

常願寺川の流域土砂動態シミュレーションにおけるパラメータ最適化に関する研究

京都大学 ○中川 裕貴, 山野井 一輝, 中谷 加奈

1. 背景と目的

流域土砂動態シミュレーションは防災や河川管理において重要であり, その精度向上には観測データを用いたパラメータのより適切な設定が挙げられる. 本研究の対象である常願寺川は急峻かつ脆弱な地質を有し, 多量の土砂供給による河床上昇により洪水リスクが高い流域である. 流砂観測は複数地点で実施されているものの, これらのデータは十分に活用されているとは言えない.

以上を踏まえ, 本研究では常願寺川の複数観測地点の流砂観測データを用いて土砂動態シミュレーションのパラメータ最適化を行い, 地点間でのパラメータ特性の比較・検討を行った.

2. 研究方法

本研究では流域土砂動態解析モデルである SiMHiS ; Storm-induced Multi Hazards information Simulator を用いて解析を行った. SiMHiS の各パラメータは数理最適化手法によって最適化した. 最適化のアルゴリズムにはベイズ最適化手法の一つである Tree-structured Parzen Estimator を採用した.

SiMHiS での計算値と観測値の一致度の評価には, 降雨流出の分野で用いられてきた Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)を用いた.

$$NSE_{water} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - Q_{calc}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \bar{Q}_{obs})^2}$$

$$NSE_{bedload} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{bobs}^t - Q_{bcalc}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{bobs}^t - \bar{Q}_{bobs})^2}$$

ここで, 各観測地点の流量, 掃流砂量について, それぞれ Q_{obs}^t, Q_{bobs}^t は観測値, Q_{calc}^t, Q_{bcalc}^t は計算値である.

SiMHiS では多数のパラメータ設定が必要であり, 自由度が高いため各パラメータを適切に

設定することは容易ではない. そこで粒径分布が対数正規分布に従うと仮定し, パラメータ数を削減した. また, 掃流砂量は流量に大きく依存するため, まずは流量パラメータを最適化し, SiMHiS に適用させ, その後に土砂流出パラメータを最適化した¹⁾.

さらに, 各観測地点で最適化された土砂流出パラメータが, 他の観測地点の掃流砂観測値をどれだけ予測できるかを評価した.

3. 結果

流量パラメータの最適化により NSE_{water} は 0.92 と高い値を示し, 土砂流出パラメータの最適化では, 各地点において $NSE_{bedload}$ は 0.0795 ~ 0.443 の値が得られた. これにより, 各地点の流量および掃流砂量を再現可能なパラメータセットを得た. 一方で課題として, 各観測地点で最適化されたパラメータを他地点の掃流砂量予測に適用した場合, $NSE_{bedload} < 0$ となり, 予測性能が低い点が挙げられる. これより, 各観測地点の最適化されたパラメータセットでは, 他の観測地点の予測性能に限界があると言える (図1).

4. 考察

すべての観測値を予測できるパラメータを推定することが可能かどうか, カーネル密度推定 (KDE) を用いて調べた (図2). $NSE_{bedload} > 0$ の結果を再現性が高いものとみなし, KDE を用いて再現性の高くなる時のパラメータが集中する領域の統計的特性を可視化し, 比較した.

代表粒径 d_0 に関して, 各波形が共通のピークを有することから, 流域内で共通の最適値が存在する可能性が高い. 変動係数 CV'_b に関して, 本宮 (最下流) のみに明確なピークが見られた. これは, 河床の粒径分布が一様粒径に近いこと

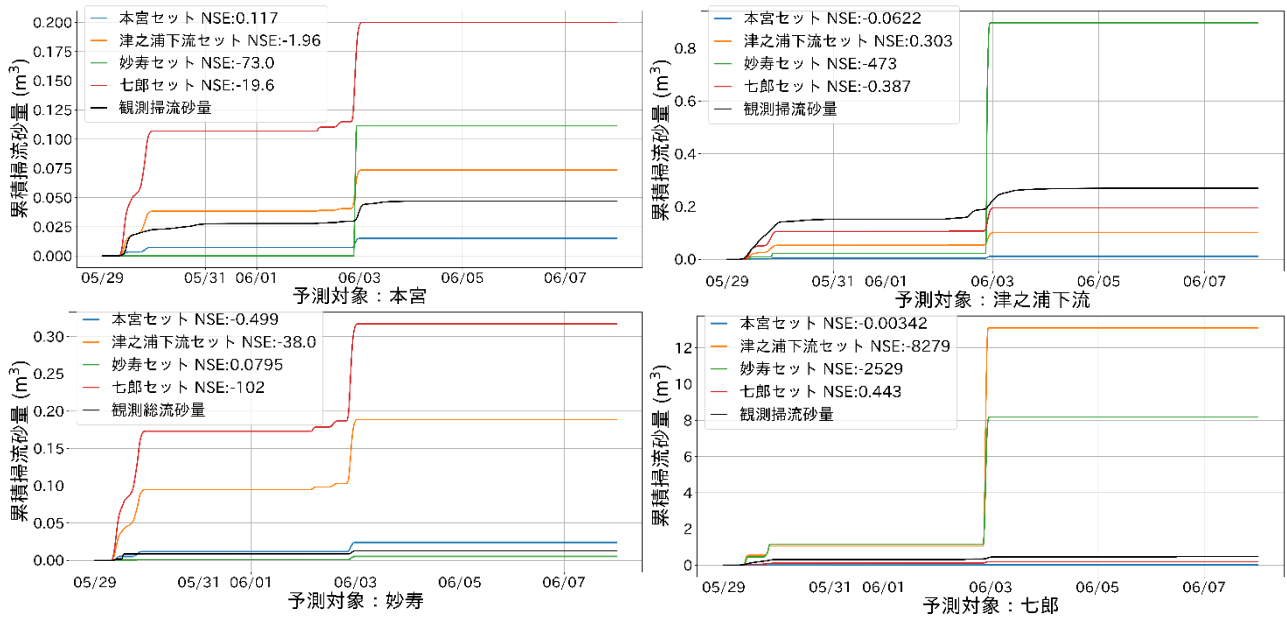


図1 最適化されたパラメータでの交差検証

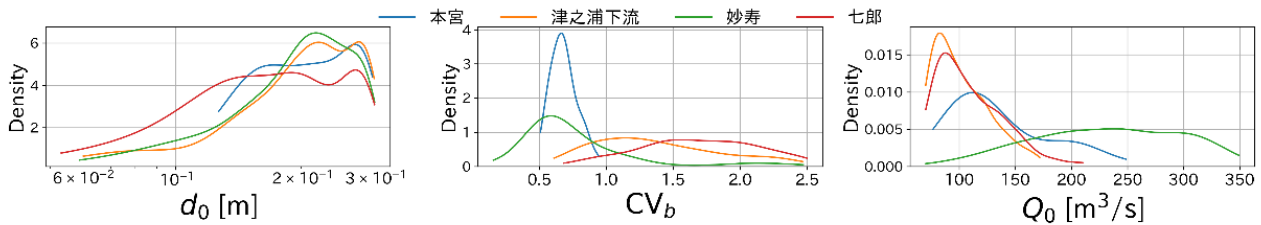


図2 各観測地点の土砂流出パラメータの KDE 比較

を示唆している可能性がある。代表流量 Q_0 に関して、妙寿において別の位置にピークが見られる。これより、最適化されたパラメータを1地点だけで判断すると他地点で観測される重要な流域特性を見落とす可能性があると言える。

KDEの比較から、パラメータごとに密度の分布特性が異なる結果が得られた。これらは各パラメータの傾向や重要性の判断の一助となる。

5. 結論

本研究では流量パラメータと土砂流出パラメータの最適化によって、各地点の流量および掃流砂量を再現可能なパラメータセットを取得した。これらのパラメータを用いて他の観測地点でのNSEを評価するとNSEは0より小さくなり、良好な結果が得られないことから、1つの観測地点の最適化されたパラメータセットでの他の観測地点の予測に

は限界があると言える。また、KDEを基に各パラメータの掃流砂量再現性に及ぼす影響を考察した。パラメータごとに密度の分布特性が異なる結果が得られ、KDEの密度比較は各パラメータの感度の大きさの判断に使えることがわかった。

多目的最適化の利用や試行回数での十分性評価、粒径や観測値の不確かさに関する観測情報の活用などについても検討を実施することが今後の課題である。

謝辞

立山砂防事務所より貴重な観測データの提供を受けました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Yamanoi et. al. :4th International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, 2025