

## 【研究成果報告時/報告書 (概要版)】様式-1-ウ

内水氾濫による突発・局所災害の時系列発生状況の  
把握と地域住民への情報伝達方法に関する研究

東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科

教授 伊藤和也

准教授 三上貴仁

著者らの所属する大学では令和元年東日本台風によって多くの建物が浸水被害を受けた。多摩川周辺で発生した他の浸水被害と同じく排水樋管の操作に加えて操作不能な樋管があったことなど複数の要因が連鎖的に影響を与えたと考えられる。令和元年東日本台風発災直後に周辺地域の浸水調査を行い、内水氾濫による浸水被害は把握できたが、時系列での浸水過程については断片的な情報のみである。そこで本研究では、当該地域で撮影された複数の防犯カメラ映像を用いて、時系列の浸水深と流向・流速を計測し、内水氾濫時の当該地域の浸水の特徴について把握した。

**Key Words** :研究の中でkeyとなる単語を幾つかここに記述して下さい。

## 1. はじめに

我が国の過去10年間の全国の水害の被害額は一兆八千億円にのぼり、被害額の60%が洪水氾濫、40%が内水氾濫である。しかし、東京都ではその割合が逆転し、内水氾濫の被害額が約70%を占めており、市街地での内水氾濫の被害の甚大さが都市水害の特徴となっている。著者らの所属する大学では令和元年東日本台風によって多くの建物が浸水被害を受けた。多摩川周辺で発生した他の浸水被害と同じく排水樋管の操作に加えて操作不能な樋管があったことなど複数の要因が連鎖的に影響を与えたと考えられる<sup>1),2)</sup>。

著者らは令和元年東日本台風発災直後に工学部都市工学科 (現、建築都市デザイン学部都市工学科) を中心とする関連学科の教職員・学生と共同で浸水調査を行っており、その成果の一部は文献<sup>3)~4)</sup>にて公表されている。また、周辺住民へのアンケート調査等も実施し、令和元年東日本台風による被災状況、避難意識と行動、そして災害時の大学の役割に対する要望について把握している<sup>5)~6)</sup>。これらの浸水深調査やアンケート調査等から周辺地域の内水氾濫による浸水被害は把握できたが、「いつから」浸水が始まり、水は「どこから」・「どれだけ」流入して、「どこに」排水されたのか? という時系列での浸水

過程については断片的な情報のみである。そこで本研究では、当該地域に設置されていた複数の防犯カメラ映像を用いて、時系列の浸水深に加えて、流向・流速を計測し、内水氾濫時の当該地域の浸水の特徴等の把握を行った。得られた結果を踏まえて、浸水被害を受けた大学と地域住民とのつながりや大学の地域防災拠点としての在り方などについて考察した。

## 2. 対象地域の概況と災害発生時の状況

本研究の対象地域の地形的な概況について文献<sup>3)</sup>を基に簡単に示す。対象地域は、多摩川下流の左岸に位置し、図-1に示すように南側を多摩川、西側を谷沢川、北から東側を丸子川と3河川に囲まれた地域である。谷沢川は玉川排水樋管、丸子川は調布排水樋管によって多摩川へと注いでいる。また、これとは別に対象地域には等々力排水樋門 (世田谷区) と上沼部排水樋門 (大田区) が整備されており、対象地域や坂上の地域からの雨水を多摩川に排水させている。

災害発生当日の排水樋管の操作状況について文献<sup>7)</sup>では表-1のようにまとめている。谷沢川から多摩川に排水する玉川排水樋管は10月12日19時30分

## 1ヵ年研究用 (R3)

に全閉し、翌13日1時33分に全開した。丸子川から多摩川に排水する調布排水樋管は逆流現象がなかったため、開閉操作は行われていない。地域の雨水排水を行う上沼部排水樋門は10月12日18時に全閉したが、等々力排水樋門は樋門付近の冠水、強風によって閉鎖作業ができなかったため全開状態であった。この樋管・樋門の操作について、関根らは樋管・樋門の運用方法を変化させた浸水予測計算を行い、運用ルール通りに操作していた場合、実際より

も深刻な浸水被害が生じていた可能性を指摘している<sup>7)</sup>。一方、世田谷区<sup>1)</sup>や大田区<sup>2)</sup>の検討結果では、計画どおりの運用のほうが浸水の広がりが小さくなる解析結果となるなど、シミュレーションの条件設定により若干の違いがみられている。

著者の所属する東京都市大学世田谷キャンパスも約3万トンの水がキャンパスに流れ込み、複数の建物で1階床上まで浸水するとともに、地下階を有する棟のドライエリアに流れ込み、図書館地下階書

表-1 水門（樋門・樋管）の操作状況 <sup>1)</sup>を一部抜粋

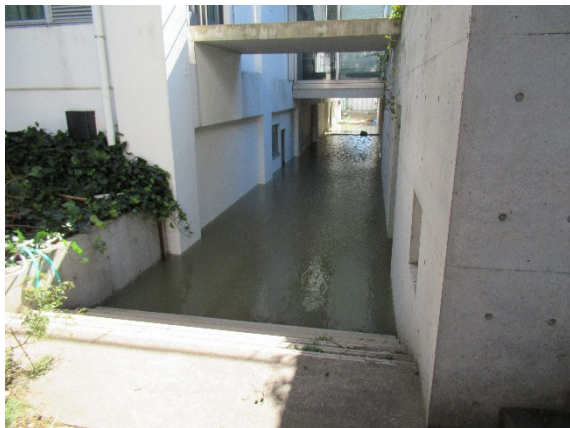
名称	管理者 (所有者)	全閉作業	全開作業	備考
玉川 排水樋管	世田谷区 (国交省)	12日 19:30	13日 1:33	・ 谷沢川 ・ 排水ポンプ車稼働 12日 18:30-19:15
等々力 排水樋門	世田谷区 (都下水道局)	近傍の道路冠水, 強風により操作できず		・ 等々力雨水幹線 ・ 停電
上沼部 排水樋門	大田区 (都下水道局)	12日 18:00	13日 5:00	・ ポンプゲート稼働 ・ 排水ポンプ車稼働 12日 17:00-19:00
調布 排水樋管	大田区 (国交省)	開閉操作なし ※全開のまま		・ 工事のため、当日は国交省が操作



SAKURA センター浸水状況 (10/13 撮影)



図書館地下浸水状況



4号館・5号館浸水状況



1号館地下浸水状況

写真-1 東京都市大学世田谷キャンパスの被害状況



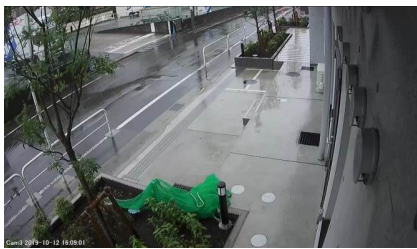
1 カ年研究用 (R3)

庫, 地下教室, 地下階の研究設備の一部に加えて地下階に設置されていた受電設備が被害を受けた<sup>8)</sup>。当該地区は風致地区に指定されており, 建築物の高さは15m以下とする制限があった。そのため, 研究・教育の空間を確保するために多くの棟が地下階を有しているが, その多くが浸水被害を受けた (写真-1)。

著者らは被災直後から都市工学科を中心とする関連学科の教職員と学生と共同で浸水調査を行った。その際に, 大学も含めて当該地域の複数台の防犯ビデオ映像を入手することができた。ここでは, 2箇所の防犯ビデオの映像から, 浸水位の時系列変化を, 1箇所の防犯ビデオの映像から, 流向・流速について画像解析を行った結果を示す。



図-1 対象地域の水門 (樋管・樋門・雨水幹線) の概略図と防犯カメラ位置



2019-10-12 16:09



2019-10-12 18:00

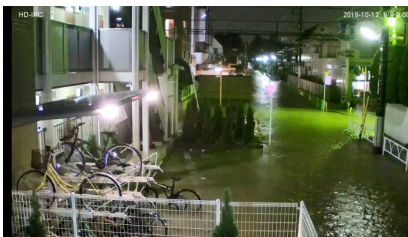


2019-10-12 19:20  
(以降停電により映像無し)

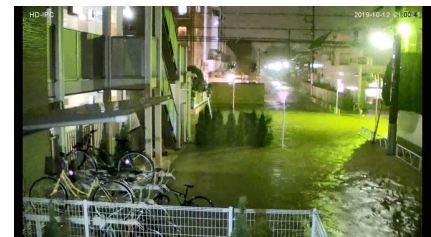
(1) 東京都市大学国際寮前



2019-10-12 18:00

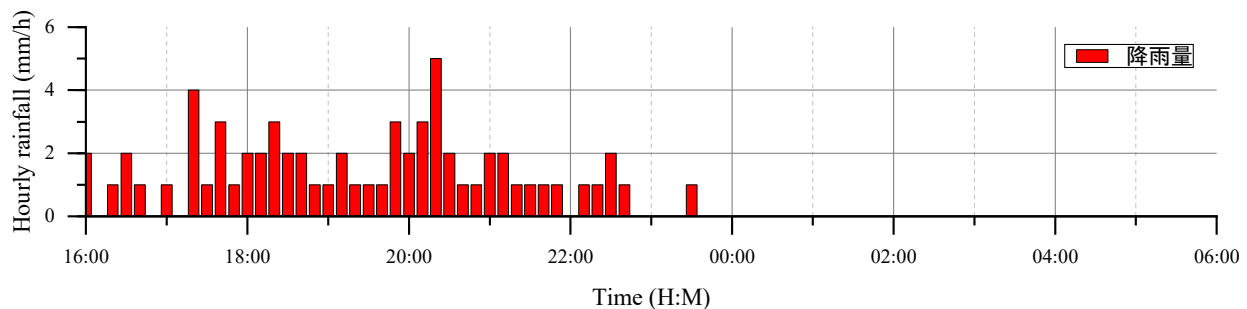


2019-10-12 19:20

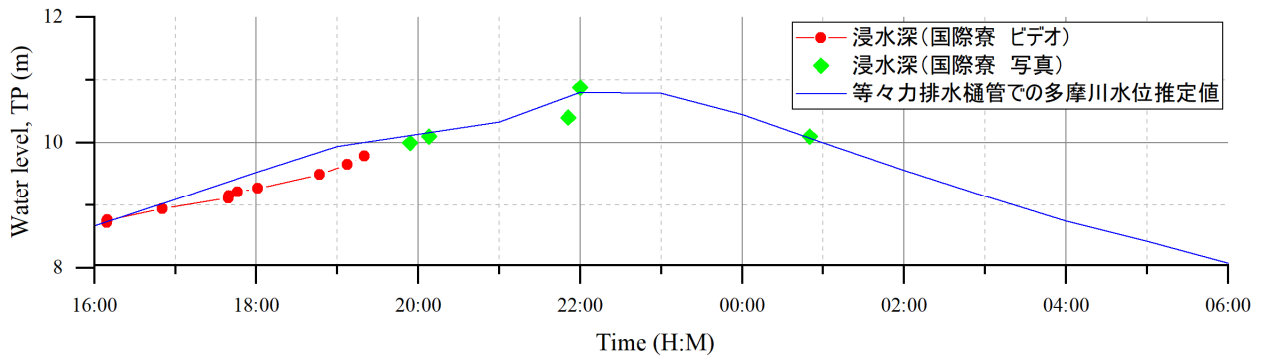


2019-10-12 21:00

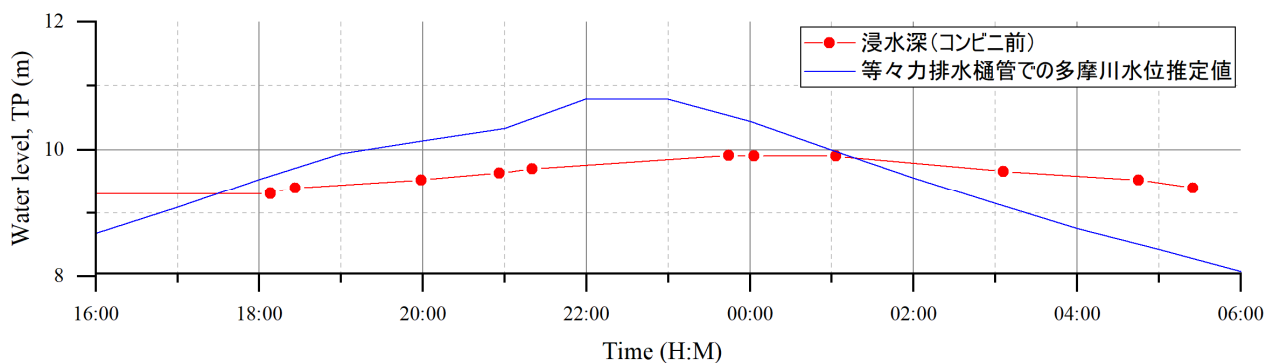
(2) コンビニ前  
写真-2 防犯カメラ映像



(1) 10分降雨量(玉川観測所)



(2) 東京都市大学国際寮付近の浸水深と等々力排水樋管での多摩川水位推定値



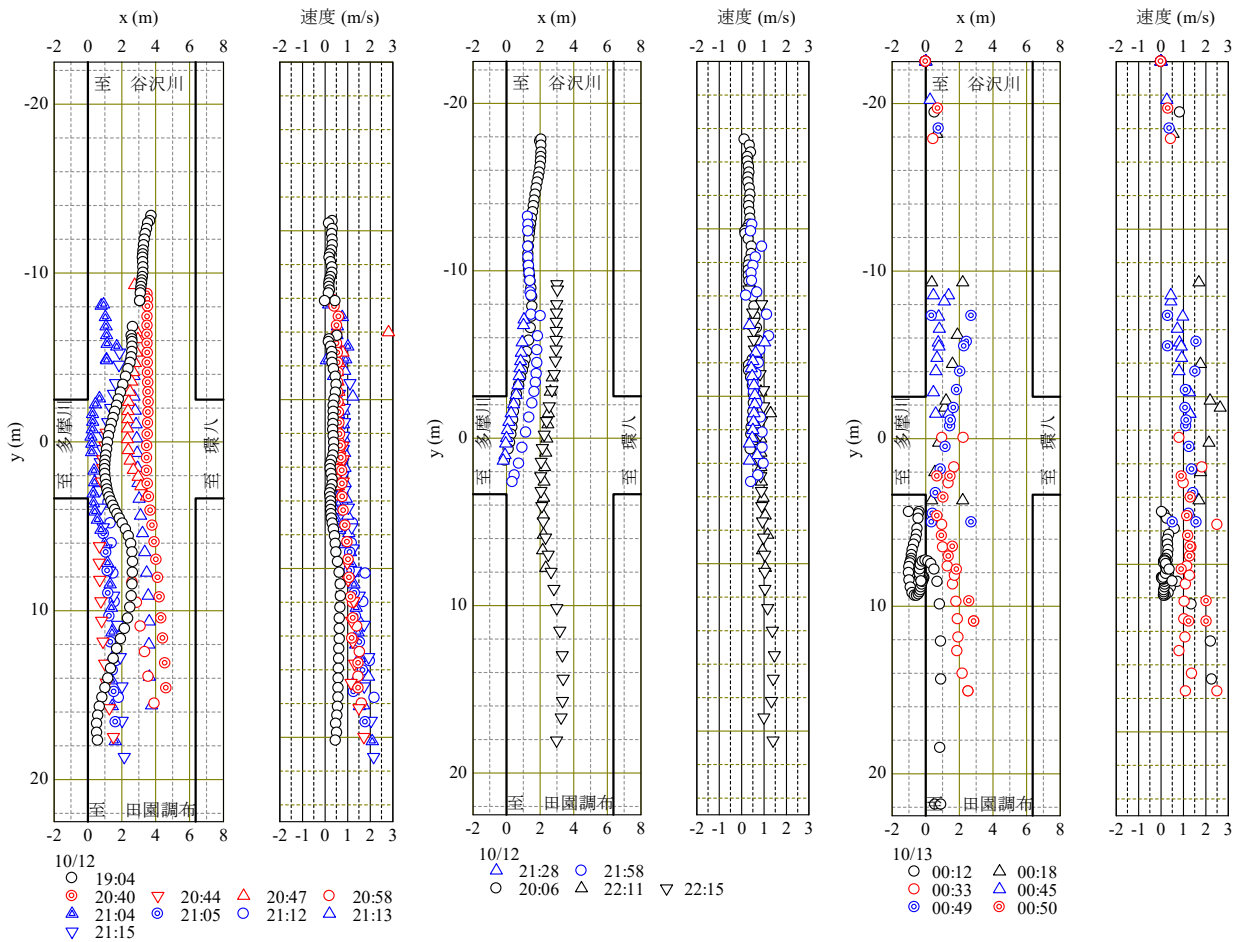
(3) コンビニ前付近の浸水深と等々力排水樋管での多摩川水位推定値

図-2 降雨量・浸水深の時系列

### 3. 防犯ビデオ映像等による時系列浸水位の特定

使用した防犯ビデオは、図-1に示す東京都市大学国際寮前とコンビニ前のものである。防犯ビデオの一部抜粋したものを写真-2に示す。また、多摩川の当該地区の推定水位(玉川観測所と田園調布(上)観測所の水位データから玉川排水樋管の水位を線形補完で推定<sup>3)</sup>)と玉川排水樋管の水位情報データに2つの防犯ビデオの浸水位を追加したものを図-2に示す。ここで、防犯ビデオの浸水位は、ガードレールや電灯など被災後にも位置が不動である箇所を後日測量して、基準点の標高に浸水深を加えて浸水位(TP)としたものである。なお、世田谷区玉堤地区が停電したため玉川排水樋管の水位データと国際寮の防犯カメラ映像は19:20以降欠測している。しかし、国際寮の寮生や海外からサバティカルでショートステイしていた客員教授<sup>9)</sup>が撮影した写真等

からそれ以降の浸水深を特定している。図-2を見ると玉川排水樋管を全閉する19:30前から国際寮付近では浸水が始まっている。これは、国際寮付近がこの周辺では最も標高が低い窪地であるため道路上の雨水が集水されていることに加えて等々力排水樋管につながる等々力雨水幹線上の人孔のうち、国際寮に近い箇所が標高T.P.8.5mと低くなっているため、多摩川の河川水位がT.P.8.5mを超えた16:00くらいから逆流してきたものと考えられる。その後の浸水深は等々力排水樋管での多摩川水位推定値と整合しており多摩川水位が低下すると浸水位も低下している。これは、国際寮周辺が窪地状となっているためだと考えられる。コンビニ前にも等々力雨水幹線上の人孔があるが、標高がT.P.9.5m程度と比較的高かったため、18:00以降から浸水が始まった。



(1) 10/12 19:00-21:15

(2) 10/12 21:28-22:15

(3) 10/13 0:12-0:50

図-3 ビデオ映像からの画像解析結果 (左: トラッキングした浮遊物 (ゴミ) の軌跡, 右: 合成速度 (谷沢川から田園調布へ流下する方向を正と定義))

谷沢川は17:30頃から越水がはじまり, 19:30には玉川排水樋管が全閉となり, 谷沢川からあふれた水は東京都市大学のA地区B地区を挟む道路を流下してコンビニ前から田園調布5丁目に流れている様子が捉えられている。この映像を用いて流向・流速の測定を行った。

#### 4. 防犯ビデオ映像による時系列での流向・流速

河川の流下流速測定は, 一般的には棒浮子法が用いられており, 近年では無人で連続観測が可能な固定式流速計について実用化に向けて検討されている<sup>10)</sup>。具体的には, 水中設置型流速系として超音波流速系や水平方向ADCPや非接触型流速系として電波流速系や画像解析による方法が挙げられている。画像解析による方法は画像の高精度化と解析技術の発展とともに進化してきた。例えば, 藤田らは河川表面の波紋のトレーサーと見なせると仮定して画像相関法による画像解析を実施している<sup>11)</sup>。他にも画像間の輝度の分布パターンマッチングを行う

PIV (Particle Image Velocimetry) 法<sup>12)</sup>, 輝度勾配から流速を求めるSTIV (Space-Time Image Velocimetry) 法<sup>13)</sup>, マーカーの変化を見るPTV (Particle Tracking Velocimetry) 法<sup>14)</sup>等があり, 状況に応じて最適な方法にて流速計測がされている。このように河川については, 洪水時も含めて様々な方法で被害状況を把握する試みが行われているが, 計測機器や監視カメラが存在しない中小規模河川の場合には公的な記録がない場合がある。このような問題に対して, 仲野らは平成29年九州北部豪雨にて被災地の住民が撮影した動画から流速を推定し, 流速測定は概ね可能であることを示している<sup>14)</sup>。また, 鶴崎・大橋は現地踏査のサポート技術としてSNS情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定を行っている<sup>15)</sup>。氾濫流速については, SNS上の動画を用いたPTV解析による算定であるが精度検証のためには実験結果等の比較が必要だとしている。

本研究でも, 鶴崎・大橋<sup>15)</sup>が採用したPTV解析を用いて防犯ビデオ映像から流向・流速測定を行った。使用した解析ソフトは2次元動画計測ソフトウェア



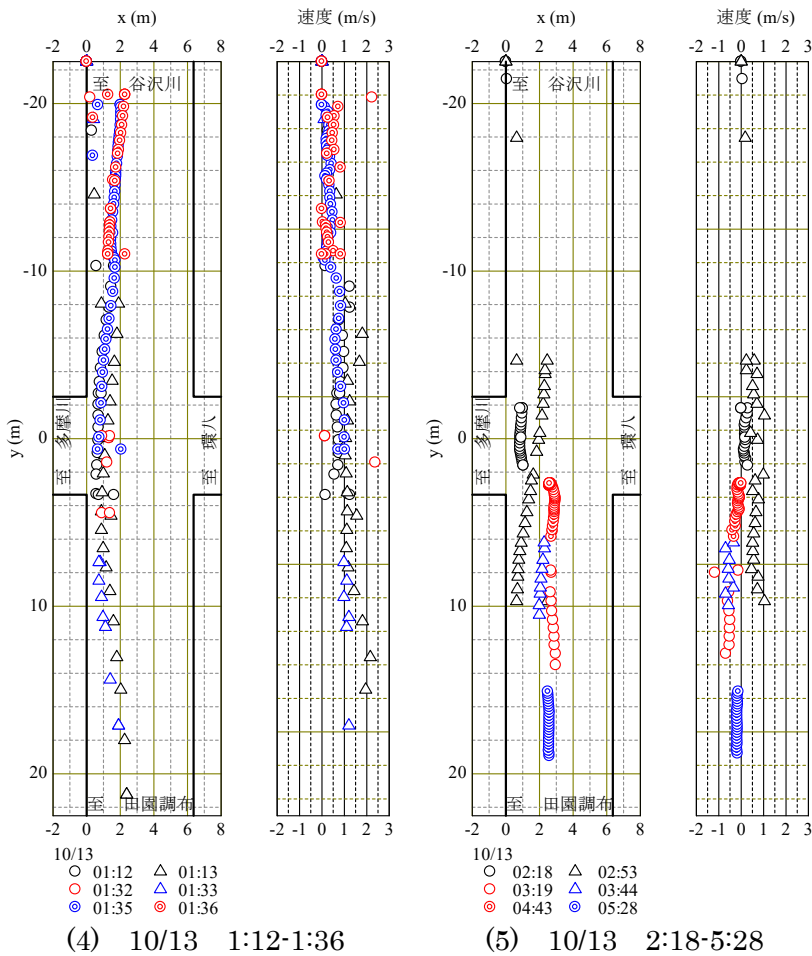


図-3 ビデオ映像からの画像解析結果 (左: トッキングした浮遊物 (ゴミ) の軌跡, 右: 合成速度 (谷沢川から田園調布へ流下する方向を正と定義)

Move-tr/2D (Library社製) である。道路現状平面図による道路幅員と現地測定の結果から座標値を決定し、俯瞰図へ幾何変換している。ターゲットはゴミ等の浮遊物としてそれらを追尾することで2次元座標値 ( $x$ ,  $y$ ), 速度 ( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_a$ ) の算出が可能である。ここでは、10/12 19:00から10/13 5:28までの映像からターゲットを抽出できた33点の結果について示す。

図-3はビデオ映像からの画像解析結果である。ここで、図は時間帯に分けて5分割しており、それぞれの左はトッキングした浮遊物の軌跡 ( $x$ ,  $y$ 座標), 右は $y$ 座標と合成速度の関係を示したものである。なお、合成速度については、谷沢川方面 (西側) から田園調布 (東側) へ流下する方向を「正」と定義している。また、図-4は計測箇所周辺での標高と傾斜勾配の関係を、図-5には浸水深 (図-2(3)) に画像解析から得られた平均速度を追加したものをそれぞれ示す。当該箇所は約1/1000の勾配で緩やかに谷沢川方面から田園調布へ下っている場所である。まず、19:04に最初の浮遊物が谷沢川方面から田園調布方面に流れている。10/12に計測した軌跡の多く

で交差点にて一旦多摩川側に流れる傾向がみられる。環八側と多摩川側では多摩川側の標高が低く、加えて環八側の坂上から流下してくる水もあり、水の流れとしては多摩川側と田園調布側への流れがあるものと言える。10/12の間の合成速度の多くは交差点までは約0.5m/sであるが交差点を過ぎると速度が加速的に増加して最大2.0m/s程度まで速くなる。特に速度が速くなる時間帯としては10/12 20:00~10/13 1:00であり、多摩川水位が上昇している時間帯と一致する。その後、10/13 2:00には、浮遊物は田園調布側から谷沢川側に移動しており、10/12と逆方向に移動している。合成速度は2時~3時に約0.5m/sであるが、4時台になると0.1m/s程度となった。また、水も引いており、等々力排水樋門での多摩川水位推定値とコンビニ前の浸水深の関係 (図-2(3), 図-5) では10/13 1:00くらいに水位差が逆転している。田園調布側から谷沢川側に水が流れ始めたのは2:00くらいからであり、等々力排水樋門が全開だったため、水位差によって多摩川に排水されたことが一因として考えられる。

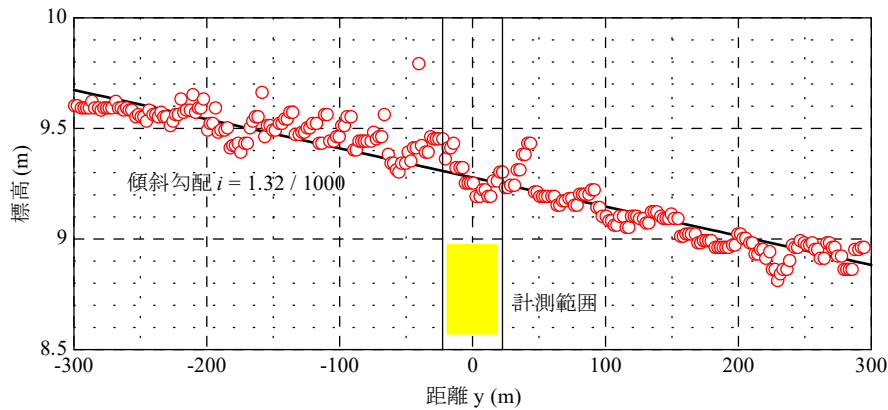


図-4 測定箇所での標高と傾斜勾配

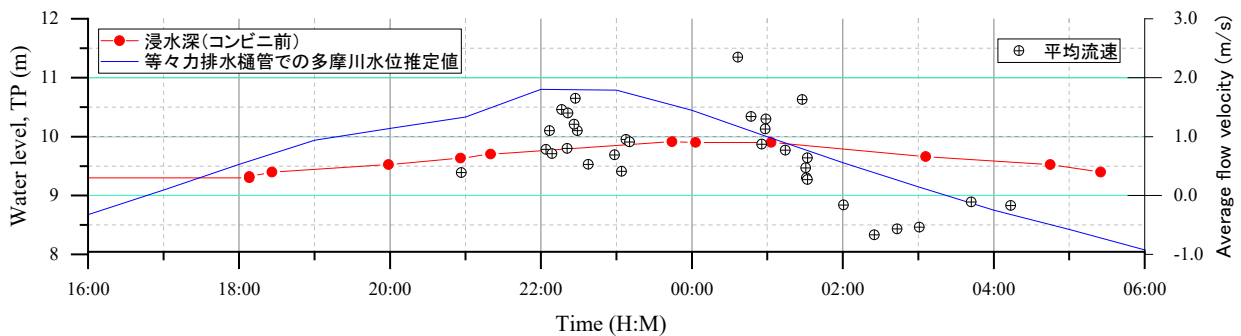


図-5 浸水深と平均速度の時系列データ

## 6. 対象地域の特徴と地域拠点のあり方（考察）

防犯ビデオの映像から当該地区の浸水被害の時系列による全体像の把握を試みた。防犯カメラを設置した主目的とは異なる用途での使用であるため、浸水の様子が撮影されていなかったり、深夜で暗くて状況が分からなかったり周辺地域の停電によって途中で欠測したものが多かった。しかし、撮影されていた映像では浸水深だけでなく、流向・流速なども測定することができた。当該地域での現地調査の結果も含めて以下の点を挙げられる。

- 1) 浸水深の時系列の変化については、都市大国際寮前では当日全開だった等々力排水樋管での多摩川水位推定値と連動する傾向がみられた。これは、国際寮付近が周辺と比べて地形的に低い窪地<sup>3)</sup>であることが一因として考えられる。
- 2) コンビニ前の浸水深の時系列の変化については、流れ出た水が滞留せずに田園調布側に流下するために、浸水深は高くならなかった。
- 3) コンビニ前の流向と流速は漂流物があれば計測することが可能であった。また、その流速は最大で2.4m/s程度であった。また、等々力排水樋管での多摩川水位推定値が当該箇所の浸水深と水位差が逆転してから1時間後に水の流れが逆流した。
- 4) 市街地の内水氾濫であっても局所的ではあるが、

結構速い流れが生じていた。地域の中で、内水氾濫が生じたときに水が溜まる箇所（浸水深は大きい流れはあまりない）と流速が速い箇所（浸水深は小さい流れがある）を事前に特定することで地域の浸水災害へのリスクの分布を考える必要がある。

当該地域の住民へのアンケート調査から、足りなかった情報・わからなかった情報として「丸子川の氾濫危険情報」・「地域の浸水情報」と「避難所の混雑情報」・「避難所の開設情報」の項目が高かった<sup>5)~6)</sup>。当時、丸子川 (B) には水位計が設置されておらず、地域住民が水位情報を入手することはできなかった。著者らは本報で使用したコンビニ前のビデオ映像での人々の浸水前後の移動速度等の行動を分析している<sup>16)</sup>が、浸水後の避難の困難さ、危険性を示している。このような事例から小規模河川の水位情報を簡易に入手することが必要であり、関屋らは非接触型センサを用いた比較的廉価な水位計測システムの開発等を行っている<sup>17)</sup>。また、流速は防犯ビデオの画像解析結果から最大で2.4m/sとなっており、既往研究<sup>16)・18)~19)</sup>では避難することができない流速となる。当該地域は全方位を3つの河川で囲まれている地域であり、早めの避難が肝要であるが、氾濫後では安全な避難ができないことを示している。氾濫危険情報は2022年6月13日から国が管理す



7号館



10号館

写真-3 浸水後に計画変更して竣工された7号館と10号館

る全国298河川が3時間以内に氾濫の恐れがある水位に達すると予測された段階で発表するように運用が変更された。丸子川は水位計が設置されておらず、国と地方管理の河川での差が生じている。今後、予測技術に加えて中小河川への計測システム配備の普及が必要である。

なお、当該地域の住民へのアンケート調査<sup>5)-6)</sup>では、大学に防災拠点として期待することとして、「避難場所の提供」が最も多く、次いで「ボランティアの派遣」、「技術情報の提供」となっている。さらに実際の避難では避難場所が混雑していたため、車中泊した例も挙げられている。東京都市大学では、浸水被害当時、キャンパス再整備事業の計画段階であったが、被害後に、1階の地盤面を丸子川の浸水想定深であるTP11.0mに嵩上げた建築計画に変更して建設を再開し、2022年3月に7号館が、2022年8月に10号館（1期工事）がそれぞれ竣工された（写真-3）。今後、地域社会との交流面に加えて地域の避難先の1つとしての機能を含んだ防災面における拠点機能の強化に取り組んでいく予定である。

#### 参考文献

- 1) 世田谷区：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（最終報告），2020  
[https://www.city.setagaya.lg.jp/mokuji/kurashi/005/003/010/d00188081\\_d/fil/saisyuuhoukoku.pdf](https://www.city.setagaya.lg.jp/mokuji/kurashi/005/003/010/d00188081_d/fil/saisyuuhoukoku.pdf)
- 2) 大田区：令和元年台風19号における田園調布区内水解析検討について，2020  
[https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/suigai/2019t19\\_denon-chofu\\_kensyo-kekka.html](https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/suigai/2019t19_denon-chofu_kensyo-kekka.html)
- 3) 三上貴仁，末政直晃，伊藤和也，田中剛：2019年台風19号による世田谷区および大田区における浸水状況の調査，自然災害科学，Vol. 39, No. 4, pp.377-390, 2021.  
[https://doi.org/10.24762/jndsj.39.4\\_377](https://doi.org/10.24762/jndsj.39.4_377)
- 4) 伊藤和也，三上貴仁，田中剛，末政直晃：令和元

年東日本台風による世田谷区・大田区の浸水被害に関する検討～防犯ビデオによる浸水位の測定結果～，安全工学シンポジウム2022，pp.477-480, 2022.

- 5) 浦大二郎，天野克也：令和元年台風19号による東京都市大学周辺地区居住者の避難実態，第39回地域施設計画研究シンポジウム発表論文集『地域施設計画研究39』，pp.271-280, 2021.
- 6) 東京都市大学防災対策チーム：台風19号による避難・被災状況等に関するアンケート調査中間報告書，2020  
<https://www.arc.tcu.ac.jp/16405/>
- 7) 関根正人，藤原史沙，江本健太郎，細田和希，吉野萌：東京都多摩川流域で発生した浸水とこれに及ぼす樋管・樋門の影響，土木学会論文集B1（水工学），Vol. 77, No. 2, pp.I\_535-I\_540, 2021.  
[https://doi.org/10.2208/jscejhe.77.2\\_I\\_535](https://doi.org/10.2208/jscejhe.77.2_I_535)
- 8) 大学ジャーナル：台風被害レポート（台風19号と大学）東京都市大学（旧武蔵工業大学）の浸水被害と復旧，Vol.137, 2019.
- 9) Orense R.: Damage caused by Typhoon Hagibis in the Kanto Region, Japan: A Quick report, NZ Geomechanics News, Issue 98, 2019.  
<https://www.nzgs.org/library/damage-caused-by-typhoon-hagibis-in-the-kanto-region-japan-a-quick-report/>
- 10) 国土交通省：川の防災情報河川の流量  
<https://city.river.go.jp/kawabou/reference/index03.html>
- 11) 藤田一郎，河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み，水工学論文集，Vol. 38, pp. 733-738, 1994.  
<https://doi.org/10.2208/prohe.38.733>
- 12) 小林範之，金目達弥，藤田一郎：PIVによる洪水時河川流量観測装置の開発，河川技術論文集第8巻，pp. 455-458, 2002.
- 13) 島本重寿，藤田一郎，萬矢敦啓，柏田仁，浜口憲一郎，山崎裕介：画像処理型流速測定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討，河川



## 1 カ年研究用 (R3)

- 技術論文集第20巻, 2014.
- 14) 仲野健太郎, 林博徳, 島谷幸宏: 住民撮影動画を利用した洪水流速推定法, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I\_601-I\_606, 2018.  
[https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.5\\_I\\_601](https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.5_I_601)
- 15) 鵜崎賢一, 大橋直也: SNS情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定手法の構築, 河川技術論文集, Vol. 27, pp. 551-556, 2021.
- 16) 三上貴仁, 伊藤和也, 田中剛, 末政直晃: 令和元年東日本台風による世田谷区・大田区における浸水災害時の浸水の進行や人々の行動に関する考察, 自然災害科学, Vol. 41, No. 4, 印刷中, 2023.
- 17) 関屋英彦, 高木真人, 三上貴仁, 森近翔伍: 非接触型センサを用いた水位計測に関する基礎的研究, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol. 1, No. 1, pp. 306-311, 2022.  
[https://doi.org/10.11532/jsceim.1.1\\_306](https://doi.org/10.11532/jsceim.1.1_306)
- 18) 末次忠司: 河川の科学 (図解雑学), ナツメ社, 239p, 2005.
- 19) 水野力斗・二瓶泰雄: 様々な環境条件下における水害避難時の歩行速度に関する実験的検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 72, No. 4, pp.I\_1333-I\_1338, 2016.  
[https://doi.org/10.2208/jscejhe.72.I\\_1333](https://doi.org/10.2208/jscejhe.72.I_1333)