

インターバルカメラ画像を用いた土砂流出把握に向けた深層学習手法およびRGB解析手法の提案

アジア航測株式会社 ○谷口宙河, 岡野和行, 西村 直記, 川原 彬人, 滝澤 雅之
 国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所 木下篤彦^{※1}, 土田元気, 穂田雄高^{※2}, 江口彰友^{※3}, 松下勇也
 ※1 現: 内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 ※2 現: 同 渡良瀬川河川事務所 ※3 現: 同 河川部

1. はじめに

山地河川の土砂流出は突発的かつ短時間で生じ、その実態把握は砂防事業に重要である。ハイドロフォンや超音波式水位計等を用いた流砂・水文観測が各地で実績を挙げている一方で、施設規模やコスト面等から機器の設置・維持管理の制約や観測地点の限定といった課題がある。このため、設置が容易で安価な機器による観測手法が求められている。本稿では、流域内複数地点に設置したインターバルカメラ画像を対象に、深層学習 (CNN) およびRGB解析による土砂流出把握手法を検討した。

2. 観測地点および観測機器

対象箇所は、日光砂防事務所管内の稲荷川流域である。各地点で、令和6年から7年の出水期間 (6月下旬~11月末) にインターバルカメラ (Hyke社製: HykeCam SP2) を設置し、10分間隔で15秒間の動画を撮影した (図1)。



図1 観測地点と観測機器

3. インターバルカメラ画像による土砂流出の検出

3.1 方法

(1) 手法の概要

インターバルカメラで撮影した河道の画像を用い、山地河川における土砂流出状況の検出手法を検討した。

検出手法は、深層学習 (CNN) を用いる手法と、RGB値の変化に着目した解析手法の2つとした (図2)。さらに、実運用では夜間や霧など、判別に適さない画像も含まれるため、それらの画像を除去する処理を実施した。

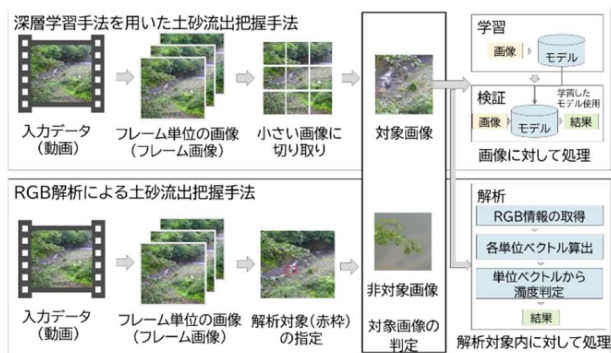


図2 土砂流出把握手法の全体フロー

(2) 深層学習手法

深層学習手法は、大量の画像データから特徴を自動的に学習して画像の状態を判別する手法で、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を使用した。学習データとして、技術者による目視判読で土砂流出がないとした画像 (以下、清水とする) と、土砂流出が有るとした画像 (以下、濁水とする) を整理してモデルを構築した。

(3) RGB解析手法

RGB解析手法は、五十嵐ら¹⁾による手法とした。清水時および濁水時における、解析領域内の画素のRGB値の平均値を位置ベクトルとする基準点を設定し、判定したい画像のRGB値による位置ベクトルとの距離 (以下、濁水推論値とする) を算出し、土砂流出を判定した。

(4) 土砂流出判別不可画像の除去

土砂流出の検出を実運用する場合には、降雨による水滴の付着や霧など、判定が困難な画像も含まれる。そこで、先述の両手法の前処理として土砂流出判別不可の画像を抽出し、その後の解析から除外する処理を実施した。

3.2 結果と考察

取得した河道の画像を用いて、深層学習 (CNN) およびRGB解析の二つの手法による土砂流出検出の定量的評価を行った。評価は、技術者による目視判読結果を正解として、解析結果の適合率と再現率を指標にした。

表1 土砂流出検出の評価指標

	正解が【濁水】	正解が【清水】
予測が【濁水】	TP(True Positive) 真陽性 	FP(False Positive) 偽陽性
予測が【清水】	FN(False Negative) 偽陰性 	TN(True Negative) 真陰性

$$\text{Precision (適合率)} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Recall (再現率)} = \frac{TP}{TP + FN}$$

全地点を対象とした精度評価の結果、深層学習手法では濁水判定の適合率が平均約77%、再現率が平均約70%であった。地点条件による精度のばらつきもみられたが、多くの観測地点で濁水発生を高精度に判定できた。特に撮影条件が良好な地点では、学習時とは異なるカメラで撮影された画像を用いた場合においても平均値を上回る精度が得られ、本手法の汎化性能が確認された。

一方、RGB解析手法では適合率が平均約82%、再現率が平均約93%であった。濁水時にはR成分に顕著な変化がみられ、土砂流出に対応した濁度の上昇を捉えることができた。ただし、河床の色調の影響を受けやすい地点では、清水時であっても濁水推論値が高くなり、適合率が低下する傾向が確認された。

4. インターバルカメラ画像による濁度の推定

4.1 方法

(1) 手法の概要

RGB 解析手法では、学習データから作成した濁水と清水の基準点と、判定画像の RGB 値による位置ベクトルとの距離を指標としているため、画像による濁り具合が濁水推論値として時系列で算出される(図3)。そこで、算出した濁水推論値と濁度計の観測値を比較し、濁水推論値による流出土砂の濁度推定の可能性を確認した。

(2) 相関分析

大事沢第一砂防堰堤を対象とし、令和7年9月出水時に濁度計(Campbell社製:ClariVue10)で取得した濁度実測値とインターバルカメラ画像による濁水推論値を比較した。清水時も含むすべての期間を対象とした場合と、2で示した深層学習手法で濁水と判定された時刻のみを抽出した場合の2つの条件で相関分析を実施した。

4.2 結果と考察

全ての期間を対象とした場合の相関係数は0.163と低く、両者の相関関係は見られない結果であった(図4上)。特に、濁度実測値が非常に低いにもかかわらず濁水推論値が大きくなる点が存在し、これらの点が相関関係に影響していた。河床の色調の影響で清水時にも濁水推論値が大きくなったことが要因と考えられる。一方、深層学習手法で濁水と判定された時刻のみを抽出した場合の相関係数は約0.6と高くなり、濁度実測値に対して画像による濁水推論値が大きくなる傾向がみられた。土砂流出時を対象とした場合、インターバルカメラの画像から

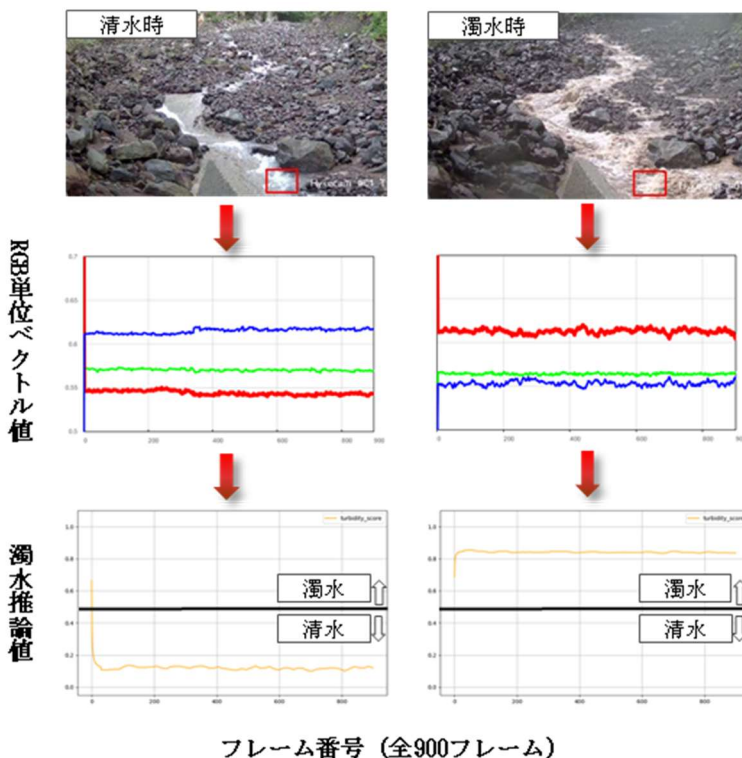


図3 RGB解析による土砂流出検知の検討事例
(上:解析画像(赤枠:解析対象領域), 中央:RGB単位ベクトルグラフ, 下:濁度評価の時系列グラフ)

濁度が推定できる可能性があり、細粒土砂流出量の規模を推定できる可能性が示唆される結果であった。

5. おわりに

本稿では、設置が容易で安価なインターバルカメラを用いた土砂流出把握手法として、深層学習(CNN) RGB解析に着目した検討を行った。その結果、撮影条件や地点特性による差はあるものの、いずれの手法においても河川の濁り変化を通じて土砂流出の発生を検知できる可能性が確認された。特に深層学習手法では、学習時と異なるカメラ条件においても一定の検知精度が得られ、現地展開を見据えた汎用性が示唆された。一方、RGB解析手法は河床色の影響を受けやすい課題がみられたが、判定の指標値が数値として連続的に算出され、濁度との相関がみられることから、細粒土砂の流出量の規模を評価できる可能性が示唆された。

今後は、両手法の併用による補完的運用を進めることで、多地点・長期間にわたる土砂流出の検知とその規模の観測手法としての実用性向上が期待される。

<参考文献>

- 1) 五十嵐和秀, 松岡暁, 木下篤彦, 山田 孝: 渓流水面画像のRGB値の単位ベクトルを用いた濁度評価と土石流検知手法—信濃川水系芋川と石狩川水系黒岳沢川を事例に—, 砂防学会誌, Vol.76, No.1, p.22-33, 2023

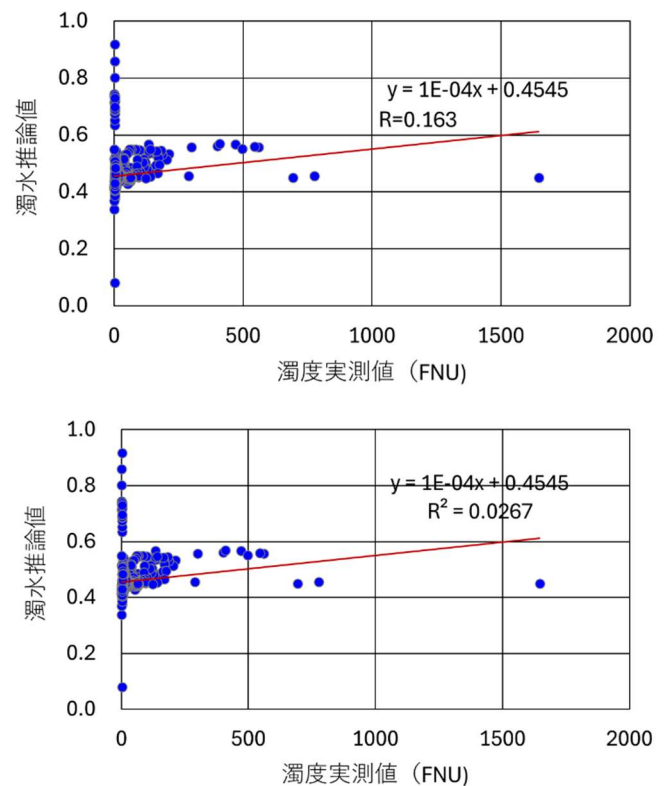


図4 インターバルカメラ画像による濁水推論値と濁度計実測値との相関
(上:全データ, 下:濁水時のみ)