

ヒステリシス解析とトレーサ手法による山地流域の浮遊土砂生産源モニタリング

(国研) 土木研究所寒地土木研究所

○水垣 滋・柿沼孝治

1. はじめに

山地から沿岸までを流砂系とした総合的な流域土砂管理において、山地流域における浮遊土砂の生産・流出特性を把握することは、基本的かつ重要な課題である。一般に、流域からの浮遊土砂流出特性はSS濃度と流量のべき乗回帰式で評価されるが、山地小流域ではSS濃度の流量に対する決定係数は必ずしも高くなく、ヒステリシスを示すことが多い(たとえば1)。このヒステリシスは、浮遊土砂の生産源や輸送過程を反映していくつかのパターンに分類され、流域の浮遊土砂生産源や流出特性を示す指標となりうる。一方、浮遊土砂の生産源を特定する手法として、山地斜面から河川を通じて流域末端に輸送される土砂を追跡できる、土砂そのものも物理・化学的特性をトレーサとした手法がある²⁾。地質(岩相)や侵食深が異なる生産源からの寄与率を推定できる。しかし、流域の土砂生産・流出特性は出水規模やタイミングに応じてさまざまに異なることが普通であり、長期的な観測に基づいた解釈が必要である。本研究の目的は、流域の浮遊土砂生産・流出過程を流域末端における長期的な観測結果から明らかにすることである。濁度計を用いた流砂水文観測を行い、流量に対する浮遊土砂濃度のヒステリシス解析と放射性同位体トレーサを用いた浮遊土砂生産源推定を行った。

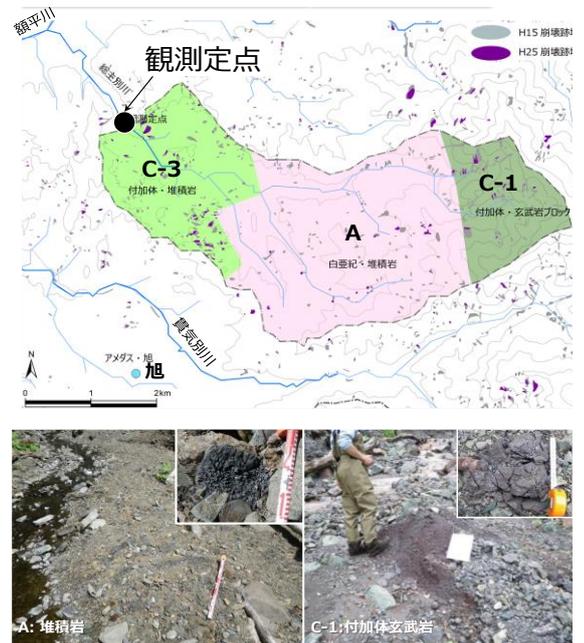


図-1 調査流域の地質構成と河床材料の風化状況

2. 材料と方法

2.1 調査地及び流砂水文観測

調査流域は北海道南部に位置する一級河川沙流川水系額平川の支川、総主別川流域(16.75 km²)とした(図-1)。地質は主に下流から付加体堆積岩(C-3)、白亜紀堆積岩(A)及び付加体玄武岩ブロック(C-1)で構成され、全域が森林で覆われている。A及びC-1の河床堆積物は風化により細粒化が認められる。流域下流端の流砂水文観測地点において水位計及び後方散乱式濁度計を設置し、2010年10月から2022年12月まで観測した。また、総主別川流域の浮遊土砂の生産源を推定するために2010年～2021年の融雪出水時や降雨出水時に表面採水・自動採水を行った(62サンプル)。

2.2 分析・解析方法

採水した河川水サンプルのSS濃度と濁度データとの回帰式により、SS濃度の連続データを取得し、流量・SS濃度の時系列データを取得した。明瞭な流量ピークが認められた連続雨量20mm以上の降雨出水172イベントについて流量とSS濃度のヒステリシスを解析し、4つのパターンに分類した。浮遊土砂の生産源推定は、放射性同位体(²¹²Pb、²²⁸Ac及び⁴⁰K)を土砂移動トレーサとし、流域内の異なる3つの生産源地域(A:堆積岩、C-1:付加体玄武岩ブロック、C-3:付加体堆積岩)の浮遊土砂に対する寄与度を推定した³⁾。

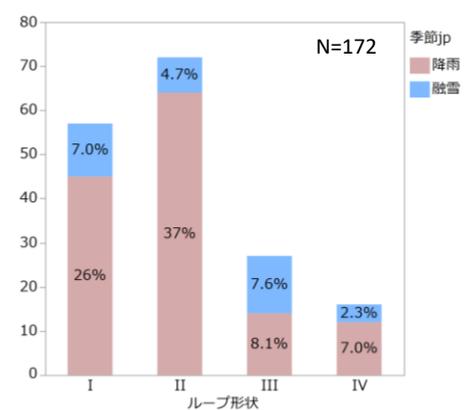


図-2 ヒステリシスループの形状別出現数

3. 結果

3.1 ヒステリシスの出現傾向

SS 濃度の流量に対するヒステリシスについてループ形状別の出現数は、時計回りタイプ (II) が最も多く (72 イベント、41.9%)、線形タイプ (I) (57 イベント、33.1%) とあわせて全体の 75% を占めていた (図-2)。出水イベントの最大流量をヒステリシスタイプ間で比較したところ、Wilcoxon 検定により時計回り (II) < 線形 (I) < 反時計回り (III) で有意に大きくなることが認められた (図-3)。

3.2 浮遊土砂の生産源

浮遊土砂 (62 サンプル) に対する 3 つの生産源 (地質地域) の寄与度は、付加体堆積岩 (C-3) で 35.6%、堆積岩 (A) で 35.7%、付加体玄武岩ブロック (C-1) 28.7% (浮遊土砂流出量による加重平均) であった。C-3 の寄与度は流量に対して減少傾向、A 及び C-1 は増加傾向を示し、いずれも統計的に有意であった (spearman の順位相関)。また C-1 の寄与度は流量 1 m³/s 以上で激減し、一方、中・上流域の A 及び C-1 の寄与度は流量 1~4 m³/s 程度の中規模出水時に極端に増大する場合は認められた (図-4)。

4. 考察・まとめ

ヒステリシス解析とトレーサ手法により、流域の浮遊土砂生産・流出過程は取水イベント時の規模 (流量) によって推移することが示唆され、以下のように解釈できる (図-5、6)。小規模出水時 (流量 1m³/s 未満) では、おもに観測点近傍 (下流域、C-3) の冠水頻度が高い滞筋付近の河床堆積物が供給源であり、輸送可能な微細土砂が少ないため、流量ピーク前に枯渇して時計回りのヒステリシスが卓越する。中規模出水時 (流量 1~4 m³/s) では、より高位の河床堆積物が冠水するが、中・上流域 (A 及び C-1) では風化により生成された微細土砂が河床堆積物中に蓄積されており (図-1)、これらが流水中に取り込まれて SS 濃度を上昇させ、線形のヒステリシスが卓越したと考えられる。さらに、大規模出水時 (流量 4 m³/s 以上) では、中・上流域 (A、C-1) のより広範囲の流域斜面から表面流に伴う浮遊土砂供給が加わり (図-6)、反時計回りのヒステリシスが卓越したと考えられる。

本研究では、長期的な流砂水文観測とトレーサ手法により、流域の水・土砂流出寄与域 (生産源) が出水規模によって変動すること⁴⁾、また地質によっては河床堆積物が微細土砂の生産源として寄与しうることを実証した。今後は、これらの現象・実態をモデルに反映することにより、山地流域における浮遊土砂生産・流出の再現・予測精度の向上が期待される。

【引用文献】

- 1) 倉茂, 1996. 水文地形学, 古今書院, pp. 132-142,
- 2) 水垣・古市, 2022. 砂防学会誌 74(5), pp. 48-54.
- 3) Mizugaki et al., 2012. IJCE 5(1), pp.60-69, 4)
- Walling, 1983. Journal of Hydrology 65(1), pp. 209-237.

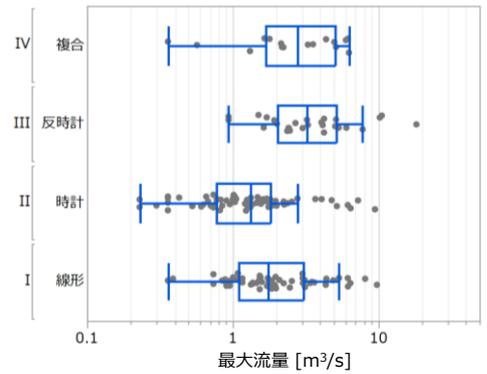


図-3 ヒステリシスタイプによる最大流量の比較

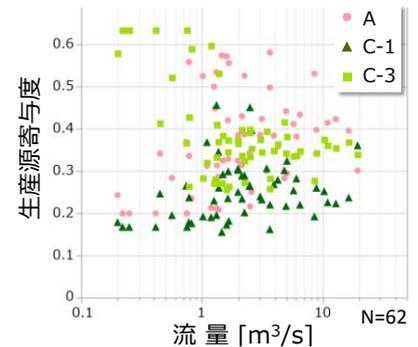


図-4 各生産源寄与率と流量との関係

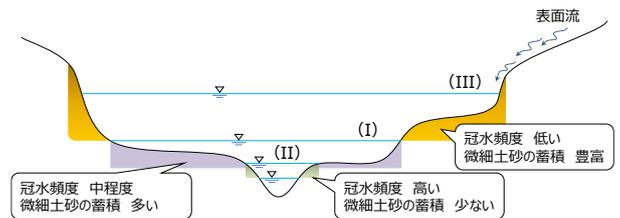


図-5 河床の比高と出水規模による冠水頻度の違い

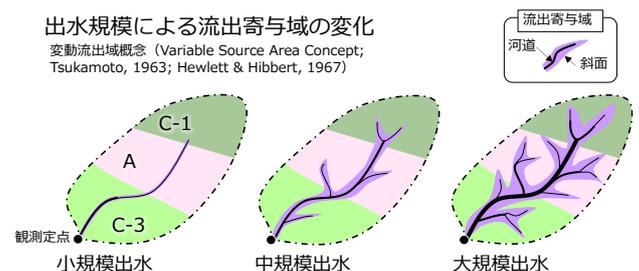


図-6 出水規模による流出寄与域の変化