

## 〈研究発表〉

### データ同化を用いた原水濁度実時間予測手法の開発と水道事業への活用

濱谷 義晃<sup>1)</sup>, 村田 道拓<sup>1)</sup>, 榎原 康之<sup>2)</sup>, 浅田 勇次<sup>3)</sup>  
春日井 太<sup>2)</sup>, 川口 智也<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> ㈱日水コン コンサルティング本部 環境・資源部  
(〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー E-mail: hamatani\_y@nissuicon.co.jp)

<sup>2)</sup> ㈱日水コン コンサルティング本部 水道事業部 東部水道部  
(〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー)

<sup>3)</sup> ㈱日水コン インフラマネジメント本部 国内インキュベーション事業部 DXソリューション部  
(〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー)

<sup>4)</sup> ㈱日水コン 中央研究所  
(〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー)

#### 概要

近年は集中豪雨の発生頻度が増加し、河川水の濁度が急激に悪化する場合がある。特に水道事業においては、原水における高濁度の発生によって取水を制限または停止する措置を取る場合があり、原水濁度の予測が喫緊の課題となっている。著者らは、土砂流入等に由来すると考えられる高濁度の発生ポテンシャルが不確実性を有することに着目し、観測値を活用するデータ同化手法を導入した。本研究では、予測降雨を活用して6時間先まで原水濁度を予測した結果をもとに、降水時における現場作業員の負担軽減について検討した結果を紹介する。

キーワード：水質変動、逐次データ同化、原水濁度、予測、水道事業

原稿受付 2023.6.29

EICA: 28(2・3) 127-131

## 1. はじめに

### 1.1 水道原水における高濁度発生リスク

我が国における水道普及率は約98%となっており、重要なライフラインの一つである。一方、近年は地球温暖化の進展に伴って突発的また局所的なゲリラ豪雨が頻発しており、流域からの土砂流入等に起因する高濁度原水の発生も増加傾向にある。浄水処理性能を上回る高濁度原水が発生すると、浄水施設における取水停止措置が必要となるうえ、取水停止が長期間に及ぶと断水被害に直結するため、住民生活に多大な影響を及ぼす。

水道施設の維持管理面から考えると、降雨特性の変化による急上昇やピーク後にも乱降下する原水濁度の予測は困難であり、現場での熟練技術者の減少も相まって、初動対応の遅れが重大な水質事故の発生リスクを高めることに繋がる。これらに対しては、対応の手引き<sup>1)</sup>や水安全計画<sup>2)</sup>を用いて、原水濁度の把握を含めた対応策の技術継承が進められている。

### 1.2 データ同化技術の発展

濁度の発生ポテンシャルは、L-Q式<sup>3)</sup>より定義することが多い。流量と濁度の積で定義する比濁質輸送量は、観測値があれば少数のパラメータ( $\alpha$ と $\beta$ )から

算出可能である。

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

ここで、 $\alpha \cdot \beta$ : パラメータ、 $Q$ : 比流量( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )、 $L$ : 比濁質輸送量( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \cdot \text{度}$ )、である。

濁質輸送量と類似の浮遊土砂量に係る発生ポテンシャルの日本国内の検討結果<sup>3)</sup>からは、同じ土地利用や同程度の出水規模であっても、 $\alpha$ と $\beta$ は幅広い範囲に分布することが確認でき、濁度の発生ポテンシャルは普遍的でないことが分かる。このことから濁度の予測に際しては不確実性を考慮する必要があるが、原水濁度の予測に係る既往研究は、特に実時間予測において課題があり十分でない。

例えば、浄水処理に与える影響評価<sup>4)</sup>や濁度下降期の凝集剤注入率の適切な設定<sup>5)</sup>を目的として原水濁度の予測が試みられた研究では、前者は実時間予測でなく、後者は濁度下降期に期間を限定した予測である。また、実時間予測として気象予報を利用した原水濁度の変動予測<sup>6)</sup>を行った事例はあるものの、濁度の発生ポテンシャルが有する不確実性が考慮されていない。

近年は、人工知能(AI: Artificial Intelligence)を用いて結果から原因を探る帰納的推論がなされることが多いが、ゲリラ豪雨に代表される極端事象の発生に

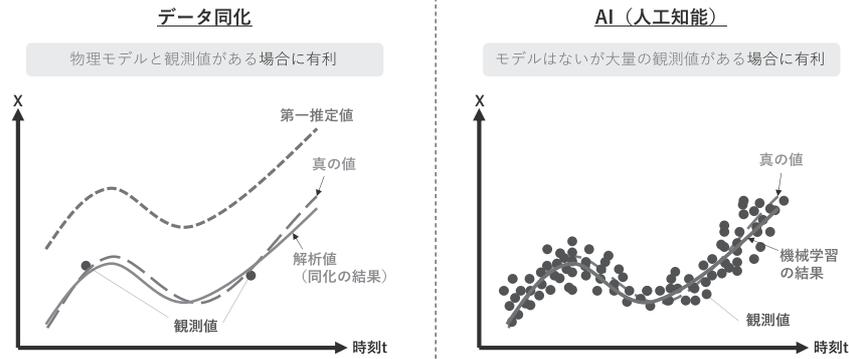


Fig. 1 Difference between AI and Data Assimilation

伴う防災情報の提供は、過去データを用いた学習に依存する AI による予測では十分とは言えない。

そこで、物理モデルと観測値を用いるデータ同化<sup>7)</sup>技術に着目した。

物理モデルを用いたシミュレーションは現実世界をモデル化するため、推定値と現実世界の観測値には差異が生じる。このシミュレーションによる推定値と観測値を逐次照合し、シミュレーションによる推定値を修正しながら確からしさを高める手法がデータ同化であり、予測精度の向上を図ることができる (Fig. 1)。

### 1.3 本研究の目的

河川水を取水する水道事業者では、既に高濁度原水への対策がなされているものの、人口減少に伴う料金収入の減少から対策の拡充は難しく、現有施設を十分に生かした運転管理上の工夫が必要となる。

著者らは、その工夫の一つとしてデータ同化を用いた河川水濁度の予測を試み、その成果を水道協会雑誌にて論文発表<sup>8)</sup>したところである。一方、濁度予測結果を踏まえた現場作業員の負担軽減についての検討は不十分であった。このことから、データ同化手法を用いた河川水濁度の予測についての紹介を行うとともに、濁度予測結果の現場での活用を検討した結果について報告する。

## 2. データ同化手法による原水濁度の予測

### 2.1 原水濁度予測手法

#### (1) ケーススタディの対象流域と使用データ

本研究の対象流域には、常呂川 (流域面積 718 km<sup>2</sup>) を選定した。過去に発生した常呂川の河川水高濁度の原因は、浸透能以上の豪雨により生じた地表流が取水口周辺にある畑における表土を侵食したためと指摘<sup>9)</sup>されていることから、濁度の発生ポテンシャルとして着目すべき L-Q 式の  $\alpha$  と  $\beta$  を対象に逐次型データ同化を適用し、河川水濁度の実時間予測を検討した。

#### (2) 予測手法の構築

流れ解析モデルを AIST-SHANEL<sup>10,11)</sup>を参考に構築し、流域データ<sup>12)</sup>を利用して流量 (Q) を推定する。これに、Fig. 2 で示すような処理フローによって河川水濁度の実時間予測を行う。研究では、アンサンブルカルマンフィルタ (EnKF: Ensemble Kalman Filter) によるモデル構築を行った。

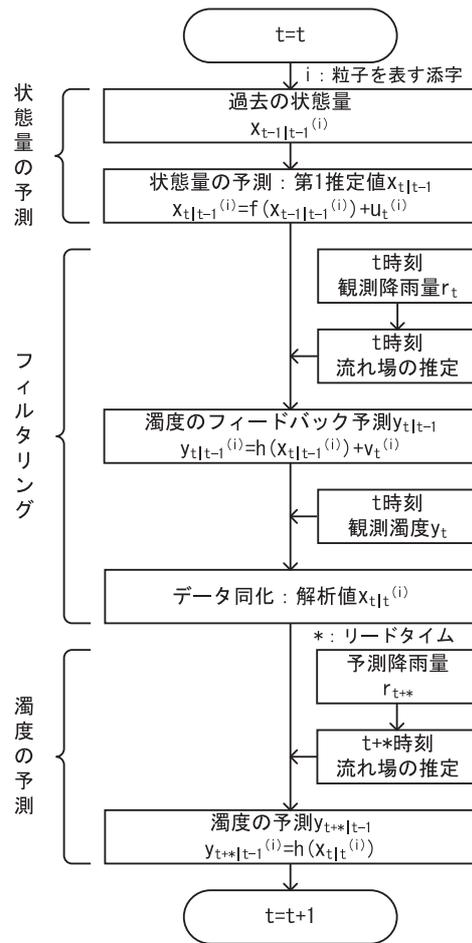


Fig. 2 Data Assimilation Process

## 2.2 予測手法の性能評価

### (1) 河川流量と河川水濁度の推定結果

対象とする出水イベントは、データ整理をした期間内において総降雨量が最も大きい独立降雨を対象とした。本来であれば予測降雨量を設定すべきであるが、本研究ではデータ同化の性能評価が主な目的であることから、降雨完全予測（予測降雨が100%的中し実績降雨と等しい）を仮定し、6時間後までの河川水濁度を予測した。その結果、流末に位置する取水口近傍での河川流量の検証結果（Fig. 3）から、0.7以上のNash-Sutcliffe係数より解析モデルは妥当と判断した。

続いて、EnKFを用いた河川水濁度の予測結果をFig. 4に示した。解析値が概ね河川水濁度の観測値をトレースする形になっていることに加え、各時刻から6時間後までの予測値についても増減の傾向を捉えることができたと判断した。

### (2) 予測手法の性能

検討対象とした降雨では、観測値が乱降下した当初期間において、解析値が観測値を再現できないこと、さらに解析値に基づく向こう6時間の予測値も観測値に整合していなかった。しかしながら、予測値は取水停止基準の濁度200を上回るタイミングや、その高濁度の継続状況は概ね把握できており、観測値が乱降下する場合の予測値の取り扱いに課題があるものの、データ同化手法による予測性能は良好であると評価した。

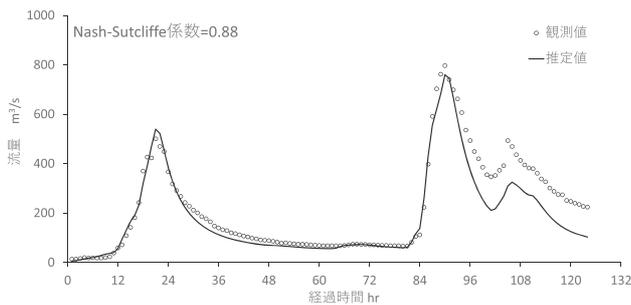


Fig. 3 Estimation of Flow Rate

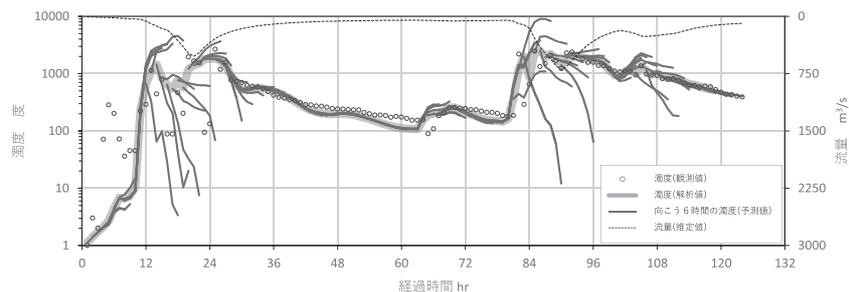


Fig. 4 Estimation of Turbidity Using Data Assimilation (EnKF)

## 3. 水道事業者における原水濁度予測結果の活用

### 3.1 水道事業者の運転管理上の課題

対応の手引き<sup>1)</sup>によると、我が国の浄水量のうち約8割は急速濾過方式で処理されており、本方式は500~1,000度を超える高濁度原水にも対応可能である。一方、高濁度原水への対応には、浄水場の特性を熟知した技術員による適切な運転操作が必須であるが、中小規模の水道事業者においては技術継承や人材不足の問題が顕在化しており、適切な対応が困難となる可能性がある。

また、既往報告<sup>13)</sup>によると、取水口上流部における河川水濁度をリアルタイムで把握することは、浄水場の運用検討に時間的な余裕を与えるため、高濁度が頻発する浄水場では必須の備えであるとされるが、予測については言及されていない。

### 3.2 原水濁度予測結果の活用に関する考察

水道事業者が高濁度原水発生時の対応を円滑に行う上では、今後の原水濁度の変動傾向が予め明らかになっていることが望ましい。このことから、データ同化手法を用いて、向こう数時間先までの河川水高濁度の予測結果が分かることは、水道事業者にとって有用である。

本研究では、「原水高濁発生時に浄水場の機能を停止させないための方策」と「データ同化手法を用いた河川水高濁度の予測」を関連づけた工程表として、「高濁度原水への対応を想定したタイムライン（案）」の作成を提案する。

例として、河川水高濁度の予測が的中した場合のタイムラインをTable 1に示す。降雨当日の午前中に配信された最新の河川水濁度の予測結果を受けて、濁度がまだ低いうちから警戒態勢に入ることが可能となり、予め行っておくべき対応が完了した状況で原水の高濁度を迎えることができる。これは、適切に対応することができた状況を示しているが、予測精度をさらに向上させることで有用なツールになると考えられる。また、原水濁度が200度を下回るタイミングを事前に把握することで、関係者に精神的な余裕を与えることが

Table 1 Timeline for Operational Management, Utilizing Turbidity Prediction Results

時間	濁度と降水量の経時変化	原水濁度の状況	濁度の予測(1時間ごとに更新)	水道事業者や運転管理の受託者が行う対応	
前日 21:00		・翌日から大雨になることが判明→原水濁度の上昇が懸念される		・「原水高濁度対応のための警戒態勢」になる可能性があることを関係者間で共有	
当日 0:00					
3:00					
6:00					
9:00		・降雨により原水濁度が上昇を始める	・最新の降雨情報により濁度を予測 → 12時頃には30~50度になる可能性 ↓	・「原水高濁度対応のための警戒態勢」に入る → 濁度の上昇に備えた事前の対応を実施(運転管理、河川巡回、ジャーテスト等)	
12:00		・予測通り、濁度が30~50度を超える	・最新の降雨情報により濁度を予測 → 15時頃には200度を超える可能性 ↓	・現在の濁度および濁度の予測値を踏まえた対応の実施 → 凝集剤注入量の制御(ジャーテストの結果を踏まえた手動による設定等)	
15:00		・予測通り、濁度が200度を超える	←←↓ ↓ ・21時頃には、200度を下回る可能性 ↓ ↓ ↓	・状況に応じて、取水の停止措置等を実施	
18:00					
21:00		・予測通り、濁度が200度以下となる	←←↓ ↓ ↓ ↓ ↓	・状況に応じて、取水を再開	
翌日 0:00					
3:00				↓ ↓ ・6時頃には、30度を下回る可能性 ↓ ↓ ↓	
6:00		・予測通り、濁度が30度以下となる	←←↓ ↓ ↓ ↓		
9:00			↓ ↓		
12:00	・平常時の濁度まで回復	←←		・「原水高濁度対応のための警戒態勢」を解除する	

可能となる。

一方、予測が安全側に外れた(予測よりも濁度が高くなかった)場合はまだ良いが、予測が危険側に外れた(予測よりも濁度が高くなった)場合には現場での混乱を招くため、予測精度の更なる向上が求められる。

#### 4. 今後の課題と将来展望

本研究では、実際に降った雨(実績降雨)を完全予測降雨として構築モデルに供与し、その推定値と観測値の比較を行ってきた。しかしながら、現場での導入を考える上では、気象庁から配信される不確実性を含んだ予測降雨を基に将来時点の河川水濁度を推定する必要があるため、その精度について更なる検証が必要となる。

一方で、非常時の対応については熟練技術者の暗黙

知に依存してきた部分もあることから、本研究で構築した予測モデル等を用いて将来水質の「見える化」をすることで、安定的な運転管理と技術継承に繋がると考えられる。さらには、緊迫した場面での適切な対応が求められる現場職員に対して、時間的および精神的な余裕を与えることに繋がるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 高濁度原水への対応の手引き, (公財)水道技術研究センター (2014)
- 2) 水安全計画策定ガイドライン, 厚生労働省健康局水道課 (2008)
- 3) 武川一樹, 二瓶泰雄: 日本の河川における浮遊土砂輸送量と流量との相関関係, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 69, No. 2, I\_1221-I\_1225 (2013)
- 4) 小保内啓太, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏: 水文水質モデルを用いた釜房ダム流域における豪雨による高濁度化の浄水処理システム影響評価, 水道協会雑誌, Vol. 84, No. 5, pp. 2-14 (2015)
- 5) 有村良一, 黒川太, 穂刈啓志: 高濁度原水発生時における水

- 質管理の取組み —— 濁度下降期の濁度推定とその活用 ——, 水道研究発表会, pp. 318-319 (2015)
- 6) 数理モデルに基づく河川水質予測システムの構築 —— 気象予報を利用した原水濁度の変動予測 ——, 水道研究発表会, pp. 158-159 (2020)
  - 7) 樋口知之, 上野玄太, 中野慎也, 中村和幸, 吉田 亮: データ同化入門 —— 次世代のシミュレーション技術, 朝倉書店, p. 240 (2011)
  - 8) 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, Vol. 92, No. 4, pp. 30-42 (2023)
  - 9) 北見市水道水の断水に関する原因技術調査委員会報告書(要約), p. 19 (平成19年8月3日)
  - 10) 石川百合子, 東海明宏: 河川流域における化学物質リスク評価のための産総研 —— 水系暴露解析モデルの開発, 水環境学会誌, Vol. 29, No. 12, pp. 797-807 (2006)
  - 11) 石川百合子, 川口智哉, 東野晴行: 産総研 —— 水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL)による日本全国の1級水系を対象とした化学物質濃度の推定, 水環境学会誌, Vol. 35, No. 4, pp. 65-72 (2012)
  - 12) 石川百合子, 川口智哉, 東野晴行: 国内の任意水系を対象にした化学物質リスク評価のための産総研 —— 水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL) Ver. 3.0, 水環境学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 199-208 (2017)
  - 13) 堀真佐司: 原水の高濁と断水との関係について, 水道公論, 第56巻, 第3号, pp. 63-67 (2020)