

課題番号：ZC-1201



水系感染微生物による水環境汚染への 指標生物管理の有効性と消毒技術の検討

研究課題代表者：田中宏明（京都大学）

発表者：大村達夫（東北大学）

日本水環境学会水中の健康関連微生物研究委員会

京都大学流域圏総合環境質研究センター

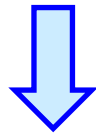
東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

東北大学未来科学技術共同研究センター

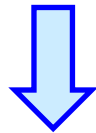
研究実施期間：平成24年度－平成25年度 累積予算額：83,976,000円（直接経費）

2014.3.10 環境研究総合推進費 平成25年度終了課題研究成果報告会

東日本大震災時の津波の影響によって東北地方の下水処理場が大きな被害を受けた



下水が生物処理を受けずに簡易処理のみで塩素消毒の後に水域に放流されていた



病原微生物への消毒効果や放流先水域での病原微生物汚染や水生生物影響が懸念される

津波に襲われる南蒲生処理場



破壊された生物反応槽



懸念される放流水域での汚染



- 東日本大震災の被災下水処理場における暫定処理の効果を把握し、放流先水域におけるウイルス等の病原微生物と指標微生物の汚染実態を調査する
- 被災下水処理場での暫定処理期の消毒効果と水生生物への影響を評価し、代替消毒法による消毒改善について検討する
- 改定が検討されている水質環境基準（衛生学的水質指標）の設定、水質管理計画や排水規制の策定の検討を行う。



日本水環境学会
水中の健康関連微生物研究委員会
委員長◎、幹事長●
幹事○、委員＊

研究代表者：田中宏明◎



京都大学グループ
廃水中の衛生微生物の
消毒技術と水生生物影響
田中宏明◎，山下尚之＊，
中田典秀，井原賢＊



東京大学グループ
水中のウイルスモニタ
リングと不活化効果の評価
片山浩之●，小熊久美子＊
佐藤弘泰



東北大学グループ
海域での病原微生物汚染の
把握と影響
大村達夫 前◎，真砂佳史○



研究協力者
独立行政法人土木研究所
安井宣仁○
宮崎大学 鈴木祥広＊
岩崎電気 岩崎達行＊



研究協力者
東京都健康安全研究センター
猪又明子○
保坂三継＊
田部井由紀子＊

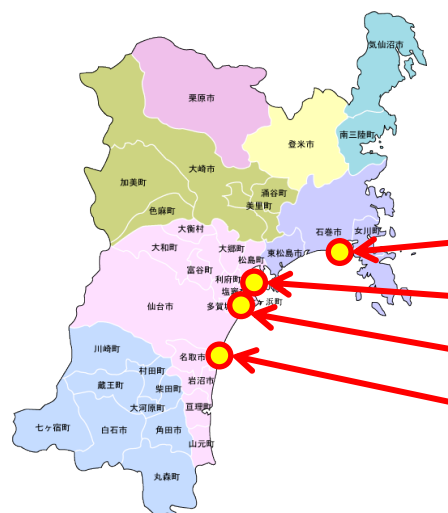


研究協力者
宮城県保健環境センター
植木洋＊
北海道大学 佐野大輔＊

- ★水中の病原微生物のDNA
シーケンサーによる網羅的
探索方法の開発
- ★下水等の消毒効果と水生
生物への影響

- ★河川・海域の腸管系ウイ
ルス・指標微生物の定量
- ★被災下水処理場での腸管系
ウイルス・指標微生物の
消毒効果

- ★東北沿岸下水処理場と
水域での調査と関係者の
ヒアリング
- ★海域での腸管系ウイルス，
指標微生物の挙動解明と
影響因子



石巻東部
仙塩
南蒲生
県南

- 調査対象：宮城県内の被災浄化センター4箇所および放流先水域
- 測定項目
 - 基礎項目：DO, pH, ORP, EC, 濁度, SS等
 - 化学項目：炭素, 窒素, リン, 塩素等
 - 細菌：大腸菌群, 大腸菌, 腸球菌等
 - ウイルス：ファージ2種, アイチウイルス, アデノウイルス, ノロウイルス等

処理の復旧状況と調査時期（●）

	2011			2012				2013			
	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10
石巻東部	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
仙塩	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
南蒲生	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
県南	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

■：沈殿・消毒, ■：簡易生物処理, ■：一部生物処理, ■：中級処理, ■：生物処理（復旧）



放流先水域の調査地点

石巻東部浄化センター



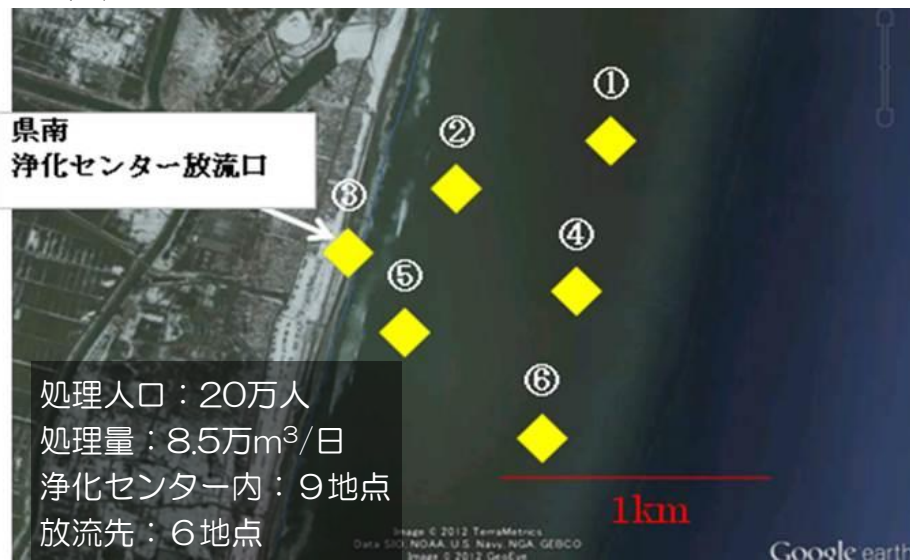
南蒲生浄化センター



仙塩浄化センター

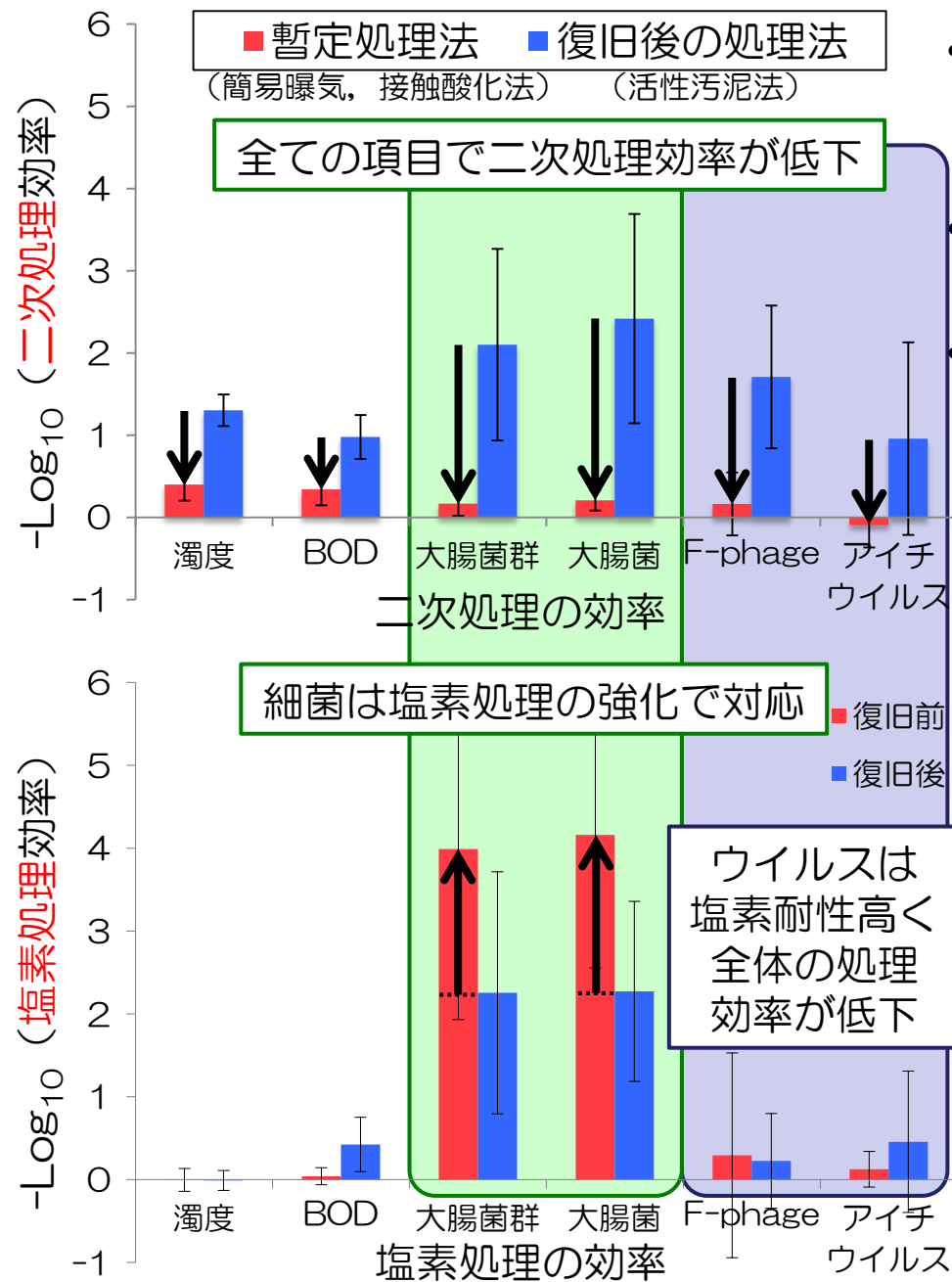


県南浄化センター

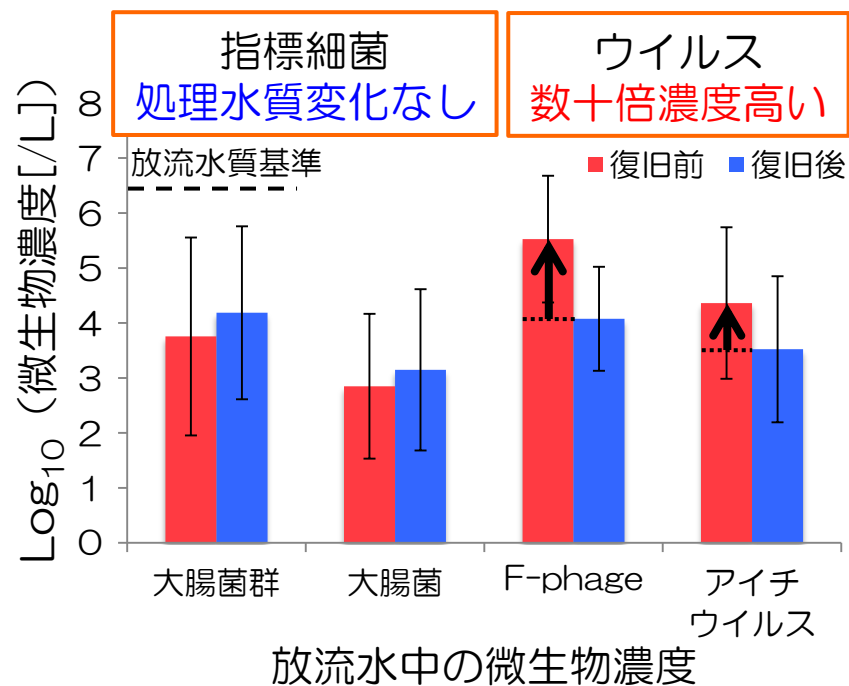


処理復旧にともなう下水処理効率の改善状況

7



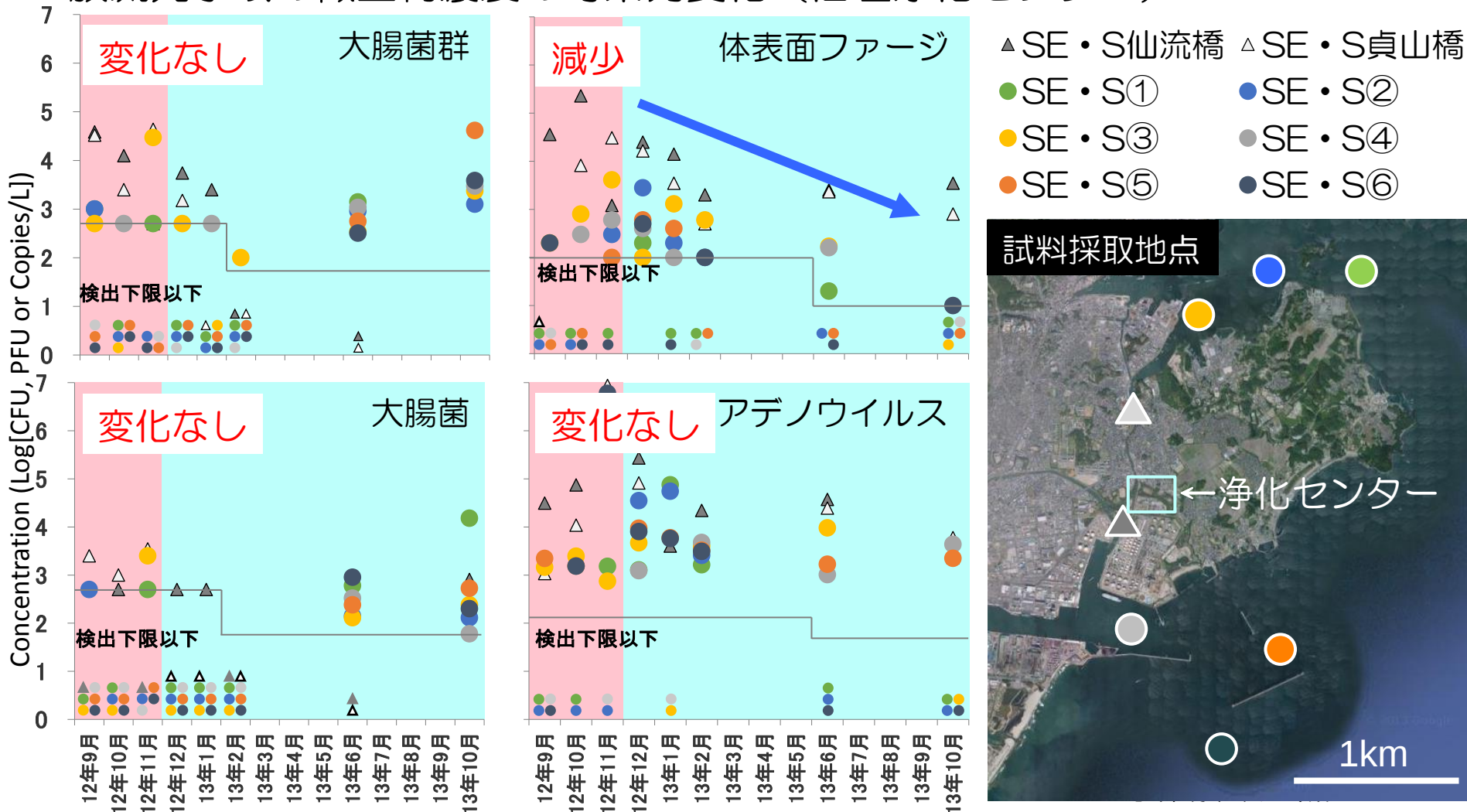
- 復旧前は二次処理効率が低下しており、大腸菌群の放流水質基準を満たすため塩素消毒を強化していた
- しかしウイルスは塩素に対し耐性が高く塩素消毒強化の効果は薄かった
- 結果として、細菌の放流水質は平常時と同等であったにもかかわらず、ウイルス濃度は通常より数倍～数十倍高かった



処理復旧に伴う放流先水質の変化

8

- 放流先水域の微生物濃度の時系列変化（仙塩浄化センター）

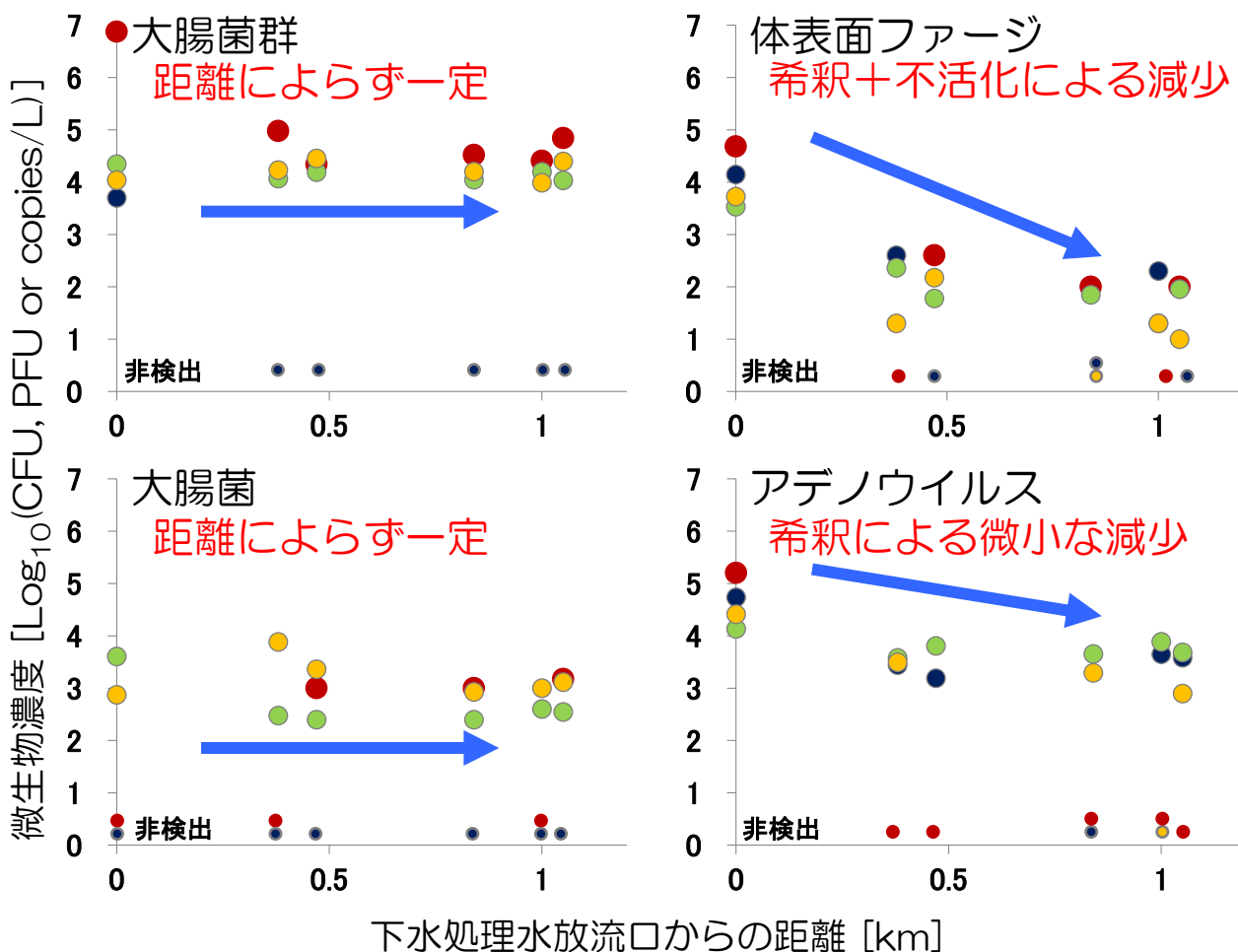


- 復旧前後で下水処理効率が変化しなかった大腸菌群，大腸菌（培養法），アデノウイルス（定量PCR法）は，放流先海域の濃度も変化しなかった。
- 体表面ファージ（培養法）は下水処理効率改善に伴い濃度が低下した。

放流先水域での微生物の消長

9

- 処理水放流口からの距離と微生物濃度の関係（県南浄化センター）

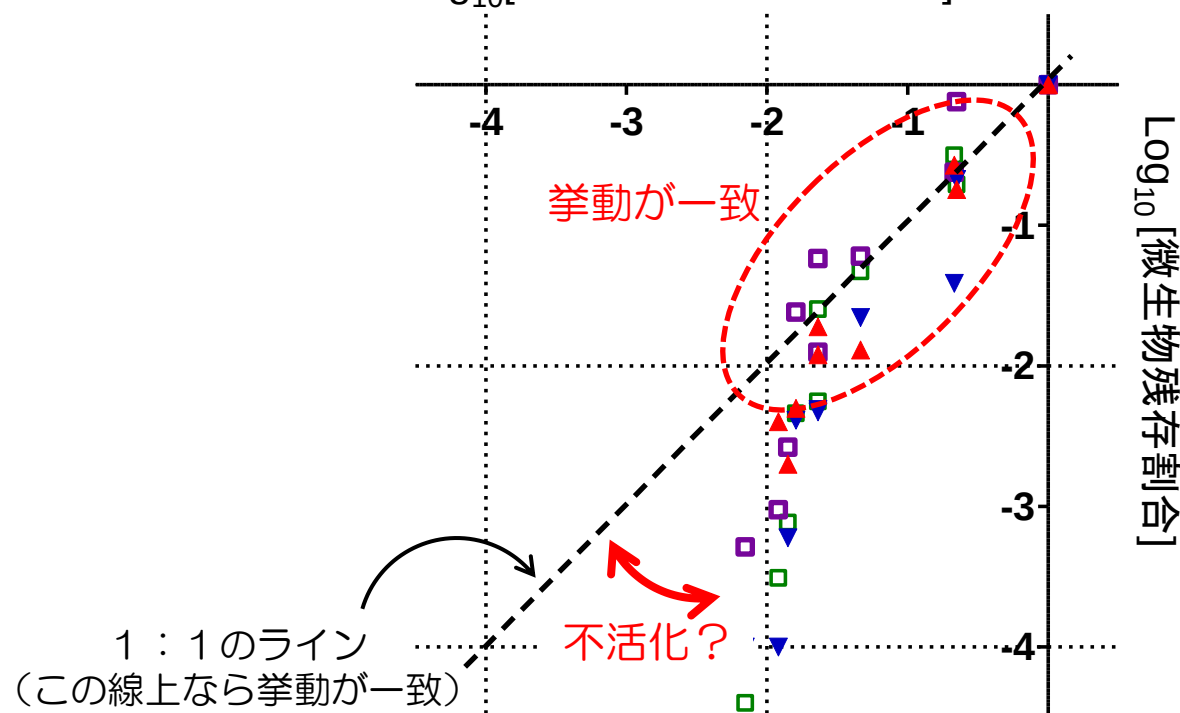


- 大腸菌群，大腸菌（培養法）は放流口からの距離による濃度の違いは見られず，放流先海域で一定の濃度で存在していた
- ファージ（培養法）とウイルス（定量PCR法）は希釈による濃度減少が見られた。ファージの方が傾きが大きく，不活化の影響が考えられた。

- 下水に含まれる難分解性医薬品（クロタミトン）を処理水拡散の指標として使用

$$\checkmark \text{残存割合} = \frac{\text{海域での濃度}}{\text{放流水での濃度}}$$

Log₁₀[クロタミトン残存割合]



定量PCR法

▼ : アイチウイルス

▲ : アデノウイルス

次世代シーケンシング法

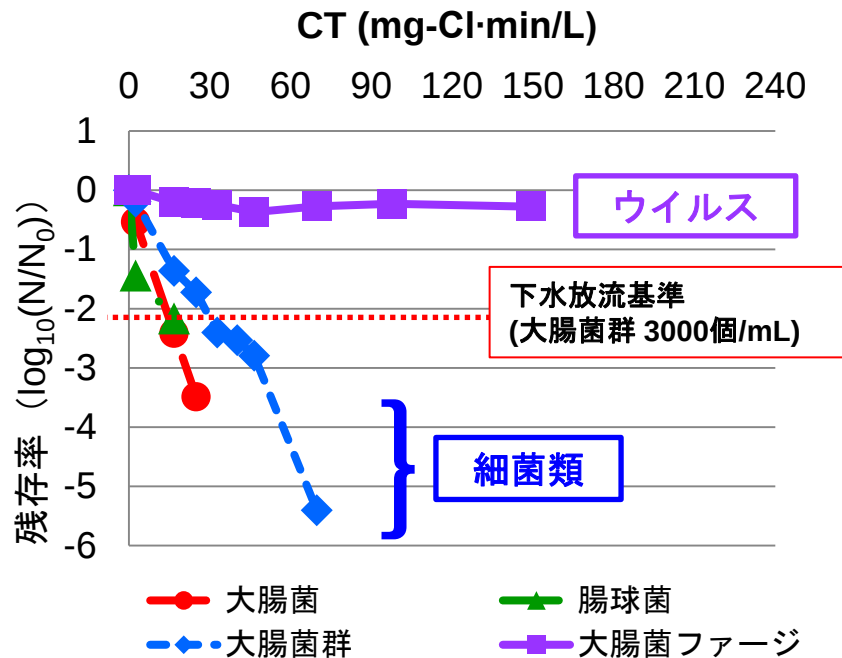
□ : バクテロイデス科

□ : 腸内細菌科

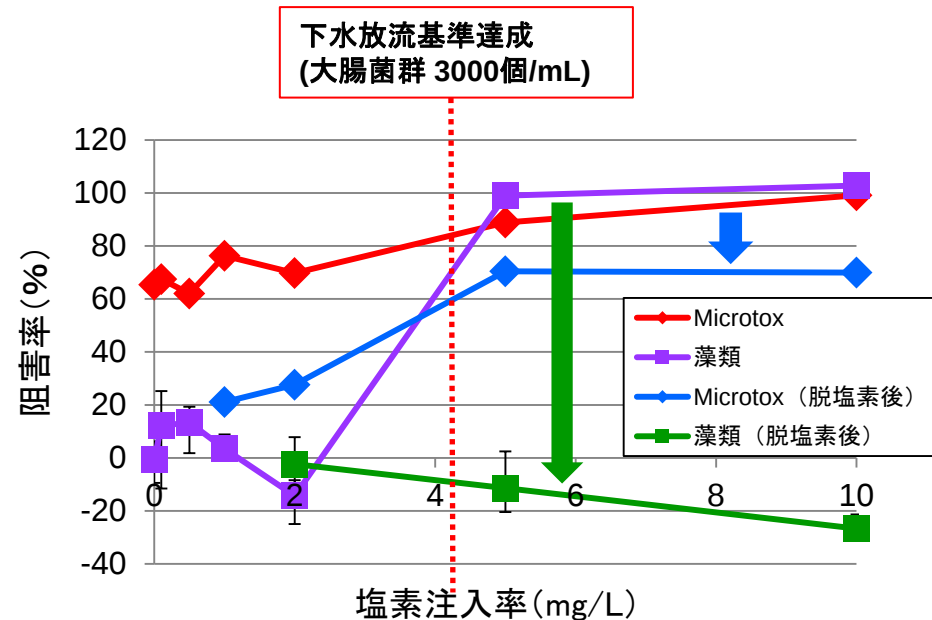
- 処理水の希釈によるクロタミトンの減衰と、ウイルス（定量PCR法）や腸内細菌ゲノム（次世代シーケンシング法）の減衰は類似していた
- 異なる手法で測定したウイルスゲノムと細菌ゲノムの減衰は一致した
- ゲノム濃度は海域での不活化（ゲノムの分解）によりさらに減衰した可能性がある

- 南蒲生浄化センターの未処理下水を用いた消毒実験

消毒効果



生態毒性



- 細菌類（大腸菌群，大腸菌，腸球菌）はCT値の増加とともに不活化
- ウイルス（大腸菌ファージ）はCT値の増加にもかかわらず不活化しない
- 塩素注入率増加により発光細菌（Microtox）、藻類とも毒性が上昇
- 脱塩素で毒性は低下し、藻類は毒性が無くなるが細菌は毒性が残る

- 下水処理復旧前は二次処理効率の低下を補うため塩素処理を強化していたが、**塩素耐性が高いウイルス**には効果が低く、復旧後と比較して**処理水中の濃度が数倍～数十倍**に上昇していた。
- 処理復旧に伴い指標細菌（大腸菌群，大腸菌，腸球菌）の濃度は変わらなかったが、塩素耐性の高いウイルス等の放流先濃度は減少した
- 放流先水域でのウイルス等の指標として**難分解性医薬品**や**腸内細菌ゲノム**が有用であることが示唆された。
- 震災直後の応急処理を想定して，流入下水に対し強度の塩素処理実験を行ったところ，細菌は不活化されたがウイルスは全く不活化されなかった。
- 上記流入下水の塩素処理水には，塩素注入率の増加に伴い**藻類や細菌に対する毒性**が認められ，脱塩素後も細菌に対する毒性は消失しなかった。

- 大腸菌群は水環境中のヒトの糞便汚染指標として適切でない
- 新たな衛生学的水質指標としてファージ，難分解性医薬品，腸内細菌ゲノムが候補として挙げられる
- 塩素処理後の脱塩素処理は，藻類への生態毒性を抑制する効果がある

・アウトリーチ

- 第15回，第16回水環境学会シンポジウムにてセッションを開催
- 宮城県，仙台市等関連機関への報告会，シンポジウム
 - ・「東日本大震災による下水処理施設の被害からの復旧・復興に向けた取り組み（2013年3月27日，仙台）」
 - ・「震災からの復旧に取り組む下水道と放流先の水質状況（2014年3月20日（予定），仙台）」

・学術的成果

- 招待講演： 2件
- 学会発表： 18件（国際4件、国内14件）

・社会貢献

- 環境省大腸菌環境基準検討会で成果を活用