

インターバルカメラを用いた山地河川における濁りの上下流方向の連続性の観測

筑波大学大学院環境科学学位プログラム ○一倉夏帆, 森みちる
筑波大学生命環境系 内田太郎, 国土技術政策総合研究所 金澤瑛, 砂防・地すべり技術センター 関根峻

1. はじめに

山地流域では土砂移動現象が間欠性や不連続性を有し、河床材料の粒度分布が大きく、支川が入り組んでいるため、依然として本川への土砂流出量を理論的・実験的に予測するのは困難である。これまでの流域内のある地点の流砂水文観測により明らかにされた水理量と流砂量（掃流砂量、浮遊砂量、濁度等）間のヒステリシスから、1 出水中の土砂供給メカニズムや伝播特性が推測されてきた。しかし、多くのヒステリシス研究では、ヒステリシスループの向き・大きさは観測地点と土砂生産源との距離に大きく影響を受けるという事実が見落とされる傾向があり¹⁾、出水ごとの流砂の伝播特性の影響や土砂生産源の変化は考慮されづらい。また、Maoらは流砂の伝播特性を実証的に把握するには、流域内の 1 点のみの観測だけでなく上下流方向の多地点において観測を行う必要があるが、山地流域でのそうした研究は報告されていないと指摘した。本研究では、山地河川における出水を多地点でインターバル撮影を実施し、濁りの上下流方向の連続性を実証的に観測した。

2. 方法

2.1. 観測方法

山梨県北杜市に位置する富士川水系の大武川流域（図-1）で観測を行った。流域面積は 73.3 km²、平均勾配は 1/7、流路延長は 16.4 km であり、主に花崗岩と付加体堆積物が分布している。上流部に多数の崩壊地を有し、近年では令和元年東日本台風時に土石流の発生が報告されている。図-1 に示す 9 地点にインターバルカメラ（SecuSTATION M シリーズ; SC-MB68, SC-ML68, SC-MW68 及び TLC200 Pro）を設置し、5 分間隔で日中の河川の様子を撮影した。カメラ設置場所の流域末端（釜無川との合流点）からの距離は最上流の観測サイト 1 から 9 までそれぞれ、10.5、10.3、8.8、8.0、7.5、5.7、4.4、0.6、0.2 km 離れている。なお、観測サイトは、風や振動によるカメラの画角への影響が少なくなるよう、橋の欄干やガードレール等の構造物がある場所を優先した。

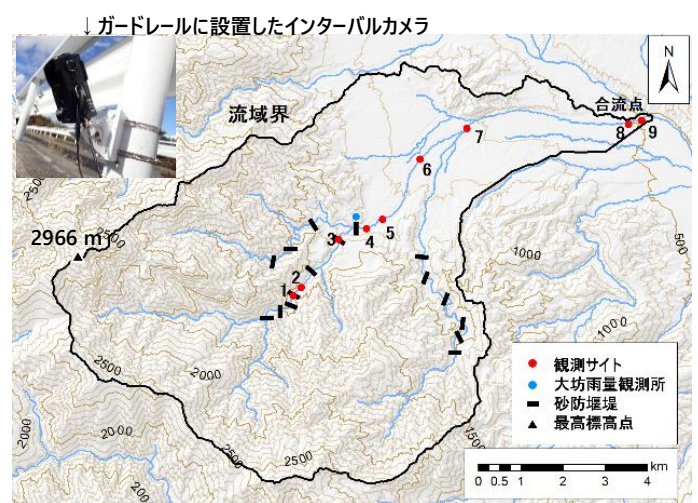


図-1 観測地の概要

2.2. 解析方法

2つの基準を用いて、撮影した河川画像から濁り発生の有無及び濁度の評価を行った；

(1) **RGB 特徴量の解析**：五十嵐ら（2017; 2019）は濁水には特有の反射光の波長帯（色）があるとの仮説に基づき、濁度が上昇すると画像の RGB の内 R 値が相対的に上昇すること、RGB 単位ベクトルの R 成分値 (r) の上昇から、濁度上昇を検知できることを明らかにした。そこで本研究も、画像の河川表面上に設定した解析領域内の r の時系列変化から濁りの発生及び濁度の変化を確認した。なお、RGB 値を算出する解析領域は、水面の反射や雨滴のカメラレンズへの付着により河川の色が不自然に変化することなく、白波が少ない範囲を、可能な限りピクセル数が多くなるように出水毎・カメラ毎に矩形に抽出した。条件に合致する領域が複数ある場合は全てに対し解析を行った。なお、本研究サイトにおいても、五十嵐ら（2017）の指摘同様、出水時には R 値が相対的に上昇した（図-2）。

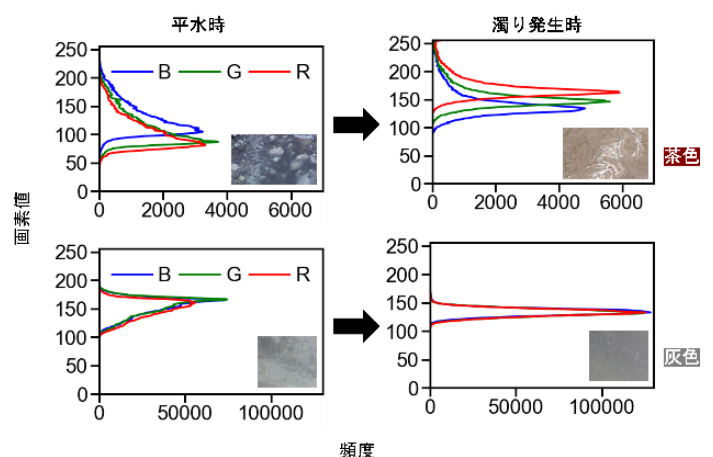


図-2 解析領域の濁りの色と RGB の頻度分布

(2) **画像の目視**：撮影画像をコマ送りに目視し、図-2 のように河川表面の色が平時と比べて灰色や茶色に変化している時を、「濁り」が発生していると定めた。また、濁りが濃くなると水中の透明度は低下するため、画像内のすべての河床材料が完全に見えなくなった時、「濃い濁り」が発生していると定めた。なお、河床と河川の境界等の水深の比較的小さい領域が映っていない観測サイト 1, 9 では、濃い濁りを評価できなかった。

3. 結果と考察

3.1. RGB 単位ベクトルの R 成分値 (r) と目視の関係

本稿では、2022 年 7 月 4 日の日雨量 17 mm の出水の解析結果を紹介する。この出水では 9 地点全てで濁りが発生し、観測サイト 8 を除き日中の間に消失した(図-3)。濁りの発生時には r の上昇が見られた。また、サイト 2-8 では濁りの発生から 1~2 時間後に濃い濁りも観測された。なお、サイト 8 では 3.5 時間後にも再び濃い濁りが出現した。濁り/濃い濁りの発生時刻は、上流側ほど早い傾向が見られた。また、濃い濁りが発生した時間は、 r の凸形の極値が見られた時間と一致した。

3.2. r の波形の類似度の定量化と濁りの伝播

r は様々な環境の影響を受けうるが、概ね濁度の変化を表していると考えられた。そこで、上下流の 2 サイトの r の時系列データの相互相関解析を行い、波形の類似度(相互相関係数)が最も高くなる時間を探索した(図-4)。図-4 に示すように、いずれの場合も相関係数 0.8 程度かそれ以上の高い相関を有し、時間差の過大とともにいったん相関係数が増加したのちに減少する傾向が見られた。そこで、相互相関係数が最も高くなる時間差を、濁りピークの伝播にかかった時間と考え、サイト 2 より上流で供給された濁り成分はサイト 2 を通過後、約 3 時間半かけてサイト 8 まで伝播したと考えられる(表-1)。また、濁り成分が拡散すると、下流側の r の波形は上流側のグラフがつぶれたような形になると考えられる。しかし、図-3 からはそのような傾向は読み取れず、また表-1 の通り、いずれの区間でも波形の類似度(最大の相互相関係数)が高かった。このことから、濁り成分はあまり拡散せずに約 10 km 区間を流下したものと考えられる。

3.3. 土砂発生源の空間分布

図-3 が示すように、サイト 3、5、8 ではすぐ上流の観測サイトより濁りの発生開始が早い。さらにサイト 8 では、濃い濁りの発生時間も上流より早い。この結果から、サイト 2-3、4-5 間、7-8 間にも、上流域とは異なる土砂供給源があることが推察される。これらの区間には支川からの流入がないため、河床堆積物の再移動による土砂供給である可能性が高い。

4. まとめ

インターバルカメラを用いた河川撮影は、山地流域における土砂移動現象の多地点観測を簡単にし、1 出水中の濁りピークの伝播特性や土砂発生源の空間分布を明らかにした。

引用文献: 1) Mao and Carrillo, Geomorphology 287, 2017 2) 五十嵐ら, 土木技術資料 59-6, 2017 3) 五十嵐ら, 砂防学会誌 71-6, 2019

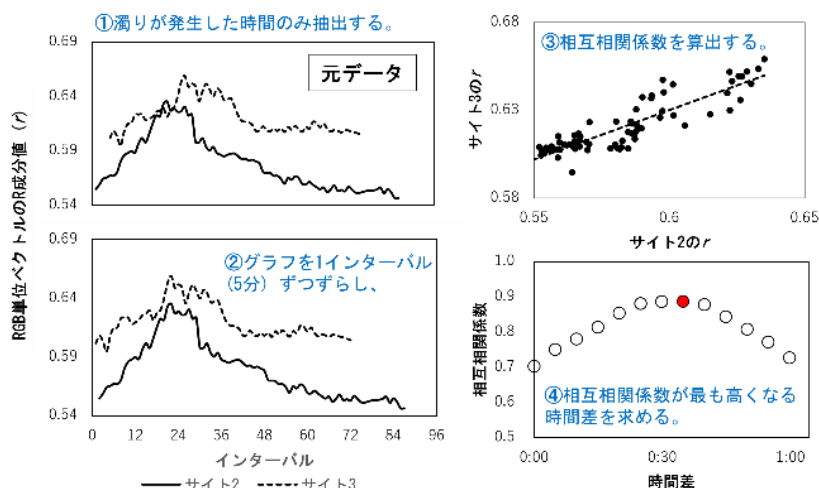


図-4 相互相関解析

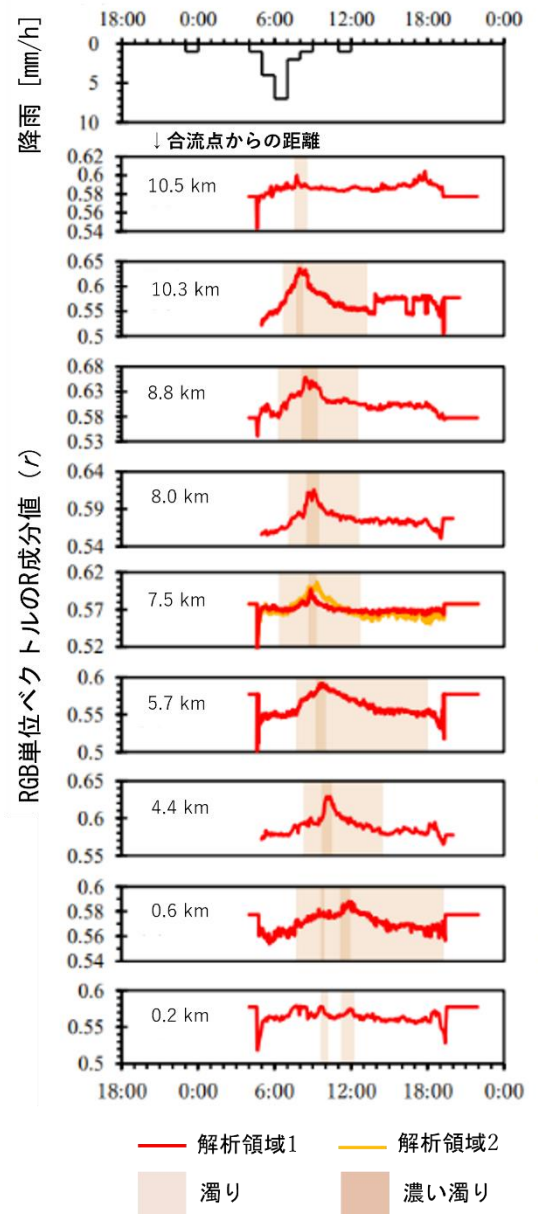


図-3 濁りの上下流方向への変化

表-1 相互相関解析結果

区間	時間差	相互相関係数
サイト2~3	35分	0.887
サイト3~4	15分	0.873
サイト4~5 (1)	5分	0.799
サイト4~5 (2)	5分	0.878
サイト5 (1) ~6	55分	0.879
サイト5 (2) ~6	45分	0.953
サイト6~7	15分	0.856
サイト7~8	90分	0.833

*すべて $p < 0.01$