

水中微粒子の粒子径分布表示法の検討

○長尾 崇史、今野 弘（東北工業大学）

1.はじめに

液体中の微粒子測定は薬品の管理、電子部品の製造分野で広く行われてきたが、浄水分野においてはクリプト対策に用いられ始めている。微粒子計の測定原理は、流路に光線を照射して粒子の散乱光量から粒子径と個数濃度を評価するが、物理的に粒子径が同じでも照射光の波長や媒質の屈折率によって測定結果が異なるので、浄水分野での適切なセンサーの選定やクリプト対策上、適切な管理手法などが検討・報告されている*）。

本報告ではその一環として微粒子計を用いて試料の粒子径および個数を測定し、得たデータを分布形として適切に表示する方法として Rosin-Rammler 分布の有用性と処理効果の考察結果の一例を報告する。

2.測定の方法および試料

2.1 機器の設定と準備 使用した微粒子計は、光遮断方式で水中の粒子数および個数を検出する装置である。光源は半導体レーザー、測定可能粒子径の範囲は 2~100 μm で 8 チャンネルある。他の測定や異物による影響を無くす為に、試料を 25mL 以上流してから測定を開始した。測定粒子径は 2,3,4,5,6,7,8,9 μm または 2,5,8,10,15,25,50,100 μm(微粒子計の default 値)として、測定容量 50mL、流速 100mL/min に設定した。

2.2 本実験の概要と試料 本実験では試料として①市販のカオリンとベントナイトの希釈水、②実浄水場の浄水処理過程毎の水 を用いた。前者はそれぞれ 0.1,1.0,10.0mg/L に調製して測定を行った。その際の希釈溶媒は 0.45 μm のフィルターで濾過した蒸留水である。また、実験器具は、希釈溶媒で洗浄してから再び希釈溶媒を注いで 5 分間静置した後、粒子数を測定した結果において粒子径 2 μm 以上の積算個数濃度値が 10⁰ のオーダーになることで清浄度が確保されたこととした。後者はよく洗浄した採水瓶に採り、何も手を加えず、直ちに測定した。採水の対象は、原水、沈澱処理水、濾過処理水および配水である。

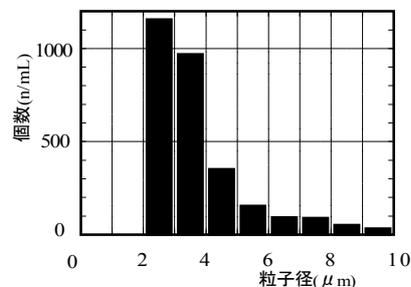


図-1 粒子径度数分布(カオリン 1mg/L)
(個数基準 ; d<10 μm)

3.測定結果と考察

3.1 微粒子の粒子径ヒストグラム

図-1 はカオリン 1mg/L の粒子径が 10 μm 以下の場合を、個数基準で示したヒストグラムである。図-2 はそれを度数 $pi = nidi^3 / \sum nidi^3$; ni :粒子径 di の個数、として重量基準に換算した。図-1,2 から個数基準では小粒子径、重量基準では大粒子径への寄与が大きいことが言える。カオリンのほかの濃度やベントナイトも傾向は同様であった。正規分布から外れ、平均粒子径や分布の広がりを見ることができても、数量的な表現は困難なので、ヒストグラムは分布形の定量化には適していない。

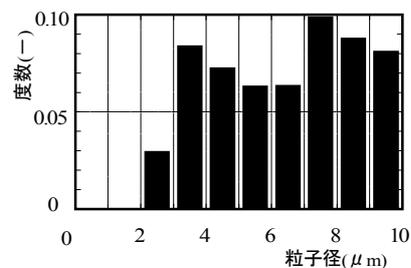
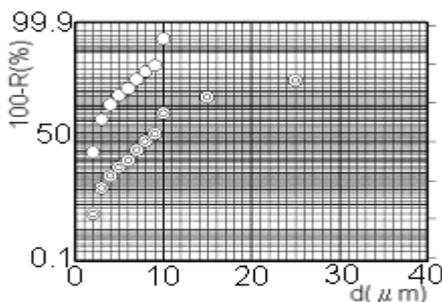


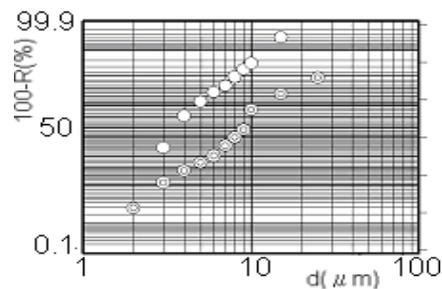
図-2 粒子径度数分布(カオリン 1mg/L)
(重量基準 ; d<10 μm)

3.2 粒子径分布の直線性の検討

カオリン 1mg/L の個数基準と重量基準の分布状況を図-3,4 に正規分布と対数正規分布で示した。各分布計の直線性を比較すると図-3 は直線と言える粒子径範囲が狭く、実用性に乏しい。図-4 の対数正規分布は、正規分布より改善され、直線的な並びの粒子径範囲が広い。



カオリン 1mg/L ○:個数基準 ◎:重量基準
図-3 正規分布



カオリン 1mg/L ○:個数基準 ◎:重量基準
図-4 対数正規分布

図-5 は Rosin-Rammler(RR)分布を示したものである。図-4 と図-5 を比較すると個数基準については対数正規分布と同程度の直線性を持ち、重量基準においても直線性が同等程度か多少改善されていることが分かる。また RR 分布の利点と特徴は、粒子径の超過確率を代数関数($R=100 \times 10^{-b'd^n}$)^{*}で表現でき、この中でも特に累乗の指数の各値は特性値と呼ばれ、平均粒子径 d_{50} ($R=50$ の場合の粒子径 d)および分布の近似直線の傾き(分布の広がり) n と $d \geq 1 \mu m$ の存在比率に関わる b' ($R=1$ の場合の b)を求めて分布形を定量化できることが挙げられる。なお、 R と b' との間には、 $b = \log_{10}(100/R)$ という関係がある。本実験を見る限りでは、水中の粒子径分布の表示方法には対数正規分布と同程度の直線性を持っていて、利点が多いことから RR 分布を選択するのが最良であると結論付けられる。

3.3 浄水過程における粒子径分布の RR 分布への適用と特性値の推移

作成試料ではなく、浄水現場の水に関しての有効性を判断するために、実在浄水場の処理水を採水後、粒子数を測定して得たデータを Rosin-Rammler 分布に適用した。結果、どの処理過程においても直線的な並びを見せ、それを維持したまま分布が変化した。次に、特性値をグラフ用紙で読み取り、まとめたのが図-6, 7, 8 で、順に n, b', d_{50} を示している。各特性値の原水について注目してみると、 n と d_{50} は他の値よりも突出して大きいのが、逆に b' は小さい。言い換えると、近似直線の傾きが大きく、分布が全体的に大粒子径の方へシフトしていることから $1 \mu m$ 以上の粒子の存在比率が大きいことを意味し、 b' が小さくなったと言える。同様に n と d_{50} は原水→沈澱水→濾過水の順に小さくなり b' はこの順に大きくなることから、処理過程が進むにつれて $1 \mu m$ 以上の粒子存在比率が小さくなるのが分かる。なお、配水については各特性値とも原水程度に大きくなる。浄水場での処理終了後に粒子径分布が大きくなる現象は、何回か測定されていて、計器の問題ではなさそうである。凝集剤の水酸化物生成反応は、藻類生産有機物存在下では、日単位での長い時間が必要という結果もあり、水酸化物が微粒子計に如何なる影響を与えるか、或いは処理後の水質変化も考えられるので今後その理由を明らかにする必要がある。

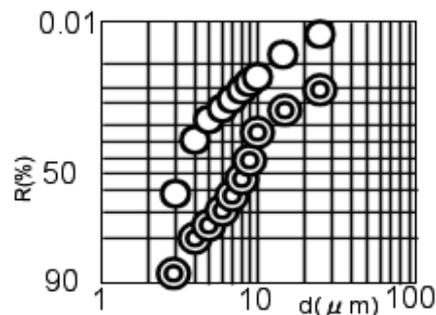
3.4 粒子径毎の凝集沈澱・濾過による粒子数の減少比

図-9に浄水過程の各粒子径の凝集沈澱・濾過による粒子数の減少比をまとめた。これによると凝集沈澱による粒子の減少比は、小さな粒子は凝集で大きくなって沈澱していくが、見かけ上ほどの粒子径によらず約 97%程度と一定に凝集沈澱している。その凝集沈澱水の濾過による各粒子径の減少比も同様に、90%程度で一定に減少していくのが分かる。

4.おわりに

水中微粒子の粒子径分布の表示方法について検討したが、Rosin-Rammler 分布を用いることで、粒子径分布の形を定量化できることが分かった。微粒子計によるデータの分析方法として利用が期待できるので、今後更なる検討を重ねていく必要があると思われる。

^{*}式中に用いられている記号 \wedge は、これ以降の値が累乗の指数であることを示している。



カオリン 1mg/L ○:個数基準 ◎:重量基準

図-5 Rosin-Rammler 分布

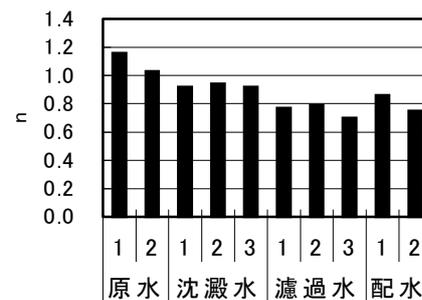


図-6 RR 分布の特性値 n

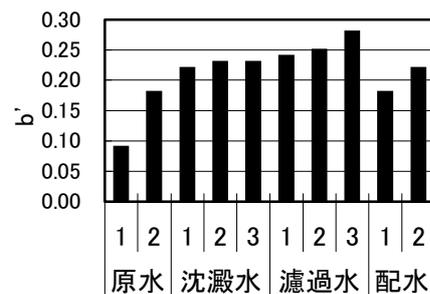


図-7 RR 分布の特性値 b'

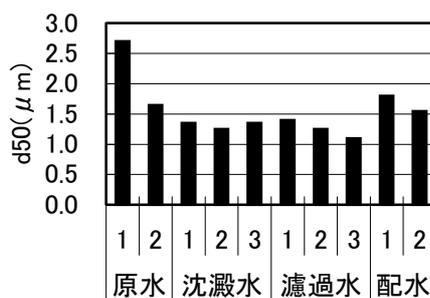


図-8 RR 分布の特性値 d₅₀

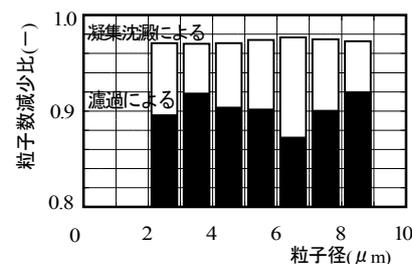


図-9 凝集沈澱・濾過による粒子数減少比

参考文献*)田中和明他など:第 52 回全国水道研究発表会講演集(2001.5),p.648-649