

## 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>
	入江政安 (いりえまさやす)	大阪大学	教授
<b>②研究テーマ</b>	名称	ゴミと土砂の流出特性の同時解析:CCTV映像と既存観測体制の活用方策の検討	
<b>③研究経費</b> (単位:万円) ※端数切り捨て。	令和3年度	令和4年度	合計
	198万円	198万円	397万円
<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5年3月31日現在)		
中谷祐介	大阪大学・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>(目的)</p> <p>大和川は、下流河口部での土砂の堆積傾向が課題となっている。また、河川内に漂流・漂着するゴミは、近年水質が改善し、またその認識も一般にも広まってきた大和川において、美観上、環境上、次に重要な課題である。そこで本研究は、CCTV映像など既存観測システムといくつかの新技术の連携により、出水時のゴミと土砂、それぞれの流出を同時に解析し、その違いと相補可能性を明らかにする。より具体的には、CCTV映像で目視可能なゴミの流出を解析することにより出水中の土砂の動態が把握できるかを検討し、あるいは、濁度や流速など連続観測データからゴミの通過量を推定できるかを検討する。加えて、既存の監視体制を活用したゴミ及び土砂のモニタリングの提案を行う。</p> <p>(目標)</p> <p><u>出水時の CCTV 映像の収集と解析</u> 流域内に多数ある CCTV から、ゴミ及び濁質の監視の容易さと重要性を勘案して、適切な CCTV を選別し、流域内の監視体制を提案する。</p> <p><u>CCTV で得る水色の解析と土砂輸送量の推定</u> CCTV で得る映像の水色データの解析を行い、カメラの設置環境を踏まえた、出水中の水色の変動特性を明らかにし、自動観測されている濁度との関係を見いだす。補完する観測体制の構築を行い、土砂輸送量の推定がより広範囲に行えるかの検討を行う。</p> <p><u>光学センサーを用いた濁度計測の体制強化の検討</u> 光学センサーを用いて濁度計測を水深別に行う方法を室内実験または現地実験により検討する。現地は、河口域もしくは水質底質テレメータ観測所近傍とする。</p> <p><u>流域中のゴミの発生および流出特性の把握</u> 多地点 CCTV 映像によるゴミの追跡を実施し、地点間で発生するゴミの把握を行い、合わせて、水位や流量の時間変化と比較しながら出水時のゴミの流出特性を明らかにする。</p> <p><u>出水中のゴミの断面通過量の推定</u> 出水中のゴミの断面通過量の時間変化を推定し、集計する。</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。)

最初に本研究のまとめとなる既存観測態勢の環境監視への活用方策への提案を述べ、その後ページの許す範囲で、個別の新たな知見について記述する。

### 1. CCTV映像と既存観測体制の活用方策の提案

CCTVカメラの映像は、出水時の水位や構造物の監視のために設置されており、同じく出水時に増加するゴミや土砂に適した画角や方向にすることはそもそも難しい。一方で、現状では簡易webカメラの設置や高画質なCCTVカメラの設置も進んでいる。殆どのCCTVカメラは現在の運用のまま、ゴミおよび土砂の監視をすることは困難であると推定された。

CCTVは堤防や構造物が入る画角にデフォルトで設定されている。従って、河川水表面が映る範囲が狭く、殆どのCCTVカメラではゴミの判別は困難であった。比較的精度良く測定できるのは上流部の佐保川の「番条」地点のCCTVカメラであり、このカメラの設置状況が、川幅が狭いことに加え、河川から近いこと、高水敷が狭いことにより太陽光の影響を受けにくいことなどの特徴を持っていた。この観点から言えば、大和川本川であれば、中流部の、現在簡易webカメラが設置されている「柏原市青谷」や「柏原市国分市場」のカメラを連続撮影可能なシステムとすることにより、本川ゴミの流出状況を捕捉できる可能性がある。同様の条件は同じく中流部の藤井地区（「藤井下流」「藤井」「藤井水位」）のCCTVカメラでも実現可能性があるが、「藤井」「藤井水位」の2地点は上空が開けており、上流側、下流側にカメラの方向を向けて河川水表面を大きく納めようとする、太陽光の影響を受けやすい。「藤井下流」については（国道25号の状況把握も含まれているためか）画角が大きく、また、出水時に波立つ可能性があり、波とゴミの判別が困難な可能性もあるが、高水敷もなく、3地点の中では比較的可能性が高い。「寺川合流」地点程度の高精細なカメラへの更新があれば、精度良くゴミ流出量の計測できる可能性がある。この地点のカメラは河川からも近いことから、高水敷に乗るような出水であれば、ゴミの流出量を計測できる可能性があるが、この2年間では大規模な出水はなく、詳細な検討は今後の課題である。さらに、「柏原」や「JR第1大和川橋梁」のCCTVカメラはゴミの流出量予測に比較的適した画角を持つが、「柏原」では中州の、「JR第1大和川橋梁」右岸手前カメラ側の植生が水表面の撮影の障害となっており、適切な植生管理が必要となる。

CCTVにより撮影される水色を用いた土砂輸送量の推定は困難であった。映像共有システム上の課題である可能性もあるが、提供された映像は水色をサンプリングするには画素が粗く、濁度と水色の相関はなかった。濁度を計測している河内橋観測所（ほぼ柏原水位観測所）において、CCTVとは逆の左岸高水敷に設置したwebカメラを用いると、水色と濁度の関係は、人工物による色のトーンの補正などのいくつかの補正を加えれば、統計的な相関は認められないものの、濁度と水色に一定の傾向があることが示された。しかし、最有力である $b^*$ 値でも、濁度の幅の割に $b^*$ 値が持つ幅は小さく、現状の濁度計に近い精度を得るのは困難である。そこで、波が立つことによって波峰で現れる白色の画素数を用いて、検討したところ、小規模サンプルを手作業で波と判定するしきい値を設定した場合、波による白色画素数と濁度の間には良い相関関係が得られた。一方で、しきい値判定を自動化すると、白色画素数と濁度の相関は良いとは言えず、しきい値の設定技術に課題を残した。今回は設置したカメラが1時間に1枚の撮影であるため、スナップショットの画像を解析したが、これをある時間帯の複数枚の画像を用いることにより、より精度が向上する可能性がある。

濁りの水色より波峰に発生する白色の画素数の方が濁度との相関を得やすいとの検討結果から、濁度（究極的には土砂輸送量）の推定にCCTVカメラを使用する方法としては、波が発生しやすい「柏原」地点や「藤井下流」地点を中心に検討することが提案できる。ただし、今回は比較的小規模な出水であるため、かえって波が立ちやすい環境にあった可能性もあり、大規模出水の際に改めて検討する必要がある。

加えて、濁質観測のため、濁度をテレメータ観測している河内橋観測所において、光ファイバーセンサーを用いた濁度の鉛直分布観測を実施した。既存のテレメータ観測は1水深、1時間1回の採水により実施されるが、本研究で構築したシステムは多水深連続観測が可能であり、断面通過量のより高精度な推定が可能になった。ゴミなどの障害物を取り除く管理法についてはより検討が必要であるが、採水の必要がなく、水中に没する部分の部品費も安い点が長所としてあげられ、今後のテレメータ水質観測所以外の地点での濁質観測にも有効であることを示した。

## 2. 大和川におけるゴミの特徴

CCTV カメラの画像解析により、2022年9月1日の出水時に佐保川（大和川右岸支川、支川位置は図-4を参照）番条地点（佐保川 4.1k、大和川河口から約40km）で通過が確認された浮遊ゴミの時間変化を図-1および2に示す。本地点の上流側には奈良市の市街地が存在する。一部水位が欠測になっているが、水位のピークは16:20頃と推定され、ゴミのピークはこれに一致していると推定された。既往知見（尾ノ井・二瓶，2011）では、ゴミ漂流量のピークは水位の時間変化率のピークと一致するとの見解があるが、それとは異なる傾向であった。

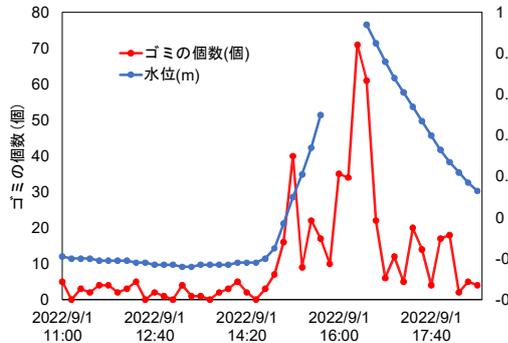


図-1 ゴミ通過個数と水位の関係

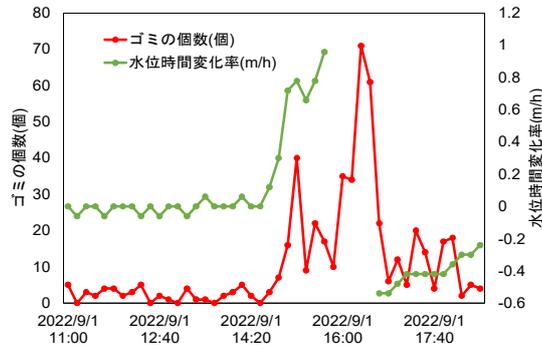


図-2 ゴミ通過個数と水位時間変化率の関係

一方で、本研究で別途大和川左岸支川の曾我川に設置したビデオカメラによる2022年10月7日の観測結果によれば、曾我川のゴミの通過量の推移は水位時間変化率の推移と同じ傾向（既往知見と一致）を示し、このような結果の違いは流域の規模や特性の違いによるものと推察される。また、この地点では、明瞭に、水位の上昇に伴うゴミのファーストフラッシュの傾向を示していた。

非常に限られた計測となったが、2022年11月30日の早朝の、本研究で設置したビデオカメラによって観測された各支川の漂流ゴミ積算値を図-4に示す。各支川における水位変化が異なるため、同時間帯の浮遊ゴミの通過量を単純比較することは適切な方法でない可能性もある。実際に大和川本川の通過総数は一部支川の総数より少ない。しかし、そのような水位変化の時間的相違を割り引いたとしても、左岸支川からのゴミの流入が多い傾向であることが明らかである。いずれの支川も一部市町を除き、流域下水道の整備率に大きな差はない。支川の内、ゴミの流出個数が上位2位を占める曾我川と飛鳥川流域は、他の流域に比べて田畑の土地利用が多いことから土地利用形態の違いによる可能性が示唆される。

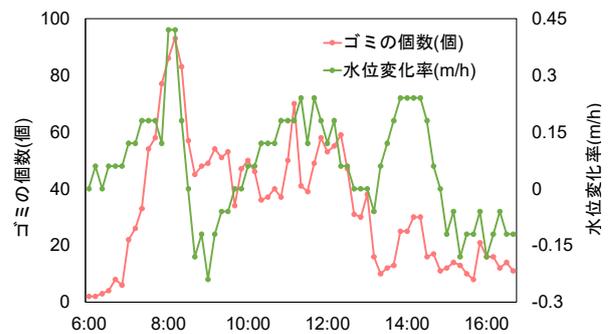


図-3 曾我川におけるゴミ通過数と水位時間変化率の関係



図-4 各支川からのゴミ漂流ゴミの積算値

河川内の流出するゴミの特性を、2種類のサンプリング調査により実施した。1つは大和川本川に設置したゴミ流出対策工（捕捉装置）によるものである。この捕捉装置は大和川河川事務所により設置されたものであり、本研究では回収されたゴミを分析した。中でも本川22.5kに設置した捕捉装置では、草木とともに流出する人工ゴミをより効率的に回収する方法として、番線による捕捉を提案し、ネットと番線による捕捉量の違いを調査した。（図-5）

捕捉することができたゴミの個数の約9割はプラスチック系のゴミであった。プラスチック系のゴ

ミはペットボトルを含まない、ビニールや発泡スチロールなど、1個あたりの重量が小さいものである。プラスチック系のゴミは、河川を流下する過程で波などの影響で細分化されるため、個数としては多くなったものと考えられる。一方、個数が少ないながらもトタン片や土のう袋など屋外用途のゴミは、全体重量に占める割合が大きく、20-33%ほどとなる。3回に分けて回収を実施したが、各回の回収ゴミ重量と各期間の最大流量には正の相関があった。また、図-6に、ネットと番線により捕捉されたゴミの合計重量を高さ別に示す。河床に近いほど捕捉したゴミの合計重量、また、ゴミ1個あたりの重量が大きくなった。また、ネットと番線を比較すると、総じて番線の方がより多くのゴミを捕捉できた。ネットは網目状であり、番線を通りぬける程度の大きさの自然系ゴミも同時に捕捉してしまうことが原因と考えられ、番線による回収が効率的であることを示している。



図-5 対策工の様子

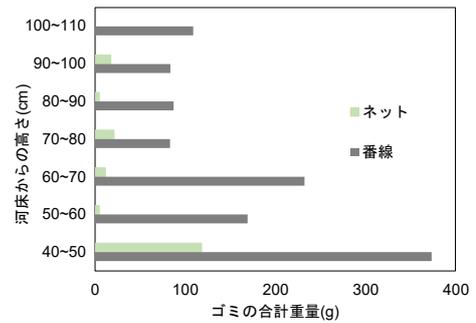


図-6 高さ別のゴミの合計重量

さらに、上流の佐保川 2.2k (大和川河口から 38km) では、浚渫工事に張られたオイルフェンスがあり、ここで捕捉されたゴミを回収し、分析を実施した。回収したゴミを捕捉した期間は 2022 年 11 月 4 日～2023 年 12 月 27 日の 54 日間であり、全量の半分を実験室に持ち帰り、詳細な分析を実施した。回収したゴミは重量比で見ると、全重量 56kg の 43% がペットボトル (855 本)、37% が長辺 5cm 以上のプラスチック系ゴミ (1149 個) であった。図-5 で示した対策工で捕捉されたゴミと比較すると、ペットボトルの割合が明確に多いことが分かる。対策工は低水路河床上に設置されているため、水位が対策工上部より高い場合は、水表面に浮くゴミを捕捉できていないことも原因であると考えられる。倍量の 112kg が調査期間中にこの断面で捕捉されゴミの量と推定され、1日あたりの通過重量は約 2kg、ペットボトル等飲料容器は 37 本であった。出水期ではない時期の調査であるため、これらの値は出水期に比べて小さいものと予想されるが、流域面積約 40km<sup>2</sup>、人口約 32 万人 (H10 値) の流域のゴミとしては相当少ないと評価できる。また、回収したペットボトル (水を除く) の賞味期限と銘柄を記録し、各メーカーに賞味期限の設定法を確認した上で、推定製造年月に換算した結果、91% のペットボトルは 1 年以内に製造されたものであった。

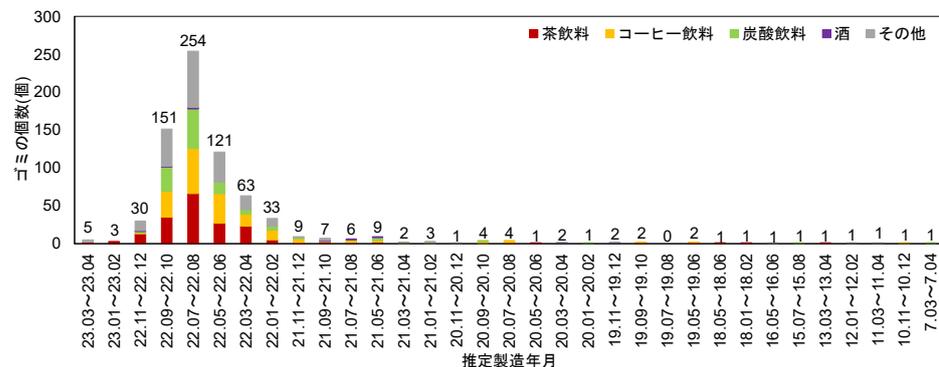


図-7 オイルフェンスの様子 および 捕捉されたペットボトルの製造年月別本数

1年目に引き続き、2年目においても高水敷においてコドラート調査を実施し、高水敷ゴミの特徴を調べた。2年目においては、上流支川を調査対象とした。その結果として、比較的軽いゴミが多い調査結果が追加されることになったが、コドラート内の被覆率とゴミ重量の相関係数は 0.82 であり、上空からの撮影による被覆率調査により高水敷ゴミの総量が把握可能であると言える。2カ年の結果から得られた被覆率 1%あたりのゴミの単位面積重量は 26.8g/m<sup>2</sup> であり、1年目の本川を中心とした調査

結果 (30.7g/m<sup>2</sup>) より低い値を示した。例えば、大和川の河川敷利用面積は 393,370 m<sup>2</sup> であるという数値を用いれば、高水敷に漂着しているゴミは、被覆率が 1% 増えるたびに、10.5 t 増加する計算となる。2 年目においては、高水敷ゴミも種別に調査した結果、上流側で食品包装などのプラスチック系ゴミが多く、中流ではペットボトルが多かった。この結果は、上流、中流という流域特性というより、むしろ直接投棄された地点でプラスチック系ゴミの割合が多く、上流から流され漂着した地点にペットボトルのゴミが多い傾向を示すものであった。

### 3. 土砂（濁質）通過量の観測

当初、CCTV カメラの画像を濁質の観測に用いることを検討したが、困難であった。そこで柏原水位観測所 (17.0k) に別途設置したトレイルカメラの画像を用いて解析を実施した。画像は 1 時間に 1 枚撮影された。検証データとして、画像内にもある河内橋水質観測所で計測されている濁度を使用した。様々な色空間の表現があるなかで、検討の結果、CIE-L\*a\*b\* 色空間の b\* 成分を用いるのが良いと分かり、太陽の反射、波による白濁による白色部分を除去し、人工物（観測小屋、背景に写る河川事務所建屋）の色を用いて補正し、さらにガンマ補正を加えた。b\* 値と濁度には右肩上がりの一定の傾向があるものの (図-9)、相関は認められなかった。そこで、濁度が高い出水時には波の発生により水表面が白濁する箇所が発生することを活用して、白色画素数と濁度の関係を調査した。代表して 14 枚のサンプル画像を用い、目視で波と認められる部分が抽出できるよう L\* 値を用いたしきい値を設定した上で、白色画素数を計数した。白色画素数と濁度には決定係数が 0.54 の正の相関は認められた (図-10)。14 枚のうち 1 枚の画像において特に白い画素数が多く、この画像を除くと、決定係数は 0.79 となり、画像による濁度推定の可能性があることを示した。ただし、現時点ではしきい値の設定に手動操作が入っており、これを自動化する検討が今後必要となる。また、今回は水色への利用を想定した 1 時間に 1 枚の画像を流用したが、これを調査時刻ごとに複数枚の撮影を行うことにより、平均化や特殊な値の除去ができることになり、一層の精度向上を図ることができる可能性がある。



図-8 左岸設置のトレイルカメラ画像 (2022 年 10 月 5 日 12:00 撮影) 白枠内の画素を用いて解析を実施した。

濁度が高い出水時には波の発生により水表面が白濁する箇所が発生することを活用して、白色画素数と濁度の関係を調査した。代表して 14 枚のサンプル画像を用い、目視で波と認められる部分が抽出できるよう L\* 値を用いたしきい値を設定した上で、白色画素数を計数した。白色画素数と濁度には決定係数が 0.54 の正の相関は認められた (図-10)。14 枚のうち 1 枚の画像において特に白い画素数が多く、この画像を除くと、決定係数は 0.79 となり、画像による濁度推定の可能性があることを示した。ただし、現時点ではしきい値の設定に手動操作が入っており、これを自動化する検討が今後必要となる。また、今回は水色への利用を想定した 1 時間に 1 枚の画像を流用したが、これを調査時刻ごとに複数枚の撮影を行うことにより、平均化や特殊な値の除去ができることになり、一層の精度向上を図ることができる可能性がある。

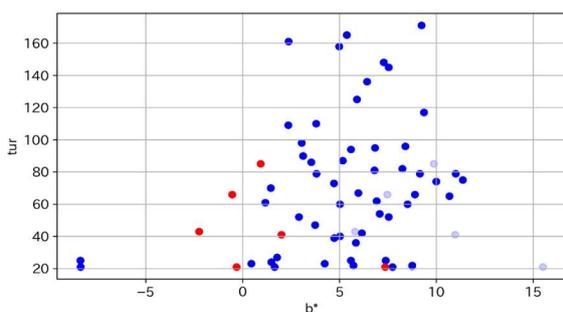


図-9 補正された b\* 値と濁度の関係

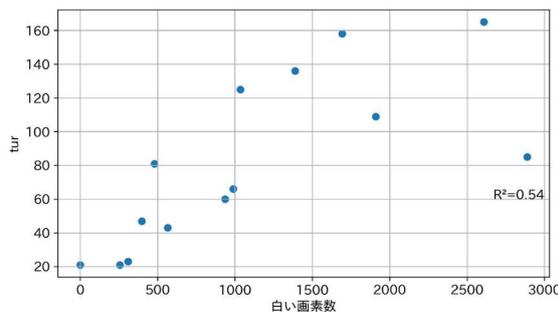


図-10 白色画素数と濁度の関係

また、既存観測態勢の拡張として、光ファイバーセンサーを活用した濁度観測手法の構築を行った。光ファイバーセンサーによる観測は、光ファイバー本体とアンプ部、記録装置で構成され、今回は、アンプ部としてキーエンス社製 FS-N41N (赤色 LED)、光ファイバーにキーエンス社製 FU-7F (長さ 20m, 透過型) を採用した。この仕組みは 1 点を計測するのに 5 万円程度と廉価で構築でき、光ファイバー部分のみが水没しており、消費電力も小さいことが特徴である。この構成を活用し、可搬型の装置も設計し、橋梁からの投げ込みによって、濁度および SS が連続計測できることも確認した。ただし、検量線用の採水は必要となる。この場合も水中に没しているのは錘とファイバー先端部、金具のみであるため、軽量小型で、浮遊ゴミの付着を減らすことができるのが特徴である。

設置型の光ファイバー装置は河内橋水質観測所 (17.0k) の柱脚部に据え付け、25cm 間隔の 8 水深の光強度を観測した。実験室内で光強度と濁度、現地での採水により濁度と SS の関係を明らかにし

て、光強度から濁度，SS を推定できる関係式を得た。

濁度（SS）の鉛直分布はほぼ一様で、掃流砂の観測も企図していたが、そのような分布は得られなかった。現地は橋脚に近く、大きな礫が露出している環境であったことも原因の1つと考えられる。いずれの回も濁度（SS）が最大となるのは水位のピークかそのわずか直前であり、このことから、土砂の流出ピークは、ゴミのそれと比較すると、同時もしくはやや遅れて発生しているものと推察される。

11月20日～21日出水期間中、継続して良好に光強度を得ることができたことから、この期間に推定における累積懸濁物質通過量は86tと推定された。当該期間に採水システムの故障により濁度観測ができておらず、既存観測態勢との比較はできていない。しかし、本検討のように、鉛直の濁度計測結果を出水中連続して計測し、輸送量を推定した例は殆どなく、このような方法で推定する技術を構築できた意味は大きい。

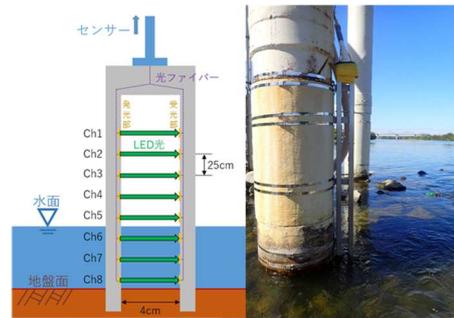


図-11 センサー部の模式図と現地設置の様子

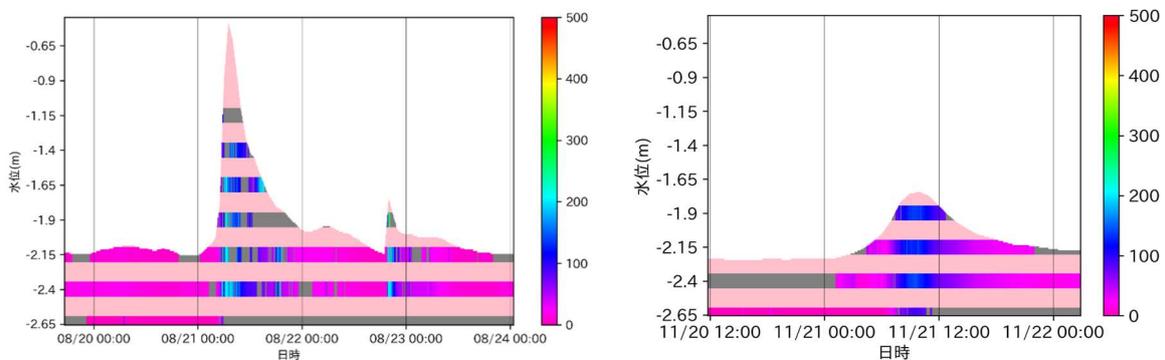


図-12 水位（桃色）とSS（各水深に帯で表示）の時間変化（左：8/20-24，右11/20-21）  
凡例はSS（mg/l），帯中の灰色は欠測を示す。

### 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)

#### <査読論文>

入江政安, 岩出大輔, 吉野泰司, 中路貴夫, 橋本将明, 中道誠, 松本知晃, 大和川河川敷ゴミの実態調査, 土木学会論文集 B1 (水工学), 2022, 78 巻, 2 号, p. I\_943-I\_948,

[https://doi.org/10.2208/jscejhe.78.2\\_I\\_943](https://doi.org/10.2208/jscejhe.78.2_I_943)

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/78/2/78\\_I\\_943/article-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/78/2/78_I_943/article-char/ja)

#### <学会発表>

岩出大輔, 吉野泰司, 入江政安, 大和川における漂着・漂流ゴミの実態調査, 2022 年度土木学会関西支部年次学術講演会, ポスターII-12, 関西大学, 2022 年 5 月 29 日

2 年目成果については現在論文投稿準備中である。

### 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。)

2023 年 4 月 30 日の大和川水辺の楽校まつりに活用される予定であったが、注意報および増水のため中止された。

今後も積極的な情報発信に努める。

## 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。)

とくになし

## 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。)

光ファイバーによる濁質計測は、テレメータ水質観測システムによる採水濁度観測よりやメモリー式濁度計より簡易に構築でき、光ファイバーは安いことから、流失しかねない部分の器械構成が安価な点が他の測定法に比べて非常に優位である。維持管理面ではゴミ・草木が付着することが問題となるが、本観測技術は水位および地盤高を精度良く検出できることから、それらを同時に観測する必要がある。山地河川の土砂発生領域や、大和川下流部の堆積方向の土砂の管理をはじめとする中下流に形成される砂州の観測等に広範に適用できる可能性を持っている。

CCTV カメラには、地点によって画質にばらつきがあり、画質の粗い映像は活用が難しい。設置時期の古いものについては更新時期を狙えば良いが、出水時の河川監視以上の目的で使用するためには、データ保存や通信面での制約も大きい。ゴミや土砂の監視の面ではより河面に近づいて撮影されることが望ましい一方、市民にとって分かりやすい映像という意味では周辺建物が映り込むことが重要であり、二律背反的である。CCTV による監視網の本来の目的を邪魔せず、他の目的に使用する方法的探索が重要である。

## 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。)

本検討は通常では監視以外に使用しない CCTV 映像データを用いるなど、既存データの利活用と再精査を主眼としていた。予算的に可能であれば、次世代型 CCTV システムのような構想を持って、土砂監視、ゴミ監視も可能なシステムへと展開していく野心的な取り組みも可能であろう。しかし、当面はまずは災害による人的・経済的被害を最小化する目的で管理されている CCTV を活用し、更新時期にカメラの要件として提案できる条件を整理していくことが重要であるといえる。

土砂やゴミの流系内の移動の精密な把握、特に当該流域のゴミの発生-漂流-漂着-流出の機構についてはこれまで十分に検討されたことがなく、現象の理解には観測態勢の充実しかないが、近年の水災害増加の中では必ずしも簡単ではない。CCTV カメラを用いたゴミ輸送量の計量のような基本的な方法から、低水路内での効率的なゴミの捕捉方法の新たな提案まで、観測態勢の高度化を大きく図らずとも検討が増やせる項目について検討した点で施策への貢献を少なからずできた。大和川では、自然再生計画に基づき、植生とワンドによる環境修復を積極的に行っており、実施箇所が本来の機能を維持するためにも、また、そのような箇所にゴミが集積し、美観を損なうことがないように、漂流ゴミの挙動特性を理解する必要がある。本研究によるゴミの動態把握は大和川の自然再生の取り組みに大いに貢献できると考えている。

河川内のゴミは、非常に目立って見えるが、住民が排出しているゴミの総量と比べればごくわずかと言いうことができる。河川内に捨てられるゴミは「出先から家に持ち帰りたくないゴミ」「排出方法を守れず、投棄してしまうゴミ」が中心であることも現地調査により感じられた。適切な場所に捨てやすくして河川に捨てずにすむ方策の提案や、漂流ゴミが流水により集積する場所の探索、効率的に回収する装置の開発を進めることなどにより、河川管理の質の向上を目指すのが良いと考えている。