

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26281037

研究課題名(和文) 畜産排水処理施設から水環境中への窒素流出および薬剤耐性菌の伝搬とその制御

研究課題名(英文) Nitrogen loading and antibiotic resistance propagate from livestock relating facilities and these control

研究代表者

池本 良子 (Yamamoto-Ikemoto, Ryoko)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：40159223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：河北潟流域の水質調査を行った結果、干拓地内の畜産関連施設および農地からの栄養塩の流出の影響が高いことが示された。一方で、有機物濃度の増加には上流域に点在するため池や調整池の富栄養化が影響していると推定された。さらに、硫黄サイクルを活用した畜産関連排水処理施設排水処理方法を提案して、実験的検討を行った結果、その適用可能性が示された。

一方、同流域の薬剤耐性菌の分布と季節変動を調査した結果、STとTCに対する耐性菌は糞便汚染と関連があり、畜産関連施設排水が排出源の一部であると推定された。さらに、湖沼環境中においても、条件が整うと、薬剤耐性菌の耐性発現が誘導される可能性があることが示された。

研究成果の概要(英文)：The results of monitoring of water quality in the Lake Kahokugata basin showed that effluent of livestock facility and agricultural field influenced on the lake water quality. The increase in organic carbon was estimated to be caused by eutrophication in small reservoirs located in up-flow basin. Furthermore, a new wastewater treatment method was proposed. As the results of laboratory scale experiments, the method was useful for livestock wastewater treatment.

On the other hand, distribution and variation of antibiotic resistance bacteria in the basin was examined. Resistances for ST and TC were related to fecal contamination, and livestock relating facilities were one of the source of the resistance. Furthermore, it was estimated that the resistance expression was induced in the lake environment when conditions are satisfied.

研究分野：環境工学

キーワード：河北潟 畜産関連施設 栄養塩 溶存態有機物 薬剤耐性菌 水平伝搬 排水処理

1. 研究開始当初の背景

河北潟は石川県のほぼ中央に位置する、面積約4.1km²の海跡湖であるが、湖周辺に集約型の畜産排水処理施設、屠畜場、競馬場が集中しており、これらの施設の湖沼への影響が大きいことが指摘されている。しかし、これまで、本湖沼に及ぼす畜産排水の影響に関してはほとんど知見がないのが現状である。畜舎排水や屠畜場排水の処理には、活性汚泥を主体とする好気性処理が多く用いられているが、処理水の窒素濃度が高いことや着色していることなどが問題となっており、近年、嫌気好気処理の導入やアナモックス微生物による窒素除去の適用が報告されている。しかし、有機物存在下でのアナモックス微生物の集積はきわめて困難であることが知られている。申請者らは、嫌気無酸素好気生物ろ床による排水処理法を提案し、人工排水を用いた処理実験を行ってきた。その結果、好気槽で亜硝酸化を行うことにより無酸素槽において硫黄脱窒細菌とアナモックス微生物が共存することを見出した。本処理法を畜産排水に適用できれば、効率的な有機物、窒素除去が可能となる。

一方、畜産において使用される抗生物質は人に使用されるものの2倍以上であり、薬剤耐性菌を多く含んでいる可能性がある。そのため、畜産排水から薬剤耐性菌そのものと耐性遺伝子が水環境中へ放出されることで、環境中の薬剤耐性菌の蔓延を悪化させる懸念がある。特に、畜産排水では処理水の消毒が適切に行われていないケースも多いと考えられ、また、消毒を行ったとしても、耐性遺伝子が環境中に放出されて底泥などに蓄積されることにより、耐性遺伝子の水平移動による非耐性菌の耐性獲得の機会を増やすことになる。申請者らの河北潟周辺の予備調査では、屠畜場近辺の水路において、河北潟より高い大腸菌濃度と、大腸菌の高い抗生物質耐性率がみられた。

2. 研究の目的

研究では、まず、①河北潟周辺の畜産関連施設の排水、水路、湖沼の調査を行うことにより、畜産関連施設の窒素および薬剤耐性菌の影響を把握し、②畜産排水処理への嫌気無酸素好気生物ろ床による窒素除去法の適用性を明らかにするとともに、③排水処理に伴う薬剤耐性菌・耐性遺伝子の挙動を解析することにより、窒素および薬剤耐性菌の両面からの制御方法を検討するものである。

3. 研究の方法

(1) 河北潟流域の水質調査

①採水地点と採水方法

図1に調査地点を示す。2014年6月-2015年6月に月2回、流域の主要5河川下流部(R1-L5)、干拓地内排水路(C1)および、湖沼

内5地点(L1-L5)の表層水の調査を行った。さらに、2015年8月-2016年12月の間に河川中流域(R1u1, R2u1, R2u2, R3u1, R4u1)上流部の地点R2u2, R3u2-5についても調査するとともに、流入する渓流水(FS2, FS3)、およびため池、調整池(P1, P2, P3)の表層水、水田からの暗渠排水および表層水(Rf4-6)の調査も行った。畜産関連施設の影響を検討するために、河北潟内にある集約型畜産排水処理施設(D1)および流域内の食肉センター(D2)処理施設の流出水の調査も行った。さらに、干拓地内の農地の影響を把握するために、干拓地内の水田、れんこん畑およびびまわり畑の流出水についても調査を行った。採水した試料は、HDPE(高密度ポリエチレン)製容器に採水し、氷冷して、実験室に持ち帰り、分析に供した。

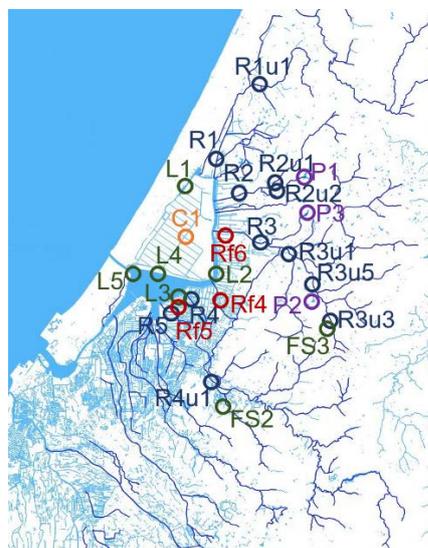


図.1 採水調査地点

②分析方法

全窒素(TN)、全有機性炭素(TOC)はホモジナイザーで試料中の懸濁成分を分散させてTOC/TN分析計により行った。溶存態窒素(DTN)溶存態有機炭素(DOC)濃度は0.2μmのメンブレンフィルターでろ過して測定した。硝酸性窒素(NO₃-N)、亜硝酸性窒素(NO₂-N)およびアンモニア性窒素(NH₄-N)濃度はイオンクロマトグラフにより測定した。全リン濃度およびリン酸態リン濃度は、モリブデンブルー法で測定した。

Excitation-Emission Matrix(EEM)測定は分光蛍光光度計(Jasco FP-8200)を用いて行った。得られた蛍光ピークは因子分析の一種であるParallel Factor Analysis (PARAFAC解析)を用いてEEMデータ中の各ピーク群を定量的に評価した。Stedmonら¹¹⁾の方法に従い、同著らにより提供されている”DOMFluor toolbox”を用いて、MATLABにより解析を行った。

(2) 嫌気無酸素好気法による畜産排水の処理

①実験装置と運転方法

図2は、畜産排水処理実験に用いた装置の

概要である。実験装置は、1Lの嫌気槽と2Lの無酸素槽からなり、両槽には炭素繊維を生物付着担体として充填した。Run 1では、高段の好気槽での完全硝化を想定し、好気槽循環水として、硝酸溶液を無酸素槽下部から添加した。Run 2では、好気槽での部分硝化(亜硝酸化)を想定して、亜硝酸を添加した。運転条件は表1を示す。原則として週に1回、各槽の流入水および処理水を採取して分析に供した。また、無酸素槽に設置したサンプリングタップから採水し、縦方向の水質変化を測定した。

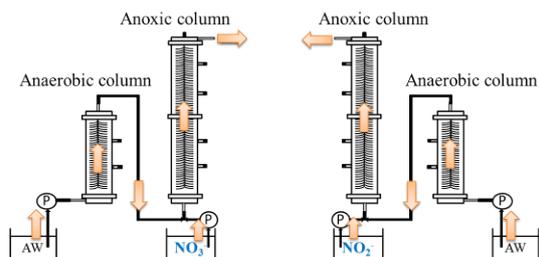


図2 排水処理実験装置の概要

表1 実験装置の運転条件

	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8
Run 1	AW1						AW2	
Nitrate (mg/day)	1000	600				900		
HRT (hour) Anaerobic column				1.5				
HRT (hour) Anoxic column	0.75	1.4				3		
Run 2	AW1						AW2	
Nitrate (mg/day)	900	400	900				1400	
HRT (hour) Anaerobic column				1.5				
HRT (hour) Anoxic column	0.75	1.4				3		

(3) 畜産排水処理施設からの薬剤耐性菌の伝搬と制御

① 河北潟における薬剤耐性菌の分布と季節変動

石川県河北潟内および周辺水域を対象として、大腸菌濃度と抗生物質耐性菌の季節変動を調べた。採水地点は流入河川である宇ノ気川の下流(A)と承水路下流(B)、流入川である森下川下流(C)、河北潟北岸中央(D)、内灘放水路近く(E)及び食肉流通センター処理水放流口近く(F)の計6地点とし(図3)、モニタリングは2014年6月から月2回の頻度で1年間行った。



図3 河北潟における採水地点

採取した湖水の大腸菌数は、下水試験法に従って採水当日中に0.45μmのメンブレンフ

ィルター(アドバンテック東洋社製)でろ過し、捕捉した細菌を発色酵素基質培地(クロモカルト寒天培地(選択性強化)、メルクミリポア社製)上で37°C、22-24時間培養した。青色に発色した集落を計数し、各試料中の大腸菌数を得た。

発色酵素基質培地で得た青色の集落を釣菌し、トリプトソイ液体培地で37°C、16-18時間培養し、単離株の培養液を得た。

単離した大腸菌株の薬剤耐性は、Kirby-Bauer ディスク拡散法により調べた。対象とした薬剤は、アモキシシリン(AMX)、カナマイシン(KM)、シプロフロキサシン(CIP)、ノルフロキサシン(NFX)、サルファメトキサゾール/トリメトプリム(ST)、テトラサイクリン(TC)の6種とした。単離株の培養液をトリプトソイ寒天培地上に塗布したものに、各薬剤ディスクを置き、37°Cで22-24時間培養した。培養後、各薬剤ディスクを中心とした阻止円の直径より、各単離株のその薬剤に対する耐性(R)/中間(I)/感受性(S)として判定した。

大腸菌株の単離と薬剤耐性試験は、各試料ごとに20株以上行い、各試料ごとに、試験した全株数と耐性(R)を示した株数との割合から耐性率を算出した。

② 湖沼環境が薬剤耐性の発現に及ぼす影響

①で河北潟から単離した大腸菌のうち16株を対象として、低濃度薬剤曝露による耐性誘導試験を行った。高圧蒸気滅菌した湖水およびトリプトソイ液体培地を栄養源として、ノルフロキサシンを0, 1, 10, 100, 1000 ng/Lの濃度になるように添加し、大腸菌株を一定温度下で一定時間曝露させ、前後のノルフロキサシンに対する最小生育阻害濃度(MIC)の変化を比較した。

曝露温度と時間は、大腸菌試験の培養条件と、河北潟の冬の水温及び滞留時間を参考として、表2のように設定した。

表2 耐性誘導試験における薬剤への曝露条件

	培地	曝露温度	曝露時間
条件	滅菌湖水 / トリプトソイ液体培地	37°C / 5°C	18時間 / 5日

トリプトソイ液体培地にノルフロキサシンを32, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.625 μg/mLとなるように添加したもの200μLに、大腸菌単離株培養液4μLを加え、37°C・18時間培養した。培養後の増殖の有無を目視で確認し、増殖が見られなかった最小のノルフロキサシン濃度を最小生育阻害濃度(MIC)とした。

4. 研究成果

(1) 河北潟流域における畜産関連施設および農地からの栄養塩の影響

①河北潟流域および流入河川の栄養塩濃度の季節変動と藻類増殖

図4は河北潟流域における有機物および栄養塩濃度の季節変動を示したものである。有機物濃度は、湖沼内と流入河川でよく似た変動を示しており、懸濁態有機物、溶存態有機物ともに、夏季に増加が認められた。一方、湖沼内の栄養塩濃度は主要流入河川より高く、干拓地内の排水路はさらに高かった。河川、湖沼ともに、夏季においては、窒素のほとんどが有機態窒素に変化し、懸濁態の有機物が増加していた。この現象は下線中流部でも同様に認められた。そこで、流域に点在するため池の水質調査を行った結果、懸濁態有機物と有機体窒素が高濃度で検出された。すなわち、河川由来の懸濁態有機物の起源は、上流域に点在するため池や調整池における内部生産である可能性が高い。

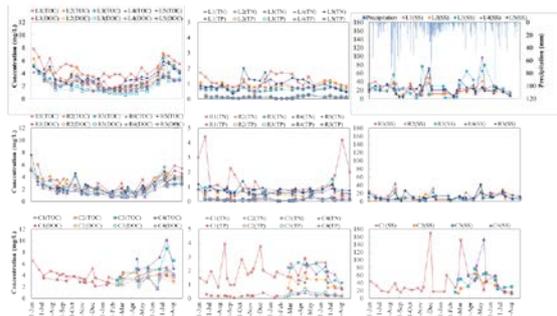


図 4 河北潟流域における有機物および栄養塩濃度の季節変動

②畜産関連排水および農地からの栄養塩の影響

表3, 4は農地排水および畜産関連排水の測定結果を示している。れんこん畑やひまわり畑から高濃度の栄養塩が流出していることがわかる。農地における過剰な施肥が干拓地排水路の高濃度の栄養塩の起源であると推定される。

表 3 農地からの流出水の水質測定結果

	Rice field			Lotus root			Potato	Fruit	Sun flower		
	Jul. 15, 2015	Jun. 30, 2016	Jul. 14, 2016	Jul. 15, 2015	Jun. 30, 2016	Jul. 14, 2016			Jul. 14, 2015	Jul. 15, 2016	Jun. 30, 2016
Precipitation (mm) before 3 days	0.0	10.5	31.0	0.0	10.5	31.0	31.0	0.0	10.5	31.0	
TOC (mg/L)	4.24	9.40	9.82	5.75	6.24	6.93	5.88	3.74	6.31	5.28	
DOC (mg/L)	4.08	8.77	8.33	5.22	5.84	6.64	5.85	3.74	5.95	5.28	
TN (mg/L)	0.53	1.19	1.40	7.49	2.37	4.03	0.95	1.20	21.64	11.86	
DTN (mg/L)	0.36	0.88	0.75	7.13	2.13	3.57	0.77	1.20	21.60	11.86	
TP (mg/L)	0.07	0.31	0.14	1.04	0.37	0.78	0.75	0.28	0.21	0.71	

表4 干拓地および流域内の畜産関連施設の排水組成

	Live stock			Slaughter house		
	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.
	Jun. 5, 2014-Aug.5, 2015			Jun. 5, 2014-Aug.5, 2015		
TOC (mg/L)	23.2	4.6	67.5	8.7	2.3	64.3
DOC (mg/L)	19.8	3.6	60.7	5.6	1.9	24.8
TN (mg/L)	12.0	1.5	35.0	24.1	6.4	43.4
DTN (mg/L)	10.9	0.8	29.9	22.4	4.1	40.2
TP (mg/L)	1.2	0.1	3.6	4.9	0.4	9.5

一方、畜産排水処理施設の処理水中の栄養塩濃度は高く、干拓地排水路の水質に影響を及ぼしていると推定された。しかし、畜産排

水処理施設の排出水量は、干拓地全体の排水量と比較すると極めて少ないことからその影響は低いと判断した。

(2) 河北潟流域における溶存態有機物の起源

①河川流下過程での有機物の変化

図5は、津幡川(R3)流域における流下過程の有機物濃度の変化を示したものである。河川最上流部においても夏季に高いDOCが検出された。しかし、途中に流入してきた溪流水FS3中のDOCは極めて低く、山林由来のものであるとは考えにくい。一方、流域に存在するため池は、流域の中で最も高いTOC濃度を示しており、冬季の濃度が低下も少なかった。また、水田からの流出水Rf4, Rf5のDOCも高い値を示していた。河川中のDOCの夏季の上昇は、上流部のため池や調整池の富栄養化による藻類の増加とその分解産物である可能性が高いと考えられる。

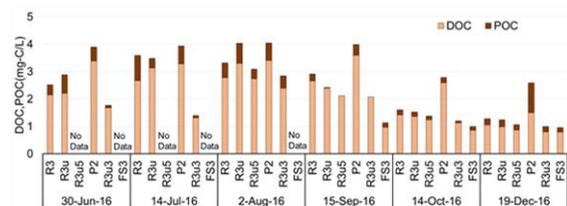


図 5 津幡川における有機物の流下方向の変化

②EEM-PARAFAC解析による河川流下課程での有機物特性の変化

図6はEEM-PARAFAC解析手法を用いて、EEMデータセットから共通して存在する5つのピークを抽出した結果である。Comp. 1から順にフルボ酸様物質、微生物由来フミン質様物質、フミン酸様物質、フミン質様物質、タンパク質様物質とそれぞれ類似したピーク位置を有している。

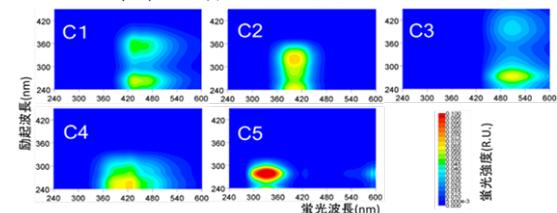


図 6EEM-PARAFAC 解析により抽出された5つのピークコンポーネント

図7は津幡川流域およびため池、水田におけるEEMコンポーネント濃度とDOC濃度の変化を示したものである。コンポーネント濃度の変化はDOC濃度の変化とよく一致していた。一方、ため池および水田流出水のコンポーネント濃度は、湖沼と近い値を示していた。これらのソースからのDOMが上流部の至る所から河川に流入し、河川のDOM濃度を上げていると推定される。

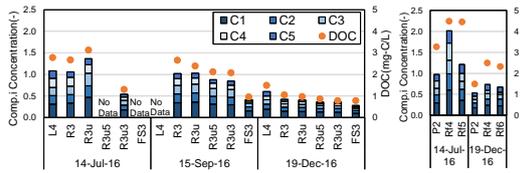


図7 津幡川におけるEEMコンポーネント濃度の流下過程での変化

(3) 畜産関連排水処理法の開発

Run 1,2ともに嫌気槽においては、硫酸塩還元が進行し、有機物の約60%が除去された。無酸素層においては、Run 1では、従属栄養脱窒と硫黄脱窒の両者が進行していた。Run 2では、脱窒に加えてANAMMOX反応が進行したことが示唆された。

図8, 9は無酸素槽における窒素と硫酸のフローを示したものである。Run 1では、添加した硝酸塩は従属栄養脱窒と硫黄脱窒の両者の利用された。有機物負荷が高いときは、硫黄顆粒が無酸素槽内に蓄積され、負荷を低下したPeriod 6からは蓄積された硫黄顆粒が脱窒に利用された。Run 2においても、従属栄養脱窒と硫黄脱窒の両者が進行し、硫黄顆粒の蓄積も認められた。アナモックスに利用された割合は、有機物負荷を低下させることにより増加し、Period 7において、約34%がアナモックス反応に利用されたと推定された。

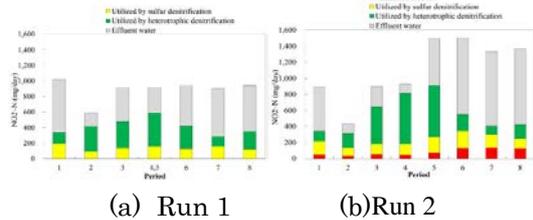


図8 無酸素槽内の硝酸、亜硝酸フロー

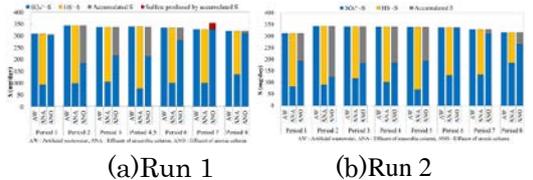


図9 処理槽内の硫黄フロー

以上のことから、アナモックス共存型の処理法の適用の可能性が示された。本処理法は、畜産排水のみならず、様々な排水に適用可能であると考えられる。今回は、循環を想定して処理実験を行ったが、今後はトータルシステムとしての評価が重要である。

(4) 畜産排水処理施設からの薬剤耐性菌の伝搬と制御

①河北潟における薬剤耐性菌の分布と季節変動

河北潟流域における大腸菌数は、夏よりも冬の方に高くなる傾向がみられた。これは、冬の方が湖水の滞留時間が小さいこと、冬季の日照時間減少により紫外線による死滅が小さいことが考えられた (図10)。

薬剤耐性率は、年間通じて大きな変化は見られなかったが、薬剤ごとに特徴的な傾向がみられた。河北潟一帯でアモキシシリン (AMX) とカナマイシン (KM) に対する耐性率がよく検出され、キノロン系の抗生物質 (CIP と NFX) に対する耐性率は低かった。特に、AMX に対する耐性率は年平均で 60% 以上と年間通じて高いことが分かった。また、サルファメトキサゾール (ST) とテトラサイクリン (TC) に対する耐性率は、地点 A と F において特異的に高かった。ST および TC の耐性率が高かった A と F では、大腸菌濃度とアンモニア濃度も他の地点と比較して有意に高かったことから、対象水域において、ST と TC に対する耐性菌は糞便汚染と関連があることが示唆され、河北潟流域の畜産関連施設からの排水がこれらの薬剤に対する耐性菌の排出源の一部となっている可能性が示された。

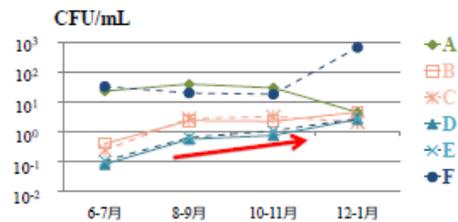


図10 河北潟流域における大腸菌数の季節変動

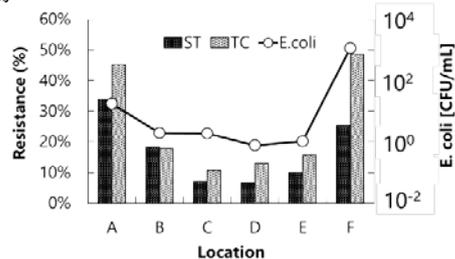


図11 各採水地点における ST および TC 耐性率と大腸菌数の年間平均

②湖沼環境が薬剤耐性の発現に及ぼす影響

低濃度ノルフロキサシンの曝露により、最も高頻度で MIC の上昇がみられたのは、TS 培地・37°C・18 時間の条件であった。このとき、大腸菌 16 株のうち 11 株において MIC の上昇、すなわち耐性誘導がみられた。一方、湖水において MIC の顕著な上昇がみられたのは、1-5 株であり、栄養条件が耐性誘導に大きく影響していることが示唆された。MIC 上昇率が最も高くなったのは、株によって若干の違いがみられたが、100ng/L のノルフロキサシンに暴露した場合に最大となるものが多かった。このことから、既往の汚染された表流水での調査において、しばしば見られる 10-100 ng/L 程度のノルフロキサシンによる曝露において、最小生育阻害濃度が上昇し、耐性が誘導される可能性が示唆された。

栄養条件で MIC 変化率を比較した場合、湖水より TS 培地の方が MIC 変化率が大きくなる、すなわち耐性がより強くなる傾向がみられた。また、温度条件で比較した場合、5°C

より 37°Cの方が MIC 変化率が大きくなった。これらのことから、低濃度薬剤曝露による耐性誘導は、より増殖に適した条件で起こりやすいことが明らかになった。曝露時間で比較した結果、はっきりとした傾向は見られなかったが、5日より18時間で培養した方が MIC 変化率が大きくなったものが多かった。これは、培養終了の5日目ではほとんど基質飢餓条件下で細胞の死滅期に入っているため、18時間後の方が5日後より細胞が対数増殖期に近い状態にあることが理由として考えられる。

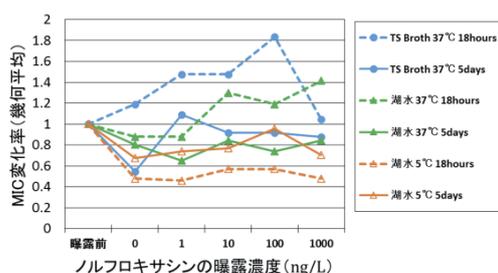


図 12 各培養条件における MIC 変化率 (全株幾何平均, n=16)

これらのことから、湖沼環境中においても、栄養条件や温度などの増殖条件、抗生物質による湖水汚染などの条件が整うと、薬剤耐性菌の耐性発現が誘導される可能性があることが示された。湖水における薬剤耐性誘導の抑制には、(1) 湖水中の抗生物質汚染の抑制、(2) 湖水中の有機物濃度の低減、が有効と考えられる。また、冬季よりも温度の高い夏季の方が耐性誘導が起こりやすいと考えられるため、夏季において排出源対策や曝露対策を重点的に行うことが望まれる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 11 件)

1. 末永遼, 小杉優佳, 池本良子, 高野典礼 (2016) 河北潟流域における難分解性有機物の動態調査. 第 53 回環境工学研究フォーラム, 北九州国際会議場 (福岡県北九州市), 2016 年 12 月 6-8 日.
2. Yuka KOSUGI, Haruka SUENAGA, Ryoko YAMAMOTO-IKEMOTO, Ryo HONDA, Mushi Goodluck Baldwin (2016) Effects Of Agricultural Fields In Reclaimed Land And River Basin On Water Quality In Lake. IWA World Water Congress & Exhibition, Brisbane, October 9-13th, 2016.
3. Qiaochu LIANG, Yuka KOSUGI, Ryoko YAMAMOTO-IKEMOTO (2016) Sulfate Reduction and Sulfur Denitrification in an Anaerobic-anoxic-oxic Biofilm Process. Water and Environment Technology Conference, Tokyo, August 27-28th, 2016.
4. Mushi Goodluck Baldwin, Haruka SUENAGA, Yuka KOSUGI, Ryoko YAMAMOTO-IKEMOTO, Ryo HONDA (2016) Influence of nutrients from reclaimed

land on water quality of lake Kahokugata. Water and Environment Technology Conference, Tokyo, August 27-28th, 2016.

5. 小杉優佳, 末永遼, 池本良子, 本多了, 高野典礼 (2015) 河北潟流域における窒素及び難分解性有機物濃度の変動特性. 土木学会平成 25 年度全国大会, 岡山大学(岡山県岡山市), 2015 年 9 月 16-18 日.
6. 小杉優佳, 池本良子, 本多了, 高野典礼, 末永遼, Goodluck Mushi (2016) 河北潟とその流域における栄養塩と難分解性有機物濃度の特性. 第 50 回日本水環境学会年会, アスティとくしま (徳島県徳島市), 2016 年 3 月 16-18 日.
7. 周藤真裕, 本多了, 野口愛, 池本良子, 渡部 徹 (2016) 湖水の水温と滞留時間が抗生物質耐性誘導に与える影響. 第 50 回日本水環境学会年会, アスティとくしま (徳島県徳島市), 2016 年 3 月 16-18 日.
8. Lin Mengyu, Yang Sen, Mana Noguchi, Ryo Honda, Ryoko Ikemoto, Toru Watanabe (2015) Induction of antibiotic resistance in Escherichia coli isolates from Kahokugata Lake, Japan. Proceedings of the 18th International Symposium on Health-Related Water Microbiology, Lisbon, September 13-19, 2015.
9. 末永遼, 小杉優佳, 池本良子, 高野典礼 (2015) 河北潟流域における河川および畜産関連施設排水中の難分解性有機物および窒素のモニタリング. 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学 (石川県金沢市), 2015 年 3 月 16-18 日.
10. 林 夢雨, 楊 森, 野口愛, 本多了, 池本良子, 渡部 徹 (2015) 石川県河北潟における抗生物質耐性菌の分布と季節変動. 第 49 回日本水環境学会年会, 金沢大学 (石川県金沢市), 2015 年 3 月 16-18 日.
11. Chihiro Tachi, Ryo Honda, Eri Tsuchiya-Nakakihara, Tingting Gu, Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Toru Watanabe (2014) Impacts of final sedimentation process on profile of quinolone-resistance genes and their expression in Escherichia coli isolates from a wastewater treatment process. Proc. of Water and Environment Technology Conference 2014, Tokyo, June, 2014

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池本 良子 (Ikemoto Ryoko) (金沢大学環境デザイン学系・教授) 研究者番号: 40159223

(2) 研究分担者

高野 典礼 (Takano Morihiko) (石川工業高等専門学校環境都学科・准教授) 研究者番号: 00369969

本多 了 (Honda Ryo) (金沢大学環境デザイン学系・准教授) 研究者番号: 40422456