

# 河川環境モニタリングのニーズに UAV は応えられるか

岐阜大学流域圏科学研究センター 原田守啓

## 1. はじめに

近年になって急速に普及した電動小型 UAV は、操縦や運用が容易であることや、個人でも手が届くほど安価で高性能な市販モデルの登場もあって、その存在は実業界のみならず、社会に広く浸透している。河川管理実務においても、UAV の活用場面は広がっており、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）」（以下、手引き）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いる。本稿では、河川管理のうち、とりわけ河川環境モニタリングの場面において、UAV がどのようなニーズを満たしうるかという点について、事例を交えながら考察する。



図 1 長良川扇状地砂州における UAV 空撮

## 2. UAV は何ができるか

### (1) UAV とは

筆者はいわゆる河川技術者であり、UAV や計測技術の専門家ではないことを断った上で、UAV の概要について述べる。UAV とは、Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機）の略で、ドローンとも呼ばれる。リモコンによる遠隔操縦や、GPS を併用した自律飛行が可能な、飛行体全てを指す用語であるが、民生品としては、複数のプロペラ（4 基以上）を備えた小型の電動マルチコプターが最も普及している。マルチコプターは、垂直離陸・ホバリングが可能で、飛行中の安定性が高いこと、機体重量の割にペイロードが大きいことなどの利点をもつ。本稿ではとくに断りのない限り、このタイプの機材を想定する。

### (2) UAV による空中写真・動画撮影

市販の UAV には、カメラが装備されていることが多く、安定した飛行が可能なマルチコプターの特長とあいまって、初心者でも空中写真（あるいは動画）を撮影することができる。したがって、UAV の運用によって得られる最も基本的な成果は、空撮画像と映像となる。河川環境モニタリングの場面では、空撮画像の撮影そのものが有益な情報収集手段となることも多い。例えば、河川植生の状況などは、低高度の空撮画像より把握することができる。さらに、UAV 空撮画像・映像を、その他の画像解析技術と組み合わせることで、幅広い応用が可能となる。

### (3) UAV-SfM/MVS による 3 次元地形推定

複数枚の空撮画像から、3 次元の地形形状を復元する手法は、既に現地適用が進んでいる。異なる方向から撮影した複数の画像をもとに、カメラと対象物の 3 次元構造を復元する技術（SfM/MVS: Structure from Motion / Multi-View Stereo）を実装したソフトウェアが普及してきており、UAV 空撮画像とこれを組み合わせることによって 3 次元地形を得る手法は、UAV-SfM/MVS と呼ばれる。

SfM/MVS の原理は、複数の画像の中に含まれる特徴点（ピクセルの特徴的な配置）を抽出して、それら相互の位置関係を推定することにより 3 次元モデルを得るものである。この 3 次元モデルを現実の地形に対応したものにするためには、3 次元モデルに正しい座標を与えなくてはならない。筆者は、3 次元地形モデルを作成したい範囲に、あらかじめ標定点として機能しうる地物、すなわち上



図 2 UAV-SfM/MVS による地形モデルの例（長良川）

空からも目印になりうるものの座標を測量しておき、SfM ソフトウェアで作成した 3 次元モデルに、標定点の座標を入力して、3 次元地形モデルを生成している。

UAV-SfM/MVS により得られる 3 次元地形モデルの精度は、その原理から、撮影した画像の解像度や撮影条件に強く依存するため、従来の測量技術と比べると、精度管理が難しい側面がある。また、河川では水面下の地形を把握したいという強いニーズがあるものの、水面での光の反射や波、水の濁りの影響が水面下の地形推定を困難にしている。撮影条件を吟味し、カメラに偏向フィルターを装着して反射の映り込みを軽減するなどの工夫を重ね、光の屈折率を考慮した水深補正を施すことにより、水面下の地形を推定することも可能であることが分かってきている<sup>1)</sup>が、予測的な精度管理は難しい。しかしながら、これらの特性を理解した上での運用であれば、機材をそれほど選ばず柔軟な運用が可能な UAV-SfM/MVS は、有力な河川地形モニタリング手法たりうる。

**(4) 河床表層材料の粒度分布の把握**

画像に含まれる個々の石礫の輪郭を抽出することによって粒径を計測し、粒度分布を計測する画像解析技術がある。UAV 空撮画像にこの技術を組み合わせることで、河床表層の粒度分布を求めることができる。画像粒度解析ソフトウェアの例として、スイス連邦工科大が開発した BASEGRAIN がある。

一般的に、河床表層粒度分布の調査は、面積格子法によって行われることが多い。筆者は学生らと面積格子法を幾度となく行ってきたが、余程習熟しても 1 地点 100 個程度の石礫の 3 軸径を計測するのに 30 分は要してしまう。真夏の河原ともな

れば朦朧として、どこまで計測したのかも分からなくなる。これに対し、UAV 空撮による画像粒度解析では、現地作業は UAV 空撮のみで、あとは涼しい室内で、半自動的に多数の石礫粒子径を計測することが可能である。

しかしながら、この手法も万能ではない。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 3 ピクセル以上の大きさ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、画像の画素数から求めることができる画像の空間解像度（1 ピクセルあたりの長さ）から、識別可能な石礫粒子の大きさの下限が定まってくる。また、面積格子法では 3 軸計測が基本であるのに対して、画像計測では 2 軸しか計測されないなどの違いもある。運用にあたっては、一定以下の粒径の河床材料が検出されないことを前提とした調査計画の立案が必要である。

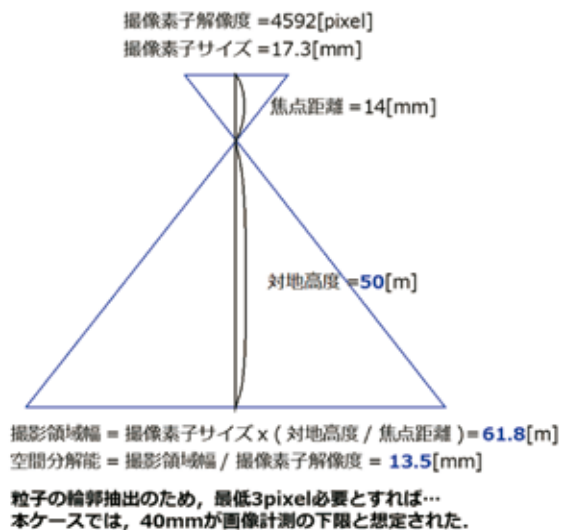


図 3 画像解析により識別可能な粒子径の算出例

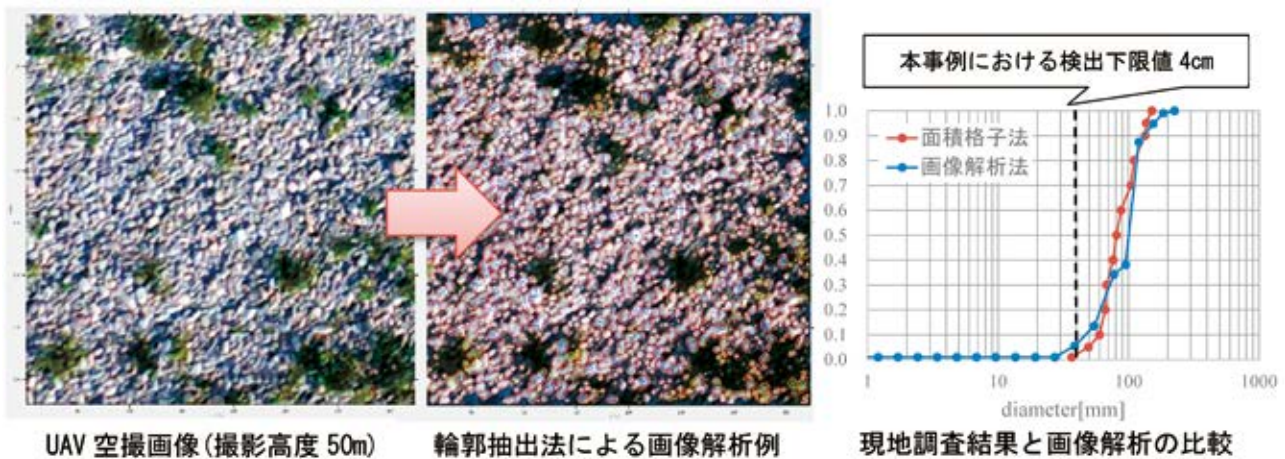


図 4 砂州表層の河床材料調査結果 (現地調査と UAV 空撮画像解析の比較)

### (5) 表面流速分布の把握

流れを撮影した動画から、水面を流れる物体や流水面の波紋に着目して、流れの表面流速を求める画像解析手法が開発されている。UAVで撮影した映像にこの手法を組み合わせることで、表面流速分布を把握することができる。流速分布計測の延長として、流量観測への応用も検討されている。

### (6) その他の計測機器の運用

UAVにカメラ以外の計測機器を搭載することによって、さらに活用の幅は広がっている。

LiDAR (Light Detection and Ranging) 機器の小型軽量化が進み、UAVに登載して空中からレーザースキャンを行うUAV-LiDARが普及し始めている。UAV-SfM/MVSにより生成される3次元地形モデルと比べて、多くの場合より高精度な計測が可能であるが、その分運用に専門知識と資金が必要となる。

UAVに赤外線領域まで撮影可能なカメラを搭載することで、ローカル・リモートセンシング的な利用も可能となる。植物の分布や活性度を表す指標であるNDVI値を把握するためのUAV用カメラが市販されている。また、UAVに熱赤外線カメラを搭載して、地表面や水温の分布の計測に用いられている。

## 3. 従来手法の課題を補完するUAVの活用

### (1) 河川地形モニタリング

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、そのための手法として、定期縦横断測量が永らく実施されてきた。河川環境モニタリングの観点からも、生息場を規定する河川地形の変動を把握することは、重要なモニタリング項目であるといえる。

定期縦横断測量は、直轄河川では数年に1度の頻度で、200m間隔の横断測量・深淺測量が基本である。地方自治体が管理する中小河川では、改修計画等の動機がなければ測量がなされていないのが実態であろう。ともかくも、定期縦横断測量は、洪水時の流下能力の確保といった治水目標管理の観点と、河川管理に投入しうる限りある資金・労力や技術の視点では過去のベストエフォートであったと考えられるが、河川環境管理の今日的な課題に対応するには、時間解像度・空間解像度ともに不十分であると考えられる。

これらを補完する技術として、航空機、ラジコンヘリ、UAV等の航空機材と、LiDAR、SfM/MVS等を組合せた地形計測技術が急速に発展し

てきており、現場活用されるようになりつつある。これらの光学的手法は、地形を面的に把握できるという点で、定期縦横断測量に対する大きなアドバンテージが存在するが、河川空間には水が流れ、植物が繁茂するなど、光学的観測の障害となる要素も多く存在する。水中での減衰が少ないグリーンレーザーを用いることによって水中の地形を計測するALB(Airborne Laser Bathymetry)も機材の改良が進められつつある。

これらの光学的観測手法にはコスト面でも精度面でも一長一短がみられる。UAV-SfM/MVSが優位性を持つのは、比較的限られた面積を頻度高く観測する状況である<sup>2)</sup>とされている。

### (2) 河川植生のモニタリング

河川植生のモニタリングは、直轄河川では、5年に1度、空中写真を判読して河川植生図を作成し、現地調査による検証を経て更新されている。河川植生図の作成が始まった時期は概ね河川水辺の国勢調査と開始時期と一致している。これらのデータを参照することで、過去二十数年間の間の直轄河川における河道内植生の変化を群落レベルでおおまかに把握することができる。これだけでも非常に価値のあるデータベースとなっているものの、順応的な河川環境管理に応用するには不十分な場面も存在する。

例えば、セグメント2における高水敷掘削地のように、人為的改変により出現した裸地には、先駆的な植物が侵入・定着し、数年間の間に植生の遷移が目まぐるしく進んでいく。岐阜県を流れる揖斐川では、セグメント2の高水敷掘削地の多く

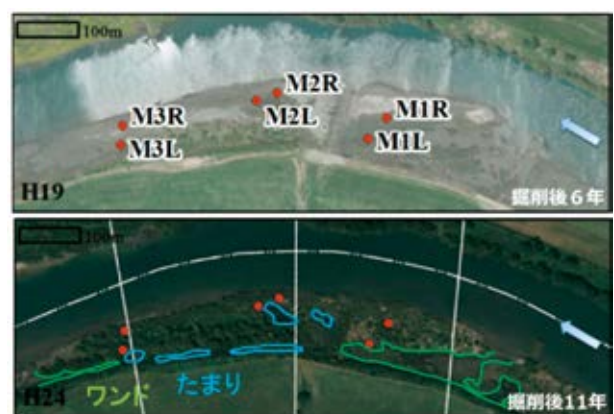


図5 揖斐川高水敷掘削地における5年間の変化で土砂の再堆積が進み、ヤナギ類が定着した<sup>3)</sup>。

しかしながら、ヤナギ類が定着しはじめた当初の実生群落は、空中写真判読では発見されていなかった。裸地に点在する実生苗を空中写真から判

読することは、おおよそ不可能であろう。

この事例は、高水敷掘削のような人為的インパクトに対するレスポンスとして、比較的短期間で推移する地形変化や植生を監視するには、5年に一度の空中写真判読では、時間解像度・空間解像度ともに不十分であることを示している。集中的に監視すべき領域について、UAV空撮を植物の生活環に合わせた高頻度で撮影するなど、従来の手法とのメリハリの利いた運用が期待される。とくに、人が近づきにくい場所であれば、UAV空撮の利点がより活かされるのではないだろうか。

### (3) 河床材料のモニタリング

河床材料のモニタリングは、河川地形、河川植生と比べて最後発の分野であろう。河床材料粒度分布の把握状況は、河川によって異なる。さらに、これらの調査は長い管理区間の縦断的河床材料分布の把握に力点が置かれており、一部区間の面的な分布の把握まではなされていない。

流域を俯瞰した総合土砂管理における流砂系の実態把握や、土砂動態に影響を及ぼす人為的施策の効果把握するためには、河床材料モニタリングの重要性はますます高まってくると考えられる。

セグメント1における代表的な河川地形である砂州の動態を把握するには、200m間隔の測線では面的な形状を把握するのに不十分であろう。幅広い粒径の河床材料から構成される砂州の地形変化は、平面・鉛直方向に分級して分布している河床材料と、出水時に作用する掃流力の時空間分布とのバランスによって生じるため、河床変動解析等による予測が難しい現象の一つである。砂州の中長期的な動態を予測する上で、砂州の地形・河床材料の変化と出水イベントとの対応関係を把握することが望ましい。

これらのニーズに対して、UAV-SfM/MVSによる河川地形モニタリング、画像粒度解析による河床表層粒度モニタリングの適用が考えられるが、それぞれ課題がある。砂州を構成する河床材料の粒度分布は幅広く、画像粒度解析では細かい土砂まで捉えることができない。また、砂州の表層は

一般的に粗粒化しており、より幅広い粒度分布を持つ準表層とはまったく異なる。砂州河道における土砂動態は砂州陸域の表層粒度分布だけでは捉えることは困難であり、準表層、水面下の粒度分布については、やはり現地調査によって把握しなければならない。目的に対応した調査手法の組合せが必要であると考えている。

### 4. おわりに

本稿では、近年急速に普及したUAV関連技術が、河川環境モニタリングの場面において、どのようなニーズを満たしうるかについて考察した。柔軟な運用が可能なUAVの活用により、従前の手法ではカバーできていない、痒いところに手が届く河川環境モニタリングを実施していける可能性が確認できた一方、手法の限界や、現場での運用に、多くの解決すべき課題があることも述べた。

今後、河川管理者、民間技術者、研究者の協働により、ノウハウの開発と共有が図られていくことが望ましく、各地でそのような取組みも進められつつある。

一方で、従前にも増して高頻度で取得されていくことになるであろう大量の画像・映像データの管理と活用についても、考えていかななくてはならない。モニタリング・データは、蓄積され、活用されてこそ価値があるものとされているが、容量の大きい画像データを誰がどのように管理していくべきか、近い将来の課題になると感じている。

### 参考文献

- 1) 原田, 荒川, 大井, 鈴木, 沢田: 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, 2016.
- 2) 佐貫, 渡辺, 宮田, 草加: 3種の航空測量技術を使用した河道地形の効率的測定の実装展開に向けた比較検討, 河川技術論文集, 21:105-110, 2015.
- 3) 原田, 永山, 大石, 萱場: 揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程, 土木学会論文集 B1(水工学), 71(4):I\_1171-I\_1176, 2015.