

1. はじめに

山地河川での土砂移動現象を把握することは、防災科学だけでなく、山地から海岸に至る流砂系において総合土砂管理を行うためにも非常に重要な課題である。しかし、出水時の土砂移動を直接計測することは非常に困難であり、間接的に土砂移動を観測する手法が必要とされている。

本研究で取り扱うハイドロフォンとは、間接的な流砂観測を行う装置の一種であり、砂礫が管に衝突する音を計測することで土砂移動を観測する装置である（水山ら、2008）。本研究では岐阜県高山市に位置する神通川水系足洗谷において、本川及び主な支流でのハイドロフォンによる流砂観測を行い、山地河川の土砂輸送について考察した。

また、ハイドロフォンによる移動土砂の絶対量を求める手法が確立されていないため、ハイドロフォンによる流砂量計測はピット流砂観測装置と組み合わせた方法に限定されている。そこで、本研究では足洗谷水路にてハイドロフォンの簡易的なキャリブレーションを実施し、ハイドロフォン単独での流砂量計測に関しても検討を行った。

2. 観測地の概要

足洗谷は流域面積が 7.2 km² であり、焼岳の火山噴出物が堆積しているため土砂移動の活発な溪流である。足洗谷本川に合流する支川は、下流より深谷 (0.37 km²)、ヒル谷 (0.85 km²)、割谷 (1.11 km²)、および黒谷 (1.2 km²) であり、黒谷合流点より上流の本川は白水谷 (2.1 km²) と称される。このうち、足洗谷下流部、白水谷、割谷、黒谷の 4 箇所ハイドロフォン及び水位計を設置した。ハイドロフォンは掃流砂が衝突した際の音を 2、4、16、64、256、1016 倍の 6 段階にアンプで増幅し、それぞれをパルスとして出力する。また、足洗谷以外のハイドロフォンは音圧の計測も同時に行っている。ハイドロフォンに付属する形で、足洗谷にはピット流砂観測装置が、足洗谷以外の三箇所には濁度計が設置されている。

3. 観測結果と考察

2007 年 9 月から 2008 年 11 月まで、ハイドロフォンによる流砂観測を継続的に実施した。この期間に生じた個々の土砂移動イベントの観測から、いくつかの興味深い結果が得られた。

出水規模が同程度であったにもかかわらずパルス数が大きく異なる現象が観測された。黒谷での例を図 1 に示す。2007 年 10 月の例では出水開始直後にパルス数が増加し、比較的低倍率のアンプでもパルスが観測されているが、濁度は小さい。一方 2008 年 6 月の例では、出水開始後もあまりパルスは増加せず、出水ピーク時にわずかに観測されるだけであるが、濁度は大きくなっている。

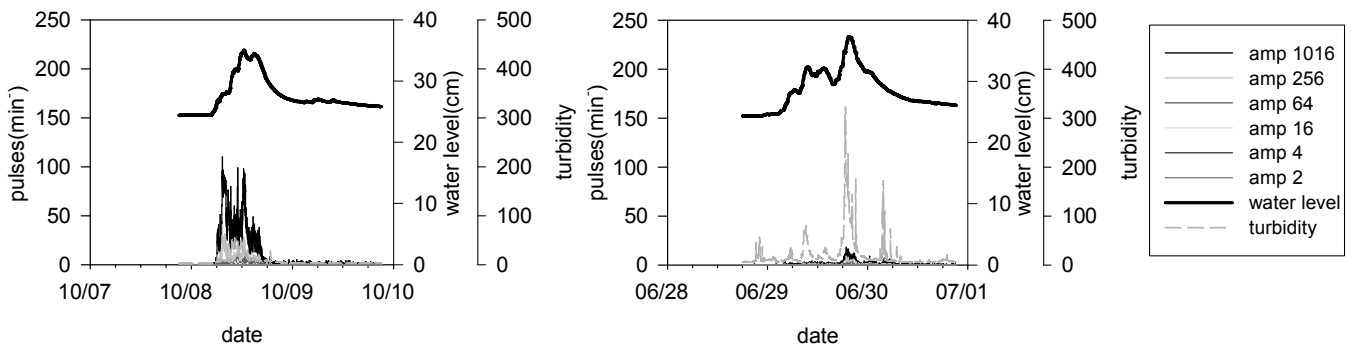


図 1 黒谷の観測事例 左：2007 年 10 月 8 日 右：2008 年 6 月 30 日

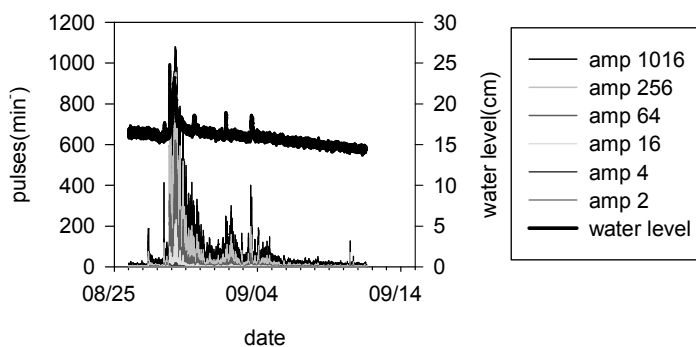


図 2 平水時のパルス 2008 年 8 月 25 日～9 月 11 日 足洗谷

2008 年 5 月の黒谷、2008 年 8 月末以降の足洗谷と白水谷で平水時に流砂が観測された。

図 2 に足洗谷の例を示す。ここでは顕著な出水が無くても毎分数十回のパルスが生じており、土砂移動が非常に活発な状態と言える。

足洗谷流域では新規崩壊や土石流が発生していないことから、これらの原因として、河床に存在する土砂の量、状態が出水ごとに異なっていたことが考えられる。このように、山地河川では流砂量は流量によって一義的には決まらないことが示された。

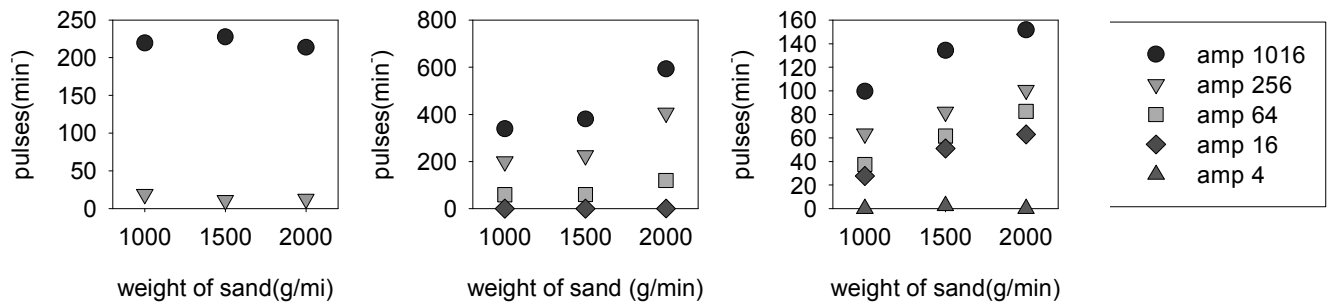


図3 一様粒径での実験結果 左より d50=2.6、9.1、23.9(mm)

4. ハイドロフォンキャリブレーション実験

ハイドロフォンの簡易キャリブレーション実験を現地で実施した。足洗谷のハイドロフォンを用いて、1 分間に一定量の礫を流下させ、パルスの回数とパルスを検出したアンプの倍率を検証した。用いた礫は平均粒径 2.6mm, 9.1mm, 23.9mm の 3 種類（以下、それぞれ細礫、中礫、大礫と呼ぶ）で、どれもほぼ一様粒径とみなす。礫の量は 1.0kg/min、1.5kg/min、2.0kg/min の 3 段階とした。また、それぞれの礫を重量比 1:1:1、2:1:1、1:2:1、1:1:2 で混合し、1.5kg/min で流下させた場合についても同様の実験を行った。

一様粒径での実験結果を図 3 に示す。これより、細礫以外では礫の量とパルス数の間でほぼ線形の関係が成り立つことがわかった。ここで、礫の個数に対するパルス数を検出率とし、各流砂量での結果を平均すると表 1 のようになる。混合粒径の実験結果と、礫個数の比率と検出率を用いて (1) 式から算出した値を図 4 に示す。これより、実験結果と (1) 式の対応はかなり良いと言える。

キャリブレーション実験の結果より、実際に足洗谷で観測されたデータからの流砂量算出を試験的に行った。細礫分は誤差が大きいので、粒径区分を中礫・大礫の 2 つに設定し、256 倍・64 倍のアンプでの観測結果 (P_{256} , P_{64}) を利用した。なお、 P_{256} が P_{64} に比べて検出率の差以上に多い場合は、細礫によるノイズが入ったものと仮定して過剰なパルスを取り除いた。その結果を図 5 に示す。出水後半に低感度のアンプでもパルスが発生していることを反映し、出水後半に大礫の比率が高くなっていることが推測された。

検出率						
d50(mm)	amp1016	amp256	amp64	amp16	amp4	amp2
2.6	3.72E-03	2.53E-04	0	0	0	0
9.1	0.318	0.198	0.057	8.97E-05	0	0
23.9	1.635	1.041	0.740	0.575	1.03E-02	0

表 1 粒径別の検出率

$$P(a) = s(d_1)R_a(d_1) + s(d_2)R_a(d_2) + s(d_3)R_a(d_3) \quad (1)$$

a : アンプ倍率 $d_1 \sim d_4$: 粒径 P : パルス数

$s(d)$: 各礫の粒子数 $R_a(d)$: 各礫の捕捉率

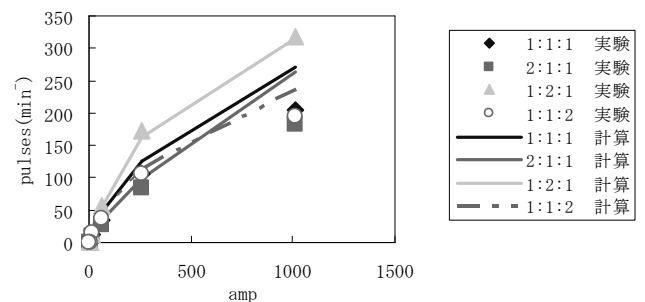


図 4 混合粒径での実験結果と計算結果の比較

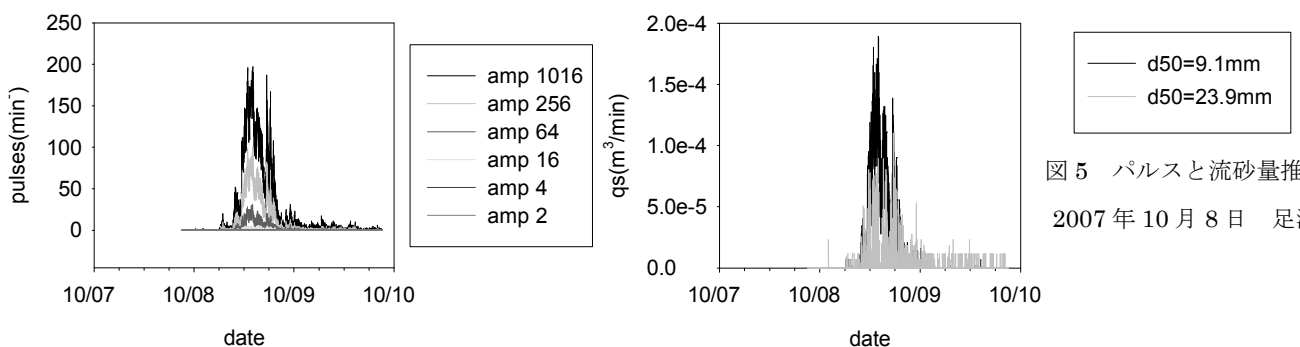


図 5 パルスと流砂量推定値
2007 年 10 月 8 日 足洗谷

5. 今後の課題

本研究により、流量だけでは山地河川の土砂移動が説明できないこと、ハイドロフォンを用いることで移動土砂の量的、質的な観測が可能であることが示された。今後は、足洗谷流域での観測を継続して、本流域における出水毎の各支川からの土砂流出のタイミング、移動土砂の粒径、量の特性を把握するとともに、雨量・流量関係の解析も行い、降雨、土砂生産、流出の総合的な解析を進めたい。

参考文献

水山高久ら (2008) : 流砂量の多い状態のハイドロフォンによる流砂計測 (音圧データの取得), 砂防学会誌, Vol. 61, No. 1, p. 35-38