

研究要旨

紫外線消毒における濁度の影響として光散乱特性を検討した。モデル濁質だけでなく浄水場原水や浄水汚泥懸濁液において、2 種類の濁度測定値から求められる濁度比と積分球式吸光度測定値を利用して求める可視光散乱分率には高い相関性が認められた。このことから濁度測定の違いは濁質の可視光散乱性に起因することがわかった。また可視光散乱分率が高い物質は、紫外光散乱分率も高いことがわかった。浄水場原水においては濁度が高い場合、紫外光散乱が高い濁質が多く含まれ、紫外線消毒への影響は散乱による正の効果が見られると考えられた。

さらに浄水場原水中の濁質、浄水汚泥由来の濁質、モデル濁質を対象として、X 線回折分析を行った結果、UV 光の散乱程度が高いカオリン、ベントナイト、B 浄水場汚泥、A 浄水場原水において明確なピークが検出された。これらの試料ではいずれも回折角度が $2\theta = 26.4^\circ$ にピークが存在しており、濁質中に分子間距離 $d = 0.34 \text{ nm}$ の石英の結晶を含むと推定された。従って、濁質中に石英結晶を含む場合に、可視光ならびに UV 光の散乱性が高くなると考えられた。

A. 研究目的

紫外線処理において濁質による負の影響として光透過率の低下があるが、紫外光散乱による正の効果の影響も考慮して評価する必要がある。そこで昨年度までは、濁質の光散乱特性を適切に評価する指標として2つの異なる濁度測定法（公定法）の比を用いる濁度比と、通常の吸光度測定値と積分球式吸光度測定値から算定される散乱分率の2つの指標を提案し、人工濁質試料において、それらに高い相関性があることを確認し、かつ可視光の散乱特性と紫外光の散乱特性についても相関があることを示してきた。

以上の結果を踏まえて、本年度は、

- ① 浄水場原水および浄水汚泥懸濁液を用いて可視光における濁度比と散乱分率の相関を確認し、さらに可視光と紫外光の散乱分率の相関性を検討する。
- ② 人工濁質、浄水場原水、浄水汚泥試料を用いて、X 線回折分析を行い、光散乱特性との関連性について検討する

の2点について検討を行うこととした。

B. 研究方法

B.1) 浄水場原水および浄水汚泥懸濁液における散乱分率と濁度比の相関について

散乱分率は図1に示す原理によって算定される。図1において通常の吸光度測定値 A_1 は $\log(I_0/I_1)$ である。また積分球式吸光度値 A_2 は $\log(I_0/(I_1 + I_{sc}))$ である。そこで通常の吸光度測定値と積分球式吸光度測定値

から、光散乱によって生じる光透過量の減少割合を示すことができると考え、以下の式(1)のように散乱分率を定義した。

$$\text{散乱分率} = \frac{\text{散乱により透過しない光強度}}{\text{透過しない光強度}} \quad (1)$$

図1に示される値を用いて表すと以下の式となる

$$= \frac{I_{sc}}{I_0 - I_1} = \frac{I_0 10^{-A_2} - I_0 10^{-A_1}}{I_0 - I_0 10^{-A_1}} = \frac{10^{-A_2} - 10^{-A_1}}{1 - 10^{-A_1}} \quad (2)$$

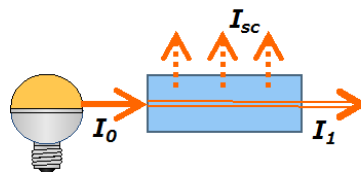


図1 吸光度測定原理 (I_0 : 入射光強度, I_1 : 透過光強度, I_{sc} : 散乱光強度)

分光光度計（島津製作所製, UV-2550）にて 660 nm における吸光度を測定し、通常の吸光度測定値 A_1 とした。 660 nm は濁度測定に用いられる可視光波長である。また同分光光度計に積分球式検出器（島津製作所製, ISR-2200）を付加して、 660 nm における吸光度を測定し、積分球式吸光度測定値 A_2 とした。

それらの測定値を用いて式(2)より可視光の散乱分率を求めた。同様に、254 nm の紫外光について測定を行い、紫外光の散乱分率を求めた。

懸濁試料の濁度比については、以下の2方式にて濁度を測定した。①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。②透過+90°散乱光方式には濁度系（HACH社製、100P）を用いて測定した。濁度比としては（②の測定値）／（①の測定値）として求めた。

対象試料としては以下の3つの試料を用いた。

- 1) A 浄水場原水にて2015年12月に採水した高濁度原水および検証用に2016年2月に採水した通常濁度の原水を用いた。通常濁度の原水においては、凍結乾燥により濁質のみを取り出し、その濁質をMili-Q水にて希釈することで10倍濃縮の懸濁液を作成した。
- 2) B 浄水場汚泥である。使用した浄水汚泥には凝集剤として使用されているポリ塩化アルミニウム(PAC)が含まれている。
- 3) C 浄水場浄水原水・浄水汚泥使用した浄水汚泥には凝集剤として使用されているPSIが含まれている。

上記の試料のうち、BおよびCの浄水汚泥試料についてはMili-Q水を用いて、透過+90°散乱光方式による濁度値で50, 70, 80, 100 NTUとなるように各段階に希釈した試料を対象とした。

B.2) X線回折による濁質試料の測定

人工濁質としてカオリン（和光純薬製）、活性炭（和光純薬製）カーボンブラック（東海カーボン社製）、ベントナイト（和光純薬製）を使用した。採水試料としてはA 浄水場原水、C 浄水場原水、B 浄水場汚泥の各試料を、100℃にて蒸発乾燥させて得られた固化物を対象とした。X線回折分析は粉末X線回折装置（リガク製、Ultima IV）を用いて行った。

C. 研究結果

C.1) 浄水場原水および浄水汚泥懸濁液における散乱分率と濁度比の相関について

図2に対象試料の可視光（660 nm）の散乱分率と濁度比（透過光方式／透過+90°散乱光方式）を測定した結果を示す。図には昨年度の研究結果として得られたカオリン、活性炭、カーボンブラック、ベントナイトの各モデル濁質を50, 70, 80, 100 mg/Lの4段階に調整した懸濁溶液について測定した結果も併せて示した。

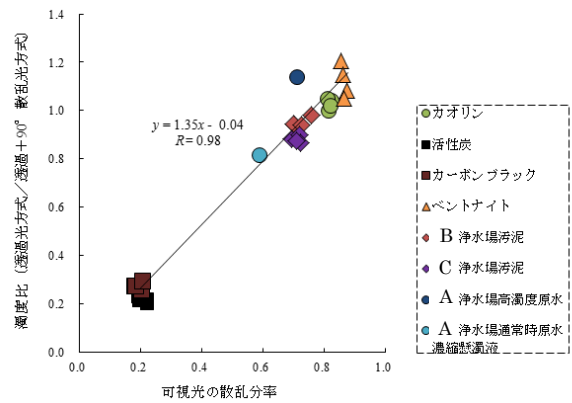


図2 各試料の可視光（660 nm）散乱分率と濁度比

図2は可視光（660 nm）の散乱分率とUV光（254 nm）の散乱分率との関係について検討した結果を示したものである。

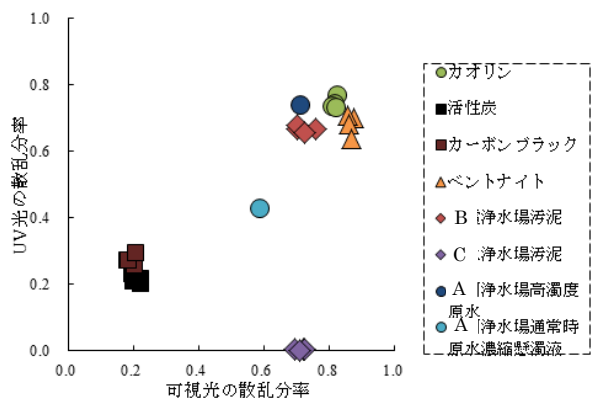


図3 各試料の可視光（660 nm）と紫外光（254 nm）の散乱分率の相関

C.2) X線回折による濁質試料の測定

図4～図10に各試料のX線回折結果を示した。

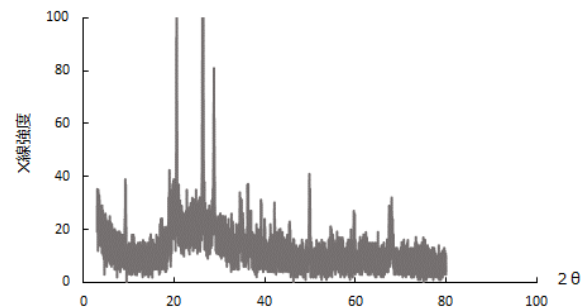


図4 カオリンのX線回折結果

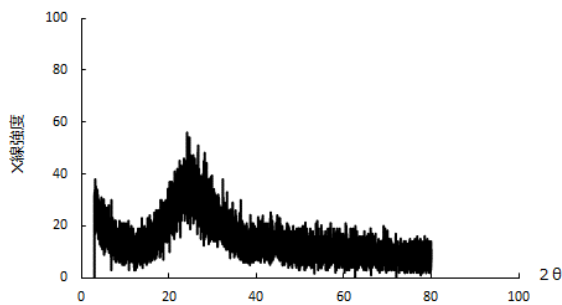


図 5 活性炭の X 線回折結果

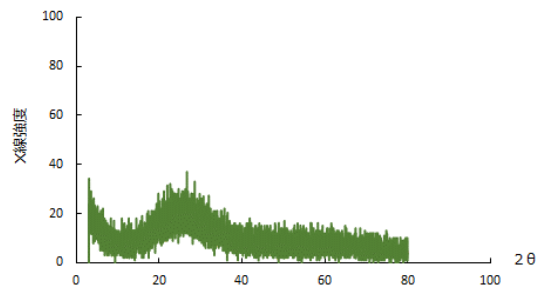


図 10 C 浄水場汚泥の X 線回折結果

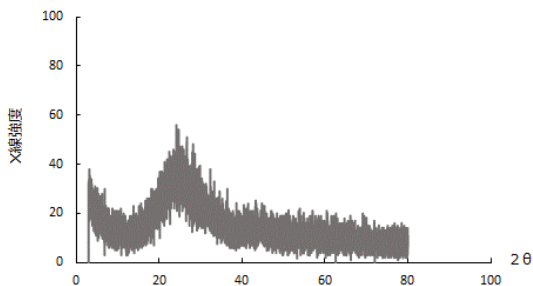


図 6 カーボンブラックの X 線回折結果

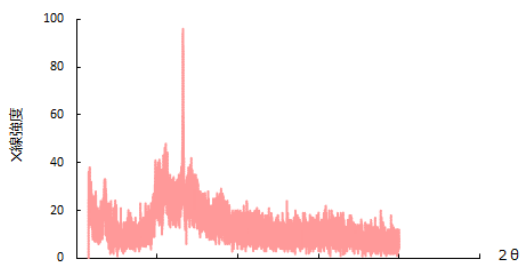


図 7 ベントナイトの X 線回折結果

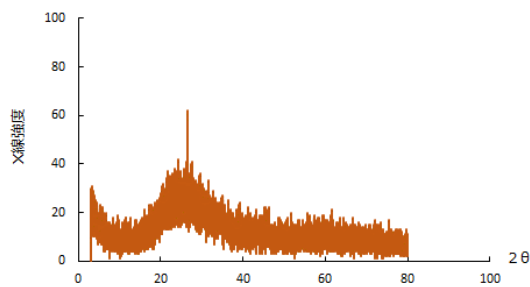


図 8 A 浄水場原水の X 線回折結果

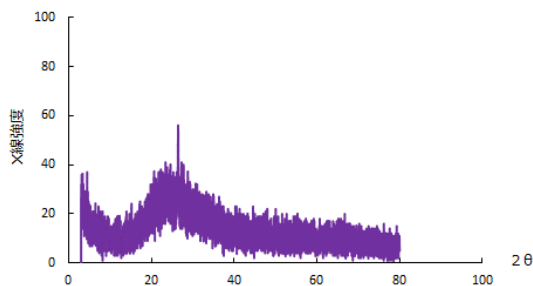


図 9 B 浄水場汚泥の X 線回折結果

UV 光の散乱程度が高いカオリン、ベントナイト、B 浄水場汚泥、A 浄水場原水において明確なピークが検出された。これらの試料ではいずれも回折角度が $2\theta = 26.4^\circ$ にピークが存在していた。UV 光の散乱程度が低い、活性炭、カーボンブラック、C 浄水場汚泥においては明確なピークはみられなかった。

D. 考察

1) 濁質の散乱特性の評価方法について

図 2 の結果から濁度比と可視光の散乱分率との間に相関が見られることが分かった。従って濁度測定法による濁度値の違いは光散乱程度によるものであることが示唆された。また、濁度比を可視光の散乱分率を表す指標として利用できることが考えられた。

図 3 の結果から、C 浄水場汚泥以外の試料では可視光 (660 nm) と紫外光 (254 nm) についての相関性が認められた。C 浄水場汚泥では可視光の散乱分率は高いものの UV 光の散乱分率は極端に低い。これは C 浄水場が凝集剤として PSI (ポリシリカ鉄) を用いていることが原因と考えられた。そこで B 浄水場汚泥 (凝集剤として PAC を使用) と C 浄水場汚泥および PSI の吸光スペクトルを測定した結果、B 浄水場汚泥は紫外光での吸光ピークは見られなかったが、C 浄水場汚泥と PSI ではいずれも紫外域で大きく吸光していることがわかった。このことから PSI を凝集剤として用いていることが、紫外光の散乱分率の低下に原因であると考えられた。

2) 濁質の X 線回折分析と光散乱特性について

UV 光の散乱程度が高い試料において明確なピークが検出された。これらの試料ではいずれも回折角度が $2\theta = 26.4^\circ$ にピークが存在していた。

この場合、Bragg の法則¹⁾より試料に含まれる結晶中の分子間距離は $d = 0.34 \text{ nm}$ であった。文献²⁾³⁾により、分子間距離 $d = 0.34 \text{ nm}$ でピークを持つ物質は石英の結晶と推定された。以上のこ

とから濁質中に石英の結晶を含む場合に、可視光ならびに UV 光の散乱性が高くなることがわかった。

E. 結論

- 1) 吸光度値と積分球式吸光度値から求める散乱分率によって浄水場原水および浄水場汚泥懸濁溶液の可視光散乱特性が評価できることがわかった。それらの濁質およびモデル濁質ともに、可視光の散乱分率と UV 光の散乱分率において良い関係性が見られており、両散乱分率には高い相関があるものと考えられた。ただし PSI 凝集剤が含有している試料においては UV 光の散乱分率は低下することがわかった。
- 2) UV 光の散乱程度が高いカオリン、ベントナイト、B 浄水場汚泥、A 浄水場原水において明確なピークが検出された。これらの試料ではいずれも回折角度が $2\theta = 26.4^\circ$ にピークが存在しており、濁質中に分子間距離 $d = 0.34 \text{ nm}$ の石英の結晶を含むと推定された。従って、濁質中に石英結晶を含む場合に、可視光ならびに UV 光の散乱性が高くなると考えられた。

参考文献

- 1) L.M.Harwood ら(1999) 有機化合物のスペクトル解析入門, 化学同人
- 2) 日本粘土学会 (2010) 「粘土科学」誌, 48(4),pp.158-198
- 3) 須藤俊男 (1974) 粘土鉱物学, 岩波書店

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