

課題番号: 5-2202

研究課題名: 特定海域の栄養塩類管理に向けた評価手法開発

研究代表者名: 西嶋 渉(広島大学)

体系的番号: JPMEERF20225002

重点課題: 主 ⑯大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化及び評価・解明に関する研究
副 ⑭生態系サービスの持続的な利用やシステム解明に関する研究・技術開発

行政ニーズ: (5-12)瀬戸内海における順応的プロセスによる栄養塩類の管理に向けた評価手法の提案
(5-19)瀬戸内海における順応的プロセスによる栄養塩類の管理に向けた数理モデルの開発と実証

研究期間: 2022年度～2024年度

【研究体制】

サブテーマ1: 西嶋 渉(広島大学)
中井智司(広島大学)
浅岡 聡(広島大学)
梅原 亮(広島大学)
末永俊和(広島大学)
中田聡史(国立環境研究所)

サブテーマ2: 東 博紀(国立環境研究所)
越川 海(国立環境研究所)

1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

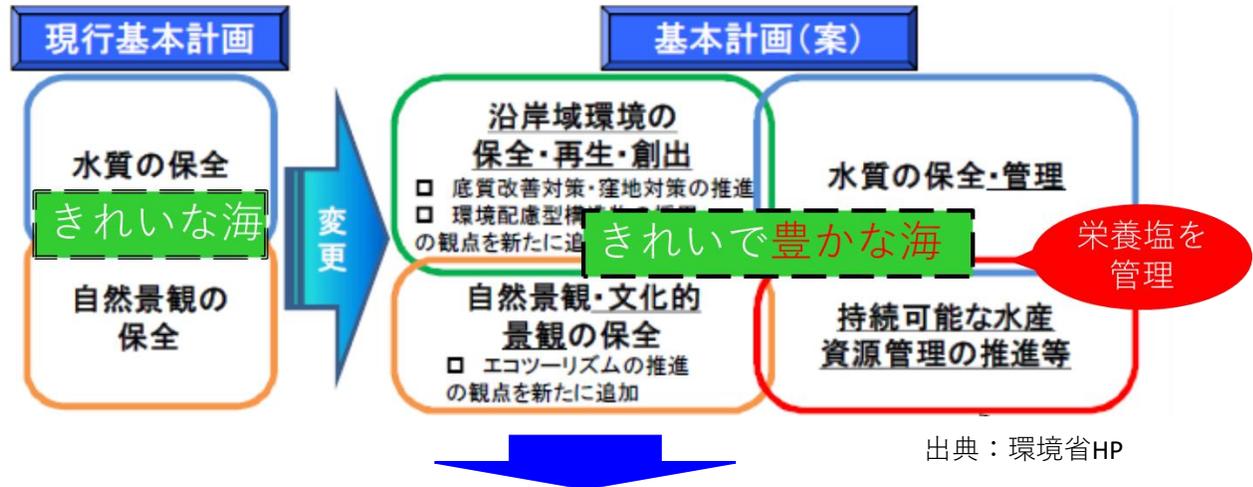
【研究背景】

瀬戸内海環境保全特別措置法が改正され、環境保全と生物生産を両立させる「きれいで豊かな海」を目指すことが明記され、栄養塩類管理制度が導入された。栄養塩類管理制度では、PDCAサイクルを回して順応的に栄養塩管理を行うことが謳われている。そのためには、計画策定前のフィージビリティ評価法、計画策定に必要な数値モデル、現状把握と施策評価のための効率的な水質及び生物・生物生産のモニタリング法等が必要であるが、自治体が利用可能な評価技術等が整備されておらず、現状ではこの制度を用いて栄養塩類管理を行える状況にはない。

【研究開発目的】

本研究では、広島県広湾で令和5年度から開始される下水処理場の季節別運転を対象事例として、自治体で利用可能な汎用的な上記評価手法を開発することを目的とする。

平成27年10月 2日 瀬戸内海環境保全特別措置法の一部改正



令和 3年 6月 9日 瀬戸内海環境保全特別措置法の一部改正

栄養塩管理制度の創出

1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究目的（全体目標）】

広島県呉市広湾をモデル特定海域とし、下水処理場の季節別運転（以下、季節別運転と略す）を具体的な栄養塩放出手段として、栄養塩類管理制度の実施において必要とされる自治体で利用可能な汎用的な評価手法を開発する。具体的には、本格的な計画策定段階に入る前のフィージビリティ評価手法、本格的な計画策定と事後評価に必要な現状把握のためのモニタリング手法、効果・影響予測のための特定海域に最適化された影響評価モデルを開発すること目標とする。



令和5年10月から左図広浄化センターで季節別運転を実施予定

研究フィールドである広湾

サブテーマ1：モニタリング技術開発

【サブテーマ1の研究目標】

- ① フィージビリティ評価のためのモニタリングと計算の手法を開発する
- ② 定点測定、曳航調査、ドローン調査等を組み合わせた効率的かつ汎用的な水質モニタリング手法を開発する
- ③ DNAメタバーコーディング技術を用いた定量的な動物プランクトンのモニタリング技術を開発する

【令和4年度研究計画】

- ・ End Member Mixing Approach (EMMA) 解析の実施、トレーサーの選定、栄養塩類の実測
- ・ 曳航調査、ドローン空撮の実施、Chl. *a*濃度推定のアルゴリズム開発
- ・ 動物プランクトン採取、DNAメタバーコーディング手法の検討

【令和5年度研究計画】

- ・ 潮汐に伴う各起源の寄与率の違いを評価、季節別運転に伴う各効果検証地点の水質の予測、検証
- ・ 曳航調査、ドローン空撮の実施、季節別運転に伴う水質変化の把握、Chl. *a*濃度推定のアルゴリズム開発
- ・ DNAメタバーコーディングの定量手法を確立、一次生産速度、二次生産速度を推定

【令和6年度研究計画】

- ・ EMMA とトレーサー・栄養塩類の濃度変化によって季節別運転の効果を検証
- ・ DNAメタバーコーディングによる手法も含めて採水、曳航、ドローンを効果的に組み合わせた水質・生物生産モニタリング手法を検討

【自己評価】 計画通り進展している

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成見通し（サブテーマ1）

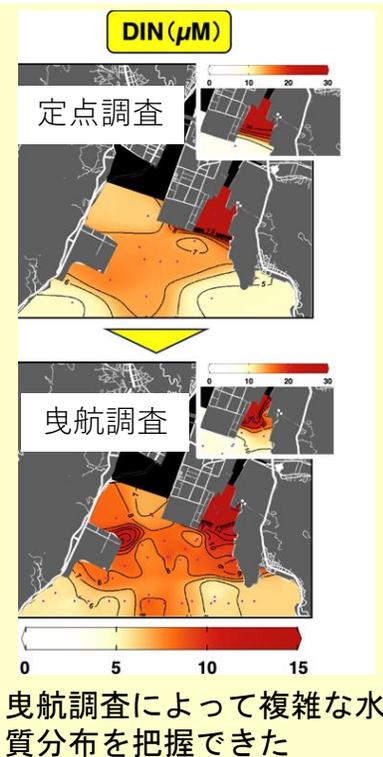
【具体的な理由・根拠】

- ① EMMA解析から起源水の混合割合、それに基づく栄養塩の割合を推定し、トレーサーを選定できた
- ② 曳航調査及びドローン調査の手法開発を行い、その有用性を確認した
- ③ 当初計画にはなかったアンモニア性窒素のパッシブモニタリング手法の開発に着手した
- ④ 3種のDNA領域とプライマーの組み合わせにより、広湾の上位12種中9種、重量割合で79.4%の動物プランクトンを検出できる網羅性の高い検出系を見出した
- ⑤ *Paracalanus parvus*1種ではあるが、DNAの解析結果からバイオマスを推定できる信頼性の高い検量線を作成することができ、定量化に道を拓いた

【目標達成の見通し】

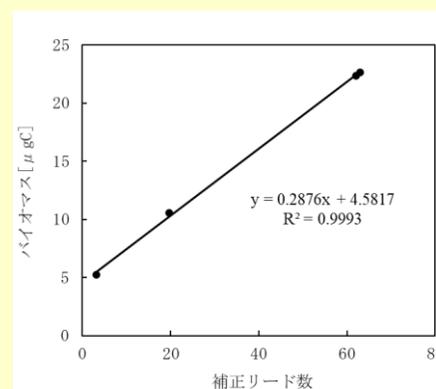
それぞれの目標を達成するための基本的な手法開発には成功しており、今後はさらにデータを取得し、開発技術の信頼性を高めていくことで十分目標は達成できる

DNA解析ではさらに多くの主要種の検量線作成など本手法を用いる基盤技術を充実させる方向で進めることで目標は十分達成できる



起源水	混合割合(%)	全窒素負荷割合(%)
黒瀬川	1.5	18.9
工場A	2.2	12.2
広浄化センター	1.8	10.8
沖合水	94.5	58.1

EMMA解析によって各起源水の混合割合と全窒素負荷割合が明らかとなった
→季節別運転の効果が予測可能



DNA解析で得られた補正したDNA量（リード数）とバイオマスの検量線（*Paracalanus parvus*）
→DNA解析の結果からバイオマスを推定可能

サブテーマ2：影響評価モデル開発

【サブテーマ2の研究目標】

- ① 広湾をモデル特定海域としたネスティングモデルを開発し、パラメータ自動最適化手法を開発する
- ② 海域に即した植物プランクトン種のモデル選択を可能とするデータベースを作成・拡充する
- ③ 以上をパッケージ化した影響評価モデルを広湾に実装し、栄養塩類管理に関する科学的知見を集積、完成したモデルから再現性の確保のために真に必要なモニタリングデータを導き出す

【令和4年度研究計画】

- ・ 2016～2022年の瀬戸内海全域の再現計算を追加実施、親データを更新、ネスティング海域モデルを構築
- ・ パラメータ最適化手順の階層と損失関数を検討、それに適した学習アルゴリズムを選定
- ・ 文献データの収集・整理、広湾及び周辺海域の代表的な優占種を選定して培養実験を実施

【令和5年度研究計画】

- ・ 観測データを用い、ネスティング海域モデルの広湾における下水処理水の水塊移動の再現性を検討
- ・ パラメータの自動最適化の機械学習を試験実施し、その性能を検討
- ・ 選定種の増殖速度の光・温度・栄養塩依存性を明確化

【令和6年度研究計画】

- ・ 培養実験を継続・追加実施し、植物プランクトンデータベース構築を完了
- ・ 観測データを用いて、機械学習を更新し、パラメータの自動最適化の開発を完了
- ・ 影響評価モデルを広湾の栄養塩類管理に実装

【自己評価】 計画通り進展している

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成見通し（サブテーマ2）

【具体的な理由・根拠】

- ① ネスティング海域モデルの開発では、広湾沖における冬期の栄養塩濃度の上昇が再現できない点に課題はあるものの、広湾奥部の水質変動については再現性が高く、モデルの有用性が示された
- ② パラメータ自動最適化手法はまだ基礎的検討の段階であるが、学習精度や収束速度の向上に資する新たな知見が得られた
- ③ 植物プランクトンのデータベースでは、独自開発した流加式半連続培養装置を用いた実験により、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の半飽和定数がこれまで報告されていた数値よりも1オーダー以上低いといった新規性が高い成果が得られた

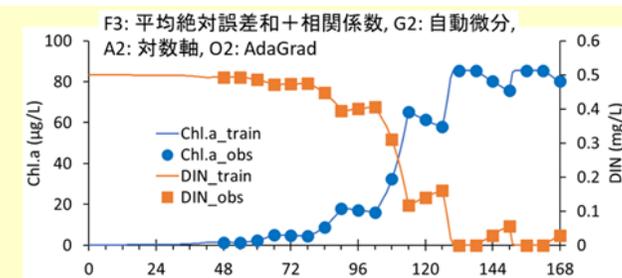
【目標達成の見通し】

このまま研究が順調に進めば、当初の計画どおりの目標達成は可能であり、今年度秋より開始される広浄化センターの季節別運転の調査研究に力点を置き、サブテーマ1と緊密に連携した研究を進めていく

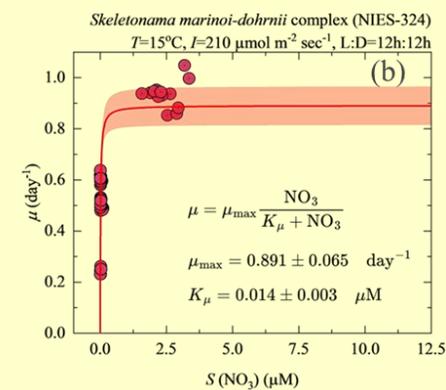
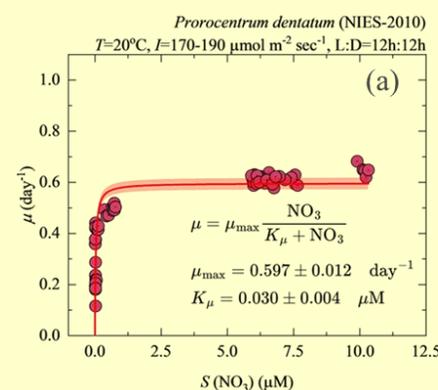
その一方で、研究に必要な消耗品の品薄状態や価格高騰が懸案事項としてあげられ、今後状況が悪化すれば、実験項目や回数等を減らすなどの対応が必要となる可能性がある



再現性の高いネスティング海域モデルが開発できた



真値 (obs) に収束するパラメータ自動最適化手法が得られた



流加式半連続培養装置を用いた実験から得られた2種の $\text{NO}_3\text{-N}$ の半飽和定数
→評価モデルに反映

3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

- ① フィージビリティ評価では、評価海域とその沖合海水を含む主要起源水の水質分析のみから、評価海域での各起源水の混合割合を算出し、各起源水の栄養塩濃度が変更された場合に、評価海域の栄養塩濃度がどう変化するかを推定する手法を開発しており、精緻なモニタリングやモデル開発なしで大まかな季節別運転等の効果を自治体が推定する際の有用なツールとなることが期待される。
- ② 曳航しながら、水をくみ上げ、センサーでモニタリングする手法や沿岸に近い海域であれば船なしで陸から調査可能なドローンを使った調査手法を開発しており、負担が小さい利用しやすいモニタリング技術として、自治体での利用が期待される。
- ③ 動物プランクトンをDNAを使って定量する技術はどこの自治体でも利用可能ということではないが、同じ基本技術を使っている環境DNA分析が自治体でも実施されることが多くなっており、環境DNAが扱える自治体であれば、この技術との親和性は高く、利用が期待される。
- ④ 影響評価モデルについては、別途環境省事業において自治体職員がモデルを運用することを想定したグラフィカル・ユーザーインターフェイス（GUI）を開発中であり、それと連携した開発を進めることによって、自治体が独自で影響評価への活用が期待される。
- ⑤ ネスティング計算の自動化、パラメータの自動最適化、植物プランクトンデータベースを搭載することにより、他の海域への展開も可能な汎用性を有する支援ツールとなることが期待される。

【行政等が既に活用した成果】

特に記載すべき事項はない

4. 研究成果の発表状況

【誌上発表（査読あり）：0件】

【誌上発表（査読なし）：3件】

- ・西嶋 渉、梅原 亮：閉鎖性海域の栄養塩類管理に向けて、月刊下水道、46巻、5号、16-17（2022）。
- ・西嶋 渉：瀬戸内海の水環境・生態系を管理する、瀬戸内海、84号、37-40（2022）。
- ・梅原亮：岸沖の視点で見た瀬戸内海の栄養塩環境の変化、水産海洋研究、水産海洋地域研究集、87巻、2号、136-143（2023）。

【口頭発表（学会等）：8件】

- ・高谷大介、柴田淳也、梅原 亮、西嶋 渉：第57回日本水環境学会シンポジウム（2023）DNAメタバーコーディングによる動物プランクトン群集の網羅的バイオマス定量法開発と二次生産推定への応用
- ・東博紀、越川海：2022年度水圏生態系モデリングシンポジウム（2022）気候変動・栄養塩類管理の影響評価に向けた陸域-海域統合水環境モデル
- ・他6件

【知的財産権：0件】

特に記載すべき事項はない

【「国民との科学・技術対話」の実施：3件】

- ・第15回FUコンクリート講座「演題：瀬戸内海の水環境と生物生産」、2022年：西嶋渉
- ・水質保全研修会・ふるさとの川セミナー「演題：瀬戸内海の水環境と生物生産を巡る話題」、2022年：西嶋渉
- ・気候変動適応情報プラットフォームA-PLATにて「ココが知りたい地球温暖化 気候変動適応編 身近な海への気候変動の影響は？」を掲載、2022年：東博紀

【本研究費の研究成果による受賞：1件】

- ・2022年度地域水環境行政研究委員会優秀発表賞、日本水環境学会地域水環境行政研究委員会、2022年：東博紀、越川海

【全体】

- ① 各サブテーマ、サブテーマ内の研究情報、特に研究の基盤となるモニタリングデータについては、Dropboxを活用して常に共有し、研究者間で成果の見える化を行った。
- ② 本研究は、自治体で利用できる汎用的な技術開発を目指しており、研究の開発段階から自治体と情報交換を行いながら実施した。具体的に情報交換した自治体及びその部署は、広島県環境保全課、広島県総合技術研究所水産海洋技術センター及び保健環境センター、呉市水産振興室及び下水施設課である。その結果、研究に対する自治体の視点からのアドバイスが得られただけでなく、自治体が保有する様々な情報をスムーズに提供いただくことができ、研究が効率的に実施できた。