

データ同化手法を用いた高濁度河川水の発生予測に関する検討

岐阜大学工学部

岐阜大学大学院自然科学技術研究科

Bung Hatta 大学

(株)日水コン中央研究所

岐阜大学工学部

学生会員

学生会員

Vivien Wanda Rahma

正会員

正会員

○林 浩平

范 顔楊

川口智哉

篠田成郎

1. 研究の背景と目的

近年、気候変動により豪雨が頻発し、これに伴い森林や耕地から濁質が河川へ流出し水中の濁質濃度が高くなる事例が発生している。河川の濁質濃度が高くなった場合には、上水道原水取水が制限される。このような水質事故発生時には、予め原水調整池に貯留しておいた濁質を含まない水を配水するが、この調整池の容量を適切に決めることが重要になる。また、原水の取水制限の開始と終了を予測できるようにすることも大切となる。

本研究では、調整池の容量決定および取水制限の開始と終了のタイミング予測を可能とするため、高濁度河川水の発生現象をモデル化することを目的としている。近年、高濁度発生イベントが一年の間に12回観測されているA市を研究対象地域とする。A市水道水源取水口で実際に観測された降水量(mm)、濁度(度)、河川流量(m^3/s)の一部分を図-1に示す。この図では、降水量は少ないが濁度が高くなっている期間や、降水量は多いが濁度が低くなっている期間がある。また、濁度が上昇・下降している期間でも流量に大きな変化が見られないこともある。この図のように降水量または流量によって一意的に濁度が決まらない性質は濁質流出現象におけるヒステリシス特性と呼ばれる。従来の濁質流出に関わる研究では、こうしたヒステリシス特性をいかに評価するかが課題とされてきている。山梨ら¹⁾は、流出の初期、ピーク直前・直後および低減期などのステージごとに流出モデルのパラメータを変化させることによりヒステリシス特性を表現しようとした。一方、石田ら²⁾は、降雨強度の関数として濁質発生量を表現するとともに、濁質流出量を流量によって表すことでヒステリシス特性の評価を試みた。こうした既往の研究では、

いずれも流量 Q と濁質負荷量 L との関係を既定するいわゆる LQ 式によって濁質流出モデルを構成しようとしている。本研究では、この LQ 式を用いて濁質流出モデルを構築しつつ、最適なパラメータを与えることにより、どこまで濁度推定の精度を上げられるかについて検討する。

2. 濁質流出モデルの構築

従来の濁質流出モデルで用いられている LQ 式は次式で表される。

$$L = \alpha Q^\beta \dots \dots \dots (1)$$

上式のパラメータ α および β は、一般には時間・場所に依らない定数として与えられるため、上述のヒステリシスを正しく評価できない。一方、濁質は降雨時の水とともに流出し、表面流出や中間流出といった河川への流出成分によって濁質流出現象は異なるため、ヒステリシス特性はこうした違いによって生じている可能性がある。例えば、流出成分を A(直接流出)、B(中間流出)および C(基底流出)の3つに分離したとき、濁質負荷量 L は次のように表される。

$$L = \alpha_A Q_A^{\beta_A} + \alpha_B Q_B^{\beta_B} + \alpha_C Q_C^{\beta_C} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 Q_i 、 α_i 、 β_i ：第 i 流出成分(i : A, B, C)に関する流量およびパラメータである。分布型流出モデルでは、土地被覆によって α_A と β_A 、表層土壌によって α_B と β_B 、地質によって α_C と β_C が区別できるため、(土地被覆種別数+表層土壌種別数+地質種別数)×2 のパラメータ数となる。このような多数のパラメータを適切に同定することは容易ではない。

近年、気象学、海洋学、生態学などの分野において、データとモデルの融合を図るツールとしてのデータ同化手法³⁾が導入されてきている。そこで、ここでは、最も簡単なデータ同化手法の一つとされる

MCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ)法を適用する。ただし、MCMC 法では、パラメータの数が多い場合、パラメータ間の相関のためにその推定精度が低下することがある⁴⁾。このため、分布型流出モデルへの式(2)の適用に先立ち、本研究では MCMC 法を式(1)に適用して濁度推定を試みる。

3. MCMC法を用いた濁質流出モデルパラメータの同定

MCMC 法によるパラメータ同定のフローチャートを図-2 に示す⁴⁾。計算繰り返し(試行)によるパラメータの収束判定は一般には Geweke の方法⁵⁾が用いられる。図-3 は、試行回数によるパラメータの変動を示し、一定値の周りでノイズ変動することで収束したと判される。図-3 の結果から各パラメータの頻度分布を作成したところ、最頻値は $\alpha=750$ 、 $\beta=2.45$ となった。また、Geweke の方法による判定値は $Z_\alpha=1.568$ 、 $Z_\beta=-1.873$ となり、有意水準 5% でパラメータの収束性が確認できた。図-1 に示した 2007 年 7 月下旬における 2 回の高濁度発生イベントを対象とした濁度の実測値と推定値との比較を図-4 に示す。式(1)の流量 Q として実測流量を与えて同定されるパラメータ α と β を用いた推定結果であるため、ヒステリシス特性の評価はもとより低濁度期の推定精度に課題が残される結果となっている。ただし、直接流出の寄与が大きくなる流出ピーク時における濁度の再現性は高く、今後、分布型流出モデルと式(2)に MCMC 法を適用することにより、さらに濁質流出現象を精度よく評価できるようになることが期待される。

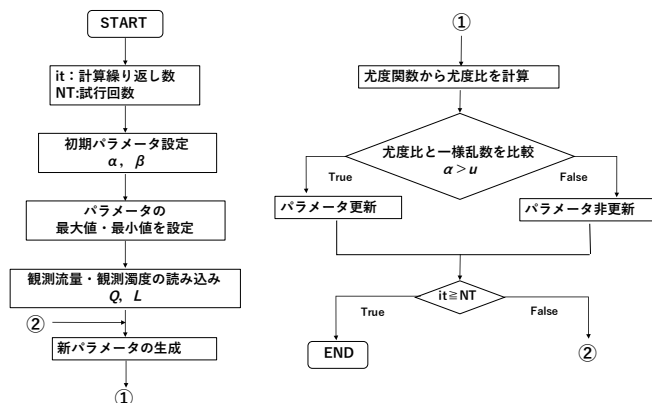


図-2 MCMC法によるパラメータ同定のフローチャート

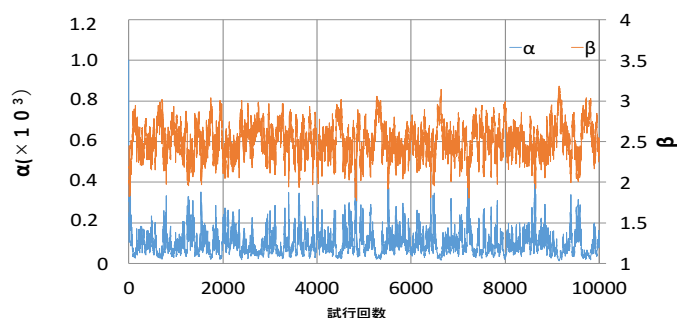


図-3 パラメータの変動

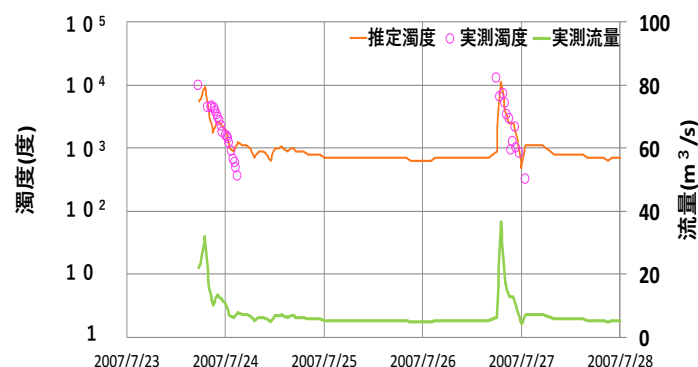


図-4 推定濁度，実測濁度，実測流量

参考文献

- 1) 山梨光訓ら：山地小流域の濁度と濁度発生量に関する数値解析，水工学論文集，50，919-924，2006。
- 2) 石田哲也ら：降雨のインパクトによる高濁度水発生と細粒土砂輸送に関する現地観測とモデル化，土木学会論文集 B1(水工学)，67(4)，I_1315-I1320，2011。
- 3) 例えば，長尾大道ら：スパースモデリングとの融合によるデータ同化研究の新展開，システム/制御/情報，61(4)，132-137，2017。
- 4) 范顔楊：降雨流出モデルへの MCMC 法の適用に関する基礎的検討，令和元年度土木学会中部支部研究発表会概要集，2020。
- 5) J.Geweke：Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculation of posterior moments，Bayesian Statistics，4，169-193，1992。

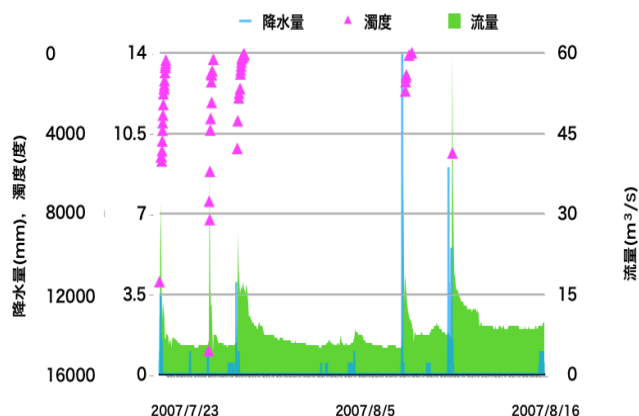


図-1 A 市水道水源取水口での降水量，濁度，流量の実測データ