

II-374 下水処理水の紫外線消毒効果に及ぼす光回復の影響

東京大学大学院 ○学生員 神子 直之
 東京大学工学部 正会員 大垣 眞一郎

1. はじめに

紫外線照射は、塩素に代わる下水処理水の消毒方法の一つとして注目されており¹⁻³⁾、適切な評価手法の開発が求められている。本研究は、紫外線照射において消毒効果に影響を与える光回復(photoreactivation)⁴⁾について、下水処理水中の糞便性大腸菌群を指標として実験的に検討したものである。

2. 不活化および光回復の機構

殺菌灯によって発せられる紫外線(254nm)は、微生物のDNAに損傷を与えて増殖を阻害し不活化する。微生物はその損傷の一部を修復する様々なDNA修復機構⁵⁾を持っている。光回復はそれら修復機構の一つで、光回復酵素が損傷部位に結合し、可視光(310~500nm)を受けることにより損傷を修復するものである。

3. 実験方法

内径8.5cmのガラスシャーレに、塩素注入前の最終沈澱池上澄水(東京都内0下水処理場で採取)を12mL入れ、紫外線照射の際は15W殺菌灯直下57cmの所に蓋を外して置き、可視光照射の際は蓋をしたまま2本の20W蛍光灯の直下に接する様に置き、それぞれ様々な時間の照射を静置状態で行った。試料は採取後冷蔵庫に保存して2週間以内に使用したが、その際、糞便性大腸菌群数はほぼ2000~100(mL⁻¹)であった。糞便性大腸菌群の計数は疎水性格子付きメンブランフィルター法(上水試験方法1985年版)により、10mL中のコロニー数を求めた。殺菌灯の紫外線線量率の測定はシュウ酸第二鉄カリウム化学線量計⁶⁾によった。

4. 紫外線照射直後の消毒効果

紫外線を照射した直後の生存率を図1に示す。横軸は実験当日の紫外線線量率(100~115 μW/cm²)に照射時間(sec)を乗じた紫外線量d(mW・s/cm²)であり、縦軸は紫外線照射した試料のコロニー数(mL⁻¹)を紫外線照射前のコロニー数(mL⁻¹)で除したものの(生存率S)の常用対数をとったものである。紫外線量が12mW・s/cm²より大きい範囲では実験系および試料の特性に起因すると思われる不活化効率の低減が見られるものの、それより線量の小さい範囲では生存率の対数の減少は直線的である。最小二乗法による回帰を行い、次式の定数d₀(mW・s/cm²)を求めると、

$$S = \exp(-d/d_0) = \exp(-d/2.27) \quad \dots(1)$$

との結果を得た。これより、紫外線による糞便性大腸菌群の不活化は、見かけ上1ヒット性1標的のカイネティクス⁷⁾で表せる事がわかる。

5. 可視光照射による回復

紫外線を60secおよび120sec照射した後(線量は各々約6mW・s/cm²、12mW・s/cm²に相当)種々の時間可視光照射を行い生存率の変化を調べた結果を図2に示す。紫外線照射後暗所保存した対照実験結果に比べ可視光を照射したものは明らかに生存率が増加しているのがわかる。その生存率は可視光照射60分ほどで最大に達し、それ以

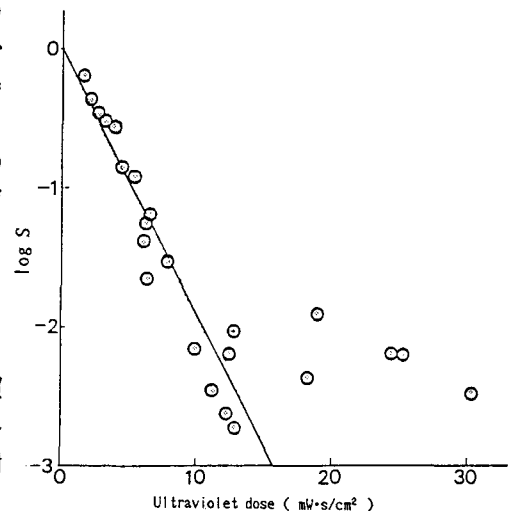


図1 紫外線照射直後の生存率

上可視光照射を続けても生存率の増加はみられなかった。

可視光照射60分で生存率が最大を示したことにより、様々な線量の紫外線を照射した試料に対し、60分間可視光照射した生存率 S^+ を求める実験を行った。結果を図3に示す。紫外線量が $30\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 以下のプロットは直線的になっているので、最小二乗法による回帰を行い定数 d_0^+ ($\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$)を求めると、

$$S^+ = \exp(-d/d_0^+) = \exp(-d/10.3) \dots(2)$$

との結果を得、ここで線量軽減率⁴⁾ k を導入し、

$$d_0^+ = k \cdot d_0 \dots(3)$$

とすると、この実験条件では、 $k=4.5$ となり、 S^+ を S と k で表すと式(1),(2),(3)より、

$$S^+ = S^{1/k} = S^{0.22}$$

となり、最大光回復の際の生存率を紫外線照射直後の生存率から計算できることがわかる。

6. 結論

比較的低い線量率の紫外線及び蛍光灯による可視光を用いて行った実験の範囲内で得た結果をまとめると次の様になる。

- (1) 紫外線による糞便性大腸菌群の不活化は見かけ上1ヒット性1標的のカイネティクスに従った。
- (2) 紫外線照射後の可視光照射により生存率が増大し、照射した紫外線量に応じたある最大値に達する。この最大光回復値は、紫外線照射後の生存率より線量軽減率 k を用いて計算することができる。
- (3) 光回復に比較して、光回復以外の回復は相対的に無視できるほど小さい。

7. 参考文献

- 1) Oliver, B.G., et al., "Ultraviolet disinfection: an alternative to chlorination", JWPCF 48, 2619 (1976)
- 2) Severin, B.F., "Disinfection of municipal wastewater effluents with ultraviolet light", JWPCF 52, 2007 (1980)
- 3) Scheible, O., "Development of a rationally based design protocol for the ultraviolet light disinfection process", JWPCF 59, 25 (1987)
- 4) Jagger, J., "Photoreactivation", Bacteriol. Rev. 22, 99 (1958)
- 5) 武部 啓. DNA修復. 東京大学出版会 (1985)
- 6) Hatchard, C.G., et al., "A new sensitive chemical actinometer II. Potassium ferrioxalate as a standard chemical actinometer", Proc. Roy. Soc. A, 235, 518 (1956)
- 7) 近藤 宗平. 分子放射線生物学. 学会出版センター (1972)

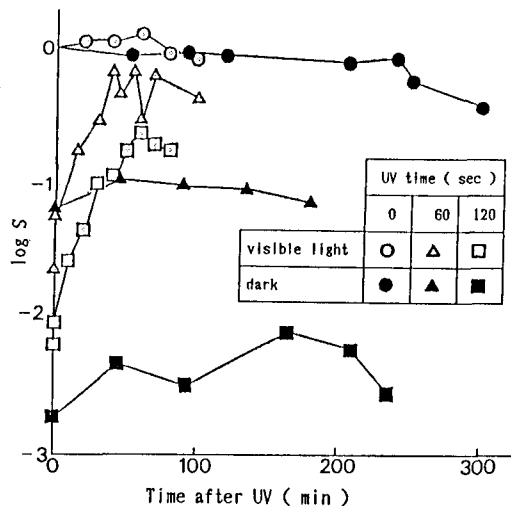


図2 可視光照射による光回復過程

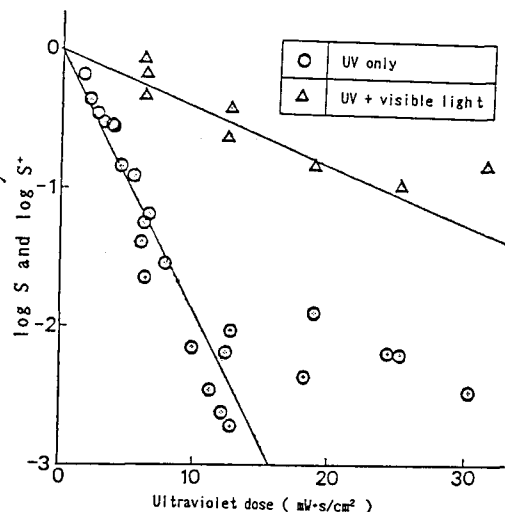


図3 紫外線照射直後の生存率と最大光回復値