

## 山地河川における間接法と直接法を用いた流砂観測事例

京都大学大学院農学研究科 ○谷寧人 水山高久  
 京都大学防災研究所 堤大三  
 京都大学学際融合教育研究推進センター 藤本将光

### 1. はじめに

流砂系において一貫した総合土砂管理を行うためには、流域内の土砂移動を量・質ともに把握する必要がある。山地河川では土砂移動現象は非平衡状態にあるため、流砂量式を適用して流砂量を推定することは困難であり、現地での流砂観測が重要となる。

流砂観測には、土砂を直接捕捉する手法（以下直接法と呼ぶ）と土砂移動に伴う副次的現象を観測する間接的な手法（以下間接法と呼ぶ）がある。直接法は精度は良いがコストが高く、一方で間接法は低コストで連続観測が可能であるが精度が低い、という問題がある。そこで間接法の精度を向上させるために直接法と併用して観測を行い、比較検証を行った。

本研究では間接法としてハイドロフォンと濁度計を用い、直接法としてピット流砂観測装置と自動採水器を用いて掃流砂と浮遊砂・ウォッシュロード（以下浮遊土砂と呼ぶ）の観測を行った。

### 2. 観測地の概要

岐阜県高山市に位置する神通川水系足洗谷流域において観測を実施した。流域面積は7.2km<sup>2</sup>、海拔高度は900mから2450mに及び、土砂生産は基盤岩類の崩壊や焼岳火山の活動による噴出物堆積層の侵食に伴う土砂供給を特徴とし、土砂移動が活発な溪流である。流域出口の足洗谷に、濁度計とハイドロフォン、自動採水器、ピット流砂観測装置、水位計を設置し観測を行った。降水量は京都大学防災研究所穂高砂防観測所の雨量計を用いた。

### 3. 観測手法

#### 3.1 浮遊土砂観測

##### 3.1.1 濁度計

後方散乱光方式の濁度計（CAMPBELL社、OBS-3+）を用い、観測用水路上流の右岸側に河床直上、河床より30cm、50cmの3点に設置した。水深方向の浮遊土砂濃度の変化を観測することを目的とした。単位はNTUであり、一分間の平均値を毎分記録した。

##### 3.1.2 自動採水器

濁度計の下流側に、それぞれの深度に対応するように、3つ取水口を設けて自動採水器（A.SIGMA社、モデル900）を3台設置し、降雨イベント観測を行った。1時間毎に採水して濾過を行い、0.001~0.075mm・0.075~0.25mm・0.25~0.85mm・0.85~2mm・2mm以上の5段階に分けてふるい試験を行った。

#### 3.2 掃流砂観測

##### 3.2.1 ハイドロフォン

ハイドロフォンとはマイクロフォンを封入した金属管を河床に埋設し、砂礫の衝突音を観測する装置である。観測用水路直下に露出長さ0.4mで設置した。礫の衝突音をアンプリアンプにより2~1016倍の6段階に増幅し、信号強度が閾値を越えて再び閾値を下回るまでを1パルスとして、増幅倍率毎に1分間のパルス数を記録した。また、流砂量が多い状態では残響音に起因して測定精度が低下する問題が指摘されており、その対策として音圧の積分値を観測した。本研究では、200ms毎に20倍に増幅した音響信号の出力電圧について、1分間毎の平均値を記録した。

##### 3.2.2 ピット流砂観測装置

ハイドロフォンの直下流に、流砂を直接捕捉し、堆積した土砂の重量を把握するピット流砂観測装置を設置した。容量が限られており、長時間観測が可能となるよう出水時にピット内に流入する土砂量を抑制する鉄製の蓋を設けた。開口幅が流下方向に対して20cmとなるように設定した。1分毎の値を記録した。



写真-1 足洗谷出口での観測の様子  
 左：ハイドロフォンとピット流砂観測装置  
 右：濁度計と自動採水器

### 4. 観測結果

#### 4.1 浮遊土砂観測の結果

2011年7月7~8日の降雨イベントを対象とした。総降雨量は80mm、最大時間雨量は21.5mmであった。河床直上の濁度と30cmの濁度はほぼ等しい結果となった（図-1）。8日4時頃、河床直上の濁度は一定となり、土砂に埋まったと考えられた。また、50cmの濁度計は平時には水面より上にあるが、流出ピーク時には水面下となりデータが得られた。しかし、濁度の波形は水位波形と非常に類似しており、濁度計の設置高さ付近に水面があったと考えられ、信頼性に疑問が残る結果となった。50cmの濁度の値も他の2つとほぼ同じであり、水深方向の濁度の変化は小さいことが示された。足洗谷のような山地河川においては、水深の変化幅も小さく流れも速いため、浮遊土砂は鉛直方向に良く混合されると考えられる。従って、河床より少し上方の土砂に埋まらない位置に濁度計

を設置することで、水深方向の濁度の代表的な値が得られることが示された。

河床直上の取水口では7日 19:00~8日 8:00(それ以降取水口が土砂で閉塞)まで、30cmの取水口では水位が上昇した8日 0:00~2:00まで採水を行った。浮遊土砂濃度は濁度の波形と非常に対応が良く、濁度計は浮遊土砂濃度の指標として適切であることが分かる。粒径毎に見ると、浮遊土砂として流出するものはほぼ0.85mm以下であった。図-2より、0.85mmより大きな土砂は濁度とほとんど相関がなく、濁度計で計測しうる浮遊土砂は概ね1mmより小さいことが明らかとなった。河床直上より30cmの方が濃度は低く、水位ピーク以前は河床直上では粗い土砂が多く、ピーク以後は水深方向に良く混合され粒度分布はほぼ等しいことが分かる(図-3)。また、濁度計では水深方向に濃度変化は観測されなかったが、浮遊土砂濃度は異なる結果となった。これは濁度が水深方向に平均化されたものを計測すること、河床直上では採水器によって強制的に巻き上げられた土砂が混入した可能性があること、高土砂濃度下での濁度出力値の挙動が不明であること等が理由としてあげられる。

#### 4.2 掃流砂観測の結果

2011年9月19~21日の台風15号の降雨イベントを対象とした。総降雨量は406mm、最大時間雨量は30mmであった。流出ピーク付近でピットが満砂したため、それ以前の20日 6:00~14:20に注目する。なお、ピット重量は堆積土砂の洗掘の影響が大きいので、10分間の平均値を用い、それに合わせて音圧・パルス数は10分間の積算値を用いた。図-4より、全体として音圧とピット重量の変化の対応は非常に良いことが分かる。高倍率のパルス(Amp1016など)は流砂量が多い時には頭打ちとなり対応が悪くなるが、低倍率のパルス(Amp16など)はむしろ流砂量が多い時ほどピット重量変化と対応が良くなる。これは図-5に示すピット重量の変化と音圧・パルス数の関係にも示されている。従って、流砂量が少ない時は高倍率のパルス数を、流砂量が多い時は音圧、もしくは低倍率のパルス数を用いることが有効であると示された。

また、ハイドロフォンのパルスと音圧の出力値には、礫径・流速(礫速度・礫の運動形態)が大きく関わると考えられる。図-6に単位重量あたりの音圧とピットの重量変化の関係を示す。流砂量が少ない時、礫の衝突の仕方が大きく影響するため音圧は安定しないと考えられる。一方、流砂量が大きくなると音圧は1mV前後となる。流砂量が多い時は流速も大きく、礫の持つ運動量(礫速度と礫径)の増大が礫の運動形態の変化による衝突確率の低下によって相殺された可能性がある。図-7に示すように、流出土砂は総じて礫径も大きく、今後、流速・礫径・流砂量の大きな条件でキャリブレーション実験を行う必要があると考えられる。

#### 5. おわりに

浮遊土砂と掃流砂の定量的な連続観測を行い、流出土砂の粒度分布や土砂濃度に対する間接法の挙動が観測された。今後とも間接法・直接法の同時観測データを蓄積すると共に、キャリブレーション実験により間接法の精度向上に努めたい。

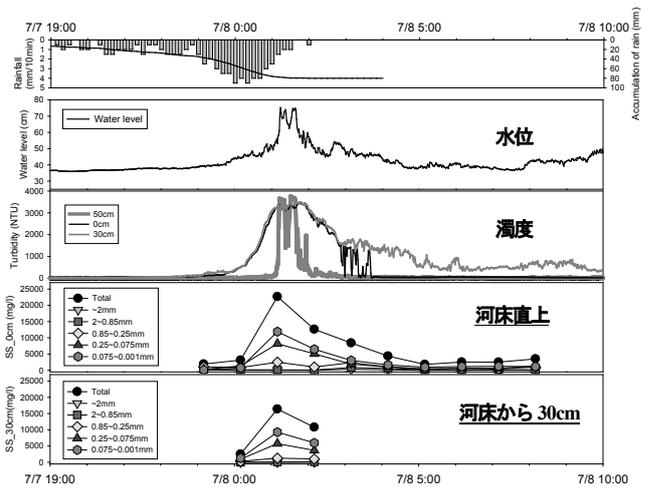


図-1 2011年7月7-8日 足洗谷観測結果

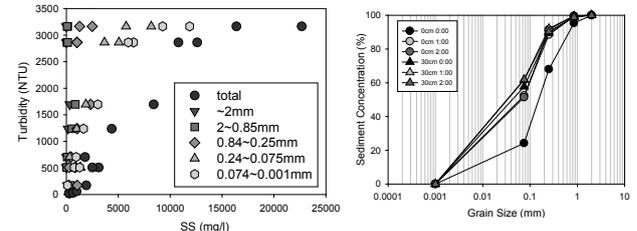


図-2 浮遊土砂濃度と濁度(30cm)

図-3 粒度分布(8日 0:00~2:00)

●: 河床直上, ▲: 30cm

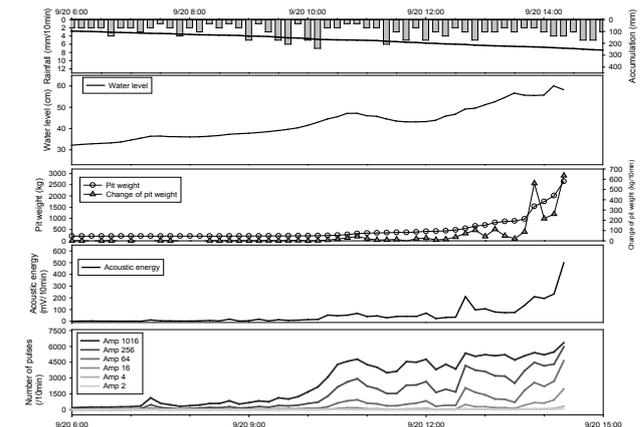


図-4 2011年9月19-21日 足洗谷観測結果

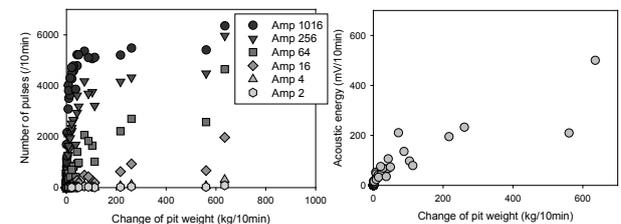


図-5 ピット重量変化とパルス数(左)・音圧(右)の関係

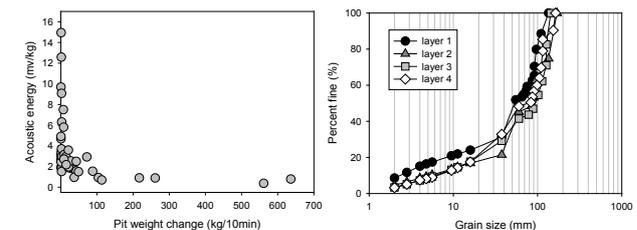


図-6 ピット重量変化と単位重量当たり音圧

図-7 ピット堆積土砂の粒度分布