濁度・凝集フロック計測とその応用*

漆 原 正 太 郎

1. はじめに

環境計測において、「濁り」は、水質を把握する上で色、味、臭い、温度などとともに人間の感覚に直接訴える重要な指標である。しかしながら、この基本的な水質項目である濁度の測定には、カオリンやホルマジンなどの複数の標準物質が使用され、その光学的な計測方法においても多数の方式が存在し、その適切な利用法が重要となってきた。一方、浄水プロセスにおける凝集フロックや下水処理プロセスにおける活性汚泥フロックなどの物性には、管理に役立つ情報が豊富に含まれている。最近の画像処理技術の進歩や計測アルゴリズムの開発により自動計測への道が開けた。

本論は、このような現状を踏まえながら、濁度・凝集フロック計測に関する自動計測とその応用について概要を紹介する。

2. 濁度計測

2.1 濁度計測の意義

上下水分野での濁度計測は、計測場所に依じて、その目的もさまざまである。浄水場で濁度を計測する場所としては、取水口、着水井、沈殿池出口、濾過池出口、浄水池の5カ所が代表的である。原水濁度は、一般に、夏期と冬期（降雪期）の渇水期で10～50度程度であり、春と秋の豊水期には、50～200度程度、特に、融雪時や洪水時には、数百～2000度以上にまで達することがある。このように、河川などの表流水を原水とする場合には、発現濁度が河川水位（流量）と高い相関がある。浄水場における濁度計測の目的としては、

- ①原水濁度変化の把握②凝集剤注入率を決めるための指標③各浄水プロセスの前後における処理状態の管理④水質基準（濁度2度以下）の遵守などがあげられる。

下水処理場で濁度を計測する場所としては、流入渠（沈砂池）、最初沈殿池出口、二次処理水、高度処理水などである。下水の場合、濁度計出力をSSに換算して用いることが多い。流入水のSS濃度やSS分の中の有機・無機分の比率などは、合流式・分流式、大規模・小規模などにより異なる。また、合流式の場合には、初期降雨時に高負荷を呈するため、雨水滞水池の管理に濁度計が用いられる。下水処理場における濁度計測の目的は、①原水SS濃度変化の把握②曝気槽への汚濁負荷量の指標③余剰汚泥量の管理④水質基準（二次処理水の場合）70mg/ℓの遵守などがあげられる。

2.2 濁度計測の原理と問題点

一般に広く採用されている濁度の自動計測方法は、透過光法、散乱光法、表面散乱光法、透過散乱光法などを基本原理としている。連続自動測定に対しては、測定セル窓の汚れ、粒子径の影響、溶液の着色の影響、校正に用いる標準物質の種類、試料導入形態の選択等が問題点としてあげられる。各測定方式の原理¹⁾を表1に示す。

濁度計測における溶液着色の影響は、各方式に対して種々研究されている^{2),3)}。溶液着色による出力変化を防ぐ、あるいは軽減させるには、次のような方法がある。

- (1) 溶液を透過する光路長をなるべく小さくする（例：表面散乱光方式）。
- (2) 出力の比を取り、その影響を相殺する（例：透過散乱光方式、積分球方式、偏光解消方式）。
- (3) 色素に吸収されない波長帯の光を用いる（近赤外光、光学フィルタの採用）。

図1に白色光源を用いた表面散乱光方式と近赤外光を用いた散乱光方式の色度に対する影響の比較結果⁴⁾を示す。これより、近赤外光を用いることにより色の影響を低減できることがわかる。

粒子径の影響は、測定対象が単一粒子でないこと、完全な球形でないこと、粒度分布をもつこと、などその影響は複雑である。粒子径の影響については、カオリン⁵⁾、アルミナ粉末²⁾を用いた報告がある。図2に測定方式別のカオリン粒子径に対する相対濁度変化を示

Shotaro Urushibara
昭和48年 東京理科大学大学院修士課程修了
同年 ㈱明電舎
〔趣味〕 読書

* Monitoring of Turbid matter & Coagulated floc and their Applications, 昭和61年9月17日受理

表1 測定方式と特徴

測定方法	原理図	測定範囲の目安
透過光法 通過光量が懸濁物質の量によって指数関数的に減衰する現象を利用している。	$\text{濁度} = C(K - \log I_1)$ $C \cdot K$: 定数 I_1 : 透過光量	$0 \sim 2 \text{ ppm}$ $\downarrow$ $0 \sim 10,000 \text{ ppm}$ 高濁度までの測定が可能
散乱光法 検水中の微粒子によって散乱される光量を測定して濁度を求める。	$\text{濁度} = K \cdot I_2$ K : 定数 I_2 : 散乱光量	$0 \sim 2 \text{ ppm}$ $\downarrow$ 数百 ppm 高濁度になると多量散乱が起こり逆に測定値が小さくなる。
表面散乱光法 検水表面付近の微粒子によって散乱される光量を測定して濁度を求める。	$\text{濁度} = K \cdot I_2$ K : 定数 I_2 : 散乱光量	$0 \sim 2 \text{ ppm}$ $\downarrow$ $0 \sim 2,000 \text{ ppm}$ 通過する液層が薄いので、多量散乱が起こりにくく比較的高濁度まで測定可能。
表面散乱偏光解消法 直線偏光が微粒子によって散乱される時に生じる入射光と垂直な偏光成分の割合を測定して濁度を求める。	$\text{濁度} = K \cdot \frac{R_{\perp}}{R_{\parallel}}$ K : 定数 $R_{\perp}$: 垂直偏光成分 $R_{\parallel}$: 平行偏光成分	$0 \sim 100 \text{ ppm}$ $\downarrow$ $0 \sim 500 \text{ ppm}$ 低濁度では両散乱光成分が小さくなり精度が低下する。
透過散乱光法 検水を透過した光量と微粒子によって散乱された光量を測定し、その比から濁度を求める。	$\text{濁度} = K \frac{I_2}{I_1}$ K : 定数 I_1 : 透過光量, I_2 : 散乱光量	$0 \sim 2 \text{ ppm}$ $\downarrow$ $0 \sim 1,000 \text{ ppm}$ 透過光と散乱光の比をとることにより、散乱光法よりも高濁度まで測定可能。
(積分球式)		(0.1~500ppm)

す。粒子径の影響を比較的受けにくい方式として表面散乱偏光解消法、積分球式などがある。

濁度の標準物質として、一般に、カオリン、ホルマジン、AEPA-1 が用いられる。ホルマジン、AEPA-1 は、カオリンに比べ安定性などが優れているが、上水関係では、法律により目盛基準として度（カオリン）を用いているのでカオリンとの相関をとりながら他の標準物質（ホルマジンなど）を使用する場合が多い。また、下水関係では、これらの標準物質と浮遊物質濃度（SS）との相関をとって使用する場合が多い。

濁度計は、試料導水方式により、採水形、浸せき形の2種類がある。採水形は、1カ所で複数の計測器を集中管理できるが、計測までのむだ時間の発生や採水

ポンプ、配管、脱泡槽などの保守が必要となるので、制御方式や検水の水質を十分検討して導入方式を決定することが重要である⁹⁾。

2.3 濁度計測の応用

図3に水密構造の浸せき形濁度計を用い、ダム湖の水質測定装置に応用した例¹⁰⁾を示す。本装置は、検出部の位置、濁度および水温の時間変化、垂直方向の水質分布を測定できる。これにより、アオコ（*Microcystis aeruginosa* など）等の発生分布の監視、選択取水制御、また、底泥物質の堆積状態の監視に利用されている。図4に測定例を示す。

次に、薬品注入制御への適用例を示す。これは、濁度計を用いて原水濁度を連続測定し、その濁度変化に

図1 色度影響試験

図3 水質自動測定装置構成図

応じて凝集剤（PACや硫酸バンド）の注入率を変更する自動注入制御である。浄水場に固有な注入率式を決定するのが最大のポイントであり、注入率（ppm） $= a\sqrt{\text{濁度}} + b$ なる注入率式⁹⁾が用いられるのが一般的である。凝集剤の自動注入制御を導入することで凝集剤の使用量が低減され、汚泥脱水性の改善が期待できる。

A：吸光度法（測定波長500nm、層長10mm）
S：散乱光測定法
T：透視度計法（標識は5号活字ひらがな文字）
V：肉眼比濁法（側面より照光し明るさの比較）

図2 カオリン粒子径と相対濁度の変化

図4 ダム湖の水温、濁度分布の測定例

3. 凝集フロック計測

3.1 凝集フロック計測の意義

凝集フロックは、上水と下水の場合では、それぞれ異なった形態を示す。上水フロックは、粘土コロイドを主成分としているのに対して、下水の活性汚泥は、主に混合微生物の集合体と考えることができる。上水フロックは、濁質成分と凝集剤を急速搅拌で混合後、フロック形成池で緩速搅拌を受けて大型化するので、この成長状態を観察し、良好な状態に管理することが極めて重要となる。これに対して、曝気槽の活性汚泥は、汚泥濃度で1,000～3,000mg/lと上水フロックに比べて高濃度で沈降性も小さい。活性汚泥のSV₃₀および

図7 活性汚泥乾燥重量1 mg 当たりの糸状体長とSVIの関係

攪拌の強度の調節をフィードバック制御で実施できる。

また、下水への凝集フロック計測の応用は、活性汚泥フロックそのものに関する物性のほかに、糸状性細菌や糸状菌体量の計測による糸状性バルキングの予測¹⁵⁾や活性汚泥フロックの凝集沈殿・圧密特性や分離特性¹²⁾への応用がある。図7に糸状体長とSVIの関係の測定例を示す。この図から明らかなように、糸状体長がある値（この場合は、 10^3 cm/mg）以上になるとSVIは急激に上昇する傾向にある。図8に都市下水処理場においてSVIが90から190まで変化したときの上澄水濁度(TU_{sv})、 SV_{30} 、MLSS濃度およびSVIの時系列変化を示す。ここでのSVIの上昇は、糸状性微生物によるが、この種の汚泥は、沈降能は小さいが沈殿させると明確な界面を生じ、分離能のよい清澄な処理水が得られる場合が多い¹⁶⁾。

4. おわりに

本文では省略したが、濁度計の適用に際しては、保守性や計測システム全体の信頼性についての検討も制御の高度化に伴います重要となると考える。

一方、画像処理技術の進歩により、さまざまな対象が認識、計量化されるようになってきているが、今後は、認識装置（ハードウェア）の開発とともに、その利用技術（ソフトウェア）の開発が重要になると考える。これにより、プラントの新しい管理への道が期待できる。

なお、本稿をまとめるに当たり、(株)明電舎・関根孝夫氏、同・津倉洋氏に多大の御協力をいただきました。深く感謝致します。

図8 SVI, MLSS濃度, SV_{30} および TU_{sv} の時系列変化

文 献

- 1) 松前鼎一(1981) 水質計測器の実用, 150pp., (株)プラスアルファ, 東京.
- 2) 田村正也, 斉藤紘史, 内山英樹(1986) 濁度計による浮遊物質の測定に与える分散媒の着色の影響, 水質汚濁研究, 9, 162-168.
- 3) 米沢竜夫, 小林正司, 古谷博, 菅野明夫(1974) 濁度計に対する色度の影響, 工業用水, 189, 1-11.
- 4) 漆原正太郎, 佐藤茂雄(1984) 下水処理場用濁度計, 明電時報, 179, 37-43.
- 5) 菅野明夫(1975) 水質試験(濁度)の進歩, 工業用水, 200, 54-61.
- 6) 日本工業標準調査会(1986) JISK0801濁度自動計測器, 日本規格協会, 東京.
- 7) 日本水道協会(1985) 上水試験方法, 180pp, 日本水道協会, 東京.
- 8) Ed. APHA *et al.* (1986) 214TURBIDITY "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 16th Ed, 133-136.
- 9) 津倉洋(1986) 浄水場における薬品注入制御の導入, 第37回全国水道研究発表会講演集, 493-495.
- 10) 古畑道夫, 漆原正太郎, 篠塚武夫, ダム用濁度計, 明電時報, 169, 39-42.
- 11) 平岡正勝, 津村和志, 馬場研二(1986) 微生物計測のための高速画像処理技術, 第20回水質汚濁学会講演集, 261-262.
- 12) 富士元英二, 津倉洋, 岩堀恵祐, 松井三郎, 半田隆(1984) 実規模活性汚泥プロセスにおける活性汚泥沈降特性の評価に関する研究, 下水道協会誌, 21, 107-116.
- 13) 山本純雄, 佐藤啓二, 箱守京次郎, 鎌田治(1986) 活性汚泥の分離特性とその評価, 水質汚濁研究, 9, 514-519.
- 14) 一木博幸, 木下秀夫, 馬場研二, 依田幹雄(1986) 画像認識によるフロック形成特性の計測と評価, 第37回全国水道研究発表会講演集, 129-131.
- 15) 松井三郎, 山本良子(1983) 活性汚泥の沈降性に及ぼす糸状性細菌, 糸状菌の役割, 下水道協会誌, 20, 44-53.
- 16) 須藤隆一(1977) 廃水処理の生物学, 308pp., 産業用水調査会, 東京.