日のもの、後述する球磨・人吉地区の浸水深推定には 7 月 4 日を使用し、6 日でも同様の手法で浸水深の推定を試行したものと比較する。SAR 観測結果から海や河川・湖沼といった恒常水域のピクセル値の平均値と標準偏差の和以下の箇所を青色に着色した。これによりおおよその浸水域を確認することができる (大木ら, 2016)。球磨村渡や人吉西部での浸水が捉えられているが、上流の広大な

水稻耕作地も水域として抽出されていることに注意されたい。

## 1.2 浸水深推定と検証

本節では、前述の発災後の観測によって得られた SAR 画像を解析し、球磨川流域球磨村渡から人吉中心市街地までの区間(図 1.2) で浸水域検出および浸水深分布を推定する。また浸水痕跡高の実測結果との比較を行い、適合性を評価する。

### 1.2.2 浸水深解析手法

解析時には、前処理としてスペックルノイズ低減のために Lee filter 処理を付加した。また、「球磨川流域ハザードマップ」に示されている洪水浸水想定区域(想定最大規模)を浸水深解析対象区域とした。

合成開口レーダの画像から池など恒常的に水域である箇所を多数サンプルとし、水域の後方散乱係数の平均値と標準偏差を求めた。後方散乱係数が求めた平均値と標準偏差の和以下となる箇所を二値化して水域として抽出した。この水域の分布を示すラスタ画像に Majority filter を適用し明瞭化した後ポリゴ

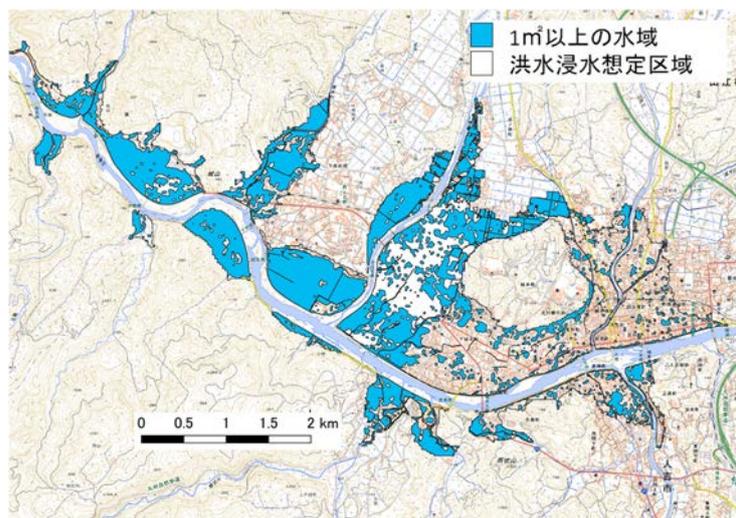


図 1.3 SAR 画像により抽出した水域 (7月4日観測データ)

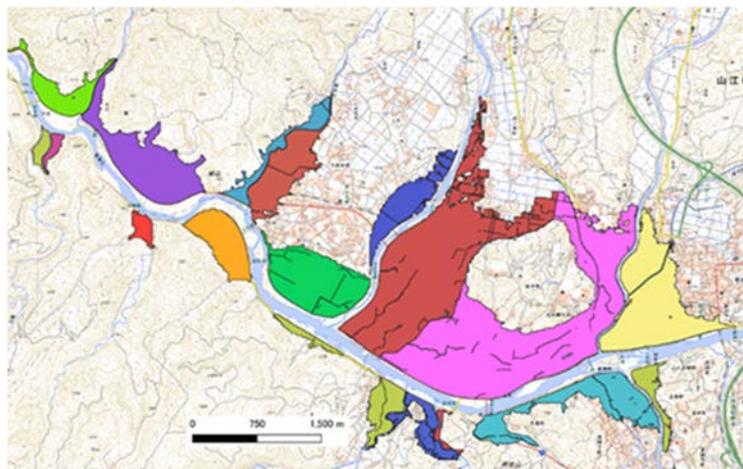


図 1.4 浸水想定に基づくエリア分け

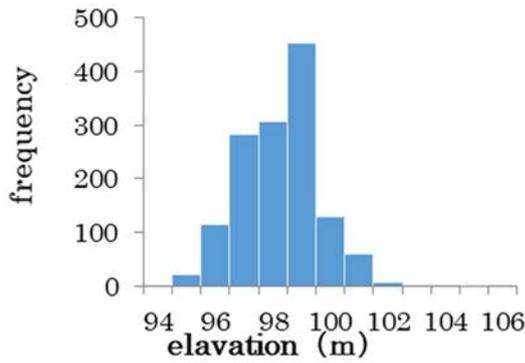


図 1.5 通常型

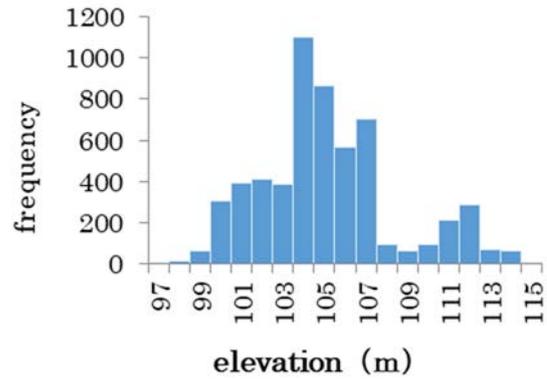


図 1.7 歯抜け型

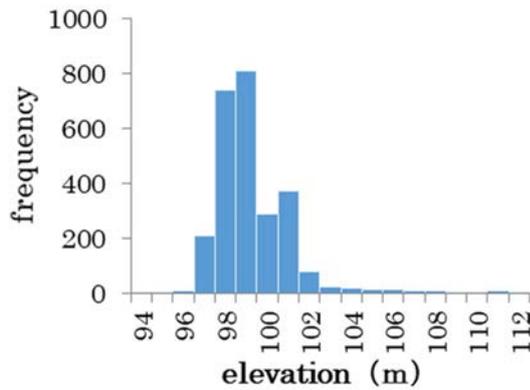


図 1.6 歪み型

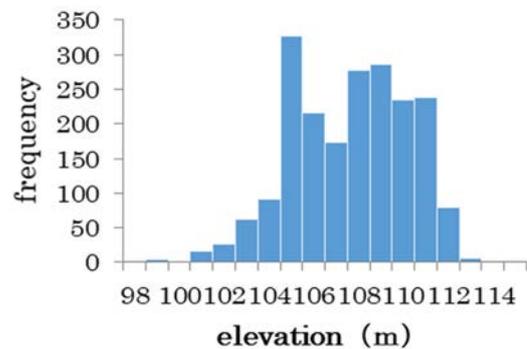


図 1.8 頻度 1 位 2 位非隣接型

ン化した。そのうち 1 m<sup>2</sup>以上の面積のポリゴンについてポリゴンの頂点の DEM データを参照して水際の地盤高（仮想水面高）を推定した。図 1.3 にハザードマップの洪水浸水想定区域内に 1 m<sup>2</sup>以上の水域を示す。

ハザードマップを河川で区切りエリアごとに、その内部の水域を抽出し、水域ポリゴン境界の標高を参照して仮想水面高を決定した。ハザードマップに示されている浸水領域を支川で区切りエリア分けを行った。それを図 1.4 に示す。エリアごとに水域ポリゴン境界の標高の頻度をヒストグラムで表した。その分布形状から仮想水面高の代表値の取り方を判別した。ヒストグラムの分布形状は通常型、歯抜け型、歪み型、頻度 1 位 2 位非隣接形の 4 種類に分類した。4 種類のヒストグラム形状の一例を図 1.5 から図 1.8 に示す。通常型は水域ポリゴン境界の上位 5%の数値の平均値をとり、歯抜け型は水域ポリゴン境界の第三四分位数をとり、歪んだ型は水域ポリゴン境界の上位 25%の数値の平均値をとり、頻度 1 位と 2 位が隣り合っていない形は中央値を仮想水面高の代表値とした。この仮想水面高と標高の差を推定浸水深として求めた。

### 1.1.2 解析結果と検証

7月4日のデータから求めた仮想水面高と範囲内の標高の差を浸水深分布として図 1.9 に示す。図中の○は浸水痕跡の調査位置を示す。推定浸水面積は7月4日では 678 ha, 7月6日は 771 ha であった。7月6日において浸水範囲が広く検出された理由としては、支川沿いの水田で浸水と判断された箇所が後者で多かったことがある。観測条件や時間差による地上被覆状況の変化に起因して、抽出された水域も異なり、仮想水面高の代表値の取り方も異なることが原因である。国土地理院は SNS 画像・航空写真

(7月4日10時までに収集されたもの)と標高データを用いて、浸水範囲および水深を推定し、図1.10で示す段彩図を公表している(国土地理院, 2020)。国土地理院の推定浸水深面積は499haである。データの取得時刻にわずかに違いがあるものの、本研究で実施した推定手法で求めた浸水域は概ね国土地理院の推定浸水範囲をカバーしており、より広範な範囲を浸水域と判定する結果であった。浸水域面積の差をもたらした箇所は支川沿いの水田や人吉城対岸の相良藩願成寺駅周辺の市街地で、こうした箇所では水域として判定された箇所が多いことが影響している。

本研究で提案する浸水深推定手法の妥当性の検証を目的として、痕跡高調査の結果との比較を行う。

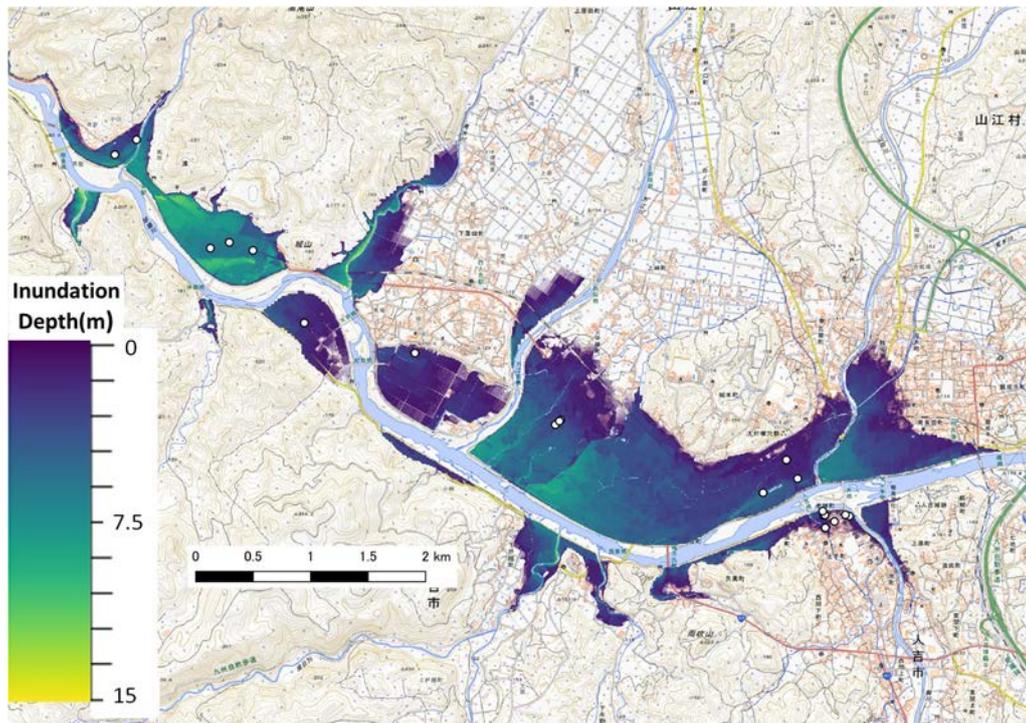


図 1.9 衛星 SAR 画像推定浸水深分布 (7月4日観測データ)

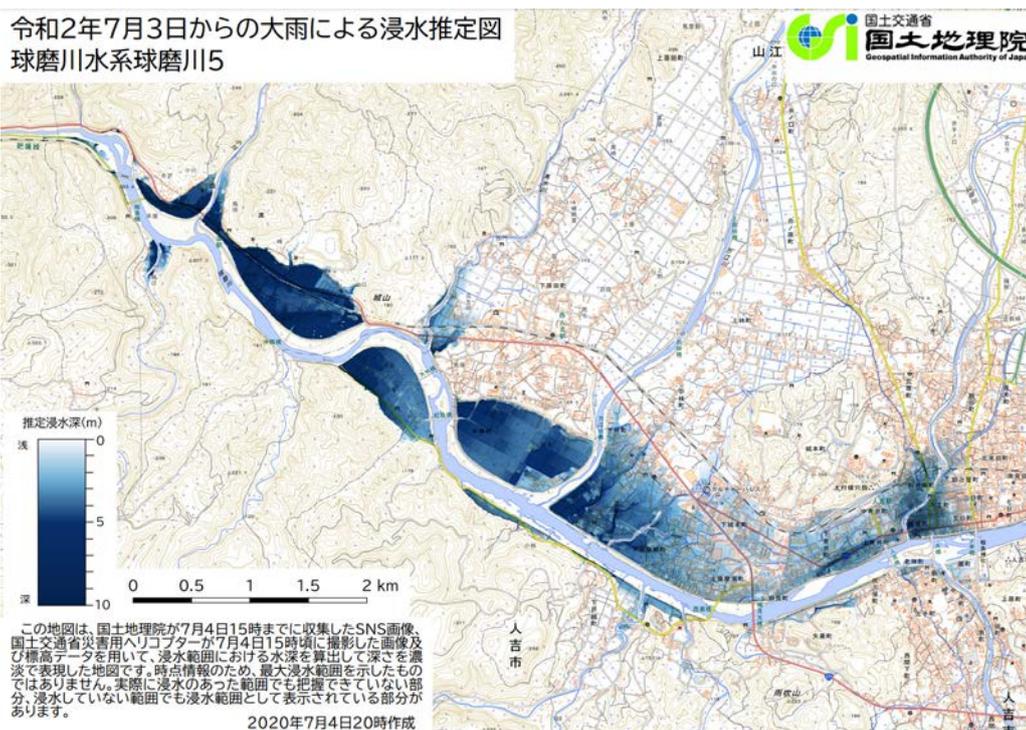


図 1.10 国土地理院による推定浸水深分布

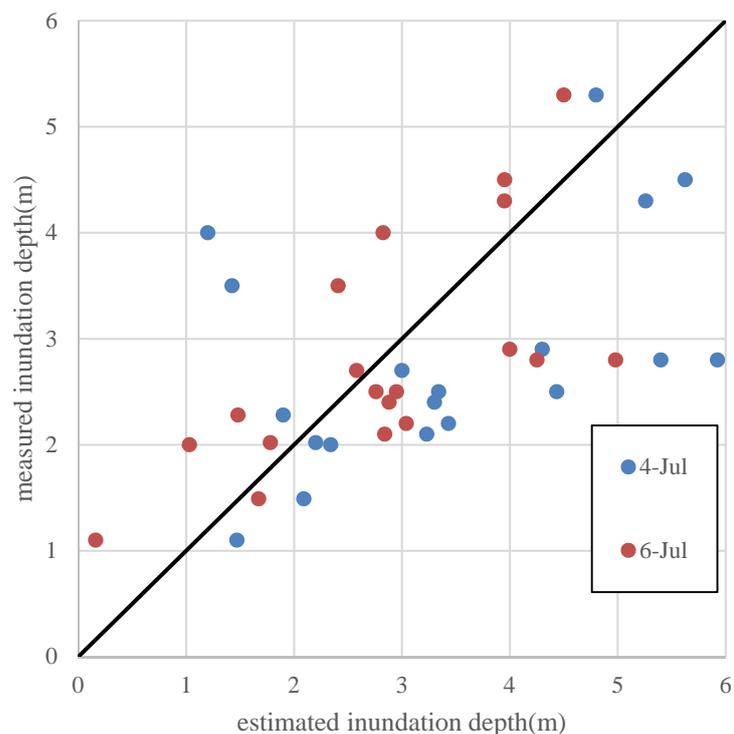


図 1.11 実測浸水深と推定浸水深の比較

図 1.11 の縦軸は痕跡高を実測浸水深としたもので、横軸は当手法によって求めた推定浸水深である。この図面に傾き 1:1 の二等分線を描き、プロットされた描点がこの線上にあれば両者の数値は一致していることになり推定精度が良好であることを意味する。水深のピークとなったと考えられる 7 月 4 日のデータを基にした推定値は実測値に対する絶対誤差平均値は 1.2 m 程度で、RMSE（二乗平均平方誤差）は 1.5 m となった。過大評価している箇所が多い。また、7 月 6 日のデータを基にした推定値もまた、一部では過大評価もみられるが、過小評価もほぼ同数となっている。こちらの絶対誤差平均値は 0.77 m で、RMSE は 0.91 m であった。いずれの推定でも、過大側に誤差が大きく振れている地点では、数値標高モデルと実測標高の差があることが影響している。しかし、全体的に提案手法による仮想水面高は、分割されたエリア内では水面勾配を考慮しないことから過大評価する傾向にあることが考えられる。

### 1.3 衛星光学画像を利用した家屋被害の検出

本節では、流況解析の検討に資するデータを得る目的で、衛星光学画像を利用し、広範に及ぶ家屋被害の検出を行った結果を示す。球磨村渡地区と人吉市市街地を含む 10 km×20km の範囲(図 1.12)を対象とし、発災前後の画像を判読し、家屋の移動や損壊、土砂等の付着状況から被災の方向を整理した。以降、本稿ではこれらの被災の方向を総称して被災方向とする。

#### 1.3.1 光学衛星画像の諸元

利用した光学画像は解像度 40 cm~50 cm 級のもので、発災前として WorldView-2 による 2015 年 5 月 5 日、発災後として GeoEye-1 の 2020 年 7 月 31 日の観測成果を利用した。観測の概要を表 1.2 に示す。表中のパンクロセンサ解像度は高解像度のパンクロマチックセンサの解像度で、マルチセンサ解像度は多波長帯センサの合成画像の解像度である。本研究では、パンクロマチックセンサ画像とマルチセンサ画像を合成した RGB+近赤外の 4 バンドパンシャープン画像を利用した。発災後の観測はこれ以前にも

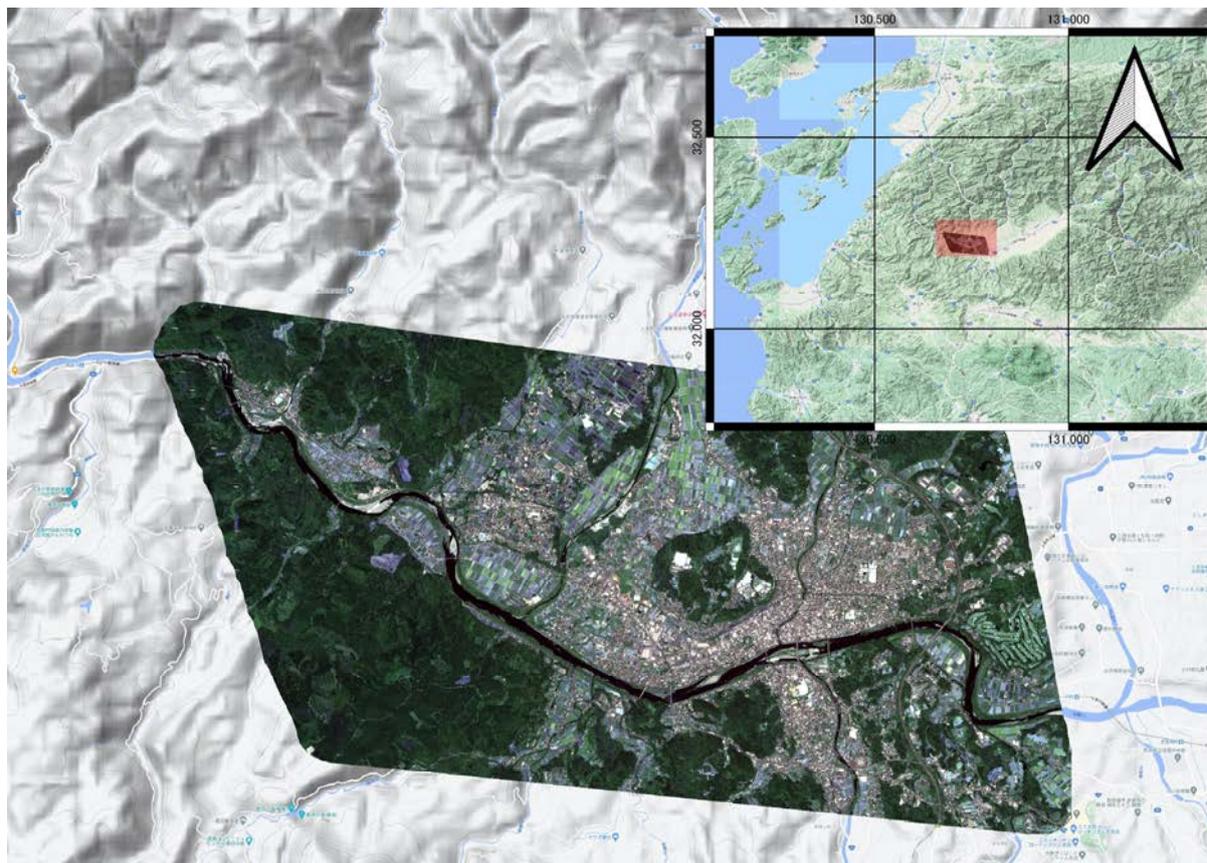


図 1.12 衛星光学画像の取得範囲と概況

表 1.2 利用した光学衛星観測の概要

衛星種別	カタログ ID	撮影日 JST	パンクロセンサ 解像度 (m)	マルチセンサ 解像度 (m)	オフナディア角 (deg)	太陽 高度 (deg)
WorldView-2	10300100424E9400	2015/05/05	0.58	2.31	27	66.1
WorldView-2	103001004236A600	2015/05/05	0.57	2.27	27	66.2
GeoEye-1	10500C0025D9B600- JJ	2020/7/31	0.47	1.89	19	67.6

複数あるが、雲量率十分低い成果が得られた中で最も発災日に近い日程ものを選択した。

### 1.3.2 家屋被災の方向分類

対象範囲の下流では多数建物の移動が見られた。また、移動していない家屋についても半壊するなどで、力を受けた方向を示唆する状況も見られた。加えて、堆積物の乗り上げや漂流物が掛かった状況が見られた家屋についても流向と対応した方向がみられるものがあった。こうした家屋について被災前後の衛星画像を用いて比較し、被災の方向を 8 方位に分類した(図 1.13)。



図 1.13 家屋被災移動方向の分類

1.3.3 流況解析と被災方向の照合

a) 流況解析の概要

iRIC ソフトウェアの Nays2D Flood ソルバを用いた計算結果と対照し、計算流況との対応を比較することで、詳細な氾濫過程を再現する上で考慮すべき事項を整理する。Nays2D Flood は一般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面 2 次元流計算による氾濫流況解析用ソルバである。上流端および左右側方の任意の複数の箇所からの非定常流量の流入条件を容易に設定できる。地形データ、粗度データ、および各河川または各流入箇所（支流等）からの流入流量データを入力して計算を行った。流量は国土交通

表 1.3 土地状況による粗度係数と建物占有率パラメータ設定

Roughness					Building occupancy
Road	Fields	River channel	Forest	Residential areas	
0.013	0.02	0.025	0.03	0.08	0.03



図 1.14 解析範囲 1 (人吉市大柿含む)



図 1.15 解析範囲 2 (球磨村渡)

省八代河川国道事務所資料および流出氾濫モデル RRI での計算結果を参考に時系列として与えた。氾濫解析の計算期間は2020年7月3日18時から7月4日の12時の計18時間とする。家屋被害が多くみられた人吉市大柿を含む計算対象範囲として、上流端を織月大橋（河口から60.0km）とし、下流端は河口から54.8km地点の4.5×1.0kmを設定した。同様に、家屋被害の多い球磨村渡についても、上流端を河口から55.4km地点、下流端を河口から52.4km地点の4.5×1.0kmの計算対象範囲を設けた。格子間隔は10mである。人吉市大柿を含む解析範囲を図1.14に、球磨村渡を含む解析範囲を図1.15に示す。計算条件として、地勢データ、粗度係数、建物占有率セル、障害物セル、流量を設定した。地勢データは国土地理院基盤地図情報DEM5mメッシュを用いた。粗度係数と建物占有率のパラメータを表1.3に示す。計算タイムステップは0.25秒とした。また本川である球磨川には上流端を始めとする下流端までの200m地点ごとに、河川横断測量データを用いた河道形状を付与して、線形補間を行った。その他の計算条件として、側方の境界条件は流入、下流端水位は自由流出と設定している。移流項の差分方法は建物への浸水を有効にするため、風上差分法を用いた。さらに初期水面形は水深ゼロと設定した。また本研究では、解析領域内での破堤や降水は考慮していない。

b) 被災方向と流況シミュレーションの対応

図1.16に人吉市大柿の光学衛星画像から得られた被災方向と流速分布及びベクトルの対応を示す。紅取橋（上流側の橋梁）周辺の越流、および山側の流下方向の流速ベクトルについては判読された被災方向と良く対応している。しかし、天狗橋から下った河岸側にみられる南西向きに被災方向に対応した流速ベクトルは見られない。これは解析では設定できてない天狗橋の基部構造が障害となって河岸側の家屋に氾濫流が流れてきたものだと考えられる。

図1.17に球磨村渡の光学衛星画像から得られた被災方向と流速分布及びベクトルの対応を示す。上流側と下流側の間付近、支流の小川までの区間では被災方向は球磨川の右岸に位置する鉄道・国道に沿って流れるベクトルと一致していることが分かる。今村・地下の辻周辺では、本川から鉄道・国道に向かって流れる北東向きへのベクトルは被災方向と対応している。より下流側で被災が集中していた船戸付近の被災方向を見ると、支川の小川の氾濫流より球磨川本川からの氾濫流による影響が強いことが見受けられる。ここでも沿道の家屋は道路に沿った移動が多かった。

鉄道や道路の通水能力を上げる意図で粗度設定を行い、こうした解析結果が得られた。適切な粗度

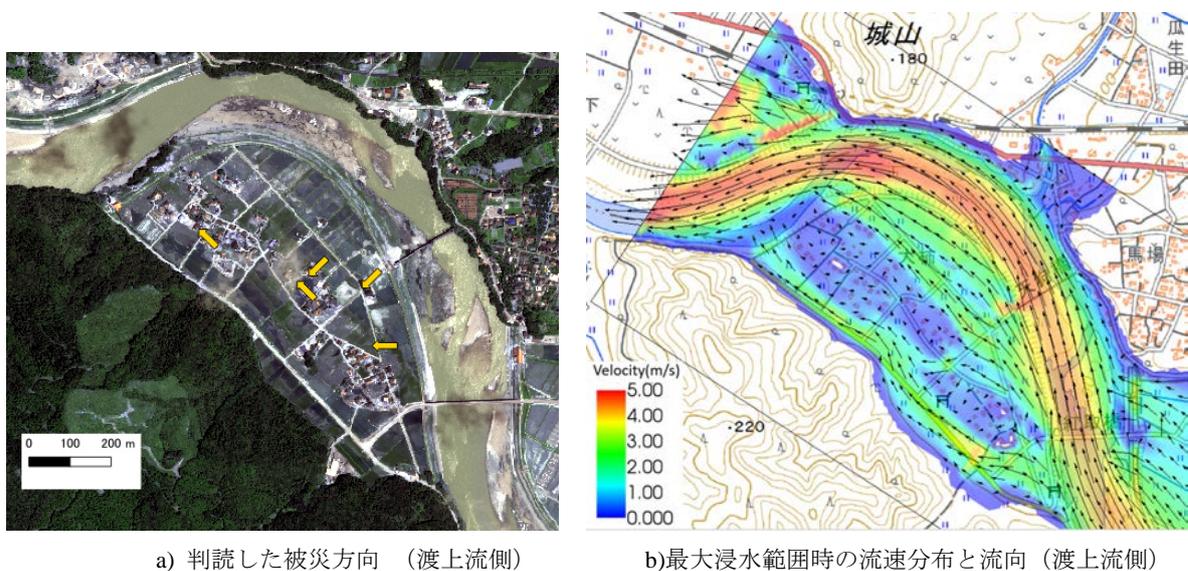


図1.16 光学衛星画像から判読した被災方向と流況シミュレーションの対応(人吉市大柿)

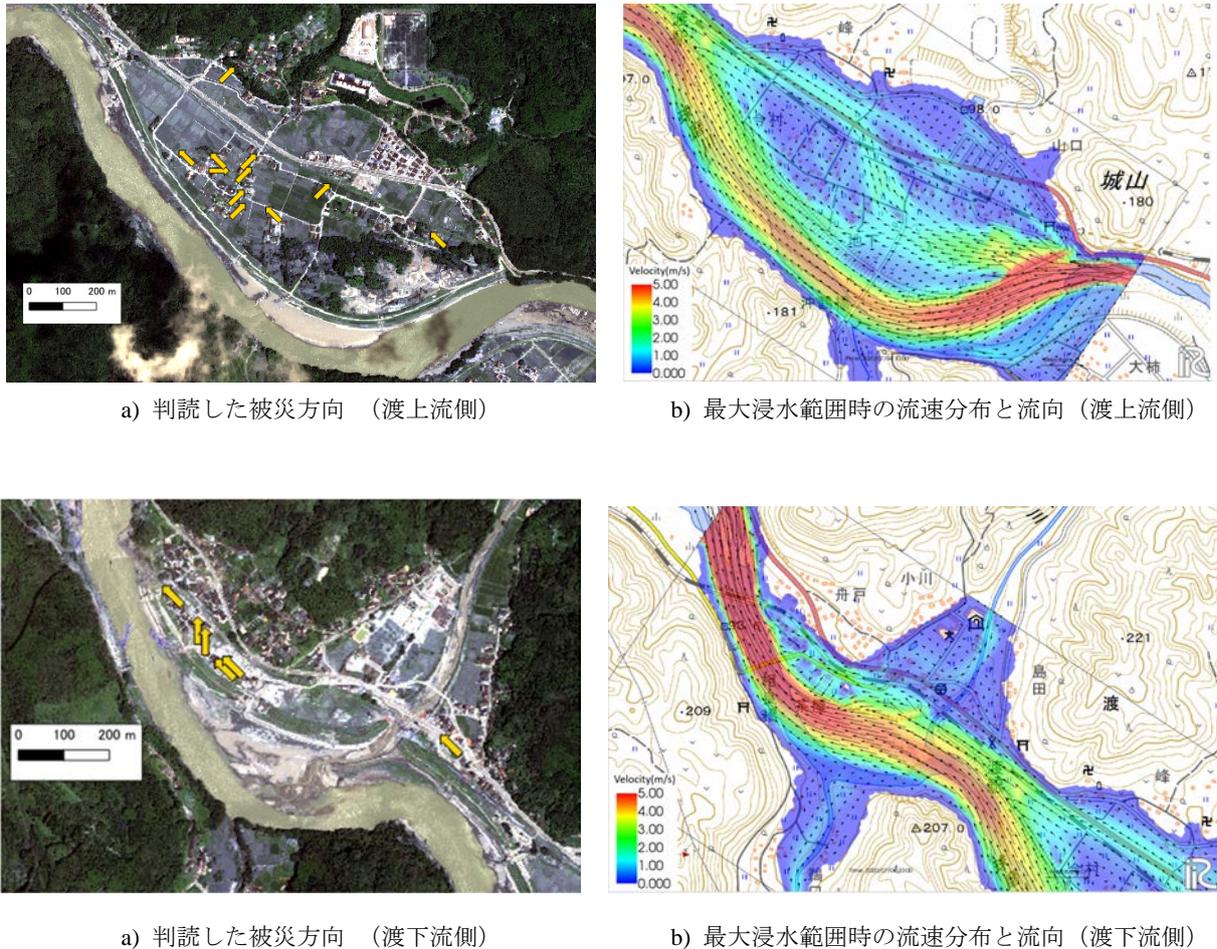


図 1.17 光学衛星画像から判読した被災方向と流況シミュレーションの対応(球磨村渡)

設定で定性的には被災方向と概ね一致する結果が得られている。一方で、球磨川本川からのピンポイントな越流については、被災方向との不一致も見られ、こうした局所的な流況を把握するには、より詳細なパラメータ設定や、解析スキームの変更を含めた検討が必要だろう。

## 2.4 まとめ

本研究では、発災後の地球観測衛星の観測結果の利用について、今後の災害発生直後の状況把握に活用するべく、PALSAR-2 合成開口レーダ画像と数値標高モデル(DEM)とを組み合わせる水深分布を推定する手法を球磨川流域の氾濫への適用を通して迅速化・高精度化に資する検討を行った。既存の氾濫想定(ハザードマップ)を利用することで、レーダ波の陰となる箇所を誤って水域として検出してしまうことを防ぎつつ、仮想水面の設定にも有用なエリア分割を行うことができた。加えて、エリアごとの浸水域境界の標高分布の整理により好適な水面高の推定が行える可能性が示された。また、民間の高解像度光学衛星コンステレーションによる日々の観測成果を利用し、洪水による家屋被害を検出、流況の検討に資するデータとするため、発災前後の家屋の移動方向等の被災の方向を整理した結果を示した。

## 2.5 今後の課題

衛星搭載型合成開口レーダは今後も発災直後の観測に運用される見込みである。防災分野としては、

## 第6編

最速で非常に広範囲の浸水状況を得られる可能性のあるデータの利用を促進すべく、今後も継続した活用手法の検討を行う。また、すでに構築された高解像度光学衛星コンステレーションを被災の定量的な検討に応用すべく、機械工業分野で利用されているエッジ検出などのコンピュータビジョン技術による異常検知などを参考に合理的・省力的な自動検出スキームの構築を目指す。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)西日本衛星防災利用研究センターにはデータ提供等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 大木 真人・渡邊 学・夏秋 嶺・本岡 毅・永井 裕人・田殿 武雄・鈴木 新一・石井 景子・伊藤 拓弥・山之口 勤・島田 政信：ALOS-2 PALSAR-2 データによる平成 27 年 8 月関東・東北豪雨の洪水域把握と精度検証，日本リモートセンシング学会誌 36(4), 348-359, 2016.
- 国土交通省「国土数値情報(洪水浸水想定区域データ)」[https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2\\_1.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2_1.html) (2020 年 12 月 4 日取得)
- 国土交通省九州地区整備局八代河川国道事務所，早よみなっせ球磨川リアルタイム防災情報，<http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/kumagawa/bousai/camera0000.html> (2020 年 10 月 24 日取得)
- 国土地理院 令和 2 年 7 月 3 日からの大雨による浸水推定図 球磨川水系球磨川人吉市周辺 [https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/202007/shinsui/01\\_shinsui\\_kuma\\_01.pdf](https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/202007/shinsui/01_shinsui_kuma_01.pdf) (2020 年 10 月 25 日取得)
- 白水 元・金城 海輝・山本 晴彦・朝位 孝二：合成開口レーダーを用いた浸水域および浸水深および浸水深の推定法に関する研究，土木学会論文集 B1 (水工学)，75 巻 2 号，p.I\_1471-I\_1476，2019.
- 防災科研「令和 2 年 7 月豪雨に関する防災科研クライシスレスポンスサイト」，<http://crs.bosai.go.jp/DynamicCRS/index.html?appid=eb80ae7c6baa4754914c1b8310be9c4c>，2020.



## 第2章 SNS情報の解析による浸水深と氾濫流速の算定

群馬大学 鶴崎 賢一, 九州大学 田井 明, 鹿児島大学 齋田 倫範  
日本文理大学 池畑 義人, 福岡大学 橋本 彰博, 佐賀大学 押川 英夫

### 2.1 SNS情報の解析による被害実態の把握の必要性

#### 2.1.1 令和2年7月九州豪雨水害の特色

九州地方は、この10年間に3回の水害を被っており、12、17年は九州北部の福岡・大分県地域に集中した被害も、20年は九州全域に広がった。死者・行方不明者の数もうなぎ上りであり、今回は84名にも及んだ。12、17年の災害は、無数の斜面崩壊を含む山地の中小河川を中心とした土砂災害の特色が強いが、20年の災害は芦北町等で崖崩れが見受けられるものの、基本的には河川氾濫による水害の特色が強い。さらに大きな特色は、線状降水帯が長期にわたって南部から北部に停滞したことによる①広域的災害であることと、②コロナ禍で調査団・ボランティアの活動が制限されたことである。近年の九州地方における3回の水害の傾向からしても、また、今回の水害に関連して岐阜県の飛騨川でも氾濫が発生し、静岡県でも特別警報が発令されたことから、今後、降雨災害の広域化が懸念され、コロナ禍についても収束の長期化は避けられない。また、地球温暖化の影響が懸念される中で、降雨強度の上昇も各地で確認されており、それらによる③水害の頻発化・甚大化の傾向も疑う余地はない。こうした①～③の問題点を抱える中で、水害調査団としては、現地調査、災害機構の検討、対策を含めた提言のとりまとめは迅速に行われる必要性があり、とくに **Water Mark** を含めた水害痕跡高の現地調査は、市街地の迅速な災害復旧や降雨による消失の理由でから、災害後すぐに取り組むことが必要不可欠である。こうしたことから、本災害に限らず、コロナ禍で人員制限がある広域災害に迅速に対応するためには、現地調査をサポートする新しい技術提案も必要である。

#### 2.1.2 SNS情報の解析による被害実態の把握の有用性と問題点

近年のスマートフォンの急速な普及に伴って、一般市民の投稿画像がネット上に溢れるようになってきている。警察庁も災害に関する一般市民の投稿画像を募集するHP ([https://www.npa.go.jp/policy\\_area/saigai-toukou.html](https://www.npa.go.jp/policy_area/saigai-toukou.html)) を立ち上げており、こうした投稿画像を災害調査に活用する動きもみられるようになってきた。17年の九州北部豪雨災害においても、土木学会の調査団の一部でこうした技術開発の重要性は指摘されており、そこで今回の水害調査に際して、九州大学と群馬大学を中心に「SNS情報の解析による浸水深と氾濫流速の算定」という検討を行った。SNS情報の長所は、①広域的に情報収集が可能であること、②現象そのものが撮影されていること にあり、それ故に広域的な浸水深や氾濫流速の算定が可能である。一方で短所は、①撮影時間と場所が不明なものが多い、②遠近法やレンズの歪みの問題がある、③画角が移動する、④人の居住域以外の情報が少ない ことにあり、こうした点を解決していくことが求められる。しかしながら、とくに氾濫時の動画等、実際の現象が撮影されている点は非常に重要である。国土地理院も今回の災害についてAI技術を導入してSNS情報を利用した取り組みを行っているが、彼らはSNS情報の検証に関してAI技術を用いており、その後の浸水深解析に関しては著者らと類似した手法を用いている。本調査団においては、調査団の実測結果と比較検討できる利点を活かしながら、SNS情報の解析によって広域的な浸水深と氾濫流速を算定する試みを行った。

## 2.2 SNS情報の解析手法

### 2.2.1 画像・動画収集

SNS情報の収集は、twitter, facebook, youtubeを中心に、ネット上のHPの画像・動画を検索して行った。図2.1に、解析に使用したtwitter画像の一例を示す。また、表2.1に収集画像・動画の投稿日時とURLのリストの一部を示す。



図 2.1 人吉市九日町 ISUMI 本店前

(<https://twitter.com/masudapodo/status/1279317437507223552/photo/1> より引用)

表 2.1 収集画像・動画の詳細情報 LIST の一部

場所	投稿日	投稿日時	URL					
串木野	7月3日	21:29	<a href="https://twitter.com/Air_kk_4/status/1279029430715772928">https://twitter.com/Air_kk_4/status/1279029430715772928</a>					
甲突川	7月3日	22:35	<a href="https://twitter.com/i/status/1279046032525897728">https://twitter.com/i/status/1279046032525897728</a>					
郡山町坪久田	7月3日	23:28	<a href="https://twitter.com/i/status/1279059383960256514">https://twitter.com/i/status/1279059383960256514</a>					
芦北町民家	7月4日	5:22	<a href="https://twitter.com/i/status/1279148527529033729">https://twitter.com/i/status/1279148527529033729</a>					
芦北町夜道路	7月4日	4:55	<a href="https://twitter.com/i/status/1279141707682996224">https://twitter.com/i/status/1279141707682996224</a>					
川内	7月4日		<a href="https://twitter.com/yta0714/status/1279160788838518785">https://twitter.com/yta0714/status/1279160788838518785</a>					
津奈木町	7月4日	6:04	<a href="https://twitter.com/masatakamano/status/1279158999447789568">https://twitter.com/masatakamano/status/1279158999447789568</a>					
津奈木町	7月4日	7:04	<a href="https://twitter.com/masatakamano/status/1279174978261225474/photo/1">https://twitter.com/masatakamano/status/1279174978261225474/photo/1</a>					
人吉城址	7月4日	10:15	<a href="https://twitter.com/masa_yagami/status/1279222177506586624/photo/1">https://twitter.com/masa_yagami/status/1279222177506586624/photo/1</a>					
球磨川	7月4日	10:02	<a href="https://twitter.com/i/status/1279219012472147969">https://twitter.com/i/status/1279219012472147969</a>					
万江川	7月4日	11:25	<a href="https://twitter.com/tVvQfySbdcUtTNg/status/1279239831076237313/photo/1">https://twitter.com/tVvQfySbdcUtTNg/status/1279239831076237313/photo/1</a>					
西瀬橋	7月4日	9:46	<a href="https://twitter.com/8ha8ch18/status/1279215006039437312/photo/1">https://twitter.com/8ha8ch18/status/1279215006039437312/photo/1</a>					
八代市坂本	7月4日	7:32	<a href="https://twitter.com/mymor/status/1279181163605549056/photo/1">https://twitter.com/mymor/status/1279181163605549056/photo/1</a>					
佐敷川	7月4日	8:02	<a href="https://twitter.com/s_nwpddddd/status/1279188761008467968/photo/1">https://twitter.com/s_nwpddddd/status/1279188761008467968/photo/1</a>					
人吉	7月4日	8:30	<a href="https://twitter.com/kenseasy/status/1279195849440980992/photo/1">https://twitter.com/kenseasy/status/1279195849440980992/photo/1</a>					
御所浦	7月4日	8:41	<a href="https://twitter.com/i/status/1279198487754596354">https://twitter.com/i/status/1279198487754596354</a>					

SNS 情報の収集に関しては、①痕跡物・WM、②場所、③撮影時間 の特定が重要であり、加えて浸水深や氾濫流速を算定する際に、④長さスケールがわかる対象物、車であったり街燈であったり、これを **reference item** と呼んでいるが、これが写り込んでいることが必要である。②、④が不明であっても、②の特定につながるような特徴、例えば店の名前や特徴的な建造物が写っていれば、後に **Google Street View** を用いて場所を特定することが可能である。以下に、SNS 情報の解析フロー・チャート(図 2.2)を示す。

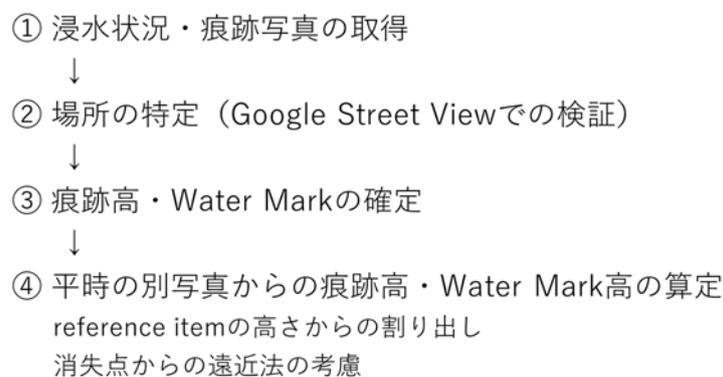


図 2.2 SNS 情報の解析フリー・チャート

図 2.1 は、ISUMI という人吉市内のスーパー・マーケットの前のバス停であり、このことから人吉市九日町のバス停と特定できる。バス停屋根の街燈拡声器付近に痕跡物が認められるが、その一方で画面左上のガラス板に明瞭な WM が確認できる。痕跡高さよりも WM 高さの方がやや高い。ここで問題点は、①上述の4点を満足している SNS 情報を数多く収集すること、②reference item の高さの割り出し、③遠近法やレンズの歪み等を考慮した画像解析 に時間を要することであり、これらの点が今後の改良点となる。この点に関しては、国土地理院と共同研究を行っている民間企業と連携し、半自動的に収集された上で AI 技術を用いて真偽検証された災害画像データ・ベースを活用していく予定である。

### 2.2.2 浸水深の算定

図 2.2 の浸水深の算定において、reference item は、①バス停の屋根高さ、②街燈拡声器の高さ、③右下の車 (HONDA オディッセイ) の車高 が考えられるが、本解析では②を用いた。図 2.3 に、平時の九日町の別写真から、reference item を SUZUKI の初代ワゴン R として、その車高 1650 mm をもとに街燈高さを求めた結果を示す。この結果から、街燈高さ=3.94 m となった。また、別の写真解析からは、街燈高さは 4.075 m と解析され、ほぼ一致する結果となった。図 2.4 に、街燈高さ と Google Street View による別角度の静止画から求めた、図 2.1 左上の WM 高さの算定結果を示す。その結果、WM 高さ=3.118 m となり、図 2.1 左上の WM についての九大の実測値 3.21 m と 9.2 cm の差となった。

人吉市九日町バス停の痕跡高は、明瞭な WM が残っているため、これを HWL として算定することで、時間の特定は不要であった。図 2.5 に、人吉市青井阿蘇神社の浸水深算定結果を示す。図は twitter からの引用であり、投稿時間は 7 月 4 日の 15:03 となっている。球磨川本川・渡の水位データから判断すると、7 月 4 日は 8:30 頃から 13:00 頃まで欠測となっている。その為、氾濫ピークやや過ぎた時点で投稿している。最初の画像解析では、鳥居下の梁が視認できずに水面高さを図 2.6 の赤線上の黄色線と誤認したが、調査団内での検討から改めて写真を解析すると赤線高さが水面高さであると確認され、



図 2.3 平時の人吉市九日町 (<http://tamagazou.machinami.net/hitoyoshishigaichi.htm> より引用)



図 2.4 WM 高さの算定 (Google Street View より引用)

九州大学による鳥居高さの実測値から赤線高さを算定すると、4.24 m となった。熊本大学による青井阿蘇神社周辺の痕跡高は 4.3 m であり、先程の投稿時間から判断してもほぼ HWL であると判断された。この場合は鳥居高さを実測しているが、このように浸水深が異常に大きい場合で実測が困難であっても、SNS 情報の解析を応用すれば、ある程度の精度で浸水深を算定することが可能である。

表 2.2 に、筑後川流域（天ヶ瀬町・大牟田市）と球磨川流域（人吉市，八代市芦北町）における SNS 情報の解析による浸水深の算定結果と実測値との比較を示す。赤字で示されたものが、現地調査による実測値との比較である。表から、玖珠川・天ヶ瀬橋やあまがせ荘での算定値以外はいずれも実測値と 10cm 以内の差異であり、大牟田市樋口町はほぼ一致、天ヶ瀬町山田屋では 2.2 cm と非常に高い精度で算定が可能であることがわかる。ここでの問題点は、①水面位置の誤認、②reference item、とくに車について車種の誤認 等が挙げられる。その解決の為には、複数の SNS 情報の解析結果によるクロス・チェックが必要である。また、図 2.1 に示したように、加えて 2.3 玖珠川：天ヶ瀬町の氾濫でも触れるように、

青井神社鳥居 7月4日15:03

<https://twitter.com/afrojapones/status/1279294725300776960/photo/1>



図 2.5 人吉市青井阿蘇神社 (<https://twitter.com/afrojapones/status/1279294725300776960/photo/1> より引用)

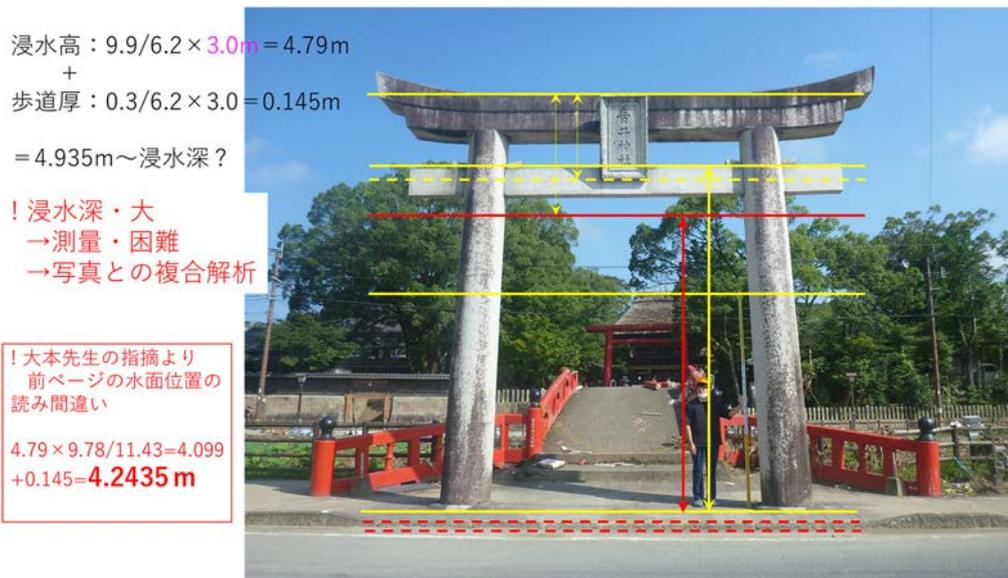


図 2.6 青井阿蘇神社鳥居 (九州大学田井先生撮影)

③痕跡高=HWL とも限らない場合もあることから、SNS 情報は WM が映り込んでいるものが最優先であり、痕跡高を解析するのであれば、それについても複数の SNS 情報の解析と時間の判断が必要であると言える。

### 2.2.3 氾濫流速の算定

氾濫流速については、動画をもとに画像解析から算定した。図 2.7 に、動画解析に用いた大分合同新聞ニュースの動画から切り出した静止画を示す。動画形式は様々あるが、今回解析に使用した動画は mov か mp4 形式のものであり、少なくとも後者は 29.97fps (frame per second) で静止画をつなげたものであることが多い。そこで解析動画の解析対象 frame を”Super Bara Baby X”というフリー・ソフトを用いて切り出す。その際、①場所の特定、②reference item の特定、③トレーサーとなる漂流物が写ってい

表 2.2 SNS 情報の解析結果と実測値との比較

	種別	浸水深 m	HWL m	実測値 m	差 m	
天ヶ瀬橋	痕跡高	1.305	196.223	195.855	0.368	右岸
人吉市九日町IZUMI前	痕跡高	3.118		3.21	0.092	
九日町交差点	痕跡高	3.097				
人吉市夫婦えびす神社	痕跡高	3.231				
青井神社	浸水高	4.243		4.3	0.057	2020/7/4 15:03
大牟田市樋口町	浸水高	0.487		0.489	0.002	2020/7/6 16:23
大牟田市旭町（高専ダゴ）	浸水高	0.873		0.8	0.073	2020/7/6 夕方
芦北町佐敷川	浸水高	0.931				2020/7/4 7:29
佐敷駅	浸水高	0.532				2020/7/4 7:00
芦北町小田浦	痕跡高	0.813				
あまがせ荘（天ヶ瀬温泉）	痕跡高	2.49		2.3	0.19	
山田屋（天ヶ瀬温泉）	痕跡高	1.478		1.5	0.022	

ることが条件となる。加えて、一般市民が撮影した動画の特徴は左右へのパンである。その為、左右にパンした距離がわかるような固定物も必要である。図 2.7 においては、①場所は天ヶ瀬橋と天龍荘の位置から、天ヶ瀬橋やや上流左岸であり、②reference item は道路脇の柵の 1 スパンの距離である。③トレーサーは写真下の漂流板の黄色○印の点である。④固定物は画面左上の街灯である。Google street view による解析から柵の 1 スパンの距離は 2094.4 mm であり、街灯の位置から右に 881.85 mm パンしたことがわかる。漂流物の移動距離は、それによる移動分を差し引いて 1791.3 mm であり、この動画は 30 fps であることから、20 frame 分の移動距離とすると、ラグランジェ流速は 2.685 m/s ということになる。撮影時間の特定については、画面奥の天ヶ瀬橋での水位が桁下よりかなり低く、玖珠川の水位データや後述する図 2.10 から HWL は 11:00 頃であり、天ヶ瀬橋の痕跡高の画像解析から、HWL は欄干上であることがわかっていることから、この投稿動画はやや水位が低下した昼過ぎから夕方にかけての撮影であることが推察される。図 2.8 に、7 月 7 日 9:05 に投稿された、天ヶ瀬橋右岸の天龍荘からの撮影動画を用いた氾濫流速の解析結果を示す。図から、右岸では 2.093 m/s の氾濫流速であり、投稿時間と橋下の水位から判断すると、ほぼ HWL に近い時刻の氾濫流速と考えられる。天ヶ瀬橋は左岸堤防よりも右岸堤防が高くなっており、時間・差・流速差はこうした堤防高さの差に起因しているものと考えられる。

### 2.3 玖珠川：天ヶ瀬町の氾濫

こうした解析手法を用いて、筑後川の支流・玖珠川の天ヶ瀬温泉街における浸水深の空間分布を求めた。図 2.9 に、天ヶ瀬橋における出水痕跡を示す。図から、欄干上面が HWL と推定されたが、上流側の欄干には一切痕跡が認められないことから、上流側では欄干上面を越える流れがあり、下流側の欄干ではやや水位が下がって痕跡が残ったものと推定された。図 2.10 に、天ヶ瀬橋における HWL 時のものと推定される静止画を示す。この図から、上述した推定が裏付けられ、痕跡高=HWL でない場合の問題点が指摘された。図 2.11 に痕跡高と氾濫流速の空間分布を示す。現段階ではまだ解析点が少ない為に詳細な氾濫状況がつかみ切れないが、温泉街上流側でやや水位が高い傾向が見て取れる。とくに上流のあまがせ荘においては 2.49 m と非常に大きな値となるが、これは高知高専の岡田先生の実測値 2.30 m とほぼ一致している結果となっている。



図 2.7 玖珠川における氾濫流速の算定（大分合同新聞ニュースより引用）

## 2.4 球磨川・人吉市，佐敷川・芦北町の氾濫

### 2.4.1 浸水深の算定

球磨川・人吉市における浸水深の算定結果は図 2.1，5 に示した。図 2.12 に，佐敷川・芦北町における氾濫水深の算定結果を示す。図中右上の看板から，GSV によって，佐敷川左岸の国道 27 号線交差点と場所の特定を行った。GSV 中の reference item である車の車高から横断用信号上面の高さと押し釦上面の高さを求め，押し釦と水面の高さから浸水深を 0.931m と算定した。投稿時間は 4 日 7 : 29 であった。図 2.13 に，芦北町の別の場所において浸水深を算定した結果を示す。こちらは WM が明瞭に残っており，車高から浸水深は 0.813m と算定され，これが HWL である。また，7 : 00 頃の佐敷駅の水没画

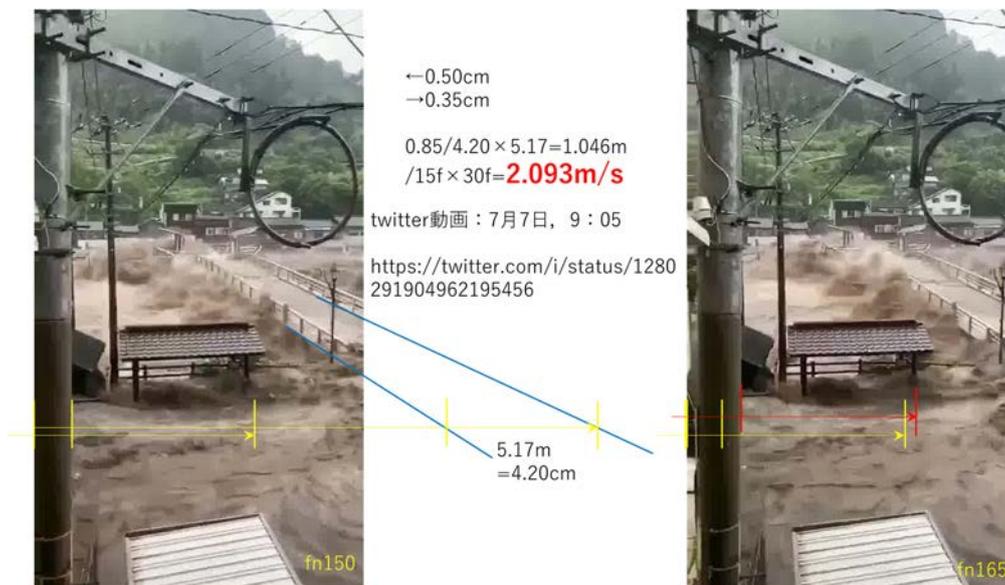


図 2.8 天龍荘からの投稿画像による氾濫流速解析（<https://twitter.com/i/status/1280291904962195456> より引用）



図 2.9 玖珠川・天ヶ瀬橋の出水痕跡  
 (天ヶ瀬橋付近の被災状況 - 大分のニュースなら 大分合同  
 新聞プレミアムオンライン Gate (oita-press.co.jp)より引用)



図 2.10 玖珠川・天ヶ瀬橋 ([https://twitter.com/kojiro1208\\_t/status/1280323452021256193](https://twitter.com/kojiro1208_t/status/1280323452021256193) 7/7 11:11)

像から、浸水深が 0.532m と算定された。これらの結果から、芦北町では 7:30 頃が HWL であり 0.813, 0.931m が最大浸水深と判断された。

#### 2.4.2 氾濫流速の算定

図 2.14 に、球磨川・人吉市における氾濫流速の算定結果の一例を示す。図は、youtube にアップされた JNN 報道特集の動画から切り出した 96 frame の静止画である。動画中では、球磨川の大橋の映像から左にパンしており、GSV から九日町国道 445 号線と特定された。黄色の十字線が 10 frame 前の 86 frame の静止画における横線：漂流物右上端の水平位置，縦線：横線が電柱右端と交わる水平位置，●印：電柱における水面位置であり，緑色の十字線が 96 frame において同様の割り出しをした結果である。従って，●から●への青色の移動ベクトルが画角の右方向へのパンによる移動であり，黄色の十字点から緑の十字点への黒色の移動ベクトルが漂流物の移動を示す。黒ベクトルと起点を同じくして青ベクトルを描くとほぼ同方向であり，このベクトル差が 8.4563m と算定した。これについては，図中右奥の黒壁の建物の幅と遠近法から，ほぼ妥当な値と確認されている。これらの結果が，29.97fps の動画における 10 frame 間の移動であることから，ラグランジェ的な氾濫流速は 1.671m/s と算定された。他の frame 間では，それぞれ 1.671, 2.0423m/s と算定された。動画は午前 9:00 頃となっている。当日，著者は同じ時刻にニュースで氾濫の様子を見ており，9:30 から市房ダムが緊急放流の予定との報道があったことから，この動画は氾濫直後のもので，そのためやや緩やかな氾濫流速となっているものと考えられる。

## 2.5 結論と今後の課題

SNS 情報の解析によって浸水深と氾濫流速の算定手法の構築を行った。表 2.2 に示すように，解析結



図 2.11 天ヶ瀬町における浸水深と氾濫流速の空間分布

芦北町佐敷川 7月4日, 7:29  
<https://twitter.com/i/status/1279180557989994496>

信号上面高～押しボタン上面高:  
 $(5.9 - 1.9) / 1.9 \times 1.407 = 2.962\text{m}$

押しボタン上面高～水面:  
 $0.9 / 5.6 \times 2.962\text{m} = 0.476\text{m}$   
 $1.407 - 0.476 = 0.931\text{m}$   
 ～浸水深



図 2.12 佐敷川・芦北町における浸水深算定①

ANN NEWS 中継 熊本・芦北町

12人が不明 浸水・土砂災害の熊本・芦北町から報告(20/07/04)

水が住宅に…土砂崩れも 家屋倒壊で12人不明

日産モコ (H16年12月 モデル)	
ボディタイプ	軽-RV系
ドア数	5ドア
乗員定員	4名
型式	CBA-MG21S
全長×全幅×全高	3395×1475×1590mm

$4.6 / 9.0 \times 1.59 = 0.813\text{m} \sim \text{浸水深 (WM)}$

図 2.13 佐敷川・芦北町における浸水深算定②



図 2.14 球磨川・人吉市における氾濫流速の算定結果の一例

果は実測値とほぼ数 cm 以内の誤差に収まることがわかった。氾濫流速は検証が難しいが、PTV 手法による解析であり、ほぼ真値であると推察できる。SNS 情報の解析は、今後、非常に重要な災害調査手法になると考えられるが、以下に挙げられる改善点が山積されている。

#### ① 算定精度の向上

- ・WM 高≠痕跡高 → より多くの画像解析による精査、調査結果とのクロス・チェック
- ・浸水画像の投稿時刻≠撮影時刻 → 同上、車種の特特定ミス → 明瞭な画像の取得
- ・遠近法・レンズの歪み補正の精確性 → 明瞭な画像の取得とより精緻な画像解析手法の適用

#### ② 作業の効率化

- ・遠近法・レンズの歪みの自動補正
- ・twitter, facebook, youtube, tiktok 等の自動検索, 真偽の検証 ※ → 民間企業との連携 (AI 技術を用いた SNS 情報データ・ベースを活用)
- ・現地調査とのクロス・チェック → 画像の見方の修正

#### 謝辞

本調査を遂行するにあたり、本調査団の九州大学、熊本大学、佐賀大学、鹿児島大学、日本文理大学、高知高専の先生方から調査データ等をご提供いただいた。また、(株) Spectee の方々には AI 技術の活用について有益な知見をご提供頂いた。ここに記して謝意を表す。群馬大学理工学部環境創生理工学科の大橋直也君には、一部の画像解析に担当頂いた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター災害調査速報 (<https://cwmd.kumamoto-u.ac.jp/disaster/survey/>)

### 第3章 沿岸水環境への影響

熊本県立大学 小森田 智大 九州大学 田井 明・杉原 裕司

#### 3.1 はじめに

令和2年7月は人吉・芦北地方で甚大な被害が生じた7月3日以降もほぼ九州全域にわたり雨が降り続いた。図3.1に朝倉、阿蘇乙姫、人吉、八代、日田の過去10年間の7月の月間降水量の経年変化を示している。九州北部地方で甚大な被害が生じた2012年以降、全ての点で2020年は最大値を記録していることが分かる。2012年九州北部豪雨、2017年九州北部豪雨の際にも大量の淡水や流木、土砂が沿岸海洋に流入し水環境へ悪影響を与えたことが報告されている(田井, 2020)。淡水の流入による浮力加入は密度成層を強化し底層の貧酸素化を招くことや、大量の栄養塩の流入により赤潮の大規模化が生じることが懸念される。図3.2に、水産研究・教育機構が有明海湾奥部で実施した

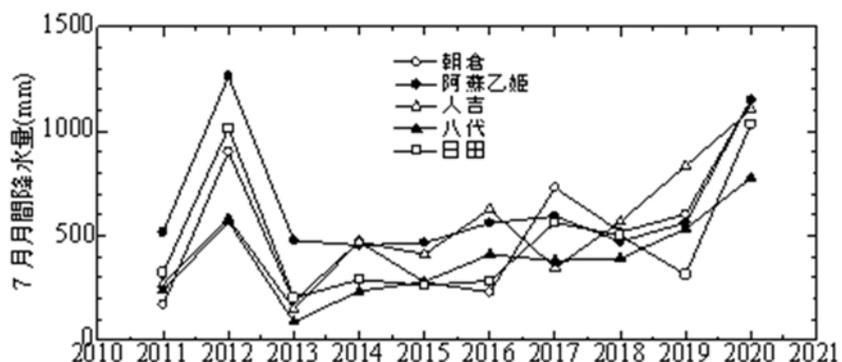


図3.1 7月の月間降水量の経年変化

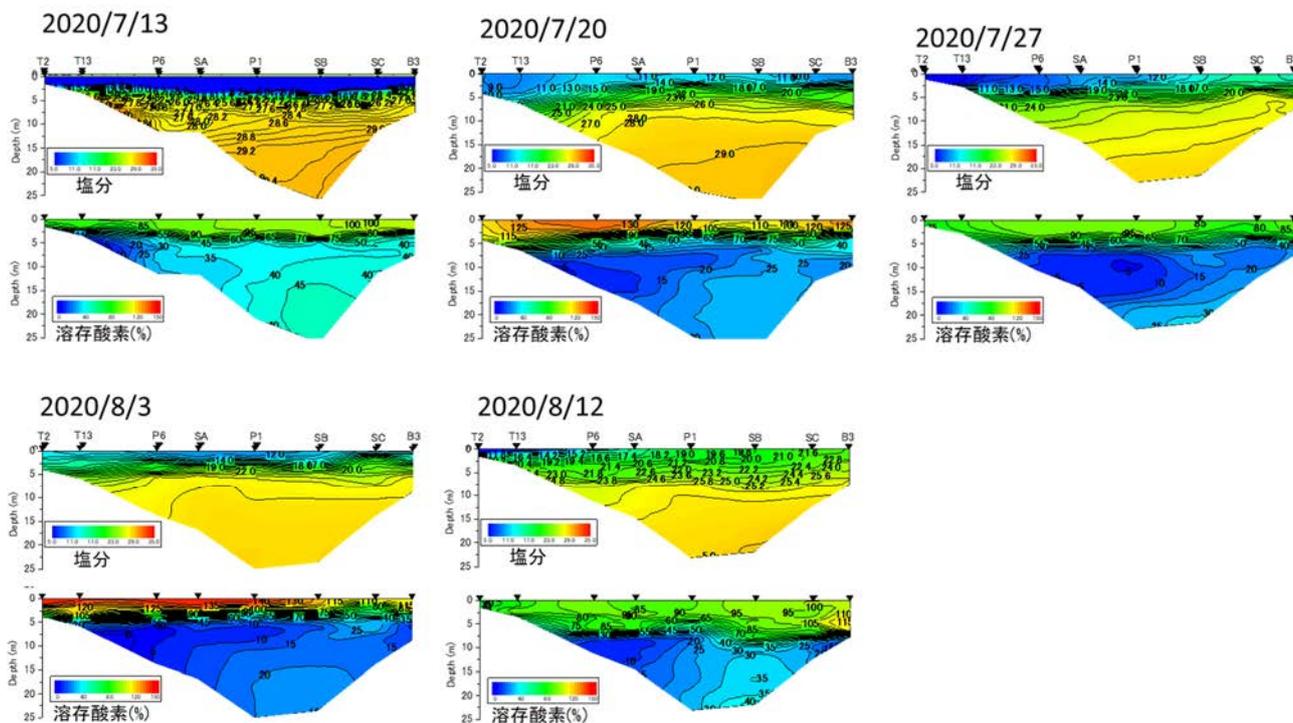


図3.2 出水後の有明海湾奥西部の塩分及び溶存酸素の分布

(本図は、水産庁委託事業(漁場環境改善推進事業)により、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所が観測した結果をもとに作成したものである。)



図 3.3 図 3.2 の観測測線の位置 (有明海湾奥断面)



図 3.4 調査地点. stn1～14 は水質観測点, stnT は熊本県水産研究センターによる観測点を示す.

調査結果 (水産研究・教育機構 水産技術研究所有明海・八代海グループ a, b, c) を示す. 測線の位置は図 3.3 の有明海湾奥断面である. 有明海湾奥部では, 7月6日の出水後, 強い塩分成層が生じ, 7月9日は貧酸素状態となり, 8月中旬まで広範囲な貧酸素状態が継続したことが分かる.

本章では, 豪雨による出水が沿岸水環境へ与える影響の一端を解明するために, 豪雨後に八代海沿岸を対象に観測を行い水環境への影響を調査した結果, および水産業への影響について漁業者へ聞き取り調査を行ったのでその結果を報告する.

### 3.2 研究方法

2020年8月3日に Stn 1 から Stn 14 において(図 3.4), 多項目水質計(EXO, YSIXylem)を用いて水温, 塩分, クロロフィル蛍光, 溶存酸素濃度 (以下, DO), 濁度を 0.5 m 間隔で測定した. 同時に表層水をバケツで採取し, クロロフィル a 濃度 (Chl-a 濃度), 懸濁物濃度 (SS 濃度), 溶存無機態窒素濃度 (DIN=硝酸態窒素+亜硝酸態窒素+アンモニア態窒素), 粒状有機態炭素濃度 (POC 濃度), 粒子状窒素濃度 (PN 濃度), POC の炭素安定同位体比 ( $d_{13}C$ ), PN の窒素安定同位体比 ( $d_{15}N$ ) 用サンプルとした. Stn T においては, 熊本県水産研究センターが自動観測ブイを用いて 20 分間隔で水温, 塩分を観測しており, 公開されているデータを取得した.

Chl-a 濃度定量のため, 海水サンプルの 50-200 mL を, 25 mm 径の GF/F フィルター (Whatman)を用いて濾過を行った. GF/F フィルターを N, N-ジメチルホルムアミドで抽出した後, 蛍光光度計 (TD700 Fluorometer, Turner Designs, USA) を用いて, 非酸化蛍光法で Chl-a 濃度を測定した. 栄養塩測定用サンプルは孔径 0.45  $\mu m$  のシリンジフィルター (DISMIC 25CS, Advantec, Japan) を用いて濾過後に冷凍保存し, 研究室に持ち帰った後, DIN 濃度は栄養塩自動分析機 (QuAAtro 2-HR, BLTEC, Japan)を用いて定量

第6編

した (Strickland and Parsons, 1972) . 懸濁粒子用に採水したサンプルは, それぞれ 100-500 mL の海水サンプルを, 450°Cにて 4 時間強熱したガラスフィルター (GF/F, Whatman 0.7 μm) で吸引濾過した後, フィルターをアルミホイルで包んで凍結保存した. その後, 凍結乾燥し, 重量を計測し, SS 濃度を算出した. なお, 得られた Chl-a 濃度および SS 濃度を用いて, センサーの蛍光値および濁度と実測値間の関係式をそれぞれ作成し, センサーの読み取り値を濃度に換算した (Chl-a:  $r^2=0.57$ , SS:  $r^2=0.6$ ) . それぞれのフィルターは, 塩酸を用いて無機炭酸塩を除き, 凍結乾燥後, 元素分析計 (NC-2500) で POC, PN 濃度を測定し, 元素分析計に接続された質量分析計 (DELTA plus, Thermo Fisher Scientific) で d13C, d15N を測定した. d13C は, 以下の式を用いて示した.

$$d13C = [R_{Sample} / R_{Standard} - 1] * 1000 (\text{‰})$$

ここで, R は同位体比 ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  または  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) を示し, Sample は測定試料の同位体比, Standard は標準物質を示す.

3.3 結果と考察

図 3.5 に Stn T における水温および塩分の観測結果を示す. 大規模な降水の影響を受け, 7月における塩分は 2.08 と極

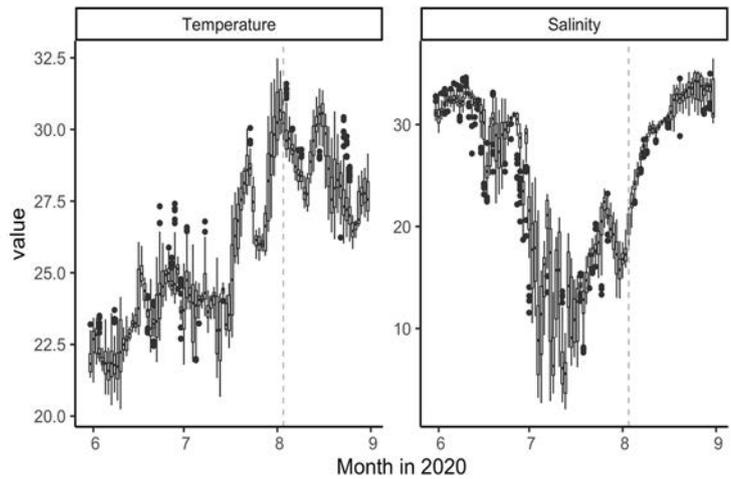


図 3.5 Stn T における水温および塩分の観測結果

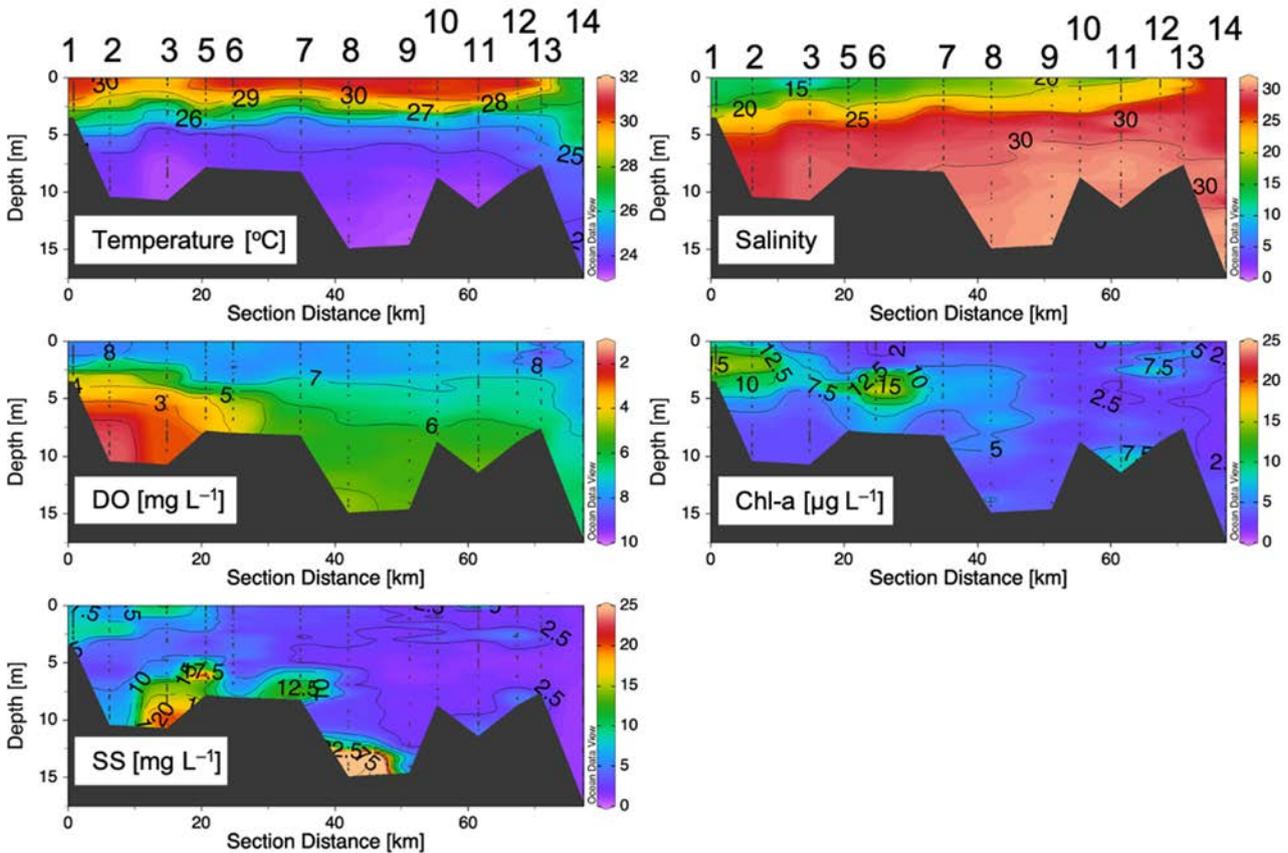


図 3.6 水温, 塩分, DO 濃度, Chl-a 濃度, SS 濃度の鉛直断面図

めて低下するとともに、最高でも 25.93 程度にとどまった。その後、水質の観測を実施した 8 月 3 日には日平均塩分が 25.01 であり、本研究の野外観測を実施した時期は大規模な出水の影響が色濃く残るタイミングであった。

図 3.6 に 8 月 3 日に実施した断面観測の結果を示す。水温について表層から 3 m 程度までの水深で Stn 14 を除く全ての測点において 29°C を上回る状態であった。一方、Stn 14 では表層から 5 m までの水深であっても 25°C まで低下していた。塩分についても水温と同様の傾向を示し、Stn 11 まで表層付近で 20 を下回る一方、Stn 14 では全層で 27.7–31.7 と高塩分であった。全測点において 5m 移深で塩分が 25 を上回り、Stn 14 を除く全ての測点において強固な塩分成層が形成されていた。湾奥部においては躍層移深で DO が急激に低下し、Stn 2 および 3 では 1.61–3.4 mg L<sup>-1</sup> と貧酸素状態となっていた。Chl-a 濃度について、湾奥部 (Stn 1-2) では水深 2-3 m で 24 μg L<sup>-1</sup> に達する最高値を記録し、Stn 3-6 では塩分躍層が形成された水深 5 m で最高 18 μg L<sup>-1</sup> に達する Chl-a の極大層が確認された。SS について、底層では Stn 3 および 8 で 20 mg L<sup>-1</sup> を上回る高濁度層が確認されたものの、湾奥部の低塩分層における SS 濃度は最高でも 10 mg L<sup>-1</sup> であった。このように全域において低塩分であるものの比較的 SS 濃度が低いことから、本研究の水質観測時においては出水に伴い流入した懸濁粒子は概ね沈降したと考えられる。

次に、表層水の水温、塩分、Chl-a 濃度、DIN 濃度、SS 濃度、POC 濃度、PN 濃度、CN 比、d13C、d15N の分布を図 3.7 に示す。北の Stn 1 から南の Stn 14 にかけて塩分が 13 から 27.7 へと明瞭に上昇す

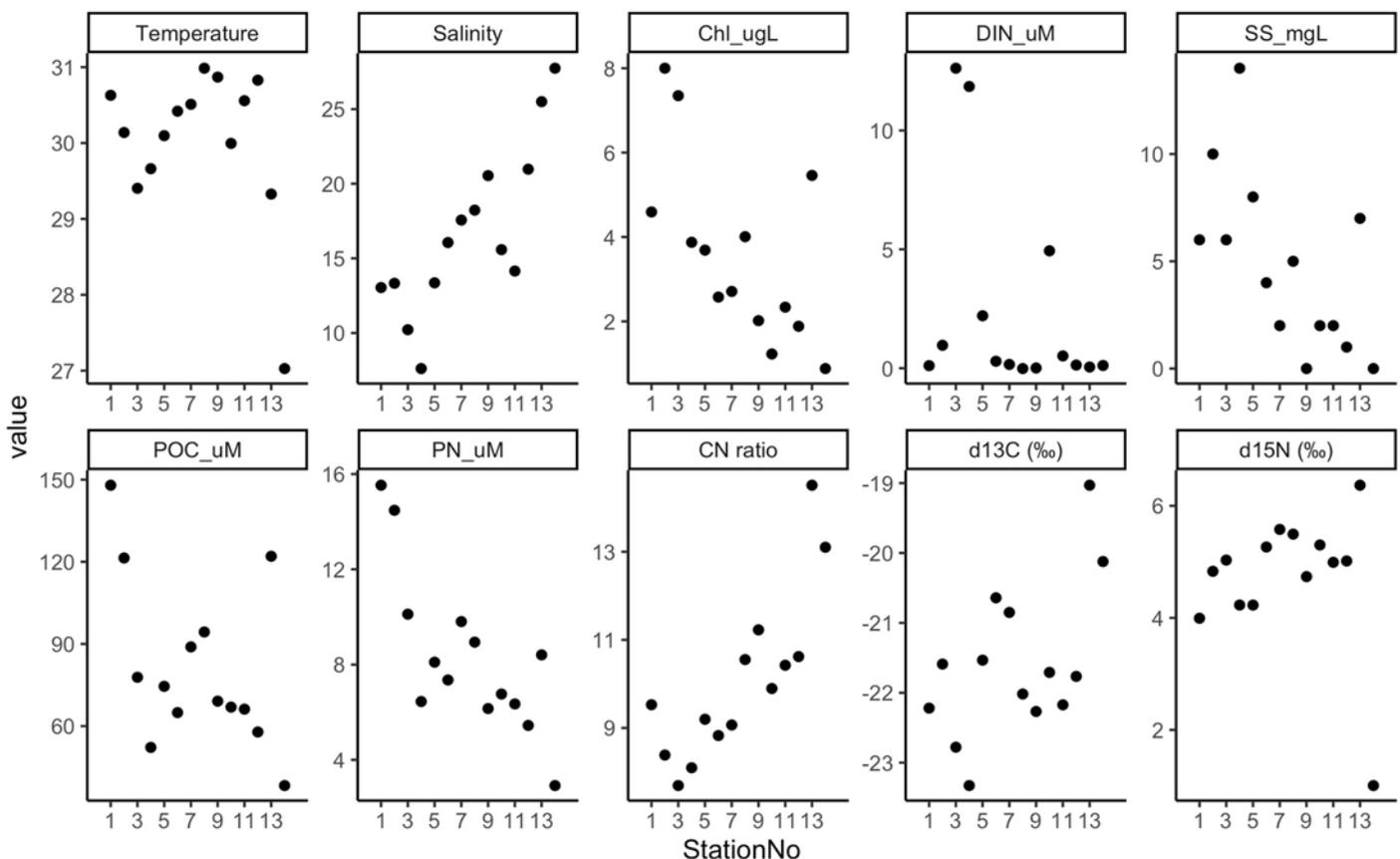


図 3.7 表層水の水温、塩分、Chl-a 濃度、DIN 濃度、SS 濃度、POC 濃度、PN 濃度、CN 比、d13C、d15N の分布

第6編

る傾向が得られた。このことから、全域において表層では低塩分水の影響が残っている状態であることが分かる。DIN 濃度については Stn 3 の 12.6  $\mu\text{M}$  および Stn 4 の 11.9  $\mu\text{M}$  を除くと最大でも 2.2  $\mu\text{M}$  であった。これに対して、PN 濃度については低塩分である Stn 1 の 15.5  $\mu\text{M}$  から Stn 14 の 2.9  $\mu\text{M}$  へと線形に低下する傾向が示された。懸濁粒子の質を示す指標として炭素安定同位体比に着目すると、Stn 1 の -22.2‰ から Stn 14 の -20.1‰ へと上昇したことから、Stn 1 では陸起源有機物の影響が強く、Stn 14 では植

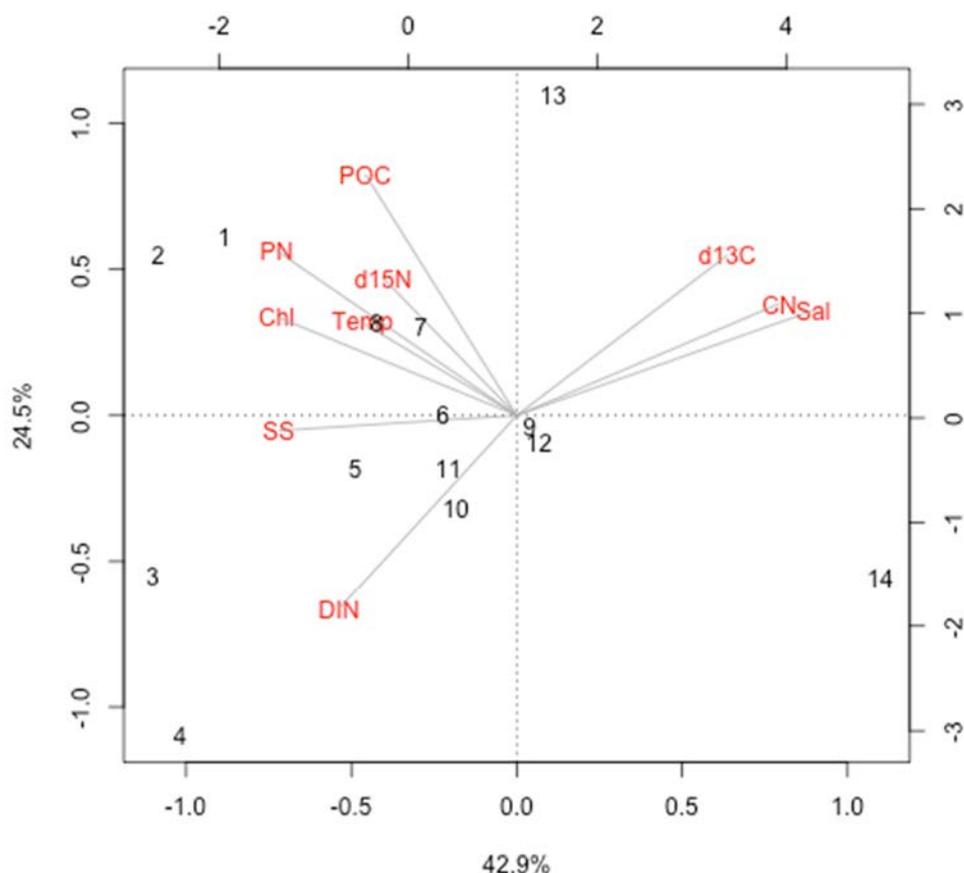


図 3.8 表層の水質観測の結果を用いた主成分分析の結果

(X 軸と Y 軸の数値はそれぞれ第一主成分および第二主成分の寄与率を示す)

表 3.1 各測定項目における第一主成分と第二主成分の主成分負荷量

	PC1	PC2
temp	-0.466	0.317
sal	0.896	0.359
PN_uM	-0.726	0.564
POC_uM	-0.458	0.825
CN_mol	0.795	0.383
d15N	-0.403	0.469
d13C	0.637	0.548
ss_mgL	-0.720	-0.052
chl_ugL	-0.725	0.337
DIN	-0.536	-0.663

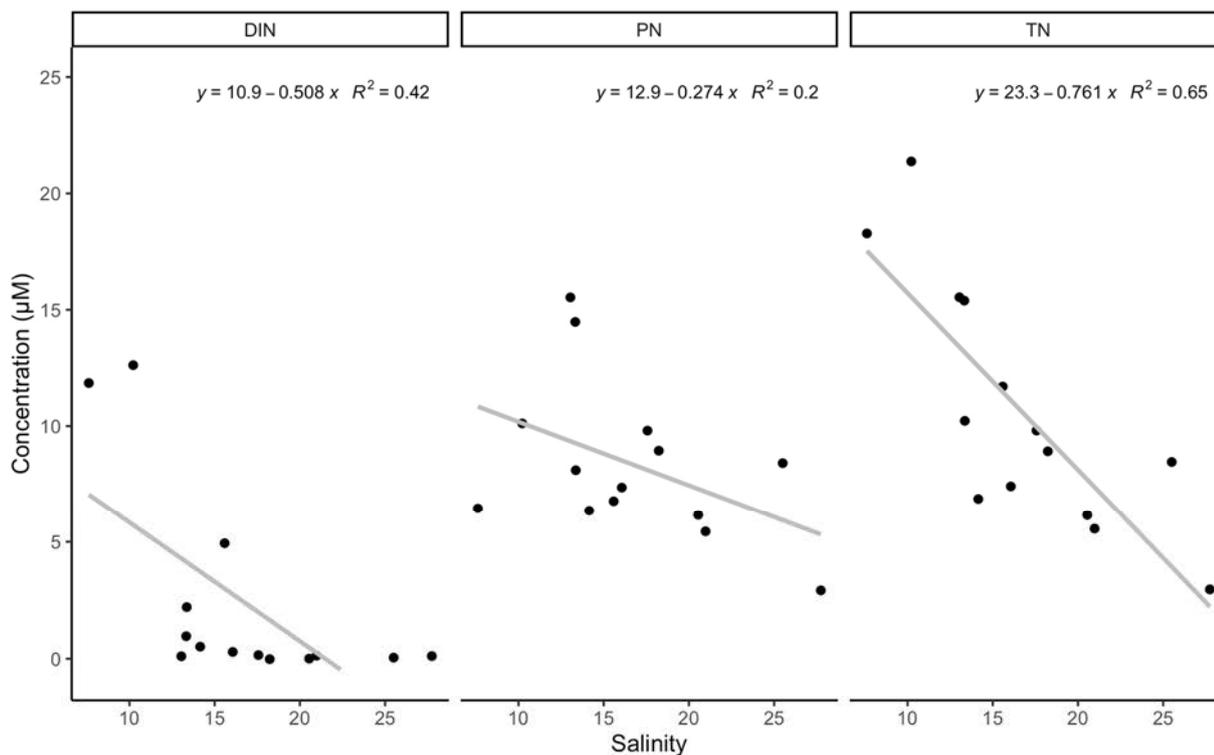


図 3.9 塩分と DIN 濃度 (左), PN 濃度 (中央), TN (右) 間の散布図

物プランクトンを主体とする有機物で構成されることが示された。これに対して C/N については, Stn 1 の 9.5 から Stn 14 の 13.1 に上昇する傾向が示された。炭素安定同位体比の結果からは, Stn 14 に向かうにつれて植物プランクトンの寄与率が高くなるはずだが, C/N では Stn 14 に向かうにつれてレッドフィールド比の 6.6 から離れる傾向を示した。この理由としては, 増殖した植物プランクトンが分解されており, 有機物中の N が溶出した可能性が考えられる。

図 3.8 に表層水における水質の測定結果を用いて, 主成分分析を行った結果を示す。主成分負荷量の結果から, 粒状有機物の炭素安定同位体比および C/N については塩分と強い正の相関関係があり, DIN 濃度, SS 濃度, Chl 濃度, PN 濃度については塩分との間に負の相関関係があることが示された(表 3.1)。また, 有機物濃度の指標となる POC 濃度, PN 濃度と植物プランクトン生物量の指標となる Chl-a 濃度の間にも強い正の相関関係が得られた。

ここで淡水流入に伴い供給された DIN の行方を検討するために, 塩分と DIN, PN および TN (DIN+PN) 間の散布図を示す(図 3.9) 塩分と DIN および塩分と TN 間にはそれぞれ有意な負の相関関係が得られたものの ( $p < 0.05$ ), 塩分と PN 間においては有意な相関関係が得られなかった。また, TN と塩分の相関関係は, NO<sub>x</sub> のみ, PN のみと比べてより強くなる傾向が示された。このことは, 時間の経過とともに DIN が PN へと変換されたことを示すと考えられる。つまり, TN の挙動が DIN および PN と比べて塩分に対して保存的になるということは, 湾内の表層水における TN は出水時に DIN として供給された窒素濃度に近似すると見なすことができる。このような前提に立つと, 塩分と TN 間で得られた近似直線は出水時における塩分と DIN 間の希釈混合線を示すと考えられる。

### 3.4 漁業者へのヒアリング結果

今次水害において沿岸漁業にどのような影響があったのか調べるために漁業者へヒアリング調査を行った。協力いただいたのは芦北漁業協同組合芦北支所長上塚末博氏である。

ヒアリングで得られた出水後の芦北漁港沿岸の海の様子を図3.8に示す。濁水により出水後1週間経過しても海の濁りは残っていた。また、濁りは北上してきたと考えられており、芦北沿岸部では南部の2級河川の影響が大きい可能性が示唆される。



図3.8 ヒアリングから得られた出水後の芦北漁港沖の海の様子

また、懸念されていた主な内容は以下のようなものであった。

- ・海底への流木などの堆積により網を入れることができない。
- ・港が泥捨て場になり、浅くなっている
- ・濁りと塩分低下による魚類やアサリへの影響

### 3.5 まとめ

令和2年7月豪雨による沿岸海洋の水環境について現地観測やヒアリングにより調査を行った。成層が長期化したことや栄養塩の動態についていくつかの知見を得た。ヒアリングで示唆された水産業への影響は今後の漁獲量や他機関の調査結果などを調べて明らかにしていく必要がある。

## 第6編

### 謝辞

本報告で用いた図（図 3.2 および図 3.3）は、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所樽谷賢治氏、徳永貴久氏にご提供頂きました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

水産研究・教育機構 水産技術研究所有明海・八代海グループ：有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況（第1報），<http://ariake-yatsushiro.jp/ariake/sokuhou/2020pdf/20200804.pdf>, 2020a.

水産研究・教育機構 水産技術研究所有明海・八代海グループ：有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況（第2報），<http://ariake-yatsushiro.jp/ariake/sokuhou/2020pdf/20200904.pdf>, 2020b.

水産研究・教育機構 水産技術研究所有明海・八代海グループ：有明海奥部における貧酸素水塊の発生状況（第3報），<http://ariake-yatsushiro.jp/ariake/sokuhou/2020pdf/20201008.pdf>, 2020c.

田井明：災害時の海域環境への影響に関する検討，令和元年度8月佐賀豪雨災害調査報告書,2020.

## 第4章 出水による八代湾への流木の影響について

熊本大学 辻本 剛三

## 4.1 豪雨の概要

7月3日の夜に梅雨前線が九州地方を北上し、低気圧やその前線に向かって暖かい湿った空気が流れ込んだため、九州地方での大気が極めて不安定になり、7月3日から7月4日の2日間にかけて大雨となり、この2日間での雨量が7月の平均雨量を観測する雨量となった。図4.1に人吉での24時間雨量を示す。

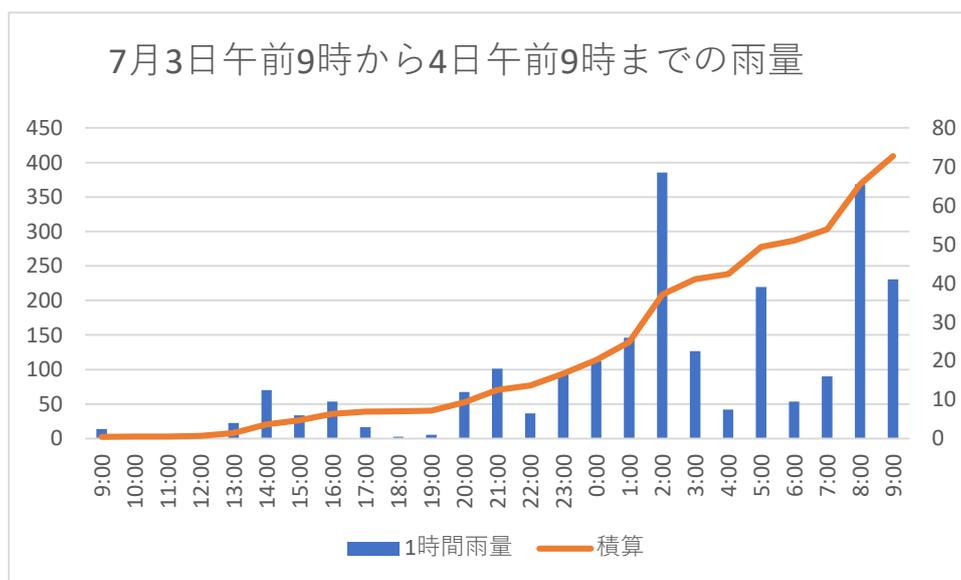


図4.1 降水量（人吉）

この降雨により多量の雨量は球磨川に流れ込み、膨大な土砂や流木を含んだ状態で八代湾に流入した。国土交通省の調査によれば堆積土砂量は40万m<sup>3</sup>、10トントラック8万台を上回っていた。そのため、港や航路等では水深が1m程度浅くなり船舶や漁船の航行に影響が懸念されていた。

## 4.2 現地調査の概要

現地には豪直後の7月5日、7月23日、11月20日に球磨川河道域、7月14日、22日、30日、9月8日に出かけた。写真4.1は7月5日に撮影されたものであり、過去の浸水深が記録されているおり、今回の豪雨の規模が甚大であったことが解る。また、多数の流木等が市街地に散乱しており多量の流木が球磨川河道を通じて河口域に到達していることが予想された。

出水後10日余り経過後に、八代湾沿岸域を踏査し陸上からの目視により流木の状況を観測した。海上に浮遊している流木はほとんどなく、大半は写真4.2に示すように沿岸域に漂着をしていた。写真は同じ地点を7月14日、22日、30日、9月8日に撮影したものであり、中央に写っているプラスチックケースや流木は、1～3週間が経過しているにもかかわらず同じ場所に留まっていることが解る。



写真 4.1 人吉市街



写真 4.2 八代湾奥部の流木

八代湾の潮位は3~4m程度あり、干潮時には流木が漂着している場所は干出するために、一端陸域に着底した流木は次の満潮時において浮遊するが、湾奥内の波浪等は極めて小さいこともあり、その場所に滞留したままになっている。

## 4.3 出水時の潮位と水位変化

前述のように球磨川から多量の流木が沿岸域に漂着し、実際に撤去するに要する時間は長期に及んでいる。長く滞留することで高波や高潮による2次災害となる懸念がある。実際に9月5日～6日かけて発生した台風は、当初極めて巨大な台風と予想され2次災害が懸念されていたが台風の経路がやや西側に逸れて、八代湾付近を通過し、干潮時の潮位であったことも幸いとなり大事至らなかった。

図4.2は国土交通省の水文水質データベースによる球磨川河口域の観測地点である。写真4.3は球磨川河口に設置されている金剛の水位計である。横石(12.77km)、萩原(6.06km)、金剛(1.07km)の7/3～7/6にかけての国土交通省の水位変化速報値を図4.3に示す。カッコ内の数値は河口または合流点からの距離である。

観測地点横石では7月4日の深夜3時に4mの水位が1時間後の4時には8mに上昇し、5時間後の9時頃にピーク値に近い12mを示し、その後も徐々に水位が上昇しながら14時頃まで12mを超える水位が継続していた。その後は水が低下し、7月5日の早朝4時頃に4mの水位となった。萩原は、横石からわずか6km下流にあるため、時間遅れなく類似した水位変動を示している。金剛は海域に近いため水位変動は、潮位変化に対応しているが、7月4日の高潮位の時に流域はピークを迎えており、下げ潮時はピークが継続した時間と一致しており、潮位の低下量が小さくなっていることがわかる

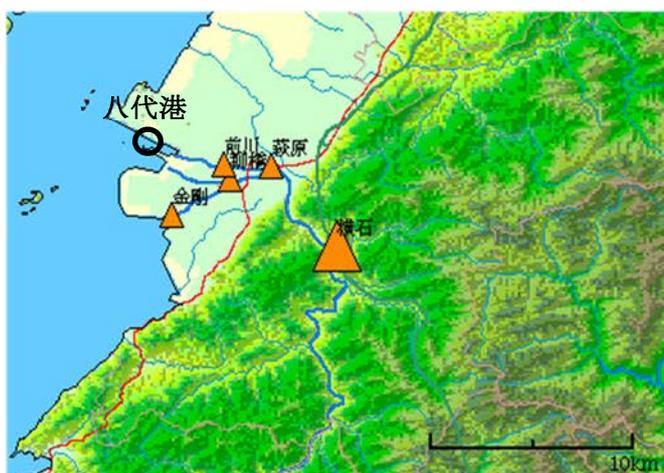


図4.2 球磨川河口付近水位観測地点



写真4.3 水位観測地点金剛

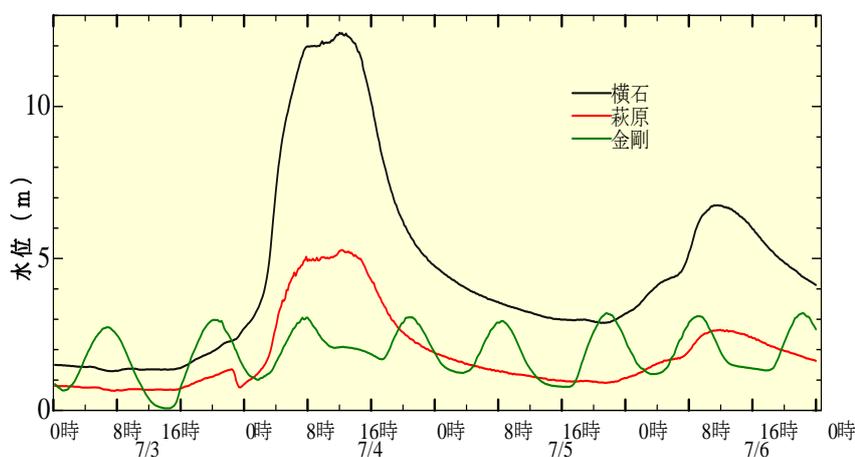


図4.3 3観測地点の水位変化

図4.4に八代港(図4.2に参照)の7月1日~7月6日までの潮位変化と潮位偏差を示す(国土交通省ナウファスより)。高潮位と低潮位が洪水後はやや高くなっており、潮位偏差では変化が明確になっている。図4.3の水位からも明らかなように7月4日の8時~14時に水位がピークに達しており、その時の潮位は満潮から干潮の下げ潮時になっている。そのため、球磨川からの流出した流木等は、沖合まで運ばれていると考えられる。航空写真によれば7月4日16時には球磨川河口から直線距離で北西約10km先の戸馳島の若宮海水浴に沿って北上している流木群が撮影されている。

球磨川からの出水による潮位特性の変化を明確にするために、7月1日~7月3日と7月4日~7月6日の潮位をフーリエ変換した結果を図4.5に示す。図中の矢印のように洪水後は数時間周期の水位変動が生じている。

このように球磨川からの出水により流出した水塊は、潮位特性にも変動を生じさせ、さらには多量の流木を八代湾内に散乱させていることが明らかとなった。そこで豪雨災害で発生した流木等の漂着物が、どのようにして八代海内を移動し、湾奥に到達したのか、その移動過程や移動の要因を明らかにすること今後の防災・減災の観点からも重要となってくる。

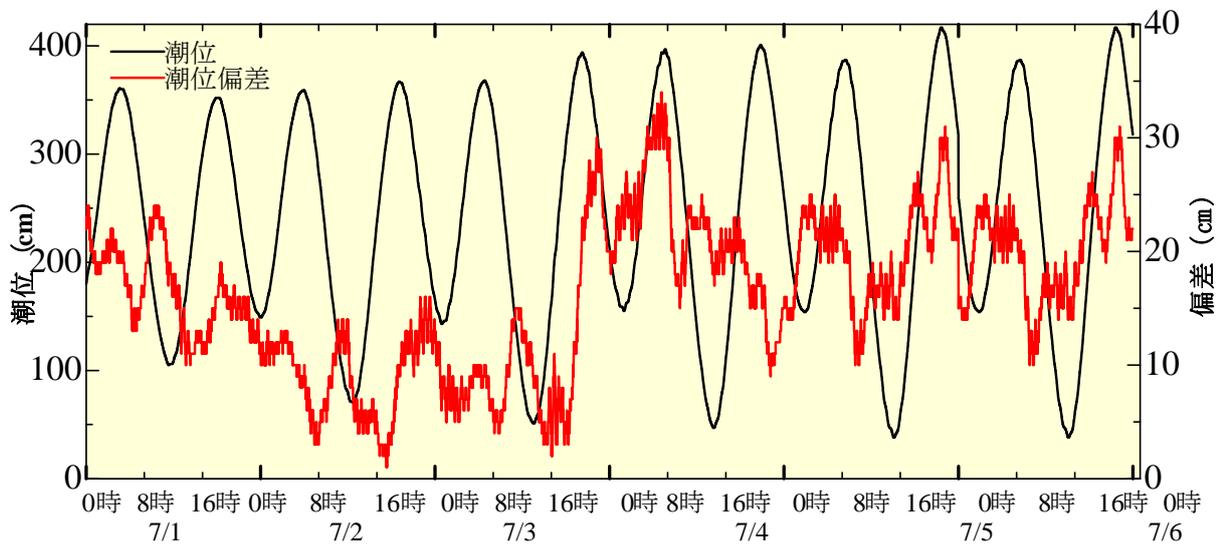


図4.4 八代港の潮位と潮位偏差

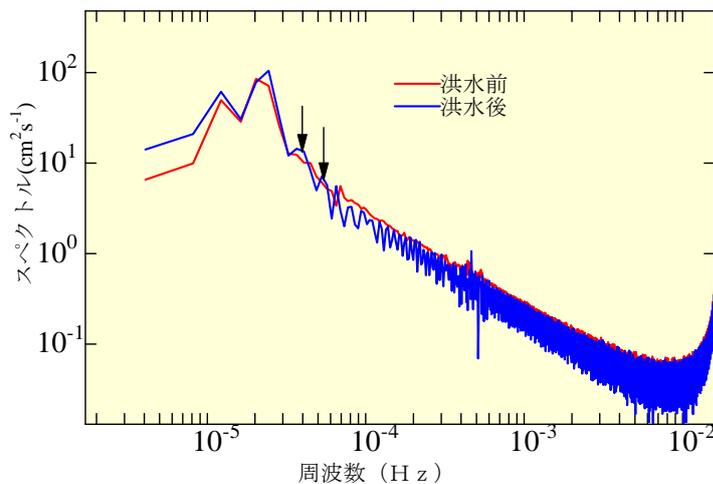


図4.5 洪水前後の潮位のスペクトル強度

### 4.4 流木の挙動

流木の挙動に関しては、流木を群として扱い細かな流体力等を考慮した事例がある(中川・高橋 2001) 本研究では、浅海流方程式により得られた潮流場に、球磨川水系から流入した流木等の物質が移流拡散方程式(1)に基づいて移動すると仮定し、有限差分法を用いて数値解析した。また、この豪雨災害後の数日は風も強く(最大瞬間風速が 18 m/s)、流出した漂流物の移動に風の影響も十分考えられることから、移流拡散方程式の移流項と拡散項に風の影響を、異方性を持たせながら追加した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (U + \alpha W_x) \frac{\partial C}{\partial x} + (V + \alpha W_y) \frac{\partial C}{\partial y} = k_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + q_{source} \quad (1)$$

図 4.6 は球磨川河口に位置する八代港における、潮位の観測結果と計算結果である。概ね一致しているのがわかる。八代海および有明海の他地点でも同様に比較し、一致することを確認した。

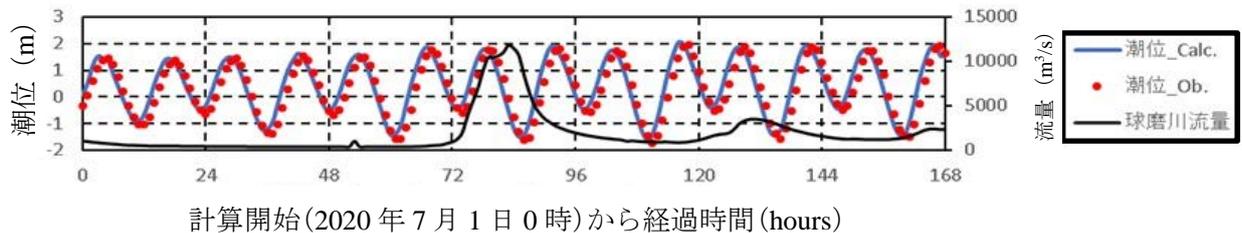


図 4.6 潮位の実測値(熊本県)と計算結果の比較

図 4.7 は移流拡散計算に用いる風速の実測値で、かつ、10 分値を 1 時間平均したものである。10 分値を 1 時間平均した理由は、計算の安定性を考慮したためである。計算中は 1 時間毎に風速値を更新した。観測期間中の風況は、豪雨の発生した 7 月 3 日～4 日以降に、風速が 3 倍程度高くなっている。また、風向は豪雨時の 7 月 3 日を除き、ほとんどが南よりの風で、八代海湾奥方向の風が卓越している。

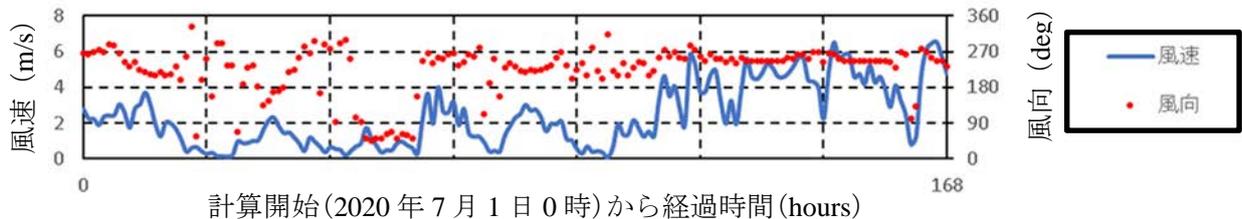


図 4.7 風向と風速の実測値(気象庁 HP)

計算領域は、図 4.8 に示す八代海と有明海南部で、南北 90 km、東西 80 km、メッシュ間隔は 200 m とした。計算期間は、豪雨災害の発生する前の 7 月 1 日午前 0 時から、7 月 8 日午前 0 時までの 7 日間(168 時間)とした。図 4.8 に示すベクトルは、計算期間中の潮汐残差流である。

八代海内の特徴は、全体的に湾南部(湾口)方向への流れが卓越し、特に湾中部から南部はその傾向が顕著である。湾北部(湾奥)周辺も、概して南に向かう流れが見られるが、沿岸部に広がる干潟の干出と水没に伴い、複雑な流況を呈する。このことから、八代海内での潮流による物質移動は、南下方向が予想されたが、実際には流木の多くは北上し湾奥部に着岸した。前述の通り、当時は風速が高く、風向が一定していたため、風の影響を考慮した計算を導入した。

図 4.9 は移流拡散計算の結果で、上下一対である。また、左から、(a) 風の影響なし、(b) 風の影響を

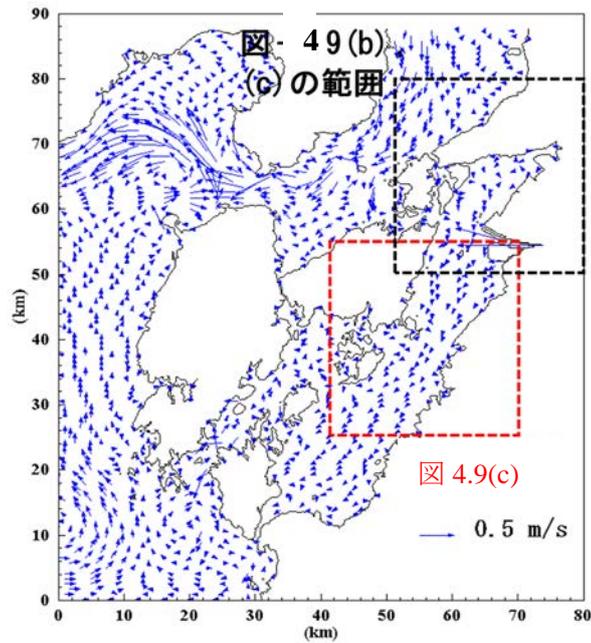


図 4.8 潮汐残差流（解析領域全体）

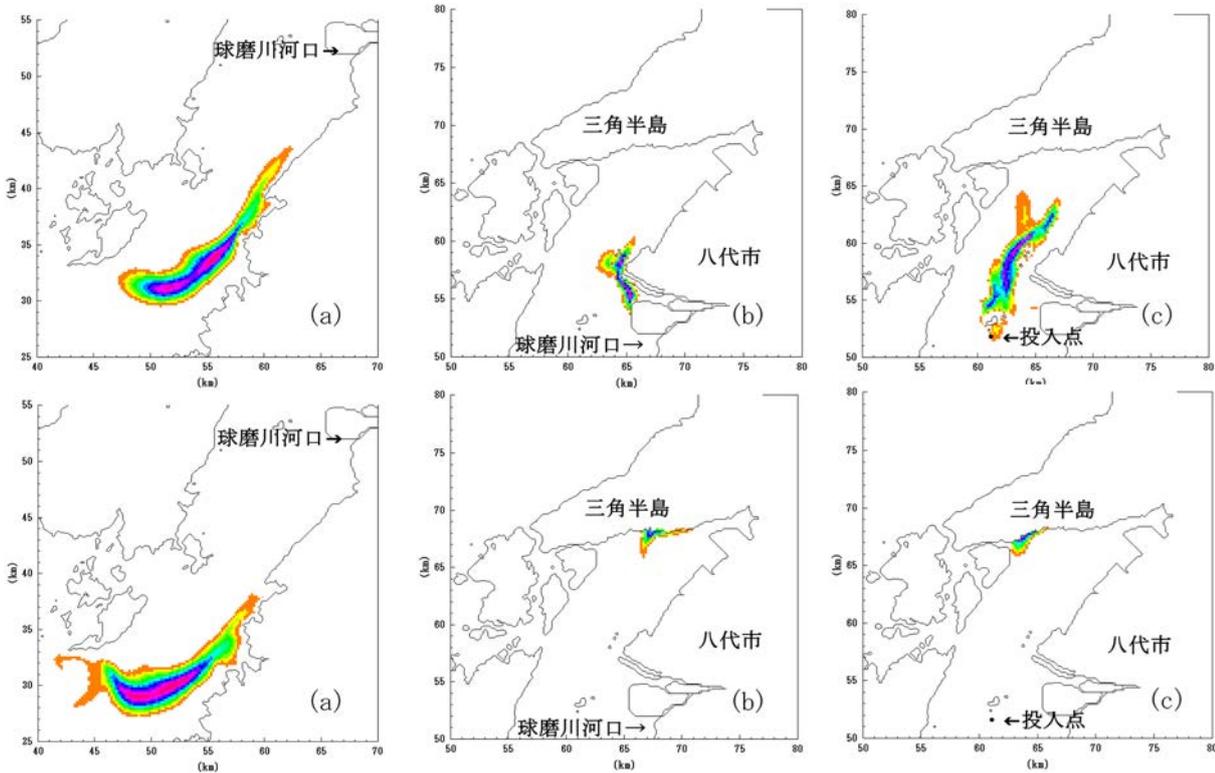


図 4.9 移流拡散の計算結果（左から，(a)，(b)，(c)とし，時間は上段から下段へ進む

考慮し，かつ河道内で物質を投入したもの，(c) 風の効果を考慮し，物質を球磨川沖の湾軸上に投入したものである。(a)は，潮汐残差流に従い，湾口方向に移動した。(b)と(c)は湾奥方向に移動し，最終的に湾奥沿岸に到達した。(c)のケースを確認した理由は，干潮時には物質が滞筋を伝い，河口から離れたところまで移動し，その後，上げ潮によって湾軸上を遡上するのかどうか，また，それにより，拡散状況や，着岸地点が変わるのかどうかを確認するためである。計算結果を見ると，沖側に投入することで，拡散の範囲が広くなり，到達地点も変わることがわかった。

## 第6編

### 4.5 まとめ

今回の球磨川豪雨を八代湾への影響として流木の挙動に着目した。八代湾は干満差が大きく、湾奥部では干潟が形成され、天草諸島など小島が点在する海域である。この海域の潮流の残差流は湾口に向かう流れではあるが、今回は多量の流木が湾奥部に漂着しており、その要因等について検討を行った。今回は八代湾の下げ潮時と水位のピークが一致し、その後の風の影響により湾奥部へ運ばれたと思われる。

### 4.6 今後の課題

今回の球磨川豪雨による出水は、八代湾に多大な影響を与えた。土砂や流木等のように短期間で目に見える現象もあるが、長期的に影響を及ぼすような生態系や水質環境については言及しておらず今後の課題の1つである。

### 謝辞

本報告書の4.4節の流木の挙動に関する数値計算結果は、神戸市立工業高等専門学校柿木哲哉教授によって行われたことを記して、謝意を表します。

### 参考文献

中川一，高橋保：大野川から別府湾に流出して流木群の挙動解析，水工学論文集，第45巻，pp.931-936，2001.



# 第7編

## 将来の豪雨災害に対する備え

鹿児島大学	古里 栄一
九州大学	小松 利光
佐賀大学	押川 英夫
福岡大学	橋本 彰博
山口大学	赤松 良久



# 第1章 令和2年7月の九州北部豪雨時における避難情報の発令および高齢者福祉施設の対応と課題

山口大学 赤松良久

## 1.1 防災気象情報と避難情報

令和2年7月豪雨時に発表された防災気象情報および九州地方7県の全249市区町村の避難情報（避難準備・高齢者等避難開始、避難勧告、避難指示）をGISデータベースとして構築した。特に被害が集中した7月3日~8日の期間で1時間毎に整理を行った。対象とした防災気象情報は、大雨（注意報・警報・特別警報）、洪水（注意報・警報）、土砂災害警戒情報である。また、避難情報にはLアラートの情報を用いた。合計144（24時間×6日）枚の図を作成した。ここでは、雨雲レーダ、避難情報、洪水注意報・警報、土砂災害警戒情報について、球磨川での被災が確認された4日7時及び12時、九州地方の多くの地域で気象情報が発表された6日14時、多くの自治体から避難情報が発表された8日10時の状況を図1.1に示す。

この情報を基に、時間帯別の防災気象情報発表状況を図1.2に示す。これより、3日の昼頃から大雨警報、夜間から洪水警報が発表されはじめ、4日の昼頃にピークを迎えている。その後一旦落ち着いた状況になったが、5日昼前から大雨警報が発表されはじめ、6日昼頃に大雨警報のピークを迎えている。7日~8日の昼頃にかけて、発表される地域は九州の北部へ移動しつつも、発表されている自治体数は横

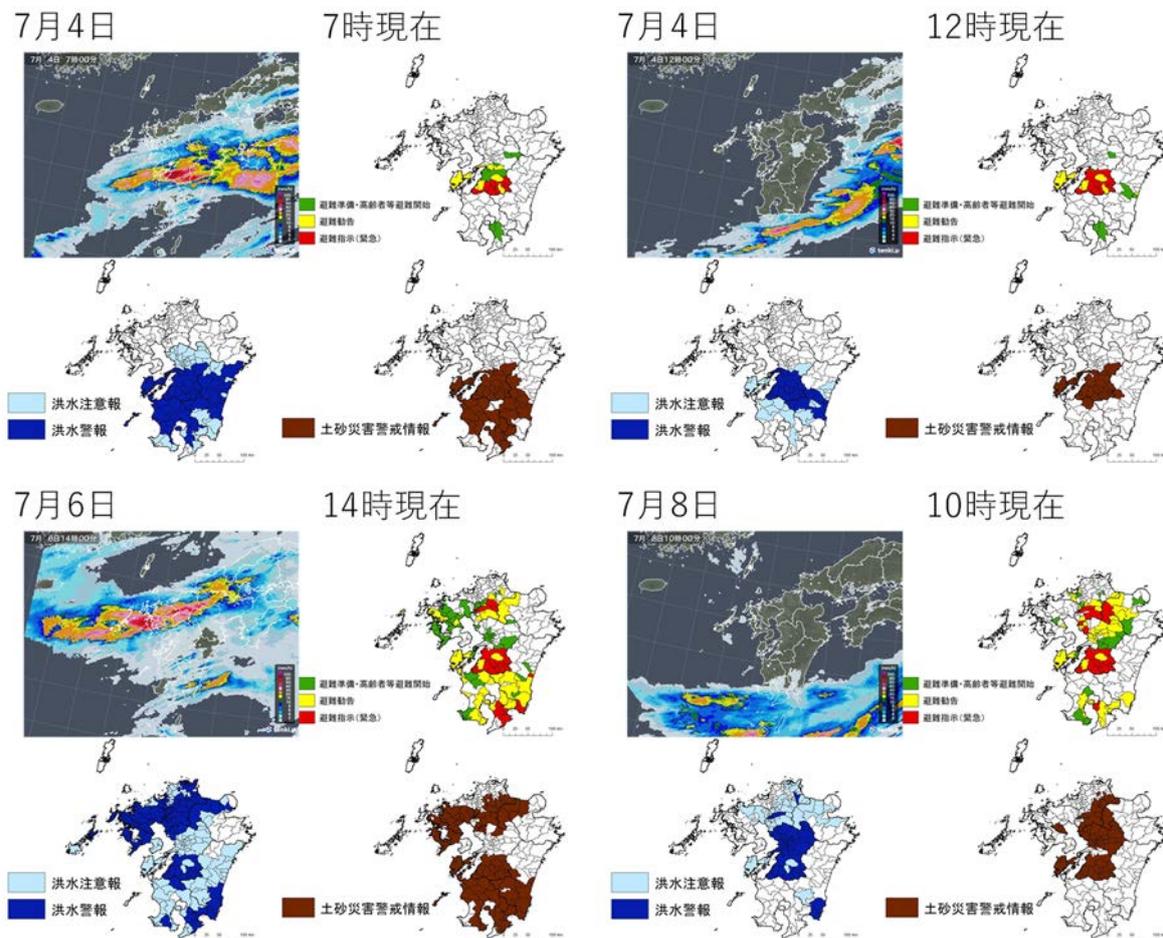


図 1.1 防災気象情報と避難情報の発表状況

第7編

ばいの状況が続いた。次に、時間帯別避難情報の発令状況を図1.3に示す。3日の夕方から避難準備・高齢者等避難開始（以後、避難準備と記す）が発表されはじめ、4日深夜から早朝にかけて避難勧告のピークを迎えている。その後、一旦落ち着いた状況になったが6日昼頃から避難情報の発令が急激に増加し、8日早朝にピークを迎えている。

避難情報発令のトリガーの一つとして防災気象情報を捉え、大雨警報・洪水警報・土砂災害警戒情報発表時間を基準として、各自治体がどのタイミングでどの避難情報を発表したかを図1.4～図1.6に示す。これらの図の横軸は各防災気象情報が発表された時間との差を時間単位で表現したものであり、0は防災気象情報発表から1時間以内に発表された避難情報を意味している。これらより、避難情報発令が早い自治体においては、大雨警報の発表が避難準備等の発令のトリガーとしていることが分かる。また、洪水警報発表時には2割程度の自治体で避難準備もしくは避難勧告が発令されており、4時間後に

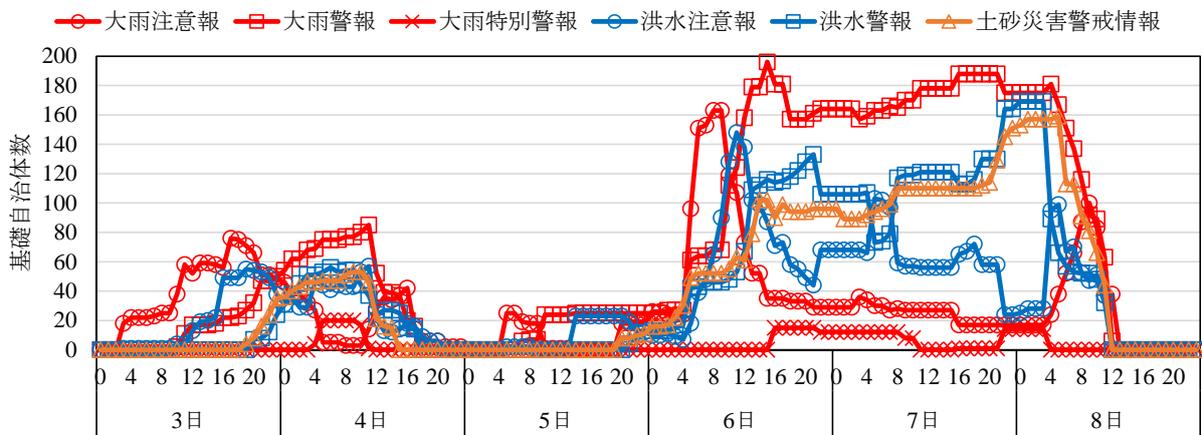


図1.2 防災気象情報発表自治体数の推移

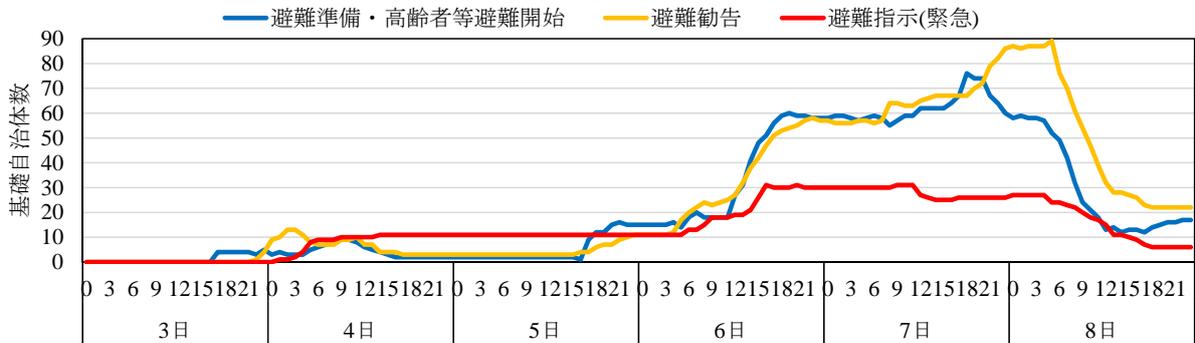


図1.3 避難情報発令自治体数の推移

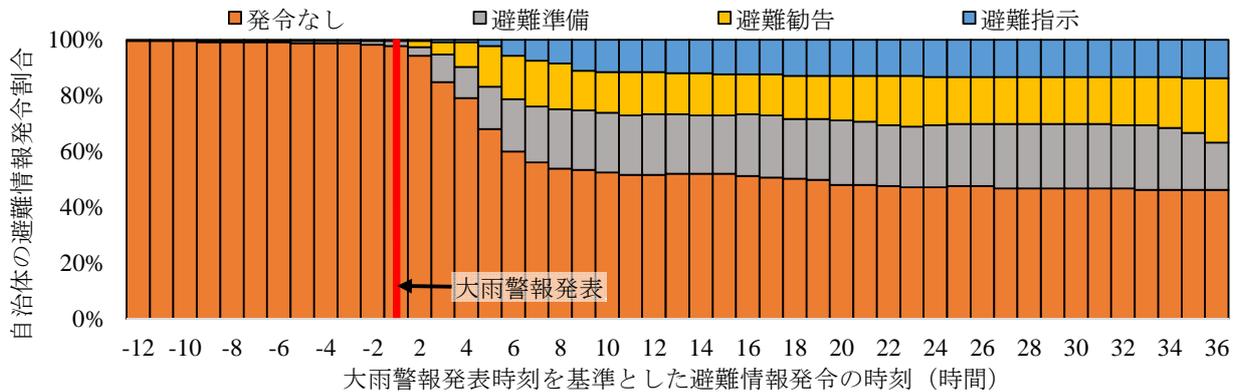


図1.4 大雨警報と避難情報の時間差

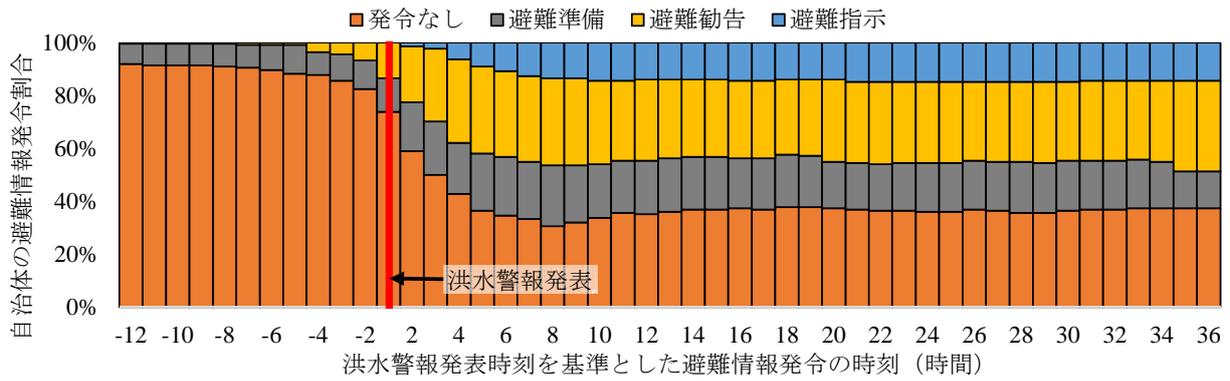


図 1.5 洪水警報と避難情報の時間差

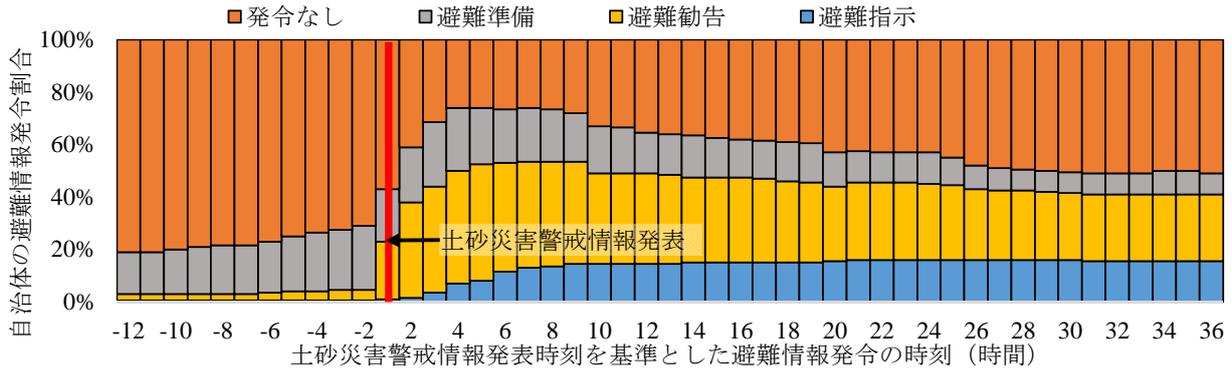


図 1.6 土砂災害警戒情報と避難情報の時間差

表 1.1 防災気象情報と避難情報発表順別基礎自治体数

避難情報発表順 \ 防災気象情報	なし	準備	準備→ 勧告	準備→ 指示	準備→勧 告→指示	勧告	勧告→ 指示	指示
なし	19	0	0	0	0	0	0	0
大雨警報	6	1	0	0	0	0	0	0
洪水警報	0	0	4	0	0	1	0	0
大雨警報/洪水警報	9	7	2	0	0	0	0	0
大雨警報/土砂災害	0	0	0	0	0	1	0	0
大雨警報/洪水警報/土砂災害	18	37	39	6	4	37	6	2
大雨特別警報/洪水警報/土砂災害	0	5	17	3	7	6	10	2

は過半数の自治体においていずれかの避難情報が発令されている。土砂災害警戒情報においては、2 時間後までには過半数の自治体で避難情報が発令されていることが分かる。

各自治体で発表された防災気象情報と避難情報の発令順を表 1.1 に示す。なお、表中の避難情報発表順は、例えば「準備/勧告/指示」は「避難準備・高齢者等避難開始」、「避難勧告」、「避難指示（緊急）」の順に発表されたことを意味し、「指示」のみの表記は、避難準備や避難勧告の発令なく、最初から「避難指示（緊急）」が発令されたことを意味する。これより、大雨警報・洪水警報・土砂災害警戒情報が発表されていてもなお、避難情報を一切発令していない自治体が存在することが分かる。さらに、近年の豪雨災害において高齢者の被災が多くなっているが、避難準備情報を発令した自治体は 53%と半数程度にとどまっていた。

## 1.2 高齢者福祉施設における水害時の対応と課題

### 1.2.1 調査と対象施設の概要

2020年9月に令和2年7月豪雨被災地である九州7県を対象として、高齢者福祉施設における水害時の対応およびコロナ禍での対応に関するアンケート調査を実施した。対象は地域密着型の介護福祉サービスを行っているグループホームおよび特別養護老人ホームである。この内、地域防災計画において要配慮者利用施設として指定されている施設、またはハザードマップで浸水想定区域内に立地していることが確認できた施設に対して調査票を配布した。つまり、水害リスクがある施設のみに調査票を配布しており、実被害の有無とは関係ない。郵送配布・郵送回収で実施し、表1.2に示す通り配布数は349であり、回収率は28%である。

対象施設における介護福祉サービスを図1.7、施設規模を図1.8に示す。平均で1.3種類のサービスを実施している。グループホームが最も多くなっているが、これは全国の施設数と同様の傾向である。また、入居者定員が10～18名が最も多く、次いで9名までとなっている。入居型の介護福祉サービスにおいて、9名を1つの単位としたユニットケアが実施されていること、グループホームは18名までが基本となっているため、このような結果になった(厚生労働省, 2020)。

次に、避難判断や時間に関係すると考えられる昼夜別の職員一人当たり施設入居者数を表1.3に示す。これより、昼間の平均では人員配置基準と同じ職員1人あたり利用者3人であるが、夜間になると3倍以上となる。このことは夜間避難を困難にする一つの要因だと考えら

表 1.2 アンケートの配布と回収状況

県名	配布数	回収数	回収率
福岡県	165	47	28%
佐賀県	35	11	31%
長崎県	8	4	50%
大分県	38	11	29%
熊本県	81	17	21%
宮崎県	21	7	33%
鹿児島県	1	0	0%
全体	349	97	28%

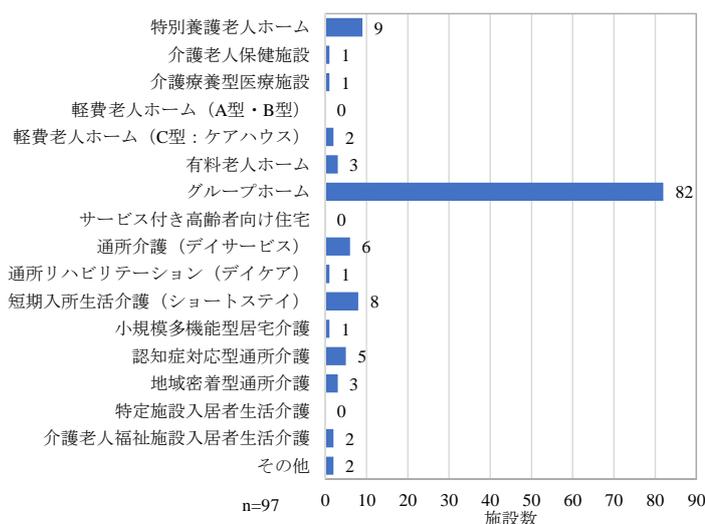


図 1.7 介護福祉サービスの内容

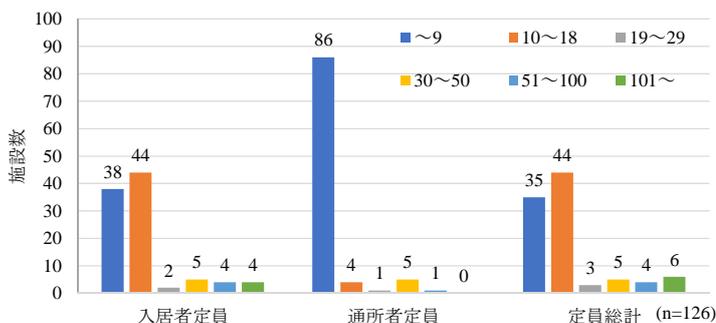


図 1.8 施設規模

表 1.3 職員1名あたり入居者数の昼夜比較

	平均	標準偏差	中央値	サンプル数
昼	3.0	1.5	2.9	86
夜	9.5	4.6	9.0	86

## 第7編

れる。なお、夜間に大雨が予想されるときに夜勤職員を増員すると回答した施設は44%であった。過去の被災地におけるヒアリング調査では、夜勤を増員しても公的な支援は無いため、施設の経費負担が大きいという指摘があった。このため、昼間のような人数を確保しているとは考えづらい。

### 1.2.2 災害時の避難の実態

水害時の避難の有無を図1.9に示す。これより、避難した施設は2割に留まっていることが分かる。避難した施設では、図1.10に示す通り、河川や周囲の状況を実際に確認し、危険性を感じて避難している。一方、避難しなかった理由は図1.11に示すように、「報道やインターネットを通じて施設が被害を受ける危険性は少ないと判断した」、「施設がある場所は安全と判断」が最も多く、次いで「河川や施設周辺の状況を実際に確認して危険性は少ないと判断したから」となった。上述の通り、このアンケートは浸水想定区域内に立地する施設のみを対象としており、危険性が低い施設はないと考えられる。また、1割程度であるが、COVID-19感染への懸念や利用者の移動に対する健康への懸念を挙げている施設もあった。

避難率が低かった理由について、図1.12に事前の避難判断基準を示す。これより、過半数の施設が河川水位を挙げている。施設別の該当河川およびその水位は把握できていないため、前節で示した自治体から発令された避難情報との関係を分析した結果を図1.13に示す。これより、避難指示が発令された自治体に位置する36施設においても避難していたのは6施設に留まっていた。施設の浸水リスクを認知していない可能性があるため、図1.14に浸水リスク認知と避難との関係を示す。これより、リスク認知と避難判断には明確な関係は見られなかった。

### 1.2.3 避難の有無に関連する要因に関する考察

施設の被害に対する備えに関する質問項目と避難の有無について分散分析を行った結果、95%有意であった項目は「水害に関して行政や自治会などと話し合いをしている (P=0.00)」、「避難訓練を実施している (P=0.04)」、「他の施設と災害時の応援協定や連携を行っている (P=0.05)」、「水害や防災の講演会に職員が参加している (P=0.04)」である。また、これらの項目間および避難の

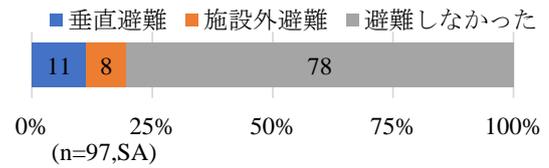


図1.9 避難の有無と方法

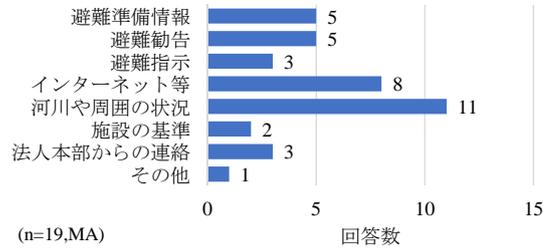


図1.10 避難のきっかけ

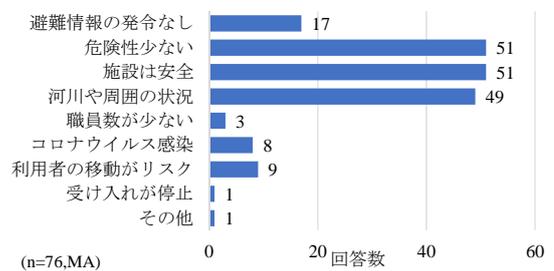


図1.11 避難しない理由

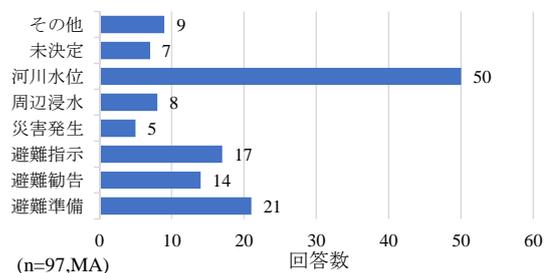


図1.12 避難判断基準

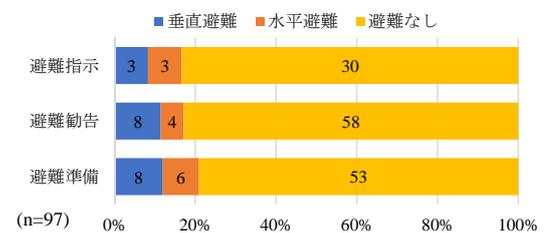


図1.13 避難情報と避難の有無

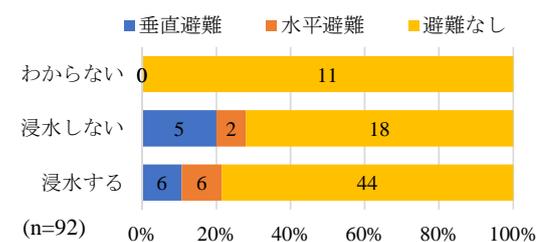


図1.14 浸水認知と避難の有無

## 第7編

有無には直接関係しないが、影響を与える項目と関連した2項目を加え、項目間の関係をクラメールの関連係数で表した結果を図1.15に示す。図中の値はクラメールの関連係数を意味する。この図より、避難の有無に最も影響を与えていた「行政や自治会との話し合い」は「避難訓練の実施」、「職員連絡網」、「講演会参加」と関連しており、「講演会参加」は「応援協定」のような他施設との連携と関係している。また、「避難確保計画策定」は「避難訓練」の実施や「職員連絡網」の作成と関係していることが分かる。確保計画策定は直接的に避難の有無にはつながらなかったが、他の災害への備えに対しては有意に働いていたといえる。テンプレートを用いて名称や人数だけを入力した避難確保計画を策定している施設もあるため、計画策定だけでは避難行動に対して有効に機能しなかった可能性が考えられる。

今回の災害を経験して困難を感じたことを図1.16に示す。これより、「避難の判断」が最も多く、次いで「職員の確保・参集」であった。図1.12に示したように、事前に決めていた避難判断の基準として河川水位が最も多かった。しかし、図1.17に示すように河川水位を判断基準として用いていた施設が、避難の判断に困っていたことが分かる。自治体が発令する避難情報の判断基準に河川水位は考慮されていることが認知されていない可能性があることが示唆される。

### 1.3 まとめ

近年の水害を受け、水防法の改正（2017年）や避難勧告等に関するガイドラインの改定（2019年）等が行われてきた。しかし、大雨・洪水警報と土砂災害警戒情報が発表されても避難情報を一切発令していない自治体があること、避難準備情報の発令が半数程度に留まるなどの課題が明らかになった。さらに、避難指示が発令されても避難を実施していない高齢者福祉施設があることも明らかになった。河川水位を避難の判断基準として用いる施設が多いが、避難判断を困難にさせていることも明らかになった。

### 1.4 今後の課題

要配慮者利用施設では移動自体に健康リスクを有する人もいる。このため、施設としてはできるだけ避難という意思決定を行いたくないと考えられる。さらに、夜間の職員数は昼間に比べて1/3程度にな

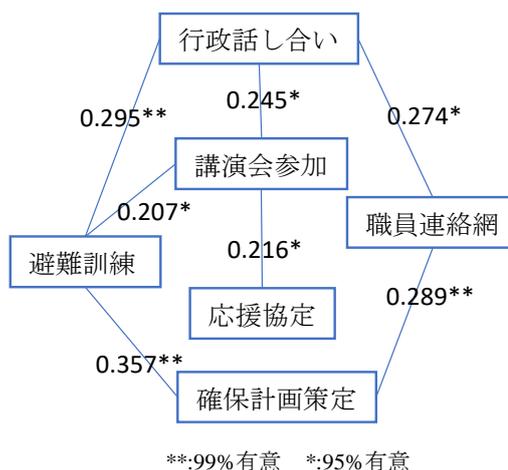


図1.15 避難に関連する要因間の関係

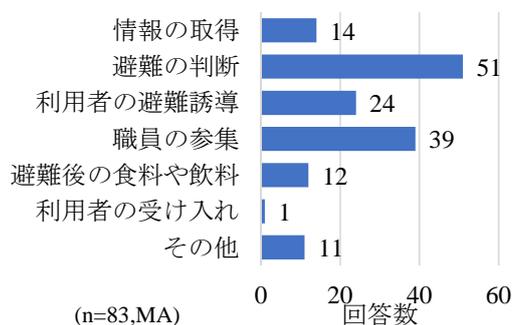


図1.16 困難を感じたこと

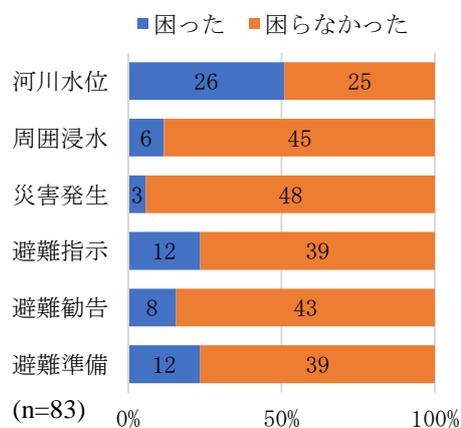


図1.17 避難判断基準と避難判断の困難さ

## 第7編

っており、さらに避難を困難にさせている。移動による健康リスク、夜間の職員不足への対応を踏まえた避難意思決定の支援について検討する必要がある。

**謝辞：**本報告書の取りまとめには琉球大学・神谷大介准教授に多大なるご協力を頂きました。また、本研究を遂行するにあたり、アンケートに回答して頂いた高齢者福祉施設の方に感謝の意を表します。

### **参考文献**

厚生労働省社会保障審議会：第179回介護給付費分科会資料6 認知症対応型共同生活介護，2020。



## 第2章 八代市におけるタイムラインを活用した避難対応に関する調査 —教訓と今後の課題—

鹿児島大学 古里 栄一

### 2.1 はじめに

本調査の動機および目的は、水工学を含む土木工学の目的の一つが国民の財産と生命の保護であるという観点から、水工学がこうした最終目的に対して更に貢献するための課題について、水工学に関しては浅学菲才の身でありながら氾濫避難に関する現地調査を通じて提案・報告することにより、上記目的に資することを図るものである。とりわけ、近年筆者は鹿児島大学において社会学専門の研究者との交流に基づく氾濫災害時の避難に関する共同研究において鹿児島市社会福祉協議会での氾濫に関するセミナー等を実施しながら、災害時の実際の避難者、特に避難行動要支援者も考慮した生命を守るための更なる有用な情報提供も水工学の使命の一つではないかと感じたことから本調査を実施したものである。タイムラインの実質化に向けた、被災者が実際に避難行動を行うにあたっての「ユーザー目線」から必要な水工学的知見について検討する。

具体的には熊本県八代市（特に坂本地域）における令和2年7月豪雨での避難を事例として取り上げる。タイムラインの効果や活用に加え、減災の観点から今後の河川事業の実務や、その基礎となる土木工学、特に水工学に求められることについて私見を述べるものである。本研究では現地を計3回（令和2年、7月27,28日、10月11,12日、12月6,7日）に訪問し、現地調査・情報収集等を行った。なお用いる情報は基本的に公的に発表された資料として国土交通省やマスコミ記事に限った。この理由は、後述するように犠牲者が出た災害においては、地域では立場、信条等に応じて同じ事象に関しても異なった考え、印象があるために、個人ヒアリング情報ではバイアスが含まれる恐れがあるためである。

なお調査実施にあたっては、おそらく社会学的な領域の問題かもしれないが、実際に亡くなった方が存在することに加え、様々な立場の地元住民や自治体を含む諸組織の対応に関して、それぞれから多様な意見、考え方、評価が存在するようである。しかもたとえマスコミによる報道であっても十分な客観性があるわけではなく、場合によっては地元で異論が存在することも知りえた。これらのことを踏まえ、本章ではあくまで土木学会の調査団による学術的報告という立場から、筆者の責任において今後の水工学の発展、およびこれを通じた国民の財産生命の保護に資する情報について提案することを目的とする。したがって本章の記載に、特に地域住民や諸組織から何らかの問題が指摘される場合は、学会や調査団ではなく筆者がその全ての責を負う。

### 2.2 タイムラインの概要

#### 2.2.1 わが国における導入

タイムラインとは、災害の発生を前提に、防災関係機関が連携して災害時に発生する状況をあらかじめ想定し共有した上で、「いつ」「誰が」「何をするか」に着目して、防災行動とその実施主体を時系列で整理した計画である。最初のタイムラインは、2012年10月のハリケーン・サイディに対して減災に効果を発揮した米国の災害対策プログラムの行動計画にあたる。わが国では2013年の官学からなる調査団のアメリカへの派遣と情報収集結果に基づき、2014年1月に国土交通省において対策本部が設置され、続いて2014年度からタイムラインの導入が開始された。当初は、広域災害が想定される首都圏や

第7編

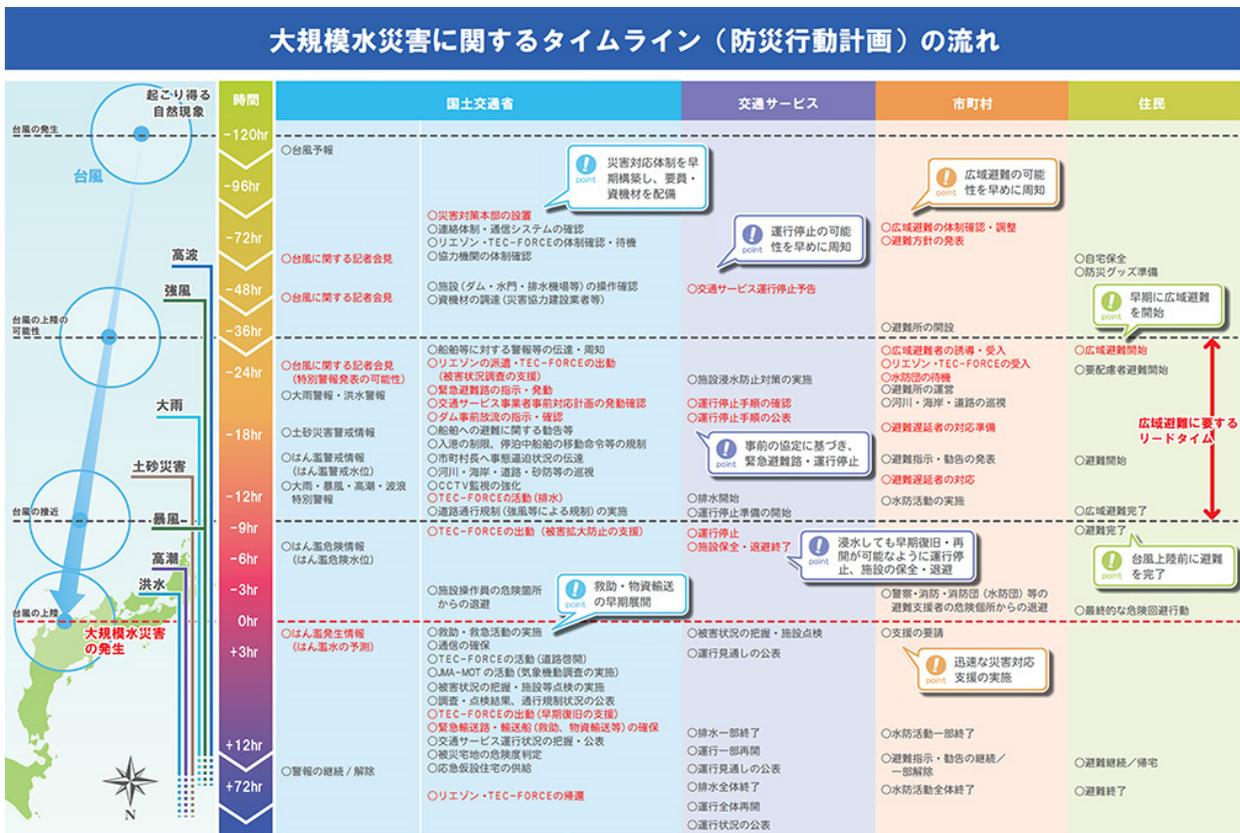
中部圏でスタートし、2017年6月までに1級河川沿いの全自治体でタイムラインの取り組みが開始された。2021年度までには全2級河川沿いの全自治体でタイムラインが策定されることになっている（気候変動による水害研究会，2018）。

a) 大規模水害

図 2.1 に、大規模水災害に関するタイムラインの事例を示す。情報伝達の流れからみると、国（左側）から徐々に組織規模が小さくなり最終的にはタイムラインの主体である避難行動をする住民（右側）の判断、行動となる。なお以下の流れは、大規模台風を対象としている。以前から指摘されている、大都市近傍大河川（例えば東京の荒川）の破堤氾濫による破局的とも言える大都市域災害に対する広域避難を念頭においていると考えられる。ここで注目されるのが、避難行動の実際は地域ごとあるいは家庭・個人毎に異なる部分もあるにも関わらず、右に向かうほど情報が少なくなっていることである。国土交通省が作成した資料であることも理由ではあろうが、この問題点についてはタイムラインの日本への導入に直接関わった方からの情報により、当初から課題として避難主体である住民側での具体・詳細な計画の必要性が指摘されていたとのことである（森北，2021）。

b) 自治体

自治体におけるタイムラインの例として、図は省略するが一例として郡山市の事例（郡山市，2021）について述べる。自治体が自ら作成したために、郡山市の ToDo 情報は多いが、先の国によるタイムライン例と同様に、住民等の欄は市に比べると情報は少ない。



※タイムラインに関わる関係機関、防災行動は多岐にわたりますが、本イメージ図は国土交通省の対応や広域避難と交通サービスに着目して整理したものであり、時間軸の設定、対応の実施などにあたっては、今後の検討、調整が必要になります。また、赤字は特に対応強化の必要と考えられる項目です。

図 2.1 一般的なタイムラインの概要(国土交通省，2020)

2.2.2 球磨川流域でのタイムライン

a) 八代河川国道事務所

掲載は省略するが八代河川国道事務所ではタイムラインの一つとして主体関係図が作成されている（小林ら）。特に避難主体である住民側で地区毎のコミュニティタイムラインが明記されていることが注目される。現在更に詳細なマイタイムラインの作成も八代市を含む全国で取り組まれている。

b) 八代市

図 2.2 に八代市におけるタイムラインの一例を基準地点の萩原観測所水位と合わせて示す（八代市，2021）。これは令和 2 年 7 月豪雨でも用いられた。水位は坂本町より下流の萩原観測所データを用いてステージ判断が行われる。なお先に示した他の自治体の例と異なり，坂本町と市全域とで異なった水位が用いられている。また先述した，避難主体である住民側のタイムラインであるコミュニティタイムラインやマイタイムラインも検討中のようである。

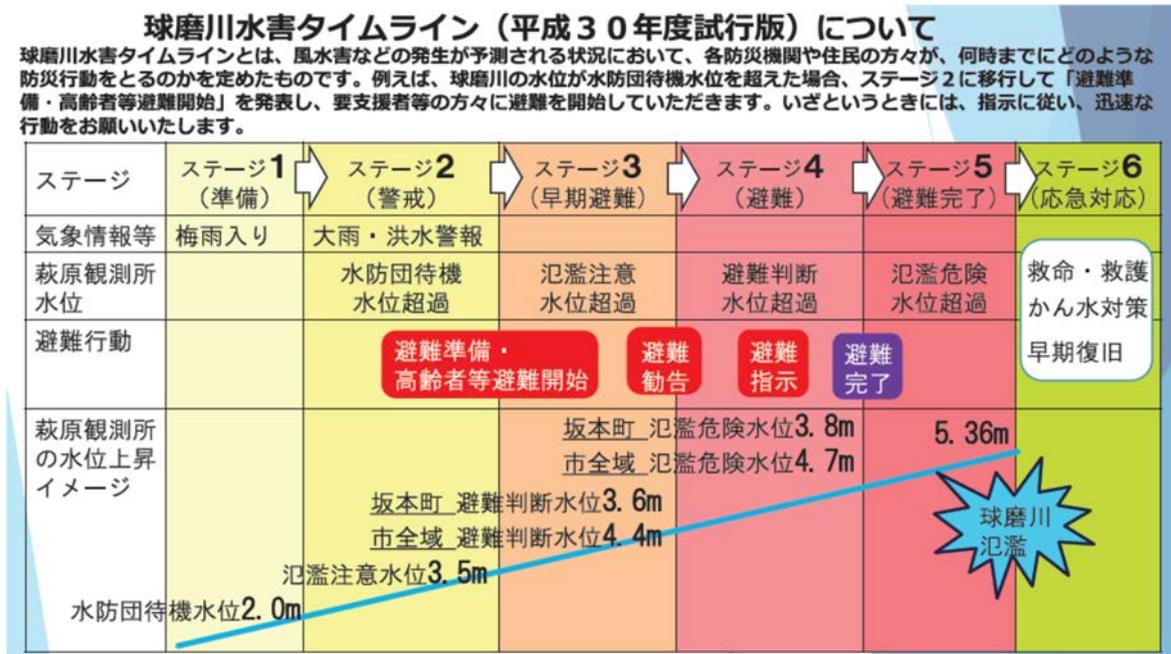


図 2.2 八代市における球磨川水害タイムライン（八代市，2021）

2.3 豪雨への対応

2.3.1 八代市坂本地域の被害

球磨川水害において浸水面積や人的被害等が多かった自治体は人吉市や球磨村である。一方で，氾濫・浸水状況に関しては，球磨村役場付近・渡地区や人吉市街部は L2 レベルには達していなかったのに対して，八代市坂本町においては，浸水範囲は L2 レベルであったことに加え，狭窄部の河岸に地域が存在することもあり，橋の流出や役場等多くの建築物の破壊が生じた（写真 2.1）（国土交通省，熊本県，2020）。浸水面積としては八代市坂本町は約 25ha であり人吉市の約 1/20 であったものの，上記

表 2.1 被害状況（国土交通省，熊本県，2020）

市町村名	浸水面積 (ha)	浸水戸数 (戸)
人吉市	約518	4,681
錦町	約290	約280
相良村	(柳瀬橋下流) 約90	約260
	(柳瀬橋上流) 約130	約170
球磨村	約70	約290
八代市	約25	約520
あさぎり町	約20	約4
芦北町	約5	約70
合計 ※4	約1,150	約6,280

## 第7編

災害規模から考えると人的被害が坂本町では4人と少なかったと考えられることは重要な教訓や水工学を含む今後の課題が得られると考えられる。また本災害の特徴の一つとして、球磨川流域における全50人の犠牲者のうち、洪水溺死の割合が7割強、60代以上の犠牲者が9割強であったことが挙げられる。(国土交通省, 熊本県, 2020)

### 2.3.2 八代市および坂本町の対応

#### a) 八代市：タイムラインの柔軟な運用

八代市における災害当日の対応等の一覧を表2.2に示す。基本的にはタイムラインに応じた対応が実施された。詳細は表の通りであるが、先述した甚大な浸水規模と物的被害にも関わらず人的被害が必ずしも多くなかった理由の一つについて記す。八代市においては、タイムラインに沿って情報交換や判断、連絡等が実施され(図2.2)、坂本町に対して7月4日4:03に避難指示が防災行政無線で連絡された(表2.2)。掲載は省略するがタイムラインでの参照水位観測地点である八代市の萩原観測所の水位はこの時点では約3m弱でありタイムラインでの坂本町避難指示に相当する3.8mよりも1m弱低かった。なおこの水位に達したのはam5を過ぎた後である。その後水位は上昇を続け、12:20にピーク水位5.28mに到達した。この判断は、萩原以外の上流観測所の水位も確認しながら、坂本町の危険性を総合的に考慮したためであると考えられる。これによる坂本町における人的被害の少なさへの影響は無視できないと考えられる。なお市全域への避難指示(6:40)はネットワーク障害のために未発信であり、9:50に県が代行発信で市全域への住民に伝達された。このため、下流市街地での氾濫がもし生じていた場合は、八代市で大きな被害が生じた可能性がある。

#### b) 坂本町中心地

坂本町での氾濫域はL2に相当する規模であり、かつ多くの構造物被害が生じた災害外力規模であった(写真2.1)。筆者の個人的感想であるが、過去に参加した2011年の東日本大震災による津波被害調査と同様な家屋被害状況であった。一方で八代市における犠牲者は4人であり、全てが坂本町の一人暮らし高齢者であった。氾濫域規模では人吉市や球磨村よりも災害外力が強い傾向があったにも関わらず犠牲者が4人であったことは、先述したタイムラインの柔軟な運用に加え、地域における共助自助があったと考えられる。例えば坂本町藤本地区では、釣りボートで地元住民が周囲の住民を自主的に救助したとのことである。当日午前6時過ぎに、ボートで屋根や2階に垂直避難していた被災者が付近の高台に緊急的に運ばれた(以上、現地で提供された新聞記事より)。また、八代市に存在する多くの校区(いわゆる町内会)において、坂本町は従前から防災意識が高いために全1,565世帯が自主防災組織に所属しているのも特徴である。坂本町現地調査で撮影した様子の例を写真2.2に示す。左側の峯苦病院は、被害の大きかった中心地において、おそらく唯一の3階建て建築物である。目視確認



写真 2.1 坂本町の被害状況 (筆者撮影)

表 2.2 八代市における初動対応実績(国土交通省, 熊本県 2020)

令和2年7月豪雨球磨川検証委員会資料提出  
一部修正:八代市 危機管理課

初動対応について【気象関係情報等の伝達等】(八代市)				
	国 (熊本地方気象台・九州地方整備局)	熊本県	八代市	住民
7月3日 (金)	11:28 大雨注意報 16:00 球磨川水害タイムライン運用会議 16:50 洪水注意報		16:00 球磨川水害タイムライン運用会議開催	
	21:39 大雨警報	県のシステム(自動配信)	メールで受信、自動印字(受信確認実施)	市登録制メール
7月4日 (土)	0:18 洪水警報		0:18 洪水警報	市登録制メール
	1:10 土砂災害警戒情報	1:10 土砂災害警戒情報	1:10 土砂災害警戒情報	市登録制メール・エリアメール・緊急速報メール
	3:39 記録的短時間大雨情報		2:45 避難準備・高齢者等避難開始	避難行動要支援者の避難支援 テレビデータ放送(デタポン)
	4:50 大雨特別警報		4:03 避難指示 (坂本町のみ)	【坂本町】 自助による避難、住民同士の共助による避難、 避難行動要支援者の避難支援
	6:30 氾濫危険情報(萩原)		4:50 災害対策本部設置	防災行政無線は雨音の影響で十分伝わらなかった事例あり 住民の一部は、河川整備で安全と判断し、避難が遅れた
	7:50 氾濫発生情報 (合志野、小崎辻、西鎌瀬)		※ネットワーク障害(八代市)のため住民に伝達されず 6:40 避難指示 ※ネットワーク障害(八代市)のため未発信 7:00 避難所開設(23箇所)	一部の地域で、ボート等により避難が遅れた者の救助活動が行われた
		※ネットワーク障害(八代市)のため住民に伝達されず 9:50 避難指示	【坂本町以外】 自助による避難、住民同士の共助による避難、 避難行動要支援者の避難支援	

※気象警報は熊本地方気象台発表、指定河川洪水予報(氾濫警戒情報、氾濫危険情報、氾濫発生情報)は熊本地方気象台・八代河川国道事務所共同発表、土砂災害警戒情報は熊本地方気象台・熊本県の共同発表。  
※気象警報、指定河川洪水予報、土砂災害警戒情報は、国(気象台)の防災情報提供システム、県の防災情報ネットワークシステム等を活用し、住民には、テレビ、ラジオ、ウェブ、メール等の手段で伝達。  
※避難勧告等は、市町村防災行政無線(屋外拡声器)、メール、民放テレビデータ放送、市ホームページ、消防団や区長等による呼びかけ等により、住民に伝達。  
※県から市に対し、土砂災害警戒情報の発表をホットラインにより補完的に伝達し、また、避難勧告等の促しを実施。  
※指定河川洪水予報について、伝達ルートが多重化(国から県を経由し市へ伝達、国から市へ直接伝達)し、また、国(河川管理者)がホットラインで補完的に連絡。  
※大雨特別警報について、国から市に対し、メールやホットラインにより補完的に連絡。

● レベル3(高齢者など避難)  
■ レベル4(危険場所から避難)  
■ レベル5(命を守って!)



写真 2.2 坂本町の峯苦病院および短期避難所の一つ(坂本中学校)(筆者撮影)

した痕跡からは3階は浸水しなかったと考えられる。入院者等の避難行動要支援者がこの3階に垂直避難していた場合には被害者数を抑制する効果があったと考えられる。実際に上述の通り4人の犠牲者は一人暮らしであったことから本病院から犠牲者は出ていなかったことになる。

c) グループホームまどか(坂本町下流部): 事業者タイムラインの作成と避難所選択の自主判断(読売新聞, 2020)

グループホームは氾濫災害時における避難行動要支援者が生活していることから、避難準備と災害時の行動は極めて重要である。新聞記事に基づき坂本町の中でも球磨川狭窄部の最下流部右岸に位置するグループホームまどかにおいて、被害者が0であった対応について記す。なお新聞記事が一定レベルの客観的な情報を記載していると考えられていること、新聞記事は必ずしもアーカイブ化されているとは限らないことから(実際にGoogle検索で当該記事はヒットしなかった)、まず主要な文章を引用する。『・・・坂本町の「グループホームまどか」は、入所者18人を全員無事避難させた。同ホ

## 第7編

ームは、浸水などが想定される避難確保計画を作成し、それに基づく訓練も定期的に行っていた。全国的に計画の作成率は5割以下、訓練実施率は2割以下と低い現状があるが、日頃から準備しておくことの大切さが示された形だ』(下線は筆者による)。以上は冒頭の総括文書であるが、本文から主に当日の情報を列記すると以下の通りとなる。

- ・7月4日午前3:50分、夜勤職員のスマートフォンに球磨川氾濫可能性が高まっていることに関するアラート連絡が一般の災害情報サービスから自動で届く(市からの避難指示約10分前)
- ・ホーム職員と理事長らがSNSで連絡を取り合い、避難は夜明けから始めることを決定
- ・避難所は、ハザードマップにおける公共施設ではなく、2年前に計画を見直しして避難先として追加していた系列社会福祉法人施設と決定
- ・避難手順は例年2回実施している訓練通りに進め、自宅待機職員が合流して介助度合に応じた順序で避難開始
- ・約2時間で避難完了した後、ホームへの浸水開始
- ・反省点として、ホーム下流の新萩原橋を通過して左岸側の避難所へ移動したことに、橋の流出リスクは考えていなかった
- ・今後も想定外を除外し、避難計画の見直しと向上を考える予定

以上より着目されるのは、まず災害発生前の平常時にグループホームとしての独自のタイムラインを検討・作成していたことに加え、避難計画の作成と訓練を実施していたことである。特にハザードマップで指定された近傍避難所(球磨川狭窄部の山地斜面に位置)は土砂災害の危険性があると考え、独自の判断で下流市街地の関連施設を自主的に選択したことは重要である。また、指定避難所は3密の恐れもあるうえにグループホームからの避難者は避難行動要支援者であるだけでなく、コロナ罹患による重症化の懸念もあることから、関連施設避難は有効であると考えられる。ただし、残念ながらこの地区でも市からの防災行政無線は確認できなかったとのことであった。

次に災害時において着目されるのは、上記の通り SNS 等を活用した自主的情報収集判断と訓練に基づく適切な行動である。これらが、球磨川流域での犠牲者のほとんどを占める避難行動要支援者、高齢者の犠牲者が八代市で少なかった理由の一つであると考えられる。なお、八代市におけるこうした福祉施設はほとんどが市街地に存在し、唯一の浸水被害が生じたのが坂本町の本施設であった。

## 2.4 教訓と課題

八代市(坂本町)ではL2浸水被害が生じたにもかかわらず犠牲者が4人であった理由について、調査結果からある程度明らかになったと考えられる。2.2で記載したとおり、様々な事前準備、当日対応等が八代市や地域、施設や個人により概ね適切に行われ、結果として避難行動要支援者の水平・垂直避難が成功した。これらから得られる教訓と課題を以下にまとめる。また、それらの課題や解決方法案について、水工学分野以外も含め記す。

### 2.4.1 個別事項

#### a) 行政(地方自治体)

タイムライン運用における水位や観測地点を総合的に判断した柔軟な対応は概ね成功であったと考えられる。しかしながら八代市全域への避難指示がネットワーク障害で伝達されなかったことから、頑強かつ複数の情報伝達方法の確保が必要である。

## 第7編

縦割り行政の、住民対応の主体である地方自治体における問題もある。鹿児島市の担当者との意見交換で確認されたことであるが、一般的に防災行動や住民対応は福祉系部局が、タイムラインやハザードマップの対応は防災担当部局が担当することが多い。包括・統一的な対応が今後求められる。

### b) 避難行動要支援者生活施設

グループホームなどで実施されていた避難確保計画書の作成とそれに基づく訓練は浸水が想定される高齢者施設に義務付けられているが、実際には全国的に計画書作成は5割以下、訓練実施率は2割以下と低い現状がある（読売新聞 2020）。本施設での取組は他の類似施設でも見習う点が多く、行政側もこうした適切な取組の実施率を高めるために、たとえばこうした参考事例を広く広げる仕組みづくりが必要であると考えられる。

### c) 個人の防災意識：自助共助

坂本町住民の防災意識の高さと共助行動は、昔からの定住者が多いためであると考えられるが、新規入居者の多い市街地でも実施される行政的な仕組みづくりが必要であろう。

### d) 避難所

安全性、コロナ対応等から独自避難所の検討と避難実行は他の地域でも有効である。また坂本町のようにL2でほとんど水没するような地域では、避難行動要支援者の垂直避難可能な建屋をあらかじめ計画するのも有効かもしれない。

### e) タイムラインとハザードマップ

避難行動をより安全に行うためには、コミュニティタイムライン、マイタイムラインが重要である。ただし、その前提となるのは氾濫災害時の事象に関する高い精度の情報であり、ハザードマップに避難行動に関する情報も求められる。具体的には、最大浸水深と家屋破壊危険性といういわば静的な情報だけでなく、避難行動の参照となる流体力の評価も必要であろう。更に、避難行動を考えると、たとえば避難所付近や避難困難区域での局所的な解析空間精度の向上も重要である。同時に、内水氾濫の地域特性や浸水深だけでなく流体力も避難行動、特にルート選択において重要な情報となる。こうした情報に基づいた上での安全度の高いコミュニティ・マイタイムラインの作成が可能となる。

ここで大きな課題が、人材である。水災害、特に氾濫では災害事象の特性にかかる一定レベルの水工学の知識が必要である。防災士という資格はあるが、必ずしもこうした知識は要求されていないと考えられる。上述した氾濫情報を社会実装するための、水害避難に関する防災教育の向上が求められる。

## 2.4.2 水工学の課題

以上のような課題を解決する上で、特に提供情報や人材育成においては、水工学の果たす役割が大きいと考えられる。

ハザードマップに基づきタイムラインを活用した水害・氾濫対応の多くは「情報伝達」であり、避難そのものの「実行」は避難者が行う。したがって大枠としては、「如何に多様な避難者の行動に貢献できるか」を念頭においた水工学および関連する土木技術の行政・実務の在り方も今後の課題である。具体的な例の一つは、氾濫事象にかかる情報について上記課題を解決可能な、避難行動を考慮して必要性に応じた空間的に詳細な情報を効率よく解析できる手法の開発が必要であろう。情報伝達の流れからとらえると、最上流側に相当する水工学の学術知見が土木実務を通じて行政や地域、個人に伝えられた結果、適切な避難行動が実現されることになる。したがって情報エンドユーザーである避難者のニーズに合致した情報最上流部の水工学の在り方の再考も必要であると考えられる。

またコミュニティ・マイタイムライン作成で必要となる最低限の水工学的知見を有した人材育成も必

## 第7編

要であり、社会教育分野における水工学の貢献も今後の課題である。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、鹿児島大学教育学部久保田治助准教授には、本調査のきっかけとなる鹿児島市福祉協議会での講演を推薦頂くとともに、災害避難における地域コミュニティ組織の重要性をご教授頂きました。埼玉大学人文社会科学研究科の中本進一教授には、社会学の立場からの住民側タイムラインの重要性をご教授頂きました。八代市坂本町のグループホームまどか（NPO 法人 八竜会）の松本房人理事長らには、新聞記事の活用を許可頂くとともに、当日の情報について御教授頂きました。本調査団の第2回意見交換会において、本調査の発表に関して九州大学の小松利光先生、福岡工業大学の森山聡之先生、聖徳大学の北川慶子先生から有益なご意見を頂きました。原稿に関して調査団執行部の先生方から有益な助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 古里栄一・田中規夫，氾濫流解析結果を用いた氾濫避難行動に有用な被害情報の提案，第41回土木学会 関東支部技術研究発表会，Ⅱ-52，2014.3.14
- 古里栄一，鹿児島市地域福祉計画中央地区福祉推進会議，豪雨による河川水害にかかる避難行動に関する考え方～地域住民の防災・減災の立場から～，講演資料，鹿児島市 市民福祉プラザ小会議室1・2，2020年1月15日
- 国土交通省，タイムライン，HP (<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/timeline/>，2020年2月19日アクセス)，2020
- 国土交通省 九州地方整備局，熊本県，第1回 例2年7月球磨川豪雨検証委員会 説明資料 令和2年8月25日，2020
- 小林 侑，黒木雄介，岸良武志，八代河川国道事務所におけるタイムラインを軸とした各種取組について，国土交通省資料
- 郡山市，郡山市タイムライン（防災行動計画）について，HP ([https://www.city.koriyama.lg.jp/bosai\\_bohan\\_safecommunity/bosai/4/10322.html](https://www.city.koriyama.lg.jp/bosai_bohan_safecommunity/bosai/4/10322.html))，（2020年2月19日アクセス），2020
- 気候変動による水害研究会，地球温暖化の脅威に挑む 激甚化する水害，日経BP社，200pp，2018.
- 森北佳昭，私信，2021
- 八代市，球磨川水害タイムライン（平成30年度試行版）について，HP ([www.city.yatsushiro.lg.jp > kiji0035205](http://www.city.yatsushiro.lg.jp/kiji0035205)) 2021年2月22日アクセス)，2021
- 読売新聞，避難計画・訓練生きた 九州豪雨 安全に2時間で避難 八代の高齢者施設，2020年7月29日，2020

## 第3章 九州における甚大な豪雨災害リスクの増大について

九州大学 小松 利光, 福岡大学 橋本 彰博, 佐賀大学 押川 英夫

### 3.1 はじめに

令和2年7月初旬の梅雨末期に、九州に停滞する梅雨前線に向かって、大量の水蒸気を含んだ暖かい空気が、いわゆる「大気の川」を通してインド洋や東シナ海から流れ込んだ。そのため、スケールの大きな線状降水帯が発生し(中村, 2020)、九州の一級河川である球磨川や筑後川の流域全体を覆うような形で大量の降雨をもたらした。本川からも溢れて甚大な洪水災害となった。これまでの線状降水帯は、比較的範囲が狭く、短時間で集中的に豪雨を降らせていたが、地球温暖化の進行とともに広域に亘って大きな降雨をもたらすような線状降水帯も出現してきている(気象研究所, 2020)。

球磨川・筑後川の被災地の現地調査にも赴いたが、実際に足を運ばないと分からないことが沢山あることを改めて痛感した。想像を超える浸水深など災害の規模が激甚化しており、被災者の苦痛・苦労や悲しみは計り知れないものがある。今後九州が直面する甚大な豪雨災害発生の脅威について警鐘を鳴らしておきたい。

### 3.2 今後九州に起こりうる甚大な自然災害～今は九州受難の時代の始まりなのか～

#### 3.2.1 令和2年7月の九州豪雨災害の特徴

4年前の平成29年7月の九州北部豪雨災害では、朝倉市を中心とした狭い範囲に短時間(数時間程度)に集中して大量の降雨があり、山地河川の斜面は同時多発的に表層崩壊を起こした(橋本ら, 2018)。発生した流木と土砂は、河川の流れを遮断・閉塞し河道を埋塞した。その結果、溢れた洪水は、谷底平野全体に拡がって流れ、人家を押し流し田畑を埋め尽くした(三重苦災害)。ただ、豪雨の範囲が局所的だったために筑後川本川の氾濫はなかった。

続く平成30年7月の西日本豪雨災害では、被災地は九州・中国・四国・関西の広域に亘り、やや長時間(24~72時間)の降雨が甚大な被害を招いた。近年の線状降水帯による豪雨災害では短時間局所集中型が多かったが、必ずしもそうではないことを我々に突き付けた。

更に昨年7月の九州豪雨災害では、梅雨前線が北部九州上に停滞していた7月3~4日にかけて、九州南部の広範囲(球磨川流域、川内川流域)に亘って大規模な線状降水帯が発生し、特に球磨川流域全体に亘って300~650mmの24時間降雨を記録した。その結果、盆地の人吉市で球磨川の既往最高水位を2m以上超える水位を記録して溢れた。また球磨村の渡地区、八代市の坂本地区などでも水位の大幅な上昇で家屋が流され、人が亡くなるなど大きな被害が発生した。その後、梅雨前線は北上し対馬付近に停滞していた7月5日~8日にかけて再び大規模な線状降水帯が発生し、筑後川流域ならびに九州山地を跨いで大分川流域にまで豪雨をもたらした。その結果、昭和28年の大水害以来の筑後川本川における溢水氾濫が発生した。

#### 1.2.2 複合化・強大化する豪雨災害からの教訓

##### a) 災害外力の強大化・広域化

一昨年の一連の台風災害では、台風の巨大化が指摘され、昨年の九州豪雨では一級河川の流域全体に

## 第7編

亘る広域の豪雨が大きな特徴であった。

近年の豪雨や台風を見ていると、災害外力が強大化・広域化していることが実感される。図 3.1 に昨年7月4日の球磨川豪雨の際の降雨状況についてのレーダー観測結果を示す。6時間以上に亘って東西に伸びた線状降水帯が、球磨川流域・川内流域を覆い続け大量の降雨をもたらしていることが分かる。その結果、図 3.2 に示すように球磨川流域の24時間雨量が、300mm 台の流域北部を除き 400mm から 700mm 近くにまで及んでいる。

近年の豪雨の広域化、台風の巨大化等に地球温暖化が大きく影響していることが指摘されている。平均気温の上昇に伴って、年時間最大降水量や日本近海の海面水温、また日本上空での水蒸気量も過去40年間で大きく上昇している。なお過去100年、日本の近海は、地球上の全海洋平均より2~3倍速いペースで温暖化が進行している(中村, 2020)とされている。以前は、北上した梅雨前線に向けて熱帯から吹き込む気流は、日本近海の海水温が低いため安定化し積乱雲を発達させにくかったが、近年の海水表面温度の上昇により、日本近海でも気流に熱・水蒸気が補給され続けるために不安定な状態が保持され、積乱雲が発達し線状降水帯が発生しやすくなっている(中村, 2020)。また、日本近海の海水の昇温に伴い、台風があまり衰えずに日本列島に接近・上陸する傾向が表れている。更に海面上昇も加わり、強風被害や高波・高潮による浸水被害の甚大化も懸念されている。

### b) 地域の脆弱な箇所が破綻

図 3.3 に標高差の分かりやすい形で球磨川流域を示す。球磨川流域は円形に近い形であるが、人吉盆地最下端地点の球磨村渡地区の集水面積は、流域全体の約8割に及ぶ。流域は盆地とそこから流れ出る狭窄部の組み合わせ(pair)から成り立っており、one pair でそのpairの規模が非常に大きくなっている。流域全体に降っ

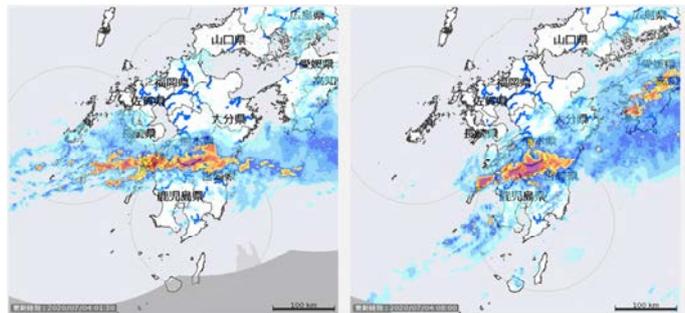


図 3.1 レーダーが捉えた線状降水帯(XRAINより作成, (左)7月4日1:30, (右)7月4日8:00)

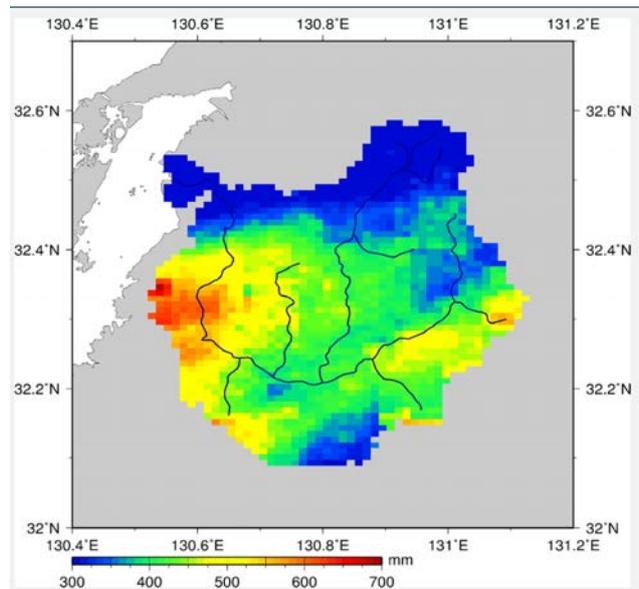


図 3.2 球磨川流域の降雨特性(24時間雨量: 期間7/3日10時~4日9時(京大野原・角作成))



図 3.3 球磨川流域(流域全体が盆地と狭窄部のone pairから構成される)

第7編

た雨の多くが人吉盆地に流れ込み、そこから球磨村や八代市坂本地区などの狭窄部を流下して八代海に注ぐという独特の流域地形となっている。人吉盆地は低いため大量の水の流入により溜め池のようになって、水位が上昇して市街地に溢れた(図3.4)。また、球磨村渡地区(図3.5)や八代市坂本地区などは、川の両側に山が迫る狭窄部であるため、人吉盆地から大量の水が流れ出すと水位が予想以上に上昇し、兩岸の居住地を襲って多くの人的・物的被害を引き起こした。

筑後川においても本川と支川・玖珠川の二箇所で見舞われたが、玖珠川の氾濫箇所は玖珠町・九重町のある盆地状の地域から流れ出す狭窄部の天瀬地区で、また本川では日田盆地から流れ出す狭窄部の始まりの地点(花月川合流点付近)で溢水氾濫が起こった(図3.6)。つまり筑後川流域では盆地部での氾濫はなかったが、狭窄部で溢れたということである。

我が国の大河川は例えば千曲川のように盆地部と流れ出す狭窄部の pair が連続している場合が多い。九州鹿児島島の川内川も盆地・狭窄部の pair が連なっている。一方、球磨川同様に盆地・狭窄部の pair が一つの川も見られる。熊本の緑川、白川などである。今回の球磨川豪雨災害のように流域全体に大量の降雨がある場合、盆地・狭窄部が共に治水上の脆弱部でネックとなる。

c) 今は九州の受難の時代の始まりなのか

改めて九州の地形を眺めて見る(図3.7)。南北に脊梁山脈である九州山地が走り、東西方向の分水嶺となっている。したがって、この分水嶺より西側に降った雨は西九州を流下して有明海・八代海・東シナ海に流れ込む。一方、分水嶺より東側に降った雨は、東九州を流れ下り瀬戸内海・豊後水道・太平洋に注ぐこととなる。このため必然的に河川は東西方向に形成され、流域の形も東西方向に細長い形を取ることとなる(図3.8)。九州の一級河川の流域形状の例を図3.9に示す。様々な形を取るが、東西に細長い形状となっている河川が多い。我が国では、九州のような南北に長い地形はあまりなく、僅かに紀伊半島に見られる。

我が国で最も西に位置する九州は、豊富な水蒸気を含む線状降

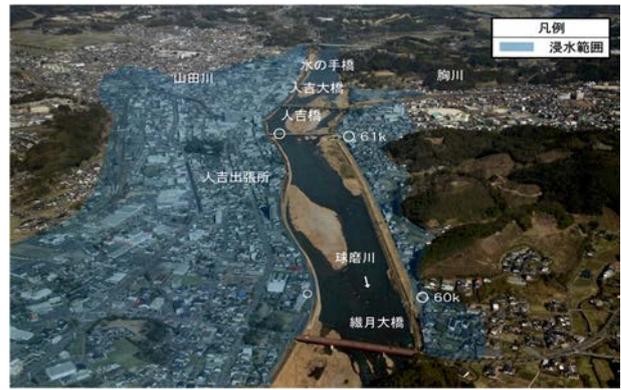


図3.4 人吉盆地での浸水状況(国交省提供)



図3.5 球磨村渡地区での浸水状況(国交省提供)



図3.6 筑後川流域(盆地地形と pair の流出狭窄部で被災)



図3.7 九州の地形

第7編

水帯の洗礼を真っ先に受ける。特に天気図等でもよく見かけられるように、線状降水帯も東西に細長く伸びた形状を持つ(図3.1)。大型化・広域化して南北にある程度幅を持ち東西に細長い線状降水帯が、同じく東西に細長い九州の一級河川・二級河川の流域とスッポリ重なったら、今回の球磨川水害の再現となる。また海水温の上昇により巨大化・低速化した台風でも強い雨域が広がるため、大河川の流域全体を豪雨が襲う可能性は高くなる。その位置と地形から九州が、今後の温暖化の影響を真っ先に、そして真正面から受け止めなければならないということを、我々は危機感を持って見据える必要がある。



図 3.8 東西に伸びる九州の一級河川と二級河川の流域



図 3.9 九州の一級河川の流域の形状の例

3.2.3 今後の球磨川における対策

今回の球磨川・筑後川水害は、大河川の流域全体と線状降水帯が重なったら何が起きるのかを如実に示すことで我々に貴重な教訓と警告を与えている。流域全体に降る豪雨への対策は、中途半端なものでは到底対応しきれない。特に独特の流域形状を有する球磨川では、流域の大部分から人吉盆地に向かって雨水が流れ込んでくる。この大洪水を狭窄部を通してうまく八代海まで流してやるためには、出来るだけ流域の上流部で一旦貯留して、洪水の極端なピークを抑えるしかないであろう。そのためには遊水池案などが考えられるが、地権者の同意が得られにくいなど多くの困難が予想される。

著者らの研究グループは環境にも優しいダムとして、山間部に建設する小規模流水型ダム（穴あきダム）群（図3.10）のネットワーク化を提案している。

球磨川の本川筋に対しては、大型ダムの建設は適地の関係等からも困難と思われる。そこで、小規模流水型ダム（河道内遊水池）群のネットワーク化による山間部での流域貯留が有効と考えられる。山地部なので地権者の同意も得られやすい。また型式もオーストリアの小規模流水型ダムに倣ってアースフィル形式にすれば、通常時は水が貯まっていないので、ダムがあることすら分からないくらい周囲の自然環境に溶け込む。放流方式も最新のカスケード方式を採用することで、順応的に治水効率を上げることができる。なお、人吉盆地上流側の農業に使われている土地を、地権者の同意が得られれば田んぼダムや遊水池に活用することも有効と思われる。

一方、支川の川辺川筋は球磨川全流域の3割を占める流域面積を持ち、山地部から成り立っている。この流域に降った雨水がそのまま人吉盆地に流れ込んだことが、今回の球磨川水害の被害甚大化の一因となっている。川辺川から人吉盆地への流入に対しては厳しく制御することが必要であるが、そのための手段として環境に比較的優しい大型流水型ダムが提案されている。しかしながら、流水型ダムは、同じ治水容量を持つ人為操作型の貯水型ダムと較べて治水効率落ちるという短所がある。

そこで我々は、川辺川に対しては図3.11に示すように両者の短所を補った「Hybrid型の大型流水型ダム」を提案したい。大型貯水型ダムの設備を有するダムの堤体の河床高付近に、ゲート付きの穴（常用洪水吐き）を開けておく。そして、通常時もしくは中小の洪水時は流水型ダムとしてそのまま機能させるが、大洪水の時は穴のゲートを閉じて、一時的に貯水型ダムとして人為的に最も効率的な洪水操作（なべ底カット等）を実施する。ゲート付きの常用洪水吐きを有する流水型ダムとして現在足羽川ダムが建設中であるが、本ハイブリッド方式はさらに徹底して役割分担を行うことにより治水と環境保全の両立を高いレベルで実現しようというものである。また、この方式だと、普段は人が常駐する必要もなく経済的である。今後の球磨川の治水は、他の九州の大河川（一級河川）、ひいては全国の大河川の良き範となっていきたい。

### 3.3 まとめ

地球温暖化による線状降水帯の大型化・広域化ならびに台風の巨大化・低速化により、地形や位置的特性から九州の一級河川・二級河川における大規模氾濫リスクの増大について早急に警鐘を鳴らす必要

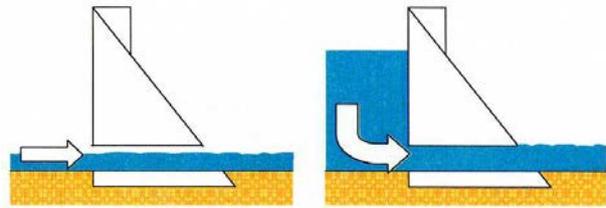


図3.10 治水専用流水型ダムの概略図



図3.11 球磨川の支川の川辺川の治水策への提案

## 第7編

があると我々は考えている。

今回の球磨川・筑後川水害は、大河川の流域全体と線状降水帯が重なった時に何が起きるのかを如実に示した。我々は謙虚にこの事態を受け止め、今後賢く対策を講じていかなければならない。なお、図3.1に示されているように、線状降水帯はいつも簡単に九州山地を飛び越え東九州にまで跨っている。したがって、今回の水害は西九州が主体であったが、東九州も決して安泰ではない。西九州と同様に大洪水の危機が迫っていると言える。

また、球磨川支川・川辺川の治水対策として、清流川辺川を守るためにも環境保護と防災の両立を可能とする『Hybrid型の大型流水型ダム』を提案した。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局にはデータ提供等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

中村尚：気候変動と今年の気象災害、セッションSS-11, ぼうさいこくたい2020, 防災学術連携体・日本学術会議, 2020.

気象研究所：報道発表「令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査」, 2020.

橋本彰博・押川英夫・小松利光：平成29年九州北部豪雨災害の特徴と得られた教訓, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, I\_1087-I\_1092, 2018.

# 第 8 編

## まとめと今後に向けた提言

熊本大学	大本 照憲
九州大学	矢野 真一郎
熊本大学	石田 桂
九州工業大学	重枝 未玲



## 第1章 まとめと今後に向けた提言

熊本大学 大本 照憲  
九州大学 矢野 真一郎  
熊本大学 石田 桂  
九州工業大学 重枝 未玲

### 1.1 はじめに

本報告書は全体を8編で構成し、各編は第1編 令和2年7月九州豪雨災害の概要、第2編 令和2年7月豪雨の特徴、第3編 球磨川流域の豪雨災害、第4編 筑後川流域の豪雨災害、第5編 大分・肝属・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害、第6編 被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響、第7編 将来の豪雨災害に対する備えとした。本編では、各編各章で得られた知見を取りまとめ、最後に、水工学委員会調査団として今後に向けた提言を記す。

### 1.2 各編のまとめ

第1編では、今次豪雨災害について人的被害を含めた被害の概要及び本報告書の構成を示した。以下に、各編のまとめを示す。

#### 1.2.1 第2編 令和2年7月豪雨の特徴

第2編では、令和2年7月豪雨による気象・降水特性に関する調査結果を以下の通りとりまとめた。

第1章では令和2年7月の大気の状態を解析し、また過去との比較により今次豪雨をもたらした気象条件の調査を行った。これにより今次の豪雨災害時には、南側から複数の経路を通り湿った空気が輸送されてきたことが示された。また、長期間の変化傾向よりも2020年7月上旬の特徴的な湿った空気の流れが九州上における水蒸気の収束に寄与していた可能性が示唆された。

第2章では、今次豪雨で被災した九州の主要一級河川として5河川を抽出し、地上雨量観測所による降水分布と2種類のレーダーデータによる降水分布を比較し、さらに流域内における面積雨量を算出して、各観測手法でどのようなデータ特性になっているかを中心に解析を行った。これにより、球磨川流域を除く4流域では、どの観測手法でもおおむね同様な降水分布であったが、球磨川流域については、流域内に設置された地上雨量観測所のデータ欠測が多く、レーダーデータとの比較では上・中・下流域のいずれの領域でも正確な降水分布を表現できない可能性が高いことが判明した。面積雨量においては、九州北部の流域では解析雨量とXRAINに大きな差は生じていないが、九州南部では両データで差が生じていた。

#### 1.2.2 第3編 球磨川流域の豪雨災害

第3編では、令和2年7月豪雨による一級河川球磨川流域とその支川流域における河川・土砂災害に関する調査結果を以下のようにとりまとめた。

第1章では、令和2年7月4日に発生した球磨川水害の人的・物的被害を取り纏めると共に、自然外力である雨量の降雨継続時間に応じた確率年を評価した。確率年の最大値は、人吉観測地点では降雨継

## 第 8 編

続時間 14 時間で 855 年，上観測地点では 9 時間 1270 年，湯前赤谷観測地点では 9 時間で 479 年であった。更に，人吉市における流域平均雨量は，降雨継続時間 12 時間で 746 年であった。また，球磨川水害では流下型氾濫形態を取り，人吉・球磨盆地の出口に発達した連続蛇行部では堤内地が高水数相当の複断面蛇行流の一部となったこと，山間狭窄部では谷底平野の氾濫流となり，人的被害および住家流失を惹起したことが示唆された。

第 2 章では，昭和 40 年 7 月球磨川洪水における市房ダムの風評被害について議論した。令和 2 年においても，市房ダムからの放流が昭和 40 年 7 月球磨川水害の原因と考えている住民が多く，流言の根深さが深刻であることが示された。

第 3 章では，人吉市街地から球磨村渡地区の浸水状況を定量的に明らかにすると同時に，被害状況調査および洪水痕跡高調査を取りまとめた。

第 4 章では，球磨川上流域の流量の推定および令和 2 年 7 月豪雨時の球磨川流域中・上流域を対象に，降雨流出・洪水氾濫解析を実施し，同流域での降雨流出・洪水氾濫プロセスを検討した。今次豪雨の人吉地点の氾濫戻しを含む流量は，検証委員会で推定された流量  $7,400\text{m}^3/\text{s}$  程度であることが示された。

第 5 章では，令和 2 年 7 月豪雨により被害を受けた人吉市渡地区において UAV 写真測量によって得られた詳細な地形データと RRI モデルおよび iRIC を用いて，球磨川の上流域の流出氾濫再現シミュレーションを実施した。球磨村の渡地区を流れる支流の小川では球磨川の背水の影響で大幅な水位上昇が起こったことを明らかにするとともに，当該災害で人的被害が発生した養護老人ホーム千寿園における氾濫の状況を再現した。

第 6 章では，球磨郡渡地区の地下集落，今村集落，茶屋集落における，河道の蛇行流れと堤内地の氾濫流の相互作用を考慮した流下型氾濫形態に着目した氾濫流解析を実施した。今次水害では茶屋地区の家屋流失が目立ったのは，堤防沿いではなく鉄道と県道に挟まれた領域であった。球磨村渡地区における氾濫流の挙動は流下型氾濫形態であり，支川からの流入を考慮しない計算からは，氾濫流は連続した蛇行部の上流から堤防を乗り越えて堤内地に侵入したことが明らかにされた。

第 7 章では，令和 2 年 7 月 4 日に発生した球磨川水害の人的・物的被害の実態を明らかにすると共に，水理模型実験を通して中川原公園および橋梁が異常洪水流に与える影響について検討した。今次災害流量  $8,000\text{ m}^3/\text{s}$  では橋梁が無い場合には大橋上流で  $1.44\text{m}$  の水位上昇，更に橋桁が水没する場合には橋桁および橋脚の影響により，大橋直上位置で  $1.6\text{m}$ ，水の手橋直上位置で  $1.96\text{m}$  水位上昇することを明らかにした。

第 8 章では，球磨川流域の人的被害や浸水・建物被災状況を調査し，人的被害に及ぼす水理学的要因（浸水深や建物流失状況）を明らかにした。浸水深  $5\text{m}$  を超える範囲が  $52\sim 59\text{kp}$  の広い範囲に存在していた。浸水深  $5\text{m}$  は家屋の 2 階でも大人が十分立ってられない水深であるので，1 階から 2 階への垂直避難が通用しない洪水氾濫が広範囲に発生したことが分かる。また，球磨川に合流する支川周辺でも浸水が発生しており，本川狭窄部→本川上流部→支川とバックウォーター現象が連鎖的に発生していることが示された。建物被害のうち「流失」建物数は全体で 300 棟超に達し，そのうちの約  $1/3$  は主建物であった。また，流失建物は球磨川の全域で発生し， $52\text{kp}$  よりも本川沿いの上流域が約半分， $10\sim 52\text{kp}$  の中流域で約  $1/4$  であり，残りの  $1/4$  は支川沿いであり，これは土砂・洪水氾濫により生じた。

第 9 章では，神社仏閣の分布と浸水状況から令和 2 年 7 月豪雨の被害を考察し，浸水区域と神社の関係や特徴について検討した。本殿の向きや神社の配置から，人吉市において球磨川の氾濫と神社の配置がある程度関連していることが考えられた。また神社全体の浸水状況から，令和 2 年 7 月豪雨では過去約 1200 年間と比較して大規模な浸水は起こっていない可能性が高い。

## 第 8 編

第 10 章では、川辺川合流点より上流の球磨川流域における地形的特徴を踏まえて氾濫原をモデル化し、堤防建設と耕地整理に伴う排水能力増加が下流の洪水ハイドログラフに与える影響を数値シミュレーションにより概算した。また同モデルを用いてハイドログラフの先鋭化を緩和する方法について検討した。本川筋氾濫原の遊水機能保全も洪水ピーク流量をある程度減少させる可能性があることを指摘した。

第 11 章では、流域治水の概念、基本技術を取りまとめるとともに、水無川流域で洪水シミュレーションを行い、急勾配であるこの流域においても、氾濫域での一時的な貯留がピーク流量に影響を与える可能性があることを検証した。もたせ堤は遊水地よりも費用対効果を得られる可能性を持っていることも検証した。

第 12 章では、各所で下草や低木の消失が目立つことや今まであまり被害がなかった肥薩線の土砂災害による被災状況から、シカの食害、落葉広葉樹から常緑広葉樹への遷移、あるいは施業不足等により、従来と比べ土砂災害が増加し、斜面が不安定化している可能性が高いことを指摘した。

第 13 章では、球磨川における流木災害の実態について現地調査を行った結果をまとめた。ロジスティックモデルによる流木発生量評価モデルを適用し、球磨川支川の川辺川に建設する方針が示された川辺川ダムの集水域における流木リスクの評価などを試みた。降雨パターンが比較的近い平成 30 年西日本豪雨に最適化したモデルにより、今次豪雨による斜面崩壊の発生の傾向性が表現できた。また、今次豪雨による災害を受けて建設が表明された川辺川ダムの集水域においては、比較的流木の発生する可能性が低いことが示された。

第 14 章では、球磨川流域の市房ダムおよび仮に川辺川ダムが存在した場合に下流域に与える両ダムの治水効果について数値シミュレーションを基に考察した。一例として、市房ダムがあることによる青井阿蘇神社の水深低減効果は 0.18m、川辺川ダムがある場合は 0.94m であった。また、市房、川辺川ダムからの放流をゼロとする場合、青井阿蘇神社付近の浸水深は 7cm となり治水効果のあることが示された。

### 1.2.3 第 4 編 筑後川流域の豪雨災害

第 4 編では、令和 2 年 7 月豪雨による筑後川流域での調査結果を以下の通りとりまとめた。

第 1 章では今次豪雨による筑後川流域での被災の特徴を概説した。

第 2 章では、今次豪雨の降雨、被害状況、出水状況の把握を行なった。これより、今回の豪雨は計画規模の雨量であったこと、筑後川本川で計画高水位付近まで上昇した地点があったこと、筑後川との合流点より上流の玖珠川で計画高水位を超えたこと、ピーク流量は基準点の荒瀬で 4,700~5,160m<sup>3</sup>/s であったこと、などが確認された。

第 3 章では、筑後川本川と支川の花月川、二串川が合流する付近での浸水発生のメカニズムを検討した。本川は 3 基のダム（松原ダム、下釜ダム、大山ダム）による洪水調節が行われたが、支川の玖珠川上流にはダムが存在せず大きな河川流量が生じた結果、氾濫が生じたと推定された。松原ダムで特別防災操作を行えばはん濫を防げた可能性はあるが、上流の下釜ダムが異常洪水時防災操作に移行していたことから困難であったと考えられた。

第 4 章では、玖珠川上流の九重町野上地区における被災状況を調査した。久大本線などの大分県西部と福岡を結ぶ社会基盤に大きな被害を与えたこと、町指定文化財である野上石橋群が大きな被害を受けたこと、ならびに河川の湾曲部でのはん濫形態が見られたこと、などが確認された。

第 5 章では、玖珠川で発生した浸水被害を対象に、現地調査を実施して氾濫被害状況を把握した。ま

## 第 8 編

た、氾濫解析による氾濫流量の推定と被害の発生過程を検討した。今次洪水は、近年の水害（平成 24 年、29 年、30 年洪水）より大きい規模であり、最も被害の大きかった日田市天瀬におけるピーク流量は  $2,200\text{m}^3/\text{s}$  と推定された。玖珠町戸畑地区では、流量  $1,000\text{m}^3/\text{s}$  程度から下流側で還流されるため、現状ではそれ以上の流量規模の洪水に対しては遊水効果が期待できないこと、天瀬地区のはん濫過程は、約  $1,300\text{m}^3/\text{s}$  で道路へ氾濫し、水位上昇により天瀬橋に衝突した水が左右岸から溢れ、下流側の浸水深を増加させた可能性が示唆された。

第 6 章では、筑後川中流域の久留米市ならびに鳥栖市における内水はん濫の状況を調査した。両地区では本川水位が高い状態が続き、支川や内水域において内水はん濫が発生したこと、支川では越水や溢水が発生し被害が甚大化したことが明らかとなった。また、1 次元水理解析による検討から、ポンプ排水の増強によるはん濫の緩和程度を推定した。

第 7 章では、筑後川と支川の合流部における内水はん濫について調査した。今次水害では、降雨が約 3 日間にわたったことで本川水位の高い状況が長時間継続したため、冠水・浸水状態が長期化した。大刀洗川では農地が、久留米市中心部の金丸川では家屋の浸水被害が目立った。

第 8 章では、流木発生が顕著であった松原・下笠ダム上流域についての発生源調査を行った。14 カ所の斜面崩壊地データを収集したものの、両ダムで捕捉された流木量に比べ斜面崩壊地からの流木発生量はかなり少なかった。また、過去の大規模流木災害から開発された流木発生量を評価するためのロジスティックモデルを筑後川流域へ適用し、今次豪雨による斜面崩壊の発生傾向を表現したが、過大評価傾向であった。

### 1.2.4 第 5 編 大分・肝属・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害

第 5 編では、令和 2 年 7 月豪雨による一級河川の大分川・肝属川・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害に関する調査結果を以下のようにとりまとめた。

第 1 章では、大分川流域の豪雨災害について現地調査・聞き取り調査を実施した。大分川 16.2km 付近の天神橋周辺では 7 月 8 日深夜 0 時 30 分頃から、湯平温泉街では 7 月 7 日の深夜から 8 日の早朝にかけて浸水被害が発生したこと、庄内町櫛木では土砂の崩壊により久大本線が流出したこと、湯布院町川北地区では大分川の水位上昇により支川の宮川で逆流が生じ浸水が発生したこと、などが確認された。

第 2 章では、川内川水系の 2 次支川、肝属川流域の豪雨災害について現地調査・聞き取り調査を実施した。川内川水系の百次川・勝目川では堤防決壊により浸水被害が発生したこと、肝属川沿いの新川町地区では、数分～10 分間程度で急激に浸水深が増大し、床上浸水に見舞われたこと、新川町地区では斜面崩壊が発生し、シラス地盤特有の軽石が流出・集積されたこと、などが確認された。

第 3 章では、芦北地方の佐敷川、湯浦川、天月川流域の豪雨被害について現地調査・聞き取り調査を実施した。芦北町と津奈木町で死者行方不明者合わせて 15 名の人的被害が生じ、11 名は土砂災害による犠牲者であったこと、痕跡調査から棧敷川・湯浦川流域の平地のほぼ全域で浸水被害が生じたこと、佐敷川左岸の棧敷中学校周辺で 2m を超える浸水深となり浸水被害が最も大きかったこと、感潮域と感潮域外の水位観測から河川流量の増加と潮位の上昇が重複することで浸水被害が拡大した可能性があること、天月川の浸水には鉄道橋の影響があったこと、などが確認された。

第 4 章では、福岡県大牟田市の内水氾濫状況について現地調査を実施した。気象庁の大牟田雨量観測所では観測史上最大の 48 時間雨量  $666.5\text{mm}$  を記録したこと、大牟田市では諏訪川、大牟田川、堂面川流域で内水氾濫が発生したこと、諏訪川左岸では、潮位の上昇と浸水による内水排除ポンプの停止により被害が拡大したこと、などが確認された。

## 第8編

第5章では、大分県を流れる祓川左岸の下八幡地区において浸水痕跡調査と聞き取り調査を行った。下八幡地区では最大で100 cm前後の浸水深が生じたこと、当該範囲では、大分アメダスの雨量を参考にすると浸水想定計画規模雨量の約半分で発生していること、祓川上流の放生池において堤体の一部が崩壊していること、などが確認された。

第6章では、佐賀県鹿島市の被災状況を調査した。従来の豪雨災害と比較しても令和2年7月豪雨は既往最大だったこと、レーダー解析雨量と地理情報、水理・水文情報による氾濫数値シミュレーションに基づき、佐賀県鹿島市を流れる浜川・石木津川流域の浸水リスクを検討した結果、浜川の下流域の河川整備が既に行われている箇所以外で溢水等による浸水リスクが高いこと、特に祐徳稲荷神社や浜町、石木津川左岸側での床上浸水リスクが非常に高いこと、などが確認された。

第7章では、長崎県大村市、諫早市の被災状況を調査した。郡川水系（郡川、よし川）、大上戸水系（藤の川、大上戸川）、鈴田川水系（鈴田川、針生川）で浸水被害が発生したこと、郡川水系においては支川の佐那河内川において大規模な破堤が起こったが人的被害は見られなかったこと、などが確認された。アンケート調査の結果から、郡川流域住民には諫早大水害の経験や教訓が引き継がれており、ハザードマップの認知率が高いなど、防災意識が非常に高く、災害前に適切な避難行動をとった住民も多く見受けられたこと、一方で、避難の判断にはハザードマップは活用されていないこと、などが確認された。

### 1.2.5 第6編 被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響

第6編では、被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響について以下のように取りまとめた。

第1章では、災害発生直後の状況把握を目的に、PALSAR-2合成開口レーダ画像と数値標高モデル(DEM)とを組み合わせて水深分布を推定する手法の迅速化・高精度化を行い、球磨川流域へ適用した。既存の氾濫想定(ハザードマップ)を利用した仮想水面の設定に有用なエリア分割、エリアごとの浸水域境界の標高分布の整理により、同手法はより好適な水面高の推定が行える可能性があること、民間の高解像度光学衛星コンステレーションによる観測成果に基づき、洪水による家屋被害の検出と発災前後の家屋の移動方向の推定が可能なが確認された。

第2章では、SNS情報の解析によって浸水深と氾濫流速の算定手法を構築した。SNS情報による浸水深は実測値とほぼ数cm以内の誤差に収まること、検証には課題が残るが、PTVと同様な方法で氾濫流速を推定できること、などが確認された。

第3章では、沿岸海洋の水環境について現地観測やヒアリングにより調査を行った。現地観測では密度成層が長期化したことや栄養塩の動態に関する結果を示した。漁業者へのヒアリングから、濁水の広がりや期間や魚類や貝類への影響などの水産業への懸念事項が示された。

第4章では、球磨川豪雨の八代湾への影響として流木の挙動に着目し調査を実施した。八代湾は干満差が大きく、湾奥部では干潟が形成され、天草諸島など小島が点在する海域である。この海域の潮流の残差流は、湾口に向かう流れではあるが、今回は多量の流木が湾奥部に漂着していたことが確認された。その要因として、八代湾の下げ潮時と水位のピークが一致し、その後の風の影響により湾奥部へ運ばれたことが推察された。

### 1.2.6 第7編 将来の豪雨災害に対する備え

第7編では、令和2年7月豪雨の被災から見られた将来の豪雨災害への備えとして必要と考えられる事象についての検討結果を以下の通りとりまとめた。

## 第8編

第1章では、近年の水害を受け、水防法の改正（2017年）や避難勧告等に関するガイドラインの改定（2019年）等が行われてきた。しかし、大雨・洪水警報と土砂災害警戒情報が発表されても避難情報を一切発令していない自治体があること、避難準備情報の発令が半数程度に留まるなどの課題が明らかになった。さらに、避難指示が発令されても避難を実施していない高齢者福祉施設があることも明らかになった。河川水位を避難の判断基準として用いる施設に避難判断に困っている施設が多いことも明らかになった。

第2章では、八代市坂本町における浸水規模に対して犠牲者が少なかった原因について調査した。事前準備、当日対応等が概ね適切に行われ、避難行動要支援者の水平・垂直避難が成功したと見られた。

第3章では、地球温暖化による線状降水帯の大型化・広域化ならびに台風の巨大化・低速化により、九州の一級水系における地形・地理的特性から発生する大規模氾濫リスクの増大について検討した。また、川辺川の治水対策として、環境保護と防災の両立を可能とするためにゲート付きの流水型ダムを設置を提案した。

### 1.3 今後に向けた提言

本節は、令和2年7月に甚大なダメージを受けた九州において河川災害、土砂災害、流木災害に対するハード対策、ソフト対策の課題に対して防災・減災対策に向けて早急に解決すべき内容について提言した。

#### 1.3.1 第2編 令和2年7月豪雨の特徴

2017年の九州北部豪雨以降の深刻な豪雨は、温暖化が影響を及ぼしていること、あるいは将来予測と矛盾しないことが明らかになってきている。また観測事実として、大気中水蒸気量は顕著な増加傾向を示している。また、気象庁は「異常気象分析検討会」を開き、熊本県の球磨川や山形県の最上川などが氾濫した令和2年「7月豪雨」は地球温暖化があると言及している。

そのような状況下で今次豪雨時のような水蒸気の収束が発生すれば更なる豪雨被害がもたらされる可能性は十分にある。豪雨による被害の軽減には、水蒸気輸送の観測精度の向上、大気シミュレーションモデルの改良、豪雨をもたらす現象のより深い理解、それによる新たに生じ得るハザードの解明とそれへの対応策の構築（ハザードの気候変動予測と適応）など、様々な事柄が必要とされている。

また、解析雨量がXRRAINより過大になっている傾向にあり、両データの使用には事前に十分な検証が必要である。特に、レーダーデータについて反射因子など降水量推定に関連するデータ特性をさらに分析していく必要がある。

#### 1.3.2 第3編 球磨川流域の豪雨災害

人吉市の水の手橋、大橋および人吉橋の橋桁および中川原公園は球磨川の水位を急上昇させる可能性が高いことから、中川原公園の改修にはこの点を配慮する必要がある。

昭和40年7月球磨川洪水における市房ダムの風評被害においては、流言の発生と伝播を抑えるために行政側から早い段階で客観的情報の提示と誠実で丁寧な説明が必要であった。球磨川流域の復興を一刻も早く実現するためには、行政と住民の信頼関係を更に堅固なものにする必要がある。

流域治水や危機管理対策を検討する上で、今次水害における降雨パターン、本川水位の上昇、これに伴う支川の水位上昇、氾濫状況との関係を整理し、流域での雨水の挙動と豪雨時の浸水リスクを把握す

## 第 8 編

ることが必要である。

氾濫時も想定した危機管理型水位計の設置位置の見直しは急務の課題である。特に、山間部を流れる狭隘河道部における水位計の設置体制に関しては見直しが必要であり、人工衛星を用いたリモートセンシングなどの新技術の本格導入が求められる。

浸水時の人的被害リスクが高い「水害ホットスポット」を抽出し、土地利用規制の導入（新規建築の禁止等）や積極的な移転促進などを行う必要がある。

要支援者・配慮者の被害が後を絶たない現実を考えると、水害を含む災害リスクの低いエリアに高齢者福祉施設への誘導を行うことが不可避である。

気象予報の中でも災害に直結する大雨が何パーセントの確率で発生するかという確率予報を行う必要がある。

川辺川合流点より上流の球磨川本川筋における氾濫原の遊水機能保全も洪水ピーク流量をある程度減少させる可能性があることから、今後これらを組み合わせた複合的治水施策の検討が必要である。

流木災害については、発生量データの精度が高くないことや、発生したタイミングが不明確であることが多く、検証が困難であることが多い。現在、国が進めている気候変動の影響を組み込んだ治水計画への方針転換においても、土砂や流木の影響を加味する必要性が指摘されている。

リスク評価を合理的に、かつ精度良く行うためにも基礎データの収集体制の確立が求められる。また、流木災害の減災については、基本的には発生源対策となる森林の適切な管理、砂防施設の充実、ダムにおける網場の強化、河道における流木捕捉施設整備、危険性の高い橋梁の改修促進、などが重要であるが、両河川流域においてこれらを適切に行うためにも、流域一貫した流木災害リスク評価手法の確立が求められる。

### 1.3.3 第 4 編 筑後川流域の豪雨災害

筑後川流域で昭和 28 年以來となる本川でのはん濫が発生し、下笠ダムでは運用開始後初めてとなる異常洪水時防災操作が行われるなど、今次豪雨は最大規模の豪雨であったと云える。このことに鑑みて、筑後川流域に対してはん濫の危険性が高くなる降雨の時空間的なパターンとそれへの応答としての水位・流量の把握が必要である。今次水害では松原ダムの洪水調整によって大規模な外水はん濫は発生しなかったが、松原・下笠ダムに代表される洪水調整施設による下流はん濫リスク低減ための高度な運用方法の検討も求められる。

また、今次水害では上流の支川である玖珠川で大規模なはん濫が発生した。玖珠川には洪水調整施設がないため、この流域の治水対策は上流域での貯留機能をどのような形で分担させるかによることになるが、有効な対策メニューの検討が喫緊の課題である。また、玖珠川支川では石橋の被災なども見られており、歴史的文化財と治水安全度の間でのトレードオフの適切な解消が求められる。

下流域の久留米市周辺では近年内水はん濫が連続して発生しているが、今次水害でも発生し、長時間湛水が続く事態となった。国や関係自治体により内水対策の計画が進められているものの、今次水害規模への対応は困難を極めており、土地利用計画などと協調した抜本的な治水対策の検討が不可欠であろう。

最後に今次水害において最も強い降雨域を示した松原・下笠ダム上流域で流木の発生がみられた。平成 29 年九州北部豪雨のような流木に起因する大規模な被害は発生しなかったものの、潜在的リスクを抱える地域での流木災害の減災には、1.3.2 でも述べたように流域一貫した流木災害リスク評価手法の確立により、効果的な対策（森林の適切な管理、砂防施設の充実、ダムの網場強化、河道流木捕捉施設の

## 第8編

整備，危険な橋梁の改修促進，など）を急ぐ必要がある。

### 1.3.4 第5編 大分・肝属・川内川流域と中小河川流域の豪雨災害

今次豪雨災害では，一級河川の球磨川，筑後川，大分川等だけでなく，その支川でも甚大な被害が生じた。深夜や早朝にかけての浸水被害，本川の水位上昇による支川の氾濫，排水施設の能力を超えた降雨量，数分～10分程度の間での急激な浸水深の上昇，潮汐とピーク流量の時刻が重なったことによる浸水被害の拡大，溜池の堤体の崩壊等の特徴的な現象があった。今後，未改修区間の速やかな整備が望まれるが，整備には時間を要することや既に整備された区間においても計画規模を超える降雨や河口の潮汐のタイミングによっては浸水が避けられない場合もあり，住民と連携したさらなる流域対応の防災・減災への取り組みが必要である。

今次豪雨では，短時間で目まぐるしく変化する状況で避難の判断が求められたと推察される。豪雨災害が激甚化するなかで，人的被害を最小限に抑えるためには，流域住民一人一人の適切な避難行動が必須である。郡川流域において避難をした住民は，豪雨に至る前に避難をしたケースが多く，一方で，発災時には情報が少ないために，ほとんどの住民は避難行動を起こすことができなかった。祓川流域では，水位観測所の観測値を参考に避難したという事例があり，水位と避難行動を直接的に結びつけられるように，住民に水位を周知する重要性も示唆されている。

現在，避難行動を支援するツールとしてハザードマップが活用されているが，災害時には，リアルタイムの災害情報が非常に重要となる。特に，中小河川においては，災害情報が大河川に比べ少ない。今後は，中小河川においても，雨量，水位に加えリアルタイムで浸水状況等の情報を提供できる強力な避難行動支援ツールが必要と考えられる。

### 1.3.5 第6編 被災状況把握のための新技術と沿岸域への影響

発災後の被災状況の把握は，救助活動や復旧に極めて有用な情報となる。衛星搭載型合成開口レーダは今後も発災直後の観測に運用される見込みであり，防災分野として最速で非常に広範囲の浸水状況，被災状況を得られる可能性のあるデータを提供する。今後，浸水深の高精度化，高解像度光学衛星コンステレーションによる被災の定量的な把握の高度化が望まれる。SNS情報の解析は，今回示したように非常に重要な災害調査手法になる。浸水状況の時刻の対応づけ，算定精度の向上や作業の効率化が望まれる。

今回の球磨川豪雨による出水は八代湾に多大な影響を与えた。土砂や流木等のように短期間で目に見える現象もあるが，密度成層の長期化，栄養塩の動態，濁りや塩分低下が生態系や水質環境に及ぼす長期的な影響や今後の水産業へ及ぼす影響については今後の課題である。

### 1.3.6 第7編 将来の豪雨災害に対する備え

要配慮者利用施設では避難に消極的になり易いことや，夜間に対応できる職員数が昼間に比べて少ないのが常であることから，避難を困難にさせている現実がある。移動が健康に及ぼすリスク，夜間の職員不足への対応を踏まえた避難意思決定の支援について検討する必要がある。

また，ハザードマップやタイムラインなどを活用した水害・氾濫対応において避難を誘導するにあたって，水工学分野の最新技術の活用による最適化を最大限行うべきである。コミュニティ・マイタイムライン作成で必要となる水工学的なリテラシーの向上も必要であり，水工学研究者の協力体制の確保も今後の課題である。

## 第8編

気候変動の影響が顕在化する中で、今次水害規模の水害は毎年のように起こる可能性が高まっている。一級水系がもつ地形や地理的な条件により、特に九州での水害発生への影響は大きいと推定されることから、今次豪雨をきっかけとして、気候変動による新たなハザードの解明と適応策としてのそれらへの対応を加速させることがこれまで以上に求められる。

### 1.4 むすび

今次豪雨災害は、複数回の線状降水帯によって引き起こされた。本災害調査から得られた教訓は、我が国の河川には地理的、地形・地質的に異なる特徴・特性があるものの、今後全国の河川で展開される流域治水などの防災・減災対策の参考になるものと考えている。計画規模を超える大規模な水害が毎年のように発生しており、異常気象が常態化した中では氾濫を想定した治水に移行せざるを得ない状況にある。本報告書の成果が今後の防災・減災に役立つことを期待する。