

〈特集〉

河川の土砂環境を計測する技術

水野 敏 明

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 総合解析部門
(〒525-0022 滋賀県大津市柳ヶ崎5-34 E-mail: mizuno-t@lberi.jp)

概要

近年の気候変動による豪雨の増加により河川に流入する土砂量の変化が著しい。そのため、河川の土砂環境の変化を高頻度高精細に計測する技術が必要とされている。ところが、従来は河川の土砂環境の簡易な計測は難しく、高頻度高精細に計測することが難しかった。近年では、ドローンによる空中撮影写真測量、2次元河床変動シミュレーション、水中カメラによる直接観察、360度カメラによるバーチャルリアリティー空間など、比較的安価簡便に河川の土砂環境の挙動を高頻度高精細に計測してリスクマネジメントに活用できる技術が増えてきた。

キーワード：土砂環境、ドローン、河床変動シミュレーション、3次元測量、バーチャルリアリティー

原稿受付 2024.4.5

EICA: 29(1) 2-5

1. はじめに

1.1 河川の土砂環境の計測の背景

近年の気候変動による集中的な豪雨の増加によって、河川流域の土砂環境の変化は著しい。さらに、大地震や大洪水、津波など、大きな自然災害では、大型河川構造物の変化や地形変動によって土砂環境も変化する可能性があるため、流域全域の土砂環境変化を計測してリスクマネジメントする必要性が生じている。

こうした背景から、令和5年(2023年)7月の閣議決定された国土形成計画(全国計画)¹⁾では「総合的な土砂管理の取組の推進」が記述されている。この計画によれば、生態系の豊かな流域環境の維持管理を考える時に、森-川-里-海(湖)の水系と土砂環境のつながりを考えた計画や総合的な土砂管理が求められている。そのため、流域の水源地の源頭部から、河川や上下水道および地下水等の経路、湖沼や海の流達点まで、流域環境全域に関して一貫して水や土砂環境を計測して、リスクマネジメントに資する情報をデータ化する必要がある。

2. 従来からの河川土砂環境の計測方法

2.1 河川地形の計測方法

従来、河川管理における土砂環境の計測は、河川河道断面の縦横断の地形測量が基本となっている。広域的には航空機による近赤外波長を使用するレーザー測量による計測が行われてきた。近年では、グリーンレーザーを用いて水深も計測(測深)できる機材が開発されてきておりALB(Airborne LiDAR Bathy-

metry)測量としてマニュアル(案)が国土地理院から公開されている²⁾。

2.2 従来の河床材の粒径分布計測方法

河床材の土砂の粒径分布に関しては、容積法が知られている。例えば0.5m²の方形枠を深さ0.3mまでの全土砂を採取してふるい分けして粒径別の重量割合を計測する方法である。また、線格子も知られている。例えば、河川を横断するロープを張り0.5m間隔で目印をつけて、その真下で河床表面の礫をサンプリングして礫の粒径を計測する方法である。また同様に、面格子法も知られている。例えば、1m四方の方形枠に10cm格子枠を設定して格子点の真下の表面の礫をサンプリングして礫の粒径を計測する方法である³⁾。

2.3 従来の土砂流出量の計測方法

雨が降った際に水源地の森林等の斜面からの河川への土砂の流出量は、斜面に設置した土砂受け箱による計測方法と量水堰を用いた計測方法がある。土砂受け箱による計測方法は、強い雨が降るたびに、土砂受け箱を回収して、入ってきた土砂の重量等を計測する。



(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第19号 p.43から引用抜粋)

Fig.1 左：量水堰、右：量水堰の土砂採取測定作業

量水堰による計測は、溪流の河川流域から流出してくる土砂を量水堰で受け止めて、強い雨が降るたびに溜まった土砂を採取して重量を計測する方法である (Fig. 1)⁴⁾。

3. ドローンによる河川の土砂環境計測方法

上述の計測方法は、計測に手間や時間や費用がかかることが多いため、多地点で高頻度高精細にモニタリングすることは難しいという問題があった。そこで、近年では土砂環境に関して画像データを介して計測できる方法が着目されており汎用化されつつある。特にドローンと通称される UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いた土砂環境計測方法の技術の発達は著しい。2018年以前は、GPS (GNSS) の情報だけで、ドローンが撮影した位置を数 m 以内の誤差に決定するのは難しい作業であった。しかし、2019年頃からは、リアルタイムでドローンが精緻に位置情報を計測できる RTK ドローン (RTK: リアルタイムキネマティック) の普及が進んできた。その結果、高精度の位置情報付きの空中撮影画像を、簡便に入手することができるようになった。

3.1 オルソ画像化による土砂環境の変化の計測

RTK ドローンで連続的に撮影した空中写真を、Metashape などの専門ソフトウェアを使うと、レンズの歪みや位置情報なども調節して、「オルソ画像」を作ることができる。オルソ画像は緯度経度や方位や縮尺が正しく、地図と重ね合わせも可能である。撮影高度次第で 10 cm 以下の高精度の解像度で撮影することも可能となっている⁵⁾。オルソ画像は重ね合わせができるため、河川の土砂環境の時系列的な変容を計測することができる。

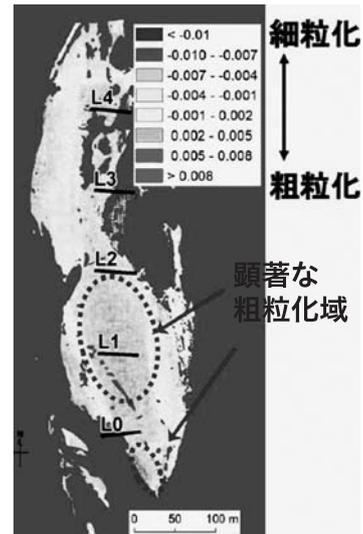
3.2 フォトグラメトリによる土砂堆積の 3 次元測量

物体に対して、写真をとっている場所の違いの視差を使って 3 次元の凹凸を推定してデータ化し、多地点のデータを合成することで、3 次元測量する技術をフォトグラメトリもしくは SfM (Structure from Motion) という。Metashape などのフォトグラメトリの専門ソフトウェアを使うことによって、写真から 3 次元測量が可能となっている。この技術を上述の RTK ドローンの空中写真に応用して、オルソ画像化同様に緯度経度や方位などを正確に調整することにより、高精度の 3 次元地形測量が可能となる。従来は、3 次元地形測量のためには、現地に行き測量機器を設置して測量する方法が必要であったため、高頻度に調査することが難しかった。RTK ドローンによる 3 次元測量は、空中撮影するだけで現地に機材を設置しないため、

直接測量と比較して広範囲に高頻度に多地点で測量することが可能である。

3.3 粒径分布の 3 次元測量を応用した計測方法

高精細にフォトグラメトリで 3 次元測量した河床表面の凹凸の DSM (Digital Surface Model) データを用いて、測定前と後の高さの差分について、標準偏差を用いて分布パターンの違いを定量化すると、洪水の前後で粗粒化した場所や細粒化した場所を明らかにすることができる (Fig. 2)⁶⁾。

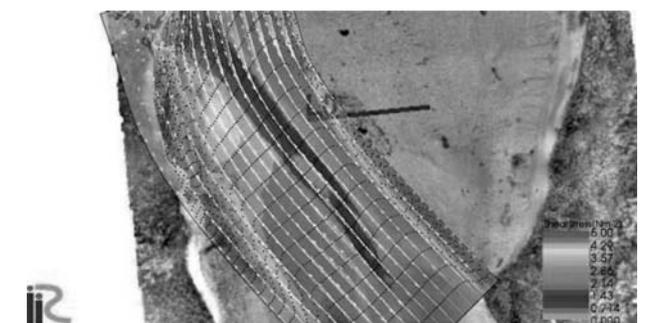


(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第 16 号 p. 46 から引用抜粋)

Fig. 2 DSM を用いた粒径分布の計測例

3.4 2 次元河床変動シミュレーションによる計測

洪水時に浸食される砂礫堆の土砂堆積変動は、土砂環境として重要であるものの、従来は定量化が難しかった。しかし、近年では RTK ドローンで 3 次元測量した結果を DEM (Digital Elevation Model) データ化すると、河川のシミュレーションソフトウェアである iRIC の Nays2DH により 2 次元河床変動シミュレーションを容易に実施することができる⁷⁾。Nays2DH を使えば、シミュレーション上で、洪水時



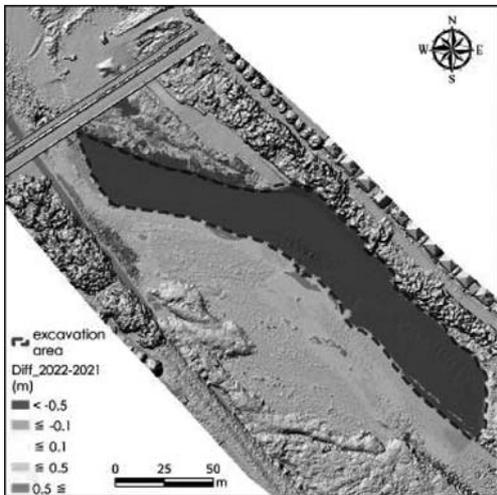
(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第 16 号 p. 40 から引用抜粋)

Fig. 3 iRIC Nays2DH による洪水時のせん断力のシミュレーションによる計測結果

に発生する流れの方位や水深、流速やせん断力の数値が計測可能である (Fig. 3)⁶⁾。さらに、河床の土砂の堆積変動を示す河床変動まで予測することができる。

3.5 河川の土砂体積量の推定

河川河道の3次元測量結果は時系列的差分をとれば、掘削などの事業前後の土砂変動の体積量を定量的に計測することができる。例えば、小倉ら (2024) によれば⁸⁾、希少種の生息場所を保全しつつ、河道土砂を掘削しなければならないような、変則的な地形の掘削時でも体積量が簡便に計測できると言及している。この事例では、掘削事業前と後に数十分のRTKドローンによる3次元地形測量することにより、既存の横断面20 m間隔測量と同レベルの精度で土砂体積量を推定している (Fig. 4)。

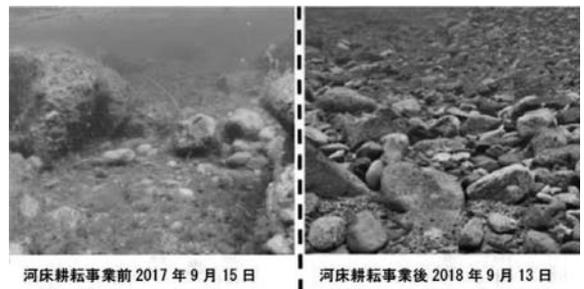


(小倉拓郎ほか (2024) 応用生態工学 26(2) p. 91 の Fig. 7 から引用抜粋)

Fig. 4 河川河道の掘削土砂体積量の計測結果

4. 水中カメラによる土砂環境の直接観察

河川、湖沼、海の土砂環境は実際に撮影確認しないとわからないことも多い。しかし、従来、水中カメラ撮影は各カメラ専用の重厚なハウジングが必要であるため簡便には用いられてこなかった。しかし、近年では、アクションカメラや防水カメラなど、安価に市販されていて、小さく軽量で丈夫でありながらも、4K以上の画質の良い撮影機器が増えてきた。そのため、定点観測など土砂環境を計測する際には、できる限り水中カメラ等で水中の状況についての写真データを残すことも重要である。例えば、河床耕うん前は土砂の動きが少ないためカワシオグサの付着が多い、しかし、河床耕うん後は、土砂が動きやすくカワシオグサの付着が非常に少なくなる。こうした河床や湖底の土砂に糸状藻類が繁茂している状態の比較についても、水中



(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第16号 p. 40 から引用抜粋)

Fig. 5 河床耕転事業前後の糸状藻類の繁茂の比較

写真データがあると比較が容易になる (Fig. 5)⁶⁾。

5. 河川地形や土砂環境学習におけるバーチャルリアリティー空間の利用

地震や洪水、津波など、大きな自然災害に対する生態系保全、河川管理や上下水道のリスクマネジメントのためには、河川流路や水源地や放流先の湖沼など、関連する流域全体の土砂環境や地形概況の知識を基盤として、災害対策する必要がある。ところが、災害が生じるような場所は直接行くには危険を伴う場合も多く、事前に俯瞰的な視点からの流域環境や土砂環境の概況を、視覚的に把握して学ぶことは難しかった。しかし、近年では360度全天球カメラが市販され、簡便に低コストでバーチャルリアリティー (VR) 空間を構築できるようになった。

山内ら (2023) によれば、スマートホンを用いたバーチャルリアリティー (VR) を活用した河川地形の学習法は没入感 (その場にいる感覚) を得られやすいと言及している (Fig. 6)⁹⁾。そのため、将来的には、上述の多種多地点の土砂環境に関する3次元データを、バーチャルリアリティー空間を組み込むことにより、リスクマネジメントすべき環境システム全体の概況を、関係者が共通して没入感をもって簡易に把握することができると考えられる。



(山内ら (2023) 新地理 Vol. 71, No. 2, p. 3 から引用抜粋)

Fig. 6 スマートホンを使ったバーチャルリアリティーによる河川地形の学習イメージ

6. 考 察

気候変動が穏やかならば、上水道水源、河川の流れや、下水道放流先の土砂環境は、バックグラウンドデータとして比較的固定化されたものとして考えることもできる。しかし、近年の気候変動や自然災害により、流域全域の土砂環境や地形はドラスティックな変動が生じる機会が増えてきた。こうした問題に対応するためには、水質や土砂環境の平時の状態の多地点の計測情報を、3D空間情報と連動させたデータベースを構築する必要がある。さらに、バーチャルリアリティー空間を活用して、平時から没入感をもって流域全域の環境概況を学習把握することにより、災害時に緊急対策に活用できるようにしておくことが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土形成計画（全国計画），国土交通省国土政策局（2023）
- 2) 国土地理院：航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル（案），国土交通省国土地理院（2019）
- 3) 箱石憲昭，福島雅紀，櫻井寿之：山地河道における河床材料調査法，土木技術資料，Vol. 53, No. 11, pp. 18-21（2011）
- 4) 水野敏明，小島永裕，東 善広，佐藤祐一，小倉拓郎，片山大輔，山中大輔，法理樹里，浅野悟史：政策課題研究2（6-PS2）在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書，第19号，pp. 38-61（2024）
- 5) 石塚直樹，岩崎亘典，坂本利弘，森下瑞貴：技術マニュアル「ドローンを用いたほ場計測マニュアル（不陸（凹凸）編改訂版）+（応用事例編）」，農業・食品産業技術総合研究機構#農業環境変動研究センター（2008）
- 6) 水野敏明，小島永裕，東 善広，佐藤祐一，北井 剛，浅野悟史，小倉拓郎，山中大輔：在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書，第16号，pp. 31-54（2019）
- 7) 清水康行，竹林洋史，井上卓也，濱木道大，岩崎理樹：iRIC Software Nays2DH Solver Manual Ver. 4, 2011 iRIC Project Nays2DH 開発チーム（2023）
- 8) 小倉拓郎，水野敏明，片山大輔，山中大輔，佐藤祐一：希少種の生息域に配慮した掘削事業におけるRTK-UAVを用いた掘削土砂量の推定，応用生態工学，Vol. 26, No. 2, pp. 85-94（2024）
- 9) 山内啓之，小倉拓郎，中村洋介，宋 佳麗，小口 高：地形教育のための空撮全天球画像を用いた教材の開発と評価，新地理，Vol. 71, No. 2, pp. 1-11（2023）