

【5-1404】人工構造物に囲まれた内湾の干潟・藻場生態系に対する貧酸素・青潮影響の軽減策の提案（H26～H28 累計予算額 151,740 千円）
研究代表者 中村 由行（横浜国立大学）

1. 研究実施体制

- （1）生態系モデルの改良とモデルによる現地形及び保全策後の変化解析（国立大学法人横浜国立大学）
- （2）三河湾における貧酸素および硫化物が魚介類の生息および再生産に与える影響解明（愛知県水産試験場）
- （3）貧酸素及び硫化物に対する浅海域の魚介類の応答（国立研究開発法人国立環境研究所）
- （4）東京湾の貧酸素・硫化物分布に関する実態把握（国立大学法人東京大学）
- （5）貧酸素・硫化物の蓄積過程の解析と実験（国立研究開発法人港湾空港技術研究所）

2. 研究開発目的

東京湾ならびに三河湾での現地観測によって貧酸素や青潮の生物被害に至るまでの溶存酸素や硫化物動態を詳細に調べるとともに、室内実験によって海底境界層近傍の硫化物蓄積過程ならびに底生生物へのインパクトを調べる。これらの成果を統合し、干潟・藻場生態系への貧酸素・青潮影響を軽減するため、発生源対策及び青潮回避策を提案し、具体的な諸対策効果の定量化を行うことを課題全体の目的とする。

以上の目的のため、東京湾および三河湾において、貧酸素及び硫化物の分布や動態に関する実態把握調査を行う。東京湾については、湾奥部の平場と浚渫窪地における下層水中の溶存酸素濃度、硫化物濃度、および底質中の硫化物含有量について初夏から秋にかけての実態調査を行い、貧酸素水塊、無酸素水塊、および硫化物の時空間変動を把握する。貧酸素水塊の湧昇やそれに伴う青潮形成時に着目した調査を実施し、硫黄動態に関する知見を集積する。これらにより、平場および浚渫窪地それぞれの青潮発生源としての寄与率を推定し、発生源対策群の有効な選択法をとりまとめる。

三河湾においては、湾全体、デッドゾーン、干潟・藻場に区分し、生物分布と合わせた水塊変動調査を行う。

また、東京湾および三河湾において、貧酸素及び硫化物（硫化水素を含む）の忌避行動を含めた生物影響について実態調査を行い、生物の密度及び空間分布、生存や再生産に及ぼす影響を解析する。

貧酸素・硫化物動態やそれに関連した生物影響の評価の際に、現地観測では得にくい情報については、室内実験系での詳細な実験を行う。まず、硫化水素等硫化物が底生生物等の生残等に及ぼす影響を調べる実験系を作成し、実験データを得て、貧酸素単独、硫化水素単独及び貧酸素と硫化水素の共存時の影響を明らかにする。さらに、海底境界層近傍の硫化物蓄積過程を調べる実験系を作成し、硫化物の溶出過程を調べるとともに、それを抑制する手法を実験的に調べる。あわせて現場でのパイロット実験を行う。

これらの成果を統合し、干潟・藻場生態系への貧酸素・青潮影響を軽減するため、発生源対策及び青潮回避策を提案し、具体的な諸対策効果の定量化を行う。上述の現場海域や室内実験での知見を基に、貧酸素水塊や青潮の来襲による生物・生態系影響を評価できるツールとしての生態系モデルを構築する。本モデルを用い、青潮インパクトを軽減するための対策ごとに、貧酸素・硫化物濃度と暴露時間の変化解析結果と生物影響実験結果を統合し、各対策による生物資源量の損傷回避効果を定量化する。その上で、三河湾及び東京湾それぞれにふさわしい手法の組み合わせを提案する。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本研究により、無酸素水塊中への溶存硫化物の蓄積、水塊の湧昇とその前後での単体硫黄の生成、青潮の生成と解消、という非定常性の強い青潮に関する一連の過程と全体像をはじめて捉えることに成功し、その過程における硫黄動態を明らかにすることができた。青潮という着色現象の構成主体である単体硫黄が、湧昇の前後に密度成層界面に存在していること、青潮の初期には湧昇前にすでに生成していた単体硫黄が青潮水を構成する場合があることをはじめて定量的に示した点は、従来の青潮現象に対する科学的理解を書き換えるものであると同時に、対策に関する多くの示唆を与える。

現場での魚介類の分布調査結果は、同時に実施された底層溶存酸素濃度計測結果とあわせて、忌避行動を含む、従来の魚介類貧酸素耐性に関する乏しい科学的知見を補完し、保全対象とすべき具体的な生物群（魚介類）の目標 DO レベルを決定するための科学的根拠を与える。

特に、三河湾湾央及びデッドゾーンで発生する貧酸素水・溶存硫化物の干潟域への湧昇現象を把握し、底生性魚介類資源の応答、干潟の生息場の重要性が明らかとなった。また、底泥中の溶存硫化物、溶存態鉄、硫化鉄の実態把握から、鉄による硫化物発生抑制が示唆された。以上より、漁獲対象生物への影響評価の定量化及び生物被害改善策の構築が可能となった。これらの知見により、内湾性魚介類が生活史の一部として利用する干潟・藻場生態系が保たれ、健全な物質循環の持続性に繋がる手法を提案できた。

貧酸素や青潮影響の軽減策を考える上では、発生源対策がまず不可欠であるが、本研究では主要な発生源である、湾奥中央平場、浚渫窪地、および航路における硫化物を含む無酸素水塊の発生規模を明らかにした。中でも、平場における硫化物濃度のモニタリングは対象海域が広範囲にわたることから困難であったが、本研究では近年発達してきた、公的機関によるリアルタイムモニタリング結果を活用することで、効率的な把握が可能となることを示した。また、浚渫窪地では、幕張沖と浦安沖に存在する、規模の異なる 2 つの浚渫窪地を対象とした調査を行うことで、浚渫窪地の規模が硫化物濃度の大小に普遍的な影響を与えることを明らかにした。

また、これまでに正確な測定が困難であった水・堆積物海面における酸素や硫化物の輸送フラックスに関して、渦相関法と現場コア法の比較がなされ、流動等の物理的影響についても定量的に考察可能な測定精度の高い実験系が確立された。

(2) 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

<行政が既に活用した成果>

船橋市漁業協同組合が事業主体となり、千葉県および船橋市の補助金を得て、東京湾三番瀬における青潮対策として、水流発生装置を用いた青潮軽減対策に関する取り組みが 2016 年度から 3 年の予定で開始されている。これは、東京湾における青潮対策としては初めての本格的な行政支援による取り組みであり、その中では、無酸素水塊の発生源の特定と青潮の発生経路、および青潮発生時の水流発生装置による無酸素水塊の低減効果の予測に基づく、水流発生装置の効果的な配置と規模の検討が必要となっている。研究分担者の東京大学は、本研究成果をベースとして、本取り組みに当初より協力し、無酸素水塊の発生源および発生経路に関する助言を行うと同時に、本研究で開発している無酸素水塊予測システムに水流発生装置の機能をモデル化して組み込み、水流発生装置の貧酸素水低減効果予測や水流発生装置の規模と配置の最適化に関する検討に活用することで、本取り組みの実装に貢献している。

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境省は 2016 年 3 月に、湖沼や閉鎖性海域における水質の生活環境項目に関して、これまでの COD を中心とした体系を修正し、新たに底層 DO 濃度を追加した。現在、東京湾や琵琶湖を対象として、保全対象とすべき具体的な生物群（魚介類）の選定とそれらの目標 DO レベルの設定、さらには海域の類型化に向けた議論が行われている。また、あわせて将来の貧酸素対策に資する技術に関するレビュー

が行われている。本研究の成果は、現在進行中のこれら行政課題に直接活かされるべきものである。

まず、本研究で得られた各生活史段階における底生性魚介類の生息状況は、底層溶存酸素量基準の類型指定を行う際に必須の情報として利用される見込みである。現場での魚介類の分布調査結果は、その場で同時に実施された底層溶存酸素濃度計測結果とあわせて、従来の魚介類貧酸素耐性に関する乏しい科学的知見を補完し、保全対象とすべき具体的な生物群（魚介類）の選定とそれらの目標 D0 レベルを決定するための科学的根拠を与える。

また、具体的な貧酸素水塊対策の考え方や技術の適用について、本研究で提案した様々な既存技術の評価と新たなアイデアは、生態系モデルという評価ツールとあわせて今後の具体的な対策メニューの検討に活かされるべきものである。特に本研究で構築した、硫化物を含む無酸素水塊予測システムー生態系モデルー（東京大学、横浜国立大学）は、貧酸素や青潮の対策を検討する際に有用なツールとなるものと確信する。特に、浚渫窪地の規模の大小が硫化物濃度の高低や無酸素水塊規模に与える影響について、周年スケールでの再現が可能となっていることから、浚渫窪地の埋め戻しの程度が青潮影響の軽減に与える影響といった、小規模な対策を検討する上でも有用なツールとなり得るものと考ええる。

また、D0 濃度の低下よりもさらに毒性の大きい硫化水素の影響については、中央環境審議会等においても重要性が認識されながら、環境基準改定作業では議論されていない。これをどう評価するかが今後の大きな課題とされているが、この点に関しても本研究の成果が活かされる。干潟・藻場のような、浅く生物生息に適した環境への貧酸素水塊や青潮の来襲は、生物生態系に大きなインパクトを与えているが、D0 欠乏が原因か、あるいは硫化水素による影響が大きいのかは依然として不明であり、本研究はこれらの課題解明に向け、まず基礎となるイオウの形態のうち、硫化物イオン（溶存硫化物）、単体硫黄を簡易に区分できる方法を見出したことから、次年度以降の発展と環境政策への貢献が期待できる。あわせて本研究により室内実験で効果を検証できた鉄剤散布による溶出抑制技術は、現地へただちに適用するにはまだ検討すべき課題を残しているものの、経済的な硫化物溶出抑制手法として、今後の検討が望まれる。

あわせて環境モニタリングという観点では、本研究の成果の発展形として、従来から水質モニタリングに使われていたセンサー類の新たな使用方法を提案する。つまり、濁度を単体硫黄の指標として、またさらに pH 及び ORP を溶存硫化物の存在範囲の指標として活用することは、無酸素水塊周辺での溶存硫化物・単体硫黄の連続的な監視を可能とする手法として、強く推奨できる。

4. 委員の指摘及び提言概要

東京湾と三河湾における現地観測に基づく結果を用いた解析・評価によって貧酸素化に関する科学的な知見が集積出来ている。また、窪地の埋め戻しや鉄剤の散布など、貧酸素・青潮影響の軽減策を具体的に提案しており、所定の成果が得られたと思われる。

ただ、生態系保全の対策研究としては、埋め戻しによって以前に比較して生態系保全がどの程度改善されるのかを示してほしかった。サブ (2)、(3)、(5) についてはこれまで論文発表がなく、今後の公表が期待される。

5. 評点

総合評点：A