

デジタルカメラ画像による河床形状の 三次元計測と粗度係数の特徴

石嶺好作

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年、河川流量の減少は生態系や社会生活に影響を及ぼす重要な課題となっている。過剰な森林の繁茂は降雨時の流出を抑制する一方、水源涵養機能により渇水期の流量維持に寄与するとされている。これまで写真測量を用いた流量観測が行われてきたが、推定流量は、粗度係数の値に依存することが課題として残されている。そこで本研究では、写真測量を用いた流量観測の高度化を目的とし、河床の三次元データから粗度係数を推定する手法を検討した。山間部小規模河川である藤ヶ谷流域内の舞川で写真測量による6地点での三次元データを取得した。その結果、フーリエ解析により河床形状の特徴を捉えることができた。10%粒径と粗度係数との間に0.6程度の弱い相関が得られた。

key words : 写真測量, 点群, 粗度係数, フーリエ解析

1. はじめに

近年、UAV（無人航空機）やLiDAR（光学的測距技術）を用いた森林観測および河川流量計測技術が発展し、画像計測やレーザー測量を用いた非接触型の流量推定手法が提案されている [1]。しかし、これらの手法は主に中規模から大規模河川を対象としており、水深が浅く河道幅の狭い山間部の小規模河川においては、計測精度や運用面の制約から適用が困難であるという課題がある。

写真測量において用いられている SfM (Structure from Motion) は、多視点から撮影したデジタルカメラ画像を用いて三次元点群データを生成する手法である。笹岡 [2] は、小規模河川における SfM を用いた流量観測の有効性について評価した。後入川を対象にし、マンニングの粗度係数に $0.100[m^{-1/3}/s]$ を固定値として使用した結果、実測値と SfM による推定値との間で相対的に高い相関が得られた。次に中田 [3] は、複数の河川を対象に SfM を用いた流量観測の有効性について評価した。その結果マンニングの粗度係数を固定値として使用した場合、実測値との差が大きくなることが判明した。

本研究の目的は、デジタルカメラ画像から得られる

河床形状の三次元計測を行い、粗度係数との関係性を評価し、粗度係数を推定する手法を検討することである。

2. 観測エリア

観測フィールドとして、香美市と香南市の境界に位置する藤ヶ谷流域内の舞川を選定した。この河川は人工林に囲まれ、河川と森林の関係性を評価するのに適している。また、山間部の小規模河川における SfM を用いた非接触型の流量観測手法の有効性を検証する対象としても適している。

観測地点は6地点設定した(図1)。なお、観測日は水位の安定している渇水期に焦点を当て、12月～1月とした。

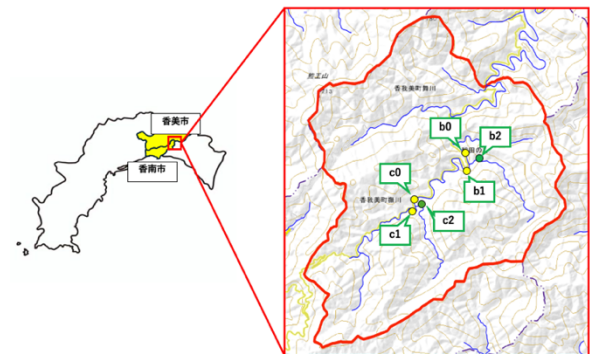


図1 観測フィールド

3. 流量観測による粗度係数の導出

3.1 流速計を用いた区分求積法

本研究における粗度係数の導出は、可搬式流速計を用いた区分求積法を採用した。可搬式流速計は KENEK VR-301 を使用した(図 2)。区分求積法は河川規模に応じて測線を区分し、各区分点にて水深、流速を計測後、水深と川幅より断面積を求める。区分断面積に流速を乗じて流量に変換するといった手法である。舞川での区分求積法は川幅を 10 分割し、水面から水深の 6 割の位置で流速を計測する 1 点法を用いた(図 3)。式(1)は、区分求積法による流量算出式である。



図 2 可搬式流速計(KENEK VR-301)と実測風景

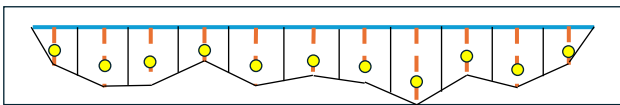


図 3 区分求積法

$$Q = \sum A_i V_i \quad \text{---(1)}$$

Q : 流量(m³/s) V : 流速(m/s) A : 断面積(m²)

3.2 マニング式による粗度係数の逆算

粗度係数導出のために必要な要素である流速、平均水深、水面勾配を水準測量で取得し、それらのデータを用いて水理学の代表的な式であるマニング式(2)での粗度係数導出を行った。

$$v = \frac{1}{n} \cdot h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \text{---(2)}$$

v : 平均流速(m/s) n : 粗度係数(m^{1/3}s)

h : 平均水深(m) I : 水面勾配

導出した粗度係数の値を用いて、各観測地点での粗度係数の比較を行った(図 4)。2025 年 1 月 13 日の c2 地点は測線付近で渦流が発生していたため粗度係数が実際より大きく出たと思われる。そのため、今回の解析では外れ値として除外した。

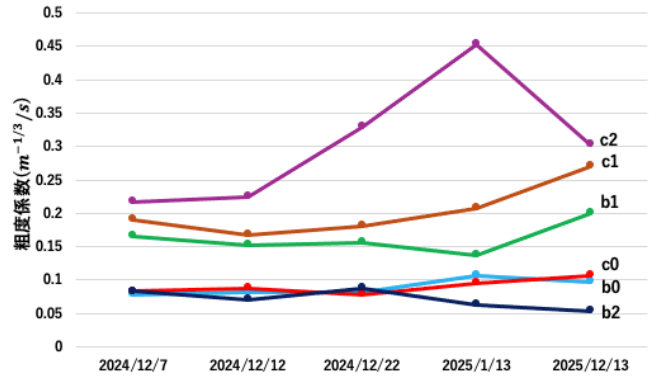


図 4 各地点の粗度係数

4. デジタルカメラ画像を用いた河床形状の三次元計測

観測地点の点群作成に使用したカメラは、DJI 社のアクションカメラである DJI Pocket2, Osmo Action6 を使用した(図 5)。幾何補正の基準点は、トータルステーションでの基準点測量を行い、各河川に 3~4 点設置した。撮影は広範囲を撮るためにアクションカメラを撮影棒の先端に取り付け、高さ 2m~3m の位置から川際を沿うように行った(図 6)。撮影は動画で行い、動画を 1 秒ごとに切り取り画像化し、点群の作成を行った(図 7)。



図 5 使用カメラ左(DJI Pocket2), 右(Action6)



図6 撮影風景



図7 SfMで作成した点群

5 デジタルカメラ画像を用いた河床形状推定

SfMによって作成した点群から断面図と0.5cmグリッドの数値標高モデルを作成し河床形状を取得する(図8)。その後、フーリエ解析による画像解析を行い各河川での波長成分と実測により得た粗度係数との比較を行い画像から粗度係数の推定を行う。なお、b2地点ではSfMにより作成した点群は欠測が多く解析が困難であるため解析対象から外した。

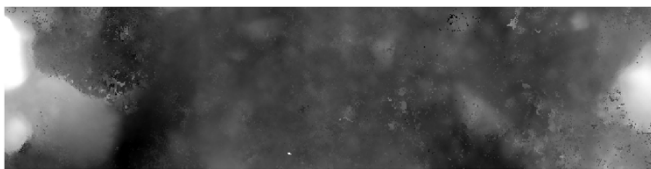


図8 点群データから作成した数値標高モデル

5.1 フーリエ解析による河床形状解析

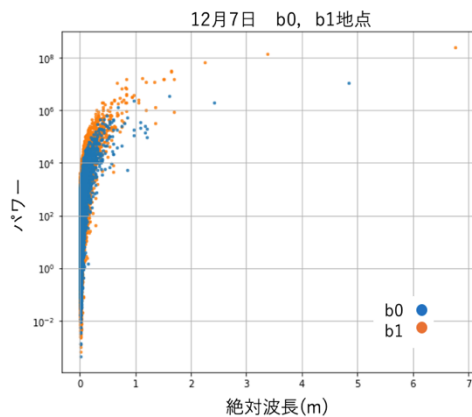


図9 フーリエ解析によるパワースペクトル

図9は、b0, b1においてSfMにより作成した数値標高モデルをフーリエ解析し、波長をX軸、パワーをY軸にしたものである。b1はb0よりも上流に位置しており大きな石が多いためb0に比べ長い波長が多い。

図10は12月7日の各観測地点におけるフーリエ解析で得た絶対波長を横軸とした累積パワースペクトルである。

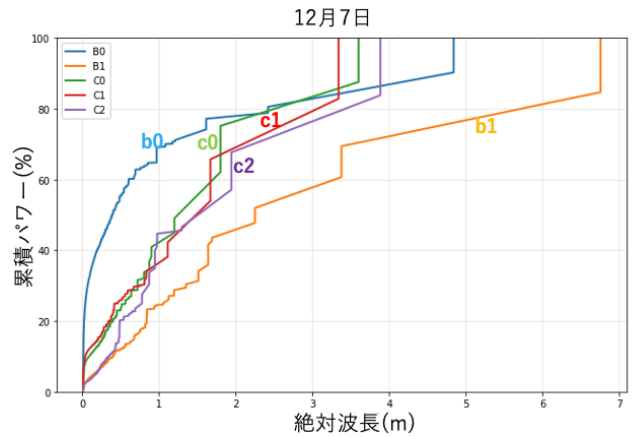


図10 各地点の累積パワースペクトル

粗度係数は河床形状の実寸スケールそのものよりも、流路幅に対する相対的な凹凸スケールに強く影響を受けると思われるため、フーリエ解析で得た波長を川幅で割った相対波長を用いて解析を行う(図11)。

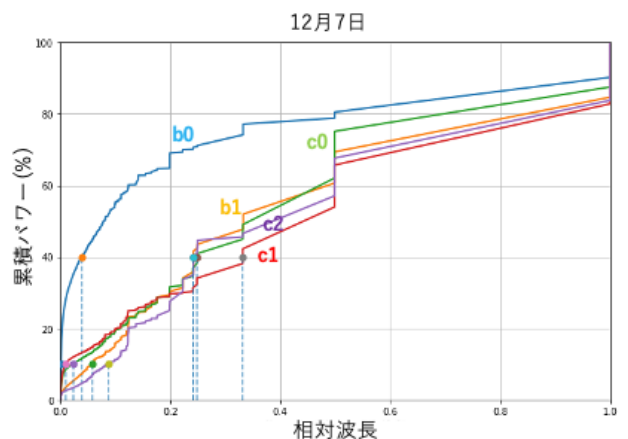


図11 相対波長を横軸とした累積パワースペクトル

図11より、どの観測地点も累積パワー60%以上ではb0を除いて河床形状の特徴を読み取れなかったため累積パワー10%, 40%での波長を用い、その波長をそれぞれD10, D40と呼ぶ。

5.2 粗度係数と河床形状の関係

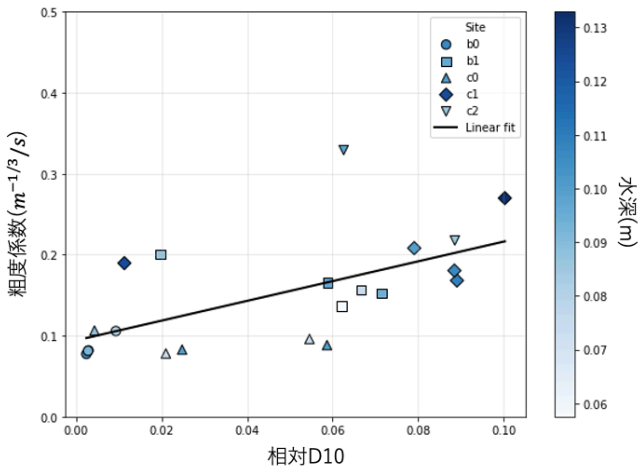


図 12 粗度係数と相対波長 D10 の関係

図 12 は相対波長 D10 を横軸、粗度係数を縦軸とした散布図である。相関係数 $r=0.60$ と正の相関が得られた。

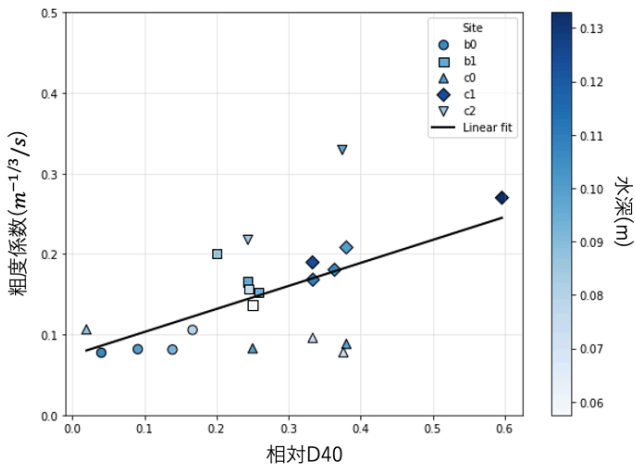


図 13 粗度係数と相対波長 D40 の関係

図 13 は相対波長 D40 を横軸、粗度係数を縦軸とした散布図である。相関係数は $r=0.55$ と D10 と変わらない結果となった。

次に、土質力学で用いられる粒径加積曲線から均等係数を求める要領で、フーリエ解析から得た累積パワースペクトルから式(3)より均等係数を求め、縦軸を粗度係数、横軸を均等係数とし散布図(図 14)を作成し相関を見た。

$$\text{均等係数} = \frac{D40}{D10} \quad (3)$$

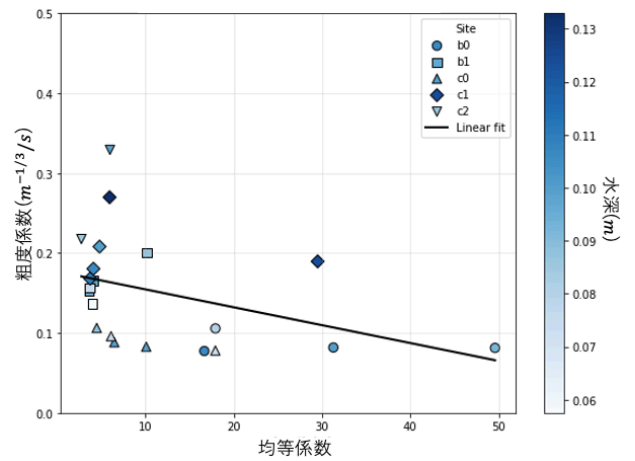


図 14 粗度係数と均等係数の関係

相関係数 $r=-0.39$ と高い相関は得られなかった。これは、b0 を除く地点の粒径が同じような状態であったことによると思われる。

6. おわりに

本研究では、デジタルカメラ画像を用いた河床形状の三次元測量を行い、得られた河床形状と粗度係数との関係について評価した。フーリエ解析により算出したパワースペクトルから、河床形状の特徴を捉えることができた。10%、40%粒径を指標として粗度係数と比較すると 0.5~0.6 の弱い相関が得られた。観測地点の多くは同じような河床形状であったことから、今後、特徴の異なる観測地点で同様の解析を行う必要がある。

参考文献

- [1] 林野庁, 高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き, p29, p43, 50
- [2] 笹岡南斗, 森林評価のための写真測量による河川流量推定, 高知工科大学大学院修士論文
- [3] 中田秀敏, 山間部小規模河川を対象とした写真測量による多地点流量観測, 高知工科大学卒業論文
- [4] 清水康生, 流量変動が河川環境の維持形成に果たす役割に関する研究, RIVERFRONT 人と川とのふれあいを求めて, p3, 1999 年
- [5] 独立行政法人森林総合研究所, 森林と水の謎を解く(2)間伐と水流出
- [6] 国土交通省, 調査編第 2 章 水文・水理観測第 4 節 流量観測 p15-20