

## 河川砂防技術研究開発【成果概要】

<b>①研究代表者</b>	<b>氏名</b> (ふりがな)	<b>所属</b>	<b>役職</b>
	渋尾 欣弘 (しぶおよしひろ)	国立大学法人東京大学	特任准教授
<b>②研究テーマ</b>	名称	中小河川の水害リスク低減策と地域水防災意識向上に関する研究	
<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	合計
	300万円	300万円	600万円
<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)		
廣井 悠	国立大学法人東京大学・教授		
糸川 浩紀	日本下水道事業団・課長		
<b>⑤技術研究開発の目的・目標</b> (様式河提流-2、河提流-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>本研究では河川管理者と沿川自治体が協働した中小河川の水害リスク低減策の有効性を明らかにするために、外水と内水の複合的要因を一体的に考慮可能な氾濫モデルを構築し、内外水の複合氾濫プロセスを明らかにするとともに、ポンプ排水モデルの導入により排水先河川への影響を考慮した内水被害の低減効果を推定する。さらに支川流域における排水能力を補完する方策として、オンサイト貯留やグリーンインフラの導入による雨水流出の抑制効果を定量的に評価する。同時に、地域住民の水害リスク認知と水防災意識向上に必要な情報提供のあり方を明らかにするために、浸水に脆弱な地域において不確実性を伴う水災害リスク情報をどのように伝達すれば地域住民の自発的な行動に結びつけることができるか、アンケート調査や心理実験を行うことにより定量的に明らかにする。</p> <p>研究対象には令和元年台風19号において沿川自治体で多数の内水被害の発生した多摩川下流域とし、水災害に脆弱な地下空間や医療施設において浸水被害のあった世田谷区周辺域における低地を選定する。</p> <p>(1) 河川と下水道一体の氾濫解析モデルの構築では、世田谷区低地を対象に、雨水管きょ網の情報として東京都から下水道台帳の電子データを入手するとともに、世田谷区低地を流れる丸子川などの開水路を対象とした河道地形データを作成する。これらの地表面の情報、雨水管きょ網の情報、河道網の入力データから河川・下水道一体の氾濫解析モデルを構築する。</p> <p>(2) 複合的水害リスクと河川・下水道連携の水害対策では、台風19号の多摩川出水に伴う世田谷区低地の浸水について再現計算を行い、水位上昇時における中小河川からの排水不能や排水樋管を介した逆流のメカニズムを評価する。また多摩川に合流する各支川の水門が停電等により操作不能に陥った場合の水害リスクを明らかにする。さらに、浸水対策として水門を閉じた状態で排水が可能なゲートポンプを仮想的に導入した場合の放流先の多摩川への影響と内水氾濫の低減効果を評価する。また、雨水排水を補完する機能として対象地域にオンサイト貯留やグリーンインフラを整備した場合の効果を定量的に評価する。</p> <p>(3) 地域水防災意識の向上では、地域住民の水害リスク認知と避難行動に結びつける情報提供の検討を行う。具体的には、台風19号に関する住民の対処行動についてアンケート調査によって検証し、また様々な浸水や避難情報の伝え方によってどのように災害リスクが醸成され、避難行動の意図が向上するかについて定量的に調査する。</p>			

## ⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

### 研究項目(2)複合的浸水リスクと河川・下水道連携の浸水対策 世田谷区低地における令和元年台風19号に伴う浸水再現計算

本研究では、堤内地における内水と多摩川からの外水の複合的要因による浸水解析を行うに際し、多摩川の水位を堤内地への境界条件として与えるのではなく、堤内地からの雨水流出と河川からの背水・逆流の効果をモデルにより計算する。そのためには多摩川本川の水位流量の計算が必要となる。シームレスモデルの河道の不定流計算では下流端境界で水位、上流端境界で流量を与えるが、田園調布(下)地点の観測水位を下流端境界条件として与える。上流端境界の流量については、観測流量のある石原地点よりも計算対象区間が下流に位置しており、流入する支川や都市下水路などの影響を受けるが、それらの流入量を加味した流量として推定し与えることとした。

上流端流入量は次のように求めた。まず、河道下流の水位を一定値として固定する。そして上流からの流量を低水(1.0m)から豊水(10.5m)に向けて徐々に増やしていき、玉川地点における水位と流量の関係を求める。次に水位と流量の関係から、水文水質データベースにて公開されている玉川地点の観測水位に相当する流量を推定し、それを上流からの流入量として与えることとした。河道の粗度係数は0.025と0.028で計算した。その計算条件における計算水位と観測水位の比較を図-1に示す。用いた粗度係数は0.028である。ハイドログラフの上昇期において、計算水位がやや低い傾向を示しているものの、洪水ピーク時には概ね観測水位と一致する結果となった。

この場合の玉川地点の流量を図-2に示す。この場合の計算流量はピーク時において6435.9m<sup>3</sup>/sとなった。石原地点の観測ピーク流量(浮子による速報値)が5000m<sup>3</sup>/sであることから支川や都市下水路からの流入の影響があるにしても過大な増加となった。また、田園調布(上)地点のピーク流量は6436.7m<sup>3</sup>/sとなった。より下流に位置する田園調布(下)地点の観測ピーク流量(浮子による速報値)が6010m<sup>3</sup>/sであることから過大な流量となった。なお、粗度係数が0.025の場合は計算水位が低くなり精度が低下するため、より大きな流入量を必要とする結果となった。その場合の上流端境界でのピーク流量は6900m<sup>3</sup>/s程度(粗度係数0.028の場合6485m<sup>3</sup>/s)となった。河川流量として浮子観測流量よりも高めにしているものの、河道水位は観測値と良く合致していることから、本研究ではこれ以降のシナリオ解析では河道の粗度係数として0.028を採用した。

内外水一体の浸水解析結果の一部を図-3に示す。「令和元年台風第19号に伴う上野毛・野毛地区、玉堤地区における浸水被害の検証について」によれば、多摩川が最高水位に到達した12日22時30分頃には浸水深もピークとなったとされ

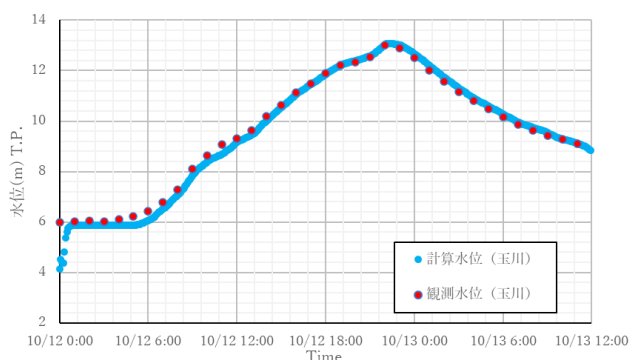


図-1 玉川地点の計算水位と観測水位 (粗度係数0.028)

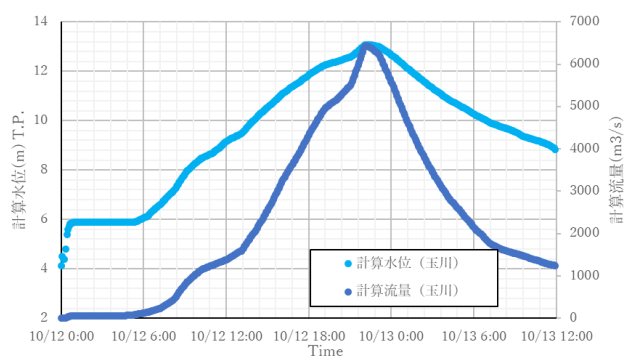


図-2 玉川地点の計算水位と計算流量 (粗度係数0.028)

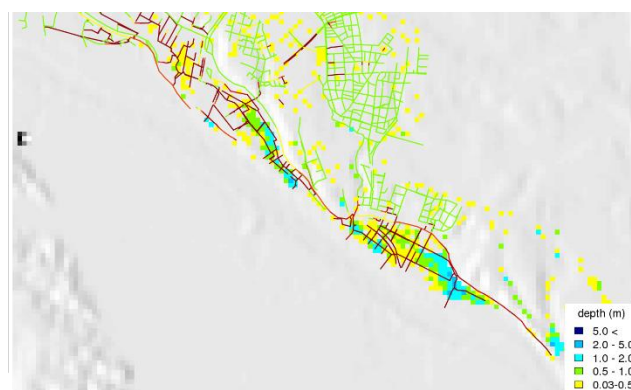


図-3 内外水の浸水解析結果 (2019-10-12 22:30)

る。既往研究の調査によれば、玉川排水樋管付近で 1.0m 程度の浸水、等々力排水樋門付近で 2m 超えの浸水、鷹の塚樋周辺から上沼部排水樋門にかけて 1.0m から 2.0m の浸水が起きたとされる。計算上でも、一部の等々力排水樋門付近や上沼部排水樋門周辺がやや過小評価ではあるものの、概ねそのように浸水深が再現されている。浸水深の過小評価の原因については特にモデル上の問題が考えられ、地表面格子の解像度が 50m×50m とそこまで詳細ではないことや、計算上では雨水管渠の基底流量を与えていないことなど原因として考えられる。浸水が発生した地点ごとの湛水深を全て精度良く合わせていくには、地表面格子の高解像度化やモデルパラメータのチューニング等が必要となるものの、本計算では台風 19 号に伴う浸水の傾向が概ね再現できたと考えられる。

### 内外水の複合氾濫シナリオの評価

対象地域において令和元年台風 19 号では、堤内地からの雨水出水に加え、等々力排水樋門のゲートを閉鎖することができずに多摩川本川の洪水が雨水管を介して堤内地へ逆流し、それらの複合的要因によって浸水が発生した。この経験を踏まえ、台風 19 号のように発生頻度の低い大規模出水時に対して樋門・樋管の開閉状態によってどのような浸水が発生しうるか事前に推定しておくことは、リスク管理の観点からも重要であると言える。そこで対象地域に設置されている 5ヶ所の樋門・樋管に対して、何らかの要因によってゲート操作ができずに仮想的に開いていた状態を想定し、それが堤内地においてどのような影響を与えうるかシナリオ解析を実施した。その際、堤内地からの雨水出水との複合的浸水条件を作り出すことは可能であるものの、そのリスクを雨水出水との複合的浸水リスクを区別するため、意図的に堤内地は無降雨状態であると仮定し解析した。すなわち雨水管渠を介した外水の浸水リスクを明らかにすることを試みた。

図-4 と図-5 に、対象地域の下野毛排水樋門と玉川排水樋管におけるそれぞれの浸水リスクを示す。下野毛排水樋門のケース（図-4）においては、樋門の位置する下流から上流にかけて浸水が発生することとなり、隣接する新玉川排水樋管とは浸水発生メカニズムは異なることが示唆された。また、浸水深においてもより深い状態で樋門上流にかけて発生している様子が見て取れる。このことから同じ排水区に浸水を発生させ得るものの、下野毛排水樋門の方がその影響が大きいことが示唆される。

次に図-5 の玉川排水樋管（玉堤地区）に着目すると、樋管から下流にかけて広範囲にわたり床上、床下浸水の状態となっている。地表面だけでなく雨水管渠に着目しても、その影響は丸子川末端部分の調布排水樋管にまで達している。さらに玉川排水樋管開の影響は丸子川を介して上流へと伝わり、下野毛排水樋門にも及んでいることが見て取れる。台風 19 号で逆流の発生した等々力排水樋門においても玉川排水樋管と類似した浸水の傾向を示しているが、その影響は下流方向に限定されている。例えば谷沢川合流部周辺では床下浸水にも至っていない。実際にはこの地域で浸水が発生していることから、それらはすなわち雨水由来と考える方が自然である。

なお、一部排水区では樋門近傍では計算が発散して安定せずに有意な結果を得ることができなかった。管渠の水理計算が不安定になりやすいことが原因として考えられ、今後修正が必要な点である。



図-4 ゲート開状態における外水リスク：下野毛排水樋門

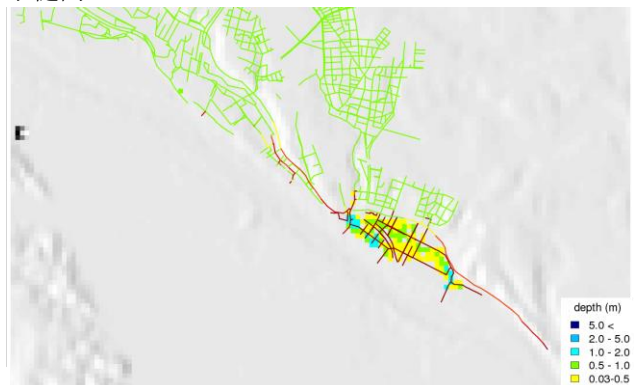


図-5 ゲート開状態における外水リスク：玉川排水樋管



### ポンプゲートによる浸水低減効果の推定

ポンプゲートはゲートの扉体に水中ポンプが取り付け、河川など外水位の上昇時においてもゲート閉で逆流を防止しながら内水を排水できる設備である。そのため台風 19 号時に樋門閉状態で内水排除不能となり、都市下水路を通じて河川水の逆流が発生した谷沢川・丸子川流域においても、有効な対策の一つとして活用が期待される。本研究ではポンプゲートをモデル化しシームレスモデルに組み込んだ。

対象地区において浸水低減効果がどの程度みられるのかモデル計算により検証することとし、ポンプゲートが既設である上沼部排水樋門を含め、新玉川排水樋管、下野毛排水樋門、玉川排水樋管、等々力排水樋門の五ヶ所にポンプゲートを仮想的に導入した場合、令和元年台風 19 号時の豪雨に対して解析した。ポンプの排水能力は上沼部排水樋門に設置されている排水能力を参考として  $2.0\text{m}^3/\text{s}$  とした。

台風 19 号におけるポンプゲート仮想導入による解析結果を図-6 に示す。図は内水氾濫がもっとも顕著だった 10/12 22:30 である。ポンプゲート導入によって上野毛地区、玉堤地区ともに浸水深が減少している傾向がみられ、玉堤地区においてその範囲も広い。しかしながらポンプゲートの導入によっても内水被害の完全な解消には至っていない。これはゲートを閉めることにより河川からの逆流を防ぐことができるものの同時に都市下水路からの自然流下も抑制してしまうためによるものと考察される。すなわち、ゲートが閉じられた場合、ポンプ能力を超過する雨水流出は排水できない。すなわちポンプゲートのみで浸水が解消しないことが示唆された。

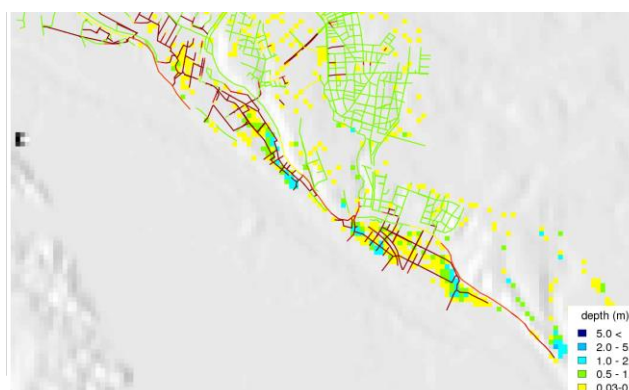


図-6 ポンプゲート導入シナリオにおけるの浸水 (2019-10-12 22:30)

### 研究項目 (3) 地域水防災意識の向上

#### 地域住民の災害情報の受容調査

本研究では、台風 19 号時において世田谷区の地域住民が実際に取った行動から、避難行動のトリガーとして影響を与えた情報の内容、伝達手段、タイミングなどを評価する。ここでは前年度に実施した研究項目「大規模洪水発生時における避難行動の意識調査」で示唆された、対象範囲が絞られるほどに住民が危機感を持つことにつながるという点にも着目しながら、実際に台風 19 号で浸水被害のあった世田谷区近隣の住民を対象に実施した。

調査対象地域は、東京都世田谷区と大田区において、多摩川洪水ハザードマップを参考に、丸子川・谷沢川流域近隣地区で多摩川出水の影響が及びそうな浸水リスクの高い地域を「主対象」、リスクの低い地域を「比較対象」として選び、これら対象毎の情報受容の違いを分析することとした。

調査方法は、台風 19 号時において、主対象か比較対象の町丁目に住んでいた人を対象とし、WEB 上で無作為抽出して回答いただいた。回収設計としては、主対象・比較対象間における偏りを無くするため、主対象が 150 サンプル、比較対象が 150 サンプルとなるよう均等回収とした。WEB 上の調査は 2021 年 12 月末 (2021 年 12 月 27 日から 2022 年 1 月 7 日まで) に実施した。回答者が主対象・比較対象のどちらの属性を持つかについては、調査対象にスクリーニング質問を行い、回答者が住んでいる町名を問うた後、洪水・内水氾濫ハザードマップ (多摩川洪水版) で自宅がハザードマップ上でどの程度浸水する想定になっているかにより、曝露性が高い地域に住む主対象とそうではない比較対象とに選別した。次に、選別された主対象、比較対象に対して、以下の 5 つのグループに係る質問群に対して回答してもらった。それらは、A 令和元年台風 19 号に関すること、B 身の回りのこと、C 避難行動と予測情報、D 浸水対策、E 回答者自身のこと、である。

以下に本アンケート調査から得られた示唆の要約を述べる。

- ・ 浸水の影響を受けた方は、多摩川増水と道路冠水を知ってから対策をとった方が半数であった。
- ・ 低地の住民には、丸子川の水位予測 (図-7) や自宅周辺下水道水位 (図-8) に関心が高いことがわかった。
- ・ 「樋門・樋管」は大半が知らないものの、低地では認知されておりその開閉状態の関心も高い。

- ・ 避難行動に必要な時間は3時間までが多数であった（図-9）。しかしながら時間帯で差がみられ、深夜ではより長い時間が必要なことがわかった（図-10）。
- ・ トイレの使用不能・停電など生活に支障をきたす際に避難行動の意向が高まる傾向があった。
- ・ 避難行動を起こすかどうかは、家族・親戚以上に区からの情報への信頼が高かった（図-11,12）。
- ・ 特定範囲をせばめるほど避難行動の意向が高まる。これは昨年度実施した研究結果とも整合するものであり、その普遍性が期待できる。

アンケート調査の結果についてはさらなる精査が必要なものの、複合的浸水リスク解析から丸子川や下水道、周辺道路冠水に関する浸水の兆候を検知できれば、その情報を活用することで地域住民の避難につながる可能性があると考えられる。

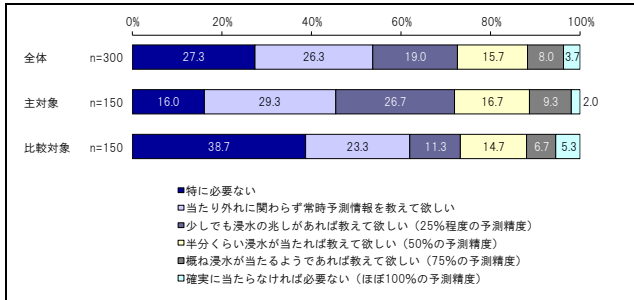


図-7 丸子川予測水位の必要性

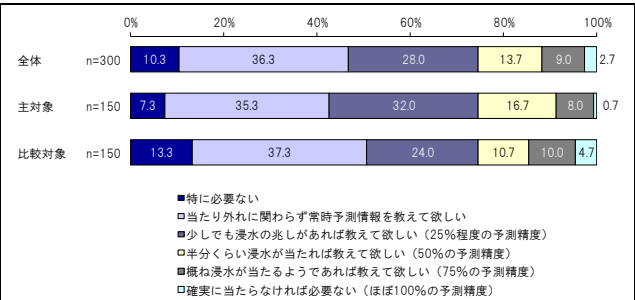


図-8 自宅周辺下水道予測水位の必要性

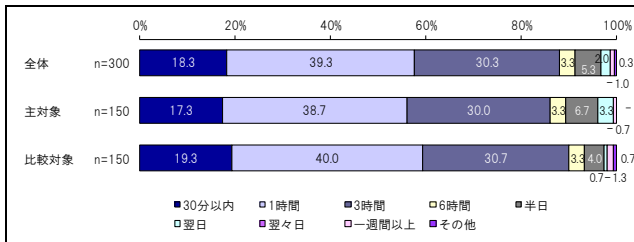


図-9 避難行動を起こすまでに必要な時間

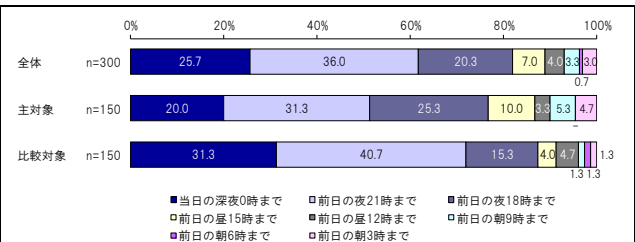


図-10 午前3時に避難する情報が必要な時刻

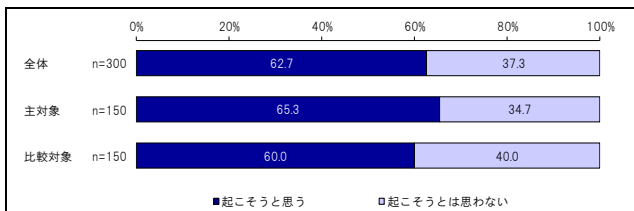


図-11 避難行動を起こすか: 家族・親戚の呼びかけ

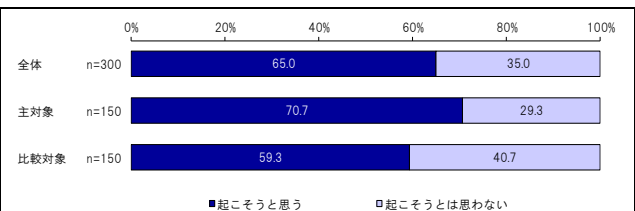


図-12 避難行動を起こすか: 区からの呼びかけ

## 河川管理者・自治体への研究成果報告

### 部局担当者への研究成果報告

本研究課題で得られた研究成果について、特に本成果概要で述べた、複合的浸水リスクと河川・下水道連携の浸水対策、地域水防災意識の向上に係る内容について、関係部局の担当者を招き成果報告会を2022年2月3日に開催した。なお、新型コロナウイルス感染症対策のためオンライン開催とした。参画部局は研究実施機関を含め次に示す部局から総勢20名が参加した。東京大学大学院工学研究科（都市工学専攻）、日本下水道事業団技術開発企画課、国土交通省京浜河川事務所調査課、東京都下水道局計画調整部、東京都建設局河川部、世田谷区土木部（豪雨対策・下水道整備課、土木計画調整課）、大田区都市整備基盤部（都市基盤管理課）、狛江市環境部（下水道課）、調布市環境部（下水道課）、川崎市上下水道局下水道部（下水道計画課）

### 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)

- ・ これまでに発表した代表的な論文
  - ・ 著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
  - ・ 国際会議、学会等における発表状況
  - ・ 主要雑誌・新聞等への研究成果発表
  - ・ 学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
  - ・ 研究成果としての事業化、製品化などの普及状況
  - ・ 企業とのタイアップ状況
  - ・ 特許など、知的財産権の取得状況
  - ・ 研究成果による受賞、表彰等
- 
- ・ Bisheng XU, Hiroaki FURUMAI and Yoshihiro SHIBUO, EVALUATION OF STORMWATER RUNOFF REDUCTION BY GREEN INFRASTRUCTURE DURING SHORT-TERM HEAVY RAINFALLS, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 77, No. 2, I\_271-I\_276, 2021.

※世田谷区低地における令和元年台風19号に伴う浸水再現計算、内外水の複合氾濫シナリオの評価、ポンプゲートによる浸水低減効果の推定について、土木学会論文集への投稿を準備している。

※地域住民の災害情報の受容調査に関する内容について、地域安全学会への投稿を準備している。

### 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。)

東日本台風に伴う世田谷区の内水被害についてNHK首都圏ネットワーク「内水氾濫に注意」(2020年8月26日放送)に取材協力を行い、大規模出水に伴う都市の浸水被害について啓発を促した。

### 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。)

なし

### 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。)

地域住民の災害情報の受容調査から、多摩川の洪水だけでなく、丸子川・谷沢川などの中小河川におけるはん濫予測、周辺道路・下水道における内水はん濫の兆候に対するニーズがとても高いことがわかった。東日本台風に伴う複合的氾濫事象の予測には、外水と内水一体の浸水解析は必要な技術であり、その開発を継続して都市浸水の予測精度を高めることは住民ニーズに合致するものである。

はん濫情報は区全域等で画一的に出すよりも、その範囲をせばめて提供することの方が避難行動に効果的であることがわかった。このことから町丁目の浸水予測を実現できる精度の降雨予測と浸水モデルが求められると考えられる。

### 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。)

丸子川等の中小河川、下水道・道路冠水等の予測ニーズを踏まえ、河川・下水道一体の氾濫解析モデルを活用したきめ細かな浸水予測情報の提供により、国民の財産や生命を守ることへの貢献が期待される。洪水時における河川本川の予測水位により、沿川自治体における排水不能状態・内水はん濫となり得る時間帯を予測することは、河川管理者と自治体が一体となった都市部の浸水対策の第一歩になり得ると考えられる。