

## 粒子フィルタによる流域内河川濁質流出の予測

岐阜大学大学院	学生会員	○中澤 麗稀
(株)日水コン中央研究所	正会員	川口 智也
岐阜大学	正会員	吉村 英人
岐阜大学	正会員	篠田 成郎

### 1. はじめに

近年の降水現象極端化は、耕地や森林などから流出する高濃度の濁質を含む河川水の問題を顕在化させている。こうした高濁度河川水は水道施設内に流入すると断水が長期間に及ぶため、取水を停止する必要がある。原水濁度が急上昇する場合、サンプリングと分析による現状把握は対応が時間遅れとなるため、数時間前に河川水濁度を把握することが求められている。川口ら<sup>1)</sup>は濁度の発生ポテンシャルが有する不確実性を考慮するために、原水濁度を予測するための分布型の物理モデルを構築したうえで、逐次型データ同化のアンサンブルカルマンフィルタと粒子フィルタを導入した。粒子フィルタでは、観測値が乱高下することによって粒子が退化したときの予測値の取り扱いに課題が残された。また、先行研究<sup>2)</sup>では、集中型流出モデルにデータ同化手法を適用して濁度推定し、現在状態は精度良く再現計算できたが、将来予測に十分な精度を確保できなかった。本研究では、A市水道取水口（流域面積718km<sup>2</sup>）で得られた不定期の濁度データ（夏・秋期2ヶ月間）を例として、降水量と河川流量の連続データを簡易分布型流出モデルに適用し、粒子フィルタより濁度を実時間予測する。取り扱うデータは、降雨は気象庁メッシュ全国合成レーダーGPV<sup>3)</sup>、流量は水質水文DB<sup>4)</sup>、濁度は取水口の観測値を用いた。

### 2. 簡易分布型流出モデルの概要

本研究で用いる簡易分布型流出モデルは、流域を分割してそれぞれのサブ流域を集中型流出モデルで表現し、それらを空間的に組み合わせた。これにより、空間解像度を向上させ、発生源の土地利用を考慮した。図-1に対象流域を8つのサブ流域に分割し、A市流域を1kmメッシュでモデル化したときの流域図を示す。図中の丸数字はサブ流域番号を示し、上流側から順に番号を割り当てた。

各サブ流域に用いる降雨流出モデルはMatsuiら<sup>5)</sup>によるモデルを簡略化した集中型コンパートメントモデルを適用し、濁質流出モデルは林<sup>6)</sup>によって構築されたヒステリシス特性を考慮したモデルを用いる。これらの流出モデルは、図-2に示すように各サブ流域を上からA層、B層、C層に分け、3つの流出成分を仮定し、流量 $Q$ に対して濁質負荷量 $L$ を表現する $LQ$ 式を各流出成分に適用する。本研究対

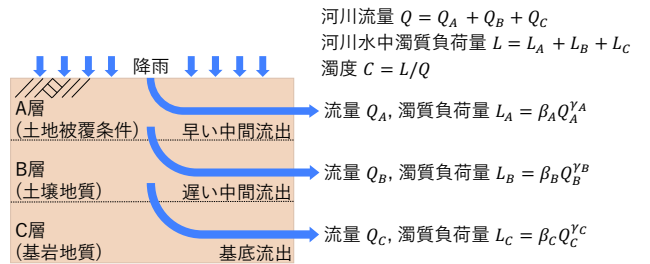


図-2 流出モデルの概念図

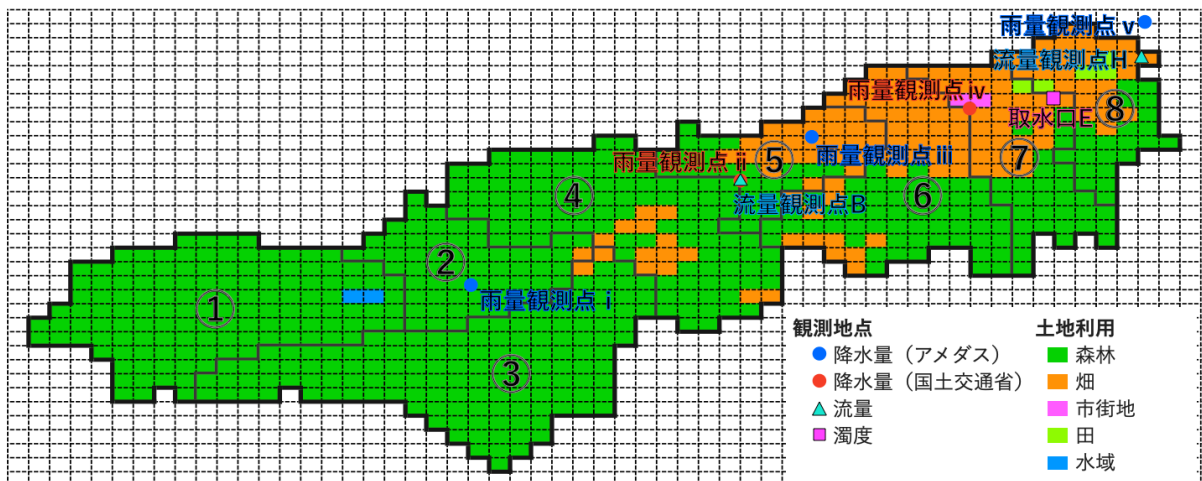


図-1 A市流域のモデル化

象流域では、主な濁質発生源が畑であることが報告されており、土地利用によってA層のパラメータが異なると考えられるため、A層からの濁質負荷量 $L_A$ を次式で表現する。

$$L_A = A_{ratio,n}\beta_{A,n}Q_A^{\gamma_{A,n}} + A_{ratio,m}\beta_{A,m}Q_A^{\gamma_{A,m}} \quad (1)$$

ここに、 $A_{ratio}$ :畑以外または畑の土地利用面積割合、 $m$ および $n$ :それぞれ畑以外および畑の土地利用の区別を表す添字である。

### 3. 粒子フィルタによる流量および濁度推定

本研究では、逐次型データ同化手法の粒子フィルタを適用し、流出モデルに含まれるパラメータを、独立な実現値とする多数の粒子を用いて表現する。粒子フィルタは、時々刻々と変化する状態量を同定するため、リアルタイム予測に有効な手法である。しかし、同定対象が多いと計算が不安定になるため、高濁度の発生源と考えられ、不確実性が大きい畑の $\beta_{A,n}$ および $\gamma_{A,n}$ を状態量として同定する。その他のパラメータは試行錯誤で得た値を固定して与える。

### 4. 推定結果

対象期間では、全部で9つの高濁度発生イベントが観測された。図-3に濁度が急上昇するタイミングのデータを含むイベント8の流量および濁度の計算結果と観測値との比較を示す。ろ波推定値、2時間先予測値ともにパラメータの変動によって推定値は観測値に追従している。濁質流出時の水道原水取水操作として、1時間前に管理基準を超える濁度上昇タイミングを予測できる必要があるとされている。図-3の2時間先予測値の推定結果に示すように、初期分布を用いた期間の推定でも濁度上昇タイミングと最高濁度のオーダーを概ね把握できており、水道施設での要求性能を満たしていると考えられる。なお、濁度上昇タイミングがやや早く推定されているのは、降雨流出モデルにおいて流出遅れが表現しきれていないことが一因と考えられ、流量モデルの改善によって上昇タイミングの推定精度をさらに向上させられる可能性がある。

### 5. おわりに

本研究では、分布型流出モデルに粒子フィルタを適用することにより、原水濁度の時間変化を予測した。その結果、フィルタリングによって濁度推定精度が向上し、濁度予測における粒子フィルタの有効性が示された。短時間先の予測値の方が推定値の信頼性が高いため、一定間隔で観測値を取得して最新の予測値を取得することが重要と考えられる。

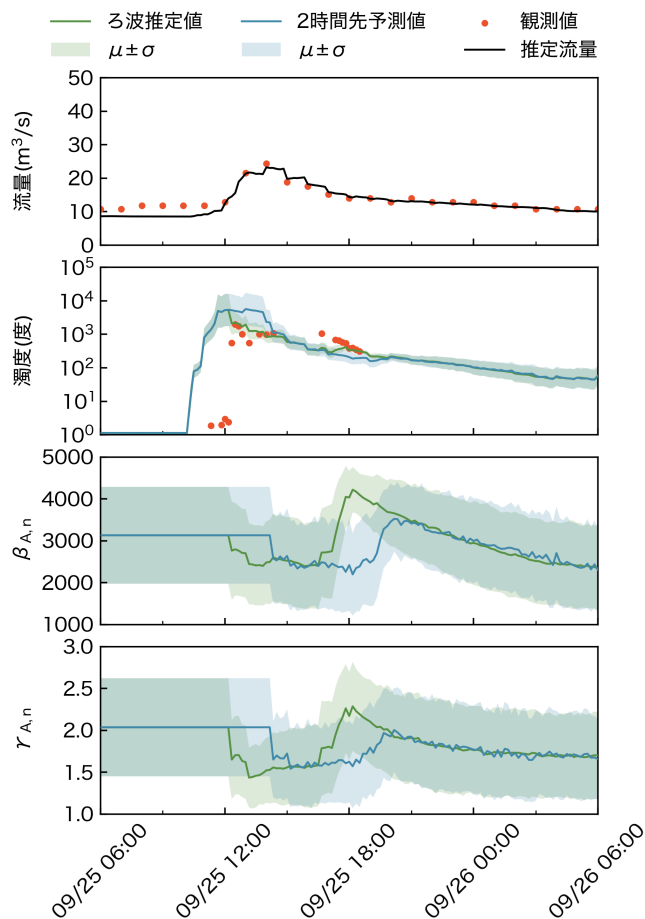


図-3 濁度の推定結果とパラメータの時間変化

### 参考文献

- 川口智也・村田道拓・濱谷義晃・榊原康之・篠田成郎：データ同化を用いた原水濁度の実時間予測手法の開発，水道協会雑誌（印刷中）。
- 中澤麗稀・范顔楊・川口智也・篠田成郎：粒子フィルタ法を用いた高濁度河川水のリアルタイム発生予測，令和2年度中部支部土木学会研究発表会講演概要集，2021。
- 一般財団法人気象業務支援センター「10分毎1kmメッシュ全国合成レーダーGPV」，URL. <http://www.jmbc.or.jp/jp/online/file/f-online30100.html>（2023年1月時点）
- 国土交通省「水文水質データベース」，URL. <http://www1.river.go.jp/>（2023年1月時点）
- Y. Matsui, S. Itoshiro, M. Buma, T. Matsushita, K. Hosogoe, A. Yuasa, S. Shinoda, and T. Inoue: Predicting pesticide concentrations in river water with a hydrologically calibrated basin-scale runoff model, *Water Science and Technology*, 45(9), 141-148, 2002.
- 林浩平・范顔楊・Vivien Wanda Rahma・川口智也・篠田成郎：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，令和元年度中部支部土木学会研究発表会講演概要集，2020。