

多様化する感染症に応じた下水処理水の高度な消毒手法の構築に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 27～平 29

担当チーム：材料資源研究グループ

研究担当者：植松龍二、諏訪守、安井宣仁

【要旨】

近年、抗生物質耐性菌の出現と蔓延が世界的に問題視されてきており、医療機関だけでなく、下水、下水処理水などから国内問わず海外においても検出報告例がある。H.27年度は、一般的に広く用いられている紫外線ランプとして、低圧紫外線ランプならびに中圧紫外線ランプを用い、下水試料より同定された耐性菌を単離し、下水処理水に添加し、紫外線照射における不活化と可視光による光回復の影響を評価した。

その結果、アンピシリン、セフジニル、カナマイシン、テトラサイクリン、スルファメトキサゾール・トリメトプリム、ゲンタマイシンの6種類の抗生物質に耐性を持つ大腸菌および、これらの抗生物質とイミペネム、レボフロキサシンの8種類に耐性を持たない大腸菌ともに、光回復を考慮して3Log以上の不活化を見込む場合、総相対紫外線量で15mJ/cm²以上の照射が必要であった。また、光回復速度は6剤耐性菌の方が0剤耐性菌よりも遅い傾向が確認された。

キーワード：紫外線消毒、抗生物質耐性大腸菌、低圧・中圧紫外線ランプ、不活化、光回復

1. はじめに

新たな水資源として下水処理水の利用促進や、公共用水域の衛生学的安全性を担保する上で水系感染リスクを低減させる必要があるが、新興ウイルスの出現や再興感染症としての抗生物質耐性菌の出現と蔓延が世界的に問題視されてきている。これらの問題解決のため、医療関係学会から構成される創薬促進検討委員会・抗微生物薬適正使用推進委員会が「世界的協調の中で進められる耐性菌対策」として国へ、抗生物質耐性菌対策に取り組むように提言している¹⁾。抗生物質耐性菌の存在は、医療機関だけでなく、下水、下水処理水などから国内問わず海外においても検出報告例^{2), 3), 4), 5)}がある。また、健康者の糞便試料の内80.5%に抗生物質耐性菌が存在しており、それら単離された細菌の98%が大腸菌であったとの報告例もある⁶⁾ことに加え、下水および下水処理水から検出される大腸菌の内、20～60%が抗生物質耐性大腸菌（以下、耐性菌と記す。）である⁵⁾ことも明らかとなっている。健康者および保菌者から排出されるであろう、耐性菌が下水道に流入する可能性が高いことから、下水処理場にて適切に除去・不活化する必要があると考えられる。

現在、下水処理場の多くで塩素消毒(次亜塩素酸ナトリウム使用施設数: 1076 施設)⁷⁾が行われている。耐性菌対策においては消毒の強化が考えられるが、塩素消毒強化

に伴い耐性菌の存在割合が増加する傾向が報告されている⁸⁾。また、現プロジェクト研究(公共用水域における消毒耐性病原微生物の管理技術に関する研究)による研究結果では、通常の塩素消毒レベルにおいて抗生物質耐性菌やノロウイルスに対する高度な消毒効果を得ることが困難な状況であることが明らかになりつつある。細菌の細胞膜やウイルスの表面タンパク質が細胞内への消毒剤の影響を阻止し耐性を有することが考えられるが、紫外線消毒では細胞内の遺伝子へ直接作用することから、塩素消毒に耐性を有する細菌やウイルスに対し有効な手段となり得る可能性がある。紫外線照射における大腸菌に対する不活化効果は、約6mJ/cm²の低紫外線量で3Log不活化⁹⁾され、耐性菌に対しても紫外線照射による効果が期待されるが、耐性菌に対する紫外線による不活化および光回復の影響は、現状では明確になっていない。

紫外線による微生物の不活化機構は良く知られており、核酸塩基成分またはウラシルの塩基成分に紫外線が吸収されると二量体が形成され、核酸の複写機能が消失し微生物は活性を失う。DNAの場合、紫外線が吸収されると本来起こり得ない同一鎖上にあるチミン同士が結合したチミン二量体が形成され、このチミン二量体の生成が、主な紫外線による消毒機構である¹⁰⁾。紫外線消毒における微生物の不活化においては、遺伝子損傷である二量体に光回復酵素が付き、可視光のエネルギーを受けると二

量体が開裂し正常に戻るという光回復現象^{11), 12)}を考慮する必要がある。

下水処理場では一部、放流先の生態系および水産資源の保全の観点から、塩素消毒施設から紫外線消毒施設も増えつつあり、耐性菌に対する紫外線消毒の不活化と光回復の知見の集積が必要である。

本研究では、上記を踏まえ、従来、中小規模の下水処理場での導入に限定されてきた紫外線消毒が、近年、紫外線ランプの高出力に伴い、放流先の生態系および水産資源の保全のため、下水処理場への利用拡大が期待されてきており、塩素消毒の代替消毒法として紫外線消毒の効果を新たなリスク要因の観点から評価するとともに、分子生物学的手法によるウイルス不活化評価技術の確立を目的とするものである。

H. 27年度は、一般的に広く用いられている紫外線ランプとして、低圧紫外線ランプならびに中圧紫外線ランプを用い、下水試料より同定された耐性菌を単離し、下水処理水に添加し、紫外線照射における不活化と可視光による光回復の影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 試験水の調整

試験水は標準活性汚泥法を採用しているA下水処理場の二次処理水をメンブレンフィルター（公称孔径：0.2 μm、材質：ニトロセルロース）でろ過を行い無菌状態にしたものを用いた。作成した試験水に同下水処理場の流入下水より分離した抗生物質耐性大腸菌を添加し、紫外線照射実験に供した。実験に用いた試験水の水質は、COD_{Cr}=8mg/L、TOC=3.45 mg/L、溶解性総窒素=14.5mg/L、波長255nmの紫外線透過率=80%であった。

2.2 添加用抗生物質耐性大腸菌の準備

クロモカルトコリフォーム寒天培地（Merck Millipore）を用いA下水処理場の流入下水より検出された大腸菌、約50コロニーを釣菌した。その後、トリプトソイブイオン培地に接種し、35℃で3~4時間培養し、培養液をミュランヒントS寒天培地に塗布した後、抗生物質を含有したディスク（KBディスク：栄研化学）を平板培地上に貼付後に35℃で18時間培養した。培養後に、平板上に形成された大腸菌が増殖せずに透明に形成された円（阻止円）の直径を測定し、その大きさから耐性の有無を判定した。判定基準はClinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)の実施基準に基づいたKBディスクの手引きを参照した。判定した大腸菌は、IDテ

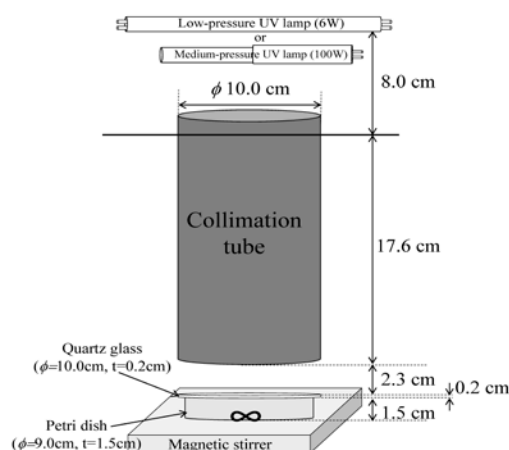


図-1 回分式紫外線照射装置

スト（グラム陰性桿菌の同定キット、EB-20「ニッスイ」）により同定した。抗生物質は、イミペネム（IPM）、アンピシリン（ABPC）、カナマイシン（KM）、ゲンタマイシン（GM）、スルファメトキサゾール・トリメトプリム（ST）、セフジニル（CFDN）、テトラサイクリン（TC）、レボフロキサシン（LVFX）の8種類である。これら8種類の抗生物質は、日本国内における出荷量・額および尿排出率から推定した体外排出量や毒性の視点から、ヒト用抗生物質の上位にランキングされる^{13), 14)}こと、および腸内細菌の大腸菌に抗菌作用を有することから選定した。

2.3 紫外線照射実験

耐性菌の紫外線照射による不活化効果を評価するために図-1に示す回分式紫外線照射装置を用い、所定の時間紫外線を照射、照射前後の耐性菌濃度を算定し評価した。

8種類の抗生物質の内、ABPC、CFDN、KM、TC、ST、GMの6剤に耐性を持つ大腸菌（以下、6剤耐性菌と記す）と8種類全てに耐性を持たない大腸菌（以下、0剤耐性菌と記す）を流入下水より検出・同定し添加用の耐性菌とした。また、比較対象として8種類の抗生物質に無耐性であった大腸菌であるATCC25922株の純菌も実験に供した。

消毒実験に供するため、ミュランヒントS寒天培地で培養し増菌させたが、試験水の水質性状が大きく変化することを防ぐために4000rpmで10分間の遠心沈殿処理し、得られた沈渣を滅菌ミリQ水で洗浄したものを添加用の耐性菌とした。試験水添加後の耐性菌濃度が105 CFU/mLとなるように調整した。なお、耐性菌添加前、添加後に再度、抗生物質耐性の有無および大腸菌の同定を行った。

試験水を滅菌シャーレ（直径（φ）=9cm、水深（d）=1.5cm）に耐性菌添加済みの試験水80mLを充填した。石英ガラス

($t=20\text{mm}$)で蓋をし、マグネチックスターラーにて攪拌、所定の時間、上部より紫外線を照射し、照射前後での耐性菌濃度を定量した。紫外線ランプは、発光長=10cm の6W の低圧紫外線ランプ(UL0-6DQ、ウシオ電機社製)および、発光長=4cm の100W の中圧紫外線ランプ(UM-102、ウシオ電機社製)を用いた。紫外線光量計(本体:UIT-250、受光部:UVD-254、ウシオ電機社製)を用い、石英ガラスで蓋をした試験水表面で紫外線照度を測定した。本実験では、紫外線光量計の読み値(I_R)で、低圧紫外線ランプ使用時は $IR=0.17\sim 0.18\text{mW}/\text{cm}^2$ 、中圧紫外線ランプ使用時は、 $IR=1.20\sim 1.28\text{mW}/\text{cm}^2$ に設定した。実験開始前に紫外線ランプの照度を安定させるために30分間ウォームアップした後、実験を行った。

所定の時間、紫外線を照射した試験水は、クロモカルトコリフォーム寒天培地による平板培養法にて 37°C 22時間培養した後、耐性菌濃度を定量した。紫外線照射前後のシャーレ上に形成したコロニー数をカウントし、式(1)に従って試料の生残率を算出した。

$$S_t = \frac{N_t}{N_0} \quad (1)$$

S_t は紫外線照射時間 t における生残率 (-)、 N_t は紫外線照射時間 t における耐性菌濃度 (CFU/mL)、 N_0 は紫外線照射前の初期耐性菌濃度 (CFU/mL)である。

2.4 光回復実験

低圧・中圧紫外線照射後、生残率が概ね $10^{-2}\sim 10^{-5}$ の試料に対して、可視光照射による光回復実験を行った。紫外線照射後の試料を遮光ボトルに保存し、速やかに滅菌シャーレ ($\phi 9\text{cm}$ 、深さ 1.5cm) に 80mL 充填した後、石英ガラス ($t=20\text{mm}$)で蓋をし、マグネティックスターラーで攪拌しながら可視光を照射した。照射時間は、0、10、30、60、90分間とし、実験中に水温の上昇等を防ぐために可視光が照射可能なインキュベーター (人工気象器、LPH-350SP、日本医化器機製作所) 内に試料を置き、 20°C 一定条件で光回復実験を行った。

可視光照射は、自然光 (太陽光) に極力近づくように設計された 40W および 20W のバイタライトを用い、上部および四方から紫外線照射後の試料に可視光を照射した。デジタル照度計(DT-1309、CEM社製)を用い、実験中の照度値を常時モニタリングした。本実験中の照度は、815~817 luxであった。

可視光を所定時間照射した試料は、遮光ボトルに保存し、速やかに耐性菌濃度を定量した。また光回復実験と同時に、暗回復の影響を把握するために可視光なしの条

件下で 0~90分間攪拌した試料の耐性菌濃度の定量も行った。

なお、紫外線照射後の試料を用い暗回復実験を行った結果、耐性菌の回復が確認されなかった。従って本研究における暗回復効果は無視できるものと判断した。なお紫外線照射直後および光回復後において耐性菌の抗生物質感受性を再確認した。各試料からランダムに50個程度のコロニーを鈎菌し、抗生物質に対する感受性を確認したが、添加当初と比較して変化は確認されなかった。

2.5 解析方法

2.5.1 紫外線量の算定

低圧紫外線ランプは、中心波長=254nmの単一の紫外線を放射するため、紫外線量の算定は、試験水表面での紫外線光量計の読み値と試験水の波長 254nm の吸光度から、ランベルト・ベール法則に従い深さ方向に対する紫外線照度の減衰を考慮した平均紫外線量として表すことが可能である。しかしながら、中圧紫外線ランプは、複数の波長の紫外線が放出されていることから、ランプ自体が発光波長分布を有している。また、紫外線光量計の受光部においても受光分布があるなど、紫外線量の算定が非常に複雑である。中圧紫外線ランプ使用時には、以下の事項を勘案して紫外線量を算定することで、低圧紫外線ランプと比較できると考えられる。

- ・紫外線ランプ発光波長分布
- ・試料の吸光度分布
- ・使用した紫外線光量計の受光分布
- ・大腸菌の紫外線感受性分布

低圧および中圧紫外線ランプでの耐性菌の不活化を的確に評価するために本研究では、双方の紫外線ランプともに文献¹⁵⁾を参考に総相対紫外線照度 (I_{erf} : Total relative germicidal effective irradiance)を式(2)、(3)、(4)を用い算出した。算出した I_{erf} に紫外線照射時間を掛け合わせた、総相対紫外線量 ($\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} = \text{mJ}/\text{cm}^2$)として低圧、中圧紫外線照射における耐性菌の不活化を評価した。

$$I_{\text{erf}} = \int I_R \times f_p \times L_\lambda \times \frac{(1 - e^{-2.3A_\lambda d})}{2.3A_\lambda d} \times A_{\text{DNA}}(\lambda) \quad (2)$$

$$f_p = \frac{\int RLE(\lambda) d\lambda}{\int \frac{RLE(\lambda)}{R(\lambda)} d\lambda} \quad (3), \quad L_\lambda = \frac{RLE(\lambda)}{\int RLE(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

ここで、

f_p 、 L_λ は補正係数 (-)、 I_R は紫外線光量計の読み値 (mW/cm^2)、 A_λ は波長 λ における吸光度 (cm^{-1})、 $RLE(\lambda)$ は波長に λ における紫外線ランプのエネルギー比 (-)、 $R(\lambda)$

は波長($\lambda=255\text{nm}$)を1とした際の各波長の紫外線光量計の相対値(-)、 $A_{DNA}(\lambda)$ は波長 λ におけるDNAの波長感受性割合(-)、 d は水深(1.5cm)である。

I_{eff} は、Microsoft Excel 2010 を用い、便宜的に波長 $\lambda=5\text{nm}$ 間隔とし、波長 $\lambda=200\sim 400\text{nm}$ の領域を数値積分により算定した。低圧紫外線ランプ使用時は、単一波長の紫外線を放射するので、 $RLE(\lambda=255\text{nm})=1$ 、 $R(\lambda=255\text{nm})=1$ となり、式(2)、(3)の f_p 、 L_d は1となる。

2.5.2 光回復速度定数の算定

光回復の回復過程は、Dulbecco (1955)¹⁶⁾により、一次反応式が提唱されており、多くの光回復の実験結果において実測値の傾向を表していることが知られている¹⁷⁾。しかしながら、紫外線量を大きくした際の試料に対する光回復過程がモデル式に従わず、光回復の開始時期に生残率の上昇がモデル式よりも遅れる現象が報告されている¹⁸⁾。Sanz ら¹⁸⁾は、これらの現象を説明するために、式(5)で示される二次反応式を提唱している。式(5)は1838年にVerhulstにより生物学的人口増加における予測式として示された式であり、Sanz ら¹⁸⁾はこの式を微生物の光回復予測式に適用した。

$$\frac{dS}{dt} = k_1 \cdot (S_m - S) \cdot S$$

$$S = \frac{S_m}{1 + \left(\frac{S_m}{S_0} - 1\right) \cdot e^{-k_1 \cdot S_m \cdot t}} \quad (5)$$

S は可視光照射時間 t 分後の耐性菌の生残率、 S_0 は紫外線照射直後の耐性菌の生残率、 S_m は最大光回復生残率、 k_1 は光回復速度定数(1/min)である。なお、最大光回復生残率は可視光照射90分後の耐性菌濃度より算出した値を用いた。

本実験においては、耐性菌の光回復の定式化として式(5)を用い低圧および中圧紫外線照射後の可視光照射による光回復速度を評価した。

3. 実験結果

3.1 紫外線照射による耐性菌の不活化

3.1.1 低圧紫外線照射

図-2に低圧紫外線照射における、0剤耐性菌、6剤耐性菌、純菌(ATCC25922)の生残率を示す。図中の横軸は総相対紫外線量(mJ/cm^2)、縦軸は生残率である。図-2により6剤耐性菌は、紫外線照射初期($0\sim 3\text{mJ}/\text{cm}^2$)では紫外線に対する抵抗を示しており、「肩」を持つ反応であり、 $5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度から線量に比例して不活化が生じる傾向が確認された。一方、0剤耐性菌および純菌は紫外線照射

直後から、線量に比例して不活化が生じている傾向が確認された。また総相対紫外線量が $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上になると、テーリング現象が確認された。紫外線照射における

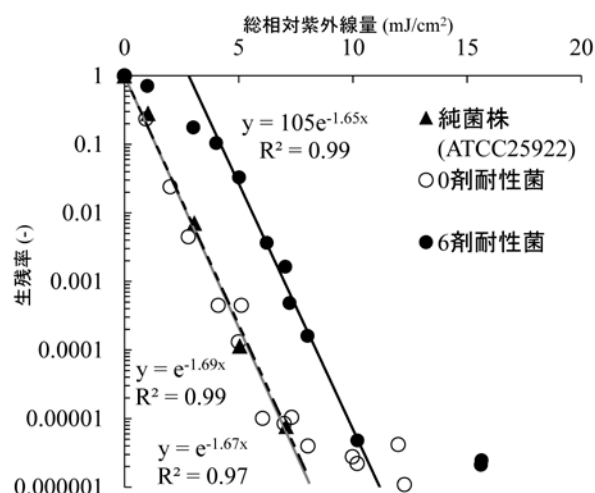


図-2 低圧紫外線照射による抗生物質耐性大腸菌(0剤、6剤耐性菌)および純菌大腸菌の不活化

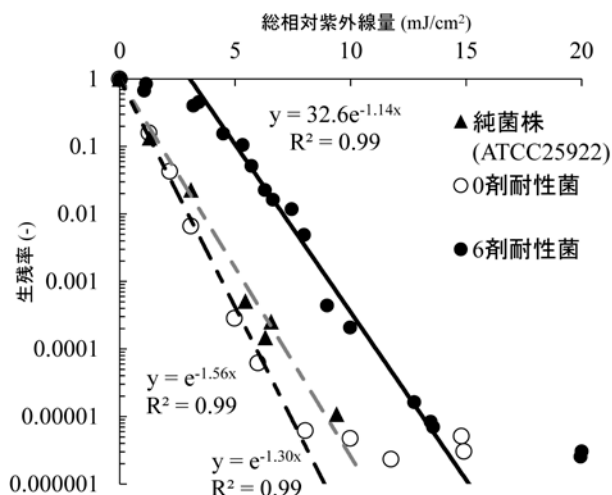


図-3 中圧紫外線照射による抗生物質耐性大腸菌(0剤、6剤耐性菌)および純菌大腸菌の不活化

テーリング現象はしばしば報告されている。この現象が生じる明確な理由は定かではないが、紫外線耐性が全て同一な微生物であることが明らかな場合でもテーリング現象は生じる可能性があり、微生物同士の凝集により、単独で存在している微生物よりも見かけの紫外線耐性が大きくなる部分が生じることで起こりうると考えられている¹⁹⁾。本実験においても同様な現象が生じたと考えられた。

低圧紫外線照射時の耐性菌および純菌の不活化速度を

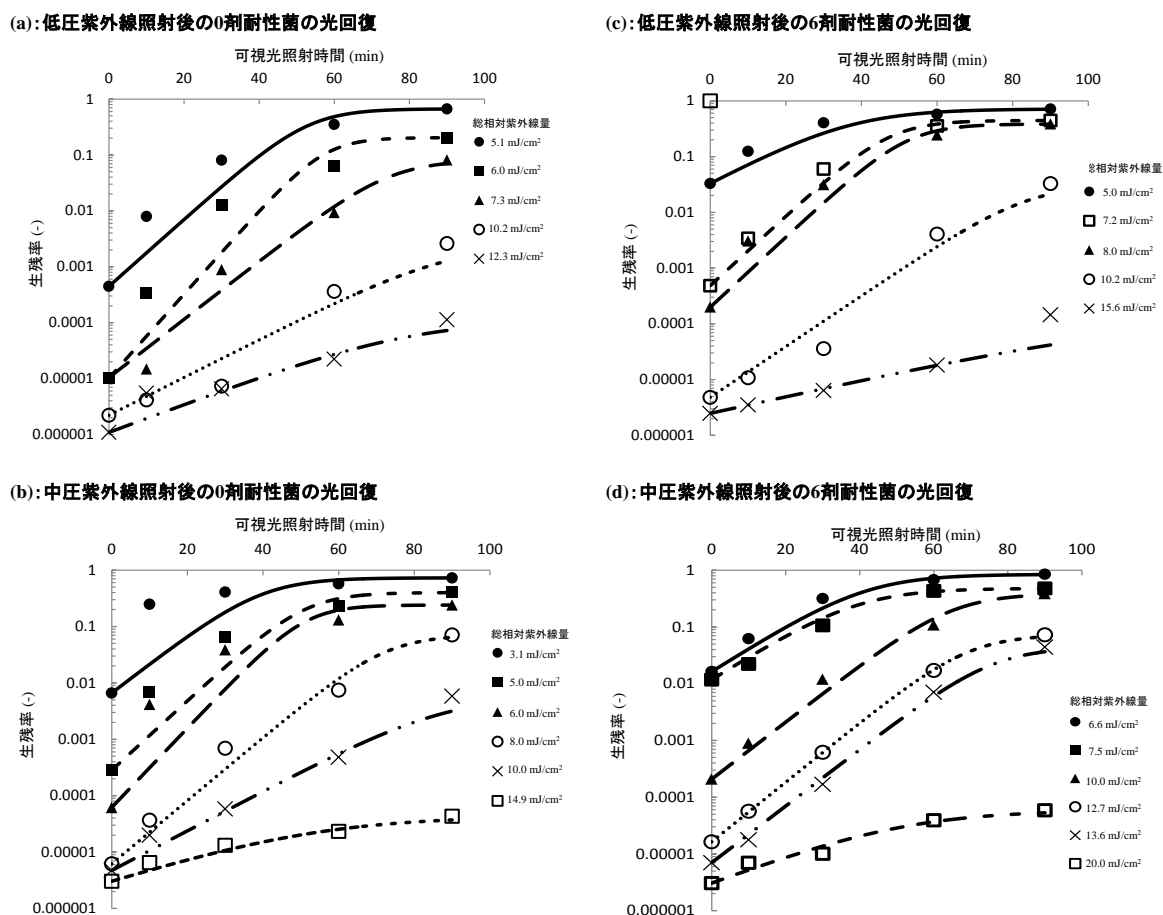


図-4 低圧・中圧紫外線照射後の0剤、6剤耐性菌の光回復

把握するために、10 mJ/cm²以上のデータを除き、生残率が総相対紫外線量に一次反応であると仮定し不活化速度を算出した。すなわち、図-2中の回帰直線の傾きが不活化速度定数になる。なお6剤耐性菌の場合、照射初期で紫外線に対する耐性が生じる、「肩」の存在が確認されたため、0~3mJ/cm²未満および10mJ/cm²以上のデータを除外し、一次反応に従うと仮定し不活化速度を算出した。

0剤耐性菌、6剤耐性菌、純菌ともに不活化速度は1.65~1.69 (cm²/mW/s)と顕著な差は確認されなかった。0剤耐性菌ならびに純菌の90%(生残率=0.1)不活化に要する総相対紫外線量は、約1.4mJ/cm²、6剤耐性菌は約4.2mJ/cm²であり、6剤耐性菌の方が約3mJ/cm²ほど低圧紫外線に対して耐性を有していることが確認された。往の研究結果²⁰⁾によれば、コリメート試験による低圧紫外線照射におけるEscherichia coliは、「肩」を持たない反応であり、90%不活化に要する紫外線量は約1.8mJ/cm²と報告されており、本研究で検討した0剤耐性菌および純菌の不活化速度は既往の研究結果と同様であった。

3.1.2 中圧紫外線照射

図-3に中圧紫外線照射時における0剤耐性菌、6剤耐性菌、純菌(ATCC25922)の生残率を示す。0剤耐性菌およ

び6剤耐性菌は低圧紫外線照射時と同様に、生残率で0.00001(5Log)以下でテーリング現象が確認された。テーリング現象が確認された以降のデータを除き、総相対紫外線量と生残率が比例すると仮定して不活化速度を算出した。なお6剤耐性菌は低圧紫外線照射時と同様に照射初期で「肩」を持つ反応が確認されたため、総相対紫外線量で3mJ/cm²未満10mJ/cm²以上のデータを除外し不活化速度を算出した。

0剤耐性菌および純菌の不活化速度は低圧紫外線照射時と1.3~1.6 (cm²/mW/s)とほぼ同程度で、90%不活化に要する総相対紫外線量は約1.5~1.8mJ/cm²であった。一方、6剤耐性菌は、低圧紫外線照射時と異なり、不活化速度が1.1 (cm²/mW/s)であり、低圧紫外線照射時よりも約1.5倍異なり、90%不活化に要する総相対紫外線量が約6.9mJ/cm²であった。0剤耐性菌は低圧、中圧紫外線照射で不活化速度の顕著な変化は確認されなかったが、6剤耐性菌は中圧紫外線照射時に不活化速度が低下した。

3.2 可視光照射における耐性菌の光回復

図-4に0剤耐性菌、6剤耐性菌の可視光照射における光回復の結果を示す。図中の横軸は照射時間(min)とし、縦軸は光回復後の生残率を示す。また光回復速度定数k₁

を実測値と式(5)の計算値の最小二乗法により算出した結果も図中に示す。図-4より、総相対紫外線量が小さい場合の光回復は回復初期でモデル式と実測値の間に若干の乖離が生じていたが、概ね本研究で検討した光回復の予測式と実測値との間に整合性が確認された。

低圧・中圧紫外線照射による0剤、6剤耐性菌の光回復速度を評価するために、式(5)より求めた光回復速度定数と総相対紫外線量との関係を図-5に示す。図中の横軸は各紫外線照射時における総相対紫外線量 (mJ/cm^2)、縦軸は光回復速度定数 k_1 と最大光回復 S_m の積で示した。

図-5より0剤耐性菌は低圧・中圧紫外線照射後の光回復速度は、紫外線ランプの違いに依らず同等であり、相対紫外線量の増加に伴い光回復速度が低下する傾向が確認された。6剤耐性菌は、低圧紫外線照射時は $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 未満での照射では、中圧紫外線時よりも光回復速度

が速い傾向が確認された。また、低圧・中圧ともに $13\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の照射で光回復速度が顕著に低下する傾向が確認された。したがって、図-4の結果から、0剤、6剤耐性菌ともに最大光回復を考慮した際、低圧、中圧紫外線照射で 3Log (生残率=0.001)以上の不活化を見込む場合、総相対紫外線量で $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の紫外線を照射する必要があることが分かった。

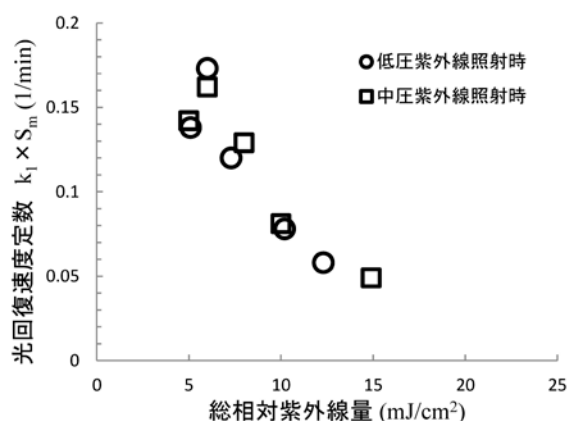
本研究は流入下水から分離した単一株を用い評価を行ったが、抗生物質に対する感受性が異なることで、紫外線照射による不活化効果や光回復速度定数に違いが示されたことから、今後、抗生物質耐性能力が異なった複数の耐性菌が混在した系での評価が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、抗生物質耐性大腸菌の紫外線照射による不活化効果と光回復の影響を把握するために、流入下水より単離した大腸菌を用いて低圧・中圧紫外線照射実験および可視光照射による光回復実験を行った。低圧と中圧紫外線照射でのランプ種の違いによる不活化、光回復の実験では、ランプ発光波長分布、試料吸光度分布、紫外線照度計の受光部の波長分布、DNAの波長感受性を考慮した総相対紫外線量により評価した。評価結果から以下の知見を得た。

- 1) 低圧紫外線照射による不活速度は、0、6剤耐性菌とも $1.7 (\text{cm}^2/\text{mW}/\text{s})$ 程度であり、90%(生残率=0.1)の不活化に要する総相対紫外線量は、0剤耐性菌で約 $1.4\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、6剤耐性菌で約 $4.2\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。
- 2) 中圧紫外線照射による不活化速度は、0剤耐性菌は

(a) : 0剤耐性菌の低圧・中圧紫外線照射時における光回復速度定数



(b) : 6剤耐性菌の低圧・中圧紫外線照射時における光回復速度定数

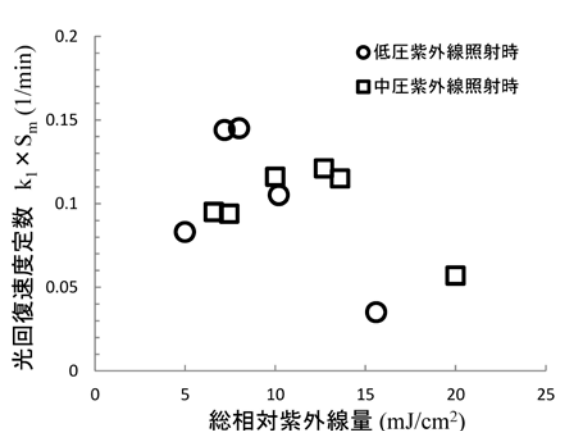


図-5 低圧・中圧紫外線照射時における光回復速度定数の比較

低圧紫外線照射時と同程度で $1.6 (\text{cm}^2/\text{mW}/\text{s})$ であった。一方、6剤耐性菌は、低圧紫外線照射時と異なり、不活化速度が1.5倍程度異なり、約 $1.1 (\text{cm}^2/\text{mW}/\text{s})$ であった。中圧紫外線照射において90%(生残率=0.1)の不活化に要する総相対紫外線量は、0剤耐性菌で約 $1.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、6剤耐性菌で約 $6.9\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。

- 3) 低圧・中圧紫外線照射後の光回復の実験結果より、0剤、6剤耐性菌ともに最大光回復を考慮して 3Log (生残率=0.001)以上の不活化を見込む場合、総相対紫外線量で $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の照射がする必要であった。

参考文献

- 1) 創薬促進検討委員会・抗微生物薬適正使用推進委員会 提言第2弾、世界的協調の中で進められる耐性菌対策、<http://www.kansensho.or.jp/news/gakkai/pdf/1603_resistant_bacteria_measures_02.pdf> [参照 2016-04-21]
- 2) Trevors JT: Survival of Echerichia coli donor, recipient and trans conjugant cells in soil. Water, Air, and Soil

- Pollution. Vol.34(4), pp.409-14, 1987.
- 3) Reinthaler, F.F., Feierl, G., Wust, G., Haas, D., Ruckebauer, G., Mascher, F., Marth E. : Antibiotic resistance of E.coli in sewage and sludge. *Water Research*, 37, pp.1685-90, 2003.
 - 4) 清野敦子, 長谷川泰子, 益永茂樹: 金目川, 鶴見川, 多摩川における薬剤耐性大腸菌の分布, *水環境学会誌* (27) 11, pp.693-8, 2003.
 - 5) 岡本誠一郎, 諏訪守, 桜井健介: 水環境中における病原微生物の消長に関する研究, 平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書, 土木研究所資料, 第 4212 号, pp.103-11, 2011.
 - 6) Korzeniewska, E. : Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review. *Front Biosci (Schol Ed)*, pp.393-407, 2011.
 - 7) 公益社団法人 日本下水道協会, 平成 25 年度版 下水道統計, 第 70 号, CD-R, 2015
 - 8) 津森ジュン, 諏訪守, 安井宣仁 : 水環境中における病原微生物の対策技術の構築に関する研究, 平成 25 年度下水道関係調査研究年次報告書, 土木研究所資料, 第 4294 号, pp.28-35, 2014.
 - 9) Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J.: Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40, pp.3-20, 2006.
 - 10) 野津敬一 : 紫外線の生物作用 -核酸を中心として-, 共立出版株式会社, pp.19-20, 23, 1975
 - 11) Witkin Evelyn M.: Ultraviolet-Induced Mutation and DNA Repair. *Annual Review of Genetics* (3), pp.525-552, 1969.
 - 12) 武部啓: DNA修復, 東京大学出版会, pp.2, 20-26, 1983.
 - 13) 大上浩司, 小森行也, 八十島誠, 小請淳子, 鈴木穰 : 水環境に残留した医薬品の実態調査における対象物質の選定方法について, *下水道協会誌* (43) pp. 523, 50-51, 2006
 - 14) 八十島誠, 山下尚之, 中田典秀, 小森行也, 鈴木穰, 田中宏明, 下水処理水中に含まれるレボフロキサシン, クラリスロマイシンの分析と藻類生長への影響, *水環境学会誌* (27) 11, pp.707-714, 2009.
 - 15) Karl G. Linden, Alexander A. Mofidi : Disinfection Efficiency and Dose Measurement of Polychromatic UV Light. *Awwa Research Foundation*, pp.37-43, 2003.
 - 16) Dulbecco, R. : Photoreactivation. *Radiation Biology*, Vol.2, pp.455-486, 1955.
 - 17) 鹿嶋田浩二, 神子直之, 山本和夫, 大垣眞一郎 : 紫外線照射水処理における光回復の評価, *水環境学会誌*, Vol.18 (1), pp.44-50, 1995.
 - 18) Sanz, E., N., Davila, I., S., Balao J.A.A, Alonso J.M.Q. : Modelling of reactivation after UV disinfection: Effect of UV-C dose on subsequent photoreactivation and dark repair. *Water Research*, 41, pp.3141-3151, 2007.
 - 19) 平田強編, 岩崎達行, 大瀧雅寛, 片山浩之, 神子直之, 木村憲司, 土佐光司, 松本直秀, 本山信行, 森田重光 : 紫外線照射 一水の消毒への適用性一, 技報堂出版, pp.43-44, 2008.
 - 20) Hijnen W.A.M., Beerendonk E.F., Medema G.J. : Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40, pp.3-22, 2006.

A STUDY ON CONSTRUCTION OF ADVANCED DISINFECTION TECHNOLOGY IN TREATED SEWAGE CORRESPONDING TO DIVERSIFYING INFECTIOUS DISEASE

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2015-2017

Research Team : Materials and Resources

Research Group

Author : UEMATSU Ryuzi

SUWA Mamoru

YASUI Nobuhito

Abstract : Recently years, the appearance and rampancy of the bacteria has big issues worldwide, and the detection of the drug resistant *E.coli* in sewage and untreated sewage has been reported in Japan and other countries. This study was evaluated the inactivation and photoreactivation of the drug resistant *E.coli* by irradiating the low and medium-pressure UV and visible light. It was revealed that in order to inactivate more than 3 Log the E.coli with the resistant to six kind antibiotics (ampicillin, cefdinir, kanamycin, tetracycline sulfamethoxazole-trimethoprim) and E.coli of the non-resistant to these antibiotics and imipenem and levofloxacin in consideration of the photoreactivation was required 15 mJ/cm² or more in the total relative germicidal effective UV dose.

Key words: UV disinfection, Drug resistant *E.coli*, Low/medium pressure UV lamp, Inactivation, Photoreactivation