# UAV 測量データを用いた畳み込みニューラルネットワークによる河床表層の粒度推定

(国研) 土木研究所 正会員 〇竹内大輝 正会員 中西哲

## 1. はじめに

河床材料調査は河川の特徴を知る上で欠かせない調 査の一つである.一般的な河床材料調査の方法には,任 意の直線状に存在する材料の粒径及び形を記録する線 格子法や,代表地点における最大礫径程度の格子点直 下に存在する材料の粒径を記録する面積格子法,一定 容積の材料をサンプリングし,ふるい分析によって粒 径分布を確認する容積法などがある.これらの方法は 調査に時間を要し,短時間に多くの箇所で調査を行う ことができないため,広域かつ面的な情報を取得する ことは困難である.

こうした課題を解決するため,無人航空機(UAV)や航 空機からの空撮写真を画像解析する手法<sup>例えば,1)</sup>や 3 次 元地形測量データを用いた手法<sup>例えば,2)</sup>が検討されてい る. Pearson et al.<sup>2)</sup>は数値標高モデル(DEM)の標準偏 差が代表粒径(D50)の推定精度向上に有効な情報とな ることを示唆した.しかし,いずれの方法においても広 域に渡る面的な粒径情報の取得はできていない.

そこで、本研究の目的は、UAVによる航空測量から 取得したオルソ画像と数値標高モデル(DEM)を用い、 2 次元情報の処理を得意とする畳みこみニューラルネ ットワーク(CNN)によって河床表層材料の粒径情報を 広域に渡り取得することである.2章で調査及び解析手 法を述べ、結果を3章に示し、4章にまとめを記す.

### 2. 調査及び解析手法

調査地点は長野県天竜川水系小渋川の小渋ダム直下 より約1.8km 地点の床固め工の直上における約200m× 100m の範囲である.調査は2018 年 8 月 6-9 日に行っ た.

#### (1) 面積格子法による調査

2mの格子内を 0.2m の格子で分割し,格子点直下の 礫の長軸,中軸,短軸を測って記録した.平均粒径は 3 軸の長さの相乗平均にて算出した(以下,面積格子法に よって求めた平均粒径を観測値とする).面積格子法に よる調査は図-1 中の sitel~site15 の 15 地点で行い,各 サイト 100 個の礫を採取した.

## (2) UAV による測量条件

撮影した画像の解像度は 2cm/pixel 以下,撮影高度は 地上 30m, ラップ率及びサイドラップ率は 60%以上で ある. オルソ画像及び 3 次元点群データを作成するに あたっては Structure from Motion(SfM)ベースの市販ソ フトウェアの一つである Pix4Dmapper を用いた.入力 したパラメータはデフォルト値を使用した.

#### (3) DEM

生成された 3 次元地形データにリアルタイムキネマ ティック(RTK)測量にて計測した標定点(GCP)の座標 (図-1)を与えて公共座標に変換した.点群データから DEM に変換するにあたっては,格子内の点の標高値を 平均したものをその格子の標高値とする手法を用いた. 格子の大きさは欠損値が生じず,できる限り小さな格 子とすることができた約 2cm とした.

#### (4) CNN モデル

河床表層に体積した砂礫の粒径を CNN によって推定 した.本手法では,入力データは彩度(S),輝度(V),横 断方向に正規化した標高,標高の移動標準偏差,標高の ラプラシアン,標高とその平滑化値の差,傾斜量の計7 種である.それぞれの入力データを 0.2m×0.2m のグリ ッド(10×10 pixs)に分割し,そのグリッドの中心に存在 する礫の粒径を推定する.隠れ層は 64 ノードからなる 2 層の構造とした. CNN には Tensorflow<sup>3)</sup>をバックエン ドで使用する Keras<sup>4)</sup>を使用し,活性化関数にはランプ 関数を用いた.

オルソ画像と DEM のそれぞれが河床表層材料の粒 径推定に与える影響を調べるため, P-model(入力: オル ソ画像から得られる S, V の 2 データ), D-model(入力: DEM から得られる 5 データ), B-model(入力: 全7 デー タ)の 3 つのモデルを作成した.入力データは絶対値の 大小が学習に影響を与えないよう平均値の差を標準偏 差で割り,平均を 0,標準偏差を1に正規化した.CNN や正規化手法の詳細は Takeuchi and Nakanishi<sup>5)</sup>を参照さ れたい.



図-1 作成したオルソ画像と面積格子法実施箇所及び GCP ポイント<sup>5)</sup>.

表-1 P-model, D-model, B-model による河床表層材料の 粒径推定値と観測値との MAE 及び標準偏差

	P-model	D-model	B-model
Mean Absolute Error[mm]	47.59	43.31	41.85
Standard Deviation[mm]	58.92	56.70	54.64

3. 結果

表-1 に本研究にて作成した3つのモデルの推定値と 観測値の平均絶対誤差(MAE)及び両者の差の標準偏差 を示す. MAE は40~50mm 程度であり, B-model が最も 小さく, 次いで D-model, P-model の順に大きくなった. 推定値と観測値の差のばらつきを示す標準偏差につい ても同様の結果を示した.すなわち, オルソ画像と DEM 双方を用いることにより, 河床表層材料の粒径推定精 度が上がり, 誤差のばらつきが小さくなることを表す.

3 モデルの推定値及び観測値による 15 観測サイトの 平均粒径加積曲線を図-2 に示す.いずれのモデルによ る推定値も同じ傾向の波形を示しており,D50 程度以 下の粒径については,観測値よりも 15mm 程度大きく 評価をしている.一方,D50以上の粒径については概ね 観測値と一致している.観測サイトごとの推定値及び 観測値の粒径加積曲線は,D40 程度以下の粒径につい て大きく評価する傾向があり,10mm 程度以下の小さな 粒径を多く含む観測サイトにてその傾向が顕著であっ た(図略).これは,10mm 程度以下の小さな粒径だと地 形の起伏や傾斜などに表れる特徴が少ない上,サンプ ル数が少ないために生じたことと考えられる.

学習させたモデルを用いて UAV 調査範囲全域の河床 材料の粒径を推定した.本稿では,紙面の都合により, 最も MAE が小さかった B-model の結果のみを図-3 に 示す.入力データからは植生部,水域部分を事前に取り 除いた.大きな粒径の礫は澪筋沿いや横断面内におい て標高の低い場所に(図略),小さな粒径の礫は植生近辺 の流れが緩やかと推測される場所にそれぞれ分布して いる.これは,黒田ら<sup>の</sup>が常願寺川を対象に調査した結 果のように,河床材料の粒度分布は掃流力や河床勾配, 澪筋や砂州の位置関係などに左右されることを示唆す るものである.

4. まとめ

本稿は UAV 測量から取得したオルソ画像と DEM デ ータから CNN によって河床表層材料の粒径を推定した. 得られた成果は下記のとおりである.

・作成した CNN モデルは観測値との MAE 約 40mm の 推定精度を有した.また、オルソ画像と DEM の双方を 用いることが精度向上に寄与することを示唆した.







**図-3** UAV 測量範囲内における B-model による河床表層 材料の粒径推定値[mm].

・モデルによる推定値の粒径加積曲線は D50 程度以下 の小粒径について観測値よりも大きく評価する傾向が あったが, D50 以上の粒径については観測値と同様の 傾向を示した.

・河床材料の面的な情報を得ることができた.この結果 は掃流力や河床地形による分級傾向を表したものであ った.

参考文献

- 原田守啓、荒川貴都、大井照隆,鈴木英夫,沢田和秀: 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, pp.67-72, 2016.
- Pearson, E., Smith, M. W., Klaar, M. J., & Brown, L. E.: Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers?, Geomorphology, 293(May), 143–155, 2017.
- Abadi M, Barham P, Chen J, Chen Z, Davis A, Dean J, Devin M et al : Tensorflow: a system for large-scale machine learning. In OSDI, 16:265-283, 2016.
- 4) Cholet, F.: keras. https://kerasio,2015.
- Takeuchi, D., Nakanishi, S.: An artificial neural network model to estimate grain size on a river bed from UAV photographs and DEMs, 3<sup>rd</sup> International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, 2019 (accepted).
- 8) 黒田勇一,福岡捷二,山本輝,吉田和弘,井内拓馬:礫床河川の澪筋形成機構と河床粒度分布特性,河川技術論文集,11, pp.363-368,2005.