

**河川砂防技術研究開発**  
**【成果概要】**

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属	役職
	おかだ しょうじ 岡田 将治		国立高等専門学校機構 高知工業高等専門学校	教授
②技術研究 開発テーマ	名称	四万十川支川中筋川における効率的な河道内樹木管理技術の構築		
③研究経費 (単位: 万円)	令和元年度	令和2年度		総合計
	※端数切り捨て。 351 万円	146 万円		497 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 (※令和 年3月31日現在)			
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。)			
<p>四万十川支川の中筋川では、河床勾配が下流部で1/8000と小さく、水はけが悪い河道特性を有しているとともに、河道内の樹木の繁茂による流下能力の低下が懸念されている。平成30年度には避難判断水位を超過する出水が2度も起こっており、今後も気候変動等の影響により、同規模以上の出水頻度の増加が想定される。令和元年度には横瀬川ダムが完成し、流域全体としての治水対策が進められてきているものの、河道内においては樹木伐採を実施しても4-5年程度で再繁茂し、流下能力の時空間的変化の把握が管理上の課題となっている。本申請では、河道内に繁茂する樹木の状況をUAV等で計測し、流下能力の変化を簡易に平面的に把握することにより、効率的に伐採等による維持管理を行うことのできる技術の構築を目的とする。申請する研究では、樹木繁茂が著しい中筋川5 kmから16kmの11 km 区間(直轄区間の約2/3の範囲)を対象とする。はじめに、UAVで河道地形および樹木の繁茂状況を詳細に計測する。特に、機械学習を用いてRGB画像と植生高データから樹種(主としてヨシ、ヤナギ、タケ)を高精度で判別する技術を開発し、UAVからの画像のみで各樹種の繁茂状況を定量的に評価できる手法を構築する。さらに、洪水時の流況を再現できる解析モデルを構築することにより、樹木の繁茂状況と流下能力を定量的に関連付け、伐採等の処置が必要な区間を“見える化”できる技術とする。中村河川国道事務所では、これまでに伐採方法の違いによる再繁茂までの期間について検討しており、この知見と組み合わせることで“どの方法で、どの区間から、どの程度伐採する必要があるか”がわかる、効率的な樹木管理技術を提案する。中筋川は、四国地方の直轄管理河川の中でも、特に樹木管理の課題を抱える河川である。本課題の実施により得られる成果は、技術の汎用性が高く、同様な課題を持つ全国の河川で適用が可能である。特に、近年河川分野においてもUAVが活用され始めており、簡易に画像が取得できることから、直轄河川のみならず都道府県が管理する中小河川にも波及効果が十分に見込まれる。</p>				

## ⑥研究成果

### 1. 中筋川の対象区間と2019年度の出水概要

図-1に本研究で対象とする中筋川の平面図と基準地点である磯ノ川水位観測所、水位計測を行っている樋門および排水機場の位置を示す。11kmから13km付近の右岸側は山付き部であり、樹木繁茂が顕著に見られる区間となっている。図-2および図-3に2019年度および2020年度の磯ノ川地点における出水期間(6月から12月まで)の水位変化を示す。2019年度は避難判断水位(7.40m)を超える規模の出水がなく、最大水位は10月3日2時の6.98mであった。前年の2018年度にはピーク水位が7.69m(7/8), 8.16m(9/13), 7.89m(9/30)の出水が起こったことから、規模の比較的大きな出水が生じなかったといえる。また、2020年度においては、はん濫注意水位を超えるような出水も起こっておらず、例年に比べると出水の少ない年であったことがわかる。

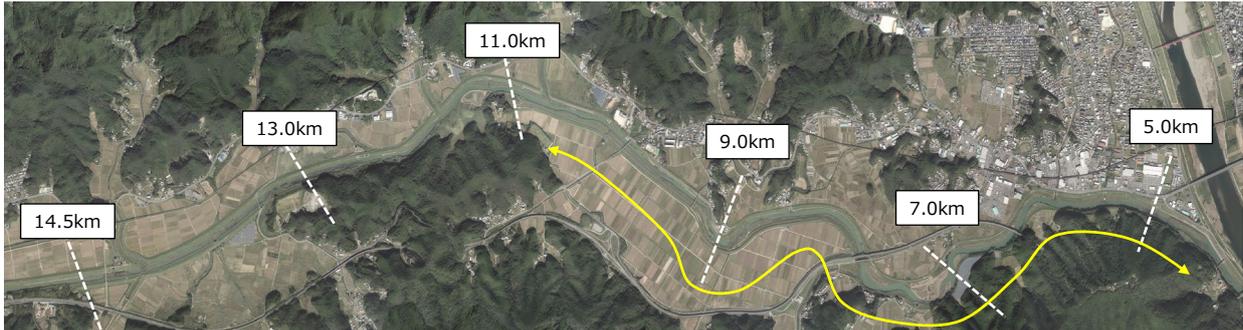


図-1 中筋川対象区間の平面図(2020年度の流下能力評価区間は4.5~10.5km)

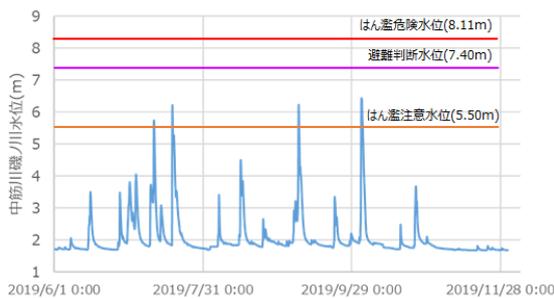


図-2 中筋川磯ノ川地点における水位変化  
(2019年6月~11月末)

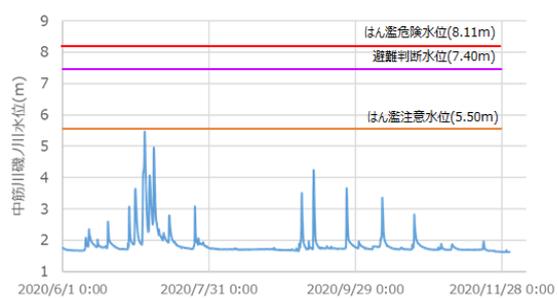


図-3 中筋川磯ノ川地点における水位変化  
(2020年6月~11月末)

### 2. UAV空撮画像を用いた機械学習による河道内植生の判別

本研究では、UAV空撮画像から河道内の地表や植生高の計測を行い、詳細な流下能力評価を行う。中筋川に繁茂する植生は、主にヨシ・オギ等の草本とヤナギ、タケの3種類である。特に、タケの繁茂域は広くはないものの、密生度が他に比べて一般に10倍程度大きく、流れに対する抵抗が大きいことから、密生度の異なるこれらの樹種を自動的に判別できれば、流下能力評価の簡略化が期待できる。本研究では、従来の植生画像のRGBのみを用いる手法に対し、判別精度・汎用性を高めるために、新たな特徴量として各植生の高さに着目し、植生高コンター画像をRGBデータとして追加し、合計6種類のデータを学習させることとした。また、判別を行う範囲を草本、タケおよびヤナギが混在する10km~13km区間とした。植生高を追加情報とした理由は2つあり、1点目は伐採時に空撮することにより地盤高の計測を行うことができ、さらに繁茂が進行する過程のDSMから植生高

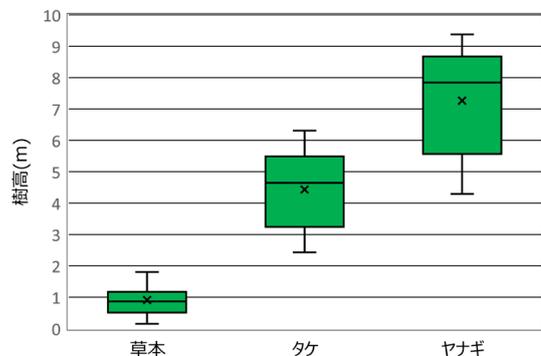


図-4 樹種と植生高の関係  
(中筋川11~13km, 2018年6月)

植生高を追加情報とした理由は2つあり、1点目は伐採時に空撮することにより地盤高の計測を行うことができ、さらに繁茂が進行する過程のDSMから植生高

の経時変化を容易に取得できる点である。2点目は判別を行う樹種の高さの範囲が異なる点である。2018年6月の植生高と現地調査時の写真から目視で判別した樹種との関係を図-4に示す。各樹種に対して30地点を無作為に抽出して植生高を調べた結果、草本は2m程度以下、タケは3m~7m程度、ヤナギは5m~9m程度付近の樹高のものが多く判明した。したがって、対象としている3種類の植生高がオーバーラップするのがタケとヤナギと想定され、植生高情報を学習に加えることにより判別精度の向上が期待できる。

各モデルの学習画像の組み合わせを表-1に示す。本研究の学習環境および主な学習条件を表-2に示す。学習には画像分類の代表的なモデルである畳み込みニューラルネットワークを使用した。学習させる画像を50ピクセル四方(実スケール約2m四方)に分割して、3種類の樹種毎に840枚用意し、全画像のうち80%を訓練データ、20%をテストデータとした。影の影響が確認された画像についても事前に選別せず、学習画像に使用した。また、ドロップアウトを各層25%に設定した。学習後、各モデルを用いて未知の画像(90×3=270枚)に対し実際に樹種判別を行った。各モデルの判別結果をそれぞれ表-3、表-4および表-5に示す。

従来のRGB画像のみを用いたCase1(表-3)では、正解率は57.04%(127/270)となり、特にタケの画像を正しく判別することができていない結果となった。この原因として、影のある画像や色彩の似た画像を誤って判別している例が確認された。Case2(表-4)とCase3(表-5)では、正解率がそれぞれ93.33%(252/270)、97.41%(263/270)となり、Case1に比べて判別精度が大幅に向上した。特に、草本はタケやヤナギと比較して樹高が低いことから、植生高情報を学習したことにより、正答率が向上したと考えられる。また、表-3と表-4の比較から10月(秋)モデルの方が6月(春)モデルよりも正解率が高くなった。これは、6月の画像ではタケとヤナギの色彩がどちらも緑色で似通っていたのに対して、10月の画像ではタケは深い緑色、ヤナギが黄色に変色したことがタケの正解率を向上させた要因と考えられる。

### 3. UAV-SfMによる河道地形および植生繁茂状況の把握と流下能力評価

2.で示した河道内樹木量の評価と樹種判別結果を用いて中筋川の流下能力評価が可能であることを確認した。ここでは、2018年6月および10月に取得した河川地形と植生高、構築した樹種判別モデルで得られた草本、ヤナギおよびタケの繁茂分布に対して、各樹種に同一の密生度を与えるだけで、磯ノ川地点において避難判断水位規模となった2018年7月および9月出水が再現できるかを確認した。

8.5kmから14.4kmの約6km区間を対象として、iRICソフトウェアのNays2DHを用いた平面二次元流況解析を行った。上流端境界条件の流量ハイドログラフは、上流端から直下流の磯ノ川地点までの植生がほとんど繁茂していない直線区間において、マンニングの粗度係数を0.03とした場合に磯ノ川地点の水位ハイドログラフを再現できるものを逆算し、下流端条件は清水樋門(8.5km)の実測水位を

表-1 各モデルの学習画像の組み合わせ

	学習画像			
	植生画像 (6月)	植生画像 (10月)	植生高 コンター 画像(6月)	植生高 コンター 画像(10月)
Case1	○			
Case2	○		○	
Case3		○		○

表-2 学習環境及び学習条件

パラメータ	設定内容
開発言語	Python (Anaconda)
ライブラリ	Keras, TensorFlow
バッチサイズ	64
エポック	100
最適化	Adam

表-3 Case1: 判別結果

	実際の樹種	実際の樹種		
		草本	ヤナギ	タケ
予測樹種	草本	56	15	17
	ヤナギ	33	69	44
	タケ	1	6	29

表-4 Case2: 判別結果

	実際の樹種	実際の樹種		
		草本	ヤナギ	タケ
予測樹種	草本	90	0	1
	ヤナギ	0	90	17
	タケ	0	0	72

表-5 Case3: 判別結果

	実際の樹種	実際の樹種		
		草本	ヤナギ	タケ
予測樹種	草本	84	0	0
	ヤナギ	0	90	1
	タケ	6	0	89

与えた。河道内樹木のモデル化にあたっては、前野ら<sup>10)</sup>の研究成果を参考に、植生による抵抗  $C_D$  を 1.0 とし、樹木密度  $\lambda$  をそれぞれ  $0.286\text{m}^{-1}$ (タケ),  $0.013\sim 0.05\text{m}^{-1}$ (ヤナギ高木),  $0.031\sim 0.04\text{m}^{-1}$ (草本類)として複数の条件で解析を行い、各地点の実測水位ハイドログラフを再現できる組み合わせを調べた。なお、ここでは中筋川は上流からの土砂供給が多くないこと、河床勾配が緩く、中規模出水であったことから河床変動は考慮していない。

2018年7月8日から9日に発生した出水に対して、密度を  $0.286\text{m}^{-1}$ (タケ),  $0.05\text{m}^{-1}$ (ヤナギ高木),  $0.04\text{m}^{-1}$ (草本類)とした場合の各地点の実測水位と解析水位の比較を図-14に示す。各地点において、実測水位と解析水位のハイドログラフは同様の傾向を示しており、ピーク流量は  $415\text{m}^3/\text{s}$  であった。

つぎに、得られた密度、樹木の繁茂量が増加した2018年10月の地形を用いて、直近のピーク流量はほぼ同じの9月30日~10月1日出水について流況解析を行った。なお、森沢第二地点(9.0km)と清水地点(8.5km)の水位が欠測であったため、下流端を楠島橋に設定している。その結果、9月出水についても各地点の流況を再現できていることから、与えた密度の妥当性を確認できた。

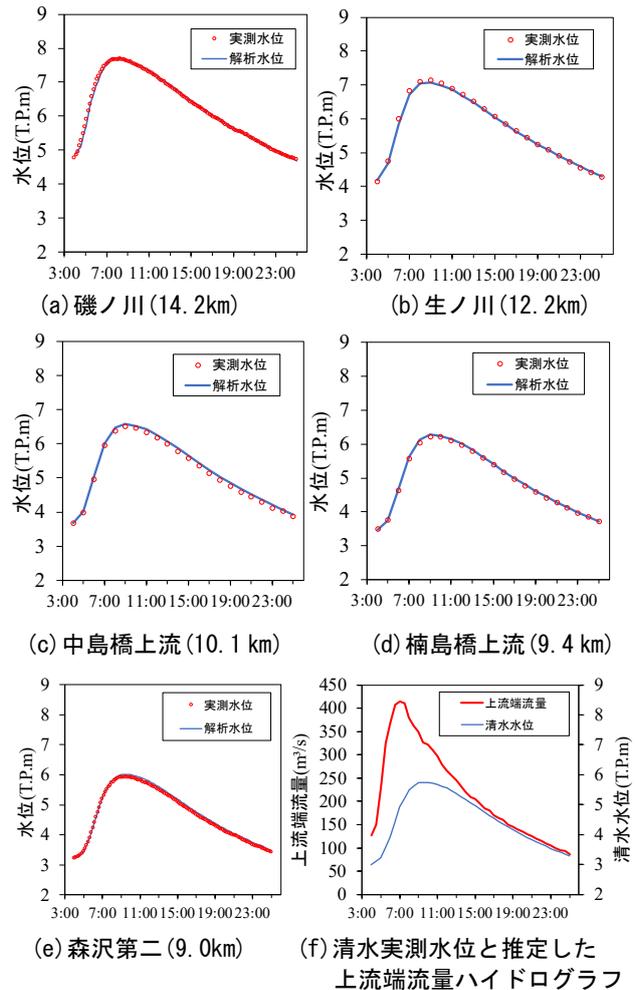


図-5 2018年7月8-9日出水時における実測水位と解析水位の比較と境界条件

#### 4. 河道樹木の伐採方法と中筋川の流下能力の経年変化

中筋川を管理する中村河川国道事務所では、2018(平成29)年の冬季に大規模な河道内樹木の伐採を実施している。事務所から伐採範囲の情報を提供いただき、伐採から2年後および3年後の樹木繁茂状況を UAV により実測していることから、3.に示した手法を用いて流下能力を評価した。また、事務所では5年周期で大規模伐採を実施していることから、定点写真等の情報から伐採から5年後の繁茂状況を目視で読み取り、あわせて流下能力を評価した。

図-6に4.8km~10.5kmにおける2018年伐採以降の流下能力の経年変化を示す。伐採直後については、整備計画流量を全区間で満たしていることがわかる。一方、2年後および3年後の河道内樹木の実測結果を与えて評価した流下能力は、全区間で  $200\text{m}^3/\text{s}$  以上低下しており、2年目以降はほとんど変化しなかった。そこで、伐採範囲を可能な限り広げ、流下能力の値に余裕を持たせた場合の経年変化についても検討した。その結果、図-7に示すように伐採直後の流下能力は十分余裕があるものの、2年目以降には前述の図-6と同様な値となった。このことから、5年に一度の大規模伐採を行ったとしても、2年目には流下能力が大幅に低下し、想定している流量を流下できない可能性が高いことが明らかとなった。したがって、図-8に示す事務所が過去に検討した大規模伐採から1,2年後に行う幼木伐採やブルドーザーによる踏み倒しを2年程度のサイクルで実施していく手法<sup>2)</sup>が、整備計画流量を常時流下させることができ、かつ低コストで実施できる効率的な管理方法になり得ると結論づけられる。

#### 5. 研究成果のまとめ

1) UAV空撮画像のSfMによって得られた表面高(DSM)と定期横断測量結果を補完した河道地形を用いて、植生高を簡易に把握する手法により、2018年6月から同年10月まで、さらに2019年5月まで

の期間の河道内植生高の変化量を得た。

- 2) 機械学習(CNN:畳込みニューラルネットワーク)を用いて、樹種判別モデルの学習データに従来の植生画像のRGBデータだけでなく、植生高コンター画像のRGBデータを追加することにより、草本、ヤナギ、タケを判別する正答率を6割程度から9割以上に向上させることができた。また、春と秋に空撮した2種類画像を用いて構築した樹種判別モデルを比較した結果、秋にヤナギの葉色が変わることから秋モデルの判別精度が向上することを示した。

- 3) 1)で得られた河道地形と植生高分布、2)で構築した樹種判別モデルで判別した植生分布を用いて、平面二次元流況解析による2018年7月出水(ピーク水位が避難判断水位程度)時の流況を再現できる草本、タケおよびヤナギの密生度を調べた結果、それぞれ $0.04m^{-1}$ 、 $0.286m^{-1}$ 、 $0.05m^{-1}$ が得られ、同年9月末出水においても同様の結果を得た。以上の成果より、UAV空撮画像からSfMにより3次元の点群データが得られるようになって以降、それらのデータに基づいて流下能力評価を行う際に課題となっていた植生分布の把握と洪水流況を再現できる各植生の密生度を決定することができた。この手法により、空撮を実施した時点における流下能力評価の時間と労力を大幅に軽減することが可能になった。

- 4) 上記の技術を用いて、事務所が平成29年に全管理区間において実施した伐採後の流下能力の経年変化を算出した結果、2年目以降に流下能力が大きく低下すること、流下能力の余裕を持たせるために大規模伐採の範囲を拡大しても2年目以降は同様な結果となることが明らかとなった。このことから、事務所が過去に検討実績のある大規模伐採から1、2年後に行う幼木伐採やブルドーザーによる踏み倒し(図-2)を2年程度のサイクルで実施していく手法が従来の手法に比べて流下能力を常時確保しつつ、コストを最小化できる効率的であることがわかった。

参考文献：

- 1) 前野詩朗, 渡辺敏: 簡易に得られる植物特性値を考慮した水理解析モデルの精度向上の提案, 土木学会論文集, No.803, II-73, pp.73-91, 2005.
- 2) 四国地方整備局中村河川国道事務所河川管理課: 河川の維持管理における中村河川国道事務所の取り組みについて, 2016.

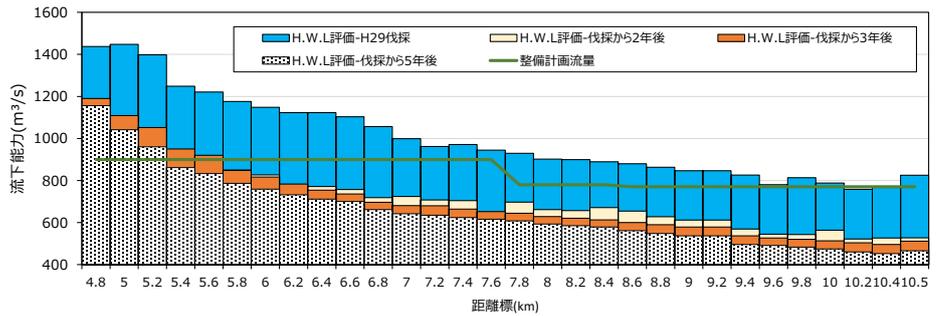


図-6 2018年伐採以降の流下能力評価の経年変化

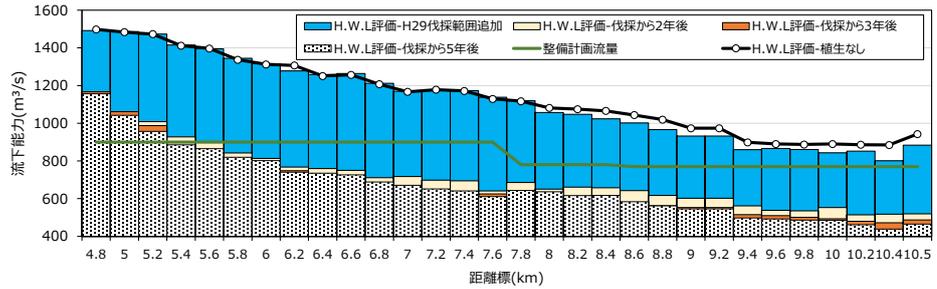


図-7 2018年の伐採範囲を拡大した場合の流下能力評価の経年変化

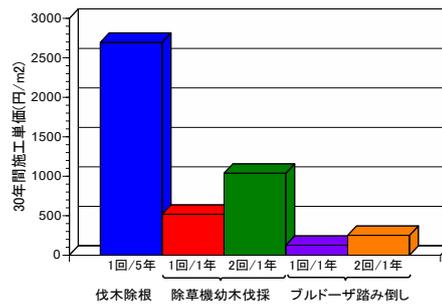


図-8 従来の伐採方法と除草機, ブルドーザーによる方法の30年間施工単価の比較(中筋川9.2-10.6kmを対象として)<sup>2)</sup>

## ⑦研究成果の発表状況・予定

### 【研究室学生による関連する研究成果の学会での発表・受賞】

研究室学生が土木学会四国支部および流域圏学会での発表し、後者において優秀賞を受賞した。

### 【企業とのタイアップ状況】

UAVによる計測を専門とする測量会社と共同で現地調査を実施し、計測データの処理技術について情報共有を行った。

### 【論文への投稿実績】

2020年度土木学会河川技術論文集(2020年度河川技術に関するシンポジウム)に投稿し、機械学習による樹種判別技術に関して大きな反響を得た。また、国土交通省四国地方整備局で開催された、四国地方整備局「河道管理に関する勉強会」において研究成果の一部を報告するとともに、雑誌 河川の令和2年3月号(特集：河川管理の高度化・効率化に向けた最新の動向)に投稿した。

## 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。)

なし

## 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。)

なし

## ⑩研究の今後の課題・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、研究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、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

国土交通省四国地方整備局で開催される、四国地方整備局「河道管理に関する勉強会」には、四国地方整備局、事務所の担当者だけでなく、四国四県の河川担当者も集まる四国内では規模の大きい会議であり、本課題の成果を実務者に知っていただくとともに、現場の課題について情報を共有することは、今後効率的な河道内樹木の管理手法を検討するうえで有用である。

## 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、UAVの活用による詳細な河道データの取得が主要な柱となっている。特に、近年では汎用化された地形計測技術に加え、機械学習による植生の判別技術は、河川環境分野にも発展が期待できる。また、上記の技術や流れの解析技術については、個別には確立されたものであるが、豪雨によるはん濫リスクが高い都道府県管理の中小河川では十分活用されていないのが現状である。一連の技術を都道府県の管理者が理解し、地方の建設コンサルタントの技術者が行えるように汎用化していくことも技術の普及という点で重要である。

その意味でも、四国地方整備局で実施している「河道管理に関する勉強会」等で本研究の成果を発信していくことが河川政策への貢献に繋がると考える。実際に、令和2年度から香川県と共同で、本技術を活用した河道管理手法に関する取り組みがスタートしており、香川県内の主要な河川において、本研究で得られた成果が活用されている。