

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	
	沢田和秀 (さわだかずひで)	岐阜大学工学部附属インフラマネジメント技術研究センター	センター長 教授	
②研究テーマ	名称	UAVと水域可視化処理による河川地形の新しい計測手法の開発		
	政策領域	[分野] 地域課題分野 (河川)	融合技術	
		[公募課題] 河川工事・維持管理技術		
③研究経費 (単位:万円)	平成27年度	平成28年度	平成29年度	総合計
※端数切り捨て。	168	161	-	329
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・役職 (※平成29年3月31日現在)			
原田守啓	岐阜大学流域圏科学研究センター 准教授			
⑤研究の目的・目標	(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>本研究は、電動小型 UAV (無人機) による写真測量の適用範囲を拡大することにより、河川管理に資する付加価値の高い調査手法を開発する。画像処理した写真に写真測量技術を適用することにより、従来は困難であった水面下及び樹林下の地形形状等を計測する技術を確立する。さらに、得られた高精細な地形・画像情報に基づき、河川構造物の状況、流水部から陸部に至る河床表層材料や植物の繁茂状況など河川管理に資する情報の取得を検討する。</p>				

⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

(1)長良川扇状地区間における UAV 空撮と河床形状計測の実施

長良川 48～49kp 付近の砂州において、UAV 空中写真撮影を行った。また、水中河床形状の検証データを取得するため、ボートに搭載した ADCP によって面的な河床形状を取得した。

UAV 空撮は平成 27 年 7 月 21 日 (増水時)、8 月 7 日 (平水時) に、ADCP 調査は、8 月 7 日に実施した。空撮時の対地高度は 150m を基本とし、各画像のラップ率 60%以上で撮影を行った。

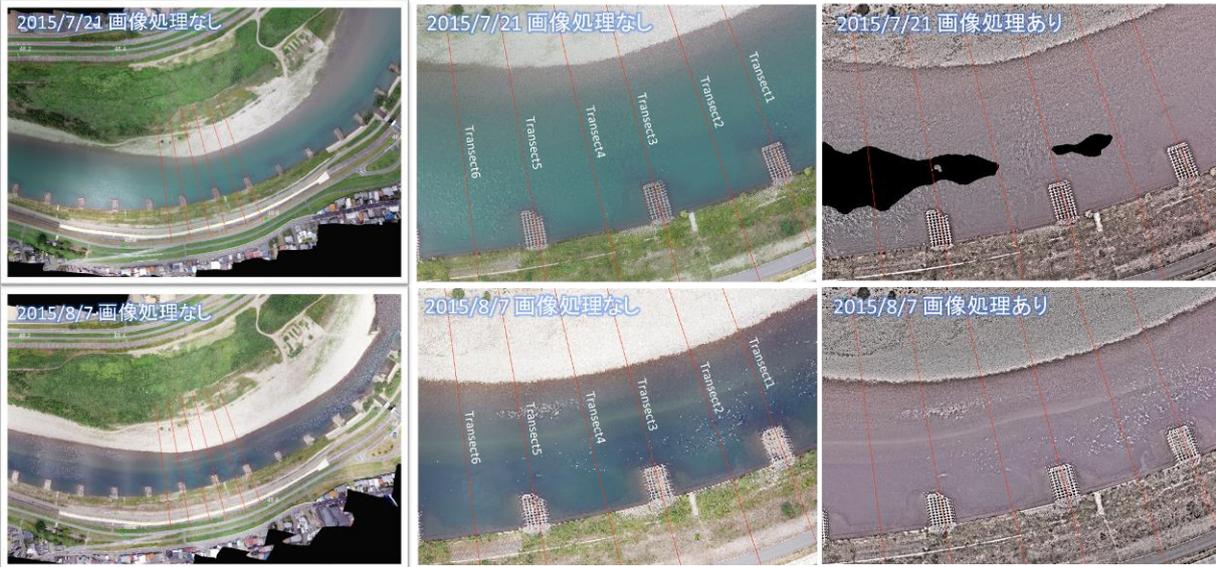


図-1 UAV 空撮写真から作成したオルソ画像 (全景、画像処理なし、あり)

(2) 画像処理の有無による水中河床形状計測精度の検証

2 回分の空撮写真に対して、水中部の可視化処理を行い、未処理の写真と処理済の写真をもとに 3 次元河床形状を作成し、ADCP により計測した河床地形と比較した。

空中写真の水中部可視化処理は、朝日航洋 (株) のアクアスコープ®を適用した。3 次元河床形状は、Agisoft Photoscan を用い、別途 VRS 測量した標定点の座標を与えて作成した。

未処理写真に基づく河床形状×2 回分、処理済み写真に基づく河床形状×2 回分、実測の河床形状について DEM を作成して比較した結果は以下のとおりである。

水中河床形状の推定結果は、2 回分のデータセットで大きく異なった。(図-2) 出水後の増水の影響を受けている 7 月 21 日のデータセットでは、可視化処理の有無に関わらず、水中河床形状の推定は困難であった。この原因は、水面の擾乱、反射等の局所的な条件、流水の濁り等の撮影条件の影響を強く受けており、可視化処理によってもこれは解消できなかった。(図-3)

平水時に撮影した 8 月 7 日のデータセットでは、可視化処理を行っていない場合でも、水中部について、ある程度は地形の推定を行うことができた。(図-4)

実測した河床形状と推定値との比較の結果、河床形状の実測値と推定値とは、水深に応じた良好な線形性が確認され、見かけの水深を水の屈折率を考慮した水深に補正することにより、実測の河床高を推定可能であることを確認した。可視化処理を行わない場合でも、水深 2m 程度までは精度良く河床形状が把握できていたが、水深 2m 以深では、可視化処理を行った場合の優位性が認められた。(図-4)

以上より、水中部の可視化処理によって、より水深の大きい領域まで河床形状を推定することが可能であること、水中の河床形状は、水の屈折率を考慮した水深の補正により実測の河床高を推定可能であること、撮影条件の影響がかなり支配的であること等の結果を得た。

⑥研究成果 (つづき)

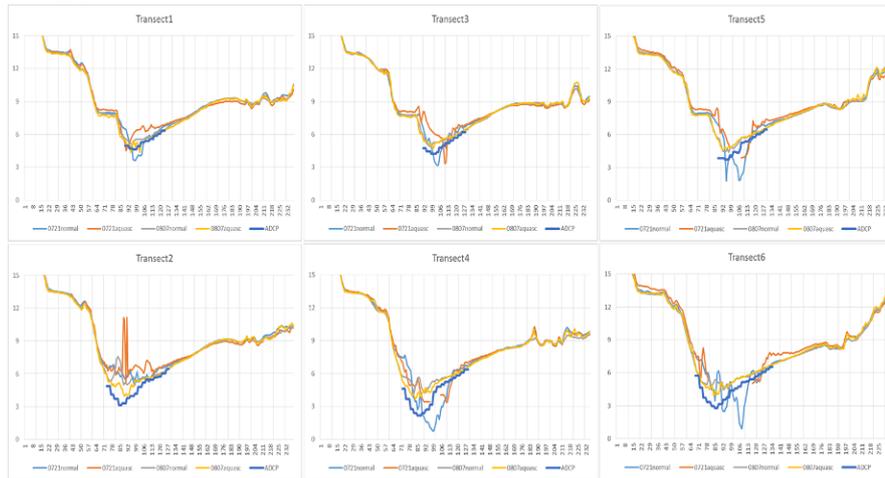


図-2 検査断面における河床形状の比較 (ADCP 実測は青線)

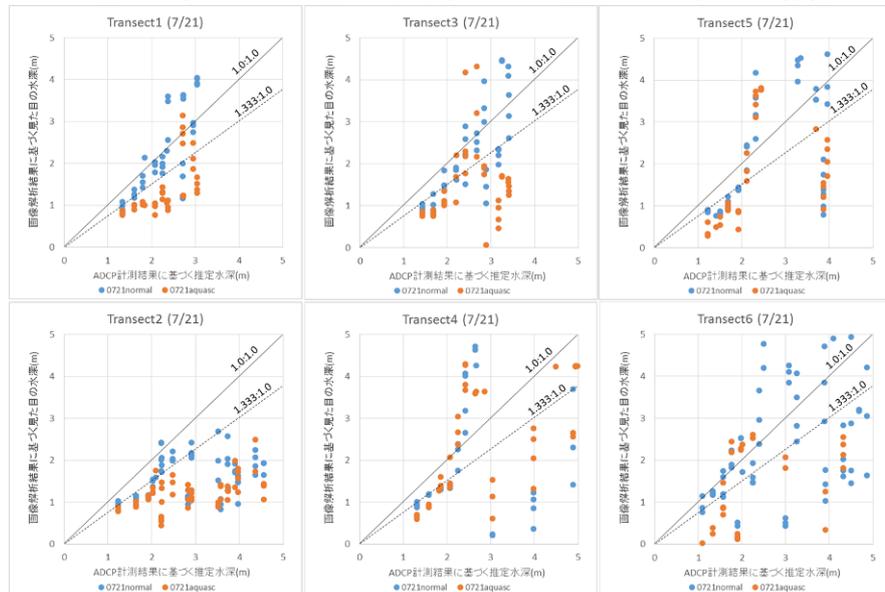


図-3 ADCP 計測結果に対する画像解析結果の対応 [7/21] (青：未処理、オレンジ：可視化処理)

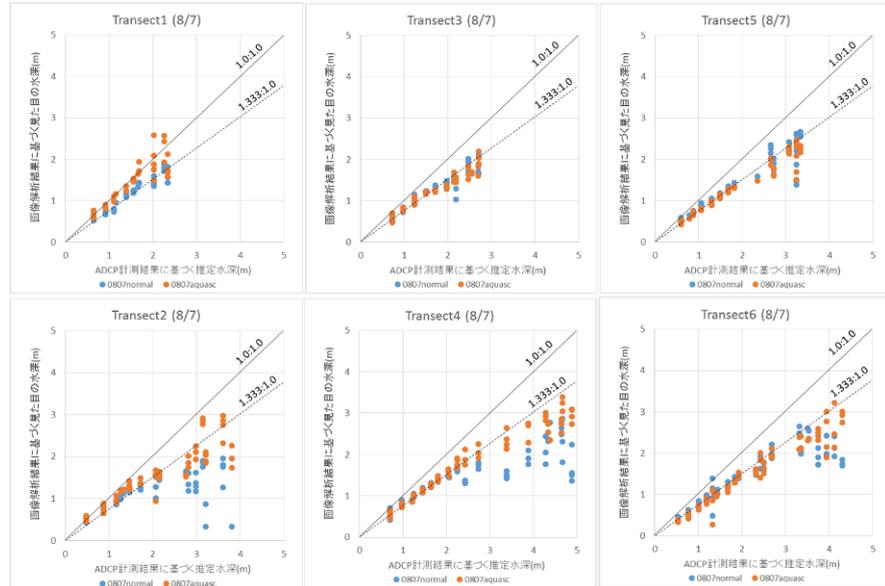


図-4 ADCP 計測結果に対する画像解析結果の対応 [8/7] (青：未処理、オレンジ：可視化処理)

⑥研究成果（つづき）

(3) 河床材料調査手法としての空撮写真の活用の試行

UAV の飛行高度を 3 通り（50、100、150m）に設定し、砂州表層の写真撮影し、画像解析による粒度分布の推定を試行した。別途、現地調査により取得した粒度分布と比較した。現地調査は、平成 27 年 7 月下旬に実施した。

画像解析に基づく粒度分布の推定は、スイス工科大学が開発したソフトウェアである BASEGRAIN を用いて、砂州上の複数地点における表層粒度分布を推定した。

画像解析による粒度分布の推定では、粒子の輪郭を抽出する画像解析の原理より、1 粒子あたり最低でも 3pixel 以上で写っている必要がある。従って、UAV に搭載されたカメラの焦点距離、対地高度、撮像素子の大きさ、画像の解像度から求めることができる画像の空間解像度（1pix あたりの距離）から、識別可能な石礫粒子の大きさをあらかじめ推測することが可能である。

本研究に使用した UAV に搭載されているカメラは、焦点距離 14mm、撮像素子 17.3×13.0mm、記録画素数 4,592×3,448pixel であり、一般的な UAV 空撮に設定される対地高度 150m では、空間分解能が 4cm/pixel となる。同様に、対地高度 100m では約 2.7cm/pixel、50m では約 1.3cm/pixel となる。1 粒子あたり最低 3pixel は必要であるとすれば、対地高度 50m では 4cm 以上の粒子を判別可能と考えられる。

面積格子法により現地実測した表層粒度分布と、対地高度 50m の空撮画像に対する画像解析による表層粒度分布は、5 地点中 3 地点において、良く一致している（図-5）が、2 地点においては画像解析のほうが大きめの結果となった。これら 2 地点は、画像解析による判別可能の限界と予想された 4cm よりも小さい土砂がみられることと、空撮写真の端の方にある部位を使用したため、実際にはカメラからの直線距離が長いにも関わらず、画像の空間解像度は一定として解析したことによる誤差が一定量含まれていると考えられる。



図-5 画像解析による表層粒度分析結果と実測値の比較

⑥研究成果（つづき）

寺田ほか（2015）は、平均粒径 200mm 程度の石礫に覆われた砂州に対して、UAV の対地高度を 5m から 75m まで変化させて空中写真撮影し、BASEGRAIN による画像解析を行って、各高度における解析結果を合成する手法を提案している。低高度・高分解能の画像からは小さい粒子が、高高度・低分解能の画像からは大きい粒子が検出されることにより、表層粒度分布を広いレンジで捉えることを可能としているが、本研究が示すとおり、判別可能な粒子径をあらかじめ目安として設定することにより、少ないフライト数でも、表層河床材料調査としての目的は達せられると考えられる。

なお、別途実施した現地調査の結果、砂州表層の粒度分布と、準表層の粒度分布は大きく異なることも分かっており、表層粒度分布と準表層粒度分布の関係性、水中部の河床材料調査への適用の可能性については、別途検討が必要である。

(4) 水域部画像処理の定式化の検討

(2)に示すとおり、本研究では UAV-SfM による写真地形計測の適用範囲を水中部に拡大する手法について、以下の知見を得ている。

①画像処理による水中可視化により、水中地形計測精度は向上する

②水部 DEM については光の屈折率を考慮した高さ補正を行うことにより、さらに高精度の水中地形計測が可能となる

これらの知見を基に UAV 空撮画像を用いて高精度な河川地形計測を行うための処理フローを提案した。

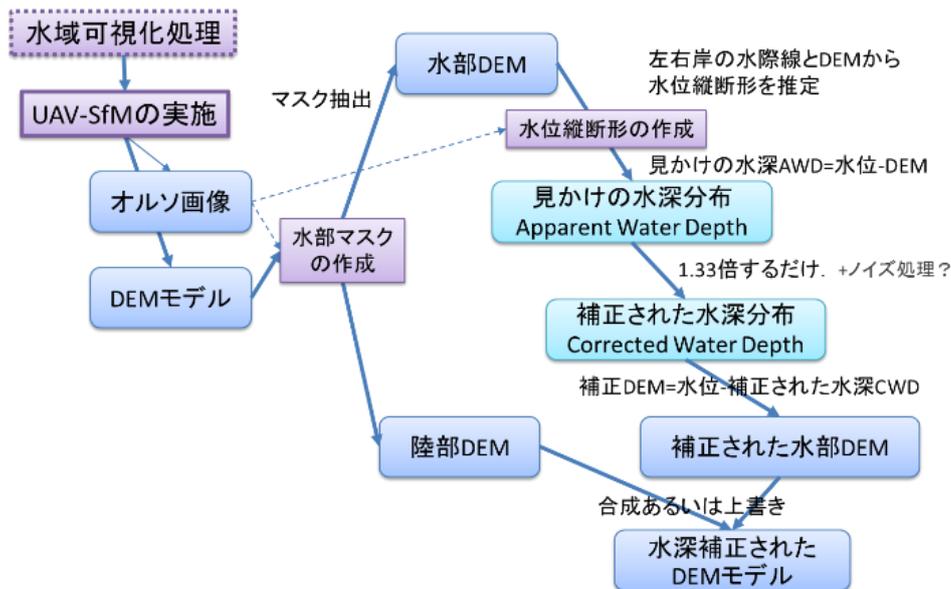


図-6 水部を含む河床形状推定の一般化フロー

UAV 空撮画像に上記フローを適用することにより、高精度な河川 DEM モデルを得ることが可能と考えられる。しかしながら、上記フローは複雑な工程よりなっているため、実務において効率良く DEM モデルを得るためには一連の処理を自動化することが望まれる。本開発では、自動化において特にネックとなる水部マスクの生成手法を確立することを試みた。

本開発では、画像処理ソフトウェア「ImageJ」を用いて、UAV空撮画像から河川領域を高精度に抽出するプログラムを作成した。作成したプログラムでは、以下のフローにより河川領域の抽出を行う。

⑥研究成果 (つづき)

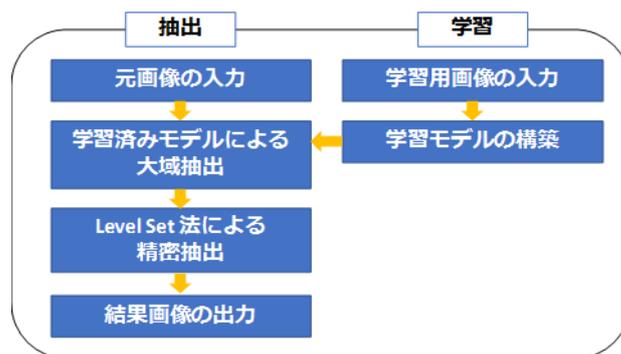


図-7 水域抽出プログラムの概要

抽出処理は2つの要素技術(機械学習およびLevel Set法)の組み合わせにより実現している。それぞれについて簡単な説明を加える。

(1) 機械学習による河川識別モデルの構築および大域抽出

機械学習の流れは概ね以下のとおりである。

- ①第1に、ImageJのユーザーインターフェイス上で、学習用画像における河川らしい部分と背景らしい部分を手入力で指定し、“河川” or “背景”のラベルを付与する
- ②コンピュータが自動で特徴量を抽出し、“河川”かそうでないかを判別するための識別モデルを機械学習により構築する
- ③抽出工程においては、機械学習にて構築した識別モデルを読み込み、これを利用して河川領域の識別を行う
- ④本処理により、大域の河川領域抽出を行う

(2) Level Set法による精密抽出

大域抽出した結果に対して、動的輪郭法的一种であるLevel Set法を適用することにより、より精密な河川領域の抽出を行う。Level Set法とは、濃度勾配と輪郭の曲率をもとに輪郭の拡張・収縮を行う手法である。Levelset法の流れは概ね以下のとおりである。

- ①大域抽出の結果画像を初期位置として、河川の部分を少しずつ拡張
- ②輪郭の成長速度が下回った際に拡張を停止

(3) 両手法による水域輪郭抽出の結果

開発手法による河川領域の抽出結果を示す。まず、学習モデルを利用した大域抽出の結果を示す。一部河川内の欠落領域や、水際線が不明瞭であるものの、大まかな形状については抽出ができている。また、これに輪郭拡張処理を追加することにより、欠落領域はほとんどなくなり、水際まで領域を拡張できている。



図-8 (左) 機械学習 (右) Level set 法

(1)で検討した「河川地形計測の一般化」では、処理の第一ステップにおいて UAV 空撮画像に対する水域可視化処理(朝日航洋: アクアスコープ)を行うこととしている。これは、河川と地上が混在する画像に対しては、単純なコントラスト調整を適用できない(白とび、黒つぶれが発生する)ためであり、特殊な画像補正が必要となる。

しかしながら、本章に示した河川領域の抽出技術を用いれば、地上領域と河川領域を高精度に分

⑥研究成果（つづき）

離できるため、それぞれに適したコントラスト調整を行うことが可能となる。これにより、以下に示すように簡便な手法にて水域可視化画像を得ることができる。

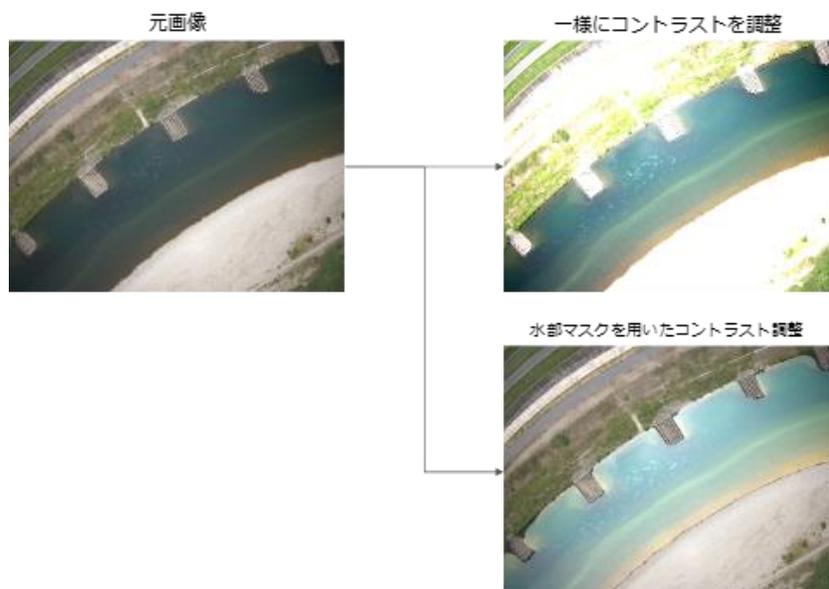


図-9 水域抽出処理と画像処理の組合せ

以上

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(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)
- ・研究開発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
- ・技術研究開発成果による受賞、表彰等)

<論文投稿> 1件

原田守啓, 荒川貴都, 大井照隆, 鈴木英夫, 沢田和秀 (2016) UAVと水域可視化処理による河川地形計測手法の検討, 河川技術論文集, 22, 67-72.

<学会発表> 2件

原田守啓・荒川貴都・天野裕行・大橋一弘 (2015) 石礫床河川における効率的な河床環境調査手法の試行, 応用生態工学会第19回郡山大会(郡山)

荒川貴都・原田守啓 (2016) 扇状地河川における砂州表層の粒度及び凹凸の空間分布特性, 応用生態工学会第20回東京大会(東京)

<寄稿> 1件

原田守啓(2017) 特集河川環境モニタリング 河川環境モニタリングのニーズにUAVは応えられるか, RIVERFRONT, vol. 84, pp. 16-19.

<講演> 3件

沢田和秀 「ドローンの活用方法と今後の展望」として、本研究に関する技術紹介
於：名城大学技術士会(平成27年11月16日)

沢田和秀 「地理地形情報を使う」として、本研究に関する技術紹介
於：岐阜県アセットメンテナンス協会(平成27年10月9日)

原田守啓 「UAVによる河川地形・河床材料モニタリング手法の検討」として研究成果発表
於：インフラ・イノベーション研究会第31回講演会(平成28年6月16日)

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。)

<公開イベント> 1件

建設技術フェアin中部2015において、UAV利活用研究会として本研究の技術紹介展示(平成27年10月21日~22日)

⑨表彰、受領歴

(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。)

該当なし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の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道路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。)

本研究期間中においても、河川管理実務におけるUAVの活用場面は着実に広がっており、平成28年3月には、「UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案)」が国土交通省東北地方整備局によりまとめられている。同手引きでは、UAV活用場面を、平常時と災害時に分けて示しており、運用のノウハウが丁寧に示されている。

今後は、より河川管理者のニーズの高い用途として、洪水流下能力確保のために行われる高水敷掘削後の河床変動の状況及び植生等の侵入状況のモニタリングを目的として、本研究の発展的な活用を図っていく。

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。)

河道内の地形を把握することは河川管理の基本の一つであり、定期縦横断測量が実施されてきた。近年は、航空機レーザプロファイラ(以下LP)で取得した面的な河川地形の活用が期待されており、水中での減衰が少ないグリーンレーザを用いることによって水中の地形の把握もある程度可能になりつつある。しかしながら、航空機は飛行高度が高いために、川幅が狭い中小河川の地形の把握には適しておらず、空中写真画像の解像度にも限度がある。このような状況の中、河川地形測量、災害発生時の被災状況把握、河川環境モニタリングといった河川管理における多様なニーズに応えることができ、柔軟な運用が可能な現地調査手法が望まれている。

UAV-SfM技術の運用ノウハウが整理されることによって、従来の定期縦横断測量にはない面的な情報が得られ、航空LP測量よりも詳細な地形情報が安価かつ迅速に得られる測量技術が提供される。UAVによる空中写真測量、画像解析による地形解析、河床材料調査等の個々の技術については、同時並行的に複数の研究成果が報告されており、本研究単独での技術革新性は必ずしも高いとはいえないと考えている。しかしながら、普及が進んだUAVの新たな活用法が定式化されるとともに、運用のノウハウが提供されることは、河川管理の現場にとって大きなメリットがあると考えられる。