

土砂流出シミュレーションにおけるパラメータ推定に関する研究
Preliminary Parameter Optimization Study in Sediment Runoff and Debris Flow Simulation

○山野井一輝・大石哲・川池健司・小柴孝太・岩崎大和

○Kazuki YAMANOI, Satoru OISHI, Kenji KAWAIKE, Takahiro KOSHIBA, Yamato IWASAKI

The physical parameters in sediment transport simulation (i.e., debris-flow simulation and sediment runoff simulation) have been decided mainly by field observation and/or try-and-error, which requires a hard effort. To improve the effectiveness of the parameter estimation, we developed a methodology based on Appropriate Bayesian computation to predict the probabilistic density functions of plural physical parameters. In addition, to evaluate the feasibility of estimating parameters related to sediment production in sediment-runoff simulations using the observation data by hydrophone, we investigated the seasonal variability in the relationship between water and sediment discharge in nationwide observation data. (94 words).

1. はじめに

土砂流出・土砂移動に関するシミュレーションを精緻に行うには、河床材料の粒径分布や土層の厚さ等に代表される物理パラメータを正確に決定する必要がある。一般的には、現地調査の結果に基づいて設定されることが多い。しかしながら、シミュレーションを十分な測定データがない流域に適用することを考える場合、調査自体の労力が無視できないことに問題がある。また、パラメータ自体が不確実性や空間分布を持ち測定値の代表性の評価が難しいことも問題である。

一方で、近年、土砂移動現象に関する計測技術が発展し、ハイドロフォンや濁度計による流砂量の連続観測が多く流域で実施されている。また、土石流発生時には航空 LiDAR 観測が実施され、その差分解析によって、堆積・侵食深さが精緻に観測できるようにもなっている。これらのデータを用いて土砂移動シミュレーションのパラメータを、不確実性込みで推定することができれば、シミュレーションの適用性が向上し、将来的にはパラメータの事前決定にも資する可能性がある。

以上の背景から、本研究では、まず航空 LiDAR 観測の差分で得られる標高変化データを用いた土石流シミュレーションのパラメータ推定手法の検討を行った。その後、全国の流砂観測データを用いた土砂流出シミュレーションのパラメータ推定に関する事前検討を実施した。

2. 標高差分データを用いた土石流シミュレーシ

ョンのパラメータ推定

平成 30 年 7 月豪雨で被災した広島県総頭川流域を対象とした土石流シミュレーション¹⁾²⁾を対象とした。同定対象のパラメータは、細粒分の流動化率 C_r [-]、平均粒径 d_m [m]、内部摩擦角 ϕ [degrees]、土層厚 D_s [m]、単位面積当たりの後続流量 q_a [m/s] とした。計算の格子間隔は 1m とし、計算の結果得られる地形変化量 Δz_i^{calc} と、その LiDAR 観測の差分解析で得られる観測値 Δz_i^{obs} をもとに、下記の式で与えられる $RSME$ を最小化、または F_1^{mean} を最大化する問題設計とした。

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta z_i^{calc} - \Delta z_i^{obs})^2}{N}}$$

$$F_1^{mean} = \frac{1}{3}(F_1^E + F_1^D + F_1^N)$$

$$F_1 = \frac{TP}{TP + 1/2(FP + FN)}$$

ここに、 N は計算領域の格子数、 F_1^E 、 F_1^D 、 F_1^N は侵食領域、堆積領域、非影響域それぞれに対して求めた F1 Score を示す。 TP 、 FP 、 FN はそれぞれ True Positive, False Positive, および False Negative と判定される格子数を示す。

パラメータを不確実性込みで推定するため、本研究では Approximate Bayesian computation (ABC) を用いて、各パラメータの持つ確率密度関数を推定した。ここでは、対象のパラメータをランダムに与えたシミュレーションを 3775 ケース実行し、その結果のうち $RSME$ が閾値以下または F_1^{mean} が

閾値以上となるケースのみを **Accept** し、それ以外を **Reject** する。その結果得られたパラメータの組み合わせを候補として、それらの集合から確率密度関数を推定した。結果の一例として、 $RMSE < 0.6788$ を判定基準とした場合の、各パラメータのヒストグラムと確率密度関数の形状を図-1に示す。相対的に良好な計算結果を出力できる確率密度関数の形状が示されていることが分かる。今後、この手法で得られる確率密度関数で、現地で観測可能なパラメータがどの程度説明できるかについて検証を行う必要がある。

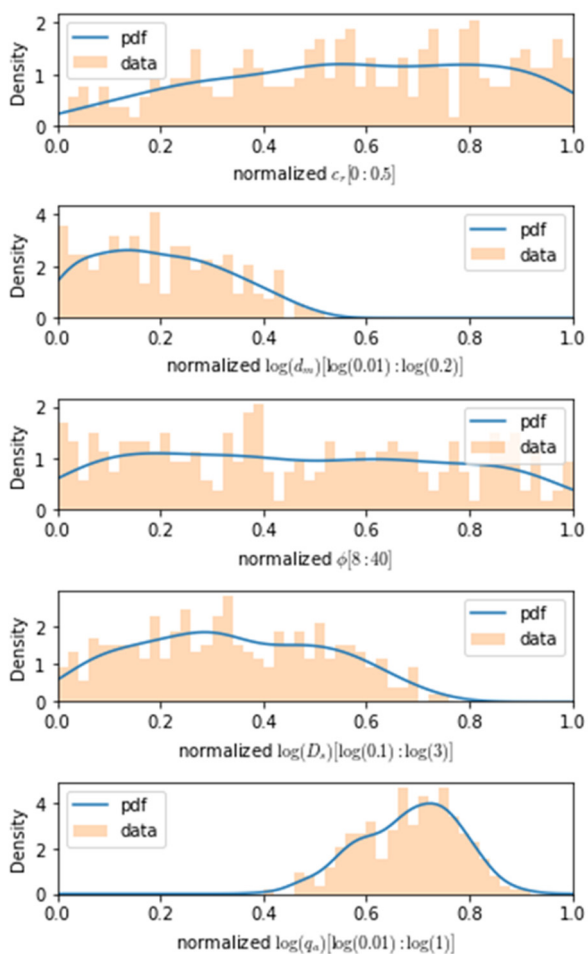


図-1 土石流シミュレーションにおけるパラメータ推定結果。上から細粒分の流動化率 C_r [-]、平均粒径 d_m [m]、内部摩擦角 ϕ [degrees]、土層厚 D_s [m]、単位面積当たりの後続流量 q_a [m/s]のヒストグラムと推定された確率密度関数(pdf)の形状を示す。

3. 土砂流出計算を対象とした土砂生産パラメータ推定に向けた予備的検討

土砂生産考慮型の流域土砂流出シミュレーション **SiMHIS³⁾**は、地形と降雨条件を入力に、土砂の生産とその河道への供給および河道内での土砂の輸送を計算可能なシミュレーションである。一方

で、モデル内で土砂生産量の予測に使われるサブモデルには、例えば凍結融解モデルにおいて基岩の温度変化から土砂生産量を推定するための係数や、斜面崩壊予測モデルにおいて土中水分量と崩壊発生の関係を流域特性毎に与えるための係数等のパラメータが含まれる。これらの値は、山地流域における流量と流砂量の関係性を支配する重要なパラメータであるが、一方で裸地斜面での土砂生産量の直接採取による観測や、土砂災害時の土砂生産量測定データを用いた試行錯誤によって、経験的にのみ決定されてきた。このため、地質や流域が異なる場合に、どの程度最適な値に差があるかは十分検討されていない。

そこで当研究では、国土交通省が全国で実施している流砂観測データを用いて、これらのパラメータの自動推定技術を開発することを目的とする。まずはこの実現可能性を検討するため、上記で述べた流量と流砂量の関係性の変動成分がどの程度現れているかについて、事前検討を行った。図-2にその結果の一例を示す。グラフ中央付近のプロットに着目すると、冬季から秋季に向けて同流量に対する流砂量が徐々に減少傾向にあることが確認できる。今後、このようなデータとシミュレーションを組み合わせ、各流域のもつ流量一流砂量関係の変動性を表現できるようなシミュレーションのパラメータ推定研究を進展させる予定である。

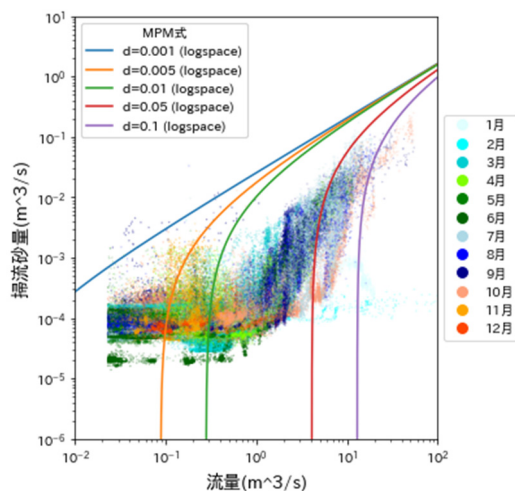


図-2 国内観測点における流量-流砂量の時期別プロット。実践は理論式 (MPM 式) を表す。

参考文献

- 1) Yamanoi et al., Journal of Flood Risk Management, 15(2), e12776, 2022.
- 2) Yamanoi et al., arXiv:2211.06837.
- 3) 山野井, 藤田: 土木学会論文集 B1(水工学), 70(4), p. I_925-I_930, 2014.