

ハイドロフォン計測結果を用いた流砂量の確率的推定モデルの構築

○左藤起也*, 宮田秀介*, 小柴孝太*, 山野井一輝*
*京都大学

1. 緒言

山地流域の土砂動態予測において、ひとたび斜面崩壊や土石流などの土砂生産事象がおこると、シミュレーションの境界条件である河道への土砂の供給は大きく変動するが、その情報を現地で逐一取得できない点が課題として残っている。一方で、現地観測の成果が、必ずしも将来予測や計画に十分活用されていない面もある。そこで、斜面から河道への土砂供給条件を、流砂水文観測データから逐次設定するデータ同化手法の適用を検討する。

データ同化を導入するにあたっては、観測結果を用いてシミュレーション結果を修正するという手順を検討しており、観測結果の誤差を評価する必要がある。しかし、現在主流となっているハイドロフォンの計測値から流砂量を求める方法については、いずれも一義に計測結果－掃流砂量関係を決定するものであり、その精度は十分評価されていない。そこでピット流砂計とハイドロフォンの現地観測データや、現地河道に決められた量の土砂を投入する実験のデータに対して、高い表現力と解釈可能性を持つガウス過程回帰を用いることで、複数倍率のパルス数計測結果から、流砂量およびその標準誤差を表す流砂量推定モデルを構築することを目的とする。

また作成した流砂量推定モデルは、実現象で起こりうる大きな出水や土砂イベントについてもどの程度対応できるか不明である。そこで作成した流砂量推定モデルを実現象でのハイドロフォンの測定値に適用し、同時刻にピットサンプラーによって捕捉された土砂量との比較や現行でのキャリブレーション方法との対比を行い、作成した流砂量推定モデルの実用性について検討する。

2. モデルの構築

2.1 対象流域の概要

対象流域は、岐阜県高山市に位置する神通川水系足洗谷流域（流域面積：約 6.7km²）である。本対象流域では下流端に京都大学防災研究所穂高砂防観測所の流砂観測水路があり、ハイドロフォンやピット流砂計が設置されている。本研究では実験や実測を行ったが、データはすべてこの観測水路で測定されたものを使用した。

2.2 現地実験の概要

教師データを得ることを目的として、現地実験を実施した。ハイドロフォンの両側を流れ方向に仕切ることによって観測水路内に距離約 6.5m の実験水路を設けた。実験条件は表 1 であり、ほぼ均一な粒径の 4 種

類の砂（50%粒径：3.2, 5.2, 11.9, 20.1 mm；Case 1～4）、河道の側岸から採取された現地土砂（Case5, ）、50%粒径が約 7.5 mm となるように均一砂を混合した 4 通りの混合砂（CaseA～D, ）を用いて、実験水路の上流端から給砂強度が均一となるように 5 分間投入した。水深は各実験の前後にポイントゲージを用いて計測し、ハイドロフォンの計測は 5 秒間隔で行った。

均一粒径土砂（Case 1～4）の結果を図 1 に示す。ここではハイドロフォンのアンプ倍率が 4, 64, 1024 倍でのパルス数と流砂量の関係を示している。パルス数と流砂量には正の相関関係があり、定性的にはアンプ低倍率でのパルス数は大粒径、アンプ高倍率でのパルス数は小粒径に対応していた。これは小粒径の流砂はパイプ衝突時の音が比較的小さいため、アンプ低倍率ではパルスとして記録されないからと考えられる。

2.3 モデルの構築

前節の実験結果および表 2 の実測結果を用いて、流砂量推定モデルの構築を行った。使用したデータは各増幅率のパルス数（1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2 倍）である。

流砂量とパルスを結びつける回帰モデルは、ガウス過程回帰（Gaussian Process Regression, GPR）を利用した。ガウス過程回帰は確率的モデルであり、予測だけでなく不確実性も表現するため、データ同化との相性がよい。そこで本研究ではガウス過程回帰を用いて、流砂量の平均値とその誤差を推定するモデルを作成した。

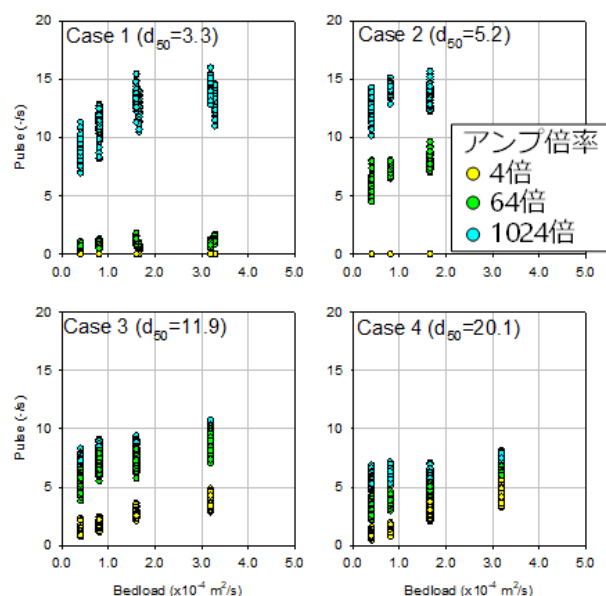


図 1 均一粒径土砂の実験結果

表 1 実験条件

Case	粒径	実験回数	土砂の重量 (kg)	流砂量 ($\times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$)
1-1	極小	2	160	3.2
1-2	極小	2	80	1.6
1-3	極小	2	40	0.8
1-4	極小	2	20	0.4
2-2	小	1	80	1.6
2-3	小	1	40	0.8
2-4	小	1	20	0.4
3-1	中	2	160	3.2
3-2	中	2	80	1.6
3-3	中	2	40	0.8
3-4	中	2	20	0.4
4-1	大	2	160	3.2
4-2	大	2	80	1.6
4-3	大	2	40	0.8
4-4	大	2	20	0.4
5-2	現地	1	80	1.6
5-3	現地	1	40	0.8
5-4	現地	1	20	0.4
A	混合A	1	40	0.8
B	混合B	1	40	0.8
C	混合C	1	40	0.8
D	混合D	1	40	0.8

表 2 モデル作成に用いた実測データ

開始時刻	終了時刻	データ数
2016/6/25 1:00	2016/6/25 12:00	660
2016/8/2 15:00	2016/8/6 0:00	4860
2016/8/30 5:00	2016/8/30 16:00	660
2017/7/1 7:00	2017/7/1 17:00	600
2017/9/22 0:00	2017/9/22 19:00	1140
2018/6/28 9:00	2018/6/28 16:00	420
2018/9/8 0:00	2018/9/8 10:00	600
2018/9/30 22:00	2018/10/1 5:00	420
2023/9/21 19:00	2023/9/21 20:12	72

3. モデルの検証

モデルの検証データとして、2016 年 11 月～2017 年 10 月の 1 年間と 2018 年 6 月 25 日～7 月 14 日の実測値を用いた。この期間はピット流砂計のデータがないので、既往の推定法¹⁾とともに検証結果を図 2 と図 3 に示す。

図 2 では、すべての月で既往の方法による推定量が、モデルの $-2\sigma \sim +2\sigma$ に含まれていた。また年間での累積の流砂量は、平均が約 3000m^3 で誤差を 2σ まで含めると約 $1000\text{m}^3 \sim 21000\text{m}^3$ となった。この流域での年間土砂生産量は 10 の 3 乗程度のオーダーとされており²⁾、これと矛盾のない結果になった。よって、この期間に対してモデルは良い推定ができたと考えられる。

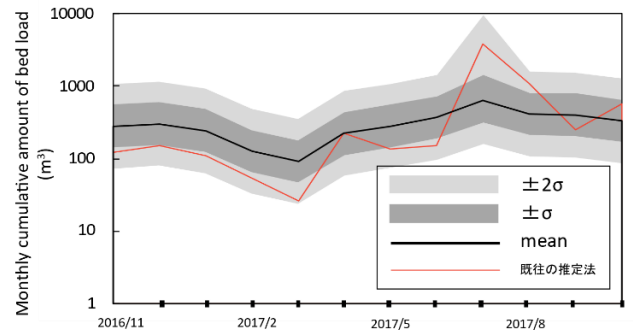


図 2 2016 年 11 月～2017 年 10 月へのモデルの適用 (月ごとの累積流砂量)

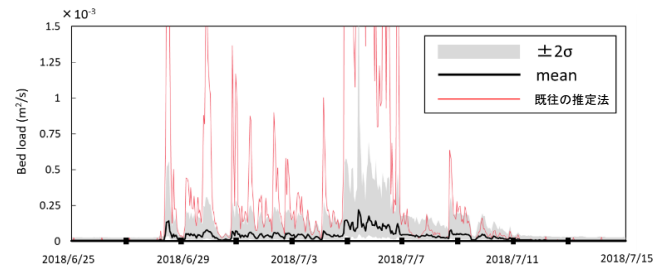


図 3 2018 年 6 月 25 日～7 月 14 日へのモデルの適用

一方、図 3 は最大 24 時間雨量が 99mm となるなど激しい出水がある期間を含むが、モデルの推定量が既往の推定法と比べて過小評価となった。原因として、この期間はパルスの飽和があった可能性がある。現状のパルスのみを用いたモデルではこの期間に対してよい推定はできないが、音圧や水位などの他のパラメータを取り入れることで、モデルの予測が向上する可能性がある。

4. 結言

本研究では確率的に流砂量を推定するモデルを構築し、検証を行った。その結果、2016 年 11 月～2017 年 10 月の 1 年間に対しては良い推定ができたが、2018 年 6 月 25 日～7 月 14 日に対しては過小評価となった。過小評価となる原因としては、同期間のパルスが飽和していた可能性がある。今後はモデルに用いるパラメータに音圧や水位を用いることで、モデルの改良を進めたい。

参考文献

- 1) 堤大三・野中理伸・水山高久・志田正雄・市田児太朗・宮田秀介・藤田正治：山地流域における定量的な掃流砂量計測，京都大学防災研究所年報，第 56 号 B, pp.465-471, 2013
- 2) 沢田豊明：山地流域の土砂流出に関する研究，京都大学博士論文，1985