

研究分担者 神子 直之 立命館大学教授

研究要旨

濁質存在下での微生物不活化効率を回分式および流水式で実験的に求めた。濁質としては、生下水に含まれる有機性懸濁物およびカオリンを用い、添加した大腸菌ファージMS 2の生残率により不活化効率を求めた。回分式の実験により、総吸光度が等しい試料において濁質割合が大きい試料ほど不活化効果が大きくなったことから、散乱光による不活化が示唆された。また、散乱光の不活化への寄与は積分球吸光度を用いた平均紫外線照度で算定できることが明らかになった。流水式においても濁質割合が大きい試料の不活化速度が大きく、散乱光による消毒効果が確認された。紫外線照射槽に濁質が含まれる水が流入したとしても、どのような照射を行えば所定の消毒効果が得られるか、定量的に予測することが可能となった。また、紫外線耐性が異なる微生物に対して流水式で紫外線照射を行うと、微生物毎に求まる換算紫外線量が異なり、生物線量計を用いた紫外線照射槽の性能評価には注意が必要であると確認された。

A. 研究目的

紫外線照射槽に流入する水には濁質が含まれている可能性があるが、その消毒効果への影響を定量的に明らかにすることを目的とした。また、紫外線照射槽の性能評価において一般的に用いられている生物線量計試験の結果と病原微生物に対する不活化性能の関係を確かめるために、紫外線耐性の異なる微生物を流水式紫外線照射槽に流し、実験的に調べた。

B. 研究方法

濁度および吸光度を変化させた試料に対し大腸菌ファージMS 2を添加して、紫外線照射前後の生残率により紫外線照射の効果を定量した。懸濁物質による散乱光の影響を明らかにするために、濁度による吸光度と溶存物質による吸光度の和が同じになるように試料を設定した。懸濁物質としては下水処理場の流入下水中の懸濁物質およびカオリンを用いた。溶存物質の吸光度は下水処理場流入水に元来含まれている溶存物質を希釈するかあるいはファージ定量用液体培地を加えることで調製した。

紫外線光源としては低圧紫外線ランプを用いた。回分式実験においては、試料を内径4.2cm、水深1.7cmのペトリ皿に入れ、石英ガラスで蓋をしてマグネチックスターラーで完全混合の条件で照射を行った。表面照度は約1mW/cm²になるように照射距離を調整した。流水式実験においては、12W低圧水銀ランプを1灯装備した、ランプスリーブ外径2.0cm、リアクター内径5.5cmのリアクターを用いた。この実験においては、MS 2とφX174の二種の大腸菌ファージを用いた。

試料の254nmにおける吸光度は分光光度計 (SHIMADZU UV2600) を用い、必要に応じて

積分球を装着した。懸濁態を含んだ試料に対してそのまま測定した吸光度を総吸光度とし、孔径0.45μmのメンブレンフィルターでろ過をした試料の溶存態吸光度の値を総吸光度から減じることで、懸濁物質に起因する懸濁態吸光度を求めた。

(倫理面への配慮) 研究対象者や実験動物を研究において用いていないことから、倫理面の問題はない。

C. 研究結果

Fig. 1~3に、回分式における総吸光度を同じにしたMS 2不活化実験の結果を示す。横軸に用いた平均紫外線量とは、試料の総吸光度に応じて紫外線照度が減衰することを仮定した平均紫外線照度に照射時間に乗じたものであり、散乱光が無いことを仮定した算定方法である。

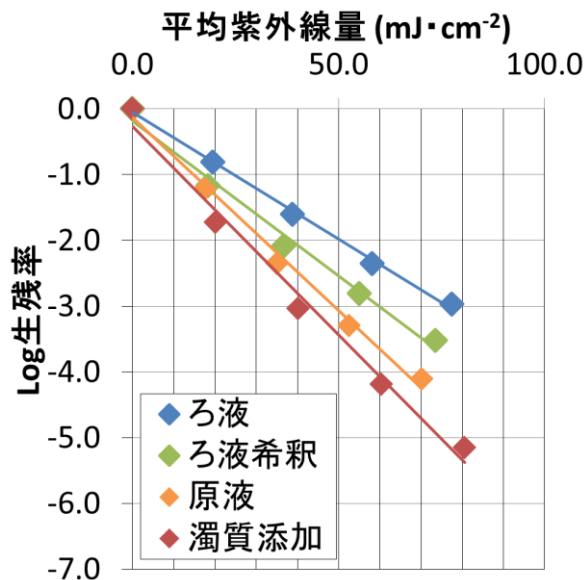


Fig.1 総吸光度 1 の下水試料におけるMS 2不活化実験の結果

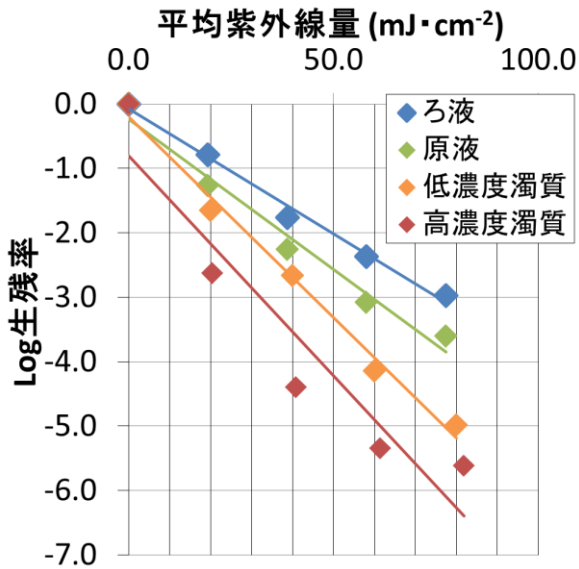


Fig. 2 総吸光度2の下水試料におけるMS 2不活化実験の結果

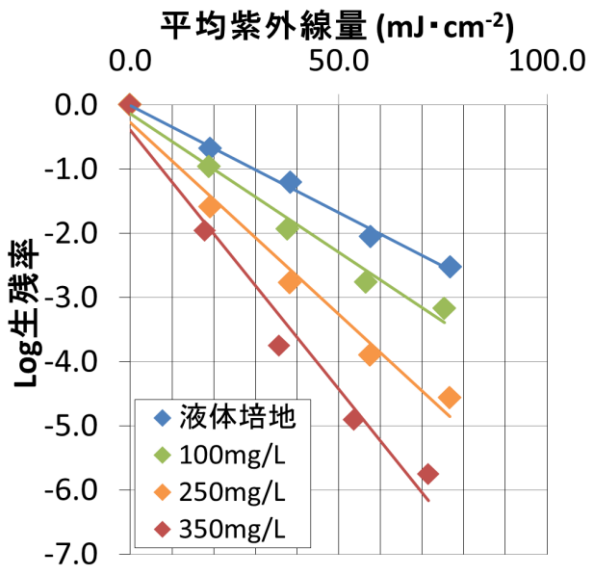


Fig. 3 総吸光度1のカオリン添加試料におけるMS 2不活化実験の結果

いずれの場合においても、濁質割合および懸濁態吸光度の大きい試料のほうが、不活化速度が大きくなった。

本来は同じ微生物を紫外線によって不活化しているので、同じ平均紫外線量の照射をすることで同じlog不活化になるはずである。ここでは、直進して到達する紫外線量が同じであるのに、懸濁態吸光度の大きいほうが不活化効果が大きくなっているため、懸濁物質による散乱紫外線による不活化が進行していることが強く示唆される。

そこで、散乱光を評価できる積分球式吸光度計を用いて積分球吸光度を測定した。懸濁態吸光度の大きい試料ほど、積分球吸光度の値は小さくなった。すなわち、試料に入射してから直進せずに散乱する紫外線が顕著であることがわかる。そして、紫外線照度の減衰が積分球吸光度に従う直進光として近似的に表せるのではないかと考え、平均紫外線照度の計算式の吸光度項に積分

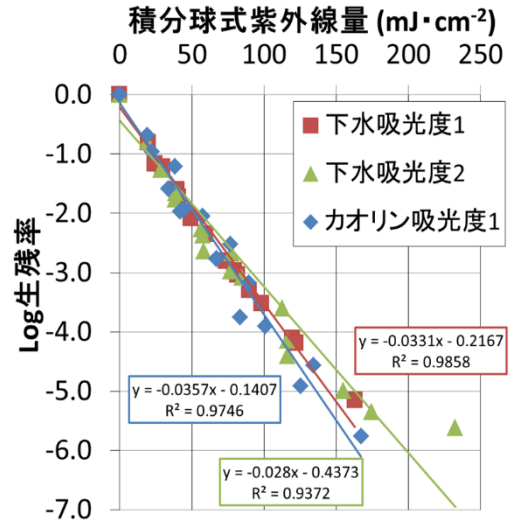


Fig. 4 積分球式紫外線量とMS 2のlog生残率の関係

球吸光度を代入し、照射時間を乗じて積分球式紫外線量を求めた。Fig. 1~3に示したlog生残率の実験結果と積分球式紫外線量の関係をFig. 4に示す。

Fig. 1~3で異なる傾きを持っていたプロットが、ほぼ同じ直線上に乗り、積分球吸光度で算定した吸光度を用いて紫外線量を算定すればその値がlog生残率と線形の関係で表せることがわかった。

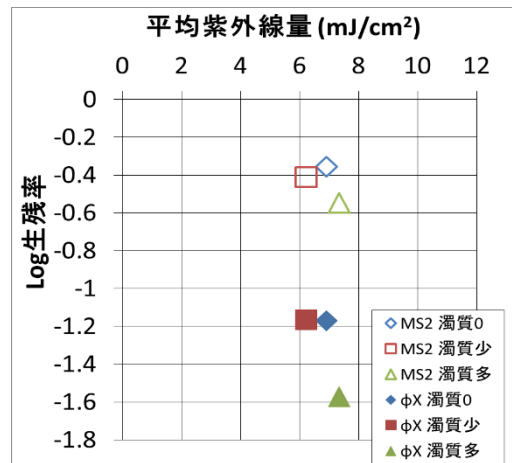


Fig.5 流水式紫外線照射における平均紫外線量とlog生残率の関係

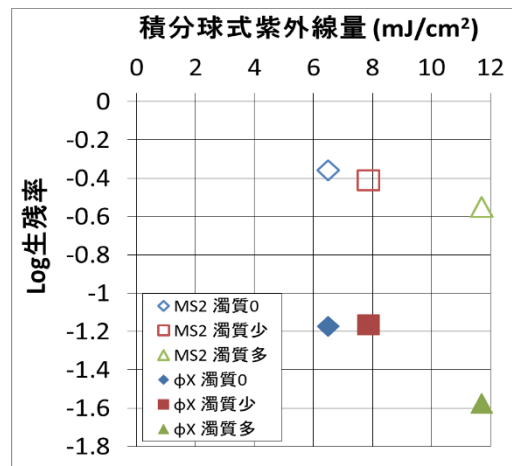


Fig.6 流水式紫外線照射における積分球式紫外線量とlog生残率の関係

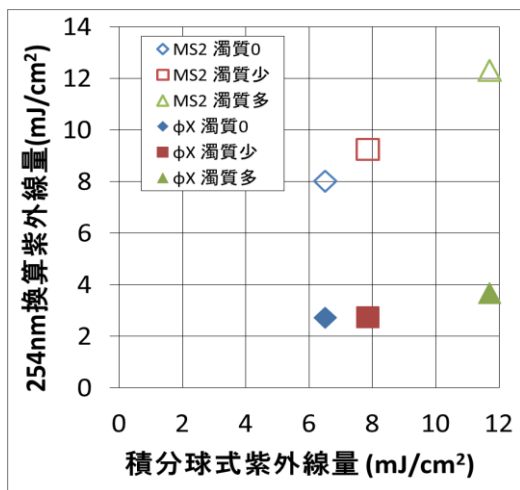


Fig.7 積分球式紫外線量と各ウイルスによって求められた 254nm 換算紫外線量の関係

流水式紫外線照射に関しても同様で、Fig.5 に示す通り平均紫外線量で横軸をとった場合には、平均紫外線量と log 生残率の関係は明らかでなかった。一方で、積分球式紫外線量で横軸にした場合には、Fig.6 に示す通り積分球式紫外線量と log 生残率が比例している傾向にあった。

Fig.6 を、別途実験で求めた各ウイルスの不活化係数を考慮して 254nm 換算紫外線量を求めて書き直すと Fig.7 になった。この結果より、紫外線耐性の大きい MS 2 (90%不活化に要する紫外線量 22.47 mJ/cm) よりも、紫外線耐性の小さい φ X 174 (90%不活化に要する紫外線量 2.336 mJ/cm) の換算紫外線量 (RED) は小さくなることがわかった。

D. 考察

濁質を含んだ試料に対する紫外線照射における微生物の不活化効率は、単に濁質が加えられた場合には濁質が無い場合よりも下がる、すなわち同じ消毒効果を得るために照射すべき紫外線量は大きくなる。以上が従来の考え方であり、これは妥当である。しかし、試料内部に到達する紫外線照度を積分球吸光度によって評価することで、回分式においても流水式においても、積分球式紫外線量と log 不活化率が比例していた。すなわち、総吸光度で算定されるよりも散乱光によって消毒効率が増大し、その程度が定量的に予測可能であるのであれば、運転上の管理項目として考慮することで、消毒効果を損なわないようにできると考えられる。

また、流水式紫外線照射装置の性能評価において、紫外線耐性が既知の微生物を流下させてその生残率から換算紫外線量 (RED) を求めることが一般的に行われている。しかし、換算紫外線量は、用いる微生物の紫外線耐性により、同じ紫外線量分布を前提にしたとしても異なる値になること

が理論的に示されている。本研究の実験結果においても、異なる微生物を流下させた場合に換算紫外線量の値は異なり、紫外線耐性の大きい微生物の方が換算紫外線量の値が大きくなった。このことは、クリプトスピリジウムのような紫外線耐性の小さい微生物の不活化を他の微生物で代替して流下実験をして求めた場合には、換算紫外線量で表される数値は危険側となる可能性がある。できるだけ、紫外線照射の対象となる病原微生物と同じ紫外線耐性を持つ微生物を用いて性能評価をすることが望ましいと考えられた。

E. 結論

紫外線照射の効果を減じると考えられていた濁質は、同じ吸光度となる溶存態吸光物質を含んでいる場合よりも不活化効果が向上することから、照射された紫外線を散乱していると考えられた。よって、水の吸光度を測定して不活化効果を算定する場合には安全側の数値となる。また、散乱して不活化に有効である紫外線量については、積分球式吸光度を用いて算定することが可能であり、運転管理上の考慮をすることで適正な紫外線量を照射することが可能であると考えられた。

紫外線耐性が異なる微生物を同じ紫外線照射装置に流下させた場合には、同じ換算紫外線量にならなかった。これは、装置内で照射される紫外線量に分布があることで説明が可能であった。また、紫外線耐性の大きい微生物で性能評価を行うと、それより耐性の小さい病原微生物に対する性能としては危険側になることが実験的に示された。そのため、流水式実験を行う性能評価を行う際には、できるだけ病原微生物と同じ紫外線耐性を持つ微生物を用いて実験を行うことが必要であると考えられた。

G. 研究発表

1. 論文発表
なし

2. 学会発表

神前和、神子直之. 積分球式吸光度を用いた紫外線消毒効率に対する懸濁物質の影響評価. 第51回日本水環境学会年会, p244 (2017年3月16日)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし