

## UAV-SfMに基づく河床材料粒径分布推定式の適用性の検証

京都大学工学研究科 ○伊波賢功

京都大学防災研究所 山野井一輝, 中谷加奈, 高山翔揮

## 1. はじめに

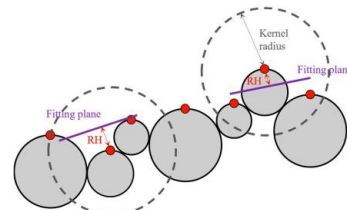
河床材料の粒度分布を把握することは、流砂量の推定や河床変動の分析において重要である。本研究の対象とする岐阜県足洗谷流域は、凍結融解に伴う土砂生産が活発であり、河床材料の時空間変動が大きい。このような流域では高頻度かつ面的な粒度分布観測を行うことが重要であるが、急峻な地形のため、従来法(人力でのサンプリング)による多地点の河床材料調査には膨大な労力が必要である。このため、UAVを用いた高頻度かつ面的な河床材料粒径分布調査手法の確立が期待される。

今までに、粒度分布の調査作業の効率化を図るため、サンプリングを行わずに粒度を推定する手法が提案されてきた。Vazquez-Tarrioら<sup>1)</sup>は、図1に示すように、ある点を中心とした一定半径(Kernel半径)内の平均的な平面からの距離である、粗度高さ $rh$ (Roughness Height)と実測の粒径 $D_{50}$ の間に強い相関があることを示し、 $rh$ による粒度分布推定式を用いた手法を提案した。しかし、推定式のフィッティングを行うためには、多くの粒度データが必要となり、広範囲での適用は難しい。そこで、本研究では画像解析により広範囲の粒度データを入手し、回帰モデルの推定を行う手法を考えた。

本研究では、UAV空撮画像から得られる画像解析による粒径データと、SfMにより構築された3次元点群データから得られる表面粗度との相関関係を分析した。これにより、粗度パラメータから粒径を推定する回帰モデルを構築し、足洗谷流域全体における河床材料粒径分布の空間的推定手法を確立し、その適用性を検討することを目的とする。

## 2. 解析手法

調査対象地域は、足洗谷流域の上流に位置する白水谷(S)、黒谷(K)、および下流の地獄平(Z)の計3地点である。上流の2地点では、白水谷は火山岩類、黒谷は蛇紋岩など、谷ごとに異なる地質特性を持つ。本研究では2025年10月20日から23日の間にUAVを用いて地表から6~8m、同じ地点が10回以上写るように撮影を行った。撮影画像からSfMを用いて得た点群データからオルソ画像を作成し、2m四方のグリッドを各地点の複数個所で抜き出した。その結果、解像度は2.6~4.9mm/pixとなった。まずは、得られた点群データから算出した $rh$ のグリッド内で、Kernel半径を0.02, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 0.70mの6パターンで、統計量(平均値, 中央値, 標準偏差, 最大値, グリッド内の $rh$ の値がとった範囲)である粗度パラメータ $X$ を得た。また、Detert, Weitbrechtによって開発されたBASE GRAINというデジタル画像から河床材料の粒度分布を自動で推定するソフトを用いてグリッドごとに河床表面の礫の粒径を算出し、 $D_{10}$ ~ $D_{90}$ までの質量通過10%毎の粒径である粒径パラメータ $D$ を得た。そして、モデルのパラメータを確率分布として扱うことで予測の不確かさの推定を可能にするベイズ単回帰分析を行った。また、 $D$ を目的変数、 $X$ を説明変数として線形回帰式と両対数回帰式の両方で分析を行った。最後に、得られた決定係数 $R^2$ を比較することで、最も予測性能の高いパラメータとモデル式の選定を試みた。

図1 Kernel半径のイメージ図 (Jan et al., 2025<sup>2)</sup>)

## 3. 結果と考察

粗度パラメータを変えながらベイズ推定の単回帰分析を行い、 $D_{10}$ ~ $D_{90}$ の粒径の回帰モデルを作成した結果を示す。以下では予測性能が比較的高い、Kernel半径が0.50mの、中央値が粗度パラメータである回帰モデルに焦点を当てる。図2に粒径値を求める回帰モデルのグラフを、表3に $R^2$ の値を示す。全体的な傾向としては回帰モデルの式の傾きは、白水谷、地獄平、黒谷の順に急になるという一貫した傾向を示した。 $D_{50}$ と $D_{70}$ では白水谷と地獄平では $R^2$ の値は0.54を超えたが黒谷では0.37以下となった。 $D_{30}$ では白水谷のみ $R^2$ に強い相関が現れた。全体として、白水谷では線形式の正の相関が強く、黒谷と地獄平では線形式よりも両対数の式の相関が強いという結果になった。巨礫の細粒分への埋没や、角が残っているかといった礫の形状による礫同士の噛み合わせといった河床条件が相関の強さに影響を及ぼすと考察される。

図3は白水谷と地獄平の粗度パラメータに対して $D_{50}$ の粒径値を推定する回帰モデルを適用した結果である。ここでも、粗度パラメータはKernel半径が0.5mで、中央値が粗度パラメータである。巨礫が集積している地点は暖色系の色が、細粒分が集まる地点では寒色系の色が確認されたため、推定結果は実際の粒度分布に近い傾向を表した。

表2にある地点のデータによって推定された回帰式を他の地点に適用した結果を示す。粒径の幅が広い白水谷のモデルは他の地点に適用してもある程度の相関関係は示された一方、黒谷や地獄平のモデルの転用性は限定的である。このことから、礫の埋没や露出といった河床状態が異なる条件ではモデルの多地点への適用には限界があることが示された。

## 4. 結論

本研究では、UAV空撮画像と画像解析により得られる粒径データと、SfMにより構築された3次元点群データから得られる表面粗度との相関関係を分析した。その結果、Kernel半径が0.5mで中央値が粗度パラメータであるとき河床条件次第で粒径との相関がみられた。また、回帰モデルの推定結果は実際の粒度分布に近い傾向を表し、従来の手法に比して短時間で広範囲の推定を行うことができた。今後は、サンプル数の拡充による精度向上や、得られた面的な粒度分布データを用いた数値シミュレーションを実施する。

参考文献

- 1) Daniel Vázquez-Tarrío, Laurent Borgniet, Frédéric Liébault, Alain Recking: Using UAS optical imagery and SfM photogrammetry to characterize the surface grain size of gravel bars in a braided river (Vénéon River, French Alps), *Geomorphology*, Volume 285, 94-105, 2017
- 2) Chyan-Deng Jan, Tung-Yang Lai, Kuan-Chung Lai: Characterizing the Surface Grain Size Distribution in a Gravel-Bed River Using UAV Optical Imagery and SfM Photogrammetry, *Remote Sensing*, Vol. 17, Iss. 23, 3890, 2025

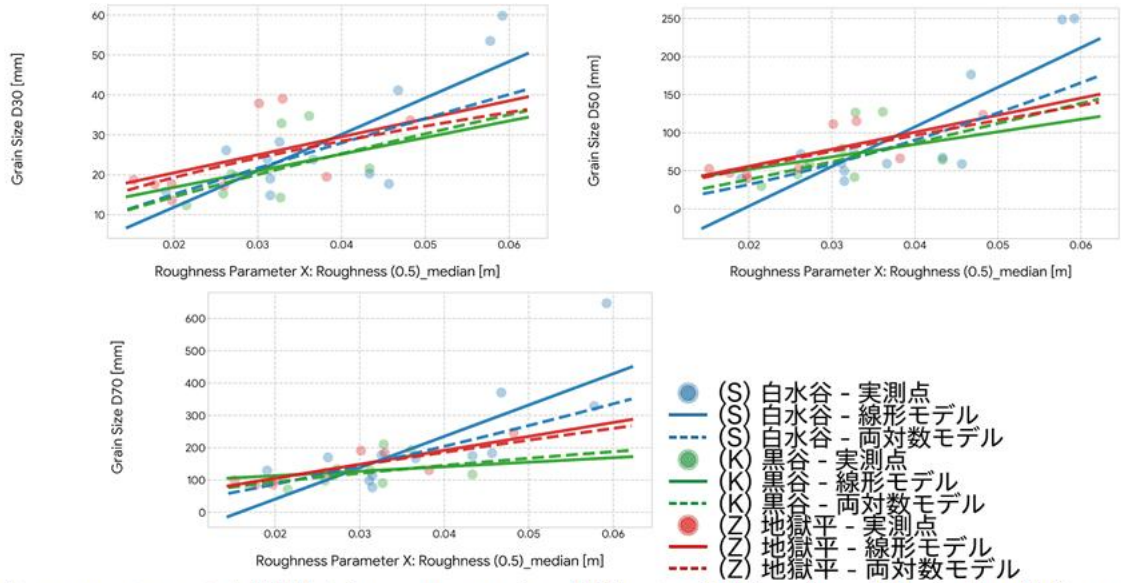


図 2 粗度パラメータ X と実測粒径 ( $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{70}$ ) の相関および回帰モデルの比較 (x軸は粗度パラメータ X を, y軸は粒径 D である).

表 1 決定係数の値

R2	S-線形	S-両対数	K-線形	K-両対数	Z-線形	Z-両対数
D30	0.63	0.49	0.24	0.35	0.37	0.42
D50	0.71	0.62	0.20	0.37	0.61	0.63
D70	0.62	0.54	0.13	0.27	0.76	0.76

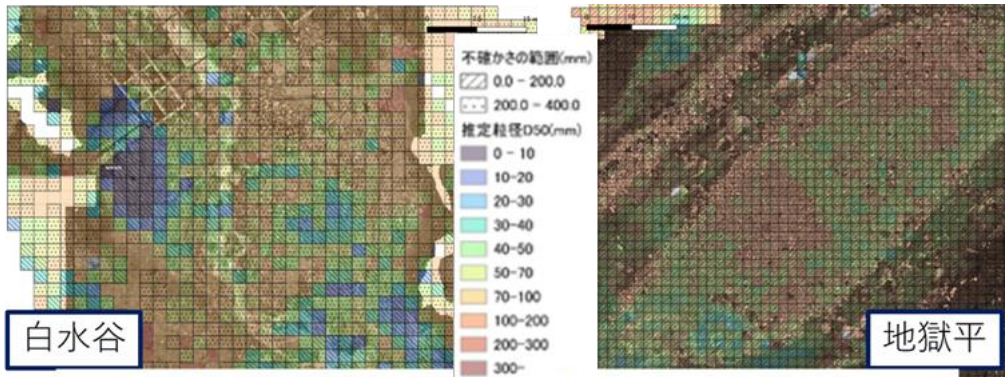


図 3 白水谷と地獄平において回帰モデルを適用した結果

表 2 回帰モデルを他の谷に適用したときの決定係数. S は白水谷, K は黒谷, Z は地獄平を示し, 例えば S-K においては黒谷(K)の回帰モデルを白水谷(S)の BASE GRAIN の結果に適用したという意味であり, 0.4 以上を赤, 0 以下を青で色付けしている.

Matrix	S-S	S-K	S-Z	K-S	K-K	K-Z	Z-S	Z-K	Z-Z
D10	0.62	0.24	0.31	-8.12	0.47	-0.06	-4.03	-0.22	0.42
D20	0.56	0.21	0.23	-3.43	0.47	0.02	-2.04	-0.15	0.42
D30	0.63	0.43	0.39	0.21	0.51	-0.03	-0.06	-0.24	0.42
D40	0.59	0.45	0.40	0.13	0.47	0.13	-0.82	-0.45	0.48
D50	0.71	0.45	0.45	-0.05	0.52	0.13	-1.06	-0.15	0.63
D60	0.59	0.16	0.38	0.26	0.56	-0.01	0.07	0.13	0.77
D70	0.54	-0.23	0.45	-0.03	0.51	-0.06	0.57	0.14	0.76
D80	0.33	0.10	0.27	-1.96	0.52	-0.28	0.44	0.09	0.69
D90	0.30	-0.20	0.16	-2.18	0.54	-0.47	0.43	-0.11	0.58