

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2015

課題番号：25303019

研究課題名(和文) アジアの河川流域における薬剤耐性菌の動態解析とラクタマーゼ産生多剤耐性菌の調査

研究課題名(英文) Fate of resistant bacteria in Asian river basin and multiple drug resistance of beta-lactamase production bacteria

研究代表者

山下 尚之 (Yamashita, Naoyuki)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：90391614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日本、中国、バングラデシュという3つの国を対象として、河川流域における薬剤耐性菌の存在実態について調査を行った。日本の桂川流域での調査の結果、下水処理水は耐性菌割合や多剤耐性度が河川水よりも高く、河川流域において下水処理場が薬剤耐性菌の発生源になっていることが示唆された。中国の都市河川およびバングラデシュのブリゴンガ川における調査においても、同様に下水処理水は薬剤耐性菌の発生源になっていることが示唆された。一方、耐性菌の多剤耐性について、日本と比較してバングラデシュの多剤耐性度は高い値が示された。

研究成果の概要(英文)：Occurrence of resistant bacteria in Asian river basin such as Japan, China and Bangladesh was surveyed in this research. From the results in the Katsura river, Japan, ratio of resistant bacteria and values of Multi-Antibiotic Resistance (MAR) index for sewage effluents were higher than these for river water, which indicates that sewage effluents will be important sources of resistant bacteria in river basin. Similar results were obtained from the survey in China and Bangladesh river basin. On the MAR index obtained from Asian river basin, the values in Bangladesh were higher than these in Japan.

研究分野：環境工学

キーワード：薬剤耐性菌 河川流域 ラクタマーゼ

### 1. 研究開始当初の背景

人類はこれまで多くの抗生物質を開発してきたが、抗生物質の発見とその臨床への適用は感染症対策に多大な貢献をもたらしたが、一方で、薬剤耐性菌の出現という新たな問題に直面することとなった。医療現場ではメチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA) やバンコマイシン耐性腸球菌 (VRE)、基質特異性拡張型ラクタマーゼ (ESBL) 産生大腸菌等の蔓延例が既に多く報告されている。薬剤耐性菌は院内感染を主とした医療現場の問題として捉えられることが多いが、病院内だけでなく、河川水や下水処理水といった様々な環境水からも国内外を問わず検出されている。我が国や海外においても環境水中から抗生物質に対する薬剤耐性菌の検出が報告されている。

一方、2010年には、抗生物質がほとんど効かなくなる強力な多剤耐性菌がインドやパキスタン、バングラデシュで広がり、現地の人のみならず、これらの国々に旅行して感染する事例が増えており、世界的にも大きな問題となった。この耐性菌はNDM-1と呼ばれ、セフェム系やカルバペネム系抗生物質をことごとく分解する酵素を持ち、ほとんどすべての抗生物質に耐性である。

以上のような背景より、インド周辺の南アジア地域や我が国の位置する東アジア地域を含めて、アジアの水環境中における薬剤耐性菌の動態解明や、強力な耐性機構を持つラクタマーゼ産生菌の存在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

上記のような背景から、アジアの水環境中における薬剤耐性菌の存在実態やラクタマーゼ産生菌の存在実態を明らかにすることは重要であると考えられる。そこで、本研究では、アジアにおいて地理的、社会的状況の異なる日本、中国、バングラデシュという3つの国を対象として、河川流域における薬剤耐性菌の存在実態について明らかにするとともに、これらの国における多剤耐性菌の存在とその多剤耐性菌のラクタマーゼ産生について調査することを目的とする。

日本では関西地域の重要な水域である淀川流域、中国は中国都市部の河川流域、バングラデシュは首都ダッカ市内を流れるブリゴンガ川流域を調査対象とする。これらの国における河川流域における薬剤耐性菌の動態について明らかにするとともに、これらの国における多剤耐性菌の存在実態について調査することを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 水環境サンプルからの細菌類の分離

細菌類としては、大腸菌を研究対象とした。大腸菌の分離培養にはクロモカルト寒天培地 (Merk) を用いた。河川中及び下水処理場放流水のサンプルにはメンブレンフィルタ

ー法を、下水処理場流入水、二次処理水、下水道普及率の低い地域のサンプルには混釈培養法あるいは平板塗抹培養法を用いた。大腸菌の計数は培地の上に発育した青紫色のコロニーをカウントした。大腸菌は36で18~24時間で24~36時間培養した。

#### (2) 薬剤耐性試験と薬剤感受性試験

薬剤耐性試験で用いた薬剤はアンピシリンとテトラサイクリンである。この2剤は、国内における動物用医薬品の年間販売量が上位であり耐性菌検出の報告例が多いことが選定理由である。薬剤の添加濃度はCLSIのブレイクポイントを参考にして決定した。

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。試料中の細菌類を培養後、滅菌した爪楊枝で1株ずつ釣菌し、プレート内の寒天培地上で再度培養して本試験の被験菌とした。エッペンチューブ内で滅菌したPBSに被験菌を懸濁させ、被験菌液とした。平板に固めた寒天培地上にコンラージ棒を用いて均一に塗布し、その上にディスクを置いた。35のインキュベーター内で16~18時間培養後、形成された阻止円の直径をノギスで測定し、薬剤に対する感受性の判定を行った。本研究で試験した薬剤の選定には、出荷量・額および尿排泄率から推定した体外排出量、薬剤系統や作用機序を考慮したほか、大腸菌をはじめとするグラム陰性桿菌の耐性因子として重要なラクタマーゼ遺伝子の標的物質であるラクタム系薬剤を系統や世代ごとに選定した。

#### (3) 薬剤感受性試験結果の評価方法

本研究では、薬剤感受性試験で試験した薬剤のうち、2種類以上の薬剤に対して中程度耐性以上を示す大腸菌を多剤耐性菌と定義した。薬剤感受性試験で得られた結果を解析するにあたり、各試料の多剤耐性菌による汚染度を示す指標として多剤耐性度を算出した。本研究では、多剤耐性度 (MAR index: Multi-Antibiotic Resistance index) を以下の式によって算出した。

$$\text{MAR index} = a / (b \cdot c)$$

a: 被験菌が耐性を示した薬剤の数の総和

b: 試験で使用した薬剤の数

c: 被験菌の数

#### (4) 河川流域における調査

##### 日本における調査

日本における調査は、京都市の桂川流域で実施した。調査試料は久世橋 (桂川)、宮前橋 (桂川)、天神橋 (西高瀬川)、京川橋 (鴨川)、西羽束師橋 (西羽束師川) の5地点の河川水と、鳥羽水環境保全センターから桂川に放流される下水処理場放流水 (以下、これを鳥羽 K 放流水と表記) の計6試料である。薬剤感受性試験に使用する薬剤は、アンピシリン (ABPC)、セフジニル (CFN)、セフトジジム

(CAZ), イミペネム (IPM), カナマイシン (KM), ゲンタマイシン (GM), テトラサイクリン (TC), クロラムフェニコール (CP), レボフロキサシン (LVFX), スルファメトキサゾール・トリメトプリム (ST) の 10 剤とした。

#### 中国における調査

中国における調査は、中国都市部の河川流域で実施した。調査試料は上流 2 地点の河川水 (A1, A2) と下水処理場放流水 (A3) とその下流域の河川水 (A4) の計 4 試料である。なお、薬剤感受性試験に使用する薬剤は、アンピシリン (ABPC), セフポドキシム (CPX), セフジニル (CFN), セファタキシム (CTX), セフトラジジム (CAZ), イミペネム (IPM), カナマイシン (KM), ゲンタマイシン (GM), テトラサイクリン (TC), クロラムフェニコール (CP), レボフロキサシン (LVFX), スルファメトキサゾール・トリメトプリム (ST) の 12 剤とした。

#### バングラデシュにおける調査

バングラデシュにおける調査は、ダッカ市を流れるプリゴンガ川において採水を実施した。Pagla 下水処理場はダッカ市の唯一の下水処理場である。Pagla 下水処理場ではダッカ市の一部の下水しか処理されておらず、プリゴンガ川には未処理排水が多く流入している。また、プリゴンガ川は Pagla 下水処理場の放流先となっている。調査では、市街地を流れるプリゴンガ川の Pagla 下水処理場の上流及び下流側の地点にてサンプリングを行った。Pagla 下水処理場は、処理方法は好気性ラグーン処理により行われており、標準的な滞留時間は 7 日である。調査では、流入水、放流水からサンプルを採取した。なお、薬剤感受性試験に使用する薬剤は、アンピシリン (ABPC), セフポドキシム (CPX), セフジニル (CFN), セファタキシム (CTX), セフトラジジム (CAZ), イミペネム (IPM), カナマイシン (KM), ゲンタマイシン (GM), テトラサイクリン (TC), クロラムフェニコール (CP), レボフロキサシン (LVFX), スルファメトキサゾール・トリメトプリム (ST) の 12 剤とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 日本の桂川流域における薬剤耐性菌

桂川の 6 地点における大腸菌およびアンピシリン (ABPC) 耐性大腸菌, テトラサイクリン (TC) 耐性大腸菌の濃度を図 1 に示す。上流地点の久世橋の河川水では、大腸菌数, 耐性大腸菌数ともに他の地点よりも低い傾向にあった。久世橋の下流で桂川に流入する鳥羽 K 放流水では、大腸菌数が久世橋よりも有意に高く ( $p < 0.01$ ), 耐性大腸菌数も高い傾向にあった。また、天神橋 (西高瀬川) の大腸菌数は久世橋よりも有意に高く ( $p < 0.05$ ), 大腸菌数と耐性大腸菌数の平均値は 6 地点の中で最も高かった。西高瀬川は、上流域の吉祥院放流水と鳥羽 N 放流水の 2 処理場の放流水が水量の 100 % を占める。天神橋の河川水と鳥羽 K

放流水の大腸菌数が高かったことは、下水処理場由来の大腸菌汚染が高いことを示唆している。また、京川橋 (鴨川) と西羽束師橋 (西羽束師川) の大腸菌数は、鳥羽 K 放流水と同程度か、鳥羽 K 放流水よりも高い時があり、浄化槽等からの排水の流入など何らかの負荷源の存在が示唆される。下流地点の宮前橋では、大腸菌数と耐性大腸菌数ともに、上流域の支流あるいは処理場放流水よりも低かったが、久世橋よりは高くなる傾向にあった。6 地点とも、全採水日において ABPC 耐性大腸菌が TC 耐性大腸菌よりも多く検出された ( $n=3$ )。

薬剤耐性試験結果と大腸菌の測定結果および流量データをもとに、宮前橋における実負荷量と上流域の累積負荷量を算出し、さらに「宮前橋における通過する実負荷量 (CFU/s)」÷「上流域からの流入および対象区間での流入による累積負荷量 (CFU/s)」× 100 を流達性 (%) と定義して算出した。その結果を図 2 に示す。採水 3 回における流量収支はそれぞれ、102, 130, 92 % であり、2 回目のデータに関しては負荷の流達性を過大評価する可能性があるが、大腸菌と耐性大腸菌を比較する点での相対値として問題がないと考え、そのままの流量値を採用した。ABPC 耐性大腸菌, TC 耐性大腸菌ともに大腸菌より流達性が高い傾向にあった ( $p=0.08, p < 0.05$ )。この結果から、耐性大腸菌は大腸菌よりも流達性が高いことが示唆された。

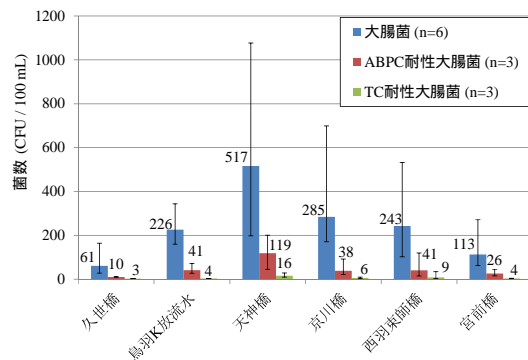


図 1 桂川における大腸菌数と薬剤耐性大腸菌数

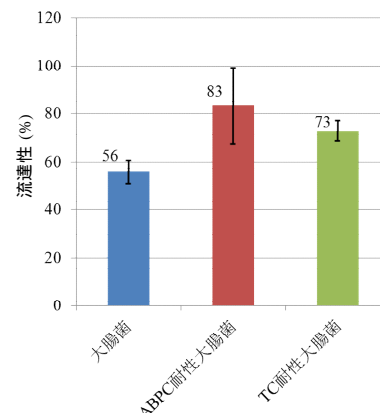


図 2 大腸菌と薬剤耐性大腸菌の流達性

久世橋、鳥羽K放流水、宮前橋の3地点の薬剤感受性試験の結果を図3に示す。棒グラフの高さと数値は各薬剤の中程度以上耐性の割合の算術平均値を、エラーバーはその最大値と最小値を示している。また図中のカッコ内の数値は中程度耐性割合のみの算術平均値を示している。

久世橋の大腸菌における中程度以上耐性の割合は、ABPCが51%、CFNが9.2%、TCが8.7%、その他は5.0%未満であった。IPMとGMの耐性菌は検出されなかった。

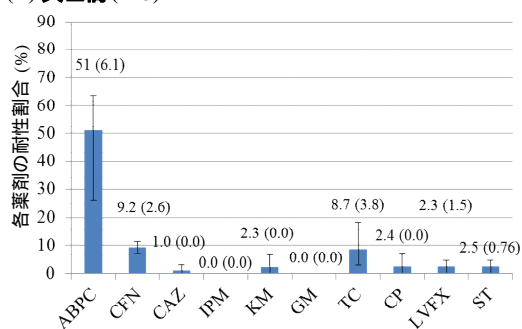
鳥羽K放流水の大腸菌における中程度以上耐性の割合は、ABPCが67%、TCが27%、STが22%、CFNが16%、LVFXが13%、KMとCPが12%、GMが7.5%、CAZが2.0%であり、IPMの耐性菌は検出されなかった。下水処理場放流水中には、耐性を示す薬剤の範囲が多岐にわたった多剤耐性菌が含まれており、その耐性割合も上流の河川水より高いことが示された。大腸菌数の結果より、久世橋の地点では大腸菌数が最も低く、糞便汚染の程度が低い、鳥羽K放流水では大腸菌数が、放流先河川の約4倍の濃度であり、河川水の糞便汚染源となっている。

下流の宮前橋の大腸菌における中程度以上耐性の割合は、ABPCが55%、CFNとTCが22%、STが14%、KMが7.3%、CPが6.9%、LVFXが6.7%、CAZが5.0%、GMが3.3%、IPMが1.3%であった。IPMの中程度耐性菌(2株)は3地点で唯一検出され、これらの株についてはメタロ-ラクタマーゼの産生菌である可能性がある。鳥羽K放流水と比較してCFN、CAZ、IPMの耐性割合は高く、それ以外は耐性割合が低い傾向にあった。一方、久世橋の河川水と比較して全10剤について耐性割合が高くなった。このことから、下水処理場放流水の影響で耐性菌の負荷量が増加したことが示された。

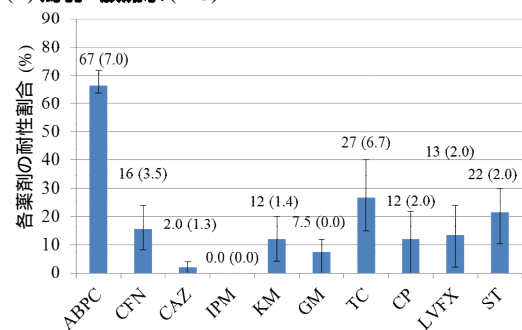
各地点におけるn剤耐性大腸菌の検出割合と多剤耐性度について、久世橋の河川水から単離した被験菌全119株のうち、少なくとも1剤に対して耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が55%、2剤以上に耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が18%で、試験薬剤10剤に対して3剤耐性が最高であった。多剤耐性度は3地点で最も低い0.079であった。鳥羽K放流水から単離した全147株のうち、少なくとも1剤に対して耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が74%、2剤以上に耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が46%で、6剤耐性が最高であった。多剤耐性度は3地点で最も高い0.180であった。耐性の割合、多剤耐性の割合、多剤耐性度ともに鳥羽K放流水が久世橋の河川水よりも高い値となっていた。このことは、下水処理場放流水が耐性菌の汚染源となる可能性に加え、多剤耐性菌も高い割合で含まれていることを示している。宮前橋の河川水から単離した全124株のうち、少なくとも1剤に対して耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株

が65%、2剤以上に耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が41%で、7剤耐性が最高であった。久世橋の河川水と比較して、宮前橋では単剤耐性割合が減少した一方で、多剤耐性割合と多剤耐性度の上昇が顕著であり、下水処理場放流水からの多剤耐性菌の下流域への拡散が示唆された。

(A) 久世橋 (n=3)



(B) 鳥羽K放流水 (n=3)



(C) 宮前橋 (n=3)

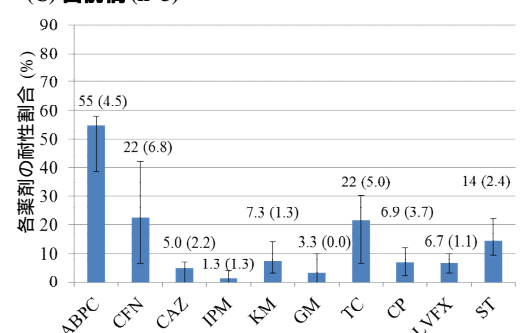


図3 桂川流域における大腸菌の薬剤耐性割合

河川流域から採取したサンプルから分離した大腸菌について、PCRによってその耐性遺伝子を調べた。遺伝子型の調査では、環境水のサンプルに対して、抗生物質を含む培地によってCTX耐性菌とIPM耐性菌をスクリーニングし、その耐性遺伝子を調査した。河川から採取した26株の大腸菌中19株でCTX-M型の耐性遺伝子を保有していることが確認された。そのうちCTX-M-1groupが最も多く検出された。また、CTX-M-2groupも1株検出された。したがって、環境水のCTX耐性大腸菌の多くがCTX-M型耐性遺伝子を保有している可能性が示唆された。また、排水幹

線の IPM 耐性大腸菌 7 株中、1 株から IMP - 1 耐性遺伝子が確認された。IMP 耐性遺伝子は classB 型 ラクタマーゼ遺伝子であり、モノバクタム以外すべての ラクタム系抗生物質を分解することができる。また、プラスミド性であるため、伝達性を有しており、感受性菌が耐性を獲得し、環境水中の薬剤耐性菌の増加に寄与する可能性がある。したがって、今後環境水中のグラム陰性菌がカルバペネム系の抗生物質に耐性を獲得する可能性がある。

## (2) 中国の河川流域における薬剤耐性菌

河川における地点 A1, A2, A4 の河川水の大腸菌数は、地点 A3 の下水処理場放流水よりも高かった。また、日本と同様に下流側の大腸菌数が上流側に比して高かった。しかし、下水処理場放流水の菌数は上流地点 A1, A2 の河川水よりも低かったため、さらに下流側に別の流入による負荷が存在したと推測される。河川の 3 地点(A1, A3, A4)の試料から単離した大腸菌の薬剤感受性試験について、地点 A1 の大腸菌の中程度以上耐性の割合は、TC が 48 %、ABPC が 38 %、ST が 33 %、CP が 25 %、CPX と CFN が 15 %、KM が 12 %であった。CAZ と IPM の耐性菌は検出されなかった。動物医薬品である TC, ST, 動物用とヒト用の両方で使用される CP の耐性割合が比較的高いのが特徴であった。また、地点 A3 の下水処理場放流水の大腸菌の中程度以上耐性の割合は、TC が 62 %、ABPC が 58 %、ST が 46 %、CP が 27 %、KM と GM が 10 %、CPX と CFN が 7.7 %であった。ABPC, CTX, CAZ, GM, TC, CP 等の耐性割合は上流の地点 A1 の大腸菌よりも高く、CPX, CFN, KM の耐性割合は低かった。地点 A4 の大腸菌の中程度以上耐性の割合は、TC が 44 %、ABPC が 42 %、ST が 37 %、CP が 23 %、GM が 15 %、KM が 12 %、CPX と CFN が 10 %、LVFX が 7.7 %であった。IPM の耐性菌は検出されなかった。上流の地点 A1 の大腸菌と比較して、耐性割合が増加したのは ABPC, GM, LVFX, ST のみで、桂川では 10 剤中 10 剤が下流側の大腸菌で増加傾向であったのに対し、中国での調査では 12 剤中 4 剤にとどまり、下流側での耐性割合の増加はあまり見られなかった。

各地点の試料における n 剤耐性大腸菌の検出割合と多剤耐性度について、地点 A1 の河川水から単離した被験菌全 52 株のうち、少なくとも 1 剤に対して耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が 58 %、2 剤以上に耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が 42 %であった。多剤耐性度は 0.171 であった。地点 A4 の河川水から単離した被験菌全 52 株のうち、少なくとも 1 剤に対して耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が 62 %、2 剤以上に耐性あるいは中程度耐性が認められた菌株が 44 %であった。多剤耐性度は 0.171 であった。耐性割合、多剤耐性割合が地点 A1 よりも高かったが、桂川の久世橋-宮前橋間

ほどの上昇率はみとめられず、また、多剤耐性度も地点 A1 の大腸菌と同じであった。桂川では宮前橋とさらに下流域への多剤耐性菌の拡散が示唆されたが、今回の中国における調査では、下流側の河川水の大腸菌について、多剤耐性度の上昇傾向は認められなかった。

## (3) バングラデシュのプリゴンガ川流域における薬剤耐性菌

バングラデシュにおいては、ダッカ市内を流れるプリゴンガ川流域において調査を実施し、河川水およびプリゴンガ川へ流入する Pagla 下水処理場において調査を行った。

Pagla 下水処理場における大腸菌の存在状態について、好気性ラグーンにおける生物処理による対数除去率は 2 log 程度であった。したがって、Pagla 下水処理場では、活性汚泥処理を行っている日本の下水処理場での調査結果と比較すると、生物処理での除去率は、ほぼ同じ除去率となった。しかし、Pagla 下水処理場では塩素消毒がなされていないが、日本における下水処理場では、活性汚泥処理の後に消毒過程がなされることから、さらに高い除去率となる。Pagla 下水処理場では滞留時間が 7 日と長く、太陽光による照射等によって水中の大腸菌濃度は大きく減少したと考えられる。Pagla 下水処理場での流入水と放流水における大腸菌の薬剤耐性割合について、大腸菌は流入水 29 株、放流水 30 株を対象に薬剤感受性試験を行った。流入水から放流水にかけて、KM 以外の薬剤耐性大腸菌の割合については減少していることが確認された。また、流入水の MAR は 0.28 に対し、放流水は 0.21 であった。したがって、好気性ラグーンにおいて、耐性菌の割合が減少する傾向が見られた。

プリゴンガ川において、Pagla 下水処理場の上流地点 (STP 上流) 及び下流地点 (STP 下流) にて、大腸菌の濃度を測定し下水処理場が河川に与える影響を調査した。図 4 にプリゴンガ川における Pagla 下水処理場の上流及び下流地点における大腸菌濃度を示す。図 4 の結果から、下水処理場の上流より下流側の方が大腸菌濃度が低くなっていることが分かる。Pagla 下水処理場の放流水中の大腸菌濃度は  $3.13 \times 10^5$  cfu/100mL であり、上流の大腸菌濃度と比較すると濃度が低いため、Pagla 下水処理場の放流水によって河川水中の大腸菌濃度が希釈され、その結果として、上流よりも下流側では大腸菌濃度が低い値になったと考えられる。一方で、日本の桂川流域では、逆に下水処理場の下流側のほうが大腸菌濃度は高い値となっている。したがって、日本とバングラデシュのように、下水道普及率が大きく異なる地域における河川中の大腸菌濃度を比較する場合には、河川水質に対する下水処理場放流水の影響について、上流側と下流側では大きな差があり得ることが推察される。

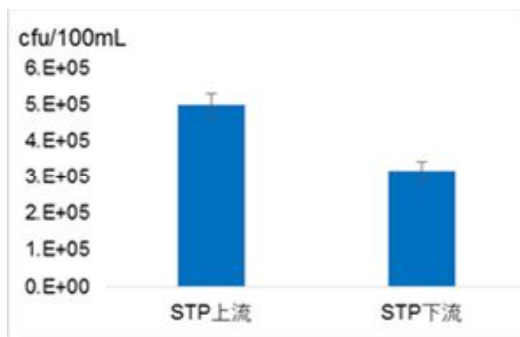


図4 プリゴンガ川におけるPagla 下水処理場の  
上流及び下流地点における大腸菌濃度

Pagla 下水処理場の上流と下流において河川中の大腸菌の薬剤耐性を測定し、下水処理場放流水が河川中の大腸菌の薬剤耐性菌の割合に与える影響を調査した。図5にプリゴンガ川におけるPagla 下水処理場の上流及び下流側における薬剤耐性大腸菌の変化を示す。薬剤感受性試験としては、上流 30 株、下流 29 株の大腸菌に対して調査を行った。下水処理場の上流及び下流側において、LVFX 以外で耐性菌率の上昇が確認された。また、MAR は上流では 0.18、下流では 0.24 と多剤耐性の傾向が下流の方で増加する結果となった。下水処理場の放流水中の MAR は 0.21 であり、上流よりも高かった。したがって、下水処理場放流水が河川水中の大腸菌の薬剤耐性割合の増加に寄与している可能性があることが示唆された。

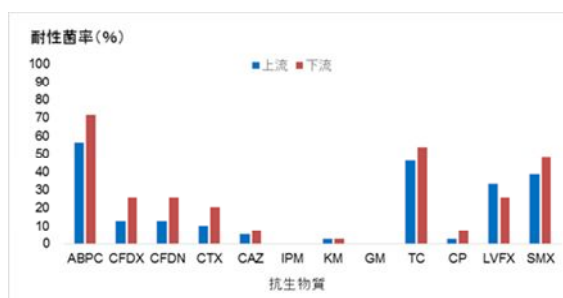


図5 プリゴンガ川におけるPagla 下水処理場の上  
流及び下流側における薬剤耐性大腸菌の割  
合の変化

## 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 9 件)

Azuma, T., Nakada, N., Yamashita, N., Tanaka, H.: Evaluation of concentrations of pharmaceuticals detected in sewage influents in Japan by using annual shipping and sales data, Chemosphere, 138, 770-776, 2015

DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.07.073

田中 宏明, 山下 尚之, 堅川 陽平: 医薬品類による水環境汚染と薬剤耐性菌の発生、化学療法の領域, 29(9), 92-96, 2013

〔学会発表〕(計 17 件)

郁 承冕, 山下 尚之, 田中 宏明: 下水処理場内の緑膿菌の薬剤耐性と水環境における大腸菌との関係性, 第 37 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 2015

井原 賢, 堅川 陽平, 李 善太, 田中 宏明: 次世代シーケンサーを用いた水環境における薬剤耐性遺伝子の大規模検出, 第 17 回日本水環境学会シンポジウム, 2014

郁 承冕, 堅川 陽平, 山下 尚之, 田中 宏明: 下水処理過程における緑膿菌の動態とその薬剤耐性, 第 36 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 2014

井原 賢, 堅川 陽平, 李 善太, 松田 知成, 山下 尚之, 田中 宏明: 次世代シーケンサーを用いた下水処理場における薬剤耐性遺伝子の網羅的検出, 第 16 回日本水環境学会シンポジウム, 2013

花本 征也, 中田 典秀, 山下 尚之, 田中 宏明: 桂川における医薬品類の減衰メカニズムの解明, 第 50 回環境工学研究フォーラム, 2013

〔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

水野 忠雄 (Tadao Mizuno)  
京都大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号: 00422981

井原 賢 (Masaru Ihara)  
京都大学・大学院工学研究科・研究員  
研究者番号: 70450202