

研究要旨

紫外線処理において対象水中の濁度および吸光度は、処理効率へ影響を与える最重要因子として認識されているが、紫外光透過率という単一指標によって評価されている場合が多い。しかしこれでは、懸濁物質による紫外光の散乱特性を含めた評価とはなっていない。そこで本研究では、懸濁物質の吸光特性だけでなく、散乱特性も含めて紫外線処理に与える影響を把握するための指標について検討した。濁度測定法には様々あるが、そのうち可視光透過率のみによる測定値と、散乱光（反射光）も含めた測定方法による値の両者の比を用いて、濁質の散乱特性を評価できるか検討した。そのため人工的なモデル濁質としてカオリン、活性炭およびベントナイトを用いて、各濁質の散乱特性指標値を求め、その指標値と紫外線処理における低減率との相関について調べた結果、透過光方式による濁度値と積分球方式による濁度値の比は処理低減率との間に高い相関があると考えられた。

さらに実際の浄水場の原水試料を用いて、上記の指標および紫外光散乱特性の相関について検証したところ、台風や豪雨後の高濁質時の試料を除けば相関があることが確認できた。今後は高濁質時の試料においての指標性の検討を進める必要がある。

A. 研究目的

紫外線処理に影響を与える因子として最重要視されるのは対象水中の懸濁物質による光透過障害や溶存物質による紫外吸光度であるが、一般的にはその両者の影響を、紫外光の透過率のみによって評価している場合が多い。しかし、これでは懸濁物質による散乱光の影響は無視されており、正確な影響評価とはいえない。本研究では、懸濁物質による影響評価を吸光による減衰だけでなく散乱光を含めて、評価するための指標を提案することを目的とした。

今年度は、水道において一般的に用いられる指標である濁度において、測定原理が異なる方法が複数存在することを利用し、懸濁物質のもつ可視光の散乱特性を示す指標を提案することとした。また、その指標が、紫外光の散乱特性と相関するのか、さらには紫外線処理の低減効果と相関するのかについて、モデル濁質を用いてまずは検討した。さらに実際の浄水場原水を用いてその適応性についても検証した。

B. 研究方法

1) 濁質の散乱特性を把握する指標の検討

一般的に用いられる濁度測定法には、透過光測定方式、透過光 + 散乱光測定方式、表面散乱光方式、がある。このうち透過光測定方式と、透過光 + 散乱光測定方式の2方式において測定される濁度値の比を用いることによって、対象とする懸濁液の持つ可視光（濁度測定に用いられる光）の散乱特性の指標となると考えた。ただし透過光 + 散乱光測定方式において、散乱光の測定方法には、i)90°

散乱光を測定する方式、と ii)積分球式にて測定する方式、とがある。今回は ii)積分球式にて測定する方式を採用することとした。

対象試料の透過光測定方式による濁度測定には、吸光度計（島津製作所製、UV-2550）を用いて 660 nm の吸光度を測定し、カオリン標準液において検量線を作成することによって測定した。以後、この方法による測定値を透過光式濁度値と呼ぶ。また -ii) の透過光 + 散乱光方式（積分球式測定）には、濁度計（三菱化学株式会社製、SEP-PT-706）を用いて測定した。この測定値は ppm にて表示されるため、カオリン標準液を用いて検量線を作成し、ppm から度への単位換算式を求め、各測定値を度という単位の値として求めた。以後、この方法による測定値を積分球式濁度値と呼ぶ。

各対象試料において、上記 および -ii) の 2 方式にて濁度を測定し、その測定値の比を求めることとした。すなわち各試料の濁度測定値を用いて、 $(\text{積分球式濁度値}) \div (\text{透過光式濁度値})$ をもって濁度比とした。

2) 紫外光の散乱特性および紫外線処理の低減効果の把握

懸濁液による散乱の影響も含めた紫外線処理の低減効果を把握するために、分光光度計（島津製作所製、UV-2550）に、積分球式検出器（島津製作所製、ISR-2200）を付加させて測定した。用いた波長は 254 nm とした。この測定値は、試料への入射光の減衰率を入射方向のみでなく、全方向を考慮して測定でき

るため、紫外光の散乱特性が高い懸濁液においては減衰率が低くなる。即ち、散乱光によって生じる紫外線処理の効果も含めた影響評価が可能となると考えられる。本研究では、この測定方式によって得られる紫外吸光度から、紫外線処理の減衰率推定値を求めた。

3) 仮想人工濁液の混合比の算定

上記1) で求めた濁度比を元に、各対象水をカオリン（散乱特性大）と活性炭（散乱特性低）の混合液と想定したときの混合比率を式(1)および式(2)によって求めた。

$$\text{カオリン混合比率} = \frac{\text{対象水の濁度比} - \text{活性炭懸濁液の濁度比}}{1 - \text{活性炭懸濁液の濁度比}} \quad (1)$$

$$\text{活性炭混合比率} = 1 - \text{カオリン混合比率} \quad (2)$$

4) 仮想人工濁液の紫外線処理の減衰率推定値の算定

対象水をカオリンと活性炭の混合溶液と仮定した時の混合比を上記3) に従って求め、その混合比と対象水の濁度値からカオリンおよび活性炭の想定濃度をそれぞれ求め、その濃度における紫外線処理の減衰率推定値を元にして、対象水の紫外線処理の減衰率推定値を算定した。

算定は式(3)および(4)に従って行った。

$$C_{\text{カオリン}} = \frac{\text{対象水の濁度 (積分球式)}}{(1 + 1 \text{ mg/L あたりの活性炭濁度}) \times \left(\frac{\text{活性炭混合比率}}{\text{カオリン混合比率}} \right)} \quad (3)$$

$$C_{\text{活性炭}} = \frac{\text{活性炭混合比率}}{\text{カオリン混合比率} \times C_{\text{カオリン}}} \quad (4)$$

$$A_{\text{推定}} = \epsilon_{\text{カオリン}} \times C_{\text{カオリン}} + \epsilon_{\text{活性炭}} \times C_{\text{活性炭}} \quad (5)$$

$$X_{\text{対象水}} = 1 - 10^{-A_{\text{推定}}} \quad (6)$$

$A_{\text{推定}}$: 積分球式吸光測定値の推定値

$C_{\text{カオリン}}$: 想定カオリン濃度

$C_{\text{活性炭}}$: 想定活性炭濃度

カオリン : 単位量あたりの吸光度値,

活性炭 : 単位量あたりの吸光度値

$X_{\text{対象水}}$: 単位量あたりの紫外線処理の推定値

5) 人工濁水を用いた検討

対象試料として、人工的に作成した懸濁液（以後人工濁水と呼ぶ）を用いて、可視光（濁度測定に用いる光）の散乱特性を把握する指標の検討を行った。人工濁水としては、カオリン、活性炭、ベントナイトを純水に懸濁させたものを用いた。

カオリン（白陶土）は濁度標準液（和光純薬製）

を希釈した試料を用いた。活性炭は粉末活性炭（和光純薬、粒径 150 μm 以上 10%、149 ~ 50 μm 20~40%、49 μm 以下 55~75%）を純水に懸濁させて用いた。ベントナイトはベントナイト試薬（和光純薬、粒径 3 ~ 5 μm ）を純水に懸濁させて用いた。

カオリンと活性炭、どちらも 10 mg/L 懸濁液を調整し、その懸濁液の濁度比を上記1) に従って測定した。次にベントナイト 10 mg/L 懸濁液について濁度比を同様に求めた。その値からベントナイト懸濁液をカオリンおよび活性炭の混合液と想定した場合のそれぞれの混合比を求めた。想定した混合比を元に上記3) に従って、紫外線消毒効果の減衰率推定値を算定した。ベントナイト懸濁液に関しては、上記2) に従って、別途積分球式検出器を用いた吸光度計により、紫外線消毒効果の減衰率推定値を測定した。この値と前者の算定値を比較し、算定値が測定値と合致しているか評価した。

6) 浄水場原水を用いた検証

東京近郊の2箇所の浄水場（A 浄水場および B 浄水場）から原水を月に一度の頻度で採水し対象水とした。

それら対象水に対して上記4) に述べたベントナイト懸濁液に行った検討方法と同様の手順にて測定、解析を行い、実試料に対しても、紫外線効果の減衰率推定値が、濁度測定によって算定できるか検証した。

C. 研究結果

Fig.1 に各試料の濁度を測定し、その濁度比（=積分球式濁度値 / 透過光式濁度値）を求めて示した。

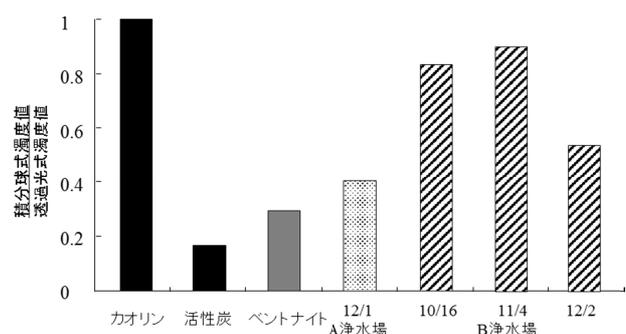


Fig.1 各試料の濁度比（=積分球式濁度値 / 透過光式濁度値）

Fig.1 に示されるように、濁度比はカオリンが最も高い値（=1）となり、活性炭が最も低い値となっていた。散乱光が大きいほど、積分球式濁度値が高く濁度比が高くなると考えられるため、カオリンの散乱特性が非常に高い物質であることがわかった。ま

た活性炭は最も低い濁度比となったことから、散乱特性が非常に低い物質であることがわかった。このことから、高散乱の標準物質としてカオリンを、低散乱の標準物質として活性炭を用いることとした。ベントナイト懸濁液および、各浄水場原水の濁度比は、いずれもカオリンと活性炭の間の値となっていた。従って、ベントナイトおよび浄水場原水では、いずれも標準物質と知ったカオリンと活性炭の混合液と想定することができた。

Fig.2 は各試料をカオリンと活性炭の混合液と想定した場合の混合比を示したものである。想定混合比は Fig.1 に示されるカオリンと活性炭の濁度比、および各試料の濁度比から式(1)および(2)を用いて求めたものである。

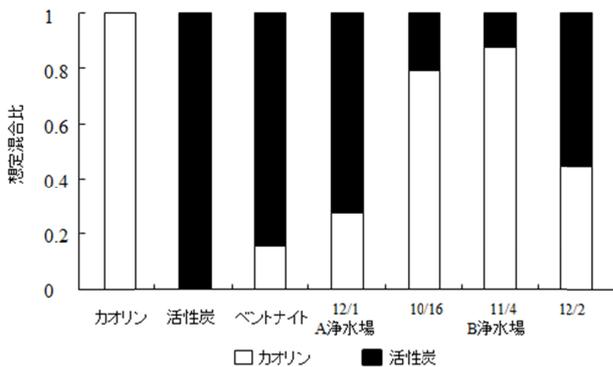


Fig.2 各試料をカオリンおよび活性炭の混合液と想定した場合の想定混合比率

ベントナイトは濁度比が活性炭に近いことから、活性炭の想定混合比率が高い結果となっている。また浄水場原水については、様々な混合比率となっていることがわかった。

D. 考察

濁度比を積分球式濁度値 / 透過光式濁度値とした場合、散乱光が高い懸濁質の場合は積分球式濁度値が高くなる傾向があり、濁度比は高い値を示すと考えられ、可視光の散乱特性を示す指標となると考えられた。Fig.1 に示されるようにカオリンの濁度比が1と最高値であり、活性炭が約0.2と最低値であった。

Fig.3 はカオリン、ベントナイト、活性炭のそれぞれのデジタルマイクロスコブ(キーエンス社製、WHX-2000)による観察の結果である。

この写真に示されるようにカオリンは粒子が全て白く見えており、可視光の散乱が高い粒子であると考えられる。一方、活性炭は粒子が全て黒色であり、可視光の散乱が非常に低い粒子であると考えられる。ベントナイトの粒子は、まばらに黒色、もしくは白色以外の有色の粒子が見られることから、散乱があ

るものの、カオリンよりも散乱は置きにくい粒子であることが伺える。濁度比の結果は、マイクロスコブで観察された散乱特性を反映したものであり、かつ定量値として示すことが可能となると考えられた。

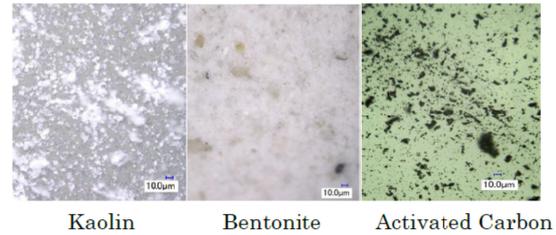


Fig.3 カオリン、ベントナイト、活性炭のマイクロスコブ観察写真

以上のことから、濁度比が最高値となったカオリンを高散乱の標準物質とし、濁度比が最低値となった活性炭を低散乱の標準物質とすることとした。

ベントナイト混合液や浄水場原水試料においては、全てカオリンと活性炭懸濁液の間の濁度比となっていることから、標準物質としたカオリンと活性炭の混合液と想定し、想定混合比率を求めることができた。

Fig.2 は想定混合比率を示したものであるが、カオリンの比率が高いものは散乱特性が高いことを表す、つまり含まれる濁質は散乱光が多くなり、紫外線消毒処理を考えると、透過光障害の影響もあるが、散乱光によって消毒効果の減衰率が低くなると考えられ、紫外透過率のみで推定される消毒の低減効果が抑えられると考えられる。

Fig.4 はベントナイトおよび浄水場原水試料水の紫外線吸光度を積分球式で測定し、その吸光度から消毒効果の減衰率推定値を求めた値と、濁度比からカオリンと活性炭の想定混合比を求め、その値から紫外線処理における消毒効果の減衰率を算定し、それらの相関を示したものである。

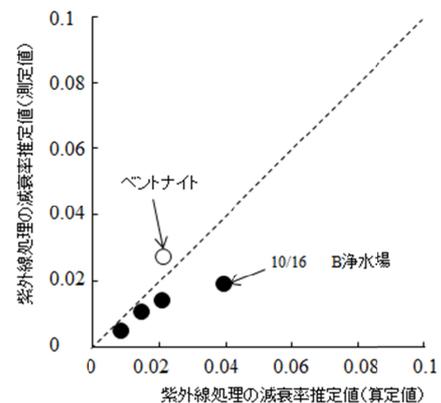


Fig.4 紫外線処理の減衰率推定値の算定値(横軸)と吸光度測定による測定値(縦軸)の関係

Fig.4 に示される点線は、算定値と測定値が同じ値となることを示している。つまり、2方式の濁度値による濁度比によって、紫外線処理の減衰率が把握できることを示している。図に示されたように、ベントナイト懸濁液については、算定値と測定値が非常に近い値となっていることがわかる。このことからベントナイト懸濁液においては、2方式の濁度値による濁度比から、紫外線処理の影響をより正確に推定することができたと考えられる。

浄水場原水においては、4採水試料のうち3採水試料は算定値と測定値がほぼ同じであり、ベントナイトと同様に、2方式の濁度測定によって紫外線処理の影響を推定することができた。しかし10/16採水試料（B浄水場）においては、算定値が実測値に比べて高い値となっており、紫外線処理の低減効果を過剰に評価したこととなった。

算定値に比べて測定値が低いということは、可視光の散乱特性よりも紫外光の散乱特性の方が高いことを示している。つまり可視光よりも紫外光が散乱するために、紫外線処理における減衰効果が算定値よりも低くなったと考えられる。このようなケースでは、濁度比を用いて紫外光の散乱を想定して、低減効果を低めに見積もった以上に、低減効果がなかったということであるが、一般的な方法である紫外吸光のみによる低減効果は、かなり過大評価であることを示すともいえる。見方を変えれば、このようなケースでは、紫外吸光のみによる紫外線処理の評価は、かなり安全側の評価となっていることになる。

この採水日（10/16）は台風による豪雨の直後であり、濁度が通常時の1.8～4.7度よりも、18度と比較的高く（いずれも積分球式濁度値）、かつ濁質成分が通常と異なっていたケースであると考えられる。

今後はこのようなケースの濁質の由来や、その他の分析値（例えば粒径分布や組成）との関連性を検討し、適切な評価方法をケースバイケースにて選択できるようにする必要があると考えられる。

E. 結論

- 1) 濁質の可視光散乱特性を、2つの方式による濁度の比（積分球式濁度値 / 透過光式濁度値）を指標とすることで把握することができた。
- 2) 濁度比を元に、対象試料（ベントナイトおよび浄水場原水）を、カオリンと活性炭の混合液とした場合の想定混合比を求めることができた。
- 3) ベントナイト懸濁液および通常時の浄水場原水においては、2方式の濁度値の濁度比によって、紫外光の散乱特性が推定され、紫外線処理への影響をより正確に推定することができると考えられた。

- 4) 台風などの豪雨時には、通常時と異なる濁質となり、紫外光散乱が可視光散乱に比べて高い濁質となり、紫外線処理の阻害効果は算定値よりも低くなると考えられた。

F. 健康危険情報 特になし

G. 研究発表

1. 論文発表
無し
2. 学会発表
無し

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
無し
2. 実用新案登録
無し
3. その他
無し