

【5ZC-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

(H24~H25；累計予算額 101,790千円)

田中 宏明（京都大学）

1. 研究実施体制

(1) 廃水中の衛生微生物の消毒技術と水生生物影響（京都大学）

(2) 水中のウイルスモニタリングとその不活化効果の評価（東京大学）

(3) 海域での病原微生物汚染の把握と影響（東北大学）

2. 研究開発目的

本研究では、宮城県内の海域や下水道施設を対象として、①水域における衛生指標およびウイルスの水環境中での挙動を明らかにすること、②生物処理を經ていない下水の衛生学的な安全を補うために高濃度の塩素を注入された下水が、放流先水域の水生生物に対して与える毒性影響を明らかにすること、③塩素消毒とともにそれに代わる各種消毒技術の消毒効果を検討すること、を目的とした。以上の目的を達成することで、同時に、我が国の水域の衛生学的安全性を確保するための水質管理構築に向けて、新しい衛生指標による環境基準値の検討に資するため、水質管理計画策定に必要な水域での指標微生物やウイルスなどの挙動を把握し、排水規制値を達成するための消毒方法と水生生物保全を両立する技術を検討することが可能となる。具体的には、(1) 廃水中の衛生微生物の消毒技術と水生生物影響、(2) 水中のウイルスモニタリングと不活化効果の評価、(3) 海域での病原微生物汚染の把握と影響、という3つのサブテーマの研究を実施する。

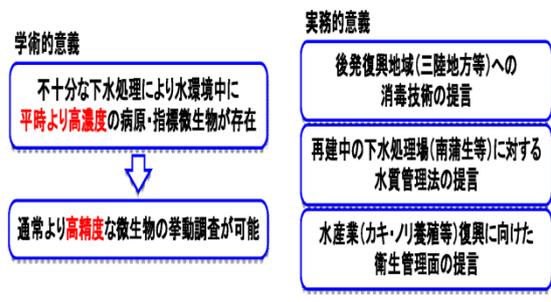
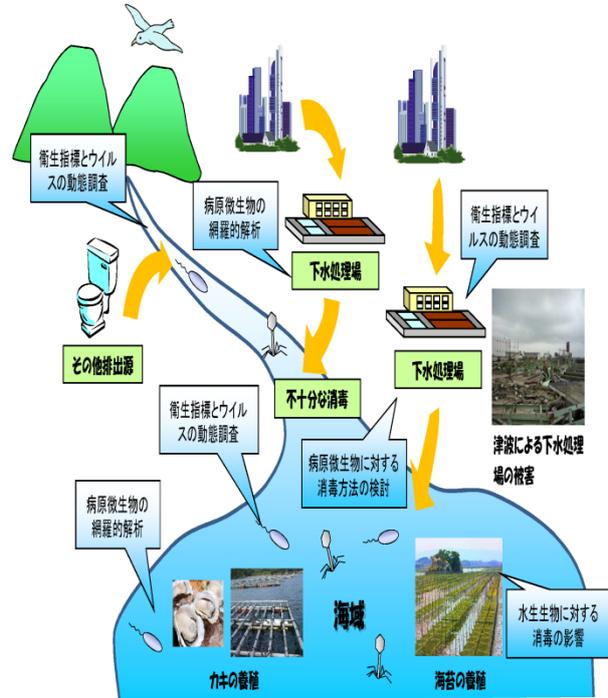


図 研究のイメージ

3. 本研究により得られた主な成果（研究者による記載）

(1) 科学的意義

東日本大震災の被災下水処理場で採取した試料を用いて、生物処理が不十分な下水について各種消毒技術の検討を行い、消毒効果と生態毒性影響の両方の側面から評価を行った。塩素消毒については、指標細菌には消毒効果が見られるが、簡易曝気や接触酸化処理では塩素消費量を下げ効果はあるが、CT値をもとにした消毒効果の改善が見られないこと、指標ウイルスについてはほとんど消毒効果がないこと、また生態毒性影響については塩素消毒による生態影響が見られるが、脱塩素によって毒性は低減できることが明らかとなった。また、紫外線消毒では指標ウイルスおよび指標細菌に対する消毒効果が高く、生態毒性の上昇も観察されないこと、さらにオゾン消毒では指標ウイルスに対する消毒効果は高いが、指標細菌に対しては消毒効果が低いこと、また試

料中に塩分が混入した場合には次亜塩素が生成して生態毒性が高くなる場合があることが明らかとなった。これらの成果は、消毒効果と生態影響のトレードオフを議論する貴重な研究成果となり、震災などの廃水処理設備の緊急対策に貢献することはもちろん、日常的に類似の事態が発生している可能性がある合流式下水道の越流水対策や生物処理レベルが十分でない畜産排水対策などでの今後の消毒技術を考える上で科学的な意義を持つ成果となる。

震災後の段階的復旧において用いられた様々な下水処理方法（暫定的な二次処理や強化された塩素処理等）による衛生学的水質項目の処理効率や放流水質を詳細に解明し、被災した下水処理場において、中級処理の段階で塩素消毒により水質基準項目の大腸菌群は十分に処理されていることが確認されたが、ファージやウイルスに対しての消毒効果は低く、生物処理が再開されるまでは、放流先海水域に通常よりも高濃度でウイルスが排出されている可能性が確認され、微生物学的安全性の観点での危険性が示された。また、Somatic と F-phage の検出頻度、減少傾向から、ウイルスの感染性に対する指標として Somatic が有効である可能性が示された。さらに、次世代シーケンサーによる下水、下水処理水、環境水での細菌群集解析手法は、環境での病原微生物の拡散、消長を把握する有効な手法となる可能性があり、化学マーカーや他の微生物定量手法と組み合わせることで、水域での病原微生物や指標微生物の動態把握に有効なツールとなると期待される。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究の成果は、環境省で現在、水質環境基準の生活環境基準項目の変更を検討している大腸菌の指標検討を行うための平成 24 年度生活環境項目新規基準等検討会の衛生指標 WG および平成 25 年度大腸菌数環境基準検討会において、これまでの大腸菌群や腸球菌、ファージ、ウイルスなどの水域の存在実態や動態、下水処理過程や消毒過程での動態の相違を示し、リクレーション利用、水産用水、水道原水の視点からの水質環境基準の検討の基礎的知見の一部を提供している。また環境省水環境課が平成 24 年、平成 25 年度に国立環境研究所と主催している、水質環境基準の生活環境項目のうち、水生生物基準の追加項目を検討するために「今後の水生生物保全に関する検討会」および水生生物保護を目的に新たにバイオアッセイを排水管理に導入するための「生物応答を利用した水環境管理手法の制度・運用分科会」で、本研究課題の一部の成果から塩素による水生生物への影響についての情報提供を行っている。

また、下水道行政を所管する国土交通省とは、国土交通省からの日本水環境学会受託事業、続いて実施した本研究課題についての情報交換を行ってきた。この成果の一部は、すでに下水道施設の災害時の緊急対応をまとめた「災害時における下水の排除・処理に関する考え（案）」の中で平成 24 年 9 月に国土交通省国土技術政策総合研究所から公開されている。また下水道の放流水質の今後の在り方を検討している「下水道における水系水質リスク検討会」においても平成 24 年度に下水放流水質のうち、大腸菌群が大腸菌に変更となることが予想されるため、下水道法での放流水質基準での衛生指標の基準値設定に関して、本研究課題の知見の一部を提供した。

さらに、調査対象の下水処理場の実施主体の公共団体である宮城県および仙台市とは、「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、仙台市)」および「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、仙台市)」を共同開催し、本研究成果を還元することで、現場の下水処理場の管理者の緊急対応や水質管理に活用されたと考えている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

現在、東日本大震災で被害を受けた水産産業の復旧が急速に進んだ。しかし、懸念される事項として、下水処理場の機能が依然不十分な下水処理場もあり、下水処理水には有機物、浮遊物質

とアンモニアが高濃度に残留する中で塩素消毒が行われている。本研究で示されたようにクロラミン消毒では、指標細菌には消毒効果が期待できるが、ウイルスへの不活化効果が極めて低い。このため、放流先でのリクレーションや水産養殖などの水利用に与える衛生学的安全性への監視が必要である。また同時に、クロラミンの水環境での残留性が高いために、ノリ養殖等の水生生物影響も懸念されるが、海域での残留塩素の測定結果や希釈容量を考えるとその影響は広範囲には及んでいないことが示唆された。

今後、発生が懸念されている南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの大規模な地震によって、被災する廃水処理設備の緊急対策に貢献することが行政的に期待できる。その際、被害の発生が予見される水環境の監視、また被害発生に備えた代替消毒方法の検討について、本研究成果は有用な知見を提供できる。このため、環境省水環境課はもちろん、国土交通省下水道部などの水質と廃水管理に関わる部局への知見の提供と意見交換が是非今後とも期待される。

また、日常的に震災時の下水機能の喪失と類似の事態が発生している恐れがあるのは、合流式下水道の越流水対策や生物処理レベルが十分でない畜産排水対策などである。今後のこれらの衛生学的な水質管理に対しても本研究成果は行政的な意義を持つと考えている。

本研究では、環境省で検討されている新しい衛生指標である大腸菌と、大腸菌群や腸球菌、ファージ、ウイルスなどを水域の存在実態や動態、下水処理過程や消毒過程での動態の相違を示し、環境基準での衛生指標の選定、基準値設定に役立つ知見を提供できる。また、環境基準の改定後に、排水規制の見直しが想定されるが、その際の規制を達成するのに必要な技術的検討に本研究は役立てられる。また、公共用水域の測定結果と環境基準の判定が行われる際に、達成が見込めない場合、水質管理計画の立案が必要となると想定される。そのために必要な、水環境での衛生指標や病原微生物の動態の理解に本研究は知見を与える。その際、環境での微生物動態は発生源からの排出実態の把握と合わせて重要になる。次世代シーケンサーによる下水、下水処理水、環境水での細菌群集解析手法は、環境での病原微生物の拡散、消長を把握する有効な手法である可能性があり、化学マーカーや他の微生物同定定量手法と組み合わせることで、水域での病原微生物や指標微生物の動態把握に有効なツールとなると期待される。

さらに、今後の導入が想定されている全排水毒性試験（WET）と、衛生指標の排水基準の達成のために生じるトレードオフが懸念される消毒について、消毒効果が認められかつ、水生生物影響を軽減する消毒方法の選択に対しても、本研究は知見を提供できる。

4. 委員の指摘及び提言概要

震災後の下水処理場の復旧度合いの違いによる放水域での各衛生指標の変化を捉え、水系感染性微生物の挙動という新しい知見に基づきその時々最適な消毒法を提案している。今後の対策のあり方にとって重要な知見である。また水質環境基準の生活環境基準項目の変更の検討に貢献しているのは評価できる。行政的にも貢献しているが、査読付論文の公表を期待する。

5. 評点

総合評点：A