

研究課題番号	2-1902
研究課題名	「環境中に放流された排水由来 GHGs 排出メカニズムの解明と排出量算定方法の検討」
研究実施期間	令和元年度～令和3年度
研究機関名	東洋大学
研究代表者名	山崎 宏史

## 1. 研究開発目的

サブテーマ1では、未処理排水と処理後排水の水質の違いや処理施設の規模や処理方式等によって放流水中の有機物・窒素の濃度や化学形態、構成割合が大きく異なることに着目し、GHGs 排出ポテンシャルの評価や現地調査を踏まえ、我が国の優れた排水処理技術や整備状況を反映しうる独自の排出係数を開発するとともに、GHGs 排出量の算定方法を我が国に適した形に改良・提案する。さらに、処理施設由来と放流水由来の GHGs を併せた排水管理全体の GHGs 排出モデルを構築し、トレードオフを含めたライフサイクル全体での排出削減方策についても検討する。サブテーマ2では、これまで見落とされていた処理施設からの放流水に含まれる溶存態 GHGs の動態を解析し、排出量を定量化することで、サブテーマ1の排出量算定方法提案に繋げる。サブテーマ3では、水環境中の CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の挙動について、化学的・微生物学的にメカニズムを解明することで、サブテーマ1、2における排出係数開発の学術的支援、妥当性評価に活用する。

## 2. 研究目標

サブ1 環境中に放流される有機性排水を起源とするGHGs排出量算定方法の開発と排出削減方策の研究

下水処理場放流水が流入する河川等の調査を通じ、GHGs排出に影響を及ぼす主要なパラメータの抽出を行う。また、この抽出した主要なパラメータを用いた室内モデル試験を実施することで、有機性排水由来のGHGs排出ポテンシャルの評価を行う。併せて、下水処理場、浄化槽における放流水の調査を行い、水質バランス（有機物・窒素の形態、構成割合等）や環境条件を考慮したGHGs排出ポテンシャル評価を行う。

上記と並行して、関係機関とも連携しつつ、複数の排出係数を用いた方法論を検討するとともに、排水管理全体（污水处理施設+放流河川からのGHGs）に係るGHGs排出源を整理し、新たな方法論を作成する。また、作成した方法論に基づき、有機性排水由来GHGsに関する我が国独自の排出係数および排出量算定方法を提案する。さらに、排水管理全体のGHGs排出モデルから総合的なGHGs排出量最小化のシナリオを提案する。

サブ2 下水処理プロセスからの溶存態GHGsの流出機構解明

下水処理水に含まれる溶存態GHGsの量を推定する排出係数を開発する。そのために、複数の異なるプロセス構成の下水処理場において、反応タンクおよび最終沈殿池以降のプロセスにおける溶存態GHGsの実態を把握する。その上で、生物処理、塩素処理やオゾン処理などのプロセスにおけるGHGs生成に影響する主要な環境因子を明らかにし、それらをふまえてGHGs生成量を最小化する条件について検討する。検討の結果は、下水処理水に含まれる溶存態GHGs発生量の推定、およびその削減可能性に対する定量的な評価を可能とすることで、サブ1における排出量算定方法、GHGs排出量最小化シナリオの提案および本テーマ全体に貢献する。

サブ3 安定同位体を用いたN<sub>2</sub>O生成ポテンシャル評価と機構解明

都市河川に点在する生活排水処理施設の上流・下流を含めた複数箇所の底質中に生息する微生物群

集の網羅的解析を行い、底質における $N_2O$ 生成と $N_2O$ 消費を担う微生物群の同定と定量を行う。また、河川底質や活性汚泥などに生息する微生物群が有する $N_2O$ 生成・消費ポテンシャルの正確定量を目指し、新規 $^{15}N$ トレーサー法を開発する。脱窒細菌の純粋菌株数種を用いた嫌気条件における回分試験を実施し、 $N_2O$ 生成および $N_2O$ 消費速度の定量を行う。さらに、 $^{15}N$ トレーサー法を用い、河川底質の $N_2O$ の生成量や生成経路、蓄積、消費速度を明らかにする。

サブ1、2の河川底質サンプルなどに $^{15}N$ トレーサー法を適用し、 $N_2O$ 生成と $N_2O$ 消費に関する定量的知見をサポートする。さらには、本テーマで提案する排出係数の学術的根拠となるデータを蓄積する。

### 3. 研究の進捗状況

#### サブ1 環境中に放流される有機性排水を起源とするGHGs排出量算定方法の開発と排出削減方策の研究

生活排水処理施設からの放流水が流入する河川等の調査を通じ、排出係数開発を考慮に入れたGHGs排出に影響を及ぼす主要なパラメータの抽出はできたが、2月末以降、新型コロナウイルスの影響により、研究調査を中断していることから、進捗が一部遅れている。当初の計画通り、2年度目も継続した調査を行う。また、この抽出した主要なパラメータを用いた室内モデル試験に着手しており、2年度目以降の有機性排水由来のGHGs排出ポテンシャル評価に繋げる。また、今年度、現場調査における下水処理場、浄化槽放流水の調査を行い、窒素の化学形態、構成割合の評価を行ったが、今後、関係各機関とも連携を取り、各種文献や下水道統計データも解析することにより、下水処理場、浄化槽における全国的な放流水質の解析に繋げる予定である。

方法論の検討については、基盤的な知見を得ることができたが、新型コロナウイルスの影響により、ヒアリング調査や関係機関との連携などに一定の影響が出ているが、事態の収束後、速やかに調査・検討を進める予定である。

#### サブ2 下水処理プロセスからの溶存態GHGsの流出機構解明

計画通り進展している。当初に計画していた3つの処理場において溶存態温室効果ガスに関する調査を実施し、重点課題としていた $N_2O$ の挙動に関する3つのテーマについて定量的な成果を得た。ただし、今後の新型コロナウイルスの影響次第では、実施時期の後ろ倒しなど、実施計画の変更が必要な可能性がある。

#### サブ3 安定同位体を用いた $N_2O$ 生成ポテンシャル評価と機構解明

窒素酸化物の還元に関与する機能遺伝子を対象とした定量PCR、16S rRNA遺伝子の網羅的な微生物群集構造解析により、河川底質における $N_2O$ 生成・消費を担う微生物群の絞り込みが計画通りに行えた。今年度は絞り込みが行えた微生物の遺伝子転写活性の評価や、様々な河川底質に普遍的に存在するかの評価を行う。

脱窒細菌の純粋菌株での嫌気回分試験により、真の $N_2O$ 生成速度と $N_2O$ 消費速度を同時に算出することに成功した。当初の計画通り、 $^{15}N$ トレーサー法を用いた $N_2O$ 生成・消費に関する真の速度を評価する手法を確立した。また新規知見として、用いた細菌種によって $N_2O$ 生成・消費性能は大きく異なることを示した。今年度より、サブ1、2と連携して様々な河川底質等のサンプルに $^{15}N$ トレーサー法を適用する予定である。既に排水処理バイオリアクターの活性汚泥やバイオフィームに本手法を適用し、 $N_2O$ 生成速度および $N_2O$ 消費速度を同時測定が可能であることは確認済みである。

$^{15}N$ トレーサーを応用して好気環境下における $N_2O$ 生成量および生成経路を明らかにする。当初の予定通り予備試験を既に行っており、今年度開始予定の河川サンプル等を用いた試験を進める準備は整っている。

上記に関しては、新型コロナウイルスの影響による大学入構制限が解除され次第、研究を開始する。

#### 4. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

本研究では、科学的検証を踏まえた独自の排出係数を開発するために、下水処理過程および放流水からのGHGs排出調査(サブ2)および下水処理場、浄化槽からの放流水が流入する河川、水路等からのGHGs排出調査を通じ(サブ1)、GHGs排出に影響を及ぼす項目について抽出を行った。2年度目以降も調査を継続し、より精緻な排出係数の開発に繋げる。また、安定同位体と遺伝子解析を組み合わせた手法により、 $N_2O$ の生成速度と消費速度を加味した真の速度を評価できており、排出係数の妥当性評価とする(サブ3)。

これらの結果を元に、我が国の実態を反映した排出係数の開発および活動量の提案を通じ、我が国独自の精緻な温室効果ガス排出量算定方法案を作成することとし、研究終了後に温室効果ガス排出量算定方法検討会廃棄物分科会へ提案し、国家インベントリへの反映を目指す。また、2年度目より、処理施設で排出されるGHGs(エネルギー起源を含む)と処理水由来のGHGsを合わせた排水管理全体のモデルを構築し、トレードオフを考慮した排水管理全体におけるGHGs排出削減に関する提案に繋げる。

#### 5. 評価者の指摘及び提言概要

下水処理場放流水における温室効果ガスの挙動と排出メカニズムについての、これまで未解明の課題に関して排出実態等を明らかにする点で研究的意義が高い。下水処理場に加え、河川下流におけるGHGs発生メカニズムの総合的な調査の結果が得られつつあり、さらに室内モデル試験結果と比較超過を行うなど、着実に研究が進められている。我が国のインベントリ作成に有用な情報提供が期待できる。これらの成果をどのように統合化してGHGs排出量を最小化するのかについて、方法論の検討を行い、道筋を明確にして進めて欲しい。インベントリのQA/QCに係る国際的レビュー、将来のIPCCガイドラインへのインプットにも活用できるよう、英文含めた論文発表を期待する。

#### 6. 評点

評価ランク：A