

## 人工太陽光を用いた水中抗微生物薬の光分解試験

小杉 有希<sup>a</sup>, 飯田 春香<sup>a</sup>, 渡邊 喜美代<sup>a</sup>, 斎藤 育江<sup>a</sup>, 猪又 明子<sup>b</sup>, 守安 貴子<sup>b</sup>

近年, 抗微生物薬に対する薬剤耐性菌とそれに伴う感染症の増加が懸念されている. 水環境中の抗微生物薬の存在により生物が薬剤耐性を獲得するおそれがあることから, 水環境におけるヒト及び動物用抗微生物薬の水環境中動態の予測が求められている. そこで, 予測のための主パラメーターの一つである光分解試験を実施した. 試験溶媒として超純水及び河川水を用いて試験した結果, 両溶媒においてテトラサイクリン系, セフェム系及びカルバペネム系抗微生物薬の半減期は0.4-16.9時間と短い傾向にあった. 一方, ペニシリン系及びマクロライド系抗微生物薬の半減期は一部を除いて24時間以上と長かった. 抗微生物薬の多くは, 河川水の方が超純水よりも半減期が短い傾向にあった. 一方, スルファメトキサゾールの光分解半減期は超純水の方が短かった. この原因は試験溶媒のpHによるものであることが推察される. 実際の水環境における抗微生物薬の予測半減期によると, 14抗微生物薬は水環境中に残存する可能性があることが示唆される.

**キーワード:** 抗微生物薬, 光分解試験, 人工太陽光, 超純水, 河川水

### はじめに

近年, 抗微生物薬に対する薬剤耐性菌とそれに伴う感染症の増加が懸念されている<sup>1,4)</sup>. これまでの報告によると, 水環境中に高濃度に抗微生物薬が存在すると, 環境中に生息する生物が薬剤耐性を獲得するおそれがある<sup>5,6)</sup>.

ヒトが使用した抗微生物薬は未変化体又は代謝物として体外に排泄された後, 下水道を通じて下水処理場へ集められ, その処理過程で除去されなかったものが水環境中に排出される. また, 畜産業で使用される動物用医薬品についても下水道を通じて, あるいは畜産施設における活性汚泥処理等の後, 水環境に排出される. 水環境中に排出された抗微生物薬は, 微生物による分解, 光分解, 底泥等への吸着等により減衰すると考えられ, 減衰の程度が低い場合は高濃度の抗微生物薬が水環境中に残存する可能性がある.

抗微生物薬が水環境中に残存する程度は実際に採水を行い調査することで把握できるが, 各々の水環境における残存率を広く調査することは難しいと考えられる. また, 新規に上梓する医薬品であれば環境水中濃度を実際に調査することはできない. こうしたことから, 水環境におけるヒト及び動物用抗微生物薬の動態を予測することが必要である. そこで, 今回, 予測のための主パラメーターの一つである光分解試験を実施したので, その結果を報告する.

### 実験方法

#### 1. 試験対象の抗微生物薬

試験対象の抗微生物薬は, 国内各種統計<sup>7,8)</sup>から国内生産量が多い(10 t以上)25種の抗微生物薬を選定した. また, 近年, 薬剤耐性菌が問題となっているカルバペネム系抗微生物薬2種も対象とした. 対象抗微生物薬の一覧を表1

表1. 対象抗微生物薬とその分類及び用途

抗微生物薬	分類	用途	
		ヒト	動物
ピアベネム	カルバペネム系	○	
メロベネム	カルバペネム系	○	
スルファメトキサゾール	スルホンアミド系	○	○
スルファモノメトキシ	スルホンアミド系		○
セフカペンピボキシル塩酸塩	セフェム系	○	
セフジトレンピボキシル	セフェム系	○	
セフメタゾールナトリウム	セフェム系	○	
セフトリアキソンナトリウム	セフェム系	○	
セフジニル	セフェム系	○	
セファクロル	セフェム系	○	
オキシテトラサイクリン	テトラサイクリン系		○
クロルテトラサイクリン	テトラサイクリン系		○
ドキシサイクリン塩酸塩	テトラサイクリン系		○
レボフロキサシン	ニューキノロン系	○	
アンピシリンナトリウム	ペニシリン系	○	○
アモキシシリン三水和物	ペニシリン系	○	○
ピペラシリンナトリウム	ペニシリン系	○	
ベンジルペニシリン	ペニシリン系		○
クラリスロマイシン	マクロライド系	○	
ロキシスロマイシン	マクロライド系	○	
アジスロマイシン水和物	マクロライド系	○	
タイロシン	マクロライド系		○
エリスロマイシン	マクロライド系	○	○
リンコマイシン塩酸塩	リンコマイシン系	○	○
トリメトプリム	合成抗菌薬	○	○
スルバクタムナトリウム	β-ラクタマーゼ阻害剤	○	
テルピナフィン塩酸塩	アリルアミン系	○	

<sup>a</sup> 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部環境衛生研究科  
169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

<sup>b</sup> 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部

に示す。

## 2. 試薬

抗微生物薬の標準品については、セフカペンピボキシル塩酸塩は東京化成株式会社から、その他は富士フイルム和光純薬株式会社から、内部標準物質として用いた重水素標識カルバマゼピン（カルバマゼピン-*d*<sub>10</sub>）はCDNアイソトープから購入した。メタノール、アセトニトリル及びアセトンは関東化学株式会社から購入した。ギ酸（特級）は富士フイルム和光純薬株式会社から購入した。超純水は水道水をMilli-Q Advantage（メルクミリポア）で精製したものを用いた。

## 3. 器具及び機器

### 1) 器具及び機器

試験容器は、蓋つきの石英ガラス製ビーカー（直径8.5 cm、高さ12 cm）を用いた。人工太陽光の光源は、セリック株式会社製solax XC-100を用いた。本光源は、太陽光と同様に300 nm以下の波長をカットした光を照射することができる。水温を一定に維持するための電子冷却ユニット及び温度コントローラーは、日本ブロー株式会社製SL-20W及びSL-CP2406を用いた。恒温器は、東京理化学株式会社製LT1-1001SDを用いた。UV-Aの測定には、SPECTRONICS CORPORATION製DRC-100X Digital Radiometerを用いた。

### 2) 機器分析条件

抗微生物薬の残存量を測定するための液体クロマトグラフタンデム質量分析計（LC-MS-MS）は、Xevo-TQD（日本ウォーターズ）を用いた。分析条件を以下に示す。LC：AQUITY UPLC（日本ウォーターズ）、カラム：L-column 2 ODS（2.0×100 mm, 3 μm, 化学物質評価研究機構）、カラム温度：40°C、移動相 A液0.1% ギ酸水溶液、B液0.1% ギ酸アセトニトリル、A液 95%で2分間保持し、3分後に80%、16分後に50%、18分後に0%になるように濃度勾配をかけ、5分間保持。移動相流速：0.2 mL/min、注入量：5 μL、MS：Xevo TQD（日本ウォーターズ）、イオン化法（キャピラリー電圧）：ESI+（2.0 kV）ESI-（3.0 kV）、イオン源温度：150°C、脱溶媒温度：500°C、コーンガス流量：50 L/hr、脱溶媒ガス流量：1000 L/hr。

## 4. 標準液の調製

各抗微生物薬の1 mg/mL標準原液は、試験時にメタノール又は50%メタノールを用いて調製した。カルバマゼピン-*d*<sub>10</sub> はアセトンで1 mg/mL溶液を調製し、さらに希釈して0.01 mg/mLとした。

## 5. 光分解試験

### 1) 試験に用いた溶媒

光分解試験の試験溶媒として、超純水と、実際の環境中水試料の抗微生物薬の挙動を確認する目的で河川水の2種

類を用いた。河川水は、多摩川中流域にあたる多摩川原橋付近で2018年の11月に採水したものをろ過せずに使用した。

### 2) 試験溶液の調製

試験溶液は、以下のとおりに調製した。まず標準原液を適宜混合し、10 mg/L混合標準液を調製した。この混合標準液1 mLを石英製ビーカーに分取し、窒素ガスを吹き付けて溶媒を除去した後、試験溶媒100 mLを加え、超音波処理を行った。試験溶液中の各抗微生物薬の最終濃度は0.1 mg/Lである。また、試験溶液の水深は約1.76 cmで、本条件では表層における抗微生物薬の光分解挙動を観察することができる。

### 3) 光分解試験

光分解試験は、OECDガイドライン316<sup>9)</sup>に準じて行った。すなわち、試験溶液が入ったビーカーを、多摩川の平均水温<sup>10)</sup>付近である17±1°Cに保ちながら、人工太陽光を照射した（光照射区）。光源は試験液面から約1 mの高さに配置し、光照射の強度を試験液面においてUV-Aとして30 W/cm<sup>2</sup>とした。それぞれの試験では、光照射区と同様に調製した試験溶液を17±1°Cに設定した恒温器に入れ暗所にて試験を行った（対照区）。

光照射開始から0, 1, 2, 4, 7及び24時間後に各試験溶液の中央、中層付近からそれぞれ1 mL採取し、0.01 mg/mLカルバマゼピン-*d*<sub>10</sub> 10 μL及びギ酸1 μLを添加した後、LC/MS/MSで分析し、各抗微生物薬及び内部標準物質のピーク面積比を算出した。0時間後のピーク面積比を100%として各採取時間の残存率を計算した。また、試験終了後にビーカーから試験溶液を除去し、メタノール20 mLにより器壁を洗浄し、その洗液を濃縮した後、同様に分析して抗微生物薬の器壁への吸着量を調べた。

抗微生物薬の減衰は一次反応(1)に従うと仮定し、その半減期 $t_{1/2}$ は一次反応速度定数 $k$ を用いて式(2)から算出した。

$$C=C_0 \cdot e^{-kt} \quad \dots(1)$$

$$t_{1/2}=0.693/k \quad \dots(2)$$

ここで、 $C$ ：各採取時間の水中抗微生物薬濃度、 $C_0$ ： $t=0$ の水中抗微生物薬濃度、 $t$ ：経過時間である。

また、クラスター分析は、統計解析ソフトであるSTATISTICA 06J（StatSoft, Inc.）を用いて行った。

## 結果及び考察

抗微生物薬の減衰曲線の例を図1に示す。メロペネムのように減衰が見られた抗微生物薬は一次反応回帰直線の決定係数が良好であったが、アモキシシリンのように減衰が認められない抗微生物薬の決定係数は不良であった。

### 1. 超純水中の抗微生物薬の光分解挙動

試験溶媒として超純水を用いた光分解試験における一次反応回帰直線の決定係数及び光分解半減期を表2に示す。本研究では試験期間を24時間としたため、半減期が24時間以上と算出された場合は、表記を「>24」とした。光照射区における抗微生物薬の半減期は0.5時間から24時間以

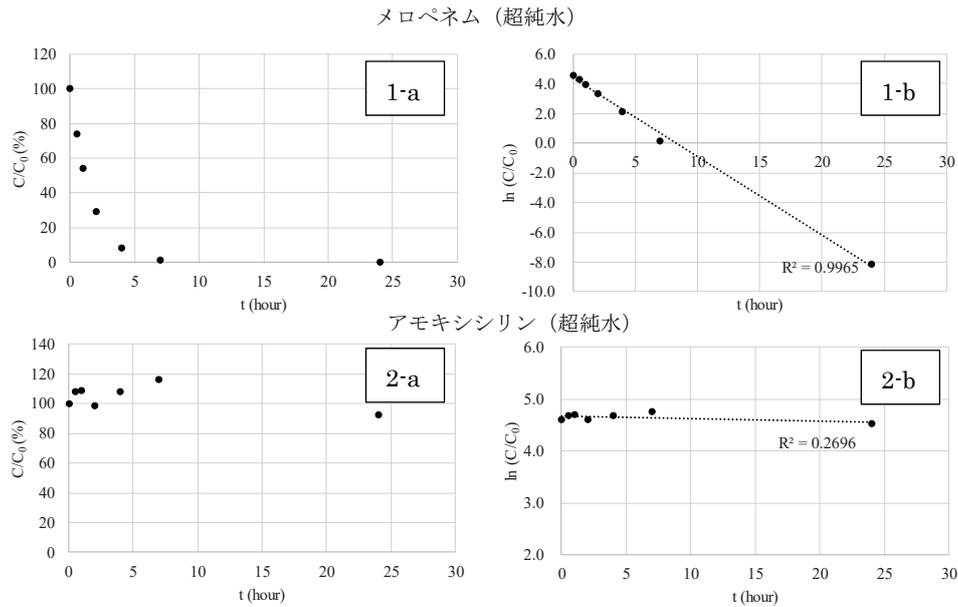


図1. 抗微生物薬の減衰曲線の例

上図：メロペネムの残存率（1-a）及び残存率の自然対数（1-b）の経時変化

下図：アモキシシリンの残存率（2-a）及び残存率の自然対数（2-b）の経時変化

表2. 抗微生物薬光分解の一次反応決定係数及び半減期（超純水）

抗微生物薬	照射区		対照区	
	決定係数 $r^2$	半減期 $t_{1/2}$ (hr)	決定係数 $r^2$	半減期 $t_{1/2}$ (hr)
ピアベネム	0.986	0.6	0.356	>24
メロペネム	0.996	1.3	0.763	>24
スルファメトキサゾール	0.997	0.8	0.000	>24
スルファモメトキシム	0.986	>24	0.057	>24
セフカペンビポキシル塩酸塩	0.899	2.1	0.623	>24
セフジレンビポキシル	0.951	6.1	0.783	>24
セフメタゾールナトリウム	0.947	1.5	0.095	>24
セフトリアキソンナトリウム	0.999	1.6	0.893	13.8
セフジニル	0.999	0.5	0.657	>24
セファクロル	0.983	14.5	0.414	>24
オキシテトラサイクリン	0.997	3.1	0.628	>24
クロルテトラサイクリン	0.985	4.8	0.014	>24
ドキシサイクリン塩酸塩	0.962	16.9	0.310	>24
レボフロキサシン	0.965	>24	0.142	>24
アンピシリンナトリウム	0.829	>24	0.548	>24
アモキシシリン三水和物	0.270	>24	0.017	>24
ピペラシリンナトリウム	0.418	>24	0.000	>24
ベンジルペニシリン	0.004	>24	0.804	>24
クラリスロマイシン	0.967	>24	0.540	>24
ロキシスロマイシン	0.570	>24	0.810	>24
アジスロマイシン水和物	0.990	21.1	0.645	>24
タイロシン	0.869	2.2	0.652	18.6
エリスロマイシン	0.086	>24	0.327	>24
リンコマイシン塩酸塩	0.567	>24	0.151	>24
トリメトプリム	0.946	>24	0.015	>24
スルバクタムナトリウム	0.642	>24	0.348	>24
テルピナフィン塩酸塩	0.949	3.6	0.739	>24

表3. 抗微生物薬光分解の一次反応決定係数及び半減期（河川水）

抗微生物薬	照射区		対照区	
	決定係数 $r^2$	半減期 $t_{1/2}$ (hr)	決定係数 $r^2$	半減期 $t_{1/2}$ (hr)
ピアベネム	0.987	0.4	0.772	16.6
メロペネム	0.836	1.7	0.551	>24
スルファメトキサゾール	0.344	22.6	0.035	21.7
スルファモメトキシム	0.417	>24	0.051	>24
セフカペンビポキシル塩酸塩	0.998	0.9	0.986	21.7
セフジレンビポキシル	0.997	3.0	0.933	16.0
セフメタゾールナトリウム	0.999	1.5	0.325	>24
セフトリアキソンナトリウム	0.654	2.8	0.553	>24
セフジニル	0.514	2.6	0.001	>24
セファクロル	0.992	8.0	0.943	>24
オキシテトラサイクリン	0.974	1.0	0.822	>24
クロルテトラサイクリン	0.972	1.2	0.952	17.7
ドキシサイクリン塩酸塩	0.957	1.3	0.819	>24
レボフロキサシン	0.992	2.8	0.028	>24
アンピシリンナトリウム	0.980	24.0	0.415	>24
アモキシシリン三水和物	0.978	>24	0.667	>24
ピペラシリンナトリウム	0.888	>24	0.454	>24
ベンジルペニシリン	0.881	12.8	0.730	>24
クラリスロマイシン	0.982	21.6	0.136	>24
ロキシスロマイシン	0.828	>24	0.529	>24
アジスロマイシン水和物	0.977	15.5	0.272	>24
タイロシン	0.963	2.6	0.673	>24
エリスロマイシン	0.938	19.0	0.250	>24
リンコマイシン塩酸塩	0.995	13.3	0.419	>24
トリメトプリム	0.954	>24	0.014	>24
スルバクタムナトリウム	0.005	>24	0.093	>24
テルピナフィン塩酸塩	0.997	2.0	0.848	>24

上の範囲であった。半減期が1時間未満と短い抗微生物薬は順に、セフジニル、ピアペネム及びスルファメトキサゾールだった。抗微生物薬の分類別でみると、カルバペネム系、セフェム系、テトラサイクリン系及びアリルアミン系抗微生物薬のテルピナフィンの半減期は短い傾向にあった。一方、ペニシリン系及びマクロライド系抗微生物薬の半減期は、おおむね24時間以上であった。

対照区において、ほとんどの抗微生物薬が24時間以上であるのに対して、セフトリアキソンナトリウム及びタイロシンの半減期は、それぞれ13.8時間及び18.6時間と短かった。なお、試験終了後に器壁に残存した抗微生物薬の量を調べたところ、初期量に対する割合として1%未満とほとんど残存していなかった。

## 2. 河川水中の抗微生物薬の光分解挙動

試験溶媒として河川水を用いた光分解試験における一次反応回帰直線の決定係数及び光分解半減期を表3に示す。

光照射区において抗微生物薬半減期は0.4時間から24時間以上の範囲であった。半減期が1時間未満と短い抗微生物薬は、ピアペネム及びセフカペンピボキシル塩酸塩であった。抗微生物薬の分類別でみると、テトラサイクリン系、カルバペネム系、セフェム系及びアリルアミン系抗微生物薬のテルピナフィンの半減期は短い傾向にあった。一方、ペニシリン系及びマクロライド系抗微生物薬の半減期は比較的長い傾向にあった。

対照区において、セフジニル、ピアペネム、クロルテトラサイクリン、スルファメトキサゾール及びセフカペンピボキシル塩酸塩の半減期は、それぞれ16.0時間、16.6時間、17.7時間、21.7時間及び21.7時間と比較的短かった。なお、試験終了後に器壁に残存した抗微生物薬の量を調べたところ、初期量に対する割合として最大でも3%とほとんど残存していなかった。

## 3. クラスター分析による分解挙動の分類

抗微生物薬の光照射における分解挙動を分類するため、各試験溶媒における半減期を用いてクラスター分析を行った。分析には、光照射区各データの減少分を補正して用いた。クラスター分析による分類結果を表4に示す。対象の抗微生物薬は5つのグループに分類された。

グループ1は超純水及び河川水において半減期24時間以上の抗微生物薬で、スルバクタムナトリウム、スルファモノメトキシリン、アモキシシリン三水合物、ピペラシリンナトリウム、アンピシリンナトリウム、ロキシスロマイシン、トリメトプリムが分類された。グループ2は超純水では半減期がおおむね24時間以上であったが河川水において12.8時間～21.6時間と比較的短かった抗微生物薬で、ベンジルペニシリン、エリスロマイシン、クラリスロマイシン、アジスロマイシン水和物、リンコマイシン塩酸塩が分類された。グループ3は河川水において10時間以下と比較的半減

表4. 抗微生物薬の半減期を用いたクラスター分析による分類

グループ	成分名	分類
1	スルバクタムナトリウム	β-ラクタマーゼ阻害剤
	スルファモノメトキシリン	スルホンアミド系
	アモキシシリン三水合物	ペニシリン系
	ピペラシリンナトリウム	ペニシリン系
	アンピシリンナトリウム	ペニシリン系
	ロキシスロマイシン	マクロライド系
	トリメトプリム	合成抗菌薬
2	ベンジルペニシリン	ペニシリン系
	エリスロマイシン	マクロライド系
	クラリスロマイシン	マクロライド系
	アジスロマイシン水和物	マクロライド系
	リンコマイシン塩酸塩	リンコマイシン系
3	レボフロキサシン	ニューキノロン系
	ドキシサイクリン塩酸塩	テトラサイクリン系
	セファクロル	セフェム系
4	テルピナフィン塩酸塩	アリルアミン系
	ピアペネム	カルバペネム系
	メロペネム	カルバペネム系
	セフジニル	セフェム系
	セフメタゾールナトリウム	セフェム系
	セフカペンピボキシル塩酸塩	セフェム系
	セフトリアキソンナトリウム	セフェム系
	セフジニル	セフェム系
	クロルテトラサイクリン	テトラサイクリン系
	オキシテトラサイクリン	テトラサイクリン系
タイロシン	マクロライド系	
5	スルファメトキサゾール	スルホンアミド系

期が短かかった抗微生物薬で、レボフロキサシン、ドキシサイクリン塩酸塩及びセファクロルが分類された。

グループ4は、光照射区における半減期が超純水及び河川水のいずれにおいても約6時間以下の抗微生物薬で、テルピナフィン塩酸塩、ピアペネム、メロペネム、セフジニル、セフメタゾールナトリウム、セフカペンピボキシル塩酸塩、セフトリアキソンナトリウム、セフジニル、クロルテトラサイクリン、オキシテトラサイクリン及びタイロシンが分類された。

以上の1から4のグループに分類された抗微生物薬は、河川水の方が超純水よりも半減期が短い傾向にあった。この理由としては、光源から直接照射される光に加え、河川水に存在する有機物等による光分解の促進<sup>11)</sup>や河川水中の微生物等による分解が推察される。この結果から、今回試験を行った抗微生物薬のうちほとんどの分解速度について、超純水での試験は河川水での試験と同程度もしくは遅いことがわかった。このため、超純水を用いた光分解性試験を実施することで、実際の水環境におけるワーストケースとしての予測が可能であると考えられる。

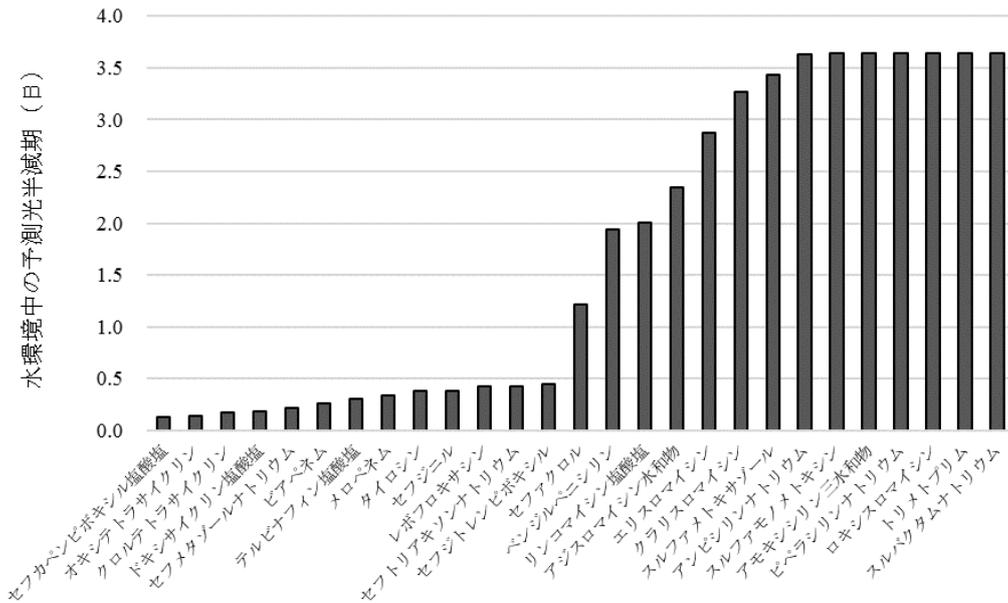


図2. 抗微生物薬の水環境中 予測光半減期

一方、グループ5に分類されたスルファメトキサゾールは、他のグループとは異なり、超純水の方が河川水よりも半減期が短かった。Cindyら<sup>12)</sup>は、スルファメトキサゾールの半減期を調査した結果、超純水 (pH6.3) で0.86時間、河川水 (pH7.2) では5.9時間と超純水において半減期が短いことが観察され、その原因としてpHの影響を挙げている。今回の試験においても超純水及び河川水のpHはそれぞれ6.5及び7.5であったことから、両溶媒のわずかなpHの違いにより半減期が短くなったと推察される。今回の試験条件では超純水ではpH調整せず実施したが、スルファメトキサゾールのように液性により分解挙動が変化する成分があることから、今後は液性を考慮した試験を実施する必要がある。

#### 4. 実際の水環境における抗微生物薬の半減期の推計

今回の試験で算出された半減期を用いて、実際の水環境における抗微生物薬の半減期を推計した。試験に用いた人工太陽光照射装置におけるUV-A照射量30 W/m<sup>2</sup>は、108,000 J/m<sup>2</sup>/hrである。実際の水環境における照射量 (平成27年から29年までのUV-A照射量における日積算量<sup>13)</sup>の年平均値) は、約0.72 MJ/m<sup>2</sup> (716,000 J/m<sup>2</sup>) であることから、実際の水環境における1日あたりのUV-A照射量は、今回の試験の照射条件下で6.6時間の照射に相当する。試験結果の半減期を6.6時間で除算し、実際の水環境における半減期を計算した結果を図2に示す。半減期が1日以上であった抗微生物薬は14種あった。多摩川中流域から河口までの河川水の流下時間は半日から1日であることから、これらの抗微生物薬は河川水中に残存する可能性があることが示唆される。

#### ま と め

水中抗微生物薬の光分解試験を行った。試験溶媒として超純水及び河川水を用いて試験した結果、両溶媒においてテトラサイクリン系、セフェム系及びカルバペネム系抗微生物薬の半減期は0.4-16.9時間と短い傾向にあった。一方、ペニシリン系及びマクロライド系抗微生物薬の半減期は一部を除いて24時間以上と長かった。

対照区の値で補正した光分解半減期を用いたクラスター分析では、超純水及び河川水での分解性から5つの分解挙動に分類された。ほとんどの抗微生物薬において、河川水の方が超純水よりも半減期が短かった。このことから、超純水を使用した光分解試験による半減期は、ワーストケースとしての値として使用可能なことが示唆された。一方、スルファメトキサゾールは超純水における半減期は河川水における半減期よりも短かった。これは、超純水のpHが低かったためであり、今後の検討では液性等も考慮にいった試験を行う必要がある。

最後に、今回の試験から実際の水環境における抗微生物薬の半減期を推計したところ、1日以上と算出されたのは14種あり、これらの抗微生物薬は河川水中に残存する可能性があることが示唆される。

#### 謝 辞

本研究の一部は、AMEDの医薬品等規制調和・評価研究事業 (19mk0101133j0101) の研究助成のもとに実施された。

#### 文 献

- 1) 清野敦子, 長谷川安子, 益永茂樹: 水環境学会誌, 27(11), 693-698, 2004.
- 2) 泉谷秀昌: 日本食品微生物学雑誌, 31, 57-62, 2014.

- 3) 越川博元, 滝さやか, 井口彩, 他: 水環境学会誌, **31**, 651-657, 2008.
- 4) WHO, Global action plan on antimicrobial resistance (2015), <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/en/> (2020年11月18日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性はある)
- 5) Yoshihiro, S., Reina, H., Hui, X., *et al*: *Science of the Total Environment*, **690**, 696-704, 2019.
- 6) Manish, K., Keisuike, K., Kiran, D., *et al*: *Environ. Sci. Technol.*, **54**, 8503-8505, 2020.
- 7) 厚生労働省: 平成25年薬事工業生産動態統計年報統計表, <https://www.mhlw.go.jp/topics/yakuji/2013/nenpo/toukeihyou.html> (2020年11月18日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性はある)
- 8) 農林水産省, 動物医薬品検査所: 動物用医薬品, 医薬部外品及び医療機器製造販売高年報 (別冊) 平成25年 (2013), <https://www.maff.go.jp/nval/iyakutou/hanbaidaka/pdf/h25h> anbaikoukin20180205.pdf (2020年11月18日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性はある)
- 9) ORCD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS No. 316 Phototransformation of Chemicals in Water – Direct Photolysis: OECD, 2008.
- 10) 東京都環境局: 平成27年度公共用水域水質測定結果, [https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/tokyo\\_bay/measurements/measurements/27.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/tokyo_bay/measurements/measurements/27.html) (2020年11月18日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性はある)
- 11) Xingzhang, L., Zheng, Z., John, G., *et al*: *Water Research*, **46**, 1327-1336, 2012.
- 12) Cindy, O., Diana, L. D. L., Carla, P.S., *et al*: *Science of the Total Environment*, **648**, 1403-1410, 2019.
- 13) 国立環境研究所地球環境研究センター: 有害紫外線モニタリングネットワーク, [http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/uv\\_outline/index.html](http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/uv_outline/index.html) (2020年11月18日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性はある)

### The Photodegradation of Antibiotics in Water by Irradiation of Artificial Sunlight

Yuki KOSUGI<sup>a</sup>, Haruka IIDA<sup>a</sup>, Kimiyo WATANABE<sup>a</sup>, Ikue SAITOU<sup>a</sup>, Akiko INOMATA<sup>a</sup>, and Takako MORIYASU<sup>a</sup>

In recent years, there has been a concern about the increase of drug resistance in bacteria and the resultant increase in the number of infections. The presence of antibiotics in the aqueous environment may cause aquatic organisms to develop drug resistance. Therefore, there is a need to predict the fate of antibiotics for humans and animals in the aqueous environment. In this study, the photolysis test, one of the primary assays of the degradation of antibiotics, was conducted using ultrapure water and river water. The half-lives of tetracyclines, cepheims, and carbapenems were found to be shorter, at 0.4–16.9 hours in both solvents. In contrast, the half-lives of penicillin and macrolide antibiotics were longer than 24 hours, with some exceptions. Most of the antibiotics tended to have a shorter half-life in river water than in ultrapure water. On the other hand, sulfamethoxazole had a shorter half-life for photodegradation in ultrapure water than in river water due to the lower pH of the ultrapure water. The estimated half-lives of the antibiotics in the actual aqueous environment suggest that the 14 antibiotics may remain in the aqueous environment.

**Keywords:** antibiotics, photodegradation, artificial sunlight, ultrapure water, river water

---

<sup>a</sup> Tokyo Metropolitan Institute of Public Health,  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan