

土砂動態予測のデータ同化実装に向けた掃流砂観測の確率的評価  
 Probabilistic evaluation of bedload observation for data assimilation implementation of sediment  
 dynamics prediction

○左藤起也・宮田秀介・小柴孝太  
 ○Tatsuya SATO, Syusuke MIYATA, Takahiro KOSHIBA

In predicting sediment dynamics in mountainous basins, when sediment production events such as slope collapse and debris flows occur, the supply of sediment to river channels, which is a boundary condition for simulation, changes significantly, but the problem is that this information cannot be obtained soon. On the other hand, the results of field observations are not necessarily fully utilized for future predictions and plans. Therefore, we will consider applying a data assimilation method that sequentially sets the conditions for sediment supply from the slope to the river channel from the sediment hydrological observation data.

When introducing data assimilation, it is necessary to evaluate the errors in observation results. Therefore, the purpose of this study is to use Gaussian process regression to construct an observation model that expresses the amount of bedload and its standard error from the pulse number measurement results (142words).

### 1. はじめに

現在、流域土砂動態シミュレーションにおいて、モデルの現象再現性や境界条件のすべてを実測できないという問題がある。一方、流域末端での観測データの蓄積が進んできているが、将来予測や計画に十分に活用されているとは言えない。そこで観測とシミュレーションをつなぐデータ同化手法を導入することで、土砂動態の予測精度を向上させること、流域内の状態を逆推定できるようになることが期待される。

データ同化を導入するにあたっては、流砂の観測精度がどの程度なのかことが重要となる。掃流砂を観測するハイドロフォンは、砂礫の衝突による音響の音圧もしくはそれを加工して得るパルス数が計測結果であり、掃流砂量への換算にはいくつかの方法が提案されているが、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、その精度は十分に評価されていない。そこで本研究は現地実験を実施して、ハイドロフォンの計測結果から確率的に掃流砂量を評価するモデルを作成することを目的とした。

### 2. 現地実験

2022年11月、岐阜県高山市足洗谷流域（流域面積：6.5 km<sup>2</sup>）の観測水路にて現地実験を実施した（図1）。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実験水路を設けた。実験

水路の上流端からハイドロフォンまでの距離は約6.5 mである。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。単位幅あたり給砂強度は約3.2, 1.6, 0.8,  $0.4 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/sの4通りである。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。

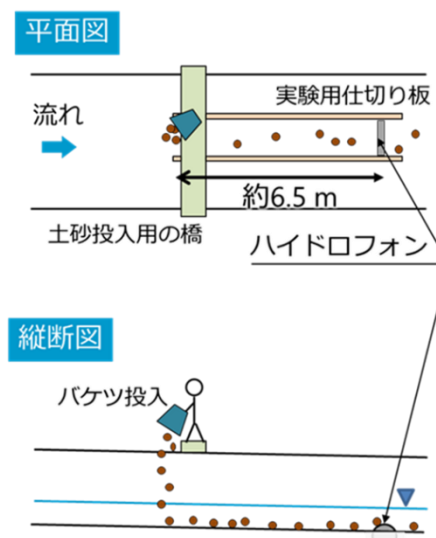


図1 実験概要

表 1 実験条件

Case	粒径	実験回数	土砂の重量 (kg)	流砂量 ( $\times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ )	水深 (cm)
1-1	極小	2	160	3.2	43, 47
1-2	極小	2	80	1.6	49, 47
1-3	極小	2	40	0.8	44, 45
1-4	極小	2	20	0.4	45, 44
2-2	小	1	80	1.6	50
2-3	小	1	40	0.8	47
2-4	小	1	20	0.4	46
3-1	中	2	160	3.2	44, 44
3-2	中	2	80	1.6	43, 44
3-3	中	2	40	0.8	43, 43
3-4	中	2	20	0.4	42, 43
4-1	大	2	160	3.2	46, 44
4-2	大	2	80	1.6	50, 50
4-3	大	2	40	0.8	40, 41
4-4	大	2	20	0.4	41, 41
5-2	現地	1	80	1.6	54
5-3	現地	1	40	0.8	54
5-4	現地	1	20	0.4	54
A	混合A	1	40	0.8	48
B	混合B	1	40	0.8	47
C	混合C	1	40	0.8	46
D	混合D	1	40	0.8	47

### 3. モデルの作成

均一粒径砂の実験結果を訓練データとし、流砂量推定モデルを作成した。均一粒径土砂 (Case 1~4) の結果を図 2 に示す。ここではハイドロフォンのアンプ倍率が 4, 64, 1024 倍でのパルス数と掃流砂量の関係を示している。パルス数と掃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。これは小粒径の掃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。

次にこれらの実験結果に対してガウス過程回帰を行い、パルス数から掃流砂量への換算について観測精度を評価できる観測モデルの構築を行った。ガウス過程回帰は、計測値と予測値についてのデータ全ての組み合わせについて回帰候補を構築し、それらを統合することで予測の誤差の確率密度関数を示す。本研究では、複数倍率のパルス数計測結果から掃流砂量およびその標準誤差  $\sigma$  を表す観測モデルを構築した。

### 4. モデルの検証

混合砂 (Case A~D) と現地土砂 (Case5) の実験結果を検証データとして、作成したモデルの検証を行った。図 3 に Case A と Case5-3 での観測モデルにより求めた掃流砂量を示す。均一砂を混合した CaseA~D においては、投入した土砂の単位幅流砂量はモデルによって推定された掃流砂量  $\pm \sigma$  の範囲に概ねおさまっていた。50%粒径は共通す

るが粒径分布が異なる Case A~D に対して、本観測モデルはいずれの混合砂でも掃流砂を精度よく評価することができた。一方、現地土砂を用いた Case5-2~4 においては、いずれもモデルの推定は過小評価となった。これは現地土砂にハイドロフォンでの応答が小さいとされる 2mm 以下の粒径の土砂や、モデル作成に使用した土砂よりもより大きな粒径の土砂が多く含まれていることにより、適切な評価ができていないからだと考えられる。

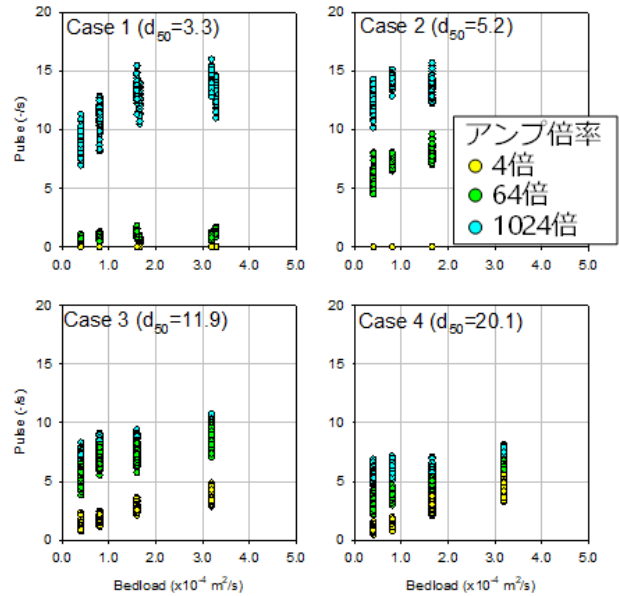


図 2 均一粒径土砂の実験結果

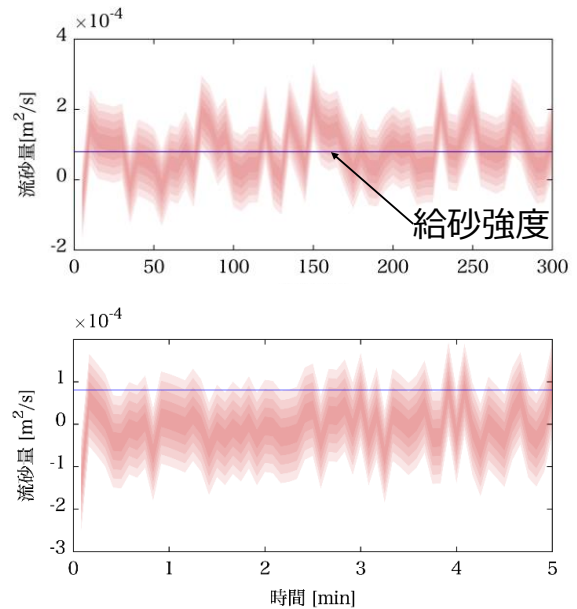


図 3 (上) CaseA と (下) Case5-3 における構築した観測モデルにより求めた単位幅当たり掃流砂量。色付きの部分が標準誤差の範囲、色の濃さが確からしさを示す