

## 河川砂防技術研究開発【成果概要】

<b>①研究代表者</b>	氏 名 (ふりがな) <small>やまぐちゆきかず</small> 山口行一	所 属 大阪工業大学工学部	役 職 教授
<b>②研究テーマ</b>	名称	中小河川の洪水流出に影響を及ぼす将来の洪水規模と頻度の増加に適応した洪水処理施設の操作と河川情報の創生	
<b>③研究経費</b> (単位: 万円) ※端数切り捨て。		令和2年度	令和3年度
		195.5 万円	194.5 万円
		合 計 390 万円	
<b>④研究者氏名</b>	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)		
	氏 名	所属機関・役職 (※令和4年3月31日現在)	
	田中耕司	大阪工業大学工学部・特任教授	
	竹之内健介	香川大学創造工学部・准教授	
<b>⑤技術研究開発の目的・目標</b>	(様式河提地-2、河提地-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)		
<p>(1) 目的</p> <p>平成 29 年 10 月に襲来した台風 21 号は、紀伊半島に多量の降雨をもたらし、一級河川とそれに接続する支川氾濫を引き起こした。この原因は、大河川の水位が上昇するとともに、堤内地の中小河川流域にも計画規模を超過する豪雨によって内水排除施設（排水機場、水門）の操作がルールから逸脱し、河川管理者、操作員の意思決定が非常に難しくなった。同時に支川の水位も上昇したため、下水道施設の排水が滞り堤内地に甚大な浸水被害が発生した。このような状況の中での河川水位の予測方法、内水排水施設の対応、さらにその情報をどのように防災減災に繋げて住民に周知するのが問われた。</p> <p>温暖化による気候変動による洪水の規模が強くなり、頻度も増加することが懸念されていることから、本研究では、本川と内水排除施設の操作における気象情報の活用方法、河川水位の予測方法について、過去の実績洪水に基づく操作方法や防災減災の観点から適切な情報の内容と発信方法について検討する。</p>			
<p>(2) 目標</p> <p>本研究での目標は以下の通りである。</p> <p>1) 平成 29 年 10 月台風 21 号にみる内水氾濫のメカニズムの解明と洪水処理施設の操作運用上課題 内水氾濫のメカニズムを水文水理データ、水門・排水機場の操作、河口砂州の挙動から、計画規模を超過する際の洪水処理施設の操作運用上の課題を明らかにする。</p> <p>2) 本川・支川の水位上昇に伴う情報提供・伝達の課題 本川・支川の水位上昇に伴う情報提供の実態を気象庁・国土交通省・和歌山県・新宮市の情報の流れと水位情報の活用の実態を資料から、情報の質的な課題を抽出する。</p> <p>3) 浸水被害の実態把握 住民の判断行動と浸水被害の実態（浸水深、家屋被害の状況等）についてヒアリング調査を行う。</p> <p>4) 計画規模降雨から超過降雨の内水氾濫のメカニズムを考慮した洪水処理施設の操作方法 過去の雨量から本川・支川の確率規模の同時発生頻度分析から評価し、現状の河道整備を反映した水位評価を行い、内水氾濫の発生頻度が最小となる内水排除施設の操作方法を提案する。また、温暖化予測値（d4PDF、d2PDF）を用いて、今後の内水氾濫の発生頻度を検証する。</p> <p>5) 支川の水位上昇と堤内地の排水の限界を踏まえた防災減災対応の情報提供のあり方 堤内地の雨水排水計画規模、施設対応規模を踏まえて、支川に排水できる限界を踏まえた上で、本川・支川の河川情報から減災に向けた情報提供に切り替えることが必要である。そのための情報の質的な課題、発信のタイミングなどを検討する。</p>			

## ⑥研究成果

### 1. 平成29年10月台風21号にみる内水氾濫のメカニズムの解明と洪水処理施設の操作運用上課題

#### 1.1 運用上課題

国土交通省紀南河川国道事務所から提供いただいた平成29年10月台風21号における水文水理資料をもとに整理した。図-1に示すように、この出水では、新宮川のピーク水位と支川市田川の河川水位のピークが一致している。この現象と同様な操作実績を調査したが、初めて経験であった。当時は、紀伊半島大水害後の激特事業が完了しており、熊野川における整備水準は、堤防満杯時で平成23年の洪水流量を流下できるように整備されている。この出水は、図からわかるように、市田川の計画高水位とほぼ同じであり、当時は背水の影響を受けていたことが推察される。さらに、市田川の河川水位に着目すると、背水の影響だけでなく、市田川のピーク水位との差から水面勾配がついており、流下していた。このときに、市田川水門及び市田川排水機場は、自然流下の状態であったため水門の全閉操作は行われなかったものの、10月22日18時頃に2つの水門を半開にした状態であった。これは、操作員が水位を確認しながら、降雨状況、水位の状況から判断し、全閉操作を行わなかった。

この要因として、図-2に示す市田川流域の降雨が熊野川の水位ピークとほぼ同時に生起している。したがって、市田川の水位上昇が、熊野川からの背水の影響を受けると同時に、支川流域で激しい降雨が発生したため、市田川流域からの流出量（推定60m<sup>3</sup>/s：合成合理式より算定）が河川に流入してきた。さらに、市田川の水位はピークの数時間前くらいには計画高水位を超過しており、新宮市雨水排水の自然排水能力が失われ、かつ排水ポンプの能力を超過する時間雨量30mm/hrを大きく超過した条件であることから、図-3に示す浸水範囲が拡大した。このときの操作記録、情報伝達の記録から推察すると、以下の課題が抽出された。

- ①本支川のピーク水位が同時に発生することや、さらに激しい降雨が継続するような状況に対して、操作方法の規定がない。
- ②現状の国交省からの支援体制として、熊野川本川の予測情報が提供されている。一方で、水門操作による水位の変動、河口砂州のフラッシュによる支川相野谷川、支川市田川の予測精度の問題から、予測情報がうまく活用されていない。
- ③内水河川の氾濫については、河川管理者としての責務は果たしているものと判断されたが、2次的な内水氾濫については、その発生リスクを把握する手段を持ち合わせていない。

#### 1.2 紀伊半島大水害（平成23年9月台風12号）との対比

平成23年9月台風12号における情報伝達の記録を国土交通省、新宮市の資料から収集・整理した。このときの情報伝達も、熊野川本川の水位情報に基づく防災行動が執られていた。この出水では、平成29年10月台風21号とは異なっていた。新宮市は、相筋地区付近で堤防の越水があり、その氾濫水が市田川を流下し、図-3の赤枠部分の氾濫の原因であった。熊野川の水位が上昇したため、通常の水門・排水機場の操作を実施していたが、支川市田川流域では、2次的な内水氾濫を引き起こすような降雨は観測されていない。そ

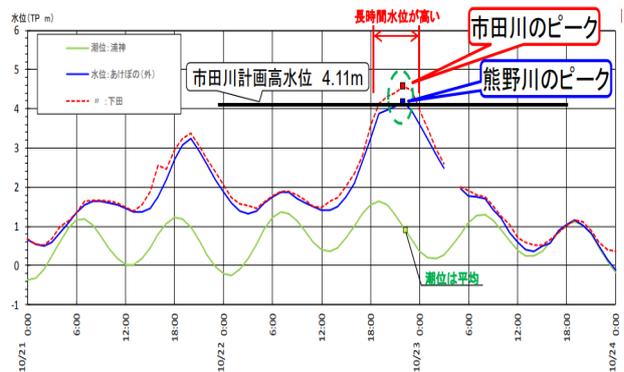


図-1 平成29年10月台風21号での河川水位



図-2 平成29年10月台風21号での市田川流域（国交省雨量観測所）の時間雨量

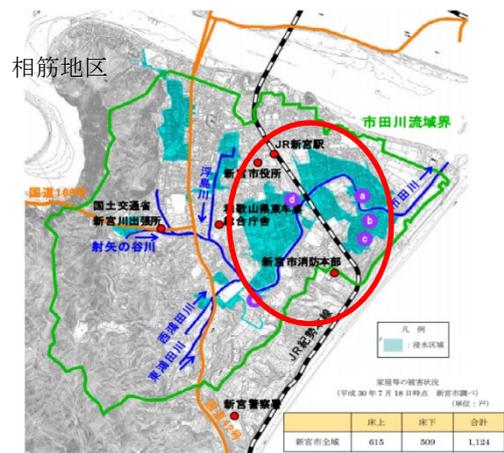


図-3 平成29年10月台風21号での市田川流域の浸水範囲と床上・床下浸水戸数

のため、熊野川と支川の関係性は、規定通りの操作で問題は発生していない。なお、9月3日深夜において、120mm/hrを超える猛烈な降雨があったが、それまでの排水操作によって、河道に余裕があったため、河川からの氾濫は発生していない。

## 2. 本川・支川の水位上昇に伴う情報提供・伝達の課題

平成29年10月台風21号での防災行動の記録は、紀南河川国道事務所から提供されたものだけであることがわかった。タイムラインによる情報提供は行われていたが、外水氾濫が軸であり、内水氾濫はタイムライン防災の範疇になかった。これは、内水氾濫の発生リスクが、熊野川の河川整備により内水氾濫の発生頻度が低くなったことで、同時生起する本支川の水位のピークに伴って発生する1次内水、2次内水という連鎖をタイムラインに盛り込むことが必要になる。特に、2次内水においては、新宮市からの堤内地、雨水排水量と対応できる降雨強度、国交省から市田川水位、排水機場の操作、和歌山県の浮島排水機場の情報を一元的に予測される流域情報をもとに、1次・2次的な内水氾濫への対応が求められると考えられる。

## 3. 計画規模降雨から超過降雨の内水氾濫のメカニズムを考慮した洪水処理施設の操作方法

### 3.1 はじめに

平成29年10月台風21号のような内水排除計画（超過確率10年）を上回る外力を温暖化予測値（d4PDF, d2PDF）から頻度を分析した。このデータから台風21号を上回る降雨においては、市田川の水面勾配が発生するものと仮定し、その操作方法として水門全開ならびにポンプ停止となる条件を把握した。

### 3.2 収集したデータ

日本域における顕著現象の長期変化等の気候特性の把握や顕著事例の事例解析を行うことを目的として、気象庁55年長期再解析(DSJRA-55,1958年～2012年の期間)が提供されている。このデータを用いて新宮川水系に襲来した台風のデータを収集した。

気候変動リスク情報創生プログラムで開発され、DIASより公開されてきた「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース：d4PDF」を拡張し、産業革命以降全球平均地上気温が2°C上昇した近未来を想定したアンサンブル気候予測実験データセットである。d4PDFについては2051年から2110年まで、d2PDFについては2031年から2090年までの新宮川水系周辺のデータを収集した。収集後は、テキストデータに変換し、分布型流出モデル市田川への影響を分析するための基礎データを作成した。

### 3.3 解析方法と結果

DSJRA55については、過去の出水での検証を行うための雨量データである。分布型流出モデルにこれらのデータを入力することによって流量を算出した。その後、1次元不定流解析から河口部の水位を推定し、iRIC2DFloodによって内水氾濫解析を実施した。その結果、再現性は良好であった。

過去のデータにおいては、過去の洪水を対象に解析を行い、これまでの出水では床下浸水が非常に多い結果となっており、台風21号のような甚大な被害は発生していない。一方で、d4PDFおよびd2PDFは将来の温暖化予測値の雨量データを入力値として、流出解析を実施した。なお、ここでは、不定流解析による河口部の水位を予測することが必要であるが、温暖化予測値における台風による高潮の影響が考慮できないため、過小評価を懸念し、降雨量とその生起のみで評価を行うこととした。

これらのアンサンブルデータから、既往洪水の水文条件を超えるイベントの抽出を行った。新宮川水系における流域平均雨量と新宮地点の雨量で同時生起する可能性をデータから抽出した。なお、新宮川水系においては、基本方針でも検討されている洪水到達時間12時間であるが、最大流量発生時刻から12時間遡った累加雨量とした。さらに新宮地点においては、市田川の洪水到達時間が69分として短い、本川からの背水の影響、逆流の発生などを鑑み、3時間の累加雨量として評価した。また、降雨の発生が新宮川の最大流量とほぼ同じ時間帯に発生するときに、内水氾濫が発生する可能性が高いために、ここでは、上記のピーク発生時刻から3時間前までの累加雨量を整理した。

図-4は、流域平均雨量12時雨量と流量の関係を示している。ほぼ一対一に対応していることからここでは新宮川水系の流量の生起までの12時間前の流域平均雨量として採用した。一方で、新宮地点においては、3時間雨量と本川の最大流量との関係性

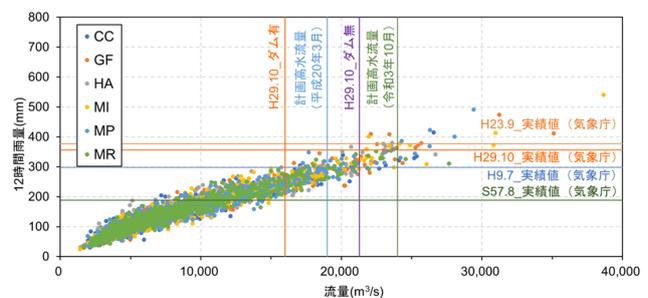


図-4 新宮川流域における流域平均12時間雨量と流量の関係（上図：d2PDF，下図：d4PDF）

を図-5のように整理した。これらの2つの図に、平成29年10月台風21号での対応する雨量、市田川大規模浸水対策計画の計画規模（超過確率10年）の対象とする雨量を比較すると、以下のことがわかった。

- ・市田川大規模浸水対策計画の計画規模を超えるイベントは、4℃上昇ならびに2℃上昇では存在することがわかるが、新宮川流域の流出の同時生起する可能性は極めて希であることがわかる。
- ・極めて希であるが、平成29年10月台風21号と同様な現象が発生し、床上浸水を引き起こす可能性は否定できない。
- ・しかしながら、極めて希な現象を対象とした計画論はなく、むしろ超過洪水対応として取り扱うべきである。ただし、現状の整備は再度災害防止の原則に基づいた計画の上で施行されているために、計画規模では床下浸水解消、実績規模で床上浸水解消という目標は達成できるということは将来の安全度を考えても十分な成果と言えよう。

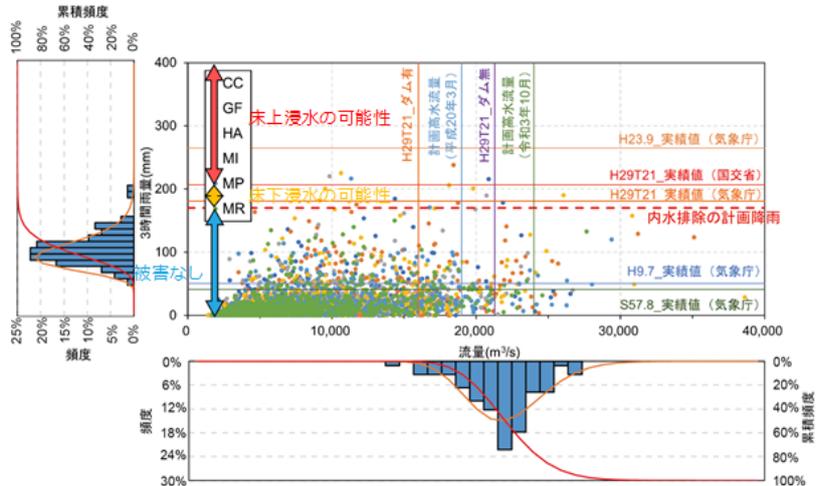


図-5 新宮地点(市田川流域)における流域平均3時間雨量と流量

に基づいた計画の上で施行されているために、計画規模では床下浸水解消、実績規模で床上浸水解消という目標は達成できるということは将来の安全度を考えても十分な成果と言えよう。

### 3.4 操作方法

市田川水門および排水機場の操作については、市田川流域の内水排水機場の計画規模を超え、新宮川の流出のピークが生起する時間帯との2つの指標で概ねの床上・床下浸水が予測できる。これらは、いずれも現状の河川整備の安全度を超過することから、超過洪水対応としての情報として活かす必要がある。このときには、水門を全開し、かつ排水機場のポンプによる排水は停止すべきである。ただし、今回の計算では河口部の水位計算は高潮の影響を考慮していないため、将来予測値における潮位を推定した上で詳細な運転ルールを検討することが課題である。

### 3.5 おわりに

過去再現値、将来予測値を入力値とした新宮川水系の流出量、市田川の内水氾濫解析を通して、平成29年10月台風21号を超えるようなイベントの頻度を分析した。この結果から、2℃上昇ならびに4℃上昇といった温暖化による影響も踏まえると、今後も類似したイベントが発生する可能性は希であっても、起こりうるということがわかった。ただし、超過洪水対応としての扱いであるために、ハード対策での対応ではなく、流域治水におけるソフト対策での対応とすることが肝要である。

## 4. 浸水被害の実態をふまえたまちづくりの観点からの情報提供のあり方の検討

### 4.1 はじめに

河川整備が進められていく中で潜在化している内水氾濫リスクに対する防災・減災対応に対する情報のあり方を検討することを本章の目的とする。しかし、対象としている平成29年10月台風の2次内水氾濫の浸水被害の実態が十分に把握されていないことから、まず、プレアンケート調査をもとに、被害額算定モデルと避難行動シミュレーションモデルを構築し、次に、それらモデルを用いて、浸水被害の状況（浸水深、家屋被害の状況等）と住民の避難完了時間を明らかにする。そして、浸水対策による被害軽減策の効果の比較と行政へのヒアリング調査の結果をもとに、中長期的なまちづくりの視点から情報提供のあり方を検討する。

### 4.2 浸水被害把握のためのプレアンケート・ヒアリング調査

和歌山県新宮市の浸水被害を受けた地域へのプレアンケートでは、被害の実態を把握するために、浸水による一般的な家財道具被害の実態を把握した。

### 4.3 浸水被害額の算定と減災対策の効果

プレアンケート調査・ヒアリング調査で把握した被害実態に基づき、一般的な家財道具の被害を推計できるモデル家屋を設定して、平成29年10月台風21号による内水氾濫を対象とした被害額を推算した。図-6はその結果を示している。その結果に対して、浸水範囲内の世帯毎に、一般的な住宅を対象に止水板の設置による一時的な減災対策、恒久的な盛土による減災対策、建築基準法による建物規制による減災対策を施した場合の被害軽減額を推計した。浸水防止の止水板の設置、個別家屋の高床式やピロティ形式の家屋への建て替え、宅盤高の嵩上げ等による被害軽減効果は、恒久的なものほど減災効果は大きい。また、止水板の設置も、浸水範囲の浸水家屋に適用した場合、約数億円以上の減災効果が期待できることがわかった。また、

被害軽減対策の効果は止水板と高床式で同程度となった。止水板と高床式の大きな違いは、止水板は床下浸水に対して大きな被害軽減効果を発揮し、特に自動車やバイク、自転車などを守ることができる。

#### 4.4 流動人口データを用いた避難シミュレーションによる避難実態の把握

ここでは、当時の避難の様子を確認し、避難所の開設や住民への情報提供のあり方の一助とすることを目的に、プレアンケート調査などの結果を踏まえ、発災時の避難シミュレーションモデルを構築し、避難行動を推測した。データはAgoop社の流動人口データを用いた。住民が避難所への避難を完了する時間が、浸水後であれば1時間弱となることから、避難所の開設状況と避難を促す情報が、特に重要であるといえる。

#### 4.5 避難意識に関わるアンケート調査

令和3年11月に浸水被害のあった地域を対象とした避難意識などに関するアンケートを行った。平成29年台風21号による内水氾濫では、避難所や親類宅などに避難した人は少なく、自宅にとどまった人も多かった。避難をした人は、避難勧告などの情報を避難スイッチとしている人が多いが、すぐに避難を開始したわけではなかった。また、自宅が浸水してから避難を開始している人もいた。このため、避難所の開設情報や避難スイッチとなる情報提供により実際に避難していただく工夫が求められる。また、図-7に示すとおり、今後のまちづくりに求める対策として、開発規制や宅地のかさ上げなどについても挙げられていることから、都市計画的にもそうした取り組みが受容される可能性もあり、中長期的には、そうした取り組みを導入し、住民や社会的に転入する人に対して情報提供を行っていくことも重要と考えられる。

#### 4.6 中長期的なまちづくりからみた情報提供のあり方に関するヒアリング調査

令和3年12月～令和4年1月に大洲河川国道事務所、大洲市、高知県吾川郡いの町を訪問し、ヒアリング調査を行った。その結果から、浸水リスクを考慮した中長期的なまちづくりの考え方は整理されているものの、実態として一般的な考え方を適用できない地域も多く、各地域がリスクをきちんと把握し、地域独自の中長期的なまちづくりの考え方を構築する必要があることがわかった。

#### 4.7 おわりに

今回のような浸水被害については、止水板の設置など比較的取り組みやすい減災対策でも効果が発現されることがわかった。また、避難についても、避難勧告の発令後、避難所がきちんと開設された場合、十分受け入れられたと考えられる。住民アンケート調査の結果によれば、中長期的なまちづくりの観点から、開発規制、宅地のかさ上げ、水害保険への加入といった対策も求められていることがわかった。自治体は、発災前後の避難などに関わる情報提供のほか、中長期的に地域に住まう観点から、地域特性を踏まえたリスクとそれ踏まえたまちづくりの方向性を情報発信することが重要であると考えられる。

### 5. 河川水位上昇と堤内地の排水限界を踏まえた防災・減災対応の情報提供のあり方

#### 5.1 情報共有のあり方

国交省は、気象庁の降水予報値、国交省レーダにおける降雨予測値を受信しており、これらの予測値を使って洪水予測を実施している。現時点では、新宮川本川・支川の流出量・河川水位予測に基づく、水門・排水機場の操作予測、さらには高潮予測のためのシステムが整備されている。これらの情報に加え、新宮市内における降雨量の時間分布の予測と合わせて共有することにより、先に示した床下・床上浸水の発生を事前に注意喚起するための仕組みを構築することが重要である。

#### 5.3 洪水防御方法

市田川大規模浸水対策計画に基づく施設整備が完了すれば、すくなくとも超過確率10年規模の降雨量では床下浸水が解消されることになる。しかし、それを超過し、かつ本支川流出の同時生起は希であることから、リスクを軽減する方法よりは保険等で転嫁する方法を考えることが現実的ある。一方で、リスクを軽減する方法としては、止水板の設置は十分な軽減効果が期待できる。しかしながら、地域の高齢者の増加や止水板の購入といった運用上の問題がある。

#### 5.4 減災対策としての避難判断・行動の促進

先に示した行政間の情報共有に加えて、スマートフォンやインターネットを利用し、避難所開設と避難の判断・行動を円滑にする必要があるため、行政のタイムラインを地区に展開する必要がある。

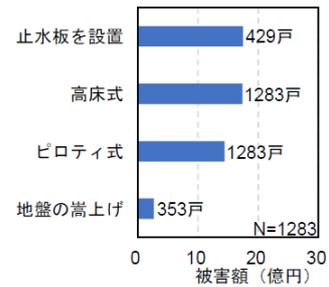


図-6 被害軽減対策による家財被害額の比較

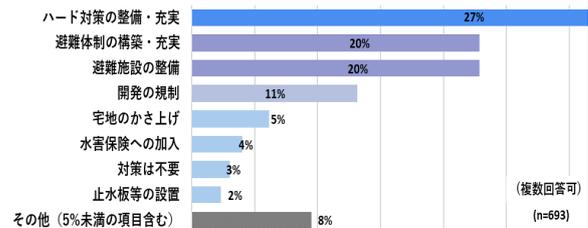


図-7 今後のまちづくりに求める対策

### ⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

#### 【論文】

- ・前中裕貴, 田中耕司, 山口行一, 竹之内健介, 東良慶, 玉木秀幸: 2 次的内水氾濫の発生とその防災・減災対策 の課題, 土木学会論文集 F6 (安全問題) 77 巻 2 号, pp.I\_123-pp.I\_133, 2021 年 11 月

#### 【口頭発表】

- ・前中裕貴, 東良慶, 田中耕司, 山口行一, 竹之内健介, 玉木秀幸: 平成 29 年 10 月台風 21 号による内水氾濫被害の推計と減災対策に向けた考察, 土木学会年次学術講演会講演会, II-72, 2021 年 9 月
- ・前中裕貴, 東良慶, 田中耕司, 山口行一, 竹之内健介, 玉木秀幸: 平成 29 年 10 月台風 21 号による新宮川水系市田川沿川の内水氾濫の被害推計と災害履歴による内水氾濫への意識欠如の構図, 日本自然災害学会学術講演会概要集, I-3-1, 2021 年 9 月
- ・本井響貴, 岡咲大, 中寫公英, 山口行一: 豪雨災害における住民の避難行動と防災意識に関する分析, 2022 年度土木学会関西支部年次学術講演会, IV-23, 2022 年 5 月.

### ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

特にありません。

### ⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

特にありません。

### ⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究を通して、以下の課題を認識した。

- ・各世帯、個人へは情報発信することで、受け手の意識に依存するものの、防災行動が繋がるものと期待できる。しかし、自治会組織では防災活動をするための住民の協力体制が確立できるレベルに達していないという深刻な問題が浮き彫りになった。この問題を掘り下げていくと、自治会加入率が半数にも達していないという状況にある。個々の住民が避難したときに、自治会単位での管理ではなく、地区住民という位置づけの中で避難所運営を考えないといけないという状況が生まれる可能性がある。このような状況では、河川整備に対する合意形成過程にも大きな影響を与えかねない。
- ・激甚特別事業に対する効果の説明が十分ではないことが判明した。これは、住民は氾濫した原因が国土交通省の内水排水機場の操作にあると考えていた。説明会は実施されてきた事実はあるものの、その内容はほぼ理解されていないために、今回の研究に対して、協力体制の確立に時間を要した。
- ・対象とした平成 29 年 10 月台風 21 号の豪雨規模は極めて大きいものの、確率評価における標本のサンプルが少ないことから信頼性の評価手法を検討する必要がある。また、本支川の同時生起、さらには高潮の影響といった多変量の極値統計解析の必要性も指摘した。今回の検討では、温暖化予測値を使って、平成 29 年 10 月台風 21 号ならびに平成 23 年 9 月台風 12 号の雨の位置づけを明らかにしたが、これを概観しても極めて大きい事象であった。

### ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究で得られた成果として、以下のような反映が期待できる。

- ・過去のデータに依存するのではなく、温暖化予測値を援用し、激特事業による市田川排水計画の限界に対する市街地の減災対策として、土地利用、建築基準法といった制度からの誘導は現実的でなく、むしろ保険と行った市場誘導の方が現実的であることがわかった。また、各世帯での浸水対策としては、床上浸水防止のために止水板の設置や高台への車の退避等を考えていくことで対象とする氾濫原の被害額が約半分となることがわかった。
- ・温暖化予測値そのものの精度上の課題やその適用性の課題はあるが、今回示した利用方法が、実際に起きた事象に対する将来を踏まえた頻度分析も可能であることが示された。
- ・浸水被害の評価方法として、標準的な家屋を設定し、浸水深による被害額を積算した。このような評価手法を適用することでより具体的な被害の様相がわかりやすくなると考えられる。また、ハザードマップから浸水深を知りかつ各世帯での具体的な対応策を考える上で参考となる情報を提供できることが期待される。