

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

氏 名（ふりがな）		所 属	役 職
① 研究代表者		溝口 敦子 (みぞぐち あつこ)	名城大学 教授
②技術研究 開発テーマ	名称	“多列砂州河道の特徴を踏まえた河道維持管理”に向けた検討	
③研究経費（単位：万円）		平成 28年度	平成29年度
※端数切り捨て。		平成 30年度	総 合 計
		199万円	199万円
		100万円	498万円
④研究者氏名（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（※平成30年3月31日現在）	
赤堀 良介		愛知工業大学・准教授	
⑤研究の目的・目標（様式地河-1、地河-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）			
大井川の上流部では古くから電力ダムが建設され、2001年には治水を目的とした長島ダムが竣工されている。しかし、今のところ大井川下流域において粗粒化や河床低下などダム下流域で起こりうる現象が確認されていない。平均河床高は平成12年の砂利採取禁止以降比較的安定しているものの、一部区間では堆積傾向で流下能力不足が懸念されるため河道掘削の必要がある。その他、樹林化が徐々に進行しつつあり流下能力への影響が心配され、状況に応じ河岸浸食対策も必要とされている。現在、これらを含む流域内の土砂問題解決のための総合土砂管理計画策定にむけた検討が行われている。 こうしたなか、大井川の下流河道は、大出水時に形成される多列砂州を基盤とした網状流路が未だ維持されており、全国的にも貴重な河道環境を有している。そのため、上述の河道掘削、樹林化対策等の課題に対策を講じる際には、多列砂州河道特有の流路変動・土砂移動現象を踏まえ、特有の環境を壊さずに効果的かつ効率的な対策を行う必要がある。砂州に関する既往の研究成果を鑑みると、多列砂州形成河道においても特有の土砂の動きが存在し、河道線形等の河道拘束条件と砂州・流路変動が密接にかかわることが予測できるため、その特徴を知ることが上記課題の解決の糸口となるはずである。 そこで、本研究では、日本では事例の少ない“網状流路（多列砂州）が維持されている河道”上で流路変動および土砂流送の特徴を調べた。これにより、網状流路の形成・維持機構を調べ、網状流路が関わる河道管理上の課題等も検討し明らかにする。こうした成果を、現在の河道環境を壊さずに流下断面を確保できる効率的・効果的な河道掘削等河道管理の検討につなげる予定である。			

⑥研究成果

1. はじめに

本研究は、日本有数の網状流路を有する大井川下流区間を対象に研究を行った。大井川下流部は、川幅、勾配、河床材料から図-1、表-1のように区間わけができる。例えば、全幅で水理条件を考えると理論的にすべての区間が多列砂州の形成条件に入る(図-2)。この条件下にある大井川下流部では、網状流路が形成され、未だに維持されている。ただし、大井川の流量、それに伴う土砂供給条件は、水返せ問題や気候変動、長島ダムの完成にともない変化しており、局所的に樹林化や流路の固定化が起き始め、今後河道の状態が変化していく可能性が高い。そこで、本研究では、大井川における流路変動機構に着目し、大井川らしい河道状態を把握したうえで、管理に生かす知見を得ることを目的としている。実施概要は、図-3に示す。

初年度は、平成24年にレーザプロファイラにより取得された地形データ(以下LPデータとする)を用いて地形の凹凸の特性と、航空写真から流路位置を把握して算出した縦断方向の周期性を結び付け、さらに流れの解析結果より得られる流路本数等と合わせて特徴を調べた。それにより、形成条件と同様の列数程度の多列砂州地形となっていること、列数に応じた網状流路が形成されていることを示した。また、現地調査を実施し比較的小さな流量の出水で網状流路内に新たに砂州が形成、変化することで流路が変動していることを見出した。

二年目には、事務所との協議により微修正した図-3の本研究のフローに従い、河川整備上注意すべき事項を意識しながら網状流路の特徴を整理した。特に初年度から実施しているUAVを用いた現地調査を継続し、4000m³/s程度の出水も含んだ規模ごとに流路変動の特徴を調べた。また、網状流路上の河床材料特性の提示と今後の河床変動特性の再現を目指し河床材料粒度分布を平面的に把握する方法を検討した。

最終年度となった今年度は、これまでの検討成果のとりまとめとして、粒度分布の特徴の把握方法と供給される砂の役割を確認する実験、数値解析による検討結果の確認を行った。また、流路変動の効果として、2017年11月、2018年の複数出水時の変動データから、大井川では植生域の消失に流路の横方向の侵食が大きく関わっていること、侵食による流失が起こると植生が回復しにくいことが分かった。前年度までの研究成果も含めて、本研究の成果概要を以下にまとめる。

2. 網状流路が形成している河道の特徴

網状流路を有する河道は、平水時の網状流路がゆえに現れる物理環境と、ある程度の流量の出水の際に複数に分かれながら各流路内で起こる変動と大出水時の多列砂州条件となった際の変動に特徴づけられる。過去の航空写真を用いて把握した水域の場所とLPデータを用いた地形の凹凸から、フーリエ解析を用いて周期性を確認し、あわせて線形不安定解析を用いた卓越砂州の確認を行うことにより、最大流量で形成される多列砂州をベースとした網状流路が形成されていることが分かった。特にALBのデータを用いた解析を行った結果から流量と流路本数などをまとめると図-4となり、流量1000から2000m³/sにおいても流路は一本にならないことも分かった。

また、大井川下流部の河床材料は事務所により取得された

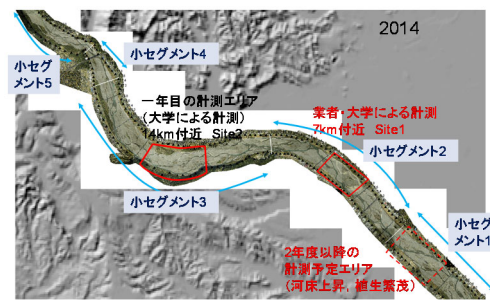


図-1 大井川の航空写真と区間分け

表-1 小セグメント区分

区間番号	1	2	3	4	5
区間(km)	0.4-3.8	3.8-10.4	10.4-17.6	17.6-19.4	19.4-24.0
平均勾配	1/298	1/267	1/206	1/339	1/243
平均低水路幅(m)	850	650	780	440	410
平均粒径(mm)	26.42	23.46	26.2	24.52	29.42

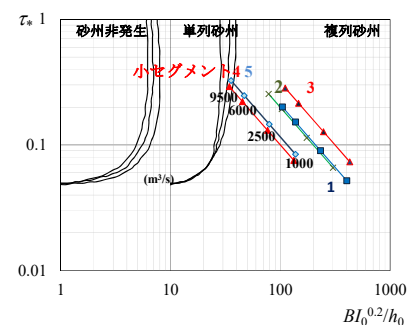


図-2 中規模河床波の発生領域区分図(黒木・岸の図を再描写¹⁾)

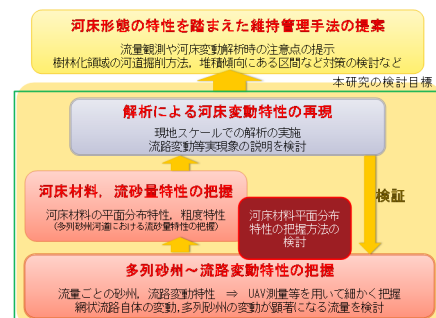


図-3 本研究の概要

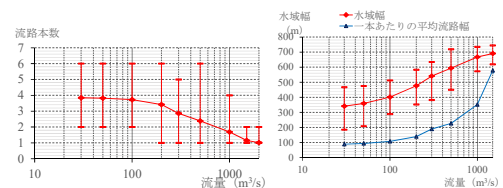


図-4 流量～流路本数, 水域・平均流路幅

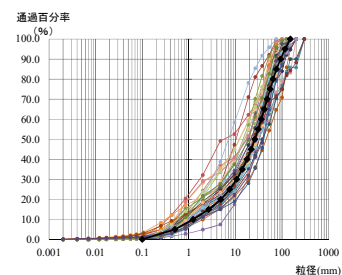


図-5 2012年河床材料データ

データによると、図-5のような特徴を有する。各セグメントの平均的な河道条件を用いて各流量時の移動限界粒径または浮遊限界粒径を算出すると、大井川下流部では100m³/s以下の流量でも数cm程度の河床材料が動くことがわかる。なお、移動限界粒径は、各流量時の平均的な摩擦速度を用いて限界掃流力が0.05になる粒径を算出し、浮遊限界は、沈降速度が摩擦速度程度またはその2倍になる粒径を算出している。ちなみに、図-6には各流量時の川幅を考慮した値も併記している。

次に、水位計算により途中で形成される網状流路のうち、平均的な条件として、全幅にはならない100m程度の流路幅で考えると、300-1500m³/s程度、200mの流路だと1500m³/s以上の流量で交互砂州の形成条件に入る。この条件を踏まえると、流路内に砂州が形成、発達して河岸侵食等を促進している可能性が考えられ、実際に現場で交互砂州の形成発達による河岸侵食が河道の中で確認されている。

3. 現地調査により確認された流路変動

2016年から2018年にかけて大井川の14km地点、7km地点、3km地点（図-1のSite2, 1, 0）にてUAVによる撮影等を用いて、流路変動状況を調べた。主に、表-2の計測を実施している。これに加え、WEB公開されている欧州宇宙機関衛星Sentinel-2の衛星画像を利用し、流路変動の状況を調べた。

その結果および2章での検討結果を踏まえると、網状流路の特徴は図-7で説明できる。大出水時には、全幅で水が流れ土砂が動き、多列砂州の形成・発達が行われるが、流量が減るとその凹凸を基盤とした流路が多数形成され、その流路内で交互砂州が形成される。各流路内での交互砂州の形成、発達によって流路は河岸侵食を伴うなどして横方向へ動き、全幅で流れない出水でも流路位置が少しずつ変わっていく。

4. 流路変動と植生域の拡大・消失傾向

次に大井川における流路変動と植生域の拡大状況の関係を調べるため、降雨、流況、植生繁茂状況（植被率）を調べた。図-8に神座水位・流量観測所の日流量を整理し、各流量で流れる日数と年最大流量と植被率の経年変化を示す。なお、この図の黄色いハッチは、上流部の降雨量から降雨が少ない年を把握しマークした。これを見ると、降雨が少ない渇水傾向の年は、日流量が50m³/s以上になる日数が少なく、かつ、その年付近で植生域が拡大していることが分かる。また、1989年～1997年にかけて植被率が高いことから年最大流量だけが大きくても植生は破壊されないことが分かる。あわせて、黄色いハッチがない期間、日流量が例えば200m³/s（時間流量で200～1000 m³/s相当）を超える日が数十日以上確保されていれば植被率は増加しないようにも見て取れる。この結果から、年最大流量の規模だけでなく、中小出水規模の流量が年間どの程度の日数あるのかが植生域の拡大に関与する可能性が分かる。

ただし、1000m³/s以下の流量では河道全体に水が流れないため、植生域を大規模に破壊することは考えにくい。3章で調べた流路変動状況を踏まえると、大井川では流路の横方向の変動が少しずつ起こり、植生域の拡大が抑えられていた可能性が高い。

そこで、流路変動と植生の変動傾向を探るため、2017、2018年のUAV撮影によるオルソ画像、DSMモデルおよび衛星写真（EO-Browserサイトにて公開されている欧州宇宙機関

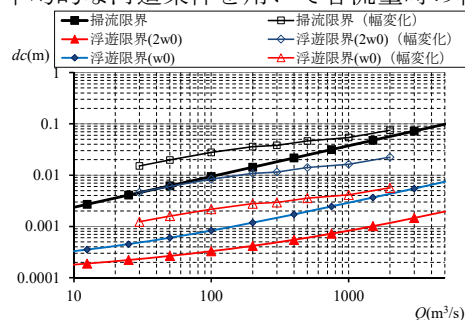


図-6 セグメント2における移動限界粒径

表-2 計測日と計測間の主な出水状況

撮影等実施日	出水流量参考値 (m³/s) ※暫定値も含む	Site0	Site1	Site2
2015/5/16				
2015/7/17	273(神座)			
2015/9/9	216(神座)			
2015/12/-				
2015/12/11	999(神座)			
2016/2/14	628(神座)			
2016/5/11	679(神座)			
2016/8/1				
2016/9/21	618(神座)			
2016/9/30				
2016/10/13				
2016/12/12				
2016/12/13				
2016/12/23	469(神座) ※参考値			
2017/5/23				
2017/5/24				
2017/7/19				
2017/7/28-29				
2017/8/8	1314(神座) ※参考値			
2017/9/5				
2017/10/3	3793(神座) ※参考値			
2017/11/1				
2017/11/20-24				
2017/12/12-13				
2017/12/14-15				
2017/12/22				
2018/2/22				
2018/5/9				
2018/7/6	2543 (神座) ※計測値			
2018/8/24	1716 (神座) ※計測値			
2018/9/5	3167(神座)暫定			
2018/10/1	4900(神座) ※計測値			
2018/11/8				
2018/11/-				

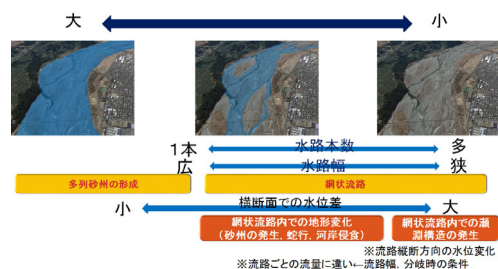


図-7 網状流路を有する河道の変化概略

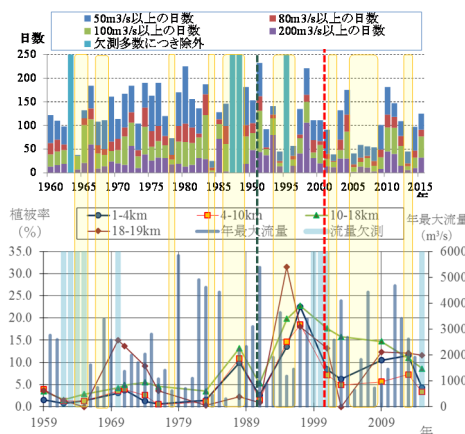


図-8 日流量を用いた流況整理 (上図) と年最大流量と植被率の経年変化 (下図)



図-9 Site0における2017/10/23出水前後
および2018年複数出水での変化

(左図: 2017年10月5日, 中図: 12月14日~15日, 右図: 2018年11月,
白枠は2107年に流路の側方移動に伴い植生が消失した代表的領域)

Sentinel-2により観測された衛星写真と複数のバンドのデータを用いて、植生消失、回復の特徴を調べた(図-9-11)。なお、UAV撮影によるDSMモデルは植生も含めた高さになっているため、9×9mのメッシュ内で最低高さを地盤高と推定し、植生高さも求めるなどの工夫をしている。

その結果、植生の消失した場所には土砂が侵食した場所と堆積した場所があったこと、堆積により消失した植生は0.4m以下の背が低い植生が大半を占めること、それに対し侵食した場所では、比較的背の高い1m以上の植生の消失もあったことがわかった。また、2018年の出水後、2019年の出水前に植生の回復状況をSentinel-2の複数バンドデータを用いて植物の量や活力を表すNDVI値を求め確認した。なお、解像度が低いいため、参考的なデータにはなるが、図-11に示すように堆積により消失した植生域の一部で回復が確認された。

5. 大井川における粒度分布の特徴とその平面分布の把握

3章までに大井川の河床材料の動きやすさと流路変動状況を示し、4章において、植生破壊面からの大井川における流路変動の重要性を示した。ここでは、特に比較的年何度もくる出水時の流路変動のキーとなるであろう、河床材料の粒度構成について、現地調査を行った結果と、表層河床材料を平面的に把握する方法およびそれを用いた検討結果を示す。

(1) 粒度分布の特徴

大井川における粒度分布は、縦断的にほとんど変化しないが、2017年度の河床材料調査から、ある程度平面的にばらつきが生じていることが分かった。特に、図-12の調査結果例に示すように、大きな出水が来ていない時期の調査では、水域になりやすい領域の交互砂州(地点①, ④)は比較的細かい粒度の河床材料で構成され、大出水後の調査では、比高が高い位置に平均的な粒度分布の材料があり、流路付近は細粒分や粗粒分に偏りがある分布の材料があることが分かった。



図-13 調査地点位置関係図

(European Space Agency, ESA) の衛星

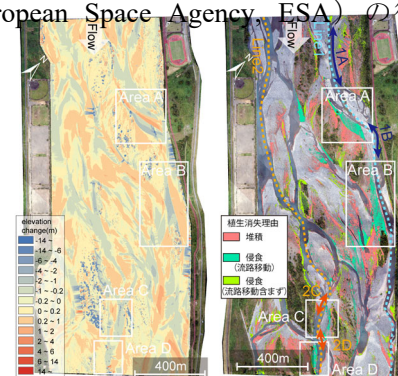
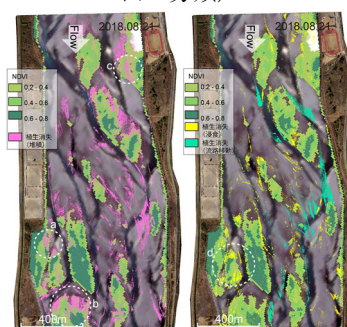
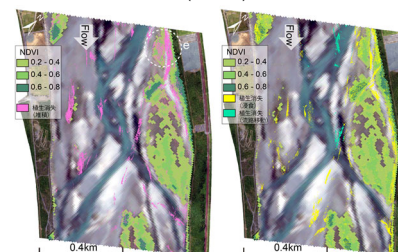


図-10 Site0における
2017/10/23出水による変動

(左図: 地盤高の変化量, 右図: 植生消失理由の分類)

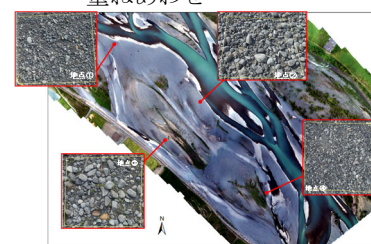


(Site0)

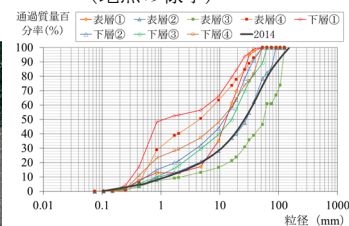


(Site1)

図-11 2018/8/1 NDVI コンター図と
2017年10月出水要因別植物消失エリアとの
重ねあわせ



(地点の様子)



(粒度分布)

図-12 河床材料粒度分布調査
結果例 (Site1)

この結果から、比較的低い流量規模の出水で上流からの土砂供給の質が重要と考えられること、粒度分布の調査をするには下流区間は広域すぎることを踏まえ、2018年度は図-13に示す対象下流域近くの上流河道にて河床材料調査を実施した。この時の結果と、2017年度の粒度分布調査の結果をもとに、大井川下流域には、図-14、15に示すタイプの粒度分布が存在することが分かった。

(2) 大井川下流域における粒度分布の特徴と平面分布の特徴の把握

確認された粒度分布のタイプ分け結果は以下になる。大井川下流域の平均的な粒度分布のように、0.1mm～200mm程度がある程度均一に存在している粒度分布をTypeAとする。これに対し、中間粒径だけ存在するTypeCと、1mm～10mmの粒径が極端に少ない、または、1mm～30mmの粒径が少ない二極化したTypeB粒度分布が存在する。なお、図-13のTypeB'はTypeBと同様に中間粒径が欠落するが細粒分が多いものを分類した。

この分類と昨年度までの検討結果を踏まえ、2019年に取得した粒度分布および画像を用いて、画像解析による粒度分布の区分を考える。画像による粒度分布の把握方法として、輪郭解析によって面的情報を体積換算し粒度分布を求める方法、輝度の標準偏差を参考に粒度情報を読み取る方法が存在する。本研究では、標準偏差を利用し、平面的な把握を試みた。なお、輪郭解析を行う際に、一粒径10Pixel以上で表現できるもののみ輪郭解析で抽出可能、精度よくとらえるには一粒径30Pixel以上必要であることが分かった。また、一様粒径で構成された材料の画像の解像度を変化させ標準偏差を求めた結果、一粒径が10Pixel程度で最大値を示し、一粒径相当が1Pixel程度になるまで解像度を落とすと標準偏差が最小値を示した。例として図-16に示す結果やその他の検討によって、解像度が高い画像を用いた最大標準偏差の一割程度の標準偏差となる解像度が最大粒径程度となること、解析画像は、抽出したい粒径の10倍程度以上の大きさが必要になること、粒度の幅が広くなれば解像度に対する標準偏差の応答が異なることなどが分かった。これらの結果を受けて、図-17に解析の流れと途中画像を示すとともに、これを用いた把握事例を図-18に示す。なお、標準偏差や輝度は同じ材料の写真でも写真の撮り方によって大きく差がつくため、標準偏差がおおよそ一定になる粗い解像度や高解像度の画像における最大値となる標準偏差でそれぞれ最小値を判断することが重要となる。

(3) 粒度分布および流路変動の把握の重要性

図-18の粒度分布結果の例からも少し分かるように、昨年度調べてきた下流部と同様に、平水時の流路脇には交互砂州があり、その砂州を構成する材料が比較的細かいことが分かる。本研究において、網状流路内の交互砂州の形成、発達が河岸侵食に重要であることを指摘してきたが、その河床変動に重要な比較的細かい成分の供給源は上流部からの供給であるか水域周辺から低水路部に集まってきたのかは今のところ不明である。土砂供給の減少による河床低下は、徐々に下流へ伝播するが、対象区間では流量によってかく乱が起きる領域が大きく異なるため、他河川と同様に上流から徐々に粗粒化や河床低下が進むとは考えにくい。また、上流部にダムや堰があるが土砂生産が活発な多数の支川があるため、その影響も未知数である。粗粒化や河床低下は進

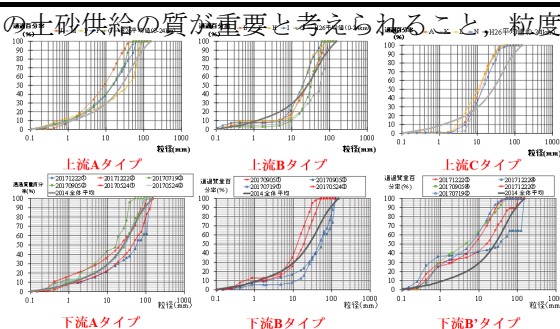


図-14 粒度分布のタイプ分け

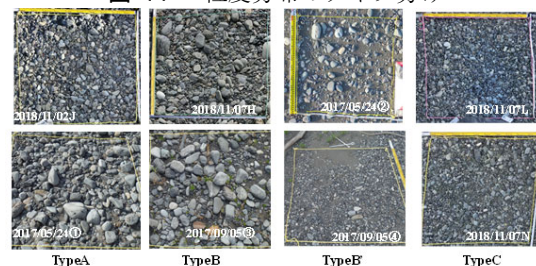


図-15 タイプ別の表層状態

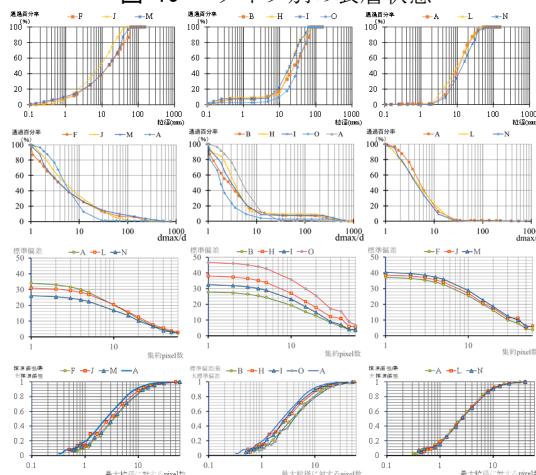
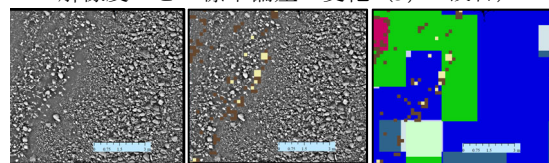


図-16 タイプ別の粒度分布 (1, 2 段階目) と解像度ごとの標準偏差の変化 (3, 4 段階目)



①二値化バンドパスフィルター, ②砂パッチの抽出 (黄色, 茶色) ③標準偏差が最小となる解像度から最大粒径を予測。ここでは、赤、緑、青の順で粗くなる

図-17 解析の流れと画像例

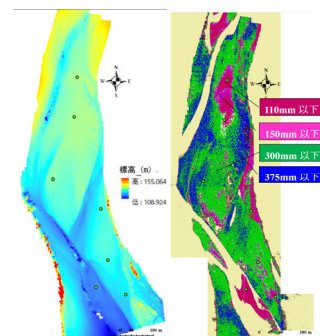


図-18 渡島地点の標高 (左図) と最大粒径分布 (右図)

行してからでは解決が難しいため、この点に着目し、このような河川で起こりうる変化を捉えていく必要がある。

⑦研究成果の発表状況・予定

溝口敦子，赤堀良介：多列砂州を有する大井川の河床変動特性と流量時系列の変化が河床変動へ及ぼす影響，河川技術論文集，Vol. 23，土木学会，pp.537-542，2017.

溝口敦子：網状流路を有する大井川を例とした移動床河道の維持管理に向けた課題と展望，河川技術論文集，Vol.24，土木学会pp. 209-214，2018.

赤堀良介，溝口敦子，石黒聡士：網状流路を有する大井川における植生域消失と流路変動の関係，河川技術論文集，Vol.24，土木学会，pp. 215-220，2018.

※今年度までにとりまとめた成果は，その後の検討を含め，土木学会論文集などへ投稿を予定している．

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。)

○昨年度，中部地整での講習会等を通じ情報発信を行った．

- ・「第一回河川維持管理技術講習会」にて研究成果の一部を発表

開催日：2017年8月2日，主催者：中部地方整備局河川部

参加者数：約80名

講演題目："河床変動特性を踏まえた河道の維持管理"を目指して

<http://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/kousyukai/index.html>

- ・建設コンサルタンツ協会（中部地区）河川委員会 第一分科会の勉強会にて

研究成果の一部を発表

開催日：2017年11月6日

参加者数：53名（事前申し込み数）

講演題目：移動床水理学を生かした河道の維持管理に向けて

○今年度成果については今後検討するが，成果の一部は下記にて紹介している．

土木学会水工学委員会グローバル小委員会主催シンポジウム「温暖化により激甚化する水災害に対抗するための適応策研究の推進に向けて」のパネルディスカッションの話題提供時に研究成果の一部を発表した． 於・京都大学防災研

開催日：2019年4月8日

参加者数： 約110名

題目：気候変動適応策において河道の変化を知ることの重要性

⑨表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧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。)

特になし

⑩研究の今後の課題・展望等

本研究は、大井川における網状流路の形成、変動機構を明らかにして河道の維持管理に関わる知見を得ることを目的に実施してきた。上述したように、植生繁茂を抑えるために重要な現象等形成維持に関わる知見を得られた一方、その特徴を生かした維持管理方法の提案は、今後の課題となる。

大井川は、上流部に多数の電力ダムを有するとともに、2001年に治水を目的に有する唯一の長島ダムが竣工され、変化していく可能性があるものの、どのような変化が起こっていくかは予測できていない。また、網状流路のように流量によって変動幅が異なり、複雑な河床変動が起きる河川では、供給量の減少がどのような変化を起こすのか、その伝播に要する時間も不明である。大井川ではさらに土砂生産が活発な支川が多く、その影響も不明である。本研究を通じ河道における表層河床材料粒度分布を平面的にとらえる方法を検討してきた成果として、河床に存在する細砂のパッチ、および存在する最大粒径を見積もれる結果となった。地形とともに粒度分布も把握することで徐々に上述の実河川での変化を明確にしていく必要があるし、さらにその変化機構の解明のためにも混合粒径を考慮した数値解析の実施に向け、解析プログラム、必要な情報の収集を行う必要がある。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究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。)

本研究では、成果の一つとして網状流路の成り立ちから、流路変動の特徴を捉え、これが植生域の拡大と深く関連していることを示した。つまり、樹林化抑制には流路変動がポイントとなり、流路変動促進のために、細粒分の供給が重要であることも示唆しており、土砂の円滑な流れが裸地砂州を維持するカギとなることを示した点でも評価できる。

また、得られた知見のうち、粒度分布の特徴やその把握方法、および画像解析による把握方法は、今後、河川における粒度分布調査方法等および技術の参考となることが期待される。

次に、主題である網状流路の特徴について、昨年度までに得られた知見のうち、同一横断面で水位差が生じる特徴や変動の特徴については、流量観測方法の妥当性の議論につながる結果となった。そのため、網状流路や多列砂州の河道では横断方向の水位差がある可能性が高く、実際にどの程度水位差が生じるのかを確認しながら流量観測を含め水位情報の在り方を考えていく必要がある。