

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21360256
 研究課題名（和文） 水環境における抗生物質および抗ウイルス剤の動態と薬剤耐性菌による水系汚染
 研究課題名（英文） Fate of antibiotics and antivirals in the aquatic environment and contamination by resistant bacteria
 研究代表者
 山下尚之（Naoyuki Yamashita）
 京都大学・大学院工学研究科・講師
 研究者番号：90391614

研究成果の概要（和文）：

河川流域における抗生物質および抗ウイルス剤の動態について、淀川支川や下水処理場放流水の分析結果から、医薬品類の多くは下水処理場経由で河川へ流入することが明らかとなった。また、水生生物に対する毒性影響について、抗生物質は藻類に対する毒性が大きいこと、抗ウイルス剤は水生生物に対する毒性は強くないことが分かった。薬剤耐性菌の動態については、河川水からは高い割合でアンピシリン耐性菌が検出され、アンピシリンやスルファメトキサゾール耐性菌は河川での流下過程で存在量を維持したまま流下することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Survey on the fate of the antibiotics and antivirals in river basin showed that most of pharmaceuticals are entering into the river bodies through wastewater treatment plants. Ecotoxicity tests using aquatic organisms indicated that antibiotics have higher toxicity to algae among aquatic organisms tested. As for the fate of resistant bacteria in the river basin, ampicillin resistant bacteria were detected at high percentages among bacteria isolated from river samples and ampicillin and sulfamethoxazole resistant bacteria were persistent along the river downstream.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,100,000円	2,430,000円	10,530,000円
2010年度	3,000,000円	900,000円	3,900,000円
2011年度	3,000,000円	900,000円	3,900,000円
年度			
年度			
総計	14,100,000円	4,230,000円	18,330,000円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木環境システム

キーワード：土壌・水環境

1. 研究開始当初の背景

人類はこれまで様々な化学物質を開発し、日常生活や産業活動において使用してきたが、化学物質の中には有害性を持つものも多く、環境汚染を通じてヒトの健康や生態系に

影響を与えている可能性がある。近年、新たな環境汚染物質として、人間活動に伴って環境中に放出される医薬品が注目されている。医薬品は、生物に対して特異的に作用するように作られているため、水環境中に放出され

た場合には水生生物への毒性影響が懸念されるとともに、飲み水に残留医薬品が混入した場合にはヒトへの健康影響が懸念される。

抗生物質は他の医薬品と比較して、水生生物に対する毒性が高いということが明らかとなっており、環境中濃度と毒性との比からリスク比を計算した結果、抗生物質のリスク比は高い値が示されている。また、近年、鳥インフルエンザ問題で大きな話題となっているタミフルなど抗ウイルス剤の水環境中における動態については、世界的にもほとんど報告がなされておらず、水生生物への毒性も含めて今後詳細に検討する必要がある。

一方、水環境中における抗生物質の存在は、人の健康問題と関係する薬剤耐性菌の発生にも関与することも懸念される。MRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）などに代表される薬剤耐性菌が、近年ではごく一般的な感染症の起炎菌として見つかることもあり、これらの薬剤耐性菌が病院内だけでなく、環境中にも広がっていることが懸念される。以上のような背景より、水環境中における抗生物質および抗ウイルス剤の動態や薬剤耐性菌による水系汚染の実態を明らかにすることは重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、抗生物質および抗ウイルス剤を対象物質として、水試料中成分に関する分析方法を開発するとともに、河川水や下水処理水を対象として調査を行い、水環境中におけるこれら医薬品類の動態について明らかにする。同時に、抗生物質および抗ウイルス剤等の医薬品を対象として水生生物を用いた毒性試験を実施し、これら医薬品類の水圏生態系に与える影響について検討を加えることを目的とする。

薬剤耐性菌については、ディスク拡散法等を用いた薬剤耐性菌検出法について検討を行うとともに、水環境中における薬剤耐性菌の分布と多剤耐性を調べ、下水処理水やその他排水等の流入と薬剤耐性菌の存在との関連について考察を加えることを研究の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 河川流域における抗生物質、抗ウイルス剤等医薬品類の存在実態調査

① 河川調査

河川流域調査は、淀川流域において実施した。淀川流域は滋賀、京都、奈良、三重、大阪、兵庫の2府4県にまたがり、流域人口約1200万人の日本を代表する水系である。淀川流域の合計11地点で、下水処理場の放流水と河川水の採水を行った。調査区間の上流は、久世橋、宇治川御幸橋、木津川御幸橋、下流は枚方大橋となっており、この区間に直接処

理水を放流している下水処理場は、全て採水対象としている。採水は、2009年5月～2010年3月までの期間、週に1回の割合で調査を行った。採水方法は、一部を除きステンレス製バケツを用いてスポット採水を実施した。

② 分析方法

国内外で検出が報告されている医薬品類を網羅的にピックアップし、その中で標準物質が入手できるかどうか、あるいは測定が可能であるかにより医薬品を選別した。分析対象はサンプル中に含まれる医薬品類の溶存態とした。各採水地点で採水したサンプルにアスコルビン酸を約1g/Lとなるように添加した後、遮光保冷の条件で実験室に持ち帰り、吸着剤が充填されたOasis HLBカートリッジ（Waters）を用いた固相抽出により前処理を行った。測定にはLC/MS/MS（AQUITY, Waters）、MS/MS（Quattro micro API, Waters）を用い、定量は絶対検量線法により行った。濃縮倍率はサンプル中の濃度を考慮して100倍または200倍とした。

(2) 抗生物質および抗ウイルス剤等医薬品類の水生生物に対する毒性評価

本研究では、栄養段階が異なる水生生物に対する医薬品類の毒性を評価するために、以下の3つの試験法を用いた。ここで、藻類生長阻害試験は生産者に対する試験として、Microtox®試験は分解者に対する試験、ミジンコ急性遊泳阻害試験は一次消費者に対する試験として行った。

① 藻類生長阻害試験

藻類生長阻害試験は、マイクロプレートを用いた試験を行った。供試生物としては、緑藻類 *Pseudokirchneriella subcapitata* を用いた。*P. subcapitata* は、日本に生息する代表的な種ではないが、多くの化学物質に対して比較的感受性が高いとされている。藻類株は独立行政法人国立環境研究所微生物系統保存施設から分譲された株（NIES-35）を用いた。試験用の培地としては、AAP培地を用いた。試験開始時の藻類初期細胞濃度は 1.0×10^4 cells/mL とし、曝露期間は96hとし、試験開始後0, 24, 48, 72, 96hに吸光度を測定し、藻類増殖量をモニタリングした。試験時は培養庫の中で24°C, 4000 lux, 120rpmで振とう培養した。各医薬品のEC50（50%生長阻害濃度）、NOEC（最大無作用濃度）、LOEC（対照区と比べて有意な影響を与える最大濃度）は、生長阻害率を算出して用量反応曲線より求めた。

② Microtox®試験

この試験は、海洋性発光細菌 *Vibrio fischeri* の発光の強さが化学物質の影響により減少することを利用して毒性を評価するものである。供試生物の *Vibrio fischeri* は、1本から数本の鞭毛をもつ通性嫌気性グ

ラム桿菌であり、おもに海水中に生息する。試験は20℃に保たれた恒温室内で行った。最高濃度から公比2の希釈段階をつくりスクリーニングを行った。供試生物はMicrotox® Reagent (Strategic Diagnostics 製)として凍結乾燥された状態で供給され、これをReconstitution Solution (Strategic Diagnostics 製)に溶解させた。初期発光量の測定が終わると、速やかにサンプルを加えた後、サンプル曝露後の発光量の測定について、サンプルを曝露してから5分後及び15分後に発光量を測定した。15分後発光減少量から、各医薬品に関するEC50を算出した。

③ ミジンコ急性遊泳阻害試験

ミジンコは植物プランクトンを捕食し、自らは魚などに捕食されるので、食物連鎖の中間に位置する生物としても重要である。本研究では、試験時間が48 hと短いミジンコ急性遊泳阻害試験を行った。供試生物として、*Daphnia magna* (オオミジンコ)を用いた。*D. magna*は元来日本には生息しないが、多くの化学物質に対して比較的感受性が高いとされている。本研究では、独立行政法人国立環境研究所微生物系統保存施設から分譲された株 (NIES 系統)を用いた。飼育には人工調製水であるM4飼育水を用いた。継代飼育については、飼育水を1 L ビーカーに500 mL程度取り、ミジンコを10頭程度入れた。これを20℃、明暗周期 (16時間明/8時間暗)の条件で飼育した。試験はOECDテストガイドライン (TG-202) に基づく条件で行った。試験は100 mL ガラスビーカーに100 mLのサンプルを入れて止水式で行い、20℃、遮光、無給餌の条件で培養庫の中で行った。曝露期間は48 hとし、試験開始後24、48 hにミジンコの遊泳阻害数を観察した。公比2で希釈段階を5段階つくり、20頭/濃度区、2容器/濃度区 (1容器に供試生物10頭)の条件で本試験を行った。各濃度区でのミジンコの遊泳阻害率と供試个体数 (20頭) から遊泳阻害率 (%) を算出し、用量反応曲線を描くことで48 hの半遊泳阻害数EC50を求めた。

(3) 河川流域における薬剤耐性菌の存在実態

① 河川流域における調査

河川流域における調査では、淀川流域において河川水および下水処理場放流水のサンプリングを実施した。河川水は合計10地点、下水処理場放流水は5地点の計15地点でサンプリングを行った。また、山科川では底質も採取した。

② 薬剤耐性試験

試験抗生物質としては、アンピシリン (ABPC)、スルファメトキサゾール (SMZ)、テトラサイクリン (TC)、レボフロキサシン (LVFX) の4種類とした。ABPCの場合は最終濃

度が32 mg/Lになるようにクロモカルト培地に添加、SMZでは76 mg/L、TCでは16 mg/L、LVFXでは8 mg/Lとした。対象菌種は大腸菌とした。

大腸菌の培養では、試料を吸引ろ過し、ろ紙上に付着した大腸菌を培養した。一定量の検水を直径φ47 mm、孔径φ0.45 μmのメンブレンフィルター (ADVANTEC)に通水して行った。ろ過後のメンブレンフィルターはクロモカルト培地にのせ、35℃のインキュベーターで24時間培養し、メンブレンフィルター上に発色した濃青色のコロニーを大腸菌と判定し、濃青色コロニー数を数えた。下水処理場内調査のサンプルは混釈平板培養法で行った。培養条件および大腸菌の判定方法はメンブレンフィルター法と同様に行った。

③ 薬剤感受性試験

本試験では、被検菌の薬剤感受性の測定をディスク拡散法により行った。ディスク拡散法は、一定濃度の薬剤を含有したろ紙ディスクを使用して、薬剤に対する感受性を検査する方法である。わが国では、Kirby-Bauer法に基づいて米国臨床検査基準委員会 (CLSI)によって標準化された方法が主流であり、比較的簡単迅速に測定することができる。本実験ではCLSIの規格に準拠して、ディスク拡散法により薬剤感受性試験を行った。この方法では、形成された阻止円の直径を測定し、薬剤に耐性か感受性かを判定する。コロニーを形成した大腸菌について、ミュラーヒントンス寒天培地にコンラージ棒を用いて均一に塗布し、平板上に薬剤の含有されたディスクを置いた。35℃で16~18時間培養後、阻止円の直径を測定し、各薬剤に対する感受性 (耐性・中程度耐性・感受性)の判定を行った。

4. 研究成果

(1) 河川流域における抗生物質、抗ウイルス剤等医薬品類の存在実態

医薬品類濃度の調査結果について、各採水地点ごとにみた調査結果を図1に示す。棒グラフで示しているのは、濃度の総和が調査期間内において中央値をとった週の結果であり、最大値をとった週と最小値をとった週を変動範囲としてエラーバーで示している。図1から、吉祥院以外の下水処理場の放流水に含まれる医薬品類の濃度が高いことが分かる。吉祥院は濃度が非常に低くなっているが、これは、オゾン処理が医薬品類の分解に大きく寄与することから、吉祥院水環境保全センターがオゾン処理を行っていることが要因であると考えられる。また、吉祥院の最大値が他の処理場と大きく変わらない高い値をとっている点に関しては、このような高い値をとっているのが第10週のみであることから、第10週の調査日にオゾン処理を停止していた可能性がある。次に、鳥羽[桂]と鳥羽

[西高瀬]では、流入水質はほぼ等しいと考えられるにもかかわらず放流水の濃度の最大値が大きく異なっている。総和濃度が高い値をとっている週はCaffeineとTheophyllineが異常に高い濃度であることから、合流式下水道を採用している鳥羽[西高瀬]で簡易処理放流水が混じっていたなどの可能性が考えられる。

各採水地点における医薬品類の濃度の組成について、吉祥院水環境保全センターの濃度組成が他の処理場の濃度組成と大きく異なっているが、ここからオゾン処理による医薬品類の除去効果には物質によって差があることが示唆される。吉祥院水環境保全センターでは、Crotamiton, Sulfapyridine, Levofloxacinなどの割合が他の処理場と比較して低くなっているのに対し、Ketoprofen, Disopyramide, Bezafibrateといった医薬品の割合は高くなっている。Ketoprofen, Disopyramideはオゾン処理の除去率は他の医薬品類と比較して低いことが報告されており、この結果はこの報告と一致する。

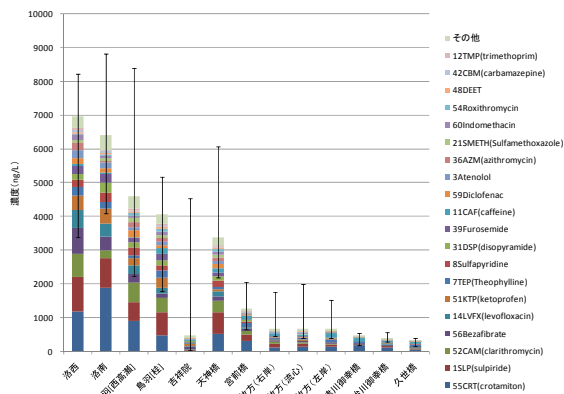


図1 採水地点ごとに見た医薬品類濃度

下水処理水の混入割合と医薬品類濃度の相関をとった(表1)。Indomethacin, Carbamazepine, Sulpiride, Clarithromycinなど6物質は相関係数が1.00となり、また相関係数を算出できた50物質中38物質で相関係数が0.90を超えた。一方で、Caffeine(相関係数: -0.33), Tiamulin(相関係数: -0.85), Thiamphenicol(相関係数: 0.19), Sulfamonomethoxin(相関係数: 0.09)のように正の相関が見られない物質もあった。強い相関が見られた多くの物質については、下水処理場が負荷源であることが示唆されたが、正の相関の見られなかった物質に関しては、下水処理場以外の負荷源の可能性が示唆された。そこで、負荷源について考察を行った。CaffeineやTheophylline(相関係数: 0.81)は処理レベルが低い浄化槽などで検出されやすい物質であるため、浄化槽などが負荷源の1つとなっていることが予想された。

また、抗生物質のTiamulinは家畜伝染病の治療薬として使用されている物質であり、畜産場が負荷源となっている可能性が考えられた。よって、これらの動物用医薬品に使用されている物質は、畜産場が1つの負荷源となっているために下水処理水の混入割合との相関が低いと考えられた。畜産由来の抗生物質は、下水処理場での処理を受けないまま水域に流出してくることから、水生生物への影響を考えた場合には、注意が必要である。

表1 下水処理水量の混入割合と医薬品類濃度との相関係数

物質名	相関係数	物質名	相関係数
60Indomethacin	0.9995	34CYPP(Cyclophosphamide)	0.9726
42CBM(carbamazepine)	0.9984	65Mefenamicacid	0.9657
50CLF(Clofibracid)	0.9978	37PRP(Propranolol)	0.9636
15LP(sulpiride)	0.9973	55CRT(crotamiton)	0.9627
52CAM(clarithromycin)	0.9972	45CPML(dipyridamole)	0.9715
28PRD(Primidone)	0.9971	26ATP(antipyrene)	0.9582
31DSP(disopyramide)	0.9944	4Acetaminophen	0.9539
17PZNI(Pirenzepine)	0.9940	19Ciprofloxacin	0.9365
54Roxithromycin	0.9931	48DEET	0.9340
12TMP(trimethoprim)	0.9918	40NLXA(Nalidixicacid)	0.9338
41DTZ(diltiazem)	0.9906	27CLB(Clenbuterol)	0.9334
8Sulfapyridine	0.9877	51KTP(ketoprofen)	0.9317
35IFP(ifenprodil)	0.9862	39Furosemide	0.9240
33SDIME(Sulfadimethoxine)	0.9853	36AZM(azithromycin)	0.8729
56Bezafibrate	0.9847	43IPP(Isopropylantipyrene)	0.8604
59Diclofenac	0.9842	47Griseofulvin	0.8304
29METOP(metoprolol)	0.9838	7TEP(Theophylline)	0.8146
3Atenolol	0.9830	46Tylosin	0.7829
23QGA	0.9820	24ERFX(enrofloxacin)	0.7645
15Norfloxacin	0.9855	25Ampicillin	0.7577
16Sulfadiazine	0.9785	13LM(Lincomycin)	0.5797
32ETZ(ethenzamide)	0.9775	22SMONO(Sulfamonomethoxin)	0.0921
30Chloramphenicol	0.9158	10Thiamphenicol	0.1943
14LVFX(levofloxacin)	0.9743	11CAF(caffeine)	-0.3252
21SMETH(Sulfamethoxazole)	0.9740	44Tiamulin	-0.8528

(2) 抗生物質および抗ウイルス剤等医薬品類の水生生物に対する毒性評価

① 栄養段階の異なる水生生物への毒性値比較検討

ここでは、3種の水生生物に関する試験結果について、生産者である藻類、分解者である細菌、消費者であるミジンコへの毒性値の比較検討を行った。

全体的に藻類の感受性が高く、特に抗菌剤においては3種の生物の中で藻類に対する毒性が突出していた。しかし、Triclosanについては3種の生物全てに強い毒性が見られた。TriclosanはFabIを標的部位とするが、FabIは藻類、細菌、ミジンコすべてに存在するため、3種の生物全てに対して毒性が強かったと考えられる。また、解熱鎮痛剤は藻類、細菌、ミジンコともに毒性がばらついたが、Acetaminophenに関してはミジンコに対してのみ毒性が見られた。また、合成香料及び紫外線吸収剤においては、細菌、ミジンコに対する毒性が藻類より高いものが多かった。特にIsobornyl acetate及びBenzyl acetateにおいては、藻類には毒性が見られなかったが、細菌に対しては強い毒性が見られた。これらの結果には、物質の物理化学的性質や、医薬品であれば作用機序が関わっていると考えられ、今後その関係を見つけることが課題になる。

② 生態リスク評価

本研究で対象とした医薬品類について、より詳細な評価を行うべき物質を抽出するために生態リスク初期評価を行った。この評価は、対象とする化学物質に関して生態系への影響を与えないと予想される濃度(PNEC: Predicted No Effect Concentration)と、実測または計算により求められる環境濃度(PEC: Predicted Environmental Concentration)を用いて、PEC/PNECの値からリスク評価を行うものである。本研究では、①日本の河川中濃度の報告値を用いた評価、②下水処理場放流水中濃度の報告値を用いた評価を行った。

図2に①日本の河川中濃度の報告値を用いた評価の結果を、図3に②下水処理場放流水中濃度の報告値を用いた評価の結果を示す。①の評価の結果、PEC/PNEC ≥ 1 となり「詳細な評価を行う候補」に分類された物質は、Clarithromycin, Triclosanの2物質であった。また、 $0.1 \leq \text{PEC/PNEC} < 1$ となり「情報収集に努める必要がある候補」に分類された物質は、Azithromycin, Ketoprofen, Erythromycin, Sulfamethoxazoleの4物質であった。また、②の評価では、Ketoprofen, Clarithromycin, Azithromycin, Triclosanの4物質が「詳細な評価を行う候補」に分類され、Erythromycin, Ifenprodil, Levofloxacin, AHTN, Caffeineの5物質が「情報収集に努める必要がある候補」に分類された。大部分の物質のリスクは藻類に対する毒性の影響が大きい。CaffeineやAHTNのリスクはミジンコに対する影響によるものであった。また、PEC/PNEC ≥ 0.1 とはなっていないものの、解熱鎮痛剤や合成香料のリスクには、ミジンコ及び細菌に対する毒性が影響しているものが多かった。このことから、栄養段階が異なる水生生物を用いて生態リスク評価を行うことは重要であると考えられる。

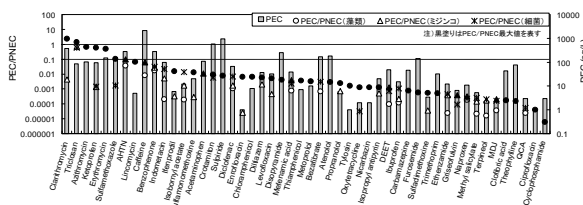


図2 河川中濃度の報告値を用いた生態リスク評価結果

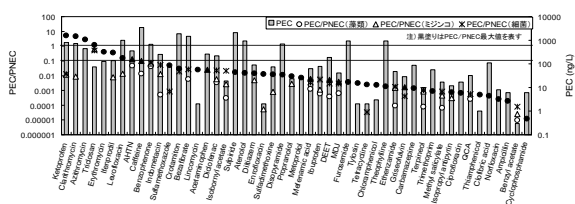


図3 下水処理場放流水中濃度の報告値を用いた生態リスク評価結果

(3) 河川流域における薬剤耐性菌の存在実態

ここでは、下水処理場放流水が多く流入する淀川水系の桂川を対象として、久世橋、鳥羽、宮前橋の3地点について、薬剤耐性大腸菌数と耐性割合を比較する。位置関係としては、最も上流側に久世橋が位置しており、鳥羽から下水処理場放流水が流入し、その下流側に宮前橋が位置している。

アンピシリン (ABPC)、テトラサイクリン (TC)、レボフロキサシン (LVFX) といった3剤の耐性菌数は、中程度以上耐性菌、耐性菌ともに鳥羽が最も高かった。4剤すべてについて、中程度以上耐性菌、耐性菌ともに鳥羽が最も高かった。このことは、全大腸菌数が鳥羽では久世橋、宮前橋の2倍以上高いことからわかるように、下水処理場放流水中の大腸菌の絶対数が高いために耐性菌数も高くなったと考えられる。一方、耐性割合について見ると、鳥羽で耐性割合が最も高いのはLVFXのみであった。上流の久世橋と下流の宮前橋を比較すると、ABPCとLVFXの耐性割合は、中程度以上耐性菌、耐性菌ともに上流より下流のほうが高かった。SMZについても、中程度以上耐性菌の割合は上流より下流のほうが高かった。TCに関しては、耐性菌の割合は上流より下流のほうが高かったが、中程度耐性も含めると上流のほうが高かった。

このように数および割合だけでは耐性菌の増減を考察できないため、流量データをもとに、宮前橋より上流の地点における耐性菌の負荷量の合計と宮前橋における負荷量を比較した。結果を図4に示す。さらにこの負荷量の結果から、流達率 (%)を求めた。

流達率の結果から、全大腸菌の流達率が59%に対して、ABPCとSMZの中程度耐性菌と耐性菌、およびTCの耐性菌の流達率は約90~100%と非常に高い。このことから、ABPCとSMZの耐性菌は、河川水中でも比較的淘汰されずに(あるいは死滅せずに)負荷量を維持したまま流下する可能性が示唆された。LVFXに関しては、耐性の能力が河川中で有利に働かず、感受性菌と同程度に負荷量が減少する可能性が示唆された。

桂川流域において、上流地点(久世橋)と下流地点(宮前橋)の多剤耐性大腸菌割合を図5に示す。感受性菌の割合は、桂川では減少する傾向が見られる。2剤以上の多剤耐性菌全体の割合は、下流地点の宮前橋ほうが増加している。これは、多剤耐性菌の菌数が伝播・増加したというよりも、途中で流入する下水処理場放流水中に多剤耐性菌が多く存在し、その流入水量も大きいことから下流の多剤耐性菌の割合が増加したことが要因として考えられる。

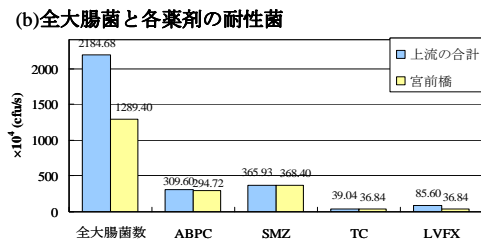
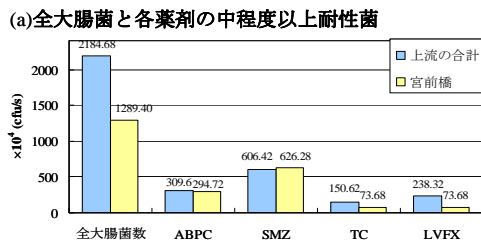


図4 桂川における大腸菌と薬剤耐性菌の負荷量比較

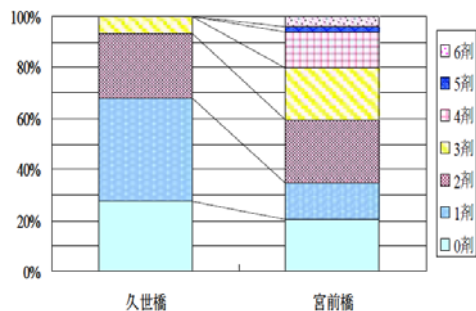


図5 桂川における上流と下流での多剤耐性菌の割合(%)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① G.C. Ghosh, N. Nakada, N. Yamashita, H. Tanaka: Oseltamivir Carboxylate - the Active Metabolite of Oseltamivir Phosphate (Tamiflu), Detected in Sewage Discharge and River Water in Japan, *Environmental Health Perspectives*, 118, 103-107, 2010
- ② 花本征也, 中田典秀, 山下尚之, 田中宏明: 淀川水系における医薬品類の存在実態, *環境工学研究論文集*, 47, 423-432, 2010

〔学会発表〕(計24件)

- ① 花本征也, 中田典秀, 山下尚之, 田中宏明: 水環境中における医薬品類の光分解に関する検討, 第45回水環境学会年会, 2011, 札幌
- ② 東剛志, 中田典秀, 山下尚之, 田中宏明: 下水処理場に流入するタミフル及びその活

性代謝物, リレンザ, アマンタジンの濃度推移, 第48回環境工学研究フォーラム, 2011, 東京

③ S. Hanamoto, N. Nakada, N. Yamashita, H. Tanaka: Natural Attenuation of Pharmaceuticals and Personal Care Products in a River, *Micropol & Ecohazard* 2011, Sydney, Australia

④ T. Kawakami, N. Yamashita, N. Nakada, H. Tanaka: Initial Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products Found in the Japanese Water Environment using Algae, Daphnia and Bacteria, *Micropol & Ecohazard* 2011, Sydney, Australia

⑤ 川上都香彩, 山下尚之, 中田典秀, 田中宏明: 藻類・ミジンコ・細菌を用いた医薬品及び日用品由来化学物質の生態毒性評価, 第47回環境工学研究フォーラム, 2010, 高知

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 尚之 (Naoyuki Yamashita)
京都大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 90391614

(2) 研究分担者

田中 宏明 (Hiroaki Tanaka)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70344017

中田 典秀 (Norihide Nakada)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 00391615