

3DスキャナやUAV-SfMで取得した3次元形状 データ解析による河床表層材料の粒度分布調査

電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部

気象・流体科学研究部門 山本亮介

鈴木準平

2023年度 河川技術に関するシンポジウム

研究の背景

- 河床材料調査(粒度分布の把握)の必要性
 - ダム通砂・排砂運用に伴う下流河川への土砂供給の影響把握
 - 河床変動計算に必要な諸条件(初期粒度分布, 河床粗度)の把握
 - 水生生物の生息・産卵環境の把握・評価
- 河床材料調査は現場もしくは室内での労力が大きい
 - 容積サンプリング法 … 直接採取, ふるい分析作業
 - 表面サンプリング法
 - 面積格子法・線格子法 … 粒子径の実計測作業
 - 写真撮影法 … 砂礫画像から砂礫の輪郭を判別し, 粒径や面積を把握する作業
- 労力少なく広範囲で多くの地点を調査できれば, 河床変動・河川生態系の状況理解が大きく進む

研究の目的

● 写真撮影法

- 目視・手作業での砂礫の輪郭判別は労力大
- 自動解析ソフトの多くは、砂礫の縁にできる陰を元に個々の砂礫の輪郭を判別・切り分け
- 砂礫形状や構成比，使用する撮影機材，撮影日の天候や時間帯等の条件等によって変わる多種多様な入力画像を一律のパラメータ設定で自動解析することは難しい
- 広範囲・多地点の調査には少なからず室内での労力が必要

本研究の目的

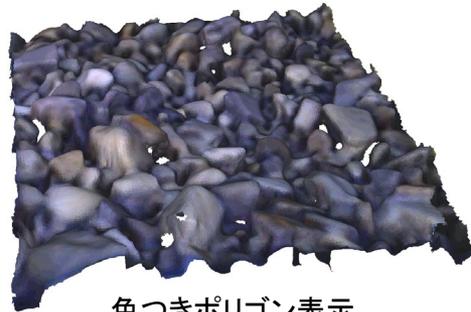
河床表層材料の写真画像に代えて、3次元形状データに着目し、労力少なく粒度分布を自動算出するための手法を構築し検証する

3次元形状データ

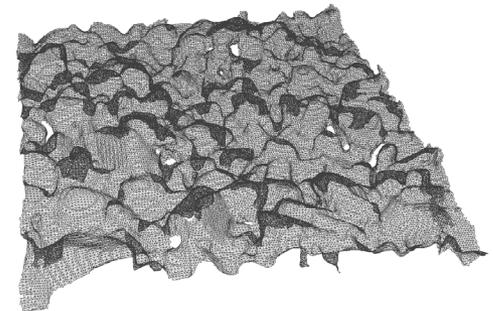
- 物体の3次元形状を三角形ポリゴンで表現
- 3Dスキャナ等を用いて，熟練した作業者でなくとも，少ない労力で比較的容易に均質なデータを取得することができる
 - 最近ではiPhoneにもLiDARスキャナ搭載機があり，身近なものに
- UAVを利用したSfM (Structure from Motion)写真測量でも取得可能
 - 工夫すれば河床材料の広域調査への応用も期待できる
- 本研究では，河床表層材料の3次元形状データから個々の砂礫粒子を自動抽出し，その粒径や面積から粒度分布を算出



使用したハンディ3Dスキャナ



色つきポリゴン表示



ワイヤーフレーム表示(約110万ポリゴン)

3Dスキャナで得られた河床表層の3次元形状データの例(約0.4m四方)

粒度分布解析アルゴリズムの概要

多くの機器やシステムで採用されている3次元形状の標準フォーマットデータ(STL形式)を直接読み込み自動解析するプログラムを作成

(0) データの前処理

- 各セルの面積や隣り合うセル情報等を算出しておく

(1) 探査面の設置と下方への移動

- z軸上方に探査面を設置し微量ずつ下方へ移動

(2) 接触したセルへのID付与

- 構成する全ての三角メッシュに対して探査面との接触の有無を調べる
- 接触したセルに個々の砂礫固有のIDを付与

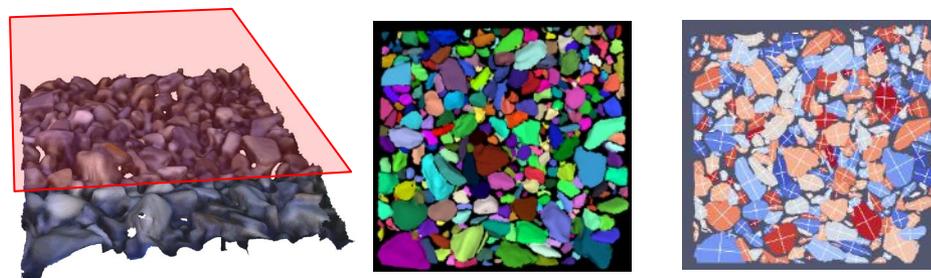
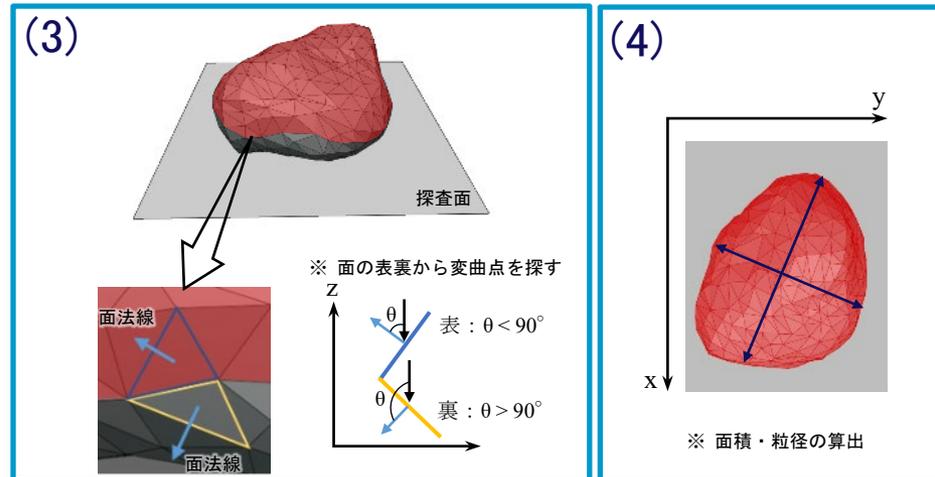
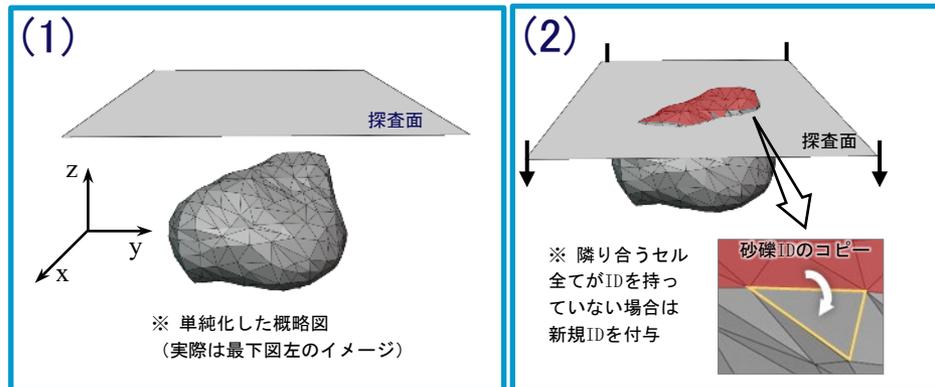
(3) 砂礫境界セルの判定

- 面法線の向きから変曲点を探す
- 補助的に色情報も使用

(4) XY平面への投影と長短軸の算出

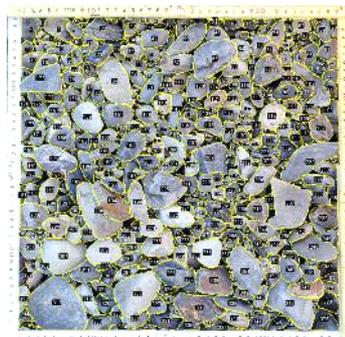
- 同一IDのセルをグループ化
- 明らかに砂礫で無いと推定されるものを除去(木の枝, 植物, 形状係数や色情報から)
- XY平面へ投影し長短軸を算出・粒径を決定

(5) 粒度分布の算出

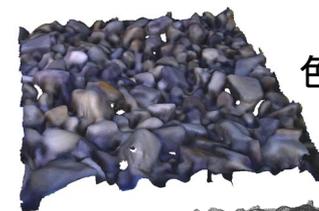


3Dスキャナデータを使った粒度分布解析 ①

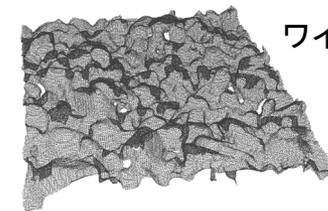
- 現地河川でハンディ3Dスキャナによる河床表層材料のスキャンと写真撮影，ふるい分析を実施(0.4m四方領域3地点)
- 本手法と写真撮影法，ふるい分析の結果を比較
 - 写真撮影法による分析 … 汎用画像処理ソフトウェアImageJに読み込み，目視・手作業で輪郭を判別後，ソフトウェアの機能を用いて粒子面積と粒径を分析
 - ふるい分析 … 細礫も含め可能な限り表面に露出した砂礫のみを採取し，ふるいを通過する質量から粒度分布を算出



計測対象領域の静止画像(左)とImageJによる解析(右)
(地点A1)



色つきポリゴン表示

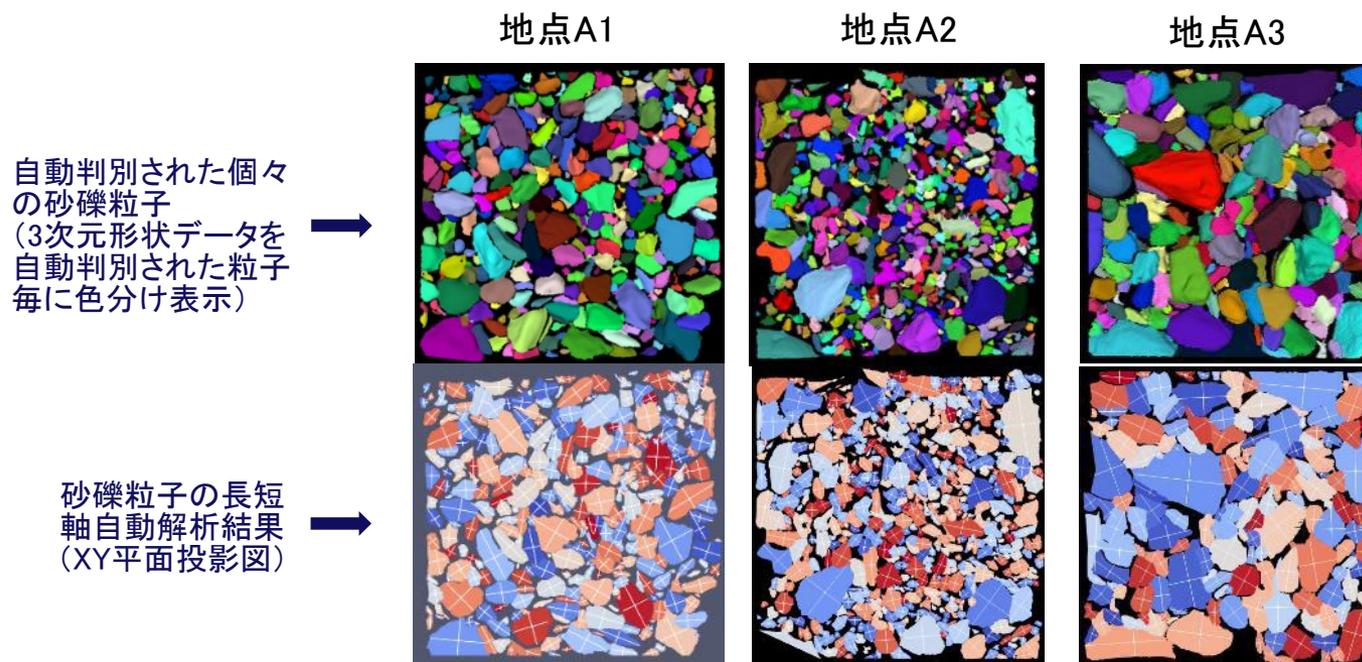


ワイヤーフレーム表示

計測対象領域の3次元形状データ(地点A1)

3Dスキャナデータを使った粒度分布解析 ②

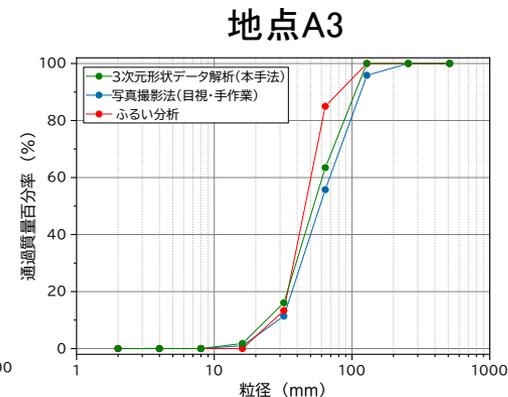
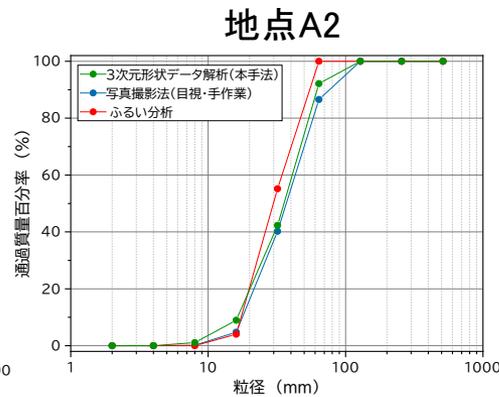
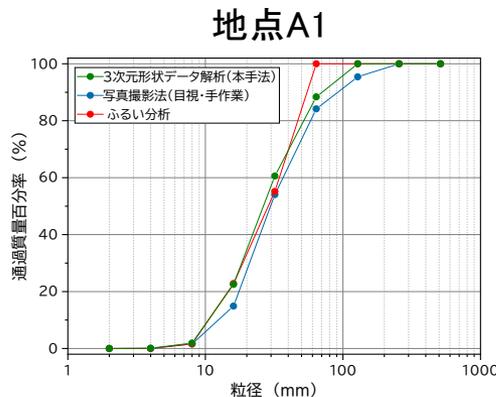
- 本手法による3次元形状データ解析能力の確認
 - 3次元形状データは，表層砂礫の表面形状をよく再現している
 - 上方からスキャンするため，砂礫裏側近い部分では，形状が正確に再現できていない部分もある
 - 本解析手法を用いて，3Dスキャナで取得した3次元形状データから個々の砂礫を比較的良く自動的に判別・抽出できている
 - 個々の砂礫の長短軸についても，おおよそ妥当に自動算出できている



3Dスキャナデータを使った粒度分布解析 ③

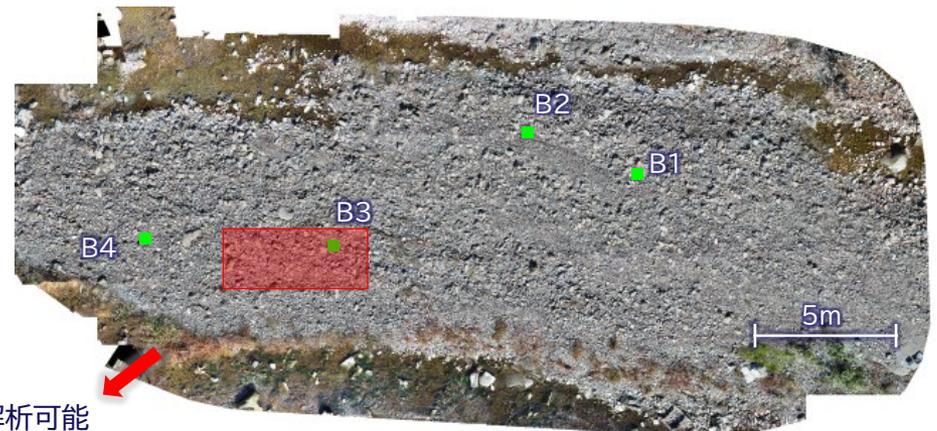
● 粒径加積曲線の比較

- 本手法(3Dスキャナデータ)と写真測定法, ふるい分析
- 各地点共, 本手法および写真測定法の解析結果は おおよそ一致, ふるい分析結果は若干異なる傾向
 - 写真撮影や3Dスキャナでは重なり合った砂礫形状を正確に把握できない事や計測原理の違いを考慮すると, 比較的良く一致していると言える
 - ここでの ふるい分析は, 表面に露出した砂礫のみを採取し, 下層に隠れた砂礫の採取は対象外とした為, 一般的な容積サンプリング法の手順に沿っていない
- 河床表層材料の粒径加積曲線を得るために本手法で必要な労力
 - 現地作業 … 3Dスキャナによるスキャン⇒ 一地点約10秒(約0.4m四方)
 - 室内作業 … スキャンしたデータの自動解析⇒ 粒度分布の算出まで数分



UAV-SfM測量データを使った粒度分布解析 ①

- 広域調査への適用を見据え、河川湾曲部の砂州上約30m × 10mの領域をUAV-SfM測量し、3次元形状データを取得
- 高解像度データを取得するために、軽量小型UAVを超低空（高度約2m）で自動飛行
- 領域内の4地点では、比較用にハンディ3Dスキャナによるスキャンと写真撮影を実施（0.4m四方の領域）



任意領域の粒度分布を解析可能



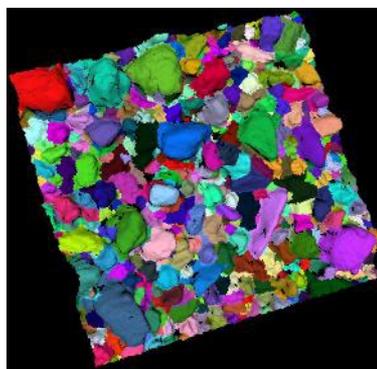
およその低飛行UAV-SfM測量範囲（オルソ画像）

UAV-SfM測量データを使った粒度分布解析 ②

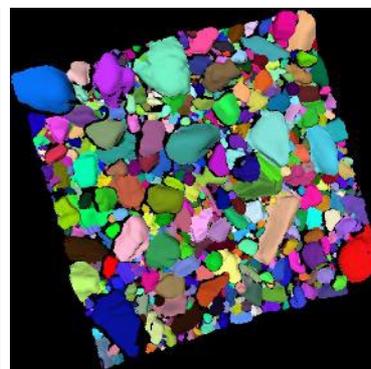
- UAV-SfM測量で取得した3次元形状データ
 - 広域空撮画像から生成した河床表層材料の3次元形状データ(UAV-SfMデータ)は、個々の礫形状を判別可能な程度に形状を再現できている
 - ハンディ3Dスキャナで直接取得した3次元形状データと比較すると、細粒径の礫形状が実際よりも鋭角部の少ない鈍った形状となっている。(細粒径砂礫の再現度の低下⇒砂礫自動抽出時に誤判別増)
 - 3Dスキャナデータにおいても、粗礫と粗礫の隙間に存在する中・細礫の形状の再現度はやや低い



(B1地点 デジカメ写真)



(B1地点 UAV-SfMデータ)



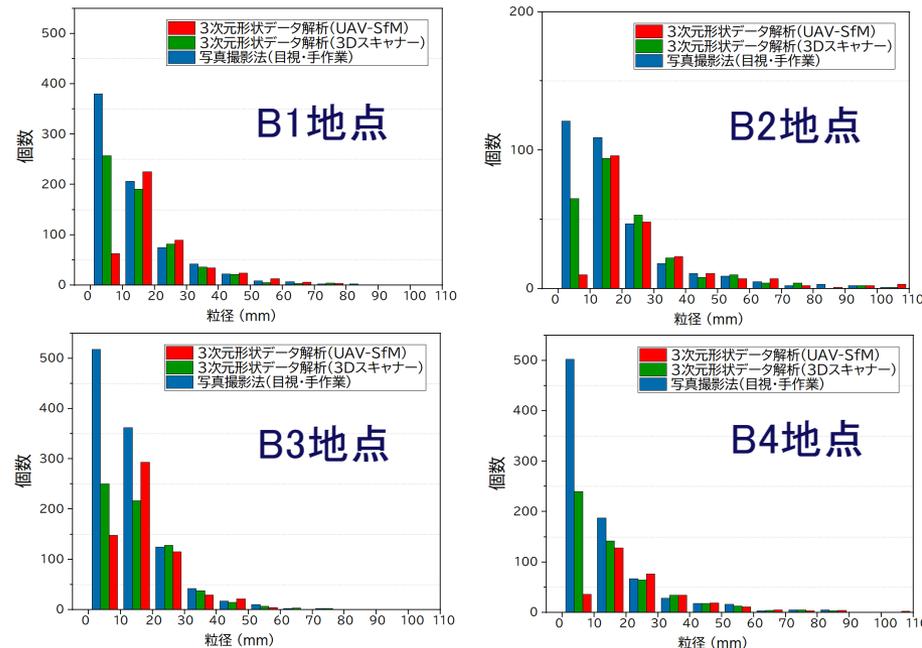
(B1地点 3Dスキャナデータ)

3次元形状データ(砂礫の自動抽出結果)

UAV-SfM測量データを使った粒度分布解析 ③

● 解析で得られた粒径分布ヒストグラム

- UAV-SfMデータおよび3Dスキャナデータを本手法で解析した結果は、自動判別された20mm以下の礫数が写真測定法の結果よりも少ない
- 特に、UAV-SfMデータの解析結果では、10mm以下の礫数が大幅に少なくなっている。(入力した形状データの再現度が大きく影響)
- 今回入力した3次元形状データでの解析では、おおよそ20mm以下の細礫の計測に限界がある



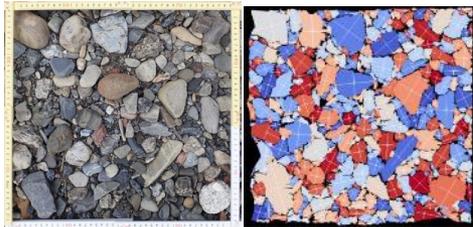
抽出された各粒径階の砂礫数

UAV-SfM測量データを使った粒度分布解析 ④

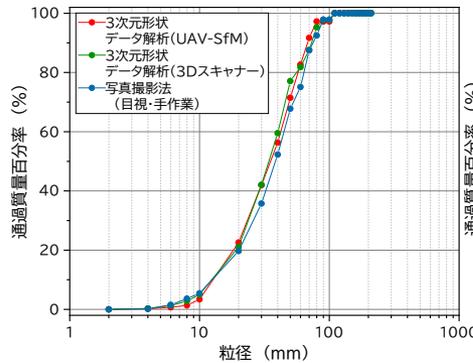
● 粒径加積曲線の比較

- 本手法(UAV-SfMデータ, 3Dスキャナデータ)と写真測定法
- 細礫の誤判別はあるものの, これらが構成材料全体に占める面積割合は少なく, 累加曲線でみると写真測定法による結果と比較的良く一致する

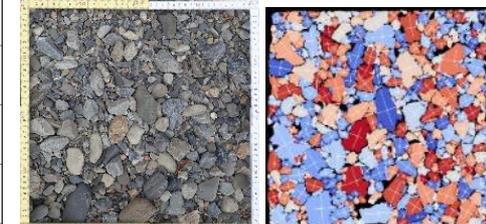
B1地点



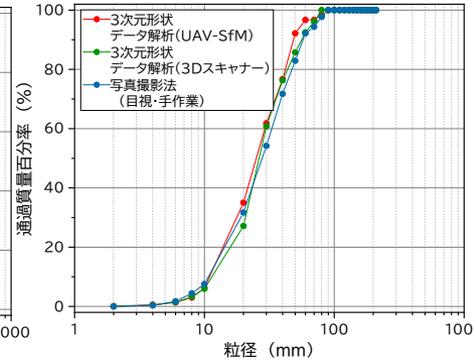
UAV-SfMデータ
解析結果



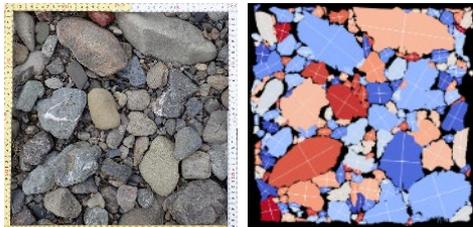
B2地点



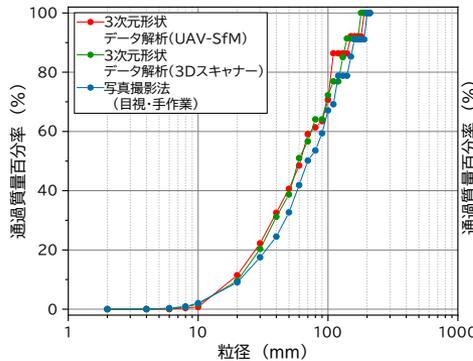
UAV-SfMデータ
解析結果



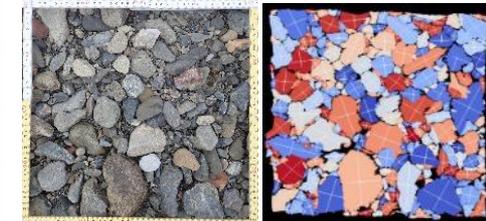
B3地点



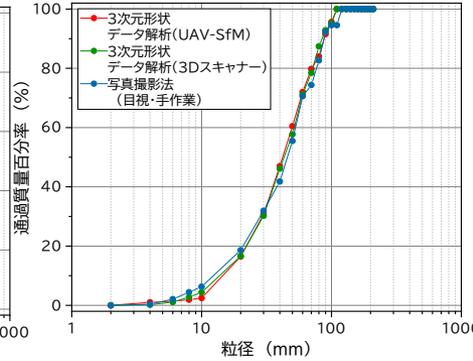
UAV-SfMデータ
解析結果



B4地点



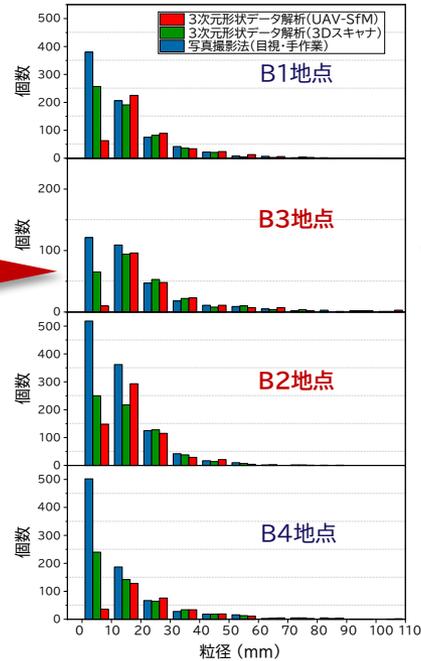
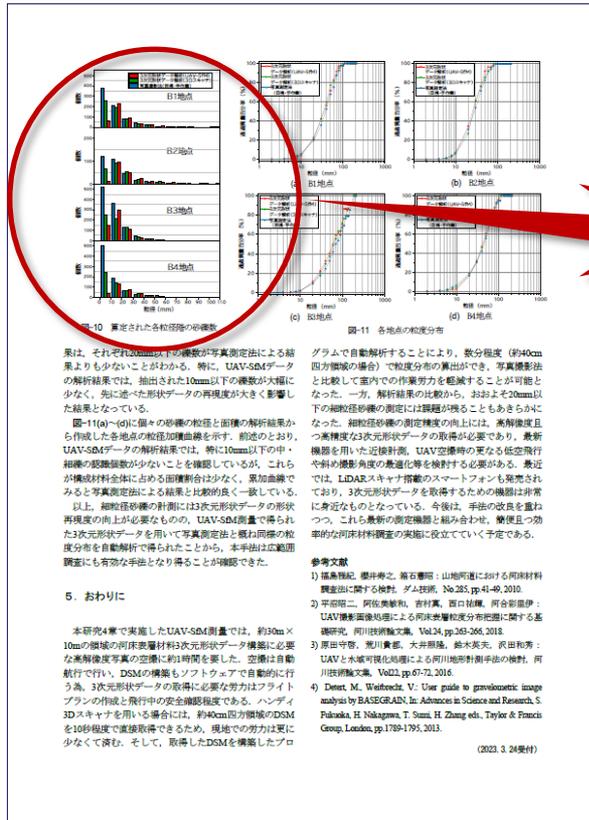
UAV-SfMデータ
解析結果



まとめ

- 本研究で構築した3次元形状データ解析による粒度分布調査手法を用いて、写真測定法と概ね同様の粒径加積曲線を得られることを確認した
- 3次元形状データを自動解析する事により、室内での作業労力を軽減することが可能となった
- おおよそ20mm以下の細粒径砂礫の測定には限界があることも明らかになったが、これは3次元形状を高精度で測定可能な最新機器・手法を用いることで改善できる可能性がある
- UAV-SfM測量で得たデータからも写真測定法と概ね同様の粒度分布を得られたことから、本手法は広範囲を対象とした調査にも有効なものになり得る

● 原稿最終頁 図-10



B2地点, B3地点の図が逆になっていました。申し訳ございません。

参考文献

- 1) 稲島雅紀, 藤井博之, 第五審判: 山地河川に於ける河床材料調査法に関する検討, ダム技術, No.285, pp.41-49, 2010.
- 2) 平田昭二, 阿佐典敏和, 吉村真, 西口結雄, 河合彰彦伊, UAV撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎研究, 河川技術論文集, Vol.34, pp.243-266, 2018.
- 3) 原田守啓, 荒川貴都, 大井朝雄, 鈴木英夫, 沢田和秀: UAVと水城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, Vol.21, pp.67-72, 2016.
- 4) Damer, M., Watanabe, Y., Uwe guide to photogrammetric image analysis by BASEGRAIN. In: Advances in Science and Research, S. Fukuda, H. Nakagawa, T. Saito, H. Zhang eds., Taylor & Francis Group, London, pp.1789-1795, 2013.

(2023.3.24発行)